

永久保存

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3534号

平成 9 年 度

土木研究所講演会
講演集

平成10年 1 月23日

建設省土木研究所

Copyright©(1998) 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。

平成9年度

土木研究所講演会 講演集

企画部企画課

要 旨

本資料は、「平成9年度土木研究所講演会」の講演内容をまとめたものである。この講演会は、土木研究所が実施している調査研究の成果や最近の土木技術に関する話題、動向などを各方面に紹介することを目的として、毎年1回開催している。

キーワード：土木研究所講演会，海岸侵食，ITS，国土生態ネットワーク，都市水環境
サステナブル，斜面土砂災害



目 次

海岸侵食のタイプ分類と沿岸漂砂量の全国実態 ……河 川 部 長	宇多 高明 …… 1
道路の政策と研究開発	
～ITSを中心として～ ……道 路 部 長	中村 亮 ……19
環境の創造・保全と国土建設	
～国土生態ネットワークの形成に向けて～ ……環 境 部 長	半田真理子 ……39
都市水環境の保全と下水道の役割 ……新下水処理研究官	中村 栄一 …… 85
「持続可能な発展」を可能とする建設技術……材 料 施 工 部 長	片脇 清 ……107
平成 9 年度の斜面土砂災害の実態と特徴 ……砂 防 部 長	吉松 弘行 ……125

海岸侵食のタイプ分類と沿岸漂砂量の全国実態

河 川 部 長 宇 多 高 明

海岸侵食のタイプ分類と沿岸漂砂量の全国実態

1. まえがき

わが国の現地海岸を眺めると、沿岸域開発に伴う防波堤などの施設の建設に伴って構造物周辺で海岸侵食が進んだり、あるいは河川流下土砂量の減少に起因して河口周辺域の汀線が急速に後退した例が非常に目立っている。そして20～30年前には全国各地で見られた、昔ながらの白砂青松の砂浜海岸は急速に失われてしまった。海岸侵食に対する対策も取られてきたのであるが、対策の規模が小さすぎたり、あるいは対策の実施時期が遅すぎるなどの理由で対策が効果を上げることができず、護岸と消波ブロックによって覆われた海岸に変貌を遂げた砂浜海岸の延長は膨大な長さに達する。

このような漂砂に関連する問題は、海岸工学上最も重要なテーマの一つとして古くから取り上げられてきたが、現象が複雑であるがゆえにその解明は十分ではないのが現状である。また、一般に海浜変形について論じる際には、便宜上岸沖方向漂砂と沿岸漂砂とに分けて議論されることが多いが、従来の見解は小規模な2次元移動床模型実験の成果を重視するあまり、岸沖方向漂砂にアクセントを置きすぎていたように思われる。その理由として、最近、筆者が行った日本全国の57海岸と4湖岸における、深浅測量データや空中写真を利用した実態データの分析によれば、わが国で著しい海岸侵食が起きたほとんどの事例は沿岸漂砂の作用によるものであることが明らかにされたからである。その意味では、現地データの分析においては従来の考え方の適用は十分注意すべきことが指摘される。このことから、ここでは沿岸漂砂の作用を重視しつつ海浜変形について実態論的に論じてみたい。なお、わが国の海岸侵食の実態論については文献¹⁾に詳述してあるのでこれを参照されたい。

2. 海岸侵食機構のタイプ分類と特徴

砂浜海岸の侵食は、地盤沈下や地殻変動に伴う陸地の沈降を除くと、海岸での土砂収支バランスが崩れることに起因して生ずる。すなわち、ある海岸での沿岸漂砂量に比べ供給土砂量が減少したり、あるいは浚渫等により海岸から人為的に土砂が取り除かれることによって侵食が起こる。一般に、工学的時間スケールで見たとき、気象・海象条件が長期的に見て著しく大きく変化することはないので、海岸での平均的土砂移動量（沿岸漂砂量）も経年的にみて自然的原因によって大きく変わることはない。したがって、沿岸漂砂量の変化をもたらすのは主として人為的要因である。例えば、海岸に防波堤を伸ばすことは、海岸での土砂移動を直接的に遮ったり、あるいは波の遮蔽構造物周辺で新たに沿岸漂砂を発生させる。また、治山に起因する河川上流域での生産土砂量の減少は、海岸への供給土砂量の減少をもたらす。またダムへの土砂堆積や、河道内での過度の砂利採取もまた下流域への供給土砂量の減少をもたらす。また、海食崖から砂浜海岸への供給土砂の減少も河川からの流入土砂量の減少と同じ意味を有している。

一方、神奈川県湘南・西湘海岸や、富山県の下新川海岸さらには駿河湾に面する富士、清水および駿河海岸では、海岸線近傍に急勾配の海底谷が発達しており、そこを経由した深海への土砂流出が生じている。海岸の地形形成から考えれば、このような海岸ではもともと陸域から河川によって運ば

れてきた土砂がさらに沿岸漂砂によって運ばれ堆積したため、急勾配海岸になったと考えられる。したがって深海への土砂流出は昔から起きているはずであって、近年新たに問題が発生したのではない。問題なのは深海への土砂損失を補っていた河川からの流出土砂量が減少し、それらのバランスが崩れることにある。海岸の土砂が深海へと失われ、それに対する補給が十分なければ、時間経過とともに海浜の土砂量は次第に減少してしまうからである。しかし、これらの急深な海岸以外では、海浜の土砂量はほぼ一定であって、そこでは河川からの流入土砂がなくなることがただちに侵食原因とはならず、その場合には海浜土砂量の増加割合が減少するのみである。

ここで、海岸への土砂供給量と沿岸漂砂量とがバランスする機構を河口近くの海岸を例にあげて考えてみる。わが国の多くの河川は、土砂生産の盛んな山地より流出しているため、多量の土砂を海岸に運搬して平地を形成してきた。この場合、河口付近では図-1に示すように土砂堆積により汀線が前進する。一方、多くの海岸では波の作用により土砂が河口より遠ざかる方向に運ばれる。このため、河口付近での汀線の前進により入射波向と汀線への法線とのなす角度が大きくなると波による土砂移動量が増加し、汀線の前進が止まって土砂収支の均衡状態に達する。逆に河川流出土砂量が減少すると、入射波向と河口周辺の汀線への法線とのなす角が小さくなって沿岸漂砂量が減少し、新たな平衡状態に達する。実際には、河口付近から始まる侵食がそのまま放置されることはないから、河口近くから次第に離れた場所へと各種侵食対策施設が並ぶことになる。また、河川からの流入土砂が完全に止まった場合には、図-1のように海に突出した河口デルタはそのままの形状を保つことはできず、河口部汀線が波の入射方向とほぼ直角になるまで大きく後退する。

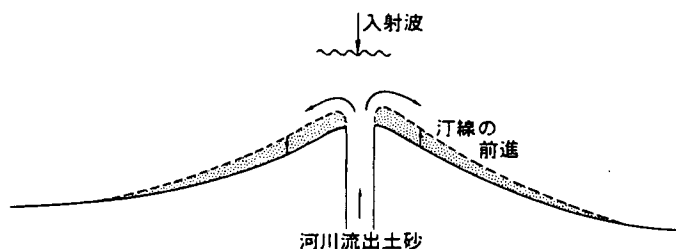


図-1 河川流出土砂の堆積による河口周辺海岸での汀線の前進

以下では、海岸侵食の典型的機構について順に述べる。ここで取り上げる主要因としては、①沿岸漂砂の連続性の阻止、②波の遮蔽域の形成、③深海への土砂流出、④供給土砂量の減少、⑤浚渫・土砂採取、⑥地盤沈下である。

①沿岸漂砂の連続性の阻止

沿岸漂砂が卓越する海岸において、防波堤、導流堤、埋立護岸あるいは突堤など沖向きに突出した不透過構造物が設置されると、図-2の模式図に示すように、沿岸漂砂の一部または全てが遮断されることにより構造物の上手側では堆積が、下手側海岸では侵食が生じる。突出構造物の長さが短い場合には、沿岸漂砂は構

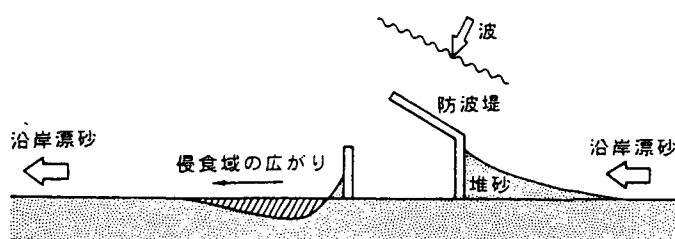


図-2 沿岸漂砂の連続性の阻止に伴う海浜変形

造物の設置直後には阻止されるが、上手側の堆積区域に十分堆積すると、沿岸漂砂は構造物の先端を回り込んで沿岸漂砂の下手側へと流出し、漁港や港湾にあっては航路埋没を引き起こす。

沿岸漂砂の連続性が断たれると、沿岸漂砂の下手側に位置する侵食域は徐々に広がる。この原因による海岸侵食は全国に多数見られる。いくつかの典型的事例としては、北海道日高海岸の節婦漁港、厚賀漁港、門別漁港、汐見漁港、青森県三沢海岸の三沢漁港、新潟県市振海岸の市振漁港、静岡県富士海岸の田子ノ浦港、静岡県駿河海岸の大井川港、愛知県赤羽根漁港がこれに該当する。

一方、離岸堤の場合の漂砂移動パターンは図-3の模式図のようである。直線状海岸に透過性の離岸堤を設置する場合を考える。図-3aに示すように初期の段階には離岸堤背後を沿岸漂砂がある程度通過できるから、離岸堤の背後では離岸堤自身の堆砂効果によって沿岸漂砂の上手側から順に舌状砂州の発達が始まる。この間には下手側への土砂供給量は減少するので、離岸堤群の下手側では侵食が起こ

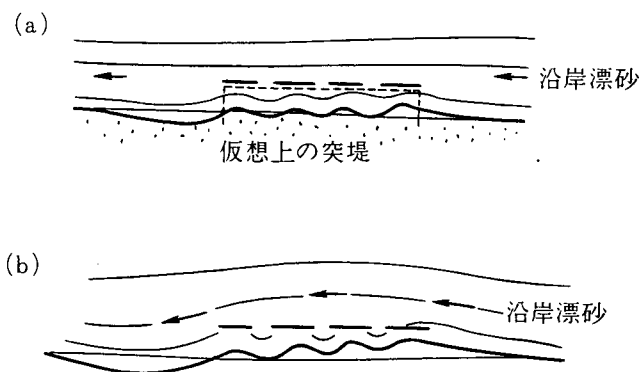


図-3 離岸堤群沖での沿岸漂砂の通過の機構

る。この場合は、図に破線で示すようにあたかも離岸堤付近まで仮想的な突堤があるかのようにして海浜変形が起こる。しかし、離岸堤の背後域での堆砂が十分進むと、図-3bに示すように沿岸漂砂は離岸堤の沖合を移動するようになり、離岸堤群の沖合では等深線がなだらかに突出する。またこの場合、離岸堤背後に形成される舌状砂州の規模は沿岸漂砂の上手側が最も大きく、下手側に向かって小さくなる。離岸堤周辺でのこのような等深線変化の具体的事例は、新潟県新潟海岸、新潟県糸魚川・青海海岸、富山県境海岸、静岡県静岡・清水海岸、鳥取県皆生海岸などで見られる。これらのうち、新潟海岸と皆生海岸は緩勾配海岸に、糸魚川・青海海岸、境海岸および静岡・清水海岸は急勾配海岸に属する。規模が同一の離岸堤の場合には、急勾配海岸の場合に沿岸漂砂の阻止効果が大きく、したがって下手海岸への侵食の影響度も大きくなる。

②波の遮蔽域形成

波が海岸線に対してほぼ直角方向より入射する海岸では、海域に設置された大規模な防波堤や人工島（ポケットビーチなどのように海岸の規模が小さい場合には、小規模な構造物でも該当する）の背後では、図-4aに示すように波の遮蔽域が形成されることにより、岸近くで波の遮蔽域外から遮蔽域内へと沿岸漂砂により土砂が移動し、防波堤の背後では土砂が堆積する。また、図-4b,cに示すように、海岸線への法線に対して反時計回りおよび時計回りの方向より波が入射する場合、斜め防波堤の背後では図-4dに示すように波の入射方向が季節的に変動するごとに波の遮蔽域内に土砂がたまり、波の入射方向が反転しても遮蔽域外へ出られなくなる。沿岸漂砂により運ばれた土砂は一般に港内に堆積し、また、遮蔽域内に移動した土砂は波の作用により遮蔽域外へ移動することができなくなる。各地に建設される防波堤の規模が大きくなるとともにこの種の原因によって生じる海岸侵食の例が目立って増えている。とくに、ポケットビーチや延長の長い海岸の端部に防波堤が建設されるときこの種の侵食

が起きることが多い。事例は茨城県神岡
上海岸の大津漁港、茨城県鹿島灘沿岸の
大洗港、新潟県神林海岸の岩船港、新潟
県柏崎～荒浜海岸の柏崎港などがあげら
れる。

防波堤背後域での汀線は、構造物が造
られたことによる波の入射方向の変化に
対応して、各点ごとの汀線が波の入射方
向にほぼ直角になろうと変形を続けるか
ら、例えば、図-4で防波堤背後の堆積土
砂を浚渫すると、再び左側の区域から波
の遮蔽域へと沿岸方向に土砂が移動し、
侵食が激化するのである。

大規模な防波堤のみではなく、これに
比べて規模がはるかに小さい離岸堤（群）
でも同様な現象がしばしば起こる。その
機構を模式図にすれば図-5のようである。
例えば、両端を岬等で囲まれた比較的長
い一連海岸を考え、その右側の端部から
左側へある距離離岸堤群を設置する。一
般に、その海岸への来襲波の波向は、海
岸線に立てた法線の方に対して、時
計・反時計回りの方向に変動し、それぞ
れ左、右向きの沿岸漂砂が生じる。多く
の海岸では沿岸漂砂が左右に移動するこ
とによって動的にバランスを保たれてい
るが、その海岸の端部近くに図のように
離岸堤群が造られると、それぞれの離岸
堤が堆砂効果を発揮して、その背後に土
砂を堆積させる。土砂の多くは図-5aで右
向きの沿岸漂砂の生じる条件で堆積する
が、離岸堤背後に堆積した土砂は舌状砂
州として安定してしまう。したがって沿
岸漂砂として左右に移動していた土砂が
離岸堤背後に固定されてしまい、離岸堤
の設置されていない区域では全体的に侵

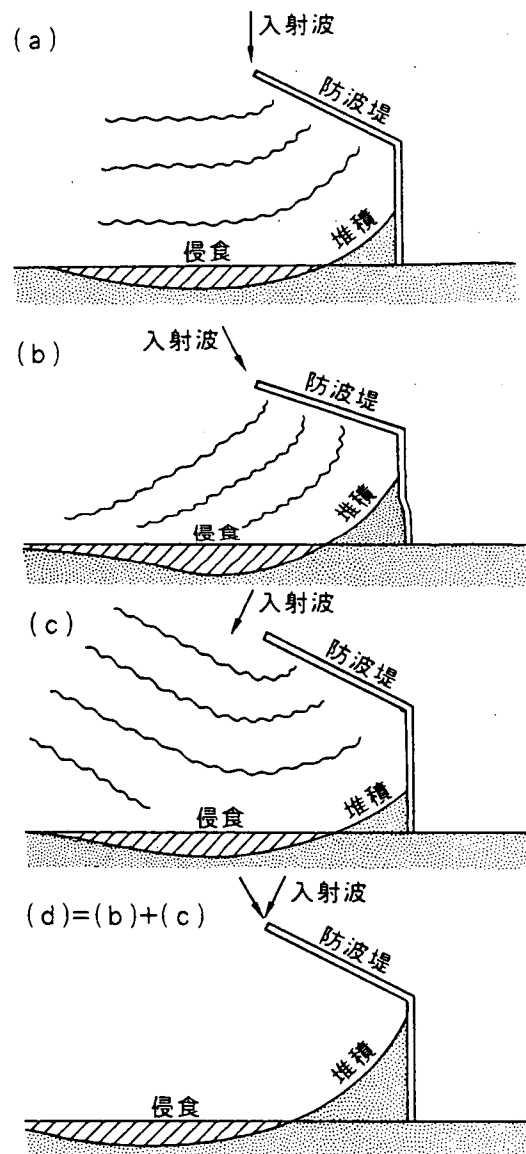


図-4 防波堤による波の遮蔽域形成に伴う堆積
と侵食

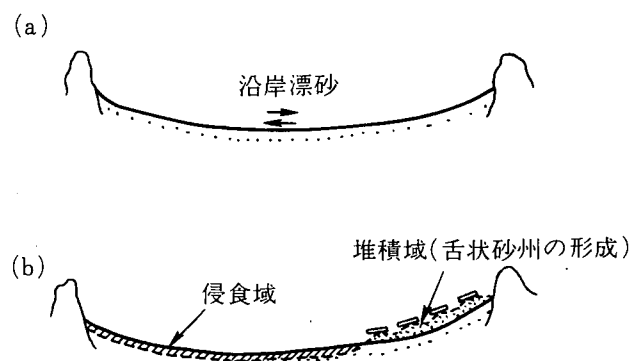


図-5 一連海岸の端部からの離岸堤建設と周辺
海岸の侵食の関係

食が進むことになる。そしてこの場合皮肉なことに、離岸堤背後で舌状砂州の発達している場所では過剰な土砂堆積により飛砂が問題となると同時に、離岸堤群の設置区域外では侵食が進むのである。

③深海への土砂損失

急深な湾に面した海岸では、漂砂の一部が海底谷を經由して深海へと流出する。図-6の模式図に示すように、流出土砂量が上手側から供給される漂砂量と均衡している限りにおいては侵食が生じることはないが、沿岸漂砂の連続性が断たれた場合や、河川や海食崖からの供給土砂量が減少した場合には深海への土砂損失が深刻な問題となる。このような事例は、急深な湾である駿河、富山、相模湾で見られる。駿河湾内に面する駿河海岸、清水海岸、富士海岸、富山湾に流入する黒部川の扇状地の外縁をなす下新川海岸、相模湾にある西湘海岸などがその例である。この種の問題を抱える海岸は砂嘴

周辺の海岸や扇状地海岸に多く、土砂損失量は十数万 m^3/yr にも達する。また、鹿児島県の鹿児島湾内、桜島の北東側に位置する新島や、新潟県の粟島のように海底地滑りにより急激な侵食を受けた例もある。

④供給土砂量の減少

河川の上流部における砂防ダムや貯水ダムへの堆砂、洪水規模や洪水頻度の減少に伴う流砂量の減少、床止め等による下流への土砂流出の抑制、砂利採取による河道内土砂の減少は、結果として河口部への流出土砂量の減少を招き、これによって河口部海岸線の後退を引き起こす（図-7参照）。とくに、もともと流出土砂量が多いために発達した河口デルタ地形では河口からの流出土砂量が減少すると侵食が著しく進む。

ところで、河口砂州形状は、河口部

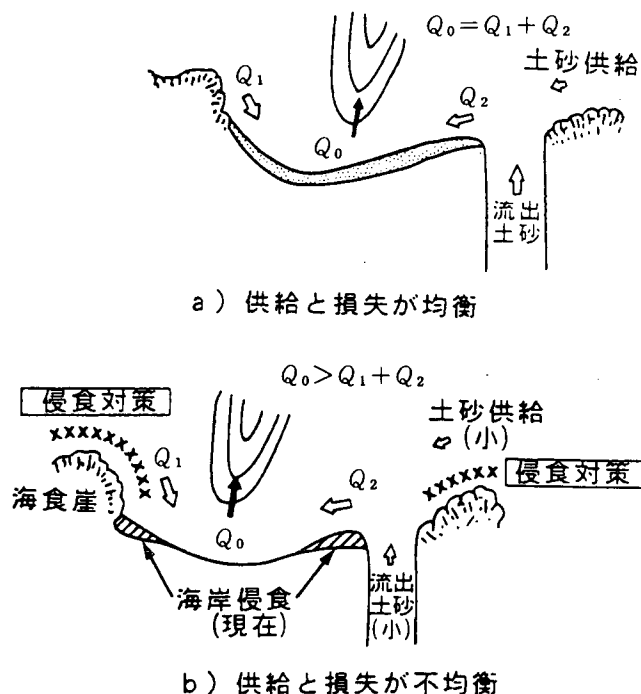


図-6 深海への土砂損失と海岸侵食

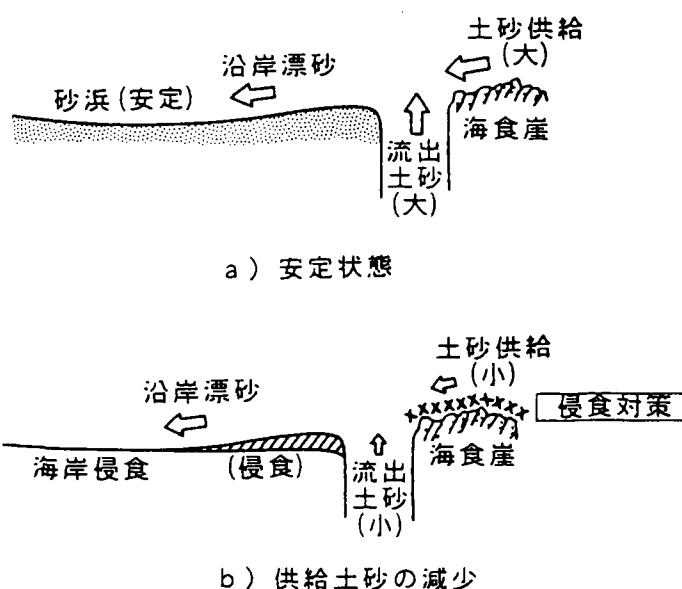


図-7 供給土砂量の減少に伴う海岸侵食

の河床勾配と河口部河床材料の平均粒径により分類することができる。分類結果を図-8に示す。ここに河口のタイプは表-1に示すようである。タイプⅠは緩流の砂河川でしばしば見られるように河口テラスの発達するタイプ、タイプⅡは急流の礫河川で見られるように、直線状の河口砂州が発達するものである。これらのうち、タイプⅡ-1に属する河川が流入する海岸名と河川を対応させると、

- 黒部川…下新川海岸
- 富士川…富士海岸
- 安倍川…静岡・清水海岸
- 大井川…駿河海岸
- 物部川…高知海岸（物部川～浦戸湾）
- 新宮川…七里御浜海岸
- 天竜川…遠州海岸（竜洋・浜松海岸）
- 仁淀川…高知海岸（仁淀川～桂浜）

であって、これらの海岸はいずれも一方向の卓越沿岸漂砂が存在して、激しい侵食を受けた海岸と非常に良く一致している。これらの河川は急流河川であるために、河口まで礫が運ばれており、河口から海に流れ込んだ礫はそのまま海岸線に沿って沿岸漂砂によって運ばれている。このため、とくに1967

年以前に川砂利採取が広範に行われると、その影響が直ちに河口隣接海岸に及び、各地で汀線の後退を招く原因の一つになったと考えられる。

また、近傍に存在する海食崖からの発生土砂を漂砂の供給源としていた海岸においては、海食崖の侵食対策を実施することにより土砂収支バランスが崩れ、漂砂下手側の海岸で侵食が発生する。この実例としては、福島・宮城県南部の海食崖や、千葉県の手賀池・太東岬の実例があげられる。こうした原因によって海岸への供給土砂量が減少することは、構造的な意味での海岸侵食問題を引き起こ

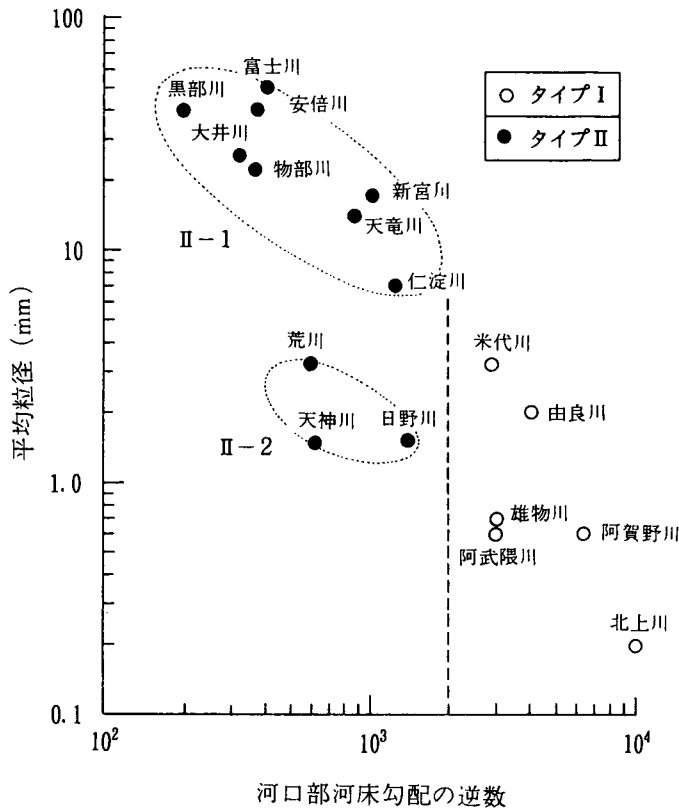


図-8 河口のタイプ分類

表-1 河口テラス形状の分類

河口部河床勾配	緩流河川 ($i_b < 1/3000$)		急流河川 ($i_b > 1/1400$)	
タイプ	I-1	I-2	II-1	II-2
平面形状				
該当河川	雄物川 阿賀野川 由良川	北上川 阿武隈川 米代川	安倍川 新宮川 大井川 物部川 天竜川* 黒部川 仁淀川 富士川	荒川 天神川 日野川

* 天竜川は広い河口テラスを有することから他の河川とやや特性が異なる。

し、その解決は容易ではない。

⑤浚渫・海砂採取

航路維持のための航路浚渫、および河口部や沖合における海砂採取が原因となって海岸にある砂礫の総量が減少し、土砂収支が崩れる侵食形態である。航路維持のための浚渫では、とくに、沿岸漂砂が卓越する海岸に防波堤が伸ばされた結果、防波堤の先端を回り込んで航路埋没が起こる場合が問題となる。浚渫を行っても航路埋没は繰り返して発生し、それと同時に漂砂下手側海岸では沿岸漂砂の遮断により侵食が広がるからである。典型例としては、新潟県の市振漁港、親不知漁港、静岡県の大井川港などがあげられる。

一方、沖合での海砂採取の場合には図-9に模式図を示すように、直線的な等深線を有する海岸で汀線の比較的近傍で海底掘削が行われると、掘削穴の背後では波の屈折変化により汀線が後退し、また沿岸漂砂の掘削穴へのトラップが生じ、穴の埋め戻しに使われた土砂量相当の欠損が起こる。実例は、徳島県沿岸（吉野川河口～粟津港）や高知県高知海岸（仁淀川河口～桂浜）があげられる。

⑥地盤沈下

地盤沈下が直接的な原因で侵食が起きている海岸である。例えば、過去、新潟海岸では最大約3mの沈下が起き、これにより海岸線が著しく後退した。

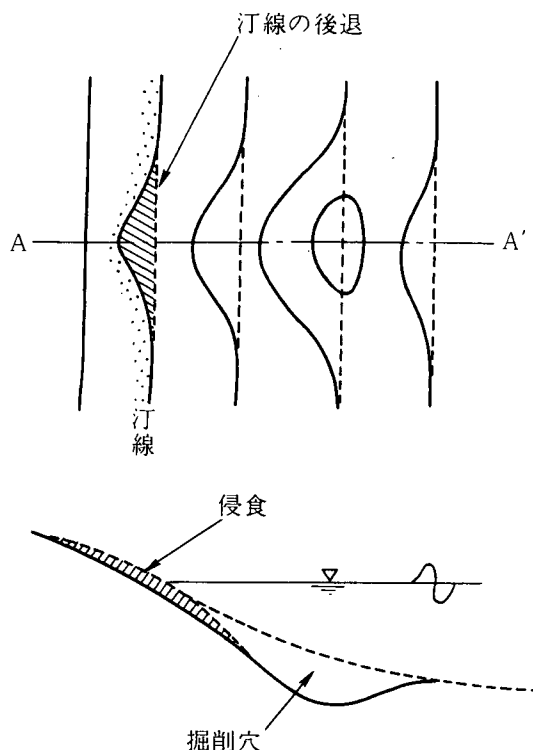


図-9 沖合での海底掘削が周辺地形に及ぼす影響

3. 沿岸漂砂量の全国実態

沿岸漂砂については、防波堤の建設などにより卓越沿岸漂砂が阻止された場合、漂砂上手側の堆積域、または下手側の侵食域の土砂量変化から沿岸漂砂量を求めることができる。また、防波堤が伸ばされて波の遮蔽域が形成されると、波の遮蔽域外から遮蔽域内へと向かう沿岸漂砂が発生するので、波の遮蔽域内での堆積土砂量からも沿岸漂砂量の推定が可能である。表-2には全国調査から得られた沿岸漂砂量を一括して示す。また表-3には海岸の位置を示す。番号は、全海岸・湖岸の通し番号（1～61）にしたがっている。沿岸漂砂量の算定を行った海岸数は29、湖岸は3、合計で32である。一方向の沿岸漂砂が卓越する海岸であっても、沿岸漂砂の供給条件が変化する（例えば、海食崖の侵食対策が行なわれる、あるいは洪水により河川から土砂が流出するなど）ので、沿岸漂砂量の観測期間を明示してある。同様に、波の遮蔽構造物が伸ばされたため、その背後域で土砂が堆積する場合には、防波堤が大きく伸びた直後に漂砂量は大きく、時間経過とともに沿岸漂砂量は減少するから、表-2では観測期間中で最も大きな沿岸漂砂が観測された時期を選んでいる。表-2は、筆者自身が集めたデータ

表-2 沿岸漂砂量の一覧（筆者による）

番号	名 称	沿岸漂砂量 (m^3/yr)	観測期間	番号	名 称	沿岸漂砂量 (m^3/yr)	観測期間
1	北海道野付崎標津海岸	8.6×10^4 2.7×10^4	1965—1970	2 3	新潟県親不知海岸	3.7×10^4	1979—1985
2	北海道日高海岸	5.4×10^3	1982—1990	2 4	新潟県市振海岸	8.0×10^4	1964—1976
		1.3×10^5	1982—1990	3 0	静岡県富士海岸	1.0×10^5	1968—1990
		4.0×10^4	1948—1956	3 1	静岡県静岡・清水海岸	1.0×10^5 1.35×10^5	1983—1993 1988—1992
		3.0×10^5	1948—1956	3 2	静岡県駿河海岸	8.0×10^4	1970—1982
3	青森県青森海岸	5.7×10^3	1977—1979	3 4	静岡県竜洋海岸	2.3×10^5	1981—1991
4	青森県三沢海岸	2.3×10^5	1961—1986	3 5	静岡県浜名湖 今切口周辺	1.2×10^5	1963—1975
		2.5×10^5	1961—1986	3 6	愛知県赤羽根漁港 周辺	5.8×10^4	1963—1973 1977—1986 平均
5	宮城県石巻湾沿岸	3.2×10^4	1969—1986	3 7	三重県鈴鹿川河口部	2.7×10^4	1973—1980
		3.0×10^4	1969—1981	3 8	三重県御座海岸	2.8×10^3	1980—1985
6	福島県北部 ～宮城県南部沿岸	1.7×10^5 1.2×10^5	1983—1991 1975—1988	4 5	鳥取県岩美海岸	1.6×10^5	1984—1987
8	秋田県能代沿岸	1.8×10^5	1986—1990	4 7	鳥取県皆生海岸	6.7×10^4 1.2×10^5	1971—1988
1 1	茨城県神岡上海岸	5.4×10^4	1984—1987	5 5	高知県高知海岸 (仁淀川河口～桂浜)	1.4×10^5	1990—1991
1 3	茨城県鹿島灘沿岸	2.3×10^5	1981—1984	5 7	宮崎県宮崎海岸	1.1×10^5	1984—1990
1 4	千葉県九十九里海岸	8.0×10^4	1979—1986	5 8	茨城県沼沼親沢鼻	1.0×10^2	1983—1988
1 5	千葉県富津岬	1.7×10^4	1985—1994	5 9	茨城県霞ヶ浦浮島地区	1.64×10^2	1983—1985
1 7	新潟県神林海岸	2.6×10^5	1979—1980	6 0	滋賀県琵琶湖旧野洲川河口部	1.58×10^3	1971—1991
2 0	新潟県柏崎港 ～荒浜海岸	1.5×10^5	1980—1992				
2 1	新潟県直江津海岸	6.1×10^4	1969—1985				
2 2	新潟県糸魚川・青海海岸	5.8×10^4	1983—1988				

であるが、そのほか既往の研究としては次の5例がある。

①三村・加藤²⁾は、1979～1985年における大洗港周辺の侵食・堆積域を示し（原著：p.363）、大洗港の西防波堤から約1.7kmの区間で大規模な堆積が生じ、それより南側では侵食傾向にあることを明らかにした。北向きの沿岸漂砂量の沿岸分布を計算し、堆積・侵食域が分かれる西防波堤から約1.5km地点での沿岸漂砂量が、 $2.3 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ （1979～1981年）、 $3.0 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ （1981～1985年）に達するとした。

②土屋・芝野³⁾は、富山県の宮崎漁港の改修、とくに東防波堤の延長に伴って沿岸漂砂が阻止され、下新川海岸の侵食が助長されたことを明らかにするとともに、侵食土砂量の経年変化（原著：p.486）から、1958～1967年での沿岸漂砂量が約 $5.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ とした。

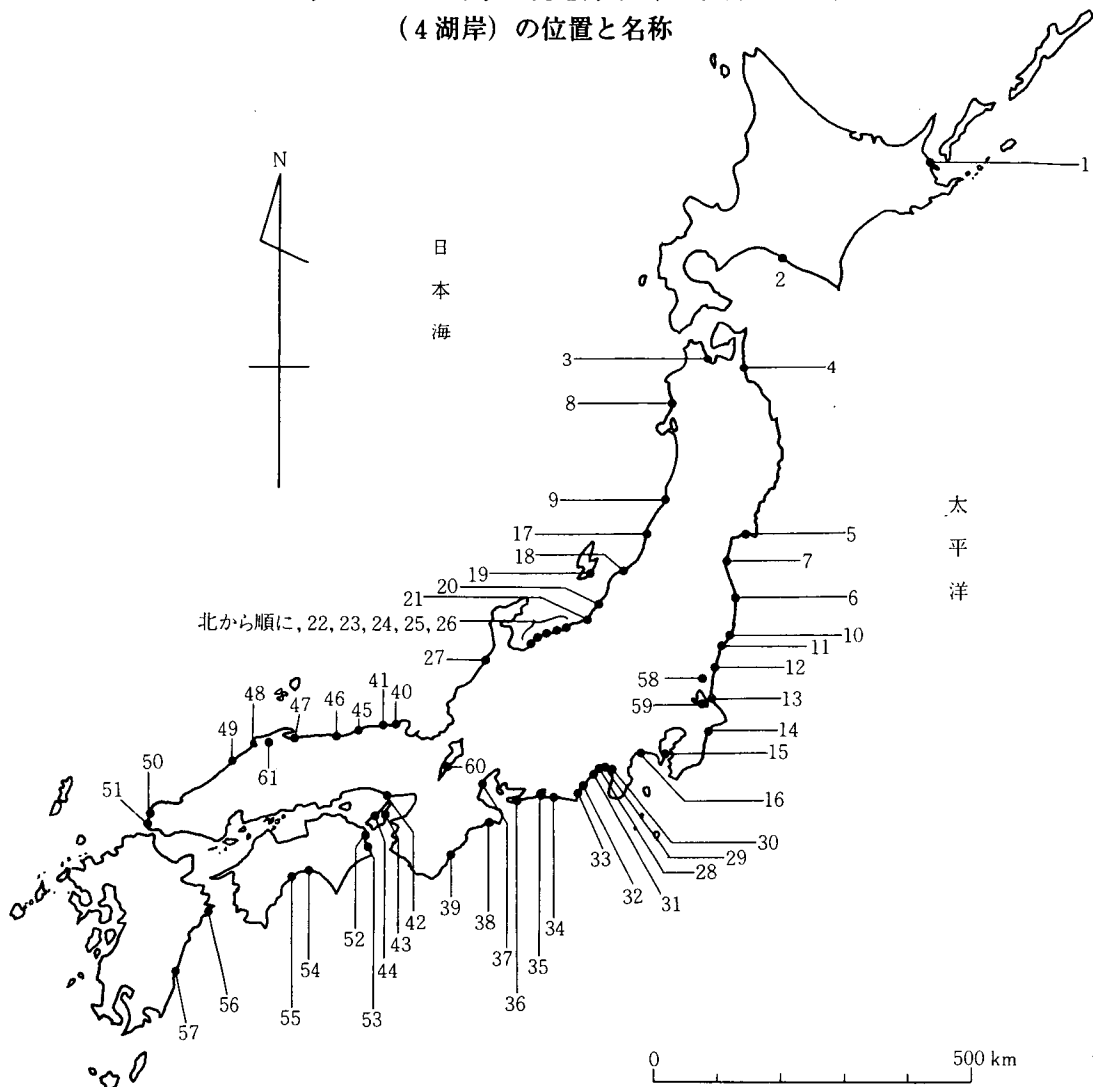
③橋本⁴⁾は、富士海岸に関し、漂砂の移動高を10mと求め、さらに汀線変化の理論式への現地データの当てはめから、沿岸漂砂量を $1.25 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定した。

④井島ら⁵⁾は、渥美半島の先端にある伊良湖港の、防波堤着工直前の1948年から1957年までの深浅図から、防波堤の西側への堆積土砂量の変化を計算（原著：p.99）し、この間、平均で $(5 \sim 10) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の土砂が堆積したことを明らかにした。そして、この土砂は、夏季のうねり、とくに台風による波によって遠州灘海岸から伊良湖岬の先端を回り込んできた沿岸漂砂が堆積したもの、と結論した。

⑤矢島ら⁶⁾は、宮津湾の中で、天橋立の北東側に位置する日置港の1969～1981年の浚渫土砂量（原著：p.307）の平均から、沿岸漂砂量を約 $3.5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定した。

表-4には以上の既往文献から得られた沿岸漂砂量をまとめて示す。表-2,3,4によれば、外海・外洋に

表-3 調査対象の現地海岸（57海岸）と湖岸
（4湖岸）の位置と名称



番号	海岸・湖岸の名称		
1	北海道野付崎標津海岸	21	新潟県直江津海岸
2	北海道日高海岸	22	新潟県糸魚川・青海海岸
3	青森県青森海岸	23	新潟県親不知海岸
4	青森県三沢海岸	24	新潟県市振海岸
5	宮城県石巻湾沿岸	25	富山県境海岸
6	福島県北部～宮城県南部沿岸	26	富山県下新川海岸
7	宮城県仙台湾沿岸	27	石川県石川海岸
8	秋田県能代沿岸	28	静岡県蒲原海岸
9	山形県沿岸	29	静岡県富士川河口部
10	茨城県五浦海岸	30	静岡県富士海岸
11	茨城県神岡上海岸	31	静岡県静岡・清水海岸
12	茨城県阿字ヶ浦海岸(砂丘)	32	静岡県駿河海岸
13	茨城県鹿島灘沿岸	33	静岡県相良片浜海岸
14	千葉県九十九里海岸	34	静岡県竜洋海岸
15	千葉県富津岬	35	静岡県浜名湖今切口周辺
16	神奈川県湘南・西湘海岸	36	愛知県赤羽根漁港周辺
17	新潟県神林海岸(岩船港周辺)	37	三重県鈴鹿川河口部
18	新潟県新潟海岸	38	三重県御座海岸
19	新潟県佐渡島湾ノ瀬鼻	39	三重県七里御浜海岸
20	新潟県柏崎港～荒浜海岸	40	京都府浅茅川海岸
		41	京都府久美浜海岸
		42	兵庫県東播磨海岸
		43	兵庫県淡路島内田海岸
		44	兵庫県淡路島西岸
		45	鳥取県岩美海岸
		46	鳥取県鳥取海岸
		47	鳥取県皆生海岸
		48	島根県釜川河口部
		49	島根県江津海岸
		50	山口県八ヶ浜海岸
		51	山口県綾羅木海岸
		52	徳島県沿岸(吉野川河口～栗津港)
		53	徳島県今津坂野海岸
		54	高知県高知海岸(物部川河口～浦戸湾)
		55	高知県高知海岸(仁淀川河口～桂浜)
		56	大分県黒島海岸
		57	宮崎県宮崎海岸
		58	茨城県潮沼親沢鼻
		59	茨城県霞ヶ浦浮島地区
		60	滋賀県琵琶湖旧野洲川河口部
		61	島根県六道湖鳥ヶ崎砂州

面した海岸での沿岸漂砂量は $10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ のオーダーを有することが分かる。また、富津岬、石巻湾、鈴鹿川河口部など、半島などにより波が遮蔽されている海岸では $10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ のオーダーに、さらに天橋立や御座海岸など著しく波が遮蔽された海岸では $10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$ のオーダーとなる。この沿岸漂砂量は規模の大きな湖である琵琶湖での値と同じオーダーである。さらに規模の小さな湖では $10^2 \text{ m}^3/\text{yr}$ の沿岸漂砂量を有している。

表-4 沿岸漂砂量の一覧（既往の文献による）

番号	海岸名	沿岸漂砂量 (m^3/yr)	観測期間	出典
1	茨城県大洗海岸	2.3×10^5 3.0×10^5	1979-1981 1981-1985	三村・加藤(1987) ²⁾
2	富山県下新川海岸	5.6×10^4	1958-1967	土屋・芝野(1973) ³⁾
3	静岡県富士海岸	1.25×10^5	1959-1973	橋本(1976) ⁴⁾
4	愛知県渥美半島 (伊良湖港)	$(5 \sim 10) \times 10^4$	1948-1957	井島ら(1958) ⁵⁾
5	京都府宮津湾天橋立	3.5×10^3	1969-1981	矢島ら(1982) ⁶⁾

4. 波による地形変化の限界水深の全国実態

沿岸漂砂量の算定とともに、波による地形変化の限界水深を海（湖）浜縦断面形の変化から算出することができる。ここに、波による地形変化の限界水深とは、文献¹⁾に多くの事例を述べたように、ある期間（数年以上と比較的長い期間）を通じて平均的に見たとき、工学的に有意な地形変化が見られなくなる限界の水深と定義している。ここではこれらの全国実態をまとめてみる。まず、表-5には、個別海岸の検討で求められた波による地形変化の限界水深 h_c を示す。また、表-6には既往文献から求めた波による地形変化の限界水深をまとめて示す。

表-5 波による地形変化の限界水深の一覧（筆者による）

番号	名称	波による地形変化の 限界水深： h_c (m)	番号	名称	波による地形変化の 限界水深： h_c (m)
1	北海道野付崎標準海岸	4	32	静岡県駿河海岸	8
2	北海道日高海岸	6	33	静岡県相良片浜海岸	3
3	青森県青森海岸	2	34	静岡県竜洋海岸	10
4	青森県三沢海岸	8	35	静岡県浜名湖今切口周辺	13
5	宮城県石巻沿岸	8	37	三重県鈴鹿川河口部	2.5
6	福島県北部～宮城県南部沿岸	9	38	三重県御座海岸	1.7
7	宮城県仙台湾沿岸	8	39	三重県七里御浜海岸	10
8	秋田県能代沿岸	14↑	40	京都府浅茂川海岸	5
9	山形県沿岸	15↑	42	兵庫県東播海岸	1.5 (江井ヶ島) 1.5 (谷八木)
11	茨城県神岡上海岸	9	43	兵庫県淡路島内田海岸	4.5
13	茨城県鹿島灘沿岸	8	45	鳥取県岩美海岸	10
15	千葉県富津岬	2～3	46	鳥取県鳥取海岸	14
16	神奈川県湘南・西湘海岸	7	47	鳥取県皆生海岸	8
17	新潟県神林海岸	7	48	島根県差海川河口部	6
18	新潟県新潟海岸	8	50	山口県八ヶ浜海岸	5.5
20	新潟県柏崎港～荒浜海岸	11	52	徳島県沿岸(吉野川河口～栗津港)	7
21	新潟県直江津海岸	8	53	徳島県今津坂野海岸	7
22	新潟県糸魚川・青海海岸	8	54	高知県高知海岸 (物部川河口～浦戸湾)	11
23	新潟県親不知海岸	9	55	高知県高知海岸 (仁淀川河口～桂浜)	10
24	新潟県市振海岸	9	56	大分県黒島海岸	2
25	富山県境海岸	8	57	宮崎県宮崎海岸	10
26	富山県下新川海岸	9	58	茨城県濁沼親沢鼻	0.7
28	静岡県蒲原海岸	10	59	茨城県霞ヶ浦浮島地区	0.5 (浮島1号) 0.5 (浮島2号)
29	静岡県富士川河口部	8	60	滋賀県琵琶湖旧野洲川河口部	1.2
30	静岡県富士海岸	12	61	島根県宍道湖鳥ヶ崎砂州	0.5
31	静岡県静岡・清水海岸	7 (静岡) 7 (清水)			

既往データの中で、松富ら⁹⁾は秋田県南部で建設中の島式漁港周辺における、1990～1991年の深浅図を示しており、これによると、冬季には-4～-6mにおいて沿岸砂州の形成が見られるが、-7、-8mの等深線は沿岸方向にはほぼ平行に伸びている。一方、-9m以深には切り込まれた海底谷の地形が見られる。これらのことから、この海岸における波による地形変化の限界水深は松富も指摘しているように、ほぼ8mにあると言える。また、

合田・佐藤¹¹⁾は、愛知県渥美半島の先端にある伊良湖港の防波堤建設時の等深線の変化を示している。その中で、1954、1957年の等深線の形状を比較すると、防波堤の南側において-8m以浅の等深線が防波堤に沿ってくさび状に前進していることから、伊良湖岬の先端を回って北向きに沿岸漂砂が移動しており、その場合の波による地形変化の限界水深がほぼ8mにあると判断できる。

表-5.6によれば、外海・外洋に面した海岸における波による地形変化の限界水深は10m程度であり、内海では2～3m、さらに湖では1m程度となる。表-5の中でとくに秋田県能代沿岸、山形県沿岸はそれぞれ14、15m以上と非常に深い所まで地形変化がみられるし、また鳥取県鳥取海岸でも14mと非常に深い。同程度の深さを持つものとしては、静岡県浜名湖今切口周辺が大きいが、ここは浜名湖の入退潮流の影響があるため除外できる。したがって、上述の3海岸はいずれも日本海側に位置しているのが特徴である。そして、同じく日本海に面していても、新潟海岸のように佐渡島による波の遮蔽効果や、富山県の下新川海岸のように能登半島などの遮蔽効果も受けない海岸であることが特徴であって、いずれの海岸も冬季風浪の作用を直接的に受ける海岸である。

沿岸漂砂を制御するための各種施設の先端水深は、波による地形変化の限界水深を一つの判断基準として設定されるが、この水深がこのように深いことは、例えば波の遮蔽構造物が建設されて隣接域で侵食が生じた場合、その対策が非常に困難なことを意味している。

一般に沿岸漂砂量 Q は、Savage型の漂砂量式を用いれば次のように表される。

$$Q = k (ECg)_b \cdot \sin \theta_b \cdot \cos \theta_b \quad (1)$$

ここに、 k ：漂砂量係数、 $(ECg)_b$ ：碎波点における波のエネルギーフラックス、 θ_b ：碎波角である。いま、碎波点での碎波波高を H_b とし、長波近似が成立するとすれば、

$$(ECg)_b \sim H_b^{5/2} \quad (2)$$

であって、さらに波による地形変化の限界水深 h_c と H_b の間にも比例関係が成立するので、

$$(ECg)_b \sim h_c^{5/2} \quad (3)$$

となる。したがって式(1)の絶対値 $|Q|$ は、 $h_c^{5/2}$ に比例するはずである。このことから、前節で示した沿岸漂砂量の絶対値と h_c の関係を調べたのが図-10である。図示するように $|Q|$ は h_c の5/2乗に比例している。このことは、波による地形変化の限界水深の大きい場所ではその限界水深の5/2乗に比例して沿岸漂砂量が増大することを意味しているから、ある地点での波による地形変化の

表-6 波による地形変化の限界水深の一覧（既往の文献による）

番号	海岸名	波による地形変化の限界水深 (m)	出典
1	北海道日高海岸 (静内海岸)	5	尾崎(1974) ⁷⁾ ：p.138, 図-4
2	青森県三沢海岸	8	佐藤ら(1972) ⁸⁾ ：p.8, 図-3
3	秋田県秋田海岸	8	松富ら(1992) ⁹⁾ ：p.344, 345, 図-4, 6
4	茨城県常陸那珂海岸	8	三村ら(1990) ¹⁰⁾ ：p.357, 図-8
5	富山県下新川海岸	4.5	土屋・芝野(1973) ³⁾ ：p.485, 図-7
6	愛知県渥美半島 (伊良湖港)	8	合田・佐藤(1972) ¹¹⁾ ：p.369, 図-5, 6

限界水深が推定されれば、これから沿岸漂砂量のオーダーの推定が可能であることを意味している。

いくつかの海岸の底質中央粒径の水深方向分布調査¹⁾によると、底質中央粒径は汀線付近で最大値を取ったのち、水深方向に単調に減少し、波による地形変化の限界水深付近では、水深によらず0.2～0.15mmの粒径となる場合が多い。このことは、逆に底質中央粒径の水深方向分布を調べることにより、波による地形変化の限界水深を推定できる可能性を示している。そこで、底質中央粒径の水深方向分布の測定されている全ての事例を表-7にとりまとめた。事例数は全体で16である。表には、沖合で水深によらずほぼ一定となる下限粒径、最大粒径、および汀線

～浅い海域での粗な粒径が水深とともに減少し、ほぼ水深によらず0.2～0.15mm程度のほぼ一定となる限界の水深（以下、粒径変化の限界水深と呼ぶ）をまとめて示す。この限界水深は、三重県鈴鹿川河口部のように湾奥に位置する海岸では2mと浅いが、外海・外洋に面した海岸ではほぼ10m程度の値を有している。この特徴は、先に表-5,6に示した波による地形変化の限界水深と同様な傾向である。そこで、表-5,6に示した波による地形変化の限界水深と、粒径変化の限界水深の関係を調べたのが図-11である。1データを除いて両者は1対1の線にのっている。1対1の線からずれるのは、秋田県能代沿岸の場合である。これは14m以深でも活発な地形変化が見られる海岸であって、他の海岸のように汀線付近で地形変化が活発な海岸と特性が異なる海岸である。以上のことから、図-11の相関はかなり良好と判断されよう。

波による地形変化の限界水深を定めるには、一般には深浅測量を繰り返し行い、これより明瞭な地形変化が見られなくなる限界の水深を定める必要があるが、これには少なくとも数回の深浅測量を行う必要があり、しかも沿岸漂砂による地形変化が活発ではなく、単に変動のみ卓

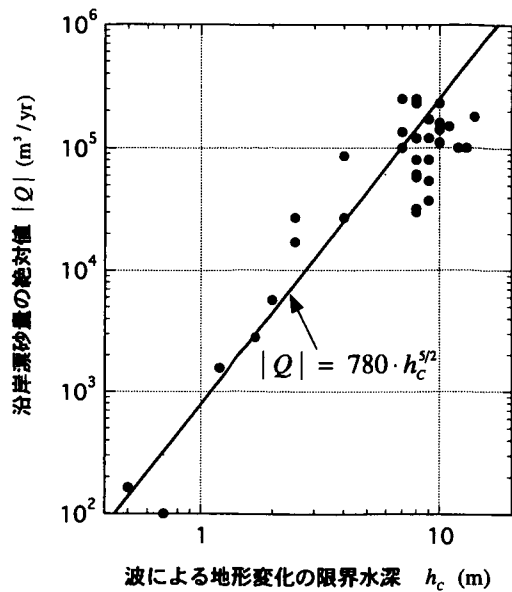


図-10 沿岸漂砂量の絶対値と波による地形変化の限界水深の関係

表-7 粒径変化の限界水深の一覧

番号	名称	下限粒径 (mm)	最大粒径 (mm)	限界水深 (mm)
1	北海道野付崎標津海岸	0.15	3.0	4
5	宮城県石巻湾沿岸	0.15	0.55	8
6	福島県北部～ 宮城県南部沿岸	0.15	0.25	10
7	宮城県仙台湾沿岸	0.2	0.95	9
8	秋田県能代沿岸	0.15	4.5	5
16	神奈川県湘南・ 西湘海岸	0.2	15	7
17	新潟県神林海岸	0.13	10	6
22	新潟県糸魚川・ 青海海岸	0.18	80	9
25	富山県境海岸	0.4	19	9
28	静岡県蒲原海岸	0.8	18	8
30	静岡県富士海岸	0.6	11	12(No.75 除く)
34	静岡県竜洋海岸	0.2	13	9
37	三重県鈴鹿川河口部	0.25	4.2	2
39	三重県七里御浜海岸	0.15	71	7(No.2)
48	島根県差海川河口部	0.2	0.48	8
55	高知県高知海岸 (仁淀川河口～桂浜)	0.4	30	10
全平均 0.27(全16データ)				

越する場合には推定精度の低下は免れない。
これに対し、底質中央粒径の水深方向分布は一回のみでも有効なデータが取れ、さらに、底質採取は厳密に一直線上の測線で行ったり、あるいはある特定の水深での値を取る必要がないから、観測は非常に容易である。このことから、波による地形変化の限界水深を定める方法として非常に有効である。また、地形変化の限界水深と、その海岸における沿岸漂砂量の間には図-10に示した関係が成立するから、底質中央粒径の水深方向分布から粒径変化の限界水深を求め、それを地形変化の限界水深と置けば、沿岸漂砂量のオーダーも推定できることになる。

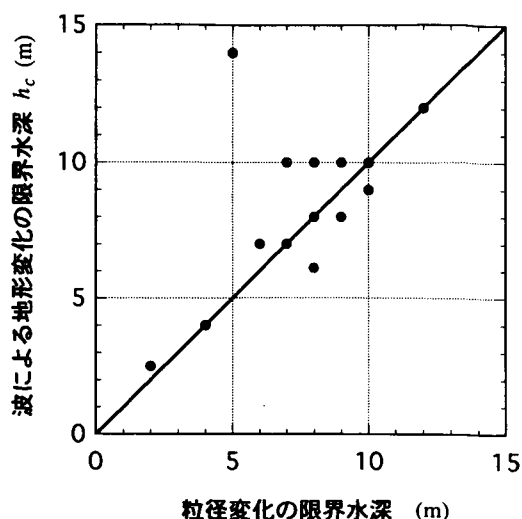


図-11 波による地形変化の限界水深と粒径変化の限界水深の関係

5. バーム高と波による地形変化の限界水深の関係

海（湖）浜縦断面形の変化において、前浜上に土砂が堆積する場合バームが形成される。そこで縦断面形の変化からバーム高（ h_R ）を読みとった。バームは何段も形成されることがあるが、最も陸側のものとして、高さを読み取ったのが表-8である。また図-12には、 h_R と波による地形変化の限界水深の関係を示す。両者の間には、ほぼ次式が成立する。

表-8 バーム高の一覧

番号	名称	バーム高： h_R (m)	番号	名称	バーム高： h_R (m)
1	北海道野付崎標津海岸	1.3	33	静岡県相良片浜海岸	1.5
2	北海道日高海岸	2.5	34	静岡県竜洋海岸	2~3
3	青森県青森海岸	1	37	三重県鈴鹿川河口部	1.1
4	青森県三沢海岸	2.5	38	三重県御座海岸	1.3
5	宮城県石巻湾沿岸	2	40	京都府浅茂川海岸	2
6	福島県北部～ 宮城県南部沿岸	3	42	兵庫県東播海岸	1.2
11	茨城県神岡上海岸	2.5	43	兵庫県淡路島内田海岸	1.5
13	茨城県鹿島灘沿岸	2.5	45	鳥取県岩美海岸	2
15	千葉県富津岬	1	53	徳島県今津坂野海岸	2
16	神奈川県湘南・ 西湘海岸	1.9	54	高知県高知海岸 (物部川河口～浦戸湾)	3
17	新潟県神林海岸	2.8	55	高知県高知海岸 (仁淀川河口～桂浜)	4~5 ($h_c=10m$)
24	新潟県市振海岸	3	57	宮崎県宮崎海岸	2
25	富山県境海岸	3	58	茨城県漕沼親沢鼻	0.4
26	富山県下新川海岸	3	59	茨城県霞ヶ浦浮島地区	0.35
29	静岡県富士川河口部	3	60	滋賀県琵琶湖旧野洲川 河口部	0.5
31	静岡県静岡・清水海岸	3	61	島根県宍道湖鳥ヶ崎砂州	0.3
32	静岡県駿河海岸	3			

$$h_R = 0.31h_c \quad (6)$$

すなわち、 h_R は h_c の約1/3である。このことは、波による地形変化の限界水深（そこはまた粒径変化の限界水深でもある）は、およそバーム高の3倍付近にあることを意味している。このことは、逆に、波による地形変化の限界水深や、その海岸において生じ得る沿岸漂砂量のオーダーがバーム高から推定されることになる。正確には、バーム高は前浜材料の粒径や入射波の周期にも依存するが、上述の結果は実用的にはかなり有効な情報と言える。

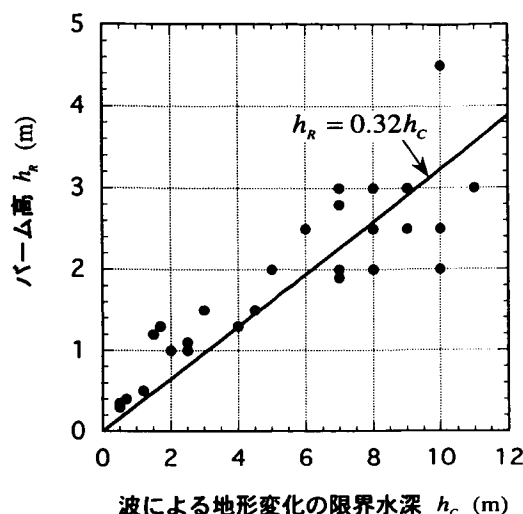


図-12 バーム高と波による地形変化の限界水深の関係

6. 具体的応用法

海岸侵食の対策や、海岸利用の促進のための養浜工などの設計において上述の現地データを利用する方法について考えてみたい。例えば、海岸侵食が進んでいる海岸で、侵食対策案について検討することとする。しかも過去から深浅測量データなどが十分集積されていない海岸で設計をしなければならないとする。この場合、まず底質調査を行い、 d_{50} の水深方向分布を求めることがすすめられる。この場合、底質のサンプリングは水深方向に厳密に一定間隔であったり、あるいは一直線上で行う必要はない。例えば、水深方向に0.5mピッチでサンプリングを行うこと、という仕様ではなく、多少観測測線は曲がっていてもよい。重要なのは、水深方向には、想定される波による地形変化の限界水深より十分深いところまで、十分密な間隔で測定し、測定時の水深を記録すればよいことである。 d_{50} の水深方向分布が得られれば、粒径変化の限界水深が求められる。この値は、波による地形変化の限界水深とほぼ等しい。したがって、このデータのみから波による地形変化の限界水深の推定ができる。

また、多少精度は落ちるが、バーム高を測れば、それからも波による地形変化の限界水深の推定が可能である。さらに重要と考えられるのは、すでに日本の沿岸（湖岸含む）をほぼ網羅した形で、波による地形変化の限界水深が明らかにされているので、ある海岸で設計を行うとき、その海岸でデータがなくとも、その海岸の両隣の海岸での値から概略の数値が想定されることがあげられる。

このような方法は、例えば発展途上国における技術援助を行う際にも利用可能であろう。すなわち、ある海岸、そこでは例えば地形図と空中写真が一枚だけしかないとする。そのような海岸であっても、上述の方法を適用すれば経費をかけずに重要な情報が得られるし、地形図と空中写真から海岸線形状を判読すれば卓越波の方向や沿岸漂砂の卓越方向の判断が可能である。

7. 今後の侵食対策のあり方

従来より海岸保全対策として多く用いられてきた突堤、離岸堤、ヘッドランドなどの施設の設置水深は高々数mであって、内湾や内海の波浪条件が比較的静穏な海岸を除けば、波による地形変化の限

界水深（外海にあっては10m程度の値を持つ）と比較して浅い。このことは、両端に沿岸漂砂を阻止する施設の設置されたある区間からの沿岸漂砂の流出を完全に防止して静的に安定な海浜を造ることは原理上は可能であっても、実際にはそれは困難なことを示している。すなわち、例えば h_c が8mの海岸に先端水深が3~4mのヘッドランドを建設した場合、その先端を越えて沿岸漂砂の流出はその後も続くことになる。このような場合、沿岸漂砂の上手側からの土砂供給が存在しなければ当該海岸では次第に侵食が進んで行かざるを得ない。したがって多くの海岸では養浜による土砂投入を同時に考えなければならない事態に必ず至る。しかも養浜砂は次第に流出するので、消耗的と言われるが、それでもそれをし続けなければ、海浜の侵食は止まらないことになる。それでも養浜を行わなければ状況は悪くなるから、従来のように構造物を造るだけでなく、養浜を組み合わせた方法が取り得るように仕組みを変えて行かなければならない。

また、沿岸に大規模な防波堤や人工島が建設される場合、そのスケールを考えれば各種構造物の先端水深は少なくとも約10mに達するはずである。この場合、例えば波の遮蔽域が形成されて波の遮蔽域外から遮蔽域内へと沿岸漂砂の移動が起こる。そのとき、沿岸漂砂は外海に面した海岸ではほぼ10m付近までの範囲で起こる。したがって、小規模な構造物を設置して土砂の流出を防止しようとしても、結局は土砂の流出が続くことを意味する。これを構造物により防ぎ、前浜の消失を防ぐには究極的には便利施設と同じ規模である10m付近まで延びた施設を作らない限り土砂流出は止められないことになろう。その場合には侵食を防止する施設が新たに建設されたことによって、その隣接海岸で再び侵食が繰り返され、沿岸域が大規模な施設だらけになるであろう。したがってこの点から見ても、たとえコストはかかったとしても、養浜との組み合わせを行う必要がある。その場合、養浜した砂がすぐには遮蔽域内へ運ばれないよう、各種施設との組み合わせで養浜を行う方法について技術的な面から検討すべきであろう。

従来、防波堤など波の遮蔽構造物の背後に土砂が堆積した場合、その堆積土砂は多くの場合埋め立て地に取り込まれることがほとんどであった。その場合波の作用で移動し得る沿岸漂砂であったものが、再び波の作用では移動することのない土砂となることは明白であって、海浜にある移動可能な土砂の純損につながることがまちがいない。その量は上述のように大量であって、しかもそのうち汀線付近にある粒径の大きい成分が集中的になくなることから、一連海岸での侵食を考えれば重大な結果をもたらすことは間違いない。これを防止するには、海岸全体を広い視野で眺め、「海のものは海へ返す」という方針で対策を進めることが必要である。すなわち、浚渫土砂は他の用途に使うのではなく、再び養浜材として用いることである。

8. 結論

ここで明らかになった主要な項目について整理すると以下のようである。

①全国29海岸および3湖岸で沿岸漂砂量を算定したところ、外海・外洋に面した海岸での沿岸漂砂量は $10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ のオーダーに、半島などにより波が遮蔽されている海岸では $10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ のオーダーに、さらに著しく遮蔽された海岸では $10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$ のオーダーにあり、規模の大きな湖である琵琶湖での値と同じオーダーである。さらに規模の小さな湖では $10^2 \text{ m}^3/\text{yr}$ の沿岸漂砂量をもつことが明らかになっ

た。

②外海・外洋に面した海岸における、波による地形変化の限界水深は-10m程度であり、内海では-2~-3m、さらに湖では-1m程度となる。しかし秋田県能代沿岸、山形県沿岸ではそれぞれ-14、-15m以上と非常に深い所まで地形変化がみられるし、また鳥取県鳥取海岸でも-14mと非常に深い。上述の3海岸はいずれも日本海側に位置しているのが特徴である。そして、同じ日本海に面していても、新潟海岸のように佐渡島による波の遮蔽効果や、富山県の下新川海岸のように能登半島などの遮蔽効果も受けない海岸であることが特徴であって、いずれの海岸も冬季風浪の作用を直接的に受ける海岸である。

③ $|Q|$ は h_c の $5/2$ 乗に比例することが見いだされた。このことは、波による地形変化の限界水深の大きい場所ではその限界水深の $5/2$ 乗に比例して沿岸漂砂量が増大することを意味しているから、ある地点での波による地形変化の限界水深が推定されれば、これから沿岸漂砂量のオーダーの推定が可能なことを示す。

④底質中央粒径の水深方向分布の測定されている16事例を整理したところ、中央粒径が、汀線～浅い海域での粗な粒径から水深とともに減少し、ほぼ水深によらず0.2~0.15mm程度でほぼ一定となる限界水深（粒径変化の限界水深と定義）が見出された。この限界水深は、波による地形変化の限界水深とほぼ一致する。

⑤バーム高と波による地形変化の限界水深との間には $h_r = 0.31 h_c$ なる関係が成立する。このことは、バーム高から地形変化の限界水深や粒径変化の限界水深の推定が可能なこと、さらにはその海岸で生じ得る沿岸漂砂量の絶対値のオーダーも推定可能なことを示している。

⑥現地海岸における沿岸漂砂量や波による地形変化の限界水深などを簡単に推定できる方法を示した。この方法は、データがない海岸において各種構造物の設計を行う際役立つと考えられる。

参考文献

- 1) 宇多高明 (1997) : 日本の海岸侵食、山海堂、p.442.
- 2) 三村信男・加藤 始 (1987) : 大洗海岸における近年の地形変化と沿岸漂砂量、第34回海岸工学講演会論文集、pp.362-366.
- 3) 土屋義人・芝野照夫 (1973) : 下新川海岸の海浜過程について、第20回海岸工学講演会論文集、pp.483-488.
- 4) 橋本 宏 (1976) : 海浜変形モデルの富士海岸への応用、第23回海岸工学講演会論文集、pp.218-220.
- 5) 井島武士・佐藤昭二・早瀬幸一 (1958) : 伊良湖港の漂砂について、第5回海岸工学講演会講演集、pp.97-106.
- 6) 矢島道夫・上蘭 晃・矢内常夫・山田文雄 (1982) : 天橋立におけるサンドバイパス工法の適用、第29回海岸工学講演会論文集、pp.304-308.
- 7) 尾崎 晃 (1974) : 日高静内海岸の海浜過程について、第31回海岸工学講演会論文集、pp.135-139.
- 8) 佐藤昭二・河西輝夫・田中則男・入江 功 (1972) : 小川原湖海岸の漂砂について、第19回海岸工学講演会論文集、pp.7-11.
- 9) 松富英夫・工藤 崇・池田正人 (1992) : 秋田県南部海岸での漂砂動向、海岸工学論文集、第39巻、pp.341-345.

