

2023年度（第58回）
水工学に関する夏期研修会講義集

A コース

Lecture Notes of the
58th Summer Seminar on Hydraulic Engineering, 2023
Course A

土木学会
水工学委員会・海岸工学委員会
Committee on Hydrosience and Hydraulic Engineering,
Coastal Engineering Committee,
JSCE

2023年8月
August 2023

2023年度（第58回）

水工学に関する夏期研修会講義集

Aコース（河川・水文コース）

総合テーマ

水工学に関する国際的課題，今後我が国で取り組むべき課題

A-1	河川に関する国際プロジェクト iRIC を例とした国際的取り組み	北海道大学 名誉教授/ 北海学園大学 特任教授	清水 康行 Yasuyuki SHIMIZU
A-2	土砂水理学，河川地形学研究の世界最前線	北海道大学 教授	泉 典洋 Norihiko IZUMI
A-3	海岸工学における学融合とグローバル化	高知工科大学 教授	佐藤 慎司 Shinji SATO
A-4	植生水理学にかかわる研究動向	埼玉大学 教授	田中 規夫 Norio TANAKA
A-5	諸外国の豪雨災害事例と気候変動を含めた風水害リスク	北海道大学 教授	山田 朋人 Tomohito YAMADA
A-6	水圏におけるプラスチック動態に関する国際的な研究動向	愛媛大学 准教授	片岡 智哉 Tomoya KATAOKA
A-7	河川の観測に関する研究動向と我が国が取り組むべき課題	名古屋大学 准教授	椿 涼太 Ryota TSUBAKI
A-8	東南アジアにおける水工学研究の将来	中央大学 教授	手計 太一 Taichi TEBAKARI

河川に関する国際プロジェクトiRICを例とした国際的取り組み：

コンピューター河川工学への挑戦

Computational challenges on river engineering: international River Interface Cooperative, iRIC project

清水 康行

Yasuyuki SHIMIZU

1. はじめに

本稿は、河川における流れ、河床変動解析モデルの開発、ならびにそれに関連した国際プロジェクトであるinternational River Interface Cooperative (iRIC)プロジェクトに関する著者の長年の取り組みとそれらにより得られた成果や気づき、すなわちこのような国際プロジェクトを立ち上げ、参画し、運用することによる利点や波及効果、課題について解説するものである。国際的なプロジェクトの重要性、ならびに日本において国際的視点が特に若手研究者、技術者に不足しているという指摘がなされて久しい。これらに対して一石を投じる、という高尚なことを提言するつもりはないが、本プロジェクト、及びその第一歩は、著者が若手技術者、研究者の時から、国内外の研究者、技術者などの関係者と共同研究、交流するなかで、情熱をもって取り組んできたものであり、非常に（表現は難しいが）ワクワクしながら進めてきたものである。このような経験を多くの若手研究者・技術者へ具体例として示すことは、国際プロジェクトの重要性を示すうえでシニア研究者の責務であるとの思いから本稿を執筆することとした。iRICの概要やそれらに含まれるモデル、その適用性などは既に夏期研修会において2度の講習^{1, 2, 3)}が行われており、iRICのホームページ⁴⁾でも随時情報が更新されているため、それらについては割愛し、本稿では、著者がなぜこのようなプロジェクトを始めようと考えたのか、その始まりからを振り返りながら、実務-研究-プロジェクトがどのように有機的に結びつきながら発展してきたのかを示すとともに、このようなプロジェクトを通じて著者を含む開発関係者、ならびにユーザーが何を得てきたのか、具体的に示していきたい。講演においてすべてを伝えることは難しいと予想されるので、その全体像については本稿も併せて確認いただきたい。

2. iRIC誕生前夜：流れ・土砂輸送・河床変動モデルの開発

iRICとは、水圏の流れ、土砂輸送、河床変動に関するモデルとプラットフォーム、ならびにそれに関連した技術、研究、教育に関する人的交流も含めたプロジェクトの総称である。ただし、現状の認識においては、前者のiRIC = 計算モデル群+インターフェイス、と認識されていると思われる。実際、iRICにおけるモデルが様々な場面で利活用されていることは後に述べるとおりであり、計算モデルがこのプロジェクトの中核をなしていることは間違いない。iRICのようなソフトウェアの登場により、専門的な知識がなくても数値計算ができるという、ある意味非常に便利な時代になったが、このようなモデルがインターフェイスを含めて無償かつ自由に使用できるようになったのはここ最近であり、著者が土木技術者・研究者としての歩みをスタートしたときには、当然このようなツールは存在しなかった。iRICが誕生してから10年以上が経過したが、本当の第一歩は、著者の40年以上前の経験までさかのぼる。

