

水工学シリーズ 02-A-4

(特別講演)
21世紀の水工学における戦略的研究・技術の視点

山梨大学工学部 教授

砂 田 憲 吾

土木学会
水理委員会・海岸工学委員会
2002年9月

21世紀の水工学における戦略的研究・技術の視点

Viewpoints for Strategic Research and Technology on Hydraulic Engineering in the 21st Century

砂 田 憲 吾

Kengo SUNADA

1. まえがき

生物にとって水は不可欠の物質であり、個体の60～80%に及ぶ重量占有率からいえば、人にとって水は命そのものともいえる。水はまた、社会の命であり、食糧生産、輸送、生態系の基盤をなす重要な要素である。さらに水は相変化を通じて循環することから、地表～大気の絶妙なエネルギー配分に貢献して基本的な地球環境の要件を支えている。その水のあり方に関わる水工学は工学・技術の重要な柱であり、その実践は長い間いわゆる為政・行政の要でもあった。地域や時代により、国土保全や食糧生産、自然環境など基本的な基盤かわるさまざまな課題が変わることがあっても、社会における水と水工学の重要性は変わることはない。

わが国では、少子高齢化、行財政改革、国際化、環境・自然共生などのキーワードで語られる時代が到来している。工学分野に所属する研究者や技術者にとって、当然のことながら、そうした社会の変化に無関係ではいられない。言うまでもなく、学術・科学の進歩がその時代背景と無縁に発達を遂げる場合も少なくなかったが、今後は社会の要請、工学的意義の深い研究や技術が望まれることになる。そこでは、価値の多様性も含まれているので、一面的な研ぎ澄まされた技術の追求というより、多様な価値を容認し得る「総合的な」研究・技術のパラダイムのもとでの技術が待たれている。すなわち、経済設計追求の時代から、総合多様機能設計に移行している。こうした動きは、水工学の分野においても例外ではない。たとえば河道計画においては、従来は高水を中心に計画がなされてきたが、近年では通常時・平水時のいわば365日の河川のありようを環境と同義語として用いながらさまざまな試みがなされている。多自然で、生態系に配慮した、潜在自然とその復元が河道計画の当面の目標と据えられながら、流域や都市域との関係で語られるべき文明論をも巻き込む多様な論点が浮かび上がっている。目標が多元的であるがゆえに、新しい理念¹⁾のもとに確立された方法論を得るまでは、しばらく熱心な議論が展開されることになる。

本稿では、「21世紀の水工学における戦略的な研究・技術」について考えてみたい。前述のように水工学は全世界地域で国土・地域の保全、水災害の防止・軽減、水資源の安定的供給、合理的な水利システム、地球規模・地域規模での環境システムの認識と保全に直接的に関わりをもつ学問・技術分野である。ここでは、世界的な研究・技術の傾向を把握しつつ、わが国での水工学分野の課題や必要とされている研究・技術の方向を中心に考察したい。それは、わが国が世界でも有数な地形急峻な島嶼国であり、災害や急激な水需要増への対応などその自然条件に対して人間活動の安全のために果敢に取り組んできていること、数年後のピークののち、22世紀初頭には人口が半減するというかつて地球上で経験したことのないシナリオに組み込まれていること、福祉や幸福の価値が大きく変更していること、水資源が食料の形で大量に輸入されていることなど、自然条件や社会条件の激変の中で「しなやかに生きていく」ための新たな技術を提示し、獲得することが求められているからである。

まず言葉の意味を正しておこう。「戦略」とは本来戦争の総合的な準備、計画、運用の方策を意味し、「戦

術」より大局的なものを言う。今日では、解決が困難なさまざまな課題を対象として戦争に置き換えても使われる。戦略には空間的に広い、時間的に長い継続的な行為と能動的な意思が備えられていると考えられる。学術成果の実現や課題解決を達成するためにはそうした意図的な準備が必要で、ここではその準備を得るための発想のポイント（視点）を考えている。視点として以下のような5つのものが考えられる。

後にも触れるように、ここでは進められるべき個別の研究課題や技術を意味していない。それは現在直面する課題への挑戦において、現状とは別の側面からの新たなアプローチを見つけるための発想である。発想は一様に忽然と浮かぶものではない。結果として以上のような意図をもって、すでにチャレンジングに進められている研究・技術開発を見習い、その意義と展開を眺めてみたい。ここで示される研究成果は筆者が独自に掲げた例示に過ぎないが、それらに見られる独創性と有用性以上のチャレンジが読者によって発案され、昇華され、研究開発されていくことを期待している。

<住民に向けての現象説明> 今日の政策決定には住民の了解は不可欠である。計画や政策提案に対して住民による直接的な価値判断が必要とされる場合があるが、それには知の共有が前提とならなければならない。その住民には水工学の最新の成果を用いて、懸案の施策を分かり易く説明する必要がある。これまでは、必ずしも十分とはいえなかった洪水の流れや水工施設の働きを、例えば、コンピュータグラフィックス（CG）を用いて事前に正しく理解してもらうこと、さらには現象やポイントを説明するのにより適切な方法そのものについても研究される必要がある。水は天からの授かりものであり、不規則気まぐれに発生し、時として災禍を生む。それゆえ、畏敬の念をもって水と対峙し、その管理と判断は神がかりかそれに準じた立場の人に委ねられてきた。今日、その判断が直接住民に問われるとするなら、住民は神に近い知識と認識をもつ必要があり、水工学者は水工学の知見を駆使して率先して「神の言葉の翻訳者」となるべきだろう。それは、施策の立案への参画と同じくらいに重要な務めといえる。

<技術の応用と組み合わせ> 水理学の理論や技術を社会基盤施設や産業の支援に直接結びつける方法である。この立場からの研究は特に珍しくなく、機械工学・流体機械の目標や衛生工学による污水处理場の高度化・効率化が常にめざされてきたところである。原理やアイデアそのものは革新的でなくとも、着実な応用やユニークな適用によって従来にない効果が実現されればその意義は大きい。炭が水質改善や消臭・除湿に効果があることは知られている。リサイクル率の低い建設廃材を製鉄所の関連会社がそのノウハウを活かして効率の良い炉を制作し、安価な消臭・除湿の木炭が提供されたという。何と合理的で意義あることかと思う。水工学にも以前から大規模な施設に依らなくても新たな着目点から展望の開けた実例を見ることができる。閉鎖性水域の水質環境を直接改善し、地域の産業を保護育成し得る画期的な研究とたたえられるべきである。そこでは直接的な成功だけでなく、関連したいいくつかの発展的な課題にも挑戦することになる好例を挙げて考えて見る。もっともっと「発明」をしたいものである。

<流域治水のポイント> 財政的な制約から開発や建設投資が抑えられ、防災への備えもより経済的効果的な方策が求められ、従来型の社会資本の整備は減少する傾向にある。治水安全度についても経費を抑えながら何とかして確保しなければならない。この場合、力づくではない洪水緩和の方策を近代以前のやり方に学ぶことは意義のあることである。かつての住民は近代的な設備を持ちあわせず、圧倒的な自然の力を見せつけられるたびに懸命な努力で対応し、自然について身をもってよく知らされていた。そのことは、経験を通して、自然の地理的条件をよく読んで例えば洪水防止などに対処してきた。この方向は、河川に自然環境を保全する上でも大いに参考になると考えてよい。さらに、その意味は国内の事情のみにとどまらない。途上国で施設の整備が間に合わないときには、直ちに応用可能な手法のヒントも得られることになる。河川の管理を河道内に限定された議論から流域の管理への議論に拡大することを促し、結果として、過大な河道施設に頼ることなく別な発想で徐々に洪水を流下させる方法を実現することがめざされることになる。

＜連携研究＞ 問題や現象の複雑さや対象領域の広域性から、単独の研究組織では手がけにくい課題が多く残されている。組織だった大型の研究開発費の投入でローラー作戦のように実施され、直ちに成果が挙がるような場合は除いて考えてみる。方法論も未定で、専用の経費のあても不明確な中で、類似の問題に関心を寄せるグループの挑戦的な「連携」を期待したい。一般的な研究会・勉強会よりかなり目標の課題が絞られていて、参加メンバーの「役割分担と共通認識」が整えば問題はほとんどない。プロジェクトの立ち上げに至れば、エキサイティングな光景は見えてくる。関連資料が整うことはもちろん、関連知識も互いに交換できる、観測の工夫やノウハウも参加のチームで教え合えることになる。熱い議論を通して、かねてより抱いていた大きな目標に向かって前進しつつあることが実感できるはずである。

