

土 木 研 究 所 資 料

塩生植物の生育基盤に関する研究

平成6年1月

建設省土木研究所
環境部緑化生態研究室

Copyright © (1994) 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。

塩生植物の生育基盤に関する研究

緑化生態研究室 室 長 半 田 真理子

主任研究員 藤 原 宣 夫

研 究 員 吉 永 裕 康

部外研究員 中 島 均

前 緑化研究室 主任研究員 播 本 武 史^{*1}

^{*1}現 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

要 旨

本研究は、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、海浜地等を対象とした植生実態調査、生育基盤調査及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った。その結果、緑化有望種としてはイソマツ、ミズガンビ等の塩生植物が選出され、人工基盤については、①排水性及び保水性があること、②根の侵入が可能な空隙が多数あること、③内部の空隙がそれぞれ連結していること、④空隙内に土砂、有機物が存在していること、⑤波浪、風雨などによって内部の土砂、有機物が流出しないこと、⑥空隙内に土砂、有機物が自然に堆積することができること、などが植物の生育のための要件であることが明らかになった。

キーワード：亜熱帯、海岸地帯、塩生植物、耐塩性、生育基盤、人工基盤

はじめに

亜熱帯地域に属する島々は、通年温暖な気候に包まれ、珊瑚礁等の美しい海に囲まれていることから独特な景観を呈し、海洋性リゾートの場としての魅力が非常に高い。琉球列島は、わが国を代表する亜熱帯地域の島々であり、その自然資源を活用しながら、魅力ある景観を維持していくために、現地の自然条件等に適した緑化を行い、景観的にも自然環境の保全の観点からもより良い空間の形成を図ることが必要とされている。

そのため、本研究では、亜熱帯海岸地帯における緑化手法の一つとして塩生植物による緑化に着目し、その基礎となる人工基盤の開発に資することを目的に、以下の調査を実施した。

1. 亜熱帯海岸地帯における植生実態調査を実施して、海岸部の緑化に有望な植物を選定した。
2. 緑化有望種である塩生植物の形態調査・繁殖調査を実施して、その生理・生態的特性を解明した。
3. 緑化有望種の生育基盤である隆起珊瑚石灰岩をサンプルとしてその構造を分析し、開発すべき人工基盤の基礎的な物理条件を把握した。
4. 上記条件をもとに人工基盤を選出し、屋内及び屋外において緑化有望種の生育試験を実施し、人工基盤を用いた緑化に資するデータを収集・整理した。

なお、本研究は、平成元年度から3年度にかけて3年間に亘り実施した、「亜熱帯地域島嶼環境計画に関する調査」の成果をとりまとめたものである。

本研究の実施に際しては、現地調査等のご協力をいただいた（財）海洋博覧会記念公園管理財団の関係各位に、感謝の意を表する。

平成6年1月

建設省土木研究所環境部緑化生態研究室
室長 半田 真理子

目 次

はじめに

1	研究概要	1
1.1	研究目的	1
1.2	研究内容	1
2	亜熱帯海岸地帯における植生実態調査	3
2.1	亜熱帯海岸地帯における植生概況	3
2.1.1	砂浜植生	3
2.1.2	岩礁海岸植生	4
2.1.3	塩沼地植生 (マングローブ林)	8
2.2	緑化有望種の選定	11
3	塩生植物の生理・生態的特性に関する調査	20
3.1	塩生植物の形態調査	20
3.1.1	イソマツの形態的变化	21
3.1.2	ミズガンピの形態的变化	23
3.1.3	その他の植物の形態的变化	26
3.2	塩生植物の繁殖調査	29
3.2.1	イソマツの種子発芽特性	29
3.2.2	ミズガンピの種子発芽特性	31
3.2.3	その他の植物の種子発芽特性	32
4	塩生植物の生育基盤調査	35
4.1	生育基盤の物理・化学的特性	35
4.1.1	イソマツ、ミズガンピの生育基盤	35
4.1.2	マングローブの生育基盤	36
4.2	塩生植物の生育基盤中の根系調査	37
4.2.1	調査方法	37
4.2.2	調査結果	37
4.2.3	考 察	40

4.3 塩生植物の体内水分及び成分組成に関する調査	41
4.3.1 体内水分（乾物重及び水分含有量）	41
4.3.2 成分組成	42
4.3.3 考 察	44
4.4 生育基盤の構造比較調査	46
4.4.1 各種基盤の比重、有効間隙率、吸水率	46
4.4.2 腰水試験	47
4.4.3 考 察	48
4.5 生育基盤の解析と人工基盤の選定	49
5 塩生植物の生育試験	55
5.1 屋内生育試験	55
5.1.1 試験方法	55
5.1.2 結果及び考察	56
5.2 屋外生育試験	61
5.2.1 試験方法	61
5.2.2 結果及び考察	63
6 まとめ及び今後の課題	65
6.1 まとめ	65
6.2 今後の課題	66
参考文献	74
資 料	
1 緑化手法及び人工基盤の形態	75
1.1 緑化手法の形態	75
1.2 人工基盤の形態	78
2 亜熱帯海岸地帯における植生実態調査結果	81
2.1 調査概要	81
2.2 調査結果	84

1 研究概要

1.1 研究目的

本研究は、近年レクリエーション利用の増加している亜熱帯海岸地帯の保全・活用を図るため、その環境改善、レクリエーション利用に資する緑化手法の確立に向けて、岩礁地帯の緑化に有望な植物の選定及び今後開発すべき人工生育基盤の基礎条件を明らかにすることを目的に実施したものである。

1.2 研究内容

本研究は、関連調査を含めて平成元年度から平成3年度にかけて実施した。初年度においては島嶼環境、特に岩礁地帯における植生実態調査を中心に行い、その結果をもとに岩礁地帯において生育し、耐塩性、耐潮風性等の強い植物を抽出することによって、今後の岩礁地帯または類似する人工基盤等における緑化に適している植物を選定した。

平成2年度には、前年度に緑化有望種として選定された塩生植物について、今後の緑化材料として実用化を図るために形態調査、繁殖調査を中心とした生理・生態的特性に関する調査を実施した。また、これらの植物の利用状況調査及び海浜地緑化事例調査を実施した。

平成3年度は、これまでの調査結果を踏まえ、緑化材料としての塩生植物の生理・生態的特性及び生育特性を整理総括するとともに、生育基盤の物理・化学的特性、塩生植物の根系構造等を解析し、その結果をもとに、植栽に際して必要となる生育基盤の条件を明確にした。また、これまで他の目的のために開発されていた既存の人工基盤の中から生育基盤の条件を満たす数種類の基盤を選定し、塩生植物の生育の可否及び根の発達構造の解明のため、屋内及び屋外で生育試験を実施した。

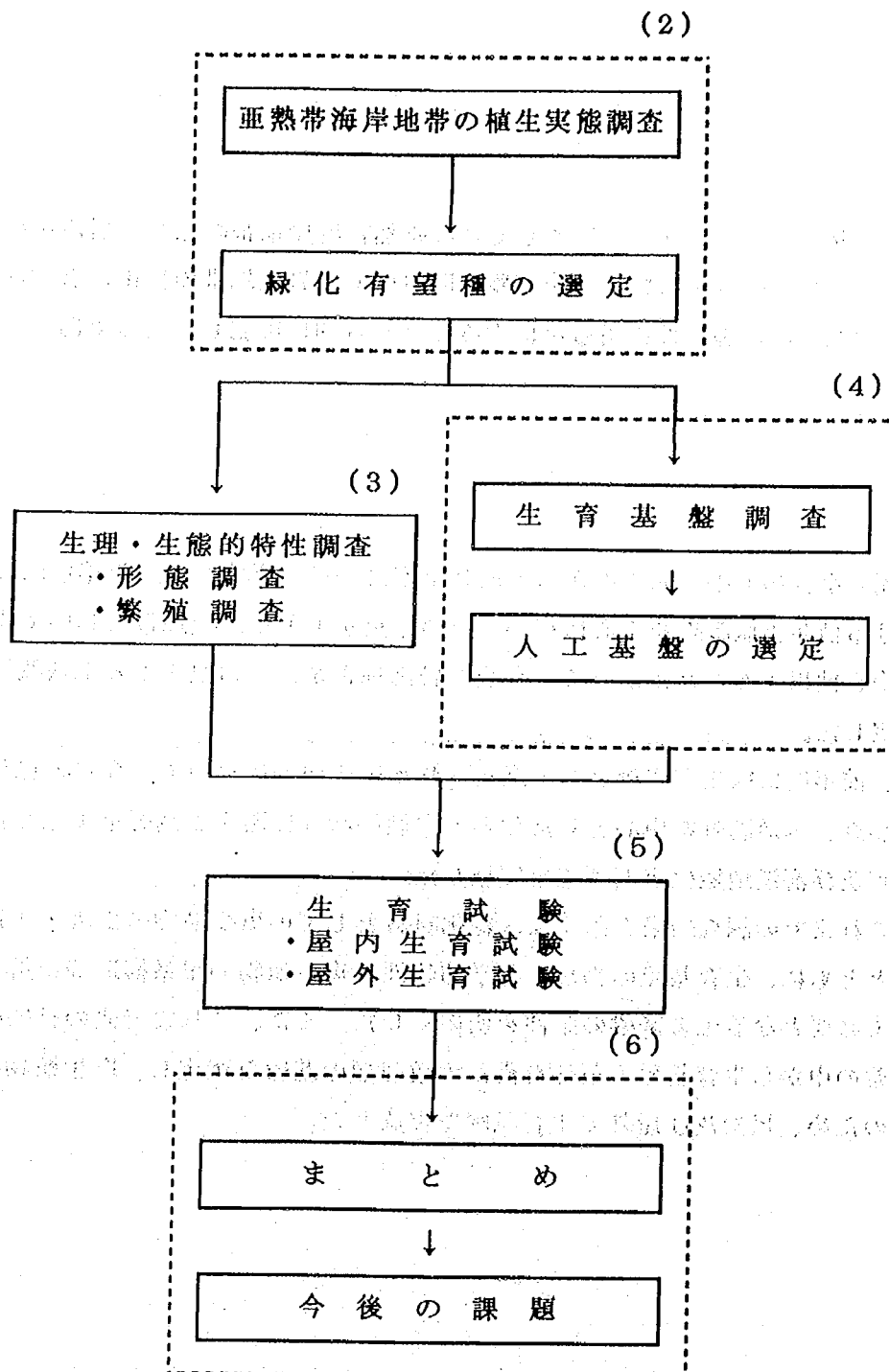


図-1・1 調査研究フローチャート

注) 右肩の () 内は、目次の章番号である。

2 亜熱帯海岸地帯における植生実態調査

2.1 亜熱帯海岸地帯における植生概況

琉球列島は、日本の西南端に位置し、植物地理学的及び植物生態学的にも亜熱帯に属している。植物相の特徴としては南北約1,000kmに及ぶ琉球列島を構成している各島嶼において、成立要因や地形、地質、気候などの自然環境が異なることから、各々の島で分化した固有種をはじめとして、南限種、北限種が多く、熱帯性の植物や暖帯性の植物も分布する特異な植物相を形成している。これらの植物相は、日本列島の植物区系の区分では、琉球区系として奄美群島とともに独立した1つの植物区系とされている。

このような植物相の特異性により、日本列島の植生の中でも琉球列島にだけにしか見られない植生が多く、特に、海岸植生は日本の他の地域のものとは大きく異なる。

琉球列島の海岸植生は、砂浜植生、岩礁海岸植生、塩沼地植生（マングローブ林）の3つに大別することができる。このうち、亜熱帯的特性強い植生である岩礁海岸植生及び塩沼地のマングローブ植生は、日本の他の地域では極めて少なく、琉球列島の海岸景観を特徴づけている。従って、これらの植物の生態的特性を把握することは、亜熱帯性島嶼の地域性を生かした緑化を考える上で重要な要素となる。

本研究では、亜熱帯海岸地帯における植生概況を把握するため、琉球列島の海岸植生を対象として文献調査及び植生実態調査を実施した。調査は、一般に琉球列島において海岸植生を内陸部の植生と隔てている植生がアダン群落であることから、アダン群落から海側に生育している植物を海岸植生と見なして実施した。このうち植生実態調査は、主に岩礁海岸を対象に琉球列島の16地点においてライントランセクト法により実施した。調査方法及び調査結果の詳細については巻末の資料に記載し、本章では解析結果のみ述べる。

2.1.1 砂浜植生

砂浜植生では、植物の生育基盤が砂であるため波浪及び風の影響を受けて砂が絶えず移動するため、汀線から浜堤へと続く不安定帯→半安定帯→安定帯への立地条件の差により、ハマボウフウクラス→ハマゴウクラス→オオハマボウ～アダンの順で植生が発達している。琉球列島における典型的な砂浜植生の植生配列を図-2・1に示した。

新納(1980)²²⁾によると、沖縄本島の砂浜海岸50地点と岩礁海岸50地点を対象に植生実態調査を実施した結果、出現した種類数は砂浜海岸で110種、岩礁海岸では86種であり、このうち砂浜にのみ見られた種類はハマヒルガオ、ハマニガナ、ハマゴウ、ツギイゲ、ハマダイコン、ハマボウフウ、ハマグルマ、ハマダイゲキ等の草本植物が多いことが報告されている。また、延原(1981, 1982)^{25) 26)}も、沖縄の砂浜植生は波浪により破壊され、その後に回復する過程を繰り返しており、砂浜植生の成帯構造を決定する環境要因の中で最も重要なものは波浪であると結論づけている。

砂浜植生では生育基盤が不安定なことから匍匐型及び根茎型の植物が多く、また、地上部及び生育基盤が波浪などにより損失を受けても、根茎または種子により容易に繁殖できる、世代更新の早い草本植物が優占することが大きな特徴となっている。これらの草本植物の中にも今後の詳しい生育調査の結果によっては、

砂浜海岸の緑化植物として有望な種類が含まれているものと推察された。

2.1.2 岩礁海岸植生

隆起珊瑚石灰岩からなる岩礁海岸上の植物にとって最も厳しい環境条件は、波浪の影響も去ることながら、水及び養分を蓄える土壌がほとんどない極端に乾燥した生育基盤である。このため、岩礁海岸においては植生帯を構成する植物は砂浜植生とはかなり異なったものとなっている。通常、琉球列島の岩礁海岸では、汀線付近の飛沫帯から陸側へ向けて、イソフサギクラス→ソナレムグラ～イソマツクラス→ナハエボシグサクラス→モンパノキ～クサトベラ群団→オオハマボウ～アダンクラスの順で植生帯が発達している。典型的な岩礁海岸における植生は、図-2・2に示すとおりである。

本研究における植生実態調査で観察できた岩礁海岸地域の主な植物は60種であった。これらの植物について、汀線からの距離と植物の出現頻度（常在率）に注目してまとめたものが表-2・1である。

これによると、常時海水の影響を強く受ける汀線から4mまでの範囲の最も環境圧の厳しい場所に出現し、なおかつ比較的生育状態も良好であった植物は、イソマツ、ミルスベリヒユ、ソナレムグラ等であった。このうち、木本植物に分類されるイソマツは、汀線付近（汀線から12mまで）で最も常在率が高く、群度、被度とも比較的高かったことから、耐潮性の非常に高い塩生植物であると考えられた。特に、石垣島大浜海岸及び伊良部島白鳥海岸のイソマツは、満潮時には株全体が海中に完全に水没するような場所でも良好に生育していた（写真-2・1）。

また、草本植物のソナレムグラ、イソフサギ、ミルスベリヒユ等では、波浪によって打ち上げられた海水飛沫が滞留したり、荒天時には直接波を被るような場所で生育しているものが観察された。しかし、これらの植物はイソマツに比べると汀線付近では群度、被度ともに低いものが多かった。

その他の種類では、内陸からの土砂の流入が比較的多い地域（宮古島西平安名岬等）にコウライシバ、ハイシバ、ナハエボシグサ、シマアザミ等が汀線付近で観察された。また、伊平屋島野甫島では、木本植物のハリツルマサキ、クサトベラ、ガジュマル等が同じく汀線付近で観察されたが、群度、被度ともに低く、いずれも小苗で生育状態も悪く、岩のくぼみにのみ生育していた。このことからこれらの植物は、本来汀線付近では生育困難な植物であるが、陸側からの土砂の流入とともに背後の植生帯からもたらされたものであると考えられた。

一方、汀線から8m以降に出現した植物のうち、海水の影響を比較的強く受けるような場所で被度、群度ともに高い大きな群落を形成していた木本植物はミズガンピ、アツバクコ、クサトベラであった。このうちミズガンピについては、与那国島比川海岸、波照間島高那崎では、台風時または大潮の荒天時には頻繁に海水を被るような場所に大きな群落を形成しているのが観察された（写真-2・2）。また、アツバクコは大東島に固有の植物であり、ミズガンピと同じように荒天時には波を直接被る様な場所に生育していたが、ミズガンピに比べ、被度、群度ともに低かった。クサトベラは、上記の2種の植物の後方に見られることが多く、直接波浪の影響を受けない場所で大きな群落を形成しており、単独で見られる個体は生育状態が悪いものが多かった。

また、スタック（離れ岩）（写真-2・3）における植生調査の結果を常在率に注目してまとめたものが表-2・2である。

表-2・1 岩礁海岸での汀線からの距離別出現植物と常在度

$$\text{頻度 (\%)} = \frac{\text{出現回数}}{\text{調査地数 (12)}} \times 100$$

[illegible]

注) * 汀線からの距離別で、最も常在度の高い植物 # : 各種類別で、最も常在度の高い地点 (なお、同じ常在度の場合は汀線に近い地点を選択した)

表一 2・2 スタック（離れ岩）上の出現植物と常在度 常在度（％）＝出現回数／調査地数（12）×100

	与久田1	与久田2	与久田3	与久田4	与久田5	伊平屋1	伊平屋2	東平安名1	東平安名2	白保1	白保2	白保3	回数	常在度
イソツキ	●		●	●	●	●						●	6	50
イソマツ										●	●	●	3	25
ツナギク		●	●	●		●	●	●	●				7	58
ミスガシ								●	●				2	16
クサハ		●	●					●	●				4	33
ハマキ						●							1	8
コウライハ		●											1	8
ハシハ		●	●	●			●	●	●			●	7	58
ハナモハシ		●	●	●			●	●	●				6	50
ハマエノコ			●				●						2	16
シオバ			●										1	8
ナハエ								●	●				2	16
ハマダ								●					1	8
アサガ								●	●				2	16
モリハ								●					1	8
ハリツク			●				●	●	●				4	33
ハマゴ								●					1	8
アノハ							●	●	●				3	25
ヒメクサ			●	●			●						3	25
ハママン							●						1	8
ヒゲ							●	●					2	16
アブラ							●						1	8
ホト			●										1	8
シマ							●	●					2	16
ホリ			●			●	●						3	25
アノ							●						1	8
キョウ		●	●					●					3	25
ホニ							●						1	8
スズ								●					1	8
ホキ			●										1	8
アノ								●					1	8
スズ			●				●						2	16
リョウ							●						1	8
ホリ			●										1	8
ホタ							●						1	8
ハマ							●						1	8
シロ			●										1	8
ホ			●				●						2	16
ホ			●										1	8
アノ							●						1	8

注）地点名の右の数字は調査区番号を表わす。

スタック（離れ岩）上に生育している植物では、イソフサギ、ソナレムグラ、ハイシバ、ハナカモノハシ等の草本植物の常在度が高く、岩礁海岸での調査で頻繁に見られたイソマツの常在度が比較的低いなど、岩礁海岸での植生実態とは違いが見られた。特に、木本植物は常在度だけでなく、群度、被度ともに低く生育状態が悪いものが多く、海岸に比べ波浪や潮風の影響をより強く受けるものと思われた。また、スタックでは、汀線からの距離よりも、海面からの岩の高さと岩面の状態によって生育している植物の種類が異なり、海面から高くまた岩面に凹凸の多い岩ほど植物の種類及び個体数も多い傾向があった。また、より大きなスタックでは、ガジュマルまたはクサトベラ等の低木類もしくはリュウキュウマツのような高木類が生育しているものもあったことから、スタックの大きさ及び岩上の土壌形成の程度によっては、木本植物でもスタック上で生育できるものと思われた。

本研究における植生実態調査の結果と新納(1980)²²⁾の研究結果から、岩礁海岸植生に特有な種類は、木本植物としてイソマツ、アツバクコ、アオガシビ、ハリツルマサキ、テンノウメ、モクビヤッコウ、ミズガンピ等が、草本植物としてイソフサギ、ミルスベリヒユ、イワダイゲキ、ハナカモノハシ、ナハエボシグサ、ソナレムグラ等が挙げられ、木本植物も比較的多く存在することが分かった。

この他、砂浜海岸及び岩礁海岸の両地域に出現する植物としては、ハマボウス、ハイシバ、コウライシバ、グンバイヒルガオ、スナズル、キダチハマグルマ、シマアザミ、ハマウド、ハマサルトリイバラ、モンパノキ、クサトベラ、オオハマボウ、ガジュマル、アダン、クロヨナ、アコウ等が挙げられる。

岩礁海岸植生に特有な種類のうち、イソフサギ、イワダイゲキを除き、他の種類はすべてトカラ列島以南の熱帯圏に分布域を持つ植物であり、両地域に共通して見られるクサトベラ、モンパノキ、アダンを含め、岩礁海岸植生は砂浜植生に比べて、より熱帯的な植物相を持つ亜熱帯海浜としての特徴を示している。

上記の植物のうち、イソマツ、ミズガンピ等は塩生植物と呼ばれ、土壌中の塩分濃度が非常に高い場所及び一定時間海水に冠水するような場所でも生育することができる。特にイソマツは、汀線付近での常在度が高く、リーフ上に群落を形成することもあり、いくつかの調査地では、満潮時に群落のほとんどが完全に海中に水没することが観察されている。また、ミズガンピは、与那国島、波照間島等の調査地では汀線付近に見られ、大潮または荒天時に群落のかなりの個体が海中に水没することが観察されている。なお、既往のミクロネシアの海岸植生調査でも、陸から離れたリーフ上にミズガンピの成木が生育しているのが観察されている（写真-2・4, 5）。

これまでの調査結果から、岩礁海岸植生は、岩礁上の凹凸の程度、土砂の堆積の有無、さらに海岸前部のサンゴ礁の発達とラグーンの形成に関連した波浪の程度が成帯構造を決定する上で重要な要因であることが推察された。また、これらの要因と汀線からの距離により、それぞれの立地条件に特有の群落を形成しているものと考えられた。

このことは、岩礁海岸での緑化方法を検討する上で、各々の緑化植物に適した環境（微地形、微気象等）を考慮することが重要であることを示している。

2.1.3 塩沼地植生 (マングローブ林)

熱帯または亜熱帯の海岸では、潮が満ちると海水に浸り、潮が引くと外気にさらされる塩沼地 (泥湿地) に特殊な樹林が発達する。このような樹林に生育する木本植物を総称してマングローブといい、その樹林をマングローブ林または紅樹林と呼んでいる。

マングローブ林は、主として、ヒルギ科、シクンシ科、クマツヅラ科、センダン科、アカネ科、キツネノマゴ科、ヤブコウジ科、マヤブシギ科、ヤシ科の植物から構成されており、日本以外の地域では、台湾に6種、フィリピンに20種、東南アジアに21種が分布しており、世界では約19科40属100種の植物が知られている。日本では九州薩摩半島の喜入のヒルギ群落を北限として、琉球列島に7種が分布し、南へ行くほど種類数が増加し、樹高が高くなっている (沖縄生物教育研究会, 1976) ⁴⁾。

マングローブは、塩沼地の特殊な環境に適応し、通常の陸上植物とは異なった形質を備えている。多くのマングローブは、クチクラ層が発達した多肉質の葉を持ち、水分の貯蔵と蒸散の抑制に適し、厚いクチクラ層が葉からの塩類の侵入を防いでいる。また、根は放射状に発達した種が多く、特にヒルギ科の植物では幹及び枝から多数の支柱根が垂れ下がり地上部の支持に役立っている。さらに、根には通気組織を持つものが多く、酸素の乏しい泥湿地または冠水した場所でも生育できるようになっている。また、クマツヅラ科のヒルギダマシ類では、組織内に多くの隙間を持つ呼吸根を地表に出して呼吸を補っているほか、樹幹には皮目が発達し呼吸に役立っている。

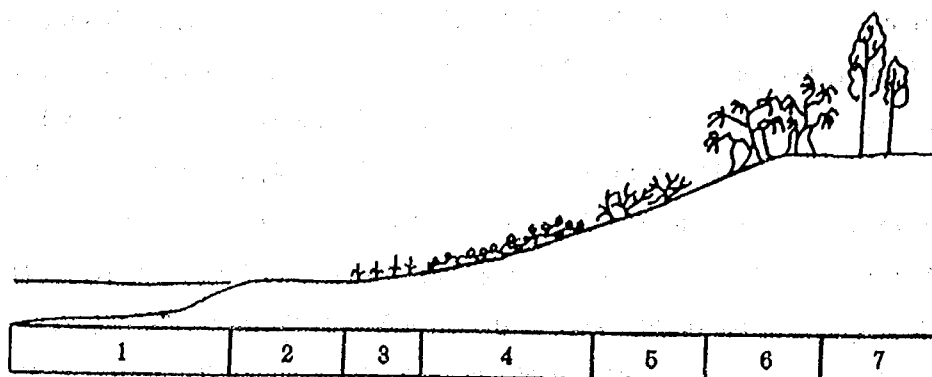
さらに、マングローブを特徴づける形態の一つに、胎生種子の存在がある。マングローブの果実は、一般に革質の閉果 (熟しても裂けない果実) で、種子は果実が樹上にあるうちに休眠せずに発芽する (胎生種子)。ヒルギ科の植物では、幼根が棍棒状に伸びたまま枝から下がっているのが見られる。果実は枝から落ちると泥に突き刺さり、そのまま葉を出して成長を始める。泥に刺さらなかったものは、波や蟹などの生物により選ばれ、他の場所に定着し発育する。また、果実から幼根を伸ばさない種類でも、果実の中である程度まで成長していることが多い。

マングローブ林の群落の構造や種組成は、単純で広域的にかなり均一な群系を形成するが、日本では地理的条件により群落組成に差異が見られる。分布の北限地に近い鹿児島 (喜入)、種子島、屋久島、奄美大島 (北部) などでは、メヒルギだけの単純群落であるが、奄美大島 (南部) ではメヒルギとオヒルギが見られ、さらに西表島などの八重山諸島になるとメヒルギの出現頻度が少なくなり、オヒルギ、ヤエヤマヒルギが高頻度で出現し、さらにマヤブシギ、ヒルギモドキ、ヒルギダマシ、ニッパヤシが加わり立地条件の差により種々の群落を構成している。

これらの種類は、雑然と生えているのではなく、生育地の立地条件により一定の配列が見られ、海に臨む最前線から陸地に向かって、マヤブシギ→ヤエヤマヒルギ→メヒルギ→オヒルギの順に生育している (図-2・3)。マングローブの呼吸根の形態には、大きく分けて3つのタイプがあり、上記のような海岸線からの植生配列は、マングローブの呼吸根の形態と関連しているものと考えられている。最前列に見られるマヤブシギでは、根から直立して呼吸根が出る直立根型であり (写真-2・6)、ヤエヤマヒルギでは、幹や枝から根を支柱のように下部に向かって伸ばす支柱根型で (写真-2・7)、オヒルギでは、膝を曲げたように根が垂直上方に屈曲し地上に達する屈曲根型を示している (写真-2・8)。

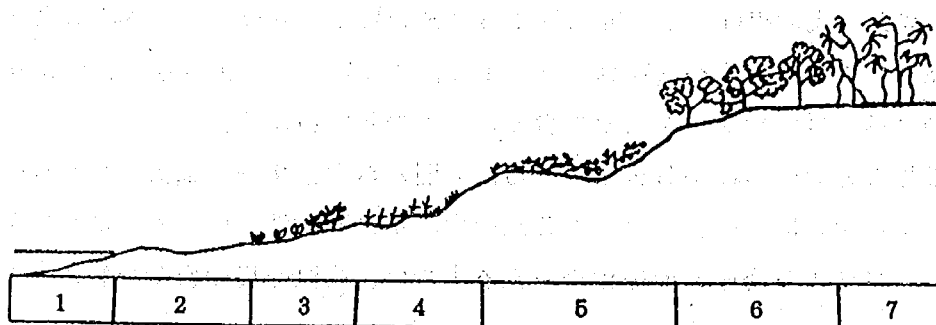
日本国内に見られるマングローブは、河川の汽水域及び湾内の砂泥地に生育しており、河川から離れた岩礁海岸及びリーフ上ではほとんど見ることができない。本研究における調査では、唯一、西表島でヤエヤマヒルギの小木が海岸部の岩上に生育していたのが観察されたのみである（写真－2・9）。しかし、熱帯地方では、リーフ上にマングローブが群落を形成している場合があり、特にソロモン諸島のマライタ島では、陸地から数百メートルから数キロメートルも離れたリーフ上にマングローブ林が発達しているのが報告されている（佐藤，1990）¹²⁾。このようなマングローブ林では、サンゴの遺骸からなる砂及び礫と、マングローブ自身の葉及び枝の腐植で生育基盤が構成されており、陸上からの土壌は全く見られない。このことからマングローブの生育には必ずしも砂泥質の土壌が必要ではなく砂礫上でも十分に生育が可能であると思われる。また、ミクロネシアのポナペ島におけるマングローブでも、河川から遠く離れたリーフ上及び岩礁海岸上に生育しているのが確認されている（写真－2・10，11，12）。これらのマングローブは、いずれもヤエヤマヒルギ、オウバヒルギなどの支持根を持つ種類である。この支持根は、他のタイプの気根（直立根型や屈曲根型）に比べ、岩礁海岸等の硬い生育基盤上で波及び風の横加重に対して植物体を支えるのに適した構造となっている。また、支持根は、地上部に達すると硬い岩盤でも根が入り込めるような岩の割れ目や隙間をさがしながら伸長する性質を持つ（写真－2・13，14）。このような特性により、ヤエヤマヒルギ及びオウバヒルギの2種が岩礁やリーフ上で生育できるものと思われる。

琉球列島では熱帯地方と同様の種が分布しているにも関わらず、リーフ上にマングローブ林が発達しないのは、低緯度地帯である熱帯に比べ、台風等の強風の影響が格段に厳しいためではないかと推察される。したがって、マングローブによる海岸部の緑化を考える上では、波浪や風の影響を特に考慮し緑化方法を検討する必要がある。



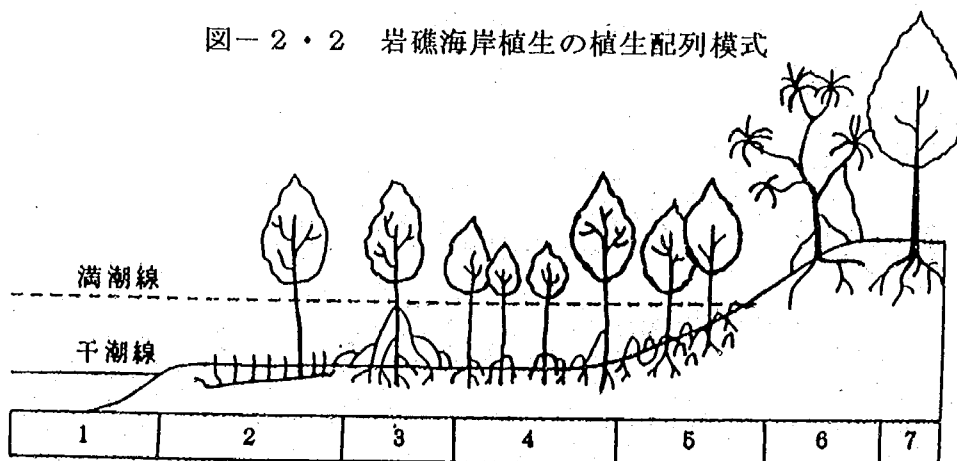
- 1 : 海 2 : 無植生帯 3 : コオニシバ群集 4 : ハマアズキ〜グンバイヒルガオ群集
5 : ハマボウフウ〜イヌツゲ群集 6 : アダン群集 7 : モクマオウ群落

図-2・1 砂浜植生の植生配列模式



- 1 : 海 2 : 無植生帯 3 : イソマツ〜モクビヤッコウ群集 4 : ソナレムグラ〜コウライシバ群集
5 : ハリツルマサキ〜テンノウメ群集 6 : モンパノキ〜クサトベラ群集ハリツルマサキ亜群集
7 : アダン群集

図-2・2 岩礁海岸植生の植生配列模式



- 1 : 海 2 : マヤブシギ 3 : ヤエヤマヒルギ 4 : メヒルギ 5 : オヒルギ 6 : アダン
7 : サガリバナ (5までがマングローブ林)

図-2・3 塩沼地植生の植生配列模式

2.2 緑化有望種の選定

これまでの調査結果から、琉球列島に分布する海岸植物のうち、汀線付近の海岸地域及びコンクリート護岸等の人工基盤上の緑化に有望であると思われる植物（写真－2・15～37）を選定し、植栽地の環境条件を考慮し以下の5つの事項を基本条件として評価を行った（表－2・3）。

- ① 耐塩性が高いこと。
- ② 波浪及び風に対する耐性が高いこと。
- ③ 耐乾性が高いこと。
- ④ 土壌が乏しい基盤上で生育できること。
- ⑤ 緑化機能に優れていること（ここでは多年生・常緑・植被率が高い・植物体が大きいことを重視した）。

更に、選定された植物に対して、上記の項目について、定性的な評価ではあるが3段階（A, B, C）の相対的な評価を行い、緑化有望植物としての総合的な判定を下した。判定の基準は、本研究で実施した各々の植物の生育環境及び生育状態の観察結果に加え、植物体の形状からの推定と既往の研究成果を参考にし、以下の基準によって評価した。

・耐塩性（海水による生理的作用）

- A：汀線付近の直接潮を被ったり、一時的に水没する場所に生育していたもの。
- B：汀線から少し離れた場所で、直接波を被ったり水没することはないが飛沫等を多量に受ける場所に生育していたもの。
- C：汀線からかなり離れた場所で天候が悪い時を除いて、通常はほとんど飛沫等を受けない場所に生育していたもの。

・耐波浪性（波浪及び潮風による物理的作用）

- A：汀線付近の直接波を被る場所、または匍匐性で岩上に張り付くように生育していたもの。
- B：汀線から少し離れた場所で、直接波を被ることはなく、また風が直接当たらない岩の陸側の面やくぼみ等に生育していたもの。
- C：汀線からかなり離れた場所で波の影響が少なく、また風がほとんど当たらない大きなくぼ地や樹陰下に生育していたもの。

・耐乾性

- A：直射日光の当たる岩礁上の岩の割れ目またはスタック（離れ岩）に生育していたもの。また植物体自体が多肉質で水分の貯蔵が可能であると思われるもの。
- B：直射日光の当たる岩礁上で、やや土壌があるくぼ地に生育していたもの。
- C：低木類の樹陰下または土壌がかなり堆積したくぼ地に生育していたもの。

・土壌要求性 (生育基盤としての土壌の必要性)

A : 外見上、全く土壌がみられない岩上または岩の割れ目に生育していたもの。

B : 若干砂礫等の土壌が堆積した岩のくぼみ等に生育していたもの。

C : 砂礫または有機物等の土壌が、かなり堆積した場所に生育していたもの。

・緑化機能 (多年性・常緑・植被率・樹形)

A : 常緑の多年性であり植物体が大きく群生し植被率 (緑に被られている面積) の高いもの。

B : 常緑の多年性ではあるが、植物体がやや小さくあまり群生しないもの。

C : 常緑の多年性ではあるが、植物体が極めて小さく植被率の低いもの。

表-2・3 岩礁地域及び人工基盤上の緑化に有望な植物

	種 名 (学 名)	耐塩	耐波浪	耐乾	土壌	緑化	総合評価
草 本 性 植 物	イワササ (<i>Philoxerus wrightii</i> Hook.F.)	A	A	A	A	C	B
	ミズハシリ (<i>Sesuvium portulacastrum</i> L.)	A	B	A	B	A	B
	ソナタ (<i>Hedyotis coreana</i> Lev.)	B	B	A	B	B	B
	オソナタ (<i>Hedyotis luxurians</i> Hatusima)	B	B	A	B	B	B
	コナタ (<i>Zoysia tenuifolia</i> Willd)	C	B	B	C	A	C
	ナホシグサ (<i>Indigofera trifoliata</i> L.)	C	C	C	C	B	C
木 本 性 植 物	イソマツ (<i>Limonium wrightii</i> O.K.)	A	A	A	B	A	A
	ミズガンピ (<i>Pemphis acidula</i> J.R. & G.Forst)	A	A	A	B	A	A
	ソナタ (<i>Licium sandwicense</i> A.Gray)	B	A	A	B	B	B
	モリヤツ (<i>Crossostephium chinense</i> Mak.)	B	B	B	B	A	B
	ソナタ (<i>Osteomeles subrotunda</i> C.Koch.)	B	B	B	B	A	B
	ハツマサキ (<i>Maytenus diversifolia</i> Ding H.)	B	C	B	B	A	B
	ソナタ (<i>Wikstroemia retusa</i> A.Gray)	B	B	B	C	A	B
	クサバ (<i>Scaevola teccada</i> Roxb.)	B	B	B	C	A	B
	モリヤツ (<i>Messerschmidia argentea</i> Johnst.)	B	B	B	C	A	B
	ヤシヤシ (<i>Rhizophora mucronata</i> Lam.)	A	B	C	B	A	B

上記の表-2・3を検討した結果、総合評価においてA及びBランクの植物は、岩礁海岸地域や人工基盤上の緑化に有望であると考えられ、特にイソマツ、ミズガンピ等の塩生植物が適していると判定された。

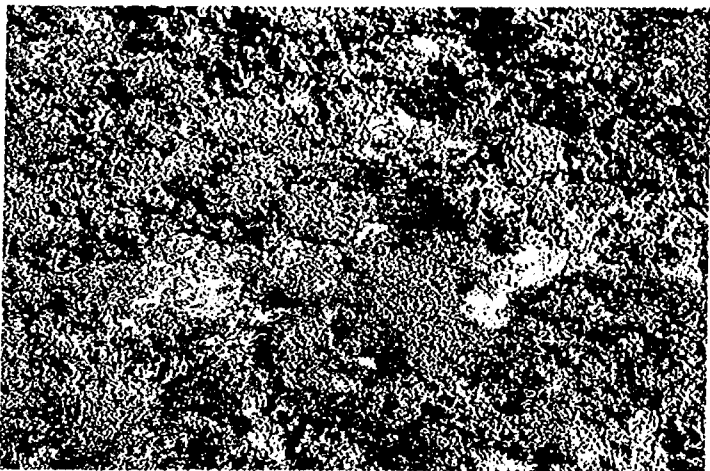


写真-2・1 冠水状態のイソマツ（石垣島、大浜海岸）



写真-2・2 ミズガンピ群落（与那国島）



写真-2・3 スタック（離れ岩）（石垣島、白保海岸）



写真-2・4 リーフ上のミズガンピ（ボナベ島）



写真-2・5 汀線上のミズガンピ（ボナベ島）



写真-2・6 マヤブシギの気根（西表島）



写真-2・7 ヤエヤマヒルギの気根 (西表島)



写真-2・8 オヒルギの気根 (沖縄本島)



写真-2・9 岩上に生育するヤエヤマヒルギ
(西表島)



写真-2・10 リーフ上のヤエヤマヒルギ
(ボナベ島)



写真-2・11 リーフ上のヤエヤマヒルギ
(ボナベ島)



写真-2・12 リーフ上のヤエヤマヒルギ
(ボナベ島)



写真 - 2 ・ 1 3 岩上のヤエヤマヒルギの根端 (西表島)



写真 - 2 ・ 1 4 岩上のヤエヤマヒルギの根 (西表島)



写真-2・15 オオソナレムグラ アカネ科

学名: *Hedyotis luxurians* Hatusima



写真-2・16 コウライシバ イネ科

学名: *Zoysia tenuifolia* Willd



写真-2・17 岩の割れ目に沿って生育するコウライシバ



写真-2・18 ナハエボシグサ マメ科

学名: *Indigofera trifoliata* L.

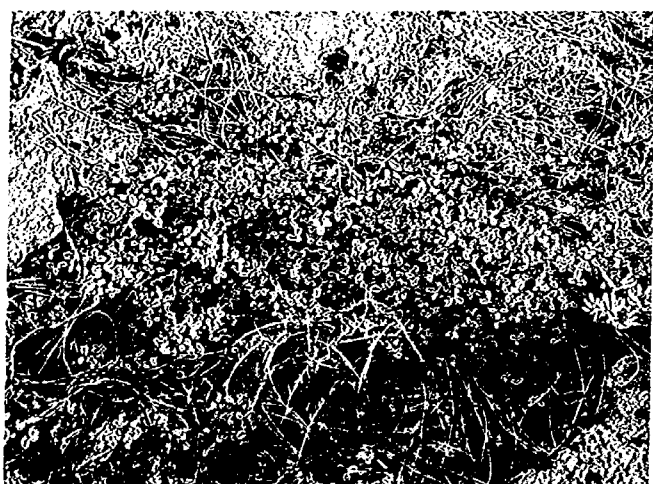


写真-2・19 岩上に広がるナハエボシグサ



写真-2・20 ウコンイソマツ イソマツ科
学名: *Limonium wrightii* O.K.

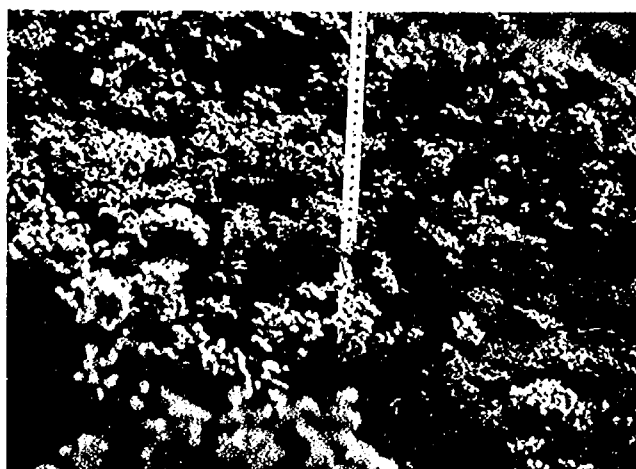


写真-2・21 イソマツ イソマツ科
学名: *Limonium wrightii* O.K. var. *arbusculum* Hatusima



写真-2・22 イソフサギ ヒユ科
学名: *Philoxerus wrightii* Hook. f.



写真-2・23 イソマツとともに群生するイソフサギ

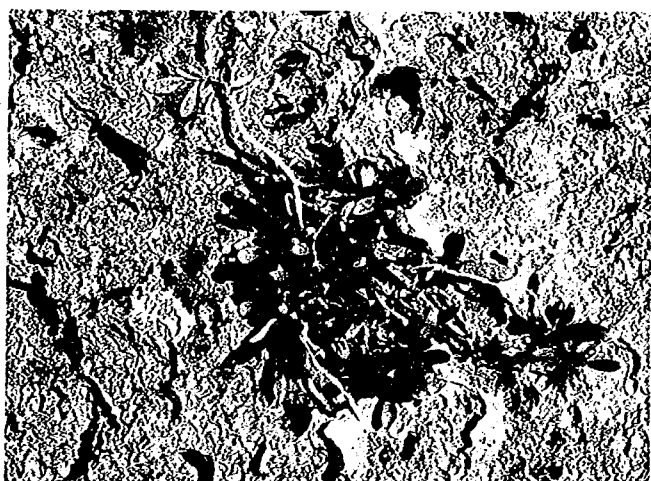


写真-2・24 ミルスペリヒユ ザクロソウ科
学名: *Sesuvium portulacastrum* L.

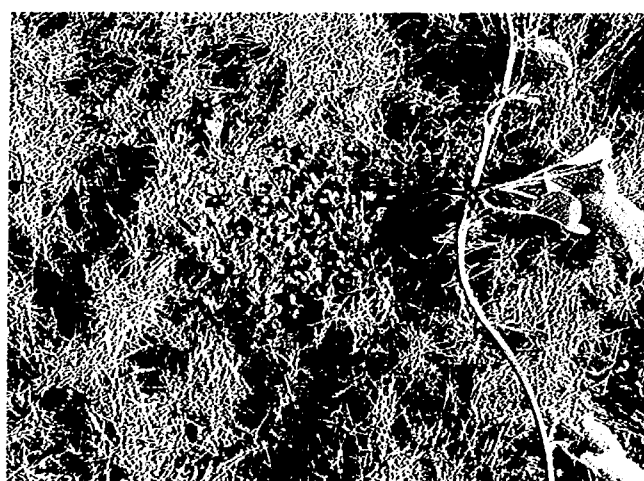


写真-2・25 ソナレムグラ アカネ科
学名: *Hedyotis coreana* Lev.

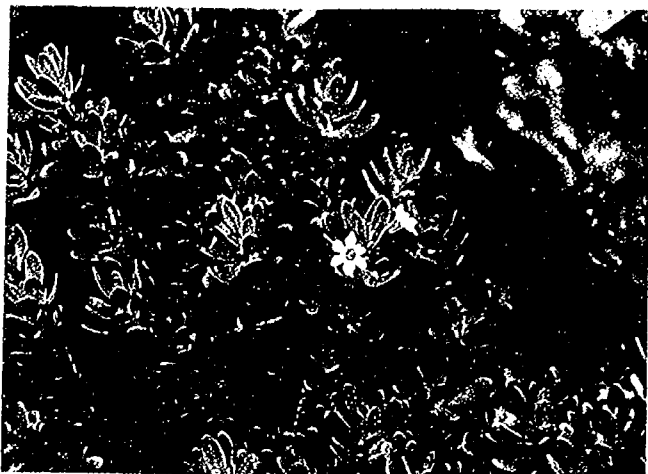


写真-2・26 ミズガンビ ミソハギ科
学名: *Pemphis acidula* J.R. & G.Forst



写真-2・27 波照間島高那崎のミズガンビ群落



写真-2・28 アツバクコ ナス科
学名: *Lycium sandwicense* A.Gray

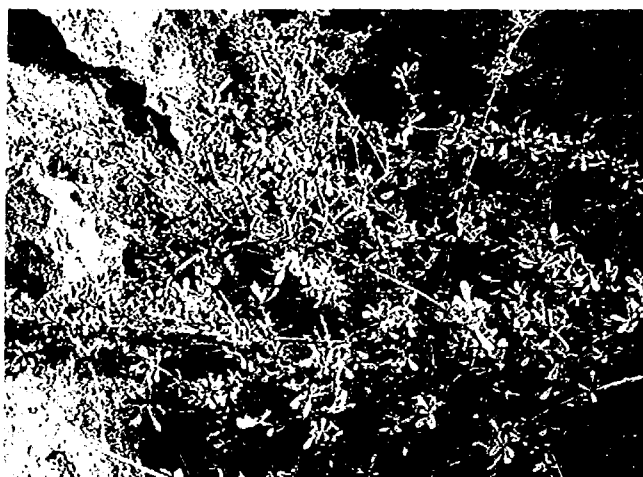


写真-2・29
岩のくぼみに生育するアツバクコ、赤く結実している

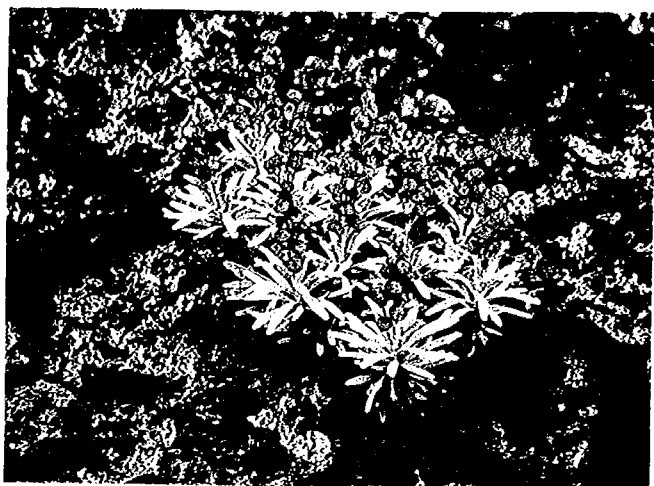


写真-2・30 モクビヤッコウ キク科
学名: *Crossostephium chinense* Mak.

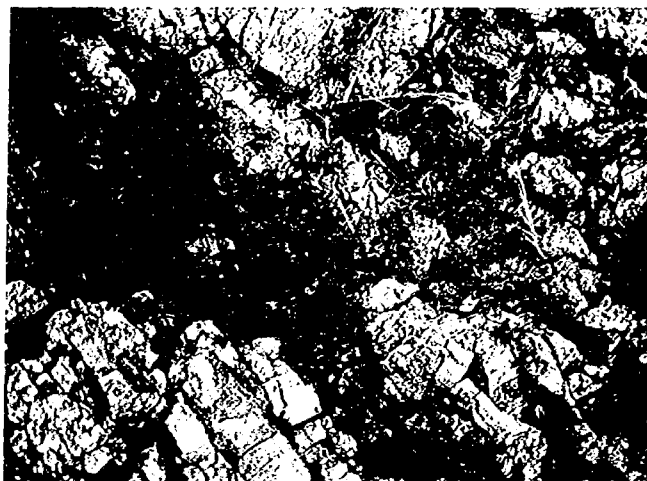


写真-2・31 テンノウメ バラ科
学名: *Osteomeles subrotunda* C.Koch.

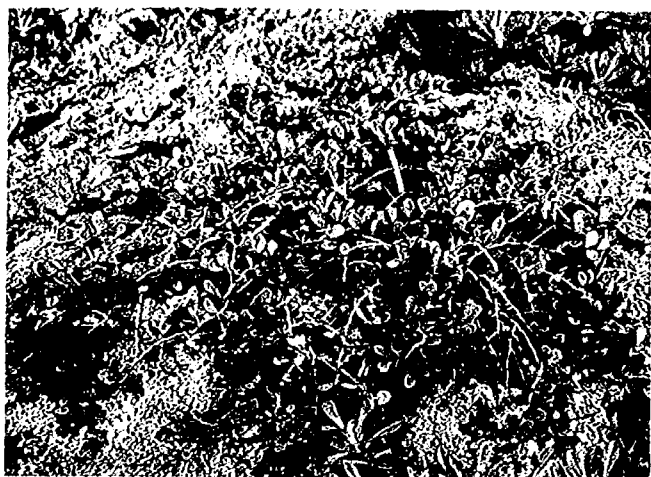


写真-2・32 ハリツルマサキ ニシキギ科
学名: *Maytenus diversifolia* Ding Hou



写真-2・33 アオガンピ ジンチョウゲ科
学名: *Wikstroemia retusa* A.Gray



写真-2・34 クサトベラ クサトベラ科
学名: *Scaevola taccada* Roxb.



写真-2・35 波照間島高那崎のクサトベラ群落



写真-2・36 モンパノキ ムラサキ科
学名: *Messerschmidia argentea* Johnst.