- 10)三村信男・加藤 始・永井紀彦・堀井昭宏（1990）：常陸那珂海岸における海岸地形変化の特性、海岸工学
論文集、第37巻、pp.354-358.
- 11)合田良実・佐藤昭二（1972）：海岸・港湾、土木学会編、彰国社、p.396.
- 12)杉山道彦（1959）：新潟西海岸について、第6回海岸工学講演会講演集、pp.36-44.

道路の政策と研究開発
～ITSを中心として～

道路部長 中村 亮

道路の政策と研究開発

－ I T S を中心として－

1. はじめに

政府の行財政改革の方針に沿い平成10年度から始まる新たな道路整備五箇年計画は、第11次五箇年計画と金額的にほぼ同規模の78兆円で要求されている。

このような中で欧米との比較から従前の舗装率、改良率、高速道路延長等の遅れを指標として、日本の道路整備の必要性を評価する方法にも見直しが求められる時代となってきた。道路建設から道路資産の有効利用へその重点が移っていくことも時代の流れであろう。

本論は、このような流れを解析し、今後研究が必要と思われる道路整備の目標や評価手法、及び有効利用の研究分野として最近重点が置かれている I T S の研究開発について述べるものである。

2. 我が国の経済状況

いま我が国の経済は、不況の底を脱し実感のない景気回復基調にあるという。表－1（マクロ経済の推移）に示すように、実質GDPはプラス傾向で推移しているが勢いはなく、建設経済モデルによる予測結果によれば、97年度の実質経済成長率は1.0%と再び低成長に落ち込むものと見られる。また、消費税の引上げや特別減税の廃止等の影響より、97年の4～6月期では年率にして10%以上のマイナスを記録している。

表－1 マクロ経済の推移（年度）

年度						実績 ← → 予測		
	1990	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
実質 GDP	4,360,438	4,506,532	4,527,576	4,557,582	4,668,550	4,807,412	4,857,238	4,930,016
(対前年度伸び率)	5.5%	0.4%	0.5%	0.7%	2.4%	3.0%	1.0%	1.5%
(構成率)	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
実質公的固定資本形成	283,219	353,968	398,686	394,310	424,742	422,802	395,017	347,990
(対前年度伸び率)	4.6%	16.6%	12.6%	-1.1%	7.7%	-0.5%	-6.6%	-11.9%
(構成率)	6.5%	7.9%	8.8%	8.7%	9.1%	8.8%	8.1%	7.1%
実質民間設備投資	854,178	813,967	729,289	708,892	749,155	797,220	840,442	883,053
(対前年度伸び率)	11.3%	-7.2%	-10.4%	-2.8%	5.7%	6.4%	5.4%	5.1%
(構成率)	19.6%	18.1%	16.1%	15.6%	16.0%	16.6%	17.3%	17.9%
実質民間住宅投資	255,763	216,526	227,095	244,365	227,838	260,126	230,212	227,909
(対前年度伸び率)	4.9%	-3.5%	4.9%	7.6%	-6.8%	14.2%	-11.5%	-1.0%
(構成率)	5.9%	4.8%	5.0%	5.4%	4.9%	5.4%	4.7%	4.6%
実質民間最終消費	2,507,599	2,608,118	2,652,976	2,695,457	2,772,059	2,850,652	2,874,666	2,943,453
(対前年度伸び率)	4.2%	1.2%	1.7%	1.6%	2.8%	2.8%	0.8%	2.4%
(構成率)	57.5%	57.9%	58.6%	59.1%	59.4%	59.3%	59.2%	59.7%
実質純輸出	41,839	102,174	98,132	84,849	39,587	20,360	45,526	54,270
(対前年度伸び率)	45.4%	38.7%	-4.0%	-13.5%	-53.3%	-48.6%	123.6%	19.2%
(構成率)	1.0%	2.3%	2.2%	1.9%	0.8%	0.4%	0.9%	1.1%
名目 GDP	4,388,158	4,719,257	4,767,461	4,790,264	4,885,225	5,033,466	5,137,363	5,252,928
(対前年度伸び率)	6.7%	1.9%	1.0%	0.5%	2.0%	3.0%	2.1%	2.2%

* 実質値は1990年価格

(単位: 億円)

注) 上記の表は、民間資本形成在庫増及び政府最終消費支出の項目を表示していないため、

実質GDPの合計値とは一致しない。

資料: 「日本経済と公共投資 (No. 29)」平成9年7月 財) 建設経済研究所

従来、このように景気に翳りが見られた場合は、財政政策、金融政策を出动させ、景気にカンフル剤を与えてきた。しかし、国、地方を合わせて520兆円以上の財政赤字があり、公定歩合も史上最低となっており、財政政策、金融政策ともに打つ手が非常に難しく手詰まり状態となっている。また、97年6月の財政構造改革会議の方針で、98年度の公共事業費を前年比で7%以上削減し、公共投資基本計画（1995～2004年の10年間で630兆円）の期間も3年間延長することとなり、各種の長期公共事業計画も期間の延長を余儀なくされた。これまで厳しい景気状況下においての財政政策の切り札として出动してきた公共事業にも、見直しが迫られているといえる。

我が国のGDPを構成するもののうち、表-1にみられるように実質公的固定資本形成（広義の公共事業）が約9%を占めている。また、民間を含めた建設投資は、表-2に示すようにGDPの16%であり、他の先進諸国に比べて際立って大きな比率である。このように建設投資、特に公共事業が、景気動向の舵取りに大きな役割を果たし、政府が成長率や雇用の確保を強くリードし、我が国の成長に寄与してきた。

表-2 1995年の各国・地域の建設市場（兆円）

	日 本	アメリカ	西 欧	東 欧	アジア
G D P	488.5 (100)	681.5 (140)	822.8 (168)	21.2 (4)	201.0 (41)
建設市場	92.3 (100)	—	87.5 (95)	2.6 (3)	—
対 GDP 比 (%)	18.9	—	10.6	12.3	—
建設投資	79.8 (100)	51.3 (64)	53.3 (67)	1.7 (2)	26.0 (33)
対 GDP 比 (%)	16.3	7.5	6.5	8.0	12.9

名目値、為替レートは95年平均、日本は年度

(資料) ユーロコンストラクト会議資料(96.12)、アジアコンストラクト会議資料(96.10)、建設経済予測(建設経済研究所)、Statistical Abstract of the United States(米国商務省)、外国経済統計年報(95年版)他

注1) オーストリア、ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、アイルランド、イタリア、オランダ、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、イギリスのEU13ヶ国とスイス、ノルウェーの計15ヶ国

注2) チェコ、ハンガリー、ポーランド、スロバキアの4ヶ国

注3) 中国、香港、インドネシア、韓国、マレーシア、フィリピン、シンガポール、台湾、タイの8ヶ国、1地域

注4) 建設市場 = 建設投資 + 維持修繕

出典：「日本経済と公共投資（No. 29）」平成9年7月（財）建設経済研究所

3. 道路投資の変遷

戦後信じられない程劣悪といわれた我が国の道路も、表-3に示すように昭和29年から始まった11次に亘る道路整備五箇年計画により整備が進められてきた。この結果、道路全体の延長は、平成7年度当初で114万kmに及んでいるが、その伸びは近年かなり鈍ってきている。一方、高速道路については、昭和38年に初めて名神高速道路の一部が開通して以降順調な整備が行われており、昭和50年以降は5年で約1000kmずつの整備が行われ、現在に至っている。しかし、この間の自動車保有台数も急激に伸びてきており、道路整備をはるかに上回る状況となっている。

表-3 道路整備五箇年計画の実施状況

上段：計画額
中段：実績額
下段：達成状況

区分	一般道路事業		有料道路事業		地方単独事業		計 (億円)	前計画額 からの 倍率
	投資額 (億円)	構成比 (%)	投資額 (億円)	構成比 (%)	投資額 (億円)	構成比 (%)		
第1次計画(A)	2,600	100.0	—	—	—	—	2,600	—
29～32年度(a)	1,821	59.0	146	4.7	1,119	36.3	3,086	—
a/A(%)	70.0	—	—	—	—	—	118.7	—
第2次計画(B)	6,100	61.0	2,000	20.0	1,900	19.0	10,000	3.85
33～35年度(b)	3,222	61.3	510	9.7	1,521	29.0	5,252	—
b/B(%)	52.8	—	25.5	—	80.1	—	52.5	—
第3次計画(C)	13,000	61.9	4,500	21.4	3,500	16.7	21,000	2.10
36～38年度(c)	7,222	57.7	2,255	18.0	3,045	24.3	12,522	—
c/C(%)	55.6	—	50.1	—	87.0	—	59.6	—
第4次計画(D)	22,000	53.7	11,000	26.8	8,000	19.5	41,000	1.95
39～41年度(d)	12,441	56.8	4,432	20.2	5,023	22.9	21,896	—
d/D(%)	56.6	—	40.3	—	62.8	—	53.4	—
第5次計画(E)	35,500	53.8	18,000	27.3	11,000	16.7	66,000	1.61
42～44年度(e)	17,956	51.9	7,535	21.8	9,127	26.4	34,618	—
e/E(%)	50.6	—	41.9	—	83.0	—	52.5	—
第6次計画(F)	52,000	50.2	25,000	24.2	25,500	24.6	103,500	1.57
45～47年度(f)	31,080	49.9	13,179	21.2	17,863	28.7	62,235	—
f/F(%)	59.8	—	52.7	—	70.1	—	60.1	—
第7次計画(G)	93,400	47.9	49,600	25.4	47,000	24.1	195,000	1.88
48～52年度(g)	77,578	47.3	39,608	24.1	46,939	28.6	164,125	—
g/G(%)	83.1	—	79.9	—	99.9	—	84.2	—
第8次計画(H)	135,000	47.4	68,000	23.9	75,000	26.3	285,000	1.46
53～57年度(h)	129,479	45.0	66,145	23.0	92,314	32.1	287,938	—
h/H(%)	95.9	—	97.3	—	123.1	—	101.0	—
第9次計画(I)	160,000	41.9	92,000	24.1	117,000	30.6	382,000	1.34
58～62年度(i)	159,265	43.1	97,403	26.4	112,527	30.5	369,194	—
i/I(%)	99.5	—	105.9	—	96.2	—	96.6	—
第10次計画(J)	238,000	44.9	140,000	26.4	139,000	26.2	530,000	1.39
63～H4年度(j)	226,376	41.1	142,387	25.9	181,643	33.0	550,406	—
j/J(%)	95.1	—	101.7	—	130.7	—	103.9	—
第11次計画(K)	288,000	37.9	206,000	27.1	252,000	33.2	760,000	1.43
H5～9年度(k)	284,600	40.0	177,140	24.9	249,462	35.1	711,202	—
k/K(%)	98.8	—	86.0	—	99.0	—	93.6	—

注1) 第5次計画以降の全体額には予備費あるいは調整費を含んでいる。

2) 第6次計画実績には、112億円(沖縄分)を含む。

3) 実績投資額の一般、有料は平成8年度まで最終、平成9年度は当初、地方単独は平成7年度まで決算、平成8年度以降は見込み。

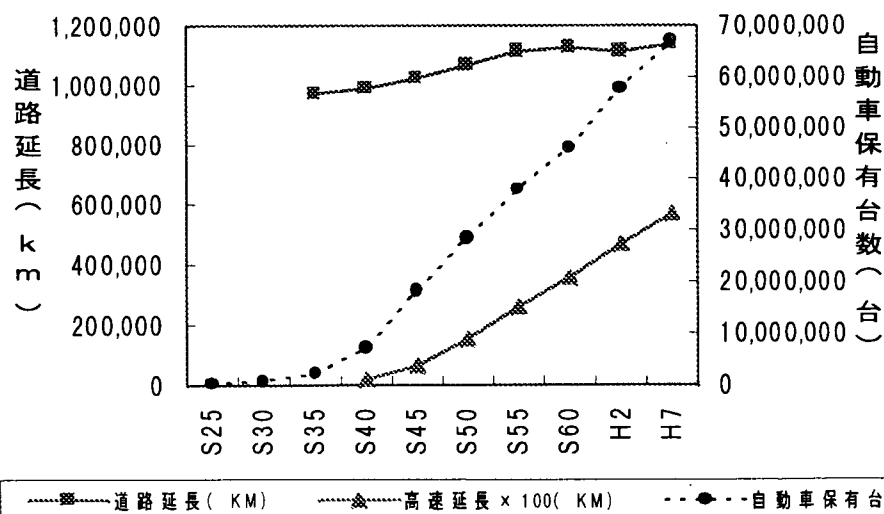


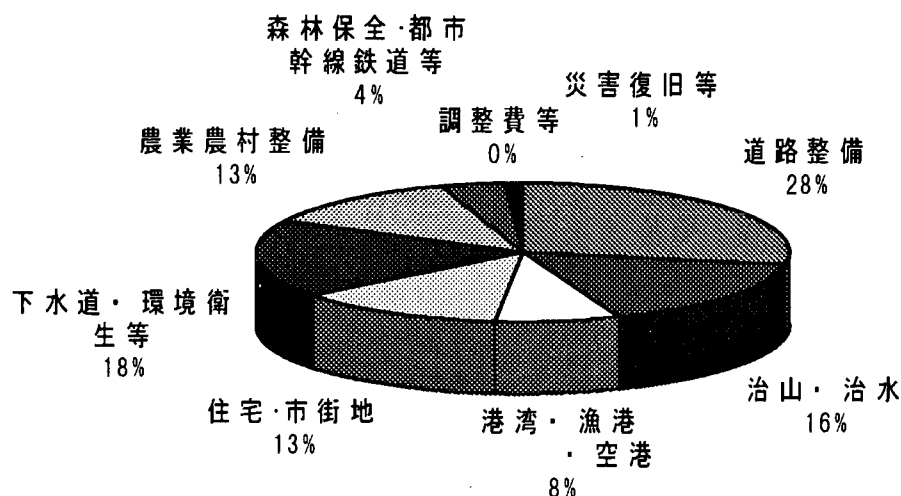
図-1 道路整備延長と自動車保有台数

道路整備は、表－４に示すように最も急がれそして要望の多い公共事業であり、全公共事業費の約２８％を投入して整備を進めてきた（図－２）。しかし、先進諸外国と比べると、まだまだ十分とはいえないのが現状である。特に、高速道路網の体系的な整備の遅れは著しく、高速道路の整備水準（表－５）、空港・港湾と高速道路のアクセス状況（表－６）は、欧米と比べて依然低い状況にある。

表－４ 予算配分を増やすべき事業（５５項目のうち上位１０項目）

順位	都道府県の回答	市町村の回答
1	高速道路などの高規格幹線道路の整備	廃棄物処理施設の整備
2	廃棄物処理施設の整備	地方道の整備
3	地方道の整備	市街化区域で行う公共下水道の整備
4	歩道、交差点改良、駐車場整備など交通安全施設の整備	道路改築、土地区画整理など街路整備
5	水質浄化、緑地整備など河川的环境整備	街並み、まちづくりの支援
6	流域下水道（市町村をまたがる大規模な下水道）の整備	歩道、交差点改良、駐車場整備など交通安全施設の整備
7	一般国道の整備	高速道路などの高規格幹線道路の整備
8	市街化区域で行う公共下水道の整備	水質浄化、緑地整備など河川的环境整備
9	浸水被害の解消対策などの都市河川の改修、堤防整備	洪水などから国民を守るための河川改修、堤防整備
10	都市鉄道、幹線鉄道の整備	流域下水道（市町村をまたがる大規模な下水道）の整備

資料：公共事業費に関するアンケート調査（平成９年 財政構造改革会議企画委員会）



図－２ 公共事業関係費の構成比（平成９年度当初国費ベース）

表-5 高速道路の整備水準の国際比較

	アメリカ	ドイツ	イギリス	フランス	イタリア	日 本
延長 (km)	73,271	11,143	3,141	9,000	6,301	7,265
延長/人口 (km/万人)	2.83	1.37	0.56	1.56	1.11	0.58
延長/自動車台数 (km/万台)	3.78	2.64	1.38	3.01	2.05	1.12
延長/面積 (km/万km ²)	75	312	137	163	209	192
延長/√人口・面積	14.6	20.7	8.7	15.9	15.2	10.6

注) アメリカ、ドイツ、フランス1994年、イギリス1993年、イタリア1991年、日本1998年3月予定(人数、台数は1994年)。
上記の他、イギリスには準高速道路が3489km、フランスには準高速道路が1500kmがある。

出典：建設省資料

表-6 空港・港湾と高速道路網とのアクセス状況

	アメリカ	欧州(独、英、仏、伊)	日 本
国 際 空 港	98% (94/96)	72% (79/110)	57% (12/21)
国 際 港 湾	93% (52/56)	93% (26/28)	33% (12/36)

注1) 高規格幹線道路等のインターチェンジなどから10分以内に到着可能な施設数/対象施設数。
2) 日本/平成8年度末、アメリカ/空港1995年、港湾1993年、ヨーロッパ/空港1995年、港湾1992年。
3) 対象空港は国際定期便が就航している空港。対象港湾はヨーロッパについては総貨物取扱量年間1000万トン以上、アメリカ、日本については総貨物取扱量が500万トン以上の港湾。

出典：建設省資料

4. 新たな道路整備五箇年計画 (案)

このような中、道路審議会は1997年6月30日に21世紀を展望した道路政策について政府に建議を提出した。それには、21世紀に求められる新しい政策像の具体化として、次の3つの点を挙げている。

1) 国民と徹底した対話を行う国民参加型の新しい方法を取り入れた。

道路審議会として初めてパブリック・インボルブメント方式を採用し、「キックオフ・レポート」、「ボイス・レポート」、「中間とりまとめ」を通じて国民と対話を行い、その内容を提言に反映した。

2) 道路政策の基本的な考え方を「供給量から社会的価値へ」と転換し、「戦略的施策展開」の方法を提示した。

道路政策の評価のモノサシを「供給量」から「国民生活や経済活動にとっての価値」(社会的価値)へ転換し、目指すべき方向として「3つの方針」と「8つのサービス目標」を設定した。さらに「達成すべき目標を設定し、関係者と連携して各種の施策を計画的、重点的に実施すること」(戦略的施策展開)の考え方を提示した。

3) 「評価システムの導入」等による効率的で透明な政策の進め方を提示した。

政策の基本的考え方の転換に伴い道路政策の進め方を変革するため、「評価システムの導入」、「重点投資とコスト縮減」、「パートナーシップの確立」、「社会実験の積極的実施」の4つの考え方を示した。

この3つの点は極めて新しい考え方であり、今後の道路政策、道路行政に大きな影響を与えるものである。この建議を受けて建設省では、総額78兆円の新たな道路整備五箇年計画(案)を策定し(表-7)、政府に提出、現在審議がなされている。

新たな道路整備五箇年計画では、21世紀を目前に控え、社会生活、経済活動が人を中心として一層効果的・効率的に展開されるように、図-4に示すような「経済構造改革」という切り口を追加して具体的施策を再編成するとともに、「国土保全」という新たな基本的方向を打ち出している。また、事業目的と社会的な効果を十分に確認しながら投資を判断する時代へ移行していることに対応して、道路政策をより効率的に執行するため、重点化・効率化、施策等の評価・改善、透明性の確保、適切な役割分担等の視点から道路政策の進め方の改革を図るとしている。

しかし、新たな道路整備五箇年計画(案)の投資規模の伸び率は、図-3に示すように過去に例を見ない低いものであり、時代は大きな変革の時を迎えていることが実感される。

表-7 新たな道路整備五箇年計画(案)の投資規模

(単位: 億円)

	新 た な 五箇年計画 (案)	第 11 次五箇年計画		計画倍率
		計 画	実 績	
一般道路事業	295,000	288,000	284,600	1.02
有料道路事業	180,000	206,000	177,140	0.87
小 計	475,000	494,000	461,740	0.96
地方単独事業	275,000	252,000	249,462	1.09
計 費	750,000	746,000	711,202	1.01
調 整 費	30,000	14,000	—	2.14
合 計	780,000	760,000	711,202	1.03

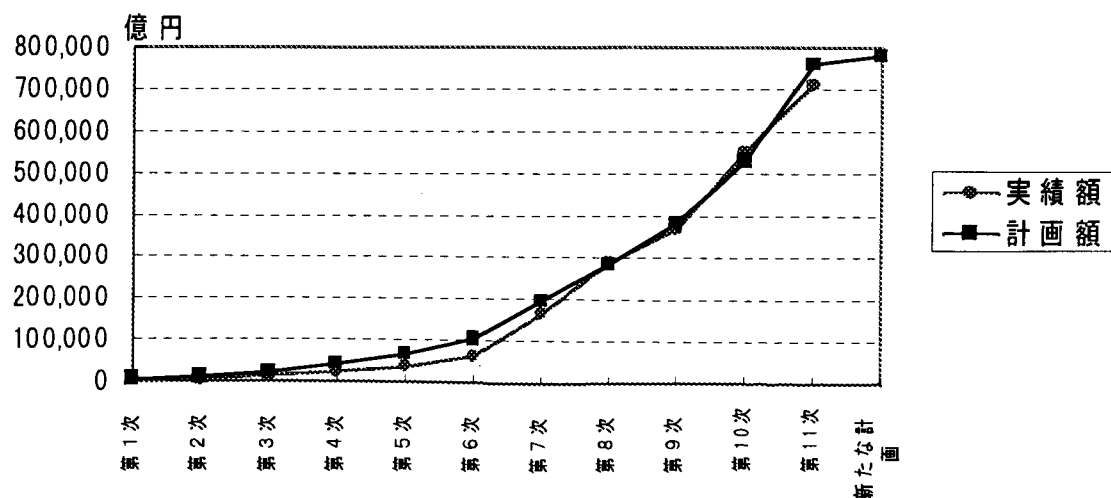
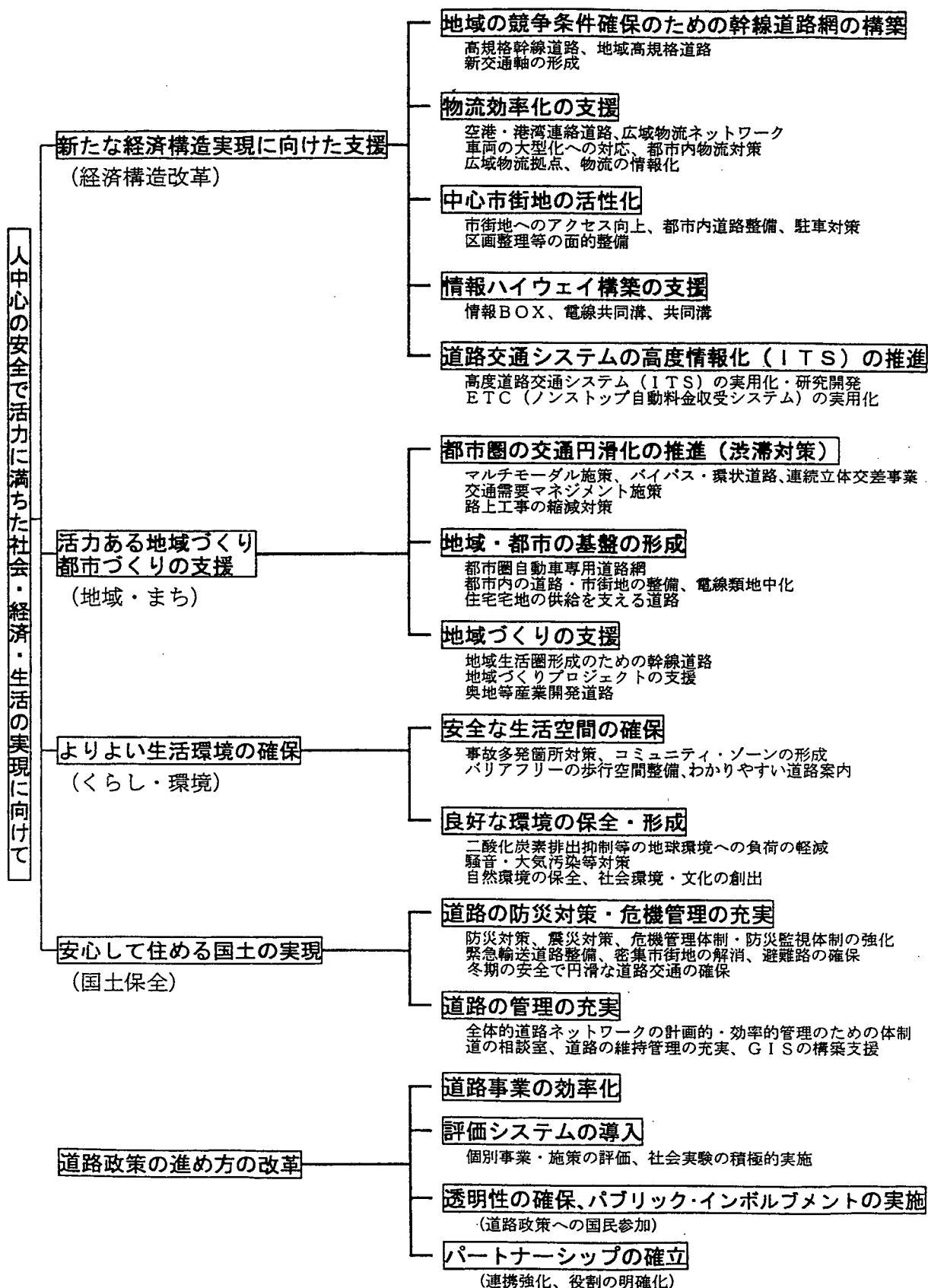


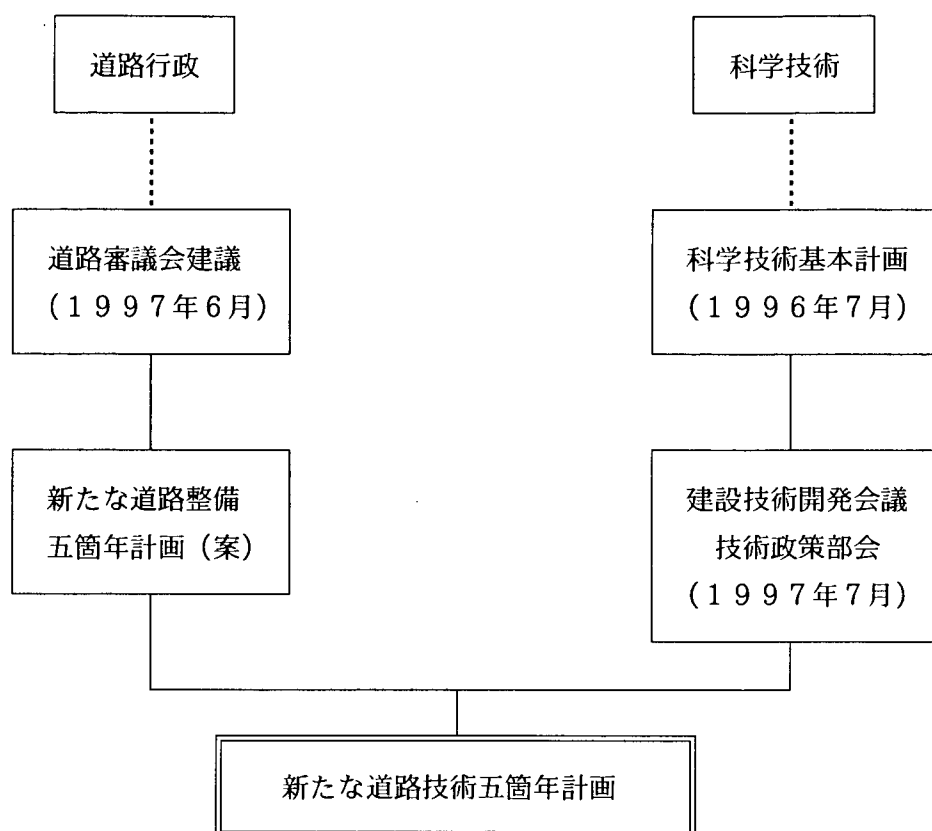
図-3 道路整備五箇年計画の投資額の推移



図－4 道路施策の方向性

5. 道路の研究と新たな道路技術五箇年計画の策定

第12次道路整備五箇年計画（案）では、主要な技術的課題の解決・実現を目指すために、科学技術基本計画等を踏まえ、新たな道路技術五箇年計画を策定し、道路の技術研究開発を推進することとしている（図－5）。この際、他分野の技術開発との連携・総合化にも配慮することが必要となる。



図－5 新たな道路技術五箇年計画の位置づけ

また、技術研究開発テーマについては、道路利用者にわかりやすい目標を設定するとともに、成果の経済的効果等を明確にした上で技術開発を始める。さらに、国が行う技術研究開発について途中段階を含めて評価を実施し、評価結果の公表や研究資金の適切な配分等を行っていくこととしている。

これら上位計画を受け、新たな道路技術五箇年計画の重点的技術研究開発分野、及び重点テーマの例を示すと、図－6のようなすものが挙げられる。

そもそも、これまで道路の研究は、ある目的に向けて道路事業を行うに当たって、計画、調査、設計、施工、維持管理などについて技術的な制約を解決するために行ってきたといつてよい。そして、その成果が道路の計画手法、調査方法、長大橋、耐震技術、機械施工技術、舗装、トンネル、環境技術等として、今日の道路計画、建設、維持管理などに反映されている。今後もこれら技術についての重要性は変わるものではない。

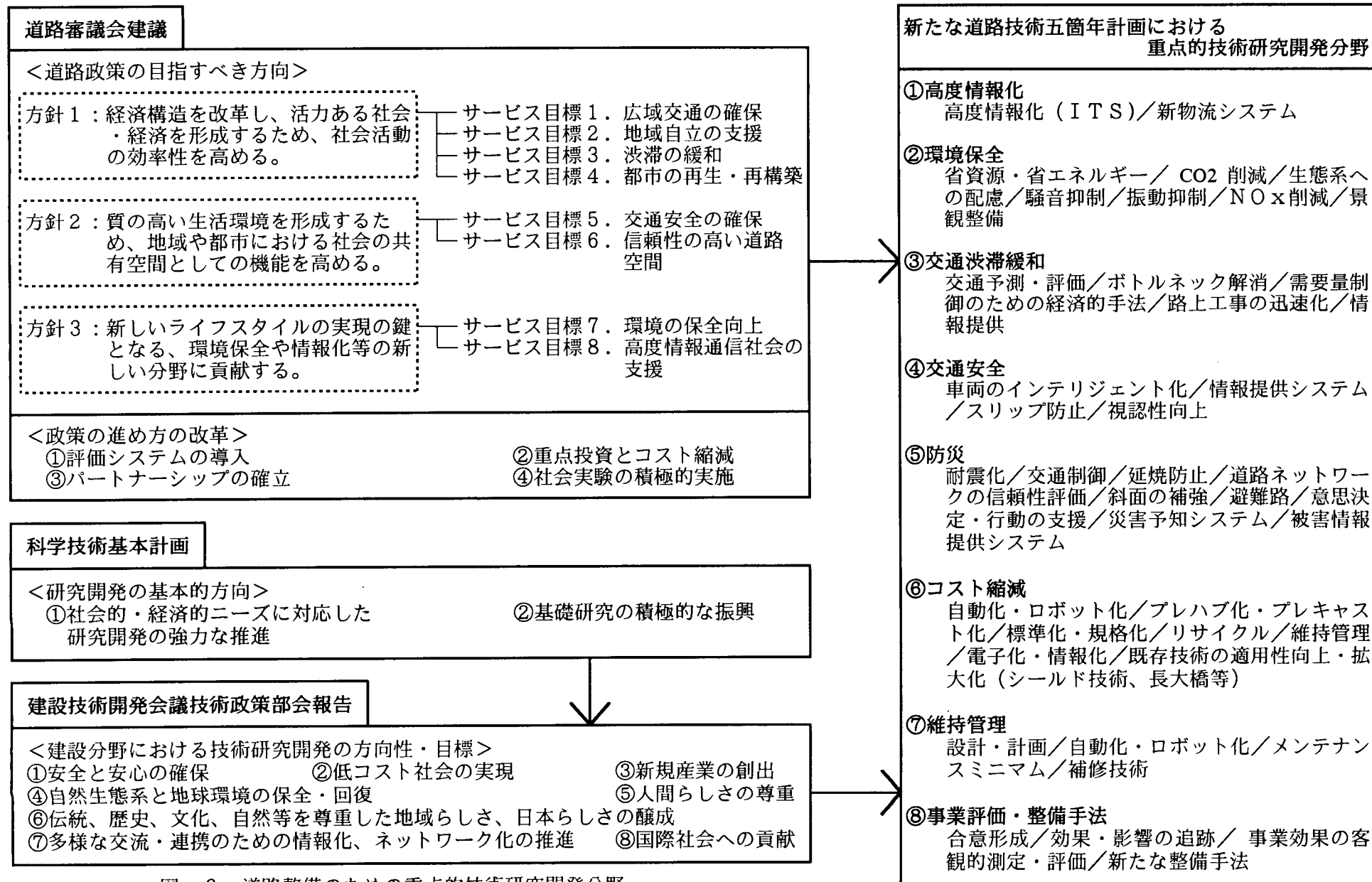


図-6 道路整備のための重点的技術研究開発分野

そこで、道路の研究をイメージ化すると、図-7に示すように表現できると思われる。道路の研究にはある目的があり、その目的は外側へ大きく膨張しようとする（より豊かな生活を実現するなど）。しかし、それを制限しようとする外側にはいろいろな因子が存在している。例えば、安全に海を渡るために橋を架け交流を活発にしたい。それに対して力学的な制約、環境問題、経済性、施工上の課題等々いろいろな問題、制約が発生する。これまでは、この図の中の制約を解決することが道路の研究開発の主な任務であったと考えられる。

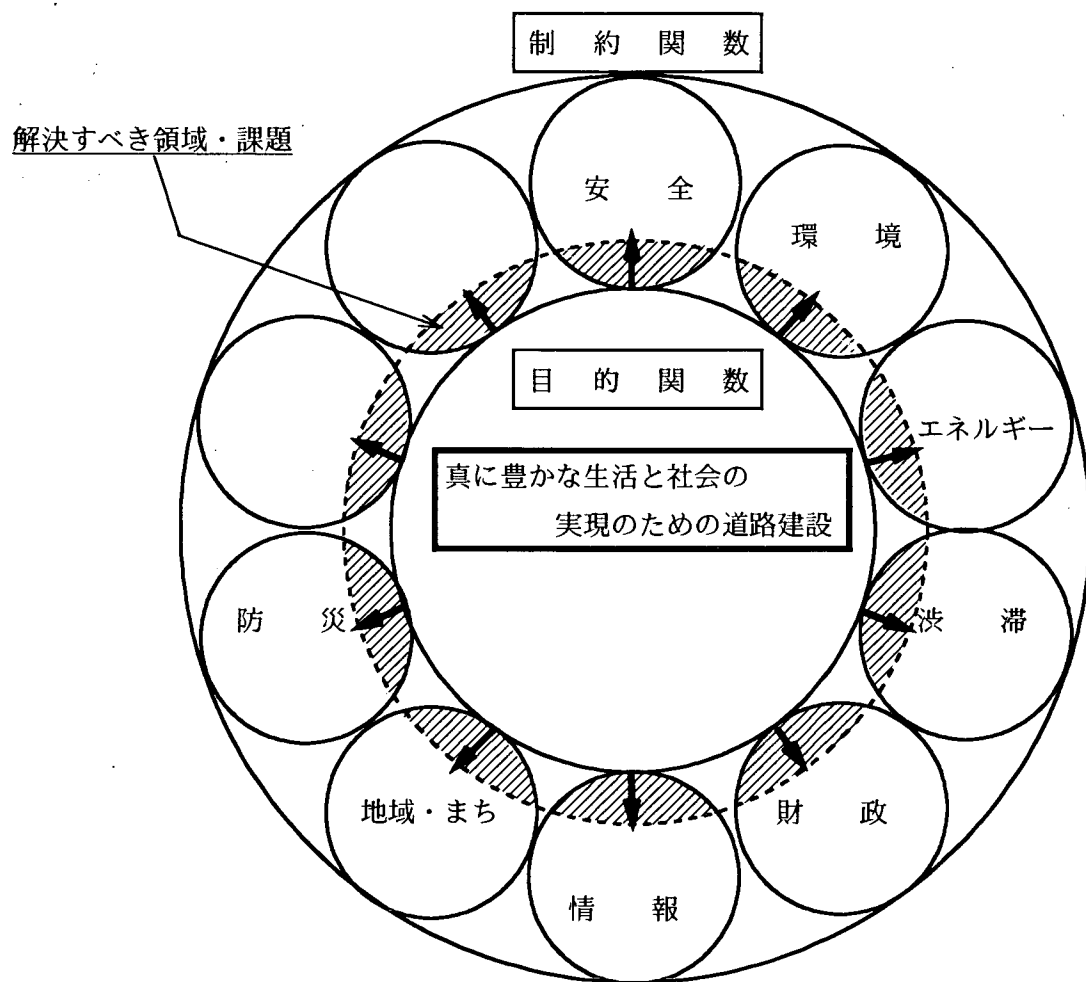


図-7 道路の研究イメージ

今後の研究について、この図から建議、新たな道路整備五箇年計画（案）を見据えて、2つのカテゴリーを読み取りたい。

1 つは新たに認識された制約条件を解決するものである。例えばこれからは財政問題が大きな制約であり、そのためにコスト縮減等を緊急な課題とした新たな制約課題への取り組みである。

そしてもう1つは、従来あまり研究として眼の向けられなかった目的そのものの研究である。道路整備自体が欧米先進国に追従してきた歴史からなかなか抜け切れず、過去の目標も舗装率、改良率、4車線化率、高速道路延長等の欧米諸国との比較であった。しかし、今後は道路をどこに、どれだけ、

どのように作るのかといった我が国独自の目標を持つ必要がある。すなわち、従来欧米諸国の水準を1つの目標にしてきた我が国の道路整備も、財政改革の中で見直しが求められつつあり、今後の新たな独自の目標についても研究課題として取り組む必要があると考える。

何故なら、厳しさを増す財政事情の中で予想される公共事業費の削減傾向に対し、国民に向かって道路の目的を明らかにしなければならない。また、道路がどんな目標に向かっているのかも明らかにしなければならないだろう。道路を作ることに加えて現在ある道路資産の効率的利用にも大きなウエイトが置かれることになる。

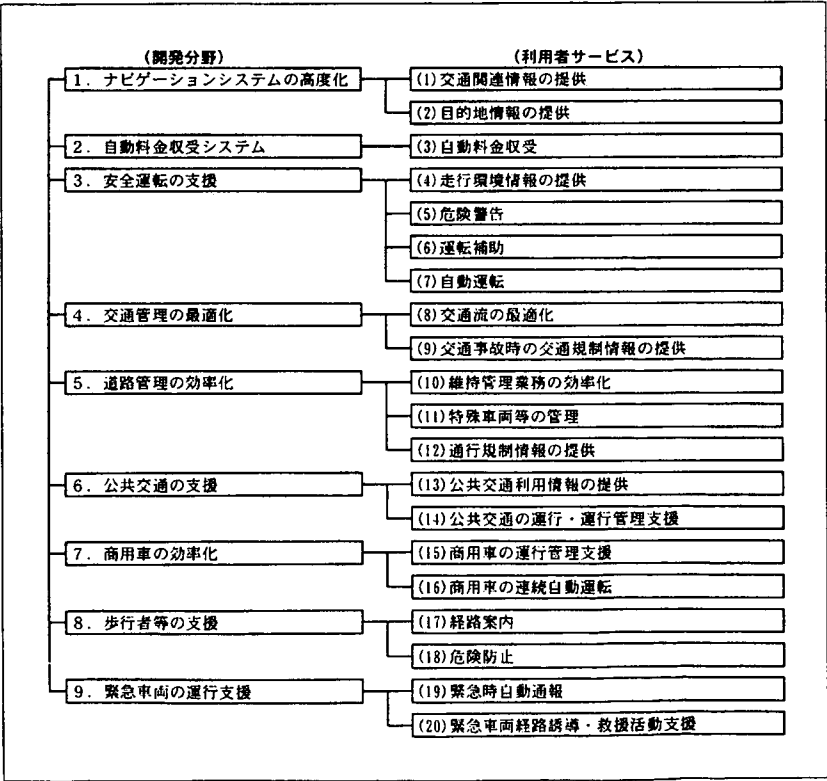
効率的に道路を利用するということから、最近ITSの研究に光が当てられてきている。以降、ITSについての土木研究所での取り組みについて述べる。

6. ITS研究開発

6.1 ITSの全体概要

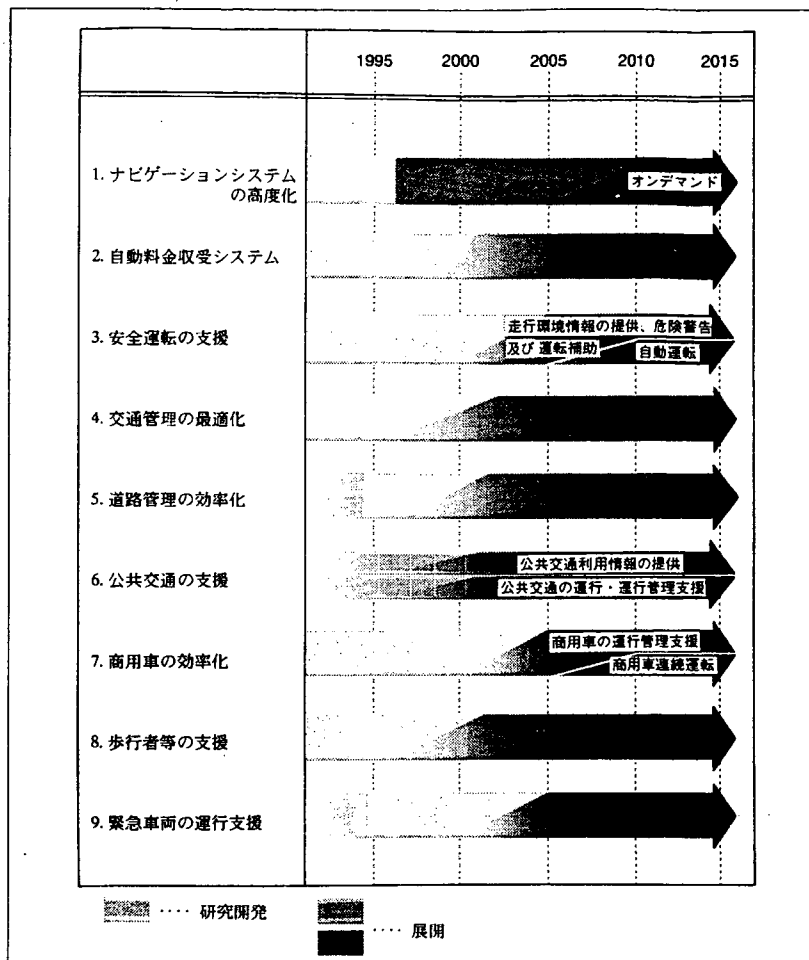
ITS (Intelligent Transport Systems:高度道路交通システム) は、渋滞・交通事故の低減や利用者の快適性向上を図ることを目的に、最先端の自動車技術・情報通信技術を活用して創り出す新しい道路交通システムである。現在、9つの開発分野と20の利用者サービスが、「ITS推進に関する全体構想」(建設省、警察庁、通商産業省、運輸省、郵政省策定：平成8年7月)において位置付けられている(図-8、9)。

本章では、ITSを取り巻く環境及びITS推進の目的について紹介した後、建設省が中心となって取組んでいる道路交通情報通信システム(VICS:Vehicle Information and Communication System)、自動運転道路システム(安全走行システム・自動走行システム)、ノンストップ自動料金収受システム(ETC:Electronic Toll Collection System)、歩行者等支援を中心に個別開発システムの概要及び欧米のITSへの取り組みの状況を紹介する。



出典：「ITSに関する全体構想」(平成8年7月
建設省、警察庁、通商産業省、運輸省、郵政省策定)

図-8 ITS開発分野と利用者サービス



出典：「ITSに関する全体構想」（平成8年7月

建設省、警察庁、通商産業省、運輸省、郵政省策定）

図-9 ITS開発・展開計画

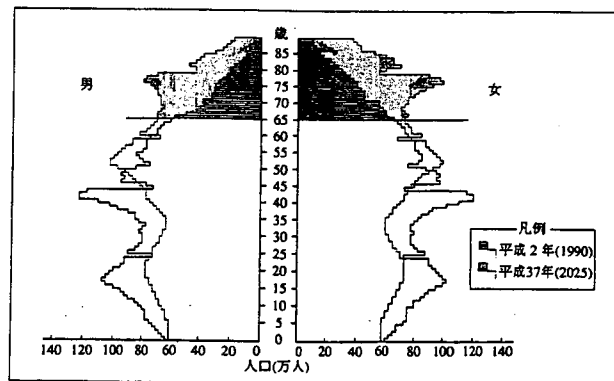
6.2 ITSを取り巻く環境

6.2.1 交通事故の増加

交通事故の発生件数は、最近増加の一途をたどっている。年間交通事故死者数は、平成8年は、1万人を切ったものの、昭和63年以来8年連続して1万人を越えるなど厳しい状況で推移している。特に、最近の傾向として高齢ドライバーの関係する事故が年々増加している。

高齢者の知覚や反応は、鈍くなりがちであり、例えば、30才代と比較して、動体視力が50%以上、反応・判断時間が約15%低下することもある。

高齢ドライバーは、現在の約500万人から、20年後には、約1800万人に増加すると予測され、今後進展する高齢化社会では、高齢者の事故は更に増加するものと思われる（図-10）。従来からの交通安全施設整備による安全対策を実施するとともに、近年技術開発の著しい通信・情報処理技術を活用して、人間の能力の衰えを補うことが求められるよう。



出典：厚生省人口問題研究所推計、

中位推計、平成4年9月推計

図-10 今後の高齢化の進展

6.2.2 慢性的な交通渋滞

自動車の保有台数、走行台キロの着実な伸びに伴い、各所で渋滞が引き起こされている。渋滞による経済的損失は、年間約 12 兆円（建設省調べ）にも相当すると試算されている。

渋滞対策として、これまでの高規格幹線道路網やバイパス・環状道路等の整備に加え、道路の使い方を工夫して交通容量を増大させる等新たな施策を推進することもある必要である。

6.2.3 悪天候による通行止め

雪・霧などの悪天候による通行止めは、平成 7 年度高速道路において、年間 2,246 回、延べ 16,619 時間も発生している。このうち雪が全体の 78 %、霧が全体の 17 %となっている（表－8）。

新たな技術開発を行い、悪天候下での走行が可能となる走行技術の確立が求められている。

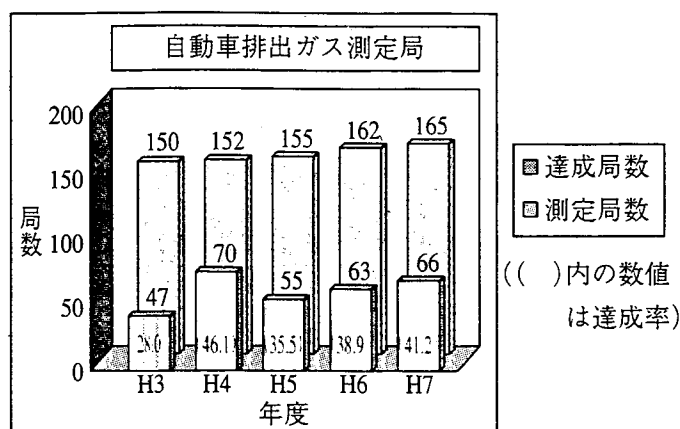
表－8 高速自動車国道通行止め実績(平成 7 年)

	雨	雪	霧	風	路面凍結	合計
回数	68	1,625	490	24	39	2,246
延べ時間	384	12,906	2,787	89	453	16,619
(比率)	2.3%	77.7%	16.8%	0.5%	2.7%	100%

6.2.4 環境・エネルギー問題のクローズアップ

近年、地球全体の問題として温暖化等の環境問題に関心が集まっている。道路交通に関しても、大気汚染や騒音の問題は、依然として重要な問題であり、早急な対策が必要とされている（図－11）。

産業や社会の様々な活動を支える自動車の利便性を確保しつつ、環境問題に対処するために交通流全体を効率化することにより、無駄なエネルギー消費を削減して環境への負荷を軽減する新たな施策を推進する必要がある。



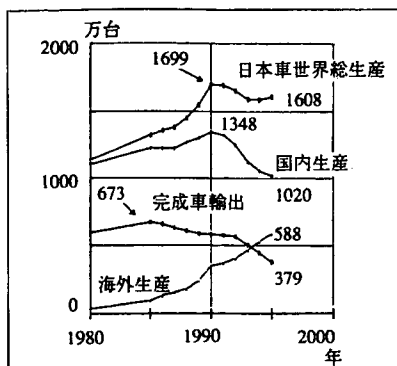
出典：環境白書 平成 9 年度版

図－11 二酸化窒素(NO2)の環境基準達成状況推移

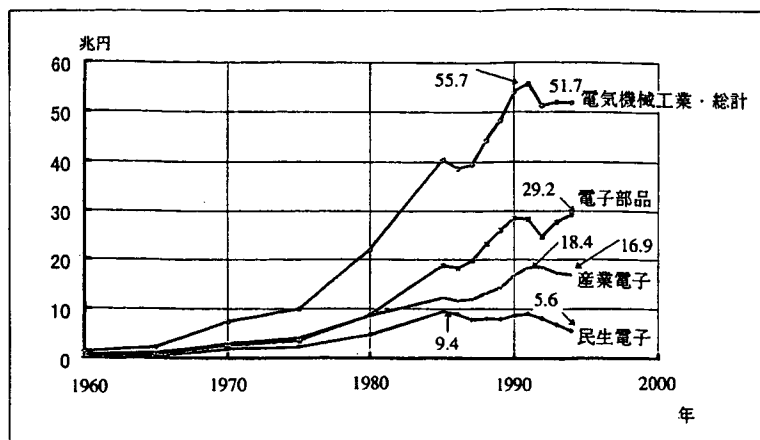
6.2.5 新たな市場創出への期待

我が国の総輸出額のうち、1994 年実績で約 5 割が I T S 関連産業である自動車産業と電気機械工業で占められている。しかし、1990 年頃から、傾向として生産が下降局面に向かっている（図－12、13）。バブル後の低成長経済、円高による海外への生産拠点のシフトの影響、アジア各国の成長など様々な要因があるが、今後も下降が続く可能性が高い。

「日本企業におけるマルチメディアに関する調査」（野村総合研究所：平成 7 年 4 月）によると、マルチメディア事業の中で民間企業が最も有望と評価する分野であり、自動車産業や情報通信産業では、新たな市場創出に期待している。



図－12 自動車生産台数の推移



図－13 電気機械工業の生産額の推移

6.3 ITS推進の目的

6.3.1 道路を安全に使う

交通事故のうち、「発見の遅れ」による事故が死亡事故の約4割、「判断ミス等」による事故が死亡事故の約4割弱となっている。前者の事故には、ITSによる危険警告情報の早期提供が有効であり、後者の事故には、ITSによる運転操作の補助が有効である。ITSによる交通事故の削減により、道路を安全に利用することが可能となる。

6.3.2 道路を効率的に使う

VICSによるドライバーへのリアルタイムな交通情報の提供やETCによる有料道路の料金所のノンストップ化、霧発生時に通行を可能とする走行支援システムなどにより、移動の円滑化・効率化が図られ、社会コストの低減が可能となる。

例えば、首都高速道路でVICS搭載車が20%普及すれば、渋滞量は10%削減され、年間300億円の経済損失を削減する。また、ETCシステムの導入により、料金所レーン当たりの処理能力が約4倍に向上（1時間当たり230台→1,000台）し、料金所が原因の渋滞はかなりの部分が解消する。

6.3.3 道路を快適に使う

ITSにより、人と人、人と社会のコミュニケーションがより一層活発になる。また、新しいライフスタイルが生まれ、車内アメニティライフの創造が可能となり、道路を快適に使うことが可能となる。

また、歩行者に対する情報提供や交通円滑化による環境改善により、歩行者にとっても快適な交通環境が実現する。

6.3.4 皆が道路を使える

前述のように、高齢ドライバーは、今後急増する（現在 約 500 万人→20 年後 約 1,800 万人）。また、身体障害者の方は、現在約 270 万人おり、内、約 20 万人が条件付き運転免許を取得している。

安全で快適な交通環境を提供する ITS により、特に、今後急増する高齢ドライバーや身体障害者の方の運転機会が増加し、行動圏や活動範囲の拡大が可能となる。

6.3.5 新しい雇用・産業の場づくりが可能

ITS は、最先端の自動車技術、情報通信技術を活用して創造する新しい道路交通システムであり、新たな産業・雇用の場を創出する。

例えば、ナビゲーションにより、現在までに 4,000 億円の新たな市場が生まれている。今後、VICS 関連で 2 兆円、ITS 全体では、50 兆円規模の市場創出が期待されている。

6. 4 建設省の ITS への取組み

6.4.1 道路交通情報通信システム（VICS）

車載機器にリアルタイムに渋滞情報、所要時間情報、工事情報、規制情報等を提供する VICS は、平成 8 年 4 月にサービスを開始した。当初、東京圏、東名・名神高速道路等でサービスを開始し、平成 8 年 12 月に大阪地区で、平成 9 年 4 月には、名古屋地区及び全国の高速道路で展開し、サービス拡充を図っている。平成 9 年 6 月までに、VICS サービス用のユニットが、18 万台普及している。

今後は、提供エリアの拡大や情報内容の充実などサービス内容の向上を図ることとしている。

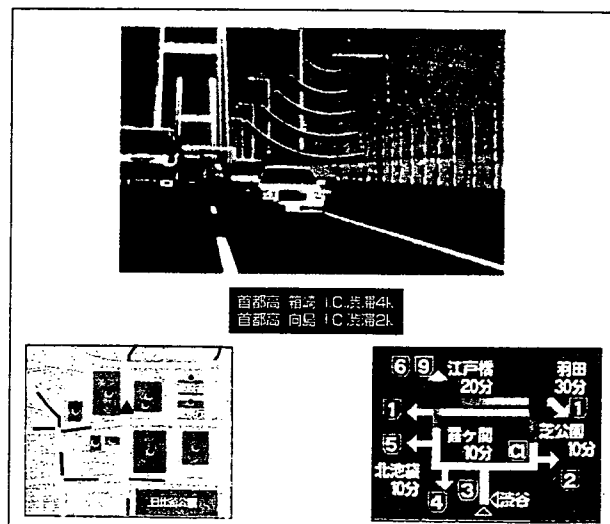


図-14 道路交通情報通信システム（VICS）

6.4.2 ノンストップ自動料金収受システム（ETC）

料金所渋滞の解消、利用者の現金支払いの煩雑さの解消、管理コストの低減を図ることを目的に、有料道路の料金所において、自動的に料金を支払うことが出来る ETC の研究開発を進めている。

平成 7 年度に、必要な技術情報を収集することを目的に、10 の企業及びコンソーシアムによる共同研究を実施した。平成 9 年 3 月から小田原厚木道路小田原料金所において、ETC 事務局（建設省、日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、本州四国連絡橋公団）により、平成 10 年度に実用化するべく、交通運用を確認するための試験運用を実施している。

土木研究所においては、引き続きチェックバー無しのノンストップ方式を含めた基礎的走行試験を実施していく。（写真-1）

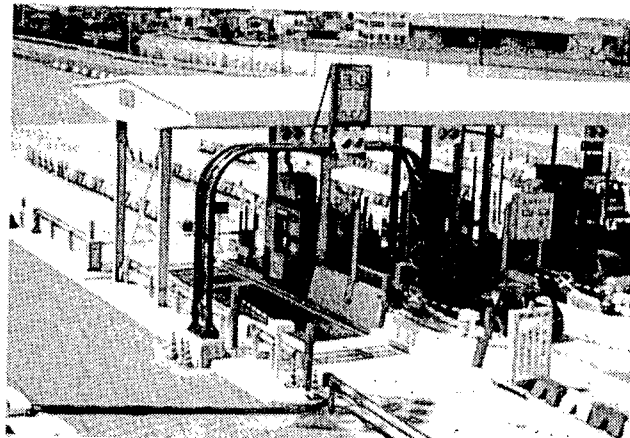
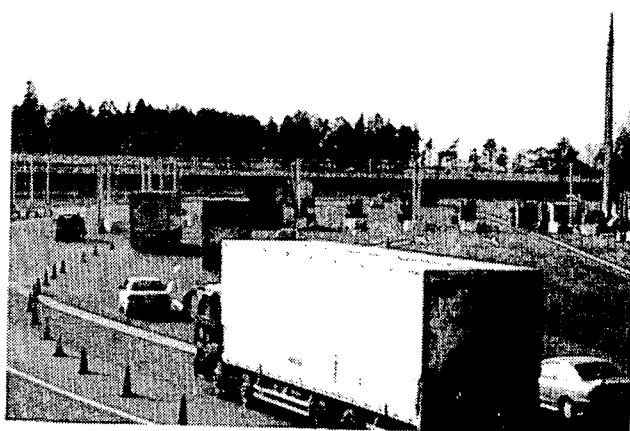


