

環境水理学の発刊の経緯

二瓶泰雄（東京理科大学）

1. はじめに

環境水理部会は、1988年に設立されて以来、水工学委員会の研究部会の一つとして活発に活動してきた。以来、現在まで、環境水理学に係る研究は数多く発表され、環境水理学を専門とする研究者・技術者も多く輩出されていった。また、取り扱う内容も、物質の拡散・分散などの水理学の基礎から、熱・塩分、土砂、水質、生態系と幅広く展開されていた。その一方、環境水理学が扱うべき対象が不明瞭になり、環境水理学の定義すら部会メンバー間で共有されていなかった。また、多くの学会発表も「蓄積型」よりも「消費型」になってしまい、環境水理研究に関わる知の集積が十分なされているとは言い難かった。環境関連の法律制定・改正が相次いだ1990年代から2000年代を経て、環境研究の重要性がかつて無いほど高まった時期にも関わらず、この状況は学術分野として危機的状況であると筆者は考えた。

筆者は2011年から西日本技術開発・井芹氏から引き継ぐ形で環境水理部会の部会長をさせて頂いた。部会長就任を機に、上記の課題を振り払う策として、「環境水理学」の出版を企画した。それも、専門書というよりは、学部生向けの「教科書」としてである。発刊までの経緯は表1に示すとおりである。また、「環境水理学」の執筆者が属した「教科書WG」の設立趣旨は2.に示すとおりである。

2. 教科書WGの設立趣旨

環境水理部会は、当初、水理学の「応用研究分野」担当として発足したが、より環境分野にシフトとした調査研究が水工学分野でも多数行われるようになったことに伴って、「環境水理学」の範囲が“古典”水理学や熱・土砂水理学のみならず、水質・生物分野にも拡張しており、現在もその範囲は拡大しつつある。そのため、環境水理学の範囲や定義そのものがないままになり、それに伴って、環境水理学を修得にはどのような基礎的事項を学ぶべきなのかを系統立てて整理されたものはない。これは、環境水理学を網羅した教科書が国内外を問わず出版されていないのが一因である。

そこで、環境水理部会にこの環境水理学に関する教科書を出版するためのWGを作り、環境水理学の現状と課題を網羅し、今後の環境水理学分野の発展をもたらす教科書作成に取り組むことが「教科書作成」WGの設立趣旨である。

3. 執筆の基本方針

以下には、企画当初の基本方針である。全体のページ数は当初よりオーバーしたが、その他は概ね当初方針通り執筆できた。

- ・ 本書の70%の内容は、学部3年生もしくは大学院の教科書として使用できる内容とする。

- ・ 全体としての分量は 200 ページ程度。
- ・ 水理学（＋流体力学）全般（＋水文学，河川工学）の基礎事項を学んだことを前提。
- ・ 水理学を水理，熱（＋塩分），土砂（＋懸濁物質），水質・底質，生態系等のように，場所ごとではなく，対象物質・現象ごとに章を分ける。
- ・ 対象物質に関して，流域，河川，地下，沿岸（河口・湖沼を含む）に関わる事項を整理する（どの場所でどの現象が卓越するかを表形式でまとめる）。
- ・ 各章の半分以上は，重要な基本的事項を列挙し，なるべく数式を使わずに模式図をふんだんに使い，観測値や実験値をベースに説明し，最低限必要な式のみ列挙する。
- ・ 物質輸送方程式は 2. 3 で示し，各物質に必要なソース・シンク項は，各章の中で示す。
- ・ 流域圏における環境水理学に関わる現代的な課題やその対策を取り込む（ダム等）。

表 1 「環境水理学」出版までの経緯

時間		内容	予定（当時）
H23（2011）	7月	研究会：教科書出版の企画を示す。環境水理学の定義を議論。	
	9月	部会：教科書作成WG立ち上げを承認。土木学会からの出版決定	H24.9 土木学会に申請 H26.3 出版
H24（2012）	3月	教科書WG：執筆の基本方針と目次案のたたき台作成	H24.3 目次大枠と章担当者決定 H24.5 目次詳細＋執筆者案の決定 H24.6 水工学委員会にて審議 H24.9 土木学会に申請
	6月	目次の暫定案作成	
		水工学委員会：教科書出版の承認	
	9月	教科書WG：目次，執筆担当者案完成，500部印刷予定。	H24.9 土木学会への出版申請 H24.10 執筆要領配布 H24.4 第一稿提出締め切り
		土木学会に企画書提出	H26.3 出版予定
	10月	土木学会：企画のヒアリング	
	11月	執筆要領配布	
H25（2013）	1月	出版承認書受取，出版確認書の提出。学会より了承。	
	4月	第一稿締め切りを5月に延期	
	5月	第一稿受取	
	6月	第一稿修正依頼	H25.7 第二稿締切
	9月	読み合わせ（2章@中国）	
	11月	読み合わせ2回目（2章@福岡）	
	11月	読み合わせ（3章@鳥取）	
H26(2014)	12月	読み合わせ（5章@東京）	
	1月	土木学会へ発行延期を申し出	H26年度内には出版（1年遅れ）
		読み合わせ（4章@東京）	
		読み合わせ2回目（5章@東京）	
	5月	2章が最初に完成	
	9月	全章完成，部会：完成版を回覧	H26.12 学会提出 H27.3 出版
	10月	章末問題・索引・口絵作成	
H27（2015）	11月	校正業者（美研プリンティンクス）へ提出。図表，式を全て入力。	
	12月	1章から順次校正作業	
	1月	土木学会へpdf原稿完成版の提出	
		図面使用許可の取得	
	2月	学会提出原稿の校正	
		表紙作成（横山先生）	
		価格，発行部数の決定（261頁，定価2,592円，1000部）	
	3月	出版（水工学講演会）	
	5月	販売部数：454部	

河川における植物と地形

国立研究開発法人 国土交通省 国土利用・計画研究所 水環境研究グループ
自然共生研究センター 大石哲也

1. はじめに

日本には、約 8,000 種（亜種・品種を含む維管束類（種子植物、シダ植物））もの植物が野外で観察されている。河川水辺の国勢調査（以下、水国）で得られた種のリストを分析すると、約 5,600 種が河道内に存在し、約 600 種が環境省の指定する絶滅危惧種、約 1,200 種が国外から持ち込まれた外来種である。多くの種が河川を利用して生育しているが、本報では、その成立要因の 1 つである地形との関係について考えてみたい。

2. セグメントと植生との関係 ～草本群落の傾向を巨視的に捉える～

水国のデータを元に草本群落を対象に、地域性や河床勾配等の違いによってどのような群落が発達するかを分析した。表-1 に地方整備局が管轄する河川別、セグメント別にとりまとめた群落面積を割合別に示す。地域ごとに生育地の条件が異なるが、俯瞰的にみると以下のような傾向が見て取れる。例えば、自然堤防帯（Seg2-2）では、本州・九州でオギ群落が発達している。また、カナムグラ群落も多いが、これは植生調査を晩秋に行ったときに多く見られる傾向でヨシやオギ群落を覆うように出てくることが多い。これらの傾向から、自然堤防帯を流れる河道内の植物は、オギ群落やヨシ群落が河道内の半分を占めていることが分かる。ヨシや

表-1 各地域における草本群落別の割合（暫定版）

	北海道	東北	北陸	関東	中部	近畿	中国	四国	九州
Seg.1	1 カモガヤ-オオアワガエリ群落 40%	ススキ群落	34% ススキ群落	36% オギ群落	34% カナムグラ群落	25% ツルヨシ群落	27% ツルヨシ群落	40% ヒメムカシヨモギ-オオアレチノギ群落	27% ツルヨシ群落 35%
	2 セリークサヨシ群落 11%	ツルヨシ群落	19% ツルヨシ群落	14% ヨモギ-メドハギ群落	16% オギ群落	19% イタドリ群落	20% セイタカアワダチソウ群落	12% ツルヨシ群落	14% オギ群落 18%
	3 オオヨモギ-オオイトドリ群落 10%	チガヤ群落	15% ヨモギ-メドハギ群落	11% カナムグラ群落	12% シナダレスズメガヤ群落	10% オニウシノケガサ群落	14% チガヤ群落	11% ヨモギ-メドハギ群落	12% セイバンモロコシ群落 13%
	4 カゼクサ-オオハコベ群落 8%	ヨモギ-メドハギ群落	6% カワヨモギ-カワハハ群落	7% ヨシ群落	7% オオイヌタデ-オオササキ群落	10% ネズミギ群落	11% オギ群落	10% メシバ-エ/コログサ群落	8% チガヤ群落 12%
	5 メシバ-エ/コログサ群落 8%	オギ群落	5% オオイヌタデ-オオササキ群落	5% ツルヨシ群落	4% メシバ-エ/コログサ群落	6% ススキ群落	9% カナムグラ群落	5% シナダレスズメガヤ群落	7% カナムグラ群落 10%
	6 オオアワダチソウ群落 7%	カナムグラ群落	5% シバ群落	5% セイタカアワダチソウ群落	4% ススキ群落	6% チガヤ-コハシソウ群落	7% メシバ-エ/コログサ群落	4% セイタカアワダチソウ群落	6% オオササキ群落 3%
	7 ツルヨシ群落 6%	セイタカアワダチソウ群落	3% チガヤ群落	4% メシバ-エ/コログサ群落	4% ヒメムカシヨモギ-オオアレチノギ群落	3% オギ群落	4% ヨモギ-メドハギ群落	4% ヤナギタデ群落	4% セイタカアワダチソウ群落 3%
	8 オオイヌタデ-オオササキ群落 2%	カワヨモギ-カワハハ群落	3% オギ群落	4% ヒメムカシヨモギ-オオアレチノギ群落	4% セイタカアワダチソウ群落	3% チガヤ群落	2% オオカナダモ群落	3% オギ群落	3% アキノエ/コログサ群落 2%
	9 ススキ群落 2%	メシバ-エ/コログサ群落	3% メシバ-エ/コログサ群落	3% コセンダングサ群落	4% シバ群落	3% ヨモギ群落	2% ヒメムカシヨモギ-オオアレチノギ群落	2% ヤブガラシ群落	3% ヤナギタデ群落 1%
	10 カワヨモギ-カワハハ群落 1%	クズ群落	2% オオヨモギ群落	2% オオイヌタデ-オオササキ群落	2% カナムグラ群落	3% コハシソウ群落	1% ヤナギタデ群落	1% カナムグラ群落	3% オオバクサ群落 1%
Seg2-1	1 カモガヤ-オオアワガエリ群落 39%	ヨシ群落	21% オギ群落	24% オギ群落	42% セイタカアワダチソウ群落	18% カナムグラ群落	27% ツルヨシ群落	21% セイタカアワダチソウ群落	15% ツルヨシ群落 21%
	2 オオヨモギ-オオイトドリ群落 19%	チガヤ群落	15% カナムグラ群落	15% カナムグラ群落	13% シナダレスズメガヤ群落	15% セイタカアワダチソウ群落	20% オギ群落	17% シナダレスズメガヤ群落	13% オギ群落 21%
	3 オオアワダチソウ群落 12%	オギ群落	15% ヨモギ-メドハギ群落	8% セイタカアワダチソウ群落	11% ツルヨシ群落	12% ツルヨシ群落	14% セイタカアワダチソウ群落	16% ツルヨシ群落	12% チガヤ群落 16%
	4 セリークサヨシ群落 10%	ツルヨシ群落	9% オニウシノケガサ群落	6% ヨシ群落	8% オギ群落	11% オギ群落	11% チガヤ群落	9% オギ群落	12% セイバンモロコシ群落 11%
	5 エゾオオヤマハコベ-クサヨシ群落 5%	オオイヌタデ-オオササキ群落	6% オオイヌタデ-オオササキ群落	6% メシバ-エ/コログサ群落	6% セイタカアワダチソウ群落	10% ヨモギ群落	9% カナムグラ群落	6% セイタカアワダチソウ群落	11% セイタカアワダチソウ群落 8%
	6 ヨシ群落 3%	ヨモギ-メドハギ群落	5% ツルヨシ群落	5% ツルヨシ群落	5% ススキ群落	5% コツブキン/エ/コログサ群落	7% ヨモギ-メドハギ群落	5% ススキ群落	9% セイタカヨシ群落 4%
	7 ツルヨシ群落 3%	メシバ-エ/コログサ群落	5% ススキ群落	5% シナダレスズメガヤ群落	3% アレチハナガサ群落	5% オギ群落	4% シナダレスズメガヤ群落	3% アレチハナガサ群落	5% メシバ-エ/コログサ群落 3%
	8 メシバ-エ/コログサ群落 2%	ススキ群落	5% ヨシ群落	5% オオイヌタデ-オオササキ群落	2% ヒメムカシヨモギ-オオアレチノギ群落	4% オオバクサ群落	2% ヤナギタデ群落	3% ヒメムカシヨモギ-オオアレチノギ群落	4% タチスズメ/エ群落 3%
	9 ススキ群落 2%	カナムグラ群落	3% セイタカアワダチソウ群落	4% ヨモギ-メドハギ群落	2% オオイヌタデ-オオササキ群落	3% オシバ-アキメシバ群落	2% ススキ群落	2% オオイヌタデ-オオササキ群落	3% ススキ群落 2%
	10 オオハコベ群落 2%	クロバナエンジュ-オギ群落	3% アレチウリ群落	4% アレチウリ群落	1% ヤナギタデ群落	2% ヨモギ-メドハギ群落	1% メシバ-エ/コログサ群落	2% ヤナギタデ群落	2% シナダレスズメガヤ群落 2%
Seg2-2	1 エゾオオヤマハコベ-クサヨシ群落 35%	ヨシ群落	35% オギ群落	32% オギ群落	47% オギ群落	25% オギ群落	18% オギ群落	21% オギ群落	16% オギ群落 20%
	2 カモガヤ-オオアワガエリ群落 24%	オギ群落	24% ヨシ群落	12% カナムグラ群落	13% カナムグラ群落	15% セイタカアワダチソウ群落	13% ツルヨシ群落	18% カナムグラ群落	15% チガヤ群落 16%
	3 ヨシ群落 7%	チガヤ群落	7% カナムグラ群落	11% セイタカアワダチソウ群落	12% セイタカアワダチソウ群落	10% カナムグラ群落	11% ヨシ群落	16% セイタカアワダチソウ群落	13% セイタカアワダチソウ群落 14%
	4 セリークサヨシ群落 5%	メシバ-エ/コログサ群落	5% セイタカアワダチソウ群落	7% ヨシ群落	11% ヨシ群落	8% セイタカヨシ群落	8% セイタカアワダチソウ群落	13% ヨシ群落	9% セイバンモロコシ群落 12%
	5 オオヨモギ-オオイトドリ群落 4%	ヨモギ-メドハギ群落	4% チガヤ群落	7% メシバ-エ/コログサ群落	3% メシバ-エ/コログサ群落	7% ヨシ群落	8% セイタカヨシ群落	6% メシバ-エ/コログサ群落	9% ツルヨシ群落 11%
	6 イワノガハス-ヨシ群落 4%	カナムグラ群落	4% メシバ-エ/コログサ群落	7% アレチウリ群落	2% アレチウリ群落	5% セイバンモロコシ群落	8% カナムグラ群落	5% アレチウリ群落	6% ヨシ群落 6%
	7 カモガヤ-コスサゲサ群落 3%	ツルヨシ群落	3% オオイヌタデ-オオササキ群落	6% オオオナミ群落	2% オオオナミ群落	4% チガヤ群落	5% チガヤ群落	5% オオオナミ群落	6% アメリカスズメ/エ群落 4%
	8 クサヨシ群落 3%	セリークサヨシ群落	3% シバ群落	3% ツルヨシ群落	1% ツルヨシ群落	4% ツルヨシ群落	5% メシバ-エ/コログサ群落	2% ツルヨシ群落	3% タチスズメ/エ群落 3%
	9 オオアワダチソウ群落 3%	セイタカアワダチソウ群落	3% ヨモギ-メドハギ群落	3% オオイヌタデ-オオササキ群落	1% オオイヌタデ-オオササキ群落	4% ヨモギ-メドハギ群落	4% ヨモギ-メドハギ群落	2% オオイヌタデ-オオササキ群落	2% メシバ-エ/コログサ群落 2%
	10 ツルヨシ群落 3%	オオイヌタデ-オオササキ群落	3% ススキ群落	3% オオバクサ群落	1% オオバクサ群落	2% ヤナギタデ群落	3% オニウシノケガサ群落	2% オオバクサ群落	2% セイタカヨシ群落 2%

クサヨシ、ツルヨシ、ヨシなどの水域に近いものを水色、これらより一段高い箇所によく分布するオギを緑色、礫地に多く見られる外来種のシナダレスズメガヤを肌色、その他の外来種を赤色で示す。

オギの群落が多い要因としては、攪乱の作用が扇状地（Seg1, Seg2-1）と比較すると小さいことで、群落の破壊が少ないこと、また土壌も細粒分が多いうえ、地下水も高く水分条件も良いため、時間的な経過によって草丈の高い植物が生長しやすい条件を整えているものと考えられる。一方、扇状地帯（Seg.1, Seg2-1）は、ツルヨシ群落の出現がどの地域でも多いことや、自然堤防帯には少ないシナダレスズメガヤ群落が目立つ。これらを中心とする群落は土壌が薄くとも生育でき乾燥に強いことが考えられる。また、扇状地を流れる河川は、自然堤防帯と比較し群落の出現頻度や割合にバラツキが大きく、攪乱に伴う結果とも捉えられる。北海道は、本州・九州と比較すると農地由来の草本が多いことも興味深い。

4. 攪乱と植生との関係 ～植物の生育を地形変化から捉える～

攪乱と植生は、土砂水理や環境水理でも度々取り上げられているが、攪乱後に生ずる植生の分析が十分に吟味されていない。ここで、洪水中の地形変化や洪水後の植物の生育環境を考えると、まず①流量規模等の違いによって土砂の洗掘、運搬、堆積が生じ様々な地形が形成される ②横断方向（縦断方向）で表層の粒度分布に差異が生まれる、次に平常時では③降雨、河川水位や地下水位面の違いによって水供給量が異なる ④環境条件（②と③）に応じた植物が発芽・生長する。⑤生長の過程で、水分や気温など変化の他に他種との競争によって（なお、多感作用によって発芽が抑えられるケースもある）どの植物が持続的に生長できるかが決まる。さらに、洪水が起きた場合は①にもどるか、洪水規模や植物の抵抗が増すと⑦経過時間によって一定の群落が支配的となり安定的な植生が成立する。という具合に整理される。このうち、②と④の関係性を踏まえて④へ変化する初期過程の分析が曖昧なため、例えば、掘削によって湿地はできた、洪水によって河原はできたが樹木が生長して困ってしまったなどの問題が生じている。

種子からの発芽には光、水、温度が整うこと、また、生長には土壌と栄養が必要である。この際、草本の根茎は、数 cm から数 10cm の土壌を利用しているし、木本も発芽の段階でも数 cm から 10cm 程度の土壌環境が重要である。すなわち、植物の生長には、土壌の環境条件が支配的と言える。このような土壌環境は、流れによって（または人的攪乱によって）形成される（図-1）。例えば、粒度分布が粗いと土壌の保水性は下がり、細かいと上がる。それに加えて、地下水面が地表面と近いと保水性が高くなる。また、好天が続くと土壌の蒸発散の影響から砂礫によって被覆されている方が土壌の保水性は高くなるので、供給される土砂の質や量は植物の生育にも影響を与える。

同じ比高でも自然堤防帯のように砂が卓越する区間では、ヨシやオギが成立し易いが、扇状地帯では礫が多くなるほど、乾燥性に強いセイタカアワダチソウやシナダレスズメガヤが多くなる（図-2）。これを土砂移動に伴う地形変化を介して粒度分布や構成が変化し、植生の成立が決まるという関係性を捉えると、さらなる研究の発展に繋がり、管理に生かせるのではないかと考えている。