＜行政科学への道＞ 行政施策を学術・技術的に支援するだけではなく、行政そのものの手法に直結する研究が待たれる。例えば、現在、地方分権に対応すべき地域社会の集合単位が議論されている。どの程度の規模の行政単位であれば適当かなどの課題は、住民や首長の感覚や好みや経緯で決せられるのではなく、科学的な合理性で選択されることを考えてもよい。例えば、渇水を生ずる領域の規模を超えて適切な単位の行政措置または協定があれば、被害の緩和や対策方法に有効と考えられる。また、洪水災害における洪水ハザードマップなどの作成ではより有効な洪水対策規模が打ち出され易い。現状では単独の市町村が現況のまま完結する形で、作成され、危険な堤防にしか逃げられないことになっている場合もある。このような場合に、行政の規模を客観的に提案することも可能となる。いわば、政策の科学としての水文・自然地理学からの成果を提案することが考えられる。

2. 現象の解明, 説明ツールとその将来への展開

その流れの構造や条件の変化に伴うさまざまな現象を説明することは水工学の基本的使命の一つであり、これまでに多くの研究者がそのための努力をしてきた。最近ではコンピュータのハード・ソフト両面でのめざましい発達により、これまでは容易ではなかった河川などにおける2次元、3次元の開水路の流れや流砂現象の再現がより現実に近い形で試みられつつある。計算のツールが進歩したその先に、さらに新たな課題に直面する。たとえば、後藤ら^{2),3)}は、個別要素法を基本として「数値流砂力学」もしくは「数値移動床」の展開を進めている。移動床の数値モデルの構成は「連続体」、「粒状体」のいずれの立場に立つかにかかっているが、実際の過程は本来的にはその“両方”の特性を持ち合わせている。現実的には対象とする現象過程がいずれかがより卓越しているとして記述されればよい。今日の計算機の高速化は従来遅れていた粒状体としての扱いを可能にしている。特に、粒状体の本質である3次元への拡張がより導入しやすいことから、土石流の3次元流動過程や分級過程、2次元過程の“補正の可否”な

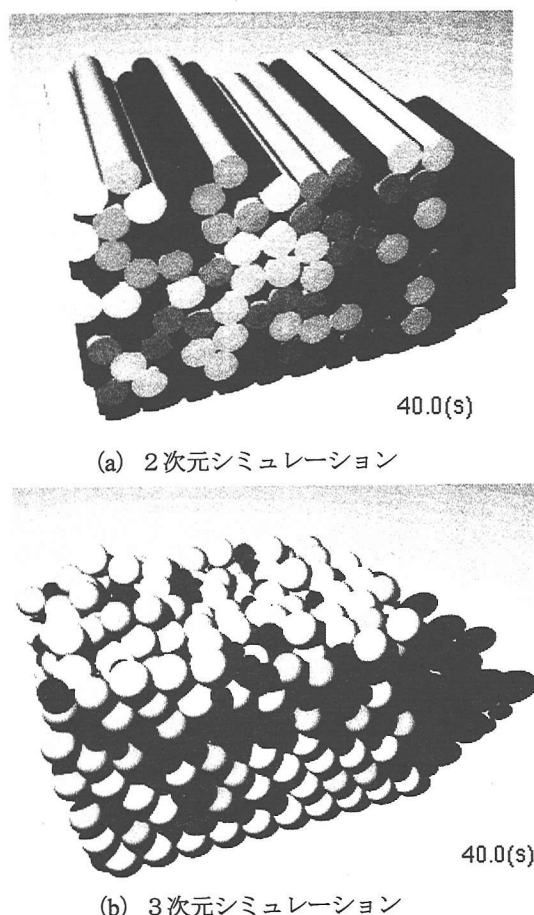


図-1 個別要素法による混合砂の鉛直分級過程⁴⁾

どの検討に有力なだけではなく、流れ場との合理的な結合により「土砂流送過程」の新たな記述が得られることになる。図-1は原田ら⁴⁾により、混合粒径流砂の個別要素法によるモデリングにおいて、分級過程を2次元、3次元とする場合で比較された結果の一部が示されている。シミュレーションでは濃度重心の時系列変化や表層での各粒径階の占有率の時間変動性に両者の扱いに差があるが、その占有率の程度は2次元、3次元の場合で同レベルにあり、解析目的に応じて2次元での取扱いも可能な場合があることが得られている。さらに、後藤らは⁵⁾ 粒子間衝突に決定的な現実性を持つ3次元個別要素法により、崩壊土砂の堰止め過程の解析を行っている。図-2は石礫型土石流もしくは崩壊土砂のフロントが円柱障害物を乗り越えて氾濫する様子が示されている。後藤らによれば、斜面中央への土砂の集中等の2次元モデルでは不可能な3次元性の特性が示されたとしている。今後は流れの場との合理的な接合、定量化のための物理パラメータの基準化など課題は山積している。しかしながら、集散的に連続的にとらえられてきた抵抗や分級の概念を統一的に説明しうる可能性をもつ、極めて有効な方法の一つと考えられる。こうした方法が定量的な解析手法として確立されれば、土砂災害防止施設や海岸流砂系のより合理的な設計が可能になる。一方、そうした定量的な解析に至る前段階であっても、適用範囲と限界を明らかにした上で、一般市民にも現象説明のために見てもらうのも意義あることと考えられる。事業計画や代替案の選択の際、冷静で説得力をもって機能の説明が行えることとなる。

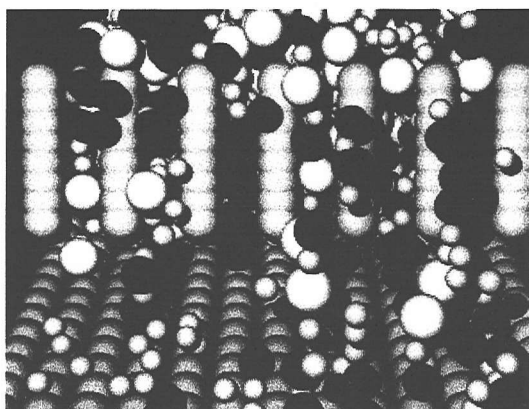


図-2 3次元個別要素法を用いた崩壊土砂の堰止め過程²⁾

清水は、以上のような立場を早くから認識し、同じく2次元、3次元河床変動数値計算を提示している。

現象の説明と明解なプレゼンテーション技法が、今後の有効かつ社会的合意形成のもとでの基盤の構築に不可欠である。図-3は床止め工を持つ複断面河道に出水時の水面形を示している⁶⁾。水深方向に平均化された流れの水面を表現すると共に、水面波の動きもアニメーションで表示される。具体的には札幌の豊平川での出水が対象とされ、現地資料に基づいて、室内実験による検証もなされている。専門知識を持たない一般の市民にも容易に現象の理解

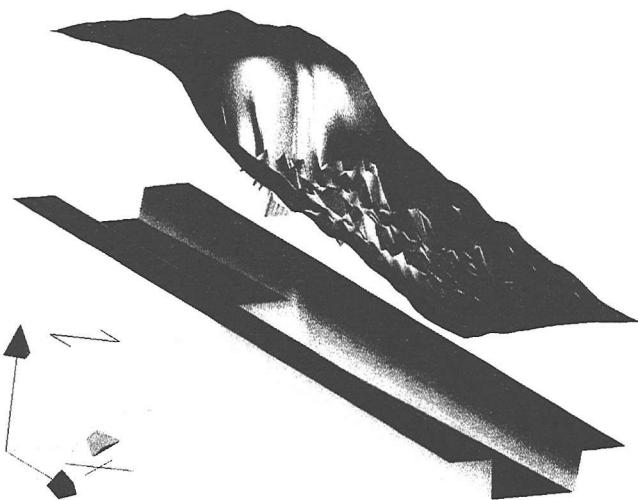


図-3 複断面河道における2次元水面形数値計算結果⁶⁾

が得られるだけでなく、研究者・技術者にとってはより発展的にいろいろなケースの事象や対策工などについての想定助けになる。

図-4は同じく清水により示された斜め堰を越える流れについて同様に計算結果が流速分布の形で示されている。現地資料との対応をより厳密に実行すれば、懸案の箇所での問題や疑問点に水工学の立場からの客観的なコメントとして提供できよう。池田駿介前水理委員長は社会的に話題

