マイクロフィルム用資料

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3826号

土木研究所資料

国土交通省土木研究所
緑化生態研究室報告書
～第15集～



平成13年3月

国土交通省土木研究所
環境部緑化生態研究室

Copyright © (2001) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設省は、平成１３年１月６日付けで国土交通省に再編

土木研究所資料
第3826号　2001年3月

緑化生態研究室報告書
～第15集～

緑化生態研究室

要　旨

平成１１年度に緑化生態研究室が実施した調査・研究の概要および当研究室員が学会や雑誌等に発表した論文を収録・編集した。

調査・研究の概要は、緑化技術に関する研究、公園緑地計画技術に関する研究、自然環境の保全及び創出技術に関する研究の３テーマに分類して編集した。

学会や雑誌等に発表した論文は、論文、学会要旨・シンポジウム要旨等、特集記事等、土木研究所刊行物の４テーマに分類して編集した。

キーワード：緑化技術、公園緑地計画、ビオトープ、ミティゲーション、自然環境アセスメント、生態系ネットワーク計画

表紙の写真　：　土木研究所本館前ビオトープ実験池

都市の中には修景を目的とした無機質な人工池が多く見られます。最近では、このような池も一部ビオトープ化する動きがでてきました。

緑化生態研究室では、研究所本館前の同形・同大の修景池２面の内、片方の池に水草を植栽し、もう片方はそのままの状態を維持して、水草の有無がトンボ類の生息に与える影響を調査しています。

水草を生育させるためには植栽基盤が必要です。この池では、設置場所や水深の違いなどに対応できるように、独自に考案した基盤を使用しています。設置後３年を経た現在では、植栽した水草の多くが良好に生育しています。また、水草を植栽した池では植栽のない池と比べて、飛来する種、繁殖する種とも多いことが確認されました。

まえがき

この緑化生態研究室報告書第15集は、緑化生態研究室が平成11年度に行った調査、研究の概要を報告するとともに、当研究室のスタッフが平成11年度の1年間に学会や雑誌などに発表した論文を収録、編集したものです。

緑化生態研究室では、公園・緑化技術と自然環境の保全技術を調査・研究の対象としています。建設事業では、道路、河川、公園、都市など、あらゆる場面で自然環境への配慮が求められているため、調査の研究内容は、緑と生態系を守るための技術から、新たな生物の生育・生息空間を生み出すための設計・施工・管理技術まで幅広いものとなっています。

平成11年度に実施した調査・研究課題は、大きくは以下の3テーマに分類されます。

「①緑化技術に関する研究」
「②公園緑地計画技術に関する研究」
「③自然環境の保全及び創出技術に関する研究」

「①緑化技術に関する研究」では、ポーラスコンクリートを用いた河川・海岸の護岸緑化や道路のり面の樹林化、街路樹管理、植物発生材のリサイクルなど、公共事業で必要とされる各種の緑化技術について実験的検討を行っています。

「②公園緑地計画技術に関する研究」では、都市内緑地による温室効果ガスの削減の効果、衛星データを用いた都市緑地の評価など、都市の緑地計画に係る研究を進めています。

「③自然環境の保全及び創出技術に関する研究」では、生物生息空間(ビオトープ)の創出技術の開発を目指し、オオタカをはじめとする希少猛禽類の生態や湿地生態系などについて、基礎的な調査を実施している他、人工浮島などの施設について技術開発を行っています。また、ミティゲーション、自然環境アセスメント手法、生物多様性の保全のための生態系管理手法など、生態系の保全技術の開発を行うとともに、自然環境データベース、哺乳類など野生生物の生息に配慮した生態系ネットワーク計画など、総合的な生態系保全に必要な計画手法の研究を行っています。

さて、1月6日の省庁再編により、旧建設省は国土交通省へと移行しました。土木研究所は3月末までは旧建設省の組織体制を保ちますが、4月1日より、一部が独立法人土木研究所に、一部が国土交通省国土技術政策総合研究所に再編されます。緑化生態研究室は国土技術政策総合研究所に移行しますが、引き続き「生き物と共存できる環境づくり」を目指して研究を進め、国土政策への還元に努めていきたいと考えています。これまでの関係の皆様のご指導、ご協力に感謝するとともに、新たな緑化生態研究室に対しても変わらぬご支援をお願いする次第です。

なお、この緑化生態研究室報告書第15集は、国土交通省土木研究所と冠する、最初で最後の一冊となり、次集からは国土交通省国土技術政策総合研究所と冠して継続されます。

平成13年1月

国土交通省土木研究所
環境部　緑化生態研究室
室　長　　藤原　宣夫

目　　次

平成１１年度 土木研究所年度報告書

＜緑化技術に関する研究＞

街路樹の健全度判定手法に関する調査 ―― 3
のり面の自然復元手法に関する試験調査 ―― 7
新素材・新工法を用いた防御工の開発 ―― 11
下水汚泥および植物発生材のリサイクルに関する調査 ―― 19
海浜地における緑化手法に関する検討 ―― 25

＜公園緑地計画技術に関する研究＞

都市内緑地による温室効果ガス削減に関する調査 ―― 29
都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究開発 ―― 35
人為的活動による都市緑地における炭素収支変動の評価に関する研究 ―― 37

＜自然環境の保全及び創出技術に関する研究＞

都市気候の動植物への影響に関する調査 ―― 45
都市における自然環境保全の効用に対する住民の評価に関する研究 ―― 49
都市の水域における環境条件と植物相及び鳥相との関係把握 ―― 55
都市の水域における生態系ネットワークの計画手法の開発 ―― 57
都市の水域における植物生育及び鳥類生息空間の保全・創出手法の開発 ―― 59
建設事業が水域の生態系に及ぼす影響の予測技術の開発 ―― 61
広域的生態ネットワーク計画に関する研究 ―― 67
ビオトープのネットワーク化計画に関する研究 ―― 69
大規模公園におけるビオトープの計画・保全手法に関する調査 ―― 71
ダム湖における生物ふれあい空間の整備技術の開発 ―― 73
都市域での住民参加による生物多様性回復手法に関する調査 ―― 75
生態情報の統合化及び活用に関する研究 ―― 81
道路による動物の生息域への影響低減技術の調査研究 ―― 85

平成１１年度に雑誌に掲載された論文、学会・シンポジウム要旨、記事等

＜論文＞

鳥類の生息環境としてのダム湖の特性－自然湖沼との比較－ ―― 89
ダム湖の水位変動域に造成した池に成立した池沼－湿地生態系 ―― 96
Structure of Territorial Songs in the Japanese Bush Warbler (*Cettia diphone*) ―― 107
湿地植生計画のための鳥類の潜在的生息地図化とシナリオ分析に関する研究 ―― 118

＜学会要旨・シンポジウム要旨等＞

下水汚泥と剪定枝葉の混合堆肥製造に関する研究 ―― 127
汚泥枝葉堆肥の製造と施用効果 ―― 129
街路樹の倒状と管理の実態 ―― 131
根系切断による街路樹の成長抑制試験 ―― 133
播種工によるのり面樹林化に関する基礎的研究 ―― 137
孔開きモルタル平板上での植物生育 ―― 143
発芽生態学からみた霞ヶ浦の水辺植物の衰退 ―― 147
水位管理が強化された霞ヶ浦では種子植物の更新は可能か？ ―― 151
Structure of Planted Floating Islands for Use by Water Birds ―― 152
浮島の問題点と課題 ―― 160
水生植物５種の人工植栽基盤上での生育 ―― 171

＜特集記事等＞

樹木を用いたのり面緑化手法の検討 ―― 179
下水汚泥・剪定枝葉の堆肥化に関する研究 ―― 185
統計で見る日本の街路樹の移り変わり ―― 187
街路樹の腐朽診断－放射線を利用した診断方法－ ―― 193
街路樹に憩う ―― 197
「防災公園計画・設計ガイドライン」について ―― 202
都市における屋上緑化可能地の推定 ―― 204
ヨシ原の分断・孤立化とシロバナサクラタデの受粉・種子生産 ―― 208
土木研究所本館前におけるビオトープ実験 ―― 216
ダム緑化のための湖岸環境区分と適応自生植物の選定 ―― 218
Woods Restoration by Planting Faces of Slopes ―― 225
沿道景観構成要素の整備手法 ―― 227
生きものランドスケーピングの展示発表　その２ ―― 233
自然環境との調和に配慮した道路整備－今後の自然環境保全の進め方と技術開発－ ―― 236
環境影響評価に関する研究事例の紹介 ―― 239
道路事業における生態系の評価手法 ―― 241
景観・触れ合い活動の場の環境影響評価手法 ―― 245

多自然型川づくりにおける護岸技術開発の方向 ―― 249

＜土木研究所刊行物＞

土木研究所資料一覧 ―― 255
官民連帯共同研究一覧 ―― 261
共同研究報告書一覧 ―― 261
緑化生態研究室資料 ―― 261

平成１１年度 土木研究所年度報告書
＜ 緑化技術に関する研究 ＞

街路樹の健全度判定手法に関する調査 ―― 3
のり面の自然復元手法に関する試験調査 ―― 7
新素材・新工法を用いた防御工の開発 ―― 11
下水汚泥および植物発生材のリサイクルに関する調査 ―― 19
海浜地における緑化手法に関する検討 ―― 25

道路事業調査費

6.1.1　街路樹の健全度判定手法に関する調査

研究期間：平９～平１１

担当：緑化生態研究室

【要旨】

台風等により発生する街路樹の倒伏が問題となっており、その誘因のひとつとして、腐朽があげられる。本研究では、腐朽による倒伏を防ぐために、ガンマ線透過率より樹木の内部状況を推測する非破壊腐朽判定装置の開発を行うことを目的とした。１１年度は、樹木内部の空洞率を０％から１００％まで、１０％間隔で変化させた供試体を製作し、そのガンマ線透過率の測定結果をもとに、空洞率とガンマ線透過率の関係式を作成した。また、実際の腐朽木のガンマ線透過率と関係式から得られる計算値を比較し、関係式の予測精度を確認した。

研究の概要

９年度
・全国街路樹倒伏調査（建設省８地建官轄）の結果、過去７年間では、毎年約２００本の倒伏が起きていた

１０年度
・街路樹のガンマ線透過率の測定結果から、腐朽木と健全木では、透過率に違いがあり、ガンマ線透過率の大小により、腐朽木の判定が可能と推測された

１１年度
・空洞率とガンマ線透過率の関係式を作成した
・実際の腐朽木のガンマ線透過率の測定値を用いて関係式の精度を検証した

１．研究目的

本研究では、腐朽による倒伏を防ぐために、ガンマ線透過率より樹木の内部状況を推測する非破壊腐朽判定装置の開発を目的としている。１０年度に実施した樹木のガンマ線透過率の測定からは、ガンマ線は、腐朽木の判定に有効と推測されたものの、樹種によるガンマ線透過率の違いや空洞の進行状況によるガンマ線透過率の違いが不明瞭であった。そこで、１１年度では、以下の事項の解明を目的とした試験・検討を実施した。

①樹種によるガンマ線透過率の違いの有無の確認

②空洞率とガンマ線透過率の関係式の作成と判定精度の検証

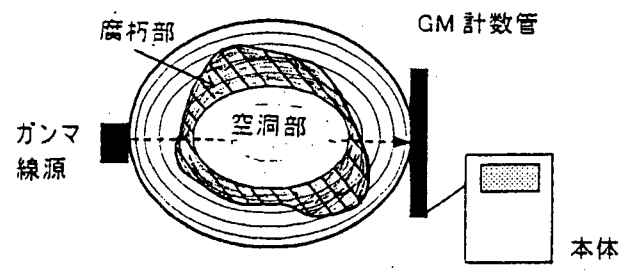
２．試験方法

イチョウ、ケヤキ、スギの３樹種の角材を用い、任意の空洞率を再現することにより、空洞率別のガンマ線透過率の計測試験を行った。

２．１　腐朽判定装置の概要

腐朽判定装置は、樹木の幹の両側に接し、一方にガンマ線源をおき、反対側には、受信装置であるＧＭ計数管をおくことにより、ガンマ線透過率（1分間のガンマ線透過数）を計測し、その値を装置本体に表示するものである（図-1）。

・直径が大きくなると、透過率が低くなる
・腐朽により、空洞が生じると、透過率が高くなる



幹の断面

図―1　腐朽判定装置の概要

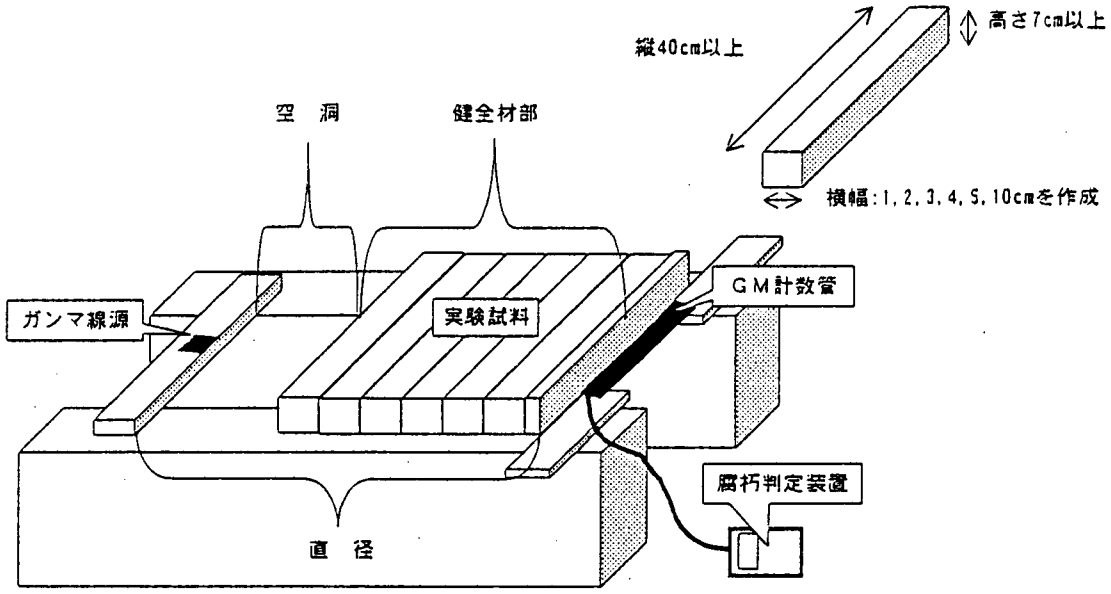
２．２　空洞率の設定と角材の配置

各樹種について、角材（縦40cm以上、横：1,2,3,4,5,10cm、高さ7cm以上）を作成し、横幅の異なる角材を配置することによって任意の樹木直径と空洞率を設定した。なお、角材の配置位置によるガンマ線透過

線透過率の違いはないことが事前に確認されたため、角材はすべての条件において、ＧＭ計数管側によせて配置した(図－２)。測定値には変動があるため、以下の試験計測では、５分間の測定を１分間あたりに換算したものを１回の測定値とし、５回の計測を繰り返した。

２．３　樹木直径と空洞率の設定範囲

樹木直径については、２０ｃｍ～１００ｃｍの範囲において１０ｃｍ間隔に設定し、空洞率を０％～１００％まで１０％間隔で再現した。



図—2 ガンマ線透過率の測定状況

３．結果と考察

３．１　樹種によるガンマ線透過率の違い

樹種別のガンマ線透過率測定結果の比較を、空洞率５０％の場合を例にして図－３に示す。同図には、直径毎の平均値と標準偏差、平均値による近似曲線を示した。

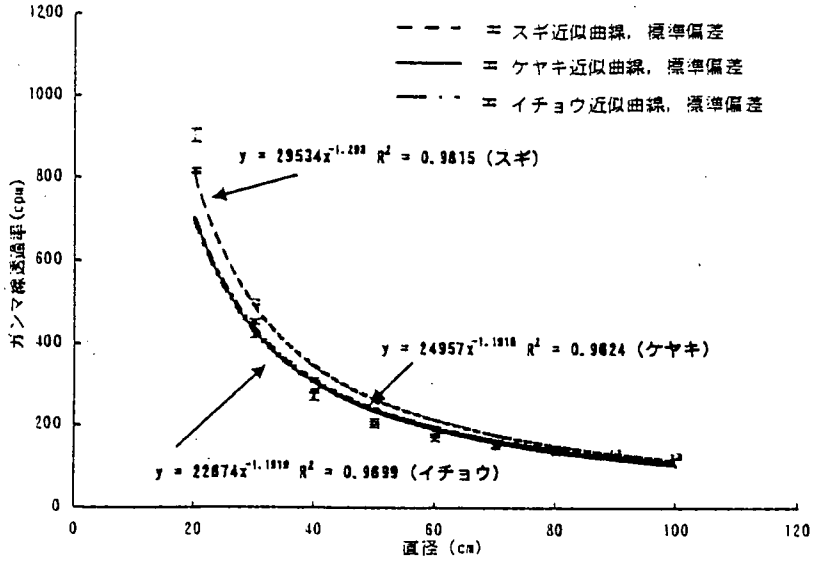
スギのガンマ線透過率は、イチョウ、ケヤキに比べて、高い傾向があり、この傾向は、空洞率５０％に限らず他のすべての空洞率の場合でも、同じであった。近似曲線にも、その傾向が反映されているが、樹種間の差は、近似式の誤差に比べ、十分に大きいとはいえず、近似式を樹種毎に求めることは、意味を有さないと考えられた。よって、以降の検討では、３樹種のデータを一括して、解析を行うこととした。

３．２　空洞率とガンマ線透過率の関係

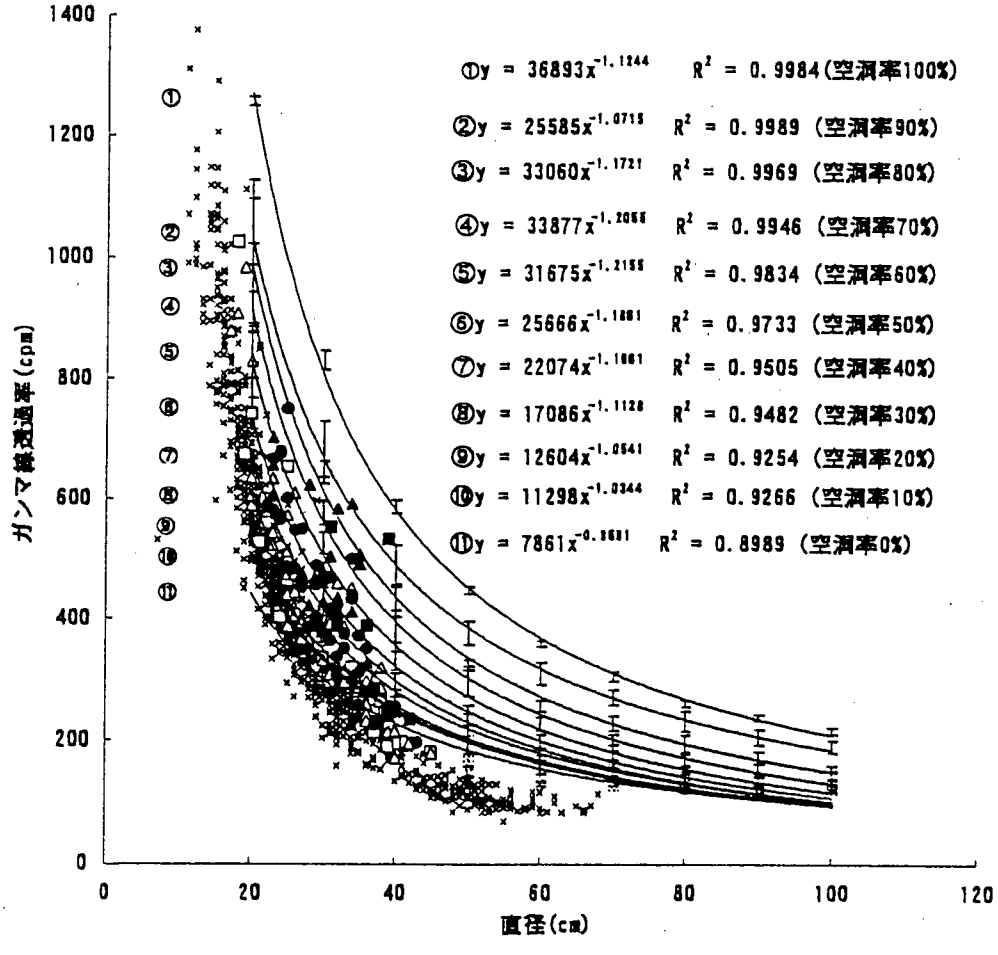
樹種を区別せず全データを用いた、ガンマ線透過率平均値と標準偏差、平均値による近似曲線を図－４に示す。また、図－４には、平成１０年度に測定した実際の健全木、腐朽木のガンマ線透過率のデータを重ねて示した。

３．２．１　試験測定値と実際の腐朽木、健全木との誤差

試験測定値と腐朽木の透過率を比較した結果、同じ空洞率でも腐朽木の方が、ガンマ線透過率が低い傾向



図—3　樹種ごとのガンマ線透過率の関係（空洞率50%の場合）



実際の樹木	腐朽木	■：空洞率80%以上	▲：空洞率60%以上	●：空洞率40%以上
	腐朽木	△：空洞率20%以上	□：空洞率1%以上	
	健全木	×：空洞率0%		

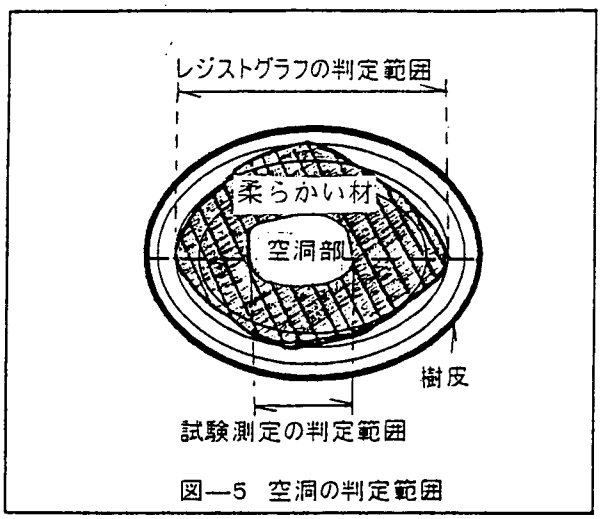
図—4　空洞率とガンマ線透過率の関係

が示された。その原因として、①空洞の判定範囲の違い、②材質の違いが推測される。

①空洞の判定範囲の違い

実際の樹木の空洞率の判定には、レジストグラフを用いた。レジストグラフは、幹内へキリを貫入し、その貫入抵抗値で内部の状況を推測する機械である。レジストグラフは、空洞部分に加え、抵抗値ゼロとなる柔らかい材(腐朽のかなり進んだ状態)を空洞と判定する(図－５)。

一方、試験で再現した空洞とは、角材の配置によるもので、柔らかい材の部分の設定は行っていない(図－５)。したがって、同じ空洞率であっても、実際の樹木では、空洞の範囲に柔らかい材が含まれている可能性があり、柔らかい材はガンマ線の透過を妨げるため、実際の樹木の方が、低い値を示していると思われる。



図—5　空洞の判定範囲

②材質の違い

ガンマ線透過率は、空洞率０％の場合でも、試験測定値より実際の樹木の方が、低い傾向が示された。この原因は、材質の違いによるものと推測される。実際の樹木の測定では、材質の異なる樹皮があり、また、生木であることから、水分が豊富であると推測されるが、試験で用いた角材は、樹皮がなく、また生木より乾燥していることが予想され、このような違いが、透過率に違いを生じさせたものと推測される。

３．２．２　空洞率の測定可能精度と直径の範囲

図－４より、１０％毎の空洞率の近似曲線は、他の近似曲線と隣接しているため、空洞率１０％毎の空洞率の判定は難しいと推測される。また、直径７０ｃｍ以上では、空洞率毎のガンマ線透過率の違いが不明瞭なため、直径７０ｃｍ以上の腐朽木の検出は難しいと推測される。

４．　ガンマ線透過率による腐朽判定装置の実現に向けての課題

同じ空洞率でも、実際の樹木の方が、ガンマ線透過率が低い傾向が示された。このことから、腐朽判定装置の実用化のためには、樹皮や材の含水率によるガンマ線透過率の違いを明らかにし、関係式に反映させることが必要である。

５．主な研究成果物

1)飯塚康雄、街路樹の腐朽診断、土木技術資料39-4、pp.3、1997

2)飯塚康雄・神庭正則・永石憲道、街路樹腐朽の測定方法に関する検討、第28回日本緑化工学会誌、pp.149～152、1997

3)飯塚康雄・神庭正則・永石憲道、街路樹腐朽の測定方法に関する検討、第22回日本道路会議一般論文集(A)pp.164～165、1997

4)飯塚康雄・石曽根敦子・森崎耕一・藤原宣夫、街路樹の腐朽診断、ツリードクターNO.7、pp.101～104、1999

5)石曽根敦子・森崎耕一・藤原宣夫、街路樹の倒伏と管理の実態、第23回日本道路会議一般論文集(A)、pp.104～105、1999

(藤原宣夫、石坂健彦、石曽根敦子)

道路事業調査費

1.2.2　のり面の自然復元手法に関する試験調査

研究期間：平９～平 13
担当：緑化生態研究室

【要旨】

公共工事において出現する造成のり面は、侵食防止のため、従来外来草本で被覆する方法が多用されてきたが、今後はそのような防災的機能に加え、周辺環境と調和した樹林の復元が求められている。本研究は、各地で実施した各種のり面緑化工法について、周辺環境に調和した樹林の早期育成という観点から評価するとともに、木本類の生育特性を各種試験により把握し、播種工、苗木植栽工等の各種工法の適用・施工基準等を検討するものである。

11 年度については、周辺環境に調和した樹林として、のり面に育成すべき目標植生の設定手順及びその課題等をケーススタディを踏まえて検討・整理した。

試験研究の流れ	
H９	全国の事例調査
	木本種子の発芽特性の把握
	のり面植生遷移状況の把握
H10	全国の事例調査、各種工法の評価
	木本種子の発芽特性の把握
	苗木設置吹付工の追跡調査
H11	目標植生設定手法の検討
H12	地域毎目標植生の整理
	各種工法の適用条件の整理
H13	のり面緑化適用・施工基準の検討

１．研究目的

のり面の目標植生の設定については、『道路土工　のり面工・斜面安定工指針、1999、（社）日本道路協会』によれば、施工地の周辺環境や管理上の条件等を考慮して設定するとされているが、その方法について具体的に記述したものは見当たらない。本研究は、のり面に周辺景観と調和した植生を育成することを目標として調査から設計、施工に至るまでの手順を体系的に整理することを目的とした。

２．研究方法

２．１　目標植生設定手法に関する検討整理

目標植生設定手法の基本的考え方の整理と、設定にあたり必要となる情報及び調査項目を抽出することにより、目標植生設定手法に関する調査・検討手順等の整理を行った。

２．２　目標植生設定に関する事例検討

前項で整理した目標植生設定上必要とされる調査・検討項目について、ケーススタディにより、実証的に再整理するとともに、課題の抽出を行った。

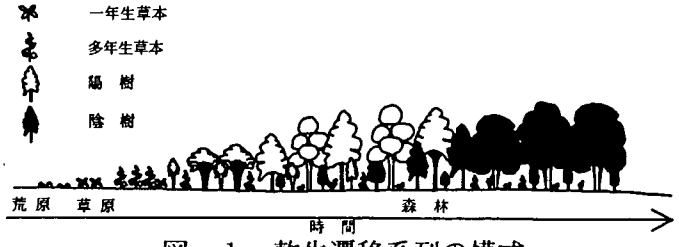
３．研究結果

３．１　目標植生設定手法に関する検討整理

１）目標植生検討の前提事項

①目標植生設定の基本事項

設定する目標植生は、のり面周辺の現存植生の中から適切なものを選定することを基本とし、施工に際しては、その目標植生を達成するに相応しい種類を導入する。また、目標植生の達成時期は導入種が想定する相観を呈する時期とする。



図－１　乾生遷移系列の模式

（のり面緑化の最先端～生態、景観、安定技術～、１９９５、小橋澄治ほか編より改変）

②目標植生設定の考え方

切土のり面は基本的には乾生遷移系列の場である。乾生遷移系列とは図－１に示すように、有機質に乏しい乾燥裸地に乾燥に強い地衣やコケが定着し、その後、一年生草本群落、多年生草本群落、陽性低木林、陽性高木林、陰性高木林へと推移するものである。切土のり面の樹林化は、草本群落に樹木が混入する時点から遷移を開始させることに相当する。

切土のり面への樹木の導入は、通常苗木植栽や播種により為されることから、目標植生の成立は導入樹木の生育に要する時間を想定して検討する。また、周辺現存植生が稚・幼樹の段階で陽光や乾燥に耐えない樹種から構成されており、これを最終目標植生とせざるを得ない場合などには、当初から最終目標植生の構成種を主体とせずに、遷移を溯って構成種以外の樹種を主体に暫定的な当面の目標植生を設定する場合もある。

③目標植生の植生自然度

目標植生は、連続性の確保からのり面に隣接する植生が妥当であるが、極めて自然性の高い植生は立地の当初の安定性から生育が懸念される。また、スギ・ヒノキ植林等は集約的な管理を要することから避けるべきである。概ね、表－１中の植生自然度８もしくは７に相当する植生が望ましい。

表－１　植生自然度区分基準

植生自然度	区分基準
１０	高山ハイデ、風衝草原、自然草原等、自然植生のうち単層の植物社会を形成する地区
9	エゾマツートドマツ群集、ブナ群集等、自然植生のうち多層の植物社会を形成する地区
8	ブナ－ミズナラ再生林、シイ・カシ萌芽林等、代償植生であっても特に自然植生に近い地区
7	クリ－ミズナラ群集、クヌギ－コナラ群落等、一般に二次林と呼ばれる代償植生地区
6	常緑針葉樹、落葉針葉樹、常緑広葉樹等の植林地
5	ササ群落等の背丈の高い草原
4	シバ群落等の背丈の低い草原
3	果樹園、桑畑、茶畑、苗圃等の樹園地
2	畑地、水田等の耕作地、緑の多い住宅地
1	市街地、造成地等の植生のほとんど存在しない地区

（緑の国勢調査－自然環境保全基礎調査の概要－、1993、環境庁自然保護局編）

２）目標植生設定の調査・検討事項

①周辺植生分布の確認

周辺植生の分布は、現地踏査、空中写真の判読、現存植生図の確認等により相観的に区分し把握する。範囲は250～500mを標準とする。

②目標植生の調査対象立地

切土のり面は一般に植栽基盤の薄い乾燥した立地となることから、目標植生及び使用樹種選定のための調査については尾根～斜面上部の比較的表土の薄い箇所を主に選定する。

③導入樹種の検討

導入樹種の選定にあたっては、周辺に現存する目標候補植生の樹種構成を参考とすることとし、当該樹林内において、主要な構成種のリストアップ及びそれらの種の構成割合を把握する調査を行う。

④目標植生の選定及び導入樹種の選定方法

一般に地域を限れば、相観的な最終目標植生は周辺植生から自ずと決定されると考えられる。しかし、最終目標植生の構成種を導入種とすることが難しい場合には、先に述べたとおり、遷移を溯り当面の目標植生を定め、その植生を育成するに相応しい樹種を選定する必要がある。この当面の目標植生も周辺の現存植生から選定し、使用樹種もその構成種から選定することが基本となる。

⑤周辺に適切な植生がない場合の目標植生の設定

机上や現地調査により、周辺に目標植生に相応しい植生が存在しない場合には、調査範囲の適宜拡大や既往文献を活用し、類似立地の植生及び構成種を参考として目標植生及び導入種を選定することになる。

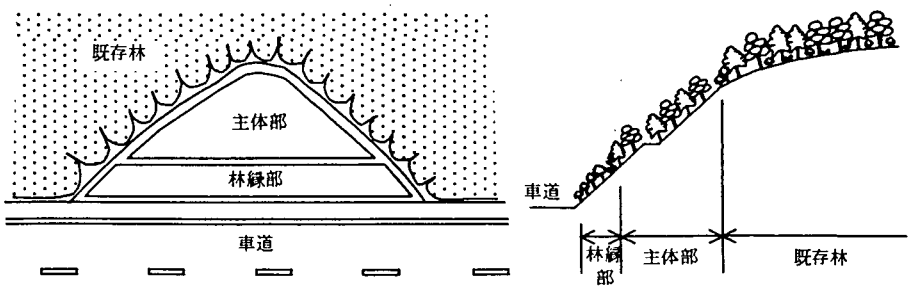
既往文献としては、『日本植生誌（10分冊）、1980～1989、宮脇昭編著』が有効な参考資料となる。同書には日本全国の現在の潜在自然植生図、現存植生図及び各植生単位毎の常在度表等が添付されているので、常在度表等の中から適切な導入樹種を選定することが可能である。この場合の適切な導入樹種とは、一般には落葉広葉樹林、マント・ソデ群落等の林縁植生、遷移の比較的初期に成立する低木樹林等の構成種から各樹種の耐陽光性や耐乾性等を考慮して選定することになる。

⑥導入樹種の種数

導入種数については、目標植生により一概には言えないが、『道路土工－のり面工・斜面安定工指針』によれば、群落を形成する中心となる２～３の植物種（主構成種）と、それらとともに群落を形成する植物（補完種）を２～３種選定するとされている。これは、種子からの木本種導入を行う場合であり、苗木から導入する場合には特に基準はないが、多様性や枯損の危険などを考慮すると導入種数は多い方が好ましい。

⑦林縁植生の造成

樹林は主体部とそれを保護する林縁部から構成されており、造成されるのり面についても車道に接する部分には林縁植生を設定することが理に適っている。基本的な構造は図－２の如くである。林縁部の幅員は『緑のまちづくりシリーズ　道と小川のビオトープづくり～生きものの新たな生息域～、1993、バイエルン州内務省建設局』によれば、６～９ｍとされ、これは通常のり面の１段の斜長に相当する。



図－２　目標植生の断面構造と平面構造の模式図

３．２　目標植生設定に関する事例検討

①事例検討の対象と概要

前項での基本的な目標植生設定の手順や考え方を踏まえ、実現場における目標植生設定手法に係る調査及び検討を実施した。ここでは、一般国道 42 号三重県紀伊長島町荷坂峠の例を挙げる。対象のり面は概ね東向きであり、緩やかな線形に改良するために、既コンクリート吹付のり面を切り直して再緑化するものである。

②事例対象域の植生概要

机上調査の結果、対象のり面の含まれる地域の植生帯は、ヤブツバキクラスに位置づけられ（『日本植生誌』）、のり面周辺（概ね 250 m圏内）の現存植生は、シイ・カシ萌芽林、スギ・ヒノキ植林、常緑果樹園及び水田雑草群落であった（『現存植生図、1981、環境庁』）。また、空中写真での分布確認では、当該のり面の隣接植生は、シイ・カシ萌芽林及びスギ・ヒノキ植林であった。これらのことから目標植生の候補として、シイ・カシ萌芽林が適切と想定された。

③事例対象の現地調査

現地では机上調査の結果を受けて、尾根部周辺のシイ・カシ萌芽林において、植物社会学的調査を実施した。対象のり面周辺には全般にシイ・カシ林が広く成立しており、斜面部では高木層(高さ 9m)・亜高木層(高さ 7m)にウバメガシ、低木層(高さ 4m)にはヒサカキが優占していた。優占種の他に高木層にはヤブツバキ等計２種、亜高木層にはサカキ等計２種、低木層にはネジキ等計５種が確認された。

また、尾根部にはアカマツとウバメガシの混交林が形成されており、尾根部の２調査スタンドでは、それぞれ高木層(高さ 6～8m)には他にソヨゴやヤマモモが、亜高木層(高

表－２　現地調査による出現種リスト

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
ウバメガシ(中)	2～4	3	5	
ソヨゴ(中)	3	2	1	
アカマツ(陽)	3	1		
ヤブツバキ(中)	1			
ヤブニッケイ(－)	1			
ヤマモモ(中)	2			
サカキ(陰)		1	1	
リョウブ(陽)		1		
ヒサカキ(中)		2		
アオハダ(－)		1		
ネジキ(－)			1～2	
アセビ(陰)			1	
シャシャンボ(－)			2	
ミツバツツジ(中)			+	
コシダ				2～4
ウラジロ				2～4

スタンド数３、調査は平成 12 年２月
Ⅰ:高木層･高さ６～９m、Ⅱ:亜高木層･高さ４～７m、
Ⅲ:低木層･高さ０～４m、Ⅳ:草本層･０～１m
表中の２～４などの数字は、当該種の当該層における各スタンドの被度を示す。
(陽)は陽樹、(陰)は陰樹、(中)は中庸樹を示す。造園施工管理技術編による。(－)は同書に記載の無い種

表－３　コシダ－ウバメガシ群集常在度表

調査区数	19
平均出現種数	20
コシダ－ウバメガシ群集標徴種及び区分種	
コシダ	Ⅴ(+-5)
クロマツ	Ⅲ(+-3)
ウラジロ	Ⅲ(+-4)
リョウブ	Ⅲ(+)
トベラ－スダジイ群落区分種	
スダジイ	+(1)
トベラ	Ⅱ(+-2)
ヒメユズリハ	Ⅲ(+-2)
アカガシ－シラカシ群団の標徴種及び区分種	
サカキ	Ⅱ(+)
ソヨゴ	Ⅰ(+-1)
ヤブツバキクラスの標徴種及び区分種	
ヒサカキ	Ⅴ(+-2)
ヤブツバキ	Ⅲ(+-1)
ネズミモチ	Ⅲ(+-1)
モチノキ	Ⅱ(+-3)
ヤブニッケイ	Ⅰ(+)
シャシャンボ	Ⅴ(+-2)
ヤマモモ	Ⅴ(+-3)
ウバメガシ	Ⅴ(1-5)
その他の種	
サルトリイバラ	Ⅴ(+-1)
アセビ	Ⅰ(+-2)
ネジキ	Ⅲ(+-2)
モチツツジ	Ⅱ(+-1)
コナラ	Ⅰ(+-2)
コウヤボウキ	Ⅱ(+-1)
コバノミツバツツジ	+(+-1)
(省略種多々あり)	

日本植生誌－近畿－、宮脇昭編より抜粋

さ 6m)にはヒサカキ、ソヨゴ、ネジキ等計５種、低木層(高さ 4m)にはウバメガシ、ヒサカキ、ネジキ、ソヨゴ等８種が生育していた。林床には、コシダとウラジロが高被度で優占しており、相観や種組成等から、この地域の植生は尾根筋等の乾燥地のシイ林伐採跡に二次林として生育するコシダ－ウバメガシ群集に位置づけられると考えられた（表－２、表－３参照）。

表－４　導入候補樹種リスト

現地調査より抽出した導入候補種
・高木性種
ウバメガシ、ソヨゴ、ヤマモモ、アカマツ
・中低木性種
ヤブツバキ、ヒサカキ、リョウブ、ミツバツツジ*
*は、播種工の実績や知見の乏しい種

↓

既存資料より追加抽出した導入候補種
・中低木性種
トベラ、ネズミモチ

↓

最終的な導入候補種
・高木性種
ウバメガシ、ソヨゴ、ヤマモモ、アカマツ
・中低木性種
ヤブツバキ、ヒサカキ、リョウブ、ミツバツツジ、トベラ、ネズミモチ

④事例対象の目標植生と主体部導入候補樹種の検討

目標植生は周辺植生と合致するウバメガシ林が適切とされた。導入候補樹種は、現地構成種をリストアップし、陰、陽、中庸の樹種特性（表－２、『造園施工管理(技術編)、1998、(社)日本公園緑地協会編)』による）から、陰樹を、また、同書に記載のない種は“－”で示し、市場性に乏しい種として、それぞれ候補から削除した。その結果、主体部の高木性樹種として、ウバメガシ、ソヨゴ、ヤマモモ、アカマツ。中低木性樹種として、ヤブツバキ、ヒサカキ、リョウブ、ミツバツツジを選定した（表－４）。

⑤林縁部導入樹種の検討

周辺植生の構成種による主体部の候補樹種で林縁にも適した樹種はリョウブ、ミツバツツジ程度であるが、コシダ－ウバメガシ群集の常在度表を参考にトベラ、ネズミモチも林縁部への導入種に加えた（表－４）。

⑥発芽特性等からの導入候補樹種の再検討

なお、播種工で導入を図る場合には、導入候補樹種の発芽特性等を既往資料や発芽試験等で把握する必要がある。この把握が困難な場合は、当該樹種の代替え樹種を再検討する必要がある。

⑦目標植生の導入樹種

以上を総括して、主体部はウバメガシが優占し、ヤマモモ、アカマツ、ヤブツバキ、ヒサカキ、ソヨゴ、リョウブ、ミツバツツジの混生する常緑広葉樹林を設定し、接道部の林縁部には、リョウブ、ミツバツツジ、トベラ、ネズミモチの中低木を配した。

表－５　導入種の使用割合･数量

属性・種名	期待本数(播種工)	植樹本数
主体部の代表樹種	50～100 本/㎡	40％
ウバメガシ（主）	25～50 本/㎡	0.8 本/㎡
主体部の主要樹種		40％
アカマツ(主)	7～13 本/㎡	0.2 本/㎡
ヤマモモ(主)	7～13 本/㎡	0.2 本/㎡
ヒサカキ(主)	6～13 本/㎡	0.2 本/㎡
ソヨゴ(主)	6～13 本/㎡	0.2 本/㎡
主体部のその他の樹種	50～100 本/㎡	20％
ヤブツバキ(補)	20～40 本/㎡	0.1 本/㎡
リョウブ(補)	30～60 本/㎡	0.1 本/㎡
ミツバツツジ(補)	－	0.2 本/㎡
林縁部	50～100 本/㎡	1 本/㎡
リョウブ	17～34 本/㎡	1 本/㎡
ミツバツツジ	－	1 本/㎡
トベラ	16～33 本/㎡	1 本/㎡
ネズミモチ	17～33 本/㎡	1 本/㎡

播種工の場合と、植樹工の場合とを併記している。
(主)は、播種工において、主要構成種であることを示す。
(補)は、播種工において、補完種であることを示す。

⑧樹種の導入割合、密度

樹種の当初導入割合や密度等については、目標植生の樹種構成割合や立木密度等と導入樹種の種子の発芽率や苗木の活着率及び稚幼樹の成長に伴う密度効果による生育個体数の減少等を考慮して設定すべきである。しかし、これらの個体数の減少に関する知見に乏しいことから、ここでは『エコロジー緑化技術の手引き(幼苗植栽技術の手引き)、1997、(財)日本緑化センター』より、植生型の代表樹種＝植栽本数の約 40％、植栽型の主要樹種＝植栽本数の約 40％、そのほかの樹種＝植栽本数の約 20％を使用割合として用いた。

導入本数は、播種工では『道路土工－のり面工・斜面安定工指針』より、主構成種の発生期待本数の合計総数を 50～100 本／㎡、補完する木本種の合計本数を 50～100 本／㎡程度とした。また、植樹工については、『エコロジー緑化技術の手引き』より、0.5 ㎝樹高のポット苗を用いることとして、２本／㎡の密度とした。なお、林縁部は、播種工では低木林として 50～100 本／㎡、植樹工では、３本／㎡とした（表－５）。

⑨目標植生設定上の課題

検討を通じて、現存する樹林の構成樹種に対し、生態学的な知見や市場性などの点で、適用可能な樹種が限られていることが明らかとなった。この適用範囲を拡大するために、知見の乏しい樹種の発芽特性や生育特性等の把握が必要であることが示された。このために、今後、施工事例の追跡調査及び植栽試験等により、データの収集を図る必要がある。

（藤原、石坂、石曽根）

河川総合開発事業調査費

8．1　新素材・新工法を用いた防御工の開発

研究期間：平９～平１２

担当：緑化生態研究室

【要旨】

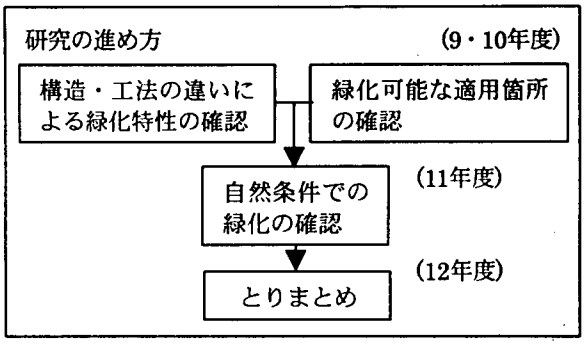
ポーラスコンクリートを用いた河川護岸緑化工法の研究として、11年度には、実河川に施工されたポーラスコンクリート護岸実施箇所を対象に植生調査を実施し、植生の現状と施工場所の条件等との関係について検討し、ポーラスコンクリート護岸上に植生を維持するために配慮すべき点を明らかにした。

また、堤防における雑草の繁茂を抑制するシート材の研究として、11年度には、張芝をしたシートサンプル上における芝の生育状況および雑草の発生・生育状況を調べた。その結果、一部の雑草種の発生と成長を多少抑制できるシートがみとめられたものの、十分な効果を上げる事は困難である事が示唆された。

1　ポーラスコンクリートを用いた河川の護岸緑化工法の開発

1．1　研究目的

施工後数年が経過したポーラスコンクリート護岸に成立している植生と、ポーラスコンクリートの仕様・施工法、河川における適用箇所、施工以来の洪水等の履歴、周囲の環境条件との関係を把握し、緑化に適した構造や工法を明らかにすることを目的とする。



1．2　研究方法

1．2．1　調査対象地

本研究では平成７～10年度にポーラスコンクリートを使用した河川護岸工事が実施された四国、九州地方の11河川、17箇所を調査対象地とした。調査地を一覧表として表１に示す。

1．2．2　植生の調査

各調査地において、ポーラスコンクリート施工箇所での植生調査を行った。各箇所において、植生の組成が平均的な場所に３×３㎡のコドラートをそれぞれ３つずつ設定し、植物社会学的な方法に準じた方法で植生調査を行った。コドラート内の植物の高さに基づく階層区分では、1.5m以上をH1層（草本１層）、0.8～1.5mをH2層（草本２層）、0.4～0.8mをH3層（草本３

表1.　調査地一覧

地方	水系名	河川名	地先名	施工時期	本稿で用いる箇所名
四国	吉野川	今切川	徳島県徳島市米津	H9.3-10.3	今切川
		穴吹川	徳島県美馬郡穴吹町市場	H9.10-11.3	穴吹川
	重信川	重信川	愛媛県伊予郡松前町八倉	H9.3-10.2	重信川
	肱川	矢落川	愛媛県大洲市五郎五区	H9.11-11.1	矢落川
		肱川	愛媛県大洲市米津	H10.2-10.10	肱川米津
			愛媛県喜多郡長浜町長浜	H9.9-10.3	肱川長浜
			愛媛県喜多郡長浜町田淵	H9.10-10.3	肱川田淵
	仁淀川	仁淀川	高知県吾川郡伊野町伊野	H8.3-8.10	仁淀川伊野
			高知県吾川郡春野町小田	H8.3-9.3	仁淀川仁西
九州	六角川	石原川	佐賀県多久市南多久町牟田辺	H7.3-7.10	石原川
	矢部川	矢部川	福岡県山門郡瀬高町長田	H7.12-8.3	矢部川
	緑川	加勢川	熊本県熊本市美登里町	H7.9-11.2	加勢川
	球磨川	球磨川	熊本県人吉市願成寺町	H10.3-10.10	球磨川
	川内川	川内川	宮崎県えびの市加久藤	H10.3-10.12	川内川加久藤
			鹿児島県姶良郡吉松町中津川	H9.3-9.7	川内川中津川
			鹿児島県伊佐郡菱刈町下目	H9.3-9.7	川内川下目
			鹿児島県川内市久見崎	H9.10-10.3	川内川久見崎

層)、0.4m未満をH4層(草本４層)とした。植生調査の際に、ポーラスコンクリート基盤上に堆積した土砂の厚さについても記録した。調査は、四国地方については平成11年10月４～７日、九州地方については10月18～22日に実施した。

１．２．３　施工条件の調査

施工時期、施工位置、護岸分類、ポーラスコンクリート護岸工の仕様については、財団法人先端建設技術センターによるアンケート調査（平成９～10年度）の調査結果を引用し、不足する部分は所轄工事事務所への聞き取りによって補った。また施工後の冠水の状況等について所轄工事事務所での聞き取り調査を行った。

１．３　研究結果

１．３．１　ポーラスコンクリート護岸における植生

各調査地の平均植被率は、全く植生がみられない０％からコドラート内が完全に植物に被われる100％まで様々だった（表2)。これらのうち平均植被率が20％に満たない場所では、植物は主にポーラスコンクリートの目地の隙間などから生じており、ポーラスコンクリート内の空隙への根の侵入はほとんどみられなかった。またこれらの場所では、「川内川久見崎」を除いて、ポーラスコンクリート上に土砂の堆積していなかった(表2)。

平均植被率が20％以上あった場所について、植生調査の結果に対する群落組成表による解析を行った結果、ポーラスコンクリート上の植生は、主に優占種により表3に示すタイプに分類された。表3の分類において、「アキメヒシバ・アメリカセンダングサ他優占型」以外の場所では、優占種以外の植物がほとんどみられない単調な構成の植生だった。また「アキメヒシバ・アメリカセンダングサ他優占型」の場所では、アキメヒシバとアメリカセンダングサの他にシナダレスズメガヤ、ツルヨシ、オギが高い被度を示した。

表2. 各調査地の平均植被率および土層厚
今切川は施工箇所が地下であるため不明とした。

調査箇所	平均植被率	土層厚(cm)
穴吹川	100.0%	5
石原川	90.0%	15-20
矢部川	78.3%	0
川内川加久藤	60.0%	0-13
川内川中津川	48.3%	13-25
川内川下目	41.7%	4-13
球磨川	25.8%	5
加勢川	20.3%	30
仁淀川仁西	8.3%	0
川内川久見崎	6.7%	10
仁淀川伊野	3.0%	0
矢落川	1.0%	0
重信川	1.0%	0
肱川田渕	1.0%	0
肱川米津	0.0%	0
肱川長浜	0.0%	0
今切川	-	-

表3.　ポーラスコンクリート上に成立していた植生の種組成に基づく分類

A　シバ優占型 …… 穴吹川
B　ギョウギシバ優占型
　B1　ギョウギシバ単独優占型 …… 加勢川
　B2　クズ・セイバンモロコシ混生型 …… 矢部川
C　ウシノシッペイ・キシュウスズメノヒエ優占型
　C1　ギョウギシバ混生型 …… 球磨川(高水護岸)
　C2　シバ・ヤナギタデ混生型 …… 球磨川(低水護岸)
D　アキノエノコログサ優占型 …… 川内川加久藤
E　アキメヒシバ・アメリカセンダングサ他優占型
　E1　シナダレスズメガヤ混生型…… 川内川中津川
　E2　オオイヌタデ混生型 …… 川内川下目
F　セイタカアワダチソウ・アキノノゲシ優占型 …… 石原川

１．３．２　ポーラスコンクリート上の植生に影響する条件の検討

ポーラスコンクリート上での植生の盛衰に影響する事が予測される条件、すなわちポーラスコンクリート設置場所の護岸分類、ポーラスコンクリートの仕様、施工した植生工および覆土工の内容、および施工後の洪水履歴に関する情報を表４にまとめる。

表4.　各調査箇所の護岸分類、ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄの仕様、植生工・覆土工および冠水頻度
ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄの「形状」の列において、「平面状」とはﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄ護岸の表面が平坦になるように打設したもの、「枠工型」とは平面状に打設したﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄの上に高さ 15cm 程度の枠をﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄあるいは普通ｺﾝｸﾘｰﾄにより設置した形状をもつもの、「植生ブロック型」とは横断構造がＪ字型をした植生ﾌﾞﾛｯｸ製品であることを意味する。冠水履歴は施工後の冠水の程度について所轄事務所に聞き取りをした結果に基づいている。

調査箇所	護岸分類	ポーラスコンクリートの仕様					植生工・覆土工	冠水履歴
		形状	厚さ	空隙率	骨材径	土壌充填材		
穴吹川	高水護岸	平面状	20cm	25%以上	15～20mm	有機質材料	張芝	ほぼなし
重信川	床固・根固	表面は平面状	－	25%	不明	なし	なし	あり
矢落川	低水護岸	平面状	35cm	20%	６号	なし	なし	あり
肱川 米津	高水護岸	平面状	35cm	20%	６号	なし	なし	なし
肱川 長浜	高水護岸	平面状	35cm	20%	６号	なし	なし	なし
肱川 田淵	高水護岸	平面状	35cm	20%	６号	なし	なし	なし
仁淀川 伊野	低水護岸	平面状	15cm	20%	13～20mm	土・砂	覆土に芝等の種子混合	あり (頻繁)
仁淀川 仁西	高水護岸	平面状	15cm	20%	13～20mm	なし	覆土に芝等の種子混合	あり
石原川	低水護岸	普通ｺﾝｸﾘｰﾄによる枠工型	22cm	22%	13～20mm	なし	覆土にイネ科種子混合	あり (頻繁)
矢部川	高水護岸	平面状	８cm	30%	不明	土	土壌充填材にｷﾞｮｳｷﾞｼﾊﾞ他の種子混合	なし
加勢川	低水護岸	植生ブロック型	12.5cm	22%	６号	あり	現場土を30cm覆土	あり
球磨川	高水護岸	平面状	60cm	25%	５～20mm	土	表面の溝に現場土をはめこむ	ほぼなし
川内川 加久藤	低水護岸	ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄによる枠工型	35cm	22%	５号	土・肥料・種子	土壌充填材に芝類の種子混合・現場土を客土	あり (頻繁)
川内川 中津川	低水護岸	ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄ普通ｺﾝｸﾘｰﾄによる枠工型	21.5cm	20%	不明	なし	現場土を５cm程度客土	あり (頻繁)
川内川 下目	低水護岸	普通ｺﾝｸﾘｰﾄによる枠工型	21.5cm	20%	５～13mm	なし	現場土を５cm程度客土	あり (頻繁)
川内川 久見崎	高水護岸	ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄによる枠工型	35.0cm	20%	５～13mm	なし	腐葉土を含む土を表面まで覆土	あり (頻繁)

3．1節で示した結果に基づいて、調査地における平均植被率が20％以上であった場所を「植生成立」、それに満たなかった場所を「植生なし」として、表4に示した各条件の影響を検討したところ、ポーラスコンクリート上で植生が成立・維持されていた場所の条件は図1のように整理された。すなわち植生工を実施しなかった場合、冠水がなければポーラスコンクリートの形状がどのようなものであれ、植生は成立していなかった。冠水があってもポーラスコンクリートの形状が平面状であれば植生は成立していないが、表面に枠をつけるなどの凹凸構造があるところでは植生が成立していた。これは凹凸のある表面形状が植生の維持に必要な土砂の堆積を促進するためと考えられる。また植生工を実施した場合、冠水がなければ植生は維持されていた。しかし植生工を実施しても冠水があった場所では、導入された植物は消失しており、このような場所では表面に凹凸構造があれば植生がみられたが、表面が平面状の場所では植生は維持されていなかった。

以上のことから、ポーラスコンクリート上で植生を維持するためには、少なくとも冠水する場所である場合、土砂の堆積を可能にする形状にするなどの工夫が重要であるといえる。

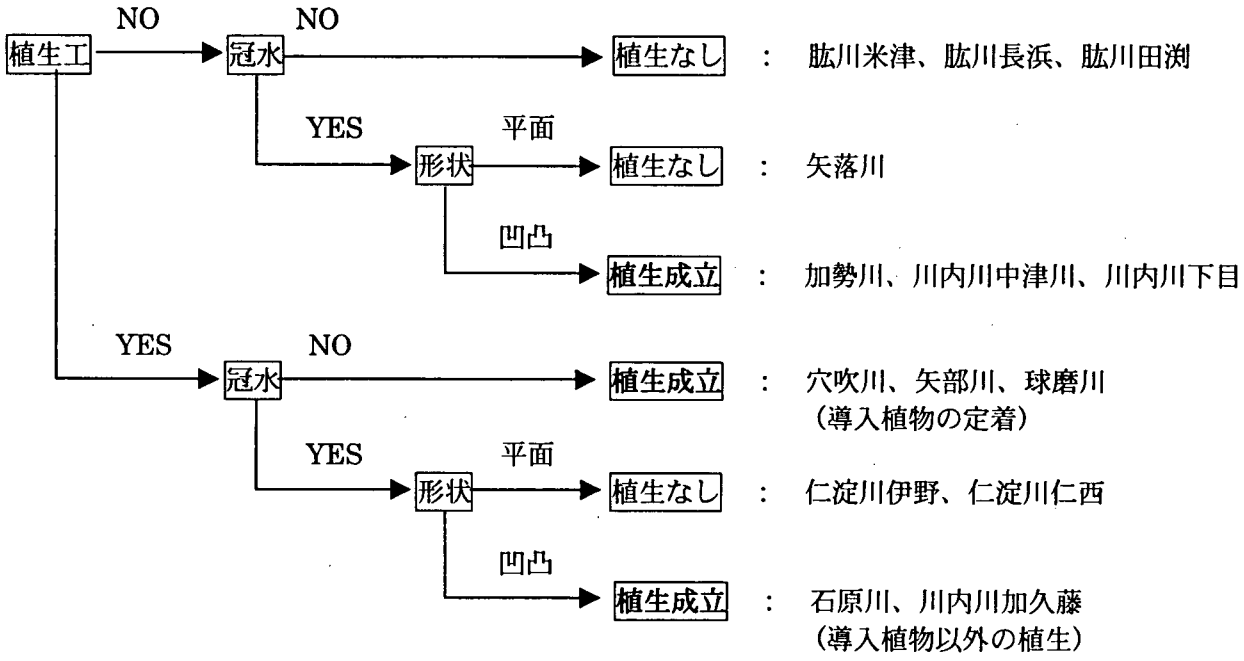
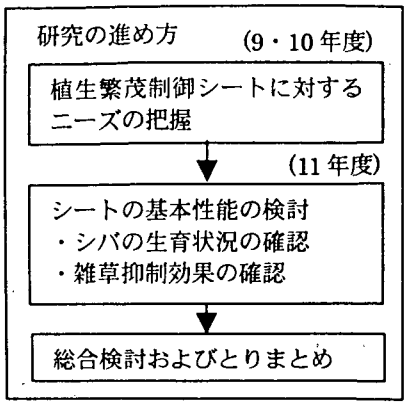


図1　ポーラスコンクリート護岸上での植生の成立と各条件の関係。植生成立は平均植被率が 20％以上に達していた事を示す。

2　植生繁茂制御シートの開発



2．1　研究目的

シバの生育が可能で、かつ雑草の繁茂を抑制できるシートの特徴を明らかにし、また異なる形状・特徴をもつシートの中から適切なものを選定することを目的とする。

2．2　研究方法

2．2．1　試験体とその設置

実験は土木研究所の構内にある赤土で整地した試験法面で行った。平成10年７月２日に幅１m縦３mのシート27種類を敷設し（表５）、その上にロール状のノシバを敷設した。また対照区として、法面にノシバを直接敷設する場所も設けた。ノシバを敷設した試験区および対照区はそれぞれ2箇所ずつ設けた。ノシバ敷設後、その上から培養土を1cmの厚さでかけて軽くすり込み散水した。施工後一週間は毎日潅水し、以降は自然の降雨にまかせた。

2．2．2　ノシバの生育状況

ノシバの生育状況は、平成11年5月6日および11月16～17日に調査した。5月の調査では、まず各調査区におけるノシバの被度を5%単位で求めた。また各試験区のほぼ中央部にあたる50×50cmの部分のシートを切り取り、地下部の状態を観察した。切り取った部分を裏返して観察し、シートの裏面まで根が貫通していた部分が占める面積の割合を、0、1～25、26～50、51～75、76～100%の５段階で評価した。11月の調査では、地上部の生育状況を５月の調査と同様の方法で評価した。

表５．実験に用いたシート材の特徴

シートNo	タイプ	原材料	厚さ(mm)	重量(g/m²)
1	不織布（薄）	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	0.2	60
2	不織布（薄）	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	0.3	80
3	不織布（薄）	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	0.43	70
4	不織布（薄）	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	0.43	70
5	不織布（薄）	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	1	100
6	不織布（薄）	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	1.08	162
7	不織布（厚）	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	9.12	593.7
8	防根シート	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	0.4	150
9	メッシュ（密）	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	0.1	60
10	メッシュ（粗）			
11	メッシュ（粗）		0.22	135
12	メッシュ（粗）	ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ	0.96	190
13	メッシュ（粗）		0.49	220
14	メッシュ（粗）			
15	メッシュ（立体織）	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ／ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	11	862
16	メッシュ（立体織）	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	8	560
17	メッシュ（立体織）	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ／ﾅｲﾛﾝ	4.8	750
18	メッシュ（立体織）	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ／ﾅｲﾛﾝ	5.5	500
19	メッシュ（立体織）	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ／ﾅｲﾛﾝ	4.6	600
20	防根シート	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	0.4	185
21	防根シート（＋小孔）	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	0.08	35
22	不織布＋メッシュ	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ／ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	2	320
23	メッシュ（粗）	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	3	350
24	不織布＋メッシュ	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ／ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	5	460
25	不織布＋メッシュ	ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ／ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	10	1800
26	不織布	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ	4	400
27	メッシュ（立体織）	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ／ﾋﾞﾆﾘﾃﾞﾝ	29	3100

2．2．3　雑草の生育状況

雑草の生育状況は平成11年11月16～17日に調査した。まず各試験区において雑草の植被率を5%単位で評価し記録した。次に試験した法面でもっとも多くみられた雑草であるヒメムカシヨモギ、ヨモギ、セイタカアワダチソウを対象に、それぞれの個体数（地上シュート数）を計数した。またこれらの種について各シート上で生育していた個体から草丈の高い順に５個体を選び、高さを測定した。その後これらの個体を抜き取り、地下部のシート貫通状況を観察した。

2．3　研究結果

2．3．1　ノシバの生育状況

各時期における地上部の生育状況および5月における地下部のシート貫通状況を表６に示す。5月に被度が100%に満たなかったものは、11月における被度は更に低下しているかあるいは変わらない傾向がみられた(表2；シート7，8，9，20，27)。被度が低かったサンプルとしては、メッシュ構造のものではメッシュ密度が高い（目が細かい）シート（シート9）と立体織で厚みのあるものの一部（サンプル27)、防根シート状のもので孔が無いもの（シート8，20）が挙げられる。

ノシバの根のシート裏面への貫通状況を調べた結果、地上部の被度が低いシートでは根の貫通の程度が低い傾向が見られた（表６；シート7，8，9，20，27)。また地上部の被度は100％だったものの、根の貫通の程度は高くないシート（たとえばシート2，7）もあった（表６)。

シート裏面への根の貫通の程度が低いシート（表６のスコアが0～２程度のもの）では、調査の際に法面を踏んだときに不安定な印象があった。

2．3．2　雑草の生育状況

発生本数　各試験区における雑草の被度と雑草の発生本数の間には強い相関がみられたため（Spearmanの順位相関，同順位調整後のρ=0.64，P=0.001)、以降の解析は雑草種毎の発生本数を対象に行った。各シート上に発生した雑草としては、ヒメムカシヨモギが最も高密度で発生し(mean±SD = 15.0±8.8本/m^2，n=28)、ついでヨモギ(2.8±1.8本/m^2，n=28)とセイタカアワダチソウ(1.1±1.1 本/m^2，n=28)の密度が高かった。シート上で発生した植物のほとんどはこれら3種で占められていた。

ヒメムカシヨモギとヨモギは全てのシートサンプル上での発生が確認された（図2)。セイタカアワダチソウはシートサンプル11，21，27上では一個体も見られなかったものの、その他の全てのシートでは発生が確認された（図2)。ヒメムカシヨモギ、ヨモギ、セイタカアワダチソウの全てにおいて、シートによっては、対照区よりも各種雑草の発生本数が倍以上多いものがみられた(図2)。

草丈　シート上で発生した植物の草丈について図３に示す。ヒメムカシヨモギとセイタカアワダチソウでは、対照区よりも有意に草丈が高くなっていたシートはあったものの、有意に低いシートはなかった（図３)。ヨモギでは、９種類のシートにおいて草丈が有意に低かったことが示された（図３；シート1，2，6，7，11，12，14，25，26)。

地下部　シート1，2，8，9，11，17，24，26，27の９

表6. 各シート上でのノシバの生育状況。5月期および11月期におけるノシバの被度および、５月期における地下部の貫通状況。地下部の評価の方法は本文参照（地下部貫通範囲のスコア　0: 0%, 1: 1～25%, 2: 26～50%, 3: 51～75%, 4: 76～100%)

	地上部被度(%)		地下部
サンプル	5月期	11月期	5月期
対照区	100	100	-
1	100	100	3
2	100	100	2
3	100	100	4
4	100	100	4
5	100	100	4
6	100	100	4
7	90	55	1
8	30	0	0
9	5	5	0
10	100	100	3
11	100	100	4
12	100	100	4
13	100	100	4
14	100	100	4
15	100	100	3
16	100	100	3
17	100	100	4
18	100	100	4
19	100	100	4
20	60	35	1
21	100	100	4
22	100	100	4
23	100	100	4
24	100	100	4
25	100	100	4
26	100	100	4
27	5	2.5	0

種類では、どの雑草種の地下部も貫通していなかった。逆に、シート5, 10, 22, 23などでは調査したほとんどの雑草個体の根がシートを貫通していた。

雑草の地下部がシートを貫通することを妨げることは個体の高さを抑制するか否かを調べるために、それぞれの雑草種について、シートの貫通がみられた個体と見られなかった個体の高さの平均値をt-検定で比較した。その結果、ヨモギとセイタカアワダチソウでは地下部がシートを貫通した個体の方が草丈が高かったものの、ヒメムカシヨモギでは有意差が認められなかった（表7)。地下部がシートを貫通できなかった雑草でも個体サイズは1mを超えるものが3種の全てでみられた（表7)。

2．3．3　考察・まとめ

本研究で性能を比較したシートは、太い根系の貫通や肥大成長を抑制することによって雑草の繁茂を抑制できるという予測、あるいはシートによって地表面を乾燥しやすい状態にすることによって雑草の繁茂を抑制できるという予測に基づいて考案されたものである。本研究では、雑草の地下部の貫通を抑制するシートはみとめられたが、そのよう

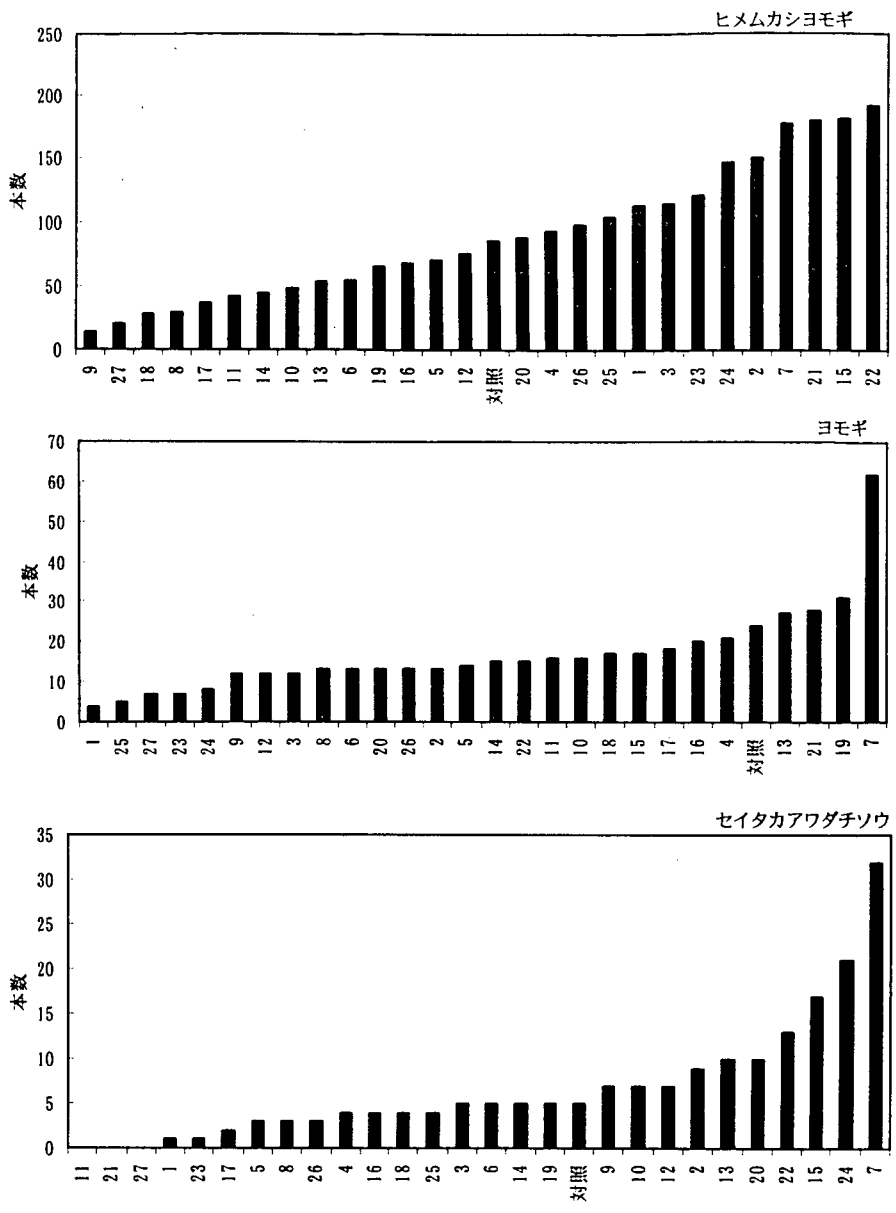


図2．各シートサンプル上に発生した各種雑草の本数
いずれも6m²あたりの本数である。バーは各種について発生本数が多い順にならべた。

表7．地下部がシートを貫通していた個体および貫通していなかった個体の高さ平均と標準偏差およびレンジを種毎に示す。括弧内の数字は個体数。両者の平均値をt検定した結果もあわせて示し、アスタリスクは有意差が認められたこと(P<0.001)を意味する。

	地下部貫通個体(cm)		地下部非貫通個体(cm)		t-検定
	Mean±SD(n)	Min.-Max.	Mean±SD(n)	Min.-Max.	
ヒメムカシヨモギ	85.1±20.3(49)	55-148	92.2±29.3(91)	49-165	t=1.5
ヨモギ	71.1±31.4(59)	23-160	49.2±28.7(82)	14-141	t=-4.3***
セイタカアワダチソウ	100.8±67.1(34)	9-230	43.8±31.3(68)	6-135	t=-5.9***

なシート上でも雑草が生えなかったものはなく、ヒメムカシヨモギ、ヨモギ、セイタカアワダチソウの全てにおいて地下部がシートを貫通していないにも関わらず高さが1mを超えるサイズまで成長したものが認められた。このことは根系の貫通を抑制することによって雑草の繁茂を抑制することは困難であることを示唆している。また本研究ではノシバが枯死したシートが認められたが(たとえばシート8, 9, 27)、これらのシートでは張芝後の潅水を停止してから急速に枯死が進行したことおよび地表面を観察した状況から、ノシバの枯死は地表面が著しく乾燥したためと考えられる。このように地表面を乾燥させるシートでは芝の生育に支障をきたす可能性がある。さらにノシバが枯死したシート上でも、雑草は生育していた。したがって地表面を乾燥し易くすることによって雑草を抑制することも困難であると考えられる。

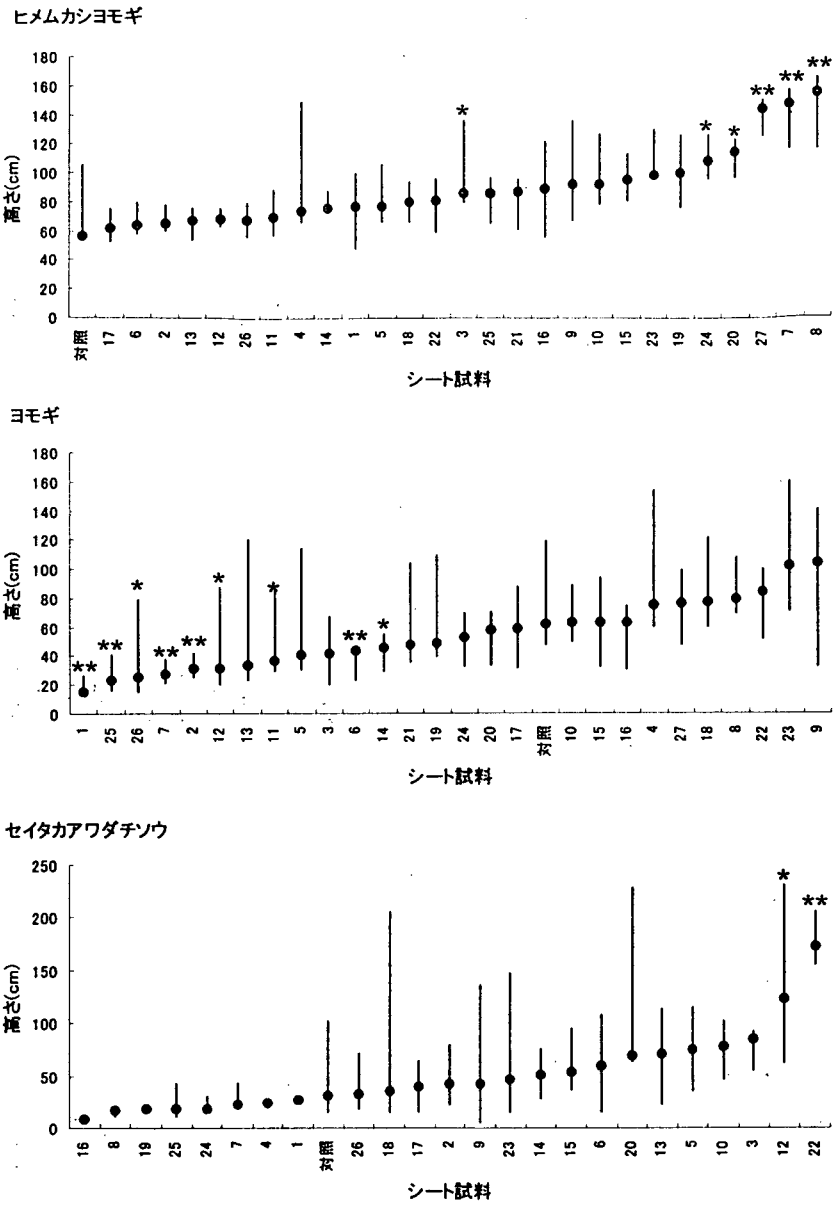


図3.各シートおよび対照区で発生した各種の高さ
黒点は5個体のメジアンを、線はレンジを示す。アスタリスクは対照区と比較して有意差があったことを示す。(Mann-Whitney のU検定; *P<0.05, **P<0.01)

このように当初予測していた方法による雑草の繁茂の抑制は困難であり、シート上で芝が良好に生育し、雑草の繁茂が抑制される素材の開発には、コンセプトの根本的な転換が必要となるだろう。

(藤原、西廣)

下水道事業調査費

下水汚泥および植物発生材のリサイクルに関する調査

緑化生態研究室　室　　長　　藤原　宣夫
主任研究員　　石坂　健彦
石曽根敦子

1．　目的

リサイクルへの関心の高まりから、従来、廃棄処分されていた下水汚泥と街路樹の剪定枝葉についても、リサイクル材料としての有効利用が求められている。リサイクル方法として堆肥化が挙げられ、これまでの研究では、土壌改良材としての使用を念頭に、下水汚泥と剪定枝葉を混合した堆肥（汚泥枝葉堆肥）の製造方法、施用効果が確認されている[1)]。しかし、土壌改良材としての堆肥利用では、利用量が限られているのが現状であり、利用の拡大のため、利用目的に応じた汚泥枝葉堆肥の品質向上が求められている。

そこでここでは、汚泥枝葉堆肥の土壌改良材以外の利用用途として、のり面緑化材料としての利用に着目した。建設事業に伴って発生するのり面面積は広く、その多くで緑化が行われることから、汚泥枝葉堆肥をのり面緑化材料として用いることができれば、リサイクルの推進に大いに貢献するものと考えられる。

本調査では、のり面緑化材料としての汚泥枝葉堆肥の適応可能性を緑化試験により確認することとし、調査の初年度にあたる 11 年度は、のり面緑化試験に用いるための汚泥枝葉堆肥の製造を行い、堆肥の品質について調べた。

2．堆肥製造方法

2．1　堆肥材料

（1）剪定枝葉（以下、枝葉と略す）

つくば市の公園内から発生した枝葉粉砕物を用いた結果、ケヤキが９割を占めており、葉はほとんど含まれていなかった。剪定枝葉の物理性・化学性の分析結果を表―１に示す。

表―1　剪定枝葉の物理･化学性分析結果

含水率	粒径別乾物重量比(%)				T-N	T-C	C/N 比
(%)	4.76mm 以上	4.76mm ～2.0mm	2.0mm ～0.42mm	0.42mm 以下	(%)	(%)	
31.1	22.3	44.5	28.4	4.8	0.6	44	69.8

（2）下水汚泥（以下、汚泥と略す）

北海道北広島市北広島下水処理センターで製造した乾燥汚泥を用いた。性状は、１mm～５mmの粒形であり、汚泥臭は、残っている。なお、この汚泥は、特殊肥料として登録されており、配布されている。表―２に汚泥の物理・化学性分析結果を示す。また、下水処理センターが行った重金属含有量の分析結果をもとに、肥料取締法、有機質肥料等推奨基準の基準値と比較した結果、すべての基準値を満足していた。

表―2　下水汚泥の物理･化学性分析結果

含水率 (%)	T-N (%)	T-C (%)	C/N 比
12.1	5.2	34.5	6.8

2．2　堆肥化の方法

（1）混合割合

土壌改良材としての堆肥製造方法に関する既往の研究成果[1)]から、良好な堆肥が製造される材料混合時の条件として、C/N 比２０、含水率６０％が示されている。今回の堆肥製造でも、C/N 比２０、含水率６０％

となるように汚泥と枝葉を混合した結果、汚泥と枝葉の容積比は１：８となった。混合材料の物理・化学性の分析値を表―３に示す。なお、混合総量は、約１７m^3である。

（２）発酵槽

容積２４m^3（幅２m、高さ１．２m、長さ１０m）のコンクリートからなる発酵槽を用いた。発酵槽底面から、通気ができる構造になっている。

表－３ 混合割合と分析値

含水率 (%)	T-N (%)	T-C (%)	C/N 比	pH
52.6	1.7	46.1	26.8	5.5

（３） 仕込み

枝葉の上に、汚泥を敷設し、含水率が６０％になるように水分を添加し、ショベルローダーで混合撹拌した。十分に材料が均一化し、材料内への空気混入がなされた後、発酵槽へ入れた。

（４） 通気

発酵槽底面から強制通気を行った。通気量は、最大吐出空気量０．４７m^3/min である。

（５） 切り返し

発酵温度が低下したときに、仕込みで使用したショベルローダーを用いて行った。

（６） 発酵期間

仕込みより１００日後に、発酵槽より取り出し、発酵終了とした。

２．３ 発酵状況の評価

発酵期間中に以下の計測もしくは、観察を行い、発酵の進行状況の目安とした。

（１） 発酵温度

発酵期間中、堆肥の発酵温度として、表面から深さ３０cm、深さ７０cmの堆肥内の２箇所の温度の計測と外気温の計測を行った。

（２） 観察項目と物理性計測項目

臭気・感触・色調の観察と、体積・含水率の計測を、仕込み時と切り返しごとに合計５回行った。

（３） 化学性計測項目

pH、C/N 比の計測を、仕込み時と切り返しごとに合計５回行った。

２．４ 完成した堆肥の品質評価

（１）堆肥の物理性状

含水率、粒径組成の計測と、臭気、分解状況の観察を行った。臭気は、人間の嗅覚により、汚泥臭の有無、カビ臭の有無、その他感知した臭気を記録し、分解状況については、目視と触感により判断した。

（２）堆肥の化学成分

堆肥の肥効成分と重金属の分析を行った。分析結果のうち、肥効成分量については、有機質肥料等推奨基準のなかでバーク堆肥と下水おでいたい肥の基準値と比較した。また、重金属含有量については、肥料取締法の基準値と比較した。分析項目および基準値は、分析結果と合わせ表―８に示す。

（３）生育障害の有無

堆肥による生育障害の有無を、①発芽試験および②幼植物試験で確認した。各々の試験方法は以下のとおりである。

①発芽試験方法

藤原ら（１９８５）[2] による熱水抽出液による発芽試験方法に準じて行った。

乾燥粉砕した堆肥５ｇに、６０℃の熱水１００ml を加え、密閉容器内で撹拌しつつ６０℃を３時間保持す

る。冷却後、濾過した液体１０ｍｌを、ろ紙を敷いたシャーレに注ぎ、その上からコマツナの種子 30 粒を播種し、シャーレに蓋をして室温に保持する。また、対照として蒸留水 10ml を注いだものに、同様に播種する。播種５日後に、発芽率の計測、生育障害の観察を行う。

②幼植物試験方法

ノイバウエルポット試験法[3)]に準じて行う。

堆肥と赤玉土を混合したものをポットに入れ、コマツナ２０粒を播種し、適度な水分状態と気温（20℃～25℃）を保ちながら、２週間栽培を行う。堆肥と赤玉土の混合割合は、表―４に示すように、容積比にして堆肥１５％混合、３０％混合、１００％混合（堆肥のみ）、０％混合（赤玉土のみの対照区）とする。

表―4 試験区の内容とポット数

混合割合	試作堆肥	対照区
15%混合区	3	0
30%混合区	3	0
100%混合区	3	0
0%混合区	0	3

播種後、２週間経過した時点で、発芽率を計測し、発芽したなかから、任意に５株を選出し、草丈を計測し、生育障害の観察を行う。

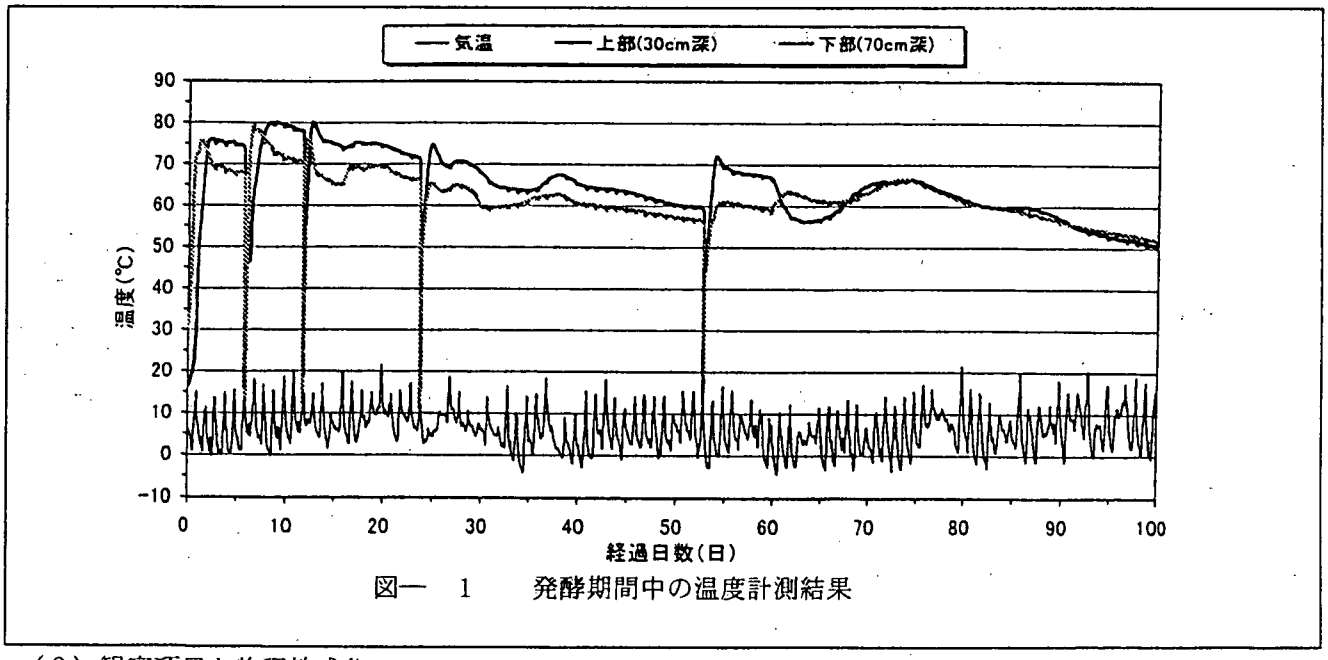
３．結果

３．１　発酵状況の評価結果

（１）発酵温度

発酵期間中の堆肥の温度の測定結果を図―１に示す。

仕込み直後から、６０℃以上に上昇しており、発熱を伴った一次発酵は順調に進んでいると考えられる。発酵温度が、急激に下がっている箇所は、切り返しを行ったことを示す。切り返しは、仕込み後６日後、１２日後、２４日後、５３日後の４回を行った。



図―　１　　発酵期間中の温度計測結果

（２）観察項目と物理性成分

臭気、感触、色調、体積、含水率の変化を表―５に示す。

臭気は、３回目の切り返し（24 日後）の時点で、汚泥臭はなくなり、色調は、発酵期間が経過するごと

表—5 臭気、感触、色調、体積、含水率の変化

経過日数	時期	臭気	感触	色調	体積(m^3)	体積率(%)	含水率(%)
0日	仕込み時	強汚泥臭	太枝は指で折れない		16.9	100	52.6
6日後	1回目 切り返し	強汚泥臭 弱アンモニア臭	太枝は指で折れない	やや 褐色化	16.5	97.9	56
12日後	2回目 切り返し	極微汚泥臭 中アンモニア臭 堆肥臭	太枝は分解進行して いるが、指で折れない	やや黒み	16.0	94.8	52.8
24日後	3回目 切り返し	弱アンモニア臭 弱カビ臭	太枝は分解進行して いるが、指で折れない 大半が分解している	より黒み	15.2	90	62.4
53日後	4回目 切り返し	弱カビ臭	太枝は分解進行して いるが、指で折れない 大半が分解している	より黒み	14.4	85.3	58.6
100日後	終了時	弱カビ臭 堆肥臭	太枝は分解進行して いるが、指で折れない 大半が分解している	より黒み	13.2	78.4	41.3

に、黒みを増してきた。また、体積の変化として、発酵１００日後には、２割の減量をしており、１００日後の堆肥の感触から、枝葉の大半が分解していることがわかった。以上のことから、分解は良好に進んでいることがわかる。

（3）化学成分

pH、C/N 比の変化を表—6 に示す。pH は、発酵期間中に中性域になった。C/N 比は、発酵５３日後以降で、１８前後になり、枝葉の分解が進んでいることがわかる。以上のことから、化学成分からも、堆肥化が良好に進んでいることがわかる。

表—6 pH、C/N 比の変化

経過日数	時期	pH	C/N比
0日	仕込み時	5.5	26.8
6日後	1回目切り返し	6.3	26.4
12日後	2回目切り返し	6.4	25.6
24日後	3回目切り返し	6.2	24.3
53日後	4回目切り返し	6.1	18
100日後	終了時	6.7	17.7

3．2　完成した堆肥の品質評価結果

（1）堆肥の物理性状

臭気は、無臭に近かった。分解状況は、汚泥塊はなく、大半の枝葉が分解していた。含水率が４１．３％であることから、触感は、べたつきなく、パラパラしていた。

堆肥の粒径組成を、表—7 に示す。10mm 以下の粒径が、97%を占めていることがわかる。

（2）堆肥の化学成分

堆肥の化学成分分析結果を表—8 に示す。

肥効成分では、CEC 以外は基準値を満足していた。

重金属では、すべての項目で、基準値を満足していた。

表—7 製造後の粒径組成

粒径別乾物重量比(%)					
16mm 以上	16mm ～ 9.5mm	9.5mm ～ 4.76mm	4.76mm ～ 2mm	2mm ～ 0.42mm	0.42mm 以下
0	2.9	18.4	39	36.5	3.2

表－8 堆肥の化学成分分析結果

	分析項目	単位(SI単位)	測定結果	基準値			評価
				肥料取締法	推奨基準(認証要領)		
					バークたい肥	下水おでいたい肥	
一般成分その他	含水率(水分)	10g/kg	41.3	－	60以下	50以下	○
	pH	－	6.67	－	－	8.5以下	○
	電気伝導度(EC)	dS/m	1.89	－	3以下	－	○
	全窒素(T-N)	10g/kg	2.34	－	1以上	1.5以上	○
	C/N比	－	17.7	－	40以下	20以下	○
	有機物含量(強熱減量)	10g/kg	83.5	－	70以上	35以上	○
	無機態窒素	10^{-2}×g/kg	300		25以上	－	○
	陽イオン交換容量(CEC)	cmol(+)/kg	53.9	－	70以上	－	×
	リン酸全量(P2O5)	10g/kg	2.40	－	－	2以上	○
	アルカリ分	10g/kg	3.01	－	－	25以下	○
有害成分等	ヒ素(As)	mg/kg	2.9	50以下	－	50以下	○
	カドミウム(Cd)	mg/kg	0.89	5以下	－	5以下	○
	水銀(Hg)	mg/kg	0.01＞	2以下	－	2以下	○
	銅(Cu)	mg/kg(ppm)	150	－	－	600以下	○
	亜鉛(Zn)	mg/kg(ppm)	420	－	－	1800以下	○
	アルキル水銀化合物	mg/L	0.0005＞(不検出)	不検出	－	－	○
	水銀又はその化合物	mg/L	0.0005＞	0.005以下	－	－	○
	カドミウム又はその化合物	mg/L	0.001＞	0.3以下	－	－	○
	鉛又はその化合物	mg/L	0.01＞	0.3以下	－	－	○
	有機燐化合物	mg/L	0.1＞(不検出)	1以下	－	－	○
	六価クロム化合物	mg/L	0.1＞	1.5以下	－	－	○
	ヒ素又はその化合物	mg/L	0.007	0.3以下	－	－	○
	シアン化合物	mg/L	0.1＞(不検出)	1以下	－	－	○
	ＰＣＢ	mg/L	0.0005＞(不検出)	0.003以下	－	－	○
	トリクロロエチレン	mg/L	0.001＞	0.3以下	－	－	○
	テトラクロロエチレン	mg/L	0.001＞	0.1以下	－	－	○
	ジクロロメタン	mg/L	0.002＞	0.2以下	－	－	○
	四塩化炭素	mg/L	0.0002＞	0.02以下	－	－	○
	1,2-ジクロロエタン	mg/L	0.0004＞	0.04以下	－	－	○
	1,1-ジクロロエチレン	mg/L	0.002＞	0.2以下	－	－	○
	シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	0.004＞	0.4以下	－	－	○
	1,1,1-トリクロロエタン	mg/L	0.001＞	3以下	－	－	○
	1,1,2-トリクロロエタン	mg/L	0.0006＞	0.06以下	－	－	○
	1,3-ジクロロプロペン	mg/L	0.0002＞	0.02以下	－	－	○
	チウラム	mg/L	0.0006＞	0.06以下	－	－	○
	シマジン	mg/L	0.0003＞	0.03以下	－	－	○
	チオベンカルブ	mg/L	0.002＞	0.2以下	－	－	○
	ベンゼン	mg/L	0.001＞	0.1以下	－	－	○
	セレン又はその化合物	mg/L	0.005＞	0.3以下	－	－	○

【特記事項】
(1)単位はSI単位を基本に表示。一般成分の測定値については乾物あたり。
(単位換算例 ： 10g/kg＝%， 10^{-2}×g/kg＝mg/100g， cmol(+)/kg＝meq/100g)
(2)＞は定量下限値未満を示す。
(3)溶出試験は環告第13号「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」による。

（3）生育障害の有無

①発芽試験

表—9に発芽試験結果を示す。

試作堆肥試験区の発芽率は、９３．３％であり、良好であった。また、生育障害も観察されなかった。

表—9 発芽試験結果

項目 / 試験区	発芽本数	発芽率	生育障害
対照区(水)	29	96.7%	なし
試作堆肥	28	93.3%	

②幼植物試験

表—１０に幼植物試験結果を示す。

試作堆肥を施用した試験区の発芽率は９０％～９２％であり、良好な発芽率を示したといえる。草丈についても、対照区と同程度の成長を示しており、生育障害は見られなかった。

表—10 幼植物試験結果

	2週間目		生育障害
	発芽率(%)	平均草丈(cm)	
対照区	96	4.9	なし
15%混合区	90	5.3	
30%混合区	95	5.3	
100%混合区	92	4.6	

３．３　今後の予定

以上の結果から、試作した堆肥は、発酵状況および完成後の堆肥としても、生育障害はなく、良好であることが確認された。

今回製造した堆肥をのり面吹付試験材料として用いて、粒度による施工作業性の検討や基盤の硬さや植物の生育状況の観察を行う予定である。

３．４　引用文献

1）石曽根敦子・飯塚康雄・藤原宣夫、土木学会第 54 回年次講演会第７部門、下水汚泥と剪定枝葉の混合堆肥製造に関する研究、1999.9

2）藤原俊六郎、日本土壌肥料学雑誌、第 56 巻第３号、p.251～252、1985

3）農林省農環研、肥料分析法、1992

４．主な研究成果物

・石曽根敦子・飯塚康雄・藤原宣夫、グリーンエージ、第 25 巻、14～２３頁、1998.8

・石曽根敦子・森崎耕一、再生と利用、第８２号、６０～６５頁、1999.1

・石曽根敦子・森崎耕一、土木技術資料、４１－４、１999.４

・石曽根敦子・飯塚康雄・藤原宣夫、土木学会第 54 回年次講演会第７部門、下水汚泥と剪定枝葉の混合堆肥製造に関する研究、1999.9

・石曽根敦子・森崎耕一・藤原宣夫・飯塚康雄、第 19 回道路緑化技術発表会、社団法人緑化保全協会 1999.9

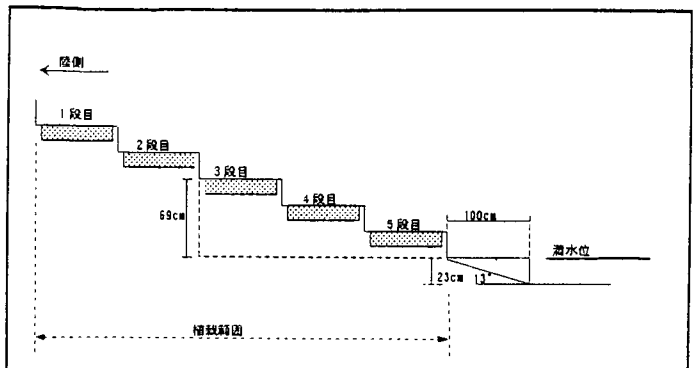
（藤原宣夫、石坂健彦、石曽根敦子）

地方建設局等依頼経費

海浜地における緑化手法に関する検討

研究期間：平１１～平１５
担当：緑化生態研究室

【要旨】
亜熱帯地域に属する沖縄県は、珊瑚礁等の独特な海浜地をもつことから、海洋性リゾートの場としての利用要求が高い。しかし、海浜地の開発により、人工的な護岸の整備が進み、海岸植物が消失した海岸景観が目につくようになった。本研究では、海浜地の植生景観を再生するため、自然岩礁に類似した構造を有するポーラスコンクリート人工基盤を用いた海浜地の緑化手法を検討している。１１年度は、沖縄県内において、ミズガンピなどの海岸植物を用いた植栽試験を行った。その結果、ポーラスコンクリート人工基盤は、海岸植物の植栽基盤として有効であることが確認された。また、テリハクサトベラ、モクビャッコウは、陸側での緑化に適すること、ミズガンピは、水際での緑化に適していることがわかった。



研究の概要（植栽イメージ図）

１．研究目的

本研究では、海浜地の植生景観を再生するため、自然岩礁に類似した構造を有するポーラスコンクリート人工基盤を用いた海浜地の緑化手法の検討を行っている。ここでは、ミズガンピなどの植栽試験を行い、①ポーラスコンクリートの植栽基盤としての適性、②緑化資材としての海岸植物の緑化域（満潮位からの高さ）の検討を行った結果を報告する。

表－１　植栽試験試験の条件

植物種	育苗期間と状況		養生期間	生育基盤	試験開始年月
ミズガンピ テリハクサトベラ モクビャッコウ	40日	良好	3ヶ月	人工基盤１ 人工基盤２	平成10年1月
			1ヶ月	生分解性ポット ビニルポット	
イボタクサギ＊		不良			

人工基盤１：５号砕石使用（粒径13mm～20mm）
人工基盤２：珊瑚石灰岩使用（粒径13mm～25mm）
イボタクサギ：育苗状況が悪く、試験苗数が揃わなかったため、人工基盤１，２しか設置できなかった

２．植栽試験の方法

（１）緑化資材

沖縄県の海浜地に自生するミズガンピ、テリハクサトベラ、モクビャッコウ、イボタクサギの4種を対象とした。

（２）植栽基盤

ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄによる植栽基盤２ヶ、ポットによる植栽基盤２ヶの合計４種類の植栽基盤を用いた。ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄによる植栽基盤（H＝200mm，Φ＝100mm）では、骨材の粒径・材質の異なる人工基盤１、２を用いた（写真－１）。ポットでは、生分解性ポット（H＝100mm，Φ＝105mm）とビニルポットを用いた。


写真－１　ポーラスコンクリート人工基盤


テリハクサトベラ
写真－２　人工基盤による養生


写真－３　植栽試験の状況

用した人工基盤１と、珊瑚石灰岩（粒径13mm～25mm）を骨材に使用した人工基盤２を作成した（写真－１）。ポットでは、生分解性ポット（H＝100mm, Φ＝105mm）とビニルポット（H＝100mm, Φ＝105mm）を用いた。

（3）育苗と植栽基盤への植え付け

挿し木により40日間育苗した苗を、各々の植栽基盤に植え付け、養生した（写真－２）。植栽基盤への植付けには、赤土と腐葉土を混合したものを、植栽基盤内に充填した。なお、イボタクサギ、モクビャッコウについては、挿し木育苗により所要の苗数を生産できなかったため、一部の試験を省略した。

（4）植栽場所

沖縄県名護市大浦海岸に敷設されているステップ長100cm、ステップ高さ23cm、傾斜角度13度のコンクリート階段式護岸である。階段式護岸ブロックには、ステップ平面（200cm×100cm）に２つの空洞（65cm×35cm×20cm）があり、その空洞内に植栽した。

（5）植栽基盤の設置方法

図－１の植栽イメージ図に示すように、満潮位でも冠水しない位置より、陸側へ5段にわたって植栽を行った。１つの空洞内に４つの植栽基盤を設置し、周りの空間は珊瑚石灰岩等の微細土壌で埋め戻した（写真－３）。各植栽基盤の配列は、汀線から垂直であり一直線上になるように配列した（表－３）。

（6）調査項目と解析項目

生存数、樹高、枝張の計測を行ったが、樹高、枝張の計測結果に明確な違いは現れなかったため、以降の記述では、生存数についてのみ、触れることとする。表－１に植栽試験の条件をまとめた。また、植栽個数、植栽配置図は、結果と合わせ表－２，３に示す。

３．研究結果及び考察

３．１　ポーラスコンクリートの植栽基盤としての適性

植物種ごとの植栽基盤別植栽個数と生存数を表－２に示す。植栽数が同じであるミズガンピ、テリハクサトベラについて検討を行った。人工基盤１，２による生存数を比較した結果、人工基盤１、２とも生存数は12ヶ・生存率60%（20ヶ植栽中）であり、ポーラスコンクリートに用いる骨材の粒径および材質が異なっても、生育は良好であった。また、ミズガンピ、テリハクサトベラによる植栽基盤別の生存数をみると、生分解性ポット、ビニルポットに比べて、人工基盤１，２の生存数が明らかに多いことがわかった。人工基盤の生存数が多い原因として、人工基盤は、植栽基盤内の土壌流失の防止や基盤内の水分を保持できるため、生育が良好であったと推測される。よって、今回の植栽試験結果からは、ポーラスコンクリートによる人工基盤は、海岸植物の植栽基盤に有効であると思われる。

表－２　植物種ごとの植栽基盤別植栽個数と生存数

植物種／植栽基盤	ミズガンピ	テリハクサトベラ	イボタクサキ	モクビャッコウ
人工基盤1	10(8)	10(4)	10(2)	10(5)
人工基盤2	10(7)	10(5)	9(4)	10(6)
生分解性ポット	10(3)	10(2)	なし	10(2)
ビニルポット	10(3)	10(2)	なし	2(1)

（ ）は、生存数を示す

表－３　植物種、植栽基盤別の植栽配置と生存状況（植栽１２ヶ月後）

種と基盤／配置	ミズガンピ				テリハクサトベラ				イボタクサギ		モクビャッコウ			
	1	2	生	ビ	1	2	生	ビ	1	2	1	2	生	ビ
陸側から1段目	○	■	▲	▼	●	■	▲	▼	●	■	○	■	▲	▼
満水位から115cm	●	■	▲	▼	○	□	▲	▼	●	■	●	□	▲	▽
陸側から2段目	●	□	▲	▼	○	□	▲	▼	○	□	○	□	▲	
満水位から92cm	○	□	▲	▼	○	□	▲	▼	○	□	○	□	▲	
陸側から3段目	○	□	▲	▽	●	□	△	▽	●	□	○	□	△	
満水位から69cm	○	□	△	▼	○	□	△	▽	●	□	○	□	△	
陸側から4段目	○	□	△	▽	●	■	▲	▼	●	■	●	■	▲	
満水位から46cm	○	□	△	▽	●	■	▲	▼	●	■	●	□	▲	
陸側から5段目	○	■	▲	▼	●	■	▲	▼	●	■	●	■	▲	
満水位から23cm	○	□	▲	▼	●	■	▲	▼	●		●	■	▲	

生存株……　○：人工基盤1　□：人工基盤2　△：生分解性ポット　▽：ビニルポット

枯死株……　●：人工基盤1　■：人工基盤2　▲：生分解性ポット　▼：ビニルポット

植栽基盤……　1：人工基盤1　2：人工基盤2　生：生分解性ポット　ビ：ビニルポット

：空洞（1つの空洞に4つの植栽基盤を設置）

３．２　緑化材料としての海岸植物の緑化域の検討

表－３より、植物種ごとの生存株の分布範囲を見てみると、テリハクサトベラ、モクビャッコウは、陸側から1,2,3段目に多く生存しており、満潮位から69cm以上高い場所で生存していることがわかった。また、ミズガンピについては、陸側から３，４，５段目に多く生存していることがわかった。よって、満潮位から69cm以上高い陸側の緑化では、テリハクサトベラ、モクビャッコウが適しており、満潮位から69cm以下の低い水際での緑化には、ミズガンピが適してることがわかった。

４．主な研究成果物

都市緑化技術、NO31、p32,33、塩生植物の復元の試み、1999.10

（藤原宣夫、石曽根敦子）

平成１１年度 土木研究所年度報告書
＜ 公園緑地計画技術に関する研究 ＞

都市内緑地による温室効果ガス削減に関する調査 29
都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究開発 35
人為的活動による都市緑地における炭素収支変動の評価に関する研究 37

都市公園事業調査費

1.1.2　都市内緑地による温室効果ガス削減に関する調査

研究期間：平１１～１３

担当：　緑化生態研究室

【要旨】

緑化による CO_2 削減効果を評価するため、緑化樹木の CO_2 固定量の算出方法を検討した。樹木の木質部には乾燥重量比にして 50%程度 C が含まれ、この C はすべて大気中の CO_2 に由来する。したがって、樹木の CO_2 固定量は木質部の成長量を算出することにより得られる。そこで、代表的な緑化樹木に対し年輪解析を行い、樹高・幹径の樹齢と対応した成長過程を明らかとし、成長予測式を策定した。この式を基にすれば、特定の樹齢あるいは大きさの樹木 1 本が、1 年間に固定する CO_2 量を算出できるため、緑化した樹木の本数と大きさが解れば、緑化事業による CO_2 削減効果の評価が可能となる。

１．研究目的

植物による CO_2 の吸収固定は、地球温暖化の防止に少なからず貢献するものと考えられ、京都議定書では、CO_2 排出量の算定に際し、植林による固定量を算入することとされた。しかし、都市化が進み、林業による植林を多く望めない国からは、都市公園や街路樹などの都市緑化による植栽樹木も、CO_2 吸収源として算入されることが要望されている[1]。

算入のためには、植栽樹木の CO_2 固定量を、広く実行可能な方法で算出できることが前提とされる。森林については、既に IPCC から算出の原単位となる森林面積当たりの年間バイオマス成長量が提示されている[2]。しかし、都市緑化による植栽樹木は、森林形状を有しない単木や列状のものが多く、森林の原単位を適用できる範囲は限られてしまうため、樹木本数当たりの原単位設定が必要と考えられる。単木の CO_2 固定量算定については、半田らによる研究[3]があり、樹幹解析により樹木の成長量を明らかにすることにより、CO_2 固定量を算出することが可能であることを報告している。しかし、データの蓄積が少なく、未だ有効な原単位の提示に至っていないのが現状である。

都市緑化には、様々な樹種、大きさ（樹齢）の樹木が用いられるため、原単位はそれらに応じたものである必要がある。著者らは、半田らの手法を参考とし、我が国で都市緑化に多用される樹種を対象に、樹幹（年輪）解析を行うことにより、その成長過程を明らかにし、特定の大きさの樹木が、特定の 1 年間に、あるいはその大きさに達するまでの間に、植物体内に蓄積する CO_2 量を推定する算定式を作成することを目的としている。算定式から得られる CO_2 量は、都市緑化による CO_2 固定量算出のための原単位の一部となるものと考えている。

２．研究方法

２.１　植栽樹木の CO_2 固定量算出の前提条件

２.１.１　算定の対象とする植物体部位

植物は、光合成により大気中の CO_2 を体内に取り込み、炭水化物を生成する。そして、炭水化物は、植物体の形成物質として植物全体に蓄積される。しかし、葉は、落葉により比較的短期間に失われるため、ここでは、木質化することにより長期に渡り固定が継続する幹・枝・根を CO_2 固定量算出の対象とする。

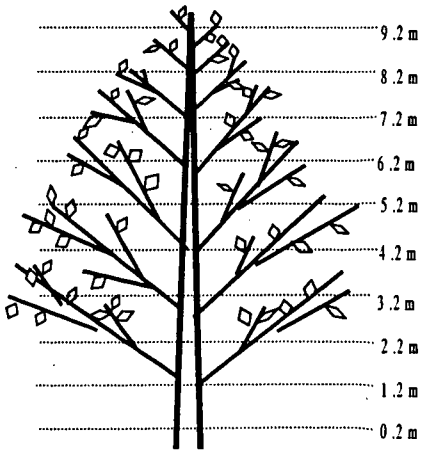


図1　樹幹解析の階層

２.１.２　木質部の C 含有量

植物体に含まれる C は、そのほぼ全てが大気中の、CO_2 に由来する。木質部の C 含有量は、これまでの

多くの分析結果から、樹種に関わらず乾燥重量比にして 50%程度であることが知られている[3]。そこで、ここでは、木質部の乾燥重量を算出までを行うこととする。なお、CO_2 固定量は、CO_2 と C の分子量の比から乾燥重量に 1.83 を乗じたものとなる[注1]。

2.2　木質部成長量（材積増加量）の算出方法

2.2.1　幹の年間材積増加量の算出方法

幹については、樹幹解析により得られる樹齢別の樹高と各高さの幹半径から年間材積増加量を算出し、別途求める乾材比重を用いて乾燥重量に変換する。樹幹解析は一般的な方法 5）に従い、高さ 0.2m から 1.0m 毎の高さの年輪幅を計測する（図 1 参照）。

表 1　樹幹解析供試樹木一覧

樹種		ケヤキ					イチョウ					プラタナス				
植栽地		茨城県東茨城郡小川町下吉影					茨城県鹿島郡鉾田町鳥栖新田					茨城県つくば市福田坪				
樹木No.		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
形状寸法	樹高 m	10.0	9.0	8.0	7.5	7.0	7.3	8.0	6.0	5.5	9.0	8.0	9.0	6.0	7.0	9.5
	幹周(0.2m 高) cm	102.5	92.0	75.0	71.0	78.0	53.5	65.0	47.0	32.0	66.0	66.0	59.0	40.0	51.0	61.0
	幹周(1.2m 高) cm	90.0	74.0	61.5	54.0	64.0	41.0	49.5	36.0	25.5	52.5	55.0	47.0	31.0	41.0	53.0
	枝張り (最大) m	9.3	8.3	7.7	6.2	8.3	3.9	4.9	3.0	3.2	5.2	6.6	6.8	5.3	4.6	6.7
	枝張り (最小) m	7.1	5.5	6.2	5.5	6.5	3.1	4.0	2.2	2.2	4.6	6.2	6.4	4.6	3.8	6.2

2.2.2　枝・根の年間材積増加量の算出方法

枝・根の成長は、年輪による解析は困難であるため、幹と同様の割合で成長すると仮定し、別途求める幹・枝・根の部位別乾燥重量比を、幹の年間材積増加量に乗じることにより、枝・根の年間材積増加量とする。

2.2.3　部位別乾燥重量比および乾材比重の算出方法

樹幹解析供試木の幹・枝・根それぞれの全乾燥重量を測定し、各部位の乾燥重量比を算出する。また、樹幹解析から得られる幹の材積量と幹の乾燥重量から、乾材比重（g/cm³）を算出する

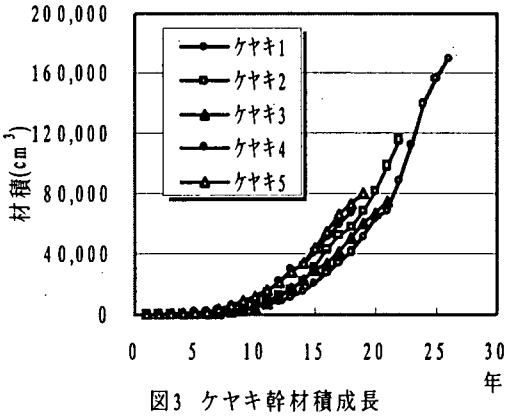


図3　ケヤキ幹材積成長

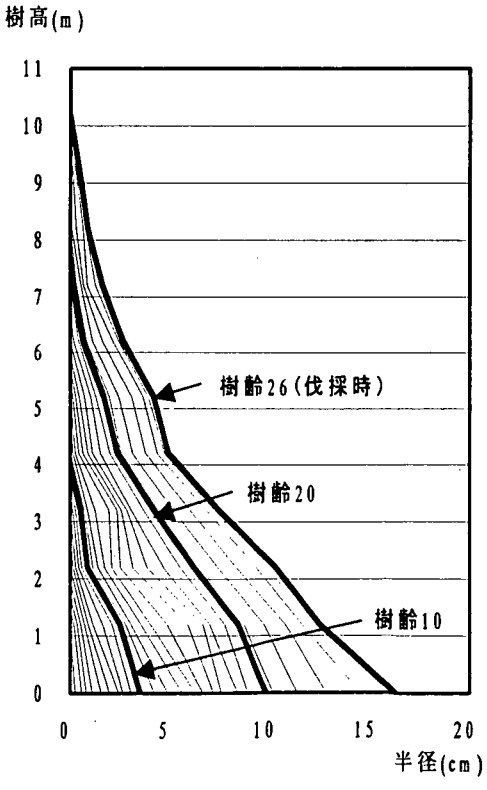


図2　ケヤキ1の樹幹解析図

2.3　樹幹解析供試樹木

街路樹としての使用本数の多い樹種から、ケヤキ(Zelkova serrata)、イチョウ(Ginkgo biloba)、プラタナス(Platanus orientalis)の 3 種を選定し[注2]、各 5 本を供試木とした。全供試木の形状寸法を表 1 に示す。

注 1）CO_2 の分子量は 44、C は 12 なので、CO_2 固定量は乾燥重量の 50%の 44/12、すなわち 1.83 倍となる。
注 2）1997 年の全国の街路樹調査で、使用本数の順位はイチョウ 1 位、ケヤキ 3 位、プラタナス類 6 位であり、3 種の合計本数は全街路樹本数の 19.8 %となっている[6]。

3．研究結果

3.1　重量測定結果

全供試樹木の乾燥重量、部位別乾燥重量比、および、乾材比重を表2に示す。

表2 部位別乾燥重量・乾燥重量比・乾材比重の測定・算出結果

樹種		ケヤキ					イチョウ					プラタナス				
伐採解体年月日		1999.11.10-12					1999.11.13-16					1999.11.7-8				
樹木No.		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
乾重(kg)	幹	117.7	82.2	51.8	45.4	55.6	19.9	28.4	12.4	6.3	37.6	49.6	40.5	13.1	26.0	53.8
	枝	259.3	119.7	66.2	46.5	69.7	7.3	11.4	4.4	2.7	18.5	36.5	26.7	9.5	12.5	32.8
	根	70.7	64.8	34.6	30.5	36.0	20.5	11.5	5.7	3.1	23.0	22.2	16.9	7.0	10.8	20.5
乾重比(%)	幹	25.3	30.8	33.9	37.1	34.5	41.6	55.4	55.1	51.6	47.5	45.8	48.2	44.3	52.7	50.2
	枝	58.7	44.9	43.4	38.0	43.2	15.3	22.2	19.6	22.1	23.4	33.7	31.7	32.1	25.4	30.6
	根	16.0	24.3	22.7	25.0	22.3	43.1	22.4	25.3	26.2	29.1	20.5	20.1	23.6	21.9	19.1
乾材比重(g/cm3)		0.66	0.71	0.70	0.68	0.69	0.49	0.47	0.53	0.55	0.50	0.70	0.69	0.61	0.67	0.66

3.2　樹幹解析結果

樹幹解析の結果を、ケヤキ1を例として樹幹解析図の形にして図2示す。図2中の折れ線は各年の年輪であり、ケヤキ1は樹齢26と推定される。また、折れ線と縦・横の軸に囲まれる部分が各樹齢での幹の半分の断面形状を表しており、この断面の縦軸を回転軸とした回転体の体積を算出することにより各樹齢の材積量が算出される。このようにして算出したケヤキ5樹木の樹齢と幹材積量の関係を図3に示す。

3.3　材積成長量算出結果

前項で算出した幹の材積量に、表2の乾材比重を乗じて乾燥重量とし、さらに同表の部位別乾重比から枝・根の乾燥重量を算出し、各樹木の全木質部乾燥重量を算出したものを図4.1に示す。また、同様な操作をイチョウ、プラタナスについて行い木質部乾燥重量を算出したもの図4.2および図4.3に示す。

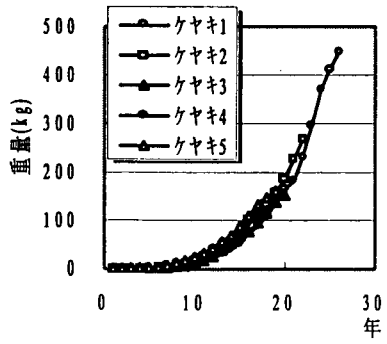


図4.1 ケヤキ木質部成長量

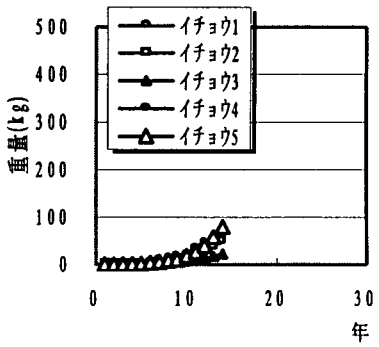


図4.2 イチョウ木質部成長量

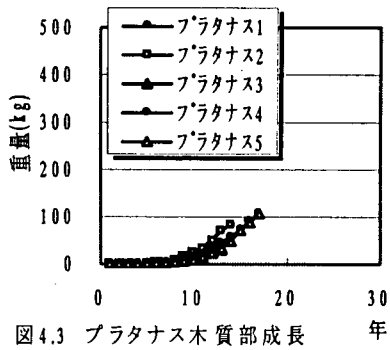


図4.3 プラタナス木質部成長量

3.4　算定式の作成

3.4.1　樹木形状寸法項目と木質部乾燥重量の関係

以上の結果から、植栽樹木の特定の樹齢での木質部の乾燥重量が推定可能となる。しかし、都市に植栽される樹木個々の樹齢を、樹幹解析などの方法で推定することは実質的に困難である。そのため、容易に測定可能な樹木形状データから木質部乾燥重量を導き出す必要がある。

通常、植栽工事において、表示される樹木形状寸法の項目は、樹高、胸高幹周（高さ1.2m）、枝張であり、これらの項目は、計測が比較的容易であり、計測値が、工事記録や各種の台帳として記録されていることが多い。そこで、まず、このような、一般的な形状表示項目と木質部乾重との相関関係を確認する。一般に樹木各部位の重量等の物理量(Y)と、樹木形状寸法(X)との間には、相対成長式 $Y=aX^b$（a と b は定数）が成

り立つことが知られている[7]。そこで、樹幹解析供試樹木15本について、木質部乾燥重量と、樹高、幹周、枝張のほか、いくつかの形状寸法項目との関係を、相対成長式を当てはめ、実測値との相対関係を確認した。結果を表3に示す。

表3　樹木形状寸法項目と木質部乾燥重量の相関関係

	樹高	胸高直径	0.2m幹周	1.2m幹周	胸高断面積	枝張
ケヤキ(n=5)	$y = 0.1914x^{3.3086}$ $R^2 = 0.8243$	$y = 0.0437x^{2.8017}$ $R^2 = 0.9308$	$y = 7E\text{-}05x^{3.3785}$ $R^2 = 0.9865$	$y = 0.003x^{2.6432}$ $R^2 = 0.9833$	$y = 0.0614x^{1.4009}$ $R^2 = 0.9308$	$y = 0.5492x^{3.0362}$ $R^2 = 0.4873$
イチョウ(n=5)	$y = 0.0311x^{3.5998}$ $R^2 = 0.96$	$y = 0.0607x^{2.5625}$ $R^2 = 0.9451$	$y = 0.0027x2.4085$ $R^2 = 0.9185$	$y = 0.0035x^{2.5003}$ $R^2 = 0.9387$	$y = 0.0827x^{1.2813}$ $R^2 = 0.9451$	$y = 2.1212x^{2.2551}$ $R^2 = 0.8886$
プラタナス(n=5)	$y = 0.2439x^{2.7403}$ $R^2 = 0.8341$	$y = 0.1838x^{2.2557}$ $R^2 = 0.9868$	$y = 0.0009x^{2.8006}$ $R^2 = 0.9653$	$y = 0.0076x^{2.3955}$ $R^2 = 0.9788$	$y = 0.2414x^{1.1278}$ $R^2 = 0.9868$	$y = 1.5991x^{2.1605}$ $R^2 = 0.6279$
3樹種 (n=15)	$y = 0.0131x^{4.269}$ $R^2 = 0.6539$	$y = 0.0342x^{2.8603}$ $R^2 = 0.9568$	$y = 0.0003x^{2.9946}$ $R^2 = 0.9266$	$y = 0.0013x^{2.8297}$ $R^2 = 0.9551$	$y = 0.0484x^{1.4301}$ $R^2 = 0.9568$	$y = 1.7936x^{2.3015}$ $R^2 = 0.8142$

表3より、胸高直径など幹の太さに関わる形状が、いずれも高い相関を示していることがわかる。また、枝張はケヤキ、プラタナスでの相関が低く、樹高は個々の種では、良い相関が認められるが、3樹種のデータでは相関が低くなっている（図5）。一方、胸高直径では、各樹種、全樹木でも高い相関が見られる（図6）。このような結果から、乾燥重量を推定する項目として、3樹種に共通の形状寸法項目となりうるという点からは、幹の太さに関わる項目が適していると言える。

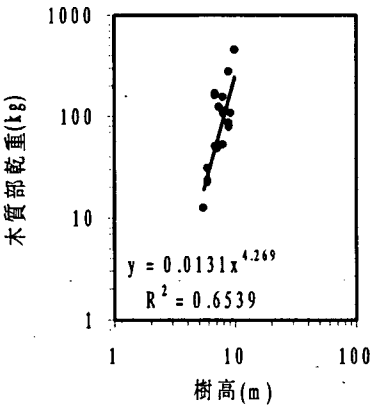


図5　樹高と木質部乾重の関係（3樹種）

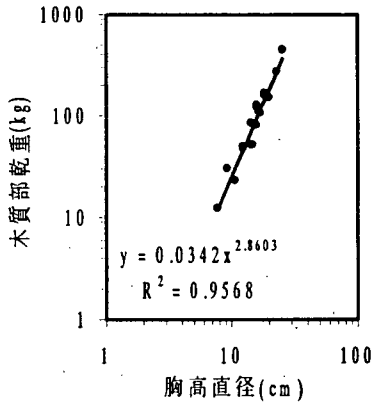


図6　胸高直径と木質部乾重の関係（3樹種）

3.4.2　樹幹解析データを用いた相関解析

前項において良い相関が得られた項目である樹高と胸高直径について、樹幹解析から得られた全ての値を用いて相対成長式を求めた。結果を表4に示す。両項目とも、各樹種、また3樹種の全データにおいても、高い相関が得られた。散布図の例として、3樹種全データのものを図7および図8に示す。

表4　樹高・胸高直径と木質部乾燥重量の相対成長式（樹幹解析全データ）

	樹高	胸高直径
ケヤキ	$y = 0.0192x^{4.1842}$ $R^2 = 0.9409$	$y = 0.1596x^{2.2961}$ $R^2 = 0.9657$
イチョウ	$y = 0.0128x^{3.5402}$ $R^2 = 0.9177$	$y = 0.0799x^{2.2494}$ $R^2 = 0.925$
プラタナス	$y = 0.0104x^{3.9664}$ $R^2 = 0.9257$	$y = 0.1271x^{2.155}$ $R^2 = 0.9631$
3樹種	$y = 0.0135x^{3.9938}$ $R^2 = 0.8901$	$y = 0.1179x^{2.2893}$ $R^2 = 0.9465$

これらの式からは、特定の樹高あるいは胸高直径の樹木が、その大きさになるまでに蓄積した、木質部乾燥重量、すなわち CO_2 固定量の算出が可能である。

しかし、この式から、特定の樹高あるいは胸高直径の樹木が、一年間にどのくらい成長するかを明らかにするには、樹高、胸高直径の年間成長量を明らかにする必要がある。

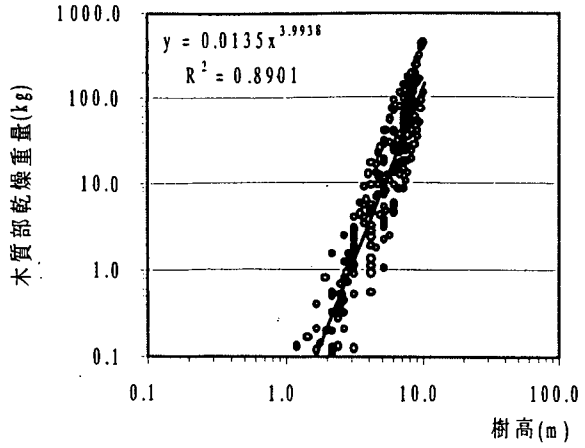


図7 樹高と木質部乾重の関係
(樹幹解析全データ)

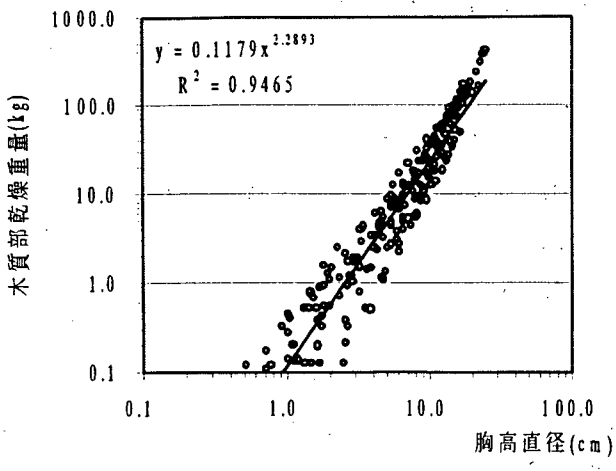


図8 胸高直径と木質乾重の関係
(樹幹解析全データ)

3.4.3 樹高・胸高直径と樹齢の相関関係

樹幹解析の全データを用いて、樹高と樹齢の関係を見たものが図 9、胸高直径と樹齢の関係を見たものが図 10 である。

図 9 より、樹高は樹種毎に樹齢と直線的な関係があると言える。しかし、3 樹種のデータを合わせみると、相関は低くなる。それに対して、図 10 からは、胸高直径と樹齢との直線関係は、3 樹種とも非常に近似したものとなっており、先の 15 樹木の解析からも示唆されたように、ここでも、一つの回帰式により、3 樹種について胸高直径と樹齢の関係を示すことができる。

さて、これらの関係からは、両項目とも一定の速度で成長をしているように見えるが、実際には、毎年の気候の変動などにより、各年の成長量は、違ったものとなる。また、樹齢によってもその成長速度に差があるものと思われる。ここでこの式が意味するものは、解析対象とした樹木のこれまでの成長を、平均的速度で表したものと解釈される。

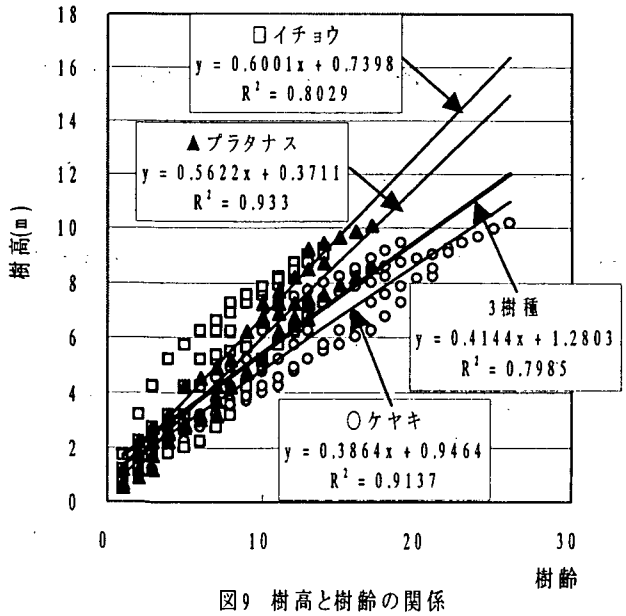


図9 樹高と樹齢の関係

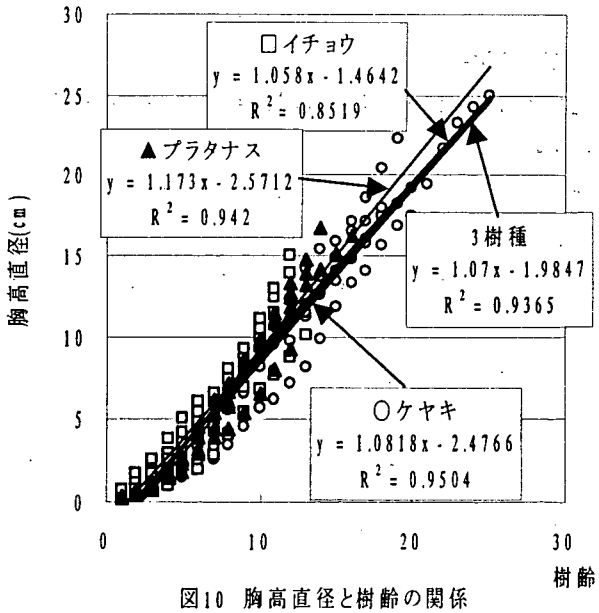


図10 胸高直径と樹齢の関係

3.4.4 CO_2 固定量の推定

以上の解析から、木質部乾重と樹高・胸高直径と樹齢の関係を整理すると次の式で表される。

$Y = a\{(X + c)^b - X^b\}$

Y：木質部乾燥重量　X：樹高（または胸高直径）

a、b：木質部乾燥重量と樹高（または胸高直径）との相対成長式から得られる定数

c：樹齢との回帰式から得られる樹高（または胸高直径）の年間成長量

ケヤキの樹高を例にして述べると、平均的な1本のケヤキが、これからの1年間に平均的な成長をするとした場合、期待される樹高成長量は、図9の回帰式（y=0.3864x + 0.9464）から、0.3864mである。

樹高 X mのケヤキが 1 年間に成長すると期待される木質部成長量は、樹高 X(m)のケヤキと、樹高 X + 0.3864(m)のケヤキとの木質部乾重の差となり、表4のケヤキ樹高の相対成長式 $y=0.0192x^{4.1842}$ から、その差を求める式は、$Y = 0.0192\{(X + 0.3864)^{4.1842} - X^{4.1842}\}$ となる。同様にケヤキの胸高直径については、$Y = 0.1596\{(X + 1.0818)^{2.2961} - X^{2.2961}\}$ が得られる。これらの式を用いて、樹幹解析を行ったケヤキ5（樹高 7.0m、胸高直径 20.4cm）の木質部乾燥重量を算出すると、樹高からは 16.3kg/年，胸高直径からは 20.4kg/年という値が得られた。ちなみに 1.83 倍し CO_2 に換算すると、それぞれ、30.4kg/年、37.4kg/年となる。

4．おわりに

以上述べてきたように、CO_2 固定量算定の原単位となる、特定の樹高または胸高直径における樹木の年成長量（木質部乾燥重量）を算出した。しかしながら、この原単位については、わずかな樹種と比較的若齢の樹木に限定される、適応の拡大には、他の樹種や大木での解析が必要とされるほか、気候や地域の差による変化などの補足データが必要である。

また、都市内全域の植栽樹木の CO_2 固定量を算出しようとする場合、植栽樹木の樹種や大きさ、総本数をどのように把握するかが重要な問題であり、原単位設定も、測定が可能でなければ、その役割を果たし得ないこととなってしまう。本稿で検討した樹木単位の原単位の設定は、類似の成長特性を有する植物種の統合や、様々要因による差の簡単な補正方法などが整備されなければならないと考えている。

5．参考文献

1) 藤原宣夫：COP4 報告-吸収源としての土地利用・森林に関する討議結果について-、土木技術資料 40-1、pp.68-71、1999

2) IPCC：Revised 1966 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, Workbook(volume 2), pp.5.22, 1996

