

マイクロフィルム用資料

I S S N 0386 - 5878

土木研究所資料第3727号

平成 11 年 度

土木研究所講演会 講演集

平成12年 2 月18日

建設省土木研究所

Copyright © (2000) 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11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11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、環境教育、下水、土石流、交通安全、情報化、地震

目 次

合意形成型河川事業を進める際の 基本となる河川環境教育手法	河川部長 宇多高明	1
下水の高度処理と国土保全	下水道部長 佐藤和明	13
土石流対策技術の現状と今後の展開	砂防部長 松井宗広	27
特別講演「技術者の生涯キャリアー ーその活性化に向けてー」	工学院大学長 大橋秀雄	53
道路の交通安全対策 ー過去，現在，未来ー	総合交通安全研究官 山田晴利	57
建設事業における情報化の現状と研究動向	材料施工部長 苗村正三	81
トルコおよび台湾地震の概要と教訓	耐震技術研究センター長 保田雅彦	101

合意形成型河川事業を進める際の
基本となる河川環境教育手法

河 川 部 長 宇 多 高 明

合意形成型河川事業を進める際の基本となる河川環境教育手法

河川部長 宇多高明

1. まえがき

新河川法においては、「環境」と「住民参加」が新たに盛り込まれた。この法律によれば、従来は行政が一括して行ってきた仕事の一部分を、市民が主体性をもって担い、参加だけではなく計画作成にも携わることになる。そしてこれらの新しい二大要素の付加により、今後の河川環境保全活動は、新河川法の転換点が最も表出しやすい部分となった。このように、従来からの治水面や利水面への十分な配慮に加えて、新しい要素が付加されたため、河川の自然的条件への市民の深い理解の必要性が以前にも増して高まっている¹⁾²⁾。その基礎は自然史理解にあると考えられる。一般には、自然史博物館がその支援の役割を果たしてきた。しかし、それが無い地域では、地域住民が河川の学習を望んでも相談相手を欠き、環境教育に困難が生じている。また、近年の学校・家庭教育もこの点では十分に機能していない。よって従来の学校教育を主とする教育とは異なる枠組での自然史教育システムが必要となる³⁾。

例えば、近年、各地に建設されている河川博物館は河川の総合的理解の場となることを目指している。また、河川環境教育に関しては建設省・文部省・環境庁の超省庁プロジェクト（「川に学ぶ」）も存在する。しかしながら、自然史施設もなく、環境学習の支援政策の対象地ともならない地域の方が多いたのが現状である。国全体の河川環境保全を考えた場合には、いずれの地域においても河川への住民の理解をレベルアップする必要がある。そのためには、既存の様々なシステムを活用して、博物館などの「ハコモノ」がなくても実現可能な、小規模でも地道な活動が全国的に行われることが必要であろう。

本研究では、河川に関する地域研究の過程において得られた研究成果の社会還元を考え、その地域での市民ネットワークの関心事や問題意識との擦りあわせを試みた。この結果、研究成果だけでなく、その地域の河川の基本的情報は河川管理者が最も多く所有しているので、その還元の在り方が重要であることが明らかになった。研究対象地としては、自然史博物館などの自然史系施設は存在していないが、河川環境保全上重要で、さらに洪水被害の発生により防災も急務である、大分県八坂川流域と青森県下北郡大畑川流域を取り上げ、2地域の比較研究を行った。また、観察会や現地調査などを実施した。これらの実践作業を通じて、河川の自然史理解を支援する博物館などの施設の整備が不十分な場合における、河川環境教育の問題点の抽出と、それを解決するためのフィールドを活用した河川管理情報公開の具体的方法論を提示する。

2. 自然史関連施設と地域のナチュラリスト

地域における自然史教育は、博物館施設以外では一般に学校教育で行われているように思われがちである。確かに、学校教育は子どもを対象とするだけでなく、PTA などを通じて地域社会の知的関心を支え育てる可能性を秘めている⁴⁾。しかし、現在のような過密カリキュラムのもとでは、教師には自己研鑽の機会や地域へのサービスの時間を割く余裕がない。また、都市化地域だけでなく、自然環境が多く残された地域においても自然への無関心が蔓延している。今後は、小中学校での総合学習の導入などにより状況は改善される可能性も大きい。それは、学校教育ではなく地域住民が教育に参加することを前提としている。

そのため、今後は益々地域性が重要となってくる。本研究で取り上げるような「自然史 natural history」に関心を持つ子どもや父母、地域住民がいても、活動の求心力になる施設が地域内に存在しないと、せっかく芽生えた関心が育ちにくい。すると施設や施策を要望する流れも生じにくい。こういった悪循環の結果、地域の自然史に関心を寄せる人の数とその質が低下していくケースが生じ易い。

一方、逆の良い循環は、関心を高め育てていくような機会に恵まれた地域に発生すると考えられる(図-1)。そのような地域では、ナチュラリストによる自然史に関する活動や研究が活発である。また、ナチュラリストの方が分類学などのある部分においては研究者を凌駕する知識と情報を誇っている。(本論文では、「ナチュラリスト」を非職業的研究者(アマチュア)の自然愛好家、「研究者」を職業的研究者と定義する。)その活動の強弱に地域差が見られるのは、学校教育とは異なる地域社会という基盤に依存する度合いが大きいためである。自然史活動が活発な地域では、必ず核となる研究団体が存在し、その声もあって核となる施設が規模の大小を問わず建設されている。そこには発信力の強い研究者である学芸員が勤務していることが多いが、それはナチュラリストよりも自然史研究に割ける時間がある以上、職業人としてレベルが高くないと地域のナチュラリストから評価されないという緊張感があるためであろう。

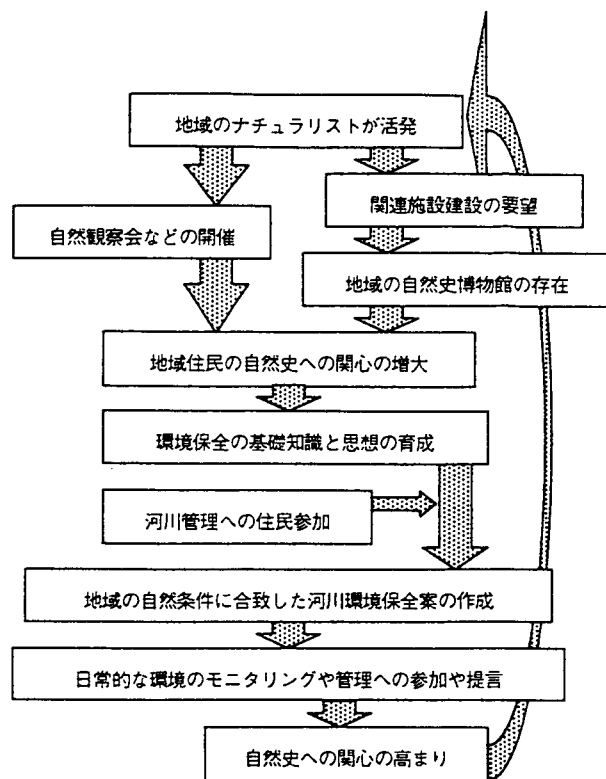


図-1 地域の自然史への指向性・
博物館の存在・環境保全運動の関係性

3. 日本における「自然史」と博物館、社会教育

自然史 natural history とは総合科学である。日本語では博物学と訳されて久しいために固定化したイメージがあり、時に古典的の学問であると考えられがちである。博物学の展示施設である「博物館」もまた同様のイメージを持たれてきた。博物学に必要な分類学などの記載的分野は、普遍性や数量化を目指す学問分野に比して古典的であるとの認識が生まれていた。その結果、博物学的研究が生物学や地球科学をつまらなくしているという非難も浴びていた。さらに、博物学はアマチュアの活躍に大きく依存しているため、職業的研究者との差別化が困難であった。そのため、職業的研究者の行う学問ではなく、誰にでもできる分野であるとの偏見も持たれた。その結果、アマチュア(在野)の研究者と職業的研究者の溝は益々深まることとなった。これらの原因により、博物学的とみなされた分野は日本の大学などでは加速的に廃止されつつある。

こういった潮流に対して、博物学的分野の諸学会が共同して「自然史連合」を組織するなどして「自然史の復権」を図った。近年は、博物学というよりも自然史学との名称が浸透しつつある。しかし、依然として自然史的分野は大学教育では実質上縮小傾向にあるし、初等・中等教育においても、生物種や岩石・鉱物の名称は丸暗記の対象に過ぎないということとで削除される傾向にある。その結果、現在の日本では、自然史の教育を受けた人材が枯渇

しつつある。環境アセスメントが重要視される時代になっても、その基盤を担うべき自然物の「名前が識別できる」人材が育ちにくいシステムができているのである。この逆説的な現象はあまり問題視されていないが、環境重視の時代にあって重大な盲点である。生物調査や分類の専門教育機関、および資格の整備がなされるなど、改善されつつはあるが、自然史の学問的位置付けには引き続きの議論が必要であろう。

一方、1980年代には全国で競うように博物館の建設が行われた(図-2)⁵⁾。

その中で自然史博物館も多く造られた。しかし、これらの博物館が存在しない地域の場合には、地元のナチュラリスト団体や学校関係者からの強い要望がない限りは、建設予定も立たない場合が多いようである。

いわゆる「ハコモノ」といわれる博物館の施設が建造されたとしても、収蔵標本や展示内容の充実だけでなく、数字に表れにくい学芸員の活動などの内容が重要であることはいうまでもない⁶⁾。しかし、施設さえも存在しない場合には、やはり核を欠くといえるであろう。施設には、標本の収蔵や集会開催の利便性などの物理空間としての意味がある一方で、博物館が社会教育施設であることを標榜する以上は、周辺住民に対して観察会や講演会など、目に見える教育活動を行うはずである。そういった会合に参加する機会に関心のある人であれば自由に持つことができる。その点が、同好会などのサークル活動と異なって、博物館という公的施設での会合や観察会は、関心や知識が未熟であっても参加しやすい理由である。

4. 研究対象地

4.1 大分県八坂川

(1) 八坂川の概要

第一の研究対象地は、大分県八坂川流域である(図-3)。八坂川は、別府湾内の小湾である守江湾へ流入する二級河川で、その流域は豊かな自然に恵まれている。河口部には絶滅危惧生物カブトガニ、ハクセンシオマネキやアオギスが生息している。河口部は漁場として利用されている。当地では、カブトガニを環境保全の象徴として保全活動が行われており、特に稀少生物の保護と漁業との両立を目指している⁷⁾⁸⁾。カブトガニの保全と環境改変に関しては、市民や研究者などの保全関係者と河川管理者の協調による環境管理が模索されている⁹⁾。また1997年9月、1998年10月と激甚災害級の洪水が起きた。これらのうち、1997年洪水では

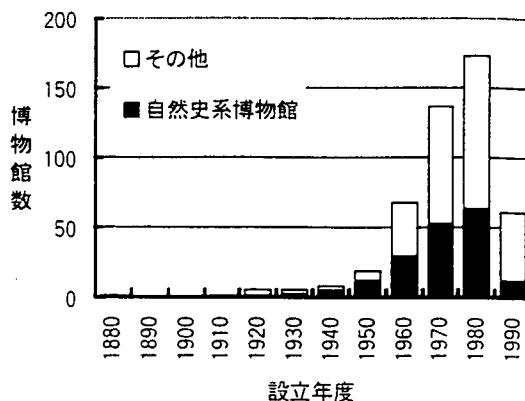


図-2 博物館の建造の推移

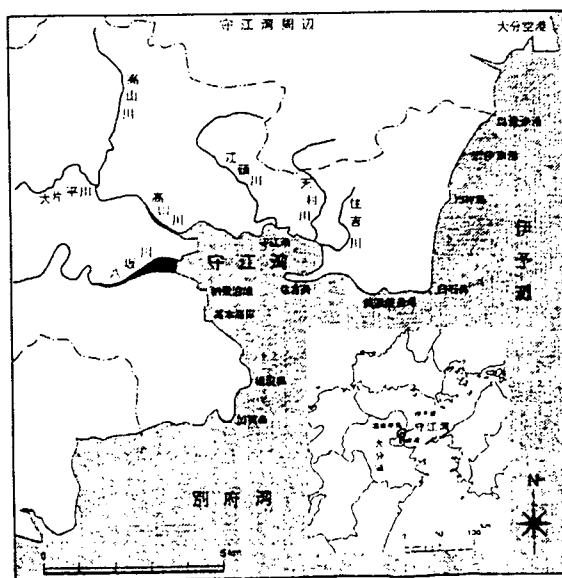


図-3 八坂川・守江湾位置図

表-1 九州地方の県立の自然史系博物館

県	名称	設立年	運営	所要時間
福岡	しかのしま資料館	1971	財団法人	2:45
	福岡県栽培漁業センター栽培漁業展示館	1983	財団法人	2:40
	福岡県青少年科学館	1990	県	1:55
	福岡県立図書館郷土資料館	1983	県	2:15
佐賀	佐賀県立博物館	1970	県	2:20
	佐賀県農業試験場農業資料館	1968	県	2:15
	佐賀県立12世紀県民の森森林学習展示館	1983	県	2:35
	長崎県亜熱帯植物園	1969	財団法人	3:55
長崎	長崎県立美術博物館	1965	県	3:25
	阿蘇いこいの村・森林学習展示館	1986	県	2:10
熊本	大分県花き指導センター大分県温泉熱利用花き園芸試験場	1952	県	0:30
	大分県教育センター	1972	県	1:00
	大分県マリンカルチャーセンター	1992	県	2:40
宮崎	宮崎県総合博物館	1971	県	4:50
	宮崎県総合博物館分館（西都原資料館）	1968	県	4:30
	宮崎県立青島亜熱帯植物園	1967	財団法人	5:10
鹿児島	鹿児島県立博物館	1981	県	4:40
	鹿児島県県民の森森林学習展示館	1984	社団法人	4:40
	鹿児島県立博物館プラネタリウム・恐竜化石展示室	1981	県	4:40
	県立埋蔵文化財センター	1992	県	4:40
	高千穂河原ビジターセンター	1983	県	4:40

* 杵築市役所からの距離を「インターネット地図検索サービス MapFan Web ~<http://www.mapfan.com/>」と「日本道路公団経路検索システム ~<http://www.japan-highway.go.jp/route/index.html>」を利用して検索し、所要時間を一般道 40km/h、高速道路 80km/h として算出。

床上・床下浸水家屋数がそれぞれ 118 戸、72 戸に達し、田畑の冠水面積は 210ha であった。下流部の氾濫原の河川改修区間には奈良時代以降、現在に至る水田の遺跡が発見されている。しかし、これだけ自然史的材料が豊富でありながら住民の河川への基本的関心や地域自然の価値認識は高いとはいえず、結果的に環境や利水への無関心さが目立つ。洪水被害のため治水には興味を示す住民も多いが、洪水発生メカニズムや水防林などへの基本的理解は不十分であり、管理上の判断を誤る危険性をはらんでいる¹⁰⁾¹¹⁾。

(2) 背景

対象地である大分県杵築市の社会・文化的背景は以下のようなものである。まず、杵築市は八坂川の中流から下流域に位置する。江戸時代には杵築松平藩の城下町として栄え、現在ではその町並みが観光資源ともなっている。また、重光葵外相や海軍大臣などの著名人を多く輩出した土地柄であり、文化レベルの高さを誇り、歴史資料に関する関心が高い地域である。そのため城下町には「きつき城下町資料館」が、また、河口部に位置する杵築城跡の天守閣内部の回廊には資料室が造られ、この地の歴史を展示するスペースは市の中心部にある。しかし、自然史系の施設は乏しい。大分県内には県立博物館などの全県レベルの展示施設は現存せず（表-1）、今後も建設の予定がない。県内の自然や社会に関する展示は、個々の市町村立の資料館や民間の施設に依存している。これらの民間の施設では、普及教育活動や研究活動を志向しても、現在のような不景気の状況にあっては直接的に利益を生みにくく、こういった活動は経営を圧迫する要因になりかねないので、本格的には行われにくい情勢にある。

4.2 青森県下北郡大畑川

(1) 大畑川の概要

第二の研究対象地は青森県下北郡の大畑川流域である（図-4）。大畑川は、青森県北部下北半島の朝比奈岳に源を発し、津軽海峡に流入する流域面積 169.0km²、流路延長 31.6km の二級河川である。1998 年 9 月に大畑町市街地は洪水被害を受けた¹²⁾。床上・床下浸水家

屋は、それぞれ27戸と129戸であった。

1998年9月16日朝、静岡県に上陸した台風5号は日本列島を縦断し、青森県を通過して太平洋に出たあと、襟裳岬付近で北海道に再上陸するというコースをたどった。この台風に伴う豪雨によって青森県の大畑川では大きな洪水に見舞われた。この洪水では、過去に経験したことがないほど大量の流木が流出し、折からの東寄りの風によって大畑川河口の西側に広がる二枚橋海岸と釣屋浜海岸にうち上げられた。そして流木は沖に張ってあったサケ捕獲のための定置網にも損壊被害をもたらした。

(2) 背景

大畑川では従前より市民フォーラムによる自然観察や、多自然型工法の導入が行われており、市民は平常時から地域の河川や環境などに多くの関心を有していた。そこに洪水被害が起きたために、市民たちは災害の映像記録を自発的に取得するなど、積極的な行動を取った。一方、研究者側も洪水前に現地踏査を行っていた。研究者らは、洪水発生後1週間目には、ボランティアとして洪水の現地調査を行った。このような背景から、今後の流域管理において市民と行政との本格的な連携を図る上で、洪水被害を記録し、将来に残すことが重要と考えられたので、市民フォーラムや地域行政が音頭をとって所管の土木事務所の協力も得て、報告書としてとりまとめた¹³⁾。報告書では、洪水時の河川や気象データのほか、消防団の記録、そして市民による聞き取り調査結果や、写真やビデオプリントの映像資料を用いて被害状況が記述された。

洪水調査にボランティアとして活躍した市民フォーラム「'94フォーラム in 大畑」は、青森県下北郡大畑町のNPO組織であり、1994年2月、大畑町有志を中心として結成された。地域の漁業資源であるイカの民俗的、歴史的、文化的な側面に光を当てながら、イカに関する研究の百科全書的な集約を行う「国際頭足類文化科学情報センター」構想を進めている。1997年8月には、これからの町づくりと暮らしのあり方について

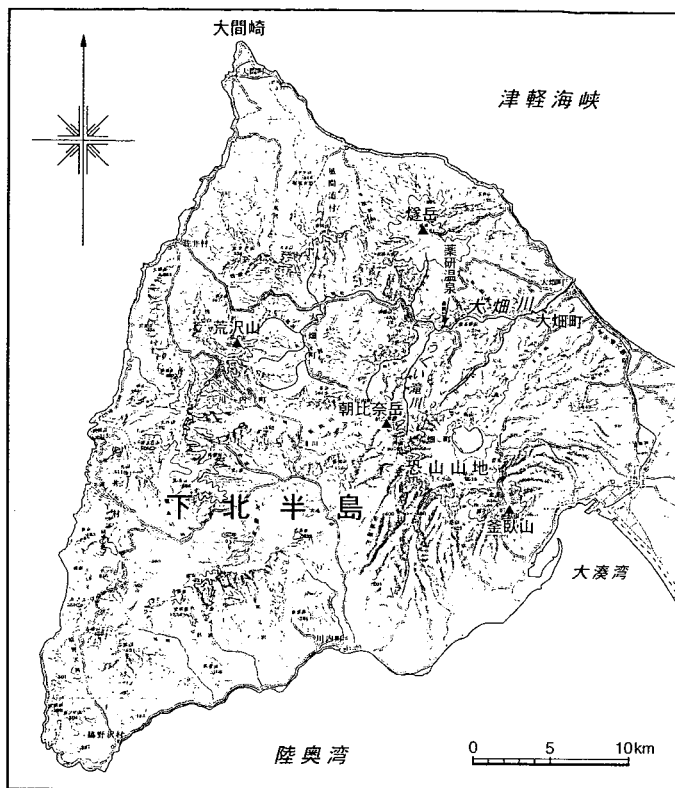


図-4 大畑川位置図

表-2 東北地方の県立の自然史系博物館

県	名称	設立年	運営	所要時間
青森	青森県浅虫水族館	1983	財団法人	2:05
	青森県立郷土館	1973	県	2:25
	青森県立十二湖	1979	村	4:50
	ビジターセンター			
岩手	岩手県森林学習展示館	1977	社団法人	3:35
	岩手県総合防災センター	1986	財団法人	3:55
	岩手県立水産科学館	1986	市	5:40
	岩手県立農業博物館	1969	県	3:45
	岩手県立博物館	1980	財団法人	3:55
	岩手県立広田水産	1947	高校	6:15
	高等学校附属博物館			
秋田	秋田県男鹿水族館	1967	県	6:00
	秋田県立子ども博物館	1980	県	6:00
	秋田県立農業科学館	1991	県	6:30
	秋田県立博物館	1975	県	5:40
	仁別森林博物館	1964	県	6:00
	鉾立ビジターセンター	1986	町	8:00

* 大畑町役場からの距離を「インターネット地図検索サービス MapFan Web ~<http://www.mapfan.com/>」と「日本道路公団経路検索システム ~<http://www.japan-highway.go.jp/route/index.html>」を利用して検索し、所要時間を一般道40km/h、高速道路80km/hとして算出。

「大畑原則 v1.7」を発表し、海、川、山の自然資源に支えられた「小さくて美しい街」の創造を目指して活動している。

この地域においても県立博物館などの全県レベルの展示施設は現存していない（表-2）。しかし、青森県では三内丸山遺跡に代表される縄文時代の遺跡が多く発見されており、考古学的側面のみならず、地球環境の変遷の面からも内外ともに博物館施設への要請が高まっている。そのため、県立レベルの施設が造られる可能性が大きい。大畑町でも縄文時代の遺跡が良好な保存状態で発掘されており、地域環境と小規模なコミュニティの在り方の観点から市民フォーラムの関心事となり、地域の野外博物館としての展開などが議論されている。

5. 自然史関連施設がない地域における自然史教育方法の模索

5.1 八坂川の例

(1) 講演会とフィールドでの観察会、巡検、遠足

女性を中心とする市民グループが主催者となって、対象地の自然を研究している専門家を呼んで「八坂川のしくみ・守江湾の謎」と題した講演会を開催した。春の大潮で河口部が観察しやすい日（4月30日）を選んだ。午前中には小学校の体育館でスライドやOHPを利用した講演を聞き、午後には話題にのぼった八坂川の洪水被害発生地点や河口部に移動して巡検を行った。ここに、「巡検」とは、地理学や地質学などの分野で伝統的に行われている教育と調査を兼ねた現地踏査のことである。当日は、洪水から約半年経た河口域を対象とし、洪水流の痕跡箇所の観察や、稀少生物のカブトガニやハマボウの生育地の観察、干潟生物の採集を行った。その際、専門家はただ講演するのみではなく、現地での観察会を終始リードしつつ、なごやかな雰囲気のもとで各種の疑問について答えた。また参加者の中から、自分が幼い頃には八坂川で多くの魚が採れた状況を発言した人もおり、昔の八坂川の環境を想起させる地域ならではの話も聞くことができた。地域行政担当者も個人の立場で参加しており、多くは語らないが、現地の自然に興味を持っている姿勢は市民にも伝わったようであった。

(2) 流域の小学生の河川教室

八坂川河童クラブは、流域の小学生を対象として保護者や学校の先生とともに川に親しむ機会を提供する活動団体であった。教育委員会のバックアップのもと1994年から1996年の3年間にわたり活動していた。活動は、プロジェクトであったため、その実施期限終了後に停止した。しかし、八坂川の河川改修工事が行われ、地域の川の大きな変革期にあるのであるから、地域自然の変化の将来を担う子どもたちが学ぶ絶好の機会であるということで、親の強い要望により再開され、市教育委員会のサポートも得た。講師として、河川学、地質学、生物学の専門家が参加した。夏休みの1日（1998年8月5日）をとって行った。午前10時に集合し、その日の活動についての公民館での簡単な説明のあとに現地を訪れた。観察会は、水道水の取水堰の周囲で、河畔林や淡水貝類などの底生生物の生息など良好な自然環境が残されている場所で行った。午後には、公民館で観察・採集した生物や岩石の観察や専門家による鑑定と説明を行った。

(3) 河原の遠足

これは市民グループによる川の勉強会で、野外に長時間滞在しやすい秋季を選び、9月14日に行われ、自然史全般がわかる専門家が参加した。現場と公民館でこれらの観察会や遠足で採集した生物や岩石を同定し、今後生じた疑問点を解決する方策について議論を行った。自然史への質問に詳しく対応できる専門家が地域に常駐している状況にないので、九州圏内の自然史関連施設を調べ、そこを訪問することを考え、可能性のある施設を調べた（表-1）。しかし、これらの施設は近隣には存在していないこと、また家族で出かければ交通費

もかかること、時間をかけて行ったとしてもどの程度個人や子どもの質問への対応してくれるのかについては不明であった。よって、この地域においては、自然史に興味をもった人々たちへのサポートが地域では困難であることがわかった。

(4) 環境アセスメント調査結果を活用したブックレットの作成¹⁴⁾

「八坂川河川改修影響検討委員会」は、八坂川下流の蛇行部の改修による河川および河口の生態系への影響を議論し、対策を立案するために大分県により組織されたものであり、筆者らも参加した。委員会は3回開催されたが、その提言の根拠を提供する調査は1996～1997年の2ヶ年にわたり、八坂川河口域から守江湾干潟にかけて行われた。最終委員会において、筆者らは、流域住民への河川情報の周知が重要であり、それなくしては河川環境保全への住民参加はありえないことを強く主張した。上記委員会は1997年3月に終了したが、筆者らは引き続き保全策の策定と実行に携わることとなった。上記委員会では、河川管理者でなくてはできない河川の情報や知見を流域住民に周知するための具体案とし、「委員会調査報告書（環境アセスメント結果）」の還元があることを提言した。特に、上記委員会の調査結果はアセスメントだけでなく、地域の総合科学として十分な成果を上げており、さらに研究者の独自のアイデアも盛り込まれ、八坂川の自然史を知る上では資料性が高いと判断されたためである。そこで、この委員会資料をベースに、不足分は筆者らが補い、説明に必要な写真も撮影し直して、ビジュアルなブックレットを作成配布することを考えた。このアイデアは、地元住民との接触の中で、八坂川の基本的な情報や環境の知見を得られるような施設や組織が存在しないことが問題と考えていたため気が付いたものである。さらに、学校教育や家庭教育において地域環境の自然史の資料が充実していないことも、今日の八坂川への関心の低さを示す理由であると考えたためである。よって、流域住民が世代を超えて読めるような内容の手軽な冊子が必要と考えたのである。この提案に対し、大分県土木建築部河川課および大分県別府土木事務所が理解を示し、筆者らが執筆を行い、ブックレットを完成させた。

(5) 洪水被災者へのヒアリング

洪水時には、平常時に比べその河川固有の特性が出やすい。また、洪水被害という不幸な形を通して、河川の存在を流域住民が認識する場でもある。一方、洪水は被害のみならず田畑に養分をもたらすことも知られている。こういった洪水の諸局面に対して、河川の自然特性と流域の地域社会がどのように歴史的応答を経て共存しているかは興味深い問題である。また、本研究においても洪水災害の認識を経て住民の自然条件の理解度を知らためにも重要である。このことから、洪水被災者に対するヒアリング調査を行った¹⁵⁾。

1997年9月16日、大分県八坂川では台風19号に伴う豪雨により大洪水が発生した。筆者らはこの洪水の概況を既に報告した¹⁰⁾が、上記の視点から改めて検討するために、洪水から約1年が経過した1998年8月8日、洪水被災者へのヒアリングを行った。八坂川流域の異なる歴史条件を有する6地区を選び、予め調査の趣旨を通知し、その目的を理解してもらった各地区ごと数名の住民に代表者宅に集まっていただき、そこでヒアリングを行った。ヒアリングでは、スケールの異なる数種類の地図、洪水状況写真、さらには調査資料などを基にして、洪水時の浸水状況、浸水前後の対応などについて語っていただいた。八坂川の洪水は1997年洪水が最大規模で、1976年がそれに次いでいるが、1982年にも発生している。被災者である調査対象者はいずれもこれらの数十年間に起きた洪水を明瞭に記憶しており、それら過去の洪水と今回の洪水とを比較しつつ意見を述べた。

住民からのヒアリング結果を要約すれば以下のようなものである。

- ① 地域コミュニティの状況、特に洪水に対する経験知の伝承状況に応じた防災計画が必要であること。
- ② 洪水災害の防除のためには、近年の自然条件の変化を十分取り込むと同時に、経験知とも対応させることにより予測度の向上を図るべきこと。
- ③ マニュアルで対応しきれないような事柄については、地域の互助システムを機能させる

必要があり、特に高齢化社会における一人暮らし老人数が増えた場合への対応について十分な検討が必要なこと。また、通常の防災訓練だけではなく、普段から古老の話を聞き、河川の自然史を理解しておくことが有効なこと。

- ④ 洪水に対するハザードマップの作成においては、その地域の土地利用の変化や、ミクロな洪水状況の相違（単に水位が上昇するのみなのか、あるいは洪水流が激しく流入するのかなど）を予め十分検討しておくことが必要なこと。

流域住民の洪水認識や、それに関する知識は、純粋な自然史的知識とはいえない。しかし、ヒアリング結果から、八坂川においては、洪水という切り口において最も河川環境への関心が高く、具体的な話が出やすいことがわかった。このことは、河川管理者や行政職員には自明かもしれないが、自然史関係者（ナチュラリストと研究者）は時にこのような社会的問題を避ける場合もある。このことより、自然災害を今後の自然史教育に必要な要素として位置付け直すことも重要であることが分かった。

5.2 大畑川の例

(1) 洪水報告書の作成¹³⁾

大畑川では、市民フォーラムと洪水被害の共同現地調査を行い、洪水報告書を作成した。まず、台風5号の概況や洪水の実態を明らかにした後、住民の避難誘導に関して重要となる消防署の活動記録を調べた。これにより、台風襲来時における消防関係者の時間を追った生々しい対応状況が明らかになった。また洪水調査では、洪水流の状況と流木の形状について、市民によるビデオ撮影が行われるとともに、住民からの聞き取り調査もなされた。さらに、当日撮影された多くの洪水状況写真だけではなく、洪水時の写真撮影地点と全く同じ場所において、洪水後に撮影した写真との比較を行い、これにより洪水時と平時時の河川状況の大きな違いが理解できるような写真集を作成した。さらに、洪水後には河岸侵食と流木災害の現地踏査を行い、とくに堤防のり面の侵食、湾曲部内岸側での砂州の形成、側方侵食と接続ブロック護岸の被災、橋脚への流木の引っかかり状況、さらには国有林伐採のための作業道から始まった崩落などについて現地で討論を行うとともに、詳細な報告書を作成した。最後に、洪水に起因して海へ流出した大量の流木が海岸へうち上がるという海岸災害と、定置網の被害についてとりまとめ、海岸流木災害が、この地域の森林の90%を占める国有林の伐採に伴う、作業道の建設などに起因して発生した土石流と深く係わることを、したがって流木問題について考えるには流域全体を視野に入れた研究が必要なことを指摘した。

(2) 洪水後の展開

以上の共同作業を通じて、市民フォーラムのメンバーは以下のことを再認識し、かつ実現した。

- ① 非常時の状況を正確に把握するためには、平常時の自然観察が大切なこと。
- ② 自然史への興味を喚起することは、地域づくりに連結すること。例えば、観察会や遠足などを通じた活動は、楽しみながら地域社会の人とその自然の実物を前にして、その保全や管理の在り方について議論するよい機会になること。
- ③ 洪水調査を通じて河川管理者との具体的議論が進み、今後の河川管理についても協調的活動を行う信頼感が形成されたこと。
- ④ 河川氾濫や気象のデータ、また行政や消防の対応などの市民が認識しづらい情報が公開され、洪水の全体像が把握できたこと。
- ⑤ 調査結果を、大学や、土木学会の河川や海岸に関するシンポジウムで発表する機会があり、全国の人との議論も始まったこと。その結果、地域を外からの視点も導入して見直すことができたこと。

6. 考察

本研究では、法律改正により、環境と住民参加の要素が考慮されることになった河川環境について取り上げた。以下にその問題点を整理し、取得されながら死蔵されている河川工事関係データが、環境教育に活用されるシステムについて具体的事例をもとに提案する。

6.1 河川環境に関心を高める良い循環の形成

前述のように、そもそも自然史志向の弱い地域には博物館などの施設建造の要請が少ない。そういった流域では、意識の高い河川流域で行われているような、流域ネットワークが自発的に形成されるわけでもなく、そのコアとなる熱心な人も見つからず、という状態が続く可能性がある。近年は、行政主導のトップダウンによる河川を愛好するキャンペーンや団体の設立などが行われているが、実際には、町内会や各種団体などを通じて動員された義務感による参加者が多くなってしまう。その結果、本気で自然史を知りたい人のテンションが下がることもある。このような地域では、いくら行政が呼びかけても住民参加による河川環境のためのモニタリングなどは成立しにくい。ボランティアを前提としていながら、官主導であるのは本末転倒ですらある。結局、河川法が変わろうとも、地域住民の意識が低ければ中途半端な理念の実現になってしまい、環境保全は進まない。しかしながら自然史志向の弱い地域においても、数は少なくても、将来的にはコアとなり得る人々がいるので、それらの人々に他地域の意識レベルの高い人々が性急でなく長い目で情報や考え方を提供し続け、自助努力を進めることが有効であろう。

6.2 環境教育における河川管理者の可能性

今まで、自然史教育とは博物館、教育機関やナチュラリストが行うものと考えられてきたが、河川管理者や河川行政が自分達しか保持していない情報の価値に目覚め、それを活用して社会還元を行うというタイプの環境教育が可能となると考えられる。その際、総合科学調査ともいえるべき、調査報告書の活用が最短の方法のひとつとして再認識されるべきであろう。報告書はデータ集のままでは公開されても実効性がないので、それを簡略化する努力が必要である。筆者らが研究対象としている大分県八坂川では、洪水のメカニズムや生態系保全の緊急な必要性から、環境アセスメントの結果を要約し、専門家らの独自調査結果も取り入れて、地域の自然史を学ぶためのブックレットを作成した¹⁴⁾。

その際、河川工学や行政の人しかわからないような術語や図版は削除し、極力平易な内容に翻訳した。どこが専門的すぎるかの判断と作業に時間を要した。例えば、河口からの距離、断面図の比率なども一般の人にはそのままではわかりにくい。調査報告書を、加工しないそのままの形（一次的文献）で市民に提供しても、情報はうまく伝わらないので、わかりやすく、興味を持たせる内容のパンフレット、小冊子やパネルなどの二次的資料に書き直す必要があることは確かである。

河川管理者の情報を活用した自然史理解を進める環境教育活動はまだ試行段階であり、方法論としてもまとまっていない。しかし、洪水といえばハザードマップの作成というような短期的目標のものだけでなく、普段から地域の河川に自然史を通じて関心をもってもらい、管理に関するデータの在り方を周知する重要性を認識して、研究者と行政が連携して作成していくのが望ましいと考える。その中で、自然史の部分に地域のナチュラリストに参加してもらうことが重要である。

自然史といえば、高邁な趣味と思われがちであるが、本来自分達の生活の中から湧き上がってくるべきものである¹⁰⁾¹¹⁾。河川の自然史に関しては、河川管理の日常業務や調査での現場のデータこそが生き生きとした自然史の教科書と考える。

6.3 市民組織の存在

八坂川と大畑川で大きく異なる点は、市民組織の在り方にある。本研究では、具体的研究の遂行にあたり、その差異が現れた。八坂川では、現地の調査に入っている研究者が不安を憶えたほど、表面的には河川環境に関する興味も低く、子どもたちも河川であまり遊ばず、学校教育でも取り上げられていなかった。さらに洪水被災者を含む流域住民の中には、洪水の原因となる河川地形について誤解をもっている人も多かった。古くからの在住者には経験知がありながらも、地域全体としてはそれを意識していない状況にあったため、行政への要望にも河川工学的には適切でないと考えられるものもみられた。このような状態を憂慮し、改善しようとする市民組織はなかった。唯一、自然や河川に集中はしていないが、これらを興味の対象として取り上げている主婦たちを中心としたグループ「であいねっとわーくともだち」があったのみである。環境に関する市民組織としては、市行政が音頭をとって1996年に始めた「杵築カブトガニを愛する会」がある。しかし、この会は官主導のため、市民の参加者が本当の興味を持って自発的に参加したのか、あるいは動員されたのか区別がつかない状況が見られた。活動の中心となった市民メンバーのみならず、研究者や現地で研究する大学院生の努力があったにもかかわらず、カブトガニというある一種の生物の名前が冠されているために、環境教育という点では対象の取り上げ方などに限界が見られた。市内の他の団体として、政経懇談会、婦人会、青年商工会議も存在するが、依然として環境全体への関心が低いので、意識の高い一部市民や研究者が啓蒙活動をしている途上にある。地域内の組織で水環境に最も関係が深いと考えられる杵築漁業協同組合は、八坂川内に漁業権がないために、組織としてはほとんど関心を有していない。しかし、清野らによるヒアリング調査によれば、若手を中心とした漁業者には、河川と沿岸環境の連続性の認識や、環境保全への関心が高まっており、八坂川河口部での漁獲状況についても憂慮している。このように、地域内に市民組織は存在するものの、八坂川の河川環境保全に主体的に動こうとする組織が欠落している状況下にある。逆説的ではあるが、それだけに研究者や河川管理者にとっては何が行えるのかが明解に分かる地域であったとも考えられる。

一方、青森県大畑町の場合には、上述のように市民組織が活発かつ継続的に発展性をもって活動している。現在の環境のみならず、町づくりの目的からも過去の環境改変への関心が高い。よって、自然環境の調査のみならず、地域社会の変遷と対応させて河川環境を考えてきた背景がある。さらに、調査自体が目的ではなく、具体的に市民が河川環境保全に参加する活動を2年前から行っており、多自然型工法の導入や、県河川行政との連携が試行的になされていたという特徴がある。このような先進的な地域においては、自発的な自然史への関心が高まっており、建造物としての自然史博物館がなくても、公民館での会合や観察会などが住民の手によってなされている。その指導者についても、市内に専門知識を持つ者が常駐しており、さらに必要な場合には、地域外の専門家を招聘している。こういった自発的で持続的な行動をもつ地域からは、全国的にも学ぶべきことが多いと考えられる。

6.4 流域管理と自治体境界

流域ネットワークの構築の際、流域が複数の地方自治体にまたがる場合調整が難しいことが多い。本研究の対象とした八坂川は、3つの市町（杵築市、山香町、日出町）を、大畑川は大畑町を流域としている。複数の自治体にまたがる場合には、協調的に進む場合もあるが、自治体が分断されている歴史的経緯や経済的不均衡、さらにイニシアティブを誰がとるかなどが原因となって、往々にしてうまく機能しにくくなるケースが多い。同じ大分県内でも、大野川ネットワークは環境保全や環境教育に関して熱心である。しかし八坂川の場合には、江戸時代の幕藩制度のもとでの敵対関係が現在も尾を引いており、地域間の民間レベ

ルでの交流も難しい（清野らによるヒアリングより）。杵築市は杵築松平藩の、隣接する山香町と日出町は豊臣木下藩の流れを汲んで自治体境界線が引かれている。こういった歴史的経緯は、現在の流域全体を見通す理念をもった河川管理上も障害となってしまう。

例えば、上流の山香町町民は下流の杵築市の状況に対して極めて無関心であるか、あるいは自分達が放流しているアユが戻ってこないのは、下流での管理が悪いためであるとも思っている。一方、下流の杵築市民は、上流からの生活・農業排水のために自分達の上水道の水質にも負荷がかかっているとの認識を持っている。このような歴史的関係性は、流域ネットワークの構築以前の基本的問題と考えられる。

水利用などの現実的な問題に関しては関係性が微妙で、地域を超えて扱いにくい対象であるが、自然史一般に関してはそのような制約も受けずに論じることが可能である。したがってそういった点から融和していくことも可能であろう。

一方、大畑川は、大畑町のみを流域としているため、地域としては一体化して考えることが出来るようである。そのような場で、流域ネットワークが成功しやすいことは、神奈川県横浜市金沢区の例にも見られる¹⁵⁾。地域が目標をもって管理できる可能性が見えやすいことが、市民ネットワークがしがらみにとらわれずに調査を行える理由と推察される。

また、大畑町は、歴史的には北前船の寄港地として発展した港町であるために、人々の流動が前提となった地域観を持っている。港町では一般に多様な価値観とルーツをもった人が共存していく習慣があるために、開放的な気風がある。さらに、沿岸漁業の不振から沿岸生態系の衰退に気づいた市民たちが、河川流域の自然の在り方を調査し、議論してきた土壤があること、そして、流木による海岸の災害や洪水などを通して、流域管理への視点が自然に芽生えていることなどから、河川の在り方についての強い関心が持続的に持たれていると考えられる。

6.5 従来の教育者だけでなく地域社会構成員が教育者となる仕組み

どの地域にも専門家が調査研究に入り、さらに市民との接点があるとは限らない。また、教育者の興味が自然環境に向いていない場合も多い。その場合に、環境「教育」としての幅を広げて、いわゆる専門家や教育者以外の人材の積極的な参加を呼びかけるべきである。経験知の保持者としては、地域社会の構成員は教育者となるポテンシャルをもっていると考えられる。子どもたちにも、あらゆる人からものを学ぶ姿勢をもってもらうことは情操教育上も重要である。地域の河川への経験知を地域社会全体に還元する機会があれば、環境教育だけでなく、世代や家庭や集落を超えた相互の理解が進むことが考えられるからである¹⁰⁾¹⁵⁾。

例えば、八坂川河童クラブでは、地質学専門家による一般的な説明以外にも、参加者の子どもの父親から「自分はみかん畑を所有し、果樹栽培を行っている。開墾の際に、どの山に入植したかが後の収穫や品質の差となった。山の地質とみかんの味は対応しているためである。ワインの質の差も同じである。」という意見が出た。このような地元ならではの意見は、子どもにとっても巡検中に説明を受け、採集した河川の転石に見られる地質との関連で身近な現象が理解できるし、一方、専門家にとっても現地ならではの情報を得られ地域への関心を高めることもできる。地域に根差した話題が活性化していくことは、自然史の面白さのひとつである「要素の関連性」を体験できることにつながっていく。こういったタイプの自然史の知識であれば、地域に教育者は多くいるに違いない。河川に関していえば、堰の水位の変化や堤防の機能は河川管理者、応用地質は建設業者、堆積物の性質と農作物の収穫は農業者、水中生物は漁業者、水質は関心の高い主婦などの多くの経験知を生き生きと語れる人が存在するはずであるから、そういった人達が自由に話せる雰囲気を作ればよいのである。

また、土木関係者もそういった社会を構成する重要な要素なのであるから、住民と接する好機と捉えて仕事内容を常時から知ってもらう機会とできるであろう。「合意形成」とい

うと「事業を進める時にのみ、ある目的をもって」という含みが大きく、事業をやらんがため、と社会の誤解を受けやすい。しかし、大畑川の例などをみても、普段からの議論が非常時にも大切であることがわかる。また、市民も河川管理者しか保持していない情報に触れて、地域自然への理解が進むことも確かである。今後の情報公開時代には、データ集を閲覧可能にするという消極的な姿勢よりも、むしろ議論のためのデータを整理して提供するような方策が必要である。

上記の様々な局面からも、河川管理者は広域的な地域環境に対応しているので、その特性を活用した環境教育ができる可能性が大きいともいえるであろう。今後の河川管理では、今まで蓄積してきたデータを公開し、それを住民に十分に活用してもらえようような方法が求められると考えられる。このような場合、本研究での試行で得られた知見が有効に活用できると考えられる。

学界では現在、「理科離れ」などの対策として科学的知識の普及が問題になっている。また自然史教育も従来型の方法は閉塞的状况にある。その打開策としては、新しい情報資源に注目し、新たな普及活動の指導者を発掘して育てることが考えられる。

自然史への理解が進むことを通じて、河川および河川環境への関心が高まるとともに、地域やその地域の一つの核となる河川への愛着が湧くことが期待される。また環境アセスメント等の各種調査資料の活用は、未利用知識資源の活用につながり、大きな発展性がある。そしてこのことが広い意味での住民合意を促進することにつながると考える。環境アセスメント等各種調査結果の還元により、純粋な自然史だけでない社会基盤整備（土木事業など）への理解が高まることも期待される。

なお、本論文は、筆者と東京大学大学院総合文化研究科の清野聡子助手、神奈川県立生命の星・地球博物館の濱田隆士館長との共同研究の成果【清野聡子・濱田隆士・宇多高明（1999）：河川事業の遂行上取得された各種資料を有効利用した河川環境教育手法、環境システム研究、Vol. 27, pp. 135-146.】を、清野助手、濱田館長の了解を得て、土木研究所講演会用にそのまま使用したものであることを付記する。したがって、引用に際しては、原論文を使われない。

参考文献

- 1) 清野聡子・宇多高明・前田耕作：地域固有の価値観、歴史性、稀少生物と河川改修-大分県八坂川の例-、第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、pp. 171-176, 1998.
- 2) 清野聡子・宇多高明：新河川法の理念の実現可能性-河川事業において普遍性と個別性の統合化は可能か-、河川技術に関する論文集、Vol. 5, pp. 7-12, 1999.
- 3) 清野聡子・濱田隆士・前田耕作・赤見朋晃・和田理恵・綿末しのぶ・大久保章子・萩谷宏・宇多高明：地域自然史博物館がない地域における河川環境教育のあり方、河川技術に関する論文集、Vol. 5, pp. 231-236, 1999.
- 4) 濱田隆士編：これからの自然史（誌）博物館、神奈川県立生命の星・地球博物館、1996.
- 5) 大堀哲編著：日本博物館総覧-ミュージアムへの招待-、東京堂出版、1997.
- 6) 濱田隆士・館野聡子：博物館活動における新しい自然史志向、月刊地球、Vol. 13, No. 11, pp. 694-696, 1991.
- 7) 清野聡子：保全活動におけるカブトガニの価値観の変遷、ヒトと動物の関係学会第4回学術大会予稿集、p. 36, 1998.
- 8) 清野聡子：水産学における「価値」問題-カブトガニを例として-、月刊海洋、Vol. 30, No. 4, pp. 238-242, 1998.
- 9) 土屋康文・清野聡子・宇多高明・釘宮浩三・軸丸恒宏・前田耕作：カブトガニの産卵地に配慮した河川改修、第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、pp. 171-176, 1998.
- 10) 宇多高明・清野聡子・三波俊郎：台風9719号に伴う豪雨による大分県八坂川の氾濫実態-氾濫原における洪水流の流動痕跡調査-、水工学論文集、Vol. 43, pp. 175-180, 1999.
- 11) 清野聡子・宇多高明・綿末しのぶ・濱田隆士・三波俊郎：洪水に対する地域の自然・社会特性を反映した災害認識-大分県八坂川における9719号台風による洪水被災者へのヒアリング調査-、河川技術に関する論文集、Vol. 5, pp. 219-224, 1999.
- 12) 太田慶生・清野聡子・宇多高明・駒井秀雄・澤藤一雄・藤田則康・田村敦・阿部晴生：流域全体を視野に入れた住民参加による洪水調査-青森県下北郡大畑川の9805号台風に伴う海岸流木災害-、河川技術に関する論文集、Vol. 5, pp. 213-218, 1999.
- 13) 9805号台風大畑調査委員会：9805号台風に伴う青森県大畑川の洪水記録、p. 72, 1999.
- 14) 清野聡子・宇多高明・大分県：カブトガニの棲む干潟-八坂川河川改修と環境保全-、大分県、1999.
- 15) 廣野喜幸・清野聡子・堂前雅史：生態工学は河川を救えるか?-科学/技術と社会との新たな関係を求めて-、科学、Vol. 69, No. 3, pp. 199-210, 1999.
- 16) 海をつくる会編：横浜・野島の海と生きものたち、八月書館、p. 266, 1995.