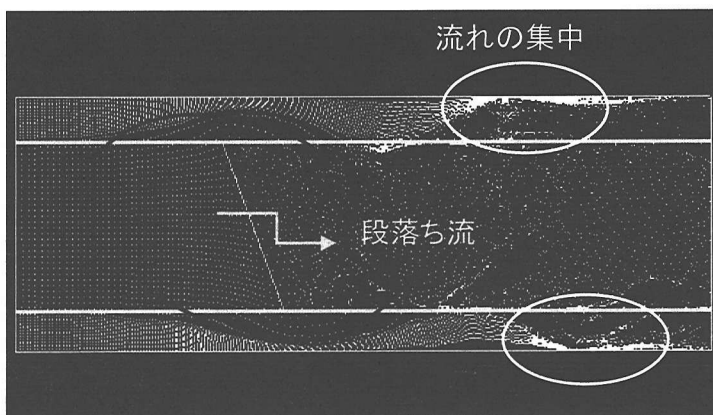


図-4 斜め堰を越える流れ（清水康行氏提供）

となっている河川施設に関する課題についての土木学会や水理委員会の立場や使命を認識し、土木学会内に「第十堰技術評価特別小委員会」⁷⁾の設置を提案し、現在委員長として技術評価とその報告の取りまとめを進めている。懸案施設の諸条件の明示とこの種の方法の限界点、現実との相違点なども付言しながら、住民への説明や理解のお手伝いのために専門家として積極的に貢献することは大きな意味がある。

こうした場合、住民が何を知りたいか、どのような方法が効果的かも問題となる。単純に流れのシミュレーションや実験のビデオにとどまらず、河川の、もしくは水工学上の関連する基本的な事項についても客観的に説明する技法も整備できるとよい。例えば、よく混乱を起こしがちな「確率年」の概念、「計画高水位」の意味などいろいろ考えられる。方法もアニメ、ビデオ、パンフレット、読本、クイズ形式など環境教育や防災教育とタイアップして進めることもできる。その効果的な方法としては、心理学や他の研究成果とも併せて開発する必要があるだろう。社会性が考慮された水工学の展開が望まれる。

3. 技術の応用、組み合わせによる事業の再興

平成10年度の土木学会賞技術賞の一つに、埼玉県と住宅・都市整備公団により進められた「トンネル方式による自然環境保全型防災調節池の建設」⁸⁾が選定された。雨水流出抑制を目的として、緑地保全やまちづくりの条件をクリアしながら、地理的制約のある2箇所の調節池をトンネルで連結して不足貯留量をトンネル内に貯留するものである。個々の技術は決して目新しいものではないが、現実的かつ安全な方法の組み合わせで目的を達したものである。その結果、環境の保全と高貯水効率を達成するだけではなく、コスト縮減も図られている。技術を知ること、技術を活かすこと、技術を組み合わせでより合理的に高度な目的を達成することが具体的に示されたことになる。ともすると、知っているだけの技術に終わらせてしまいがちであるが、あらためて使う技術の大切さ、技術とは何かを考えさせられる。

一方、大成ら^{9), 10), 11), 12)}は流体機械の開発を通じて、環境条件の悪化から産業を救うためにマイクロバブル技術という画期的な方法を提案している。当初は、閉鎖性水域での汚水浄化が試みられ、その後、主に広島でのカキ養殖のここ10年来の生産額の減少に対する対策に応用された。新技術を利用して顕著な効果を得るとともに、関連する養殖漁業の救済と研究課題の拡大に以下のような多くの成果を挙げている。

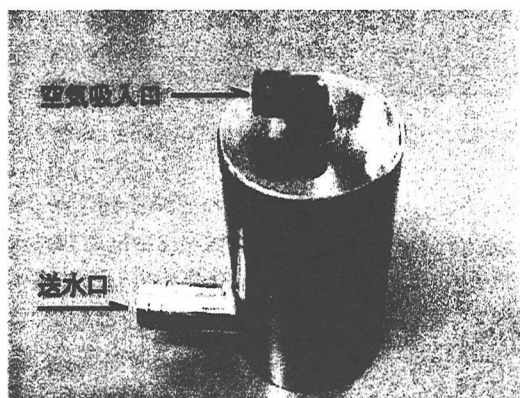


写真-1 マイクロバブル発生装置¹²⁾

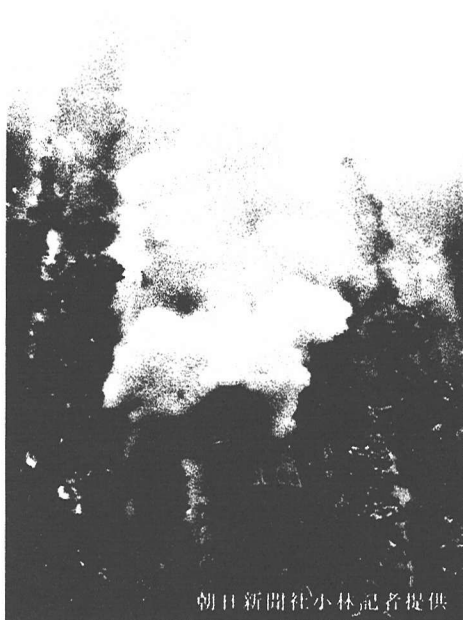


写真-2 カキ筏におけるマイクロバブルの発生状況¹²⁾

マイクロバブルとは、その発生時において、気泡径が10～数10 μ m程度のごく微細な気泡である。従来から用いられてきた、mm以上のサイズの径を持つミリバブルとは異なり、上昇速度が非常に小さいこと、わずかな流れや密度勾配によっても鉛直方向のみならず水平方向にも拡散すること、生物に対する「生理活性効果」を持つことに注目して技術の応用が進められている。写真-1はマイクロバブル発生装置の1つのモデルを示す。

マイクロバブルは、まず装置中心部に液体および気体の2相旋回流を発生させ、その回転軸部分に空洞部を形成させる。この回転空洞部を竜巻状に細くして装置上部から吸入した気体をこの空洞部に注入、通過させ、この気体空洞部を回転制御作用で、切断・粉碎してマイクロバブルを大量に発生させる。写真-2はカキ筏におけるマイクロバブルの発生・供給状況を示している。

最初に本格的にマイクロバブルが供給されたのは広島江田島湾における養殖カキ（真カキ）であった。直ちに効果が現れ始めた。マイクロバブル供給の有無により、生存と斃死のグループが明確に分かれ、供給時のカキの開口現象、成長などに明確な効果が示された。図-5にはマイクロバブルによるカキの成長曲線への効果が示されている。広島産の場合、マイクロバブル供給後の6～8月の3ヶ月で急成長している。これにより、養殖の良否にも重要に関係してきた2年～3年を要した不安定なカ

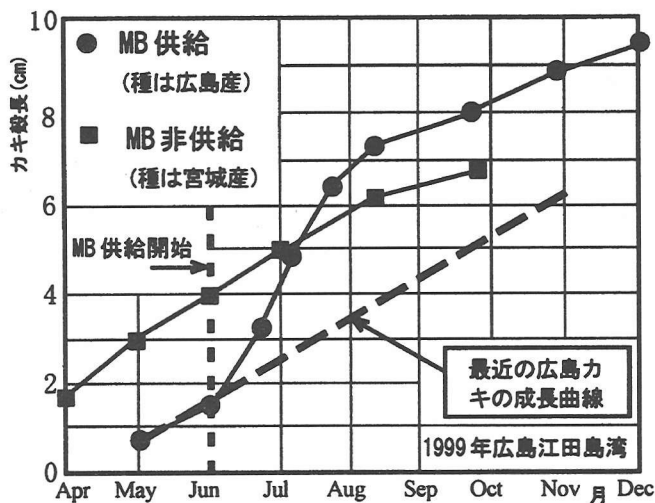


図-5 カキ成長曲線に及ぼすマイクロバブルの供給の効果¹²⁾

キ養殖が経費・人件費と安定的なより短期の養殖が可能となった。特に、最近では生産されなくなっていた若ガキの試験的な初出荷も行われ、カキ養殖に大きな福音がもたらされつつある。カキ殻の成長だけでなく、従来のもの較べ、内臓の部分の比率は小さく、外周のグリコーゲンの多い身の部分が厚く育ったことも確認されている。

マイクロバブルの効果はホタテ養殖においても認められ、稚貝の成長促進効果が得られている。さらに、マイクロバブルによるアコヤガイの成長にも効果が明らかになっている。これらカキ、ホタテ、アコヤガイの成長促進効果の原因として血流促進のあることも確認され、それらが「生理活性効果」の一例ではあるが、単純に溶存酸素の改善によって引き起こされているとは考えにくく、マイクロバブルによる他の物理化学的要因が作用していると考えられている。加えて、マイクロバブルにはカキ体内外の洗浄作用も認められ、除菌効果も確認されている。

この他、マイクロバブルの効果的な水平拡散特性、高溶存酸素化の特性を利用して、ダム貯水池の水質浄化や海洋環境の改善、さらには船舶航行における乱流摩擦抵抗軽減や生物不着防止効果についての研究も進められている。