3) 半田真理子ほか：道路緑化樹木の二酸化炭素固定に関する研究、土木研究所資料、3059 号、建設省土木研究所、1992

4) 三浦伊八郎、西田吃二：木材の元素組成、「木材化学」、丸善出版、pp.35-38、1933

5) 梶原幹弘：樹木の生長量の測定、「森林計測学」大隅眞一ほか共著、養賢堂、pp.118-138、1971

6) 藤原宣夫、田中隆、木部直美：わが国の街路樹Ⅳ、土木研究所資料、3666 号、建設省土木研究所、1999

7) 佐藤大七郎：陸上植物群落の物質生産Ⅰa－森林－、共立出版、1973

（藤原、山岸）

建設技術研究開発経費

都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究開発

研究期間：平１１～１３

担　当：　緑化生態研究室

【要旨】

本研究は、都市における緑地総量の把握や緑地の活力度評価、CO_2 固定量算定など、都市緑地の様々な調査・解析における人工衛星データの活用手法を開発することを目的として実施するものである。

平成 11 年度は、東京都練馬区をｹｰｽｽﾀﾃﾞｨｴﾘｱとして、高分解能及び従来型人工衛星のﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ画像により、都市内緑地総量（緑地面積等）を把握した。さらに、航空写真により把握したものと比較することにより各ﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ画像の精度等を検証した。その結果、都市内緑地のうち樹林地、草地については、高分解能及び従来型人工衛星とも航空写真により把握したものと同様の結果を示したが、農地については、高分解能及び従来型人工衛星では、農地として分類された土地被覆分類に緑の多い住宅地が含まれるため、過大算出する傾向にあることが判明した。

１．研究目的

都市緑地保全法に基づく「緑の基本計画」の策定における都市緑地調査では、主として航空写真を用いて行われてきた。人工衛星画像を用いる方法は、広域的撮影とコンピューター処理が可能であり、効率的なものとして期待されるが、従来の人工衛星画像は分解能が低いため、精度の点において問題があるとされてきた。しかし、最近になって、航空写真に匹敵する高分解能の衛星画像の入手が可能となっており、高分解能人工衛星画像を用いた都市緑地調査手法の開発が求められている。

本研究は、都市における緑地総量の把握や緑地の活力度評価、CO_2 固定量算定など、都市緑地の様々な調査・解析における人工衛星データの活用手法を開発することを目的として実施するものである。

平成 11 年度は、東京都練馬区をｹｰｽｽﾀﾃﾞｨｴﾘｱとして、高分解能及び従来型人工衛星のﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ画像を、航空写真により把握したものと比較することにより各ﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ画像の精度等を検証することを目的とした。

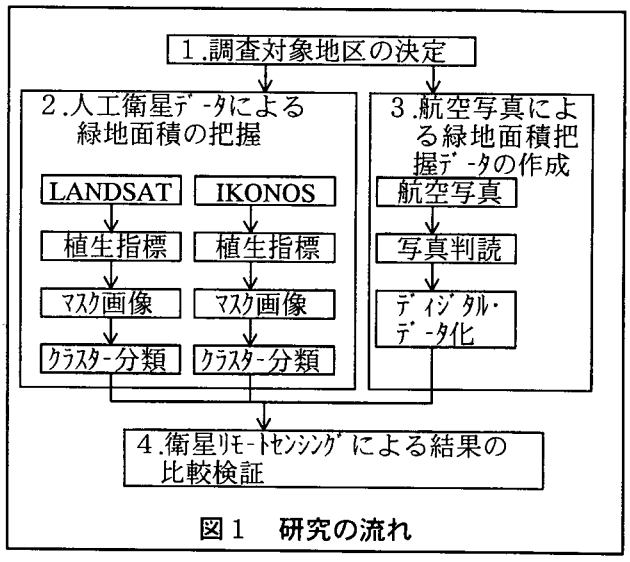


図１　研究の流れ

２．研究方法

本研究の流れを図１に示す。本研究では、東京都練馬区石神井公園周辺の 1km × 1km の範囲を対象とした。図２に(株)アルプス社の画像ソフトプロアトラスによりその範囲を切抜きしたものを示す。

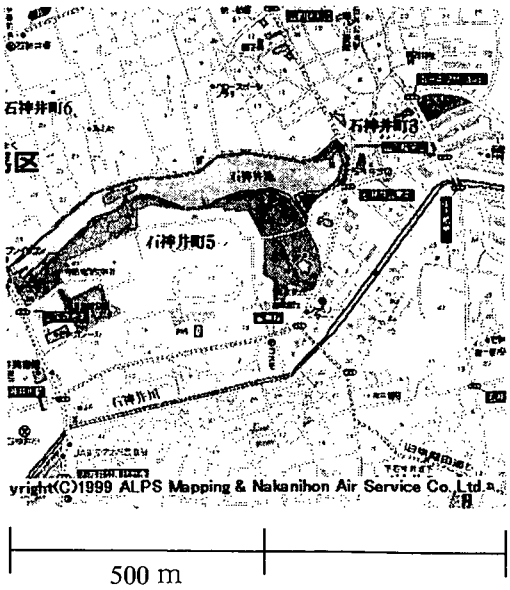


図２　調査対象範囲図

２．１　従来型人工衛星による緑地抽出

従来型人工衛星より、バンド数が多く、植生域判別に有効な近赤外波長を持つ LANDSAT TM を利用し、緑地抽出を行なった。分類手法は、植生指標（NVI）用いて、植生域・非植生域・水域の３つの画像に分割し、さらに、バンド６(熱赤外)を除く６バンドで、クラスター自動分類により、土地被覆分類を行った。

2．2　高分解能衛星 IKONOS による緑地抽出

分類手法は、植生指標（NVI）用いて、植生域・非植生域・水域・影の画像に分割し、さらに、可視～近赤外域の4バンドで、クラスター自動分類により、土地被覆分類を行った。

2．3　航空写真による緑地抽出

約1万分の1で撮影された航空写真を用いて手動の判読により緑地抽出を行なった。判読項目は、①常緑樹、②落葉樹、③草地、④農地の4項目である。

3．研究結果

図3に示す航空写真の判読結果を基準に衛星データの分類結果を検証した。

LANDSAT の分類結果を図4に示す。空間分解能が 30 mと低いため、対象地域には多数のミクセル（複数の土地被覆の混在するピクセル）が存在する。ミクセルには、街路樹や屋敷林などの小規模な緑地が含まれており、これらの単体としての抽出は困難であった。

IKONOS の分類結果を図5に示す。空間分解能が 4m と高いため、街路樹、屋敷林、草地、農地などが比較的適切に抽出されている。一方、影の影響が大きいことと、建築物の屋根等も農地として土地被覆分類さ

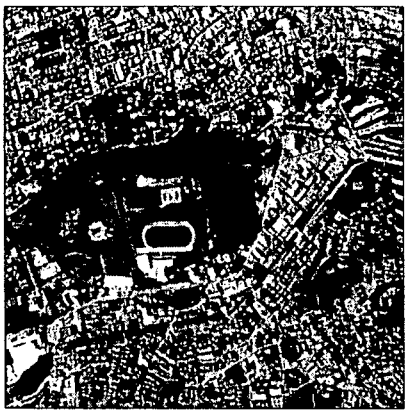


図3 航空写真判読結果

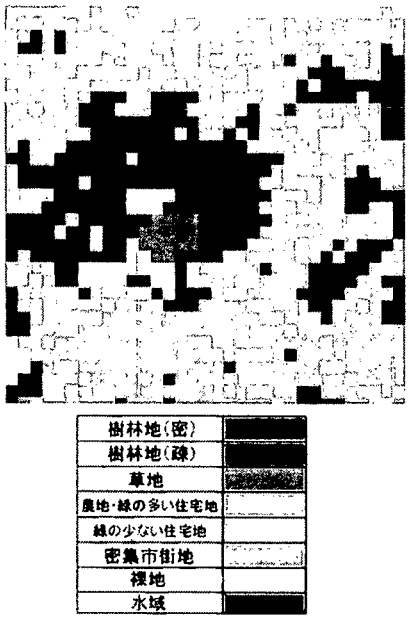


図4 LANDSAT 分類結果

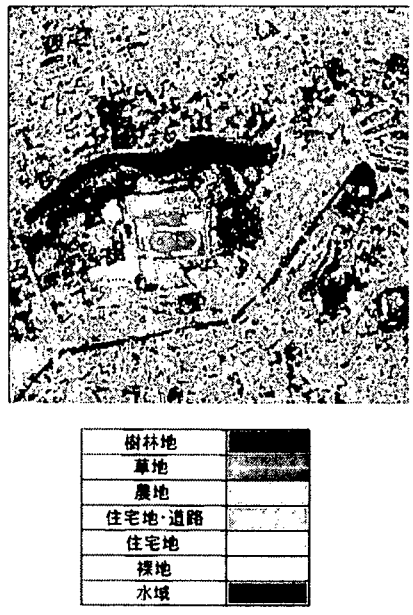


図5 IKONOS 分類結果

れたものと同様のｽﾍﾟｸﾄﾙ特性を示すものがあり、これらの箇所では分類精度が落ちた。また、使用したデータが冬季のデータであったため、落葉樹林が裸地あるいは農地と誤分類されている箇所があった。

各手法より対象地域の植生被覆率を植生被覆率1（樹林地と草地の比率）と植生被覆率2（樹林地、草地、農地の比率）の2とおりで算出し、比較したものを図6に示す。植生被覆率1は各手法とも近い値を示し、差が小さいことがわかる。一方、植生被覆率2の値は大きく異なる。これは農地の抽出精度が手法によって大きく異なることに起因する。衛星データを用いた場合、緑の多い住宅地や建築物の屋根等も農地として土地被覆分類されたものと同様のスペクトル特性を示すものがあり、農地と認識するため、過大算出する傾向にあることがわかった。

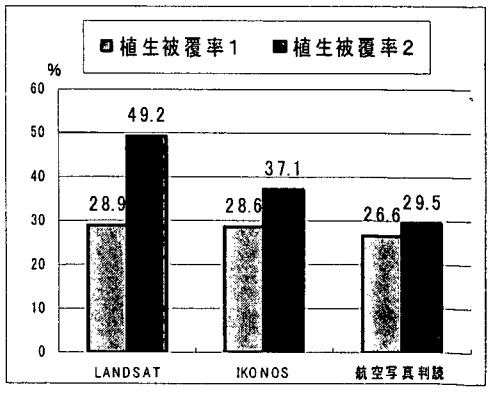


図6　植生被覆率の比較

（藤原、山岸）

環境研究総合推進費

K－1　陸域生態系の吸収源機能評価に関する研究

(2)人為的活動による都市緑地における炭素収支変動の評価に関する研究

研究代表者　建設省土木研究所環境部緑化生態研究室長　藤原宣夫

建設省土木研究所

環境部緑化生態研究室　　山岸　裕

(平成11年度予算額　　9,000千円)

[要旨]

緑化によるCO_2削減効果を評価するため、緑化樹木のCO_2固定量の算出方法を検討した。樹木の木質部には乾燥重量比にして50%程度炭素C(以下「C」という)が含まれ、このCはすべて大気中のCO_2に由来する。したがって、樹木のCO_2固定量は木質部の成長量を算出することにより得られる。そこで、代表的な緑化樹木に対し樹幹解析を行い、樹高・幹径の樹齢と対応した成長過程を明らかとし、成長予測式を策定した。この式を基にすれば、特定の樹齢あるいは大きさの樹木1本が、1年間に固定するCO_2量を算出できるため、緑化した樹木の本数と大きさが解れば、緑化事業によるCO_2削減効果の評価が可能となる。

[キーワード] 都市緑化樹木、CO_2固定、樹幹解析、成長予測式

1．序

植物によるCO_2の吸収固定は、地球温暖化の防止に少なからず貢献するものと考えられ、京都議定書では、CO_2排出量の算定に際し、植林による固定量を算入することとされた。しかし、都市化が進み、林業による植林を多く望めない国からは、都市公園や街路樹などの都市緑化による植栽樹木も、CO_2吸収源として算入されることが要望されている[1]。

算入のためには、植栽樹木のCO_2固定量を、広く実行可能な方法で算出できることが前提とされる。森林については、既にIPCCから算出の原単位となる森林面積当たりの年間バイオマス成長量が提示されている[2]。しかし、都市緑化による植栽樹木は、森林形状を有しない単木や列状のものが多く、森林の原単位を適用できる範囲は限られてしまうため、樹木本数当たりの原単位設定が必要と考えられる。単木のCO_2固定量算定については、半田らによる研究[3]があり、樹幹解析により樹木の成長量を明らかにすることにより、CO_2固定量を算出することが可能であることを報告している。しかし、データの蓄積が少なく、未だ有効な原単位の提示に至っていないのが現状である。

2．研究目的

都市緑化には、様々な樹種、大きさ(樹齢)の樹木が用いられるため、原単位はそれらに応じたものである必要がある。著者らは、半田らの手法を参考とし、我が国で都市緑化に多用される樹種を対象に、樹幹解析を行うことにより、その成長過程を明らかにし、特定の大きさの樹木が、特定の1年間に、あるいはその大きさに達するまでの間に、植物体内に蓄積するCO_2量を推定する算定式を作成することを目的としている。算定式から得られるCO_2量は、都市緑化によるCO_2固定量算出のための原単位の一部となるものと考えている。

3．研究方法

3.1　植栽樹木の CO_2 固定量算出の前提条件

3.1.1　算定の対象とする植物体部位

植物は、光合成により大気中の CO_2 を体内に取り込み、炭水化物を生成する。そして、炭水化物は、植物体の形成物質として植物全体に蓄積される。しかし、葉は、落葉により比較的短期間に失われるため、ここでは、木質化することにより長期に渡り固定が継続する幹・枝・根を CO_2 固定量算出の対象とする。

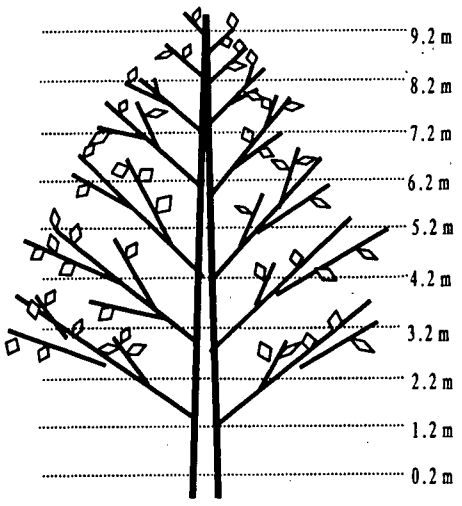


図1　樹幹解析の階層

3.1.2　木質部のC含有量

植物体に含まれるCは、そのほぼ全てが大気中の、CO_2 に由来する。木質部のC含有量は、これまでの多くの分析結果から、樹種に関わらず乾燥重量比にして50%程度であることが知られている[1]。そこで、ここでは、木質部の乾燥重量を算出までを行うこととする。なお、CO_2 固定量は、CO_2 とCの分子量の比から乾燥重量に1.83を乗じたものとなる[注1]。

3.2　木質部成長量（材積増加量）の算出方法

3.2.1　幹の年間材積増加量の算出方法

幹については、樹幹解析により得られる樹齢別の樹高と各高さの幹半径から年間材積増加量を算出し、別途求める乾材比重を用いて乾燥重量に変換する。樹幹解析は一般的な方法[2]に従い、高さ0.2mから1.0m毎の高さの年輪幅を計測する（図1参照）。

3.2.2　枝・根の年間材積増加量の算出方法

枝・根の成長は、年輪による解析は困難であるため、幹と同様の割合で成長すると仮定し、別途求める幹・枝・根の部位別乾燥重量比を、幹の年間材積増加量に乗じることにより、枝・根の年間材積増加量とする。

3.2.3　部位別乾燥重量比および乾材比重の算出方法

樹幹解析用供試木の幹・枝・根それぞれの全乾燥重量を測定し、各部位の乾燥重量比を算出する。また、樹幹解析から得られる幹の材積量と幹の乾燥重量から、乾材比重(g/cm^3)を算出する。

3.3　樹幹解析供試樹木

街路樹としての使用本数の多い樹種から、ケヤキ(Zelkova serrata)、イチョウ(Ginkgo biloba)、

表1 樹幹解析供試樹木一覧

樹種		ケヤキ					イチョウ					プラタナス				
植栽地		茨城県東茨城郡小川町下吉影					茨城県鹿島郡鉾田町鳥栖新田					茨城県つくば市福田坪				
樹木No.		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
形状寸法	樹高 m	10.0	9.0	8.0	7.5	7.0	7.3	8.0	6.0	5.5	9.0	8.0	9.0	6.0	7.0	9.5
	幹周(0.2m高) cm	102.5	92.0	75.0	71.0	78.0	53.5	65.0	47.0	32.0	66.0	66.0	59.0	40.0	51.0	61.0
	幹周(1.2m高) cm	90.0	74.0	61.5	54.0	64.0	41.0	49.5	36.0	25.5	52.5	55.0	47.0	31.0	41.0	53.0
	枝張り(最大) m	9.3	8.3	7.7	6.2	8.3	3.9	4.9	3.0	3.2	5.2	6.6	6.8	5.3	4.6	6.7
	枝張り(最小) m	7.1	5.5	6.2	5.5	6.5	3.1	4.0	2.2	2.2	4.6	6.2	6.4	4.6	3.8	6.2

プラタナス(Platanus orientalis)の3種を選定し[注2]、各5本を供試木とした。全供試木の形状寸法を表1に示す。

注1）CO_2 の分子量は44、Cは12なので、CO_2 固定量は乾燥重量の50%の44/12、すなわち1.83倍となる。

注2）1997年の全国の街路樹調査で、使用本数の順位はイチョウ1位、ケヤキ3位、プラタナス類6位であり、3種の合計本数は全街路樹本数の19.8％となっている[6]。

4．研究結果・考察

4.1　重量測定結果

全供試樹木の乾燥重量、部位別乾燥重量比、および、乾材比重を表２に示す。

表2 部位別乾燥重量･乾燥重量比･乾材比重の測定･算出結果

樹種		ケヤキ					イチョウ					プラタナス				
伐採解体年月日		1999.11.10-12					1999.11.13-16					1999.11.7-8				
樹木No.		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
乾重(kg)	幹	117.7	82.2	51.8	45.4	55.6	19.9	28.4	12.4	6.3	37.6	49.6	40.5	13.1	26.0	53.8
	枝	259.3	119.7	66.2	46.5	69.7	7.3	11.4	4.4	2.7	18.5	36.5	26.7	9.5	12.5	32.8
	根	70.7	64.8	34.6	30.5	36.0	20.5	11.5	5.7	3.1	23.0	22.2	16.9	7.0	10.8	20.5
乾重比(%)	幹	25.3	30.8	33.9	37.1	34.5	41.6	55.4	55.1	51.6	47.5	45.8	48.2	44.3	52.7	50.2
	枝	58.7	44.9	43.4	38.0	43.2	15.3	22.2	19.6	22.1	23.4	33.7	31.7	32.1	25.4	30.6
	根	16.0	24.3	22.7	25.0	22.3	43.1	22.4	25.3	26.2	29.1	20.5	20.1	23.6	21.9	19.1
乾材比重(g/cm3)		0.66	0.71	0.70	0.68	0.69	0.49	0.47	0.53	0.55	0.50	0.70	0.69	0.61	0.67	0.66

4.2　樹幹解析結果

樹幹解析の結果を、ケヤキ１を例として樹幹解析図の形にして図２示す。図２中の折れ線は各年の年輪であり、ケヤキ１は樹齢26と推定される。また、折れ線と縦・横の軸に囲まれる部分が各樹齢での幹の半分の断面形状を表しており、この断面の縦軸を回転軸とした回転体の体積を算出することにより各樹齢の材積量が算出される。このようにして算出したケヤキ５樹木の樹齢と幹材積量の関係を図３に示す。

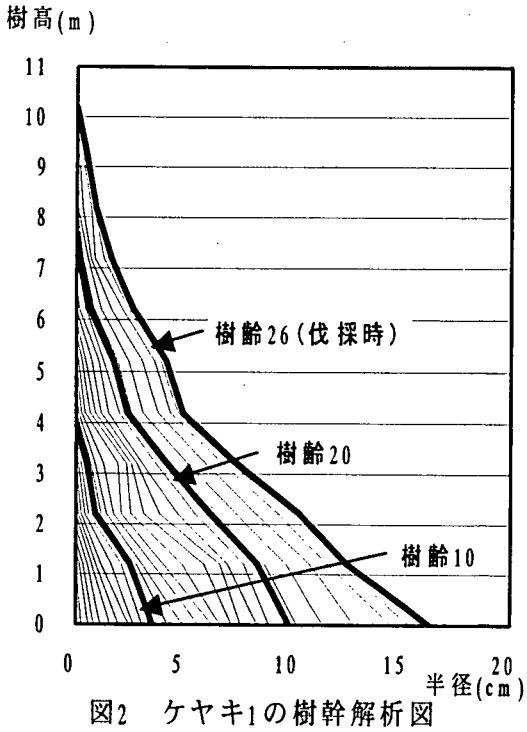


図2　ケヤキ1の樹幹解析図

4.3　材積成長量算出結果

前項で算出した幹の材積量に、表２の乾材比重を乗じて乾燥重量とし、さらに同表の部位別乾重比から枝・根の乾燥重量を算出し、各樹木の全木質部乾燥重量を算出したものを図 4.1 に示す。また、同様な操作をイチョウ、プラタナスについて行い木質部乾燥重量を算出したもの図 4.2 および図 4.3 に示す。

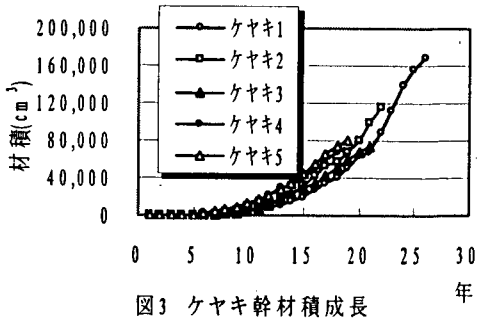


図3 ケヤキ幹材積成長

4.4　算定式の作成

4.4.1　樹木形状寸法項目と木質部乾燥重量の関係

以上の結果から、植栽樹木の特定の樹齢での木質部の乾燥重量が推定可能となる。しかし、都市に植栽される樹木個々の樹齢を、樹幹解析などの方法で推定することは実質的に困難である。そのため、容易に測定可能な樹木形状データから木質部乾燥重量を導き出す必要がある。

通常、植栽工事において、表示される樹木形状寸法の項目は、樹高、胸高幹周（高さ 1.2m)、枝張であり、これらの項目は、計測が比較的容易であり、計測値が、工事記録や各種の台帳として記録されていることが多い。そこで、まず、このような、一般的な形状表示項目と木質部乾重

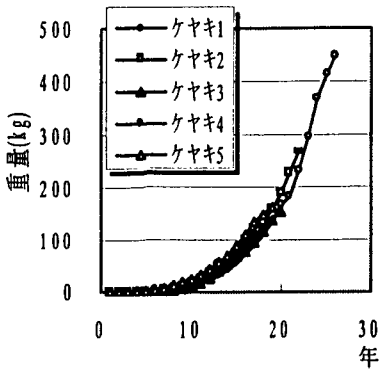


図4.1 ケヤキ木質部成長量

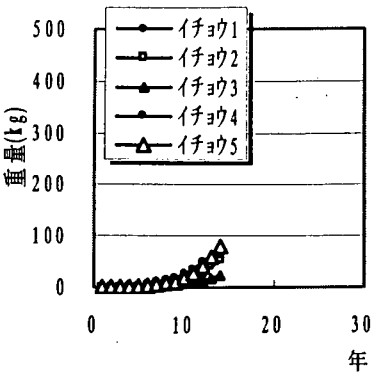


図4.2 イチョウ木質部成長量

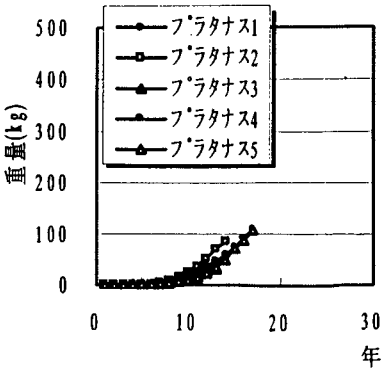


図4.3 プラタナス木質部成長量

との相関関係を確認する。一般に樹木各部位の重量等の物理量(Y)と、樹木形状寸法(X)との間には、相対成長式 $Y=aX^b$（a と b は定数）が成り立つことが知られている[7]。そこで、樹幹解析供試樹木 15 本について、木質部乾燥重量と、樹高、幹周、枝張のほか、いくつかの形状寸法項目との関係を、相対成長式を当てはめ、実測値との相対関係を確認した。結果を表 3 に示す。

表3 樹木形状寸法項目と木質部乾燥重量の相関関係

	樹高	胸高直径	0.2m幹周	1.2m幹周	胸高断面積	枝張
ケヤキ (n=5)	$y = 0.1914x^{3.3086}$ $R^2 = 0.8243$	$y = 0.0437x^{2.8017}$ $R^2 = 0.9308$	$y = 7E-05x^{3.3785}$ $R^2 = 0.9865$	$y = 0.003x^{2.6432}$ $R^2 = 0.9833$	$y = 0.0614x^{1.4009}$ $R^2 = 0.9308$	$y = 0.5492x^{3.0362}$ $R^2 = 0.4873$
イチョウ (n=5)	$y = 0.0311x^{3.5998}$ $R^2 = 0.96$	$y = 0.0607x^{2.5625}$ $R^2 = 0.9451$	$y = 0.0027x2.4085$ $R^2 = 0.9185$	$y = 0.0035x^{2.5003}$ $R^2 = 0.9387$	$y = 0.0827x^{1.2813}$ $R^2 = 0.9451$	$y = 2.1212x^{2.2551}$ $R^2 = 0.8886$
プラタナス (n=5)	$y = 0.2439x^{2.7403}$ $R^2 = 0.8341$	$y = 0.1838x^{2.2557}$ $R^2 = 0.9868$	$y = 0.0009x^{2.8006}$ $R^2 = 0.9653$	$y = 0.0076x^{2.3955}$ $R^2 = 0.9788$	$y = 0.2414x^{1.1278}$ $R^2 = 0.9868$	$y = 1.5991x^{2.1605}$ $R^2 = 0.6279$
3樹種 (n=15)	$y = 0.0131x^{4.269}$ $R^2 = 0.6539$	$y = 0.0342x^{2.8603}$ $R^2 = 0.9568$	$y = 0.0003x^{2.9946}$ $R^2 = 0.9266$	$y = 0.0013x^{2.8297}$ $R^2 = 0.9551$	$y = 0.0484x^{1.4301}$ $R^2 = 0.9568$	$y = 1.7936x^{2.3015}$ $R^2 = 0.8142$

表 3 より、胸高直径など幹の太さに関わる形状が、いずれも高い相関を示していることがわかる。また、枝張はケヤキ、プラタナスでの相関が低く、樹高は個々の種では、良い相関が認められるが、3 樹種のデータでは相関が低くなっている（図 5）。一方、胸高直径では、各樹種、全樹木でも高い相関が見られる（図 6）。このような結果から、乾燥重量を推定する項目として、3 樹種に共通の形状寸法項目となりうるという点からは、幹の太さに関わる項目が適していると言える。

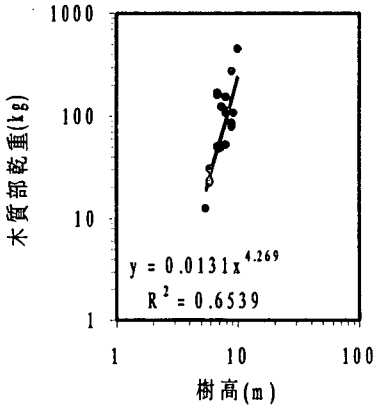


図5 樹高と木質部乾重の関係（3樹種）

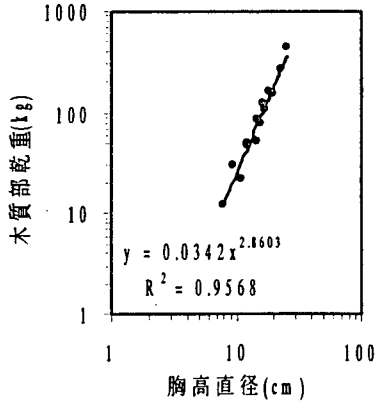


図6 胸高直径と木質部乾重の関係(3樹種)

4.4.2 樹幹解析データを用いた相関解析

前項において良い相関が得られた項目である樹高と胸高直径について、樹幹解析から得られた全ての値を用いて相対成長式を求めた。結果を表 4 に示す。両項目とも、各樹種、また 3 樹種の全データにおいても、高い相関が得られた。散布図の例として、3 樹種全データのものを図 7 および図 8 に示す。これらの式からは、特定の樹高あるいは胸高直径の樹木が、その大きさになるまでに蓄積した、木質部乾燥重量、すなわち CO_2 固定量の算出が可能である。しかし、この式か

ら、特定の樹高あるいは胸高直径の樹木が、一年間にどのくらい成長するかを明らかにするには、樹高、胸高直径の年間成長量を明らかにする必要がある。

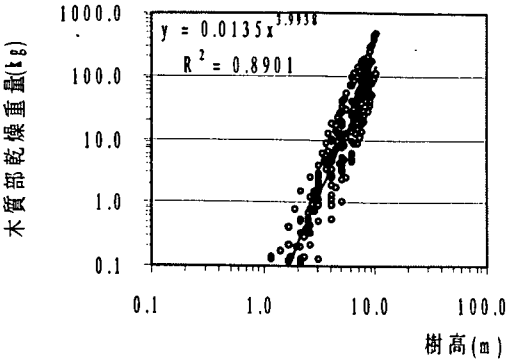


図7 樹高と木質部乾重の関係
(樹幹解析全データ)

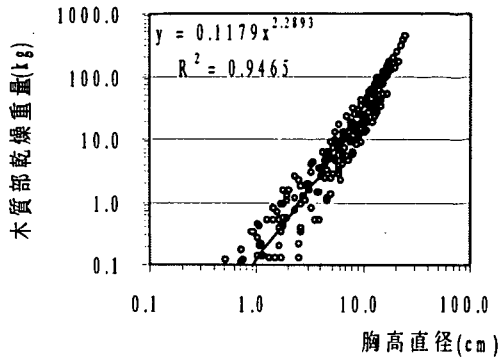


図8 胸高直径と木質乾重の関係
(樹幹解析全データ)

4.4.3 樹高・胸高直径と樹齢の相関関係

樹幹解析の全データを用いて、樹高と樹齢の関係を見たものが図 9、胸高直径と樹齢の関係を見たものが図 10 である。

図 9 より、樹高は樹種毎に樹齢と直線的な関係があると言える。しかし、3 樹種のデータを合わせみると、相関は低くなる。それに対して、図 10 からは、胸高直径と樹齢との直線関係は、3 樹種とも非常に近似したものとなっており、先の 15 樹木の解析からも示唆されたように、ここでも、一つの回帰式により、3 樹種について胸高直径と樹齢の関係を示すことができる。

表4 樹高・胸高直径と木質部乾燥重量の相対成長式
(樹幹解析全データ)

	樹高	胸高直径
ケヤキ	$y = 0.0192x^{4.1842}$ $R^2 = 0.9409$	$y = 0.1596x^{2.2961}$ $R^2 = 0.9657$
イチョウ	$y = 0.0128x^{3.5402}$ $R^2 = 0.9177$	$y = 0.0799x^{2.2494}$ $R^2 = 0.925$
プラタナス	$y = 0.0104x^{3.9664}$ $R^2 = 0.9257$	$y = 0.1271x^{2.155}$ $R^2 = 0.9631$
3樹種	$y = 0.0135x^{3.9938}$ $R^2 = 0.8901$	$y = 0.1179x^{2.2893}$ $R^2 = 0.9465$

さて、これらの関係からは、両項目とも一定の速度で成長をしているように見えるが、実際には、毎年の気候の変動などにより、各年の成長量は、違ったものとなる。また、樹齢によってもその成長速度に差があるものと思われる。ここでこの式が意味するものは、解析対象とした樹木のこれまでの成長を、平均的速度で表したものと解釈される。

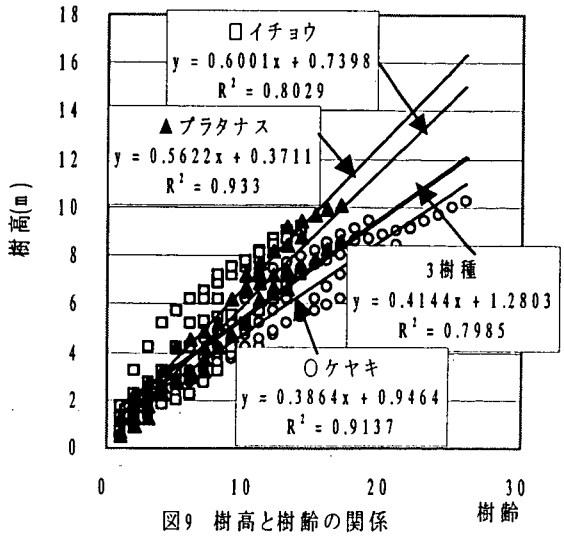


図9 樹高と樹齢の関係

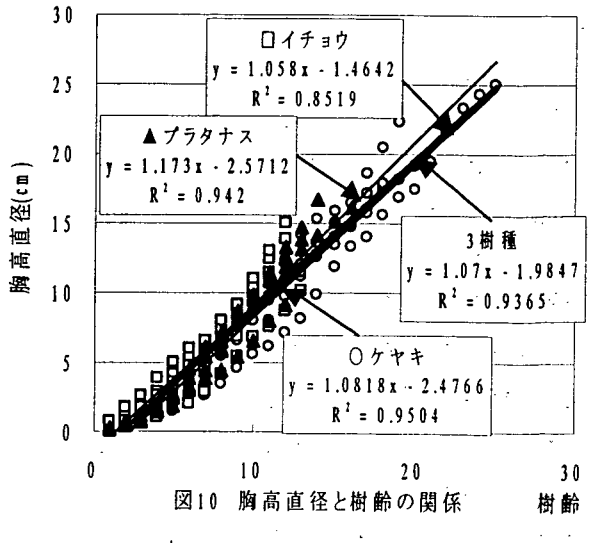


図10 胸高直径と樹齢の関係

4.4.4　CO_2 固定量の推定

以上の解析から、木質部乾重と樹高・胸高直径と樹齢の関係を整理すると次の式で表される。

$Y = a\{(X + c)^{b} - X^{b}\}$

Y：木質部乾燥重量　X：樹高（または胸高直径）

a、b：木質部乾燥重量と樹高（または胸高直径）との相対成長式から得られる定数

c：樹齢との回帰式から得られる樹高（または胸高直径）の年間成長量

ケヤキの樹高を例にして述べると、平均的な1本のケヤキが、これからの1年間に平均的な成長をするとした場合、期待される樹高成長量は、図9の回帰式（y=0.3864x + 0.9464）から、0.3864mである。樹高Xmのケヤキが1年間に成長すると期待される木質部成長量は、樹高X(m)のケヤキと、樹高X + 0.3864(m)のケヤキとの木質部乾重の差となり、表4のケヤキ樹高の相対成長式 $y=0.0192x^{1.1842}$ から、その差を求める式は、$Y = 0.0192\{(X + 0.3864)^{1.1842} - X^{1.1842}\}$ となる。同様にケヤキの胸高直径については、$Y = 0.1596\{(X + 1.0818)^{2.2961} - X^{2.2961}\}$ が得られる。これらの式を用いて、樹幹解析を行ったケヤキ5（樹高 7.0m、胸高直径 20.4cm）の木質部乾燥重量を算出すると、樹高からは 16.3kg/年，胸高直径からは 20.4kg/年という値が得られた。ちなみに 1.83 倍し CO_2 に換算すると、それぞれ、30.4kg/年、37.4kg/年となる。

5．おわりに

以上述べてきたように、CO_2 固定量算定の原単位となる、特定の樹高または胸高直径における樹木の年成長量（木質部乾燥重量）を算出した。しかしながら、この原単位については、わずかな樹種と比較的若齢の樹木に限定される、適応の拡大には、他の樹種や大木での解析が必要とされるほか、気候や地域の差による変化などの補足データが必要である。

また、都市内全域の植栽樹木の CO_2 固定量を算出しようとする場合、植栽樹木の樹種や大きさ、総本数をどのように把握するかが重要な問題であり、原単位設定も、測定が可能でなければ、その役割を果たし得ないこととなってしまう。本稿で検討した樹木単位の原単位の設定は、類似の成長特性を有する植物種の統合や、様々要因による差の簡単な補正方法などが整備されなければならないと考えている。

6．参考文献

1)藤原宣夫：COP4 報告-吸収源としての土地利用･森林に関する討議結果について-、土木技術資料 40-1、pp.68-71、1999

2)IPCC：Revised 1966 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories, Workbook(volume 2), pp.5.22, 1996

3)半田真理子ほか：道路緑化樹木の二酸化炭素固定に関する研究、土木研究所資料、3059 号、建設省土木研究所、1992

4)三浦伊八郎、西田吃二：木材の元素組成、「木材化学」、丸善出版、pp.35-38、1933

5)梶原幹弘：樹木の生長量の測定、「森林計測学」大隅眞一ほか共著、養賢堂、pp.118-138、1971

6)藤原宣夫、田中隆、木部直美：わが国の街路樹Ⅳ、土木研究所資料、3666 号、建設省土木研究所、1999

7)佐藤大七郎：陸上植物群落の物質生産Ⅰa－森林－、共立出版、1973

平成１１年度 土木研究所年度報告書
＜ 自然環境の保全及び創出技術に関する研究 ＞

都市気候の動植物への影響に関する調査 ―― 45
都市における自然環境保全の効用に対する住民の評価に関する研究 ―― 49
都市の水域における環境条件と植物相及び鳥相との関係把握 ―― 55
都市の水域における生態系ネットワークの計画手法の開発 ―― 57
都市の水域における植物生育及び鳥類生息空間の保全・創出手法の開発 ―― 59
建設事業が水域の生態系に及ぼす影響の予測技術の開発 ―― 61
広域的生態ネットワーク計画に関する研究 ―― 67
ビオトープのネットワーク化計画に関する研究 ―― 69
大規模公園におけるビオトープの計画・保全手法に関する調査 ―― 71
ダム湖における生物ふれあい空間の整備技術の開発 ―― 73
都市域での住民参加による生物多様性回復手法に関する調査 ―― 75
生態情報の統合化及び活用に関する研究 ―― 81
道路による動物の生息域への影響低減技術の調査研究 ―― 85

試験研究費

8.1 都市気候の動植物への影響に関する調査

研究期間：平11～平14

担当：緑化生態研究室

【要旨】ヒートアイランドは、エネルギー効率や居住環境の悪化から問題とされることが多いが、気温の上昇は生物生態へも何らかの影響を与えているものと考えられる。ここでは、気象庁が1950年代から観測している生物季節データを用いて、ヒートアイランドが生物季節に与える影響を調査した。対象都市は、50年代から現在までに急激な人口増加を示した都市とし、アメダスデータから算出したヒートアイランド強度の経年変化と生物季節の経年変化を比較した。その結果、ヒートアイランドが発生している都市では、イチョウ、カエデの紅葉開始日が遅れていることが確認された。

1. 目的

ヒートアイランドは、エネルギー効率や居住環境の悪化から問題とされることが多いが、気温の上昇は生物生態へも何らかの影響を与えているものと考えられる。ここでは、気象庁が1950年代から観測している生物季節の経年変化と、アメダスデータから算出したヒートアイランド強度の経年変化を比較することにより、ヒートアイランドが生物季節に与える影響を確認することを目的とした。

2. 方法

2.1 対象とする生物季節観測種目

理科年表平成11年[1]に記載される生物季節観測種目16種（表1）の中から、安定的な観測精度を有し、かつ、ヒートアイランド現象に特徴的な冬季の気温上昇により、影響を受け安いと考えられる種目として、次の4種目を選定した。具体的には、動物に関する種目は、観察地などが一定でないことから除外し、観察木が設定される植物に関する種目とした。また、初春（晩冬）の気温上昇か、晩秋（初冬）の気温下降に関連すると予想される種目から、その生理的なメカニズムについての研究が比較的進んでいる種目とした。

① ウメ開花日
② ソメイヨシノ開花日
③ イチョウ黄葉日
④ イロハカエデ紅葉日

表1 生物季節観測項目一覧（理科年表記載分）

No.	観測項目
1	ウメ開花日
2	ウグイス初鳴日
3	タンポポ開花日
4	ツバメ初見日
5	ソメイヨシノ開花日
6	ソメイヨシノ満開日
7	モンシロチョウ初見日
8	ヤマツツジ開花日
9	ノダフジ開花日
10	ホタル初見日
11	サルスベリ開花日
12	アブラゼミ初鳴日
13	ススキ開花日
14	イチョウ黄葉日
15	イロハカエデ紅葉日
16	モズ初鳴日

なお、観測データは1953～98年のものを、（財）気象業務支援センターより入手し用いた。

2.2 調査対象都市

北海道、奄美、沖縄では、生物季節観測種目に違いがあるため、本州、四国、九州の観測地点（理科年表平成11年[1]記載）の中から、ヒートアイランド現象が発生する可能性が大きい地点（都市）として、次の4都市を選定した。具体的には、我が国では、人口30万人を越える都市において、ヒートアイランド現象が顕著になることが報告されているため[2]、現在の人口が30万人以上でかつ、生物季節観測開始当初の1950年代からの人口増加が著しい都市とした（表2）。

① 仙台

② 新潟

③ 宇都宮

④ 鹿児島

2.3 ヒートアイランド強度の算出方法

冬季（11月～3月）の最低気温の平均値を対象都市の市街部のアメダスポイントと、その近傍にあり、かつ、畑・水田などの農村的土地利用内に位置するアメダスポイントで比較し、その差を持ってヒートアイランド強度とした。アメダスポイントの一覧を表3に示す。アメダスポイントの周辺土地利用の確認は、環境庁作成の5万分の1植生図を利用した。

なお、算出に用いたデータの期間は1980～97年である。

表2 生物季節観測地点の所在する市町の人口変化（単位：千人）

観測地点名	1955	1998	増減	観測地点名	1955	1998	増減
青森	198	297	99	鳥取	107	146	39
秋田	190	311	121	浜田	55	47	△8
盛岡	143	283	140	京都	1934	1390	△544
山形	184	249	65	広島	485	1099	614
仙台	380	965	585	神戸	986	1448	462
福島	201	286	85	和歌山	265	396	131
新潟	301	485	184	奈良	126	362	236
金沢	300	437	137	松山	241	467	226
長野	253	356	103	高松	229	331	102
宇都宮	227	437	210	高知	185	323	138
福井	183	250	67	福岡	202	338	136
高山	50	66	16	大分	200	430	230
前橋	195	283	88	長崎	349	428	79
水戸	128	244	116	鹿児島	314	542	228
名古屋	1421	2090	669	宮崎	157	301	144
甲府	155	194	39				
銚子	91	82	△9				
津	113	160	47				
静岡	316	471	155				
東京*	6969	7854	885				

* 区部人口を記載。

注）1955年人口は、昭和30年国勢調査結果を、昭和55年10月1日の境域により再編したものを、千人単位に四捨五入した（出典：「国勢調査集大成 人口統計総覧」、総務庁統計局監修、東洋経済新報社編集、1985、東洋経済新報社）。1998年人口は、平成10年3月31日住民基本台帳の記載の人口を千人単位に四捨五入した（出典：「平成10年版 全国市町村要覧」、市町村自治研究会編、1998、第一法規）。

3. 結果と考察

3.1 生物季節の経年変化

対象都市別に生物季節の経年変化をグラフ化したものを図1に示す。

ヒートアイランドによる気温変化は、単純に考えた場合、春開花の2種目については、開花を早める方向に、秋紅葉の2種目は遅くなる方向に変化をもたらすことが期待される。

図1からは、秋紅葉の2種目については、いずれの都市においても、次第に紅葉開始時期が遅くなってきている傾向がみられ、鹿児島では、近年のカエデ紅葉が特に遅くなっている。

表3 アメダスポイント一覧

観測地点	比較地点	所在地住所	設置箇所
秋田	秋田	秋田市山王七丁目1-4	秋田地方気象台
	大潟	南秋田郡大潟村大潟6	秋田県立農業短期大学農場
仙台	仙台	仙台市宮城野区五輪1-3-15	仙台管区気象台
	白石	白石市福岡長袋字湯殿山13	－
新潟	新潟	新潟市幸西4-4-1	新潟地方気象台
	巻	西蒲原郡巻町字巻鎧潟甲12207	新潟農業大学校
宇都宮	宇都宮	宇都宮市明保野町1-4	宇都宮地方気象台
	真岡	真岡市下籠谷361-2	県立真岡北陵高校農場
鹿児島	鹿児島	鹿児島市東郡元町4-1	鹿児島地方気象台
	東市来	日置郡東市来町湯田1678	鹿児島県蚕業試験場

一方、春開花の2種目はいずれの都市においても、期待される方向への変化の傾向は認められず、サクラ開花は比較的安定した開花時期を維持している。また、ウメ開花については、年毎の変動が大きい。

サクラは、秋の日照時間の短縮により花芽を形成し、休眠に入る。そして冬季の低温により覚醒し、春の温度上昇により花芽の成長、開花に至る。この覚醒と成長は連動しており、覚醒の程度は低温の程度に影響され、強い温度による覚醒は、その後の花芽の成長を早め、春の気温上昇が小さな段階で開花に至る。逆に、弱い低温による覚醒は、花芽の成長を遅くし、気温が十分に上昇しなければ開花に至らない[3]。したがって、ヒートアイランドによる冬季の気温上昇は、覚醒を浅くし、開花を遅らせる方向に働くが、一方では、晩冬から初春の気温上昇は花芽の成長を促進する方向に働くため、開花時期への影響は直接的には、現れにくいと考えられる。

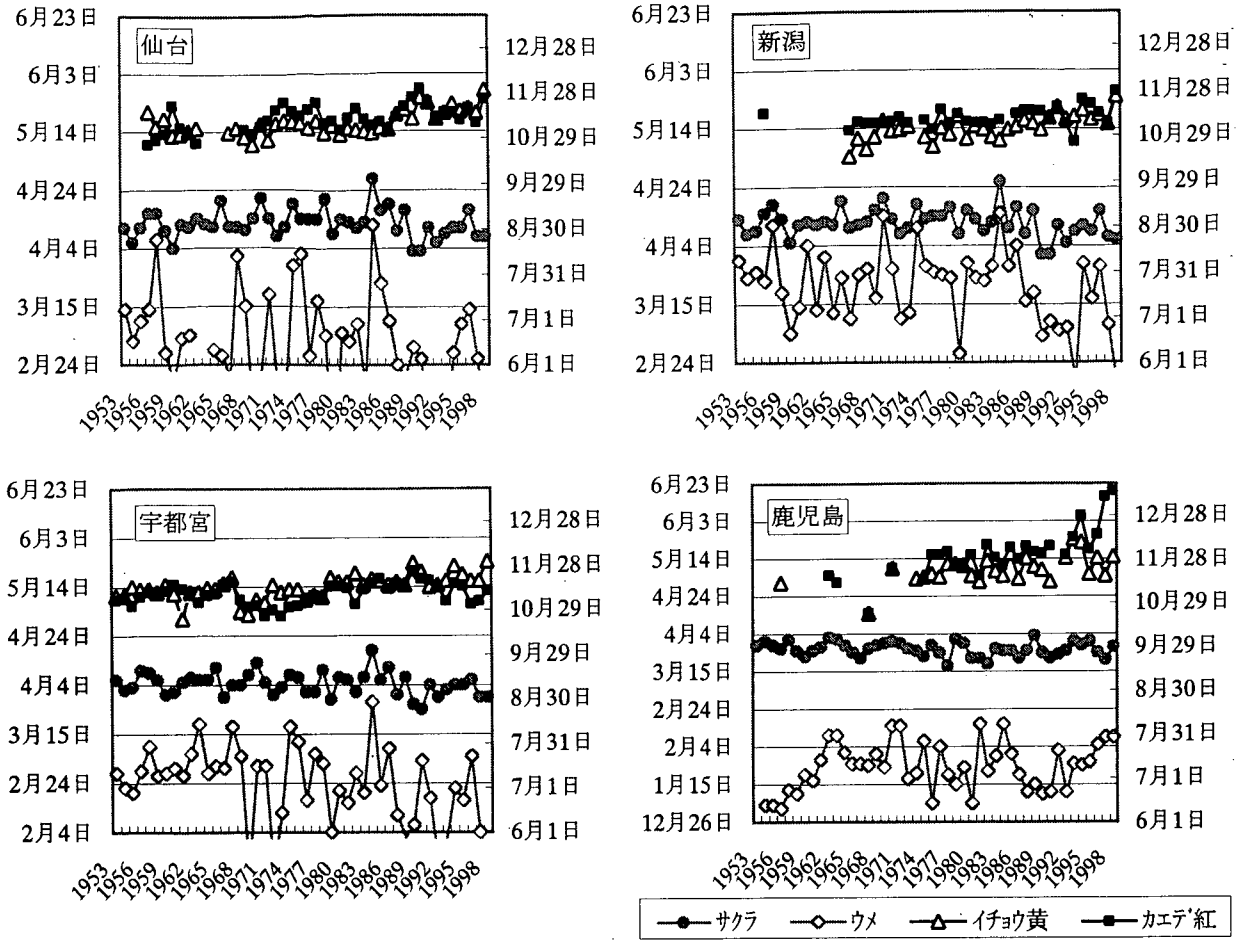


図1 生物季節の経年変化

ウメについても、休眠と覚醒の生理的メカニズムが存在するが、覚醒は、花芽成長には連動せず、開花のみに連動する[4]。そのため、ウメの花芽は覚醒に関わらず、成長可能な高温があれば成長を続ける。したがって、ヒートアイランドの発生は単純に開花を早めると考えてよいと思われるが、ヒートアイランドによる気温上昇よりも、毎年の気温変動の方が大きいため、ヒートアイランドの影響は捕らえにくいと考えられる。

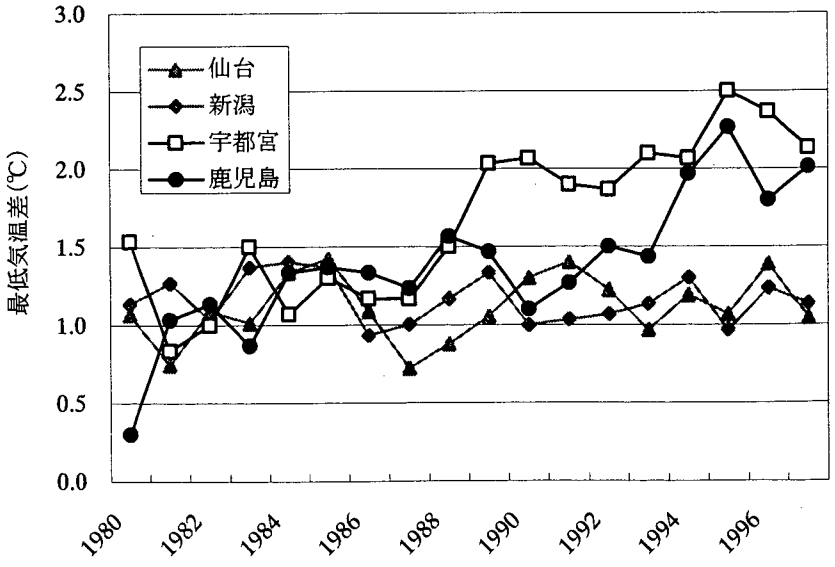


図2 調査対象都市のヒートアイランド強度

3.2 ヒートアイランド強度算出結果

各都市のヒートアイランド強度算出結果を図2に示す。同図より、仙台と新潟については、1980年代より1℃程度の最低気温の上昇が続いていることが解る。また、宇都宮と鹿児島については、80年代から90年代

にかけ、ヒートアイランド強度が増加している。宇都宮では 90 年代に入り 2℃程度の最低気温の上昇が続いており、鹿児島では、近年に至り、最低気温の上昇が 2℃程度に達している。

3.3 生物季節とヒートアイランド強度の比較

ヒートアイランドの進展が認められる鹿児島と宇都宮について、ヒートアイランド強度と秋紅葉の 2 種目の経年変化を併記したものが図 3.1 および図 3.2 である。

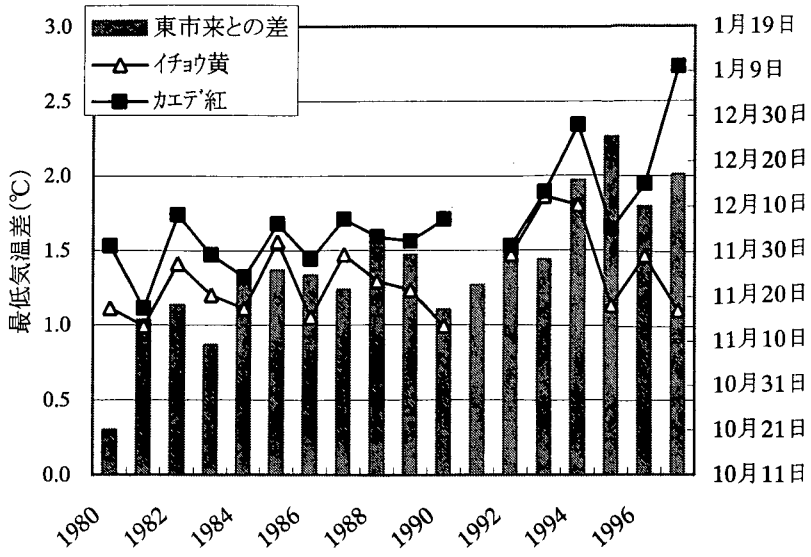


図3.1 生物季節とヒートアイランド強度の比較(鹿児島)

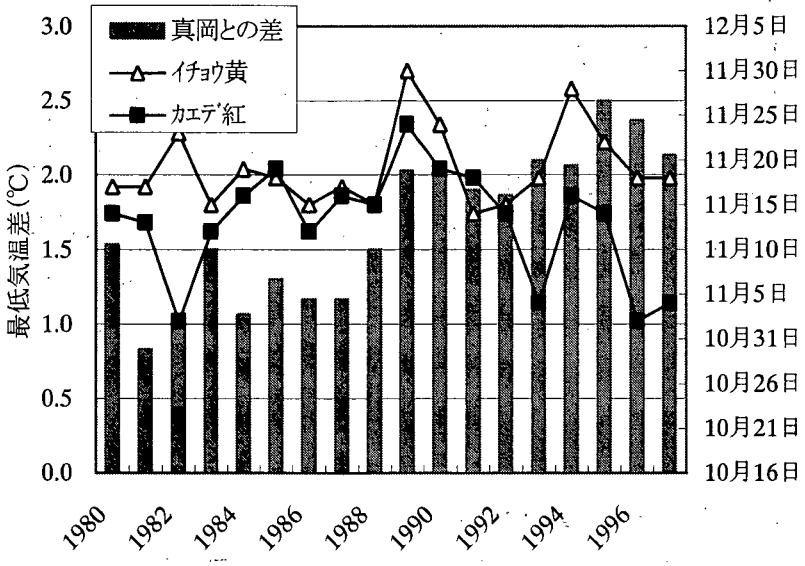


図3.2 生物季節とヒートアイランド強度の比較(宇都宮)

鹿児島については、両者が連動し推移する傾向が見られ、特にカエデで顕著である。しかし、宇都宮については、両者の連動は明らかではない。鹿児島のように温暖で落葉広葉樹の分布南限に近い地域において、ヒートアイランドの影響が現れるのではないかと思われるが、今後の検討が必要とされる事項である。

4. 今後の課題

今回の調査では、ヒートアイランドが鹿児島での紅葉の開始日に影響を与えていることが確認された。しかし、ここでの結果は、ヒートアイランドが生物季節に与える影響の一端を垣間見たに過ぎないと考えている。ヒートアイランドの影響を明確に把握するためには、対象都市の地域性、各年の平均気温の変動、生物の生理的メカニズムとの関連などの要素について、さらに解析を進める必要があると言える。

(藤原)

【参考文献】

1) 国立天文台編：理科年表平成 11 年、丸善、pp.274-275、1999

2) 福岡義隆：都市の規模とヒートアイランド、地理、28(12)、pp.34-42、1983

3) 永田洋、万木豊：生物季節に関する研究（Ⅰ）－なぜサクラは春に咲くのか－、森林分化研究、第 3 巻、pp.77-93、1982

4) 永田洋、万木豊：生物季節に関する研究（Ⅲ）－なぜウメは早春に咲くのか－、森林分化研究、第 5 巻、pp.163-175、1984

試験研究費

4.1.2　都市における自然環境保全の効用に対する住民の評価に関する研究

研究期間：　平9～平13

担当：緑化生態研究室

【要旨】

本研究は、自然的緑地の効用と保全すべき緑地の水準を求めるため、生物とのふれあい等、自然環境の様々な効用に対する住民の評価と、自然的緑地の現況との関係を明らかにすることを試みたものである。11年度は、関係解明への中間段階として、自然的緑地の現況に影響されると推測された「住民の生物とのふれあい頻度」と「ふれあい満足度」との相関関係について、東京都内6地区でのアンケート結果を基に解析した。その結果、ふれあい頻度を因子分析することにより求められた各地区の第一因子、第二因子の因子得点と、住民のふれあい満足度との間に有意な相関関係が認められた。

1.　研究目的

住民の生物とのふれあい頻度とふれあい満足度との相関関係を求めることを目的とした。

2.　研究方法

2.1　アンケート調査

平成9年度にアンケート調査を行った東京都内の6地区（図2）を対象として、住民アンケートを行った。アンケートでは「回答者の年齢、性別、職業、居住年数などの属性」のほか、次のような設問項目を設定した。

a.　住まいの周辺のみどりの多さに対する満足の程度
b.　住まいの周辺で目立つ緑の種類
c.　住まいの周辺での環境問題の有無、みどりの減少や環境悪化の有無
d.　自然保護への関心の程度
e.　生きものを保全する必要性の大きさ
f.　生きものとのふれあいによるやすらぎの程度
g.　虫取り・魚取りや生きものの観察経験の有無
h.　生きものとのふれあいの形態別頻度
i.　生きものとのふれあいの多さに対する満足の程度
j.　生きものの住みかを保全または創造する必要性の大きさ

以上の項目のうち、i、jとの関係が認められたa、b、d、e、f、hについて述べる。

これらの設問の方法を表1に示す。

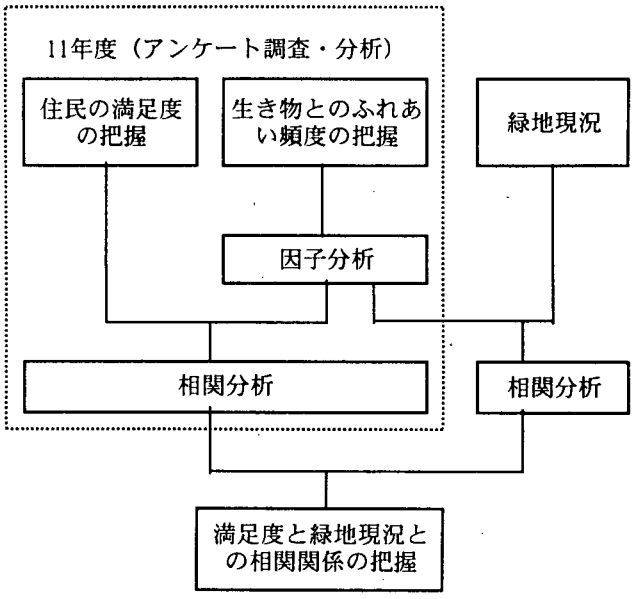


図1　研究の全体概要

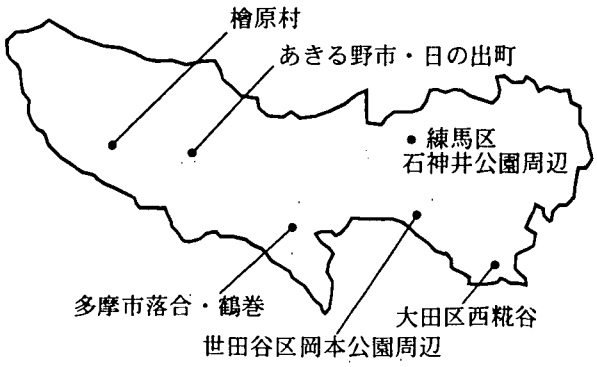


図2　調査対象地位置図

表1　設問の方法

設問項目	質問	選択肢
i. 生き物とのふれあいの多さに対する満足感	現在の「自然の生き物」とのふれあいの多さに満足か。	**①満足だ**　**②まあまあ満足だ** ③どちらとも言えない　④やや不満だ ⑤不満だ　⑥わからない
j-1. 生き物の住みかを保全する必要性	必要だと思うか。	**①必要だと痛感する**　②必要だと思う ③必要だと少しは思う　④どちらとも言えない ⑤思わない　⑥守ほどの住みかがない ⑦わからない
j-2. 生き物の住みかを創造する必要性	必要だと思うか。	**①必要だと痛感する**　②必要だと思う ③必要だと少しは思う　④どちらとも言えない ⑤思わない　⑥わからない
a. 住まいの周辺での緑の多さに対する満足度	住まいの周辺の緑の多さに満足か。	**①満足だ**　②まあまあ満足だ ③どちらとも言えない　④やや不満だ ⑤不満だ　⑥わからない
b. 住まいの周辺で目に付く緑の種類	目に付くことが多い順番に1～5の番号を付けよ。	住宅の緑　街路樹　公園　神社・寺 斜面・崖　川　池　田畑 原っぱ　山　林　森 その他（具体的には　）
d. 自然保護への関心	関心があるか。	**①おおいに関心がある**　②少し関心がある ③どちらとも言えない　④あまり関心がない ⑤まったく関心がない　⑥わからない
e. 自然の生き物を保全する必要性	必要だと思うか。	**①必要だと痛感する**　②必要だと思う ③必要だと少しは思う　④どちらとも言えない ⑤思わない　⑥わからない
f. 生き物とのふれあいによるやすらぎ度	生き物とふれあうと心が安まると思うか。	**①そう思う**　②ややそう思う ③どちらとも言えない　④あまりそう思わない ⑤そう思わない　⑥わからない
h. 生き物とのふれあいの形態8種類（欄外注参照）についての頻度	どれぐらいの頻度でふれあいを経験しているか。	①毎日　②毎週1回以上 ③毎月1回以上　④毎年1回以上 ⑤数年に1回以上　⑥まったくない ⑦わからない

注1）分析にはゴチック体の回答の割合を用いた。ただし、hについては注3）のとおり。

注2）8種類のふれあいとは、「生き物を見る」「鳥や虫の音を聞く」「生き物の形や生活を観察する」「自然の生き物に水や餌をやる」「普段見ない生き物に出会う」「生き物について詳しい人に話を聞く」「虫取り・魚釣りをする」「自然の木や草を採る」である。

注3）hの分析に用いた値は、「生き物を見る」「鳥や虫の音を聞く」は①毎日。「生き物の形や生活を観察する」「自然の生き物に水や餌をやる」は①毎日および②毎週1回以上、「普段見ない生き物に出会う」「生き物について詳しい人に話を聞く」「虫取り・魚釣りをする」「自然の木や草を採る」は①毎日～④毎年1回以上の回答の割合の合計値。

表2　回収結果

	発送数	返送数	配達数	回収数	回収率(%)	回収票数
大田区	500	0	500	136	27.2	183
世田谷区	500	1	499	169	31.9	218
練馬区	500	0	500	186	37.2	224
多摩市	500	0	500	191	38.2	251
あきる野市	500	7	493	181	36.9	240
檜原村	500	24	476	151	31.9	202
合計	3,000	32	2,968	1,014	—	1,318

アンケートは、住宅地図から無作為に抽出した住民を対象とした。一通の封筒にはアンケート票を3通入れ、家族に異なる世代の構成員があるときは、世代毎に回答するよう求めた。アンケート回収結果を表2に示す。

2.2　分析方法

表3　分析に用いた回答結果の呼称・回答結果・分析結果

呼称	回答結果（%）						分析結果		
	大田区	世田谷区	練馬区	多摩市	あきる野市	檜原村	⑨ふれあい満足度との相関係数	⑩-1住みかの保全必要度との相関係数	⑩-2住みかの創造必要度との相関係数
⑧ふれあい満足度	20	58	67	55	68	80			
⑩-1住みかの保全必要度	38	62	72	53	55	40			
⑩-2住みかの創造必要度	27	31	32	22	25	18			
①緑の満足度	1	47	50	49	46	85	**0.94	0.15	-0.48
④自然保護への関心度	34	55	53	41	45	47	0.68	0.75	0.42
⑤生き物の保全必要度	39	50	50	37	39	31	-0.09	*0.83	**0.96
⑥ふれあいによるやすらぎ度	60	57	65	51	55	45	-0.43	0.57	*0.92
②目に付く緑の種類									
住宅の緑	70	72	66	80	43	16	-0.64	0.34	0.57
街路樹	68	51	48	90	40	2	-0.65	0.16	0.31
公園	91	79	92	90	20	2	-0.64	0.38	0.65
神社・寺	82	45	63	16	26	23	-0.69	0.02	0.65
斜面・崖	2	32	4	45	10	49	0.46	-0.24	-0.66
川	37	45	48	4	56	63	0.45	-0.02	-0.03
池	0	1	57	11	1	0	0.21	0.73	0.52
田畑	1	52	23	4	81	50	0.64	0.16	-0.07
原っぱ	5	6	4	30	36	11	0.25	-0.05	-0.45
山	0	4	0	12	78	85	0.63	-0.37	-0.70
林	0	18	18	26	27	60	*0.87	-0.15	-0.70
森	0	13	13	5	20	48	0.78	-0.23	-0.58
⑦ふれあいの頻度									
第一因子の得点	-1.823	0.822	1.353	-0.409	-0.062	0.083	0.78	*0.83	0.39
第二因子の得点	-1.028	-0.626	-0.809	0.023	0.897	1.682	0.70	-0.37	*-0.82
生き物を見る	47	63	64	61	58	71	*0.91	0.29	-0.30
鳥や虫の音を聞く	34	63	65	65	73	74	*0.97	0.37	-0.32
形や生活を観察する	19	32	34	24	24	24	0.48	*0.91	0.64
水や餌をやる	26	34	30	20	21	23	-0.11	0.50	0.80
普段見ない生き物に出会う	30	42	42	37	39	38	0.77	*0.82	0.33
詳しい人に話を聞く	26	27	26	26	21	29	0.06	-0.23	-0.20
虫取り・魚釣りをする	36	30	21	30	38	42	0.05	*-0.84	-0.75
木や草を採る	35	36	34	36	44	52	0.62	-0.48	-0.77

注1）*は危険率5%、**は危険率1%で有意であることを示す（以下の図表において同じ）。

各地区の「i.ふれあいの多さに対する満足の程度」および「j.住みかを保全または創造する必要性の大きさ」の集計値（後に説明）とその他の要素の集計値、樹木に覆われた土地の割合（以下「樹木地率」という）との相関関係の有無を求めた。また、「h.ふれあいの形態別頻度」については、各地区の集計値を用いて因子分析を行い、得られる各地区の因子得点についても、i、jとの相関関係の有無を求めた。なお、地区数が6と少ないため、1地区のみの変数が他と極端にかけ離れた値をとった場合、考察に用いるのに適しない高い相関係数が算出される。このため、このような相関係数に基づいて考察することがないよう散布図を作成し変数の値の分布を確認した。

分析に用いた集計値は、「各段階の回答の割合と重みの積の和」（たとえば5段階の設問で1～5の回答がそれぞれ30、30、20、10、10%であるならば、和は1×0.3＋2×0.3＋3×0.2＋4×0.1＋5×0.1＝2.4）である。

この「集計値」については、上から何段階目までの回答の割合の合計（以下「回答率という」を用いれば、各地区の回答の特質が最も良く表れるかということが問題になる。そこで、1段階目のみの回答率、2段階目までの回答率、3段階目までの回答率、・・・・・について、「その値の全地区の平均値」との差の絶対値を各地区毎に計算し、全地区の絶対値の合計が最も大きくなる段階を採用することとした。以下本稿で用いる各設問の回答の集計値を表3最左欄のように呼ぶことにする。

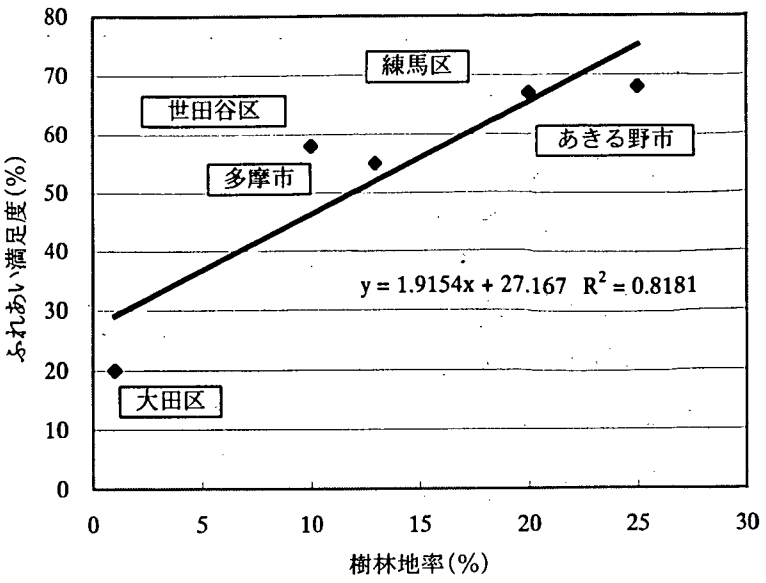


図3 樹林地率とふれあい満足度との関係

3. 結果および考察

3.1 回収結果および回答者の属性

回答者は、63%が男性、37%が女性だった。年齢は、30才未満が16%、30～59才が48%、60才以上が36%であり、高年齢者の割合は、山間地の檜原村と都心に近い練馬区で高かった。職業は会社員が30%で最も多く、農林業は3%（あきる野市2%、檜原村17%）であった。

なお、以下の分析に用いた集計値は表3に示す。

3.2 樹木地率との相関関係

「ふれあい満足度」と樹木地率との間には、有意な正の相関が見られた(図3)。樹木地率の高い地域では、ふれあい満足度が高くなると考えられる。

しかし、「住みかの保全必要度」「住みかの創造必要度」とは有意な相関が得られなかった。

3.3 ふれあいの形態別頻度に関する因子分析の結果

「ふれあいの形態別頻度」の因子分析の結果を表4、5、6に示す。また、第一因子、第二因子の得点の分布を図4に示す。

固有値が1以上の因子は第二因子までで、累積寄与率は73%であった。

第一因子は「ふだん見ない生き物に出会う」「生き物の形や生活を観察する」の負荷が大きく、「虫取り・魚釣りをする」の負荷が小さかった。また、得点は練馬区、世田谷区が大きかった。

既往の調査結果からは、「ふだん見ない生き物に出

表4 ふれあい頻度の因子分析の固有値

因子	固有値	寄与率	累積寄与率
第一因子	3.3345	0.4168	0.4168
第二因子	2.5274	0.3159	0.7328
第三因子	0.8424	0.1053	0.8380

表5 ふれあい頻度の因子分析の因子得点

地区	第一因子	第二因子
大田区	-1.8229	-1.0282
世田谷区	0.8216	-0.6261
練馬区	1.3527	-0.8095
多摩市	-0.4090	0.0226
あきる野市	-0.0620	0.8969
檜原村	0.0828	1.6816

表6 ふれあい頻度の因子分析の因子負荷量

変数名	第一因子	第二因子
生き物を見る	0.7304	0.5843
鳥や虫の音を聞く	0.6198	0.6888
形や生活を観察する	0.9479	-0.2752
水や餌をやる	0.5074	-0.5596
普段見ない生き物に出会う	0.9484	0.1318
詳しい人に話を聞く	0.1888	0.0372
虫取り・魚釣りをする	-0.5676	0.6804
木や草を採る	-0.0597	0.9171

会う」ということが、緑地において多くの人に楽しみを感じさせ、生き物に対する関心を高める可能性が大きいと推測される。また、「生き物の形や生活を観察する」頻度も高いというのは、関心が高いことの表れと考えられよう。このため、第一因子は、「自然の生きものに対する関心と関係するふれあい行動の頻度を代表する因子」ではないかと推測された。なお、第一因子の各地区の得点は、「自然保護への関心度」と正の相関を持っており（相関係数0.96、危険率１％で有意）、このことはこの推測の正しさを示す傍証ではないかと考えられた。

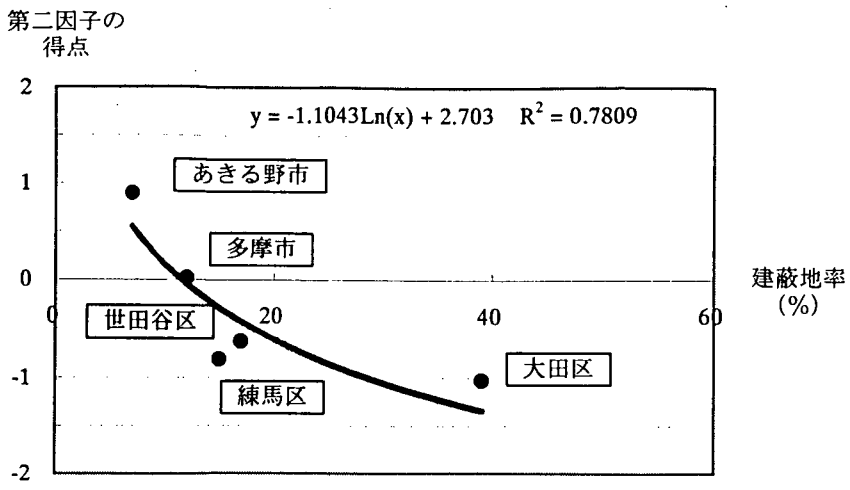


図4　建蔽地率と第二因子の得点との関係

第二因子は、「自然の木や草を採る」の負荷が大きく、「餌をやる」の負荷が小さい。「自然の木や草を採る」とは山菜採り等と推測されるが、このような行為が頻度高く行われるのは農山村の環境が多く残っている地区と推測される。また、「餌をやる」の頻度が高くなるのは、鳥などを呼ぶのに餌をやる必要性が高い市街地内であると推測される。一方、各地区の得点は、都市化が進んでいない地区ほど高い。このことから、第二因子は「都市化が進んでいない地区で良く行われるふれあいの頻度」を代表する因子ではないかと考えられる。また、檜原村を除く5地区では、第二因子の得点は、地区の建蔽地率（全地区のうち建築物で覆われた面積の割合）と負の相関が見られ（図4）、第二因子の変動要因は「建蔽地率、もしくはそれを指標とする都市化に伴う土地利用の変化の結果」ではないかと推測される。

3.4　ふれあい満足度・住みかの保全必要度・創造必要度とその他の要素との相関関係

「ふれあい満足度」との間に有意な相関関係が見られたのは、「緑の満足度」である。「緑みどりの満足度」が高い地区ほど「ふれあいの満足度」も高いと考えられるだろう。

また、目に付く緑の中では「林」の回答率のみが有意な正の相関関係が見られ、ここでも樹林地の存在と「ふれあい満足度」との間に関係があるのではないかと推測される。

表7　ふれあい満足度とふれあい頻度の因子得点を用いた重相関分析の結果

重回帰式

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	T値	危険率	判定	標準誤差	偏相関	単相関
第一因子の得点	13.2	0.71	198.4	14.0	0.0008	**	0.94	0.99	0.74
第二因子の得点	12.8	0.66	175.9	13.3	0.0009	**	0.96	0.99	0.71
定数項	57.8		3785.6	61.5	0.0000	**	0.94		

分散分析表

要因	標準平方積	自由度	平均平方	F値	危険率	判定
回帰変動	2102.1	2	1051.1	198.7	0.0006	**
誤差変動	15.5	3	5.3			
全体変動	2118.0	5				

表8　各要素とふれあい頻度の因子得点との間に認められた相関関係

要素	相関関係
①緑の満足度	両因子との重相関関係（重相関係数0.91、危険率５％で有意。ただし、第一因子との相関が存在する危険率は5.2％）
④自然保護への関心度	第一因子との単相関関係（相関係数0.96、危険率1％で有意）
⑤生き物の保全必要度	両一因子との重相関関係（重相関係数0.93、危険率5％で有意）
⑥ふれあいによるやすらぎ度	第二因子との単相関関係（相関係数0.84、危険率5％で有意）
⑧ふれあい満足度	両一因子との重相関関係（重相関係数0.99、危険率1％で有意）
⑩-1住みかの保全必要度	第一因子との単相関関係（相関係数0.83、危険率5％で有意）
⑩-2住みかの創造必要度	第二因子との単相関関係（相関係数-0.81、危険率5％で有意）

「ふれあい満足度」と「ふれあいの頻度の因子得点」との間に有意な単相関関係は見られなかったが、有意で顕著な重相関関係が見られた（表7）。前述のふれあい頻度の因子に関する考察結果にしたがうならば、生き物の保全に対する関心が高くなるような環境を持った地区ほど、また、都市化が進んでいない地区ほど、ふれあい満足度が高まる可能性があるということになるだろう。

「住みかの保全必要度」と有意な相関係数が得られたのは、「生き物の保全必要度」である。これは、「生き物に対する保全意識」の強いところで「生き物の住みかに対する保全意識」も強くなるためであろう。また、「住みかの保全必要度」はふれあい頻度の第一因子の得点と有意な正の相関関係があった。第一因子は、「生き物の保全に対する関心と関係するふれあい行動の頻度を代表する因子」と推測されており、「生き物の保全に対する関心」は「住みかの保全意識」により高まるのではないかと思われる。

「住みかの創造の必要度」と有意な正の相関関係が見られたのは「生き物の保全必要度」「ふれあいによるやすらぎ度」である。また、ふれあい頻度の第二因子の得点とは負の相関関係が見られた。第二因子は「都市化の進んでいない地区で良く行われるふれあいの頻度」を表す因子と推測されており、ふれあいの少ない都市化の進んだ地区では、住民は生き物の保全の必要性やふれあいの必要性をより強く感じるようになり、住みかの創造が必要だという意識が高まるのではないかと考えられる。

3.5　要素間の相互関係

第一因子、第二因子の因子得点は、「ふれあい満足度」「住みかの保全必要度」「住みかの創造必要度」のほか、「緑の満足度」「自然保護への関心度」「生き物の保全必要度」「ふれあいによるやすらぎ度」との間にも表8のような相関関係が見られた。この結果は、同表の7つの要素の変動のかなりの部分が「これら2因子の変動の要因」により統一的に説明される可能性を示している。これらの要素が何かを明らかにすることは今後の課題である。

（田中、藤原）

建設技術研究開発経費

1.2　都市の水域における環境条件と植物相及び鳥相との関係把握

研究期間：平8～平11年
担当：緑化生態研究室

【要旨】

都市域にある湿地を生物の住み場所として保全、整備する際の基礎的知見を得ることを目的に、千葉県と茨城県にまたがる利根川沿いの地域を事例地として、湿地の経時変化及び分布と鳥類生息状況の関係に関する調査を実施した。湿地の経時変化については、古地図及び空中写真の判読から、1880年（明治期）、1947年（第2次世界大戦後）、1974年（高度成長期）、1989年（現在）の4時期について、河川、湖沼、ため池などの湿地の分布を図化し、面積、箇所数や水性植物帯（抽水・浮葉・沈水植物帯の面積）などの変化を調べた。調査の結果、湿地の開放水面やヨシ原などの抽水植物帯、沈水・浮葉植物帯の面積ともに、明治期（1880年）の状態から大幅に減少したことがわかった。また、抽水植物帯については、面積の減少とともに、個所数が増加しており、湿地植生帯の分断化・孤立化が進行したことが伺われた。また、湿地の総面積と、そこで繁殖する水辺鳥類の種数の間には、$r^2=0.65$程度の相関があった。このことから、都市域において減少しつつある大面積の湿地が、水辺鳥類の保全にとって重要であることが示唆された。

1．研究目的

本研究は、都市域にある湿地を生物の住み場所として保全、整備する際の基礎的知見を得ることを目的に、湿地の環境条件とそこに生息する鳥類との関係を把握することを目的として行われたものである。

2．研究方法

2．1　湿地の変遷状況に関する調査

千葉県、茨城県にまたがる利根川沿いの手賀沼から印旛沼にかけての19.75 x 22.25 km、面積439.4k㎡、2万5千分の1地形図6枚分に相当する地域（取手、龍ヶ崎、白井、小林、流山、松戸）をモデル地域として、古地図（1880年内務省作成の迅速図）、空中写真（1947年、1974年、1989年の3時期）の読み取りにより湿地の形状・面積の変遷を把握した。

2．2　鳥類の生息状況と湿地の分布との関係解析

既存の調査資料の解析及び鳥類・植生の現地調査から、鳥類の生息状況と湿地の分布との関係を解析した。

3．研究結果及び考察

3．1　湿地の変遷

図1は調査地域における4時期の湖沼の面積（左）と個所数（右）の変化を、図2は同様にヨシ原などの抽水植物帯の変化を示したものである。両者とも明治期（1880年）の状態から大幅に減少していることがわかる。また、抽水植物帯については、面積の減少とともに、個所数が増加しており、分断化・孤立化が進行したことが伺われる。

図3は、本調査地内で最も規模の大きな湿

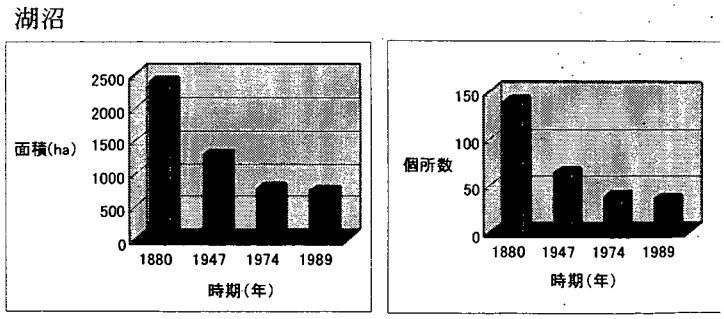


図1　4時期の湖沼の面積及び箇所数の変化

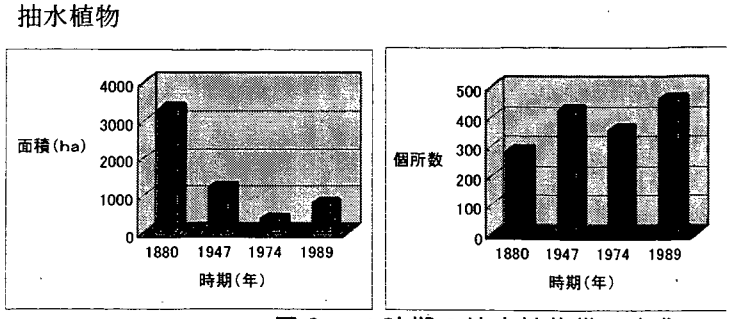


図2　4時期の抽水植物帯の変化

地（湖沼）の一つである手賀沼（千葉県我孫子市、柏市、昭南町）とその周辺の地域に関して、４時期の変遷を示したものである。ここで周辺とは、水面と湖岸の植生帯から500m以内の地域を指す。1880年には、手賀沼は現在の倍近い面積を持ち、広大な抽水植物帯（ヨシ原など）が存在したが、干拓・治水事業により現在の面積にまで減少した。表１と図４にこの間の各湿地区分の面積変化を示した。

３．２　湿地分布と鳥類の関係

図５は1998年に調査地内の中規模以上の湿地45箇所（ため池、調整池、河川、湖沼）について、各湿地の総面積（開放水面の面積と、水生植物帯の面積を合計したもの）と、そこで確認された水辺鳥類の繁殖種数（水辺を営巣場所として利用している種）の関係を示したものである。両変数の間にはR^2=0.65程の相関関係があり、湿地面積が大きいほど、多くの水鳥が繁殖できることを示している。以上の結果から、都市域における湿地の保全・配置計画の立案においては、減少しつつある湿地の中でも、大面積の湿地を優先的に保全する必要性があると考えられる。

（藤原宣夫、木部直美、百瀬　浩）

表１　手賀沼とその周辺の地域における４時期の湿地面積の変化（単位はｈａ）

区分	1880年	1947年	1974年	1989年
湖沼	96.7	72.2	35.1	36.5
貯水池・遊水池・ため池	5.3	0.0	0.0	0.2
公園等の親水池	0.0	0.0	0.0	0.1
つり掘・いけす	0.0	0.0	1.4	0.2
河川	1.8	13.4	14.1	12.8
用排水路	0.0	0.0	1.4	1.1
沈水・浮葉植物	0.0	1.7	1.4	0.3
抽水植物(ヨシ群落等)	58.0	23.5	7.0	15.6
湿性草地(谷頭)	0.0	0.0	0.0	0.0
乾性草地(谷頭)	0.0	0.0	0.7	0.3
水稲・蓮・くわい	158.2	240.0	210.1	180.6
休耕地・耕作放棄地	0.0	1.7	2.8	1.5
人工護岸(植生工含む)	0.0	1.7	1.4	4.0
その他	343.2	309.0	387.8	410.0
合　計	663.2	663.2	663.2	663.2

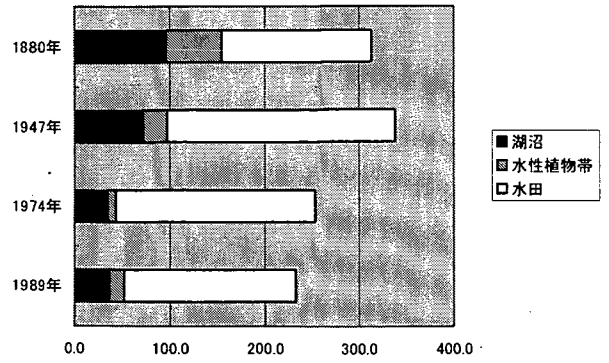


図４　手賀沼とその周辺の地域における４時期の湿地面積の変化（単位はｈａ）。水生植物帯は、表１の沈水・浮葉植物と抽水植物の合計の値を示す。

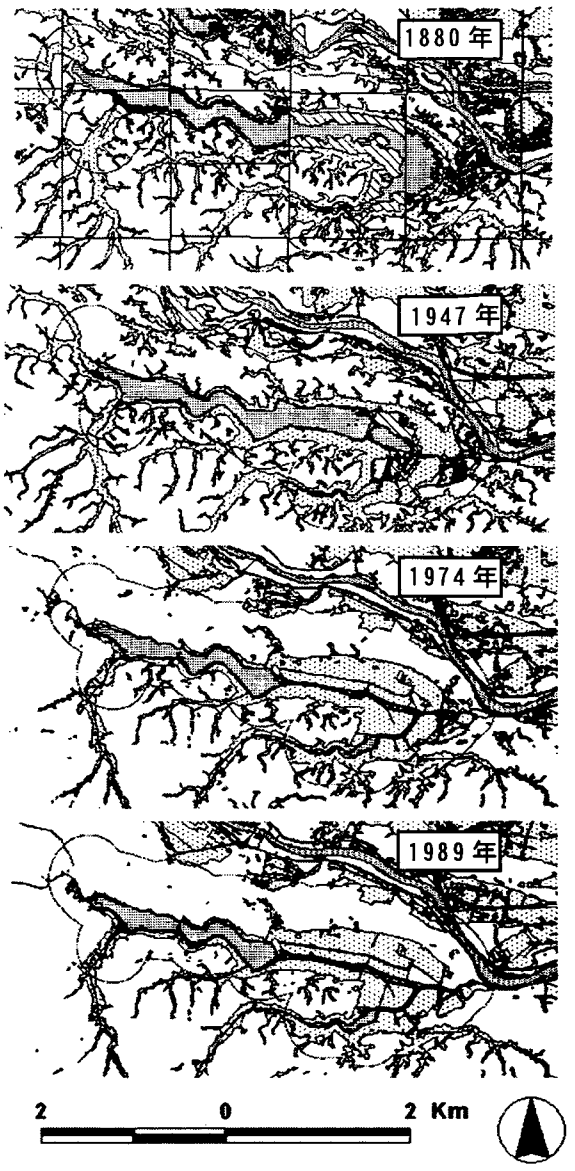


図３　手賀沼とその周辺地域における４時期の湿地分布の変遷

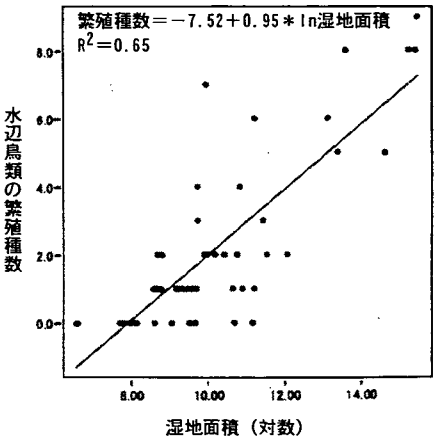


図５　湿地面積（横軸）と、そこに繁殖する鳥類の種数（縦軸）との関係

建設技術研究開発経費

2．2　都市の水域における生態系ネットワークの計画手法の開発

研究期間：平成9～12年度

担当：緑化生態研究室

【要旨】

本研究は、都市の水域における生態系ネットワークの計画手法を開発することを目的としている。首都圏の平野部には、谷戸と呼ばれる地形が特徴的に存在する。このため、本研究では都市の水域生態ネットワークの構成要素として谷戸に着目し、谷戸を単位とした計画の手法の開発を試みることとした。事例研究地には、谷戸地形が典型的に見られる茨城県水戸市を選定した。

対象生物は魚類及び水生昆虫類を対象とした。9年度は、谷戸水路に生息する魚類の種多様度と水路構造の関係について研究を行ない、種多様度が高い水路は、周辺に湿田が残り、水路のコンクリート護岸化もされていない「湿田型土水路」であることを明らかにした。

10年度は魚類の生活史と水路構造・周辺水域（とくに水田）との連続性の関係について研究を行なった。年間を通じて採集した魚類の体長計測結果から、生活史の一部で谷戸を利用する移動型魚類と谷戸内で一生を過ごす定着型魚類があることが示唆された。定着型魚類の出現種数の多い谷戸は「湿田型土水路」の形態を保っており、水路と水田との落差が少ないために行き来がしやすく、水田が産卵、仔稚魚の生育場所や餌供給源として機能することで種の多様性が維持されていると推測された。移動型魚類は谷戸を産卵と仔稚魚、幼魚の生息場として利用していると推測された。

11年度は広域的な魚類調査の結果により、魚類の種や成長段階によって、移動性や生息場の違いがあることが示唆された。

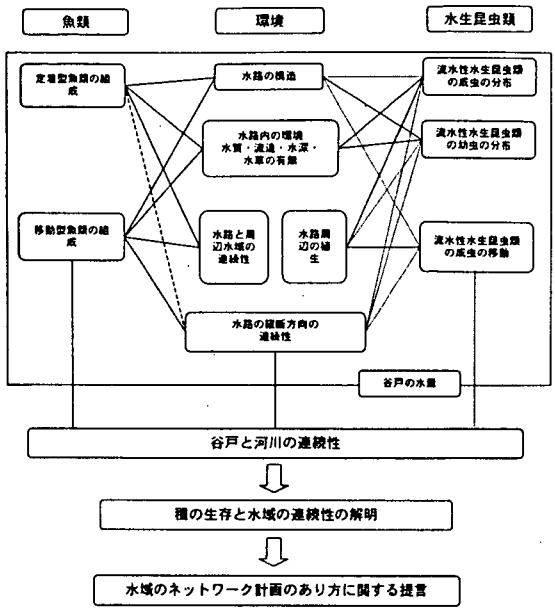


図1　研究の流れ

1．　研究目的

11年度は谷戸水路と合流する本、支流河川を含む広域的な魚類の移動について明らかにすることを目的とした。

広域魚類調査の結果を基に、種毎に仔稚魚、幼魚の生息場と成魚の生息場の判別を行い、魚類の種、成長段階による移動性と生息場の違いについて研究を行った。

2．　研究方法

水戸市及びその周辺に18箇所の調査地点を設けて、魚類と水生昆虫類のサンプリングを秋期に1回、冬期に3回行った。

採集にはタモ網、サデ網、投網、どう網などを用いた。また、目視による確認を行った。サンプルは10%ホルマリン液浸標本として持ち帰り、種の同定、個体数のカウント及び体長の測定を行った。

魚類のネットワークについて検討するためには、魚類の生活史の各段階における環境利用の実態を把握する必要がある。そこで、魚類の成長段階を知るために、1）仔魚（体長20㎜未満）、2）稚魚（20～40㎜）、3）幼魚の体長（種により異なる）に至っているもの、4）成魚の体長（種により異なる）に至っているもの、の4段階に区分した。これ

をそれぞれ1）孵化後間もない個体がいることから産卵場となっている地点、2）稚魚の生育に必要な空間および餌資源がそろっている地点、3）幼魚の生育に必要な空間および餌資源がそろっている地点、4）成魚の生息に必要な空間および餌資源がそろっている地点、のそれぞれの指標と考え、各調査地について上記1）～4）の区分の出現割合（ある段階の個体数／総個体数×100（%））から、その地点の各種にとっての位置付けを明らかにした。

3. 研究結果および考察

10年度に行った調査の結果から、生活史の一部で谷戸を利用する移動型魚類と谷戸内で一生を過ごす定着型魚類があることが示唆されたが、11年度の調査によって、このことが一層明確となった。

ウグイを例にとると、桜川の本支流の広範囲、涸沼川および涸沼前川の広範囲で確認されているが、成魚、特に大型個体については桜川下流部、那珂川本流など、下流部を中心に確認され、100㎜未満の幼魚が中流域から上流域および支流域で確認された（図2）。ウグイの産卵期は春から初夏にかけて（中村1969）であるが、10年度の調査ではこの時期に産卵のために上流域の谷戸水路へ遡上する大型個体が確認された。これらのことから、ウグイは産卵を上流域や支流域で行い、個体の成長に伴なって徐々に下流へ生息地を移動することが示唆された。同じ様な生活をする種としてはカワムツB型などが確認された。

移動型の魚類については、産卵のため遡上する際に大きな落差を持った構造物があると上流へ行けないことから、産卵場所まで到達できる水路の連続性が重要であると考えられる。

（藤原宣夫 、日置佳之 、須田真一）

[参考文献] 中村守純（1969）日本のコイ科魚類. 資源科学研究所, 東京, 455pp. , 151pls.

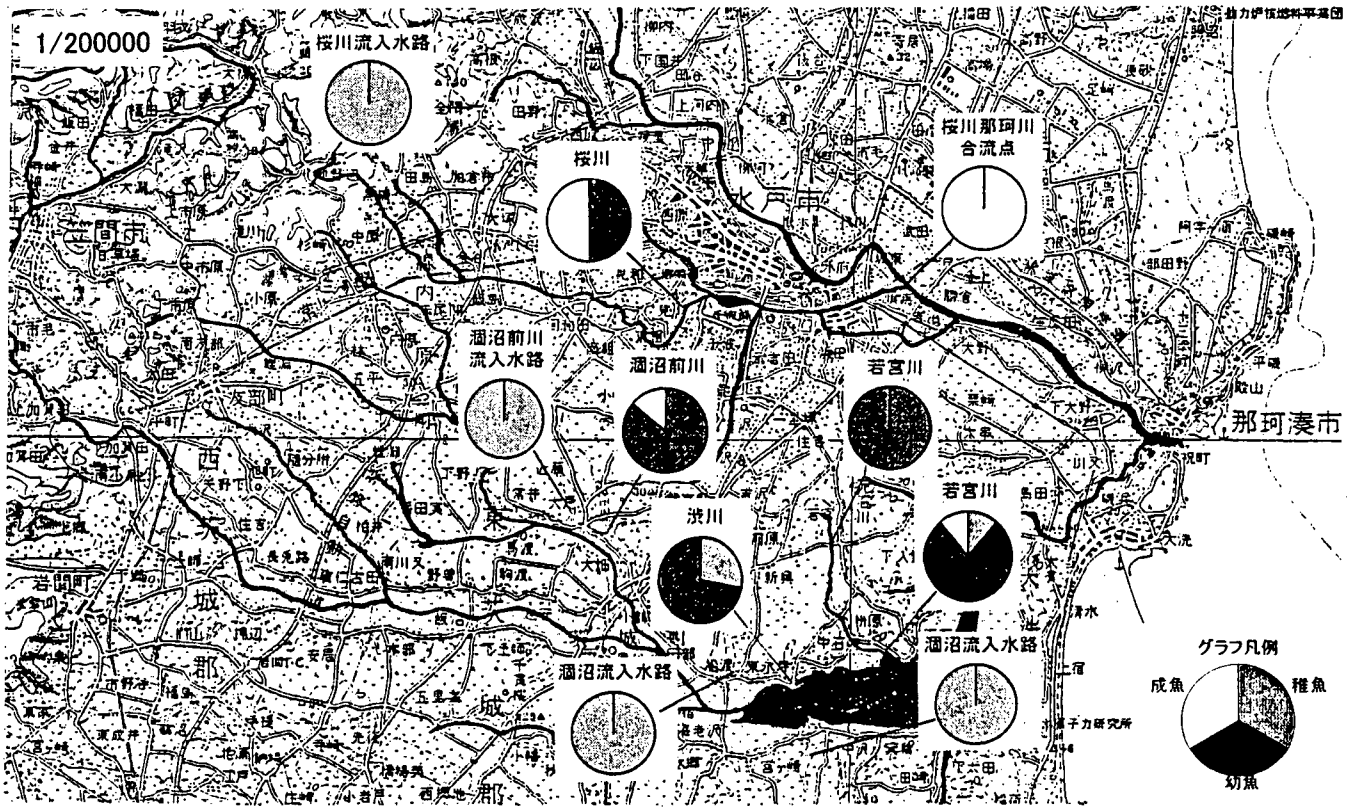


図2 ウグイの確認地点
円グラフは確認総個体数を100%とした時の各成長段階の個体数の割合を示す。

建設技術研究開発調査費

3.2　都市の水域における植物生育及び鳥類生息空間の保全・創出手法の開発

研究期間：平８～平１２

担当：緑化生態研究室

【要旨】

都市の水域は、生物の成育・生息空間として貴重な空間でありその保全が強く求められている。本研究では、生物の成育・生息空間の保全創出を目標とした事業の進め方及び事業の各段階における考え方、手法等について整理し、水辺のビオトープ計画マニュアルにまとめることを目的としている。

平成１１年度は、目標の設定方法から整備の考え方、モニタリング手法までの項目について検討した。

１．研究方法

１．１　目標の設定方法

目標設定の必要性、目標とする生物や環境の捉え方、目標の立て方（種、種群、環境）毎のメリット、デメリットを整理した。また、事前調査により把握すべき事項を整理した。

１．２　整備の考え方

水辺環境のタイプの違いによる利用形態を整理し、生物生息のための計画における留意事項を検討した。

１．３　モニタリング手法

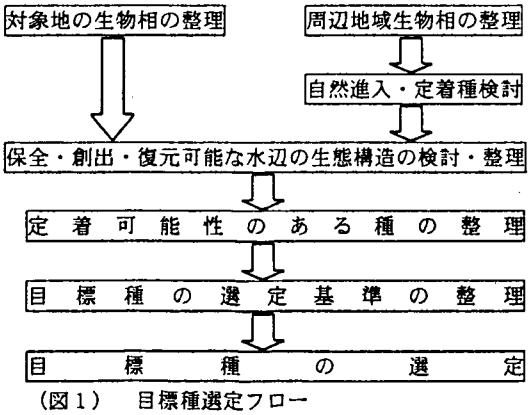
目標の達成度の把握と管理に反映させるために必要となるモニタリングの内容を検討した。

２．研究結果

２．１　目標の設定方法

（１）目標設定

都市域においては、水辺とそこに生息する生物の減少が著しく、「生き物とふれあえる空間づくり」と「生物多様性の保全」を目的として水辺のビオトープが整備される。ビオトープの整備に際しては、具体的な種や環境を目標として設定し、設計や管理の基準とすることが有効である。



（図１）　目標種選定フロー

（表１）目標の立て方とメリットデメリット

目標	具体的な目標例	メリット	デメリット
種	メダカ、ホタルなど希少性の高い種カワセミ、ギンヤンマなど特に人気のある種	・整備する生態構造を検討しやすい ・利用者の理解が得やすい ・小規模の場合は成果が得やすい	・目標以外の種への配慮が不足する ・生態系としてのレベルが低く設定されがち ・特殊な環境ができがち
種群	トンボ類、カモ類、小型魚類全般など	・生態構造を検討しやすい ・利用者に理解が得やすい ・規模に応じた種群の設定が可能	・目標以外の種群への配慮が不足する ・生態系としてのレベルが低く設定されがち ・特殊な環境ができがち ・同一種群内での種毎の評価が不十分
生物群集	小川の生き物、水田の生き物、溜め池の生き物など	・レベルの高い生態系を目標として設定できる	・整備する生態構造を検討しずらい ・目標の達成度合いの評価が難しい
生息環境	昔の小川の風景、谷戸の溜め池、広大な湿地など	・配置計画がイメージしやすい ・利用者の理解が得やすい	・具体的な生態構造の検討が不十分になる ・生き物中心の環境づくりが困難

目標の立て方は大別して、生物の種類を目標にする方法、整備する環境タイプを目標とする方法の２通りある。生物の種類を目標にする場合は、特定の種、カモ類などの種群、生物群集全体の３通りの目標がある。（表１）また、目標種選定の手順は（図１）のとおりである。

（２）事前調査

緑の基本計画等の上位計画や敷地条件を整理するとともに、周辺のビオトープネットワークの調査を行い拠点となる水辺や生物が多様な水辺の生物相を把握し、目標設定のための基礎データとする。また、気候、

地形、土壌、水環境等その場所の無機的環境条件（土地的環境ポテンシャル）と、その場所に現存する生物相や埋土種子集団、周囲からの種の供給によって成立しうる生物相（生物的環境ポテンシャル）を把握し、目標種の選定に活かすことが必要である。

2．2　整備の考え方

都市域にビオトープを整備する場合、保全型・創出型、規模の大小、水の形態（止水、流水）といったタイプの違いにより整備の考え方、利用との関係が異なるため、これを踏まえゾーニング、具体的な施設の配置計画を行う。（表2

（表2）水辺環境のタイプ分類

水辺環境のタイプ			人（利用）に対する対応	利用の基本的パターン	一般的な例
保全創出	規模	水形態	消極（閉鎖）的 ◀▶ 積極（開放）的		
保全型	大規模	流水型	◀――――▶	観察、散策する、ふれあう	大河川
		止水型	◀――――▶	観察する	溜め池、自然度高い公園池
	小規模	流水型	◀――――▶	散策する、ふれあう、遊ぶ	自然の残っている小河川、谷戸の細流
		止水型	◀――――▶	観察する	谷戸内や河川沿いの小さな溜まりや池
創出型	大規模	流水型	◀――――▶	観察する、散策する	大規模河川公園、都市河川
		止水型	◀――――▶	観察、散策する、ふれあう	公園池、調整池
	小規模	流水型	◀――――▶	散策する、ふれあう、遊ぶ	小規模河川公園、小河川・用水路
		止水型	◀――――▶	観察する、学習する	小公園池、校庭、屋上庭園

計画にあたっては、多様な生物の生息のため多様な環境の配置、生物の生育環境として重要な移行帯（エコトーン）である水際線の保全が重要である。また、利用による悪影響を生物に与えないため、人の出入りを排除するコア空間の確保、非干渉距離の確保が必要である。さらに、外部からの悪影響を軽減するための緩衝帯（バッファー）の配置が望まれる。

2．3　モニタリング手法

整備された植生、目標種の飛来・定着状況、水質、水量、水位などに関するモニタリング調査を行い、目標に沿った生態環境の形成や生物の定着、生態系の形成が行われているかを検証し管理に反映させる。

（1）日常的に行うモニタリング

行政職員や市民が日常的に行える水位や水量ならびに水のにおいや濁り、特定の目標種の定着状況、親しみのある生物の定着状況、ヨシ、セイタカアワダチソウなどの大型植物の繁茂状況、地下水位の変化などのモニタリングを継続することにより問題点の抽出に役立つ。

（2）専門家によるモニタリング

年1回または数年に1回、水質に関する科学的なデータ、生物相全体の把握、主要な生物や目標種の生息状況、生態系としての問題点について専門家によるモニタリングを行うことにより日常的なモニタリングデータを補完する。

（3）モニタリング結果の活用

これらのモニタリング結果を分析し、維持管理計画の見直し、場合によっては改修工事を行う。また、モニタリングの結果をまとめ市民に配布することにより、事業に対する理解を深め、地域の自然に対する興味を深めることができる。

3．今後の予定

都市域のビオトープの多くは、遷移をある一定段階にとどめておくための管理を行うことにより初めて生態系が維持される空間である。今後は、環境を安定させるための維持管理についての検討を行う予定である。

（藤原、木部、百瀬）

建設技術研究開発経費

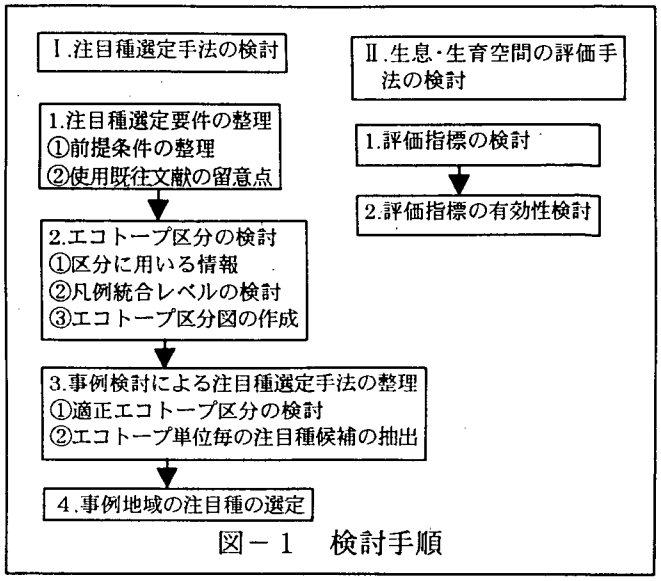
4.1　建設事業が水域の生態系に及ぼす影響の予測技術の開発

研究期間：平８～平 12
担当：緑化生態研究室

【要旨】

平成 11 年６月より施行された環境影響評価法における環境影響評価では、生態系の予測・評価について「上位性」、「典型性」、「特殊性」から注目される種・群集を抽出して、これらの生態、他の動植物との関係、生息・生育環境に係る影響を把握することとされている。しかし、注目種の抽出要件や生息・生育空間の評価手法など、実施にあたって整理や効率化を図るべき課題も少なからず残されている。

11 年度は、栃木県宇都宮市東部を事例として既往文献資料を活用した効率的な注目種の抽出手法及び自然空間単位を生物の生息・生育環境として評価する手法の検討を行った。



図－１　検討手順

１．研究方法

１．１　注目種選定手法の検討

上位性、典型性及び特殊性の注目種の考え方と、その選定手順に関する留意事項を取りまとめた上で、ケーススタディとして、宇都宮市東部地域（以下、事例地域という）に関する既存の文献資料等から把握される動植物の状況を踏まえ、上位性、典型性及び特殊性の観点から、事例地域における注目種を選定した。

１．２　評価指標の検討

生物の生息･生育空間を評価する上で有効な指標について、その内容、データの解析方法等を整理した。

２．研究結果

２．１　注目種選定手法の検討

（１）注目種選定手法の留意事項の整理

１）注目種選定の前提事項

生態系評価に適用する注目種は、当該地域の生態系を構成する動植物種の中で、代表的な種又は種群で、生態系の上位に位置する代表的な種（上位性の種）、生態系の特徴を典型的に示す代表的な種（典型性の種）、生態系の中でも特殊な環境を生息･生育環境とする代表的な種（特殊性の種）の３つの観点から選定される。

なお、注目種の選定は、机上調査により行い、それをもとに現地調査を行う。したがって、机上調査段階では、ある調査対象地域の生態系と、その生態系を代表する又は特徴づける種（＝注目種）を「想定する」ものであり、その想定をもとに現地調査計画が立案される。そして、現地調査実施によって、机上調査段階で想定された注目種を修正し、より適切な生態系評価を実施する必要があることに留意する。

２）注目種選定に用いる既往文献の収集と留意点

注目種選定では、まず対象地域の生物関係情報を掲載した既往文献を収集し、対象地域の動植物相を把握する。把握結果は、出現種一覧表に整理する。収集文献の留意点としては、以下のことが挙げられた。

①対象地域に即した文献の使用

調査対象地域に関連性の強い情報を掲載した文献を使用することとし、○○県□□市が調査対象地域であるなら、□□市に限定した情報が記載された文献が望ましい。

②最新文献の使用

③種の情報が付加された文献の使用

種のその地域における行動、食性、生息・生育の動向等を記載した文献が望ましい。

3）エコトープ区分の検討

エコトープ区分とは、調査対象地域の地形・水系及び植生等のまとまりに着目し、同質の自然環境を類型化し、動植物の生息・生育空間として均質と考えられる区域（エコトープ単位）を設定するものであり、以下の作業手順を踏む。

①エコトープ区分に用いる情報

エコトープ単位は主に地形と植生の組み合せにより、山地の二次林というように表す。しかし、その情報源となる地形図、植生図等は、いずれも多数の凡例を有しており、その情報をそのまま組み合わせてエコトープ区分を行うと凡例の組み合わせが膨大になり、動植物の生息・生育環境を集約表現するというエコトープ区分の主旨に相反するものとなる。

表－1　地形・植生区分の凡例統合の目安

地形区分	植生区分
1）山地・火山地	1）自然林
2）丘陵地	2）二次林
3）台地・段丘	3）人工林（竹林、スギ林等）
4）低地	4）自然草地
5）水系（河川・湖沼等）	5）二次草地
	6）果樹園・樹園地
	7）水田
	8）畑地
	9）開放水域（河川、湖沼等）
	10）その他（市街地、造成地等）

地形区分＝地形分類図、水系図を主に用いて区分する。その他、地形図、湖沼図、表層地質分布図、土壌分類図等を補足に用いる。
植生区分＝現存植生図、土地利用図、空中写真を主に用いる。

②凡例の統合レベル

先の理由から合目的にエコトープ単位の凡例を統合・整理する必要がある。統合レベルは、調査対象地域の自然特性によって一律ではないが、動植物の生息・生育環境を的確に把握可能なレベルは、道路事業の机上調査段階においては概ね表－1程度が適切と考えられた。

③現地確認

なお、地形図、植生図等の机上での情報整理では、都市近郊等の土地利用の変化が著しい地域では現状との差異が大きい場合もあり、現地確認を実施し、土地利用の変遷を的確に把握しておくことが望ましい。

④自然環境の類型化－エコトープ区分

以上の手順を踏まえて、エコトープ区分図を作成する。

4）注目種の選定

①注目種選定の全般的前提事項

注目種は、既往文献から整理された出現種一覧表と、エコトープ区分とを併せて考察して選定する。選定の手順や留意点は、上位性、典型性、特殊性の各注目種により異なるが、以下に全般的前提条件を整理した。

a．生態が良く知られている種

餌、生活史、産卵・繁殖環境等の生態が比較的解明されている種を選定する。例えば昆虫類では、チョウ類やトンボ類のように生態が比較的解明されている種群から注目種を選定すると、予測評価を行い易い。

b．エコトープ単位毎の注目種の抽出

エコトープ単位毎に上位性、典型性、特殊性のそれぞれの注目種を選定する。

c．複数のエコトープを横断的に利用する上位性の注目種

上位性の注目種では、行動圏が広く、複数のエコトープ区分を横断的に利用する種を、調査対象地域全体を包含する生態系の上位性の注目種として選定することもある。

d．上位性、特殊性の注目種の欠如

調査対象地域の特性によっては、上位性や特殊性の注目種が生息・生育せず、それらを選定できない場合もある。

②上位性･典型性･特殊性毎の注目種の該当条件

環境庁の定義では上位性、典型性、特殊性毎の注目種の該当条件は表－２の如く整理される。

表－２　上位性、典型性、特殊性毎の注目種の該当条件

区分	該当条件
上位性	ｉ）栄養段階の上位に位置する種
	ii）生態系の撹乱や環境変化などの影響を受けやすい種
	iii）小規模湿地等、独立性の高い食物連鎖環における上位に位置する種
	iv）抽出される種は、哺乳類、鳥類などの行動圏の広い大型の脊椎動物以外に、は虫類、魚類などの小型脊椎動物及び昆虫類の無脊椎動物も含む。
典型性	ｉ）生態系の中で重要な機能的役割（生物間の相互作用や機能を担う）をもつ種・群集
	ii）生物の多様性や生態遷移を特徴づける種・群集
特殊性	ｉ）小規模湿地、洞窟等特殊な環境に生息する種
	ii）占有面積が比較的小規模で周囲にはみられない環境に生息する種

③注目種の選定手順と要件

a．注目種抽出の候補となる動植物リストの作成

注目種は、既往文献から把握される動植物出現種一覧表をもとに抽出するが、一覧表から単純にリストアップすると膨大な種数となり非効率的である。そこで、「全般的前提事項」で挙げた「生態が比較的解明されている種」を対象とすることに則り、以下の考え方で、「注目種候補リスト」を作成する。

ｉ）現地確認種からの抽出原則

既往文献で把握された種の中で、現地確認されている種を基本に注目種候補を抽出する。過去の文献記録のみで、調査対象地域に現存しないと考えられる種や極めて偶産的な確認記録と考えられる種等は除外する。

ii）植物の注目種候補

植物については、植物群落を構成する優占種及び湿地等特殊な環境の生育種を注目種候補として抽出する。

iii）脊椎動物の注目種候補

脊椎動物は、既往文献上の出現種をすべて注目種候補として抽出する。

iv）昆虫類の注目種候補

チョウ類、トンボ類等、生態が比較的解明されている種群の他に、タガメ等の水生カメムシ類、セミ類、カブトムシ等の大型コガネムシ類が注目種候補に挙げられる。

表－３　上位性、典型性、特殊性の注目種の選定要件

区分	選定要件
上位性	ｉ）食肉性の脊椎動物を餌として捕食する種を選定する。食肉性脊椎動物の捕食者が複数存在する場合は、 ・行動圏がより広い種を選定する。 ・より大型の種を捕食する種を選定する。 ・前２項の条件から、最も行動圏が広く、大型の種を捕食する種が選定される場合は、これを「調査地域全体」を代表する上位性の種として選定する。
	ii）前項目の該当種が生息していない場合は、食植性の脊椎動物を餌として捕食する種を選定する。食植性脊椎動物の捕食者が複数存在する場合は、前項と同様の考え方で種を絞り込む。
	iii）前２項の該当種が生息していない場合は、無脊椎動物（昆虫類等）を餌として捕食する種を選定する。無脊椎動物の捕食者が複数存在する場合は、前々項と同様の考え方で種を絞り込む。
	iv）前３項のいずれも該当種が生息しない場合は、当該エコトープ区分からは、上位性の種を選定しない。
典型性	ｉ）現存植生図上から、最も広い面積を有する植物群落を選定し、その植物群落の優占種を典型性の種として選定する。
	ii）前項で選定された植物種を餌とする動物種の中で、代表的と考えられる種を選定する。なお、ここでいう「代表的」とは、概ね次のような要件をいずれも満たすことをいう。 ・生態的特性（生活史、食性、繁殖行動等）が比較的明らかになっている種。この要件は、上位性及び特殊性の注目種を選定する場合も同様に求められるものであるが、一般的に注目種として選定される種の候補種数が極めて多いと考えられる典型性の場合には、特に重要な要件である。 ・個体数が多い種。一般的に見られる種。
	iii）前項で抽出される種のほか、概念的・象徴的な観点で選定される種を典型性の種として追加しておくことが望ましい。
特殊性	ｉ）地形的特性と植生的特性から、相対的に分布面積が狭い環境を選定する。植生的特性のみから分布面積が狭い環境を選定すると、しばしばおびただしい数の環境が選定されることがあるが、湿地、渓流、岩場、洞窟等の地形的特性を併せて考慮すると、選定される環境は限られてくる。
	ii）前項によって選定された環境にのみ生息・生育する代表的な種を特殊性の注目種として選定する。

b．エコトープ単位毎の注目種候補リストの作成

「注目種候補リスト」に挙げられた動物種について、その主たる生息域を、エコトープ単位毎に振り分ける。この結果、エコトープ単位毎に注目種候補を記載したリストが作成される。

すなわち、「a」で整理したリストの種について、既往文献をもとに生活史、餌、営巣地、天敵等を調べ、どのエコトープ単位がその種にとって最も重要な、もしくは主要な生息環境であるかを考察する。

結果として、例えば「二次林」というエコトープ単位を主な生息環境とする種群のリストが作成される。

ｉ）上位性の注目種

エコトープ単位毎に生態系ピラミッドの最上位と推定される種を選定する（表－３）。

ii）典型性の注目種

エコトープ単位毎に、優占する植物種又は植物群落、それらを餌とする動物（第一次消費者）、個体数が多い動物を選定する（表－４）。

例えば、「イ」の要件からクヌギ・コナラが選定された場合には、これらと生息の関連が深いコゲラやカナブン等が「ロ」の要件から選定される。また、オオムラサキ、カブトムシ、ギフチョウ、タヌキ等の種は、一般に個体数は多くないが、クヌギ・コナラ林などの里山的な環境を象徴する種ともいえることから、これらの種の当該エコトープ単位での生息が確認されている場合は、典型性の種として選定すると、当該エコトープ単位の生態系の特徴を端的に表わす効果が高いと考えられる。

iii）特殊性の注目種

エコトープ区分毎に分布面積が最も狭い環境あるいは地形的に特殊な環境に生息・生育する種を選定する（表－５）。

（２）注目種選定の事例検討

１）事例地域の概要

事例地域は、宇都宮市東部、芳賀町及び市貝町のほぼ全域、高根沢町、茂木町及び益子町の一部を含む地域で、地形的には大部分が低地から丘陵地に分類され、宇都宮市東部地域には鬼怒川が南北に流れている。

宇都宮市東部地域は、宇都宮市街地を含み、都市化が進んでいる。一方、鬼怒川の東に位置する芳賀町及び市貝町域は水田・畑地が広く分布し、市貝町域にはアカマツやコナラを主とする二次林も広く分布する。

表－４　注目種選定に用いた文献

文献No.	文献名
1	宇都宮市自然環境基礎調査報告書、1992,宇都宮市
2	宇都宮市長岡保全緑地自然環境調査報告書, 1996, 財団法人グリーントラストうつのみや
3	うつのみや文化の森公園整備事業に係わる自然環境調査その１報告書, 1996, 白石総業㈱

表－５　試行エコトープ単位の面積比率（%）

	山地・丘陵地	台地	低地	その他	計
二次林	9.89	5.64	0.09	1.02	16.54
スギ･ヒノキ･サワラ植林	1.80	0.77	0.05	0.15	2.77
河畔林	0.00	0.04	0.11	0.06	0.21
その他林地	0.93	1.64	0.02	0.12	2.71
水田	1.65	19.81	9.92	2.21	33.59
畑地	3.46	7.34	0.10	0.49	11.39
草地	1.48	1.44	0.92	2.22	6.06
住宅地	2.54	17.54	0.90	3.39	24.37
その他	0.31	0.42	0.56	0.22	1.51
開放水域	0.01	0.14	0.58	0.12	0.85
計	21.97	54.78	13.25	10.00	100.00

２）既往文献の収集

事例地域の宇都宮市東部、芳賀町及び市貝町に係る動植物関係の既往文献を収集し、注目種選定には前掲の留意点を踏まえ表－４の文献を用いた。

３）エコトープ区分

①試行エコトープ区分の結果と問題点

既存の地形図及び植生図を使用し、事例地域の動植物の生息・生育環境を表すものとして表－１レベルの統合した凡例を組み合わせて、試行的にエコトープ区分を行った。この試行的エコトープ単位の面積比率は表－５の如く整理され、二次林は山地・丘陵地、台地に、水田は台地、低地に、畑地、住宅地は台地に多いという傾向が見られた。この植生分布と地形の関係は概ね妥当なものであった。しかし、この試行エコトープ区分凡例では、後の評価作業等に以下の支障が生じると考えられた。

a．試行エコトープ単位の凡例数の多さ

ごく小数面積の単位も含めて44単位あり、これらの単位それぞれについて注目種を選定することは地域の生態系を端的に表す目的にはそぐわず、非効率的と考えられた。

b．試行エコトープ単位の地形要因の意味

対象地域の地形は４区分されており、植生との関連は表－５よりある程度認められるが、当該地域の動物相は基本的には、低地～低山帯に属しており、地形との関連が深い種は特に見出せない。すなわち、気象等の差異が地形間で小さく、動物の生息は植生あるいは水に強く規定され、これらにより動物の分布はおおよ

そ説明できるため、あえて地形要素をエコトープ単位区分に加える意義は少ないと判断された。

c．水域の区分

表－１、表－５では、現存植生図の凡例を用いていることから水域は「開放水域」として一括表現されているが、動植物の生息の特性を考慮した場合、「止水域」と「流水域」では、生息する種が異なることが想定された。

②植生区分をベースとした最終エコトープ区分

これらの支障を解消するために、植生の分布は地形の相違を反映したものと考えて、基本的には植生区分に基づく９凡例を

表－６　対象地域のエコトープ単位凡例

No.	凡例名	内訳
1	二次林	アカマツ林、落葉広葉樹二次林、その他林地のうち自然低木群落、伐採跡群落
2	人工林	スギ・ヒノキ・サワラ植林、その他の林地のうちモウソウチク林、果樹園、桑園、苗圃
3	河畔林	
4	水田	
5	畑地	
6	草地	
7	住宅地	
8	止水域	主にため池、その周辺のヨシ群落含む
9	流水域	主に河川、その周辺のヨシ群落含む

表－７　対象地域の注目種候補リストと対応エコトープ（哺乳類の例）

種名	二次林	人工林	河畔林	水田	畑地	草地	住宅地	止水域	流水域	生息環境のキーワード	繁殖場所	主な餌	捕食者
ジネズミ				○	○	○	○			低地～低山帯の河畔、農耕地の茂み、林縁	草地の地上の窪み、時に人家内	昆虫類、クモ	
ヒミズ	○	○				○				丘陵・山地の樹林、疎林、草原		ミミズ、昆虫、果実	フクロウ、マムシ
モグラ				○	○	○	○			平地の水田の畦、庭園、ゴルフ場	ハラタケ目フウセンタケ科ナガエノスギタケの地下	昆虫、ネズミ	
ノウサギ	○	○				○				海岸～山岳の隠れ場所の多い林・草原	植物を取り去った程度の浅い窪み	150種以上の植物（イネ科、カヤツリグサ科、木本類の葉や若葉）	イタチ、キツネなどの肉食獣、猛禽類
ニホンリス	○									平野部～亜高山帯の森林（特にマツ林）	針葉樹を選ぶ傾向あり（球状巣）	カラマツ、ヤマザクラ、クリ、コナラ、クルミ、アカマツ等の新芽・若葉・花・果実、昆虫少々	オオタカ、ノスリ、ホンドギツネ、（イタチ、テン、ノネコ）
ムササビ	○									低地～亜高山帯の天然林、発達した二次林	主にスギ、他にマツ、カシ、クス等の大木、屋根裏	冬芽、葉、花、雄花、果実	テン、フクロウ
アカネズミ	○					○				低地～高山帯の森林、河川敷の草地	照葉樹林帯の地下	果実(堅果)、昆虫(特に果実の中)、	フクロウ、イタチ、テン、ヘビ
カヤネズミ				○	○	○		○		低地の草地・水田、畑、沼沢地(イネ科密生の湿地)	ススキ、チガヤ、スゲ類、エノコログサ等	穀類の種子、サツマイモ、煮干し、バッタ類	
タヌキ	○			○	○		○			郊外の住宅地～山地の水辺付近の広葉樹林・林縁	木の根元の窪み、岩の割れ目、住宅地周辺	果実、昆虫、ミミズ、カエル、ヘビ、魚、ネズミ等	
キツネ	○			○	○	○	○			海岸～高山の農耕地・森林、原野、集落地が混在する環境	日当たりの良い林や原野(山、林、藪、畑、人家の入組んだ里山)	冬～夏:野ネズミ類、ノウサギ、夏:甲虫、セミ、ノイチゴ等の果実、秋:カキ、アケビ等の果実	
テン	○						○			森林(人家周辺の森林にも生息)	岩穴、樹洞、人家、神社、山小屋の屋根裏等	甘い果実類(カキ、ビワ、アケビ、マタタビ、ヤマブドウ、クリ等)	
イタチ	○				○	○				平野部の河川沿いの草地		ネズミ(ハタネズミ、ヒメネズミ)、昆虫、魚等の小動物	

エコトープ単位とした（表－６）。これは主に上位性及び典型性の注目種の選定が容易となるよう設定したものである。特殊性の注目種の選定には「河畔林」や「止水域」等の面積的に小さな単位を抽出した。なお、表－５の「その他」については、元の植生図に立ち返り、最も適切な凡例に当てはめた。

４）注目種候補の抽出

既往文献より、対象地域に生息･生育すると想定される動植物について、以下の考え方により出現種一覧を作成し、注目種選定の基礎資料とした。

表－８　各エコトープにおける選定注目種

エコトープ	a）二次林	b）人工林	c）河畔林	d）水田	e）畑地	f）草地	g）住宅地	止水域	流水域
上位性Ⅰ	オオタカ、サシバ								
上位性Ⅱ	キツネ、フクロウ	ツミ、サンコウチョウ	なし	タゲリ、サギ類、シギ類、ヤマカガシ	なし	なし	なし	カワセミ、サギ類、シギ類、タガメ	カワセミ、サギ類、シギ類
典型性	アカマツ、コナラ、アオゲラ、アオゴジュウカラ、オオミドリシジミ、オオムラサキ	スギ、ヒノキ、ヒグラシ	ハンノキ、ヤナギ類	ミゾソバ、ニホンアマガエル、トウキョウダルマガエル、アジアイトトンボ、マシジミ、ユタテアカネ	ナズナ、カラスノエンドウ、ヒメジョオン、モグラ、ヒバリ、ベニチモンジセセリ	シバ、ススキ、シロツメクサ、キジ、リ、キタテハ、イシミ、アゲハ	カタバミ、スズメ、ムクドリ、ヤマトシジミ、アゲハ	ヨシ、マコモ、コシアキトンボ	ツルヨシ、カワトンボ、オニヤンマ
特殊性	トウキョウサンショウウオ（林内細流部に限定）	なし	なし（ただし、河畔林自体を特殊性とする場合もある）	なし	なし	ギンイチモンジセセリ	なし	ハッチョウトンボ	なし

上位性Ⅰ：地域全体を包括する上位性の注目種。上位性Ⅱ：エコトープ単位毎に選定される上位性の注目種。

①脊椎動物

脊椎動物については上位性及び典型性の注目種候補が選定されるが、総種類数が少ないため、全種を対象としてリストを作成した。

②昆虫類

昆虫類については、典型性及び特殊性の注目種候補が選定されるが、種類数が極めて多いため生態や分布等の特性が解明されており、評価しやすい種群として、チョウ類及びトンボ類に限定したリストを作成した。

③植物

植物は現存植生図の植物群落の凡例を利用して注目種を選定した。

5）注目種候補のエコトープ区分への振り分け

前項で整理した動物種の注目種候補について、それぞれの種が生息すると考えられる環境から、エコトープ単位へ振り分け、各エコトープ単位に出現すると想定される種を整理した。表－7に哺乳類の例を示す。

6）注目種の選定

以上の手順により選定された、各エコトープ単位毎の上位性、典型性、特殊性の注目種を表－8に示す。

2．2　生態系評価の指標

生態系を評価するにあたり、ここでは生態系の構成要素である動植物種と、動植物種の生息･生育環境であるエコトープ（主に地形・水系と、それらの上に成立している植生）を選定し、生態系の質を評価する方法を検討した。

（1）生態系評価のための4つの指標

生態系の評価には次の4つの指標が考えられた。

1）多様性

ある地域の環境の多様さ、複雑さを指標するもので、以下の二つのとらえ方がある。

①種の多様性

生物の種類数や個体数に着目したもので、より多くの種が生息・生育している方が多様性が高い。代表的な評価指標には次のものがある。

a．種多様度指数（H'）：種類数・個体数を用い、複数の地域の生物相の多様さを比較する。

b．重複度指数（CΠ指数）：二つの地域の生物相の類似性を比較するものとも言え、一見同質に見える二つのクヌギーコナラ林を比較する場合や、ある地域の開発前と開発後の比較などに有効である。

②場の多様性

生物の生息環境自体を評価しようとするもので、ある地域の動植物種数や個体数のデータを用いずに環境の複雑さを指標しようとする考え方であるが、現在実用化された評価式等は考案されていない。

2）自然性・脆弱性

自然性は、環境が人為的に影響を受けている度合いを評価しようとするもの。脆弱性は、植生や生物群集の中には一定以上の人為が加わり、破壊されると再生できないものもあり、その程度を表す指標である。前者の例では環境庁の植生自然度があげられ、後者では、植生復元に要する時間が尺度として考えられた。

3）希少性・特異性

希少性は、その環境の分布面積の少なさを指標化しようとするもの。特異性は、注目種類型の「特異性」の種が生息・生育する環境を指標化しようとするもので、湿地、岩場などが該当すると考えられた。

4）機能性

哺乳類や鳥類は、餌場とねぐら等、複数の環境を利用し、これらの環境間を移動する際、これらとはまた別の特定の環境を利用して移動することが多い。こうした環境は、自然性や希少性の観点からは抽出し得ないが、生態系を維持する上では重要な環境となっていることが多い。このような環境間の連結性、動物の利用頻度の度合いを指標化しようとするものである。

机上調査の段階では、これらの指標のうち、「2」の自然性は植生自然度のデータを、「3」の希少性・特異性は植生の分布面積等のデータを用いることにより適用可能であるが、その他の指標については今後の現地調査において収集する個体数等のデータを用いて、有効性を検証することとした。

（藤原、石坂、百瀬）

国立機関公害防止等試験研究費

4．広域的生態ネットワーク計画に関する研究

研究期間:平成８～11年
担当:緑化生態研究室

要旨

生態ネットワーク計画(ecological network planning)とは、動植物の生息環境（ハビタット（habitat））の分断化を防ぎ、生態系の水平的なつながりを回復させて、生物多様性の保全を図るためのランドスケープ計画である。ここで言う広域的生態ネットワーク計画とは、広域市町村圏（大きな市では１つ、小さな市町村では数市町村の圏域）程度の地域を対象とした生態ネットワーク計画を指す。生態ネットワークの計画には、とくに計画の空間レベルに適合する精度で、生物の分布を明らかにする必要があるが、生物の生息適地図の作成方法は確立されていない。そのため、本研究では、生態ネットワーク計画立案の基礎的段階として、生物の生息適地図を作成する手法について、水戸市とその周辺の市町（笠間市・内原町・友部町・常北町・岩間町・茨城町）を含む面積約480haの地域で事例研究行った。対象動物は、空中移動動物である鳥類と地上移動動物でかつ生活史の中で必ず水域と陸域を必要とする両生類とした。平成11年度は、本課題の終了年度にあたり、これまでのデータ解析にもとづいて、繁殖期鳥類、越冬期鳥類、両生類の生息適地図を作成した。また、作成した図の精度を確認するため、検証調査を行い、作成方法のあり方について検討した。

平成８年度（1996）
事例地域の選定、鳥類調査（越冬期）
平成９年度（1997）
鳥類調査(繁殖期)、両生類調査
平成10年度（1998）
両生類調査（継続）、鳥類・両生類データ解析
GISによる地形分類図、現存植生図、道路網図作成（S=1/25,000）
平成11年度（1999）
鳥類、両生類生息適地図作成
生息適地図の検証調査、評価

１．方法

研究の成果

空中移動動物である鳥類と地上移動動物でかつ生活史の中で必ず水域と陸域を必要とする両生類を選んで、その生息適地図を作成した。生息適地図は、上記の空間スケールを想定した計画に必要と考えられる250ｍメッシュの精度を目指すこととした。事例研究地には、水戸市とその近郊市町を含む面積約480平方kmの地域を選定した。

生息適地図の図化は、つぎのような手順で行った。

① 生物のサンプリング調査

調査地全域に広く分散させて地域標準メッシュ（約1km×1km）と同じ大きさの調査区を18個設け、これをさらに16分割して、250m×250mの単位メッシュを設置した。単位メッシュごとに、繁殖期の鳥類、越冬期の鳥類、及び両生類の種の出現の有無を確認する調査を行った。

② 生物のクラスターとメッシュクラスターの区分（図１、図３、図５）

数量化Ⅲ類による環境軸の抽出とクラスター分析により、生物の種クラスター(＝ギルド:類似した環境資源を利用して生活する生物の種群)とメッシュクラスター(出現するギルドの組合せによって区分されたメッシュのグループ）を抽出した。その結果、例えば繁殖期の鳥類では、普遍種:キジバト、スズメ、ヒヨドリ、シジュウカラ、ヒヨドリ、スズメ、ハシブトガラスなどの18種からなるクラスターですべてのメッシュに普遍的に出現する種群、アイランド樹林種:ヤブサメ、オオルリ、エナガ、キビタキ、イカル、サンコウチョウなどからなるクラスターで、かなりの面積を有する樹林に生息する種群、水域普遍種:カイツブリ、オオヨシキリなど７種からなるクラスターで、水田や溜池程度の水域があれば、かなり普遍的に生息できる種群、水辺モザイク環境種:ササゴイ、ホオアカなど７種からなるクラスターで、水系に沿った灌木地・草地・流水域・水路などの混在したモザイク環境を特に評価していると考えられる種群、湿性オープンランド種:アマサギ、ムナグロなど５種からなるクラスターで、広大な水田に典型的に出現する種群、市街地・集落地種:イワツバメ、オナガ、ハクセキレイ、ドバトの４種からなるクラスターで、市街地や集落とその近傍の環境を評価していると考えられる種群、の６つが得られた。

これらの種クラスターの出現の有無から、アイランド樹林メッシュ:普遍種とアイランド樹林種を主たる構成種と

するクラスター、樹林・耕地モザイクメッシュ：ほぼ普遍種だけが出現するメッシュクラスター、水田メッシュ：普遍種と水域普遍種を主たる構成種とするメッシュクラスター、水田・水辺モザイクメッシュ：水域普遍種と水辺モザイク環境種が出現するメッシュクラスター、湿性オープンランドメッシュ：水域普遍種と湿性オープンランド種を主たる構成種とするメッシュクラスター、市街地・集落メッシュ：普遍種と市街地・集落地種を主たる構成種とするメッシュクラスター、の６つが得られた。

③　調査区のメッシュの判別

生物を実際に調査した区域におけるメッシュが、どのメッシュクラスターに該当するかを判別するために、数量化Ⅱ類に基づく判別分析を行った。

④　事例研究地全域のメッシュの判別

調査地域全域の地形・植生等のGISデータをインポートし、地形・植生などの変数をアイテムーカテゴリカル・データに調整した。そのデータに対して、カテゴリースコアを用いて、各メッシュのサンプルスコアを算出し、各メッシュの環境構造類型（メッシュクラスター類型）を判別した。判別結果に基づく、繁殖期の鳥類（図２）、越冬期の鳥類（図４）、両生類（図６）の生息適地図を示した。

⑤　生息適地図の精度検証

当初設定した離散調査区とは別の離散調査区を設けて再びサンプリング調査を行い、作成した生息適地図の精度の検証を行った。その結果、鳥類は、繁殖期、越冬期とも平均で的中率が40%強であった。これに基づき、クラスター区分のレベル変更などの改良方針を提案した。一方、両生類は、平均的中率が25%弱と低く、バッファー分析など、根本的に異なる方法での解析が必要と考えられた。

⑥　生態ネットワーク要素の抽出

作成した生息適地図から、つぎのような生態ネットワーク要素が読み取れた（繁殖期の鳥類の例）。

●アイランド樹林としての平地林

友部丘陵の大半が、アイランド樹林として評価された。また、東茨城台地上の平地林でもアイランド樹林として評価されているものがあった。丘陵地をアイランド樹林性鳥類のソースと考えると、台地上の孤立した平地林とのネットワークを検討する必要性が示された。

●樹林と耕地のモザイク

台地上及び同台地の裾部に、広く樹林・耕地モザイクメッシュが分布していた。台地上の持続的農業の原風景であり、モザイク的な環境の元で、農業と共生してきたと考えられる生物群がいることが示唆された。樹林と耕地のモザイクは、広域スケールでの生態ネットワークの構成要素としても重要と考えられる。

●水辺のモザイク環境

河川敷や湿田に見られる灌木地・草地や素掘り水路が、水辺モザイク環境として評価された。画一的な農業基盤整備などの中で、かろうじて残ったビオトープ的な環境と考えられる。

研究のまとめ

改良の余地が大きいものの、鳥類については本研究の方法に基づく生息適地図は、生態ネットワーク計画検討の基礎図として有効と考えられた。一方、両生類については、250mメッシュよりも細かい空間スケールでの解析・図化が必要であることが示唆された。哺乳類、魚類、昆虫類など他の生物分類群を対象とした生息適地図の作成方法の開発も、今後の課題である。また、生息適地図の作成方法の改良を進めるとともに、生息適地図に立脚したネットワーク計画の具体的な検討の段階へ研究を進める必要がある。そのためには、生態ネットワークの要素となり得る空間をメッシュではなく、環境要素のポリゴンとして図化する手法を開発する必要性が高いと考えられる。

都市公園事業調査費

1.1.1　ビオトープのネットワーク化計画に関する研究

研究期間：平７～平 11

担当：緑化生態研究室

【要旨】

野生動植物の生息地を相互に連絡してネットワークを形成することは、生存条件を向上させる上で極めて有効な方法である。本研究は、ビオトープネットワーク計画の基礎として、さまざまな動物種群の生息地を図化する手法を目指しており、これまで鳥類、両生類について、サンプルエリアの設定による調査とこれに基づく生息地の図化を行ってきた。平成１１年度は哺乳類について分布調査を行った。調査対象地は水戸市とその近郊地域である。

平成７年度（1995）
　海外事例先行の研究
　事例研究地の選定
平成８年度(1996)
　鳥類調査（冬期）
平成９年度（1997）
　鳥類調査(繁殖期)、ベースマップ作成、文献整理
平成 10 年度（1998）
　両生類調査、種群別のネットワーク計画上の配慮事例検討
平成 11 年度（1999）
　哺乳類調査

１１年度は、食肉目（ホンドキツネ（*Vupes vulpes*)、アナグマ(*Meles meles*)、タヌキ（*Nyctereutes procyonoides*)、テン（*Martes melampus*)、ニホンイタチ（*Mustera itatsi*)の分布、げっ歯類のニホンリス(*Sciurus lis*)とムササビ（*Petaurista leucogenys*）の林分ごとの分布を調査した。ホンドキツネは丘陵地と常磐道以東の平地の一部で生息が確認され、人為的な食物や環境を利用し、涸沼川水系や那珂川を移動のための回廊として利用している可能性が考えられた。アナグマは、常北地域の一部の山塊に生息していることから、分布が退行傾向にあることが推測され、緊急な保護策が必要とされる。テンは、常北町付近の山塊と笠間地域や筑波山系のみで情報が得られた。スギ、ヒノキなどの人工林や道路によってこれらの種の分布が規定されている可能性がある。タヌキ、ニホンイタチは山地から平地にかけて広く分布していた。ニホンリス及びムササビの生息林分の平均面積は 21.8±14.7(SD)ha、山塊から 100m以内の地域に多く見られた。ニホンリス、ムササビの生息にとっては、最低限必要とされる林分面積の確保とソースとなる地域からの一定距離内の生息地確保が必要であるものと考えられる。

１．研究目的・方法

生態ネットワーク計画のための基礎資料として、中･小型哺乳類を対象として、食肉目５種(ホンドキツネ、アナグマ、タヌキ、テン、ニホンイタチ）の現存分布を、聞き取りと踏査によって調査し、その生態学的な特徴について考察した。また、げっ歯目のニホンリスとムササビについて林分ごとの生息状況を痕跡により調査し、必要とされる林分の面積と個体群の分断要因について考察を行った。

２．研究結果・考察

２．１．食肉目の痕跡と分布

①ホンドキツネ：丘陵地域である北西部の常北町、笠間市に主として生息し、巣穴では繁殖の証拠も得られた。また、調査地域南部の平地の一部でも生息が確認され、人為的な食物や環境も利用していることが推測される。本種は移動時に河川敷を利用することが多い（竹内 1996)ことから、涸沼川水系や那珂川は、本種の移動のための回廊としての機能を果たしている可能性が考えられる。

②アナグマ：アナグマの生息情報は、常北地域の一部の山塊で得られた。環境庁（1979）による調査では、キツネと同様に調査地域の南部の平地でも生息が確認されていたが、今回の調査によって分布が退行傾向に

あることが推測された。茨城県でもレッドデータリストへの記載が検討中であり、生態の解明とともに緊急な保護策が必要とされる。

③テン：痕跡は多数発見されたものの、生息が確認された区画は少なく、常北町付近の山塊と笠間地域や筑波山系のみで情報が得られた。細田・鑓（1996）によると、スギ、ヒノキなどの人工林には、本種の餌となる果実、小哺乳類、昆虫類や休息場となる老齢林がほとんどなく、生息地の改変や道路網の拡張によって、限定された地域にのみ生息せざるを得なくなっている可能性があることが考えられる。

④タヌキ：山地から平地にかけて広く分布することが明らかになった。近年、本種は都市周辺部へ分布域を拡大しているが、都市周辺部に生息する個体においても活動の基盤としての緑地は重要である（芝田、1996）ため、緑地配置とその連続性の検討が必要である。

⑤ニホンイタチ：生息情報が最も多く、山地から平地まで、都市域を除く幅広い地域に分布することが明らかとなった。本種は都市域では生息不可能であることから、生息の有無を食肉目の生物群集の維持のデッドラインとして利用することが考えられる。

2．2．ニホンリス及びムササビの生息状況

調査地域北西部の常北町において、山塊（林冠の連続した大面積の丘陵地域）から分断され島状に散在する 1ha 以上の林分（林冠が他の林地と完全に途切れている林地）81 箇所を踏査し、痕跡（アカマツの食痕、スギの皮はぎ、巣）によって生息の有無を確認した。しかし本調査では、痕跡によるニホンリスとムササビの区別が困難であったことから、環境選択の特徴や移動様式の異なる（ムササビは滑空、ニホンリスは歩行）2 種類の情報が混在し、細密な解析をすることはできなかった。28 林分で生息の証拠が得られ、生息林分の平均面積は 21.8±14.7(SD)ha、非生息林分は 6.6±5.3(SD)ha であった。生息林分は山塊から 100m以内の地域に多く見られた。すなわち、2 種の生息にとって、最低限必要とされる林分面積の確保と供給源となる地域からの一定距離以内に生息地を確保することが必要であるものと考えられる。

2．3．哺乳類調査における今後の課題

同所的に生息する食肉目 5 種の研究が行われた例はなく、本研究によって明らかになった水戸地域における 5 種の分布の特徴は、それぞれの種の生態学的地位や人為的環境に対する耐性を反映するものと考えられる。ビオトープネットワークなどの保全方針の策定にあたっては、個体群の遺伝的構造の検討を含めた生態の更なる調査が必要とされる。また本調査によって、タヌキ、ホンドキツネへの疥癬症の蔓延や、帰化種のハクビシン(*Paguma larvata*)の分布拡大の証拠も得られたため、ネットワーク計画の策定にあたっては、回廊の持つマイナスの要素として注意する必要がある。

ニホンリスもムササビも営巣樹種や餌となる樹種に特有の選択性を持つ（西垣・川道　1996、川道 1996）ため、それぞれの種について、林分環境とその孤立度、移動能力などの要因を複合的に解析することが必要であるものと考えられる。したがって今後この 2 種を区別して調査することが最優先すべき課題である。

[参考文献]

竹内正彦 1996、栃木県産ホンドキツネの形態及び生態学的研究、金沢大学大学院博士論文、139pp.