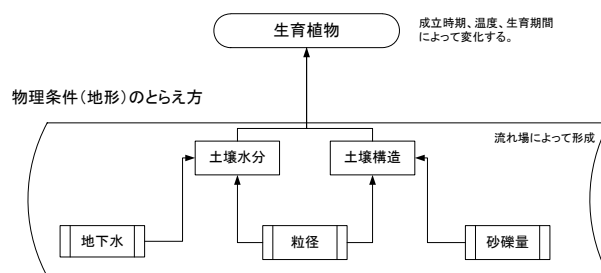


図-1 地形と植物との関係（概念図）

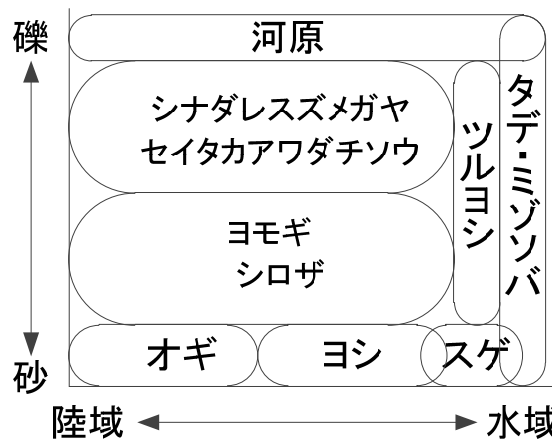


図-2 堆積物の粒径－水位面からの比高別にみた形成される植物群落（例）

5. 参考文献

- 1) 菊池多賀夫：地形植生誌，東京大学出版，2001，2) 渡辺ら：安定した砂礫州における草本植生発達の有無を分ける要因，水工学論文，vol. 42，1998．3) 土木研究所資料：新しい河川植生調査手法（案），独立行政法人土木研究所河川生態チーム，vol. 4198，2011．4) 大石ら：砂礫構造の違いからみた河原植物の生育環境特性について，河川技術論文集，vol. 12，2006．5) 大石ら：出水がアレチウリ群落の拡大に及ぼす影響とその考察，水工学論文集，vol. 50，2006．6) 大石ら：河川敷切り下げに伴う初期条件の違いが植生変化に及ぼす影響に関する一考察，環境システム研究論文発表会講演集，vol. 41，2013．

ヤナギ類の空間分布予測

山口大学大学院助教（特命） 乾 隆帝

1. はじめに

近年、国内の多くの河川で樹林化現象が報告されており、河川の流下能力の低下や河原固有の生態系の劣化を防ぐために、適切な管理が必要とされている。本研究は、西日本において樹林化の主要因であるヤナギ類の分布予測モデルを作成し、樹林化がおりやすい領域を予測すること、さらに現状のヤナギ類の実際の分布データと照合し、今後樹林化がおこる可能性がある領域や、地形的に樹林化がおりづらいにもかかわらず、既に樹林化が進行している領域を抽出することを目的とした。

布予測を行う上で概ね問題ないといえる精度のモデルが構築された（表-1）。

全群落データを用いた場合のヤナギ類の潜在的生息地を図-1に示す。潜在的な生息地ではない小流域のうち実際にはヤナギ類が分布する小流域は、何らかの人為的な影響によってヤナギ類が繁茂しているエリアである可能性が考えられる。また、潜在的な生息地のうち、実際にはヤナギ類が分布しない小流域は、これから繁茂する可能性が考えられるため、今後注視すべきエリアであると言える。本研究で作成したヤナギ類の潜在的な生息地図は、今後の樹林化対策をおこなう上でのベースマップとして活用できると考えている。

表-1 Maxent による解析結果と結果の検証。水国は、河川環境データベースより得た植生図を意味する

ヤナギ群落	AUC	感度	水国ヤナギの感度	ダウンロード区域外水国感度
全データ	0.775	0.766	0.878	0.847
面積中央値以上	0.83	0.847	0.899	0.862
面積上位25%	0.868	0.861	0.853	0.771

2. 方法

分布データには、自然環境保全基礎調査植生調査の縮尺1/2.5万分の1の植生図から、ヤナギ類の群落を抽出したものをを用いた。

ヤナギ類の生息適地の予測するあたり、解析ユニットは、DEM（水位標高モデル）とArcGIS 10.1とSpecial

Analyst（ESRI）の水文解析によって作成される小流域とし、小流域ごとに標高の平均値、標高の変動係数、傾斜角の平均値、傾斜角の変動係数、SPI、TWIを算出した。分布予測モデルにはMaxentを用いた。

次に、分布予測モデルにより作成したヤナギ類の潜在的な生息地図と実際のヤナギの分布域を重ね合わせるにより、今後樹林化がおこる可能性がある領域や、地形的に樹林化がおりづらいにもかかわらず、既に樹林化が進行している領域を地図化した。

3. 結果および考察

ヤナギ群落の全データ、面積上位50%のデータ、面積上位25%のデータを用いた全ての場合において、分

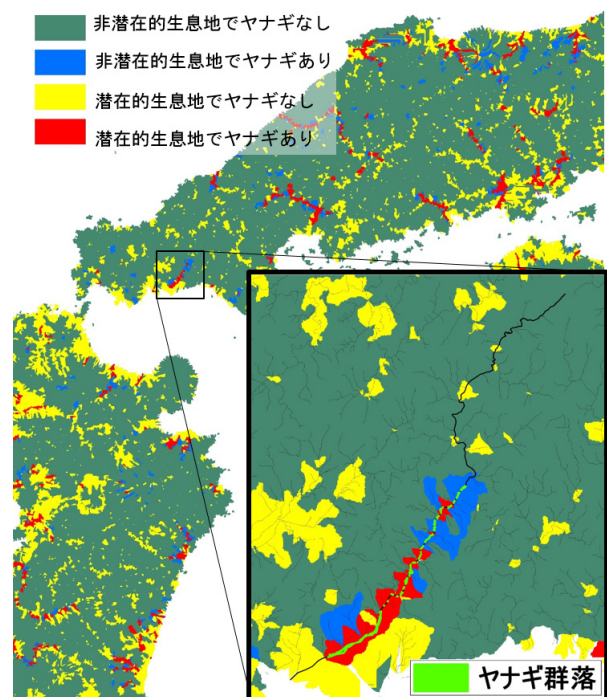


図-1 ヤナギ類の潜在的な生息地と実際の分布状況との比較。右下図は佐波川水系の拡大図

1. 研究の背景と目的

近年、わが国の多くの河川では砂礫州や高水敷で安定的に植生域が拡大繁茂する「樹林化・藪化」現象が、治水と生態系保全の両面から河川管理上の課題になっている。この現象の研究課題が多様化しているため、まずは「樹林化現象を類型化する」ことが現象解明への方向性として重要である¹⁾。本研究では、利根川水系の鬼怒川と小貝川を対象にして「樹林化カルテ」²⁾を作成することで現象の詳細と対策を把握し、両河川の比較から樹林化現象に大きく影響を与える要素の抽出を試みた。

2. 対象流域と解析方法

<2-1> 対象流域

図-1に対象とする鬼怒川および小貝川の河川流域と河道網を示す。図中のプロットは、上流域ではダム群、下流域ではセグメント1から2-2にかけての解析対象地点を示している。

鬼怒川は栃木県日光市の鬼怒沼を水源にもち、自然豊かな北関東

の山間部から南関東の市街地までを貫流し、利根川に合流する河川である。上流から下流まで河相が多様に変化することが大きな特徴であり、水系全体を通して河川のセグメント区分別の典型的特徴が顕著に見られる。流域面積は 1,760 km²、そのうち 65% (1,140 km²) は山間部を流れる。幹線流路延長は 176.7 km であり、利根川の支川中では最長となる。小貝川は、鬼怒川と同様に、栃木県の山間部を水源にもつ利根川水系の左支川である。流域面積は 1043.1 km²、幹線流路延長は 111.8 km であり、鬼怒川に次ぐ第2の流域規模となる。



図-1 鬼怒川・小貝川流域

<2-2> 解析方法

鬼怒川・小貝川における草本・木本の繁茂状態を把握するために、河川環境データベース³⁾が提供する河川環境基図（平成 18 年度調査）をもとに河川植生の構成割合を Arc GIS で解析した。ここでは、河川の特徴をより正確に把握するために、セグメント区分を参考にして河川を上・中・下流の3区間に分けて検討した。さらに具体的な詳細検討地点は、河川踏査を経て図-1にプロットで示すポイントを選定した。

GIS 解析の手順は以下の様である。①河川環境基図の shape ファイルを読み込み、それを河川セグメント区分ごとに分割。②図-2に示すように、草本群落や木本群落などの植生分類を河川環境基図の基本分類番号ごとに整理する。基本分類番号で指定された群落に区分される植物種の確認もあわせて行う。③各セグメント区分および詳細検討地点ごとに河道内での植物種構成について占有面積とその割合を統計分析する。以上の GIS 解析で得られた結果を用いて、河道内の植生繁茂状態の実態把握を行う。

さらに、この植生情報に流量や河道形状、河床材料特性などの水文・地形・土砂水理学的情報を加えて「樹林化カルテ」²⁾を作成し、カルテの比較を介して樹林化・藪化の要因を考究する。

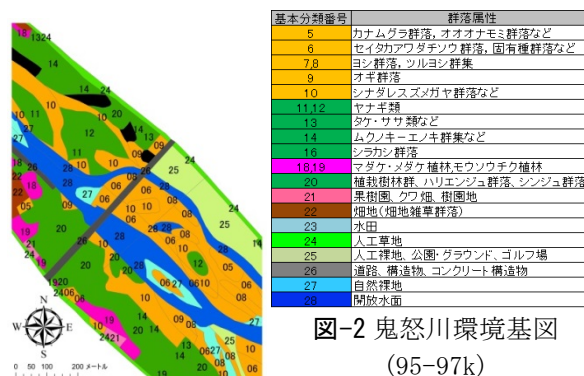


図-2 鬼怒川環境基図 (95-97k)

3. 結果と考察

図-3, 4にGIS解析による植物種構成の統計分析結果の一例を示す。図-3は、鬼怒川のセグメント1の

区間全域における優先植物群落の概要に関する統計結果を、図-4 はその中で詳細構成植物種に対する統計結果をそれぞれ示している。両図中には、構成割合が上位 5 位までの要素とその占有面積を併記した。図-3 より、鬼怒川のセグメント 1 の区間では草本(39.3%)と木本(17.3%)が占有面積の半数以上を占め、樹林化・藪化が進行していることがわかる。図-4 の詳細構成要素をみると、オギ群落(24.8%)に続き、シナダレスズメガヤ群落(15.4%)やハリエンジュ群落(9.9%)などの外来種の侵入が顕著であり、この区間の樹林化・藪化には生態系保全面からの課題も大きいことが確認できる。

本研究では、図-3、4 に示した鬼怒川および小貝川における植生種構成に関する統計分析結果に加えて、堤防間距離、低水路幅、河床縦断勾配、河床材料の代表粒径、河床低下量、年最大流量などの河道特性に関する情報を加えて「樹林化カルテ」を作成した。

表-1 は、両河川の各セグメント区分・詳細検討地点ごとに作成した樹林化カルテにおける主要項目の一覧表である。これより、小貝川と鬼怒川では植生繁茂状況や河道特性がかなり異なることがわかる。

鬼怒川では、上述したように区間距離が長いセグメント 1 において外来植物種の侵入による樹林化および藪化が顕著である。対応する河道特性も小貝川と対照的であり、流量規模が大きく、高度経済成長期における砂利採取に起因する河床低下や低水路幅

の減少も大きい。このため、近年の 50 年程度あいだで急激に河道特性が変化した河川といえる。

さらに、鬼怒川は小貝川に比較して農耕地を主とする河川空間の人的利用が多い。現在、そのほとんどは休耕地となっているため、外来植生が侵入しやすい空間が多く提供されていると推測される。これらから、過去の人的土地利用の変遷も植生の侵入繁殖に大きく関わっていることが推察される。

4. まとめ

鬼怒川・小貝川を対象として樹林化カルテの作成を行った。それらの比較・考察により、樹林化・藪化に大きく影響する要因は、流量や河床形状などの河道特性の変化に加えて、過去の人的土地利用の変遷も重要な要因として挙げられる。今後は、この「樹林化カルテ」を全国の河川に適用し、比較検討事例を充実させていくことが重要となる。

【謝辞】 本報は樹林化ジョイントワークショップ 2014 in 鬼怒川での議論をもとに筆者らが解析を行ったものです。ワークショップ実施にあたって、角哲也部会長をはじめとする環境水利部会および河川部会の関係各位には様々な面からご支援・ご協力いただきました。国土交通省、下館河川工事事務所の皆様には鬼怒川・小貝川の現地視察の協力および関連データの提供を頂きました。以上、記して謝意を表します。

【参考文献】 1) 宮本、赤松、戸田：河川の樹林化課題に対する研究の現状と将来展望、河川技術論文集、19、pp.441-446、2013。 2) 宮本、赤松、戸田：樹林化ジョイントワークショップの報告と樹林化カルテの試み、土木学会水工学委員会環境水利部会研究集会、岐阜、2014.5。 3) 河川環境データベース(2015/1/26：接続確認)：http://mizukoku.nilim.go.jp/ksnkankyo/index.html。

表-1 樹林化カルテのセグメント別比較（上）と地点別比較（下）

樹林化カルテ セグメント別	鬼怒川 2-2	鬼怒川 2-1	鬼怒川 1	小貝川 2-2	小貝川 2-1
草本 [%]	20	27	39	33	45
木本 [%]	19	6	17	17	14
支配植物種	草本名 [%]	オギ(21)	オギ(46)	オギ(23)	オギ(34)
	木本名 [%]	タケ・ササ(21) ヤナギ(17)	ヤナギ(6)	ヨシ・ツルヨシ(14)	クズ(15)
自然裸地 [%]	0	3	7	2	2
田畑・樹園等 [%]	20	37	5	5	1
田畑・樹園等1内の雑草群落 [%]	90	92	79	85	92
H 20年度 低水路幅 [m] \$ 39比	100 (±50)	200 (±100)	300 (±100)	175 (0)	25 (±25)
河床勾配	1/2500	1/710	1/245	1/6000	1/500
粒径 [mm] 最少~最大	0.5 0.08~1.2	42 0.1~70	95 0.1~160	0.4 0.08~40	30 0.08~50
河床低下量 [m]	2.5	3.5	3.0	0.0	1.0
年最大流量 [m³/s] 標準偏差	1921.2 (483.3)			493.4 (265.5)	
樹林化/藪化	○/×	×/○	○/○	×/△	×/○

樹林化カルテ 地点別	鬼怒川 13k-15k	鬼怒川 46k-47k	鬼怒川 85k-87k	鬼怒川 95k-97k	小貝川 29k-31k	小貝川 63k-65k
草本 [%]	14	40	26	28	39	44
木本 [%]	27	4	4	27	7	14
支配植物種	草本名 [%]	オギ(10)	シナダレスズメガヤ(87) ヨシ・ツルヨシ(84)	カワラヨモギ・ハハコ(77) シナダレスズメガヤ(16)	オオオナモミ(67)	オギ(82) セイタカアワダチソウ(80)
	木本名 [%]	タケ・ササ(4)	ヤナギ(6) ハリエンジュ(6)	ハリエンジュ(24)	ヨシ・ツルヨシ(3)	クズ(17)
自然裸地 [%]	0	7	11	6	2	2
田畑・樹園等 [%]	5	9	1	3	0	0
田畑・樹園等1内の雑草群落 [%]	100	77	97	85	0	0
H 20年度 低水路幅 [m] \$ 39比	100 (±50)	200 (±100)	300 (±100)	300 (±150)	175 (0)	25 (±25)
河床勾配	1/2500	1/710	1/245	1/190	1/6000	1/500
粒径 [mm] 最少~最大	0.5 0.08~1.2	42 0.1~70	95 0.1~160	97 0.1~200	0.4 0.08~40	30 0.08~50
河床低下量 [m]	2.5	3.5	3.0	2.5	0.0	1.0
年最大流量 [m³/s] 標準偏差	1921.2 (483.3)			493.4 (265.5)		
樹林化/藪化	○/×	×/○	×/○	○/○	×/○	×/○

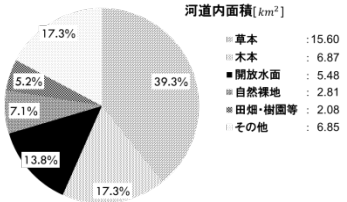


図-3 河道内土地面積内訳

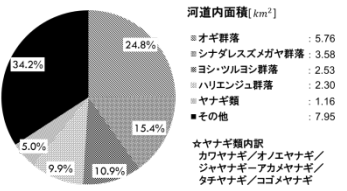


図-4 河道内植生面積内訳

京都大学大学院工学研究科 三島康二

京都大学防災研究所 竹門康弘 角哲也 小林草平

1. はじめに

河川地形は河川生物の生息場の好適性を規定する重要な基盤条件である(竹門,2007)。これまで河床地形の特性はこれまで砂州地形や流路形状に着目した中規模河床形態として類型化されてきた。一方で、近年ダム建設等の人為的インパクトにより河道の土砂量が減少し、河床低下が進行した河川も多く、こうした河川地形の変化は瀬の生物生息場としての量や質にも影響していると考えられる(小林・竹門, 2013)。

そこで、本研究では、河床低下の進行程度が異なる淀川水系 4 河川において各瀬タイプの分布や面積について分析を行ない、さらに淵と口の分布を合わせて各河川のアユの生息場としての好適性の評価、並びにそれぞれの河川における各瀬タイプの分布と各流程の川幅、勾配との対応関係を明らかにすることを目的とした。

2. 手法・場所

調査地

調査地は淀川水系の木津川、桂川、鴨川、宇治川で、各流程範囲は木津川については三川合流地点から 26 km 地点、桂川は 18km 地点、宇治川は 13km 地点、鴨川は羽束師から 13km 地点までとした。それらの 1990 年と 2000 年の 2 組の航空写真を解析し調査した。

生息数推定手法

航空写真より各河川において ArcGIS(ver10. 1)を用いて瀬の類型を行い、淵・ト口を含めた各地形の面積や区間内の個数などの地形属性を計測した。生息場別にアユの単位面積当り生息可能数を既往研究(高橋ら, 2009、2012)で推定された他河川の生息密度を用いて右表のように定め各生息場の面積を乗ずることで潜在的な生息数を求めた。

morphology	density
converge	1.9
traverse	1.7
wide diverge	1.4
narrow diverge	1.2
slowA	1.3
pool	0.67
slowB	0.3
below weir	0.3

瀬の分類

前研究(中島、竹門ら,2010)において瀬の性質によってアユの生息場としての好適性が異なることを受けて、前研究(小林、竹門, 2013)を参考に瀬が形成される砂州

前縁部の河床形状により以下のように定義・分類した。
横断型; 流れが砂州を横切る際に二度急激に屈曲しており、屈曲が矩形のような瀬。水面幅は広い
広拡散型; 流れが砂州前縁部を横切る際に平行に近い角度で横切り水面幅が狭くなっている部分で、瀬の上流下流と比べて、水面幅の狭まりが小さい瀬
狭拡散型; 流れが砂州前縁部を横切る際に平行に近い角度で横切り水面幅が狭くなっている部分で、瀬の上流下流に比べて、水面幅の狭まりが大きい瀬
集中型; 流れが砂州を横切る際に二度急激に屈曲しており、屈曲が滑らかで S 字型の瀬。水面幅は狭い
人工型; 人工堰などの河川構造物で形成された瀬

解析手法

各河川の各流程での瀬面積に関する比較を行った。流程間の比較は河川を平均砂州波長で区切った区間で行い、ある区間内の各類型の瀬面積の合計をその区間の水路面積で除した値を各類型の比面積とした。表1に各河川の砂州波長と流程長を示す。また各区間の比面積と川幅、河床勾配との対応関係を調べた。

	Kizu River	Katsura River	Kamo River	Uji River
Mean width(+sd) (m)	184(62)	154(36)	43(11)	102(47)
bar length(+sd)(m)	922(477)	831(386)	274(85)	504(103)
Unit length(km)	2.0	1.5	0.5	1.0
Number of units	13	12	26	14