写真-1 ETC実験

6.4.3 AHS（安全走行システム・自動走行システム）

道路と車両の協調により、前方危険警告や衝突防止等を行う安全走行システムを開発し、最終的には、自動走行システム開発を目指す自動運転道路システム（AHS:Automated Highway System）の研究開発を進めている。

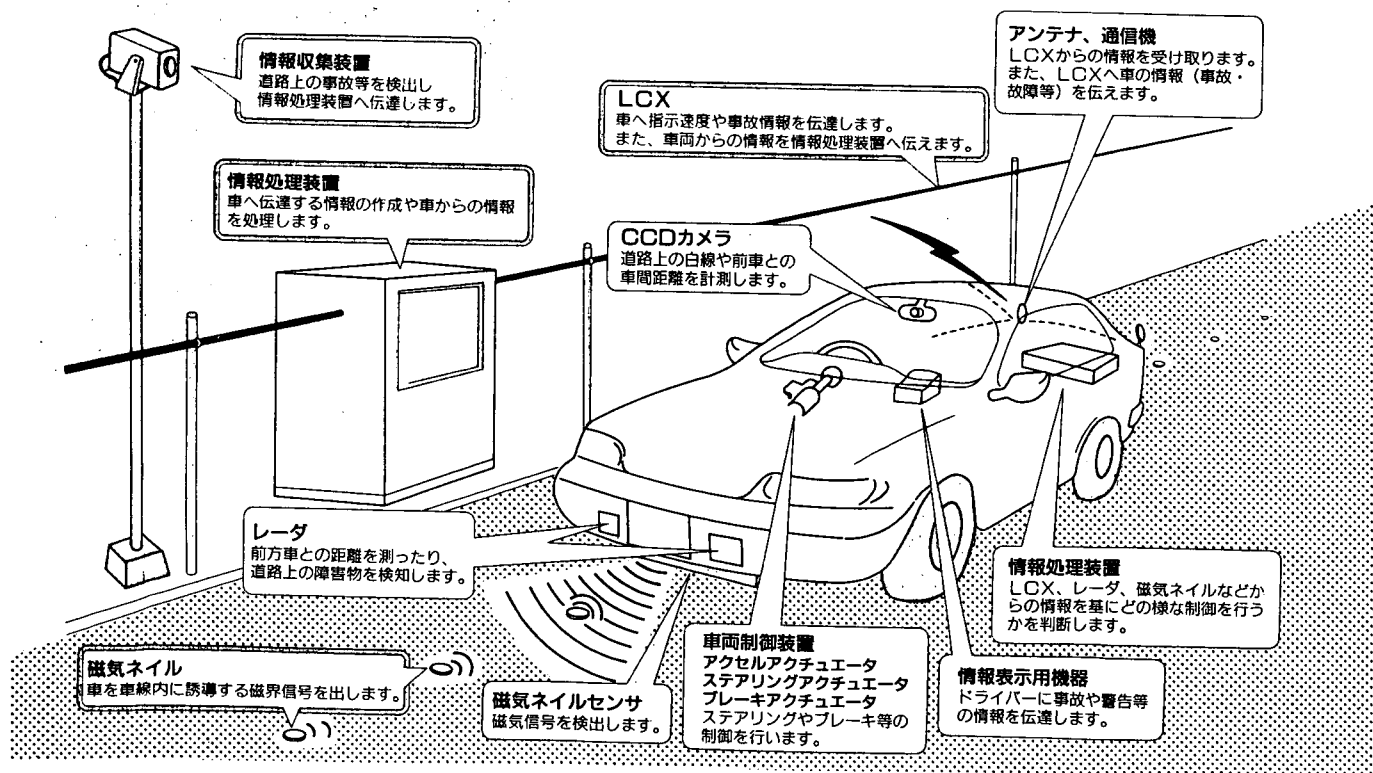


図-15 安全走行システム・自動走行システムの概念

米国においても、2001年（平成13年）自動運転のプロトタイプを完成し、2002年（平成14年）から試験運用に着手する計画を進めている等諸外国においても積極的な取組みがなされている。

我が国では、平成6年度から3年間、建設省・民間企業等25社が共同研究を実施し、その成果として、平成7年11月我が国初の路車間協調による自動運転の車が土木研究所試験走路を走行した。

平成8年9月には、上記共同研究の一環として、車線逸脱防止、前車衝突防止、前方危険警告などの安全走行及び11台の車による約11kmの自動走行を行うために、供用前の上信越自動車道において実験走行を実施した。この実験走行においては、試験走路では、実験できない実際の縦横断勾配の道路構造や送電線・橋梁等の各種外乱条件下での車両挙動等に関する実験データの収集も行っている。

この実道実験は、既存の技術水準と多くの条件を付しての実現の可能性を検証したものであり、実用化というレベルを目指し、更に研究開発を推進する必要がある。



写真-2 上信越自動車道自動運転実験

このため、平成8年9月に、自動車・電気通信メーカー21社が参画して技術研究組合「走行支援道路システム開発機構」を設立し、建設省と連携しながら研究開発を推進しているところである。

平成12年頃を目標に、安全走行システムの一部実用化を図るため、システムの評価手法の整備など研究開発を推進する。

6.4.4 歩行者等支援システム

歩行者等支援システムは、高齢者・身障者等交通弱者も安心して利用できる安全で快適な交通環境の形成を図るため、携帯用の情報提供装置等を用いた経路・施設案内等の提供、磁気・音声等を利用した視覚障害者向けの経路案内・誘導を行うシステムである。平成12年頃の実用化を目途に研究開発を推進し、主要鉄道駅、主要商業地域周辺で導入を図ることとしている。

6.4.5 他の開発分野

上記以外のシステムのほか、都市間、空港・港湾との連携、大都市間などにおける貨物自動道路システム、商用車両運行支援システムなどの物流の効率化に関する研究開発及び道路管理システム、特殊車両管理システムなど道路管理の情報化についても研究開発を推進する。

6.4.6 システムの共通的基盤の研究開発

地域間やシステム間の互換性を確保し、ITSの統合化を図るため、汎用的な通信規約（プロトコル）などシステムの共通的基盤（プラットフォーム）の研究開発を推進する。

6. 5 欧米の動向

6.5.1 米国

平成7年3月に策定されたITSプログラムにより、30のITSのユーザーサービスが定められており、毎年2億ドル以上の国家予算を投入し、積極的にITSを推進している（表-9）。

最近の動きとしては、平成8年1月連邦道路庁が、今後10年の目標として75の大都市にITSを実現するためのITI(Intelligent Transportation Infrastructure)を導入するという内容のオペレーションタイムセーバーを発表した。モデル整備都市として、シアトル、フェニックス、サンアントニオ、ニューヨークが指定され、道路交通情報システム、交通管理システムを中心としたシステム整備が展開されている。

また、ITSの全体設計というべきナショナルシステムアーキテクチャが、平成8年8月ITSアメリカ理事会において承認され、これにより、アメリカのITSは、実配備の開始、標準化への取り組み、関係者の教育とトレーニングという新たな局面に入ったと言われている。

平成9年8月には、サンディエゴのインターステートハイウェイ約12kmにおいて、大型車両を含んだAHSデモ実験を行った。（写真-3）

表-9 アメリカのユーザーサービス

大分類	ユーザーサービス
1. 旅行・交通管理	1. 旅行途中ドライバー情報提供 2. 経路案内 3. 旅行者情報サービス 4. 交通制御 5. 事故管理 6. 排出試験と緩和
2. 旅行需要管理	1. 需要管理と運用 2. 出発前旅行情報 3. 相乗り制度と予約
3. 公共交通事業	1. 公共交通管理 2. 旅行途中の公共交通情報 3. 個人化した公共輸送 4. 公共交通を利用した旅行の安全性
4. 自動料金収受	1. 自動料金収受サービス
5. 貨物運行管理	1. 貨物車両の電子通関 2. 自動路側安全検査 3. 車載型安全監視装置 4. 貨物車両管理プロセス 5. 危険物資積載事故の対応 6. 貨物の移動性
6. 緊急時管理	1. 緊急事態の通報と個人の安全 2. 緊急車両管理
7. 先進的車両制御・安全システム	1. 前後方向の衝突回避 2. 横方向の衝突回避 3. 交差点における衝突回避 4. 衝突回避のための画面強調 5. 衝突前抑止 6. 安全準備 7. 自動運転道路システム
8. 路切安全	1. 道路・鉄道の路切安全

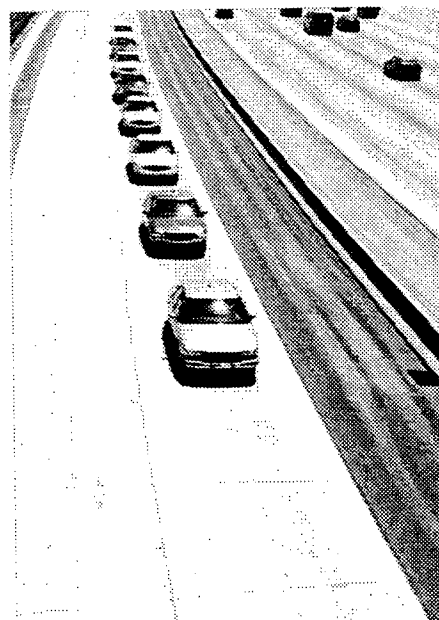


写真-3 サンディエゴでのAHSデモ実験

6.5.2 欧州

欧州では、現在、E CがTELEMATICS(Telematics Application Programme)としてI T Sを推進している。プロジェクト分野は、道路輸送を含む航空、鉄道、水上輸送を含んだサービスを考えている(図-16)。

主な分野は、T I (Traffic Information)、T M (Traffic Management)、E T C、貨物輸送システムであり、E Cはプロジェクト調査等に対する助成及び各国に対する交付金配分を行っている。

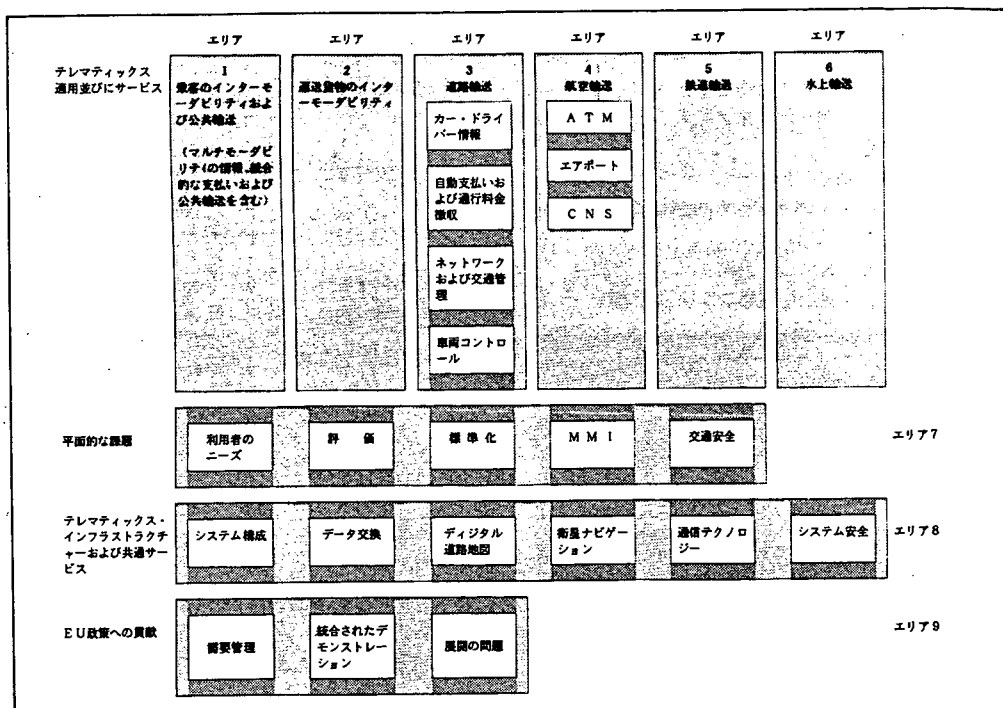


図-16 Telematics のプロジェクト分野

7. おわりに

道路に関する研究は広いすそ野を持ち、土木研究所においては道路部のみならず、研究センターを含めた多くの研究部においても実施されている。

近年の経済状況は極めて厳しい状況にあり、これを受けて公共事業のあり方に対し国民の関心が高まっている。中でも公共事業で最も大きなシェアを持つ道路事業に対しても厳しい眼が向けられている。

我々道路の研究に携わる者もこのような状況を敏感に感じ、これからの道路の整備はどうあるべきか、その為に道路の研究では何をしなければならないかを検討することが、以前にも増して重要な時期となっている。

今回は道路の評価と道路の使い方の一例としてI T Sを取り上げて論を進めたが、道路投資額が右肩上がりから水平あるいは右肩下がりというかつて経験したことのない状況に置かれた今こそ、冷静に明日を見ることが道路行政に糧を与えることになると思っている。

今後の研究の方向性等について、機会を捉えて忌憚のない意見をお願い致します。

環境の創造・保全と国土建設
～国土生態ネットワークの形成に向けて～

環境部長 半田 真理子

環境の創造・保全と国土建設

—国土生態ネットワークの形成に向けて—

はじめに

人は自然をきり^{ひら}拓き、文明を築き、文化を育み、国土を建設してきた。しかし21世紀を目前にして、地球環境・自然環境・生活環境のあり方が問われている今日、文明と文化をめぐる考え方は大きく転換し、国土建設についても「人と自然の共生」が求められるようになっている。環境への関心の高まりや、環境に関する制度の充実化と呼応したかたちで、どのように環境の創造・保全を図り国土を建設していくのか。未来に向けて環境技術はいかにあるべきか。これらの問いに対する解を求めて、各分野でさまざまな取り組みがなされている。

このような中で本稿は、生態系保全に配慮した国土建設と環境技術に焦点をあて、現段階での状況や考え方を整理するとともに、土木研究所における研究成果を織り込みながら、河川・道路・都市・公園など各種事業をできるだけ横断的に捉えて総合的に考察し、あるコンセプト（国土生態ネットワークの形成：後述）を設定してそれに向けての提案を行うことをねらいとしている。なぜならば、とりわけ環境の創造・保全と国土建設というテーマについては、各分野での取り組みや分析的な見方と並んで総合的・有機的な見方や人々の共通認識となるような目標が必要と筆者は考えるからである。もとより比較的新しいこのテーマをめぐる未解明の事項が多く、一般解として述べるには困難が伴いがちである。しかし、機会をとらえてその時点で得られた知見や見解を記しておくことは、それが将来、別途に書き換えられるとしても、大切なことである。

以上のような認識のもと、本稿は第Ⅰ章で最近の環境をめぐる動向について生態系保全を中心に概観し、第Ⅱ章で生態系保全に配慮した国土建設を進める上で考慮すべき環境技術の方向性を示し、第Ⅲ章でその方向性にそった環境技術の充実化に資するべく、土木研究所における研究を引用しつつ筆者の見解を述べ、第Ⅳ章で今後の課題を考察するものである。

第Ⅰ章 環境をめぐる動向

1. 国民の意識

近年、環境に対する国民の意識は高まり、自然環境や生物の保全を望む声が強くなっている。とりわけ平成9年12月に京都で開催された「気候変動枠組み条約国際会議」C O P 3などを契機として、国民の関心は飛躍的に高まっている。意識調査の結果を見ても、環境庁がまとめた平成8年度「環境にやさしいライフスタイル実態調査」（実施期間：平成8年1月～2月、対象：全国20歳以上の男女4,000人、有効回答数：1,220人）によれば、環境の状況が「悪化している」と感

じている人の割合は 41 %で、地球レベルの環境に関しては 75 %が「悪化している」と感じている。

また、土木研究所が実施した住民意向調査（平成 8 年度、対象：東京都大田区・世田谷区・練馬区・多摩市・あきるの市・松原村の 6 地区、回収数：1,368）によれば、我が国において自然の生物が十分保全されていると「思わない」回答者は全体の 64 %にのぼった。自然の生物を保全することが必要だと「思う」回答者は全体の 97 %に達し、その理由として「人間には生物とのふれ合いが必要だから」とする回答者は 83 %（前項目で「思う」とした回答者のうち）であった。このような国民の意識は、生物の生息空間づくりにも現れており、全国各地でビオトープ（野生生物の生息空間：後述）の形成に向けての活動が盛んになっている。

2. 行政における動向

国民の意識の高まりに応じて行政においても制度的な充実が図られている。平成 5 年 1 1 月には環境基本法が制定され、環境保全の枠組みが大きく広げられた。同法では環境保全の基本理念として、①環境の恵沢の享受と継承、②環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の構築、③国際的協調による地球環境保全の積極的推進、が示されている。同法 1 4 条には、「環境の保全に関する施策の策定及び実施は、これらの基本理念にのっとり、次に掲げる事項の確保を旨として、各種の施策相互の有機的な連携を図りつつ総合的かつ計画的に行わなければならない」とされている。すなわち、①人の健康が保護され、及び生活環境が保全され、並びに自然環境が適正に保全されるよう、大気、水、土壌その他の環境の自然的構成要素が良好な状態に保持されること、②生態系の多様性の確保、野生生物の種の保存その他の生物の多様性の確保が図られるとともに、森林、農地、水辺地等における多様な自然環境が地域の自然的社会的条件に応じて体系的に保全されること、③人と自然との豊かな触れ合いが保たれること、という事項である。

環境基本法第 1 5 条の規定に基づき、平成 6 年 1 2 月には環境基本計画が閣議決定された。同計画は、「循環」、「共生」、「参加」及び「国際的取組」が実現される社会を構築することを長期的な目標として掲げた上で、その実現のための施策の大綱、各主体の役割、政策手段の在り方等を定めたものである。

また、現在及び将来の世代のために生物多様性を保全し、その利用を持続可能なものとする必要性が国際的に強く認識されるようになり、1992 年（平成 4 年）6 月の国連環境開発会議（地球サミット）において生物多様性条約が 157 ヶ国により署名され、翌年 1 2 月に発効した。日本は 1993 年（平成 5 年）5 月に生物多様性条約の締約国となった。また、平成 7 年 1 0 月には生物多様性国家戦略が「地球環境保全に関する関係閣僚会議」において決定された。

建設省は平成 6 年 1 月に環境政策大綱を策定し、①ゆとりとうるおいのある美しい環境の創造と継承、②健全で恵み豊かな環境の保全、③地球環境問題への貢献と国際協力の推進、を国土形成における理念とし、「環境」を建設行政において内部目的化すること、すなわち環境を創造し保全することが建設行政の本来的使命のひとつであると認識することを示した。同大綱の中には「自然・生態系の重要性と、安全性や利便性という生活者のニーズへの対応を適切に調和させていかなければならない」とうたわれている。同大綱で環境リーディング事業として挙げられた①エコシティ（環境共生都市）、②多自然型川づくり、③エコロード、④下水処理水の再利用・熱利用、⑤自然

生態観察公園（アーバン・エコロジー・パーク）、⑥環境共生住宅・環境低負荷型建築物、⑦環境と共生した公共建築物などの事業は、現在、全国各地で実施されている。

また、建設省は平成6年7月に、21世紀初頭を目途とした緑の長期的計画として緑の政策大綱を策定し、緑の保全・創出・活用に係る諸施策の総合的な展開を図ることとした。同大綱は、①道路、河川、都市公園等の緑の公的空間量を3倍にする、②所管公共公益施設等の高木本数を3倍にする、③市街地の永続性のある緑地の割合を3割以上確保することを掲げて緑豊かな生活環境の形成を目指しており、緑サンサン・グリーンプランと呼ばれている。また、同大綱の中には「自然環境の保全に配慮した公共施設の整備」や「ミティゲーション技術の開発」など生物的環境の保全に向けての具体的施策が示されている。

平成9年5月には河川法が改正され、河川管理の目的として「治水」、「利水」に加えて、生態系、水質、景観等の「河川環境の整備と保全」が法律上位置付けられた。また、第9次治水事業五箇年計画（案）において、自然豊かな川づくりを本格的に推進するため、これまでパイロット事業として進めてきた多自然型川づくりをすべての河川を対象とすることとし、「自然を活かした川」を目指してコンクリートのない川づくり（安全性の観点からコンクリート護岸を用いる必要があるところ以外は、コンクリートを使わない、もしくは見えない川にする）を図ることとしている。

道路事業においても自然環境に配慮した道路整備やエコロードの整備等が進められてきた。平成10年度から実施される第12次道路整備五箇年計画（案）においても、道路施策の基本的な方向性として、①新たな経済構造実現に向けた支援、②活力ある地域づくり、③よりよい生活環境の確保、④安心して住める国土の実現が示され、このうち③を構成する事項の一つとして「良好な環境の保全・形成」（自然環境の保全、社会環境・文化の創出等）が挙げられている。また道路技術5箇年計画（平成5年度～9年度）においては「生態系に配慮した道路技術」（自然環境保全、エコロード等）、「道路空間における特殊緑化技術」（高架上部・下部、遮音壁面など厳しい条件下での緑化技術）等のテーマのもとに各種の研究開発が行われている。

平成9年6月に成立した環境影響評価法により、大規模な開発事業実施前のできるだけ早い段階から手続が開始されるよう、スクリーニング手続及びスコーピング手続が導入された。一定規模以上の事業に環境影響評価を義務付けるとともに、これに準ずる規模の事業についても、環境影響評価の対象とするかどうかを個別の事業ごとに国が都道府県知事の意見を聴いた上で判定することとし（スクリーニング手続）、また、早い段階から環境への配慮を行うため、環境影響評価の実施前に、事業者が調査等の方法に関して地方公共団体や住民・専門家等の意見を幅広く聴いて、具体的な調査項目等の設定を個別に選定することとなった（スコーピング手続）。さらにこれらの手続に基づいて行われた環境影響評価の結果を国が当該事業に係る許認可等に反映させることとされた。環境影響評価の項目並びに調査、予測及び評価の手法にかかる省令については「既に得られている科学的知見に基づき」定められるものとされている。今後とも、この分野の研究を進め、科学的知見を蓄積していくことが一層重要になるであろう。

第Ⅱ章 環境技術の方向性

以上のような動向の中で、生態系保全に配慮した国土建設は、どのような条件が整えば、もっと効果的に進むのだろうか。このような問題意識から、本稿では、生態系保全に配慮した国土建設を一層効果的に推進する上で考慮すべき環境技術の方向性として、次の事項を考えた。

- ① 生態系保全や国土建設の目標像・方法論を明確にする必要がある。
- ② 個別の事業はもとより、総合的・横断的な事業を促進する必要がある。
- ③ 日本の風土や地域特性にふさわしい国土のあり方や建設手法を解明する必要がある。
- ④ 客観的・定量的な評価手法を確立する必要がある。
- ⑤ 点的・線的な空間だけでなく、面的な空間にも力点を置く必要がある。
- ⑥ 要素技術はもとより、計画技術を積極的に開発する必要がある。
- ⑦ 工学的なアプローチだけでなく、理学的なアプローチとの融合を図りながら、学問・技術の体系を再構築する必要がある。

第Ⅲ章 土木研究所における環境技術に関する研究

第Ⅱ章に掲げた方向性に沿ったかたちで、第Ⅲ章では、以下の順に、土木研究所における環境技術に関する研究の成果を織り込みながら筆者の見解を述べる。

- (1) 目標像・方法論に関連して、最近とりわけ関心が高まっているビオトープとミティゲーションに関する研究をもとに考え方の要点を示すとともに事例を紹介する。(第Ⅱ章の①生態系保全や国土建設の目標像・方法論の明確化、に対応)
- (2) 各種事業の中から道路事業と河川事業、さらには複数の事業の連携した例に関する研究について述べる。(②総合的・横断的な事業の促進、に対応)
- (3) 日本の風土や地域特性にふさわしい手法に関する研究の中から人工浮島とコンパクトウェットランドの例を挙げる。(③日本の風土や地域特性、に対応)
- (4) 評価の手法や視点に関する研究の中から、経済評価及び感性評価の例について述べるとともに、「人と自然の共生」を具体化する上で鍵となるテーマに言及する。(④客観的・定量的な評価手法の確立、に対応)
- (5) 面的空間の計画について国土レベル・地域レベルごとに研究例を紹介する。(⑤面的な空間、に対応)

なお、第Ⅱ章に掲げた⑥(計画技術の開発)及び⑦(工学的・理学的なアプローチの融合による学問・技術体系の再構築)については全体を通しての共通事項として反映させるように努める。

1. 目標像・方法論に関連する研究

一般に、生態系保全の目的として、人と自然とのかかわりにおいては、次の事項が挙げられている。

①生物多様性の確保

生物多様性とは、生物多様性条約第2条において、「すべての生物（陸上生態系、海洋その他の水界生態系、それらが複合した生態系その他生息又は生育の場のいかんを問わない。）の間の変異性をいうものとし、種内の多様性、種間の多様性及び生態系の多様性を含む。」と定義されている。すなわち、生物多様性とは、生物が遺伝子レベル、種レベル、及び生物の相互関係の複合体としての生態系レベルで変異性を保ちながら存在していることである。

こうした生物多様性は、人類の生存基盤である自然生態系を健全に保持し、生物資源の持続可能な利用を図っていくための基本的な要素である、遺伝、科学、社会、経済、教育、文化、芸術、レクリエーション等様々な観点からその価値が認識されている。そのため、現在・将来の世代のために生物多様性を保全し、その利用を持続可能なものとする必要がある。（生物多様性国家戦略、1995）

（第1章で述べた如く、日本は生物多様性条約の締約国であり、関係閣僚会議によって生物多様性国家戦略が決定されている。）

②人と生物のふれあいの確保

多くの人々が「人には生物とのふれあいが必要である」と考えており、それを可能とする場や機会をつくるが必要になっている。ふれあいには「生物に出会う」、「見る」、「鳴き声を聞く」、「観察する」、「学ぶ」等のかたちがあり、人にとっては「精神的安定を得る」、「癒しを感じる」、「教育・学習効果を上げる」など各種の価値がある。

③地域特性の形成

地域によっては、生物を地域特性の形成やイメージづくりの核と位置付けている。例えば静岡県磐田市の桶が谷沼、愛媛県中村市などではトンボの生息地を保全し、トンボを地域のアイデンティティのシンボルにしている。

以上を念頭に置きながら、本項では、生態系保全に配慮した国土建設の目標像と関連してビオトープを、また、方法論と関連してミティゲーションを取り上げる。

ここで目標像と関連してビオトープを取り上げる理由を補足しよう。ビオトープという言葉及び概念自体は、学術的な研究成果として生まれたものである。しかし、最近では新聞や一般誌でも「ビオトープづくり」、「ビオトープの復元」といった言い回しで使われるようになってきた。その際に目標像（保全しようとしているのは何か／その位置付けは何か）や目標とする空間（当該地域か、広域的な地域も含めてか：空間軸の視点）、時間（どの時点での目標とするのか：時間軸の視点）、さらには人とのかわり方が必ずしも明確になっていない場合が多いと思われるため、ここで考え方を整理しておこうというわけである。

1. 1 ビオトープ

1. 1. 1 定義

ビオトープ（ドイツ語：Biotop。英語ではバイオトープ：biotope）とは、「特定の生物群集が生存できるような、特定の環境条件を備えた均質なある限られた地域」（生態学辞典）と定義されて

いる。生態系を保全するためにビオトープの存在は重要な役割を果たしている。

最近では、都市や農村に生きものを取り戻そうと各地でビオトープ整備が試みられており、事例の数が急増している。なお、ここで「整備」とは、保全と創造を包括した言葉として使っている。すなわち、ここでは、ビオトープ整備とは、既存のビオトープの空間を保全すること、及び、新たにビオトープが存在する状態になるように空間を創造することを意味している。

1. 1. 2 ビオトープ整備の流れ

ビオトープ整備は、調査→分析・評価→目標設定→計画→設計→施工→管理・モニタリング→フィードバックという流れで進められることが望ましい。ここでは、この流れのうち、調査から分析・評価、目標設定までについて概略を述べる。

1) 調査

調査とは、ビオトープ整備に必要な情報を体系的に収集・整理することである。調査項目は、大別すると、土地的環境要素（気候・地形・土壌・水環境）に関するものと、生物的環境要素（動物相・植物相・植生）に関するもの、とに分けられる。

調査を行っても各項目のデータが個々バラバラなままでは、ビオトープ整備のための情報としては扱いにくい。そこで、これらの情報を総合的な環境図の形にまとめ、整備の基礎資料とする必要がある。総合的な環境図の作成手法はまだ確立されたものではないが、今後こうした基礎的技術を発展させることがビオトープ整備に欠かせない。

2) 分析・評価

分析・評価は、主としてポテンシャルの分析・評価という観点から行われる。ここで「ポテンシャル」とは、「その地域あるいは場所にはどんなビオトープが成立し得るのかという潜在的可能性」と定義することができる（日置、1996）。ビオトープは土地的環境要素と生物的環境要素から成立しているため、ポテンシャルもこの2つ（①土地のポテンシャル、②生物のポテンシャル）に分けて考えるとわかりやすい。

①土地のポテンシャルとはビオトープ整備箇所の気候、地形、土壌、水条件などによって決まる潜在的可能性である。例えば、地下水位が高い低湿地では池（止水状態の開放水面）を造成するのは簡単である。これに対し、地下水位が低い高台に池をつくろうとすれば、水が浸透しないように池底に防水をしなければならず、また常に水を供給しながら管理しなければならない。つまりポテンシャルが高い場所では造成にそれほど費用がかからず、維持管理も容易である。これに対してポテンシャルが低い場所ではポテンシャルを人為的に引き上げ、維持する分だけ余計に費用がかかる。

一方、②生物のポテンシャルは種の供給力によって決定される潜在的可能性である。種の供給力が高いということは、目標とする生物の種が整備箇所あるいはその近辺に存在し、環境条件を整えれば自然にその種が侵入・定着し得る状態にある、ということだ。生物のポテンシャルは、整備サイトと現存する生物個体（群）との距離だけでなく、種がそれぞれ持っている分布拡大能力や繁殖力に大きく左右される。分布拡大能力は、動物の場合は移動力（どのくらいの距離を移動できるか）や移動特性（陸上、水中、空中のいずれの空間を使って移動するか）によって決まり、植物の場合には種子などの散布力や散布特性によって決まる。

土地的ポテンシャルと生物的ポテンシャルの高低をタテ・ヨコにとってクロス表をつくると、4つのケースに分けることができる（表1）。この表は定性的であるが、整備しようとしている敷地の状況を表にあてはめることによって、整備サイトのポテンシャル評価の方針を立てることができる。

表1 土地的ポテンシャルと生物的ポテンシャル

生物的ポテンシャル 土地的ポテンシャル	生物的ポテンシャル	
	高い	低い
高い	空間造成・維持が容易 種の導入容易	空間造成・維持が容易 種の導入困難
低い	空間造成・維持が困難 種の導入容易	空間造成・維持が困難 種の導入困難

3) 目標設定

目標設定とは、整備サイトに成立を期待する生態系を想定することである。ビオトープ整備の目標設定については、従来、2つのアプローチから考えられてきた。すなわち、①目標とする生物の種（群）を先に設定してそれに合せて空間づくりを行う方法（種優先型）と、②目標とする空間を先に設定し、その空間を選好する種（群）がやって来るのを期待する方法（空間優先型）である。さらに、③両者を合わせた、生態系を目標とする方法（いわば統合型）がある。

「この種でなければならない」という明確な目標がある場合には、種優先型が採られる。種優先型ではどのような種（群）を目標として選定するか、その選定基準が問題となる。表2に示したのは目標種の選定に関するいくつかの考え方を5種類（生態的指標種、中枢種、広域種、象徴種、絶滅危惧種）に整理したものである。わが国のビオトープ整備では象徴種や絶滅危惧種（希少種や絶滅の危険の高い種）が目標とされることが多かった。しかし、今後は生態的指標種、中枢種、広域種についても目標設定に考慮する必要があるだろう。

表2 生物的多様性を保つ上での目標種の考え方

種 類	内 容
生態的指標種	似たようなハビタット要求性をもつ種群を代表する種
中枢種 (キーストーン種)	生物群集における生物相互作用と多様性の要となる種 その種がいなくなると、その生態系を構成する種の割合に決定的な変化が起こる。
広域種 (アンブレラ種)	生息地面積要求性の大きい種 その種の生存を補償することで多数の種の生存が確保される。最高位消費者はこれにあたる。
象徴種	その美しさや魅力によって世間に自生地保護をアピールするのに役立つ種
絶滅危惧種	希少種や絶滅の危険の高い種

〔注1〕 本表は、以下の原典をもとに作成した。

鷺谷いづみ、矢原徹一（1996）：保全生態学入門、p 69.

Noss R.F. (1990) : Indicators for monitoring biodiversity : A hierarchical approach, Conservation Biology, 4, pp 355 - 364.

〔注2〕 キーストーン種の例としてよく挙げられるものに、ラッコとウニと海草の関係がある。アリューシャン諸島では、ラッコの濫獲が餌であったウニの激増をもたらし、ウニが食べていた海草が減少して沿岸生態系全体のバランスが大きく崩れた。この場合のラッコがキーストーン種にあたる。

空間優先型を採る場合には、その地域にある（あった）いろいろなビオトープの中から、目標とするタイプを選んでそれをモデルに空間づくりを行うのがよい方法である。また、ビオトープ相互の隣接関係についても、その地域のランドスケープを参考にしながら配置すると、かつてその地域にいた野鳥などの定着を期待することができる。

両者を合せた統合型ともいうべきアプローチが生態系を目標とする考え方である。統合型を可能にするためには、種と空間の関係を明らかにしておくことが必要である。「種－空間関係」の知見を「生息空間図鑑」のような形で蓄積しておくことが統合型を採る上で欠かせない。今後、ビオトープ整備の基礎として、生物の種から見た空間について整理していくことが必要である。

1. 1. 3 人とのかかわり

整備したビオトープと人とのかかわりについて、当初から考慮しておく必要がある。例えば希少種を人為的な影響から守りきるには、人が入れるような空間ではなく、むしろ人が入れないサンクチュアリー（聖域）の方が望ましい。しかし、人と自然とのふれあいを深めるのなら、人の立ち入りや接近が可能で、かつビオトープが健全に保全されるような整備が求められる。

このようにビオトープ整備の目的を明確化し、それに合うような整備を行うことが必要である。

1. 2 ミティゲーション

1. 2. 1 概要

ミティゲーション（mitigation）とは、「開発行為によって自然環境への影響が予測される場合に、これを何らかの具体的措置によって緩和すること」である。もともとミティゲーションは1970年代にアメリカで生まれた概念で、環境政策の一つとして導入された。その後、北米や欧州を中心に世界各地へ普及しつつある。

日本にも、1990年代に入ってからミティゲーションの概念が導入され、具体的な事例も相当数出てきている。環境影響評価法の制定にともない、環境への影響を緩和する方策の一つとして一層関心が高まることと予想される。

ミティゲーションの手法は、表3の如くに整理される。実際の事業では、これらのいずれか、あるいはその組み合わせによって環境への影響緩和が図られる。

表3 ミティゲーションの手法

手 法	定 義
回 避	保全すべき生態系のある箇所を、路線変更、トンネル化、橋梁化など計画レベルでの対応によって避ける手法
最 小 化	保全すべき生態系への影響を、構造の変更など設計レベルでの対応により最小化する手法
代 替	保全すべき生態系が事業によって止むをえず消失する場合に、もとあったものと同等以上の機能をもつ生態系を他の場所に設ける手法
修復・再生	事業によってダメージを受けた生態系を、表土復元や植栽によって修復する手法

〔注〕 アメリカでは上記の4種類に加えて「建設工事等の期間中に維持・保存作業を行って、影響を減少（reduction）させるか、消去（eliminating）する」ことがミティゲーションの手法の一つとして位置付けられている。日本でも実際のミティゲーション事業ではこれに該当することが行われている。

ミティゲーションの各手法は計画レベルから施工のレベルまで各種の段階で考えられるが、基本的には計画レベルから維持・管理までの、事業の各段階を見通し、バランスのとれたミティゲーションを実施することが望ましい。図1は、ミティゲーションの概念を道路事業を例に示したものである。

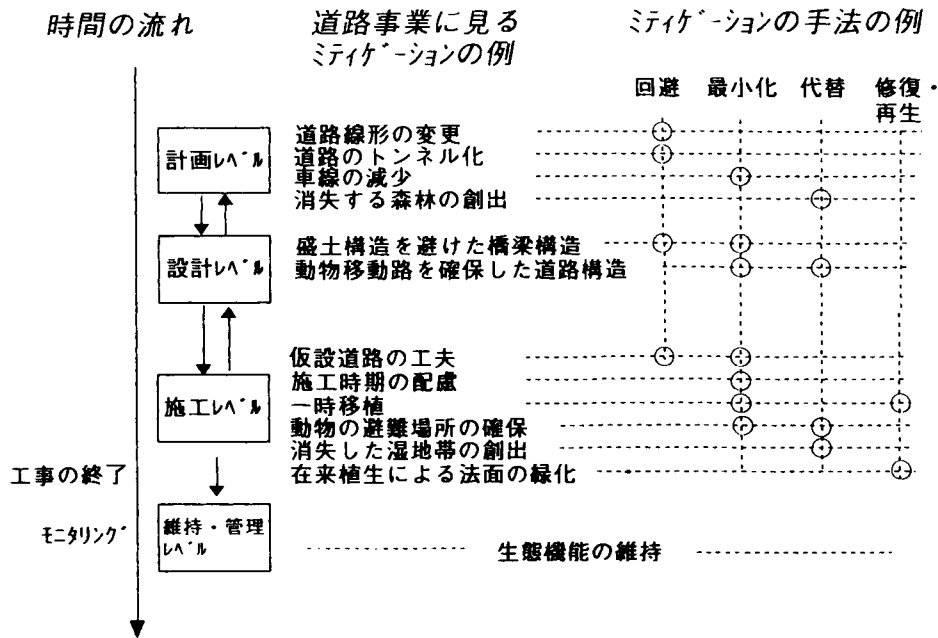


図1 道路事業に見るミティゲーションの概念（例）

1. 2. 2 全国の事例

日本におけるミティゲーションの動向について全国の事例から見てみよう。建設省は平成7年度・8年度に建設省技術研究会で、ミティゲーションに関する研究課題（課題名「建設事業におけるミティゲーションの評価手法」）に取り組んだ。目的は、ミティゲーションの評価手法案を作成するとともに、日本のミティゲーションの現状を明らかにすることである。このため全国から直轄事業を中心に事例を収集し、分析した。収集した事例は135件にのぼった。また、ミティゲーション実施上の留意点を明らかにするため、ミティゲーションとして優れている事例を選定し、その実施方法の優れている点を抽出した。さらに、特に優れていると選定された22事例を対象として、どのような点が優れていたのかを明らかにするため特徴的な事項を抽出した。これらの事例に共通した特徴的な事項は、①生息・生育環境の多様化、②対象種に適した環境づくり、③有識者のアドバイス、④地元環境団体の事業への参加、⑤試験施工の実施、⑥工事時期の工夫、⑦特徴ある施工方法の考案、であった。これらの事項は、今後ミティゲーションの水準を上げていく上で大変参考になるものである。

1. 2. 3 （事例）植生移植とツバメの^{ねぐら}の^{ねぐら}の保全によるミティゲーション（宇治川）

以上のようにして選定された優れた事例の一つを紹介する。それは宇治川で架橋工事に伴い行われた、植生移植とツバメの^{ねぐら}の^{ねぐら}の保全によるミティゲーションである。

一般国道1号線のバイパス（洛南道路）工事（事業主体：建設省近畿地方建設局京都国道工事事務所、事業着手：平成元年度）において、河川敷内に広がるヨシ群落とそこに生息する生物への影響を最小限に緩和するミティゲーションが行われた。この地域は環境庁の日本の重要な植物群落として指定を受け、また近畿圏最大のツバメの^{ねぐら}が形成されている場所でもある。

このミティゲーションの目的は、①ヨシを中心とした低湿地の植生（貴重植物を含む）の保全、②ツバメの^{ねぐら}場所としてのヨシ群落の保全であり、その対策として、橋脚の建設で直接改変を受け

るヨシ・オギの植生の移植を行った(面積:移植前・約 1.6ha、移植後・約 2.0ha) (図2)。移植先は、宇治川の河川敷内である。移植により期待される効果は、貴重な植生の面積的な減少を抑えること、ツバメの埒の形成に必要と考えられる一体的なヨシ群落を創出し、橋梁による分断の影響を最小限にすることである。また工事中的の影響を最小限にするため、使用する機械は低音・低振動のものを使用するとともに、工事期間にツバメの春埒の形成期を外すなど多くの配慮がなされた。

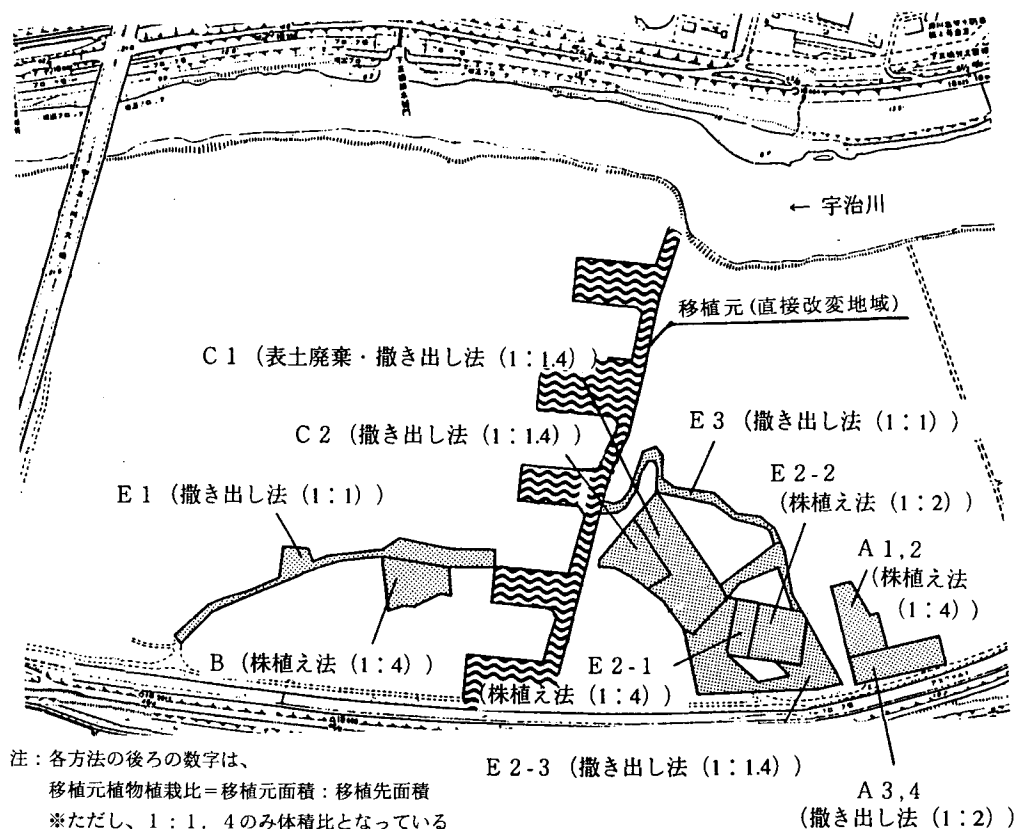


図2 移植地の概要

一連の事業は、事前環境調査の実施及び移植計画の策定(昭和59年度～63年度)、橋脚の施工及び植生移植(平成3年度～5年度)、モニタリング実施(移植先の植生とツバメの埒)(平成4年度～)というスケジュールで行われた。平成8年度までのモニタリングの結果からは、移植した植生の定着と、移植した植生が経年的に既存の植生に近づいて来ていることが確認されている。またツバメの埒の形成は、平成3年度以降も、それ以前とほぼ同様に観察されており、このミティゲーションは一定の成果を上げたといえよう。

このミティゲーションの事例で特に優れている点は、①事前の環境調査を行い、事業実施前の自然の状況を把握した上で移植基本計画を策定し、これに沿って移植を実施したこと、②移植期間(平成3年度～5年度)に、前年度の成果を確認しながら移植方法に改良を加えていったこと、などが挙げらる。

2. 各種事業に関する研究

道路、河川、公園、都市など各種事業において生態系保全に配慮した建設事業が全国的に展開されている。本項では、これらの中から道路事業及び河川事業、また、複数事業の連携した事業（複数連携事業）について述べる。

2. 1 道路事業

道路事業では、地域の自然環境との共存・調和を図るよう配慮した道路整備をエコロードとして推進している。各地でエコロードの整備が展開される中、自然環境の保全という観点だけではなく、自然環境の創出という新たな観点が注目されつつある。

2. 1. 1 道路空間における自然環境創出手法

エコロードは、道路整備による自然環境への影響をできる限り回避・軽減するという自然環境の保全という観点からは、従来よりその時々々の要請により実施されてきており、これらの事例の蓄積を踏まえ、『エコロード・ハンドブック』が刊行され、技術の体系化が図られている。

一方、最近では、自然環境の減少が進んでいる都市・郊外部においては、道路空間を活用することにより、地域の自然環境の質の向上に資することが期待されている。これには、IC、SA、PA、道の駅などのまとまった空間にビオトープを創出し、自然の少ない地域における質の高い生物の生息・生育地とすることが考えられる。そのため、いくつかの地域で実験的に取り組まれているが、導入するビオトープの質、目標種の設定方法など、種々の課題が残されている。

また、地域に点在する森林など動植物の生息・生育地をエコロジカルネットワークにより有機的に結び、地域の自然環境の質の向上を図ることが検討されている。ネットワーク状に張り巡らされている道路は、環境施設帯、盛土、切土ののり面など、沿道を利用したコリドーとしての役割が期待されている。一方、既にあるコリドーを分断する問題があるなど、エコロジカルネットワークと道路との関わりについてはこれらの両面から検討する必要がある。

以上のような観点を踏まえて、土木研究所では、地域の自然環境に配慮した道路空間における自然環境創出手法の研究として、道路空間を用いたビオトープ整備手法の研究とエコロジカルネットワークにおける道路の役割の研究に着手している。その中から調査の事例を以下に挙げる。

2. 1. 2 (事例) 環境施設帯における生物の生息状況調査(東名道、常磐道、関越道、中央道)

1) 目的

道路空間における自然環境創出手法の研究にあたっては、道路空間での生物の生息・生育実態を把握する必要があるが、これらについては既存の調査も少なく、実態等が明らかにされていない。そこで現況の道路空間における動植物の生息・生育状況の実態を調査し、道路空間における自然環境創出手法の確立に資することものである。

2) 調査方法

平成8年度には環境施設帯を対象とし、東名高速道路厚木IC～秦野中井IC間、常磐自動車道流山IC～柏IC間、関越自動車道川越IC～鶴ヶ島IC間、中央自動車道三鷹料金所付近の4カ所について①植物、②昆虫、③鳥類の調査を行った。①植物については、植物社会学の手法を用いた調査により秋(10月頃)に1回実施した。②昆虫については、季節による出現種を考慮しながらスウ

イーピング法、ピーティング法、バイトトラップ法及び任意調査を組み合わせ、春期（6月頃）、夏期（7月下旬頃）及び秋期（10月頃）の3回実施した。③鳥類の調査は、常磐道及び関越道で、植樹帯沿いの側道においてルートセンサス法により出現種と観察回数を記録することにより行い、鳥類の越冬や繁殖等季節による鳥類の移動を考慮して、越冬期（12～1月頃）と繁殖期（6月頃）の2回行った。

3) 調査結果

①植物

調査地の植生は、植栽後の経過年数や剪定等の管理状況により異なっている。各調査地の断面図及び写真を図3に示す。東名道（図3a）は常緑広葉樹と落葉広葉樹がほぼ同率の割合で植栽されているが、植栽完了後1年未満のため、一般的な植栽当初の林相を呈していた。常磐道（図3b）は、植栽完了後約12年経過している。ここでは、常緑広葉樹主体の植栽のため樹冠が鬱閉しており、林内は暗く林床に植物はほとんど認められない。関越道（図3c）は植栽後約16年経過している。ここでは高木層はケヤキ、亜高木層以下はシラカシやスダジイ等が生育していた。中央道（図3d）は植栽後約23年経過している。ここでは、徹底した剪定等によって、高木及び亜高木の植被率が50%程度となっており、林床も明るい。

植生のうち、実生（本調査では、木本のうち、樹高が50cm以下のものを「実生」とした）について見ると、4つの環境施設帯とも実生の生育が確認されているが、植栽後10年以上経過している常磐道、関越道及び中央道の環境施設帯では10～20種程度の実生が確認されているが、調査範囲に現存する植栽木が母樹と考えられる種は各調査地とも2～4種程度で、その他は鳥類によって運ばれたと推察され、鳥類などを介して周辺環境に応じて遷移している様子がうかがえる。

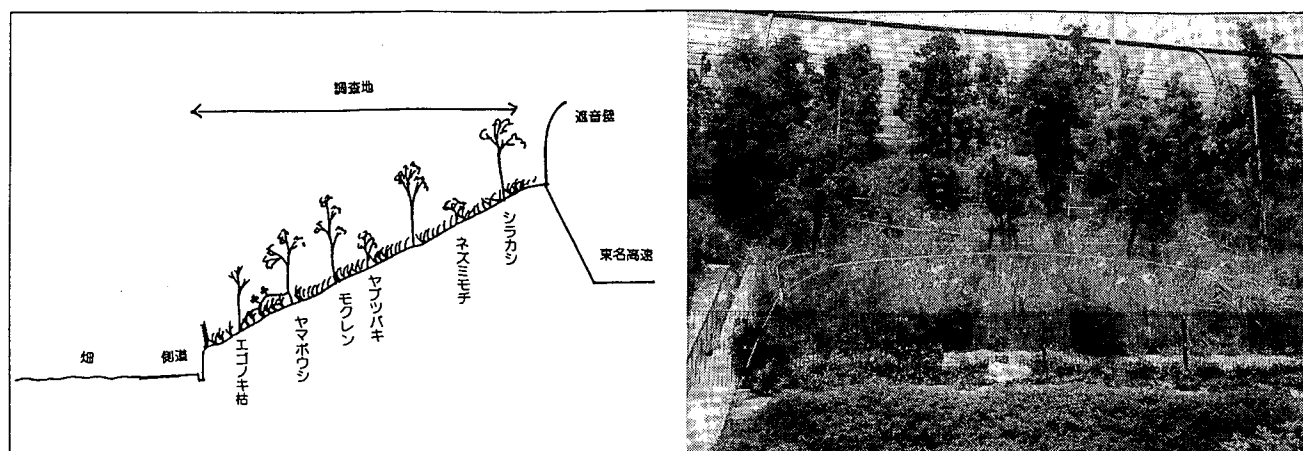


図3a 東名高速道路 調査対象地

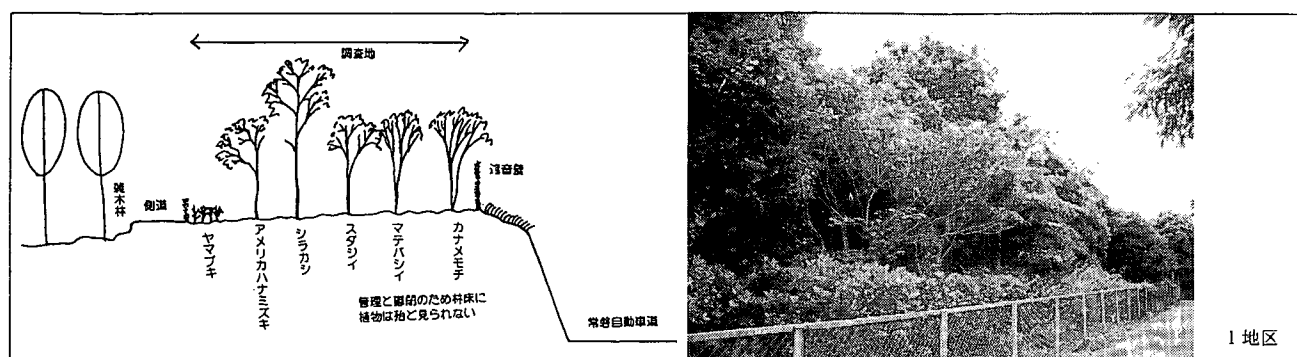


図 3 b 常磐自動車道 調査対象地

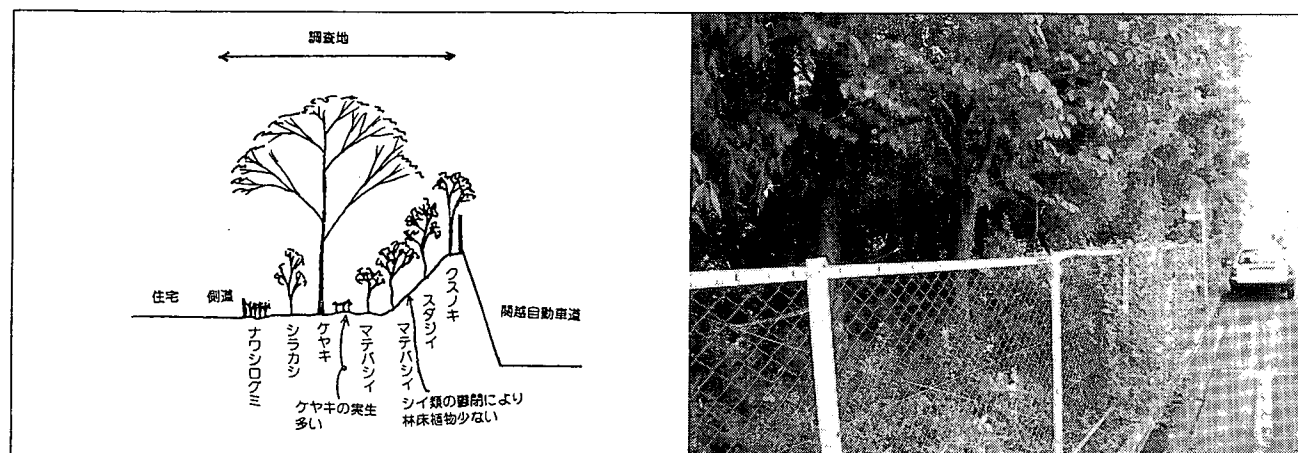


図 3 c 関越自動車道 調査対象地

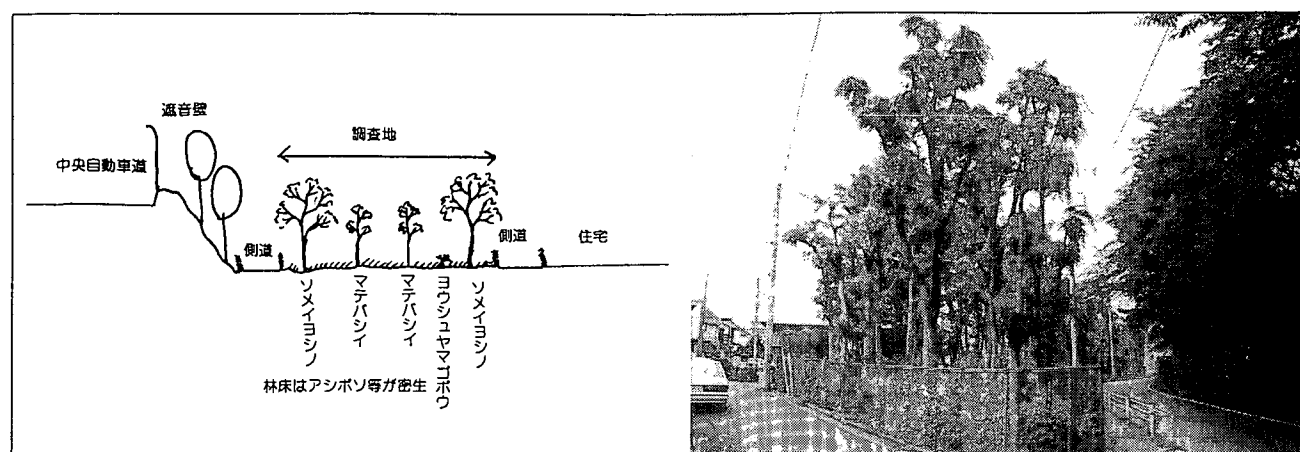


図 3 d 中央自動車道 調査対象地

②昆虫

昆虫については、植栽後の経過年数や管理の状態に応じた植生の違いを反映して異なる特徴が見られることがわかる。例えば、関越道では樹木の生育状況を反映して、林床付近では草地性昆虫が少なく、林縁部に見られる種が多くなる傾向が見られ、低木以上では樹林、林縁性の昆虫が中心であるなどの特徴が見られるのに対し、中央道では、植栽年数で4地点の中で最も古いが、植栽木の剪定等が頻繁に行われており、林床が明るく草本類が繁茂しているため、出現種もアブラムシ類やカメムシ類等イネ科草本や広葉草本を主な生息環境とする草地性の種が多かった。

③鳥類

鳥類については、両調査地（常磐道及び関越道）とも、ヒヨドリやスズメ、ムクドリ等都市域で普通に観察される鳥類が出現しており、それぞれの調査地とも上位2位までの優占種により出現個体数の5割から7割以上を占めるなど、個体数を考慮すると特定の種の出現が多くなる傾向が見られた。ここで、全観察回数に占める実際に植樹帯を利用した種の観察回数の割合を「植樹帯の利用率」として算出した（表4）ところ、常磐道に比べ、相対的に隣接する住宅地内の緑地の少ない関越道の方が、植樹帯の利用率は越冬期及び繁殖期とも高くなる傾向が見られた。この結果は、植樹帯周辺の緑地の状況が鳥類の植樹帯の利用に関係する可能性を示唆するものであり、隣接する住宅地に鳥類のハビタットとなる緑地が少ない場合、植樹帯の利用は高くなると考えられる。

表4 植樹帯の利用率の比較

	越冬期	繁殖期
常磐道	12.9%	20.0%
関越道	72.2%	41.7%

4) まとめ

調査結果から道路空間での生物の生息・生育実態について取りまとめる。植栽後の植樹帯には、その周辺から新たな植物種の実生が侵入することが確認され、地域の植生と調和のとれた遷移が起こる可能性があることが把握された。また、昆虫相も植栽木の生育に伴い、草地性の昆虫相から樹林性の昆虫相が利用可能なハビタットとなりうるということが分かった。総じて、幹線道路の環境施設帯に創出された植樹帯であるが、植栽年数の経過に伴い、実生の生育や昆虫相の変化等の遷移が起こることが確認されたことになる。一方、住宅地の植樹帯における鳥類の利用に関しては、周辺の緑地の存在状況が深く関係しており、緑地の少ない地域の環境施設帯では植樹帯が鳥類のハビタットとしてよく利用されていることが確認された。

今後、引き続き様々な道路空間における生物の生息状況を把握するための調査を行うとともに、これらの結果を踏まえ、地域の自然環境との調和を図ったビオトープ整備手法の検討、エコロジカルネットワークにおける道路の役割の検討等を行っていく。

2. 2 河川事業

川の生物や風景を守り子々孫々に伝えていく。こんなことが当たり前の時代となってきた。しかし河川の自然環境の保全に関する学問・技術体系は、この分野が学際的であることもあって未だ構築の途上にある。その構築に資するように、本項では、河川の自然環境を保全するための考え方について、技術者の立場から、要点を整理する。

2. 2. 1 河川生態系の成立ち

河川生態系の成り立ちを概念的に示したものが図4である。河川生態系の成立ちを考えると、①ハビタット (habitat)、②ハビタット間の関係 (ハビタットがつながっているかどうか)、③生物、④生物相互間の関係 (例：食うか食われるかの関係)、⑤その系に流入するエネルギーや物質の量、の五つが基本的要素となる。ハビタットとは生物の生息場所を表すユニットの一つで、瀬や淵、浮石帯は水域の代表的なハビタットである。

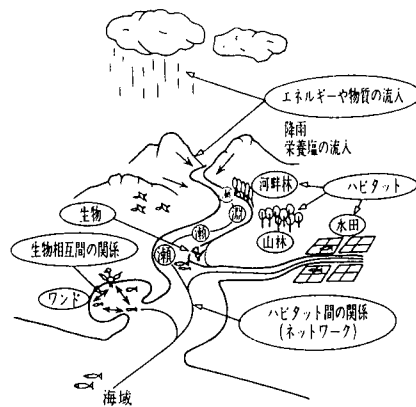


図4 河川生態系の成り立ち

[注] 本図は、以下の原典をもとに作成した。

Harper, D., Smith, C., Barham P. and Howell R. (1995) : The Ecological Basis
for the Management of the Natural River Environment.

Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems (1992) : Rivers and Stream.