大成はマイクロバブルの研究においては4つの観点から遂行すべきと考えている。すなわち、1) 沿岸海洋環境の悪化による海洋生物の斃死の危険から開放するには、人為の悪要因が付加されない方法で解決し、水産養殖を守り、現場の経験や従来の技術との融合・発展をめざす、2) 現場の状況・条件に則したマイクロバブルの装置の開発と合理的適用を行う、3) 適用対象が自然の水域であることから、その変化に対応する技術的能力とそれを克服する機知が必要である、4) 総合的であることを本質とする自然の中で起こる問題に対しては、科学的課題すなわち物理・化学・生物学的な特性を幅広く探求する、である。

大成の成果は社会の要請に直接応えるかたちで、貢献しているだけでなく、発展的な課題を提示するとともに、研究に対する謙虚さや方法論を自らが発見しているところが評価される。加藤¹³⁾がいう技術が超えられないとき「倫理」の出番がある。環境保全を誓う堅い倫理の上に、環境改善の技術のブレイクスルーがなされれば、文化創造の余裕も出てこよう。いま科学者・技術者に求められていることのひとつと言える。

4. 歴史に学び、流域の再生を

水理委員会基礎水理部会の中に、伝統的河川工法勉強会が発足して活動を開始している。過去の何時の時代においても、それ以前に行われてきたその地域の治水の伝統を参照・継承することが行われてきた。現在においても各地で、史実の調査、遺構の確認、機能や効果、伝承の収集などさまざまな目標から取り上げられている。勉強会世話人（長谷川和義北大教授・大本照憲熊本大助教授）によれば、この勉強会では目標として、水理学的立場から客観的なしつかりとした評価を加えたいとしている。従来、ややもすると伝統工法や歴史的施設について、単に伝承されているだけでもしく



写真-3 富士川の雁堤¹⁴⁾

は定性的な機能の理解のみで過ごされている場合が少なくなかった。研究会ではいわゆる伝承以外に、技術・学術的立場から明確な評価がめざされており、確かな機能の発見が期待される。こうした立場からこれまですでに、例えば、砂田ら、大本ら、石垣らが検討を行ってきている。砂田ら^{14), 15)}は富士川河口近くの扇状



写真-4 加藤清正の遺構「鼻繰り井手」¹⁵⁾

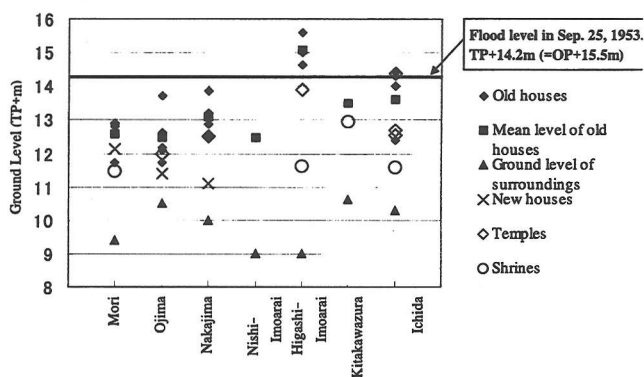


図-6 巨椋池周辺地区の旧家、寺院、神社の地盤高¹⁶⁾

地に50余年の年月をかけて1670年ごろ完成した、拡幅部をもつ雁堤（かりがねづみ：写真-3）について水理模型実験を実施して機能の検証を行っている。大規模な想定出水に対する流況や洗掘・堆積状況結果から、横堤等との組み合わせによる雁堤ではより安定的な河道の維持が可能であることを見出している。大本¹⁵⁾は白川からの用水路の維持に工夫がある歴史的な「鼻繰り井手」（写真-4）について、現地調査と模型実験を実施し、オリフィス流出状の流れの形成が河床付近の土砂運搬力に貢献していることを水理的に見出している。河川の流況に応じたこれらのさまざまな事例が蓄積され、組織的に比較検討されることになれば、後に述べるような連携研究としても意義あるものとなる。

この歴史的な治水について、検討の視野をもう少し拡大してみよう。さまざまな災害の履歴や河道の変遷などの特徴はその流域・沿川の地理的背景をもとに自然の営みの結果として理解される。契機が自然起源の場合であっても、人為が関係したとしても、一般に近代までは洪水の氾濫や土砂堆積の規模に比較して、それに抗する人間の行為ははるかに小規模で限定的であった。このため、人々は自然の猛威に対する忍従を強いられ、時として畏れ、時として智恵を絞り、水問題に対峙してきた。石垣¹⁷⁾は個別の構造物の水理学的評価のみならず、地域で対応する広い視野からの複数の対策が組み合わされている場合もあることから、地域特性に視点を置いた検討も必要であるとして、京都周辺における伝統的水害防備法として、水屋・段蔵、水制工・水害防備林について詳しい調査と考察を行っている。図-6は氾濫地区で、水害経験を重ねる間に、

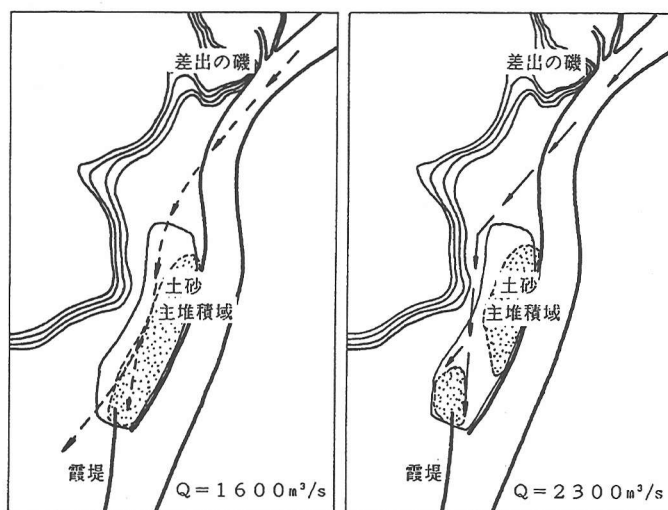


図-7 富士川水系笛吹川「万力林」における氾濫主流経路¹⁸⁾

水屋など旧家の地盤が徐々に高く盛土されていったことを示している。

一方、扇状地河川の合流点の合理的な処理と巧みな社会制度の導入による富士川本川釜無川の「信玄堤」は有名であるが、同じ甲府盆地の東側には富士川支川笛吹川に「万力林」と呼ばれる歴史的治水施設とされる水害防備林がある。砂田ら¹⁸⁾は、この万力林周辺地域を含むの水理模型実験を行い、水害防備林の土砂堆積促進機能を検証している。加えて、実験からは図-7の右図に示されるように、より大きな出水時には、氾濫水を後背地にあたる丘陵地斜面に当らせ、その後に洪水の流れをより安全側の左岸に霞堤開口部を經由して導くようになっている。いわば、堤防・防備林で万が一対抗できない場合は自然斜面の岩盤が洪水に対抗するという、2重の安全システムになっている。人間の出来ることには限界がある、最悪の場合は自然が人に代わって防御することになる。

近代までは、集落は高台や氾濫原にあつては微高地にできてきた。低湿地は耕作地にもならず、結果的に遊水地が形成されていたことになる。近代化の進展と人口増と共に、河川の改修が進み、人間のコントロールが「川なり」の、「自然河川の自由な変遷」の状況に制約を与え、どこでも同じように安全であることを追求してきた。その結果、よく言われるように、水・物質の循環には量的質的に好ましからざる影響を及ぼしてきた。しかし今や、国内外における環境志向の潮流の中で、経済性、効率性重視の時代とは基本的に異なる新たな理念に基づく流域の修復が図られる必要がある。

総合科学技術会議^{19), 20)}は、ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジーの4分野を重点的に推進すべき科学技術の分野としている。このうち、環境分野において、特に進められるべき課題として、地球温暖化研究、ゴミゼロ型・資源循環型技術研究、自然共生型流域圏・都市再生技術研究が挙げられている。この中で、自然共生型流域圏・都市再生技術研究は環境の保全・再生をめざす中核的課題であり、各省連携の研究がめざされる。吉川²¹⁾はその課題の説明の中で、人口減少の

もとでこれまでと違った国土、都市、流域圏の構築が求められること、そこではたとえば、水系・流域圏に着目して自然と共生・共存する都市への再生や、自然としての災害との共存といった面で、水害等の災害の危険性の高い地域から安全な場所に撤退するといった土地利用に変換することも視野に入っている。水や物質の循環系と生態系のまとまりとしての流域圏、都市を支える流域圏の視点を重視し、環境面から流域圏・都市の再生に取り組む研究開発が、「自然共生型流域圏・都市再生」イニシアティブと呼ばれるもので、図-8にはその内容が示されている。水工学はこのイニシアティブ全般に直接関係しており、水工学に与えられた期待と責任は大きい。