写真-2・37 波照間島浜先海岸に自生するモンパノキ

3 塩生植物の生理・生態的特性に関する調査

前述したとおり植生実態調査等の結果から、亜熱帯岩礁海岸における緑化植物として、イソマツ、ミズガンピ等の塩生植物が有望であるとの判断を得た。

ここではこれらの塩生植物を対象に、緑化有望種の生理・生態的特性、海岸地帯での適応性を把握するために実施した形態調査（葉厚、気孔頻度測定等）、繁殖調査（種子発芽試験）をとりまとめた。

3.1 塩生植物の形態調査

塩（塩類）が一般の植物に及ぼす影響は、大きく2つに分けることができる。第一には、生育土壤に高濃度の塩類が蓄積していると、土壤中の水分の浸透圧が高くなり植物が利用できる有効水が減少し干ばつ状態になり生育が阻害されることである。土壤水分における植物の永久しおれ点は、各種類でいくぶん異なっているが、土壤水分の浸透圧が $-0.35 \sim -0.4\text{MPa}$ （メガパスカ）になると一般の植物は生育不良となり、 -4.0MPa を越えると、後で述べる塩生植物以外はほとんど生育できない。また、この高い塩類濃度による土壤水分の浸透圧の上昇は、土壤中の他の無機栄養物の吸収をも阻害することが知られている。

第二には、植物体内における塩類の蓄積による生育阻害であり、生理的干ばつとも呼ばれている。高濃度の塩類によって、タンパク質の水和性と酵素の活性が減少するため生育阻害が生じるものと考えられている。また、塩類は、根の成長に対しても顕著な影響を与える。高い塩類濃度は、根の伸長を遅らせたり停止させたり、根の老化成熟を早め、そのため根は根端までスベリン化注¹し休眠したような状態になる。

一般に、耐塩性は植物細胞の原形質がどのくらいの高塩類濃度まで害を受けることなく耐えられるかによって決まるとされ、通常塩類は細胞液よりも液胞に高濃度に存在する。

一般の植物においても、徐々に塩類濃度の高い条件に合わせると、細胞内の浸透圧の調整が行われ、ある程度まで膨圧を正常に維持することができる。しかし、これらの高い塩類濃度にさらされていた植物を正常な状態に戻しても、単なる乾燥土壤にあった植物のようにすぐには回復しない。このことは、高い塩類濃度による植物の脱水が、乾燥した土壤にあるのと同様の過程を経た脱水の障害ではないことを示唆している。

この他、塩による植物個体への影響としては、植物組織の多肉化や気孔頻度の増加などが生じることが知られている。特に葉に見られる多肉化は、塩化物の過剰が原因であると考えられており、海からの飛塩によって沿岸植物の葉の多肉化が促進されることが報告されている（新納、1980）²²⁾。

注) スベリン化：細胞膜にスベリンが蓄積し、水、空気等を通しにくくなる状態。

一般にこれらの高い塩類濃度による影響は、活着した幼植物よりも、種子の発芽に対してより有害であると言われている。それは、溶液の高い浸透圧により、種子が吸水できないことと同時に、Naイオンが種子内に侵入するためではないかと考えられている。このことは、後で示すイソマツ及びミズガンピの繁殖調査で淡水中の方が高い発芽率を得ていることから推察できる。

このような塩が植物の形態に与える影響については、本研究でもイソマツ、ミズガンピ、アツバクコその他、数種の海浜性植物についての調査を実施しており、次のような結果を得た。

3.1.1 イソマツの形態的变化

1) 葉厚、葉長、葉幅

調査を実施した与那国島比川海岸では、イソマツは主に汀線付近に見られ、大潮または台風時の大波等によって完全に冠水する状態にある。

本調査地での形態調査の結果を表-3・1に示したが、汀線1m付近の初出現場所のイソマツは、5m以降の個体に比べ葉が厚いことが分かった。しかし、5m付近では葉長及び葉幅とも小さくなっていた。また、10m以降の比較的やや日陰の部分に生育するイソマツでは、葉が薄く、葉長及び葉幅が最も長い結果となった。5m付近の葉が全体的に汀線の個体に比べて小さくなるのは、生育基盤（岩礁）が汀線部より幾分高い場所に位置し、冠水状態にはならないが風圧に対する影響が汀線部より大きいためではないかと思われる。

石垣島大浜海岸におけるイソマツでは、沖合いのリーフ上と内陸部の個体とでは大きな違いは認められなかったが、リーフ上の個体が幾分大きいように思われた。内陸部においてイソマツは、比較的表面の荒い台地状隆起珊瑚石灰岩上に生育しており、その汀線部の個体は浸水することがあっても内陸ではほとんどが浸水することはない。このため、通常はかなりの乾燥状態となり、冠水または浸水する個体に比べて矮化しているものと思われる。

表-3・1 イソマツの汀線からの距離による形態的变化
(与那国島比川海岸) (mm)

汀線からの距離	葉 厚	葉 長	葉 幅	備 考
1.0 m	0.48	39.22	8.45	—
5.0 m	0.46	38.89	7.96	—
10.0 m	0.44	73.47	11.98	日陰の生育地

(石垣島大浜海岸) (mm)

汀線からの距離	葉 厚	葉 長	葉 幅	備 考
リーフ上 (0m)	0.45	26.21	6.49	頻繁に冠水する
内陸部 (100m)	0.45	24.09	6.82	冠水はない

2) 気孔頻度

気孔頻度調査は、与那国島比川海岸で汀線付近（1 m）と群落最後部（10 m）付近の個体を採集し比較した。結果は表-3・2に示すとおりである。

イソマツの気孔頻度は、汀線部で86個、内陸部で67個であり、汀線部の個体に多い結果となった。また、脱塩腺頻度は平均値で1個の違いが見られ、計測段階では個体間に変異が多く一概には言えないが、汀線部の個体が多くなるものと思われた。

表-3・2 汀線からの距離によるイソマツの気孔頻度

(与那国島比川海岸)

汀線からの距離	気 孔 数	脱塩腺数	備 考
汀線部 (0m)	86 個	8 個	頻繁に冠水する
内陸部 (10m)	67 個	7 個	希に冠水する

海浜植物では同一種において、塩分の多い所に生育している個体に気孔頻度が大きいとされている。また、新納（1980）²²⁾の沖縄県糸満市荒崎海岸（岩礁海岸）における海浜植生調査では、種類及び群落間による気孔頻度の著しい違いは見られなかったが、調査個体の葉の表裏における気孔頻度の割合等から汀線に近い個体または群落ほど気孔頻度が高い傾向があるとしている。さらに、日越（1975）³¹⁾はウコンイソマツの一連の調査で、気孔頻度は平均14.6個であり、群落間の中では最も汀線部に近い所に生育しているウコンイソマツがより低い気孔頻度であることを報告している。

以上のように、イソマツの汀線からの距離による気孔頻度の違いについて言及した報告によると、イソマツの気孔頻度は汀線に近くなるほど多くなるものと考えられる。

イソマツの汀線からの距離による葉厚、葉長及び気孔頻度の違いは、葉厚と気孔頻度について著しい変化が見られたが、葉長と葉幅または葉面積については顕著な差は認められなかった。

イソマツは、沖縄本島を除く各離島に広く分布するが、本研究における調査で個体によって葉の形態が若干異なることが観察されている。写真-3・1に示したように、小葉、大葉の形態を示す別個体が同じ調査地点において生育していることが分かるが、与那国島比川海岸におけるイソマツの個体は、石垣島または波照間島における個体に比べ大型であり、開花時の花茎が長く、明らかに別種とも思えるほどの地域による形態的な差異がある。ところが、これらの違いは環境によるものか、または分類学的な差異によるものかは明らかではない。また、与那国島比川海岸では、やや内陸部に生育する個体は、汀線部の個体に比べて約2倍の大きさの葉が見られた。

気孔頻度の差異については、一枚の葉では先端部分が最も多く、葉脚にしたがって減少し、草本植物よりも低木類、低木類より高木類の方が多いことが知られている。そして、その差異は水分関係にあり、一般に蒸散作用が増加するか、あるいは水分吸収が減退する状態において気孔頻度が増大するとしている。イソマツのように冠水するような場所でも生育する種類は、海水の取り込みによって体内の浸透圧を調節し、過剰な海水の吸収をコントロールする機能を持つ。それと同時に空気中にさらされると急激に蒸散活動を開始しなければならない、そのため気孔頻度が多いほうが都合が良いと考えられる。

また、イソマツは気孔と同様に体内の浸透圧の調節組織として脱塩腺を有している。脱塩腺は、冠水時に取り込んだ海水が気孔を通して蒸散するに伴って生じる塩結晶を体外に放出する役目を持っている。したがって、本来気孔頻度に伴って脱塩腺の頻度も増加するものと思われるが、今回の調査では、著しい変化は見られなかった。

さらに、葉断面の観察によって、気孔細胞の内側には呼吸腔があり、その呼吸腔の大きさは、汀線部の個体と内陸部の個体に差異のあることが分かった。すなわち、汀線部の個体は空隙が大きく、内陸部の個体は小さい。これは、冠水することによる内部の急激な浸透圧の変化に対して、呼吸腔内で水分を幾らか保存し内部の浸透圧を調節するためか、または水中における呼吸作用によって酸素及び炭酸ガスを充填し、海水が気孔から進入しないように排出するための機能をもつことから、汀線部の個体の空隙が大きいものと考えられる。

また、一般に、耐塩性植物を評価する際のポイントとして葉の表皮細胞の厚さがあり、表皮細胞が厚いほど耐塩性が強いと言われている。イソマツにおいては、他の種類との比較はないものの、同種内では汀線部の個体が、内陸部の個体に比べて厚い結果となった。

以上のことから、イソマツの汀線からの距離による形態的变化については、外観的な変化及び内的な変化が見られ、特に冠水域に生育する個体は海水に対して有効的に適応しながら生育しているものと思われた。

3.1.2 ミズガンビの形態的变化

1) 葉厚、葉長、葉幅

調査を実施した波照間島東崎のミズガンビは、汀線22m付近から初出現し、内陸部へ約100m以上の幅で植生帯を形成していた。サンプリングは、初出現点を起点に10m間隔で行い、汀線100mまでとした。

形態調査の結果は表-3・3に示すとおりであり、葉厚は、汀線に近い22m付近の個体が2.65mmと比較的厚く、内陸側になるに従って薄くなり、汀線から100m付近では、汀線部分の約4分の1の厚さであった。また、同じく汀線22m付近においても、岩陰部分に生育している個体は、岩の表に露出している個体に比べ葉厚は薄い傾向があった(写真-3・2, 3)。

また葉長は、岩陰部分の個体を除き、汀線に近い個体は短く内陸部の個体は長く、葉幅については、顕著な違いは見られないが、若干汀線付近の個体の方が長い結果となった。すなわち、汀線に近い個体ほど円みのある葉の形を呈し、内陸部に従って細長い形となる。そして、汀線付近であっても、岩陰地等のように直接潮風の影響が少ない場所では、内陸部の個体と同様な形を呈していた。

また、波照間島毛崎の天然記念物指定のミズガンピは、樹高4～5 mで樹冠も大きく、周辺には4、5本の高木があった。最も汀線に近い個体の汀線側と内陸側から葉を採集して比較した結果、同一株でも、汀線側の葉厚は厚く、円み形を呈するが、内陸側の葉は葉厚が薄く細長い結果となった（表-3・4）。

波照間島東崎の調査では、汀線距離によって個体に変化のあることが分かったが、波照間島毛崎では同一株で、汀線側と内陸側の葉の形態的な変化がみられた。

一方、与那国島比川海岸では、汀線から5 m付近からミズガンピが出現し、内陸部に向かって群落が発達していたが、群落の中央では樹高が1.5 m～2 mに達するものがあった。汀線部分の個体は、上記の波照間島の調査結果と同様に、葉厚が厚く、円みのある葉形を呈するが、内陸部では、葉厚が薄く、細長い葉形を呈していた（表-3・5）。同地域における岩陰の個体はこれまで述べたように、比較的安定した環境にあるため葉厚が薄く、細長く大きな葉形になる傾向があるが、比川海岸では、群落の中央部が大潮時に海水が侵入すると思われる低地の個体は、葉厚が周辺の個体に比べて厚く、しかも葉が大きいことが分かった。また、同じく比川海岸のミズガンピ群落地では、内海側（内陸側）の汀線部の個体は、外洋側の汀線部の個体に比べ樹高の高いこと等から、同じ汀線部でも、内海側の方が外洋側より潮風圧の影響が比較的少ないと言える。内海側の汀線部の個体は、葉厚については外洋側の汀線部の個体と同様に厚かったが、葉長、葉幅については著しく異なり、全体的に葉が大きいのが特徴であった。

表-3・3 ミズガンピの汀線からの距離による形態的变化

(波照間島東崎)

(mm)

汀線からの距離	葉 厚	葉 長	葉 幅	備 考
22.0 m	2.65	16.80	6.87	初出現
22.0 m	1.98	22.67	7.35	岩陰の部分
32.0 m	2.69	19.85	6.00	—
42.0 m	2.29	20.05	6.43	—
52.0 m	1.93	19.81	5.90	—
82.0 m	1.17	20.82	5.33	くぼ地
100.0 m	0.75	22.44	5.85	強風岩上

表-3・4 ミズガンピの同一株における形態的变化

(波照間島毛崎)

(mm)

方 向	葉 厚	葉 長	葉 幅
汀線側	1.44	27.22	10.46
内陸側	0.75	37.72	9.10

表-3・5 ミズガンピの汀線からの距離による形態的变化
(与那国島比川海岸) (mm)

汀線からの距離	葉 厚	葉 長	葉 幅	備 考
5.0 m	2.37	17.95	6.42	—
5.0 m	1.51	17.75	6.48	—
15.0 m	1.24	20.21	6.44	—
20.0 m	1.35	23.40	6.10	—
20.0 m	1.54	25.26	8.24	凹、海水に入った経緯がある
25.0 m	1.28	26.72	6.96	—
30.0 m	1.34	26.96	6.69	—

以上のことから、汀線からの距離によるミズガンピの形態的变化は、汀線地点では葉が厚く、楕円の形となるが、内陸に向かうに従って葉の厚さが薄く、葉の形も細長くなる傾向が見られた。葉の厚さは、単に汀線部個体のみでなく、内陸部でも内海付近等の海水の侵入する場所の個体は厚くなることから、塩に対する形態的な変化であり、そして葉の形及び大きさは、風等の物理的あるいは乾燥等の環境圧に対する形態的な変化であると考えられた。

2) 気孔頻度

本調査は、与那国島比川海岸の汀線から5m付近の個体及び汀線30mの比較的内陸部の個体からサンプリングし比較した。また、汀線から5m付近の個体ではできるだけ葉厚の厚い葉片と比較的薄い新葉片を採集し、検鏡によって気孔数を測定した(表-3・6)。それによると、汀線から5m付近の個体では、葉厚の厚い個体は、29個、同じく汀線5m付近の比較的葉厚の薄い新葉では54個、そして汀線30mの付近の個体では40個であった。

以上の調査結果から、ミズガンピについてもこれまでのイソマツと同様に、汀線に近い個体ほど気孔頻度が高いと言える。また汀線5m付近における葉厚による違いは顕著で、葉厚の厚い葉は内陸部の個体よりも気孔頻度が小さい。海浜植物における気孔頻度については、新納(1980)²²⁾の汀線距離による群落間の違いについて報告では、汀線に近い群落ほど気孔頻度は低く、更に草本植物は木本植物に比べて低いとしている。

ミズガンピの葉厚及び気孔頻度については、明確にその違いが認められたが、葉厚の厚い個体は海水の影響によって、何らかの葉内組織の肥大が起こっているものと考えられた。

表-3・6 ミズガンピの気孔頻度
(与那国島比川海岸)

葉の状態	気孔数
汀線部の厚い葉	29 個
汀線部の薄い葉	54 個
内陸部の葉	40 個

3.1.3 その他の植物の形態的变化

汀線からの距離による形態的变化については、一般的に、樹高（樹形）、葉面積（葉の形、大きさ）、気孔頻度等が異なるとされている。

本研究における調査によると、汀線からの距離による形態的な変化は、汀線からの群落間そして同種での個体間に違いが見られた。

1) 樹高の変化

群落間による樹高の違いでは、本研究における植生実態調査によると汀線部では高木類または低木類は侵入できていなかった。一般に草丈の低い草本植物が多く、厳しい潮風に対して岩陰に身を潜めるように生育していた。沖縄本島残波岬では汀線10mまでは草本植物が優先し、テリハクサトベラ及びアオガンピの低木類はそれ以降に分布していた。しかしながら、比較的穏やかな海岸では、汀線部にもこれらの木本植物が見られたが、岩の窪地にのみ生育し、周辺の岩より上に成長することはなかった。

同種の個体間による樹高の変化については、表-3・7に示したように、汀線50mに生育するクサトベラは樹高10cm内外の個体が多いが、汀線から100mの地点では1m以上の個体が多かった。同じくモンパノキにおいても汀線50mでは樹高50cm程度であるが、更に100m地点では樹高180cmと約3倍以上の高さとなる。与那国島東崎ではアダンの出現は汀線75m付近で、その地点では樹高が1m内外の個体が多かったが、更に奥に入ると樹高3mに達する個体が増えていた。

以上のことから、汀線からの距離による形態的な変化は群落間及び同種個体間において現れ、一般的に汀線部では樹高が低く、汀線より距離が長くなるにしたがって高くなる。このことは、遺伝的な形質変化ではなく、あくまでも環境圧に対する自己防衛あるいは障害形態を示していると考えられた。

2) 気孔頻度

同種の個体間における気孔頻度の違いについては、イソマツ、ミズガンピにおいて明らかになったように汀線に近い地点における個体の気孔頻度が高いことが分かった。これについては、日越(1975)³¹⁾らが他の海岸植物においても同様に報告している。

汀線からの距離に対する群落間の変化について、イソフサギ群落、ソナレムグラ群落、モンパノギ群落、アダン群落についての調査結果を表-3・8に示した。それによると、群落間での著しい変化は見られないものの、葉の表裏の気孔を持つ割合を群落別に見ると、明らかに汀線に近づくことによって両面に気孔を持つ種類が多くなっていることが分かる。

一般に気孔は、同一種でも陽葉の方が陰葉より気孔頻度は大であり、乾燥地に生育している植物は湿地に生育している植物より大きいことが知られている。

すなわち、光合成による呼吸機能及び土壌環境等による水分吸収と蒸散作用が生育環境の変化に対して順応するために気孔頻度が異なるとされる。

3) 葉厚及び葉面積

既往調査(新納、1980)²²⁾によると、汀線からの距離による形態変化は、葉の厚さに比例して著しいとされている。イソマツ及びミズガンピにも見られるように、一般に汀線部の個体は内陸部の個体より葉厚が厚い。

表-3・9で示すとおり、群落間による葉厚の変化については、汀線部のイソフサギーハマダイゲキ群落が0.583mmで最も厚く、次いでソナレムグラ-コウライシバ群落、モンパノキ-クサトベラ群落の順であり、最も内陸部のアダン群落が葉厚が薄くなることがわかっている。

表-3・7 汀線からの距離と各種の樹高

汀線からの距離	種 名	礁原平均よりの樹高
20 m	イソフサギ	— 15 cm
20 m	ミルスベリヒユ	— 10 cm
25 m	ウコンイソマツ	10 cm
50 m	クサトベラ	10 cm
50 m	モンパノキ	50 cm
70 m	クサトベラ	25 cm
80 m	クサトベラ	50 cm
90 m	クサトベラ	110 cm
90 m	モンパノキ	150 cm
100 m	クサトベラ	140 cm
100 m	モンパノキ	180 cm
110 m	アダン	300 cm
110 m	ススキ	200 cm
110 m	クロヨナ	180 cm
110 m	ネズミモチ	180 cm

表-3・8 各群落の気孔頻度および両面有種^{注)}の割合

気孔 群 落	気孔頻度	A 調査種数	B 両面有種数	$\frac{B}{A} \times 100$
イツサ [*] キ-ハマダ [*] イ [*] キ群落	18.3 個	4	2	50 %
ソナレムグ [*] ラ-コウライシ [*] ハ [*] 群落	14.8	4	1	25
モンハ [*] ノキ-クサトヘ [*] ラ [*] 群落	22.6	15	3	20
アダン 群落	25.7	25	3	12

表-3・9 各群落の葉の厚さ

群 落	葉の厚さ (mm)
イツサ [*] キ-ハマダ [*] イ [*] キ群落	0.583
ソナレムグ [*] ラ-コウライシ [*] ハ [*] 群落	0.543
モンハ [*] ノキ-クサトヘ [*] ラ [*] 群落	0.428
アダン 群落	0.293

注) 両面有種：一般に気孔は葉の裏面に多く分布しているが、表裏両面に気孔を持つ種のことをいう。

3.2 塩生植物の繁殖調査

塩生植物は、日本ではマングローブ、ハマサジ、アッケシソウ、ハママツナ、ミルスベリヒユ、ソナレムグラ、イソフサギ、イソマツ等が分布している。これらの植物は、細胞液中に多量の塩分 (NaCl) を取り込んでおり浸透圧が極めて高いため、海水のような塩分を多く含み吸水圧の高い土壌溶液からも水分を吸収することができる。一般の陸上植物 (スダジイ、ウバメガシ等の常緑樹) では、細胞液の浸透圧が高くても 3MPa ほどであるのに対し、マングローブでは 15MPa 以上の値を示す種類もある。

このように塩生植物では、細胞内に Na イオンを多量に取り込んでいるため、葉における Na イオンと K イオンの比 (Na/K) を調べると、ほとんどの種類が 1 より高い値を示す。このため、 Na/K の比により、海浜植物の塩生的な性質の程度を把握するのに利用できる (高田, 1988)¹⁵⁾。

塩生植物の生育にとって、最適な NaCl 濃度は種によって異なり、数 mM から数百 mM の幅がある。しかし、塩生植物の生育に高い塩濃度が絶対に必要というのではなく、非塩生植物と同様の低塩環境でも十分に生育する種類が多い。

塩生植物の耐塩性は、外部から Na イオンなどを吸収し、高い膨圧を維持することによって行われる。しかし、高濃度のイオンが、細胞質に存在すると種々の障害が生じる。それを避けるため大部分のイオンは液胞に蓄積され、この液胞と浸透平衡を保つため、植物はベタイン、プロリン、蔗糖等の有機化合物を合成し細胞質中に蓄えて細胞内の膨圧を調整している。さらにイソマツ等は、高塩類環境に対する生理的適応として、葉に塩類腺による脱塩機構を備えている。

本研究では、イソマツ、ミズガンビ等の塩生植物の耐塩性を更に把握するため、繁殖調査 (種子発芽試験) を実施し、以下のような結果を得た。

3.2.1 イソマツの種子発芽特性

1) 調査方法及び結果

イソマツを供試植物として、温度別、海水濃度別及び照度別の 7 処理区を設置し、種子発芽試験を実施した。

調査結果は表-3・10に示すとおりであり、蒸留水処理区における温度別発芽状況は、播種後 1 日後全ての処理区において発芽が始まった。発芽量は 25°C (暗) 処理区及び 30°C (暗) 処理区が最も多く、次いで 25°C (明) 処理区、 15°C (明) 処理区の順であった。その後、活発に発芽が進み、播種後 5 日目には 15°C (明) 処理区を除いて発芽がほとんど完了する状態であった。

イソマツの自然における生殖成長 (開花) は、秋 ($11\text{月} \sim 1\text{月}$) に開花し 2 月上旬頃には結実及び種子が飛散して周辺地に定床する。また、1 月に開花が終わった個体には 2 月に二次開花 (与那国島、石垣島等) が見られることがある。一旦定床した種子は 2 月期の野外温度では発芽が遅れ、3 月中旬以降、すなわち平均温度 25°C の条件になった時期に一斉に発芽するものと思われた。

次に、30℃処理区における海水濃度別による発芽状況は、海水25%処理区で播種後1日後から発芽が始まり、次に海水50%処理区で播種後2日目に発芽が始まったが、海水100%処理区では発芽は見られなかった。

播種後12日目の段階では、海水100%処理区を除き、ある程度の種子が発芽することがわかった。このことを考慮すると、自然界では実生個体による群落形成が期待できるはずである。しかし、現地においてはこのような現象は見られず、実生株が極めて少なかった。この要因として、前述したように種子が病害虫の食害によって全体的に結実率が低下しているのか、または飛散した種子の物理的な定床と降雨及び潮の干満等の気候的な要素が関係するか等今後さらに検討する必要がある。

表-3・10 イソマツの温度及び海水濃度別による発芽 (区23粒播種)

処 理 区	(発芽本数)						
	播種後 1日目	2日	3日	4日	5日	6日	12日
30℃ 蒸留水 (暗)	10	16	17	22	23	23	23
25℃ 蒸留水 (明)	6	7	15	18	20	20	20
25℃ 蒸留水 (暗)	10	15	17	21	21	21	21
15℃ 蒸留水 (明)	1	1	2	4	7	8	16

30℃ 海水25%	1	5	8	9	13	15	15
30℃ 海水50%	0	2	4	4	5	5	9
30℃ 海水100%	0	0	0	0	0	0	0

3.2.2 ミズガンピの種子発芽特性

1) 調査方法及び結果

ミズガンピを供試植物として、温度別、海水濃度別及び照度別の7処理区を設置し、実生繁殖調査を実施した。

調査結果は、表-3・11に示すとおりである。蒸留水処理区における発芽状況は、30℃（暗）処理区で播種後3日目から始まり、18日目には種子の半数が発芽した。また、25℃（明・暗）処理区では、播種後6日目まで発芽はなかったが、両区とも播種後18日目にはその半数が発芽していた。しかし15℃（明）処理区では播種後18日目においても発芽は見られなかった。

ミズガンピの種子は、直径約2mmの平偏形を呈しており、比較的潮風によって飛翔しやすい構造になっている。開花期は主に秋から冬にかけて見られ、1月～2月に結実する。そして、飛散した種子は夏の高温時を待って発芽するものと思われた。

30℃（暗）処理区における海水濃度別による発芽状況は、播種後5日目に海水50%処理区が、海水25%処理区より早く発芽が始まったが、18日目には両区ともほぼ同数の発芽状況となった。海水100%処理区では播種後18日目においても発芽は見られなかった。

以上のことから、ミズガンピの発芽率は30℃で最も高く、それ以下の温度では低くなり、15℃では全く発芽しないことが分かった。従って、本種は生育及び群落形成には少なくとも15℃以上の温度環境が必要であると思われ、そのために沖縄本島地域での本種の分布がきわめて少なく、宮古島以南の各島に大きな群落が見られるなど局所的な分布の大きな要因となっている。

海水処理区では、発芽率が比較的低い値を示したが、イソマツと同様、海水50%処理区においても発芽したことから、塩飛散地でも十分に発芽し生育することを示していた。

表-3・11 ミズガンピの温度並びに海水濃度別による発芽（区20粒播種）

		(発芽本数)						
処 理 区	播種後	1日目	2日	3日	4日	5日	6日	18日
30℃ 蒸留水（暗）		0	0	1	5	7	8	10
25℃ 蒸留水（明）		0	0	0	0	0	0	10
25℃ 蒸留水（暗）		0	0	0	0	0	0	10
15℃ 蒸留水（明）		0	0	0	0	0	0	0
30℃ 海水25%		0	0	0	0	0	0	5
30℃ 海水50%		0	0	0	0	1	1	4
30℃ 海水100%		0	0	0	0	0	0	0

3.2.3 その他の植物の種子発芽特性

1) アツバクコの種子発芽特性

アツバクコは南大東島の固有種として保護されている植物である。自然植生以外に緑化用としての利用例はほとんど見られないが、鮮やかな種子の色と匍匐状に伸びる形態のため、今後、特に海浜緑化植物としての利用が有望であることから、供試植物として実生繁殖調査を実施した。

(1) 調査方法及び結果

試験処理区は、イソマツ、ミズガンピと同様に、温度別、海水濃度別及び照度別の7処理区を設置して調査を実施した。

調査結果は表-3・12に示すとおりである。蒸留水処理区における温度別発芽状況は、30℃（暗）処理区が最も発芽が早く、次いで25℃（明）処理区、25℃（暗）処理区の順であり、15℃（明）処理区では播種後20日目においても発芽した種子は1粒のみであった。

一方、海水濃度別の発芽状況では、海水100%処理区において発芽がみられなかったが、海水50%処理区では発芽の兆しがみられるなど、イソマツ、ミズガンピ等と同様特異な塩生植物であると推察された。

播種後20日目における発芽率は、イソマツ、ミズガンピに比べて悪いが、発芽しなかった種子はまだ生存しており、その後の発芽の可能性もあることが推察された。

表-3・12 アツバクコの温度と海水濃度による種子発芽

		(試料本数)	
処 理 区		播種後10日	20日
30℃	蒸留水（暗）	5	12
25℃	蒸留水（明）	3	10
25℃	蒸留水（暗）	2	8
15℃	蒸留水（明）	1	1
30℃	海水 25%	1	3
30℃	海水 50%	1	1
30℃	海水 100%	0	0

2) マングロープの種子発芽特性

マングロープであるオヒルギ、メヒルギの胎生種子の発芽については、一般に発芽率が良いと言われている。ヤエヤマヒルギの発芽については中須賀(1989)¹⁹⁾らの報告があり、漂流している種子を採集して、健全なものを選抜し植栽した結果、植栽後約3ヵ月目には25%が枯死し、75%が発芽して葉が展開した。枯死した個体には芽鱗や幼芽がすでに枯死している個体が多く、そのほとんどが漂流による障害と思われ、このような障害がなければオヒルギ、メヒルギと同様発芽率は比較的良いと思われる。また、芽鱗が枯死していても幼芽が健全であれば、胎生芽の下部、根点がなくとも大半が生育するとされている。

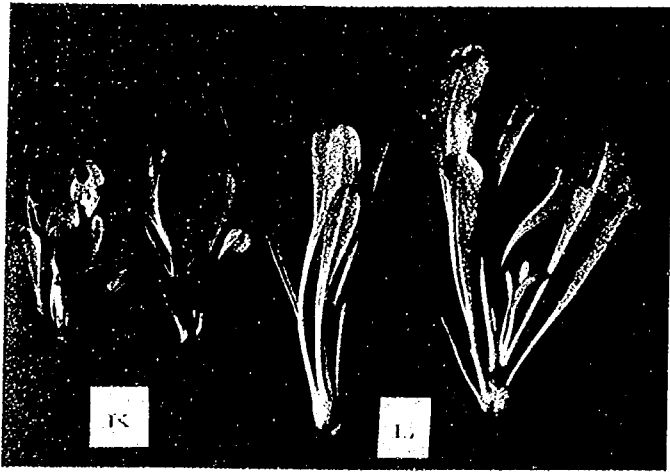


写真-3・1 イソマツの葉の変異
(K: 汀線から1 m L: 汀線から10 mやや田陰)



写真-3・2 ミズガンピの葉の状態
(汀線から22 m)

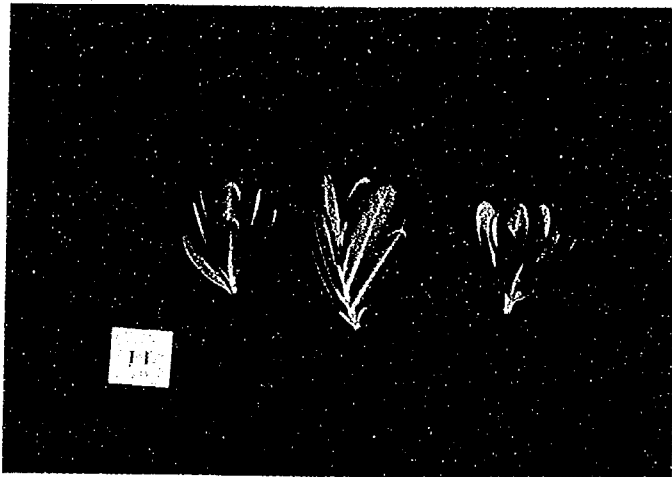


写真-3・3 ミズガンピの葉の状態 (汀線から100 m)

4 塩生植物の生育基盤調査

ここでは、植物の生育が可能な基盤条件を把握することを目的に実施した、塩生植物の各種特性調査、生育基盤の構造解析調査をとりまとめた。

4.1 生育基盤の物理・化学的特性

一般に植物の生育基盤である土壌は、構成する各種の土壌粒子の集合配列状態によって、粒子と粒子の間に形成される間隙、すなわち孔隙の量及び性質が決定される。土壌の孔隙は通常、水及び空気を満たされているので、土壌が水及び空気を保持する能力は土壌の構造と密接な関係がある。大孔隙は水及び空気の流通の場所となり、小孔隙は水の貯蔵場所的な役割を果たしている。よって、これら両者のバランスがうまく保たれている土壌（基盤）は植物の生育にとって非常に好ましい条件であるといえる。このような物理的特性は、植物体の支持（固着）及び根の伸長にも大きく関与している。植物の種類によって基盤の利用形態及び養分を吸収する能力もかなり異なっているので、その能力の差異が植物の住み分けの一つの要因となっているものと考えられる。また、養分吸収能力に大きく関係する因子として、生育基盤の物理・化学的特性及び植物の根系の広がり、根の表面の性質、根の生理機能等の特性が考えられる。

4.1.1 イソマツ、ミズガンピの生育基盤

イソマツ、ミズガンピは岩礁海岸で、土壌の極めて乏しい隆起珊瑚石灰岩を基盤として生育しており、一般の植物に比較してかなり特異な植物であると言える。隆起珊瑚石灰岩は、造礁珊瑚や海浜生物の遺骸からなり、内部には無数の孔隙を有しており、これらの孔隙が互いにつながった構造を持ち、この孔隙が硬い岩盤上での植物の生育を可能にしていると考えられる。生育基盤の表面に土壌がほとんど存在しない場合でも、内部の孔隙の中には粘土質や微砂（シルト）質の土壌が集積されており、植物の根はこれらの孔隙内の土砂に沿って伸長している。また、一旦、植物の根が孔隙の中に伸長すると、根の風化作用により根の周りの母岩が土砂化することもあると考えられる。

本研究では孔隙内の土壌に関する化学的分析として、沖縄本島残波岬において隆起珊瑚石灰岩岩中の土壌を採取し、土壌pH（ H_2O ）とEC（電気伝導度）について測定を実施した。その結果、孔隙内土壌のpH値は8.7と非常に高い値を示すアルカリ性土壌であり、母岩である隆起珊瑚石灰岩に含まれる炭酸カルシウムの影響を強く受けているものと思われた。また、EC値も $1mS/cm$ 前後の高い値を示し、海水中の塩類が蓄積していることが考えられた。このような土壌には通常の植物が生育することは困難であり、塩類排出機構などを持つ特殊化した耐塩性の極めて高い植物のみが生育可能である。耐塩機能を備えた植物にとっては、この土壌が養水分の保持及び供給にとって重要な役割を果たしているものと思われた。

生育基盤のもう一つの重要な働きである植物体の固着（支持）機能に関しては、イソマツ、ミズガンピのように、主に波浪の影響を強く受けるような環境に生育している種では、生育基盤が砂浜のように流失または変化しやすい状態では、植物自体に耐潮性があっても、長期間におよぶ同一生育基盤上での植物の固着が不可能となり生育できないものと思われた。特に、高木類のように短期間で生長サイクルを完結できない植物では、このことは生育場所を決定する上で重要な問題となる。延原、他（1981）²⁸⁾によると、沖縄の砂浜群落の成立要因には、波浪及び強風による直接的な群落の破壊、または砂の移動に伴う生育地の変化が群落変遷の大きな要因になっていると報告している。イソマツの場合、波浪の影響をほとんど受けない遮蔽された砂浜では群落が発達し、幼植物の生育も見られることが報告されている（比嘉、1986）。このことから、イソマツ及びミズガンピ等の木本植物が主に岩礁上に生育しているのは、生育基盤による生理的な問題ではなく、波浪による土壌破壊と植物体の流失等の物理的な問題によるものと考えられた。

4.1.2 マングローブの生育基盤

沖縄列島の属する南西諸島におけるマングローブの主な生育場所は、湾内や河口域の泥地で、波浪の影響もほとんどなく、潮の干満のみによって生育基盤の表面が冠水と露出を繰り返しているような場所であることが多い。この泥地を形成している土壌は、マングローブが持つ多量の根の作用によって堆積されたものであり、大きな群落内では微粒土壌の堆積が1m以上にも及ぶ。マングローブは、これらの土壌から栄養分を吸収しているのであるが、その多くはマングローブ自身が産出する腐植もしくは土壌中の微生物またはマングローブ林内に生息している魚やカニ等の海浜動物の活動に由来する。マングローブ林の土壌中では、海水から供給される硫酸塩が分解され、土壌中の硫黄と結合した黄鉄鋼や硫化鉄が蓄積されている。土壌が潮の干満によって常時多量の海水に浸されている間は、土壌の強度の酸化は抑えられている。しかし、防波堤の建設等により潮の対流が止まり陸地化すると、これらの物質が酸化し硫酸を生成し、非常に酸性の強い硫酸塩土壌（pH 3 以下）が形成され全く植物が生育できない土壌となる（久場、1990）。

日本国内で見られるマングローブは、上述したように主に砂泥が堆積した河口域または湾内の泥地を生育基盤としているが、熱帯地方（東南アジアやミクロネシア）では、砂、礫の堆積物上にマングローブが生育している場合があり、特にソロモン諸島のマライタ島では、陸地から数百メートルあるいは数キロメートルも離れたサンゴ礁上にマングローブ林が発達しているのが報告されている（佐藤、1990）¹²⁾。このマングローブ林の生育基盤は、サンゴの遺骸からなる砂、礫と、マングローブ自身の葉、枝の腐植で構成されており、陸上から供給された土壌は全く見られない（佐藤、1990）¹²⁾。このことから、マングローブの生育には必ずしも砂泥質の土壌が必要ではなく、波浪、風の程度、生育気温等の種々の条件が整えば、砂礫上でも十分に生育可能であるものと思われた。

4.2 塩生植物の生育基盤中の根系調査

岩礁海岸に生育している塩生植物の生育基盤（岩石）中の根の広がり、深度別の根の発達程度、根の太さ、根の外部形態等を調査することにより緑化有望種の生育基盤と根系構造を明確にした。

4.2.1 調査方法

イソマツ及びミズガンピが健全に生育している基盤をそれぞれ数ヵ所決定し、砕岩機等を用いて掘り取り、岩石切断機で各部位を切断して、基盤中の根の発達状況及び土砂の集積状況を調査した。

採取場所 イソマツ：石垣島大浜海岸

ミズガンピ：波照間島高那崎

4.2.2 調査結果

1) イソマツの根系

(1) サンプル№1（写真－4・1）：生育中のサンゴが岩石を包含し、その岩石の上にイソマツが健全に生育している。

サンプル重量約15kg、樹高約2cm、枝張り約5cm。

① 株の根元から3cmの断面の根の生育状況

岩石には多くの空隙が見られ、土砂がかなり集積しており、土砂の集積している場所では、細根が侵入して、根毛状に広がっている。生育中のサンゴには空隙は見られなかった。

② 株の根元から10cmの断面の根の生育状況（写真－4・2）

岩石には多くの空隙が見られ、土砂が集積している場所では細根、根毛が広がっていた。また、直径0.5～1mm程の根が3本確認された。

③ 株の根元から15cmの断面の根の生育状況

岩石中では依然空隙が見られ、かなり多くの土砂の集積が見られた。また、土砂の集積している場所には、多数の根毛、細根が広がっていた。

なお、岩石の底部には空隙を通り抜けた根毛、細根が広がっているのが見られた。

(2) サンプル№2（写真－4・3）：株の根元にはわずかな土砂が集積しており、細根及び根毛が広がっていた。

サンプル重量約10kg、樹高約2cm、枝張り約6cm。

① 株の根元から3cmの断面の根の生育状況（写真－4・4）

空隙は比較的少なく、土砂の集積も少なかった。わずかに土砂が集積している場所では、細根及び根毛が広がっていた。また、直径2mm程の根も確認された。

② 株の根元から8cmの断面の根の生育状況

空隙は比較的少なく、土砂の集積も少なかった。土砂が集積している空隙には、細根及び根毛が見られた。また、直径0.5mm及び1.5mm程の根が確認された。

③ 株の根元から11cmの断面の根の生育状況

空隙はかなり少なくなり、わずかに集積している土砂には細根及び根毛が見られた。

なお、岩石の底部にもわずかに細根が確認された。

(3) サンプルNo 3 (写真-4・5) : サングの死核の上にイソマツの株が生育している。

サンプル重量約5kg、樹高約1cm、枝張り2cm。

(サンプルを中心から縦に切断し、根系調査を実施した。)

① 内部には、多くの空隙があり、土砂及び貝の殻が集積していた(写真-4・6)。

株の直根は底部にまで到達しており、内部には細根及び根毛が広がっていた。

(4) サンプルNo 4 (写真-4・7) : サンプル重量約35kg、樹高約2.5cm、枝張り約10cm。

① 株の根元から5cmの断面の根の生育状況(写真-4・8)

かなり多くの空隙があり、多量の土砂の集積が見られた。直径1~3mm程度の根が数本確認され、根毛及び細根が多数見られた。

② 株の根元から15cmの断面の根の生育状況

空隙量は多く、土砂の集積量も多い。直径1~2mm程の根が数本確認され、細根及び根毛も見られた。

③ 株の根元から25cmの断面の根の生育状況

空隙量は比較的少なくなっていた。土砂の集積している場所には細根及び根毛が見られ、直径0.5~1mm程の根も確認された。

④ 株の根元から35cmの断面の根の生育状況(写真-4・9)

土砂の集積している場所には、根毛及び細根が広がっており、直径1mm程の根も確認された。

なお、岩石の底部において、直径0.5mm程の根が確認された。

2) ミズガンビの根系

(1) サンプルNo 5 (写真-4・10) : サンプル重量約15kg、樹高約7cm、枝張り約15cm。

① 株の根元から5cmの断面の根の生育状況(写真-4・11)

岩石は緻密で比較的空隙量は少なかった。ミズガンビの直根と思われる直径5mm程の根及び少量の細根が見られた。

② 株の根元から15cmの断面の根の生育状況(写真-4・12)

空隙量は減少しており、土砂の集積もほとんど見られなかった。直径1.5mm程の根が確認されたが、細根及び根毛はほとんど見られなかった。

なお、岩石の底部から、直径1mm程の根が確認された。

(2) サンプル№6 (写真-4・13) : サンプル重量約35kg、樹高約12cm、枝張り約35cm、株の根元の幹回り約13cm、根元には土砂が集積しており、細根及び根毛がかなり広がっていた (写真-4・14)。

① 株の根元から5cmの断面の根の生育状況 (写真-4・15)

風化が進行しており、かなりの空隙が見られ、赤い粘土及びシルトの付着が見られた。空隙には直径7mm及び2mm程の根並びに細根が多数見られた。

② 株の根元から15cmの断面の根の生育状況 (写真-4・16)

風化が進行しており、空隙量及び土砂の集積量ともに多かった。直径2~3mm程の根が3本確認されるだけで、細根及び根毛はほとんど見られなかった。

③ 株の根元から25cmの断面の根の生育状況 (写真-4・17)

直径5cm程の大きな空隙があり、土砂がかなり集積していた。その空隙内に直径5mm及び3mm程の根、細根、根毛が多数確認された。

なお、岩石の底部より、直径2mm程の根が確認された。

(3) サンプル№7 (写真-4・18) : サンプル重量約45kg、樹高約16cm、枝張り約30cm、根元の幹回り約30cm。

① 株の根元から10cmの断面の根の生育状況 (写真-4・19)

岩石中は緻密になっている部分と、風化が進行しかなり大きな空隙のある場所とに区別できた。直径3cm及び5~3mm程の根が空隙中にねじれ込むように進入していた (写真-4・20)。また、大きな空隙内では、細根及び根毛が広がっていた。

② 株の根元から20cmの断面の根の生育状況 (写真-4・21)

風化がかなり進行しており、ミズガンピの根の作用と思われる割れ目が観察された (写真-4・22)。また、直根 (直径約3cm) 及び直径3~5mm程の根が数本見られ、大きな空隙内には、細根及び根毛がかなり広がっていた。

なお、岩石の底部より2cm程の直根が伸びており、生育していた基盤のかなり奥まで進入していたものと思われた。

4.2.3 考 察

イソマツ及びミズガンピは双子葉植物であり、基本的には直根系を持つ植物である。しかし、岩礁上に生育しているこれら2種類の植物の根系は岩石中の孔隙の量及び土砂の集積の有無に大きく影響を受けていた。すなわち、孔隙が大きく、土砂の集積している場所においては細根、根毛等の発達が見られたが、孔隙が小さく、土砂が集積していない場所においては直根が発達し、孔隙の大きさに適応するように根の太さを変化させ岩中深く伸張している傾向にあった。岩礁上で生育しているイソマツでは、砂地に生育しているイソマツに比較して直根が数本に分かれて細く長く、地上部の1.5倍近くの長さの根をもつものが多かった。また、鬚根系に見られるような表面付近に根を広げるものは少なく、通常の直根系植物に見られるように根は岩中深く伸張していた。直射日光にさらされる海岸地帯の岩上では、表面付近温度が極端に高くなることが多く岩中の水分状態が悪化するため、根はできる限り岩中深く伸張するものと思われた。

一方、岩礁上で生育しているミズガンピ（サンプルNo.8、幹廻り約13cm、写真-4・23、24）においては、地上部の生育状況に比較し、根の径約5mmの直根が小さな孔隙にねじれ込むように侵入していることが見られた。

以上のことから、岩礁地帯にみられるイソマツ及びミズガンピの根の発達形態は岩石中の孔隙の大きさ及び土砂の堆積と密接に関係していると同時に、気密な空隙にも伸張できる特殊な根系形態を有していると考察された。

4.3 塩生植物の体内水分及び成分組成に関する調査

植物体の各部位（根（気根）、茎（幹）、葉）の体内水分及び成分組成（窒素、リン酸、カリウム、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム）を分析することにより、海岸地帯の生育基盤条件と密接な関係を持つ塩生植物の各種特性を解明した。

4.3.1 体内水分（乾物重及び水分含有量）

1) 測定方法

イソマツ（石垣島大浜海岸）、ミズガンピ（波照間島高那崎）、マングローブであるヤエヤマヒルギ（沖縄本島慶佐次）を供試植物として調査を実施した。

各植物の根、茎、葉の生重（W1）を測定した後、乾燥器（70℃）で約1日間乾燥した。その後、デシケーターで30分間冷却し、乾燥重量（W2）を測定した。恒量値に達するまで前述の操作を繰り返し行った。各部位の乾物重及び水分含有量は、以下の式により算出した。

$$\text{乾物重 (\%)} = W2 / W1 \times 100$$

$$\text{水分含有量 (\%)} = 100 - \text{乾物重 (\%)}$$

2) 測定結果

測定結果は表-4・1に示すとおりである。

表-4・1 各部位の乾物重及び水分含有量

サンプル名	部位名	乾物重 (%)	水分含有量 (%)
イソマツ	根	46.5	53.5
	茎	48.4	51.6
	葉	28.1	71.9
ミズガンピ	根	60.6	39.4
	茎	62.1	37.9
	葉	25.2	74.8
ヤエヤマヒルギ	根（気根）	30.6	69.4
	茎（幹）	50.7	49.3
	葉	31.0	69.0

4.3.2 成分組成

1) 試料の調整

イソマツ（石垣島大浜海岸（A：大潮時のみに冠水する比較的砂の堆積している場所、B：満潮時には常に冠水している場所））、ミズガンピ（波照間島高那崎（A：汀線から30m程の窪地、B：汀線から20m程の窪地））、ヤエヤマヒルギ（沖縄本島慶佐次）、テリハクサトベラ（国営沖縄記念公園内の岩礁海岸）を供試植物として調査を実施した。

採取した各々のサンプルを洗浄後、それぞれの試料を葉、茎（幹）及び根（気根）に分別し、乾燥機で十分に乾燥させた。葉、直径の小さい茎及び根は小型のウィレイミルで1mm以下に粉碎した。直径の大きい茎及び気根はナイフなどで細かく裁断し、中型のウィレイミルで2mm以下に粉碎した後、小型のウィレイミルで再度1mm以下に粉碎した。1mm以下に粉碎した試料を窒素、リン酸、カリウム、カルシウム、マグネシウム及びナトリウムについて分析を行った。

2) 測定方法

窒素は、ケルダール分解^{注1)}した後、水蒸気蒸留法により以下のように測定した。すなわち、試料約1gをケルダールフラスコにとり、分解促進剤（硫酸カリウム：硫酸銅：セレン＝10:1:0.1）を3g加えた後、濃硫酸を10ml加えた。試料を加熱分解した後、塩入奥田式蒸留装置を用いて、アンモニアを蒸留した。蒸留されたアンモニアは2%ホウ酸液中に受け、1/28規定硫酸液で滴定した。そして、滴定液量から試料中の窒素含有率を算出した。

リン酸は、バナドモリブデン酸法により以下のとおりに比色測定した。すなわち、試料約2gを硬質のケルダールフラスコにとり、硝酸を15ml及び過塩素酸を15ml加え、1晩ドラフト内で放置し予備分解を行った。放置後、始めはゆるやかに加熱分解し、その後熱量を高め、ケルダールフラスコの球部に重い白煙が生じた後10分後に加熱分解を終了した。分解液に蒸留水を注意深くケルダールフラスコの首部を洗い流すように加えて希釈した後、ケイ酸を分離するためにろ紙を用いてろ過し、ろ液を100mlに定容した。定容した液から既知量をホールピペットで50mlメスフラスコに採取した。蒸留水を加え、メスフラスコ内の液量を約40mlにし、発色液（モリブデン酸アンモニウム、メタバナジン酸アンモニウム及び硝酸混液）を10ml添加し、発色させた後、分光光度計で吸光度を測定した。リン濃度と吸光度から、検量線^{注2)}を作図し、試料液のリン濃度を求め、試料のリン酸含有率を算出した。

カリウム及びナトリウムは、上記のリン酸の試料液を希釈し、原子吸光法^{注3)}により測定した。

カルシウム及びマグネシウムも上記リン酸試料液を希釈し、希釈液中のランタン濃度が1,000ppmになるように塩化ランタンを添加した。調整した希釈液を原子吸光法により測定した。

注)1 ケルダール分解：強アルカリ溶液中で試料を分解し、アンモニアを生成する。

2 検量線：物質の特定の性質、量または濃度等と測定値との関係を図形的に表した線。

3 原子吸光法：原子吸光スペクトルを利用し、試料中の特定元素の濃度と輝線の吸光の度合いとの相関を測定して行う化学分析法。

3) 測定結果

測定結果は、表-4・2に示すとおりである。

表-4・2 植物体の各部位の成分組成 (%)

サンプル名		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	NaO
イソマツA	葉	2.260	0.275	0.981	0.750	2.816	2.874
	茎	1.100	0.187	0.499	0.713	0.495	0.475
	根	0.928	0.192	0.555	0.703	0.447	0.589
イソマツB	葉	2.460	0.302	0.841	0.414	4.225	4.408
	茎	1.290	0.193	0.753	0.693	0.594	2.199
	根	—	—	—	—	—	—
ミズガンピA	葉	1.190	0.239	0.829	3.949	1.772	2.334
	茎	0.346	0.064	0.616	1.836	0.754	1.066
	根	0.448	0.059	0.246	2.422	0.540	0.309
ミズガンピB	葉	1.200	0.214	0.768	4.932	1.682	2.961
	茎	0.364	0.082	0.718	2.048	0.592	1.105
	根	—	—	—	—	—	—
ヤエヤマヒルギ	葉	1.050	0.169	1.140	1.041	0.753	3.022
	茎	0.208	0.030	0.189	1.377	0.284	0.873
	根	0.248	0.044	0.469	0.542	0.283	3.139
テリハクサトバラ	葉	1.630	0.258	2.668	1.677	1.053	3.794
	茎	0.423	0.097	1.380	0.581	0.232	1.235
	根	—	—	—	—	—	—

注) 成分組成 (%) は植物体の各部位の乾物重 (試料約 2 g) に対する比率である。

イソマツ A : 大潮時のみに冠水する比較的砂の堆積している場所で採取。

イソマツ B : 満潮時には常に冠水している場所で採取。

ミズガンピ A : 汀線から 30 m 程の窪地で採取。

ミズガンピ B : 汀線から 20 m 程の窪地で採取。

4.3.3 考 察

一般に、植物体の水分特性及び成分組成は、その植物の生育する基盤に大きく影響される。植物には石灰質土壤に限って見られる好石灰植物、または逆に石灰質土壤を避ける嫌石灰植物、硝酸態窒素を好む好硝酸性植物、アンモニア態窒素を好む好アンモニア性植物、さらには、海水の影響を受けても十分生育可能な塩生植物等が存在し、自然界における住み分けを行っている。

本研究において水分特性を調査した、イソマツ、ミズガンピ、ヤエヤマヒルギは、海水の影響を受ける場所に生育しており、採取した植物の水分含有量は、葉の値が他の部位に比べて概ね高い傾向にあった。そのことは、根で吸収された養水分は茎を通り、葉中に多く蓄えられていることを示唆している。

一般的に、植物体における葉の成分組成に関して、一般の陸上植物は、ナトリウム含量がカリウムに比べ一般的に著しく低く、また岩礁海岸など海水の影響を受ける場所に自生している植物はカリウムに比べナトリウム含量が著しく高くなる傾向にあることが知られている。本研究における測定結果（表-4・2）からも塩生植物の葉は、カリウムに比較してナトリウムの含有量がかなり高い値を示しており、NaイオンとKイオンの比（Na/K）が1より高い値が得られた。一般の植物は海水の10分の1程度の塩分濃度（NaCl、3,000PPM）になると生育が阻害されるが、塩生植物は耐塩性が強く、海水に近い濃度、または海水の中でも生育が可能である。

表-4・2に見られるように、同じ種の植物であっても、生育環境の違いにより、植物体の成分組成に若干の違いが見られた。大潮時または波浪時にしか冠水しないような砂浜地（写真-4・25）に生育しているイソマツ（A）と潮の干満により、一定時間海水に冠水し、しかも岩礁上（写真-4・26）に生育しているイソマツ（B）との比較では、植物体の葉において、イソマツAではカリウム、カルシウム含量が比較的高く、イソマツBにおいてはマグネシウム、ナトリウム含量が高い値を示していた。また、本研究において採取した植物のマグネシウム、ナトリウム含量は、一般的な植物（表-4・3、4）に比較すると高い傾向にあり、それらの植物は海水（表-4・5）の影響をかなり受けているものと考察された。