表 1 各河川の砂州波長と区間長

3. 結果および考察

各河川における瀬の流程分布

各河川における各瀬タイプの流程分布を図 1 に示す。各河川の特徴としては、木津川では比較的瀬が豊富で、特に横断型が多く形成されていた。桂川には中流部に堰が複数設けられており、その区間には瀬はあまりなかった。また上下流部では横断型、広拡散型が多く見られた。鴨川では全体的に堰が多く、上下流部では瀬はほとんど見られなかった。また、中流部では横断型の瀬が多く見られた。宇治川では 5km より下流部には瀬はなかった。また、上流部に広拡散型が多く見られた。

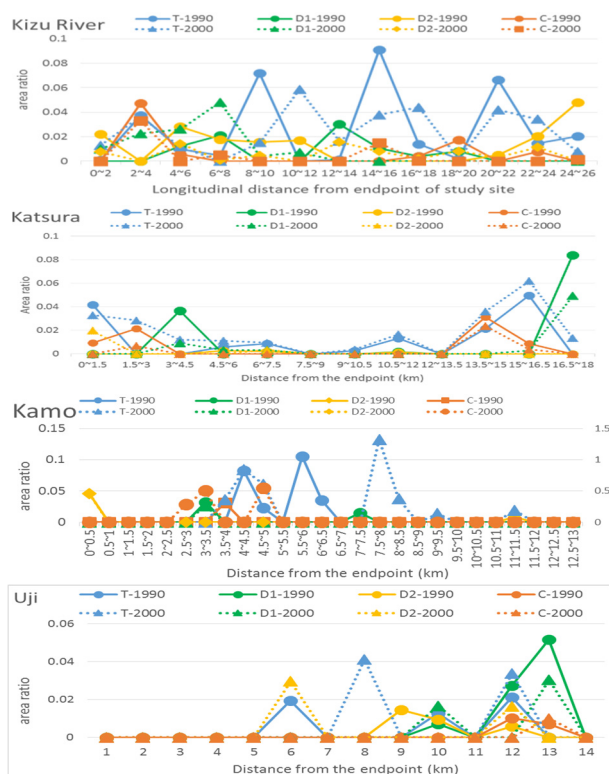


図 1 各河川の比面積の流程分布

河川特性との相関

各河川における各流程での瀬の比面積と川幅、河床勾配それぞれとの関係を図 2 に示す。各河川の各瀬類型について瀬面積が最大となる川幅、河床勾配があると考えられる。例えば、桂川の集中型では勾配が 0.0025 付近で瀬面積が最大化すると考えられるが、当時の平均河床勾配は約 0.0015 であり、一部の堰堤を取り除くといった勾配を大きくすることで集中型の瀬面積が増加すると考えられる。



図 2 川幅、勾配との相関関係

アユの生息可能密度の推定

各河川での単位面積当りの生息可能尾数を図 3 に示す。鴨川、木津川、桂川、宇治川の順に多かった。その値は 0.3~0.4 尾/m²の間であったが、既往研究(高橋ら, 2009)において推定された高津川では 1.3 尾/m², また他の研究(高橋ら, 2012)において江の川では 0.7 尾/m²と推定されていたの比べると、今回の 4 河川の値は低いといえる。

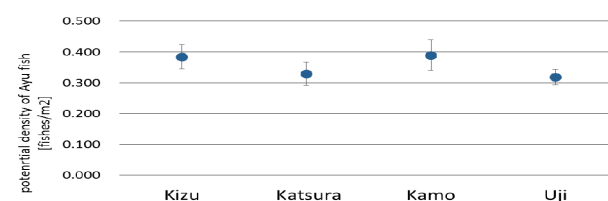


図 3 各河川のアユの潜在的生息数推定結果

4. まとめ

各河川におけるアユの潜在的生息可能数はそれぞれ、桂川で 526000 匹、木津川で 689000 匹、鴨川で 176000 匹、宇治川で 356000 匹だった。また、川幅と河床勾配に関して各河川で瀬の面積を最大にする値に基づいて、川幅や勾配を最適化する河川管理が考えられた。これには、推定値の妥当性を検証するとともに、川幅や河床勾配等の地形特性との関係について実験や数値計算で検証が必要がある。

5. 参考文献

- 小林草平・竹門康弘(2013)木津川における底生動物生息場としての瀬の形態の歴史の変遷. 京都大学防災研究所年報, 56B:681-689.
- 竹門康弘(2007)砂州の生息場機能. 土と基礎の生態学, 講座, 土と基礎, 55(2):37-45.
- 高橋勇夫・寺門弘悦・村山達朗・曾田一志(2009)高津川におけるアユの適正収容量の推定. 島根水産資源技術センター研究報告 2:49-64
- 高橋勇夫・寺門弘悦・村山達朗 (2012)高津川におけるアユの適正収容量の推定. 島根水産資源技術センター研究報告 4:59-69

小さな自然再生：流域の土と木で手づくり魚道

山下 慎吾（魚山研）

1. はじめに

高知県土佐清水市を流れる三崎川は、竜串湾に流入する流域面積約 26km² の小河川である。2011 年から毎年、地元小学校の授業として水生生物調査を実施してきたが、その際に、三崎川は各所に砂防堰堤が設置されており分断化の著しい河川であること、堰堤の下流側には遡上しようとする魚類などが多数滞留していることに注目してきた。海域である竜串湾では環境省主導でサンゴ礁保全を目的とした自然再生事業が進められているものの、河川の生物環境については対象外とされてきた。そこで、自分たちでやってみようということで、地元の研究会はたのおとが主体となって、小さな川の自然再生事業を実施しているところである。本発表では、水域ネットワーク回復を目的とした手づくり魚道の設置と、事前事後の水生生物モニタリング調査経過について報告する。

2. 手づくり魚道

2.1 場所

設置場所は、三崎川の河口から約 550m に位置する第一堰堤である。この堰堤には既設魚道がなく約 1.4m の垂直落差が生じている。

2.2 期間

設置作業：2014 年 11 月–2015 年 1 月

撤去作業：2015 年 6 月予定



図-1 手づくり魚道

2.3 方法

手続きをおこない、河川管理者である高知県から堆積土砂の活用、河川区域内占有および工作物の設置について許可を得た。魚道は、第一堰堤に堆積した河床礫と、上流の山から間伐された木を用いて組み上げた（図-1）。

3. 水生生物モニタリング

3.1 場所

水生生物モニタリング調査は、三崎川の3箇所(St.1-3)で実施した（図-2）。また、手づくり魚道設置後は第一堰堤の魚道上流端における遡上調査地点を追加した。

3.2 期間

事前調査：2013 年 9 月–2014 年 8 月 毎月 1 回

事後調査：2015 年 2 月–2016 年 1 月 毎月 1 回

現在、2015 年 5 月調査が完了したところである。

3.3 方法

各地点に小型定置網 2 個を一晩設置したのち、翌日に回収して魚類・エビカニ類の種別個体数を記録した。



図-2 モニタリング調査地点

4. 結果

4.1 手づくり魚道

第一堰堤に堆積した小径礫を用いて土嚢を作り、間伐木を組んだ内側に詰めて階段状とした。魚道内流路には大径礫を配置した。魚道本体は堰堤中央の流水部から右岸側に向けてL字型構造とした。木枠部 8.5m と石積部 5.5m からなり、落差 1.4m に対して 1/10 勾配となっている。



図-3 手づくり魚道設置状況

4.2 水生生物モニタリング

事前調査により、魚類 21 種、エビカニ類 13 種が確認された。その中には、ウナギ、アユ、クロヨシノボリ、シマヨシノボリ、ボウズハゼ、ヒラテテナガエビ、ミナミテナガエビ、ヌマエビ、ヤマトヌマエビ、トゲナシヌマエビ、モクズガニなど、通し回遊性生物が多く含まれていた。

事後調査は、まだ 4 回実施したのみであるが、魚類 12 種、エビカニ類 8 種が確認された。なかでも手づくり魚道上流端に設置した小型定置網によりウグイ、クロヨシノボリ、シマヨシノボリ、ヒラテテナガエビ、ミナミテナガエビ、スジエビ、ヌマエビ、ヤマトヌマエビ、モクズガニが捕獲され、これらの種が魚道を遡上したことが確認された。

5. 考察

本研究の特徴は、手づくり魚道設置や水生生物モニタリング調査を市民主導・行政連携というスタイルで実施できたことにある。行政主導であれば、計画、予算化、設計、施工という過程になるが、計画通りに進められないことも発生する。今回のように市民主導・行政連携であれば、コンセプトをたて、予算と人の確保をしたのち、試行錯誤や仮説検証をしながら進めることができる。

今後も、設置したら終わり、ではなく観察・修理しながら改良点を学ぶことができる利点もあり、実践的環境学習拠点として位置づけることもできそうである。

最後に、この活動の一部は、高知県豊かな環境づくり総合支援事業費を受けて実施しました。記して謝意を表します。

2013年台風18号による桂川の洪水氾濫

京都大学防災研究所水資源環境研究センター 田中茂信

1. はじめに

2013年9月、台風18号が紀伊半島の沖を通過し、16日8時前に豊橋市付近に上陸し、三陸沖に抜けた。この影響で近畿地方は豪雨に襲われ、8月30日に運用開始されたばかりの特別警報が初めて京都府、滋賀県、福井県に発令された。大雨特別警報は数十年に一度の大雨となる恐れが大きい時に発表されるものである。淀川水系の計画基準点枚方上流の流域平均24時間降水量が計画を超え、桂川では溢水・氾濫が発生するほどの洪水となった。桂川上流の日吉ダム流域において、39時間で345mmの平均雨量を記録した。これはダムの1/100の計画2日雨量349mmに匹敵するものであった。桂川本川の浸水面積282ha、床上浸水は約260戸、床下浸水約110戸であった。本文では、降雨流出氾濫(RRI)モデルを用いて台風18号による桂川流域での洪水氾濫の再現を行った結果を示すとともに日吉ダムの洪水調節操作が、洪水常襲地域である亀岡盆地の被害をどの程度軽減したか、またダムがない場合に想定される事象や将来的な気候変動の影響について考える。

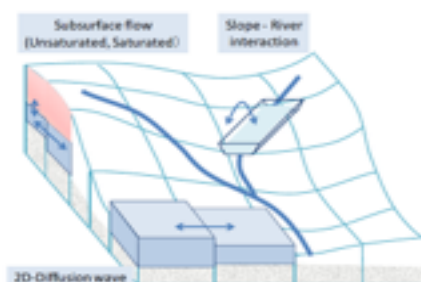


図1 RRIモデルの概要

2. 降雨流出氾濫(RRI)モデルと台風18号洪水の再現

RRIモデルは、降雨を入力データとして河川流出から洪水氾濫までを一体的に解析するモデルである。図1に示すように、対象とする流域を河道と斜面とに分けて取り扱う。河道のあるグリッドセルにおいては、1つのグリッドセルに河道と斜面の両方が存在する。河道はグリッドセルの中央を流れる1次元河道として表現し、上下流における接続関係と幅・深さ・堤防高の情報を持つ。降雨は斜面にのみ入力し、河道・斜面でそれぞれ水の挙動を追跡した後に、河道と斜面との水のやり取りを計算する。

今回の日吉ダムの操作実績について図2に示す。日吉ダムは最大流入量1694m³/s（9月16日午前7時）に対して放流量約150m³/sであり、流入量の約9割に相当する1500m³/sあまりのカットを行い、9月16日の正午過ぎに放流量を500m³/sに増やした。

図3にRRIモデルでの再現計算結果を示す。日吉ダム流入量はピーク流量、立ち上がりとも概ね良好に再現された。また、桂川流域で特徴的な地形を有しているのが亀岡盆地の下流に位置する保津峡(図4)であり、亀岡盆地の川幅約150mに比べ約35mと狭くなり、河道の両側は急勾配の斜面となっている。図2に示した実績のダム放流量をダム地点で与え、残流域はダム流域での再現により得られたモデルパラメータで計算すると、亀岡・保津峡での水位変化は概ね再現できた(図5)。なお、本計算では入力地形としてグリッドサイズが100mのDEM、入力降雨としてアメダス及び独立行政法人水資源機構から提供いただいた11か所の降雨データを用いた。

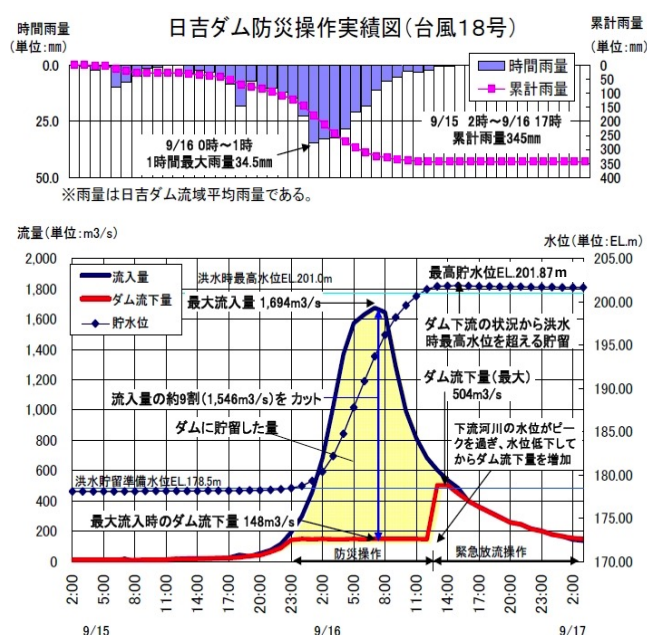


図2 日吉ダム洪水調節操作（独）水資源機構

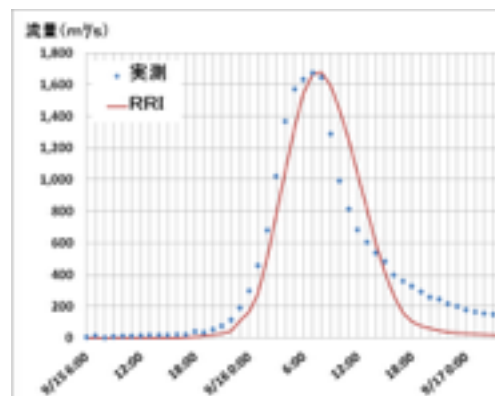


図3 RRIモデルによる日吉ダム流入量の再現

3. 日吉ダム操作の効果

日吉ダムの放流量をダム地点で与えるCase Aと日吉ダムが存在しない場合を仮定したCase Bにおいて、亀岡地点での水位変化と亀岡盆地での浸水範囲の2つの観点から比較を行う。図6はダムの有無での亀岡地点の水位を比較したものであり、日吉ダムの操作は亀岡地点で氾濫危険水位を超える時間を3時間減少させ、ピーク時の水位を約1.5m低下させたと推定される。ダムによる亀岡での水位低下効果は、他の資料で1.2~1.5mとされており、ほぼ同等の結果を得た。また図7はダム有りとしの場合の亀岡盆地の浸水範囲を示したものであり、ダム有りの場合、無しに比べ浸水面積は17%減少する結果となった。亀岡盆地は堤防が霞堤となっており桂川の水位が上昇すると外水流入し浸水する部分とその周囲の比較的標高の高い部分が接しており、台風18号による洪水では、ダムの有無での浸水範囲の違いは主に亀岡盆地上流側で現れ、盆地下流部は水位の変化ではあまり浸水範囲が変化しないことが確認出来る。

台風18号による豪雨は必ずしも時間雨量は大きくないが、広域にわたっており、総降雨量は淀川の計画基準点枚方で計画を超え、主要な支川である木津川、宇治川、桂川の主要地点でも計画を超過または計画に匹敵する規模の降雨となった。これにより、3川ともほぼ同時刻に洪水ピークを迎えている。合流地点に近い桂川の羽束師では観測史上最高水位を記録するとともに10時間あまり計画高水位を超え、鴨川との合流点付近では最大10~20cm越水する事態となり、水防団・自衛隊による土嚢積みが行われた。桂川の支川園部川では氾濫危険水位を超え堤防が決壊した(図8)。このような状況に加え、日吉ダムには大量の流木が流入した(図9)。

4. おわりに

もし、日吉ダムがなかった場合、亀岡の浸水位は今回より1.2~1.5m高くなり、床上浸水が増え、浸水被害が増大するとともに桁下まで洪水水位が到達した嵐山の渡月橋は、水位上昇と大量の流木の影響により流失しただけでなく、近隣の商店街や家屋も大きな被害を被ったことは想像に難くない。水位上昇と流木は耕地への流木や土砂の流入をもたらしたであろうし、普段良好な景観を提供する水辺空間は大きな被害を被ったであろう。さらに、桂川下流での土嚢積みも効果的に行うことは非常に難しくなったであろう。気候変動の影響により極端豪雨は増えると言われている。今回、日吉ダムの流域平均雨量の最大は時間34.5mmであった。地点雨量の強度もそれほど大きくないが、長時間降り続いている。もう少し強い雨が降ったり、もう少し長引いたりただけで深刻な事態になっていたと思われる。2014年のように後で発生した台風が先になり、続けて来襲することもある。いろいろな可能性を念頭にダムを有効に機能させる方法を検討しておく必要がある。



図4 亀岡及び保津峡の位置

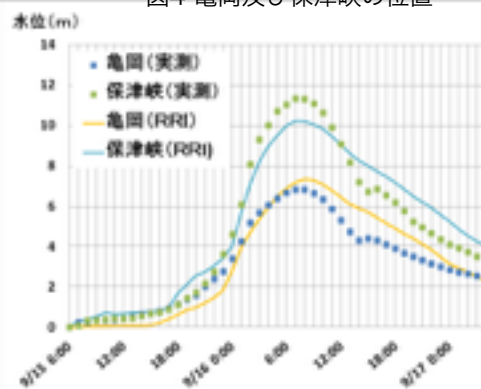


図5 亀岡及び保津峡の水位の再現

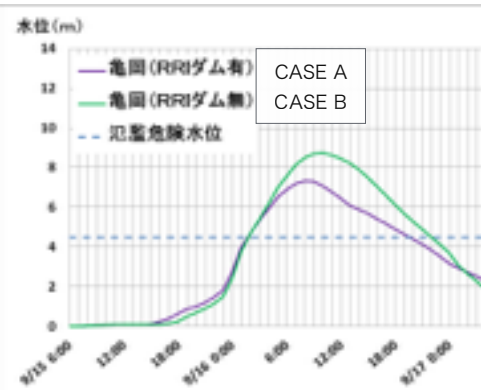


図6 ダム有り無しでの亀岡の水位比較

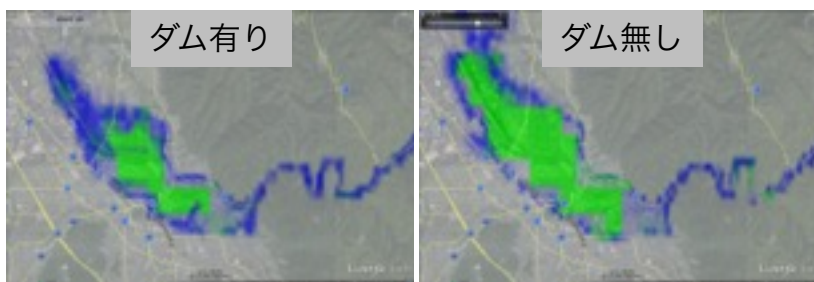


図7 亀岡盆地の浸水範囲 (左：ダム有り、右：ダム無し)



図8 桂川下流での水防活動



図9 日吉ダムに流入した大量の流木

諫早湾締切堤防が有明海・諫早湾の塩淡水成層に与えた影響

九州大学大学院 ○矢野真一郎・西村圭右・Camilla Ramlund

1. 研究目的

有明海においては、諫早湾干拓締切堤排水門についての長期開門調査の是非をめぐる司法の場を含めて紛糾している。締切堤建設に伴う有明海への影響については、①締切による潮流の減少がもたらす鉛直混合の弱化、②本明川など諫早湾内への淡水供給位置の排水門へのシフト、③河川水の連続供給の排水門操作による間欠的な淡水供給への変化、④調整池内淡水の水質悪化、⑤諫早湾奥部に存在していた干潟の浄化機能の消失、などが考えられる。しかし、特に①から③までの物理的な影響についてはこれまで分離して評価されたことがなかった。矢野・西村(2014)は、数値解析による検討から①について、大潮期は影響が大きい、小潮期には小さい傾向があることを示した。しかしながら、諫早湾内のみの定性的な傾向評価であった。そこで、本研究では①についての結論を得ることを目的として、数値解析結果を有明海全体で定量的に評価することを試みた。