下水の高度処理と国土保全

下水道部長 佐藤 和 明

下水の高度処理と国土保全

下水道部長 佐藤 和明

1. はじめに

下水道普及率は平成10年度末で総人口の58%となり、生活用水150億トンの3分の2以上の量が下水道を経由して公共水域に出ていく状況となってきた。一方、わが国の河川、湖沼、沿岸海域の水質状況をみると、河川の一部で改善がみられるものの、湖沼、海域の水質改善は遅々として進んでいない。これは、これまで水質汚濁の主因であったBODで代表される有機物汚濁から、窒素・リンに起因する富栄養化現象による水質悪化が顕著になってきたためと考えられる。下水道においても、窒素・リンの除去を主体とする高度処理の適用が大きな課題となってきたが、高度処理にはそれだけのエネルギー消費が伴うこととなる。また、窒素・リンの負荷は都市域のみからではなく、畜産業や農耕地からも発生している。本論では、下水の高度処理を国土保全の観点も交えて分析し、将来の課題を明示したいと思う。

2. わが国の水質改善状況

わが国の水質汚濁問題の一端を省みると、昭和30年代の経済の高度成長期と期を一にして多くの地域で顕在化してきている。これらの水質汚濁の状況や大気汚染の問題を受けて公害対策基本法が1967年（昭和42年）に制定され、本格的な公害対策が実施されることとなった。この時期の水質汚濁の状況を、東京の墨田川にみえてみると、有機性汚濁の指標であるBODの値が高く溶存酸素あ殆どゼロであったことが伺われる。図-1は、既に歴史的教科書となりつつある「水質汚濁」¹⁾に掲載されているものであるが当時の水質状況をよく表している。

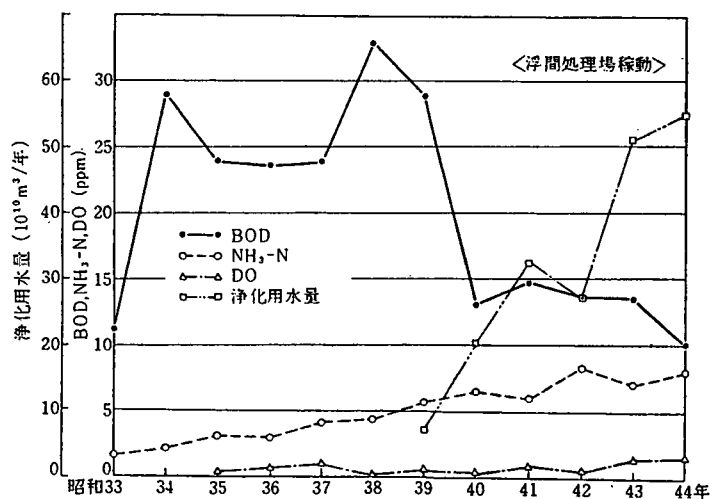


図-1 墨田川（両国橋地点）水質経年変化

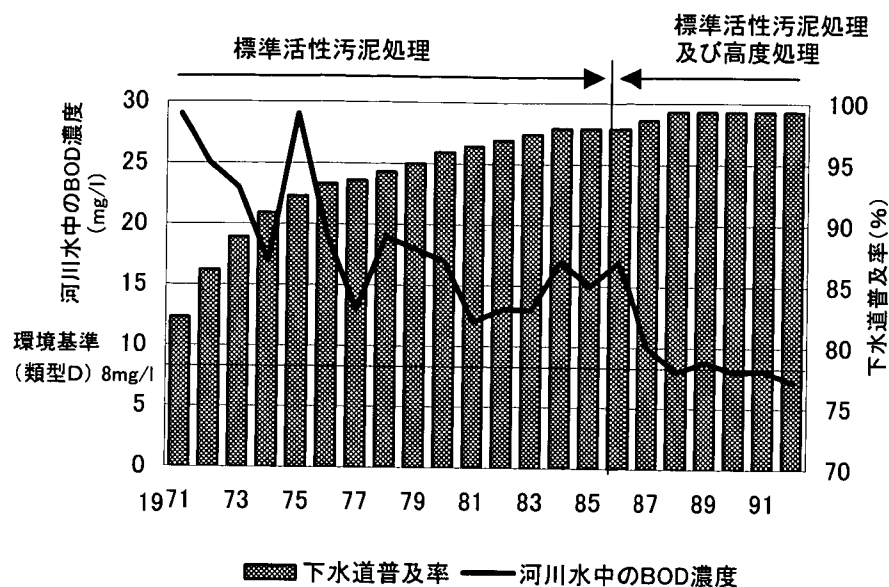


図-3 下水道の整備と神田川の水質

このように湖沼、海域の水質改善が遅々として進まない理由は、閉鎖性水域における富栄養化の現象が日本中の至るところで進行しているせいではないかと推察される。例えば土木研究所に近くに位置する霞ヶ浦の水質状況は図-5に示されるとおりで湖沼水質の代表的な水質項目 COD 値は環境基準値 3 mg/L に比べ大幅に超過した状況で推移している。これは、窒素・リンの濃度レベルが環境基準値に対して大幅に超過しているという状況と連動している。同様に現在 COD の総量規制が実施されている 3 海域の水質の経年変化をみたものが図-6である。環境基準の数値 (A 海域 1 mg/L、B 海域 2 mg/L) にまだまだ達しない水域が多くあることが一目瞭然である。現在、閉鎖性海域における総量規制の実効を上げるため、COD の負荷量規制に加え、窒素・リンについても負荷量規制を実施することがほぼ固まっている。

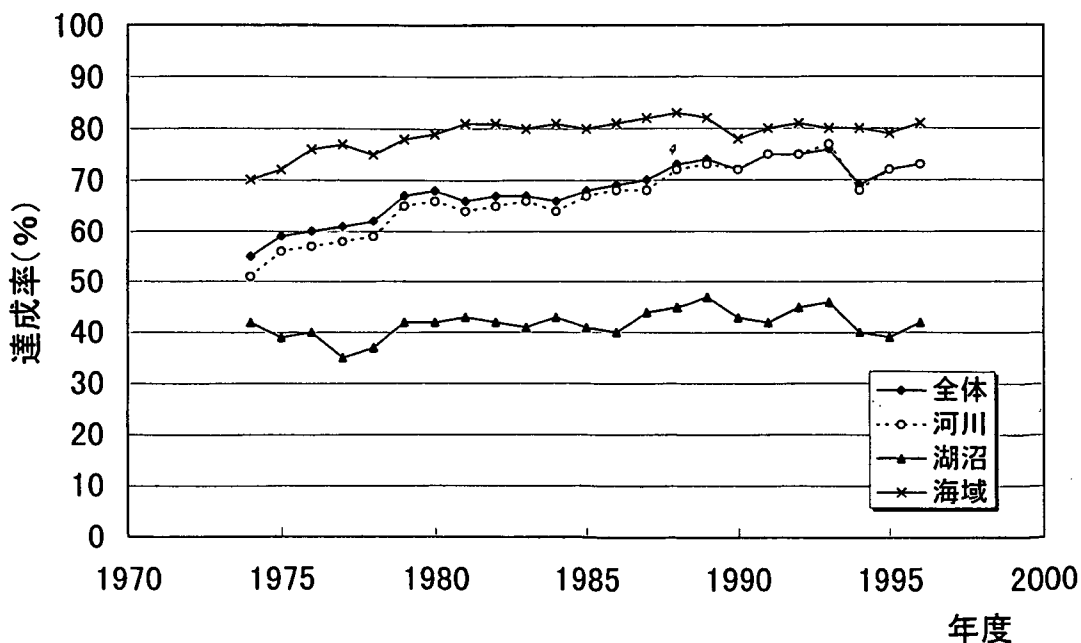


図-4 わが国の水質環境基準 (BOD又はCOD) 達成推移³⁾

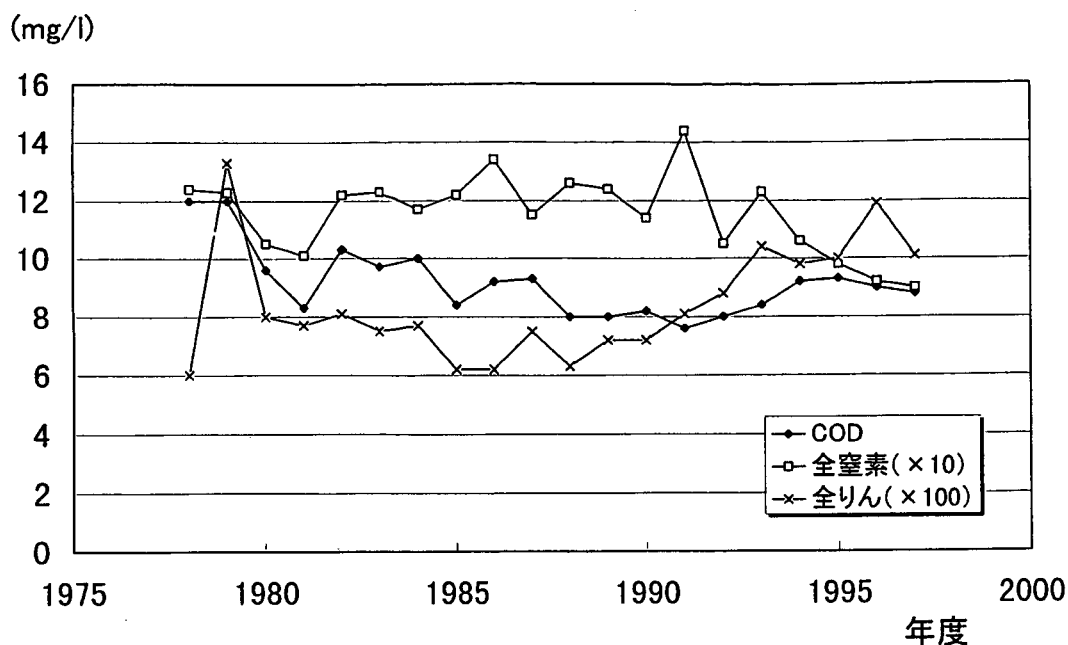


図-5 霞ヶ浦（西浦）の水質の経年変化

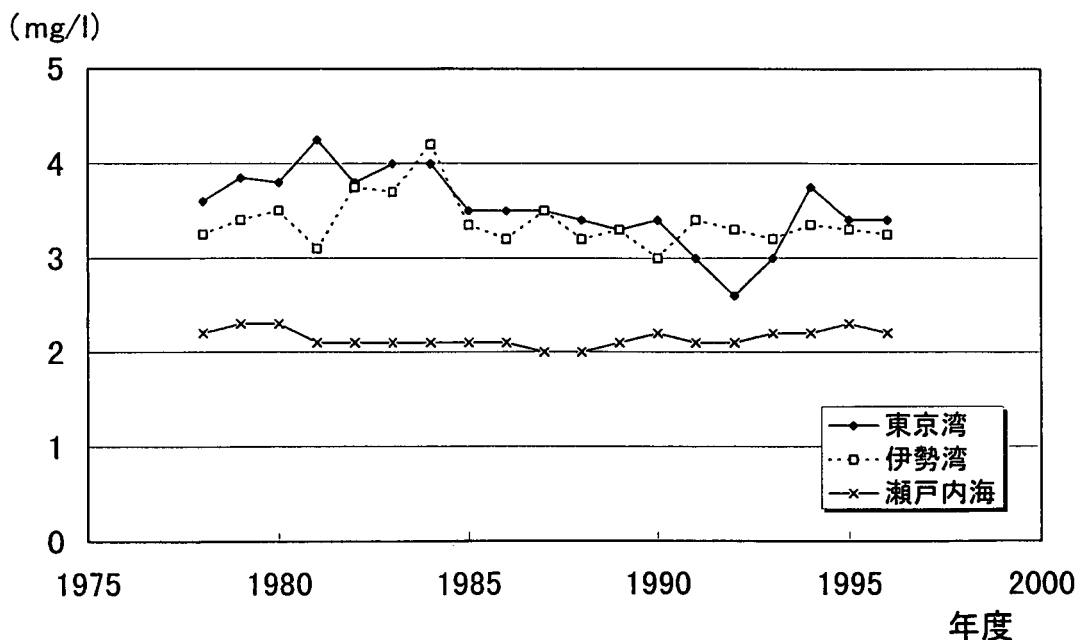


図-6 3海域のCOD濃度経年変化

3. 下水道整備と高度処理

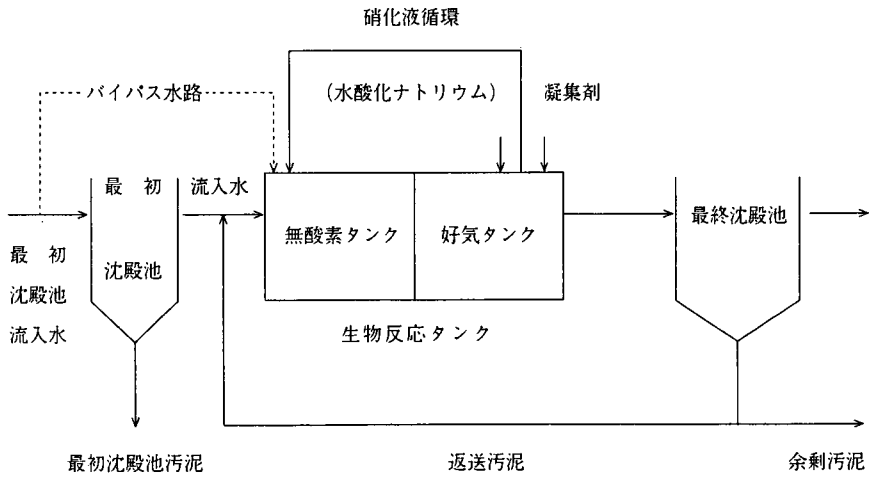
「日本の下水道」⁴⁾によれば平成10年度末のわが国の下水道普及率は総人口に対して58%であり、1,293箇所の下水処理場において年間124億トン(平成9年度実績)の下水が処理されている。これは150億トンといわれる生活用水の3分の2以上を占める割合となっており、水循環あるいは水環境に対する下水道の役割がますます大きくなっていることを示すものである。

平成10年度末現在、高度処理は全国136箇所の下水処理場で実施されており、高度処理の対象人口は約800万人となっている。箇所数、処理人口ともに全国の下水処理場の1割強に高度処理が適用されていることとなる。平成8年度より実施している第8次下水道整備七か年計画ではその最終年度における高度処理人口を1,500万人と見込んでおり、高度処理の適用の大幅な拡大を予定している。現在の高度処理実施の内訳をみると、10年度末において指定湖沼の水質保全を目的にしたもの18

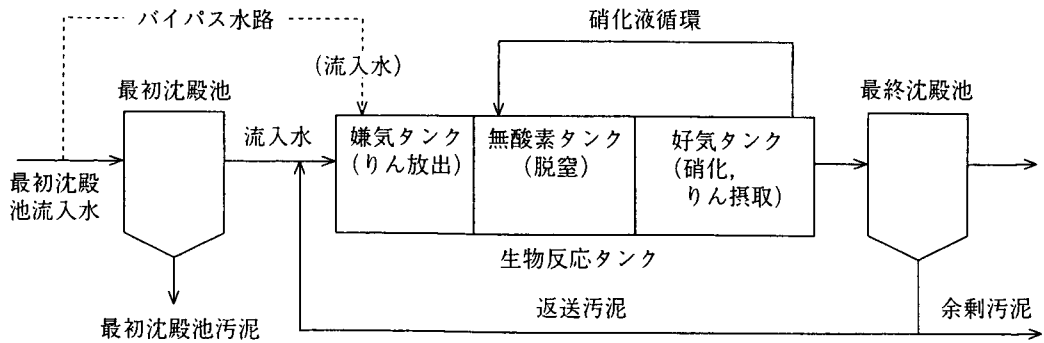
箇所、水道水源域の水質保全を目的にしたもの 29 箇所、東京湾等 3 海域の水質保全に関するもの 43 箇所、その他の水域の水質保全 18 箇所、処理水の再利用 28 箇所となっている。このようにわが国の下水の高度処理は、かなりの部分湖沼や閉鎖性海域の富栄養化防止を目的として実施されている。

下水の窒素・リンの除去については、1970 年代当初物理化学的処理法を中心にわが国に紹介されたが、流入下水中の有機物が脱窒素の炭素源として応用できる循環式硝化脱窒法が開発されると、この生物学的窒素除去法が主流となって実用化研究がなされた。⁹⁾わが国では 1982 年、滋賀県琵琶湖流域下水道湖南中部浄化センターで標準活性汚泥法の施設が循環法に改造され、始めて窒素・リン除去対応の下水処理施設が稼働した。この場合、リンの除去はエアレーションタンク後部に凝集剤が添加される形態、いわゆる凝集剤添加活性汚泥法によっている。

リンの除去は専ら凝集剤によるものが多かったが、生物学的窒素除去法に続いて生物学的リン除去法が開発された。エアレーションタンク前部に嫌気部を設けることにより、リン酸蓄積細菌を集積し、活性汚泥中のリン含有率を高めることにより下水中のリン除去を行うというのがその原理である。わが国では茨城県霞ヶ浦浄化センターがこの生物学的リン除去法と生物学的窒素除去法を組み合わせた嫌気―無酸素―好気法を実施にいち早く導入している。上記の凝集剤併用型循環式硝化脱窒法および嫌気―無酸素―好気法の概念図を図一 7、8 に示す。

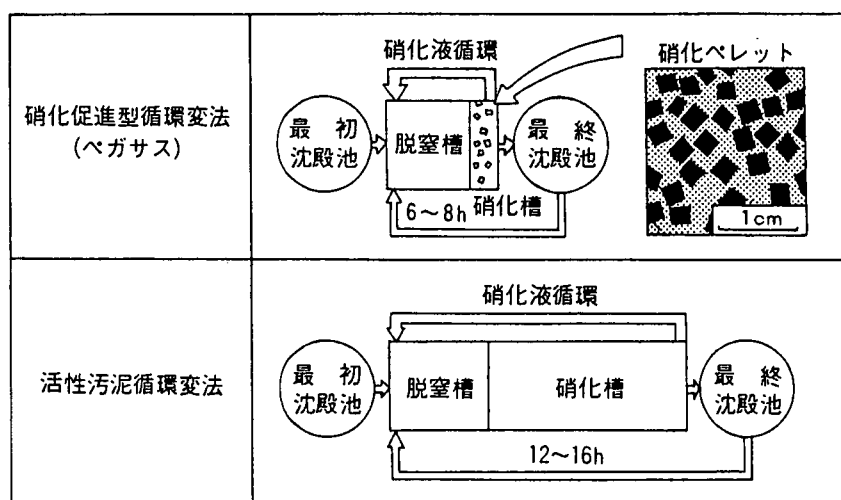


図一 7 凝集剤併用型循環式硝化脱窒法の概念図



図一 8 嫌気―無酸素―好気法の概念図

海域については、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海等、閉鎖性海域を対象に窒素・リンの環境基準の当てはめが順次行われており、下水道施設においても窒素・リン対応の準備が行われている。また、以上の3海域にはCODの総量規制が行われてきたが、今般この総量規制を窒素・リンまで拡大するという状況となってきた。このように閉鎖性海域についての富栄養化対策が進むとすると、東京や大阪など殆どの大都市が閉鎖性海域の流域に位置するため今後わが国の下水処理場のかなりの部分で何らかの窒素・リン対策を実施することとなる。この場合の窒素・リン対策は、湖沼のときのように新設の高度処理施設というより、既設の下水処理施設に高度処理技術を組み入れていく、あるいは更新事業とときを合わせて処理施設の高度化を行うということになるものと思われる。この特性から、適用技術はまず省面積という点が求められる。また、日処理水量 100 万トンを超えるような処理場も対象となってくるので、単位水量当たりの維持管理費が十分低廉である技術という側面もなお重要となってくる。



図－9 ペガサス処理法の概念比較図



写真－1 硝化促進型循環変法（ペガサス）の設備

大都市などの既設の処理場においても比較的簡単な改造で窒素の除去率を上げる技術としては、建設省の総合技術開発プロジェクトの通称「バイオフィーカスWT」(1985-1989)のなかで開発された、包括固定化担体を用いた窒素除去技術「ペガサス」がある。図一9に示されるように、本技術を適用することにより、通常の標準活性汚泥法のエアレーションタンクをその容量のまま、循環法による窒素除去プロセスの生物反応槽として用いることができるようになる。固定化法を用いることにより、窒素除去プロセスがこれだけコンパクト化されたわけである。「ペガサス」は、福岡県宗像市で既存施設に適用され、所期の成果を挙げている。写真一1は、硝化反応槽を示したものであるが、全面曝気のエアレーションと左上に固定化担体を保持するためのスクリーンが設置されている。

リンの除去技術としては、生物学的脱リンプロセスの嫌気-好気活性汚泥法が、施設の簡単な改造で済むこと、薬品が殆ど不要なこと、活性汚泥の沈降性が改善されることなどの特徴を有していることから、各地の処理場で実用化が進むと考えられる。ただし、生物学的脱リン法は、その脱リン性能の安定性が流入水質の変動によって失われ、とくに雨天時下水によって性能が悪化することが認められている。この問題を克服するためには、凝集剤注入法との併用法が現実的であるとみられており、土木研究所⁶⁾により、フィードバック制御の凝集剤注入システムが十分に機能した旨報告がなされている。この制御方法が実際に有効になるのは、大規模処理場において凝集剤節約効果が顕著になるケースであるが、近い将来にはこのような生物化学併用のリン除去プロセスが実施されるのではないかと予想される。

以上に窒素・りん処理技術については、固定化法の導入によるコンパクト化および凝集剤注入制御に代表されるシステム化が課題となることを示した。しかし更にこの分野においては、汚泥の処理方法ならびに窒素・りん資源の回収の課題が密接に関連してくることを指摘しておきたい。窒素・りんを水処理系から迅速に除去したとしても、その一部が汚泥処理系から回帰してしまうことが認められている。また、処理汚泥については最終的に処分あるいは利用されることとなるが、その形態が適切でないと、それが水系への負荷となってしまう場合がある。窒素・りんは肥料資源でもあり、可能であればその資源のリサイクルのフローの中に入れてあげるのが、最も合理的であるとも考えられる。したがって、窒素・りん処理技術の一層の検討に際しては、除去した窒素・りんをどのように安定化あるいは資源化するのかを同時に視点に置いて取り組む必要がある。

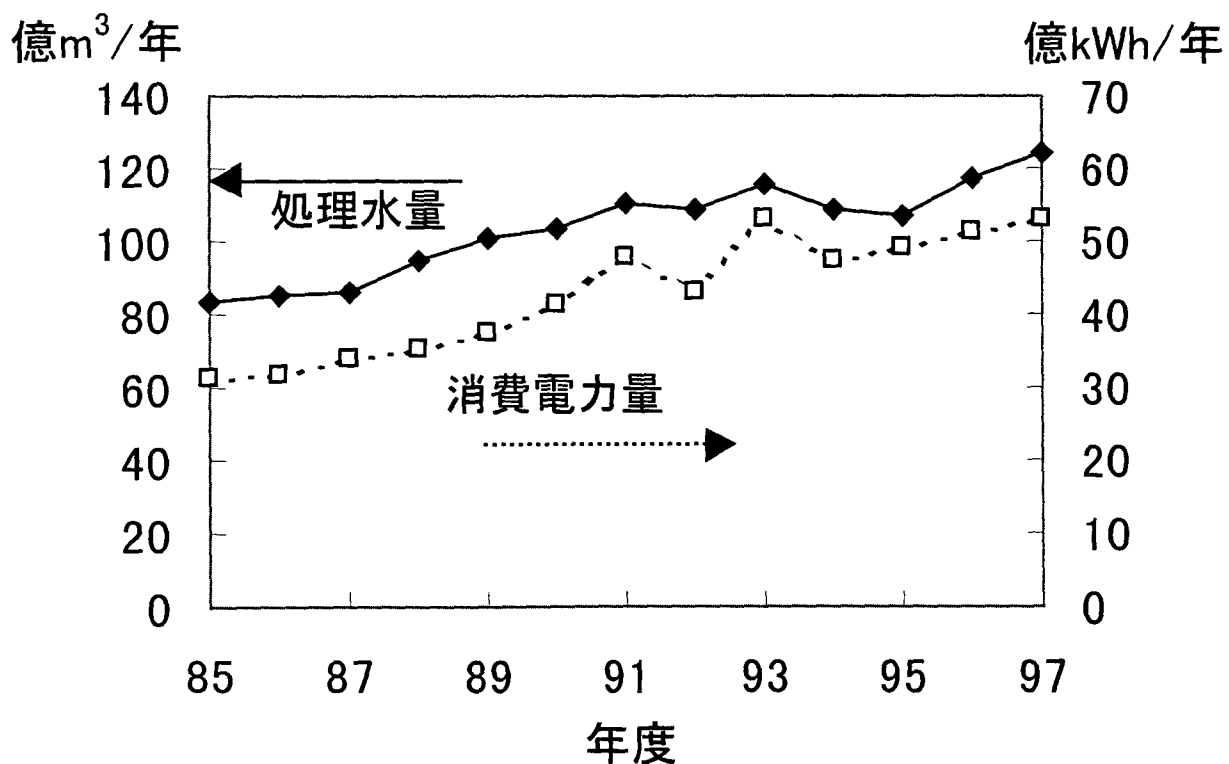
4. 高度処理の省エネ化

わが国の下水処理に消費される電力量は下水道の普及率の向上とともに着実に増加している。表一1は最近の下水処理場における消費電力量の合計の経年変化を示したものである。最近では50億kWhを超えており、わが国の総消費電力量に対し約0.6%の割合を占めている。0.6%という値がそれほど大きくないのではという感じもあるが、この量が山梨県全体で消費される電力量とほぼ同じであるということではやはりかなりの量になるのであり、十分注目すべきものである。この下水処理に係わる電力量は今後下水道の普及率の向上とともにさらに増えていくものであり、とくに高度処理の普及に伴ってその増加率はさらに高まることが予想される。図一10は、近年の下水処理場の消費電力量と処理水量の伸びを対比して示したものであるが、やはり処理水量当たりの消費電力量も若干ではあるが上昇する傾向があることが読みとれる。97年度の処理水量当たり消費電力量の平均値は0.427kWh/m³

と計算される。最近では地球温暖化防止の観点から温暖化ガスの排出抑制が国家的な課題となっており、下水道事業もその例外ではない。したがって今後要請されてくる高度処理の省エネルギー化は土木研究所においても重要で喫緊の研究課題となっている。

表一 1 下水処理場の電力消費量の経年変化

単位: 百万kwh								
年度	90年度	91年度	92年度	93年度	94年度	95年度	96年度	97年度
総消費電力量	765,602	789,888	797,752	804,695	858,817	881,559	903,471	926,705
下水処理場消費電力量	4,127	4,790	4,303	5,309	4,747	4,909	5,141	5,304
割合(%)	0.54%	0.61%	0.54%	0.66%	0.55%	0.56%	0.57%	0.57%



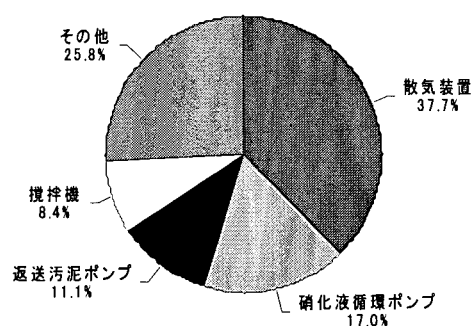
図一 10 下水処理場の電力消費量と処理水量

以下に本課題に対する土木研究所の最近の研究取り組み状況を示す。

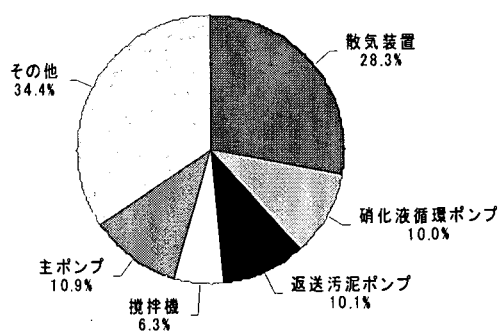
表一 2 は窒素・りん除去法を導入している下水処理場における電力消費量の実態を調査した結果である。概して小規模の処理場ほど単位処理水量当たりの消費電力量は高くなっているが、この5箇所の下水処理場の処理水量の平均値は 37 千トン余り、水量当たり単位消費電力量は 0.684kWh/m³ という数値が得られた。因みに通常の二次処理の下水処理場での単位消費電力量は 0.401kWh/m³ という値を得ているので窒素・りんの高度処理を実施している処理場ではこの約 1.7 倍の消費電力量となるということである。二次処理の処理場における数値は、平成 8 年度の下水道統計より標準活性汚泥法で流入水量が設計処理量の半量以上となっている箇所 289 処理場における平均値である。

表一 2 高度処理実施処理場（5 箇所）の単位電力消費量

項目	窒素・りん除去法の 範囲	窒素・りん除去法の 平均値	標準活性汚泥法の 平均値
流量 (m ³ /d)	1,733 ～ 141,395	37,651	51,496
単位消費電力量 (水処理系のみ) (kWh/m ³ -処理水)	0.297 ～ 1.07	0.362	0.194
単位電力電力量 (全処理場) (kWh/m ³ -処理水)	0.551 ～ 1.26	0.684	0.401



(a) 水処理系消費電力量に対する割合



(b) 全消費電力量に対する割合

図一 1 1 窒素・りん除去法を導入している処理場の電力消費の内訳

窒素・りん除去の高度処理による具体的な電力消費の増加は、水処理プロセスにおける主として次の3要因となるものと考えられる。

- ①硝化促進運転によるエアレーション量の増加
- ②嫌気槽および無酸素槽の攪拌動力
- ③硝化液循環ポンプ動力

上記の5箇所の高度処理の処理場の電力消費の内訳を以上にそって示すと図-11のとおりとなる。グラフ中の値は5処理場の平均値である。全体的にはエアレーション動力（ブロワまたはエアレータ）が処理場全体に対して約3割、水処理電力量の約4割を占め、一番大きな項目となっている。また、硝化液循環ポンプ、嫌気-無酸素槽の攪拌機の動力がそれぞれ処理場全体に対して10%、6%を占め、比較的大きな電力消費の項目となっていることがわかる。

これらの装置の省エネの取り組みとしては、エアレーション装置についてはその動力効率を上げるため各機械メーカーがしのぎを削ってきたところであり、これらの成果に負うところが大きい。硝化液循環は流入水量の約2倍量以上を循環するもので大きな動力が必要となる。これまでに、この循環動力を節約するためにエアレーションによるエアリフト効果を応用したプロセスが開発され、多段式硝化液循環法として実用化されている。⁷⁾

土木研究所においては神戸市と共同して、嫌気槽および無酸素槽の攪拌の省エネルギー化を図るための研究に取り組んでいる。神戸市のポートアイランド処理場において、嫌気槽および無酸素槽の間欠曝気攪拌実験を行い、プロペラ式連続攪拌機を用いた場合との処理成績および電力消費量の違いを検討した。図-12に、ポートアイランド処理場の水処理フローの概略図を示す。本処理場は処理能力12,000m³/日、4系列の嫌気-無酸素-好気法の生物反応槽で構成されている。

無酸素槽の攪拌について、間欠曝気攪拌は連続攪拌よりも脱窒処理成績が安定せず、完全な無攪拌においてはさらに処理成績が悪化し、かなりの濃度の硝酸性窒素が残存した。嫌気槽の攪拌については、完全な無攪拌はりん除去に悪影響を与えたが、間欠曝気攪拌は連続攪拌と処理成績に大差なく、特に問題は見られなかった。

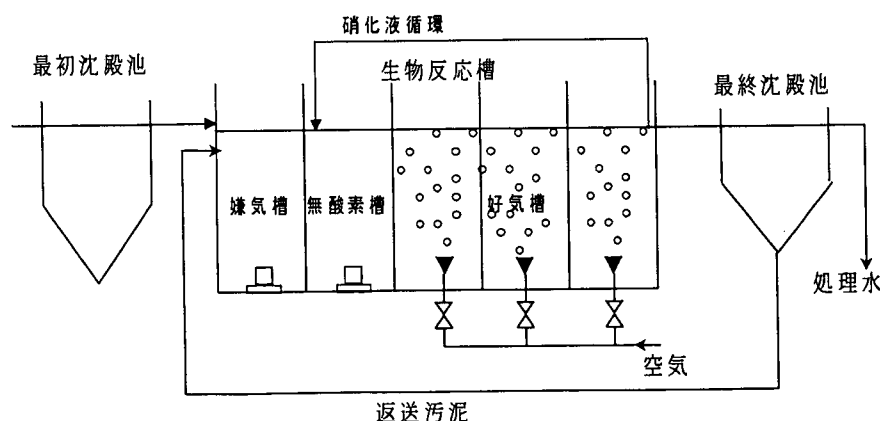


図-12 調査対象処理場の高度処理施設の概略

汚泥の沈降に関しては、間欠曝気攪拌時において、嫌気槽ではかなり汚泥が沈降分離したが、脱窒反応により窒素ガスを発生する無酸素槽では、嫌気槽ほど汚泥が分離しなかった。これは、窒素・りん除去の処理成績と照らし合わせると意外な結果である。嫌気槽で汚泥が沈降分離してもりん除去が良好に行われる原因について、今後検討する必要がある。

間欠曝気攪拌とプロペラ式攪拌機による連続攪拌にかかる電力消費量を測定した。その結果、嫌気槽については、良好なりん除去成績を保つ範囲内で、間欠曝気にかかる電力消費量を連続攪拌の17分の1まで下げられることが明らかになった。また、無酸素槽については、間欠曝気に係る電力消費量を、連続攪拌の17分の2まで下げられることが明らかになった。これより、攪拌に必要な動力は約10分の1に減少できることとなり、ポートアイランド処理場において、水処理系の6.6%、処理場全体の3.8%の電力が削減できると計算された。

以上に、土木研究所の現在の窒素・りん除去法の省エネ化に関する調査の一端を紹介した。窒素・りん除去の高度処理については、汚泥処理からの窒素・りんの回帰負荷が通常相当な量となるため、水処理と汚泥処理の適正な連携が重要であることは既に述べた。よって、窒素・りん除去法の省エネルギー化を論じる場合、水処理系列内の装置の省エネルギー化のみに焦点を当てるのではなく、汚泥処理系も含めた処理場全体でのエネルギー消費量の削減を考慮する必要がある。また同時に窒素・りんの下水中からの除去は、除去された窒素・りんを多量に含む汚泥を適正に処分またはリサイクルすることによって始めて完結する。よって、これらも含めた窒素・りん除去システム全体について省エネルギーの取り組みを徹底することが必要になると思う。

5. ノンポイント負荷対策

窒素・りん負荷削減の課題は工場排水も含めた下廃水処理の高度化によるところも大きいですが、都市域や農耕地からの雨天時の流出もかなりの量になっていることが種々の調査により明らかになっている。いわゆる面源負荷、ノンポイント負荷である。例えば霞ヶ浦流域に対し近年の排出負荷量の動向を整理したものが表-3である。ここでは窒素・りんの3分の1に近い負荷量が農地や市街地から雨水とともに流出してくる実態が示されている。面源負荷は降雨量と関係があり、一般的に降雨量が大きくなればなるほど負荷量も増大するといわれている。数年前であったが、夏までの期間、関西地方でかなりの渇水に見舞われたことがあった。このとき琵琶湖や瀬戸内海がかえってきれいになったことが観察された。雨による栄養塩の流出がカットされると、富栄養化のレベルにかなり影響が出てくることが、事実をもって示されたのでないかと考えられた。

我々は降雨量をコントロールすることはできないが、面源負荷については何某かの対策を打つことができる。例えば都市域からの雨天時下水の貯留、処理などが実施されようとしている。また、農業における用排水の量的質的管理も大きな課題である。一方で下水の高度処理に多くの費用がかけられながら、他方で窒素・りんの肥料の流出の問題が改善されなければ、せっかくの期待する効果が相殺されてしまうということになる。

表一 3 霞ヶ浦流域における排出負荷量の動向⁸⁾

区 分 (年度)	COD		T-N		T-P	
	平成 2	平成 7	平成 2	平成 7	平成 2	平成 7
生活系	13,451	9,936	3,793	4,307	398.1	420.3
工場・事業場系	1,189	965	605	584	61.4	69.6
畜産系	3,672	3,597	1,187	1,286	47.6	44.6
水産系	2,161	2,016	862	799	193.8	176.0
面源系	10,324	10,632	3,682	3,494	189.4	192.1
(流域降雨負荷量)	(-)	(10,078)	(-)	(5,872)	(-)	(256.2)
計	30,797	27,145	10,129	10,468	890.3	902.6

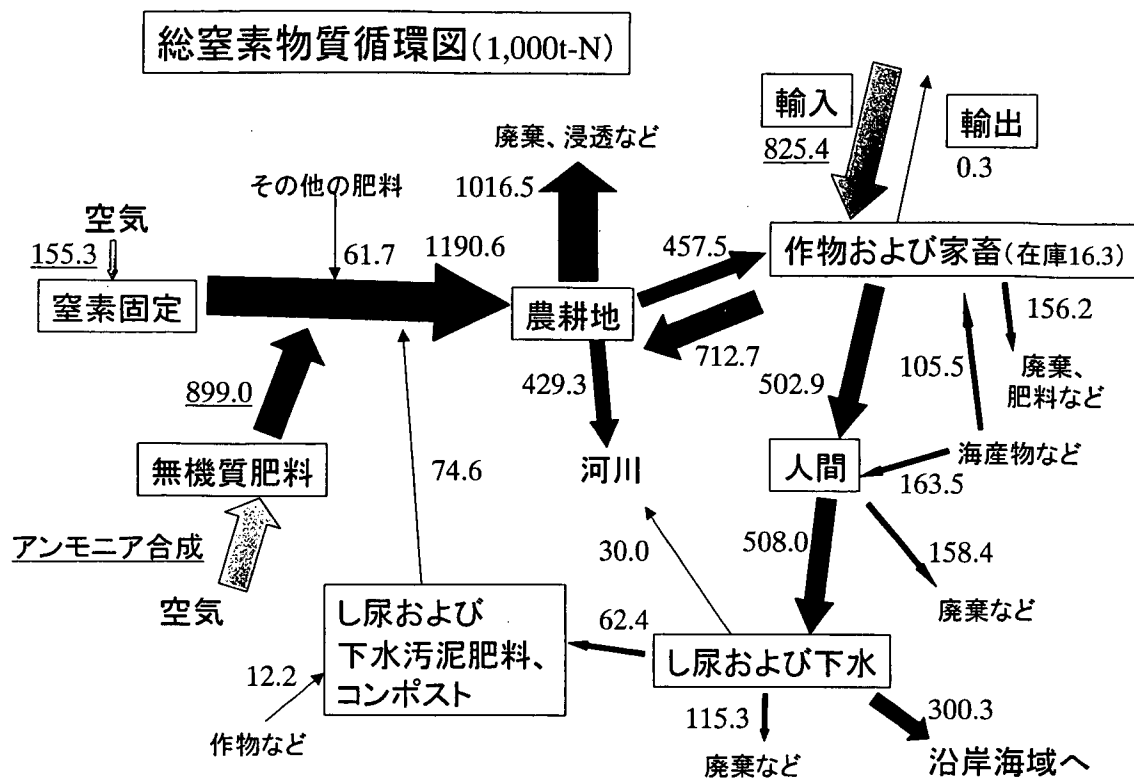
(単位：kg/d)

また、窒素・リンの流出負荷の問題をさらに詰めていくと、その流域の土地利用の課題にも行きつくこととなる。流域における森林の面積の割合は、流出負荷の低減効果と括られてくるはずである。このように見てくると、富栄養化対策の水質管理を全うするためには、単に個々の排水処理を徹底するだけでなく、流域全体における種々の管理を実行することが必要になってくることになる。

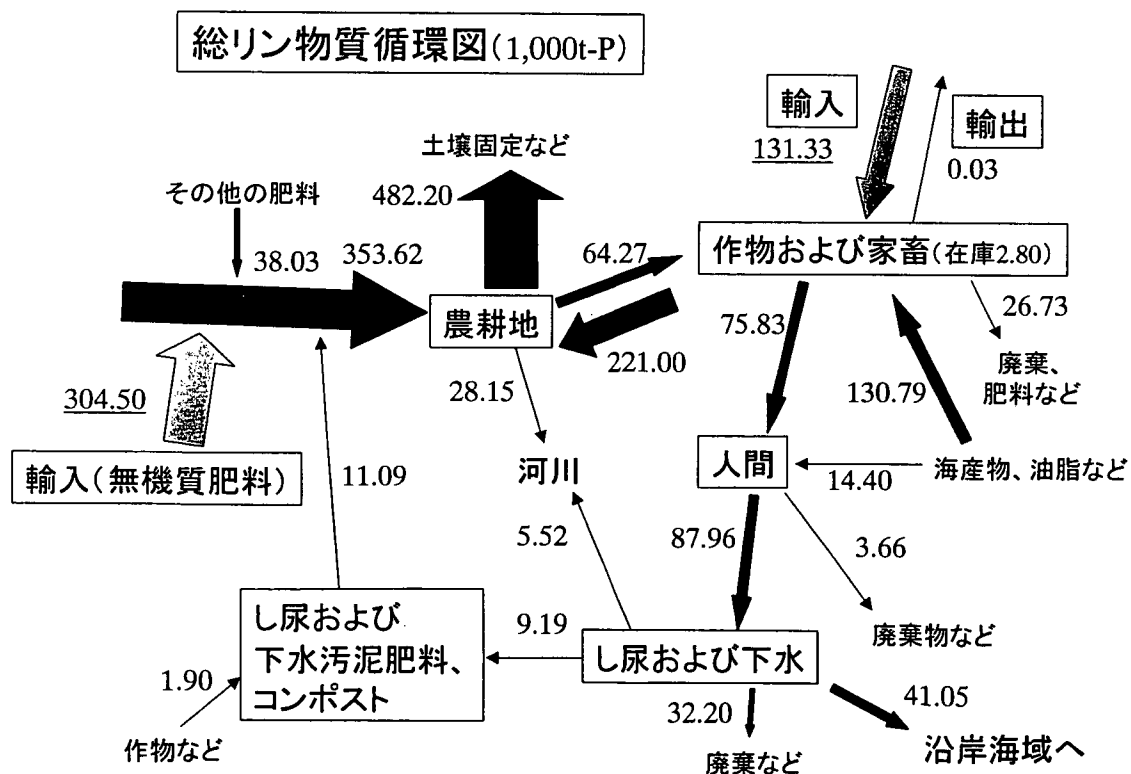
農地に施肥された窒素・リンは、ある部分作物の可食部に移行し食料や飼料となるが、その他は植物体や土壌に蓄積し、最終的には水系への面源負荷となる可能性を有する。食料や飼料もこれが消費された段階で、下水や畜産廃棄物として発生負荷の一部となる。水質管理を主題にした流域管理の研究の中では、このような窒素・リンの物質フロー図をまず描いてみる必要がある。そして、この窒素・リンの物質収支図を精査することにより、健全な流域管理を実現するためには、窒素・リンのリサイクルが十分なされる必要があることが指摘されてくると思われる。即ち、農業用水、下水処理水の循環利用、下水汚泥や畜産廃棄物のリサイクル利用が大きな課題となることが十分予見されるのである。

わが国では、リン肥料は全て外国から輸入され、窒素肥料は工業的に合成されるが、これもまたかなりの部分輸入されている。周知のとおりわが国の食料の半分以上は輸入に頼っており、家畜の飼料は全量を輸入飼料に頼っているといっても過言ではない。こうした状況からみても、わが国では毎年かなりの量の窒素・リンが排水や廃棄物となって流出、蓄積しているのは明らかである。図一 13,14 は水谷氏⁹⁾によってまとめられた窒素・リンのわが国における循環図を簡略化して示したものである。

私は、本来わが国の水域の富栄養化問題はこういった状況と深く関わっているものと感じている。そして、これを根本的に解決するにあたっては、物質循環の一部の矛先をもう一度外国に向ける必要があるのではないかと考えている。直接的にこのような話を出すと廃棄物の押し売りと思われるが、わが国ではこうした廃棄物からのクリーンなリサイクル品の創出技術についてその開発にとくに力を入れる必要がある。そして、この開発技術は、現在大きな問題となっている世界の砂漠化の緑化対策にも十分応用される可能性があるのではないかとみている。



図一 1 3 総窒素物質循環図



図一 1 4 総リン物質循環図

6. 結論

以上に下水道事業における高度処理の課題をとくにわが国の多くの水域で顕著となっている富栄養化問題と関連して解題してみた。下水の高度処理の課題は、窒素・りん除去のみに留まることなく、トリハロメタンに代表される発ガン物質の問題や環境ホルモンの問題までに広がっている。しかし、こうした問題についての取り組みは窒素・りん除去の高度処理と相反するということではなく、むしろその延長線上に解決の糸口が見つかってくるものと考えている。

下水の高度処理についてはとくに処理エネルギーの低減が肝要であることを指摘したが、一方で下水道の中で回収あるいは創出できるエネルギーに着目することも必要である。太陽や風の自然エネルギーの利用、また下水汚泥というバイオマスからのエネルギー回収は消化ガス発電として実用化済みであるが、こうした施策と合わせて将来の高度処理の事業戦略を多面的に検討しておくことが必要である。

最後に下水の高度処理と歩調を合わせて実施されるべきノンポイント負荷対策について言及した。窒素・りん負荷の国境移動から世界の砂漠化防止プロジェクトにまで話は広がってしまったが、わが国の国土には確かに栄養塩が蓄積し過ぎている感がある。中年の肥満対策にこじつける訳ではないが、栄養摂取過多を十分にコントロールし、リサイクルによる新陳代謝を大きく促進することにより、わが国の国土の健全度をあげる施策に早急に取り組む必要があると思う。

引用文献

- 1) 杉木昭典：「水質汚濁 現象と防止対策」技報堂 p.34, 1974.
- 2) Suzuki A. : Master plan for the future, Proc. International Symposium on Sewage Works, pp.115-142, 1996.
- 3) 環境庁：環境白書 平成10年度版 p.100.
- 4) 建設省都市局下水道部：平成11年「日本の下水道」日本下水道協会、1999.
- 5) 栗林宗人：高度処理技術の変遷—窒素及びりん除去技術を中心として、下水道協会誌 Vol.21, No.245, pp.38-58, 1984.
- 6) 安中徳二、佐藤和明、小越真佐司、野村克巳：生物学的りん除去法を補完する凝集剤注入システムの開発、下水道協会誌論文集、Vol.32, No.383, pp.42-48, 1995.
- 7) 日本下水道事業団技術評価委員会：微生物を利用した窒素およびりん除去プロセスの評価に関する第3次報告書—単段式及び二段式活性汚泥循環変法による窒素除去、平成2年
- 8) 田淵俊雄、須藤隆一：第3期霞ヶ浦水質保全計画と今後の課題、用水と廃水、Vol.39, No.12, pp.34-40, 1997.
- 9) 水谷潤太郎：総窒素・総りんの物質循環図、土木学会論文集 No.566/VII-3, pp.103-108, 1997.

土石流対策技術の現状と今後の展開

砂 防 部 長 松 井 宗 広

土石流対策技術の現状と今後の展開

砂防部長 松井 宗広

1. はじめに

日本は地質が脆弱で、地形急峻かつ梅雨・台風期に多くの降雨があるなど土石流災害を頻発しやすい自然条件下にある。土石流対策が鋭意進められているものの、近年、住宅地が地形急峻な山麓周辺にまで達してきたことなどから、依然として土石流災害が後を絶たない。

一方、土石流による被災者のうち災害弱者の割合が増加の傾向にあり、高齢化社会の進展を反映している。

以上のような状況を踏まえ、近年の土石流災害の実態及び背景を分析するとともに、過去の土石流災害に関する研究を災害との関連でとらえつつ、施策面にどのように反映されてきたかについて明らかにする。

さらに、近年の土石流災害の特徴とその課題を検討し、今後の研究のあり方について述べる。

2. 土石流災害

2-1 土石流災害の実態

昭和 42 年から平成 10 年までの 32 年間をみると、自然災害による死者・行方不明者の割合は土石流・地すべりが 26%、崖崩れによるものが 28%に達する（図-2.1 参照）。

また同期間の平均で見ると、土石流は毎年 90 渓流で発生しており、それにより毎年 34 人の人命が奪われ、約 260 戸の人家が被害を受けている。また、1 渓流で土石流が発生すると 2.9 戸の人家が被害を受けることとなる（表-2.1 参照）。

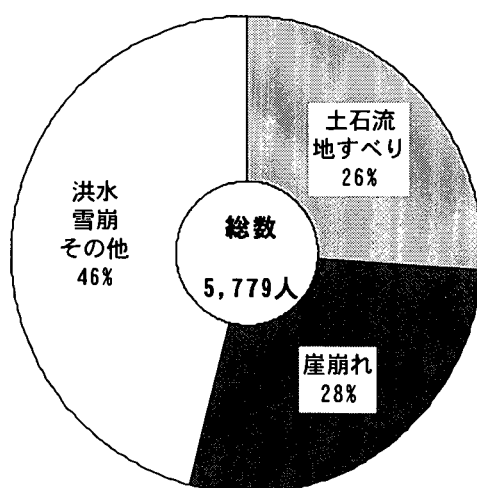


図-2.1 災害別の死者・行方不明者（昭和 42～平成 10 年）

表-2.1 昭和42年から平成11年までの土石流による被害状況

年	土石流発生数	人的被害			家屋被害			
		死者 (人)	負傷者 (人)	合計 (人)	全壊 (戸)	半壊 (戸)	一部損壊 (戸)	合計 (戸)
S42	-	297	-	-	-	-	-	-
S43	-	154	-	-	-	-	-	-
S44	-	32	-	-	-	-	-	-
S45	-	22	-	-	-	-	-	-
S46	-	53	-	-	-	-	-	-
S47	240	166	313	479	649	403	492	1,544
S48	26	19	12	31	103	95	245	443
S49	62	27	32	59	88	259	980	1,327
S50	55	32	37	69	173	134	98	405
S51	165	19	3	22	121	109	126	356
S52	18	12	17	29	61	54	369	484
S53	3	0	0	0	1	0	3	4
S54	20	4	7	11	27	41	47	115
S55	15	0	0	0	5	4	26	35
S59	41	11	12	23	42	40	126	208
S57	153	139	57	196	185	214	220	619
S58	51	10	41	51	42	65	71	178
S59	63	0	0	0	3	1	4	8
S60	165	5	3	8	6	15	20	41
S61	104	1	4	5	10	8	3	21
S62	165	2	5	7	6	5	4	15
S63	179	17	15	32	52	26	22	100
H 1	133	9	7	16	17	31	472	520
H 2	144	28	15	43	102	64	199	365
H 3	48	11	10	21	42	23	83	148
H 4	30	0	0	0	2	2	13	17
H 5	191	30	24	54	76	60	70	206
H 6	20	0	0	0	2	2	2	6
H 7	248	3	2	5	16	24	24	64
H 8	81	14	9	23	0	1	2	3
H 9	82	21	2	23	24	2	6	32
H10	8	0	0	0	0	0	0	0
年平均	90	34	22	43	66	60	133	259

※昭和59年以降は火山、火災、地震等による被害を除く。 ※昭和46年以前の死者数は行方不明者数を含む。

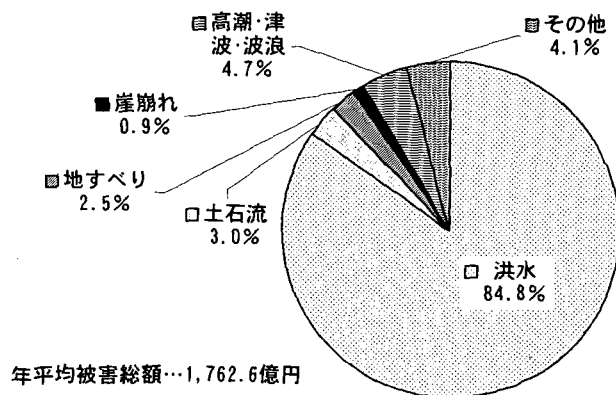


図-2.2 原因別一般資産等被害額
(昭和53～平成9年平均)

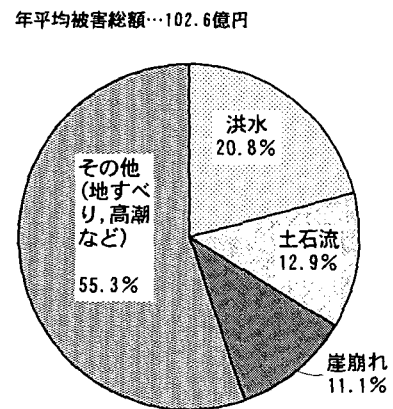


図-2.3 原因別公益事業等被害額
(昭和53～平成9年平均)

図-2.2、2.3 にそれぞれ昭和 53 年から平成 9 年までの 20 年間の年平均一般資産等被害額および年平均公益事業等被害額を示す。一般資産被害額は被害が広域に及ぶ洪水によるものが多いが、公益事業等の被害については土砂災害によるもののウェイトが高くなる。

図-2.4 は昭和 59 年から平成 10 年までの 15 年間の土石流発生数の都道府県別分布である。

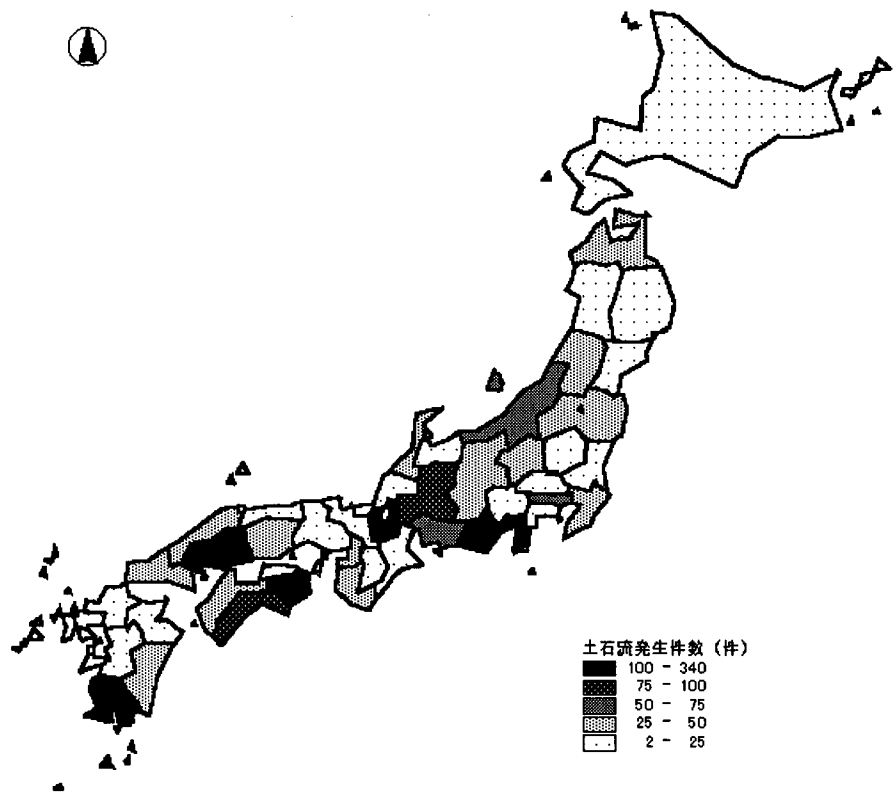


図-2.4 最近の土石流発生数（昭和 59～平成 10 年）

図-2.5 は昭和 59 年から平成 10 年までの 15 年間の土石流の気象別発生件数である。台風・梅雨によるもので約 60%を占め、低気圧や雷雨その他の集中豪雨によるものが約 40%であり、そのほかに融雪、山林火災によるものなどがある。