本研究において測定した中でも、ミズガンピにおいては、カルシウムが草本植物（表-4・3）、木本植物（表-4・4）と比較しても高い傾向にあり、そのことは、生育基盤が石灰岩であることに大きく起因しているものと考えられ、また、体内に多くのカルシウムを保持していることなどからも、ミズガンピは塩生植物であると同時に好石灰植物でもあると考察された。

本研究における測定の分析結果から、全体的にこれら植物の塩類の集積は、植物体の茎、根に対して葉に含まれる割合が高く、そのことが、植物組織の多肉化等に大きく影響しているものと考察された。特に、葉に見られる多肉化は、海からの飛塩によっても沿岸の植物の葉の多肉化が促進されることが報告されており、これらは塩類の過剰が原因であると考察された。

表-4・3 草本植物の葉の成分組成(宮永、1990) (%)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe
サトウキビ	0.893	0.413	2.238	0.259	0.332	0.027
チカヤ	1.467	0.453	1.628	0.328	0.414	0.017
ススキ	1.197	0.144	1.896	0.486	0.377	0.021
ノグシ	1.318	0.736	4.048	0.458	0.458	0.013
オオハコ	0.360	0.182	3.469	0.249	0.410	0.116
シロツメクサ	4.115	0.699	3.841	0.821	0.283	0.022
ヨルヲヨルヲ	2.654	0.172	2.442	1.906	0.371	0.018

表-4・4 木本植物の葉の成分組成(星野、1989) (%)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe
ウラジロノキ	3.932	0.305	1.342	2.62	0.52	0.039
アカメカシ	3.207	0.290	1.396	1.41	0.41	0.018
アカリフ	3.148	0.365	1.786	3.22	0.59	0.016
シマク	2.982	0.363	1.725	2.59	0.32	0.020
オオハマボ	2.576	0.304	2.483	2.92	0.57	0.020
オオバギ	2.541	0.190	1.243	1.53	0.36	0.021
オオバノミ	2.482	0.235	2.057	4.49	0.61	0.020
ブツツケ	2.016	0.372	2.021	2.08	0.64	0.035
ハマノミ	1.953	0.186	1.894	5.24	0.43	0.024
ギランノミ	1.692	0.118	1.711	3.53	0.36	0.015
ヒメギタマシ	2.243	0.171	1.347	0.82	0.69	0.342

表-4・5 海水、土壌及び石灰岩に含まれる元素の割合 (%)

海水		土		石灰岩	
元素	含有率	元素	含有率	元素	含有率
Cl	58	O	49	Ca	39.8
Na	32	Si	33	Si	2.7
Mg	4	Al	7	Mg	0.16
S	3	Fe	4	P	0.039
Si	0.01	Cl	0.01	Mn	0.0074
Al	0.00003	Na	0.6	S	0.0067
Fe	0.00003	Mg	0.5	Cl	0.0112
		S	0.07	Na	0.147

4.4 生育基盤の構造比較調査

本調査では、塩生植物の緑化に適した人工基盤の開発に資するため、現段階において利用頻度の高い3種類の人工基盤（コンクリートブロック、発泡性コンクリート、軽量コンクリート）と現地で採取した5種類の隆起珊瑚石灰岩（隆起珊瑚石灰岩（軟質）、同（半硬質）、同（硬質）、イソマツ生育基盤、ミズガンビ生育基盤）をサンプル（写真-4・27）として構造比較調査を実施し、生育基盤の基礎条件を明らかにした。

4.4.1 各種基盤の比重、有効間隙率、吸水率

1) 測定方法

各サンプルを重量5kg以上の任意形状の塊に切断し、自然状態の試料の空中重量（W3）を測定した。次に試料を72時間以上水浸し、強制湿潤状態の水中重量（W4）を測定した後、試料を水浸器より取り出し、湿った布で表面の水を拭き取ってから、強制湿潤状態の空中重量（W5）を測定した。その後、試料を乾燥器に入れ、90℃の設定温度で24時間以上乾燥し、デシケーターに入れて室温にまで冷却して、強制乾燥状態の空中重量（W6）を測定した。

これらの重量測定の結果から、各種基盤の物理的特性を把握するため以下の式を用いて、比重、有効間隙率及び吸水率を算定した。

自然状態の比重	$G_n = W_3 / (W_5 - W_4)$
強制乾燥状態の比重	$G_d = W_6 / (W_5 - W_4)$
強制湿潤状態の比重	$G_t = W_5 / (W_5 - W_4)$
有効間隙率（%）	$n_e = (W_5 - W_6) / (W_5 - W_4) \times 100\%$
吸水率（%）	$a_d = (W_5 - W_6) / W_6 \times 100\%$

サンプル：① コンクリートブロック

② 発泡性コンクリート

③ 軽量コンクリート

④ 隆起珊瑚石灰岩（軟質）

⑤ 隆起珊瑚石灰岩（半硬質）

⑥ 隆起珊瑚石灰岩（硬質）

⑦ イソマツ生育基盤

⑧ ミズガンビ生育基盤

2) 測定結果

測定結果は、表-4・6に示すとおりである。

表－４・６ 各種基盤の比重（見かけ比重）、間隙率、吸水率

サンプル名	比 重			間隙率 (%)	吸水率 (%)
	G _n	G _d	G _t		
コンクリートブロック	2.11	2.08	2.23	15.7	7.6
発泡性コンクリート	0.85	0.59	1.00	40.4	67.5
軽量コンクリート	1.64	1.56	1.78	5.0	3.1
隆起珊瑚石灰岩（軟質）	2.49	2.47	2.52	5.6	2.3
隆起珊瑚石灰岩（半硬質）	2.51	2.50	2.54	3.1	2.2
隆起珊瑚石灰岩（硬質）	2.47	2.41	2.50	4.0	2.3
イソマツ生育基盤	2.09	2.07	2.25	17.5	8.5
ミズガンピ生育基盤	2.08	2.08	2.23	16.1	7.7

注）G_n：自然状態（試料採取時の含水状態）の比重

G_d：強制乾燥状態（供試体を80～110℃で24時間以上乾燥させた状態）の比重

G_t：強制湿润状態（供試体を72時間以上水中につけ、十分に吸水させた飽和含水状態）の比重

4.4.2 腰水試験

1) 測定方法

各種基盤（人工基盤を含む8種類）を室温で十分乾燥させた後、着色水（水深は基盤高の1／3程度）に浸し、3日後に腰水高を測定した（写真－４・２９，３０）。

2) 測定結果

測定結果は、表－４・７に示すとおりである。

表－４・７ 各種基盤の腰水高

サンプル名	腰水高（c m）
コンクリートブロック	9.0
発泡性コンクリート	8.5
軽量コンクリート	3.0
隆起珊瑚石灰岩（軟質）	8.0
隆起珊瑚石灰岩（半硬質）	3.5
隆起珊瑚石灰岩（硬質）	5.2
イソマツ生育基盤	27.0以上
ミズガンピ生育基盤	14.0

4.4.3 考 察

本研究における調査においてサンプルとして採取したイソマツ生育基盤及びミズガンピ生育基盤（写真一4・28）は隆起珊瑚石灰岩であり、自然状態の比重はそれぞれ、2.09、2.08であった。また、間隙率は16.1～17.5%、吸収率は7.7～8.5%、腰水実験の腰水高は、ミズガンピ生育基盤は14cm、イソマツ生育基盤は27cm以上という高い値を示した。両者におけるこの腰水高の違いは毛管の発達程度及び孔隙の形態の違いによるものと思われた。汀線上にあるイソマツ生育基盤は、潮の干満により一定時間の冠水が常時あり、また冠水していない時には日射等による基盤表面の急激な温度変化等による水分の移動が活発になるため、基盤中の毛管孔隙が発達しているものと考えられた。一方、ミズガンピ生育基盤は汀線より約30mも離れており、雨水による影響があるのみで、前者に比較して毛管による水の移動が少ないものと思われた。また、両者の岩石中にはかなりの土砂の集積も見られ、土砂による影響も示唆された。

コンクリートブロックは、イソマツ生育基盤及びミズガンピ生育基盤と比重、間隙率、吸水率ともほぼ同じ値を示しており、腰水高においてもコンクリートブロックはそれらの基盤の次に高い値を示していた。

発泡性コンクリートは、イソマツ生育基盤及びミズガンピ生育基盤に比較して比重は非常に小さく、逆に間隙率は最も大きな値を示していた。これは内部に無数の孔隙があり、かつ構成材質（ALC）が軟らかいことによるもので、吸水率とともに高い値を示したものと思われた。

軽量コンクリートは、イソマツ生育基盤及びミズガンピ生育基盤に比較して比重は小さく、また間隙率及び吸水率及び腰水高も低い値を示していた。このコンクリートも内部に孔隙があるため比較的比重が小さく軽量化されているが、構成材質が発泡性コンクリートに比べて硬く密であるため、間隙率、吸水率及び腰水高ともに小さい値を示した。

隆起珊瑚石灰岩（軟質、半硬質、硬質）においては、いずれもイソマツ生育基盤、ミズガンピ生育基盤に比較して比重は大きく、間隙率、吸水率及び腰水高は小さい値を示した。また、軟質の石灰岩は、他の石灰岩に比較して間隙率吸水率及び腰水高は比較的高い傾向にあった。

本研究における調査では、イソマツ、ミズガンピの生育している基盤は他の基盤よりも高い腰水高を示していた。そのことは岩石中の毛管孔隙がかなり発達しているか、または集積している土砂が着色水の移動に何らかの作用を与えているものと推察された。

4.5 生育基盤の解析と人工基盤の選定

イソマツ、ミズガンピ等の根系調査、さらには、それらが生育している基盤の物理的構造特性を分析した結果、塩生植物のような耐塩類の機能を持った植物の岩礁地での生育基盤として、孔隙率16%以上、吸水率7%以上、腰水高14cm以上、かつ、孔隙中には土砂が集積しているものが最も理想的な基盤であると判断された。以上のことを考慮した上で、海岸地帯の緑化の際に植物の生育基盤となり得る以下の5つの人工基盤を選定した。

① コンクリートブロック（海砂封入）

イソマツ、ミズガンピの生育基盤と、比重、孔隙率及び吸水率が似ていること。

植物体の固着のために海砂を利用する。

② コンクリートブロック（バラス注）封入）

イソマツ、ミズガンピの生育基盤と、比重、孔隙率及び吸水率が似ていること。

植物体の固着のためにバラスを利用する。

③ 発泡性コンクリート

イソマツ、ミズガンピの生育基盤より、比重、腰水高は小さいが、孔隙率、吸水率がかなり高いこと。

④ 隆起珊瑚石灰岩（軟質）

イソマツ、ミズガンピの生育基盤と、比重、孔隙率、吸水率が似ていること。

⑤ 隆起珊瑚石灰岩（半硬質）

上記よりもやや硬質であること。

注) バラス：隆起珊瑚石灰岩を粉碎したものの総称



写真-4・1 採取したサンプル NO. 1 (イソマツ)



写真-4・2 断面の根の生育状況

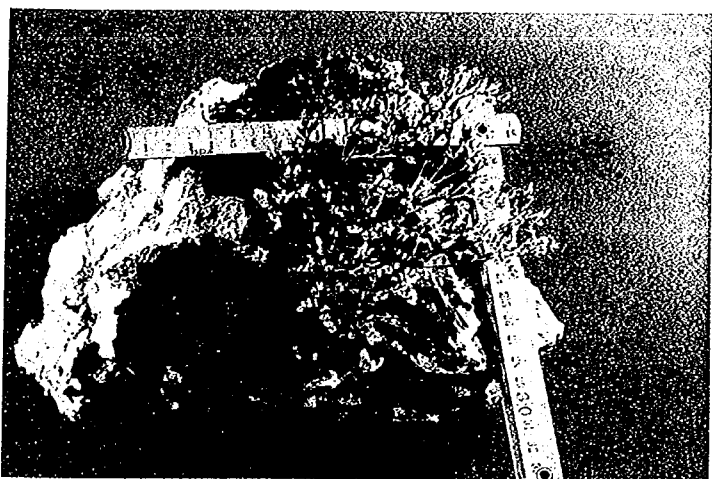


写真-4・3 採取したサンプル・NO. 2 (イソマツ)



写真-4・4 断面の根の生育状況

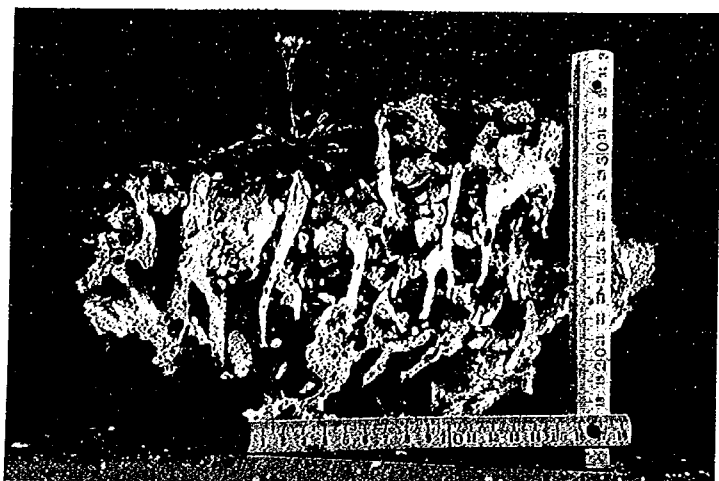


写真-4・5 サンプルNO. 3 (イソマツ)
を中心から縦に切斷



写真-4・6 断面の根の生育状況

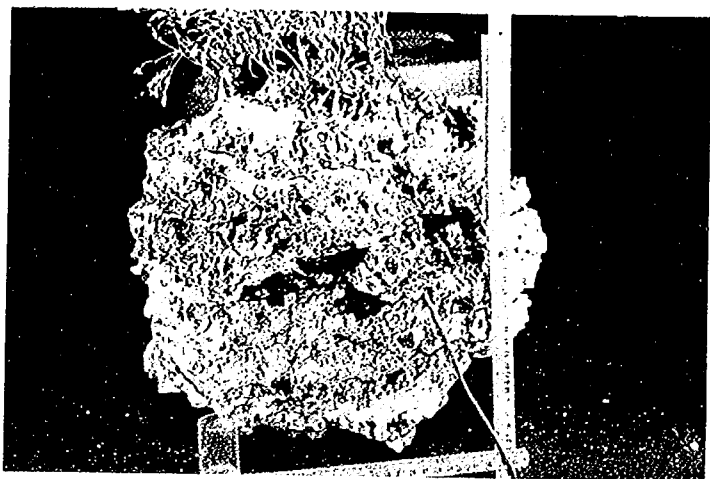


写真-4・7 採取したサンプル NO. 4 (イソマツ)



写真-4・8 断面の根の生育状況

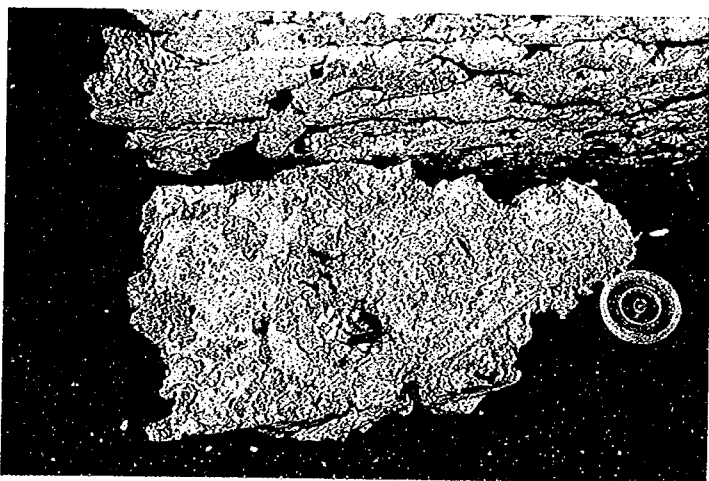


写真-4・9 断面の根の生育状況

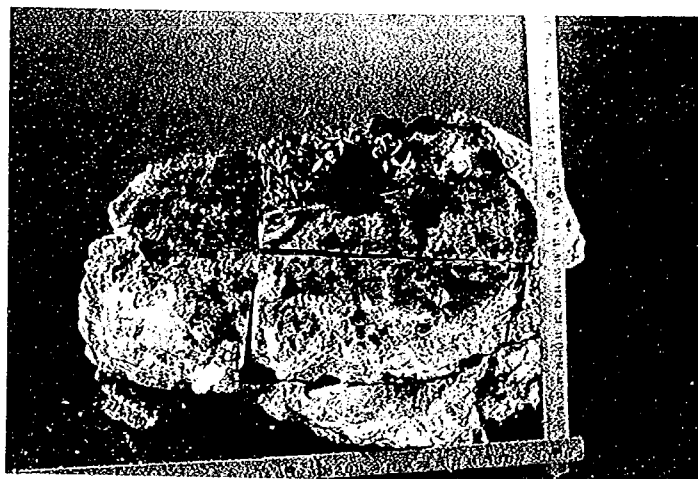


写真-4・10 採取したサンプル NO. 5 (ミズガンピ)



写真-4・11 断面の根の生育状況

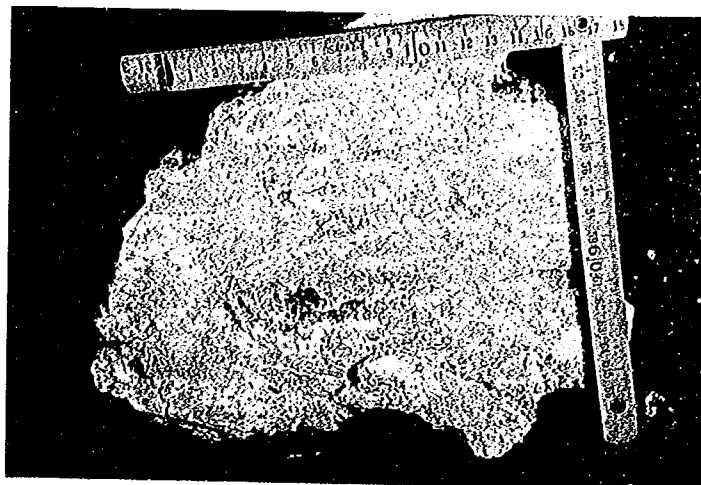


写真-4・12 断面の根の生育状況



写真-4・13 採取したサンプルNO. 6 (ミズガンビ)



写真-4・14 土砂の堆積と細根の広がり

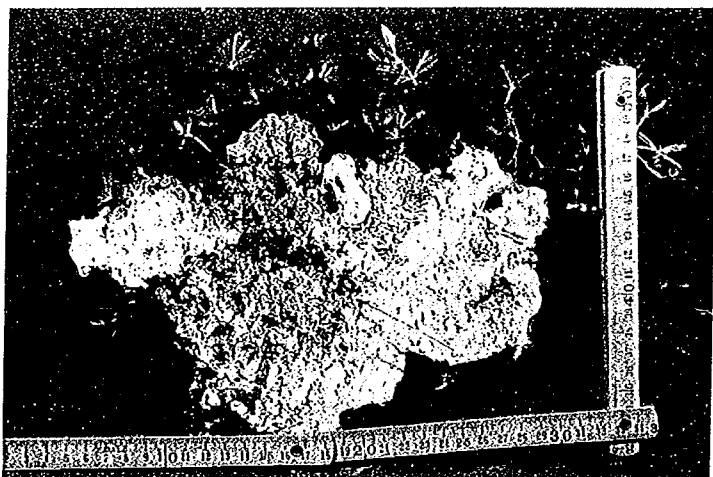


写真-4・15 断面の根の生育状況

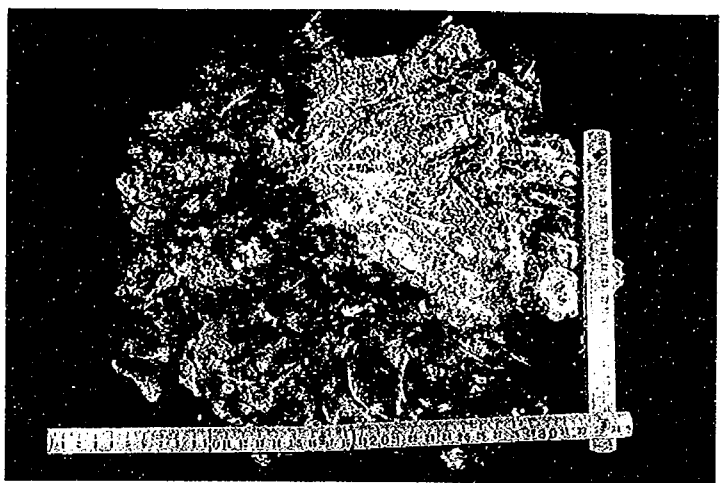


写真-4・16 断面の根の生育状況



写真-4・17 断面の根の生育状況



写真-4・18 採取したサンプルNO. 7 (ミズガンビ)

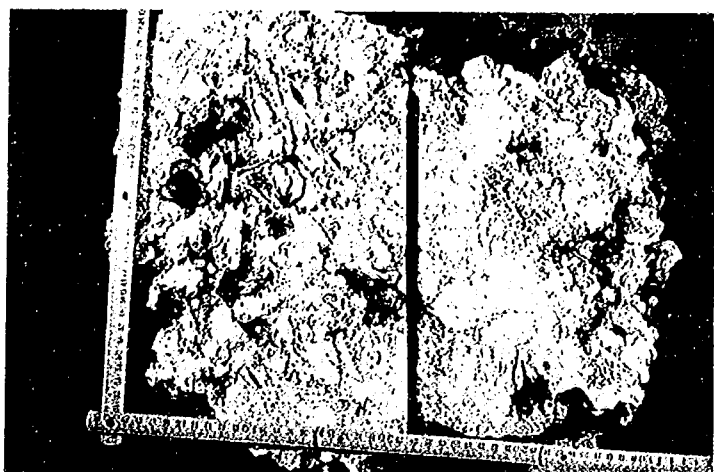


写真-4・19 断面の根の生育状況



写真-4・20 断面の根の生育状況



写真-4・21 断面の根の生育状況

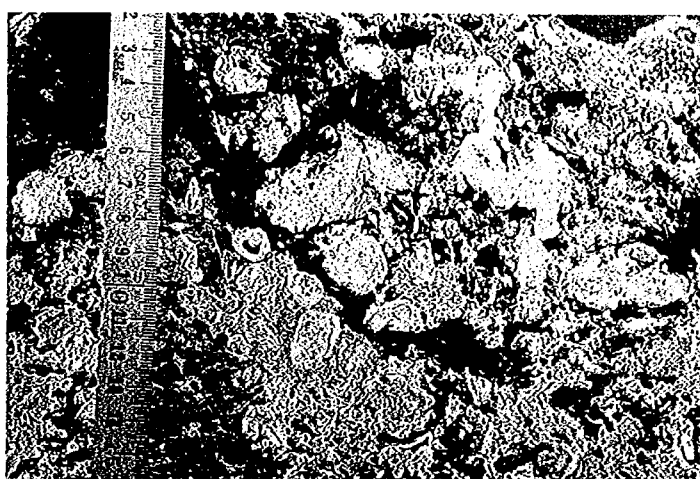


写真-4・22 断面の根の生育状況



写真-4・23 採取したサンプル NO. 8 (ミズガンピ)

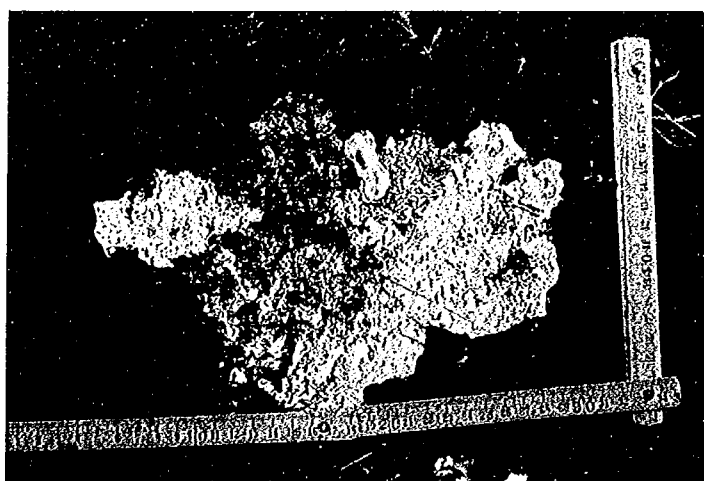


写真-4・24 断面の根の生育状況



写真-4・25 砂地に生育するイソマツ

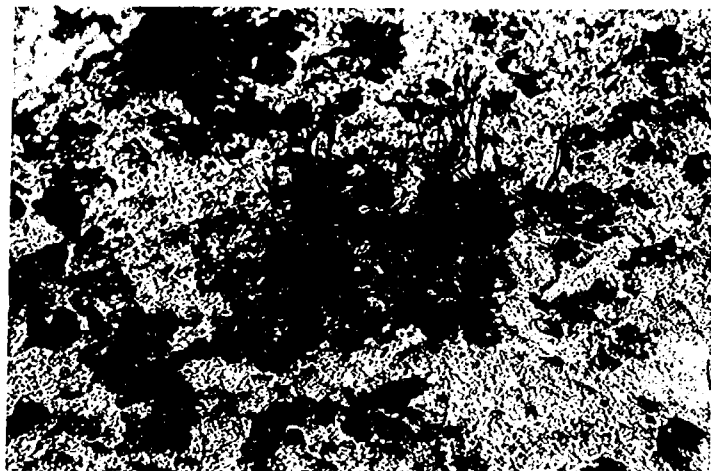


写真-4・26 岩礫地に生育するイソマツ

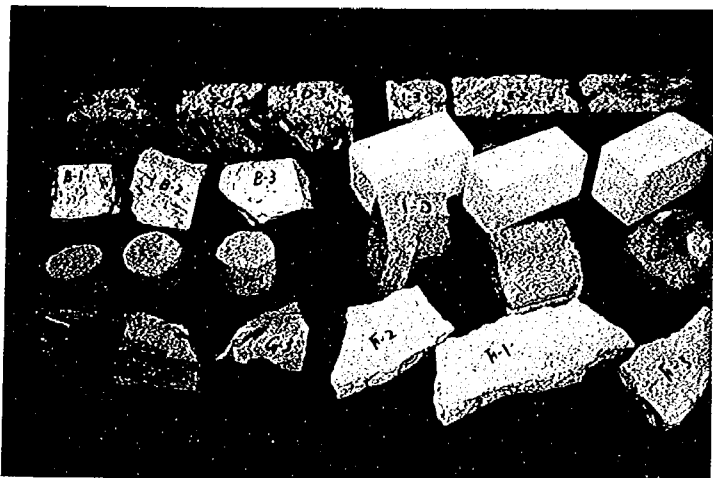


写真-4・27 各種基盤のサンプル
 (左上→左下) ミズガンビ生育基盤、隆起珊瑚石灰岩(軟質)
 軽量コンクリート、隆起珊瑚石灰岩(半硬質)
 (右上→右下) イソマツ生育基盤、発泡性コンクリート
 コンクリートブロック、隆起珊瑚石灰岩(硬質)



写真-4・28 左から、イソマツ生育基盤、ミズガンビ
 生育基盤のサンプル



写真-4・29 左からミズガンビ生育基盤、隆起珊瑚
 石灰岩(軟質)、同(半硬質)
 イソマツ生育基盤
 (矢印のついた直線は、試験当初の水面位置)

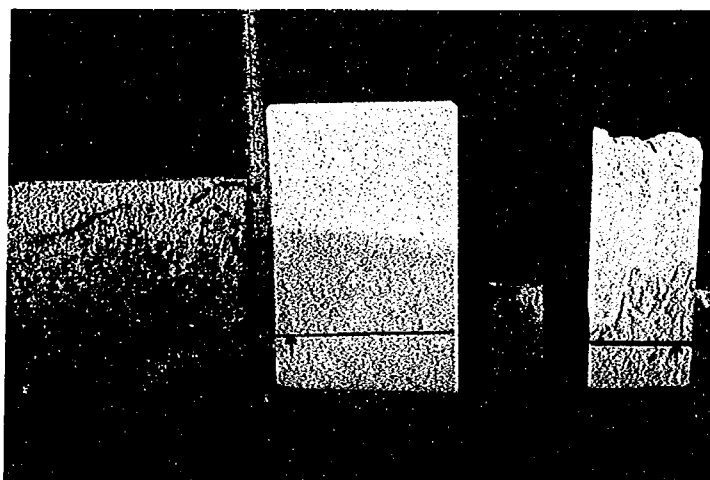


写真-4・30 左から、コンクリートブロック、発泡性
 コンクリート、軽量コンクリート、隆起
 珊瑚石灰岩(硬質)
 (矢印のついた直線は、試験当初の水面位置)

5 塩生植物の生育試験

2章で選定した緑化有望種である塩生植物について、人工生育基盤を用いての屋内及び屋外での生育試験を実施し、その結果をとりまとめた。

5.1 屋内生育試験

本生育試験では、6種類の人工生育基盤を用いて塩生植物を栽培し、各植物に適した人工基盤の特性を調査するとともに、灌水条件（腰水・灌水別）及び海水濃度の生育条件を変え、各植物の生育状況の違いを調査した。

5.1.1 試験方法

1) 供試植物

供試植物は、海岸地帯の緑化植物として有望な種類である以下の3種類の植物を用いた。

- ・イソマツ（発芽苗及び小苗）
- ・ミズガンピ（実生苗及び小苗）
- ・ヤエヤマヒルギ（胎性種子の発芽発根済みのもの）

2) 人工生育基盤

4章で調査検討した生育基盤の必要条件から、上記の植物が生育可能であると思われる以下の6種類の人工基盤について生育試験を実施した（写真－5・1，2，3，4，5，6）。

- A：コンクリートブロック（海砂を封入） 植物体の固着のために海砂を利用。
- B：コンクリートブロック（バラスを封入） 植物体の固着のためにバラスを利用。
- C：発泡性コンクリート（H10cm×W15cm×L25cm）
- D：隆起珊瑚石灰岩（軟質、H15cm×W15cm×L25cm）
- E：隆起珊瑚石灰岩（半硬質、直径約30cmの岩塊）
- F：バラス球（バラス（約5cm角）をコンクリートで球状に固めたもの（直径約15cm））

なお、C、D、Eの各基盤には電気ドリルを用い、供試植物が埋め込めるような大きさの穴を開け、海砂を用いて植え込んだ。また、コンクリートブロックは、底の部分をモルタルでふさぎ小さな排水穴を数カ所開けた（写真－5・7）。

3) 試験区の設定

腰水試験区と灌水試験区の2つを設定し、各々の試験区について4種類の濃度の海水を用いて以下の条件で試験を行った(写真-5・8, 9)。

人工基盤の種数	: 6種類
各基盤における供試植物種数	: 3個体
腰水試験区	: 腰水に用いる海水濃度(0%, 25%, 50%, 100%)
灌水試験区	: 灌水に用いる海水濃度(0%, 25%, 50%, 100%)

なお、腰水試験区での水位は、植え付けた植物の根が毛管水で湿る程度とした。また、灌水試験区では、植え付けた植物の根が乾燥しないよう、1日に2回以上の灌水を行った。

これらの条件のもとで約3カ月間栽培した後、各植物の生育状態と根の伸張状況について調査を行った。

5.1.2 結果及び考察

各試験区における生育試験の結果は、表-5・1に示すとおりである。

1) 海水濃度の違いによる生育状況

海水濃度の違いにおける各植物の生育状況には、大きな違いは見られなかった。植え付け後約1カ月程の間は、若干の落葉及び葉枯れ等が生じたが、これは植え傷みによるものと思われ、海水0%区を含む各濃度区で見られた。特に、ミズガンピ区で落葉が顕著であったが、葉の褐変などはほとんど生じていないことから、本種が木本植物で葉の枚数も多いため、植え傷みに敏感に反応したのではないかと考えられた。

落葉後は、各海水濃度区とも健全に生育しており、新芽の展開、落葉頻度及び根の生育状態にも、各濃度区間で大きな違いは見られなかった(写真-5・10)。

このことから、今回の試験に使用した各塩生植物は、淡水中でも十分に生育することができ、むしろ海水に対する高い適応性を備えた植物であると見なすことができた。

2) 腰水及び灌水の違いによる生育状況

各植物とも、灌水区に比べ腰水区の方が良好な生育状態を示した。特に、発芽して間もない幼苗を利用したミズガンピ区では、灌水区では枯死株が多数生じた(写真-5・11)。これは、生育基盤の種類とも大きな関係にあり、保水力の比較的悪い基盤では、1日に2回の灌水を行っても乾燥状態になりやすく、根の弱い小苗が枯死する結果となった。また、ヤエヤマヒルギも乾燥による影響を強く受け、灌水区では生育状態の悪い個体が多かった(写真-5・12)。逆に、腰水区では、根の腐敗等もほとんど見られず、各植物とも葉の色つやも良く健全な生育状態を示した(写真-5・13, 14)。

表-5・1 各試験区における生育状況

イソマツ
腰水試験区

区 分	0%				25%				50%				100%			
	地上部		根		地上部		根		地上部		根		地上部		根	
	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月
コンクリートブロック（海砂封入）	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1
コンクリートブロック（バラス封入）	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
発泡性コンクリート	2	3	3	4	1	2	4	4	2	5	4	5	2	2	3	4
隆起珊瑚石灰岩（軟質）	0	1	2	3	0	0	2	2	1	1	2	2	1	2	2	3
隆起珊瑚石灰岩（半硬質）	1	1	3	4	1	2	3	3	1	2	3	4	2	2	4	4
バラス球	3	3	3	4	3	2	4	4	3	3	3	4	3	4	4	4

灌水試験区

区 分	0%				25%				50%				100%			
	地上部		根		地上部		根		地上部		根		地上部		根	
	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月
コンクリートブロック（海砂封入）	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	3	2	2	2	2
コンクリートブロック（バラス封入）	1	2	2	4	1	2	3	3	2	3	3	4	1	3	3	4
発泡性コンクリート	4	4	3	3	4	5	4	5	3	3	3	4	4	4	4	4
隆起珊瑚石灰岩（軟質）	2	3	3	4	2	2	3	4	3	5	3	5	2	3	3	4
隆起珊瑚石灰岩（半硬質）	3	5	3	5	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	4
バラス球	4	5	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	5	3	5

ミズガンビ
腰水試験区

区 分	0%				25%				50%				100%			
	地上部		根		地上部		根		地上部		根		地上部		根	
	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月
コンクリートブロック（海砂封入）	1	0	1	0	1	0	1	1	2	1	1	1	2	0	1	0
コンクリートブロック（バラス封入）	2	0	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
発泡性コンクリート	2	2	2	3	2	3	2	4	3	3	3	4	3	3	3	4
隆起珊瑚石灰岩（軟質）	2	1	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2
隆起珊瑚石灰岩（半硬質）	3	2	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	2	4	3	4
バラス球	4	5	4	4	4	5	4	5	3	4	4	4	4	5	4	5

灌水試験区

区 分	0%				25%				50%				100%			
	地上部		根		地上部		根		地上部		根		地上部		根	
	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月
コンクリートブロック（海砂封入）	1	3	2	1	1	4	2	1	2	2	2	2	1	3	2	2
コンクリートブロック（バラス封入）	2	3	2	3	3	3	3	3	3	5	3	4	3	4	3	4
発泡性コンクリート	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4
隆起珊瑚石灰岩（軟質）	3	3	4	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
隆起珊瑚石灰岩（半硬質）	3	4	4	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	5
バラス球	4	4	4	5	4	5	4	5	5	5	4	5	4	4	4	5

ヤエヤマヒルギ

灌水試験区

区 分	0%				25%				50%				100%			
	地上部		根		地上部		根		地上部		根		地上部		根	
	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月
コンクリートブロック（海砂封入）	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0	1	0	2	0	1	0
コンクリートブロック（バラス封入）	1	1	2	1	1	0	1	3	1	2	1	2	1	1	3	1
発泡性コンクリート	3	1	4	3	3	2	4	3	4	3	4	4	3	3	4	3
隆起珊瑚石灰岩（軟質）	3	3	2	1	3	4	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2
隆起珊瑚石灰岩（半硬質）	3	2	4	3	3	3	4	4	3	2	3	2	3	3	3	3
バラス球	3	3	4	4	2	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4

灌水試験区

区 分	0%				25%				50%				100%			
	地上部		根		地上部		根		地上部		根		地上部		根	
	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月	1ヵ月	3ヵ月
コンクリートブロック（海砂封入）	1	2	3	3	2	2	3	2	3	2	3	2	2	2	3	3
コンクリートブロック（バラス封入）	4	4	3	4	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
発泡性コンクリート	3	4	4	4	3	3	3	3	4	4	3	4	4	5	4	5
隆起珊瑚石灰岩（軟質）	1	3	4	5	3	2	4	4	2	2	3	5	2	3	3	3
隆起珊瑚石灰岩（半硬質）	4	3	3	4	3	3	3	3	4	5	4	4	4	4	3	4
バラス球	4	5	4	5	4	4	3	4	4	5	4	5	4	5	4	5

地上部の状態

- 0：良好（葉枯れ及び枝枯れともになし）
 1：回復可能な若干の葉のしおれ及び葉面積の50%以下の葉枯れ
 2：葉面積の50%を超える葉枯れ及び枝先の枯れ込み
 3：全体葉量の50%未満の落葉
 4：全体葉量の50%以上の落葉
 5：地上部が枯死

根の状態

- 0：良好（健全な新根の伸長及び細根の十分な発生）
 1：新根の発生は見られるが細根の発生が不十分
 2：細根部に枯死がみられる
 3：主根の先端部及び細根が部分的に枯死
 4：根の伸長が見られず細根がほとんど枯死
 5：主根が枯死

調査時期

- 1回目：植栽1ヵ月後（一部の個体を掘下げて調査）
 2回目：植栽3ヵ月後（全ての個体を掘下げて調査）

3) 人工基盤の違いによる生育状況

(1) コンクリートブロック (海砂封入)

今回の試験に用いた人工基盤のうち、最も生育状態が良かったものはコンクリートブロック (海砂封入) であった。特に、自然状態でも水分が多い場所に生育しているヤエヤマヒルギでは、他の区に比較して細根が多数発生し根量ともに多く良好な状態であった (写真-5・15)。またイソマツ、ミズガンピでも、コンクリートブロック (海砂封入) が他の区に比べ根の伸張状況が良く、落葉数も幾分少な目であった。

実際の植栽では、さらに大きなコンテナ状の植栽槽をつくり、内部に海砂だけでなく粘土、堆肥等を混合することで、より適切な人工生育基盤が開発できる可能性があると思われた。

(2) コンクリートブロック (バラス封入)

次に生育状態が良かったものは、コンクリートブロックにバラスを封入したものであった。本基盤では、ミズガンピの生育状態が最も良く、次いでイソマツ、ヤエヤマヒルギの順であった。ミズガンピの根では、海砂に比べ細根の分岐が少なく、太い根の伸張が顕著であった (写真-5・16)。またイソマツ、ヤエヤマヒルギについても同様の結果となった。隆起珊瑚石灰岩のバラスの場合、灌水区ではやや乾燥気味となり、イソマツの葉に軽度のしおれが生じることがあった。

本基盤の有用性については、コンクリートブロック (海砂封入) と同様であり、植物の種類によって封入する土壌の種類を考慮する必要があると推察された。

(3) 発泡性コンクリート

本基盤は、比重が小さく内部には無数の孔隙が存在していた。しかし、これらの孔隙は非常に小さく連結状態もあまり良くないため、内部への根の伸張は各植物とも悪かった (写真-5・17)。また灌水区では、各基盤の中で灌水後の乾燥が最も早く、ミズガンピの幼植物及びヤエヤマヒルギで枯死株が生じたほか (写真-5・18)、イソマツでも葉のしおれが頻繁に見られた。これは基盤の全ての面に無数の孔隙が開孔しているために、内部の水分の蒸散が激しいことによるものと思われた。

(4) 隆起珊瑚石灰岩 (軟質)

軟質の隆起珊瑚石灰岩は、自然状態のイソマツ及びミズガンピの生育基盤であり、内部には土壌の蓄積も若干見られた。本基盤では、イソマツ及びミズガンピの生育状況は比較的良好であったが、生育によって多くの水分を必要とするヤエヤマヒルギの生育状態はあまり良好ではなかった。また、灌水区ではどの植物も乾燥気味となり、根の伸張状態も細根が少なくあまり良好ではなかった (写真-5・19)。本基盤は生育基盤調査で吸水性が高い基盤であったが、小塊で存在すると保水力が低下し乾燥程度が高くなるものと思われた。本来、自然状況では、本基盤は大きな岩盤として存在するため、保水力及び岩中からの水分供給といった点でも、植物が生育するのにさらに良好な状態にあるものと思われた。

このような基盤の特性から、大型の植栽槽等を使用した大きなバラスの状態で利用すると、植え込み材料の一つとして比較的有用であると思われた。

(5) 隆起珊瑚石灰岩 (半硬質)

本基盤は、内陸部の採石場から切り出された石で、軟質の石灰岩に比較してやや硬質であり内部の空隙数も少ない。しかし、空隙は多少なりとも互いに連結しており、比較的大きな空隙内には土壌の堆積も見られ、植物が生育できる条件は備えているものと思われた。本基盤への植栽は、電動ドリルを用いて基盤上に穴を開けて行ったため、ミズガンビは発芽後間もない幼植物を使用し、イソマツも比較的小さな株を利用した。

腰水区では、各植物とも比較的生育状態は良好であったが、根系の発達状態が悪く細根数が少なかった(写真-5・20)。特に灌水区では、ミズガンビの幼植物とヤエヤマヒルギに数本の枯死株が生じた。これは、基盤の内部に硬質部分が多く保水力が小さいために、より多くの水分を必要とする両植物に対して乾燥による被害が現れたものと思われた。

このように、同じ隆起珊瑚石灰岩であってもその質により、植物の生育状態には大きな差が生じることが明らかとなった。

(6) パラス球

パラス球は、5 cm前後のパラスをコンクリートで直径15 cm程の球状に固めたもので、河川等に沈めコンクリート球内の空隙に有用なバクテリア等を繁殖させ、水質の改善を図ることを目的として製作されたものである。材料に用いられているパラスが比較的大きいため内部の空隙が大きく、吸水性及び保水力に乏しい。このため、灌水区では乾燥が激しくミズガンビの幼苗がほとんど枯死した(写真-5・21)。また、空隙が大きいため、根が空気中に露出しやすく細根の発生も悪く乾燥による枯死根も見られ伸長状態は不良であった(写真-5・22)。

本基盤は、単独で使用するのではなく海岸部の造成地等に広く層状に敷き詰め、空隙内に自然の土壌の堆積を促すことで有効な生育基盤となる可能性がある。特に、冠水する場所でのヤエヤマヒルギ等の植栽に利用できるものと思われた。今後、屋外での比較的大規模の大きな生育試験が必要である。

5.2 屋外生育試験

本生育試験は、実際に現地において将来的に緑化の必要性が高まるとされる海岸地帯の汀線部で緑化有望種を植栽し、調査を実施した。

供試植物はプラスチック製の鉢に3種類の異なった植え込み材料を用いて植え込み、中潮の干潮時に各々の鉢の冠水程度が異なるように海岸に設置し、植え込み材料と冠水程度の違いによる生育状況を調査した。

また、海岸に鉢を設置した場所と同じ位置に、供試植物を直接海岸に植栽し、鉢植え植物の生育状況との比較を試みた。

さらに、本生育試験では植え込みの終わった鉢の上部を薄いモルタルで覆い、植物に対するモルタルの影響を調査した。

5.2.1 試験方法

1) 供試植物

供試植物は、屋内での生育試験と同様に、以下の植物を用いた。

- ・ミズガンピ（高さ30cmの小苗）
- ・イソマツ（1年から2年生の野外採集株）
- ・ヤエヤマヒルギ（発芽した胎生種子）

2) 植え込み材料の種類

植え込み材料は、海砂、コーラル注¹（直径10cm程度）、サゴの遺骸（直径3～5cm程度）の3種類を用い、内径約40cmのプラスチック製の鉢に植え込んだ。また、各鉢とも植え込みの際に、投入材料の約3分の1に当たる量の堆肥を混合した。

植え込み後は、鉢内の植え込み材料が波により流失しないよう直ちに鉢の上部をモルタルで薄く覆い、表面に複数の排水孔を開けた。また植え込み植物の地際の周囲は、若干の隙間を持たせた（写真－5・23，24，25，26）。

3) 設置場所

植え込みを完了した鉢は、以下の潮位帯に設置した（写真－5・27，28，29）。

植栽地A：満潮時（中潮）でも鉢が冠水しない場所

植栽地B：満潮時（中潮）には植物体全部が海中に水没する場所

注) コーラル：隆起珊瑚石灰岩を粉砕したもので、石垣等の石材、コンクリートの骨材等に利用される。

4) 試験区

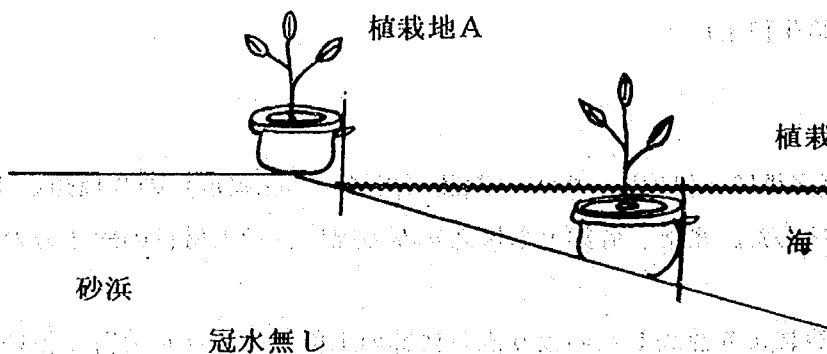
試験区は表-5・2に示すとおりであり、植え込み材料ごとに設定した。

表-5・2 屋外生育試験の試験区

植え込み材料の種類	設置場所
砂	冠水有り；冠水無し
コーラル	冠水有り；冠水無し
サコ* 遺骸	冠水有り；冠水無し

なお、各試験区の鉢数は1鉢とし、植え込み本数は、イソマツで8本／鉢、ミズガンピで1本／鉢、ヤエヤマヒルギで3本／鉢とした。

<植栽状況図>



5) 直接植栽

鉢を設置したのと同じ場所の砂礫質の砂浜に、供試植物（イソマツ、ミズガンピ、ヤエヤマヒルギ）を直接植栽した。なお、植栽数は各供試植物につき3本とした（写真-5・30, 31）。

5.2.2 結果及び考察

1) 植栽地Aの生育状況

本地点は、満潮時でも植物自体が冠水することではなく、鉢の基部が波に洗われる程度であった。このため、大潮以外の干潮時には、鉢内の植え込み材料がやや乾燥状態となり、海砂に比べ保水力が低いコーラル及びサンゴの遺骸等の植え込み材料で、植栽した各植物に、落葉及び葉のしおれが見られた（写真－5・32）。

一方、海岸に直接植栽した植物は、鉢植え植物に比べ落葉及びしおれの程度は少なく、生育状態も良好であった。これは、海岸部の土壌が、海からの毛管水によって鉢に比べて安定した水分条件を確保しているためと思われた（写真－5・33）。

生育試験を行った場所は、防波堤に囲まれた港内にあり、荒天時でもほとんど波浪の影響を受けない場所であった。しかし、本地点でも、満潮時と荒天が重なった場合は強い波浪の影響を受け、植物とコンクリートの僅かな隙間から鉢内の植え込み材料が流失したり、植物が引き抜かれるなどの被害が生じた（写真－5・34、35）。特に被害が大きかったのは海砂区の鉢で、植え込み材料の3分の1以上が流失した鉢もあった。このような被害は、満潮時に植物が完全に冠水するB地点では見られなかったことから、汀線（波打ち際）近くで植物が冠水しないような場所では、より強い波浪の影響を受けることが明らかとなった。このことは、汀線付近の緑化方法を検討する場合に充分に考慮する必要がある。

2) 植栽地Bの生育状況

本地点は、大潮の満潮時には水深が1 m以上になり、各植物とも満潮を境に約4時間近く完全に海中に冠水する（写真－5・36）。しかし、イソマツ及びヤエヤマヒルギは良好な生育状態を示し、冠水に対する耐性がかかなり高いことが推察された。またミズガンピでは、各植え込み材料とも、完全に枯死する株は見られなかったものの葉枯れ及び落葉が見られ、生育状態はあまり良好ではなかった。このことから、ミズガンピの冠水に対する耐性は、イソマツ、ヤエヤマヒルギに比べてやや弱いように思われた（写真－5・37）。また、本地点では、植栽植物にアオサ等の海草の付着が多く見られた（写真－5・38）。特に、マングローブ類の幼木では、このような海草の付着によって生育が阻害されたり枯死する場合もあることが報告されており、他の植物についても長期的な生育試験では影響が生じる可能性が示唆された。

海岸に直接植栽した植物でも、上記の結果と同様の傾向が見られたが、A地点の植物に比べ全体的に生育状態は良好であった。これは、本地点が頻繁に海水に浸かるため、土壌の水分状態がA地点よりさらに好適な状態であったためと思われた。

このことは、人工的な生育基盤を作る上で、潮の干満による乾燥と湿潤に対する基盤中の水分状態の安定性が、植物の生育にとって一つの重要な要素となることを示唆していた。

鉢内の植え込み材料の流失程度については、どの植え込み材料でもA地点に比べて少ない結果となった。これは、満潮時に鉢が完全に冠水し水中に水没することで、波浪の影響がある程度減少されているためと考察された（写真－5・39）。

今回の屋外生育試験では、鉢が冠水しないA地点の場合は、干潮時に鉢内が乾燥状態になりやすいことと、波浪による被害がより大きかったことから、植栽植物の生育状況は、B地点に比べ全体的に悪い結果となった。また、海岸へ直接植栽した植物では、土壌の水分状態が安定していたことから、A地点及びB地点とも鉢植え植栽に比べて生育状態は良好であった。

しかし、今回の調査では、植栽期間が短くまた冬期であったため植栽植物の生育が十分でなく、植え込み材料の違いによる生育状態の差や、根の伸長状況について詳しい解析を行うことができなかった。

3) モルタルの覆いによる植物への影響

鉢を利用した屋外生育試験では、植え込み材料の波による流失を防ぐために、植栽後直ちに鉢の上部をモルタルで覆った。特に、いくつかの鉢については、植物の周りに全く隙間を開けず、完全にモルタルで覆いをしたが植物自体にモルタルによる被害は見られなかった(写真-5・4.0)。

このことから、特にサンゴ石灰岩等のアルカリ土壌に生育する海浜植物については、コンクリート製品を植え込み材料の一つとして利用したり、植栽掘内の植え込み材料の流失防止に広く利用できる可能性があり、今後これらの新しい植栽材料の開発を行なうとともに、コンクリートが植物に及ぼす影響をさらに詳しく調査する必要があると考察された。

6 まとめ及び今後の課題

6.1 まとめ

岩礁海岸に生育する植物は、単に岩礁地に優先的に生育するのではなく、生育基盤が植物にとって生育できる最低条件が備わっていること、そして、そこに生育できる植物の環境圧に対する耐性が備わっていることによって、初めて劣悪な環境でも生育できるものである。この見地から本研究における調査では、岩礁環境に生育し、しかも海岸地帯の強潮風圧及び波浪に対して耐性のある植物を選抜すべく植生実態調査を実施し、島嶼環境における緑化植物として有望な種を選定した。その後の調査によって、これらの緑化有望種（イソマツ、ミズガンビ等の塩生植物）の生理生態的特性がある程度解明され、塩類に対して十分に適応できる生理活性を有することが明らかとなった。

次に、これらの有望種による緑化の実用化を図るためには、本来自生している生育基盤の機能及び内部の構造を解明し、それによって人工基盤を開発し、生産システムを確立することが必要である。従って、本研究では、これまで開発されている人工基盤を収集し、本来の生育基盤と比較した上で塩生植物の生育可能な基盤条件を明らかにし、利用可能な人工基盤を選出して屋内及び屋外において生育試験を実施した。

その結果、屋内生育試験では、腰水及び灌水の違いにおいて、腰水区の方が良好な生育状態を示しており、逆に灌水区では保水力の悪い人工基盤において枯死する植物体があったことから、人工基盤が適度の水分状態を維持できることが生育条件として重要であると推察された。本試験における腰水区の水分状態は、根が完全に水中に冠水しているのではなく、十分な酸素が供給される状態にあり、同時に常に毛管水が供給される状態であった。このような生育基盤の水分状態は、岩礁海岸で採取した塩生植物の生育基盤の特性と類似するものであり、排水性及び保水性を兼ね備えることが植物の生育上重要な要因であると推察された。