2. 2. 2 ハビタットとネットワーク

河川には多様なハビタットがあり、それはネットワークのように結ばれている。生物はその生活史の各段階で特定のハビタットを利用し、ネットワークを利用して、ハビタット間の移動を行う。ハビタットとこれを結ぶネットワークは河川の自然環境を構成する基本的骨格にあたるもので、さまざまな生物はこの骨格上で生活する。ただし、生物には生物相互間の関係があるため、骨格だけで生態系の姿が決まるわけではない。例えば、強力な捕食者がいる場合などがこの例に当たり、捕食圧の大きい魚類等が移入されると、骨格自体は変化しないのに生態系自体が大きく変化することになる。エネルギーや物質とは、降雨、太陽光、流域からの栄養塩、地下水の流入を示し、その河川の生物生産量を定める重要な要素だが、流域の改変、気象の変化、地形、地質の変化がない場合にはほぼ不変の要素と考えてよいだろう。

1) ハビタット

河川には瀬や淵、淀み、ワンド等生物が生息場所として利用する一定の場所が存在する。このような場をハビタットと呼ぶ。もう少し厳密に言えば「形態的に一定のまとまりをもった場所のうち、生物が生活史の各段階（採餌、休息、産卵、孵化、羽化、営巣、避難等）で利用する特定の場所」となるであろう。図5にハビタットの概念図（島谷・皆川・萱場、1996）を示す。水は水質と水量から、空間は河床、構造物、植生などより構成され、これらが一体となってハビタットを形成し、河川に生息する様々な生物はこれらのハビタットに寄り添って生息する。

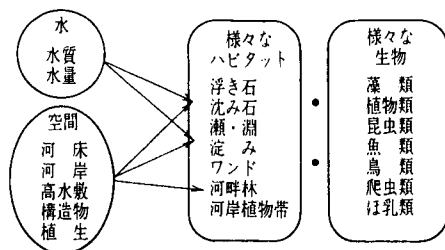


図5 ハビタットの概念図

（事例）ハビタットと生物との関係に関する調査（田川）

ハビタットと生物の生息との関係について、田川の調査（島谷・小栗・萱場、1994）を事例として紹介する。栃木県宇都宮市を流れる田川（鬼怒川の第1支川）は、1992年の改修により河道のショートカット、拡幅、河床の切下げが行われた（図6）。この改修によりハビタットの分布は大きく変化し、改修前に見られた浮石、淀みはなくなり河床も岩が露出して単調化した。

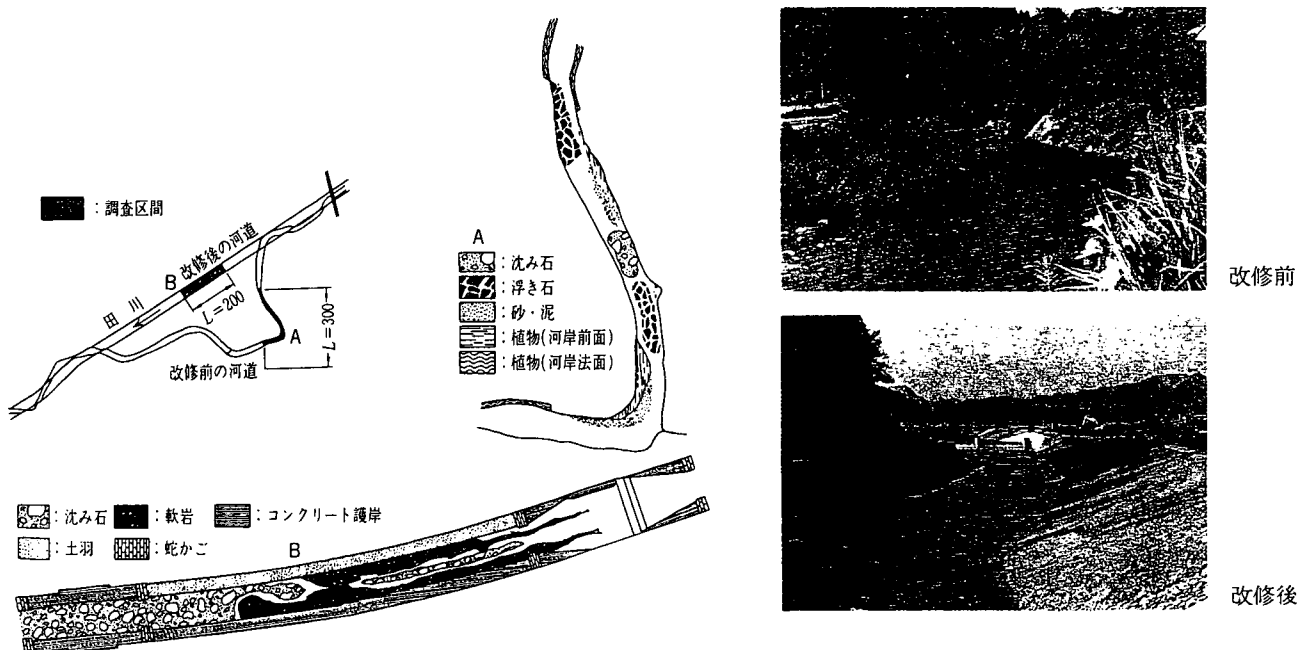


図6 田川における改修状況と改修前後の河床の状況

図7に、改修に伴うハビタットの増減（面積や延長の）と魚類の個体数の増減との関係を示す。ドジョウをはじめとした底生魚は河岸にできる淀み、浮石帯、砂泥帯を利用するが、これらのハビタットが消失したため個体数が減少している。一方、平瀬を好むオイカワだけは、平瀬が増えその個体数も増加していることがわかる。すなわち、魚の増減は各魚種が必要とするハビタットの増減にある程度依存していることがこの結果から分かる。生息場所の消失に伴い個体数が減少することは、理論的に考えて当然の帰結ではあるが、このプロセスは、自然環境を保全しながら土木事業を行うときの重要な考え方を含んでいる。

		底質の状況			河岸の状況			流れの状況				個体数の増減
		泥・砂	沈み石	浮き石	植物	空隙有	空隙無	淵	平瀬	早瀬	淀み	
	ハビタットの増減	↘	↗	↘	↘	↘	↗	↘	↗	↘	↘	
遊 泳 魚	フナ				◎			○			□	↘
	オイカワ		○					○	◎			↗
	タモロコ				◎						◎	↘
底 性 魚	スナヤツメ	◎									◎	→
	ナマズ	○			◎	○					○	↘
	シマドジョウ	◎			◎			○	○		◎	↘
	ホトケドジョウ	◎			◎						◎	↘
	ドジョウ	◎			◎						◎	↘

↗ ハビタットおよび個体数の増加を示す。
 ↘ ハビタットおよび個体数の減少を示す。
 → ハビタットおよび個体数に顕著な増減がないことを示す。

○：文献による主な生息場所
 □：文献・採捕の両方で確認したもの
 ◎：田川の調査で採捕した場所

図7 ハビタットの増減と各魚類の増減の関係

生物の保全を目的とした土木事業において生物自身を直接扱うケースは少ないであろう。実際の操作対象は水や空間である。すなわち水や空間を直接的・間接的に対象にして事業を行い、生物の保全を行う。ハビタットの概念は、操作対象である“水と空間”、そして保全対象である“生物”の両者の橋渡しをする概念である。

しかし保全対象となった生物に必要なハビタットとは何か、そのハビタットを保全するためには水と空間をどのように操作すればよいのか。このような問いの解を見いだすには工学だけではなく、各分野の知見が必要である。ハビタットの概念は生態学的な知見と工学的な知見の狭間にあり、極めて学際色が強い領域にある。

ただ、このように言い切ると、河川には時間的にも空間的にもきっちりと決まったハビタットの分布があり、それをを川の中にきっちりと保全できるかのような印象を与える。しかし、実際には大出水時にもなると、個々のハビタットは多少なりとも変化し、消失・再生を繰り返す。移動する砂州はこの典型的な例で、砂州前縁線に発生する瀬は出水により場所を変え、あたかも生まれ変わったかのように見える。

2) ハビタットの移動とその特徴

ハビタットは洪水や人為的な影響に伴う破壊とそこからの再生を繰り返す。どのようなハビタットがどのような時間スケールで変動を繰り返すか。このことは大変に重要で、自然環境の保全を考える場合の基本的情報となる。変動スケールが短いものを無理に保全することはその維持・管理に多大な労力を必要とし、逆に変動スケールが長いものはいったん破壊するとその再生に莫大な労力を必要とする。別の言い方をすれば、変動スケールが長いハビタットは保全を前提とした計画を立てるべきであり、短いハビタットは再生できる基盤さえ整えておけば、いったん破壊されても比較的早い時期には再生が可能だということになる。このようなハビタットの変動スケールはハビタットの空間スケールと関係があり(図8)、空間スケールが小さいものほど変動スケールも短くなると考えられる。ただし、縦軸のスケールはあくまでも概念的なもので、この大きさは土砂生産量、水理量、気候、土壌等に規定される。

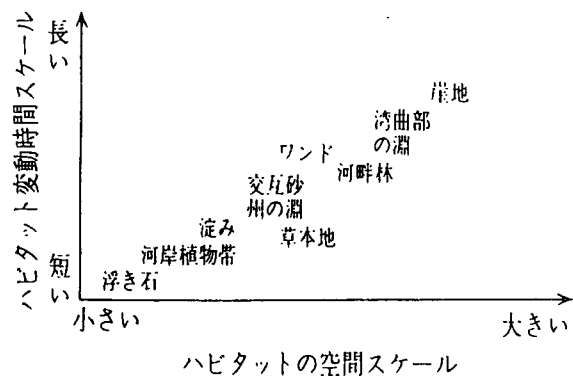


図8 ハビタットの空間スケール

3) ネットワーク

ハビタットだけが整えば生物が生息できるかというと、そういうわけではない。例えば、ドジョウは産卵期になると水田や用水路に移動するため、生活史を全うするためにはそれらのハビタットへのアクセスが容易である必要がある。しかし、改修によって河床を切り下げた場合には水田や用水路との落差が大きくなり、水域におけるネットワークが分断される。降海型の魚類の場合は、魚道のない堰堤等は当然のことながら分断化を引き起こす原因となる。また、分断の影響を受けるのは魚類だけではなく、ほ乳類を始めとした様々な生物がその影響を受ける。このような分断化は、単に生活史を全うできないといった影響だけではなく、繁殖可能な個体数を減少させることになる。個体数はある一定の数以下になると確率的に絶滅する危険性が増すと言われ、この観点からもネットワークを保全する必要がある。

2. 2. 3 保全すべき環境

それでは、どのようなハビタットやネットワークが失われてきたのだろうか？

戦後の高度経済成長期、急激な都市化による洪水の頻発と被害の増大、それに対する河川改修、農地における圃場整備、建築用・土木用の骨材としての河床材料の大量掘削、水資源需要の増大に対応するダム建設など、河川にも高度経済成長の影響が及んだ。

もっとも現在では水質も改善され、砂利掘削もほとんど行われなくなり、河川改修も多自然型川づくりが行われるようになりつつあり、河川環境も一時より随分改善されてきている。

さて、このような高度経済成長、都市化等の影響が魚類にどのように現れているのだろうか。都市化がもっとも進んだ東京の例をみると、タナゴ類、トゲウオ類が絶滅し、メダカ、ホトケドジョウ、ギバチなどの数が減少している。タナゴ類は流れの遅い所にすみ2枚貝に産卵する。またトゲウオ類、ホトケドジョウは湧水域が必要である。

全国的に見てもタナゴ、トゲウオ、ドジョウ等が減少しており、状況は類似していると考えられる。この減少の理由として、水質の悪化や流量の安定化など水環境の変化からの影響を受けたことが挙げられるが、さらに空間（場）に着目すると、次のような環境が失われてきたためと考えられる。

① 氾濫原の喪失・減少

都市化によって多くの氾濫原（後背湿地）が失われてきている。また、ワンドや旧流路などの河道内の氾濫原的性質をもった場所も減少してきている。ドジョウ、タナゴ等にとって、このような氾濫原が産卵や生息場として極めて重要であった。急激な都市化が進む前、氾濫原の代わりをしてきたのが水田地域であるが、ここも圃場整備により河川との連絡性が絶たれ、氾濫原としての性格をなくしかけている。河川の中や外に湿地やワンド、池などの環境をいかに確保するかは今後のポイントである。

② 低流速域の減少

田川で見たように低水路の固定や整正により河岸域の植物帯や淀み等の低流速域が減少してきている。このような低流速域は、魚類の稚魚やエビ、水生昆虫のすみかとして極めて重要である。

③ 湧水の減少

ホトケドジョウ、トゲウオなど湧水をハビタットとする魚が減少している。都市化による非浸透域の増大による地下水の低下、護岸による湧水区域の減少等が原因である。湧水の復活は流域対策も必要で根気がいるが重要である。

以上のような空間の喪失・減少をくい止め、むしろ可能なところでは空間を創出するかたちで、河川の自然環境を保全していく必要がある。

2. 2. 4 技術者の使命

以上、自然環境を保全するための考え方に重点をおいて述べてきた。多自然型川づくりを行った現場に行ってみると、そこが自然に溶け込み、本当に工事を行ったのかさえ分からないところも多く、現場での技術力の向上には目を見張るものがある。従前の工法なら生物の生息が難しかった河岸に植物が繁茂し、そこがまた魚のハビタットになる。川の生物多様性は確かに向上しているようだ。

しかし、まだ難しいのは、“本当に何を保全すべきか”を決断することである。ややもすると、寿命の短いハビタットを懸命に保全したり、その逆を行うこともありそうである。不必要なコストを押さえ、効果的なストックの形成を目指すのが公共事業の使命である。技術者は高い見識を保ち、何を保全すべきかを決断することが、今後より重要となるであろう。

ここで、河川環境の研究に関連して、土木研究所からの最新情報を紹介する。

自然共生研究センター

河川・湖沼の物理的空間の形状や河川の流動変動と生物の生息・生育状況の関係、自然環境の保全・復元手法等を研究するため、土木研究所は、世界最大規模の実験施設「自然共生研究センター」（図9）を木曽川三派川地区北派川に建設中である（平成9年度末竣工）。自然共生研究センターは、①実物大の実験水路（3種類、各延長・約 800 m）、②実験池（3種類×各2ヶ所、計6ヶ所）、③研究棟（597 m²）から成っている。

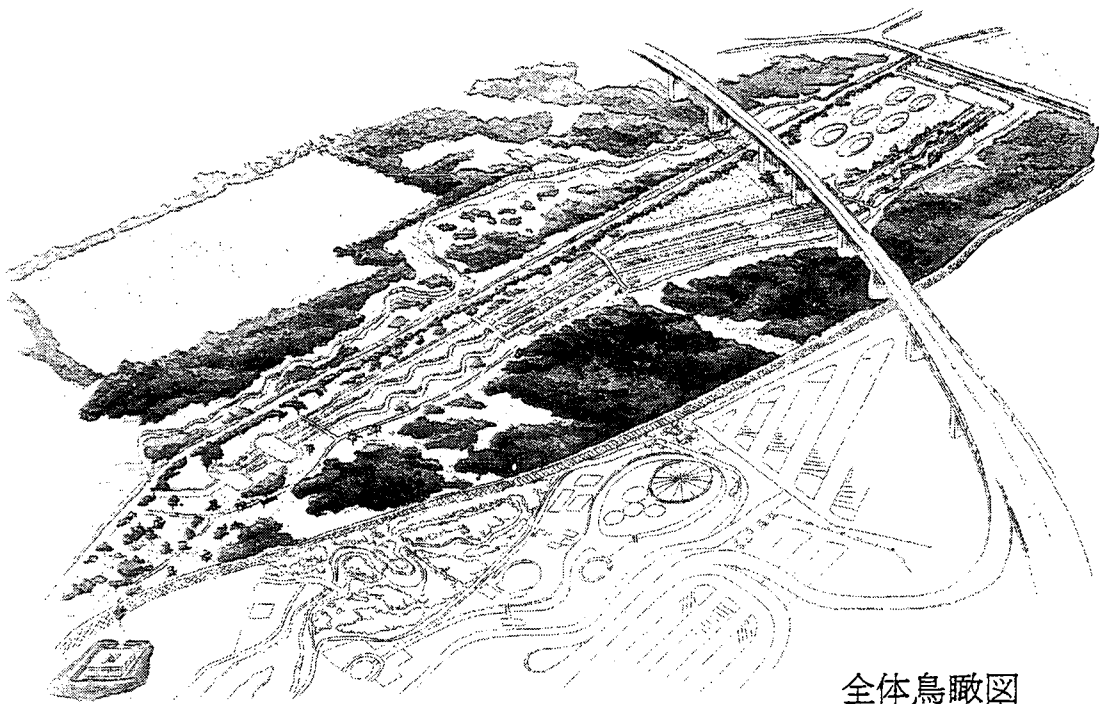


図9 自然共生研究センター

河川生態学術研究会

生態学的な観点から河川を理解し、川のあるべき姿を探ることを目的に、土木研究所と大学等の研究者（工学・理学・農学等）が河川生態学術研究会を設置し、学際的な共同研究を実施中である。現在、多摩川及び千曲川を研究地区として、河川流域・河川構造の変貌に対する河川の応答、ハビタットの類型化とその変動、生物現存量、生物種数、種の多様性、物質循環等に関する調査を行っている。

2. 3 複数連携事業

複数連携事業によって相乗的な効果が期待できる。例えば河川や公園、道路の環境施設帯、のり面等は流域の自然環境の中でハビタットとしての役割を果たすことが可能と考えられる。これらの公共空間や民有空間（森林、樹林地等）を連結することにより国土の自然環境の質は格段に高まるものと考えられる。このような複数の事業が連携した事業（複数連携事業）には、大別して、①比較的規模の大きい計画を発展的に連携させる進め方、②個々の判断の積み重ねによる進め方、③全体の計画を策定する進め方、の3タイプがある。③については後で面的な計画との関連で挙げるとして、ここでは①及び②の事例について述べる。

2. 3. 1（事例）比較的規模の大きい計画が発展的に連携する進め方（荒川ビオトープパーク）

北本自然観察公園（所在地：埼玉県）と連携をとった荒川ビオトープパークがこれに該当する。北本自然観察公園は埼玉県の事業として 33ha がビオトープとして整備されていた。しかし、サシバ（猛禽類）が生息するためには最低でも 50ha が必要である。そのため埼玉県生態系保全保護協会の提案により、建設省が北本自然観察公園に隣接する荒川の河川敷に、同公園とあわせて 50ha 以上になるようにビオトープパークを計画し、現在（平成9年度）、建設中である（図10）。

この事例の特徴は、段階的に連携化がなされたことである。一つの事業を達成することにより他の事業を触発し、段階的に連携化がなされた、現実的な手法である。

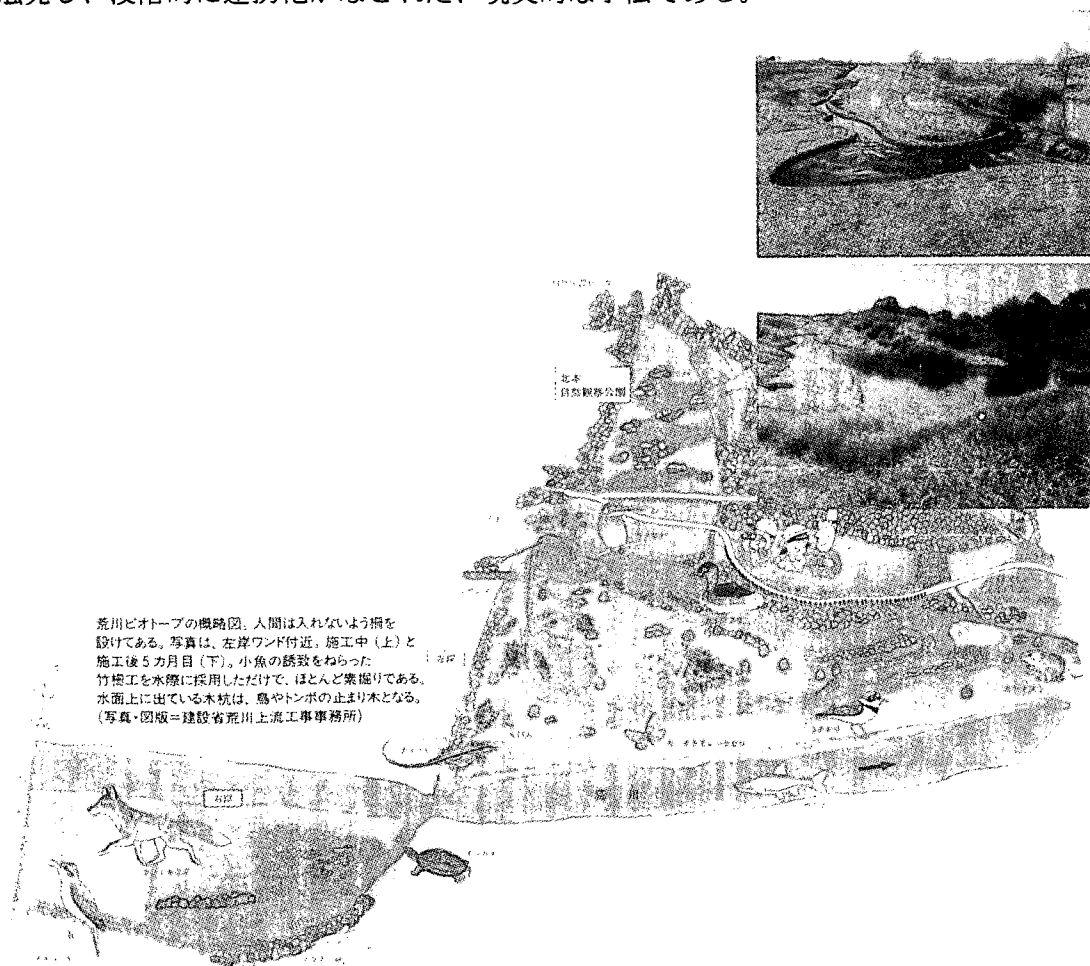
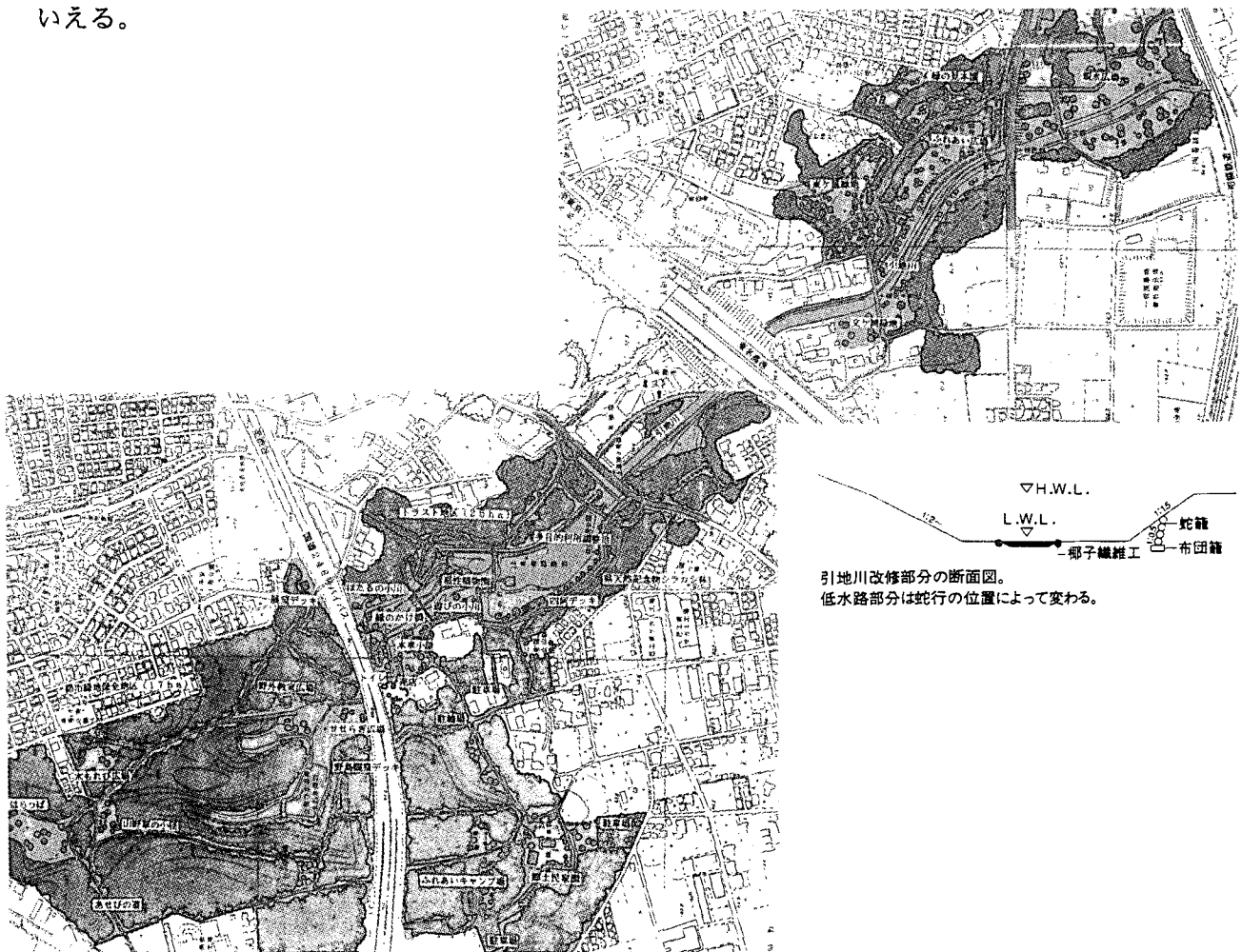


図10 北本自然観察公園と荒川ビオトープパークの概念図

2. 3. 2 （事例）個々の判断の積み重ねによる進み方（引地川公園）

引地川公園（所在地：神奈川県大和市）は、面積 90ha の大規模な公園である。ここには水源地、遊水池、河川、公園が有機的につながった長いエコロジカルネットワークが形成されている。注目すべきは、この公園を横断する2つの大きな道路である。一つは国道 246 号バイパスで、引地川公園を分断することなく高架で横断している。もう一つは東名高速道路で、その下は暗渠と人が通れる通路でつながっている（図 1 1）。最上流部にある水源地が生物の供給源、コアエリアとなっており、下流の、引地川の多自然型川づくりが行われた地点まで、タヌキやカワセミがおりてくる。引地川公園では分断化の回避は計画的になされたのではなく、その時々判断の積み重ねでなされている。現在では計画的に連携化がなされているが、出発点は個別の連続性の担保の積み重ねであったと考えられる。この事例は複合化の展開に個々の判断の積み重ねという方法があり得ることを示している。

この事例の特徴は、現場技術者の良識が高ければ自立的に連絡点が増えていく可能性を持った手法であることだ。この手法も、また、ものの見方を若干変えることで可能になる、現実的な手法といえる。



引地川公園の平面図。右上部が「ふれあいの森」地区で、左下部が「泉の森」地区。高速道路や国道バイパスが横断しているが、川と緑は分断されることがなくつながっている。

図 1 1 引地川公園（平面図、改修前断面図）

3. 風土や地域特性にふさわしい手法

建設事業にあたっては、国土ないし地域の特性を読みとり、その土地にふさわしいものをつくるように配慮することが重要である。

日本の国土は島国で南北に細長く、急峻な山々が連なり、地形が複雑で、平地が少ない。また位置的には亜熱帯から亜寒帯にわたり、温暖で多雨多湿の気候にあり、四季の変化に富むことが特徴である。古来から日本人は、独特の自然観をもち、固有の風土を育んできたといわれる。今日では人口約1億2千万人となり、狭小な土地に多数の人々が活発に経済活動を展開している。とりわけ都市部において過密状況が問題になっている。このような中で、海外に学びながらも、日本の風土や地域特性にふさわしい国土のあり方や建設手法（いわゆる「日本型国土建設手法」）を考え、適切な技術を開発していく必要がある。

以上のような観点から各種の技術が開発されつつあるが、ここでは、日本の厳しい土地条件を克服し、温暖で多雨・多湿な気候条件（植物が育ちやすい）を活用し、自然的な情景を可能にすると予想される、人工浮島とコンパクトウェットランドの事例を挙げる。

3. 1 人工浮島

3. 1. 1 概要

浮島は、元来、自然に存在するものである。泥炭層がガスにより浮き上がったたり、湖岸の一部が切れたりして、浮島になって湖沼の上を漂う。天然の浮島として日本では尾瀬ヶ原や山形県の浮島大沼が有名である。浮島の機能としては、①湖岸浸食の防止、湖岸保護、②生物のすみかの創造、③修景、④水質浄化等が挙げられる。

人工浮島とは、これらの機能を備えた浮島を人工的に制作（建設）したものである。

アメリカでもUSGS（United States Geological Survey：米国地質調査所）がフーバーダムにおいて人工浮島の実験をしている。現在、土木研究所では人工浮島についてUSGSと国際共同研究中である。

これらの人工浮島は、目的別に、①漁礁浮島、②景観浮島、③浄化浮島、の3タイプに分類される。①のタイプは水産目的であり、人工浮島の集魚効果をねらったものである。人工浮島の構造は比較的単純でよい。このタイプの人工浮島は植栽部に土壌を入れても問題ない。また水中部に根がたくさん出るような工夫が必要である。②のタイプは、景観的アクセントとしての人工浮島の利用例である。この人工浮島の特徴としては、かなり大規模である点である。コンクリートを浮体として利用し、植栽植物も水生植物だけでなく樹木も使用している。このタイプは生物生息空間としての効果も大きいと考えられる。ただしコストは他のタイプよりも割高となる。③のタイプは水生植物（ヨシなど抽水植物）による水質浄化をねらったものである。構造は比較的単純だが、水質浄化のためであるから、植栽基盤として、窒素やリンを含んだ土壌を入れては意味がない。従って植栽基盤に工夫を凝らす必要がある。植栽基盤としては空隙が大きく、強度があり、分解に対して強く、かつ環境に悪影響を及ぼさない物質である必要がある。

なお、これらのタイプ分けはあくまでも主目的別分類であり、たいていの人工浮島はこれらの機能を合わせ持つことを念頭に置く必要がある。本項では、③のタイプの浮島を中心に話を進めていく。

3. 1. 2 (事例) 人工浮島の生態系調査(霞ヶ浦)

1) 調査方法

建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所は、1993 年 3 月に、人工浮島を土浦港内に設置した。土浦港に設置された人工浮島は、現在世界最大規模でおよそ長さ 91.5m、幅 9m で、一つ約 4.5m × 4.5m の浮体 40 個から構成される。一つの浮体は鋼製のフレームとそれを浮かべるための発砲スチロールからなっており、そのフレームの中に植栽用に 10 センチ程度の切り込みが多く入ったスポンジ(水生植物用フィルター)が設置され、さらにネットで覆われた構造になっている。その切れ込みにヨシ、ガマ、マコモ等の水生植物が植栽された(写真 1)。

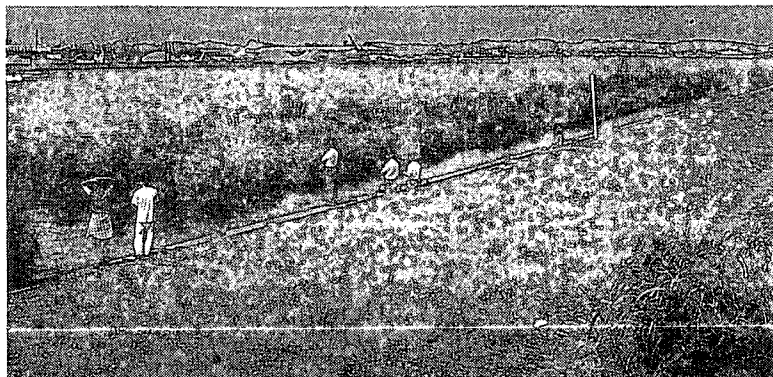


写真 1 人工浮島(霞ヶ浦・土浦港)

1994 年 10 月 6 日、浮島及びその周辺で生態系調査を行った。植物プランクトンと動物プランクトンについて 6 地点で定量調査を行った。また浮島上の植物の根を採取し、根に付着していた微生物の定量調査を行った。翌日 10 月 7 日に浮島とその周辺で魚類及びエビの採捕調査を行った。

2) 調査結果

採捕された魚類・エビ等は浮島のあるところで 8 種 778 個体であった。採捕数の多いものは、テナガエビ(389 個体)、ブルーギル(202 個体)、ヌマチチブ(123 個体)が挙げられる。一方、人工浮島のないところでは 3 種 3 個体であり、採捕された魚種はオオクチバス、ブルーギル、テナガエビである。

これらの調査結果から、人工浮島上の植生の特徴について述べよう。元々、人工浮島上にはブロック別にマコモ、ガマ、カンガレイ、ミクリ、ヨシを植えたのであるが、その植生は移行し続けている。特にセイタカアワダチソウ、アメリカセンダングサなどの陸上植物が増えてきたのが特徴といえよう。霞ヶ浦工事事務所の調査をもとに計算してみると、人工浮島上の植物の現存量は $2,250\text{g/m}^2$ (乾重量) である。霞ヶ浦のヨシ原の現存量が $776\text{g/m}^2 \sim 3,320\text{g/m}^2$ (乾重量) と言われているので、自然のヨシ原の現存量に引けを取らない量といえる。ただし調査者の感じでは、人工浮島周辺のヨシと比べると 2 割ほど人工浮島上のヨシの方が低い。

人工浮島の有無による炭素量による現存量の違いを図 1 2 に示す。魚類・エビ類は人工浮島下でかなり多い。これは人工浮島の集魚効果を示すものである。餌である動物プランクトンが多いこと、浮島の影や植物の根が隠れ家となること、人工浮島の消波効果により水域が静かであり生息環境が適していることがその原因として挙げられる。また捕獲された魚類のほとんどは当歳魚であった。

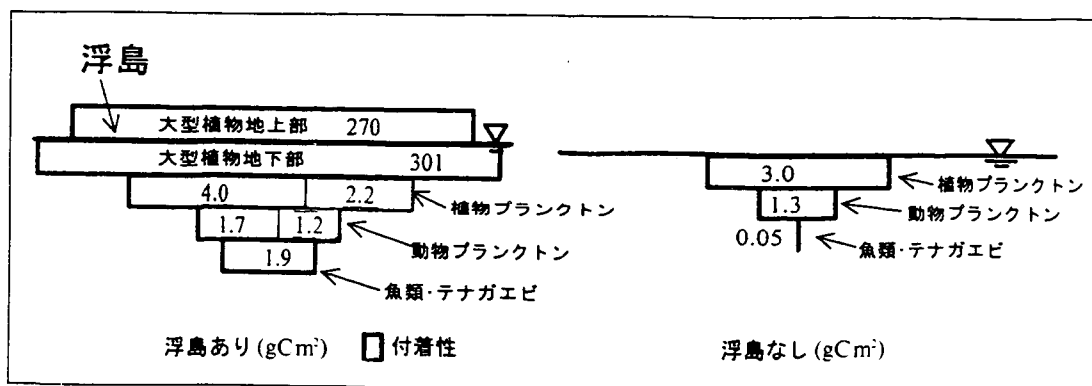


図 1 2 浮島の有無による現存量比較

3) 考察

調査結果から、人工浮島の生態系の特徴について考察する。人工浮島が稚魚の有効なハビタットとなっていることが分かる。藻類は浮島の下で浮遊性よりも付着性のものが増えている。霞ヶ浦の水質問題としてアオコの発生があるが、付着性藻類の増加はアオコの減少に大きく寄与するものと考えられる。

図 1 3 を見ると、人工浮島下では生態系が植物プランクトン等の低次捕食者に偏った生態系でなく、魚類やテナガエビ等の高次捕食者が適正量存在するバランスの生態系が形成されている。つまり食物連鎖の中で窒素やリンといった栄養塩類が植物プランクトンの形でなく大型捕食者（魚類・エビ）の形となって存在している。湖全体がこのような生態系に変化すれば栄養塩類が生物量を規定しているので、植物プランクトン量は減少すると考えられる。このように人工浮島は水質浄化にも役立ち、これは生態系の改善による水質浄化である、と考察した。

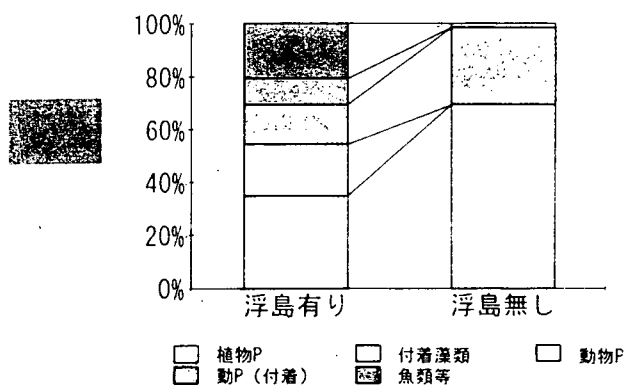


図 1 3 浮島の生態系構造

霞ヶ浦の土浦港に設置された人工浮島によって、スポンジ基盤上にも水生植物が十分育つことが明らかになった。また人工浮島は魚類やテナガエビ等の良好なハビタットとなっていることが分かった。水質浄化効果としては従来から言われている水生植物による栄養塩の吸収の他に、生態系の構造を変えることによりアオコ等の大量発生抑制機能があることが示された。

今後の人工浮島研究の課題としては、水質浄化機能の定量化、よりよい植生基盤材料の開発、生物種に応じた生息空間の創造、霞ヶ浦で減少している沈水・浮葉植物に対応した人工浮島の制作、

人工浮島と他の浄化方法の組み合わせによる浄化、河口域での使用等がある。

現在、人工浮島は水辺の環境保全技術として注目され、国内各地はもとより、米国、中国、ドイツのいろいろな箇所で施工されようとしている。今後の研究によって、その効果を定量的に明らかにしていく必要がある。

3. 2 コンパクトウエットランド

3. 2. 1 基本的考え方

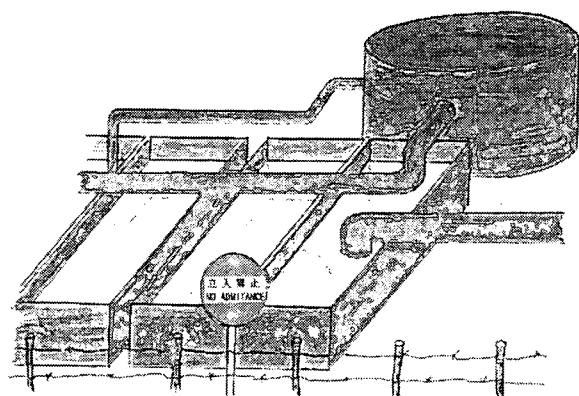
ウエットランド（湿地）を用いた河川浄化プロセスは、自然環境を維持しつつ、水質を浄化できる利点がある。このため、米国や欧州を中心として開発が進められ、実施設が多く稼働している。日本においても渡良瀬川流域で大規模なウエットランドの検討が進められている。しかし、従来のウエットランドは礫間接触法や接触酸化法などの河川浄化プロセスと比較して単位面積当たりの浄化能力が小さいため、必要面積が大きくなる課題がある。したがって、従来のウエットランドのままでは国土の狭い日本での適応範囲が限られてくると思われる。特に汚濁が進んだ市街地の中小河川への適応は困難である。

一方、従来の接触酸化法などのプロセスは、ウエットランドと比較して水質浄化機能が優れているものの、景観上の課題があり、また水辺生態系の維持を積極的に図るものではない。また浄化プロセスから発生する汚泥処理などの維持管理に課題が残されている。

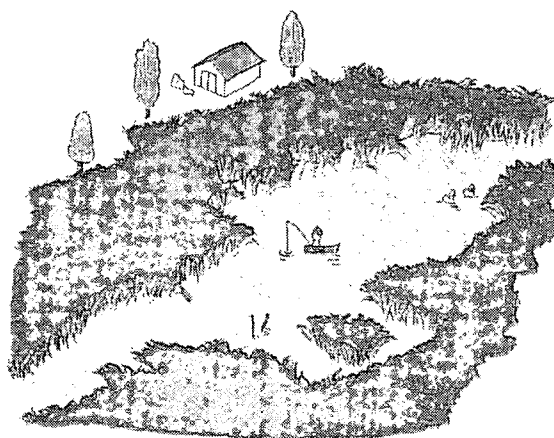
このような背景のもと、水辺生態系の維持を積極的に図れるウエットランドを日本に広めるためには、ウエットランドのコンパクト化が必須と考えられる。そこで、土木研究所は、汚濁が進んだ河川に対しては、まず高効率前処理設備によって前処理を行い、その後、ウエットランドを設置すれば必要面積を格段に削減できると考えた。さらにウエットランド自体も構造や充填材の工夫により、省面積が図れると思われる。この新しい「コンパクトウエットランド」のプロセスを用いれば、市街地の汚濁が進んだ中小河川に対しても適用が容易となる可能性が大きい（図14）。

今回の研究においては、各種のコンパクトウエットランドを用いた、新しい河川浄化プロセスを提案し、これらの開発を行うことを目指している。

□従来の浄化システム(Usual Treatment System)



□従来のウェットランドシステム (Usual Wetland System)



□コンパクトウェットランドシステム(Compact Wetland System)

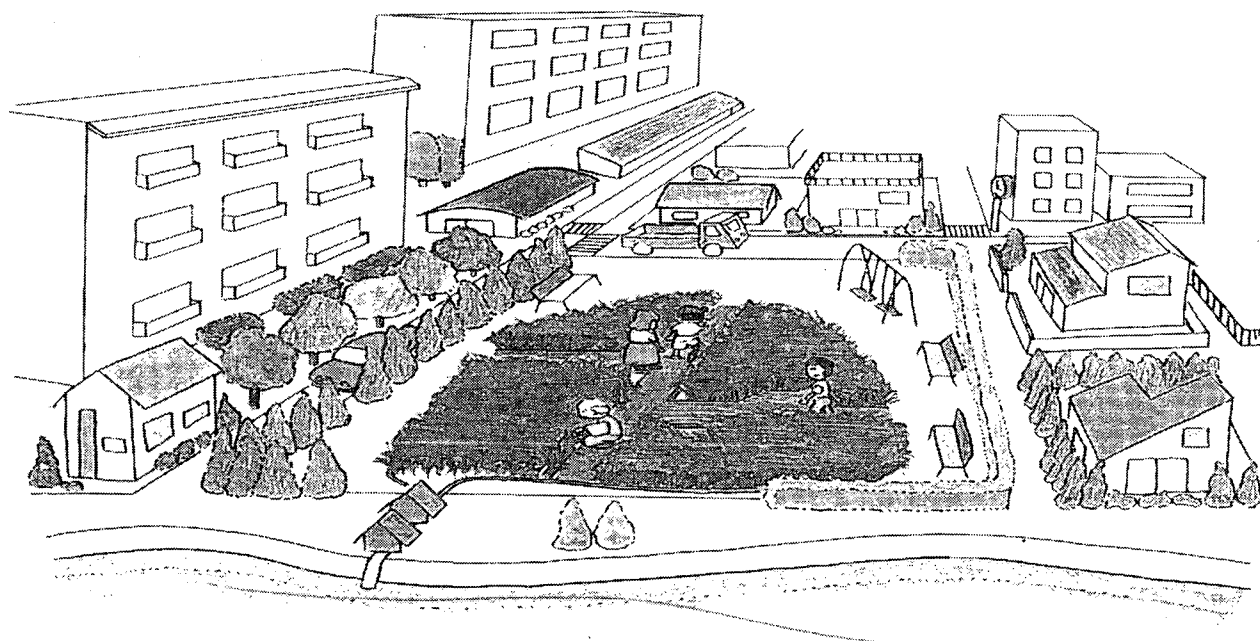


図 1 4 コンパクトウェットランド概念図

3. 2. 2 基本処理プロセス

今回開発する基本処理プロセスを図15に示す。このプロセスの目的としている特徴は以下のとおりである。

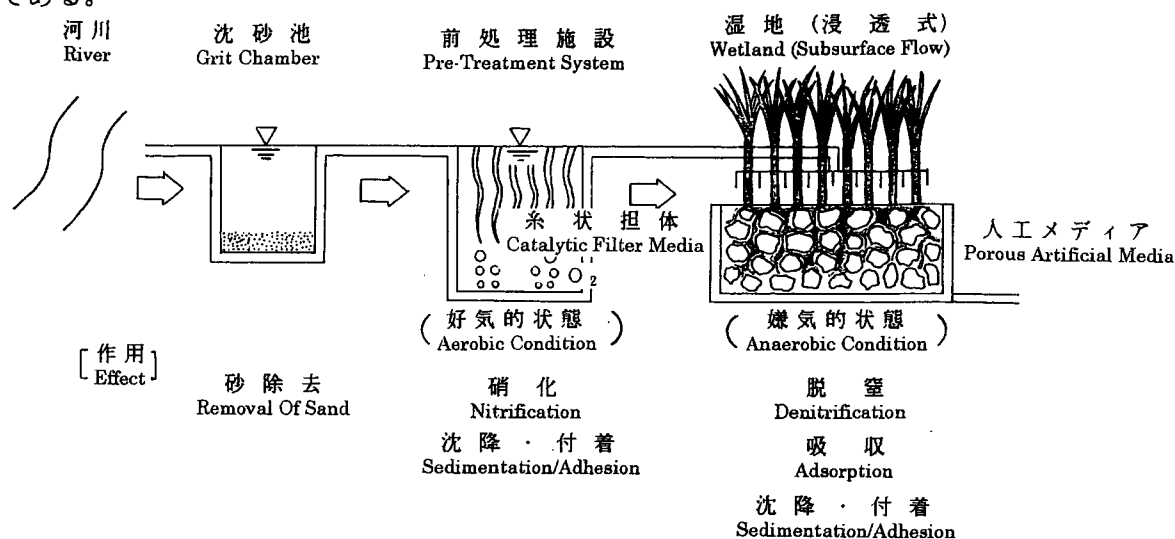


図15 河川浄化基本処理プロセス

- ・従来のウェットランドと比較して必要面積を格段に削減できる。
- ・有機性余剰汚泥の処理を本プロセス内で行えるので、新たに余剰汚泥処理設備を設ける必要がない。
- ・BODだけでなく、Nの除去も期待できる（浸透流方式）。
- ・鉄系吸着剤の利用などによってPの除去も可能である。

3. 2. 3 個別開発プロセス

1) コンパクトウェットランド

3種類（以下の①、②、③）の新しいコンパクトウェットランドの開発を行い、従来法（④）との比較実験を実施する。

- ①縦型・浸透流・礫タイプ：礫を充填し、流下方向を縦流れにしたウェットランド
- ②縦型・浸透流・人工メディアタイプ：人工メディアを充填し、流下方向を縦流れにしたウェットランド
- ③干潟タイプ：間欠流入により、DO供給を増加させたウェットランド
- ④表面流タイプ：従来のウェットランド（比較用）

2) 前処理設備

各コンパクトウェットランドに適した2種類（以下のa、b）の前処理施設の開発を行う。

- a. 余剰汚泥分散型リアクター：浸透流・表面流のタイプ（上記の①、②、④）に適用。
- b. 余剰汚泥濃縮型リアクター：干潟のタイプ（上記の③）に適用。

* いずれのリアクターにも糸状生物単体を充填し、除去の効率化を図る。

現在、コンパクトウェットランドについては以上のような枠組みで開発中であり、今後、その結果を発表していく予定である。

4. 評価の手法・視点

評価手法及び評価の視点に関する研究から、事例を紹介する。

4. 1 評価手法

環境に対する国民の意識が高まっており、環境に配慮した社会資本整備が求められている一方、建設コストの縮減が社会的要請として大きく取り上げられており、環境に負荷をできるだけ与えない社会資本を合理的な投資で整備することが求められている。

このような要請に応えるアプローチには各種あるが、本項では、その中から、経済評価と感性評価に関わる手法を取り上げる。

4. 1. 1 経済評価

環境に負荷を与えることに対して国民がどの程度の費用（負の価値）を認めているのか、あるいは、住環境を良くする事業に対してどの程度の価値を認めているかを直接に、あるいは、間接に明らかにする手法がある。これらの手法は、住民が認めている価値を金銭化値で表現することにより誰にでも分かりやすい評価となり、事業の意思決定の透明性を高めるものとなる。

環境のように、市場のないもの（非市場財）の価値を計測する手法には、①生産関数による手法、②代替市場による手法、③意識調査による手法、がある。

具体的にはCVM（Contingent Valuation Method: 仮想金銭化法）、HTCM（Hedonic Travel Cost Method: ヘドニック・トラベル・コスト法）など各種の評価手法があるが、このうちCVMを用いて幾つかの非市場財の評価を行ったので、その事例を紹介する。CVMは、非市場財の価値を人々の意識から直接に評価する手法の一つである

1) (事例) 道路の環境施設帯設置の価値に関する調査

道路に環境施設帯を設置することに対してどの程度の価値を認めているかをCVMを用いて調査した。本調査のねらいの一つは、整備の便益評価の局地性が表現できるかを検証することであり、調査結果は、便益評価の局地性を表現することができる可能性を示している。その結果、環境施設帯整備に対する最大支払意志額は、一戸建て及び分譲マンションの場合、平均で25万円から30万円程度、賃貸住宅は、月額2.4千円の家賃上昇まで許容するという結果を得た。また、評価便益の局地性については、整備道路から1,600m程度の距離まで及ぶ結果が得られた。

2) (事例) 湖沼周辺の整備の価値に関する調査

本調査では、ダム湖畔を利用した公園においてより高いレベルの環境の創造がどれほどの便益をもたらすものであるかをDC-CVM（Dichotomous Choice Contingent Valuation Method: 二分仮想金銭化法）を用いて計測した。本調査では、整備の便益を入場料の値上げに対する許容度を用いて調査した。その結果、1,305円（95%信頼区間 800円～2,517円）という数値を得た。本調査を分析したところ、以下のことが判明した。

- ① 負担方法について税金が高くなるとした質問を用いたところ、支払いの感覚が明確でなく、負担金額に対する感度は鈍い。
- ② 被験者が評価の対象となった公園を知っている、あるいは、行ったことのあるという知識、経験があるグループの方が提示額に対する感度は高い。

4. 1. 2 感性の計測・評価

「ゆたか」で「うるおいのある」まちづくりには、快適性、人間性という視点が必要であり、この分野は、人の感性が密接に関わってくる分野である。このため、これからの社会資本整備に欠かすことのできない「人の感性」を計測・評価する手法の開発が必要になっている。そのため土木研究所で行っている、感性評価に関する研究の事例を紹介する。

（事例）歩行者空間に対する嗜好感性に関する調査

人の感性を計測・評価する手法として、アンケートによる調査手法と、脳波等の身体の反応を計測する手法がある。このうちアンケートによる調査手法の一つにV I（Visual Image：ビジュアルイメージ）による手法がある。

本調査は、このうちV Iによる手法を用いて歩行者空間に対する嗜好感性を計測したものである。すなわち、被験者に提示するV Iのうち好きなものと嫌いなものをそれぞれ2つ選択してもらい、さまざまなV Iに対する嗜好から、被験者の分類を行うとともに、各グループの嗜好を明らかにした（テイスト・クラスター分析）。

その結果、被験者は8つのクラスターに分類された。また、「好きな歩道景観」として持つイメージは、自然回帰的でリラックスしたものであることが明らかになった。

4. 2 評価の視点

評価にあたっては、従来の先入観にとらわれずに、現実感覚をもって、人の心理面や、生態学的な視点を導入することが必要である。例えば、人が抱く自然景観とはどのようなものなのだろうか、トリは人との距離をどう感じているのだろうか。これらの視点は、「人と自然の共生」という言葉を具体化する上で重要な鍵となるテーマである。このような問題意識から取り組んでいる研究の事例について述べる。

4. 2. 1 （事例）河川の自然景観に関する調査（阿賀野川）

近年、自然景観の形成に関心が高まっているが、目標とすべき自然景観の考え方が確立しておらず、具体的な自然環境の整備へ反映できるほどの知見は得られていない。これには、自然に対する各人の認識に相違があること、また、生態学的にみた「自然度」と人々が判断する「自然性」の評価が相違すること、「自然性」の評価と景観の観点からみた「美しさ」は異なることが考えられる。

自然景観の考え方は、自然環境を整備していく上で早急に確立すべき重要な課題である。特に河川については水、砂礫、地形、植物、動物等の自然物が主たる景観構成要素であり、しかも洪水等による攪乱により常に変化しているため、自然景観の評価の考え方を確立する必要性は高い。

このような認識から、本調査では阿賀野川をモデルに景観評価実験を行い、自然景観についての考え方を考察した。

1) 高水敷の「自然性」と「美しさ」の関係

「河川の自然景観に関する調査」の全体については文献（皆川・島谷、1996）を参照することとして、ここではその中から説明上必要な部分のみを紹介しよう。

調査は、SD法による景観評価実験等をもとに行った。SD法による景観評価実験は、阿賀野川をモデルに、高水敷の状況の異なるスライド25枚を被験者（阿賀野川沿川の住民20名）に示

し、表6に示す評価項目について回答してもらった。なお、スライドは堤外地側の河道内を対象に撮影した秋（10月）の景観で、視点場は堤防であり、そのため高水敷のスライドに占める割合が大きくなっている。

被験者による回答結果については、地点ごと、及び評価項目ごとに平均値を計算した。景観全体の「自然性」に対する評価と、評価項目すなわち表5の12)～21)の相関関係を分析した結果、このスライドによる評価実験では、景観全体の「自然性」は、高水敷の「自然性」と相関関係が高く（ $r=0.82$ ）、その他の評価項目では低いことがわかった。これには、スライドに占める高水敷の割合が大きいこと、「自然性」の評価が高水敷の自然物である植生を対象になされていること、などが影響していると考えられる。なお、「自然性」があるとは、「評価項目の「自然的－人工的」に関わる回答の平均値が3以上ある」ことを示している。

		5	4	3	2	1*
景観全体	1) 良い					－悪い
	2) 自然的					－人工的
	3) 雄大な					－こじんまりとした
	4) まとまりがある					－まとまりがない
	5) 変化がある					－変化に乏しい
	6) 奥行きがある					－奥行きがある
	7) 好き					－嫌い
	8) 風情がある					－平凡な
	9) 鮮やかな					－ない
	10) 安らぎがある					－ない
	11) 潤いがある					－ない
水面	12) 水面が広い					－狭い
	13) 水がきれい					－きたない
	14) 流れを感じる					－感じない
	15) 水が豊富					－少ない
高水敷	16) 自然的					－人工的
	17) ごちゃごちゃ					－すっきりした
	18) 美しい					－美しくない
対岸	19) 護岸が目立つ					－目立たない
	20) 水際が自然的					－人工的

*) 1. そう思う、 2. ややそう思う、 3. どちらでもない
4. ややそう思う、 5. そう思う

表5 評価項目

以上の結果を受けて焦点を高水敷に絞って分析をした。また高水敷の状況は、表7に示すA～Fの6つに区分した。そのうちA、B、C、Dを代表するスライド（写真2、3、4、5、6）を示す。なお同じ「自然植生」（A）の区分であっても、「高茎草本（オギ、ヨシ、ススキ等）が一面または群落を形成しているもの」（A-1）と、「草本と木本が混在しているもの」（A-2）に区分されることが分かった。さらに「草本と木本が混在しているもの」（A-2）は、「高水敷のみかけの面積が小さいもの」（A-2a）と「高水敷のみかけの面積が大きいもの」（A-2b）に細区分された。また、ここでは「自然植生」（A）を、生態学的にみた「自然度」が高いものと見なすこととしている。

区 分	状 況	サンプル数
A「自然植生」	人が植えていない草本や木本などの植生により構成される。	8
B「手入れされた植生」	主に刈り取られた植生や芝生等で構成される。	3
C「耕地」	畑や水田により構成される。	6
D「公園的整備」	ゲートボール場や手入れされた公園木が植栽され、公園的整備がなされている。	2
E「砂利置場」	砂利採取場で、砂利山が置かれている。	2
F「その他」	高水敷はない。	4

表6 高水敷の状況の分類



写真2 A - 1、No. 1 (図16の番号と一致)、「自然性」評価値4.1、「美しさ」評価値3.8



写真3 A - 2b、No. 2 (図16の番号と一致)、「自然性」評価値4.1、「美しさ」評価値2.1

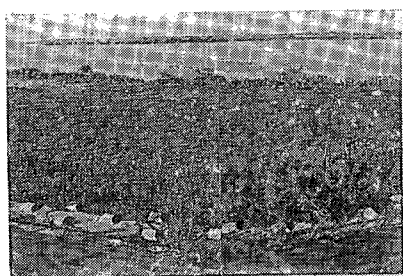


写真4 B、No. 3 (図16の番号と一致)

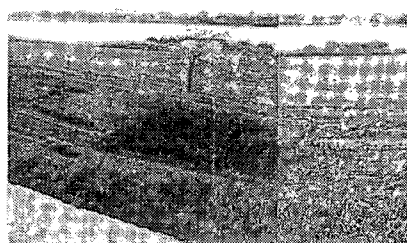


写真5 C、No. 4 (図16の番号と一致)

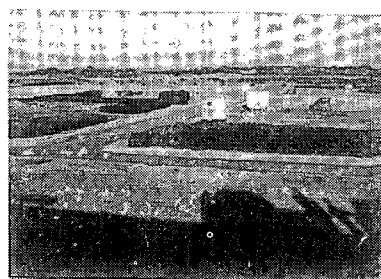


写真6 D、No. 5 (図16の番号と一致)

高水敷の「自然性」と「美しさ」の関係 ($r=0.16$) を図 1 6 に示す。以下のことが読みとれる。

- ・ 非常に「美しい」と思われているスライドのサンプルはない。
- ・ 「自然植生」(A) の「美しさ」のばらつきが大きい。「高茎草本(オギ、ヨシ、ススキ等)が一面または群落を形成しているもの」(A-1) については「美しさ」の評価はややよく、ばらつきは小さい。一方、「草本と木本が混在しているもの」(A-2) の評価はよくなく、またばらつきも大きい。
- ・ 「手入れされた植生」(B) は「高茎草本が一面または群落を形成しているもの」(A-1) と「美しさ」の評価値が同程度である。

以上をまとめると、人は「自然性」の高い「自然植生」のうち、ヨシ、オギ、ススキ等が広がる高水敷を「美しい」と思い、草本や木本が混在している高水敷は「美しい」と思わない。また、人為が加えられた「手入れされた植生」の高水敷は、ヨシ、オギ、ススキ等が広がるものと同程度に「美しい」と思われている。ここで着目すべき点は、生態学的にみた「自然度」の高さと人間の自然景観の嗜好性には乖離がある場合があるということである。

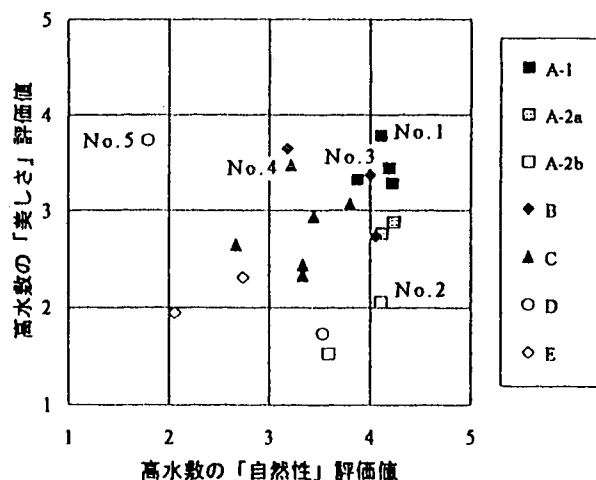


図 1 6 「自然性」と「美しさ」の関係

2) 環境的景観評価に向けて

河川の自然景観の形成に向けて、自然環境を整備していく上で、このような乖離をどう考えるべきか、考察する。

まず、河川本来の自然植生についての考え方を述べておこう。一般に、植生は裸地ができると、一年生草本→多年生草本→陽樹→陰樹へと遷移する。しかし河川の植生は、洪水や増水等による植生の破壊とそれに起因する遷移の速やかな進行を繰り返しながら、全体としては大きな変化のない動的平衡状態にあるという特徴を有している。このように河川特有の環境条件に適応して生育している自然植生は、河川の上流、中流、下流で成立している植物群落が異なり、さらに冠水のしやすさによって、低水敷は「不安定地帯」、高水敷は「半安定地帯」、堤防は「安定地帯」に区分される。

生態学的にみた河川の「自然植生」と人間側の要求とが乖離している場合、つまり景観的によくない（「美しい」と思われない）植生をどう考えるかは、その成立により分けて考える必要がある。すなわち現在の河川景観が成立している背景として、①置かれている環境の条件下での本来の自然植生の姿、すなわち人為的な攪乱がない遷移の過程の中で成立しているものと、②帰化植物やツル性植物が繁茂するなど生態学的に好ましくない、人為的な攪乱により影響を受けて成立しているもの、の2ケースに分けることができるが、各ケースについての考え方は以下の如くである。

①人為的な攪乱がない遷移の過程の中で成立しているもの

「自然植性」である限り、これを無視した人間側からの要求だけで、景観評価し、改変することは好ましいのだろうか。この場合、人間側が本来の自然を理解し、歩み寄る態度が必要になる。本来の自然を理解し、美意識の変換を図る態度が必要である。本来の自然を理解するため環境教育が必要となる。

②人為的な攪乱により影響を受けて成立しているもの

この場合、本来の自然ではないため、人為的な攪乱の機会を少なくし、雑然とした状態を少なくすることや、帰化植物の進入の機会を与えないことが考えられる。

以上のように、これからの景観評価の軸には、生態学的な知見を加味した新しい環境的評価（環境的景観評価）の確立が重要になると考察した。

4. 2. 2 （事例）人とトリの距離からみた共生の考え方に関する調査（小貝川・多摩川）

1）調査概要

（1）目的

本調査は、都市域と農村域を流れる河川を対象として、人とトリの距離の測定・比較を行い、日本の都市域全体に生じていると予想される問題意識のテーマである「人間と鳥類の共生関係」について、再考することを目的とした。

（2）調査方法

距離の測定にはノンプリズム型レーザー測距儀（Laser Ace）を使用し、0.1m 単位で記録した。このレーザー測距儀を用いて、小貝川（現地調査：1993 年）、多摩川（現地調査：1994 年）で、繁殖期と越冬期に逃避距離（人が近づいて逃げ出す人と鳥の間隔）を測定し、比較した。