細田徹冶・鑓雅也 1996、芝田史仁 1996、西垣正男・川道武男 1996、川道武男 1996、いずれも日本動物大百科 I（川道武男編）、平凡社、156pp.

環境庁、1979、第 2 回自然環境保全基礎調査動物分布調査報告書、91pp.

（藤原宣夫、日置佳之、金子弥生）

地方建設局等依頼経費

大規模公園におけるビオトープの計画・保全手法に関する調査

研究期間：平６～平１４年度

担当：緑化生態研究室

【要旨】本研究は、生物多様性の保全機能が高い湿地を計画する手法の開発を目指すもので、国営みちのく杜の湖畔公園（宮城県川崎町）内にある釜房湖畔の面積約30haの土地をフィールドとしている。これまで、土地的環境ポテンシャルの評価に基づく湿地適地の図化、水生昆虫類と湿性植物のためのビオトープ造成のその機能評価などを行ってきた。

１．研究目的

調査対象地の植生の立地は、10 年度の調査によって、「適潤立地」、「一時的過湿立地」、「過湿立地」、「水位変動立地」の４つに区分された。また、当地の土地利用は、釜房ダムの完成（1970 年）以前は、水田と畑が主であったが、現在は全域が国営公園となり、主としてヤナギ群落、ヨシ群落、オギ群落、オオオナモミ群落から成る湿地植生に被われている。（日置 1999）。11 年度の調査では、実際に歴史的な植生の変遷をたどることにことにより、遷移に要する時間を明らかにすることを目的とした。

２．研究方法

２．１　植生の歴史的変遷

1961 年、1975 年、1984 年の相観植生図を当時の空中写真から作成した。これに 1994 年作成の植物社会学的現存植生図を加えた４年代の植生図を、ＣＡＤを用いて重ね合わせた。なお、比較にあたっては相観レベルで凡例を統一した。36 個の微地形単位の１つ１つについて、各年代の群落面積を算出し、これを集計して上記の４つの立地ごとに各年代の群落面積を算出した。

２．２　ヤナギ群落の林齢調査

水位変動域３地点、非水没域２地点のヤナギのうち樹高が大きい順に４本選び、各々について成長錐により年輪を計測した。また、低木については伐採して年輪を計測した。計測位置はいずれも地表から 30cm の高さとした。

３．研究結果

群落面積の変化を図１に示した。調査地全域について見ると、1961 年時点で水田と畑が相半ばしていたのが、耕作放棄によってまず低茎草本群落が大きな面積を占めるようになり、その後高茎草本群落と樹林が拡大していた。とくに 1981 年以降樹林の面積が急激に拡大していた。全体的に見ると、耕作地（水田・畑）→低茎草本群落→高茎草本群落→樹林という二次遷移が進行したとみることができる。

立地ごとの遷移の傾向はつぎのようであった。

（１）適潤立地

この立地の大半では 1981 年まで耕作が行われていた。1981 年から 1994 年までの 13 年間で低茎草本群落、高茎草本群落及び樹林（その大半はヤナギ群落）が大幅に増加した。樹林は、81 年時点ではほとんど存在しなかったことから、13 年間で樹冠が鬱閉するまでに成長したことになる。この立地におけるヤナギの樹齢は 20～25 年生で、平均は 23 年生であった。これらのヤナギは耕作が行われていた時代から存在していた個体と考えられる。

（２）一時的過湿立地

1975 年の時点で水田と耕作放棄地（その大半は畑作の放棄地と推定される）が相半ばしていた。耕作放棄地の大半は高茎草本群落と低茎草本群落に被われていた。耕作放棄地がより拡大した 1981 年も同様であった。1981 年から 1994 年の間に樹林が急激に拡大したのは、適潤立地と同様であった。

（3）過湿立地

1975 年時点で約 80%が耕作放棄地となっており、1981 年まであまり変化がなかった。1994 年には約 60%が高茎草本群落に被われ、ヤナギ群落も 20%以上を占めるまでに拡大した。この立地のヤナギの樹齢は 5～23 年生で、平均は 14.5 年生であった。ヤナギ群落は、15 年程度の間に林冠が鬱閉したと考えられる。

（4） 水位変動立地

ダム湖の湛水によって水位変動域となったため、1975 年時点で全域が耕作放棄されていた。実際にはダムが完成した 70 年には耕作が放棄されたものと推定される。1975 年時点では約 80%が低茎草本群落に被われていたが、高茎草本群落と樹林が徐々に拡大してきた。しかし、その拡大速度は他の立地と比較して著しく遅く、1994 年時点においても立地の半分以上が低茎草本群落となっていた。遷移の速度が遅いのは、毎年 3 月下旬～6 月下旬までダム湖の水位が上げられ、物理的撹乱が生じるためと考えられる。ヤナギの樹齢は、12～39 年生で、平均では 22.3 年生であった。樹齢には大きなばらつきがあり、ヤナギは順次侵入したと推定される。

以上から、遷移の進行速度に関してつぎのような知見が得られた。

① 適潤立地と一時的過湿立地では遷移がもっとも速く進み、13 年程度でヤナギ群落が成立する。過湿立地では 15 年程度でヤナギ群落が成立する。

② 水位変動立地では、物理的撹乱の影響で遷移の進行が遅く、20 年以上かかってもヤナギ群落が成立しないところが多い。

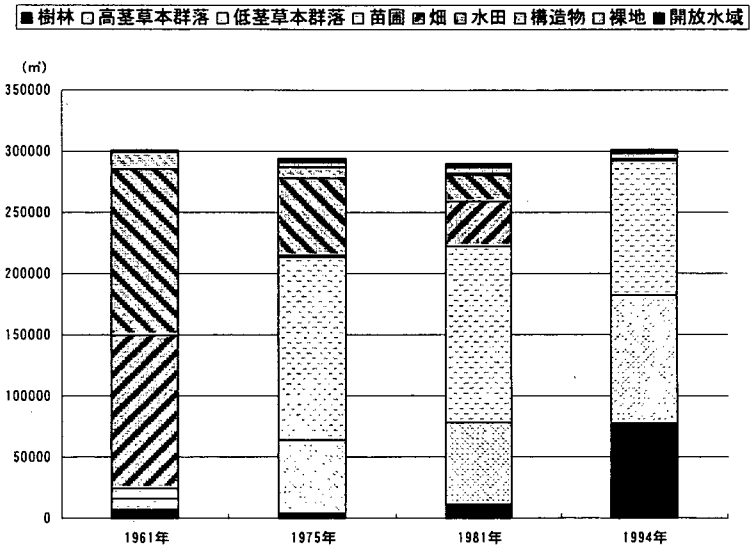


図1 調査地全域における植生・土地利用面積の変化

文献：日置佳之・藤原宣夫・水谷義昭・浅野文・田中真澄・太田望洋. 湿地植生計画のための生態学的立地区分に関する研究. ランドスケープ研究 62. 607-612. 1999

（藤原宣夫、日置佳之）

河川総合開発事業調査費

10. ダム湖における生物ふれあい空間の整備技術の開発

研究期間：平10～平14
担当：緑化生態研究室

【要旨】
野生生物の生息空間創出及び生物多様性の向上を目的としてダム湖畔で行ったビオトープ池の整備について、その効果を検証するための調査を実施した。調査は栃木県の東荒川ダムで行い、整備を実施したダム湖岸と未整備の湖岸において生物の生息状況を調べ、両者を比較した。その結果、未整備の湖岸にはほとんど水生植物が見られなかったのに対して、整備を実施した湖岸では水生植物とともに多種の水生動物が確認された。このことより、未整備のダム湖岸には存在しなかった湿地環境が創出され、湿地に適応した生物の生息が可能となったことが示された。

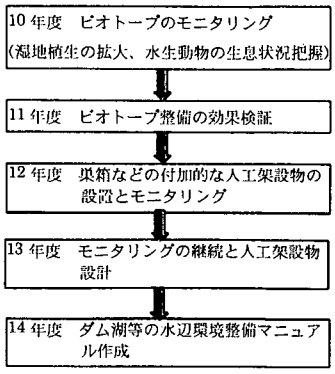


図1 研究のフロー

1．研究目的

ビオトープは、「野生生物の生息や移動に役立つ小面積の空間単位」（武内 1994）や「生物の生息空間」（高橋 1997）を意味し、地域の生態系の質の維持や向上に寄与することを期待して、その保護や創出が各地で試みられている（武内 1994）。なかでも、近年の農地化・都市化の進行で減少が著しい湿地環境の復元・創出が積極的に行われている。ダム湖は人間の水資源利用のために造られた人工的な水辺空間である。しかし、自然湖沼と比較すると、水位変動のため水際の湿地植生が発達しにくいことや、伐採のため湖岸の樹林が少ないことにより、湿地や樹林を利用する鳥類が少ないことが指摘されている（藤原ほか 1998、舟久保ほか 1999）。ダム建設前の森林や渓谷などの環境は復元できないが、ダム湖の水資源を活かしたビオトープを整備して、ダム湖に欠けている生物生息空間の創出を行い、生物多様性の向上を図ることは重要であると考えられる。このような考えから、本研究では、ダム湖におけるビオトープの整備を実際に行い、モニタリングによりその効果を検証することを目的としている。11年度は、ダム湖岸のビオトープ整備の効果検証を目的として、ビオトープ整備を実施した湖岸（以下、整備湖岸という）と実施していない湖岸（以下、未整備湖岸という）とで調査を実施し、それぞれの環境で確認された生物種を比較した。

2．調査地と方法

調査は栃木県塩谷郡塩谷町の東荒川ダムで実施した。同ダムの整備湖岸（図2参照）では、湖岸の小規模な湿地環境（A部分）を保全しつつ、新たに導入された湧水を利用して湿地の面積拡大（上池：8年度造成）とダム湖の水位変動に影響を受けない副ダムの整備（下池：9年度造成）、それをつなぐ水路の整備、池周辺の樹木の植栽が実施された。比較のための未整備湖岸としては、同ダムの比較的傾斜がなだらかな湖岸を設定した。

調査対象としては、動物の生息環境基盤となる植物と、植物と密着して生息する生物として小動物（主に昆虫類、水生動物には貝類や魚類を一部含む）を取り上げた。調査は、以下の内容で実施した。

(1)湖岸の環境を、夏季制限水位以下（以下、制限水位以下という）、水位変動域（制限水位から常時満水位まで）、陸域（常時満水位から森林のはじまりまで）、の3つに区分した(図3)。

(2)各区分で、相観の異なる植生を把握し、全ての相観植生を網羅するように50cm×50cmのコドラートを設置した。コドラート数は各区分において合計15箇所とした。

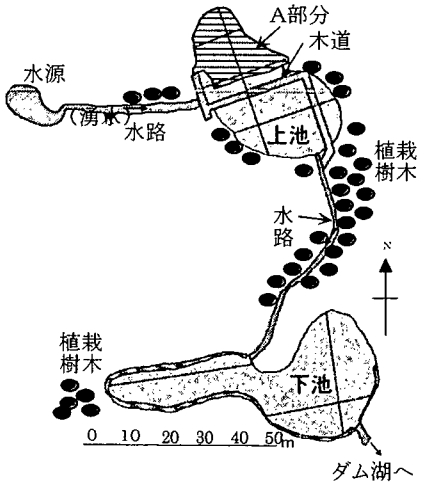


図2 東荒川ダム湖岸で実施したビオトープ整備の内容
（整備湖岸の陸地部分に整備）

2.1 植物

コドラート内に出現する植物の種毎の被度を計測した。結果の整理に際しては、各種の水分条件に対する適性を水生（角野 1994の定義に準拠）、湿生（水生植物ではないが湿ったところに生育する種、生育場所については宮脇ほか 1978を参考にした）、乾生（水生、湿生それ以外の種）に区分した。

2.2 小動物

コドラートが水域にある場合は、たも網で10回すくった。陸域の場合は、各コドラート内にピットホールベイトトラップを設置し小動物を採取するとともに、コドラートの周辺（1m×1mの範囲）でスィーピングを10回実施し、各コドラートで採取した種毎に個体数を計測した。結果は、各種を水生（水中で生活する種）、陸生（陸上で生活する種）に分けて整理した。

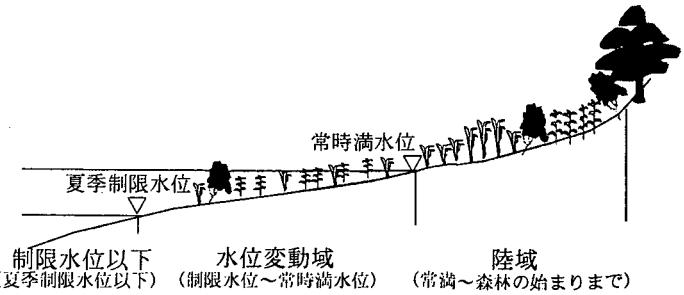


図3 湖岸の環境区分模式図

植物調査およびピットホールベイトトラップ調査、スィーピング調査は11年8月3日から5日にかけて、たも網による水生動物の調査は11年10月15日に実施した。

3．結果と考察

3.1 植物

図4は植物について環境区分別に15コドラートの合計確認種数をまとめたものである。植物の種数は制限水位以下、水位変動域、陸域の順に多くなっていた。ビオトープ整備を行った陸域の場所では、未整備の湖岸には見られない水生植物が確認され、ビオトープ池整備により水生植物の生育場所が創出されたことがわかる。

3.2 小動物

図5に植物と同様に集計した小動物の確認種数を示した。ビオトープ整備を行った場所では、水生の種が多く見られた。これは池の造成とその後の水生植物群落の形成により、水生動物の生息場所が出現したことによるものと考えられる。また、水位変動域では、未整備の湖岸の方が整備湖岸よりも、陸生の小動物の種数が多くなっていた。その要因としては、ビオトープ整備の際に湖岸が造成されたことにより撹乱が起こり、環境が単調なものになってしまったことが考えられるが、詳細は不明である。

以上のように、ダム湖岸におけるビオトープ池の整備によって、水生植物や水生動物といった未整備のダム湖岸には見られなかった生活型の種群の生息する湿地環境が創出され、ダム湖岸全体としてより多様な生物群集が見られるようになったということができる。今後は、制限水位以下や水位変動域に湿地環境を創出するための技術を開発することが課題として考えられる。

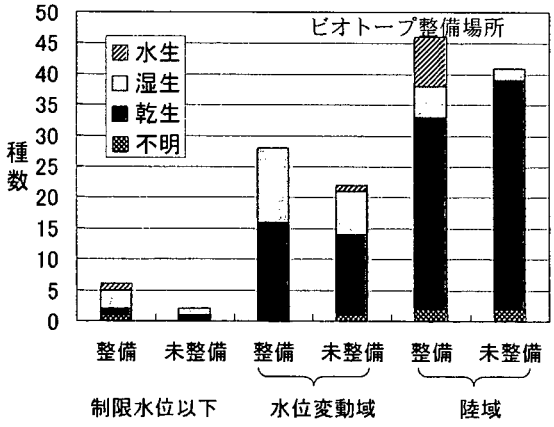


図4 環境区分別の出現種数（植物）

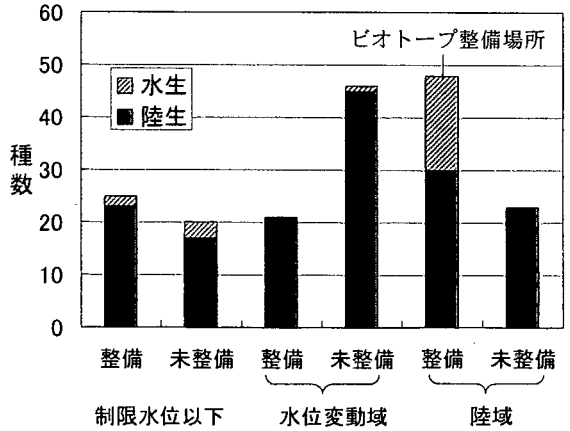


図5 環境区分別の出現種数（昆虫類）

4．引用文献

藤原宣夫・百瀬浩・田畑正敏・半田真理子・田中隆，1998，ダム湖におけるカモ類の行動と環境選択，環境システム研究，26：37-44

舟久保敏・百瀬浩・木部直美・藤原宣夫，1999，鳥類の生息環境としてのダム湖の特性　―自然湖沼との比較―，環境システム研究，27：45-53

角野康郎，1994，日本水草図鑑，文一総合出版，179pp

宮脇昭・奥田重俊・望月陸夫編、北川政夫監修，1978，日本植生便覧，850pp，東京、至文堂

高橋和也，1997，増補　応用生態工学序説，廣瀬利雄監修（株）信山社サイテック，75-84

武内和彦，1994，環境創造の思想，東京大学出版会，198pp

（藤原宣夫、木部直美、百瀬　浩）

環境基本計画推進調査費

1. 都市域での住民参加による生物多様性回復手法に関する調査

研究期間：平成10～12年
担当：緑化生態研究室

生物多様性の回復を図ろうとする際、対象地域の生物相とその分布(以下「生物情報」と呼ぶ)はもっとも基本的かつ重要な情報である。生物情報は、ビオトープ計画やビオトープのネットワーク計画を立案する際に必要不可欠である。しかし、わが国では、地域レベルでの生物情報の整備が遅れており、地域の生物多様性の保全計画に用いることができるレベルに達したものは数少ないのが現状である。

調査の流れ
平成10年度（1998）
・住民参加型生物調査の事例収集とレビュー
平成11年度（1999）
・住民参加型調査のケーススタディ実施（1年目）
平成12年度（2000） 予定
・住民参加型調査のケーススタディ実施（2年目）
・住民参加型調査の活用方法に関する検討
・都市域での住民参加による生物調査手法のとりまとめ

生物情報の調査への地域住民の参加は、環境教育の観点からも、大量のデータを集めるという点からも有効な方法であると考えられる。しかし、一方では調査体制づくりやデータの精度の面で問題点もあり、住民参加型調査の手法を確立する上では多くの課題がある。本調査は3年間（H10年度～12年度）で、住民参加型で地域の生物情報を収集する手法を開発することを目的としている。11年度は住民参加型生物調査のケーススタディを実施した。

1． 方法

ケーススタディの協力自治体の選定にあたっては、①行政による緑のまちづくりに関する意識が高いこと、②市民参加による公園・緑地作りの実績があること、③身近な生物の保全や復元に取り組んでいること、の3点に留意した。協力自治体には、これらすべての条件を満たしている東京都武蔵野市を選定した。ケーススタディは、調査体制の構築と生物の調査そのものの2つについて行うこととした。

1．1 調査体制の構築

市民の調査組織として、武蔵野市緑化公園課が窓口となり、市報による募集、既存の自然や生物関係の市民グループ参加者への呼びかけ等により会員を募集し、「むさしの生物指標調査会」を設置した。会員は市内に在住または在学・在勤の人とし、安全面から中学生以上とした。会の運営は、土木研究所、市緑化公園課、市内の自然や自然教育に明るい人で構成された幹事と事務局からなる幹事会で行った。平成11年7月に発足会と調査説明会を行った。調査説明会では、調査用の地図、調査票、資料（市内で見られる種の一覧、図鑑など）、調査の手引き等を配布した。調査の手引き作成にあたってはなるべく視覚的に分かりやすいものとするように配慮した。

調査分担は市をA～Dの4つに区分（図1）したそれぞれの地区に各2名の担当幹事を置いて調査員をグループ分けし、地区内の調査地点を2～3名の小グループで分担して調査した。また、担当幹事の内、最低1名はチョウ、トンボに詳しい人とすることで、調査員からの質問にすぐ対応できるように配慮した。

調査開始に先だって、8月に調査研修会を実習形式で2回行った。高い調査精度を実現するために、会員は原則全員参加とした。また、会員の参加状況と希望から、調査開始後の9月にも研修会を行った。市内のチョウ、トンボの主要な生息地を中心に歩き、実物を観察しながら識別のポイントや調査票の記入方法などについて研修を行った。

大半の調査員は初心者であるため、研修会では、種の識別、特に野外で飛んでいる状態での識別法についての質問が多かった。また、会員の種識別能力の向上と武蔵野市ではあまり見られない種を観察するために、港区の国立科学博物館付属自然教育園での研修会を10月に行った。

調査期間が終了した冬期には、会員の継続意欲の維持と、期間中に会員から出された種の識別に関する疑問点について学ぶために、室内学習会を11月と1月に行った。また、ミニトンボ池が実際に生息場所として利用されているかを見るために、ヤゴを中心とした調査を12月に行った。さらに、調査期間中に培った識別能力の回復を目的として、冬期研修会を日野市の多摩動物公園昆虫園温室で2月に行った。11年度の調査のまとめと12年度の調査説明会を3月に行った。

幹事と会員、会員同士の情報の共有や事務連絡、継続意欲の向上を目的とした調査会連絡誌を約2ヶ月に1度の割合で発行し、会員に配布した。また、調査会の活動を対外的に知ってもらうために、設置箇所の学校や公園事務所、市役所の窓口などにも配布した。

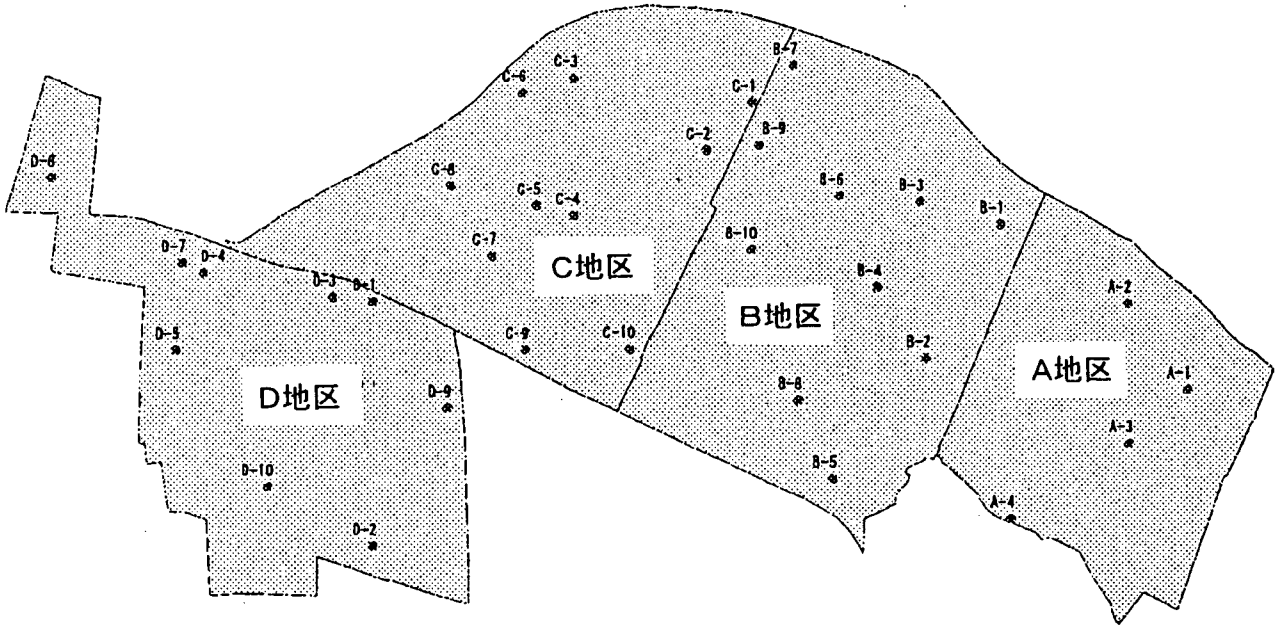


図1　調査地区・地点マップ

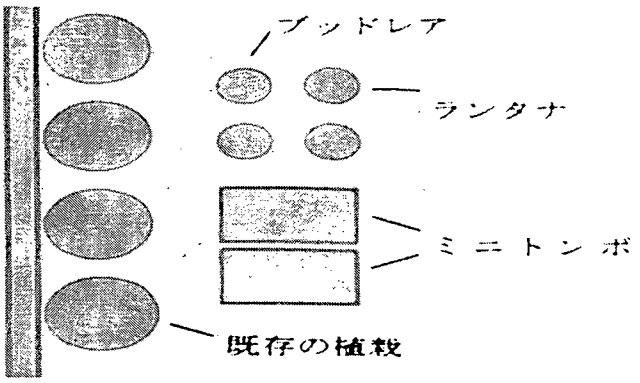
1．2　生物調査

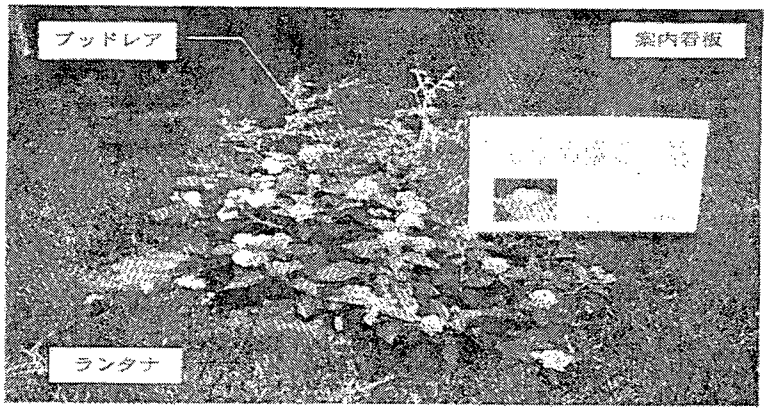
調査対象種には、チョウとトンボを選定した。選定理由は、①誰もが知っている親しみのある種であるため、市民の積極的な参加が期待できる、②識別が比較的容易であるため、調査精度を高めることができる、③環境指標性が大きいため、調査結果をまとめることにより環境の現状が把握できる、の3点である。

調査方法は、誘致型生物調査法を主とし、補足的にルートセンサスを行うこととした。対象種群の誘致施設として、チョウの吸蜜源となる植物（ブットレアとランタナ各2株）の植栽とミニトンボ池（図2）を設置し、そこに飛来した種を記録した。この調査法の長所は、①踏査型調査では発見しづらい潜在的な種の確認確率の向上が期待できる、②施設の設置箇所を中心に調査すればよいため、十分な観察を行うことが可能となり、調査精度が向上する、という点にあると考えられる。反面、花を訪れないチョウや、広い水面がないと飛来しないトンボもいるため、誘致施設の周辺も調査の対象とすることと、調査研修を兼ねたルートセンサスを行うことで、誘致されにくい種の確認を行った。

誘致施設は市内全域を網羅するように配置することとし、調査と管理の利便性に配慮して市立の小・中学校全校と一部の市立公園に設置し、その上で空白となる地域には私立学校と都立公園に設置した。設置箇所は合計33箇所となった。誘致施設の誘致効果の範囲は未知数であるため、今回は約500mと仮定して調査地点を設定した。設置箇所の条件としては日当たりが良く、メンテナンスの面から水道になるべく近い場所とした。誘致施設は、①出来るかぎり多くの種を誘致すること、②設置と撤去が容易であること、③メンテナンスが容易であること、に留意して設計した。設置後のメンテナンスは各調査員が行うこととした。

設置箇所の多くは学校であり、休日等の立ち入りが制限されるため、今回は調査会員証を作成した。これを提示することにより、支障なく調査が行えるように配慮した。設置にあたっては、緑化公園課が管轄する市立公園以外





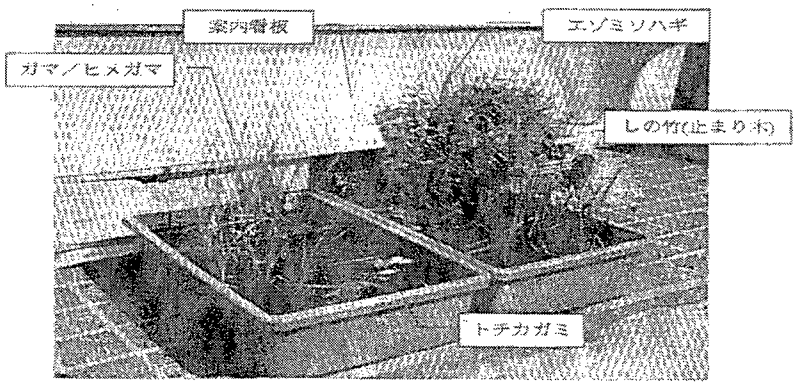


図2　誘致施設の概要
上段：1箇所の誘致施設の配置
中段：チョウを誘致するための植栽
下段：ミニトンボ池

表1 チョウ類確認地点一覧

調査地点名	出現種数	調査回数	ギルド区分	樹林性のチョウ								林縁性のチョウ										草地性のチョウ									
			ギルド細区分	樹林の上部～縁部					樹林の内部			マント群落						林縁の草地					草地								
			調査地名	アオスジアゲハ	クロアゲハ	カラスアゲハ	ムラサキシジミ	ルリタテハ	ヒカゲチョウ	サトキマダラヒカゲ	クロコノマチョウ	ナミアゲハ	キチョウ	ウラナミシジミ	ウラギンシジミ	ダイミョウセセリ	ルリシジミ	スジグロシロチョウ	ヒメジャノメ	アカタテハ	ミドリヒョウモン	オオチャバネセセリ	キマダラセセリ	ヤマトシジミ	イチモンジセセリ	モンシロチョウ	チャバネセセリ	キタテハ	ヒメアカタテハ	キアゲハ	ベニシジミ	ツバメシジミ	ツマグロヒョウモン	モンキチョウ
A-1	15	16	本宿小学校		●							●	●	●	●			●	●				●	●	●	●	●	●		●	●		
A-2	6	9	第三中学校	●								●										●	●	●				●					
A-3	8	9	第三小学校	●	●							●	●										●	●	●			●					
A-4	9	9	鎌田公園	●	●		●		●			●	●		●				●				●										
B-1	8	6	第四小学校	●								●	●					●					●	●	●							●	
B-2	2	8	藤村女子高校																				●					●					
B-3	10	12	成蹊小学校						●				●		●			●	●				●	●	●				●			●	
B-4	7	11	第一小学校		●							●						●					●	●	●	●							
B-5	12	7	井の頭公園自然文化園		●			●	●	●		●	●					●	●			●	●	●	●								
B-6	25	17	木の花小路公園	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●		●	●	
B-7	11	7	第四中学校	●			●					●	●	●				●					●	●		●				●	●		
B-8	6	7	井之頭小学校									●	●						●				●	●					●				
B-9	9	8	大野田小学校		●							●	●					●	●			●	●								●		
B-10	1	7	第一中学校										●																				
C-1	9	10	市役所	●								●	●	●									●	●	●		●						
C-2	5	9	武蔵野東小学校										●										●	●	●		●						
C-3	9	9	中央公園	●								●	●		●								●	●	●				●				●
C-4	9	9	第五小学校									●				●		●		●			●	●	●		●		●				
C-5	14	13	関前公園	●	●							●	●	●		●				●			●	●	●	●	●	●	●				
C-6	13	11	千川小学校	●	●							●	●					●		●			●	●	●	●	●	●		●			
C-7	3	4	第五中学校		●							●											●										
C-8	8	8	関前南小学校	●	●			●		●		●							●				●		●								
C-9	5	7	西久保公園									●	●										●	●	●								
C-10	6	7	三谷公園	●								●	●	●					●				●										
D-1	0	0	第六中学校																														
D-2	3	2	境南小学校									●											●	●									
D-3	0	0	第二小学校																														
D-4	5	6	第二中学校										●					●					●			●			●				
D-5	12	8	亜細亜大学	●	●							●	●	●				●		●			●	●	●	●		●					
D-7	8	6	桜野小学校	●								●	●					●					●		●	●			●				
D-8	12	6	小金井公園	●	●	●						●	●									●	●		●	●	●		●	●			
D-9	0	1	本村公園																														
D-10	8	6	もみじ山公園									●	●	●		●							●	●	●		●						
			出現箇所数	15	13	2	2	2	4	3	1	25	23	8	5	4	1	13	9	3	3	2	2	29	21	19	10	9	8	7	7	4	3	1

表2 トンボ類確認地点一覧

調査地点名	出現種数	調査回数	ギルド区分	止水性のトンボ																湿地性のトンボ		
			ギルド細区分	明るい水面（植生なし）				明るい水面（植生あり）	抽水植物帯						樹林に囲われた水面（植生なし）		樹林に囲われた水面（植生あり）			高茎草湿地		
			調査地名	シオカラトンボ	ウスバキトンボ	ギンヤンマ	コシアキトンボ	クロイトトンボ	アキアカネ	ノシメトンボ	アジアイトトンボ	ナツアカネ	コノシメトンボ	ショウジョウトンボ	オオシオカラトンボ		モノサシトンボ	リスアカネ	オオアオイトトンボ	マユタテアカネ		
A-1	9	18	本宿小学校	●	●		●		●	●	●		●		●		●					
A-2	0	9	第三中学校																			
A-3	3	9	第三小学校	●	●				●													
A-4	2	9	鎌田公園	●	●																	
B-1	1	6	第四小学校	●																		
B-2	3	8	藤村女子高校	●				●							●							
B-3	5	12	成蹊小学校	●					●		●	●			●							
B-4	0	11	第一小学校																			
B-5	1	7	井の頭公園自然文化園										●									
B-6	2	17	木の花小路公園	●					●													
B-7	3	7	第四中学校	●	●				●													
B-8	0	7	井之頭小学校																			
B-9	8	8	大野田小学校	●	●			●	●	●					●							
B-10	0	7	第一中学校																			
C-1	2	10	市役所	●					●													
C-2	2	9	武蔵野東小学校	●					●													
C-3	2	9	中央公園	●					●													
C-4	2	9	第五小学校	●					●													
C-5	10	13	関前公園	●		●		●	●			●		●			●	●	●		●	
C-6	4	11	千川小学校	●					●						●			●				
C-7	0	4	第五中学校																			
C-8	1	8	関前南小学校						●													
C-9	2	7	西久保公園	●					●													
C-10	1	7	三谷公園												●							
D-1	0	0	第六中学校																			
D-10	1	6	もみじ山公園						●													
D-2	0	2	境南小学校																			
D-3	0	0	第二小学校																			
D-4	1	6	第二中学校	●																		
D-5	4	8	亜細亜大学	●		●			●	●												
D-7	4	6	桜野小学校	●		●			●	●												
D-8	3	6	小金井公園	●					●						●							
D-9	0	1	本村公園																			
D-10	1	6	もみじ山公園						●													
			出現箇所数	20	5	3	1	3	18	4	2	2	2	1	7		2	2	1	1		

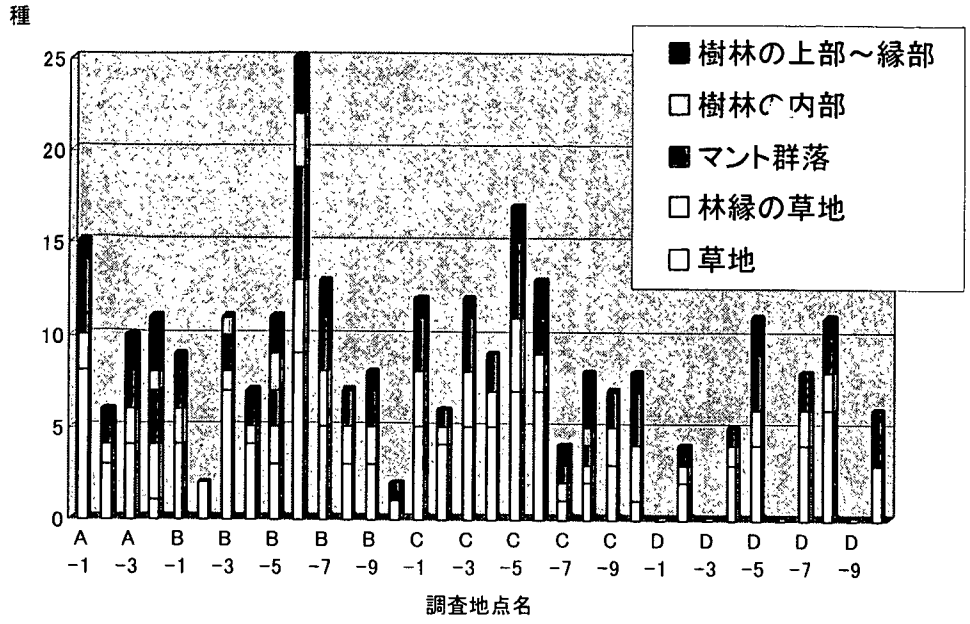


図3 チョウ類の調査地点別確認種数とギルド細区分比率

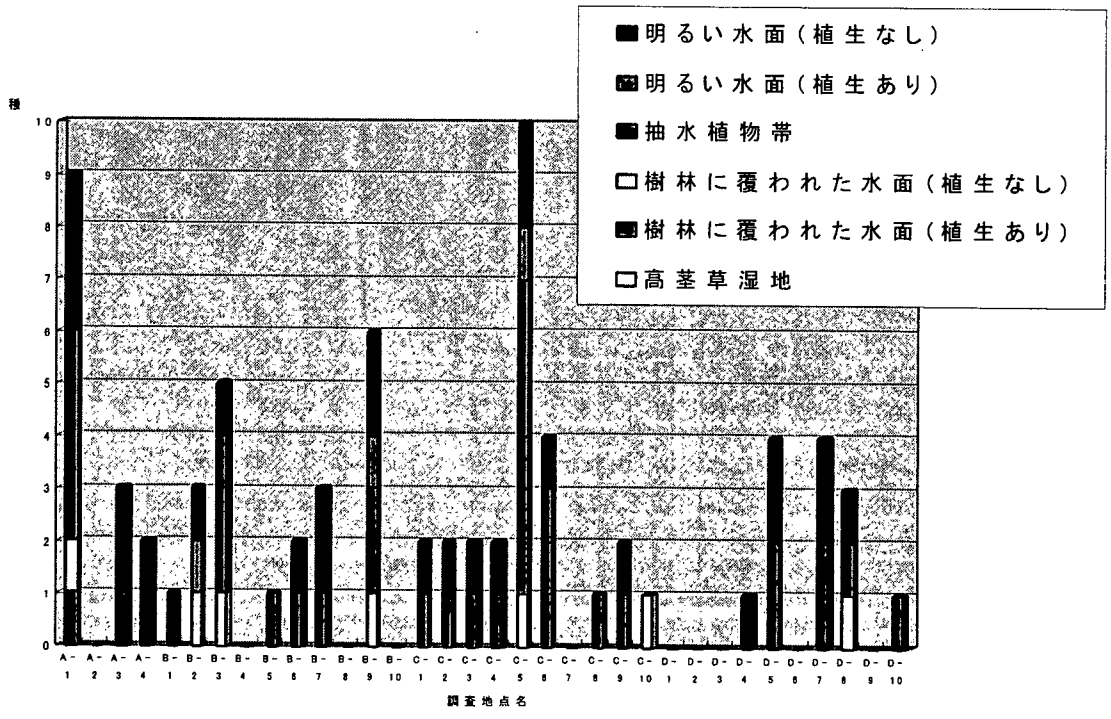


図4 トンボ類の調査地点別確認種数とギルド細区分比率

は個別に協力の要請と説明を行ない、併せて具体的な設置箇所についても確認を行った。調査は誘致施設の設置が完了した9月4日から11月15日まで、2週間に1度の割合で行った。1スパンの調査期間は土曜から翌々週の日曜までの9日間とし、この間に各調査地点を最低1回は調査することとした。目視のみで同定が困難な場合は採集して確認することとした。調査票には誘致施設とその周辺(設置箇所から見渡せる範囲程度)で確認されたものをわけて記入することとし、同定に自信のないものは、後から種の識別ができるように、特徴をなるべく細かく記入し、提出後幹事がチェックすることとした。ルートセンサスは各地区グループ毎に調査地区内にルートを設定し、9月と10月に行った。ルートの設定は、樹林、畑地、住宅地など、様々な環境を通るように配慮した。

2．　結果と考察

調査会には50名の応募に対して43名の参加があった。地区によって調査箇所数と人数が異なるため、1箇所当たりの調査員数は1～1.5人となった。調査期間中に合計1290件のデータが集まった。その内、種が不確実なものは118件であり、有効なデータの割合は、全データの約91%であった。住民参加型の調査としては高い調査精度が確保できたと考えられる。

確認された種はチョウ34種、トンボ17種であった。その内、チョウ1種はルートセンサスだけで確認され、また、トンボ1種はミニトンボ池調査時にヤゴのみが確認された（表1、表2)。チョウについては1980年以降に確認されている49種(西多摩昆虫同好会編　1991)のうち、2ヶ月半の調査でその約70%を確認することができた。トンボについては、文献（東京都西部公園緑地事務所 1993）等から事前に生息が予測された21種の内、約67%にあたる14種が確認され、さらに、それに含まれない種が3種確認された。

誘致施設の内、ミニトンボ池のかい掘り調査では、4種のヤゴが確認され、繁殖地として利用されていることがわかった。チョウについては、ブットレアとランタナの生育が不十分であったため、誘致施設そのものではなく、周辺で確認されたものが多かった。周辺を調査範囲に含めたことにより、花を訪れない種も確認された。

日置ほか(印刷中)に従い、確認された種をギルド(同じような資源を利用する種群)に区分し、その調査地点ごとの種数と構成比率を図3と図4に示した。チョウでは草地性（11種）と林縁性（12種）の種が多くの地点で確認され、特に確認箇所数上位5種はすべて草地性または林縁性の種であった。樹林性の種は8種確認されたが、うち6種は確認箇所数が4箇所以下であった。特に樹林の内部を利用する種は周辺にまとまった樹林のある地点のみで確認された。例外的にアオスジアゲハとクロアゲハの2種は13箇所以上で確認された。両種の本来の生息環境は樹林であるが、食樹があれば様々な環境に生息するため、街路樹や校庭、庭などに植えられている食樹で発生することにより、多くの地点で確認されたと考えられる。調査地点別で見ると、B－6で際立って多くの種が確認されたが、これは、この地点がとくに生き物に配慮した公園で、チョウの食樹や食草、吸蜜植物が豊富に植栽されていることに加え、周辺にまとまった樹林があるためと考えられる。

トンボについては出現地点の少ない種が多く、シオカラトンボとアキアカネの2種のみが全体の半数以上の調査地点で確認された。これらの種は、小規模な止水域に生息できるために、多くの地点で確認されたと考えられる。全般に明るい止水面と沿岸の抽水植物帯に生息する種が多く確認された。調査地点別で見ると、確認種数の多い地点は、隣接してトンボが生息する既存の池がある場所であった。最も多くの種が確認されたがC－5は、隣接して既存のトンボ池があることが効いていると考えられる。また、1種も確認されなかった地点が9箇所もあった。トンボは生息のために水域が必要であるため、市内の生息地は限定されており、周辺に生息地がない地点では確認されにくいのではないかと考えられる。

高い調査精度と種の確認率が得られた理由としては、①各地区の幹事にチョウ、トンボに詳しい人がいることにより、会員にきめ細かな対応、指導ができたこと、②種の識別法の研修を野外で実物を見ながら行ったこと、③各会員の意識、意欲が高く、会員の中で詳しい人が、初心者を支援してくれたこと、④誘致型調査としたことにより、十分な観察を行えたこと、が考えられる。

以上から、誘致施設で確認される種の構成は、周辺の環境の影響が強いことが示唆され、特に樹林性のチョウとトンボについてその傾向が強く見られた。

[引用文献]

西多摩昆虫同好会編（1991）：東京都のチョウ　189-197ｐ．けやき出版．東京

東京都西部公園緑地事務所　（1993）：井の頭恩賜公園自然環境調査報告書（平成4年度業務）281ｐ．緑生研究所．東京

日置佳之・須田真一・百瀬浩・田中隆・松林健一・裏戸秀幸・中野隆雄・宮畑貴之・大澤浩一（印刷中）：ランドスケープの変化が種多様性に及ぼす影響に関する研究　－東京都立石神井公園周辺を事例として－　保全生態学研究第5巻第1号．保全生態学研究会．東京

（藤原宣夫 、日置佳之、須田真一）

建設技術研究開発経費

1.2.1　生態情報の統合化及び活用に関する研究

研究期間：平11～平14年
担当：緑化生態研究室

【要旨】

本研究は環境アセスメントの効率化のため、既存自然情報やリモセン技術等により把握した地域の自然概況をGISデータベースとして整備し、アセスの各段階で必要な情報を提供するシステムの開発を目的としている。１１年度は、栃木県宇都宮市周辺をモデル地域として、植生・地形・土地利用・気候等の環境情報をGISデータとして整備した。また、アセスの動植物・生態系に関する手続きを整理し、必要な情報の種類や処理手順の概略について検討した。

１．研究目的

環境アセスメントを効率的に実施するためには、法令で定められた地域の指定状況に関する情報や植生、動物の分布などの環境情報を一元的に管理・活用することが必要である。しかしながら、現在このようなシステムが存在しないため、公共事業などの各現場において広域かつ基礎的な調査を行うことを余儀なくされており、調査期間の長期化や調査コストの増大といった問題を生じている。本研究では、自然基礎情報（生物の生息や環境に関する情報、自然関係地域指定情報等）を、リモートセンシング技術及びＧＩＳ（地理情報システム）を活用して一元的に提供するシステムの開発を目的としている。

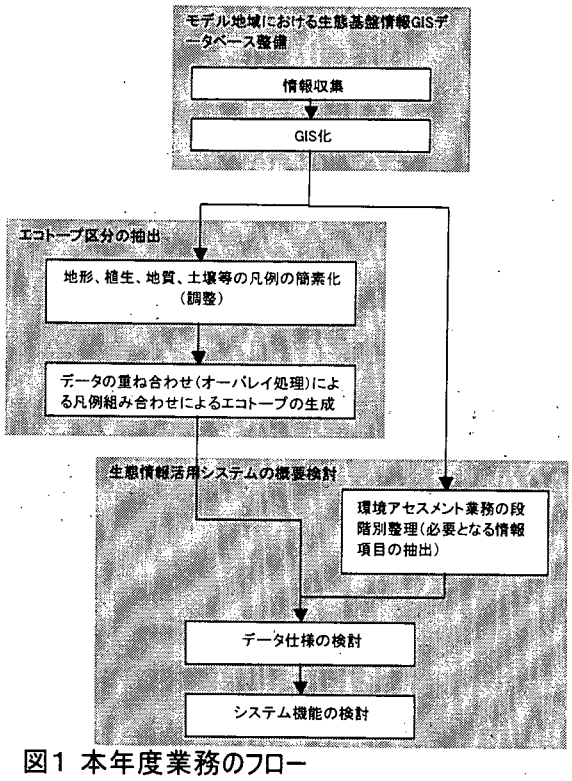


図1 本年度業務のフロー

２．研究方法

２．１ モデル地域の生態情報GISデータ整備

本研究を進めるためのモデル調査地として、栃木県宇都宮市から東部に広がる東西約29km、南北約11kmの地域（面積約320km²）を選定した（図２）。この地域内の自然環境に関わる各種情報（表１）を収集し、GISデータベースを整備した。このうち地形に関するデータは国土庁土地分類基本調査の地形分類図（5万分の1）から手入力によってデータを整備した。また、植生に関しては環境庁自然環境GISの植生図（5万分の1）を基に、空中写真判読と現地踏査をもとに改変部分を修正してＧＩＳデータとした。

２．２　生態情報活用システムの検討

環境アセスメント（動植物・生態系分野）の段階毎に必要な情報を整理し、そのために必要な自然環境に関わるデータの種類や要件、データ処理の流れなど、アセスメント支援のための生態情報活用システムの仕様概要の検討を行った。

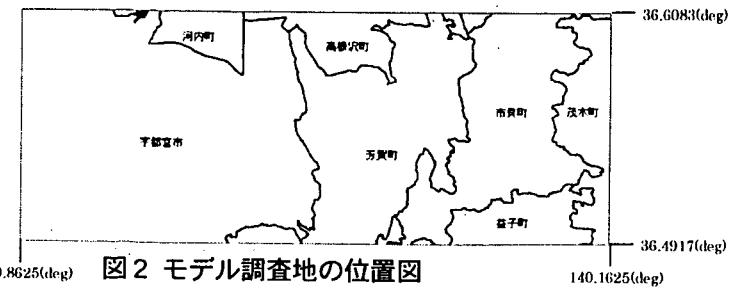


図2 モデル調査地の位置図

表1 モデル地区において整備したGISデータ

	項目	情報源	備考
生物生息基盤	標高	数値地図50mメッシュ（標高）	標高値から計算
	傾斜		
	斜面方位		
	河川	国土数値情報W02－52L	
	地形	土地分類基本調査（紙図面）	データ入力は図面のディジタイジング作業による。
	地質		
	土壌		
生物分布	現存植生	環境庁自然環境GIS	
	特定植物群落		
施設	道路	全国デジタル道路地図データベース	
	鉄道	国土数値情報N02－07L	
地域指定	自然環境保全地域	環境庁自然環境GIS	（領域内になし）
	鳥獣保護区		
	世界遺産		
その他	行政界	数値地図25000（行政界・海岸線）	場所により1／2分割メッシュとする。
	人口	国勢調査地域メッシュ統計	
	土地利用	細密数値情報L03－03N	
	気候値メッシュ	国土数値情報G02－62M	降水量・気温・積雪

3．研究結果

3．1　モデル地区の生態情報GISデータベース整備

本研究で整備したデータは、生態情報活用システムで取り扱うために、取得したデータに対し必要な修正・変換を施し、カバレッジ及びシェープファイル形式（米ESRI社Arc/Info及びArcViewの標準データ形式）で1項目1レイヤーのGISデータベースとして整備した。なお、いずれのデータも緯度経度座標系により整備した。

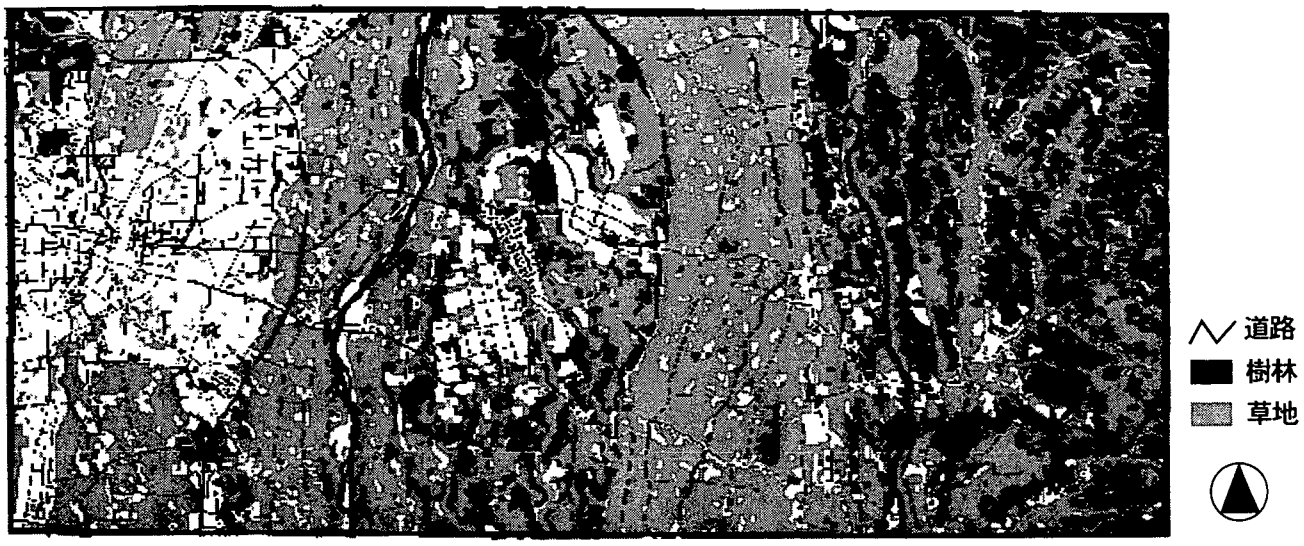


図3 モデル調査地で整備したGISデータの例

整備したＧＩＳデータベースの例として、植生図（凡例を簡略化して、各種樹林と草地に分けたもの）に、道路（ベクトルデータ）を重ねたものを図3に示す。

3．2　生態情報活用システムの検討

まず、環境影響評価法に基づく環境アセスメント（以降、「法アセス」と称する）の手続きにおいて、GISによる情報の活用範囲を検討した。法アセスの作業とそこで取り扱われる情報を簡単にまとめたのが、図4である。図4の各ステップのうち、既存資料収集、現地情報収集作業によってデータを収集し、蓄積していくのは主に「準備書作成」までの段階である。そこで、図4の各ステップごとに、必要とされる情報の種類およびステップの実施目的を整理したのが次ページの表2である。

法アセスでは、第二種事業に関する判定（スクリーニング）を地域特性及

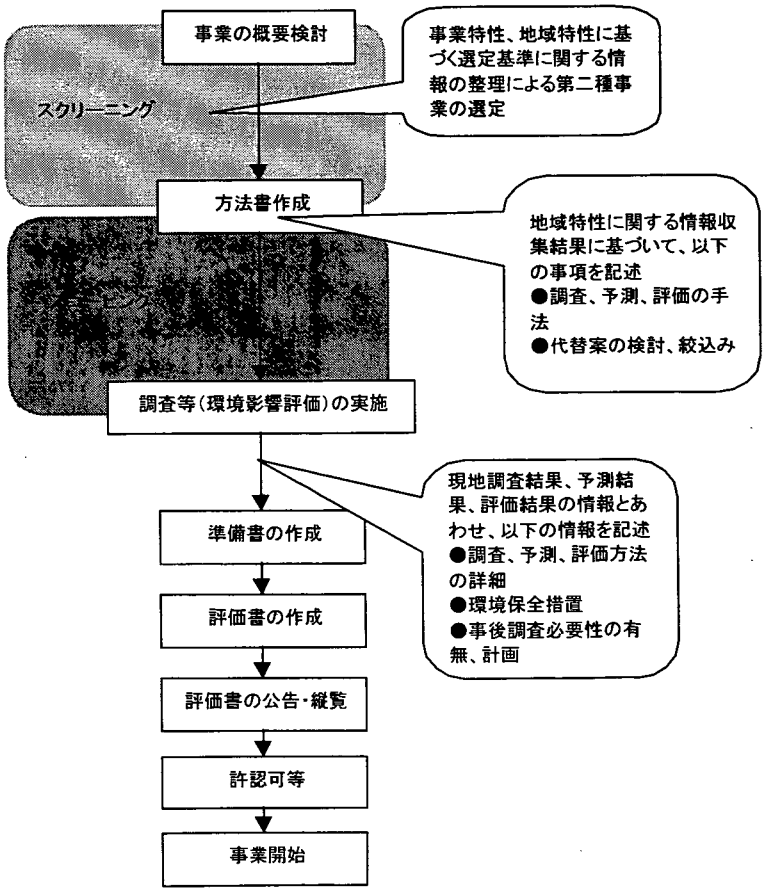


図4 法アセスの作業フローと各段階での情報の取り扱い

表２　法アセスの各段階で必要となる情報の概要

	必要とする情報	情報の区分	目的
スクリーニング	地域特性による判定基準に関する情報	既存資料	・第二種事業の選定
	事業特性による判定基準に関する情報	〃	
方法書作成	地域特性に関する情報	既存資料 現地概査 ヒアリング	・代替案の検討、絞込み ・調査、予測、評価手法の選定（環境影響評価実施方法の決定）
準備書作成	現況調査による情報	現地収集	・評価 ・事後調査計画策定
	関係者意見	〃	
	予測・評価結果に関する情報	作業成果	
	事後調査結果に関する情報		

び事業特性に基づいて行う事とされている。この内地域特性情報は、地域概況調査における資料収集に加え、現地での概略調査、有識者へのヒアリング等を経て、方法書に記述しなければならないとされている。

この地域特性情報に基づいて、代替案の検討（道路事業ならば複数ルートの検討）、さらに方法書に記述する調査・予測・評価手法の検討も行われることになる。このために収集すべき情報項目から、自然環境情報すなわち動植物についての情報に着目すると、建設省令では「生息または生育、生態系の状況」という事項として、表３に示す項目が挙げられている。また、表３の実際の調査段階における標準調査項目では、生態情報として表４に示す項目を調査すべきとしている。

これらの情報を、GISを用いたアプリケーションシステムで利用することを前提として、必要と

表３　地域特性把握段階で必要となる生態関連情報

区分	項　目
動物	主な動物の生息の状況
	学術上または貴重性の観点からの動物の重要な種および注目すべき生息地の概況
植物	主な植物の生育の状況
	学術上または貴重性の観点からの動物の重要な種および注目すべき生育地の概況
	植生の状況
生態系	地域を特徴付ける生態系および注目種等の状況

表４　調査段階で必要となる生態関連情報

区分	項　目
動物	重要な種および注目すべき生息地
植物	重要な種および重要な群落
生態系	地域を特徴づける生態系

表５　生態関連情報の種類とGISで取り扱うためのデータ要件

	データ項目	GIS上での表現	データの属性	
			データ形式	保有すべき属性
動物	動物相	種の分布	点で表現	種名
	重要な種等の生態	重要な種の生息領域	面で表現	生息する種の名称
	重要な種等の確認位置	種の分布	点で表現	種名
	重要な種等の生息状況	種の行動範囲	面で表現	種名、行動内容
	重要な種等の生息環境の状況	微地形	点、メッシュで表現	標高値、傾斜度、傾斜方向
		水系	面で表現	流域面積、水系名称
		植物群落	面で表現	群落名
植物	植物相	植物群落	面で表現	群落名
	重要な種・群落の生態	植物群落	面で表現	群落名、群落の特性
	重要な種・群落の分布	種の確認地点	点で表現	種名
		植物群落	面で表現	群落名
	重要な種・群落の生育状況	植物群落	面で表現	群落構成種の生育状態
	重要な種・群落の生育環境の状況	微地形	点、メッシュで表現	標高値、傾斜度、傾斜方向
		水系	面で表現	流域面積、水系名称
		植物群落	面で表現	群落名
生態系	注目種・群集の生態	注目種の生息領域	面で表現	生息する種の名称
		植物群落	面で表現	群落名、群落の特性
	注目種・群集とその他の動植物の食物連鎖上の関係および共生の関係	注目種の生息領域	面で表現	・当該種の食物連鎖上の上位種名 ・当該種の食物連鎖上の下位種名 ・当該種と共生関係にある種
		植物群落	面で表現	群落を構成する種を餌とする動物の種名 共生関係にある動物の種名
	注目種・群集の分布	注目種の確認地点	点で表現	種名
		植物群落	面で表現	群落名
	注目種・群集の生息・生育の状況	注目種の行動範囲	面で表現	種名、行動内容
		植物群落	面で表現	群落構成種の生育状態
	注目種・群集の生息環境または生育環境	微地形	点、メッシュで表現	標高値、傾斜度、傾斜方向
		水系	面で表現	流域面積、水系名称

なると考えられるデータの種類及び要件（仕様）をとりまとめたのが前ページの表５である。具体的には、GIS上で各種情報を取り扱えるように、それぞれの情報を電子地図上で表現するための図形（点、線、面のいずれか）、さらに属性としてどうような内容の情報を付加しておくか、といった観点でまとめたものである。

本研究で検討している、アセスメント支援システムは、これらのデータをまとめたGISデータベースを活用して、予測・評価に活用しようとするものである。このシステムの、データベースを中心とする活用イメージをまとめたのが図５である。また、同システムに求められる基本的なデータ図示機能を、動植物・生態系に関する部分についてまとめたのが表６である。

国土管理の基盤となるべき情報インフラとして、今後整備されることになる各種の環境ＧＩＳ情報を活用し、それらに事業ごとに必要となる情報を加えて一元的に整備・活用することで、環境アセスメントを効率よく実施することができるようになると考えられる。また、各事業で蓄積された自然情報を集約・整理することで、広域の生物分布把握や自然情報の一般への提供など、二次的な活用も行えるようになると期待される。

（藤原宣夫、
木部直美、
百瀬　浩）

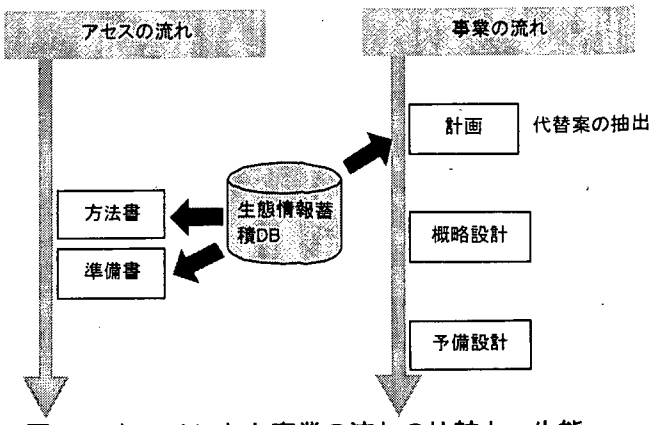


図５ アセスメントと事業の流れの比較と、生態情報蓄積DB（データベース）の活用イメージ

表６　予測項目に対応したシステムの具体的機能

		用いるデータ（レイヤ）	システムが自動生成するデータ（レイヤ）	システムが自動生成する属性データ
動物	生息地が消失・縮小する区間の予測	・種の分布（点） ・種の生息領域（面） ・対象事業の構造物の位置（面）	・構造物内となる領域に存在する種の分布点（点） ・構造物と生息領域のラップ部分（面）	・種の分布点のうち、構造物内となる点の数、種名リスト ・種の生息領域のうち、構造物内となる領域の種名および面積
	重要な種等の移動経路が分断される区間の予測	・種の行動範囲（面） ・対象事業の構造物の位置（面）	・構造物と行動範囲とのラップ部分（面）	・ラップ部分の規模により、移動障害の可能性を推定
植物	生育地が消失・縮小する区間の予測	・種の確認地点（点） ・植物群落（面） ・対象事業の構造物の位置（面）	・構造物内となる領域に存在する種の分布点（点） ・構造物と既存群落のラップ部分（面）	・種の確認地点のうち、構造物内となる点の数、種名リスト ・植物群落のうち、構造物内となる領域の群落名および面積
	改変面積	・植物群落（面） ・対象事業の構造物の位置（面）	・構造物と既存群落のラップ部分（面）	・事業によって喪失される群落の種名、面積と、消失割合
生態系	生息・生育基盤が消失・縮小する区間	・種の分布（点） ・種の生息領域（面） ・植物群落（面） ・微地形（メッシュ） ・水系（面） ・土壌水分（メッシュ） ・対象事業の構造物の位置（面）	・生息、生育基盤領域（エコトープ）（面） ・構造物と生息・生育基盤領域のラップ部分（面）	・生息、生育基盤領域を、植物群落、生息領域等の一次情報から自動生成し、これを対象事業の構造物の面データと重ね合わせてラップする部分を抽出する。 ・ラップした部分の生息、生育基盤領域とその面積、焼失割合
	注目種・群集の移動経路が分断される区間	・種の行動範囲（面） ・対象事業の構造物の位置（面）	・構造物と行動範囲とのラップ部分（面）	・ラップ部分の規模により、移動障害の可能性を推定

道路事業調査費

1.2.3　道路による動物の生息域への影響低減技術の調査研究

研究期間：平10～平14年
担当：緑化生態研究室

【要旨】
栃木県宇都宮市東部周辺（東西24×南北11km、面積約320km²）及び長野県松本市北部周辺（東西16×南北13km、面積約210km²）を調査地として、希少猛禽類の生息状況把握のため、営巣分布などの調査を行った。栃木調査地ではオオタカとサシバが高密度に営巣していたほか、ツミ、ノスリ、チョウゲンボウの営巣を確認した。調査地内の都市部を除く地域ではオオタカの巣がほぼ均等に分布しており、オオタカのなわばりが飽和状態に近い密度で分布していることをうかがわせた。長野地域ではオオタカ、ノスリ、ハチクマ、トビ、チョウゲンボウの営巣を確認した。栃木調査地でオオタカ1つがいの行動圏を電波テレメトリー法で追跡したところ、メスは冬期から繁殖期にかけて行動圏を変えたのに対し、雄は同じ行動圏に冬から繁殖期にかけて留まることが確認された。

1．研究目的

近年、各地の道路建設において希少猛禽類の保全が課題となっている。しかし、希少猛禽類の分布や生態については、現在よく分かっていないところが多く、調査や影響予測の方法、環境保全措置についても、確立されていないのが現状である。本研究は、オオタカを始めとする希少猛禽類の生息環境条件、実際の営巣状況等を、都市域から山地までの様々な環境を含む場所で野外調査を行うことで明らかにすることを目的としている。更に、個体に電波発信機を装着し追跡するテレメトリー調査により、行動圏の広さや行動圏内の環境利用を明らかにし、希少猛禽類の調査・保全手法の確立のために役立つ資料を得ようとするものである。

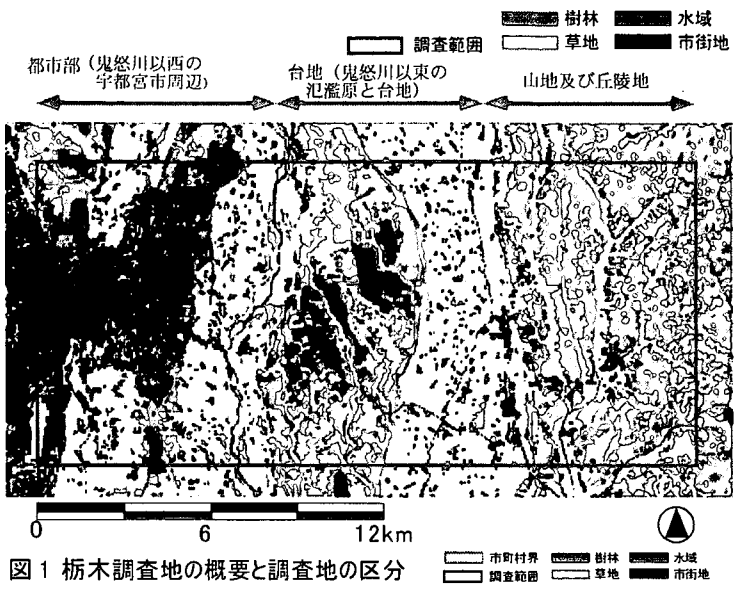


図1 栃木調査地の概要と調査地の区分

2．研究方法

2．1　営巣状況調査

栃木地域は11×24km、長野地域は16×13kmの調査地域を設定した。栃木調査地の概要を図1に、長野調査地の概要を図2に示す。これらの図中の植生分布は、環境庁自然保護局が作成した「自然環境GIS」の植生図（5万分の1）データの一部を現地調査により修正したものである。これらの調査地内で、平成10年度の冬期に踏査により発見した猛禽類の古巣を、平成11年（1999年）の繁殖期に訪れ、猛禽類の営巣状況を確認した。

2．2　オオタカ行動圏の追跡調査

環境庁の許可を受けてオオタカの巣付近に捕獲用の罠を設置し、個体を捕獲した。捕獲個体には速やかに電波発信機を装着し、再び放鳥した（写真1参照）。装着個体を電波テレメトリー法によって追跡し、行動圏の概要を調べた。追跡調査は冬期（1～2月）から繁殖期（3～7月）にかけ実施した。

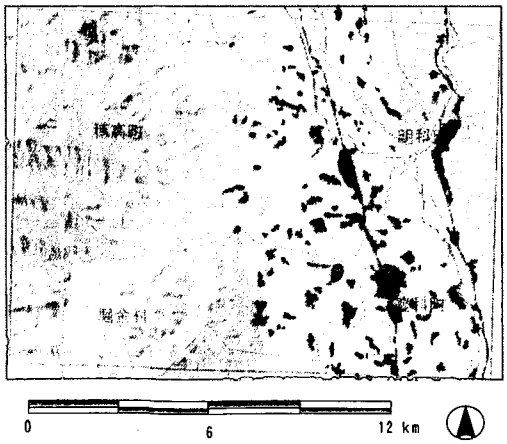


図2 長野調査地の概要

3．研究結果及び考察

3．1　調査地における猛禽類の営巣状況

表1に両調査地で発見された各種の営巣数を示す。図1上部に示した栃木調査地の区分の内、都市部は宇都宮市とその周辺市街地、台地部は標高90～120m程のなだらかな地形で主として水田・畑・市街地からなり、山地部は標高120～200m程度の丘陵地で、パッチ状のコナラ林・スギやヒノキの植林・アカマツ林と谷戸の谷底面が交錯する地形となっていた。長野調査地は平地をはさんで両側が山地となっており、オオタカは山麓で4巣が発見された。

栃木調査地では、オオタカの営巣を17箇所確認したほか、営巣を示唆する4箇所を加え計21の営巣例があった。営巣個所の内訳は、都市部で



写真1 発信機を装着したオオタカ雄

2、台地部で9、山地で10であった。これを100km²あたりの繁殖番数に換算すると、都市部で2.3、それ以外の部分で10.3となった。これらの値を文献から他事例と比較したのが表2である。本調査地の繁殖密度は同様の調査が行われている栃木県那須野ヶ原とほぼ等しく、海外の事例と比べても概ね高密度であった。調査地内での巣の分布は、営巣密度が低かった都市部を除きほぼ均等であるように見えた。台地部と山地を合わせたこの高密度範囲（以降好適地と呼ぶ）に分布する19の巣について、巣間距離を計測し、ヒストグラムにしたのが図3である。巣間距離は1600m未満のものは一つもなく、第1のピークが2400～4000m位の所にあり、その後少なくなって最初のピークの約2倍の距離に第2のピークが現れた。図中の曲線は、好適範囲にランダムに分布させた19個の点500組について、互いの距離を計測しヒストグラムを滑らかな線で結んだものである。この結果から、オオタカの巣間距離が個体間の排他性によって調節されていることが示唆された。すなわち、好適地においてオオタカのなわばりが飽和している、言い換えればオオタカが環境収容力一杯に営巣している事が示唆された。好適範囲の面積を営巣箇所数で単純に割ると、一つがいあたりの営巣利用地域の面積は約10km²で、円に近似して半径が1.5kmとなった。これは、環境庁が「猛禽類保護の進め方…(1996)」で示す高利用域の推定範囲（巣から1～1.5km）の外側の値と等しかった。

表1 両調査地での各種猛禽類の営巣数

種名	学名	調査地名 栃木 面積 290km²	長野 208km²
オオタカ	*Accipiter gentilis*	21	4
サシバ	*Butastur indicus*	33	0
ツミ	*Accipiter gularis*	4	0
ノスリ	*Buteo buteo*	1	3
チョウゲンボウ	*Falco tinnunculus*	1	2
トビ	*Milvus migrans*	0	92
ハチクマ	*Pernis apivorus*	0	1

表2 本調査地でのオオタカ営巣密度と、他の研究事例の比較

文献	調査場所	調査地面積(km²)	繁殖番数	密度(繁殖番数/100km²)
本調査	栃木県宇都宮周辺(全域)	272.8	21	7.7
本調査	〃(鬼怒川西の都市部)	88.5	2	2.3
本調査	〃(好適範囲＝都市部以外の台地＋山地)	184.4	19	10.3
遠藤他, 1999	栃木県那須野ヶ原	220.0	20.4	9.3
Crocker-Bedford, 1990	Arizona, USA			11.0
Shuster, 1977	Northern Colorado, USA			7.0
Krueger & Stefener, 1996	Westphalia, Germany	425.0	32.0	5.5
Reynolds, 1983	Oregon, USA			4.0
Cramp. *et al.* (Eds.), 1980	ヨーロッパ中・西部の4ヶ所			3～5
Hoeglund, 1964	Sweden			1～4.5
McGowan, 1975	Alaska, USA			2.0

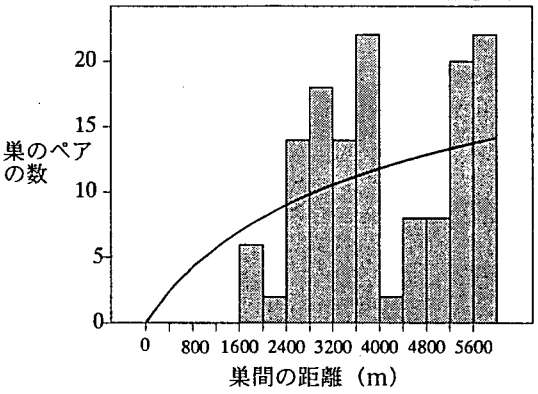


図3 鬼怒川以東の調査地（好適部分）でのオオタカの巣間距離の頻度分布と、シミュレーションによるランダム分布（曲線）との比較。巣間距離6000m以上のデータは切り捨てた。

本調査の結果から、オオタカの営巣に留意すべき直接影響範囲として、1.5kmという従来の知見の妥当性が示唆された。また、オオタカが本調査地の様に高密度に営巣している場合、各個体が営巣位置を簡単には移動できない状況が予想されるため、営巣個所の変更を伴う様な生息環境の改変を行う場合、少し離れた別の場所に巣を移動させる、といった対策は困難となる。こうした場合、周辺個体の営巣位置まで考慮に入れた広域的な保全策を検討する必要があるものと思われる。

3．2　行動圏の追跡調査結果

図3に発信機で行動圏を調査することができた1つがいのオオタカの行動圏を示す。オスは冬期（1～2月）から繁殖期（3～7月）にかけて、常に巣を中心とした安定した行動圏を示したのに対し、メスは冬期雄の行動圏からかなり離れた場所も含む広い面積を行動圏として利用していた。メスは3月以降抱卵のため巣に滞在し、4月以降も巣を中心とした狭い行動圏の中で行動した。このつがいは繁殖に成功し、1999年7月10日に巣立ち1週間前位と見られる2羽の雛を巣内で確認した。

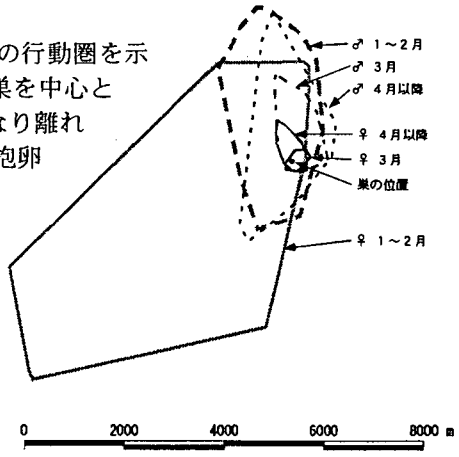


図4 オオタカ1つがいの冬期から繁殖期にかけての行動圏の変化

4．引用文献

Cramp. S. *et al.* (Eds) 1980. Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa. vol. 2. Oxford Univ. Press., **Crocker-Bedford, D. C. 1990.** Wildl. Soc. Bull.18:262-269. **遠藤他 1999** 1999年度日本鳥学会大会講演要旨集 p.154. **Hoeglund, N. H. 1964.** Viltrevy 2:271-328. **McGowan, J. D.** 1975. Federal Aid Wildlife Restoration Project Report W-17-3, W-17-4 to W-17-5, W-17-6, Job 10.6R, 57pp. **環境庁 1998** *http://www.biodic.go.jp/rdb/rdb_f.html* **環境庁 1996** 猛禽類保護の進め方（財）日本鳥類保護連盟、pp.110. **Kruger, O. & Stefener, U. 1996.** Vogelwelt 117: 1-8. **McGowan, J. D. 1975.** Federal Aid Wildlife Restoration Project Report W-17-3, W-17-4 to W-17-5, W-17-6, Job 10.6R, 57pp. **Reynolds, R. T. 1983.** USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorad. General Tech. Report RM-102, 7pp. **Shuster, W. C. 1977.** Western Birds 8:29.

（藤原宣夫、石坂健彦、百瀬　浩）

＜ 平成11年度に掲載された論文 ＞

表　　題	著者名	雑　誌名	発　行	巻号、頁	発行年月	本誌頁
鳥類の生息環境としてのダム湖の特性 －自然湖沼との比較－	船久保　敏 百瀬　浩 木部　直美 藤原　宣夫	環境システム研究	(社)土木学会	Vol.27 pp.469－475	1999.10	89
ダム湖の水位変動域に造成した池に成立した池沼－湿地生態系	日置　佳之 須田　真一 水谷　義昭 太田　望洋 裏戸　秀幸	環境システム研究	(社)土木学会	Vol.27 pp.477－487	1999.10	96
Structure of Territorial Songs in the Japanese Bush Warbler (*Cettia diphone*)	Hiroshi Momose	Memoirs of the Faculty of Science , Kyoto University (*Series Biology*)	京都大学理学部	Vol.16 No.2 pp.55－65	1999.12	107
湿地植生計画のための鳥類の潜在的生息地図化とシナリオ分析に関する研究	日置　佳之 百瀬　浩 水谷　義昭 松林　健一 鈴木　明子 太田　望洋	ランドスケープ研究	(社)日本造園学会	Vol.63 No.5 pp.759－764	2000.3	118

鳥類の生息環境としてのダム湖の特性　－自然湖沼との比較－

Environmental Characteristics of the Dam Lake as Birds' Habitat －Comparison with a Natural Lake－

舟久保敏*・百瀬浩**・木部直美**・藤原宣夫**
Satoshi FUNAKUBO*, Hiroshi MOMOSE**, Naomi KIBE**, Nobuo FUJIWARA**

Abstract: Bird distribution and vegetation were studied at a dam lake (Higashi-Arakawa dam lake, Shioya-Cho, Tochigi prefecture) and a nearby natural lake (Lake Yunoko, Nikko, Tochigi prefecture) in Japan to find out the characteristics of dam lake's avifauna and to make plans to improve its environment as habitat for birds. The vegetation around the dam lake was more patchy than that of the natural lake, and dam lake's shore area was mainly composed of young-aged shrub, annual herb, bare soil and rock. There was no emerged plant community in the lake's shore. Birds seen near the dam lake were mainly species that prefer open land and bushes. On the other hand, the natural lake's shore was mainly surrounded by mature coniferous, deciduous and mixed forest, and in the lake's shore there were some communities of emerged plants. Many birds including forest-living and wetland species were observed near the lake shore. We proposed the following measures to improve dam lake's environment as habitat for birds: 1) conservation of wild trees at the time of dam construction, especially near the maximum water level, 2) creation of wetlands without water level change or construction of artificial floating islands to facilitate the establishment of emergent plant communities along the lakeshore.

Keywords: Dam lake, Preservation of bio-diversity, Birds, Habitat creation

1　はじめに

ダムの建設は既存の自然環境を一変させる。しかし、生物多様性の減少が地球規模の問題として一般に認識され、野生生物の生息環境の確保がこれらの公共事業に対する社会的な要請となっている今日、それを単なる自然環境の破壊にとどめるのでなく、山間湖沼という新たな野生生物の生息環境を創造する契機と捉え、それに関わる保全・整備を積極的に進めていくことが、ダム管理者に課された責務であろうと考える。

著者らは、このような視点に立ち、特に生態系の高次捕食者として位置づけられる鳥類を対象に、その生息に適したダム湖の環境整備のあり方について基礎資料を得ることを目的として調査・検討を行った。具体的には、ダム湖にみられる鳥類全般とその生息環境を対象にした野外調査を実施し、現在のダム湖がどのような鳥類に利用されているのかを把握するとともに、同様の調査を山間部の自然湖沼で行いダム湖と比較することで、ダム湖の持つ特性を明らかにし、今後どのような環境整備を進めればより多様な鳥類が生息できるかを提案した。

*　建設省九州地方建設局　Kyusyu Region Construction Bureau, Ministry of Construction
**　建設省土木研究所　Public Works Research Institute, Ministry of Construction

表1　調査湖沼の概要

名称	成因・用途	湖面標高	湖面面積	備考
東荒川ダム	重力コンクリート式多目的ダム	523.1m*	0.37km^2	平成2年造成。銃猟禁止。
湯の湖	堰止湖	1,475m	0.32km^2	銃猟禁止（国立公園内）。湖面での釣り、ボート許可。冬季には湖面の一部が氷結する。

*ダム湖の場合は常時満水位を示す

2　調査地

調査は東荒川ダム（栃木県塩谷町）と湯の湖（栃木県日光市）の２ヶ所で行った。各湖沼の概要は表１に示した。ダム湖に比較する自然湖沼として湯の湖を選定した理由は、①地理的に近い（直線で約40km）、②堰止湖であり成因が似通っている、③ほぼ同面積である、ということによる。

3　調査方法

3．1　鳥類調査

1995年5月から1996年1月にかけて、両湖沼で季節別に計16回、可能な限り湖岸沿いを周回するように設定したセンサスルート（図１、２）を歩いて、左右50m以内に出現した鳥類の種名、数、行動、位置を記録した。

3．2　環境調査

両湖沼において、航空写真と夏期（1995年７～９月）の現地踏査により湖岸の相観植生図を作成した。また、各植生区分に属する代表的な地点をいくつか選び出し、それらの地点で水準測量を行って、断面の形状と植生の変化点を記録し、湖岸の植生断面図を作成した。

4　調査結果

4．1　ダム湖の湖岸環境の特徴

両湖沼について、センサス区域にあたる部分の相観植生図を示した（図１、図２）。

東荒川ダムは、低山帯に位置し、周辺植生は主にスギ･ヒノキ植林とクリ、コナラを主体とした落葉広葉樹林で構成されていた。しかし、湖岸傾斜の比較的急な場所では、ダム建設時の伐採と冠水の影響を受け、下部は貧弱な草本植生、上部は伐採後の先駆性の樹種が生育する落葉低木林となっている部分が多かった（図４、写真１）。さらに、冠水、波浪の影響が強い場所は、土壌の浸食や崩壊が生じ裸地化していた。一方、湖岸の傾斜が緩い場所では、下部に一年生草本、上部に向かうにつれススキなどの多年生草本からなる比較的広い幅の草本植生が現れた。また、支川流入口には一部ヤナギ林もみられた。

湯の湖は、亜高山帯に位置し、周辺植生は主に針葉樹林で構成されていた。北側の湖岸は流入土砂の堆積による砂州上にヤナギ林や抽水植物群落がみられたとともに、部分的に観光施設等の人工物が存在した。西側から南側にかけての湖岸は、比較的急な斜面上に針葉樹林が発達しており、北斜面ではアスナロが優占し、南斜面ではアスナロに落葉樹が混じる混交林がみられた（図４、写真２）。また南側の平坦地では、混交林内にシウリザクラなどの落葉樹が多かった。東側の湖岸は、主としてミズナラの優占する落葉広葉樹林がみられ、車道を挟んだ奥には、一部にカラマツ植林があった。

両者について、相観植生図と断面図を比較すると、湯の湖では林相の違いはあるにせよ北側を除くほぼ全周が発達した自然林で占められていたのに対し、ダム湖では草地から森林に至る様々な環境が、モザイク状の分布を成していたことがわかる。

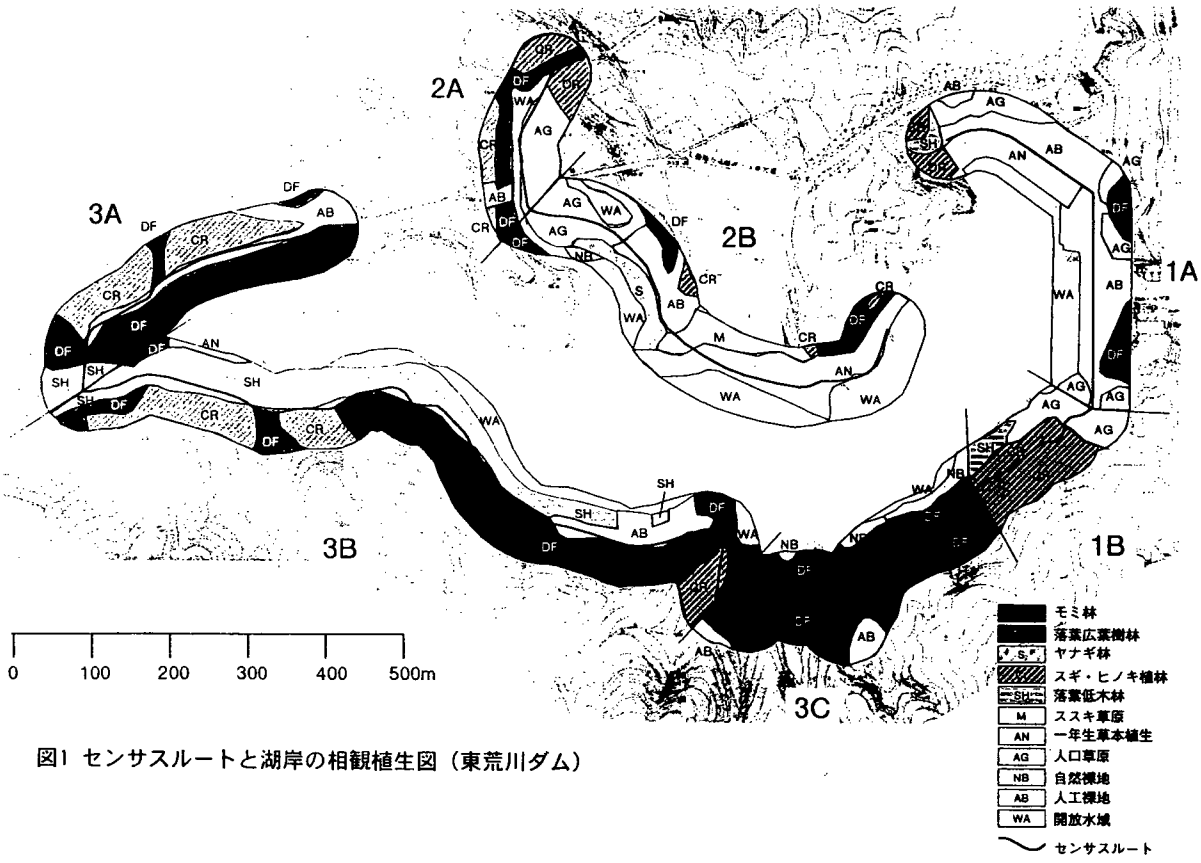


図1 センサスルートと湖岸の相観植生図（東荒川ダム）

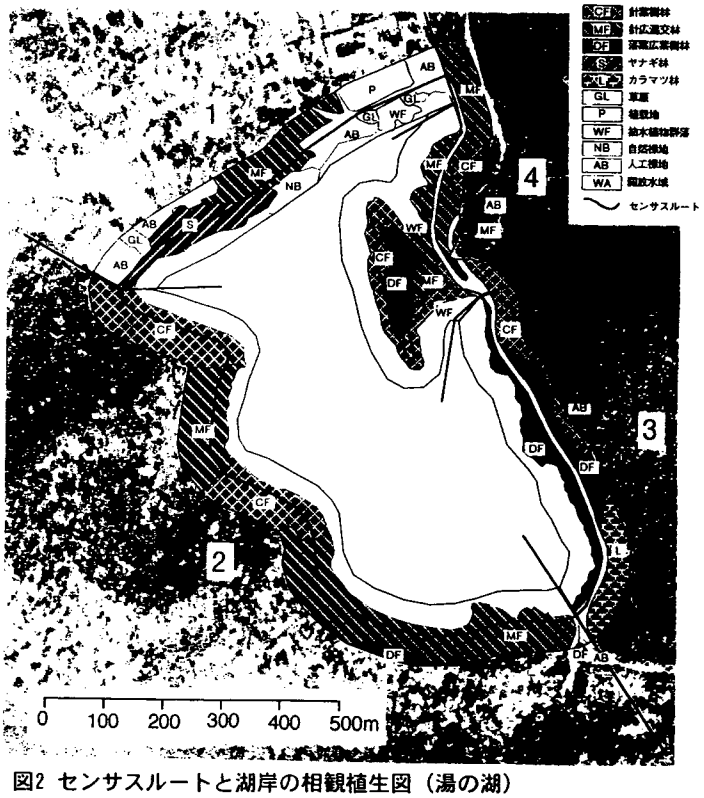


図2 センサスルートと湖岸の相観植生図（湯の湖）

4．2　ダム湖でみられた鳥相の特徴

今回の調査では2ヶ所の湖沼で、表2に示す76種、延べ2,860個体の鳥類が観察された。これをみると、両湖沼で年間を通じての種数はそれほど変わらなかった（東荒川ダム58種、湯の湖55種）が、種構成はかなり異なっていた。両湖沼は950m程標高差があり、そのため気候や植生帯が異なっている。黒田[1]は、富士山地域で鳥相を調べ、標高と共に鳥類相が変化する様子を記載している。また、由井[2),3)]は、各地での鳥類調査結果から、日本の鳥類を、それらが生息する植生に伴い15の群集に類型化しており、東荒川ダムは由井の繁殖期の類型では、クヌギ･コナラ林型（ヒヨドリ－ホオジロ－シジュウカラ群集－これらが優占上位3種を占める）に該当する。一方、湯の湖は温帯針葉樹林型（ヒガラ－シジュウカラ－ヤマガラ群集）に近いと考えられるが、広葉樹林を好むようなキビタキやコルリも多く見られた。このように、標高による環境条件の違いにより、両湖沼の鳥相は異なっていると考えられる。そこで、鳥種について直接比較することは避け、各種が採餌や営巣場所として主に利用する空間（草地･疎林、森林、水辺など）を、その種の生息環境と定義し（表1）、これら生息環境区分別の鳥類の出現について両湖沼で比較を行った。結果を、越冬期、秋期、繁殖期に分けて、優占度（全観察個体中に占める割合）が高かった5種とその生息環境を示したものが図3である。ダム湖においては、各季節を通じて草地･疎林性の種が多く、森林性の鳥類で多かったのは、主にヒヨドリ、シジュウカラといった市街地でも見られるような環境適応性の高い種であった。一方、自然湖沼については、各季節ともほぼ森林性鳥類が優占していた。また、5種の占める割合を比較すると、いずれの季節もダム湖の方が一部の種が独占的に出現する傾向が見られた。

次に、水際まで発達した樹林が覆っている湯の湖のブロック2と、水際が開放的な東荒川ダムのブロック3B（図1、図2）において、繁殖期を対象に水際からの距離に応じた出現種の種構成と個体数の違いをみた（図4）。ダム湖においては、水際に近いところでは草地･疎林性の種が多く、湖岸から離れるほど、森林性の鳥類が増加する傾向があった。一方、湯の湖では、水際からすぐに森林性の鳥類が見られた。これらの違いは、ダム湖では湖岸周辺の植生が草地や伐採後の低木林であるのに対して、自然湖沼では湖岸からすぐに高木の樹林が始まっていることと対応していた。

さらに、両湖沼における繁殖期の森林性鳥類を対象として、調査ブロック（図1、図2）ごとの自然林（原生林と二次林から低木林を除いたもの）の面積率とブロック内で観察された種数との関係をみると、有意な正の相関が得られた（$r=0.806$, $n=11$, $p<0.01$; 図5）。自然林だけでなく人工林を含めた森林率でみた場合、同じく有意な相関が得られたものの、その相関の程度は低くなった（$r=0.680$, $n=11$, $p<0.05$）。

最後に、水鳥についてみてみると、繁殖期についてはダム湖のカルガモ、湯の湖のマガモを除き、繁殖が期待されるような種類は記録されず、一方、越冬期にはダム湖において、カルガモ、コガモ等の湖内休息型

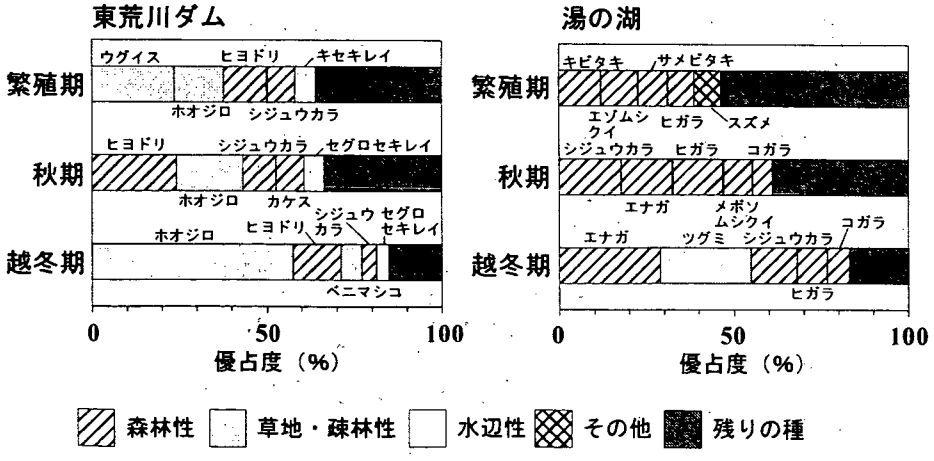


図3　ダム湖と自然湖沼に見られた優占上位5種

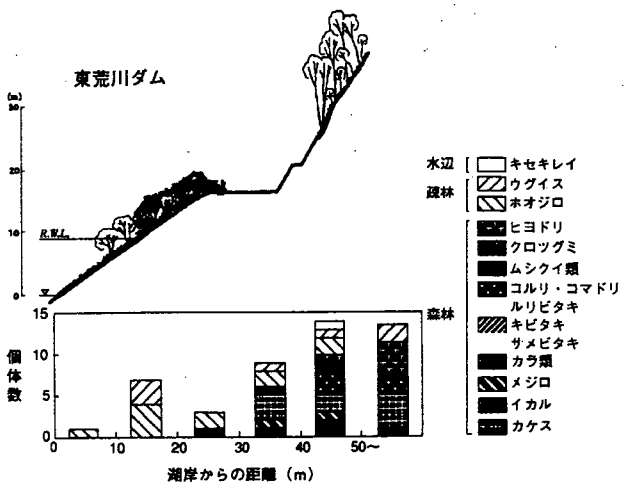
表2 出現鳥類の一覧

	No.	種名	生息環境*1	繁殖期（5、6月） 東荒川ダム	繁殖期（5、6月） 湯の湖	秋（9、10月） 東荒川ダム	秋（9、10月） 湯の湖	越冬期（12月） 東荒川ダム	越冬期（12月） 湯の湖	備考
				39種	39種	27種	34種	41種	21種	
留鳥	1	ハシボソガラス	その他	0.8*2	1.00	0.17	0.75	0.17	1.00	
	2	ヒガラ	森林	0.20	1.00		1.00	0.17	1.00	
	3	カケス	森林	1.00	1.00	0.83	1.00	0.67	1.00	全季節を通じ出現
	4	トビ	水辺	0.60	1.00	0.83	0.75	0.67	1.00	
	5	コゲラ	森林	0.60	0.67	0.33	0.25	0.67	1.00	
	6	シジュウカラ	森林	1.00	1.00	0.50	1.00	0.83	1.00	
	7	ウグイス	草地・疎林	1.00	1.00	0.67	1.00	0.17		
	8	スズメ	その他	0.80	1.00		0.50	0.17		
	9	キジバト	森林	1.00	0.67	0.50	0.25	0.17		
	10	ハシブトガラス	その他	0.60	1.00	0.33	1.00	0.50		
	11	キセキレイ	水辺	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83		湯の湖で越冬
	12	セグロセキレイ	水辺	1.00	0.67	0.83	0.25	1.00		
	13	アカゲラ	森林	0.40	0.67	0.33	0.50	0.33		
	14	アオジ	草地・疎林	0.40	0.67	0.17		0.67		
	15	ホオジロ	草地・疎林	1.00	0.33	1.00		1.00		
	16	メジロ	森林	0.80	0.33	0.33		0.33		
	17	カワガラス	水辺	0.40		1.00	0.25	0.33	1.00	
	18	ヒヨドリ	森林	1.00		0.67	0.25	1.00	1.00	
	19	ヤマガラ	森林	0.60		0.17	0.25	0.17		東荒川で繁殖
	20	カルガモ	水面	0.40		0.50		0.33		
	21	ヤマセミ	水辺	0.40		0.33		0.33		
	22	モズ	草地・疎林	0.20		0.83		0.50		
	23	カワラヒワ	草地・疎林	0.40				0.67		
	24	オシドリ	水面	0.40		0.83			1.00	
	25	ルリビタキ	森林		0.33		0.75	0.33		湯の湖で繁殖
	26	コガラ	森林		0.33		1.00		1.00	
	27	キンクロハジロ	水面		0.33		0.25		1.00	*3
	28	ホシハジロ	水面		0.67		0.50	0.17	1.00	*3
	29	マガモ	水面		1.00	0.33	1.00	0.33	1.00	
冬鳥	30	アオサギ	水辺					0.17	1.00	
	31	カワアイサ	水面					0.33	1.00	冬期共通種
	32	エナガ	森林			0.33	0.75	0.50	1.00	
	33	ツグミ	草地・疎林					0.83	1.00	
	34	アオゲラ	森林			0.17		0.33		
	35	ハクセキレイ	水辺			0.50	0.50	0.17		
	36	コガモ	水面			0.67		0.33		
	37	カヤクグリ	森林				0.25	0.33		
	38	オナガガモ	水面					0.17		
	39	ノスリ	森林					0.17		東荒川で越冬
	40	シロハラ	森林					0.17		
	41	シメ	森林					0.17		
	42	ジョウビタキ	草地・疎林					0.33		
	43	カシラダカ	草地・疎林					0.33		
	44	ベニマシコ	草地・疎林					1.00		
	45	キクイタダキ	森林				0.50		1.00	
	46	ヒドリガモ	水面				0.25		1.00	湯の湖で越冬
	47	オカヨシガモ	水面						1.00	
	48	スズガモ	水面						1.00	
夏鳥	49	メボソムシクイ	森林	0.20	0.33		1.00			
	50	イワツバメ	その他	0.20	1.00		0.75			
	51	キビタキ	森林	0.20	1.00		0.50			
	52	イカル	森林	0.20	0.33		0.25			夏期共通種
	53	クロツグミ	森林	0.20	0.33					
	54	アカハラ	森林	0.20	0.33					
	55	ホトトギス	森林	0.80	0.33					
	56	センダイムシクイ	森林	0.60	1.00					
	57	ヨタカ	森林	0.20						
	58	アオバト	森林	0.20						
	59	ヤブサメ	森林	0.40						
	60	ジュウイチ	森林	0.60						東荒川で繁殖
	61	ツバメ	その他	0.60						
	62	サンショウクイ	森林	0.80						
	63	オオルリ	森林	1.00						
	64	ゴジュウカラ	森林		0.67		0.25			
	65	ミソサザイ	森林		0.33		0.75			
	66	エゾムシクイ	森林		1.00					
	67	コルリ	森林		1.00					
	68	ウソ	森林		0.67					湯の湖で繁殖
	69	コマドリ	森林		0.67					
	70	サメビタキ	森林		0.33					
	71	ツツドリ	森林		0.33					
	72	カッコウ	草地・疎林		0.33					
	73	オオタカ	森林		0.33					
	74	ノジコ	草地・疎林				0.25			
	75	ゴイサギ	水辺				0.25			秋期のみ
	76	ビンズイ	草地・疎林			0.17				

*1 生息環境区分について　草地・疎林：草地、樹冠の鬱閉していない林地、森林の林縁部に主に生息している鳥類
その他：人里に棲む種（スズメ、ツバメ）、分布環境が広く特定できない種（カラス類）、その他（イワツバメ）

*2 数値は、センサス回数あたりの出現回数を示す

*3 何らかの理由で越夏した個体と思われるが整理の都合上「夏鳥」に入れた



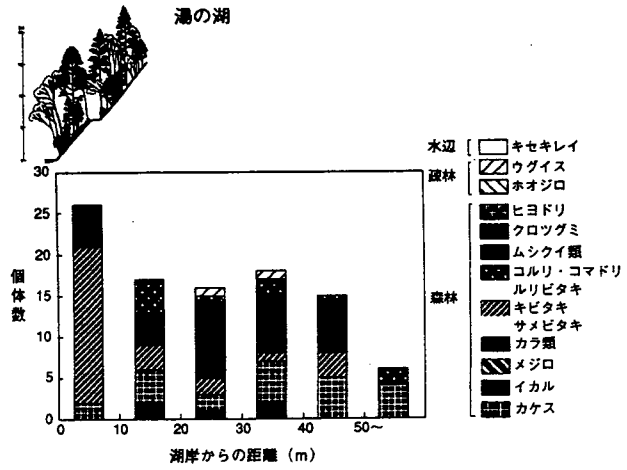


図4 湖岸からの距離による種構成の違い

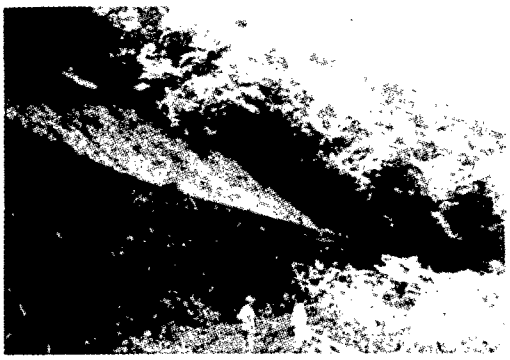


写真1 東荒川ダム湖岸の様子（ブロック 3B）



写真2 湯の湖湖岸の様子（ブロック２）

のカモ類が数多く確認された。東荒川ダムが、冬期にカモ類の休息場所として利用されていることは、藤原ら[4]によっても報告されている。また、カモ類の一部については、草本植生からなる湖岸の場所で採餌する様子も観察された。

5 考察 －鳥類の生息に適したダム湖の環境整備のあり方について－

以上の結果から、ダム湖の鳥相の特徴について、次のようにまとめることができる。単純に種数のみで比較した場合、ダム湖と自然湖沼では大きな違いはない。しかし、ダム湖と自然湖沼でみられる鳥の種構成は異なる。これは、ダム湖と自然湖沼の湖岸植生の違いに影響を受けていると考えられる。ダム湖の湖岸付近には、発達した樹林が少なく、代わりに裸地や草地、伐採跡地の落葉低木

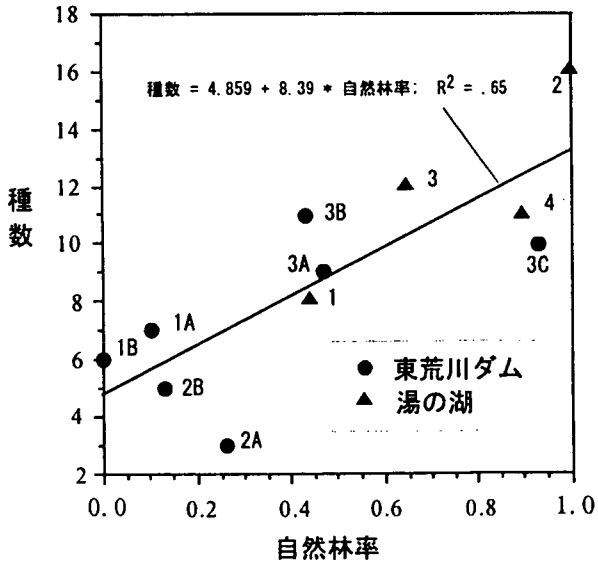


図5 種数と自然林率の関係

林がモザイク状に分布する。また、湖岸の湿地植生もほとんどみられない。低木林化は、樹林のダム造成時に最大水位付近まで湖岸の樹林を伐採することと、湿地の不在は、ダム湖の湖岸が急傾斜であり、かつ年間の水位変化が大きいことに起因していると考えられる。このような環境では、陸鳥では、開放的な環境を好む種群が水際を中心として多く見られ、森林性の鳥類は湖岸から離れて生息している。一方、水鳥では、越冬期において、新たに作り出された広い湖面を避難場所とする多くのカモ類が出現する。しかし、休息以外の活動はあまりみられず、繁殖期では、湿地植生を営巣の場とするカイツブリのような種をみることができない。なお、著者等は同年の夏期に長野県戸隠村に位置する小鳥ヶ池を訪れた。同池はダム湖よりも標高の高いところ（1,320m）にあり、面積も小さかった（0.06km^2）が、灌漑用溜池のため水位変動が小さく、湖岸沿いにかなり広い湿地植生が分布しており、親子連れのカイツブリを観察することができた(写真3)。



写真3 小鳥ヶ池（長野県戸隠村）

これらのことから、今後のダム湖の環境整備のあり方について、以下の提案を行いたい。まず、自然湖沼の鳥相を目標とし、陸鳥では森林性鳥類が生息できる環境づくりを、水鳥では休息のみならず、営巣や採餌ができる環境づくりを掲げることにする。そのためには、造成時における配慮事項として、①できるだけ最大水位付近での伐採を行わないようにすること、②湖岸に湿地植生の成立しやすい地形を造ることが重要である。後者については、可能であれば河川流入口等に副ダムを建設し、水位変動のない水域を造ることが効果的ではないかと思われる。また、これらの対策が行えない場合や、既に整備済みのダム湖で大きな湖岸の改変を行うことのできない場合には、他の改善策として、①樹洞営巣性の鳥類等の営巣環境を緊急的に確保するために、経過的措置として各種の巣箱等の構造物を設けること、②水位変動に追随する人工の浮島等を設け、湿地植生を確保すること、を挙げたい。

しかし、今回の調査では、これらの提案を具体化する手だてについては検討していない。今後は、各整備課題を実現化させるための具体的な手法、工法や材料の検討を行っていくとともに、実際の整備を通じた現地での実証的な調査・研究を行い、その有効性を検討していくことが必要である。

6 謝辞

本調査を行うにあたり、東荒川ダムの野外調査の実施にあたっては、栃木県土木部那珂川水系ダム管理事務所の皆様に多大の便宜を図っていただいた。また、湯の湖での野外調査にあたっては、環境庁北関東国立公園野生生物事務所にご協力いただいた。さらに、植生調査を浅野文氏に手伝っていただいたほか、鳥類及び環境調査やデータのとりまとめに関して、梶田学氏、佐久間直冬氏にお手伝いいただいた。ここに記して深く感謝の意を表する。

7 参考文献

1）黒田長久 1971. 富士山地域の生物相. 富士山総合学術報告書:723-1058.

2）由井正敏 1976. 森林生鳥類の群集構造解析. Ⅰ. 林相間類似性と類型化および種構成. 山階鳥研報 8:223-248.

3）由井正敏 1977. 森林生鳥類の群集構造解析. Ⅱ. 冬期の林相間類似性と類型化および種構成. 山階鳥研報 9:29-45.

4）藤原宣夫・百瀬浩・田畑正敏・舟久保敏・半田真理子・田中隆 1998. ダム湖におけるカモ類の行動と環境選択. 環境システム研究 26. 37-44.

ダム湖の水位変動域に造成した池に成立した池沼－湿地生態系

Monitoring of Pond-Wetlands' Ecosystem Constracted in Fluctuation Area of Dam Lake

日置佳之* 須田真一*
Yoshiyuki HIOKI Shin-ichi SUDA
水谷義昭** 太田望洋** 裏戸秀幸***
Yoshiaki MIZYUTANI Bohuyo OHTA Hideyuki URATO

Abstract : Nowadays, restoration and creation of pond-wetland ecosystem is important issue to maintain or recover biodiversity. It is estimated that fluctuation areas of dam lake have potential to develop pond-wetland ecosystem due to water supply by fluctuation of lake water level. In order to verify the abiotic and biotic potential, two shallow experimental ponds were constructed. Each pond has three different parts of depth as 25cm, 50cm, 75cm and the area of each part is 5m×5m. Topsoil was lied on waterproof sheets, which contain lake's water and rainfall. Monitoring work clarified following points.

(1) From July 1998 to march 1999, the water depth of ponds changed approximately 40cm due to rainfall. The shallowest part (the depth is 25cm) dried up during rainless period, but other deeper parts never dried up. The temperature of all part of pond's water were over 30℃ in summer. It might be too hot as habitat of aquatic insects and fishes. The water temperature of the bottom points in 75cm part kept 4℃, so this part is suitable for wintering.

(2) 22 plant species recorded in the ponds and most of them were hydrophytes and emergent plants. In the 25cm part, many annual hydrophytes germinated from topsoil. This part could be safe site for wetland's plants.

(3) 17 species of aquatic insect and 3 species of fish were recorded totally. Most of the aquatic insects estimated to come to the ponds by flying from neighbor ponds or wetlands. On the other hand, fishes must be left when lake's water level fell down. All these aquatic animals were present nearby emergent plants.

From both abiotic and biotic aspects, the experimental ponds developed habitat function for aquatic and wetland's species. Therefore, constructing this kind of ponds can be one of the effective methods to create pond-wetland ecosystem besides dam lakes.

Key Words: Pond-Wetland Ecosystem, Fluctuation, Dam Lake, Monitoring,

1. 序論

ダム湖の水位変動域は裸地や単純な植生が生じやすく，生態系保全上の課題となっている．しかし，逆に水位変動を利用することによって湛水し，池沼や湿地を成立させることが可能な場合もあると考えられる．池沼や湿地の生態系は近年とくに減少が著しく，現在残っているものを保全するとともに，積極的に復元や創出を行っていく必要性が高い．ダム湖の特性である水塊の存在と水位変動を利用して池沼－湿地の復元・創出を行うことは，池沼－湿地生態系の質量両面における向上を図る上で１つの手法となる可能性がある．

* 建設省土木研究所 Public Works Research Institute ** アジア航測（株） Asia Air Survey Co.Ltd.
*** （株）地域環境計画 Regional Environment Planning Co.Ltd.

