埼玉大学大学院理工学研究科	正会員 〇	古里 栄	₹—
埼玉大学大学院理工学研究科	学生会員 Tu	laja Guri	ung
環境システム株式会社		鮎川利	□泰
神戸大学大学院	正会員	中山 恵	①
島根大学エスチュアリー研究センター		清家	泰
独立行政法人水資源機構総合技術-	センター	今本 博	詎
独立行政法人水資源機構総合技術	マンター	久納	誠

1.はじめに

ダム貯水池の水質管理において,有害植物プランクトンの増殖制御は重要な問題である.気泡循環対策は,水温成層構造の人為的制御によりアオコ抑制を可能にする有用な対策の一つであるが,この対策の工学的な適用における問題点の一つが,対策の直接的な効果である,水温成層構造の評価手法が確立されていないことである.本発表では,実用性を考慮した,植物プランクトンの生息環境としての混合水深評価手法構築の試みについて述べる.

2.材料と方法

本研究は、沖縄県久米島の山城池(表-1,図-1)に設置した水温水質自動観測装置のデータを用いた.本装置は、水温、DO等の現地機器計測可能な項目を2時間間隔で自動ウィンチによる測定するものである.本研究では、鉛直混合や乱流構造を評価するために1cm毎の鉛直分布を測定できるよう、ウィンチや測定データの処理システムを制御した.また、測定装置・ウィンチが設置された浮体も、波浪による振動を防ぐために、重量および浮力の大きい、港湾で用いる浮き桟橋のフロートを用いた.台風来襲時のビデオ観測により、強風時の波浪条件においても浮体の振動は認められなかったことから、本研究で用いた通常気象条件においては、水深方向1cm間隔のデータは、実際の水温、水質の微細構造を取得していると考えられる.

混合水深の評価方法は、乱流エネルギーとポテン シャルエネルギーを用いた手法によるラグランジェタイ プの湖沼貯水池数値解析モデルも古くから開発され ているが(Imberger 1985), 工学的適用の観点からは, 現地で機器観測可能な指標から簡易に評価できる手 法が有効である. ウェッダーバーン数を用いて, この 数値が1となる条件の等価水深を混合水深として扱う 先行研究も存在するが(Visser et al. 1996), 貯水池現 地データにおける安定成層要求性の強い藍藻類の出 現状況から考えると、この手法ではプランクトンハビタ ットとしての混合状態の評価において問題があること が指摘されている(梅田ら 2006).本指標は混合外力と して風のみを対象としていることも議論が必要な点で あろう.一方,水理学的には問題はあるのは自明であ るものの, 鉛直混合の有無は, 水温や水質パラメータ の水深方向の一様化により判断できるはずであるとい うシンプルな仮定に基づき, 臨界水深(Sverdrup 1953, 古里ら 2017)の基礎概念である混合水深を評価する

表-1 山城池の概要

	項目	数値	単位					
山城池	湛水面積	0.028	km ²					
	流域面積	0.7	km ²					
	堤高	11	m					
	総貯水容量	142,000	m ³					
	越流部標高(満水位)	EL.77.76	m					
	最大水深*1	7.5	m					

*1:満水位と貯水池最深部標高から算定した.



図-2山城池(最深部)の水温(左)および局所水温勾配 (右)の鉛直分布(2017年2月25日午後0時)

試みも行われている. 表層と当該水深の水温やDO等 の値の差分が一定以下の値となる最大水深を混合水 深として評価するものである. そのパラメーターとして は,水温(Tedford et al. 2014, Obata et al. 1996, de Boyer Montegut et al. 2014, Anis & Moum 1994), 密 度(Smith & Jones 2015, de Boyer Montegut et al. 2014, Brainerd and Gregg, 1995), DO(Morales & Kaiser 2012)等の事例がある. 本研究では,上述した時空間 的に詳細な,特に水深方向に 1cm 間隔の水温や DO, EC 等の測定データや水面付近の気象データを活用 して,混合水深の評価を行った.