人工基盤の違いによる生育状況については、吸水性の高いコンクリートブロック（海砂封入）が最も生育状態が良かったが、より吸水性の高い発泡性コンクリートは空隙が小さく根の伸長があまり見られなかった。このことから、塩生植物が生育していくためには、根の侵入が可能な空隙があり、その中に土砂、有機物が堆積していることが重要であるといえる。

また、屋外生育試験では、汀線部に設置した植栽地に対して波浪等の影響が少ない植栽地の方が植栽植物の生育状況が比較的良好なことから、植物体を支持し養水分を供給する人工基盤内部の土砂を外的要因（波浪、風雨等）によって流出させない工夫が必要であると推察された。

以上をまとめ、本研究におけるこれまでの各種特性調査、生育基盤調査結果を踏まえた上で判断すると、塩生植物の生育に重要な人工基盤の基盤条件として以下の要件が抽出された。

- ① 排水性及び保水性があること。
- ② 根の侵入が可能な空隙が多数あること。
- ③ 内部の空隙がそれぞれ連結していること。

- ④ 空隙内に土砂、有機物が存在していること。
- ⑤ 波浪、風雨等によって内部の土砂、有機物が流出しないこと。
- ⑥ 空隙内に土砂、有機物が自然に堆積することができること。

6.2 今後の課題

これまでの人工基盤のほとんどは植物の生育基盤として開発されたものではないことから、基盤の孔隙性等の物理的な機能では、自生地 of 生育基盤に近い種類はあるものの、植物が生育するための化学性（養分等）では、その機能を有していない。

従って、今後の人工生育基盤の開発にあたっては、これらの人工基盤の中に、植物が吸収できる養分（土壌、無機質成分、有機質等）をいかに包含することができるかがポイントとなる。一方、人工基盤そのものに植栽し、生育させること以外では、テトラポット等の人工構造物のわずかな隙間に海砂及び浮遊物等が蓄積することによって、多くの海浜性植物が生育できることが現地事例によってわかっている。

このように人工基盤の開発には、人工基盤そのものに土壌、有機物を予め混入し、直ちに植物が生育できる状態にする方法と、支持体としての人工基盤に土砂、有機物等が集積しやすくし、あるいは、人為的に投入して植栽する方法（コンテナ栽培方法）がある。後者の場合は、基盤の構造を変えるだけで、容易に緑化できるものと思われ、今後屋外試験を実施して実用化を図る必要がある。

また、植物が直接生育できる人工基盤については、今後更に検討が必要であるが、当面、植物の育成に適した人工基盤を試験的に開発し、屋外試験を実施することにより基礎的なデータを蓄積し、今後の人工基盤開発に資するよう有効な緑化方法について検討を重ねる必要がある。

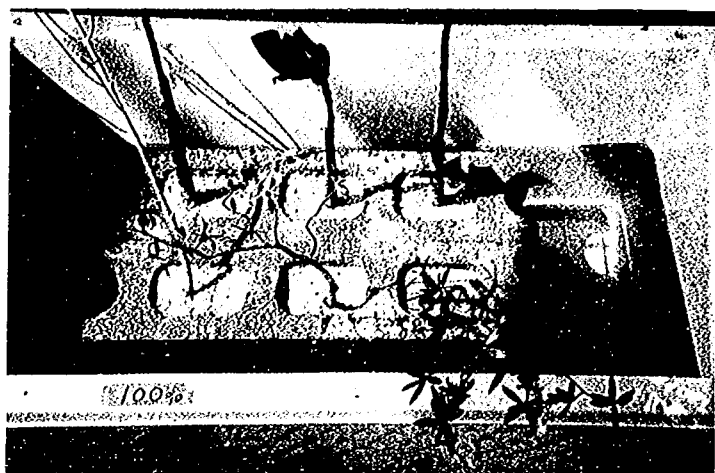


写真-5・1 コンクリートブロック（海砂封入）

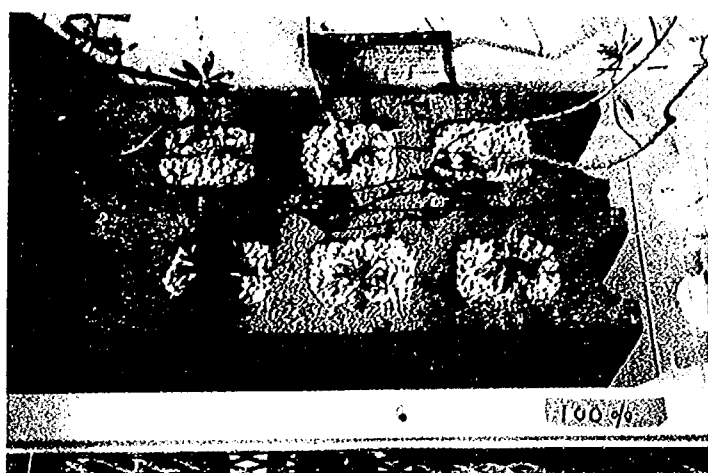


写真-5・2 コンクリートブロック（バラス封入）

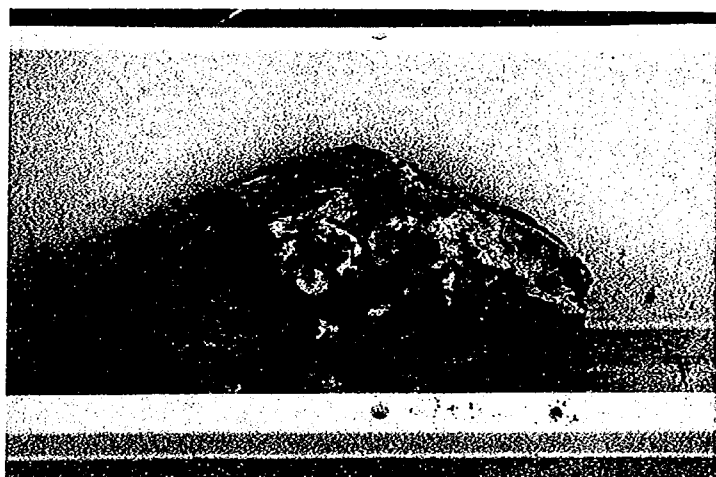


写真-5・3 隆起珊瑚石灰岩（軟質）



写真-5・4 隆起珊瑚石灰岩（半硬質）

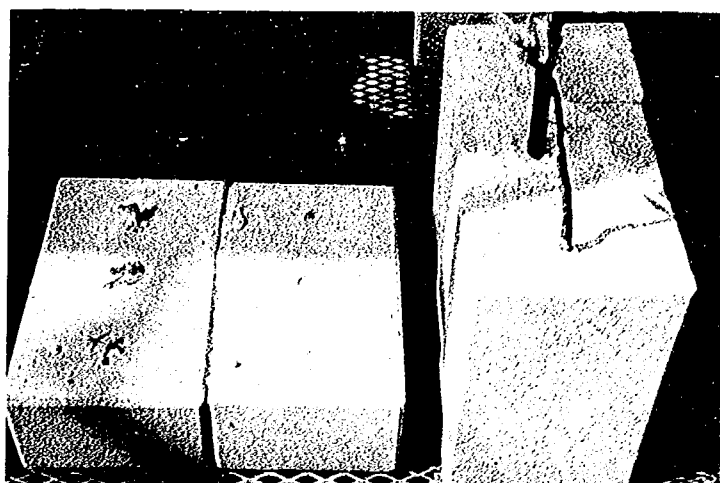


写真-5・5 発泡性コンクリート



写真-5・6 コンクリートバラス球

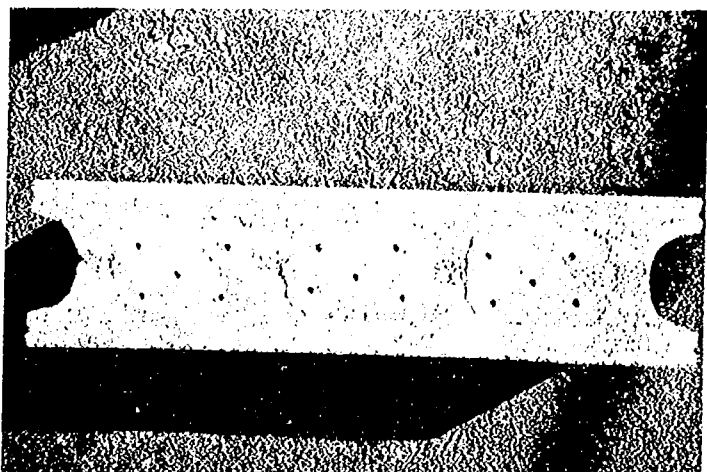


写真-5・7 コンクリートブロックの底面

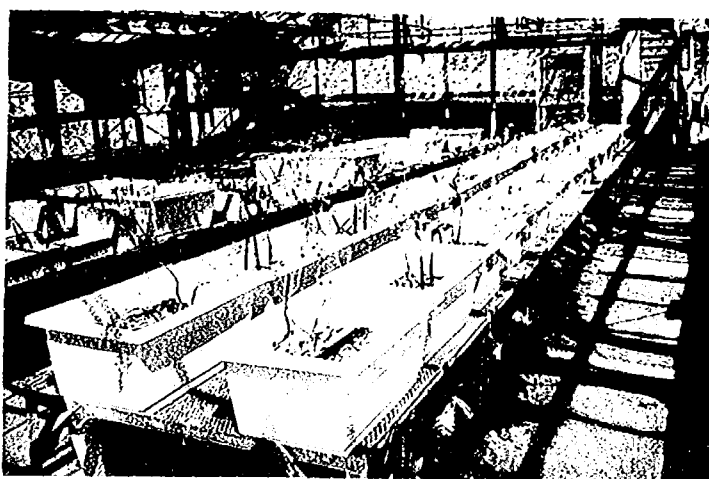


写真-5・8 腰水試験区



写真-5・9 灌水試験区

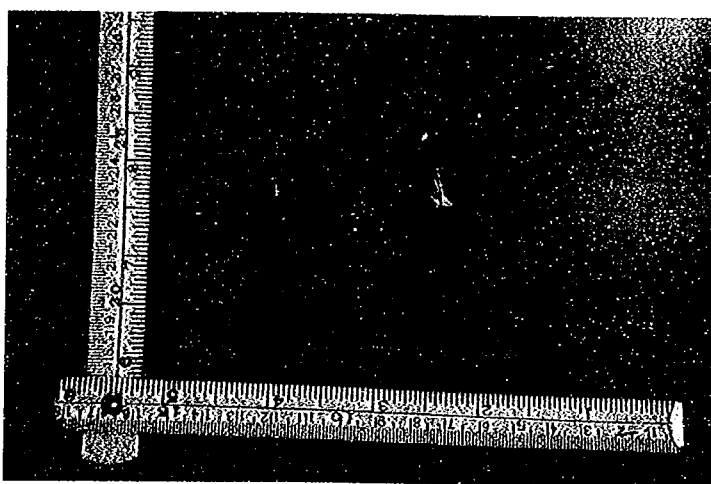


写真-5・10 腰水区（コンクリートブロック（海砂封入））
の根の状況（イソマツ）
（右：0%区，左100%区）

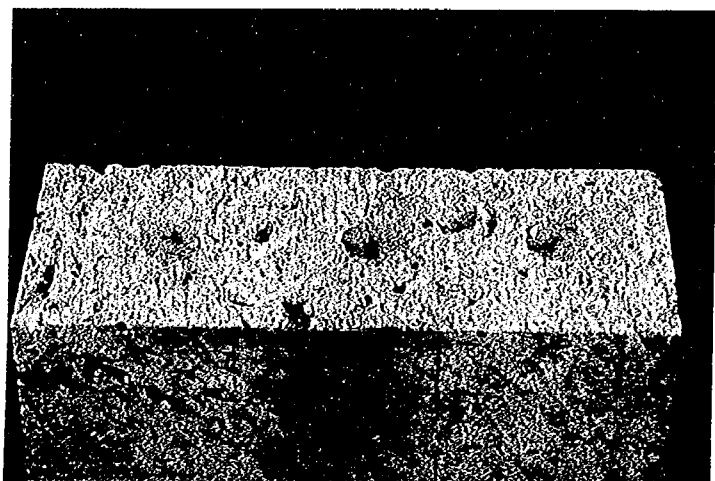
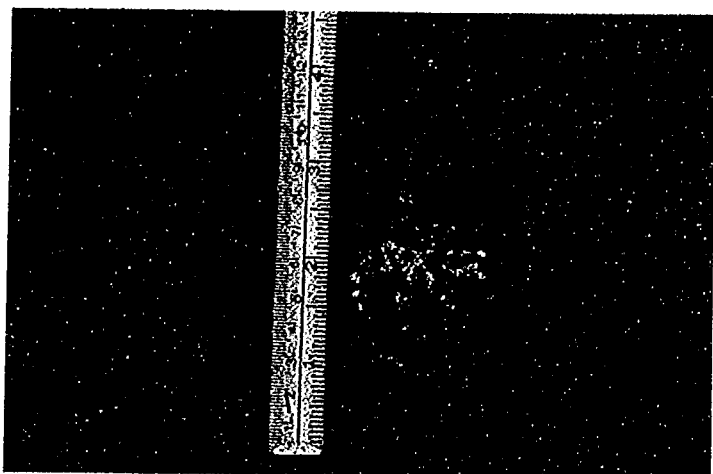


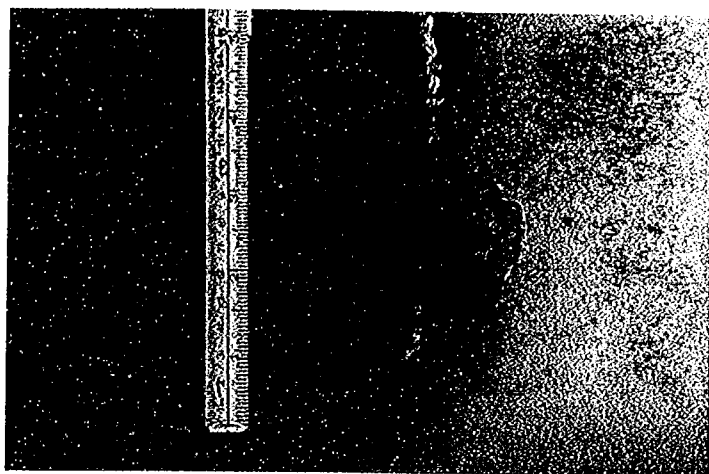
写真-5・11 灌水区（隆起珊瑚石灰岩（半硬質））
のミズガンビの枯死状況



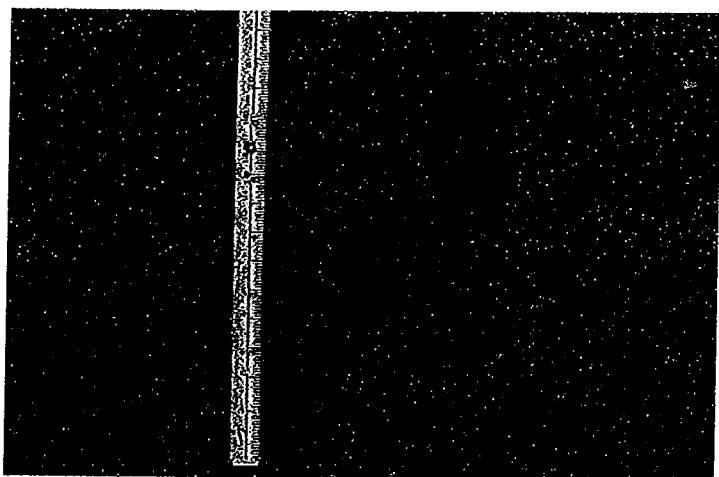
写真-5・12 灌水区（コンクリートブロック（海砂封入））
のヤエヤマヒルギの生育状況



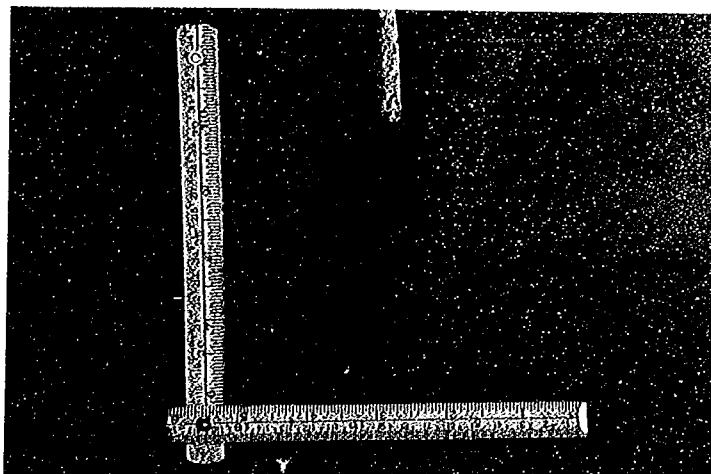
写真一五・一三 腰水区（コンクリートブロック（海砂封入））
のイソマツの根の状況



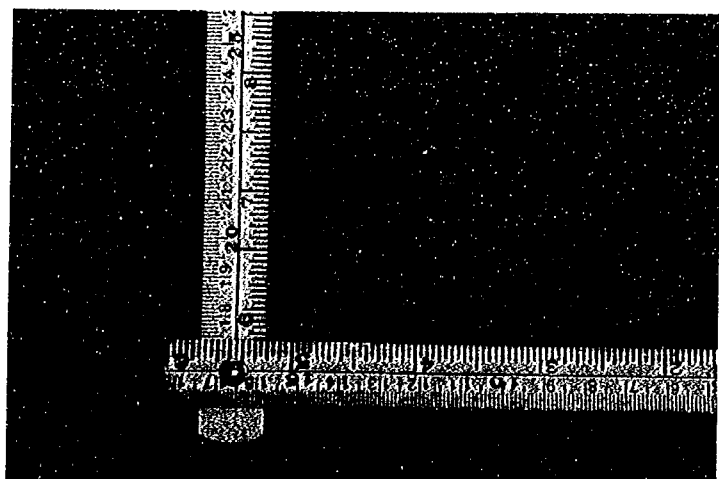
写真一五・一四 腰水区（コンクリートブロック（海砂封入））
のミズガンピの根の状況



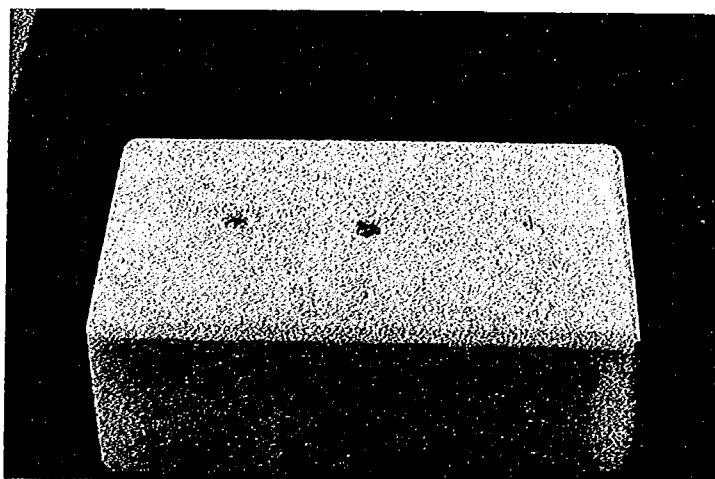
写真一五・一五 腰水区（コンクリートブロック（海砂封入））
のヤエヤマヒルギの根の状況



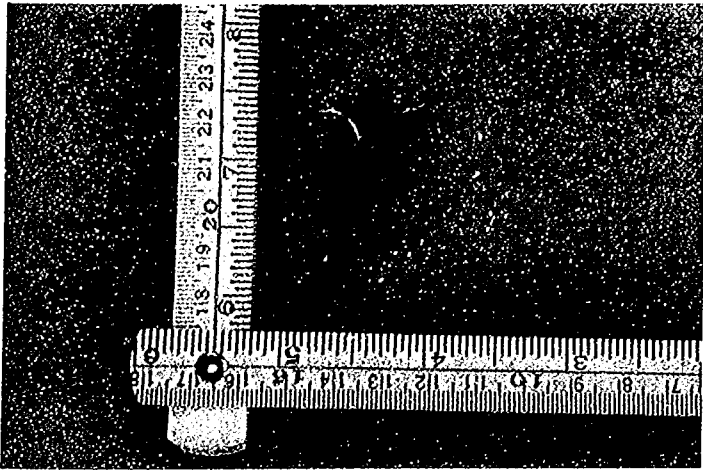
写真一五・一六 腰水区（コンクリートブロック（バラス封入））
のヤエヤマヒルギの根の状況



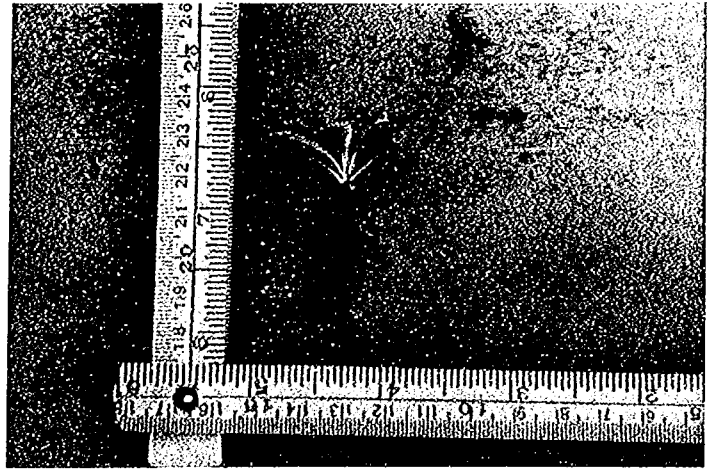
写真一五・一七 腰水区（発泡性コンクリート）
のミズガンピの根の状況



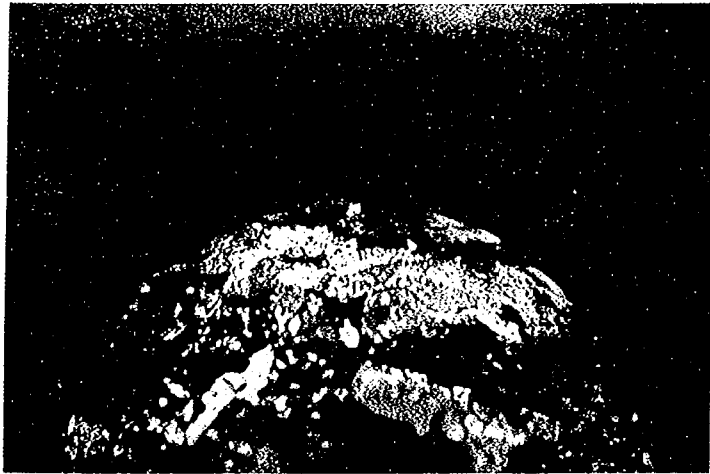
写真一五・一八 灌水区（発泡性コンクリート）
のミズガンピの枯死状況



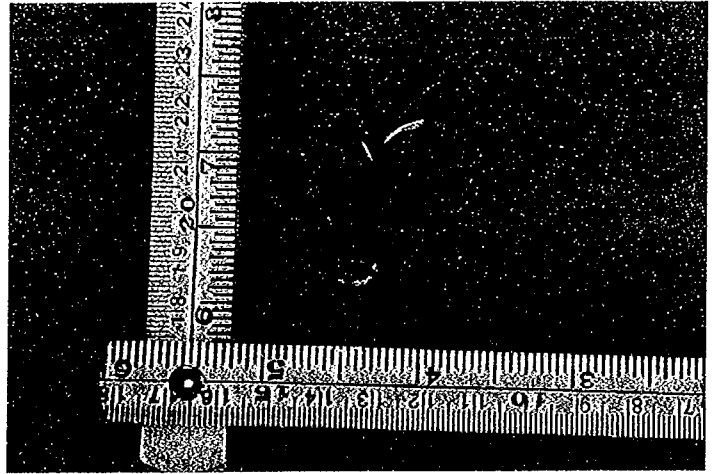
写真一五・一九 灌水区（隆起珊瑚石灰岩（軟質））
のイソマツの根の状況



写真一五・二〇 腰水区（隆起珊瑚石灰岩（半硬質））
のイソマツの根の状況



写真一五・二一 灌水区（バラス球）
のミズガンビの枯死状況



写真一五・二二 灌水区（バラス球）
のイソマツの根の状況



写真一五・二三 海砂区の植え込み状況



写真一五・二四 コーラル区の植え込み状況

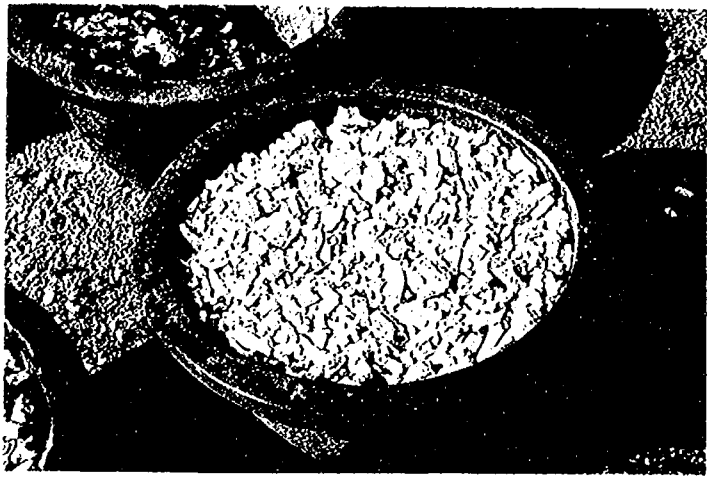


写真-5・25 サンゴ遺骸区の植え込み状況



写真-5・26 モルタルの設置状況

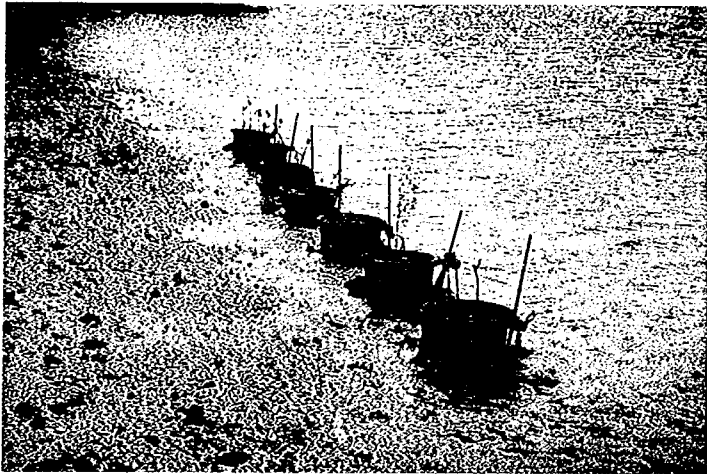


写真-5・27 植栽地Aの状況（中潮満潮時）

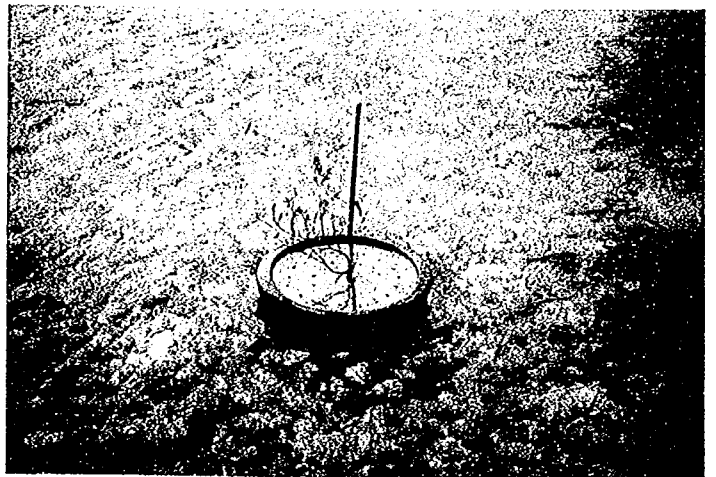


写真-5・28 植栽地Bの状況（中潮満潮時）



写真-5・29 植栽状況（全体）

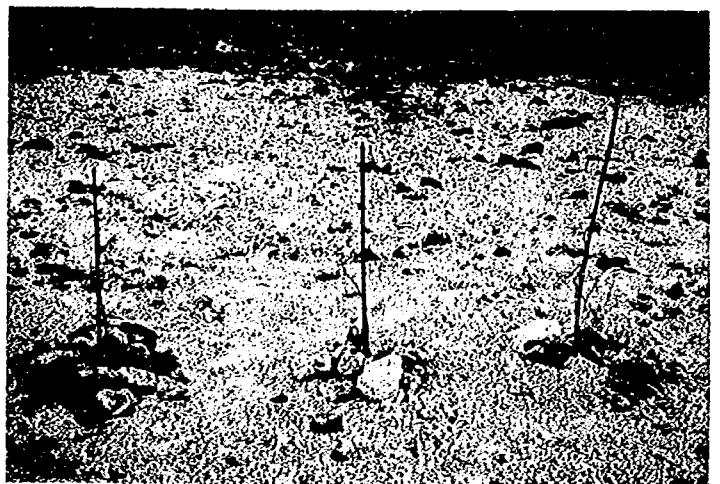


写真-5・30 植栽地Aの直接植栽地の状況

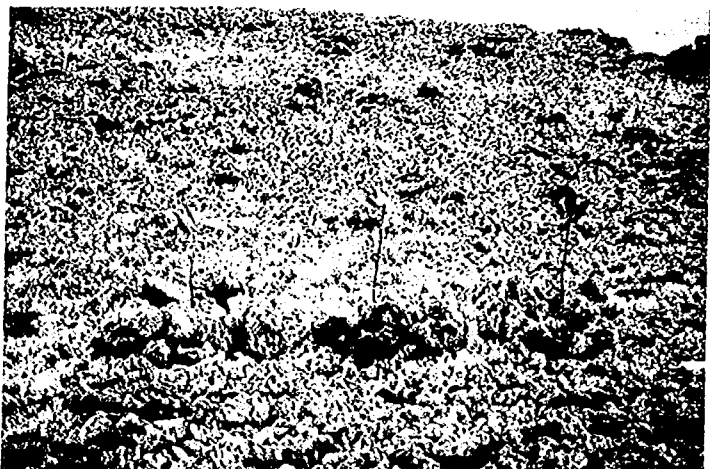


写真-5・31 植栽地Bの直接植栽地の状況



写真-5・32 植栽地Aの鉢植の生育状況
(ヤエヤマヒルギ)



写真-5・33 植栽地Aの地植の生育状況
(ヤエヤマヒルギ)

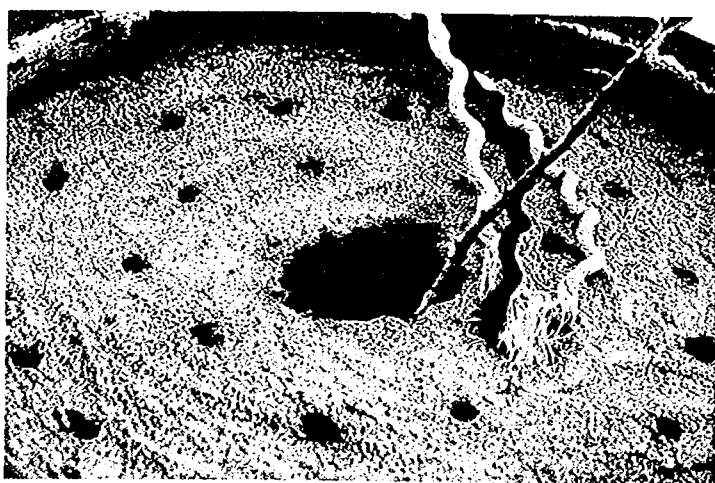


写真-5・34 植栽地Aの植込材料の流失状況

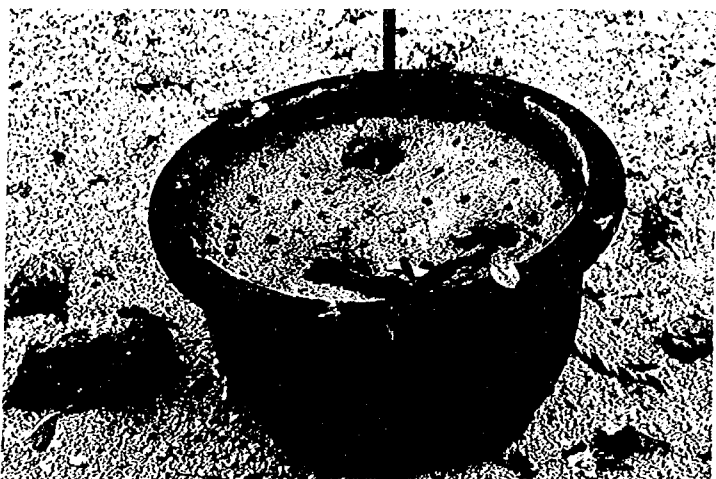


写真-5・35 植栽地Aの波浪による被害状況

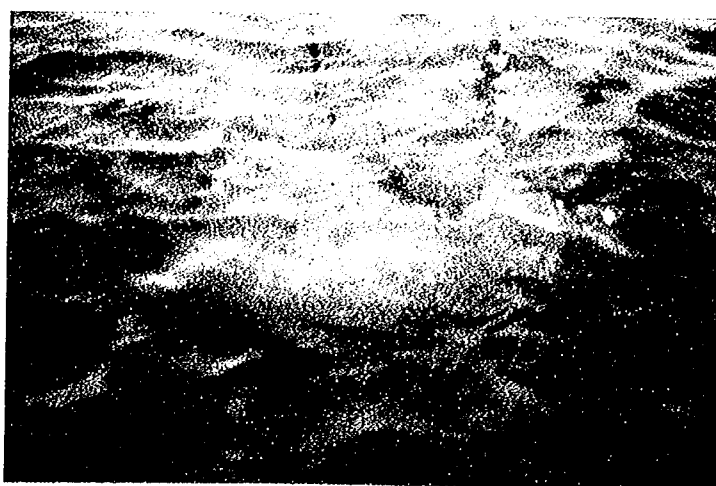


写真-5・36 植栽地Bの鉢植の冠水状況

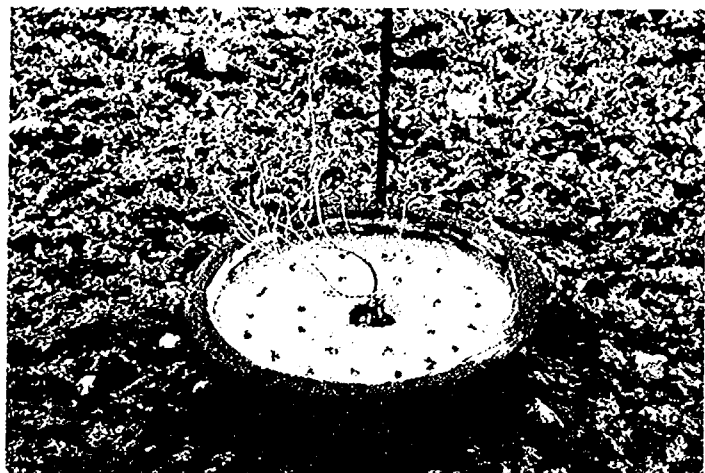


写真-5・37 植栽地Bの鉢植の生育状況
(ミズガンビ)



写真-5・38 植栽地Bの海草の付着状況

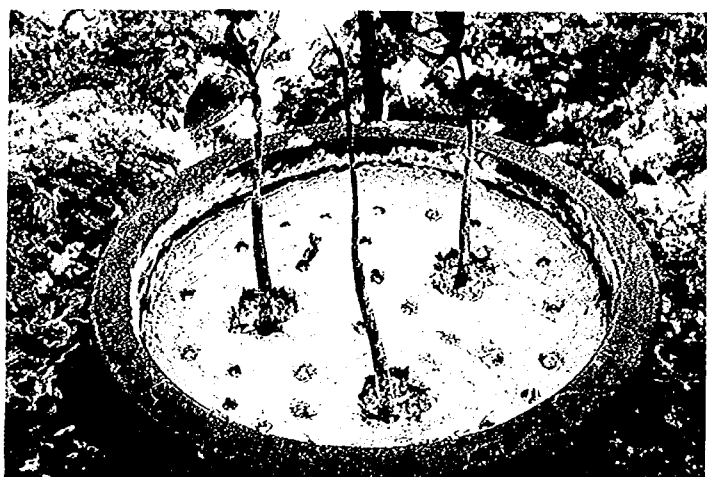


写真-5・39 植栽地Bの植込材料の流失状況

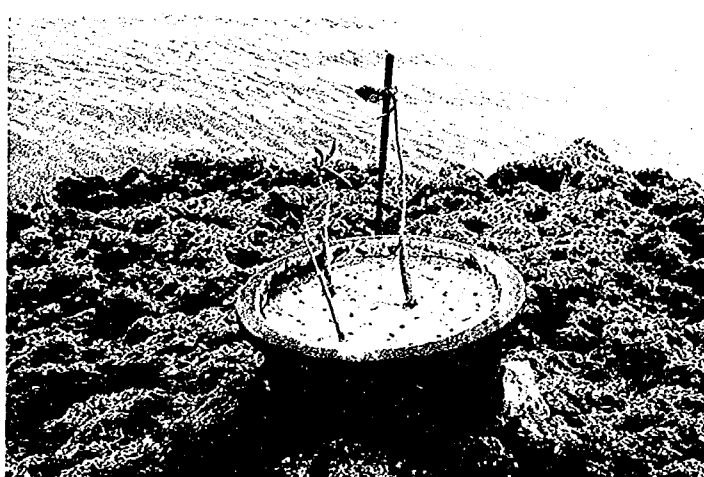


写真-5・40 モルタルの覆いによる生育状況

＜参考文献＞

- 1) 池原直樹：沖縄植物野外活用図鑑、全9巻、新星図書出版、1989
- 2) 石原暁：熱帯農研集報№51、農林水産省、熱帯農業研究センター、1985
- 3) 沖縄大百科辞典刊行事務局：沖縄大百科辞典、沖縄タイムス社、1983
- 4) 沖縄生物教育研究会：生態写真集、沖縄の生物、新星図書出版、1976
- 5) 沖縄第四紀調査団・沖縄地学会：沖縄の自然、その生い立ちを訪ねて、平凡社、1981
- 6) 加藤祐三：奄美・沖縄岩石鉱物図鑑、新星図書出版、1988
- 7) 神谷厚昭：琉球列島の生い立ち、新星図書出版、1984
- 8) 河名俊男：琉球列島の地形、新星図書出版、1988
- 9) Kiyoshi KANESIMA、他：The Study on the Ryukyu Limestone and Associated Materials、1973
- 10) 木崎甲子郎：琉球弧の地質誌、沖縄タイムス社、1985
- 11) 北村四郎、他：原色日本植物図鑑、全5巻、保育社、1976
- 12) 佐藤一紘：マングローブ林の防災機能とその利用、緑と生活1月号、新報出版、1990
- 13) 鈴木兵二、他：植物調査法Ⅱ、植物社会学的研究法、共立出版、1985
- 14) 鈴木邦夫：琉球列島の植生学的研究、東北大学大学院地理学研究科審査学位論文、1977
- 15) 高田英夫：塩と植物、一海洋生物開発の基礎一、創元社、1988
- 16) 寺崎留吉：日本植物図鑑、平凡社、1977
- 17) 豊田武司：小笠原植物図譜、アボック社出版グループ、1981
- 18) 中西弘樹：石垣市の砂浜植生の成帯構造の成立、日生態会誌5号、1985
- 19) 中須賀常雄：沖縄のマングローブの研究、緑と生活3月号、新報出版、1989
- 20) 仲田英二：徳之島の海岸植生、地域研究シリーズ№8、沖縄国際大学南島文化研究所、1986
- 21) 長田武正：野草図鑑、全8巻、保育社、1985
- 22) 新納義馬：沖縄地方の海浜植物、植物と自然、14(9)、1980
- 23) 新納義馬：万座毛石灰岩植物群落、沖縄県恩納村教育委員会、1985
- 24) 新納義馬、他：南北大東島の植生、ヒコビア、別巻1、1981
- 25) 延原肇：沖縄の海浜群落、砂丘研究、第29巻、第2号、1982
- 26) 延原肇、他：沖縄の砂浜群落の成立要因、沖縄生物学会誌、第16号、1981
- 27) 初島住彦、他：琉球の植物、講談社、1979
- 28) 初島住彦、他：琉球植物目録、でいご出版社、1977
- 29) 初島住彦：琉球植物誌、沖縄生物教育研究会、1975
- 30) 馬場繁幸：マングローブの人工造林の可能性、緑と生活5月号、新報出版、1989
- 31) 日越国昭：糸満市荒崎の岩礁海岸植物群落、沖縄県天然記念物シリーズ4、1975
- 32) 本間啓：熱帯植物調査研究年報第3号、(財)海洋博覧会記念公園管理財団、1979
- 33) 牧野富太郎：原色牧野植物大図鑑、北隆館、1982
- 34) 宮脇昭、他：宮古島の海岸植生、横浜国立大学環境科学研究センター、第10巻、第1号、1983
- 35) 山崎道夫、他：沖縄の気象、(財)日本気象協会沖縄支部、1989
- 36) 琉大公開講座委員会：沖縄の農業、琉球大学後援財団、1985

資 料

1	緑化手法及び人工基盤の形態	75
1.1	緑化手法の形態	75
1.2	人工基盤の形態	78
2	亜熱帯海岸地帯における植生実態調査結果	81
2.1	調査概要	81
2.2	調査結果	84

1 緑化手法及び人工基盤の形態

これまでの調査・試験結果及び内外に報告された緑化事例等を参考にして、今後の亜熱帯海岸地帯における緑化手法及び人工基盤の開発に資する、各種形態の提案を資料としてここに掲げる。

1.1 緑化手法の形態

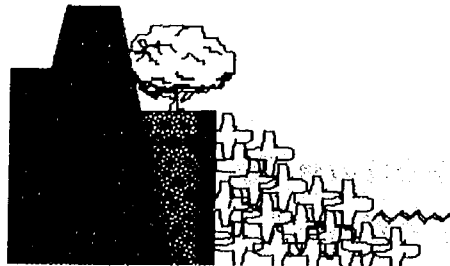
1.1.1 形態－1

1) 内 容

比較的波浪の影響の強い場所における防波堤及び護岸には、一般にテトラポットとコンクリート護岸が見られる。本提案は、このテトラポットとコンクリート護岸の間に砂礫、土壌を混入し、排水を良好の状態にして植栽するものである（図－1・1）。波浪が高い地域ではミズガンピが適し、次いでテリハクサトベラ、モンパノキ、モクマオウ等が適する。

2) 課題及び対策

- ① 波浪の荒い場所は、潮風等も強いいため幼苗時は防風対策が必要である。
- ② 大潮、台風時には潮を被ることがあるので土壌排水はできるだけよくする。



図－1・1 緑化手法（形態－1）

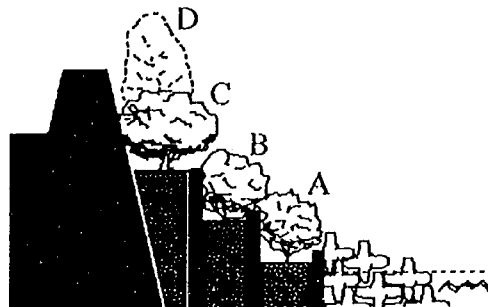
1.1.2 形態－2

1) 内 容

波浪の影響が形態－1よりも少ない場所では、前面のテトラポットを設置することによって波浪をさらに弱め、Aには大潮、台風時の潮による冠水に対しても生育可能なミズガンピを植栽する（図－1・2）。Bにはテリハクサトベラ、モンパノキ等、C・Dには、オオハマボウ、アダン、モクマオウ等が適する。

2) 課題及び対策

- ① 幼苗時における防風対策を講ずる。
- ② 土壌排水を良くする。
- ③ 植栽基盤の用土に大きな砂礫を入れ、根をからませることによって大潮、台風時の強波浪に耐えるようにする。



図－１・２ 緑化手法（形態－２）

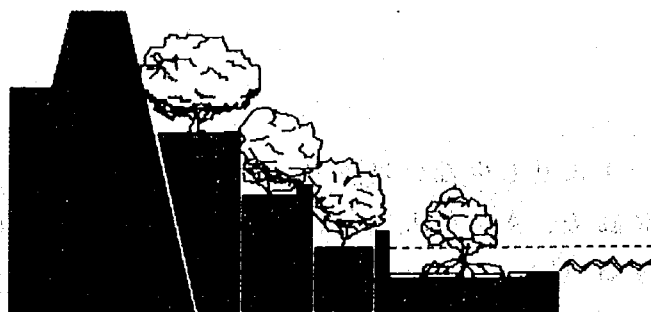
1.1.3 形態－３

1) 内容

波浪の比較的穏やかな場所において、形態－２から更に汀線よりマングローブを植栽する方法である（図－１・３）。マングローブの植栽は、比較的細かな砂礫を中心とした土壌を固め、表面が満潮時の波浪によって侵食されないように表面をコンクリートで張り、通気孔をつける。将来、気根はその通気孔に根を伸ばし、波浪に対して強い支持根となる。

2) 課題及び対策

- ① マングローブの植栽当時の胎生種子は波浪によって障害を受けやすい。
- ② 支持根が出るまで、強波浪によって倒木または折木しやすいため、その対策が必要である。



図－１・３ 緑化手法（形態－３）

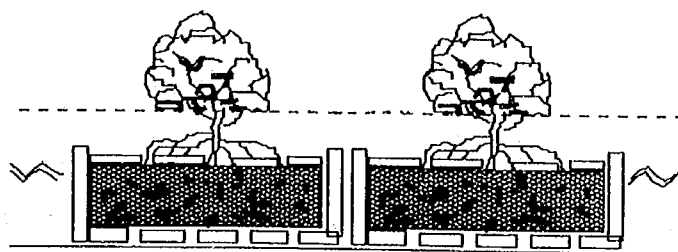
1.1.4 形態－4

1) 内 容

比較的波浪の穏やかな汀線部の砂浜地帯、もしくは岩礁、隆起サンゴ石灰岩地、または、リーフ上に、図－1・4に示した人工基盤を作成し植栽する方法である。植栽用土は砂礫を中心に堆肥、腐葉土を混入し、波浪によって内部土壌が流出しないようにする。人工ビーチ、港湾内及びラグーン内の波浪の影響が少ない場所に適する。

2) 課題及び対策

- ① 支持根（気根）が発達するまで、波浪の影響を受け易いため、植栽後支柱をしっかりと固定する必要がある。
- ② あらかじめ図－1・4のようにコンテナ栽培し、十分に定着した後に現地に持込み設置することができる。



図－1・4 緑化手法（形態－4）

1.2 人工基盤の形態

1.2.1 生育基盤の条件

本研究における生育基盤調査、屋内及び屋外での生育試験等の結果から、亜熱帯海岸地帯において塩生植物を植栽する人工基盤には、以下の条件が重要であると考察された。

- ① 排水性及び保水性があること。
- ② 根の侵入可能な空隙が多数あること。
- ③ 内部の空隙がそれぞれ連結していること。
- ④ 空隙内に土砂、有機物が存在していること。
- ⑤ 波浪、風雨等によって内部の土砂、有機物が流出しないこと。
- ⑥ 空隙内に土砂、有機物が自然に堆積することができること。

1.2.2 形態

1) 形態－1

(1) 内容

軽石、空隙の多いコンクリート、珊瑚石灰岩等の礫岩等を支持骨材として、土壌、有機物を混入し、コンクリートによってそれぞれを接着する。この場合、土壌、有機物は球状にし、乾燥した後接着剤等を用いてコーティング（内部にコンクリートが侵入しないようにするため）してコンクリートに混ぜる。

(2) 利点

- ① 空隙が大きく多数存在する。
- ② 土壌や有機物が吸湿することによって膨張し、空隙を充填することができる。
- ③ 空隙が大きく、土砂や有機物が集積しやすい。

(3) 問題点

- ① 基盤としての強度が比較的弱い。
- ② 支持骨剤や土壌、有機物はコンクリートによってコーティングされているため、根が侵入し難い。

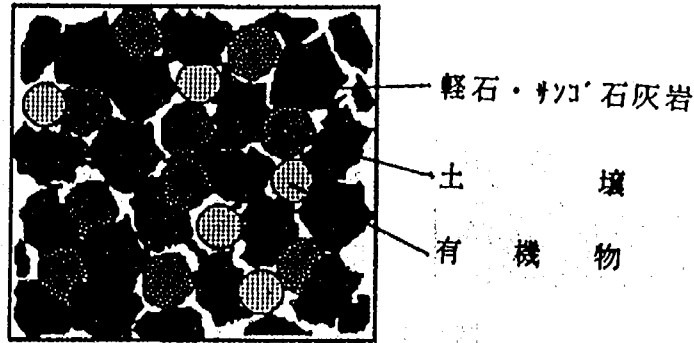


図-1・5 人工基盤（形態-1）

2) 形態-2

(1) 内容

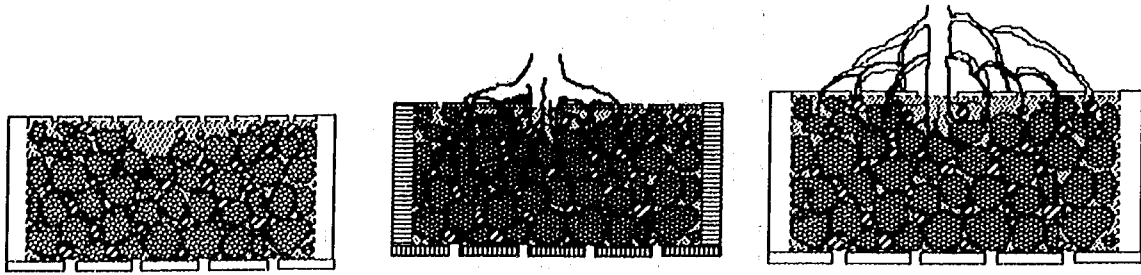
透水性コンクリートの枠組みの中に、支持骨剤として、空隙の多い軽石または隆起珊瑚石灰岩等の礫に土壌、有機物を混入し固め、底面と表面は同様に透水性コンクリートで覆う。この場合、根が外部からも侵入しやすいように、直径5mm程度の小さな穴を開ける。そのことによって、内部の通気性及び排水性をよくする。

(2) 利点

- ① 最も自然に近い生育基盤で、一般の植物も生育できる。
- ② 周辺の透水性コンクリートに小さな穴を開けておくだけで、塩性植物の根は容易に内部に侵入していくことができる。
- ③ ヤエヤマヒルギ等のように気根を有する植物には、根が表面の小さな穴から侵入することによって植物の支持強度を高めることができる。
- ④ 陸上あるいは波浪の比較的穏やかな場所で、その基盤に植栽及び育苗を行い、ある程度生育した時に、そのまま現地に基盤ごと持ち込み設置する、いわゆるコンテナ栽培方式をとることができる。

(3) 問題点

- ① 表面をコンクリート張りにしてあるため、外部から土砂、有機物が集積し難い。
- ② 表面の小穴から侵入した根が肥大すると、表面のコンクリートが破壊され、それによって内部の土砂、有機物等が流出しやすい。



図－１・６ 人工基盤（形態－２）

3) 形態－３

(1) 内 容

未発達珊瑚石灰岩内部の柵状組織を参考とした構造。縦に波状のコンクリート板を並列に固定して基盤の支持骨とする。コンクリートの隙間に土砂、有機物を混入し、表面を透水性コンクリートで封ずる。この場合表面には、小穴を多数開ける。

(2) 利 点

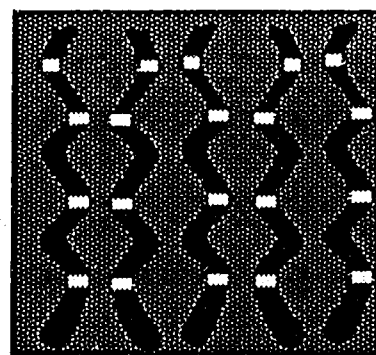
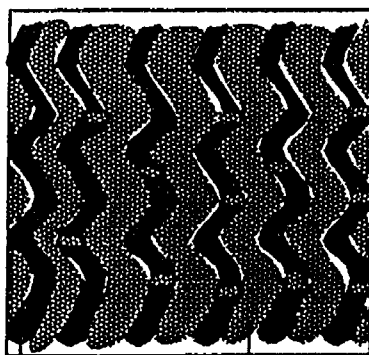
- ① 波状コンクリートが柵状となっているため、基盤の支持強度が強い。
- ② 表面のコンクリートが破壊されても、内部の土砂の流出は波状板によって抑えることができる。
- ③ 外部からの土砂、有機物が容易に集積できる。