ダム湖における池沼ー湿地の復元・創出の位置付けは次のように考えられる．ダムは地形的に山地または丘陵地に立地するものがほとんどであり，ダムが成立する以前に大面積の池沼や湿地があった場合は少ない．このため，ダム湖周辺における池沼や湿地の造成は，ほとんどが創出にあたり復元ではない．もともと山間渓流地であった場所に，まったく質的に異なる生態系を出現させるため，ダム建設という開発行為のミティゲーションとしてとらえるならば，異種のミティゲーション(out kind of mitigation)であって 同種のミティゲーション(in kind of mitigation)ではなく，また敷地外ミティゲーション(off site mitigation)であって敷地内ミティゲーション(on site mitigation)ではない．

日置ほか（1998[1] 1999[2]）は，湿地が成立する潜在的可能性を湿地の「環境ポテンシャル」と呼び，その評価手法について事例研究を行った．それによれば，環境ポテンシャルは土地的環境ポテンシャルと生物的環境ポテンシャルに分けられる．土地的環境ポテンシャルの評価とは，地形，水環境などの土地的環境要素を調査・分析して計画対象地のどこにどんな湿地を復元または創出するのが適切かを診断することで，上記の事例研究では浅水域の成立可能性によってこれが診断された．また，生物的環境ポテンシャルの評価とは対象地にどんな植生と動物群集が成立するかを予測することで，植生については群落環の推定からどのような植生が成立するかが示された．しかし，動物群集については具体的な評価方法は未開発である．

本研究では，事前に評価された土地的・生物的環境ポテンシャルがどの程度妥当か検証することを目的とした．上記研究では，ダム湖の水位変動域では，ダム湖の湖水を利用すれば浅水域の造成が可能であり，水生～湿生の１年生・多年生植物群落が成立する可能性があると評価されている．これが妥当かどうかについて，実際にダム湖畔において水位変動を利用して湛水するタイプの池を造成し，そこにどのような生態系が成立するかをモニタリングした．また，動物群集については，この実験によって環境ポテンシャルそのものを評価することとした．

2. 方法

２．１　調査地

調査地は仙台市の西方に位置する国営みちのく杜の湖畔公園にある面積約 30ha の土地である（図１）．同公園は 1970 年に完成した釜房ダムによって堰き止められてできた人造湖（釜房湖）の湖畔にあり，洪水調節のため毎年３月から６月までの約３ヶ月間あまり人為的に水位が約６m 上げられる（最高水位＝常時満水位 149.5m，最低水位＝制限水位 143m）．このため調査地のうち湖に近い側約半分は毎年３ヶ月間水没するという水位変動条件の下にある．調査地の暖かさの指数（ＷＩ）は 87.9 で，暖温帯常緑広葉樹林帯と冷温帯落葉広葉樹林帯の境界付近にあたる．調査地は西から東にかけて平均斜度約２％でゆるやかに傾斜しており，その中をかつて農業用水路として使われていた数本の小河川が流れている．ダム建設後は耕作が放棄されたためヤナギ林に向かって植生遷移が進行しつつあり，この湿地全体としていかに生物多様性を維持・増大させるかが国営公園計画上の課題となっている．

２．２　実験池の造成

1996 年３月に水位変動域内の緩斜面（地形分類上は凸状地に分類される（日置ほか 1999，前出）に同大，同構造の実験用池を２つ造成した（以下，この２つの池をＡ池，Ｂ池と呼ぶ）．池を２つ造ったのは反復のためである．この場所の地下水位は降雨の如何にかかわらず常時低く（日置ほか 1998，前出）また，植生は帰化植物であるオオオナモミの単純な群落であった（写真１）．

造成は以下のように行った．地表から深さ約 150cm まで掘削し，シートで防水した上に掘削で発生した土を 80cm 盛土した．水深は池の満水時に 75cm，50cm，25cm の３段階になるように設定した．各水深の箇所はいずれも面積 25 ㎡ずつ，合計面積 75 ㎡とした．以下これらを各々 75cm 区画，50cm 区画，25cm 区画と呼ぶ．池の平面形状及び断面構造を図２に示した．池は毎年３月下旬から６月下旬までダム湖の水位上昇によってその全体が水深約４ｍの深さに水没し，７月上旬から翌年３月中旬までの約９か月間は地上に現れる．以上

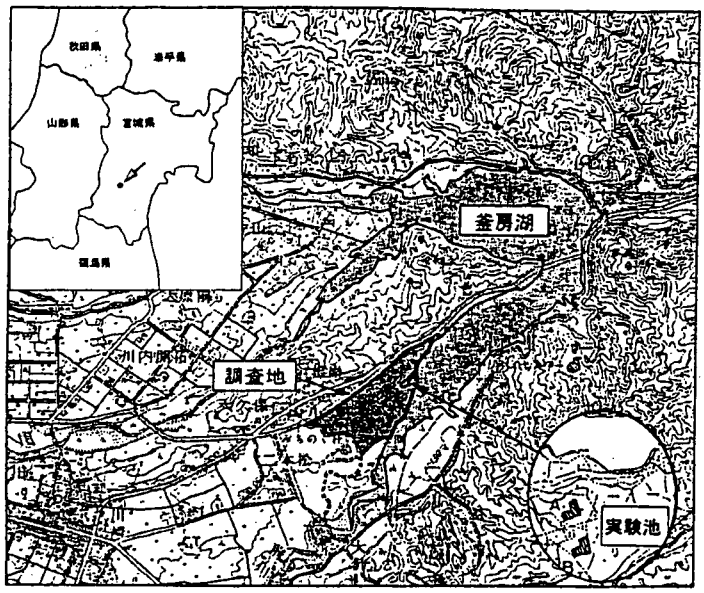
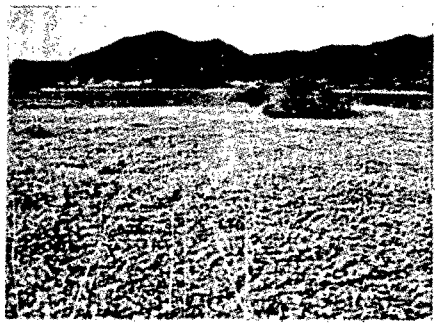


図１　調査地位置図



実験池（Ａ池）



周辺の環境

写真１　調査地の写真

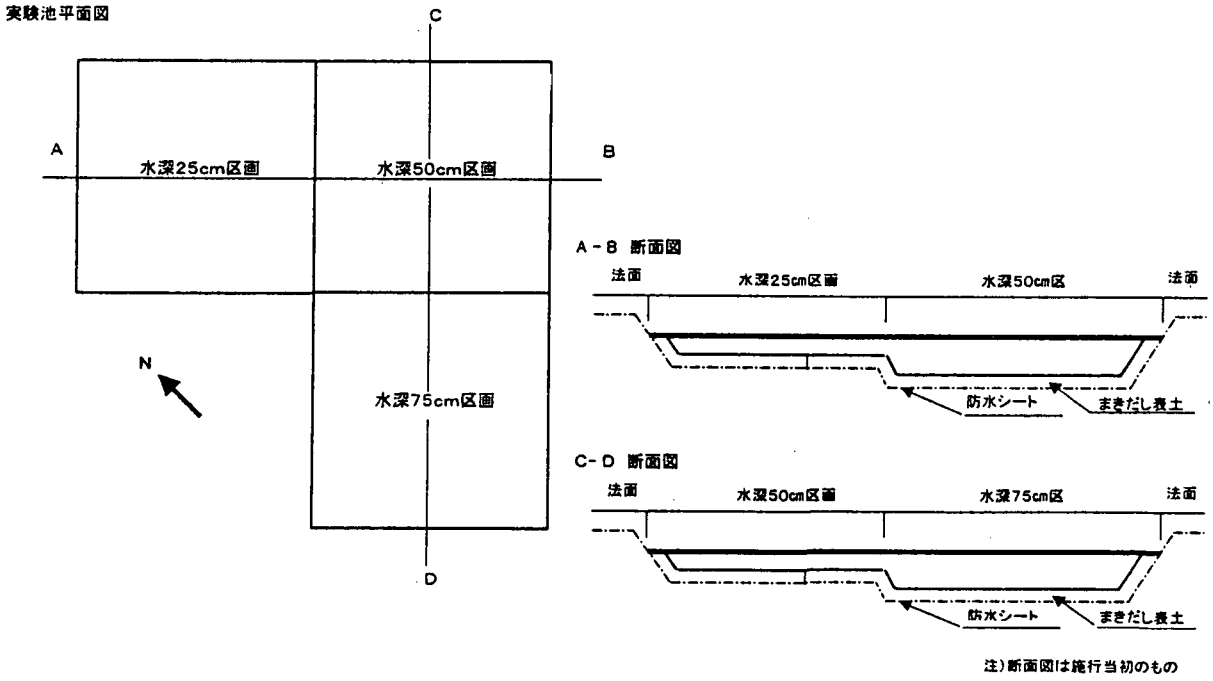


図２　実験池平面・断面図

の設えにより，湖水の水位が低下する際に，湖水が防水シート上に溜まり実験池が湛水されるよう造成した．

２．３ 調査方法

実験池にどのような生態系が成立したかを把握するため以下の調査を行った．調査は1998年７月から1999年３月にかけて行った（詳細な調査日は各調査項目に示した）．

（1） 物理的環境

池の物理的環境として水温，気温，水深を測定した．水深 25cm 区，50cm 区，75cm 区の水面と水底に温度センサー，またＢ池のすぐ脇の地表と地上 1.2m に温度センサーを設置した．水温，気温はデータロガー（KADECK－UN）を用い測定間隔１時間で，1998 年７月９日から 1999 年３月 16 日まで連続的に測定した．水位センサーは水深 75cm 区に設置した．水深はデーターロガー（KADEC－MIZU）を用い，測定間隔１時間で1998年８月６日～1999年３月16日まで連続測定した．

（2） 植物

池を横断するラインを２本設定し（図２参照），ライン上に 50cm に間隔で設けた測点の水深，測点の水深，測点を中心とする 50cm 四方のコドラート内の植被率，種名，種別の被度及び群度を記録した．また全部の区画について区画全体（6m×6m）を１個のコドラートと見なして植物社会学的植生調査を行った．植物の調査は1998年10月13日に行った．

（3） 水生生物

水深，植生の生育状況に応じて採集地点を設定し，定量調査（0.5×2.0m をタモ網ですくう）と任意採集を行い，種別の個体数を記録した．水生生物の調査は1998年７月８日と同年11月11日に行った．

3. 結果及び考察

３．１ 物理的環境

（1）水深

Ａ池における水深の推移を図３に示した．Ａ池では66.0cm～26.0cmの間で水深が推移した．夏から翌年の早春にかけて，Ａ池では40.0cmの水位変動があったことになる（Ｂ池はＡ池と同様の挙動を示した）．

造成した水生・湿生植物の生育場所や水生動物の生息場所として機能するためには，夏季と冬季の降雨の少ない日が続いても池全体が干上がらないことが必要条件と考えられる．この点について以下のように検討した．

Ａ池における1998年７月９日～９月29日の降水量と水深，水位の変動を図４に示した．降雨時には降水量に連動して水位が上昇し，降雨がない時期は時間とともに水位が低下していた．このことから池には周囲との地表水の出入りが無く，池の水深はダム湖の水位低下時に池に残される水量，降水量，蒸発散量の３つで決まるものと考えられる．

夏季に降雨がなかった1998年７月14日～21日，８月20日～24日，９月９日～13日における水深の変動量を整理した結果を表１に示した．蒸発散量は気温・湿度の影響を受けるが，当該地では夏季の無降雨時には概ね一日当たり１cm水位が低下していた．このことから，夏季における干上がりを防止するためには，

最低限必要な水深＝1cm×干ばつ年の無降雨日数

により最小水深を設定する必要があると考えられる．

また，今回の測定期間のうち，最も水深が浅くなったのは1999年２月２日～24日の間であった（図3）．この期間中，75cm区画の水深はＡ池で26.0～31.8cm，Ｂ池で29.6～34.7cmであった．このことから，50cm区画の水深はＡ池1.0～6.8cm，Ｂ池4.6～9.7cmと極めて浅く，25cm区画では常時干上がっていたと推定される．一般に太平洋気候の下では，冬季は寡雨でありこの期間に干上がらないよう水深を設定することも重要である．本実験池では夏季の最高水深から冬季の最低水深まで約40cm（Ａ池：39.5cm，Ｂ池：38.4cm）の水位変動幅あり，年間を通した干上がり防止のためには，最小水深を40cm以上にする必要がある．

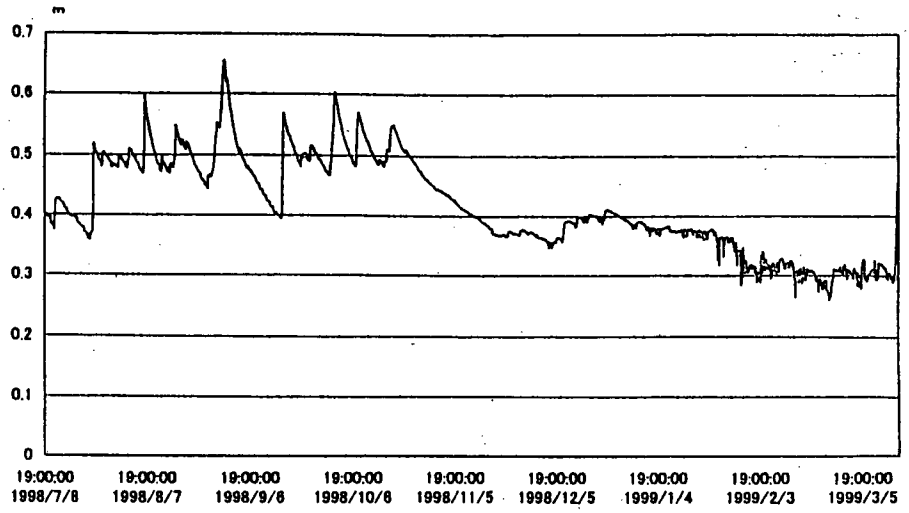


図３　Ａ池における水深の推移

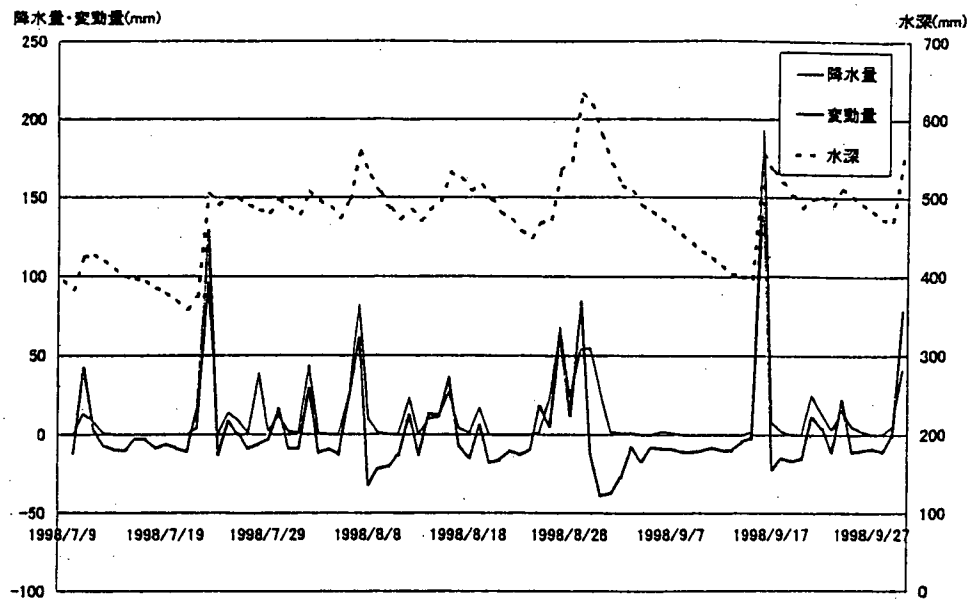


図４　Ａ池における降水量と水深の変動

表１　夏季の無降水期間中の水深の変動量

期間	期間中の気温	変動量
7月14日 ～7月21日	欠測	期間中：51mm 低下 平均 6.4mm／日
8月20日 ～8月24日	最高 地表：31.8℃　1.2m：30.5℃ 最低 地表：16.3℃　1.2m：15.9℃ 平均 地表：23.4℃　1.2m：22.8℃	期間中 56mm 低下 平均 11.2mm／日
9月9日 ～9月13日	最高 地表：32.6℃　1.2m：30.1℃ 最低 地表：11.6℃　1.2m：11.6℃ 平均 地表：21.6℃　1.2m：20.8℃	期間中 49mm 低下 平均 9.8mm／日

（2）水温・気温

B池の水温・気温の推移を1週間の移動平均で図5に示した（A池はB池と同様の挙動を示していたため省略）．また各測定点における最高値と最低値を表2に示した．水温は概ね気温と平行して推移していた．表層の最高値と最低値を比較すると，50cm区と75cm区の値は大差なく，25cm区の値が突出していた．最高水温は35℃を超えていた． 水底の最高値及び最低値を比較すると，B池の25cm区の最高値を除くと各測定点とも大差なかった（差は1℃程度）．最高水温は水底部においてもA池で33.9℃，B池で31.3℃に達していた．

池が水生・湿生植物の生育場所や水生動物の生息場所として機能するためには，①夏季に水温が水生動物の生息に支障がでるほど上昇しないこと，②冬季に池の水面付近が氷結しても，水深の深い場所は氷結しないこと，の2つが必要条件であると考えられる．これらの点について，水深・水温・気温の測定値により検討した．

①夏季の水温上昇に関する検討

夏季の水温上位3日間における測定ポイント別の水温と水深を表3に示した．測定ポイントによる水温の差は最大でも2.8℃と小さかった．本実験池では，水深が浅いため水温成層が形成されなかったと考えられる．30℃以上の水温がストレスとなる水生動物にとっては本実験池は生息に不適である可能性があり，高い水温に弱い水生動物のためには水深をより深くする必要があると考えられる．

②冬季の氷結に関する検討

冬季の2月2日～24日における水温・気温を表4に示した．この期間水面上に露出していたと推定される25cm区画では0℃以下になる日が22日間あった．一方，75cm区画，50cm区画については水面部及び水底部のいずれも0℃以下になることはなく，氷結はなかったと考えられる．とくに75cm区画においては水底部の水温は4℃～6℃と安定しており，水生動物の越冬が可能な水温が維持されていたといえる．

以上から，本実験池では水生動物の生息環境として50cm区画と75cm区画が機能し，とくに75cm区画が，水温変化が小さいため優れていると考えられる．

3．2 植物

A池とB池における区画別の植生調査結果を表5に示した．両池とも25cm区画で植被率が突出して高く（A池：50%，B池：75%），種数も多かった．被度が大きかったのは，いずれの区画においてもサンカクイ，カンガレイ，ヒメガマで，中～大型の湿生多年生草本だった．

また，ベルトトランセクトの調査結果を，水位測定開始日（1998年7月8日）から植生調査日（同年10月13日）まで（全期間で96日間）の水没日数別に整理したものを表6に示した．全期間水没していた部位で生育できていたのは，カンガレイ，サンカクイ，ヒメガマの3種だった．水没期間が90日の部位で生育していたのは12種で，ヒンジガヤツリ，ハリイ，コアゼテンツキ，アメリカアゼナ，アゼトウガラシ，イヌビエなど1年生湿生植物が主であった．

池田ほか（1999）[4]は，霞ヶ浦の浚渫土から発芽した植物を調査し，冠水条件よりも浸水条件にある場所の方が湿地に特有な植物の占有率が高い植生が成立することを示した．本実験でも池の中で全期間水没していた場所では，種子の発芽が抑制され，すでに定着していた多年生の抽水植物のみが生育できたのに対し，25cm区画の1年生湿生植物は干出したわずかな期間に発芽し，生育したと考えられる．

以上から，25cm区画は干出期間があるために多くの種が発芽して生育可能な場所となり，50cm区画と75cm区画は常時池に水没するため，植物の発芽が困難であり水際から定着した多年生抽水植物のみが生育可能な場所と考えられる．

3．3 水生動物

水生昆虫の調査結果を表7に示した．出現種数は全部の区画を合計して17種だった．出現した種はハグロトンボを除いて全て止水性の種であり，ミズカマキリ，ゲンゴロウ，マツモムシなど飛翔力の強い遊泳型

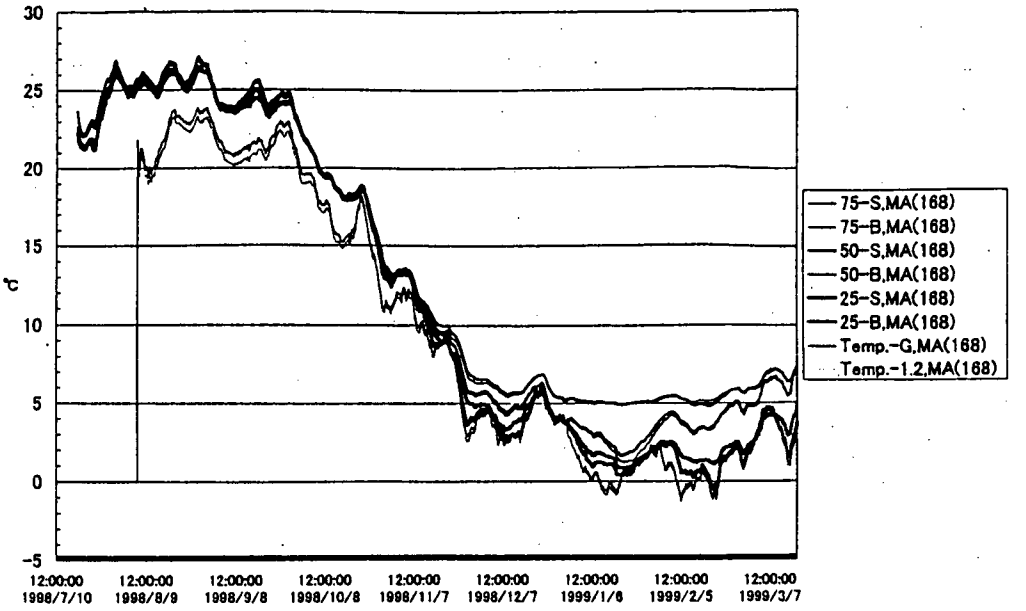


図５　Ｂ池における水温と気温の推移

表２　各測定点における水温と気温の最高最低値

		水温(℃)						気温(℃)		水深(m)
		75−S	50−S	25−S	75−B	50−B	25−B	0cm	120cm	
A池	最高	35.1	34.9	36.5	33.9	34.3	34.8	−	−	0.655
	月日	1998/7/28	1998/7/10	1998/8/14	1998/7/10	1998/7/10	1998/7/10	−	−	1998/8/30
	時刻	14:00	15:00	14:00	15−16:00	15:00	14−15:00	−	−	10:00
	最低	0.8	0.1	−9.5	3.9	2.2 *	−4.0	−	−	0.260
	月日	1998/12/22	1999/2/25	1999/3/13	1999/2/13	1998/12/21	1999/3/13	−	−	1999/12/24
	時刻	6−7:00:00	0:00	5:00	5−7:00:00	7:00	5:00	−	−	7:00
B池	最高	35.0	35.5	37.6	31.3	32.0	36.3	36.5	32.5	0.680
	月日	1998/7/10	1998/7/10	1998/7/10	1998/8/14	1998/7/10	1998/7/10	1998/9/19	1998/9/20	1999/8/30
	時刻	15:00	15:00	12:00	17:00	17:00	14:00	14:00	14:00	10:00
	最低	0.7 **	0.8 ***	−9.7	4.2	3.3	0.1	−12.4	−10.8	0.296
	月日	1998/12/22	1999/2/8	1999/2/9	1998/2/8	1999/2/14	1999/3/13	1999/2/9	1999/2/5	1999/2/24
	時刻	6−7:00:00	4:00	6:00	7:00−8:00	6−7:00:00	6−7:00	6:00	6:00	7:00

注1）測定期間　水温,水深:1998/7/10 − 99/3/16　気温: 1998/8/6 −99/3/16
注2）水温　75:水深75cm区, 50:水深50cm区, 25水深25cm区　Sは水面、Bは水底の温度
注3）気温　0cm、120cmは地上からの高さ　測定はB池近傍で実施
注4）*,**,*** については, 以下の日時も該当する. *1999/2/13 5:00, 2/28 23:00　** 98/12/31 7:00, 99/1/12 5−8:00, 1/13 7:00, 1/15 4−8:00, 1/16 6−7:00, 1/17 6−8:00, 1/18 7 −8:00, 2/8 5:00, 2/13 22:00, *** 99/2/13 22:00

表３　水温上位３日間における各測定点の水温および水深

	年月日	時間	75−S	50−S	25−S	75−B	50−B	25−B
水温(℃)	1998/8/5	17:00	32.8	32.4	32.7	32.1	32.1	31.9
	1998/8/14	15:00	34.7	34.3	35.4	32.7	32.6	33.2
	1998/7/10	15:00	34.9	34.9	34.6	33.9	34.3	34.6
水深(m)	1998/8/5	17:00	0	0	0	0.53	0.38	0.08
	1998/8/14	15:00	0	0	0	0.52	0.36	0.08
	1998/7/10	15:00	0	0	0	0.44	0.27	0

8月14日の地上1.2mの気温は27.5℃。その他は欠測。

表４．実験地の最低水温と気温および０℃以下の日数

		75-s	50-s	25-s	75 - B	50-B	25-B	Temp.1.2
A池	期間最大（℃）	5.2	4.5	1.7	5.6	5.3	2.6	—
	期間最小（℃）	1.1	0.5	-6.8	3.9	2.2	-3.6	—
	０℃以下日数	0	0	22	0	0	22	—
B池	期間最大（℃）	5.1	5.1	3.5	6	5.9	2.7	4
	期間最小（℃）	0.7	0.8	-9.7	4.2	3.3	0.2	-10.8
	０℃以下日数	0	0	22	0	0	0	22

注：1999 年 2 月 2 日～2 月 24 日の最低水温・気温（日）

表５　実験池区画別植生調査結果

区画				実験池					
				A池25cm	A池50cm	A池75cm	B池25cm	B池50cm	B池75cm
植被率(%)				50	10	30	70	10	5
植物高(m)				1	1.1	1.6	1.7	1.3	0.8
面積				6×6	6×6	6×6	6×6	6×6	6×6
和名	学名	生活型		被度・群度					
アメリカアゼナ	*Lindernia dubia*	A	湿生	+	+	+	+	+	+
サヤヌカグサ	*Leersia sayanuka*	P	湿生	+	+	+	+	+	+
サンカクイ	*Scirpus triqueter*	P	水生	3·3	1·2	1·2	1·1	1·1	1·2
オオオナモミ	*Xanthium occidentale*	A	陸生	+		+	+		+
オモダカ	*Sagittaria trifolia*	A	水生	+·2		+		+	+
カンガレイ	*Scirpus triangulatus*	P	水生	1·2			1·2	1·2	+
ハリイ	*Eleocharis congesta*	P	水生	+	+	+			
ヒメガマ	*Typha angustifolia*	P	水生		+·2	3·3	4·4		
アゼトウガラシ	*Lindernia micrantha*	A	湿生	+			+		
スギナ	*Equisetum arvense*	P	陸生			+	+		
ヒメクグ	*Cyperus brevifolius var. leiolepis*	P	湿生			+			
ヒメシダ	*Thelypteris palustris*	P	湿生	+	+	+			
アメリカセンダングサ	*Bidens frondosa*	A	陸生			+			
イヌビエ	*Echinochloa crus-galli*	A	湿生	+					
イボクサ	*Murdannia keisak*	A	水生				+		
キカシグサ	*Rotala indica*	A	湿生				+		
クサレダマ	*Lysimachia vulgaris var. davurica*	P	湿生						+
ケイヌビエ	*Echinochloa crus-galli var. echinata*	A	湿生						+
コアゼテンツキ	*Fimbristylis aestivalis*	A	湿生	+					
ショウブ	*Acorus calamus*	P	水生						+
ヒデリコ	*Fimbristylis miliacea*	A	湿生					+	
ミゾカクシ	*Lobelia chinensis*	P	湿生				+		

注1）調査範囲：各区画の調査日の水域　　調査日:1998年10月13日
注2）生活型のAは１年草、Pは多年草を表す
注3）水生・湿生植物の区分は角野(1994)[3]による

表６　ベルトトランセクト調査結果

和名	学名	生活型		補足用						
サンカクイ	*Scirpus triqueter*	P	水生	●	●	●	●		●	●
オオオナモミ	*Xanthium occidentale*	A	陸生	●	●	●	●		●	
コアゼテンツキ	*Fimbristylis aestivalis*	A	陸生	●	●	●	●		●	
スカキビ	*Panicum bisulcatum*	A	陸生	●	●	●	●		●	
オオクサキビ	*Panicum dichotomiflorum*	A	陸生	●	●	●	●			
トキンソウ	*Centipeda minima*	A	陸生	●	●	●				
アキノエノコログサ	*Setaria faberi*	A	陸生	●	●					
トキワハゼ	*Mazus pumilus*	A	陸生	●	●					
ヒンジガヤツリ	*Lipocarpha microcephala*	A	湿生	●	●		●			
コブナグサ	*Arthraxon hispidus*	A	陸生	●		●	●			
イヌビエ	*Echinochloa crus-galli*	A	陸生	●		●	●		●	
スギナ	*Equisetum arvense*	P	陸生	●		●			●	
ヒメクグ	*Cyperus brevifolius var. leiolepis*	P	湿生	●		●				
ヒメシダ	*Thelypteris palustris*	P	湿生	●		●				
アキノエノコログサ	*Setaria faberi*	A	陸生	●		●				
エノキグサ	*Acalypha australis*	A	陸生	●		●				
オオニワホコリ	*Eragrostis multispicula*	A	陸生	●		●				
ハハコグサ	*Gnaphalium affine*	A	陸生	●		●				
マツバイ	*Eleocharis acicularis var. longiseta*	A	湿生	●						
クサレダマ	*Lysimachia vulgaris var. davurica*	P	湿生	●						
ミゾカクシ	*Lobelia chinensis*	P	湿生	●						
ウラジロチチコグサ	*Gnaphalium spicatum*	A	陸生	●						
ケイヌビエ	*Echinochloa crus-galli var. echinata*	A	陸生	●						
ヒメジョオン	*Stenactis annuus*	A	陸生	●						
マルバアサガオ	*Ipomoea purpurea*	A	陸生	●						
カタバミ	*Oxalis corniculata*	P	陸生	●						
キク科sp.	Compositae sp.	P	陸生	●						
チャガヤツリ	*Cyperus amuricus*	P	陸生	●						
ヤマグワ	*Morus australis*	P	陸生	●						
ヒデリコ	*Fimbristyhs miliacea*	A	湿生	●			●			
アシカキ	*Leersia japonica*	P	湿生	●			●			
ヒメウラビ	*Thelypteris torresiana var. calvata*	P	陸生	●			●			
アメリカアゼナ	*Lindernia dubia*	A	陸生	●			●		●	
アゼトウガラシ	*Lindernia micrantha*	A	陸生	●					●	
ハリイ	*Eleocharis congesta*	P	水生		●	●	●	●		
オモダカ	*Sagittaria trifolia*	A	水生						●	
ヒメガマ	*Typha angustifolia*	P	水生						●	●
カンガレイ	*Scirpus triangulatus*	P	水生							●
植被率(%)				80	60	90	40	1	10	12
水没日数				0	1	2	47	75	90	96

注1）補足：ライン外で特に目立った群落については、補足調査地点として、同手法による調査を実施した
注2）水没日数：水位測定開始日から植生調査日までの期間中の水没日数(1998年7月8日～10月13日)の水没日数
注3）生活型のAは１年草、Pは多年草を表す
注4）水生・湿生植物の区分は角野(1994)[3]による

の種が多かった．このうちゲンゴロウは7月の繁殖期に幼虫が確認されており，この池で繁殖している可能性が強い．また，水生昆虫は抽水植物群落の縁辺において出現種・個体数ともに多かった．

魚類の調査結果を表8に示した．出現したのはタモロコ，モツゴ，トウヨシノボリの3種であった．平均体長はタモロコが26.8mm，モツゴが37mmであった．トウヨシノボリは1個体のみで体長43mmであった．

以上から，水生動物の生息場所としては，干出しない50cm区画と75cm区画が機能しており，これらの区画の中でもとくに抽水植物の生えている場所の機能が高いことが示唆された．

4. 結論

（1）池沼－湿地生態系を成立させる環境ポテンシャル

①土地的環境ポテンシャル

ダム湖の湖水が水位低下する際に，シート防水上に残していく初期供給が池を成立させ，また，その後の降水によって水深40cm以深の場所は池をして維持された．また水深25cm程度の場所は浸水条件にある湿地となった．池沼－湿地生態系を成立させる土地的環境ポテンシャルとして，湖水の存在とその変動が必要であり，また本実験地程度の気温，年間降水量及び日射量が前提となる．

②生物的環境ポテンシャル

生育した植物は，現場の表土にあった埋土種子または根茎に由来すると考えられる．実験地における過去の土地利用は畑であったことから，この場所そのものに水生植物や湿生植物の埋土種子が豊富にあったとは考えにくく，種子等は毎年繰り返される水位変動によって近傍の湿地から漂流・付着したものと推測され，これが埋土種子となるか，または当該年における付着種子・根茎によって定着したと考えられる．

魚類は，明らかに湖水の水位低下時に池に取り残されたのが由来であり，ダム湖そのものが種の供給源となっている．水生昆虫は，魚類と同様取り残されたものもあると推測されるが，多くは近傍の池沼・湿地等から成虫が飛来したと考えられる．

生物的環境ポテンシャルとしては，とくに種の供給源となる池沼・湿地が近傍に存在すること，種の移動機会としてダム湖の水位変動があることが重要と考えられる．

以上から，本研究で調査したダム湖畔の水位変動域は，この造成方法によって，池沼－湿地生態系が成立する土地的・生物的環境ポテンシャルを有していること実証された．裸地や単調な植生が生じやすいダム湖の水位変動域において，このような生態系を成立させることは，ダム建設前に元来存在した生態系とは全く異なるものの，ダム湖畔の生物多様性の向上に貢献する一手法となり得ると考えられる．

（2）同様な池を造成する際の技術的留意点

本研究の結果に基づき，同様な池を造成する際の留意点について述べる．以下の留意点は図6に示した．

①造成位置の選定

毎年水没を繰り返す条件の下で，どれだけの動物がライフサイクルを完結させられるかについては十分な知見が得られていない．多くの種の生息環境として機能させるためには，ダム湖に沈む水没期間は短い方がよい．このため，池の造成位置は水位変動域の中でも，標高が高い位置に選定するのが望ましい．

②水深の設定

池の水位がもっとも低下した時にも水が残る水深を，最低必要な水深として設定する．本研究の事例地と同様な気象条件下では，この最低水深は40cmである．40cmから上下に高低差をつけることにより，水際部の湿生植物帯，抽水植物が生育する浅水域が形成されると考えられる．確実に多様な環境を形成させるためには，上下の幅は広くとることが望ましい．また，水際の湿生植物が生育する立地を広く形成させるためには，最低限確保する水深域付近の池底を緩傾斜にすることが望ましい．

表7　水生生物調査結果

目名	科名	和名	学名	生活型	A池 植物 1	A池 植物 2	A池 植物 3	A池 水際 1	A池 水際 2	A池 中心 1	A池 中心 2	B池 植物 1	B池 植物 2	B池 植物 3	B池 中心 1
カゲロウ	コカゲロウ	ヨシノコカゲロウ	*Baetis yoshinensis*	遊泳			1								
		ウスバコカゲロウ属の一種	*Centroptilum* sp.	遊泳								1			
トンボ	カワトンボ	ハグロトンボ	*Calopteryx atrata*	遊泳			1								
	トンボ	シオカラトンボ	*Orthetrum albistylum speciosum*	掘潜	1		2		1					3	
		マユタテアカネ	*Sympetrum eroticum eroticum*	掘潜		1	1	4				2		5	
カメムシ	タイコウチ	ミズカマキリ	*Ranatra chinensis*	遊泳			1			2			4		11
		ヒメミズカマキリ	*Ranatra unicolor*	遊泳			6								
	ミズムシ	コミズムシ	*Sigara substriata*	遊泳			1								
	マツモムシ	マツモムシ	*Notonecta triguttata*	遊泳		4	7		2				5	6	1
コウチュウ	ゲンゴロウ	ケシゲンゴロウ	*Hyphydrus japonicus*	遊泳			1								
		ツブゲンゴロウ	*Laccophilus difficilus*	遊泳								4			
		ヒメゲンゴロウ	*Rhantus pulverosus*	遊泳		1	8					7		1	
		ゲンゴロウ	*Cybister japonicus*	遊泳										1*	
ハエ	ユスリカ	クリプトキロノムス属の一種	*Cryptochironomus* sp.	掘潜									3		
		アインフェルディア属の一種	*Einfeldia* sp.	掘潜						3					5
		ポリペディルム属の一種	*Polypedilum* sp.	掘潜										1	1
		カユスリカ属の一種	*Procladius* sp.	掘潜			2	1		7		1		2	1
5目8科17種					1種	3種	11種	2種	2種	2種	1種	5種	3種	7種	5種

注1）調査日：1998年7月8日、1998年11月11日
　　表中の数字は、両調査日に確認した個体数の合計値
注2）植物：植物が生育する範囲
注3）水際：植物が生育しない水際
注4）中心：植物が生育しない池中心部
注5）＊：7月調査時に確認した幼虫

表8　魚類調査結果

目名	科名	和名	学名	個体数	体長 mm 最大	最小	平均
コイ	コイ	タモロコ	*Gnathopogon elongatus*	10	36	20	26.8
		モツゴ	*Pseudorasbora parva*	2	40	34	37
スズキ	ハゼ	トウヨシノボリ	*Rhinogobius* sp. OR	1	43	—	—

調査日：1998年11月10-11日

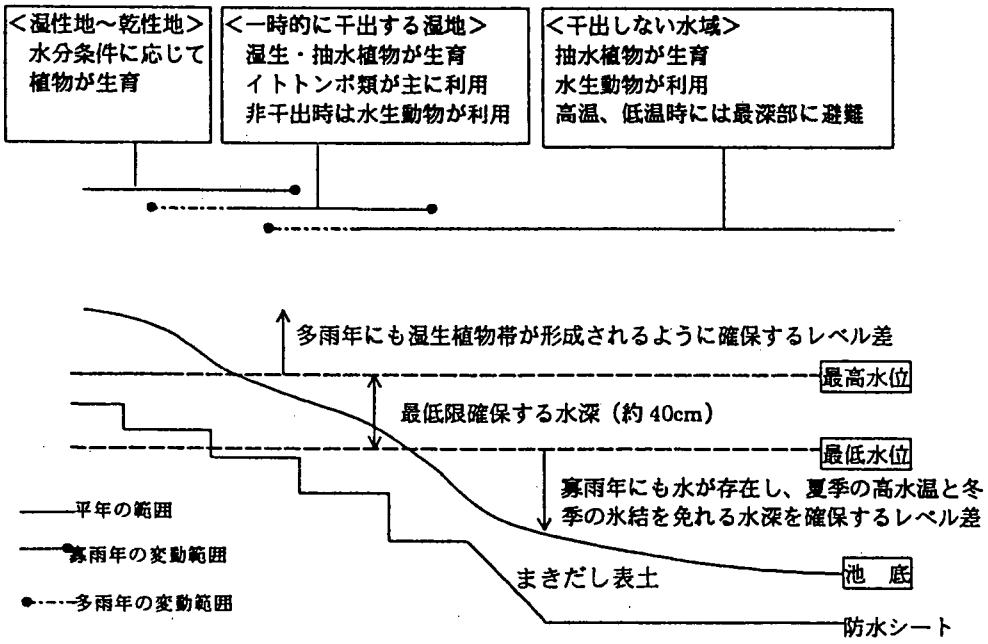


図6　ダム水位変動域で池を造成する場合の計画イメージ
（実験地近隣地域の場合）

謝辞

調査にあたって建設省東北地方建設局国営みちのく杜の湖畔公園工事事務所並びに（財）公園緑地管理財団みちのく管理センターのみなさんにたいへんお世話になった．また，建設省東北地方建設局釜房ダム管理所にはダム湖水に関するデータを提供いただいた．記して感謝致します．

引用文献

1）日置佳之・田中隆・塚本吉雄・田中真澄・裏戸秀幸・養父志乃夫（1998）：湿地ビオトープ計画のための土地的環境ポテンシャル評価手法に関する研究．ランドスケープ研究61．523-528

2）日置佳之・藤原宣夫・水谷義昭・浅野文・田中真澄・太田望洋（1999）：湿地植生計画のための生態学的立地区分に関する研究．ランドスケープ研究62．607-612

3）角野康郎（1994）：日本水草図鑑．文一総合出版．東京

4）池田佳子・荒木佐智子・村中孝司・鷲谷いづみ（1999）：浚渫土を利用した水辺植生復元の可能性の検討．保全生態学研究Vol．4，21-31

Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ. (Ser. Biol.), 16: 55-65, Dec., 1999

Structure of Territorial Songs in the Japanese Bush Warbler (*Cettia diphone*)

HIROSHI MOMOSE*

Department of Zoology, Faculty of Science, Kyoto University,
Sakyo, Kyoto, 606-8502 Japan
(Received November 1, 1999)

Abstract Songs of male Japanese Bush Warblers were tape-recorded and the structure of their songs were analyzed. The song, which was notably low in pitch (about 700 Hz in the lowest part), consisted of the initial CF (Constant Frequency) part (introductory whistle) and the FM (Frequency Modulated) part. There were two basic song types, which were named type-H song and type-L song. The CF part of the type-H song was one continuous whistle, whereas that of the type-L song consisted of several short whistles of the same frequency. Type-H songs had a wider frequency range, louder, longer and had more complex structure than type-L songs. Each male had 2 to 5 different patterns of these type-H and type-L songs with an average of 2.8 songs, and had at least one type-H and one type-L song. The songs in the repertoire of each male formed a gradation in terms of frequency range, loudness and structural complexity. When singing, males tended to avoid the repetition of the same song type, and the time interval between successive two songs tended to be highly variable. Also, in successive renditions of the same song pattern, the absolute frequency of the CF part varied each time within a certain frequency range, but the FM part was always repeated with high stereotypy. These singing patterns might be adaptations for the long-range communication in the bushy habitat that the species lives in.

Key words Vocalization, Auditory communication, Signal structure, Aves, Passeriformes, Sylviidae

Introduction

Many bird species rely on vocalization as a primary channel for their communication (Smith 1982). This is particularly true in species that live in an environment where communication through visual channel is difficult or impossible. One such environment is the dense undergrowth of the temperate deciduous forest. This particular environment poses difficulty on vocal communication too, because the dense foliage and bush hinders transmission of audio signals by attenuating and reflecting sound. It is, therefore, natural for us to expect the bush-living bird species to have some highly developed vocal communication system.

The Japanese Bush Warbler, *Cettia diphone*, is a species that inhabit this kind of bushy habitat in Japan. It is common in secondary forests with dense undergrowth, typically small bamboo of the genus *Sasa*. In the central island of Honshu, the males arrive at the breeding ground in early spring and form exclusive territories, and sing rather unusual songs in them. Males do not help females in incubation and in feeding nestling (Haneda & Okabe 1970). This paper describes the structure of the Japanese Bush Warbler's song, as well as the temporal and sequential patterning of the singing behaviour.

*Present Address: Landscape & Ecology Division, Environment Department, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, 1 Asahi, Tsukuba, Ibaraki, 305-0804 Japan

Materials and Methods

Field recordings were made during four breeding seasons at three locations in Japan: Haccho-daira (Kyoto prefecture, 35°14′ N, 135°50′ E, Alt. 810m) in 1982, Kayano-daira (Nagano prefecture, 36°50′ N, 138°30′ E, Alt. 1460m) in 1983 and 1984, Togakushi (Nagano prefecture, 35°45′ N, 138°05′ E, Alt. 1220m) in 1984 and 1985. In total, 12,384 songs were recorded from 149 birds. Eighty-five of these birds were captured before the recording had started, measured and marked with unique combinations of plastic colour rings. Songs were recorded using a Victor MU-510 shotgun microphone connected to a channel of Sony WM-D6 stereo cassette tape recorder. During the recording, the observer verbally recorded the position of the bird, its behaviour and other data simultaneously with a small microphone connected to the other channel of the tape recorder.

For laboratory recording of the songs, three adult males were captured at Sugi-touge (Kyoto prefecture, 35°09′ N, 135°48′ E, Alt. 820m) on 6 December 1981 using mist nets. They were kept for 5 weeks in the laboratory under short day photoperiod (11L-13D) and then induced to sing by exposing them under long day photoperiod (14L-10D). Recordings began two weeks after they had started singing. Their songs were recorded using a Sony TC-D5M cassette tape recorder and a Sony ECM-150 microphone.

Recorded songs were analyzed in several ways. Firstly, tape-recorded songs were converted to 12 bit digital data at the sampling speed of 10 kHz using FACOM M-382 computer system at Kyoto University Data Processing Center. Data were analyzed using software written by the author. The purpose of this analysis was to measure the absolute frequency of the introductory whistle note(s) (the CF part of the song) using 1024 point FFT. The precision of frequency measurement was about 9.56 Hz.

Secondly, the songs were analyzed with KAY-7800 Sonagraph with 150 Hz filter bandwidth and 0 to 8 kHz frequency range setting. Repertoire of each bird was determined by visual inspection of the sonograms.

Thirdly, and later, the entire system was moved to a software system written by the author ('Sonogram') running on the NeXT workstation, and the recorded sounds were converted to 44 kHz, 16 bit digital data. Using this system, the time-frequency structure of songs were analyzed by directly measuring the sonograms (time-frequency), spectrograms (frequency-amplitude) and waveforms (time-amplitude) displayed on a monitor using a mouse-controlled cursor.

Fourthly, the amplitude (SPL) of songs was analyzed using a continuous bout of 30 songs recorded at Togakushi on June 20, 1985. During this recording, the bird was sitting on the same perch 2m above the microphone. This particular recording was chosen because the bird was very close to the microphone. Thus, the ground effect and other causes of frequency dependent attenuation were almost negligible and amplitude values obtained were thought to be parallel with the source amplitude. The analysis was done at Rockefeller University Field Research Center using 'Signal' program (coded by Kim Beeman) running on Dec PDP11/23 minicomputer. SPL was determined by measuring root mean square voltage values of four 100 ms signal blocks taken from each of the last four notes of the song. Obtained values were later converted into decibel values.

Results

Song type

In all birds studied, the song consisted of an initial CF (constant frequency) part followed by a FM (frequency modulated) part (Fig.1). There were two basic types of songs in the repertoire of each male, which were named type-H and type-L songs respectively. In type-L songs, the CF part was broken up into a series of several notes of the same frequency, and in type-H songs, the CF part was a continuous whistle. If a bird had more than one type-L or type-H songs, they were named H1, H2, H3 and so on. The numbers were attached according to the descending order of their relative CF frequencies, H1 being the highest of all type-H songs. The CF frequencies of different song types in a male's repertoire showed little overlap as shown later, and type-H songs had higher CF frequencies than type-L songs without exception.

Repertoire size

Each male had a repertoire consisting of 2 to 5 (2.8 in average) different FM patterns (song types). The distribution of repertoire size among males is shown in Fig. 2. All birds had at least one type-H song and one type-L song.

CF frequency and FM pattern

Parameters used for the measurement are shown in Fig. 3. The summary of the measurement results is shown in the Table 1. The type-H song had higher values in all the parameters ($P < 0.0001$, Mann-Whitney U-test) except FM_Min (the minimum FM fre-

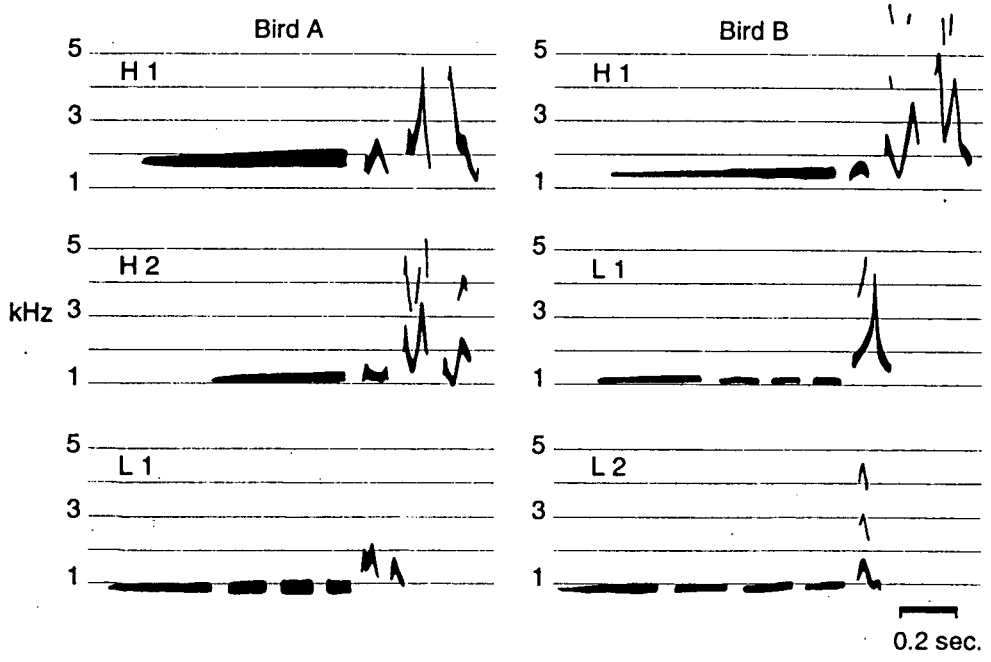


Fig. 1. Song repertoire of two wild male Bush Warblers. The bird A was recorded on 3 May, 1985 at Togakushi, Nagano, and the bird B was recorded on 28 April, 1982 at Hacchodaira, Kyoto.

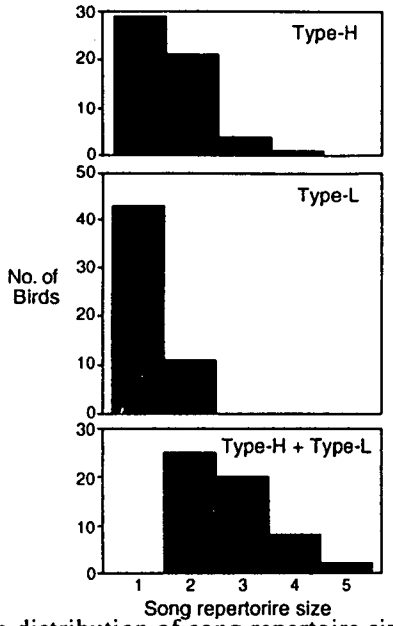


Fig. 2. Histogram showing the distribution of song repertoire size counted from 55 individually maked Japanese Bush Warblers.

Parameter	Explanation
CF_Freq	Frequency of the CF note(s)
FM_Len	Length (duration) of the FM part
FM_Min	Minimum frequency of the FM part
FM_Max	Maximum frequency of the FM part
FM_Range	Frequency range of the FM part
N_Note	The number of notes in a song
N_Infl	The number of frequency inflections

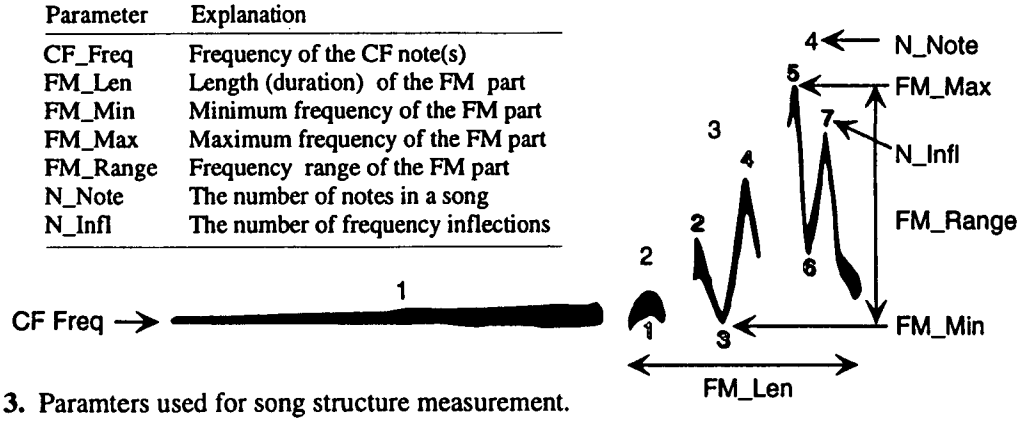


Fig. 3. Paramters used for song structure measurement.

quency) ($P = 0.169$). Table 2 shows the correlation matrix among these parameters. Again, all parameters showed high correlation values, while FM_Min showed lower correlation with others and tended to be rather constant (the coefficient of variation was 0.134 for type-H and 0.128 for type-L songs).

Fig. 4 shows the relationship between the CF frequency and the parameters related to FM structure. Among several parameters of FM structure, maximum FM frequency, FM frequency range and number of FM notes were positively related to CF frequency while minimum FM frequency tended to be constant over song types. Thus, there was a clear tendency that song types with higher CF frequency had higher FM frequency, wider frequency range and more complex structure. Fig. 5 shows the relation between the FM frequency range and the complexity of the song measured as the sum of the number of notes in a song and the number of frequency inflections in the FM part of the song. As shown in this figure, the song repertoire of the species forms a gradation of frequency range and complexity.

Table 1. Summary of structure measurement on the songs of the Japanese Bush Warbler. See Fig. 3 for the explanation of the measurement parameters. C. V. means the coefficient of variation (C. V. = S. D. / Average).

		CF_Freq	FM_Min	FM_Max	FM_Range	FM_Len	N_Note	N_Infl	Complex
Type-H	Average	1.515	1.136	4.251	3.116	.374	3.155	8.265	11.419
	S. D.	.321	.153	.819	.777	.079	.472	2.690	2.894
	C. V.	.212	.134	.193	.249	.211	.150	.325	.253
	N	155	155	155	155	155	155	155	155
	Min.	.877	.791	2.561	1.638	.183	2	3	5
	Max.	2.348	1.715	5.794	4.696	.597	5	16	21
Type-L	Average	.909	1.160	3.052	1.892	.187	1.991	4.144	6.135
	S. D.	.094	.149	.685	.647	.076	.640	2.088	2.542
	C. V.	.103	.128	.225	.342	.406	.321	.504	.414
	N	111	111	111	111	111	111	111	111
	Min.	.711	.798	1.549	.632	.053	1	0	2
	Max.	1.296	1.494	4.854	3.716	.397	3	11	14

Table 2. Correlation matrix among the structural parameters of the songs of the Japanese Bush Warbler. See Fig. 3 for the explanation of the parameters.

	CF_Freq	FM_Min	FM_Max	FM_Range	FM_Len	N_Note	N_Infl	Complex
CF_Freq	1.000	.181	.642	.629	.694	.612	.611	.642
FM_Min		1.000	.233	.078	-.058	-.157	-.031	-.059
FM_Max			1.000	.988	.694	.518	.665	.668
FM_Range				1.000	.721	.556	.687	.694
FM_Len					1.000	.879	.796	.853
NNote						1.000	.707	.804
NInfl							1.000	.989
Complex								1.000

Shifting of CF frequency

The CF frequency (the pitch of the CF part of the song) varied each time the bird uttered its song while FM part remained stable (Fig. 6). Fig. 7 shows the histograms of the CF frequencies of ten birds. In all birds, each song type had a fixed range of CF frequency shift, and the ranges showed little or no overlap among song types. Note that the naming of the song types such as H1, H2, L1, L2 is based on the relative pitches of corresponding CF notes.

Song type sequence

Song type sequence was analyzed in two captive birds and one wild bird. The results are shown in Fig. 8 as the matrix of transition probabilities (Bakeman & Gottman 1986). The probability of self-transition, the repetition of the same song (shown as circle-shaped arrows), was significantly lower than the transition to different patterns (cell by cell Chi-square test : $P<0.01$). Thus, the birds tended to avoid the repetition of the same song pattern and preferred alternation of different patterns.

Song interval

The time interval between two successive songs was measured in 4 birds. The results are shown in Fig. 9. The distribution patterns were nearly the same in all birds. There was no clear peak in the distribution and in recording songs in the field, it was always difficult to predict the precise timing of the onset of the next song.

Sound pressure level

The results of sound pressure level (SPL) measurement are shown in Fig.10. The SPL for the notes from type-L song were lower than type-H songs. Also, within a song type, SPL of FM notes were always lower than CF notes.

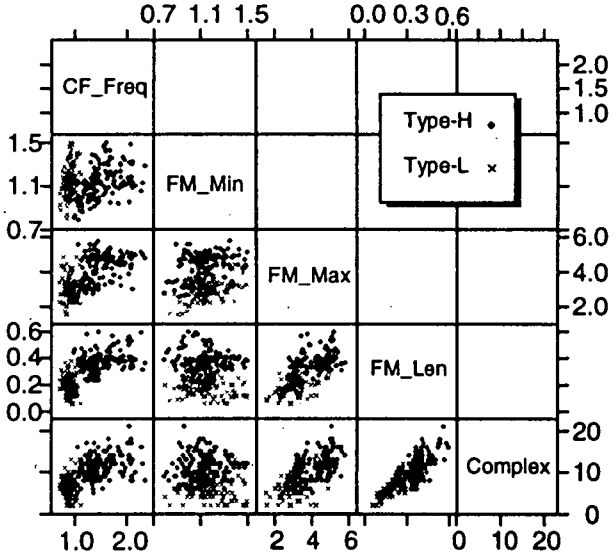


Fig. 4. Relationship between the CF frequency (CF_Freq) and several parameters related to the structure of the FM_part (FM_Min, FM_Max, FM_Len and Complex) of the Japanese Bush Warbler's song. See Fig. 3 for the explanation of each paramter.

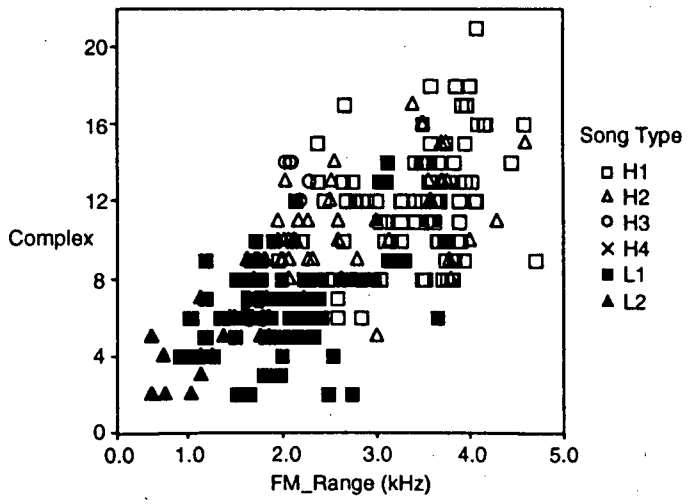


Fig. 5. Relationship berween the FM frequency range (FM_Range) and the complexity index (Complex) of the Japanese Bush Warbler song. See Fig. 3 for explanation of the parameters.

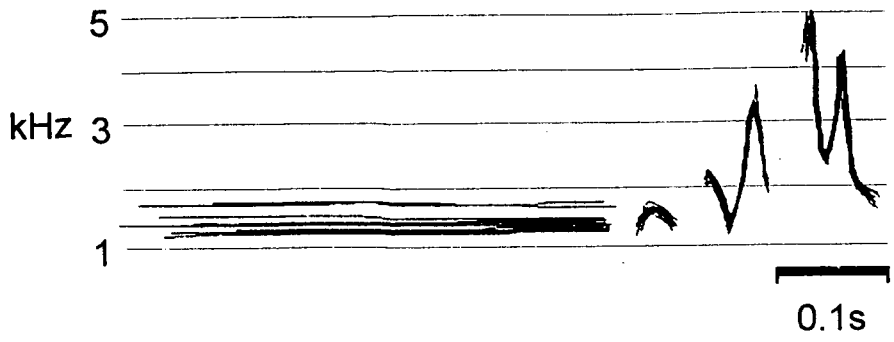


Fig. 6. Sonograms of 10 type-H songs sung by a male Japanese Bush Warbler, traced and imposed on each other.

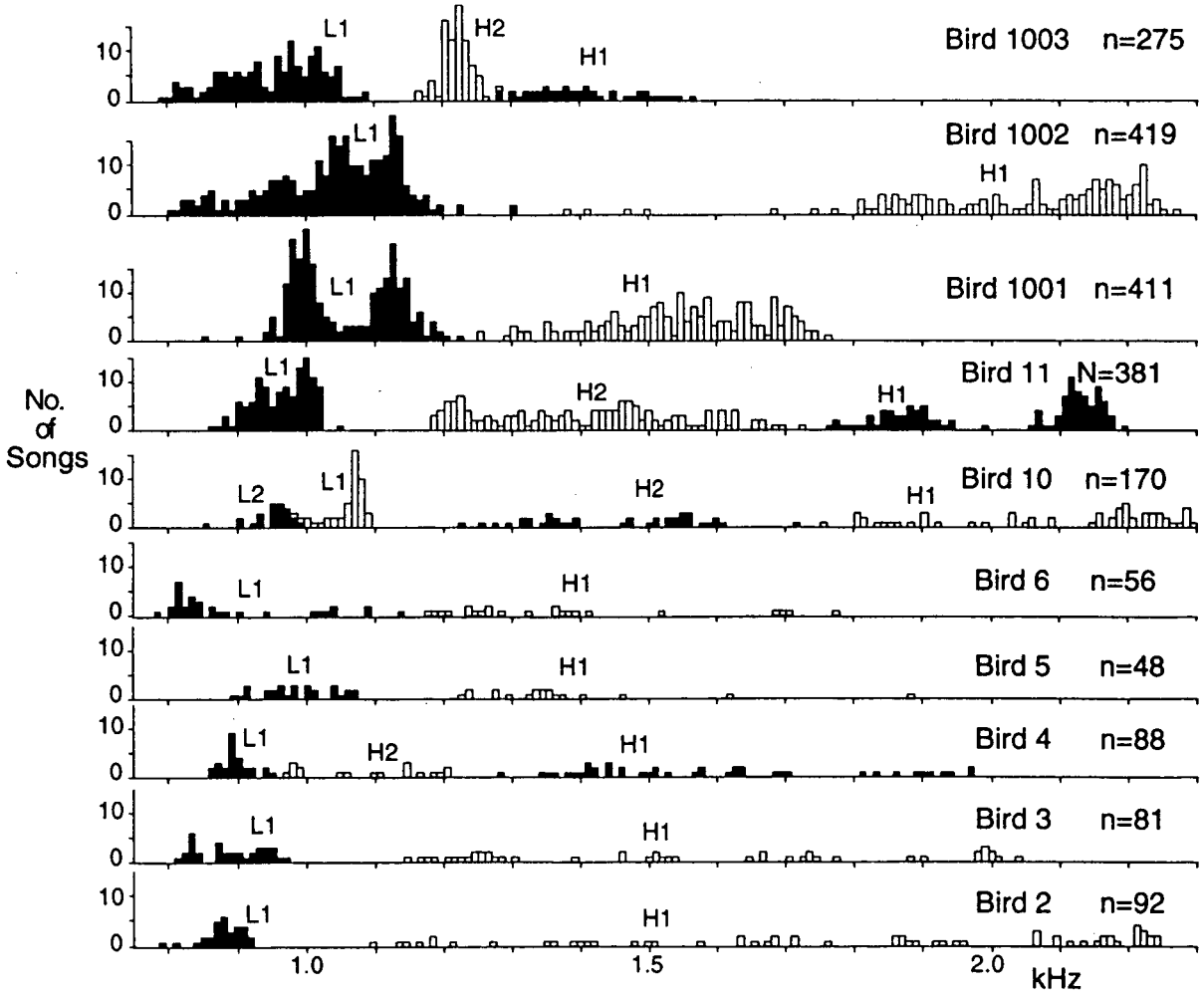


Fig. 7. Histograms showing variations and ranges of the CF frequency (pitch) of the 10 Japanese Bush Warblers' song. The data for 3 birds (Bird 1001-1003) were from laboratory recordings and data for 7 birds (Bird 2-11) were from field recordings.

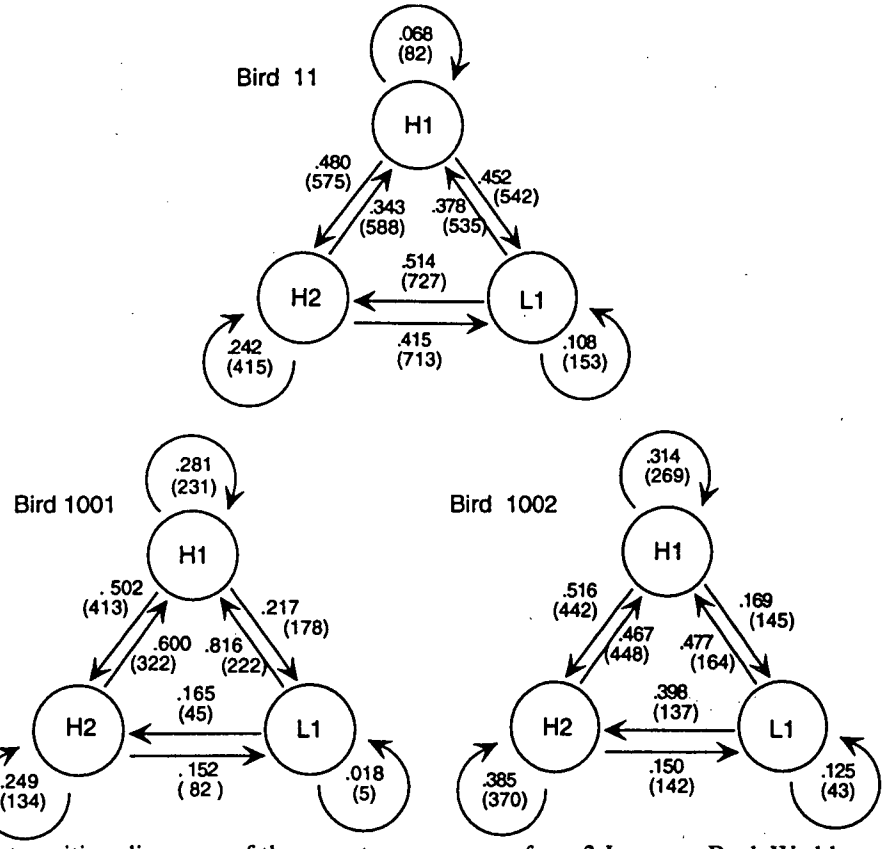


Fig. 8. State transition diagrams of the song type sequence from 3 Japanese Bush Warbler song recordings. The number beside each arrow shows the transitional probability for each song type transition. The number in the parentheses shows the actual transition frequency (number of cases observed).

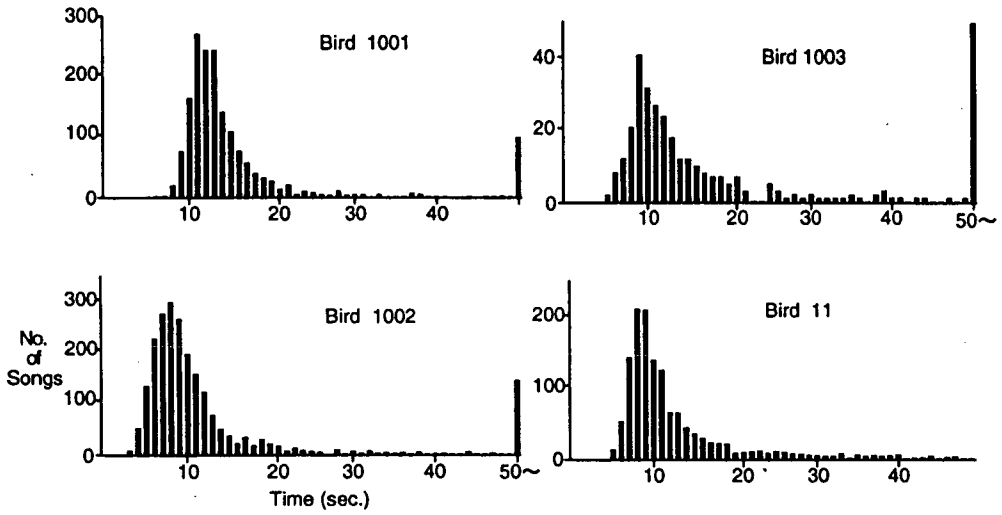


Fig. 9. Histograms showing the time intervals between two successive songs of the 4 Japanese Bush Warblers. The time interval was measured from the end of one song to the end of next song. The values that were longer than 50 sec. were totaled and shown as the rightmost column of each histogram. The data for bird 1001, 1002 and 1003 were from laboratory recordings and the data for bird 11 were from field recordings of a spontaneously singing wild bird.

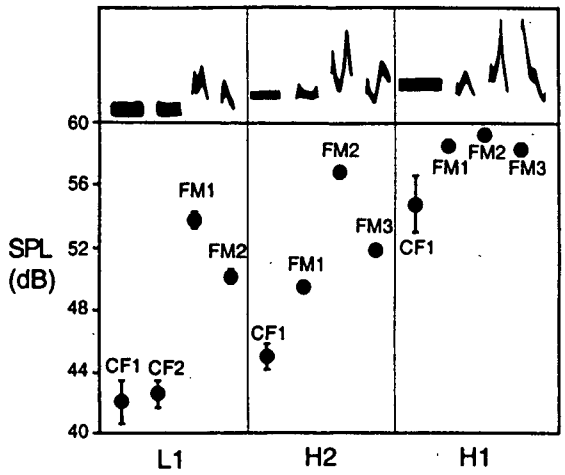


Fig. 10. Loundness (Sound Pressure Level) of a Japanese Bush Warbler's song. Each point shows the avarage ± s.d. of 10 songs of a same song type. The 4 points in each song type correspond to the measurements of the last 4 notes of the song. In case of type L1, the first 2 notes were from the CF part (CF1 and CF2) and the last 2 notes were from the FM part (FM1 and FM2).

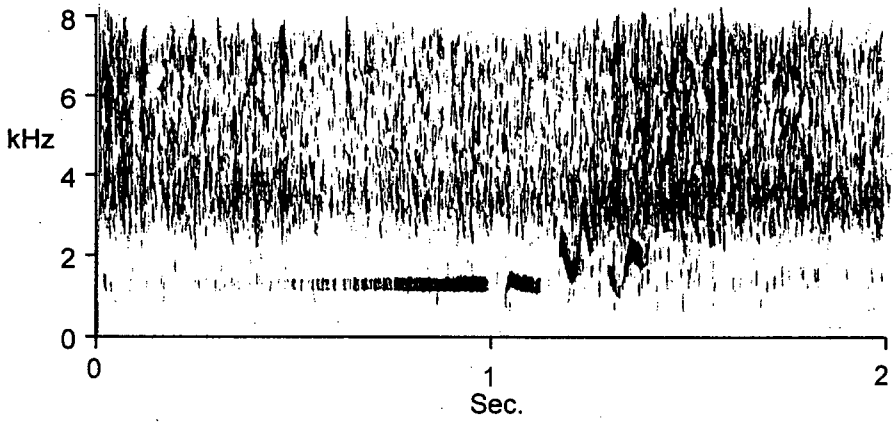


Fig. 11. An example of Japanese Bush Warbler's song (type-H) sung in the noisy (windy) environment.

Discussion

Songs of the Japanese Bush Warbler had several features, which could be the adaptations for long range communication in the bushy environment. The repertoire size was small (2-5), and songs were low-pitched (1.8 – 5.8 kHz in range) and were made of pure tones. Each song began with what could be considered as an alerting component (the CF part) followed by the FM pattern, which was very stable each time and thought to be the main body of the signal. The frequency range of the typical environmental noise of the species' habitat, which was mainly caused by bamboo leaves, was about 3 to 8 kHz (Fig. 11). The frequency range of the Bush Warbler's song was mostly lower than that (see background noise and a type-H song in the sonogram shown in Fig. 11).

However, the songs also had some features that were clearly not effective in the long range signal transmission. The bird changed the CF frequency each time, changed the time interval between songs, did not repeat the same pattern and preferred alternation, which also increased the variation in loudness, frequency range and the structural complexity of the song. As a result of this, the species' song is a rather unpredictable system in that a listener cannot foretell which pattern comes next and when, nor can it tune its hearing mechanism to an anticipated frequency.

The only explanation for these variable song parameters seems to be that they are anti-habituation mechanisms that reduce 'Monotony' of the songs (Hartshorne 1956). In many bird species, versatility of the song is attained by increasing repertoire size, and one possible function of the song repertoire is the reduction of habituation which would otherwise be formed by listeners, in this case 'floaters' that are seeking territories to invade in (Krebs 1976). The results of the playback experiment show that the response to the repetition of the single song type drops more sharply in time than the response to the variable, normal singing pattern of the species (Momose in prep. a). The song of the Japanese Bush Warbler is unusual in that the frequency of a component (CF frequency) is shifted while retaining the time-frequency structure of other components (FM part). This is another way of increasing song versatility without increasing repertoire size. The variable singing of the species might be an example to support anti-habituation hypothesis of Krebs (1976) from a different angle.

The problem that remained unanswered is why the species did not evolve a larger repertoire size. In view of the song repertoire size, there are two groups of birds; the versatile and continuous singers with large repertoire size and discontinuous singers which sing discrete, stereotyped songs with small repertoire size (Ince & Slater 1985). Catchpole (1982) argued that a bird species in which male-male competition is strong tends to have small repertoire sized songs mainly used for territorial defense. Bush warbler is a typical member of this group. One possible factor that might limit the repertoire size in this group of birds is the effectiveness of individual recognition between territorial neighbours. Individual recognition is clearly demonstrated in species with small repertoire size and even more clearly in species with a single song (Brooks & Falls 1975), but in species with larger song repertoire it is not so clearly demonstrated (Kroodsma 1976, Falls 1982). As the name indicates, Japanese Bush Warblers live in dense vegetation. In such an environment, the necessity for recognizing neighbours by songs must be strong since the birds cannot see one another. Indeed, the Bush Warblers recognize neighbours very clearly by their songs alone (Momose in prep. b). The structure of Bush Warbler's song could be understood as a compromise between two different contexts in male-male interaction: owner-floater context and owner-neighbour context. In the former context, song must sound complex but in the latter repertoire size must be small. Way of compromising in this species is an unusual one: the birds do not change the patterns of the signal but shift them in time and space. This unique style of singing behaviour might have evolved under the unique environment of the species' typical habitat, the dense bush.

Acknowledgements

I thank T. Hidaka, M. Imafuku, T. Hikita, M. Ishii, Y. Joki, K. Sakurai, S. Koshima, M. Kon, Y. Ezaki, H. Sugawa, M. Fujioka, K. Ueda, E. Urano and S. Yamagishi for their support and encouragement. S. Yamagishi also kindly showed many literatures on birdsong. I also thank H. Nakamura for his assistance in the fieldwork in Nagano prefecture. P. Marler, S. Nowicki, J. Mitani let me use the signal analysis system at Rockefeller Univ., Field Research Center and helped me with amplitude measurement of the songs. S. Yamagishi, J. Itani, M. Imafuku and T. Oba kindly reviewed and gave many useful suggestions to improve the paper presented to the Faculty of Science, Kyoto Univ. as a Ph. D. thesis, which was the base of this paper. This work was supported in part by a grant-in-aid for "Special Project Research on Biological Aspects of Optimal Strategy and Social Structure" from the Japan Ministry of Education, Science and Culture.

References

Bakeman, R. & J. M. Gottman 1986 Observing interaction : an introduction to sequential analysis. Cambridge University Press, London.

Brooks, R. J. & J. B. Falls 1975 Individual recognition by song in white-throated sparrows. I. Discrimination of songs of neighbors and strangers. *Can. J. Zool.* 53: 879-888.

Catchpole, C. K. 1982 The evolution of bird sounds in relation to mating and spacing behavior. In: D. E. Kroodsma & E. H. Miller (Eds.) *Acoustic Communication in Birds*. vol. 1 pp. 297-319. Academic Press, New York.

Falls, J. B. 1982 Individual recognition by sounds in birds. In: D. E. Kroodsma & E. H. Miller (Eds.) *Acoustic Communication in Birds*. vol. 2 pp. 237-278. Academic Press, New York.

Haneda, K., & T. Okabe 1970 The life history of *Cettia diphone* 1. Breeding ecology. *Misc. Rep. Yamashina Inst. Ornithol.* 6: 131-140 (in Japanese).

Hartshorne, C. 1956 The monotony-threshold in singing birds. *Auk* 73: 176-192.

Ince, S. A. & P. J. B. Slater 1985 Versatility and continuity in the songs of thrushes *Turdus* spp. *Ibis* 127: 355-364.

Krebs, J. R. 1976 Habituation and song repertoires in the great tit. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 1: 215-227.

Kroodsma, D. E. 1976 The effect of large song repertoires on neighbor "recognition" in male song sparrows. *Condor* 78: 97-99.

Momose, H. in prep. a. Use of two song types in the Japanese Bush Warbler (*Cettia diphone*).

Momose, H. in prep. b. Neighbour-stranger recognition based on song in the Japanese Bush Warbler (*Cettia diphone*).

Smith, W. J. 1982 Communication in birds. In: T. A. Sebeok (ed.) *How Animals Communicate*. pp. 545-574. Indiana Univ. Press, Bloomington & London.

■ 研究発表論文

湿地植生計画のための鳥類の潜在的生息地図化とシナリオ分析に関する研究

A Study on Bird Habitat Mapping and Scenario Analysis for Wetland Vegetation Planning

日置佳之* 百瀬 浩* 水谷義昭** 松林健一*** 鈴木明子**** 太田望洋**
Yoshiyuki HIOKI Hiroshi MOMOSE Yoshiaki MIZUTANI
Kenichi MATSUBAYASHI Akiko SUZUKI Bouyou OHTA

摘要：鳥類の生息環境保全の観点を取り入れた湿地植生計画の立案手法を開発する目的で，国営みちのく杜の湖畔公園のダム湖畔湿地（面積約38ha）において鳥類の潜在的生息地の図化とそれに基づくシナリオ分析を行った。まず，鳥類の分布と現存植生の関係をGISによって分析し，類似の植生を選好する鳥類のグループ（ギルド）を，サンプルエリア内の植生の面積を説明変数とするクラスター分析で抽出した。次に，植生の面積を用いた正準判別分析により，各ギルドが選好する植生の組合せを求め，ギルドの分布予測モデルを構築した。3番目にこれを適用して調査地全域における鳥類の生息地タイプ図を作成した。最後に，人為的に植生を変化させる2種類のシナリオによって，潜在的生息地がどう変化するか予測し，これを基に植生計画を検討した。

1．はじめに

近年，湿地生態系のもつ様々な機能が注目され，湿地の保全・復元・創出が提唱されるようになってきた。その中でも，生物の生息地としての機能は最も重要なものの1つであり，生物多様性保全のために湿地の保全・復元・創出を図ることが社会的課題となっている[1]。生息地としての機能を考慮した湿地の植生計画[2]手法は，今後重要性を増すと考えられる。

生息地として機能に配慮して湿地の植生計画を立案するためには，その基礎として植生と計画上配慮する対象種群の関係を把握する必要がある。また，現況での植生と対象種群の関係に立脚して，植生が遷移や人為的管理によって変化した場合に，対象種群の分布がどう変化するかを予測できれば計画に有効と考えられる。

計画行為について，その将来的な効果を予測したり，複数の代替案の評価を行う際に用いられる手法にシナリオ分析（Scenario Analysis）[3]がある。シナリオ分析はGISの普及とともに盛んになり，欧米では保護区の設定計画などに用いられ始めている[4]。シナリオ分析は一種のシミュレーションであり，植生計画のように大規模な実験が難しい課題を検討する上で有用な手法となる可能性がある[5]。

湿地には多くの湿生・水生植物が生育し，また鳥類，両生類，魚類，水生昆虫類など多くの種類の動物が生息する。これらすべての生物に同時に好適となるような植生はあり得ず，また1つの種群の中でも，あるギルド（Guild，同一の栄養段階に属し，ある共通の資源を利用している複数の種または個体群[6]）にとって好適な生息地である植生は，他のギルドにとっては好適でないことがしばしばあり得る。このため，一定面積の敷地が与えられた場合，あるギルドの生息地として好適な植生の面積が増えれば，それとは異なる植生を好む種の生息地が減少するというトレード・オフの関係が存在すると考えられる。全体面積が一定であるという条件の下では，植生の面積配分や配置が，生息地機能に配慮した植生計画にとって本質的である。

そこで本研究では，湿地に生息する動物のうち鳥類を取り上げ，その生息に配慮した湿地植生計画の立案手法をシナリオ分析によって検討した。具体的には，①植生と鳥類の関係を把握して現存植生図から鳥類の潜在的生息地を図化する手法の検討，②植生が変化した（或いはさせた）場合に潜在的生息地の分布がどう変化するかを予測する手法の検討，の2つを行った。

2．方法

（1）事例研究地

事例研究は国営みちのく杜の湖畔公園（宮城県柴田郡川崎町地内）にある面積約38haの土地で行った（図1）。同公園は1970年に完成した釜房ダムによって堰き止められてできた人造湖（釜房湖）の湖畔にあり，洪水調節のため毎年3月下旬から6月下旬までの約3ヶ月間人為的に水位が約6m上げられる（最高水位＝常時満水位149.8m，最低水位＝制限水位143.8m）。このため調査地のうち湖に近い側約半分は毎年3ヶ月間水没する水位変動条件下にある[7]。

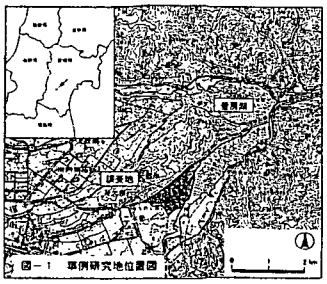
同地では，日置ほか（1998[8]，1999[9]）によって微地形，地下水位，植生とその相互関係が明らかにされている。このため，植生計画を検討するのに必要な情報が一通り整っている。同地の植生で，面積が大きいのはヤナギ群落，ヨシ群落，オギ群落，オオオナモミ群落である。また，サンカクイーカンガレイ群落，クサレダマ群落など多くの種類の湿生草本群落も見られる。これらはいずれもダム建設後耕作が放棄され，植生遷移が進行したことによって成立した代償植生である。植生の成立立地は，地下水位とダム湖の水位変動によって，中性立地，汎湿生立地，過湿立地，水位変動立地の4つに大別され（日置ほか[9]），各々の立地が許容する群落が，異なる遷移段階でモザイク状に成立している[9]。

（2）分析の考え方

鳥類の生息地を，植生図をもとに図化するためには，鳥類を目的変数，植生を説明変数とする定量的なモデルを構築する必要がある。植生と鳥類の関係については，これまで樹林をフィールドとした多くの研究があり（例えば[10][11][12][13]），植生の垂直的な構造や種組成と鳥類の空間利用の関係が明らかにされてきた。しかし，日本の小規模な湿地では，樹林，湿生草本群落，水面など構造が大きく異なる植生等がモザイクをなしている場所が多く，こうした場所では，隣接しあった土地被覆（植生，裸地，水面など，以下単に植生と記す）の水平的関係が鳥類の分布を決める要因となっていることが予想される。すなわち鳥は，その個体（群）が確認された地点の周囲の植生を採餌場所，営巣場所，隠れ場所など何らかの機能を持つ生息場所として評価していると考えられる。そこで本研究では，植生の組合せに着目し，その組合せと鳥類の関係から鳥類の分布予測モデルを構築することとした。

鳥の個体（または群）とその確認地点周辺の植生等の種類及び

*建設省土木研究所環境部 **㈱アジア航測 ***㈱地域環境計画 ****筑波大学大学院環境科学研究科



図－1　事例研究地位置図

面積からは，①その鳥が選好する植生の組合せ（面積割合などの量的な情報を含む），②同様な植生の組合せを選好する鳥のギルド，の2つを抽出することができると考えられる。そこで，これをもとに植生の情報からその場所に出現する可能性の高い鳥類のギルドを推定するという方法をとった。

（3）鳥類調査

ルートセンサスにより出現した鳥類のマッピングを行った。センサスルートはできる限り調査地全域が含まれ，かつ特定の植生域に片寄らないよう配慮して5ルートを設定した（図2）。調査は繁殖期（1999年5月20日，21日，6月22日，23日，7月8日，9日）と越冬期（1999年1月26日，27日，2月23日，24日）に行い，調査時間帯は，繁殖期は日の出から午前11時まで，越冬期は午前8時から午後4時までとした。ルート上を時速約2kmで歩きながらその両側25mの範囲内に出現した個体について種名及び個体数を調査表に記入し，確認地点を現存植生図（後述）に記録した。ただし，25mの範囲外であっても正確に位置が特定できた個体は調査票及び地図に記録し，分析対象に含めた。また，記録中に移動した個体については最初に確認した地点を記録地点とした。上空通過及び湖上浮遊個体については参考記録として記載したが，分析対象からは外した。

（4）植生図

植生図は1994年に植物社会学的調査に基づいて作成された縮尺1／2,000の現存植生図[9]を以下の手順で加工して用いた。

①1994年の調査後，植生が改変された場所を訂正した。

②鳥類の生息に影響を及ぼす可能性のある孤立木や樹叢でこの植生図に記載されていないものを追加した。これは，通常この縮尺で図示が可能とされる直径5m以上の植分より小さいものでも高木及び中低木のブッシュの場合には鳥類のソングポストや隠れ場所として意味があると考えて行った。以上，①・②の追加・修正は空中写真判読と現地踏査により行い，最小図示単位は直径3mとした。

③植物社会学的現存植生図の47植生単位を，鳥類の生息環境のベースマップとして意味のある単位とするために生活型と立地の乾湿を勘案して9単位に統合した（表1）。これは，植物社会学的現存植生図のままでは個々の単位の面積が小さく，もし統合を行わなければ，小面積の群落は単独では有力な説明変数とはなり得えないと予測したため行った。

（5）鳥類のギルド区分

鳥類のギルドを区分するために以下の手順で分析を行った。分析にはGISソフト（ArcView Ver.3.1／米国ESRI社製）及び統計解析ソフト（Excel多変量解析／(株)エスミ社製）を用いた。分析対象には調査で13回以上確認した繁殖期6種，越冬期5種をあてた（表2）。なお，キジは行動圏が広いため[13]分析対象からはずした。また，同種であっても繁殖期と越冬期では選好する環境が異なる場合があるため分析上は別に扱った。

①植生図をスキャナーで読み込み，画面上で植生界をなぞることによりポリゴンデータとしてGISに入力した。

②植生図上に鳥類の個体または群れの確認地点をポイントデータとして入力し，全確認地点について半径15mの円バッファー（バッファー内面積約706.5㎡）を発生させた。バッファーの半径は分析対象が小型鳥類であることを勘案し，その行動圏の一部が入るように決めた。

③バッファーを植生図とオーバーレイさせ，サンプル（確認した鳥の個体または群れ）ごとにバッファー内の植生別面積を算出した。

④鳥のサンプルごとに9つの植生単位が占めていた面積を算出し，面積の多い順に1～9位の順位をつけた。同面積の場合は同順位とした。鳥種ごとに植生の順位値を合計し，それを当該鳥種のサンプル数で割ることによって，各鳥種のサンプルバッファー内の植生順位の平均値を求めた。この値は，当該鳥種の植生の選好程度を表す指標として求めた。

⑤類似した植生の組み合わせを選好していると考えられる種群（すなわちギルド）を抽出するために，上記④で求めた平均順位値を説明変数として鳥類のクラスター分析を行った。

（6）ギルドの選好植生の抽出

上記（5）で抽出した鳥類のギルドが，具体的にどのような組み合せの植生を選好するかを求めるために，各鳥類サンプルバッファー内の各植生の面積順位値を独立変数とし，鳥類のギルドをグループ変数としてステップワイズ法により正準判別分析を行った。分析にはSPSSver.8.0J（SPSS(株)社製）を用いた。

（7）現存植生図に基づく鳥類の潜在的生息地の図化

上記（6）の判別分析の結果に基づき，以下の手順で鳥類の潜在的生息地を図化した。

①図化の空間単位

潜在的生息地分布図は適切な大きさの空間を単位として図化する必要がある。その際，空間の大きさは鳥類の調査や分析の際の空間スケールとできるだけ合致させることが望ましい。本研究ではルートセンサスで25mを視認範囲としたことと，バッファーの面積を706.5㎡としたことを勘案し，25m×25m（＝625㎡）のメッシュを用いて出力した。

②メッシュの判別

鳥類の植生サンプルと同様に，メッシュ内の植生の面積順位値を算出し，これに判別分析で算出したFisherの線形判別関数を適用して，各メッシュがどのギルドの選好する空間かを判別した。この判別結果を生息地タイプ図として出力した。

3．結果

（1）鳥類の調査結果

繁殖期に25種317回，越冬期に24種211回，鳥類を確認した（表2）。同一地点で同じ種の複数の個体を確認した場合は，これを1回の確認とした。こうしたケースは越冬期に大きな群をつくるホオジロやカシラダカで多く見られた。

（2）植生図

修正作業により作成した現存植生図を図2に示した。

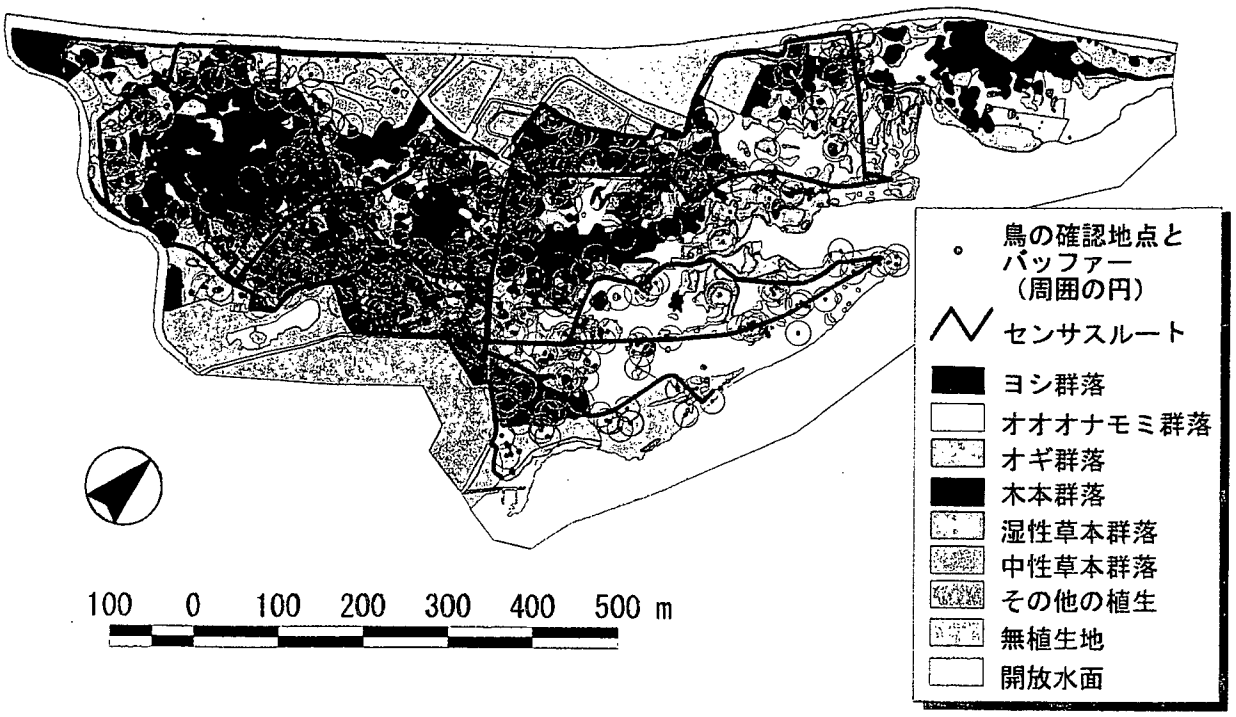
（3）鳥類のギルド区分

クラスター分析の結果を図3に示した。出力されたクラスターの樹形図を見て，一般的に同様な環境を選好していると考えられるグループを1つにまとめ，鳥類を3つのギルドに区分した。

ギルド1は繁殖期のホオジロ，越冬期のホオジロ，シジュウカラ，シメ，カシラダカ，ツグミから構成され，一般に草地～灌木地を好む種群である。ギルド2は繁殖期のヒヨドリ，スズメ，モズ，ウグイス，キジバトから構成され，一般に疎林を好む種群である。ギルド3は繁殖期のオオヨシキリ1種だけから構成され，繁殖にヨシ原を必要とする種（群）である。

（4）ギルドの判別結果

判別分析の結果を図4に，またこの分析によって正しく判別されたサンプルの割合を表3及び図5に示した。分析によって，全サンプルのうち59.0%が正しく判別された。判別的中率が最も低かったのはギルド1の42.8%で，ギルド2に誤判別されたサンプルが28.3%，ギルド3に誤判別されたサンプルが28.9%あっ



図－２　現存植生図，鳥類のセンサスルート，確認地点・バッファー

表－１　植生単位とその統合

統合後の植生単位	植生高(m)	立地の乾湿	含まれる群落等
ヨシ群落	1.6～3.5	湿	ヨシ群落
オオオナモミ群落	0.4～1.6	中	オオオナモミ群落
オギ群落	1.7～2.7	中	オギ群落
木本群落	4.0～12.0	湿～中	ヤナギ群落・ヤマグワ群落・シンジュ群落・ニセアカシア群落
湿生草本群落	0.2～2.5	湿	コウヤワラビ群落・ウキシバ群落・カリマタガヤ群落・コスズメガヤ群落クサレダマ群落・ミソハギ群落・ヒメシダ群落・サヤヌカグサ群落・サクラタデ群落・アシカキ群落・ヌカキビ-コブナグサ群落・ケイヌビエ群落・キショウブ群落・ウキヤガラ群落・ショウブ群落・カサスゲ群落・チゴザサ群落・サンカクイ-カンガレイ群落・アゼスゲ群落・ヒメガマ-サクラタデ群落・マコモ群落
中性草本群落	1.1～4.5	中	ススキ-チガヤ群落・ノイバラ群落・ヤマアワ群落・トダシバ群落・トキワアワダチソウ群落・ヨモギ群落・カラムシ群落・メヒシバ-キンエノコロ群落・クズ-ヨモギ群落・アズマネザサ群落
その他	0.1～1.5	－	ヤブツルアズキ群落・スズメウリ群落・カナムグラ群落・フジ群落・人工草地(シバ群落・外来牧草群落)
無植生地	－	－	人為裸地・道路
開放水面	－	－	湖面・池

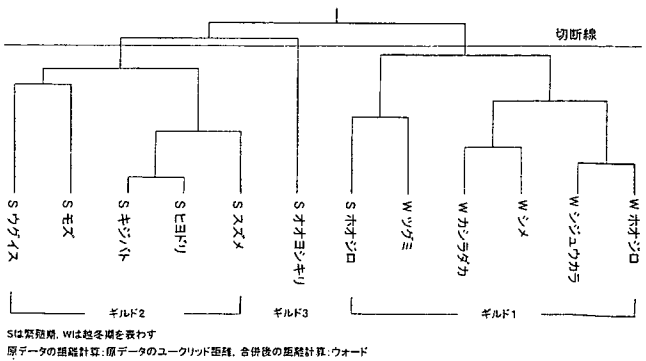
表－２　鳥類の調査結果

種名	繁殖期	越冬期	合計	種名	繁殖期	越冬期	合計
アオゲラ	1	2	3	ツグミ		26	26
アオサギ	3		3	ツバメ	1		1
アオジ	12		12	トビ	1	4	5
アカゲラ		1	1	ハクセキレイ	1		1
イカルチドリ	4		4	ハシブトガラス	2		2
ウグイス	43	1	44	ハシボソガラス	4	1	5
エナガ		5	5	ヒヨドリ	40	2	42
オオヨシキリ	89		89	ベニマシコ		3	3
カシラダカ		46	46	ホオアカ	5		5
カッコウ	5		5	ホオジロ	16	32	48
カワセミ		1	1	ミヤマホオジロ		1	1
カワラヒワ	1	12	13	ムクドリ	1		1
キジ	12	17	29	モズ	33	1	34
キジバト	13	2	15	ヨシゴイ	2		2
コゲラ	1	2	3	種数計	25	24	36
シジュウカラ	8	23	31	確認回数計	317	211	528
シメ		16	16	分析対象確認回数	252	143	395
ジョウビタキ		7	7				
シロハラ		1	1	は分析対象としたデータ			
スズメ	18		18				
セグロセキレイ	1	1	2	注)1箇所で同時に確認した同種の個体は，複数でも1回とカウントした			
タシギ		4	4				

表－３　正準判別分析の結果

		予測結果			
		ギルド1	ギルド2	ギルド3	計
元のデータ 実数	ギルド1	68	45	46	159
	ギルド2	14	92	41	147
	ギルド3	1	15	73	89
割合(%)	ギルド1	42.8%	28.3%	28.9%	100.0%
	ギルド2	9.5%	62.6%	27.9%	100.0%
	ギルド3	1.1%	16.9%	82.0%	100.0%

交差確認済(各サンプルをそれ以外の全サンプルから得た関数により分類したもの)の予測データ

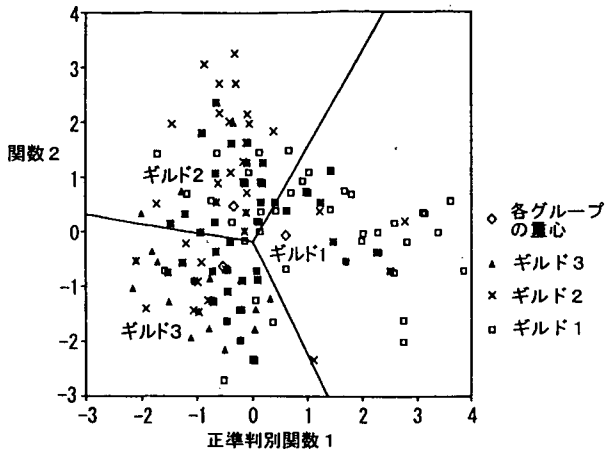


図－３　鳥類のクラスター分析樹形図

た。ギルド２は62.6%が正しく判別されたが，ギルド３と誤判別されたサンプルが27.3%あった。ギルド３は82.0%と高い率で判別された。

（５）鳥類の生息地タイプ図

現存植生図に基づく鳥類の生息地タイプ図を図６に示した。ギルド１の生息地はオオオナモミ群落，オギ群落，湿生草本群落，

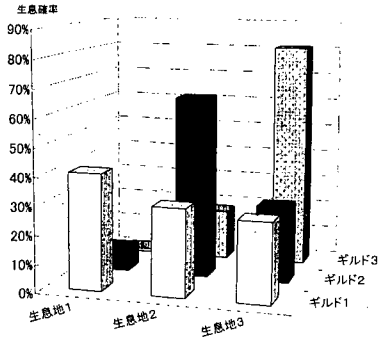


グラフの横軸は正準判別関数の第1軸、縦軸は第２軸の値で重み付けをした結果をプロットしたもの。グラフ中の３本の直線は、下に示した各ギルドに対応する Fisher の線形判別関数の境界を示す。また、菱形は各ギルドグループの重心の位置を示す。

	正準判別関数の係数		Fisherの線型判別関数係数		
	関数1	関数2	ギルド1	ギルド2	ギルド3
ヨシ群落	0.401	0.467	2.108	2.133	1.468
オオオナモミ群落	-0.494	0.318	1.847	2.467	2.365
木本群落	0.131	-0.377	1.804	1.426	1.755
中性草本群落	0.163	-0.407	1.589	1.163	1.509
(定数)	-0.019	-0.246	-12.530	-12.707	-12.592

図－４　正準判別分析による鳥の位置データの分類結果

中性草本群落の分布域に広がっていた。ギルド２の生息地は，ヤナギ群落を主とする木本群落の分布域に広がっていた。ギルド３の分布域は，ヨシ群落の分布域とよく一致していた。



図－５　ギルドと生息地タイプの関係

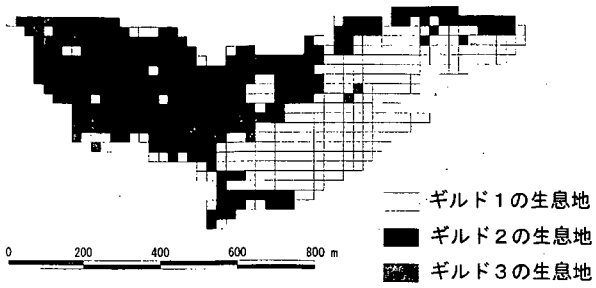
４．論議

（１）バッファーの発生による植生のサンプリングについて

バッファーの発生は，仮想的に鳥類周辺の植生をサンプリングしたことになる。この方法は鳥の周囲の環境を直接分析することになるため，植生が複雑なモザイクをなすような空間で，潜在的生息地を区分する上で有効と考えられる。また，バッファーの大きさをGIS上で任意に変化させることができるため，分析段階での柔軟性が大きいという利点がある。

潜在的生息地図化のための鳥類センサスには，定点調査法やメッシュ法[15][16]がよく用いられている。しかし，こうした調査法を採る場合には予めきちんと調査範囲（鳥類の出現の有無を確認する範囲）やメッシュサイズを決めておかなければならない。本研究の方法ではその必要はないが，その替わりに植生図がGISで図化されていることが前提となる。

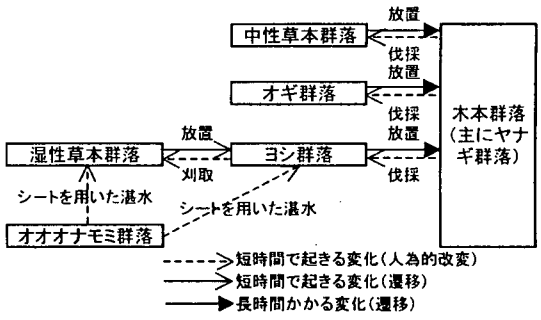
バッファーの大きさは分析対象とする鳥の行動圏の一部をサンプリングするように設定される必要がある。今回分析の対象とした鳥の行動圏は，繁殖期におけるオオヨシキリの685㎡／700㎡[17]，ウグイスの13,605㎡（文献[18]から算出），モズの22,500㎡（文献[19]から算出）などであり，バッファー面積の706.5㎡は，これ



図－６　現存植生に基づく生息地タイプ図

表－４　シナリオの想定

シナリオ１＝オオヨシキリ重視型　湿生植物の多様性も重視	
基本方針：	オオヨシキリの繁殖地を増加させるためヨシ群落の拡大を図る。
具体的措置：	海抜147.0m以上（毎年6月20日前後に陸化する）でかつ湖水の水位変動域にあるオオオナモミ群落をヨシ群落に転換する。（→シート防水で湖水を湛水し、ヨシ群落を成立させることができるため） また、水位変動域の東側部分ではシート防水により湿生草本群落を拡大する。
シナリオ２＝湿生植物のみを重視する型	
基本方針：	ヨシ群落を刈取り、湿生草本群落の種多様性の増大を図る。
具体的措置：	ヨシ群落をすべて年2回刈取り、ヨシ群落以外の湿生草本群落とする。 木本群落はほぼ現状を維持する。 中性草本群落、オオオナモミ群落は現状維持とする。



本図は日置ほか(1999[9], 1999[26])をもとに作成した

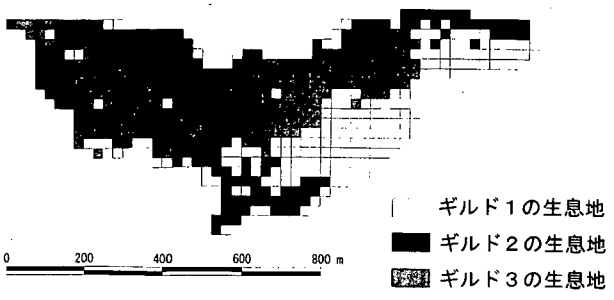
図－７　シナリオの前提となる植物群落の相互関係

らの鳥の行動圏の一部を評価するサンプリング面積としては妥当と考えられる。また，調査地全体の面積が各鳥種の行動圏面積より十分大きく，複数個体の行動圏を含んでいることもこうした分析の要件となるが，この点についても妥当であったと考えられる。

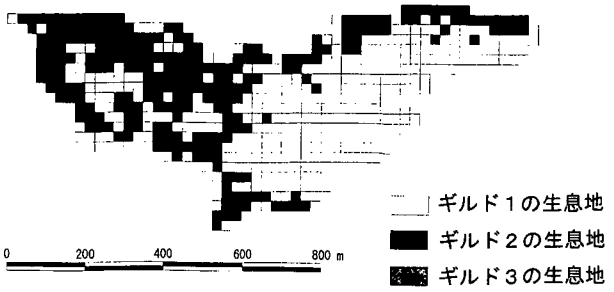
（２）植生の面積順位値による分析について

鳥類のバッファーサンプルにはゼロ値，すなわち面積がゼロである植生が非常に多かった。ゼロ値が多い生物群集データの分類に適した方法に交互平均法があり，そのツールとしてTWINSPANがよく用いられる（例えば[20]）。しかし，交互平均法は鳥類の在－不在を，予め決められたサンプルエリアで確認する方式で調査した場合（すなわち定点調査法あるいはメッシュ調査法）には適用可能であるが，本研究のような方法でサンプリングしたデータの分析方法としては馴染まない。また，ゼロ値の多いデータは正規分布せず，通常の統計処理方法も適用が難しいため，バッファー内の植生面積の絶対値を順位値に変換するというデータの前処理を行った。植生面積の絶対値と順位値の間には強い正の相関（相関係数0.967，$p<0.01$）があり，順位値は説明変数として有効と考えられる。

植生単位をどの程度統合するのが潜在的生息地図化に適当かについては議論の余地がある。今回，判別分析でステップワイズ法を用いたが，その結果最終的に説明変数として用いられたのは４



図－８　シナリオ１における生息地タイプ図



図－９　シナリオ２における生息地タイプ図

つの植生単位だけであった。このことから，絶対面積の小さな植生は，やはり説明変数として有効でないと考えられる。しかし，統合の程度によって結果が変わる可能性もあり，さまざまな程度の統合を試行する必要があると考えられる。

（３）潜在的生息地区分とその図化について

本研究ではギルドを階層的にではなく排他的に区分した。この排他的区分に基づく判別結果は次のように解釈することができる。

判別的中率はギルド間でかなりの差があった。判別的中率を基にした，各ギルドが生息地タイプに現れる確率は図５に示した。

ギルド１では的中率42.8%とあまり高くないことから，ギルド１の種は生息地タイプ２と３もかなり利用して生活していると考えられる。また，生息地タイプ１（オオオナモミ群落等）は主に調査地の東側に分布しており，３月下旬から６月下旬まで水没するため，繁殖期には多くの種がこの場所を利用できない。このため，ホオジロ以外はすべて越冬期の種で構成される結果となったと考えられる。一ノ瀬・加藤[21]が林地・草地の鳥類を繁殖期と越冬期に分けて正準判別を行った結果でも，越冬期の判別率は低くなっており，餌の探索行動のために鳥が広範囲に移動することを反映した結果と考えられる。

ギルド２は判別的中率が62.6%と比較的高いものの，ギルド３と誤判別されたサンプルも27.9%あった。ギルド２の種は，本フィールドの西側に広い面積を占めるヤナギ類の疎林（生息地タイプ２）を本拠地とし，その疎林とモザイクを成しているヨシ群落（生息地タイプ３）も利用して繁殖期を過ごしていると見ることができる。ギルド３の判別的中率は82.0%と高かったが，ギルド２と誤判別されたサンプルが16.9%あった。オオヨシキリはヨシ群落と強い結びつきを持つが，ヨシ群落周辺の疎林も用いながら繁殖期を過ごしていると見ることができる。

以上から，オオヨシキリのように特定の環境との結びつきが強いスペシャリスト（specialist）の潜在的生息地は，この方法で的確に図化できると言える。一方，越冬期の小型鳥類のように，広くいろいろな環境を利用するゼネラリスト（generalist）については，主たる潜在的生息地を示すことしかできない。排他的なギルド区分を用いて潜在的生息地図化を行う上では，この方法の欠点を是正するために，生息地タイプの凡例そのものに，出現確率を付記するのが適当と考えられる。これにより，各ギルドがいずれの生息地タイプにどの程度出現する可能性があるかを的確に表わすことが可能となる。

５．シナリオ分析による植生計画の検討

上記の判別分析をもとに，植生を変化させた場合の潜在的生息地の変化を予測して植生計画を検討した。

（１）シナリオの想定

（ｉ）シナリオ分析の与条件

シナリオ分析を行うためには，まずシナリオを想定する必要がある。シナリオの自由度は植生が変化し得る（させ得る）範囲内とするのが適当であり，それは敷地の持つ環境ポテンシャルに規定される。日置ほか[9]はこのフィールドにおいて植生の成立立地を区分し，各々の立地における群落環を推定した。図７にシナリオ想定の与条件となる植物群落の相互関係を示した。

表－５　現状及び各シナリオの潜在的生息地面積

メッシュ数

	現状	シナリオ1	シナリオ2
ギルド1	270	184	365
ギルド2	202	225	251
ギルド3	137	197	0

面積（単位はha）

	現状	シナリオ1	シナリオ2
ギルド1	16.9	11.5	22.8
ギルド2	12.6	14.1	15.7
ギルド3	8.6	12.3	0.0

（ii）シナリオ

植生管理の方針を大きく変えた場合に，鳥類の潜在的生息地の面積や分布がど変わるかを予測した。シナリオの詳細は表４に示した。

①シナリオ１（ギルド３及び湿生草本群落の種多様性重視型）

湿地に特有な鳥種であるオオヨシキリの生息を最重視するシナリオ。オオヨシキリの繁殖に有効なヨシ群落を最大限拡大するために水位変動域のオオオナモミ群落のうち，６月20日前後に水位低下によって陸化する部分（海抜147ｍ以上）[7]をシート防水によって過湿地化し，ヨシ群落を造成する。ヨシは新茎発芽後約１ヶ月で草丈約1.5ｍに達し[22]，オオヨシキリの繁殖地として機能することが知られている[23]ため，このように想定した。また，湿生植物の生育地拡大のため，水位変動域のオオオナモミ群落の一部をシート防水で過湿地化すると想定した。

②シナリオ２（湿生草本群落における植物の種多様性重視型）

ヨシ群落の刈取りにより，ヨシ群落以外の草本植物群落をできるだけ拡大させるシナリオ。このフィールドではヨシ群落を年２回刈取ると湿生植物の種数が約３倍になることが実験で確認されており[24]，湿生植物の種多様性が増すためこのように想定した。中性草本群落については現状を維持することとした。

（２）シナリオ分析の結果

シナリオ１における生息地タイプ図を図８に，シナリオ２のそれを図９に示した。また，現状，シナリオ１，シナリオ２における各生息地タイプの面積を表５に示した。シナリオ１では生息地タイプ３がダム湖の水位変動域に出現し，オオヨシキリの生息地が現状と比較して約40%広がると予測された。また，生息地タイプ１は現状の約68%に縮小すると予測された。生息地タイプ２については大きな変化はなかった。

シナリオ２では生息地タイプ３が全部消失し，生息地タイプ１が現状の130%に，生息地タイプ２が124%に各々拡大すると予測された。このシナリオではオオヨシキリの生息が不可能になり，草原性と疎林性の種の生息地が広がると予測された。

（３）植生計画の検討

シナリオ１はオオヨシキリと湿生植物を，またシナリオ２は湿生植物だけを，重視したものである。両者とも湿地に特有な生物の保全を考えるという立場に立ったものであるが，上記のように

鳥類の潜在的生息地は大きく変わってくる。

シナリオ1ではオオヨシキリの生息地が拡大した上に，湿生植物の生育地も拡大する。このため，湿地に特有な生物を保全する上では，シナリオ1が適当な案と言えよう。そのかわりに，この案では草地性鳥類の潜在的生息地が犠牲となる。水位変動域におけるシート防水や，木本群落の伐採などに費用がかかるものの，シナリオ1は植生計画としてバランスが取れたものであり，概ね妥当な案と言えるだろう。

（4）シナリオ分析の評価

植生と鳥類の関係のモデリングを基に，複数のシナリオにおける潜在的生息地の変化を予測し，その形状と面積を具体的・定量的に示すことができた。本研究では短期的な植生管理を想定したシナリオ分析のみを行ったが，植生計画には群落が長時間かかって遷移した場合の将来予測も必要である。長期的遷移を想定したシナリオ分析の例としてはオランダのライン・エコネット[25]があげられる。遷移に要する時間の情報を蓄積して，潜在的生息地の将来変化を予測することがシナリオ分析をより有効なものとする上で重要である。

5．今後の課題

バッファーとメッシュの大きさの取り方をさらに検討する必要がある。今回はどの種も一様の大きさで分析したが，本来は鳥種によって適切な空間単位が異なると考えられる。種ごとに最適な空間単位を見つけられれば，より精度の高い生息地タイプ図を作成できる可能性がある。水鳥類のように陸域と開放水域が複雑に入り組んだ場所に生息する種や，猛禽類のようにより広域的に移動する種も含めた潜在的生息地の図化も今後の課題である。

謝辞

国営みちのく杜の湖畔公園工事事務所並びに(財)公園緑地管理財団みちのく管理センターのみなさんには調査に便宜を図っていただいた。また，東北大学の松島野枝氏，川島悟一氏，真柳平氏並びにアジア航測の田中和恵氏には鳥類の調査をお手伝いいただいた。土木研究所の西廣淳博士には分析方法についてアドバイスをいただいた。記して感謝する。

参考文献

1）National Research Council (1999)：Restoration of Aquatic Ecosystems. 浅野孝・大垣眞一郎・渡辺義公・天野邦彦・田中宏明・吉谷純一訳　水環境と生態系の復元［河川・湖沼・湿地の保全技術と戦略］：技報堂出版，東京

2）井手久登（1982）：植生計画の確立を期す：応用植物社会学研究　11，1－2

3）Hams.W.B.（1995）：Scenarios for nature development. In: Schoute. J. F. Th. *et al.* (eds.) Scenario studies for the rural environment, pp.391－403. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

4）Apeldoorn R.C.Van *et al*（1998）：Applying ecological knowledge in landscape planning；a simulation model as a tool to evaluate scenarios for the badger in the Netherlands. Landscape and Urban Planning 41. 57－69

5）Olsvig-Whittaker, L. *et al.*（1999）：Scenario modeling for conservation management in the En Afeq Nature Reserve, Israel. Applied Vegetation Science 2:125－130

6）八杉龍一ほか編（1996）：岩波生物学辞典第4版：pp331，岩波書店，東京

7）(社)中国建設済会発行・建設省河川局開発課監修（1992）：多目的ダム管理年報第36回，134－140

8）日置佳之・田中隆・塚本吉雄・田中真澄・裏戸秀幸・養父志乃夫（1998）：湿地ビオトープ計画のための土地的環境ポテンシャル評価手法に関する研究：ランドスケープ研究61，523－528

9）日置佳之・藤原宣夫・水谷義昭・浅野文・田中真澄・太田望洋（1999）：湿地植生計画のための生態学的立地区分に関する研究：ランドスケープ研究62(5)，607－612

10）葉山義一（1994）：都市緑地における鳥類の生息特性に関する研究：ランドスケープ研究57(5)，229－234

11）一ノ瀬友博・加藤和弘（1996）：埼玉県所沢市の孤立樹林地における越冬期における鳥類分布と植生構造の関係について：ランドスケープ研究59(5)，73－76

12）加藤和弘（1996）：都市緑地内の樹林地における越冬期の鳥類と植生の構造の関係．ランドスケープ研究59(5)，77－80

13）一ノ瀬友博・加藤和弘（1999）：武蔵野台地および狭山丘陵におけるに鳥類の分布と植生の種組成の関係について：ランドスケープ研究62(5)，577－580

14）桧山晴子・大庭照代・中越信和（1999）：キジのなわばりの構造－音声分析による個体識別を用いて－：第46回日本生態学会大会講演要旨集，250

15）有田一郎・小河原孝生（1995）：鳥類および昆虫・両生爬虫類による生態環境構造の把握解析手法開発のためのケーススタディ：生態計画研究所年報3，67－111

16）梅崎靖志（1997）：鳥類およびトンボ類による生態環境構造の把握とゾーニング　群馬県多々良沼におけるケーススタディ：生態計画研究所年報5，41－62

17）Ezaki Y. and Urano E.（1995）：Intraspecific comparison of Ecology and Mating System of the Great Reed Warbler *Acrocephalus arundinaceus*：Why Different Results from Different Population? Jpn. J. Ornithol.44:107－122

18）羽田健三・岡部剛志（1970）：ウグイスの生活史に関する研究1．繁殖生活：山階鳥類研究所研究報告　6，131－140

19）山岸哲（1981）：モズの嫁入り：大日本図書，東京

20）武内和彦・一ノ瀬友博（1999）：二次自然域における生物相の保護と創造：ランドスケープエコロジー　ランドスケープ大系第5巻　日本造園学会編，技報堂出版，201－211

21）一ノ瀬友博・加藤和弘（1995）：広域的な環境整備のための生物相の分析方法に関する研究：ランドスケープ研究58(5)，117－120

22）Takashi Saitou（1976）：Territory and breeding density in the Eastern Great Reed Warbler, *Acrocephalus arundinaceus orientalis*：山階鳥類研究所研究報告第8巻第2号（No.46），157－173

23）羽田健三・寺西けさい（1968）：オオヨシキリの生活史に関する研究Ⅰ繁殖生活：日本生態学会誌18，No.3，100－109

24）建設省土木研究所・アジア航測(株)（1997）：湿地の環境区分に関する調査報告書：218－251

25）Institute for Inland Water management and Waste Water management（1996）：Rhine Eco-net, Ecological network in river rehabilitation scenarios. 5－23

26）日置佳之・須田真一・水谷義昭・太田望洋・裏戸秀幸（1999）：ダム湖の水位変動域に造成した池に成立した池沼－湿地生態系：環境システム研究47，477－487

Summary：In order to develop a habitat planning method for wetland birds, a case study was done in Michinoku National Government Park in Miyagi prefecture, northeastern Japan. Actual vegetation map (scale 1/2,000) and point buffers of 395 recorded bird locations were overlaid using GIS. Three groups (guilds) of birds were identified by cluster analysis, and composition of the vegetation for each guild was classified by discriminant analysis. Then, birds' potential habitat map (distribution of suitable habitats for each guild) was drawn as grid map based on information of vegetation composition. Finally, two types of simulated habitat maps were drawn based on two vegetation change scenarios.