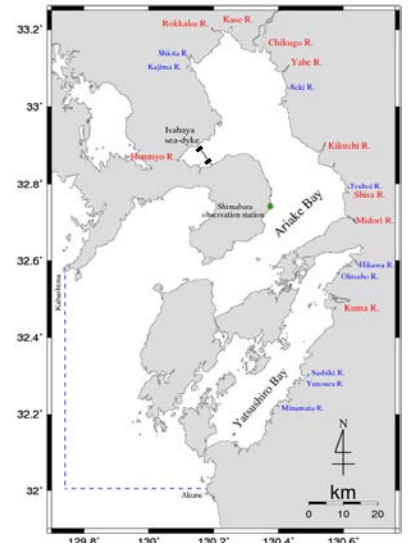


図-1 計算領域と河川の位置

2. 研究内容

有明海と八代海を結合した計算領域(図-1)を持つ DELFT3D により作成された3次元数値モデルにより流れと成層構造の数値解析を実施した。後述する検討

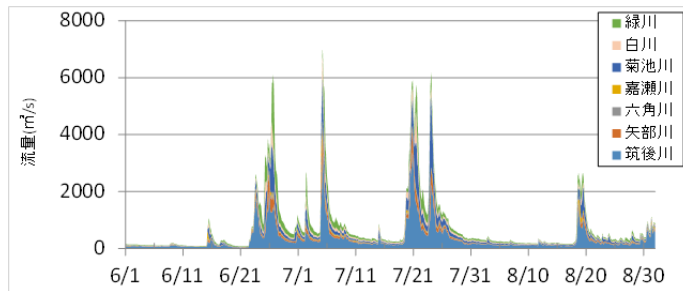


図-3 一級河川の合計流量ハイドログラフ

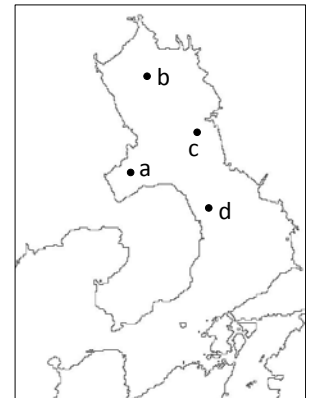


図-2 比較地点の位置

は、図-2に示すa～dの4地点で行った。図-3に2006年6月～8月の出水期における有明海の一級河川総流量のハイドログラフを示す。計算は同年の6～12月を対象とするが、助走計算を同年1月から5ヶ月分を行った。なお、観測結果との比較から潮汐・潮流・成層の再現性が良いことが確認されている。本稿では、締切堤が存在する場合(現況)と存在しない場合(過去の状況)を比較した。また、①についてのみ検討を行うため、本明川と排水門からの淡水供給と水温変化は考慮していない。

図-4にa点(諫早湾内)における塩分差のイソプレットを示す。以降、差は堤防が有る場合から無い場合を差し引くことで評価する。したがって、同図において暖色系(負値)は堤防により塩分が減少し、反対に寒色系(正值)は増加したことを意味する。また、赤線は出水期に発生した5回の規模の大きい出水のピーク流量が発生したタイミングである。堤防による塩淡水成層の強化(上層が暖色、下層が寒色)は小潮では小

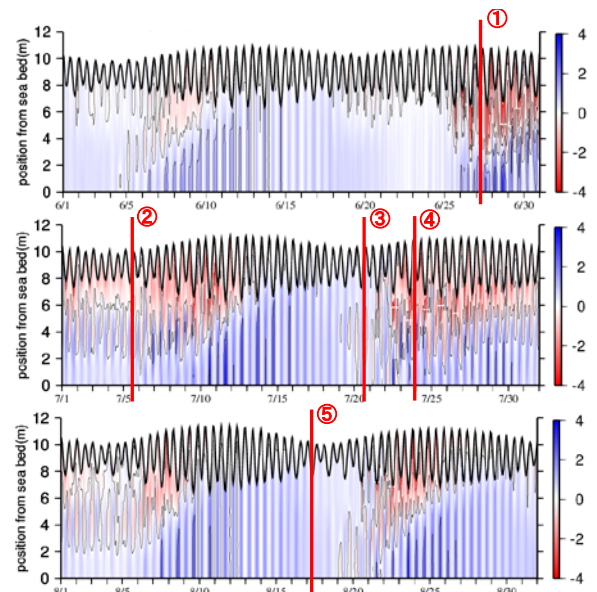


図-4 塩分差のイソプレット

く大潮で大きいことが読み取れる。

次に、図-5 に a 点における塩淡成層強度の差 Δe と潮差の関係プロットした。成層強度は Simpson *et al.*(1978)の完全混合に要するエネルギー e で評価した。また、図-6 に全 4

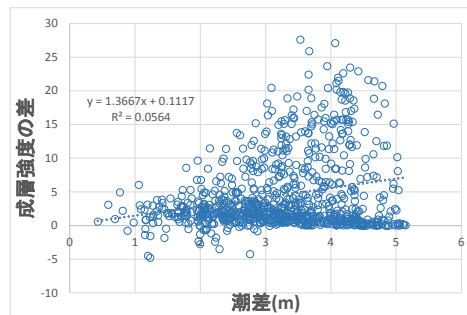


図-5 成層強度差と潮差(a 点, 全期間)

点において出水期(6~8 月)のみ抽出したものを示した。さらに、図-7 に全地点・全期間の潮差, 出水規模(対象潮汐の前 1 週間の平均値)の条件に対する Δe の分布を示した。これらより、諫早湾(a)や諫早湾か

らの直接流下する島原半島沿岸(d)においては、潮差の大きい大潮期に塩淡成層が堤防により強化されるが、潮差の小さい小潮期ではそれが見られないことが明瞭に示された。また、有明海最奥部(b)や三池港沖(c)ではその傾向が弱く、特に b 点では影響がほぼ無いことが示された。

3. 結論

淡水供給に起因する塩淡成層の発達に対して諫早湾干拓締切堤の建設に起因する鉛直混合能の変化が与えた影響を評価するために、堤防の有無による成層状態の差を数値解析により定量的に評価した。その結果、大潮では堤防の影響が顕著であるが小潮では小さいこと、ならびにその影響は諫早湾と島原半島沿岸で強く、有明海奥部では無いことが示された。

これまでの有明海異変の原因究明において、貧酸素水塊強化の主因として締切堤による鉛直混合の弱化が考えられていたが、貧酸素水塊が主に小潮期に発達することを考えるとその強化には寄与しないとの解釈を示せた。今後は締切による淡水供給の場所と時間の形態変化②・③に注目した影響評価が必要であり、貧酸素水塊の発達抑制による環境改善に対して淡水の放流条件を制御することにより昔の有明海へ近づける可能性を探ることが求められる。

【参考文献】 1) Simpson *et al.*(1978) : *J.G.R.*, 82(C9), 4607-4614., 2) 矢野・西村(2014) : 土木学会論文集 B3(海洋開発), 70(2), I_1134-I_1139.

【謝辞】 本研究は、科学研究費基盤研究(B) (研究代表者：矢野真一郎、課題番号：24360200) により実施された。

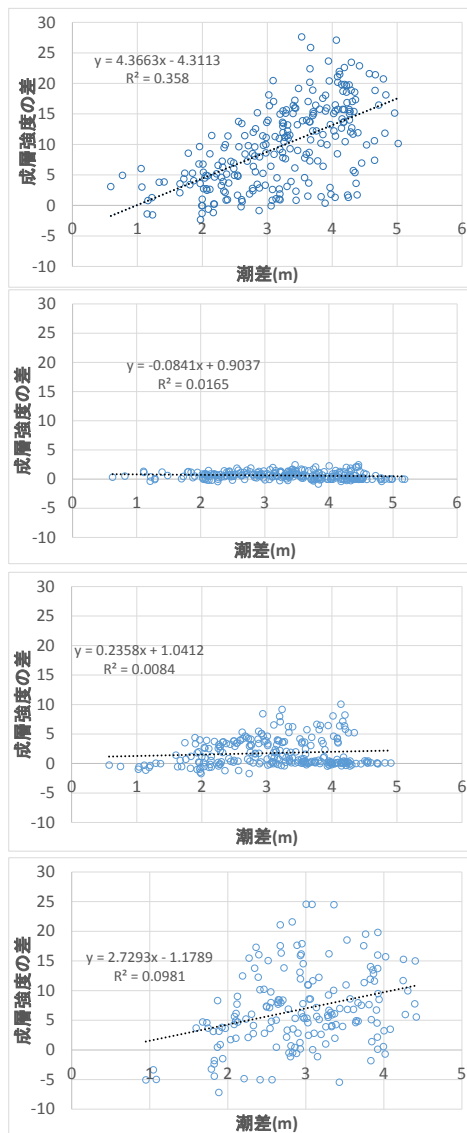


図-6 成層強度差と潮差の関係(出水期)
[上から, a, b, c, d 地点]

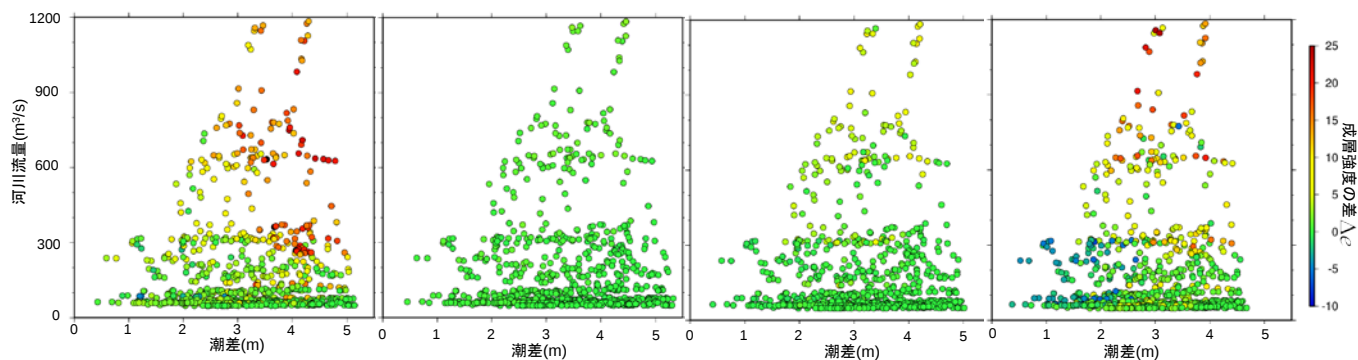


図-7 出水規模・潮差・成層強度差の関係 [左から, a, b, c, d 地点]

小規模な浅い湖における日変化する物理過程の研究

九州大学大学院 工学研究院 ○木村 延明

University of Wisconsin-Madison Chin H. Wu, John A. Hoopes

1. はじめに

小規模且つ浅水域のある湖の特徴として、気象条件の影響による弱い水温成層の日変化や湖の地形・周辺の環境は、その水域の生物・化学・物理過程に重要である。一般的に浅い湖では、湖表面の風による擾乱や日射・冷却のエネルギー収支の影響から日変化する弱水温成層を形成する¹⁾。また、河川の流入出や森林などの湖周辺の地形的な特徴は、特に小規模な湖の物理過程（流れ・水温）に影響を及ぼす。例えば、周囲の森林や山によって風の遮蔽が起る場合、遮蔽がない場合のよう風によって生成される湖水の流れに対して、流れの方向・大きさの変化が生じる²⁾。本研究では、小規模の湖、及び浅い湖のそれぞれの特徴を同時に持つ、小規模且つ浅い湖について、日変化する鉛直混合－弱成層状態と湖周辺の森林による風遮蔽の影響を数量的に明らかにするために、現地観測の実施と3次元数値流体モデルを使った数値実験を行ったものである。

2. 方法

本研究のターゲットの Lake Wingra は、WI (USA)の南部 (43°3'13"N, 89°25'11"W) に位置する小規模且つ浅い湖で面積=1.3 km²、平均水深=2.7 m である (図1)。現地観測は2004年9月10–24日の15日間行われ、鉛直分布を測定する水温センサー鎖を3カ所、風の測定を8カ所、流速計の acoustic Doppler current profiler (ADCP)を5カ所に設定した (図1)。但し、ADCPは短時間の観測のみを実施した。その他の気象条件は、この湖から約10 km離れた地域空港のデータを使用した。

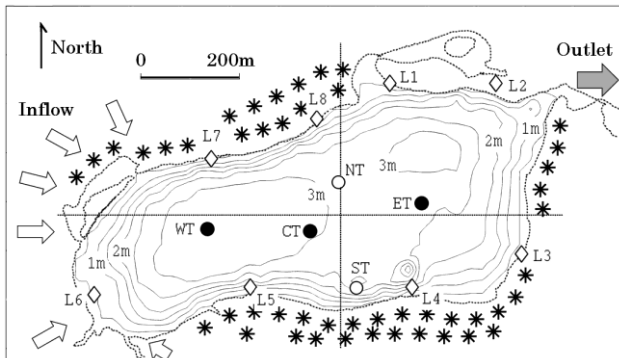


図1 Map of Lake Wingra, showing the locations of thermistor chains (●), ADCP deployment (● and ○), anemometers (◇), dense forest (*) & south–north line and west–east lines, corresponding a cross section.

この湖の数値流体計算を実施するために既存の3次元海洋モデルである Princeton Ocean Model³⁾を用いた。このモデルで弱水温成層の流動現象を再現計算するために、水温の移流－拡散式における移流項の差分法を高精度スキームである Ultimate QUICKEST⁴⁾に改善し、さらにオリジナル乱流モデルによる過剰な鉛直拡散を抑制するために Generic Length Scale turbulence closure (GLS)⁵⁾が導入された。本稿では GLS のみ簡潔に説明する。乱流運動エネルギー(k)と Generic パラメーター(ψ)を用いると乱流モデルの二方程式は以下になる。

$$\frac{d(kD)}{dt} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_q}{D} \frac{\partial k}{\partial \sigma} \right) + dif_k + P + B - \varepsilon \quad (1)$$

$$\frac{d(\psi D)}{dt} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_q}{D} \frac{\partial \psi}{\partial \sigma} \right) + dif_\psi + \frac{\psi}{k} (c_1 P + c_3 B - c_2 \varepsilon F_{wall}) \quad (2)$$

ここで、 dif_k , dif_ψ =水平拡散項、 P =生成項、 B =浮力項、 ε =散逸項、 F_{wall} =壁近傍関数、 D =水深、 K_q =鉛直拡散係数、 c_1, c_2, c_3 =von Karman, 乱流計測、安定性に関する係数、 σ =シグマ座標系である。本件研究では、 $\psi = kl$ (l =長さスケール)と定義し、各係数は、 $c_1=0.9, c_2=0.5, c_3=1.0, K_q = K_m/244$ (K_m =鉛直渦動粘性係数)で与えられた。なお、境界条件の河川流入、湖表面の熱収支・風応力の設定は独自に行った。

3. 結果と検討

現地観測の結果より、周辺の森林の風遮蔽効果⁶⁾ (図2a)で非一様の風分布が確認された。この結果に基づいた湖表面の風分布は1例として図2bに示す。弱水温成層は、雨を伴う強風、夜間の冷却現象により鉛直混合が起り、また、日中の風が弱い時には、約2–3度の水深方向の水温成層が発達したことが理解される (図3)。

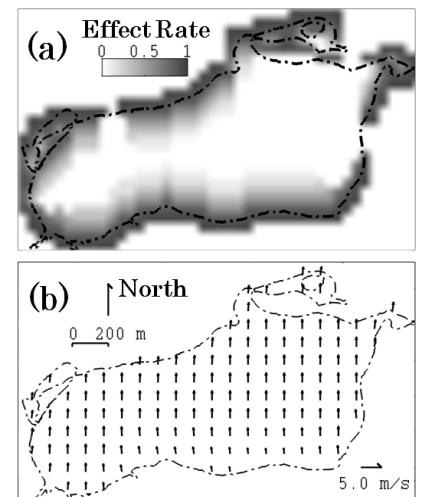


図2 Nonuniform wind: (a) potential sheltered area of wind & (b) sample distribution of ~2.5 m/s from south

キーワード 小規模・浅い湖, 弱水温成層, 風遮蔽

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 W2-1011 九州大学大学院 環境社会部門 TEL092-802-3411

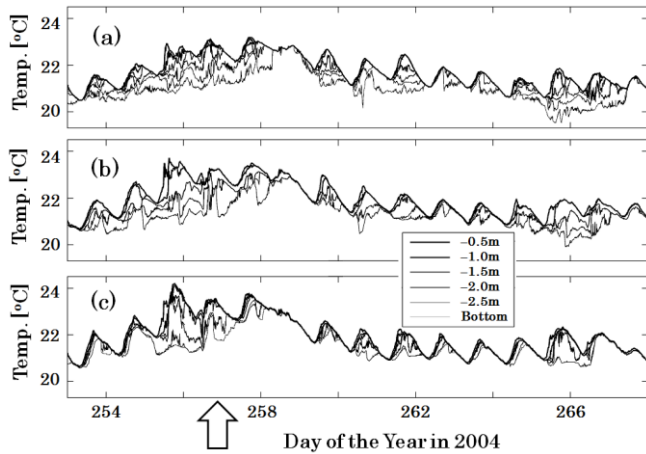


図3 Temporal variations of water temperature, measured at (a) WT, (b) CT, & (c) ET, in Sept. 10–24, 2004.

数値計算は、弱水温成層の日変化と湖周辺の地形的特徴（風遮蔽）が湖水の流動に及ぼす影響を明らかにする為に3つのケースが実施された（表1）。図4は約5m/sの南風が卓越した257日目の水平流速成分の観測・計算値である。東西方向の鉛直分布は、南部の風遮蔽効果による強い西向き流速（図4d）を除けば、全般的に弱い流速を示した。一方、南北成分の鉛直分布は水深1.5–2.0m附近に強いリターン流れが生じた。この時の再現計算結果は、Run 1がより観測値に近いことを示した。Run 1の観測値に対する誤差を1とすると、東西方向はRun 2と3は1.5倍の誤差を生じ、同様に南北方向Run 2と3はそれぞれ1.5、2.0倍の誤差を生じた。

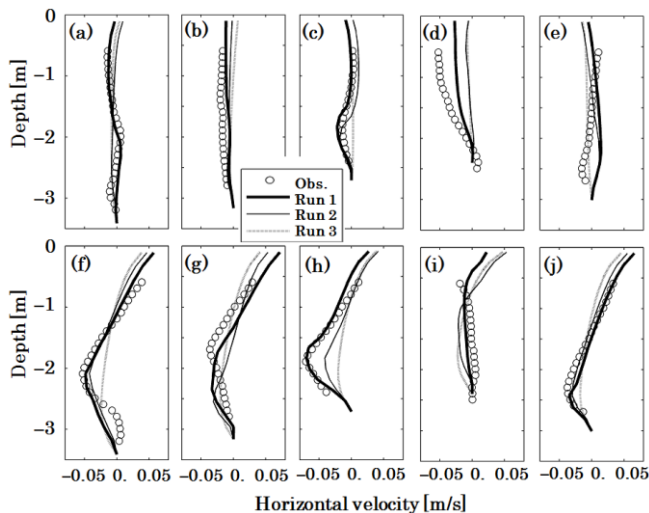


図4 Horizontal velocity profiles for east-west (upper) and south-north (lower) at (a,f) WT, (b,g) CT, (c,h) ET, (d,i) ST, and (e,j) NT.

表1 計算ケース一覧と長期水温計算結果のRMSE

ケース名	風速分布	水温計算	RMSE@CT
Run 1	非一様	有り	0.25–0.32°C
Run 2	一様	有り	0.39–0.52°C
Run 3	一様	なし	–

RMSE=Root Mean Square Error during the measurement.