福岡は、町並みが洪水氾濫に及ぼす影響を水理学的に検証する²²⁾など、洪水・土砂災害軽減のための流域

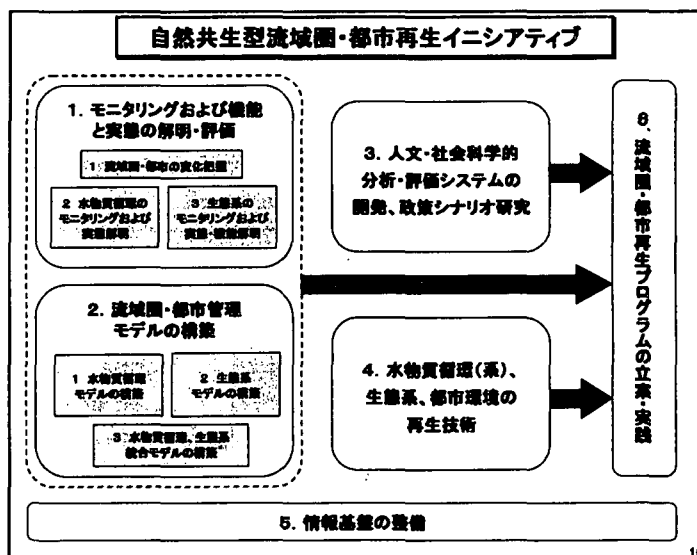


図-8 自然共生流域圏・都市再生イニシアティブの内容²¹⁾

管理と地域計画について、早くから問題意識を提示してきた。現在でも引き続き発生している急傾斜地などでの土砂災害、新興住宅地での浸水など土地利用計画の不備も要因と思われる災害も少なくない。1999年の土木学会全国大会において、水理委員会は土木計画学研究委員会に呼びかけ、「洪水・土砂災害軽減のための流域管理と地域計画に関する研究討論会」を開催した。そこでは、両委員会の共通する課題として流域の水災害防止・軽減に向けての地域計画のあり方を継続して議論していくことが必要とされた。その後、両委員会関係者による準備的な議論を経て、両委員会の共同所管による「流域管理と地域計画の連携方策小委員会（委員長・広島大福岡教授）」が提案され、今年（2002年）7月に設立が了承された。

小委員会の活動目標は、前述の「自然共生流域圏・都市再生」の課題と同じ方向を持つものとなっているが、特に都市・都市周辺地域での水災害軽減の議論に重点をおいたものとなろう。健全な流域水循環の再生、流域貯留など、現状維持改善型の計画も考えられるが、一步踏み込んで、流域管理としての土地利用計画を見直す勇気も必要と考えられる。この場合、先に眺めた歴史的な経験的な治水工法に学ぶべき点が多い。伝統的な工法のほとんどは小規模な施設にならざるを得ず、その結果として自然へのインパクトがより少ないものである。また、今日でのその実現では経費が少なく時代の要請にも対応可能な方向にある。いうまでもなく、ここでは単に旧い方法を用いることを考えているのではない。力づくではない、結果として自然の脅威へのしなやかな対応を伝統工法から抽出しようとするのである。これまでの水工学に関わるさまざまな研究の成果を踏まえ、土砂が流れ、一時的に水にも浸かるが決定的なダメージに至らない、施設への依存を抑えた新たな地域・流域の構築のための技術の提案が待たれている。

「自然共生流域圏・都市再生」のイニシアティブでは、さらに環境への意図的な配慮、また上流森林域の位置づけも大きな課題となる。まずは、中下流域・都市域の水防災の理念を上記のような観点で構想し、描かれる基本的な構図をもとに、所要の環境実現をめざすことが考えられる。

5. 連携研究とその総合化

研究の対象が広域に及んだり、その項目が多岐に渡ったり、手段が高度化分化したりすると、研究者や技術者の個別の努力だけで最終的な目標達成に至ることが困難な場合がある。また、地域などの固有の特性が関係する事象から、一般的で共通性のある結論を導こうとするような場合もある。このような場合には緩やかに組織された「自主分業に基づく連携研究」も有効となる。比較的短期的で焦点の絞られた課題では、国の研究所などのようなところで組織的に計画実施されればよいが、新たな動機や発想のもとに、試験的なプロジェクトでは、むしろ意思を同じくする仲間が連携することが考えられる。共通して同じ問題を考えるやり方にはいくつかある。いわゆる研究会で、それぞれの研究者の経験を交流させ、互いに新たな動機を引き出す好機となる場合も少なくない。また、課題そのものについては定まった評価を得ている研究主宰者のリーダーシップのもとで、決められた方向の組織だった研究実施もあろう。しかし、ここでいう連携研究はそれらとはやや異なっている。重要と思われる大きな課題に関心を寄せ、賛同する研究者・技術者がまず結集し、その意欲と貢献の程度を勘案しながら企画の段階から計画全体を協議していくのである。当初の段階では評価は必ずしも得ていない場合もある。その分だけ、参加者の意欲はむしろ高いことがある。むしろ、研究課題について決定的な評価を得る前段階としての研究協力と位置づけられる。科学者がまず提案するのである。「資金は後から付く」との確信が得られるほど参加者の意識の高揚がなければならない。

こうした方法の大型国際版の一つに、たとえばGAME（GEWEX Asian Monsoon Experiment：GEWEXアジアモンスーン観測計画）プロジェクトがある^{23）}。これはWCRP（World Climate Research Program：気候変動国際共同研究計画）の大きな副計画であるGEWEX（Global Energy and Water Cycle Experiment：全地球エネルギー

一・水循環観測実験計画)の傘下のプロジェクト(代表:現名古屋大学・安成哲三教授)であり,アジアモンスーン地域における大陸規模での大気~水の循環を調べるもので, Tropics (タイ), Hubex (中国淮河), Tibet (チベット), Siberia (シベリア) の4つの地方での観測計画からなっている. GAME-Tropics プロジェクト(代表:東京大学・虫明功臣教授)²⁴⁾では, 観測現地の政府機関の科学技術的要望にも役立つ必要があることを念頭に, 当然のことながら, 対象地域の気候的特性や日常の気象変化への対応しながら土地利用状況を考慮した観測地点の選定を行い, 観測機器の送付・搬入, 準備

観測から本観測強化期間(1998-1999)の観測計画が企画された. こうした準備では, それまでに進められていた同様な国内グループ観測(琵琶湖プロジェクト)の経験も有効なものであった.

琵琶湖プロジェクト^{25), 26), 27)}は, 地球環境の解明, 地域の水防災対策, 水資源システムの確立のために必要な重要かつ基礎的な研究計画として, 土木学会水理委員会水文部会・陸域一大気系の水循環過程解明研究班(代表:現山梨大砂田憲吾教授)が1989年に提案し, それ以降滋賀県湖北地方を中心に実施されてきたものである. 前述のGEWEXおよびその関連計画に準じた目標が置かれ, 特に, 陸域100km程度までのスケールの水循環過程に注目している. この計画の実施を通して, 衛星リモートセンシングデータの検証, そのデータを用いた水文学抽出アルゴリズムや水循環モデルの開発を進めながら, 水循環過程の相互作用を明らかにすることがめざされてきた

(図-9参照). プロジェクトの代表は, 1995年以降は京都大学の中北英一助教授が, 2000年以降は同大学の田中賢治助手が務めており, 資料や経験が積まれて観測研究内容はより一層発展している.

図-10は, 大石ら²⁸⁾により得られた結果の一部で, GPSデータから計算された天頂可降水量とラジオゾンデにより観測された天頂可降水量を示している. ラジオゾンデ