キーワード マイクロプロファイラー,水温差分,DO差分,微小逆水温成層,臨界水深 連絡先 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL048-858-3561 E-mail:furusato@mail.saitama-u.ac.jp

3.結果と考察

図-2.3に本観測装置の計測例を示す.図-2は、水 温やDOの表層との差分評価にあたって、その原因と しての混合が実際に生じていたかを評価するための 材料の一つとして用いる水温微細鉛直分布と1cm毎 の水温差である. 混合の源である乱流は本来であれ ば流速測定結果から乱れエネルギーの散逸率を評価 する等が必要であるが,いくつかの先行研究 (Batchelor 1959)に従いこうした解析を行った. 図-3は 関連諸量の時系列変化の一例である.これは成層期 初期の3月(沖縄では本土よりも成層開始が早い)のデ ータであるが,混合外力として想定される風や水面冷 却による水温やDOの水深方向の一様化の特性が伺 える.これらより,現地における植物プランクトンの生息 時間スケールにおける混合水深評価を,混合駆動外 力の影響を含めて行った.発表においては現時点に おける結果を用いて、会場との意見交換を行いたい.

4.課題

本報告で用いたデータに基づき,乱流解析と植物 プランクトン生息環境との関係について十分な学術的 背景を構築した上で,気泡循環対策の管理指針のた めの合理的な混合水深評価手法を確立するとともに, これを達成するための適切な気泡循環施設の設計指 針と合わせた包括的工学指針を作成し,社会実装に 繋げる必要がある.

謝辞

本研究の一部は,公益財団法人 河川財団の河川 基金助成事業,公益財団法人 高橋産業経済研究財 団研究助成,独立行政法人水資源機構総合技術セ ンターの受託研究,琉球大学国際沖縄研究所 共同 利用・共同研究事業により行われた.本研究は久米島 町と第一著者との間での研究協定(山城池の水質研 究に関する協定書)に基づいて実施された.ここに記 して謝意を示す.

【参考文献】

- Anis, A. & Moum, J.N. 1994. Prescriptions for heat flux and en-trainment rates in upper ocean during convection. Journal of Physical Oceanography, 24
- Batchelor, G K., 1959: Small-scale variation of convected quantitites like temperature in turbulent fluid. J. Fluid Mech., 5, 113–139.
- Brainerd, K.E. & Gregg, M.C. 1995. Surface mixed and mixing layer depths, Deep Sea Research. 42(9), 1521-1543
- de Boyer Montègut, C., Madec, G., Fischer, A.S., Lazar, A. & Iudicone, D. 2004. Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile based climatology. Jour-nal of Geophysical research, 109.
- 古里栄一・他,新しい臨界水深評価手法としての修正Sverdrup式一 気泡循環の吐出水深設計指針として一, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.73, No. 4, I_985-I_990, 2017.
- 古里栄一・他,強い気泡循環により受熱期に生じる水温成層形態 変化の現地観測と広域流分類区分の提案,土木学会論文集B1 (水工学),Vol.74(投稿中),2018.
- Imberger, J. 1985. The diurnal mixed layer. Limnol. Oceanogr. 30(4), 737-770.
- Morales, K.C. & Kaiser, J. 2012. Using dissolved oxygen concen-trations to determine mixed layer depths in Bellingshausen sea. Ocean Sci., 8, 1-10.
- Obata, A., Ishizarka, J. & Endoh, M. 1996. Global verification of critical depth theory for phytoplankton bloom with climatological in situ temperature and satellite ocean color data. J. Geophys. Res., 101(C9), 20657–20667.
- Smith, W.O. and Jones, R.M. 2015. Vertical mixing, critical depths and phytoplankton growth in the Ross sea. ICES J. Mar. Sci, 72(6), 1952-1960.
- Sverdrup, H. U.: On Conditions for the Vernal Blooming of Phy-toplankton, J. Cons. int. Explor. Mer., Vol. 18, No. 3, 287-295, 1953.
- Tedford, E.W., MacIntyre, S., Miller, S.D. and Czikowsky, M.J. 2014. Similarity Scaling of turbulence in a temperate lake during fall cooling. J. Geophys. Res. Oceans, 119, 4689-4713.
- Visser, P.M., Ketelaars, H.A.M. & van Breemen, L.W.C.A.: Diurnal buoyancy changes of Microcystis in an artificially mixed storage reservoir, Hydrobiologia, 331, 131-141, 1996
- 梅田信・古里栄一・浅枝隆, 富栄養化したダム湖におけるアオコ発 生指標としての水温成層安定性, ダム工学, Vol.16, pp.269-281, 2006