図5は水深方向に0.5m間隔の水温分布の時間変化について、観測値とRun 1の計算結果を示したものである。湖底附近（水深2.5m）の水温変化の再現計算は、地下水流入等で、水温変化が短時間で起こる現象を再現するのが困難な為に、比較的大きな誤差を生じた（RMSE=0.32°C）。しかし、水温の全変化に対して、0.25–0.32°Cの誤差は約8%の割合であったので、現実的な計算条件のRun 1は十分な再現性があったと考えられる。

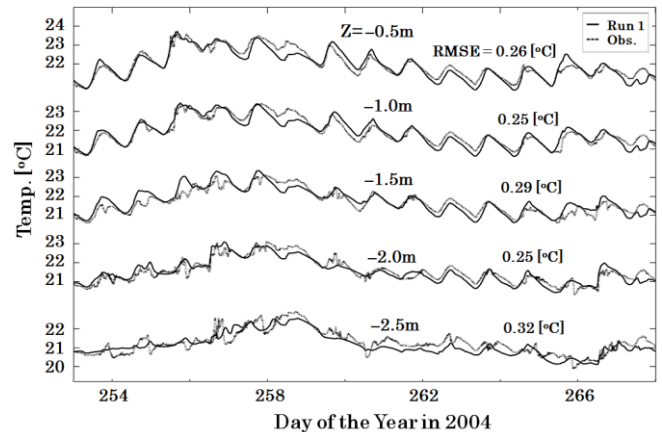


図5 Temporal variations of water temperature, measured at (a) WT, (b) CT, & (c) ET in Sept. 10–24, 2004.

4. まとめ

小規模で浅い湖において、弱水温成層の日変化と森林による風遮蔽の影響を解明する為に、現地観測と数値計算が実施された。数値計算の再現性は良好であり、その結果に拠れば弱水温成層の影響により、下表面のリターン流れが強化され、風遮蔽の影響が顕著な領域では流れが、一様風から生成される流れと比較して、大きく修正されることが確認できた。

参考文献

- 1) Condie, S.A. and Webster, I.T. (2001) Estimating stratification in shallow water bodies from mean meteorological conditions. *J. Hydraul. Eng. (ASCE)*, 124 (4), 286–292.
- 2) Podsetchine, V. and Schernewski, G. (1999) The influence of spatial wind inhomogeneity on flow patterns in a small lake. *Water Res.*, 33, 3348–3356.
- 3) Blumberg, A.F. and Mellor, G.L. (1987) A description of a three dimensional coastal ocean circulation model. *Three-Dimensional Coastal Ocean Models. Coastal and Estuarine Sciences Series: vol 4*, H Heaps (ed.), American Geophysical Union, Washington, D.C., 1–16.
- 4) Leonard, B.P. (1991) The ULTIMATE conservative difference scheme applied to unsteady one-dimensional advection. *Comput. Method Appl. Mech. and Eng.*, 88, 17–74.
- 5) Warner, J.C. et al. (2005) Performance of four turbulence closure models implemented using a generic length scale method. *Ocean Model.*, 8, 81–113.
- 6) Davies-Colley et al. (2000) Microclimate gradients across a forest edge. *New Zeal. J. Ecol.*, 24(2), 111–12.

十三湖におけるヤマトシジミの再生産に関する調査と、 個体群の成長に関するモデル解析

東北大学 大学院工学研究科 梅田信

1. 序論

青森県北西部に位置する十三湖は、岩木川最下流に位置する浅い汽水湖であり、国内有数のヤマトシジミの産地である。しかし漁獲量は、過去数十年のデータ（中村，2000）から、年変動が大きいことが分かっている。したがって、個体数を左右すると考えられる再生産過程（産卵および幼生の生息）を理解し、また再生産のみではなく、稚貝・成貝の湖内における成長や減耗についてモデル解析ができるようになれば、水産資源管理を考えるうえで寄与が大きいと考えられる。そこで本研究では、十三湖内における汽水環境（塩分、水温）とヤマトシジミの再生産状況の指標と考えられる浮遊幼生数について、現地観測を行った。その上で、生物学的な個体成長解析の手法として知られている動的エネルギー量モデル（Kooijman, 2007）を用いた解析方法を構築した。

2. 研究対象地

岩木川は、青森県西部を流れる1級河川である。流域面積が2,544 km²、幹線流路延長が115 kmある。十三湖は、この岩木川の河口部に位置する汽水湖である。流入河川は、大小複数が存在するが、岩木川本川が十三湖の全集水面積の約78%を占める。湖面積18.6km²であるが、湖心部における最大水深は約2mと浅い汽水湖（潟湖）である。湖水の平均滞留時間は1日程度と非常に短い。湖北西部の「水戸口」を通じて日本海とつながっている。水戸口は短い水路であるため、十三湖への海水の流入出の頻度は高い。

3. 現地観測

湖内の7地点において、2012年および2013年の7月から9月にかけて、約2週間間隔でヤマトシジミの浮遊幼生を採取し、産卵期における再生産状況を観測した。各地点の湖底付近の水200Lを採取し、目合い0.05mmのプランクトンネットで濾過して試料を採取した。試料中の浮遊幼生は、その場で5%ホルマリン溶液により固定した。十三湖では、ヤマトシジミがベントスの現存量のほぼ全体を占めていることから、採取されたD型幼生はすべてヤマトシジミのものと考えられ、幼生に関する種同定の必要はないと判断される。また、湖内複数地点に塩分水温計を設置し、各年の浮遊幼生観測の開始から終了までの期間における塩分と水温の時間変動についても計測を実施した。観測結果は、図-2（松根ら，2013）および図-3（梅田ら，2014）に示すような時空間変動があった。

4. 個体群成長解析

湖内全体の水質解析（水温、塩分、栄養塩、植物プランクトン）を鉛直一次元モデル（梅田ら，2008）により行い、それをヤマトシジミに対する生息環境条件として、動的エネルギー量（Dynamic Energy Budget, 以下DEB）モデルにより個体成長の解析を行った。DEBモデルの概略は、図-4に示すとおりである。餌として植物プランクトンを摂取し、それを同化し、代謝する過程を表現している。再生産に関しては、産卵条件として、本研究においては既往研究を参考に、水温が20℃以上で、生殖腺係数（生殖腺の重量と軟体部重量の比）が、26%を超えた際に、個体群が産卵をするとした。初期条件としての、ヤマトシジミの殻長ごとの個体数分布は、青森県産業技術センター内水面研究所による観測結果を基にして設定した。計算結果を図-5に示す。1年間の湖全体での個体数、殻長分布の変化に関する計算結果を表したものである。

参考文献：

- 1) Kooijman, S.A.L.M., 2007. "Dynamic Energy Budget Theory for Metabolic Organisation", Cambridge University Press.
- 2) 松根駿太郎・梅田信・田中仁・佐々木幹夫・丸尾知佳子 (2013): 十三湖におけるヤマトシジミ浮遊幼生の分布と汽水環境との関連, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 69, No.2, pp. I_1101-I_1105.
- 3) 梅田信・松根駿太郎・田中仁・佐々木幹夫 (2014): 十三湖におけるヤマトシジミ浮遊幼生数への汽水環境の影響解析, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 70, No.2, pp. I_1236-I_1240.
- 4) 梅田信・田中仁・小西絵里子・佐々木幹夫 (2008): 十三湖における塩分と溶存酸素の変動に関する観測と解析, 海岸工学論文集, Vol. 55, pp. 1051-1055.

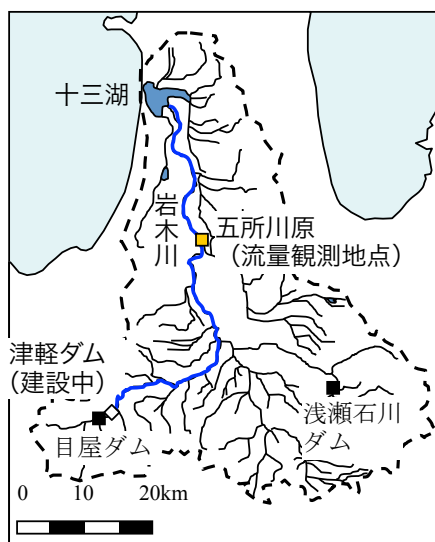


図-1 岩木川流域と十三湖

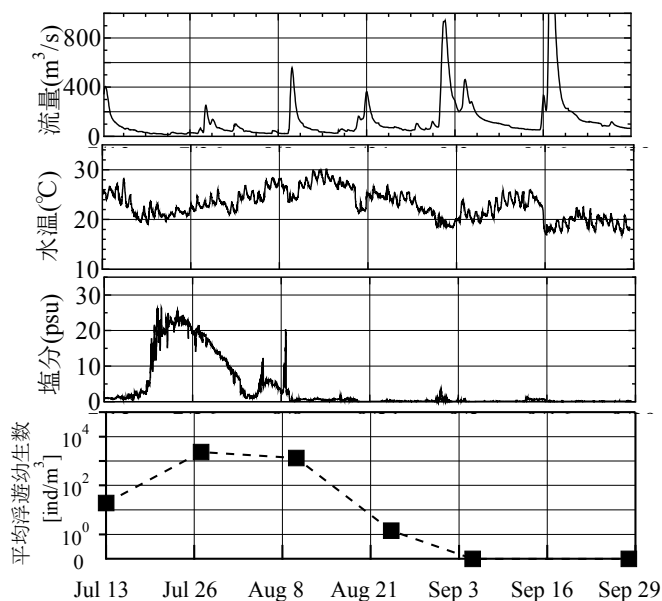


図-3 2013年の観測結果

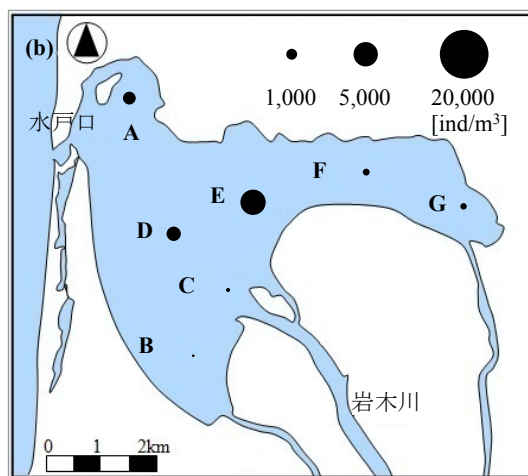
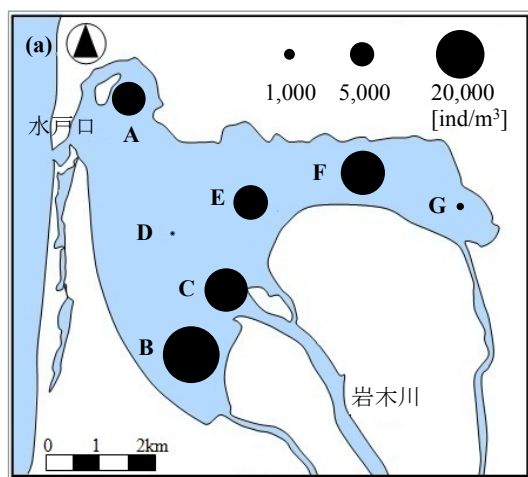


図-2 十三湖内における浮遊幼生分布の観測結果 (2カ年のピーク時を抽出) .
(a)2012年8月11日, (b)2013年7月27日.

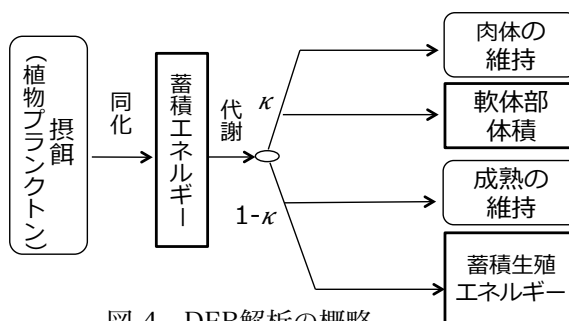


図-4 DEB解析の概略

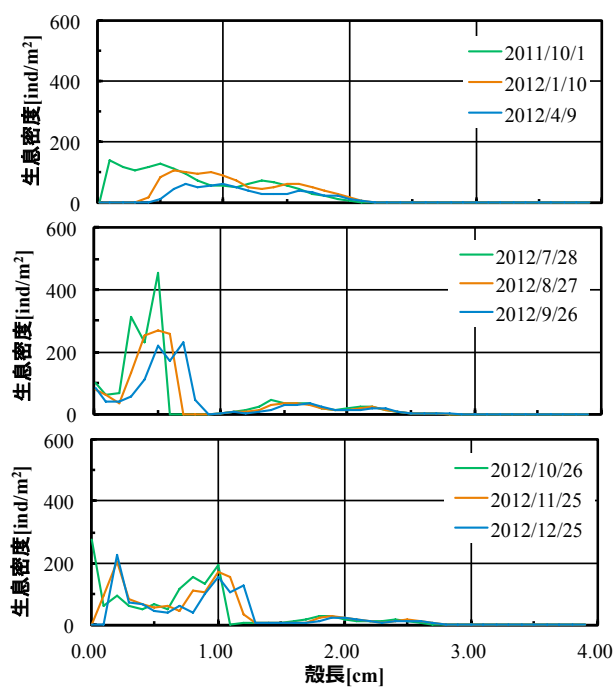


図-5 2011年秋から2012年を対象としたヤマトシジミ個体数分布の計算結果

宍道湖における3次元湖沼生態系モデルの開発と検証

鳥取大学大学院 山本 茂友・矢島 啓
首都大学東京 新谷 哲也

1. はじめに 湖沼生態系モデルは、国内外において様々な研究者や企業で開発されており、それらの多くは、手続き型言語である Fortran 言語で記述されている¹⁾。そのため、モデルの微修正であっても、その影響が広範囲にわたり、モデルの利用や管理に困ることがある。特に、水域の生態系モデリングは、モデルの発展とパラメタリゼーションに伴うモデルの修正と実行を繰り返す行うため、生態系モジュールの構築においては、ユーザーが修正とその確認を迅速に行うことが可能であると共に、モデル管理の容易さが求められる。そこで、本研究では、これらのニーズに応えられるような生態系モジュールの開発を目指した。

2. モデル構成 本研究では、Fantom3D²⁾をベースに生態系モジュールの追加を行った。流体モジュールは、計算負荷が非常に高いため、高速実行が可能なコンパイル言語(C++)で構築されている。一方、修正や試行錯誤が重要となる生態系モジュールは、修正の容易なスクリプト言語(Lua)で流体モジュールとは完全に分離して構築している(図-1)。スクリプト言語とは、コンパイル不要の言語の事であり、計算速度はコンパイル言語に比べると劣るが、モデルの修正・確認を気軽に行えるというメリットがある。

3. 生態系モデルの概要 生態系モデルで扱う変数を挙げる。水質項目としては溶存酸素(O₂)、粒子態有機物(POC, PON, POP), 溶存態有機物(DOC, DON, DOP), 溶存態無機物(NH₄, NO₃, PO₄, SiO₂)、生物項目として植物・動物プランクトンを考慮した。また、酸素の大気交換と底質での有機物の分解を考慮し、さらに、植物プランクトンの内部栄養塩も考慮した詳細な生態系モデルとなっている。図-2に構築した生態系モデルの物質循環概略図を示す。

ここで、生態系モデルの基礎式の一つである、植物プランクトンの時間変化を以下の式に示す。

$$\frac{dPHY}{dt} = f_{uptake}^{phy} - f_{resp}^{phy} - f_{excr}^{phy} - f_{mort}^{phy} - f_{sett}^{phy} - f_{assim}^{zoo} \times p^{zoo} \quad (1)$$

ここに、 f_{uptake}^{phy} : 植物プランクトンの成長速度を表し、水温や光合成有効放射などによって決まる、 f_{resp}^{phy} : 植物プランクトンの呼吸量、 f_{excr}^{phy} : 植物プランクトンの排泄量、 f_{mort}^{phy} : 植物プランクトンの死亡量、 f_{sett}^{phy} : 植物プランクトンの沈降量、 f_{assim}^{zoo} : 植物プランクトンの成長量、 p^{zoo} : 動物プランクトンの摂食速度を表す。

4. 開発した生態系モデルの宍道湖への適用 作成した生態系モジュールを用いて、宍道湖を対象とした数値計算を行った。宍道湖は島根県東部に位置し、湖水面積 79.1km²、平均水深 4.5m、最大水深 6.0m の浅い湖である。宍道湖の東部

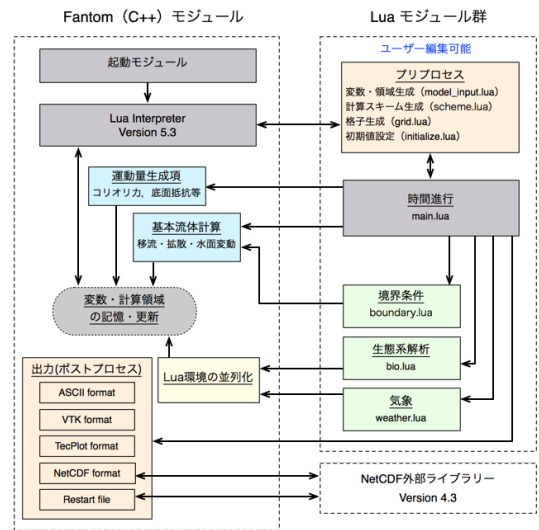


図-1 モデル構成の概要

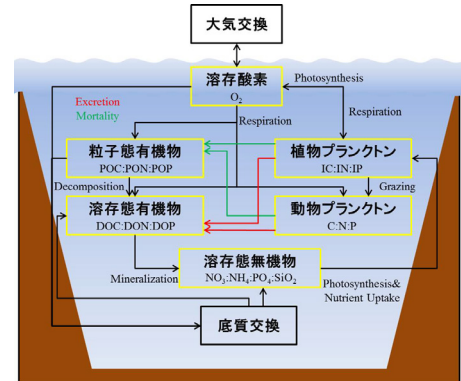


図-2 生態系モデルの物質循環

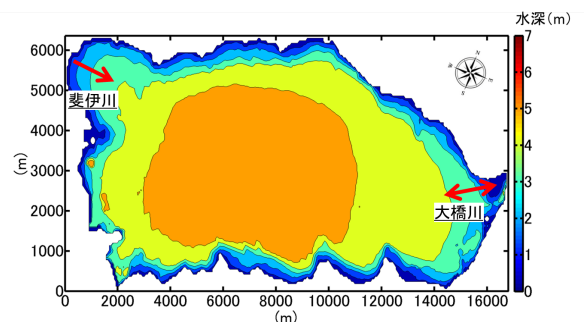


図-3 宍道湖概略図

の日本海から、中海、大橋川を通じて、海水が流入し、西側からは斐伊川からの淡水が流入していることで汽水条件が維持されている汽水湖である（図-3）。

①湖の形状データは水平方向に 240m 格子で分割し、東西 72 メッシュ、南北 28 メッシュ、鉛直方向 23 メッシュの 0.3m 間隔で設定し、計算間隔は 20 秒とした。

②水理部分の境界条件として設定したデータは流入量、流入水温、気象データである。流入量と流入水温は、出雲河川事務所より提供されたデータを使用し、斐伊川と大橋川を設定した。気象データは松江地方気象台の 1 時間毎のデータを使用した。また、雲量データについては 3 時間毎のデータとなるため、1 時間毎のデータに線形補間して使用した。

③計算期間は、出雲河川事務所より提供された、大橋川出張所巡視日誌のアオコが実際に発生した記録がある 2012 年 8 月 1 日～8 月 11 日を対象に行った。

④植物プランクトンは藍藻類を対象とするため、植物プランクトンの成長速度に関する最適水温は 28℃、限界水温は 35℃に設定した⁴⁾。また、表-1 にシミュレーションに用いた、植物プランクトンに関するパラメータを示す。

5. シミュレーション結果 出雲河川事務局より提供されたアオコの発生記録によると、2012 年 8 月 6 日の 14 時頃に宍道湖北岸にアオコが発生した記録がある（図-5）。モデル計算による同時刻の Chl.a(μg/L)を見ると（図-6）、北岸に約 7.5μg/L の Chl.a が発生することを確認できた。しかしながら、図-6 に示す、宍道湖南西部においては、アオコが発生したという記録はなかったため、精度を向上させるために、更なる改良を行う必要がある。

6. おわりに 本研究では、Fantom3D をベースに生態系モジュールの追加を行い、宍道湖において検証を行った。その結果、スクリプト言語である Lua を用いて、柔軟な修正を行うことができ、かつ、モデルの適切な分離によって管理の容易な設計を実現できた。しかしながら、従属変数の多さから、生態系モジュールの計算負荷が相対的に大きくなったため、修正の必要がなくなったスクリプトは C++に移行する事も視野に入れている。また、生態系モデルの精度に関しては、不十分なところが多く、より精度をあげるため、更なるモデルの改良が必要である。

参考文献 1) Trolle, D., et al.: A community-based framework for aquatic ecosystem models. *Hydrobiologia*, 683.1, pp.25-34, 2012. 2) 新谷哲也, 中山恵介: 環境流体解析を目的としたオブジェクト指向型流体モデルの開発と検証, 水工学論文集, 土木学会, 第 53 巻, pp.1267-1272, 2009. 3) 資料提供: 出雲河川事務所（河川巡視日誌）, 4) 有賀祐勝: 水界植物群落の物質生産Ⅱ, 共立出版, pp.51, 1973.