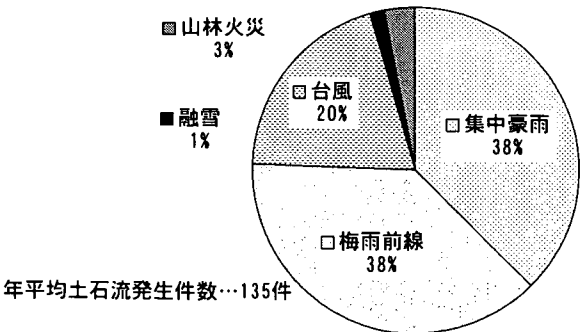


図-2.5 最近 15 年間の気象別土石流発生（昭和 59～平成 10 年）

2-2 土石流災害の特徴

土石流は破壊力が大きく、突発的に発生するため被害は激甚になりやすい。現在までに多くの土石流による大災害が発生し、下流の集落が壊滅的な被害を受けている。たとえば昭和 50 年の青森県岩木山の災害では、30 戸の集落のうち 93%の 28 戸の人家が被害を受け、70 人の住民中 76%の 53 人が被災した。また昭和 41 年に発生した山梨県西湖の災害では集落のほとんどの家屋が壊滅的に破壊され、集落の移転を余儀なくされた。図 2-6 に土砂災害による壊滅的被害の発生事例を示す。このように土石流はいったん発生すると集落を壊滅させ多くの人命を一瞬にして奪う悲惨な災害となる。

災 害 名	県 名	地 区 名	発生年月日	集落の人的被害発生率 (%) ※注1		集落の家屋被害率 (%) ※注2	
岩 木 山 災 害	青 森	蔵 助 沢	S50.8	76%	53人	93%	28戸
小 豆 島 災 害	香 川	谷 尻	S51.9	26%	32人	50%	22戸
長 崎 災 害	長 崎	筒 水 平	S57.7	57%	33人	85%	17戸
垣 内 災 害	三 重	小 原	S57.8	43%	9人	100%	7戸
大 滝 災 害	長 野	滝 越	S59.9	38%	16人	100%	19戸
針 原 災 害	鹿 児 島	針 原	H9.7	14%	21人	40%	19戸

※注1：集落内の犠牲者数/集落内の全人口 (%) ※注2：集落内の被災戸数/集落内の全戸数 (%)

図 2-6 土石流災害による壊滅的被害の発生事例

山間地では土石流危険渓流が密度高く分布するため、大雨が降ると土石流はある地域に集中して発生することが多い。小豆島の内海町の安田地区では、地域内の土石流危険渓流 18 のうち 70%の渓流で土石流が発生した。昭和 57 年長崎市内では 141 の土石流危険渓流中、98 の渓流で土石流が発生している。このように土石流は集中して発生し激甚な災害を引き起こすとともに地域の社会経済活動を麻痺させる。

近年では、平成 8 年の降雨と融雪水による地下水供給が大きく影響したと考えられる長野・新潟県境の蒲原沢土石流災害、平成 9 年の秋田県八幡平や鹿児島県出水市針原川で発生した土石流のような地すべりや深層崩壊に起因した土石流、平成 11 年 6 月 29 日に広島市、呉市を中心に発生した土石流のような都市周辺での土石流等が発生しており、これらの土石流の特徴、発生機構等の解明を進め、より精度の高い土石流危険渓流調査に反映させる必要がある。

3. 土石流対策及び研究の経過と現状

3-1 土石流危険渓流の実態

3-1-1 土石流危険渓流調査の経緯

土石流の発生する可能性がある渓流について全国的に調査が開始されたのは、昭和 41 年 9 月台風 26 号により山梨県西湖周辺において集中的に発生した土石流災害（死者 32 名）が契機であり、同年 10 月から開始された。

この調査において、調査対象渓流は「とりまとめ要領」の中で「現在荒廃していないが、土石流の発生のおそれのある渓流のうち土石流が発生した場合、直接その被害を被る集落が存する渓流」とされ、5 万分の 1 地形図に位置を記入することとされている。「土石流が発生した

場合、直接その被害を被る集落」としては、西湖周辺の災害のように「集落が扇状地、谷の出口等に存在し、土石流発生と同時に直接その被害を受ける集落」とされていた。

その後、昭和 44 年、47 年の再点検及び総点検の実施後、昭和 50 年 8 月台風 5 号による高知県仁淀川周辺の土石流災害（68 名死亡）、昭和 51 年 9 月台風 17 号による香川県小豆島の土石流災害（119 名死亡）を経て、昭和 53 年度から 55 年度までの 3 年間で「土石流危険渓流および危険区域調査」が、県と建設省地方建設局により実施された。

さらに、昭和 57 年 7 月梅雨前線による長崎県周辺の土石流災害（299 名死亡）、昭和 58 年 7 月島根県三隅町、浜田市周辺の土石流災害（107 名死亡）等を経て、平成 2 年から 4 年にかけて調査が実施された。災害を契機として開始された土石流危険渓流調査、またこれに関連する土木研究所における主な研究の経緯を表-3.1 に示す。

表-3.1 主な土砂災害と危険渓流調査、関連研究

年	主な土砂災害		危険渓流調査	土木研究所における 関連する主な研究の課題
	地区名	死者・行方不明者数		
昭和41	山梨県西湖周辺（9月）	12	・危険渓流調査（10月） （15,645渓流）	・土石流発生危険度判定調査法（S42～50年） （5万分の1地形図による次数解析他）
昭和42	兵庫県表六甲（7月）	92		
	広島県呉市周辺（7月）	88		
昭和44			・再点検（5月）	・土石流区域設定、堆積条件（S46～49年） （建設省技術研究会による） ・尾鷲地区土石流発生条件・堆積条件（S46年） ・土石流危険渓流のランクづけ（S47年） （勾配、湧水、堆積物厚、堆積要因） ・土石流発生危険度の評価（S47～52年） （S49年小豆島災害の解析を含む）
昭和46	三重県尾鷲地区	42		
昭和47	熊本県天草周辺（7月）	115	・総点検（34,747渓流）	
昭和49	香川県小豆島（7月）	29	・調査要領に基づく土石流 危険箇所の見直し（S52年2 月）（62,272渓流）	・土石流の流動機構（S52～56年） （発生限界、流動限界、堆積条件、 大礫の移動限界等） ・「土石流危険渓流調査及び警戒避難基準 雨量に関する一試案」（S53年） ・山腹崩壊から土石流化への過程（S55～60年） ・土石流氾濫シミュレーション（S57～63年） （S57年長崎災害、S61年京都府南部災害 による検証他） ・土石流危険区域の設定 危険度評価 （S57～H2年） ・土石流の流下・氾濫と家屋被災度 （S57～H3年）
昭和50	青森県岩木山（8月）	22		
	高知県仁淀川周辺（8月）	68		
昭和51	香川県小豆島（9月）	119	・土石流危険渓流及び 危険区域調査（6月） 〔実施要領に基づく調査 （S53～55年）〕	・火山活動に伴う土砂災害の対策に関する調査 （S62～H3年） ・発生機構、危険度評価、シミュレーション （H3～7年） ・火山地域における土砂災害の発生機構と 対策に関する研究（H4～H9年）
昭和52				
昭和53				
昭和57	長崎県長崎市周辺（7月）	299	・昭和61年調査 （70,434渓流） ・平成5年調査 （79,318渓流）	
昭和58	島根県三隅町・浜田市 周辺（7月）	107		
昭和61	鹿児島県鹿児島市周辺 （7月）	18		
平成5				

3-1-2 土石流危険渓流の現状

人家5戸以上（5戸以下でも官公署、学校、病院、駅、旅館、発電所などのある場合を含む）に影響を及ぼす土石流危険渓流は平成10年現在全国で79,318ある。図-3.1は土石流危険渓流の都道府県別の分布である。兵庫、広島、中国地方、長野、新潟の信越地方が目立つ。図-3.2は県の単位面積別の土石流危険渓流密度分布である。香川、広島、愛媛などのほか、長崎、大阪などの、面積が小さくて危険渓流の多い県などが目立つが、西日本各地で密度が全般的に高い。

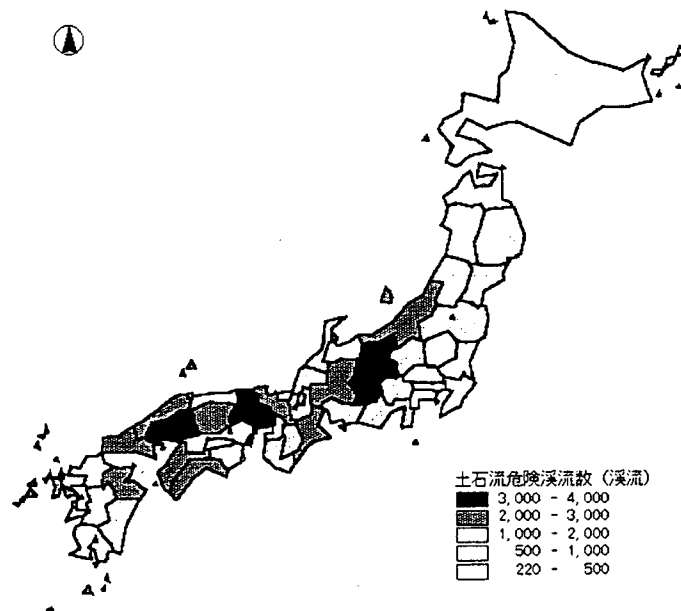


図-3.1 都道府県別土石流危険渓流数（平成5年度調査時）

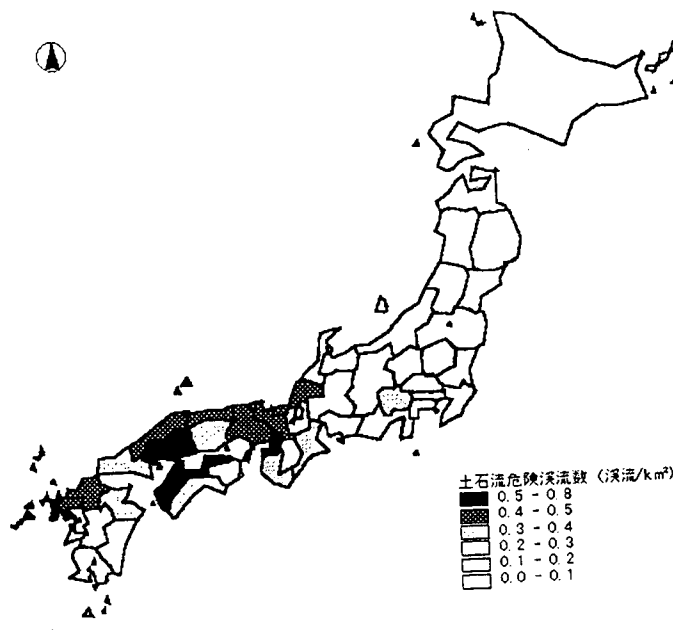


図-3.2 都道府県別単位面積あたり土石流危険渓流密度分布

建設省の昭和 41 年調査では 15,645 渓流、昭和 47 年調査では 34,747 渓流、昭和 52 年調査では 62,272 渓流、昭和 61 年調査では 70,434 渓流、平成 5 年調査では 79,318 渓流となっている。昭和 52 年調査では調査基準を変えているのでこれによる増分を除くと 10,306 渓流が増加したこととなる。すなわち約 30%の増加である。また昭和 61 年調査では 8,162 渓流が増加し（13%増）、平成 5 年調査では 8,884 渓流が増加している（図-3.3 参照）。

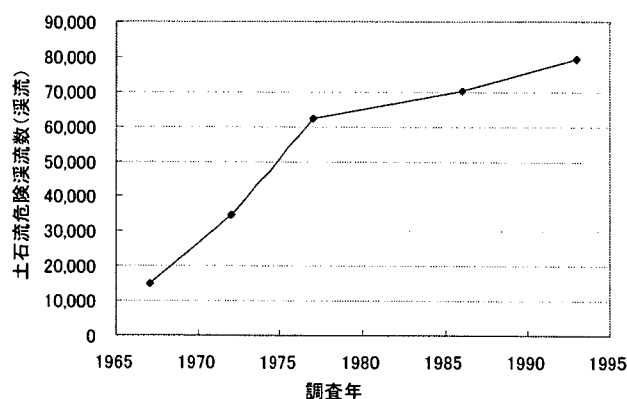


図-3.3 土石流危険渓流数の経年変化

危険渓流の増加は流域の自然条件の変化に加えて渓流出口の土地利用の変化、住宅地の山麓地への拡大、山地の開発の進展などによるものである。昭和 35 年以来都市域の人口は毎年 2～4%増加し、一方都市域の面積は毎年 4～8%増加している。今後とも都市化は従来より多少テンポが緩やかになるものの、安定的に進展し、昭和 55 年には都市住居人口は約 7,000 万人であったものが、平成 12 年に

は約 9,800 万人に達すると予測されている。

都市域のこのような拡大のかかなりの部分は、従来、あまり人の住まなかった山麓丘陵地への居住区域の拡大であり、それだけ危険箇所の増加、危険区域内人口・資産の増加をもたらし、災害ポテンシャルを著しく高める結果となっている。

平成 2 年の土石流危険渓流調査要領においては、人家保全対象数、渓床勾配、発生流域面積（15・以上の渓床勾配地点より上流の流域面積）5ha 以上か未満か、渓床における土石流発生源となる河床堆積物の量、並びに現地調査結果等に基づき危険度別に土石流危険渓流を定義している（図-3.4 参照）。なお、この調査における渓流とは 1/25,000 地形図上で谷型地形を呈したものであり、1 次谷を起点とし渓床勾配 3・を終点とする。

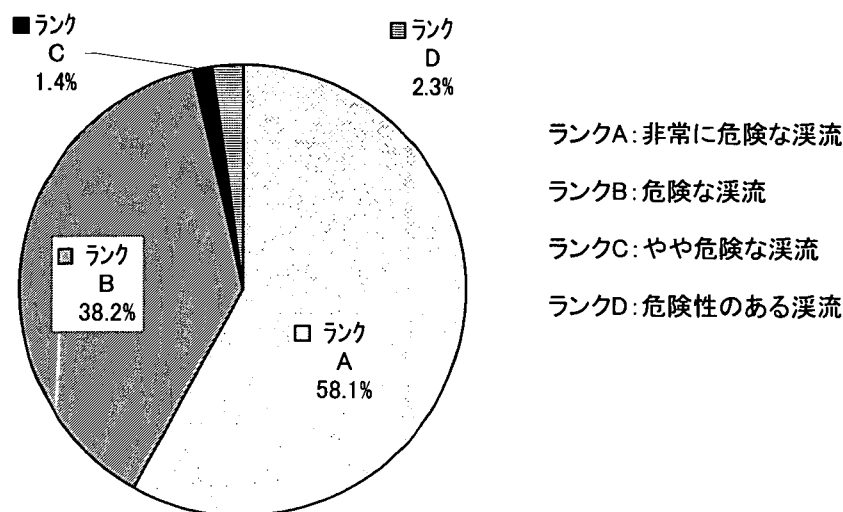


図-3.4 全国の土石流危険渓流の分類結果

3-1-3 危険渓流調査の今後の対応

平成2年調査から10年近くが経過し、宅地開発等により土石流危険渓流が増加していると考えられるとともに、雲仙の火山噴火に伴う土石流の研究の結果、新たな知見が得られたことから、現在新しい調査要領（案）に基づき土石流危険渓流調査が実施されている。

その主な改訂内容については、

(1)調査で対象とする渓流は、従来の保

全対象として人家が5戸以上存在する渓流に加えて、保全対象として人家が1戸から4戸存在する渓流、及び都市計画区域内の必要なところにおいては、現在保全対象として人家が存在しない（0戸）渓流とすること。

(2)火山地域では、そこで発生する土石流は微細粒土砂を多く含むという特性を考慮して、土石流が停止すると考えられる勾配を一般地域に比べて小さく（一般地域は3°、火山地域では2°）設定すること。

(3)渓床堆積物、山腹崩壊地、保全対象人家、砂防ダムの堆砂等の状況について経年変化を把握するためのカルテを作成すること。

などである（表-3.2、図-3.5 参照）。

表-3.2 土石流危険渓流調査の新旧対照表

項 目	旧（H2）	新（H10）
(1) 調査対象渓流	①人家5戸以上または公共施設	①同左 ②人家1～4戸 ③都市計画区域内における人家0戸
(2) 土石流危険渓流の分類	発生危険度によるA, B, C, D	保全対象数によるI, II, III
(3) 発生流域面積	渓床勾配15°以上の流域面積	火山地域→渓床勾配10°以上の面積 一般地域→同左
(4) 土石流氾濫区域下端の勾配	原則3°	火山地域→原則2° 一般地域→同左
(5) その他	(なし)	カルテ作成による経年変化の把握

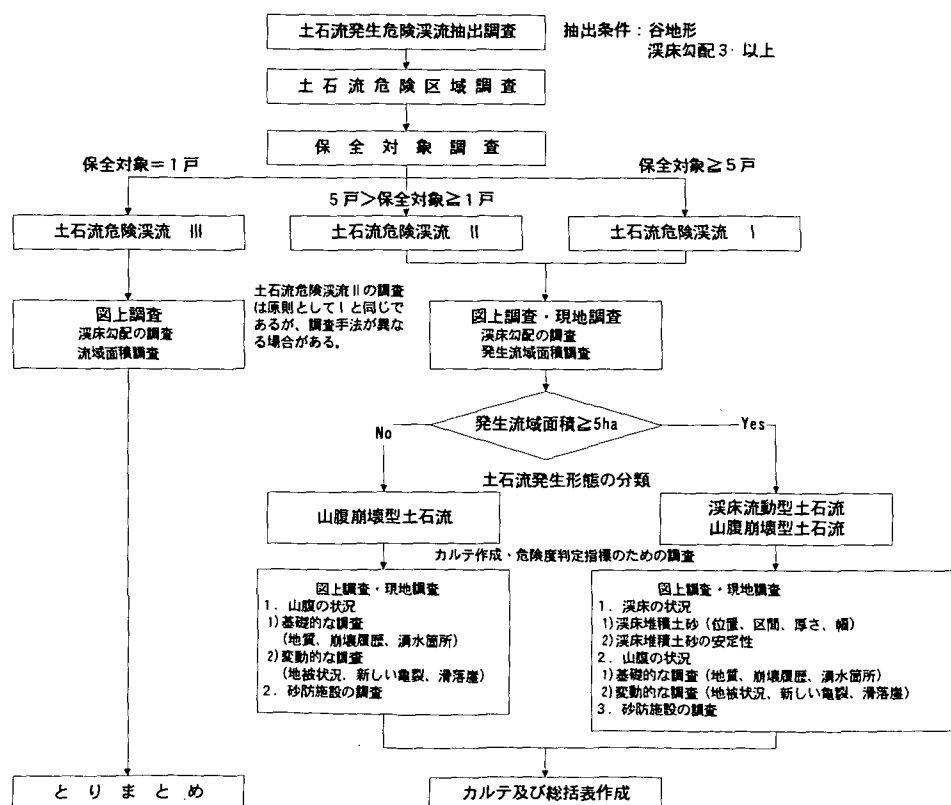


図-3.5 土石流危険渓流の分類手順

3-2 土石流に対する警戒避難

3-2-1 土石流に対する警戒避難の経緯

昭和 41 年の西湖根場の災害以来、土石流対策が積極的に行われるとともに、土石流の現地での実態把握、土石流の機構解明のための実験・理論研究なども急速に実施されるようになった。しかしすでにこの頃各地の都市域の周辺では、都市域への人口の集中による都市化の進展、都市域の周辺地域の開発・土地利用の活発化によるスプロール化が著しく進行し始めていた(図-3.6 参照)。したがって土石流危険渓流も都市域およびその周辺地域で急増し、かつその災害も激甚さを増していった。

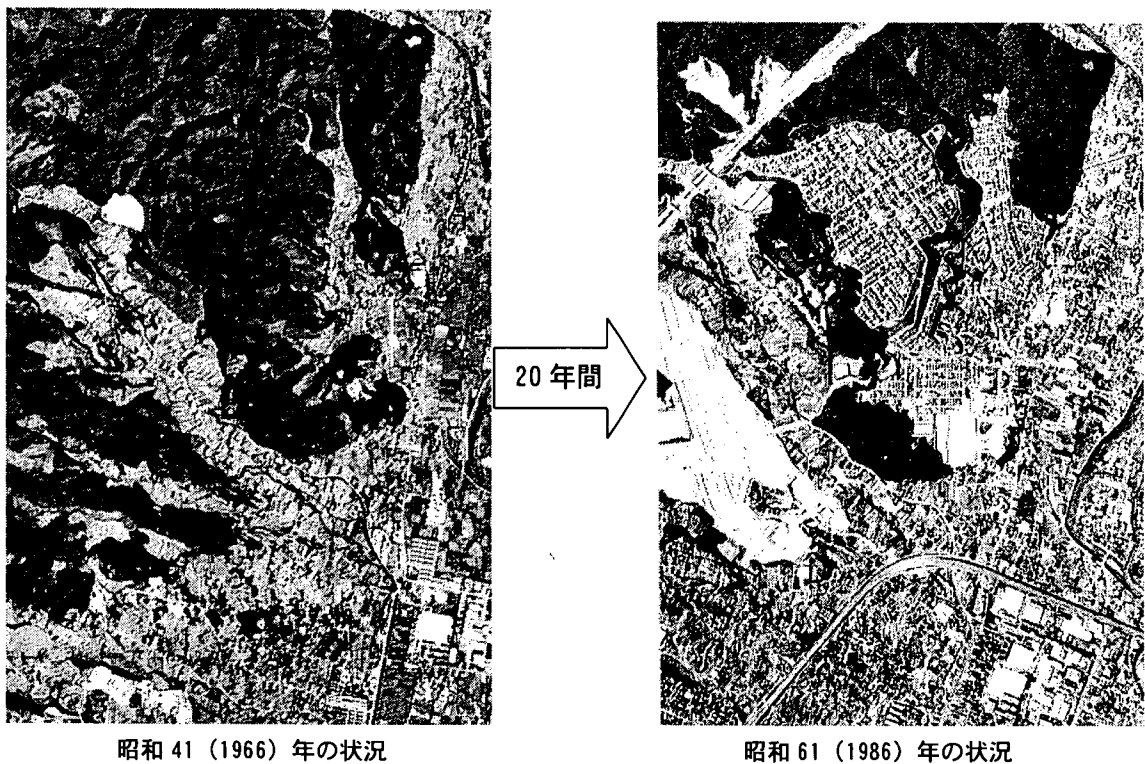


図-3.6 広島市における居住域の拡大の状況

建設省は膨大でかつ急増する土石流危険渓流に対処するためには従来の砂防工事に加えた種々の方策を講じていく必要があることから、昭和 51 年 10 月河川審議会に対し「総合的な治水対策の推進方策はいかにあるべきか」について諮問した。河川審議会は総合治水対策小委員会を設置し検討を重ねた結果、昭和 52 年 6 月建設大臣に対し「総合的な治水対策の推進方策についての中間答申」を行った。この中間答申の内容は以後の土石流対策の方向を決定づける重要なものとなった。こうして以下に述べる諸施策を実施する総合土石流対策が行われるようになってきたのである。

河川審議会の中間答申に盛り込まれた内容は次のとおりである。

- ①土石流危険区域の設定・公示
- ②警戒避難体制の整備
- ③安全な土地利用方式、建築方式の設定

- ④情報の伝達体制の強化
- ⑤住民の理解と協力を得る努力
- ⑥関係分野との協議体制の整備
- ⑦土砂流出抑制手法の開発

建設省は中間答申を受け、直ちに河川局内に「土石流技術検討会」を設置しその具体化に向け検討を開始するとともに、土石流危険渓流の調査実施要領を作成し昭和 53 年～55 年にかけて全国調査を一斉に開始した。その結果を踏まえ、昭和 57 年事務次官通達および砂防部長通達「総合的な土石流対策の推進について」が出された。その内容は次のとおりである。

- ①土石流対策工事の推進
- ②土石流危険渓流の地域防災計画への掲上、資料の住民への提供、土石流危険渓流の現地表示等を内容とする土石流危険渓流の周知
- ③警戒避難体制の確立
- ④住宅の移転の促進
- ⑤情報の収集・伝達、防災意識の普及
- ⑥関係機関との連絡・調整

また、砂防部長通達では、

- ①土石流危険渓流の定義
- ②砂防指定地の指定の促進
- ③砂防工事の推進
- ④市町村に提供する資料、関係住民に提供する資料、現地表示の方法
- ⑤警戒避難体制確立のための市町村に対し指導すべき事項、伝達体制、避難方法、避難場所設定上の留意事項
- ⑥住宅の移転の促進についての既存制度の活用
- ⑦情報の収集、伝達、防災意識の普及および防災活動の実施方法
- ⑧総合土石流対策推進連絡会の設置と運営
- ⑨5 戸未満の危険渓流および潜在危険渓流への適用

等の細部について盛り込まれた。

その後、警戒避難基準の設定、体制の整備について通達が出され、さらに土木研究所において昭和 57 年～平成 2 年にかけて実施された「土砂災害の警戒避難システムに関する研究」を基礎として土石流危険区域の公表等の内容を含んだ「総合的な土砂災害対策について」（提言：平成 5 年 3 月）が出された。

以上の施策の流れと関連する研究、災害との関連を表-3.3 に示す。

表-3.3 主な土砂災害と警戒避難に関する施策、関連研究

年	地 区 名	死者、行方不明者数	警戒避難に関する 主な施策・通達	土木研究所における 関連する研究の課題
S51	香川県小豆島 (9月)	119	・総合的な治水対策の推進方策について の中間答申 (S52年10月) (土石流に対する警戒避難体制の整備を 含む)	・土石流危険区域調査及び警戒 避難基準雨量の推定方法に 関する一試案 (S53年)
S57	長崎県長崎市 周辺 (7月)	299	・総合的な土石流対策の推進に ついて (S57年8月)	・土石流対策砂防計画と砂防施設 に関する調査 (S57~61年) [短時間降雨予測と警戒避難 システム]
S58	鳥根県三隅町・ 浜田市周辺	107	・総合土石流対策モデル事業 (S59年4月) ・土石流危険渓流周辺における 警戒避難基準の設定について (S59年6月) 〔土石流災害に関する警報の 発令と避難の指示のための 降雨量設定指針〕 ・土石流危険渓流周辺における 警戒避難体制の整備について (S59年6月) ・総合土石流対策の強化施策について (S62年3月)	・土石流対策システムに関する 研究 (S57~65年) ・土砂災害の警戒避難のシステムに 関する研究 (S59~61年) ・土石流危険区域の設定と公表に 関する研究 (S57~H2年)
S61	鹿児島市周辺	18	・土砂災害対策の総合的な推進 について (S63年3月) ・土石流危険渓流総合整備事業 (S63年4月) ・総合土砂災害対策モデル事業 事業 (H元年4月)	
H5	鹿児島市周辺	64	・総合的な土砂災害対策について (提言) (H5年3月) 〔土石流危険区域の定義・設定手法、 土石流危険区域公表マニュアル等〕 ・情報基盤整備事業 (H8年) ・総合的な土石流対策の推進 (H10年)	← ・土石流の発生予知及び対策に 関する研究 (H8~10年) ・土砂災害発生予知及び検知手法 に関する研究 (H8~11年) ・土砂災害に対する警戒避難体制 の整備手法に関する調査 (H8~11年)

3-2-2 土石流に対する警戒避難の現状

1) 基準雨量

建設省は土石流に対する警戒・避難体制を構築するための基準雨量を設定する一つの手法を昭和 59 年に示している。本手法は災害対策基本法に基づいて市町村が土石流災害に関する警報の発令と避難の指示を行うための降雨量の設定について参考とされるものである。

これに基づき、土石流発生の基準雨量は以下のように設定される。

①発生雨量と非発生雨量について実効雨量と1時間雨量強度をプロットする (図-3.7)。

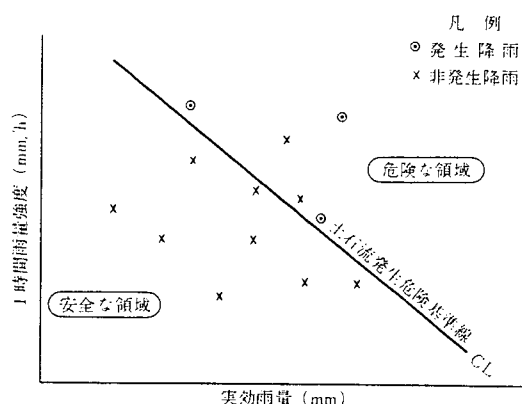


図-3.7 土石流発生危険基準線の設定

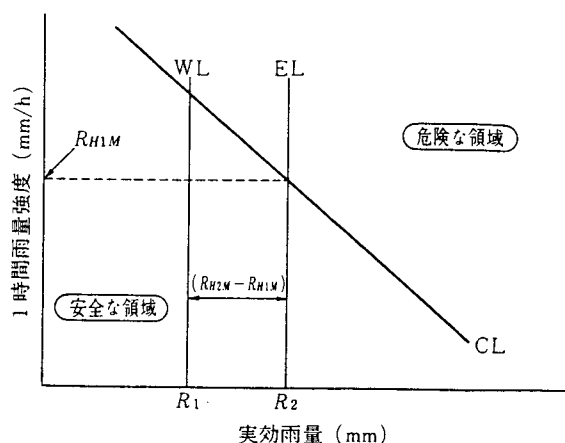


図-3.8 警戒基準線、避難基準線の設定

ここで、実効雨量とは対象とする一連の降雨以前の前期降雨も土石流発生に影響を与えることから、一定の低減率（減少係数）を乗じて土石流発生時または最大時間雨量発生時（非発生）までの一連の降雨量に加えたものである。ここで1時間雨量強度は、土石流発生時または最大時間雨量発生時の1時間雨量である。

- ②発生と非発生の境界線（土石流発生危険基準線；CL）を引くと、右側は土石流発生の危険な領域、左側は安全な領域に区分できる。
- ③次に、警戒や避難の発令は過去の災害調査等から、それぞれ土石流発生の2時間前、1時間前程度が適当とされ（伝達システム整備や避難場所によって異なり実状をよく判断して決める必要がある）、それぞれについて基準雨量を検討する（図-3.8）。
- ④既往最大1時間雨量とCLとの交点にあたる実効雨量（ R_2 ）は、1時間後には雨量が危険な領域に入る可能性があるので、この R_2 点を通る線を避難基準線（EL）とする。
- ⑤警戒基準線（WL）は既往最大2時間雨量と既往最大1時間雨量の差だけ図の左方向へ移動した点（ R_1 ）を通る線とする。

2) 避難の実態と住民意識

平成9年に行われた建設省砂防部の調査によれば、梅雨期の7月4日～14日の10日間において、土石流を含む土砂災害に対して1,030世帯（100地区、3,337人）が避難しており、そのうち避難後に土砂災害が発生したのは13地区（136世帯、400人）であった（表-3.4参照）。

土石流に対する警戒避難は、最終的に実際に住民が避難するという行動に結びつけられなければならない。その住民行動の前提として普段、土石流に対して住民がどのような意識をもっているのかを把握し、その意識の啓発に努めるとともに、それを基礎として住民の避難行動を支える施策等を展開する必要がある。建設省は平成9年7月10日鹿児島県出水市針原川で21名もの死者を出した土石流災害後に、全国の土石流危険渓流周辺住民に土石流に対する意識調査を実施した。対象地域は災害のあった鹿児島県を除く46都道府県で、60渓流を無作為に抽出し、それらの想定氾濫区域の住民（7,699名）に対してアンケート方式による調査を行い、4,387名（有効回収率57%）からの解答を得た。その結果について以下に示す。

表-3.4 平成9年梅雨期（7月4～14日）における土砂災害に対する警戒避難の実施

①住民避難を行った地区

	自主避難			避難勧告			避難命令			合計		
	地区数	世帯数	人数	地区数	世帯数	人数	地区数	世帯数	人数	地区数	世帯数	人数
土石流	5	12	40	5	371	1,329	1	1	18	10	384	1,387
地すべり	9	40	114	11	245	771	1	14	46	17	299	931
がけ崩れ	62	246	745	12	101	274				73	347	1,019
合計	76	298	899	28	717	2,374	2	15	64	100	1,030	3,337

②上記のうち、避難後に土砂災害が発生した地区

	自主避難			避難勧告			避難命令			合計		
	地区数	世帯数	人数	地区数	世帯数	人数	地区数	世帯数	人数	地区数	世帯数	人数
土石流				1	22	90				1	22	90
地すべり	2	13	38	1	37	89	1	14	46	4	64	173
がけ崩れ	8	37	107	2	13	30				10	50	137
合計	10	50	145	4	72	209	1	14	46	15	136	400

※上記数値は建設省砂防部調査による。

※地区数には一部重複があり、個々の数値と合計値が必ずしも一致しない。

【土石流危険渓流の認知度】

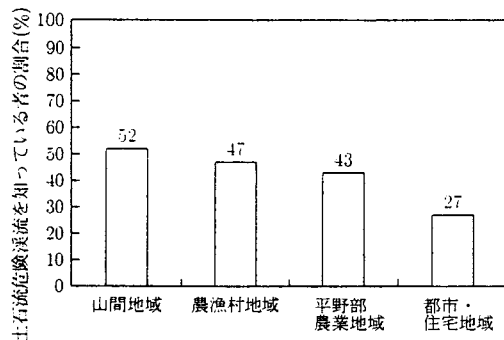


図-3.9 地域別の土石流危険渓流を知っている割合

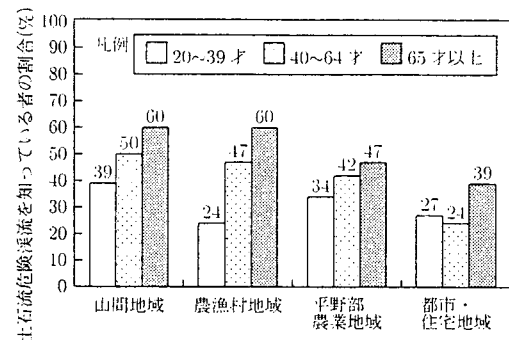


図-3.10 年齢層別の土石流危険渓流を知っている割合

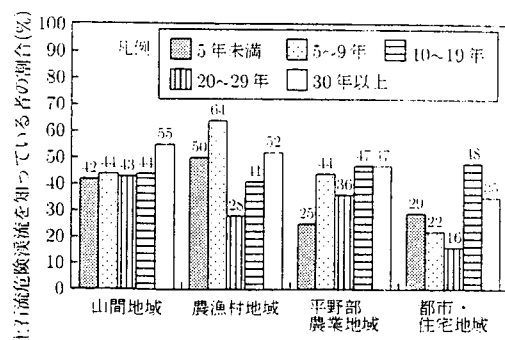


図-3.11 居住年数別の土石流危険渓流を知っている割合

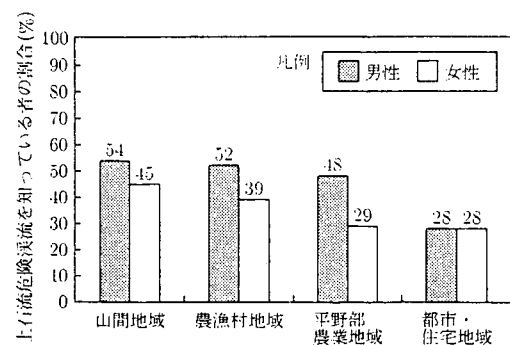


図-3.12 性別の土石流危険渓流を知っている割合

アンケート結果によれば、土石流危険渓流の認知度に関しては、山間地域、農漁村地域の住民の認知度が他地域に比較して高く（図-3.9 参照）、いずれの地域においても高齢者の認知度が高いが（図-3.10）、居住年数との関係は見出しにくいこと（図-3.11）、女性は男性に比べて認知度が低いこと（図-3.12）等の結果が得られた。

【避難のための知識に関する認識】

土石流が発生しそうな時の自然現象や避難する時に必要とされる知識、すなわち土石流に対する警戒避難の心構えや前兆現象について、土石流危険渓流を知っている者がどの程度の知識をもっているのか、また心構えや前兆現象を知っていると解答した者が具体的にどのような内容を知っているのかについては、次のような結果が得られている。

表-3.5 土石流に対する心構えや前兆現象の認識

「土石流に対する心構えや前兆現象について知っていることをお書き下さい。」（複数回答）

項 目		回答者数(割合)※	※全解答書数 1,038人
土石流に対する心構え	周囲より比較的高い建物の2階に避難する(高台を含む)	19 (2 %)	
	他の危険箇所への避難は避ける	0 (0 %)	
	渓流を渡り対岸に逃げることは避ける	1 (0 %)	
	渓流に対して直角方向に出来る限り渓流から離れる	12 (1 %)	
	非常用の持出物の準備	17 (2 %)	
	警戒避難雨量の確認	3 (0 %)	
	避難場所・避難路の確認	57 (5 %)	
	危険箇所の把握	30 (3 %)	
	情報の受信・発信(テレビ・ラジオ・防災無線、通報)	28 (3 %)	
	その他	32 (3 %)	
前兆現象	立木の裂ける音が聞こえる場合や巨礫の流れる音が聞こえる時	206 (20 %)	
	渓流の流水が急激に濁りだした場合や流木等が混じり始めた時	275 (26 %)	
	降雨が続いているにもかかわらず渓流の水位が急激に減少し始めた時	206 (20 %)	
	渓流の水位が降雨量の減少にもかかわらず低下しない時	0 (0 %)	
	渓流付近の斜面において落石や斜面の崩壊が生じ始めた時	402 (39 %)	
	渓流の急激な増水	114 (11 %)	
	降雨(長雨、豪雨等)	244 (23 %)	
	その他	75 (7 %)	

- ①アンケート回答者の内「心構えや前兆現象を知っている」と答えた者は4人1人程度(24%)しかいない。
- ②土石流危険渓流を知っていると答えた者についてみても「心構えや前兆現象を知らない」と答えた者の割合が半数以上(57%)を占めている。
- ③土石流に対する心構えについて記入した者は回答者の1割未満で、最も高いものでも「避難場所・避難経路の確認」の回答率5%である。
- ④前兆現象への認知については、最も回答率の高いものでも「渓流付近の斜面において落石や斜面崩壊が生じ始めた場合やその兆候が見られ始めた時」(39%)であるが、土石流危険渓流を知らないものも含めたアンケート全回答者(4,387人)に占める割合では1割未満である。

【避難の動機】

実際にどのような時に避難するかという動機については、「役場や消防署から避難するように勧められた時」(83%)への回答率が最も高い(表-3.6参照)。このことから防災活動時には市町村等の職員が重要な役割を果たしていると考えられる。二番目に「河川の増水、地すべり、崖崩れなど実際に見て危険と感じた時」(67%)、三番目に「近所の人が避難を始めた時」(39%)の回答率が高かった。

表-3.6 避難の動機

「どのような時にあなたは避難をしますか。」(3 つまで複数回答)

項 目	回答者数(割合)※
雨が強くなって危険と感じた時	1,574 (37 %)
河川の増水、地すべり、崖崩れなどを実際に見て危険と感じた時	2,847 (67 %)
気象台から警戒・注意報が出た時	831 (19 %)
役場や消防署から避難するように指示された時	3,556 (83 %)
近所の人が避難を始めた時	1,655 (39 %)
親戚や知人に避難をするように勧められた時	427 (10 %)
その他	70 (2 %)

※全回答者数 4,267人

以上のことから、住民を早く避難させるには市町村職員・住民への防災教育、土石流の前兆現象と思われる情報に関する収集と提供を行うシステムづくり、さらに自主防災組織づくりが有効であると考えられる。

【今後の対応】

住民が土砂災害を防ぐために何が必要かと感じているかについては、第一番目の「砂防ダムの建設などの防災工事の推進」(58%)に次いで、第二に「一人一人が土石流に対する防災意識をもつこと」(54%)、第三に「土石流危険渓流の周知」(43%)という結果であり、全体としては構造物による対応より、防災意識の向上や危険箇所の周知などの警戒避難の強化の必要性を感じていることがうかがわれる。

表-3.7 住民が要望する今後必要だと思う項目

「土石流災害を防ぐためには、今後何が必要だとお考えですか？」(複数回答)

項 目	回答者数(割合)※
砂防ダムの建設などの防災工事の推進	2,468 (58 %)
土石流危険渓流の周知	1,810 (43 %)
地域住民による自主防災組織の育成と強化	1,008 (24 %)
地域防災リーダーの養成	310 (7 %)
一人一人が土石流に対する防災意識・知識をもつこと	2,304 (54 %)
県や市町村の防災計画の見直し	1,292 (30 %)
避難路や避難場所の整備	992 (23 %)
避難のための防災情報を伝達するためのシステム整備	1,475 (35 %)
その他	101 (2 %)

※全回答者数 4,240人

3-3 土石流対策技術指針

構造物による土石流対策としての指針については、土木研究所における富士山土石流衝撃力実験（S55～58）を基礎として、その後の長崎災害、島根災害を経て、土石流の衝撃力、ピーク流量、流速、砂防ダム構造等に関する研究が行われた結果が、昭和 62 年 3 月に作成された「土石流対策技術指針」、さらには平成元年 10 月に作成された「土石流対策技術指針」に反映された。なお、現在土木研究所においてその後の災害実態調査、研究成果を踏まえ、計画流出土砂量の算定手法、土石流ピーク流量（流域面積に応じた算定式の使い分け）、土石流対策施設として透過型砂防ダムを用いる場合の計画・設計手法の点について改良を加えるべく検討を進めている。

また、平時の土砂はできるだけ下流に流下させ、土石流発生時には巨礫等を捕捉する透過型構造の鋼製砂防ダム等に関する設計マニュアルについては、土木研究所における衝撃力実験等を基礎とした「鋼製砂防構造物設計便覧」（平成 5 年 3 月改訂第 3 版）がある。

表-3.8 主な土砂災害と土石流対策指針、関連する研究

年	地 区 名 (死者、行方不明)	土石流対策技術指針 に関する通達等	土木研究所における 関連する研究の概要
S57	長崎市周辺 (299人)		・ 富士山土石流衝撃力実験（S55～58） ・ 土石流対策砂防計画と砂防 施設に関する調査（S57～58） [衝撃力、ダム構造等]
S58	島根県三隅町・ 浜田市周辺 (107人)	・ 総合土石流対策の強化 施策について（S62年3月） 〔土石流氾濫区域、土石流 対策技術指針（案）〕 ・ 土石流対策技術指針（案） について（平成元年10月）	・ 土石流対策工法に関する調査 （S57～61） [土石流ピーク流量、流速、ダム構造等] ・ 土石流衝撃力に対する衝撃材に関する 実験及び解析（S60） ・ 土石流氾濫シミュレーション モデルによる土石流対策工 の効果評価に関する研究（S61） ・ 鋼管に対する土石流衝撃力実験（S61）

4. 最近の土石流災害とその課題

4-1 複合型土石流災害

近年、地すべりや深層崩壊に起因して土石流災害が発生し、大きな被害を与えている。ここではこのような土石流災害を、地すべりや深層崩壊現象と複合して発生する土石流災害という意味において複合型土石流災害と呼び、その実態、特徴、課題について述べる。

1）秋田県鹿角市八幡平で発生した土石流

平成 9 年 5 月 11 日に秋田県鹿角市八幡平で大規模な地すべりが発生し、その末端部の土塊が土石流となり澄川温泉、赤川温泉の計 16 棟の温泉宿を流出させる大規模な土砂災害をもたらした（写真-4.1、4.2、図-4.1、表-4.1 参照）。

地すべりは国道 341 号にかかる赤川橋の上流 1.7km の左岸で発生し、その規模は長さ約 800m、幅約 380m である。空中写真解析によると、地すべりは主に 3 つのブロックに区分され、それらの総移動土砂量は約 250 万 m³ と推定される。C ブロックから土砂が澄川、赤川に流出して土石流が発生した。流出土砂量は最大 50 万 m³ と推定されている。土石流は赤川温泉を完全に破壊・流出させ、赤川橋を石礫や流木により閉塞させるとともに国道 341 号上に氾濫した。その残りは泥流状となって橋下流の逆 S 字カーブを約 3m の流動深で流下し、その過程で減勢しながら赤川第 1 号ダムへ流入し、ダムを満砂させて土石流が消滅した。

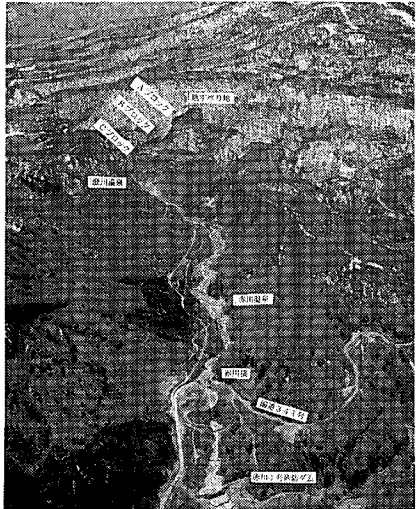


写真-4.1 H9.5.11 秋田県鹿角市八幡平
で発生した土石流



写真-4.2 地すべり地の全景

表-4.1 災害現象などの主な経緯
(聞き取り調査による)

月 日	時刻	災害現象等の経緯
5 / 3	7	・澄川温泉の飲用水（湧水）が濁る。 ・澄川温泉露天風呂、遊歩道に亀裂が入る。
	8	・110 mm/day の降雨を記録。
10	12：00	・露天風呂が埋まるのを確認。
	8：00	・湯治場付近での変状顕著。
	9：00	・ベコ沢で亀裂発見。
	13：20	・現地踏査の結果、大規模な地すべりであることを把握。
11	15：55	・澄川神社上方の斜面で土砂崩れ発生。
	16：04	・澄川の水量が大幅に増え、濁流となる。
	16：35	・地盤のクラックが増え、噴気箇所が増加。
	18：10	・澄川温泉下流側の橋のジョイントが4時間で80 mm 程度拡大。
	5：00	・澄川温泉裏側斜面が大きく押し出し始める。
	7：40	・澄川温泉木造建物全壊。
	7：54	・C ブロック右側部が大きく移動。
	7：58	・白い水蒸気が山かげから湧き上がるのを赤川橋から確認。
	7：59	・地鳴り（遠くで雷が鳴るような音）が聞こえ始め、土石流が赤川橋を通過するまで継続。
	8：01	・土石流が赤川橋を通過。（到達前は川の水は濁っていなかった。）
	8：08	・土石流通過直後は赤川橋から国道へは泥流は溢れておらず、上流側河道内でも流水は確認されていなかった（秋田県警ヘリからの観察）。

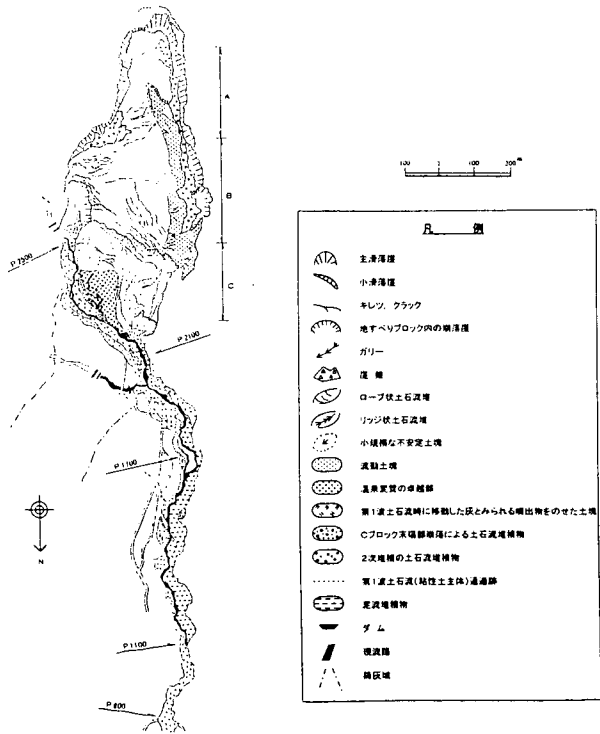


図-4.1 5 月 12 日撮影の空中写真から
作成した微地形分類図

2) 鹿児島県出水市で発生した土石流

平成9年7月10日鹿児島県出水市境町針原川の中流域での深層崩壊に起因して発生した土石流は、完成間近の針原川砂防ダム右袖部分等を破壊するとともに、その下流域で氾濫し死者21名、重軽傷者13名、全壊家屋18戸、半壊1戸に及ぶ壊滅的な土砂災害をもたらした（写真-4.3 参照）。

航空写真解析等によると崩壊土砂量は16万 m^3 、崩壊地内の残存土砂量は1万 m^3 、崩壊地の面積は1.4万 m^2 、最大崩壊深は鉛直方向で28m、崩壊脚部から砂防ダム堆砂末端までの区間での堆積土砂量は2万 m^3 、砂防ダムの堆積土砂量は5万 m^3 、砂防ダム下流での堆積土砂量は8万 m^3 である。砂防ダム下流域における土石流の流下・堆積区域には、典型的な土石流本体の堆積物である、「土石流ローブ（凸状に盛り上り舌状の形態を呈する地形）」が認められた（図-4.2 参照）。

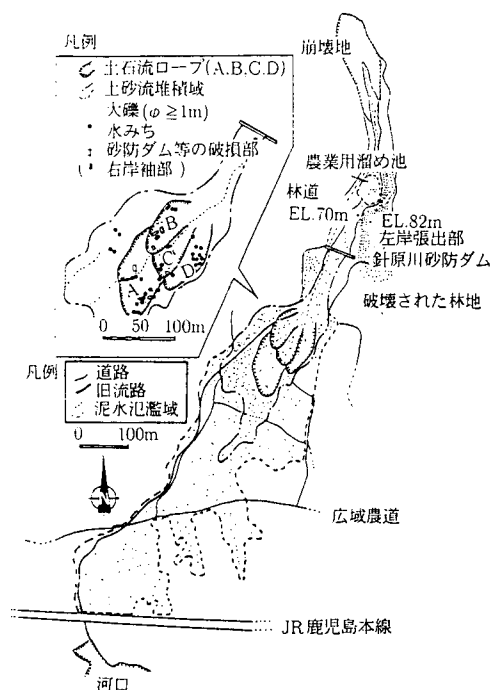


図-4.2 針原川における土石流堆積状況



写真-4.3 H9.7.10 鹿児島県出水市針原川で発生した土石流

また、この災害では砂防ダムが被害軽減に効果を発揮した。砂防ダムがなかった場合の土石流の流下状況について、流出土砂の氾濫実績を踏まえた数値シミュレーション結果を図-4.3(1),(2)に示す。

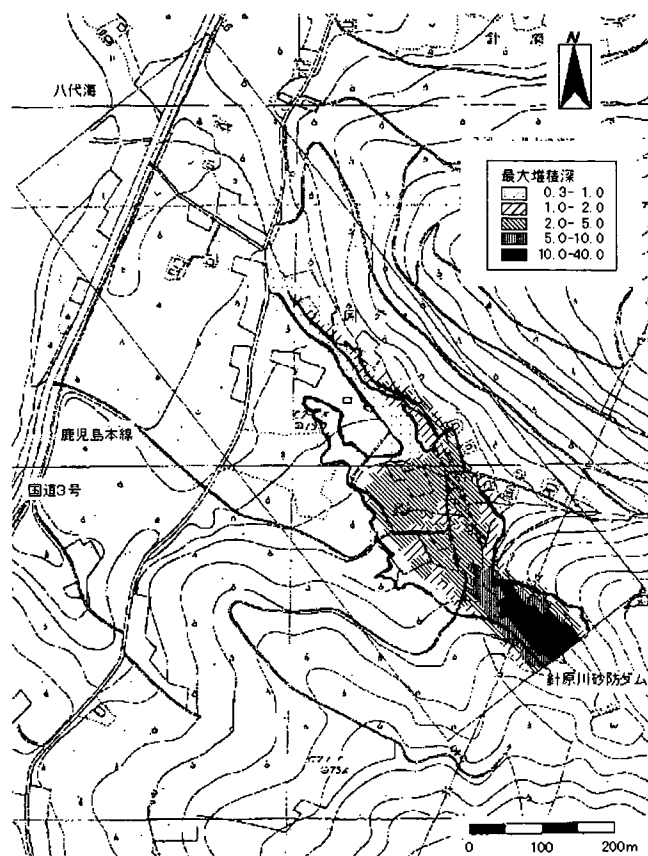


図-4.3(1) シミュレーション再現計算結果(最大堆積深)