＜ 平成11年度に掲載された学会要旨・シンポジウム要旨等 ＞

表　　題	著者名	雑誌名	発　行	巻号、頁	発行年月	本誌頁
下水汚泥と剪定枝葉の混合堆肥製造に関する研究	石曽根　敦子 飯塚　康雄 藤原　宣夫	土木学会第54回年次学術講演会 講演概要集	(社)土木学会	第7部 pp.412－413	1999.9	127
汚泥枝葉堆肥の製造と施用効果	石曽根　敦子 森崎　耕一 藤原　宣夫 飯塚　康雄	第19回道路緑化技術発表会 要旨論文集	(社)道路緑化保全協会	pp.10－11	1999.9	129
街路樹の倒状と管理の実態	石曽根　敦子 森崎　耕一 藤原　宣夫	第23回日本道路会議一般論文集（A）	(社)日本道路協会	pp.104－105	1999.11	131
根系切断による街路樹の成長抑制試験	石曽根　敦子	平成11年度 第38回土木研究所研究発表会 論文集	建設省土木研究所	土木研究所資料 第3676号 pp.1－4	1999.12	133
播種工によるのり面樹林化に関する基礎的研究	森園　智之	平成11年度 第５回環境部交流研究員研究発表会 論文集	土木研究所環境部	pp.11－1～6	2000.3	137
孔開きモルタル平板上での植物生育	伊神　光男 松江　正彦 藤原　宣夫	第30回日本緑化工学会研究発表会 研究発表要旨集	日本緑化工学会	pp.254－257	1999.6	143
発芽生態学からみた霞ヶ浦の水辺植物の衰退	西廣　淳 荒木　佐智子 鷲谷　いづみ	応用生態工学研究会 第３回研究発表会 講演集	応用生態工学研究会	pp.88－86	1999.9	147
水位管理が強化された霞ヶ浦では種子植物の更新は可能か？	西廣　淳 鷲谷　いづみ 荒木　佐智子	第47回日本生態学会大会講演要旨集	日本生態学会	pp.127	2000.3	151
Structure of Planted Floating Islands for Use by Water Birds	Naomi Kibe, Hiroshi Momose, Nobuo Fujiwara	New Directions for the 21C Landscape Architecture.IFLA Wastern Regional Conference '99	IFLA(International Federation of Landscape Architects)	pp.124－131	1999.10	152
浮島の問題点と課題	百瀬　浩 木部　直美 藤原　宣夫	人工浮島シンポジウム講演集	(財)ダム水源地環境整備センター	pp.60－70	1999.11	160
水生植物５種の人工植栽基盤上での生育	竹村　茂雄	平成11年度 第５回環境部交流研究員研究発表会 論文集	土木研究所環境部	pp.10－1～6	2000.3	171

Ⅶ-206　下水汚泥と剪定枝葉の混合堆肥製造に関する研究

建設省土木研究所　正会員　石曽根　敦子、飯塚　康雄、藤原　宣夫

1．はじめに

緑地管理から発生する剪定枝葉の堆肥化に際しては、通常、発酵促進のため窒素含有量の多い有機資材が混入されており、有機資材として下水汚泥を用いることにより、両者のリサイクルが推進されるものと考えられる。ここでは、各種の汚泥と枝葉を用いた２つの堆肥製造試験と樹木への施用試験から、材料の適性、混合割合などの製造方法、堆肥の性状について、いくつかの知見が得られたので報告する。

2．試験１（落葉樹および常緑樹枝葉と消化脱水汚泥の混合）

（１）目的と方法

落葉樹と常緑樹の枝葉の材料適性等を比較することを目的とし、消化脱水汚泥との混合による堆肥の製造を行った。試験条件は、表－１および以下のとおりである。

表－１　材料と混合割合

試験No	堆肥の名称	混合堆肥の材料			混合時の調整内容	容積比
		汚泥		枝葉		汚泥：枝葉
試験１	堆肥１	消化脱水汚泥		落葉樹	含水率70%	１：１
	堆肥２			常緑樹	C/N比20	１：１
試験２	堆肥A	消化脱水汚泥		落葉樹	含水率 60% C/N比20／5	１：３
	堆肥B	乾燥汚泥			含水率60%	１：９
	堆肥C	コンポ	一次発酵		C/N比20	１：１４
	堆肥D	スト汚泥	完熟品			１：２０

①混合割合：汚泥と枝葉の混合割合を容積比で1:1に　した。その結果、含水率は70%、C/N比は20となった。

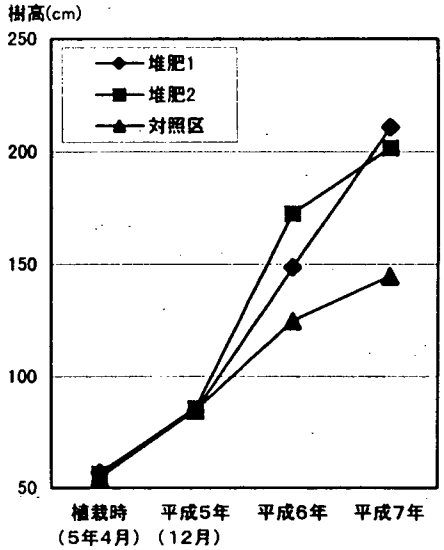
②発酵管理：縦型発酵槽で、通気を確保したうえで、堆肥温度の低下時に切り返しを行った。

③発酵期間：45日間とした。

④施用試験：土木研究所構内の圃場において、各堆肥を窒素量にして50g/m² を土壌に混入し、マテバシイ各５本を植栽した。観察期間は、平成５年４月~平成７年12月である。

（２）結果

製造された堆肥は、両者とも汚泥臭が残っており、堆肥の性状としても汚泥の塊が残り、枝葉の分解が不十分であった。しかしながら、樹木への施用試験結果は、生育状況が良く、枝葉材料の違いによる堆肥の施用効果の違いは示されなかった（図－１）。



図－１　消化脱水汚泥と各種枝葉との混合堆肥の施用によるマテバシイの樹高成長

3．試験２（４種類の汚泥と落葉樹枝葉の混合）

（１）目的と方法

４種類の汚泥の材料適性等を比較することを目的とし、発生量の多い落葉樹枝葉との混合による堆肥製造を行った。試験条件は試験１の結果をふまえ、混合割合の見直しを行っている。詳細は表－１および以下のとおりである。

①混合割合：含水率 60%、C/N 比 20 となるように個別に割合を設定した。なお、消化脱水汚泥については両条件の確保ができないため、含水率を優先した。

キーワード：下水汚泥、剪定枝葉、混合堆肥、リサイクル、施用試験

連絡先：建設省土木研究所環境部緑化生態研究室
〒305-0031 茨城県つくば市旭１　TEL:0298-64-2211　FAX:0298-64-7183

②発酵管理：含水率60%に保たれるように、適宜水分調整を行った。他は試験1と同様である。

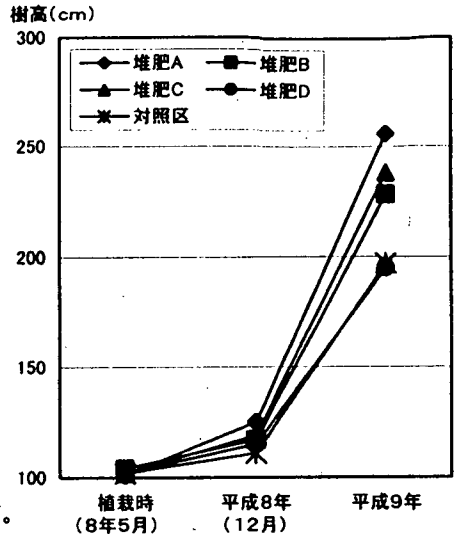
③発酵期間：100日間とした。

④施用試験：施用量を26.7L/m2（容積比で2割混合）とし、試験1と同様に実施した。観察期間は、平成8年5月~平成9年12月である。

（2）結果

製造されたすべての堆肥において、臭気に問題はなかった。堆肥の性状としては、堆肥Aでは汚泥の塊が多少残り、また堆肥C,Dでは枝葉の分解状況が他に比べ劣っていた。製造された堆肥の肥効成分をバーク堆肥の品質基準（特級）と比較してみると、微量要素（カルシウム）が満たされていなかったが、他の項目では基準を上まわっていた（表－2）。

樹木への施用試験結果は、各堆肥とも対照区に比べて同等もしくは、それ以上の良好な生育結果が得られ、生育障害は見られなかった（図－2）。



図－2 各種汚泥と落葉樹枝葉の混合堆肥の施用によるマテバシイの樹高成長

4．まとめ

下水汚泥と剪定枝葉の混合堆肥に関し、材料の適性と製造方法等について今回の試験より得られた知見を以下に整理して示す。

（1）材料の適性

①枝葉材料：落葉樹、常緑樹とも堆肥化可能であり、差はない。

②汚泥材料：消化脱水汚泥、乾燥汚泥、コンポスト汚泥（一次発酵品・完熟品）ともに堆肥化可能である。ただし、消化脱水汚泥については、未分解の汚泥の塊が残りやすく、汚泥量が多い場合は、汚泥臭の発生を伴う。また、コンポスト汚泥については、他に比べ枝葉の分解程度が低く、発酵の促進という意味では他の汚泥より劣ると考えられる。

（2）堆肥の製造方法

①混合割合：仕込み時に含水率60%、C/N比20になるように混合することより、以下の管理条件のもと、100日間で使用可能な堆肥が製造された。

②通気管理：常時の強制通気を行う。

③温度・切り返し管理：温度管理（20℃～80℃）を行いながら、発酵温度が下がった時点で、随時切り返しを行う。

④水分管理：含水率60%に保たれるように、適宜、水分調整を行う。

表－2 各種の剪定枝葉と下水汚泥の混合堆肥の評価

試験No	堆肥の名称	汚泥臭の有無	分解状況 汚泥	分解状況 枝葉	全炭素(%)	全窒素(%)	C/N比	含水率(%)	全リン酸(%)	全カリ(%)	全マグネシウム(%)	全カルシウム(%)	pH	CEC me/100g	幼植物への障害	樹木への障害
試験1	堆肥1	弱臭	△*1	△*2	37.2	2.62	14.2	72.3	5.63	1.18		3.64	6.3	73.0		無し
	堆肥2	弱臭	△*1	△*2	36.9	2.55	14.5	69.8	5.34	1.14		3.58	6.4	71.0		無し
試験2	堆肥A	無し	△*1	○	35.5	3.25	10.9	69.0	2.86	1.22	0.36	2.55	6.3	91.2	無し	無し
	堆肥B	無し	○	○	33.8	2.41	14.0	61.9	1.79	1.01	0.39	6.62	7.4	78.3	無し	無し
	堆肥C	無し	○	△*2	39.2	2.85	13.8	69.0	2.84	1.45	0.33	2.14	6.7	88.6	無し	無し
	堆肥D	無し	○	△*2	40.7	2.83	14.4	66.2	2.70	1.25	0.33	1.90	6.5	89.6	無し	無し
バーク堆肥基準（特級）					40～45	1.7以上	20～25	60前後	0.8以上	0.5～	0.3以上	5以上	6.0～	80以上	異常無し	

＊1：汚泥塊が残る　＊2：未分解の枝部分が残る　○：良　△：劣

汚泥枝葉堆肥の製造と施用効果

◎石曽根敦子、森崎耕一、藤原宣夫（建設省土木研究所）、飯塚康雄（日本道路公団）

1．　はじめに

下水処理から発生する下水汚泥（以下、汚泥という）と、緑地管理から発生する剪定枝葉（以下、枝葉という）は、どちらも堆肥化により資源としての活用が可能である。しかし、汚泥は、C/N比が低く発酵しやすいが、臭気や粘性により取り扱いづらく、枝葉は、C/N比が高く発酵しにくいという問題がある。そのため、両者それぞれを堆肥化する場合は一般に、汚泥についてはオガクズなど、枝葉については窒素肥料などを添加することにより、性状の改善や発酵の促進を図ることが行われている。

そこで、汚泥と枝葉を混合し堆肥化を図るならば、互いの欠点を補いつつ堆肥化が図れるとともに、両者のリサイクルが推進されるものと考えられる。

ここでは、各種の汚泥と枝葉を用いた堆肥製造試験から、材料の適性、混合割合などの製造方法について、明らかにするとともに、土壌改良材とのり面緑化の植生基材吹付工の基盤材として、試験施用し、その効果と適用について確認した。

2．　各種汚泥による汚泥枝葉堆肥の製造方法

処理形態の異なる、消化脱水汚泥、乾燥汚泥、コンポスト汚泥（一次発酵品）、コンポスト汚泥（完熟品）の４種類の汚泥を用い、落葉樹枝葉との混合による堆肥の試作を行った。なお、試作堆肥の名称をそれぞれ堆肥A,B,C,Dとした。堆肥の製造条件は、以下のとおりである。

①混合割合：枝葉堆肥の製造においては、含水率50%～60%が適量とされ、C/N比は70以下で小さいほど　発酵が早いとされる[1]。ここでは、発酵期間の短縮を考え、含水率60%、C/N比20となるように混合割合を設定した。各汚泥と枝葉の容積比を表－１に示す。

なお、消化脱水汚泥については両条件の確保ができないため、含水率を優先し、その結果、C/N比は15となった。

②発酵期間：100日間とした。

③発酵管理：容積550ℓの発酵槽を用い、通気を確保したうえで、堆肥温度の低下時に切り返しを行った。

100日間の切り返しは、堆肥製造開始時から30日間に3回、概ね10日に1回となった。また、含水率が60%に保たれるように、適宜水分調整を行った。

完成した試作堆肥は、すべての堆肥において、臭気の問題は改善されていた。堆肥の性状については、堆肥Bは良好であったが、堆肥A,C,Dでは、未分解の汚泥もしくは枝葉が多少見られたが、使用上問題となるものではなかった。また、堆肥の肥効成分は、表－２に示すように、全国パーク堆肥工業会によるパーク堆肥の品質基準（特級）と比較すると、微量要素であるカルシウム以外は、基準を満足した。

以上のことから、含水率60%、C/N比20となるように汚泥と枝葉を混合した場合、100日間で４種の汚泥とも、概ね良好な性状の堆肥が得られることがわかった。

表－１　堆肥製造試験の材料と混合割合

堆肥名	材料		混合時の調整内容	容積比（汚泥:枝葉）
	下水汚泥	剪定枝葉		
堆肥A	消化脱水汚泥	落葉樹粉砕物	含水率60% C/N比20	1:3＊
堆肥B	乾燥汚泥			1:9
堆肥C	コンポスト汚泥（一次発酵品）			1:14
堆肥D	コンポスト汚泥（完熟品）			1:20

＊堆肥Ａについては、C/N比15

表－２　　各種汚泥枝葉堆肥の成分分析結果と評価

堆肥名	汚泥臭の有無	分解状況 汚泥	分解状況 枝葉	全炭素(%)	全窒素(%)	C/N比	含水率(%)	全リン酸(%)	全カリ(%)	全マグネシウム(%)	全カルシウム(%)	pH	CEC me/100g	幼植物への障害
堆肥A	無し	△＊1	○	35.5	3.25	10.9	69.0	2.86	1.22	0.36	2.55	6.3	91.2	無し
堆肥B	無し	○	○	33.8	2.41	14.0	61.9	1.79	1.01	0.39	6.62	7.4	78.3	無し
堆肥C	無し	○	△＊2	39.2	2.85	13.8	69.0	2.84	1.45	0.33	2.14	6.7	88.6	無し
堆肥D	無し	○	△＊2	40.7	2.83	14.4	66.2	2.70	1.25	0.33	1.90	6.5	89.6	無し
パーク堆肥基準(特級)				40～45	1.7以上	20～25	60前後	0.8以上	0.5～	0.3以上	5以上	6.0～	80以上	異常無し

＊１：汚泥塊が残る　＊２：未分解の枝部分が残る　　○：良　△：劣

3．　土壌改良材としての施用効果

前章の試作堆肥の土壌改良材としての施用効果を検証するため、樹木への施用試験を行った。

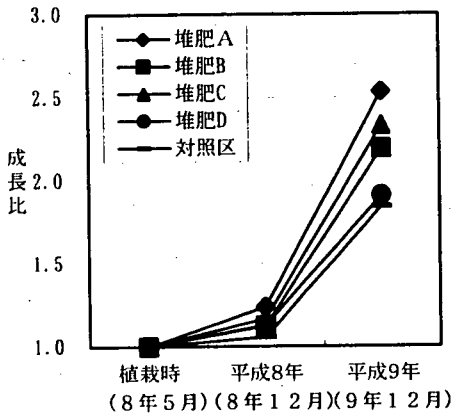
試験は、土木研究所構内に試験区（1試験区：幅1.5m、長さ7.5m、深さ0.15m）を設置し、各堆肥を容積比で2割混合し、マテバシイを各5本植栽した。また、同量のバーク堆肥を施用した区を設け、対照区とした。

観察期間は、平成8年5月～9年12月である。

樹高成長の変化を図－1に示す。図－1からわかるように、堆肥A,B,Cでは、対照区（バーク堆肥）に比べて良好な生育結果が得られた。堆肥Dについては、対照区（バーク堆肥）と同程度の成長となっている。

また、すべての試作堆肥施用区において、生育障害は見られなかった。

以上のことから、すべての試作堆肥で、土壌改良材としての堆肥の施用効果が確認され、特に消化脱水汚泥、乾燥汚泥、コンポスト汚泥（一次発酵品）を用いたもので効果が大きかった。



図－1　土壌改良材施用試験での植栽時の樹高に対する成長比（5本平均）

4．　植生基材吹付工の基盤材としての適性

植生基材吹付工とは、土壌の代わりになる基盤材に、肥料、侵食防止剤、種子を配合したものを裸地面に吹き付けるものであり、基盤材には、主材としてバーク堆肥、副資材としてピートモスを用いることが一般的である。

ここでは、4種の試作堆肥のなかで良好な性状が得られた堆肥Bと同一条件で製造した堆肥を基盤材の主材として用い、副資材については、ピートモスを3通りの割合で使用し、試験施用を行った。使用種子は、一般的な牧草3種である。また、比較対照として、バーク堆肥試験区を設定した。試験区の設定内容を、表－3に示す。試験地は、土木研究所構内に設置した盛土（勾配1:1.8）、試験開始は平成9年3月である。

表－3　　基盤材施用試験の内容

吹付材料＼試験区		バーク堆肥区（対照区）			汚泥枝葉堆肥区		
主材：各堆肥の混合率(%)		50	80	100	50	80	100
副資材：ピートモスの混合率(%)		50	20	0	50	20	0
高度化成肥料		65.3g/m²を混入する					
侵食防止剤		65.3g/m²を混入する					
種子	トールフェスク	発生期待本数500本/m²					
	クリーピングレッドフェスク	発生期待本数300本/m²					
	オーチャードグラス	発生期待本数300本/m²					

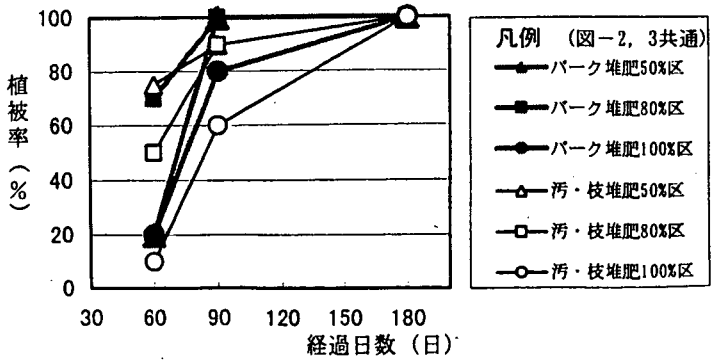
植被率の変化を図－2に示す。

図－2からわかるように、施工180日後には、全試験区で、植被率は100%に達しており、差はない。

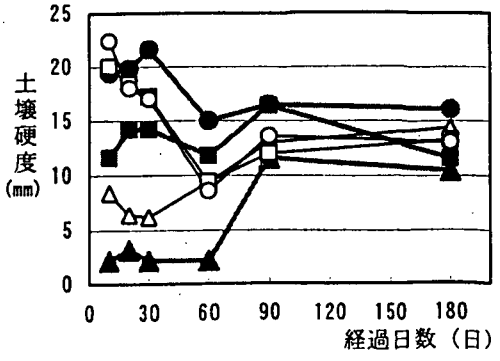
ただし、植被率の増加速度に差があり、施工90日時点では、バーク堆肥に対し、汚泥枝葉堆肥では、10～20%程度低く、この差は主材を100%とした試験区で、特に大きかった。この原因としては、吹き付け初期の基盤材の表面硬度がバーク堆肥に比べて硬いためと想定される（図－3）。

以上より、バーク堆肥の代替として汚泥枝葉堆肥を、植生基材吹付工の基盤材として適用することは可能であると考えられるが、バーク堆肥に比べ、被覆速度が劣る点が見受けられた。また、試験施工では、汚泥枝葉堆肥の粘性、粒径が、施工時の作業性を低下させる一面が見られ、品質、仕様について更に改善を行う必要がある。

参考文献：1）（社）道路緑化保全協会：植物発生材堆肥化の手引き、丸善、1998



図－2　植被率の変化



図－3　土壌硬度（山中式）の変化

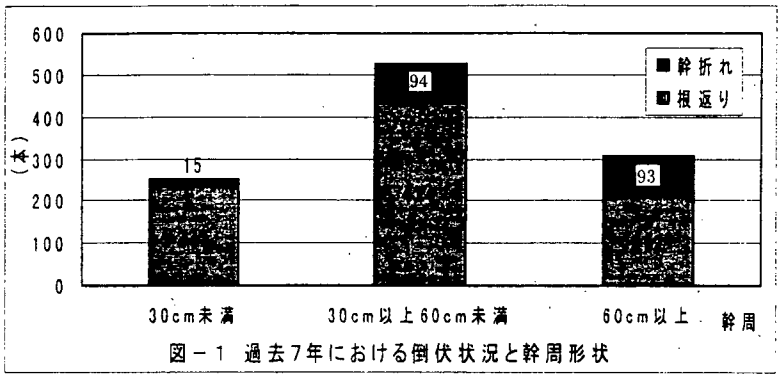
街路樹の倒伏と管理の実態

建設省土木研究所　○石曽根敦子
同　　森崎　耕一
同　　藤原　宣夫

1．はじめに

毎年，台風など暴風時には、街路樹の倒伏のニュースが耳にされる。街路樹の倒伏は、交通障害や事故に結びつく可能性があるため，重大問題に発展する危険性を内在すると考えている。しかし、倒伏の本数、状況などの実態は明らかにされておらず、この問題の客観的な評価・認識の妨げとなっている。また、倒伏実態の情報は、今後、倒伏防止のための街路樹管理を検討するうえで、必要不可欠なものであると考えられる。

ここでは、建設省が直接管理する全国の国道について、街路樹管理を担当する現地工事事務所等へのアンケート調査を実施し、平成 4 ～ 10 年度の 7 年間における街路樹の倒伏本数、倒伏状況(根返り、幹折れ)、倒伏樹木の樹種と形状寸法、および現在行われている街路樹の点検方法(点検項目、頻度)について把握したので、その結果を報告する。

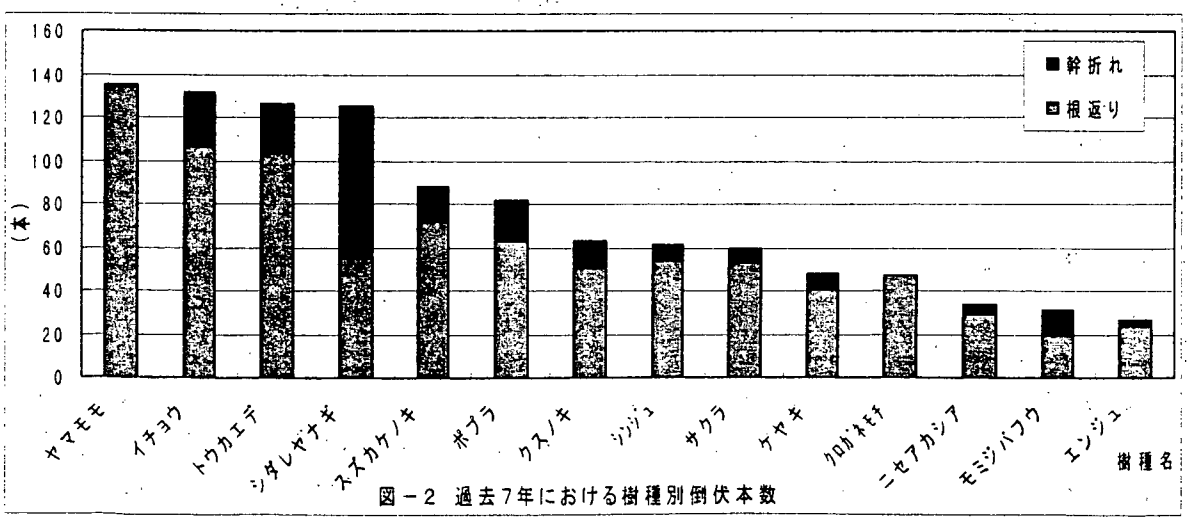


図－1　過去7年における倒伏状況と幹周形状

2．倒伏状況の実態

過去 7 年間の倒伏本数は、合計で 1,458 本に達しており、各年度での倒伏本数では、4 年度 162 本、5 年度 235 本、6 年度 162 本、7 年度 116 本、8 年度 412 本、9 年度 182 本、10 年度 189 本であり、毎年 100 本以上の倒伏が発生していることがわかる。倒伏の状況は、根から転倒する根返りと幹部が折損する幹折れに大別される。

過去 7 年間の倒伏状況では、根返り 1,188 本（81%）、幹折れ 270 本（19%）であり、根返りによる倒伏が多いことがわかる。また、倒伏状況と幹周形状の関係から、幹周が大きくなるほど、幹折れの割合が増加していることがわかる（図－1 参照)。樹種ごとの倒伏状況では、樹種ごとに倒伏状況の割合が異なっており、

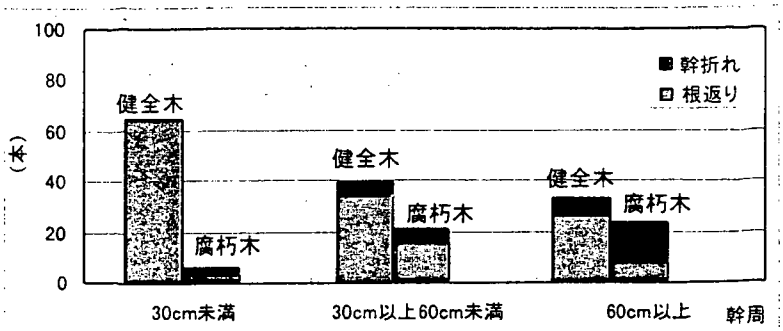


図－2　過去7年における樹種別倒伏本数

特にシダレヤナギでは、幹折れ本数が根返り本数より多い傾向にある（図－2 参照)。

倒伏の原因のひとつとして、根や幹への材質腐朽菌の侵入[1]があげられる。平成 10 年度の倒伏 189 本の

うち、腐朽による倒伏は34本（18%）であり、腐朽木の倒伏状況は、根返り本数より幹折れ本数の方が多いことがわかる。また、平成10年度の健全木と腐朽木の倒伏状況を比較すると、健全木では、幹周が大きくなるほど、倒伏本数が減少しているのに対し、腐朽木では、幹周が大きくなるほど、倒伏本数が増加しており、幹周60cm以上の倒伏では、幹折れ本数が根返り本数より多いことがわかる（図－3参照）。



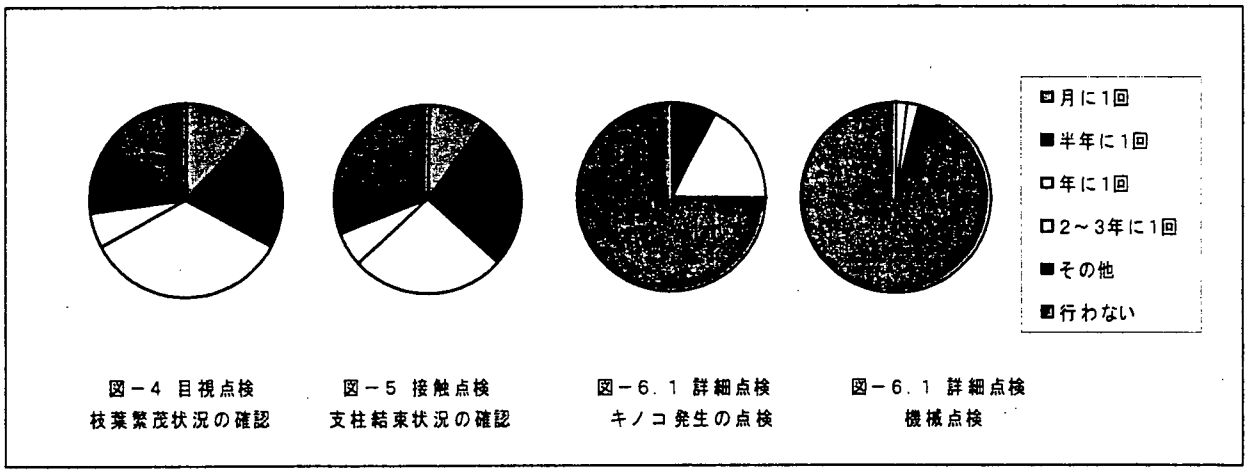
図－3 健全木と腐朽木における倒伏状況と幹周形状

3．点検管理の実態

倒伏防止の観点からは、街路樹の点検は①目視点検、②接触点検、③詳細点検に大別される。

①目視点検では、パトロールなどの踏査により、枝葉の繁茂状況や、樹体の傾きを確認する。②接触点検では、支柱や樹木に力を加え、支柱の結束状況のゆるみや、樹体の揺れ状況を確認する。③詳細点検では、細部を点検することで、開口空洞や腐朽木発見の手がかりとなるキノコの発生を確認する。さらに、機械調査により幹内部の腐朽を確認する。アンケート結果より得られた、全国の街路樹管理を担当する現地工事事務所に対する街路樹の点検管理頻度について、①目視点検を図－4、②接触点検を図－5、③詳細点検を図－6に示した。

この結果，点検管理のうち、①目視点検および②接触点検は、年1回以上の点検確認を約7割の事務所が行っていることが確認された。しかしながら、③詳細点検のうちキノコ発生の点検は、7割以上の事務所で行われておらず、機械点検は、ほとんど行われていなかった。



図－4 目視点検 枝葉繁茂状況の確認　図－5 接触点検 支柱結束状況の確認　図－6．1 詳細点検 キノコ発生の点検　図－6．1 詳細点検 機械点検

4．考察と今後の課題

樹木が大きくなるほど、腐朽による幹折れを起こしていると思われる。

腐朽木の検出は、目視から判断することは困難であり、幹内部を確認する点検管理が必要である。しかしながら、腐朽木発見につながる③詳細点検は、ほとんど行われていない結果、腐朽木を未然に察知することができず、倒伏に至っているものだと思われる。③の点検が行われない原因として、調査方法自体が周知されていないことや、腐朽菌の進行により発生するキノコの同定に専門知識を要すること、機械点検では、作業時間がかかることなどが考えられる。

今後、既存の③詳細点検の課題を解決するべく、専門知識がいらず作業時間を短縮化できる簡易な機械による点検を含めた街路樹の点検管理の検討を行う必要がある。

参考文献1）：グリーン・エージ　pp.6　1999.5

根系切断による街路樹の成長抑制試験

環境部緑化生態研究室
石曽根　敦子

1．はじめに

植樹帯や歩道の幅員によって大きさの限られる生育空間に対して、大きくなりすぎた街路樹がある。このような大型化した街路樹は、建築限界の侵犯、電線および交通標識との競合などの問題を生じさせている。

大型街路樹の引き起こす問題には、現在のところ剪定により対処される場合が多いが、大型街路樹を剪定する場合、高所作業車を用いることが多くなり、通行の確保のため、十分な作業時間や作業スペースを確保できないことから、①安全面での支障、②作業効率の低下、③費用の増加、などの問題点があげられている。

植栽当初より、適切な頻度で剪定を行い、成長を抑制することが望ましいが、管理費用の問題もあり、十分な剪定が行われない結果、街路樹が大型化しているのが現状である。

そこで、もし剪定に替わる経済的な成長抑制方法があれば、有効な現状打開策となりうると考えられる。剪定以外の樹木の成長抑制方法のひとつとして、根系の切断があげられる。一般に樹冠の広がりは、根系の広がりと一致すると言われており、根系を切断などの方法で小さくすることによって、樹冠の成長が抑制されるならば、街路樹の大型化を防ぐことができると考えられる。

ここでは、根系切断による樹冠成長の抑制の有無を確認することを目的として、根系切断を行った植栽試験について報告する。

2．試験方法

試験樹種は、街路樹として使用頻度が高く、樹冠の過大成長が問題とされることが多い樹種を選定することとし、イチョウ、ケヤキ、プラタナスの落葉樹３種と、クスノキ、マテバシイ、シラカシの常緑樹３種を選定した。試験場所は、実際の街路樹で根系切断および追跡調査を行うことは困難であるため、表－１に示す造園会社の圃場とした。

表－１　試験樹木と試験場所

樹種	常緑・落葉	本数	試験場所
イチョウ	落葉樹	9本	茨城県内
ケヤキ	落葉樹	9本	茨城県内
プラタナス	落葉樹	9本	茨城県内
クスノキ	常緑樹	9本	千葉県内
マテバシイ	常緑樹	9本	千葉県内
シラカシ	常緑樹	9本	千葉県内

試験樹木の形状寸法は、樹高５～７m、枝張り１～１．５m程度としたが、クスノキのみ樹高３m程度、枝張り０．５m程度となった。

試験区としては、根切り位置の違いによる２段階の根切り区と、根切りを行わない対照区を設定した。根系切断は、樹幹を中心とする正方形状で、深さ０．４mまでの４側面において行い、強度の切断として、正方形の１辺を１．０m（クスノキのみ０．５m）とした根切り区１、弱度の切断として、正方形の１辺を１．５m（クスノキのみ１．０m）とした根切り区２を設定した（図－１、表－２）。各試験区の樹木本数は３本とした。

試験は、９６年２月に試験開始当初の形状寸法（樹高、幹周、枝張り）を測定した後、同年５月に第１回目の根系切断を行った。以降、毎年冬季に根系切断と形状寸法の測定を行い、９９年２月まで４回実施し、３年間の根系切断の有無と切断強度による成長の違いを比較した。

また、９９年２月には、試験樹種のうち、イチョウ、プラタナスの全ての試験木において、東側と南側の２断面の根系発生本数および根系直径を測定した。対照区では、根切り区１、２と同様の位置で根系切断を行ってから、根系発生本数および根系直径の測定を行った。

表－2 根系切断位置と本数

試験区	根系切断位置		本数
根切り１	幅1.0m(クスノキ0.5m)	深さ	各3本
根切り２	幅1.5m(クスノキ1.0m)	0.4m	各3本
対照区	切断なし		各3本

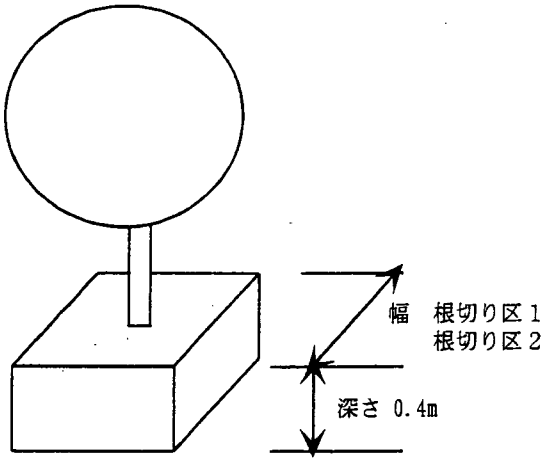


図１ 根切り形状

３． 試験結果

表―３に各試験区の平均成長率と対照区に対する有意差の検定結果を示す。根系切断による成長抑制の有無もしくは抑制の現れ方は、樹種、根切り強度、形状寸法ごとに異なっていたので、樹種ごとの抑制特性を示す。

イチョウでは、対照区の平均成長率と比べて、１年目では、根切り強度に係わらず樹高、幹周で抑制が示され、そのうち根切り区２の幹周以外では、対照区との有意差が確認された。また、枝張りでは、根切り強度に係わらず成長促進が示された。３年目では、根切り強度に係わらず幹周、枝張りで抑制が示され、根切り区２の幹周以外では、対照区との有意差が確認された。また、根切り区２の樹高では促進が示された。

ケヤキでは、対照区の平均成長率と比べて、１年目では、根切り強度に係わらず樹高、枝張りで抑制が示されたが、幹周では、逆に促進が示された。このうち、両根切り区の樹高では、対照区との有意差が確認された。２年目では、根切り区１のすべての形状寸法で抑制が示され、３年目では、両根切り区の幹周、根切り区２の樹高では抑制が示された。また、両根切り区の枝張りで促進が示された。

プラタナスでは、対照区の平均成長率と比べて、１年目では、すべての形状寸法で、根切り強度に係わらず抑制が示されたが、根切り区１の樹高のみ対照区との有意差が確認された。３年目では、根切り強度に係わらず枝張りで抑制が示されたが、樹高、幹周の促進が示された。また、対照区との有意差はなかった。

クスノキでは、対照区の平均成長率と比べて、１年目では、すべての形状寸法で根切り強度に係わらず抑制が示されたが、対照区との有意差はなかった。２年目では、枝張りの根切り区１以外で抑制が示され、幹周の両根切り区のみで対照区との有意差が確認された。３年目では、促進が見られる形状もあった。

シラカシでは、対照区の平均成長率と比べて、１年目では、根切り区２の枝張り以外で抑制が示され、２年目では、根切り区２のすべての形状寸法で抑制が示された。また、３年目では、根切り区１の樹高，根切り区２の幹周、枝張りで抑制が示された。しかしながら、すべての形状寸法の成長率で、対照区との有意差はなかった。

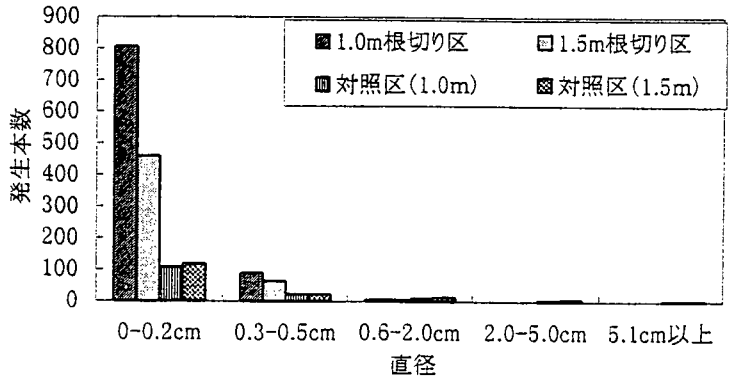
マテバシイでは、対照区の平均成長率と比べて、１年目では、根切り区１の枝張り以外で抑制が示され、そのうち、幹周の両根切り区で対照区との有意差が確認された。２年目では、幹周、枝張りの両根切り区で抑制が示されたが、３年目では、樹高、枝張りの根切り区２以外で促進が示された。

表－3 各試験区の平均成長率と対照区に対する有意差の検定結果

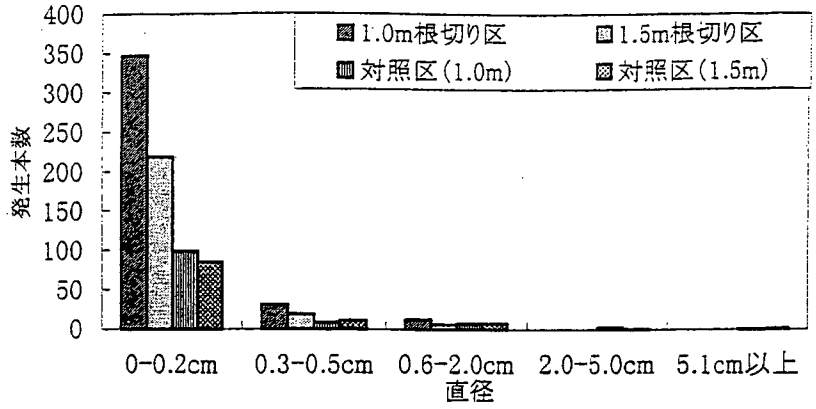
		根系切断1年目						根系切断2年目						根系切断3年目					
		樹高		幹周		枝張		樹高		幹周		枝張		樹高		幹周		枝張	
種名	処理	平均	P	平均	P	平均	P	平均	P	平均	P	平均	P	平均	P	平均	P	平均	P
イチョウ	根切1	-8%	**	-4%	***	7%		1%		4%		14%		0%		-8%	***	-10%	**
	根切2	-8%	**	-2%		15%		0%		-6%		6%		4%		-1%		-13%	***
ケヤキ	根切1	-17%	***	7%		-11%		-3%		-2%		-9%		1%		-2%		12%	
	根切2	-16%	***	8%		-11%		-3%		0%		1%		-5%		-1%		1%	
プラタナス	根切1	-11%	*	-7%		-3%		-4%		-2%		2%		2%		1%		-14%	
	根切2	-8%		-10%		-9%		-4%		1%		0%		1%		7%		-9%	
クスノキ	根切1	-20%		-14%		-46%		-3%		-22%	***	5%		-4%		-5%		-13%	
	根切2	-8%		-1%		-38%		-2%		-13%	*	-16%		-3%		-3%		11%	
シラカシ	根切1	-5%		-4%		-17%		0%		4%		4%		-2%		0%		0%	
	根切2	-3%		-3%		0%		-7%		-5%		-7%		5%		-9%		-8%	
マテバシイ	根切1	-4%		-10%	*	0%		6%		-2%		-15%		1%		2%		5%	
	根切2	-3%		-15%	***	-4%		0%		-7%		-10%		-4%		1%		-1%	

「平均」の列は各根切り処理における形状寸法（樹高、幹周、枝張）の前年に対する成長率（平均値）の、対照における成長率（平均値）からの差を示す。したがって「－」は成長が抑制されたことを意味する。「P」の列のアスタリスクは各形状寸法の成長率について事後検定(Fisher's PLSD)を行い、対照区との有意差が認められたことを示す。(*:P<0.05, **:P<0.01, ***:P<0.001)
網掛けは、抑制を示す。

次に、根切り強度の違いによる地下の根系成長の関係を示す。図－２，３に、イチョウとプラタナスの試験区ごとに試験木１本（２断面）あたりの根系直径別の平均発生本数を示す。両樹種とも、根系切断強度の強い根切り区１では、根系直径 0.2cm 以下の発生量が対照区での発生量に比べて多く、特にイチョウでは、根切り区１の直径 0.2cm 以下の発生量が対照区と比べて顕著に多かった。また、両樹種とも、対照区と比べて、切断強度の弱い根切り区２でも、根系直径 0.2cm 以下の発生量が多かった。



図－２ 試験木1本あたりの根系直径別平均発生本数（イチョウ）



図－3 試験木1本あたりの根系直径別平均発生本数(プラタナス)

4．考察

根系切断による成長抑制は、切断１年目に成長が抑制される形状が多く、２，３年目になると、抑制される形状は少なくなり、逆に成長が促進している形状も観察された。

これは、第１回目の根系切断時には、根系先端部に分布している栄養吸収根の損失が多かったため、切断１年目で成長が抑制されたものだと考えられる。また、根系切断２，３年目では、切断部および内側で吸収根の発根が促進され、切断後の吸収根の損失が少なかったため、成長が抑制されずらかったのではないかと考えられる。

現在、根系切断以外の根系制御による成長抑制方法のひとつとして、あらかじめ、根系の貫通が不可能なコンクリート枡（植栽枡）内に植栽する方法があり、試験中である。根系切断は維持管理作業で実施するのに対し、植栽枡による方法は、新植時から実施することを想定して検討している。

今回の試験からは、根系切断が、成長を抑制するだけでなく、逆に成長を促進してしまう一面があることが示された。根系切断の実際の管理への応用については、さらに検討が必要と思われるが、ここでは、試験で得られた結果をもとに、維持管理作業において根切りを行う場合の留意事項を列記する。

①抑制効果が得られかつ、極端な活力低下が生じない位置で行うこと

樹高 5m～7m 程度の樹木であれば、1.0m～1.5m の幅、樹高 3m 程度の樹木であれば、0.5m～1.0m の幅で根切りを実施することで、効果が期待できると推測される。

②毎年継続すること

１回しか根茎切断を行わなかった場合、吸収根の発生による成長が促進される可能性があるため、根茎切断は継続して行う必要がある。

③剪定の補助的手段として考えること

試験結果では、剪定を完全に省略できるほどの樹形抑制効果があったとは考えられないため、剪定を合わせて行うべきである。

④ロードカッターによる根系の切断

試験での根切り作業は、試験として根系状況を観察する必要があったため、樹木周囲を掘り下げて、剪定ハサミで切断するという方法をとった。実際には、ロードカッターの使用により効率的な切断が可能である。

播種工によるのり面樹林化に関する基礎的研究

(指導期間　平成11年4月～平成12年3月)

研究室名　緑化生態研究室
氏　　名　森園　智之

1. はじめに

これまで、公共工事などに伴って出現したのり面は、早期の侵食防止を目的として草本種のみによる植生導入が行われてきた。しかし、近年は自然生態系の保全や復元を目標とし、のり面に木本種を導入することが求められている[1]。

のり面へ木本種を導入する方法は、大きく「播種工」と「苗木植栽工」に分けられる[2]。これまでのところ、苗木植栽工の確実性は確認されているが、播種工においては先駆樹種以外の木本種について現状の施工方法では適用が困難であるとされている[3]。しかし、播種工は苗木植栽工に比べ作業が効率的であることや根系が発達する[4]などの利点があり、土木技術の観点から播種工によるのり面樹林化手法の確立は重要な課題である。

播種工によるのり面樹林化は、通常、主構成種（目標とする群落の中心になる植物種）に加えて、補全種（先駆樹種、肥料木など）、草本種を用いるとされている[5]。これは、補全種が主構成種の生育環境を整え、成長を助ける働きを有し、草本種が木本群落を形成する過程で表面侵食防止・表層土の形成を行なう[6]理由による。しかし、補全種について導入可能な木本種は、現在、ヤマハギやイタチハギなどの先駆樹種に限られており、これらの種を導入した結果、林床部の日陰により他の植物の生育が進まず、植生遷移が停滞した例が数多く見受けられる。また、木本種の大部分は成長が遅いことから、成長の速い草本種によって、生育初期は被圧されることが懸念される。

そこで、本研究では、播種工による早期樹林化を実現するための基礎的研究として、木本種と草本種との混播試験を行ない、混播する①草本種②イタチハギの播種量の違いが、生育初期における木本群落の形成にどのような影響を及ぼすかを検証した。また同時に、供試した植物について播種時期による発芽及び成長量の違いについても調査した。

2. 試験方法

2-1. 草本種と木本種の混播試験

1999年4月25日に、建設省土木研究所の温室内に試験床を設置した。試験床には試験枠として1m×1mの鉄製枠を使用し、それぞれを4分割して1区画0.5×0.5mの試験区を作成した。生育基盤として、それぞれの試験枠に赤土を高さ40cm、土壌硬度20mmになるように充填し、その上に植生基材を3cmになるよう敷きならした。植生基材はピートモス:バーク堆肥=1:1とした。このとき肥料、中粒以下の種子はあらかじめ植生基材に混合し、大粒の種子は植生基材敷きならし後、均一になるよう手播きによる播種を行った。

供試種子は、目標群落としてブナ科を主構成種とする高木林型を設定し、指針[5]（種子配合にあたって、目標となる主構成種を2～3種、補全種を2～3種、草本種を2～3種選定する）に従い、主構成種として常緑広葉樹であるシラカシ *Quercus myrsinaefolia* と落葉広葉樹であるクヌギ *Quercus acutissima*、補全種と

表-1 供試種子の採取地、採取時期、保存方法

植物名	採取地	採取時期	保存方法
シラカシ	千葉	1998年秋	保湿低温保存
クヌギ	大分	1998年秋	保湿低温保存
ネズミモチ	高知	1998年秋	保湿低温保存
イタチハギ	アメリカ	1998年秋	乾燥低温保存
トールフェスク	アメリカ	1998年秋	乾燥低温保存
クリーピングレッドフェスク	アメリカ	1998年秋	乾燥低温保存

して常緑広葉樹であるネズミモチ *Ligustrum japonicum* と落葉広葉樹であるイタチハギ *Amorpha fruticosa*、草本種として現在の植生工で頻繁に使用されているトールフェスク *Festuca arundinacea* とクリーピングレッドフェスク *Festuca rubra* を選定した。表-1 に本研究で供試した種子の採取地、採取時期、保存方法を示した。肥料は、試験区ごとに溶出時間の早い速効性肥料（N:P:K=15:15:15）0.6kg/m³ と溶出時間の遅い緩効性肥料（N:P:K=10:18:15）2.4kg/m³ を混合し、施用した。

種子配合は、指針[5]（木本群落を成立させる場合の発生期待本数として、主構成種 50～100 本/m²、補完する木本種 50～100 本/m²、草本種 100～200 本/m²を目安とする）を参考にし、検討項目（草本種の播種量別・イタチハギの播種量別）について以下のように設定した。

草本種播種量別の試験区の配合を表-2 に示す。木本種の播種量は、いずれの試験区もシラカシ 40 粒/m²、クヌギ 40 粒/m²、ネズミモチ 40 粒/m²、イタチハギ 52 粒/m² とした。草本種の播種量は、トールフェスク 98 粒/m²、クリーピングレッドフェスク 80 粒/m²を基準として、播種量 0、基準の 0.5 倍量、基準の播種量、基準の 2 倍量、基準の 4 倍量の 5 段階に設定した。いずれの試験区も 4 反復とした。

表-2 試験区の種子配合（草本種播種量別） （粒/m²）

試験区名	シラカシ	クヌギ	ネズミモチ	イタチハギ	TF	CRF
0区	40	40	40	52	0	0
1/2区	40	40	40	52	49	40
基準区	40	40	40	52	98	80
2倍区	40	40	40	52	196	160
4倍区	40	40	40	52	392	320

TF:トールフェスク,CRF:クリーピングレッドフェスク

イタチハギ播種量別の試験区の配合を表-3 に示す。木本種の播種量は、イタチハギに関して 52 粒/m²を基準として、播種量 0、基準の播種量、基準の 2 倍量の 3 段階に設定した。その他の木本種の播種量は、いずれの試験区もシラカシ 40 粒/m²、クヌギ 40 粒/m²、ネズミモチ 40 粒/m²とした。草本種の播種量は、いずれの試験区もトールフェスク 98 粒/m²、クリーピングレッドフェスク 80 粒/m²とした。いずれの試験区も 4 反復とした。

表-3 試験区の種子配合（イタチハギ類播種量別）（粒/m²）

試験区名	シラカシ	クヌギ	ネズミモチ	イタチハギ	TF	CRF
0区	40	40	40	0	98	80
基準区	40	40	40	52	98	80
2倍区	40	40	40	104	98	80

TF:トールフェスク,CRF:クリーピングレッドフェスク

調査は試験床作成後、試験区ごとに 30×30cm のコドラートを設置し、播種後 4 週目までは 7 日間隔、播種後 5 週目から 16 週目まで 14 日間隔、播種後 17 週目から 24 週目まで 28 日間隔で、以下の項目について測定した。草本種はコドラート内における草本植物の植被率（目視による百分率で記録）、草本植物全体の平均的な草高（コドラート内の平均的な生育状態である草本種の草高を記録）、木本種はコドラート内における個体すべての樹高及び地際直径を測定した。散水は各試験区に与える水分量が均一になるよう適宜行った。

2-2. 供試植物 6 種の播種時期による発芽及び生育量の違い

試験は、1999 年 4 月 26 日より建設省土木研究所構内の屋外で行なった。黒土を詰めたプランター（40×30×10cm）を播種床とし、4 月、6 月、8 月、10 月に供試種子を播種した。種子の土中に埋める深さは、駒走（1998）の報告[7]を参考にして、発芽率が最も高い深さに設定した。播種数は 100 粒ずつとし、各植物ごとに最後に発芽した苗から 60 日経過した時点まで毎日発芽数を測定した。散水は基本的に自然降雨で、特に乾燥が見られた場合、適宜散水した。また、最初に発芽した個体から、各種 5 本ずつ慎重に掘り取り、黒土と肥料を詰めたワグネルポット（1/2000a）へ、1 ポットに 1 本ずつ植え替えた。肥料は、ポットごとに速効性肥料（N:P:K=15:15:15）0.6kg/m³ と緩効性肥料（N:P:K=10:18:15）2.4kg/m³ を混合し、施用した。植替え後、14 日間隔で各個体の樹高もしくは草高を調査した。散水は基本的に自然降雨で、特に乾燥が見られた場合、適宜散水した。

3. 結果

3-1. 草本種と木本種の混播試験

(1) 草本種播種量別による比較

木本種4種について成長量を比較するために、材積の近似値としてd^2h（d：地際直径、h：樹高）を算出し、その推移を図-1～図-4に示した。また、播種後168日目における成長量に対する試験区の効果を一元配置法による分散分析によって検定し、有意な効果がみられた種については試験区間の成長量の違いをScheffeの多重比較法により検定した。

シラカシでは、播種後50日目から草本種を播種していない0区がその他の試験区より高くなる傾向がみられたが、播種後168日目において統計的有意差はみられなかった（図－1）。クヌギでは、草本種を播種していない0区と草本種を播種した1/2区～4倍区の間で成長量に有意な差がみられた（$p<0.001$）。また、草本種を播種した1/2区～4倍区の間では、成長量に差はみられなかった（図－2）。ネズミモチでは、試験区間による成長量の差はみられなかった（図－3）。イタチハギでは、播種後100日目前後から試験区間の成長量に変化がみられ、0区、1/2区が他の試験区より成長量が高くなる傾向が顕れた。しかし、生存個体数が少なく、播種後168日目において統計的有意差はみられなかった（図－4）。

草本種の植被率は、発芽直後から試験区間に差がみられ、草本種の播種量の増加に伴い被覆速度が速くなる傾向が確認された（図－5）。また、草本種全体の平均的草高は優占していたトールフェスクの草高であり、いずれの試験区も70日目まで増加し、それ以降ほとんど草高の増加はみられず、168日目には34～36ｃｍの高い草高を示した（図－6）。

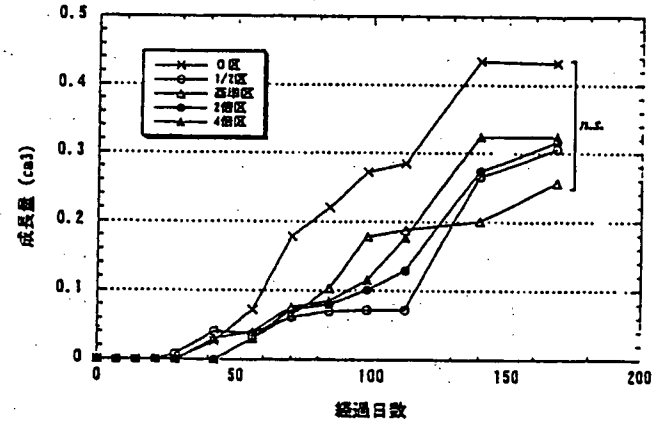


図-1　シラカシの成長量（草本種播種量別）

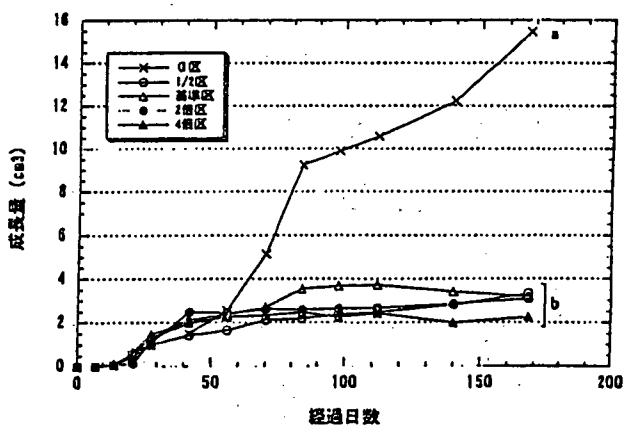


図-2　クヌギの成長量（草本種播種量別）
同じアルファベットは5％レベルで有意差が見られなかったことを示す。

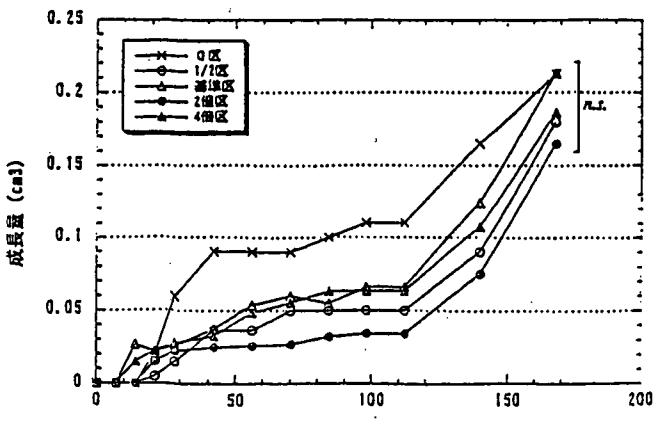


図-3　ネズミモチの成長量（草本種播種量別）

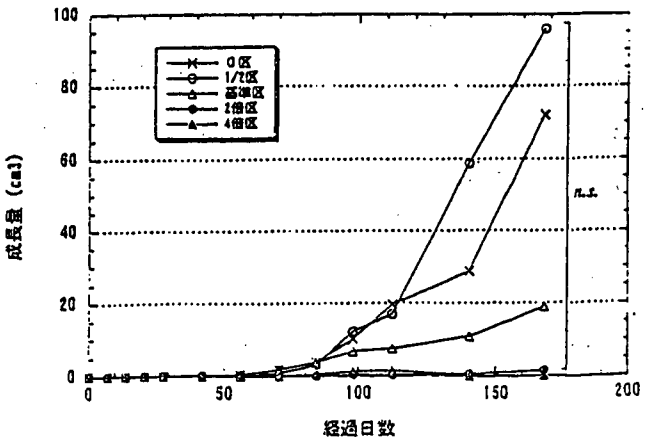


図-4　イタチハギの成長量（草本種播種量別）

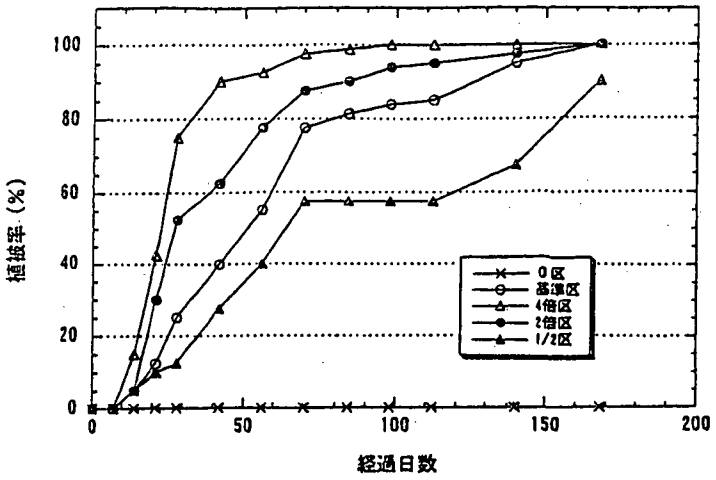


図-5　草本型の植被率（草本種播種量別）

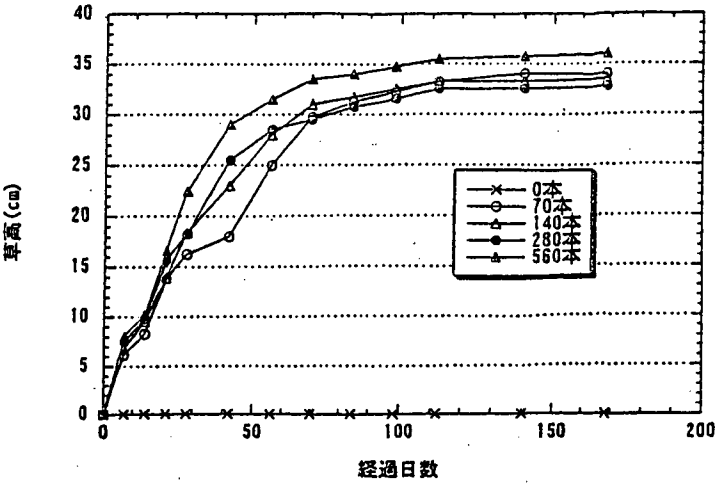


図-6　草本型の平均草高（草本型播種量別）

(2)イタチハギ播種量別による比較

イタチハギ以外の木本植物3種について木本植物の成長量〔d^2h（d：地際直径、h：樹高）〕を算出し、その推移を図-7～図-9に示した。また、播種後168日目における成長量に対する試験区の効果を一元配置法による分散分析によって検定した。

シラカシでは、播種後70日目から試験区間の成長量に変化がみられたが、播種後168日目において有意差は認められなかった（図－7）。クヌギでは、播種後80日目からイタチハギを播種していない0区が基準区・2倍区より高くなる傾向がみられたが、個体間のばらつきが大きく、播種後168日目において有意差はみられなかった（図－8）。ネズミモチでは、播種直後から試験区間の成長量に一定の傾向はみられず、播種後168日目においても有意な差は認められなかった（図－9）。

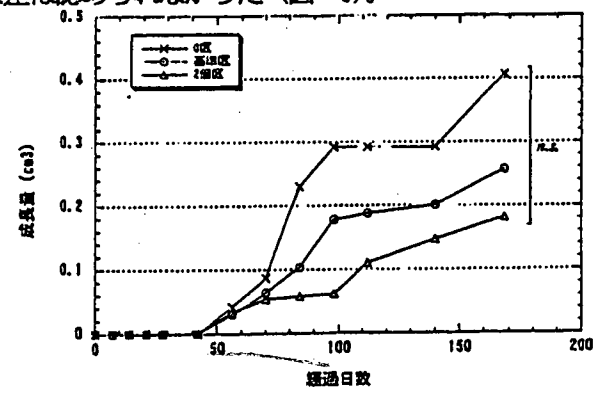


図-7　シラカシの成長量（イタチハギ播種量別）

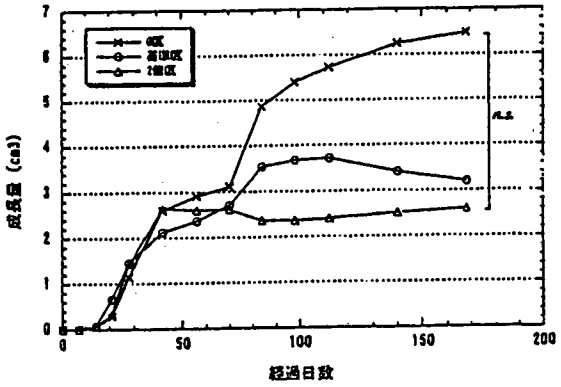


図-8　クヌギの成長量（イタチハギ播種量別）

草本種の植被率は、いずれの試験区においても播種後70日目まで増加を続け、播種後168日目においてはすべての試験区で100％を示した（図－10）。草本種の平均的草高は、播種後70日目まで増加し、それ以降の草高の変化はほとんどみられず、168日目には33.0～36.0cmの草高を示した（図－11）。

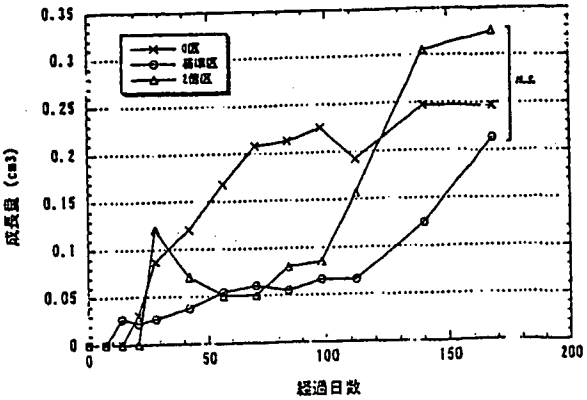


図-9　ネズミモチの成長量（イタチハギ播種量別）

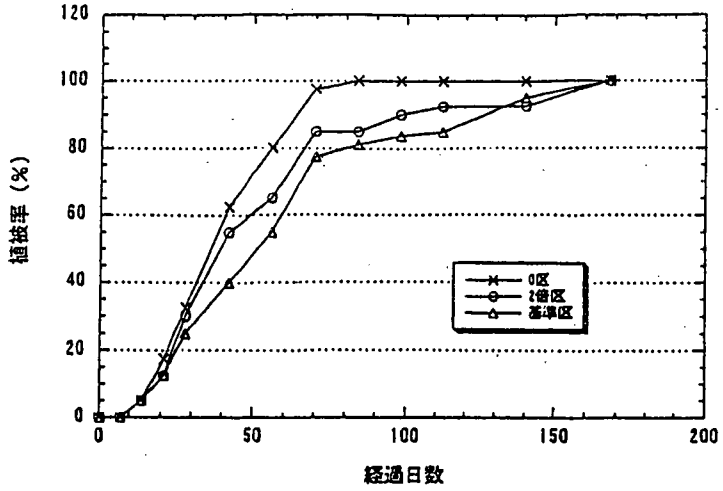


図-10　草本層の植被率（イタチハギ播種量別）

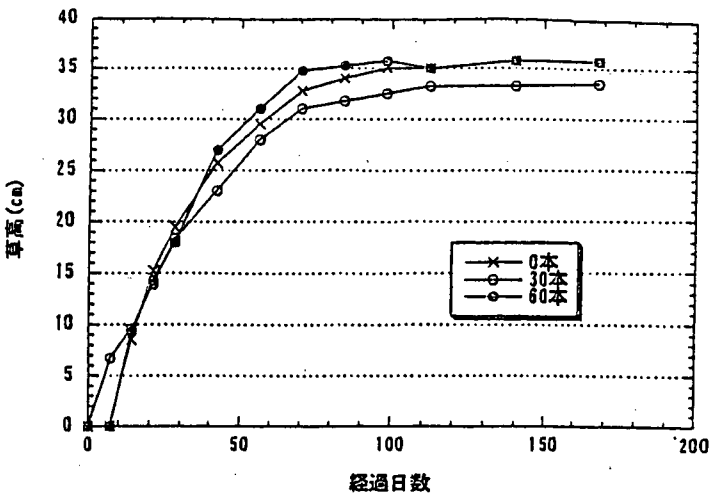
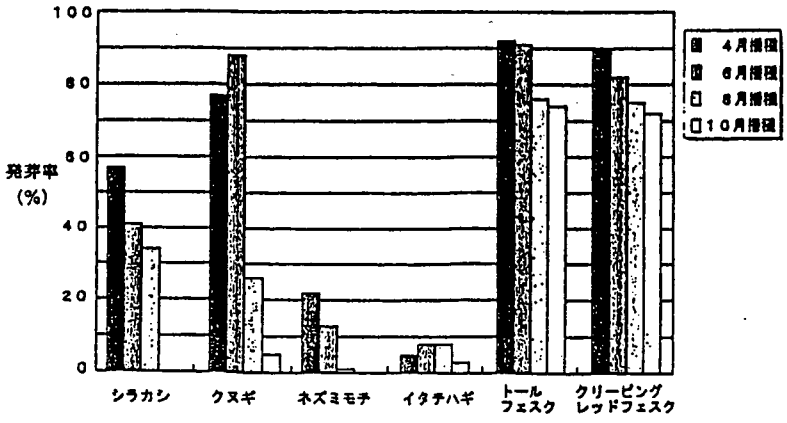


図-11　草本層の平均草高（イタチハギ播種量別）

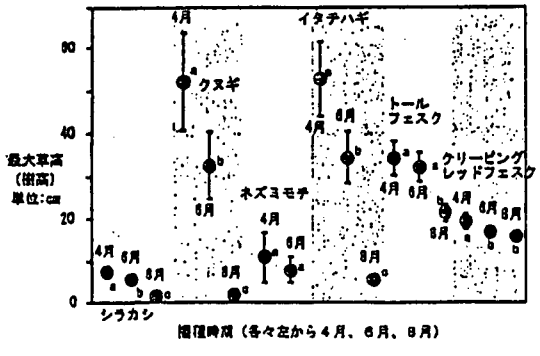
3-2. 供試植物6種の播種時期による発芽及び生育量の違い

各植物の播種時期の違いによる発芽率を図－12に示し、播種時期の違いによる最大樹高（草高）を図－13に示した。なお、最大樹高（草高）とは、試験期間内において植物が最も成長した時の樹高（草高）をいう。また、最大樹高（草高）について、植替えの際のストレスで枯死した個体が多くみられた10月播種を除き、播種時期を要因とした1元配置法による分散分析を行なった。さらに、有意な効果がみられた種については播種時期による最大樹高（草高）の違いをScheffeの多重比較法により検定した。

シラカシは、発芽率が4月播種においてもっとも高く、時期を追うごとに低くなる傾向がみられた。最大樹高は時期を追うごとに低下する傾向がみられ、播種時期間すべてに有意差が認められた。クヌギは、発芽率が4･6月播種において70%以上と高く、8月以降かなり低下した。最大樹高は時期を追うごとに低下する傾向がみられ、播種時期間すべてに有意差が認められた。ネズミモチは、4･6月播種では13～22%の発芽率がみられたが、8･10月播種ではほとんど発芽がなかった。最大樹高については、8月播種の個体は植替えの際に枯死し、4･6月播種に有意差はみられなかった。イタチハギは、発芽率が全体的に低かったが、播種時期による違いはみられなかった。最大樹高は、時期を追うごとに低下する傾向がみられ、播種時期間すべてに有意差が認められた。トールフェスクは、発芽率が年間を通して70%以上と高いが、時期を追うごとにわずかづつ減少した。最大草高は4･6月播種が30.0cm以上と高く、8月播種との間に顕著な差がみられた。クリーピングレッドフェスクは、発芽率が年間を通して70%以上と高いが、時期を追うごとにわずかづつ減少した。最大草高は4月播種が19.2cmでもっとも高く、6･8月播種との間に有意差が認められた。



図－12　播種時期の違いによる発芽率の違い。各群のカラムは各種の時期別のデータを表す。縦軸は播種数に対する発芽した種子の割合（発芽率）を百分率で表す。



図－13 播種時期の違いによる単内の最大到達草高（樹高）の違い。各群の点は各種が単内に到達した最大の草高（樹高）の平均値を播種時期別に示したもの。エラーバーは±1標準偏差を表す。播種時期を要因とした1元配置独分散分析の結果、ネズミモチ以外のすべての種で播種時期による最大草高（樹高）の違いが危険率1%以下で見られた。また、同種内のデータで、播種時期の間にScheffeの多重比較検定の結果5%レベルで有意差が見られなかったデータのグループを同一の英小文字で示した。例えばクリーピングレッドフェスク（期にabb）では、4月と6月、4月と8月の間には有意差があったが、6月と8月の間には有意差がなかったことを表している。

4. 考察

草本種と木本種の混播試験について、今回供試した木本植物の中では、クヌギのみが草本種との混播によって草本種の被圧の影響を受けた結果となった。これはクヌギが陽樹であり、稚幼樹は日陰下には育たない[9]性質によると思われるが、草本種を播種した試験区間においては、草本種の混播量の違いによる成長量の差はみられなかった。また、すべての試験区において枯死はほとんどなく試験区間の生存率も差がなかった。一方、シラカシ・ネズミモチに関しても、試験区間すべてにおいて成長量・生存率に差がみられなかった。これらのことから、シラカシ・ネズミモチは草本種やイタチハギ等との混播により被圧される懸念はないともいえる。また、クヌギについても草本種による被圧は認められるが、成長に著しい影響を与えるものではないと考えられる。しかし、2年目以降には肥料分の草本種との競合等により成長量に差異が生じる可能性もあり、1年間の試験で即断はできない。

また、今回の試験は、温室内の試験のため温度条件や水分条件が一定しており、季節による温度変化や極度の乾燥等のおこる実際ののり面に比べて、木本種には良好な生育環境が整えられていた。加えて、実際ののり面は1割前後の勾配があり、草丈の高い草本植物などは被覆効果が大きくなることも予想され、今後、これらの点を考慮し、試験課題に加えていきたい。

供試植物6種の播種時期による発芽及び成長量の違いについて、草本種については時期を追うごとに発芽・生長量がわずかずつ減少したが、今回の試験期間であった4月から10月に関しては、比較的良好な発芽・生長を示したといえる。一方、木本種は、一般的にのり面での播種時期は3～6月に設定するのが望ましいとされている[9]が、種毎に様々な特性をもつことがわかった。発芽に関しては、4･6月播種で良好なクヌギ、ネズミモチ、4･6･8月播種で良好なシラカシなど樹種によって傾向は異なり、成長量に関しては、いずれの植物も比較的時期の影響を受けやすい結果となった。しかし、シラカシなどのように冬季の休眠により翌年も発芽する種やイタチハギなどのように翌年の生育高が一様になる種などの報告もあり[10]、のり面への導入に際して、今回の試験のみで判断できるものではない。これらの種子の発芽特性等についても、試験継続し明らかにしていくこととしている。

5. 謝辞

本研究を行なうにあたり、多大なるご指導、ご協力を頂いた緑化生態研究室の藤原室長、石坂主任研究員、森崎（前）主任研究員、石曾根技官、ならびに貴重な時間をさき解析業務のご協力を頂いた百瀬重点研究支援協力員、西廣研究員ならびに緑化生態研究室の皆様に感謝の意を表します。

所　属　日本植生㈱

〈参考文献〉

1) 小橋澄治(1999)：のり面緑化工の動向と展望, 緑化工技術第14集, pp1-16, 日本緑化工協会
2) 半田真理子ほか(1995)：木本植物によるのり面緑化工法に関する研究, 土木研究所資料第3334号
3) 石崎浩（1999)：樹木によるのり面緑化工法に関する研究, 平成10年度部外研究員報告書概要版, pp41-46, (財)土木研究センター
4) 福永健司(1996)：播種木と植栽木の根系伸長特性の相違(Ⅲ)-導入2年目のシャリンバイについて-, 第27回日本緑化工学会研究発表会要旨集, pp40-43.
5) 日本道路協会(1999)：道路土工　のり面工・斜面安定工指針, 日本道路協会発行
6) 山寺喜成ほか(1993)：自然環境を再生する緑の設計-斜面緑化の基礎とモデル設計-, (社)農業土木事業協会
7) 駒走裕之（1999)：埋土深、播種床の違いが木本種子の発芽に及ぼす影響, 平成10年度部外研究員報告書概要版, pp51-56, (財)土木研究センター
8) (財)林業科学技術振興所：有用広葉樹の知識-育てかたと使いかた, pp137.
9) 堀江保夫(1992)：播種工による早期樹林化の手法, pp44, (財)林業科学技術振興所
10) 山田守(1995)：播種条件の違いが木本植物の発芽・初期生育に及ぼす影響について(Ⅰ)-播種時期と発芽・初期成育-, 日本緑化工学会誌第21巻第1号, pp34-40.

PS6．孔開きモルタル平板上での植物生育

○伊神　光男〔太平洋セメント㈱〕
松江　正彦・藤原　宣夫〔建設省〕

1．はじめに

建設省では、「コンクリートのない川づくり」もしくは「コンクリートの見えない川づくり」を目指して、全国で多自然型川づくりを積極的に推進している。

このような背景の中、護岸機能と植生基盤としての機能を併せ持つ新素材として、ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄが注目を集めている。ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄは、連続した空隙構造を多く含む多孔質なコンクリートであり、この連続空隙部分に植物の根が伸長し、背面地盤まで貫通して活着するために、ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄ上の植物生育が可能となる。しかし、ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄは強度及び耐久性が一般的なモルタルやコンクリートよりも弱いため、河川のどのような箇所にも用いることができるわけではない。特に、転石などによって大きな衝撃力の加わる急流域や厳しい凍結融解が繰り返される寒冷地への適用は困難である。また、実際の施工の歴史が浅いため、安全性に関して信頼性に乏しいなどの課題もある。

そこで、本研究では強度、耐久性、安全性において長年の実績を持つモルタルを材料とし、細い貫通孔を複数開けた平板を用いて、ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄの連続空隙を垂直に真っ直ぐな貫通孔として単純化した場合の緑化の可能性を検討した。

2．研究目的

モルタルで調製した平板について、細く、真っ直ぐな貫通孔を多数設けることによって、その表面を緑化することができるかどうか、また、貫通孔の直径及び孔数（孔隙率）が植物生育にどのような影響を及ぼすかなどを明らかにすることを目的として行った。

3．研究方法

表1-aに示した配合の原料をパン型ミキサーに投入して練り混ぜ、成形後蒸気養生を行い、図1及び表2に示した孔の直径が5mm、10mm、15mmまたは20mmで、孔隙率(孔の合計体積／平板体積×100)が、2.5%、5%、10%、15%または20%となるような真っ直ぐな貫通孔を多数有する孔開き平板(大きさ縦400mm×横400mm×高150mm)を13種類製造した。また、孔を開けないモルタル製平板(以下無孔区と称す)及び表1-bの配合を用いた連続空隙率25%のﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄ平板(PoC+Sと略記。大きさ縦400mm×横400mm×高100mm)も一緒に製造した。なお、同時に製造したモルタル円柱供試体の圧縮強度(4週強度、n=3)は平均28.3 N／mm²、ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄ円柱供試体は平均12.6 N／mm²であった。

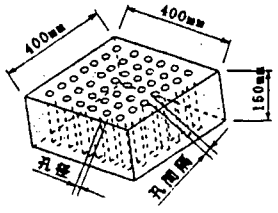
表－1．配合（1m³当たり）

a．孔開きモルタル平板

空気量(%)	水／セメント(%)	水(kg)	セメント(kg)	細骨材(kg)	AE減水剤(kg)
2.0	40.0	225	563	1500	5.60

b．ポーラスコンクリート平板

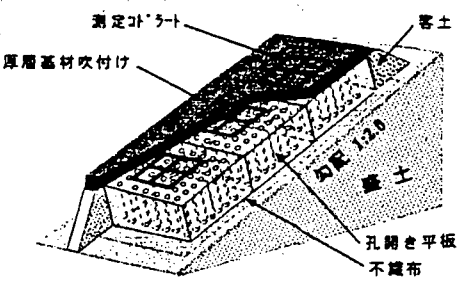
使用粗骨材	早強セメント(kg)	水(kg)	混和材(kg)	硅砂7号(kg)	粗骨材(kg)
砕石5号	180	53	60	240	1476



図－1．平板形状

表－２．試験区

試験区	内容					測定ｺﾄﾞﾗｰﾄ数		貫通根測定平板数(枚)
	孔径 (mm)	孔隙率 (%)	孔数 (個)	孔間隔 (mm)	平板数 (枚)	本数、重丈、乾重量(個)	繊維率 (200×200mm)	
土壌区	－	－	－	－	6相当	24	6	－
無孔区	－	－	－	－	3	12	3	2
φ5-2.5%	5	2.5	196	23	3	12	3	2
φ5-5%	5	5	361	15	3	12	3	2
φ10-5%	10	5	100	30	3	12	3	2
φ10-10%	10	10	169	18	3	12	3	2
φ10-15%	10	15	256	13	3	12	3	2
φ15-5%	15	5	49	44	3	12	3	2
φ15-10%	15	10	81	27	3	12	3	2
φ15-15%	15	15	121	19	3	12	3	2
φ15-20%	15	20	144	15	3	12	3	2
φ20-5%	20	5	25	59	3	12	3	2
φ20-10%	20	10	49	36	3	12	3	2
φ20-15%	20	15	64	26	3	12	3	2
φ20-20%	20	20	81	20	3	12	3	2
PoC+S	?	25	5号砕石		3	12	3	2



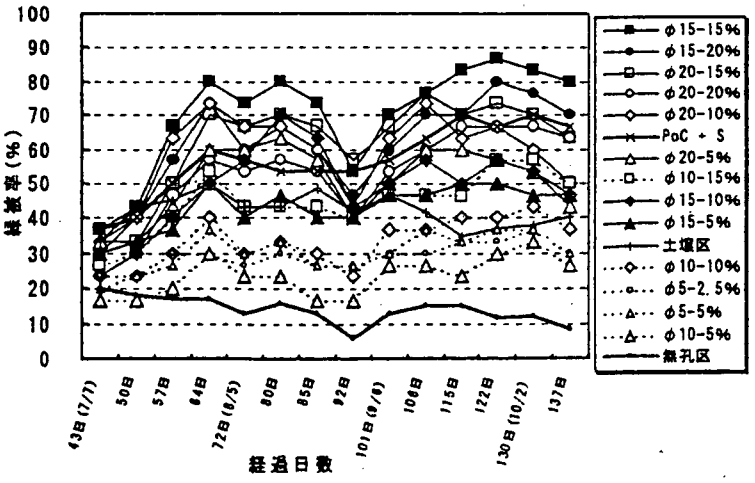
図－２．緑化試験方法

試験場所は、茨城県つくば市の建設省土木研究所構内にある実験水路外側の南向き盛土斜面（盛土材料：現場発生土、法高 2m、傾斜勾配 1:2.0）を用いた。平板の敷設は、図 2 に示すとおり同一平板が縦に 3 段ずつ並ぶように行った。また、同じ法面に土壌区も設置した。孔開き平板は、敷設後孔内に増粘材と水を除いたﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄの空隙充填材（粉体状）を詰め、ﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄには水でｽﾗﾘｰ状にした空隙充填材（組成：細粒土、ﾊﾟｰﾗｲﾄ、ﾊﾞｰﾐｷｭﾗｲﾄ、化成肥料、増粘材、水）を浸漬と流し込みの併用により充填した。

緑化試験は、厚層基材吹付け（吹付け厚 5cm）により行い、基材 1m³ 当たり緑化植物として、ﾘｰﾄﾞｶﾅﾘｰｸﾞﾗｽ 7.52g（成立期待本数：2,000 株／m²）、ｸﾘｰﾋﾟﾝｸﾞﾚｯﾄﾞﾌｪｽｸ 4.24g（同：1,000 株／m²）及びﾄｰﾙﾌｪｽｸ 5.36g（同：500 株／m²）の種子を配合した。吹付けは平成 10 年 5 月 25 日に行い、同年 11 月 6 日までの 165 日間試験を行った。その間、緑被率の測定を 7 月 7 日から 10 月 9 日までほぼ 1 週間間隔で 14 回、生育株数及び草丈の測定を 6 月 29 日、7 月 30 日、9 月 1 日及び 9 月 28 日の 4 回行った。茎葉の乾燥重量の測定は 10 月 13 日に、また平板を貫通した根の数の測定は 11 月 6 日に行った。

生育調査は、図 2 に示すとおり、一辺の長さ 10cm の正方形ｺﾄﾞﾗｰﾄを各平板の中央部に縦横に 2 個ずつ、合計 4 個設置して、このｺﾄﾞﾗｰﾄを対象に行った。なお、緑被率は平板中央部の 4 個分を 1 区画として目視により 5%単位で行い、その他の調査は 1 個のｺﾄﾞﾗｰﾄを 1 区画として測定した。茎葉の乾燥重量は、ｺﾄﾞﾗｰﾄ内に生育した茎葉を全て刈り取り、80℃で連続 18 時間乾燥して測定した。また、平板を貫通した根の数は、全試験区の平板を各 2 枚ずつ掘り上げて、平板 1 枚当たりの貫通根の数を平板裏面側から数えた。

なお、試験期間中の管理は、特に高温・乾燥が続いた 7 月 3 日、5 日、6 日、8 月 17 日及び 24 日の合計 5 回の灌水を行ったことと、殺菌剤を適宜散布した以外は自然状態のままとした。



図－３．緑被率の推移

４．結果及び考察

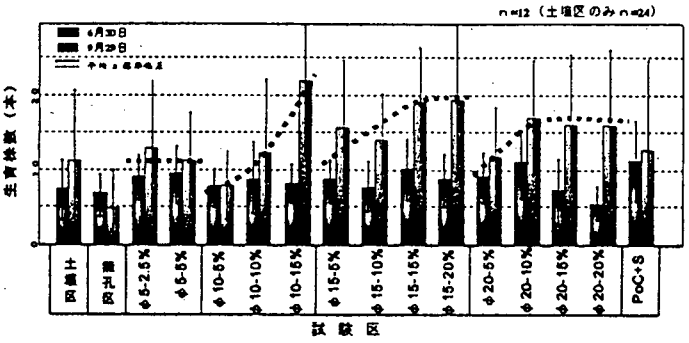
4.1　緑被率

発芽は試験開始 5 日目頃からみられ、30 日目には各試験区で同程度の発芽・生育が行われた。しかし、43 日目以降になると図 3 に示す様に緑被率に差が顕れ、これが徐々に広がって 64 日目以降には明らかな差となった。なお、8 月下旬には高温・乾燥が原因の緑被率の下降がみられたが、9 月に入って回復し、同月下旬には最も高い値を示した。

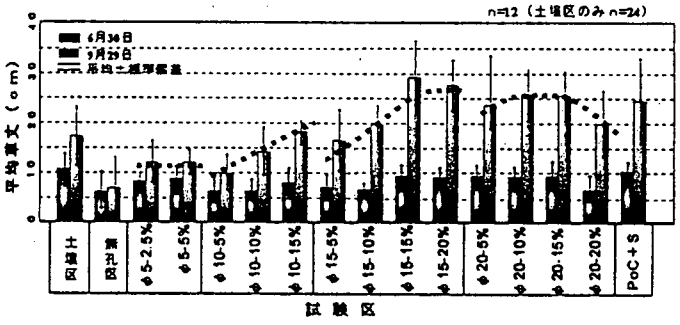
無孔区の緑被率は、全ての試験区の中で最も低く推移し、しかも日数の経過と共に徐々に低下する傾向を示した。孔開き平板では、φ 15-15%区及びφ 15-20%区で緑被率が 80%以上に達する十分な緑化を行うことができた。また、φ 20-15%区、φ 20-20%区及びφ 20-10%区などでも、緑被率が 67 %～ 77 %と高い値を示し、同時に試験したﾎﾟｰﾗｽｺﾝｸﾘｰﾄ区（緑被率 70%）と同程度の緑化を行うことができた。このことから、孔径φ 15 mm で孔隙率 15%以上及び孔径 20mm で孔隙率 10%以上の孔条件が緑化に適することが分かった。なお、土壌区の緑被率は、最高 50%程度と低調であった。

4.2 生育株数、平均草丈、茎葉の乾燥重量

図 4 に生育株数、図 5 に平均草丈、図 6 に茎葉の乾燥重量の調査結果を示す。無孔区は、生育株数、平均草丈及び茎葉の乾燥重量の何れも最も低く、しかも生育株数が 6 月 30 日から 9 月 29 日までの 3 ヶ月間に減少する傾向を示し、明らかに植物生育に適さなかった。



図－４．生育株数の比較

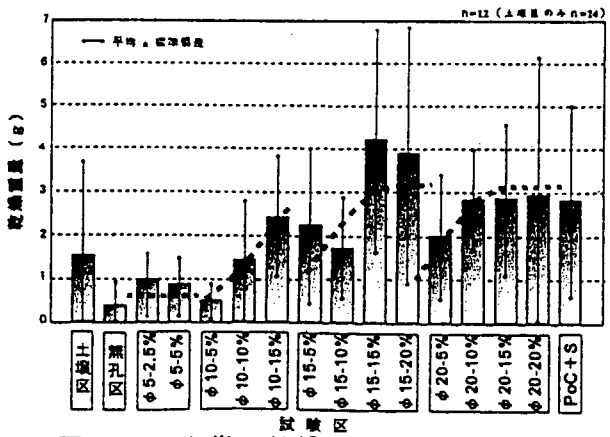


図－５．平均草丈の比較

孔径φ 5mm の区では、何れの生育量も低く、且つ孔隙率が 2.5%から 5%に増加してもこれらの生育量に差がない傾向を示した。

一方、孔径φ 10mm の孔では、孔隙率が高くなるに従って何れの生育量も向上する傾向がみられ、孔径がφ 10mm になれば孔隙率の高低が植物生育に影響を及ぼすことが分かった。

また、孔径φ 15mm 及びφ 20mm では、孔隙率の増加に応じて何れの生育も向上したが、孔径φ 15mm では孔隙率 15%以上、また孔径φ 20mm では孔隙率 10%以上になると、生育量の増加が頭打ちになる傾向を示し、これらの孔条件以上に達すると、茎葉の生育量に差が生じないことが分かった。



図－６．茎葉の乾燥重量の比較

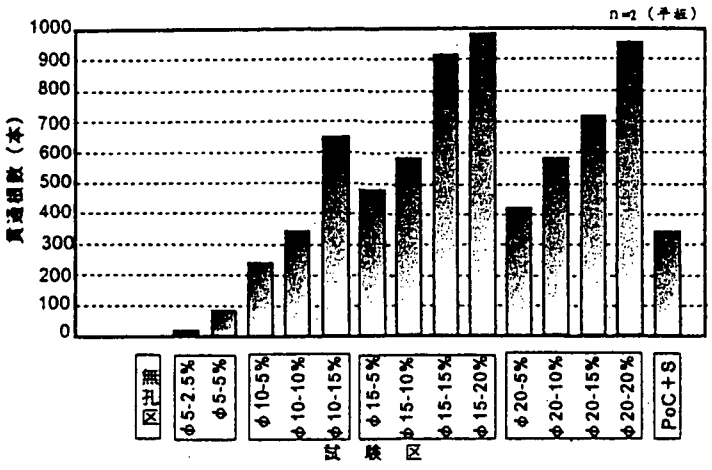
なお、土壌区の茎葉の生育が何れも低調であったため、土壌区を基準とした試験区の

優劣の比較は困難であった。

4.3　貫通根数

貫通根数の調査結果を図７に示す。無孔区では、モルタル平板を貫通して伸びる根は一切認められず、表層の厚層基材中にのみ根を張っていた。

このことから、無孔区では水分を厚層基材中より吸収せざるを得ないため、水分不足を生じ易く、これが植物生育を抑制した原因と考えられた。



図－７．貫通根数の比較

孔径φ 5mm からφ 20mm の何れの試験区においても、孔隙率が高くなるに従って、貫通根数が増加する傾向を示した。しかし、孔径φ 5mm ではその他の区よりも明らかに貫通根数が少なく、この孔径では植物根の伸長・貫通が困難なために根系が発達できず、それによって茎葉の生育が抑制されたものと考えられた。一方、孔径 10mm 以上では、貫通根数が平板１枚当たり（1600cm²）約 250 本以上と多く、孔隙率の増加に伴う貫通根数の増加量も多いことから、これらの孔では植物根の伸長・貫通が容易なため、孔隙率の増加に応じて貫通根数が増え、それに伴って茎葉の生育ひいては乾燥重量が増加したものと考えられた。なお、緑被率の高かった孔径φ 15mm で孔隙率 15 %以上及び孔径φ 20mm で孔隙率 10%以上の区では、貫通根数は平板１枚当たり約 600 本以上に達しており、緑被率の低かったφ 10-5%区及びφ 10-10%区などの約 340 本以下よりも明らかに多かった。このことから、平板１枚当たりの貫通根数が大凡 600 本以上であれば、茎葉の生育に必要な根系が十分に発達しており、根系の未発達が原因の茎葉の生育抑制はなくなっていると考えられた。

５．まとめ

細く、真っ直ぐな貫通孔を多数設けたモルタル平板を用いて、その表面を緑化することができるかどうか、また、貫通孔の直径及び孔数（孔隙率）が植物生育にどのような影響を及ぼすかなどを調査した結果、以下の結論を得た。

①孔開きモルタル平板上に十分な緑化を行うことができた。このことから、孔開きモルタル平板或いは孔開きコンクリート平板が植生可能な護岸材料として有望と考えられた。

②植物生育に適する孔条件は、孔径φ 15mm で孔隙率 15 %以上及び孔径φ 20mm で孔隙率 10 %以上であった。これらの孔条件では、茎葉の生育に必要な量の根系が発達できるため、根系が茎葉の生育制限因子ではなくなると考えられた。

③孔径φ 5mm の孔では、植物根の伸長･貫通が困難なため、植物生育が抑制された。

④孔径φ 10mm の孔では、植物根の伸長･貫通が容易なため、孔隙率が高まるに従って、貫通根数が増加し、その結果植物生育が向上するものと考えられた。

今後、緑化可能な護岸材料として実用化を進めるために、孔内の根詰まりの有無、植生遷移、植物適性、流水による植生の洗掘・流亡などについて明らかにする必要がある。

発芽生態学からみた霞ケ浦の水辺植物の衰退

西廣淳（建設省土木研究所）・荒木佐智子・鷲谷いづみ（筑波大学生物科学）

霞ケ浦では平成８年以来、冬から早春にかけてかつてよりも高い水位を維持する管理が行われており、これにより湖岸沿いの一帯の地表面が冠水しやすくなっている。植物の発芽に必要な環境条件は種毎に異なり、水辺を生育場所とする植物でも水中では発芽できない種は多い。さらに、実生期における冠水や水による物理的なダメージは定着失敗の原因となるため、現状の水位管理は早春の露出した地表面を発芽適地とする植物の種子発芽や実生の定着を妨げている可能性がある。またヨシ原は水や人為の作用による適度な撹乱が加わることによって様々な種が生育できるようになると考えられているが、現在ではヨシ刈りや野焼きなどの管理が行われなくなってきている。

霞ケ浦における水辺植物の種子からの更新の現状と問題点を明らかにするために、1999年３月から、湖岸のヨシ原に多数の方形区を設置し、水辺植物の発芽と定着の成否とそれらに影響する環境要因について研究している。調査は2年間以上継続して実施する予定だが、既に得られている結果の一部を報告する。

１．ヨシ原に生育する植物の現状と問題点

1-1. ヨシ原の植生

霞ケ浦の小野川河口部左岸のおよそ１haのヨシ原で1993年に実施した植物相の調査では、77種の顕花植物が認められた。同じヨシ原において1999年に行った植生調査で認められた顕花植物は60種で、アキノウナギツカミ、ヤノネグサ、ヒメジソ、タマガヤツリなど一年生の種が有意に高い割合でみられなくなっていた（G-test, $P<0.05$）。

1-2. リター除去が発芽に及ぼす影響

３月初旬にヨシ原内でヨシやカサスゲのリターを人為的に除去し裸地化する処理を行った結果、３月から７月までの間に、リター除去処理を行わなかった場所では９種（23個体／m^2）の発芽しかみられなかったのに対して、処理を行った場所では30種（388個体／m^2）の発芽が認められた。地表面温度の解析から、リターを除去した場所では日較差が大きいことが示された。

1-3. 種子発芽

早春にリターの除去を行ったヨシ原内の20の方形区（30×30cm）において、3月19日から７月24日までに、発芽（実生発生）した植物の調査を行った。調査期間には発芽数の多い方形区では12種128個体の発芽がみられたが、調査期間中には発芽が全く認められない方形区もあった。方形区によって比高に差異があり（利根川水系の河川管理基準面からの高さ：YP＝105.0～120.3cm）、これによって冠

水頻度に差異がみられ（図１）、発芽種数が多い方形区は、比高が高く冠水しにくいところに限られる傾向が認められた（図２；相関解析 N=20, R=0.78, P<0.0001）。

方形区と隣接する場所から土壌を採取し、シードバンクの種組成を調べた結果、方形区内で発芽した植物のほとんどが採取土壌からも確認された（表１）。また採取土壌のみでみられた種には、タマガヤツリ、ヒロハノコウガイゼキショウ、イボクサなど1993年の植生調査のみで認められた種も含まれていた。

土壌採取地点の比高と、発生した植物種数との間にも有意な正の関係が認められた（図３；N=20, R=0.77, P<0.01）。

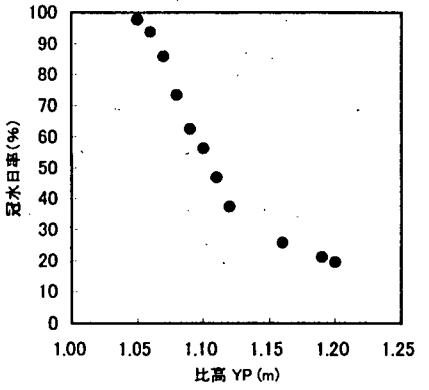


図1. 各方形区の標高と発芽調査期間（３月19日～７月24日）における冠水日数の百分率の関係。冠水日数は日平均水位が方形区の比高を超えた日数として算出した。

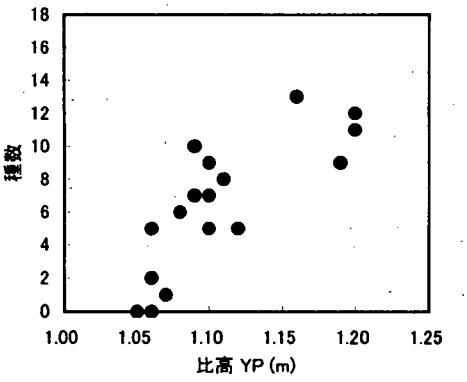


図2. 各方形区の比高と1999年３月19日から７月24日までに方形区内で発芽が見られた種数の関係。各方形区は30×30cm。

表1. 現地（リターを除去したヨシ原内）に設置した方形区のみで認められた種数、シードバンクの調査（採取土壌からの発生実生調査）のみで認められた種数、両方の調査で共通してみられた種数。３月上旬から７月下旬までの調査の結果について示す。未同定のものは除外した。() 内は全種数に占める割合（%）。

種子の由来	確認種数 (%)
現地のみ	8(19.0)
シードバンクのみ	12(28.6)
共通	22(52.4)
合計	42(100)

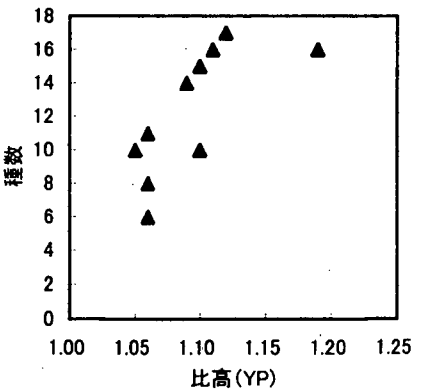


図3. 土壌採取場所の比高と採取土壌からの発芽がみられた種数の関係。各土壌サンプルは30×30×5cm。

1-4. 実生の定着

7月24日の時点では、方形区内で発芽した植物のうち、サデクサ、ゴキヅル、チゴザサ、ヨツバムグラの４種、合計８個体しか生き残っておらず、その他の26種613個体はすべて死亡した。実生の死亡は降雨により霞ケ浦の水位が上昇し、冠水が続いた時期に特に集中してみられた（図３）。植物の生存は比高が比較的高い方形区でのみ確認された。

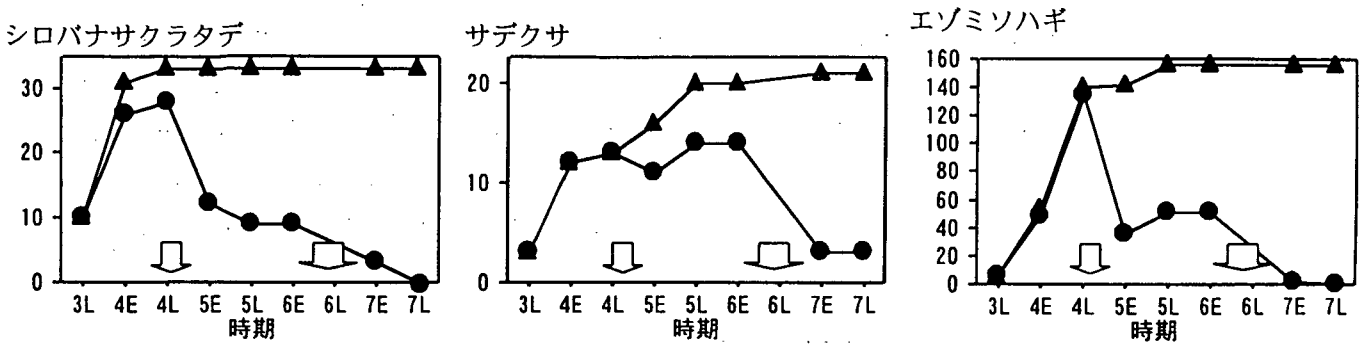


図3. シロバナサクラタデ、サデクサ、エゾミソハギの各調査時期における現存実生数（■）と累積実生数（▲）。時期の数字は月を、EとLは各月の初期と後期をそれぞれ意味する。矢印は大雨に伴う水位上昇によりすべての方形区が冠水した時期を示す(図４を参照)。実生数は全方形区の合計値（1.8m²あたり）。

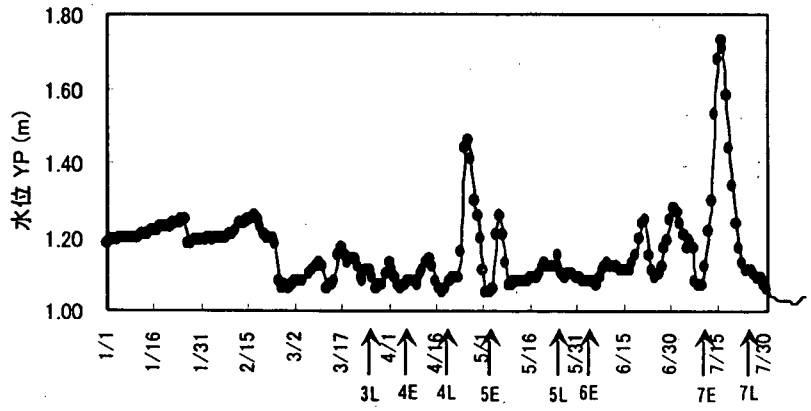


図4. 1999年における水位変動。湖心観測所の測定データに基づく。１点は一日の平均水位を意味する。（データ提供：建設省霞ケ浦工事事務所）

考察

植物の種多様性が高いヨシ原を維持するためには、リターの除去を含む適度な撹乱が重要であることが示された。野焼きなどの管理がこれらの撹乱に相当すると考えられる。

ヨシ原の地表面の冠水は植物の発芽を抑制し、また多くの種の実生における主要な死亡要因となっていることが示唆された。春に発芽する植物の発芽・定着時期に相当する３月・４月における高い水位、および降雨の後などの急激な水位の上昇は、近年において特に１年生植物が衰退した原因となっている可能性がある。現状の水位管理の下では、たとえ野焼きなどの管理が行われても豊かな植生の再生は困難だろう。かつての自然な水位変動を参考にして、発芽の季節に水位を十分に下げる管理が必要であると考えられる。さらに将来的には、年間の水位変動の重要性についても明らかにして、管理計画に反映させていくことも必要であると考えられる。

2．アサザの現状と問題点

2-1.発芽と実生の定着

アサザは浮葉植物だが、水中で発芽する能力をもたず、岸辺の露出した地表面で発芽・定着する。霞ケ浦では春にヨシ原の湖側の縁でアサザの発芽がみられる。アサザが発芽する場所に方形区を設け（30×30cmを20箇所）、1999年の３月19日から７月24日まで、アサザの発芽・定着を調査した。

その結果、方形区内では４月３日から６月２日までの間に合計78個体（43.4個体／m²）の発芽が認められたが、７月24日にはそれらのすべてが死亡・消失した（図４）。観察では、波浪によって子葉や本葉が失われたり、実生自体が持ち去られた場合が目立った。またアサザの発芽がもっとも盛んにみられた５月初頭に湖岸線およそ4kmを踏査し、子葉から本葉２～３枚の成長段階にある1768個体にマーキングしたが、６月には生存個体が244個体となり、７月には０個体となった。

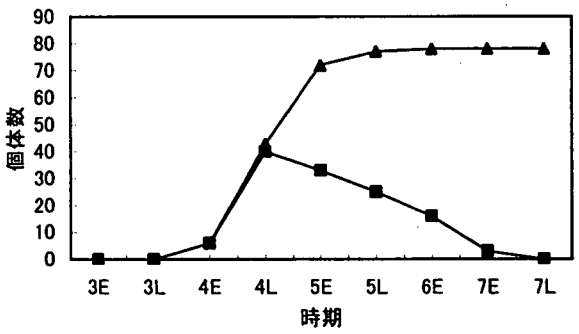


図４．各調査時期におけるアサザの現存実生数（■）と累積実生数（▲）。個体数は全方形区の合計値（1.8m²あたり）。

2-2.アサザ群落の現状

霞ケ浦（西浦）のアサザは、1994年の調査では10の個体群として認められている（川口・鷲谷　未発表）。それらのうち最も規模の大きい個体群の一つである江戸崎町鳩崎地先の個体群と桜川村古渡地先の個体群で、1999年８月にアサザの広がりを調査した。その結果、江戸崎町の個体群があった場所ではアサザの生育が確認できなかった。また桜川村の個体群でも、個体群を構成していたパッチの幾つかがみられず、個体群の占有面積は半分以下になっていた。

考察

アサザが種子から更新して個体群を維持するためには、発芽可能な場所すなわち４月頃に露出している裸地的な場所とともに、実生定着が可能な場所すなわち急激な水位上昇や強い波浪の影響がなく、かつなだらかな勾配をもっている場所を確保する必要がある。現状では特に実生定着の条件が満たされないため、発芽した実生が定着できなくなっている。さらにアサザ群落自体も衰退している兆候がみられるため、新たな種子の供給が大幅に減少していること予測され、個体群が絶滅に向かう可能性がある。

公園ビオトープでの育成など、カタストロフによる絶滅を回避する措置を講じつつ、アサザの生活史特性が進化した状況についての知見を踏まえた、水管理、波浪対策、湖岸・湖底地形の復元・保全を行い、個体群が自立的に回復・維持される環境を整える必要がある。

水位管理が強化された霞ケ浦では種子植物の更新は可能か？

○西廣淳（建設省土木研究所）・鷲谷いづみ（東京大学農学生命科学）
・荒木佐智子（筑波大学生物科学）

近年霞ケ浦では植生帯の面積が著しく減少するとともに植物相が単純化している。湖岸にある約1haのヨシ原での顕花植物相の調査では、1993年から1999年にかけて、確認種が77種から60種に減少した。霞ケ浦では1996年以来、秋から早春にかけて以前よりも高い水位を維持する管理が行われており、湖岸のヨシ原が冠水しやすくなっている。このため種子植物の発芽セーフサイトが減少・消失し、実生からの更新が困難になっている可能性がある。

水辺植物の発芽・定着に対する冠水の影響を検討するために、1999年3月にヨシ原内の比高の異なる地点に20個の方形区を設け、発生する実生とその生存を定期的に調査した。方形区の間では冠水頻度の差異が大きく、比高が低く冠水しやすい方形区ほど発芽種数が低い傾向がみられた(図)。また、発生した30種621実生のうち夏までに生存したのは4種8個体のみで、シロバナサクラタデ、エゾミソハギなどの水辺特有の植物を含むその他の個体のすべてが死亡した。実生の死亡は降雨により霞ケ浦の水位が急激に上昇し冠水が続いた時に集中してみられた。生き残った実生がみられたのは比高が比較的高い方形区のみで、それらの多くは帰化植物だった。

方形区と隣接する場所から土壌を採取し、飽和水分条件下での実生発生法によりシードバンクの種組成を調べた結果、比高が低い地点から採取した土壌からは、ヒロハノコウガイゼキショウ、タマガヤツリ、イボクサなど、1993年の植物相調査では確認され、1999年には見られなくなった種も出現した。

ヨシ原の地表面の冠水は水辺植物の発芽を妨げ、また多くの種の実生における主要な死亡要因となっていることが示唆された。春先に水位を高く維持する人為的水位操作および降雨の後の急激な水位上昇は、霞ケ浦で現在急速に進行しつつある植物相衰退の主要な原因となっている可能性がある。

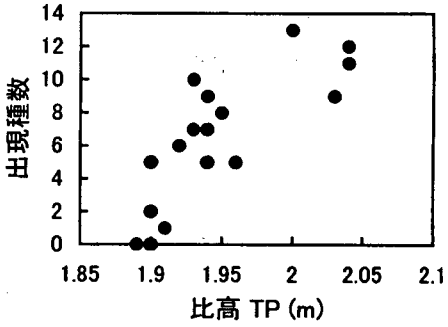


図　各方形区の比高と1999年3月19日から7月24日までに方形区内で実生が出現した種数の関係。各方形区は30×30cm。

Structure of Planted Floating Islands for Use by Water Birds

Naomi Kibe, Hiroshi Momose, and Nobuo Fujiwara

Landscape and Ecology Division, Environment Department, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Japan

Abstract : 17 artificial floating islands in Japan were surveyed to examine the relationship between the structure of island and the vegetation that grew on them. The purpose of the survey was to evaluate their function as habitat for water birds and to find suitable structures for birds' nesting or resting. Among the four different structural types of the floating islands, type-B islands, in which the planting material was submerged mostly under the water surface, tended to be dominated by tall emerged plants such as reeds and cattails. Many nests of water birds were found on them. Tall emerged plants that dominated the islands might have offered safe nesting spaces to the birds. On the other hand, type-C islands, which have mattress-like planting materials with float placed inside them, tended to be dominated by short annual herbs that preferred moist places. Rather few nesting cases were observed on those islands. This appeared to be because the short vegetation on these islands offered insufficient cover for nesting by birds. The type-A islands, with box-like structure, tended to have tall plants that prefer dry places. Nesting by spot-billed ducks were observed on these islands. We reported some cases of structural problems seen in different types of islands and commented on possible future improvements to the structure of the floating islands.

Ⅰ. Introduction

In Japan, lowland wetlands, once seen widely in the plains and along the shores of lakes and rivers, have declined heavily by urbanization and revetment construction. The values and functions of the wetland are now recognized widely, such as maintaining the local bio-diversity, improvement of water quality and provision of lovable scenery. In artificial wetlands such as reservoir ponds and dam lakes, and also in natural lakes with heavily modified shores, efforts are being made to create and restore the marsh habitat with rich hygrophyte community that serves as habitat for animals. However, it is difficult to create the marsh habitat along the shores of dam lakes and reservoir ponds mainly because the water level varies widely due to the water management. This results in the variation in the water condition and also in the shore soil erosion. In these places, constructing artificial floating islands, which can follow the water level change, can be a useful measure.

Hoeger(1985) listed the functions and merits of artificial floating islands as: 1) Bank erosion and shoreline protection, 2) Wildlife habitat, 3) Landscape design, planning, and management, 4) Water purification and filtration, 5) Biological disinfection, 6) No water storage loss Actual floating islands are constructed expecting one ore more of these purposes.

The authors of this paper are more interested in the second function of the above list: creating habitat for wildlife, especially for birds. There are several reports that artificial islands or floating structures are utilized

by water birds as their nesting places (Giroux 1981, Getz and Smith 1989, Merrie 1996, Hiraoka 1996), and we expect that the artificial floating islands could be used in the same way.

To construct a floating island that really functions as habitat for birds, one must consider the environment requirement of the birds in each life phase such as nesting or foraging. Momose et al.(1998) studied the water bird use of different artificial floating islands in Japan, and reported that all the floating islands were used by water birds as resting site but only the islands with certain structural type were used as the nesting sites, and suggested that the difference was probably due to the difference in the structure of vegetation that grew on them.

We presume that the difference in the structure of the islands results in the difference in the vegetation structure, which in turn affects birds' selection of the islands as the nesting site, The purpose of this paper is to clarify the relationship between the structure of artificial floating islands and the type of vegetation that grow on them, and to examine the suitable structure of the floating islands that serve as habitat for birds.

II. The Study Sites

We chose the same 17 artificial floating islands that Momose et al. (1998) studied as our study sites. The characteristics of these islands are shown in Table 1, and their locations are shown in Fig. 1. The oldest islands were that of lake Biwa, which were 15 years old, whereas the newest one was that of Kuki-Shobu park pond, which was only 4 months old. The size of the

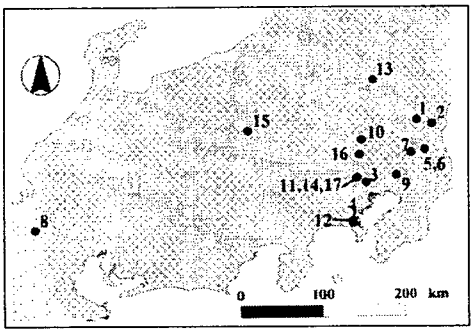


Fig 1. Locations of Field-Surveyed Floating Islands

Table 1. Characteristics of the Field-Surveyed Floating Islands

No	Name of Wetland	Type of Wetland	Type of Floating Island	Year Constructed	Area (m')	Distance from the Shore(m)
1	Ida Dam	Dam Lake	A	Mar, 1992	111	?
2	Senba Lake	Natural Lake	A	1983	88	?
3	Ukima Park	Urban Park	A	1988	353	45
4	Yokohama Nature Observation Forest	Urban Park	A	Oct, 1990	4.2x2	20~30
5	Lake Kasumigaura (Kashiwa-Zaki)1	Natural Lake	A	May,1994	60	100
6	Lake Kasumigaura (Kashiwa-Zaki)2	Natural Lake	B	May,1994	?	100
7	Lake Kasumigaura (Tsuchiura Harbor)	Natural Lake	B	1992	1000	5
8	Lake Biwa	Natural Lake	B	1981~1994	270~1,458x25	?
9	Lake Teganuma	Natural Lake	B	1994	10x8	4
10	Watarase Retarding Basin	Retarding Basin	B	Mar,1994	2.6x6	20~30
11	Arakawa First Reservoir Pond 1	Reservoir Pond	B	Oct,1994	15	20~30
12	Ofuna-dai Reservoir Pond	Reservoir Pond	B	1994	1.7x2+4x4	2
13	Higashi-arakawa Dam Lake	Damlake	C	Nob,1995	64 x 2	10
14	Arakawa First Reservoir Pond 2	Reservoir Pond	C	Oct, 1994	50	20~30
15	Komoro First ReServoir Pond	Reservoir Pond	C	Jul,1995	238	80
16	Kuki-Shobu Park	Urban Park	C	Mar,1996	632	120
17	Arakawa First Reservoir Pond 3	Reservoir Pond	D	Oct,1994	?	20~30

If two or more types of the floating islands were seen in the same wetland, we distinguished them with a number after the wetland name.

islands also varied from 4.2 to 1,458㎡, and the distance from the shore also varied from 5 to 120 m.

The artificial islands are classified by Momose et al. (1998) into-four types, as illustrated in Fig. 2.

- Type-A (Dry Type): A box structure that contains the planting material (mostly artificial soil.
- Type-B (Wet Type / Hard Structure Planting material is placed between two nets set inside the hard frame structure, which also Serves as the floating material. The planting material is mostly under water Surface.
- Type-C (Semi-Wet Type / Soft Structure Mattress like structure without frames. The float structure is usually placed inside the mattress. Only the lower part of the unit is under the water surface.
- Type-D (Semi-Wet Type / Raft-like structure Several logs are bound together with ropes or wires to form a raft-like structure. The lower part of the structure sinks beneath the water surface.

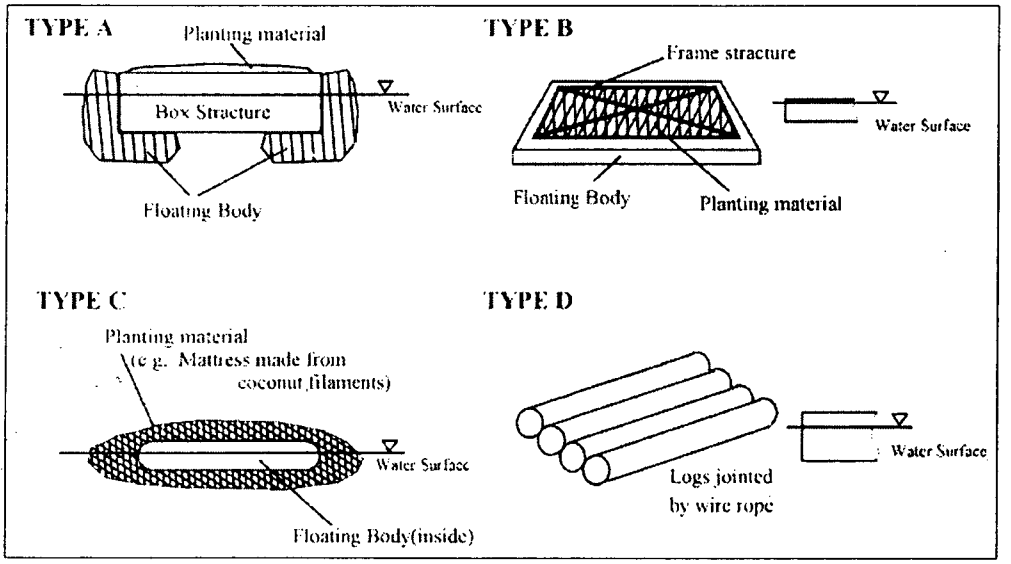


Fig 2. Classification of Artificial Floating Islands

III. Methods

The photographs of the 17 artificial floating islands taken during July and August of 1996 were used to measure or determine the following items. We also supplemented the data for island type-C by monitoring one of them (Higashi arakawa dam lake) on November 1998.

1. Vegetation Structure

We determined whether the dominant plant(s) on the islands were hygrophyte or dry habitat species. We also categorized the height of the vegetation into two layers (Tall and Short) by determining if the vegetation height was equal to or higher than 1 m, and measured the cover degree of vegetation in each layer using an index (Vegetation Cover Index: VGI). The VGI was 1 if the cover of vegetation was less than 10 percent of

the planting material surface, 2 if it was between 10 and 50 percent, and 3 if it was more than 50 percent. We also categorized the life type of the dominant plants as annual or perennial.

2. The Water Depth of Planting Material Surface

We designated the water depth of planting material surface as plus (+) if is was under the water surface, minus (-) if it was above the water surface, and zero (O) if it was the same level as the water surface.

3. Success of Initial Planting

We designated "O" if the initially planted species at the time of floating island construction were still dominant, "×" if they were not, and "--" if no plants were planted initially.

IV. Results and Discussion

1. The Relationship between the Floating Island Structure and the Vegetation

The results of field survey are summarized in Table 2. In the type-A islands, in which the surface of the planting material is usually much higher than the water surface, the plant species that usually grow in the dry land were mostly observed. However, in the type-B, C and D islands, species that usually prefer moist or wet condition tended to be dominant. Type-A islands also had relatively high VCI (2-3) in the tall layer. Among them, island no.1, 4 and 5, in which VCI was 2, had high VCI (3) in the short layer Type-B islands had relatively high VCI in the tall layer too. Type-C islands tended to have short grass except the island no.14. Type-D island had only planted willow trees on them (VCI 2-3). Type-A, B and D islands tended to have perennial herbs and trees, but type-C islands had mostly annual herbs such as Bidens frondosa.

There was a certain relationship between the depth of the planting material of the islands and the vegetation on them. The islands in which the planting material surfaces were underwate (designated as "+" in Table 2) tended to have perennial emerged plants and willows. On the other hand, the islands in which the planting material surface were above the water surface (designated as "-" in Table 2) tended to have either dry land plants (type-A) or short annual plants (type-C).

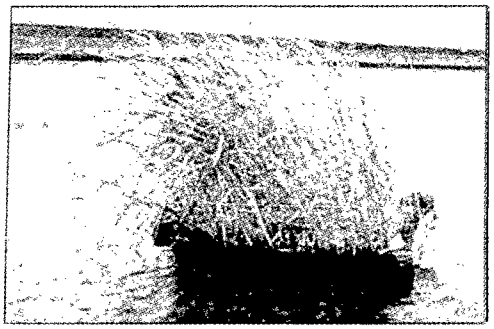
In all the type-B and C islands, emerged plants such as Phragmites communis and Typha latifolia were planted initially in order to establish tall emergent plant community. Interestingly enough, many type-B islands did have such vegetation on them, but in many type-C islands these goals were not reached well. The reason for this appeared to be that the surface of type-C islands' planting material was exposed above the water level, which resulted in dry planting material condition. The annual herbs seen on type-C islands seem to be better adapted than emerged plants to the water condition of those islands in which the planting materials are usually dry and become occasionally wet due to spraying by waves. A type-C island (no.14) with submerged planting material surface was dominated by tall layer of typha latifolia.



Type A. floating island(No.2) July, 1996



Type C. floating island(No.13) June, 1996



Type B. floating island(No.11) August, 1996



Type D. floating island(No.17) August, 1996

(1) Follow-up Survey of a Type-C Island

The three type-C islands were only half to one year old at the time of our survey, and we felt it necessary to continue the monitoring of the vegetation on type-C islands. Therefore, we chose a type-C island (no. 13: Higashi arakawa dam lake) and did the same survey in 1998 (after two years from the first survey). The results are also shown in Table 2. In 1998, the cover degree of the vegetation became higher than in 1996, but the dominant species were short annual herbs such as Arthraxon hispidus. A tall perennial plant(Phragmites japonica)was seen only in part of the island. Although this is an only one example, the vegetation seen on this type-C island after 3 years from the construction was still composed of short annual herbs that preferred moist or wet condition, which was similar to the tendency of other type-C islands as shown in Table 2.

2. Structure and Vegetation of The Floating Islands That Function As Habitat for Birds

(1) Use of Floating Islands by Birds As Resting Site

Resting water birds such as ducks, cormorants, herons and gulls were observed on or near every floating island that we surveyed. Thus, we could safely say that floating islands in general are very suitable as resting sites for water birds regardless of their structure and vegetation. Fujiwara et al. (1998) studied duck

Table2. The Vegetation Structure of Artificial Floating Islands and Use by Water Birds

No.	Name of the Wetland	Type of Floating Island	Use by Birds: Nest Building					Use by Birds: Resting	Water Depth of the Planting Material Surface	Cover Degree of Vegetation		Dominant Plant Species			Success of Planting	Planted Species
			Spot-billed Duck	Common Gallinule	Coot	Little Grebe	Great Reed Warbler			Tall Layer	Short Layer	Preferred Water Condition	Life Type	Species Name		
1	Ida Dam	A	○					○	−	2	3	Dry	Perennial	*Salix integra* (T) *Artemisia princeps* (S)	○	*Salix integra*
2	Senba Lake	A						○	−	3		Dry	Annual	*Phytolacca americana*	−	No Planting
3	Ukima Park	A	○	○				○	−	3		Dry	Perennial	*Oenothera biennis* *Artemisia princeps*	−	No Planting
4	Yokohama Nature Observation Forest	A	○					○	−	2	3	Dry	Perennial	*Solidago altissima* (T) *Poaceae sp.* (S)	−	Use of The Seed Bank
5	Lake Kasumigaura (Kashiwa-Zaki) 1	A						○	−	2	3	Dry	Perennial	*Camellia japonica* (T) *Solidago altissima* (S)	○	*Camellia japonica* *Ophiopogon japonicus* etc.
6	Lake Kasumigaura (Kashiwa-Zaki) 2	B	○					○	0	2	1	Wet	Perennial	*Typha latifolia*	○	*Phragmites communis* *Typha latifolia* etc.
7	Lake Kasumigaura (Tsuchiura Harbor)	B		○			○	○	+	3	1	Wet	Perennial	*Phragmites communis* (T) *Bidens frondosa* (S)	○	*Phragmites communis* *Typha latifolia* etc.
8	Lake Biwa	B	−	−	−	−	−	○	+	3		Wet	Perennial	*Phragmites japonica*	○	*Phragmites japonica*
9	Lake Teganuma	B	○	○	○			○	+	3		Wet	Perennial	*Phragmites communis* *Zizania latifolia*	○	*Phragmites communis* *Zizania latifolia* etc.
10	Watarase Retarding Basin	B	○			○		○	+	3		Wet	Perennial	*Phragmites communis* *Zizania latifolia*	○	*Phragmites communis* *Zizania latifolia* etc.
11	Arakawa First Reservoir Pond 1	B		○				○	+	2		Wet	Perennial	*Typha angustifolia*	○	*Phragmites communis* *Typha angustifolia* etc.
12	Ofuna-dai Reservoir Pond	B	○					○	+	2	2	Wet	Perennial	*Typha latifolia* (T) *Juncus effusus var. decipiens* (S)	○	*Typha latifolia* *Iris pseudoacorus* etc.
13	Higashi-arakawa Dam Lake	C						○	−		2	Wet	Annual	*Bidens frondosa*	×	*Phragmites communis*
	Higashi-arakawa Dam Lake(1998)							○	−	1	2~3	Wet	Annual Perennial	*Phragmites japonica* (T) *Arthraxon hispidus* (S)	×	*Phragmites japonica* etc.
14	Arakawa First Reservoir Pond 2	C				○		○	+	2		Wet	Perennial	*Typha* sp.	○	*Phragmites communis* *Typha* sp.
15	Komoro First Reservoir Pond	C						○	−	1	3	Wet	Annual Perennial	*Persicaria lapathifoliua* (S) *Phragmites communis* (T)	×	*Typha latifolia* *Phragmites communis* etc.
16	Kuki-Shobu Park	C						○	−		1	Wet	Annual	*Bidens frondosa*	×	*Phragmites communis* *Typha latifolia*
17	Arakawa First Reservoir Pond 3	D				○		○	0	2		Wet	Perennial	*Salix* sp.	○	*Amorpha fruticosa* *Salix* sp.

In "Use by Birds", a circle means observation of use by birds. A blank column means there was no use by birds . No.8 site was not investigated in the breeding season(Modified from Momose et al. 1998). In "Water Depth of the Planting Material Surface", a minus means the surface of planting material was above water surface, and a plus means under it. Zero means that the surface of the planting material was the same level with the water surface. In "Cover Degree of Vegetation", a blank column means there was no vegetation. "1" indicates less than 10% of the planting ground area. "2" indicates 10~50%. "3" indicates above 50%. "Tall layer" is above 1m approximately. "short layer" is below 1m. "Species Name", (T) is tall layer species. (S) is short layer species. In "Success of Planting", a circle means vegetation was dominated by planted species. A cross means vegetation was composed mainly by invader species. If two or more types of the floating islands were seen in the same wetland, we distinguished them with a number after the wetland name.

havior and habitat use in dam lakes, and reported that ducks preferred to rest on the lakeshore when predators or people did not disturb them. Only when they were disturbed, the ducks moved to the water surface of the dam lake, and rested there. Floating islands, which offer isolated grounds to the birds, seem to be better resting habitat than lakeshore because of their isolation.

(2) Use of Floating Islands by Bird As Nesting Sites

① Use by Spot-billed ducks

Spot-billed ducks (Anas poecilorhyncha) nested in type-A and B, but not in type-C and D islands. Type-A and B islands were both dominated by tall plants and they probably offered suitable nesting space to spot-billed ducks. In type-A islands, the nests were found on the ground under the tall plants, and in type-B islands they were usually built on the pile of dead grass.

② Use by Common gallinule, Coots and Little Grebes

Common gallinules (Gallinula chloropus), Coots (Fulica atra) and Little grebes (Tachybaptus ruficollis) nested on type-B islands, which ware dominated by tall emerged plants. Gallinules and coots tended to nest among the grass bodies, and little grebes nested in the perimeter, sometimes on the frame structure of the type-B islands. The grebe nests were also found on type-D islands.

③ Use by Great Reed Warblers

Nesting activities of great reed warblers (Acrocephalus arundinaceus) were observed in only one floating island (no.7: Lake Kasumigaura-Tsuchiura harbor). Generally, great reed warblers prefer reed beds for nest building. However, in reed-dominated vegetation of island no. 9 and 10, no nest of great reed warbler was found. Provably, other conditions such as the existence of foraging sites near the floating island, quality of the reed bed (height, density, diameter of reed stem etc.), size of the reed bed are important for nest site selection, and island no.7 might have met the requirements of great reed warblers.

(3) The problems to be solved in the future

During the field survey, we observed some damaged floating islands. In some cases, the hard frames of type B islands were broken or units were separated. These problems seemed to have been caused by collision of island units. In some type-C islands, the floating bodies, which are usually hidden inside the planting materials, were exposed. The erosion of the planting materials seemed to be the main cause of this problem, which in turn must have been caused by mechanical stress by winds and waves. All types of the floating islands had one problem in common: sometimes they sank by losing a balance because of unexpected growth of the plants and loss of buoyancy of floating bodies. To make a highly durable artificial floating island which are still useful for water birds is an important challenge to be solved in the future.



A type-C floating island with exposed floating materials. July, 1999

During the survey, some common gallinules and ducks were seen to forage near the waterside of artificial floating islands. However, to be useful as a foraging site for water birds, a floating island should be of

floating islands. However, to be useful as a foraging site for water birds, a floating island should be of considerable size. Most of the floating islands that we observed were experimental and small-sized. To determine the optimal scale of artificial islands is another important task that we must work on in the future.

<Biblography>

1. Fujiwara, N., Momose, H., Tabata M., Funakubo S., Handa M., Tanaka T. "The behavior and habitat selection of wild ducks wintering in dam lakes". Environmental Systems Research. 26: 37-44. (In Japanese with English Summary)
2. Getz, V.K. and Smith, J.R. 1989. "Waterfowl production on artificial islands in mountain meadows reservoir". California. Calif. Fish and Games 75(3): 132-140.
3. Giroux, J-F. 1981. "Use of artificial islands by nesting waterfowl in southeastern Alberta" J Wildl. Manage. 45(3): 669-679.
4. Hiraoka, T. 1996. "Utilization of artificial floating objects as nest platforms by little grebes and Eurasian coots in lake Teganuma, Central Japan". J. Yamashina Inst. Ornithol. 28: 108-112.
5. Hoeger, S. 1988. "Schwimmkampen: Germany's artificial floating islands". Journal of Soil and Water Conservation. 43(4):304-307.
6. Merrie, T.D.H. 1996. "Breeding success of raft-nesting divers in Scotland". Brit. Birds 89: 306-309.
7. Momose, H., Fnakubo, S., Kibe, N., Nakamura, K., Fujiwara, N. & Tanaka, T. 1998 "Use of different type of planted floating islands by water birds". Environmental Systems Research. 26: 45-53. (In Japanese with English Summary)

5

浮島の問題点と課題

建設省土木研究所 環境部緑化生態研究室 百瀬　浩
木部直美
藤原宣夫

きょうの私の話は、3部構成にしたいと思います。まず最初に現状の浮島のレビューをいたします。それから、それを受けて人工浮島の機能的な面に関する私が考える課題、問題点をお話ししたいと思います。それから、これは私の専門外ですが、各地で事例を見てまいりまして、浮島の構造的な面でこういうところに注意して計画、設計、施工していただいたらいいのではないかという話をさせていただきます。こんなことで次のパネルディスカッションの話題提供になればと思います。

まず現在使われている浮島のレビューですが、私たちの研究室でやっております浮島の機能評価、鳥類の生息と植物について話をしたいと思います。これについては論文がありまして、百瀬ほか1998というのと、木部ほか1999、あと、その背景になるものとして下の2つの論文がございます（資料1）。

1　現在使われている浮島のレビュー

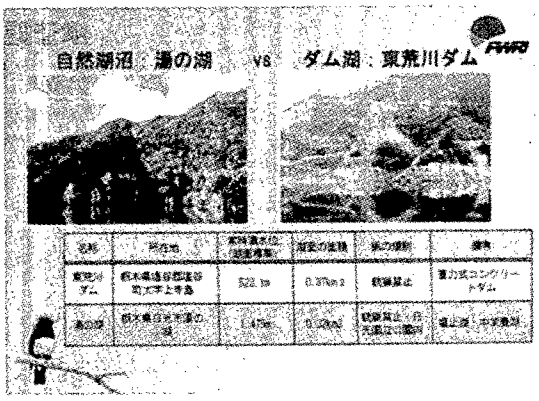
→浮島のタイプ分けと特徴
百瀬ほか 1998、中村・島谷 1999
Kibe *et al.* 1999

背景
藤原ほか 1998、舟久保ほか 1999

資料 1

私たちがどうして浮島の研究をするようになったかという話を最初にさせていただきます。私たちはダム湖の環境改善の研究をしておりまして、その研究の過程で自然湖沼とダム湖の環境の比較をしたことがございます。ダム湖にどういう環境が欠けているかということを考えてみたわけです。こちらが自然湖沼で、日光の湯の湖というところです。こちらが栃木県のダムで東荒川ダムという、我々がフィールドにしているところです（資料2）。

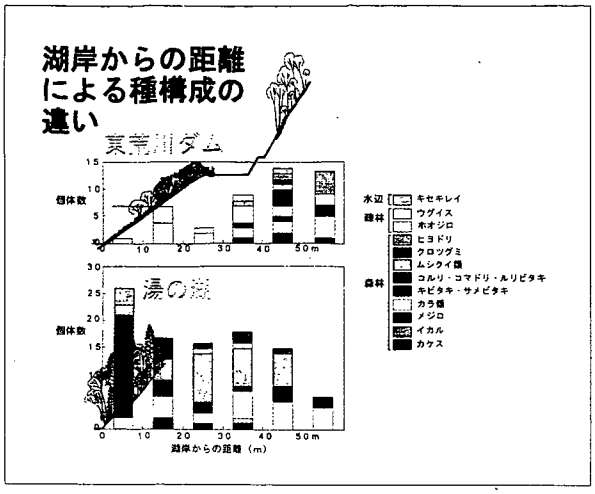
この景観を見ていただければ一目瞭然ですが、湖岸の環境が全く違うわけです。自然湖沼では湖岸まで森林が迫っている。ダム湖は、いろいろな事情によって湖岸の木が切られたりするものですから、湖岸が裸地化する傾向にあるわけです。



資料 2

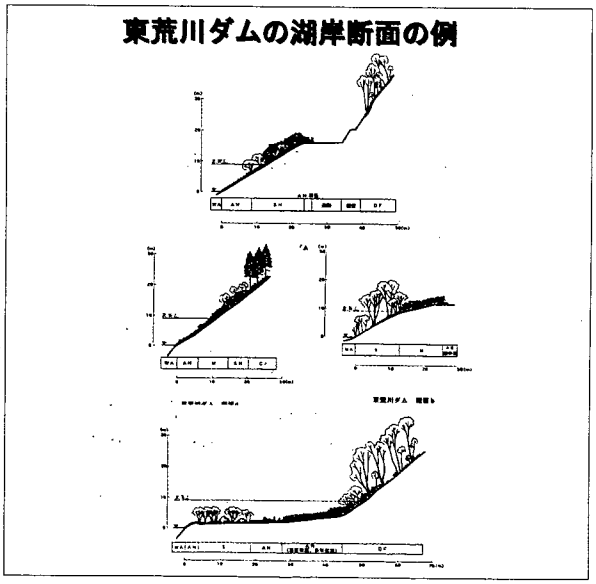
湖岸の木が切られてしまいますと、湖岸沿いの鳥類相なども変わってまいります。ダム湖には伐採跡地とか、林縁とか、草原などを好むような鳥が来ますが、湯の湖のようなところでは湖岸近くまで森林性の鳥が見られまして、湖岸から周囲の林に関して連続性があるというのが特徴になっています。ダム湖は湖岸の環境が分断されているということが問題ではないかと私たちは考えたわけです（資料3）。

ダム湖に見られる典型的な湖岸の断面を見ていただきたいのですが、こんなふうになっています（資料4）。この2つの線の間で水位が変動いたします。ここは木が切られてしまいまして、1年生の草本ですとか落葉低木林のような伐採跡地



資料３

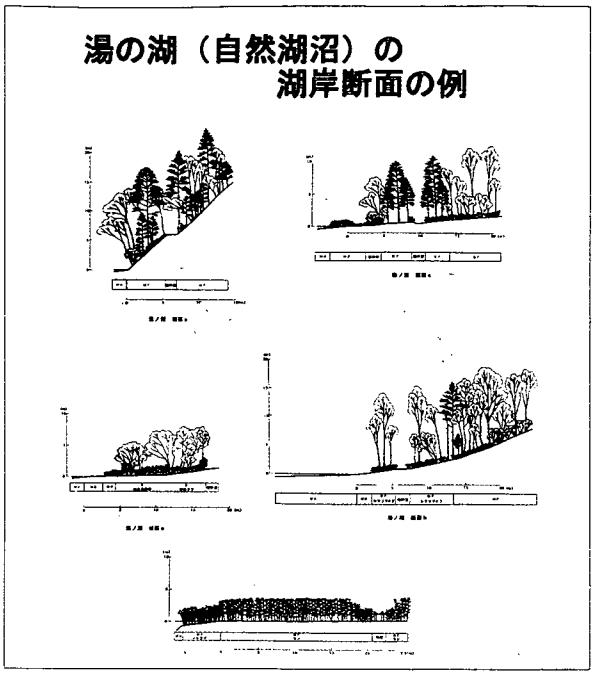
のような環境になります。管理道路ができたり、そのための法面ができたりして、また裸地が広がっているわけです。自然の林というのは大分奥まったところに現れる。この下はもう水なのですが、このすぐのあたりは先ほど写真で見ていただいたような裸地になる傾向がございます。



資料４

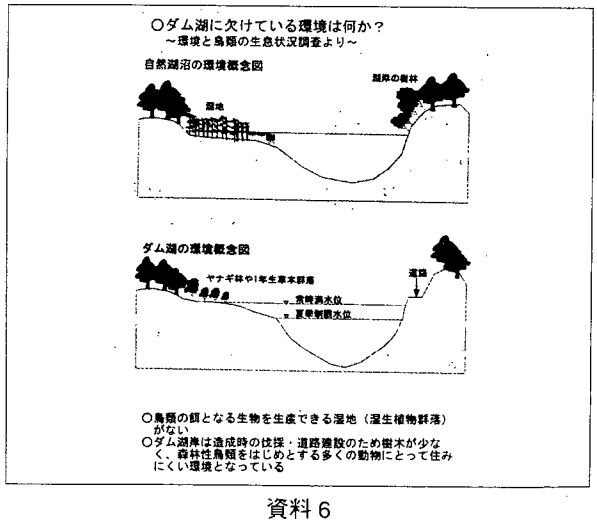
一方、自然湖沼の方の湖岸を見ますと、かなり急傾斜のところでも湖岸近くまで森林がありますし、緩傾斜のところにも植生ができて、午前中の桜井先生の講演にあったような、これはヨシ、これはショウブですけれども、この先に沈水植物があるんですが、このような推移帯が形成されています（資料5）。私たちは、こういうものをダム湖に何とかつくれないかということを研究の出発点としたわけです。

私たちが考えたのはこのようなことです（資料6）。



資料５

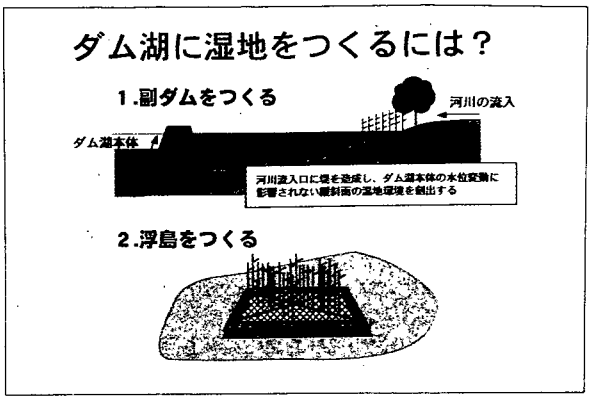
ダム湖の現状として、自然湖沼にあるような湖畔の緑が足りないということと、水位が変動するところが裸地になったり、その周りも植物が足りない。それにひきかえ自然湖沼には植生の推移帯が見られる。それを何とかできないかということで、次のようなことを考えました。



資料６

水位の変動があるから良くないわけです。それを克服するために2つのやり方があると思います。一つは桜井先生が最初に提唱されたアイデアですが、水がたまって水位が変動しない副ダムというか、池というか、こういうものをつくってやれば、ここは水位が変動しませんから推移帯のようなものができるという考えです。それからもう一つは、これはきょうのテーマですが、浮島

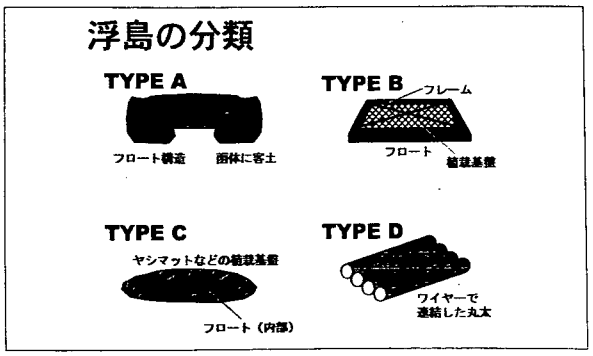
をつくって浮かべてやれば水位の変動に追随して浮き沈みするわけですから、ここに植生帯がつくれるのではないかと、こういうのが私たちの研究の発端だったわけです（資料7）。



資料7

次に人工浮島の分類について話します(資料8,9)。

私たちが浮島の野外調査をしていたのは1996年頃ですから、3年前当時の浮島の状況をお話ししていることを御理解していただきたいと思います。今はもう少し浮島の構造が進歩しておりますが、私たちが見た浮島は大体こんな感じで分類できたわけです。これはタイプAの函体客土方式です。先ほどから幾つか例が出ております。それから、これはフレームがあって中に植栽基盤が配置されるタイプB。このネットの中に植栽基



資料8

浮島の分類

タイプ名	水分状況	形状等の特徴
タイプA	乾式：植栽基盤は水と接しない	函体等の構造に客土が施されて植物の生育基盤となっている。
タイプB	湿式：植栽基盤が水と接する	植栽基盤は剛構造のフレームの内側に張られたネット間等に配置されている。植栽基盤が完全に水に浸かっている。
タイプC	半湿式：植栽基盤が一部水と接する	フレームなしの柔構造。マット状の植栽基盤の内部もしくは下部にフロートが設置されている。基盤は水中に沈み込まない。
タイプD	筏式：植栽基盤が水と接しない	丸太を組み合わせた筏のような構造。植栽基盤は水中に沈み込まない。

資料9

盤が入っている。島谷さんが御紹介された霞ヶ浦の土浦港の浮島などはこのタイプです。それから、千曲川の小諸調整池の事例などはこれですが、ヤシマットでできていまして、中あるいは下部にフロートが入っているという型のタイプC、それからもう一つ、非常に単純ないかだのような構造のタイプD。この4つに分けて考えてみました。

例を見ていただきますと、これはタイプAの函体客土型の例で、水戸市の千波湖というところにある事例です（資料10）。



資料10

これは荒川第一調整池というところの、B型のフレームがあるタイプです（資料11）。

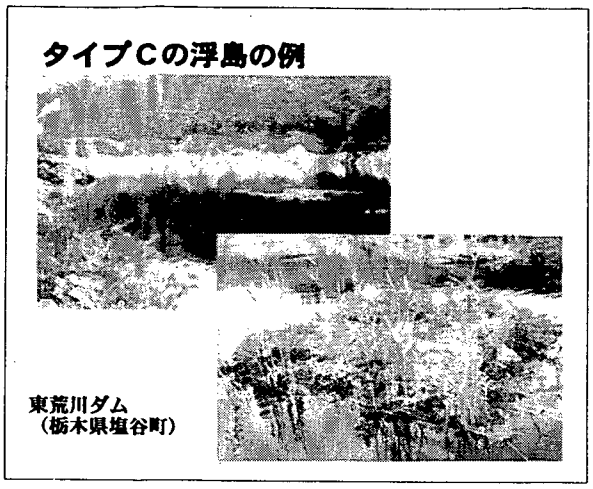


資料11

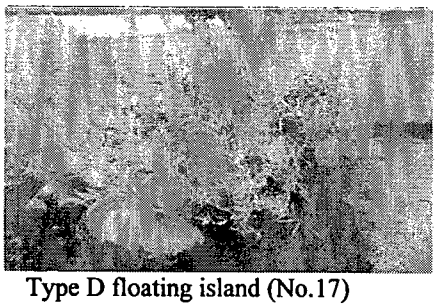
これは私たちがやっている事例ですが、ヤシマットの方式のタイプCです（資料12）。

これはいかだ型で、ヤナギが植栽されているタイプDの浮島です（資料13）。

一通り基本的な知識をおさらいしましたけれども、2番目の問題として、人工浮島の機能について押さえておかなければいけないのではないかと思います。そもそも何のために浮島をつくるのかという目標設定がしっかりしていないと、浮島を幾ら造っても正当な評価を受けられなくて、造りにくくなってしまうということがあるのでは



資料 12



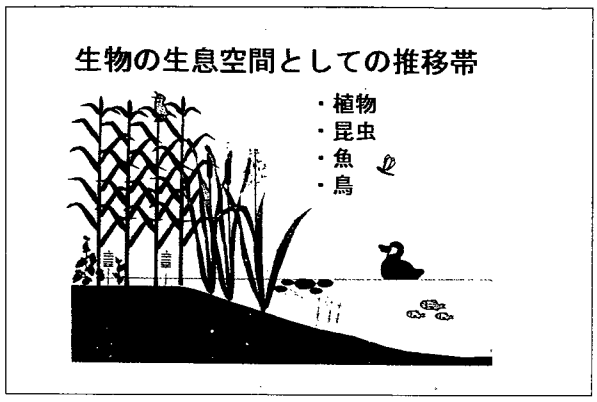
資料 13

ないかと思うので、その辺をまとめる必要があると思います。

私が考えましたのは、桜井先生がおっしゃった沿岸推移帯の形成、これがどうしてもできないダム湖のような場所で、その機能を、私は全部つくれるとは思わないのですが、その一部を代替的につくる、それが人工浮島ではないかと思います。その場合の目的というのは、これまでも述べられてきたように生物の生息空間をつくる、水質浄化にプラスになる、景観を向上させるかどうかちょっとわかりませんが、このぐらいあると思うのですが、ちゃんと機能を押さえて実証していかなければいけないと思います。

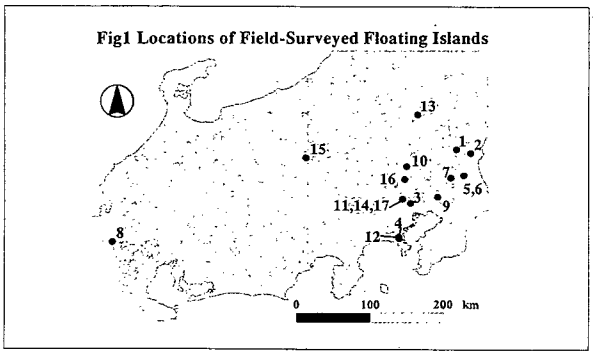
それはやはり研究者の役目だと思うのですが、余りデータを持っていないところでお話ししても何ですので、生物の生息空間というところで、実際に調査しています植物と鳥についてお話ししたいと思います。まずそういう目標設定をちゃんとした後で、それが本当に役に立つのかという機能の検証、これにはモニタリングをする必要があります。実証的にデータを積み重ねて研究していくことが必要だと私たちは認識しております。

これは推移帯のイメージで、桜井先生がずっと洗練された図を出されましたが、これは漫画です。ここに浮いているのはカルガモです（資料14）。



資料 14

私たちは、17カ所の浮島を回りまして、そこにどういう植物がどう生えているかを調査して回ったわけです（資料15）。

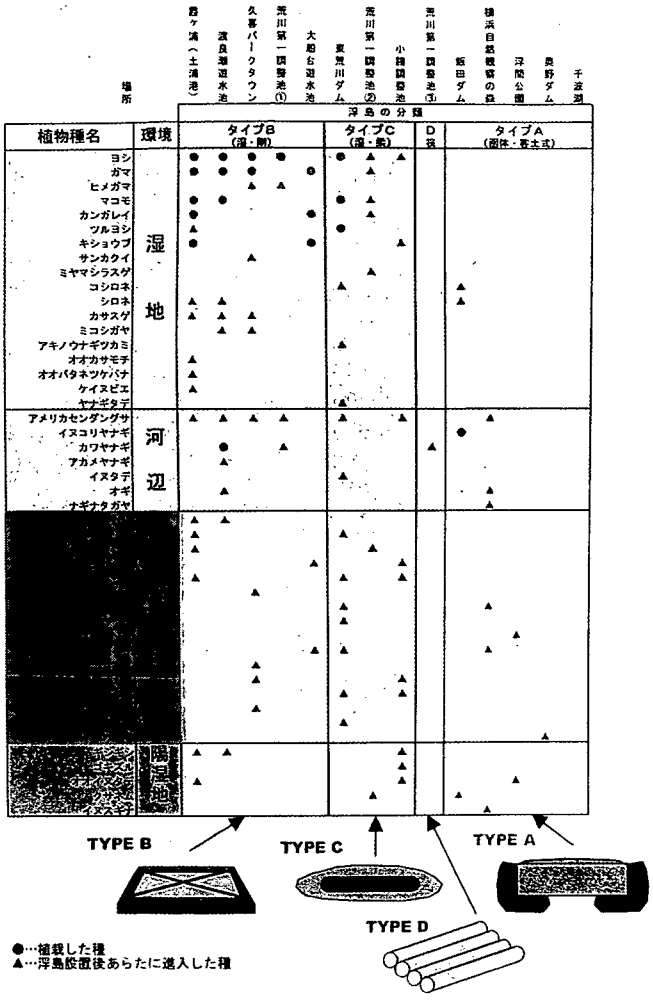


資料 15

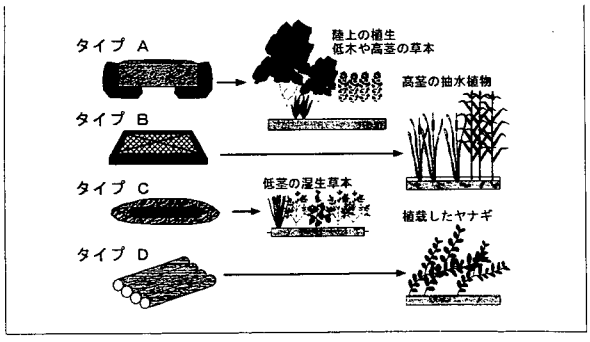
これは浮島で見られた植物のリストです（資料16, 17）。

まとめますとこんな感じになります（資料18）。タイプAというのは乾燥しやすい条件にありまして、水面から高いところに植栽基盤があるものですから、調べてみますと陸上の植生、あるいは低木や高茎の草本、言ってみれば荒れ地の植生の初期の遷移段階のような感じになります。それから、フロートに植栽基盤が挟み込まれているタイプBはちょっと沈む感じになります。それで高茎の抽水植物がよく生える傾向がありました。それから、我々がタイプCと呼んだものは、このフロートで浮いておりますので、上の部分がちょっと水面の上に出るわけです。ちょっと乾燥する傾向がありまして、こちらのタイプと比べますと低茎の湿性草本のようなもの、アメリカセンダン