（3）調査結果

小貝川では 50 種、1,916 サンプルが、多摩川では 63 種、5,041 サンプルが得られた。

多摩川と小貝川における逃避距離の比率について見てみると、多摩川の結果は、小貝川に比べて平均的に約 50～70 %に短縮されていることが分かった。特に、河川や水辺に関わりが深いコサギ、カルガモ、コチドリや、都市との関わりが深いキジバト、ハシブトガラスの距離の平均値は約 45 %と低くなっていた。

過去の文献を調べてみると、多摩川では 1976 年頃に、11 種の鳥類を対象に、ここでの逃避距離に該当する「飛び立ち距離」を測定した 527 サンプルを、10m きざみの頻度分布としてまとめたデータがある（市田、1977）。このデータと今回調査のデータを比較してみると、今回調査では、カルガモを除いた大型の鳥類（例：コサギ、コガモ、ヒドリガモ、オナガガモ）については 30～

60 %と大幅に縮小されていた。また、この約 20 年間で、ほとんどの鳥類で逃避距離が著しく短縮されていることが分かった。

(4) まとめ

以上に示された逃避距離の短縮の理由を考えてみよう。多摩川の鳥類は、おそらく自らの周辺を「危険ではない人間」が多く存在することに馴れているために、狩猟圧があり「危険な人間」が多い小貝川よりも、人間の接近をより許すようになることを示している。また、経時的な距離の短縮は、人間が鳥類に対する「危害を加えない」態度を経年的に維持し続けることによって、鳥類は人間の接近を許すようになった結果と考えることができる。このような人間密集地である都市への適応や馴化の傾向は、鳥類にとって都市が必ずしも生息しにくい側面ではなく、その逆の側面ももっていると推測できる。

2) 人間と鳥類の共生関係

これらの結果から、「人間と鳥類の共生関係」をめぐる3ケースが考えられる。これらのうち、①は考え方として存在し得るが課題が残るケース、②は基本的な考え方として望ましいケース、③は存在してはならないケースである。

①人間への依存関係（鳥類が人間への依存度を高める関係）

給餌等によって、鳥類の、人間への依存度を高める関係で、東京都台東区の不忍の池などが例として挙げられる。この関係は、採餌という鳥類にとって生存していく上で重要な行動に人間が関与することによって、人間と鳥類との結びつきを強くし、人間と鳥類の距離をほぼ 0m に近づけることができる。しかし人間との距離が短くなることに起因して、一部の心ない人間によって鳥類に危害が加えられることもあるだろう。また、「自然状態での棲み分けが成立できなくなり、かわって単純な種間の優劣関係が各種の生活に影響している」（矢作ら、¹⁹⁹¹）状態となり、「野生」を消失してしまうといえる。このほか、鳥類の高過密生息地となるため、周辺への糞害などによる水質、土壌の富栄養化や鳴き声等による騒音等の問題点も多い。

②共存関係（関係を現状維持し、かつ、その距離を縮めていく関係）

人間と鳥類との関係を現状維持し、鳥類の適応力・馴化等により、すなわち、ゆっくりとその距離を縮めていく関係である。人間は鳥類に対して危害を加えない代わりに、鳥類の生息・生存は、鳥類自身の能力に任せる。

しかし、ハビタットが豊富に存在する農村域などと異なり、生息域が少ない都市域においては、人間と鳥類の共存関係を考える限り、人間が鳥類に対して何も与えないわけにはいかないだろう。したがって都市域では、人間生活に影響を与えない限り、都市を選んだ鳥類のためにできる限り現存の生息環境を保全し、生息地を失った鳥類のために必要な空間を創造する。つまり都市では人間と鳥類の両方から歩み寄る関係が必要とされており、これがわが国の都市域におけるビオトープ計画における基本理念といえる。

③生物的相互関係の無視

人間は鳥類に対して何も与えず、「自然」な状態で放置しておくだけでなく、鳥類

そのものの存在を一切無視する関係である。この関係は生物が常に相互関係をもつ「自然」では存在しない関係であり、都市という人間が創造した環境においてのみ考えられる関係であるといえる。

しかし、生物の保全を目的とした保全生物学や生態系そのものの保全を目的とした保全生態学等の新たな学問も生まれており、自然保護や環境保全の理念も普及しつつある。このような時代においては、鳥類のみならず、人間と生物との相互関係を無視した計画は存在してはならないものとする。

本調査は、自然とは縁遠いと考えられやすい都市においても、人間と自然とは完全に切り離されたものではなく、常に接点をつなぐ方法が存在していることを示したものとしよう。

5. 面的計画に関する研究

国土という空間は、点的・線的のみならず面的に捉えられるものである。その意味で、生態系保全に配慮した国土建設を考えるにあたっては、次の事項を指摘することができる。

- ① ビオトープをコリドー（corridor：回廊）の空間により網目状に結び、ビオトープネットワークの形成を図ることが重要である。多くの動物は、一生の間同じ場所で生活するわけではなく、休息・採餌・繁殖等のためにさまざまなビオトープを渡り歩くものも多い。時には数10kmも移動するものがある。植物でも種子が飛んだり、移動する動物に運ばれて別の場所で生育するようになるものがある。生物が移動できるためにはビオトープが移動に適したコリドーで結ばれてビオトープネットワークが形成されていることが必要である。

ネットワークは、そのネットワークが形成されるうえでの基盤となっている、広域的な面的空間のなかで存在しているものと把握できる。

- ② 住民の自主性・主体性のある地域づくりの重要性が指摘され、合意形成や住民参加の必要性がいわれるようになってから久しい。この文脈の中で、地域の関係者の共通認識となるような全体計画の立案が必要とされてくるわけであるが、現実には、その手法が十分に確立されているとは言い難い。参加意識に育まれた、親しみのある、きめ細かい地域づくりを実現するには、地域を総合的に面的空間と捉えて、関係者の共通認識に基づいて議論し計画されていくような、地域レベルでの計画手法を一層探求していく必要がある。

このような認識のもと、本項では面的空間を対象として、広域的な国土レベル、及び身近な地域レベルの各計画に関連する研究について概要を述べる。

5. 1 国土レベルの計画

5. 1. 1 生態系ネットワーク

生物多様性の低下が地球環境問題の一つとしてクローズアップされている今日、景観生態学や保全生物学の分野において、ハビタットの分断化（habitat fragmentation）は、環境をめぐる問題点を指摘する上でのキーワードの一つになっている。ハビタットの分断化は、森林や湿原といった動植物の生息・生育環境となるパッチの小規模化、パッチ相互の連結性の低下等により、種の移動や

分散の阻害がおき、またパッチ内部を利用する種数の減少をもたらす。この問題の解決策として考えられたのが生態系ネットワークの構築である。生態系ネットワーク計画（ecological network planning）とは、動植物の生息環境（ハビタット・habitat あるいはビオトープ・biotope と呼ばれる）の分断化を防ぎ、生態系の水平的なつながりを回復させて、生物多様性の保全を図るためのランドスケープ計画である。

5. 1. 2 （事例）国土生態系ネットワーク（オランダ）

ハビタット分断化の影響に対して、早くから認識が進んだヨーロッパ諸国では、生態系ネットワーク計画の立案や実施が盛んである。なかでもオランダはもっとも体系だった計画を立案し、これを着実に実行に移している点で注目される。オランダは高密度な土地利用と交通網整備が進んだ国であり、1970 年代以降、多くの種の地域個体群が分断化の影響により消滅した。1980 年代後半に入ると絶滅危惧種の分布データ等に基づいて、分断化を防ぎ逆にハビタットの積極的なネットワーク化を図っていこうとする気運が高まり、1990 年に国の政策として自然政策計画（Nature Policy Plan = NPP）が策定され、その中核となる計画として国土生態系ネットワーク（National Ecological Network = NEN）が策定された。

NEN は、コアエリア、自然創出区域、生態的回廊、緩衝帯の4つの要素から構成され、これらは生態的主要構造（ecological main structure = EMS）と呼ばれている（表7）。NEN 計画図は EMS の配置を概観でき、かつ詳細もある程度つかめるよう、縮尺 1 / 250,000 で描かれている（図 17）。

表7 生態的主要構造

生態的主要構造 ecological main structure	内 容
コアエリア core area	生物の重要な生育・生息地としての機能を持つまとまった広さをもつ森林、砂丘、湿地（湖沼、干潟、浅い海面などを含む）。面積500ha が指定の最低面積とされる。
自然創出区域 nature development area	人為的な造成によって土地（水面も含む）の生態的な機能を高める行為は自然創出と呼ばれ、その潜在的可能性がある土地が自然創出区域に指定される。主として貧栄養湿地、湿性林を造成するのに適した土地が選定され、湿地や森林の造成が行われる。
生態的回廊 ecological corridor	コアエリア内部あるいはコアエリア間で動物が餌の採取、繁殖、季節的移動のために通行する線状・帯状のランドスケープエレメント。生垣、道路のり面、水路、堤防などが生態的回廊になる。
緩衝帯 buffer zone	コアエリアや自然創出区域に外部から直接的な人為的影響が及ぶのを防ぐため目的で設定される帯状の土地。

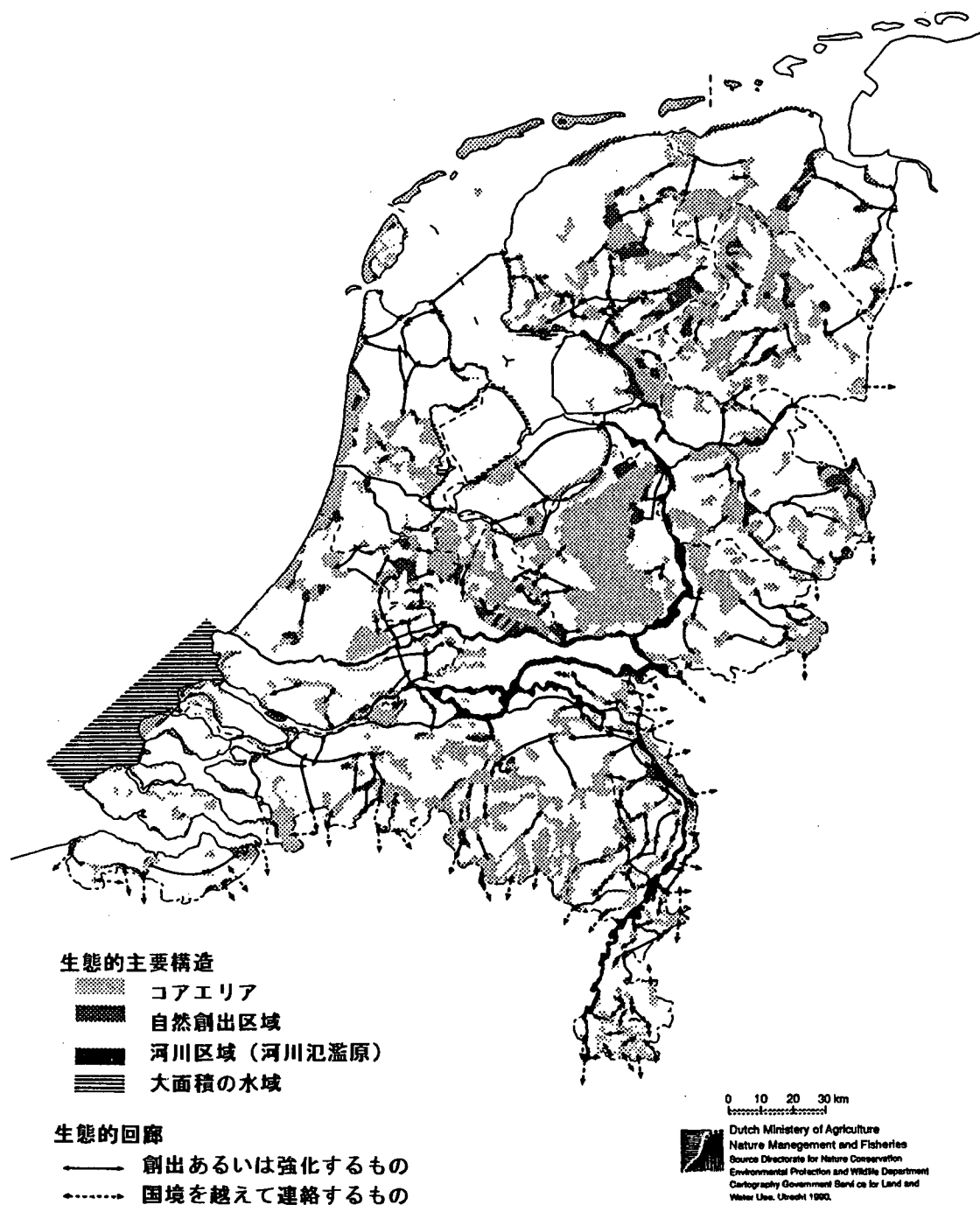


図 1 7 オランダの国土生態系ネットワーク計画図

[注] 本図にはコアエリア、自然創出区域、河川区域、北海の海水面で生態的価値が高いものが示されており、緩衝帯は表示されていない。生態的回廊のうち破線矢印は、国境を越えてドイツ、ベルギーと連絡するものを表している。

(原図：オランダ農業・自然管理・漁業省、1990)

NEN の実現目途は 2020 年で、この年を目指した数値目標が示されている。目標基準年は NPP と NEN が策定された 1990 年で、幹線道路と生態系ネットワークが交差するボトルネックについては、2000 年までに 40 %、2010 年までに 90 %を動物移動路の設置によって解消する。また NEN に関わる土地利用については 66 万 5 千 ha を目標としており、これは国土全体の約 20 %に上る（1990 年時点では約 15 %）。

EMS の配置計画は以下の考え方により決められた。まず、地形・土壌・水環境といった土地的自然要素により国土を 9 地域に区分した「自然地域区分図」と「重要な自然区域図」とのオーバーレイから、各自然地域区分ごとに代表的な生態系（森林、湿地、種の多様性が高い草地、砂丘地等）が選出され、コアエリアの候補地とされた。コアエリアの最低面積は、保護上重要な動植物の個体群を維持するのに最低限必要な 500ha とされた。コアエリアの面積は個体群維持に最低限のものであるため、コアエリアに隣接して自然創出区域を配置しハビタット全体の面積を広げたり、2 つ以上のコアエリアの間に自然創出区域を挿入することによりその相互を連絡する配置方針が採られた。コアエリア相互の距離が離れている場合には、その間に生態的回廊が配された。

EMS に必要な土地は、国公有地であることを要件とせず、地域性で指定される。また、ネットワークに指定された地域では、土地の生態系的な価値を維持したり高めたりすることが義務づけられるが、必ずしも土地利用目的が自然保護専用になるわけではない。農業・林業等の生産機能、水路・運河等の交通機能やレクリエーション利用機能、あるいは国防上の機能を存続させながら生態的機能を重合させることが、NEN の特徴である。

国家的事業である NEN を実現するためには、十分な予算の裏付けと、効率的な実施体制が必要である。計画実現に対して議会は積極的で、計画実施予算として毎年 155 万ギルダー（日本円で約 93 億円）を支出することを 1990 年に承認した。

NEN の中央政府における主務官庁は農業・自然管理・漁業省で、同省は計画推進全体の調整のほか、①コアエリアに対する自然保護法の系統だった適用、②コアエリアと自然創出区域の土地取得、③農業と自然保護の共存を図る土地の倍増、④環境 NGO に対する継続的な財政援助、⑤ NEN 区域への国立公園の拡張、等を受け持っている。

NEN を実現するためには各種の公共事業が実施されている。生態系ネットワークの形成に資する施設は生態的インフラストラクチャー（ecological infrastructure）と呼ばれ、道路、鉄道、運河等の建設や改良と関連づけて整備されることが多い。

5. 2 地域レベルの計画

5. 2. 1 （事例）州レベルの計画（オランダ・ユトレヒト州）

オランダには 12 の州があり、州においても NEN を上位計画としてより詳細な生態系ネットワーク計画が立案されはじめている。ここでは、州レベルの計画としてもっとも進んでいるユトレヒト州を取り上げ、その計画プロセスと実施体制について述べる。

ユトレヒト州域の生態系ネットワーク計画は、まず 1990 年にオランダ農業・自然管理・漁業省によって国土生態系ネットワーク計画（NEN）の一部として示された。州政府はこれを受けて 1992 年に州自然・ランドスケープ政策計画（Beleidesplan Natuur en Landschap provincie

Utrecht=BNLU)及び水管理計画(Waterhuishoudingsplan provincie Utrecht)を作成し、さらにその具体化を図るために 1993 年に州生態的回廊基本計画(Werkdocument, Ecologische Verbindingszones provincie Utrecht)を立案した(図 1 8)。同回廊基本計画を基にその立案プロセスをフローチャートの形にまとめたのが図 1 9 である。

このうち、B～Eは純粋に生態系学的な側面からの計画検討プロセスと見る事ができる。これに対し、F～Hはガイド種という考え方を導入することによって、現実的な空間計画との対応に配慮しており、インフラストラクチャー整備計画との整合を図るプロセスと見る事ができる。

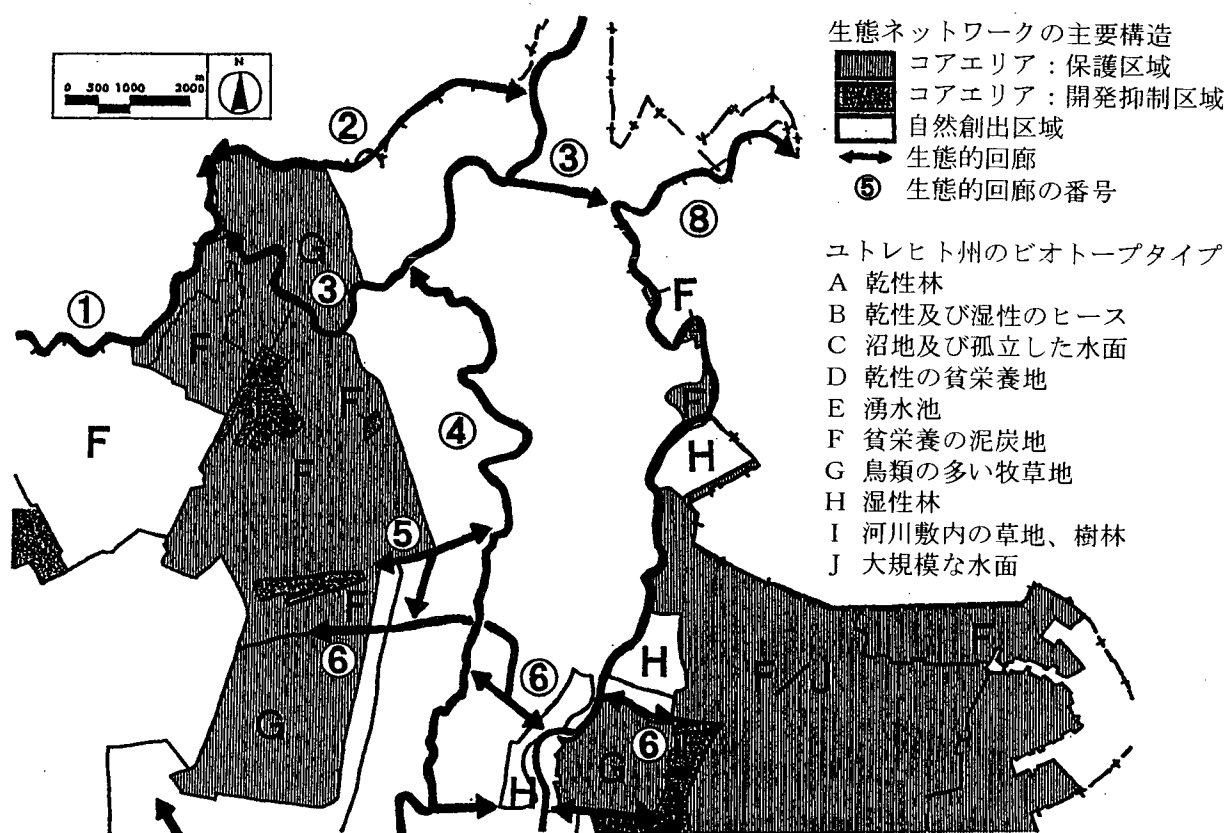


図 1 8 オランダ・ユトレヒト州の生態ネットワーク全体計画図 (部分)

[注] 本図は Province Utrecht (1993): Werkdocument. Ecologische Verbindingszones provincie Utrecht 付図をもとに作成した。

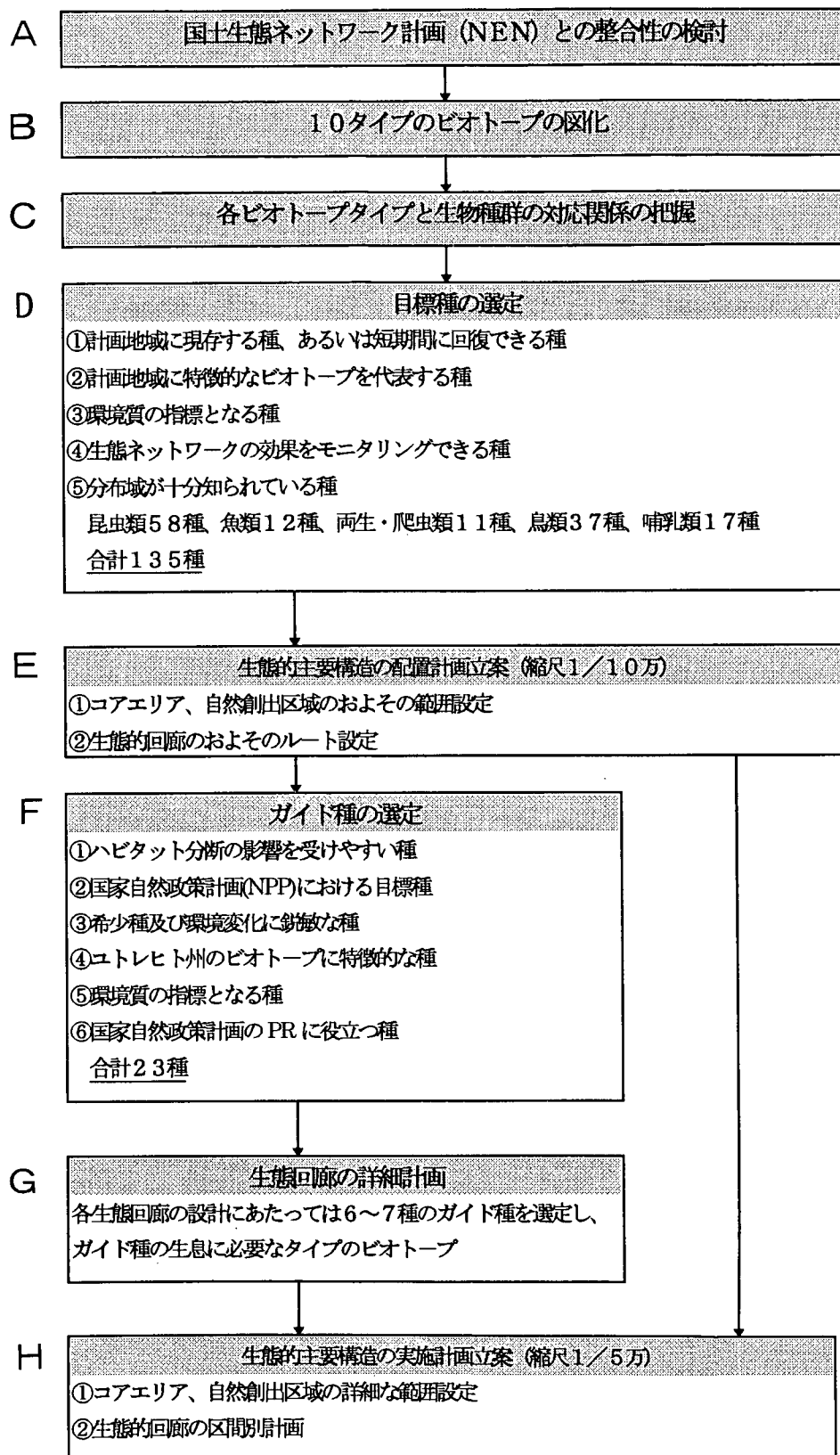


図19 オランダ・ユトレヒト州の生態ネットワーク計画プロセス

5. 2. 2 (事例) 区ないし流域レベルの計画 (東京都杉並区・善福寺川流域)

都市計画レベルで生態ネットワーク計画を立案するには、上記の国土・州レベルでの計画よりもさらに詳細なスケールでの検討が必要である。次に示すのは、東京都杉並区の善福寺川流域において自然が豊かであった時代の生物相とそれを支えていたランドスケープを情動的に復元し、生息環境復元の方針立案の参考にしようという研究例である。

1940 年代初頭の善福寺川流域は、西漸しつつあった東京の都市化の影響がまだそれほど大きくはなく、田園的な環境が色濃く残っていた。また、牧野富太郎 (植物学者) や中西悟道 (野鳥研究者) 等の生物研究者がこの地域をフィールドにしており、生物相が詳しく明らかにされていた。この研究では、当時のランドスケープ (ないし異なる生態系が複合した地理的空間) を、地形図と空中写真から縮尺 1/10,000 で図化し、その変化を地理情報システム (GIS) を用いて分析するとともに、多数の文献からデータベース化した生物リストと照合し、どのようなランドスケープによって当時の生物相が存立していたのかを明らかにしようとした (日置ら、未公表)。

GIS ランドスケープ図と生物種データベースから、次のようなことが明らかになった。

- ① 約半世紀の間に、事例研究地の生物の種多様性は、大きく減少してきた。ただし、種は一方的に減少したのではなく、消滅した種と侵入した種の数差し引きとして減少している。
- ② この間に、研究対象地のランドスケープの多様性も減少した。こちらはほぼ一方的に減少した。

また、種の消長とランドスケープの変化から、次のような因果関係が浮かんできた。

- ① 樹林面積全体が著しく減少し、また個々の樹林面積が小規模化したため、植物や鳥類のうち樹林性のインナースピーシーズ (樹林の内部を生息環境とする種) が消滅した。
- ② 湧水とそれが形成する清流が壊滅したため、清流性の魚類、水生昆虫類が消滅した。
- ③ 水草豊かな池沼がほとんどなくなったため、多様な構造の湿性緑地に依存して生息する鳥類、昆虫類 (特にトンボ類) が消滅した。
- ④ 水田と農業用水路が壊滅したため、昆虫類、魚類、両生類、爬虫類相が貧化、変質した。
- ⑤ 特定の植生・植物 (樹林・草地) が消滅したため、それに依存する昆虫類が消滅した。また、樹林と草地、樹林と水田が隣接した場所が消滅したため、こうした異なる環境の境界部分に依存して生息する種や 2 つ以上のビオトープを利用して生息する種が減少した。

以上のような関係から、生物多様性を回復させるためのランドスケープ計画として、次のような方向性が見えてきた。

- a. 全体の緑被率、特に樹林地率を 25 % 以上に回復させるとともに、大規模な樹林地を数カ所設ける。
- b. 湧水起源の流れまたはこれに類似した環境を復元する。
- c. 多様な構造をもつ湿性緑地 (樹林-抽水植物-浮葉植物-沈水植物) を復元するとともに、コアになる水域の間に飛び石となる小規模な水域を一定の距離以下で設ける。
- d. 素堀りに近い構造の水路と水路で連絡された浅水域を創出する。

e. 草地を復元する。

f. 小規模河川、水路、浅水域、草地、樹林は相互の隣接関係に配慮して配置する。

稠密な市街化が進んだ中で、過去の田園的環境に生育・生息した種群をすべて復活させることは、非常に困難であろう。しかし、本研究のように復元目標となる生物相の全体像を明らかにし、そのうち現実的に可能なものの復活に必要なビオトープとそのネットワークを示すことは、都市環境計画の手法として有効であると考えられる。



諸般で指摘されているように、「人と自然の共生」を目指した、生態系保全に配慮した国土建設を述べる上で、環境の創造・保全をめぐる科学的知見や環境技術は、現段階では、充分と言えるものではない。このような状況の中で、今後の国土建設のあるべき方向性を示すような概念を述べることは危険で困難が伴うものである。しかし、敢えて議論の契機として、また、未来の国土への期待を込めて提案するならば、各種の建設事業のあとに描かれる国土の姿としては、「各種レベルの生態系ネットワークが網の目のように構築された姿」であり、建設事業を行うにあたってはできるだけ国土生態ネットワークの形成に資するような方向を目指すことが望ましいと提案できるのではないだろうか。なお、ここで言う国土生態ネットワークとは、「国土の生態系保全が可能な状態に保たれるような、空間の有機的な繋がり（ネットワーク）」のことである。また、建設という言葉は開発と保全を一体的に捉えた概念を表すものとして用いている。

第Ⅳ章 今後の課題

以上、生態系保全に配慮した国土建設と環境技術に関する研究を中心に述べた。

生態系保全に係る環境技術は、生物を対象とし、地域条件・現場条件と密接に関係することから、予測・評価や定量的な解析の過程には難しさが伴いがちである。最近では応用生態工学など学際的な学問への関心も高まっており、今後とも科学技術的な知見を充実させ、データを蓄積し、技術の浸透と水準の向上を図っていくことが必要である。

土木研究所においては、今後とも環境の創造・保全に関する研究の充実に努めていきたい。

* 土木研究所環境部

(環境計画研究室、地質研究室、河川環境研究室、交通環境研究室、緑化生態研究室)

[引用・参考文献]

浅野文、島谷幸宏 (1996) : ヒトとトリとの距離 - ヒトとトリの共存関係を求めて - 、土木計画学研究論文集、No.13、pp 303 - 312、(社)土木学会。

Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems (1992) : Rivers and Stream、Restoration of Aquatic Ecosystems、pp 165 - 261.

エコロード検討委員会編著、建設省道路局道路環境課・建設省土木研究所環境部監修 (1995) : 自

然との共生をめざす道づくり ―エコロードハンドブッカー、大成出版社。

Forman, R. T. T. (1995) : Land Mosaics, Cambridge University Press.

Harper, D., Smith C., Barham P. and Howell R. (1995) : The Ecological Basis for the Management of the Natural River Environment, The Ecological Basis for River Management (David M. Harper and Alastair J. D. Ferguson ; Eds.), pp 219 - 238, Wiley.

半田真理子(1997) : 環境の保全・創造技術、土木学会誌、Vol.82 July、pp 20 - 21、(社)土木学会。
畑原隆司、並河良治、寺川陽(1997) : C V Mを用いた環境施設帯の経済評価、土木計画学研究・講演集、No.20(2)、pp 57 - 60、(社)土木学会。

日置佳之(1995) : オランダにおける国土生態系ネットワーク計画とその実現戦略に関する研究、ランドスケープ研究、Vol.59 No.5、pp 205 - 208、(社)日本造園学会。

日置佳之(1996) : ビオトープ技術について―立地・空間からの必然性とビオトープ技術の可能性―、平成7年度日本緑化工学会シンポジウム“生き物 共生と緑化工”講演集、pp 23 - 32、日本緑化工学会。

日置佳之、井手佳季子(1997) : オランダの3つの生態ネットワーク計画の比較による計画プロセスの研究、ランドスケープ研究、Vol.60 No.5、pp 501 - 506、(社)日本造園学会。

日置佳之(1997) : 生きもの技術とビオトープ計画、平成9年度日本造園学会全国大会シンポジウム・分科会講演集、pp 25 - 32、(社)日本造園学会。

石田稔、西尾崇 : 自然環境に調和した道路整備 ―エコロード―(1993)、土木技術資料、Vol.35 No.11、pp 51 - 56、(財)土木研究センター。

建設省(1995) : 第回建設省技術研究会論文集・指定課題、pp 16 - 3、平成7年11月、建設省。

建設省(1997) : 平成9年 国土建設の現況、建設省。

建設省土木研究所環境部河川環境研究室(島谷幸宏、萱場祐一、皆川朋子)(1996) : 中小河川改修と河川の自然環境、土木研究所資料第3453号、建設省土木研究所。

小菅敏裕、大西博文、小根山裕之(1997) : 生物のハビタットとしての環境施設帯の利用に関する研究、第34回環境工学研究論文集、pp 121 - 123、(社)土木学会。

小菅敏裕、大西博文、小根山裕之(1997) : 道路を含めたビオトープネットワーク計画の策定手法に関する研究、土木計画学研究・講演集、No.(20)1、pp 383 - 386、(社)土木学会。

皆川朋子、島谷幸宏(1996) : 河川の自然景観の評価に関する研究 - 阿賀野川を事例として、環境システム研究、Vol.24、pp13 - 19、(社)土木学会。

Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries of the Netherlands (1990) : Nature Policy Plan of the Netherlands, Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries of the Netherlands.

水環境創造研究会編著、長尾義三・横内憲久監修(1997) : ミティゲーションと第三の国土空間づくり ―沿岸域環境保障の考え方とキーワード―、共立出版株式会社。

中村圭吾、保持尚志、島谷幸広(1995) : 人工浮島(霞ヶ浦 土浦港)の効果とその生態系、河道の水理と河川環境シンポジウム論文集、pp 155 - 160、土木学会水理委員会・建設省

土木研究所.

- 並河良治、丹羽薫(1996) : ダム湖畔のレクリエーション地区に関する便益の評価、第6回世界湖沼会議論文集、Vol.3、pp 1313 - 1316.
- 並河良治、寺川陽(1997) : 利用者の嗜好感性を考慮した歩道整備のあり方に関する一考察、土木計画学研究・講演集、No.20(2)、pp 49 - 52、(社)土木学会.
- Noss, R.F. (1990) : Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach、Conservation Biology、4、pp 355 - 364、The Society for Conservation Biology and Blackwell Science, Inc.
- 沼田真編(1993) : 生態学辞典、築地書館.
- 大西博文、小根山裕之、小菅敏裕(1997) : 環境施設帯の鳥類による利用、第22回日本道路会議論文集.
- 応用生態工学序説編集委員会編集、廣瀬利雄監修(1997) : 応用生態工学序説 ー生態学と土木工学の融合を目指してー、信山社出版(株) .
- 島谷幸宏(1996) : 多自然型川づくり・16 引地川、FRONT、1996年7月号、(財)リバーフロント整備センター.
- 島谷幸宏(1997) : 多自然型川づくり・22 荒川、FRONT、1997年1月号、(財)リバーフロント整備センター.
- 島谷幸宏、萱場祐一(1997) : 河川の自然環境の保全とその構成、河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、No.3、pp 153 - 158、土木学会水理委員会・建設省土木研究所.
- 島谷幸宏、小栗幸雄、萱場祐一(1994) : 中小河川改修前後の生物生息空間と魚類相の変化、第38回水工学論文集、pp 337 - 344、(社)土木学会.
- 竹林征三編著(1995) : 技術士を目指して(建設部門) 選択科目 第11巻 建設環境、山海堂.
- 竹林征三編著(1995) : 実務者のための建設環境技術、山海堂.
- 田中隆、日置佳之、河野勝(1997) : 建設事業におけるミティゲーションの評価手法、土木技術資料、Vol.39 No.4、pp 26 - 31、(財)土木研究センター.
- 鷺谷いづみ、矢原徹一(1996) : 保全生態学入門、文一総合出版.

都市水環境の保全と下水道の役割

新下水処理研究官 中 村 栄 一

都市水環境の保全と下水道の役割

1. はじめに

昭和30年代後半からの経済社会活動の高度化は、人々に物質的豊かさをもたらした反面、その過程で水、大気、土壌など広範囲にわたる環境の悪化を招いた。公共用水域では広範囲にわたって水質汚濁が生じた。さらに、経済社会活動の中心となった大都市では、都市化による市街地の拡大の影響により浸水問題を抱えるようになった。

当時の水質汚濁は主として工場、事業場、家庭からの排水が原因であり、排水規制と下水道整備により解決が図られてきた。下水道は水質汚濁問題と同時に浸水問題の解決にも効果的である点から事業推進が図られ、下水道整備が推進された。とくに、大都市や地方中核都市では重点的に整備が進められ、排水規制の実施と相まって深刻な水質汚濁問題は解決を見た。また、地域の排水不良が原因となって生じていた浸水問題も軽減化された。このように、わが国の下水道事業は経済社会活動の高度化の時期に本格化し、昭和38年度の第一次下水道整備五箇年計画の開始以降7次にわたる五箇年計画が策定され、整備が図られてきた。この結果、平成7年度末の全国平均普及率は54パーセント、年間約110億トン（毎秒約350トン）の水が下水処理場で処理されるようになった¹⁾。しかしながら、地方都市における下水道整備水準は低く、平成8年度を初年度とする8次五箇年計画が策定され、整備が進められている²⁾。

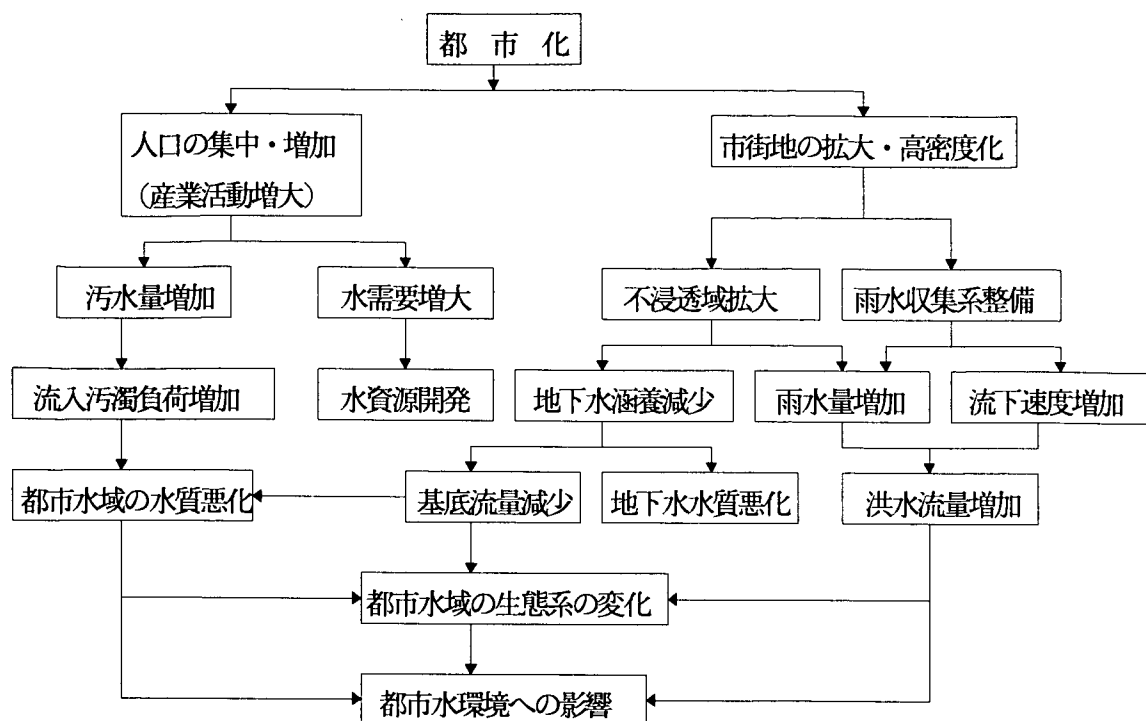
以上のように、水質汚濁問題や浸水問題の解決を通して都市環境、生活環境の改善に果たしてきた下水道の役割は大きい。しかしながら、生活にゆとりを持てるようになった人々が、身近な自然を求めて市内の川や池に来ても、なかなか自然の充足感が得られないという指摘もある。都市水域を水質、水量、および生態系から成る水環境、すなわち都市水環境の視点から見つめると新たな課題が生じていると言える。本稿では、汚水と雨水の収集と処理という下水道機能との関わりから都市水環境の課題を整理し、課題解決のための下水道の取り組みの現状および最近の研究を紹介する。

2. 都市水環境の現状と課題

2.1 都市化による都市水環境への影響

都市水環境を捉える視点は、その水域周辺の土地利用、水域を眺めたり利用する人の年齢などにより変化するが、ある程度普遍的に言えることは水質、水量、生態系の要素から成る水循環システムということができる。都市あるいは河川流域という限定された空間を対象にしている場合には、用語として水環境を用いるか水循環を用いるかに本質的な差異はないと考えられる。

都市水環境は諸々の都市活動により様々な影響を受け、変化する。都市水環境に変化をもたらした重大な都市活動として市街地の拡大・高密度化と人口の集中・増加があるが、工場立地があるところではさらに産業活動の増大が加えられる。わが国においては、昭和30年代後半からの経済社会活動



図－１ 都市化による都市水環境への影響

文献３）の図を修正

の高度化の過程で急激な都市化、すなわち市街地の拡大・高密度化と人口の集中・増加が生じたが、これによる都市水環境への影響を定性的に図示すると図－１^{３)}のようになる。

すなわち、人口の集中・増加により局所的な水需要の増大が生じ、汚水量も増加した。場所によっては、これに事業所活動や生産活動などの産業活動の増大が加わり、水需要の増大に拍車をかけた。増大した水需要に応えるために新たな水資源開発が行われたが、図には水資源開発が行われた地域の影響については示していない。水需要の増大は汚水量の増加を招き、下水道整備の拡大が必要となった。しかしながら、多くの都市においては都市化が急激で計画的ではなかったため下水道整備が追いつかず、また、事業所等からの排水に対する規制の制度も不十分であったため、汚水量の増加によって流入汚濁負荷量は増加し、都市水域の水質悪化が進んだ。

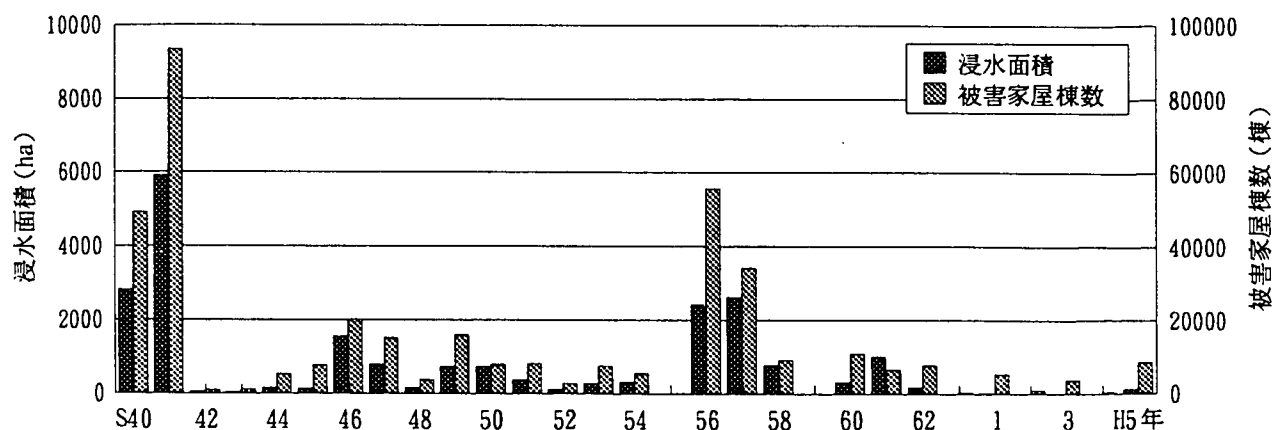
他方、市街地の拡大・高密度化により、在来雨水が浸透していた浸透域が減少し雨水が流出する不浸透域が拡大した。同時に、雨水の流出がし易くなる道路網や下水道管渠網等の雨水収集系の整備も図られた。不浸透域が拡大すると、雨水による地下水への涵養量が減少するとともに雨水量は増大した。不浸透域の拡大と同時に、雨水収集系の整備は雨水量の増大に拍車をかけた。雨水収集系が整備される以前は、不浸透域から流出する雨水は浸透域に流れる部分もあり、全てが表面流出水となって河川等に流出するわけではなかった。しかしながら、雨水収集系の整備によって、不浸透域から流出する雨水は収集系を経て直接河川等に流出するようになり、雨水量の増大につながった。不浸透域の拡大により地下水涵養量が減少すると、固有水源を持たない都市河川の多くは、あるいは固有水源を持っていても地下水位の低下等により水源が枯渇化したりして、都市河川の基底流量は減少した。この結果、下水道が整備されていない地域の河川では、平常時の水量の相当部分を汚水が占めるように

なり、悪臭を放つようになった。また、下水道が整備されている地域の河川では、平常時の水量が従前に比較して相当に減ってしまい、汚水や汚濁負荷の流入に対しても余り希釈効果が期待できない、水質的に脆弱な河川となってしまった。

洪水時の水量に対する影響として、全体の雨水量の増大の他にピーク洪水流量の増大もある。雨水収集系の影響は道路密度や舗装率、さらには雨水収集・排除のための下水道整備率などにもよるが、各々が高い水準になるほど雨水の流下速度が大きくなり、到達時間が短くなる⁴⁾。雨水量全体が増え、到達時間が短縮されればピーク洪水流量は増大し、その分の河積の確保が必要となる。都市化が進み洪水流量が増えてからでは河道の近傍には建造物が押し寄せているため、河道の拡幅による河積確保は困難であった。このため、洪水流速を早めるため河川を直線化し、護岸をコンクリート化する河川整備が促進された。

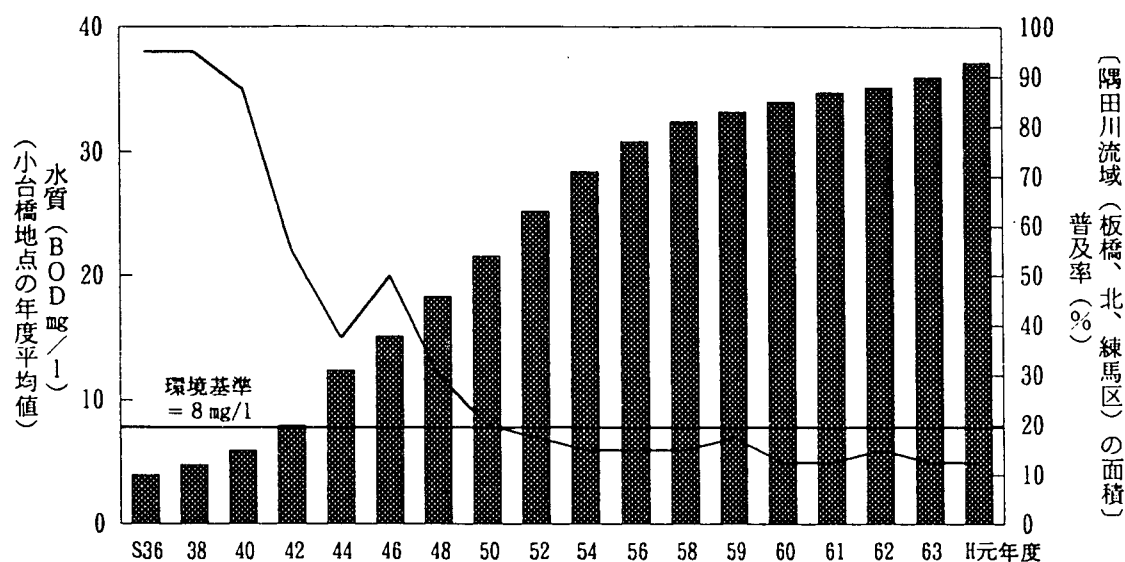
2. 2 下水道の整備効果

都市化による都市水環境の問題の解決に果たしてきた下水道の役割は大きい。下水道整備の目的は「…都市の健全な発達及び公衆衛生の向上に寄与し、あわせて公共用水域の水質保全に資する…」ことであり、下水道が整備された市街地では、下水管渠網により速やかに雨水が収集され河川等に排除することによって達成された。とくに戦後の経済復興期においては、政令指定都市や地方の産業の中核都市では急激な市街地の拡大による浸水問題の解決が急務となっていたため、下水処理場は沈殿池と消毒施設のみの簡易処理施設だけであった、下水管渠網の建設は促進された。したがって、この当時に建設された下水道は、汚水の排除と雨水の排除が一つの管渠で行える合流式下水道によるものが多かった。このような、下水管渠網に力点をおいた整備方法による浸水防止効果は大きく、下水道整備とともに浸水被害は着実に減少してきた（図－2）。5年確率程度の降雨では浸水は起きなくなり、また、生活排水が滞留して悪臭が漂っていたドブ川も姿を消した。川や池の水質は一時的に深刻な状況に比較すると格段に良くなっており、魚や鳥の姿を再び目にもすることも日常的になった。



図－2 東京都における水害被害の経年変化
(建設省：水害統計より作成)

下水道整備による公共用水域の水質改善は、生活排水や事務所や工場などからの事業場排水を集めて、処理することによりなされている。都市水域の水質汚濁として問題となったのは、昭和30年代からの経済社会活動の高度化の過程で生じた有機汚濁と重金属等の有害物質による汚濁であるが、下水道整備が進展したところでは大幅に水質改善が進んだと言える（図－3）。



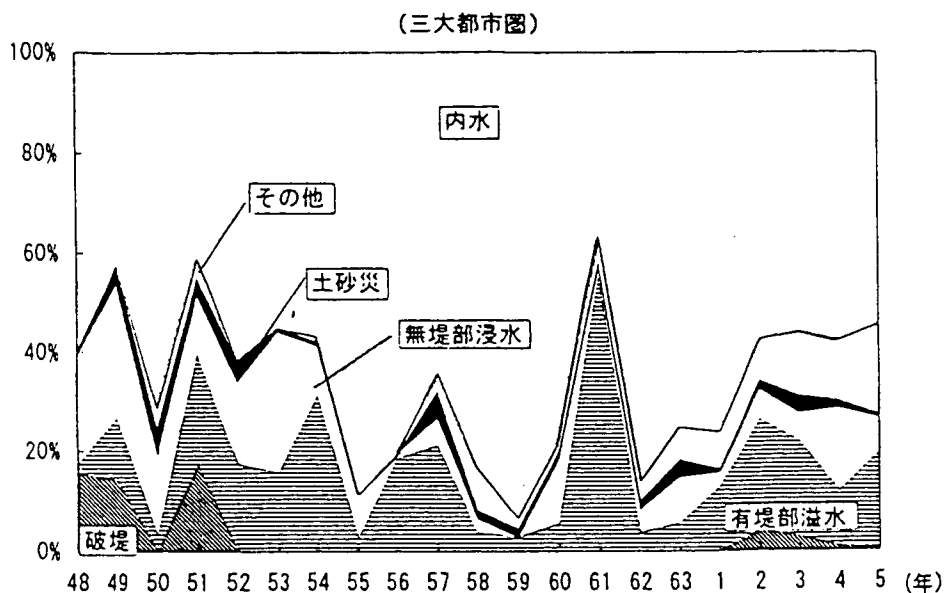
図－3 下水道整備と河川水質の改善（隅田川）⁵⁾

2. 3 都市水環境の課題

下水道整備の進捗とともに今までの課題は解決を見たが、これに対する下水道の手段、役割は古典的と言える。すなわち、汚水も雨水も都市を経過点として流域内で循環している資源であり、下水道はその健全な循環の維持に不可欠な構成システムだという視点が希薄であった。このため、下水道整備が進んでも、水環境の保全の観点から見ると新たな課題に直面している都市水域がでている。

課題の一つは内水排除の問題である。下水道は都市化によって増大した雨水が原因となる浸水を防止するため、速やかに雨水を収集し排除する方法で問題解決を図ってきた。都市化の進展が緩慢で下水道と河川の整備とが均衡していた場合には、この方法による浸水防止目的の達成は即効的であったと言える。しかしながら、都市化が急速であったり、下水道と河川の整備に不均衡が生じた場合には、短時間のうちに大量の雨水を河川へ流出させる方法は河川水位の急激な上昇を招き、下流部での内水排除不良による浸水被害を生ずる。現在、三大都市圏においては内水による浸水被害額が総浸水被害額の大半を占めており、都市域における内水排除対策が課題となっている（図－4）。

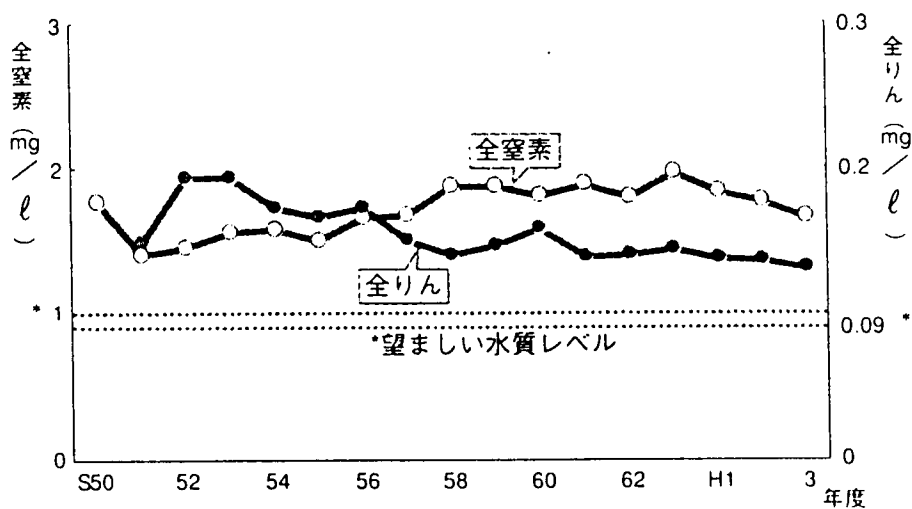
二点目は富栄養化の問題である。在来の水質汚濁問題は生活排水や事業場排水による有機汚濁や重金属等の有害物質による汚濁であり、この問題に対する解決策として排水規制や下水道整備は極めて効果的であった。しかしながら、排水中の窒素、りんによる水質汚濁は問題ではなかったため、それらの対策は取られなかった。この結果、在来の水質汚濁対策が進められても、窒素やりんなどの栄養塩類の蓄積による閉鎖性水域の富栄養化に対してはほとんど効果がなかった（図－5）。閉鎖性水域の富栄養化対策として、昭和57年には湖沼の窒素、磷の環境基準の告示、また、平成5年には海域の窒



(注) 一般資産等及び公益事業等被害額についてのものである。

三大都市圏とは、東京圏（東京、千葉、埼玉、神奈川）、名古屋圏（愛知、三重）及び大阪圏（大阪、京都、兵庫）である。

図－4 三大都市圏における水害原因別被害構成比の推移⁶⁾



図－5 閉鎖性水域の窒素及びりんの水質レベル（東京都内湾）⁷⁾

素、燐の排水基準の設定がなされた。下水道においても、湖沼を抱えた一部地域では従来から栄養塩類削減の高度処理が実施されているが、今後、こうした高度処理は全国的に広がる傾向にある。

三点目は水の安全性の問題である。富栄養化に対しては、有機汚濁と有害物質汚濁という緊急の課題のため手を打つのが遅れた感があるのは否めないが、安全性への対応の手遅れは許されない。放流先の公共用水域の水利用にもよるが、公共用水域での下水処理水の比率が高くなるにつれて、処理水により高い安全性が求められるのは必然である。水の安全性は化学物質と病原性微生物の双方に対して確保されなければならないが、下水処理水や公共用水域の水についての安全性の基準は必ずしも確

立されていない⁸⁾。

化学物質に対する安全性については、その製造から販売、使用に至る過程で安全性のチェック機構はある。しかしながら、下水道に流入した場合には下水処理、汚泥処理の過程で別の化学物質へと変化する可能性もある。どのような変化をするかという課題、また変化した個々の化学物質の安全性チェックの課題、さらに、危険性が高いと判定された個々の化学物質の処理技術の開発の課題等々、化学物質に対しての安全性の確保は大きな課題を有している。

病原性微生物に対する安全性確保の課題は、さらに複雑で困難な側面を有している。現在の下水道の病原性微生物に対する効果は、感染源となる微生物を含んだ下水を感染対象地域から排除したことによるところが大きく、とくにコレラ菌や赤痢菌などの法定伝染病の原因となる病原菌に対しては効果的であった(図-6)⁹⁾。処理技術という点では生物学的な水処理に加え、塩素消毒技術が実用化されているが、ウィルスや原虫まで考慮したとき、病原性微生物に対する安全性の確保の指標微生物は何が良いのか、また、特定の指標微生物に対してどのような基準を設定するか(図-7)¹⁰⁾、それに対し今の下水道は効果的か等々幾多の課題がある。そして現在、大腸菌O-157のように、科学技術の進歩により生産された抗菌的な生活用品あるいはそれを多用する生活様式により、以前はヒトに無害であった細菌が自己の存続を賭してヒトに有害な細菌へと「進化」が起きている。抗生物質の過使用による薬剤耐性菌の増殖による院内感染の多発も同様である。化学物質にしても微生物にしても、それらの多くは最終的には下水道に流入するが、それに対する処理水、汚泥の安全性確保の課題は、技術的にどう対処するかと同時に、どのように社会的合意を得るかも重要となっている。

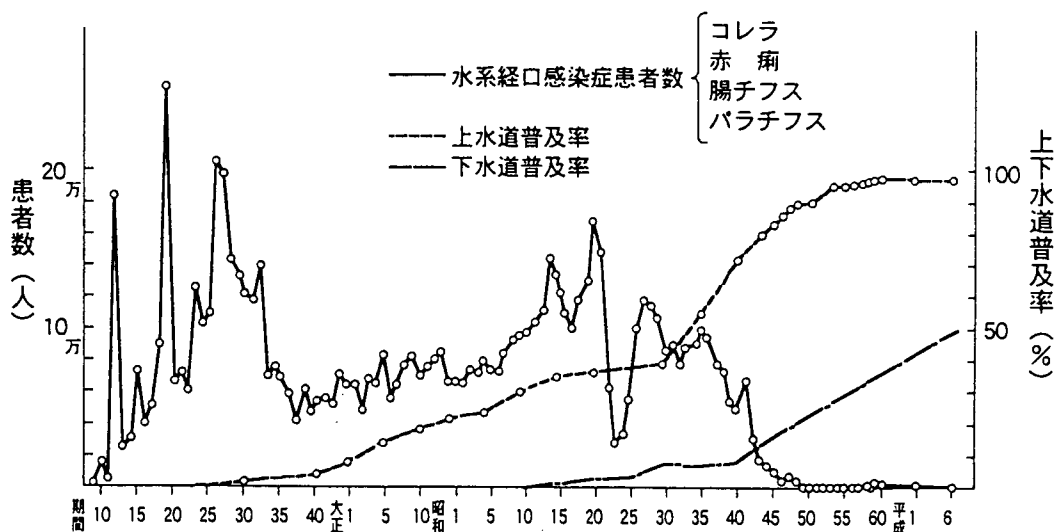


図-6 上下水道の普及と水系感染症の発症数の変移⁹⁾

四点目は水辺景観や生態系の保全の課題である。都市水環境の中でも生態系は親水性と密接な関係を有す要素であり、水質、水量とともに河川の直線化や護岸のコンクリート化により影響を受けた。下水道整備によりBODは改善されているが、生物の生息に影響を持つ溶存酸素(DO)の改善は余り進んでいない(図-8)。また、下水道普及率の上昇とともに水量が減少するところもある。したがって、水辺の整備とともに水質・水量環境を向上させることが生態系保全に必要なとなっている。

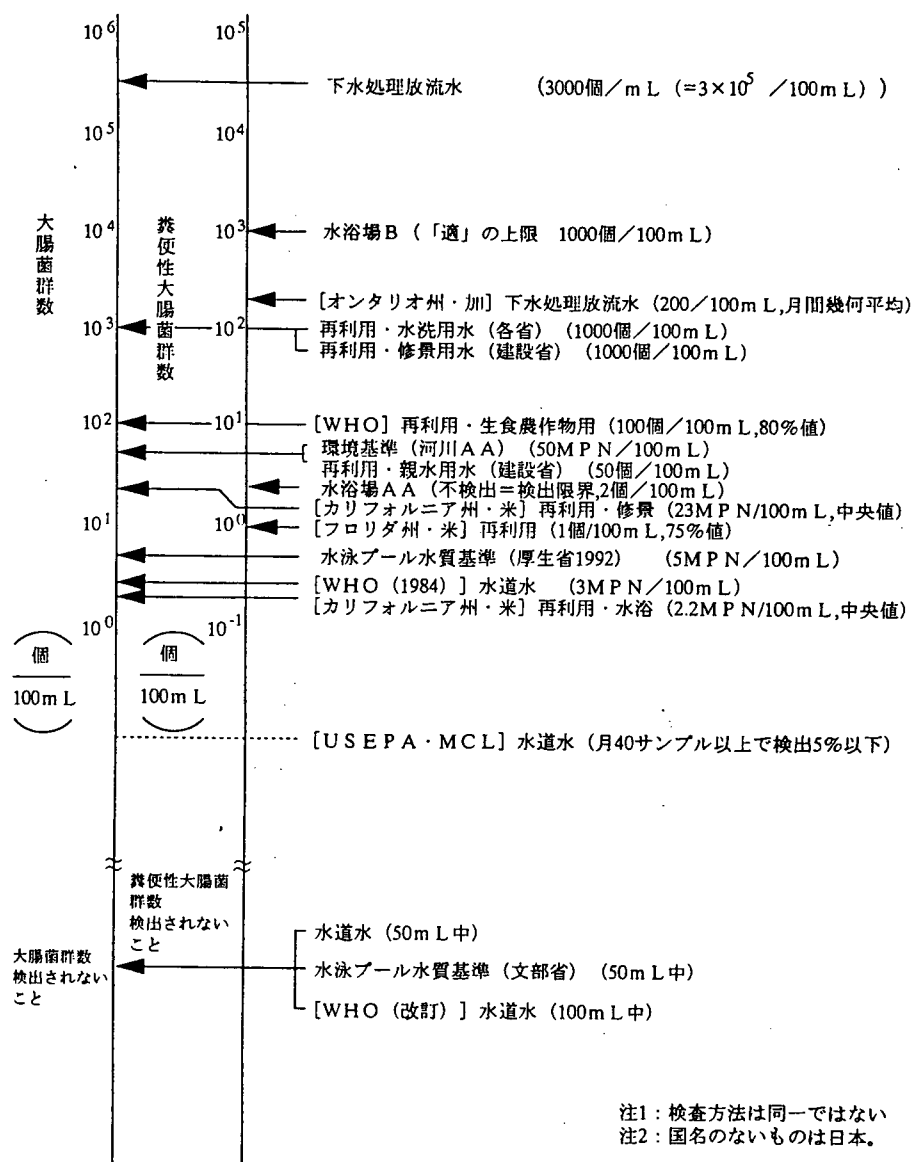


図-7 各地の大腸菌群数基準の例¹⁰⁾

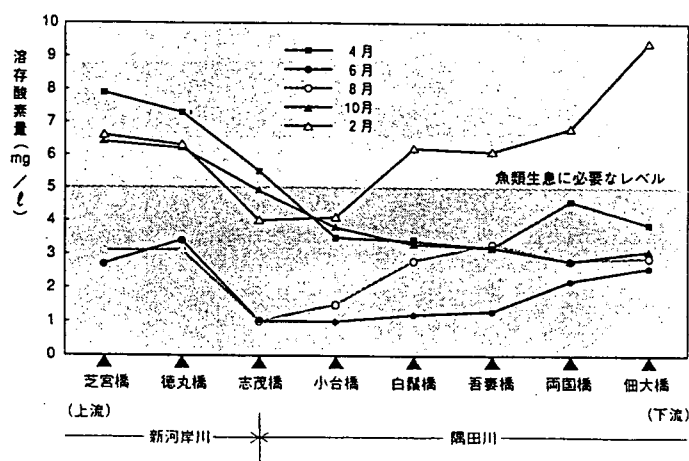


図-8 新河岸川、隅田川のDO縦断変化⁷⁾

3. 水環境保全のための下水道の取り組み

3. 1 モデル事業

現在、下水道事業においては、水環境も含めた地域的な課題解決のためさまざまなモデル事業が実施されている¹¹⁾。これらのモデル事業の目標は次の4つに大別できる。うるおいのある水辺の提供、下水道資源の有効利用、快適で安全なまちづくり、下水道の質的向上と効率的促進である。個々の事業は現在15種類であるが(図-9)¹¹⁾、この事業の中から、都市水環境の課題に対する下水道の取り組みについて紹介する。