今から42年前、私が大学を卒業し、北海道開発局の旭川開発建設部旭川河川事務所に赴任して2年目の夏、

河川地形力学研究の世界最前線

The World's Frontiers of Fluvial Morphodynamics

泉 典洋

Norihiro IZUMI

1. はじめに

敢えて独善的な言い方をさせてもらえれば、河川工学の最も重要な部分を構成するのは河川水文学と河川水理学である。このうち河川水文学が、降った雨に対する河川に流れる流量を予測するための学問であるのに対して、河川水理学は、河川に流れた流量に対する河川の水位を予測するための学問である。

近代治水においては、高水計画は流量を基本として行われており、河川延長に匹敵するほどの長さには達する堤防の設計のためには、安全上の観点からも経済的な観点からも洪水時の流量によって生じる水位を精度良く予測することが極めて重要である。経済的な観点からは長大な堤防の高さは出来るだけ抑えたい。が、堤防の高さが十分でない洪水時の安全は保証されなくなる。逆に、想定される洪水時の水位に対しあまりに余裕高の大きい堤防を作れば安全性は確保される。が、経済的に無駄である。堤防の高さを決める問題は安全性と経済性の二つの与条件に対して最適解を求める問題である。これに対して例えば飛行機などの設計における与条件は安全性と機能性だろうか。機体を頑丈にして安全を追求すると重くて飛べなくなるが、軽くて飛びやすくし過ぎると機体の強度が十分でなくなり安全でなくなる。航空工学の真骨頂は、この二つの与条件に対する最適解を見出すところにある。

話がそれた。流量に対する水位を求める問題は、河川が水のみを輸送する排水路であれば問題は比較的簡単である。水路底面や側面を構成している材質によって決定される粗度がわかれば、Manning 則に代表される抵抗則を用いて水位を予測することができる。ところが自然の河川は水のみならず土砂を輸送している。それによって問題は遥かに複雑なものとなる。それでは問題を簡単にするために河川への土砂の流入をできる限り防げば良いのか。現在の河川を短期的に見ている人の中にはそう思う人もいるかも知れない。しかし、そのようなことは不可能なのだ。河川が土砂を輸送するのは自然にとって必要不可欠なプロセスである。地殻変動によって隆起した領域は、雨やそれによって生じる表面流によって侵食を受け山地となる。その際、侵食によって発生した土砂は、下流へと輸送され沈降域に堆積し、扇状地や三角州などの平地・平野を形成する。このような河川の本来の機能を働かなくしてしまうと大変なことが起こってしまう。

沈降域であるが故に土砂が堆積し形成されていた平地・平野に十分な土砂が供給されなくなると地盤沈下が発生する。2005年にアメリカメキシコ湾岸を襲ったハリケーンカトリーナによってニューオーリンズには甚大な被害が発生した。この原因の一つが、ミシシッピ川から供給される土砂の減少によるミシシッピデルタの沈下・縮小であったとも言われている。これまで、ハリケーンによる高潮からニューオーリンズを守っていた広大なミシシッピデルタが沈下・縮小することで、高潮の被害がより内陸のニューオーリンズに及んだのである。地球温暖化によって海面上昇が発生すると、沈下・縮小したデルタ地帯は水害によってさらに甚大な被害を受けることになるであろう。上流に蓄積された土砂も問題である。隆起し続ける山地に存在する土砂は不安定土砂と化し、大雨の際には土石流や泥流として下流へ流下し恐ろしい土砂災害を引き起こしてしまうに違いない。流域土砂管理の重要性は、単に短期的な土砂災害を防止することにはなく、より長期的な国土の安全性に関わる点にある。