浮島上で観察された植物のリスト



資料 16

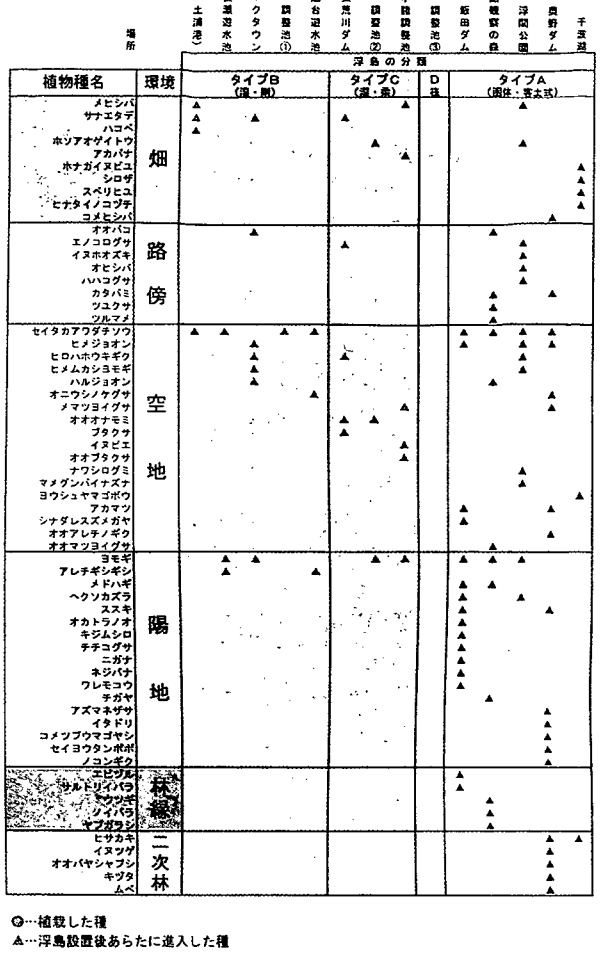


資料 18

グサとか1年生のものが多かったのですが、いわゆる雑草といわれるような草がよく生える傾向がありました。タイプDは最初に植えたヤナギの枝が繁茂しているという状況が続いておりました。

調べてみた感じでは、人工浮島が植物の生育空間として本当に機能しているかといわれると、どちらかといえば機能しています（資料19）。

ただ推移帯がちゃんとつくれているかという意味では、私たちが調べた当時はうまくいっていな



資料 17

い事例が多かったように思います。抽水植物は大体のところでうまくいっておりましたが、浮葉、沈水植物については成功している事例というのはほとんどありませんでした。私たちも実は現場で試験をしまして、浮葉や沈水を定着させようと思ったのですが、今のところ成功しておりません。この辺は、先ほど紹介されました事例でエコトーンをつくるという試みがあって、それがもしうまくいけば大変興味深いのではないかと思います。

Q.人工浮島は、植物の生育空間として機能するか？

A.機能する。

→しかし、推移帯（エコトーン）を完全に形成することは、むずかしい。

推移帯の構成植物：	浮島上での生育
抽水植物（ヨシ、ガマ、マコモなど）	○
浮葉植物（ヒルムシロ、ヒツジグサなど）	△
沈水植物（クロモ、フサモなど）	×

→種子による世代更新の困難さ＝生態系としての不完全性

資料 19

調査を実施した浮島の概要

名称	所在地	浮島のタイプ	繁殖調査						冬季調査		設置時期
			調査実施	営巣確認					調査実施	鳥類の利用	
				カルガモ	バン	オオバン	カイツブリ	オオヨシキリ			
奥野ダム	静岡県伊東市	A							●	▲	
飯田ダム	茨城県笠間市	A	●	●					●	▲	H4年3月
千波湖	茨城県水戸市	A	●						●	▲	S58.1
浮間公園	東京都北区	A	●	▲	●				●	▲	S63年
横浜自然観察の森	神奈川県横浜市	A	●	▲						●	H2年10月
霞ヶ浦（柏崎沖）	茨城県	A+B	●	●					●	▲	H6年5月
霞ヶ浦（土浦港）	茨城県	B	●		●			●	●	▲	H4
手賀沼	千葉県	B	●	●	●	●			●	●	H7
渡良瀬遊水池	栃木県	B	●	●					●	▲	H6年3月
荒川第一調整池・	埼玉県朝霞市	B	●		●		●		●	▲	H6年10月
久喜パークタウン	埼玉県久喜市	B	●								
大船台住宅地遊水池	神奈川県横浜市	B	●	▲							H6年
東荒川ダム	栃木県矢板市	C	●						●	▲	H7年11月
荒川第一調整池・	埼玉県朝霞市	C	●	●			●		●	▲	H6年10月
小諸調整池	長野県小諸市	C	●						●	●	H7年7月
久喜菖蒲公園	埼玉県久喜市	C	●						●	●	H8年3月
荒川第一調整池・	埼玉県朝霞市	D	●				●		●	▲	H6年10月

●…調査を実施した浮島　●…多数確認　▲…確認

資料20

それから、これが生態系として機能しているかという根本的な問題があると思うのです。そのためには、植えた植物体が栄養体繁殖で増えていって枯れないというだけではなくて、種子から発芽して世代を更新できているのかというところまで突き詰めて考えると、それができるというのは浮島の上では難しいのかなというのが現在の正直な感想です。ですから生態系として完全なものが浮島でつくれるかというと、これはちょっと難しいのではないかという印象を持っています。

次は鳥の話をさせていただきます。人工浮島は鳥類の生息空間として本当に機能しているかということです。鳥の生息空間というのは、大ざっぱに考えて休息、営巣、採餌の3つぐらい考えられると思いますが、休息と営巣についてデータがありますので、見ていただこうと思います。

このぐらいの事例で調査をいたしました。夏の繁殖期の終わりに行って営巣しているかどうかということと、冬場に行きまして鳥がそこにいるかということと、浮島の近くに寄っているかというようなことを調べたわけです（資料20）。

冬季における浮島の鳥類誘因効果

名称	浮島のタイプ	浮島を利用した鳥の種数	浮島を利用した鳥の個体数	浮島上の鳥の密度（羽／ha）	湖面（観察域）全体の密度	湖面全体の個体数	浮島の面積（m²）	湖面（観察域）全体の面積（m²）
奥野ダム	A	0	0	0.00	2.97	92	500	310,000
飯田ダム	A	2	16	1441.44	2.00	56	111	280,000
千波湖	A	6	116	13181.82	27.05	698	88	332,000
浮間公園	A	7	150	5000.00	212.63	808	300	38,000
霞ヶ浦（柏崎沖）	A+B	0	0	0.00	3.00	3	60	10,000
霞ヶ浦（土浦港）	B	6	9	90.00	16.00	16	1,000	10,000
手賀沼	B	5	29	3625.00	9.67	203	80	210,000
東荒川ダム	C	2	6	458.75	0.89	33	128	370,000
小諸調整池	C	9	199	8361.34	172.05	1256	238	73,000
久喜菖蒲公園	C	8	441	6977.85	72.32	1994	632	275,700

資料21

まず冬の話からいたします（資料21）。

鳥が浮島を休息に使っているかというと、はっきり使っておりました。すべての事例で浮島と、その周囲にいる鳥の密度は、全体の密度より有意に高いです。つまり浮島が鳥類を誘引して、その上に乗って休んだりしているわけです。これは明らかな効果があったと言えると思います。何故かといいますと、これは阿部先生が1996年ぐらいにお書きになっていることですけれども、島なので、陸続きになっていませんから、キツネとかネコとか、そういうのが来れないわけです。非常に安全である。もう一つは、多分体温の保持などの関係で水面に浮いて休んでいるとあまりよくないのではないかと思うのです。カモは本来岸辺の暖かいところとかで休んでいて、人間がおどかすと仕方なく湖面に避難したりするんですが、そこに浮島が浮いていますと非常に暖かくて楽だということで使うのではないかと思います。これは推測ですけれども。

こんな感じで、いろいろな鳥が来て浮島の上はごった返しております（資料22）。

次は繁殖について見てみたいと思います。これぐらいの事例を調べて、このぐらいの営巣例を見つけることができました（資料23）。

これはそれをまとめたものです（資料24）。カルガモは乾燥した浮島もウエットな浮島も両方



荒川第一調整池（タイプC）

資料22

浮島で確認された鳥類の繁殖

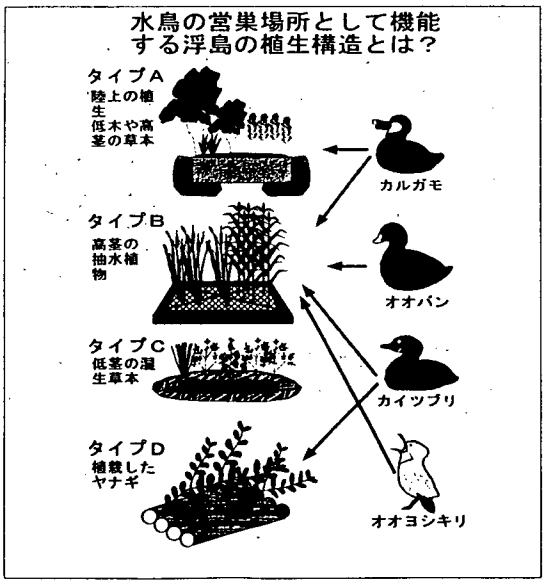
浮島設置場所	浮島タイプ	種名	調査日時	繁殖ステージ	卵数	島の高さ	浮島の端から巣までの距離	周りの植生の種類	周りの植生の高さ	周りの植生の密度	下草の有無
飯田ダム	A	カルガモ	95/7/5	終了	?	地表	75cm	シナダレスズメガヤ	65cm	2	なし
浮間公園	A	カルガモ	96/6/6	終了	?	地表	50cm	ヨモギ	80cm	3	あり
浮間公園	A	バン	96/6/6	終了	?	地表	120cm	オオマツヨイグサ	70cm	3	あり
手賀沼	B	オオバン	96/7/4	終了	10	地表	80cm	ヨシ	230cm	3	なし
手賀沼	B	オオバン	96/7/4	終了	??	地表	55cm	ヨシ	230cm	3	なし
霞ヶ浦(土浦港)	B	オオヨシキリ	96/7/4	育雛	??	地表	120cm	ヨシ	235cm	3	なし
霞ヶ浦(土浦港)	B	オオヨシキリ	96/7/4	育雛	??	?	?	?	?	?	?
荒川第一調整池①	B	カイツブリ	96/7/26	抱卵	6	地表	20cm	ヒメガマ	220cm	2	なし
荒川第一調整池①	B	カイツブリ	96/6/6	終了	?	地表	45cm	ガマ+ヨシ	185cm	2	なし
霞ヶ浦(谷崎沖)	B	カルガモ	96/7/4	抱卵	9	地表	45cm	ガマ	95cm	2	なし
手賀沼	B	カルガモ	96/7/4	抱卵	?	地表	65cm	ヨシ	240cm	3	なし
波良湖遊水池	B	カルガモ	96/7/12	抱卵	5	地表	55cm	マコモ	160cm	2	なし
霞ヶ浦(土浦港)	B	バン	96/6/12	終了	?	地表	350cm	ヨシ	240cm	3	なし
霞ヶ浦(土浦港)	B	バン	96/6/12	終了	?	地表	40cm	ヨシ	200cm	3	なし
霞ヶ浦(土浦港)	B	バン	96/6/12	終了	?	地表	120cm	マコモ	220cm	3	なし
霞ヶ浦(土浦港)	B	バン	96/6/12	終了	?	地表	240cm	ヨシ	220cm	3	なし
手賀沼	B	バン	96/7/4	終了	?	地表	45cm	マコモ	260cm	3	なし
荒川第一調整池①	B	バン	96/7/26	抱卵	7	地表	35cm	ヨシ	85cm	2	なし
荒川第一調整池①	B	バン	96/6/6	終了	?	地表	25cm	ガマ+ヨシ	240cm	2	なし
荒川第一調整池①	B	バン	96/6/6	終了	?	地表	35cm	ガマ+ヨシ	240cm	2	なし
荒川第一調整池②	C	カイツブリ	96/6/6	抱卵+育雛	2+2	地表	15cm	マコモ	180cm	2	なし
荒川第一調整池③	D	カイツブリ	96/6/6	抱卵	5	地表	20cm	カワヤナギ	85cm	1	なし

資料 23



資料 25

使います。オオバンは高茎の抽水植物、ヨシ、マコモ、ガマのようなものがしっかり生えているところでないと営巣しません。バンもそうです。カイツブリは、高茎の抽水植物でも繁殖しますし、ヤナギの茂みを使って営巣することもあります。後で調べてわかったのですが、これは特定のタイプがいいとか悪いという問題ではないので



資料 24

す。要するに水分条件が違うとそこに生える植物が違ってくる。ある意味で当然のことなのです。より湿地的なところに生えている植物を鳥が好んで使ったという結果のようです。

実例を見ていただきますと、これはフレーム型の浮島を使って営巣したカイツブリの巣です。随分開けたところに巣があるではないかとお思いでしょうが、出かけるときにはこの上を水草で隠して行きます（資料25）。

これは土浦港で土研と霞ヶ浦工事事務所がやっております浮島で調べたものですが、オオヨシキリが営巣しておりました。大体1,000㎡のところに5つ位なわばりがありました（資料26）。



資料 26

ということで、人工浮島は本当に鳥類の生息空間として機能しているのか？ ということですが、これは明らかにしています。まとめますと、休息のためにやってきたのは、カモの仲間とかカワウ、カモメの仲間、サギの仲間が盛んにやってきて使いました。これは浮島の構造というよりも、陸と離れている安全な空間であるということだけで十分機能しているように見えました。

営巣ですが、これがちょっと問題でありまして、カイツブリ、カルガモ、バン、オオバン、オオヨシキリなどが営巣に使ったのですが、浮島の構造、植生による違いがあったということですね。つまり、より湿地的な環境をつくれている浮島の方がいろいろな水鳥が営巣していたということなのです（資料27）。

結論を言いますと、人工浮島は、我々が調査した限りでは特定の条件、例えばダム湖とか調整池のような水域においては、代替的な生物生

Q. 人工浮島は、鳥類の生息空間として機能するか？

A. 一部機能する。

・休息のための利用

カモ・ウ・カモメ・サギ類などが
休息に利用した（百瀬ほか 1998）

浮島の構造は問題ではなく、ただ安全な島と
言うだけで充分（←阿部 1996）

・営巣のための利用

カイツブリ・カルガモ・バン・オオバン・
オオヨシキリ・等が営巣に利用した（百瀬ほか 1998）

浮島の構造・植生による違いがあった

資料 27

息空間として一定の役割を果たすのではないかと思います。ただし、生態系としてのトータルな機能、完全に湿地のかわりになるかというと、それはちょっと怪しいと思います。つまり土壌が果たす機能とか、外界との物質循環とか、生物が生活史をそこで完結しているかとか、そういう問題がいろいろあるわけです。

一例を挙げますと、データは今ないのですが、中村さんたちが土浦港の1,000㎡の浮島で昆虫の調査をしたわけです。その昆虫のリストをうちの研究室の須田さんという方に見ていただいたのですが、調べてみると、昆虫はたくさんいるのですけれども、その生活史の一部でも土がないと生きられないという生物群がいるんですね。そういうものがごっそり欠けていた。それ以外のものは大体いたという非常に示唆的な結果が得られたわけです。ですから、生態系がトータルには実現しないのだけど、その一部が実現されているようだというのが我々が研究した印象です。

あとは、人工浮島を造る方に特にこんな点に留意して造ってくださいよというお話をちょっとさせていただいて終わります。私が見て重要だなと思う順に課題を挙げています。

まず、一番大事だなと思ったのは浮力の調節ということです。

浮力の調節というのはどういうところに効いてくるかといいますと、先ほど御説明した、どういう植物が生えるかということと非常に密接な関係を持っているわけです。結論から言うと、なるべく沈んでいる浮島の方がいいのです。ただ、最初に沈めておくと後でさらに沈んできます。フロートの材質が劣化したり、水上部に植物が育ってきますと重くなってきますので、だんだん沈んできて、本当に沈んでしまうわけです。非常に難しい課題なのですが、それを見込んで余り浮力を強くし過ぎると浮き上がってしまって荒れ地の草が生えてしまう。その辺が今ジレンマなわけです。

それから、これは非常に大事な問題だと思いますのであえて書きましたけれども、浮島というのは自然の環境の中に設置しますので、周辺の生態系への悪影響がないように、よく考える必要があると思います。具体的には、安易に移入種を持ち込まない方がいいということなのです。例えばこういうことです。たとえ水質浄化のための浮島を設置するという目的でも、何かの草を植えて自然環境の中に設置するわけですから、保全的な観点から見ると外来種を安易に植栽しない方がいいのではないかということです。

今いろいろ問題になっているのは、ケナフという植物があって、水質浄化能力が非常に高いということで注目されているわけです。ただ、これが日本の国内の周囲に逃げ出してどういう振る舞いをするかということが全くわかっていないのです。これを安易に浮島に使ってしまいますと、種が水散布されて周りにはびこってしまう危険もあるので、その辺はぜひ考えていただきたいところです。

それから、植物を移植するということは何らかの意味で遺伝子の攪乱をしているわけなので、安全なところとしては、何か植栽をする場合は近くで普通にある植物を使っておけば間違いないのではないかというぐらいのことです。もう帰化種として定着しているキショウブとか、クレソンとか、そういうのは使ってもそれほど大きな問題になるとは思われませんが、新しいものを使うときはその辺のチェックをしてから使うべきではないかなと思います。

それから、これは浮島をつくる方々へのお願いですが、コストがなるべく安いものを考えていただければと思います。Giroux さんという方が海外で、浮島ではなくて、人工の島を造って鳥が営巣するかどうか調べた事例があります。1,000㎡以上の島が特に成績が良かったとおっしゃっ

ておられます。1,000㎡というと霞ヶ浦の土浦港の浮島ぐらいで、あれよりもっと大きなものが良いと言っているわけです。

それから、これはきょう話さなかったのですが、水質浄化について土木研究所でも検討しておりまして、さっきの中村さんたちもやっていますし、環境計画研究室の福渡さんとか、私たちも一部手伝っているのですが、水質浄化を目的にして隔離水域の中で浮島を浮かべて試験をしているのですが、やってみると湖面の25％とか、30％とか、この位覆うとやっと効果があるかなというぐらいのことで、もし造るにしても非常に大きなものを造らなければいけないということになるのです。そうするとコストということがネックになってまいります。アメリカに事例があるらしいのですが、平米1万円以下で実現できればそういう話も夢ではなくなってくるかと思います。

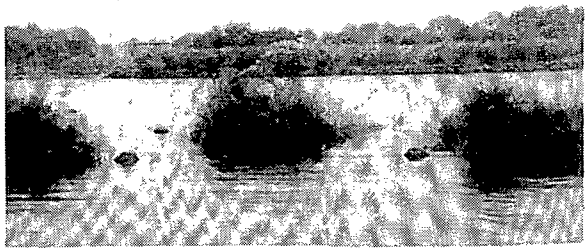
そういっても、余り安いと耐久性が悪くなってしまうという話もあると思います。最低5年から、今一番成績がいいもので16年とか18年という事例がありますが、このぐらいでできればいいかなと思います。いろいろな意味で浮島は壊れてきますが、その話は出ましたので省略します。

ちょっと事例を見ていただきましょうか。これは基盤が吸い出されてしまって植物が生えなくなってしまった例です（資料28）。これは吸い出されたのか、鳥が営巣材に使おうと思ってつつき出したのかよくわかりませんが、どちらかでしょう。



資料28

これは浮島の上にヤナギが育ち過ぎて、よく見ると全体が沈んでいます。こういうようなことも長年の間には起こってくるわけです（資料29）。



資料29

それから維持管理のしやすさです。事務所などは管理に余りお金をかけられないので、なるべくメンテナンスフリーにしていただきたいというのが切なるお願いです。

それから、都合が悪くなったときに撤去したり、移動したりできるというのが浮島の大変良いところでもあるわけです。捨てるときのことも考えてつくる必要があることを考えていただきたいということと、リサイクル、先ほど電柱などありましたけど、その辺も考えていく必要があるかと思います。100％自然素材の浮島というのができると大変いいのではないかと思います。

係留の方法ですが、これは要するに水位変動があるのでゆとりを持たせると島があちこちに行ってしまう問題を何とか解決しなければいけないのですが、完全にこれだという解決策はまだないような気がします。

まとめです。まず1番目の浮島の機能の話ですが、人工浮島は湖岸の沿岸推移帯の代替としてある程度の機能が期待できると思います。ただ、決して沿岸植生そのものにとってかわることはできないのではないでしょうか。そういう意味で人工浮島というのは、人工干潟などという考え方と似ていると思います。ですから計画、施工に当たっては十分慎重になるべきです。むやみに、開発の代替案として使うというようなことは慎むべきではないかと私は考えます。限定されたところで、限定された目的に使うのであれば大変良い効果を生むかもしれないのですが、安易な使い方をし出すといろいろな非難がかかってくることが予想されます。

それから、先ほど言ったお話ですが、まだまだ構造的な課題がありますので、特に浮力のことなど、メーカーの方にいろいろ工夫していただければ、これから大変良いものができてくるのではないかと思います。

人工浮島関係文献リスト

建設省　土木研究所　環境部緑化生態研究室　百瀬浩、木部直美、藤原宣夫

阿部學 1996. 機能的ダムから環境創造ダムへ－水鳥のための人工浮島. 電力土木264:3-10.（生物生息空間）

藤原宣夫・百瀬浩・田畑正敏・舟久保敏・半田真理子・田中隆 1998. ダム湖におけるカモ類の行動と環境選択. 環境システム研究 26:37-44.（生物生息空間）

福渡隆・田中康泰・寺川陽・武田信保・後藤誠志 1998. 富栄養化現象の局地対策に関する予備実験について. 土木学会第53回年次報告会講演概要集第7部. 506-507.（水質浄化）

福渡隆・寺川陽・天野邦彦・武田信保・林十三夫 1999. 人工生態礁の隔離水界実験について. 土木学会第54回年次報告会講演概要集第7部. 48-49.（水質浄化）

舟久保敏・百瀬浩・木部直美・藤原宣夫 1999. 鳥類の生息環境としてのダム湖の特性－自然湖沼との比較－. 環境システム研究27: 469-475.（生物生息空間）

Getz, V.K. and Smith, J.R. 1989. Waterfowl production on artificial islands in mountain meadows reservoir, California. Calif. Fish and Games 75 (3) : 132-140.（生物生息空間）

Giroux, J-F. 1981. Use of artificial islands by nesting waterfowl in southeastern Alberta. J. Wildl. Manage. 45 (3) : 669-679.（生物生息空間）

Hiraoka, T. 1996. Utilization of artificial floating objects as nest platforms by Little Grebes and Eurasian Coot in Lake Teganuma, Central Japan. J. Yamashina Inst. Ornithol. 28: 108-112.（生物生息空間）

Hoeger, S. 1988. SCHWIMMKAMPEN Germany's artificial floating islands. Jour. Soil and Water Conservation. 43 (4) : 304-306.（浮島全般紹介）

Kibe, N., Momose, H., Fujiwara, N. 1999. Structure of planted floating islands for use by water birds. IFLA Eastern Regional Conference 99. 124-131.（生物生息空間）

丸山麻夫 1993. 渡良瀬遊水地における緑の岸辺の創出. 河川No.562: 39-48.（生物生息空間）

Merrie, T.D.H. 1996. Breeding success of raft-nesting divers in Scotland. Brit. Birds 89: 306-309.（生物生息空間）

百瀬浩・舟久保敏・木部直美・藤原宣夫・田中隆 1998. 水鳥類による各種植栽浮島の利用状況.環境システム研究 26: 45-53.（生物生息空間）

中村圭吾 1995. 人工浮島による水辺環境の保全. リバーフロント24: 2-5.（浮島全般紹介）

中村圭吾 1996. 応用の進む浮島技術. 月刊建設96年10月号: 65-67.（浮島全般紹介）

中村圭吾・門倉伸行・大室政英・酒井義尚・村橋和夫・小西正郎・玉木和之 1999. 消波浮島による湖岸植生帯の保全. 日本水環境学会年会講演集.33: 122.（消波効果）

中村圭吾・門倉伸行・宗像義之・島谷幸宏・宇多高明 1999. 消波浮島による湖岸植生帯の復元に関する研究. 環境システム研究27: 305-314.（消波効果）

Nakamura, K. and Shimatani, Y. 1997. Water Purification and environmental enhancement by the floating island. Proc. of 6th IAWQ Asia-Pacific Regional Conference in Korea.（水質浄化）

中村圭吾・島谷幸宏 1999. 人工浮島の機能と技術の現状. 土木技術資料41 (7): 26-31.（浮島全般紹介）

Nakamura K., Shimatani Y., Suzuki O., Oguri S., Yasumochi T. 1995. The Ecosystem of an artificial vegetated island, Ukishima, in Lake Kasumigaura. Proc. of 16th Int. Conf. Lakes-Kasumigaura '95. Vol.1: 406-409.（生物生息空間）

中村圭吾・島谷幸宏・鈴木興道・小栗幸雄・保持尚志 1995. 人工浮島（霞ヶ浦土浦港）の効果とその生態系. 河道の水理と河川環境シンポジウム論文集. 155-159.（生物生息空間）

中村圭吾・鈴木宣人 1999. 調整池における水質の季節的変動と水生植物の占有率. 土木学会第54回年次報告会講演概要集第7部. 38-39.（水質浄化）

Nakamura, K., Tsukidate, M., Shimatani, Y. 1995. The ecosystem of artificial vegetated floating island. Ecosystem and Sustainable Development. pp.171-181.（生物生息空間）

佐々木静郎・柴田浩彦・清原雄康 1998. 浮島を用いた調整池の環境改善. 土木学会第53回年次報告会講演概要集第7部. 442-443.（水質浄化）

宗祥甫・縣和一・呉偉明・応火冬・朱敏・窪田文武 1994. 水上栽培法による植物生産並びに水質浄化に関する研究第1報水稲の生育,収量からみた水上栽培法の特徴. 日本作物学会紀事63 (2) : 1-2. (水質浄化)

宗祥甫・縣和一・金千　・呉偉明・応火冬・朱敏・陸水良・窪田文武 1994. 水上栽培法による植物生産並びに水質浄化に関する研究第2報水稲の水上栽培による水質浄化. 日本作物学会紀事63 (2) : 3-6. (水質浄化)

Song, X., Agata, W,. Zou, G., Wu, W., Yin, H., Yu, Q., Huang, Y., Kubota, F. and Muramoto, S. 1995. Bio-production and water cleaning by plant grown with floating culture system. Proc. Vol.16th Int. Conf. of Lakes-Kasumigaura '95. Vol.1: 426-427. (水質浄化)

寺薗勝二・石居宏志・粟津一雄 1996. 緑の人工浮島実験について－浮かぶビオトープを目ざして－. ダム技術120: 35-42. (生物生息空間)

吉武孝・島田和則・岡野通明 1995. 湖畔林再生試験. Proc. Vol.16th Int. Conf. of Lakes-Kasumigaura '95. pp.1800-1803. (水質浄化)

吉武孝. 1996. 簡易水面緑化基盤の試作 (II) . 日本緑化工学会都市緑化技術部会・成果報告会発表要旨第5号: 15-16. (生物生息空間)

水生植物5種の人工植栽基盤上での生育

（指導期間　平成11年4月～平成12年3月）

研究室名　緑化生態研究室
氏　　名　竹村　茂雄

1. まえがき

護岸整備や水位変動などにより，湖岸植生の成立が困難な湖沼においては，人工浮島を設置することにより，野生生物の生息空間の創出[1)]，水質浄化[2)]，消波による侵食防止[3)]などの効果が得られると期待されている。人工浮島は，浮体付きの植栽基盤上に水生植物を植栽するものであり，水辺環境改善の簡便かつ代替的な一方法として，すでに数多く設置されている[1)]。人工浮島の植栽基盤については，ヤシ繊維などの網状タイプが一般に多く使用されているが，植栽基盤と水生植物との相性や植栽基盤の設置水深，基盤への栄養分の必要性など，解明されていない点も多い。

自然条件下での水生植物の生育環境については，数多くの調査報告がある。例えば，ヨシは水深0～20cmの選好性があり，比較的に栄養濃度が高い場所に生息することが多いことが報告されている[4)]。また，植生回復を目的とした植栽方法や植栽密度についても研究されている[5)]。しかし，人工植栽基盤上での各種植物の生長を定量的に研究した例はない。

ここでは，基盤・水深・栄養条件の要因が，植栽基盤上の水生植物の生長に与える影響を明らかにし，人工浮島技術の向上に役立つ技術的資料を得ることを目的として，植栽基盤上における水生植物の生育実験を行った。

2. 実験および解析の方法

2. 1 実験地と使用基盤の種類

実験は，建設省土木研究所の屋外実験水路において，1999年7月～10月にかけて実施した。独立した2本の水路（水路A，水路B）に設置台を組立て，水深0cm，20cmの位置に植栽基盤を配置し，水生植物5種を基盤上に植栽した（図1）。

実験に使用した植栽基盤は，ヤシ繊維，合生樹脂繊維，木繊維，赤玉土の4種類の基盤とした（表1）。植栽基盤は，大きさ30cm×30cm×5cmのものを2枚重ねて厚さ10cmとし，抽水植物の植栽基盤には上側の基盤に直径5cmの植栽穴を3箇所，浮葉・沈水植物の植栽基盤には上側の基盤に直径3cmの植栽穴を5箇所設けた。

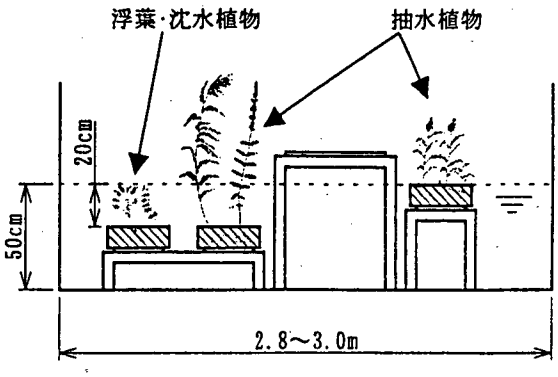


図1　水生植物と基盤の配置

表1　使用した植栽基盤

基盤名	ヤシ繊維	合成樹脂繊維	木繊維	赤玉土
主成分	天然ヤシ繊維	ナイロン ポリエステル	間伐木材フレーク FRP リサイクル材	焼成赤玉土中粒
見掛け比重	0.055	0.032	0.55	0.67
空隙率	95 %	97 %	30 %	55 %
表面写真				

2. 2　供試植物の種類と植栽方法

実験には，抽水植物ヨシ *Phragmites australis*，ツルヨシ *Phragmites japonica*，ミソハギ *Lythrum anceps* の3種，浮葉植物ヒルムシロ *Potamogeton distinctus*，沈水植物ホザキノフサモ *Myriophyllum spicatum* の計5種の水生植物を使用した。植栽方法は、表2に示す植栽条件で水生植物の苗を植栽穴に，赤玉土を用いて植え付けることとした。抽水植物は水深 0cm，20cm の位置に設置した基盤に植栽し，浮葉・沈水植物は水深 20cm の位置に設置した基盤に植栽した。実験反復は，各条件の各植栽基盤に対し N=3 とした。実験配置は，各条件に水生植物・植栽基盤について乱数抽出をして決めた。

表2　植栽した水生植物

	名　称	植栽条件
抽水植物	ヨ　シ	草丈 40cm　2本
	ツルヨシ	草丈 10cm　1節
	ミソハギ	草丈 30cm　1本
浮葉植物	ヒルムシロ	葉数 2～3 枚 1本
沈水植物	ホザキノフサモ	草丈 10～15cm 1本

表3　実験区の栄養条件

実験区	場所	水に 栄養塩	基盤に 肥料
①	水路 A 西側	×	×
②	水路 A 東側	×	○
③	水路 B 西側	○	×
④	水路 B 東側	○	○

○：添加あり　×：添加なし

2. 3　栄養条件の設定

栄養条件は，実験区ごとに栄養条件を変えて行った。実験区における栄養塩・肥料の添加を表3に示す。水に添加した栄養塩は，窒素，リンであり，目標値 T-N 5mg/l，T-P 0.5mg/l として2週間毎に水に添加した。基盤に添加した肥料は，N:P:K＝6:36: 6 の緩効性肥料であり，8月上旬に約 9g／基盤（約 100g／m^2）を基盤上面に添加した。

2. 4　測定項目と解析方法

水質調査は，水温，pH，T-N，T-P，COD，DO，SS の7項目について行った。水温，pH，DO は現地にて水質チェッカー（HORIBA，U-10）で測定した。T-N，T-P，BOD，SS は河川水質試験方法（案）標準法[6]に準拠して水質分析を行った。調査および採水は PM2:00～4:00 にかけて実施した。

水生植物の生育調査は，植栽1ヶ月後（8月下旬），2ヶ月後（9月下旬），3ヶ月後（10月下旬）に行った。抽水植物については草丈を，浮葉植物については植栽基盤上の葉数を，沈水植物については植栽基盤に対する植被率を測定した。また，抽水植物については実験終了後に植物体を刈り取り，基盤上部（地上部）と基盤内部（地下部）に分けて乾燥重量を測定した。

抽水植物は，地上部乾燥重量について解析を行った。植栽基盤・栄養塩・肥料・水深の4要因について4元配置法による分散分析を行った。植栽基盤の差については Tukey の多重比較法による検定を行った。異なる栄養条件下の生長の差については，Mann-Whitney の U 検定を行った。繰り返しは株単位の N=9（3 株×3

基盤）で行った。

浮葉・沈水植物は，生育が良好であった8月における葉数・植被率について解析を行った。植栽基盤・栄養塩・肥料の3要因について3元配置法による分散分析を行った。植栽基盤の差についてはTukeyの多重比較法による検定を行った。異なる栄養条件下の生長の差については，Mann-WhitneyのU検定を行った。繰り返しは基盤単位のN=3で行った。

表4　各実験区の水質

実験区	栄養塩	肥料	7/30	8/14	9/16	10/14	平均
			水温（℃）				
①	×	×	32.3	32.4	27.4	23.1	28.8
②	×	○	32.3	32.3	27.4	22.7	28.7
③	○	×	31.6	31.8	27.5	22.4	28.3
④	○	○	31.6	32.1	27.6	22.5	28.4
			pH（－）				
①	×	×	8.1	9.2	9.6	9.5	9.1
②	×	○	8.1	9.4	9.5	9.6	9.2
③	○	×	8.3	8.8	8.6	8.8	8.6
④	○	○	8.3	8.7	8.6	8.5	8.5
			T-N（mg／l）				
①	×	×	1.4	0.4	0.5	0.8	0.8
②	×	○	1.4	0.3	0.5	0.7	0.7
③	○	×	1.5	3.8	2.8	6.4	3.6
④	○	○	1.5	1.6	4.1	2.1	2.3
			T-P（mg／l）				
①	×	×	0.02	0.04	0.03	0.05	0.03
②	×	○	0.02	0.07	0.04	0.04	0.04
③	○	×	0.01	0.02	0.15	0.44	0.15
④	○	○	0.01	0.02	0.15	0.12	0.07
			COD（mg／l）				
①	×	×	－	3.5	5.6	5.6	4.9
②	×	○	－	3.5	5.8	5.2	4.8
③	○	×	－	6.3	5.8	5.2	5.8
④	○	○	－	6.3	6.3	5.4	6.0
			DO（mg／l）				
①	×	×	4.4	5.6	7.0	4.9	5.5
②	×	○	4.4	5.9	7.1	5.1	5.6
③	○	×	5.9	6.0	6.0	4.8	5.7
④	○	○	5.9	5.6	5.6	4.8	5.5
			SS（mg／l）				
①	×	×	－	1.0	2.0	6.0	3.0
②	×	○	－	1.0	4.0	4.0	3.0
③	○	×	－	3.0	3.0	2.0	2.7
④	○	○	－	3.0	3.0	2.0	2.7

3.　結果

3. 1　水質測定の結果

表4に実験期間中の水質測定結果を示す。pHについては，pH=9前後の強いアルカリ性であった。T-Nについては，水に栄養塩を添加した実験区③，④（水路B）が，実験区①，②（水路A）の約4倍であった。また，基盤に緩効性肥料を添加しない実験区①と，基盤に緩効性肥料を添加した実験区②にはT-N, T-Pに顕著な差はみられなかった。

3. 2　植栽基盤上の水生植物の生育

図2に，水深0cmにおける抽水植物の測定結果，図3に，水深20cmにおける抽水・浮葉・沈水植物の測定結果を示す。また，表5に，抽水植物に関する植栽基盤・栄養塩・肥料・水深の4要因についての分散分析結果，および浮葉・沈水植物に関する，植栽基盤・栄養塩・肥料の3要因についての分散分析結果を示す。

ヨシ，ヒルムシロでは，基盤による地上部乾燥重量，8月葉数の差が認められた　（表5，図3）。ツルヨシ，ヒルムシロでは，栄養塩の添加による地上部乾燥重量，8月葉数の増加が認められ，ホザキノフサモでは，8月植被率の減少が認められた（表5，図3）。ツルヨシとミソハギでは，肥料の添加による地上部乾燥重量の増加が認められた（表5，図2，図3）。ヨシ，ミソハギでは，水深による地上部乾燥重量の増加が認められた（表5，図2，図3）。

植栽基盤間の差については，生長が良好であった水深20cmの結果のみ用いて，Tukeyの多重比較法による検定を行った。その結果を，図3中の「*」で示す。ヨシでは，栄養塩・肥料の添加しない実験区①において，ヤシ基盤の生長量が大きかった。ヒルムシロは栄養塩なし肥料ありの実験区②で赤玉土の生長量が大きかった。また，実験区②においてツルヨシの赤玉土の生長量が大きかった。

異なる栄養条件下の水生植物生長の差については，大きく生育した水深20cmの場合について，Mann-WhitneyのU検定を行った。その結果を，表6に示す。ヨシでは，肥料を添加しない場合に，栄養塩を添加

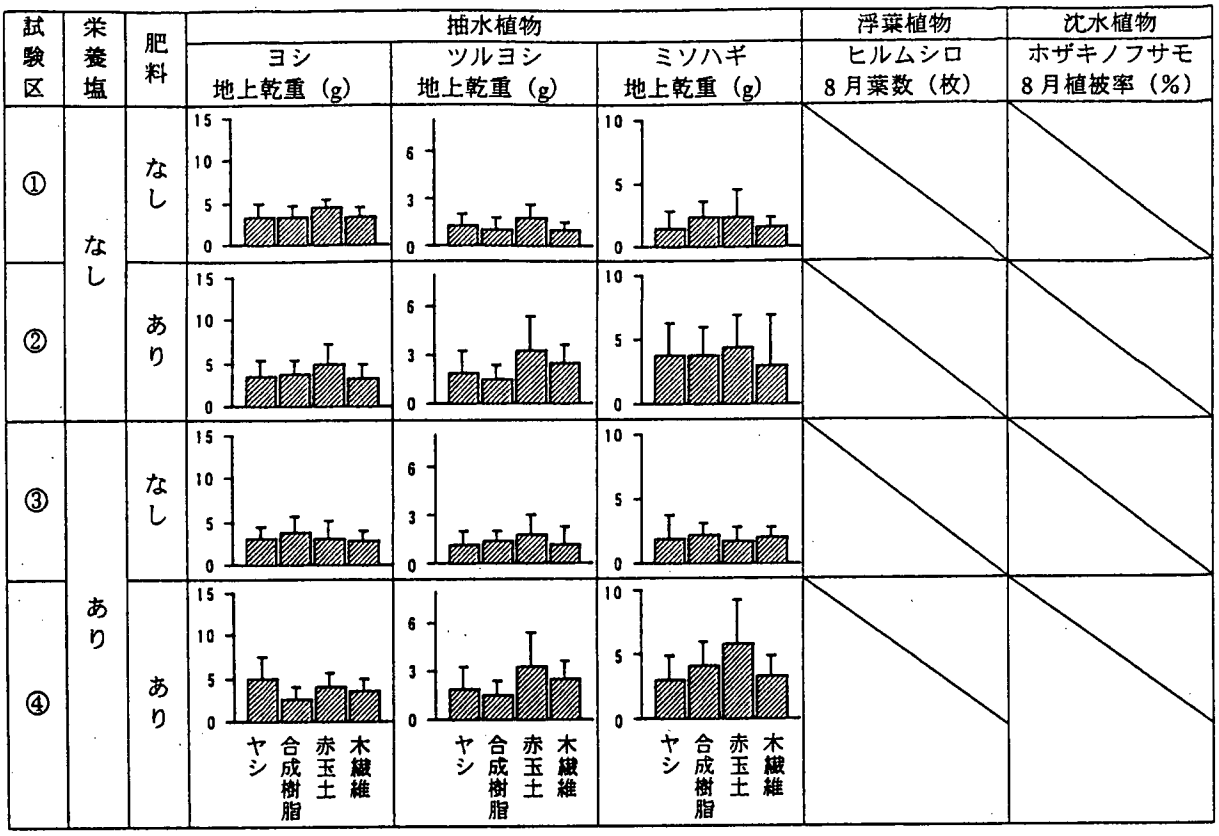
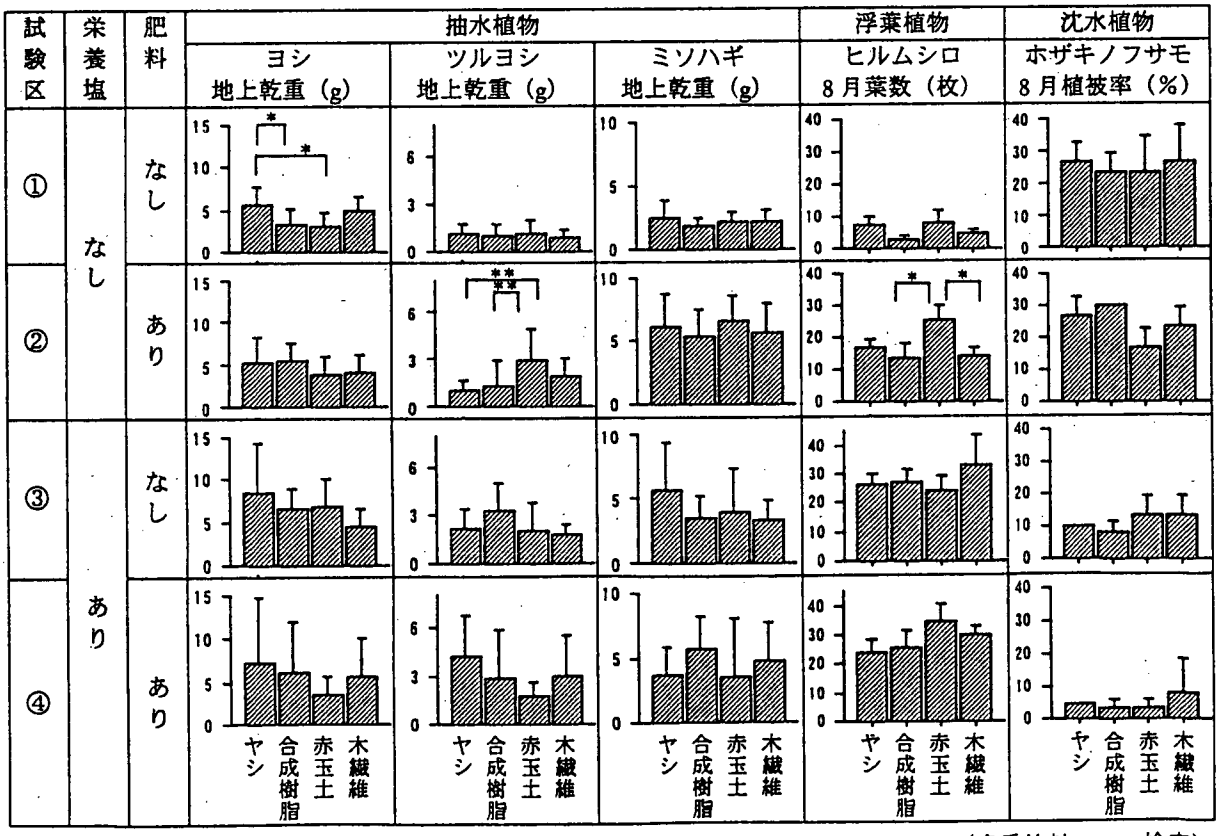


図2　各試験区における水生植物の成長（水深 0cm）



*：P < 0.05，**：P < 0.01（多重比較 Tukey 検定）

図3　各試験区における水生植物の成長（水深 20cm），基盤間の有意差

表5　基盤・栄養塩・肥料・水深の4要因による分散分析結果

	抽水植物						浮葉植物		沈水植物	
	ヨシ 地上乾重		ツルヨシ 地上乾重		ミソハギ 地上乾重		ヒルムシロ 8月葉数		ホザキノフサモ 8月植被率	
	F値	P値	F値	P値	F値	P値	F値	P値	F値	P値
基盤	2.66*	0.048	0.63	0.596	0.81	0.488	3.40*	0.029	0.79	0.511
栄養塩	4.89*	0.028	24.97***	<0.001	0.68	0.408	142.3***	<0.001	82.11***	<0.001
肥料	0.04	0.837	37.10***	<0.001	56.90***	<0.001	22.02***	<0.001	3.80	0.060
水深	25.02***	<0.001	0.77	0.380	22.72***	<0.001	—	—	—	—
基盤×栄養塩	0.84	0.470	2.88*	0.036	0.21	0.885	2.96*	0.047	1.38	0.266
基盤×肥料	0.11	0.950	2.40	0.068	1.11	0.344	3.43*	0.028	1.10	0.363
栄養塩×肥料	0.52	0.470	2.74	0.099	8.31**	0.004	14.23***	<0.001	2.22	0.146
基盤×水深	2.97	0.032	1.73	0.161	1.41	0.240	—	—	—	—
栄養塩×水深	9.05**	0.003	7.53**	0.006	0.02	0.886	—	—	—	—
肥料×水深	1.07	0.301	1.02	0.312	0.06	0.807	—	—	—	—
基盤×栄養塩×肥料	1.57	0.196	2.30	0.078	1.45	0.226	0.23	0.872	0.36	0.779
基盤×栄養塩×水深	0.65	0.583	1.42	0.237	0.57	0.629	—	—	—	—
基盤×肥料×水深	1.30	0.273	1.19	0.311	1.37	0.252	—	—	—	—
栄養塩×肥料×水深	1.44	0.230	0.01	0.922	10.93**	0.001	—	—	—	—
基盤×栄養塩×肥料×水深	0.69	0.558	1.91	0.128	1.32	0.267	—	—	—	—

* ：P < 0.05，** ：P < 0.01，*** ：P<0.001

表6　栄養条件による生長の差（水深20cm，数値は平均値）

栄養条件		実験区①と②			実験区③と④			実験区①と③			実験区②と④		
	栄養塩	なし			あり			なし			あり		
	肥料	なし		あり	なし		あり	なし			あり		
抽水植物	ヨシ 地上乾重 g	4.21	−	4.57	6.55	−	5.65	4.21	<	6.56	4.57	−	5.65
	ツルヨシ 地上乾重 g	1.05	−	1.75	2.29	−	2.99	1.05	≪	2.29	1.75	<	2.99
	ミソハギ 地上乾重 g	2.17	≪	5.90	4.08	−	4.51	2.17	≪	4.08	5.90	>	4.51
浮葉植物	ヒルムシロ 8月葉数	5.9	≪	17.4	27.3	−	28.5	5.9	≪	27.3	17.4	≪	28.5
沈水植物	ホザキノフサモ 8月植被率%	25.0	−	24.2	11.3	≫	5.0	25.0	≫	11.3	24.2	≫	5.0

< ：p<0.05，≪ ：p<0.01，≪：p<0.001（Mann-Whitney の U 検定）

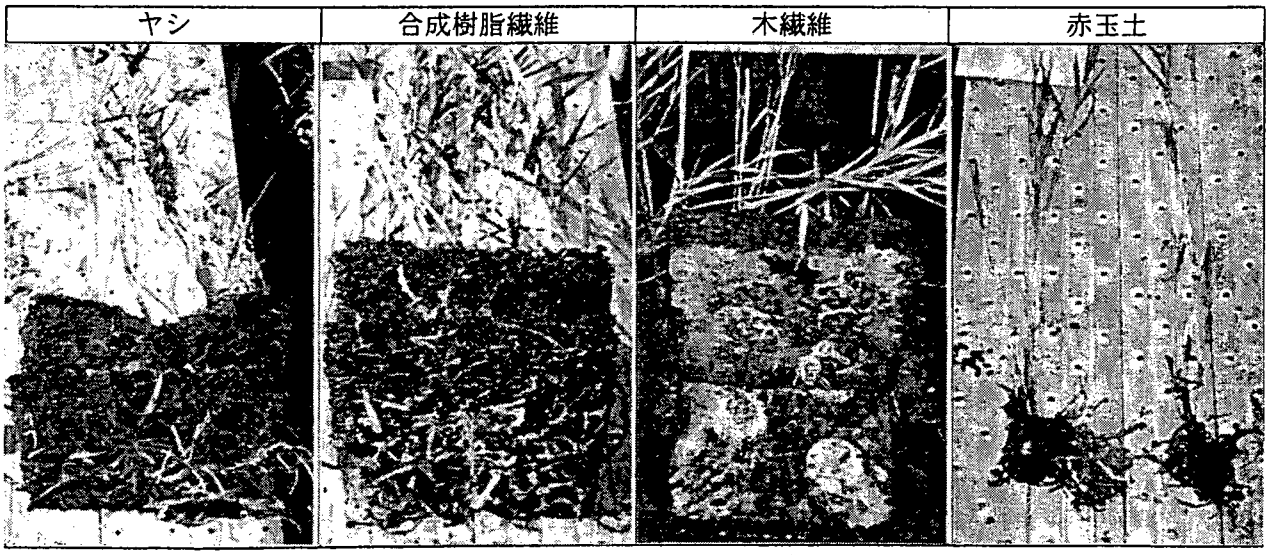


写真1　基盤内のヨシの根茎

する場合が大きく生長した。ツルヨシでは，肥料の有無に関わらず，栄養塩を添加する方が大きく生長した。ミソハギでは，栄養塩または肥料を添加する方が大きく生長し，かつ肥料を添加する方が，その効果が大きかった。ヒルムシロでは，栄養塩または肥料を添加する方が大きく生長し，栄養塩・肥料がともに添加する方が大きく生長した。ホザキノフサモでは，栄養塩を添加しない方が大きく生長した。

3. 3 植栽基盤内のヨシ根茎の生長

写真1に，十分に生長したヨシについて，植栽基盤内の根茎の生育状況を示す。場所は水深20cmの栄養塩を添加した実験区③，④である。ヤシ基盤，合生樹脂基盤では，ヨシの根茎が基盤裏面まで貫通しており，基盤内に複雑に入り込んでいた。木繊維基盤では，ヨシの地下茎が基盤内に入り込むことができず，植栽穴内のみで生長していた。赤玉土では，地下茎の生長は比較的小さかった。

4. 考察

人工植栽基盤上における水生植物の生長について，基盤・水深・栄養条件などの要因による影響をまとめると次のようになる。

植栽基盤については，抽水植物ヨシではヤシ基盤で生育が良好であった。これは，ヨシ根茎が空隙率の大きなヤシ基盤内で，十分生長できたと考えられる。浮葉植物ヒルムシロでは赤玉土で生育が良好であった。

水深については，0cmの実験区で生長が不良であった。使用した植栽基盤は空隙率が大きく，保水性がないため，0cmの実験区では，夏季の水分蒸発により水位が低下し、その結果、基盤内部の温度上昇や根茎の乾燥を招いたことが原因だと思われる。

栄養条件については，ヨシ以外の水生植物で、栄養塩・肥料の効果が大きかった。抽水植物ツルヨシ，ミソハギ，浮葉植物ヒルムシロは栄養塩を添加しない実験区では，基盤に肥料を与えた効果は大きかったのに対し，栄養塩を添加した実験区では，肥料の効果は認められなかった。これは，水質が環境基準Ⅴ類程度（T-N＜1.0mg/l）の湖沼では、水生植物を生育させるためには，植栽基盤にある程度の栄養分をあたえる必要があると考えられる。一方，水質が十分富栄養な湖沼では，植栽基盤に栄養分を持たせる必要性は少ないと考えられる。また，沈水植物ホザキノフサモは栄養塩を添加しない実験区での生長が良かった。これは，栄養塩を添加した実験区に糸状藻類が発生したためと考えられる。このことから沈水植物を人工浮島に用いる場合、水質を十分考慮しなければならない。

謝辞

多大なるご指導・ご協力して頂いた緑化生態研究室の藤原室長、木部研究員、百瀬重点研究支援協力員ならびに緑化生態研究室の皆様に深く感謝します。また、河川環境研究室の中村研究員には人工浮島について、水質研究室の高橋研究員には水質についてご助言をいただきました。ここに記して感謝いたします。

所属　積水化学工業（株）

＜参考文献＞

1) 百瀬浩・舟久保敏・木部直美・中村圭吾・藤原宣夫・田中隆：水鳥類による各種植栽浮島の利用状況，環境システム研究，Vol.26，pp.469-475，1998
2) 中村圭吾・島谷幸宏：人工浮島の機能と技術の現状，土木技術資料41（7），pp.26-31，1999
3) 中村圭吾・門倉伸行・宗像義之・島谷幸宏・宇多高明：消波浮島による湖岸植生帯の復元に関する研究，環境システム研究，Vol.26，pp.305-314，1998
4) 中優・日置佳之・田中隆・水谷義昭・百瀬浩：水草の生育環境としての池の空間構造，環境システム研究，Vol.26，pp.245-252，1998
5) 田中周平・藤井滋穂・山田淳・市木敦之：琵琶湖岸水ヨシ成育に及ぼす植栽工法・条件の影響，日本水環境学会年会公演集，Vol.33，p.218，1999
6) 建設省河川局監修・建設省建設技術協議会水質連絡会編・河川環境管理財団編：河川水質試験方法(案) 1997年版 -試験方法編-，技報堂出版，1997

＜平成11年度に掲載された特集記事等＞

表　　題	著者名	雑誌名	発　行	巻号、頁	発行年月	本誌頁
樹木を用いたのり面緑化手法の検討	藤原　宣夫 森崎　耕一	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.41 No.4 pp.58－63	1999.4	179
下水汚泥・剪定枝葉の堆肥化に関する研究	石曽根　敦子 森崎　耕一	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.41 No.4 pp.2－3	1999.4	185
統計で見る日本の街路樹の移り変わり	藤原　宣夫	GREEN AGE	(財)日本緑化センター	pp.8－13	1999.5	187
街路樹の腐朽診断 －放射線を利用した診断方法－	飯塚　康雄 石曽根　敦子 森崎　耕一 藤原　宣夫	TREE DOCTOR	日本樹木医会	No.7 pp.101－104	1999.5	193
街路樹に憩う	木部　直美 石曽根　敦子	面白誌トイロ	自然総研	No.11 pp.20－24	1999.10	197
「防災公園計画・設計ガイドライン」について	山岸　裕	公園緑地	(社)日本公園緑地協会	Vol.60 No.4 pp.144－145	1999.10	202
都市における屋上緑化可能地の推定	藤原　宣夫 石坂　健彦 半田　真理子	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.42 No.3 pp.52－55	2000.3	204
ヨシ原の分断・孤立化とシロバナサクラタデの受粉・種子生産	西廣　淳 友部　恭子 鷲谷　いづみ	関西自然保護機構会報	関西自然保護機構	Vol.21 No.2 pp.133－140	1999.	208
土木研究所本館前におけるビオトープ実験	日置　佳之 須田　真一	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.41 No.5 pp.14－15	1999.5	216
ダム緑化のための湖岸環境区分と適応自生植物の選定	藤原　宣夫 井本　郁子	ダム技術	(財)ダム技術センター	No.153 pp.12－18	1999.6	218
Woods Restoration by Planting Faces of Slopes	森崎　耕一	PWRI NEWS LETTER	Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Japan	No.77 pp.3－4	1999.7	225
沿道景観構成要素の整備手法	森崎　耕一	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.41 No.8 pp.36－41	1999.8	227
生きものランドスケーピングの展示発表　その２	日置　佳之 養父　志乃夫 逸見　一郎 中村　忠昌 井上　剛	ランドスケープ研究	(社)日本造園学会	Vol.63 No.2 pp.134－136	1999.11	233
自然環境との調和に配慮した道路整備 －今後の自然環境保全の進め方と技術開発－	石坂　健彦	道路	(社)日本道路協会	Vol.706 pp.22－24	1999.12	236

裏面に続く

表　　題	著者名	雑誌名	発　行	巻号、頁	発行年月	本誌頁
環境影響評価に関する研究事例の紹介	藤原　宣夫 薗田　顯彦	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.42 No.1	2000.1	239
道路事業における生態系の評価手法	上坂　克巳 大西　博文 藤原　宣夫 小根山　裕之 森崎　耕一	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.42 No.1 pp.24－27	2000.1	241
景観・触れ合い活動の場の環境影響評価手法	藤原　宣夫	土木技術資料	(財)土木研究センター	Vol.42 No.1 pp.36－39	2000.1	245
多自然型川づくりにおける護岸技術開発の方向	藤原　宣夫	日経コンストラクション	日経BP社	pp.101－104	2000.1	249

◆ 第52回建設省技術研究会報告特集 ◆

樹木を用いたのり面緑化手法の検討

建設省土木研究所環境部緑化生態研究室

1. はじめに

公共工事において出現する造成のり面は、表層の侵食防止のため、植生による保護工が従来から行われている。また、最近では、周辺の生活・自然環境の保全、景観の改善を目的として、樹木を積極的に導入し、早期に樹林を形成することが求められている。

しかしながら、のり面を樹林化する工法は、播種によるもの、苗木を植栽するもの等、多種多様なものがあるが、各工法の適用や具体的な技術については、まだ不明確な部分も多く、体系だった考え方は整理されていないのが現状である。

本研究は、現在まで各地において実施されてきたのり面樹林化工法の実態を把握し、各工法の特徴や課題を抽出するとともに、今後、のり面の樹林化を実施するうえでの基本的な考え方や方向性について取りまとめたものである(建設省技術研究会：平成9~10年度)。本報文はその概要について述べるものである。

2. のり面樹林化工法の概要

のり面に樹木を導入する方法は、大きく「播種工」と「苗木植栽工」に分けられる。

2.1 播種工

木本種子を吹付基材に混入して播く工法であり、作業は効率的である。しかし、混播する初期生育のよい草本種に被圧され、木本種の生育が妨げられる場合がある。そのため、現在まで活着が確認されているのは、初期成育のよいハギ類、ヤマハンノキ、ヤシャブシ等の先駆樹種、発芽・生育が安定しているシャリンバイ、ネズミモチ等、一部の植物に限られている。

2.2 苗木植栽工

苗木をのり面に植栽する方法であり、緑化目的に応じ、樹種ごとの植栽位置を計画的に定めたり、播種工では発芽しにくい樹種を用いる場合には有効である。しかし、土壌が硬い切土のり面では植穴を掘削するのが困難であるため、編柵等の緑化基礎工を実施しなければならず、播種工に比べ、施工性に劣る。

3. 収集事例の分析

全国の「のり面樹林化工法」について、その現況を把握するため、各地方建設局及び関係公団で実施した事例の調査を行った。調査対象は切土のり面とし、平成9年度は、アンケートによる全体の傾向の分析を行った。さらに、平成10年度は、収集事例のうち、先駆樹種以外の植物(最終的に目標とする植物群落の構成種と言える。)も用いた工法に絞り込み、詳細な分析を行った。

3.1 平成9年度の事例分析の概要

収集した52事例(播種工によるもの25件、苗木植栽工によるもの27件)について地山の概要、目標樹林形態、導入木本種の内容等について分析した。

3.1.1地山の概要

(1) 勾配

1：0.3~2.0で施工されている。苗木植栽工でも、のり枠の利用や、編柵等の緑化基礎工を併用している事例が多く、急勾配になるほど播種工の割合が高いという傾向ではない(図-1)。

(2) 地質

播種工、苗木植栽工とも土砂での施工事例が半分を占めている(図-2)。

また、少数ではあるが、モルタル、コンクリート面での施工事例も見られた。

3.1.2目標とする樹林形態

苗木植栽工では高木林、播種工では低木林とい

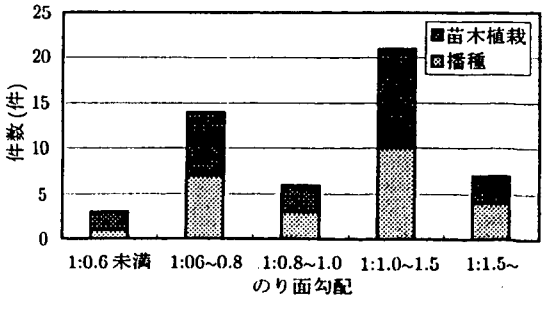


図-1 適用勾配

Studies on Reforestation Technique of Artificial Slope

う傾向である(図-3)。播種工では導入可能な樹種が、現状ではハギ類等の先駆性の低木種に限られているため、目標が低木林にしかならないものと想定される。

3.1.3導入木本種の内容

播種工については大部分が先駆樹種を用いたものである。苗木植栽工では適用樹種の範囲が広がり、先駆樹種以外の植物を用いている事例も多い(図-4)。

3.2 平成10年度の事例分析の概要

平成9年度に収集した52事例のうち先駆樹種以外の植物も用いた38事例に平成10年度に新たに収集した20事例を加えた58事例(播種工によるもの17件、苗木植栽工によるもの41件)について、導入木本種・導入草本種の内容、施工コスト等について分析した。

3.2.1導入木本種について

(1) 導入木本種の内容

播種工、苗木植栽工とも、先駆樹種を併用している事例が多い(図-5)。特に、播種工については、先駆樹種以外の植物のみの施工事例は無かった。播種工に関しては、先駆樹種以外の植物では施工実績のある樹種が少ないこと、先駆樹種以外の植物は大部分が大粒の種子でありそれを導入するには吹付け厚さを厚くする必要があること、先駆樹種以外の植物は成長が遅く草本との競合において被圧を受け易いこと等により、このような結果になったものと想定される。

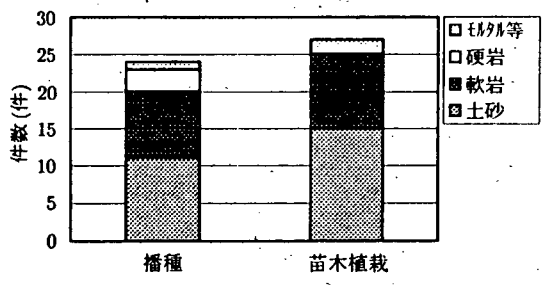


図-2 地質区分

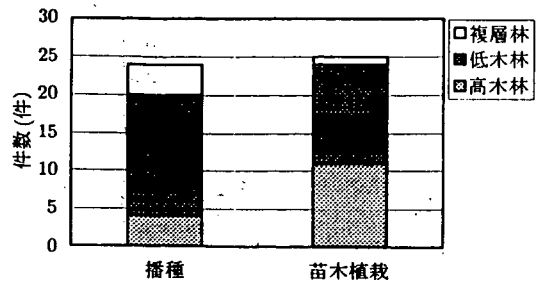


図-3 目標とする樹林形態

苗木植栽工については、先駆樹種以外の植物のみで行われている事例もある。これは緑化基礎工を行い十分な生育基盤を確保すれば、成長の遅い植物のみでも施工が可能であり、草本との競合による被圧に対して播種工よりも有利であるためと想定される。

(2) 先駆樹種以外の植物の内容

播種工、苗木植栽工で用いられている主な先駆樹種以外の植物の内容を表-1に示す。播種工については、導入樹種の種類は全部で27種であり、苗木植栽工の63種に比べ少ない。

3.2.2導入草本種について

導入草本種の発生期待本数は、播種工については200本/m^2未満の事例が多い。苗木植栽工については、発生期待本数の設定が様々であり、1,000本/m^2を越える事例も見られた(図-6)。

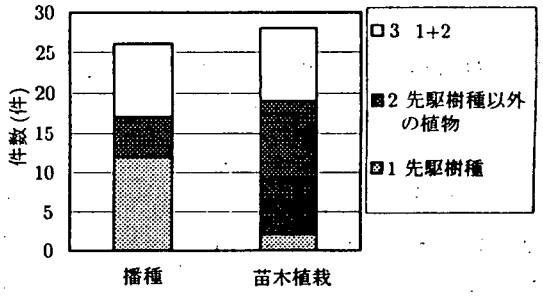


図-4 導入木本種の内容

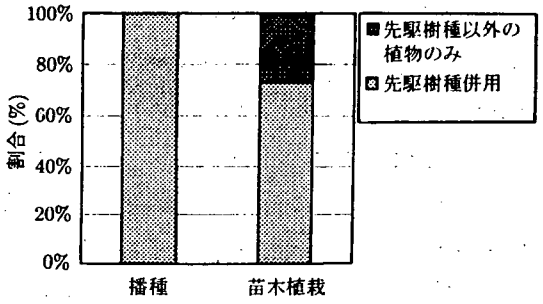


図-5 導入木本種の内容

表-1 導入されている主な先駆樹種以外の植物の内容

播種工	苗木植栽工
アラカシ、シラカシ、ウバメカシ、スダジイ、タブノキ、ネズミモチ、シャリンバイ、ヤブツバキ、ヒサカキ、トベラ、ヤマモモ、サザンカ、コナラ、クヌギ、カシワ、フヨウ、ヤマモミジ他、 全27種	アラカシ、シラカシ、ウバメカシ、アカガシ、スダジイ、タブノキ、ネズミモチ、シャリンバイ、ヤブツバキ、ヒサカキ、トベラ、ヤマモモ、サザンカ、モチノキ、イヌツゲ、アオキ、コナラ、ミズナラ、クリ、クヌギ、カシワ、ケヤキ、フヨウ、ヤマモミジ、イロハモミジ、イタヤカエデ、ヤマザクラ、ケヤキ、トチノキ、リョウブ他、 全63種

苗木植栽工の一部の事例では、草本が密に繁茂しすぎ苗木の被圧が見られるものもあった。苗木植栽工は、外来草本種による播種工が完了した後に行われる場合が多く、播種工の実施時に苗木の被圧を考慮した外来草本種の発生期待本数の設定がなされていないものと思われる。

3.2.3施工コストについて

播種工については、ほぼ5,000~9,000円/m^2となっている。苗木植栽工については、緑化基礎工の違いにより、様々であるが、最も多い事例でも施工コストは、15,000円/m^2であり、播種工の2倍近いものとなっている(図-7)。

3.3 代表工法の分析

収集した全国の樹林化事例について、播種工、苗木植栽工それぞれの工法の細分化を行い、現地概査による所見も加えて、各工法の特徴や課題を抽出した。

3.3.1工法の分類

播種工については、木本類の導入方法(草本類との混播か。木本類のみの播種か。)に着目し、分類を行った。

苗木植栽工については、以下の項目により分類を行った。

(1) 緑化基礎工の有・無

(2) 緑化基礎工の導入形態：新たに設置するのか。緑化基礎工以外の目的で造られた構造物(のり枠等)を利用するのか。

(3) 生育基盤の造成方法：のり面全面的な基盤なのか。苗木の根鉢周りの部分的な基盤なのか。

(4) 生育基盤の種類：客土によるものか。厚層基材等の人工基盤によるものか。

(5) 苗木の導入方法：基盤整備の後に植栽を行うのか。(生育基盤を整備した後に苗木を植栽する。)基盤整備の前に植栽を行うのか。(苗木を植栽した後に生育基盤を整備する。苗木を植栽した生育基盤を設置する。)

上記の観点により分類した結果を図-8に示す。

3.3.2代表工法の採用割合

播種工、苗木植栽工のそれぞれについて、図-8で分類したタイプ別に、採用割合を集計した(図-9、10)。播種工においては、事例の大部分が草本との混播による方法であり、苗木植栽工については、全体の3/4の事例が緑化のための基礎工を新設している。

3.3.3代表工法の特徴と課題

分類した各代表工法の特徴と課題を以下に示す。

① 播種工　草本との混播による方法

種子を植生基材と一緒に吹き付ける手法で、草本類の種子を混播している。先駆樹種が優占して

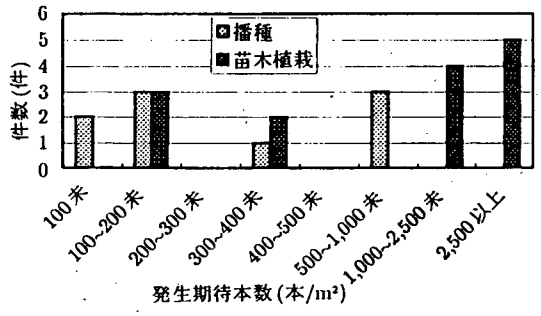


図-6 導入草本種の発生期待本数

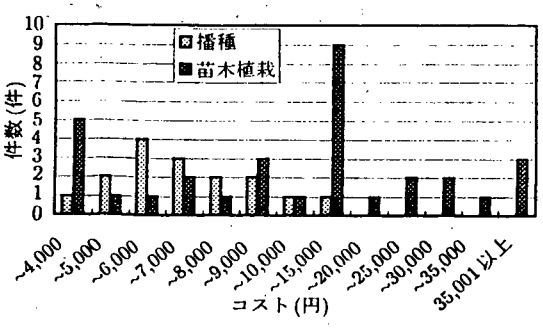


図-7 施工コスト

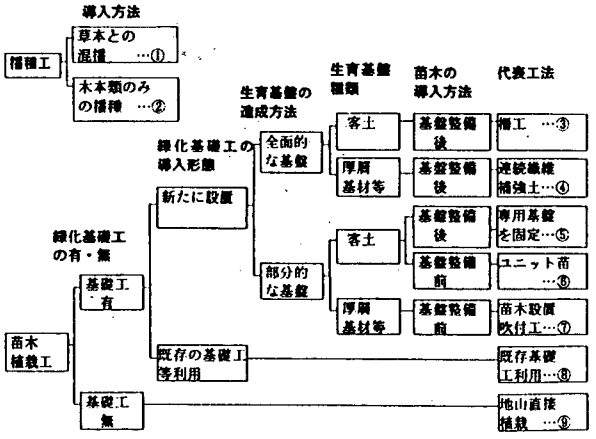


図-8 設定した分類項目による工法の分類

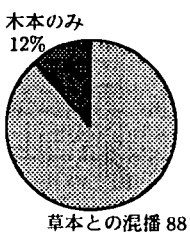


図-9播種工における採用割合

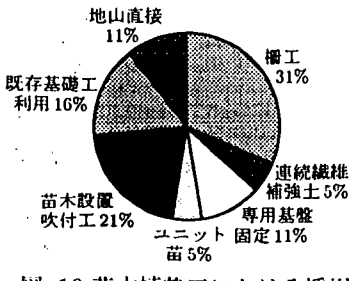


図-10 苗木植栽工における採用割合

いる事例が全般的に多い。

② 播種工　木本類のみの播種による方法

種子を植生基材と一緒に吹き付ける手法で、木本類の種子のみを使用している。草本類の播種を行わないため、表層の被覆が十分でない事例がある。

③ 苗木植栽工　柵工による方法

のり面に柵状の工作物を設置して、地山との間に客土を行い植栽する手法である。使用する資材により、編柵、丸太柵、板柵、金網柵、合成樹脂柵、鋼柵、エキスパンドメタル柵等がある(図-11)。導入種の生育状況は良いが、コストや作業手間がかかる事例が多い。

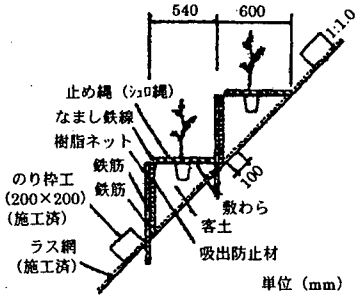


図-11 断面図

④ 苗木植栽工　連続繊維補強土による方法

連続繊維補強土により基材を20cm 程度に厚く吹き付け、吹き付けた基材を生育基盤として苗木を植栽する手法である(図-12)。

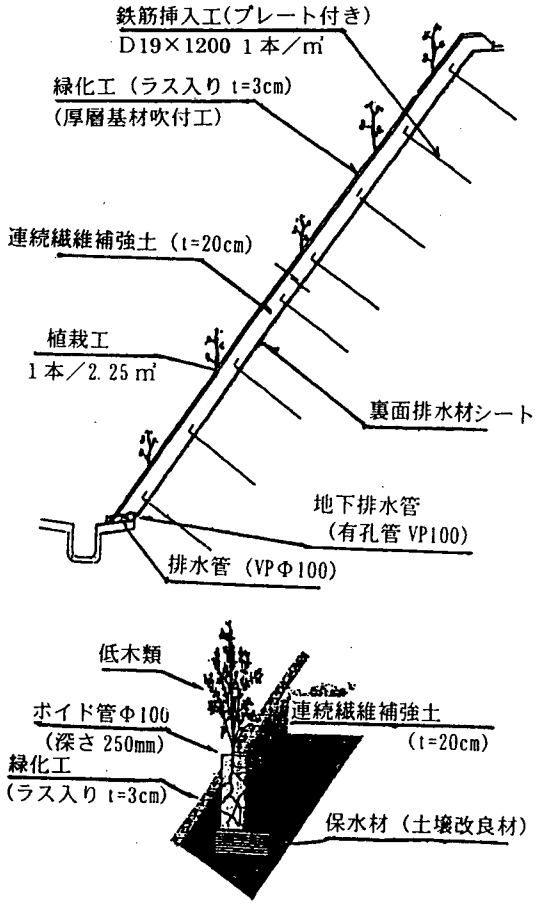


図-12 断面図

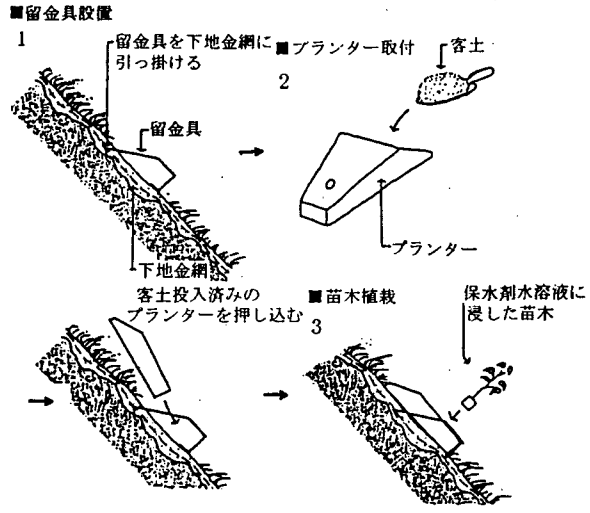


図-13 プランターの設置順序

今回調査を行った事例は、草本類の播種量が多く、それらにより導入木本種が被圧されており、生育基盤の評価は行えなかった。

⑤ 苗木植栽工　専用基盤の固定による方法

土のうやプランターボックス等の植栽専用基盤に客土を充填したものをアンカーやストッパー等でのり面に固定し、その中に苗木を植栽する手法である(図-13)。生育は概して順調であるが、後述の⑥に比べ現地での作業手間はかかる。

⑥ 苗木植栽工　ユニット苗による方法

厚層基材吹付工等で造られた基盤の上に、座布団状の袋に客土を詰めた植栽基盤に苗木を育成させたもの(ユニット苗、図-14)を、そのままのり面にアンカーで固定する手法であり、現地での設置手間の軽減を図ったものである。調査を行った中央自動車道の事例は開発予定地より樹木の種子を採取し、苗木に育成したものを使用しており、生育も良好であった。

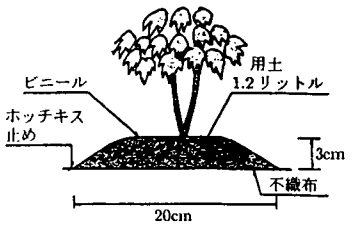


図-14 ユニット苗の断面図

⑦ 苗木植栽工　苗木設置吹付工による方法

苗木をのり面に金網やアンカーピン等で固定した後、根鉢の周りに生育基盤材を厚く吹き付ける手法である(図-15)。調査を行った国営讃

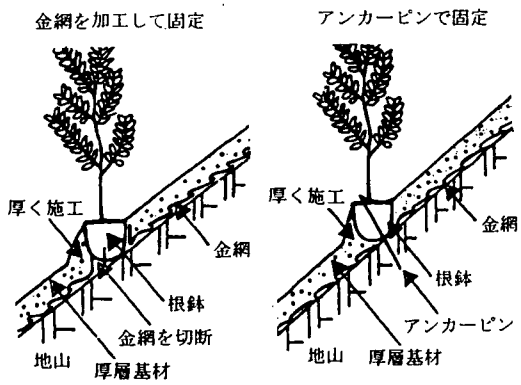


図-15 苗木の固定方法



写真-1 国営讃岐まんのう公園でのネズミモチの根系状況

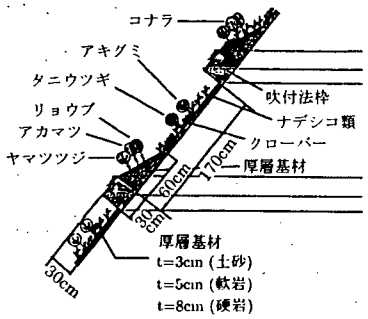


図-16 工法 (3) の断面図

岐まんのう公園では導入したネズミモチ、シャリンバイの太い根系が地山に侵入するほど、良好に生育していた(写真-1)。

⑧ 苗木植栽工　既存基礎工利用による方法

緑化基礎工以外の目的で造られた構造物 (のり枠) 等を利用して植栽する手法。これらには、基盤整備の方法として、

(1) のり枠に土のうを充填

(2) 厚層基材をのり枠内全面に吹付

(3) のり枠下側のフレームに厚層基材を吹溜め (図-16)

等がある。

⑨ 苗木植栽工　地山直接植栽による方法

地山に植穴を掘り、直接植栽する方法で地山自体を当初から生育基盤とする工法である。硬質、急勾配が主体である切土における工法としては、むしろ特殊であり、土質や勾配の条件が良くないと採用できない。

4. のり面樹林化工法の課題と今後の方向性

上述の結果をふまえ、のり面樹林化工法の課題及び今後ののり面樹林化の方向性について以下のように整理した。

4.1 樹林化の目標設定

4.1.1 樹林化の目標の明確化と効率的な工法の選定

収集した事例の中には、採用樹種が周辺樹林の構成種と適合していないもの等、目標設定が不明確のものも見られた。

のり面の樹林化にあたっては、当該地域の環境 (周辺自然環境の質、内容)、のり面の目立ちやすさ等から、個々ののり面の樹林化の目標 (樹林形状、構成種、完成時期等) を明確にする必要がある。

また、工法の適用にあたっては、これら周辺環境等から設定される樹林化の目標をふまえ、かつ、のり面自体の条件 (土質状況、勾配等) を考慮し、必要に応じ目標の見直しを行ったうえで、実施可能な効率的な工法を適用する必要がある。

4.1.2 目標の継承

計画・建設段階で設定したのり面樹林化の目標について、維持管理段階においても確実に継承される必要がある。最終目標となる樹林が完成するまでには年月がかかるため、目標となる樹林形態を理解したうえでそれに近づけるべく適切に植生遷移を誘導していく必要がある。

4.2 効率的な施工技術の確立

4.2.1 播種工

使用できるものの大部分が先駆樹種である。播種工については以下の課題を解決していく必要がある。

(1) 種子の配合量等の設定

先駆樹種以外の植物はその大部分が発芽に日数を要するため、混播する外来草本種、先駆樹種との配合バランスについて十分吟味することが必要である。外来草本種の発生期待本数は、のり面の表層のエロージョン防止に必要な最小限な程度とする必要がある。また、丈の低い外来草本種を採用し被圧を防止したり、緩効性の肥料を用い、草本種の初期生長を抑制することが有効である。

(2) 施工技術

先駆樹種以外の植物はその大部分が大粒の種子

であり、吹付時に種子が地山にあたって跳ね返るため、生育基盤への定着が少なく効率が悪くなる。

これを解決するためには、吹付工のみに固執せず、臨機応変に施工方法を見直すことが必要である。大粒の種子を用いる場合は、マット、シート工を併用し、生育基盤への定着を図ったり、苗木植栽工に置き換えるとか、他の工法の併用も考慮する必要がある。

(3) 採取及び保存方法

木本種子は年によって結実の程度が異なり、採取量にむらがあるため、事前に計画的採取を行わないと確保が困難である場合が多い。

また、先駆樹種以外の植物はその大部分が乾燥を嫌い、加えて、大粒の種子が多いため、これらに対応する大規模な保湿低温貯蔵庫が必要となる。しかし、種苗会社では発注者のそれらの使用計画等の情報が皆無であるため、そのような設備を投資するには不確実性が残り、保存が容易である外来草本種や先駆樹種に偏ってしまうことになる。

これらを解決するためには、木本種子の使用計画の公表と計画的採取による保存量の平準化が必要である。また、現況の発注形態は、のり面緑化工事の中に木本種子の調達等も含んでいるが、種子の採取、保存については工事とは切り離し、発注の前年度までに別途計画的に行い確保するという体制をとれば確実性は向上すると思われる。さらに、木本種子の採取にあたっては、地元の森林組合等と連携するような効率的な体制づくりが望まれる。

4.2.2苗木植栽工

苗木を活着させるための効率的な生育基盤整備技術の確立が必要である。苗木の活着を促すためには、生育基盤の整備は重要な要件ではあるが、それがあまりにも大規模になるとコスト面、施工面でものり面樹林化の普及は困難になる。また、急勾配、硬い土壌というのり面の条件を考慮すると、現場での施工を短時間で効率よく実施するための工夫が必要である。

収集事例の中には、苗木設置吹付工法のように、苗木を植栽する部分のみのスポット的な生育基盤整備でも十分に生育しているものやユニット苗工法のように、生育基盤、苗木の植付等を事前に行い、現場での作業を軽減するような工夫をしているものも見られた。

今後とも、様々な生育基盤で行われた各地の事例を継続的にモニタリングすることにより、採用樹種の特性にあわせた効率的な生育基盤整備技術を確立することが必要である。

4.3 新たなニーズへの対応

生態系の保全やリサイクル社会の構築が求められており、のり面樹林化にあたっても、そのようなニーズに対応したものとする必要がある。建設工事により発生する自然資源についても積極的に利用し、地球環境に負荷を及ぼさない施工が望まれる。

表土については、地域の自生種の種子や昆虫類、土壌微生物等を多く含んでおり、有機物に富んだ土壌である。これらをのり面緑化に利用することは、当該地域の自然に適合した植生を復元することができる。また、伐採される樹木についても、あらかじめ種子や苗木、根株等を採取し緑化材料として使用する他、枝、幹等は細かく裁断し、堆肥化することにより、緑化基盤材として使用することが考えられる。

5. おわりに

本研究により、のり面樹林化の現状、各工法の課題、今後の方向性に関しある程度整理することができた。現在、これらの課題、方向性をふまえ、当研究室においては、各種木本類の発芽試験、混播による生育状況の把握、各種工法の継続モニタリング等を行っているところである。

今後これらの結果をふまえ、のり面樹林化に関する詳細技術を確立し、各種工法の適用基準及び施工基準を検討する予定である。

また、のり面樹林化については、このような技術的なことだけではなく、目標設定の方法、種子の採取・保存方法、発注体制、地域との連携等、課題は多岐にわたっている。これらも視野に入れ、各関係機関とも連携して検討していきたいと考えている。

参考文献

1) 半田真理子、飯塚康雄、前田博、有村恒夫、藤崎健一郎：木本植物によるのり面緑化に関する調査研究報告書,土木研究所資料第3334号,1995.1

2) 山寺喜成、安保　昭、吉田　寛：自然環境を再生する緑の設計−斜面緑化の基礎とモデル設計−,(社)農業土木事業協会,1993.11

3) 建設省：樹木を用いたのり面緑化手法の検討,第51〜52回建設省技術研究会指定課題論文集,1997-1998.

＜文責＞
建設省土木研究所環境部緑化生態研究室長　藤原宣夫
同　緑化生態研究室主任研究員　森崎耕一

研究コラム

下水汚泥・剪定枝葉の堆肥化に関する研究

1. はじめに

地球環境の保全が求められるなか、資源の有効利用、リサイクルに関する気運が高まっており、下水処理場から発生する下水汚泥、緑地管理から発生する剪定枝葉等も、有用な材料としてリサイクルすることが求められています。

それらをリサイクルする方法として堆肥化による緑地への還元があげられます。しかしながら、下水汚泥では、C/N 比[注1)]が低いことから堆肥化する時間は短くてすみますが、臭気等の取り扱いに問題があること、また剪定枝葉では、取り扱いは良いが、C/N 比が高いことから堆肥化する時間が長くかかることが課題となっております。

緑化生態研究室では、これらの課題を解決することを目的として、下水汚泥と剪定枝葉を混合し堆肥化する技術について、平成 2 年度より検討を行っています。

平成 2~5 年度については、材料として適した剪定枝葉を抽出するという観点で、下水汚泥の規格・品質を同一とし、それに各種の剪定枝葉を混合した堆肥を製造し、緑化樹木への施用試験を行った。その結果、剪定枝葉材料としては、落葉樹、常緑樹とも施用効果が同様に確認され、適用材料として有効であることが判明しました。

平成 6~9 年度では、材料として適した下水汚泥を抽出するという観点で、剪定枝葉材料の規格・品質を同一とし、それに各種の下水汚泥を混合した堆肥を製造し、幼植物、緑化樹木への施用試験を行いました。

本稿では、平成 6 年度からの試験結果を中心に下水汚泥、剪定枝葉の堆肥化方法について紹介します。

2. 材料と製造方法

汚泥材料については、消化脱水汚泥、乾燥汚泥、コンポスト汚泥 (一次発酵品)、コンポスト汚泥 (完熟品) を用いました。また、剪定枝葉については、街路樹での使用頻度が高く、発生量の多い落葉樹の粉砕物を用いました。

各材料の混合時の容積比は、剪定枝葉単独での各種堆肥化事例の結果から、C/N 比 20 となるようにし、さらに含水率 60%になるように水分を調整しました。なお、消化脱水汚泥 (堆肥 A) は、もとの含水率が高いため、含水率の調整を優先としました。その結果、C/N 比 15 になりました。(表-1)。

混合した材料を発酵ボックス (容積 500ℓ) を用いて、発酵させました。

発酵の過程では、常に通気を行いながら温度管理を行い、発酵温度が下がった時点で、随時切り返しを行いました (写真-1)。また、含水率 60%に保たれるように、適宜、水分調整を行いました。

上記の結果により、堆肥ができあがるまでの一次発酵 (60 度以上の発熱を伴い、活発に分解が進む過程) は約 1ヶ月間、二次発酵 (40 度以下の熟成養生の過程) は 1~2ヶ月程度を要した。



写真-1 堆肥の切り返し状況

表-1 材料と混合割合

混合堆肥	材料			混合時の調整内容	容積比 汚泥：枝葉
	下水汚泥		剪定枝葉		
堆肥 A	消化脱水汚泥		落葉樹粉砕物	含水率 60% C/N 比 20	1： 3*
堆肥 B	乾燥汚泥				1： 9
堆肥 C	コンポスト汚泥	一次発酵品			1：14
堆肥 D		完熟品			1：20

* 堆肥 A については、C/N 比 15

注1) 炭素 (C) 含有量と窒素 (N) 含有量の比であり、腐熟の過程の指標である。C/N 比は約 10 で腐熟が完了したと見なされる。C/N 比が低いほど、腐熟が進み栄養分 (N) が植物に供給されやすいことを示す。

3. 汚泥枝葉堆肥の適応可能性

3.1 堆肥の性状

製造された4種類の堆肥は、すべて臭気の問題は解決されていました。また、各材料の分解状況としては、堆肥Aでは汚泥の塊が見られ、堆肥C、Dでは枝部が残っているなど、やや分解性に劣っていました。堆肥Bでは両方の材料とも分解状況が良好でした。

成分分析、幼植物(コマツナ)を用いた施用試験結果については、4種類の堆肥とも障害はなく、良好でした。

3.2 土壌改良材としての施用試験

4種類の堆肥による土壌改良材としての適応可能性を検証するため、緑化樹木(マテバシイ)を用いた施用試験を行いました。

試験区は、4種類の混合堆肥区及び対照区(堆肥を混入していない区)を設けました。

緑化樹木の生育状況については、図-1に示すとおりです。

堆肥D以外の混合堆肥区は、対照区に比べて良好な樹高生長が見られ、土壌改良材としての施用効果が確認できました。堆肥Dとして用いたコンポスト汚泥(完熟品)は、すでに発酵・完熟したものであるため、枝葉の発酵が、他と比べて促されなかったものと考えられます。よって、コンポスト汚泥(完熟品)については、剪定枝葉との混合による堆肥化に適さず、むしろ単独での使用の方が望ましいと考えられます。

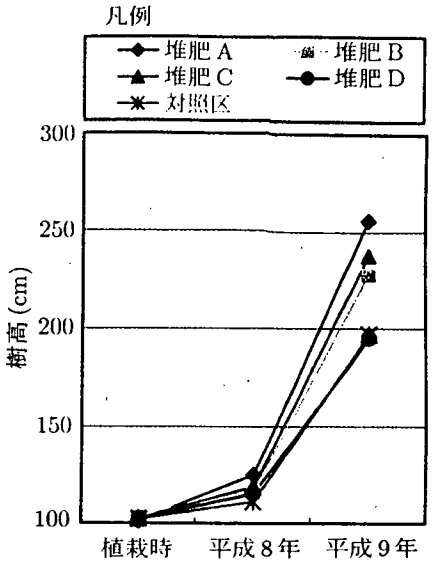


図-1 混合堆肥の施用による樹木の生育状況の経年変化

4. まとめ

以上のことから、汚泥枝葉堆肥の製造方法について次のような知見が得られました(表-2)。

・剪定枝葉材料としては、粉砕したものであれば、落葉樹、常緑樹を問わず堆肥化可能です。

・汚泥材料としては、消化脱水汚泥、乾燥汚泥、コンポスト汚泥(一次発酵品)が有効であり、分解状況から見ると、特に乾燥汚泥が良好でした。

・コンポスト汚泥(完熟品)については、剪定枝葉との混合による堆肥化には適しません。

・常に強制通気を行っている発酵槽方式の場合、発酵日数は一次発酵を約1ヶ月間、二次発酵を1~2ヶ月間が目安となります。

・温度管理(20度~80度)を行いながら、発酵温度が下がった時点で、随時切り返しを行います。

また、含水率60%に保たれるように、適宜、水分調整を行います。

これらの成果については、堆肥の製造方法マニュアルとして取りまとめるべく、現在作業中であります。

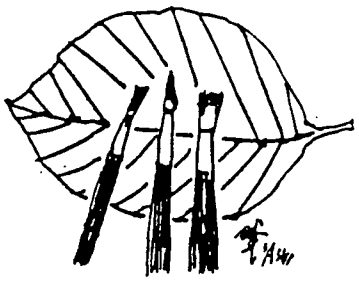
表-2 各種の剪定枝葉と下水汚泥の混合堆肥の評価

混合堆肥	材料			臭気等取扱い	分解状況		成分分析	幼植物試験	植栽木試験	総合
	下水汚泥		剪定枝葉		汚泥	枝葉				
堆肥A	消化脱水汚泥		落葉樹粉砕物	○	△	○	◎	○	◎	○
堆肥B	乾燥汚泥			○	○	○	◎	◎	◎	◎
堆肥C	コンポスト汚泥	一次発酵品		○	○	△	○	◎	◎	○
堆肥D		完熟品		○	○	△	○	○	△	△

◎:優 ○:良 △:劣

建設省土木研究所環境部緑化生態研究室 石曽根敦子
同 緑化生態研究室主任研究員 森崎 耕一

統計で見る日本の街路樹の移り変わり



藤原宣夫
（建設省土木研究所緑化生態研究室）

1．並木，街路樹，道路植栽の記録

街道や都市の街路に並木が植えられ始めたのは，はるか昔のことであるが，現代に生きる我々でも古文書や絵画に残る記録から街路樹の発祥や変遷を伺い知ることができる。

世界で最も古い街道並木は，紀元前10世紀にヒマラヤ山麓に造られた街道，グランド・トランクのものといわれており，また，中国では周代（前5世紀）の「周礼」に，当時の首都，洛陽に通じる街道に並木があったとの記載がある。

我が国でも，歴史書のみならず，多くの古文書や絵図，浮世絵などに，街路樹に関する記録が散見され，万葉集からは，藤原京や平城京に並木があったと想像されるほか，天平宝字3年（759）に，畿内七道諸国駅道の両側に果樹を植栽するように，朝廷が命を下したことが記録されている。このような記録は歴史を経るにつれ多く見られるようになり，街道の整備とともに，街路樹が発達していく様子が想像される。しかし，その記録内容は，樹種はわかっても，本数までの記載は希であり，統計的な資料とはいい難いものである。

樹種・本数を，何時，誰がどのような方法で調査したかという統計的な要素を備えた資料が現れるのは，欧米文化が移入され，近代的な街路樹の整備が開始されてからのことであり，大正11年（1922）に東京市での並木の調査資料が見られる。

昭和に入ると，いくつかの大都市での街路樹調査の記録があり，第二次大戦後，昭和29年（1954）には，主要都市を対象とした，初の全国規模での調査が実施されている。全国のすべての道路を対象とした植栽木調査は，建設省土木研究所による昭和62年（1987）の調査が最初であり，以降，5年間隔で同研究所により調査が行われ，現在までに3回を数えている（表―1）。

このような統計資料から，いまでは道路の植栽のほぼ全容が把握される。しかし，現代の多様な道路構造にあっては，植栽位置は中央分離帯や環境施設帯，路傍の法面へと拡大し，植栽形式も高木の列植ばかりでなく，中低木を交えた連続的なものや，自然風の配植のものなども少なくない。

道路植栽は，街路樹という言葉では表しきれない多様なものとなっている。

2．樹種の移り変わり

(1) 街道並木の時代

街道の並木は，旅人が木陰で休めるように，また，飢えたときには果実を採って食べられるよう

にと，天平宝字３年（759）の朝廷の命は，果樹を植えよとの内容になっている。しかし，その樹種については，記録が残されていない。万葉集や日本書紀からはタチバナが街路に植えられていたことが伺えるが，並木の形態を持ったものとしては，平安京のヤナギが最古の記録のようである。

戦国時代以降，徳川時代にかけて，諸大名により街道に並木が整備されるようになると，並木の樹種の記録も多く残されている。用いられた樹種は主にマツ，スギであり，他にはケヤキ，ヤナギ，カシワ，エノキ，ウルシなどが見られる。これらの一部は，用材などの生産的な目的を兼ねて選ばれたようである。

(2) 近代的街路樹の導入から本格的整備

我が国の最初の近代的街路樹は，開港後の横浜のものといわれ，慶応３年（1867）には馬車道にマツ，ヤナギが列植された。

東京では，明治６年（1873）のウィーン万国博覧会で渡欧した農学者，津田仙が，ニセアカシアとシンジュを持ち帰り，明治８年と11年に植栽した記録があり，また明治７年（1876）に完成した銀座煉瓦街にはマツやサクラが植えられていた。しかし，これらの樹種は次第に衰退し，ヤナギへと置き換わり，明治40年（1909）頃では，東京の街路樹はほとんどヤナギであったという。

東京市では，あまり芳しくない街路樹の改善のため，街路樹に適した樹種の研究を行い，イチョウ，スズカケ，ユリノキ，アオギリ，トチノキ，トウカエデ，エンジュ，ミズキ，トネリコ，アカメガシワの10種を選定した。これらは，明治43年（1910）から大正８年（1919）にかけ植栽され，我が国での本格的な街路樹の整備の始まりといわれている。整備中，ミズキ，アカメガシワを廃止し，イヌエンジュ，シダレヤナギ，ソメイヨシノ，ミツデカエデなどを追加しているが，大正11年（1922）の集計では，樹種にして10数種，総本数24,848本となっている（表―２）。

これらの樹種は，以降の街路樹整備において多用されたようであり，昭和11，14年（1936，39）の５大都市，６大都市の調査では，ポプラ，ニセアカシアが新たに見られるが，総樹種数は20種ほどであり，樹種の増加はさほどではない。

(3) 第二次世界大戦後の統計

昭和29年（1954）の全国111都市の調査では樹

表―１　主な街路樹統計資料

調査年	対象地	対象樹木	実施主体	統計資料記載文献
1922(大正11)	東京市	並木	東京市	1
1936(昭和11)	5大都市 (東京・大阪・京都・名古屋・横浜)	街路樹	―	2
1939(昭和14)	6大都市 (東京・大阪・京都・名古屋・横浜・神戸)	街路樹	―	3
1954(昭和29)	全国111都市	街路樹	建設省施設課	4
1967(昭和42)	全国160都市	街路樹	本間啓、藤田昇、 大山陽生、野田坂伸也	4
1982(昭和57)	全国229都市	道路植栽 (高木)	建設省土木研究所	5
1987(昭和62)	国内全道路 (建設省、都道府県、市町村、地方道路公社、道路関係公団が管理する全道路)	道路植栽 (高木・中低木)	建設省土木研究所	6
1992(平成4)	同上	同上	同上	7
1997(平成9)	同上	同上	同上	8

注：統計資料記載文献は文末の参考文献番号で表示

種数71種を数える。以降，平成４年（1992）までの調査では調査規模が大きくなったこともあるが，使用樹種数はいずれも増加し，特に昭和62～平成４年（1987～1992）では，199種から500種へと飛躍的に増加しており，この間の道路植栽の多様化が著しかったことが伺える。しかし，多用される樹種は必ずしも多くはなく，上位10種の総本数に占める割合は半数に近い。また，最新の平成９年（1997）調査では，総樹種数は488種と横這い状態であり，造園樹木として使われる樹木が，道路にもほぼ出揃ったと考えてよいのかも知れない。

表―２に示した上位10種の変遷からは，イチョウ，プラタナス類，ケヤキ，トウカエデ，サクラ類，などが安定的に上位に位置し植栽本数が増え続けていることが分かる。これらの種のいくつかは，明治時代に先達が選択したものであり，その正しさが伺える。

また，シダレヤナギ，ニセアカシアなどが姿を消しており，維持管理に問題，あるいは手間がかかる樹種がさけられるようになっているものと思われる。かわってクスノキ，ハナミズキの台頭が著しい。これは，日陰提供を主眼とし，古来からのマツを除けば落葉樹を中心としたものであった樹種選択が多様化し，常緑樹や花木の使用が増加していることを象徴するものであろう。

３．本数の移り変わり

(1) 東京での近代的街路樹の導入

先に述べたように，街路樹に関する統計資料が見られるのは，近代的な街路樹の整備が開始される明治以降である。しかし，全国的な調査が行われ始める第二次世界大戦後までの統計資料は，一

表―２　上位10種の変遷（高木）

調査年	順位と本数										上位10種合計	総樹種数	上位10種の割合
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		総本数	
1922(大正11)	スズカケノキ	イテフ	アヲギリ	サクラ	ヤナギ	タウカエデ	トネリコ	トチ	エンジュ	イヌエンジュ	―	10数種	―
	5,826	5,461	2,914	2,358	1,866	1,861	1,311	966	294	220	23,077	24,848	92.9
1936(昭和11)	スズカケノキ	イテフ	サクラ	ニセアカシア	アオギリ	ヤナギ	ポプラ	タウカエデ	クロマツ	ユリノキ	―	19	―
	58,890	28,933	13,976	12,647	5,528	4,874	3,528	3,349	2,404	1,306	135,435	139,448	97.1
1939(昭和14)	スズカケノキ	イチョウ	サクラ	ニセアカシア	アオギリ	ヤナギ	マツ	ポプラ	トウカエデ	ユリノキ	―	22	―
	83,800	37,417	17,300	12,210	9,289	7,328	5,226	4,046	3,722	1,653	181,991	192,174	94.7
1954(昭和29)	プラタナス	イチョウ	シダレヤナギ	ソメイヨシノ	ニセアカシア	アメリカヤマナラシ	アオギリ	クロマツ	シンジュ	エンジュ	―	71	―
	88,930	59,854	21,745	21,724	21,354	11,685	11,440	7,412	4,609	4,459	253,212	284,620	89.0
1967(昭和42)	プラタナス	イチョウ	シダレヤナギ	ニセアカシヤ	カロリナポプラ	ソメイヨシノ	アオギリ	トウカエデ	ケヤキ	ポプラ(ニグラ)	―	105	―
	107,839	105,92	54,721	38,953	25,207	22,912	20,346	16,904	12,470	12,150	405,279	515,275	78.7
1982(昭和57)	イチョウ	プラタナス類	トウカエデ	シダレヤナギ	ケヤキ	ニセアカシヤ	ソメイヨシノ	カイズカイブ	クスノキ	カロリナポプラ	―	158	―
	301,938	199,83	142,03	90,620	78,966	73,012	65,812	64,964	61,708	44,911	1,078,887	2,778,650	38.8
1987(昭和62)	イチョウ	プラタナス類	トウカエデ	ケヤキ	サクラ類	カシ類	クスノキ	ソメイヨシノ	ナナカマド	シダレヤナギ	―	199	―
	485,577	258,46	238,14	191,393	133,471	29,018	127,836	126,724	110,124	109,064	1,700,748	3,853,272	44.1
1992(平成4)	イチョウ	サクラ類	ケヤキ	トウカエデ	プラタナス類	クスノキ	ナナカマド	日本産カエデ	モミジバフウ	マテバシイ	―	500	―
	552,407	345,56	305,00	281,427	251,399	193,060	162,067	139,881	119,852	112,422	2,350,663	4,784,702	49.1
1997(平成9)	イチョウ	サクラ類	ケヤキ	トウカエデ	クスノキ	プラタナス類	ハナミズキ	ナナカマド	シラカシ	日本産カエデ類	―	488	―
	607,326	440,67	430,33	327,341	257,993	232,934	214,032	194,049	182,257	145,220	3,032,168	6,389,423	47.5

注1：各調査の対象等については表-1参照。
注2：種名は原典のまま記載した。
注3：総樹種数は1939調査までは概数。1982調査以降は類縁種をまとめているので実数はより多くなる。

部の都市に限られており断片的である。その中で東京については，都建設局により，古くからの資料が整理されている。東京は我が国の首都として，最も先端的な都市整備を行ってきたことは知られるところであり，街路樹についても東京の例を見ることにより，我が国の街路樹創始期からの推移を伺い知ることができよう。

最も古い数量の記録は，明治38年（1905）にあり，総本数6,448本となっている。上述の明治末から大正にかけての本格的な街路樹整備により，大正12年（1922）には，約4倍の25,153本に達するが，関東大震災により激減する。その後の復興により，昭和19年（1934）には105,300本を数えるに至るが，戦災により再び街路樹は失われ，昭和29年（1954）の時点では，戦災前のレベルに達するに至っていない（図—1）。昭和19年の数量を追い越すのは昭和38年（1963）のことである。

(2) 全国での数量の推移

昭和29年（1954）の調査を最初に全国レベルでの調査資料が見られるが，調査対象都市が次第に拡大されているため，比較は必ずしも容易ではない。そのため，各調査の実施者は，以前の調査対象と同一の範囲で集計し直し，比較することを行っている。図—2はそれらを整理したものである。

① 昭和29～42年（1954～1967）

全国111都市の総本数は，この13年間に約1万4千本増加し，426,234本となった。約1.5倍の増加となるが，数量自体は後年の増加に比べれば大きくはない。昭和42年の150都市の集計である437，294本との差は1万本足らずであり，地方都市での街路樹の整備量は小さかったであろうことが推量される。

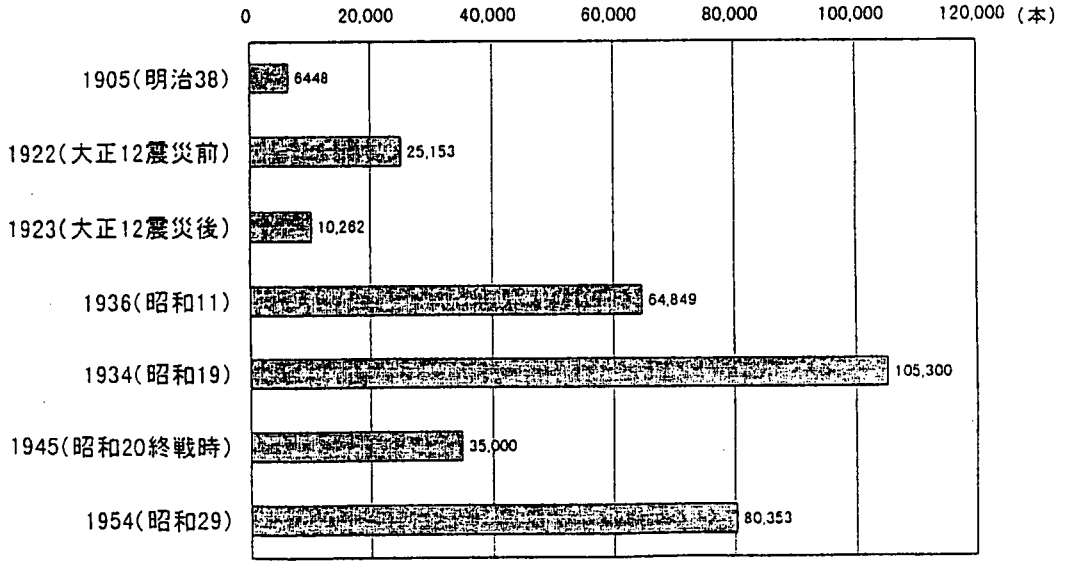
② 昭和42～62年（1967～1987）

全国150都市の総本数は，この20年間に約134万本増加し，1,780,002本，4倍増となった。昭和62年の全国集計である3,853,272本との差は207万本と大きく，主要都市のみならず，全国の都市において街路樹の整備が急速に進められたことが伺える。

③ 昭和62～平成9年（1987～1997）

この10年間に，約253万本増加し，6,389,423本となった。約1.7倍の伸び率である。なお，この集計結果は，高木（樹高3m以上）のみを対象としたものであり，また，道路関係公団の所管する高速道路での植栽は含まれない。

図—1 東京23区（旧市）街路樹本数



このように，大地震や戦争での一時的な減少を除けば，街路樹数は着実に増加してきたといえる。その背景には，街路の環境向上に対する市民要望があることはいうまでもないが，建設省をはじめとする行政当局の積極的な緑化政策の展開があり「都市緑化のための植樹等五箇年計画」の推進や「道路整備五箇年計画」での景観や生活環境へ対する取り組みが評価される。

4．今後の展望

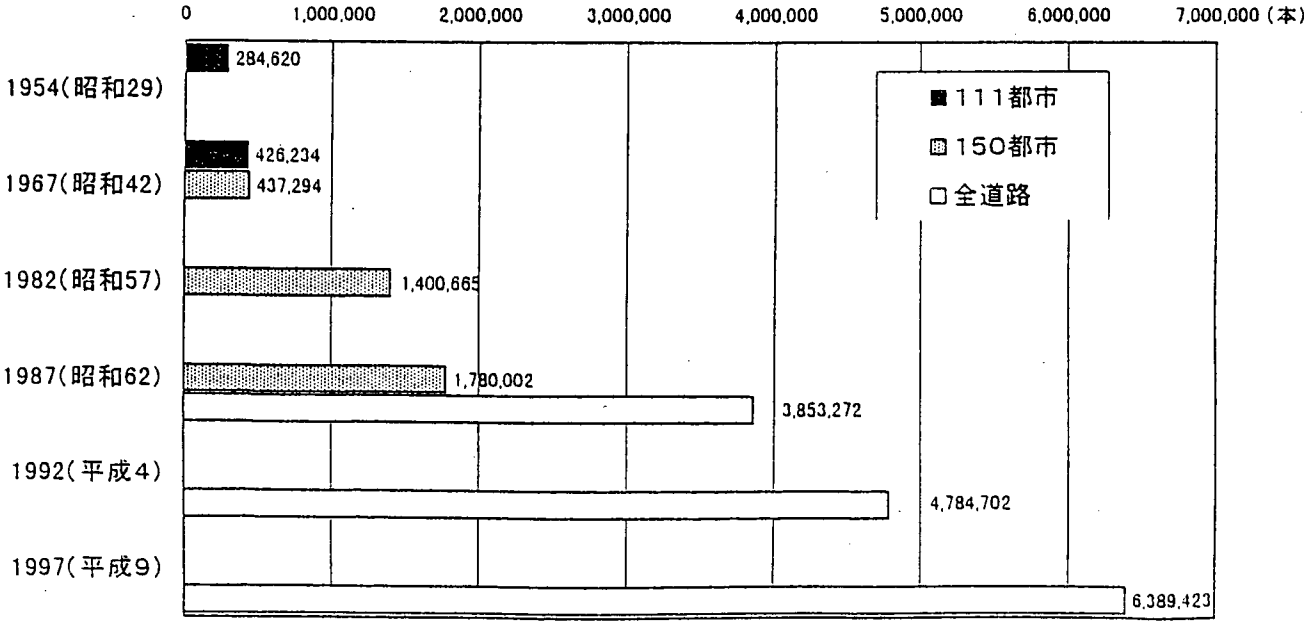
今後の動向を探るうえでは，いったいどのくらいの道路が街路樹を有しているのかを知る必要があるが，総道路延長に対し，緑化されている道路の延長の割合を「道路緑化率」とし，建設省道路局が，全国道路情勢調査（道路交通センサス）において算出した資料がある。

図―3は，昭和52年（1977）以降の算出結果を整理したものである。昭和52年以降道路緑化率は着実な伸びを示しているが，平成6年（1994）時点においても，その数値はわずか7.5％にすぎない。総道路延長には街路樹の必要のない山岳部の道路や，細街路まで含まれているため，そのまま評価はできないが，それにしても，まだまだ植栽を受け入れる道路が多く存在することが想定される。

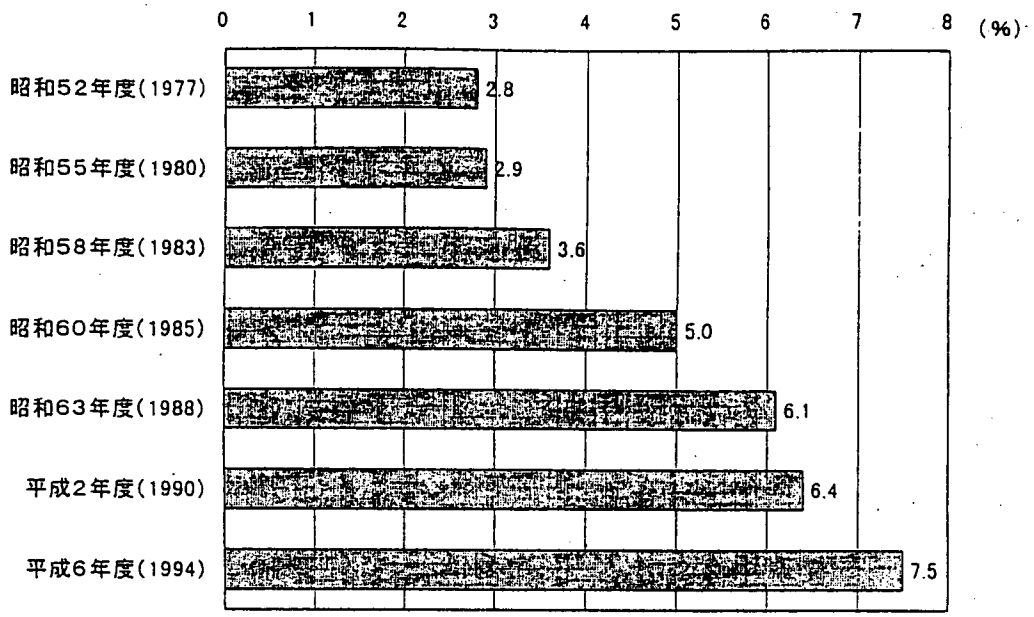
このような状況に対し，建設省では平成6年に策定した「緑の政策大綱」において，21世紀初頭までに幹線道路の道路緑化率を約30％とすることを目標として掲げ，さらにその実行計画となる「グリーンプラン 2000」（平成8年建設省決定）においては，2000年までに13％（平成7年度末約10％）とすることを公表している。整備事業の進行は，社会・経済情勢により左右されるが，大いに期待しうるものである。

一方，樹種については，道路植栽としての適性により，選択あるいは淘汰がなされると思われる。その場合の主要な適性は，街路樹の量的な増加とともに，顕在化しつつある諸問題への対処のしやすさであり，例えば，地上部の巨大生長による隣接宅地への侵犯，電線や交通標識との競合，地下部の生長による歩道舗装の破壊，病害や強風による倒木事故，そして管理費の肥大化といった問題に対し，対処しやすい樹種が選択されることになろう。

図―2　全国（主要都市）の高木道路植栽本数



図―3　道路緑化率の推移



さて，ここで述べた展望が，的を得たものであるかどうかは，今後の統計的調査において確認されることとなる。しかしながら，統計調査は，単に結果を確認・記録するものではないわけであり，顕在化する街路樹の問題を考慮するならば，統計調査そのものが，問題解決の資料となるべく，その調査内容を充実させていくことが望まれる。

<参考文献>

＊統計資料記載文献

1）水谷駿一：並木，公園緑地3-7，pp.50～55，1939

2）横山信二：街路樹に就いて，公園緑地1-1，pp.69～73，1936

3）―：資料　本邦六大都市街路樹調，公園緑地3-8，pp.65～66，1939

4）本間啓：わが国の都市と街路樹―昭和42年度実態調査の結果を主体として―，　公園緑地29-1，pp.18～26，1968

5）井上忠桂，二上克次，芹沢誠，藤原宣夫：わが国の街路樹，土木研究所資料2318，1986

6）前田博，有村恒夫，飯塚康雄：わが国の街路樹Ⅱ，土木研究所資料2963，1988

7）半田真理子，飯塚康雄，藤崎健一郎：わが国の街路樹Ⅲ，土木研究所資料3239，1994

8）建設省土木研究所緑化生態研究室資料：未公表（土木研究所資料として近刊予定）

＊その他の文献

1）本間啓：街路樹の文化史，「世界と日本の街路樹」，pp.33～40，日本交通公社，1982

2）佐藤昌：「道路と造形―並木と植栽―」，都市計画研究所，1969

3）内山正雄：日本の並木今昔，「世界と日本の街路樹」，pp.145～151，日本交通公社，1982

4）井下清：街の柳，公園緑地3-7，pp.32～33，1939

5）東京都建設局：第二次建設局街路樹調査委員会報告書，1988

6）井上忠桂，藤原宣夫：わが国の街路樹について（その1），公園緑地45-4，1984

7）井上忠桂，藤原宣夫：わが国の街路樹について（その2），公園緑地45-5，1984

8）井上忠桂，藤原宣夫：わが国の街路樹について（その3），公園緑地45-6，1985

街路樹の腐朽診断
ー放射線を利用した診断方法ー

飯塚康雄[1)] 石曽根敦子 森崎耕一 藤原宣夫

1 はじめに

街路樹は，植物という生命体からなることにより「親しみ」，「潤い」，「生命感」，「やすらぎ」という特有の機能を道路通行者や周辺住民等に対して発揮することができる。このことが，道路整備における街路樹植栽が積極的に行われている理由の一つとなっている。しかし，生物ゆえに病菌に侵され，倒れ伏すこともある。

街路樹の植栽は，1958年の道路構造令の改正にともなって植樹帯設置が新たに盛り込まれたことや高度成長時代の公害問題等により本格化した。その結果，わが国における街路樹は，約478万本（平成4年3月31日現在，建設省，都道府県，市町村，地方道路公社管理分）となっており，樹種数では約500種となった。

さらに，緑の政策大綱（平成7年6月，建設省都市局）において，「21世紀初頭を目途とし道路，河川，公園等の緑の公的空間量を3倍，所管の公共施設等の高木本数を3倍にすることを基本目標とする。」ことが盛り込まれるなど，現在も積極的な道路緑化が推進されている。

このようにして本格的に植栽されてきた街路樹は，現在，成長して大木となり，街路樹としての機能を十分に発揮している。しかし，なかには道路という狭小な物理的環境等によって通常よりも早く活力低下した樹木が発生している。活力が低下した樹木は，木材腐朽菌が根系や樹幹の傷口から侵入しやすくなり，侵入した場合には，徐々に菌が拡がり材細胞を破壊するため，最終的に根系や樹幹が腐朽し，スポンジ状等となって樹木本体を支持する強度を失うこととなる。そのため，台風等の強風時には倒れ易くなり，場合によっては倒伏が人身事故に及ぶ。

このような状況の中で，街路樹の維持管理においては，早期に腐朽を調査し，倒木の危険度を診断しておくことが人命を守るという面から重要項目となっている。

2 腐朽診断の現況と問題点

現在行われている腐朽診断方法としては，外観調査（樹体の揺れ，樹幹の凹凸・亀裂，傷・空洞，菌の子実体等），生長錘（樹幹内部の材をサンプリング），電気抵抗値（パルス電流を用いた抵抗値を測定），振動波（ハンマーでたたいた振動波の伝達速度を測定），貫入抵抗値（細長い錘を押し込んでいく際の抵抗値を測定）等による方法がある。しかし，これらの方法では，樹木に傷を付けてしまうことや腐朽判定に専門的な知識が必要となること，調査が簡易でないこと等の問題点がある。

本稿においては，上記の問題点を解決するために検討を行っている，放射線利用による腐朽診断の可能性がある程度確認できたので，調査結果について述べるものである。

3 放射線を利用した診断方法

地球上には，宇宙から地球に降り注いでいる宇宙線や地球の岩石，空気中に含まれている自然の放射線，人工的に発生させる放射線があり，X線，α線，β線，γ線等の種類がある。

一般に放射線は物体を透過する性質があり，なかでもγ線は透過力が大きい。また，透過する際には物体の密度等により物体に吸収される放射線量も異なる。

この放射線の性質を利用して，樹木に放射線を透過した際の透過量を検出し，樹木内部の状況を把握（健全木と腐朽木の透過量を比較）しようとするものである。

本稿の腐朽診断に利用する放射線は，極微弱線源（^{137}Cs，γ線源，3.7MBq以下）とし，人体に影響を及ぼさない法規制外のものである。これであれば，監督官庁（科学技術庁）への使用の許可・届出は不要であり，取扱いにおいて特別な資格を有せず誰でも使用することが可能である（ただし，放射線であることに変わりはないので，放射線源の紛失等がないよう最低限の管理は必要である）。

放射線の照射・測定は，放射線源と測定センサにより樹皮の上から実行可能であり，腐朽診断において問題となっている「樹体に傷を付ける」ことに関しては解決できる。

3.1 放射線検査装置による測定例

(1) 測定装置

配管内付着物の検査装置として使用されている管内付着物検査装置（株式会社CXR製・JC－RIXⅡ）を用いて樹木の健全部，腐朽部の放射線透過量を測定した。放射線透過量は，樹幹断面の水平方向に連続移動走査することによって走査位置0.1mm毎に1点の測定が可能である。測定したデータは波形としてパソコン上で表示可能となっている。

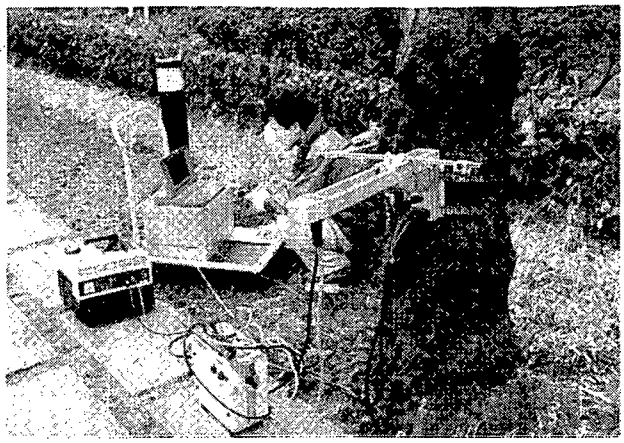


写真１　放射線検査装置

(2) 測定方法

測定は，生立木について健全部と腐朽部での放射線透過量の違いを把握するため，東京都千代田区内の道路に植栽されているエンジュ（健全木：樹高5.5m・枝張り3.5m・目通り周51cm，腐朽木：樹高6.5m・枝張り3m・目通り周48cm）を対象とした。

外観調査において，エンジュは健全木，腐朽木とも根元，樹幹，枝においては異常は見られず，生育が衰退している様子もなく活力度は良好であった。

なお，供試木の腐朽の有無についての検証は，上記の街路樹が生立木で腐朽状況が伐採等により確認できないため，腐朽状況を樹幹貫入抵抗調査（レジストグラフ：独IML社製）により推定した。

(3) 測定結果

図1にエンジュの放射線透過量波形（健全木と腐朽木）と腐朽木の樹幹貫入抵抗値出力シートとその結果から推定した腐朽断面図を併せて示す。

樹幹貫入抵抗測定による腐朽調査結果においては，幹の中央付近で抵抗値が小さくなっていた。放射線透過量の波形について，健全木と腐朽木を比較すると，腐朽木の貫入抵抗値が小さい箇所で腐朽木の値が健全木よりも大きくなっていることがわかる。

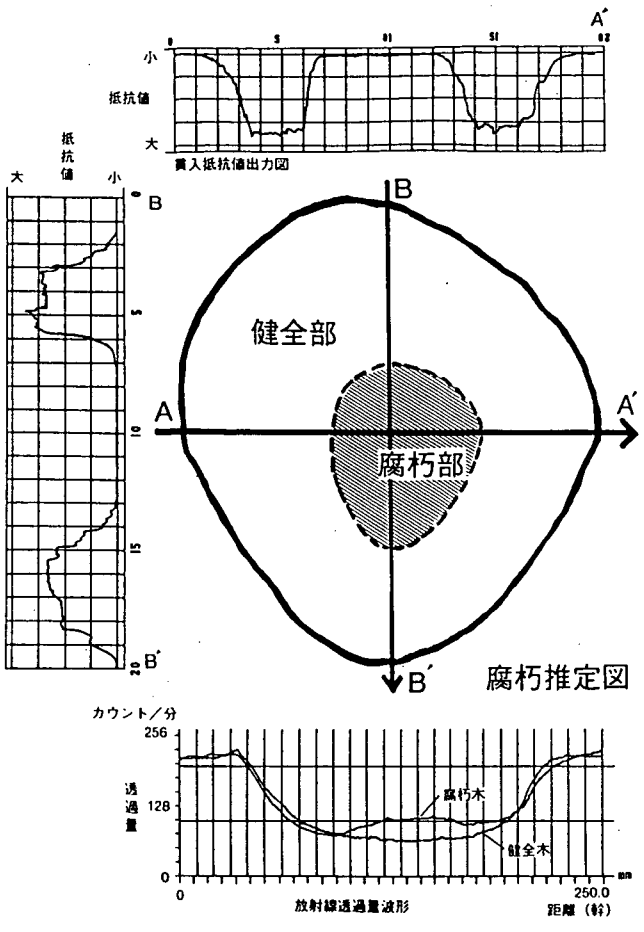


図１　放射線透過量波形と推定腐朽断面図

このことから，エンジュにおいては，放射線透過量が健全部と腐朽部で差が現れると考えることができ，腐朽部分の面的な把握が可能であるといえる。

3.2　放射線簡易検査装置による測定例

3.1で使用した装置により腐朽の把握は可能であると考えられたが，装置の設置や測定に20分程度要することや全装置重量が重い（20kg程度）等の理由から，多数ある調査対象木の全てについて測定することは不可能である。

そのため，詳細な腐朽測定（面的）を行う前に，簡易に腐朽の有無程度を判定する前段階の調査が必要となるため，線的に透過量を測定できる装置を試作し測定を行った。

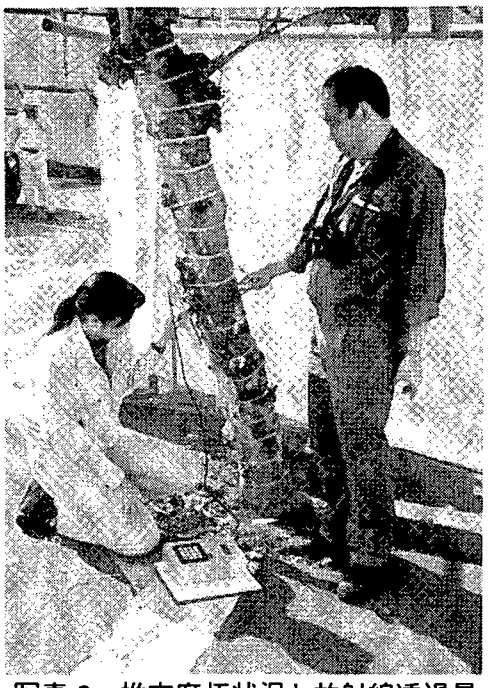


写真２　推定腐朽状況と放射線透過量

(1) 測定装置

測定装置は，測定を簡易化するために一方向のみ線的に測定（5分程度）でき，片手でも持てる大きさ・重さ（1kg以下）のものである。

(2) 測定方法

測定は，東京都中央区内の道路に植栽されているエンジュ（11本）を対象とした。

ここでは，樹木の腐朽状況の違いにより放射線透過量がどのように現れるのかを把握するため，あらかじめ腐朽状況を推定している（方法は3.1と同様）。

(3) 測定結果

図2に推定腐朽状況と放射線透過量の測定結果を示す。図中の曲線は，健全木の放射線透過量曲線であり，図中の空洞は，線的に把握した空洞である。健全木の放射線透過量曲線と比較すると，30％以上の空洞が見られる場合に，放射線透過量に明確な違いが認められた。しかし，30％未満の場合には健全木との差は見られなかった。

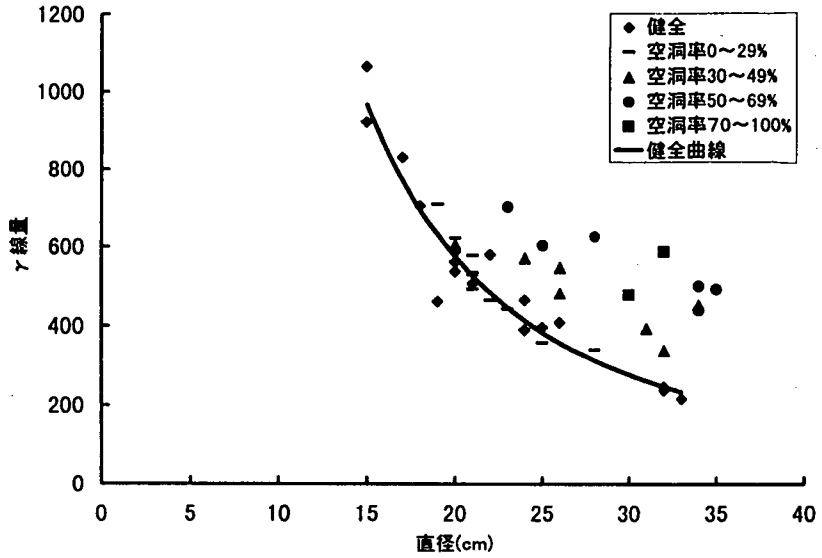


図２　推定腐朽状況と放射線透過量

このことから，エンジュにおいては空洞がある程度大きくなった（30％以上）ものについて腐朽の把握が可能であると考えられる。

4 おわりに

放射線による樹木腐朽測定を行った結果，エンジュについては腐朽診断が可能であることがわかった。しかし，今回の対象木の腐朽状況は伐採による定量的な確認でないため，伐採断面との比較検証が必要である。また，樹種による違いや時期による測定結果の違いも考えられ，さらなる調査によるデータの蓄積が必要である。

このような問題を解決した上で，街路樹腐朽診断に適した器機を開発していくこととしたい。

最後に，本調査にあたり調査木を提供していただいた東京都第一建設事務所，測定機器に関して御協力いただいた（株）CXR等に深く感謝の意を表する。

（建設省土木研究所）
（1） 樹木医）

＜参考文献＞

飯塚康雄・秋山千秋・田中隆・神庭正則・永石憲道（1997）：街路樹腐朽の測定方法に関する検討，第28回日本緑化工学会研究発表会研究発表要旨集



知ってるほうが気持ちいい
街角のサイエンス ③

街路樹に憩う

木もれ日のなかを歩くと、
心がなごむ。
緑のトンネルをくぐると、
気持ちがやさしくなる。
渇いた都会に秋の訪れを知らせてくれる木々たち。
きょうも整然と並ぶ街路樹について
根本から調べてみた。