3. 2 内水排除対策

内水排除の課題は河川と下水道との整備水準の相異があることに起因するため、この解決には河川の整備水準を引き上げるか、速やかに雨水を収集排除する下水道の仕組みを変えるしかない。直線化や護岸のコンクリート化で整備水準を引き上げる方法は、生態系への影響もあり、最近の河川整備の方針と異なる。したがって、速やかに雨水を収集排除する下水道の仕組みを変えることが求められる。

このための方法として、下水道雨水貯留浸透事業により、雨水の貯留浸透機能を有す管渠(浸透トレンチ、浸透井等)、公共マス、雨水貯留施設の建設が進められている(図-10)。さらに、雨水流出抑制施設整備促進事業では、下水道の供用開始にともなって不要となった浄化槽を、屋根雨水等の貯留により雨水流出の抑制を図る施設へ改造することが行われている。

3. 3 富栄養化対策

湖沼や海域の富栄養化は窒素やりんなどの栄養塩類の蓄積が原因となって生ずるものであるから、富栄養化対策としては湖沼や海域に放流される排水中から窒素やりんを除去することが効果的と考えられる。公共用水域に放流される下水処理水から窒素やりんを除去することは下水道の当然の責務と考えられており、このための高度処理はモデル事業等の対象とはなっていない。しかしながら、湖沼を抱えた地域では、窒素やりんを高度に除去するための高度処理プロセスが導入されており、富栄養化の防止に取り組んでいる。窒素とりんを同時に除去する高度処理としてポピュラーなプロセスは、凝集剤併用型循環式硝化脱窒法+急速砂ろ過(図-11)、あるいは嫌気無酸素好気活性汚泥法+急速砂ろ過があり、実績を重ねている。

表-1は、凝集剤併用型循環式硝化脱窒法+急速砂ろ過で運転されている、琵琶湖流域下水道の3箇所の終末処理場における処理状況を示したものである¹²⁾。処理水はすべての項目にわたって放流目標値をクリアーしているのは当然として、平均BODは概ね1 mg/lをクリアーし、とくに平均全りん濃度の0.03 mg/lは琵琶湖の南湖の全りん濃度に極めて近い濃度であり、効率的にしかも高度にりん除去が行われていることが伺える。琵琶湖流域では、この他に市町村が管理運営する単独公共下水道の終末処理場があり、フレックス用として単槽式嫌気好気活性汚泥法+急速砂ろ過、維持管理の省力化を図るための凝集剤添加オキシデーションディッチ法+急速砂ろ過、そして比較的古くから稼働して用地の余裕のない処理場における凝集剤添加活性汚泥法が採用され、湖沼の富栄養化防止を図っている。

うるおいのある水辺の提供

- ・アクアトピア①伝統的風土のある水環境の復活・保存
 - ②水生生物の復活・保存
 - ③住民と水との交わりの場の創造
- ・アクアパークモデル事業①下水道施設の上部利用
 - ②下水道資源の有効利用
 - ③景観に配慮した施設整備
- ・水循環・再生下水道モデル事業①処理水、雨水のせせらぎ利用
 - ②雨水を処理し雑用水、防火用水に利用
 - ③水路沿い水辺空間整備

下水道資源の有効利用

- ・下水道渇水対策施設整備事業・処理水有効利用
- ・再生水理用下水道事業・処理水の再利用
- ・下水汚泥資源利用モデル事業・下水道事業への汚泥製品の利用
- ・熱利用下水道モデル事業・下水及び下水処理水の熱利用
- ・下水道管理高度情報化モデル事業・管渠を利用した光ファイバー整備
- ・下水道情報基盤整備モデル事業・光ファイバー用さやケーブル整備

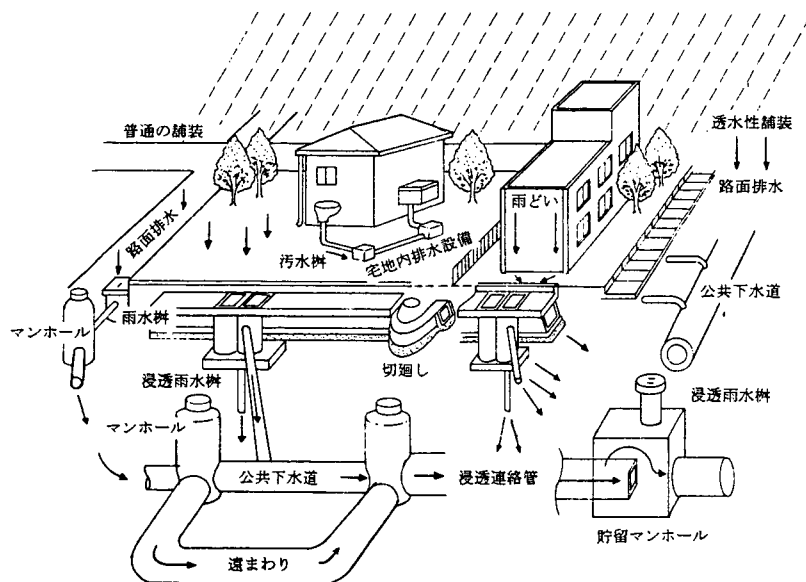
快適で安全なまちづくり

- ・積雪対策下水道事業①送雪用水路
 - ②下水処理水の供給
 - ③融雪槽設置
- ・市街地排水浄化対策モデル事業・汚濁市街地排水の収集、貯留、処理
- ・下水道雨水貯留浸透事業①雨水流出の抑制
 - ②合流式下水道越流水対策
- ・雨水流出抑制施設整備促進事業・不要浄化槽の雨水流出抑制施設へ改造

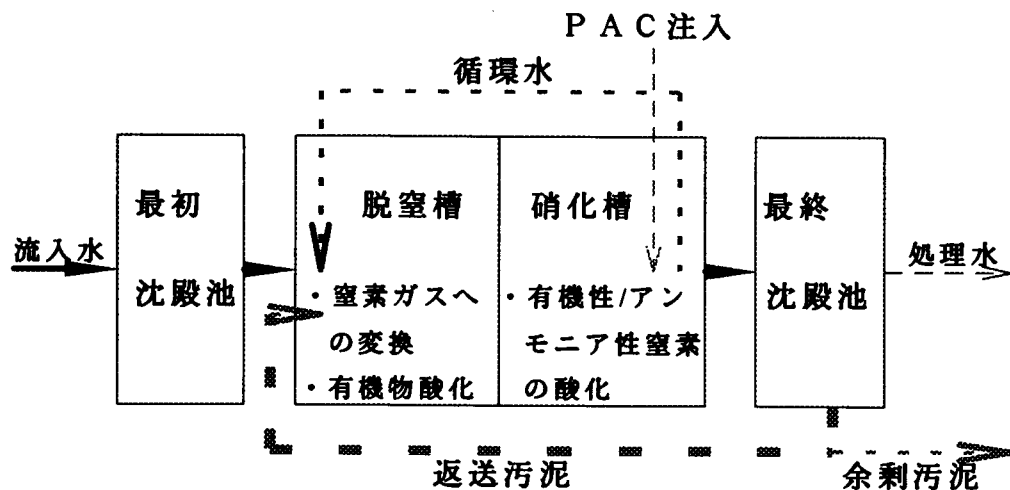
下水道の質的向上と効率的促進

- ・アイデア下水道①建設費の軽減
 - ②用地面積の減少
 - ③維持管理費の削減
 - ④効率的な環境対策
- ・新技術活用モデル事業・新技術、新工法の導入

図－9 下水道のモデル事業等¹⁾



図－１０ 下水道雨水貯留浸透事業による雨水流出抑制型下水道¹⁾



図－１１ 凝集剤併用型循環式硝化脱窒法のプロセス

表－１ 琵琶湖流域下水道の下水処理状況¹⁾

浄化センター	項目	pH	BOD	COD	SS	全窒素	全りん	大腸菌群数	水量
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	個/mL	m ³ /日
排水基準	湖南中部	6.0～8.5	20	20	70	20	1	3,000	
	湖西	6.0～8.5	20	20	70	20	0.5	3,000	
	東北部	6.0～8.5	20	20	70	15	0.5	3,000	
設計基準	湖南中部		180	100	240	30	3.3		
	湖西		180	100	150	30	3.3		
	東北部		180	100	200	30	3.3		
	放流(目標値)	6.0～8.5	5	10	6	10	0.5	300	
処理状況	湖南流入	7.2	160	90.3	180	30.7	3.39		79,652
	湖南放流	6.8	ND(<1)	6.0	0.6	7.2	0.03	91	
	湖西流入	7.5	220	106	212	31.1	3.82		22,105
	湖西放流	6.7	ND(<1)	6.3	0.4	6.8	0.05	13	
状況	東流入	7.3	188	65.4	105	29.7	3.04		9,334
	東北放流	7.1	1.1	4.7	0.3	6.9	0.03	130	

処理状況は平成6年度実績。

3. 4 安全性対策

様々な化学物質を含んだ水の総合的な安全性あるいは危険性の評価手法として、特定の微生物を用いた変異原性試験がある。すなわち、その水を供した場合に生物の遺伝情報が受ける影響の度合いをもって危険の大きさを判定しようというものであり、サルモネラ菌 (*Salmonella typhimurium*) の変異原性を検査する Ames テストや umu テストが知られている¹³⁾。umu テストは、DNA が損傷したときにみられる修復反応に関与する umu 遺伝子の発現を β -ガラクトシダーゼ活性で検知して変異原性を評価する試験である。図-12 に主として生活系の排水を活性汚泥法で運転している処理場の流入水、一次処理水、二次処理水、放流水 (塩素消毒後) の umu テスト結果の一例を示す¹³⁾。流入水、一次処理水については 100 倍濃縮、二次処理水、放流水については 500 倍に濃縮して試験を行っている。図中 tC18 と CSP800 は試料を濃縮したカートリッジの種類を、S9mix はラットの肝臓から抽出した代謝活性酵素であり、この添加の有無を $\pm$ で示した。この方法が下水処理水の変異原性を試験する最適な手法として確立しているわけではないが、処理が進むに連れて変異原性は小さくなっていることが伺える。下水道の場合には、排水区域の生活様式、産業活動、気候等で受け入れている排水の性質は変化し、また、処理プロセスも各種のものが実用に供されているので、全国的にこのような調査を実施して安全性を確認する必要がある。

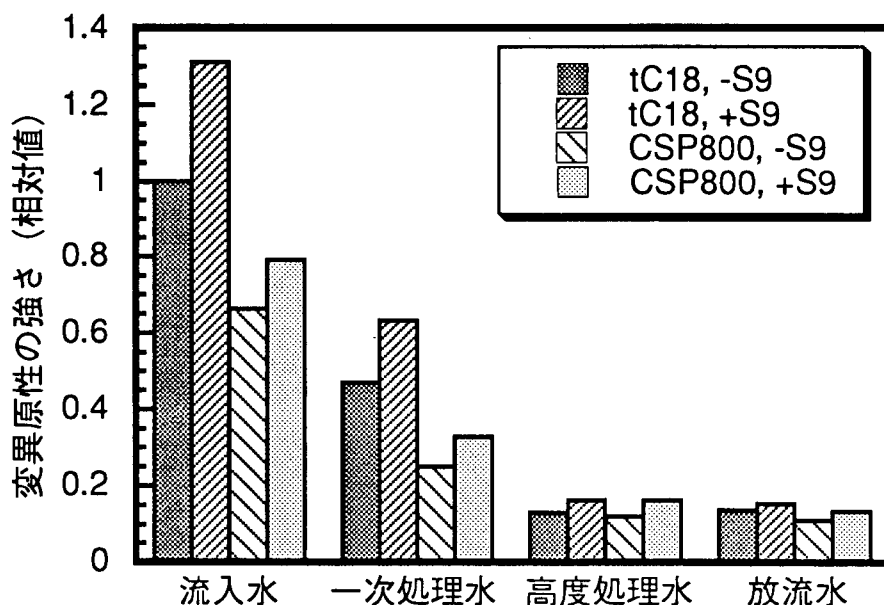


図-12 処理過程別処理水の umu テスト結果¹³⁾

微生物に対する安全性の試験方法は、糞便性大腸菌あるいは大腸菌群数を用いて行われることが多い。わが国においては、大腸菌群数が微生物学的な安全性を判定する指標として用いられている。環境基準の場合と排水基準の場合とで試験方法が異なるが、排水基準はデスオキシコール酸培地 (デソ培地) を用いた平板培養法により大腸菌群数試験を行っている。図-13 は、デソ培地による大腸菌群数を対象に、流入水、二次処理水、放流水でどの程度の細菌濃度の変化があるかを処理場の数で表したものである¹⁴⁾。現在、わが国の下水処理場からの放流水の大腸菌群数の基準は 3,000 個/ml 以

下であるが、調査した処理場のうち約80%の処理場が塩素消毒前の二次処理水でもこの基準をクリアーしていた。また、消毒後の放流水については、概ね全ての処理場で基準をクリアーしていたが、基準値の10倍の安全側、すなわち300個/mlをクリアーする処理場が85%以上あり、塩素消毒の効果が表れている。

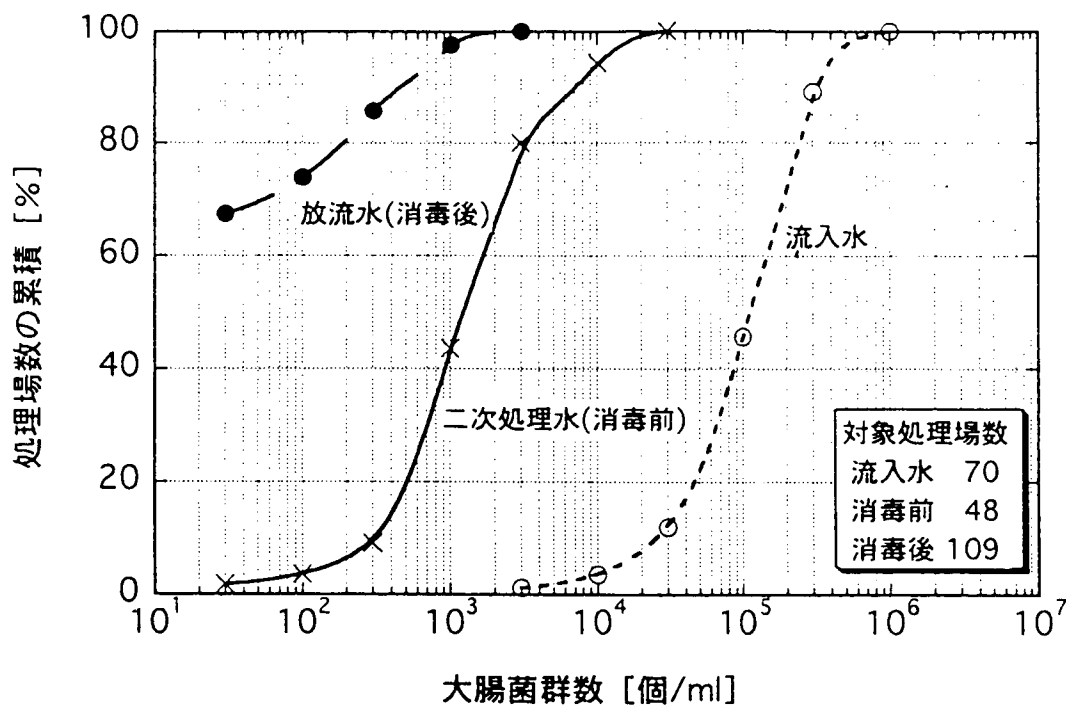


図-13 処理過程別大腸菌群数と累積処理場比率¹⁴⁾

3.5 親水性対策

親水性対策としては、水路の公園的な修景の他に、水質的にも水量的にも生物が根付くような水路作りが行われている。河川水質とその生物の種や量などの生態系との関係については在来十分な研究が進んでいたわけではなく現在研究が進められているところであるが¹⁵⁾、下水処理水を親水的に利用するために実用化している高度処理技術もある。従来、mg/lという単位の中で下水処理の効率や処理水の測定が行われていたが、最近では $\mu\text{g/l}$ や ng/l という単位の中での高度処理の技術開発が行われ、オゾン処理、膜処理が注目を浴びている。下水処理水のオゾン処理は塩素に替わる消毒方法の代替案として開発が進められてきたが、環境に優しいという点で、処理水の親水的利用の目的で用いられている事例が増えている。通常の二次処理の後で急速砂ろ過を行い、その後オゾン処理して放流するというものであり、東京都の多摩川上流処理場から野火止用水、玉川上水、千川上水への導水は清流の復活に大きく貢献している。放流先の生態系保護の見地から、オゾン処理を実施している事例としては、仙台市の広瀬川の事例がある。

表-2は広瀬川浄化センターのオゾン処理前後の水質を比較した例であるが¹⁶⁾、オゾンによる消毒効果と同時に有機物の分解や在来技術では除去が困難であった色度に対しても、除去効果が顕著である。CODの減少はオゾンの酸化剤としての働きの結果、CODの原因となっていた有機物が分解されたためと考えられるが、BODの上昇は、オゾン処理の前には生物学的に難分解であった有機物

表－2 オゾン処理による水質改善効果例¹⁶⁾

項 目	試 料	平 均 値	最 大 値	最 小 値
B O D (mg/l)	処 理 前	0.9	1.4	0.4
	処 理 後	1.7	2.5	1.2
C O D (mg/l)	処 理 前	4.5	6.5	3.2
	処 理 後	3.7	5.5	2.5
pH	処 理 前	7.0	7.3	6.8
	処 理 後	7.6	7.9	7.3
大腸菌群数 (個/ml)	処 理 前	93	510	7
	処 理 後	1	11	0
色 度 (刺激純度%)	処 理 前	4.5	5.7	4.0
	処 理 後	1.1	1.4	0.7

が、オゾンの働きによって生物学的に分解可能な有機物となったためと考えられる。とくに下水処理水の色度を構成する成分は生物学的に難分解であるものが多く、このために下水処理水の有効利用が妨げられている一面もあったが、下水処理水の親水的利用のためのオゾン処理の実用化により、他方面の利用の可能性もでてきた。

4. 水環境保全のための研究

4. 1 下水道分野における水環境保全の研究

下水道は本来、生活環境の向上と公共用水域の水質保全を通じて水環境保全に寄与するものであり、下水道の技術開発や研究は本来的には水環境保全が内部目的化されている。このため、下水道分野の研究は水環境保全以外の目的あるいは手段で分類されている（表－3）。

表－3 下水道分野の研究課題の機能的分類

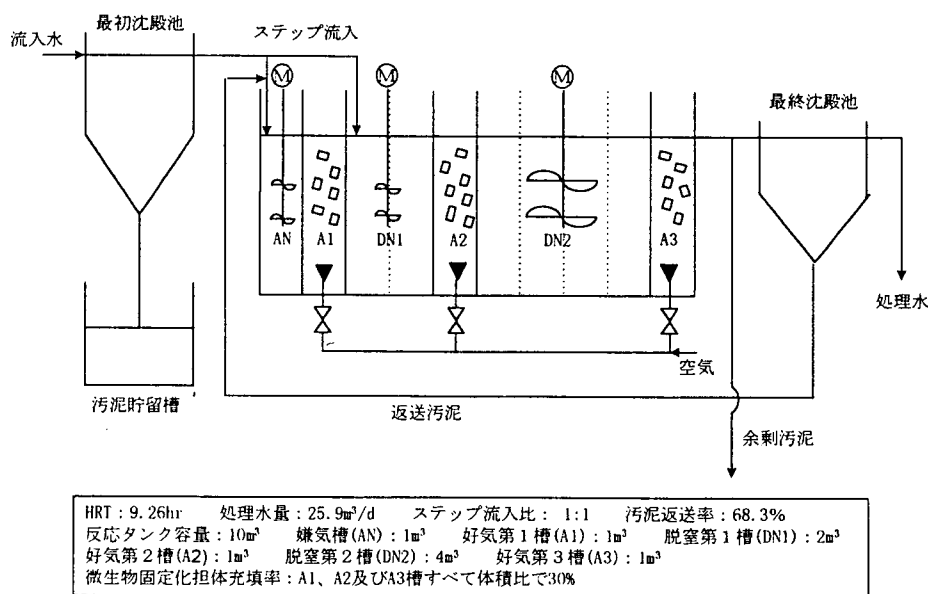
1 水質汚濁	8 計測・機械設備
2 下水の水量・水質	9 測定及び試験
3 設計・施工	10 産業排水処理
4 更新・改築	11 雨水対策
5 一次処理・二次処理	12 環境対策
6 高度処理	13 有効利用
7 汚泥処理・処分	14 その他

ここでは、先に紹介した実務レベルの都市水環境の課題に関連した分野の中から、将来的に社会的要請が高まると考えられる「高度処理」と「測定及び試験」の2つの分野に関して、土木研究所が取り組んでいる研究について紹介する。

4. 2 高度処理の研究

下水の高度処理は、放流先の水域の水質保全を目的とする場合と下水処理水の再利用を目的とする場合とがある。現在行われている放流先水域の水質保全を目的とした高度処理は、河川等における主要な環境基準項目であるBODを低減する場合と湖沼における富栄養化防止のための窒素、りんなどの栄養塩類を除去する場合とであるが、将来的には、閉鎖性海域や河川へ放流する場合についても、富栄養化防止が求められ、既設の処理場での栄養塩類の除去のための高度処理プロセスの導入を図る必要が生ずると考えられる。りん除去については、生物学的脱りん法とともに、アルミニウム塩や鉄塩を用いた凝集剤添加法という物理化学的処理プロセスが実用化されており、滞留時間の増加が図れない場合でも技術的対処方法は確立している。

しかしながら、窒素除去については循環式硝化脱窒法、硝化－内生脱窒法などの生物学的方法が主体であり、いずれのプロセスも比較的長い滞留時間を必要とする。このため、既設の処理場の多くは、将来的に窒素除去を求められても、用地確保の困難性から窒素除去の高度処理プロセスの導入が図れない箇所も出てくる危険性がある。したがって、用地拡張を伴わない、滞留時間の増加が極力小さくて済む窒素除去法の確立が望まれており、現在、土木研究所では在来の窒素除去法である嫌気・好気活性汚泥法と硝化・内生脱窒法を組み合わせ、さらにステップ流入（段階流入）を行うステップ流入型嫌気・好気＋硝化・内生脱窒法プロセスについての研究を進めている（図－14）¹⁷⁾。



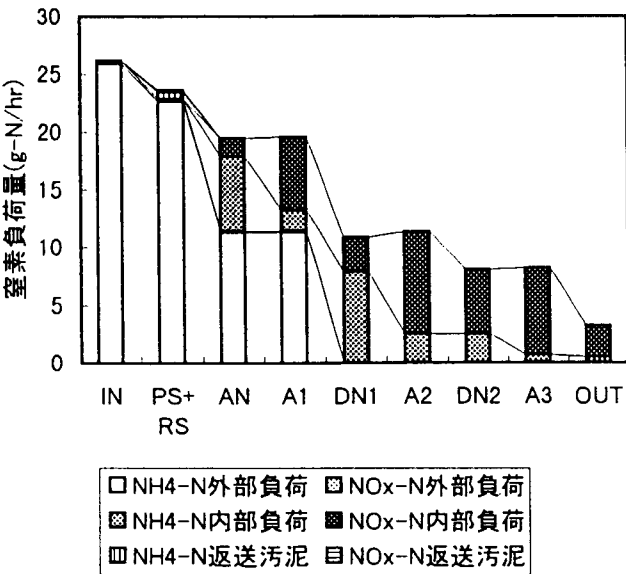
図－14 ステップ流入型嫌気・好気＋硝化・内生脱窒法実験装置¹⁷⁾

ステップ流入型嫌気・好気＋硝化・内生脱窒法は、比較的短い時間で高い窒素除去率、りん除去率を達成することを目標としており、流入下水を嫌気槽と脱窒第1槽に1：1でステップ流入させている。循環式硝化脱窒法のように活性汚泥の混合液の循環はないが、実験では汚泥返送率として約70%近い値を取っている。

一般に生物学的な硝化反応は水温の影響を受け、低水温期の窒素除去率は低下する傾向にあるが、

このプロセスは冬季においても比較的高い窒素除去率を確保している。図－15¹⁷⁾は、冬季においても比較的良好に窒素除去が行われていた時期のパイロットプラント内の窒素負荷量の変化を示している。AN槽では有機性窒素からアンモニア性窒素への変換、A1槽、A2槽ではアンモニア性窒素から硝酸性および亜硝酸性窒素への変換、DN1槽、DN2槽では硝酸性および亜硝酸性窒素の脱窒による窒素ガスへの変換が進んでいることがわかる。最終のA3槽と処理水との窒素負荷量の差は、最終沈殿池での汚泥引き抜きによる窒素負荷量減の効果が大きい。

表－4¹⁷⁾は、図－15で示した期間のCOD_{cr}、T-N、T-Pの処理効率を示したものである。水理学的な滞留時間が10時間未満の施設で、しかも水温が10～15度の冬季間の処理成績であることを考慮すると、非常に良好な処理が行われていると評価できる。既往の知見においては、硝化槽における溶存酸素濃度(DO)の変動が硝化率に影響することが判明しているので、現在安定的な窒素除去率を得るためのDO制御等について研究を継続中である。



図－15　パイロットプラント内窒素負荷の変化
（平成 9/2/13～9/3/26）

表－4　パイロット実験処理水質¹⁷⁾
（平成 9/2/13～9/3/26）

項 目	単 位：mg/l		
	C O D _{cr}	T - N	T - P
流 入 水	289	33.2	3.36
処 理 水	27	4.6	0.92
除 去 率(%)	91	86	73

今後の下水道事業の展開の中では、小規模な下水処理場で地先の固有水量が少ない小河川に放流する場合や、あるいは規模によらず、通常の2次処理レベルの施設で処理水を都市河川の上流部に放流して親水性を高める場合が生ずると考えられる。この場合には、敷地面積が小さいままで比較的高度なBOD水質を有す処理水が求められるが、このときに注目されている技術として活性汚泥プロセスに膜分離装置を取り付けた方法がある。図-16は、シートで遮水した素掘りの池に送気・攪拌用の曝気装置と流入水用にスクリーン、処理水用の固液分離のために膜モジュールを配置した実験装置を示したものであり、現在土木研究所と民間企業とで共同研究を行っている実験施設である¹⁸⁾。池の最大水深は2.5m、平面形状は縦8m、横9mの矩形であり、法面勾配は1:1である。電力さえあればどこにでも設置することができる簡易な施設である。図-17は水処理開始後の経過日数を横軸に、縦軸には流入水のT-BOD、S-BODおよび処理水のT-BODを示したが、データを取り始めた20日過ぎには処理水BODは1点を除き全て2mg/l以下となっている。

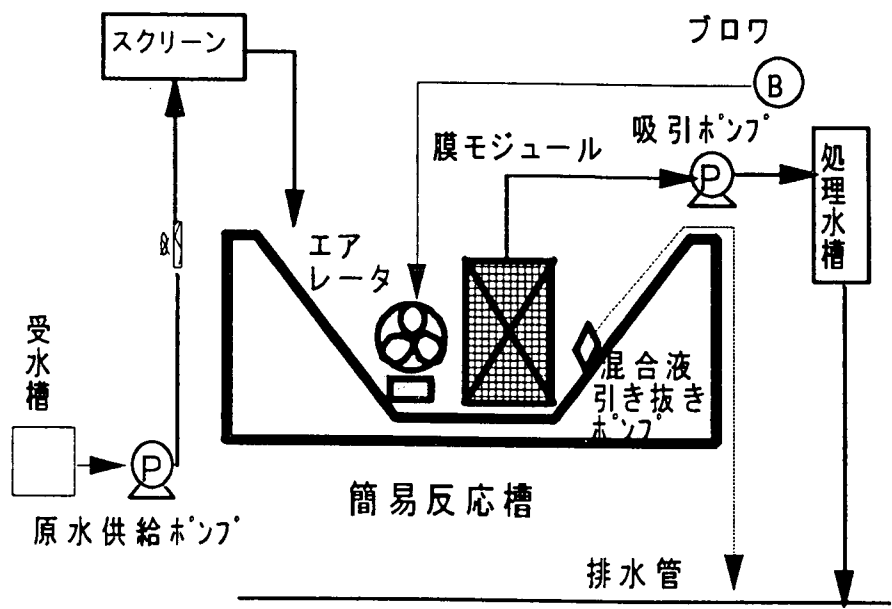


図-16 膜モジュールを組み入れた簡易な下水処理実験施設¹⁸⁾

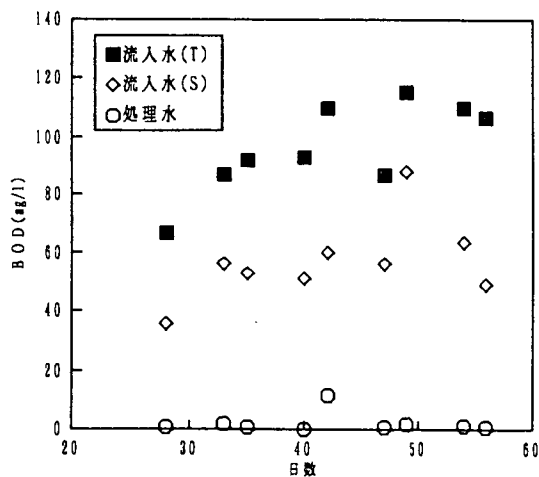


図-17 BOD除去効果¹⁸⁾

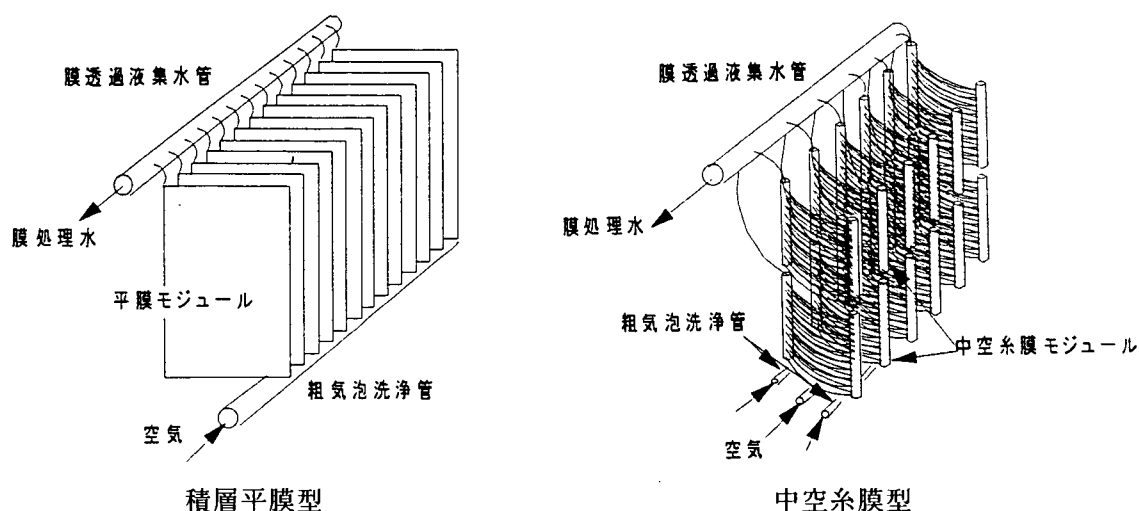


図-18 固液分離の膜モジュール¹⁸⁾

このような高いBOD除去率は、固液分離のために使用している膜モジュールにある。図-18は今回の実験に用いた2種類の膜モジュールを示したものである。積層平膜型モジュールは、孔径0.2 μ mの精密ろ過膜を両面に貼り合わせたモジュールを多数積層させたユニットであり、ユニット下部に設けた散気管からの粗大気泡を上昇させ膜表面での汚泥の堆積を防止している。中空糸膜型モジュールは、中空糸状精密ろ過膜を2本の透過液遮集管の間に多数、すだれ状に張り渡したモジュールを縦に2段、水平方向に必要数配置したユニットである。このモジュールについても、粗大気泡により膜表面の汚泥堆積を防ぐ工夫が施されている。現在BOD以外の項目についても検討中であるが、簡易な装置でも高度な処理水が得られることを立証した点で、今後新たに下水道事業に着手する自治体にとって、大きな希望を与えるものと期待できよう。

4.3 測定及び試験の研究

下水道分野における測定及び試験の研究の中で、下水処理水や汚泥の安全性に関する測定及び試験方法の開発は急を要する課題となっている。先にも述べたように、安全の裏返しである危険を持ち込むものは、有害化学物質か、あるいは、病原性微生物である。

現在のわが国における水に関係した有害化学物質の基準を表-5に示す。水質汚濁防止法では下水処理場も特定事業所と位置づけられ、そこからの排水である下水処理水も排水基準の適用を受けている。現在の下水処理の主流は生物学的処理方法であり、有害化学物質の分解が困難とされているので、このような有害化学物質に対しては発生源対策が下水道サイドの取り組みとなっている。しかしながら、今後、下水道事業が内陸部で進展するに従って、有害化学物質に対する下水道サイドの取り組みは新たなものが求められる可能性が大きい。今後の下水道整備の拡大により、下水処理水は河川の上流から下流までの広範囲に渡る生態系に影響を与えるようになり、また、再度取水されて都市用水として供給される処理水の割合も増加する。したがって、水質汚濁防止法で定めた有害化学物質に関する一般的な基準を満足するのみならず、下流側の水利用者に対しての製造物責任のような取り組みが求められよう。

表－５ わが国における有害化学物質の規制基準

(mg/l)

		特定地下浸透水	排水基準	環境基準	水道基準
重金属等	カドミウム	0.001	0.1	0.01	0.01
	シアン	0.1	1	不検出	0.01
	有機リン	0.1	1	EPN:0.006	EPN:0.006
	鉛	0.005	0.1	0.01	0.05
	六価クロム	0.04	0.5	0.05	0.05
	ヒ素	0.005	0.1	0.01	0.01
	水銀	0.0005	0.005	0.0005	0.005
	アルキル水銀	0.0005	不検出	不検出	
	P C B	0.0005	0.003	不検出	
	n-ヘキサン抽出物質				
	フェノール類		5		
	亜鉛		5		
	溶解性鉄		10		
	溶解性マンガン		10		
	銅		3		
	クロム		2		
	フッ素		15		
	セレン	0.002	0.1	0.01	0.01
揮発性物質	ジクロロメタン	0.002	0.2	0.02	0.02
	四塩化炭素	0.0002	0.02	0.002	0.002
	1,2-ジクロロエタン	0.0004	0.04	0.004	0.004
	1,1,1-トリクロロエタン	0.0005	3	1	0.3
	1,1,2-トリクロロエタン	0.0006	0.06	0.006	0.006
	1,1-ジクロロエチレン	0.002	0.2	0.02	0.02
	トランス-1,2-ジクロロエチレン	0.004	0.4	0.04	0.04
	トリクロロエチレン	0.002	0.3	0.03	0.03
	テトラクロロエチレン	0.0005	0.1	0.01	0.01
	1,2-ジクロロプロパン				0.06(監)
	1,3-ジクロロプロパン	0.0006	0.02	0.002	0.002
	ベンゼン	0.001	0.1	0.01	0.01
	トルエン				0.6(監)
	o-キシレン				0.4(監)
	m-キシレン				0.4(監)
	p-キシレン				0.4(監)
	p-ジクロロベンゼン				0.3(監)
	クロロホルム				0.06
	ジブロモクロロメタン				0.1
	ブロモジクロロメタン				0.03
	ブロモホルム				0.09
	総トリハロメタン				0.1
農薬	1,3-ジクロロプロパン	0.0006	0.02	0.002	0.002
	チウラム	0.0006	0.06	0.006	0.006
	シマジン	0.0003	0.03	0.003	0.003
	チオベンカルブ	0.002	0.2	0.02	0.02

表－６¹⁹⁾は、都市下水を受けている3箇所の下水処理場での流入水と処理水、および工場排水の除外施設1箇所（G施設）での処理水に含まれる化学物質の検索結果を示したものである。プロセス排水を含む工場排水が流入しない場合でも、生活排水や営業排水には、生活や営業の活動の場で使われた様々な化学物質が含まれている。工場排水でもG施設のうち染色系排水中の微量化学物質濃度は比較的高いが、全て基準値以下であった。化学物質に対する水の安全性を確保するため、このような検査を全ての処理場で個々の化学物質毎に濃度基準を確立して行う方法には限界があり、何らかの生物学的な手法を取り入れた毒性の検査方法の確立が望まれている。

表－6 都市下水処理場の流入水、処理水中の化学物質¹⁹⁾

物質名 〔μg/L〕	A処理場			E処理場			F処理場				G処理施設		排水基準 または 指針値
	流入水	一次 処理水	二次 処理水	流入水	一次 処理水	二次 処理水	流入水	初沈 水	一次 処理水	二次 処理水	染色 排水	排水	
トリクロロエレン	0	0	0	0.16	0.97	0.18	0.23	0.2	0.13	0.11	0	0	300
トリクロロエレン	1.26	1.42	0	0.16	0.15	1.4	0.19	0.14	0.15	0.07	0	0.07	100
ジクロロメタン	0	1.89	0	20.4	0	0	0.54	29.82	1.31	1.48	0	0	200
四塩化炭素	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	20
1,2-ジクロロエタン	0	0	0	2.47	1.3	0	0.05	0.07	0.07	0.06	0.2	0	40
1,1-ジクロロエレン	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0	20
シス-1,2-ジクロロエレン	0	0	0	0	0	0	0.14	0.09	0.09	0.04	0.24	0	40
1,1,1-トリクロロエタン	0	0	0	0.39	0.16	0.16	0.14	0.1	0.06	0.27	0	0	3000
1,1,2-トリクロロエタン	0	0	0	0.01	0	0	0.06	0.06	0.01	0.02	0.01	0.01	60
1,3-ジクロロプロパン	1.72	0.63	0	0.09	0.42	0	0	0.07	0.04	0	17.13	0.09	20
シス-1,3-ジクロロプロパン	0	0	0	0.09	0.42	0	0	0.07	0.04	0	0.18	0.03	
トランス-1,3-ジクロロプロパン	1.72	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0	16.95	0.06	
ベンゼン	0	0	0	0.01	0.02	0	0.05	0.07	0.06	0.05	0	0	100
トリクロロメタン	7.49	4.67	0	0.76	0	0	0.15	0.05	0.14	0.31	0.12	0	
クロロホルム	7.49	4.67	0	0.69	0	0	0.15	0.05	0.13	0.28	0	0	60
ブロムジクロロメタン	0	0	0	0.04	0	0	0	0	0.01	0.03	0.01	0	
ジブロムジクロロメタン	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.11	0	
ブロムホルム	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
トランス-1,2-ジクロロエレン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
1,2-ジクロロプロパン	0	0	0	0.15	0.01	0	0	0	0	0	0	0	60
p-ジクロロベンゼン	1.81	3.54	1.82	0.4	0.62	0.4	0.28	0.52	0.47	0.18	0.18	0	300
トルエン	37.72	18.2	0	0.06	1.67	1.53	8.81	12.31	6.72	2.69	0.01	0.08	600
キシレン	0	0.01	0	4.24	4.81	0.38	0.98	1.64	3.58	0.12	0.71	0	400
o-キシレン	0	0.01	0	1.84	2.14	0.16	0.39	0.72	1.55	0.04	0.7	0	
m-p-キシレン	0	0	0	2.4	2.66	0.22	0.59	0.91	2.03	0.07	0.01	0	
中沸点有機化合物定性数	3	36	10	24	21	17	17	11	12	10	29	32	

生物学的な検定方法としては在来からバイオアッセイの手法が開発されていたが、これを応用した方法としてバイオセンサーがある。土木研究所と民間企業との共同研究で開発したバイオセンサーに亜硝酸生成細菌 *Nitrosomonas* を用いたアンモニアセンサーがある。亜硝酸生成細菌は酸素のある好氣的条件下でアンモニアを酸化するが、そのとき水中のアンモニア濃度に比例した酸素消費を示す。溶存酸素は酸素電極からの出力で測定できるので、出力変動を測定すればアンモニア濃度の測定が可能となる。図－19は、亜硝酸生成細菌を用いたアンモニアセンサーによる出力例を示したものである²⁰⁾。この図では時間は右から左に進むが、レコーダーZEROのラインと曲線との距離が酸素電極からの出力と考えて良い。右から順に0.5mg/l、1.0mg/l、2.0mg/lのアンモニア性窒素を含む試料を注入すると濃度に応じ酸素が消費されるので電極出力は減少し、ZEROのラインと曲線との距離は短くなる。

しかしながら、試料中に有害化学物質が存在する場合には、その濃度によって酸素消費速度が減少することがわかっている。図－20は、有害化学物質としてトリクロロエチレンを使用し、その濃度とバイオセンサーの出力変化の関係を示した例である²⁰⁾。トリクロロエチレンの濃度が高くなると亜硝酸生成細菌の酸素消費への影響も大きくなり、相対出力は小さくなる。このような有害化学物質の濃度に応じてセンサーの出力が低下することを応用すれば、下水処理水のみならず公共用水域における有害化学物質の監視システムとして利用することが可能である。*Nitrosomonas* は、とくに有機塩素系化合物に対して感受性が高い細菌であるが、重金属や他の有害化学物質によっては感受性が低くなり、いくつかの細菌種あるいは生物種を組み合わせたハイブリッドなバイオセンサーにより信頼性の高い監視システムの構築も行われている²¹⁾。

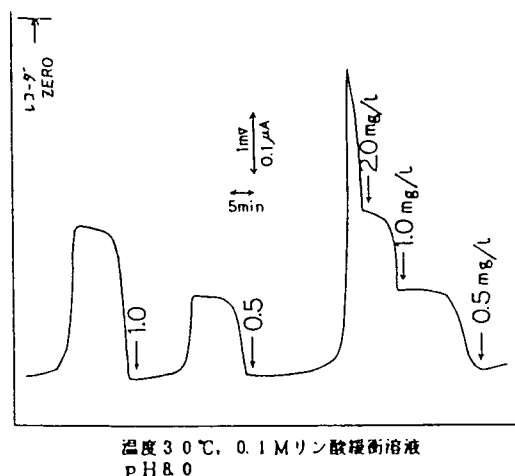


図-19 アンモニアバイオセンサーの
応答特性²⁰⁾

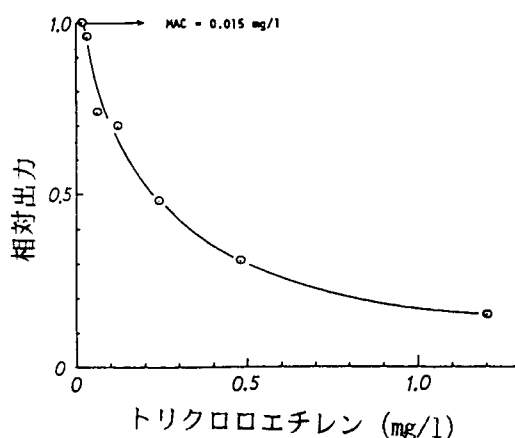


図-20 トリクロロエチレンによるアンモニア
バイオセンサーへの出力低下の影響²⁰⁾

病原性微生物に対しては大腸菌群が指標として用いられてきた。これは、大腸菌群がコレラ菌、赤痢菌などの法定伝染病の原因となる病原菌より耐性が強く、しかも検出が容易であるためであり、大腸菌群が確認されなければ病原菌は経験的にいないことが知られていた。このため、下水処理水中の病原性微生物対策としても、大腸菌群を指標微生物として消毒技術の開発が図られてきた。現在、下水処理水の消毒方法として一般的に用いられてる方法は塩素消毒であり、ハンドリングのし易さから次亜塩素酸ナトリウムが用いられている。しかしながら、塩素系の化学薬品は水中の有機物と反応して発癌性のトリハロメタンや他の有機塩素化合物を生成する危険性があるため、塩素消毒に代わる消毒方法も求められている。塩素に代わる消毒方法として、紫外線照射による方法およびオゾン注入による方法が有望な方法として研究が進められている。さらに、最近の病原性微生物の中には原虫のように大腸菌群よりも耐性が強く、しかもそれ自身の検出操作が複雑なものも知られている。大腸菌群よりも耐性が強い病原性微生物については検出方法についての研究の緒についたばかりであるが、早い段階での対策研究への着手が求められている。

5. おわりに

都市域からの雨水を排除して浸水を防止し、生活、産業の場から発生した下水を排除・処理して河海に放流するという近代下水道の成立からは既に100年以上の歳月が経過している。この間、下水道技術は下水の収集・輸送、処理、有効利用、さらには汚泥の処理、有効利用等の面で目覚ましい進歩を遂げ、下水道は都市機能を支える重要なインフラストラクチャーとなっている。

本論では都市水環境の保全・向上に果たす下水道の役割として、雨水排除、下水処理による富栄養化防止、処理水の安全性確保、親水性の向上など面での現状および下水の高度処理、安全性の確保の面での土木研究所での研究の取り組みの一端を紹介した。下水道が今までと同様に、都市のインフラストラクチャーとして望まれる都市水環境の保全に貢献するためには、今後の研究に期待するところが大きく、本論が関係者の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 建設省都市局下水道部（監修）：平成8年日本の下水道、平成8年
- 2) 建設省都市局下水道部：平成9年度下水道事業予算概算要求概要、平成8年
- 3) 虫明巧臣：都市の水循環システムにおける「エコ」的側面、土木学会誌増刊 Vol.77-9、平成4年
- 4) 石崎勝義、橋本健、長谷川：土地利用の変化に伴う流出機構に関する調査、河川事業調査費報告、建設省土木研究所、昭和51年
- 5) 東京都下水道局：下水道－21世紀都市東京を創る、平成2年
- 6) 建設省河川局：平成6年度水害統計、平成8年
- 7) 東京都環境保全局：東京都水辺環境保全計画、平成5年
- 8) 田中宏明、大垣慎一郎、諏訪守、佐藤和明：感染リスクの評価方法、水環境学会誌 Vol.20, No.3、平成9年
- 9) 田口勝久、田口眞：公衆衛生における下水道の重要性、下水道協会誌、Vol.32, No.387、平成7年
- 10) 大垣眞一郎：再利用水の微生物基準を巡る課題、水系微生物汚染の健康へのリスク評価と制御手法、－水の再利用と微生物基準－、土木学会衛生工学委員会研究小委員会、平成5年
- 11) 建設省都市局下水道部（監修）：平成8年日本の下水道、平成8年
- 12) 中村栄一：琵琶湖の水質保全と高度処理、月刊下水道 Vol.19、No.7、平成8年
- 13) 田中宏明、南山瑞彦、松原正明：生態系から見た下水処理水の評価方法に関する調査、下水道事業調査費報告、建設省土木研究所、平成9年
- 14) 日本下水道事業団技術開発部：最近の消毒技術の評価に関する報告書、平成9年
- 15) 田中宏明、南山瑞彦、松原正明：河川水質と水生生物相との関係の把握、建設技術研究開発経費報告、建設省土木研究所、平成9年
- 16) 奥田善昭：アユを元気にさせる下水道－広瀬川浄化センターのオゾン処理－、月刊下水道、Vol.18, No.6、平成7年
- 17) 鈴木穰、重村浩之：地域環境に対応した生活排水処理施設等の処理水質の高度化に関する研究、窒素の超高度除去に関する研究、国立機関公害防止等試験研究費報告、建設省土木研究所、平成9年
- 18) 鈴木穰、小越真佐司、奥儀和史：移設可能で簡易な下水処理施設に関する調査、下水道事業調査費報告、建設省土木研究所、平成9年
- 19) 田中宏明、高島英二郎、南山瑞彦、豊田忠宏：下水処理水の評価基準に関する調査、下水道事業調査費報告、建設省土木研究所、平成6年
- 20) 中村栄一、田中宏明、田中良春、飯竹隆司、星川寛：アンモニアセンサーの開発、建設省総合技術開発プロジェクト報告、建設省土木研究所、平成3年
- 21) 中村栄一、田中宏明、田中良春、飯竹隆司、星川寛：水中の毒性物質の検知方法および検知装置、特許公報、特公平8-33381、平成8年

「持続可能な発展」を可能とする建設技術

材料施工部長 片 脇 清

「持続可能な発展」を可能とする建設技術

—エネルギーと資源の観点から—

はじめに

地球温暖化の防止は21世紀に向けての大きな政治的社会的な課題となっている。1997年12月に京都で開催された地球温暖化防止会議（C O P 3）で採択された議定書では法的拘束力を持つ温暖化ガスの排出削減目標が盛り込まれた。日本は1990年比で6%の削減を求められているが、これは2010年前後には、規制されなかった場合に比べて2割以上削減しなければならないことを意味する。

日本では既に省エネ対策を推進しているだけに厳しい数値目標であるといえる。このためには低減に有効な技術を提案し、省エネ技術の本格的な普及や環境産業の育成が急務となっている。C O 2の排出は生産活動の量を規定するものであり、建設分野においてもエネルギーと資源の観点から大きな影響をうけることが予想される。

建設省土木研究所では、地球規模環境問題の解決に向けて技術的な課題を解決するためにさまざまな技術開発を行ってきた。ここでは、持続可能な発展を可能とする建設技術として、主として、エネルギーと資源の観点からこれまでの研究成果を取りまとめ、またこれからのありうるべき技術の姿についていくつかの考察をしたい。

1. 持続可能とは

1. 1 持続可能な開発とアジェンダ21

国連環境開発に対する世界委員会いわゆるOur Common Future(我ら共有の未来)によればSustainable Development（持続可能な開発）は、「将来の世代が自らの欲求を充足する能力を損なうことなく、今日の世代の欲求を満たすような開発をいう」ことである。

このサステナブルという意味はラテン語のsubtenir支持するという意味から来ている。この言葉自体、倫理的な環境と人間との関係を含む、そして未来の世代への責任を示している。この言葉には貧困、人口、生態系、森林、有害物、廃棄物、水資源、陸上資源、気候変動など多くの要素が取り込まれている。

これらは1992年ブラジルで開催された地球サミットで合意されたアジェンダ21（21世紀に向けての具体的な行動計画）において、社会的経済的側面、開発の資源の保護と管理、主たるグループの役割強化、そして実施手段という形で整理されている。

また、サステナブルという言葉はそれだけで単独で使われるだけでなく、サステナブルコミュニティ（地域における環境の持続可能性）、サステナビリティインディケータなどとしても用いられる。

アジェンダ21（地球サミット1992年）

第1章 前文

◆分野1 社会的・経済的側面

第2章 開発途上国の持続可能な開発を促進するための国際協力と関連国内政策

第3章 貧困の撲滅

第4章 消費形態の変更

第5章 人口動態と持続可能性

第6章 人の健康の保護と促進

第7章 持続可能な人間住居の開発の促進

第8章 意思決定における環境と開発の統合

◆分野2 開発資源の保護と管理

第9章 大気保全

第10章 陸上資源の計画および管理への統合的アプローチ

第11章 森林減少対策

第12章 脆弱な生態系の管理：砂漠化と旱魃の防止

第13章 脆弱な生態系の管理：持続可能な山岳開発

第14章 持続可能な農業と農村開発の促進

第15章 生物多様性の保全

第16章 バイオテクノロジーの環境上適正な管理

第17章 海洋、閉鎖性および準閉鎖性海域を含むすべての海域および沿岸域の保護およびこれらの生物資源の保護、合理的利用および開発

第18章 淡水資源の質と供給の保護：水資源の開発、管理および利用への統合的アプローチの適用

第19章 有害かつ危険な製品の不法な国際取引の防止を含む有害化学物質の環境上適正な管理

第20章 有害廃棄物の不法な国際取引の防止を含む、有害廃棄物の環境上適正な管理

第21章 固形廃棄物および下水関連問題の環境上適正な管理

第22章 放射性廃棄物の安全かつ環境上適正な管理

◆分野3 主たるグループの役割強化

第23章 前文

第24章 持続可能かつ公平な開発に向けた女性のための地球規模の行動

第25章 持続可能な開発における子供および青年

第26章 先住民およびその社会の役割の認識および強化

第27章 非政府組織の役割強化

第28章 アジェンダ21の支持における地方公共団体のイニシアティブ

第29章 労働者および労働組合の役割の強化

第30章 産業界の役割の強化

第31章 科学的、技術的団体

第32章 県民の役割の強化

◆分野4 実施手段

第33章 資金源およびメカニズム

第34章 環境上適正な技術の移転、協力および対処能力の強化

第35章 持続可能な開発のための科学

第36章 教育、意志啓発および訓練の推進

第37章 開発途上国における能力開発のための国のメカニズムおよび国際協力

第38章 国際的な機構の整備

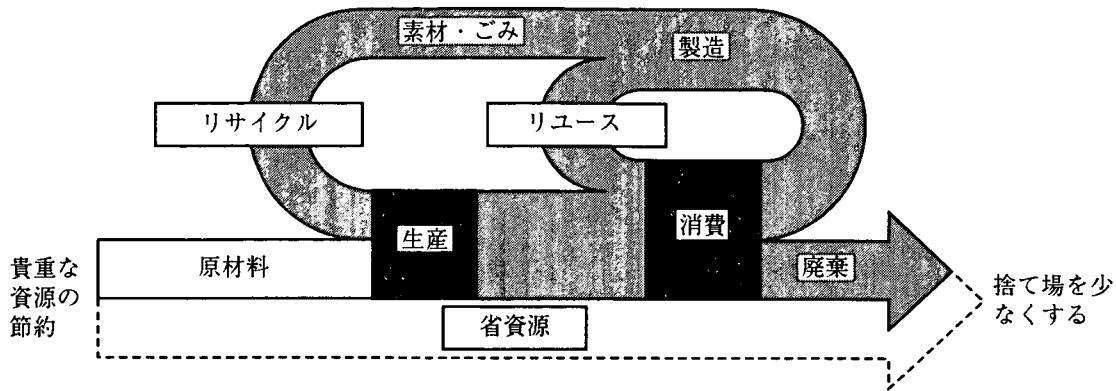
第39章 国際的法制度およびメカニズム

第40章 意志決定のための情報

1. 2 21世紀の新しい社会構造建設産業の貢献

わが国はG O PあたりのC O 2排出量は世界最小であり、またリサイクル率も高く、省エネルギー率、環境関連技術のトップグループであると自負してきた。とはいえ新たな削減目標を達成するためにはさらなる努力が必要である。

公共事業においては、環境調和型の経済社会を作るための公共事業として、これまで蓄積してきた

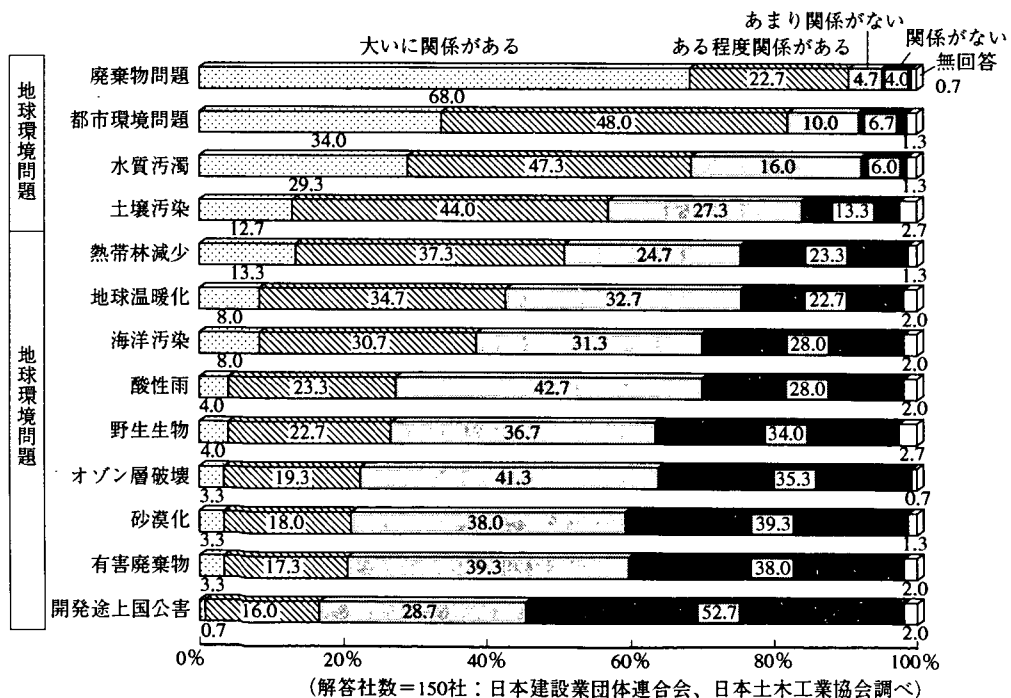


環境循環型リサイクル社会

土木技術の様々な技術要素、大規模インフラを建設する技術、そして効率的な計画設計、施工のシステムと維持管理のノウハウ、これらを効果的に活用することによって、大きく貢献できる可能性がある。

このためにはまず自身をより環境調和型にすること、望ましい環境循環型社会構造の形成に貢献すること、効率的で効果の大きい環境保全技術を開発し構築することが望まれるであろう。

同時に、建設分野を将来型の環境循環型社会構造の形成に組み込むことが、きわめて合理的で効率的であることをアピールすることや、蓄積された建設技術を効果的に使うことの有効性をアピールす



建設業の環境問題に対する認識度

ることに成功すれば、建設分野が果たすべき役割はさらに大きくなると考えられる。

持続的な発展をすることは、産業の立場からいえば環境技術として有用な商品を持つことであり、省資源、省エネルギーによってコストを低減し、また無駄を省くためのシステムを構築することによって生産性の向上を果たすことになる。環境産業は雇用創出効果が大きいこと、知識集約型産業であることから大きな効果を建設分野に与えると予想される。

2. 総合技術開発プロジェクトなどによる技術開発

持続的な発展のための技術要素は、建設省においては総合技術開発プロジェクトなどの研究プロジェクトによって開発されている。

たとえば

- ・省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発（平成4年から平成8年）
- ・建設副産物の発生抑制再生利用技術の開発（平成4年から平成8年）

また、これらのフォローアップを地方建設局とともにやっている。

- ・建設副産物の発生抑制再生利用技術の開発フォローアップ調査（平成9年から平成10年）
- ・省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発 建設省技術研究会指定課題（平成7年から平成9年）

さらに、平成10年度からは環境等に与える影響を外部コストとして評価した上で建設事業コストの低減を図る総合技術開発プロジェクトとして、関連する課題を推進する予定である。

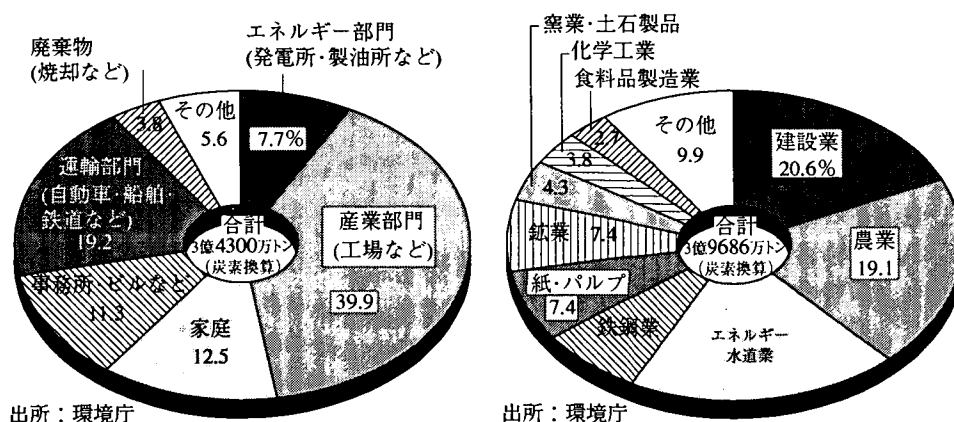
これらの研究を通して得られた成果は

- ・実態分析と評価手法の確立
- ・環境負荷の少ない社会へ移行するための建設技術の開発
- ・環境負荷低減効果の大きな長寿命化技術の開発などである。

以下に主要な成果の概要を述べたい。

3 実態分析と評価手法の確立

3. 1 わが国におけるCO₂排出量の中で土木分野が占める割合



二酸化炭素排出量の部門別内訳(1994年度) 産業廃棄物の業種別内訳(1993年度)