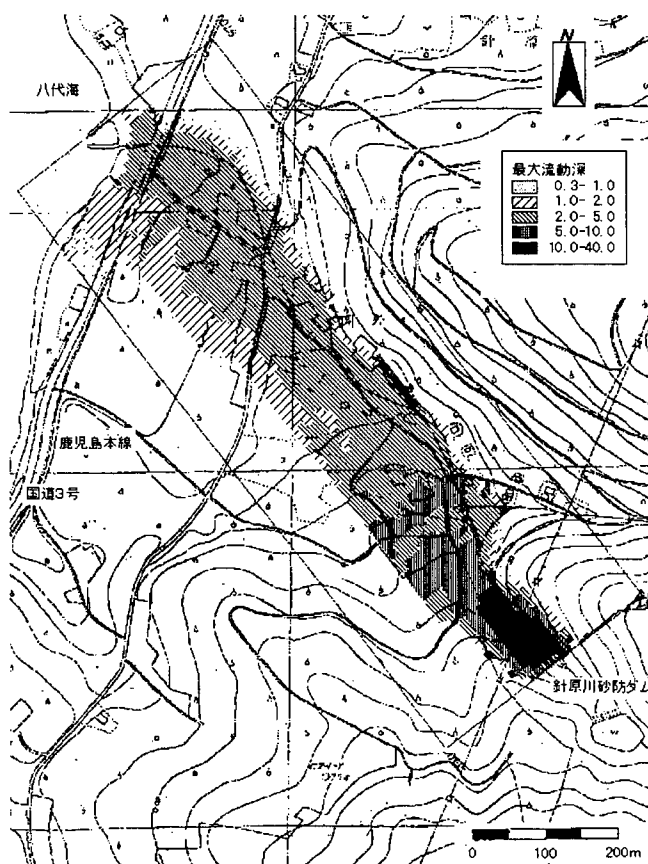


図-4.3(2) 砂防ダムがない場合のシミュレーション結果(最大流動深)

3) 秋田県鹿角市八幡平、鹿児島県出水市針原川の土石流の特徴

秋田県鹿角市八幡平の土石流、鹿児島県出水市針原川の土石流について、それらの特徴であると思われる「発生時刻」「規模」「土塊の流動状況」について述べる。

①土石流の発生と降雨

図-4.4 は鹿児島県出水市針原川で発生した土石流の発生時刻と降雨との対応を示したものである。土石流発生時刻（1997 年 7 月 10 日午前 1 時頃）までの連続降雨量は 275.0 mm であり、時間雨量最大時刻（1997 年 7 月 9 日午前 11 時頃；61.5 mm/hour）から 14 時間後に土石流が発生している。

秋田県鹿角市八幡平の土石流の場合は、1997 年 5 月 4 日から 8 日までの間に 130 mm、8 日の 9 時から 10 時にかけて最大時間雨量 15 mm を観測しているがそれ以前は無降雨である。土石流は最大時間雨量時から 70 時間後の 11 日 8 時頃に発生したことが防災関係者の証言から分かっている。ただし、5 月 1 日から最高気温が連続して 10°C を上回っており、融雪水が地すべり区域内に供給されていたと考えられる。多くの土石流の事例では降雨のピークに対応してほとんど時間差なく発生している。

しかしながら、上記 2 つの事例の土石流は降雨のピーク近傍ではなく、降雨終了後に発生している。これは表層崩壊などによる土石流は降雨強度の影響を大きく受けやすいのに対し、地すべりや深層崩壊による土石流の発生は斜面深部での地下水などの挙動に影響されると考えられるため、必ずしも降雨強度とは対応していないといえる。

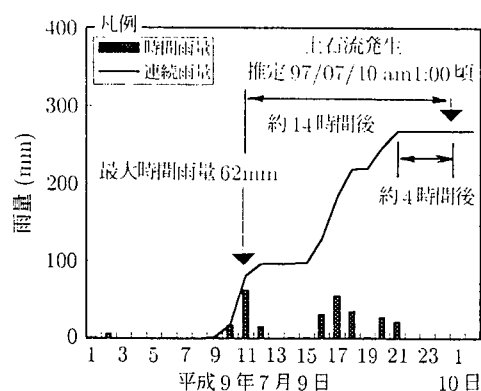


図-4.4 針原川における土石流の発生タイミング

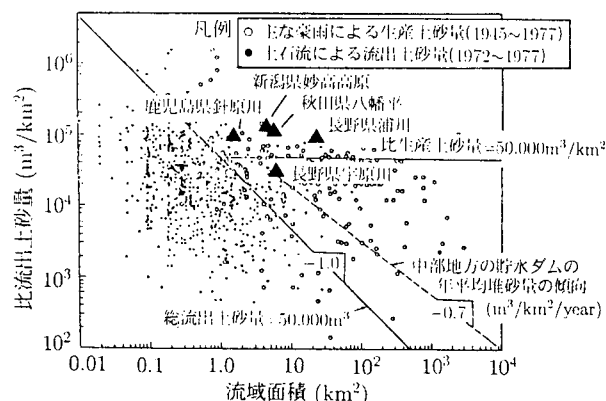


図-4.5 土砂流出現象による比流出土砂量

②土石流の規模

図-4.5 は土石流等を含む土砂流出現象による比流出土砂量を示したものである。秋田県鹿角市八幡平、鹿児島県出水市針原川の土石流のそれらは約 $10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$ にも及んでおり、同じ程度の流域面積から発生した土石流と比較してみても極めて高い値である。ちなみに表層崩壊による土石流の事例として昭和 49 年 7 月の小豆島での土石流の比流出土砂量は約 $5,000 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 程度であり、秋田県鹿角市八幡平、鹿児島県出水市針原川の土石流のそれと比べると $1/20$ 以下とかなり小さい。これは両者の崩壊土砂量の著しい違いに起因する。

③土塊の流動状況

前述の土石流の堆積実態から、秋田県鹿角市八幡平、鹿児島県出水市針原川の土石流は、あ

まり乱されていない地山ブロックや粘土ブロック等を比較的多く含んでおり、土塊を構成している個々の粒子がバラバラな状態とならずに緩勾配区間を流下していることが特徴である。また、土石流発生までの累積雨量である数百mm程度の降雨やそれに長期的な地下水の供給、融雪等を考慮したとしても、厚さ数10mにも及ぶ崩壊土塊が完全に飽和していたとは考えられず、流下時の土塊は不飽和の状態で流動しているものと考えられる。例えば、鹿児島県出水市針原川で発生した土石流について、その発生場である深層崩壊地の滑落崖周辺で採取した土砂の間隙率は53.4～59.0%であり、仮にその間隙全てが飽和したとすると、平均深20mの場合、8～10m程度の土塊厚に相当する水量が供給されなければならない。降雨のみならず長期的な地下水の供給を考慮しても、それだけの厚さに及ぶ土塊が完全に飽和していたとは考えにくい。

4) その他の発生事例

秋田県鹿角市八幡平や鹿児島県出水市針原川で発生した土石流のように地すべりや深層崩壊に起因した土石流はこれまでどの程度発生しているのだろうか。

表-4.2 に、ここ20年間に於いて地すべりや深層崩壊に起因して発生した土石流の事例を示す。新潟県妙高高原、長野県姫川支川浦川で発生した土石流については、発生状況に不明な点が多いため、秋田県鹿角市八幡平、鹿児島県出水市針原川の土石流と同様の原因によるとは言えないが、同じカテゴリーに分類した。

表-4.2 地すべりや深層崩壊に起因した土石流の事例

深 流 名		新潟県 妙高高原白田切川	長野県 須坂市宇原川	長野県 姫川支川浦川	秋田県 鹿角市八幡平	鹿児島県 出水市針原川
発 生 年 月 日		1978年5月18日 (融雪期)	1981年8月23日 (台風15号)	1992年4月6日 (融雪期)	1997年5月11日 (融雪期)	1997年7月10日 (梅雨前線豪雨)
発 生 原 因		深層崩壊	深層崩壊	地すべり	地すべり	深層崩壊
降 雨	連続雨量 (mm)	-	224.5	-	130 5月4日20:00～ 5月8日20:00	275 7月9日1:00～ 7月10日1:00
	最大時間雨量 (mm/hr)	-	40	-	15.0 5月8日 9:00～10:00	61.5 7月9日 10:00～11:00
	発生前の1時間雨量 (mm/hr)	-	-	-	0	0
	土石流発生時刻と 最大時間雨量時との 時間差 (hr)	-	0.5	-	70.0	14.0
崩 壊 (地すべり) 規 模	崩壊(地すべり)土砂量 ($\times 10^4 \text{ m}^3$)	62	13	210	250	16
	崩壊(地すべり)面積 ($\times 10^4 \text{ m}^2$)	1.6	1.0	2.5	17.5	1.4
	崩壊(地すべり)最大深 (m)	約40	約15	60	30以上	28
崩壊地(地すべり地)の主な地質		火砕流堆積物	黒色泥岩(熱水変質)	火山噴出物	火砕流堆積物	安山岩
土石流の流出土砂量 (崩壊地 (地すべり地)からの流出土砂量) ($\times 10^4 \text{ m}^3$)		90	23	110	50	15
比流出土砂量 ($\times 10^4 \text{ m}^3$)		12.9	3.7	9.5	11.4	9.7
土石流の流下距離 (km)		8.0	6.0	3.0	2.5	0.7
崩壊地(地すべり地)脚部からの 下流区間の平均勾配		16° (0.3)	12°～18° (0.2～0.3)	2° (0.04)	7° (0.1)	5° (0.09)
被害の概要		死者13名 全壊家屋12戸 信越本線不通	死者10名 全半壊20戸	人的被害は無し	全壊温泉宿16戸	死者21名 全壊家屋18戸 半壊家屋1戸

秋田県鹿角市八幡平、鹿児島県出水市針原川の土石流も含め、4年に1回程度の割合でこのような土石流による災害が発生していることが分かる。また、融雪期に発生している事例が多いこと、崩壊（地すべり）土砂量は 10^3m^3 程度の規模が多いこと、渓床再移動型土石流の発生限界勾配である 15° よりかなり小さくても土石流が発生していることが分かる。これら以外にも発生場の地質構造特性、斜面深部での水文特性等に共通の特徴があるものと考えられる。

深層崩壊や地すべりから発生する複合型土石流はその発生場所を高精度で抽出することが困難であること、地すべりや崩壊と比較して影響範囲が広域となること、前兆現象の把握が困難であること等から大きな災害につながりやすい。しかしながら、その効果的な対策手法はほとんど確立されていない。研究レベルでみても、これまでに土石流化する斜面崩壊の機構や崩土の運動機構に関していくつかの研究はなされているが、実態そのものが十分に整理されていない。

土石流の発生をもたらす降雨・融雪・地下水動態の水文学的な影響、塑性体である崩土が流体的な挙動を示すようになって土石流になる過程（崩壊・地すべりの発生→崩土の滑動・流動→土石流）とその機構については未知な点が山積している。従ってその発生・運動・堆積の機構については、物理的に解明されておらず、その予測手法も未だ提案されていない状況にある。

4-2 都市周辺多発型土石流災害

平成 11 年 6 月 29 日、前線豪雨により広島県内の広島市北部、北西部、呉市市街地、安芸津町を中心に土石流（139 渓流）、崖崩れ（186 箇所）が発生し、死者 25 名（土砂災害に関わるもののみに）に及ぶ甚大な土砂災害が発生した。

災害発生時までの広島市内にある魚切ダム、および呉土木事務所での連続雨量、最大時間雨量は各々 255 mm、63 mm/hr、184 mm、69 mm/hr を記録した。魚切ダムでの 6 月 23 日～8 日の前期降雨を加算すると、累加雨量は 416 mm にも及ぶ（図-4.6,4.7 参照）。

この土砂災害の特徴は、

- ①谷出口や扇状地、崖直下まで人家が張り付いた高密度住宅区域で発生したこと
- ②比較的少ない連続雨量で土石流や崖崩れが発生したこと
- ③土砂流や崖崩れは、主に山腹表層部の風化花崗岩上部のまさ土（厚さ 2m 以下）の崩壊によって発生したこと
- ④発生時刻は降雨強度のピーク時であること
- ⑤大量の大きな流木（長さ：5～10m、径 10～30 cm）を伴った土砂流が家屋を破壊したと
- ⑥流出土砂は砂が主体であり、大粒径の礫は少ないこと
- ⑦下流域では小規模の橋梁やボックスカルバートが流木群で閉塞されたことによって土砂氾濫が生じたこと

である。（写真-4.4 参照）ただし、砂防ダム（流木止施設付き）、急傾斜地崩壊防止施設が施工されていた場所では、土砂・流木が捕捉されており、施設の効果が認められた（写真-4.5 参照）。

なお、この災害を契機に土砂災害の危険のある地域における住宅などの立地抑制策、住民への情報提供及び避難のあり方等防災性向上策を含めた新たな法制について検討が進められている。

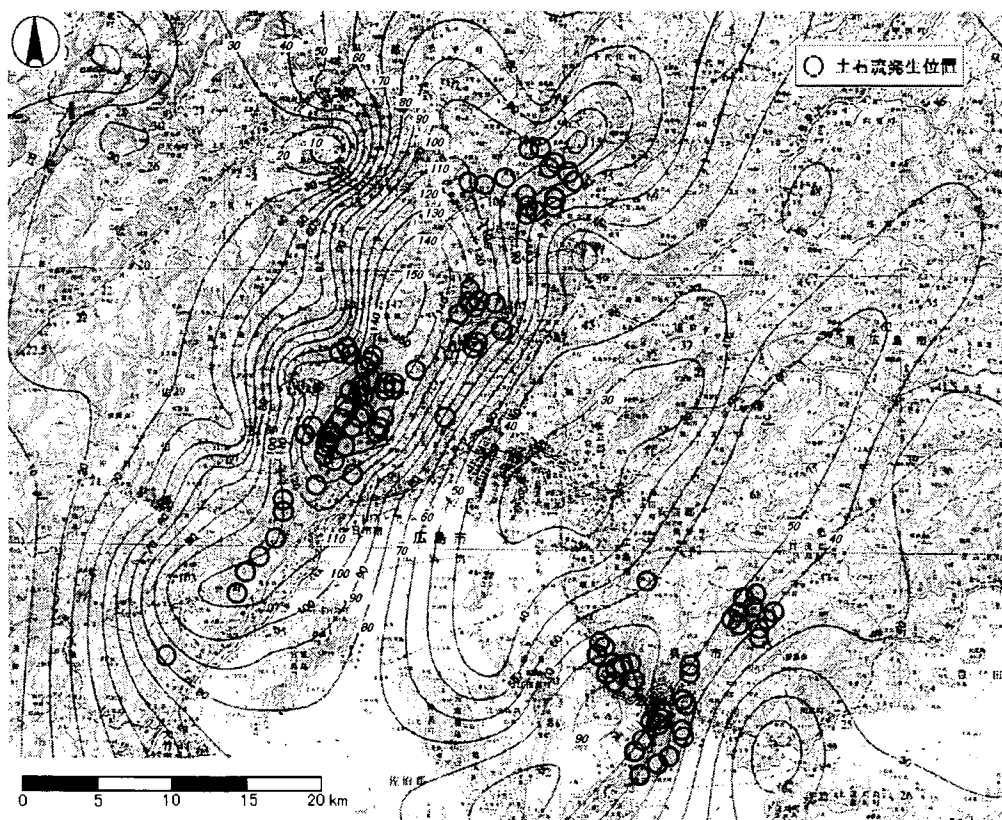


図-4.6 広島市周辺の土石流発生位置と3時間雨量分布 (6/29, 13:00~16:00)

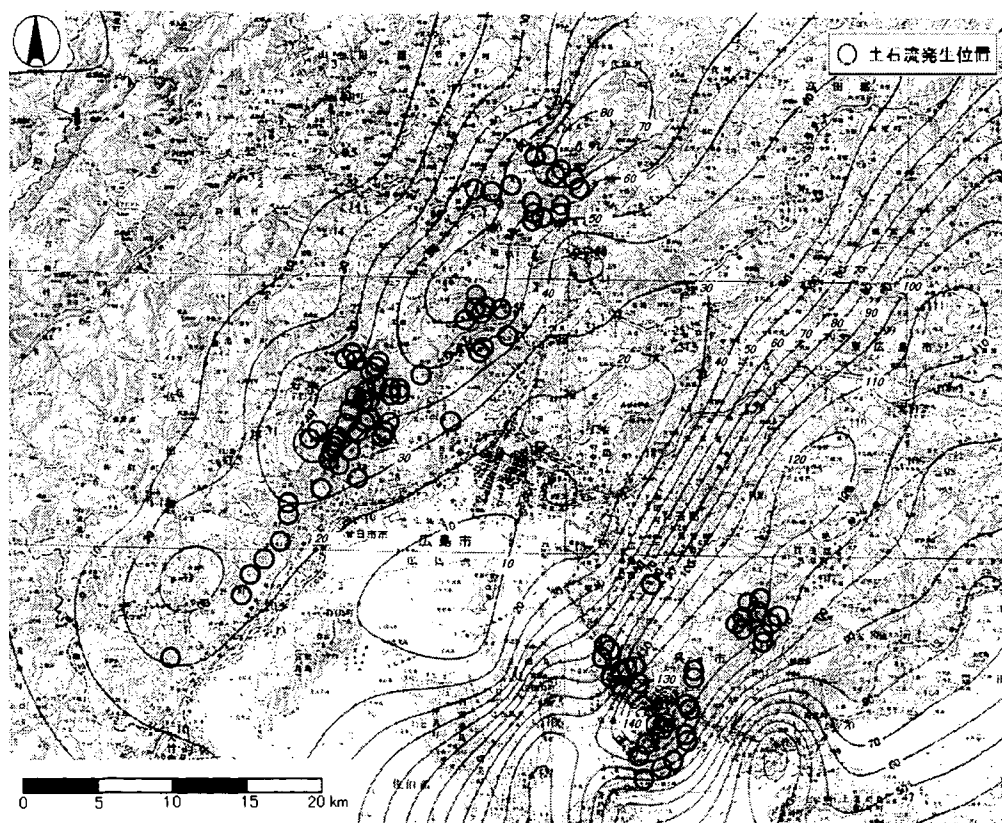


図-4.7 呉市周辺の土石流発生位置と3時間雨量分布 (6/29, 15:00~18:00)

大量の流木を伴った土石流による災害

・広島市佐伯区五日市町古野川

古野川は流域面積 0.34km^2 の土石流危険渓流で、今回の豪雨により上流域での表層崩壊が多発し、流木を含む土石流が発生した。この家屋は右支線の出口付近に位置しているため、大きな流木(長さ:5m程度)を大量に含む土石流が家屋に衝突した。流木は1階の壁を突き抜けている。このような破壊形態から、主に流木の衝撃力によって1階部分が全壊したものと考えられる。

家屋近傍の土砂堆積厚は約0.2mであり、その堆積構造は明瞭な層理を有している。家屋の壁に残存する流下痕跡から土石流の流動深は約1.5mと推察され、単純に計算すると土砂濃度は約10%と推察される。



写真-4.4 流木による家屋の破壊（死者1名）

砂防ダム（流木止め付）の土砂・流木捕捉実態

・荒谷川砂防ダム

荒谷川の上流に位置する荒谷川砂防ダム（高さ14.5m、長さ71m）によって、大量の流出土砂と流木が捕捉された。堆積土砂量はおよそ3万 m^3 、ダムに近い部分には大量の流木が堆積している。これはダムの水通しに設置された高さ3.0mの流木止め（径60.0cmの鋼管を組み合わせた構造）の流木捕捉効果が発揮されたものである。ダムの下流400mには人家が立地しており、この砂防ダムが大量の土砂と流木を捕捉したことで、被害の軽減が図られたものと考えられる。

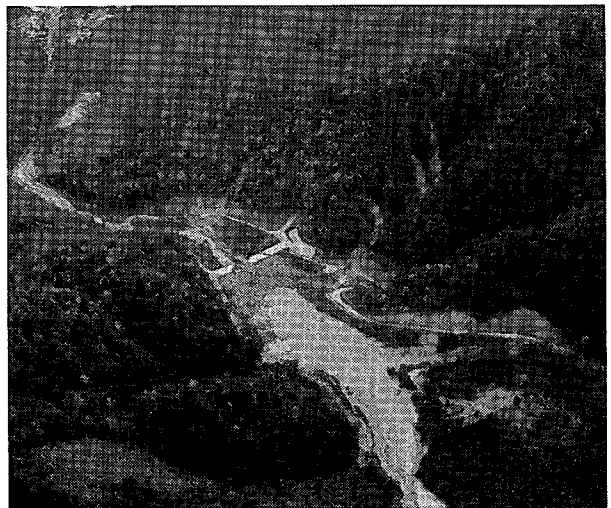


写真-4.5 荒谷川砂防ダムによる土砂・流木捕捉状況
（㈱アジア航測撮影）

5. 今後の研究の方向について

土砂災害の被害軽減に向けて今後調査・研究すべき課題は多い。全国の過去の土石流災害とこれを契機に実施された土木研究所における研究及び事業展開、施策などの対応を踏まえ、それらのうち、2、3のものについて述べる。

まず鹿児島県出水市針原川において発生したような複合型土石流災害に関しては、深層崩壊のメカニズムの研究は当然のこととして、地盤内部の情報を広域かつ効果的に把握する技術の高度化に関する研究が重要であると考えられる。なぜなら、針原川の深層崩壊箇所と同様な地形条件、植生被覆条件を有する箇所は周辺に数多く存在しており、従って、当該箇所で何故深層崩壊が発生したのかについては地盤内部の条件が他の箇所と異なっているという理由に帰着せざるを得ない。すなわち、深層崩壊に関しては地形条件など地表面から得られる情報を基に評価する土石流危険渓流の評価手法と異なる手法が必要であり、例えば風化層と未風化岩盤との面的広がりを広域・効果的に探査できる地盤レーダーの高度化、パイピング現象を生じさせる地盤内部の水みちの探査手法等の高度化がそれにあたると考えられる。

次に、平成 11 年の広島災害については、強雨域とその移動を面的に把握できるレーダー雨量情報を利用した短時間降雨予測に基づく警戒避難体制の構築に関する研究が必要であると考えられる。現行の避難発令は市町村の防災担当部局から消防団、区長などを經由して住民に伝達されるが、この間の伝達の受け渡しと、それぞれにおける判断に一定の時間を費やし、場合によっては住民が実際に避難行動を起こすタイミングがずれたり、何らかの理由により伝達されない場合もある。

従って、例えば最近の高度化された情報機器、通信手段を利用した警戒避難情報の自動通報のあり方等に関する取り組みが必要であると考えられる。さらに、この場合住民は行動しづらい降雨時に避難すること、しかも高齢者等災害弱者も含まれること等から、避難する住民の災害時の心理や対応能力、行動パターン等を考慮した避難住民側の視点に立った警戒避難体制のあり方等に関する取り組みが必要であろう。

第三に、土砂移動現象に関するデータベースの構築に関する取り組みである。土石流を含む土砂移動現象は、誘因である降雨形態が降雨の都度異なるとともに、その降雨により土石流の材料となる溪床堆積物の量の変化、地盤内部の水みちの形成、風化の進行等素因が常時変化している。さらに、顕著な土砂移動現象は同一箇所でも毎年発生することはほとんどなく、数年～数十年の間隔があることから、例えば同一溪流についての降雨応答性について分析する場合においても、データが不十分であることが多い。従って、数年～数十年後に多様な分析が可能となる効率的で高度化された土砂災害データベースの構築に関する取り組みが必要であると考えられる。

土砂移動現象の降雨応答性については、実際の降雨を待つだけでなく、例えば試験斜面または溪流における降雨実験等により実証的に検証していく試みも必要である。

参考資料

- 1) 建設省土木研究所：建設省土木研究所年報（S42年～H10年）
- 2) 建設省土木研究所：土木研究所資料（S42年～H10年）
- 3) 建設省河川局砂防部：砂防関係例規集，(社)全国治水砂防協会発行
- 4) 建設省河川局砂防部，砂防便覧 平成9年版，(社)全国治水砂防協会発行
- 5) 建設省河川局：水害統計，平成10年
- 6) 水野秀明，南哲行：平成4年から平成9年にかけて発生した土石流災害の特徴，土木技術資料，41-6，1999，pp30～35
- 7) 山田孝，南哲行，水野秀明，石田哲也：地すべりや深層崩壊に起因した土石流の実態，土木技術資料，40-6，1998，pp38～43
- 8) 反町雄二，南哲行，山田孝，笹原克夫，小嶋伸一，金子正則：広島・呉土砂災害，土木技術資料，41-8，1999，pp2～4
- 10) 南哲行，綱木亮介，小山内信智，藤澤和範，萬徳昌昭，杉淵清徳：平成9年5月秋田県鹿角市八幡平で発生した土石流災害報告（速報），砂防学会誌，Vol.50，No.2，1997，pp68～73
- 11) 千田容嗣，南哲行：土石流に対する警戒避難の認識，土木技術資料，40-6，1998，pp44～49
- 12) (社)砂防学会：砂防学講座第6巻-1土砂災害対策一扇状地対策・土石流対策等(1)，山海堂出版，1992
- 13) (財)砂防・地すべり技術センター：土砂災害の実態，昭和58年～平成10年
- 14) 建設省砂防部：6.29土砂災害－平成11年6月末梅雨前線豪雨土砂災害，1999.8
- 15) 河川審議会：土砂災害における危機管理について，第4回危機管理小委員会，1998.6
- 16) 自治省行政局振興課：市町村要覧平成8年版，第1法規出版(株)発行

特別講演「技術者の生涯キャリアー
—その活性化に向けて—」

工学院大学長 大 橋 秀 雄

技術者の生涯キャリアー —その活性化に向けて—

工学院大学 大橋秀雄

1. 組織から個人へ

長い文化の伝統を誇る我が国では、それぞれの時代を通じて学問を尊ぶ気風が生き続けてきた。それは支配層から庶民層まで階層を超えた共通の気風であり、二宮尊徳の例が示すように、貧しさの中にあっても学問を希求する心構えが最大の美德として称揚された。最高「学」府で学ぶ機会を得なかった親たちが、子供に「学」を与えようと、どんなに大きな犠牲を払っていることか。

これに比べると、「なりわい」に関わる「業」は、医者とか右筆とかの特殊な例を除けば卑賤なものとされた。これは士農工商という身分制度の下層部分と業が重なり合い、業を修得することは、世過ぎ口過ぎの便法に過ぎないという意識が染み付いてきたからであろう。では、学は何ゆえに尊いのか、改めて考える必要がある。

孤立した個人が備える学は、単なる個人の持ち物に過ぎない。その学が社会的な意味を持つためには、その学を他者に伝えて社会全体の知とするか、あるいは自らの業の中にその学を活かして業を高めるかの何れかの途しかない。前者は限られた人（教育者・研究者）にのみ許される途であり、大多数のものにとって学を活かす途は後者にある。

個人は社会の中で、職業を通じて一定の役割を果たす。安定して信頼感のある社会を築くには、一つ一つの職業が専門性と責任感に裏付けられた個人によって担われていなければならない。個人の社会の中における尊厳は、業を通じて具現される。

学を尊ぶあまり業を軽視する我が国では、プロフェッショナル（知的専門職業人）を認知・尊敬する気風が薄い。わずかに医者や弁護士は社会的に尊敬されているが、これは希少な例外である。社会の機能が日々つつがなく果たされていることを陰で支えている多数のプロは、軽視、いや無視され続けてきた。

それでも、これまでの日本はそれなりに安全で信頼のおける社会を築いてきた。それは個人が企業（官民を含む）という組織の中で終身雇用の殻に守られてすっぽり収まり、企業がそれぞれに社会に対する責任を果たしてきたからであろう（組織基盤型社会）。いまやその構図は崩壊しつつある。多くの民間企業は、グローバルな生き残り競争の中で、社会的責任に対する意識が希薄になりつつある。また雇用の殻は一層不確かなものと変わって、個人はもはや企業の中で安住することが許されなくなった。我々は、企業人（組織人）である前に、先ず個人として自立することが求められるようになった。

様々な職種のプロががっちりとしたネットワークを組み、それが社会全体を覆い尽くして日々の安定と信頼を担って行く。そのプロたちが、世界標準を満たす能力に裏付けられていれば、我々は21世紀の潮流であるグローバリゼーションにも容易に対応してゆくことができる（個人基盤型社会）。そのような社会を実現するための第一歩が、プロフェッショナル軽視の風潮を乗り越えることにあると思われる。

これからの個人基盤型社会では、例えば医者という専門職は、社会全体に張り巡らせたネットワークを通じて国民の健康と生命を守ってゆく。難度の高い医療には、勿論大病院という組織が不可欠である。しかし組織の中には、自立した個人がある。同様に技術者も、ネットワークを組んで技術を基盤とした近代社会を支え、国民の安全を守ってゆかねばならない。多様な職種の専門職が、専門性と倫理感に裏付けられてそれぞれの責任を果たしてゆけば、安定して信頼できる社会が築かれるはずである。我々は、いままさに、社会の形態が移り変わる途中の苦しい段階にある。

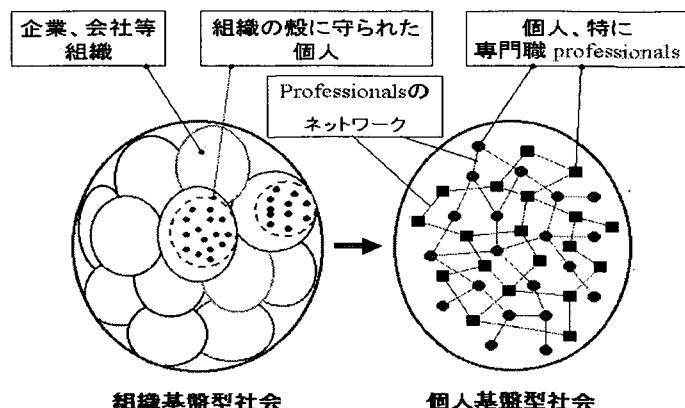


図 組織基盤型社会から個人基盤型社会への転換

2. 技術者 その役割

現代を特徴付ける最大のものは環境の人工化である。都市においては、建造物、道路、交通機関、通信網などが空間を埋めつくし、その中での人々の生活も、人工物の道具に支えられてのみ成立する。このような状況は、近代に始まる技術の進歩を根拠として出現したものであるが、技術の進歩の中心に技術者がいる。技術者は単に技術進歩の推進者であるのみならず、その成果が人類・社会に及ぼす影響についても強い責任を持つ自律的な行動者でなければならない。

技術者がこのように変化を遂げるとき、技術者の新しい社会的定義が不可欠となる。このことが、技術者が社会的に認知された専門職資格を必要とすることの本質的根拠である。

一方、資格制度の確立とともに、このような能力を持つ技術者の教育も、技術の学理を教授する工学教育を高度化するに留まらず、社会的職能集団としての自覚をもつ専門職を育成する技術者教育の視点を強化する必要がある。このような教育の質的变化と改善を押し進めるために、水準の高い教育を実施していることを専門教育プログラムごとに認定する制度の導入が求められるようになってきた。(以上は、1998年12月17日付けの「技術者教育の認定制度及び技術者資格問題に関する日本学術会議会長(吉川弘之)談話」に基づいたものである。原文はホームページ <http://www.scj.go.jp/data17.html> を参照のこと。)

健康を維持し、生命を全うするために、我々は健康のプロ(health professionals)－医師－に全面的に頼っている。人生の終末－死－を看取るのもまた医師である。しかし、健康で元気に活動する人生の大部分を、我々は人工物に囲まれた現代社会で生活を営み、好むと好まざるとに関わらず、我々の生命や安全を人工物の信頼性に賭けている。飛行機に乗れば、設計突風強度の限界内では壊れないはずの機体に命を預け、橋を渡れば、設計荷重の範囲内では壊れないはずの構造強度に命を懸ける。現代人は、利便と引き替えに、自分の命を技術者が設定する人工物の信頼性に預けているのである。絶対に安全な技術はない。それだけに技術者の責任は重大である。

健康のプロが医師であるように、人工物のプロは技術者である。医師は患者と正対し、その緊迫した関係を直接受け止めることができる。しかし技術者は、人工物のユーザーと直接向かい合うことはない。技術は、巨大な工場、複雑な販売網、入り組んだサービス業など多くの組織の介在によって成立する。しかし技術者は、組織の壁を超えてユーザー－社会－を感知し、それに責任を果たさなければならない。技術者が医者並の社会的認知を得たいとするならば、資格制度や教育をそれに対応できるよう整備しなければならない。

1990年代初頭の冷戦体制の崩壊を契機として、経済活動に先導されてグローバリゼーションの奔流が始まった。加えて1995年からスタートしたWTO(世界貿易機関)体制のもと、モノに続いてサービスの貿易自由化が急激に進み始めた。サービスの基本は人であることから、技術者の交流を円滑に進めるための技術者資格の相互承認や、資格の前提条件である技術者教育の国際同等性を担保することが求められるようになった。これもまた、わが国の技術者の在り方を根本的に見直す動機となった。

3. 技術者の生涯キャリアー

プロが重視され、社会の要所要所を責任をもって支える国。そのようなプロの一つとして技術者がある。技術者が、教育から始まって経験を重ね、適切な時期に国際的に認知される我が国の技術者資格を取得し、更に経験を重ねながら、必要に応じて、PEやCEngのような欧米諸国の資格や、APEC EngineerやInternational Engineerなどの国際技術者資格の取得を目指す。また自らの知識・能力の陳腐化を防ぐため、継続専門教育(CPD)を制度化すると同時に、仕事を続けながらCPDを受けられるシステムを完備する。これは、生涯にわたって生き甲斐のある仕事を果たせる個人にとっても、また技術者の能力を最大限に引き出して産業競争力を高めようとする国の政策としても、共に望ましい目標である。

プロが重視され、生涯にわたって能力を発揮できる社会とするためには、全体システムが優れていなければならない。これまでは、教育は文部省、技術者資格(技術士)は科学技術庁、建築士資格は建設省、生涯教育は文部省と労働省、技術者の能力アップによる国際競争力の強化は通産省といった具合に、省庁個別の努力はあっても、システム全体を統一的に設計する視点が欠如してきた。これは日本のあらゆる分野で共通の現象である。

国際的に整合性のある新しい技術者資格制度が、現在技術士審議会ほぼ審議が終わり、その報告書案が昨年末からウェブ(<http://www.sta.go.jp/info/press/iken91201.html>)上で公開され国民の意見を求めた。筆者はこの審議に加わりながら、技術者個人にとっても、社会にとっても、最も好ましいシステムに作り努力してきた。

新しい技術者資格制度の基本は、技術士をプロとしての技術者の標準資格と位置付け、その数を現在の技術士(約4万人)の10倍以上に拡大することである。また資格取得の標準年齢を30才前後とする。試験は、4年制大学の卒業生を対象とする1次試験と、1次試験合格後少なくとも4年間の実務経験を経

た後に受験できる2次試験に分けられる。なお、認定された技術者教育を修了したものには、1次試験免除の道が開かれる。資格取得後、日本技術士会や専門学協会が行う専門継続教育を受け、その記録を個人ごとに集計して開示できるようなシステムを整える。また、技術士資格の活用を図るため、官民挙げて制度を整える。将来は、二国間協定によって、PEやCEngなどとの相互承認を図るとともに、APEC EngineerやInternational Engineerと容易に接続できるよう配慮する。これらを盛り込んだ新しい技術士法が今年度中に成立を目指している。

4. 技術者教育とその認定

我々は長らく、Engineeringを工学と訳して両者は同等なものと思いこんできた。したがってEngineering Educationを工学教育、Faculty of Engineeringを工学部と訳して、その意味するところも同じと思ってきた。我々はまず、その誤解を乗り越える必要がある。

工学とは何か？ 工学の定義として現在最も一般的な理解は、8大学工学部を中心とした「工学における教育プログラムに関する検討委員会」が提示している次のものであろう。

「工学とは数学と自然科学を基礎とし、ときには人文社会科学の知見を用いて、公共の安全、健康、福祉のために有用な事物や快適な環境を構築することを目的とする学問である」

一方Engineeringは英語であるから、英語圏の英米の定義が基準になる。アメリカにおけるEngineering Educationの認定団体であるABET (Accreditation Board for Engineering and Technology)が与えている定義を、現代に適合するように筆者が一部修正したものが次の表現である。

「Engineeringとは、数学、自然科学および人工科学の知識を駆使し、社会や環境に対する影響を予見しながら資源と自然力を経済的に活用し、人類の利益と安全に貢献する人工物やそのシステムを研究・開発・製造・運用・維持する専門職業」

工学は学問であり、EngineeringはProfessionすなわち専門職業である。工学教育は工学(一番近い訳語はEngineering Science)という学問を教える教育であるが、Engineering EducationはEngineering(技術業)という専門職業に関わる教育全般を指している。従って、職業の知的基盤を形作る学理(数学、自然科学から設計学のような人工科学までを含む)を学習するに留まらず、技術者として必要な判断力と実行力を強化する教育、すなわち教養教育(社会、経済、経営を含む)、倫理教育、総合力を養うデザイン教育、コミュニケーション力と自主的学習能力の強化、実地経験などを含まなければならない。

Engineeringという専門職業に携わるひとがEngineer(技術者)である。Engineering EducationとはEngineerを育成するための教育であることを考えると、これを工学教育と呼ぶより技術者教育と呼ぶ方がより内容を直裁的に表現している。世界標準に適合するために求められる教育の改革は、簡単にいえば工学教育から技術者教育への転換である。

アングロサクソン系の国々を中心に、技術者教育が技術者の基礎教育として十分な内容を含んでいるかを認定するシステムが完備されている。アメリカのABET(<http://www.abet.org>)やイギリスのEngineering Council (<http://www.engc.org.uk>)などは、国を代表する唯一の組織として技術者教育の認定を行っている。我が国でも、透明性があり説得力のある技術者教育の認定システムが必要である。これを怠ると、品質保証もなくノーブランドの状況におかれた工学系の学生が、国際的な取り決めの中で不利益を被る局面がこれから多発する。加えて留学生に対する教育上の魅力も激減するであろう。

5. 技術者教育の認定 — 日本技術者教育認定機構の設立

上述の事態を改善するため、1997年7月に日本工学教育協会と日本工学会が共同し、大学・学協会・文部省・科学技術庁・通産省・経団連などの代表が参加するなかで「国際的に通用するエンジニア教育検討委員会」(委員長:吉川弘之)を発足させた。これは、端的に言えば日本版ABETをどの様に立ち上げるかを検討する組織である。その後準備が進み、99年2月始め工学系の学部、大学および学協会あてに技術者教育認定制度案が配布され、検討の依頼が行われた。またそれを担当する日本技術者教育認定機構(Japan Accreditation Board for Engineering Education, JABEE, <http://www.kanazawa-it.ac.jp/JABEE/>)についても、設置を念頭に設立趣旨の説明が行われた。案に対して寄せられた意見を参考にしつつ制度と認定機構の修正を行い、99年9月1日に第1回設立発起人会を開き、99年11月19日にJABEEが設立された。設立後2年間は認定の試行を行い、経験を反映させながら本格認定作業に向けて制度の改善を行う。また審査に当たる評価者の訓練も合わせ行う。

なお、設立後2年を目途に本格認定に移行し、同時に社団法人格の取得とワシントンアコードへの加盟を目指している。

● 審査・認定の主役

技術者教育の基準を設定したり評価を行ったりする認定作業には、専門別の教育・研究者と技術者の集

団である各学協会が主体的な役割を果たさなければならない。大学は認定については「される側」であり、主役ではない。理工農系学協会のうち多くは、英文名に **Engineers** 或いは **Engineering** の語を含んでいる。そのような学協会は英文名の精神に立ち返り、後継者養成である技術者教育認定の作業に深く関与すると共に、大多数を占める会員技術者の専門家としての能力を継続専門教育(Continuous Professional Development, CPD)を通じてアップデートし続けることによって、会員と共存共栄をはかる境地に一日も早く到達しなければならない。

なお、専門分野をどのように分割するかは、今後に残された最大の問題である。基本的には、学部教育が対象であることを考えて、専門分野の過度の細分化は避けるべきである。複数学科がまとまって一つの専門教育プログラムを設定する場合、1 学科 1 プログラムの場合、或いは 1 学科が複数のプログラムを持つ場合などが考えられる。審査に当たる学協会も、単独の学協会が該当分野の専門プログラムに対応するケースから、関連する学協会が集合体を作って対応するケースまで、様々なバリエーションが考えられる。

● 認定対象および審査方法

1. 4 年制理工農系学部および 2 年の専攻科を持つ工業系高等専門学校と短期大学の技術者教育プログラムを認定する。数学、物理、化学、生物などの理学や農学に属する学科、コースであっても、要求基準を満たす技術者教育プログラムは認定の対象となる。
2. 認定は自己点検結果をもとにして実地審査により行う。
3. 審査内容 各大学で独自に立てた具体的教育目標に基づいて、教育手段（入学者選抜方法、カリキュラム、教育組織）および教育環境（施設・設備、財源、学費・住居などの支援体制）の目標に対する達成度や教育改善方法（自己点検システム、継続的改善システム）を評価する。教育目標の達成度の評価は各大学でその方法を考え、証拠を示してもらう（例：試験問題と合否回答例、設計成果、レポート、ビデオなどの提示）。なお、大学、学科、時代により各プログラムで具体的目標は異なるはずであり、その目標に相応しい入学者選抜方法、教育方法、目標達成度などの評価方法を各プログラムで工夫してもらうことにより、大学の独自性を出すことが期待される。

● 審査基準

技術者教育の認定を受けるには、その教育プログラムが、分野を問わず適用される共通基準と、専門分野ごとに設定される分野別基準を満たす必要がある。共通基準は、現在の試案では以下の項目を満たすことを求めている。

- (a) 人類の幸福・福祉とは何かについて考える能力と素養（教養教育を含む）
- (b) 技術の社会および自然に及ぼす効果、価値に関する理解力や責任など、技術者として社会に対する責任を自覚する能力（技術者倫理）
- (c) 日本語による理論的な記述力、口頭発表力、討議などのコミュニケーション能力、および国際的に通用するコミュニケーション基礎能力
- (d) 数学、自然科学および技術（情報技術(IT)を含む）の学理に関する基礎知識とそれを応用できる能力
- (e) 変化に対応して継続的、自律的に学習できる生涯自己学習能力
- (f) 種々の科学・技術・情報を利用して社会のニーズを解決するデザイン能力
- (g) 与えられた条件下で計画的に仕事を進め、まとめる能力

● 国際的品質保証 ―ワシントンアコード加盟を目指して

技術者教育の国別の認定システムとは別に、技術者教育の質的同等性を国境を越えて相互に承認し合う協定、いわゆるワシントンアコードが 1989 年に締結された。最初はアメリカ、イギリス、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、アイルランドの六カ国を代表する技術者教育認定団体が調印したが、現在は香港と南アフリカが加わっている。現在、ワシントンアコード加盟団体により認定された大学の教育プログラム（大学と学科名）が、冊子となって世界中に流布している。その中に、我が国の大学に関わるものは皆無である。

現在、ワシントンアコード加盟国はアングロサクソン系あるいは英語圏の諸国に限られている。ヨーロッパ連合を代表する FEANI(European Federation of National Engineering Associations, <http://www.cri.ensmp.fr/feani/>)や日本は、これまでオブザーバーとして接触を保ちながら動向をフォローしてきた。将来 JABEE の認定が軌道に乗り始める機会を捉えて、当然ワシントンアコード正式加盟を申請する。なお、ワシントンアコード加盟団体は、何れも国家から独立した民間の認定団体である。

6. あとがき

わが国は、いまや構造改革の真っ只中である。それは産官学あらゆる分野で進行中であるが、ここで紹介した技術者問題もその重要な一環であると信じている。

以上

道路の交通安全対策 — 過去，現在，未来 —

総合交通安全研究官 山 田 晴 利

道路の交通安全対策 —過去，現在，未来—

総合交通安全研究官 山田 晴利

1. はじめに

道路における交通安全対策は，これまでも継続的に実施されてきている。特に，昭和20年代後半から昭和40年代半ばごろまでは，道路交通事故による死傷者数は著しく増加し，1970(昭和45)年には交通事故による死者数が1万6,765人と最悪の数字を記録したほか，負傷者数も98万1,096人を数えた。このため，昭和45年には交通安全対策基本法が制定され，第1次交通安全基本計画(昭和46年度～50年度)が策定されるなど交通安全対策が進められた。この計画では歩行者対策が優先的に講じられ，昭和50年には歩行中の交通事故死者数を3,732人にまで減少させることができた。第2次交通安全基本計画(昭和51年度～55年度)においても，ほぼ目標を達成することができたが，その後交通事故死者数は増勢に転じ，昭和57(1982)年には9,000人を，昭和63(1988)年には1万人を突破した。このため，第3次交通安全基本計画(昭和56年度～60年度)，第4次交通安全基本計画(昭和61年度～平成2年度)，及び第5次交通安全基本計画(平成3年度～7年度)においては，目標とした交通事故死者数の低減を達成することができなかった。

こうした状況の中で策定された第6次交通安全基本計画(平成8年度～12年度)においては，年間の交通事故死者数を平成9年までに1万人以下とし，12年までには9,000人以下とすることを目標に掲げ，高齢者の交通安全対策の推進，シートベルトの着用の徹底，安全かつ円滑な道路交通環境の整備等の政策を推進してきている。この結果，交通事故死者数は平成8(1996)年には1万人を下回り，10年には9,211人にまで減少した。ただし，交通事故発生件数，死傷者数はほぼ一貫して増加してきており，依然として厳しい状況にある[文献1]。

本稿では，自動車が発明されて以来の道路交通安全対策に注目し，まずその歴史を振り返ることとする。特筆すべきことは，自動車が発明されてからそれほど時間がたたないうちに現在の交通安全対策につながるアイデアが出され，一部は実施されていたことである。たとえば，道路の機能分類，歩行者と自動車の分離などはかなり早い段階からアイデアが提出されている。

さらに，1970年代から欧州諸国を中心として，交通安全対策における考え方が大きく転換した。それは，特に住居地域，都市内において自動車の速度抑制が重要な交通安全対策となったことである。本稿では，こうした動きについてやや詳しく紹介することとする。もちろん，欧州諸国の道路整備水準，特に都市内における道路整備水準は平均的に見てわが国より高く，欧州諸国における速度抑制を主体とした交通安全対策をそのままわが国に適用できるわけではないが，速度抑制の考え方はコミュニティ道路，コミュニティ・ゾーンとしてわが国の交通安全対策にも反映されている。

また、近年実施された事故多発地点緊急対策事業の概要を紹介し、その効果について述べることにする。こうした事故多発地点における対策は、従来も実施されていないわけではなかったが、警察庁の交通事故データ及び建設省の道路交通データをあわせた交通事故統合データベースを活用して、統計的・科学的な分析によって事故多発地点を抽出し、警察庁、建設省が連携して計画的に対策を講じている点に特徴がある。

最後に、今後の急速な高齢化を念頭において、どのような交通安全のための研究、対策が必要になるかをとりまとめる。

2. 交通安全対策の歴史

本節では、英国、ドイツ、及び米国の三か国をとりあげ、主に自動車が発明されて以降の道路交通安全対策の歴史を、

- ① 道路の機能分類
- ② 歩行者と自動車の分離
- ③ 交通静穏化

の三つの視点からとりまとめる[文献2]。英国、ドイツ、米国の三か国をとりあげるのは、以下の記述からもわかるようにこれらの国々が歩行者系道路の発展において重要な役割を果たしたからにほかならない。

結論を先に述べると、交通安全対策の基本的な原理は「異なる種類の交通を分離すること」にあったといってよい。この原理は、時間的にもまた空間的にも適用される。時間的に適用すれば、時間的な自動車の進入規制(裏返せば、道路の歩行者への解放)につながり、空間的に適用すれば道路における歩車の分離(自動車のための車道と歩行者のための歩道の分離)につながる。さらに、都市間交通に代表される高速性が必要なトリップには規格の高い道路を用意し、沿道へのアクセスを主な目的とするトリップには別の道路を用意する、といった機能分類の考え方も「分離」原則に従ったものとみなすことができる。

ただし、1960年代終わりから70年代初めにかけて、オランダでボンエルフ(Woonerf)と呼ばれる歩車分離されていない道路(自動車は歩く速さで走行し、歩行者に対して優先権をもたない)が作られ、わが国でも「歩車共存」道路として紹介された。これは、従来の「分離原則」を見直す契機となっただけではなく、欧州各国でも共存型の道路がとり入れられた。しかしながら、「適用範囲が狭い」、「道路改修に費用がかかる」などの理由で最近オランダにおいてもボンエルフは積極的には作られていない。このようにボンエルフは最近ではすたれているといってよい状況にあるが、その意義は小さくない。ボンエルフの整備を通じて、「速度規制だけでは自動車の走行速度の低下を期待することはできない；走行速度を低下させるためには、物理的手段が必要である」という重要な教訓が得られたこと、さらにハンプ、シケインなどの走行速度抑制のための手段が研究され、広く用いられるようになったことは、ボンエルフが残した大きな遺産である。

2.1 道路の機能分類

2.1.1 ドイツ

1876年にバウマイスターは「技術，建築規制，経済的観点から見た都市拡張」(*Stadterweiterungen in technischer, baupolizeilicher und wirtschaftlicher Beziehung*)を著し，市街地からは通過交通を排除し，街路の幅員を交通量に応じて決定すべきことを主張した。バウマイスターはさらに，あらゆる種類の交通が利用でき，駐車，緩速走行，高速走行のための車線を有する幹線道路(幅員は25m)と住区交通のみが利用する補助道路(幅員は8m～17m)の二つの道路によって街路網を構成するべきであると述べた[文献3, p.28]。また，彼は歩行者の安全を確保するためには，少数の広い道路をつくるよりは多数の狭い道路をつくるほうがよいとした。この著書の影響は非常に大きく，1876年のニュルンベルク計画，1917年のレーゲンスブルク計画等がその影響を受けている。

ヨセフ・ステューベンもバウマイスターとよく似たアイデアを持っており，1890年に「都市計画(*Der Städtebau*)」を著し，交通需要に応じた道路幅員を用いることを主張した。彼は当時用いられていた居住地域の街路幅員12m～20mは広すぎると批判し，交通量が少ない場合にはより狭い幅員を用いるべきだと述べた[文献3, p.29]。

バウマイスター，ステューベンはいずれも交通にとって好ましくないという理由で，曲がった街路ではなく直線街路を推奨した。もともと，ステューベンは1kmを超える直線道路は単調なものになるため，避けるべきだと考えていた。彼らは，ドイツの都市に多数残っていた中世の道路レイアウトでは増加しつづける交通を処理できないことを示した。

ところが，1889年にカミロ・ジッテの「芸術原理にもとづく都市計画(邦訳は「広場の造形」)」が出版された。この中でジッテは，バウマイスターの方法は単に技術的なものでしかなく，芸術的な配慮に欠けていると批判した[文献4, p.10]。ジッテは中世の街路，特に広場を理想とし，直線ではなく曲線を用いたピクチャレスクな街路を推奨した。

1893年にはテオドール・ゲッケが中世の道路網を理想とし，居住者のための街路と交通のための街路とを区分することを提案した。居住者のための街路は，狭く，曲がった中世の路地を範としており，中には車両の通行を許さないものもあった[文献3, p.65]。

これ以降ドイツでは，街路の計画に対する技術的なアプローチ(バウマイスター，ステューベンの流れ)と芸術的・歴史的なアプローチ(ジッテ，ゲッケの流れ)が角逐することになった。