話がまたそれた。河川が水だけでなく土砂を輸送するとなぜ問題が複雑となるのか。それは、河床を土砂

海岸工学における学融合とグローバル化

Trans-discipline and globalization in Coastal Engineering

佐藤 慎司

Shinji SATO

1. はじめに

海岸工学は約70年前に生まれた比較的新しい学術領域である。波、流れと漂砂などの海岸過程の理解や、沿岸防災、海岸保全技術などを扱う分野であるが、その対象や課題解決手法は近年目まぐるしく変化している。本稿では、学術領域の萌芽、コミュニティの形成、地域固有の問題とグローバルな問題への対応、国際的・学際的に解決すべき諸問題などを俯瞰し、課題解決に向けて海岸工学が今後進むべき方向と果たすべき役割などについて議論する。

2. 「海」の国際性と学際性

地球上の生命は「海」で誕生し、生物の9割以上が、地球表面の約7割を占める海に生息している。海は一つにつながっており、人や物資の交流の場となるため、その存在は本質的に国際的なものである。全世界にとってかけがえのない海の秩序を維持するために、古くからの慣習として、「海は万人に開放されており、私的な所有は禁止する」とされてきた。その後、16世紀の大航海時代などを経て海の利用が拡大し、海は万人のものとしながらも、沿岸部については沿岸国に一定の管轄権を認める考え方が定着し、国際連盟や国際連合での長い議論の末、1982年に国連海洋法条約（通称UNCLOS）が採択され、国際的な海の秩序を規定する体系が確立した。UNCLOSにおいては、国ごとにそれぞれの主権が認められている陸地と異なり、海洋は基本的には自由使用であるが、その管理は沿岸国の責務であることが明記された。またその前文においては、**図-1赤線部に示したように、「海洋の諸問題は多岐にわたるうえ、それぞれが密接に関連しているため、主として陸上社会で分化・高度化してきた個々の学術・技術のみで解決を図るのではなく、俯瞰的な視野で包括的に解決すべきものである」と宣言された。**このように、海の課題解決には、陸上社会の考え方や諸制度とは異なる枠組みの「wholisticなアプローチ」が必要であり、解決のための学術は本質的に学際的であるとも言える。その後議論が進んだ地球環境や生物多様性の問題解決においても、海洋は主要な対象領域となっており、国際性と学際性を重視したアプローチが不可欠であるとの認識が定着している。

海と陸の境界である海岸は、国ごとの独自性が尊重される陸上社会の論理と、国際性と学際性が重視される海の論理が重なり合う空間であり、陸地を中心に海を考える立場と、海を中心に陸地を考える立場の両者が会おう場でもある。わが国では、第二次世界大戦の復興期に自然災害が多発したため、沿岸防災への対応として海岸法が1956年に制定された。そのため海岸法は、自然災害から陸地を防護するという国内の需要に対応する形で制定されたものであり、「陸地を中心に海を考える」立場に立つものである。しかしながら2000年の海岸法改正では、陸地の防護に加えて海岸の環境保全と公衆の利用が目的に加わり、海岸域を空間として調和的に管理するための枠組みに変わりつつある。これに対して国連海洋法（UNCLOS）は、海の視