図-3 山城池における気象および水温 DO 鉛直分布の実験期間中における時系列変化(白色部は欠測)

1. はじめに

ダム貯水池における貧酸素化対策の事例として深 層曝気装置や高濃度酸素水供給装置が挙げられるが、 これらの装置による水質改善効果が比較された事例 は少ない。

本報告は、深層曝気装置および高濃度酸素水供給 装置が併設されたAダムにおいて実施された3ヶ年 の試行運用結果を整理し、両装置によるDO改善効果 等をとりまとめた。

なお、Aダムは昭和34年に運用が開始された洪水 調節と発電を目的とした、流域面積460km²、総貯水 量4820万m³の多目的ダムである。Aダムではアオコ の発生が顕著であり、深層曝気装置、高濃度酸素水 供給装置とともに、曝気循環装置が設置・運用され ている。

2. 深層曝気装置・高濃度酸素水供給装置の概要

Aダムでは曝気循環装置の運用によりEL+50m以浅 は好気状態が維持されており、深層曝気装置及び高 濃度酸素水供給装置は EL+50m 以深の D0 改善を目的 に設置されている(表1、図1)。

両装置は平成26年に2週間と2ヶ月間の試行運用 が行われ、平成27~29年は両装置連続運用、深層曝 気優先運用、高濃度優先運用と運用方法を変えて3 ~11月の期間で試行運用が行われている(図2)。

表 1 深層曝気装置、高濃度酸素水供給装置の諸元

装置名	設置数	運用開始	諸元等			
			吸込口	EL44m(水深37m [※])		
深層曝気装置	1基	H26	吐出口	EL48m(水深33m [※])		
			空気量	1.1m ³ /min		
ᇂᇔᇠᇏᆂᆚ			吸込口	EL46.7m(水深34.3m [※])		
局濃度酸素水 供給装置	1基	H26	吐出口	EL47.2m(水深33.8m [※])		
八帕衣臣			水量	80m ³ /hr		
※洪水期制限水位	达時(EL81	m)の水深	(EL+m)			
			60 IN	●高濃度吐出口 ○高濃度吸込口		
	#水制限水	位(FL+81 Om)	55	●深層吐出口 ○深層吸込口		
/ <u> </u>						
	1.1		45			



図 1 装置設置縦断イメージ図

3. 現地調査方法

現地調査は、以下の2つの調査を実施した。

(1) 連続観測

貯水池内 3 地点の底上 0.5m 及び EL+48m (0.05k を 除く) (図 3)にメモリー式 D0 計 (JFE アドバンテッ (株)建設技術研究所 〇森井 裕、守谷 将史

ク RINCO-W)を設置し、4 月中旬~11 月末に1 時間間隔(H27 は2 時間間隔)で水温・D0 を観測した。

(2) 分布観測

堰堤~2.6k(図3)を対象に100~200m間隔で調査 地点を設定し、水温・D0の鉛直分布の観測(1/2水 深~底上0.5mを1m間隔で計測)を4~11月に月1 回の頻度で実施した。

また、これらの調査とともに、定期水質観測(月1 回)においてマンガンやリン等が調査されている。



図 2 試行運用実績



図 3 調査地点図

4. 調査結果

(1) 連続観測結果(D0 時系列変化)

各年とも7月、8月は底層 D0 の低下が顕著である が、両装置をフル運用した平成27年と深層曝気を優 先運用した平成29年は、装置近傍の0.05kはD0が 完全にゼロになっていないが、高濃度を優先運用し た平成28年は0.05kにおいて8~9月中旬にD0がゼ ロとなっている。(図4)

各年の底層DOの変化を概括すると以下のとおりで ある。平成27年(両装置連続運用)は7月、8月を 除く期間で0.05kと0.5kでは概ね4mg/L以上である。 1.0kについても底上0.5mは6~8月にゼロとなる期 間が長いが、両装置の吐出口標高に近いEL+48mは年 間を通じて概ね2mg/L以上となっている。

平成28年(高濃度優先運用)は4~6月に0.05k、 0.5kで10mg/Lを超えるが、7~10月は各地点でゼロ もしくは低濃度であり、EL+48mでも低くなっている。