2.1.2 英国

(1) A. トリップ

英国では第一次，第二次世界大戦の間に自動車の台数が増加し，交通事故も大幅に増加した。ロンドン警視庁の副總監を勤めていたA. トリップは1938年に「道路交通とその管理」を著し，さらに1942年にはこれに少し修正を加え「都市計画と道路交通」と題して出版した。この中でトリップはロンドン圏での事故統計を分析し，次のような結論を導いた：すなわち，道路の欠陥が主要な原因となっている事故はわずか2%でしかなく，約50%の事故は歩行者あるいは自転車利用者に原因がある[文献5]。このため，トリップは歩行者，自転車利用者，自動車等が混在して道路を利用する方法を改め，これらを分離する必要性を指

摘し、道路の段階構成と歩行者地域(precinct¹)を提案した。

トリップによる道路の分類は次のとおりである：

- ① 幹線道路－自動車交通だけが利用する専用道路
- ② 準幹線道路－すべての交通が利用するが、自動車交通が支配的な道路
- ③ 地区道路－住居、商店、その他の敷地にアクセスする道路

幹線道路と準幹線道路では沿道へのアクセスは制限される。一方、地区道路では歩行者を優先し、通過交通を排除し、さらに自動車に高速走行をさせないようにする。トリップは自動車の速度を低下させれば、死傷者の数が減ることを指摘し、歩行者や自転車利用者の数が多いところでは自動車の速度を低下させるべきだと述べている[文献3, pp. 148-149]。これは、今日の交通静穏化の概念の中枢をなすものであり(交通静穏化では安全性の向上に加えて環境の改善も目的とされているが)、トリップの考えは非常に先進的なものであったと評価できる。

トリップの分類でいうところの幹線道路あるいは準幹線道路で囲まれた地区は、歩行者区域(precinct)となり、その内部の道路は地区道路で構成される。歩行者区域では通過交通の通抜けの障碍となるよう慎重に道路配置を行う必要があるとトリップは述べている。

トリップの提案はそのままの形では実現されなかったが、その後の道路計画の考え方に大きな影響を与えた。一つは1946年に英国運輸省によって出された「市街地における道路のデザインと配置」と題する指針であり、その中ではトリップによる交通手段の分離、歩行者区域の設置等が記載されていた。第一世代のニュータウンの道路はこの指針にのっとりつくられた。さらに、トリップの歩行者地域の考え方は、ブキャナン・レポートの中で「環境地域」としてとりあげられた。

(2) C. ブキャナン

1963年に英国で出された「ブキャナン・レポート」[文献6]では、都市内の道路を段階的に構成し、通過交通が入り込まない「居住環境地域」をつくることによって生活地域内の交通安全と環境改善を図ることが提案されていた。ブキャナン・レポートは、都市内で自動車交通によってもたらされている環境問題を初めて認識し、居住環境の重要性を指摘した。

英国ではブキャナン・レポートの影響を受けて、多くの地方政府によって1960年代の終わりから1970年代の初めにかけて「居住環境地域」の考え方がとり入れられた。また、ブキャナン・レポートの中でケーススタディが行われたノーリッジでは都心に歩行者空間が設けられた。これは、1967年に道路交通規制法が改正され、道路の用途変更が可能になったため、ノーリッジの主要な買物通りから自動車を排除したものである[文献3, pp168-169]。

ブキャナン・レポートは、

*1 通常'precinct'は「自動車が完全に排除された歩行者専用地区」を意味するが、トリップの提案したprecinctには完全に自動車が排除された歩行者専用地区だけではなく、自動車が低速度で走行することが許された地区もあった。

- ① 自動車交通が発展すれば、環境悪化がもたらされること[文献7];したがって、居住地域では環境地域を設けて環境を保護する必要があること
- ② 大都市では自動車交通の需要増加に対応することは困難であり、自動車交通を抑制することが現実的な政策となってくること[文献8]

を人々に知らしめた。②については、このレポートの出版当時「道路の交通混雑の原因は容量以上に自動車が流れているのが原因であり、渋滞の解決策は道路を拡幅することである」と考えられていたことからすれば、画期的な指摘であった[文献8]。ブキャナンの提唱した方法によって、居住地域の交通事故は周辺道路での事故の増加以上に減少し、全体としてみれば安全面での効果があったと評価されている[文献9]。

しかしながら、ブキャナン・レポートに示された考え方に対して以下のような批判がなされたことも事実である：

- ① 基本的に自動車が重視されており、自動車交通をほかの交通手段(バス・路面電車等の公共交通機関、自転車、徒歩)に転換させようという意図は示されていない。通過交通は居住環境地域から幹線道路へ経路を転換するだけで、自動車交通が抑制されるわけではない[文献10]。

但し、レポート出版後20年経ってブキャナン自身がレポートを評価した論文[文献8]では、研究グループに対する委託事項には公共交通機関が含まれていなかったもので、レポートの中で公共交通機関を扱うことはできなかったと述べられている。

- ② 通過交通の排除しか考えられておらず、居住環境地域内部での地区交通の影響が無視されている。居住環境地域内部では通過交通が排除され交通量が減少するため、走行速度が上昇し、安全性が低下する危険性があるという指摘がなされている[文献11]。

実際、旧西ドイツのノルトライン・ヴェストファリア州で1977年～78年に行われた交通抑制実験の結果でも、住宅地域内の道路では沿道の住民も道路状況が許す限り高速で走行しているという観測結果が報告されている[文献12]。

- ③ 通過交通の排除のために、道路の遮断(幹線道路と地区内へのアクセス道路との交差点でアクセス道路を遮断するもの)、一方通行等の手段が考えられているが(図-1)、こうした手段をとった場合には環境地域内の住民も回り道をしなくてはならなくなる上に、燃料消費量、大気汚染等が増加する。また、道路の遮断、一方通行等の手段により、居住環境地域内へのアクセスは不便になるが、自動車の走行速度は影響を受けない(場合によっては、自動車の高速走行を促すことさえある)。

- ④ 通過交通の受け皿となる道路が存在しない場合には適用が困難である。受け皿となる道路が存在しない場合には、道路の新設、改良等が必要になり多額の費用がかかる。特に、既存の密集市街地では再開発等の手段と組合せないかぎり適用は難しい。この点は、道路の整備水準の低いわが国では特に重要な課題となる。

- ⑤ たとえ通過交通の受け皿となる道路が存在していても、沿道に住宅が密に立地している場合にはこうした道路に通過交通を転換させると、受け皿となる道路の環境はさ

らに悪化する。ところが、ブキャナン・レポートでは、こうした幹線道路の環境の悪化については考慮されていない。

また、幹線道路に通過交通を転換させると、幹線道路沿線の住民にとっては従来より環境が悪化する一方で、居住環境地域内の住民にとっては以前も幹線道路沿線よりはよかった環境がさらによくなるという不公平が生じる[文献7, 9]。

ハス・クラウは、英国ではブキャナンが「大規模な街路建設のプロモーター」であると誤解されたと述べている[文献3, p.174]。特に、レポート出版当時の運輸大臣マーブルズは、「ブキャナン・レポートでは自動車を素晴らしい、便利な発明であるとして受入れ、環境地域に注意し、よい環境を維持することに気を配りさえすれば、自動車を最大限利用すべきであると記述されている」と述べた。こうしたことから、ブキャナン・レポートでは自動車の交通需要に応えること以上の政策目標が示されておらず、結果として自動車の利用を増やし、自動車にもとづいた生活様式の採用を促すことになったという批判もなされた[文献7]。しかしながら、都市における環境の重要さと自動車交通の抑制が必要なことを指摘したことはブキャナン・レポートの重要な意義であり、これ以降の交通政策はブキャナン・レポートに立脚しつつ、その理想の実現を目指すことになる。

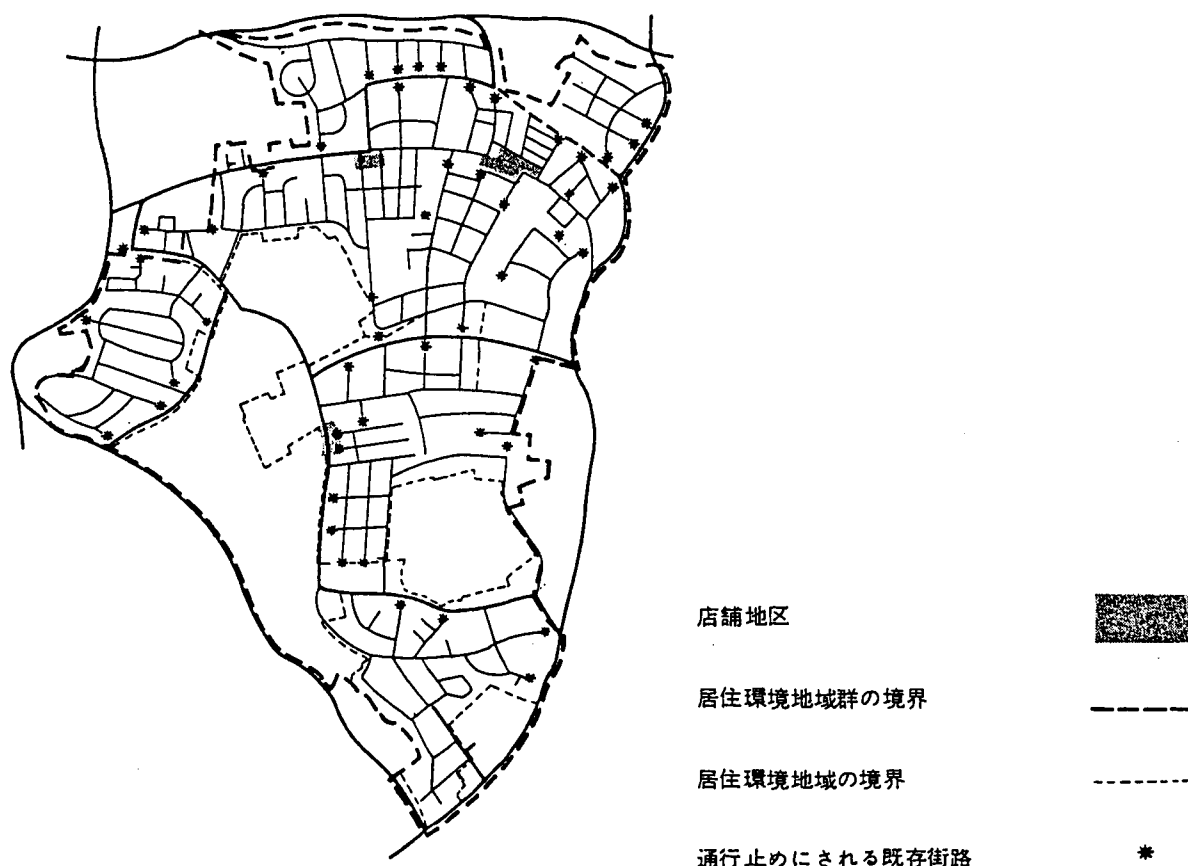


図-1 ブキャナン・レポートにおける通過交通排除のための手段—道路の遮断
[文献6, p. 106]

2.2 住宅地域における歩行者と自動車との分離

歩行者と交通機関との分離の典型はヴェネチアにおいて見られるが、ここでは主として住宅地における歩車分離に焦点を絞って記述する。

2.2.1 起源

近代において歩車分離が行われたのは、J. バクストンによって1844年に設計された英国リヴァプール近郊のベーケンヘッド公園におけるものが最初である。ベーケンヘッド公園では外周をかこむ馬車道と地形にそった不規則な歩道の二系統の道路が設けられ、歩車が分離されていた[文献13]。歩車分離は、オルムステッドとヴォーによって設計されたニューヨークのセントラル・パークにおいてさらに徹底した形で用いられた。すなわち、セントラル・パークでは公園を横断する4本の道路と、歩道、馬車道、及び乗馬用の道が設けられ、これらが原則として立体交差していた[文献13, 14]。都市内交通が公園を横切るための横断道路のレベルは公園のレベルより低くなっており、その上には多くのアーチ橋が架けられた。

公園で用いられた歩車分離システムは住宅地においても用いられた。英国で1886年に建設されたポート・サンライト(石鹼製造業者レバー兄弟—現在のユニリーバーによってリヴァプールの近くに建設されたモデル・タウン[文献15])では、歩行者専用道路を用いて部分的に歩車を分離した宅地開発が行われた。これは英国において歩車を分離した最初の宅地開発であった[文献3, pp. 47-48]。

また、セントラル・パークを設計したオルムステッドは1869年にイリノイ州リバーサイドで通過交通を排除するために曲がった街路(オルムステッドの表現によれば *gracefully-curved lines*)を用いた[文献16, p. 344]。さらに、リバーサイドの計画には広い緑地が含まれ道路幅員もさまざまであった。いくつかの区画には狭い道路が通じていた。曲がった街路は、ポート・サンライトにおいても用いられている。

英国では1875年の公衆衛生法によって、自治体の衛生担当局に道路構造を規制する権限が与えられた。1877年には標準条例が示され、その中では道路幅員について車の走る道路では11.0m、それ以外の道路では7.3mの最少幅員を確保するよう規定されていた[文献17]。つまり道路の必要幅員は交通量、地域の性格によって決められるのではなく、一律に衛生面の理由から決定され、単調な街路空間をつくり出す結果となった。

これに対して、20世紀初頭にR. アンウィンとB. パーカーによって住区ブロックの中に共同の庭を配した新たな住宅様式がつけられた。アンウィンとパーカーは、曲がった街路と異なる道路幅員、及び歩行者用道路を用いて交通の分離・低減を図った。特に重要なことは、1904年に田園都市レッチワースの設計競技で最優秀案となったプランでクルドサック(袋小路)が初めて提案され、ハムステッド田園郊外で広く用いられたことである[文献17]。但し、米国では1891年にオルムステッドによって設計されたバルチモアのローランド・パークにおいてすでにクルドサックが用いられていた[文献16, p. 348]。

ドイツでは、19世紀半ばすぎから産業資本家A. クルップによって建設された工業モデル・タウンで狭く曲がった街路が用いられ、通過交通の排除が図られていた[代表例はア

ルフレットホフとマルガレーテンヘーエで建設は1894年～1920年]。さらに20世紀初頭に田園都市協会によって低廉な住宅地がつくられた。こうした住宅地では居住ブロック内の緑道あるいは広場が重視され、緑道・広場につながる狭い街路が設けられていた。この街路は歩行者専用の場合もあり、こうした道路構成によって住民の自動車からの保護が図られていた(例えばブルーノ・タウトによって設計され1913年に建設された田園郊外ファルケンベルク[文献18])。但し、狭い街路が利用できたのは、ドイツでは自動車の普及が遅れており、自動車の通行や駐車に配慮する必要性が低かったためでもある。ハス・クラウによれば、ドイツで狭幅員の住区道路と歩行者専用道路が好まれたのは、中世の道路を理想としたカミロ・ジッテやゲッケの影響によるところが大きい[文献3, p. 70]。

ドイツでは、1917年に法律によって新たに建設される居住地域での道路の機能が定められた。すなわち、歩行者用道路、居住地域内の路地(lane)、住区道路(residential streets)、幹線道路(major streets)であり、それぞれの幅員は異なっていた。

2.2.2 ラドバーン方式

米国では1928年にC. スタインとH. ライトによって設計されたラドバーンがニュージャージー州に建設された。ラドバーンではスーパーブロックが採用され、ブロック内からは通過交通が排除された(図-2)。最も重要な特徴は、歩行者用道路と自動車用道路が分離され、この両者が地下歩道により立体交差していたことである。ブロック内部には広い緑地が設けられ、これらの緑地につながる歩行者用道路によって学校、公園等にアクセスすることができた。自転車歩行者道の延長は8マイル以上に達した。また、各住宅は正面を歩行者専用道路に向け、自動車は住宅の背後からクルドサックあるいはループ路によって住戸にアクセスするようになっていた。

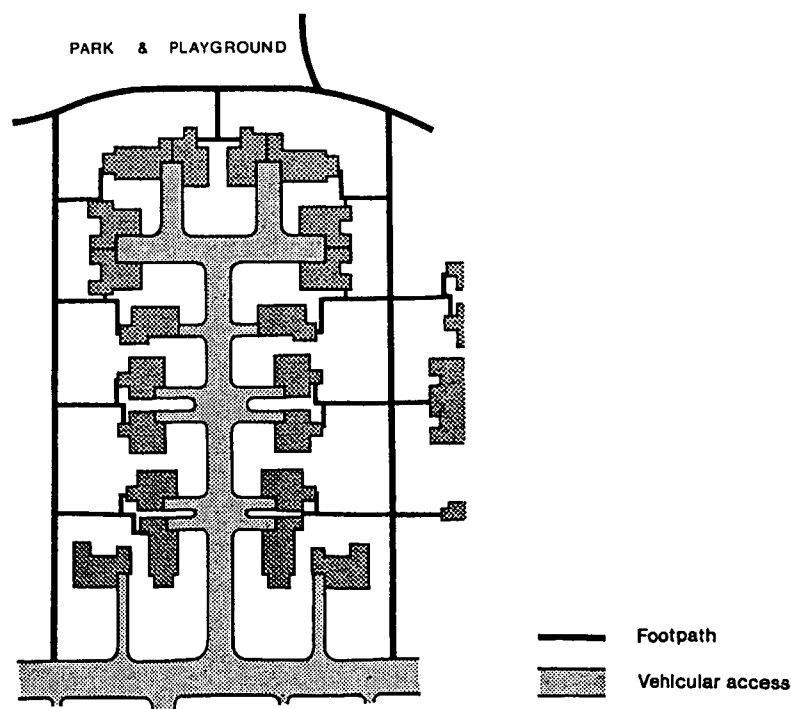


図-2 ラドバーン方式 [文献5]

米国では他の国よりもはるかに速い速度でモータリゼーションが進展した。特に1909年にはフォードT型の生産が開始され、モータリゼーションは一層進展した。米国では1914年までに120万台の自動車登録され、1930年には登録台数は2,300万台を超えた。これに対して、英国では1930年の自動車台数は106万台でしかなく、ドイツにおいては同じ年に49万台の自動車が存在していたにすぎない[文献3, p. 95]。しかも、当時ドイツでごく普通に行われていた道路の機能分類は米国では十分に用いられておらず、せいぜい都市内街路とパークウェイ・高速道路とが区別されていたにすぎなかった。このため、交通事故も深刻で、1923年には交通事故による死者は22,621名を数え、負傷者は67万8千名に達した[文献19]。こうした事情がラドバーン方式適用の背景にあったのである。

ラドバーンでは住居密度が7戸/エーカー(17戸/ha)と低かったことにも留意しなくてはならない。こうした低密度な住戸密度がラドバーン方式の成功に大きくあずかっていた。

Nordqvistによれば、ラドバーンでは最初の20年間に住区道路ではわずか1件の人身事故しか起こらず、交通安全の面では非常な成功を収めた[文献20]。

しかしながら、ラドバーンにおける交通安全面での成功にも拘らず、完成後10年の間ほかの住宅地ではほとんどラドバーン方式は採用されなかった。グリーンベルト(メリーランド州)、ボールドウィン(ウィスコンシン州)、グリーンヒルズ(オハイオ州)、ボールドウィン・ヒルズ・ヴィレジ(カリフォルニア州)等がラドバーン方式を採用した数少ない事例である。また、ヨーロッパでも第二次大戦前にはラドバーン方式は採用されなかった。これは、ヨーロッパ諸国では居住地域での交通量、特に居住道路の交通量が非常に少なく、ほとんど自動車交通のない道路と歩行者用道路を立体交差させる必要性が認識されなかったためと、ドイツや英国では自動車用の道路とは独立した歩行者用道路が一般的に用いられていたためである。

ヨーロッパでは第二次大戦後のモータリゼーションの進展がラドバーン方式の必要性を高め、第二次大戦後に建設された英国のニュータウンにおいてラドバーン方式が大規模に採用された。Dupreeによれば、1950年代におそらくバジルドンでラドバーン方式が初めて採用され、その後10年以上にわたってニュータウンにおける支配的な形態となった[文献5]。但し、歩行者・自転車道のための立体交差が広く用いられたわけではない。

2.2.3 路面共有アクセス道路

しかしながら、ラドバーン方式が広く適用される中で、次のような問題点が現れてきた：

- ① 自動車を戸口の前につけることができないため、緊急時、慶弔時などには不便；また、配達車両等も直接戸口に車をつけることができない
- ② 家から駐車場所まで50ヤード(46m)程度の距離があり、これを苦痛であると感じる住民もいた
- ③ 自動車で訪問した人は家の中へ裏口(台所)から入ることになる
- ④ 子供たちは常に歩行者用道路と家の前の芝生で遊んでいるわけではなく、自動車のための道路でも遊んでいた；さらに、家の裏側にある台所からは家の前の芝生で遊んでいる子供を見守ることができない

⑤ バス等の公共交通機関の経路が遠回りになる

⑥ 住戸密度が高くなると(例えば1964年につくられ、ラドバーン方式を全面的に採用したバジルドンのレインドン・イースト地区では住戸密度は17戸/エーカー(42戸/ha)であった[文献5]), 自動車のアクセスのためのクルドサックと駐車スペースが大規模にならざるをえず, 自動車のための施設が住宅地域の大部分を占め, 歩行者用道路と自動車用道路の二系統の道路をつくるだけの土地の余裕がなくなってしまう

こうしたことから, ラドバーン方式に代わる新しい原理が模索された。その結果現れたのが「路面共有タイプのアクセス道路」であり, 1966年に設計されたランコーン・ニュータウンのザ・ブラウ地区(The Brow)において初めて用いられた(図-3)。ランコーンではこれに先立つ1964年にハルトン・ブルック地区(住戸密度は20戸/エーカー(49戸/ha))でラドバーン方式が採用されたが, 平凡な住宅地に終わったことから, 新しい原理が追究されていたのである。ザ・ブラウ地区ではアクセス道路の形態はクルドサックを基本とし, 各クルドサックの周りには6戸程度の住戸が配置され, 住戸密度は37戸/haであった。

路面共有タイプのアクセス道路には縁石がなく, 歩車道は区別されていなかった。自動車の速度を低下させるために, 狭い道路幅員, 小さな曲線半径, 短い見通し距離, 舗装路面の変化等が取入れられていた。さらに, 自動車は住戸の正面までアクセス可能であった。

路面共有方式はその後ワシントンを始めとする多くのニュータウンで採用され, 1973年にはエセックス州とチェシャイアー州の建築デザイン・ガイドにとり入れられ, 1977年には英国運輸省の居住道路と歩行者用道路の指針にも採用された[文献21]。英国運輸省の指針の中でも示唆されているように, 路面共有は英国で伝統的に用いられていたミューズ(mews)を新住宅地に適用したものである。ミューズとは, 「小規模な取り囲まれた空間で, 住居群へのアクセスのための場所となる, 歩車共用の空間であり, 建物の壁面線まで歩車共用の舗装が施されている」[文献22]。

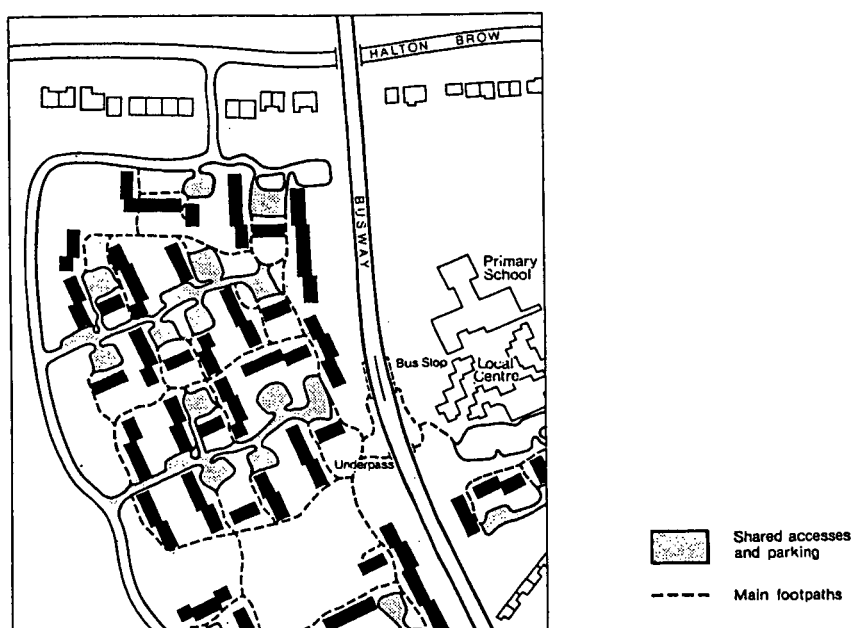


図-3 路面共有アクセス道路ーランコーン・ニュータウン, ザ・ブラウ地区 [文献5]

1977年に英国運輸省から出された指針は1992年に改定された。その中では路面共有道路の安全性は良好であると述べられており、さらに住民によって路面共有道路の親しみやすいスケールと魅力的な景観が高く評価されていると記述されている[文献23]。但し、路面共有道路がサービスする住戸の数は最大でも25戸(ループ状になっている場合には50戸)に制限されている。

2.2.4 SCAFT指針

スウェーデンでは英国と同様にラドバーン方式が1950年代に多くの居住地域で適用され、1968年にはSCAFT指針が作られた。SCAFT指針では居住地域の設計に対して、交通安全の観点から以下の四点が推奨されている[文献20]：

- ① 交通量とコンフリクトを減らすために、活動を分散させる
- ② 時間的・空間的に歩行者・自転車利用者と自動車とを分離する
- ③ 異なった性格の交通を区別し、それぞれの交通流ができる限り均質になるようにする
- ④ 明確さ、簡潔さ、統一性を与え、意思決定を容易にする

しかしながらSCAFT指針に対しては、住宅地が画一的になりやすい、公共交通機関に対する考慮がなされていない、さらに経済性に劣るといった批判が行われた。また、厳格な交通分離に対する批判もなされ、こうした批判がオランダにおけるボンエルフの創造へとつながった。ボンエルフについては後で述べる。

2.3 都心における歩車の分離

都心における歩行者と自動車の分離については、パサージュもとり上げるべきであるが、紙面の都合もあるので、ここでは都心における自動車規制だけをとり上げることとする。

都心での車両の通行に対する規制はドイツでは一般的であった。ハス・クラウによれば、バウマイスターはすでに1876年に道路の中央に盛上がった境界が設けられ、車両は通り抜けることができない道路がシュツットガルトに存在していたと述べた[文献3, p. 87]。さらに、エッセンの主要な買物通り(ブルクシュトラーセ、バッハシュトラーセ等)では1904年10月には警察の規制によって自転車と自動車の進入が禁止されていた。また、ケルンの都心の主要な買物通り(ホーエシュトラーセ、ブライテシュトラーセ)でも1921年6月には警察の規制によって時間的(11時～13時及び17時～19時)に車両の進入が禁止された。ブレーメンのゼーゲシュトラーセでは1930年まで自動車は歩く速度での走行しか認められていなかった。ダンチッヒでは1929年に都心を歩行者空間化しようという提案が行われた(実施されたのは第二次大戦後)。

米国でも自動車交通の規制は一般的であったが、英国ではこうした規制は珍しかった。なお、ブエノス・アイレスでは1911年に遊歩道として使われていた都心のフロリダ通りで11時～21時の間車両の通行が禁止された。フロリダ通りではこれ以降車両が排除され、1971年には完全な歩行者空間となった。

英国では1930年代に道路から自動車を締め出す規定が設けられていた。例えば、1934年の

マンチェスターの法律では指定道路でない街路(non-classified streets)を時間的に遊び場街路(play streets)に転換することができた[文献3, p. 156]。

第二次大戦後オランダのロッテルダムの再建の一環として、新しい買い物のための道路リンバーンが1953年に建設された。リンバーンは非常な成功を収め、英国のニュータウンの都心の計画に影響を与えた。ステイヴネイジ、ハーロウ、カンバーノルド等のニュータウンでは都心に歩行者空間が設けられた。また、1953年にはコヴェントリーの都心の歩行者空間もオープンした。この歩行者空間はブキャナン・レポートで「ヨーロッパで最も興味深い計画」と評されたものである。

ドイツでは戦後約20年の間大規模な道路投資による道路建設が行われ、自動車交通を抑制しようという動きは都心の歩行者空間化において示されただけであった。但し、1960年から始められたブレーメンのゾーン・システムは注目に値する。ブレーメンでは都心は四つのセルに分けられ、自動車交通は都心環状道路によってセルに出入りできたが、セル相互の移動はできなかった。この方式は非常に効率的に機能したにも拘らず、ドイツの他の都市では採用されず、スウェーデンのGothenburgで採用された。

2.4 交通静穏化と速度の抑制

交通静穏化はドイツ語のVerkehrsberuhigung及びこれに対応する英語 Traffic Calming に対して与えられた訳語であり、広い意味でも、また狭い限定的な意味でも用いられる[文献3, p. 4]。広い意味では交通静穏化は、既成市街地での自動車の走行速度の低減に加えて、徒歩、公共交通機関、そして自転車の利用推進を含む総合的な交通政策を意味する。広義の交通静穏化には交通政策と土地利用政策との調整も含まれ、この調整によって自動車トリップの数を減らし、さらには自動車トリップの必要性を少なくすることができると考えられている。

一方狭い意味では、交通静穏化は都市地域で自動車の走行速度を低下させる政策であると見なされている。居住地域の道路の中には、さらに低い速度にまで抑制することが望ましい道路もある。この種の交通静穏化は、次のような三つの目的をもっている：

- ① 既成市街地における事故の件数と程度を減少させること
- ② 大気汚染、騒音等の環境問題を改善すること
- ③ これらと同時に、自動車を利用しない人々にとっての街路の環境を改善すること

交通安全面では、交通静穏化によって既成市街地での自動車の走行速度を30 km/h以下にすることがめざされている。これは、過剰な速度が事故の原因となっているばかりではなく、死亡・重傷事故を増加させているという認識にもとづいている[文献24]。英国での研究によれば、歩行者が20 mph (32 km/h)で走行している車両と衝突した場合にはわずか5%が死亡するだけで大部分は軽傷ですみ30%は全く負傷しないが、走行速度が30 mph (48 km/h)ならば45%が死亡し多くは重傷を負い、走行速度が40 mph (64 km/h)ならば85%が死亡するという結果が得られている[文献25]。さらに英国の交通研究所(TRL)が行った国際的な事故分析の結果によれば、平均走行速度が1 km/h低下すれば負傷事故は5%、死亡事故は7%

減少する[文献25]。交通事故の低減に加えて、速度が低下すれば道路を利用する人々、特に歩行者が感じる安全感が向上することも交通静穏化では強調されている[例えば、文献26]。

本稿では、交通静穏化の概念を狭い方の意味で用いることとする。したがって、交通静穏化と速度抑制とを同義の概念として扱う。

交通静穏化と先に述べたブキャナン・レポートによる環境地域の考え方[文献6]との違いは、以下の点にある。すなわち、

- ① 従来の手法では自動車交通は道路で行われる生活活動や道路上で弱い立場にある歩行者・自転車利用者とは相容れないものであるとの信念のもとに、歩車を分離することを主目的としていた。これとは対照的に、交通静穏化ではある程度までの自動車交通は都市の生活と調和すると考えられている。
- ② さらに、従来の手法特にブキャナン・レポートでは速度抑制には重点が置かれておらず、通過交通の排除を主眼とし、居住環境地域内部での地区交通の影響は無視されていた。居住環境地域内部では通過交通が排除され交通量が減少するため、走行速度が上昇し、安全性が低下する危険性があると指摘されている。これに対して、交通静穏化では自動車交通と都市の生活とを調和させる秘訣は、ゆっくりとした速度と停止・発進の少ない定常的な運転方法にあると考えられている[文献11]。

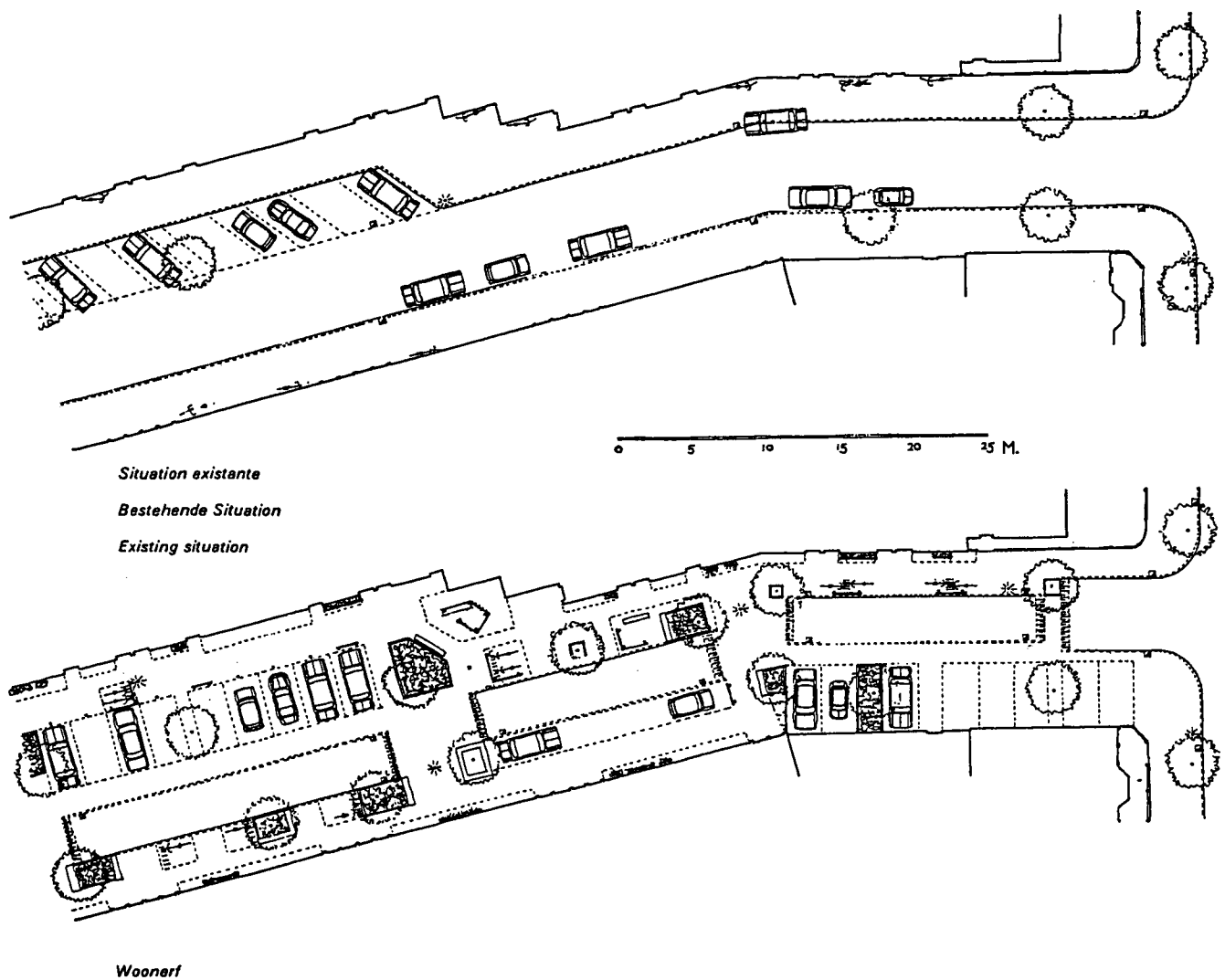
つまり、交通静穏化の主要手段は速度の抑制であり、30 km/h規制、道路の構造の変更、自動車のための空間の削減によって速度の抑制を達成する。「定常的な運転」が強調されるのは、停止・発進が少なくなれば、騒音が低減し、時間損失、環境への影響も少なくなるからである。

2.4.1 交通静穏化の歴史

(1) ボンエルフ

そもそも、交通静穏化は1960年代の終わりと70年代の初めにかけて、よく知られたボンエルフという概念によってオランダで発達したのが起源であり、それ以後発展をとげほかの多くのヨーロッパ諸国で適用された。

ボンエルフという名前の起源については、1963年にEmmen大学の都市計画科の教授であったNiek De Boerが、Emmenニュータウンに対して助言するために、子供たちの遊びと自動車利用との共存を可能にする街路デザインについて研究を行い、運転者が自分自身の庭を運転しているかのように感じるクルドサックをデザインし、これにボンエルフという名をつけたのが最初であるといわれる[文献3, p. 212]。De Boerのアイデアは、デルフト市によって取上げられ、成功を収めた[文献27, 28]。ボンエルフの特徴は、歩道と車道の区別をなくすことによって歩行者と自動車を共存させ、安全性の向上と環境の改善を図った点にある(図-4)。ボンエルフでは自動車はゆっくりと歩く速度で走行し、歩行者に対して優先権をもたないのである。



上段：現状 下段：ボンエルフ

図-4 ボンエルフ

1970年代には、ボンエルフがヨーロッパ各国でとり入れられたが[文献29]，次のような理由で急速にすたれてしまった[文献30]：

- ① ボンエルフの設置にあたっては，自動車交通需要がもともと少ない(ピーク時で100台/h以下)街路を対象に，地区内の自動車利用を極端に不便にしない範囲で適用街路が選択されており，適用できる範囲が狭かった[文献31]。
- ② 歩道と車道の区別をなくすためには道路の改修が必要な上に，上質の舗装材料を用い，植栽を行い，さらに実施に当たって住民参加を求めたために，ボンエルフの実施には多額の費用がかかった[文献9]。
- ③ オランダのアイントホーフェンとライスバイクで実施されたボンエルフの面的導入実験での住民アンケートによると，「歩行環境がかえって悪化した」，「導入前より子供や

老人の歩行者にとって危険になった」等の評価がなされ[文献32]、住民はボンエルフに対して安全性が向上したという肯定的な評価を与えなかった[文献33]。

上記②のような理由でボンエルフの整備には、多額の費用と長い時間とがかかった。しかしながら、居住地域での事故は必ずしも特定の地点に集中して起こるわけではなく、居住地域全体で散発的に発生している場合もあり、安全性の向上のためには事故多発地点を対象にした対策をとるだけではなく、居住地域全体をカバーできる、費用が安く、適用も容易な事故防止方法を見出す必要があった[文献9]。また、ボンエルフを整備すると自動車ボンエルフを避けて走行するために、ボンエルフ周辺の道路の交通量が増え、周辺道路での事故の増加、環境の悪化等の虞があるとの指摘も行われていた[文献9]。

こうした理由で、1980年代には交通静穏化の主役は、ボンエルフから広がりをもった地域を対象とした、走行速度の面的な30 km/h規制へと移行した。地域全体を対象とした交通静穏化では、ボンエルフとは異なって道路の改修は部分的なもので済む上に、地域を対象とした速度規制が法制化されたため導入はさらに容易になった。1980年代後半には、交通静穏化の対象は居住地域から都市全体へと広がりを見せた。こうした地域あるいは都市全体を対象とした交通静穏化では、(旧)西ドイツがヨーロッパにおいて指導的な役割を果たした。

なお、ボンエルフのように歩車道を区別せず歩行者と自動車とが路面を共有するタイプの道路は、現在ではもっぱら居住地域の少数の住戸にアクセスするための道路において利用されている。但し、歩車道のレベル差をなくしたまま歩道と車道の路面デザインを変えたり、歩道をわずかばかり盛上げることによって歩車道を分離した、いわゆる「ソフトな歩車分離」がなされた道路は居住地域に限らず広く用いられている[文献34]。

(2) 居住地域における面的な30 km/h規制

ドイツにおける大規模な交通静穏化の嚆矢となったのは、1977年～78年にノルトライン・ヴェストファリア州で行われた住宅地での交通静穏化の実験、1977年にウンターハッチング(Unterhaching; ミュンヘン郊外の住宅地)で実施された研究プロジェクト、そしてベルリンのシャルロッテンブルク(Charlottenburg)で実施された実験である[文献3, pp. 214-219; 文献35]。ノルトライン・ヴェストファリア州での実験についてはわが国でも紹介された[文献12]。

ノルトライン・ヴェストファリア州での実験の対象地域は居住地域に限られ、幹線道路には影響を及ぼさないことが厳格に決められており、実験対象に選ばれた街路はピーク時の交通量が500台を超えないものであった。

実験の結果、面的な交通静穏化によって交通事故件数の低下と事故の程度の軽減が達成され、自動車の平均走行速度が低下し、騒音・大気汚染等の環境問題も改善されることがわかった。このため、面的な交通静穏化がボンエルフに代わって流行することとなったのである。(旧)西ドイツでは、1979年までに既に96の地区で交通静穏化が実施され、このうち67は19世紀末にできた高密度な既成居住地域に存在していた[文献3, pp. 217]。さらに、1980年には道路交通法(StVO)に交通静穏化街路の規定が取入れられ、この街路の始点と終点を表わす標識(no. 325/236)が規定された[文献36]。この交通静穏化街路は、基本的に歩車道の

区別をしない単断面のボンエルフと同等の構造をもつものであった。しかしながら、導入コストが高く、適用範囲が狭かったために、それほど急速には普及しなかった。

ノルトライン・ヴェストファリア州の実験で規制速度30 km/hが居住地域全体へ面的に適用されたのは、30 km/hならばある程度長い距離にわたって自動車の走行が可能であるという判断があったものと考えられる。さらに、自動車の走行速度が30 km/hにまで低下すれば、死亡事故・重傷事故を減らすことができるという点も30 km/h規制の導入にあたって強調された点である。また、規制速度を40 km/hとすると実質的には50 km/hでの走行も許容されることになり、速度を規制する意味がなくなってしまうとの指摘もなされている。実際、ドイツでは40 km/h規制についても実験が行われたがうまくいかなかったため、現在では40 km/h規制は行われていない[文献34]。

ノルトライン・ヴェストファリア州での実験等を通じて、ハンプ、シケイン等の交通静穏化のための手段は広く知られ、適用されるようになったが、1970年代の終わりには次のような問題点が未解決のまま残っていた[Keller(1989)]：

- ① 交通静穏化された地区は画一的な印象を与えた
- ② 自転車交通にはほとんど配慮が払われていなかった
- ③ 交通静穏化の適用は居住地区に限定されており、他の用途の地区での適用は行われていなかった
- ④ 通過交通と事故が集中する幹線道路において適用すべき対策はまだ確立されていなかった

(3) 都市の一部を対象にした交通静穏化

1980年に(旧)西ドイツ連邦政府の都市計画省、交通省、内務省とこれらの省の研究所が共同で地域全体を対象にした交通静穏化の実験プロジェクトを開始した。この実験で交通静穏化が実施された地域は、ノルトライン・ヴェストファリア州における実験よりはるかに広がった[ノルトライン・ヴェストファリア州での実験では対象地域の人口は5,000人～20,000人で面積は1km²以内であったが、1980年に始まった実験では人口3万人以下、面積1km²～3km²の地域が選択された]。さらにノルトライン・ヴェストファリア州での実験とは異なっており、幹線道路と商業地域も実験対象に含まれていた。また、歩行者・自転車利用者に加えて公共交通機関を優遇することと面的な交通静穏化をより少数のかつ簡単な手段を用いて低廉に達成することも実験の目的となっていた[文献37]。この実験の対象となった地域の概要は表-1のとおりである[文献9]。

実験対象都市の一つであるブクステフーデでは、町の北半分を対象にして面的に交通静穏化が実施された。すべての地域に30 km/h規制が適用され、交差点では右側車両優先規則が導入され(これによって交差点が速度抑制装置として機能するようになる)、また車道の狭窄が行われた。さらに、歩行者・自転車道のネットワークがつくられた。日交通量16,000台の買物通りであるバーンホフシュトラッセでは、交差点の盛上げが実施された。交差点は歩道の高さ(約100 mm)にまで盛上げられ、ゆるい勾配(1:25)の斜路が設けられた[文献34]。これは、幹線道路に設置された交通静穏化手段としてよく知られている事例である。

表-1 ドイツにおける交通静穏化実験対象地域

都 市	都市人口	地域の特性	地域面積	地域人口	費用(百万DM)
ベルリン	190万人	大都市の都心周辺部	1.2 km ²	3万人	5.5*
ボルゲントライヒ	2,300人	村全体	2.5 km ²	2,300人	6.5
ブクステフーデ	3.3万人	中規模都市の北半分	2.5 km ²	1万人	5.0
エスリングェン	8.7万人	中規模都市の都心周辺部	1.5 km ²	1.1万人	15**
インゴルシュタット	9.1万人	中規模都市の歴史的な都心部	1.2 km ²	5,500人	18**
マインツ	10.5万人	大都市郊外の古い村	2.5 km ²	1.2万人	3.2**

(注) *: 幹線道路を除く **: 推定値

実験結果によると、自動車の走行速度は最大で20 km/h低下し、騒音・大気汚染等の環境問題も改善された(騒音レベルは最大で6 dB(A)低下; NO_xの排出量は30%~50%低下, COの排出量は20%~25%低下, HCの排出量は10%~25%低下)。交通安全面でも重傷事故は2/3に、軽傷事故は1/3に減少した[文献9, 37]。さらに、ブクステフーデではショッピングが再び上向きになり、隣接したハンブルクへ自動車で買い物に出かける人の数が減少し、町は再び観光客を引きつけるようになった[文献35]。

この実験によって交通静穏化は美的な要素を手に入れ、従来の画一的な印象を払拭することができるようになった。また、簡単な交通静穏化のための手段を用いるのであれば、費用を安く抑えることが可能なこともわかった。

さらにこの実験では、交通静穏化のための手段は、居住地域の道路だけではなく、より格の高い集散道路、幹線道路にも適用された。こうした道路においては、居住地域の道路に適用された手段をそのまま適用するのではなく、自転車通行帯、駐車帯が設置されたほか、歩行者のための広い歩道が確保され、速度抑制のためにゆるやかな勾配のついた斜路を有する盛上げ舗装が用いられた[文献35]。

3. わが国における交通静穏化

わが国初のコミュニティ道路は1980(昭和55)年度に大阪市阿倍野区長池に作られた。長池のコミュニティ道路は大阪市が単独事業で実施したものであるが、翌1981(昭和56)年度から特定交通安全施設等整備事業においてコミュニティ道路の整備が国庫補助事業として実施されてきている[溝口(1983)]。また、大阪市長池にコミュニティ道路がつくられた1980年には、宮城県七ヶ浜町汐見台ニュータウンにおいて、入口に台形ハンプを設け、イメージハンプとフォルトを設置した細街路がつくられた。

コミュニティ道路、汐見台の細街路の双方ともオランダのボンエルフを範とし、ボンエルフをわが国に導入しようという意図のもとに事前に十分な調査・研究を実施した上で導入が行われ[文献38, 39]、その後のコミュニティ道路及び住宅団地における道路設計に大きな影響を与えた。

平成8(1996)年には、コミュニティ・ゾーン形成事業が創設された。『コミュニティ・ゾーン』とは、「歩行者の通行を優先すべき住居系地区等において、地区内の安全性・快適性・利便性の向上を図ることを目的として、面的かつ総合的な交通対策を展開する、ある

一定のまとまりをもった地区である」と定義されており[文献40]、面的な地区を対象として総合的な交通対策を実施する点に大きな特徴がある。コミュニティ・ゾーンにおいて展開される総合的な交通対策を「地区総合交通マネジメント」と呼び、ソフト的手法(最高速度の区域規制等の交通規制等)及びハード的手法(ハンプ等のデバイスを設けた道路構造)を適切に組合わせて計画・管理を行うこととされている[文献40]。さらに、施策の実施にあたっては、道路管理者、公安委員会のほか、地元住民、関係機関を交えた体制で取り組むべきことが要請されている。

コミュニティ・ゾーンについては、平成8(1996)年度に23箇所、9年に55箇所、10年に96箇所、11年には110箇所で開催されている(複数年にわたって実施されている事業はそれぞれの年度に重複計上されている)。H11(1999)年度までに38地区で事業が完了している。

コミュニティ・ゾーン形成事業完了後の評価は、いくつかのゾーンにおいて実施されている。ここでは、文献41、42、及び43をもとにして、コミュニティ・ゾーンの評価をとりまとめる。文献41及び43はどちらもコミュニティ・ゾーン形成事業の最初の事例のひとつとしてJR三鷹駅南西部の面積77 ha、人口約9,400人の住宅地域において実施された事業を評価対象としている。文献42は、名古屋市緑区の幹線道路と団地に囲まれた面積22ha、人口約1,500人の戸建て住宅の多い住宅地(長根台地区)において整備されたコミュニティ・ゾーンを対象に事後評価を行ったものである。

三鷹市コミュニティ・ゾーンの対象地区においては、朝の通勤時間帯に発生する自動車の通過交通が問題となり、コミュニティ・ゾーンが導入された。当該地区内の道路は幅員が狭く、区画道路及び地区の西端にある「市境通り」は幅員4mである。整備前後の交通事故件数を比較すると、整備前(平成6年及び7年)には4件の重傷事故、58件の軽傷事故が発生していたのに対し、整備後(平成9年及び平成10年)の重傷事故は1件、軽傷事故は27件とほぼ半減している。ただし、事故の内訳を見ると、自動車に関係する事故が大幅に減少しているのに対して、自転車に関係する事故はそれほど減少していないという問題がある。また、道路の種類別に見ると、幹線的な道路では事故が大きく減少しているのに対して、区画道路以下の細街路での減少率は低い[文献41、43]。

当該地区での評価結果をもとにすると、狭幅員道路における交通静穏化手段として効果の高いものが少ないことがわかる。三鷹市コミュニティ・ゾーンでは、狭幅員道路に狭帯が導入されているが、速度抑制効果が低く、特に二輪車に対しては速度抑制効果が少ないことが指摘されている[文献43]。もっとも、この点についてはデザイン上の問題がないわけではない。デザインに関して注意すべきは、わが国のコミュニティ・ゾーン、コミュニティ道路の設計が平面的で、垂直の要素があまり用いられていないことである。つまり、狭帯の場合なら、平面図の上で幅員を狭くすることは行われているが、これだけでは速度抑制装置としては十分に機能しない。幅員を狭くすると同時に、狭帯部分に植栽、ポラード(駒止め)等の垂直方向の要素を設け、物理的にも視覚的にも幅員が狭くなっていることを強調する必要がある。同じことは、フォルト、シケインのデザインについてもいえる。

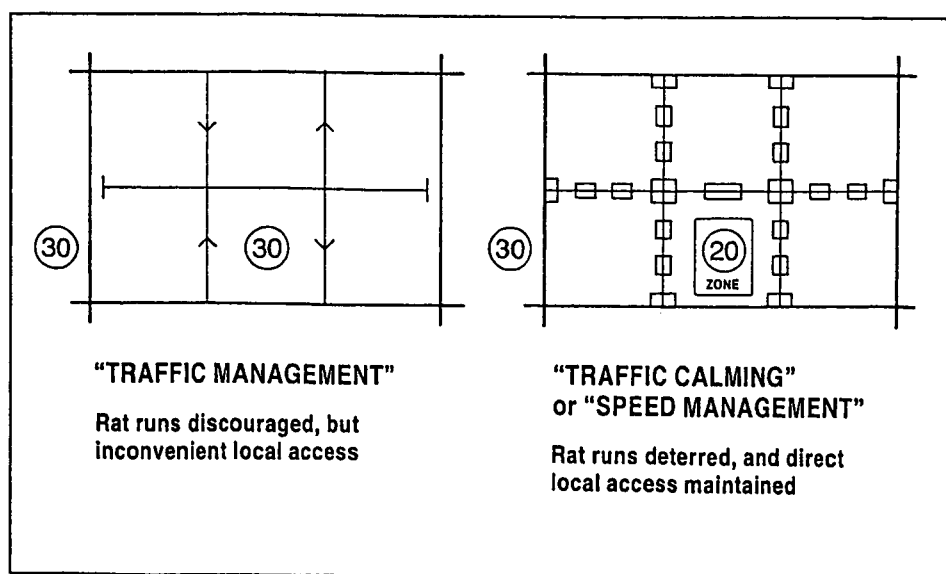
なお、ハンプは欧州諸国では交通静穏化のために多用されているが、わが国では自動車通過時に騒音・振動が発生するという理由から地元の理解がえられず、設置数は少ない。このこともわが国における交通静穏化をむずかしくしている原因のひとつであり、騒音・