植生水理学にかかわる研究動向

Research trends on vegetation hydrodynamics

田 中 規 夫

Norio TANAKA

1. はじめに

水圏（水際と洪水時に冠水する場所を含む）に存在する植生，もしくは，その流失や倒伏に起因する堆積物（生物学的遺産：攪乱を受ける前の生態系から引き継いだ栄養塩や種子等の遺産という意味）の果たす機能として，河川地形の形成や多様な生息場の創出等が注目されている．一方，これらには長所や短所（流下能力の低下，河岸を固定する一方で流路変動を激しくする場合もあること等）があるため，水工学，生態学，地質学の関連で多くの研究が行なわれてきた．植生水理学は「生態系と水理学」¹⁾において提案された拡張すべき水理学の範囲に関連し，近年までに多くの治水・利水と両立した環境管理のあり方に関連した学術的研究が実施され，その一部は河川管理においても適用されて来た．特に，1990年から始まった多自然型川づくり（当時名称）や1997年の河川法改正における河川環境の保全と再生に関連して，水理学的にも大きく進展した部分もある．しかし，多様な植物繁茂状態に関連した小スケール（局所的）・短期的な影響（様々な植生や河床材料であること，植生周辺流れの三次元性，攪乱強度に応じた植生周辺の局所的な地形改変とそれによる次回イベントまでの植生遷移）と，大スケール・長期的な影響（洪水イベントそのものによる植物体の死滅・基盤の流出，洪水の結果として河道に残る生物学的遺産も含む植生遷移という長時間イベントが関連する時空間的変動など）が混在するため，本質的な解明が遅れている分野もある．そうした中，2004年の河川技術シンポジウムにおいて，生態学と河川水理学の連携に関するOSが開催され，樹林化と付着藻類に関する総説²⁾が発表された．その後，特に河道内樹林化問題は多様な研究が展開され，2013年には河道内樹林化研究に関する総説³⁾が発表されている．また，河道内植生の維持管理は河道管理における河積管理や河道内侵食の両方に関連することから，河道管理研究小委員会のWGによる総説^{4), 5)}によりその課題や研究の方向性の整理がなされたところである．近年の植生管理に関する研究は多様期に相当し，具体的な事例に基づく知見も蓄積されつつある．しかし，洪水災害を受けての復旧（特に断面の河積確保）における高水敷や河道の切り下げや樹木伐採等の実務への適用にあたっては課題が多い．今後の植生管理に関しては，河川特性（地形，地質，出水特性，河道特性）と植生の繁茂状態に応じた管理技術を構築する必要性が残されている．

河道の植生管理の本質的難しさは，規模の異なる不定期な攪乱が生物（特に植生遷移を含む土壌の形成）と地形の相互作用に関連するところである．多くの力学分野の体系は，応力-歪み関係を基本とし，新しい素材やその組合せがでてくれば，維持管理までを含む一連の研究体系であり，経年的劣化や地震荷重が作用するなど時間的な変動はあるが，変化する方向性を大きく変えるものではない．しかし，河川植生と外力の関係は，洪水攪乱による外力の時間変動が植生帯を礫河原に戻す場合もあれば，樹林化を促進する方向に行く場合もある．高水敷の切り下げも最初に来た洪水のタイミングと流量規模がその後の植生変化に大きな影響を与える．切り下げ後から洪水までの期間が洪水にとってどのような初期条件（特に植生繁茂状態等）を作り出しているかに大きく左右される．カオスの特性として挙げられる初期値鋭敏性のような特性を持ち，洪水を受ける時点での河道の植生初期状態の僅かな差が植物の残存・流失に関係し，流失したかどうかの差が時間発展と共に砂州などの移動に大きな差異を与える可能性がある．植物の流失が洪水波形のどこで起きた

水圏におけるプラスチック動態に関する国際的な研究動向

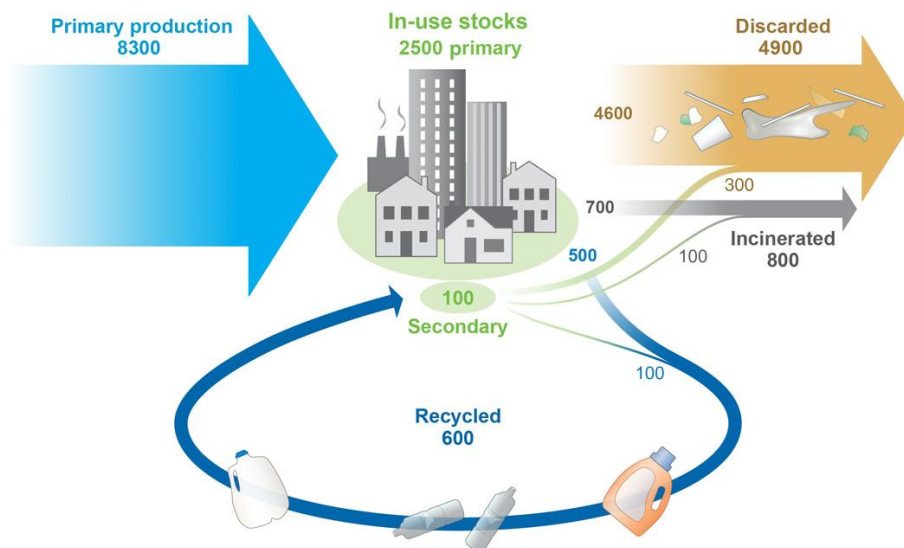
International research trend on the dynamics of plastic litter in hydrosphere