表-1 植物プランクトンに関するパラメータ

パラメータ	定義	値
T_{opt}	植物プランクトンの最適水温	28 (°C)
T_{max}	植物プランクトンの限界水温	35 (°C)
I_K	光の半飽和定数	130 (μE/m ² s)
R_{growth}	水温 20℃における成長速度	2.0 (/day)
k_{NF}	窒素固定最大速度	0.7 (/day)
$R_{nuptake}$	窒素取り込み速度	0.02 (mmolN/m ² day)
$R_{puptake}$	リン取り込み速度	0.001 (mmolP/m ² day)



図-5 8 月 6 日 14 時のアオコ発生状況³⁾

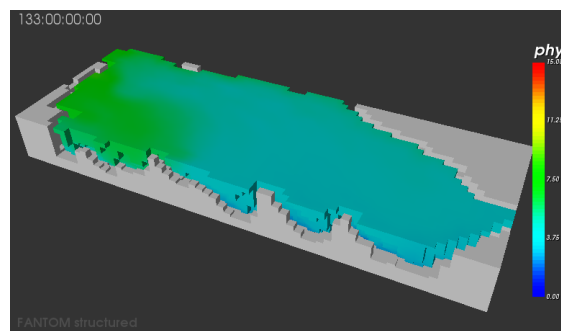


図-6 モデル計算による 8 月 6 日 14 時の Chl. a (μg/L)

宍道湖における水質予測管理システムのプロトタイプ開発

鳥取大学大学院工学研究科 学生会員 ○中田一騎 鳥取大学大学院工学研究科 正会員 矢島啓
鳥取大学総合メディア基盤センター 非会員 本村真一 首都大学東京都市環境科学研究科 正会員 新谷哲也
鳥取大学大学院工学研究科 学生会員 山本茂友

1. はじめに

現在、世界の閉鎖性水域における湖沼等で問題として多く挙げられるのがアオコである。富栄養化した湖沼におけるアオコ除去は、多くの研究者や企業により検討や実験が行われてきた。しかし、これらの効率的な運用（除去）法は確立されておらず、依然としてアオコが発生しているのが現状である。一方、湖沼をはじめ、沿岸域、河川、海域等で水質予測管理システムを用いた水質予測によって効率的な水質改善を試みる取り組みも始まっている。しかしながら、これらのシステムは諸外国の研究機関で開発されたものであり、国産で手軽に利用可能なシステムは未だ存在しない。そこで、本研究では、アオコ発生予測が容易に行える水質予測管理システムの基礎的开发を行う。本論文では、データ管理の基本となるデータベースの構築と湖沼管理者や水質予測管理システムの利用者にとって、使いやすく、かつ容易に情報提供が受けられるようなグラフィカルユーザーインターフェイスについて説明を行う。なお、本研究対象フィールドは、アオコが問題となっている島根県東部に位置する宍道湖とした。

2. 水質予測管理システムの開発

水質予測管理システムの全体構成(図-1)は主に①3次元湖沼生態系モデル、②データベース、の2つからなる。3次元湖沼生態系モデルは、3次元湖沼流動モデル Fantom3D¹⁾と生態系モデル²⁾が統合されたモデルである。データベースには、主に Web 上で公開されている観測データの格納を行う。観測データの取り込みに関しては、プログラミング言語 Perl の Web:Scraper モジュールを用いる。このモジュールは、Web 上で公開されている URL を引数として渡すことで、HTML データを取得できる。Web 上で公開されている観測データは全て CSS(Cascading Style Sheets)のセル TD 要素として定義されており、一度 TD 要素から全てのデータを抜き出した後、データの文字・記号の処理や整理を行いデータベースに格納する(図-2)。なお、本研究で取り扱う www サーバは、国土交通省、島根県水産試験場、松江地方気象台の3つである。

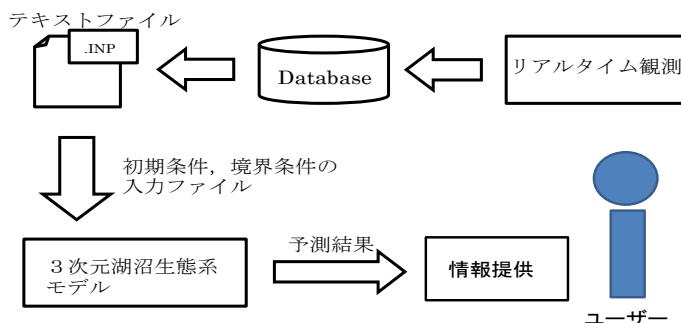


図-1 水質予測管理システムの全体構成

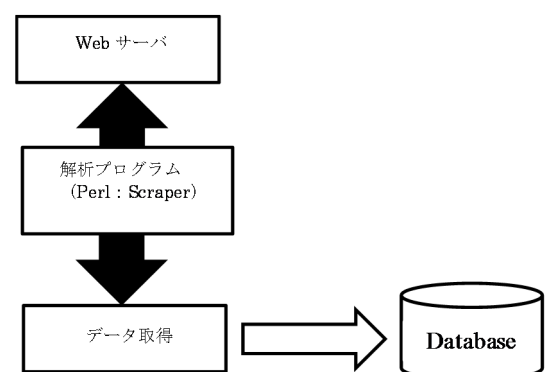


図-2 自動取り込みシステムの概略図

3. データベースからのデータ設定

生態系モデルに与える境界条件は、気象庁の過去データと1週間先の気象庁の全球モデルより計算された数値予報データとする。これらの数値予報データはバイナリ形式であるが、3次元湖沼生態系モデルは、境界条件をテキストファイルで入力する必要がある。そこで、wgrib2³⁾によってバイナリーデータからテキストデータに変換し、さらに自作のフィルタプログラムによって宍道湖に該当する数値予報データを抜き取った。変換後のテキストデータは、時系列に従って結合され(図-3)、モデルへの入力として使用される。

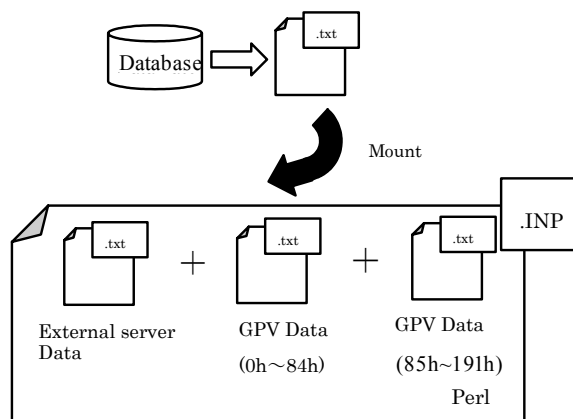


図-3 境界条件のファイル結合概略図

4. 操作支援のためのインターフェイス設計

管理システムの操作に際して、各データ項目や機能が無機的に羅列した画面では、ユーザーにとってわかりにくく、適切な判断を阻害する可能性がある。そこで、画面を大まかに分割し、エリアごとに必要なデータや機能を目的ごとに整理することで、直感的でわかりやすいユーザーインターフェイスの設計を行った。本研究では、主要な情報を明確に表示するためにメイン画面(図-4)とサブ画面(図-5)の設計を行った。メイン画面は、3次元湖沼生態系モデルの出力結果をアニメーションとして表示させる画面である。そして、サブ画面は本研究で構築したデータベースにアクセスし、必要なデータを閲覧または図化できる画面である。

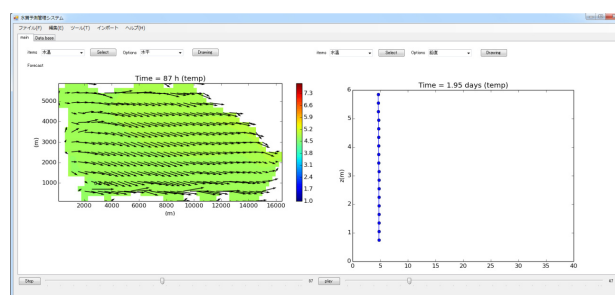


図-4 メイン画面のインターフェイス

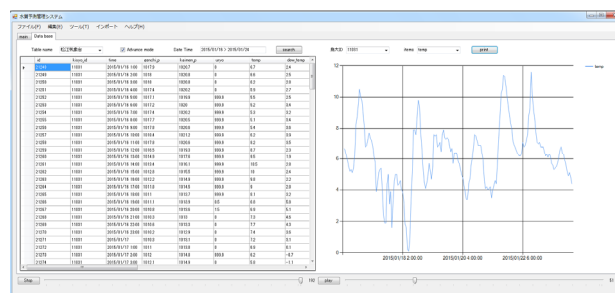


図-5 サブ画面のインターフェイス

5. 結論

本研究では宍道湖におけるアオコ除去の操作支援を目的に、水質予測管理システムの開発と運用に関する研究を行った。その結果、データ収集から操作支援のための情報提供まで、一連の作業を統合したシステムを構築できた。しかし、未だ一部の作業が手動になっているため、今後の課題として、予測計算後から情報提供までを自動で行えるシステムに仕上げる必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、公益財団法人河川財団から助成金をいただきました。ここに厚く御礼を申し上げます。また、国土交通省水文水質データベース、島根県水産試験場、気象庁松江地方気象台、東京大学生産技術研究所喜連川研究室のGPV Data Archiveのデータを利用させて頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 新谷哲也, 中山恵介, 環境流体解析を目的としたオブジェクト指向型流体モデルの開発と検討, 水工論文集, 第53巻, pp. 1-6, 2009.
- 2) 山本茂友, 矢島啓, 新谷哲也, 宍道湖における3次元湖沼生態系モデルの開発と検証, 環境水理部会研究集会2015, 2015.
- 3) National Weather Service Climate Prediction Center, URL, <http://www.cpc.noaa.gov/products/Wesley/wgrib2> (2015/02/26 現在)。

土木研究所におけるダムを中心とした水理的課題と解決の方向性について

国立研究開発法人 土木研究所 水理チーム ○宮川仁, 本山健士, 中西哲, 櫻井寿之, 宮脇千晴, 坂野章, 石神孝之

1. はじめに

平成 27 年 4 月の独立行政法人通則法の一部改正法の施行に伴い、これまで一律に定められてきた独立行政法人が、業務特性に応じて「中期目標管理法人」、「国立研究開発法人」及び「行政執行法人」の 3 つの区分に分類され、土木研究所は、国の政策として科学技術に関する研究開発を主要な業務として行い、我が国の科学技術の水準の向上を通じた国民経済の発展その他の公益に資するため研究開発の最大限の成果を確保することを目的とする研究開発型の法人に区分され、「国立研究開発法人 土木研究所」となった。

この法改正により、これまで研究開発の目標を指示するだけであった主務大臣が今後は評価も行うこととなり、主務大臣の下でのガバナンスの強化が図られることとなった。また、国立研究開発法人の中長期目標・計画には、「研究開発の成果の最大化」に関する事項が記載される。ここで「研究開発成果の最大化」とは、国民経済の健全な発展その他の公益に資する研究開発成果の創出を国全体として「最大化」することとされている。具体的には、国立研究開発法人が実施する研究開発により創出された直接的な成果の最大化のみならず、当該国立研究開発法人がマネジメント力を最大限に発揮することにより、国立研究開発法人の使命、業務等に応じて、革新的技術シーズを事業化へ繋ぐ成果の受渡しや成果の実用化、ベンチャー・中小・中堅企業等の育成と活用促進、研究開発に係る人材の養成、多様な人材の活用促進、科学技術理解増進、科学技術情報の収集・提供、施設・設備の整備・共用促進、他機関との連携・協力等を通じて、大学、民間事業者等他機関の研究開発成果も含めた我が国全体としての研究開発成果を最大化することがその内容とされている。この研究開発成果は、国立研究開発法人全体の目的、国・社会から期待されている役割等に照らして、質的・量的、経済的・社会的・科学技術的、国際的・国内的、短期的・中長期的な観点等を踏まえて総合的に評価・判断される。土木研究所の研究開発業務がこれまで以上に国として実施する意義が増したと言え、これを受けて水理チームで実施する研究開発業務も以上の枠組みのもと実施することとなった。この場はこの制度改正の趣旨を関係の皆様にご理解いただき、現在、我々

が実施している研究の全体の最新状況を紹介することによって、連携・協力が今以上に促進されることを願って話題提供するものである。

2. 水理チームで実施している研究の内容

1) 河床材料の粒度構成に着目した土砂移動機構に関する研究

水系一貫した土砂管理の必要性が高まってきている中、特に山地河道や石礫河川などでは河床材料が幅広い粒径集団を持っており、この土砂の量や質が当該地点や下流河道の河床変動などに大きく影響を及ぼしていると考えられる。幅広い粒径集団を持つ山地河道および石礫河川を対象として、河道特性と河床変動および河床形態に関して、個々の粒径集団が持つ役割を明確にするとともに、ダムからの排砂もしくは置土について、総合土砂管理の視点から下流河道にとって必要とされる量と質を決定する方法について研究している。

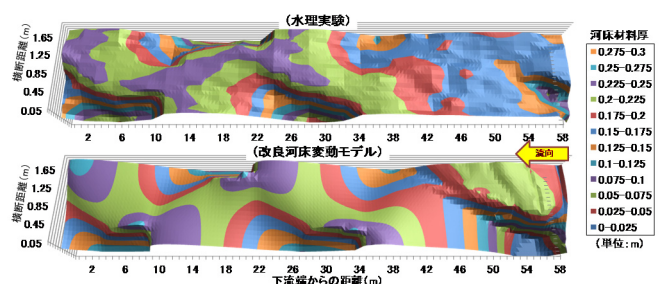


図-1 ダム下流河床変動シミュレーション検証結果

2) 流水型ダムにおける河川の連続性確保に関する研究

近年、治水専用の流水型ダムにおける河川の連続性確保への期待が高まってきているが、連続性の確保と洪水調節の機能はトレードオフの関係にあり、従来の放流設備のみでは十分に連続性を確保することは困難と考えられる。そこで、土砂や生物の移動を考慮した、従来にはない放流設備の配置計画手法や設計手法が求められており、洪水調節の必要がない流量については、流水を貯留することなく現況河道と同様に流下させ、洪水調節の必要がある大出水時のみ貯留を行う放流設備の規模、形状及び操作方法等について研究している。

3) 環境に配慮したダムからの土砂供給施設の開発及び運用に関する研究

ダムが土砂を捕捉することにより、下流の河床の粗

粒化など河床環境への影響が懸念されており、出水中にできるだけ自然に近い状態でダムから土砂供給することが求められている。また、貯水池運用を変更せずに排砂する技術が求められている。そこで、①これまでに実用化されていない貯水位を低下させずにダム堆積土砂を吸引する技術（潜行吸引式排砂管）、②潜行吸引式排砂管を用いて、適切な量と質（粒径）の土砂を制御しつつ供給可能な土砂供給施設、③貯水池の落差エネルギーを活用し無動力で運用可能な低コストの恒久的堆砂対策技術の開発を行っている。



図-2 潜行吸引式排砂管の現地実験の様子

4) 土砂による河川構造物の摩耗・損傷対策および維持管理に関する研究

貯水池の長寿命化やダム下流の河川環境保全の観点から、ダムから土砂を流す施設が設置され、運用されるようになってきているが、砂礫が跳躍・転動・滑動しながら高速で流下し、摩耗・損傷により施設の機能を維持・確保できなくなる可能性がある。そのため河川構造物の摩耗・損傷の実態の把握、土砂による摩耗・損傷の予測手法の検討、対策の設計手法、運用後の維持管理の合理化について研究を行っている。



図-3 SBT 国際 Workshop におけるスイスの事例収集

5) 貯水池に流入する濁質の動態と処理に関する研究

ダムの再開発事業（既存ダムでの工事）による湖内の水の濁りの拡散や、管理中のダムでの、渇水時の水位低下に伴う貯水池の懸濁化等において、濁りを軽減する対策が求められている。そこで、貯水池内の土砂の移動や水位低下によってもたらされる懸濁化現象の解明や、環境に与える影響が少ない天然由来の土コロイドを用いた濁質の沈降を促進させる凝集処理手法の開発を進めている。

6) ダム下流における濁水の流下過程とその影響に関する基礎的研究

ダム下流河川において濁水が長期的に発生する事例が確認されており、濁水による魚類等の生物への影響も懸念されている。ダムから放流された濁水が河川を流下する過程のメカニズムの知見が不十分なため、濁水の影響が及ぶエリア、生物などの特定が困難となっている。そこで、ダム貯水池の濁水長期化および濁水放流の現状を分析し、濁水を構成する土粒子に着目し、河川の流下過程での減少メカニズムや濁水のダム下流への分布状況を予測する手法について研究している。

7) 現場事務所等からの受託研究および技術相談

国土交通省が建設・管理するような大きなダムでは、計画・設計・施工時の合理化によるコスト削減効果は大きく、放流設備においても実績のある標準的な設計形状に囚われずに、各ダム固有の条件下でより合理的な放流設備を、その効果と安全性を確認しながら計画・設計することが求められる。また、堆砂対策や放流音対策についても個別ダムにおいて検討が求められている。このような課題について、現場事務所等からの要請により受託研究および技術相談への対応を実施している。



図-4 ダム再開発事業の水理実験の様子

3. おわりに

今回の発表が、水理チームを含む土木研究所の研究開発業務における今後の皆様との連携・協力の強化へつながり、積極的な研究開発業務の推進による国民経済の健全な発展その他の公益に資する研究開発成果が生まれ、国全体として最大化されていくことを願っている。今後とも環境水理部会研究集会に参加の皆様のより一層のご理解、ご支援、ご協力をお願いします。

寄生化藻類を用いたアオコ対策技術の開発（その1：化学条件制御法）

井芹 寧(西日本技術開発)・ハオ愛民(九州大学)
原口智和(佐賀大学)・久場隆広(九州大学)

1. はじめに

アオコの異常発生を伴い、水環境に悪影響を与える富栄養化に対し、様々な対策が実施されているが、設備設置、その維持管理に多額の費用を要する等、問題となっており、省エネルギーな対策が求められている。近年は、持続性や生態系保全の観点から、生物機能を活用した生態工学的な手法の開発が期待されている。

本研究はアオコと競争関係にある植物プランクトン（珪藻、緑藻等）、特にアオココロニー(*Microcystis* colony)に付着・侵入し寄生化する珪藻類に着目し、その、アオコ抑制対策としての適用性について室内外の培養実験に基づき（図-1）検討したものである。今回は、検討結果のうち、化学的条件制御法について報告する。