振動の発生が少なく、速度抑制効果の高いハンプの開発が望まれる。

名古屋市長根台地区では、通勤時間帯に幹線道路の渋滞を避け、地区内の生活道路を抜け道として利用する自動車が多く、また地区の北西部にある地下鉄駅の利用者が地区内に自動車を長時間路上駐車させることが問題となっていた。このため、当該地区においては、コミュニティ道路、輔車共存道路、交差点对策、一方通行規制、駐車規制等の対策がとられた。

整備後地区住民にアンケート調査を行ったところ、路上駐車と走行速度抑制の効果があつたという評価がえられている一方で、自動車交通量については減ったという評価がえられていない。また、快適性及び景観の向上については住民の評価が高いが、安全性及び利便性については不満が高い。これは、当該地区に坂が多いこと、見通しが悪いこと、夜道が暗いこと、自転車とのすれ違いに不安を感じている歩行者が多いこと、などの理由による。コミュニティ・ゾーンにおける自転車の扱いについてはまだ確立した対策がなく、今後の課題となっている。前述したように、わが国の住区内道路の幅員が狭いことも自転車の扱いをむずかしくしている。

さらに、事業後の地区内を自動車・バイクで走行するときには不満を感じる点をきいたところ、一方通行が多いことが一番目にあげられている。これは、通過交通を排除することを目的として導入された一方通行が地区住民の利便性を損なっている例である。実は、欧州諸国で実施されている面的な速度抑制策(英国の20mphゾーン、ドイツのテンポ30など)では、地区住民の生活が不便になるという理由で一方通行は推奨されていない。その代わりに、物理的な速度抑制手段を用いた自動車の走行速度の徹底した低減が図られている(図-5)。こうした速度抑制によって通過交通を排除しようというのである。わが国でも、こうした点に留意する必要がある。



一方通行規制、道路遮断を用いて通過交通を排除できるが、アクセスは不便になる(左図)。速度抑制によって通過交通を排除しつつ直接的なアクセスを確保することができる(右図)。

図-5 英国デボン州の交通静穏化のための指針 [文献44]

4. 交通安全対策の比較

交通安全対策については、わが国ばかりではなく海外の諸国においても重要な問題としてとり上げられ、さまざまな対策がとられている。ここでは、わが国の事故多発地点緊急対策事業及び英国の交通安全戦略をとりあげ論じる。

4.1 事故多発地点緊急対策事業

平成8(1996)年度を初年度とする「特定交通安全施設等整備事業7箇年計画」においては、「事故多発地点緊急対策事業」を主要施策として位置づけ、道路管理者と公安委員会との連携により事故削減策を集中的に実施している。

本事業では、事故が集中して発生している箇所のなかから、特に緊急度の高い箇所として、「10年間に1件以上の死亡事故が再起して発生する可能性が高い箇所」を以下の基準により抽出している。

- ① 4年間で24件以上の人身事故が発生している箇所
- ② 正面衝突、追突等の事故類型に応じて換算した死亡事故件数が4年間で0.4件以上となる箇所(事故類型別に、人身事故に占める死亡事故の比率を算出し、各多発地点ごとの事故類型別事故件数と掛合わせることによって換算件数を算出している)
- ③ 死亡事故が4年間で2件以上発生している箇所(平成2～5年の交通事故統合データベースを使用して抽出)

この結果、全国で3,196箇所(交差点部1,713箇所、単路部1,483箇所)の事故多発地点が抽出された。交差点部の事故多発地点は、交通量の多い人口集中地区(DID)に80%が集中しているが、単路部の事故多発地点は、人口集中地区(49%)だけでなく、平地部(23%)、その他市街地(17%)、山地(11%)にも存在する。また、事故の類型別に見ると、交差点部では、追突事故、右折時事故が多く発生している。単路部では、追突事故が多く発生している。

事故多発地点では、道路管理者及び公安委員会が協力して、それぞれの地点ごとに事故要因を特定した上で、重点的な事故対策を進めている。事故多発地点で実施されている主な対策は、表-2に示したとおりである[文献45]。

事故多発地点のうち、平成8年度に何らかの対策が実施された246箇所について、対策実施前後の事故件数を比較すると、表-3のようになる。なお、対策実施前の5年間の平均値を「対策前の事故件数」とし、対策実施後1年間の事故件数を「対策実施後の事故件数」としている。表-3からわかるように、交差点部においては29%、単路部においては18%の事故減少が見られ、全体として25%の事故削減効果があった。特に削減率が大きかったのは、単路部における車両単独事故(▽76%)、交差点部における人対車両事故(▽60%)である。

表-2 事故多発地点における主な対策

	道路管理者	公安委員会
単路部	道路照明 視線誘導標 車道外側線，車道中央線，車道境界線 路面標示(文字，マーク，矢印等) 舗装改良	高輝度道路標示 法定外標示(文字，マーク，矢印等) 横断歩道 信号機設置 標識の大型化(灯火式，大型，可変)
交差点部	道路照明 路面標示(文字，マーク，矢印等) 右折レーン 舗装改良 交差点のコンパクト化	信号現示改良 横断歩道 信号既設置 進行方向別通行区分 導流帯

(注) 文献45による。

表-3 対策前後の事故件数

	対 策 前 (件)	対 策 後 (件)	増減 (%)
単路部	461	376	▽18
交差点部	719	511	▽29
全 体	1,180	887	▽25

(注) 文献45による。

4.2. 英国の交通安全戦略

英国では1989年に「2000年までに1981年から1985年までの交通事故による平均死傷者数の1/3を削減する」という目標をたて、交通安全対策がとられてきた。この目標はかなり野心的と思えるが、「困難ではあっても達成可能である」との判断がなされ、目標達成のための努力が払われてきた。道路利用者、事故の程度別の目標削減率は、表-4に示したとおりであり、歩行者、二輪車利用者に対して大きな削減目標が設定されている。自動車の乗員の削減率が低いのは、1970年代に自動車の安全性が高まり、車両相互の事故、車両単

独事故が少なくなっていたためである[文献46]。

対策をとった結果、1997年末までに死者数は37%、重傷者数は42%減少し、よほどのことがない限り死亡と重傷者については目標を達成できる見込みである。ただし、軽傷者は16%増加している。これは、一つには軽微な事故であっても報告されるようになってきたこと、また一つには従来重傷にまでいたっていた事故でも軽傷で済むようになったことが原因としてあげられている[文献46]。

表-4 英国の1989年交通安全戦略における目標削減率 (%)

道路利用者	死 亡	重 傷	死 傷 計
歩 行 者	40	40	35
子供の歩行者/自転車利用者	40	40	35
自転車利用者	33	33	33
二輪車利用者	60	65	40
酒飲み運転による死傷者	50	50	50
その他の自動車利用者	17	9	40
死 傷 者 全 体	33	33	33

(注) 文献47による。

英国における事故対策の主要な手段のひとつに速度抑制策がある。面的な地域を対象とした速度抑制策(20mphゾーン)の導入が速度抑制策の柱となっており、ハンプ、シケイン、狭窄などの手段によって、自動車の走行速度の抑制が図られている。さらに、村落を通り抜ける幹線道路を走行する自動車の走行速度が高く危険なことから、村落の入り口部分における道路線形の分節(まっすぐな道路を視覚的に分断する)、舗装路面の変更、標識の設置などによってゲートを形成し、運転者に村落という異なった環境に入ったことを認識させるという手段もとられている[文献25]。

5. 結びにかえて

わが国において今後交通安全対策を進めていく上で重要なことは、まず第一に明確な目標を定め、その目標を達成するのに必要な対策は何かを科学的な根拠にもとづいて検討することである。

対策の検討にあたっては、さまざまな対策の費用と効果を明らかにし、効果の高い対策を選択する必要がある。しかしながら、これまでわが国では交通安全対策の費用及び効果に関する研究が十分行われているとはいいがたく、今後の研究の進展に期待されるころは大きい。

さらに、わが国では今後急速に高齢化が進展する。しかもこれから高齢者となる人々はモータリゼーションの発展とともに生活を行ってきたことから、高齢になっても自動車が

重要な移動手段のひとつとして選択される可能性が高い。したがって、高齢者の身体能力、運転能力、さらには交通行動特性をきちんと把握した上で、高齢社会における交通計画を立案し、交通安全対策を実施していく必要がある。ただし、すべての人々が健常なまま高齢を迎えるわけではなく、交通行動を行いたくても行えない人々が存在することを忘れてはならない。こうした人々の交通モビリティを確保することもこれからの交通計画における重要な課題である。

参考文献

1. 総務庁編：交通安全白書，平成11年版，大蔵省印刷局，1999年7月。
2. 山田晴利，青木英明：歩行者系道路の展開，交通工学，vol. 28, no. 6, pp. 21-32.
3. Hass-Klau, C.: *The pedestrian and city traffic*, Belhaven Press, 1990
4. ジッテ，大石訳：広場の造形，鹿島出版会，1983.
5. Dupree, H.: *Urban transportation: The new town solution*, Gower, 1987.
6. ブキャナン，八十島・井上訳：都市の自動車交通，鹿島出版会，1965.
7. Hillman, M.: The wrong turning: twenty years on from Buchanan, *Built Environment*, vol. 9, no. 2, p. 104-112.
8. Buchanan, C.: Traffic in towns: an assessment after twenty years, *Built Environment*, vol. 9, no. 2, pp. 93-98.
9. Tolley, R.: *Calming traffic in residential areas*, Brefi Press, 1990.
10. Hass-Klau, C.: Environmental traffic management in Britain - Does it exist?, *Built Environment*, vol. 12, nos. 1/2, pp. 7-19.
11. Pharoah, T.: Traffic calming: progress and potential, *Proceedings of Seminar A: Civilising Transport*, the 19th PTRC Summer Annual Meeting, pp. 151-164, 1991.
12. 天野 光三：人と車の共存道路ー西ドイツの住宅地域における実施例ー，技報堂，1982.
13. 石川 幹子：ニューヨークにおけるセントラル・パークの成立とその歴史的展開に関する研究，土木史研究，no. 11, pp. 37-48, 1991.
14. Zaitzevsky, C.: *Frederick Law Olmsted and the Boston Park System*, The Belknap Press of Harvard University Press, 1982.
15. 日笠 端：都市計画(第3版)，共立出版，1993.
16. Reps, J. W.: *The making of urban America*, Princeton University Press, 1965.
17. 西山 安雄：アンウィンの住宅地計画を読むー成熟社会の住環境を求めてー，彰国社，1992.
18. 土肥 美夫：タウト 芸術の旅，岩波書店，1986.
19. エノー，藤岡訳：交通整理の原理，清水書店，1927.
20. Nordqvist, S.: *Traffic safety- Planning principles for new residential areas*, Report S-1978:1, Nordiska Institutet för Samhällspalanering, 1978.
21. Department of the Environment and Department of Transport: *Design Bulletin 32: Residential roads and footpaths- Layout considerations*, UK, 1977.
22. マクラスキー，六鹿訳：街並みをつくる道路，鹿島出版会，1984.
23. Department of the Environment and Department of Transport: *Design Bulletin 32: Residential roads and footpaths- Layout considerations*, UK, 1992.
24. Senatsverwaltung für Arbeit, Verkehr und Betriebe, Berlin: *Tempo 30 aber sicher*, Germany, 1990.
25. Department of Transport: *Killing speed and saving lives: The Government's strategy for tackling the*

problem of excess speed on our roads, UK, 1992.

26. Vejdirektoratet- Vejreguludvalget: *Urban traffic areas: Part 7 Speed reducers*, Denmark, 1991.
27. 青木 英明: ヨーロッパの歩車共存道路ーボンエルフとボーンシュトラレーセー, 「歩車共存道路の理念と実践」(都市住宅編集部編), pp. 107-120, 1983.
28. 天野 光三, 藤墳 忠司, 小谷 通泰, 山中 英生: 歩車共存道路の計画・手法ー快適な生活空間を求めてー, 都市文化社, 1986.
29. 青木 英明, 久保田 尚: 歩車共存道路における交通静穏化の動向とその展望ー欧州の近年の動向からその課題と可能性を検討するー, 都市計画学会論文集, no. 25, pp. 763-768, 1990.
30. 久保田 尚, 窪田 陽一, 林 博基: 歩車共存道路の供用後評価, 土木学会論文集, no. 449/IV-17, pp. 165-173, 1992.
31. 山中 英生: 人と車[おりあい]の道づくりー住区内街路計画考, 鹿島出版会, 1989.
32. 久保田 尚, 青木 英明, 新谷 洋二: 住区内道路の環境改善と交通抑制 (2)面的交通抑制の試み, 交通工学, vol. 22, no. 4, pp. 31-47, 1987.
33. Kraay, J. H.: Woonerven and other experiments in the Netherlands *Built Environment*, vol. 12, nos. 1/2, pp. 20-29, 1986.
34. Hass-Klau, C., I. Nold, G. Böcker, G. Crampton: *Civilised streets: A guide to traffic calming*, Environmental and Transport Planning, 1992.
35. Keller, H. H.: Three generations of traffic calming in the Federal Republic of Germany, *Proceedings of PTRC Summer Seminar*, pp. 15-31, 1989.
36. 久保田 尚, 青木 英明, 新谷 洋二: 住区内道路の環境改善と交通抑制 (3)道路の計画設計の考え方, 交通工学, vol. 22, no. 6, pp. 47-70, 1987.
37. Döldissen, A.: Environmental traffic management- German interministerial research programme, *Proceedings of Seminar P: Traffic in towns*, 16th PTRC Summer Annual Meeting, pp. 115-129, 1988.
38. 村井 哲夫, 弥田 和夫: 大阪市のコミュニティ道路, 「歩車共存道路の理念と実践」(都市住宅編集部編), pp. 63-69, 1983.
39. 西部都市開発, 田島 學: <生活の庭>としての道を求めてー汐見台ニュータウンにおける, 歩車共存の試み, 「歩車共存道路の理念と実践」(都市住宅編集部編), pp. 41-62, 1983.
40. 警察庁交通局, 建設省都市局・道路局監修: コミュニティ・ゾーン形成マニュアル<地区総合交通マネジメントの展開>, 交通工学研究会, 1996.
41. 橋本 成仁, 坂本 邦宏, 高宮 進, 久保田 尚: 三鷹市コミュニティ・ゾーンの安全性と生活環境向上に関する評価, 土木計画学研究・講演集, no. 22, pp. 271-274, 1999.
42. 山岡 俊一, 磯部 友彦: コミュニティ・ゾーンに対する地元住民の意識分析ー名古屋市長根台地区を事例にー, 交通工学研究発表会論文報告集, pp. 205-208, 1999.
43. 橋本 成仁, 坂本 邦宏, 的場 映, 高宮 進: 三鷹市コミュニティ・ゾーンの供用後評価, 交通工学研究発表会論文報告集, pp. 209-212, 1999.
44. Devon County Council: *Traffic calming guidelines*, UK, 1991.
45. (財)交通事故総合分析センター: 事故多発地点, イタルダ・インフォメーション, no. 19, 1999.
46. リチャード E. オールソップ: イギリスにおける交通安全戦略と目標, 交通工学, vol. 34, no. 6, pp. 72-79, 1999.
47. Allsop, R.: British experience with a national road casualty reduction target, *Proceedings of the 4th International Conference on Safety and the Environment in the 21st Century*, pp. 666-677, 1997.

建設事業における情報化の現状と研究動向

材料施工部長 苗 村 正 三

建設事業における情報化の現状と研究動向

材料施工部長 苗村 正三

1 はじめに

我が国では、急峻で脆弱な地形・地質に加え、頻発する地震、毎年のように発生する台風、豪雨・豪雪など、世界でもまれな災害の発生しやすい国土の中で高度で稠密な社会・経済活動が営まれている。災害から国土を守るとともに、円滑な社会・経済活動を支援するため、他の国では考えられないほどの多くの社会資本が必要となっている。しかも、急峻で脆弱な地形・地質、高度に利用された国土など多くの制約下での社会資本の整備は、勢い高コスト化を強いられている。このため社会資本のストックは、先人の努力によって順調に増加してきているものの、その整備水準は、諸外国と比べ依然として遅れた状態にある。また、我が国は、少子高齢化が進行し、有史以来、どの国も一度も経験したことのない急速な高齢化社会を迎えようとしている。

一方、コンピュータとインターネットに代表される電子情報化・通信ネットワークの飛躍的な発展は、経済活動として情報産業の台頭を促すとともに、国民の意識・価値観、さらに、社会生活・活動にも影響を及ぼしている。

このような社会・経済の歴史的な転換期にあつて、建設行政も、需要に合わせ足らざる社会資本を整備する国土建設から、「真に豊かな国民生活と社会の実現」に向け、社会資本のストックの有効活用や自然環境の保全等を含めた総合的な「国土マネジメント（整備・利用・保全）」へと政策全般のあり方を転換している。

この政策の転換を実現するには、①国土や社会資本の現状を正確に把握し、②安全性や快適性、利便性など様々な角度から評価し、③広く議論を通じての合意形成、④合意形成された社会資本・国土を経済的・効率的に整備することが求められる。

この国土・社会資本の把握には、衛星リモートセンシングなどの観測・監視システムとそれによって得られた情報をネットワークを通じて通信するシステムが、その評価に当たっては地理情報システムをはじめ、計画から施工・維持管理までの一連の情報のデータベースが不可欠である。社会資本の経済的、効率的な整備では、新材料や新工法の開発とともに情報を高度に活用した生産システムを構築する必要があると考える。

このように国土マネジメントの展開にあたっては、様々な高度情報通信技術の活用が不可欠である。

建設省土木研究所では、この建設事業の情報化の問題に対し、建設CALS/ECの導入のための研究を始め、地理情報システム国土空間や衛星リモートセンシングを用いた防災対策の高度化、情報化施工の開発など様々な取り組みを行っている。

ここでは建設省土木研究所における研究状況を中心に、建設事業での情報化推進の現状とその研究動向について報告する。

2 国土監視システム

国土マネジメントの展開にあたって、最も基本的なことは、地形、気象、環境や河川・道路等の社会資本の配備・利用状況など国土の状況を的確に捉えることである。

このための新しい技術として、人工衛星、成層圏滞留飛行船などがある。

2.1 人工衛星による監視技術

国土・社会資本の監視技術としては、大きく分けて地上に設置した各種センサー（設置型のレーダを含め）による方法と人工衛星や航空機などによるリモートセンシングによる方法がある。前者についての新しい動向としては、次節で述べるように情報伝達ネットワークとして敷設された光ファイバのセンサーとしての利用が上げられる。

また、後者では、近年、軍事技術の平和利用への開放により、従来の衛星データの解像度をはるかに上回る高分解能衛星データがある。また、リモートセンシングのプラットフォームとしての成層圏滞留型飛行船の活用も新しい動きとして研究が始まっている。人工衛星をプラットフォームとするリモートセンシングデータ（以下衛星データと呼ぶ）は、表－1に示すように広域同時性、即時性など従来の情報収集手段にはない様々な利点を有する。

表－1 衛星データの特徴

	特徴	課 題
観測上の 特徴	・ 数 10km から数 100km 四方の広範囲の情報を一度に取得可能 ・ 一定周期でデータ取得が可能	・ 一般の光学センサでは雲や夜間でのデータ取得が不可 ・ 撮影角度によってはひずみが発生。 ・ 現状の衛星では 30m 以下の識別不可
データ 処理・ 利用上の 特徴	・ 画像や演算処理が容易 ・ 植物活性度(植生指標)などの不可視情報が取得可能 ・ 危険地域でも情報の取得可能	・ 衛星の周回状況によっては、データ取得まで時間を要する。

衛星データの実利用特別委員会研究報告書：土木学会、1998.3

しかし、これまで入手可能な衛星データの地上分解能（解像度）が10～30m程度と粗く、建設事業において必要とされる情報精度に対して十分でなかったこと、またデータを入手したくても衛星周期や天候の関係で満足なものの入手が困難なケースが多かったことなどの理由から、建設分野では、研究段階での利用を紹介した事例報告はあるものの、実用的にはほとんど利用されてこなかった。

表－2は、これまでの衛星による地上分解能が10m程度のリモートセンシングで計測・利用されてきた分野である。

表－2 地上分解能が10m程度の衛星データの場合の利用用途

対象	陸域を対象	水域を対象	気域・水文
主題図	・土地被覆図 ・植性区分図 ・植物の活性度 ・地質分類図 ・地質構造図 ・温度分布図 ・地形	・海域の流況パターン ・河川の流況パターン ・水温分布 ・水質分布 ・水際線	・降水 ・土壌水分量 ・流量 ・蒸発量・蒸散量

リモートセンシングハンドブック：日本リモートセンシング研究会 1998.3

2.2 新しい高分解能衛星

東西冷戦の終結以降、軍事技術の民間転用を背景に米国のEarly BirdやQuick Bird、CRSSなどが打ち上げられ、地上での画素サイズが1m程度の民間商業用高分解能衛星の画像の入手が可能になってきた。また、我が国でも1998年8月末のテポドン打ち上げ以来、情報衛星に関する関心が高まっている。これらの高分解能衛星では、次のような特徴を有する。

① 高分解能：光学センサー白黒で1m程度の地上分解能を有しており、詳細な情報は取得できる。また 全天候型の合成開口レーダセンサのSAR(Synthetic Aperture Rader)を利用し詳細な変位計測が可能な技術も開発されてきている。

② ポインティング機能：衛星の姿勢を地上から制御することで、軌道の直下だけでなく広範囲のデータ取得が可能である。

また地上の同一地点に関する情報を複数の軌道から取得することで、3次元の地形計測も可能である。

これらの高分解能衛星データは、従来の航空機に代わる地図作製をはじめ、河川の水質状況の把握など様々な分野での利用が期待されている。

表－3 主な高解像度商業衛星の仕様

衛星名	Early Bird	Quick Bird	CRSS	OrbView
打上げ年(予定)	1996年	1997年	1997年	1997年
衛星重量	270kg	600kg	817kg	146kg
観測高度	476km	476 km	690km	700km
観測周期	94分	94分	100分	
回帰日数	20日	20日	11日	16日
ポインティング機能	±30度	±30度	±45度	±45度
再帰観測(日)	1.5 - 2.5	1.5 - 2.5	1.6	2
分解能	3/15m	1/4m	0.82/3.2m	1m
観測幅	6/30km	36 km	11km	15 km

2.3 成層圏滞留型飛行船の利用

飛行船プラットフォームは、各種センサや無線中継装置等を搭載し、成層圏(地上約20km)に滞留させ、センシングや無線中継等に利用しようとするものである。

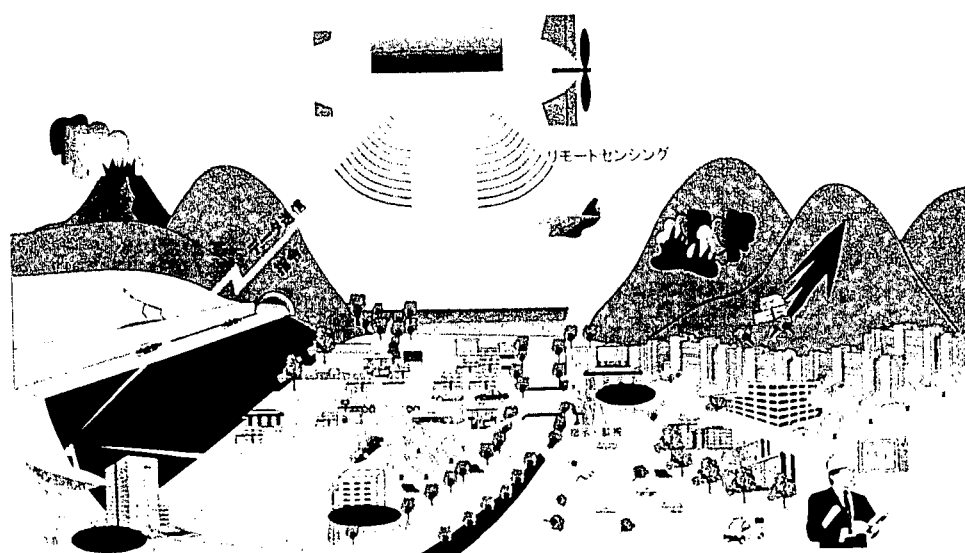
飛行船プラットフォームの特徴は、衛星等(低軌道衛星で780km)に比べ約1/40の高度であり、定点に滞留可能なことにある。このためリモートセンシングのセンシング精度の大幅な向上が期待できる。さらに、定位置に滞留できるため定点連続監視を行える。

このほか、ペイロード・レシオが大きく、機器の搭載効率がよい。また、人工衛星並みの姿勢安定性を有し、回収・再発進が可能なため、整備・修理が可能である等も利点である。

表－4は、災害面を中心に飛行船をリモートセンシングのプラットフォームとしての利用可能分野を整理したものである。

表－4 行政に分野における災害時の飛行船プラットフォームの利用可能分野

業務分野		利用分野	災害区分		
大分類	中分類		災害前	災害中	災害後
計測	水害	洪水氾濫区域の計測		○	
	斜面災害	斜面災害の分布・規模の計測		○	○
	地震災害	地震災害の規模の計測		○	○
	火災	山地火災における焼失面積の計測			○
	海岸汚染	海域汚染における汚染範囲の計測		○	○
観測	水害	洪水の災害状況モニタリング		○	○
	火山災害	火山活動の災害状況モニタリング	○	○	○
	火災	山地火災の被災状況モニタリング		○	○
	海洋汚染	汚染状況のモニタリング		○	○
監視	斜面災害	斜面災害危険区域の監視	○	○	○



図－1 飛行船プラットフォームの利用イメージ

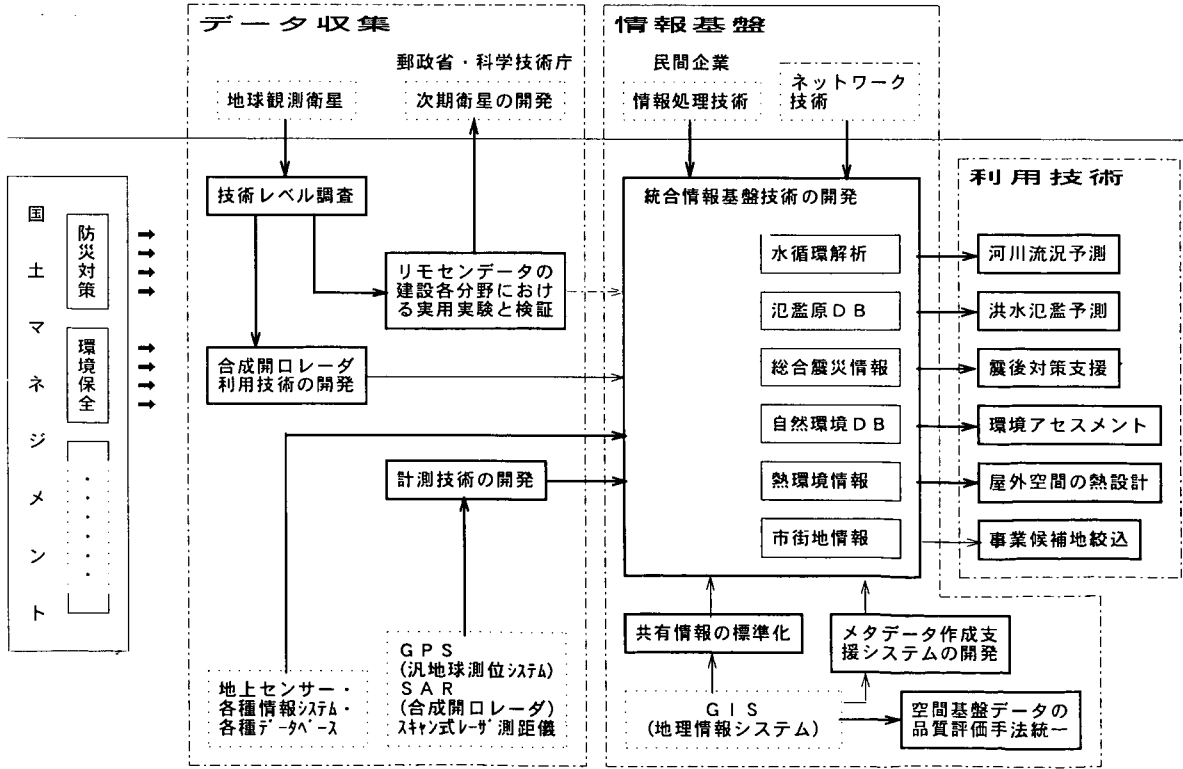
しかし、飛行船プラットフォーム自体の開発をはじめ、災害時に対象地域上空に存在する雲、霧、煙でも可視可能な高性能センサの開発を始め、取得情報の解析処理時間の短縮、さらに、計測データの経済性など課題は山積している。

2.4 土木研究所における研究

災害の発生や環境、また、施設の管理などによって国土と社会資本の現況を監視する方法は異なってくる。例えば、災害の発生では、全国をもれなく、高精度に常時監視することが、また、環境では、定期的な観測が求められる。これらの観測する対象によって異なる観測頻度や精度を全て満足する観測技術の開発は困難であり、このため空中写真と衛星データ、地上での観測データなどのそれぞれの特長を生かし、様々な手段を組み合わせる必要のある情報を得ることになる。

例えば、防災関係では衛星データによって広域情報もしくは繰返し情報として地形や植生の変化など危険個所の推定に必要なデータを取得し、実際に豪雨等の場合には、スポット的な高分解能の情報が必要となるので飛行船によるデータでリアルタイムに災害の発生状況を把握する。さらに、細かい施設の状況については地上の光ファイバーやセンサで計測するなど利用が考えられる。

これらの研究については、平成11年度から4年間の予定で建設技術総合開発プロジェクト「災害等に対応した人工衛星利用技術に関する研究」において国土・社会資本管理の観点から必要な情報と利用のあり方を考慮し、収集システムの技術的検討を、科学技術庁や郵政省との連携をはじめとする産学官および、国土管理の現場である地方建設局との協力の下に研究を進めて行く予定である。



研究の全体構成は図－２のようにデータ収集、情報基盤、利用技術の開発から構成され、高分解能SAR（合成開口レーダ）等の計測・データ処理技術の開発や既存の人工衛星のリモートセンシングデータによる実用実験、次期人工衛星への仕様や運用方法等の検討を行うことにしている。

3 情報通信基盤

3.1 情報通信基盤の整備

収集された高度で多量の情報を伝えるには、情報通信の基盤の整備が不可欠である。

従前では、情報通信の基盤としては、電話線やマイクロ波多重無線通信など限られた手段しか利用できなかったが、最近では、情報通信技術の発展にはめざましくものがあり、光ファイバ、通信衛星、移動体通信といった様々な手段が利用できる。また、情報通信のソフト技術では情報のデジタル化により高速大容量化と同時に小型化、低廉化、可搬化などたダウンサイジングが急速に進んできている。

情報通信においては、災害時や内容を考慮し、情報の性質に応じた基盤を整備することが求められる。例えば、平常時には高速大容量、低廉価が、災害時には輻輳することがない安定性が求められる。また公共事業の計画・実施に際しての住民とのコミュニケーションのための意見交換や災害時の警戒・避難情報の収集提供では双方向の通信が可能で、面的な広域に接続できる機能が必要となる。一方、重要公共物等の管理では高度な信頼性やセキュリティ性が必要となる。表－５は、これらの要求と主な通信手段の特性との関係をまとめたものである。現在ではこれらの様々な用途に応じたシステムを情報基盤として使い分けることが可能となった。

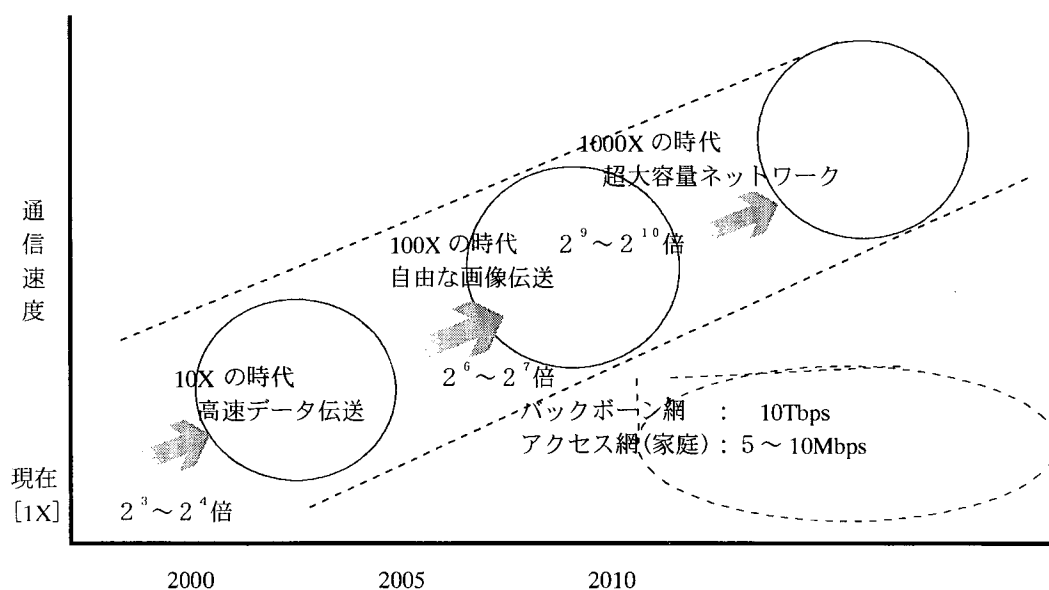
表－５ 主な通信手段の特性と用途

通信手段	伝送量	災害時の信頼性	多数の施設を接続するコスト	映像等での施設管理への適合性	用途と位置づけ
光ファイバ通信	◎大	△ (埋設時)	◎ 連続なら経済的	◎ 大量の画像通信可能)	高速・大量の情報通信 現場に分散した施設管理
マイクロ波多重無線通信	○中	○良	△ 光と衛星の中間	○ (区間当たり数画面の画像通信)	災害時の基幹的通信
衛星通信	△小	◎最良	× (高価)	△ (全国で数画面)	災害時のマイクロ通信 バックアップ ネットワーク外の通信
移動通信	× 極小	○良	○ テレメータより高価、マイクロよりは安価	－ (映像伝送困難)	災害現場等での機動性を有する通信
テレメータ通信	× 極小	○良	◎ (安価)	－ (映像伝送困難)	極少量の通信

国土情報化研究会：国土情報化新時代、日刊工業新聞社 1999. 10

3.2 光ファイバネットワークシステム

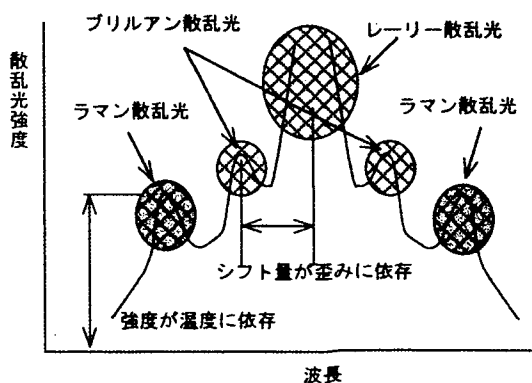
情報通信システムの中でも、光ファイバネットワークは、通信容量や廉価性から最も重要な手段である。時間的・空間的に連続したデータや映像記録を伝送が行え、これまでの通信インフラでは数個の接点情報（オン・オフ情報）を基に行っていた様々な社会資本の監視・制御なども、映像を見ながら多くの項目を組み合わせ微妙に制御することができる。このため国土・施設の監視、情報化を通じた地域づくり（地域情報化）やわかりやすい情報提供などのために河川、道路、下水道等といった連続的な網に敷設する総合的な光ファイバネットワークシステムの整備が進められている。



図－3 光ファイバネットワークの発展の展望（郵政省資料）

また、光ファイバは、最近では、伝送機能のほか、透入した光がガラス分子に作用する力などによって、後方散乱光して戻ってくる現象に注目し、光ファイバを温度やひずみなどの計測センサーとしても期待されている。光ファイバをセンサーとして利用した場合、ネットワークの整備により、従来、点でしか行えなかった様々な施設の監視・管理を、連続した線的で実施することができ、その効果は極めて大きいものとする。このセンサーとしての利用では、既に河川堤防における水位、湿潤状況、変位の状況などの計測に使用されはじめている。

土木研究所では、この河川堤防でのセンサーの



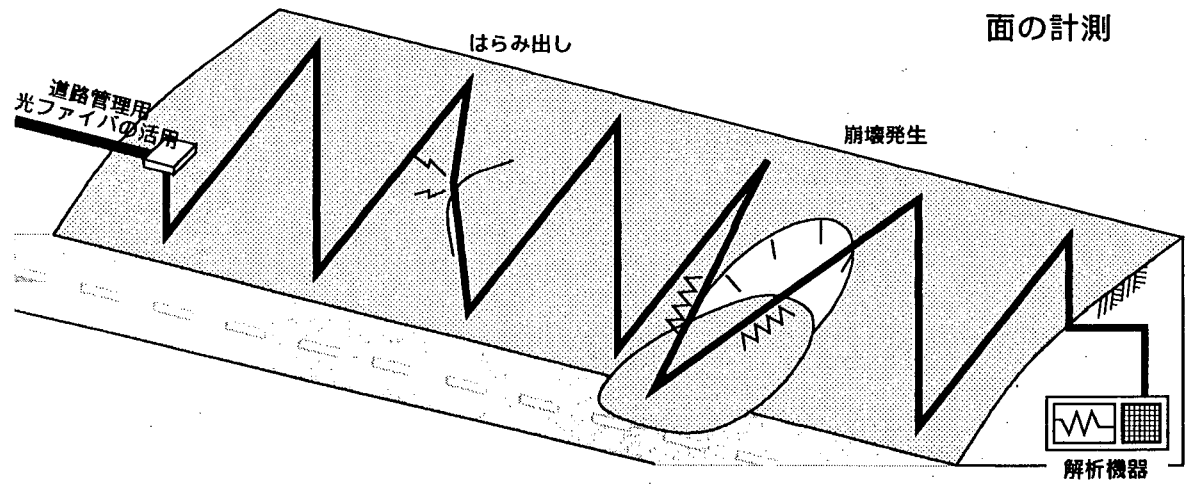
図－4 光ファイバーセンサーの原理

開発に協力するとともに、道路分野での膨大な道路 システムの開発に取り組んでいる。

表－ 6 は、光ファイバの情報通信及びセンサとしての機能を整理したものある。

表－ 6 光ファイバーの機能

内 容	利 用 の 概 要
ＣＣＶカメラの映像やセンサからの数値データの伝送。	交通状況や流況、魚類・鳥類などの映像監視、工事状況などの映像提供
情報提供機器と制御・操作機器を接続し遠隔制御に利用する。	水質や気象状況などの計測データを基にした樋門・樋管などの遠隔操作
光ファイバ自体をセンサとして利用する	堤防の漏水、歪み、水位、舗装面の路温・トンネル火災、斜面変状等の計測



図－ 5 光ファイバセンサーののり面監視への応用

4. 国土情報基盤としてのGISの整備

4.1 GIS技術

地理情報システム（GIS）は、コンピュータ上で地理情報すなわち地図データと各種台帳、統計等の国土・地域情報を位置座標や自治体コードなどの位置参照情報によって統一的に管理し、必要な情報の検査、計算、表示出力等の処理を行うシステムである。GISの試みは、古くから行われていたが、我が国では1995年の兵庫県南部地震を契機に注目を集めるようになり、

1995年9月に内閣内政審議室の主宰で地理情報システム(GIS)関係省庁連絡会議が設置された。1996年6月には「中間とりまとめ」をまとめ、同年12月には、「国土空間データ基盤の整備及びGISの普及の促進に関する長期計画」が決定された。この「長期計画」では国土空間データ基盤として地図データ及び位置参照情報である「空間データ基盤」、国土に係る統計情報などの表形式の空間データである「基本空間データ」および電子化された空中写真や人工衛星画像等の「デジタル画像」の三つで構成されている。さらに1999年3月には「国土空間データ基盤標準及び整備計画」が決定された。

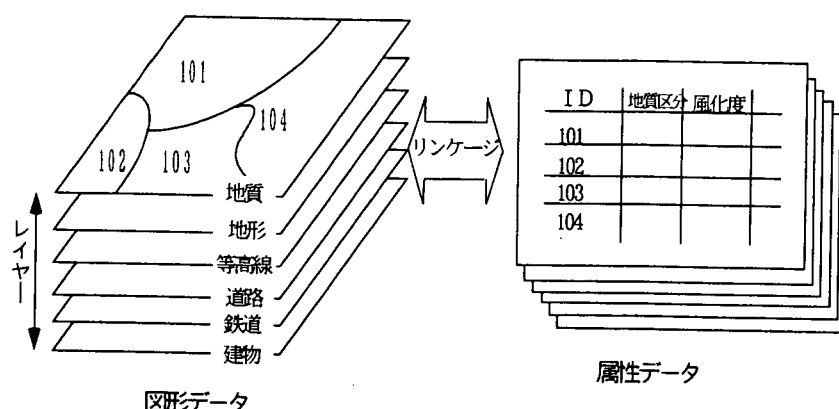


図-6 GISの基本的な概念

GISの利用は、民間部門ではカーナビゲーション、ライフライン施設管理等などでGISデータの整備・利用が進んでおり、行政部門でも治水・利水・環境など総合的な観点に立った施策の立案などを行うための河川GISや地震災害の防災の関連から防災GISなど様々な目的で整備がなされはじめている。

GISにおける研究では、位置の基準や正確な位置の計測を短時間で行うためにカーナビゲーションシステムなどで急速に身近になったGPSによる測位や高精度・高分解能の人工衛星との統合技術や様々な既存のデータベースの連携・相互利用技術などが行われている。



図-7 GISの機能

4.2 土木研究所における研究

土木研究所においても、これまでGIS技術を活用し、河川の流域水管理や水資源管理など

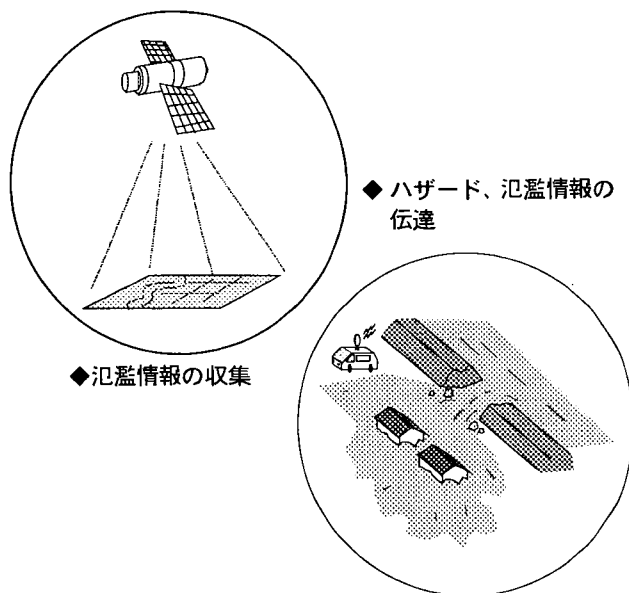
様々な分野で研究に取り組んでいるが、総合技術開発プロジェクト「先端技術を活用した国土管理技術の開発（H11～14）」では、社会資本の高度な管理や住民の安全・安心の確保等に資する国土管理技術を開発することを目的にGPS、リモートセンシングなどの情報収集技術などの情報処理技術、その情報

を活用し国土管理情報の分析・評価する技術、効果的な情報提供技術の開発など、次のような研究を行うこととしている。

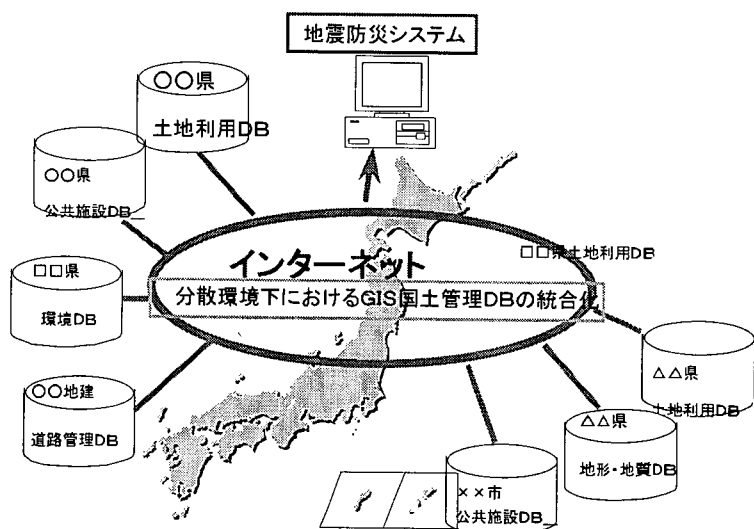
- ・空間データの品質評価手法及びデータベースの検索を容易に行うためのメタデータの記述・引用方法の提言

- ・国土情報を一元的に管理できるGIS基盤上の国土管理データベースの構築手法の提案、土木分野における情報の標準化、情報の共有化の情報基盤構築技術の開発

- ・GISの利用技術として国土情報を効率的・網羅的に迅速に収集し、河川流況を予測するシステム、氾濫原管理システム、震災対策支援システム、自然基礎情報提供システム等への利用技術の開発



図－8 氾濫原管理のためのGISの活用



図－9 GIS 国土管理情報システムのイメージ

5. 建設CALS/EC

5.1 建設CALS/ECの動向

CALS/ECとは、Continuous Acquisition and Life-cycle Support /Electronic Commerce の略であり、最近ではECという言葉はほと

んど同義語として扱われている。CALS/ECを、これまでの情報システムのように、ハード、ソフトで具体的に定義することは困難であり、EDI+CAD、SGMLやSTEP等の、数多くの標準、情報システムから構成され、それらがネットワーク上で連携できる環境の総称と言える。

建設省では、1995年5月に「公共事業支援統合情報システム(建設CALS/EC)研究会」(会長 建設大臣官房技術審議官)を設置し、公共事業の調査・計画、設計、施工および維持管理の各段階で発生する図面や書類などの各種情報の電子化と、関係者間での効率的な情報の交換・共有・連携の環境を創出するデータの基準化・標準化など建設CALS/ECの構築に向けた検討を進め

ている。

研究会では、建設CALS/ECの整備の方向性を示すものとして、1996年4月に、表－0に示す2010年までの「建設CALS/EC整備基本構想」を、さらに、1997年6月には平成16年度までに建設省直轄工事において受発注者間での受け渡す情報を全て電子化するため関係各部局で取り組む具体的な行動計画である「建設CALS/ECアクションプログラム」を策定した。

	フェーズ1 (1996～1998年)	フェーズ2 (1999～2001年)	フェーズ3 (2002～2004年)
整備目標	建設省全機関において電子データの一発信体制の構築	一定規模の工事等に電子調達システムを導入	建設省直轄事業の調査・計画、設計、施工、管理に至るすべてのプロセスにおいて電子データの交換、連携を実現
実現内容	・事業に関連する情報の伝達・交換を電子メール化 ・電子媒体または電子メールによる申請・届出 ・調達関連情報のホームページ掲載 ・調達情報に関するクリアリングハウスの構築	・電子調達システムの導入 ・事業に関する情報の伝達・交換の電子メール化(認証あり) ・電子媒体または電子メールによる申請・届出(認証あり) ・資格審査申請のオンライン化 ・ネットワーク型自動積算システムの導入 ・電子データ成果の再利用・加工 ・統合によるデータの有効活用	・すべての事業に電子調達を活用 ・EDIによる契約事務の執行 ・すべての公共(事業執行に係る申請・届出のオンライン化) ・事業に関する情報の統合データベース化 ・GISを利用した情報の連携・統合 ・STEPの活用による施設のライフサイクルレポート
実現のために不可欠な措置・技術	・インターネットの利用環境の整備 ・実証フィールド実験の推進 ・電子調達に必要な技術の開発 ・電子データ標準化に関する研究	・国際標準等に基づく電子データの基準化 ・電子認証システムの導入 ・電子データによる成果納品の実施	・既存情報システムとの連携 ・STEPの一部国際標準化 ・電子データによる契約事務の標準化
	情報インフラの整備(光ファイバー網等、空間データ基盤)		

表－7 建設CALS/ECアクションプログラムの概要

アクションプログラムでは、直轄事業における調査から維持管理の段階までに発生する情報の電子化と関係者間での交換・共有・連携を平成16年度までに実現するとことを目標に表－7に示すように、2004年までを3段階に分け、工事事務所での実証フィールドをはじめ様々な取り組みを行っている。

5.2 総プロ「統合情報活用による建設事業の高度化に関する研究」

5.2.1 概要

土木研究所では、平成8～10年度において、建設CALS/ECの円滑な構築を支援するため、アクションプログラムの構成員の一員として総合技術開発プロジェクト「統合情報活用による建設事業の高度化に関する研究」を実施した。この研究では、建設CALS/ECの実現に必要な図面・文書、さらに情報交換などの標準化、規格化などの基幹的な要素技術の開発及び具体的な情報活用方策について(財)日本建設情報総合センター及び民間会社24社と共同で研究を行った。

5.2.2 研究の成果

(1) CAD製図基準

公共事業を通じて容易に図面の修正・交換や再利用、自動数量拾い出しを行うため、図面の電子標準化（CAD化）を目標に、その成果を「CAD製図基準(案)」にとりまとめた。

(2) 文書の電子標準化・SGML化の検討

効率的な文書の作成や交換、文書情報の保存を行うため、アプリケーションに依存しない文書の電子標準化を行い、受発注者間で文書情報の正確かつ効率的な体系化、交換・共有の効果を検証した。

(3) 情報受け渡しに係わるルールの研究

業務の効率化が図られるため電子情報を各業務段階及び各業務段階間で有効に電子情報を活用・連携させるため、情報のあり方や受け渡しに係わる共通のルールを提言した。

(4) 施工・維持管理段階での情報の連携化

① 施工段階の業務モデル

官民間で施工管理情報を共有するプロジェクトデータベース(PDB)システムのプロトタイプシステムを構築し、評価・検証をふまえて「PDB利用シナリオ」と「PDB構築手順」を提案した。

② 維持管理段階の業務モデル

官民間で共有する道路施設物の維持管理共有データベースシステムを中核としたプロトタイプシステムを構築し、評価・検証をふまえて「維持管理CALS実現シナリオ」を策定した。

③ 施工段階の情報活用

戦略的な情報活用を目的として、計測管理の効率化手法、三次元可視化情報による品質管理手法、CALS施工管理支援システムの3つの項目についてそれぞれ情報項目のとりまとめ、データ交換方法、利用イメージの提案、システム開発を行った。

(5) 受発注間の情報共有

受発注者間で建設情報を効率的に共有・交換するための統合DB(データベース)ワーキングについて、その中核に統合DBを位置付け、その機能や利用イメージ、管理すべき情報、受発注者間で情報を共有するためのDBの実装や運用に関する研究及び実証実験を行った。これらの研究成果をもとにして建設CALS/ECにおける新たな業務形態の在り方や建設CALS情報基盤についての提言をした。

(6) 土木分野へのSTEP適用方法の検討

公共事業で発生する種々の情報を、事業のライフサイクル(調査・設計から維持費理までの)全般にわたり有効に活用するとともに、値々の情報システムやソフトウェアの種類やバージョンに関係なく、情報の交換・共有を可能とするため、橋梁の維持管理段階を例にISOの標準化手順に従いデータモデルを試作し、STEP(技術情報のデータ交換のISO国際規格)の効果を証明するデモシステムを構するとともに、そこから得られた知見を「STEP手法を利用したビジネスモデル構築ガイド」としてまとめた。

5.2.3 研究成果の建設CALS/ECへの反映

総プロにおける研究は、現場レベルでは当面実施できない建設CALS/ECの要素技術の開発研究に位置づけられている。建設CALS/ECの要素技術としては、電子情報の交換、共有するための標準化・統合化技術の研究と情報を建設事業の中で連携し活用するための適用・技術研究に分けられる。総プロでは、このうちの前者の調査、設計フェーズ、施工フェーズ、維持管理及び共通フェーズにおける要素技術の開発研究に取り組んだ。3年間という限られた期間でそれぞれのフェーズでの研究開発を行ったが、得られた研究成果は今後の建設CALS/ECを実現するための最も基本となる部分である。平成16年からの建設CALS/ECの本格導入に向けて現場での実証実験を通じて技術の具体化を行ない、技術の確立を図っていくことが求められている。