平成 29 年(深層優先運用)は 0.5k、1.0kの底上 0.5m が 6 月中旬~9 月中旬で概ねゼロとなるが、 EL+48m は全期間を通じて概ね 2mg/L 以上である。





各年の 5~9 月の下層部(EL+55m以下)の D0 縦断 分布を図 5 に示す。平成 27 年(両装置連続運用)は 7 月、8 月に 2mg/L 未満の範囲が広くなるがその他は 概ね 2mg/L 以上が 1.9k 付近にあるマウンド部分に到 達している。

平成 28 年(高濃度優先運用)は5 月に全域で 2mg/L 以上となるが6 月は装置による D0 改善範囲が1.4k までであり、それより上流は 2mg/L 未満となってい る。一方、9 月は EL+48m 付近で0.5k 付近まで 5mg/L 以上であり、夏季でも高い D0 改善効果がある。

平成 29 年(深層優先運用)は、6月以降、底層で 2mg/L 未満となるが、EL+48m 付近は8月まで2mg/L 以上で 5月、0k付近まで 2mg/L 以上が確認できる。 5月、0k

(3) 底層水質

Aダムで月1回実施されてい る定期水質調査による堰堤近傍 の底上1mのD0、T-P、T-Mnの経 年変化を図6に示す。

平成26年以前は、6~11月に D0が概ね1mg/L未満となってい7月 るが、平成27年以降は概ね 2mg/L以上で推移している。 "

T-P、T-Mn は、平成 28 年 8 月、 9 月以外は平成 26 年以前の同時 期より低くなっている。連続観 測や分布観測では、両装置運用 後も底上 0.5m の D0 が 2mg/L 未 満となっているが、T-P、T-Mn 9月 は低濃度となっており、溶出負 荷削減効果があると考えられる。



5. 装置運用効果のまとめ

試行運用結果をまとめると以下のとおりである。

- ・深層曝気優先運用の方が高濃度優先運用より広範 囲に DO を改善する効果があり、A ダムでは堰堤~ 1.8k で DO 改善効果があることが確認された。
- ・高濃度優先運用では、堰堤~1.4kでD0改善効果が 確認された。
- ・高濃度優先運用は、酸素消費が顕著な 8~9 月においても D0 改善効果があり、堰堤~0.5k で 5mg/L 以上の D0 改善効果が確認された。
- ・高濃度優先運用時の夏季に T-Pや T-Mn が高くなるが、その他の期間は装置運用前の冬季と同レベルであり、底泥からの栄養塩類やマンガンの溶出抑制効果がある。



1. はじめに

ダム貯水池は、水資源として重要なものであるため、貯水池内の水質管理は必要である。これに対して、近年顕 在化してきたと考えられている温暖化の影響により、過剰に増殖した植物プランクトンや、豪雨で生じた微細土砂 粒子が、水道水の浄水過程に影響を及ぼす事象も多発している.すなわち、植物プランクトンによる水道水の異臭 味や、極度な濁りが、水道供給の停止を招くこともある.このようなことから、水中の微細懸濁粒子は、水域の水 環境管理上、重要なものであるが、特に密度成層した湖水中での挙動に関しては必ずしも十分に解明されたとは言 えない.本研究では、濁水の問題が懸念されている胆沢ダムにおいて、水温成層時の湖水流動の観点から、この問 題ついて取り組んだ.

2. 対象地と方法

本研究では、一級河川・北上川水系胆沢川に建設された胆沢ダム貯水池(奥州湖)を対象とした.胆沢ダムは、従

来供用されていた石淵ダムの再開発として、その約 2km 下流に建 設され、2013 年に竣工した大規模なダムであり、流域面積 180.5 km²,総貯水容量 1.43×10⁸ m³の貯水池を有する.図-1 に胆沢ダム貯 水池の平面形状を示す.このような貯水池諸元のため、湖水の年 平均回転率は、約 3 回と小さい.そのため、夏季には水温成層が形 成される.以前の比較的回転率が高かった石淵ダム(約年 27 回)か ら、このように低い湖水回転率の貯水池へと再開発された経緯も あり、洪水流入後の貯水池内における濁水の滞留と濁水放流の長 期化について懸念される面があり、貯水池内での濁水挙動につい ての検討が必要とされている.