わが国におけるCO₂排出量の中で土木分野が占める割合はいかなるものであろうか。

まず建設事業における資源エネルギー消費量、環境負荷の算定手法の開発をおこなうことにし、それとともにその試算をおこなった。エネルギー部門から各産業部門を経由して土木事業に流れる資源エネルギー、環境負荷量を求めるために産業連関表（取引基本表）を用いて算定をおこなった。

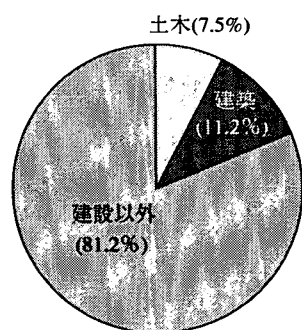
土木分野においては直接工事の部分よりもはるかに資材や運送などの部門での消費量が多い。計算結果によれば土木は7.6%、建築は11.2%であり、建設部門は合計して19%のエネルギー消費量比率を持っている。

CO₂の排出量においては、土木が9.7%、建築が13.5%合計して23%の排出量比率を持っている。資材、燃料等を大量に消費するエネルギー多消費型であるといえる。

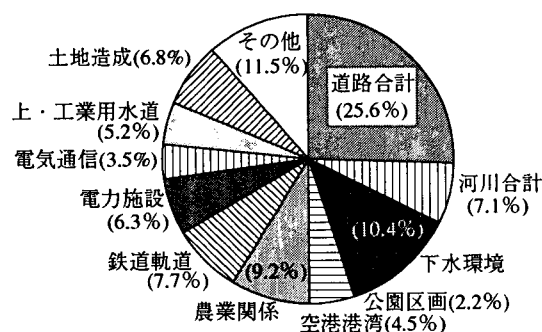
この産業連関表に建設部門分析表産業連関表を組み込むことによって土木事業ごとに算定をおこなうことが可能となった。ここでは31の事業を対象としている。

土木事業におけるCO₂排出量の内訳でみると道路関係が25.7%、続いて農業関係が11.1%、下水環境関係が9.8%、鉄道軌道建設が7.8%、河川関係が7.6%となっている。

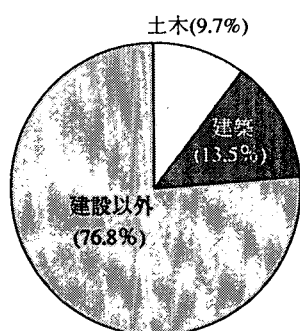
このなかで材料の占める割合はほぼ共通して80%前後であり、また輸送部門が10%前後である。このため各事業の中で使用する材料、あるいは機材などをよく考慮し、各々について環境対策を検討することが重要であることが分かった。



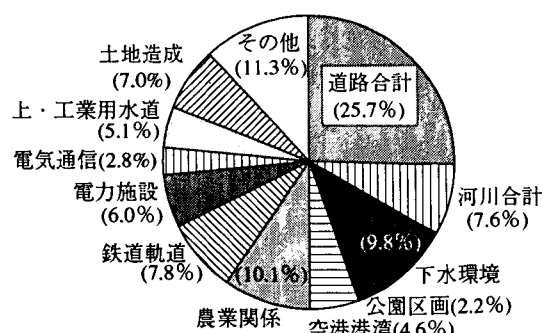
全産業に対する建設関連分野のエネルギー消費量の比率



土木事業における分野別エネルギー消費の内訳



全産業に対する建設関連分野のCO₂排出量の比率



土木事業におけるCO₂排出量の内訳

3. 2 ライフサイクル全体からみた総合的評価手法

寿命やマーケット規模、経済性（コスト）等を考慮した総合的評価手法を開発することによりライ

フサイクル全体から見た、経済性に優れる環境に優しい建設技術の総合的評価手法を開発した。

ライフサイクルにおけるCO₂排出量とライフサイクルコストとを総合して評価することにした。これはライフサイクルを低減できるコストとCO₂を総合的に評価し、その工法の優位性を判断する手法を作成したものである。

建設時のエネルギー消費量およびCO₂排出量は多くても維持管理時や解体時にエネルギー消費やCO₂排出が少ないもの、あるいは寿命が2倍3倍のびる工法や資材ならば十分省エネルギーとなることからトータルとしては十分効果がある。工法が省エネであっても適用分野やマーケットが少しであれば省エネ効果は少なくなってしまうことから開発の重点化を図るために、必要な評価手法、省エネ工法の省エネ効果や総合的に評価する評価項目および評価手法の検討をおこない、耐用年数を考慮したライフサイクルコスト評価手法をもとにした計算をおこなった。

このように、評価の対象を建設時のみでなく、維持管理および廃棄まで含めたライフサイクル全般に拡大することによって削減工法に対する幅広い視点からの評価が可能となった。

例えばこれまでの調査でエネルギー消費量、CO₂排出量が従来工法に対して削減されていないとの計算結果が得られた工法についても、総合的評価では維持管理時や、解体時における削減効果により、トータルでは優れた結果に転じる可能性があるものがあつた。

次に省資源、省エネルギーの観点から見て有効と思われる資材や工法について調査をおこない、そ

省資源・省エネルギー型土木工法の例

番号	適用分野	名 称	比較した従来工法	エネルギー消費量	CO ₂ 排出量
1	ダム	堤体内構造物のプレスカスト化	在来型枠支保工工法	0.61	0.68
2	河川	プレストレス (PC) 可撓性樋管	鉄筋コンクリート製樋管	0.74	0.79
3	土工	発泡スチロール (EPS) 土工法	バイルスラブ工法	1.06	0.58
4		ジオグリッド工法	バイルスラブ工法	0.30	0.44
5		法面リフォーム機械化施工技術	老朽化した吹き付けコンクリート補修・補強工事	0.18	0.10
6		非開削空洞充填工法	開削穴埋め工法	0.70	0.76
7		岩盤・コンクリート等の切削破碎工法	膨張材を充填し、その膨張圧により一次破碎を行う工法	0.52	0.53
8		プレキャスト版型枠併用工法	場所打ちコンクリート工法	0.98	0.98
9	下水道	沈設立杭構築工法	薬注工法による立杭構築工法	0.83	1.13
10	シールドトンネル	多円形シールド工法	シールド工法	0.94	0.93
11		発達到達の地盤改良不要工作	シールド工法	0.94	0.89
12		場所打ち鉄筋コンクリート覆工法	下水道開削工事	0.40	0.36
13	山岳トンネル	都市NATMブレイニング工法	多分割施工法 (CD工法)	0.95	0.91
14	舗装	プレストレスコンクリート舗装工法	普通コンクリート舗装	1.14	0.91
15		表層および路盤材の再生混合工法	道路舗装工事	0.49	0.45
16	コンクリート橋	ボステンを用いたアウトケーブル	RC構造	0.83	0.83
			PC構造	0.79	0.79
17		U型ウェブ工法	ブレンT桁橋	0.81	0.85
18		PC鋼より線の利用	PC鋼棒	0.87	0.89
19		帯状繊維材による老朽橋脚の補強	鋼鈑巻立工法	0.65	0.58
20	セメント	石灰石粉末を用いた省略エネセメント	普通ポルトランドセメント	0.72	0.81
21	アスファルト	常温合材の導入	加熱アスファルト舗装	0.52	0.52
22	基礎	ソイルセメント改良埋め込み杭	場所打ち杭工法	0.91	0.71
23		先端支持力低減場所打ち杭工	場所打ち杭工法	0.90	0.79
24	下水処理	PC卵型消化槽	円筒形消化水	0.51	0.57
25	その他	高濃度軟泥浚渫工法	ポンプ浚渫スラリー輸送工法	0.66	0.83

備考) エネルギー消費量及びCO₂排出量は、比較した従来工法を1.00とした比率を示す。

のなかから優れたものを選定した。

当初、対象とした資材や工法は236種類であった。これらの資材や工法について工法の絞り込みをおこなった。その結果43種類の資材や工法を設定した。土工、シールドトンネル、コンクリート分野が多くなっている。これらについてエネルギー消費量、CO₂排出量の結果を計算した。

この結果43工法中30工法は、削減効果があったが12工法については従来工法より逆に増加する結果となった。削減率が50%以上と効果の高い工法はジオグリット工法、のり面リフォーム機械化施工技术、場所打ち鉄筋コンクリート工法、舗装用合材の再生混合工法であった。

削減効果のあった工法に共通していえることは、エネルギー消費量の多いコンクリート、鋼材、アスファルト資材の使用量の削減が図られていたこと、リサイクルにより資材の削減がはかられていたことである。

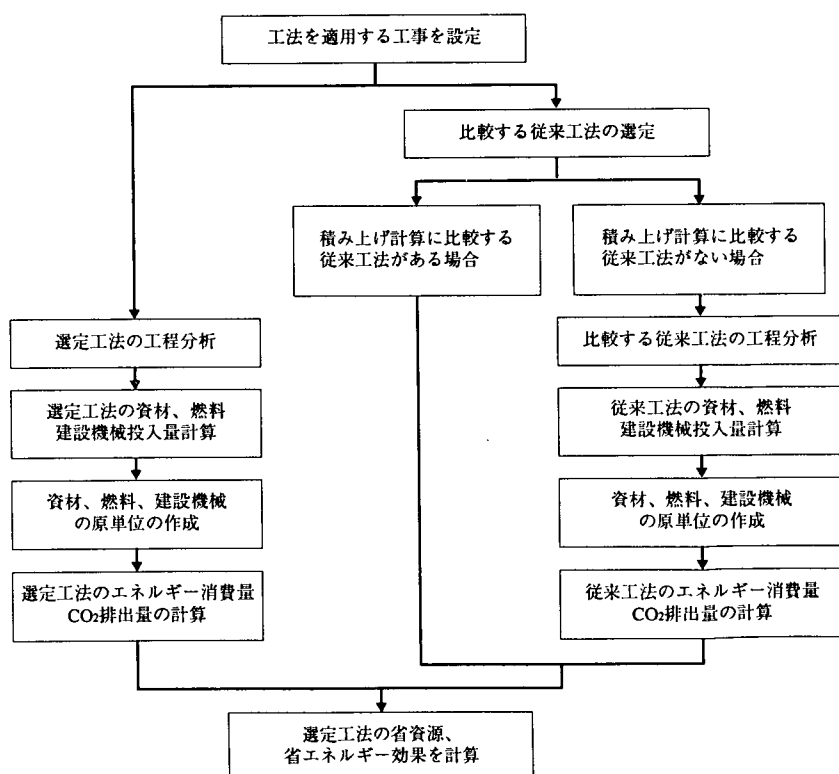
工法の評価においてコストが重要なのは対象がライフサイクル全体となった場合も同様である。LCCの評価では耐用年数間における維持管理時及び解体時のコストが計算に加えられる。また、環境面からの評価軸としてLCCO₂を評価軸に加えた。

LCCO₂を評価軸総合的に評価することにより、資材導入量の削減、再生材使用率の向上、建設機械の現場内有効利用と環境面における視点が、建設技術の研究開発において重視されることになる。さらにマーケット規模を評価軸としたことから工法の有効性を経済的な観点から評価することができる。

3. 3 きめ細かい省エネ、省負荷対策のための詳細分析手法

積み上げによる計算方式で資源エネルギー消費量及びCO₂の排出量を推計した。この方法はこれまでおこなわれてきた土木分野におけるエネルギー消費量、CO₂排出量の推計に比べて資材、建設機械、資料運搬工程ごとの詳細の積み上げ計算をおこなっている点である。従って、きめ細かい省エネ、省負荷対策が立てられるという利点がある。

たとえば、工事現場で消費するエネルギー



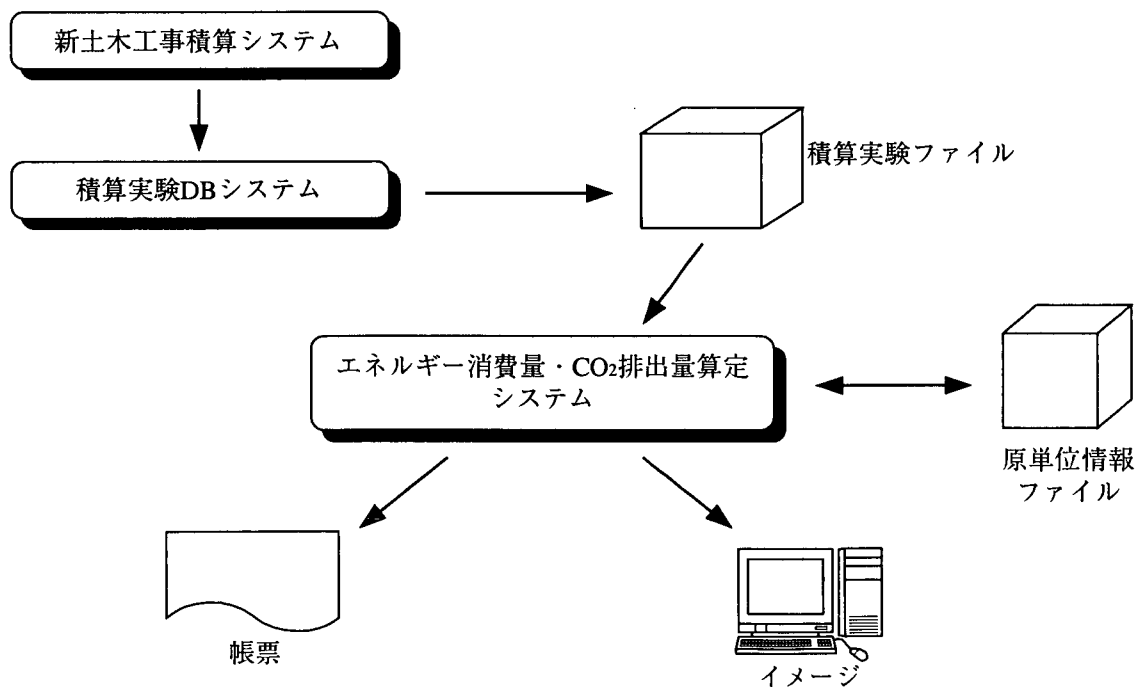
積み上げ方式による省資源・省エネルギー型土木工法の計算

は建設機械が消費する重油、軽油、ガソリン、電力などである。建設機械の燃費の向上によって最も削減効果が大いなのは道路改良工事である。一方下水道（シールド）工事においては資材生産時の省エネの方が遥かに重要である。いずれの場合も観察消費分が圧倒的に多い計算結果となっており、資材消費量の削減や資材生産時および運搬に係わる省エネ対策、またはCO₂対策をおこなうことが重要であることが確かめられた。

3. 4 エネルギー消費量CO₂排出量算定システムの提案

積算システムと連動したエネルギー消費量CO₂排出量算定システムを作成した。これは消費量や排出量を積算書類から即座に計算し、各種の分析に役立てようとするものである。積算システムの積算実績ファイルから資材数量、施工機械運転機関の等の必要なデータを自動編集作成する機能、これらを目的に合わせ集計を可能とするような編集データを蓄積する機能、データファイルを管理する機能、そして統計処理が可能とする機能、これらを表示するシステム、これらを組み合わせたものである。

このような算定を適切におこなうことによって、消費量などの現状把握などを正確におこない、有効な対策を立てるためのツールとすることができる。ソフトは誰もが簡単に使えるよう、パソコンプログラムは市販の表計算ソフトウェアの自動計算手順である「マクロ」を用いて作成した。



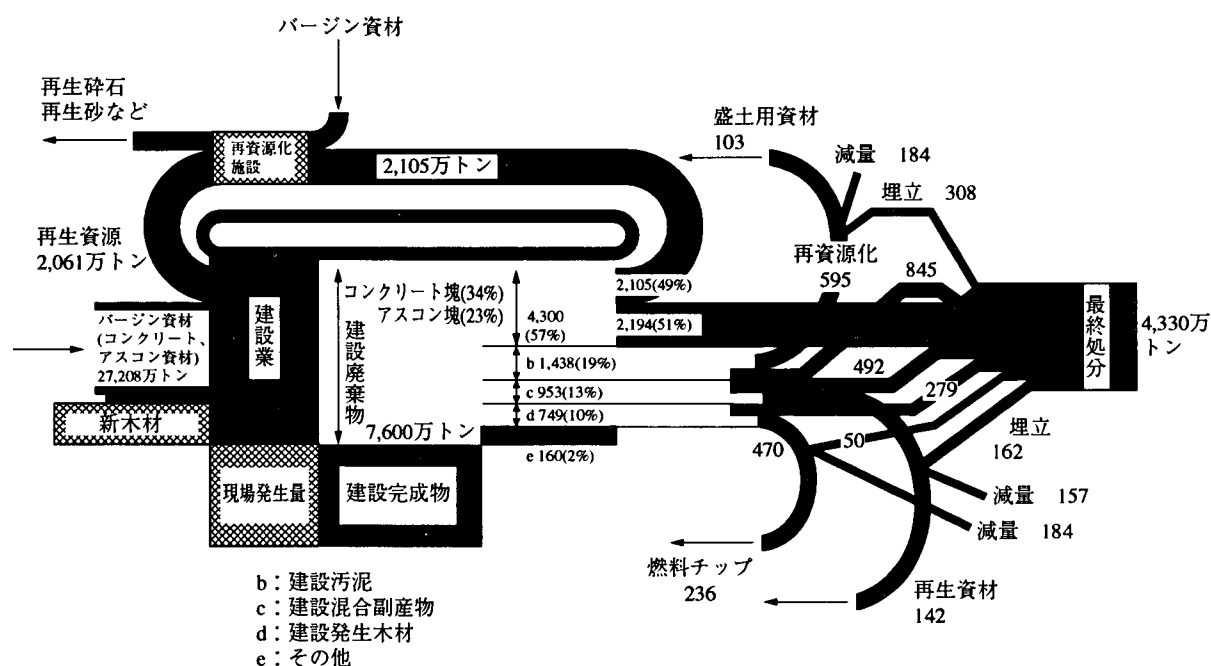
エネルギー消費量CO₂排出量算定システム

4 環境負荷の少ない社会へ移行するための建設技術の開発

環境負荷の少ない循環型社会へ移行するためには資源生産性を向上させる必要がある。省エネ資材を用いることや最小の資源で最大の効率をあげる工夫、省エネ工法、再生資源化も資源生産性を高める有力な方法である。

建設資材の循環系の形成は、構造物として蓄積してきた膨大な建設資材をどのように循環利用し、省エネルギーをはかるか、建設資材と建設廃棄物、建設発生物の運搬に伴うエネルギー削減をはかるか、また建設資材の循環系の中にどのようにほかの廃棄物を受け入れていくかということから検討されなければならない。つまり、生産消費、リサイクル、リユース、廃棄という大きなサイクルの中で資源の生産性を最大化するためにはどのようにすればよいかという課題である。

鉄鋼はこのような循環サイクルが比較的うまくいってる物質である。鉄鋼はわが国の1994年度の時点で国内蓄積量11億トンの過半が建設構造物中に蓄積しており、セメント骨材、その他の資材は数百億トンの蓄積量となっている。また、製造された鋼材は土木資材、建設資材などに活用され、また利用後は回収され電炉品として建築用鉄筋などに再利用されている。生成過程で発生する様々な発生物（スラグ、石炭灰、ダスト、など）は、主として建設資材として有効に利用され、現在ではリサイクル率が94%までになっている。これは建設分野が循環サイクルの一部として組み込まれた、逆にいえば土木が積極的に受け入れることによって、マテリアルリサイクルが進んでいる成功例であるといえよう。



建設廃棄物のマテリアルフロー（平成2年度）

4. 1 省エネ資材や省エネ工法

建設事業の省エネルギー化のためには以下の方法がある。

- ② エネルギー消費量の多い資材（コンクリート、鋼材、アスファルトなど）の使用料の削減
- ③ リサイクルによる資材の削減
- ④ エネルギー原単位およびCO₂原単位の小さい資材の使用
- ⑤ 省エネ資材や省エネ資材や省エネ工法の採用

省エネルギー効果を計算した結果から、省エネ、省CO₂に寄与できる工法を土木研究所は提案して

いる。

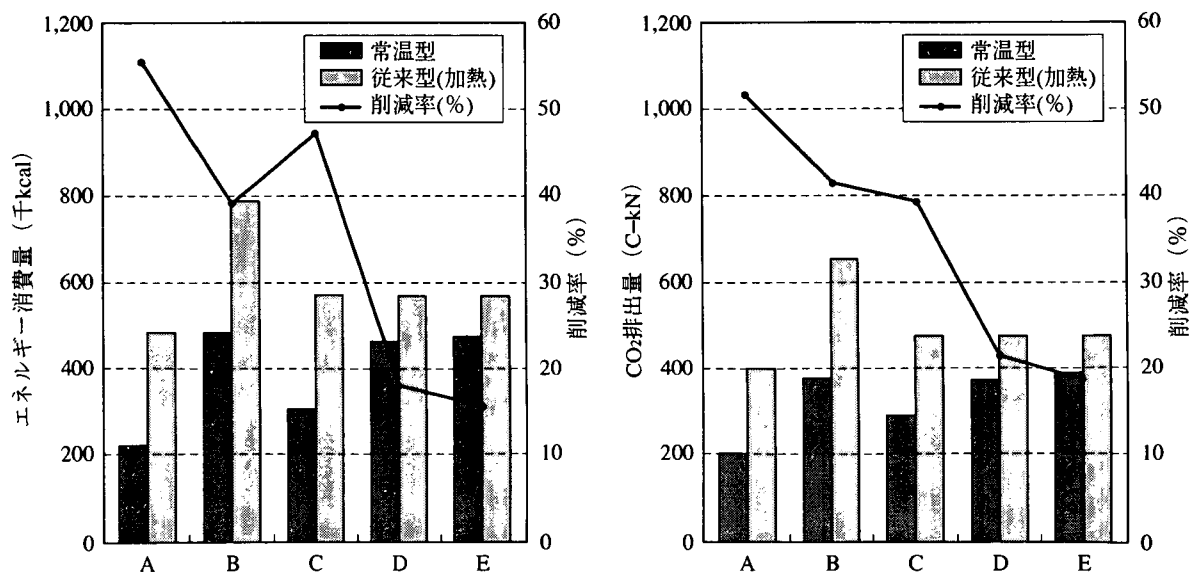
4. 2 常温型舗装の開発と省エネセメントの利用開発

資材のこれ以上の省エネ対策をおこなうためには新しい資材の開発や資材生産の技術開発が不可欠である。

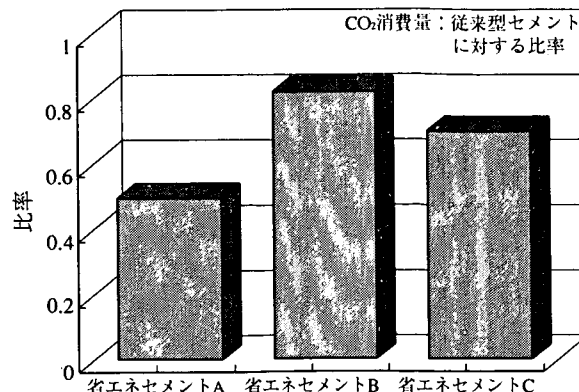
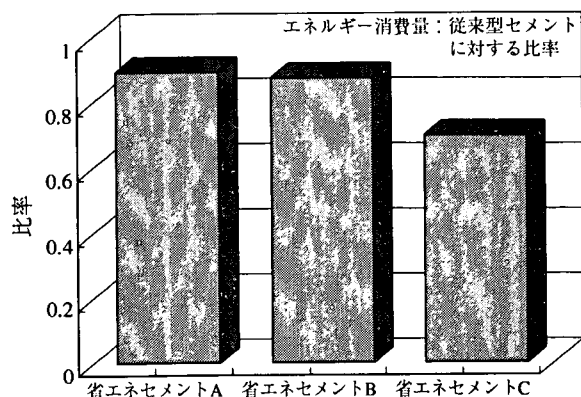
そこで、土木研究所においては、常温型舗装の開発と省エネセメントの開発利用を行った。常温型舗装材は製造、施工において加熱を行わず常温で施工することにより、現在、通常用いられている加熱アスファルト混合物と比較して、エネルギー消費量及び二酸化炭素（CO₂）排出量の削減が可能な常温型舗装の利用技術の開発を目的としている、特に、従来の常温舗装の欠点であった初期安定性や長期耐久性について検討を行った。本研究は、財団法人1団体と民間会社6社1団体との共同研究により行った。

常温型混合物は5種類で、現場混合のものや排水機能を持つものなどがある。平成6年度は、開発を行った各舗装材料について、バインダー性状および混合物性状の確認のため、エングレー度試験やホイールトラッキング試験などの室内試験を行った。平成7年度は、土木研究所構内舗装走行実験場において試験施工を行い、施工性の確認を行うと同時に、荷重車の自動走行により実際の交通荷重を再現する促進試験により、供用性や耐久性について検討を行った。これらの成果をまとめて「常温舗装利用技術マニュアル」を作成した。

省エネセメントは、都市ゴミ焼却灰や下水汚泥、スラグなど従来あまり使われていなかった未利用資源の廃棄物を使ったセメントである。耐久性及び安全性の確認を行うことを目的にして、セメント会社など共同研究により、凍結融解、中性化、乾燥収縮などの耐久性試験と省エネセメントやモルタル硬化体からの重金属溶出試験などを行った。



常温型舗装のエネルギー消費量およびCO₂排出量の低減効果



セメントのエネルギー消費量およびCO₂排出量の低減効果

また、省エネセメントを用いて練ったコンクリートの実構造物レベルでの施工性を評価するため、コンクリート橋脚型供試体を作製し、プラントでの練り具合や作業性、締固め易さ、表面の均し易さなどの施工性やフレッシュコンクリートの経時変化を試験した。これらをもとに、省エネセメントを用いたコンクリートの利用技術をまとめた「省エネセメントの利用技術マニュアル」を作成した。

4. 3 建設廃棄物及び建築発生土リサイクルプラン21

建設省ではリサイクルプラン21を設定した。これは建設省直轄工事や建設省所管の補助事業も含めて対象とする建設副産物対策の行動計画である。

このリサイクルプラン21においては2000年において建設廃棄物のリサイクル率を80%とすることを目標としている。建設廃棄物及び建築発生土について、計画・設計段階から施工段階までの各段階において、発生抑制、再利用の促進、適正処理の推進を3つの基本施策とし、また、新たなしくみの構築、技術開発の推進、理解と参画を3つの基盤施策として、これを推進するための行動計画を定めている。

リサイクルプラン21の目標

2000年（平成12年度）までに建設廃棄物及び建設発生土についてリサイクル目標を以下の通り80%に設定（現況はそれぞれ58%、32%）し、コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊及び建設発生木材についてのリサイクル

	平成12年度	
	リサイクル率の目標値	平成7年度の実績値
建設廃棄物	80%	58%
a) アスファルト・コンクリート塊	90%	81%
b) コンクリート塊	90%	65%
c) 建設汚泥	60%	14%
d) 建設混合廃棄物	50%	11%
e) 建設発生木材	90%	40%
f) 建設発生土	80%	32%

原則化ルールの徹底、建設汚泥、建設混合廃棄物についてもリサイクル原則化ルールを導入、工事の仕様書において建設副産物の処分方法を指定・条件明示する措置の徹底などを行うことにしている。

同時に、リサイクルや、再生資源活用のための試験研究の推進と、その成果を活用した技術基準類の整備を行う。

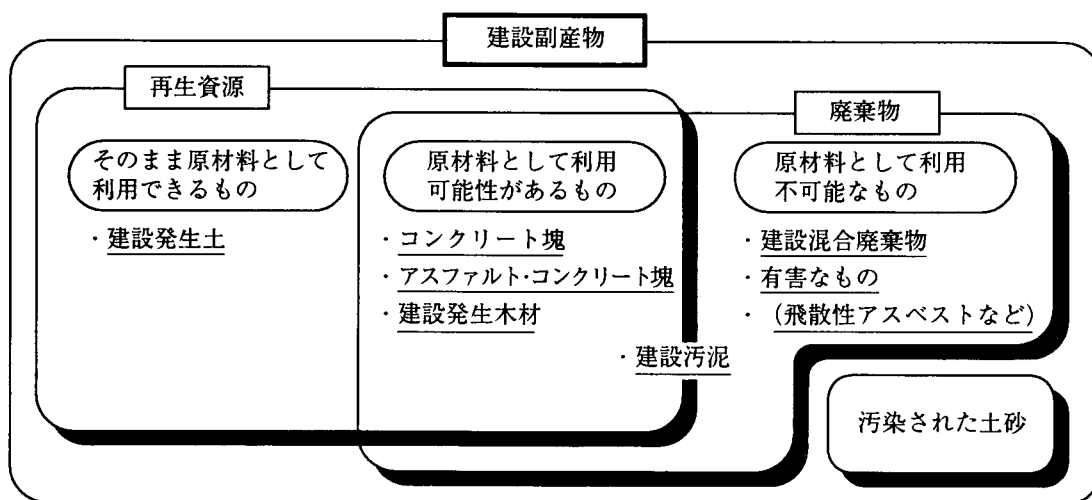
リサイクルプラン21の目標を達成するため、総合技術開発プロジェクト・建設副産物の発生抑制再生利用技術の開発（平成4年から平成8年）や建設省技術研究会リサイクルモデル事業などを通じて

建設副産物発生抑制再生利用のための技術開発に取り組んでいる。

いうまでもなく建設副産物は、そのまま原材料として利用できるもの、原材料として利用可能性のあるもの、原材料として使用不可能なもの、廃棄物などと分類される。有害なもの、あるいは汚染されたものは原材料として利用不可能とされているが、例えば汚染された土砂などについては、その無害化を図ることが可能である。計画段階において、土砂や土砂を汚染しないようにすること、地盤環境を汚染しないようにすること、有害なものをを用いないことなどが不可欠である。このための官民連帯協同研究を開始した。このように発生量を抑制する建設技術や再利用しやすい状態で排出するための建設技術などの開発を行っている。

総合技術開発プロジェクト
で取り組んでいる課題（例）

1) 発生土の高度処理・高付加価値化技術の開発
(1) 気泡混合土の利用技術開発
(2) 気泡ビーズ混合土の利用技術の開発
(3) 軽量ブロック（袋詰めソイル）の利用技術の開発
(4) 繊維混合土の利用技術の開発
(5) 混合プラントの開発
2) 埋立地盤の早期利用技術の開発
3) 建設汚泥の高度処理・高付加価値化技術の開発
(1) 建設汚泥の高度処理技術の開発
(2) 建設汚泥の高付加価値化技術の開発
4) 発生土・建設汚泥の利用用途別品質規格、利用基準作成
5) コンクリート副産物の発生と処理・処分の現状
6) コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定基準
7) 微粉の利用に関する検討
8) コンクリート副産物の処理技術の現状調査



建設副産物における再生資源と廃棄物の関係

同時に低品質なリサイクル材をより品質の高いものにし、その用途の拡大をはかることや効率よく輸送するための技術、迅速に再利用するための技術などの開発を行っている。

5. 環境負荷低減効果の大きな長寿命化技術の開発

構造物の観点からいえば、構造物の寿命を長くすること、すなわち劣化問題を根本的に解決することが、資源的にもエネルギー的にも有効な方策のひとつである。

寿命についていえば、力学的な寿命、化学的な寿命だけでなく、社会的な寿命を考慮すると、長期

にわたって美観を保ち、長持ちする構造物を造る計画及び設計が重要となろう。材料・部材が簡単には劣化しないような耐久設計をしておくことは、構造物の長寿命性を確保することに役立ち、廃棄物を出す回数を減らすことになるからである。

この観点からコンクリート構造物の長寿命化は重要な課題である。コンクリート構造物の劣化の背景には、骨材の低品質化、設計条件、環境条件の悪化およびコンクリート技術の分業化などにあるとされる。とくに良質の河川産骨材の枯渇による海砂と反応性骨材の多用は、鉄筋の腐食と膨張性ひび割れの発生とそれに伴う一部のコンクリートの著しい劣化を招いた。施工面においては、配合から打設および養生までの各工程の技術が進歩し、合理化および省力化が進んだ反面、全工程にわたる品質管理が必ずしも十分でなく、これがコンクリートに悪影響を及ぼしているとされる。さらに、コンクリート構造物が建設される環境範囲の拡大と過酷化、大気中の炭酸ガス、亜硫酸ガス、 NO_x および SO_x などの有害ガスの増加、交通量の増加に伴う疲労などもコンクリート構造物の劣化を考える上で見逃すことのできない。

このような問題に対して、鉄筋の腐食については、コンクリート中の塩化物イオン量の制限、水セメント比の制限、最小単位セメント量の制限、最小かぶりの確保、許容ひび割れ幅の設定等によって対応するように定めている。アルカリ骨材反応による劣化に対しては、反応性骨材を使用しない、単位セメント量を小さくする、セメントの一部分をポラゾンによって置換する、スラグの含有量の高い高炉セメントを用いる、外部からの水の侵入を遮断する等の対策が講じられている。

コンクリート構造物を所定の期間メンテナンスフリーとするためのコンクリート品質、施工方法ならびに構造物の詳細を、環境その他に対応して総合的に設計する、耐久設計の提案もなされている。

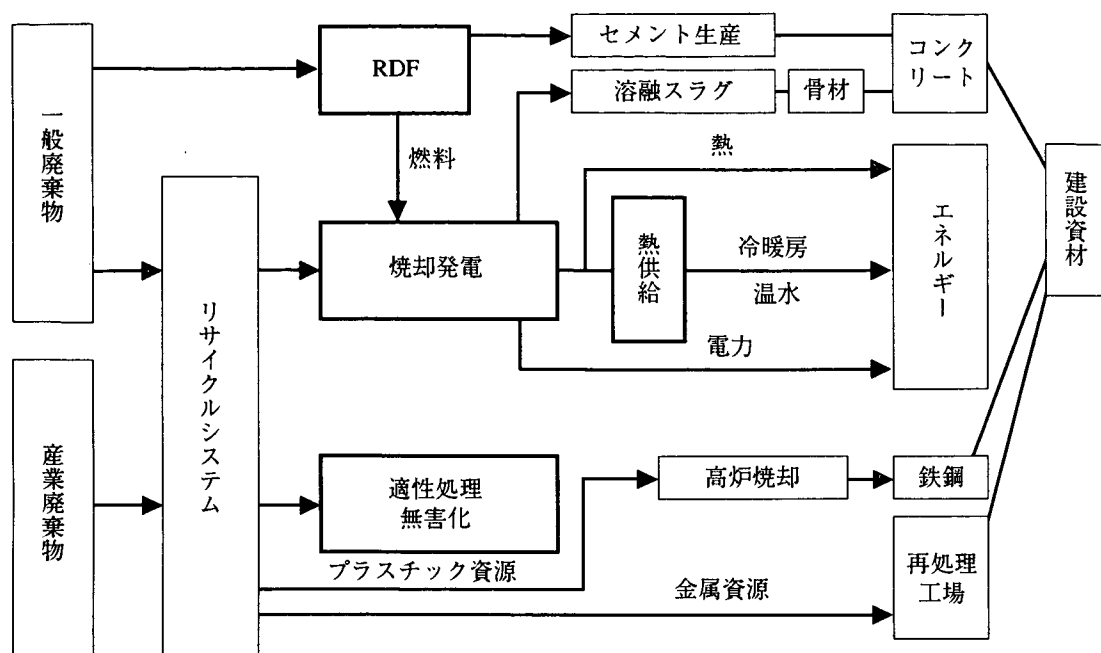
最近、なぜコンクリートが劣化するのか、なぜ損傷するのか、その要因が次第に明らかとなっている。また、これらの劣化を防ぐための対策も様々な方策が開発されている。これらを効果的に組み合わせ腐食や劣化を防ぐことはもちろん、補修、補強などによって構造物の延命化をはかることも重要な技術的展開である。

6 一般廃棄物ゴミなどを建設資材として活用することによる資源への貢献

マテリアルフローとしてのリンク先として建設分野が大きな期待をもたれている。例えば、産業廃棄物のガラス、プラスチック、ゴムなどのリサイクルにおいて建設資材としての利用が期待される。比較的純粋な物質に対しては、既に舗装材料への利用などがおこなわれており、多種多様な材料が活用されている。

最近注目を浴びているのは、一般廃棄物ゴミの処理である。これまでゴミは焼却処理されていたがダイオキシンの発生の問題等もあり、熔融固有固化スラグとしての固定化が行われるようになった。これはゴミを焼却した後高温度において熔融させ、 1400°C で固化化したものである。得られた固形物は骨材としての大きさにほぼ相当しており、コンクリート用骨材あるいは舗装用骨材としての利用が期待されている。

また、ゴミを固化化したものを用いてセメント生産に利用することもおこなわれている。このできたセメントはエコセメントといわれ、一般のセメントとほぼ同じ水準の性能を持っていることが確か



廃棄物トータルソリューションシステム（建設資材への利用例）

められている。しかし、その中には多量の塩分を含み、色は多少黄色みを帯びたセメントとなっている。しかし、その硬化した性能あるいはコンクリート製造条件などはほぼ同じであることから、コンクリートへの利用が期待されている。

いずれゴミから再生した骨材やゴミを用いたセメントからコンクリートが製造されるであろうといわれている。特に、都市で問題となっている一般廃棄物、ゴミの再生焼却が緊急な課題となっている自治体においては、このような方向での提案がなされている。

勿論、構造物の品質を損なうことは許されることではない。それは新たな損傷を引き起こすことによって資源を無駄にする事につながるからである。しかし、様々な資材の品質を総合的にとらえることによって、適材適所に使いこなしていくということは可能であることから建設分野の空間の大きさ、資材の使用量の大きさを考えるとこういったマテリアルフロー面での大きな役割が期待されているといえよう。

現在の各種建設資材の材料品質は天然資源においても、人工的に生産された資材においても新品を対象として作成されたものである。これから発生量が大きくなるであろうセメント再生骨材や発生土、汚泥などのリサイクル品について資源再生を前提とした新しい考え方に基づいた規定をおこない、積極的に利用が進むような品質基準を作ることが重要である。

セメントを生産するキルンは石炭灰、タイヤ、下水汚泥などを生産の原料または燃料として利用し、また、内部が1400℃の高温になるため、最近、問題になっているダイオキシンも完全に分解される。セメントにはかつて大気汚染公害を引き起こした亜硫酸ガス（SO₂）を石灰石の粉に吸収させ、できた石こうをセメントの原料として活用したという歴史がある。このような原材料を用いて、建設事業が既に行われていることは、現段階でも、大きな貢献をしているといえよう。

7 今後に求められる技術開発と展開

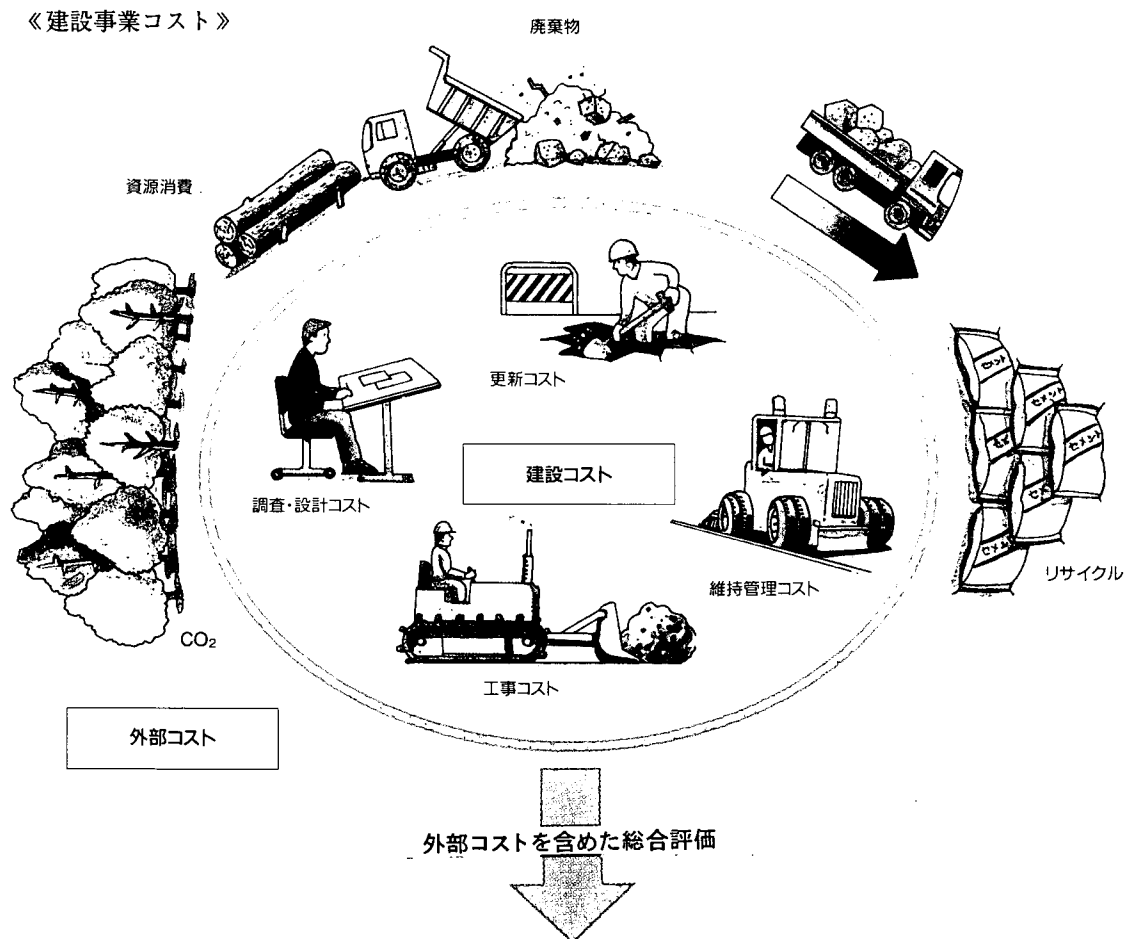
・環境負荷低減型材料の開発

既に述べたように材料面からは新しい建設資材として効果的な環境負荷低減型材料（エコマテリアル）を開発しなければならない。と同時に、エコマテリアルデータベースと設計とをリンクさせる必要がある。データベースには、材料環境評価、材料環境負荷、材料性能が含まれ、ライフサイクルアセスメントを実際におこなう上での有力な支援システムとなることが期待される。

・リサイクル技術とゼロエミッション

リサイクルプラン21と連携して2000年において建設廃棄物のリサイクル率を80%とする目標を達成するための計画・設計段階から施工段階までの各段階を対象とする技術を開発する。公団などの事業者、地域、自治体などと協力して、地域のゼロエミッション化も視野に入れた総合的なメニューづくりが重要である。

・構造物のメンテナンス技術



外部コストを組み入れた建設事業コスト低減技術の開発イメージ

構造物の長寿命化技術として、構造物の改修、補強、補修が効果的であり、これらに関連する技術の高度化が求められる。

構造物の寿命を、その構造物が環境に与えるインパクトをどのように評価するかによって決定することができれば、期待される寿命やメンテナンス技術の選択が可能となる。これまでややもすると明確でなかった寿命について、資源とエネルギーの観点からの確に考察することが可能となることは大きな技術的進歩である。保全するための明確な目標とその評価手法は、今後の性能規定化において不可欠な要素であるからである。することになる。

・環境コストの内部化とコスト低減

建設事業コストの低減を図るためには、環境などに与えるコストを定量化し、それらを建設コストに適正に組み入れ、総体的に評価することで、削減効果を高めていかなければならない。

たとえば、リサイクルにおいては、処理技術の向上による利用要素の拡大や新たな現場への適用、各種の再生利用技術の普及促進によりコストダウンをはかり、リサイクルに伴う社会的コストを低減させる社会的な仕組みについても検討が必要である。同様に、環境調和型建設技術も、現在開発されている技術要素はまだまだ不十分なものであり、環境に与える効果は大きくてもコストが高い、あるいは施工しづらいなどの短所があり、今後、バランスの良く、しかも効果的な技術の開発が必要であり、このための積極的な開発支援策も求められている。

まとめ

地球温暖化防止のための温暖化ガス排出削減目標を満足するためには、低減に有効な技術を提案し、省エネ技術の本格的な普及や環境産業の育成が急務となっている。

建設分野は、技術開発によって、省エネ資材や工法を開発し自ら消費する資源やエネルギーを節減するとともに、長寿命型構造物の建設によって、持続可能な発展に寄与する社会構造の形成に貢献できる。

建設分野が、資源循環や廃棄物処理に積極的にかかわることによって、自らの資源生産性を向上するだけでなく、地域環境との共生や高次元の環境創造を行うことができることから、これまでの技術的蓄積や生産システムを活用することで、より効果の大きな環境調和型技術を展開できると期待される。

あとがき

国、公団や自治体などは、環境負荷の少ない工法や環境と共生する新しい技術などの技術開発を推進しながら、進取な事業展開を行うことができる、いわば「環境経営を実践する」ことが自ら行える機関である。地球環境への国民意識の高まりを認識し、公共インフラ整備において、共感を持たれる技術の開発を展開する事が期待されていよう。

参考文献

- ・建設省総合技術開発プロジェクト 省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発 最終報告 平成8年10月 建設省
- ・省資源・省エネルギー型建設技術の適用性に関する調査 大臣官房技術調査 土木研究所 建築研究所 東北地方建設局技術管理課 関東地方建設局技術調査課 北陸地方建設局技術管理課 中部地方建設局技術管理課 近畿地方建設局技術管理課 中国地方建設局技術管理課 九州地方建設局技術管理課 平成9年10月 建設省
- ・建設副産物のリサイクルに関するフォローアップ調査 建設大臣官房技術調査室 建設省土木研究所 建設リサイクル推進計画 97 平成9年10月 建設省
- ・土木研究所資料第3167号 土木研究所資料 資源・エネルギー消費、環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告 平成5年2月 建設省土木研究所 地質化学部化学研究室 積算技術研究センターシステム課
- ・土木研究所資料第3256号 土木研究所資料 至言・エネルギー消費、環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告（その2） 一至言、エネルギー消費量及びCO₂発生量の積み上げ計算一 平成6年3月 建設省土木研究所 材料施工部化学研究室
- ・土木研究所資料第3417号土木研究所資料 資源・エネルギー消費、環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書（その3） 一省資源・省エネルギー型土木工法に関する調査一 平成8年3月 建設省土木研究所 材料施工部化学研究室
- ・土木研究所資料第3495号 土木研究所資料 資源・エネルギー消費、環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書（その4） 一省エネ技術の総合的評価一 平成9年2月 建設省土木研究所 材料施工部化学研究室
- ・土木研究所資料 第3496号1997年3月 省エネセメントの利用技術の開発に関する報告書 一研究成果および利用技術マニュアル（案）一 材料施工部化学研究室
- ・建設事業における資源・エネルギー消費量及び環境負荷の算定調査 寺田 剛 坂本浩行 片脇 清 土木技術資料37—9（1995）
- ・ジョイントシンポジウム 温暖化防止に向けた技術の可能性 ～土木界からのアプローチ～ 1997年11月14日・15日 （社）土木学会地球環境委員会
- ・片脇、河野他 エコマテリアルシリーズ 土木・建築材料リサイクル 化学工業日報社 平成8年

平成 9 年度の斜面土砂災害の実態と特徴

砂 防 部 長 吉 松 弘 行

平成9年度の斜面土砂災害の実態とその特徴

1.はじめに

平成9年度はひと月には台風が2回にわたり日本本土に上陸するという異常気象もあって災害の多い年度であり、これまで種々の原因による各種の斜面土砂災害が発生した。特にVarnesのMass Movement分類による崩落、すべり、流動の運動様式の各種の斜面災害が、中でもすべりから流動へ運動が変化する斜面土砂移動の大規模のものが見られたことが特徴である。新聞紙面等に取り上げられたこれら斜面土砂災害の主要な発生位置図を図-1.1示すが、これら斜面土砂災害は発生が間もないこともあってその発生機構及び明確な原因については現在各機関で調査研究・委員会を通して検討中であり、その結論は得られていないが、ここではこれまで調査された結果をもとにその実態と特徴についての報告としたい。

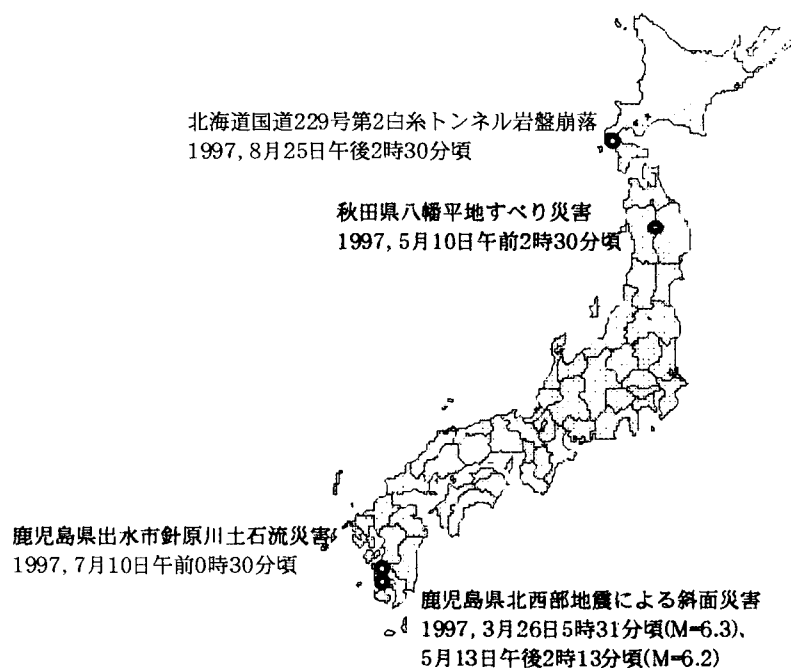


図-1.1 今回報告する平成9年度の斜面土砂災害の発生位置図

2.鹿児島県北西部地震による斜面災害

2.1 はじめに

平成9年3月26日午後5時31分頃に鹿児島県北西部を震源(N32°, E130.3°, 深さ7km)とするM=6.3の地震が発生した。この地震により宮之城町、阿久根市、川内市で震度5強を観測し、住居の損壊、道路の陥没、斜面崩壊等による被害が生じた。その後同域を

中心にM=5程度の余震が発生していた。平成9年5月13日14時38分には新たなる地震活動と思われるM=6.2の地震(N31.9°, E130.3°, 深さ8km)が発生し、川内市(震度6弱)、宮之城(震度5強)、阿久根市(震度5弱)で地震を観測するとともに新たに斜面崩壊が発生した。この斜面崩壊による家屋被害は半壊3戸、一部破損34戸である。

2.2 地質とがけ崩れ災害の概況

今回の一連の地震により発生したがけ崩れ災害発生箇所と地質図を図-2.2.1、2.2.2に示す。また、調査箇所の一覧表を表-2.2.1に示す。鹿児島県北西部の地質は、紫尾山(標高1,066.8m)周辺の宮之城町、鶴田町などの北部では中生層である四万十累層群の砂岩及び砂層頁岩互層、粘板岩が広く分布しており、紫尾山付近ではこれらを貫いて第三紀の花崗岩が分布している。川内市や薩摩町の南西部では第三紀の安山岩等の火山岩、安山岩質凝灰岩及びシラスが広く分布する特性を有する。

3月26日～4月9日のがけ崩れ災害の発生箇所は、3月26日の震央の東～南東～南側方向に多く、紫尾山南部の花崗岩地域、四万十累層ではほぼ東西に伸びる帯状に分布している。また、5月13日の地震により発生したがけ崩れ災害の発生箇所は、3月26日の場合と同様5月13日の震央の東～南東～南側方向と帯状の範囲に多いのが特徴となっている。

2.3 がけ崩れの実態と特徴

地震ごとのがけ崩れ災害発生箇所は図-2.3.1に示すように、多い順から5月13日(M=6.2)、4月9日(M=4.9)、4月3日(M=5.5)の地震となっている。必ずしも地震の大きさとがけ崩れの発生件数が相関を有しているわけではない。これは3月26日(M=6.3)の地震よりその後に発生した地震の規模が小さいことより、3月26日の地震により斜面表層部が緩んだ結果、この期間の地震によって崩壊が発生したものと考えている。

今回の地震により発生したがけ崩れを斜面崩壊発生範囲図(Keefer,1984)に日本の基既往地震による斜面崩壊も併せてプロットしたものを図-2.3.2に示す。日本の既往地震の多くの事例は、Keeferによる崩壊発生範囲内に収まっており、今回の鹿児島県北西部地震(M=6.3)の場合も最も遠隔地である始良群蒲生町堂ノ平地区(震央距離より35km、地質はシラス層上の亀裂を有する厚さ10m程度の溶結凝灰岩層の崩落)を除くと殆どの崩壊地がこの範囲内(概ね半径30km)となっている。これによればM=5.5より斜面崩壊が発生することより、崩壊の発生警戒に関する一つの目安となるであろう。

一連の現地調査結果(表-2.2.1)より地震による崩壊には主に以下のような4つのタイプが見られる。

- (1)遷急線付近からの崩壊厚さの薄い崩壊
- (2)遷急線を挟んだ崩壊厚さの厚い崩壊
- (3)亀裂に規制された剥離性の崩落
- (4)岩の飛び出しなどによる落石・崩壊

また、斜面崩壊の規模は、高さ5～35m(平均約15m)、幅5～70m(平均約20m)、厚さ0.5～7m(平均約2m)で、遷急線が明瞭な箇所での発生が多かった。

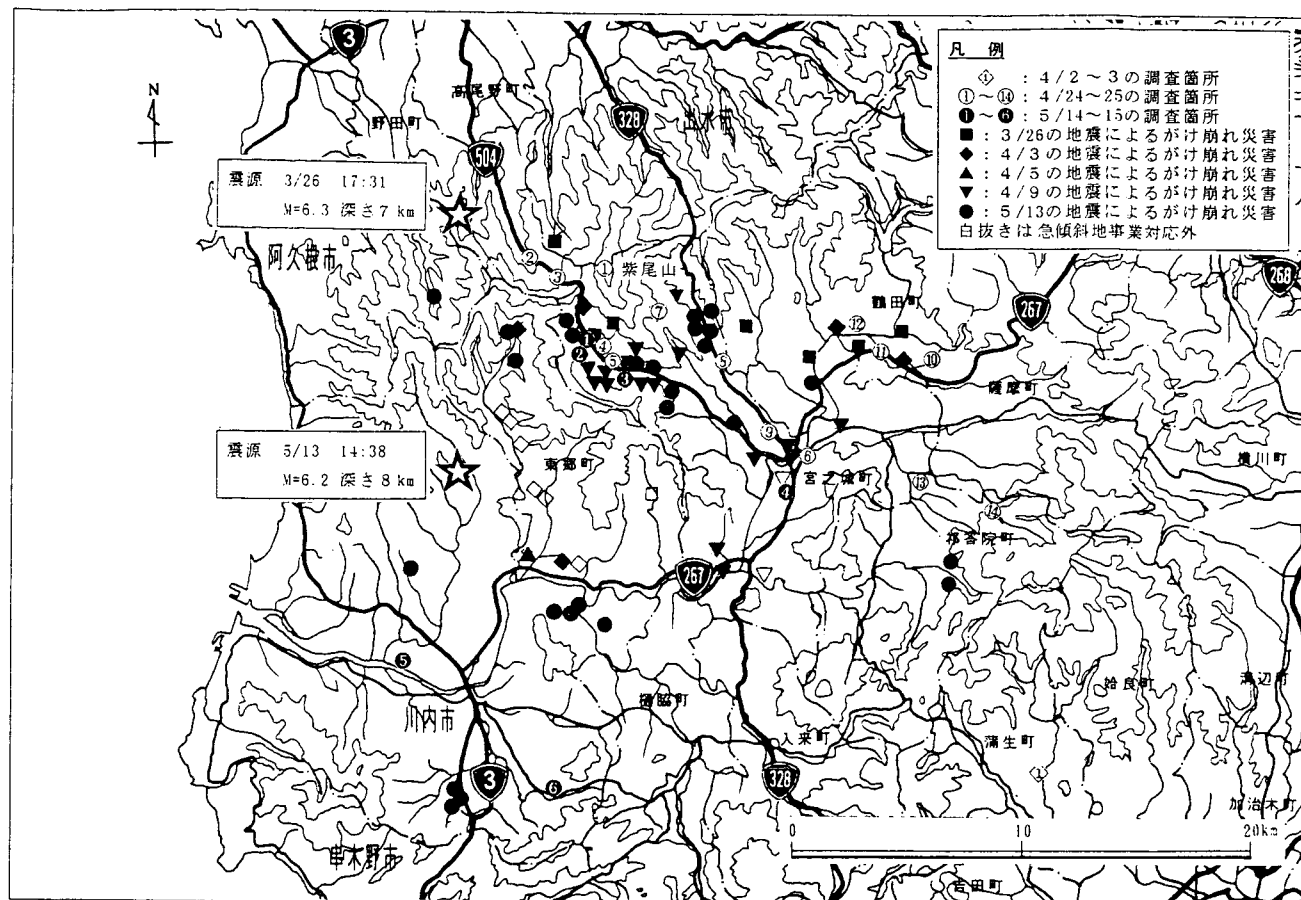


図-2.2.1 がけ崩れ災害発生場位置と調査箇所

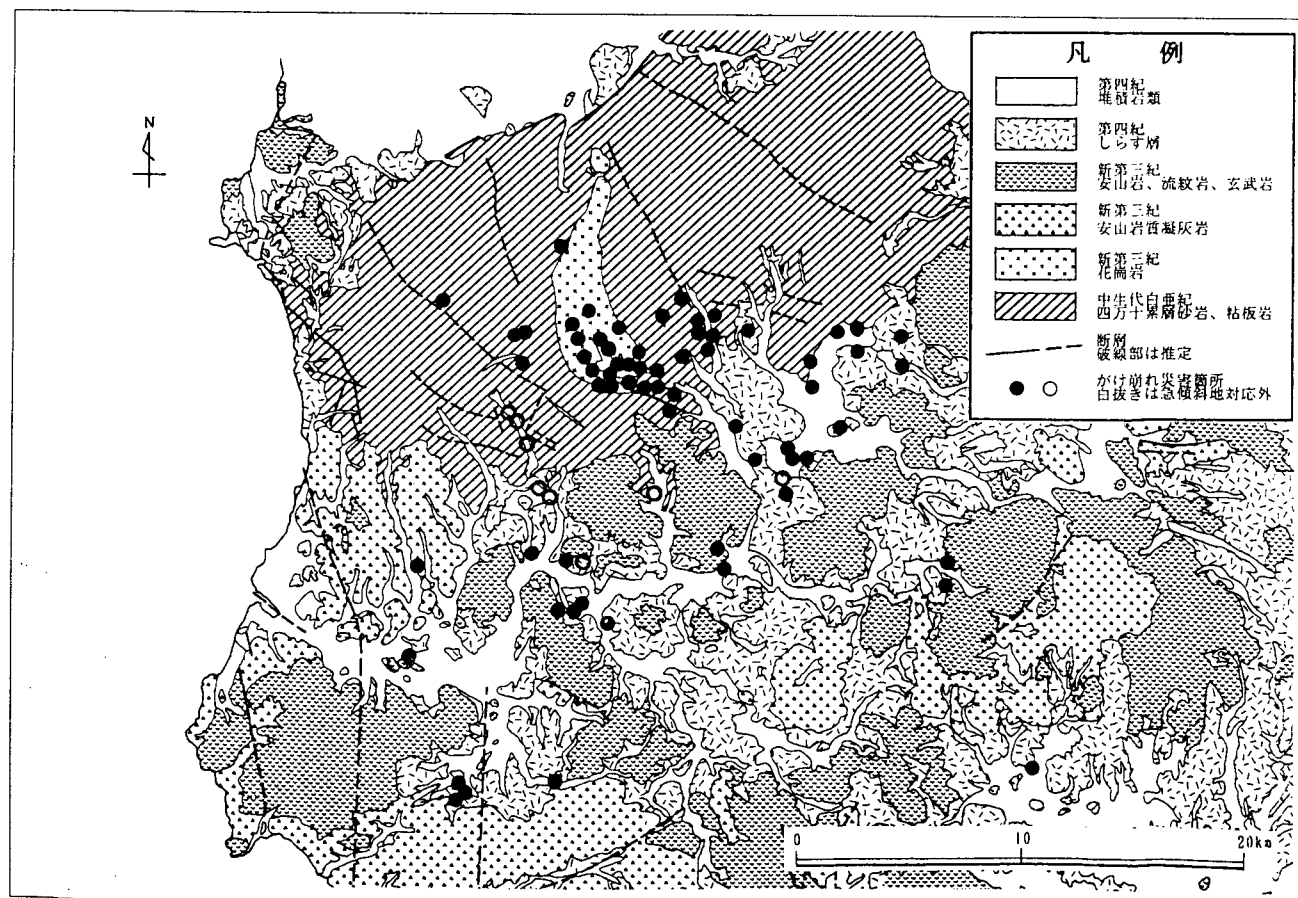


図-2.2.2 がけ崩れ災害発生箇所と地質

表-2.2.1 調査箇所一覧表

調査日	調査箇所	発生日	指定区域の有無	危険箇所の有無	地質	崩壊地の上位地形			崩壊・亀裂の規模			斜面の平面形	標高(m)	川からの比高(m)	逕急線の明瞭度	下部斜面傾斜	斜面方向	崩壊タイプ	備考	
						地形	尾根方向	部位	高さ(m)	幅(m)	厚さ(m)									
4月2～3日	④蒲生町堂ノ平地区	3/26	×	○	溶結凝灰岩	尾根	—	側面	30	20	5	直線	100	70	明瞭	80	南	③	3/26の地震により崩壊、崩壊岩塊は斜面下部の樹林帯の地点で停止している。5/13に亀裂が拡大した。	
4月24～25日	①紫尾山山頂から確認出来た崩壊地 山頂より南東側	—	—	—	—	尾根	—	側面	20-100	20	—	直線	—	—	—	—	西	—	崩壊は長さ20m程度のもの2箇所、100m程度のものが1箇所です約50m程度の間隔をあけて並んで発生していた。	
	②国道504号道路斜面 (高尾野町中屋敷地区)	1	3/26	—	—	砂岩	尾根	東	先端	10	8	3	凸	290	50	あり	50	西	④	5×3×2m落石を含む
		2	3/26	—	—	砂岩	尾根	南	側面	35	30	2	やや凹	300	40	あり	50	西	①	3/26の地震による中腹から崩壊、その後4/3の余震により拡大、頭部は逕急線であり、植林されている1/4樹高が異なっている
	③国道504号道路斜面 (高尾野町平八重地区)	1	3/26	—	—	花崗岩	尾根	西	先端	5	10	1	凸	530	30	明瞭	—	—	③	ネットにより崩壊は止まる
		2	3/26	—	—	崩積土	尾根	西	先端	5	20	1	直線	530	30	明瞭	—	—	①	ネットにより崩壊は止まる
	④宮之城町泊野15地区	4/9	×	×	花崗岩	尾根	南	先端	7	14	1	直線	400	30	明瞭	70	南	①	同程度の標高の近隣斜面で幅3mの③型の崩壊や、墓石の転倒が生じている	
	⑤宮之城町上久木野地区	4/5	×	○	花崗岩	台地	東	側面	5	20	2	直～凹	180	30	明瞭	40	南	①	丘(凸地)を取り巻くように亀裂が発生している。また、盛土部では逕急線(のり肩)より5m付近で亀裂が発生している。	
	⑥宮之城町屋地1地区	4/9	×	×	安山岩	台地	南西	側面	5	15	2	直線	50	30	明瞭	65	北西	③	平坦面に長さ10mの亀裂、崩壊地は30cm程度のブロック状の節理が顕著	
	⑦宮之城町平川1地区	4/9	×	×	シラス	尾根	東	側面	10	20	2	直線	180	20	明瞭	50	南	①	痩せ尾根に生じた崩壊	
	⑧国道328号道路斜面 (宮之城町尾座原地区)	3/26	—	—	凝灰岩	台地	南	側面	15	20	1	直線	110	15	明瞭	50	西	①	斜面下部の崖縁が崩壊	
	⑨国道328号(宮之城町南立地区)	3/26	—	—	シラス	段丘	南東	側面	15	30	3	直～凸	100	15	明瞭	80	西	①	同規模の崩壊10箇所が連続的に発生している。幅2mの流路工が埋塞された。	
	⑩町道大平線(鶴田町) 路面等に亀裂	3/26	—	—	盛土	台地	西	付根	30	50	7	凹	100	30	明瞭	—	南	他	痩せ尾根上に施工された盛土のすべり	
	⑪国道267号道路斜面(鶴田小学校裏)	1	3/26	—	—	—	台地	北東	側面	30	15	2-5	凹	90	50	明瞭	50	南	②	吹付工上部の崩壊地跡の亀裂
〃	2	3/26	—	—	—	台地	北東	先端	30	20	5	凸	85	45	あり	30	東	②	段差最大50cm、長さ20m	
⑫鶴田町高嶺2地区	3/26	×	○	凝灰岩	尾根	南	先端	×	×	×	凸	110	60	—	35	南	④	1×1.2×0.7m落石		
⑬県道堂山宮之城線道路斜面 (祁答院町小牧地区)	4/5	—	—	安山岩	段丘	北西	側面	×	×	×	凹	130	70	あり	45	西	③	40t程度の岩塊を含む落石		
⑭祁答院町黒木地区	なし	○	○	凝灰岩	—	—	—	×	×	×	やや凹	×	—	あり	45	西	なし	急傾斜地崩壊対策を工事を施工中、崩壊等は認められないが、斜面上方に節理の発達した岩塊が存在する。		
5月14～15日	①宮之城町泊野対岸の崩壊地 国道504号より対岸(西側)を望む	1	5/13	—	—	花崗岩	尾根	東	先端	15	40	1	やや凹	280	45	不明瞭	45	東	①	尾根先端部で分岐した小尾根の間に崩壊伐採跡が認められる
		2	—	—	—	花崗岩	尾根	東	側面	15	30	1	—	410	175	あり	—	南東	①	4/24の調査時には崩壊していた。
		3	—	—	—	花崗岩	尾根	東	稜線	20	30	1	直線	400	165	あり	50	東	①	4/24の調査時には崩壊していた。
		4	3/26	—	—	花崗岩	尾根	東	先端	7	15	0.5	直線	260	25	なし	45	東	他	5/13に拡大、切土のり面下部の薄い崩壊
		5	3/26	—	—	花崗岩	尾根	東	側面	5	7	0.5	直線	260	25	なし	35	南東	他	切土のり面下部の薄い崩壊
		6	5/13	—	—	段丘堆積物	段丘	—	—	15	20	3-5	やや凹	250	15	明瞭	—	北	②	斜面上部は水田
	②宮之城町泊野4地区	3/26	×	×	花崗岩	尾根	東	側面	5	10	1	直線	160	10	なし	70	北東	①		
	③宮之城町泊野11地区	4/9	×	×	花崗岩	尾根	北	先端	8	30	1	直線	160	10	明瞭	70	北東	①	5/13に拡大、崩壊斜面上部は地すべり地形となっている。	
	④宮之城町屋地3地区	4/9	×	○	花崗岩	尾根	東	先端	15	15	1	凸	70	—	明瞭	70	東	①	5/13に拡大、斜面上の平坦地には斜面を取り巻くように亀裂がある	
	⑤川内市羽田地区	5/13	×	○	シラス	台地	—	側面	15	70	5	直線	20	20	明瞭	70	南	②	斜面上部に亀裂がある。部分的にオーバーハングが残っていたが5/16に崩落した	
⑥川内市百次1地区	5/13	×	×	シラス	台地	—	側面	5	6	0.5	直線	20	20	明瞭	80	西	①	斜面高さ10m		