(3) 問題点

- ① 複雑な構造であるため制作に手間がかかる。
- ② コンクリートを使用するため、基盤の重量が重くなる。

(人工基盤の構造)

(隆起珊瑚石灰岩の構造)



—コンクリート—土壌 + 有機物

図－１・７ 人工基盤（形態－３）

2 亜熱帯海岸地帯における植生実態調査結果

亜熱帯海岸地帯における緑化有望種の選定に資するため、本研究において実施した植生実態調査の結果をここに資料として掲げる。

2.1 調査概要

2.1.1 調査地点

植生実態調査は、以下の表－2・1に示すとおり、合計16地点において実施した。

表－2・1 調査地点

沖 縄 本 島	① 残波岬
	② 与久田
伊 平 屋 島	③ 野甫島
	④ 無蔵水
宮 古 島	⑤ 西平安名岬
	⑥ 東平安名岬
伊 良 部 島	⑦ 白鳥岬
南 大 東 島	⑧ 海軍棒
	⑨ 入本場
石 垣 島	⑩ 観音岬
	⑪ 大浜海岸
	⑫ 白保海岸
波 照 間 島	⑬ 高那崎
	⑭ 毛崎
与 那 国 島	⑮ 比川海岸
	⑯ 東崎
合 計	16 地 点

2.1.2 調査方法

本調査では、汀線からの距離にともなう環境圧の違いによる植物の生育状況を把握するため、ライントランセクト法を用い、汀線から内陸に向かって範囲を設定した。ラインの終点については、一般に内陸部植生と海岸植生の分岐点といわれるアダマン群落までの地点とした。

調査区の設定に際しては、調査地の植生を概観し、比較的安定した植生をもつ地点を選んで、内陸に向かって順に2m×2mのコドラートを設定した。但し、植生が比較的粗であるか、または均一として認められる場所については4m×4mのコドラートとした。

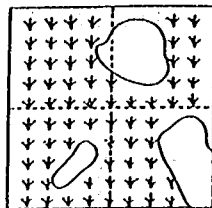
各コドラートの出現種については、被度、群度、全体の植被率を求めることとし、判定方法についてはブラウンプランケ(1964)の全体推定法(表－2・2)に基づいて行った。

表一 2・2 被度・群度の測定基準

1. 被度
コて下い
めうる
か
ト内、
(枝葉、
のそ
がれ
ぞり)
のを
種6
類段
が階
地に
上分
投て
映記
像録
です
の。く
ら
い
の
面
積
を
占

(r i 2 3 4 5

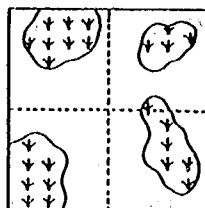
がの。意。
度も任意。
被い任意。
は多は任
たの数数
ま、個個
もの。個
いなまるも
少、いろいろ
の体のかてい
も個數るめて
いた体あ占め
なし個でを占
少現での $\frac{1}{2}$ を
も出下も $\frac{1}{3}$ 上
數に以い〜〜以
体然 $\frac{10}{10}$
個偶 $\frac{1}{2}$
つくの数のの
かた種体積積積
くつ面個面面而
なま査で查查査
少し調下調調調
が内がががが
度深度 $\frac{20}{20}$ 度度
被群被 $\frac{1}{2}$ 被被被



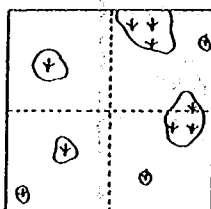
被度5 ($\frac{3}{4}$ 以上)



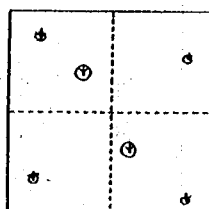
被度 4 ($\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}$)



被度3 ($\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$)



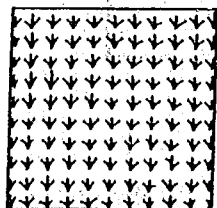
鍍度 2 ($\frac{1}{10} \sim \frac{1}{4}$)



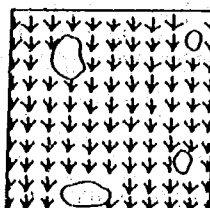
被皮 1 ($\frac{1}{10}$ 以下)

2. 群度ト内で、それぞれの種類の配分の状態を示すもので、5段階に分けて記録する。

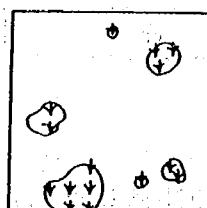
- [illegible]



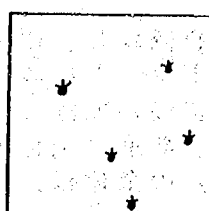
群度5(カーペット状に成育)



解皮4(カーペットに穴が
あいている状態に成育)



評定3(真文状に成り)

**野良2 (小野村に成育)**

程度1(基礎で応用)

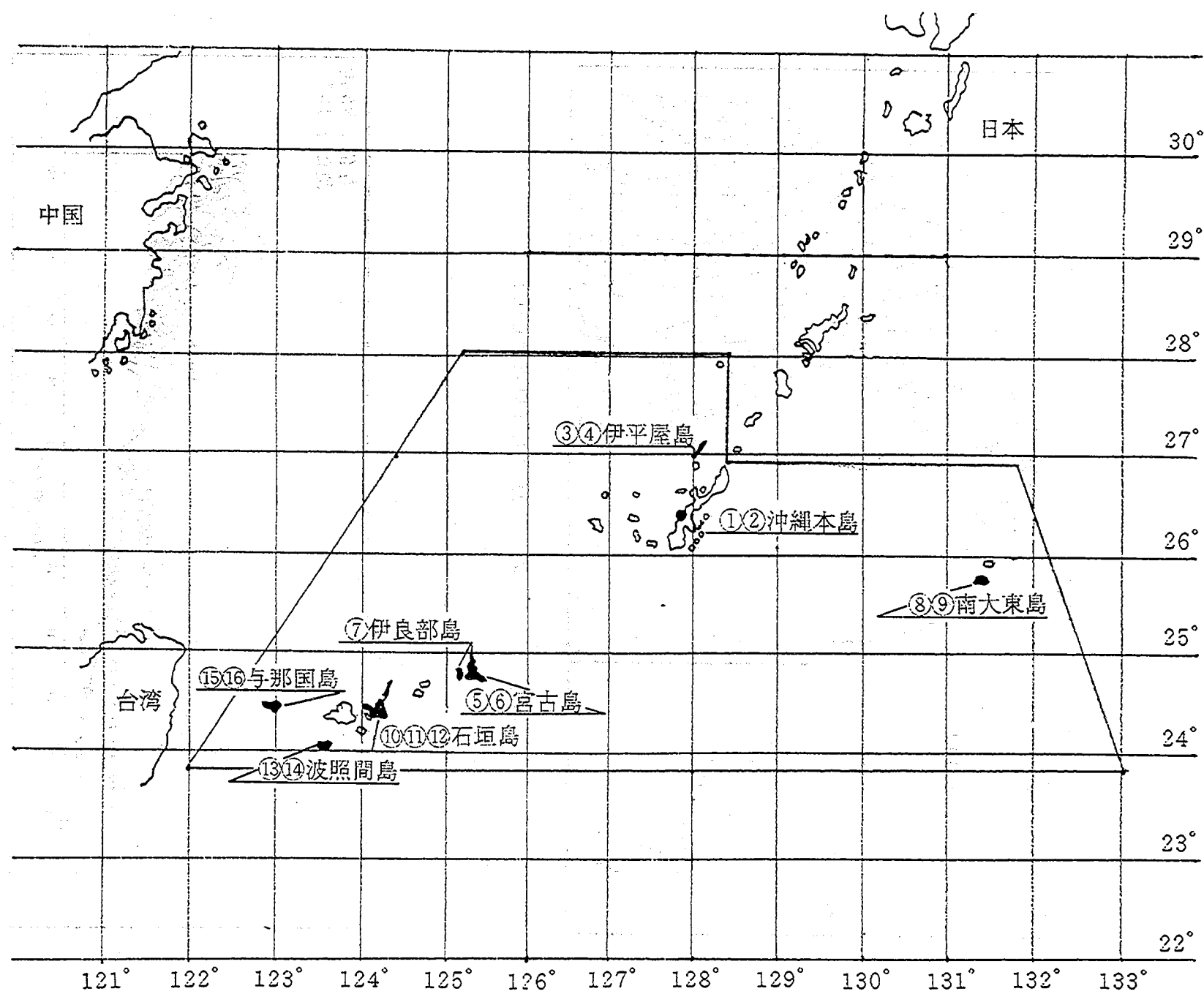
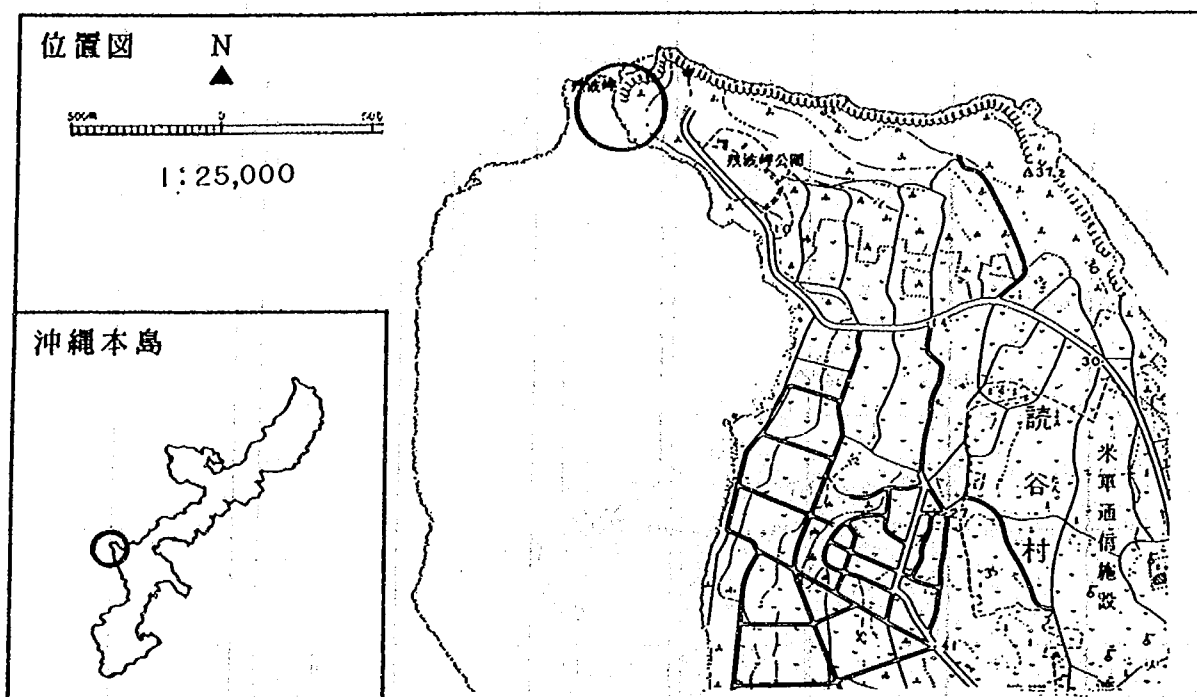


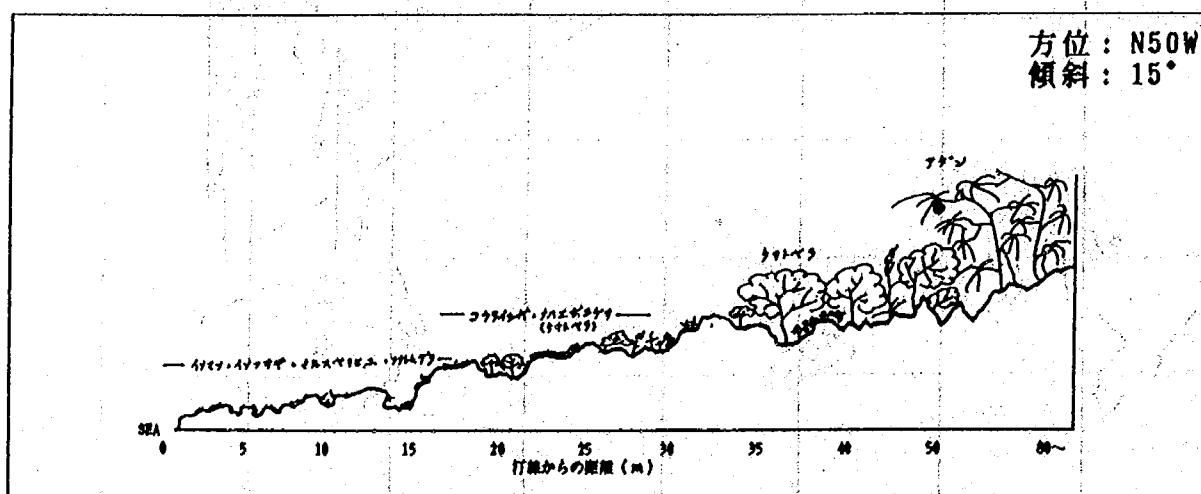
图 2.1.1 调查地点

2.2 調査結果

2.2.1 調査地点①：沖縄本島・残波岬



図－ 2 ・ 2 調査地点位置（調査地点①）

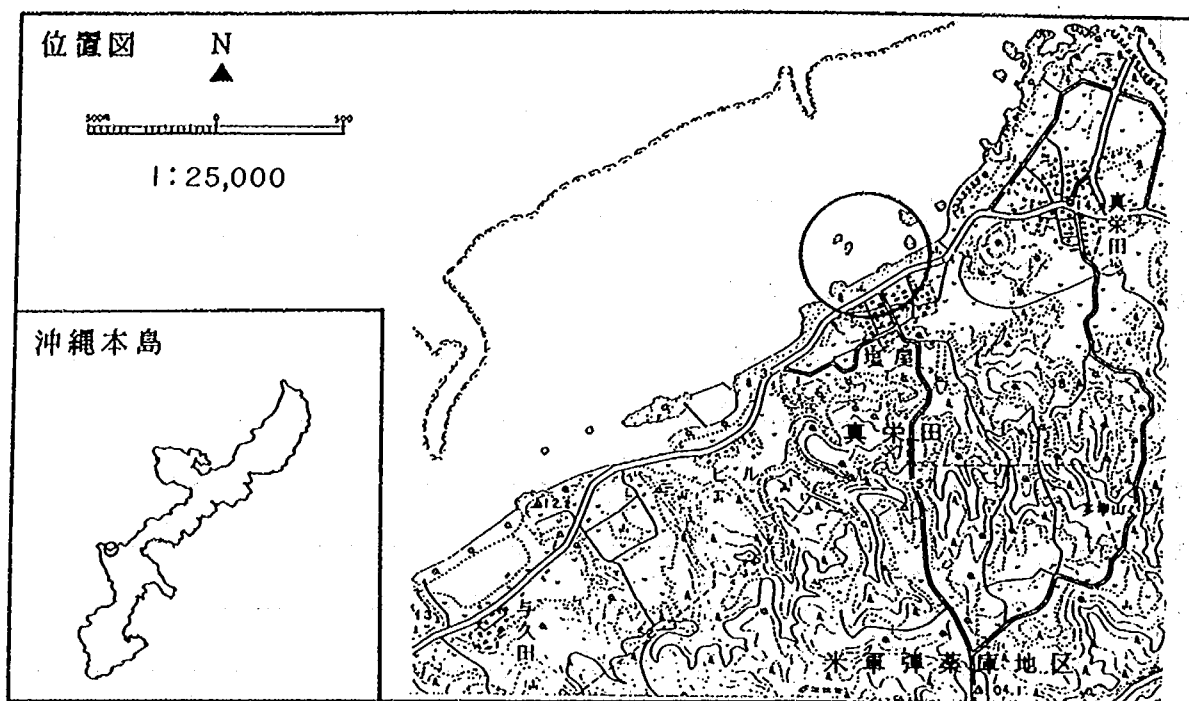


図－ 2 ・ 3 植生断面図（調査地点①）

表-2・3 汀線からの距離による植生調査表(調査地点①)

[illegible]

2.2.2 調査地点②：沖縄本島・与久田

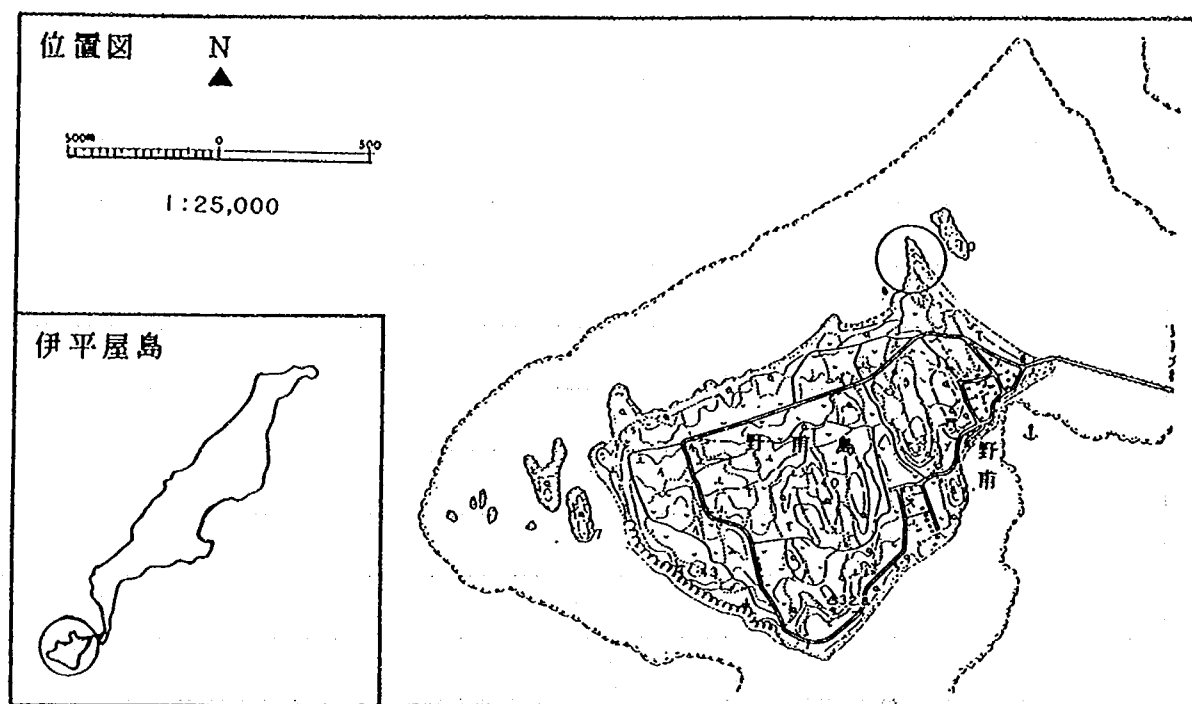


図－ 2・4 調査地点位置（調査地点②）

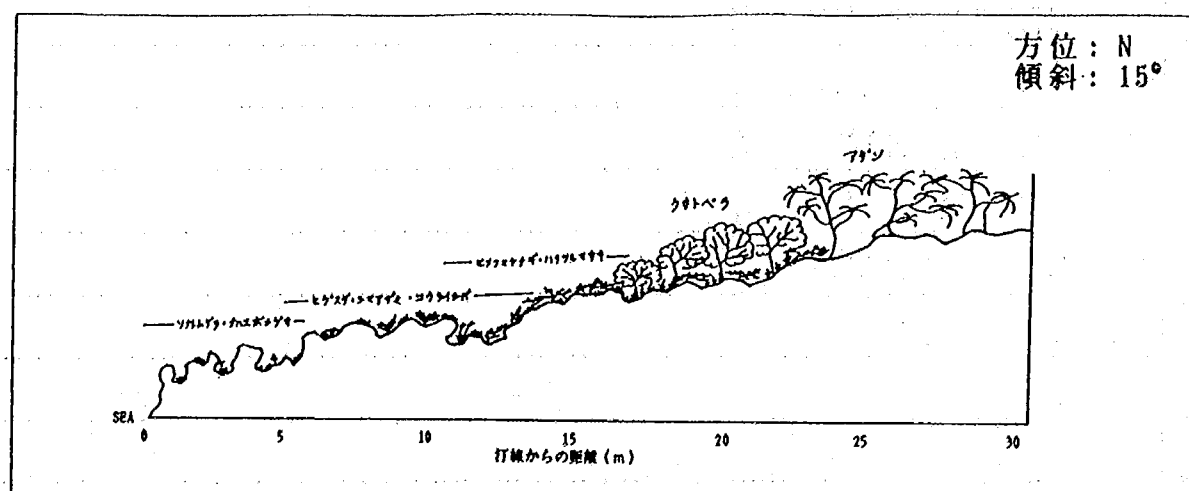
表－ 2・4 離れ岩（スタック）上の植生調査表（調査地点②）

調査区番号	②－1	②－2	②－3	②－4	②－5
方 位	N20W	N20W	N20W	N	N10W
陸からの距離 (m)	20	16	10	10	20
調査面積 (㎡)	8	12	40	8	8
高 さ (m)	2.2	3.0	5.0	3.6	2.3
出現種数	1	6	18	5	1
イソハハコ	3・3		1・2	1・1	3・3
ソナナギ		2・3	1・1	+	
ハカ		2・3	2・2	1・1	
ユシ		+	1・1		
イル		+	+	1・1	
ハマク		+	+		
キ		+	2・2		
ハ		+	+		
ホ			3・3		
ス			1・1		
ボ			1・1	1・1	
ヒ			+		
モ			+		
シ			1・1		
ハ			+		

2.2.3 調査地点③：伊平屋島・野市島



図一 2・5 調査地点位置（調査地点③）



図一 2・6 植生断面図（調査地点③）

表一・二・五 汀線からの距離による植生調査表（調査地点③）

2.2.4 調査地点④：伊平屋島・無蔵水

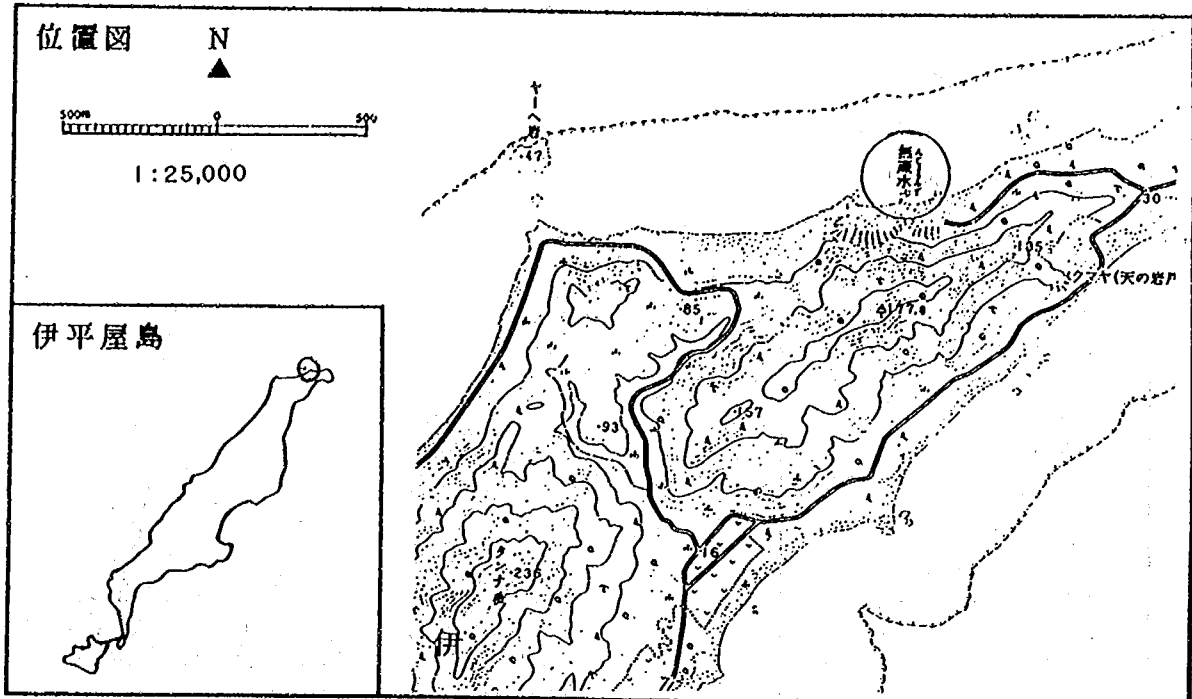


図-2・7 調査地点位置 (調査地点④)

表-2・6 離れ岩（スタック）上の植生調査表（調査地点④）

調査区番号	④-1	④-2
方位	N10W	N15W
陸からの距離 (m)	8	10
調査面積 (m ²)	24	120
高さ (m)	4.0	6.0
出現種数	4	18
キザ フン ソダ イワ ナバ パン キホ ハソ ハシ ハヒ ハナ ヤリ カハ テヒ ハオ ハ	1.2 + + 1.1	2.2 2.2 2.2 1.1 2.2 2.2 1.2 2.2 2.2 1.2 2.2 1.1 1.1 1.1 + 3.3 1.1 3.2 r + 1.1

2.2.5 調査地点⑤：宮古島・西平安名岬

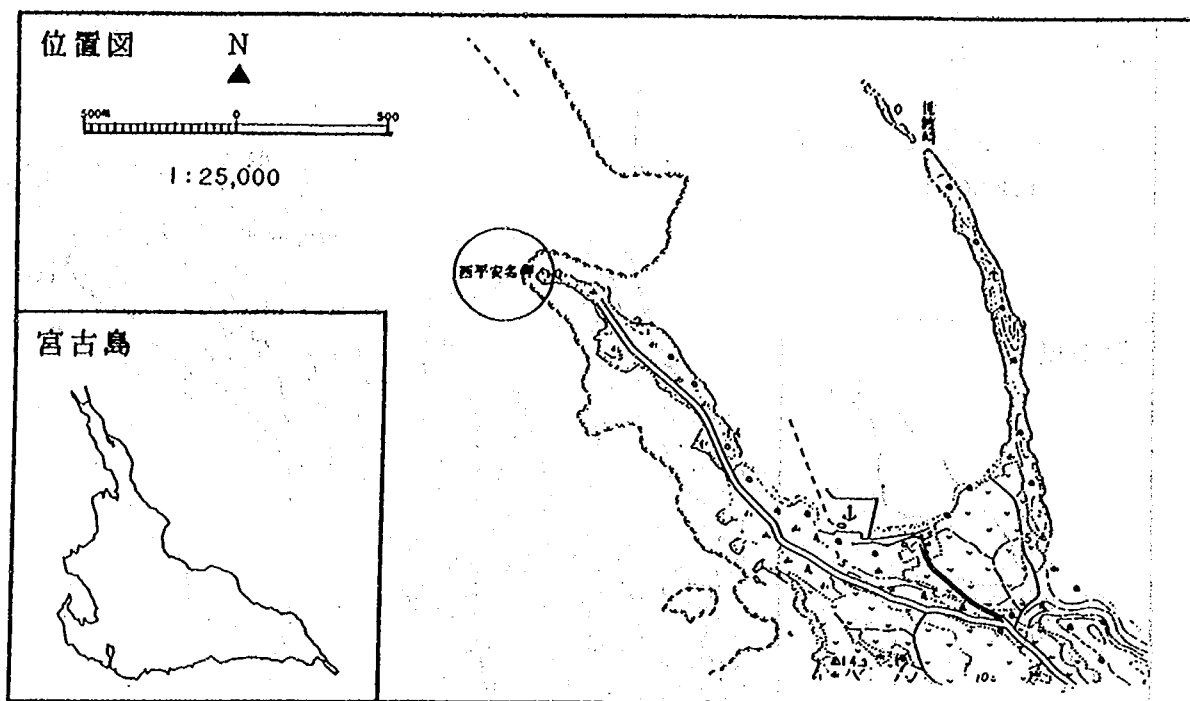


図-2・8 調査地点位置（調査地点⑤）

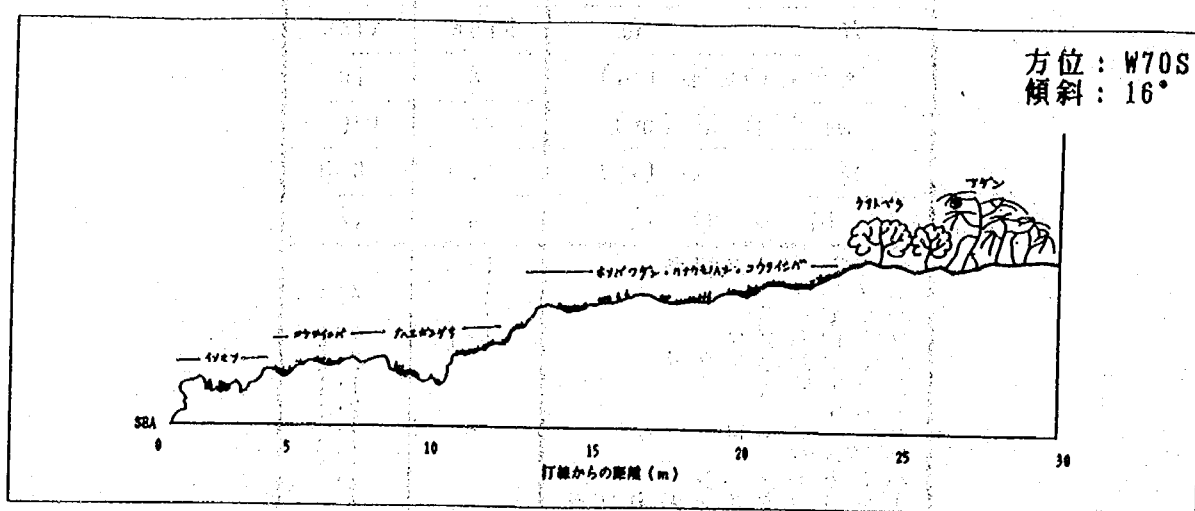


図-2・9 植生断面図（調査地点⑤）

種 名	汀線からの距離 (m)																											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50		
イマワ	2.2	2.1	1.1	2.1	1.1	r																						
エウイハ		+	1.1	1.1	+	2.3	4.4	3.3	3.4	3.4	2.2	3.3	2.3															
ソカモダラ		+	1.1	2.2	1.1	2.3	1.1	1.1	2.2	2.2	1.1																	
ナカモリ			+	1.1	3.3	2.2																						
ナカモリ												2.2	1.1	1.2	+													
ナカモリ												2.2	1.1	2.3														
ナカモリ													2.2	1.1	+													
ナカモリ													1.1															
ナカモリ												+																
ナカモリ														1.1	+													
ナカモリ														2.3	4.4													
ナカモリ															+													
ナカモリ															+													
ナカモリ																5.5												

表—2・7 汀線からの距離による植生調査表 (調査地点⑤)

2.2.6 調査地点⑥：宮古島・東平安名岬

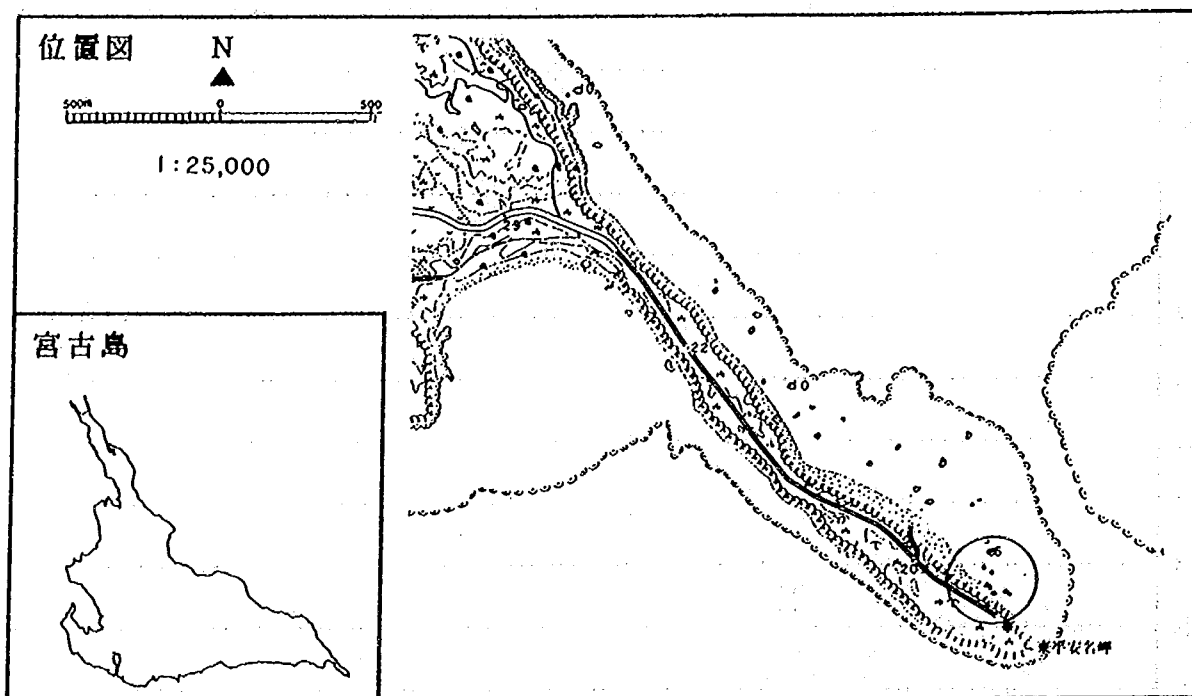


図-2・10 調査地点位置（調査地点⑥）

表-2・8 離れ岩（スタック）上の植生調査表（調査地点⑥）

調査区番号	⑥-1	⑥-2
方 位	N40E	N40E
陸からの距離 (m)	8	13
調査面積 (㎡)	30	18
高 さ (m)	6.0	5.5
出現種数	18	10
メ ウ ノ ン テ ハ マ ハ ハ シ ヒ モ ア ク ハ ソ ミ ア テ ナ ス キ	2.3 + r 1.1 2.1 2.2 r 1.1 + + 1.1 + 1.1 + + r + +	2.2 1.1 1.1 1.1 1.1 1.2 1.1 1.1 1.1 +

2.2.7 調査地点⑦：伊良部島・白鳥岬

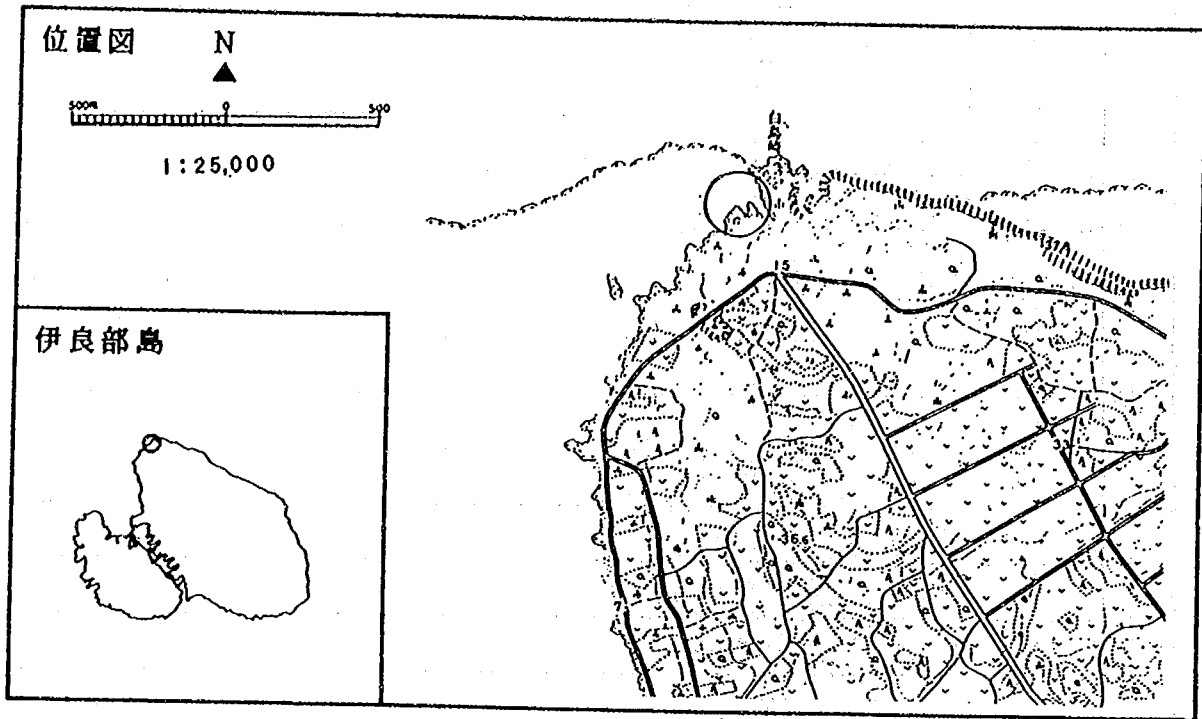


図-2・11 調査地点位置 (調査地点⑦)

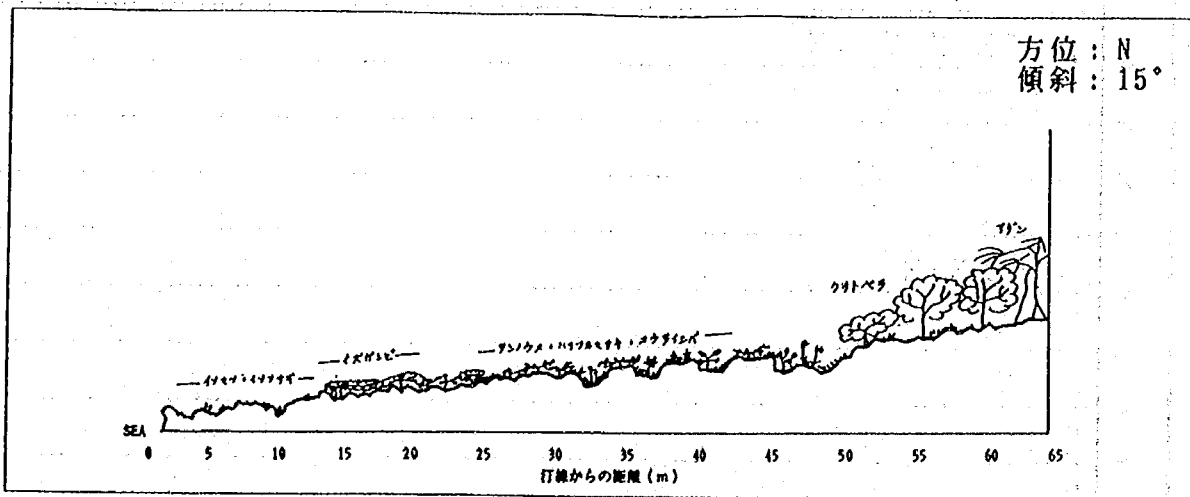


図-2・12 植生断面図(調査地点⑦)

表一 2・9 汀線からの距離による植生調査表 (調査地点⑦)

[illegible]

2.2.8 調査地点⑧：南大東島・海軍棒

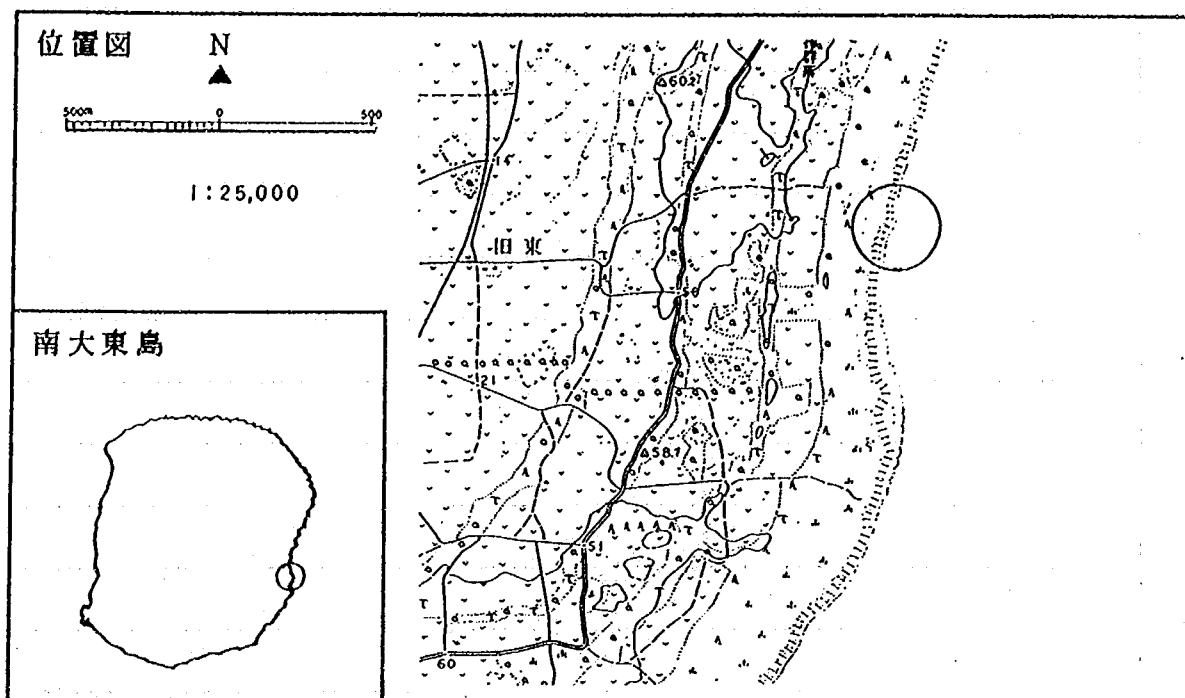


図-2・13 調査地点位置 (調査地点⑧)

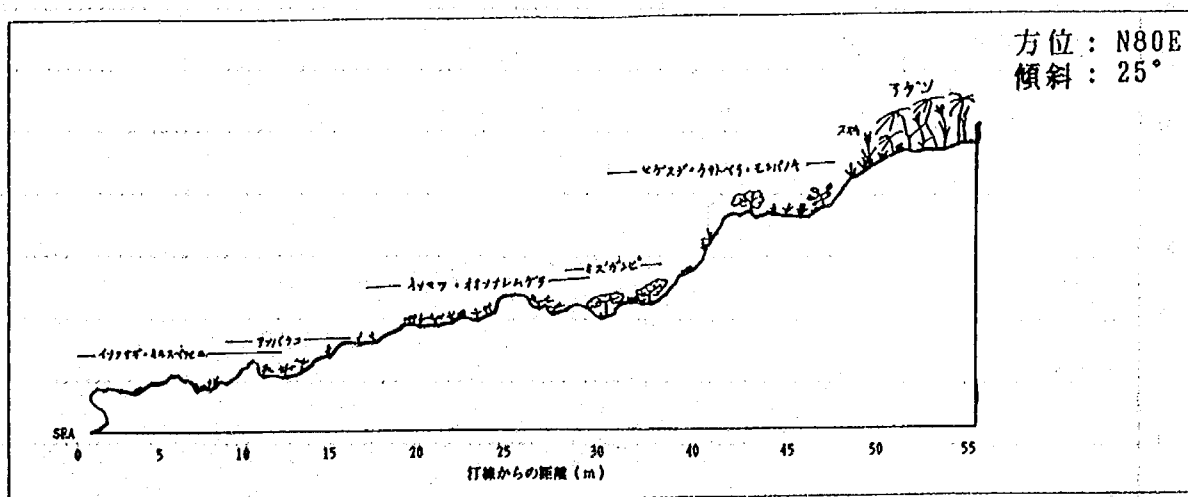


図-2・14 植生断面図 (調査地点⑧)

表一 2・10 汀線からの距離による植生調査表 (調査地点⑧)

種 名	汀線からの距離 (m)													44	48	52	56
	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48				
イナバ		+	+	+													
シロバナ			+		1.1	1.2	2.2		+		1.1	+	+				
アサガ			+		1.1												
イマ						+	+	1.2	+	+							
オウゴン							+	+	1.1								
ミズナ							+	1.2	2.3	2.3	1.1	+					
オウゴン							+	1.2	1.1	+	2.2	2.3					
ハク								+	+			1.1	+				
ゲン								+	+								
シロ								+									
オウゴン									1.2								
モ										+							
ガ											+						
ク											+						
ビ											+						
オウゴン												3.3					
ス												1.1	1.1				
ガ												+					
モ												1.1					
ア													+				
																3.3	

2.2.9 調査地点⑨：南大東島・入本場

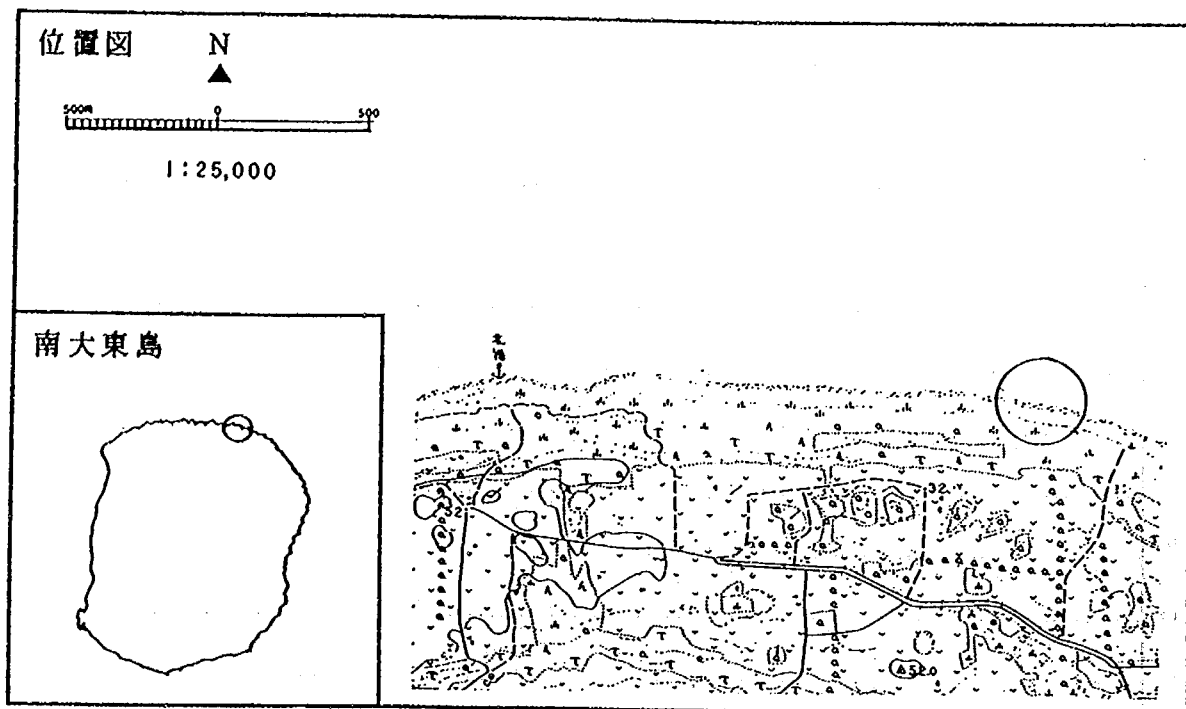


図-2・15 調査地点位置 (調査地点⑨)

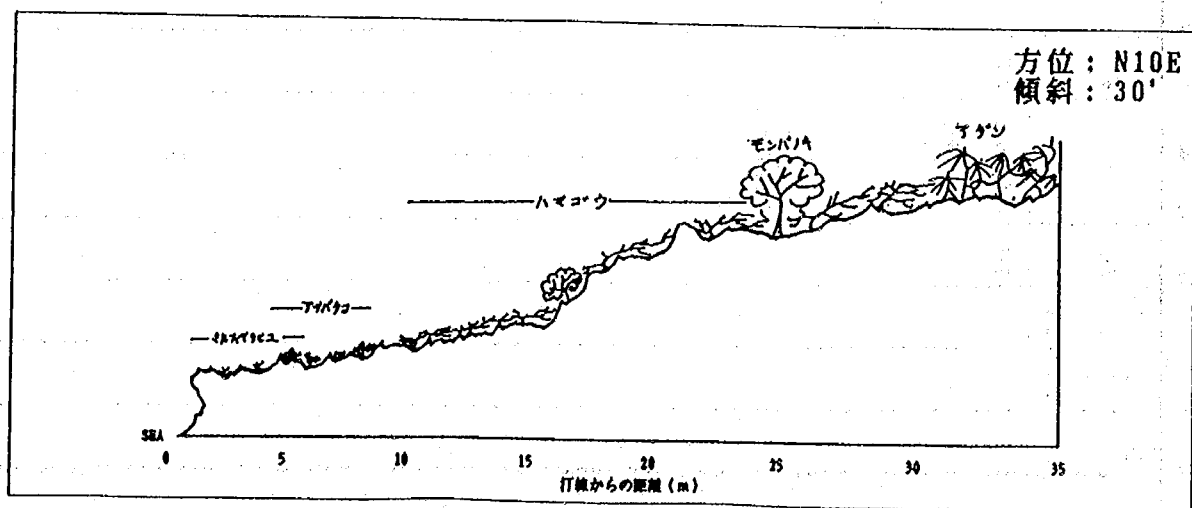


図-2・16 植生断面図 (調査地点⑨)

種 名	汀線からの距離 (m)												
	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
シロシバリ	1・1	2・2	1・1	+									
アサギ		1・1	1・1	3・3			+						
シロギ		1・2	+										
オカシ	1・1	1・2	+				+						
モリ		+	+		+								
ハコ			1・1	4・4	4・4	3・3							
ナギ				+									
ナギ						1・1							
ハンター					+		+						
アウ							+						
アダン								3・3					

表一 2・11 汀線からの距離による植生調査表 (調査地点⑨)

2.2.10 調査地点⑩：石垣島・観音崎

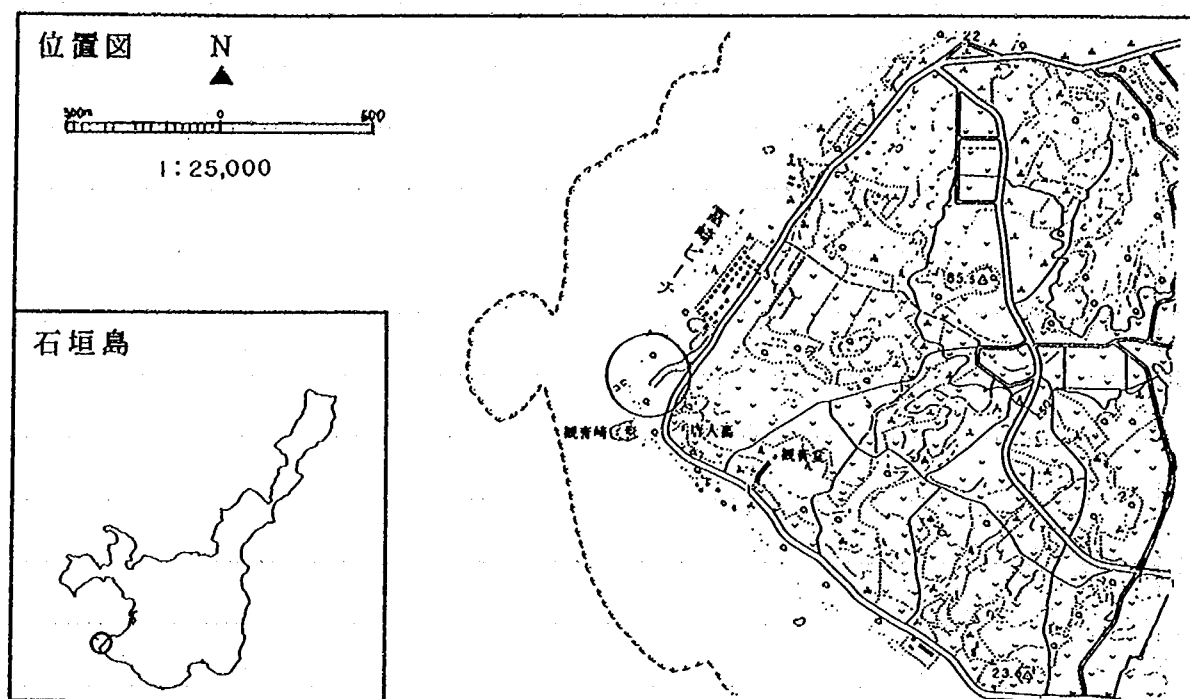


図-2・17 調査地点位置（調査地点⑩）

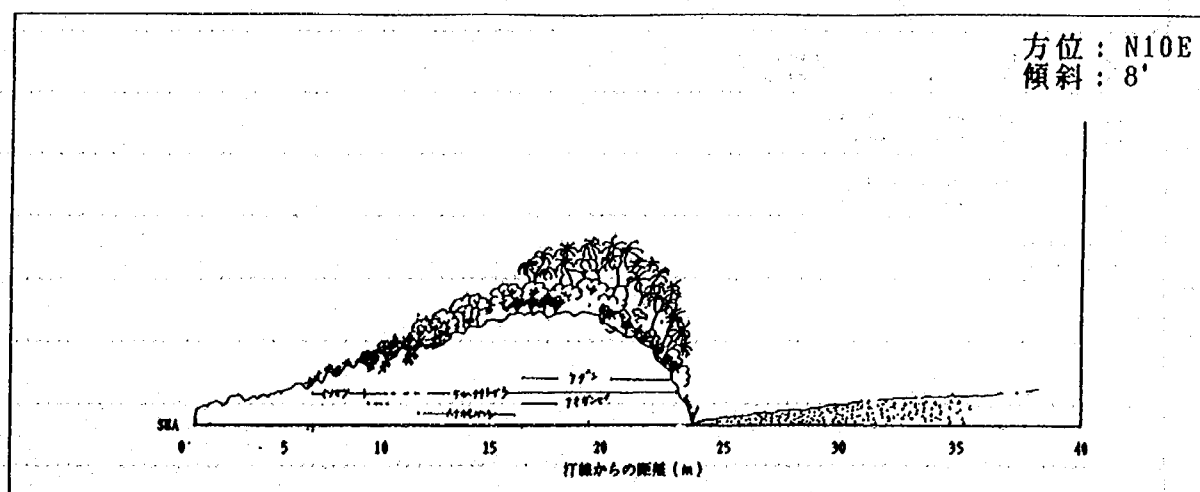


図-2・18 植生断面図（調査地点⑩）

表一 2・12 汀線からの距離による植生調査表 (調査地点⑩)