時空間的により細かな流速の変動を計測するため、本研究では超音波ドップラー式 3 次元精密流速計 VECTOR (Nortek 社製)を用いた.この流速計では、センサー近傍で サンプル範囲が約 0.9cm3 から 3.5cm³程度での流速を測定 している.サンプリングレートは 1~64Hz の計測が可能な ものである.測定精度は、測定値の ±0.5% または ±1.0×10⁻³ m/s である.

この流速計(全長 0.82m,水中重量約 0.5 kg)を,水中で の測定時に姿勢を安定させ,また動揺を出来る限り小さく するために,図 -3 に示すような仕掛けを用いて設置した. 流速計は,小型のブイ等を用いて流速計を含めた水中重量 が概ねゼロになるように調整した架台に取り付けた.これ を浮力約 10 kgf の水中ブイ,および湖底上に設置した水中

重量約 25 kg の重りを用いて, 計測深度で固定した.なお, ブイや架台をつないでいるロープは, ロープの移動方向 を一方向に固定できるようセルフジャミングプーリーに通している.さらに流速測定中は,図-2に破線で示した 部分のロープには, 張力が掛からないようにし,水中ブイの浮力によって流速計の位置と姿勢が維持できる仕組み

キーワード 貯水池,水温成層,流速分布

連絡先 980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-6 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻



図 –1 胆沢ダム貯水池平面図



図-2 流速計の設置,係留方法の模式図

とした.また,深度を下げる際には,図中左側のロープを船上か ら引き上げて,任意の深度で停止させる.このようにして,表層 から底層までを水深別に計測した.

観測は2016年9月12日に行った.測定深度は,水温躍層の状況を考慮して水深を設定した.例えば,秋季の胆沢ダムでは水温躍層が水深20m前後に生じていたので,水深5mから30m程度の範囲で測定を行い,特に水温躍層の上下付近では水深1m程度の間隔で計測を試みた.ただし,流速計を係留したロープの長さなどに誤差があり,実際の計測水深は設定水深と一致しないため,流速計に内蔵されている圧力計から求めた水深を測定水深とした.各水深での計測は,サンプリング周波数16Hzで約10分間ずつ行った.

3. 結果

図 -3 は各水深の流速について、平均値および標準偏差を方向 成分別に示したものである.生データにおいて、流速計自体が 揺動した動きを捉えたデータと見られる箇所もあった.このよ うなデータについては除去して整理する必要がある.しかしな がら、本論文の計測で得られているデータからは、客観的に除去 する方法を構築することができなかったため、時系列グラフの 目視により概ね安定していると判断したデータを抽出し、平均 および標準偏差の導出に用いた.また、本研究で使用した流速 計は、本来乱流強度等の算出も可能であるが、このような事情か ら、測定データの不確実性についての評価が十分できず、また整



(上段:水平方向成分,下段:鉛直方向成分)

理対象とすることができたデータが細切れのような状態ともなってしまったことから, 簡易的な評価として, 測定 値の標準偏差を算出した.

また,図-3上段において水深5mの東西流速が飛び抜けて大きな値が出ている.これは水温分布において5m付近 に段差のように水温変化が生じているため,水深5m以浅ではダムからの取水や弱いながらも湖面風の影響が見ら れたものと考えられる.それより下層については,表水層の水深20m以浅でやや大きな値が出ているが,深水層と 比較して大きな差があるというほどではない.標準偏差(水平方向成分)については,水温躍層にあたる水深20m から22mで流速変動が小さくなっていることが見られる.これは,密度成層の効果により運動が抑制されている状 況が現れた可能性があると考えられる.

一方で鉛直方向成分については、平均流速が水平方向成分に比較して桁違いで小さい.このような平均流速の差 に対して、標準偏差は、水平方向の半分程度と比較的大きな流速変動が、鉛直方向に対しても生じていることが分 かる.このような大きな流速変動が、懸濁粒子を長期間に渡る浮遊状態を維持している機構であると考えられる.