片岡 智哉
Tomoya KATAOKA

1. はじめに

石油を原料としたプラスチックは 20 世紀初頭に開発が始まり、第二次世界大戦後の 1950 年頃からその生産量が指数関数的に増加した (Thompson et al., 2009). 2018 年には世界で年間約 3.59 億 ton のプラスチックが生産され、発展途上国を含めた全世界で大量に消費されている (PlasticsEurope, 2019). その結果、世界のプラスチック累計生産量は 83 億 ton (2015 年時点) に上り、その内廃棄されたプラスチック量は 63 億 ton と推計されている (Geyer et al., 2017). さらに、この廃プラスチックの 79%が埋立処分地を含む環境中に集積しており、現状のプラスチック生産と廃棄物管理が続けば、それらの集積量は 2050 年に 120 億 ton まで増加すると推計されている (図-1). プラスチック生産が急激に増加した 1950 年頃は、人間の活動が地球に地質学的な影響を与え始めた「人新世」の起源時期として有力視されている (Andrady, 2022; Kuwae et al., 2022). そのため、プラスチックは人新世の起源を示す有力なマーカーとしても注目されている (Hinata et al., 2023; Zalasiewicz et al., 2016).

こうしたプラスチックは、安価・軽量・高耐久性という 3 つの利点をもつ材料であるが、本来のマテリアルフローから外れると、これら 3 つの利点が仇となり、海洋生態系に対する汚染因子へと変貌する。まずプラスチックは安価が故に、廃棄物管理が十分でないアジア圏の発展途上国を含み、大量に消費されている。さらに、その多くはシングルユースで廃棄され、その一部は不法な投棄により環境中に流出する (UNEP, 2018). 投棄されたプラスチックはそのままの形状を維持せず、紫外線や熱の暴露や力学的刺激により劣化して微細なプラスチック片に形状を変化させる (Andrady, 2011). 特に、陸上に散乱するプラスチックは、海上よりも強い紫外線と地表面からの熱に暴露されるため、劣化が急速に進行する。従って、河川流域圏や海岸などの陸域は、微細なプラスチック片



© 2017 Geyer et al. Licensed under CC-BY 4.0

図-1 世界における 1950 年から 2015 年までのプラスチックのマテリアルフロー

河川の観測に関する研究動向と我が国が取り組むべき課題

Advances in measurements in rivers and the expected contributions from Japan

椿 涼 太
Ryota TSUBAKI

1. はじめに

本稿では、河川の観測に関する国内外の研究動向について解説し、その動向を踏まえて、日本の研究者・技術者として取り組む課題について議論や国際的な活動・活躍につなげる方策を探っていききたい。取り上げる内容について、著者の視点は限られることもあり、事前に著者の海外の知り合いに、テーマに沿った話題をあげていただき、それを著者の視点で構成して研究動向を解説することとした。

2. 研究方法の動向について

河川の観測に関する研究動向の個別事例を議論する前に、研究方法そのもの動向について少し紹介したい。ここでは、「水文分野で検討された23の未解決問題」という取り組み (Blöschl et al., 2019) をとりあげる。この取り組みでは、元々、ドイツの数学者 Hilbelt が1900年に公開した23の未解決問題にならない、2017年から2019年にかけて、主にヨーロッパの水文分野の研究者に広く参画をもとめながら研究動向をまとめたものである。Hilbelt の未解決問題は、単著での取り組みであるのに対し、(Blöschl et al., 2019)では、200名を超える著者の連名となっており、参画者は総勢230名という記載もある。また、5ページ程を使い、どのようにして、このような多数の参画者の意見を取りまとめたのかということが、分りやすく説明されている。例えば図-1を用いて、議論の統合化の手順を示している。この手順は、いわゆる発想法として、ブレインストーミングでアイデアを列挙して、KJ法で集約化する、という手順と類似しているが、すこし異なる視点で統合化されている。また、このような議論を、成果物としてまとめ、公表して広く認知してもらうことが、予算獲得などの面で研究推進に役立つだろうという記載も、なるほど、と感じる。さらに、参画者の視点の多様性に留意しつつも、実際にはその偏りも認め、その上で、できるだけ多様な意見を取り入れるよう留意して議論を整理するという記述も、議論の進め方の動向として参考になる。