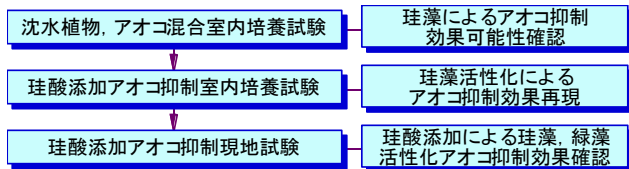


図-1 研究の流れ

今日まで、*Microcystis* colony 内で共存するシアノバクテリア、藻類として *Phormidium* や *Nitzschia* が報告されているが、何れも共生関係としてとらえられている。また、アオコへの寄生、捕食等、直接作用してアオコを抑制する微生物としてミジンコ、鞭毛虫、細菌、菌類やウイルス等が知られているが、寄生藻類に関する報告はみうけられない。

2. 沈水植物、アオコ混合室内培養試験

(1) 目的・方法

沈水植物のセキショウモ(*Vallisneria asiatica*)とアオコ(*Microcystis* spp.)との関係を検討する目的で30L水槽に両者単独、段階的共存の培養系を設け25℃、3,000～4,000Lux(12h 明・暗)条件で約1ヶ月間培養を行った。アオコは福岡県筑紫野市の農業用ため池より採取し、セキショウモは福岡県遠賀川より採取し実験に供した。

(2) 結果及び考察

沈水植物によるアオコ抑制効果を期待し実験を行ったが、想定に反して、沈水植物未投入系で *Microcystis* が急減する現象が認められた。その原因を解析した結果、沈水植物(Submerged Plant)介在による浮遊藻類(Plankton)、付

着藻類(Periphyton)間の競合関係の存在が明らかとなった。

Microcystis 共存系の Periphyton は多様性が低下し、珪藻の *Cocconeis* 主体の相に変化した(図-2)。付着 *Cocconeis* は浮遊珪藻とほぼ同等の現存量に達しており、*Cocconeis* が多いほど *Nitzschia* が減少する傾向が認められ、両者間に競争関係があることが示唆された。また、*Nitzschia* が直接 *Microcystis* colony に侵入し、アオコの沈降、分解を促す現象が観察され(写真-1)、*Nitzschia* の増大の一方、*Microcystis* が減少することが明らかとなった。以上の結果に基づき、各出現藻類等の相互関係を図-3に取りまとめた。

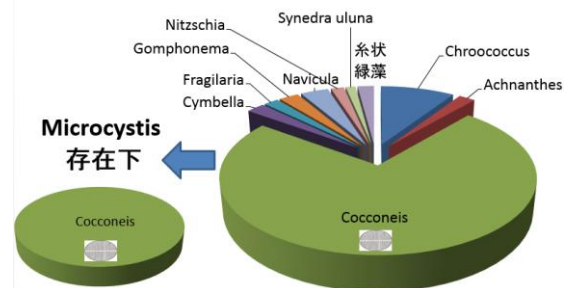


図-2 アオコとセキショウモ付着藻類相の関係

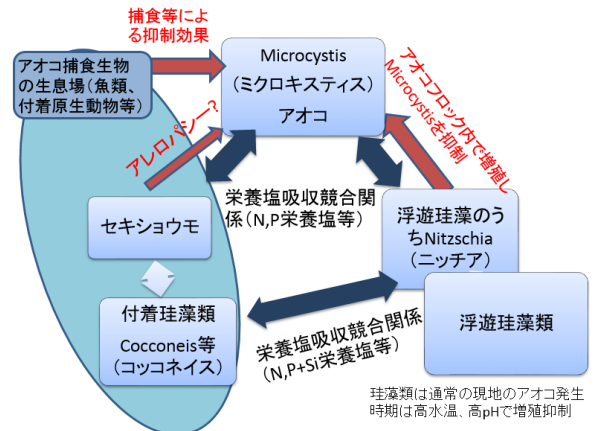


図-3 セキショウモを介在した藻類等の相互関係

3. 珪酸添加アオコ抑制室内培養試験

(1) 目的・方法

前実験結果に基づき珪酸添加により *Microcystis* と競合関係にある珪藻を活性化させてアオコを抑制す

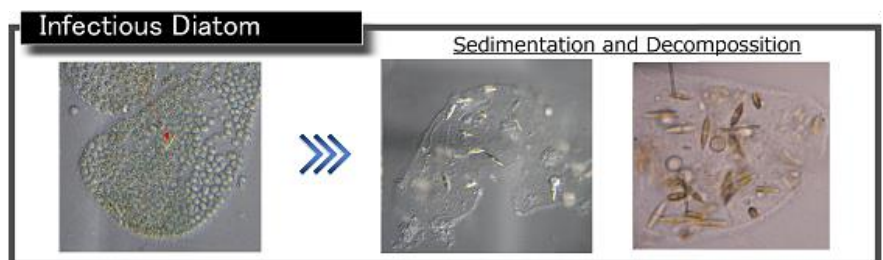


写真-1 *Microcystis* colony に付着→侵入・滑走・増殖し colony を破壊する *Nitzschia*

ることを目指し、アオコ発生池（福岡県筑紫野市）水200mLに珪酸ゲル(珪酸20%含有)を0.02g添加した系と無添加系(control)を設け、約1ヶ月間培養を行った。温度及び光条件は前実験と同条件とした。

(2) 結果及び考察

培養開始日、15, 39日目における出現プランクトンの細胞数及び珪酸添加系の増減傾向を表-1に示す。

珪酸添加系において、明確な珪藻類の増殖傾向の一方、*Microcystis*の減少が生じ、珪酸供給によるアオコの抑制効果が確認された。また、緑藻類の増加傾向も認められた。*Ankistrodesmus*, *Scenedesmus*等の一部の緑藻類には細胞壁の形成にケイ素(Si)を必要とする種が知られており、珪酸供給で、Si要求性の緑藻のSi制限環境が解消されたことで、増殖が促進されたものと考えられる。緑藻の増殖は、N,P等他の栄養塩獲得競争において、*Microcystis*と競合し、アオコの増殖抑制に寄与しているものと推察される。

表-1 珪酸添加培養試験結果

種類	出現プランクトン	ケース	培養期間(日)			増減傾向
			0	15	39	
Cyanobacteria	<i>Anabaena</i> spp.	Cont		34	4,933	--
		+Si		53	393	
	<i>Microcystis</i> spp.	Cont	249,600	224,933	52,033	--
		+Si	249,600	41,400	10,976	
	<i>Phormidium</i> sp.(f)	Cont	40	453	2,231	-
		+Si	40	652	320	
珪藻	<i>Cyclotella</i> sp.	Cont		2	7	++
		+Si		4	137	
	<i>Fragilaria crotonensis</i>	Cont		2	20	++
		+Si			199	
	<i>Nitzschia</i> sp.	Cont	345	298	117	+
		+Si	345	653	250	
緑藻	<i>Synedra acus</i>	Cont	20	2	29	++
		+Si	20	7	123	
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	Cont	40	12	85	+
		+Si	40	61	593	
	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	Cont		13	53	++
		+Si		107	591	
	<i>Oocystis</i> spp.	Cont				++
		+Si		32	147	
	<i>Chlorella</i> spp.	Cont		443	3,047	
	<i>Scenedesmus</i> spp.	+Si		1,300	4,900	+

注) 単位は cells/0.1mL。空白欄は1cell未満を示す。
増減傾向は無添加(Cont)と比較したSi添加系の変化の傾向を示す。
++:大きく増加, ++:増加, -:減少, ---:大きく減少

4. 珪酸添加アオコ抑制現地試験

(1) 目的・方法

実際のアオコ発生水域における珪酸添加によるアオコ抑制効果を確認するために、継続的にアオコ発生が見られる佐賀県農業用水ダム湖において約1m³容量のメソコズムを設置し、実験を行った(写真-2)。

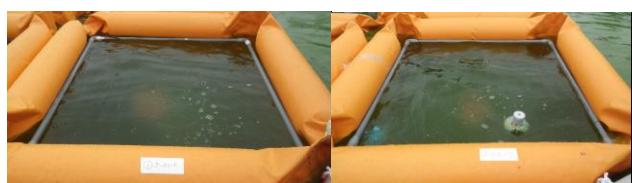


写真-2 現場メソコズム実験(左:control, 右:珪酸添加)

(2) 結果及び考察

試験開始1ヶ月後の結果を写真-3及び表-2に示す。control区において、アオコが維持され、出現プランクトンはほぼ*Microcystis*で占められているのに対し、珪酸添加区では、珪藻類の増加が示されており、緑藻類も加わり、多様性のあるプランクトン相の形成が認められた。珪酸添加区では、*Microcystis*群体はほとんど観察されなかった。

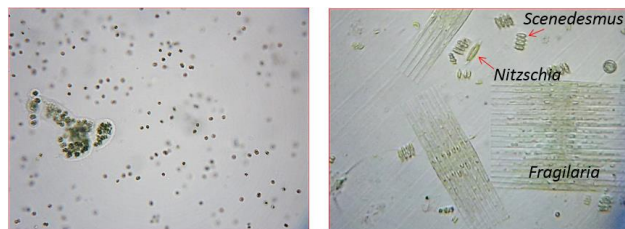


写真-3 現地メソコズム実験結果(顕微鏡写真)

表-2 主要出現種の1ヶ月後の細胞数

アオコ, 優占種	cells/mL	
	control	珪酸添加
<i>Microcystis</i> spp.	613,000	120
<i>Synedra</i> + <i>Fragilaria</i> + <i>Nitzschia</i>	190	5,560

5. おわりに

今回は、珪酸添加(化学条件制御)により珪藻等のアオコ競合藻類の増殖を促進し、アオコを抑制する対策法の有効性を確認し報告した。特に、*Microcystis*寄生珪藻による効果は、対象水域在来種*Nitzschia*を活性化させ利用するもので、外来生物導入、遺伝子汚染の問題もクリアできており、将来的に有望な生態工学的アオコ対策手法として期待できる。現在、珪藻を利用したアオコ対策手法として図-4に示す各種手法を検討しており、このうち、薬品等を全く使用しない生育場転換法の基礎試験(写真-4)において、化学条件制御法よりさらに効果的なアオコ抑制効果が確認されている(次回報告予定)。最終的に、対象の水環境の条件にあわせ、これらの手法を選択・連携させる総合的な珪藻利用アオコ対策法を構築する計画である。

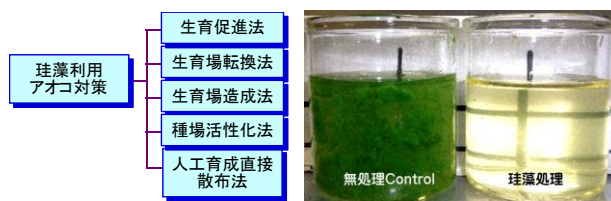


図-4 珪藻利用アオコ対策 写真-4 生育場変換法
処理10日後

なお、本研究の一部はJSPS挑戦的萌芽研究学術研究基金(RAG5550057)の助成により行われたものである。

出水時に河川を流下する土粒子の沈降現象

土木研究所 ICHARM 海野 仁・澤野久弥
土木研究所水工研究グループ 宮川 仁・本山 健士

1. 概要

従来、貯水池の濁水シミュレーションにおける土粒子の沈降速度の設定については、採水した濁水をレーザー回折・散乱光法（以下、「レーザー回折法」と略す。）を用いて粒度分布を分析し、ストークス式を用いて沈降速度分布に変換する手法が多く用いられてきた。しかしながら、レーザー回折法による粒度分布をもとに沈降速度分布を求めた場合、実際の沈降速度分布と差異が生じることが懸念される。

筆者らの前報¹⁾では、複数の粒度分析手法を比較した結果、レーザー回折法により求めた粒度分布が沈降筒を用いて測定した粒度分布よりも粗粒化すること、濁水現象の長期化が想定される貯水池では、沈降筒法により沈降速度分布を求めることが望まれることを報告した。しかしながら、沈降筒法は多量の試料と実験に長期間を要することが課題である。本報では、前報より小規模な沈降管を用いて土粒子の粒径と沈降速度を直接測定し、ストークス式を用いて求めた沈降速度と比較した結果を報告する。

2. 測定方法

粒径と沈降速度の測定には、図-1 に示す測定装置を用いた。測定装置は恒温装置、恒温水槽、ビデオカメラ、モニターならびにビデオデッキから構成され、恒温水槽内には沈降管を設置した。恒温水槽には水道水を満たし、沈降管には純水を満たして、水槽内は常時20℃を維持した。測定に先立ち、沈降管内に鋼尺を浸漬させ、モニター上で目盛りを読み取り、倍率を確認した。倍率はビデオカメラのズーム機能を用いて150～160倍程度と280～300倍程度の2段階に設定した。土粒子の滴下にはマイクロピペットを用い、沈降管の上部から少量滴下した。滴下後はモニターでブロックの沈降を監視するとともに、動画を記録した。動画の記録は各倍率とも30min～60min間とした。沈降現象を記録後にテープを再生し、モニター上で一定距離（沈降管内で0.5mmまたは1.0mm）の沈降に要する時間と鉛直方向に投影した粒径を記録した。また、粒径の測定にはノギスを用いた。測定には、前報と同様、利根川水系山口川（茨城県桜川市真壁町）において洪水時に採取した試料を用いた。濁水の諸元と測定した土粒子の数を、表-1 に示す。

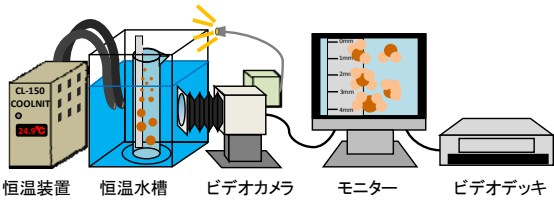


図-1 粒径・沈降速度測定装置

表-1 濁水の諸元と測定した土粒子数

試料No.	1	2	3	4
採水日	2010.9.16	2010.9.16	2010.9.16	2010.9.16
採水時刻	10:55	11:25	12:35	13:50
分析時濁度[NTU]	787	432	143	59
分析時SS[mg/L]	944	466	189	93
測定した土粒子[個]	264	55	53	40
測定倍率	160倍	150倍	150倍	150倍
	300倍	280倍	280倍	280倍

3. 測定結果

測定した各試料のうち、試料-1 と試料-4 について粒径と沈降速度を図-2～図-3 に示す。これらの図には、ストークス式より求めた沈降速度を併記する。土粒子の密度は、JIS A 1202 により求めた。測定した粒径の範囲は、概ね10～800μmである。両試料とも土粒子の粒径が増大するに従い沈降速度が上昇する傾向が見られたが、良好な相関は見られなかった。同一粒径の土粒子に対し、試料-1 では最大2オーダー、試料-4 では最大1オーダー程度の沈降速度の差が見られた。特に、試料-1 では数多くの土粒子を測定したことから、沈降速度のばらつきが大きくなったものと考えられる。また、測定された沈降速度の多くは、ストークス式より求めた沈降速度より遅い結果となった。

測定した土粒子の形状の1例として、試料-1 の画像を図-4～図-5 に示す。出水時に河川から採取した土粒子も、複数の粒子が凝集してブロックを形成している様子が見られる。しかしながら、図-5に見られるように、単一粒子と見られる土粒子も観察された。特にこのような土粒子は粒径に比べて沈降速度が速く、同一粒径に対し沈降速度がばらつく原因と考えられた。

レーザー回折法は、土粒子の粒度分布を測定する1手法であるが、出水時に河川を流下する土粒子はブロックを形成していることから、ストークス式を適用し

て沈降速度を求めた場合、沈降速度を過大に評価する
と考えられた。

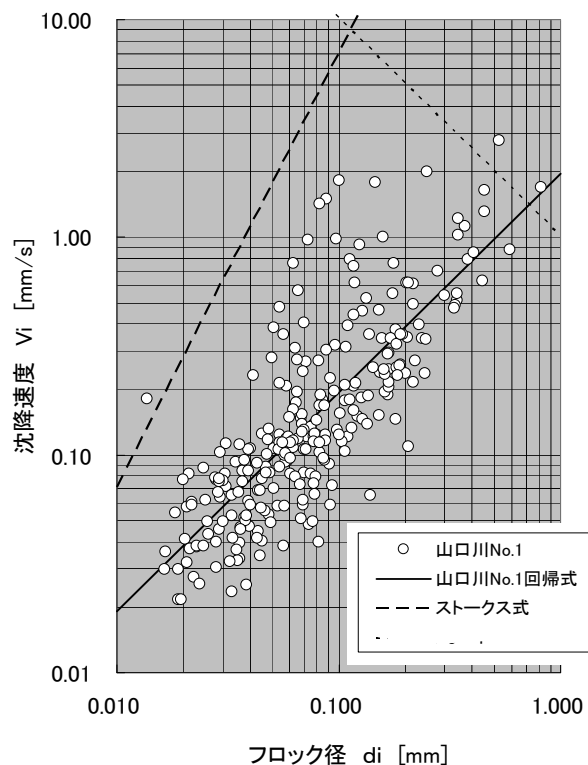


図-2 フロック径と沈降速度（試料-1）

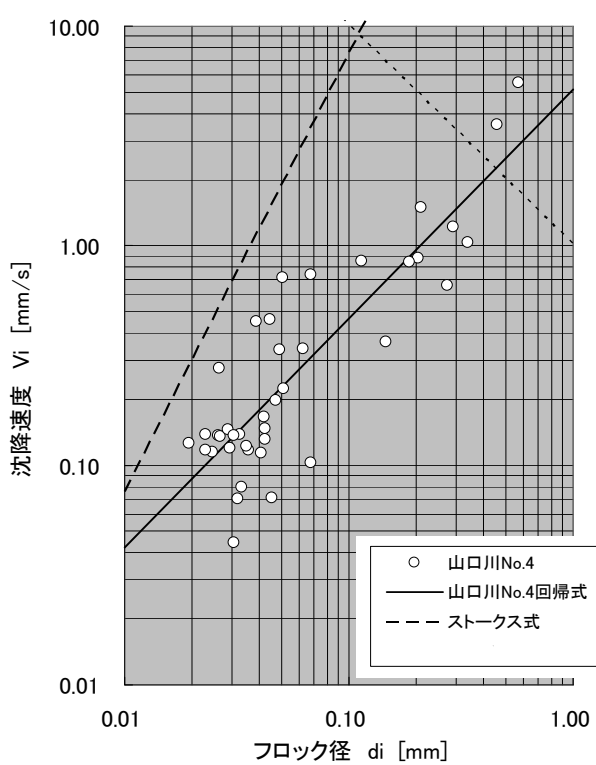


図-3 フロック径と沈降速度（試料-4）



図-4 土粒子の形状（試料-1）(1)

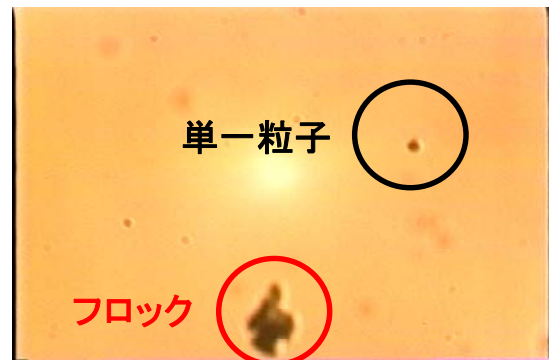


図-5 土粒子の形状（試料-1）(2)

4. まとめ

- 本報告の結果を、以下にまとめる。
- ・現地採取した土粒子の沈降現象を把握することを目的に、利根川水系山口川において採取した4検体の試料の粒径と沈降速度を測定した。各試料とも粒径が増大するに従い沈降速度が上昇する傾向が見られた。
 - ・現地採取した土粒子も、複数の粒子が凝集してフロックを形成している様子が見られた。しかしながら、単一粒子と見られる土粒子も観察され、同一粒径に対し沈降速度がばらつく原因と考えられた。
 - ・現地採取した土粒子の沈降速度は、ストークス式より求めた沈降速度より遅い結果となった。レーザー回折法を用いて試料の粒度分布を求め、ストークス式を適用して沈降速度に変換した場合、沈降速度を過大に評価すると考えられた。

謝辞：本研究を進めるにあたり、筑波大学生命環境系の足立泰久教授ならびに小林幹佳准教授にご指導賜りました。ここに、お礼申し上げます。

参考文献

- 1) 海野仁, 箱石憲昭：微細粒子土砂の粒度分布に関する比較実験, 環境水理部会研究集会 2011.