4. まとめ

本稿では、2016年の ADV による測定の結果のみを示したが、発表時には、これ以外の観測結果も含めて貯水池内の流動環境を議論したいと考えている。

参考文献

水田直樹,梅田信,小堀文裕:水温成層したダム貯水池における流速分布と懸濁粒子に関する現地観測,土木学会論 文集 G (環境), vol.73(5), pp. I_315-I_321, 2017. 中電技術コンサルタント㈱ 〇松尾克美、山原康嗣

1. はじめに

ダム・貯水池の富栄養化現象は、表層のアオコ発生と底層の貧酸素化とに大別される。

アオコ問題は、依然としてダム貯水池水質管理の主題であるが、その対象は景観障害からカビ臭問題へと主体が変化しており、従来の曝気循環対策の有効性が問われている。また、底層の貧酸素化・金属溶出に伴う着 色等の対策は、近年、高濃度酸素供給装置(WEP)の実績が拡大したものの、WEPを含めた深層曝気設備の計 画・運用最適化が課題となっている。

一方、湖沼の水質管理では、汽水域における塩分・躍層制御や覆砂等整備事業に当たり、実用的な予測解析 モデル構築による効果検証が推進の鍵となる。ここでは、これらの現状と課題を踏まえて、研究ニーズ・シー ズテーマに繋がる可能性を提示することを主旨として、現場の具体ニーズと実務対応上の現状と課題について 発表します。

2. 深層曝気対策設備(Fe,Mn 対策)の課題 ① 2 次躍層周辺の貧酸素層残存現象

深層曝気装置を稼働しても 2 次躍層周辺に 貧酸素層が残存する問題がある。2 次躍層レベ ルでの湖底からの金属溶出等が無視できない 場合には、深層曝気装置の運用の工夫等により 解決を図る必要がある。(図 2.1 参照)

高濃度酸素供給装置(WEP)効果を如何
 に底層全体に及ぼすか

WEP の改善効果は吐出層レベルに留まることから、底層全体に効果を及ぼすためには、適切な上下移動による運用が必要となる。

③ DO 濃度とマンガン酸化効果の関係

マンガン酸化現象は、純粋な酸化還元反応の みで決まるわけではなく、マンガン酸化細菌が 関与する生物現象とされている。同細菌の活性 は D0 との関係が指摘されており、D0 との関係 把握とこれを深層曝気の計画・運用に反映させ ることが課題と考えられる。(図 2.2 参照)

④ 底層内での適正な流動と改善効果について

WEP が底層内の流動を生じない一方、従来型 の深層曝気装置は吐出水量が大きく吸込層と 吐出層にレベル差があるため、底層内に流動が 生じ、これが底層全体に効果を及ぼす要因にな っている可能性が考えられる。両装置の特性把 握に基づく設備計画手法の整理が必要と考え られる。(図 2.3 参照)



図 2.1 2 次躍層周辺の貧酸素層残存現象 (A ダム実測事例、B ダム解析事例)(出典:CEC 内部資料)



図 2.2 底泥の Fe、Mn 溶出速度試験結果 (Fe は DO0mg/l で溶出、Mn は DO0~4mg/l で溶出)(出典:CEC 内部資料)



図 2.3 深層曝気による底層流動の比較 (Cダム解析事例、エアリフト方式では底層全体が流動)(出典:CEC内部資料)

3. アオコ対策設備の技術動向、課題

①カビ臭問題の拡大と曝気循環装置レビュー

アオコ対策として普及してきた曝気循環装 置は、カビ臭原因種の抑制効果がみられない場 合がある。(図 3.1 参照)

② プロペラ循環装置の実績拡大

③ プロペラ循環装置のメカニズム解明と解 析モデル化

主なメカニズムとされている深層へのアオ コ移送による加圧不活性化効果を解明し、解析 モデルに組み込む必要がある。

プロペラ式湖水浄化装置応用技術研究会に おいて、実証試験、メカニズム解明試験、解析 モデル化と設置・運用マニュアル作成が進めら れている。(図 3.2 参照)

④ 浅水域でのアオコ対策手法の開発

アオコ発生源や集積エリアは、ダム流入端付 近等の浅水域に該当する場合が多く、浅水域で のアオコ対策手法の開発が課題と考えられる。 プロペラ循環装置の平面的活用により浅水域 でアオコを吸引し、深層に移送する手法等が考 えられる。(図 3.2 参照)