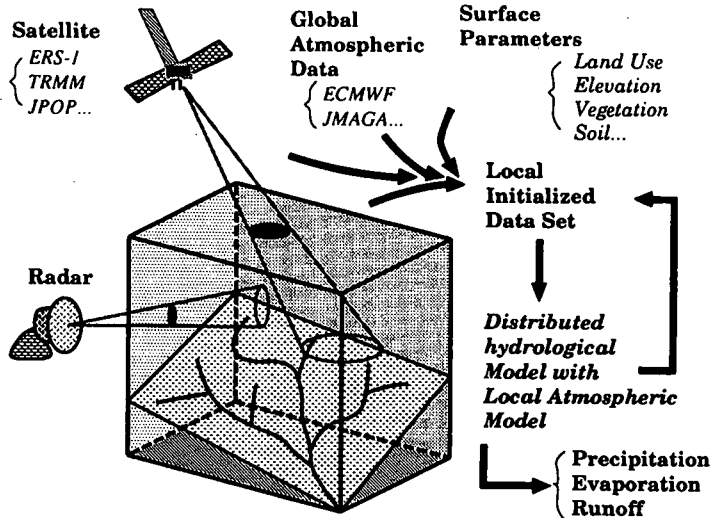


図-9 琵琶湖プロジェクトにおける陸域一大気系の水循環に関する総合観測と解析²⁵⁾

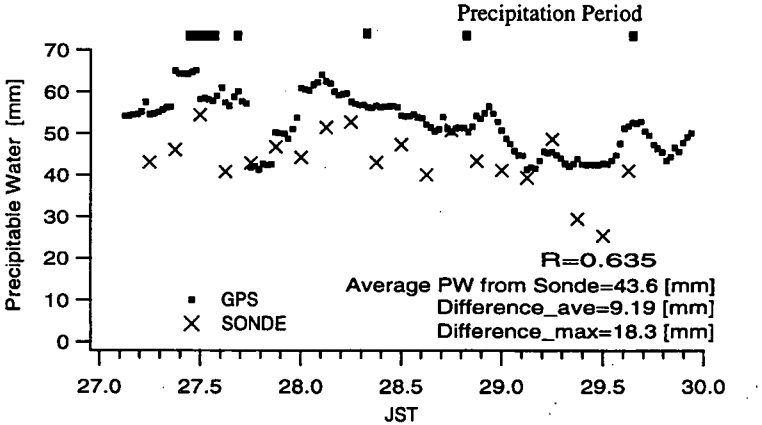


図-10 GPSとラジオゾンデで観測された天頂可降水量²⁸⁾

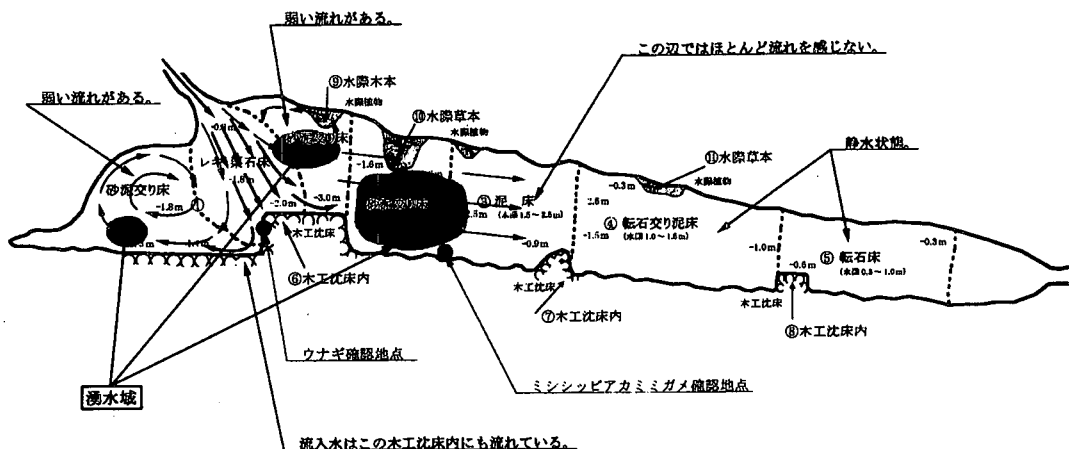
による場合に比較して、GPS では局地循環による盆地底部における日中の可降水量変動を表現しきれていないが、それは対流セルの攪拌過程を見ていることによるものと考えられている。

このプロジェクトの各観測期間には、全国から20を超える研究機関の研究員・助教授・助手・大学院学生など若手研究者100名以上が結集してきた。それ以前では、各研究者が所属する講座・研究室での限定的な課題や機器を用いて研究が進められることが通常であったが、時代の要請で広範囲の総合的な観測と解析が避けられない状況になっていたのである。機が熟していたというべきであろう。当初はプロジェクト独自の研究費はなく、参加機関の独自の研究経費もしくはボランティアにより観測が運営されてきた。そのため逆に、プロジェクトの方針の柔らかな縛り、運営の手探り状況のなかで、若手研究者による熱心で十分な議論が絶えず行われてきた。開始数年後から、財団や文部省から研究費の補助が受けられるようになり、より広範な内容をもつ研究に発展してきている。

言うまでもなく、こうしたグループ観測や総合的な観測の対象は広域的な水文過程にとどまらない。河口では河川と海岸の条件が重なりあって現象はより複雑になるため、いくつかの総合的研究も進められている。この横断的な課題を持つ河口の諸問題について、澤本は1988年度に開始した科研費による総合研究「東北地方主要河川の比較河口学」を契機に、当初から共同研究を意図した「全日本比較河口学」を展開している²⁹⁾。そこでは、1) 河川工学者と海岸工学者との連携の強化、3) 研究における実測の重視、3) 幅広い研究者の参加しうるテーマの設定、がめざされている。特に、3番目の目標では、拠点大学に主要設備を設けての共同研究ではなく、参加者の近くにあるさまざまな河口の問題を取り上げることにより、本来多様な河口に関わる課題の本質を見誤らせることなく解決に近づくことができるものと言えよう。研究会はより発展しており、97年には日本と韓国との河口のワークショップも開かれている。益々の展開が期待される。

一方、河川に限っても、河川環境に直接関わる生態系の調査では、目標対象に応じて時間的に連続した、空間的に小スケールから大スケールでの必要な範囲での、予めよくコーディネートされた調査観測が必要となる。国土交通省による「河川水辺の国勢調査」だけでなく、系統づけられた組織的な調査が必要とされてきた。最近では、これまでの知見を総動員した形で、多摩川³¹⁾、千曲川³²⁾、木津川(淀川水系)³³⁾、北川(五ヶ瀬川水系)において生態学、水理学の専門家の参加した総合研究が行われている。

そこでは、1) 流域・河川構造の変化に伴う河川(河相)応答(変遷)、2) 生息場の類型化とその形成・



図一11 千曲川鼠橋地点1992調査・たまりの底質と流況と調査・記録場所(区分番号)1999年9月³²⁾

維持機構と生態的機能, 3) 生物現存量, 生物多様性, 物質・エネルギーから見た河川生態系の構造と機能(環境容量の推定), 4) 洪水・渇水などの自然のインパクトや人為的インパクトに対する応答性, 5) 保全・復元手法の導入とその効果について研究し, その総合的評価をもとに生態学的視点を加えた河川管理のあり方を検討することが目的とされている。図-11は千曲川の総合研究における調査の整理の一例であり, 生物間および物理・化学環境との相互作用に関する調査のための結果記録場所の区分と概況図を示している。水中の魚類を驚かせないようにスキューバ潜水による魚種と個体数が調べられ, 観察結果がすみ場の区分と共に表に整理される。

こうした研究で蓄積されるデータは, 大気-水文観測の場合も, 河口や河川生態-水理の場合も, それまでの単独あるいはそれに近い現象のデータと異なり, いわゆる「総合的」な解釈が必要とされるものとなる。仮定やモデルを介してその総合化をどのように実現していくかはさらに重要な課題となる。まずは使う言葉から違う仲間と一緒に, 議論と理解を深めて系統的な資料の解釈を進めて行こう。こうした作業を効果的に進めるために, 共通のデータベースづくりも必要となる。そしてやはり, 単なるまとめではない着実な「総合化の方法論」を構築する必要がある。近い将来に達成すべき大きな課題といえる。

6. 行政を矯正する政策科学に向けて

ここでの視点は前節までのいくつか視点の各項目に共通する内容をもつ。それは, あらためて科学技術を社会に貢献させることであり, その直接的なやり方の例も掲げてみる³⁴⁾。

水工学を社会に貢献させていくやり方には2種類あると考えられる。一つは地域の抱えるさまざまな水工学の課題に具体的かつ的確な対処の方法を提示することである。従来からの方法として, 効率的でより高度な技術をめざしてこれまで以上に研究開発への努力が続けられる必要がある。もう一つは, これまでに蓄積された水工学的知見を地球規模, 地域規模の環境保全・人類福祉の計画に反映させることが考えられる。技術の受注者としてではなく, 課題の発生を抑制するための水工学に則った政策提案ができればよい。すなわち, 政策科学として最適水循環・水環境をめざした社会とその領域などが水工学の研究成果から引き出されるのがよい。

具体的な例として, 行政単位の地域の大きさを考えてみる。すでにある, コミュニティーを前提として, 治水対策や水資源問題がいわばローカルな形で提起され, ローカルな形で最適化がめざされるのが通常である。これとは逆に, 解決されるべき地域の大きさにまで水管理体制, 協議対象を広げ吟味することは水工学の得意とするところである。特にわが国では米作を中心にした水利用形態をもつ農耕社会を背景に基本的に地域が成立している。流域・水系を単位として議論を開始するのは自然でもある。今日的に言えば, 例えば地方分権が語られ, 地域基盤の強化をめざして地方公共団体の合併協議が進められている。地理的, 歴史的背景の考慮と共に, 水循環から想定される規模と範囲を目標に, 自立した「新しい地域」を構想したい。水防災計画の場合は特に切実である。洪水ハザードマップを作ったら, 堤防しか逃げ場がないなど, 市町村単位のみでの防災計画の樹立は始めから不合理なことがある。ただし, むやみに自治体の規模を拡大するのではなく, 協議の基本的な検討のために, 現象理解と水循環に関する解析結果を一つの重要な資料として利用するのである。科学側から最適な政策や社会形態の骨組みを提案したい。