[illegible]

2.2.11 調査地点⑩：石垣島・大浜海岸

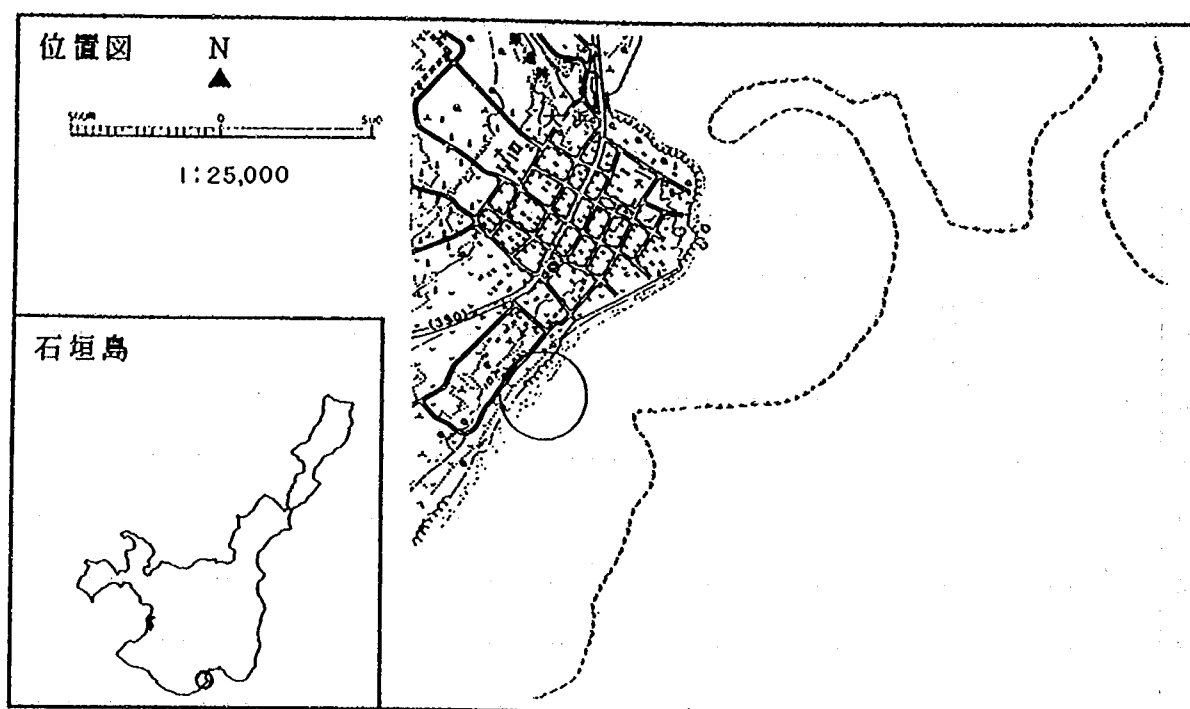


図-2・19 調査地点位置（調査地点⑩）

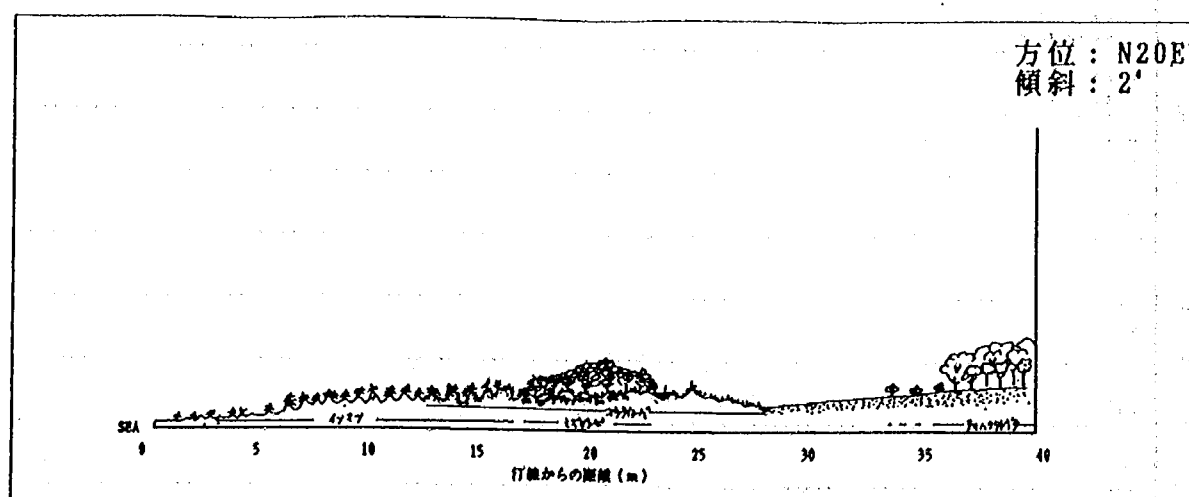


図-2・20 植生断面図（調査地点⑩）

表一 2・13 汀線からの距離による植生調査表 (調査地点⑩)

種 名	汀線からの距離 (m)																										
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	
イマ	+・1	+・1	1・1	2・2	2・2	3・3	3・3	+・1																			
イガ							+・1	2・2	2・3	2・2	2・2	2・2	2・2	1・1	1・1	+・1	+・1										
ミズガンビ									4・4	4・4	2・2																
イワサキ									1・1																		
ヤブササ									+・1	+・1	+・1																
ハマノコ												+・1	+・1														
アマノサトウ																			+・1	3・4	4・4						
モリノサ																			+・1	2・2	2・2						
ゲンガノサ																		+・1	1・1								

2.2.12 調査地点⑫：石垣島・白保海岸

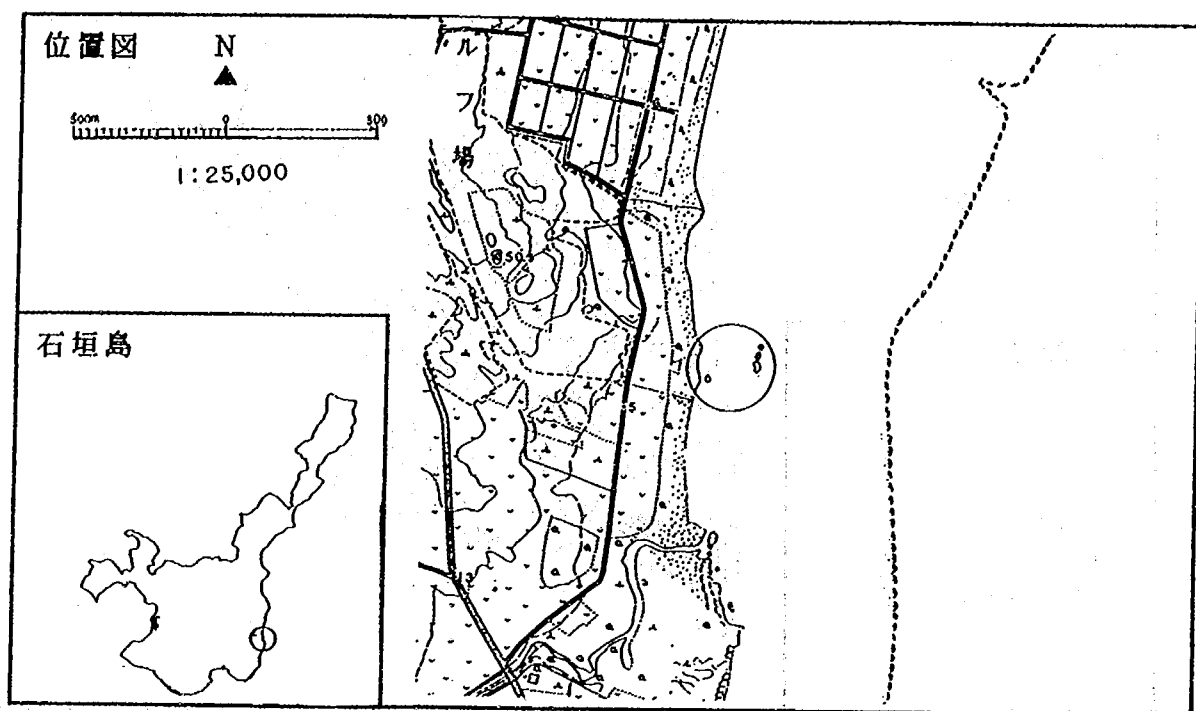


図-2・21 調査地点位置（調査地点⑫）

表-2・14 離れ岩（スタック）上の植生調査表（調査地点⑫）

調査区番号	⑫-1	⑫-2	⑫-3
方 位	ES6	ES3	ES3
陸からの距離 (m)	25	10	10
調査面積 (m ²)	3.3	4	6
高 さ (m)	1.6	0.8	0.6
出現種数	1	2	2
イソマツ	+・1	+・1	+・1
イシバ		+・1	
イソフザキ			+・1

2.2.13 調査地点⑬：波照間島・高那崎

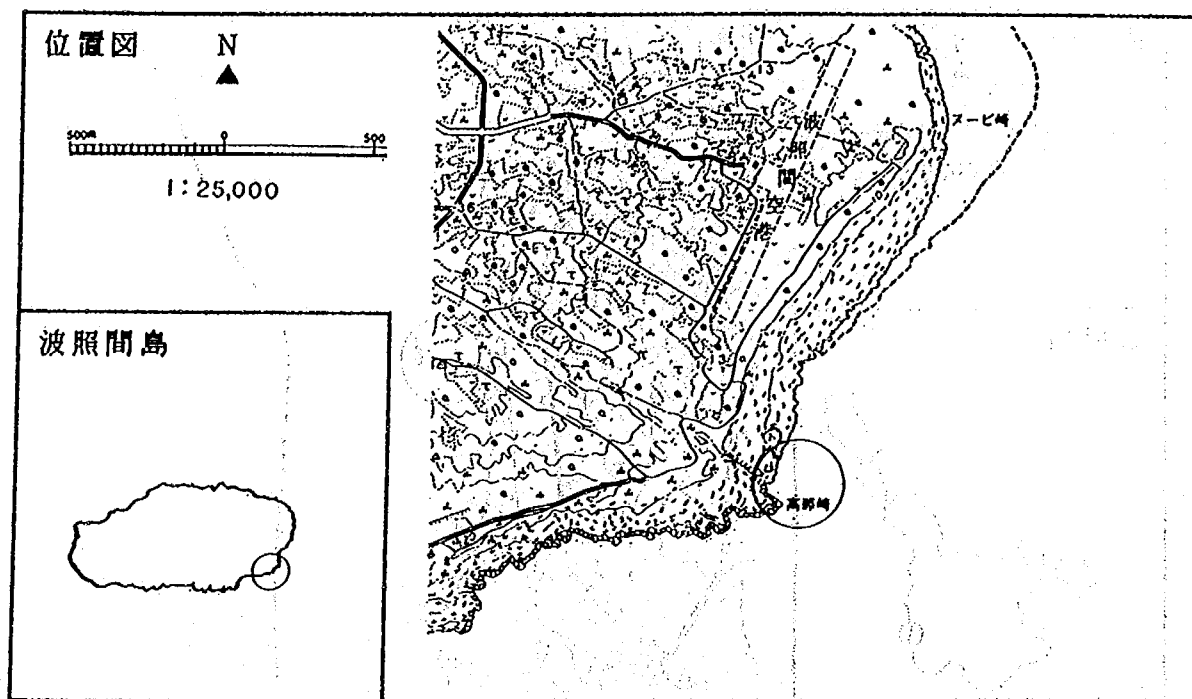


図-2・2・2 調査地点位置 (調査地点⑬)

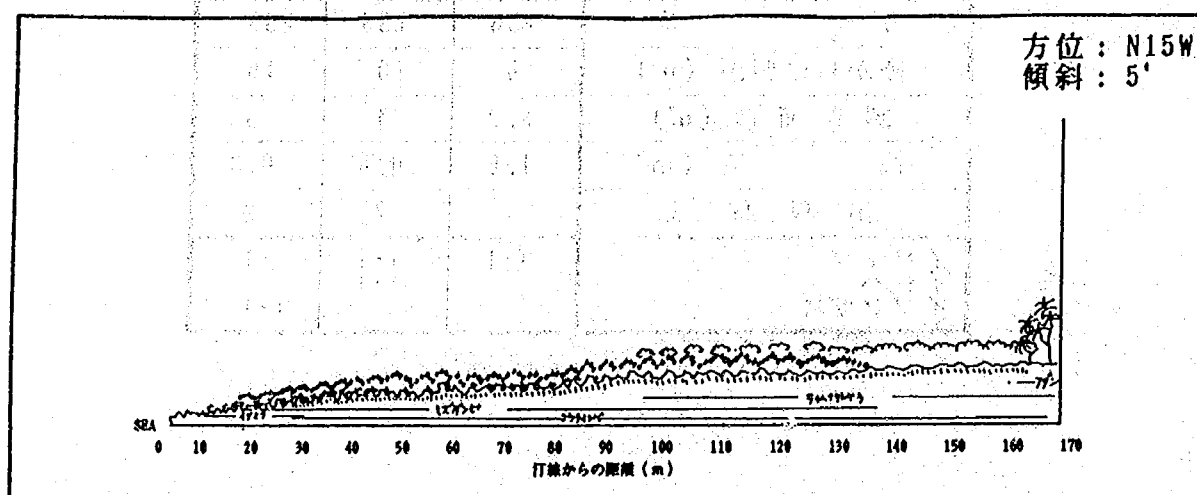


図-2・2・3 植生断面図 (調査地点⑬)

表一 2・15(1) 汀線からの距離による植生調査表 (調査地点⑬)

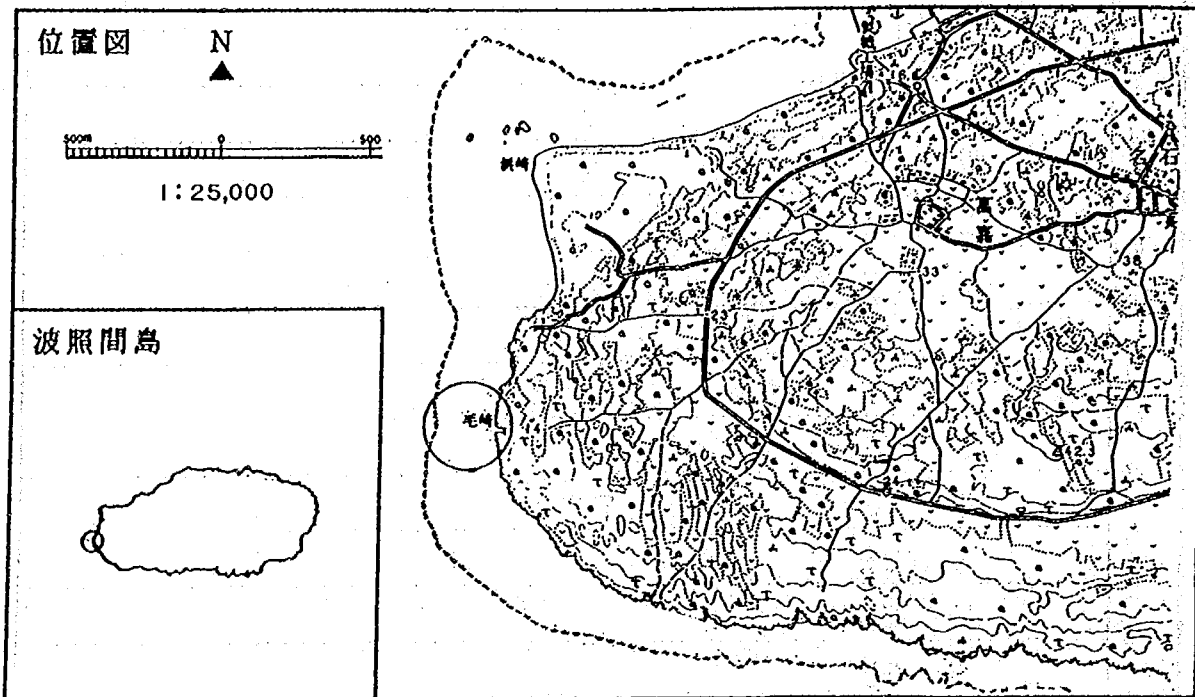
種 名	汀線からの距離 (m)																													
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	
イマ							+1	+1	3・3	3・3	2・2	2・2	2・3	2・2	2・2	+1	+1					+1	+1							
ソルムグラ										1・2	2・3	2・2	3・3		4・4	3・3	3・3			3・4	3・3	2・2	3・3	2・2	2・2	2・2	2・2	2・2	2・2	3・3
セビヤコ										1・2	2・3	3・3	3・3	3・3	3・3	3・3	3・3	2・2		2・2	3・3	2・2	4・4	2・2	2・2	2・2	2・2	2・2		
ミズガソビ												+1		2・2	3・3	3・3	1・2	4・4	3・3	2・2	4・4	4・4	3・3	4・4	4・4	4・4	3・4	4・4	3・3	
イワサキ												+1		1・2																
コウイハ																+1		2・2	3・3	3・3	+1				3・3	2・2	2・2	3・4	3・4	3・3
ツゲノキ																		2・2	3・3	3・3				3・3	2・2	2・2	2・2	2・2	2・2	2・2

[illegible]

表一 2・15(3) 汀線からの距離による植生調査表 (調査地点③)

種 名	112	114	116	118	120	122	124	126	128	130	132	134	136	138	140	142	144	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168
イヌマ																													
ソナタ																													
セビ																													
ミズ																													
イナ																													
コケ																													
ヤシ																													
ハマ																													
イヌ																													
テリ																													
ハナ																													
ハマ																													
ハナ																													
ハマ																													
ミナ																													
ハマ																													
ギョ																													
オウ																													
ハス																													
ハマ																													
アサ																													

2.2.14 調査地点⑭：波照間島，毛崎



圖一 2 · 2 4 調查地点位置 (調查地点⑭)

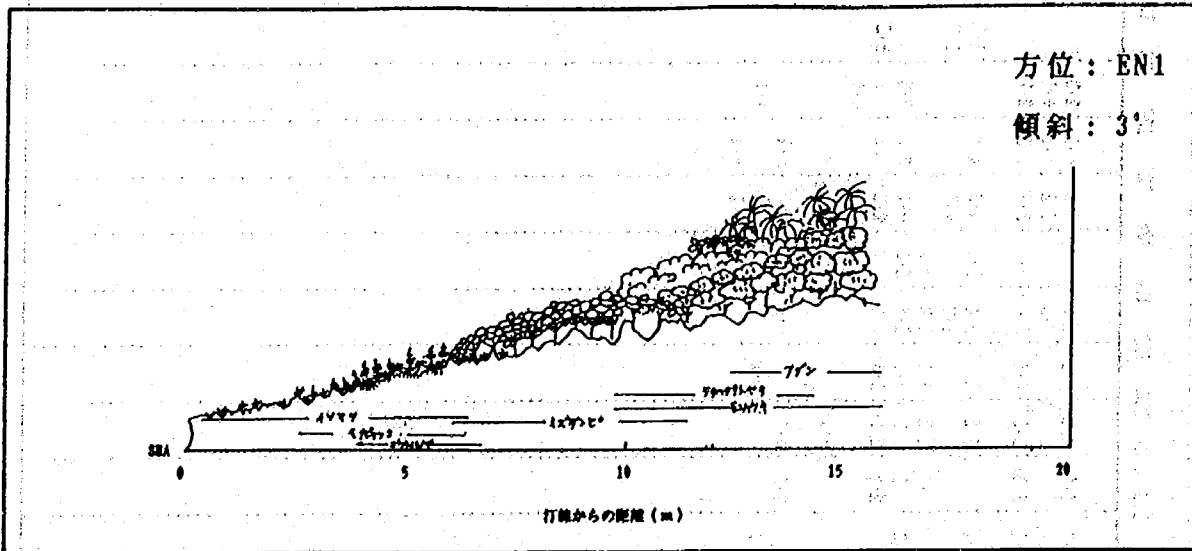


图-2·25 植生断面图(调查地点⑭)

表一 2・16 汀線からの距離による植生調査表 (調査地点⑩)

種 名	汀線からの距離 (m)																										
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	
ミズゴケ				3.4	5.5	4.4																					
アダン							2.2	4.4																			
イマワ	2.2	2.3	3.3	2.3																							
モビヤコウ		2.3	3.3	2.3																							
モリノキ							3.3	3.3	3.3																		
チリウシバ							3.3	2.2																			
オオハコク								3.3	2.2																		
コウライガ			+1	2.2																							
チリウシク									2.2																		
ササユリ			+1																								

2.2.15 調査地点⑮：与那国島・比川海岸

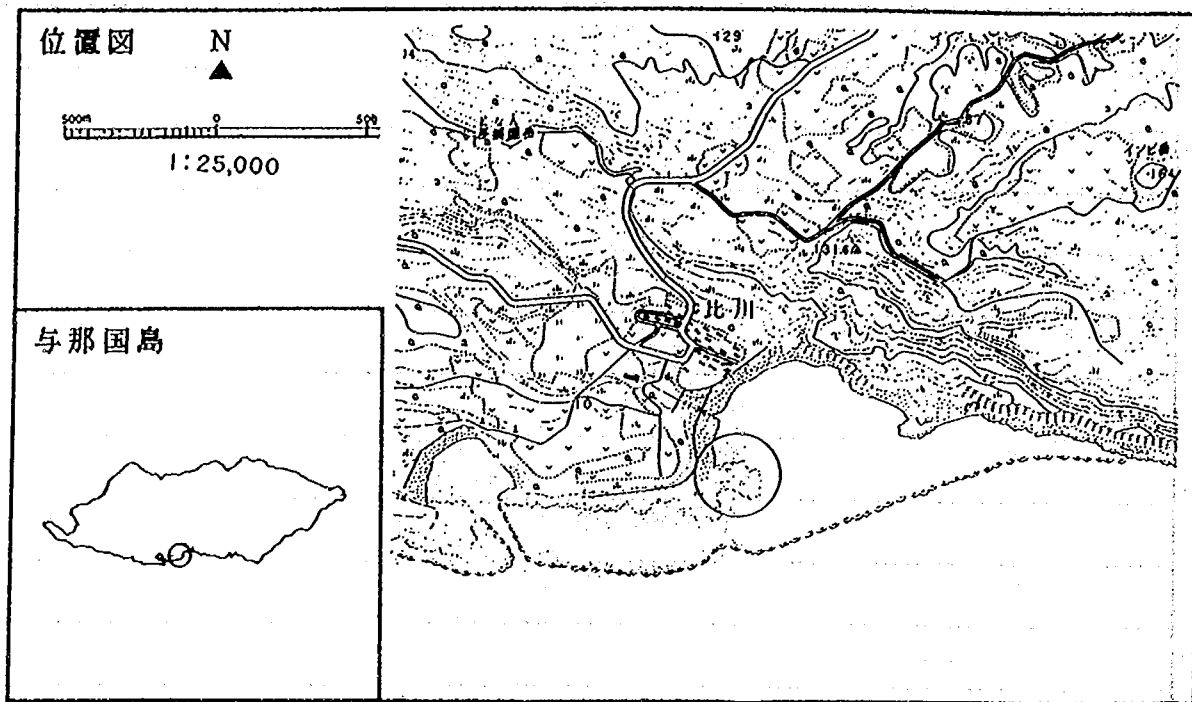


図-2・26 調査地点位置 (調査地点⑮)

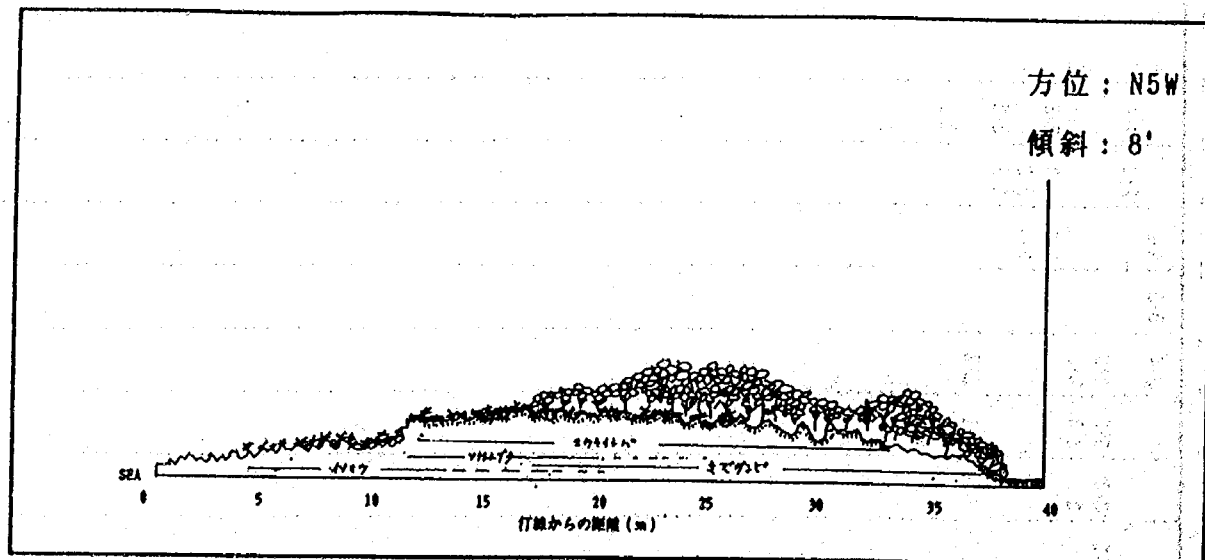
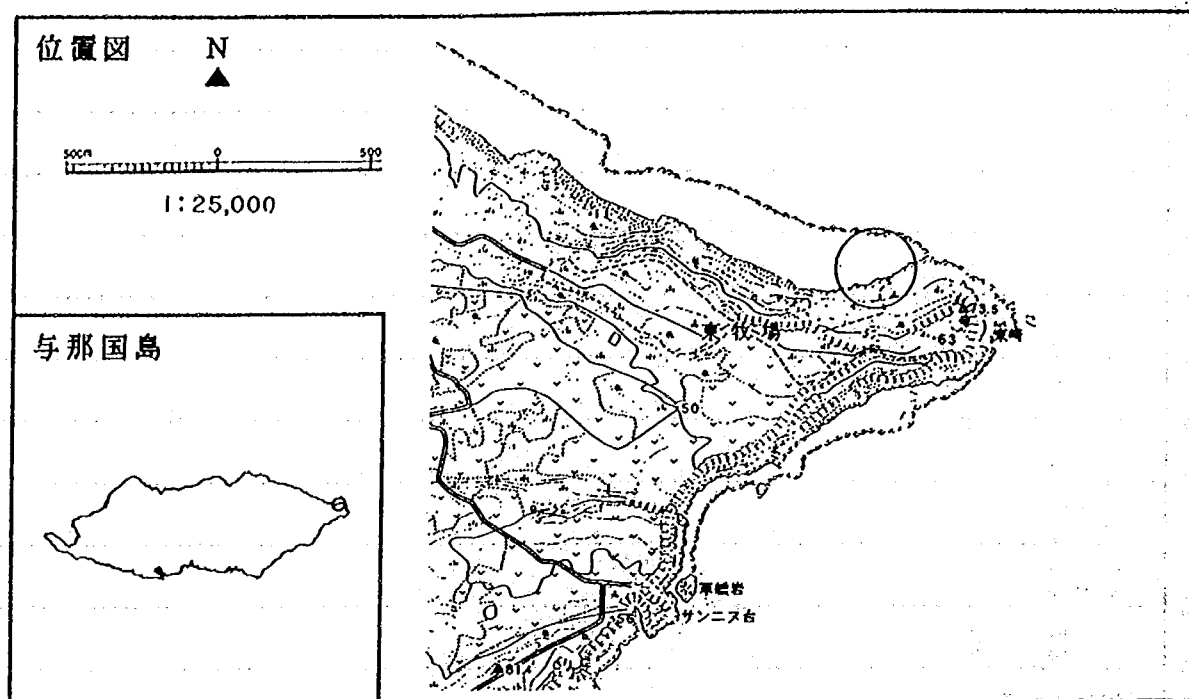


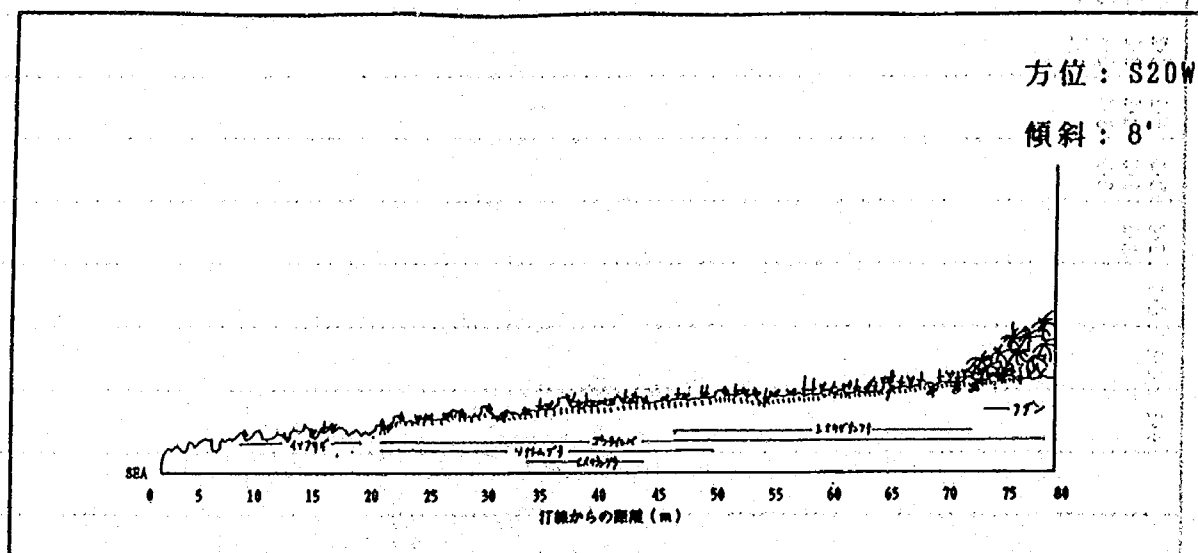
図-2・27 植生断面図 (調査地点⑮)

[illegible]

2.2.16 調査地点⑯：与那国島・東崎



図－2・28 調査地点位置（調査地点⑯）



図－2・29 植生断面図（調査地点⑯）

表一 2・18(1) 汀線からの距離による植生調査表 (調査地点⑨)

種 名	汀線からの距離 (m)																													
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	
イワサキ					+・1		+・1		+・1																					
ツルミ											3・3	3・3	2・2	3・3	2・2	3・3	3・3	1・2	+・1	2・2	1・2	2・2	2・3			+・1				
エライイカ											1・2	2・2	2・2	3・3	3・3	4・4	4・4	3・3	4・4	4・4	4・4	4・4	4・4	5・5	3・3	5・5	5・5	5・5		
ヒキランガウ																		3・3	2・3	+・1	2・3	2・3								
オハシ									+・1									+・1										1・2	2・3	
シロバナ									+・1									+・1	+・1		+・1			+・1	1・2	+・1	1・2	2・2		

表一 2・18(2) 汀線からの距離による植生調査表 (調査地点⑩)

種 名	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	汀線からの距離 (m)											
コウライガ	3・3	2・2	5・5	3・3	4・4	4・4	3・3	5・5	3・3															
アダン									3・3	5・5														
シオガビ テラキ	1・2	+・1	1・2	+・1	2・2	2・3	+・1	2・2		+・1														
ビレア				+・1	2・2					2・3														
ホリガ アダン	+・1		1・2							+・1														
イソモミ アサミ						+・1	+・1		2・2	+・1														
イダシカ							1・2	2・2	+・1															
ソナレミダラ						+・1	+・1		+・1															
イダシカ						+・1																		
ヒメランソウ							+・1																	

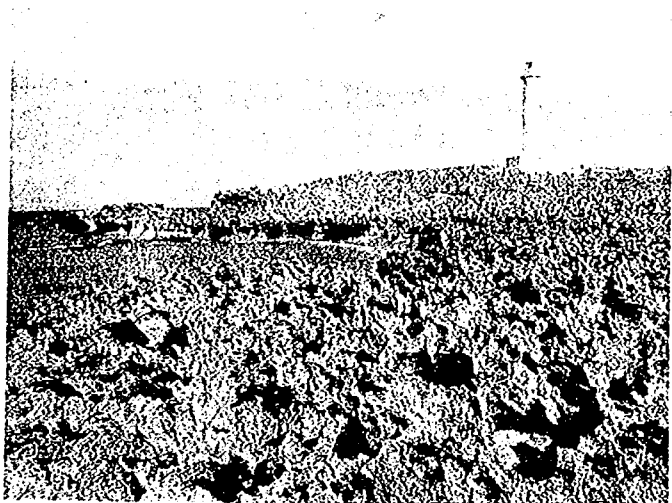


写真-2・1 調査地点①



写真-2・2 内陸部から流入した赤土が堆積した窪地（調査地点①）



写真-2・3 岩上のくぼみに生育しているミルスペリヒユ（調査地点①）

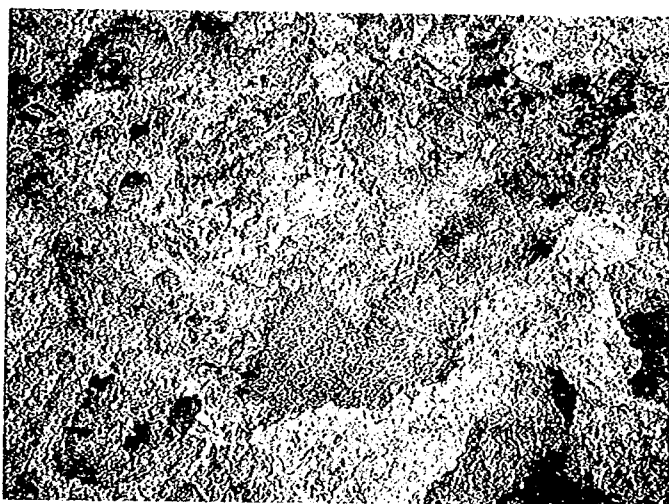


写真-2・4 岩上のくぼみに生育しているイソフサギ（調査地点①）



写真-2・5 完全に落葉したオキナワマツバボタン（調査地点①）

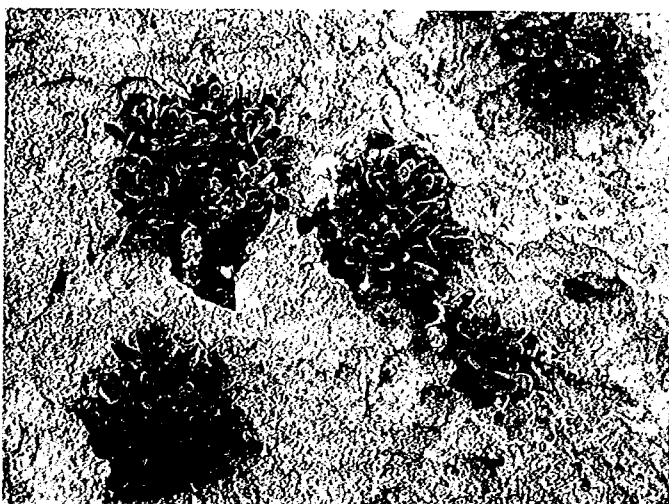


写真-2・6 岩上のくぼみに生育しているウコンイソマツ（調査地点①）

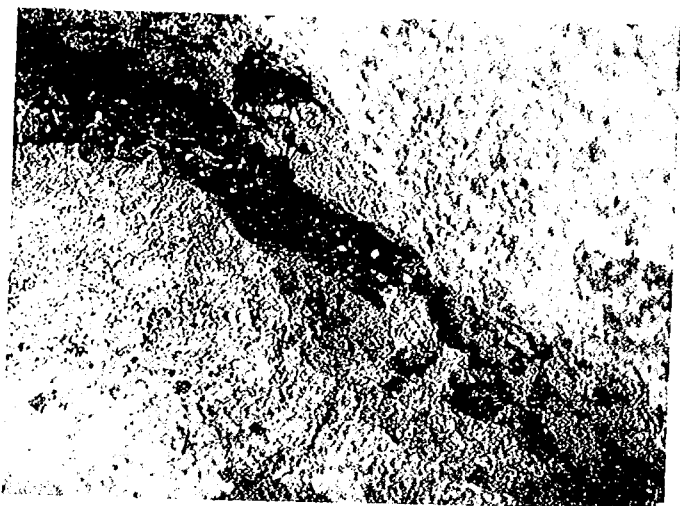


写真-2・7 岩上の割れ目に生育しているソナレムグラ (調査地点①)

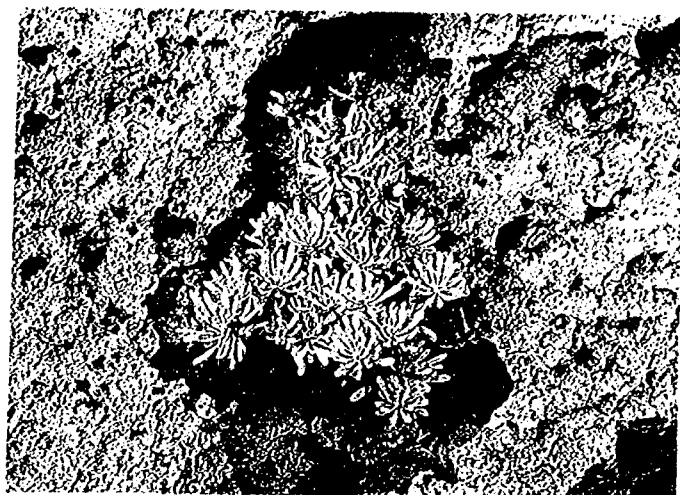


写真-2・8 岩上のくぼみに生育しているモクビャッコウ (調査地点①)



写真-2・9 岩上のくぼみに生育しているナンゴククサス (調査地点①)
キカズラ (上部は枯死)



写真-2・10 岩上のくぼみに生育しているハマエノコロ (調査地点①)
(上部は枯死)

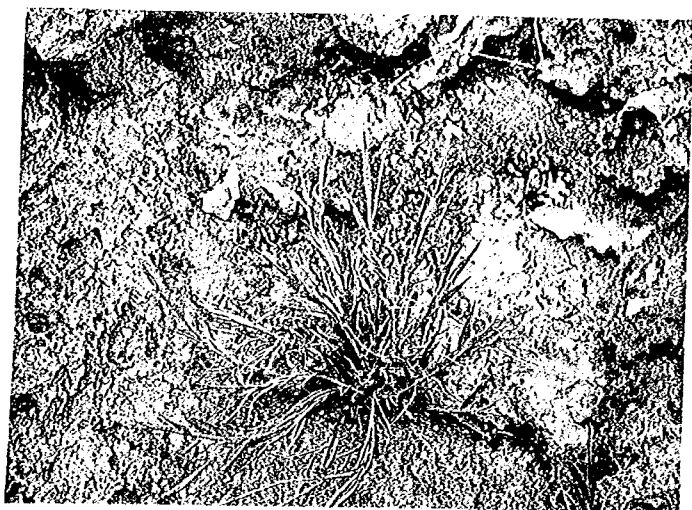


写真-2・11 岩上のくぼみに生育しているハナカモノハシ (調査地点①)



写真-2・12 岩上のくぼみに生育しているナハエボシグサ (調査地点①)

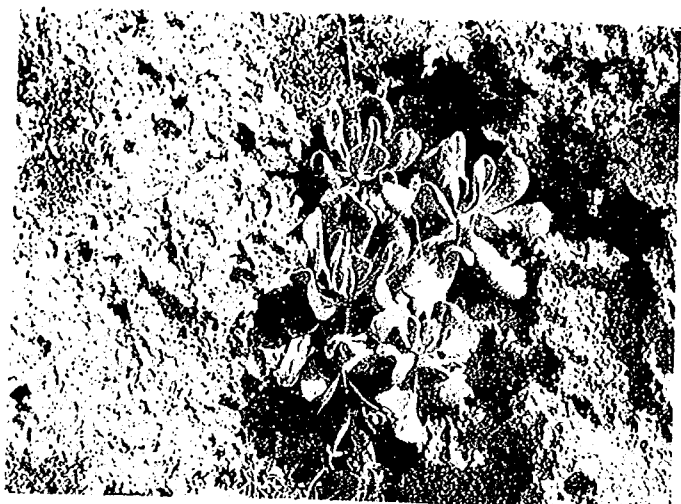


写真-2・13 岩上のくぼみに生育しているクサトベラ (調査地点①)

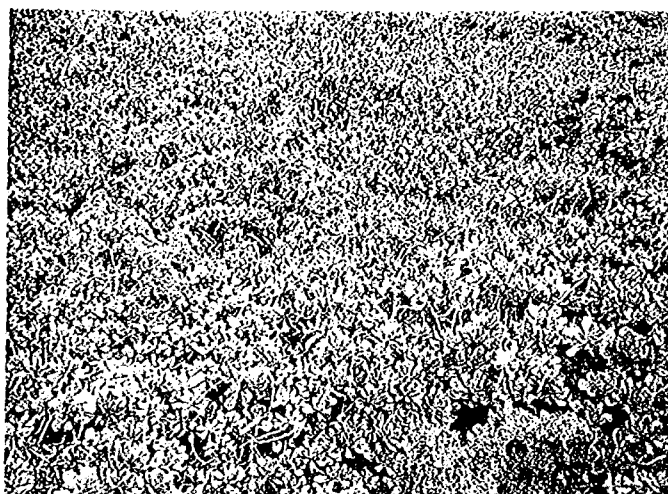


写真-2・14 岩上の裸地に広がるクサトベラ群落 (調査地点①)

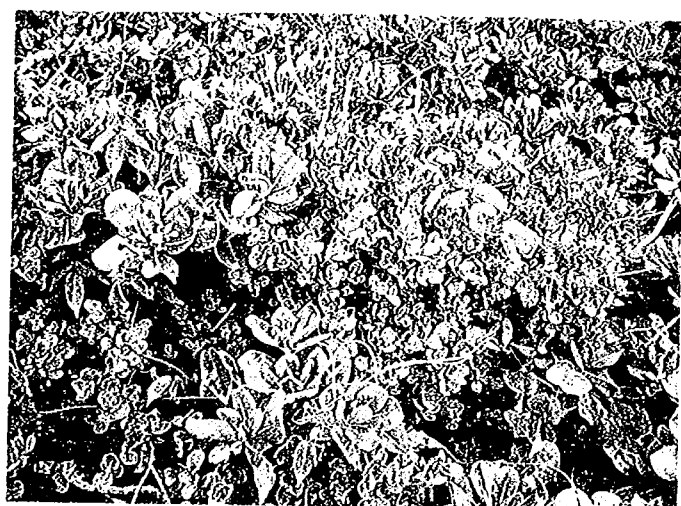


写真-2・15 クサトベラの群落中に生育するアオガンビ (調査地点①)



写真-2・16 ハマウド (調査地点①)

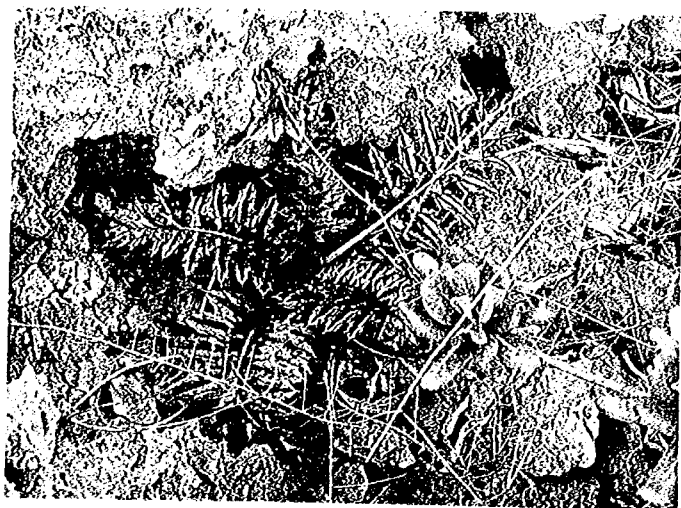


写真-2・17 砂れきがやや堆積したくぼみに生育している (調査地点①)
シマアザミ

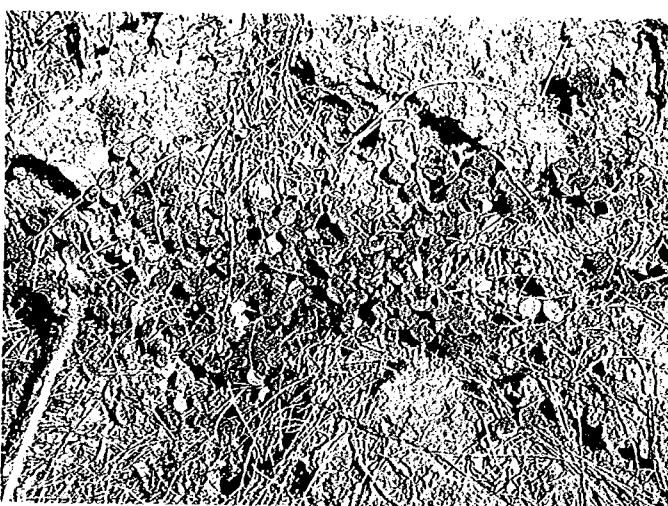


写真-2・18 岩上に広がるハギカズラ (調査地点①)



写真-2・19 土壌がかなり堆積した窪地に生育する
ハマボウス (調査地点①)



写真-2・20 クサトベラの群落中に生育するトベラ (調査地点①)



写真-2・21 ハマサルトリイバラ (調査地点①)



写真-2・22 クサトベラの群落中の土壌が堆積した
窪地内に生育するススキ (調査地点①)



写真-2・23 クサトベラの群落中に生育しているオオハマボウ。
生育状態も悪く矮性化している (調査地点①)



写真-2・24 クサトベラ群落の後方に広がるアダン群落。
葉が一部枯死しているのは野火のためである
(調査地点①)

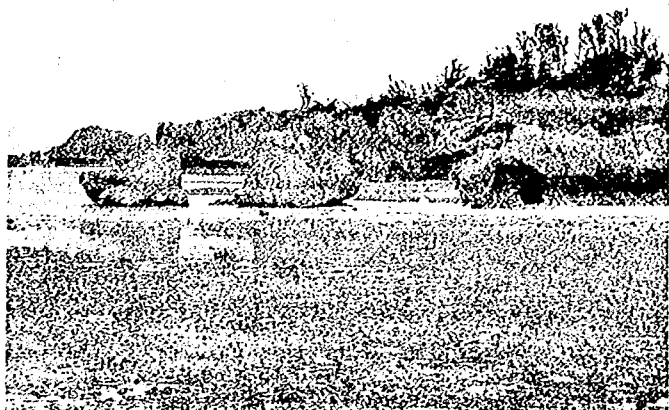


写真-2・25 調査地点②

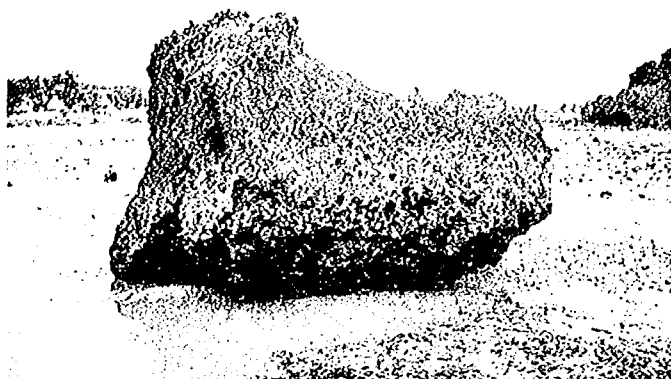


写真-2・26 調査区②-1のスクック（離れ岩）（調査地点②）



写真-2・27 岩上のくぼみに生育するイソフサギ（調査地点②）

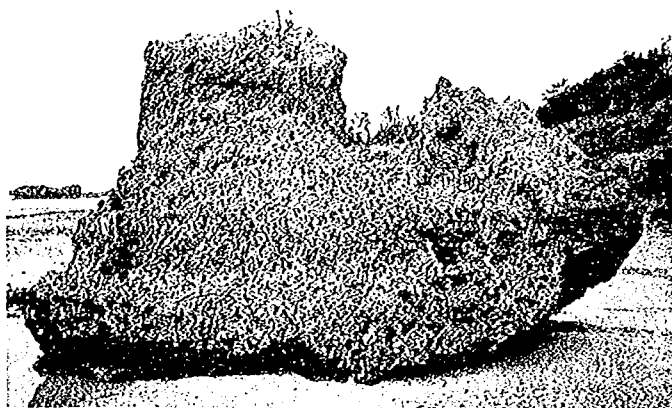


写真-2・28 調査区②-2のスクック（離れ岩）（調査地点②）



写真-2・29 岩上に生育するクサトベラ、キキョウラン、
ハイシバなど。（調査地点②）



写真-2・30 岩上に生育するコウライシバ、ソナレムグラ（調査地点②）

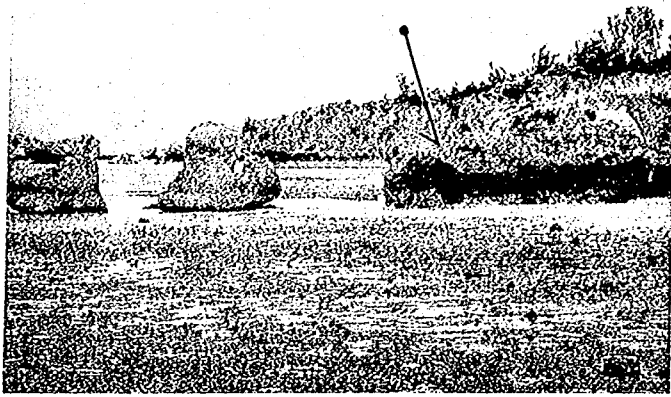


写真-2・31 調査区②-3のスクック（離れ岩）（矢印）
（調査地点②）



写真-2・32 岩上の砂礫が堆積したくぼみに生育する
ホソバワダン、ススキ、ハナカモノハシなど（調査地点②）

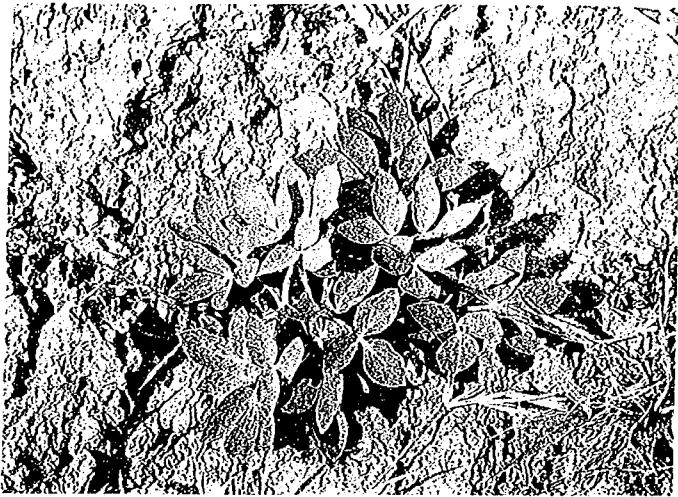


写真-2・33 岩上に生育するボタンボウフ（調査地点②）



写真-2・34 岩上に生育するソナレムグラ、ハギカズラ（調査地点②）



写真-2・35 シャリンバイの小苗、ハイシバ（調査地点②）



写真-2・36 ヒメクマヤナギとガジュマルの小苗（調査地点②）



写真-2・37 潮風が当たりにくい陸側の面に生育している
ホウライシダ (調査地点②)