6. 情報化施工

6.1 情報化施工の方向と目的

情報化施工は、土質工学の分野では、「施工中の現場計測によって得られる情報を、迅速かつ系統的に処理、分析しながら次段階の設計、施工に利用する施工管理システム：観測施工 (observational construction control system)」と定義されている。

ここではより広く、建設事業の計画、調査・測量、設計の行程において蓄積された様々な情報の電子化を活用し、建設機械、計測機器、自動制御技術などを組み合わせ、これらの連携制御と、それらの機器の電子ネットワーク化による一元的な管理によって、個別作業の横断的な連携と施工管理の情報化を行い、施工全体として効率の向上を図る施工システムを考えている。

この情報化施工の目的は、大きく分類し、次の2つとなる。

- (1) 上流側から情報の利用による施工の効率化、品質の向上
- (2) 下流側への情報の提供による維持管理の合理化、設計への高度化

これまで観測施工や自動化施工などの情報化施工については、土木研究所はじめ様々な機関で研究されてきたが、観測施工では、利用できる計測データの制約から仮設物の安全管理などの利用が中心であった。また、自動化施工の分野では、個別の機械作業の自動化を取扱い、工事全体での生産性の向上などに及ぼす効果は限られたものであった。

現在では、パーソナルコンピュータや情報通信技術、また、位置情報を効率的・高精度に把握できるGPS、線状に変位等を感知できる光ファイバーセンサをはじめ、新しい各種センサー類も利用できるようになりつつある。さらに、建設CALS/ECでは、建設事業の計画から維持管理・更新までの各段階間での情報の円滑な受け渡しを行うとともに、受発注者間での連携・共有を進めるために情報の標準化と電子化が行われている。

この建設CALS/ECの整備によって施工の上流段階で作成された情報が、また、情報通信技術などの発展で施工段階で発生した情報を活用できる環境が整ってきている。

すなわち、これら技術を組合せることにより、設計からの様々な情報を電子情報として施工者(施工機械)に伝え、又、反対に施工結果の情報を次の施工や維持管理へフィードバックする情報化と施工管理の高度化・効率化が実現できる環境が整ってきた。

6.2 情報化施工の動向

情報化施工では、人を介さないシームレスな電子情報の流れが必要なものとなる。このために丁張りに代わるレーザやGPSの活用した情報伝達手段の活用を始め、人手による計測から建設機械の位置情報等を基にした出来形管理などハード・ソフトの様々な技術開発が必要である。この研究の取り組みは、我が国では、RTK-GPSやレーザを利用した土工・舗装用機械の運転の自動化・簡易化などのハードの研究を中心に技術開発が進められてきた。一方、ヨーロッパでは、RTK-GPSを活用した品質管理システム、舗装工事における施工管理の自動化システムの開発など情報の標準化を視野に入れたハード・ソフト

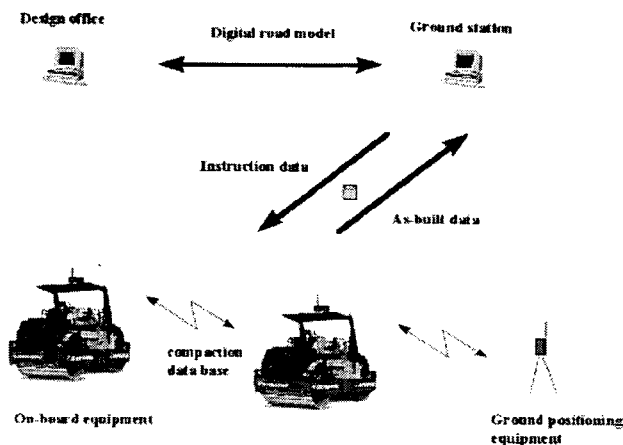


図-12 舗装工事の施工管理の自動化システム

ト両面からの研究が進められている。特に後者は、舗装の設計に基づく締固め回数の計測と、計測結果に基づくオペレータへのガイダンスを行うシステムで、多国間の共同プロジェクトとして研究が進められ、ISO に対して、施工現場における情報の標準化案が提案されている。

6.3 土木研究所における研究

RTK-GPSとR I 密度水分計測器を利用し、転圧作業を行いながら盛土の締固め状況や締め固め位置を自動で計測し、オペレータに転圧状況を伝達する土工の締固め機械やレーザなどを用い走行やアスファルトの敷きならし操作を自動化したアスファルトフィニッシャーなどハードな機械の開発とともに、ソフトな技術開発として労務管理や機械保守管理などの施工管理情報の伝達媒体としてのICカードの活用や工事記録写真のデジタル写真などの情報伝達のデジタル化、標準化などに取り組んできた。

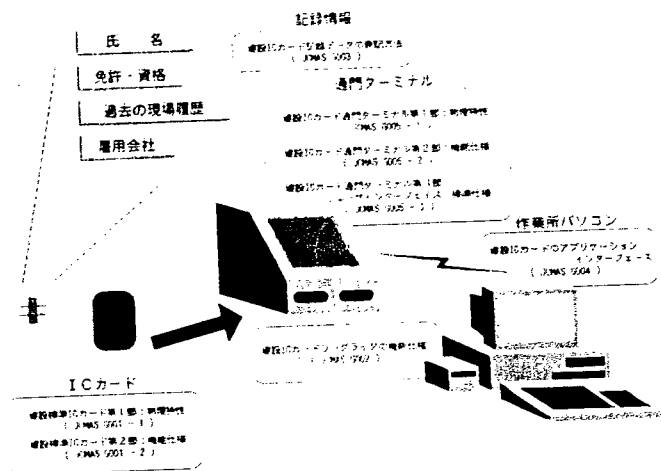


図-13 ICカードの施工管理での活用

また、最近では現場施工や維持管理作

業の情報の連携化と作業の自動化レベルを製造業でのCAD/CAMレベルまで高めることを目標にした研究に着手している。すなわち、施工・維持管理段階において、建設CALS/ECに

よって整備された測量・設計・施工の一連のCAD/GPS情報や施工情報、さらに既存の施設管理情報などをGISの情報データベースに組み込み、施工計画情報のデータの作成・変更・修正作業の省人化、建設機械化施工の自動化を推進を図るため、情報の連携化、標準化手法について研究を行っている。

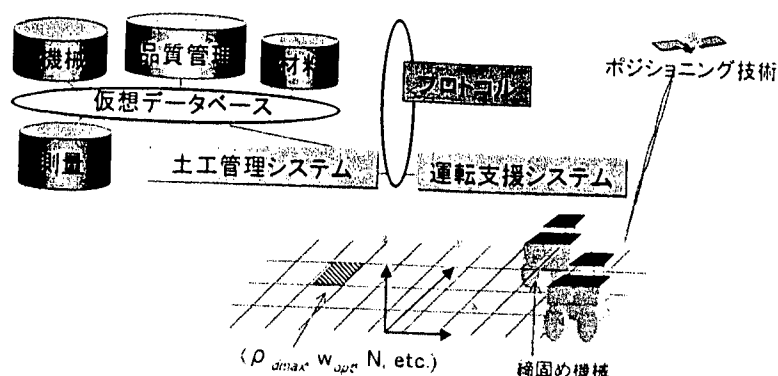


図-14 締め固め管理でのCAD/GPSデータの統合

7 今後の課題

以上のように、建設事業の情報化については、建設CALS/ECをはじめ、地理情報システム、国土空間、衛星リモートセンシング技術、情報通信ネットワークさらに、建設現場のための情報化施工など様々な取り組みが行われている。これらの内で幾つか技術は、ここ数年以内で、実用段階に突入すると思われる。例えば、建設CALS/ECについては、アクションプログラムで2004年には建設省直轄事業の調査・計画、設計、施工、管理にいたる全てのプロセスにおける電子データの交換、共有、連携などが可能となり、建設CALS/ECが実現すると計画している。また、地理情報システムでは、国土空間データ基盤等の標準化を進め1999年度から概ね3年間を普及とし、データ整備等を進めること

となっている。

表-8 建設CALS/ECの効果

この建設事業の情報化のための基盤の整備は、事業の効率化の面では大きな効果が期待され、実際に、建設CALS/ECでは、表-8に示すように公共事業の電子調達化による打ち合わせ時間の短縮・削減、書類作成・図面修正の簡略化、また、国土情報の電子化によるアカンタビリティの改善など様々な効果が現場実証実験を通じて明らかになってきている。

建設事業の情報化の進展に

建設CALS/EC達成のイメージ

- ・公共事業の電子調達化
 - ・受注希望企業の調達情報入手が容易になる
 - ・受注者が直接発注機関へ出向かずに業務執行ができる
 - ・受注者が発注者ごとに書類形式をそろえる必要がなくなる
 - ・発注者が資材市況等と連動した積算が可能になる
- ・国土情報の電子化
 - ・国民が整備される社会資本のイメージを理解しやすくなる
 - ・国土情報が効果的に管理できるため行政の質が向上する
- ・その他
 - ・ペーパーレス化による省資源
 - ・組織内情報システムとの連携による業務の一層の効率化
 - ・情報の電子化で国民への情報公開が容易になる

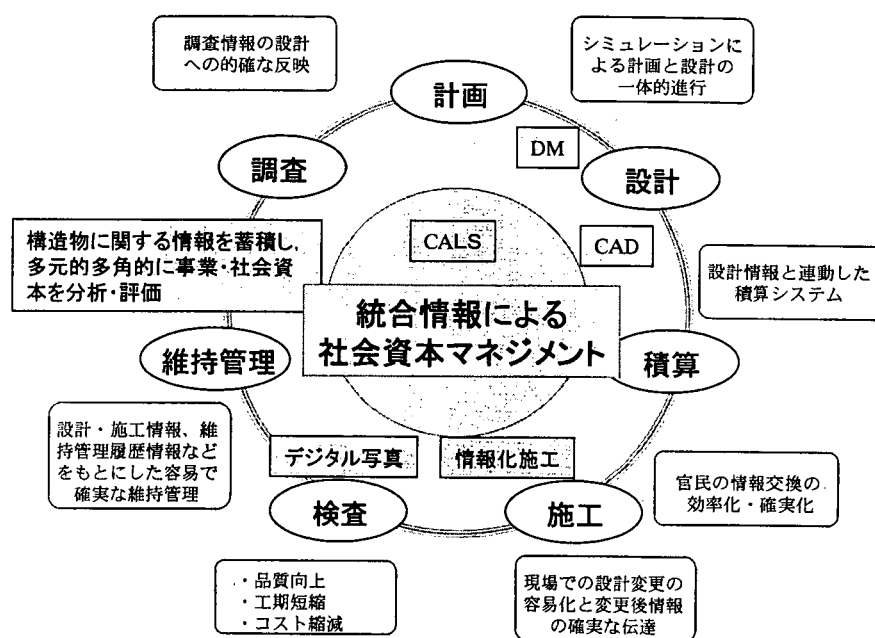
よって人の手を介さずに、これまで入手が不可能であった詳細で広域的な情報も正確に迅速に利用が可能になる。その結果、先の事業執行の効率化といった効果とともに、事業全体のプロセスの見直しなどの建設マネジメントの重要な手段として、さらに将来の国土整備の方向性や社会資本形成のあり方など国土マネジメントの基本的な検討課程においても、従前では考えられなかったような新しい手法で行える可能性が生じてきている。

現在の様々な情報システムの構築及び情報の標準化は、まず、システムの利用者に具体的なイメージを定着させるために、その実用化を目指すことに力点が置かれている。しかし、遠からず始まるであろう本格的な構築に当たっては、国土マネジメント、建設マネジメントの観点から、次のようなことを考慮しながら情報化の本来の目的や方向を明確にし、整備を行っていく必要があると考える。

1) 社会資本マネジメントとしての観点の導入

建設事業は、調査・計画から設計・施工・維持管理まで、発注者、コンサルタントや建設会社、資材納入会社など多数の機関がそれぞれのパーツを担当しながら事業を進めている。この流れの中で最も重要な段階は、維持管理段階、すなわち構造物ができあがって供用され、国民が利用する段階である。

現在、建設CALS/ECでは建設事業の効率化を目的に情報の共有化・連携化が進められているが、その対象を建設に置くのか、管理におくのかで連携の内容が異なる。



- (1)公共事業の効率化, コスト削減, 品質の向上
- (2)迅速な情報提供によるアカウントビリティの向上
- (3)公共構造物に関する情報の有効活用によるコスト削減
- (4)施工の自動化, システム化の促進
- (5)知識, ノウハウの共有による事業執行の円滑化
- (6)事業の分析評価によるフィードバックの実現

図-15 建設事業の情報化と社会資本マネジメントの構築

建設整備の効率化を中心

に考えた場合には、社会資本の管理者は、ある程度大まかに視点から情報を把握し、細部まで情報の管理は、建設会社や材料メーカーに委ねることですむ。

しかし、供用段階を中心に捉えた場合には、社会資本の管理者は、使用材料の性能、施工不法・施工管理の結果など細かな情報まで必要となる。例えば、構造物に劣化が生じた場合、劣

今後の社会資本の整備に当たっては、後者のライフサイクルを考慮する社会資本のマネジメントが求められると考える。

建設CALS/ECやGISなどの情報化技術を積極的に活用し、その効果を十分に上げていくためには、従来のワークフローをそのままにして、媒体を紙から電子情報・通信に変換しただけでは、その効果は限られ、組織や仕事の仕方などから見直す必要がある。

併せて、実構造物の挙動情報などを基にしたより実物に近い設計モデルの構築の観点からも建設事業の情報化のあり方を考える必要があると考える。

構造物

分譲コード

駅近構造物のネットワーク

行政界・市界・地界の表示

測量写真

利用者の地図データ

GIS 基盤管理

既設者の地図データ

属性

結合

構造物情報

付属物情報

GIS/DT地理情報・設計

施工結果(性能証明・施工完成図)

構造物設計

施工計画

施工データ

品質・出来型データ

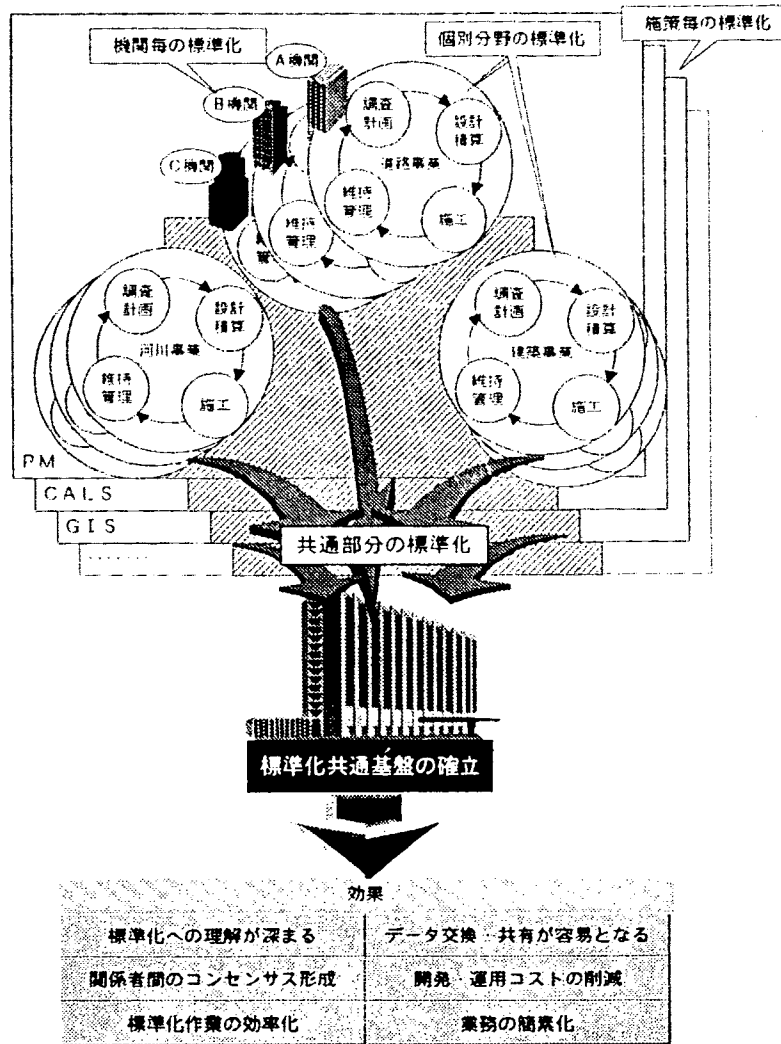
RTK-GPS測量・増設特選・アシスト

RTK-GPS測量・品質・出来形計画

、責任と権限の明確化することが必要であり、ワークフローを見直すことも重要である。

3) 情報の統合

建設CALS/ECによる調達の電子化やGISによる国土情報基盤整備などにおいては電子情報の交換・共有を前提とし、いずれの取り組みにおいても情報の標準化の作業が精力的に進められている。しかし、これを建設分野全体の視点でとらえると、個々の標準化作業が独立に進められて行くことが将来大きな障害となることが懸念される。例えば、CADとGISに係わる標準が、これら相互間のデータ交換やこれらのデータの一体利用が可能なように配慮されていないと、情報化の効果が減殺されることになる。一方、最初から相互に情報の交換・共有性を考えたシス



図－17 情報標準の統合化

テムや標準化を検討した場合、システムの構築や標準化の作業自体が進展しない可能性があり、現時点で直ちに統合化を検討することはむしろ得策では無いと思われる。しかし、情報の交換・共有のための全体をカバーする基本的な枠組みの構築や将来のビジョンの提示は重要であり、これと合わせ個別の標準化作業の進捗程度を考慮しながら、適当な時期に統合的なシステムを構築する必要がある。

8 おわりに

建設CALS/EC、衛星リモートセンシング、GISをベースとした情報基盤など建設事業における情報化は、着実に進展している。

これらの情報化技術は、これまでとは全く異なった方法で国土と社会資本を整備・管理・保全することを可能にする技術である。

今後、これからの21世紀における国土と社会資本の適切なマネジメントを行う上で情報化技術をどのように活用していくのか、情報化の方向を十分に議論していくことが必要と考える。

(参考文献)

村松敏光：これからの施工品質管理と建設機械、建設機械、2000.1、p10-14

村松敏光外2名：建設CALSにおける業務プロセスの再構築、土木技術資料、1998.11

大下武志外4名：公共土木事業における図面情報の標準化及び情報の高度化、土木技術資料、1998.11

大下武志外2名：建設事業におけるデータモデリングに関する検討、土木技術資料、1999.11

大下武志外2名：公共土木事業における文書情報の電子標準化の検討、土木技術資料、1999.11

建設省：先端技術を活用した災害等の国土管理技術の開発に関する研究、建設省技術研究会、1999.11

平出純一：建設CALS／ECの構築に向けて、JACIC情報、1996.11

日本リモートセンシング研究会：リモートセンシングハンドブック、1997.3

国土建設情報センター：普及期を迎えた国土空間データ基盤と建設情報化の取り組み、1999.7

建設CALS/ECセンター：建設CALS/EC講習会、1999.10

国土情報化研究会：国土情報化新時代、日刊工業新聞社、1999.10

トルコおよび台湾地震の概要と教訓

耐震技術研究センター長 保 田 雅 彦

トルコおよび台湾地震の概要と教訓

耐震技術研究センター長 保田 雅彦

1. はじめに

大地震の度に新しい地盤変動と新しい被災形態が生じる。昨年生じたトルコと台湾の地震もまた過去の地震とは異なる被災形態のものが多く、土木研究所から岡原構造橋梁部長がトルコへ緊急援助法に基づく援助の一環として、また、運上耐震研究室長が台湾へ土木学会の調査団の一員として参加した。又、土木学会、建築学会、地盤工学会からも調査団が派遣され種々の形で緊急報告がまとめられている。更に、台湾の地震観測ネットワークをもとにした地震動に関する報告書が台湾地震工学センターや国立台湾大学から報告書が出ている。そのほか、インターネットで多くの地震情報が発信されている。ここではこれらの報告書から両地震の特徴と今後の耐震技術開発のための教訓とすべき事項についてのべる。内容については間接的情報に基づいており、又、今後の詳細調査に委ねなければならない事項も多く、正確さを欠く点があるかもしれないこと、また、上記各報告書を借用したことをお断りしておく。

2. コジャエリ地震、集集地震、兵庫県南部地震の比較

2. 1 地震の概要

	コジャエリ地震	集集地震	兵庫県南部地震
1.発生日時 (現地時間)	1999年8月17日 3:02	1999年9月21日 1:47	1995年1月17日 5:45
2.場所	北緯 40. 74 度、 東経 29. 89 度	北緯 23. 85 度 東経 129. 81 度	北緯 34° 36′ 東経 135° 03′
3.深さ(km)	18	6. 99	14
4. 地震のタイプ	内陸直下型	プレート境界型	内陸直下型
5.規模 Mw	7.4 (Mw)	7.3 (ML) 7.7(Ms)	7.2(Mjma) 6.8(Ms)
6..死者 (人)	1 万 6 千 (行方不明含みでは 4 万 人?)	2295 (行方不明含みでは 2387)	6308 (行方不明含みでは 6310)
7.負傷者 (人)	23000	8731	43177
8.損壊家屋 (棟)	120000(Mid America Earthquake Center)	12000 (うち半分が全壊)	440000 (土木研究所報告 書)
9. 経済損失	60 億米ドル		物的被害のみで約 10 兆 円

2. 2 地震動の特性

1.起震断層	北アナトリア断層	車籠埔断層 (Chelungpu)	野島断層
2.加速度最大記録	407gal	983gal(南投県)	818 (神戸海洋气象台)
3.最大断層変位	水平: 4~5m(Arifeye) 鉛直: 2 m以上	水平: 13m 鉛直: 9m	水平: 1~2m 鉛直: 約 1m
4. 主要動の卓越周期	4~5 秒	4~5 秒	1~2 秒

3. コジャエリ地震の概要

3. 1 北アナトリア断層の地震環境

北アナトリア断層は、東西に 1200km の延長を持つ非常に活発な巨大断層である。図—3. 1. 1 は 1939 年以降の北アナトリア断層沿いに生じた地震と、それによって地表に表れた地震断層の範囲および、その発生時期を示したものである。1939 年のエルジンジャン地震に始まり、1942, 1943, 1944, 1951, 1957, 1967 年と西に向かって大きな地震が順番に発生し今回の地震により陸上部のほぼ全域が破壊した。このように、今回地震断層の発生した地域は地震空白地帯であったため、一部の学者によりマルマラ海周辺において近い将来地震が発生すると予想されていたところである。更に 11 月 12 日には、イズミットの東のデズジェにおいて Mw 7. 2 が発生し、700 人以上が死亡した。1939 年以前にも北アナトリア断層では東西方向に大地震が生じていることが歴史的事実として判明している。図—3. 1. 2 はトルコにおけるプレートテクトニクスを示したものである。また、図—3. 1. 3 は本震後 3 週間以内に生じた余震分布と起震断層と推定されているものである。この断層はアクヤズを境に東西に分岐している。

Location of August 17, 1999 Turkish Earthquake

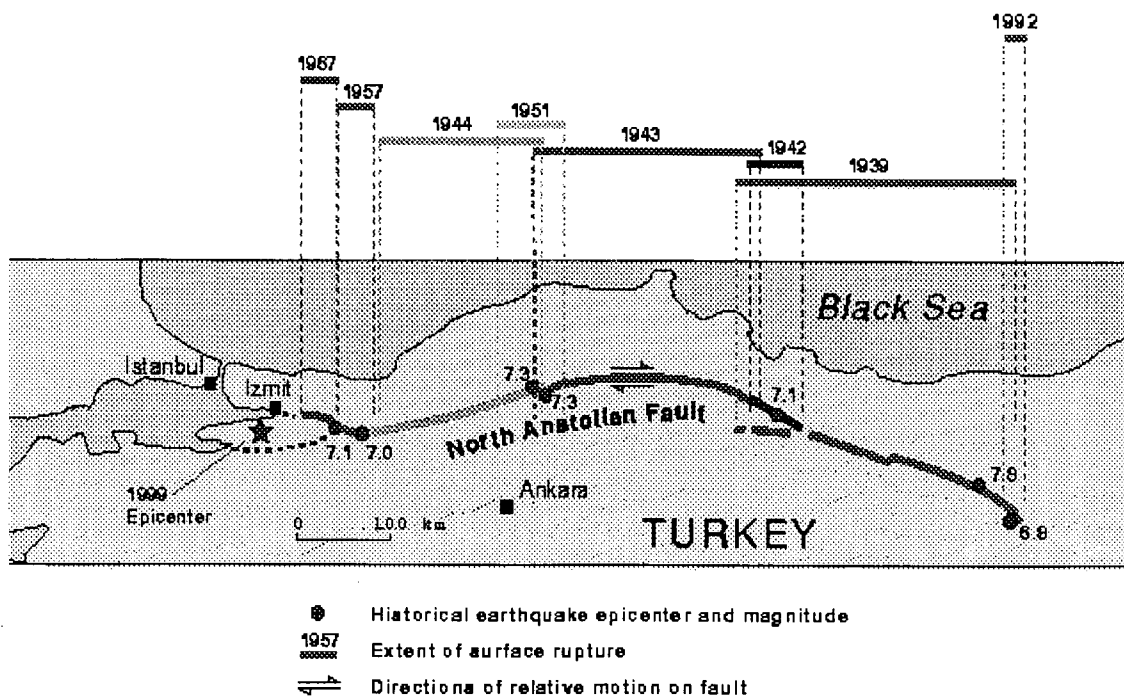
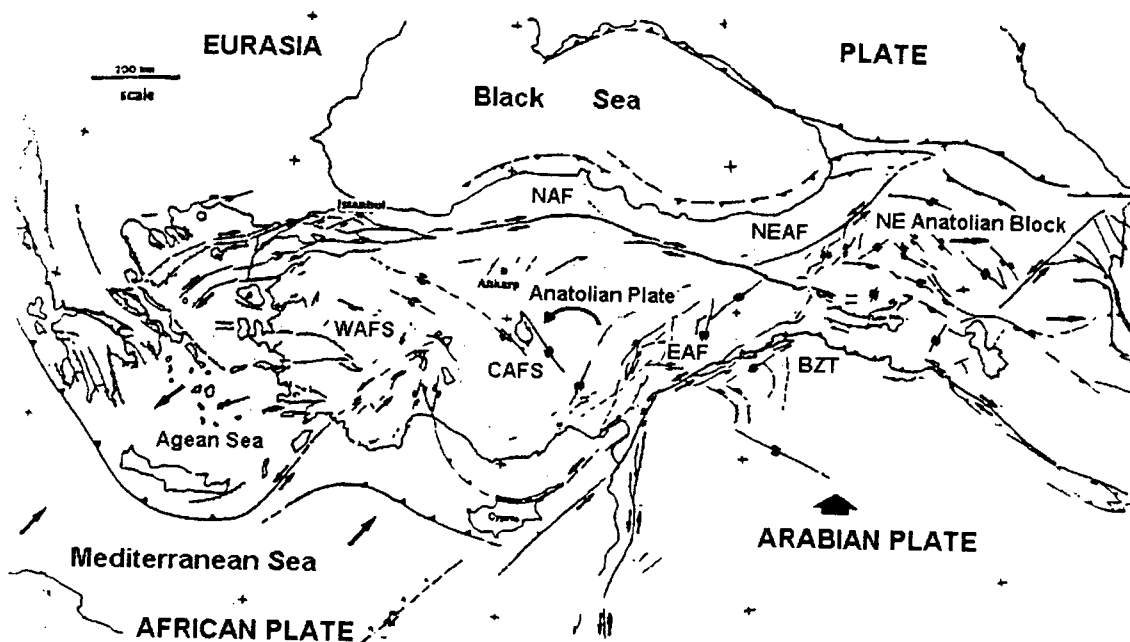
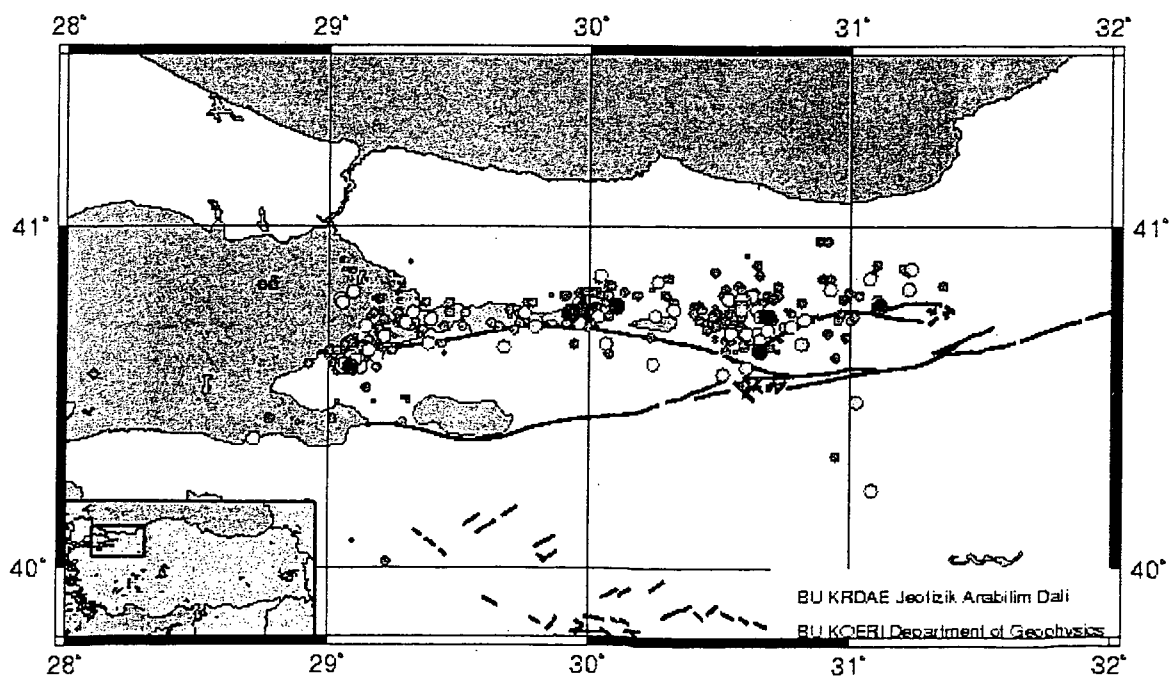


図 3. 1. 1 北アナトリア断層沿いに発生した地震 (USGS)



☒ 3. 1. 2 A plate tectonic model for Turkey modified from Barka and Reilinger 1997



☒ 3. 1. 3 Aftershock distributions (after KOERI)

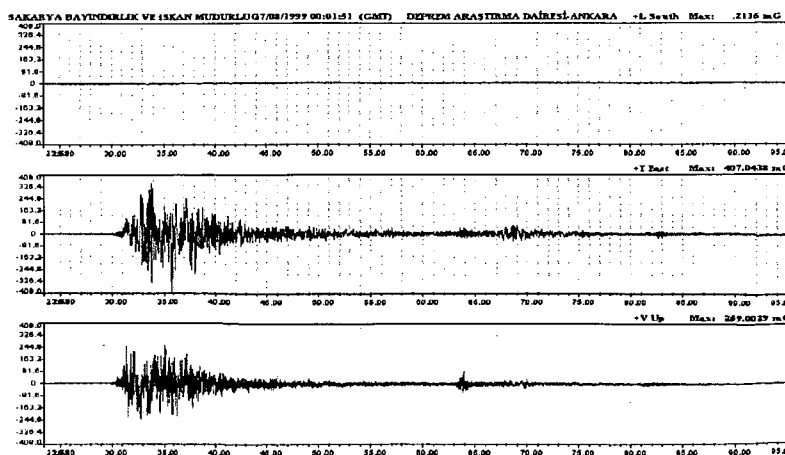
3. 2 得られた地震記録と断層変位

コジャエリ地震では、地震直後から地元のボアジチ大学カンデリ観測所、中東工科大学、防災局地震研究部 (DAD-ERD) 等がインターネットにより地震観測資料を提供し、米国地質調査所や東大地震研究所もグローバルな観点から解析結果などを情報発信した。図—3. 2. 1はこれらの観測網から得られた地盤の水平地震加速度の最大値の分布である。これより、最大値は震源から東北東 60 km のアダパザールの 41 %G で、次が震源から東北東 110 km のデュズジェの 37%G である。震源の西 20km のヤリムジャでも 32%G が出ており、何れも震源のイズミットより大きな加速度がでている。これについて directivity の影響が指摘されている。イスタンブールにおいては、市街地では 4%G 程度であるのに対し、郊外の市街地より震源から離れた (震央から 120km) アブジラルで 25%G が記録されている。この距離による逆転は、地質的なもの (サイト特性) か、震源域がマルマラ海まで延びたためか定かではない。



図 3. 2. 1 水平地震加速度の分布

最大水平加速度を示したアダパザルの記録を図 3. 2. 2 に、岩田による兵庫県南部地震とのスペクトルの比較を図 3. 2. 3 に示す。この地震波から長周期成分が読みとれ、また 65 秒から 70 秒付近でわずかな揺れ戻しのあることがわかる。さらに、図から、周期 1 秒前後では兵庫県南部地震の方が大きい。一方、震源から西方のヤリムジャの記録を図 3. 7 に示す。この記録では 40 秒前後に大きな揺れ戻しがあり、2 回目の破壊があったことを窺うことができる。ボアジチ大学ではサパンジャ湖とイズミットの間にアスペリティがあるであろうことを指摘している。また、この揺れ戻しの地震波は非常に高周波であり、急速に減衰するため、この周辺しか見られないとしている。



図—3. 2. 2 アダパザルの地震記録

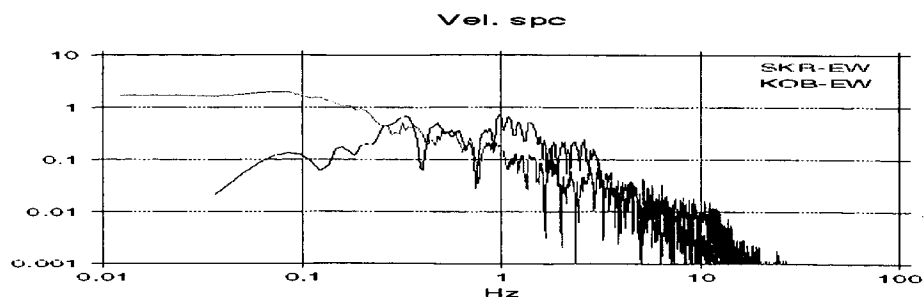


図 3. 2. 3 アダパザルと神戸の記録の速度スペクトルの比較

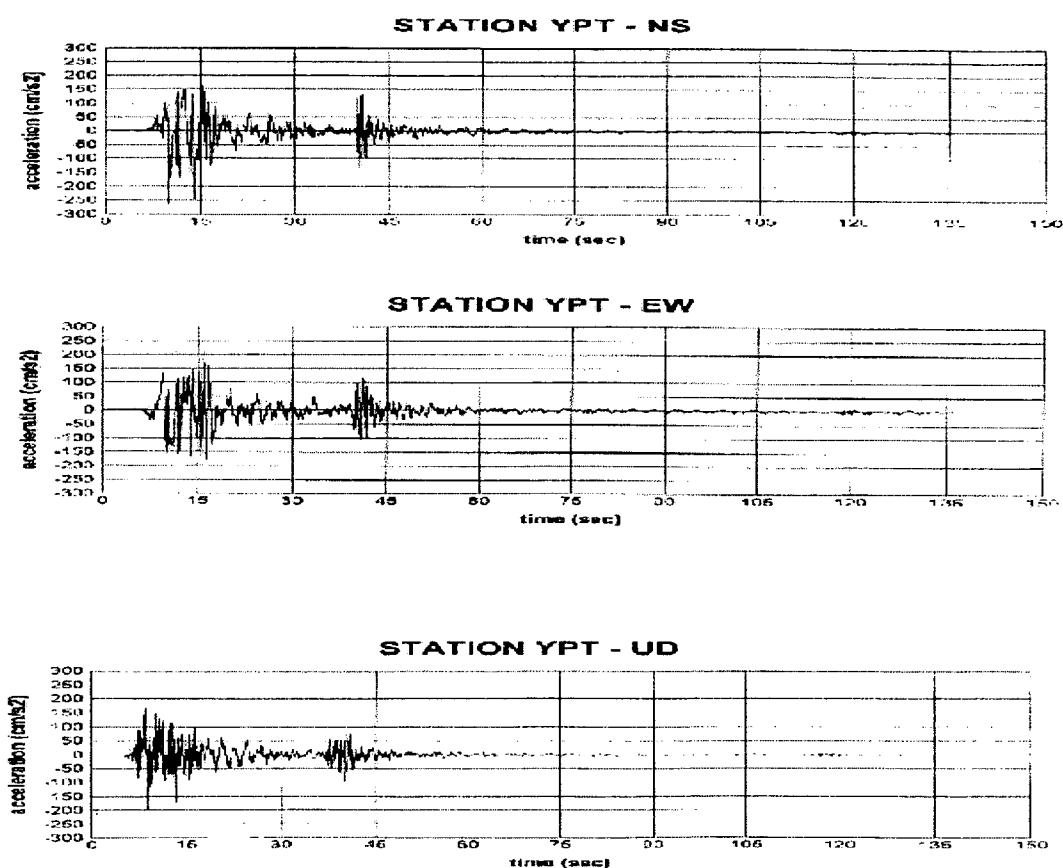


図 3. 2. 4 ヤリムジャの地震記録

また、図 3. 2. 5 は今回の地震で地表に表れた断層変位の位置と量の分布を示したものである。これよりほぼ水平に右横ずれ断層が生じ、ギオルジュクからアクヤズで折れてデュズジェまで約 120km にわたり断層が表れたことがわかる。また最大変位はアリフィエ付近の約 5m である。

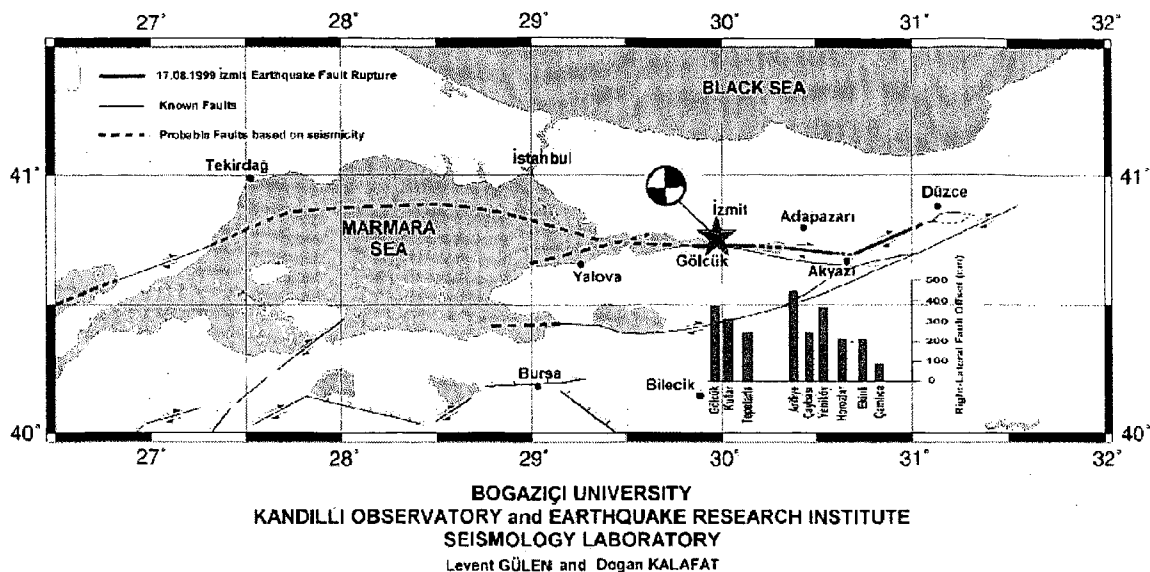


図 3. 2. 5 今回の地震で表れた地表断層

3. 3 地盤被害

(1) 液状化

アダパザルは黒海に注ぐサカルヤ川が形成した沖積平野である。町の名前 (ada は島、pazari 市場) が意味するように、150 年以前は島の場所に市場があり、ボートで行き来が行われていた。サカルヤ川の洪水による堆積作用で島が消失した。表層 20m は過去 200 年間で堆積した沖積層である。地下水位は 1~3 m と浅い。填砂の状況などから液状化区域と非液状化区域の分布、及び建物被害の状況が調べられた。図 3. 3. 1 は液状化の発生分布である。

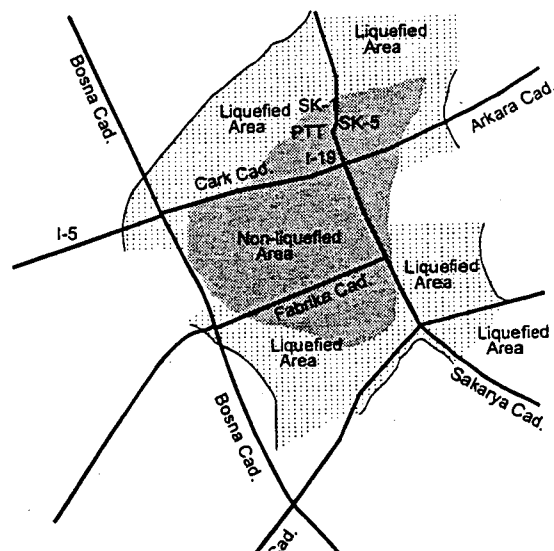


図 3. 3. 1 液状化分布の概略

液状化区域内では上部構造に殆ど損傷がないまま沈下、傾斜している (写真 3. 3. 1)。一方、上部構造の建物被害は、液状化区域と非液状化区域の境界付近に集中し、基礎の沈下を伴わず、建物一階の層崩壊、パンケーキクラッシュが生じていた (写真 3. 3. 2)。

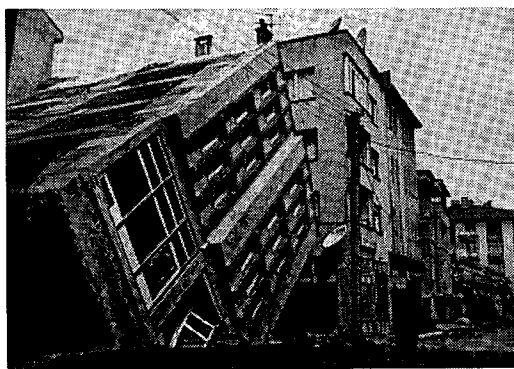


写真 3. 3. 1 建物の転倒



写真 3. 3. 2 非液状化領域での建物上屋の被害

(2) 海岸の滑り崩壊

イズミット湾は、北アナトリア断層帯とマルマラ海の地溝システムによって動的な影響を受けた東西方向の走向を有する活発な地溝である。この地溝流域には比較的新しい海成や陸成の堆積物が堆積していた。図3. 3. 2は南北方面の断面を示す。

デルメンデレでは図3. 3. 3に示すように、奥行き75m、間口250~300m程度の海岸の土地が流失し、この上に建っていたホテル、レストラン、喫茶店も消滅した。地震後、海岸から45mの奥まで海溝亀裂が海岸線に平行に発生しており、かなり大規模な海底地滑りが生じたものと推定されている。

(写真3. 3. 3)

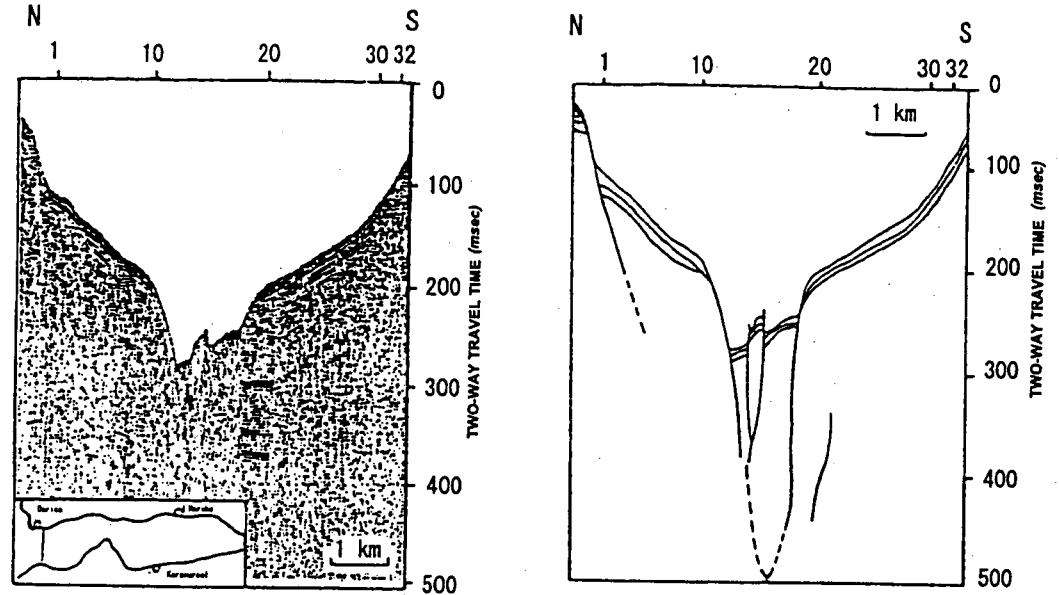


図3.3.2 イズミット湾の南北方向の断面図と構造図

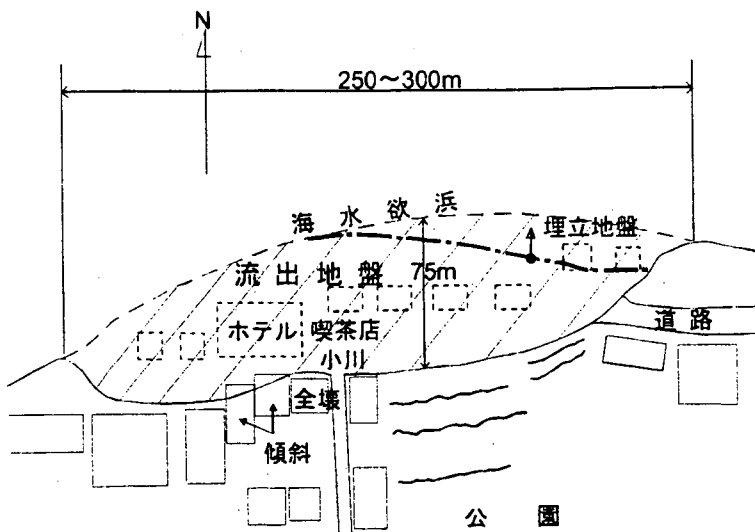


図3. 3. 3 Dagirmendere 地点見取り図



写真3. 3. 3 デルメンデルの崩壊海岸

3. 4 交通施設の被害

コジャエリ地震では、主としてコジャエリより東の地震断層に沿った地域で交通施設に被害が生じた。サパンジャ湖の東にあるアリフィエでは最大で約5m程度の地表地震断層変位がアナトリア高速道路E80に近接かつ平行して生じた。図3. 4. 1に高速道路と断層、オーバerpas、及びサカルヤ川の位置関係を示す。

アリフィエ橋(図のNo.3橋)は4@26m=104mの4径間単純PC斜橋(斜角65度)で、プレキャストUビームを5本重ねた構造である。図3. 4. 2に示すようにA1-P1間を断層が横切り、ずれが生じ、A1-P1間は水平に、他の3径間は南端が落下する形で落橋した(写真3. 4. 1)。A2橋台の損傷状況から他の3連はA2橋側に衝突し、斜角によって生ずる軸直角水平力により落橋したと考えられている。同様にNo.5のサカルヤ川橋についても断層が横切り落橋している。一方、近傍ではあったが橋梁を横切っていないNo.1, No.2, No.4のオーバerpasは損傷はあったものの落橋は免れている。これだけの断層変位に対して連続桁であればどうであったのか橋脚の強度も含め検討する必要がある。

鉄道施設については、イズミットとアンカラを結ぶ鉄道のサパンジャ湖西、テペタラ駅付近で線路を断層が横切り線路が大きく湾曲した。

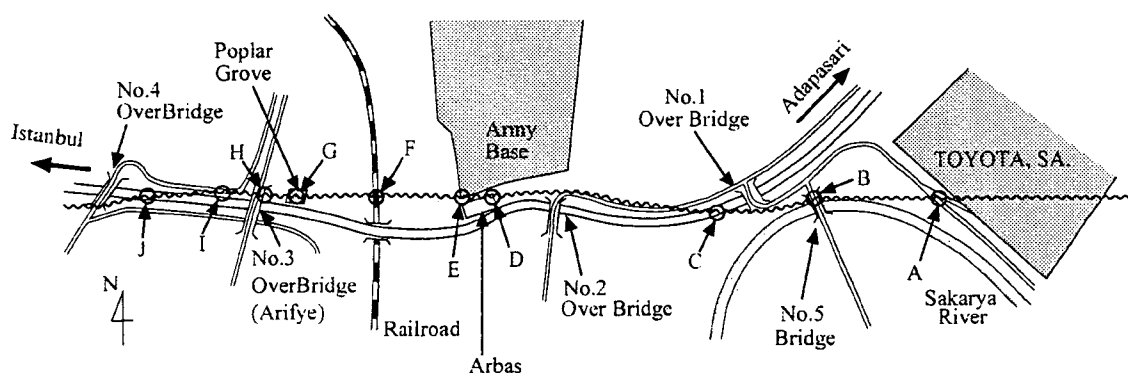


図3. 4. 1 Damaged Transportation Facilities and Fault-Induced Ground-Dislocations near Arifiye

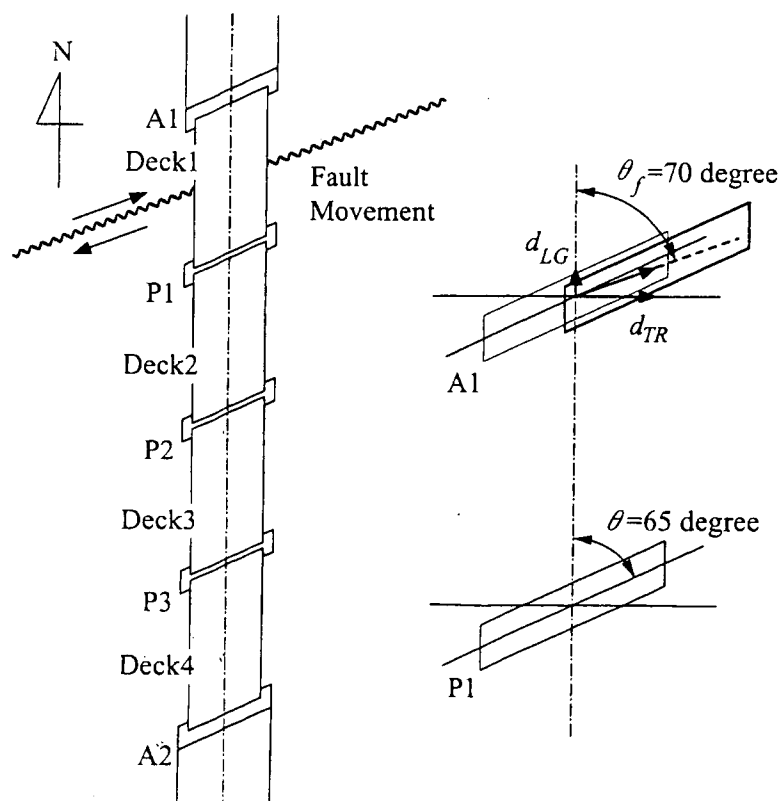


図3. 4. 2 Arifiye Overpass

3. 5 建物の被害

建築学会ではギョルジュクのデルメンデレにおいて被害の統計的調査と被害の要因分析（全数調査）並びに被災建築の個別構造調査がデルメンデレやアダパザルにおいてなされた。これによると、全数統計調査からは4階建て以上のRC構造に被害が多く、組積造（メーソンリー）は比較的少なかった。また、個別調査からは次のようなことが指摘された。