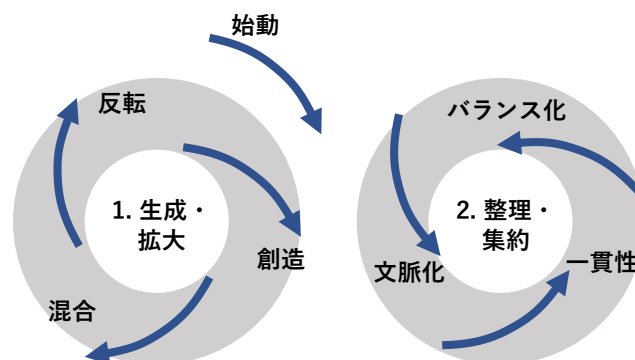


図-1 議論の統合化の手順 (Blöschl et al., 2019)

東南アジアにおける水工学研究の将来

The Future of Hydraulic and Hydrologic Engineering Research in Southeast Asia

手 計 太 一

Taichi TEBAKARI

1. はじめに

東南アジアは日本からの距離が近く、田んぼを中心とした農業や衣食住環境、文化的背景も近いことから、中国や韓国の台頭はあるものの、日本や日本人への期待はいまだに大きい。水工学研究においては明らかに日本がリードしており、東南アジアは研究対象のみならず今後の共同研究対象国としてのポテンシャルが高い。本稿では、特に東南アジアを研究対象とした我が国発信の研究動向、研究プロジェクト、著者がかかわったタイにおける気候変動適応研究を通して東南アジアにおける水工学研究を概観し、今後の研究ニーズ、シーズについて私見を述べたい。なお、ここでは、東南アジアをASEAN10か国（インドネシア、カンボジア、シンガポール、タイ、フィリピン、ブルネイ、ベトナム、マレーシア、ミャンマー、ラオス）とする。

2. 我が国発信の研究動向の概観

ここでは、水工学に関する我が国発信の東南アジアを対象とした研究について概観するが、膨大な論文を網羅することはできないため、日本へ発信したものとして国内誌について簡単にレビューしたい。また、その中でも、特筆すべき研究成果や情報が掲載されている論文をJ-STAGEを利用して抽出した。

古くは1941年の農業土木研究に現在のベトナム、ラオス、カンボジアの水利事業に関する総論的な論文が掲載されている¹⁾。1907年から1929年までの平均月雨量のデータも掲載され、治水、灌漑用水の両面から詳細に記述されており、先人たちの技術力に感銘を受ける。

それから1960年代まで東南アジアにおける研究はほとんどなく、1963年の水利科学にメコン川流域の開発調査に関する報告が登場する^{2),3)}。1964年になると、タイ、ミャンマー、フィリピンなど広域的に東南アジアの水計画の情報を収集している^{4),5)}。現在ではもう使われていないが、当時はチャオプラヤー川をメナム川と表現していた。いまでこそ笑い話になるが、メナムは川という意味なので「川川」となる。しかし、研究者によってはチャオ・ピヤとタイ人の発音を正確にカタカナに表示した論文もある。

1960年代の論文は、広域的な水収支、水と農業、水資源としての側面から調査研究、論じられているものが多い^{1)~20)}。研究対象はカンボジア、タイ、ベトナムが多い。1970年代は東南アジアを対象とした研究が少ない²¹⁾。1980、1990年代、タイで大規模な洪水があったと推察するが、タイ中央平原を対象とした水工学研究が発信されている^{22)~30)}。2000年代に入ると、水文モデルによる数値シミュレーションの研究結果が多数発表され、各国の大小様々な流域に適用されるとともに、最近では温暖化プロダクトを入力値とした将来予測研究も発表されている。データや情報の入手のし易さとデータ品質に起因して、タイ国内の研究事例が非常に多い^{31)~42)}。

メコン川を対象とした研究は過去から継続的に発信されており、研究する側のみならず研究者コミュニティでの注目度が高いと言える。

最近では国際ジャーナルへの投稿が増加しているため、日本語での発信が少なく評価が難しいものの、いくつかの限られた国や地域を対象とした研究が多い。