写真-2・38 調査区②-4のスクック (離れ岩) (調査地点②)

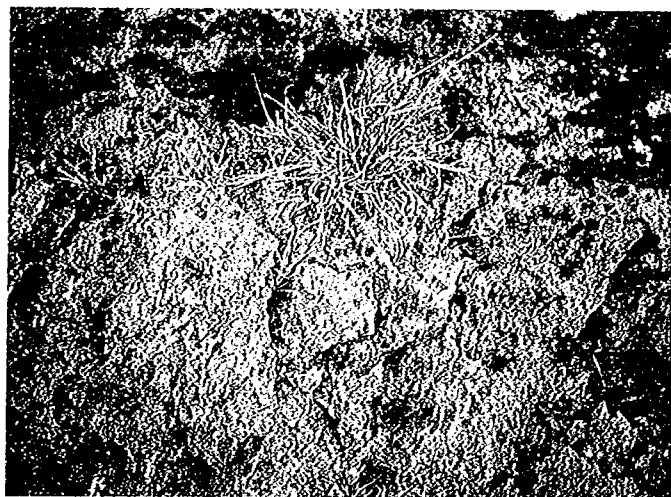


写真-2・39 岩上に生育するソナレムグラ、ハナカモノハシ(調査地点②)

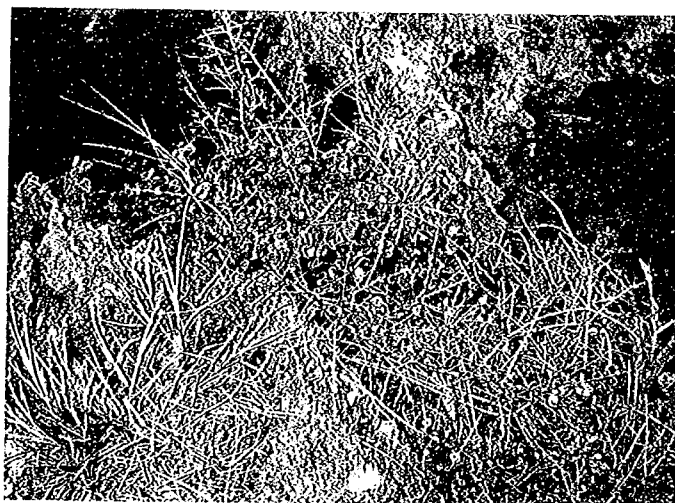


写真-2・40 岩上に生育するハイシバ、ヒメクマヤナギ(調査地点②)

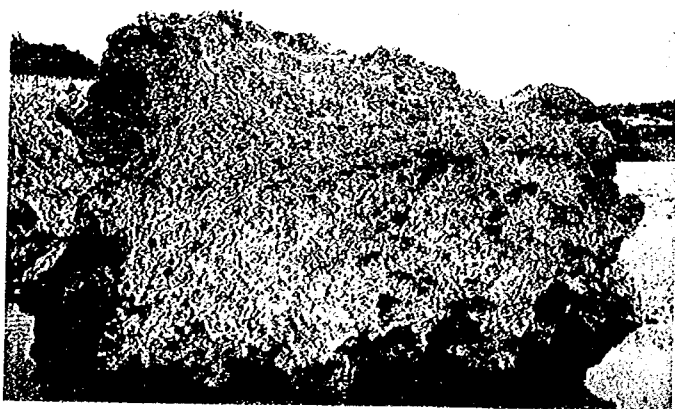


写真-2・41 調査区②-5のスクック (離れ岩) (調査地点②)

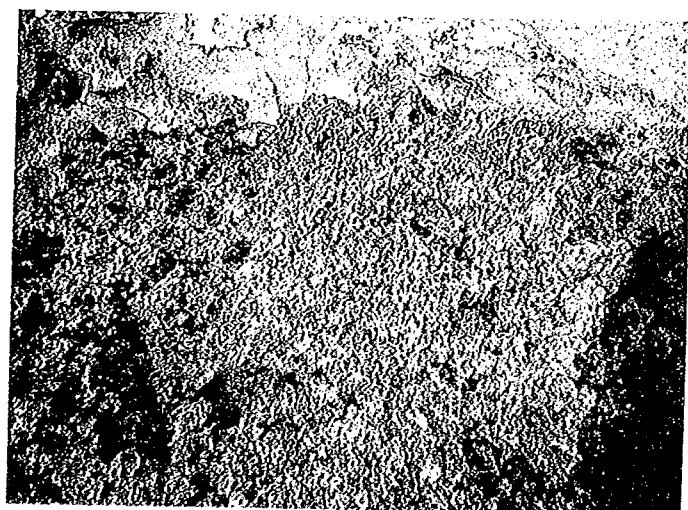


写真-2・42 岩上のくぼみに生育しているイソフサギ
(土壌は全く見られない) (調査地点②)



写真-2・43 調査地点③



写真-2・44 汀線付近の岩上のくぼみに生育する
ナハエボシグサ (調査地点③)

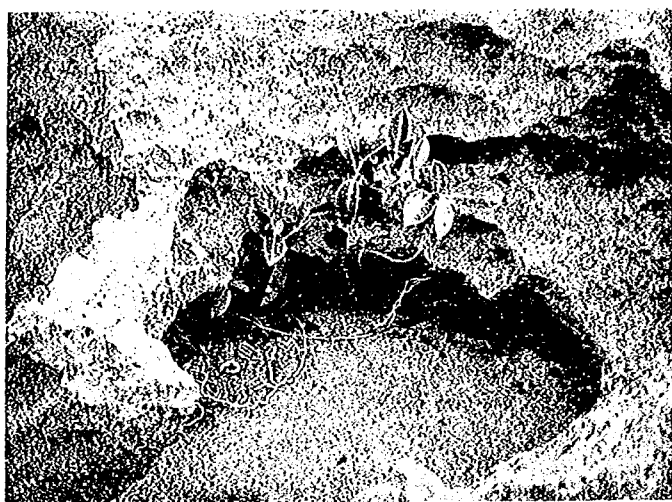


写真-2・45 汀線付近の岩上のくぼみに生育する
ガジュマル(岩の隙間に根を伸ばしている)(調査地点③)



写真-2・46 岩上に生育するコウライシバ (調査地点③)

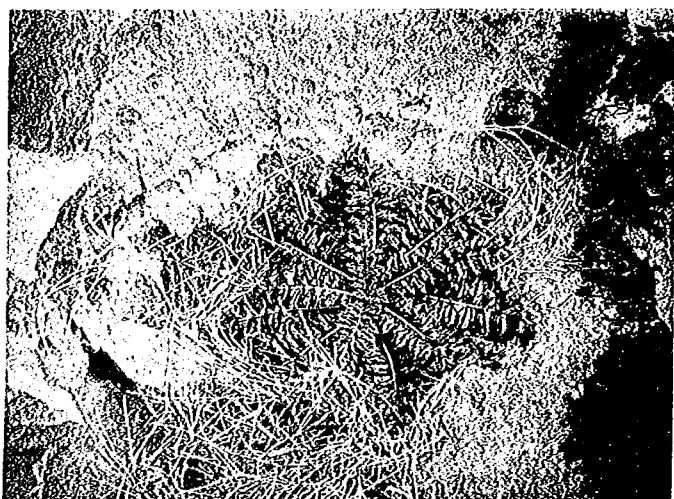


写真-2・47 岩上のくぼみに生育するシマアザミ (調査地点③)



写真-2・48 岩上のくぼみに生育するハイシバ、ホソバワダン
(調査地点③)

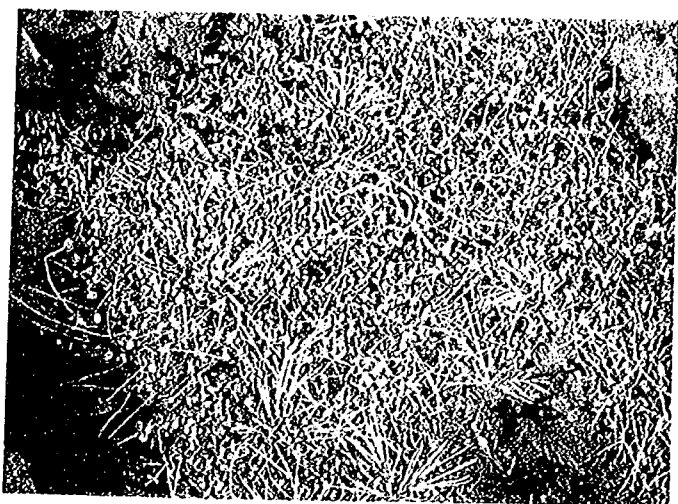


写真-2・49 岩上のくぼみに生育するハリツルマサキ (調査地点③)



写真-2・50 岩上のくぼみに生育するボタンボウフ (調査地点③)

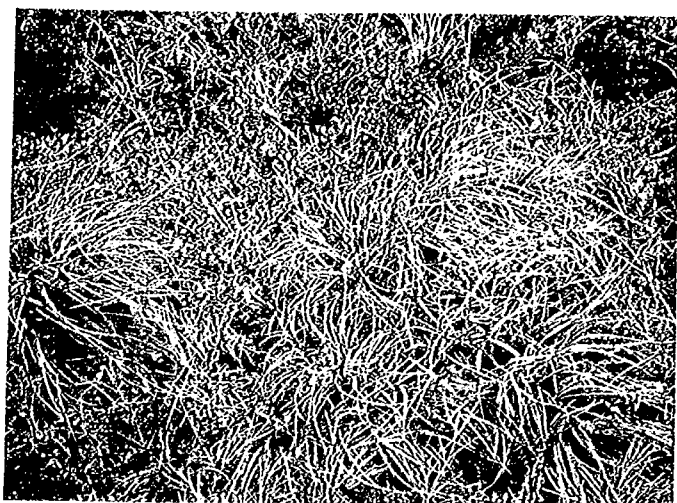


写真-2・51 岩上のくぼみに生育するヒゲスゲ (調査地点③)

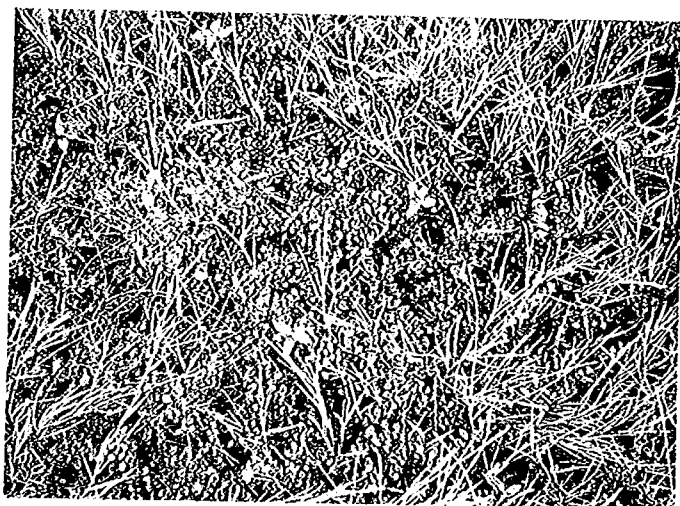


写真-2・52 岩上のくぼみに生育するヒメクマヤナギ (調査地点③)

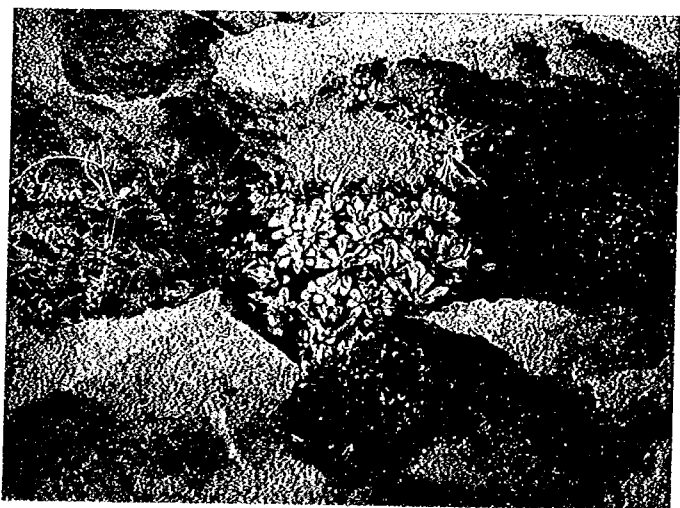


写真-2・53 岩上のくぼみに生育するハマボウス (調査地点③)

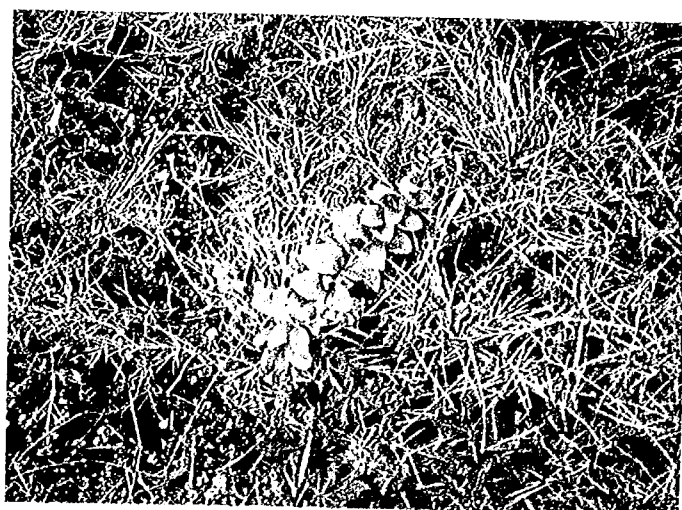


写真-2・54 砂礫などの土壌が堆積した場所に生育する
ヒメイオウカズラ (調査地点③)

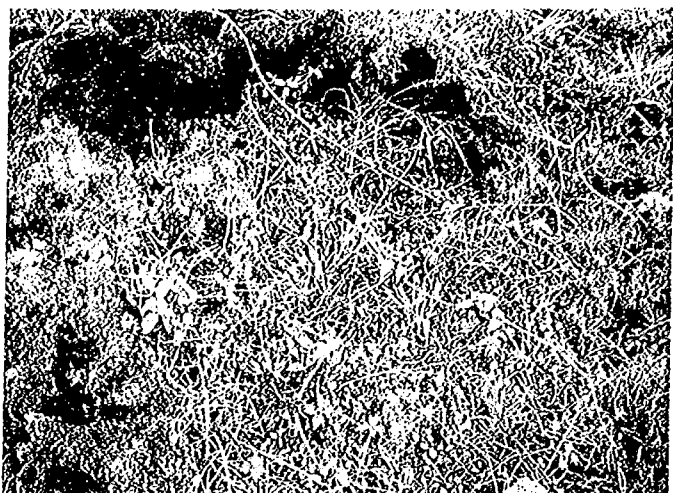


写真-2・55 岩上にのびるハマグルマ (調査地点③)



写真-2・56 クサトベラ群落の前面にみられたテリハノイバラ (調査地点③)



写真-2・57 クサトベラ群落の中に生育するトベラ (調査地点③)



写真-2・58 潮風害がみられるソテツ (調査地点③)



写真-2・59 潮風害がみられるアダン (調査地点③)



写真-2・60 ソテツの間に生育していたオオハマボウ、矮性化しており、生育状態も悪い (調査地点③)



写真-2・61 調査地点④



写真-2・62 調査区④-1

(調査地点④)



写真-2・63 岩の割れ目に生育するソナレムグラ (調査地点④)



写真-2・64 岩の割れ目に生育するハマボス (調査地点④)



写真-2・65 岩の割れ目に生育するホソバワダン (調査地点④)

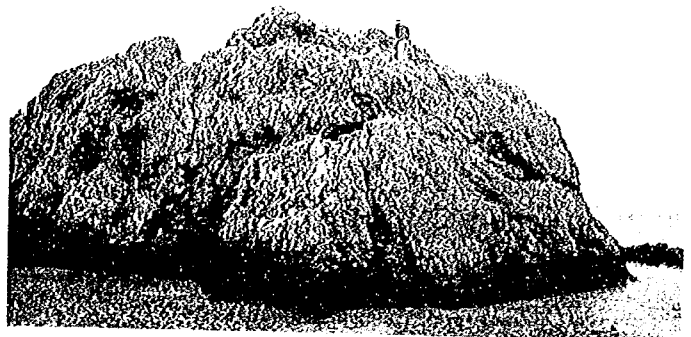


写真-2・66 調査区④-2

(調査地点④)



写真-2・67 岩上の割れ目に生育するホソバワダン (調査地点④)



写真-2・68 やや土壌が堆積した岩の割れ目に生育するススキ (調査地点④)



写真-2・69 やや土壌が堆積した岩の割れ目に生育するハリツルマサキ (調査地点④)



写真-2・70 岩上を覆うヒメクマヤナギ (調査地点④)

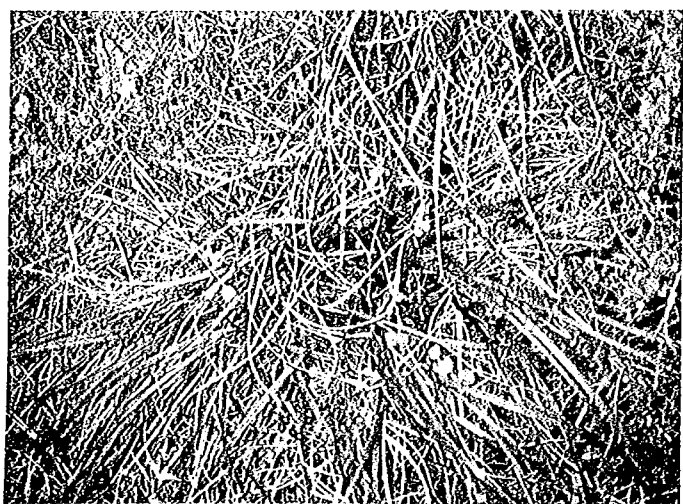


写真-2・71 岩上の土壌が堆積したくぼみに生育するヤブラン (調査地点④)



写真-2・72 岩の割れ目に生育するハマエノコロ (上部は枯死) とシマアザミ (調査地点④)

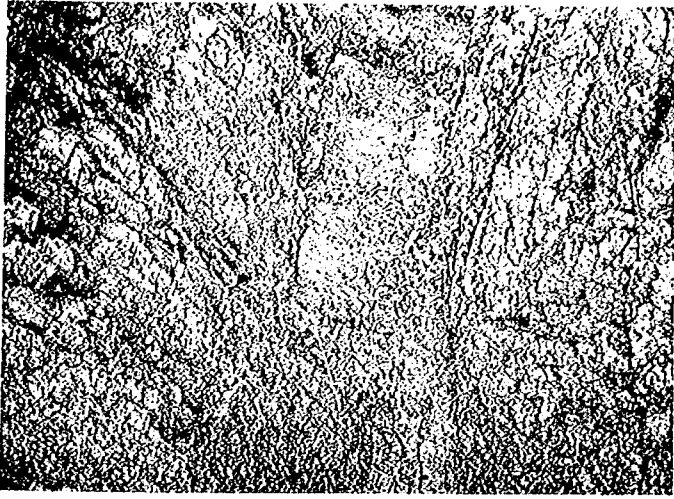


写真-2・73 岩の割れ目に生育するデンノウメ (調査地点④)



写真-2・74 岩の割れ目に生育するヒゲスゲ (調査地点④)

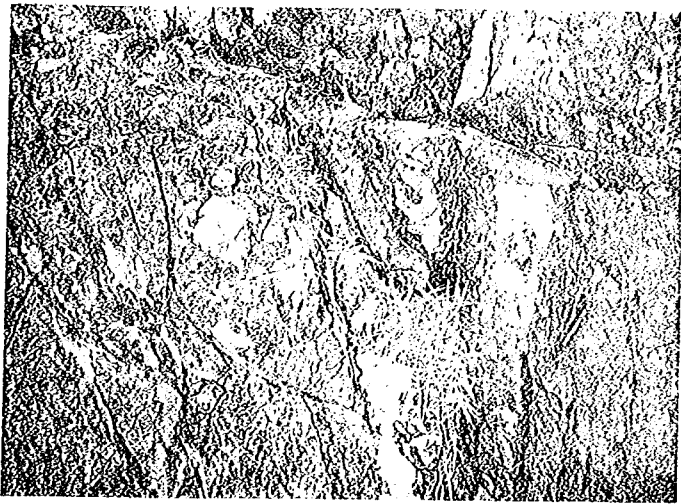


写真-2・75 岩の割れ目に生育するハナカモノハシ (調査地点④)



写真-2・76 岩の割れ目に生育するナンゴククサスギカズラ (上部は枯死) (調査地点④)



写真-2・77 岩の割れ目に生育するハママンネングサ (調査地点④)



写真-2・78 岩の小さなくぼみに生育するオニヤブソテツ (調査地点④)



写真-2・79 調査地点⑤



写真-2・80 調査区⑤—1概観

(調査地点⑤)



写真-2・81 調査区⑤—1概観

(調査地点⑤)

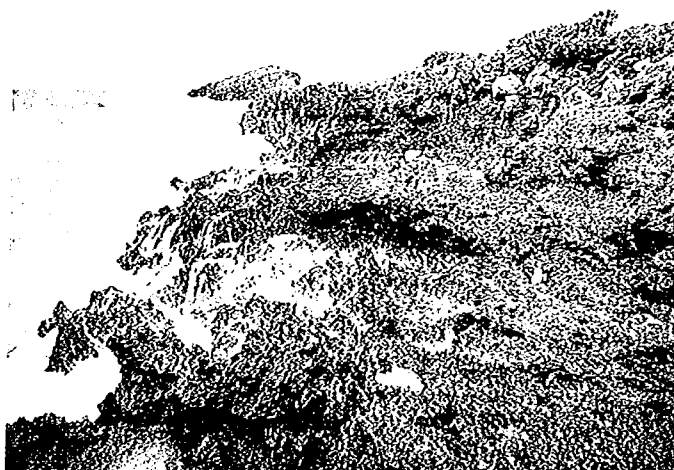


写真-2・82 波を頻繁に被る汀線付近に生育するイソマツ (調査地点⑤)



写真-2・83 波を頻繁に被る汀線近くに生育するイソマツ (調査地点⑤)

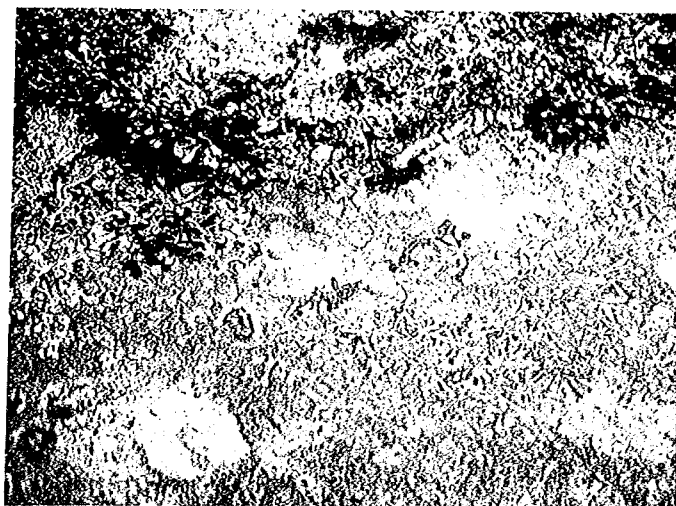


写真-2・84 波を被り冠水状態のイソマツ

(調査地点⑤)



写真-2・85 岩の割れ目に生育するソナレムグラ (調査地点⑤)

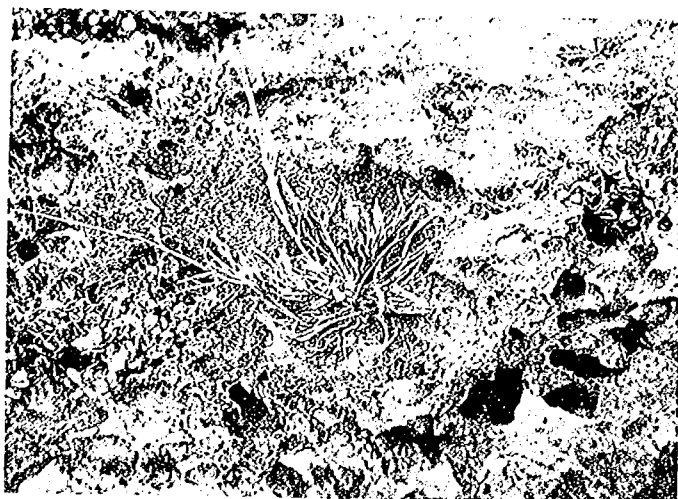


写真-2・86 岩の小さなくぼみに生育するハナカモノハシ (調査地点⑤)

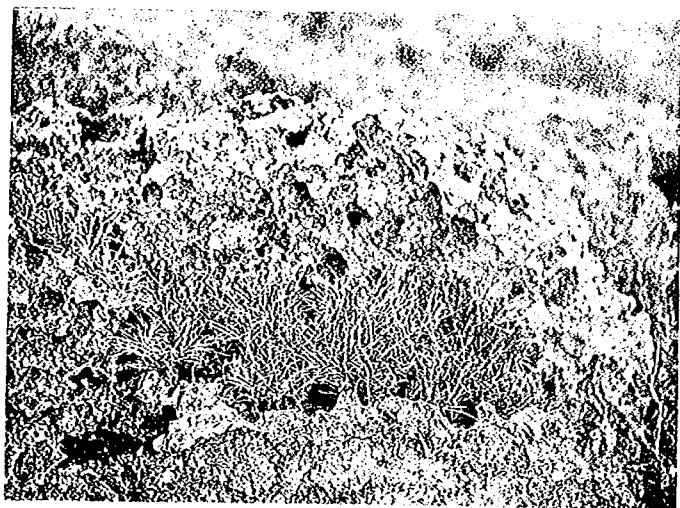


写真-2・87 岩の割れ目に生育するコウライシバ (調査地点⑤)



写真-2・88 岩の小さなくぼみに根を下ろす
ナハエボシグサ (調査地点⑤)

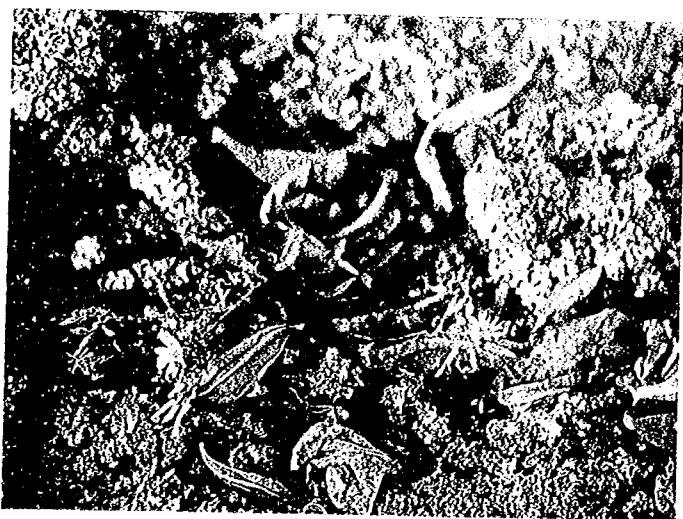


写真-2・89 若干砂礫などが堆積した場所に生育する
ホソバウダン (調査地点⑤)



写真-2・90 陸側上部のクサトベラ群落と
その後方のアダン群落 (調査地点⑤)



写真-2・91 調査地点⑥



写真-2・92 点在するスクック（離れ岩）
岩上には植物が生育している（調査地点⑥）

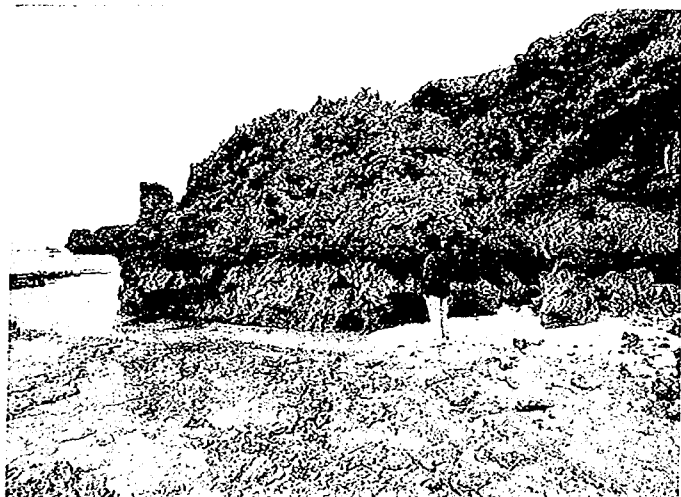


写真-2・93 調査区⑥-1のスクック（離れ岩）（調査地点⑥）

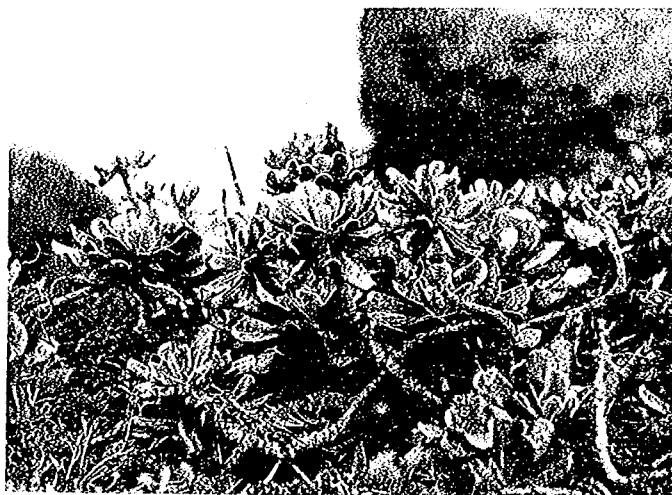


写真-2・94 岩上に生育するクサトベラ（調査地点⑥）



写真-2・95 岩上に生育するテンノウメ（調査地点⑥）

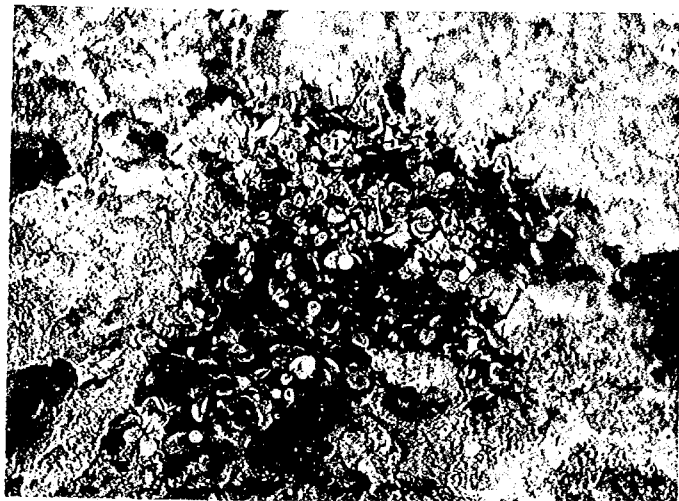


写真-2・96 岩上に生育するソナレムグラ（調査地点⑥）



写真-2・97 岩上に生育するハイシバ (調査地点⑥)



写真-2・98 岩上のやや土壌が堆積したくぼみに生育する
ギギヨウラン (調査地点⑥)



写真-2・99 岩上のやや土壌が堆積したくぼみに生育する
ハナカモノハシ (調査地点⑥)



写真-2・100 岩上のやや土壌が堆積したくぼみに生育する
ハマゴウ (調査地点⑥)



写真-2・101 岩上のやや土壌が堆積したくぼみに生育する
リダン (調査地点⑥)



写真-2・102 岩上のやや土壌が堆積したくぼみに生育する
テンジクナスビ (調査地点⑥)



写真-2・103 岩上のやや土壌が堆積したくぼみに生育する
シマアザミ
(調査地点⑥)



写真-2・104 岩上に生育するアオガンビ、株は小さく生育
状態も悪い
(調査地点⑥)

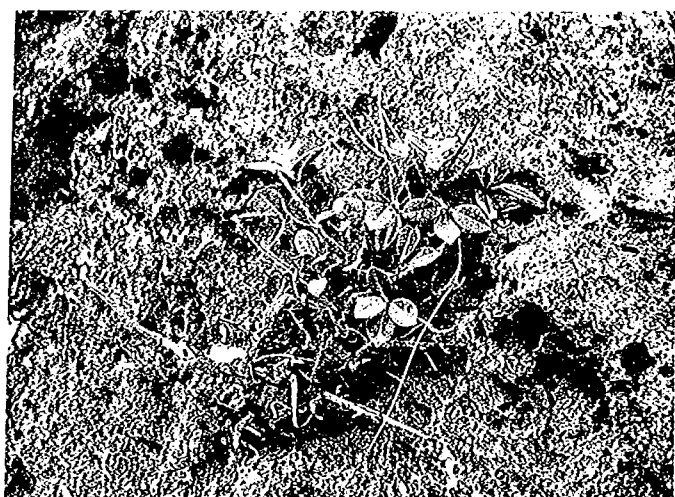


写真-2・105 全く土壌がみられない小さなくぼみに生育する
カジュマル、生育状態は悪い
(調査地点⑥)

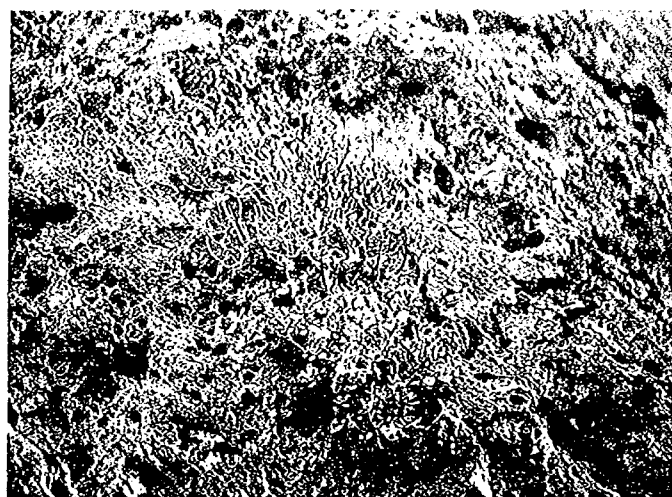


写真-2・106 全く土壌がみられない小さなくぼみに生育する
ミスガンビ、生育状態は悪い
(調査地点⑥)



写真-2・107 全く土壌がみられない小さなくぼみに生育する
モンバノキ、生育状態は悪い
(調査地点⑥)



写真-2・108 調査区 ⑥-2
(調査地点⑥)

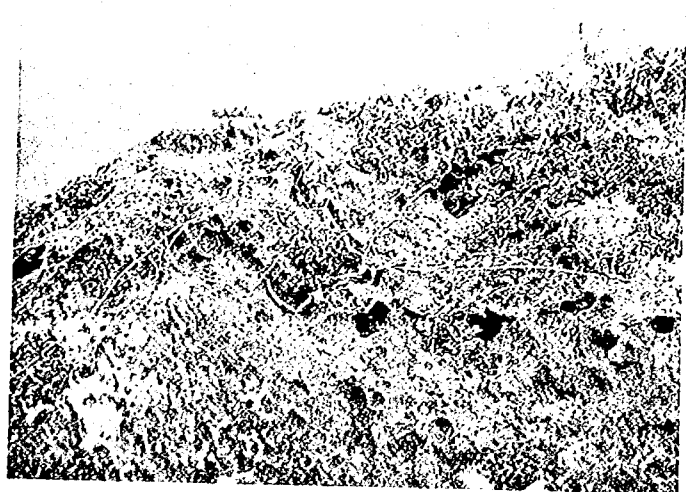


写真-2・109 岩上を這うスナズル

(調査地点⑥)



写真-2・110 ハリツルマサキ、ハイシバ

(調査地点⑥)



写真-2・111 土壌が堆積したくぼみに生育するアオガンビ、
生育状態は悪い

(調査地点⑥)

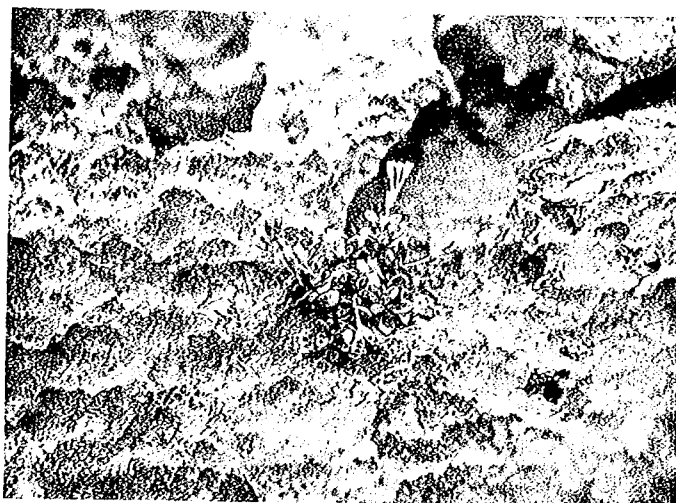


写真-2・112 ソナレムグラ

(調査地点⑥)



写真-2・113 ナハエボシグサ

(調査地点⑥)

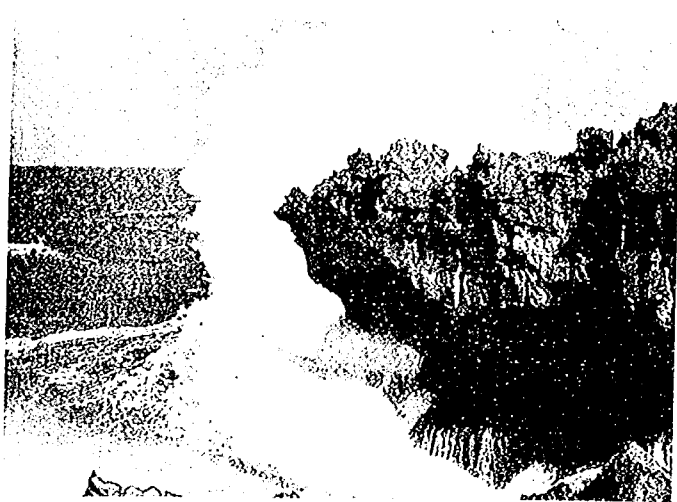


写真-2・114調査地点⑦のリーフが発達していない岬の先端部分、
非常に波が荒い



写真-2・115調査地点⑦の岬の西側はリーフが発達しており、
波も穏やかである



写真-2・116調査地点⑦

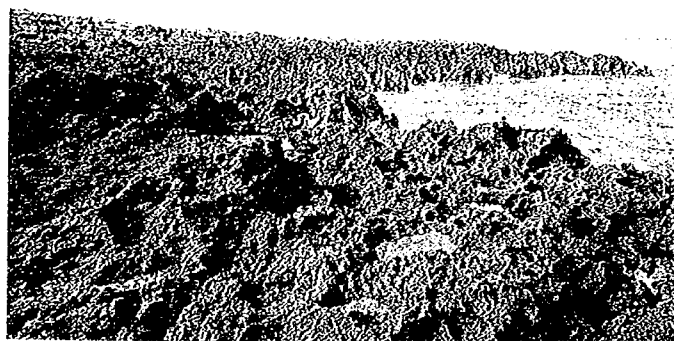


写真-2・117岩上には凹凸が多い

(調査地点⑦)



写真-2・118汀線付近に生育するイソフサギ

(調査地点⑦)

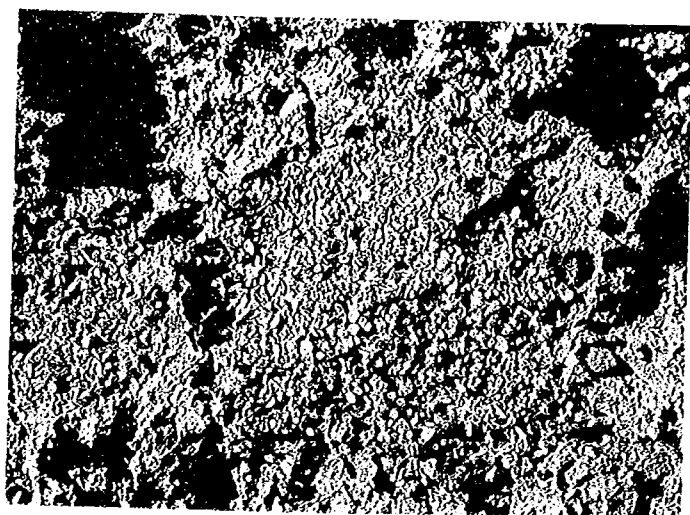


写真-2・119汀線付近に生育するイソフサギ

(調査地点⑦)



写真-2・120 イソフサギと混生するイソマツ (調査地点㉑)

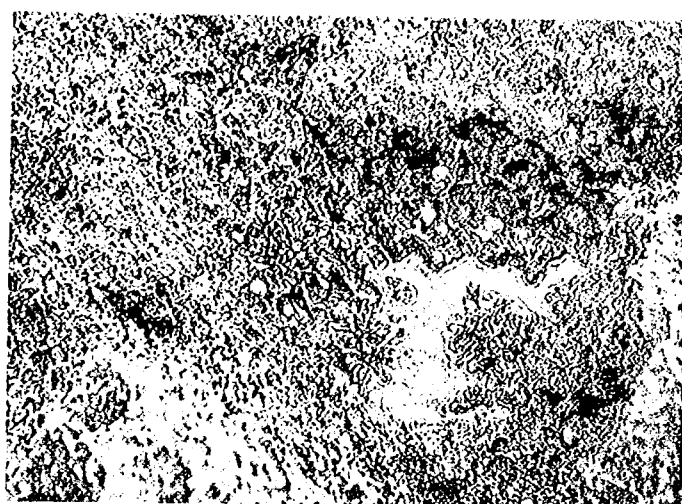


写真-2・121 汗線付近のくぼみに生育するイソマツ (調査地点㉑)

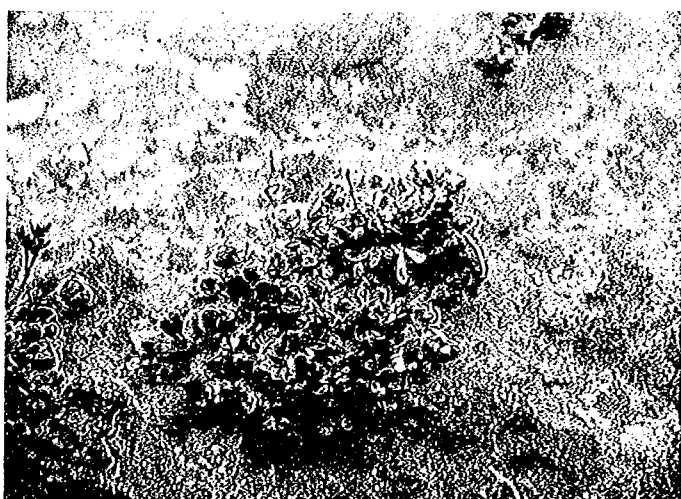


写真-2・122 冠水状態で開花しているイソマツ (調査地点㉑)

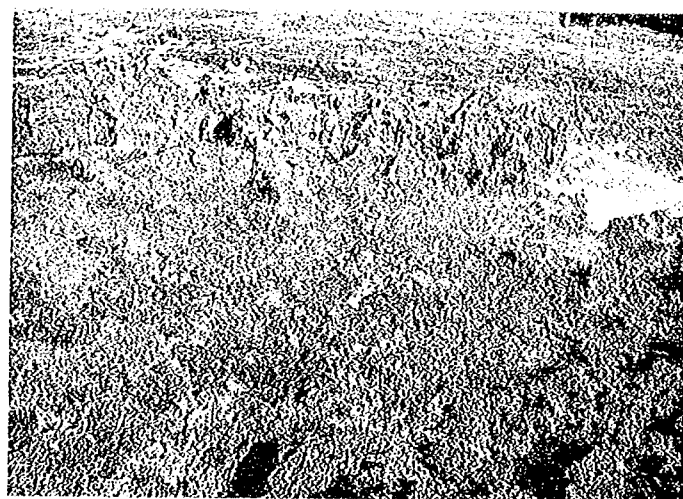


写真-2・123 頻繁に波を被り冠水する場所に生育するイソマツ (調査地点㉑)



写真-2・124 波の出入りの様子 (調査地点㉑)

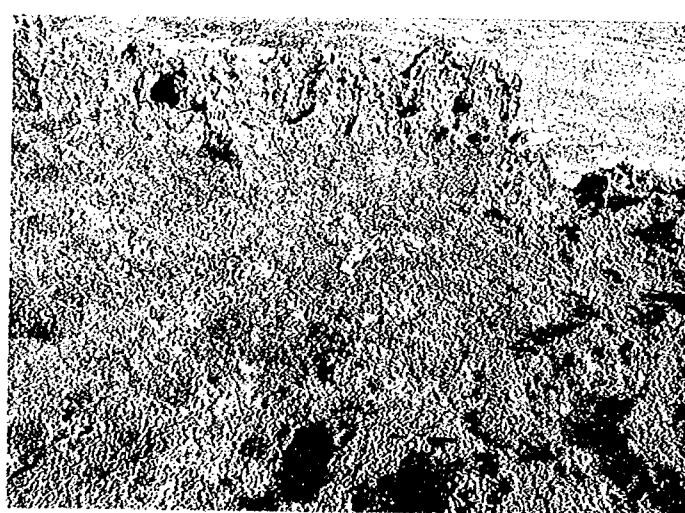


写真-2・125 波の出入りの様子 (調査地点㉑)

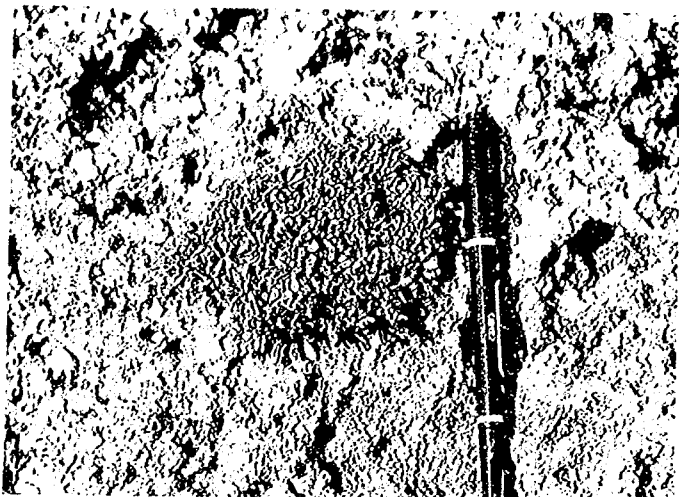


写真-2・126 矮性化がみられるイソマツ (調査地点㉑)



写真-2・127 コウライシバ (調査地点㉑)

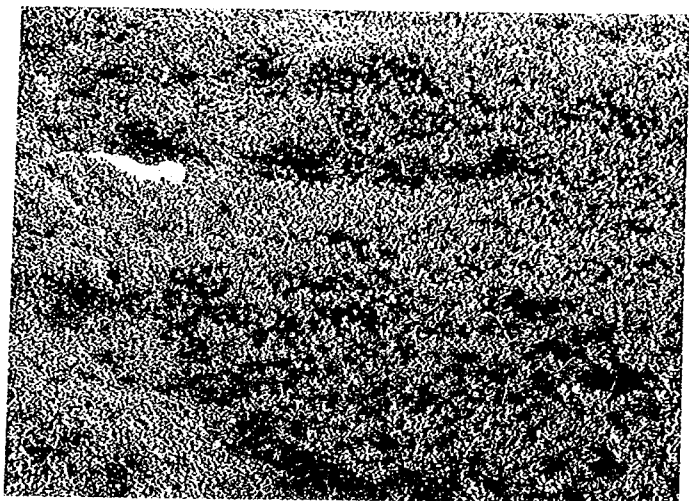


写真-2・128 大きな窪地内に広がるミズガンピ (調査地点㉑)



写真-2・129 ミズガンピの群落内にみられるクサトベラ (調査地点㉑)

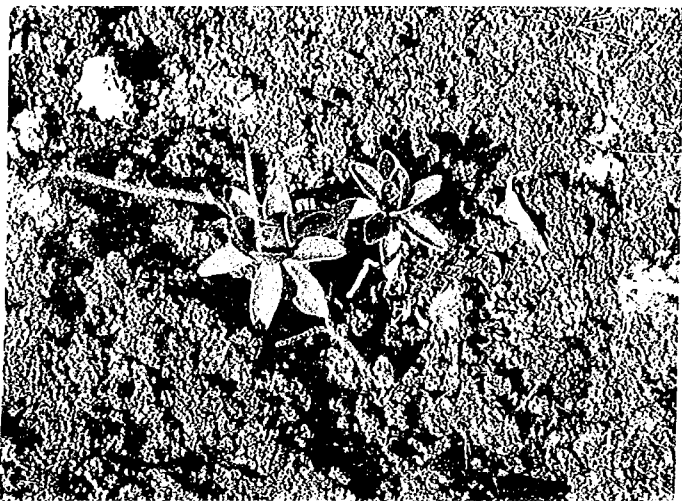


写真-2・130 ミズガンピの群落内にみられるモンパノキ (調査地点㉑)



写真-2・131 クサトベラの樹下に生育するハマエノコロ (上部は枯死) (調査地点㉑)

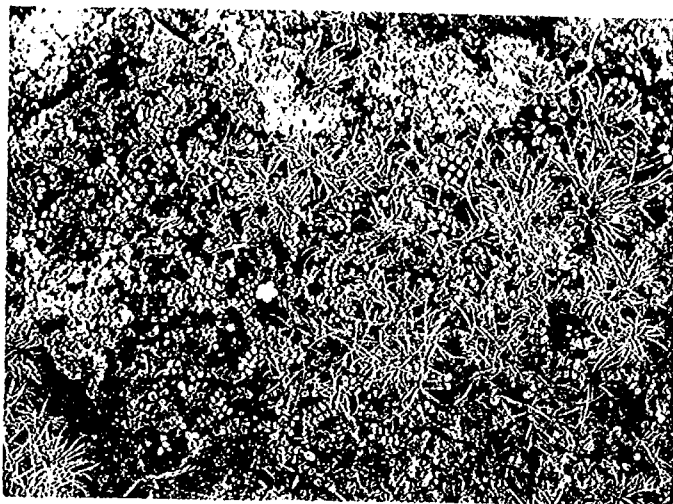


写真-2・132 テンノウメ

(調査地点⑦)



写真-2・133 やや陸側上部にみられるアサガオガラクサ(調査地点⑦)



写真-2・134 アサガオガラクサの開花株

(調査地点⑦)



写真-2・135 ホソバワダン

(調査地点⑦)

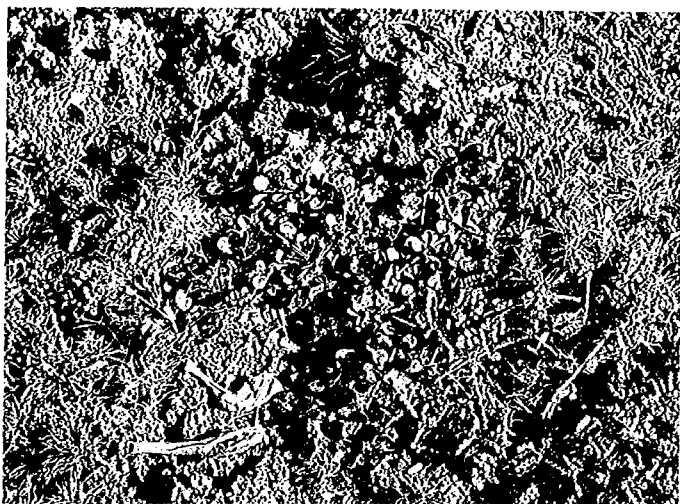


写真-2・136 ハリツルマサキ

(調査地点⑦)



写真-2・137 クサトベラ群落とその後方に続くアダン群落

(調査地点⑦)