4. 汽水性湖沼の塩分・水質解析

汽水性湖沼では、対象水域毎に実用的な解 析モデルを確立し、塩分濃度制御手法の検 証・運用最適化検討、環境整備事業の効果検 証等に活用することが期待される。

① 植物プランクトンの解析モデル上の扱い

汽水域においては、植物プランクトンは淡水 性〜海水性までを評価対象とする必要がある。

汽水湖の事例では、植物プランクトンを水温 適合性で高温藻類、中温藻類、低温藻類に分け るとともに、塩分適合性でそれぞれ淡水性、海 水性に分類し評価している。(図4.1参照)

② 底質モデルの追加

浚渫や覆砂効果を評価する場合、溶出速度や 底泥酸素消費速度の低減率を境界条件として 与える手法が一般的と考えられるが、その効果 は恒久的なものとは言えない。水中→底泥、底 泥内、底泥→水中再回帰の物質循環を底質モデ ルとして追加することで、実現象に沿った評価 が可能になると考えられる。(図4.1参照)



※出典:「曝気循環によるアオコ・カビ臭抑制の効果検証 -9ダム貯水池の実証 実験結果から-、今本・田作(水資源機構)・古里、ダム工学23(4)、2013」



図 3.2 プロペラ循環装置の概念図、流動モデル



プロペラ式循環装置
 メッシュの界面





河川のマイクロプラスチック研究をしませんか

二瓶 泰雄¹·片岡 智哉²

¹東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641) E-mail:nihei@rs.noda.tus.ac.jp

> ²東京理科大学助教 理工学部土木工学科(同上) E-mail: tkata@rs.tus.ac.jp

1. 序論

プラスチック製品は、日常生活にあふれ、プラスチッ クを使ったことがないという人はいないだろう.プラス ティックの長所は「軽い、壊れにくい(破れにくい)、 水に強い」ということである.このようなプラスティッ クの長所は、プラスチックが環境中に放出されると、

「沈まずに遠くまで運ばれる,自然分解されず残留しや すい」という短所になり代わる.そのため,環境問題の 側面に立つと,プラスチックは非常に厄介な物質といえ る.特に,プラスティックが微細化したマイクロプラス ティック(microplastics,以下単に MPと記述)は海洋に 流れ出ると,回収は事実上困難である.この MP は 0.3mm~5mm のプラスチック片と定義されている.その ため,海に流出する前に,河川や陸域での MP 発生・流 出抑制策を講じることが必要となる.

プラスティックを始めとしたゴミの問題認識は、かな り前から指摘されている。特に、海岸の漂着ごみや海洋 の漂流ごみなどの「海ごみ」は、世界的な環境問題とし て認識されている。2015年のG7・エルマウ・サミット 首脳宣言でも取り上げられた。陸上にて投棄されたゴミ は、主には降雨により河川、海へと流出する可能性は十 分考えられるが、「町のポイ捨てゴミが最終的に海ごみ になる」という認識を持つ一般市民の半分に過ぎない。

これらの課題を解決するため、科学者サイドとしては、 陸域〜河川〜海域に及ぶ MP の動態を明らかにする調査 研究の実施が必要となる.本報では、河川水中におけ る MP の汚染状況に関する現地調査を行った結果を紹介 する.なお、MP 汚染状況に関しては、海洋では多くの 調査がなされているが、河川で限定的であり、市街地を 含む陸上では皆無である.そのため、このグローバルな 環境課題に関して、国内の環境水理学を専門とする研究 者がもっと関わるべきであると感じる