水蒸気のバリアがまちを守る

十月も末に近づくと、大阪の御堂筋は四列のイチョウ並木で黄色く染まる。順次植え変えられているのだが、大抵のものは樹齢七十年ほど。植樹が始まったのは昭和四年のことである。淀屋橋南詰から難波までの間に約八百五十本の並木が完成したのは十二年。

大阪のシンボルとして全国に知られるイチョウ並木。管理者である大阪市建設局では、その維持管理に年間六百三十万円を費やしている。一本当たり約七千四百円。夏と冬の剪定のほか、施肥、清掃、灌水、そして害虫駆除。交通量が多い御堂筋だけに、ほとんどの作業は夜間になる。しかし、建設省土木研究所と社団法人日本造園建設業協会がことしつくった『街路樹剪定の手引き』によると、常緑樹のほうが落葉樹に比べて剪定費は高い。それに、交通量の多少によって費用は五割ほども違ってくるという。

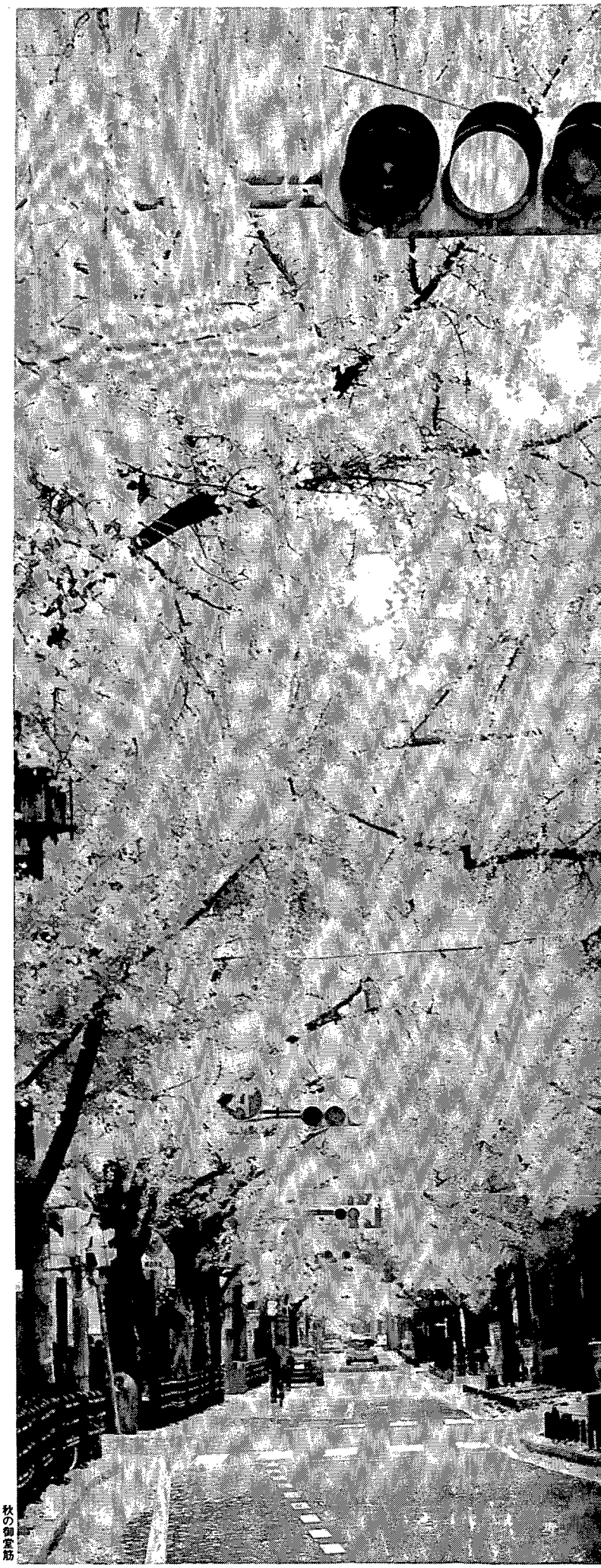
春の日に萌(は)れる柳を取り持ちて
見れば都の大路思ほゆ
大伴家持

『万葉集』巻十九にあるこの歌は、越中に赴任した家持が、芽ぶく柳を見て奈良の大路の柳の街路樹をしのんだもの。それほどに街路樹の歴史は古い。あるときは旅人を太陽の陽射しや風から守り、あるときは果実で喉や腹をうるおし、また、雪国では道幅の指示標となった。

例えば、樹木が密集している場合、その防風エリアの半径は樹高の約十一倍にも達するという。防災効果も大きく、火災の強い放射熱を浴びると、樹木は一時的に多量の水蒸気を放出し、その幕で自分自身をおおってしまう。昭和五十一年十月の大火で焼失した酒田市では、明治時代に植えられたケヤキ並木が残ったし、阪神淡路大震災でも街路樹による焼け止まりが見られた。イチョウ、カラマツ、ミズキ、ナナカマド、ミズナラなどが、防火性に優れているといわれる。ほかに、雑然とした家並や毒々しい看板を隠すといった都市景観の美化にも一役かっており、また、大気汚染物質を吸い込んで空気を浄化する働きもしている。

育たないことが選ばれる条件

御堂筋は国道二十五号の一部。国道であるにもかかわらず街路樹を管理するのは大阪市である。「通常的な並木の維持管理は国



秋の御堂筋

の依頼により大阪市が行う」との覚書が国との間で交わされたのは、この区間が国道に指定された年の翌昭和三十四年だった。

「街路樹は道路の付属物として位置づけられています。そのため国から委任を受けて自治体が管理する国道の場合は、街路樹も一緒に管理してもらっています」

茨城県つくば市にある建設省土木研究所で、環境部緑化生態研究室の研究員、木部直美さんがこう教えてくださった。同研究所では昭和六十二年から五年ごとに街路樹について全国調査を行っている。三回目にあたる平成九年の調査結果によると、全国の街路樹は高木だけで約六百二十一万本で、前回の約三割増。樹種は約五百種で、イチョウ、サクラ類、ケヤキがトップ・スリーに輝いている。

「昭和六十二年の調査ではプラタナスが三位、シダレヤナギが九位でしたが、いまでは植えられること自体が少なくなっています。病害虫がつきやすい、倒れやすいといった理由のほか、成長が速いということも嫌われる理由ですね」

公園などの樹木と違い、街路樹は車道や歩道の見通しを保つために最下枝の高さが規制されている。※〈①〉　それ以外にも、空には電線や電話線、地下には水道管やガス管が縦横に走り、剪定や根の管理が欠かせない。そんな理由から成長力の旺盛な木は嫌がられる。シダレヤナギやプラタナスといえば戦後は復興のシンボルだったのだが、これらに代わってこのところ人気上昇中なのがハナミズキ。春には花が、秋には紅葉が楽しめ、なにより樹形が小さくまとまるのが好まれる理由。

とはいえ、そんな実用性重視の選択ばかりでなく、自治体のなかにはそれぞれ特色のある街路樹を植えているところも多い。例えば栃木県では県木であるトチノキが多いし、鹿児島県では風土を象徴するワシントンヤシを植えている。また、景観を重視した樹種の選択も少なくなく、城下町など美しい街並を街路樹で隠したくないときは、枝葉の少ないイヌマキが選ばれている。ではなぜ成長の速いイチョウが、いまだに人気が高いのだろう？

「樹形が美しく、黄葉が楽しめるということでしょうね」

そんな木部さんの言葉に、ちょっと救われた思いがした。

日本ならではの盆栽仕立て

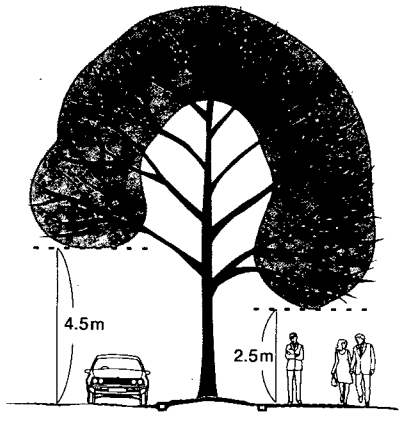
パリのシャンゼリゼ通り、ミュンヘンのレオポルド街、デュッセルドルフのケーニヒ街など、



ワシントンヤシは鹿児島市ならではの樹種



※〈①〉





大阪市役所へのアプローチはケヤキ



ヨーロッパには一度は歩いてみたい並木道が少なくない。そのいくつかは城壁のあとに植えられたブールバール、並木街路である。日本でも仙台市定禅寺通りのケヤキ並木や東京都神宮外苑絵画館通りのイチョウ並木、宮崎市県庁通りのクスノキ並木といった名所がある。ただ、日本の樹形は欧米とはちょっと違う。欧米の都市に比べて歩道幅を十分に確保できない日本では、日本庭園で培った伝統的な剪定技術が活かされている。つまり、庭木や盆栽を仕立てるようにして、街路樹の一本一本をコンパクトな姿にまとめている。さて、剪定の方法には、樹木本来の姿を保ちながら形を整える「自然樹形」と、幹や枝などに人為を加えることで自然の状態とは異なった姿に仕上げる「人工樹形」がある。※《2》　道路の環境に合わせて選ばれるようだが、大阪市では「切り過ぎる」といった声に応えてだろうか、自然樹形に仕立てる『街路樹のびのび作戦』を展開中である。

「街路樹に関しては、無剪定ということはありえません。街路樹の場合、同じ種類の木を並べて植えるため病気が伝染しやすいんです。そのため、風や陽光の通りをよくする必要があります。また、剪定は台風による風倒の予防にもなります」

これは同じく建設省緑化生態研究室の技官、石曽根敦子さんのお話。台風といえば、強風で倒れる街路樹がここ数年増えている。何か打つ手はないのだろうか？

「幹の内部が腐って空洞になったため倒れてしまうことが多いのですが、いままでは幹に穴を開けて内部を診断していました。しかし、この方法では樹木を傷めてしまうので、当研究室では放射線の透過量で測定する非破壊検査方法を開発しました」

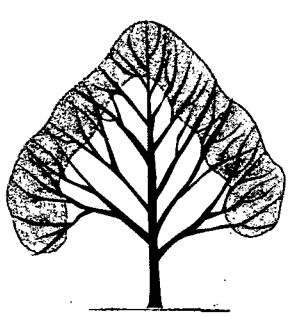
街路樹の維持管理についてさまざまな技術を考案開発している同研究室だが、現在、石曽根さんが取り組んでいる研究もなかなかユニーク。実証はまだだが、昔から樹木には枝の広がりと根の広がりはほぼ同じという定説がある。

「それなら根が伸びないようにしておけば枝も伸びないのではと考え、根を切ってみたり、あらかじめ根をブロックなどで囲ってから植樹するといった研究も続けています」

この研究はまだ始まったばかりで、効果のほどは確認できていないが、今後が楽しみな実験ではある。

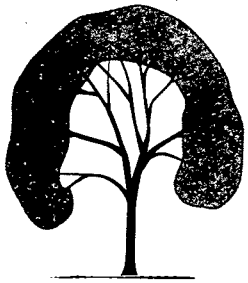
住民との合意が前提

このところ冬になるとよく見かけるのが街路樹のライトアップ。さて、樹木への影響はないのだろうか？　御堂筋の一部区間で恒


イチョウの自然樹形


イチョウの人工樹形

※《2》


プラタナスの自然樹形


プラタナスの人工樹形

自然樹形：生育段階や環境条件によって樹形は変化する。

人工樹形：幹、枝、葉などに手を加えることにより、自然樹形とは違う形に仕立てる。


さわやかなケーニヒ街の道（ドイツ、デュッセルドルフ）



大阪市中央区のアメリカ村


大阪市鶴見区花博記念公園近くのクスノキの街路樹

例化しているイルミネーションは、昨年からはすべての木に飾るのではなく、一本おきになった。

「東京都が表参道のケヤキ並木のライトアップについて調査したところ、生育への影響はないことがわかりました」

大阪市建設局の話によると、省エネも重要な課題だという。

ところで、秋になると樹木の葉はどうして紅葉するのだろうか？　しかも赤くなるものと、黄色になるものがある。葉がもともと緑色なのは、葉緑体のなかのクロロフィル色素によるものだが、秋になると、そのクロロフィルが分解移動し、もともと葉に含まれていた黄色の色素であるカロチノイドが葉の表面に現れてくる。それが黄葉。一方、クロロフィルの分解とともに赤色色素のアントシアンがつくられると葉は赤くなる。

そんな自然の営みに触れることができるのも街路樹の魅力の一つ。身近な自然の仲間だけに、街路樹に対する人々の思いは熱く、例えば鹿児島市では、自主的に街路樹の世話をするボランティアの団体が二百以上もあり、市のほうでも電柱の高さを標準より高くするよう電力会社に要請したり、水道管も根が地下二メートルまで張ることを想定して埋設したりと、街路樹をやさしく守り育てている。

ところが、一方で街路樹はほとんどの都市で嫌われる存在になっているという。「通行の邪魔」「看板がかくれる」「家が日陰になる」「落ち葉が雨樋や側溝に詰まる」「害虫や害虫駆除の薬品散布がイヤ」など、自治体の管理担当者に寄せられる苦情はさまざま。

そんな市民の声はやがて樹種の選定に反映されていく。例えば、白い小さな花を房状につけて夏の訪れを告げるニセアカシアは、その花が落ちると醜く、掃除に手間がかかるといった理由で、いまでは街路樹として植えられることが少なくなった。このままだと、手間がかからず大きくならない木ばかりになってしまはないか。

「古人は樹を植え、後人は涼を楽しむ」

かつて戦災と桜島の降灰で砂漠化していた街路を、グリーンストーム作戦で再生させた鹿児島市。その作戦開始を号令した市長の言葉である。

取材協力／建設省土木研究所環境部緑化生態研究室・大阪市建設局花と緑の推進本部



仙台市の定禅寺通りは公園を兼ねている



大阪府堺市の名所はフェニックス通り



住宅地にも街路樹
上：兵庫県宝塚市中山五月台
（左／ユリノキ　右／メタセコイア）
下：大阪府豊能郡豊能町新光風台
（ポプラ）



「防災公園計画・設計ガイドライン」について

建設省土木研究所環境部緑化生態研究室
山岸　裕

1　はじめに

平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災は、これまでの都市公園の地震防災に関する機能の認識を大きく変えるものとなった。

関東大震災の経験から、建設省では、大震火災時における国民の生命、財産を守るため、大都市地域等において、都市の防災構造を強化し、避難地、避難路として機能する都市公園を防災公園として、整備の推進を図ってきた。

しかし、阪神・淡路大震災においては、ヘリポート等を有する支援物資の集配基地、避難生活のための生活拠点、医療等総合的な生活支援を行う救護対策拠点、ボランティアの活動拠点、仮設住宅の建設地等都市公園は公園規模に応じ多様に活用され、震災直後及び災害復旧時にも重要な役割を果たし、その利用価値は、避難地、避難路以外にも高く評価されることとなった。

阪神・淡路大震災以後、すでに、建設省においては、防災公園の対象や内容を拡大するとともに、防災公園の事業計画の公表による事業の透明化と効率的・効果的な事業促進を図ることを目標に「防災公園整備プログラム」の策定を推進するなどの対策は行っている。

しかし、防災公園の整備をより促進させるためには、阪神・淡路大震災の教訓を踏まえ、防災公園の具体的な計画、設計方法についての技術的な解説書の作成が必要であった。

このような認識のもと、建設省都市局公園緑地課と建設省土木研究所緑化生態研究室では、それぞれ、「防災公園の配置計画に関する検討」と「都市公園における防災施設の設計指針に関する検討」を実施し、両者の成果を合わせ、行政関係機関の公園担当者の利用を念頭に「土木研究所資料第3663号　防災公園の計画・設計に関する技術資料－防災公園の計画・設計に関するガイドライン（案）－」をとりまとめた。

「防災公園計画・設計ガイドライン」は、この土木研究所資料をもとに㈶都市緑化技術開発機構が普及用として編集し、平成11年8月30日に発行したものである。

なお、土木研究所資料及び本ガイドラインのとりまとめに当たっては、学識経験者、行政担当者により構成される「防災公園ガイドライン（案）検討委員会」を設置し、指導、助言をいただいた。以下に委員会名簿を記して深く感謝申し上げる次第である。

防災公園ガイドライン（案）検討委員会名簿
（平成10年度）

（委員長）	
東京農業大学地域環境科学部　教授	平野侃三
（委　員）	
明治大学農学部　教授	岩河信文
千葉大学園芸学部　教授	田代順孝
大阪府立大学農学部　教授	増田昇
東京都建設局公園緑地部　計画課長	宮田倫夫
大阪府土木部　公園課長	松島光明
兵庫県都市住宅部　公園緑地課長	辰巳信哉
神戸市公園砂防部　施設課長	割田耕造
㈳日本公園緑地協会　理事	五十嵐誠
（協力委員）	
建設省都市局公園緑地課 公園・緑化事業調整官	小川陽一
建設省都市局都市計画課 建設専門官	角南勇一
建設省建築研究所　第六研究部 都市防災構造研究室長	岡田潤
建設省土木研究所　環境部 緑化生態研究室長	藤原宣夫

2　本ガイドラインの内容

本ガイドラインは、これまでの都市公園の地震防災に資する機能の認識に、阪神・淡路大震災で得られたさまざまな知見を加え、具体的な防災公園の計画、設計を進めるに際して必要となる、配置計画の基本的な考え方や関連事業制度を網羅し、さらに、計画・設計を進めるうえで必要となる防災関連公園施設について説明するなど、総合的な防災公園の計画・設計の指針を整理したものである。

本ガイドラインは、序章及び3つの章から構成されている。「第Ⅰ章　総説」は、緑とオープンスペースが持つ防災上の役割や防災公園の定義、防災公園整備プログラム、防災公園の整備に係る事業制度について説明がなされている。「第Ⅱ章　防災公園等の配置」は、防災公園の配置の基本的な考え方、広域防災拠点、広域避難地、一次避難地、避難路等の機能を有する都市公園等、防災公園の種類毎の配置計画の指針及び諸元について説明がなされている。「第Ⅲ章　防災公園の計画・設計」は、防災公園を計画・設計するに当たっての基本的な考え方と手順、導入すべき施設、及び各施設の設計に当たっての留意事項をそれぞれとりまとめている。

3　本ガイドラインの利用

本ガイドラインを活用する対象者は、主として地方自治体等の公園関係部局や防災関係部局の担当者、および、それらに関わる民間のコンサルタント等の企業等、地震防災に関してある程度の知識をもった方を想定したものである。

本ガイドラインの基本的な考え方の活用により、地域の実状に適合した整備効果が得られるように、策定主体である各自治体が自らの判断において、種々の創意工夫を発揮できることが期待される。

また、本ガイドラインは、新たな防災公園の計画・設計に限らず、都市公園等の新設、既存の都市公園等の再整備、および既存の防災公園等の公園施設の耐震・耐火性の向上など、都市公園の防災性を高めるための指針としても活用されることが期待される。

4　おわりに

本ガイドラインの刊行により、防災公園の計画・設計に関する技術レベルが向上し、防災公園の整備促進と震災に強いまちづくりの実現に貢献できることを念願する次第である。

◆ 都市気候特集 ◆

都市における屋上緑化可能地の推定

藤原宣夫* 石坂健彦** 半田真理子***

1. はじめに

ヒートアイランド現象の発生する都市内において、緑地は相対的に低温域を形成することが知られており、都市緑化の推進がヒートアイランドの軽減策として期待されているところである[1]。しかしながら、我が国の大都市では、すでに土地利用は過密状態にあり、公園整備などによる緑地の創出は、用地の確保において、物理的にも予算的にも困難な点が多いといえる。

一方、屋上や橋梁上、壁面などの無土壌地の緑化、いわゆる特殊緑化といわれる分野の技術開発が進展しており、従来、緑化が困難と考えられていた空間での緑地の創出が可能となってきている[2]。用地の取得の困難な都市においては、緑化用地として、このような特殊空間が着目されるところであり、特に屋上緑化など建築物上での緑化は、植物による低温域の形成のほか、植栽基盤の形成が建物の断熱にも寄与し、冷房効率の向上の点からも、ヒートアイランドの抑制に寄与するものとして期待されるものである[3]。

本稿では、このような位置付けを有する特殊空間緑化の中から、屋上緑化に着目し、今後の緑化推進の基礎的資料とすることを目的として、実際の都市において、緑被地の現存量と屋上緑化が可能な空間の総量の推定を行った結果について報告するものである。

2. 推定方法

2.1 対象都市と区域

各地方を代表する大都市として、札幌、仙台、横浜、名古屋、大阪、神戸、広島、高松、北九州、福岡、東京区部の11都市を選定し、都市計画において規定される市街化区域を推定の対象区域とした。

2.2 緑被地現存量の推定方法概要

緑被地現存量の推定は、空中写真を用いて行うこととし、判読が可能な、高木の樹冠により被覆される土地の面積(高木緑被量)を求め、緑被地現存量に代えることとした。そして、市街化区域全域にわたる判読は労力の点から困難であるため、土地利用形態が類似すると考えられる用途地域毎に、複数の調査区を設定し、調査区の高木緑被判読量から単位面積あたりの高木緑被量(原単位)を算出し、各用途地域の面積を乗じることにより、市街化区域全体の高木緑被量を算出することとした。

調査区の選定に際しては、市街化区域全域の空中写真による概査から、典型個所とされる地点を選定し、1ha(100m×100m)を標準とする調査区を、各用途地域あたり3ヶ所(東京都区部については各5ヶ所)設定した。使用した空中写真は、1976~1990年の国土地理院撮影カラー空中写真である。また、都心部と周辺部、平野部と台地・丘陵部などの差異の平準化が図れるように、調査区の配置に配慮した。なお、都市公園には緑被が集中的に存在するため調査区に含めず、別に都市公園の原単位を設定し、用途地域の推定量に加えることとした。

表-1に調査対象都市の用途地域別面積と都市公園面積を示す。

2.3 屋上緑化可能地の推定方法概要

緑化可能性の高い建築物は、躯体構造が木造などに比べて堅固なコンクリート造や重量鉄骨造と考えられる。また、屋根構造については、瓦・スレート・金属葺などの軽荷重屋根より、コンクリートやALC(コンクリート床板)などの中・重荷重屋根の方が適しており、屋根傾斜は2/10程度までは緑化が容易と考えられる。

ここでは、このような条件を備えた建築物の屋根を「陸屋根等」と呼び、緑被の推定と同じ調査区、空中写真により、判読可能な10m×10m以上の屋根を抽出し、緑被の場合と同様に原単位を設定して、市街化区域での総量を推定することとした。なお写真判読では同時に棟数についても計数した。

また、より簡易な推定方法として、東京区部を除く10都市について、固定資産資料等の既存の行政資料を用いた推定を試行し、その妥当性について検討を加えた。

An Estimate of Total Area of Rooftops that are available for Planting Site in Major Cities of Japan

3. 推定の過程と結果

3.1 高木緑被面積推定

各都市、各用途地域における調査区の高木緑被量判読結果を平均し、1haあたりの値に換算して原単位としたものが表-2である。この原単位に表-1の面積を乗じて合算し、市街化区域の総量を算出したものが表-3である。なお、都市公園の高木緑被量は、建設省が実施した1995年度末の全国調査資料から、市街化区域に位置することが多い住区基幹公園と都市基幹公園の樹林面積率の値を平均し、一律に公園面積の30%とした。

表-1 調査対象都市の用途地域および都市公園面積 (1990)　(単位：ha)

都市名	第1種住居専用地域	第2種住居専用地域	住居地域	近隣商業地域	商業地域	準工業地域	工業地域	工業専用地域	都市公園面積
札幌	8,611	5,235	5,157	1,292	774	2,445	344	246	1,246
仙台	5,112	2,044	5,527	938	892	810	340	1,441	631
横浜	13,815	4,338	6,235	1,372	1,825	1,386	1,738	1,827	977
名古屋	5,843	2,365	10,438	2,425	2,351	3,436	2,635	642	1,135
大阪	0	2,488	6,808	418	3,244	4,349	996	2,147	771
神戸	7,388	4,054	3,681	643	631	2,116	653	1,104	1,958
広島	2,963	1,986	5,658	756	591	1,238	557	296	573
高松	747	1,094	1,311	308	220	752	143	158	190
北九州	3,192	3,266	5,176	765	1,137	1,366	447	3,645	851
福岡	3,951	2,351	4,690	303	1,351	1,670	584	41	867
東京区部	11,895	12,025	10,352	4,001	6,228	9,861	1,303	1,163	2,753

表-2 調査区高木緑被面積の1haあたり換算値　(単位：m^2/ha)

都市名	第1種住居専用地域	第2種住居専用地域	住居地域	近隣商業地域	商業地域	準工業地域	工業地域	工業専用地域	平均
札幌	1,193	465	743	301	188	307	518	194	489
仙台	608	2,185	531	304	513	266	207	136	594
横浜	1,005	1,114	704	455	189	275	204	136	510
名古屋	1,283	1,336	1,076	390	417	426	258	759	743
大阪	−	667	107	69	124	158	188	92	201
神戸	1,190	795	1,509	197	117	194	137	147	536
広島	1,309	1,714	752	485	492	450	620	585	801
高松	1,014	1,050	995	529	473	865	537	548	751
北九州	1,244	1,102	549	617	119	655	342	140	596
福岡	1,401	1,119	1,331	260	343	365	624	177	703
東京区部	640	708	256	298	306	106	236	382	367

3.2 空中写真からの屋上緑化可能面積 (陸屋根等面積) 推定

緑被の場合と同様に原単位を算出したものが表-4である。また、同様に表-1の値を用いて市街化区域総量を推定したものが表-5である。ただし、一般に屋上には設備機器等が置かれ緑化不可能な部分があるため、並木[4]の研究結果から、緑化可能な部分を屋上面積の86%とし、さらに都市公園の場合と同様にその30%が高木により被覆されると仮定して、すべての陸屋根等が緑化された場合の高木緑被面積を算出した。算出結果を現存緑地量 (高木緑被量推定値) と合わせ表-6に示す。

表-3 高木緑被面積推定値　(単位：ha)

都市名	第1種住居専用地域	第2種住居専用地域	住居地域	近隣商業地域	商業地域	準工業地域	工業地域	工業専用地域	小計	都市公園	A合計
札幌	1,027	243	383	39	15	75	18	5	1,805	374	2,179
仙台	311	447	293	29	46	22	7	20	1,173	189	1,363
横浜	1,388	483	439	62	34	38	35	25	2,506	293	2,799
名古屋	750	316	1,123	95	98	146	68	49	2,644	341	2,985
大阪	−	166	73	3	40	69	19	20	389	231	620
神戸	879	322	555	13	7	41	9	16	1,843	587	2,431
広島	388	340	425	37	29	56	35	17	1,327	172	1,499
高松	76	115	130	16	10	65	8	9	429	57	486
北九州	397	360	284	47	14	89	15	51	1,258	255	1,513
福岡	554	263	624	8	46	61	36	1	1,593	260	1,853
東京区部	761	851	265	119	191	105	31	44	2,367	826	3,193

屋上緑化による緑被の増加可能性は、11都市において6~36%、平均13%となり、大阪 (36%)、東京区部 (35%) などの巨大都市でその貢献度合いが大きいという推定結果を得た。

3.3 既存行政資料からの屋上緑化可能面積 (非木造建築物屋根面積) 推定

推定に用いる行政資料は、都市計画関係の調査資料のほか、公表される固定資産概要調書である。

都市計画関係の調査により建ぺい率が明らかにされている場合、市街化区域面積に建ぺい率を乗じることにより、市街化区域の総屋根面積の近似値が求められる。一方、固定資産概要調書には、市全域の建築物の木造、非木造別の延床面積と棟数が記載されており、ここでは、非木造建築物が、上記の陸屋根等に相当するものと考え、固定資産資料を用いて市街化区域の総屋根面積を木造と非木造に按分することを試みた。

まず、市全域の値である固定資産資料の各値をDID人口 (市街化区域人口とほぼ同等) の比率を用いて、市街化区域の値に換算したものを表-7に、また、市街化区域総屋根面積の算出結果を表-8左欄に示す。ただし、建ぺい率の調査資料は東京区部 (1990年、30%) と札幌 (1989年、20%) しか得られなかったため、大阪については東京区部の値、

他の都市については札幌の値を代用した。

次に、木造建築物の階数を設定し、延床面積を階数で除することにより木造屋根面積を求め、市街化区域屋根面積から減じたものを非木造屋根面積とした。木造建築物の階数は任意に設定したが、設定の条件は、木造建築物の階数は1以上となること、また、非木造建築物の総屋根面積から逆算して得られる非木造建築物階数は木造階数を上回ることを条件に1.1~1.6の範囲で試行を繰り返し、最も条件に当てはまる値として1.2を採用した。しかし、この場合でも北九州の非木造階数が木造階数を下回る状態が現れている(表-8中欄、右欄)。

表-4 調査区陸屋根等面積の1haあたり換算値 (単位：m^2/ha)

都市名	第1種住居専用地域	第2種住居専用地域	住居地域	近隣商業地域	商業地域	準工業地域	工業地域	工業専用地域	平均
札幌	43	136	100	365	3,498	963	44	51	650
仙台	51	0	308	472	887	210	0	0	241
横浜	245	257	432	855	1,504	255	761	401	589
名古屋	84	355	147	480	1,029	274	980	689	505
大阪	−	203	91	855	883	682	1,213	84	573
神戸	65	496	168	357	1,965	430	1,535	736	719
広島	45	280	293	641	1,069	900	1,158	729	639
高松	189	39	98	630	1,145	36	1,004	399	443
北九州	42	207	240	503	1,378	288	438	347	430
福岡	104	44	34	1,531	1,895	462	773	376	652
東京区部	128	434	560	800	2,645	958	670	390	823

表-5 陸屋根等面積推定値 (単位：ha)

都市名	第1種住居専用地域	第2種住居専用地域	住居地域	近隣商業地域	商業地域	準工業地域	工業地域	工業専用地域	B 合計
札幌	37	71	52	47	271	235	2	1	716
仙台	26	0	170	44	79	17	0	0	337
横浜	338	111	269	117	274	35	132	73	1,352
名古屋	49	84	153	116	242	94	258	44	1,041
大阪	−	51	62	36	286	297	121	18	870
神戸	48	201	62	23	124	91	100	81	730
広島	13	56	166	48	63	111	65	22	544
高松	14	4	13	19	25	3	14	6	99
北九州	13	68	124	38	157	39	20	126	586
福岡	41	10	16	46	256	77	45	2	494
東京区部	152	522	580	320	1,647	945	87	45	4,299

このようにして得られた推定値と空中写真により得られた推定値を比較したものが表-9である。両方法により得られた値には、総面積、棟数、1棟あたり規模いずれにも大きな乖離があり、総面積では行政資料による推定値が大きな値(1.5~4.4倍, 平均2.4倍)を示した。今回用いた行政資料による簡易推定の方法は、計算過程において、階数の矛盾等が生じたことからも、妥当性が低いと言わざるを得ない。

その原因としては、建ぺい率の調査値が得られなかったこと、固定資産資料には、課税標準額(20万円)以下の建築物が含まれないこと、また、非木造建築物には緑化が困難な急傾斜の屋根の建築物が含まれることから、非木造と陸屋根等には差異があることがあげられる。なお、今回の比較資料をもとに行政資料の推定値に補正を加えることも考えられるが、空中写真を用いた方法についても調査区の選定による誤差が含まれることから、補正の有効性は低いと考えられる。

4. おわりに

1990年時点の都市計画資料と航空写真からの推定では、対象11都市の市街化区域において、高木緑被地が1haあたり201~801m^2(平均571m^2)、

表-6 屋上緑化による高木緑被の増加率

都市名	A 高木緑被面積推定値 (ha)	B 陸屋根等面積推定値 (ha)	C 緑化可能面積 (ha) B×0.86	D 緑被面積 (ha) C×0.3	屋上緑化による緑被の増加率 D/A
札幌	2,179	716	616	185	0.08
仙台	1,363	337	290	87	0.06
横浜	2,799	1,352	1,163	349	0.12
名古屋	2,985	1,041	896	269	0.09
大阪	620	870	748	224	0.36
神戸	2,431	730	628	188	0.08
広島	1,499	544	468	140	0.09
高松	486	99	85	26	0.05
北九州	1,513	586	504	151	0.10
福岡	1,853	494	425	127	0.07
東京区部	3,193	4,299	3,697	1,109	0.35

屋上緑化可能な屋根が1haあたり241~823m^2(平均569m^2)存在した。また、すべての屋上緑化可能な屋根に公園同等の緑化が施されると仮定すると、6~36%(平均13%)高木緑被地が増加するとされた。この結果は、緑被地の増加施策としての屋上緑化の貢献可能性を示すものと考えている。

また、緑被地あるいは屋上緑化による温度低減量については、多くの研究が実施されているため、ここで行ったような施策としての実施可能量の検討結果と合わせシミュレーションすることにより、ヒートアイランドの低減施策としての屋上緑化の有効性の評価が可能となると考えている。

なお、本稿で報告した内容は、建設省土木研究

表-7 市域値 (固定資産資料) から市街化区域値への変換 (1991)

都市名	市域(固定資産資料より) 木造延床 (ha)	非木造延床 (ha)	木造棟数 (万棟)	非木造棟数 (万棟)	DID地区人口率	市街化区域 (市域×DID人口率) a 木造延床 (ha)	b 非木造延床 (ha)	c 木造棟数 (万棟)	d 非木造棟数 (万棟)
札幌	4,676	3,642	32.9	8.0	0.94	4,395	3,423	30.9	7.5
仙台	2,700	2,553	37.9	8.0	0.84	2,268	2,145	31.8	6.7
横浜	5,628	6,412	56.0	16.5	0.96	5,403	6,156	53.8	15.8
名古屋	4,590	6,504	53.0	19.8	0.97	4,452	6,309	51.4	19.2
大阪	4,490	9,136	69.4	38.7	1.00	4,490	9,136	69.4	38.7
神戸	2,460	3,771	28.2	21.4	0.92	2,263	3,469	25.9	19.7
広島	2,589	2,642	30.1	8.6	0.87	2,252	2,299	26.2	7.5
高松	894	913	12.2	4.0	0.68	608	621	8.3	2.7
北九州	2,132	2,640	25.0	9.6	0.89	1,897	2,350	22.3	8.5
福岡	2,440	3,272	25.8	7.8	0.94	2,294	3,076	24.3	7.3

表-8 階数の想定による1棟あたり屋根面積の算定

都市名	市街化区域屋根面積 E 市街化区域面積 (ha)	F 建ぺい率	G 市街化区域屋根面積 (ha) E×F	木造屋根面積 a 木造延床 (ha)	H 想定階数	I 総屋根面積 (ha)	1棟あたり屋根面積 (m^2)	非木造屋根面積 b 非木造延床 (ha)	J 計算階数 b/K	K 総屋根面積 (ha) G-I	L 1棟あたり屋根面積 (m^2) K/d
札幌	24,104	0.20	4,821	4,395	1.2	3,663	118	3,423	3.0	1,158	154
仙台	17,104	0.20	3,421	2,268	1.2	1,890	59	2,145	1.4	1,531	228
横浜	32,536	0.20	6,507	5,403	1.2	4,502	84	6,156	3.1	2,005	127
名古屋	30,135	0.20	6,027	4,452	1.2	3,710	72	6,309	2.7	2,317	121
大阪	20,450	0.30	6,135	4,490	1.2	3,742	54	9,136	3.8	2,393	62
神戸	20,270	0.20	4,054	2,263	1.2	1,886	73	3,469	1.6	2,168	110
広島	14,045	0.20	2,809	2,252	1.2	1,877	72	2,299	2.5	932	125
高松	4,733	0.20	947	608	1.2	507	61	621	1.4	440	162
北九州	18,994	0.20	3,799	1,897	1.2	1,581	71	2,350	1.1	2,218	260
福岡	14,941	0.20	2,988	2,294	1.2	1,911	79	3,076	2.9	1,077	147

表-9 両推定方法の比較

都市名	調査区からの推定値 B 陸屋根等面積 (ha)	M 陸屋根等棟数 (万棟)	1棟あたり屋根面積 (m^2) B/M	行政資料からの推定値 K 非木造屋根面積 (ha)	d 非木造棟数 (万棟)	1棟あたり屋根面積 (m^2) K/d	両推定値の比 K/B
札幌	716	2.6	313	1,158	7.5	154	1.6
仙台	337	2.1	213	1,531	6.7	228	4.5
横浜	1,352	4.5	374	2,005	15.8	127	1.5
名古屋	1,041	7.6	147	2,317	19.2	121	2.2
大阪	870	5.1	315	2,393	38.7	62	2.8
神戸	730	3.7	273	2,168	19.7	110	3.0
広島	544	3.4	133	932	7.5	125	1.7
高松	99	0.9	112	440	2.7	162	4.4
北九州	586	3.4	154	2,218	8.5	260	3.8
福岡	494	3.5	181	1,077	7.3	147	2.2

所と (財) 都市緑化技術開発機構が平成3年度から平成5年度までの3年間に実施した官民連帯共同研究「緑化空間創出のための基盤技術の開発」の一環として実施したものである。共同研究の全容と緑化可能量の推定結果については、その一部を共同研究報告等[2),5)]により発表しているが、今般、当誌「土木技術資料」においてヒートアイランド関連の特集が組まれるにあたり、推定方法に修整を加え、再計算して報告した。

参考文献

1) 半田真理子：都市の熱環境に及ぼす緑被の効果に関する研究, 土木研究所資料, 第3578号, 1998.

2) 建設省：官民連帯共同研究緑化空間創出のための基盤技術の開発報告書 (第一分冊) 概要, (第二分冊) 特殊空間緑化技術マニュアル (案), (第三分冊) 資料編, 1995.

3) 野島義輝：都市における植生からの蒸散による夏期の温熱環境改善力に関する研究, 京都大学提出学位論文, 1998.

4) 並木裕：人口地盤緑化による波及効果、緑の読本, シリーズ25 第28巻16号, pp.20-30, 公害対策技術同友会, 1992.

5) 半田真理子、石坂健彦：特殊緑地技術による緑の創造について, 公園緑地, 55-2, pp.118-121, 日本公園緑地協会, 1994.

藤原宣夫*



建設省土木研究所環境部
緑化生態研究室長
Nobuo FUJIWARA

石坂健彦**



同 緑化生態研究室主任研究員
Takehiko ISHIZAKA

半田真理子***



(財) 公園緑地管理財団調査部長
(前 建設省土木研究所環境部長)
Mariko HANDA

関西自然保護機構会報 21 (2) : 133－140, 1999

ヨシ原の分断・孤立化とシロバナサクラタデの受粉・種子生産

筑波大学生物科学　西　廣　　淳*
筑波大学環境科学　友　部　恭　子
筑波大学生物科学　鷲　谷　いづみ

EFFECTS OF REED-BED FRAGMENTATION ON POLLINATION AND SEED SET OF A DISTYLOUS SPECIES, *PERSICARIA JAPONICA*

Jun Nishihiro, Kyoko Tomobe and Izumi Washitani
Institute of Biological Sciences, University of Tsukuba

はじめに

水域と陸域の生態系をつなぐ推移帯は，本来，極めて高い生物多様性を誇る場所の一つである (Lachavanne 1997)。ヨシ原は水辺の推移帯を構成する代表的な植物群落であり，多様な動植物の生息・生育場所となっている。しかしヨシ原の植生は，近年，水辺の開発，水質の悪化，乾燥化などのために急速に失われつつあり（我が国における保護上重要な植物種および植物群落研究委員会 1996)，かつては広い面積を占めていたヨシ原も分断化されて面積を減じたり，他のヨシ原から空間的に隔てられて孤立化するなどの現象が生じている。それに応じてヨシ原を生育場所とする植物の個体群も孤立してしまい，一つ一つの個体群の大きさ（個体群サイズ；個体数を意味する）が減少している。

そのように個体群サイズが減少すると，確率論的なメカニズムによる絶滅の危険性が増加するだけでなく，種子生産の低下 (Bawa 1990; Lamont *et al.* 1993; Aizen & Feinsinger 1994; Ågren 1996; Groom 1998; Morgan 1999) や他殖率の低下 (Jennersten 1988; Menges 1991) などの決定論的メカニズムによる絶滅の危険性が増大することが考えられる (Shaffer & Samson 1985; Wilcox & Murphy 1985; 鷲谷・矢原 1996)。しかしヨシ原の分断・孤立化に伴う植物の繁殖上の問題点については，これまで十分に検討されたことがない。そこで本研究では，霞ヶ浦におけるヨシ原を象徴する植物とも言えるシロバナサクラタデについて，ヨシ原の分断・孤立化が受粉や種子生産に及ぼす影響を分析した研究を紹介する。霞ケ浦周辺にかつては広範囲にわたって存在していたヨシ原は，現在では湖周辺の土地利用の変化や湖岸堤の工事などによって面積を著しく減じ，また分断・孤立化している（富田 1999)。シロバナサクラタデはヨシ原と強く結びついて生育する植物であり，霞ケ浦では残存するヨシ原の中にのみ生育している。

二型花柱性植物シロバナサクラタデ

シロバナサクラタデ（写真 1）はタデ科の多年生草本である。地下茎によって盛んに栄養成長を行うため，野生個体群では多数の地上茎からなるクローンパッチをつくって生育する。クローンは

関西自然保護機構業績　第237号
＊現所属：建設省土木研究所環境部



写真1　シロバナサクラタデ（花序）.

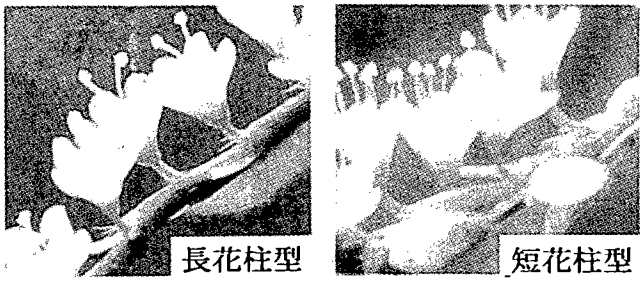


写真2　シロバナサクラタデの長花柱型と短花柱型の花.

遺伝的な意味での個体であり，保全を考える上では基本的な単位となる。

シロバナサクラタデの直径5mmほどの白色の花は，異型花柱性の繁殖様式を示す（平塚・中尾 1996）。異型花柱性は25科の植物の一部でみられ，送粉動物（多くの場合は昆虫）を利用したクローン間の送粉による他殖を促進することを主要な選択圧として進化したと考えられている（鷲谷 1992）。異型花柱性には二型花柱性と三型花柱性とがあるが，シロバナサクラタデは二型花柱性である（写真2）。二型花柱性植物の野生個体群中には，柱頭が高い位置，葯が低い位置にある長花柱型のクローンと，それとちょうど逆の位置に柱頭と葯をもつ短花柱型のクローンがあり，これらはおよそ1：1の比率で含まれる。種子生産のためには異なる花型のクローンからの花粉を受粉する必要があり，シロバナサクラタデでも，自家受粉や花型が共通する他クローンからの受粉では，ほとんど種子が生産されないことが確かめられている（Nishihiro & Washitani 1998a）。

二型花柱性植物では個体群の半数の個体としか交配が可能でないため，異型花柱性以外の自家不和合性をもつ植物（個体群内の大抵の他個体が交配相手となり得る）と比べて，個体群の分断・孤立化による繁殖成功への負の影響を受け易いことが予測される（Levin 1975；Wyatt & Hellwig 1979；Ågren 1996；Nishihiro & Washitani 1998b）。

結実率に対するヨシ原の分断化の影響

霞ケ浦では，右岸（西岸から南岸）に比較的多くのヨシ原が残存している。霞ケ浦右岸の新利根川から小野川河口部にかけての約25kmの範囲に分布する25のヨシ原（空間的に連続したヨシ群落を一つのヨシ原とした）において，そこに生育するシロバナサクラタデについて，結実率に対するヨシ原の分断化の影響を調べる調査・実験を1995年と1996年に行った（図1）。

離れたヨシ原に生育するシロバナサクラタデの間でも，希に起こる花粉輸送や種子分散を通して遺伝的交流があると考えられるため，霞ケ浦全体のシロバナサクラタデ集団がメタ個体群，それぞれのヨシ原に生育する集団は局所個体群に相当すると考えられる。ここでは一つのヨシ原に含まれるシロバナサクラタデの局所個体群を一つの「個体群」とよぶ。

生育場所のヨシ原の面積（120～17,935 m^2）やシロバナサクラタデのクローン数（1～53クローン）は個体群ごとに大きく異なり，ヨシ原の面積とクローン数の間には有意な正の相関が認められた（$n = 25, r = 0.43, P < 0.05$）。また長花柱型

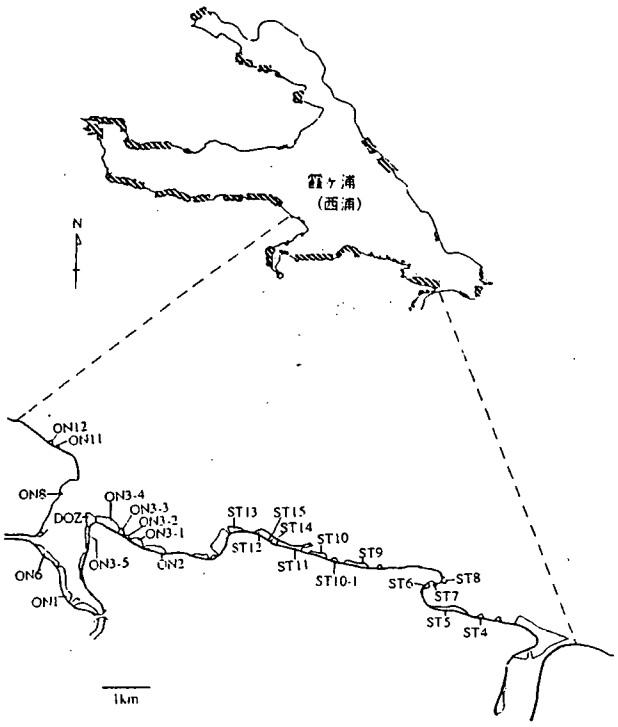


図1　調査対象とした25のシロバナサクラタデ個体群. 湖岸線に沿った約25 kmの範囲に断続的に分布しているヨシ原に生育するシロバナサクラタデを調査の対象とした. 霞ヶ浦の地図（上段）で，斜線を付した部分はヨシ原が分布していることを示す.（西廣ほか1998より改図）.

クローン数と短花柱型クローン数の偏りを|L−S|/(L+S)として算出される指標によって評価した（Lは長花柱型クローン数，Sは短花柱型クローン数を示す）ところ，個体群あたりのクローン数と花型の偏りの指標値との間には有意な負の相関がみられた（$n = 25, r = -0.45, P < 0.05$）。

調査対象とした個体群では，膜翅目21種，双翅目26種，鱗翅目10種，鞘翅目1種の昆虫の訪花が確認された。特に頻繁に訪花が認められた昆虫は，ハナアブ（写真3），ヒメハラナガツチバチ，およびミドリキンバエであった。開花の中期には，どの個体群においても比較的頻繁にこれらの昆虫の訪花が確認された。

結実率は開花数あたりの結実数として花序ごとに求め，クローンあたりの平均値および個体群あたりの平均値を算出した。なおシロバナサクラタデの花は胚珠を一つだけもっているので，結実率は花あたりの種子生産に一致する。.



写真3　シロバナサクラタデに訪花したハナアブ.

測定の結果，個体群あたりの平均結実率は0から26%まで大きく変動し，個体数が特に小さい（2以下），あるいは花型の偏りが著しい（指標値が0.5以上）個体群では，調査年を通して結実率が特に低いという傾向がみられた（図2）。また個体群あたりの結実率と，個体群のクローン数との間には有意な正の相関がみられ（1995年には$n = 23, r = 0.59, P < 0.01$, 1996年には$n = 25, r = 0.54, P < 0.01$），花型の偏りとの間には有意な負の相関がみられた（1995年には$n = 23, r = -0.64, P < 0.001$, 1996年には$n = 25, r = -0.70, P < 0.001$）。

以上のことから，面積が小さいヨシ原では，そこに生育するシロバナサクラタデの個体群サイズが小さくなると同時に花型の偏りも著しくなり，結実率が低下し，著しい場合には種子生産が全くみられなくなることが明らかにされた。

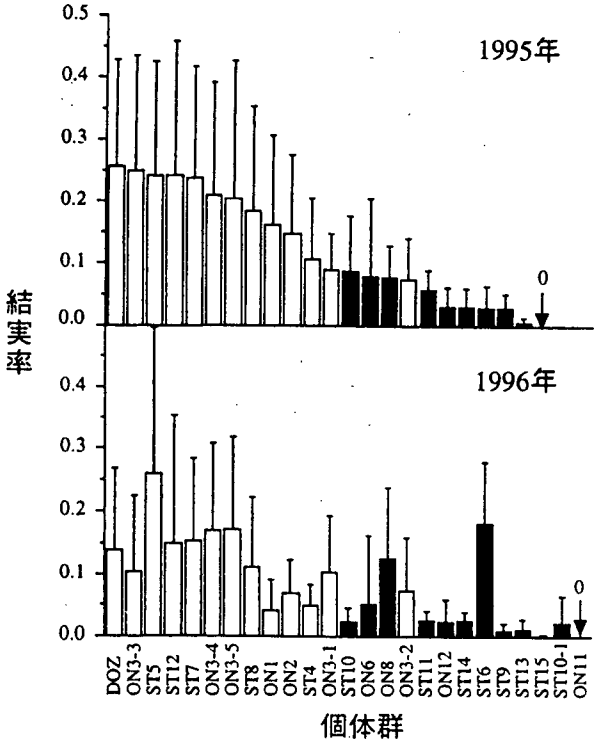


図2　1995年と1996年におけるシロバナサクラタデ個体群の平均結実率．黒いバーはクローン数が2以下，あるいは花型の偏りが0.5以上の個体群，白いバーはそれ以外の個体群における平均結実率，エラーバーは標準偏差を表す．(西廣ほか1998より改図)．

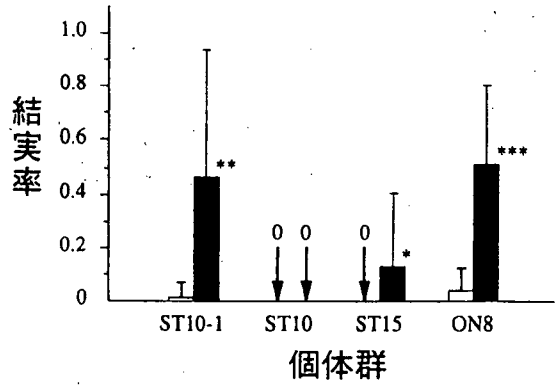


図3　1クローンのみからなる「個体群」における放任受粉後と花粉添加処理後の結実率．白いバーは放任受粉，黒いバーは花粉添加後の結実率の平均値（各クローン$n = 15$），エラーバーは標準偏差を示す．ST10とST10-1は長花柱型のみ，ST15とON8は短花柱型のみ存在する個体群である．結実率を逆正弦変換した後，t検定を行った．$*P < 0.05$，$**P < 0.01$，$***P < 0.001$．(西廣ほか1998より改図)．

花粉添加の効果

和合性のある花粉を人工的に添加した花の結実率と，同じ日に開花した無処理の対照放任受粉花の結実率を比較することによって，和合性のある花粉の供給不足によって結実が制限されている可能性とその程度を明らかにすることができる。そこで，調査対象とした個体群の中から1クローンのみからなる4個体群を選び，花粉添加実験を行った。

対象とした4個体群では，放任受粉での結実率は低かったが，花粉添加処理により3個体群で結実率が有意に向上した（図3)。したがって分断・孤立化したヨシ原に生育するシロバナサクラタデ個体群における結実の低下は，和合性のある花粉の供給が不足したことによって生じていたことが示唆される。このことは，次に紹介する個体群内のクローンの広がりや配置（個体群の空間構造）が受粉と結実にあたえる影響を解析した研究によっても支持された。

個体群の空間構造と受粉・種子生産

シロバナサクラタデの結実に対する個体群の空間構造の影響を詳しく分析するために，霞ヶ浦周辺の比較的大きなヨシ原に生育する2つの個体群を対象に，柱頭に付着した花粉の分析および結実率の測定を行った（Nishihiro & Washitani 1998b)。シロバナサクラタデは，多くの二型花柱性植物と同様に生産する花粉のサイズ（直径）が花型によって異なるため，柱頭に付着した花粉が由来した花型を，花粉の大きさを測定することによって判断できる。またシロバナサクラタデでは，異なる花型で生産された花粉を一粒でも受粉すれば，種子生産に有効な受粉をしたものとして

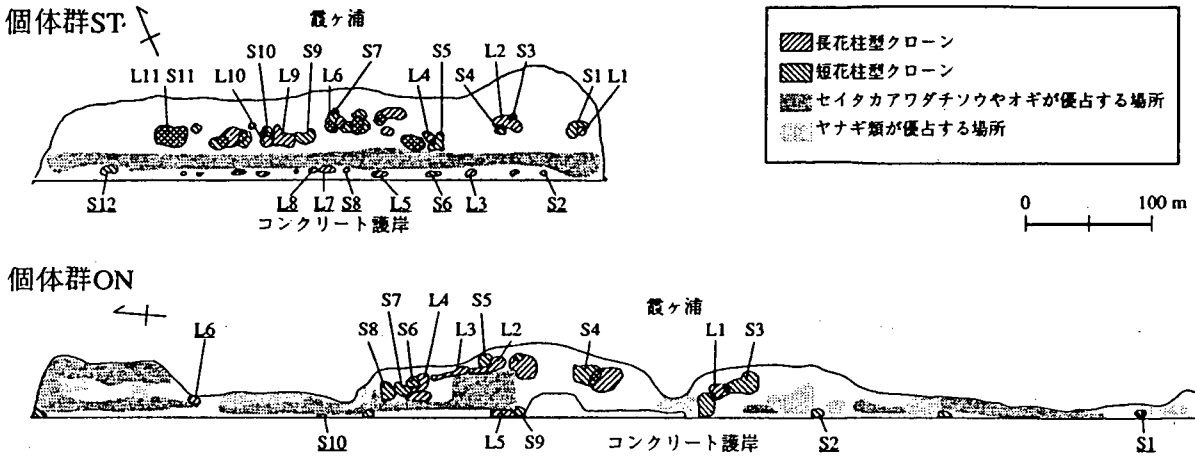


図4 調査対象とした2つのヨシ原内の個体群（個体群STと個体群ON）のクローンマップ. 斜線のある範囲はシロバナサクラタデのクローンを示す（詳細は図中の凡例を参照）. L1, S1などの標識は受粉と結実率を調査したクローンであることを示し，下線のある標識を付したクローンは他のクローンから空間的に孤立したクローンであることを意味する. (Nishihiro & Washitani 1998b より改図).

評価できることが人工受粉実験によって明らかにされている（Nishihiro & Washitani 1998a）。したがって柱頭上の花粉の大きさを調べることによって結実に有効な受粉を評価できる。

調査対象とした2つのヨシ原では，コンクリート護岸に沿って存在する比高の高い場所（セイタカアワダチソウやオギが優占する）やヤナギ類が優占する場所にはシロバナサクラタデが分布せず，これらの存在によって個体群の中でも空間的に孤立して分布するクローンと，他のクローンと密集したパッチを形成しているクローンとが認められた（図4）。

開花中期に柱頭を採集し，付着した花粉を分析した結果，空間的に孤立したクローンでは受粉成功度（和合性のある花粉を一粒以上受粉した花の花序あたりの割合）が著しく低かった（図5）。またこれらのクローンでは結実率も低かった（図6）。さらにいくつかのクローンについて花粉添加実験を行った結果，孤立したクローンでも花粉添加さえすれば結実率は有意に向上し，孤立していないクローンと同等になることが示された（図7）。

同じ個体群の中でさえ，他のクローンから空間

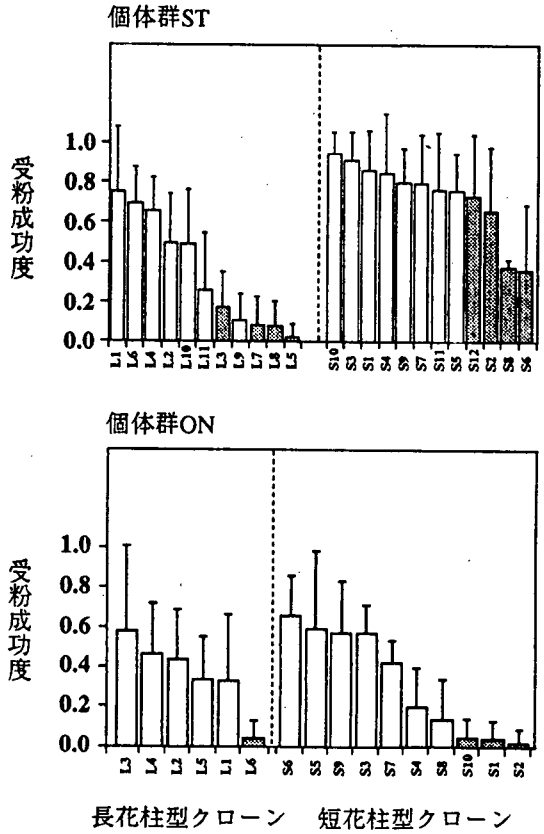


図5 受粉成功度（異型花由来の花粉を一粒以上受粉した花の花序あたりの割合）のクローン毎の平均と標準偏差. 影をつけたバーは他のクローンから空間的に孤立したクローンであることを意味する. 個体群の名前，クローンの標識は図4に対応する. (Nishihiro & Washitani 1998b より改図).

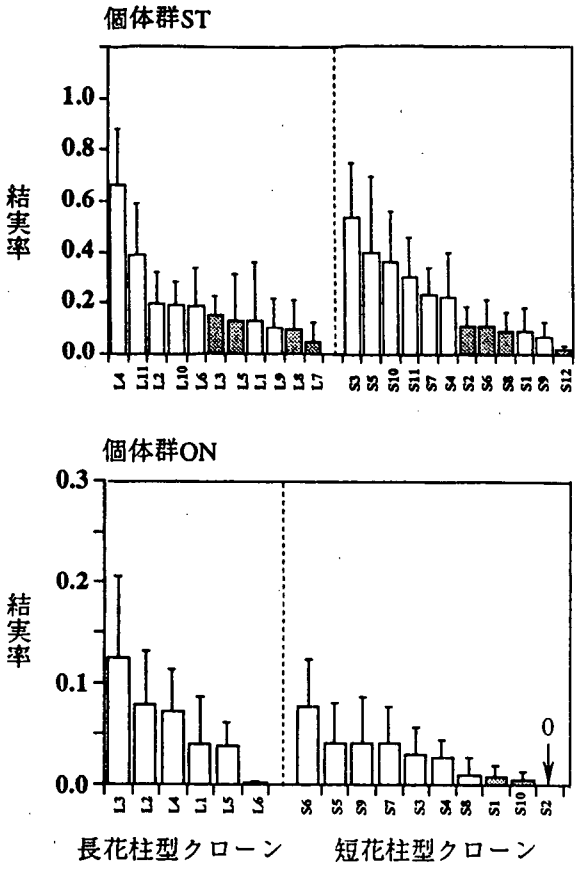


図6 結実率のクローン毎の平均と標準偏差. 影をつけたバーは他のクローンから空間的に孤立したクローンであることを意味する. 個体群の名前, クローンの標識は図4に対応する. 個体群によって縦軸の値が異なる. (Nishihiro & Washitani 1998b より改図).

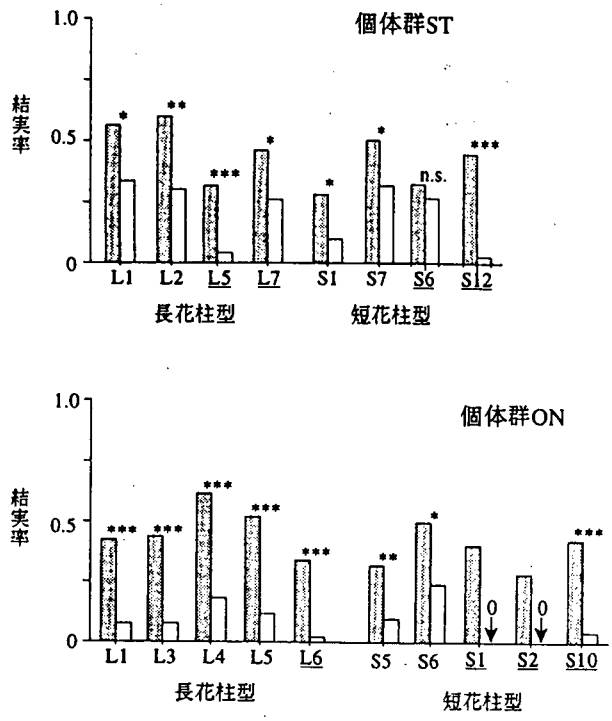


図7 花粉添加をした花（影付のバー）と放任処理の花における結実率. クローンの標識は図4に対応し, 下線を付したものは他のクローンから空間的に孤立したクローンであることを意味する. アスタリスクは処理の効果をG検定で調べた有意水準を示す; n.s. $P < 0.05$, $*P < 0.05$, $**P < 0.01$, $***P < 0.001$. (Nishihiro & Washitani 1998b より改図).

的に孤立したクローンでは, 和合性のある花粉の供給が不十分であることにより結実が制限されていたことが明らかになった。シロバナサクラタデが種子生産に有効な花粉を受粉するためには, 異なる花型のクローンと近接して分布する必要があるといえる。

このことはシロバナサクラタデの主な訪花昆虫がハナアブ類であることと深く関わっていると考えられる。一般に, ハナアブ類は花間の移動距離が短く, パッチを形成する植物ではパッチ内の移動が優先する (Sih & Baltus 1987 や Groom 1998 を参照)。シロバナサクラタデはクローンパッチを形成する植物である。したがって空間的に孤立したクローンでは, クローン内の受粉（自家受粉）は行われても, 結実に必要な異なる花型のクローンからの花粉を受粉し難いものと推測される。分断・孤立化したヨシ原に生育するシロバナサクラタデにおける結実率の低下も, 同様な原因, すなわち異型クローンからの花粉供給の制限によるものであることが強く示唆される。

まとめ

ヨシ原は多くの湿地性植物の生育場所となっているため, 生物多様性の保全上, 極めて重要な場所といえる。たとえば霞ケ浦周辺では例外的に大規模に残されている桜川村の「妙岐の鼻」におけ

る約52 haのヨシ原には，277種の維管束植物が確認され（路川ほか 1993，路川・前田 1994），これらにはレッドリスト掲載種も4種含まれている（日本植物分類学会絶滅危惧植物問題専門第一委員会 1997 に基づく）。これらの植物が自立して個体群を維持するためには種子による更新が不可欠である。したがって種子生産が不十分な場合には，その原因を明らかにし，それに応じた適切な保全策を講じる必要がある。

ここで紹介した研究では，生育場所であるヨシ原のサイズの縮小に伴い，和合性のある花粉の供給不足によってシロバナサクラタデの種子生産の低下が生じていることが示唆された。シロバナサクラタデは今のところレッドリストには登録されてはいない。しかし，生育場所であるヨシ原の喪失や分断・孤立化が進行すれば，種子による更新が十分に行えなくなり，絶滅が心配される状態になることも考えられる。シロバナサクラタデが健全な種子生産を達成できる環境を保全するためには，現在残されているヨシ原を種の供給源として維持するとともに，複数のクローンが近接して生育できるような大きな広がりをもったヨシ原を復元することが必要である。またメタ個体群レベルの遺伝的多様性の維持のためには，ヨシ原どうしの空間的な近さにも配慮することが必要である。

現在，霞ケ浦では市民運動や建設省の事業として，ヨシ原を含めた植生帯の復元が取り組まれている（飯島 1999；富田 1999）。復元されたヨシ原に生育するシロバナサクラタデの結実率は，そのヨシ原の健全性の指標の一つともなるだろう。

謝　辞

ここで紹介した研究は主として環境庁地球環境推進費「野生生物の絶滅プロセスに関する研究」の補助によって実施されたものだが，一部，ダム水源地整備センターのダム水源地生態会議森林生態系委員会の活動に含まれる。

引用文献

飯島博. 1999. 湖と森と人を結ぶ霞ヶ浦アサザプロジェクト. よみがえれアサザ咲く水辺～霞ヶ浦からの挑戦. 鷲谷いづみ・飯島博（編）. 文一総合出版, 東京.

富田和久. 1999. 霞ヶ浦の環境対策の現状. よみがえれアサザ咲く水辺～霞ヶ浦からの挑戦. 鷲谷いづみ・飯島博（編）. 文一総合出版, 東京.

西廣淳・友部恭子・鷲谷いづみ. 1998. シロバナサクラタデの種子生産に対するヨシ原の分断化の影響. 保全生態学研究. 3: 97－110.

日本植物分類学会絶滅危惧植物問題専門第一委員会. 1997. 植物版レッドリスト. 環境庁自然保護局野生生物課, 東京.

平塚明・中尾良. 1996. シロバナサクラタデは異型花柱性種である. 植物研究雑誌. 71 : 98－104.

路川宗夫・西廣淳・前田修. 1992. 霞ヶ浦湖岸妙義の鼻の植物相. 筑波の環境研究. 14 : 71－78.

路川宗夫・前田修. 1993. 妙岐の鼻湿原の植生. 筑波の環境研究, 15 : 67－83.

我が国における保護上重要な植物種および植物群落研究委員会植物群落分科会. 1996. 植物群落レッドデータ・ブック. (財)日本自然保護協会・(財)世界自然保護基金日本委員会, 東京.

鷲谷いづみ. 1992. 異型花柱性植物の種子繁殖と送粉. 昆虫を誘い寄せる戦略～植物の繁殖と共生. 井上健・湯本貴和（編）. 平凡社, 東京.

鷲谷いづみ・矢原徹一. 1996. 保全生態学入門～遺伝子から景観まで. 文一総合出版, 東京.

Ågren, J. 1996. Population size, pollinator limitation, and seed set in the self-incompatible herb *Lythrum salicaria*. Ecology, 77 : 1779－

1790.

Aizen, M. A. & Feinsinger, P. 1994. Forest fragmentation, pollination, and plant reprodustion in a Chaco dry forest, Argentina. Ecology, 75 : 330−351.

Bawa, K. S. 1990. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. Annual Review of Ecology and Systematics, 21 : 399−422.

Groom, M. J. 1998. Allee effects limit population viability of an annual plant. American Naturalist, 151 : 487−496.

Jennersten, O. 1988. Pollination in *Dianthus deltoides* (Caryophyllaceae) : effects of habitat fragmentation on visitation and seed set. Conservation Biology, 2 : 359−366.

Lachavanne, J. 1997. Why study biodiversity in land-inland water ecotones? In Biodiveersity in Land-Inland Water Ecotones. (eds) J. Lachavanne and R. Juge. UNESCO and Parthenon Publishing Group.

Lamont, B. B., Klinkhamer, P. G. L. & Witkowski, E. T. F. 1993. Population fragmentation may reduce fertility to zero in *Banksia goodii* - a demonstration of the Allee effect. Oecologia, 94 : 446−450.

Levin, D. A. 1975. Spatial segregation of pins and thrums in populations of *Hedyotis nigricans*. Evolution, 28 : 648−655.

Menges, E. S. 1991. Seed germination percentage increases with population size in a fragmented prairie species. Conservation Biology, 5 : 158−164.

Morgan, J. W. 1999. Effects of population size on seed production and germination in an endangered, fragmented grassland plant. Conservation Biology, 13 : 266−273.

Nishihiro, J. & Washitani, I. 1998a. Patterns and consequences of self-pollen deposition on stigmas in heterostylous *Persicaria japonica* (Polygonaceae). American Journal of Botany, 85 : 352−359.

Nishihiro, J. & Washitani, I. 1998b. Effect of population spatial structure on pollination and seed set of a clonal distylous plant, *Persicaria japonica* (Polygonaceae). Journal of Plant Research, 111 : 547−556.

Shaffer, M. L. & Samson, F. B. 1985. Population size and extinction : a note on determining critical population size. American Naturalist, 125 : 144−152.

Sih, A. and Baltus, M. -S. 1987. Patch size, pollinator behavior, and pollinator limitation in catnip. Ecology, 68 : 1679−1690.

Wilcox, B. A. & Murphy, D. D. 1985. Conservation strategy : the effects of fragmentation on extinction. American Naturalist, 125 : 879−887.

Wyatt, R. & Hellwig, R. L. 1979. Factors determining fruit set in heterostylous bluets, *Houstonia caerulea* (Rubiaceae). Systematic Botany, 4 : 103−114.

施設紹介

土木研究所本館前におけるビオトープ実験

実験のねらい

土木研究所緑化生態研究室では、本館前の池に水草を植栽しました。前庭にも新しい池を３つ造りました。これらの池は水生昆虫のビオトープ(生物の生存が可能な空間)の構造を調査するために整備したものです。

水生昆虫には河川等の流水域に生息する種と池沼等の止水域に生息する種があり、さらにトンボ類等、幼虫は水中で生活し、成虫は陸上で生活する種と、ゲンゴロウ類等、一生水中で生活する種に分けられます。中には成虫になっても飛べない種もありますが、多くは成虫になると飛んで移動することができます。

実験で対象としたのは止水性の飛翔移動型水生昆虫で、このグループの昆虫は行動圏内に散在する止水域を生息環境として利用し個体群を維持していると考えられます。生息環境の選択要因は止水域の面積と水平的配置、個々の止水域の植生構造であると考えられ、これらの関係を解明できれば個別の止水域の設計や植栽技術、ビオトープの配置計画に生かすことができます。

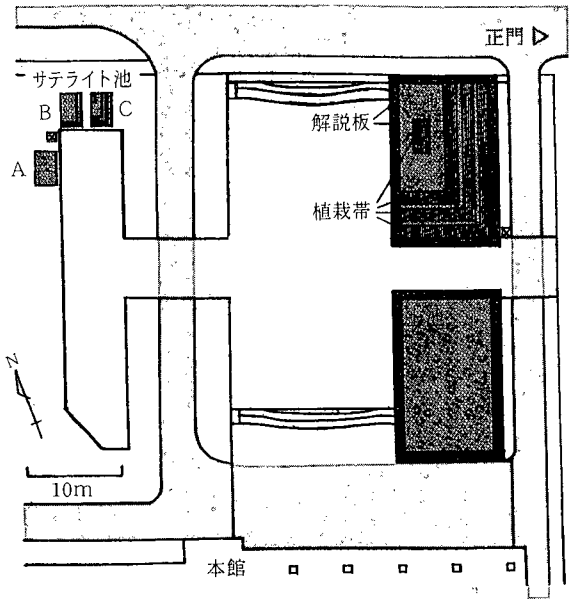


図-1 実験池位置図

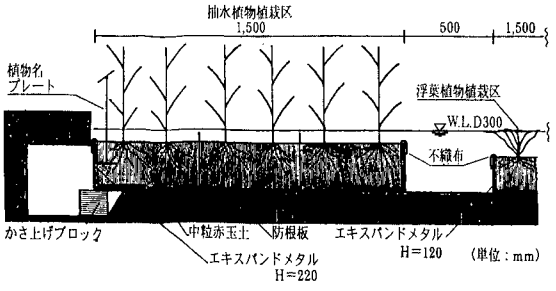


図-2 下池植栽模式図

池の整備内容

池には以前から水生昆虫の飛来が見られましたが、定着できる種はほとんどなく、生物の生息環境としては適さない環境と考えられました。その原因は土壌、植物等の有機的要素が無いことと考えられます。このことを検証するため、正門寄りの池(下池・実験区)のみに植栽を行い本館寄りの池(上池)は対象区として以前と同じ状態にしてあります。新しい池(サテライト池)は面積効果を調査するために設けました。A池は上池、C池は下池の1/5モデルで、B池は中間のモデルとして抽水植物のみ植栽しました(図-1)。生物については、自力で移動してくる種のみを把握するため、導入は行わないこととしました。

植栽基盤はエキスパントメタル(網状金属板)をL字型に加工し不織布を張ったものを使用しました(図-2)。基盤の厚さは22cm(抽水植物植栽区)、12cm(浮葉、沈水植物植栽区)としました。

植栽基盤用土としては水田土壌や畑土を用いることが多いのですが、これらの用土は粒子が細かいために水が濁りやすく、作業がしにくい等の欠点があるため、中粒赤玉土を使用しました。この



写真-1 水生昆虫の調査

表-1 植栽水草表

科名	種類	和名	学名	生活型	採集地	下池	サテライトB	サテライトC
オモダカ	2	ヘラオモダカ	*Alismacanaliculatum* A.Br.et Bouche ex Samuelsson	抽水	栃木県矢板市	●		●
		オモダカ	*Sagittariatrifolia* L.	抽水	千葉県沼南町	●	●	
トチカガミ	2	ミズオオバコ	*Ottellaalismoides* (L) Pers.	沈水	千葉県沼南町	●		
		コウガイモ	*Valoosneriadenserrulata* (Makino) Makino	沈水	千葉県沼南町	●		●
ヒルムシロ	4	ヒルムシロ	*Potamogetondistinctus* A.Benn	浮葉	千葉県沼南町	●		●
					栃木県矢板市	●		
		オヒルムシロ	*Potamogetonnatanns* L.	浮葉	東京都武蔵野市			●
		ササバモ	*Potamogetonmaraianus* Miq.	沈水	千葉県沼南町	●		●
		ガシャモク	*Potamogetondentatus* Hagstr.	沈水	千葉県沼南町	●		●
ミズアオイ	2	ミズアオイ	*Monochoriakorsakowii* Regel et Maack	抽水	茨城県桜川村	●		
		コナギ	*Monochoriavaginalis* (Burm.fil.) Kunth	抽水	千葉県沼南町		●	
イネ	2	ヨシ	*Phramitesaustralis* (Cav.) Trin. ex Steud.	抽水	茨城県ひたちなか市	●		
					千葉県沼南町	●		
		マコモ	*Zizanialatifolia* Turcz.	抽水	茨城県桜川村	●		
					茨城県つくば市	●		
サトイモ	1	ショウブ	*Acoruscalamus* L.	抽水	茨城県ひたちなか市	●		
ミクリ	1	ミクリ	*Sparganiumerectum* L.	抽水	茨城県ひたちなか市	●		●
ガマ	3	ガマ	*Typhalatifolia* L.	抽水	茨城県ひたちなか市	●		
		コガマ	*Typhaorientalis* Presl	抽水	千葉県沼南町	●	●	
		ヒメガマ	*Typhaangustifolia* L.	抽水	茨城県つくば市	●		
カヤツリグサ	3	ウキヤガラ	*Boldoschoenusfluviatilus* (Torr.) T.Koyama	抽水	茨城県ひたちなか市	●	●	●
		ホタルイ	*Schoenoplectusjuncoides* (Roxb.) Palla	抽水	茨城県ひたちなか市	●	●	
					千葉県沼南町		●	
		サンカクイ	*Schoenoplectustriqueter* (L.) Palla	抽水	茨城県ひたちなか市	●		
					千葉県沼南町	●	●	
スイレン	2	ジュンサイ	*Braseniaschreberi* J.F.Gmel.	浮葉	岐阜県白鳥町	●		
		コウホネ	*Nupharjaponicum* DC.	抽水	栃木県矢板市	●		
アリノトウグサ	1	ホサキノフサモ	*Myriophyllumspicatum* L.	沈水	千葉県沼南町	●		●
ミツガシワ	2	アサザ	*Nymphoidespeltata* (Gmel.) O.Kuntze	浮葉	茨城県麻生村	●		
		ガガブタ	*Nymphoidesindica* (L.) O.Kuntze	浮葉	茨城県美浦村	●		
シソ	1	シロネ	*Lycopuslucidus* Turcz.	抽水	茨城県美浦村	●	●	●
ミソハギ	1	ミソハギ	*Lithrumanceps* (Koehne) Mak.	抽水	茨城県ひたちなか市	●		●
植栽種数	27					24	7	11

用土は粒状で貧栄養なため、水の濁りが少なく作業がしやすい、施肥によって生育をコントロールすることができる等の利点があります。

さらに池の物理的環境と水草、水生昆虫との関係をモニタリングするために水温、水位についてデータロガー(自動連続記録装置)を設置し連続的にデータを収集しています。

植栽した水草は、事前に河川管理者等、関係各機関に連絡し了解を得た上で、自生地の環境を荒らさないように注意して採集しました(表-1)。水草の根や葉の隙間には小型の水生動物が潜んでいることが多いので、これらを池に持ち込まないように丁寧に洗浄し、採集当日もしくは翌日中に植栽しました。

植栽は水草の種や採集地が混じり合わないように、また、水生昆虫との関係も把握できるように植栽区画を区分し、植栽した水草の科名、種名、産地を記入したプレートを区画ごとに設置しました。池畔の解説板には実験内容等を解説して来所者、見学者への便宜をはかりました。

整備後の状況

植栽した水草の活着はよく、1ヶ月後にはすべての種で新葉の展開が見られました。植栽直後から飛来してくるトンボ類の種、個体数が整備前に比べて明らかに多くなり、ギンヤンマ、マユタテアカネ等は盛んに産卵するのが観察されました。植栽完了後に行った調査(写真-1)ではこれらトンボ類の幼虫や、ミズカマキリ、コマツモムシ等が多数確認されました。今後もひきつづきマーキング法(個体に標識をつけて調査する手法)を用いた行動調査、各植栽区画の定量調査等を行い、水生昆虫と止水域の質や植生、面積、配置との関係を把握、検証していく予定です。

建設省土木研究所環境部緑化生態研究室
主任研究員　日置佳之
同　重点研究支援協力員　須田真一

【技術研究】

ダム緑化のための湖岸環境区分と適応自生植物の選定

建設省土木研究所 環境部 緑化生態研究室　藤原宣夫*
株式会社　緑生研究所 計画部　井本郁子**

1. はじめに

ダム湖では，人為的な管理により水位が変動し，水位変動域（冠水面）の湖岸では，多くの場合，植生が失われ，裸地が出現している。中でも，制限水位が設けられるダム湖では，水位変動の幅が大きく，台風や豪雨による増水に備える夏期には，常時満水位より数メートルも低い位置に水位が下げられるため，広範囲にわたり裸地が見られることが多くなっている。

このような裸地化は，従来より，景観や斜面安定上の観点から問題とされ，緑化が必要とされてきたが，多様な生物の生息地として，水辺の植生の重要性が認識されるようになった現在では，生物多様性保全の観点からも緑化が望まれるようになり，特に自然植生の再生の重要性が高まっている。

裸地化の主たる原因は，「浸食による表土の流出」と「冠水による植物への生理的な障害」の2つと考えられており，これらへの対処を目的とした研究は，比較的古くから行われてきている。ただし，研究の多くは，景観や斜面安定上の問題への対応という観点から行われているため，表土の流出を阻止する土木的な技術が検討の中心となっており，植物については，冠水に耐える種類を，比較的流通性の高い造園植物の中から選抜するという内容のものが多い[1]。

ダム湖岸においても，傾斜が緩く浸食が生じにくい場所では自生植物の生育が観察されるため，自然植生の再生には，水位変動条件に適合する植物種を，地域に自生する植物の中から見いだし，緑化材料として用いることが必要と考えられるが，このような観点から，導入植物種の検討を行った研究事例は限られたものとなっている[2,3]。

本稿では，筆者らが東北地方の2つのダム湖を対象に行った水位変動条件と自生植物の対応関係の調査[4]から，自然植生再生を目標とする場合の導入植物の選定について検討した結果を報告する。

2. 対象ダム湖と調査・分析の方法

（1） 対象ダム湖と年間水位変動の概要

検討対象としたダム湖は，釜房湖（宮城県川崎町，1970年竣工）と御所湖（岩手県盛岡市・雫石町，1981年竣工）である。

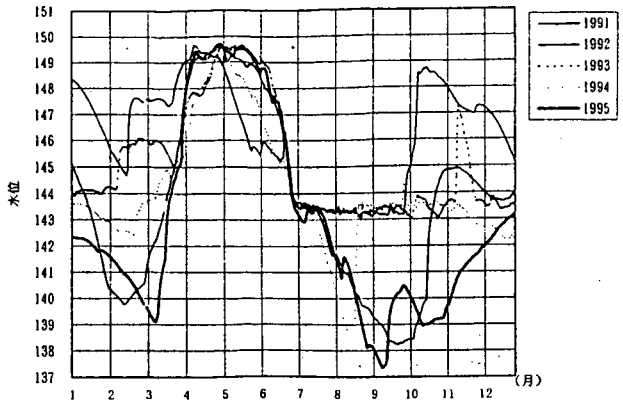
両ダム湖はいずれも，制限水位を設けて管理を行っており，常時満水位と制限水位との差は，ともに6mである（表-1）。また，どちらも積雪地域に位置するため，類似した水位変動パターンを有している。

両ダム湖の1991～95年の水位変動を，図-1および2に示した。両ダム湖ともに，融雪期前および夏期に，毎年水位が下げられている。融雪期前，3月までに低下した水位は，4月から5月にかけて，雪解け水を集めて上昇する。夏期の水位低下は5月の下旬から始まり，7月には制限水位に達し，降雨による一時的な上昇を除き，9月末まで制限水位以下に維持される。10月に入ると水位は上昇し，冬期間は比較的高水位が維持される。釜房湖では，夏期の渇水により，冬期間も低水位の年が見られるが，基本的には，このような水位変動が毎年繰り返されている。

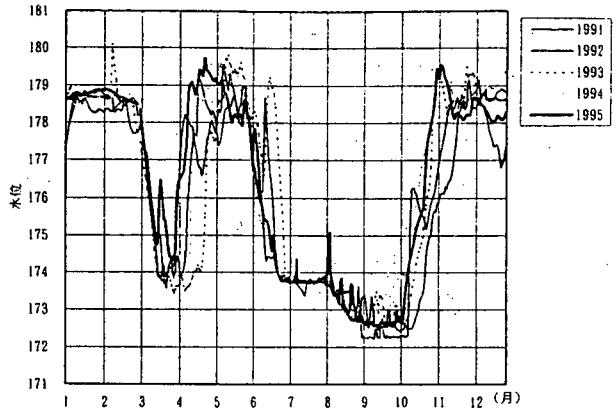
表-1　調査対象ダムの管理水位

	常時満水位(標高)	制限水位(標高)	水位差
釜房湖	149.8 m	143.8 m	6.0 m
御所湖	180.0 m	174.0 m	6.0 m

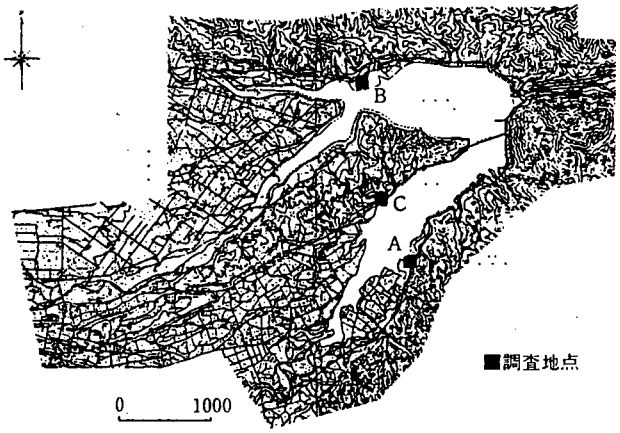
* 室長
** 研究主幹



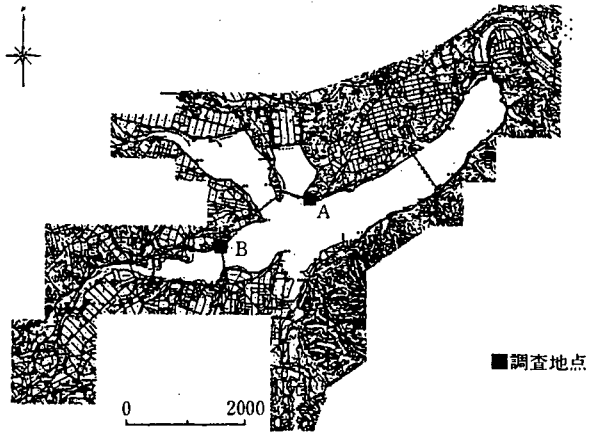
図−1 釜房湖における水位変動 (1991〜95)



図−2 御所湖における水位変動 (1991〜95)



図−3 釜房湖調査地点



図−4 御所湖調査地点

されている。

（2） 導入植物選定の考え方

ⅰ） 水位変動条件の指標

ダム湖岸緑化に用いる植物の研究が，冠水に対する耐性という観点から行われてきたこともあり，湖岸の植物の生育環境は，年間の冠水日数や連続冠水日数を指標として把握されることが多い。しかし，制限水位方式のダムでは，湖岸は，主に植物が休眠状態にある冬期に冠水し，植物が生育する夏期には連続して非冠水の時期があることが特徴となっている。

このような水位変動条件において自生する植物にとっては，夏期の非冠水期において，生育に必要な温度，水分条件，日数を確保できるかが重要となると考えられる。

そこで，ここでは，植物が生育するに十分な温度（月平均気温が5℃以上の月*1）と陸地としての出現が連続して得られる5〜11月を対象に，水位の観測頻度と，陸地としての出現日数を整理し，生育環境を把握した。

ⅱ） 環境区分の設定と導入植物の選定方法

両ダム湖には，湖岸が緩傾斜となっている部分があり，恵まれた条件にあるため，水位変動域でも，自生した植物が観察される。この湖岸植生は湛水されてから，長期間経過していることから，水位変動条件に適応し，安定的な状態にあると考えられることができる。

そこで，湖岸に自生する植物群落の分布と水位観測頻度・出現日数との対応関係から，湖岸の環境区分を設定し，環境区分ごとに，出現する割合の高い植物を緑化導入に適した種として選定した。

（3） 水位観測頻度と出現日数の算定方法

湖岸の標高を0.1 m 間隔に区分し，5〜11月の214日間の日平均水位について，各標高区分での観測頻度を整理した。次に，観測頻度を累積することにより，特定の標高以下となる頻度，すなわち出現日数を算定した。

このような作業を1991〜95年（植生調査前の過去5ヶ年）の各年について行い，5年間の平均値を求めて

*1 月平均気温5℃は，植物の正常な生活活動の閾値として経験的に求められた値であり，5℃以上の月平均気温の年間積算温度は「暖かさの指数」と呼ばれ，植物の地理的分布とよく対応する。

水位観測頻度と出現日数とした。

（4） 植生（植物群落分布・群落種組成）調査方法

植物が自生する位置において，制限水位付近から常時満水位付近まで，幅 20 m の帯状の調査区を設定し，優占種*2による植生図（植物群落分布図）を作成するとともに，調査区中心線において地形断面測量を行い，各植物群落の分布する標高を把握した。調査区の位置は図-3および4に示した5地点である。

また，主要な群落について，ブラウン－ブランケの全推定法*3により，種組成を調査した。調査の実施時期は，水位の低下後，茎葉が繁茂する8月下旬（1996年）である。

3. 調査・分析の結果

（1） 水位観測頻度と出現日数

両ダム湖の，各標高における5年平均の水位観測頻度と出現日数を整理したものが，図-5および6である。

両ダム湖とも，生育期の水位の観測頻度は，制限水位から-1 m の範囲に大きなピークがあり，この標高付近が夏期には水際となり，地下水位が高く加湿な条件になることが推測される。制限水位から常時満水位の間は，観測頻度に大きな差はないが，常時満水位の下部 0.5～2.0 m の範囲は若干頻度が高くなっている。生育期の前後には，この位置が水際となっており，この位置を越える冠水はほとんどない。

出現日数は標高が低くなるに連れ減少するが，制限水位付近を境に大きく変化しており，両ダム湖とも，制限水位より上部では 110 日以上，制限水位より 1 m 下部では 50 日以下となる。

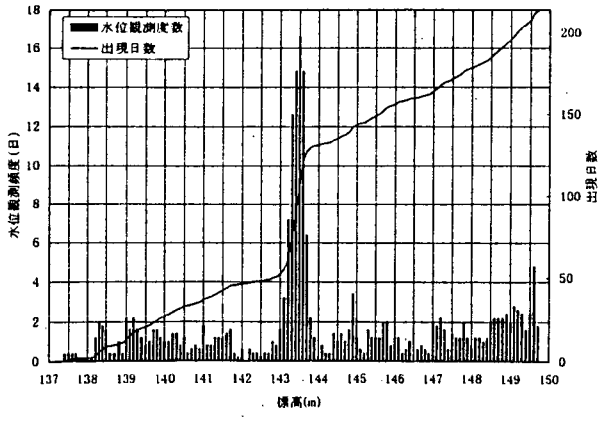


図-5 釜房湖の水位観測頻度と出現日数
（5～11月について5年間平均値）

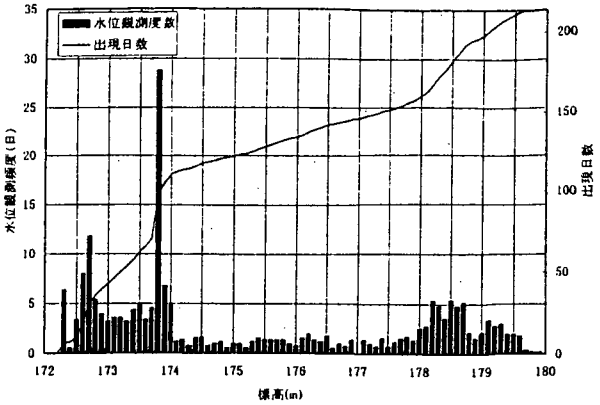


図-6 御所湖の水位観測頻度と出現日数
（5～11月について5年間平均値）

（2） 群落分布と水位観測頻度・出現日数との関係

5地点で作成した植生図から，植物群落の分布範囲を各地形断面図上に記載したものが図-7および8である。また，群落の分布する標高（常時満水位からの比高）と出現日数の範囲を整理したものが図-9である。なお，群落の名称は優占種により表した。

木本群落の分布する出現日数の範囲は，イタチハギ，タチヤナギ，シロヤナギなど冠水に強いと考えられるものを除き，イヌコリヤナギ群落 207～214 日，フジ群落 196～206 日，オノエヤナギ群落 202～213 日と，ほとんど冠水のない範囲に限られており，木本群落の分布する出現日数は，概ね 190 日以上，標高にして常時満水位-1 m より上部となっている。また，これらの樹木については，樹木全体が水没することはない。

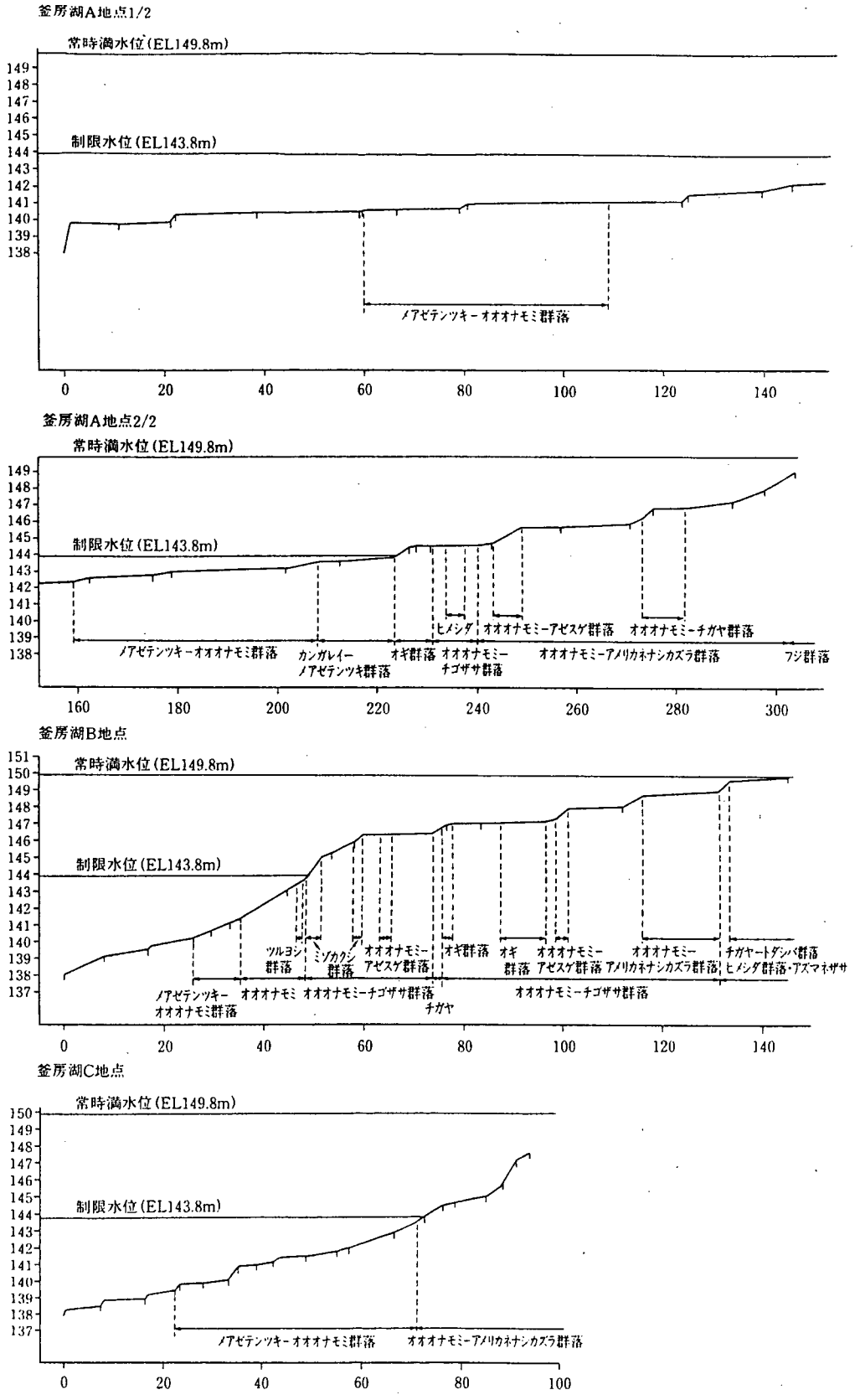
常時満水位から制限水位の間は，110 日以上の出現日数が得られる部分であり，オオオナモミ，チゴザサ，アゼスゲ，ミゾカクシなど湿生植物を優占種とする群落が，比較的広範囲に分布している。

制限水位の±0.5 m の範囲には抽水植物と浮葉植物*4の群落分布が特徴的である。その出現日数はカンガレイ－メアゼテンツキ群落 128～107 日，サンカクイ群落 111～115 日，ヒルムシロ群落 63～71 日であり，概ね 60 日以上となっている。これらの植物の生育には，水深の浅い水湿地が必要であるため，水位観測頻度が高い制限水位付近に分布すると考えられる。なお，水田跡の凹地など水湿地が維持される部分では，制限水位より上部でも，分布が見られる。

*2 優占種とは，群落において量的に多い種を指し，優占種の違いにより群落を区分することができる。

*3 「河川水辺の国勢調査」でも用いられている一般的な植生調査法であり，群落内に方形調査区（コドラート）を設置し，階層別に種とその被覆の度合いを記録する。

*4 ヨシなどのように水底に根を張り，植物体の一部を空気中に出している植物を抽水植物という。また，同じく水底に根を張り，葉を水面に浮かすものを浮葉植物という。



図－7 制限水位付近から常時満水位への植物群落の分布（釜房湖）

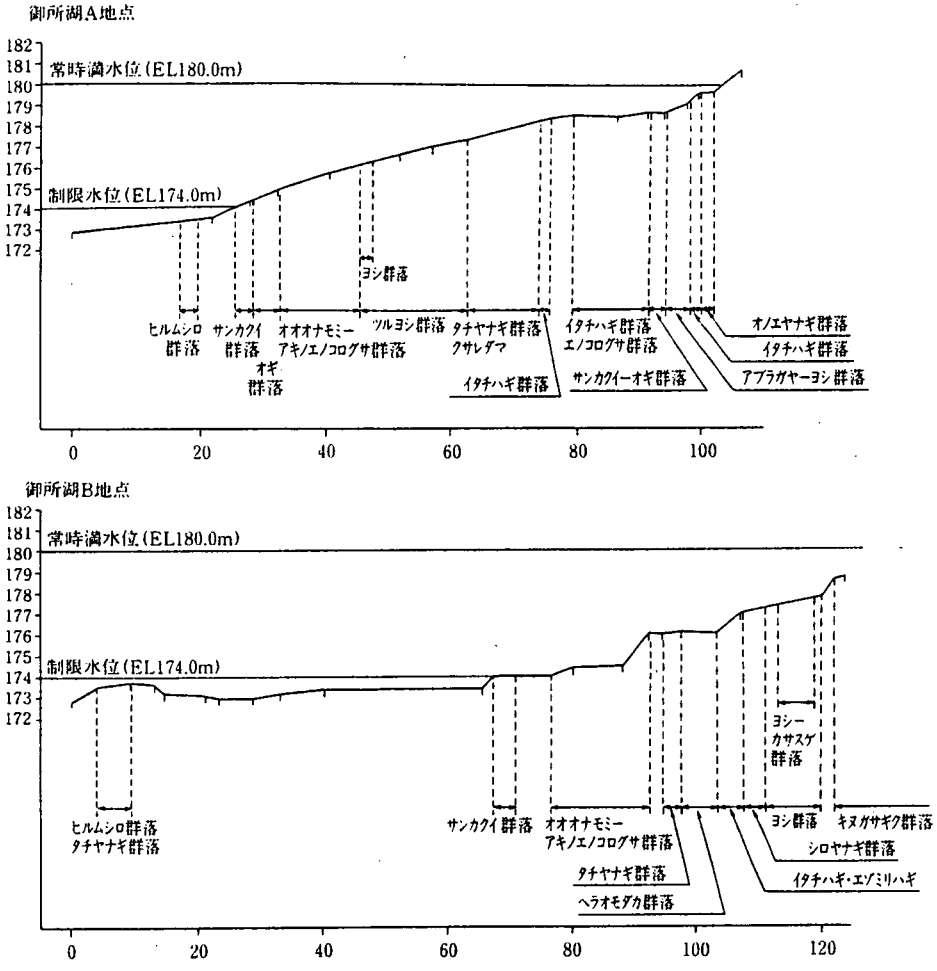


図-8 制限水位付近から常時満水位への植物群落の分布（御所湖）

制限水位-0.5 m より下部では釜房湖においてメアゼテンツキ-オオオナモミ群落のみが見られ，出現日数は約 20 日以上である。

（3） 環境区分の設定

以上の群落分布分析から，湖岸の環境区分は，A. 常時満水位付近，B. 常時満水位から制限水位の間，C. 制限水位付近，D. 制限水位より下部の 4 つのゾーンに区分されると考えられ，対象とした両ダム湖では，ともに，標高により以下のように区分できる。

A. 常時満水位～常時満水位-1.0 m

B. 常時満水位-1.0 m～制限水位+0.5 m

C. 制限水位+0.5 m～制限水位-0.5

D. 制限水位-0.5 m～

ただし，D ゾーンは，釜房湖でのみ見られたものであり，濁水の影響により生じたものと考

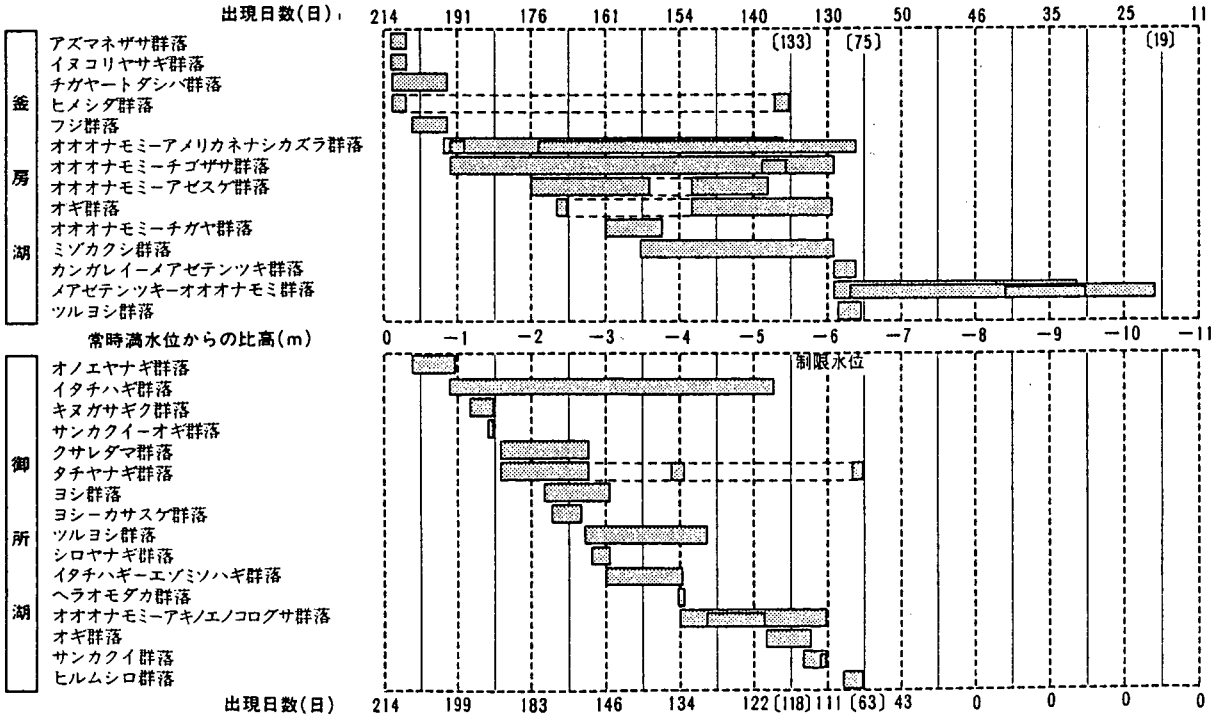


図-9 群落の分布標高と出現日数

えられる。

（4） 各環境区分に適応する自生植物

各環境区分での群落組成調査の結果を整理し，総合常在度表*5の形で表−2に示した。

全ゾーンに出現する種群としては，オオオナモミ，イヌビエ，アキノエノコログサがある。いずれも裸地化した立地に早期に侵入し群落をつくる，明かるく，比較的湿った立地を好む，生育の極めて早い一年生草本である。

一年生草本で，比較的冠水の程度が高いゾーンB〜Dに出現する種群としては，トキンソウ，カリマタガヤ，カワラケツメイ，サナエタデ等の種群が，さらに冠水頻度が高いゾーンC〜Dにのみ出現する種群として，メアゼテンツキ，スカシタゴボウ，チョウジタデ，アメリカアゼナ，タマガヤツリがある。これらは水田などの浅い水湿地に生育する種群である。また，ゾーンA〜Cにみられる一年生草本としては，アメリカセンダングサ，コブナグサなどがある。

ほとんどの多年生草本は，ゾーンDには出現しないが，浮葉植物であるウキシバが夏期制限水位以下でも確認される。多年生草本で分布範囲の広い種群としては，チゴザサ，スギナ，エゾミソハギ，ツルヨシ，ヒメシダ，オギがあり，ゾーンA〜Cまで分布する。また，ゾーンB〜Cに分布する種として，ミゾカクシ，サヤヌカグサ，ミズオトギリがある。

木本種ではタチヤナギとイタチハギがゾーンA〜Cまでの広い分布域を持つ。また，シロヤナギ，カワヤナギも比較的冠水するゾーンBに分布が確認された。

このような，環境区分と出現種群の変化を，植物の生活型*6の変化として見ると，各環境区分の特徴がわかる(図−10)。ゾーンAからゾーンDへ，出現日数が少なくなるに従い，木本と多年生草本の種類数が減少する。ゾーンAとBは木本の出現はあるものの，多年生草本の出現種数の割合が50%を越えており，多年生草本帯とみなすことができる。一方，一年生草本はゾーンC付近（夏期制限水位付近）で出現種数が最大であり，その割合も50%を越える。しかし，ゾーンCではまだ多年生草本の出現も多い。そして，さらに冠水頻度の高いゾーンDとなると，ほとんど一年生草本の分布域とい

表−2 環境区分と植物種の関係（総合常在度表）

環境区分		D	C		B		A	
調査地		釜房	釜房	御所	釜房	御所	釜房	御所
調査区数		7	8	7	13	9	4	4
一年生草本	オオオナモミ	V	V	V	V	V	3	2
一年生草本	イヌビエ	V	II	II	II	III	1	1
一年生草本	アキノエノコログサ	II	II	V	II	III	1	1
一年生草本	トキンソウ	V	IV	V	II			
一年生草本	カリマタガヤ	I	II	II	III	II	1	
一年生草本	コニシキソウ	I	III	I	I	III		
一年生草本	カワラケツメイ	I	II		IV			
一年生草本	サナエタデ	III	I	I	I		1	
多年生草本	ウキシバ	I	I		I			
一年生草本	メアゼテンツキ	V	II	I				
一年生草本	スカシタゴボウ	I		III				
一年生草本	スベリヒユ	II	I					
一年生草本	チョウジタデ			III				
一年生草本	アメリカアゼナ		I	III				
一年生草本	タマガヤツリ			III				
多年生草本	ヒルムシロ			II				
多年生草本	オモダカ			II				
一年生草本	ノミノツヅリ		II		I			
一年生草本	オオイヌタデ			I		II		
一年生草本	トキワハゼ			I		I		
多年生草本	ミゾカクシ		III	I	II	I		
多年生草本	サヤヌカグサ		I	III	II			
多年生草本	ミズオトギリ			I		III		
多年生草本	クサレダマ			II		II		
多年生草本	ヒルガオ		I		I			
一年生草本	アメリカセンダングサ		II	IV	I	IV	3	4
一年生草本	コブナグサ	I	II	III	IV	III	4	2
一年生草本	アメリカネナシカズラ	I	III		III		2	
一年生草本	メヒシバ		I	I		II	1	1
一年生草本	マメアサガオ		I		I		3	
一年生草本	ヒメミカンソウ		I	II		III		1
一年生草本	ケイヌビエ		II	III			1	
一年生草本	テンツキ			III				2
一年生草本	カヤツリグサ			II				1
一年生草本	マツバイ			I	I			1
一年生草本	イボクサ			I			2	
多年生草本	チゴザサ		II	I	IV	IV	3	1
多年生草本	スギナ		IV	I	IV	II	3	1
多年生草本	エゾミソハギ			V		III		4
多年生草本	ツルヨシ		II	I		III		2
多年生草本	ヒメシダ		I			II	2	1
多年生草本	オギ		I	I	I		1	2
多年生草本	サンカクイ			III				2
多年生草本	ホタルイ			III				2
多年生草本	ヨモギ			III			2	1
多年生草本	ミヤコグサ			II				2
多年生草本	アイダクグ		I		I		2	
多年生草本	ススメノヒエ			I		I		2
木本	イタチハギ			II		IV	1	4
木本	タチヤナギ			I		II		2
多年生草本	カサスゲ					II		
木本	シロヤナギ					I		
木本	カワヤナギ					I		
一年生草本	ヤブツルアズキ				III	I	3	
一年生草本	ツルマメ					II	2	1
一年生草本	エノキグサ					II	1	1
一年生草本	アレチウリ				I		2	
多年生草本	アゼスゲ				II	II	1	1
多年生草本	ヨシ					III		2
多年生草本	メドハギ				II	I		1
多年生草本	チガヤ				II		2	
多年生草本	ヘクソカズラ				II		2	
多年生草本	コシロネ				I		2	2
多年生草本	オオバコ					I		2
多年生草本	アイバソウ					I		3
木本	イヌコリヤナギ					I	1	2
木本	ヤマグワ				I		1	
一年生草本	ヤハズソウ							2
一年生草本	ブタクサ							2
多年生草本	トダシバ						3	
多年生草本	コウガイゼキショウ						1	2
多年生草本	イ						1	2
多年生草本	ツボクサ						2	
多年生草本	ヤマアワ						2	
多年生草本	ヒメクグ							2
多年生草本	ケキツネノボタン							2
木本	オノエヤナギ							2
木本	アズマネザサ						2	
木本	フジ						1	
（以下省略）								

*5 組成調査の結果を整理し，特定の群落に，特定の種が出現する割合を20%ごとの5段階(I:0〜20, II:20〜40, III:40〜60, IV:60〜80, V:80〜100)で示したもの。ここでは，各ゾーンを特定の群落と考え，各ゾーンの調査区に出現した割合を示した。なお，Aゾーンでは調査区数が4と少ないため，割合ではなく調査区の実数を示した。

*6 越冬形態（休眠形態）から植物を分類したもの，木本，多年生草本，一年生草本の区分。

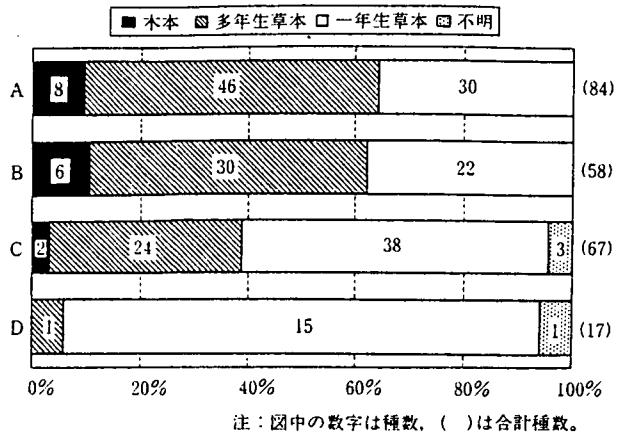


図-10 環境区分と出現種の生活型

うことができる。

4. ま と め

釜房湖および御所湖では，植物の生育環境としての湖岸の環境区分は，植物群落の分布状況と水位観測頻度および出現日数との関係からの4つのゾーンに区分された。各ゾーンに適応する自生植物は，これまでに述べたとおりであるが，ここでは，まとめとして，各ゾーンの環境特性と，緑化に際して目標となる群落および植物種の性質について述べる。

①ゾーンA：常時満水位～常時満水位-1 m

生育期における冠水は時々の増水時に限られ，出現日数は190日以上である。

生育可能な植物の種類が多く，木本や多年生草本が，まとまった群落を形成している。冬期にはこの付近に水位が維持されるため，非生育期の冠水あるいは加湿な状態に耐えることの可能な種であれば生育可能である。

②ゾーンB：常時満水位-1 m～制限水位+0.5 m

春の水位下降に従い出現し，秋の上昇とともに水没するため，出現日数は190～120日の範囲となる。

生育可能な木本は限定されるが，チガヤ，アゼスゲ，ヒメシダをはじめ，多くの多年生草本が群落を形成する。一年生草本の出現種も多いが，帰化植物であるオオオナモミ以外は，広範囲で優占して群落を形成することは少ない。多年生草本によって植生を復元することが可能なゾーンと考えられるが，適応種は，秋期から春期の長い冠水期間には休眠を続け，十分に温度が上がり，水位も下がる6月以降に，初めて出芽あるいは発芽する性質をもった種群と考えることができる。

③ゾーンC：制限水位+0.5 m～制限水位-0.5 m

出現日数は120～60日の範囲である。水位観測頻度が高く，夏期の水辺となるため，湿地の状態が維持されやすい。

エゾミソハギ，コブナグサ等の浅い水湿地でも生育可能な種が出現する。また，カンガレイ，サンカクイなどの抽水植物やヒルムシロ，ウキシバ等の浮葉植物が群落を形成し，このゾーンを特徴づけるが，これらの水生植物の生育には，浅い水湿地が形成されるように，制限水位の安定した維持と，平坦な立地が必要とされる。

④ゾーンD：制限水位-0.5 m～

渇水の年にのみ出現する。制限水位が維持される場合は，夏期においても水深が大きくなるため，抽水植物の生育は困難となり，比較的水深の浅い立地に限りウキシバ等の浮葉植物が生育する。

渇水のため制限水位より下部が出現した時には，周辺から風や水に運ばれたり，あるいは地中で休眠していた種子から発芽した一年生草本が生育する。オオオナモミ，メアゼテンツキ，トキンソウ，サナエタデ，ケイヌビエがこのような種である。

5. 今 後 の 課 題

ここでは，水位変動条件に着目し，適応植物を選択したが，同一ゾーン内でパッチ状に存在するいくつかの群落の分布には，微地形が関与することが予想されるため，さらなる検討が必要である。

また，ここでの成果の緑化への適用には，自生植物の導入手法となる移植，あるいは埋土種子を含む表土の利用等について，適否の確認が必要と考えている。

なお，現在成立している群落の多くは，オオオナモミ，イタチハギ等の帰化植物を優占種としており，在来の自生植物の生育地を奪っている。環境への適応性が高いとはいえ，帰化植物群落を復元の目標とすることは，在来自生種の保全に加え，生物多様性の保全の観点からも疑問が多い。自然植生の再生を目標とするならば，帰化植物の管理は重要な課題となることが予想される。

<参考文献>

1) 堀江保夫：湛水面裸地の緑化，最先端の緑化技術，ソフトサイエンス社，pp. 189～196, 1989
2) 岩川幹生：ダム湖湛水域の植生及び緑化について，緑化工基礎技術，(9)，pp. 68～79, 1987
3) 野田坂伸也，鈴木俊二：ダム湖の定期水没域の植生，緑化工技術，8 (3)，pp. 1～14, 1982
4) 井本郁子，藤原宣夫，三瀬章裕，大江栄三，麻生薫，北川淑子：ダム湖における水位変動による水辺の環境区分と植物群落に関する研究，環境システム研究，Vol. 26, pp. 623～633, 1998

Woods Restoration by Planting Faces of Slopes

Faces of slopes are excavated for public construction projects, like roads, dams and parks. To prevent erosion of their surface layer, slopes are planted with seeds of herbaceous plants. Recently, demand has arisen to quickly revegetate denuded slopes with nursery native trees for nature conservation and landscape improvement. We introduce a new method of planting nursery trees and shotcrete spraying of artificial soil, developed in our laboratory, and briefly examine techniques for planting faces of slopes.

Techniques for Planting Faces of Slopes and Associated Issues

There are two major techniques to plant trees on faces of slopes, seeding works and planting works of nursery trees.Seeding works is an efficient type of mechanized revegetation that mixes the seeds of trees with shotcrete soil. While fast-growing grass species are used to stabilize the faces of slopes,they sometimes hinder the succession to woody plants. Therefore, root taking was observed in some species, like pioneer plants, vigorous bush clover etc. Nursery tree planting works is a practical way to improve planting position to match the purpose of revegetation. More species can be used than with the seeding works technique. However, it is more difficult than seeding works because it is necessary to establish a foundation of planting works by fence structure for excavating planting holes.

Planting Works of Nursery Trees and Shotcrete Spraying of Artificial Soil

Nursery trees are directly planted on the faces of slopes using artificial soil which is thickly sprayed around the roots. Artificial soil is high in erosion resistance; for example it is used in rock mass revegetation works. The construction cost is approximately 35 % less than planting works by fence structure for excavating planting holes. Three methods of planting nursery trees are shown in Figs. 1-1, 1-2 and 1-3. Fig. 1-1 illustrates a way of planting in depressions in natural ground, Fig. 1-2 indicates a way of

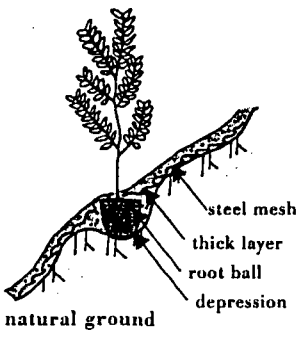


Fig. 1-1 Planting in a natural depression

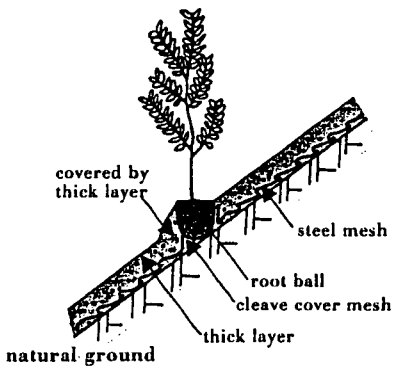


Fig.1-2 Planting on the cleaved cover mesh

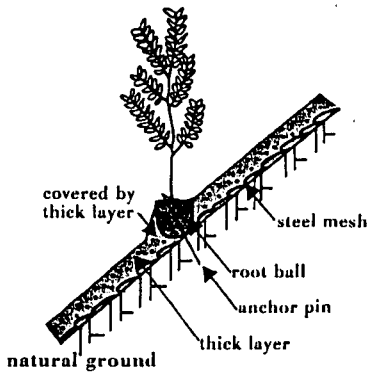


Fig.1-3 Anchor work

planting a nursery tree on the cleaved cover mesh of a slope, and Fig. 1-3 shows anchor work, in which roots of nursery plants are planted in natural ground by driving in piles. Practical studies were conducted from 1991 to August 1998 at Sanuki Manno National Park, Kagawa Prefecture. One hundred thirty five Japanese Privents (Lingustrum Japonicum Thumb, 50 cm in height) and five hundred ten Japanese Hawthorns (Rhaphiolepis umbellata Makino, 30 cm in height) were planted on the cleaved cover mesh of a slope. A high percentage of root taking was observed in both species, 95% in Japanese Privents and 88 % in Japanese Hawthorns (Table 1). Height growth was 230 cm for the Japanese Privents (4.6 times) and 115 cm for the Japanese Hawthorns (3.8 times),as shown in Fig. 2. Full-grown roots stabilized the slope as shown in Fig. 3. This success indicated that nursery tree planting works and shotcrete spraying of artificial soil was practical in Sanuki Manno. In the future, many experiments will be conducted using different environmental conditions and species.

(Landscape and Ecology Division)

Table 1 Chauge of root taking

Species	azmuth of face of slope	n	3months.※	1year and 7months ※	2year and 8months ※	7year and 5months ※
Japanese Privent	south	21	21	21	20	20
			100.0	100.0	95.2	95.2
	north	114	112	110	109	109
			98.2	96.5	95.6	95.6
	sub total	135	133	131	129	129
			98.5	97.0	95.6	95.6
Japanese Hawthorn	south	209	194	191	190	188
			92.8	91.4	90.9	90.0
	north	301	291	290	288	264
			96.7	96.3	95.7	87.7
	sub south	510	485	481	478	452
			95.1	94.3	93.7	88.6
total		645	618	612	607	581
			95.8	94.9	94.1	90.1

※upper number is the number of plants, lower number is the percentage of root taking

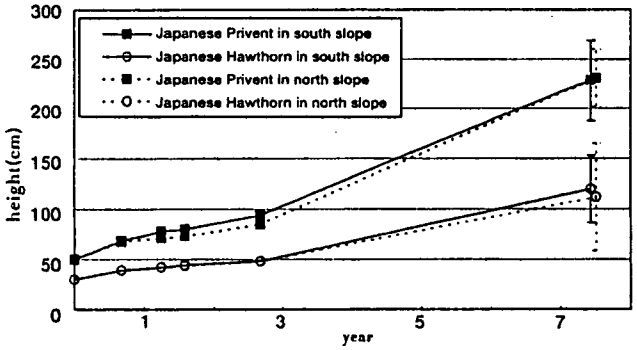


Fig.2 Height growth during study period



Fig.3 Root taking of Japanese Privent in Sanuki Manno National Park

◆ 道路環境特集 ◆

沿道景観構成要素の整備手法

森崎耕一*

1. はじめに

道路は、長期にわたり多くの人々に利用される社会資本であることから、質の高い公共施設として親しみと潤いのある美しい景観を備えたものであることが望まれる。しかしながら、都市周辺部の道路は、沿道の開発に伴い多くの屋外広告物が乱立し、景観の混乱が見受けられるのが現状であり、過去に行われた道路・街路景観に関する研究においても、「特に、都市内道路の混雑解消と都市の秩序ある発展を目的として建設されたバイパスにおいてその傾向は著しい。」[1] と報告されている。

道路・街路景観に関する研究については、過去にバイパス景観のタイプ分類や評価、変遷などについて取りまとめられたものがある[1),2)]が、屋外広告物や樹林等の景観を構成する個別要素の状況や整備手法まで具体的に言及されたものは少ない。

本稿は、バイパスの沿道景観において、主要な視点となるドライバーからの走行景観に関し、屋外広告物等の沿道景観構成要素が及ぼす影響について統計的手法を用いて分析した結果及び沿道景観構成要素の望ましい整備手法について報告するものである。

2. 調査・分析の方法

各地のバイパスの走行景観の写真をスライドで被験者に提示、その印象について5段階で評価を行わせ、その結果と沿道景観構成要素の関係を数量化I類により分析することにより、沿道景観構成要素が走行景観に及ぼす影響について把握した。

2.1 対象沿道景観

対象としたバイパスは国道16号及び国道4号の4車線区間であり、景観構成要素の配置等が典型的である45箇所において平成8年度冬期及び平成9年度夏期に撮影した写真(61葉)を用いた(写真-1)。

なお、写真撮影にあたっては、28mmレンズを用い(水平画角65°、垂直画角46°)、車内のフロントガラスの中心部に設けた設置台にカメラを固定し、左側車線を走行しながら実施した。撮影に用いた車両については、通過交通に占める割合を考慮し普通乗用車とした。

2.2 評価試験

(1) 評価形容詞対の選定

評価試験に先立ち、景観を形容する際に使用頻度が高く、反対語のある形容詞対を各種専門文献から抽出した。さらに、対象となるバイパスの沿道景観を評価する適切な形容詞対を選定するた



写真-1 評価試験に使用した写真の例

Landscaping of Roadside Elements

め、造園計画、都市計画等、景観に見識のある専門家(14名)に対象沿道景観の写真を提示し、当該景観を評価するのに最も適切であると考えられる形容詞対を3つまで選択していただいた。

その結果、回答頻度の高かった上位3つである「整然とした－雑然とした」「開放的な－閉鎖的な」「走りにくい－走りやすい」を評価試験に用いる形容詞対とした(図-1)。

(2) 評価試験

対象バイパスの沿道景観のスライドを27名の被験者に提示し、上記の3つの形容詞対について5段階で評価を依頼した。なお、被験者の属性は表-1に示すとおりである。

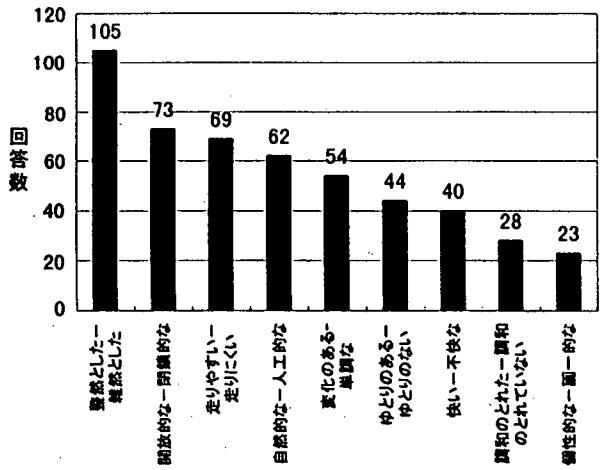


図-1 専門家による形容詞対の選定の集計結果

表-1 被験者の属性

被験者数		27人
性別	男性	19人
	女性	8人
年齢	20代	14人
	30代	12人
	40代	1人

2.3 沿道景観構成要素のデータのカテゴリー化と数量化Ⅰ類による分析

沿道景観構成要素は、道路本体に係るアイテムとして樹木、歩道幅員、中央分離帯幅員、ガードレールを、また、沿道側のアイテムとして土地利用の状況、屋外公告物を抽出した。そのうち、屋外広告物については、個数や占有面積率という量の指標の他に、垂直方向の見えの大きさの指標として一般的に用いられるD/H[3),4)](D：視点から対象物までの距離、H：対象物の高さ)の平均と標準偏差、また、対象物の面積(S)を勘案した見え方の指標としてD/H/Sの平均と標準偏差を設定した。

これらの要素及び指標については、対象とした61の沿道景観の写真や地形図からの判読及び現地での計測により、サンプルデータを作成した(図-2、表-2参照)。

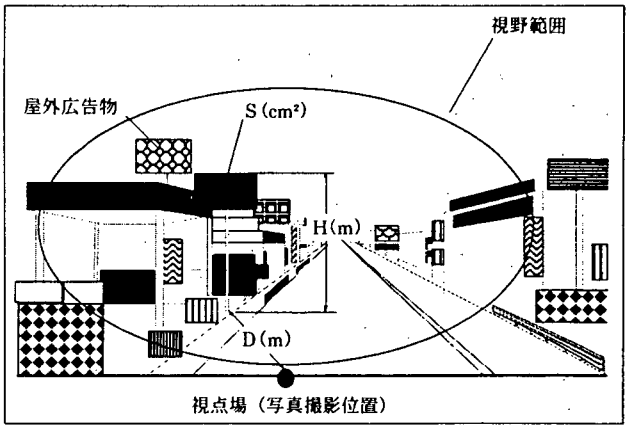


図-2 屋外広告物に係るD、H、S

表-2 サンプルデータの作成方法

アイテム		内容	データ作成方法
道路要素	樹木	歩道部、中央分離帯の植栽の有無	写真からの読み取り
	歩道幅員	歩道幅員	現地調査による計測及び1/2,500地形図からの読み取り
	中央分離帯幅員	中央分離帯幅員	1/2,500地形図からの読み取り
	ガードレール	ガードレールの有無、設置位置	現地調査による確認及び写真からの読み取り
沿道要素	土地利用	沿道周辺の土地利用状況	現地調査による確認及び1/2,500地形図からの読み取り
	屋外広告物指標	個数	写真上に占める屋外広告物の個数をカウント
		D/H平均	写真上に占めるすべての屋外広告物のD、H、Sから算出 D：1/2,500地形図から距離を計測 H：現地調査による計測 S：現地調査による計測 占有面積率：写真に占める屋外広告物の面積の割合から算出
		D/H標準偏差	
		D/H/S平均	
		D/H/S標準偏差	
		占有面積率	

表-3 沿道景観構成要素のアイテムとカテゴリー化

アイテム	カテゴリー				
	1	2	3	4	5
1. 樹木	なし	歩道部のみ	中央分離帯のみ	歩道部+分離帯	−
2. 歩道幅員	0~2.0m	2.0~3.5m	3.5~5.0m	−	−
3. 中央分離帯幅員	0~1.5m	1.5~10.5m	10.5m以上	−	−
4. ガードレール	なし	車道側(歩車道境に設置)	沿道側(セットバック)	−	−
5. 土地利用	農地・緑地	住居	自動車関連産業	商店	工場
6. 屋外広告物指標					
個数	0~10	11~20	21~50	−	−
D/H平均	20未満	20~30	30以上	−	−
D/H標準偏差	10未満	10~20	20~30	30以上	−
D/H/S平均	10未満	10~20	20以上	−	−
D/H/S標準偏差	5未満	5~15	15~25	25以上	−
占有面積率	1%未満	1~3%	3~5%	5%以上	−

また、各アイテムのサンプルデータについて表-3に示すようにカテゴリー化を行い、景観を評価する3つの形容詞対のスコアを外的基準として数量化I類による分析を行った。

3. 分析結果

屋外広告物指標をD/H標準偏差とした場合の数量化の結果を表-4(1)~(3)に示す。

屋外広告物指標については、個数、D/H標準偏差、D/H/S標準偏差、占有面積率が、どの形容詞対についてもカテゴリースコアの最大値−最小値(レンジ)が大きく、外的基準に対する影響が大きいという結果となった。その中でも、D/H標準偏差を指標にした数量化の結果が数量化の精度を判断する重相関係数が最も高く、6アイテムすべてのカテゴリーの順序が説明上矛盾のないものになっていた。これにより、走行景観に及ぼす影響を評価するうえでの屋外広告物の指標は、D/H標準偏差が最も有効であることがわかった。

また、その他の5つのアイテムでは、ガードレール、歩道幅員、樹木が、どの形容詞対とも相対的にレンジが大きく(影響度が大きい)、土地利用、中央分離帯の幅員についてはレンジは小さい(影響度は小さい)結果となった。なお、影響度の高いアイテムのカテゴリーの内容とそれがどのように走行景観の評価に影響するかについて表-5に示した。それぞれの内容について以下に解説する。

表-4(1) 6アイテムの数量化の結果(整然とした-雑然とした)

サンプル数 61　重相関係数 0.857　(決定係数 0.734)

アイテム	カテゴリー	サンプル数	カテゴリースコア 整然とした ←→ 雑然とした	レンジ	偏相関係数
樹木 (1)	なし	22	0.229	0.593	0.471
樹木 (2)	歩道部	3	0.143		
樹木 (3)	中央分離帯	15	0.145		
樹木 (4)	歩道部+中央分離帯	21	-0.364		
歩道幅員 (1)	2.0m	11	-0.504	0.997	0.517
歩道幅員 (2)	2.0~3.5m	38	-0.010		
歩道幅員 (3)	3.5~5.0m	12	0.496		
中央分離帯の幅員 (1)	1m	27	0.213	0.778	0.408
中央分離帯の幅員 (2)	1.5m以上10m以内	26	-0.048		
中央分離帯の幅員 (3)	10m以上	8	-0.565		
ガードレール (1)	なし	34	-0.116	0.725	0.494
ガードレール (2)	車道側	18	0.388		
ガードレール (3)	沿道側	9	-0.338		
土地利用 (1)	農地・緑地	19	-0.051	0.241	0.164
土地利用 (2)	住居	5	0.058		
土地利用 (3)	自動車	16	0.028		
土地利用 (4)	商店	16	0.068		
土地利用 (5)	工場	5	-0.173		
D/H標準偏差 (1)	10未満	10	-0.677	1.066	0.647
D/H標準偏差 (2)	10以上20未満	16	0.040		
D/H標準偏差 (3)	20以上30未満	22	0.049		
D/H標準偏差 (4)	30以上	13	0.388		

表-4(2) 6アイテムの数量化の結果 (開放的な-閉鎖的な)

サンプル数 61　重相関係数 0.837　(決定係数 0.670)

アイテム	カテゴリー	サンプル数	カテゴリースコア 開放的な ⟷ 閉鎖的な	レンジ	偏相関係数
樹木 (1)	なし	22	0.101	0.539	0.212
樹木 (2)	歩道部	3	0.382		
樹木 (3)	中央分離帯	15	-0.004		
樹木 (4)	歩道部+中央分離帯	21	-0.157		
歩道幅員 (1)	2.0m	11	-0.499	0.777	0.407
歩道幅員 (2)	2.0~3.5m	38	0.057		
歩道幅員 (3)	3.5~5.0m	12	0.278		
中央分離帯の幅員 (1)	1m	27	0.149	0.461	0.204
中央分離帯の幅員 (2)	1.5m以上10m以内	26	-0.059		
中央分離帯の幅員 (3)	10m以上	8	-0.312		
ガードレール (1)	なし	34	-0.093	0.951	0.514
ガードレール (2)	車道側	18	0.434		
ガードレール (3)	沿道側	9	-0.517		
土地利用 (1)	農地・緑地	19	-0.158	0.644	0.337
土地利用 (2)	住居	5	0.308		
土地利用 (3)	自動車	16	0.026		
土地利用 (4)	商店	16	-0.034		
土地利用 (5)	工場	5	0.486		
D/H標準偏差 (1)	10未満	10	-0.859	1.164	0.618
D/H標準偏差 (2)	10以上20未満	16	-0.034		
D/H標準偏差 (3)	20以上30未満	22	0.234		
D/H標準偏差 (4)	30以上	13	0.306		

表-4(3) 6アイテムの数量化の結果 (走りやすい-走りにくい)

サンプル数 61　重相関係数 0.808　(決定係数 0.651)

アイテム	カテゴリー	サンプル数	カテゴリースコア 走りやすい ⟷ 走りにくい	レンジ	偏相関係数
樹木 (1)	なし	22	0.119	0.576	0.268
樹木 (2)	歩道部	3	0.368		
樹木 (3)	中央分離帯	15	0.044		
樹木 (4)	歩道部+中央分離帯	21	-0.208		
歩道幅員 (1)	2.0m	11	-0.411	0.713	0.365
歩道幅員 (2)	2.0~3.5m	38	0.024		
歩道幅員 (3)	3.5~5.0m	12	0.302		
中央分離帯の幅員 (1)	1m	27	0.086	0.285	0.134
中央分離帯の幅員 (2)	1.5m以上10m以内	26	-0.028		
中央分離帯の幅員 (3)	10m以上	8	-0.199		
ガードレール (1)	なし	34	-0.033	1.009	0.553
ガードレール (2)	車道側	18	0.378		
ガードレール (3)	沿道側	9	-0.630		
土地利用 (1)	農地・緑地	19	-0.065	0.246	0.154
土地利用 (2)	住居	5	0.181		
土地利用 (3)	自動車	16	0.001		
土地利用 (4)	商店	16	-0.027		
土地利用 (5)	工場	5	0.150		
D/H標準偏差 (1)	10未満	10	-0.750	0.994	0.585
D/H標準偏差 (2)	10以上20未満	16	-0.012		
D/H標準偏差 (3)	20以上30未満	22	0.205		
D/H標準偏差 (4)	30以上	13	0.244		

表-5 影響度の高いアイテムのカテゴリーの内容

評価の傾き	プラス⇔マイナス		プラス⇔マイナス		プラス⇔マイナス	
外的基準	整然とした⇔雑然とした		開放的な⇔閉鎖的な		走りやすい⇔走りにくい	
樹木	歩道部+分離帯	なし 歩道部のみ 分離帯のみ	歩道部+中分 分離帯のみ	なし 歩道部のみ	歩道部+分離帯	なし 歩道部のみ 分離帯のみ
歩道幅員	3.5m未満	3.5m以上	2.0m未満	2.0m以上	2.0m未満	2.0m以上
ガードレール	なし 沿道側	車道側	なし 沿道側	車道側	なし 沿道側	車道側
D/H標準偏差	10未満	10以上	20未満	20以上	20未満	20以上

(1)D/H標準偏差

屋外広告物の設置位置、高さのばらつきを示す指標であり、各形容詞対とも走行景観の評価に大きく影響する。すなわち、設置位置、高さのばらつきが小さい(D/H標準偏差が小さい)沿道ほど景観の評価は高く、ばらつきの大きい(D/H標準偏差が大きい)沿道ほど景観の評価は低くなる。

その目安は、D/H標準偏差が10以上になれば「雑然とし」、20以上になれば「閉鎖的で走りにくい」評価となる(写真-2)。このような沿道は屋外広告物の設置位置、高さをそろえることが必要である。

(2)歩道幅員

歩道幅員は、「整然とした－雑然とした」、「開放的な-閉鎖的な」の評価では2番目に、「走りやすい-走りにくい」の評価では3番目に影響するアイテムである。

各形容詞対とも、歩道幅員が広いほど景観の評価は低い結果となった。歩道は歩行者の安全で快適な通行を確保することが主目的であり、その広さは車道側からの走行景観に寄与するものではないため、このような結果となったと思われる。

また、幅員の広い歩道には植栽帯が設置されることが多いが、植栽される樹木が車道に近接している場合が多く、車道側の側方余裕をなくし、走行景観にとってはむしろ圧迫感を与えているようである。

(3)ガードレール

ガードレールは、「整然とした-雑然とした」の評価では4番目、「開放的な-閉鎖的な」の評価では3番目、「走りやすい-走りにくい」の評価では最も影響するアイテムである。

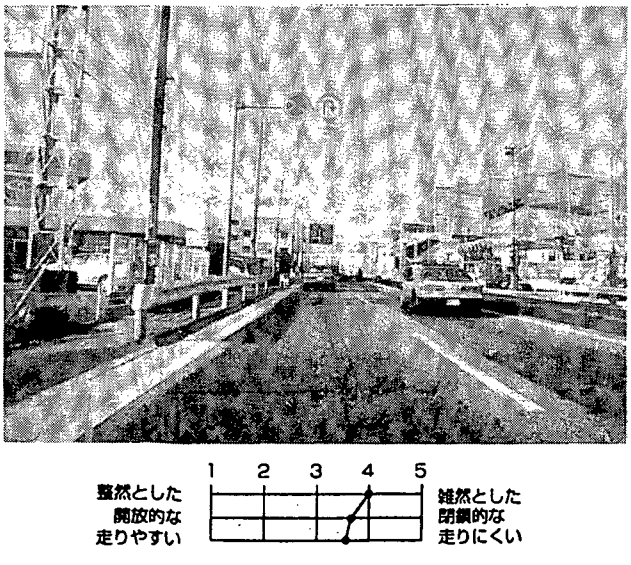


写真-2 20 ≦ D/H標準偏差 <30の沿道景観

各形容詞対とも、「ガードレールがない」、「沿道側にセットバックして設置されている」方が景観の評価は高い。ガードレールが歩車道境等、車道に近接して設置されると走行景観では圧迫感を与えるものとなっているようである。

これら交通管理施設の設置にあたっても、景観整備上の観点からは、車道側の側方余裕を確保する必要性が示唆される。

(4)樹木

樹木は、「整然とした-雑然とした」、「開放的な-閉鎖的な」の評価では5番目、「走りやすい-走りにくい」の評価では4番目に影響するアイテムである。

各形容詞対とも、歩道部と中央分離帯の両方に樹木が植栽されている方が景観の評価は高い。これは走行景観の両側に緑があることにより、沿道の景観が調整されるためであると考えられる。逆に、「樹木がない」、「歩道部のみ」、「中央分離帯のみ」の場合は、景観調整効果が低いため、評価は低くなるものと考えられる。

4. 沿道景観構成要素の整備手法について

上述の分析結果をふまえ、走行景観を良好に保つ沿道景観構成要素の整備手法について、屋外広告物の形態及び道路要素の形態の2つの観点から整理した。

(1)屋外広告物の形態

屋外広告物の設置位置・間隔、高さについて一定に統一する。整備基準としては、視点場となる車道部から視認される屋外広告物のD/H標準偏差を10未満とする。

(2)道路要素の形態

中央分離帯及び歩道部の植栽帯に植樹を行い、緑量を確保することにより、景観の調整機能を発揮させる(図-3参照)。また、街路樹は下枝を除去することあるいは車道からセットバックさせることにより、走行景観の側方余裕を確保する。

また、バイパスの改築、新築を行う際には、植栽帯周りを擁壁や腰積みブロック等により立ち上げ、交通安全機能を確保することにより歩車道境のガードレールを排除し、走行景観をすっきり見せるよう配慮する(図-4参照)。

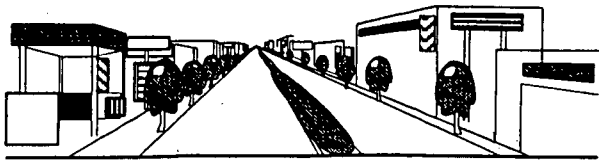


図-3 中央分離帯・歩道部に植栽を実施

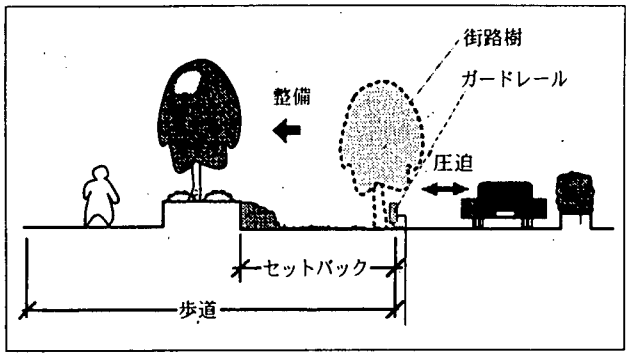


図-4 セットバックによる側方余裕の確保

5. おわりに

今回の分析により、屋外広告物の設置に関し、走行景観を阻害しないための設置位置、高さ等の基準について、定量的な目安を示すことができた。今後、これらの目安をもとに、屋外広告物の掲出のコントロール(屋外広告物条例、景観条例等での適用)や良好な走行景観を確保したバイパス整備が行われることが望まれる。

また、今回の知見を踏まえ、今後さらに以下の事項を検討していきたいと考えている。

(1) 側方余裕

今回の分析により、車道の側方余裕の確保が良好な走行景観を保つうえで、重要な事項であることが示唆された。しかしながら、これは歩道幅員やガードレール、樹木等の数量化の結果から定性的に推測したものであるので、望ましい側方余裕の巾についても定量的に分析する必要がある。

(2) 屋外広告物の質的な問題

今回は、屋外広告物の設置位置、高さ等、量的な基準について検討を行った。しかしながら、屋外広告物については、その形態、色彩、テクスチャー等についても景観整備上、問題になることが多く、これらの質的な内容も含め、整備基準を検討していく必要がある。

(3) バイパス景観の総合的整備

今回は、特に屋外広告物に着眼した形で沿道景観の整備手法を検討してきたが、これらの他に沿道景観を構成するものとしては、交通規制標識や電柱等の存在もある。今後、これらの要素も含め、総合的にバイパス景観を整備する手法を検討していく必要がある。

参 考 文 献

1) 建設省土木研究所道路部緑化研究室：道路・街路景観計画体系に関する研究その2(バイパス景観のタイプ分類と評価), 土木研究所資料第1910号,1983.