世界水フォーラムが予定され, 関連スケジュールが進行中である。広範な水の問題を多方面から議論する重要な会議となる。竹内^{35), 36)}も水文学研究の立場から, 「科学が実際社会における水問題を救えるか, 問題解決に貢献できるか」を力説している。水問題が量と質の時空間バランスの問題であり, 政治・政策と実行の問題である。このとき, 科学的知見が政治を動かさなければ無益の教養でしかない。科学が政治にしかるべ

き指針を与え、政策を選択する市民の意思決定を間違いのないものとするため、専門家の責任は絶大であるとしている。

水工学におけるすべての研究・技術はこの方向に向かい、集約されるところであるが、これらに直接的な形で参考となる研究事例をながめてみる。

1988 年に発生したアメリカ合衆国での渇水をきっかけとして、砂田ら³⁷⁾は月降水量の空間分布について検討している。まず、観測地点資料をもとに多雨少雨の双方について地点間距離を用いて空間相関係数を求め、それから変動強度と空間スケール（第1スケール、第2スケール）を定義した。図-12はこの期間で得られた多雨・少雨についての強度とスケールの年変化である。88年6月のスケールが極めて大きく、渇水の範囲の大きさが認識される。さらに、長尾・角屋の方法を用いて、強度とスケールの同時生起確率を求めて、強度・スケールの同時確率を計算すれば図-13のようになる。多雨スケールに比べ少雨スケールが大きい

ことが知れ、直接的な渇水対策を考える場合の水供給・融通の必要な範囲を検討することができる（図-13の例示は資料数が十分ではないので試算として理解する必要がある）。

一方、わが国の少雨の空間分布については、葛葉ら³⁸⁾が別の手法により、月降水データを用いて解析している。図-14は1976~98間のアメダス観測点における年降水量の平

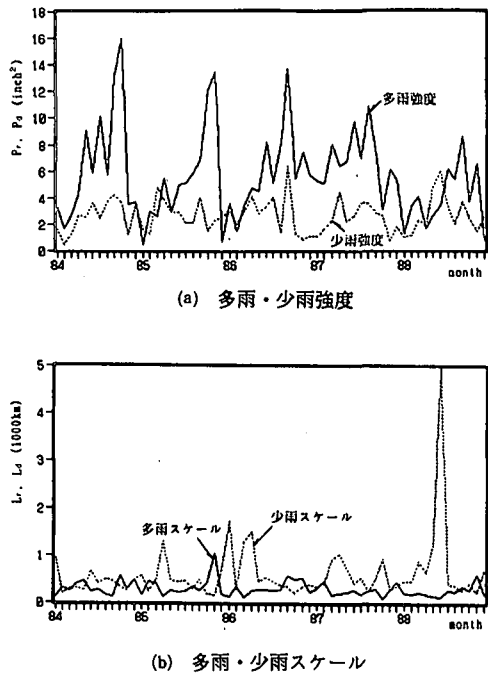


図-12 多雨・少雨の強度とスケールの経年変化²⁷⁾
(アメリカ合衆国)

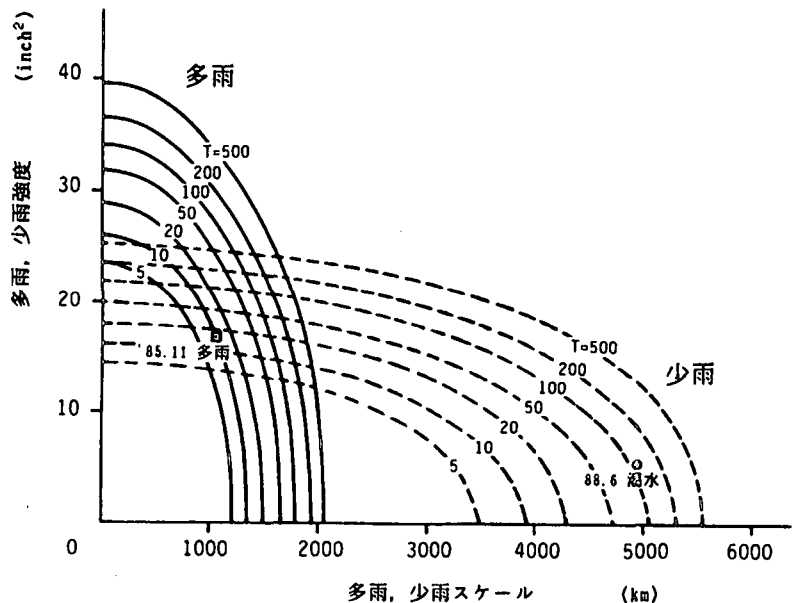


図-13 強度とスケールの同時超過確率（試算：アメリカ合衆国）³⁷⁾

均値と変動係数を示している（図中の凡例で上3つの円の大きさ差は平均値の大きさを示し、下の5つの円の濃淡は変動係数の範囲を示している）。同図によれば、降水量の少ない変動の大きい地域などが抽出でき、渇水に対する脆弱さを空間的に把握できる。

洪水対策を念頭におくと、いわゆる DAD 解析の課題と同じ側面を持つが、ここでの場合は、一般的な DAD 解析というより、地域ごとの DAD 特性の抽出がより直接にその地域の共同防災範囲のスケールを考える場合の有用な情報となろう。

以上のような解析を社会・経済活動状況と共に詳細に実行することにより、水資源とそのから見る場合の「一体として発展するのに相応しい地域の大きさ」が見出せる可能性がある。より複雑なものとなるかも知れないが、洪水流出予測や氾濫解析の精度向上により洪水避難や対策を基本的に進めるべき広域的な範囲、緊急集中での措置を講ずべき近隣地域の範囲を「現在の

行政区画」を超えて提案することも意義がある。将来においては、こうした場合、自然地理学上の「範囲」だけを論ずるのは不十分と考えられる。国際間でいえば、降水によって育まれた食物（穀物・野菜・肉）は国際貿易を通じて世界を駆け巡ることになる。大量の食料品を輸入しているわが国では間接的に大量の水資源を輸入している。国内ではすでに、水融通のしくみや農業用水慣行水利の問題もある。水循環の構成を自然現象としてのみ把握するのではなく、人為によって変更される水循環として正確に認識する必要もある。まずはその基本的な自然条件をベースに議論が開始されればよい。

7. まとめ

今日、科学技術や工学を取り巻く研究環境、技術需要の変化は極めて大きく、従来からの“受注型”の枠を超えた研究課題や技術の創出が研究者・技術者に求められるようになってきている。たとえば、境界条件の明確な河道内の水流について精度の高い不定流の計算のみが求められるのではなく、溢水氾濫・破堤氾濫に対する氾濫流の推定に破堤の形態と共に合理的に再現し得る事が求められている。また、本文ではあえて触れることはしなかったが、国際的な関係の中で水工学をながめると、やはり開発途上国との関連が深いことになる³⁹⁾。広瀬⁴⁰⁾は、『今、開発途上国で課題となっている水問題には、大規模な施設を建設して対処するというだけでなく、より小規模で現地の状況に合わせたやりかたで、技術者自身が住民の中に入っていく、現地の人的・物的資源を活用しながら解決策を見出していくという地道な活動が必要担っている』ことを訴えている。まさに、地域の特徴・特性を生かした、アイデア提案型の技術の創出が待たれている。