- ①RC構造は純ラーメンで非構造壁（耐震壁）がツーラと呼ばれる穴あきブロックで脆性破壊しやすい材料が使われている。骨組み構造がきれいなグリッドになっていない。柱と梁の連結が不十分である。柱の断面が扁平なものが多い。
- ②コンクリート強度が $16 \sim 30 \text{ N/mm}^2$ で強度が不足していると思われる。
- ③2階以上をせり出させた建物が多い。
- ④鉄筋は丸鋼が多い。
- ⑤上層部の増築が多い。
- ⑥塩害の問題がある。
- ⑦耐震設計基準はあるがそれが施工において遵守されていない。

3. 6 港湾構造物、産業施設、ライフライン施設など

イズミット湾沿岸の港湾施設に液状化によると思われる護岸や防波堤の水平移動や沈下があった。また、岸壁の荷揚げクレーンの倒壊があった。

産業施設ではヤリムジャにあるトルコ最大の石油精製会社テュブラの精製工場で大規模な火災が発生した。原因は、石油タンクの浮き屋根と外壁との摩擦熱によるナフサの発火、及び腐食により劣化していた煙突の倒壊でであろうとされている。

電力施設ではアダパザル変電所の遮断器、変圧器がアンカーボルトの切断などで移動した。復旧は迅速であった。この変電所はアダパザルでも非常によい岩盤の上に立てられており被害が少なかったと言うことである。

また、水道管などの地中管路についても断層変位によって多くの箇所切断などの被災を受けた。

4. 集集地震の概要

4. 1 台湾の地震環境

台湾を取り巻くプレートは、ユーラシアプレートに東からフィリピンプレートが沈み込む形状になっている。今回の地震は図4. 1. 1に示すようにユーラシアプレートが中央山脈の下に潜り込む運動が中央山脈山麓に逆断層運動を引き起こしたものでプレート境界型地震である。震源断層は幅40kmの車籠埔断層が動いたと考えられている。

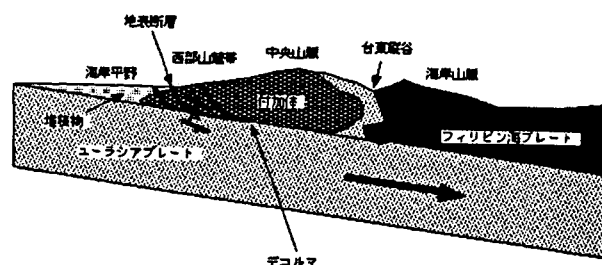


図4. 1. 1 台湾の構造断面図 (Seno,1994)

図4. 1. 2に台湾における活断層の位置図、図4. 1. 3に特に被害の大きかった地域の地図を示す。（何れも日経コンストラクション 1999. 10. 22より転載）この断層系東側の地殻が約30度の角度で西側に乗り上げる形状をしている。この地震断層は長さ80kmで、地震観測点での積分による地表面の変位分布は図4. 1. 4のとおりである。最大値は6. 5m程度である。観測点以外では石岡ダム付近で鉛直で9から10mの変位が現れている。北部での変位量は南部より水平、鉛直共に大きい。この現象は図4. 1. 5に示す断層の滑りモデル (Yagi & Kikuchi, 1999) のピークが断層の北部に位置することに対応する。また、断層の東部と西部では、上盤側にある東部の方が変位量が大きい。また、この断層の特徴は、破壊継続時間が28秒と長いこと（コジャエリ地震では12秒）、滑り分布のピーク位置も震源と一致していないことである。

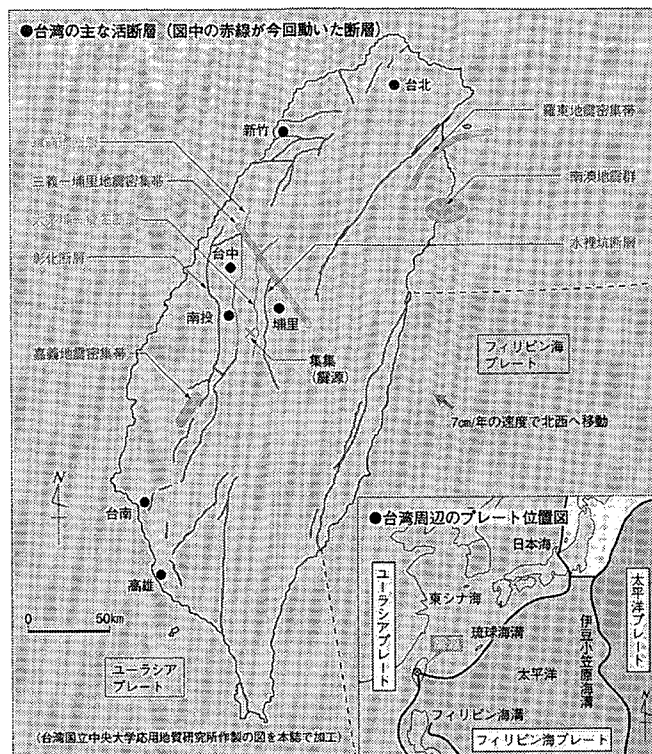


图 4.1.2

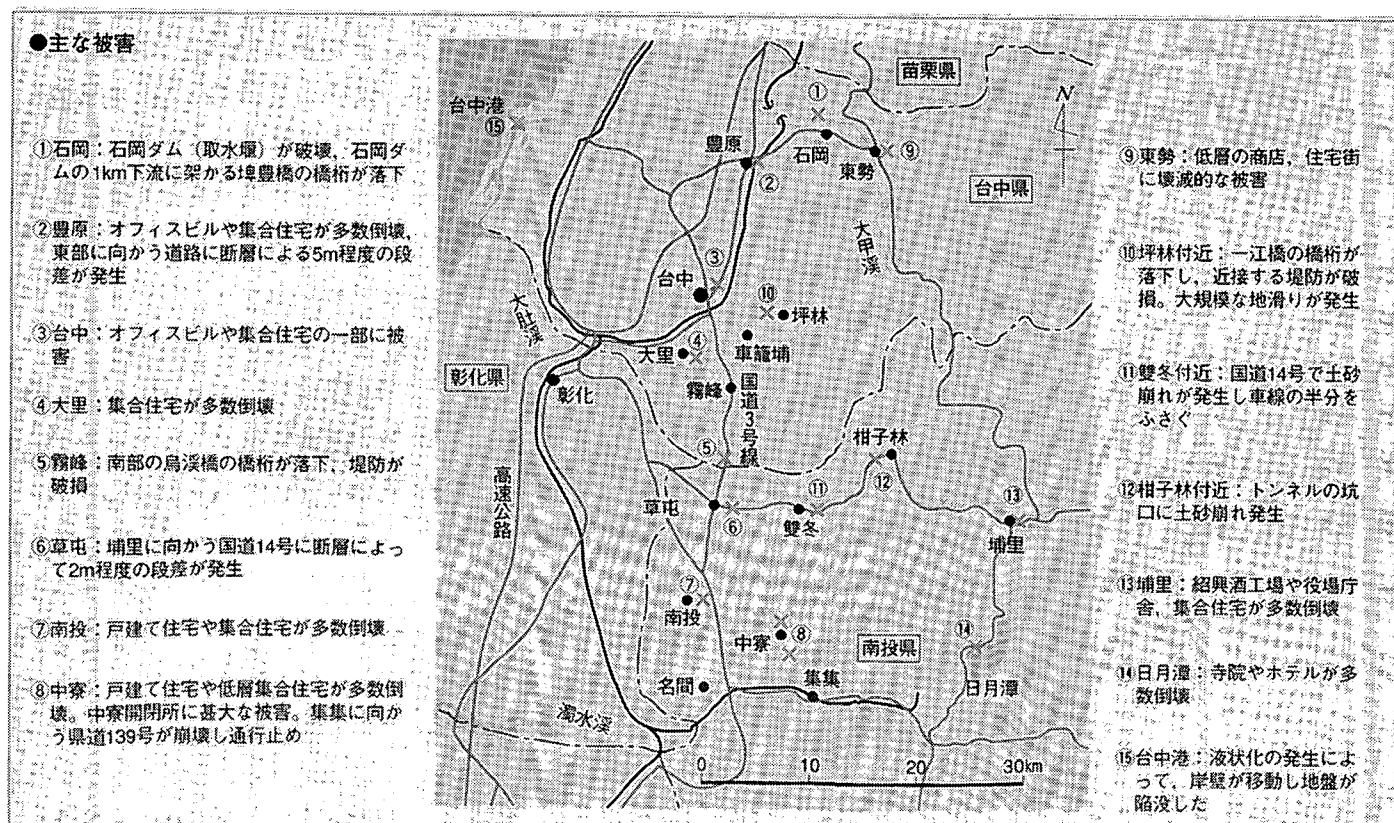


图 4.1.3

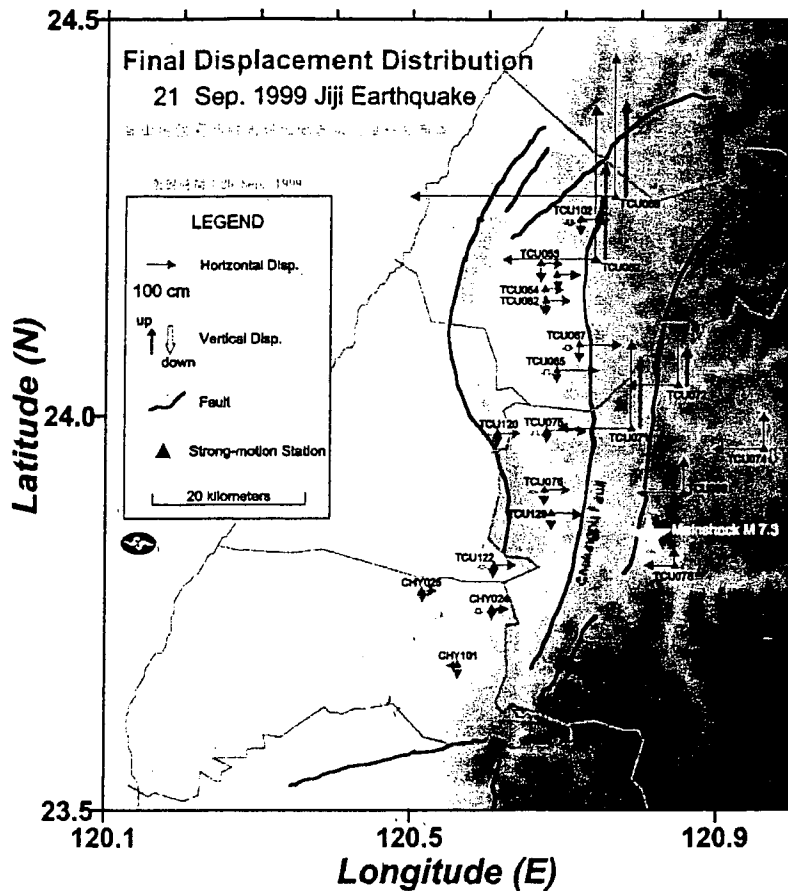


图 4.1.4 The final displacement distribution

<http://www.cwb.gov.tw/Data/earthquake/921moving.jpg>

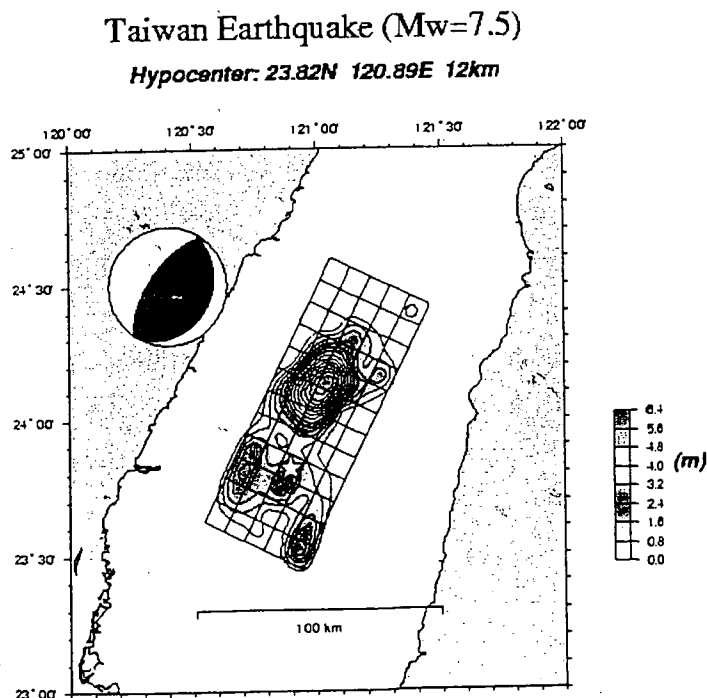


图 4.1.5 Distribution of fault-slip determined by the result by Yagi & Kikuchi (1999).

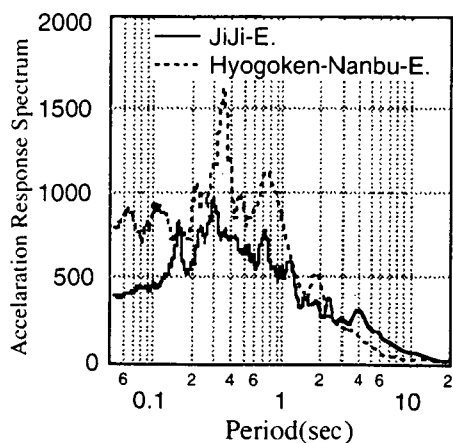
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/yuji/tai/tai.html>

4. 2 地震動特性

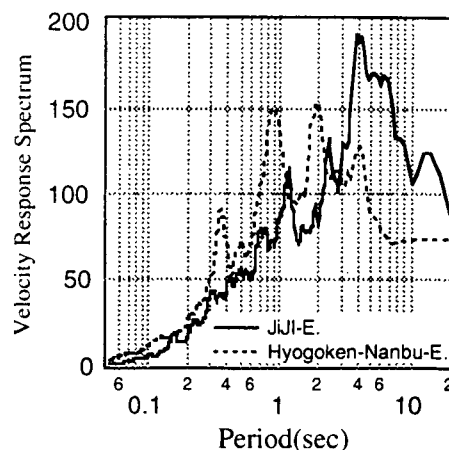
台湾交通部気象局では全土で 700 を越える観測網を持ち、その 70%の地点で地震記録が観測されている。図 4. 2. 1 は車籠埔断層沿いに設置された観測点の東西および南北方向成分の加速度記録の分布である (台湾羅教授)。これらより次のことがいえる。

- ①震源近傍の TCU129 で最大の 983gal を示す。
- ②震源近傍ほど継続時間が長い。
- ③断層の東側の方が加速度が大きい。
- ④東西と南北では殆どが東西方向の加速度が大きい。
- ⑤震央近傍及び震源の南では比較的短周期が卓越するが、震源の北側では震源距離が大きくなるに従い長周期成分が卓越し、パルス的な波形が卓越するようになる。この地震動特性は断層の破壊過程に大きく依存すると考えられるので今後震源過程に基づく地震動特性の解明に大いに役立つものと思われる。

また、図 4. 2. 2 は台中市南部にある中興大学キャンパスに設置された記録と兵庫県南部地震のポートアイランド GL-83m で取れた記録の加速度及び速度記録のスペクトルの比較である。これから分かるように 2 秒以上になると集集地震の方が大きい。特に速度応答は周期 4 秒で 180m/s もの値を記録している。このような長周期地震動が台中港の精糖タンクにスロッシングを生じさせタンクを損傷させたと考えられている。



a) Acceleration Response Spectra



b) Velocity Response Spectra

図 4. 2. 2 Comparison of Response Spectra ($h=5\%$) between the 1999 Ji-Ji and 1995 Hyogoken-Nanbu earthquakes

EW Acceleration Time-History

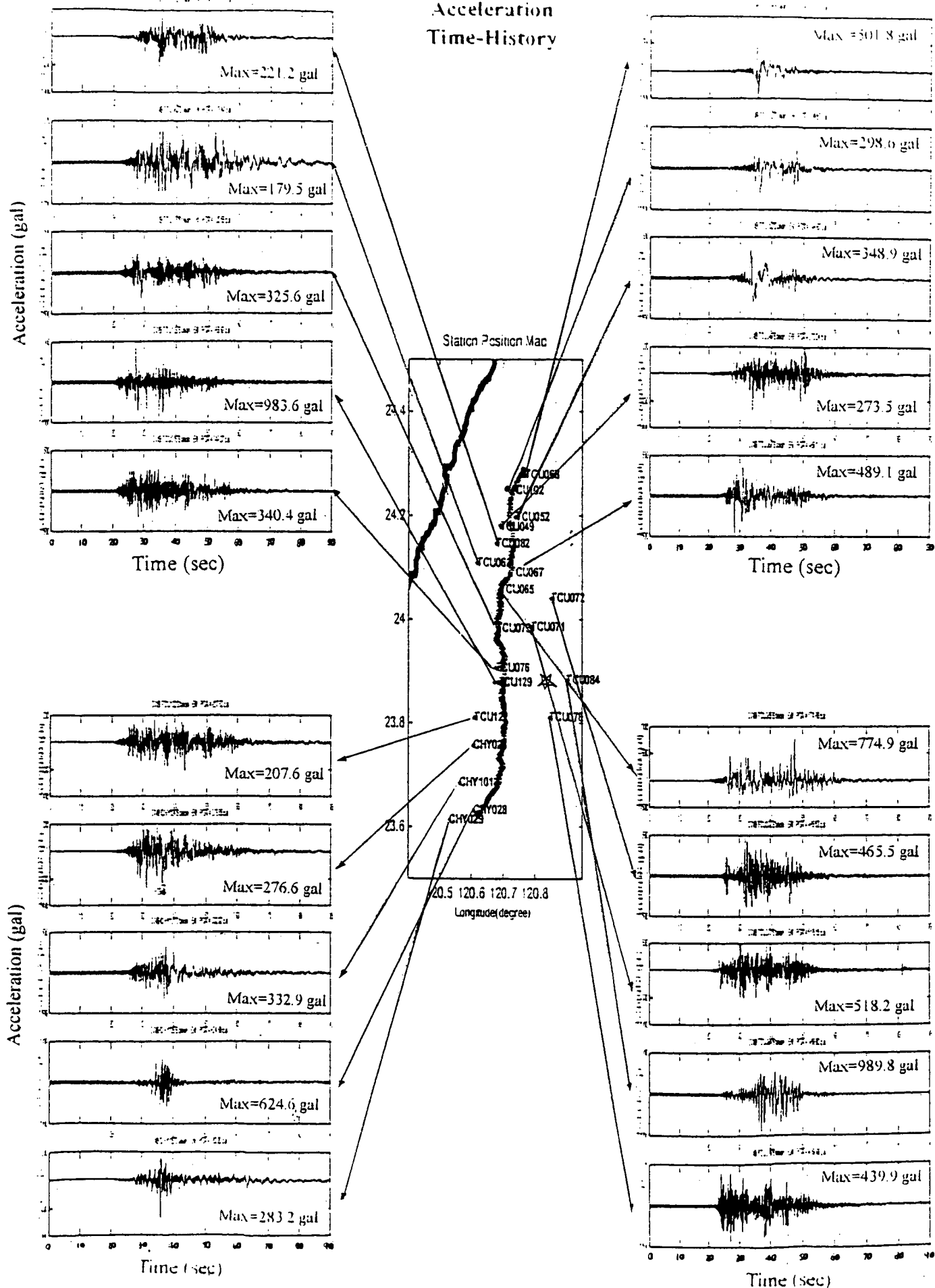


图 4.2.1 Plot of recorded acceleration in east-west direction along Chelungpu fault

4. 3 交通施設の被害

今回の地震の震源となった車籠埔断層沿いの台中県、南投県は地震強度の地域区分では第二区または第三区になっており、構造物の設計震度が低かった可能性がある。

道路橋に関しては、台湾中部地区の省道 3, 14, 16, 21, 63, 127, 149 甲の全路線の 754 橋中、大破 10 橋、補強を要するもの 30 橋と報じられた。この地域は台湾の現行設計基準では比較的地震危険度が低いとされる第 2 区に属しており、設計用応答か速度は 0. 23g である。図 4. 3. 1 に被災した道路橋の位置図を示す。

被災パターンとしては、

①断層変位や液状化等の地盤変状に伴う過大な変位に起因するもの。

名竹橋、石園橋、稗豊橋、一江橋、烏溪橋、長庚橋、軍功橋など

②過大な地震動に起因するもの。

東豊橋、猫羅溪橋、炎豊橋、集鹿大橋、林尾橋

等到大別される。大まかに、①のカテゴリーの橋梁は落橋に至ったものが多く、②のカテゴリーの橋は、橋脚などに甚大な損傷は受けているが崩壊、落橋には至っていないものが多い。断層直近の被害は大きい、断層から離れると急速に被害が小さくなる様相が見られた。

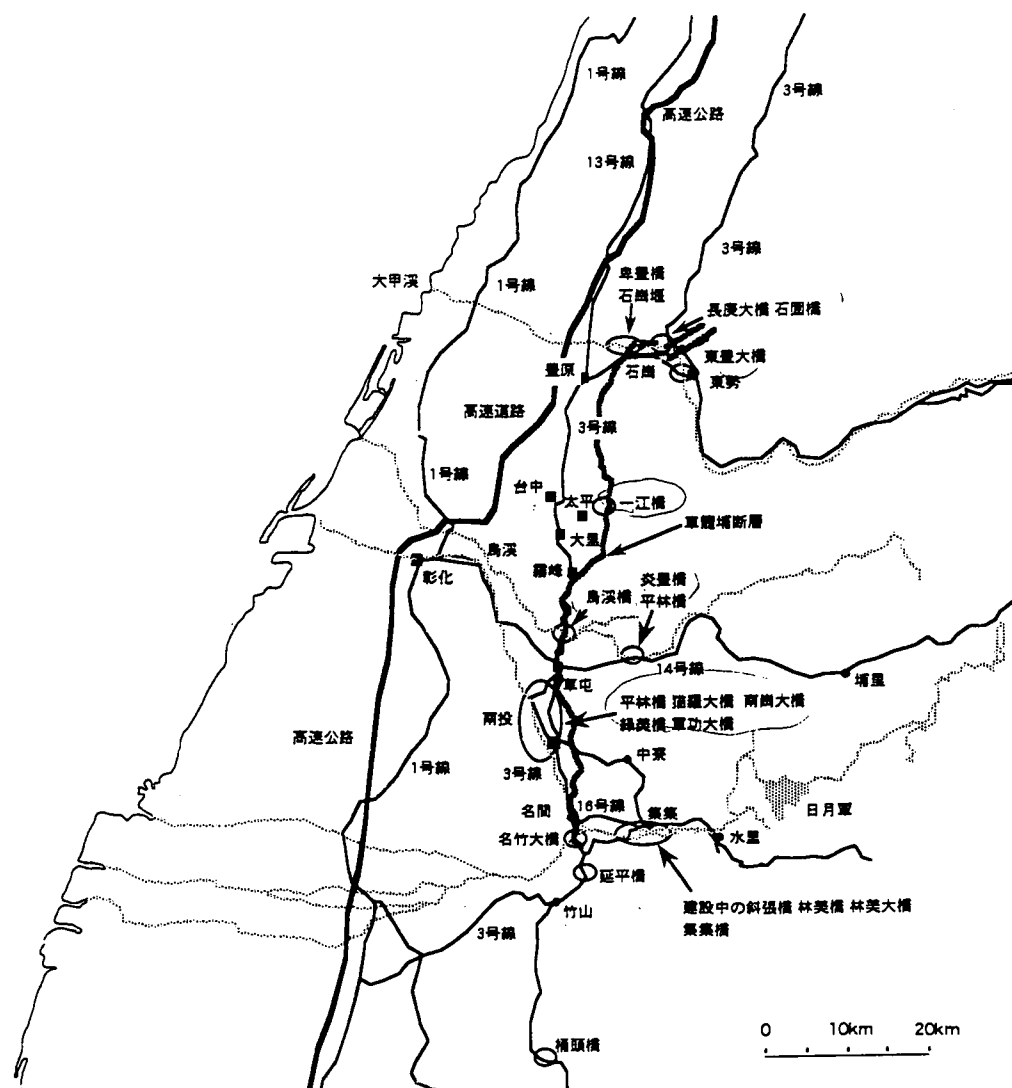


図4. 3. 1 道路橋の被害状況

4. 3. 1 石岡郷、東勢鎮周辺

(1) 稗豊橋

石岡ダムのに位置し、大甲溪に架かる 13 径間の単純桁橋である。桁は径間長 25m で RC I ビーム橋である。南側の A2, P12, P11 の周辺地盤が 3~4m 隆起し、D13~D11 が落橋、P11 が倒壊した。

(2) 長庚大橋

石岡ダムの東に位置し、大甲溪にかかる 11 径間単純桁橋である。D11 の北側桁端部 P10 から、同じく D10 の北側端部が P9 からそれぞれ落下した。P9 は液状化を起こしている。周囲の状況から断層変位に拠るものではなく、地震動による変位が桁かかり長を超えたものと思われる。

(2) 石圍橋

大甲溪の支流の砂連溪にかかる 3 径間曲線橋である。被害状況を図 4. 3. 2 に示す。この橋の周辺の川岸では大規模斜面崩壊を起こしており、これにより A2, P2 基礎が変位したためと考えられる。また、未確認ではあるが断層が横切った可能性も指摘されている。

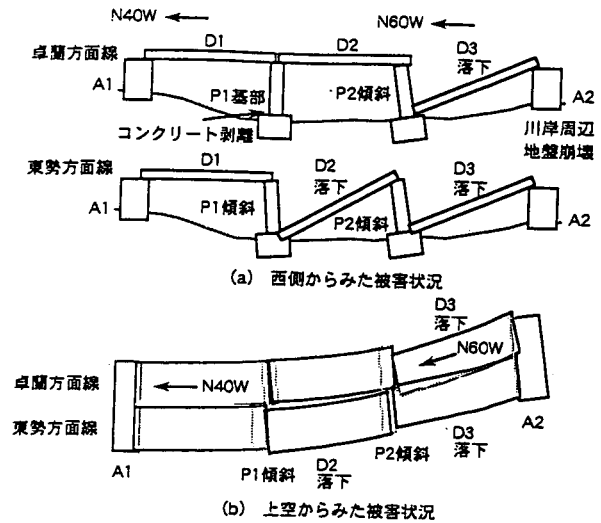


図 4. 3. 2 石圍橋の被害

4. 3. 2 太平市、霧峰郷、草屯鎮周辺の被害

(1) 一江橋

県道 136 号上にあり、台中市から太平市に入ったところに位置する 20 径間単純橋である。被災状況を図 4. 3. 3 にしめす。周辺の断層運動によって周辺地盤が隆起し、D1~D9 の落下、P5、P8 の倒壊、P2 の地盤中への埋没が生じた。

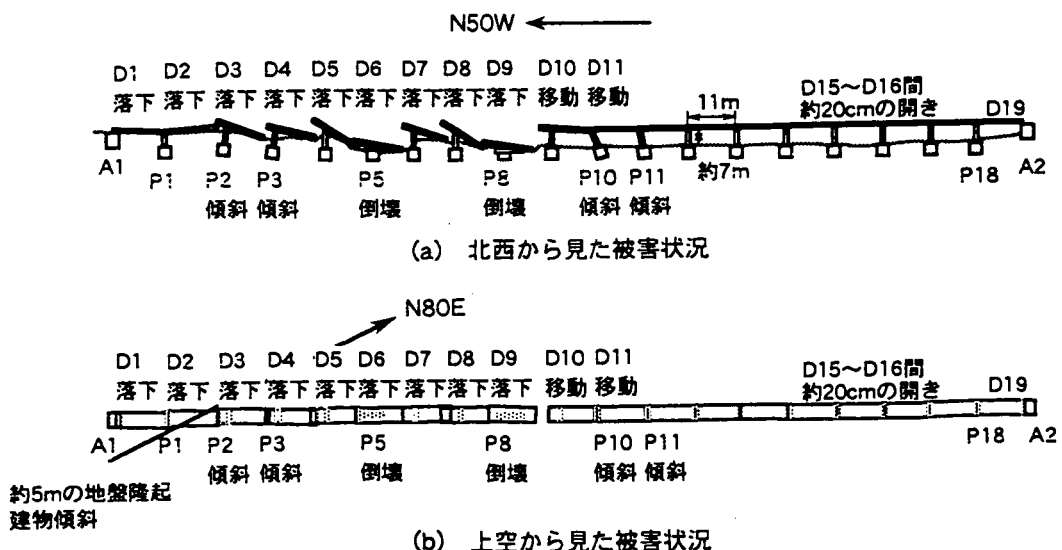


図 4. 3. 3 一江橋の被害

(2) 烏溪橋

省道 3 号線上にあり、烏溪に架かる旧橋（上流側、東側）、新橋（下流側、西側）3 車線ずつの 17 径間単純橋で、径間長は 30m 程度である。橋脚は旧橋が橋軸直角方向 8.5×橋軸方向 3m に対して、新橋が 5×2m に絞られている。被災状況を図 4. 3. 4、及び周辺の断層線との位置関係を図 4. 3. 5 に示す。断層は P 2～P 3 を横切っており、橋の真下では南側の地盤が北側に対して 2m 隆起している。また水平方向にも約 3m ずれが生じている。旧橋の被害は、1) D1E, D2E の落下、2) P3E 基部の半周にわたる開口ひび割れである。新橋の被害は、1) P1W, P2W における東から西へのせん断破壊、2) P3W のケーソンのせん断ひび割れと被りコンクリートの剥離、3) P4W 基部コンクリートの剥離、4) P5W のせん断破壊、5) P6W, P7W の被りコンクリートの剥離、6) P8W のせん断破壊である。ほぼ同じ地盤変動を受けた新旧の橋梁の破壊形態がこれ程までに違う理由については上部工に対する橋脚断面の剛性、強度の差と考えられる。キャパシティデザインという観点から今後の耐震設計のあり方について示唆を与える損傷状況である。

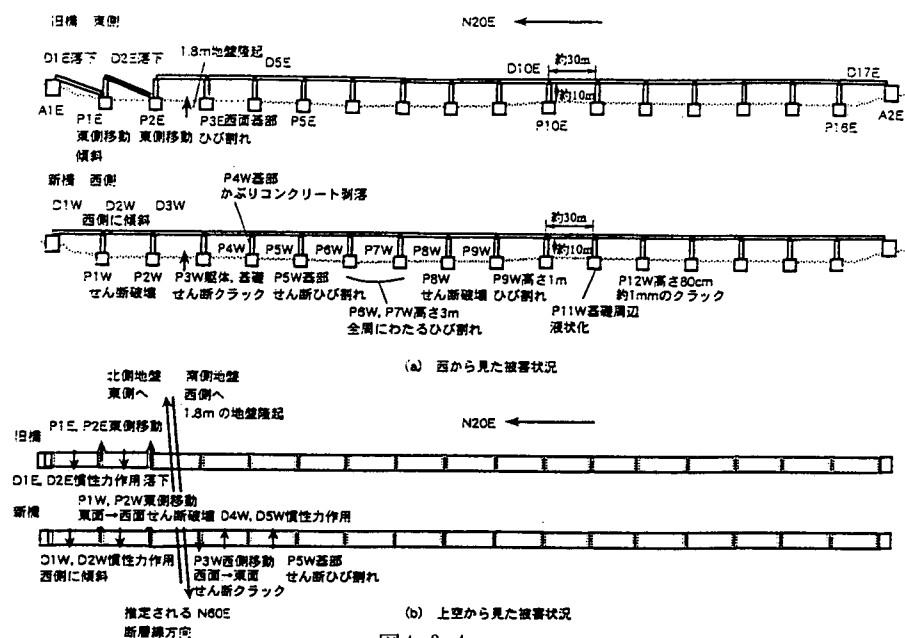


図 4. 3. 4 烏溪橋の被害

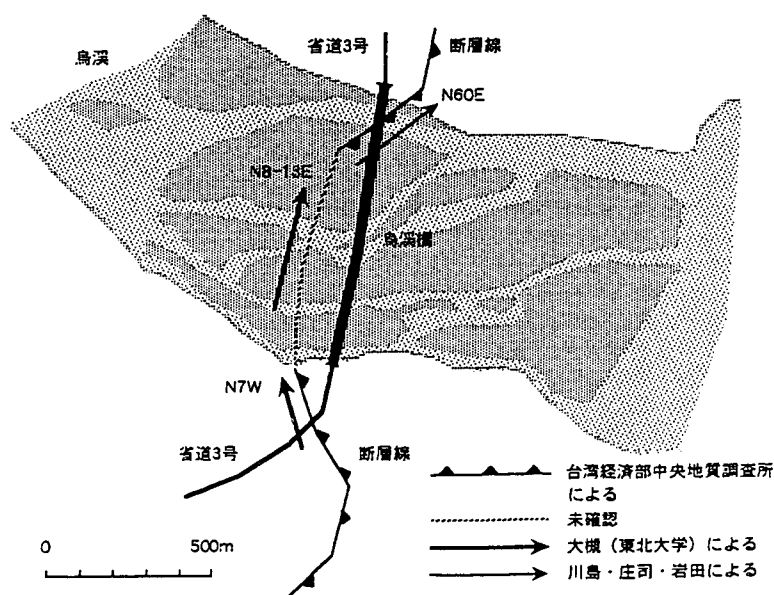


図 4. 3. 5 烏溪橋周辺と断層

4. 3. 3 南投市周辺の被害

(1) 猫羅溪橋

猫羅溪に架かり、省道3丙号と省道3号を連結し、草屯鎮と南投市を結ぶ供用直前の多径間連続鋼版桁橋である。桁と橋脚をPC鋼棒で連結し剛結していたが偏心しているため橋脚天端にひび割れが生じた。

4. 3. 4 集集市周辺の被害

(1) 集鹿大橋（建設中の斜張橋）

集集街のほぼ南に位置し、濁水溪に架かる4車線のPC斜張橋である。ケーブルは2面吊りで、主塔高さは50m程度、基部の断面は6m×2.5mである。桁は中央部を現場打ちし、両サイドにプレキャスト製ブロックをよこ締めする構造になっており、主塔部を除いてほぼその取り付けが完了していた。被害状況を図4.3.6に示す。主桁は北側に100mmずれ、その結果、南側の橋脚P3は北側に傾斜している。南側東面では、したがって7弾目のケーブルがカップラーの破断により抜け出ている。このほかに、北側の2,3本のケーブル取り付け用カップラーがゆるんでいる。主塔基部では東面で高さ2m、西面で高さ1m程度の範囲でかぶりコンクリートが剥離し、帯鉄筋が露出している。主桁についても、主塔から0.5m南側では主桁の上下面で主鉄筋が部分的に座屈を生じていた。

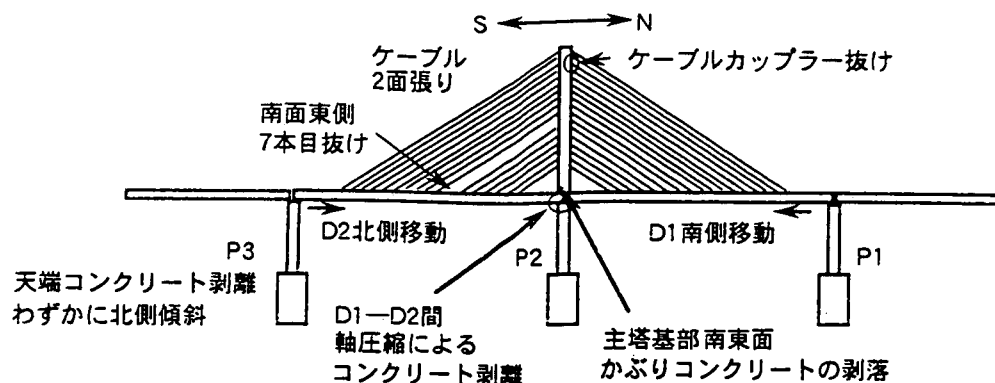


図4.3.6 建設中の斜張橋の被害

4. 3. 5 名間郷、竹山鎮周辺の被害

(1) 桶頭橋

竹山鎮南西部清水溪にかかる2車線4径間の橋梁である。径間長は10m程度、橋脚はT型張り出し式RC橋脚である。A1は崩壊し、D1は南側に傾いて落下している。P1はせん断破壊し、東側に傾いている。D2は完全に落下し、P2もD3の下に埋もれ倒壊している。D3は落下し、P3は東面から西面にかけてせん断破壊し、D4は北側に落下しており、桁の途中で折れ曲がっている。A1橋台付近では大規模な岩盤崩壊が生じており、その破壊の仕方が尋常でないことからこの付近を断層が横切ったと考えられている。

4. 3. 6 鉄道施設

縦貫線（山線）では大甲溪橋と三義第一トンネルが被害を受けた。大甲溪橋は、RC単純桁橋、スパン25m×29連の橋梁で、橋脚は直径3.2mの円筒形、基礎はケーソン基礎である。きょうきやくは白布、張り出し部が損傷した。現在RC巻立てが行われている。三義第一トンネルではコンクリートの剥落や、トロリー線の落下があるが、当初から大変形が生じるであろう断層部は避けて配線決定がなされたため軽微な損傷で済んでいる。

4. 3. 7 国立中央大学の提言

国立中央大学では、橋の耐震設計に関して以下のような提言を行っている。

1. 橋梁建設地点の選定に当たっては、地域の地震危険度や断層の影響を詳細に検討すること。
2. 耐震基準の地震地域区分及び震度を再検討すること。
3. 断層近傍の地震力の影響を検討し、橋梁設計基準に取り入れること。
4. 現在、交通部がやっている全国橋梁の検査と耐震補強を加速して推進し、橋梁の耐震性を高めること。
5. 代替路線を完備し、橋梁を封鎖した場合でも素早く緊急対応用路線網を確立可能とすること。

6. 地方自治体（県、市）の橋梁の検査・保全能力を強化すること。
7. 新設と保全の両者の重要度を同等とし、継続的な保全を可能とするような予算措置をとること。
8. 全国統一の橋梁検査基準を策定すること。

4. 4 ダムの被害

南北に走る車籠埔断層は豊原市あたりで大きく東に向きを変え、石岡地区を横切り、大甲溪に建設された石岡ダム（重力式コンクリートダム、堤高 25m、堤長 357m）にダム被害としては前例を見ない断層変位による被害を与えた。この付近の平面図を図 4. 4. 1 に示す。東に向けたこの断層の延長は単純な 1 本の筋でなく、このダム周辺で雁行する、或いは枝分かれする複数の段差が連なるという複雑な様相を呈している。図の A 断層は碑豊橋あたりで大甲溪を横切り、滝を出現させた。この断層の延長は右岸側丘陵部に達すると不明瞭になるが、丘陵の一部を大きく隆起させ、今度は北西から南東に向かうような段差が表れる（断層 C）。そして再び大甲溪に交わると突然東に向きを変え、ダムを横切り、18 門の洪水吐のうち最も右岸側に近い 3 門を大破させた（写真 4. 4. 1）。台湾経済省水理処の測量では、洪水吐 No.15 の天端では約 11m、右岸側非越流部で 1m の隆起があり、結果として 10m の段差ができた（写真 4. 4. 1）。断層線 A に雁行するように断層線 B が大甲溪左岸側に表れている。この断層 B では断層線の北側が盛り上がった。すなわち、断層線 A, B, C に囲まれた区域が周辺と比べて相対的に押し上げられるような変形をした。断層 B によって大甲溪に注ぐ支川は閉塞されたため、たまった水を流すことを目的に隆起部分が緊急開削された。

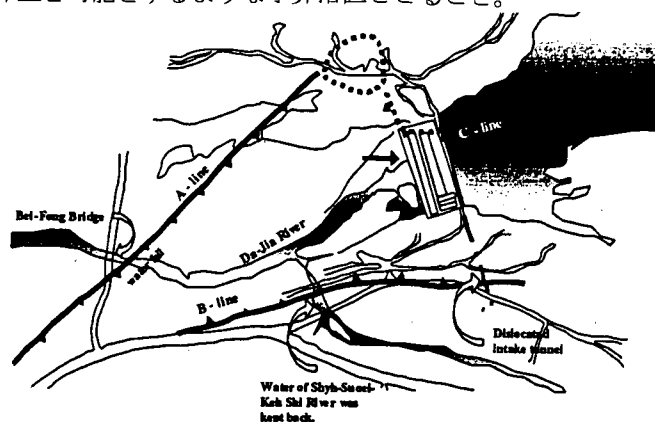


図 4. 4. 1 石岡ダムおよびその周辺

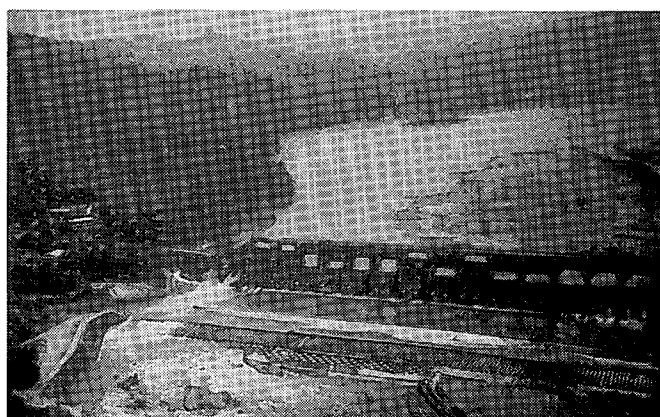


写真 4. 4. 1

4. 5 ライフラインの被害

4. 5. 1 電力施設

基本的には送電鉄塔と変電所、開閉所の被害が大きく、発電所の被害は軽微であった。台湾全土の系統が中寮開閉所に集中していたが、不幸にもその重要なポイントを地震が直撃した。

また、中寮開閉所から峨眉に至る第 2 ルートでは約 200 基の送電鉄塔が被災した。

4. 5. 2 ガス施設

台湾では中国石油公社（CPC）が天然ガスを独占的に購入し、都市ガス会社に卸売りしている。CPC は、LNG 基地を南部永安に設け、更に南の林園から北の新竹まで 24~30" (600~700mm) の導管（鋼管）を敷設した。この導管は既設の新竹~台北~基隆を結ぶ導管と連結し、台湾縦貫導管が 1991 年に完成した。この導管は、高速道路のフェンス沿いに埋設されているが、導管沿いに地盤変状は見られず、導管には全く被害がなかった。CPC では台湾南部の都市ガス会社へ 8" (200mm) 及び 4" (100mm) 導管で供給しているがこれらの導管が断層変位や構造物の破壊に伴って被災している。台北ではマイコンメーターが約 5000 個取り付けられていたが、地震時に遮断機能が作動しなかった

4. 5. 3 水道施設

石岡ダムを水源とする豊原浄水場及び、石岡ダムからの導水トンネルに大きな被害があった。

4. 6 地滑り、斜面崩壊

台湾における中央山脈の西部に位置する西部山麓帯に大規模な地滑りや斜面崩壊が多数発生した。それらは、概ね震源より 60km 以内に発生している。台湾は、斜面傾斜が約 20 度以上を有する地域の面

積が国土面積の53%を占め、1000haを越す地滑り地が存在することが指摘されている。

集集地震による地滑りや斜面崩壊の実数はまだ調査中であるが、ここでは多くの人的災害をもたらした大規模な地滑りとして草嶺と九分二山、及び大規模斜面崩壊として中央横貫公路の谷關 (Gwu-Guan) と火炎山の事例をのべる。これらの地域の地図を図4. 6. 1に示す。

草嶺は、嘉義県と雲林県県境を流れる濁水溪支流の清水溪の上流部に位置している。その川の両側の山地において写真4. 6. 1のような地滑りが起きた。地滑りにより生じた土砂はその川の流域に存在した村落を飲み込むとともに、川を埋め尽くした。この地滑りにより流出した土砂量は、3億 m^3 以上、総延長4km以上と推定されている。

九分二山は南港の西数kmに位置し、向かい合う二つの山に地滑りが発生し、2つの集落が土砂に飲み込まれた。この地滑りによる流出土量は0.5億 m^3 以上であると推定されている。

大規模斜面崩壊の生じた谷關は大甲溪の上流に位置している。大規模な斜面崩壊は、台湾の東西を結ぶ重要な中央横貫公路が建設されている産地の急斜面で発生した。火炎山は台中市東南東、約10kmに位置し、山頂部における表層部が崩壊し禿げ山状態となっている。

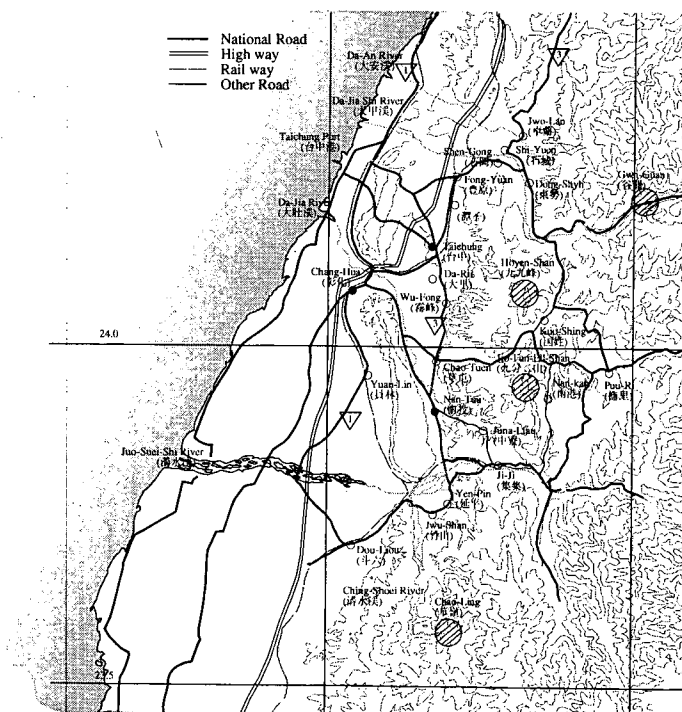


図4. 6. 1 The location of points for the Landslide and Slope failure

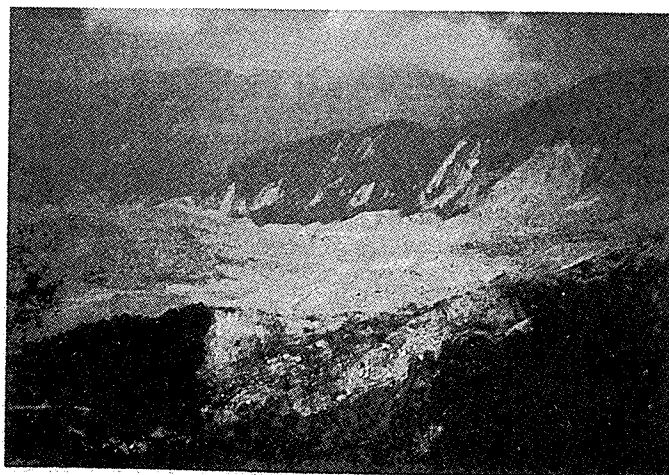


写真4. 6. 1 Landslide at Chao-Ling

(Provided from the investigation team for The 1999 Ji-Ji Earthquake by The Japanese Geotechnical Society)

4. 7 建物の被害

文部省の調査団として調査に当たった塩原、中島らの報告から要点を述べる。
台湾の建築物の構造設計基準は米国の構造設計基準に準じて作られた、台湾の構造設計基準によっている。倒壊した高層鉄筋コンクリート建造物がごく一部であったことから構造設計基準については大きな問題はなかったとされている。以下のようなことが指摘され、現在さらなる調査を実施中である。

- 1) ピロティー形式の一層崩壊。
- 2) 50メートルを超えない建物の審査が不十分。
- 3) 帯鉄筋の間隔や、そのフックの角度が不十分。
- 4) 主鉄筋の継ぎ手はほとんどが重ね継ぎ手であるが、継ぎ手位置をずらしていない（いも継ぎ）、あるいはかぶりコンクリートの厚さが不足。
- 5) 部材の中に缶やゴミが入れられていたが、これは飾り梁など非構造部材によく用いられるとのことであるが誤って使っていないか。
- 6) 断層に近い建物の倒壊が顕著である。

5. トルコ、台湾の地震からの教訓

以上のトルコ、台湾の地震被害から、今後の構造物の耐震設計上特筆すべき教訓事項は次のようにまとめられる。

- (1) コジャエリ地震はその発生が高い確率で予想されていたにもかかわらず、数多くの犠牲者と負傷者を出した。地震に対する備えの不足が指摘される。
- (2) 地表断層変位に対する対応。

今回のトルコおよび台湾での地震では、地表に表れた断層変位による構造物の破壊が顕著である。日本においても過去に濃尾地震では5～6mの鉛直変位の経験がある。地表に表れる断層変位の位置や大きさを予測することは困難かもしれないが精度を高める努力が必要である。また、構造設計面で断層変位に強い構造を研究するとともに、あまり大きな断層変位に対して過大な防災投資とならぬよう十分な社会的合意形成も必要である。

- (3) 震源近傍の地震動

今回のトルコ、台湾で見られた観測位置による地震動特性は、従来の加速度と距離減衰式の関係以上に多くの情報を現している。特に、4～5秒の長周期パルスの影響については十分検討する必要がある。また、波震源過程を考慮した設計地震動の設定法の確立が望まれる。

- (4) 地滑り、斜面崩壊

台湾では、山間地で大規模な地滑りや斜面崩壊が生じ、多くの住民が亡くなった。また、トルコのデルメンデレの海岸では、海底の地溝沿いに海底地滑りが生じ、海岸が消滅した。このような土砂災害については地震による災害の影響も考慮に入れ、ハザードマップなどを作成する必要がある。

- (5) 橋梁被害

断層変位により落橋した橋梁は、ほとんどが単純桁である。連続化、あるいは大変位に対する耐震連結構造の開発が必要と思われる。また、長周期パルス地震動の影響検討も必要と思われる。さらに、烏溪橋で見られた上下線の被災形態のように、損傷の誘導方法（キャパシティーデザイン）について設計法を確立する必要がある。

- (6) ダム被害

石岡ダムではあってはならないダムの決壊という事態が断層変位によって生じた。石岡ダムは車籠埔断層の北端にあるが、断層の端部は折れ曲がりや雁行しやすく今回の地表の割れも非常に複雑な断層線が表れた。ダム位置の選定には地表に表れる断層範囲について十分な余裕が必要である。

- (7) 建築物

人的被害は建築物の損壊によるものがほとんどである。今回の両国の被災から、構造設計基準がいかにかに立派であってもそれを遵守する実設計、実施工体制や社会システムが重要であることを思い知らされた。さらに、台湾では断層付近の建築規制が議論されようとしていると聞くが我が国においてもハザードの公開などが必要となろう。

6. おわりに

これまでに公開された報告書や、報告会資料、インターネットからの公開情報などから気のついたことをまとめた。現地に赴き、調査をされ、これらの報告書をまとめられた皆様方の並々ならぬご苦勞とご努力に感謝するとともに、敬意を表します。また、台湾の地震動については京都大学防災研究所佐藤教授にご教示いただいた。

参考文献

- 1) 土木学会報告書: The 1999 Kocaeli Earthquake, Turkey. Investigation into Damage to Civil Engineering Structures.
- 2) 同上: The 1999 Ji-Ji Earthquake, Taiwan. Investigation into Damage to Civil Engineering Structures.
- 3) 岡原美智夫: トルコ・コジャエリ (イズミット) 地震—国際緊急援助隊に参加して。「道路」平成 12 年 2 月号掲載予定。
- 4) C.H. Loh ほか: Ground Motion Characteristics of 921 Chi-Chi Earthquake
- 5) 日経コンストラクション 1999. 10. 22
- 6) 川島一彦ほか: 第 3 回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム。PP409-444.
- 7) 土木学会 1999 年台湾・集集地震被害調査報告会・概要集: H11. 12. 6
- 8) 地盤工学会: 1999 年トルコ・コジャエリ地震第一次調査団速報: H11. 9. 17
- 9) 建築学会、土木学会、地盤工学会: 1999 年トルココジャエリ地震被害調査速報会資料: H11. 9. 28
- 10) 文部省突発自然災害調査班: 内陸におけるプレート境界大地震の脅威・台湾 921 集集地震調査速報会資料。