2) 建設省土木研究所道路部緑化研究室：道路・街路景観計画体系に関する研究その1(計画・設計体系の枠組み), 土木研究所資料第1755号,1982.

3) Maertens.H. : Der Optische Masstab in denbildenden Kuensten.Wasmuch,1884.

4) 篠原 修：新体系土木工学59 土木景観計画, 技報堂出版,1982.

森崎耕一*



建設省土木研究所
環境部緑化生態研究室
主任研究員
Koichi MORISAKI

生きものランドスケーピングの展示発表　その2

生態工学研究委員会展示発表企画責任者　日置　佳之*　養父志乃夫**　逸見　一郎***
中村　忠昌****　井上　剛***

1．展示発表の趣旨

平成11年度全国大会（明治大学）において5月29・30の両日に渡り「生態工学に関する展示」を行った。この展示は造園，土木，建築など様々な分野で「生き物との共生」がテーマとなり，その実現に向けた技術の確立が急がれる中，こうした技術を“生態工学”と位置付け，その発表と共有化の機会として設けたものである。

これまで，全国大会では，同様の趣旨の企画展を4回行ってきた。生態工学研究委員会ではその成果を広く一般に提供するため，今春CD-ROM版「生態工学」（㈱ソフトサイエンス社）として出版した。今回の展示は，上記の流れを受けてさらに事例を積み重ねるべく行った。

2．展示発表会運営上の留意点

応募のあった作品に対しては，昨年と同じく事前審査を行った。審査はこの展示の趣旨である「生態工学への理解」と「技術の共有化と発展」に照らして，「生態工学にふさわしい技術か」「技術上のポイントが明確で，かつ的確に表現されているか」という観点から行った。このため，事業全体が網羅的に紹介されていることよりも，一点でもよいから技術上のポイントについて詳しく紹介されている事例が評価された。審査には展示企画責任者があたり，審査後に生態工学の技術として評価できる点を明示して，そのポイントに焦点を当てた展示にしていただくよう応募者に修正を要請した。

また，今年も研究発表日に展示出品者による解説タイムを一時間ほど設け，来場者と出品者が直接会って質疑応答できる場とした。この方法は，他の学会などで最近一般化しつつあるポスターセッションに近いものである。短い時間ではあったが，密度の濃い議論が交わされ，有意義な情報の交換となった（写真1）。

なお，パネルのほかにCG，模型，ビデオ，実物などによる応募も作品募集の段階で呼びかけた。「環境指標生物を用いた地域生態系の保全」のリスのビデオ，「磯の生態園」（写真2）の磯の生きもの水槽が展示され，会場の賑わいを増していた。



写真－1　会場での討論風景

3．展示内容とその特徴

出品された展示は全部で11点であった（表1）。展示された事例は以下のように分類することができた。事例の個別的内容は表中に記したので，ここでは分類した事例群に共通した傾向について述べる。

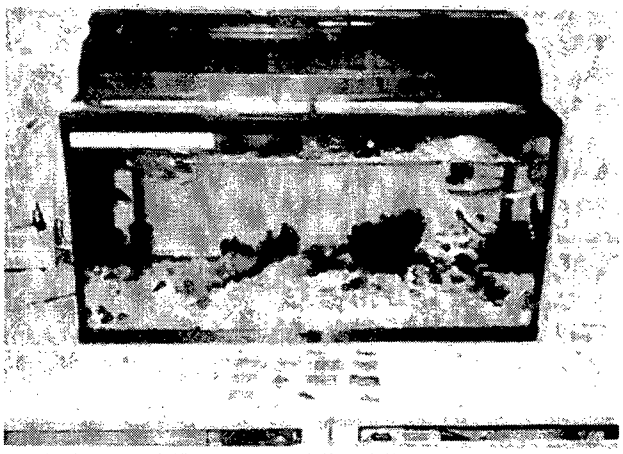
(1) 何らかの開発に伴い保全対策として行われたもの（保全対策型）No.1，3，5

面開発で影響を受ける生物の保全対策が3例展示された。いずれも環境アセスメントで保全を求められた種の保全に関するもので，ミティゲーションに類する事例であった。

これらの事例には2つの共通する特色が見られた。

1つは，目的をはっきりさせた事前調査に基づいて保全対策がとられていた点である。従来の環境アセスメント調査では，種のリストアップに力点が置かれており，保全対策に使えるような調査は少なかった。しかし，これらの事例では，保全対象を明確にした上で，焦点を絞って詳しい調査や実験を行い，対策の実施に生かしていた。

もう1つは，試行錯誤を繰り返しながら対策を改良していた点



写真－2　水槽による磯の生物の実物展示（磯の生態園）

*建設省土木研究所　**和歌山大学　***(株)地域環境計画　****(株)生態計画研究所

表－1　平成11（1999）年度展示作品リスト

No.	タイトル	内容と生態工学上のポイント	事例箇所（整備・管理主体）	出品者
1	環境指標生物を用いた地域生態系保全 ～パストラルびゅう桂台におけるニホンリスの保全～	山間地における大規模宅地開発に際し、ニホンリスを環境指標種に選定して、その保全対策を実施し生態系全体の保全を図ろうとした。フィールドサイン調査、テレメトリ調査などに基づき、リスの行動圏を把握した。その結果に基づき、リスの移動路（回廊林、リスの橋）の確保と生息林の復元を実施した。リスの橋についてはモニタリングにより利用の状況を把握し、カラス対策を実施した。	山梨県大月市 パストラルびゅう桂台 （ＪＲ東日本、㈱エス・デイランドシステム、清水建設㈱）	清水建設㈱ 岩橋基行、中村健二、 米村勉太郎、丹羽千明、小田信治、林邦能、 小松幸裕、渡邉泰一郎、 塚原成樹、鶴田好彦
2	高度処理水を利用した野生生物生息環境の復元 ～立川市根川緑道～	既存の緑道の改修に際して、下水の高度処理水を利用し、都市内に生きものの棲める流路を復元した。流速、水深、底質、護岸などが水生生物の生息に適したものになるよう設計した。整備後のモニタリングにより、水草による水質浄化作用や14種の魚類の生息、鳥類による魚類の採餌が確認された。植栽した水草、湿生植物の生育も良好であった。	東京都立川市 根川緑道 （立川市建設部公園緑地課）	㈱愛植物設計事務所 山本紀久、中田征弟
3	近江水口第二テクノパークにおけるヤマトミクリ、ヨツボシトンボ、サラサヤンマの移植試験	環境アセスメント調査で丘陵地の工業団地造成予定地でヤマトミクリ（絶滅危惧種の植物）、ヨツボシトンボ、サラサヤンマ（トンボ類）が発見され、その保全対策として移植を行うことになった。ヤマトミクリは3年かけて試験移植を行い、水中の方が陸上より生育がよいことを確認した。ヨツボシトンボ、サラサヤンマについては採卵による移植を試みた。移植の翌初夏に移植先の池で両種の成虫が確認されたが、移植した卵から羽化したという直接的証拠は得られなかった。	滋賀県水口町 近江水口第二テクノパーク （住宅・都市整備公団関西支社）	住宅・都市整備公団関西支社 青木卓二、川口次男
4	屋上における里山的自然環境の創造 ～テクノ中部屋上ビオトープ～	1998年の2月～6月に、6階建てのビルの屋上に、池・小川（50㎡）、水田（9㎡）、湿地（6㎡）、植栽部（55㎡）から構成されるビオトープをつくり、両生類6種、魚類10種、昆虫類21種、甲殻類1種、貝類5種を導入した。 同年夏の時点における調査で、自然飛来した種として、鳥類3種、昆虫類11種が確認された。今後、物理的環境条件（気温・水温）と導入種の生育・生息状態及び自然飛来種の関係をモニタリングによって把握していく予定である。	愛知県名古屋市 ㈱テクノ中部本店ビル本館 （㈱テクノ中部）	㈱テクノ中部環境部 櫻井健二
5	黒川地区におけるエコ・キーパー制度による動植物保全の試み	丘陵地の面積80haの住宅地開発において、動植物保全のために「エコ・キーパー」制度を設け、ミニミニ土木と名づけたきめ細かい環境作業を行った。エコ・キーパーには生きもの空間の設えに豊富な経験を持つ者を起用した。これにより、従来の業務発注では実施が難しかった「現場の様子を見ながら臨機応変に作業を行う」ことが可能になり、保全対象種の移植や、移植先での環境管理が的確に行えた。	神奈川県川崎市 多摩ニュータウン黒川地区 （住宅・都市整備公団黒川開発事務所）	㈱都市開発技術サービス 川添修 住宅・都市整備公団 深津康雄
6	ヨシ原浄化施設における自然型基盤整備の提案	遊水池内に水質保全のために設けられたヨシ原浄化施設において、湿地内の環境多様化を行った。放置するとヨシだけの単純な植生になるため、開放水面～環境移行帯～樹林地ができるような断面形状の場所を設け、また、できるだけ水際線が長くなるように水陸の境界の平面形状を複雑にした。冬季の火入れ時に生物の避難場所となる小さな池も設けた。浄化後の水を流す導水路には瀬と淵を設け、蛇行させた。	群馬県・栃木県 渡良瀬第一貯水池（谷中湖） （建設省利根川上流工事事務所）	㈱ブレック研究所 黛卓郎、安河内泰男、 吉井幹、島田貴史
7	大田川・ビオトープのある川づくり	多自然型川づくりの一環として河川敷内にビオトープをつくった。大田川流域で確認された数多くの種の中から、ビオトープで生育・生息を期待する対象種を選定し、現地踏査に基づいて、その種が現存する場所の平面・断面模式図を作成した。ビオトープはこの模式図を参考に、同様な構造を再現するように造成した。	山口県 大田川 （山口県美弥土木建築事務所）	山口県美弥土木建築事務所 佐々井浩之 ㈱荒谷建設コンサルタント 山田勝美、染谷靖文、谷本茂
8	市街地内でのゼロからの自然再生のこころみ ～赤羽自然観察公園整備事業～	自衛隊駐屯地の跡地を利用して、大都市の真中に自然復元と環境教育を主目的とした面積5.4haの公園を整備した。サイトは大きな攪乱を受けていたが、谷戸地形が残されていたため、これを最大限生かして流れや池を設けた。①自然保護区域（立ち入り禁止）②自然観察区域③自然交流区域などにゾーニングして、目的に応じた植栽を行った。 植栽木の来歴もすべて記録した。自然保護区域では自然の遷移に任せ、生態系復元過程の長期的なモニタリングを行う。	東京都北区 赤羽自然観察公園 （北区建設部河川公園課）	北区まちづくり公社 亀井裕幸
9	小流路両岸の植生管理が生物相に及ぼす影響	かつて農業用水路として使われていた小流路の護岸で草刈りを行い、植物、チョウ類、トンボ類、水生昆虫類を対象に種組成への影響をモニタリングした。草刈りによって開放的な空間ができたことにより、どの種群でも組成に変化が生じたが、その程度は種群によって差があり、植物でもっとも大きく、チョウとトンボ（成虫）では中程度、水生昆虫類では小さかった。また、草刈り区間と非草刈り区間を合計した種数はどの種群でも増大した。	宮城県柴田郡川崎町 国営みちのく杜の湖畔公園 （建設省みちのく杜の湖畔公園工事事務所）	建設省土木研究所 日置佳之、須田真一 ㈱地域環境計画　桑戸秀幸 アジア航測㈱　太田望洋、水谷義昭、田中真澄、 和歌山大学　養父志乃夫
10	インターチェンジ内の生態環境復元実験 ～東名高速道路大井松田ICを例に～	インターチェンジ内に山裾の農村の水辺を模したビオトープを創出し、植物、哺乳類、爬虫類、鳥類、チョウ類、トンボ類など多くの種群を対象に5年間にわたってモニタリングを行った。すべての種群で、整備直後と比較して種数が増加した。種数の変化は植生遷移や水辺の変化と関係が深いことが伺えた。チョウ類、トンボ類については繁殖場所、鳥類については移動の中継地点の機能を果たしていると考えられた。道路に囲まれた空間であるにもかかわらず、複数の哺乳類、爬虫類が確認されており、水路や草地が移動経路ではないかと考えられた。	神奈川県大井町 東名高速道路大井松田インターチェンジ （日本道路公団東京第一管理局）	建設省関東地方建設局道路部道路計画第二課 日本道路公団東京第一管理局 （財）道路環境研究所 （株）アジア航測　今井亮子
11	磯の生態園 ～水俣エコロジカル公園港湾緑地区域～	水俣湾に面した、海陸にまたがる公園緑地の整備の一環として、海浜生物の観察ができる磯浜を造成した。擬岩護岸、ソイルセメント、海砂などで基盤を造形し、ソーラーポンプで海水を汲み上げて流した。	熊本県水俣市 水俣エコロジカル公園港湾緑地区域 （熊本県芦北土木事務所）	㈱森緑地設計事務所 中村正博、田中隆作 鷲山明夫、岩崎哲也

である。調査がどんなに綿密でも，実際に手をつけてみると様々な問題が見つかり，臨機応変な対策が必要になる。これらの事例では対策実施中のモニタリングに基づく柔軟な対応がとられていた。

より根本的な問題として，果たして「保全対象とする種や生態系がこれだけでよいのか」という疑問は残るものの，環境アセスメント法に対応したとも言える，以上のような特色は評価に値する。

(2) もともとあったと思われる環境の復元を試みたもの（復元型）
No. 2，7，8，11

今年も多自然型川づくりや都市内での自然復元に関する事例が展示された。復元型の事業では「目標をどのように設定するか」「目標へどう近づけるか」「現場の環境資源をどう生かすか」が3大課題である。今回の事例では，近隣の場所に復元のモデルを求めたり，立ち入り禁止にした自然保護区で自然の自律的回復を長期的に見守るなど，従来あまり見られなかった方法がとられていたことが注目に値する。また，モニタリング調査によって目標の達成度を評価しようとする事例が見られた。しかし，評価方法の開発は今後の大きな課題であろう。

(3) もともとなかった環境を新たに創出したもの（創出型）
No. 4，10

屋上やインターチェンジ内にビオトープをつくった事例が展示された。一般に，創出型では，それが地域の生物多様性向上や環境教育の面でどのような役割を担うのかを明確にすることが求められる。いずれの事例でも，この点について事業の目的そのものは，必ずしも明快とは言えなかった。しかし，モニタリングに基づいてサイトに成立した生態系の実像をとらえる努力が成されていた。整備当初にいろいろな生物が持ち込まれているが，人為的に導入した生物と，自然に侵入した生物を分けて記録していけば，「こういう環境をつくると，こういう生物がくる」という実験としての意味がでてくるであろう。

(4) 生息環境としての機能を高めるための管理を行ったもの（管理型）No. 6，9

ビオトープをどのように管理していくかは，これからの大きな課題である。すべての種にとって都合のよい管理はあり得ないこと，すなわちある管理行為によって有利になる種と不利になる種があることを認識しておかなければならない。具体的に管理が生物に及ぼす影響については実験によって確かめる必要がある。今回は2例だけであったが，今後，様々な野外生態実験が積み重ねられることによって，管理に必要な知見が集積されることが期待される。

4．事例に共通して見られた課題

以上概観したように，事例の水準は年々向上してきている。しかし，毎年見られる課題（問題点）もあるので，ここで指摘しておきたい。

1つ目は用語についてである。生きものに関する技術には，造園学ばかりでなく，生態学，土木工学など他の分野の専門用語が多数用いられる。生きもの空間づくりのエキスパートになるためには，多くの用語を正確に用いる必要がある。ところが，展示の中には必ずしも適切とは言えない用法も散見された。その一例として「環境」がある。多くの展示では，「○○環境」という造語がむやみと使用され，かえって意味を不明なものにしていた。「環境」を用いずに，具体的かつ的確に環境を表現するようにしたい。

2つ目はデータ収集についてである。生物データの反復収集数が少なかったり，気温，水温，水質など物理的な環境に関するデータがなかったりして，はっきりとものを言えるデータになっていない事例もあった。基本的な調査・測定方法を学べば，データの抜け落ちを防ぎ，精度を保つことができる。この部分についてはとくにコーディネーターとしての造園家も注意を払う必要がある。

3つ目は，データの解析と評価についてである。一通りのデータをそろえても，それを料理して，具体的な空間整備・管理技術に展開する技はまだまだ不十分である。もっとも，これは生態学や土木工学でも同じで，どの学問分野でもそれ程進んでいるとは言えない。むしろ，ランドスケープ分野に固有な技術の1つとして，生きものとその環境のデータを空間計画に展開する手法の開発に取り組んでいくべきであろう。

以上は，自戒も含めた課題の整理である。

5．発表のあり方をめぐる課題

発表そのものをめぐる課題についても何点か述べたい。

第1は，造園作品としての認知のあり方である。造園学会においては，学術研究成果の発表メディアとして本誌・論文集があり，また全国大会や支部大会における口頭発表の機会が設けられている。これらは学術上の知的作品である。一方，庭園や公園の計画・設計については作品選集が2年に1回刊行されており，これが創作上の知的作品の発表メディアとなっている。これらに比較すると，生きものの空間についてはこれまで発表の場が必ずしも十分とは言えなかった。生きものの空間づくりは，学術研究と空間造形の両方の性格を持っている。また，調査，分析，評価，計画，管理，事後調査という一連のプロセスの一部だけでも作品として発表すべき内容を十分に持ったものも少なくない。今後，生きもの空間づくりのこうした特性を踏まえて，論文集，作品集に匹敵する第3のメディアを設けることについて議論したい。

第2は，出品者の問題，とくに発注者と受注者の関係である。これは「だれが生きもの空間という作品の担い手なのか」という問題でもある。生きもの空間は，調査から管理に至る長いプロセスを経て実現される，その過程に携わった全ての人の作品である。一部には，未だに発注者が自分の名前だけで事例を発表することにこだわる動きが見られる。しかし，他の造園作品同様，生きもの空間でも受注者の知的所有権が認められてよいはずである。主催者としては，発注者であると受注者であるとにかかわらず，具体的にどのくらい関与・貢献したかによって出品者を決めてほしいと考えている。多くの人や機関の連名は歓迎するところである。

おわりに

作品出品者のみなさんには，お忙しい中パネルの作成やセッションへの出席などで多大な労力をおかけした。岩河信文教授，奥水肇教授，倉本宣助教授をはじめとする明治大学の皆さんには会場の設営にきめこまかいご配慮をいただいた。記して厚くお礼申し上げたい。

生態工学研究委員会では，今後隔年でこの展示発表会を開催する予定である。開催するのは地方で行われる大会にしたいと考えている。隔年にすると事例数が増えること，また，その地方ならではの特色ある事例が集まることが期待されるためである。平成12年度全国大会（兵庫県立淡路景観園芸学校他で開催予定）においても本年同様の展示発表会を計画している。学会員各位の積極的な参加をお願いして本報告の締めくくりとしたい。

（文責　日置佳之）

自然環境との調和に配慮した道路整備
―今後の自然環境保全の進め方と技術開発―

座　　長
村上　純一　建設省道路局道路環境課長
パネリスト
中越　信和　広島大学総合科学部教授
阿部　　學　新潟大学農学部生産環境科学科教授
羽田　好秋　日本道路公団企画部道路環境課長
半田真理子　(財)公園緑地管理財団調査部長

1. 概　　要

環境部会では22日午前，「自然環境との調和に配慮した道路整備―今後の自然環境保全の進め方と技術開発―」をテーマに，パネルディスカッションを行った。

2. 発表論文要旨

討議に先立ち各パネリストから論文発表が行われた。

今後の自然環境保全のあり方（中越）

中越氏から，専門とする景観生態学の観点から，諸外国の実例とご自身の研究成果の一部を踏まえて次のような意見が述べられた。

① 生活様式が変わっていくことを念頭におき，現状を満たすのではなく，先を見越した道路整備が必要。

② そのため道路周辺の社会的自然的環境を把握し，これをデータベースとしての整備が必要。欧州では様々なデータベースが整備され，個人でデータベースにアクセスしたり，修正が可能なものもある。



③ 道路を自然と対峙するものとしてではなく，自然の一部としてとらえるべきであり，道路を含めた生態系を考えるべきである。このような視点に立った道路システム生態学の確立が必要である。

④ 国土を自然地域，農村地域，都市に区分した場合，自然地域では現況の保護・影響の回避が第一で，自然の再生が最も望ましい。農村地域では人間と自然との共生に立脚した新たなルーラルデザインが必要で，それに見合った道路整備が必要。都市では道路が自然を高める手段となることが望まれる。

動物の生息環境の保全（阿部）

阿部氏は動物生態学とくに猛禽類の研究に長く携わっておられ，発表は猛禽類問題から始められた。近年猛禽類の保全対策が各地で話題になっているが，猛禽類などの生態系の上位種だけに目が奪われ，その生息を支えるいわゆる普通種の生息環境に調査や議論が行き届いていないところに問題の根があると切り出し，猛禽類問題に端的に現れているように，道路建設における動物をめぐる諸問題は，データの蓄積が不十分であることに起因している。保全対策は科学的データを基に専門家を含めて講じていくべきであり，また，追跡調査等によりデータを蓄積し，そのデータを広く共有することが大事であると述べられた。

生態系など自然環境に配慮した道路整備への取り組み（羽田）

羽田氏からは高速道路等の建設・管理を通じて自然環境保全に取り組んでいる立場から，高速道路等での動植物の保全対策の事例紹介を中心に発表された。

この中で保全対策の追跡調査結果にふれ，横断構造物のタイプと利用するほ乳類の種類の関係が明らかになってきていること，また立ち入り防止柵の改良などの進入防止対策により1km当たりのロードキル発生件数は減少し効果が現れてきたことなども報告された。

また，ビオトープの整備に対象とする動植物の生息環境のポテンシャルが低いところでは，自然に任せた存続

が困難で，周辺環境を踏まえて検討する必要がある。保全対策をより確実に実施するには，今後も動植物の生態などの未知な部分の実証試験も含めた継続的な調査を進めたい。さらに，これら保全対策には，沿線の自治体等との連携も不可欠と述べられた。

自然環境の保全と道路整備の方向性（半田）

半田氏からは，建設省での具体の影響回避・低減手法や代償措置の事例紹介を踏まえ，今後の道路整備に求められる課題まで幅広く発表がなされた。

今後の道路整備における自然環境保全のあり方については，半田氏の建設省土木研究所環境部長の経験なども踏まえて，次のように課題を整理された。

① 一連の流れの中で，事前の調査，予測評価，設計，施工管理，モニタリングまでを行い，対策手法を改善し，他事業に反映させること。また，これらのプロセスは有機的に関連付けて行うべきであること。

② 自然を守るだけでなく，つくり，育てる観点を有すること。

③ 広域的な生態系ネットワークに貢献するものであること。

④ 景観を含め総合的な地域のエコロジカルランドスケープを考慮すること。

⑤ 狭い国土，山の多い日本に見合った保全手法を確立すること。

⑥ 自然との触れ合いを通じて人々が自然への関心を持てるようにすること。

⑦ 科学的技術的地検を蓄積して有効に活用できる仕組みを構築していくこと。

3. ディスカッション概要

パネリストの論文発表の後，意見交換が行われた。

必要なデータの蓄積と専門家の参画

まず従前の保全対策がデータ等からも妥当なものか，また，生物や生態系の基礎データの蓄積が議論となった。

羽田：当初は道路での衝突事故の回避目的で動物進入対策等を行ったが，時代の変化により生物を主体として対策を行うようになった。その対策は，その時点の調査結果や最新知見に基づき行われてきたが，道路整備の影響の程度や保全対策の効果等については，なお不明な点が多い。予測評価や保全対策を的確に行うためには，今後さらなるデータ蓄積が望まれる。

阿部：欧米では生物や生態系に関するデータ蓄積が一般人の参加によりなされてきている。日本でも環境庁の生物多様性センターで一般人からを含め，データ収集をしている。日本ではNGOの主張が強いことや密猟の問題等があり，希少種をリストや地図に記載しないという懸念はあるものの，将来的には期待できる。また，アセスメントデータについても積極的に公開すれば，データベースの早期整備に繋がるのではないか。

議論はデータの蓄積に関連し，生物の専門家の事業への係わり方へも及んだ。

半田：日本では現在，専門家へのヒアリングや指導を仰ぐことが一般的だが，ドイツなどでは生物学者や生態学者が計画当初から土木の専門家とともに事業を進め，うまくいっているようだ。日本では土木研究所に動植物の専門家が若干いる程度で，今後，組織の中に専門家を配することを，より進めて良いのではないか。

中越：研究や情報の蓄積には限られた人間が限られた期間でやるには自ずと限界がある。道路を造る人間が一番情報を持つ筈であり，道路に携わる人間が興味を持ってデータを持てば，より良いデータが得られる。

阿部：建設事業では人間が『自然資源の収奪』を行っているが，自然に対して還元していない。自然を調査・研究し，基礎資料を蓄積することが自然からの収奪に対する還元と考える。生き物といえば環境庁と縦割り的に考えがちだが，環境庁には研究機関がない。従って事業者が自ら取り組むしかなく，内部の問題として自然環境問題を取り込む姿勢で行って欲しい。

座長：生物の生態や生態系に関するデータの蓄積が十分ではなく，自然を守る立場の人々，道路整備の事業者双方ともに，どうすればいいか，どこまでやるべきかが不明確で，歯がゆい思いの状況ではないか。すなわち，如何に自然環境や地域生態系と調和した道路整備を進めて行くべきかが求められている。この解決には，生態系や動植物の生息・生育等に関する科学的，技術的知見の蓄積が必要であろうし，実施した環境影響の回避・低減・代償措置については，善しにつけ悪しきにつけ評価を行い，今後の事業に反映させて行くべきであろう。また，それらのデータは道路ばかりでなく，関係機関との共有を図るとともに，データはもとより保全対策等に際し専門家との連携が不可欠である。

道路整備のあり方

中越氏からはシステム生態学の解説と，その視点からの道路整備のあり方が述べられた。

中越：都市の自然環境が劣化しているといわれているが，都市の拡大により周辺の半自然的な里山や農村地域が都市に吸収され，実はこの地域の緑が失われつつある。しかし，この地域に道路を整備することになれば，その道路施設を用いて公園や河川等と連結することを含めて，自然環境を復元したり担保するチャンスが生まれる。

生態系はストックとフローの二つで解釈でき，道路はストックである。システム生態学は簡単に言えば，空間にある物をすべてエネルギーや物量に換算して，それがどのように流れていくかをとらえるものである。都市はアスファルトの基盤に成り立つひとつの生態系であり，アスファルトの砂漠である。水はよそから供給され，人間はエネルギーの消費者である。そして，道路は移動の空間としての役割がある。こう考えると道路は生態系の一要素としてとらえることができ，都市や農村地域に緑や自然を持ち込む際には道路が重要な役割を担うことになる。

半田：自然との触れ合いや親しみという点でも道路は貴重な空間であり，例えば街路樹により四季感が得られる。また，高速道路ののり面だけでも膨大な面積があり，単に緑のストックとして二酸化炭素の固定源として重要であるばかりでなく，潤いのある景観を創り出す場としても重要である。また，“つくる”ことに加えて，“育てる”視点も重要である。都市内でビオトープを整備することもあるが，放っておくと草茫茫になり，苦情が出たりする。管理目標や育て方を定め，草取りを沿線住民の方に協力して頂くなどということで，意識も深まり親しみも増すであろう。

会場から「道路という構造物の存在による物理的直接的要因もさることながら，騒音やガスなどの二次的要因が動植物に与える影響はどうか。アセスメントでもこれを踏まえるべきと思うが―」との質問があった。

中越：騒音やガスなどの物理データの測定は十分されており，アセスメントでもモデルにより影響予測は行う。しかし，その影響を受けて動物がどうなるかという調査は十分なされていない。

阿部：猛禽類の生息と騒音の関係についても，研究例はない。判らないからどこでも同じ対策を繰り返すことになる。欧米では判らないなら調べてみようということになるが，日本では調査自体の影響が問題だとして差し控えてしまう。

と回答した。

各パネリスト提言

まとめに入る前に各氏から一言づつ発言された。

半田：開発の盛んな中国の昆明や上海では，広幅員の道路に植樹帯が整備され，高架橋を緑化するなど，先を考えて良くやっている。日本では新しい全国総合開発計画の中で21世紀の国土のグランドデザインとして，地域の自立の促進と美しい国土の創造がうたわれている。今後の一層の国際化に対し地域の文化性を感じられる国土を形成し，将来的にはガーデンアイランドというべき列島になるべきだと言われており，そのための重要な空間として道路をとらえていく必要がある。

阿部：工事などの影響が指摘されると欧米は実証試験で影響の程度を定量的に把握するが，日本は後退する。これではいつまでも解決策は見出せない。なお，現今の猛禽類調査での飛翔の軌跡の反復記録は，生態的資料の蓄積とは無縁で，有効な保全対策確立のため見直しが必要である。また，保全対策を思い付きでやるのも良くない。系統的な実験が必要である。根本的には動物に道路を横断させないのではなく，横断させることである。

中越：道路は不可欠なものである。単なるインフラではなく，24時間いつでも行動を開始できる貴重な財産である。道路が無いところに行けばその有難さは歴然としている。その道路が自然資源や自然環境の回復の場ということになれば，既存の道路でも，さらに目標を上においてより良いものにしていくことができる。

羽田：道路事業者は，今まで生活環境を含めて環境問題には対峙するといった面があったが，自分自身を含めて，重要なことと認識し，改めて取り組んでいきたい。

座長：道路事業に限らず建設省は所管事業において，良好な環境の形成を目的のひとつとしている。道路事業においても自然環境との関係，沿道環境，地球温暖化の防止あるいは都市アメニティの向上などを，具体化すべく議論しているところである。

従来，道路を単なる通行空間と考えがちであったが，人と自然の共生が求められる環境時代にふさわしい道路としては，道路自体が環境の要素として存在し，果たす役割に目を向ける必要がある。本日の議論は有意義で，大変参考になった。建設省でもこれらの意見を踏まえ事業者として積極的に取り組んで行きたい。

4. ま と め

全体を通じ座長より，次のような結論が提出された。

「人と自然の共生が求められる中で，地域の生態系と調和した道路整備を実現していくため，関係機関や専門家と連携しつつ，生態系と動植物の生息・生育等にかかる科学的技術的知見の蓄積，環境影響の回避・低減・代償措置の評価を行い，これらの情報を広く共有して，今後の的確な対応に生かすことが不可欠である。

また，自然とのふれあいを通じて，人々の環境に対する意識が深まり親しみが増すように，都市地域・農村地域では，道路が良好な環境を形成する要素として，またその形成を契機として，貢献することをめざしたい」

（文責：建設省土木研究所緑化生態研究室
主任研究員　石坂健彦）

グラビア

環境影響評価に関する研究事例の紹介

実験河川を用いた河川環境に関する調査・研究

自然共生研究センターでは、様々な要因が河川に与える影響について調査・研究を行うこととしており、実験河川を利用した調査が本格化してきています。

現在までに、

①実験施設及び観測機器の性能・操作性・動作チェック

②水質浄化機能調査
- 平常時の浄化機能
- 洪水が浄化機能に与える影響

③物理環境調査
- 平常時及び洪水時の水位・流速
- 洪水時の掃流砂や浮遊砂の状況

④生物調査
- 植生、付着藻類、底生動物、魚類等の実験河川への移入・定着の程度
- ハビタット (生物のすみか) の違いや流量変動に伴う生物相のレスポンスの定性的把握

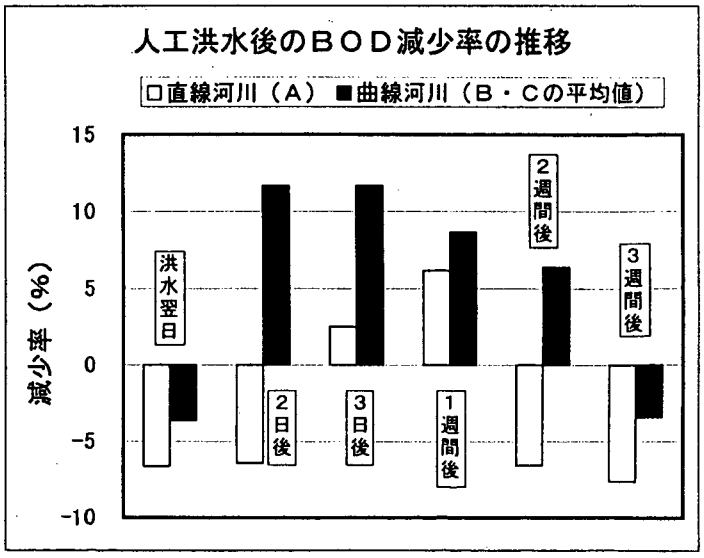


人工洪水実験風景 (実験河川 C)

⑤実験河川間の比較
- 全長 800m の 3 本の実験河川 A、B、C の比較 (A は直線で単調、B と C は全く同一形状をしており、蛇行区間や川幅が変わる区間、ワンド等があり多様な形状をしています)。

などの調査・研究を行いました

たとえば、水質浄化機能に関しては、実験河川を約 2 時間かけて流下する間の非洪水時の BOD(生物化学的酸素要求量) の減少率は、平均的には 5~10%程度でしたが、洪水後の時間経過により右図のように大きく変化しました。



ここで、付着藻類調査結果では、洪水前後で付着藻類の現存量が大幅に減少し、次回の洪水までには回復していました。これらのことから、右図のような浄化率の変化は、人工洪水により付着藻類が剥離し、それに続く増殖に伴って一旦は自浄作用が増大するものの、一定期間経過後は増殖し過ぎた付着藻類が再剥離する (自濁作用が生ずる) ことにより自浄作用が相殺されるようになるためと思われます。

また、平成 10 年 11 月 ~11 年 3 月に実験河川で採捕された魚類個体数は、C 河川が 987 と最も多く、ついで B 河川の 627、A 河川の 130 で、曲線河川が直線河川より圧倒的に多い結果となりました。これは、単調な形状の直線河川より、多様な形状をしてハビタットの豊富な曲線河川の方が、魚が棲みやすいことよるものでしょう。

ラジオテレメトリーによるオオタカ行動圏の調査

一般的な定点観測による調査は、地道な待ちの調査です。オオタカが姿を現すのを、ひたすら待たなければならず、しかも、その姿が目的とする個体かどうかの識別は、かなり難しいこととされます。しかし、ラジオテレメトリーによる調査では、オオタカに発信機を装着することにより、特定の個体を探し出すことが可能です。



①罠：生きたハトを囮に、罠をいくつか仕掛けます。罠の中でオオタカがダメージを受けないように、罠を頻繁に見回わります。←

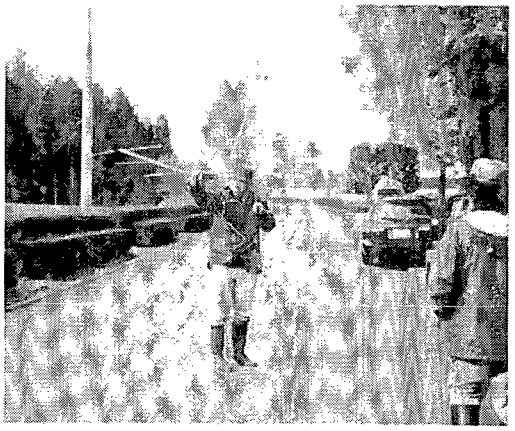


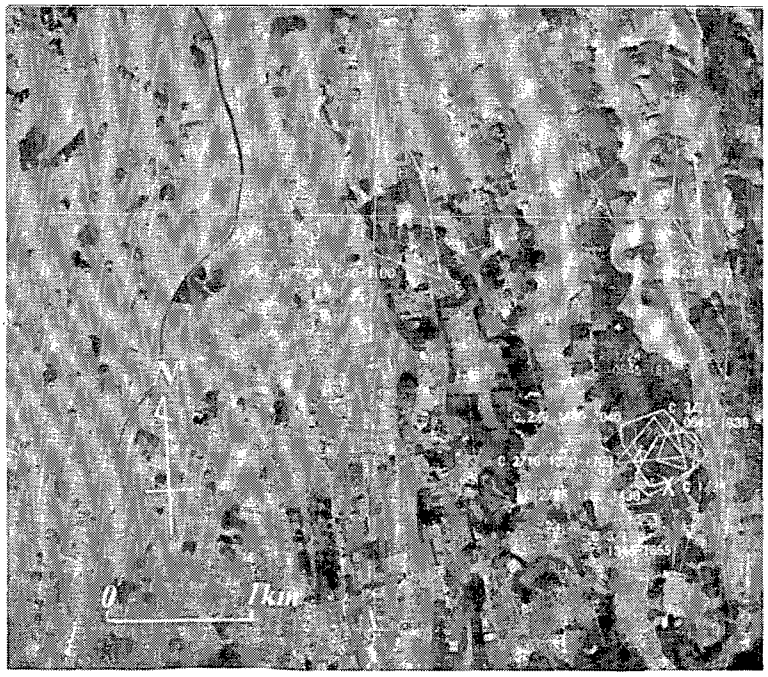
②捕獲されたオオタカ：鋭い爪と嘴により抵抗しますがが、この後の作業は、できる限り素早やく行う必要があります。→



③発信機の装着：体の各部位を計測し、発信機を専用の帯(ハーネス)で固定して、放鳥します。発信機が飛翔のじゃまとなっていないか、放鳥後しばらく観察を続けます。←

④追跡：指向性アンテナにより方向を割り出し、個体に近づいていきます。↓





⑤行動圏：関東平野北部、1999年1月～3月(つがい形成期)。A個体(♂、赤)とC個体(♀、黄)の行動圏はオーバーラップしており、両者はつがいである可能性が高いと考えられます。←
(図中、×は捕獲地。数字は月日と時間)

建設省土木研究所環境部
緑化生態研究室長　藤原宣夫
同　河川環境研究室主任研究員　蘭田顕彦

◆ 環境影響評価特集 ◆

道路事業における生態系の評価手法

上坂克巳* 大西博文** 藤原宣夫***小根山裕之**** 森崎耕一*****

1. はじめに

従来の閣議決定に基づく環境アセスメント (以下、「閣議アセス」という) において、「動物」、「植物」の評価は貴重種のみが保全対象とされていた。これに対し、環境影響評価法に基づくアセスメント (以下、「法アセス」という) では、地域の「生態系」の体系的保全という視点が新たに追加された。

本稿では、道路事業における「生態系」のアセスメント手法について紹介する。なお、紙面の都合上、道路の存在による影響のみを取り上げ、工事中の扱いについては割愛する。

2. 閣議アセスから法アセスへの変更点

現在、建設省では、法アセス実施の具体的手順を示した環境アセスメントマニュアルを作成中である。図-1 に「動物」、「植物」、「生態系」に関する手順を示す。ここで閣議アセスからの主な変更点を整理すると、以下のとおりである。

(a) 「生態系」が評価項目として追加されたこと。
(b) スコーピング手続きが追加されたこと。
(c) 環境保全措置の検討において、ミティゲーション (回避・低減、代償措置) の考え方が明確に位置づけられたこと。さらに、必要に応じ事後調査計画を立案すべきとされたこと。

以下、これらのポイントも踏まえて解説する。

3. 「動物」「植物」と「生態系」アセスメントの相違点

「動物」「植物」と「生態系」のアセスメントの違いは以下に要約できる (図-1 参照)。

(1) 「動物」「植物」では、学術上又は希少性の観点から重要な種を保全対象としている。一方「生態系」では普通種も保全対象に含まれる。
(2) 「動物」「植物」では、個体に対する道路事業の影響を予測・評価する。一方「生態系」では、ある生態系を代表する複数の注目種・群集への影響が、最終的にその生態系全体へどのように影響するかまでを含めて予測・評価する。

4. 「生態系」のアセスメント手法

図-1 の手順に沿って、「生態系」のアセスメント手法について解説する。

4.1 スコーピング

評価項目及び調査・予測手法の選定過程のことをスコーピングという。アセスメント実施方針の検討段階にあたり、「生態系」では評価対象とする生態系及びそれを代表する注目種・群集の抽出が鍵となる。

4.1.1 地域特性の把握

「生態系」評価へのアプローチの第一歩は、計画路線周辺の地域特性の概要を把握することから始まる。この段階では、文献調査や学識経験者へのヒアリング調査が中心となる。

(1) 自然環境の類型区分

計画路線から片側 3km 程度 (移動能力の高い動物の行動圏を考慮) の自然環境を植生、地質等から大まかに類型区分する。図-2 の例では、「山地の人工林」と「低地の水田」が混在する地域 (以下「里山」という) を計画路線が通過している。

(2) 地域の生態系の概要把握

「動物」「植物」等の調査結果を、上記類型区分毎に整理し、地域の生態系の概要を把握する。

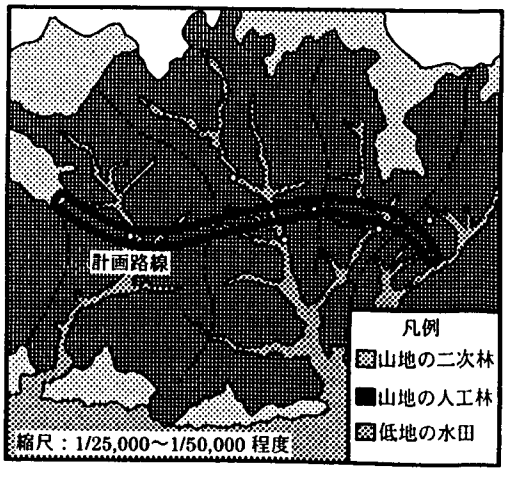


図-2 自然環境の類型区分の例

Assessment Method of Ecosystem for Road Projects

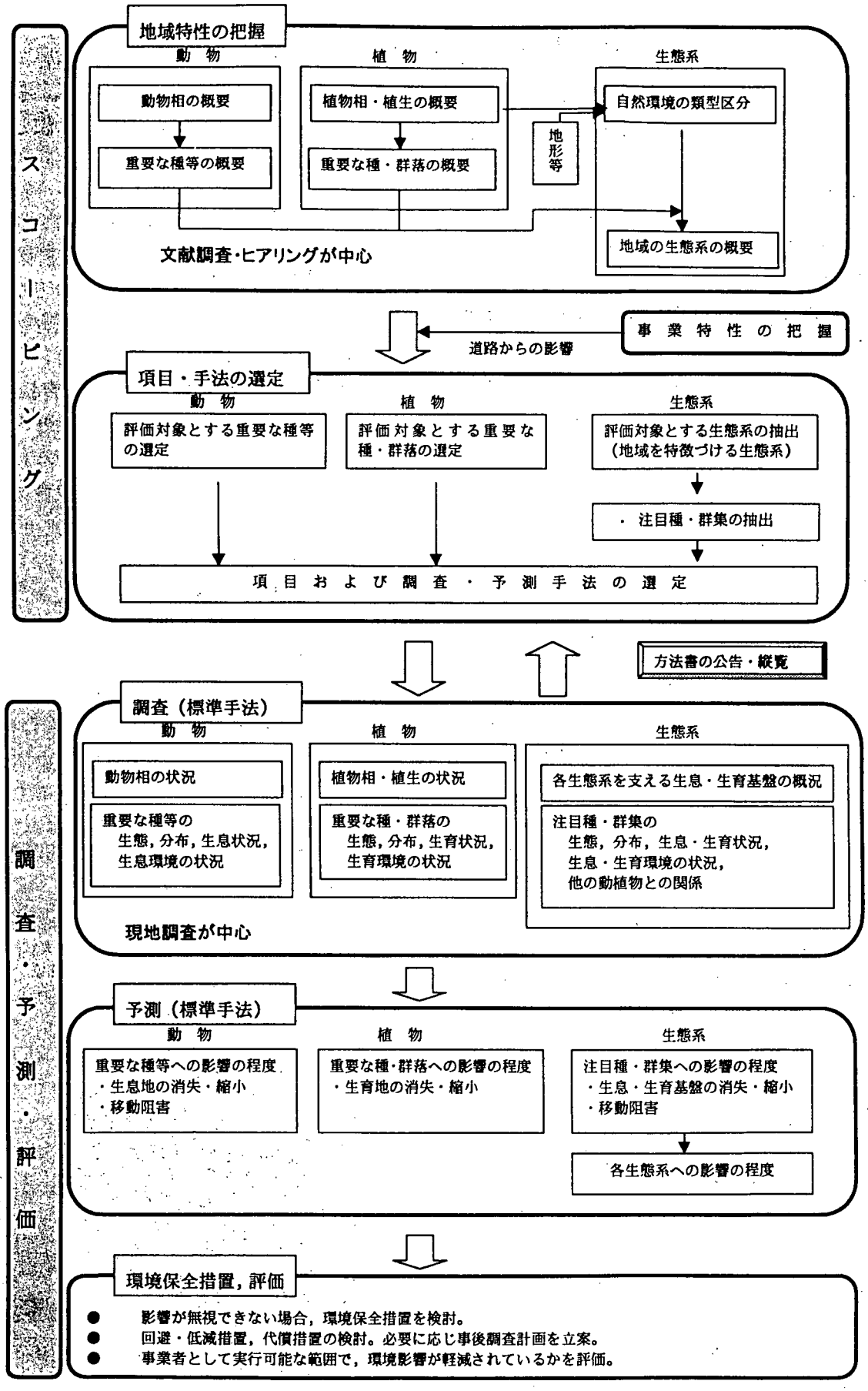


図-1 動物、植物、生態系の環境アセスメントの手順

4.1.2 項目・手法の選定

(1) 評価対象とする生態系の抽出

まず事業特性 (計画路線の位置等) を考慮し、対象事業の影響を受けるおそれがある地域において、自然環境の類型区分を抽出する。次に抽出された類型区分を基本として、評価対象とする生態系 (以下、省令にならい「地域を特徴づける生態系」という) を設定する。

図-3 のように、二以上の類型区分にまたがる生態系 (里山の生態系) や、類型区分の一部の特殊な環境に対応する生態系 (ため池の生態系) を設定することもある。このように地域を特徴づける生態系は、複数設定されることもあり、また必ずしも類型区分と一対一で対応するとは限らない。

(2) 注目種・群集の抽出

まず、(1) で抽出された各生態系を支える生息・生育基盤 (図-4 参照) に対応する主な動植物及びそれらの生態的関係を整理する。

次に、上位性 (生態系の上位に位置する)、典型性 (広く分布する環境に生息・生育する)、特殊性 (特殊な環境に生息・生育する) の視点に合致する注目種・群集を、各生息・生育基盤を代表するものとして複数抽出する。

また、注目種・群集の抽出にあたっては、対象事業からの影響の程度が大きいと考えられるものを抽出することが重要である。

(3) 項目および調査・予測手法の選定

普通種も含めた「生態系」が評価項目から削除されることは稀だと考えられる。一方、調査・予測手法は、(2) で抽出された注目種・群集の生態的特性にしたがい、適切な手法を選定することになる。

(4) 調査結果からのフィードバック

我が国では自然環境のデータが十分整備されていないため、スコーピング作業を既存文献により行うには困難が伴う。したがって、調査段階での現地踏査の結果に基づき、随時スコーピングの結果を見直す必要がある。

4.2 調査と予測

道路事業が及ぼす主な影響としては、

(1) 生息・生育基盤の消失・縮小

(2) 動物の移動阻害

(3) 生育・生息環境を構成する大気環境や水環境等の質的な変化

が挙げられる。

(c) に関しては、知見が少なく、その影響の予測が困難であるため、標準的には (a)、(b) の影響を予測する。なお、(c) についても、その著しい影響が懸念される場合は、重点化手法として取り上げることになる。

4.2.1 調査 (標準手法)

(1) 生息・生育基盤の概況

現地踏査 (既存事例等を参考に、計画路線から片側 250m の範囲を目安とする) により、地域を特徴づける生態系を支える生息・生育基盤の概況を再整理する (図-4 参照)。

(2) 注目種・群集の生態、生息・生育状況等

注目種・群集の生態や他の動植物との食物連鎖等の関係を文献調査により再整理する。また、それらの生息・生育状況及び生息・生育環境を現地踏査により明らかにする。

4.2.2 予測 (標準手法)

(1) 注目種・群集への影響の程度

道路事業による生息・生育基盤の消失・縮小、動物の移動阻害に伴い、注目種・群集へ及ぼす影響の程度を、定性的に予測する (図-5 参照)。

(2) 地域を特徴づける生態系への影響の程度

各注目種・群集への影響が生態系全体に及ぼす影響の程度を定性的に予測する。図-5 では、少し

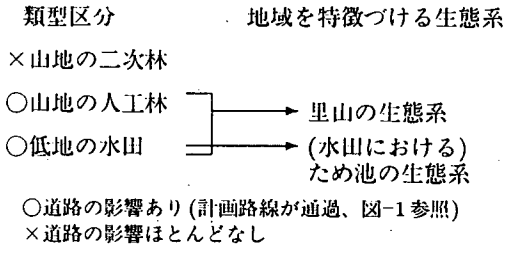


図-3 地域を特徴づける生態系の設定例

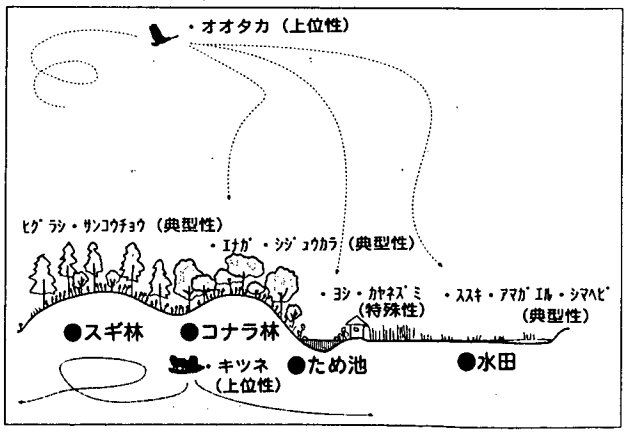


図-4 里山の生態系を支える生息・生育基盤と注目種・群集

極端だがため池のヨシ群落が消失する例を考えてみた。この場合、ため池の生態系に甚大な影響が及ぶだけでなく、里山の生態系にも影響が及ぶことがありうる。

なお、影響の「程度」の予測では、少なくとも環境保全措置を講じる必要があるかどうかを判断する必要がある。

4.3 環境保全措置と評価

予測の結果、地域を特徴づける生態系への影響が無視できない場合は、環境保全措置を検討する。表-1に保全措置の代表例を示す。回避・低減措置が代償措置に優先する。

図-5の場合はコルゲートパイプ等の設置によるイタチ等の移動経路の確保や、ヨシ群落の移植という環境保全措置が考えられる。

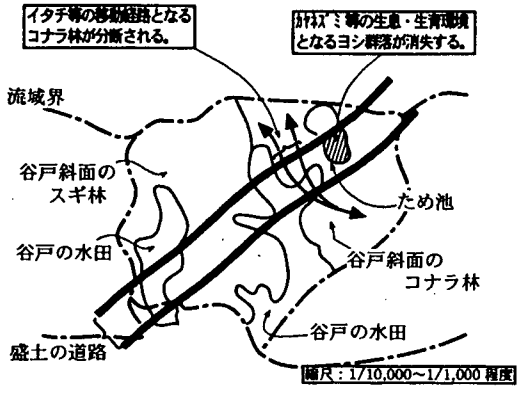


図-5 イタチ及びため池の注目群集に対する影響の予測

表-1 環境保全措置の代表例

影響の種類	環境保全措置の例	
生息・生育地の消失・縮小	回避・低減	・のり面勾配の修正による地形改変の低減 ・既存種及び表土の再利用による改変部位の修復
	代償	・代替生息・生育基盤の創出
移動阻害	回避・低減	・移動経路の確保

ここで、予測結果や環境保全措置の効果の不確実性が大きく、かつ生態系へ及ぼす影響が著しくなるおそれがある場合は、事後調査計画を立案する必要がある。上例のヨシ群落の移植は、移植の効果が不確実で、その成否がため池生態系に与える影響も大きいことから、この場合に該当するであろう。

評価では、事業者が実行可能な範囲内で、環境影響を軽減する措置を講じているかどうかを評価する。

5. おわりに

本稿では、道路事業における「生態系」アセスメントの実施手順を示した。しかし、評価すべき生態系や注目種・群集の抽出方法並びに対象事業が生態系へ及ぼす影響の予測手法など、未解明な点が数多く残されている。

したがって、実際のアセスメントの実施に際しては、学識経験者等の意見を参考とすることが必要不可欠と考える。また、今後、アセスメント等を通じた情報の蓄積や新たな知見を踏まえて、本提案手法を随時見直すことも必要と考える。

謝 辞

本稿で示した生態系アセスメントの評価手法は、(財) 道路環境研究所の「道路環境アセスメントに関する自然環境検討委員会 (亀山章委員長)」での検討結果を踏まえたものである。委員各位および本稿作成においてご協力頂いた (株) カーター・アート環境計画に謝意を表します。

上坂克巳*



建設省土木研究所環境部交通環境研究室 主任研究員、工博
Dr.Katsumi UESAKA

大西博文**



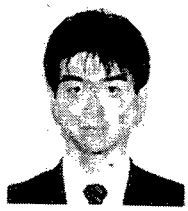
同 交通環境研究室長
Hirofumi OHNISHI

藤原宣夫***



同 緑化生態研究室長
Nobuo FUJIWARA

小根山裕之****



東京大学生産技術研究所
(前 交通環境研究室研究員)
Hiroyuki ONEYAMA

森崎耕一*****



日本道路公団東京建設局八王子工事事務所・技術課長
(前 緑化生態研究室主任研究員)
Koichi MORISAKI

◆ 環境影響評価特集 ◆

景観・触れ合い活動の場の環境影響評価手法

藤原宣夫*

環境基本法第14条には、環境の保全に関する諸施策が指針とすべき、3つの基本的なねらいが揚げられている。その1つが『人と自然との豊かな触れ合いの確保』であり、アセス法[注1)]では、このねらいに対応するアセス対象項目として、景観と触れ合い活動の場の2つが設定された[注2)]。

この2つは、閣議アセス要綱においても既に、自然環境の保全に係る項目の中で、景観、野外レクリエーション地として取り上げられてきた[注3)]。しかし、閣議アセスに対応する建設省所管事業の技術指針では、野外レクリエーション地については、良好な景観の眺望地としての性格が強調され、景観評価の一要素として取り扱われてきた。

新たに策定された、アセス法に対応する技術指針[注4)]では、同法において触れ合いという評価のねらいが明確化されたことを受け、触れ合い活動の場という評価項目は、景観と同列に取り扱われている。また、景観と触れ合い活動の場は、道路、ダム、面整備などの事業において、標準的に評価対象とする項目とされている。

建設省ではアセスの円滑な執行を図るため、具体的なアセス手法について技術的検討を行い、その結果を、事業別にマニュアルとして取りまとめたところである。筆者はワーキンググループの一員としてマニュアル作成に携わってきた。

両項目のアセス手法は、各事業により若干の違いはあるが、ここでは、ワーキンググループでの検討経緯を踏まえ、各事業に共通する基礎的な部分を中心に、技術指針・マニュアルの補足的解説を述べることとする。

I. 景観

1 アセスにおける景観

法アセスでは、景観を見る場所【眺望点】と見られる対象【景観資源】の視覚的関係として捉え、主要な眺望点からの自然的景観資源の眺め【主要な眺望景観】が、評価の対象とされている(図-1)。

ここで、主要なとは不特定多数の人に利用されていることを意味する。また、景観資源は自然的な要素から構成されるものがアセスの対象とされ、マニュアルでは、人工的景観資源については自然的要素と一体となったものに限定するという考え方をしている。

2. 調査地域

技術指針では、事業実施により影響を受ける範囲が調査地域とされ、マニュアルでは、景観の影響範囲は、事業により設置される工作物等が視認される地域としている。

目に見える物の大きさは視角で表され、同じ大きさの物であっても、距離が離れるほど視角は小さくなる。人間が対象物をはっきりと見ることのできる最小の視角を熟視角といい、一般に1～2°とされる。マニュアルでは、対象物の視角が熟視角より小さくなるほど離れた地域では、景観的影響はないと考え、想定される対象物が一定の

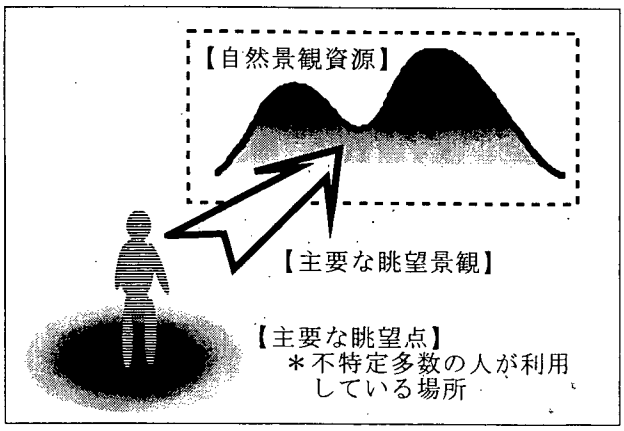


図-1 アセスによる景観

Assessment Methods of the Landscape and the Place of Harmonious Contacts between People and Nature

注1) 本稿では、環境影響評価法をアセス法、同法に基づく環境影響評価を法アセス、昭和59年8月閣議決定の環境影響評価実施要綱を閣議アセス要綱、同要綱に基づく環境影響評価を閣議アセスと略記する。

注2) 環境基本法第14条では、『環境の自然的構成要素の良好な状態の維持』『生物多様性の確保及び自然環境の体系的保全』『人と自然との豊かな触れ合いの確保』を3つの基本的ねらいとして掲げている。また、アセス法第4条第10項及び第13条に定める技術指針の基本的事項において、評価項目をこのねらいに沿って分類している。

注3) 閣議アセス要綱では、評価項目は公害の防止に係るものと自然環境の保全に係るものに分類している。

注4) 事業別主務省令。

視角より大きく見える範囲を調査地域として設定している (図-2)。

ただし、周辺と色彩や明暗の差 (コントラスト) が大きい対象物は、視認されやすくなるので、視角の設定に配慮している。道路事業のマニュアルでは、最大規模ののり面の高さとして 50m を想定し、のり面の視角が 1° 以下になる距離として 3km を調査範囲の目安としている。一方、ダム事業では、コントラストが大きくなると考えられる堤体の視角が約 0.5° となるように、堤長の 100 倍の距離を設定している。

3. 調査対象要素

景観の調査では、地域特性の把握の段階において、主要な眺望点と自然景観資源を抽出し、それぞれが主要な眺望景観となる関係を形成しているかどうかを確認する。そして影響を受けると考えられる主要な眺望景観を抽出し、詳細な調査の対象とする (図-3)。

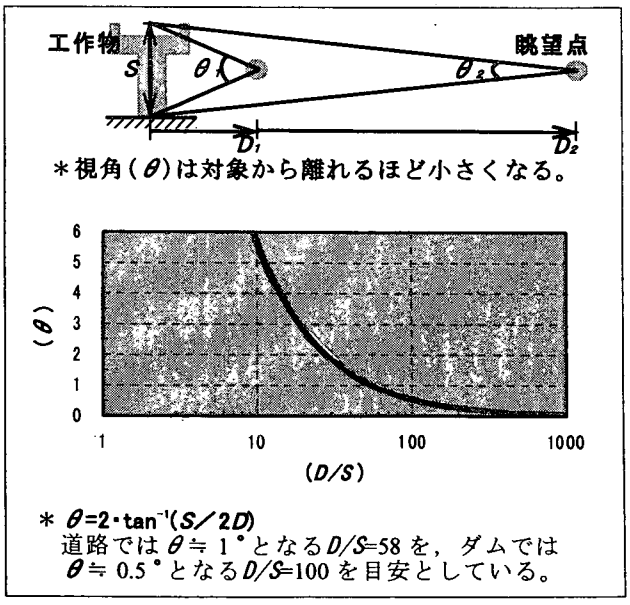


図-2 視角と距離の関係

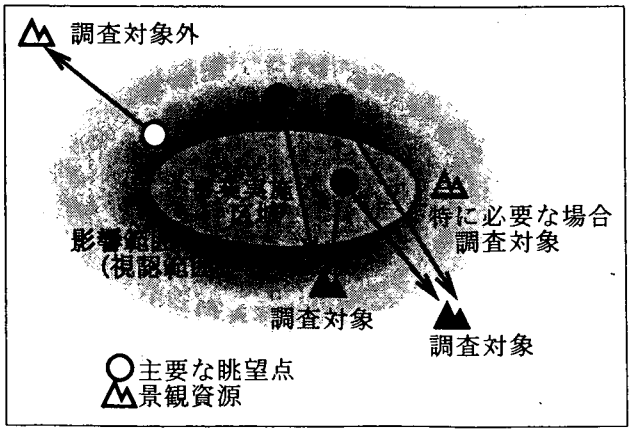


図-3 主要な眺望点と景観資源の位置関係

ここでは、主要な眺望点での眺望対象となる景観資源が、調査区域外にある場合があることに留意が必要である。また、主要な眺望点を有しない景観資源については、植物、生態系、地形・地質などのアセスの他の項目において評価される要素が大きいため、自然公園内に位置する場合など、特に必要と認められる場合にのみ詳細な調査の対象とすればよいと思われる。

4. 予測

景観に対する影響は、眺望点の物理的な改変と、景観資源の物理的改変を含めた眺望景観の変化である。前者の影響は、眺望点の消失、縮小、アクセスの障害などとして現れるため、後述する触れ合い活動の場の予測・評価と同様な方法により行うことができる。後者は、景観独自の問題であり、視覚的な表現方法を用いて予測・評価を行う必要がある。

技術指針においては、標準的な予測手法を『完成予想図、フォトモンタージュその他の視覚的表現方法』としている。具体的には、パース・スケッチやコンピューター・グラフィックス、あるいは模型撮影で作成した工作物等の完成時の画像を、現状の景観写真に合成して、事業実施後の景観変化を目で確認することとなる。

現在では、コンピューターを用いた画像処理により、再現性の良い合成画像が得られるため、確実性の高い予測結果が得られる。

5. 評価

景観の良し悪しは、多分に感覚的なものであるため、一般に許容される影響の範囲を定量的に示すことは困難であり、影響の大小についても、定性的な表現とならざるを得ない部分が、他のアセス項目に比べて多い。

しかし、法アセスではアセスの結論となる評価の考え方は、すべてのアセス項目において基本的に共通であり、調査・予測の結果から、影響がないかあるいは極めて小さいと判断された場合は、それが評価となる。また、影響が認められる場合は、影響の回避・低減のために、実行可能な範囲の環境保全措置がなされるかにより評価され、事業者は、その環境保全措置が最良の選択であるとする見解を示さなければならない[注5)]。

注 5) 閣議アセスにおいては、保全目標を設定し、その達成を判断基準としていた。実行可能な範囲という法アセスでの判断基準は、閣議アセスからの重要な変更点 1 つであり、法アセス実施上の難問の 1 つでもある。

景観の評価では、影響がないという判断を明確に下せる場合は想定できるが、影響が極めて小さいと判断しうる明確な基準は、必ずしも存在しない。

また、影響が認められる場合、何をもって環境保全措置が十分と判断するかは、とても難しい問題である。この問題については、各事業のマニュアルにおいても具体的な判断材料の提示に至っていないが、技術的限界や事業効率上の限界を示すとともに、環境保全措置による影響低減の検証結果を、フォトモンタージュなどの目に見える形で提示することが重要と思われる。

なお、事業地において、景観に関する基準や目標が定められている場合、それらは達成しなければならない必要条件となる。しかし、それをもって十分とする条件とはならず、アセス法の主旨からは、より影響を小さくするための努力が求められる。

Ⅱ. 人と自然との触れ合い活動の場

1. アセスにおける触れ合い活動の場

自然が持つ効用には計り知れないものがある。人は、自然を見たり、その中に身を置くことによって、ある者はやすらぎを覚え、ある者は人間性を回復する。また、多くの子供達は、自然の大切さを学んでいく。自然との触れ合い活動とは、このような自然の効用を享受することであり、広い意味では、自然の中で行われる、ほとんど全てのレクリエーション活動が該当すると言える。

しかしながら、マニュアルにおいては、自然環境の保全や公益性の観点から、次のような条件に該当する活動や活動の場については、アセスの対象から除外すべきとしている。

①活動の場の大部分が人工的に作られ、人工的に維持されているもの

②経済活動及び営利を目的とした施設

なお、触れ合い活動には、多くの場合、活動を補助するための人工施設が必要である。①の条件では、大部分が意味することに留意が必要である。また、②については、全ての有料施設を排除するものではない。運営主体や運営目的に配慮して判断する必要があると思われる。

2. 調査地域

触れ合い活動の場に対する影響は、活動する人間に対する影響と、触れ合いの対象である生物等に対する影響の2つの側面がある。しかし、生物等への影響の大部分は、動物、植物、生態系などの項目において評価されると考えられるため、ここでは主として人間に対する影響が対象とされる。

人間に対する影響は、活動の場の減少やアクセスの障害などの利用性の低下、活動の場の近傍の地形改変や工作物の設置あるいは騒音、夜間照明による快適性の低下や活動の阻害などが挙げられる。

利用性の低下は、事業実施区域が活動の場と直接重なる場合となる。地形改変等による快適性の低下は、主として景観変化による視覚的影響と考えられるため、対象物のディテールまでが認識される近景域[注6)]の範囲と考えると500mが影響の範囲と考えられる。騒音、光の影響については、発生源に基づく検討が必要であるが、一般的には、500mの範囲に影響は収まると想定される[注7)]。

以上のような検討から、マニュアルでは、調査地域を、事業実施区域と500mを目安とした周辺地域としている。なお、調査地域は、活動内容や現地状況に応じ拡大を必要とする場合があり、特にダム事業については、快適性の低下要因となる水質の影響範囲を、調査地域に加えることとしている(図-4)。

3. 調査対象要素

調査は、調査区域内の触れ合い活動の場を把握した上で、主要な触れ合い活動の場を抽出し、詳細な調査を実施する。ここでの、主要なの意味

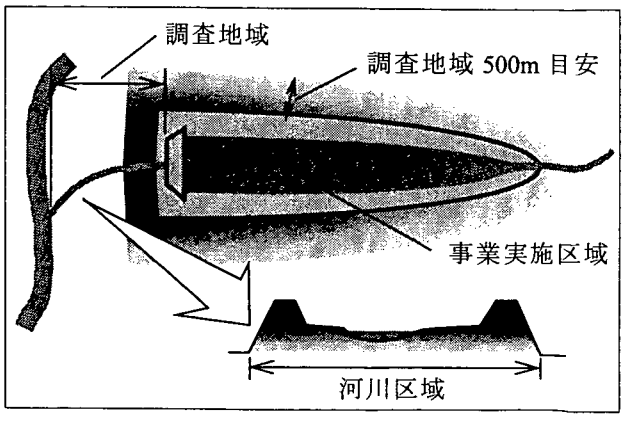


図-4 ダム事業での調査地域の設定例

注6) 樹木を対象物とした場合、1本1本が認識される範囲とされ、340～460m。(篠原修：新体系土木工学 59 土木景観計画, 技法堂, 1982.)

注7) 自動車走行騒音の場合、地方部の幹線道路を対象とした試算からは、250m程度で静寂な騒音レベルまで減衰する。光については、現在のところ十分な知見が得られていない。

も、景観の場合と同様、不特定多数の人に利用されていることを指す。

4. 予測と評価

影響の予測は主要な触れ合い活動の場を対象として実施する。各事業に共通して標準的な予測項目とされるのは、利用性の変化と視覚的影響によるな快適性の変化である。

利用性の変化は、活動の場と事業実施場所の図上での位置の重ね合わせにより予測が可能であり、結果は、活動の場の面積減少、利用可能者数の減少、活動の場への到達時間・距離の増加として定量的に把握される (図-5)。

視覚的影響による快適性の変化は、一般的な工作物の設置による圧迫感など、過去の事例との比較検討ができるものについては、図上での解析によって予測可能である。しかし、比較検討ができない場合は、景観の予測と同様に、フォトモンタージュなどの手法を用いることが必要となる。

視覚的影響による快適性の変化は、全ての活動において生じるものであるが、他の要因による影響は活動内容により異なるため、必要に応じ予測項目として取り上げることとなる。例えば、バードウォッチングのように静寂な環境を要する活動の場においては騒音の影響について、スターウォッチングのように夜間の活動の場においては光の影響について、予測することが必要となる。

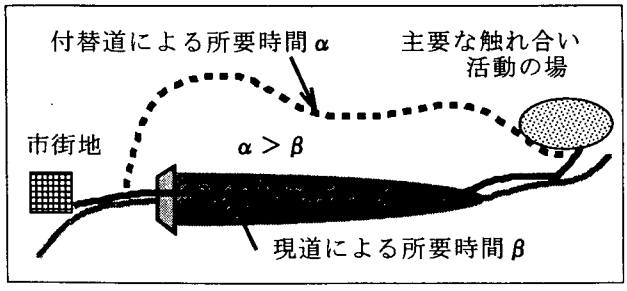


図-5 ダム事業でのアクセス性の予測例

また、予測項目の選択は事業特性によっても大いに異なる。道路事業では、騒音・光の影響は、施設の存在・供用において問題にされ、交通量や照明施設の規模により、予測の必要性は異なる。一方、ダム事業では、騒音・光・水質の影響が主として工事中の影響として問題とされる。

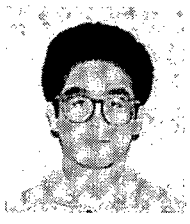
5. 評価

評価の考え方は、景観の項において述べたことと基本的には同様である。影響が認められる場合は、実行可能な範囲において環境保全措置を講じ、事業者の見解を示すことによって評価とする。

＊＊＊

アセス法は、まだ施行されて間もなく、マニュアルもまた、使いこなされたものではない。実際のアセスでは、マニュアルから解答が得られない様々ケースが生じることが予想される。そのような際に重要なことは、法や指針に立ち返り、その主旨に沿って考えることである。本稿が、その一助となれば幸いである。

藤原宣夫*



建設省土木研究所
環境部緑化生態研究室長
Nobuo FUJIWARA

広告企画
河川・緑化



多自然型川づくりにおける護岸技術開発の方向

建設省土木研究所　緑化生態研究室長　藤原 宣夫

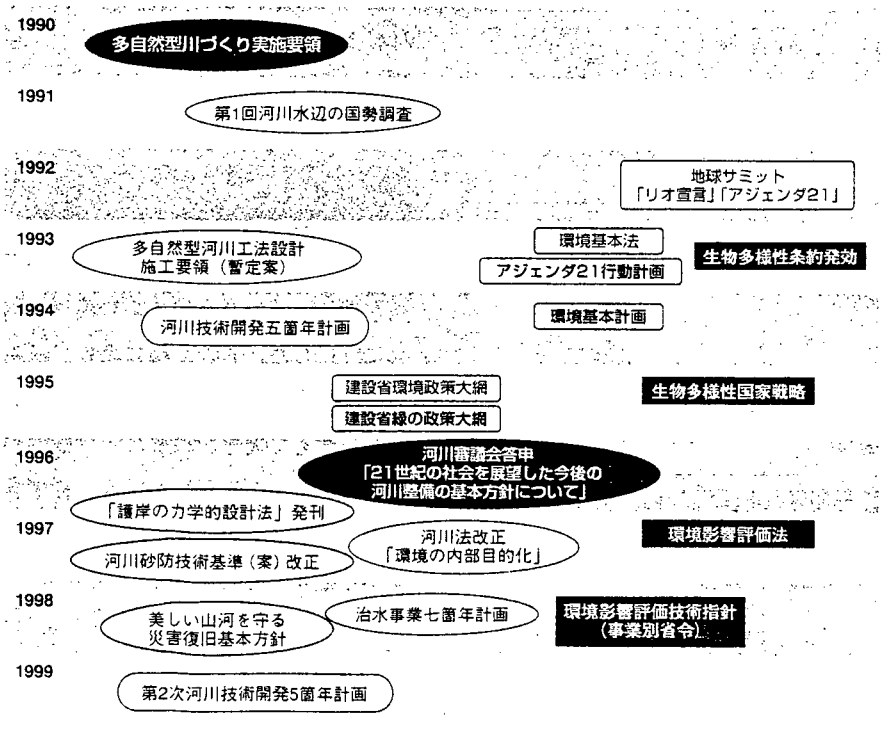
多自然型川づくり開始から10年

1990年に、建設省河川局より「多自然型川づくりの実施要領」が通達され、自然環境保全に配慮した護岸整備が行われ始めてから10年が経過しようとしている。この10年間の自然環境保全をめぐる社会の動きには、まさに目覚しいものがあった。

92年の地球サミットの開催を契機とし、「持続可能な開発の実現」と「生物多様性の保全」という目標のもとに、地球環境保全に対する国際的な協力体制の構築が加速されると、わが国では、環境基本法（93年）、生物多様性国家戦略（95年）といった法令等が制定され、その中で、河川の有する自然環境が生物多様性保全の上で重要であることが再認識される。連動し建設省は、環境政策大綱（95年）を策定し、河川をはじめとする所管事業において環境整備を内部目的化することをうたい、97年の河川法改正では、河川管理の目的に環境の整備と保全を付け加えるに至った（図-1）。

多自然型川づくりは、このような自然環境保全の動きに先駆けた取り組みとして、評価されるものである。しかし、理念が先行し、護岸工法を含め、技術面でのフォローが必ずしも追いついていない一面がうかがえた。ここでは、これまでの護岸技術開発を振り返りながら、今後の方向性を考えてみたい。

図1 ●河川をめぐる自然環境保全の動き



技術開発の第一段階

初期の多自然型川づくりにおける護岸工法は、スイスやドイツで行われていた自然素材を用いた工法を参考に、粗朶工、かご工といった伝統的な工法が主として用いられた。これらの工法は、河岸のり面に多孔質な空間を形成する

ため、植生の成立や動物の生息が可能となることが評価されたものである。

しかし、これらは多用されてきたコンクリート護岸に比べ、洪水に対する耐性が劣ることは明らかであり、そもそもその強度が明らかにされていないため、護岸としての機能がどの程度期待できるかどうかは、不明確なままでの工法適用であった。そのため、護岸に関する技術開発課題としては、先ず第一に、伝統工法を含む、多自然型護岸の強度を判定するとともに、施工個所の洪水時外力の推定方法を明らかにし、合理的な水理設計により、その場に適した工法を選択できるようにすることが挙げられた

また、伝統工法は、洪水耐性が比較的小さいことに加え、人力施工の割合が大きく、高齢化に伴う労働力の低下という社会情勢に適応するものとは言えないため、洪水耐性に優れ、工期の短縮やコストの縮減を踏まえた、新工法の開発が望まれた。

94年に始まる建設省の河川技術開発五箇年計画[1]では、このような観点から、野生生物の生息に配慮した多自然型河岸防御工法を「次世代型護岸」と呼び、その開発と合理的な水理設計手法の確立を技術開発テーマとして取り上げている。

合理的な水理設計手法検討の成果

洪水による護岸の被災形態や、各種の護岸の耐侵食強度に関する調査・研究が積極的に行われ、その成果は97年に「護岸の力学的設計法」[2]として集約された。同年に「建設省砂防技術基準（案）」は改訂され[3]、また翌年には、災害復旧での多自然型護岸の適応方針を示す「美しい山河を守る災害復旧基本方針」[4]が発行された。

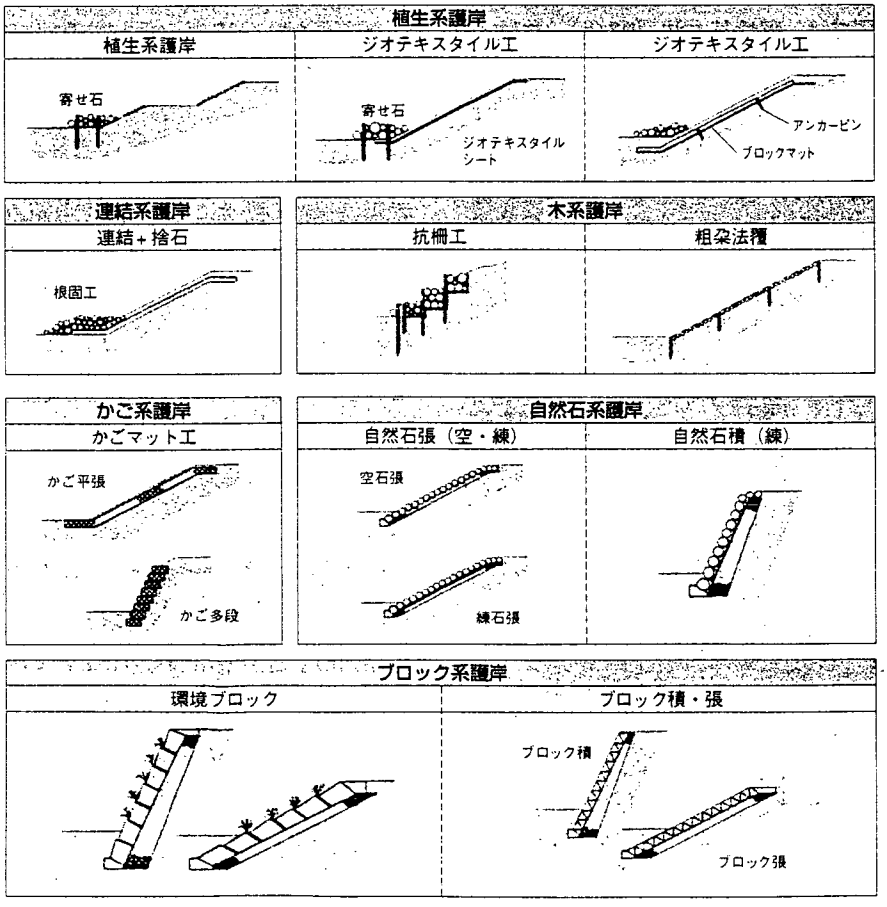
同基本方針では、護岸工法を、植生系、連節系、木系、かご系、自然石系、ブロック系の6系統に大別して整理し（図-2）、河岸のり勾配と洪水流速に応じた各種護岸工法の適応の考え方を示している。

護岸工法の耐浸食強度は概ね次のような関係にある。

植生系 木系 ＜ 連節系 かご系 自然石系（空張） ＜ 自然石系（練・積） ＜ ブロック系

これは、ソフトから、よりハードへという素材の関係を示すものでもあり、河川全体において、よりソフトなものの割合を多くし、ハードなものは、真に必要な個所に限って用いることが望ましいと言える。

図2●護岸工法の分類



新工法の開発状況

新工法の開発は、主として植物の根茎が進入可能な多孔質なのり覆材の開発に向けられ、その使用により、植生自体が有する耐浸食性能を向上させること、加えて大きな洪水により植生が流出しても、のり覆材が残り、護岸機能を発揮するという観点から、多数の新工法が輩出した。

ソフトな素材を用いるものとしては、植物繊維や合成樹脂繊維などによるシートやマット類がある。これらのシー

図３●浸食防止シート

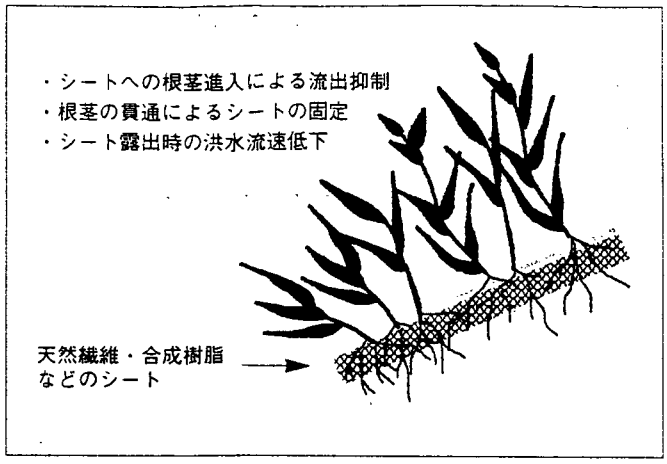


図４●石材などの連結素材

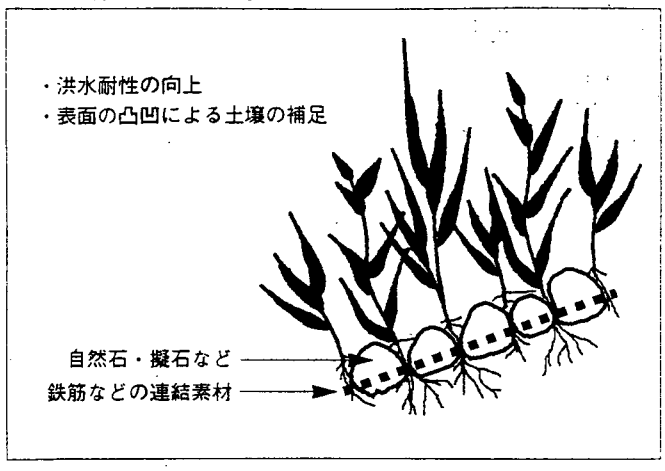
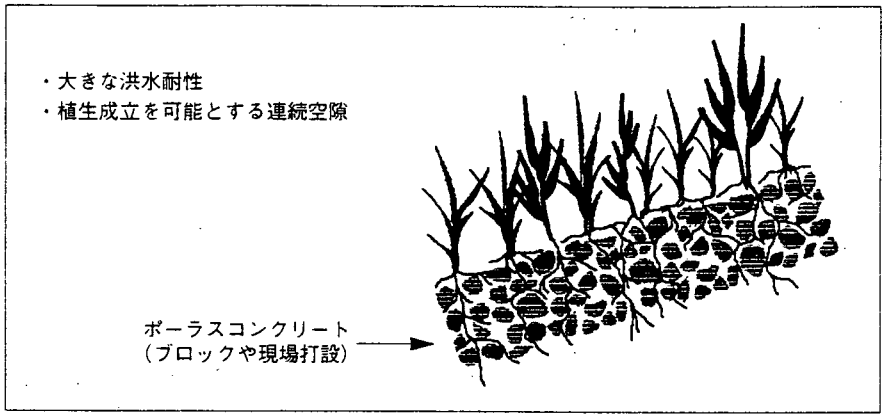


図５●緑化用ポーラスコンクリート



ト類では、シート内に根が進入することにより植物が流出しづらくなり、さらにシートを根が貫通することにより、シートの固定がより緊密になる。また、浸食によりシートが露出してもシートが流速を小さくして、浸食の力を弱くすることが期待される（図-3）。

ハードな素材のものとしては、比較的小さな自然石や擬石を、鉄筋や金網、あるいは強靭な繊維で連結したものがある。これらは、主としてのり覆材自体に洪水耐性を期待するものだが、表面を複雑な構造とし、植生基盤となる覆土の収まりがよくなるように工夫が施されている（図-4）。また、よりハードな素材としては、連続空隙を有する緑化用ポーラスコンクリートがあり、植生の成立に適した空隙構造や空隙充填材が明らかにされつつある（図-5）。

一方、伝統工法についても、施工効率の向上が図られ、省力型のかごマットのほか、粗朶工については、粗朶の供給体制の組織化が見られるようになっている。

今後の河川整備と護岸の目指す方向

96年の「21世紀の社会を展望した今後の河川整備の基本的方向について」の河川審議会答申では、今後の河川整備にあたっての基本的な認識と基本施策の方向が示されている。基本施策のひとつである「自然と調和した健康な暮らしと健全な環境の創出」においては、生態系の長期的安定と生物資源の持続的利用が目標として掲げられており、その中で重要とされているのが、河川形状の多様化と空間的連続性の確保である。この答申では、個々の護岸における生物への配慮は、むしろ当然のこととして具体的な記述には及んでおらず、河川を流域の視点でとらえ、河川全体として多様性を向上させることが方向づけられている（図-6）。

建設省の第二次河川技術五箇年計画（99年～）[5]には、このような方向が反映され、河川全体の健全な生態系を保全するための技術開発として、河川の動態の把握と、それに対する人為的な影響を解明することが主体とされている。そして護岸については、自然河岸の形成・保全など、河川の動的な特質を認識し、自然の営力と協調した護岸形態を目指そうとしている。

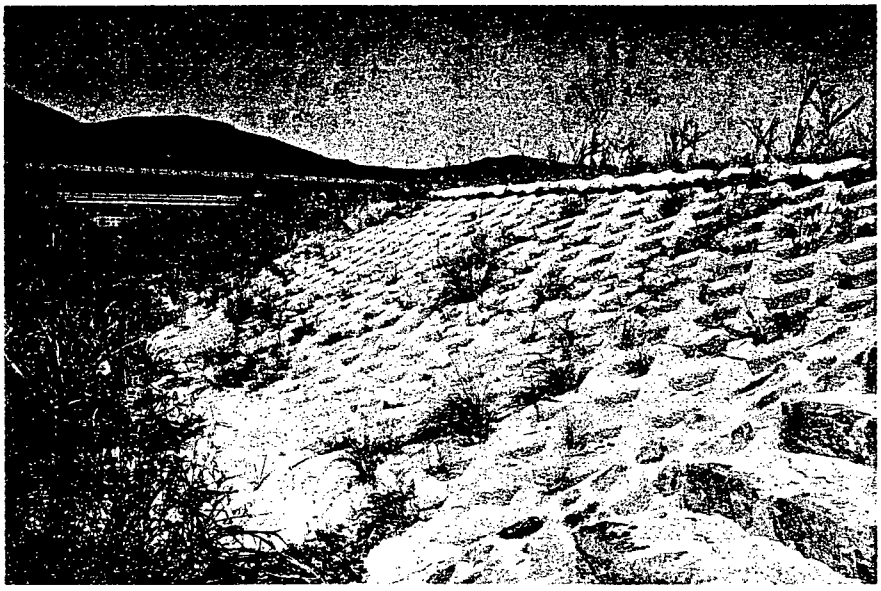
護岸技術開発の視点 ～自然の営力との協調～

河川では、土砂の浸食、移動、堆積が絶えず生じている。その中で、土

図6●1998年8月6日河川審議会答申「21世紀の社会を展望した今後の河川整備の基本方針について」目次の抜粋

はじめに
1 近代治水百年を振り返って
2 河川整備の現状と課題
3 21世紀の社会と河川
4 21世紀に向けた河川整備
4.1 河川整備にあたっての基本認識
(1)流域の視点の重視
(2)連携の重視
(3)河川の多様性の重視
—川の365日—
(4)情報の役割の重視
4.2 河川の基本政策
(1)信頼感のある安全で安心できる形成
(2)自然と調和した健康な暮らしと健全な環境の創出
1)健全な水循環系の確保とそのための管理体制の確立
2)生物の多様な生息・生育環境の確保
i)空間的な連続の確保
ii)多様な形状を持つ河道の形成
3)良好な河川景観と水辺景観の形成
4)都市部における水と緑のネットワーク化
5)地球環境問題への対応
(3)個性あふれる活力のある地域社会の形成
4.3 施策の推進方針
5 総合的水行政への課題

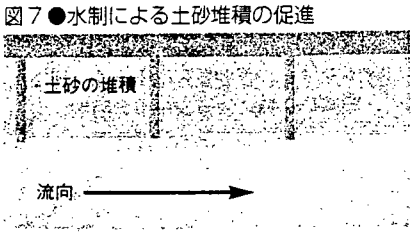
写真●ポーラスコンクリート護岸での植生自己回復は可能か
一旦は全面的に成立した植生だが、洪水により流出した。しかし、堆砂が見られる個所では植生が回復しつつある。



砂の堆積する位置や、洪水外力あるいは洪水頻度の小さい場所では、植生による自然河岸が形成されやすい。しかし、一般に護岸が必要とされる場所は、水衝部など浸食を受ける位置であるため、ハードな護岸が必要な場所ほど、植生が安定的に成立することは困難となる。

そのため、多自然型護岸では成立した植生が流失することを、ある程度、前提として考える必要があり、このような前提に立った場合、流失個所に自然の営力により植生が回復することが、護岸の維持管理上重要となる。技術開発の視点としては、植生が流失しても、植生基盤が存続するか、あるいは基盤自体が再形成されることにより、護岸に自己回復機能を持たせることがあげられる。このような機能は、ポーラスコンクリートのように、洪水外力の大きい場所が適用個所と想定される工法で、その必要性が高いといえる（写真-1）。

図7●水制による土砂堆積の促進



また、このような自己再生には、護岸前面に土砂の堆積を促進させる仕組みを持たせることが有効であり、水制の併用など（図-7）、のり覆工だけではなく、補助的な施設を組み合わせた複合的な護岸形態の提案も技術開発上の視点となるだろう。

おわりに

この10年間は、これまでに蓄積された自然への負債に対し、積極的に改善の行動が取られた期間といえる。しかし、最近に至り、ダイオキシンや環境ホルモンなど、新たな環境問題が認識されてもいる。今後の技術開発においても、新たな技術が、新たな問題を後世にもたらすことがないように、将来にわたる影響まで、細心の注意が必要とされている。

＜参考文献＞
1) 建設省河川局：河川技術開発五箇年計画～新しい世紀への21の扉～、1994
2) (財)国土開発技術研究センター：護岸の力学的設計法、1997
3) 建設省河川局監修、(社)日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説・調査編・計画編・設計編[Ⅰ][Ⅱ]、山海堂、1997
4) 建設省河川局防災・海岸課：美しい山河を守る災害復旧基本方針、(社)全国防災協会、1998
5) 建設省河川局・土木研究所：第二次河川技術開発五箇年計画～21世紀の水循環・国土管理に向けた河川技術政策～、1999

土木研究所刊行物

土木研究所資料一覧 ―― 255
官民連帯共同研究一覧 ―― 261
共同研究報告書一覧 ―― 261
緑化生態研究室資料 ―― 261

土木研究所資料

巻号	表　題	概　要	著者名	ｷｰﾜｰﾄﾞ	発行年月
3706	阪神・淡路大震災時の避難行動と公園利用状況に関するアンケート調査	阪神淡路大震災での避難行動において、都市公園が市民の緊急避難の場、避難生活の場としてどのように利用されたのかを明らかにするため、地震直後の行動、避難場所の選択理由、避難場所と自宅との往復行動、避難時の自動車利用、地震前後の公園利用などについてアンケート調査を行い、被災者の具体的な避難行動および都市公園等の避難施設の利用実態を把握した。	田中　隆 藤原　宣夫 松江　正彦 山岸　裕 岡田　潤 野島　義照	阪神・淡路大震災、都市公園、避難場所、アンケート調査、公園施設	2000.3
3666	わが国の街路樹Ⅳ	わが国の道路緑化現況を把握することを目的として、道路緑化率及び道路緑化樹木本数、樹種について調査を行ったものである。	藤原　宣夫 田中　隆 木部　直美	街路樹 並木 道路緑化 緑化率 統計	1999.9
3663	防災公園計画・設計に関する技術資料-防災公園の計画・設計に関するガイドライン（案）-	大地震時に、避難地・復旧活動拠点として機能する防災公園の整備促進のため、防災公園の具体的な計画、設計手法について、「防災公園の計画・設計ガイドライン（案）」として、行政機関の公園担当者に利用されることを念頭に取りまとめたものである。	新田　敬師 松本　浩 篠宮　章浩 藤原　宣夫 山岸　裕	防災公園、公園計画、公園設計、地震	1999.7
3520	地方公共団体における民有地緑化及び緑地保全制度の現状	地方公共団体が整備している民有地の緑化および緑地保全を推進するための条例、要綱等を全国的に収集し、それらの内容を事例シートに整理するとともに、それらの制度が目的としている緑化・緑地保全の年代的な動向、制度の目的とそれを実現するための手法との関係などを明らかにした。	田中　隆 秋山　千秋	民有地、緑化、緑地保全、地方公共団体、制度	1997.4
3416	公共空間における花卉修景手法に関する研究	公共空間における花卉を用いた修景に関して、その計画・設計・施工・管理及び材料について、アンケート調査並びに事例の分析を通して要点を整理し、花卉修景手法として取りまとめたものである。	半田　真理子 田中　隆 日置　佳之 飯塚　康雄 播本　武史	花卉、修景、公共空間、緑化、アメニティ	1996.1
3413	下水汚泥と剪定枝葉の堆肥化に関する調査	下水汚泥と剪定残渣を用いて堆肥を試作するとともに、その堆肥を用いた植栽試験を実施し、試作堆肥の性状や肥効力を把握し、それらを用いた堆肥製作の手法等について取りまとめを行ったものである。	田中　隆 藤原　宣夫 桃井　信行 飯塚　康雄 半田　真理子 小澤　徹三 石坂　健彦 吉永　裕康	下水汚泥、有効利用、剪定残渣	1996.1
3334	木本植物によるのり面緑化工法に関する研究 Study on Slope Planting Methods using Trees	のり面の侵食防止と周辺環境との調和等のために施工されるのり面緑化に関して、より景観面や安定性を考慮した施工技術の向上を図ることを目的に、木本植物導入技術について現状の把握及び苗木設置と厚層基材吹付工を併用した木本植物導入工法(苗木設置吹付工法)の開発に係る検討結果を取りまとめた。	半田　真理子 飯塚　康雄 前田　博 有村　恒夫 藤崎　健一郎	のり面、緑化、のり面緑化、苗木設置吹付工法、環境	1995.1

巻号	表　題	概　要	著者名	ｷｰﾜｰﾄﾞ	発行年月
3253	都市林の機能に関する研究 Study on Functions of the Urban Forest	今後の都市緑地政策における都市林の果たすべき役割とその機能の活用を検討するために、都市林の概念の提示、即地的分析、緑被の水位と関連法制度及び機能発揮条件を整理し、住民及び学識経験者等による評価の比較検証等を行い、都市林の機能及び施設等について提言を行ったものである。	半田 真理子 秋山 千秋 田畑 正敏 前田 博 播本 武史 佐藤 隆幸	都市林、 機能評価、 近郊緑地、 緑地保全地区、 風致地区	1994.1
3252	塩生生物の生育基盤に関する研究 Study on Basements for Halophilous Plants	亜熱帯海岸地帯における緑化手法の向上を図ることを目的に、沖縄の岩礁地帯、海浜地帯を対象とした植生実態調査、生育基盤調査および人工基盤での生育試験等を実施し、緑化に有望な植物の選定と、その生理・生態的特性の解明並びに人工生育基盤の基礎的条件の検討を行い取りまとめた。	半田 真理子 藤原 宣夫 吉永 裕康 中島 均 播本 武史	亜熱帯、 海岸地帯、 塩生植物、 耐塩性、 生育基盤、 人工基盤	1994.1
3239	わが国の街路樹Ⅲ The Road side Trees in Japan 3	建設省道路局が実施した全国道路情勢調査（道路交通センサス）の一般交通量調査個所別基本表を用いて道路緑化率（緑化済道路延長/道路延長）を算出した。また、平成４年３月３１日現在共用済となる道路を対象にアンケート調査を実施し、樹木本数、樹種、樹木タイプ等について調べた結果をとりまとめた。	半田 真理子 飯塚 康雄 藤崎 健一郎	街路樹、 並木、 道路緑化、 緑化率、 樹木、 樹種、 樹木タイプ、 環境、現況	1994.1
3231	都市内日陰空間における緑化樹木の耐陰性に関する研究 Study on Shade Tolerance of Greening Plants in Urban Spaces	公共緑化用樹木のうち陰樹と考えられている樹種を対象とした耐陰性試験及び都市内日陰空間での緑化樹木の生育調査を行い、生育環境条件、とりわけ日照条件に対する緑化樹木の生育適性を検討し、日陰地での植栽設計・施工に関する基礎的な知見をとりまとめた。	半田 真理子 藤原 宣夫 吉永 裕康	都市緑化、 陰樹、 耐陰性試験、 日陰地、 相対照度条件	1994.1
3212	広場の特性及びその画・設計への応用に関する研究 Study on the Application of Plaza's Characteristics to Planning and Design	広場の設置及び管理に関するアンケートによる実態調査、広場の利用実態調査、広場的行動の特性に関する調査の結果から導き出された広場の計画・設計上の要点を整理し取りまとめた。	半田 真理子 秋山 千秋	広場、 設置および管理状況、 利用実態、 広場的行動、 計画・設計上の要点	1993.9
3189	海浜地における樹木の育成環境に関する研究 The Study on Environments of Rearing for Trees on The Seashore	海浜地における潮風、植栽基盤の特徴を把握したほか、風と植物の生育との関係を海の中道海浜公園及び国営常陸海浜公園において測定し、防風林と植栽木の位置及び高さの関係について検討を行い取りまとめた。	半田 真理子 藤原 宣夫 吉永 裕康 井上 忠佳 前田 博 田代 順孝 末永 錬司 播本 武史 古関 堅治 武田 裕 佐藤 隆幸	海浜地、 防風林、 潮風害、 環境圧レベル、 クロマツ	1993.5

巻号	表　題	概　要	著者名	ｷｰﾜｰﾄﾞ	発行年月
3180	道路内の芝生、草地の管理技術に関する調査 Studies on the Management of roadside turfgrass	一般国道および高速道路の芝生・草地の面積、植物の種類、管理内容等を明らかにした。また、10都市において道路内の植生の現況について現地調査をし、草高、雑草の種類等を明らかにした。さらに、専門家に対するヒアリング等を行い、芝生・草地の管理の基本的考え方と技術の要点について取りまとめた。	半田 真理子 藤崎 健一郎 吉永 裕康	道路、草本植生、芝生、草地、刈込み、施肥、雑草防除	1993.3
3160	ジョギング走路の特性に関する研究 Study on Characteristics of Jogging Courses	都市公園等におけるジョギング走路の設置状況に関する実態調査、ジョギング走路の舗装材の粘弾性特性の測定及び解析並びに着地衝撃に関する被験者実験を行い、その結果を取りまとめた。	半田 真理子 秋山 千秋 吉永 裕康	都市公園、ジョギング走路、設置状況、粘弾性特性、衝撃力減衰度、舗装材、着地衝撃	1993.1
3126	公園林の造成及び管理技術に関する研究（その2）-公園林の利用と樹林状態- Research on Techniques for creating and Maintaining Park Forests No.2 -Activity and Forest Configurations of Park Forests-	レクリエーション活動別の樹林適性モデルに検討するとともに、国営公園を事例として、造成および管理計画の進め方について事例検討を行った。さらに、公園林管理の技術手法についても検討し、特に間伐については試験植栽を実施し、その効果分析を行い取りまとめた。	半田 真理子 播本 武史 吉永 裕康 前田 博 古関 堅冶 佐藤 隆幸 山岸 裕	公園林、造成・管理技術、樹林利用、試験植栽、間伐	1992.7
3115	道路の外部景観に関する研究 A Study of Road Landscape Seen from the Outside	道路景観調査手法体系化の一環として、道路の外部景観に関する調査手法及び景観に関連する用語の意味等について取りまとめた。	半田 真理子 小澤 徹三	道路景観、外部景観、調査手法、道路緑化、景観関連用語	1992.5
3059	道路緑化樹木の二酸化炭素固定に関する研究 A Study on Fixing Carbon Dioxide Capacity with Photosynthesis of Roadside Trees	道路緑化樹木に関し、成長量が二酸化炭素固定量に等しいことを利用して道路緑化樹木の二酸化炭素固定機能について整理し、詳細な全国的かつ基礎的データを提示し、樹種的な特徴や簡単に二酸化炭素固定量を測定する方法等についてとりまとめた。	半田 真理子 小澤 徹二 飯塚 康雄 井上 忠佳 前田 博 田代 順孝 有村 恒夫 武田 裕	成長量、二酸化炭素固定、道路緑化	1992.3
3037	公共緑化用コンテナ栽培樹木の栽培樹木の植栽技術等の開発 Technique of planting Using Container-grown Trees for Public Spaces	コンテナ栽培樹木に関して公共緑化への導入をめぐる問題点と課題を整理し、コンテナ栽培樹木の利点や施工上の留意点について試験等により把握した上で、「公共緑化用コンテナ栽培樹木の植栽施工技術指針（案）」と「品質・寸法規格基準（案）」を作成し、また、コンテナ栽培樹木による大型樹木の育成・植栽施工に係る技術を開発し取りまとめた。	半田 真理子 飯塚 康雄 井上 忠佳 前田 博 末永 錬司 古関 堅冶 佐藤 隆幸	コンテナ、コンテナ栽培樹木、公共緑化、植栽	1991.11

巻号	表　題	概　要	著者名	ｷｰﾜｰﾄﾞ	発行年月
2938	都市緑化における下水汚泥の利用 Utilization of Sludge for Garden Plants	消化脱水汚泥やコンポスト化汚泥についての各種植栽試験や造園施工業者を対象としたアンケート調査等を行って、利用する側からの使用時等の注意事項等を「都市緑化における下水汚泥の施用指針（案）」（昭和６２年３月、建設省都市局）に説明や新しいデータ等を加えるとともに、施工手順などについてとりまとめた。	半田 真理子 小澤 徹三 飯塚 康雄 吉永 裕康 井上 忠佳 前田 博 田代 順孝 有村 恒夫	下水汚泥、有効利用、都市緑化	1991.3
2816	景勝地の道路景観評価に関する研究 A Study on assessment of modification of road structure in areas of scenic beauty	東京湾環状道路等、大規模特殊道路沿線周辺の景勝地について、景勝地の分布状況、景勝地としての価値水準および景観特性等に関する一般的傾向を把握するとともに、河川部および海岸部の一般的景勝地について構図特性により類型化し、類型別の景観特性を取りまとめた。	半田 真理子 山岸 裕 井上 忠佳 前田 博 有村 恒夫	景勝地、景観、道路景観、大規模特殊道路	1990.1
2733	公園林の造成及び管理技術に関する研究その１-公園林の定義及び造成・管理技術の体系的手順 A Study on Techniques of Alfore-station in Parks (1)	公園林の定義づけを行い、公園林の範囲、公園林計画の手順と方法について検討するとともに造成・管理に関する技術検討を行った。また、アカマツ優先林を事例として計画モデルの利用について考察し、具体的な適用手法へと検討を進め取りまとめた。	前田 博 武田 裕 山岸 裕	公園林、造成管理技術、新規樹林、既存樹林、計画	1989.3
2726	寒冷地樹木特性調査 A Research on the Plants Properties in the Cold District in Japan	寒冷地における公共緑化を進める際の適性樹種選択の基礎的な判断材料を得るため、緑化行政担当者に対し植栽実績、被害対策等の聴取調査を行い、市街地内の植栽実績とその地域分布、植栽樹木の生育状況、植栽樹木に対する気象害対策の実態、寒冷地樹木の特性について検討した結果をとりまとめた。	前田 博 佐藤 隆幸	寒冷地樹木、植栽分布、耐寒性、耐雪性、耐潮風性、生育適性	1989.3
2725	厚層基材吹付工法に関する調査研究報告書-開発の経緯、普及、植生の生育状況- Survey and Analysis of Soil Dressing Method on Slope-Detail of Development, Spread, Growing Process of Vegetation-	軟岩、硬岩等はもちろん、土壌硬度が高い土砂のり面でも広く使われるようになった厚層基材吹付工法の開発と普及過程を調査するとともに、施工後の経過年数が長いのり面を選定して現地調査を実施し、生育基盤の安定性、植生の生育状況等を観察・評価し取りまとめた。	前田 博 古関 堅治 飯塚 康雄	厚層基材吹付工、岩盤緑化工、無土壌のり面、植生回復	1989.3
2693	わが国の街路樹II The Road side Trees in Japan 2	全国の昭和６２年３月３１日現在共用済みとなる道路を対象にして、高木、中低木別の本数や樹種など道路緑化樹木の実態調査を実施するとともに、今回の調査結果と過去に行われた調査結果（昭和４２年度、昭和５７年度）の全国主要１５０都市（高木のみ）についての比較を行い、考察を加え取りまとめた。	前田 博 有村 恒夫 飯塚 康雄	道路緑化、道路植栽、道路環境、街路樹、並木、環境保全、景観	1988.12

巻号	表　題	概　要	著者名	ｷｰﾜｰﾄﾞ	発行年月
2686	道路緑化等における保水剤の活用技術に関する研究 Studies in Planting Technology with Super Absorbent Polymer	建設省が財団法人日本造園修景協会との共同研究で実施した「道路緑化等における保水剤の活用に関する研究」の成果をとりまとめたもので、土壌改良剤、植栽直後の水分補給剤、移植時の根系養生剤などの保水剤の保水効果や土壌の通気透水性阻害、植物の発根障害の弊害いついての調査結果を取りまとめた。	前田 博 井上 忠佳 有村 恒夫 田代 順孝 飯塚 康雄	道路緑化、土壌改良、土壌改良剤(材)、植栽工法、新素材、保水剤、高吸水性ポリマー	1988.10
2617	大規模公園利用者分析調査-国営武蔵丘陵森林公園を事例として- User Analysis of the Large Scale Park -In Case of Musashi-Kyuryo National Government Park-	公園利用者分析を大規模公園で実施し、大規模公園での利用者分析法の実施方法、国営武蔵丘陵森林公園の利用実態、今後の大規模公園計画への提案などについて、調査研究の内容をもとに解析した。	前田 博 古関 堅治 井上 忠佳	利用者分析、利用実態、大規模公園、施設配置、事例解析	1988.3
2572	街路樹の生育特性 Growth characteristics of Road side Trees	街路樹の植栽時における計画目標の設定あるいは管理計画の策定に資するため、筑波研究学園都市に植栽されたケヤキを対象に生育特性の検討を行った。まず、生長量について調べ、次に、植栽条件、土壌条件といった環境条件と生育状況との関連性を検討した。さらに、生長量の変遷状況を類型化し、生長タイプ、その評価方法、景観形成との係わりについても整理し取りまとめたものである。	前田 博 武田 裕	街路樹、道路植栽、環境状況、生育特性、生長量、予測、評価景観	1988.3
2483	亜熱帯地域における海浜地植物の管理指針（案） Landscape Management Guideline for Subtropical plants of Seashore	海浜地に立地し台風や冬期の季節風による潮風被害を受けやすい環境条件下にある国営沖縄記念公園に植栽された熱帯・亜熱帯植物の潮風被害の発生状況とその回復過程を調査したうえで、被害の回避策を年間の管理作業計画に盛り込む等、特に景観面に配慮した形で植物管理指針（案）としてまとめた。	井上 忠佳 古関 堅司 芹沢 誠 藤原 宣夫	海浜地植物、熱帯・亜熱帯植物、潮風被害、植物管理	1987.2
2413	河川公園景観計画調査（その１）-河川の地形および植生の位置の特徴と景観設計への反映- An Investigation on landscape planning for riverbed park	河川公園における景観形成に焦点をあて、河川空間の特性を生かした河川構造物の景観設計を行う際に参考とするための資料を作成し、比較的自然性の残されている河川の地形の形態的特徴および植生の位置の特徴をとりあげて設計対象物のモデルタイプの提案を行い取りまとめたものである。	井上 忠佳 篠原 修 武田 裕 伊藤 登	河川公園、河川景観、地形、植生、計画、景観設計	1986.10
2341	公共緑化のための下水汚泥のしよう施工指針（案） Application standard of Sewage sludge for greening	下水道汚泥（脱水汚泥、コンポスト化汚泥、乾燥汚泥）を公共緑化において施用する場合の技術的事項について、昭和55より59年度まで実施した調査研究の成果を踏まえて、技術指針（案）として取りまとめものである。	井上 忠佳 田代 順孝 藤原 宣夫	公共緑化、下水汚泥	1986.3
2318	わが国の街路樹 The Road side Trees in Japan	今後の街路樹整備に際しての参考資料とするため、わが国の街路樹の現状を調査するとともに、代表的な街路樹景観を掲載し、また街路樹の有効な管理方法について提案を行い取りまとめたものである。	井上 忠佳 二上 克次 芹沢 誠 藤原 宣夫	街路樹、国道、景観	1986.3

巻号	表　題	概　要	著者名	ｷｰﾜｰﾄﾞ	発行年月
2314	道路・街路景観計画体系に関する研究　その3（国道バイパス景観の変遷） A Transition of Bypass Road-scape	バイパスにおける道路景観が供用当初からどのように変遷したかを分析し、景観変遷パターンの類型化、変遷期の位置づけ、景観保全要因の抽出を行い取りまとめたものである。	篠原 修 二上 克次 芹沢 誠	バイパス、景観の変遷	1986.3
2173	山岳道路の環境影響評価手法その２-仕切り面の予測，植生回復判別，景観評価- Environmental Impact Assessment Method of Mountain-Road Part2-Forcasting Technique, Vegetation Recovery and Landscape, Evaluation of Cutting-Slope-	山岳道路の環境影響評価手法確率の一環として、切土のり面を対象に、発生予測手法、植生回復の判別、景観評価に関する検討結果を取りまとめたものである。	芹沢 誠 篠原 修 二上 克次	山岳道路、切土のり面、発生予測手法、植生回復、景観評価	1985.3
2033	公園における二次処理水の利用-主として砂質土壌地について- Utilization of treated -sewage-water at planting area of a park -Case study at sandy area-	海の中道海浜公園における、植栽樹木および芝生への二次処理水の潅漑試験の結果に基づき、公園における二次処理水の利用について、水質・土壌・植栽生育・潅水方法の観点から検討し、その結果を取りまとめたものである。	芹沢 誠 田代 順孝 古関 堅冶 藤原 宣夫	二次処理水、再利用、潅水試験、国営公園、砂質土壌	1983.12
1966	道路植栽の生長度合判定法に関する研究その１-生長度合判定のための有効指標の選定- Study on Estimation for Growth of Growth of Road-side Vegetation (1) -Choice of Appropriate Indication for Estimation of Growth-	道路植栽の成長度合を現場で簡便に判定するための資料作成のため、生育実態調査の結果から成長度合判定の有効指標を選定し、判定基準値（分級値）設定のための方針を整理した。また、慣行活力評価値と有効指標との関連を分析し、活力評価法の簡便化を検討し取りまとめたものである。	芹沢 誠 田代 順孝 古関 堅冶 藤原 宣夫	道路植栽の生育、成長量、成長度合判定法、有効指標、活力評価、判定基準値、分級値	1983.3
1910	道路・街路景観計画体系に関する研究　その２　バイパス景観のタイプ分類と評価 Study on Landscape Planning Systems of Roads and Streets (2) Classification and Estimation of By-pass Landscape	関東地建管内の国道バイパスを対象に、道路内部景観をあらわす写真６６葉を用いて、景観のタイプ分類と評価規程要因に関する分析を行い、自然風景型、田園型、混在型など７タイプを抽出するとともに、評価には景観タイプ、沿道建物、道路緑地が効いていることを明らかにし取りまとめたものである。	芹沢 誠 篠原 修 二上 克次	バイパス、道路景観、景観のタイプ分類、景観の評価	1983.3
1755	道路・街路景観計画体系に関する研究（その１）-計画・設計体系の枠組- Study on Landscape Planning Systems of Roads and Streets (1) -Frames of Planning and Design Systems-	道路をそのスケールおよび位置によって景観的に性格分類し、都心部幹線街路、市街部一般街路、郊外部幹線道路について、計画・設計のプロセスと操作対象の種類を軸に景観計画の枠組を設定し、その結果を取りまとめたものである。	芹沢 誠 篠原 修 二上 克次	道路景観計画体系、景観計画上の道路分類、都心部幹線街路、市街部一般街路、郊外部幹線道路	1982.1

官民連帯共同研究

表　題	概　要	発行年月
緑化空間創出のための基盤技術の開発報告書 (第一分冊)概要 (第二分冊)特殊空間緑化技術マニュアル(案)【総論】【技術編】 (第三分冊)特殊空間緑化技術マニュアル(案)【資料編】	これまで緑化が困難とされていた建築物、構造物等に係わる空間の緑化を推進するために必要な技術開発を行うことを目的とし、「①緑化空間創出のための基礎的検討」、「②創出対象となる緑化空間の検討」、「③緑化に関する基盤技術の検討」の3つの項目について検討を行った。また、本研究の具体的成果として、「特殊空間緑化技術マニュアル(案)」を取りまとめたものである。 本研究は、建設省土木研究所が(財)都市緑化技術開発機構との官民連帯共同研究により、双方の相互連係のもと、総合的に、また事業的な観点も入れながら平成3年度より5年度まで、3箇年にわたり実施してきたものである。	1995.1

共同研究報告書

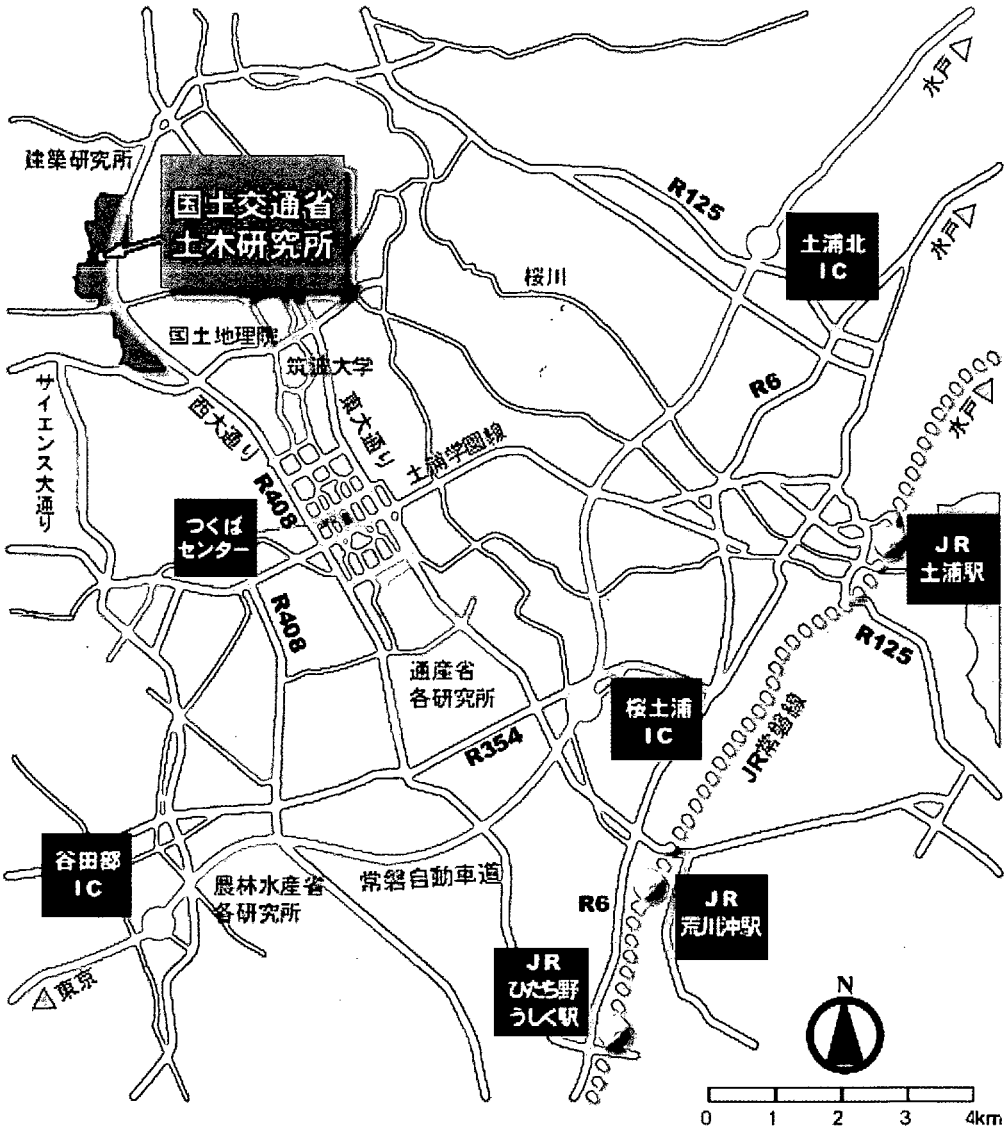
巻号	表　題	概　要	著者名	キーワード	発行年月
218	大型街路樹の維持管理手法に関する共同研究報告書 (第1分冊) 調査・実験報告書 (第2分冊) 街路樹剪定の手引き	街路樹の肥大成長に起因する問題の実態把握を行うために、①街路樹の成長大型化による支障実態調査として、自治体等からアンケートおよびヒアリング調査を行った。また、大型化した街路樹の問題対処方法として、②剪定方法による樹冠抑制技術および樹形構成技術の検討、③根系切断による樹冠抑制技術の検討を行った。	半田真理子 田中 隆 石坂 健彦 藤原 宣夫 桃井 信行 飯塚 康雄 秋山 千秋 石曽根敦子 黒沼 茂治 佐藤 四郎 三村 欣司 成家 次男 田中 誠爾 椎貝 次夫 立山富士彦 高橋 一輔 佐藤 岳三 松田 武彦 小泉 直介 西 秀浦 舘野 茂夫	大型街路樹 維持管理 支障実態調査 剪定 根系切断 樹冠抑制	1999.3
110	植栽基盤造成技術の開発に関する共同研究報告書	緑化工事において植栽基盤の概念の確立や普及とともに植栽基盤造成技術の開発が必要とされている現状を踏まえ、植栽基盤の成立条件、備えるべき物理性、工法と使用機器等の検討及び調査と設計についての考え方について検討し、その結果を取りまとめたものである。	半田 真理子 藤崎 健一郎 藤原 宣夫 飯塚 康雄	植栽基盤、 植栽基盤整備工法、 土壌改良、 有効土層、 排水工、 緑化、植栽、 環境	1995.1

緑化生態研究室資料

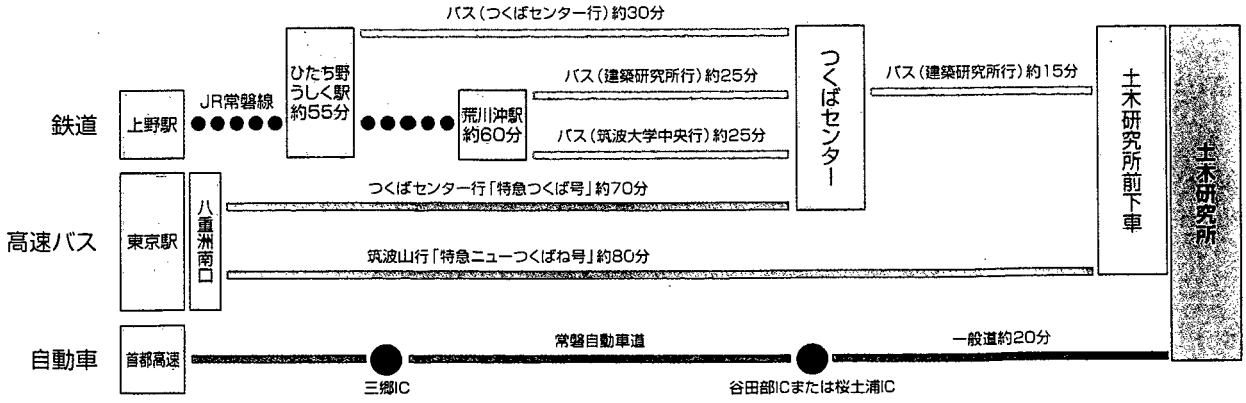
巻号	表　題	概　要	著者名	キーワード	発行年月
1	都市の樹木	ジャン・シャスロー著「都市の樹木」(原題：L'ARBRE DANS LA VILLE) を抄訳し、主にパリにおいて植栽されている樹木に関するデータを取りまとめたものである。	半田 真理子 秋山 千秋	パリ、樹木、樹木数、樹種、使用状況、注目すべき樹木	1995.3

土木研究所までのご案内

■案内図



■交通案内



問合せ先／国土交通省土木研究所　環境部　緑化生態研究室
〒305-0804　茨城県つくば市大字旭１番地　　TEL. 0298-64-2742