斜面の規模・勾配等の状況は、目視及び1/25,000地形図、クリノメーターにより決定
 崩壊タイプ：①逕急線付近からの崩壊厚さの浅い崩壊、②逕急線を挟んだ崩壊厚さの厚い崩壊、③岩盤斜面の亀裂に規制された剝離性の崩壊、④岩の飛び出し等による落石・崩落

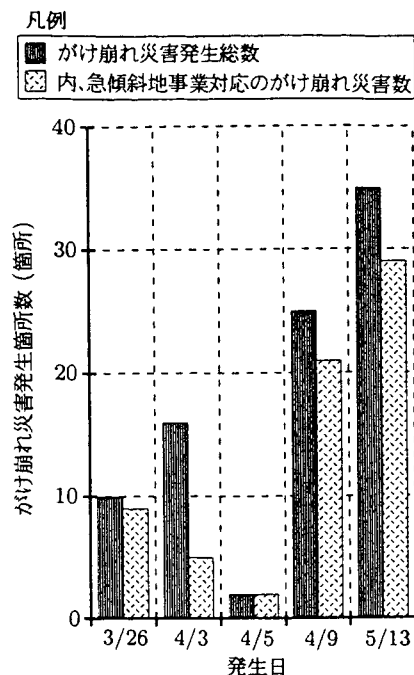


図-2.3.1 がけ崩れ災害発生状況

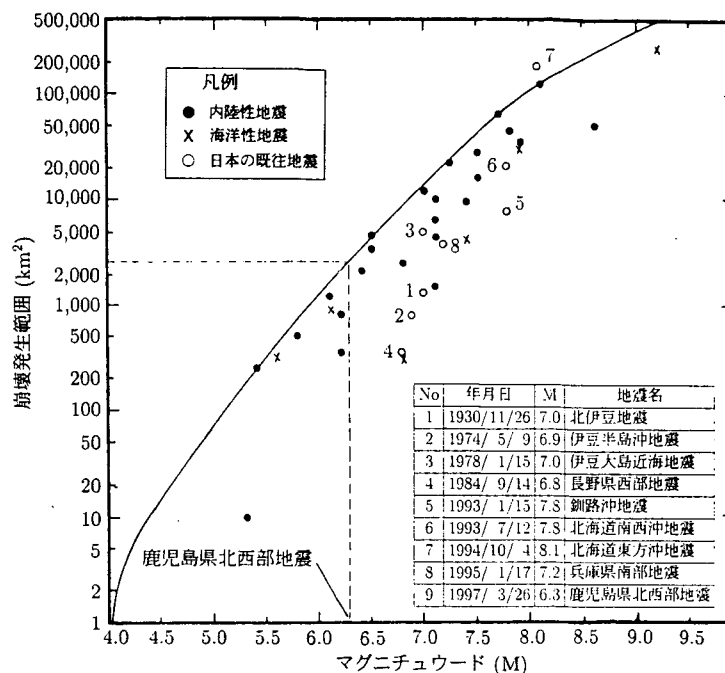


図-2.3.2 地震の規模と崩壊発生範囲 (Keefer, 1984)

崩壊タイプごとの発生件数は、調査箇所に限定して述べると

- ①遷急線付近から崩壊厚さの薄い崩壊が最も多く13箇所（亀裂のみの発生も含む）であった。
 - ②3箇所の崩壊が遷急線を挟んだ崩壊厚さの厚いものであった。
 - ③4箇所の崩壊が亀裂に規制された剥離性の崩落であった。
 - ④2箇所の崩壊が岩の飛び出しなどによる落石・崩落のタイプとなっている。
- 他にも切土の下部の崩壊厚さの薄い崩壊等が認められた。

地震動は山体の標高の増加に応じて増幅されると言われている。遠望からの標高調査を含めて崩壊地頭部の高さ、崩壊方向（亀裂のみの発生の場合には推定される崩壊方向）と震央方向について整理したものが図-2.3.3、2.3.4である。沖村ら(1995)の用いた比高率の用語ほど厳密な定義ではないが、同様な結果として同じ標高域に崩壊の発生が分布する結果となっており、崩壊地頭部の標高は、20～530mの区間に分布しているものの、近傍の河川河床から崩壊地頭部までの比高で整理すると30mが多く、10～50mの範囲が大部分を占めている。

図-2.3.3の震央方向に対する崩壊方向（例えば震央から見て崩壊地が南にあり、崩壊方向が西向きの場合、右90°）を45°ごとの崩壊発生頻度として示したものであるが、当図からは明瞭な関係は認められていない。これら、独立した台地（丘）地形では台地を取り巻くように亀裂が発生している箇所も多く、必ずしも震央方向と相関関係を持たず、その地域の微地形による地震動の増幅作用に影響されたものが多いと考えている。

今回のがけ崩れの特徴を現時点で取りまとめると

- (1)崩壊は、4種類のタイプに分類できる。
- (2)崩壊は、遷急線が明瞭な箇所で、その位置を頭部として発生するが多かった。
- (3)崩壊の平均的な規模は、高さ15m、幅20m、厚さ2mである。
- (4)震央の方向と崩壊方向には明瞭な関係が認められなかった。

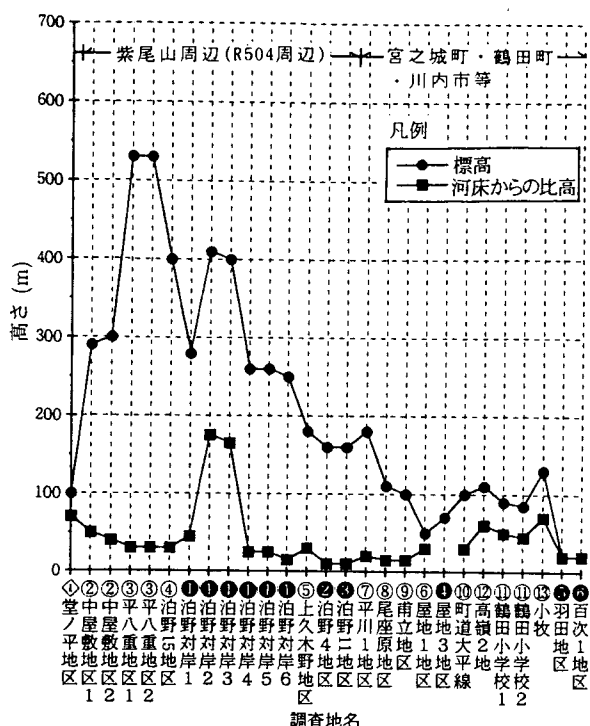


図-2.3.3 崩壊地頭部の標高及び河床からの比高

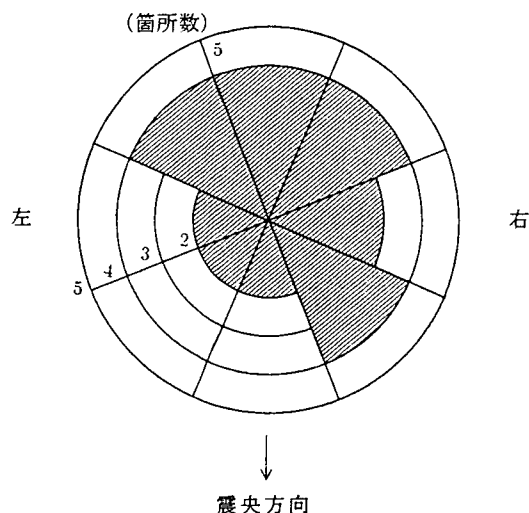


図-2.3.4 震央に対する崩壊方向

引用文献

冲村孝、鳥居宣之、伊井政司、1995：兵庫県南部地震による山腹崩壊の実態、土地造成工学研究施設報告、第13号、pp.147-167

Keerfer, D. K. ,1984：Landslide caused by earthquakes, Geological Society of America Bulltein, Vol.95, pp.406-421

3.秋田県八幡平地すべり災害

3.1 はじめに

平成9年5月10日午前2時30分頃に秋田県鹿角市の八幡平の澄川温泉で地すべりが発生した。翌日の11日午前8時ごろにはこの地すべりの滑落によって澄川温泉の9棟が全壊するとともに、これを起因として土石流が発生し、約1.2km下流にある赤川温泉の7棟を全壊させ、約3.3km流下したが、避難勧告に従って、両旅館の宿泊客など84人は全員無事であった。

3.2 地形・地質特性

当地区は、秋田・岩手県境を走る奥羽山脈上の秋田県側に位置し、本地域一体は仙岩地熱地域と呼ばれる日本有数の地熱地域に属する(星野ら,1997)。本地すべりは、秋田焼山山頂(標高1,366m)の北東4km、八幡平山頂の北西約6kmの位置で、米代川支川澄川の左岸の地すべり危険箇所「ベコ谷地すべり」の北部に位置する。周辺は第四紀火山の八幡平あるいは秋田焼山の火砕流堆積物が新第三系の安山岩や凝灰岩を厚く覆い、

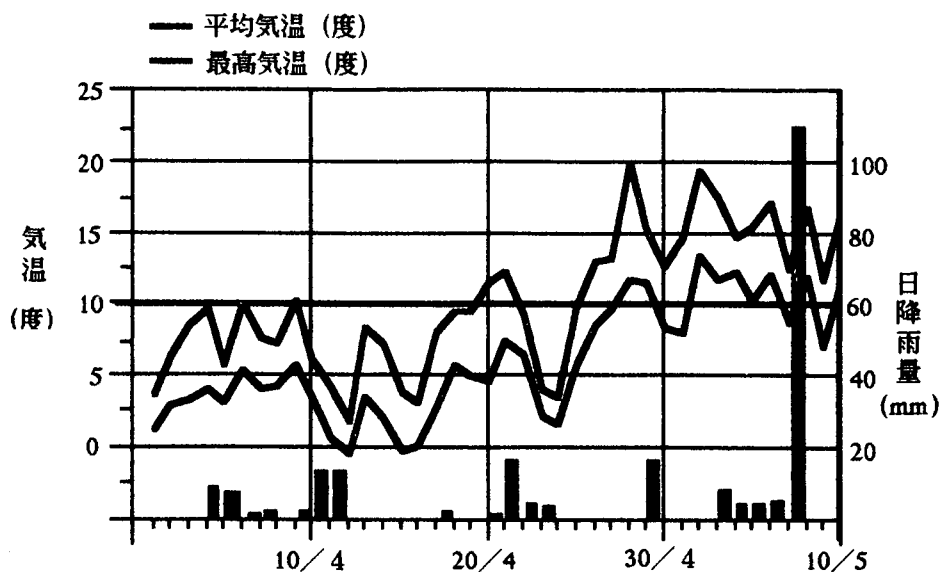
熱変質の影響を受けている。

この地域には大規模な古い崩壊地形や地すべり地形が多数見られ、低標高部が急斜面で高標高部が緩傾斜の斜面形状を有している。当地区の澄川左岸は梅森からの溶岩流で形成された溶岩台地からなり、谷壁斜面には澄川・赤川の下刻とともに形成されたと考えられる、明瞭な2段の滑落崖を伴った地すべり地形が発達する。赤川と澄川との合流点より上流の澄川左岸には大きく分けて3つの地すべりブロックが観察されている。今回滑動した地すべりは、中央部に当たるブロックで、移動したブロックは過去の地すべり地形とほぼ重なる状況にあるため、再移動したものと考えている。

赤川温泉は円弧状の滑落崖の下部に位置し、この滑落崖は地すべり末端が崩壊したもので、崩落土塊が階段状に解析された平坦面には澄川温泉が立地すると判断している。末端が崩落した下段の地すべりブロックは、明瞭な滑落崖を持った地すべり地形であり、1959年の空中写真によれば、移動ブロック上の緩斜面の植性の薄い箇所はかつての伐採跡地と見られる。その上には上段の地すべりブロックが見られ、今回の地すべり主滑落崖とほぼ一致する。

3.3 気象状況

八幡平地域気象観測所における4月1日から5月10日までの気温、降水量の推移を見ると(図-3.3.1)4日から7日までの4日間に20mm、8日に110mmの降雨を観測しているが、それ以降は無降雨である。特に、15年間の5月の平均降水量は127mm(星野ら,1997)で8日の降水は突出した値となっているのが特徴である。気温は5月1日から最高気温が10℃を上回る日が連続しており、この昇温による融雪水の地下への浸透がより一層地盤を不安定にしたと考えられる。



秋田県鹿角市八幡平地すべり (8/5発生) 気象条件 (観測所八幡平)

図-3.3.1 八幡平地すべりの気象条件

3.4 地すべりの概要

地すべりは(写真-3.4.1)は、図-3.4.1に示すように国道341号にかかる赤川橋の上流約1.7kmの左岸で発生し、澄川（11日午後3時頃の目視流量約 $5\text{m}^3/\text{s}$ ）へ土砂を供給した。地すべりの全体は長さ約800m、幅約380m程度の規模であり、移動土塊は250万 m^3 、河川への流出地塊量は約50万 m^3 と推定された（なお詳細な規模については現在、地形図の図化及びすべり面の分布を確定中でありこの規模の諸元については変更されるものと思われる）。地すべり末端における澄川の11日と12日の河川下刻による河床低下量は一部に3m程度と著しいものがあったが、河床低下の見られていない堆積土砂上の倒木、笹、草などに濁水などに起因する貯水の泥水の付着が見られないことや倒木の樹根に緊縛された土塊が流水に洗われた痕跡がないことより（写真-3.4.2）、澄川に地すべり地塊による大規模の天然ダムの形成はなかったと考えている。

地すべり地塊は、頭部の滑落崖の形状、頭部域の地塊の回転量及び末端域の隆起・崩落現象等の微地形より判断して概ね3つの移動ブロックに区分される。

1) 最上位ブロック

このブロックは地すべりの最も最上位部に位置するブロックであり、その規模は長さ約220m、幅約130m、深度は20m程度であると推定されている。このブロックの水平移動量は約90m程度で頭部の滑落崖の高さは50m近くにも達し、右側方部程その高さが著しい。末端域の隆起や樹木の傾倒からその運動形態は約10度の角度を有する回転性の地すべりであると判断される。滑落崖を観察すると凝灰岩と変朽安山岩の成層構造が見られ、主滑落崖の北東斜面には地すべり時に形成されたと思われる明瞭な擦痕が観察される。

このブロックの末端域はその下流域に存在する今回の地すべりの主移動体である中段ブロックに接しており、中段ブロックの移動により引っ張りの開口亀裂や地塊の沈下現象が見られるため、運動方向での圧縮亀裂が明瞭ではないがその兆候も観察されることからすべり面は中段ブロックと段差を有していると判断している。

2) 中段ブロック

地すべりの中央部に位置するもので、今回の地すべりの主移動部である。ブロック規模は、長さ約460m、幅約380m、深度約30m以上に及ぶと推定される。今回発生した滑落崖は約40m程度とみられているが、左頭部域ではこの滑落崖の延長上の比高約30m区間に草木が繁茂しており、明瞭な急崖とは判断しづらいが、今回発生した滑落崖とは明確に連続しており過去の地すべりの滑落面と思われる。滑落崖の前面には樹木などの傾倒などより判断して約10度の回転地すべりが発生し、これによって明瞭な凹地と湛水池が形成されている。このブロックの地塊はほとんど乱れもなく約70m程度の水平移動も見られ、樹木は立っているものの回転すべりにより滑落崖面の方に傾倒している。このブロックの末端域は地すべり運動に伴う水平移動と隆起によって地塊が不安定となり、多数の開口亀裂が運動方向に直角方向で発生しており、地すべり性の崩壊現象が見られ、これが下段ブロックの滑落崖となっている。

3) 下段ブロック

このブロックは地すべりブロックとして位置付けるよりも中段ブロックの末端域がそ



写真-3.4.1 秋田県八幡平地すべり全景（5月12日朝日航洋（株）撮影）

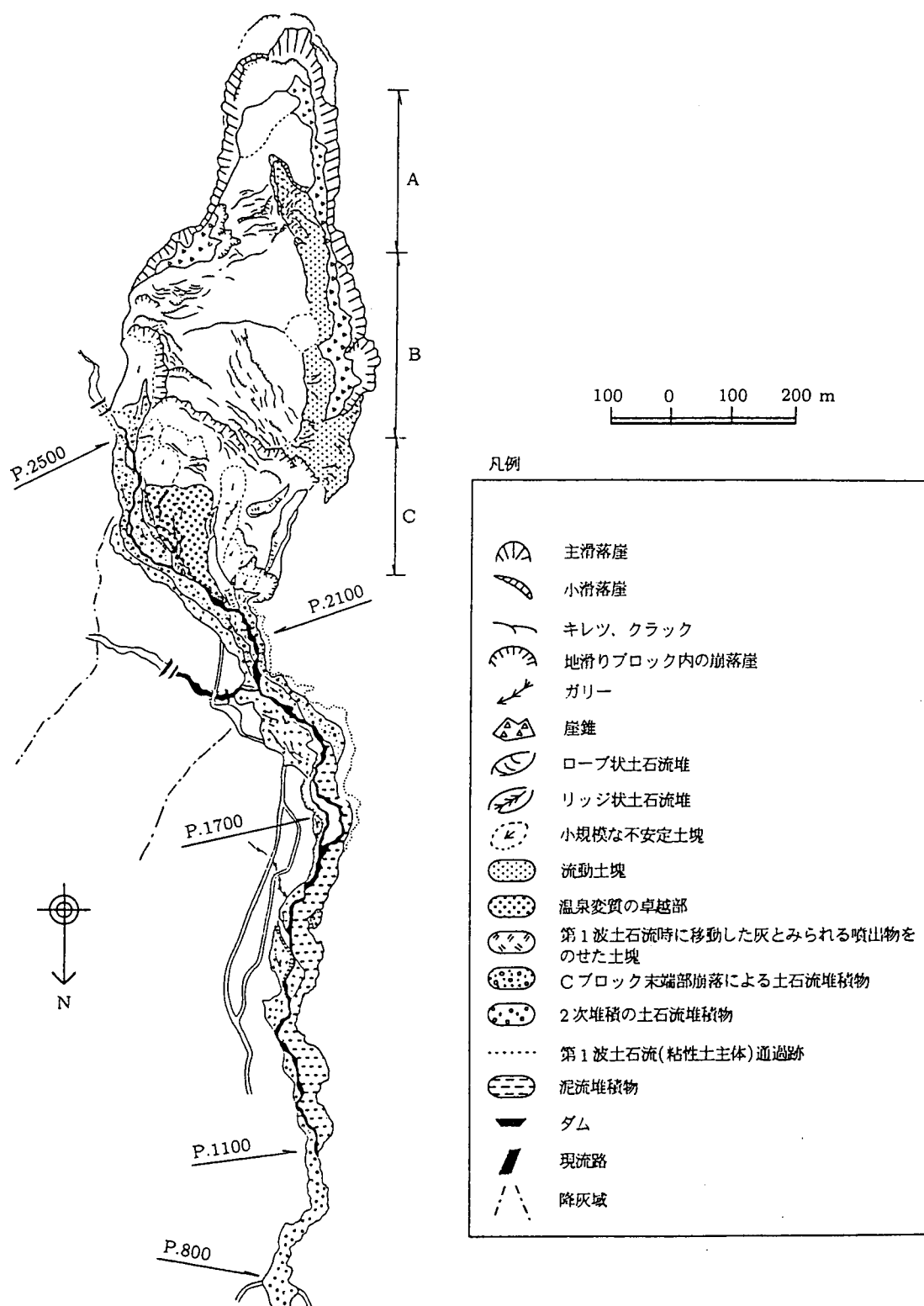


図-3.4.1 5月12日撮影の航空写真より作成した地すべり・土石流の概況図

の下流部斜面に堆積圧壊して、ほとんどの地塊が流下して原形をとどめていない。この規模は長さ約250m、幅約330m、でわずかに中央部の地塊が張り出した状況で滑落崖を形成して残っているものの、左右のブロックは後退しており、二次的なすべりが見られている。特に、左側部のブロックの地塊の流出が著しい特徴を有する。左右ブロックの二次的なすべり地塊上には後述する水蒸気爆発の噴出物がみられないことよりこの下段ブロックが崩れさった後に二次的に派生したものと考えられる。また左側部は褐色の砂質分が多いが、右側部は角礫部が多い。中央部には水蒸気爆発の火口と思われる凹地地形があり、その周辺部には白～青白色の砂・角礫の堆積物が存在している（写真-3.4.2）



写真-3.4.2 澄川上流左岸川より地すべりブロック舌端部を望む。土石流の痕跡は不明である

なお、地すべり対岸の澄川右岸には、澄川温泉の建物の破片などが散在する地すべり移動地塊の乗上現象が見られている。この堆積物上には水蒸気爆発による噴出物が堆積している。

3.5 水蒸気爆発による噴出物の堆積現象

地すべりの対岸には、長さ約300m、平均幅約50m区間に渡り、顕著な熱変質凝灰岩の堆積物が見られる(写真-3.4.1の下段部の白色部)。堆積厚さは最大5mm以上で堆積地内の樹木には樹冠から根元まで地すべりに面する樹幹に最大厚さ3mmの灰と見られる噴出物のこびりつきがあった（写真-3.5.1）。この物質のX線解析と電子顕微鏡の観察によるとモンモリロナイト、パイロフィライト、アモルファス物質などの温泉余土を構成する物質が読み取られている。

3.6 土石流の概要

この地すべりによって図-3.4.1の状況の土石流が発生した。災害直後に撮影された航空写真では、赤川合流点から赤川温泉下流の狭窄部付近までの河道は、平坦に堆積した粘性土層の上を土石流が薄く、川幅一杯に通過した状況が読み取れ、その後急速に河川流下部が洗掘された。



写真-3.5.1 樹木への水蒸気爆発による噴出物のこびりつき状況

1) 区間2500～2100m

地すべり末端部から赤川合流点より上流の狭窄部では、両岸で比高20m程度の範囲に移動地塊の擦痕が見られる。その通過範囲の澄川右岸の下部5m程度までの範囲には地すべり下段ブロックの右側方部の泥質地塊が移動した際に形成されたと思われる明瞭な擦痕が見られる(写真-3.6.1)。また、右岸側の噴出物が下部の擦痕上には見られないことより、この区間では第1波の土石流となる土砂移動、これについては岩屑流の意見が多く、さらに噴出物の降下、下段ブロック左側部域の泥質による第2波の土石流があったと考えられる。



写真-3.6.1 赤川上流右岸に見られる土石流の擦痕

2) 区間2100～1700m

赤川合流点直下流の右岸側からは、治山堰堤からの比高差が20m程度ある尾根が張り出している。第1波の土石流の一部は直進してこの尾根を乗越している。また、この尾根の頂上部には、澄川温泉の建物の一部や雑貨、パンフレットなどが埋没もせず堆積している。それらを乗せた地塊の表面には水蒸気爆発の噴出物と思われる砂や小礫も多く含まれており、著しい地塊の攪乱もなく路面上に急勾配で停止している。

河床では、青白色または茶褐色の土砂を含んだ粘性土が現在の河道の洗掘によって石礫が洗われた面から2～3m程度の高さと平坦に堆積していることが観察され、その露出した侵食壁面から判断すると堆積物はほとんど乱されていない。P.1900m付近の右カーブになった左側ポケット部分には、第2波の土石流と考えられる石礫等の堆積物が粘性土層の上に見られる。また、側岸には第1波土石流の通過痕と第2波土石流（泥質）の擦痕が見られるが、擦痕の高さは徐々に低くなり、P.1800mを過ぎると認められなくなる。

3) 区間1700～1100m

既設治山堰堤（災害後はその所在が確認できなかった）や河道の拡散部分の多いこの区間では堆積土はほぼ平坦に堆積しており、大部分は灰色の細かい粒子の堆積物の上に泥もしくは粒径の小さな土砂が薄く（0.2～0.3m程度）覆っている（写真-3.6.2）。側岸の樹木には2m程度の高さまで泥の付着が見られるが、石礫の侵入や樹皮の損傷が見られないことより、第2波として破壊力の小さい泥流が通過したものと考えている。

土砂の堆積幅は100m前後で、第1波土石流が谷底全体を流下し、流下範囲の溪畔林を全て流出させたと考えられる。現在の河道となって上位部の土砂が洗い流された河床部分には直径50cm程度までの礫が多く見られ、赤川温泉からは流木の堆積も目立ってくる。



写真-3.6.2 赤川中流より赤川温泉方向を望む。表層付近には泥（厚さ0.3～0.5m）の堆積状況が見られる。

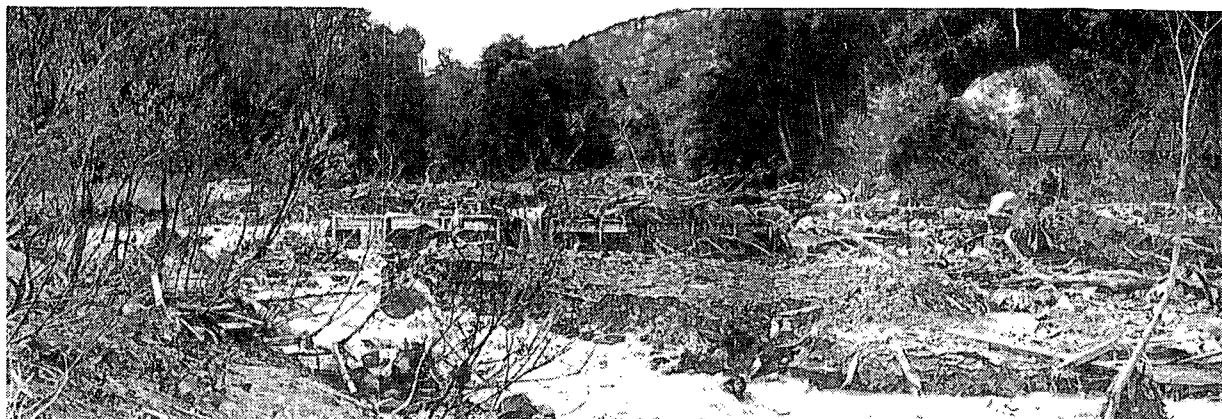


写真-3.6.3 赤川橋直下より赤川橋を望む。道路上まで土砂が堆積しており、厚さは約8m程度と推定されている。

一方、P.1500m付近の右岸側の比高差20m程度の張り出し部も第1波と考えられる土石流が乗越している。また、その前後の河道では粘性土層の上に直径30cm前後の礫を主体とした土石流堆積物のようなものが見られたが、粘性土層が大きく洗掘された形跡ではない。

4) 区間1100～800m

赤川温泉下流部の狭窄部では災害直後は表面に粘性土の堆積が若干見られたが、その後表面の泥及び粘性土が流出し、現在は第1波土石流の先頭部と考えられる直径30～50cm程度の石礫と直径20～40cm、長さ5m程度を中心とした流木が元河床から4～5m程度上昇した位置に存在している。

約2mのクリアランスを有していた国道341号赤川橋の上流部は土石流（流速約10m/s）の通過直前に撮影された橋梁付近上流側の写真から判断すると、直径50～100cm程度の礫が緩勾配で堆積していたが、おびただしい数の石礫と流木が、赤川橋のガードレールから上流に約1/15の勾配で河道全体に拡散堆積した（図-3.6.3）

今回の地すべり及び土石流災害の特徴を現時点で取りまとめると

(1) 地すべりの発生は過去の地すべりの再活動であり、直接原因は月平均降雨量に匹敵する突出した日降雨量である。

(2) 流速10m/sにも及ぶ数回の土石流発生にも関わらず、地すべり兆候を未然に把握し、適切な避難勧告の実施によって人的被災が皆無であった。

(3) 土石流の発生は数回発生したことが痕跡調査より判明しているが、第1波のものはその含水量が少なく、流下地塊の乱れも少ないにも関わらず長距離の区間を流下した。

(4) 地すべりの発生にともなって水蒸気爆発が数回に渡って観測されている。これらの発生時間関係は、検討中であるが、①地すべり、②岩屑流、③水蒸気爆発、④二次的な地すべり、⑤泥質系統の土石流、の順序で発生したと考えられている。

引用文献

星野 実、浅井健一、1997：1997年5月八幡平澄川地すべり災害（速報）、国土地理院時報、No.88, pp.28-40

南 哲行、綱木亮介、小山内信智、藤沢和範、萬徳昌昭、杉淵清徳、1997：平成9年5月秋田県八幡平で発生した土砂災害調査報告、砂防学会誌、Vol.50, No.2, pp.68-73

陶野郁雄、遠藤邦彦、伊藤驍、千葉達郎、1997：秋田県鹿角市八幡平における地すべり・土石流災害、地盤工学誌、第45巻、第8号、pp.32-34

4. 鹿児島県出水市針原川の土石流災害

4.1 はじめに

平成9年7月10日午前0時50分頃鹿児島県出水市境町の針原川の中腹域の山腹斜面の崩壊によって発生した土石流は、人的被害だけでも死者21名、重傷者2名、軽傷者11名、全壊家屋18戸、半壊1戸と鹿児島県の同一地区における人的被害としては最大の悲惨な土砂災害となった。さらに土石流は9haのみかん畑を埋没し、市道約1.1km、針原川の埋塞延長約0.7kmと当地域社会に壊滅的な被災をもたらした（写真-4.1.1）。

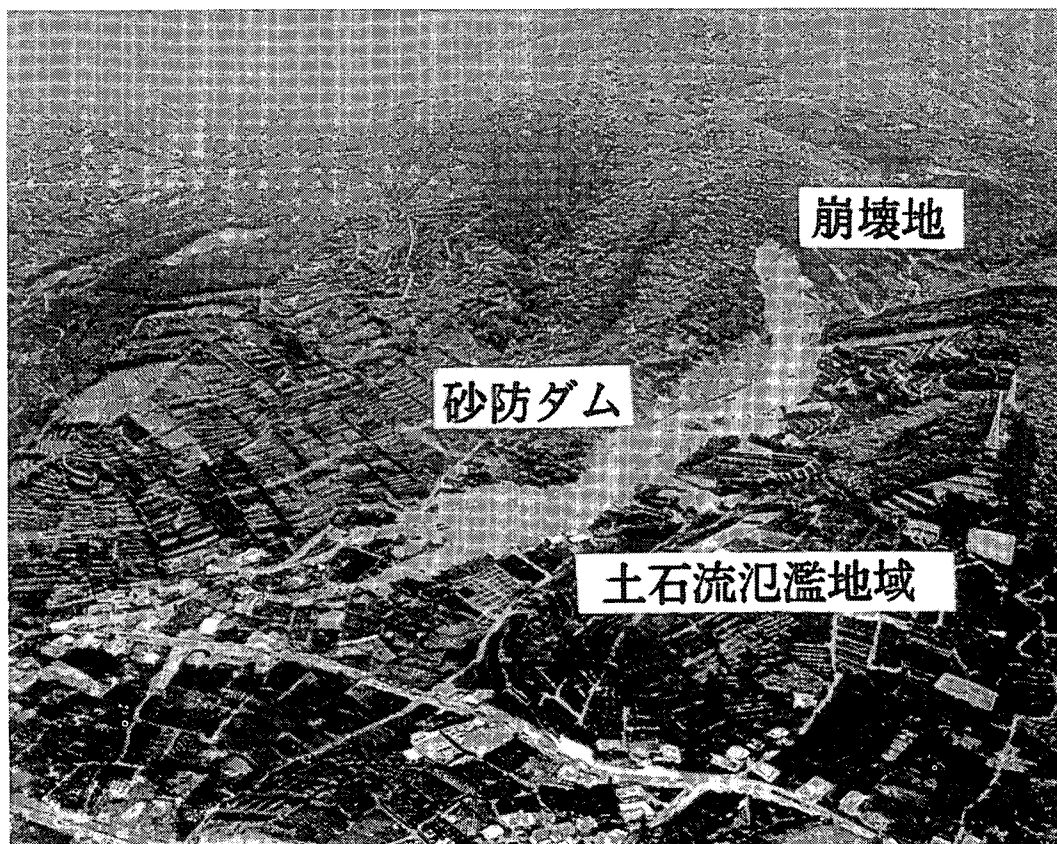


写真-4.4.1 針原川における山腹崩壊と土石流氾濫区域
崩壊土量16万 m^3 、砂防ダム下流部の土石流氾濫土量万8 m^3

4.2 地形及び地質の概況

針原川は矢筈岳（標高687m）から西側に延びる尾根に源を発生し、上流部は南西に

流下し、中流域で緩く北西方向に屈曲し、右支川と合流し出水市境町針原地区を経て八代海に注いでいる。流域の地形は、矢筈岳周辺部には海拔200～300m付近に山麓平坦面が存在し、針原川はそこに端を発した小溪流である(岩松,1997)。針原川の上流部は標高50m付近まで急勾配の溪流であるが、下流域は谷壁が急に開け、緩やかな傾斜の扇状地形を呈する。

針原川周辺の基盤地質は新生代鮮新世～更新世の豊肥・瀬戸内火山岩類に属する輝石安山岩及び凝灰角礫岩である。矢筈岳山麓部の平坦面より標高の低い海岸側の角礫岩は著しく風化が進行しており、安山岩には球状風化現象が見られ、現地の風化残積物だけではなく、斜面崩壊を構成する堆積物の中には異地生のマスムーブメント堆積物や崖錐もかなり含まれているという(岩松,1997)。崩壊地の層序は、各岩種の分布位置から判断して下位より凝灰角礫岩、安山岩、風化安山岩の順である。

4.3 気象の概況

鹿児島県では停滞した梅雨前線の影響で北部を中心に7月7日から豪雨が続けていた。出水市では7月7日午前0時から10日午前0時までの3日間に298mmの累積降雨があり、その間の最大時間雨量は9日10時～11時の62mmで、ついで9日16時～17時の55mmであった(北村ら,1997, 図-4.3.1)。

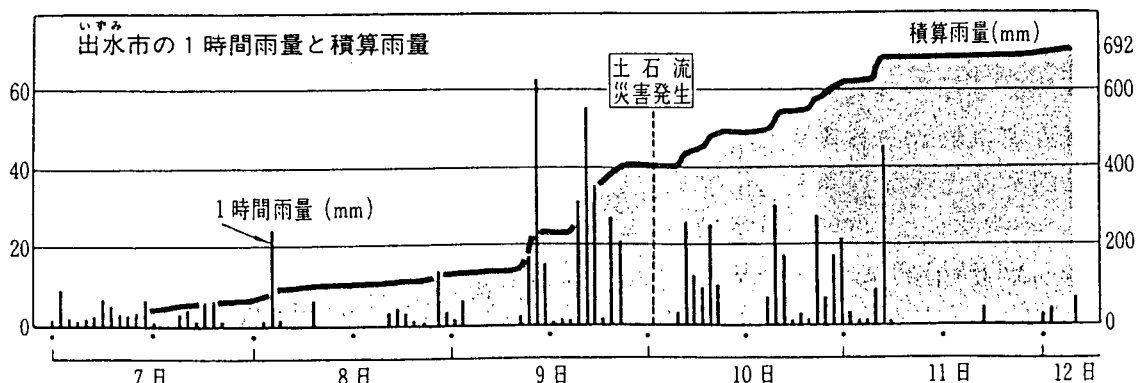


図-4.3.1 出水市での10日前後の雨量(北村ら、1997原図)

4.4 崩壊及び土石流の概況

土石流を引き起こした山腹崩壊は、若干凹地をなした山腹で最大崩壊斜長220m、最大崩壊幅90m、平均崩壊幅70m、崩壊深は鉛直方向で28mの規模であり、崩壊面積1.4km²で、崩壊土量は16万m³であると推算されている。崩壊の横断形状はややV字型をなしている。

崩壊地内では安山岩と風化安山岩の境界部に断層と思われる破碎部が見られ、その走向傾斜はN54-58° E44° Nであり、断層面上に20° SW傾斜の擦痕がみられるが、現時点では崩壊によるものではなく断層運動に伴うものと判断されている。断層を境にして上位層の風化安山岩は著しく緩んでおり、崩積土状を呈していることより少なくともこの部分では山腹崩壊のすべり面を形成しているものと思われる。

この山腹崩壊を起因として土石流が発生したが、崩壊脚部から砂防ダムの影響区間の堆積土量は3万 m^3 であり、針原川砂防ダムの堆積土量は5万 m^3 である。したがって、針原川砂防ダム下流部の土石流堆積物は8万 m^3 であり、堆積区域の面積は3.9万 m^2 、堆積幅は160m程度、最大堆積長は460mに達する（写真-4.4.1）。

山腹崩壊を起因とする土石流は主にすぐ下流に存在する農業用溜め池に突入し、流動化の水を得て、まず溜め池正面の小台地に乗上げ、砂防ダム（高さ14m、長さ85m）を満砂するとともに、右岸側部斜面に乗上げ、樹木の削剥が行われた。

今回の土石流災害の特徴を現時点で取りまとめると

- 1) 土石流の発生が山腹崩壊に起因するため、最大時間雨量時に発生しておらず、降雨の終了した後に発生している。
- 2) 地すべり現象より速度の早い崩壊現象を起因としたこと、降雨終了後の土石流の発生と深夜であったため多くの犠牲者が見られた。



写真-4.4.1 土石流の氾濫堆積状況

引用文献

岩松暉 1997：1997年7月鹿児島県出水市針原川土石流災害、自然科学、Vol.16, No.2, pp.107-111

北村良介ら、1997：鹿児島県出水市土石流災害速報、土と基礎、Vol.45, No.10, pp.38-39

南哲行、山田孝、水野秀明、古賀省三、1997：平成9年7月10日に鹿児島県出水市針原川で発生した土石流の土砂量と面積について（速報）、砂防学会誌、Vol.50, No.3, pp.81-82

5.北海道国道229号第2白糸トンネルにおける岩盤崩落

5.1 はじめに

平成9年8月25日14時30分頃、一般国道229号の島牧村第2白糸トンネルの函館側坑口

付近において、大規模の岩盤崩落が発生した。第2白糸トンネルは積丹半島南西部の島牧村と桧山管内瀬棚町の日本海側沿いに走行する、1976年11月に完成した総延長741mのトンネルである（三浦ら,1997）。大規模な岩盤崩落の直撃を受けて倒壊した建造物は函館側の坑口100m区間の鉄筋コンクリート製の巻きだし部である(写真-5.3.1)。

5.2 地形及び地質概況

岩盤崩落箇所周辺は、比高約200mの海食崖と思われる急崖より構成され、この急崖上部は比較的平坦な斜面をなしている。崩壊以前に撮影された写真判読によると、第2白糸トンネルの上部地山には、海岸線とほぼ直行する方向に3本のガリ侵食によって形成された谷地形が平行状に見られている。今回崩落が生じた岩体は、これらの谷のうち最南端の谷によって地山から分離され孤立峰となった箇所である。

第2白糸トンネルの周辺の地質の概況は、新第三紀中新世のオコツナイ層から構成されており、崩壊箇所ではオコツナイ層のうち下位から、シルト岩、角閃石石英安山岩質水冷破碎岩、火山円礫層となっている。シルト岩は道路面から比高30m～50mの位置に若干海側の方へ傾斜して分布し、一部が波食によって窪地を形成している。シルト岩の上位の角閃石石英安山岩質水冷破碎岩は、崩落の主体部をなすもので自破碎溶岩状の礫質岩である。風化作用を受けた表面部では岩片化（礫）が見られるが、破断面は比較的滑らかである。この岩石の強度は一見茶褐色化しているため脆弱にみえるが、崩落した岩塊はハンマーで強打してもなかなか割れない程の強度を有している。この水冷破碎岩の下部とシルト岩の間には石英安山岩質の岩脈が緩く海側へ傾斜して貫入しており、また最上部には不整合で火山円礫層がほぼ水平に堆積し、円礫層には一部シルト岩が挟在している。

5.3 岩盤崩落の概況

岩盤崩落は8月25日に主本体部が崩落し、その後落ち残りの岩体が28日に崩落した。すなわち、8月25日14時30分頃の第2白糸トンネルの函館側坑口付近で、高さ約70m、厚さ約10m、推定体積約2万 m^3 にも及ぶ岩体が崩落した。この岩体量は1996年2月に発生した豊浜トンネルの岩盤崩落の約2倍の量に相当する。この崩落岩体の下底面はシルト岩層の窪地が崩落後も観察されることより、道路面より比高30mの高さであったと推定される（写真-5.3.1）。

このため、トンネルの巻きだし部が約100m区間に渡って圧壊し、国道より海側へ70mの半扇状に拡散堆積した。堆積した岩塊にはほとんど亀裂が見られず、堅硬で、その最大径は20m以上にも達する。

崩落面は赤褐色をなしており、明瞭な擦痕は見られていない。湧水はみられないが滑落面全体として湿潤化している状況である。

崩壊面の中央より右側方域には明瞭な開口亀裂（幅約10cm）の連続した不安定岩体が存在し（図-5.3.1）、8月26日13時頃この不安定岩体の下底部より約30 m^3 ほどの崩落が見られた。特に、8月27日の午前中の亀裂の進展の観察では以前左側方部の亀裂が石英岩脈で停止していたものがこの岩脈を超えて約3m程度進展していることが確認さ

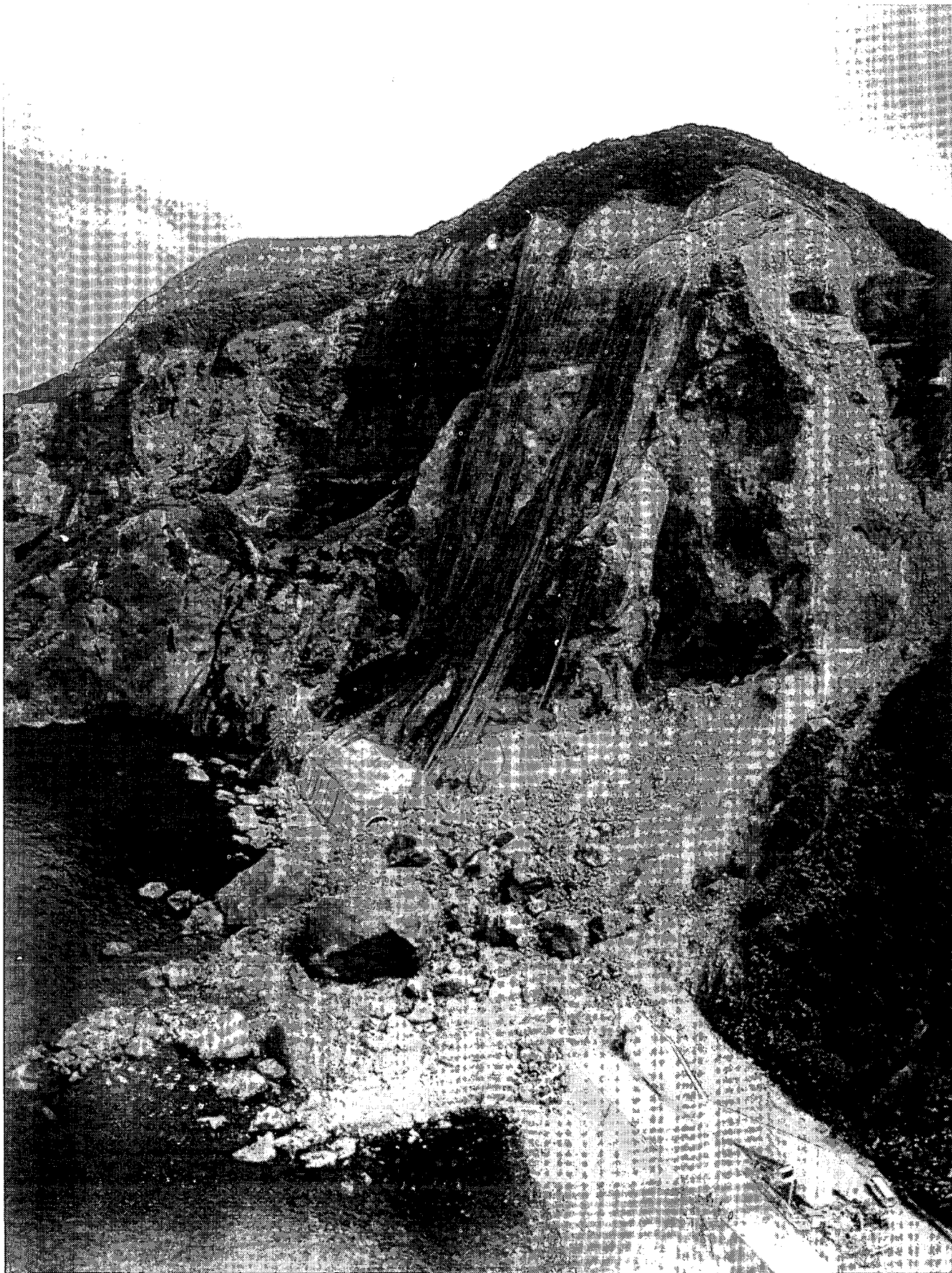


写真-5.3.1 8月25日の岩体崩落状況
正面に8月28日崩落した不安定岩体が見える。

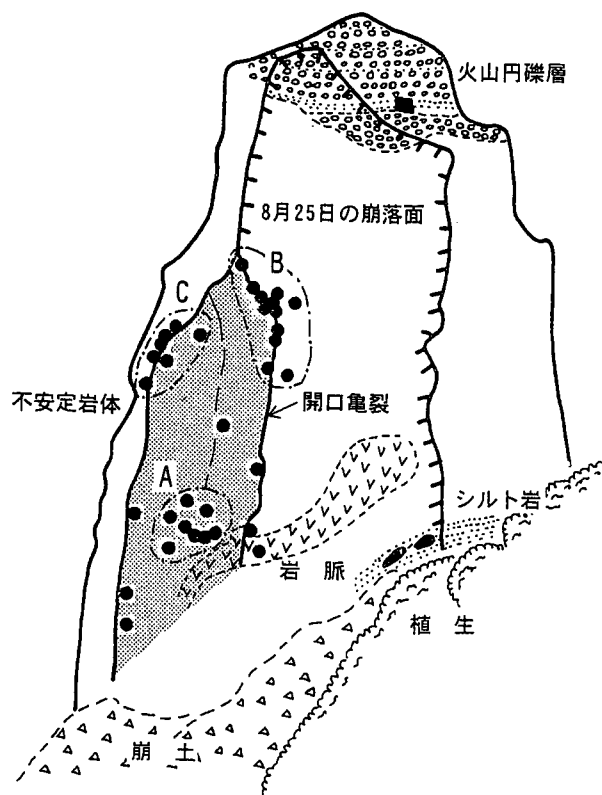


図-5.3.1 8月28日の崩落直前までの
落石・小規模崩壊の発生箇所

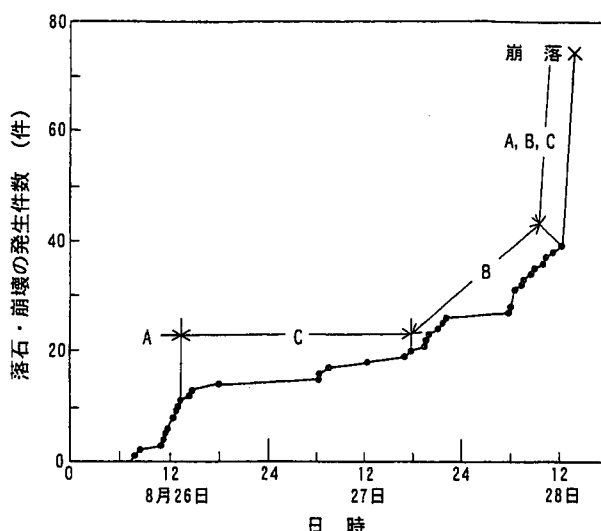


図-5.3.2 8月28日の崩落までの落石・
小規模崩壊の発生件数

れた。

この不安定岩体そのものあるいは周辺では8月26日の朝から時折、落石や小崩壊が発生するようになり、図-5.3.1は8月28日11時までの落石発生箇所を、図-5.3.2は不安定岩体が崩落するまでの落石発生件数を時間累積曲線で示したものである。落石・小崩壊の発生箇所は岩体全体に分散しておらず、特定の箇所に集中して発生しているのが特徴である。主な発生箇所は不安定岩体の下部（図中のA）、開口亀裂の上部（図中のB）及び岩体の右側の上部（図中のC）である。時間累積曲線をみると、落石は特定のまとまった時刻に発生しており、落石の発生箇所と時刻の双方に着目すると、特定の時間に特定の箇所から落石の発生が生じていることが判る。

以上のような落石・小崩壊が発生している中で、8月28日の早朝から落石の頻度が高くなり、特に開口亀裂の上部域からの発生が卓越していた。12時10分頃からは数分おきに落石が発生し、上記3箇所のいずれからも発生が見られるようになった。13時30分頃からは開口亀裂部分の開き具合として不安定岩体が右側へ若干傾く様子と不安定岩体下部で海側に傾斜した亀裂の発生が観察された。13時32分、不安定岩体の下部域で数 10m^3 の小崩落が弾ける形態で発生した（写真-5.3.2）直後に、岩体下部が圧砕されはじめると同時に 3800m^3 に及ぶ岩体全体が緩やかにすべり滑落の形態で崩落した（写真-5.3.3～5）。

この滑落の際には大きな音や振動などは観察されず、比較的静かなものであった。この不安定岩体の滑落面には明瞭な擦痕が右側方域に崩落後観察され、運動様式としてす

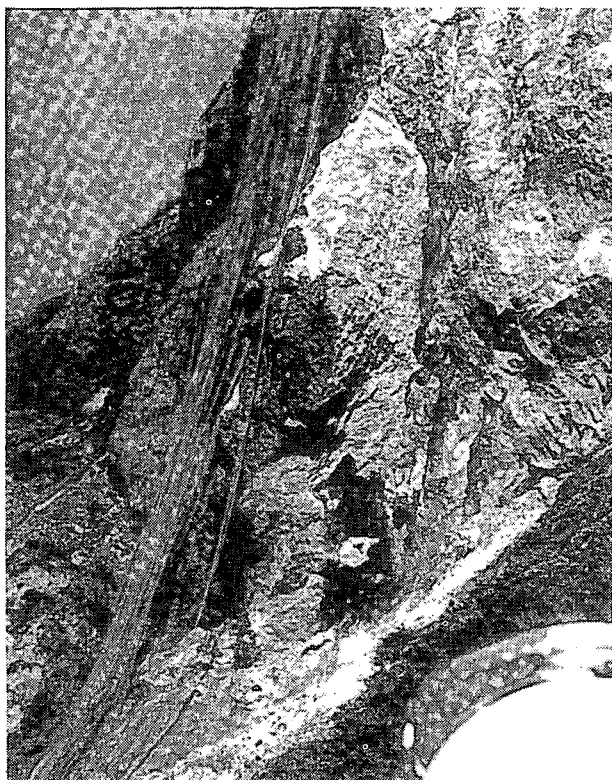


写真-5.3.2 8月28日の崩落直前の不安定岩体からの小崩落



写真-5.3.3 滑動中の不安定岩体

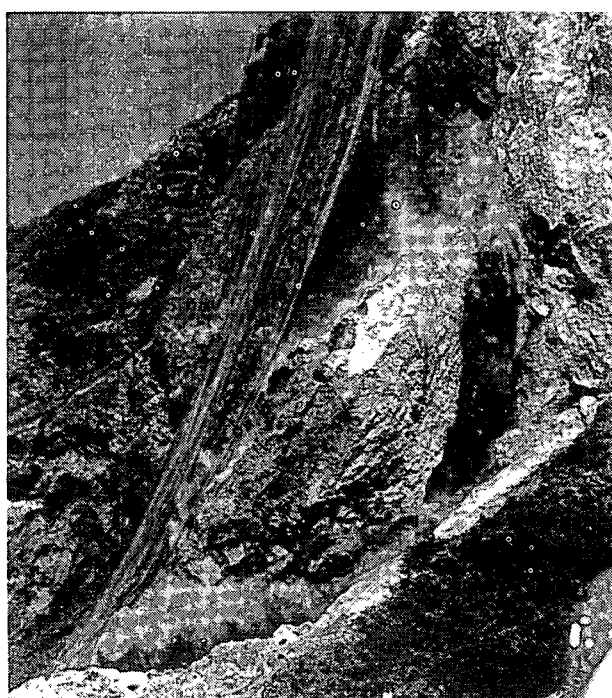


写真-5.3.4 滑動中の不安定岩体

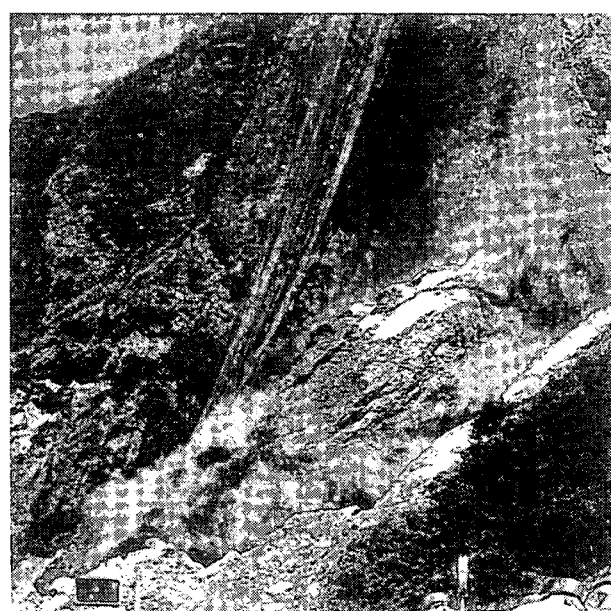


写真-5.3.5 滑動中の不安定岩体

べり現象が生じたことも否定できないが、VarnesのMass Movement分類の5つの運動様式によらない崩落とすべりの複合として桑原氏（土木研究所元地質官）の提案する「大規模なスラブ倒壊」などの引っ張り抵抗力も含めた運動様式が妥当ではないかと考えている。すなわち、運動解析として空中飛散（崩落）でもなく、トップリングの回転運動でもなく、地すべりで代表される明確なすべり運動でもなく、またスラブの圧壊折れ曲がりのバックリング現象の何れも適用し難いと現時点で考えているからである。

今回の岩盤崩落災害の特徴を現時点で取りまとめると

- 1) 不安定岩体の崩落以前に明瞭な前兆現象としての落石・小崩壊があった。
- 2) 岩体の応力の変化に伴うものであると考えるが、落石の発生箇所は時刻によって変化する。
- 3) この種の岩盤崩落においては下層位に移動体より脆弱な岩層（ここではシルト岩）の存在することが多い。

引用文献

三浦均也、西村右敏、1997：国道229号第2白糸トンネルにおける岩盤崩落、土と基礎 Vol.45, No.11, pp.33-34

土木研究所講演会
講演集

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3534号
平成10年2月(1998)

企画部企画課

要旨

本資料は、「平成9年度土木研究所講演会」の講演内容をまとめたものである。
この講演会は、土木研究所が実施している調査研究の成果や最近の土木技術に関する話題、動向などを各方面に紹介することを目的として、毎年1回開催している。

キーワード：土木研究所講演会、海岸侵食、ITS、国土生態ネットワーク、
都市水環境サステナブル、斜面土砂災害

郵便はがき

切手を
はって
下さい

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

企画部企画課 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第3534号（土木研究
所講演会講演集）部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 ㊦

土木研究所資料第3534号

○

土木研究所講演会講演集