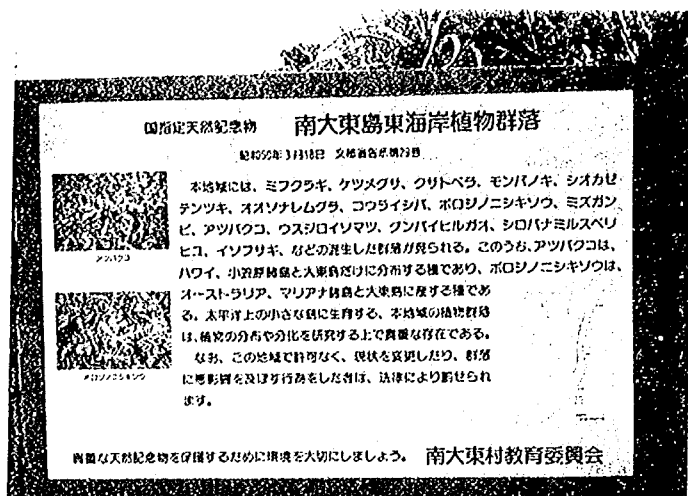


写真-2・138 調査地点⑧



写真-2・139 調査地点⑧



写真-2・140 調査地点⑧



写真-2・141 汀線付近のくぼみ内に生育するイソフサギ (調査地点⑧)



写真-2・142 僅かな砂礫がみられる岩の割れ目内に生育するアツバクコ (調査地点⑧)

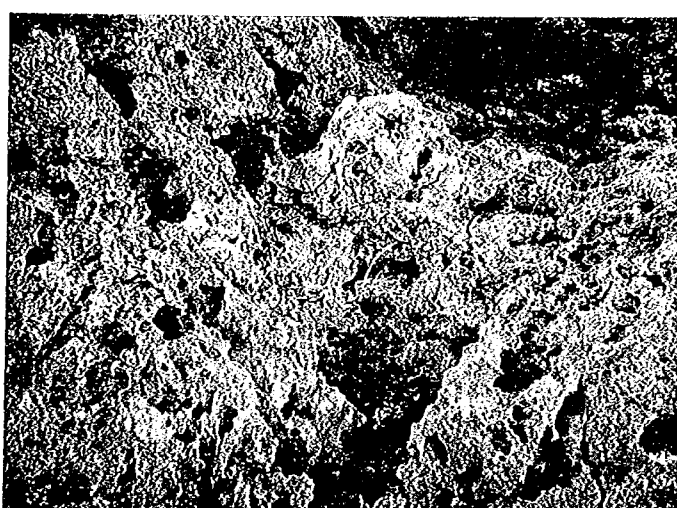


写真-2・143 くぼみ内に生育するウスジロイソマツ (調査地点⑧)

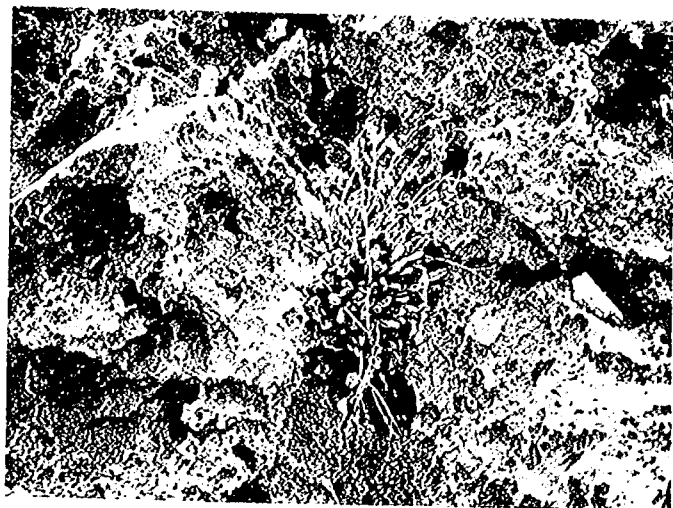


写真-2・144 くぼみ内に生育するウスジロイソマツ (調査地点⑧)



写真-2・145 くぼみ内に生育するオオソナレムグラ (調査地点⑧)



写真-2・146 くぼみ内に生育するボロジノニシキソウ (調査地点⑧)

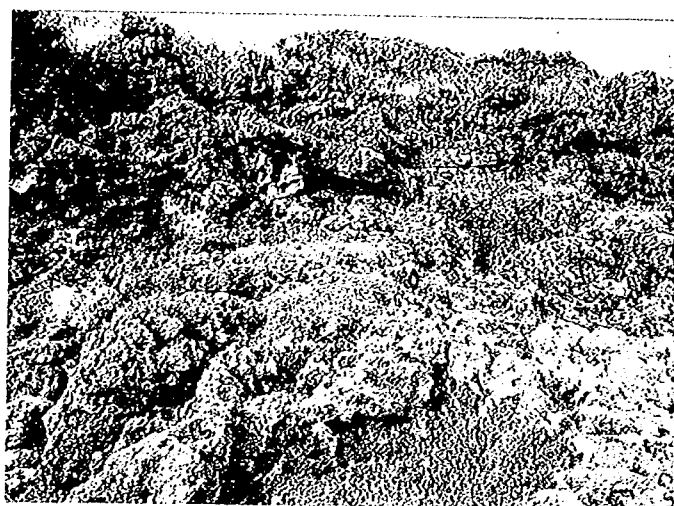


写真-2・147 くぼみ内に生育するミズガンビ (調査地点⑧)

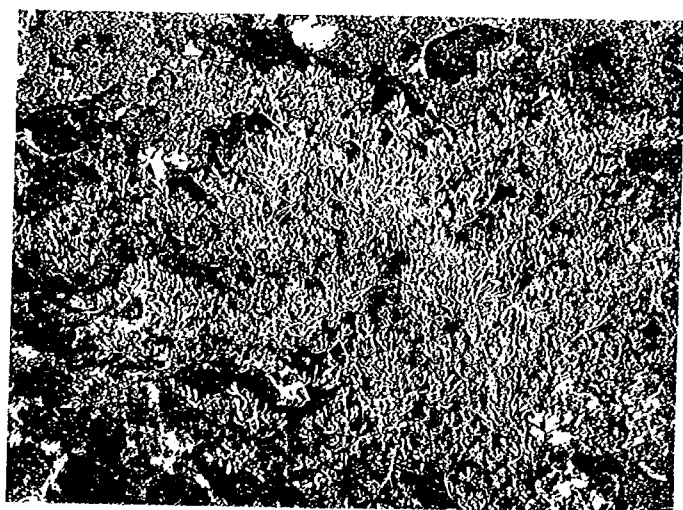


写真-2・148 くぼみ内に生育するミズガンビ (調査地点⑧)

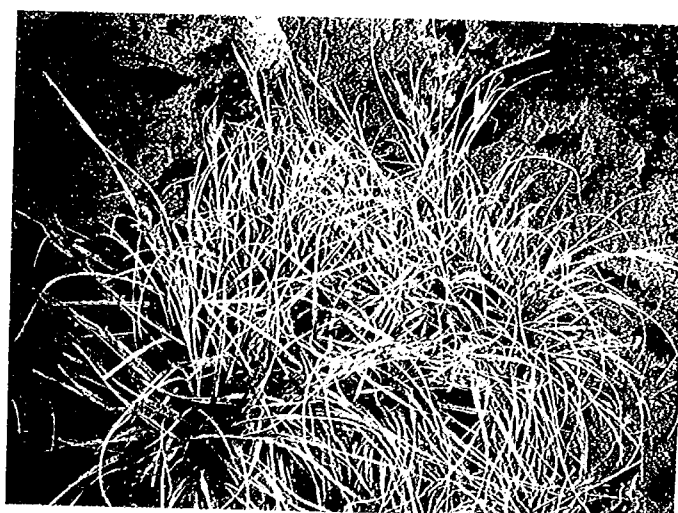


写真-2・149 陸側上部の岩陰に生育するヒゲスゲ (調査地点⑧)



写真-2・150 モンパノキ

(調査地点⑧)

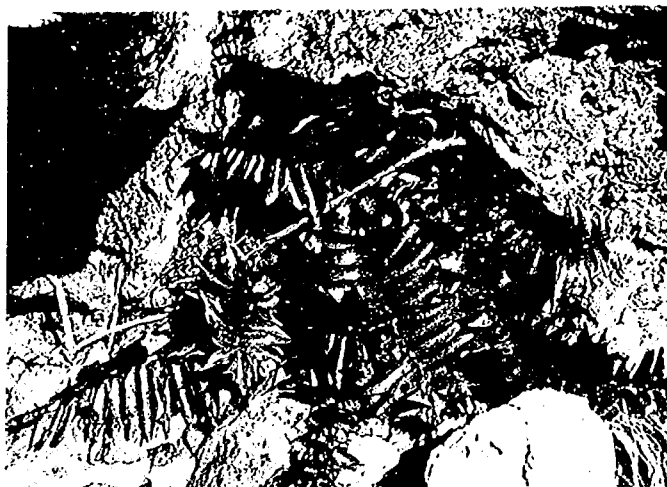


写真-2・151 陰側上部の岩陰に生育するオオヤブソテツ(調査地点⑧)



写真-2・152 ハマウド

(調査地点⑧)



写真-2・153 潮風がみられるアダン

(調査地点⑧)



写真- 2 ・ 154調査地点㊟

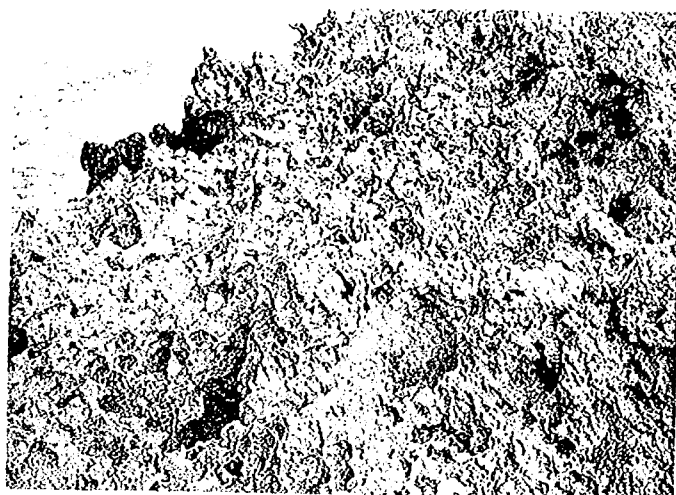


写真- 2 ・ 155汀線付近にみられるミルスペリヒユ (調査地点㊟)



写真- 2 ・ 156くぼみ内のアツバクコ (調査地点㊟)

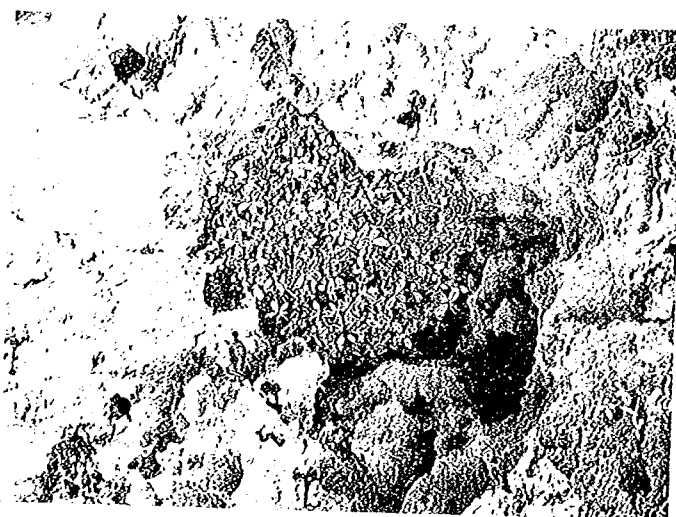


写真- 2 ・ 157くぼみ内のオオソナレムグラ (調査地点㊟)

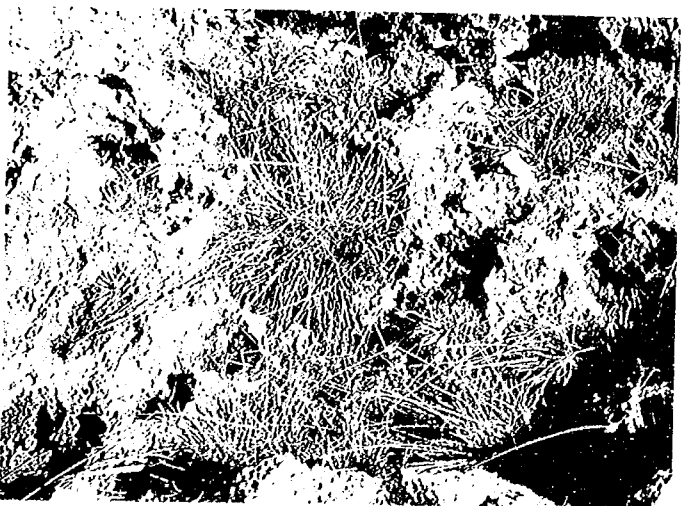


写真- 2 ・ 158くぼみ内のシオカゼテンツキ (調査地点㊟)



写真- 2 ・ 159岩上を這うように広がるハマゴウ
(落葉中) (調査地点㊟)



写真-2・160陸側上部に生育するモンパノキ (調査地点⑨)



写真-2・161ハマゴウ群落に続くアダン林、
樹高がかなり低い (調査地点⑨)



写真-2・162 石垣島、観音崎のスクック（離れ岩）
（調査地点㊟）

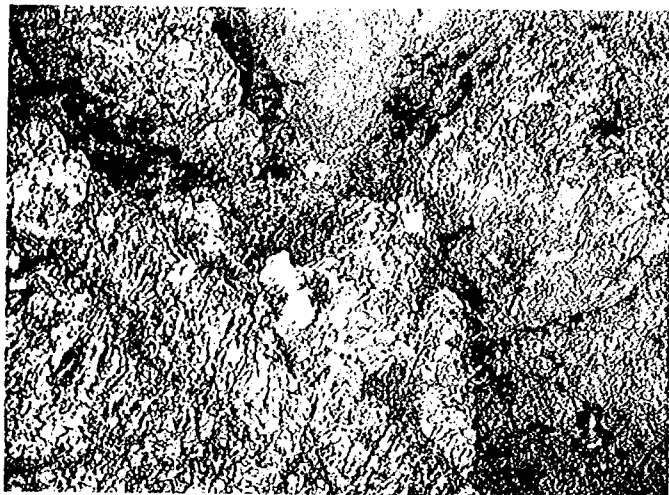


写真-2・163 汙線付近のイソマツ（調査地点㊟）



写真-2・164 汙線から10m離れたところのソナレムグラ（調査地点㊟）



写真-2・165 岩上のくぼみに生育するハマボウフ（調査地点㊟）



写真-2・166 亀裂に沿って生育しているハイシバ（調査地点㊟）



写真-2・167 亀裂に沿って生育しているキダチハナグルマ（調査地点㊟）



写真-2・168 汀線から16m付近に生育しているアオガンビ
(調査地点㊹)



写真-2・169 汀線から10m付近のテリハクサトベラ
(調査地点㊹)



写真-2・170 汀線から14m付近のタイワンウオクサギ
(調査地点㊹)



写真-2・171 汀線から16m付近のアカギモドキ(調査地点㊹)



写真-2・172 樹下の半日陰地に生育している
ヤエヤマスズコウシュ (調査地点㊹)



写真-2・173 懸岩の背面で半日陰地に生育している
キギョウラン (調査地点㊹)

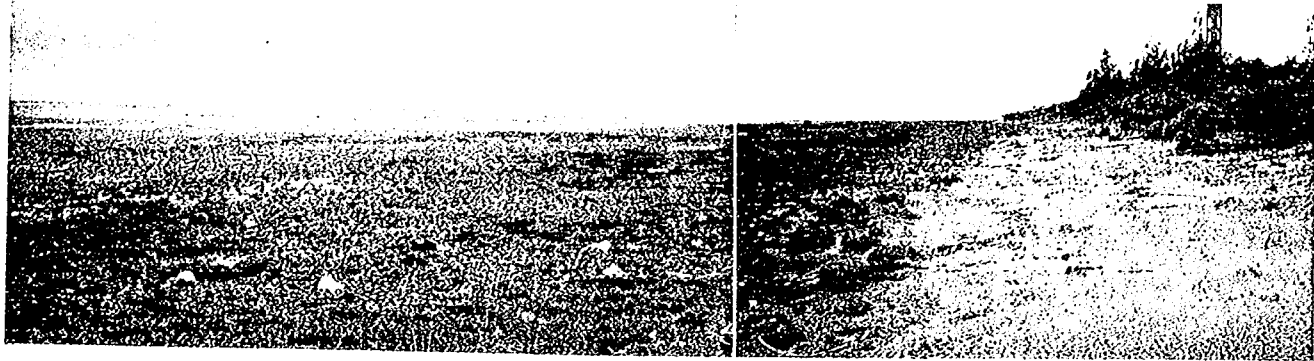


写真-2・174 石垣島、大浜海岸、調査地点⑩

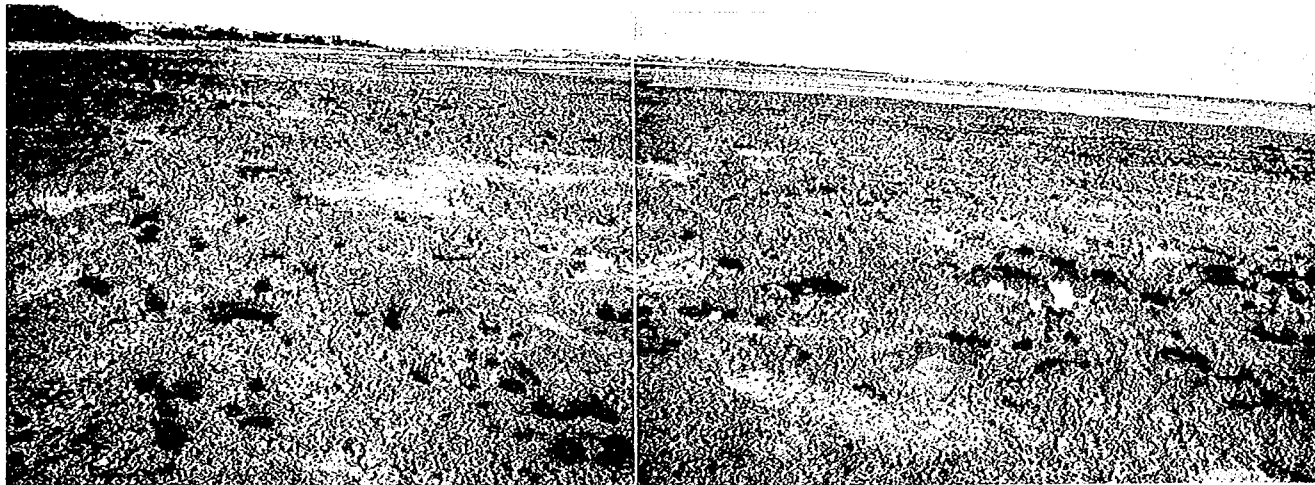


写真-2・175 調査地点から東側の全景、汀線付近
(調査地点⑩)

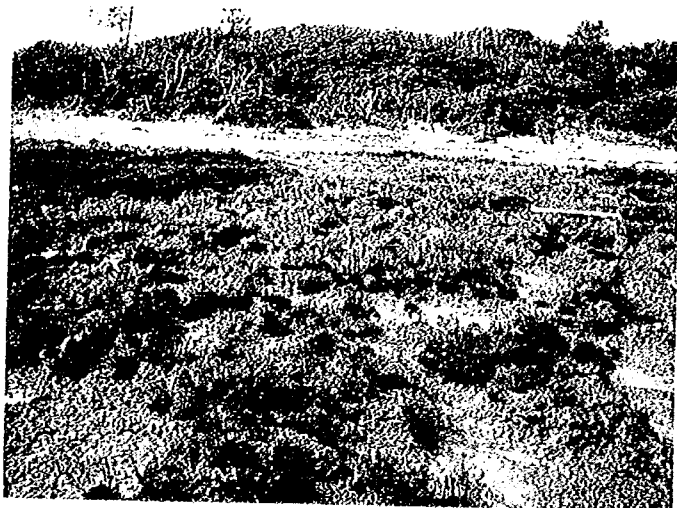


写真-2・176 調査地点のイソマツ群落 (調査地点⑩)



写真-2・177 調査地の汀線付近のイソマツ。
岩上の凹凸が少ない (調査地点⑩)



写真-2・178 汀線から10m付近のイソマツと
コウライシバ。ゴミの集積が満潮時の汀線
(調査地点⑩)



写真-2・179 汀線から16m付近のミズガンビ群落(調査地点⑩)



写真-2・180 ミズガンビ群落周辺のコウライシバ (調査地点⑩)

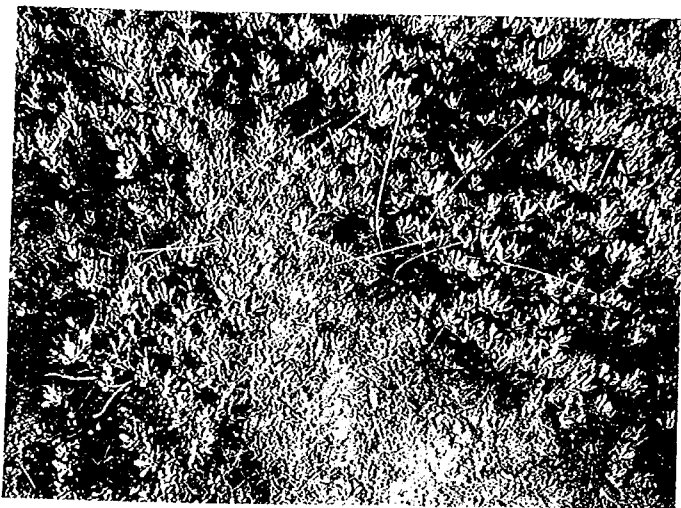


写真-2・181 ミズガンビ群落の周辺にみられる
ヤリテンツキ (調査地点⑩)



写真-2・182 サング礁背後の砂地にみられるモンパノキ、
ゲンバイビルガオ、テリハクサトベラ (調査地点⑩)



写真-2・183 陸地から100m以上離れたサング礁上に
生育するイソマツ (調査地点⑩)



写真 - 2・184 調査地の干潮の状態 (調査地点⑩)



写真 - 2・185 写真-2・185 同地点の満ち潮の状態
イソマツは徐々に浸水する (調査地点⑩)



写真 - 2・186 満潮時のイソマツの冠水状態 (調査地点⑩)



写真 - 2・187 イソマツの周辺に貝類が寄生する、
満潮時に冠水することを証明している (調査地点⑩)

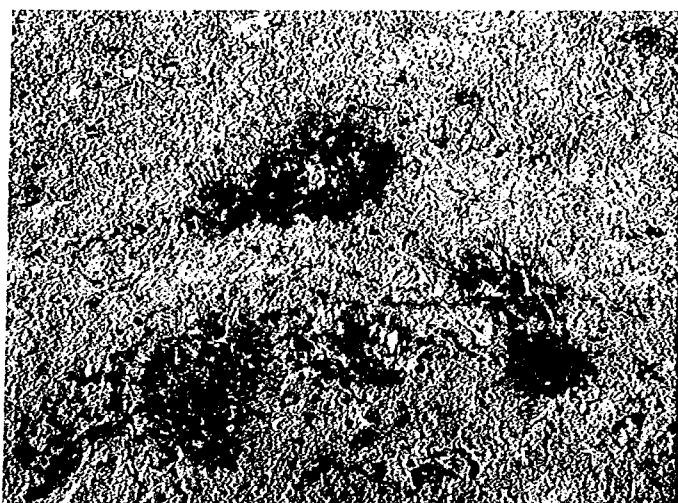


写真 - 2・188 満潮時に浮遊している海藻類が
イソマツに付着した状態 (調査地点⑩)



写真 - 2・189 生育状態が異なることによって
イソマツの形態が異なる (調査地点⑩)



写真-2・190 石垣島、白保海岸。明和大津波によって
打ち上げられたスクック（離れ岩）（調査地点⑫）



写真-2・191 調査区 ⑫-1 の岩。陸側が望む干潮路（調査地点⑫）



写真-2・192 調査区 ⑫-1 の岩。満潮時 （調査地点⑫）

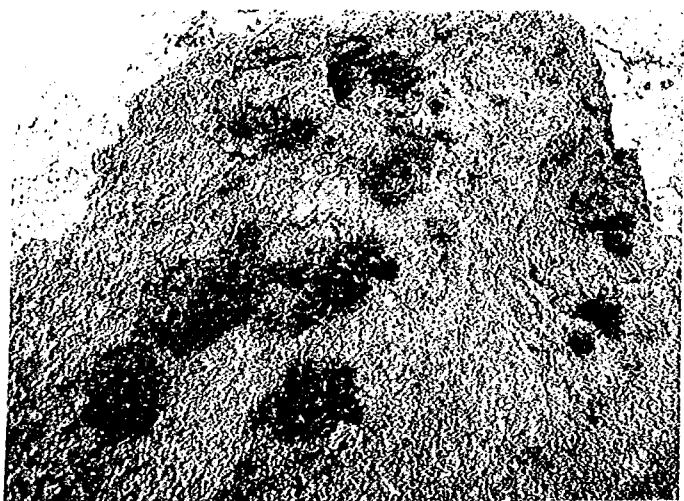


写真-2・193 調査区 ⑫-1 の岩。岩上で陸側に傾斜した
面に生育しているイソマツ （調査地点⑫）



写真-2・194 調査区 ⑫-1 の岩。岩上面積3, 3㎡
サンゴ礁に置床している （調査地点⑫）

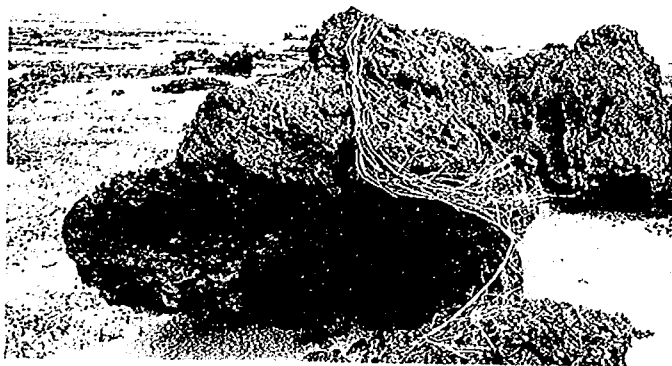


写真-2・195 調査区 ⑫-2 の岩。干潮時の様子 (調査地点 ⑫)

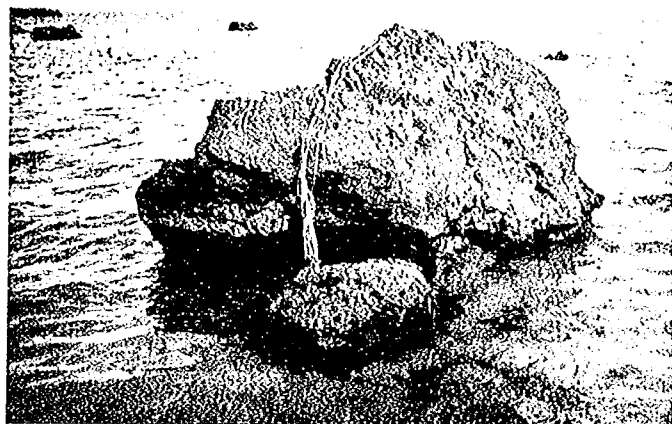


写真-2・196 調査区 ⑫-2 の岩。満潮時の様子 (調査地点 ⑫)

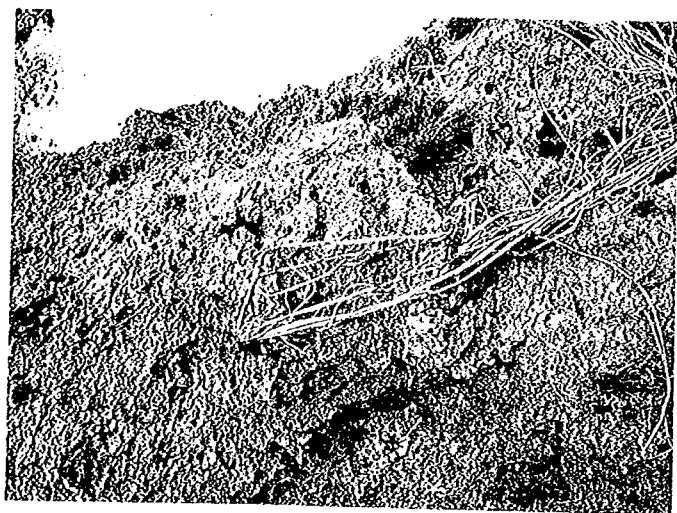


写真-2・197 調査区 ⑫-2 の岩。岩上にはコウライシバ、イソマツが生育する (調査地点 ⑫)



写真-2・198 調査区 ⑫-3 の岩。岩上面積0.6㎡、周りに砂が堆積 (調査地点 ⑫)

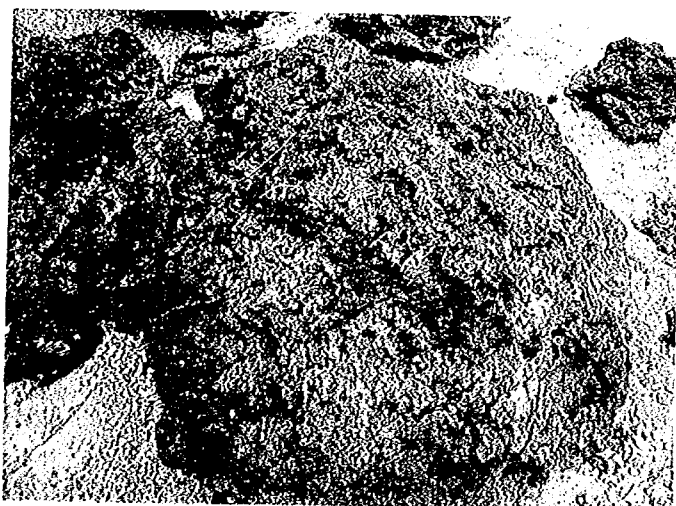


写真-2・199 調査区 ⑫-3 の岩。岩面にはいつく様に生育するイソフサギ (調査地点 ⑫)



写真-2・200 調査区 ⑫-3 の岩。イソフサギの根元には土砂の堆積がみられる (調査地点 ⑫)

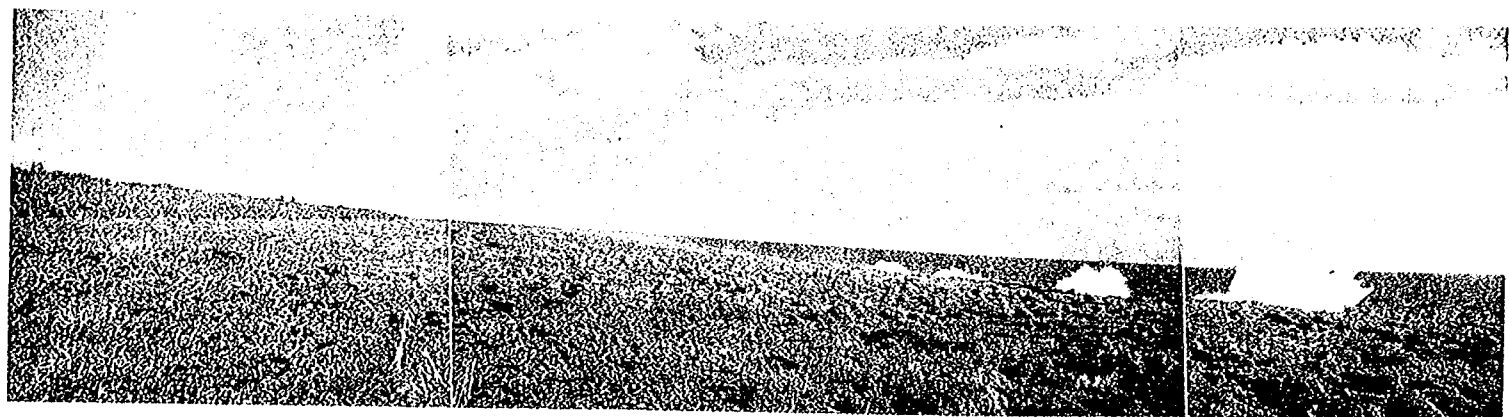


写真-2・201 波照間島、高那崎。調査地点⑬

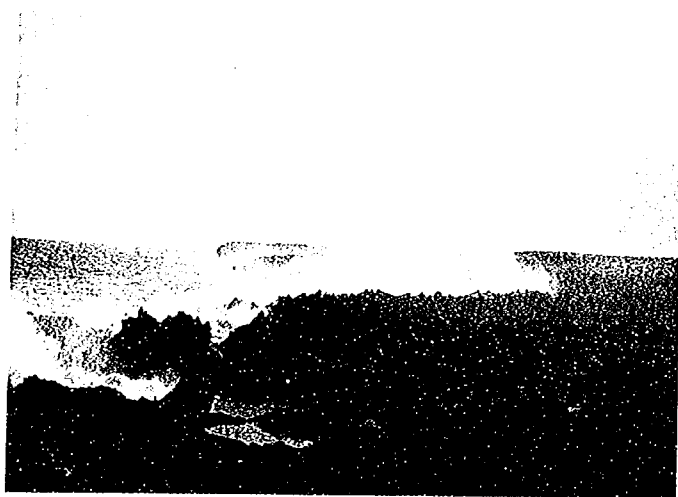


写真-2・202 調査地付近の潮飛沫の状況 (調査地点⑬)



写真-2・203 調査地付近の汀線(上空からみる) (調査地点⑬)

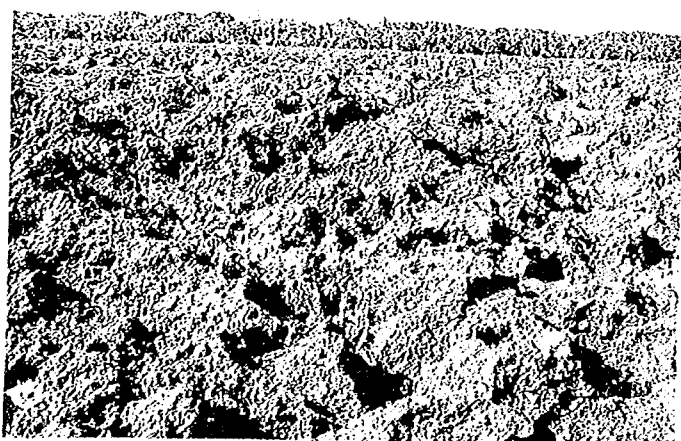


写真-2・204 汀線付近のくぼみにはイソマツが生育する(調査地点⑬)

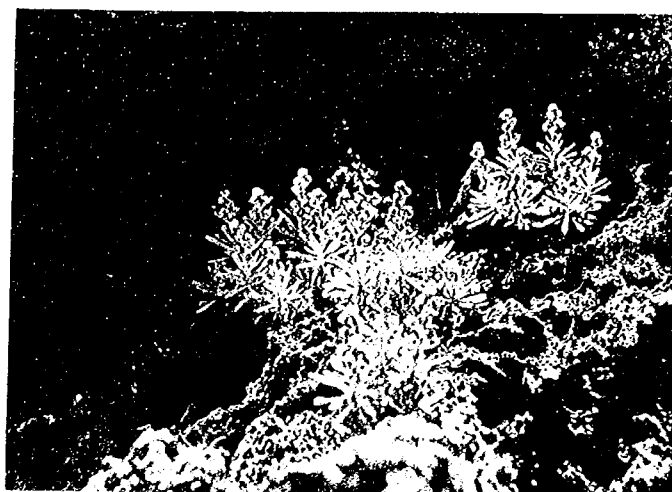


写真-2・205 汀線から1.8m付近のくぼ地に潮風を避ける
かのように生育するモクビヤッコウ (調査地点⑬)

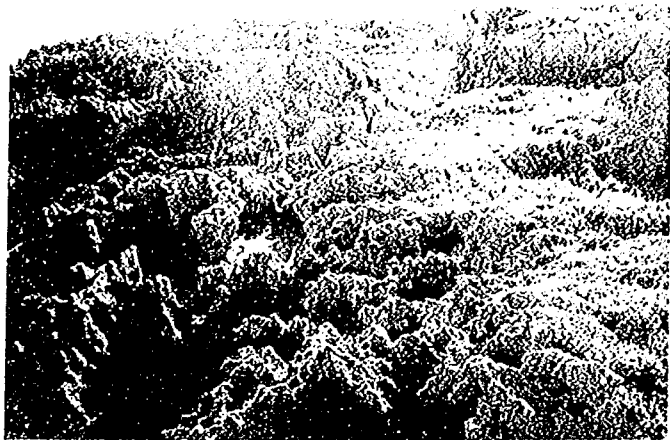


写真-2・206 江総から28m付近からミズガンビが出現する
(調査地点⑬)



写真-2・207 岩面の凹凸に合わせてコロニー状に見えるミズガンビ群落
(調査地点⑬)

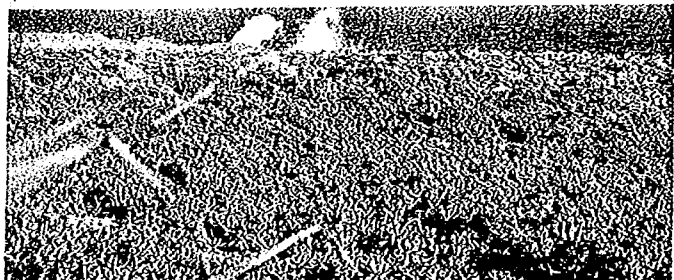


写真-2・208 江総から130m付近のテリハクサトベラ群落
(調査地点⑬)



写真-2・209 テリハクサトベラの樹下の半日陰地に生育するハマスゲ
(調査地点⑬)



写真-2・210 テリハクサトベラ群落間で日当りの良い場所にみられたイソクサギ
(調査地点⑬)



写真-2・211 テリハクサトベラ群落間で比較的広い場所にみられたハマゴウワ
(調査地点⑬)

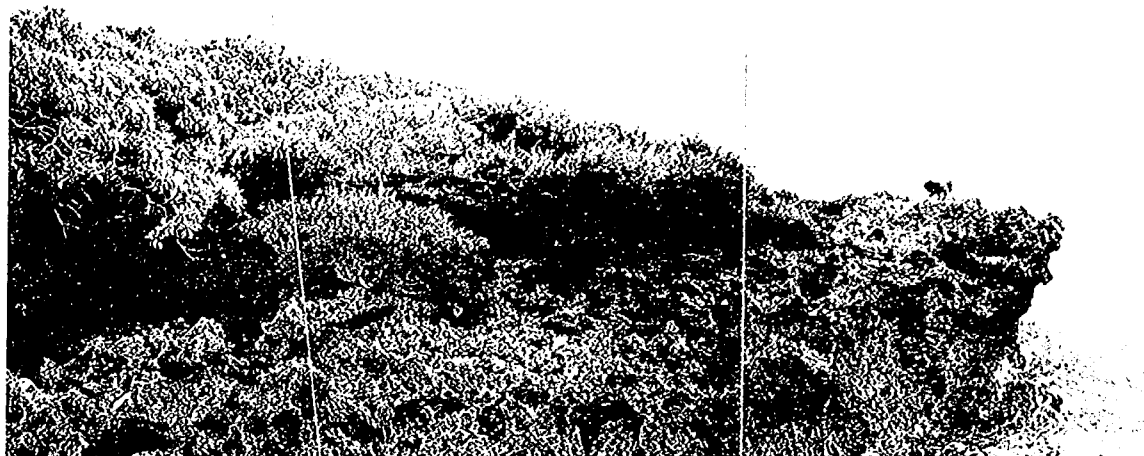


写真-2・212 波照間島、毛崎。調査地点⑩

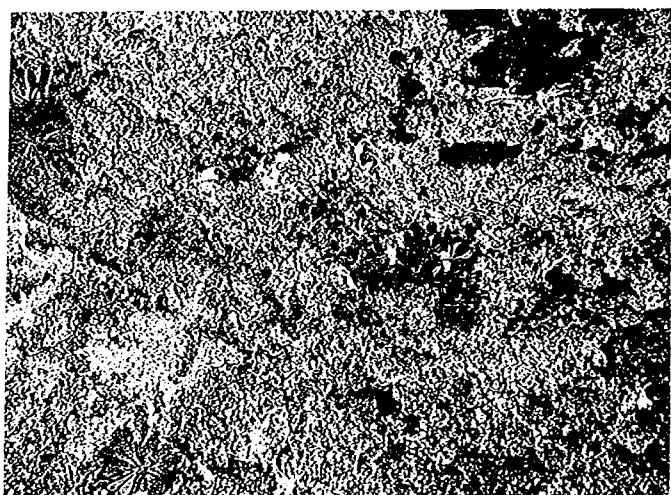


写真-2・213 汀線付近に生育するイソマツ (調査地点⑩)

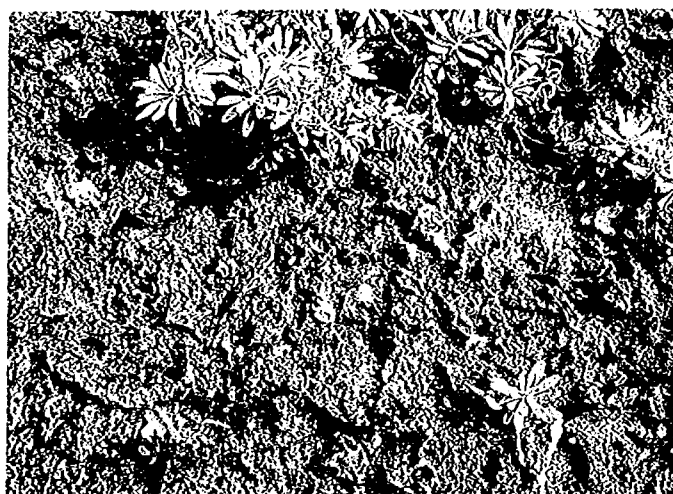


写真-2・214 汀線から2~4m付近に生育する
モクピヤッコウ。小苗が多数みられる (調査地点⑩)

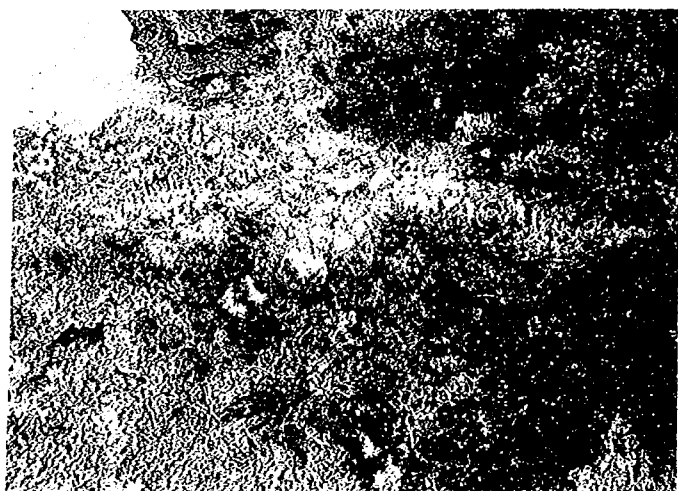


写真-2・215 汀線側のミズカンビは葡萄型を呈する (調査地点⑩)



写真-2・216 調査地付近には樹高5m以上の
ミズカンビの天然記念物がある (調査地点⑩)



写真-2・217 与那国島、比川海岸。(調査地点㊤)
(天然記念物に指定)



写真-2・218 岩上に割れ目が多く、水路となっている(調査地点㊤)



写真-2・219 汀線から6~8m付近のイソマツ群落(調査地点㊤)



写真-2・220 汀線から10m付近にはソナレムグラが
出現し、イソマツと競うように生育する(調査地点㊤)



写真-2・221 汀線から16m付近、岩上に砂の堆積が
みられコウライシバが生育する(調査地点㊤)



写真-2・222 ミズガンビの群落(調査地点㊤)

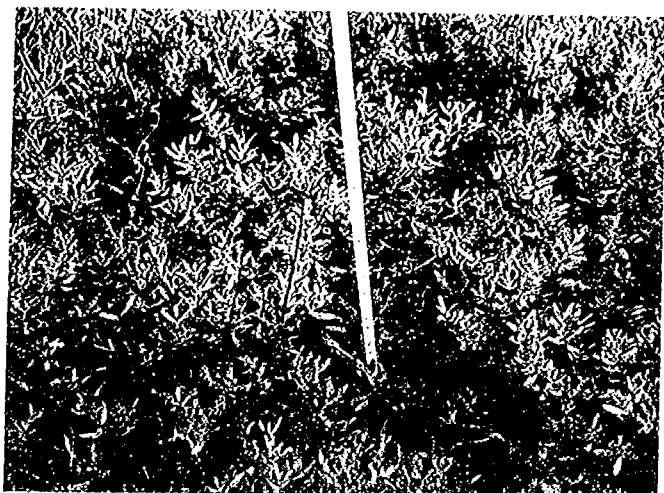


写真-2・223 ミズガンビ群落内の樹高は、60~70m
に達する (調査地点⑨)



写真-2・224 江線から20m付近の、ミズガンビ群落の
間に生育するモクビャッコウ (調査地点⑨)



写真-2・225 江線から20~24m付近のミズガンビ
群落間にみられるホソバワダン (調査地点⑨)

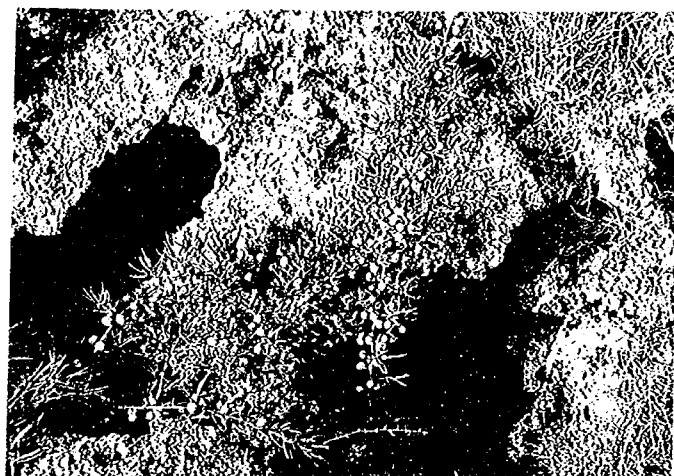


写真-2・226 調査地点の背後の面にみられる
ナンゴククサスギカスラ (調査地点⑨)



写真-2・227 調査地背後の砂地に生育する
ハナカモノハシ、イソマツ (調査地点⑨)



写真-2・228 砂地の露出岩上に生育する
イソマツ、イソフサギ (調査地点⑨)

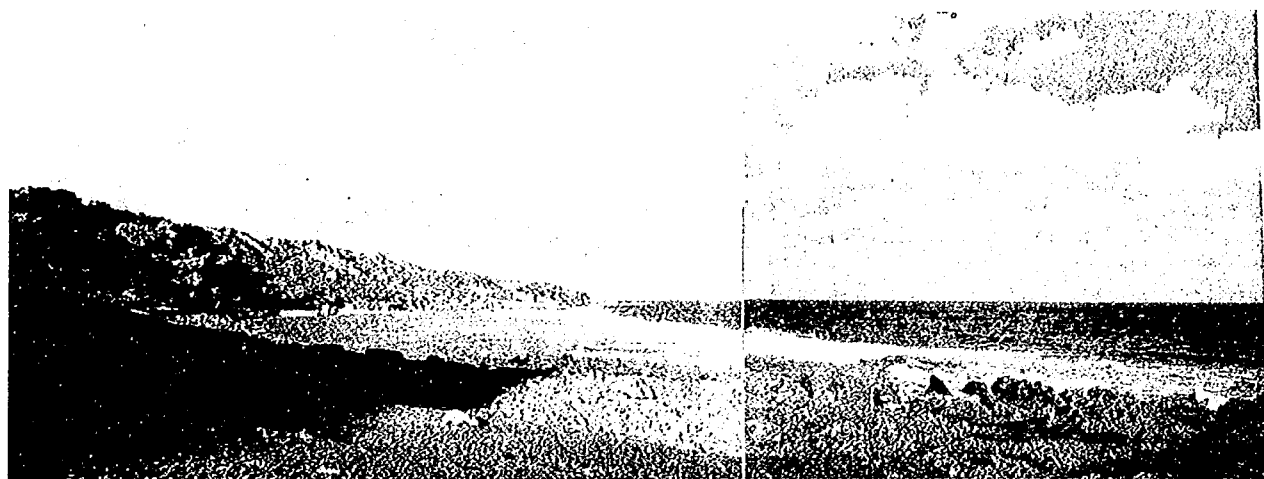


写真-2・229 与那国島、東崎。 調査地点㊦



写真-2・230 内陸部の土の侵食と、江線付近まで流出
堆積した状態。コウライシバとアダン群落が観察できる(調査地点㊦)

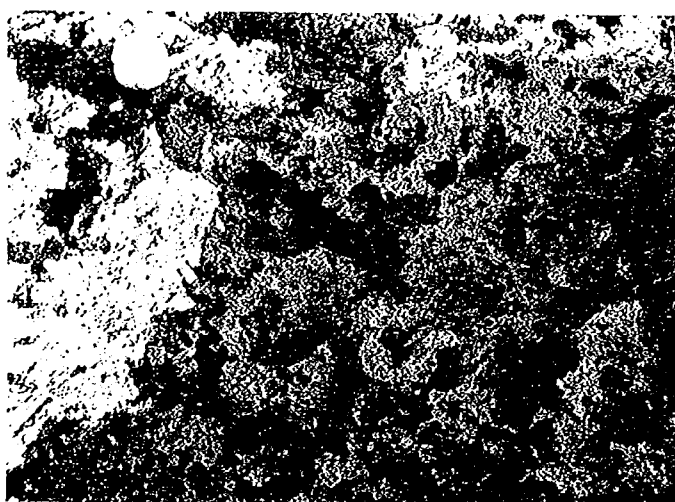


写真-2・231 江線付近に生育するイソフサギ (調査地点㊦)



写真-2・232 江線付近の岩面のくぼ地に土砂が堆積し
シオカゼンツキが生育する (調査地点㊦)



写真-2・233 江線から20 m付近の土砂の堆積した
場所に生育するソチレムグラ (調査地点㊦)



写真-2・234 江線から2.2m付近の岩上で
パッチ状に生育するコウライシバ (調査地点⑩)



写真-2・235 江線から3.4m付近にみられた
ヒメキランソウ (調査地点⑩)



写真-2・236 コウライシバ群落内にみられた
ホソバワダン (調査地点⑩)



写真-2・237 コウライシバ群落内の露出岩に沿って
生育するヤエヤマスズコウジュ (調査地点⑩)

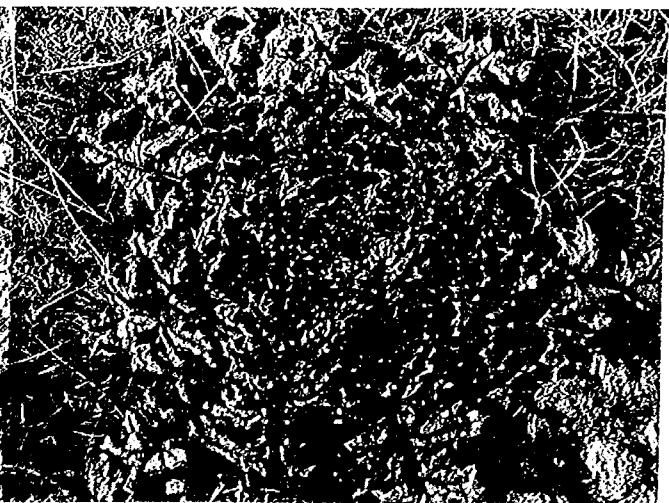


写真-2・238 コウライシバ群落内にみられた
イリオモテアサミ (調査地点⑩)



写真-2・239 江線から7.2m付近、潮風圧を強く受けて
矮性化したアダン (調査地点⑩)

半田真理子, 藤原 宣夫, 吉永 裕康

中島 均, 播本 武史

要旨

本研究は、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、海浜地等を対象とした植生実態調査、生育基盤調査及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った。その結果、緑化有望種としてはイソマツ、ミズゲンジ等の塩生植物が選出され、人工基盤については、①排水性及び保水性があること、②根の侵入が可能な空隙が多数あること、③内部の空隙がそれぞれ連結していること、④空隙内に土砂、有機物が存在していること、⑤波浪、風雨などによって内部の土砂、有機物が流出しないこと、⑥空隙内に土砂、有機物が自然に堆積することができること、などが植物の生育のための要件であることが明らかになった。

キーワード：亜熱帯、海岸地帯、塩生植物、耐塩性、生育基盤、人工基盤

郵便はがき

郵便切手を
はって下さ

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
環境部緑化生態研究室
行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 013

No. 013

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3252号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

110

110