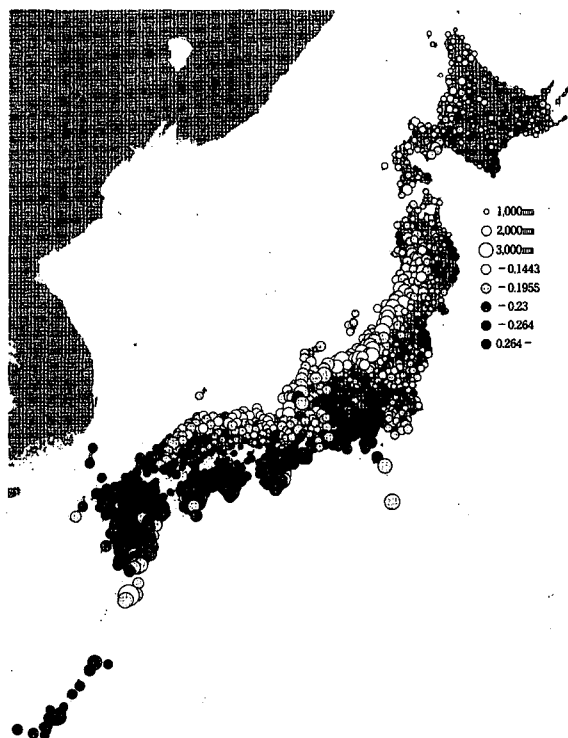


図-14 アメダス観測点における年降水量の平均値と変動係数³⁸⁾

ここでは、将来の水工学の進展の方向をさぐるために5つの視点から眺めてみた。本稿で例示したものは水工学全般を網羅したものではなく、筆者の知る一部の例を引いたものと理解されたい。現在、水工学に関する研究、技術開発は活発に進められており、基礎水理、水文、計画、防災、観測・解析法、河川、生態など極めて多様な内容があり、ここに挙げた事例以上に適切かつ重要な研究が多くあると考えている。それらの研究成果も踏まえて、ここで眺めた視点が補強・発展されるのもよいと考えている。

研究や技術開発の原動力は、研究や開発業務の没頭の中に見出す科学的興味という本来極めて個人的な知的活動に委ねられるべきものであり、科学者・技術者の良心のもとに引き続き「自主的な独創性のある研究開発」が基本になることは言うまでもない。そのような研究・技術開発にあつて、ここで取り上げた視点のいくつかが新たな発想に繋がるようなことがあればと期待している。

【謝辞】最後になりましたが、本稿をまとめるにあたって意見や図面などの資料を提供いただいた リバーフロント整備センター研究所長横内秀明氏、徳山工業高等専門学校大成博文教授、熊本大学大本照憲助教授、北海道大学清水康行助教授、京都大学後藤仁志助教授に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) たとえば、玉井信行：環境概念を軸とした河川工学について，水工学シリーズ 98-A-6, pp.1-17, 1998.
- 2) 後藤仁志・Abbas YEGANEH-BAKHTIARY・酒井哲郎：混相流モデルと個別要素法の融合による高濃度掃流層の数値解析，土木学会論文集，No.649／Ⅱ－51, pp.17-26, 2000.
- 3) 後藤仁志・原田英治・酒井哲郎：個別要素法に基づく移動床シミュレーターのモデル定数の最適化，土木学会論文集，No.691／Ⅱ－57, pp.17-26, 2001.
- 4) 原田英治・後藤仁志・酒井哲郎：分級過程の三次元性に関する計算力学的アプローチ，水工学論文集，第 46 巻，pp.619-624, 2002.
- 5) 後藤仁志・原田英治・酒井哲郎：三次元個別要素法による数値移動床の一般化，水工学論文集，第 46 巻，pp.613-618, 2002.
- 6) 清水康行，藤田睦博，平野道夫：連続床止め工を有する複断面河道における流れと河床変動の計算，水工学論文集第 43 巻，683-688, 1999.
- 7) 土木学会水理委員会第十堰技術評価特別小委員会：HP (<http://www.ce.tokushima-u.ac.jp/www/suikou/daiju/Daiju.htm>)，2000.
- 8) 土木学会表彰委員会：平成 10 年度土木学会賞選考経過，土木学会誌，Vol.84, No.9, 1999.
- 9) 森元光雄・大成博文・佐賀孝徳・前田邦男・斎藤 隆：閉鎖性水域における汚水浄化法の開発，土木学会論文集，No.553／Ⅳ-33, pp.33-40, 1996.
- 10) 大成博文：マイクロバブルの高機能性と水質浄化，資源処理技術，Vo.46, No.4, pp.238-244, 1999.
- 11) 大成博文・前田邦男・松尾克美・山原康嗣・渡辺勝利・石川並木：マイクロバブル技術によるカキ養殖効果，水工学論文集，第 46 巻，pp.1163-1168, 2002.
- 12) 大成博文・高橋正好・氷室昭三・赤対秀明：混相流におけるマイクロバブル技術の役割，混相流学会誌，6 月号特集，(印刷中)，2002.
- 13) 加藤尚武：環境倫理学のすすめ，丸善 032, 226p., 1991.
- 14) 砂田憲吾・伊藤 強・川口貴弘：歴史的治水施設の水理学的評価 ―富士川雁堤の場合―，山梨大学工学部研究報告別刷，No.41, 1990.
- 15) 砂田憲吾・萩原能男・宮沢直季：富士川雁堤の河道維持効果，水工学論文集，第 36 巻，pp.93-98, 1992.
- 16) 大本照憲：加藤清正の遺構「鼻繰り井手」の流水制御，水工学論文集，第 42 巻，pp.283-288, 1998.
- 17) 石垣泰輔・馬場康之・吉田由香：京都周辺における伝統的水害防備法について，京都大学防災研究所年報，第 45 号，B-2, 2002.

- 18) 砂田憲吾・伊藤 強・鈴木秀樹：歴史的治水施設の水理学的評価 ―笛吹川万力林の洪水防備機能について―，山梨大学工学部研究報告別刷，No.39, 1988.
- 19) ワークショップ「自然と共生した流域圏・都市の再生」実行委員会：ワークショップ資料，2002.
- 20) 総合科学技術会議：分野別推進戦略，（内閣府 HP(<http://www8.cao.go.jp/cstp/giji.html>))，2001.
- 21) 吉川勝秀：自然共生型流域圏・都市の再生，土木学会誌，Vol.87, 1, 2002.
- 22) 福岡捷二・川島幹雄・横山洋・水口雅教：密集市街地の氾濫シミュレーションモデルの開発と洪水被害軽減対策の研究，土木学会論文集 No.600/□, pp.23-36, 1998-8.
- 23) たとえば，安成哲三：GAME をめぐる国内外の状況，1996 年度 GAME 国内研究会発表要旨集，pp.1-2, 1996.
- 24) Katumi Musiaki and Taikan Oki: Summary of Activity in GAME-Tropics, Proc. '99 Workshop on GAME-Tropics in Thailand, pp.2-12, 1999.
- 25) 陸域一大気系の水循環過程解明研究班：琵琶湖プロジェクト，土木学会水理委員会水文部会資料，1992.
- 26) 砂田憲吾：陸域一大気系の水循環過程に関する共同観測－解析計画－琵琶湖プロジェクト試験観測の報告，水文・水資源学会誌，Vol.6, No.6, pp.55-60, 1993.
- 27) 中北英一・砂田憲吾：琵琶湖プロジェクト'95 報告－'95 飛行船観測中間報告と今後の展望－，平成 7 年度科学研究費補助金（総合(A)）報告書，1996.
- 28) 大石 哲・櫻井康博・扇田尚紀・中北英一・池淵周一・島田誠一：琵琶湖プロジェクト'98 で観測された境界層内変動，琵琶湖プロジェクトシンポジウム論文集，pp.3-11, 1999.
- 29) 澤本正樹編著：日本の河口，平成 7～8 年度科研費補助金（基盤研究（A））研究成果報告書，331p. 1998.
- 30) Sawamoto, M and Park, S-K (Ed.) : Proceedings of Korea-Japan Estuary Workshop '97, 131p., 1997.
- 31) 河川生態学研究会多摩川研究グループ：多摩川の総合研究 ―永田地区を中心として―，818p., 2000.
- 32) 河川生態学研究会千曲川研究グループ：千曲川の総合研究 ―鼠橋地区を中心として―，773p., 2000.
- 33) 辻本哲郎：木津川砂州をフィールドとした河川生態に関する生態学・河川水理学共同研究，河川技術論文集，第 8 巻，pp.7-12, 2002.
- 34) 砂田憲吾：水循環の視点からの政策科学を，実践水文システム研究会 1999 年度報告書，No.3, pp.1, 2000.
- 35) Kuni Takeuchi: From the President, IAHS Newsletter, No. 73, pp.1-2, 2001.
- 36) 竹内邦良：世界の水危機は救えるか，土木学会誌，87(3), pp.5, 2002.
- 37) 砂田憲吾・小西 徹・竹本真也：アメリカ合衆国における月降水量の空間分布特性，水文・水資源学会誌，Vol.5, No.1, pp.35-41, 1992.
- 38) 葛葉泰久・友杉邦雄・岸井徳雄・早野美智子：少雨の空間分布に関する研究：水文・水資源学会誌，Vol.14, No.2, pp.142-150, 2001.
- 39) たとえば，玉井信行：21 世紀の水環境マネジメントをめぐって，環境情報科学，30-1, 2001.
- 40) 広瀬典昭：開発途上国の水問題への貢献 ―現場の技術者と研究者のかかわり―，水文・水資源学会誌，Vol.14, No.3, pp.205-206, 2001.