底面での微小酸素濃度分布を参照した摩擦速度の推定

国立研究開発法人 港湾空港技術研究所 井上徹教

1. はじめに

摩擦速度は底面近傍での乱流構造を特徴づける、底面境界層において最も重要なパラメーターの一つである。本研究では比較的静穏な海底での流速測定結果を元に、渦相関法 (EC 法)・乱流エネルギー法 (TKE 法)・慣性散逸法 (ID 法) により摩擦速度を推定した。また底面近傍での酸素濃度分布を独立した摩擦速度評価手段と捉え、これらの比較から最適な摩擦速度推定手法を検討した。

2. 方法

(1) 現場観測

観測はスコットランド西部に位置する Loch Etive において行われた。観測対象となった水域の底質はほぼ均質なシルト粒子で構成され、水深は 54~72 m でありほぼ平坦な地形であった。

流動観測は、高さ 0.9 m、幅 1.3 m の三脚の中心にプローブ部が下方になる状態で設置した ADV (Nortek AS 社製、ノルウェー) により行った (写真-1)。ADV は流速測定部が海底上 4.0~15.5 cm の位置となるように設置した。現場での酸素濃度分布は、Glud ら(2009)により導入された微小濃度分布測定装置を用いて観測された。微小酸素電極は鉛直方向に移動可能な電動シリンダーに取り付けられており、本観測では 100 μm 間隔での鉛直分布測定を行った (Inoue ら, 2011)。

(2) 摩擦速度の推定

EC 法および TKE 法においては、測定時の受信信号の相関係数が 70 以下、S/N 比が 5 以下、平均流速からの偏

差が標準偏差の 3 倍以上である流速データについては考察対象から除外した。EC 法では、摩擦速度は次式により計算した。

$$u_* = \sqrt{-u'w'} \quad (1)$$

ここで、 u_* は摩擦速度、 u は主流方向流速、 w は鉛直方向流速、 $'$ は平均値からの偏差、 $\bar{}$ は時間平均を示す。

TKE 法では、以下のように表記される TKE と摩擦速度との関係式を用いる。

$$u_* = \sqrt{\frac{1}{2} C_1 (u'^2 + v'^2 + w'^2)} \quad (2)$$

ここで、 C_1 は数値定数 ($=0.19$)、 v は横断方向流速である。

ID 法においては、摩擦速度は次式により計算される。

$$u_* = (\kappa z \varepsilon)^{1/3} \quad (3)$$

ここで、 κ はカルマン定数 ($=0.408$)、 ε は散逸率、 z は底面からの距離を表し、ADV からの出力値として直接得ることができる。本研究では、観測地点の水深が 54~72 m 程度と比較的深く、全ての周波数スペクトルにおいて表面波の影響は確認されなかったため、スペクトルからの波の影響の除去については特段の操作を加えなかった。

(3) 酸素拡散モデルの概要

酸素濃度の鉛直分布は、界面近傍の拡散方程式と堆積物中での生化学的な反応項を含む鉛直一次元拡散方程式を用いて計算された (Inoue・Nakamura, 2009)。

$$\frac{dC_o(z)}{dt} = \frac{d}{dz} \left\{ (D_0 + D_t(z)) \frac{dC_o(z)}{dz} \right\} \quad (\text{水中}) \quad (4)$$

$$\phi(z) \frac{dC_o(z)}{dt} = \frac{d}{dz} \left\{ \phi(z) D_s(z) \frac{dC_o(z)}{dz} \right\} - r_s(z) \quad (\text{堆積物中}) \quad (5)$$

ここで、 C_o は酸素濃度、 t は時間、 D_0 は酸素の分子拡散係数、 D_t は乱流拡散係数、 ϕ は間隙率、 D_s は堆積物中での酸素の見かけの拡散係数、 r_s は単位体積当たりの堆積物による酸素消費速度を表す。Deissler (1955)によると、水中での拡散係数の鉛直分布は、以下の式で表される。

$$\frac{D_t(z_+)}{\nu} = n^2 z_+^2 \{1 - \exp(-n^2 z_+^2)\} \quad (6)$$

ここで、 ν は動粘性係数、 n は数値定数 ($=0.124$, Deissler, 1955)、 $z_+ (=z u_* / \nu)$ は無次元化された底面からの距離を示す。式(6)に従うと、摩擦速度が拡散係数の鉛直分布を支配する唯一のパラメーターとなる。

3. 結果

(1) 観測結果

摩擦速度の計算結果を概観すると、TKE法により推定さ



写真-1 ADV 観測機材の様子

れた摩擦速度は他の手法から求められた値よりも明らかに大きな値をとっており、 $0.37\sim 1.05\text{ cm s}^{-1}$ の範囲で変動していた。一方、EC法とID法は同程度の値をとり、 $0.11\sim 0.55\text{ cm s}^{-1}$ の範囲で変動していた。これらの値は海岸域で観測された値（ $0.5\sim 1.5\text{ cm s}^{-1}$ ）と比較すると小さい値であり、大陸棚において観測された値（ $0.41\sim 0.48\text{ cm s}^{-1}$ ）と同程度であった（図-1）。

(2) 酸素分布の計算

対応する時刻の流動観測データが有効である、拡散境界層内の酸素濃度測定データ（一例を図-2 に示す）は計100 データ得られた。これら全てのデータセットに対し、酸素濃度の測定値と上記モデルによる計算値について直線回帰した場合の諸量を表-1 に示す。

TKE 法による摩擦速度を用いた計算では、摩擦速度が相対的に大きな値として推算されたため、拡散境界層厚さは小さくなり（ $0.2\sim 0.6\text{ mm}$ ）、他の2手法と比較して大きな酸素濃度の値を示した。これは特に低濃度で顕著であり、回帰直線の傾きは0.51、切片は89.70と

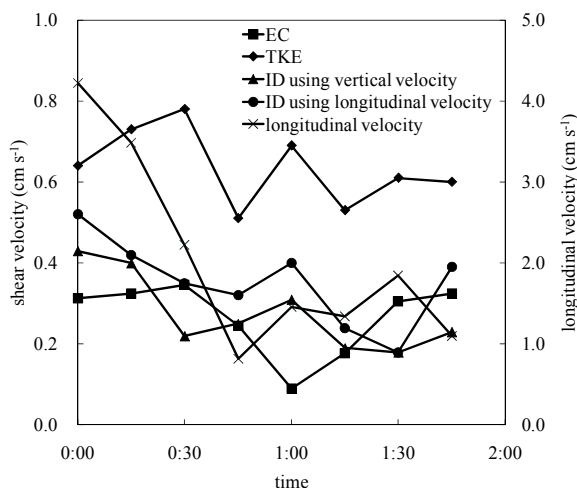


図-1 摩擦速度の計算結果の例

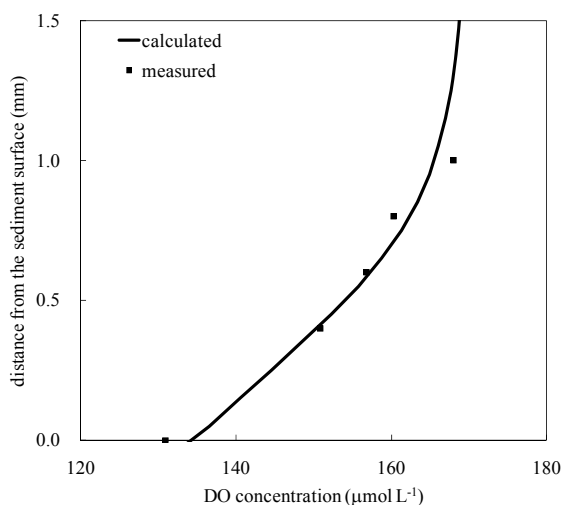


図-2 酸素濃度分布の測定結果およびEC法から推定された摩擦速度を用いた計算結果の例

表-1 酸素濃度の測定値を横軸、計算値を縦軸とした場合の回帰直線に関する諸量(単位を $\mu\text{mol L}^{-1}$ とした場合、 $n=100$)

推定法	傾き	切片	R^2
EC 法	0.92	12.35	0.76
TKE 法	0.51	89.70	0.67
ID 法 (鉛直方向流速)	0.84	26.05	0.68
ID 法 (主流方向流速)	0.74	46.77	0.68

なった。一方で、EC法とID法により推算された摩擦速度を用いた計算では、拡散境界層厚さは $0.4\sim 1.6\text{ mm}$ の範囲で変動しており、平均的には共に同程度の酸素濃度の値を示していた。回帰直線の傾きと切片はそれぞれ、EC法で0.92, 12.35、鉛直方向流速成分を用いたID法で0.84, 26.05、主流方向流速成分を用いたID法で0.74, 46.77となった。測定された酸素濃度に対する計算値の全体としての誤差は、EC法については0.2%、TKE法については9.8%、鉛直方向流速成分を用いたID法については0.7%、主流方向流速成分を用いたID法については4.6%となった。また、測定値と計算値との決定係数は、EC法については $R^2 = 0.76$ 、TKE法については $R^2 = 0.67$ 、ID法については鉛直、主流方向共に $R^2 = 0.68$ となった。

測定値と計算値との回帰直線は理想的には傾き1、切片0であり、誤差や決定係数を考慮すると、本観測条件に対してはEC法が最も適しており、鉛直方向流速を用いたID法が次善の方法であると考えられた。

4. 結論

本研究では、EC法と鉛直方向流速を用いたID法が摩擦速度推定に適した手法であり、この海域においてはTKE法と主流方向流速を用いたID法は避けるべきであることが示された。本研究における結論は、閉鎖的であり比較的穏やかな水域での底面境界層における酸素濃度分布の表現を目的としたものであり、多様な水域や異なる対象に対して広く適用されるものではないことに注意が必要である。

参考文献

- Deissler, R. G. (1955): Analysis of turbulent heat transfer, mass transfer, and friction in smooth tubes at high Prandtl and Schmidt numbers. NACA Report. Cleveland, Lewis Flight Propulsion Lab.: pp. 69-82.
- Glud, R. N., H. Stahl, P. Berg, F. Wenzhöfer, K. Oguri, and H. Kitazato (2009): In situ microscale variation in distribution and consumption of O_2 : A case study from a deep ocean margin sediment (Sagami Bay, Japan), *Limnol. Oceanogr.*, Vol.54, pp. 1-12.
- Inoue, T., R. N. Glud, H. Stahl, and A. Hume (2011): Comparison of three different methods for assessing in situ friction velocity: A case study from Loch Etive, Scotland., *Limnol. Oceanogr.: Methods*, Vol.9, pp. 275-287.
- Inoue, T., and Y. Nakamura (2009): Effects of hydrodynamic conditions on sediment oxygen demand: Experimental study based on three methods, *J. Envir. Eng.*, Vol.135, pp. 1161-1170.

道頓堀川の水質改善に向けた水門操作の再検討

大阪大学大学院工学研究科 今福大智, 中谷祐介, 西田修三

1. はじめに

道頓堀川は大阪都市域を流れる河川であり、都市域に残された貴重な水辺空間である。道頓堀川では水質改善を目的とした様々な施策が行われており、道頓堀川の上流河川である東横堀川上流及び道頓堀川下流に設置された水門における導水・排水もその一つである。現在、この水門操作は水門外側が潮汐の影響を受ける感潮域であることを利用して行われている。具体的には、上流水門外側において満潮時には比較的清浄な大川の河川水が支配的となり、干潮時には下水処理水を多く含む汚濁した寝屋川の河川水で満たされる。この水質変動を利用し、満潮時に上流水門を開放し大川の河川水を導水し、下げ潮時に下流水門を開放し排水を行っている。また、現在のこの水門操作は水門内外において観測されている水位データのみに基づいて行われている。この水門操作を対象とした研究例^{1), 2)}はあるものの、水門を利用した水質改善効果について定量的な評価は未だなされておらず、今後の道頓堀川の水質改善のためにも詳細な検討を行う必要がある。本研究では道頓堀川の上流河川である東横堀川上流に設置された水門内外において現地調査を実施し、上流水門における導水による水質改善効果について検討を行った。

2. 現地調査概要

図1に対象領域を示す。水門内外に地点を設定し、調査を実施した。表1にそれぞれの調査地点で行った調査について示す。採水は自動採水機(A1)と人力(B1, B2)によって行い、連続観測はメモリー式計測器によってA1ではDO、濁度、電気伝導度、水温、流速を、A2では電気伝導度、水位を計測した。採水した試料についてはpH、電気伝導度を測定し、実験室に持ち帰ったあと形態別の栄養塩(窒素、リン、ケイ素)、および有機炭素について分析を行った。

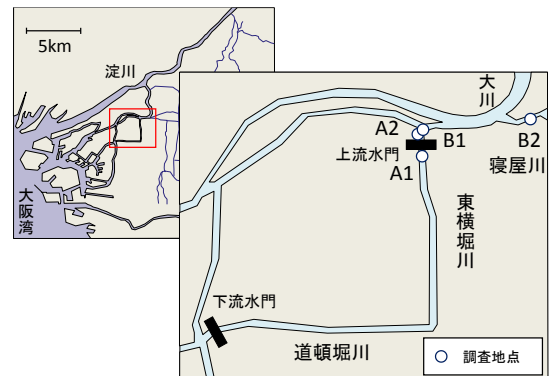


図1 対象領域

番号	調査地点	調査期間	採水	連続観測
①	A1, B1, B2	2013/11/4, 5	○	○
②	A1	2013/11/25~2014/11/30		○
③	A2	2014/8/19~2014/9/11		○

表1 調査一覧

(1) 水門内外の水質変動

図2に調査②から得られた水門内(A1)のDOの年間変動を示す。道頓堀川の上流に位置する東横堀川では夏季を中心にDOが著しく低下しており、水質改善の必要性があるといえる。また、調査①時の大阪港潮位、上流水門内外のTN濃度の経時変化を図3に示す。B1, B2の水質が潮汐に応じて変動していることがわかるが、これは¹⁾で述べたように、

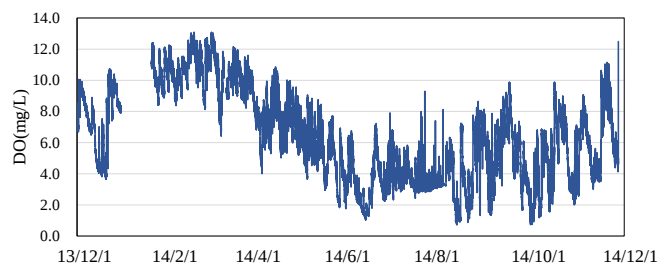


図2 水門内(A1) DOの年間変動

大川の河川水と寝屋川の河川水の混合割合が潮汐に応じて変化していることに起因している。また、本調査時においては上流水門開放時にA1のTN濃度が上昇し水門内よりも相対的にTN濃度の高い水が導水され、水質浄化に失敗していたことが確認された。また、調査①においてB1, B2で採水した試料のTN濃度と電気伝導度の関係を図4に示す。これより、水門外側においてTN濃度と電気伝導度が正の相関関係にあることがわかり、電気伝導度を用いて水門外側の水塊のTN濃度が推定できると考えられる。

(2) 導水水質の現状

図5に調査①の結果から得られたA1の導水前後の電気伝導度、DOの変化の関係を示す。これより、導水後に電気伝導度が低下する場合にDOが上昇し、逆に電気伝導度が上昇するとDOが低下する傾向にあることがわかる。導水後に電気伝導度が低下、DOが上昇した場合を操作として成功、電気伝導度が上昇しDOが低下した場合を操作として失敗していると考え、約一年間で成功していた導水は全体の50%程度であり、失敗していたものは約20%であった。この結果から、現状の導水操作には改善の余地が残されているといえる。また、水門内よりも相対的に電気伝導度の低い水を導水すればDOの高い水を取り入れられる可能性が高いと考えられ、水門内外において電気伝導度をモニタリングすることで、より適切な水門操作を行えることが示唆される。

また、図5の結果を詳細に解析するために、導水時の状況に基づいて分類を行った。その一例として、導水を潮時に分類したものを示す(図6)。ここで、導水状況を低潮(1日2回潮における高い方の低潮)の次に訪れる満潮時、低低潮(1日2回潮における低い方の低潮)の次に訪れる満潮時の二つに分類している。これより、低潮の次に訪れる満潮時よりも、低低潮の次に訪れる満潮時の場合において導水が成功する傾向にあることがわかる。この結果から、導水には電気伝導度の変化だけでなく、潮時について詳細に条件を加えることでより効果的な導水を行えることが期待できる。今後は潮時のほかに導水が成功する条件についてさらに詳細に解析を行うとともに、水門操作の基準となる電気伝導度の値の提案及び操作フローを構築する予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、大阪市建設局の方々には多大なご協力を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 大島詔, 北野雅昭: 水門操作による東横堀川・道頓堀川のさらなる水質改善の可能性について, 第48回日本水環境学会年会講演集, P-A09
- 2) 入江政安, 西田修三: 道頓堀川の水質変動特性と水質管理についての調査解析, 水工学論文集, Vol.51, pp.1129-1134, 2007.

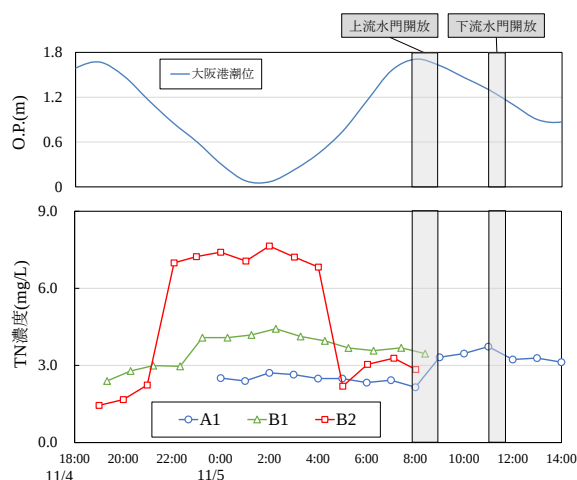


図3 大阪港潮位, 水門内外の水質変動

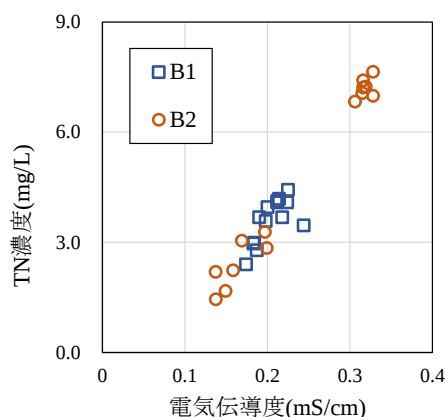


図4 TN濃度と電気伝導度の関係

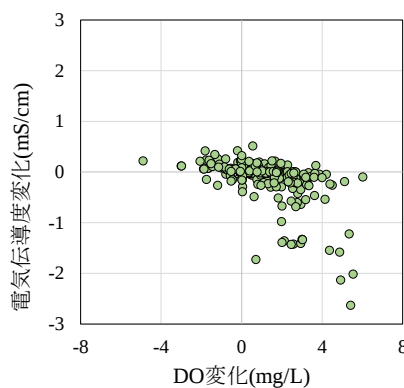


図5 水門操作前後のDO, 電気伝導度の変化

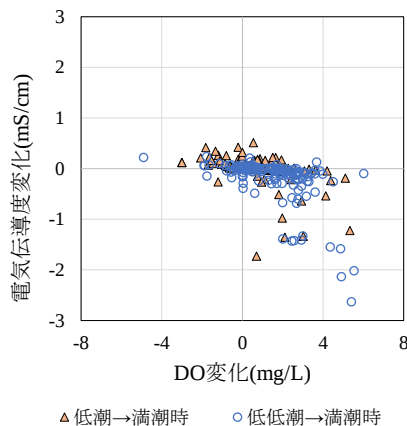


図6 図5の結果の潮時による分類