2. 想定される陸域~河川~海域の MP 動態

想定される流域圏(陸域~河川~海域)の MP 動態を,



図1の模式図を用いて説明する. MP は、マイクロサイ ズで製造された一次的 MP (primary microplastics) と大き なサイズで製造されたプラスティックが細分化されてマ イクロサイズになった二次的 MP (secondary microplastics) から構成される.一次的 MP には,洗顔料や化粧品,工 業用研磨材などに使用される小さなビーズ(マイクロビ ーズ)やプラスティック製品の原料となる直径数mmの円 筒型・円盤型のプラスティック小粒(レジンペレット) が挙げられる. また,二次的 MP は,何らかの形で流 出・投棄された大きなプラスティックが太陽光の紫外線 や熱、波や流れの物理的作用により徐々に劣化・崩壊し て、5 mm以下の小さな細片状になったものである。一次 的 MP は、陸域における排水(主に生活排水や工業排水) から直接河川に排出されるか、もしくは下水処理過程を 経由して排出される.また、二次的 MP としては、陸域 や河川,海岸におけるプラスティックごみ(それぞれ陸 ごみ、川ゴミ、海ごみと称す)が、各々の場所でプラス ティックが細分化される. 陸域の二次的 MP は主には降 水と共に河川や海域へ流出すると考えられる.また,生 活・工業・畜産排水等の中に含まれる二次的 MP も同様 に河川に流出する.河川に堆積する MP も河川水に流さ れて海に流出しており、特に洪水時に大量の MP が運ば れる可能性が高い.また、海岸の二次的 MP は高波浪時 に海域に流出する. このように、MPの問題は、典型的

な流域圏における環境水理学的課題と言える.

3. 河川水中の MP 汚染状況

観測方法や分析方法については省略する.以下,主な 結果のみ記述する.

(1)MP 数密度マップ

23 河川 26 地点の河川水中における MP 数密度の空間 マップを図2に示す.これより,河川水における MP 数 密度は,最大 5.5 個/m³,最小 0.017 個/m³,平均値 0.63 個 /m³,中央値 0.22 個/m³となった.千葉県大堀川において も MP 数密度は 2.5 個/m³と高い値を記録した.大堀川は 市街化率が 80%程度であり,富栄養化が著しい手賀沼 に流入する主要河川である.そのため,流域・河川環境 と MP 汚染の関係性がある可能性が示唆された.また, 全観測地点において MP は発見された.一方,日本近海 における MP 数密度に関しては,平均値 3.74 個/m³,中央 値 0.74 個/m³ であり,それぞれ河川の 5.9 倍,34 倍であ る.このように,日本周辺における海洋の MP 数密度は 河川の値よりも大きくなっている.

(2) 河川水質データ・流域情報との関連性

観測された河川水中の MP 汚染状況の要因や発生源を 解明するための第一歩として、MP 数密度と河川環境や 流域情報と比較・検討する. MP 数密度と流域情報を比 べ、最も相関性の高かった人口密度と市街率に関する相 関図を図3に示す.ここでは、災害影響のあった白川 のデータは除外して図示している.また、図中には、近 似直線とその相関係数rも表示している.これより、人 口密度や市街地の増加と共に、MP 数密度も増加してい る. また,相関係数rは人口密度では0.51,市街地率で は 0.69 となっており、一定の相関関係が確認される. このように、河川流域において人口密度が高いと、プラ スティック消費量も多くなり,結果として,流域におけ るプラスティック排出量やポイ捨てゴミの増加, MPの 増加につながり、最終的に河川水中の MP 汚染が進行し やすいものと考える. これらの結果は、人間活動と河川 の MP 汚染とを関連付けるものであり、MP の海洋への流 入を抑制するための陸域・河川対策を進める必要性を示 すデータと言える、なお、各河川における観測地点数は、 多くの場合一つである. ここで得られた各河川の結果の 代表性については精査する必要があり、今後の課題とす る.

謝辞:東京理科大学理工学部土木工学科水理研究室・工 藤功貴氏を始めとした学生の皆様には、大変な観測・分 析・データ整理作業を実施して頂いた.ここに深く感謝 の意を表する.







京都大学防災研究所 竹林洋史

1. はじめに 河床面以下の土砂の物理・力学特性は,河道内の動植物の生息場の物理特性を評価する上で重要な パラメータとなる.例えば,粗い粒径ばかりが集まって大きな間隙が形成されると,アユモドキなどは,越冬地 や洪水中の隠れ場所として利用したりするが,粒度分布幅が広くて粗礫の間に細粒土砂が詰まると,アユモドキ は利用しなくなる.このように,河床面以下の土砂の物理・力学特性は,ハビタットの評価として非常に重要な 要素となるが,河床面以下の地盤の間隙率や河床の強度などの河床地盤の土砂の物理・力学特性についてほとん ど扱われていない.本発表では,イタリア・タリアメント川中流域と京都府・木津川下流域に形成された砂州を 対象として,平水時に水面から露出している領域における地盤の堅さ,間隙率,粒度分布等の空間分布特性につ いて,現地調査及び数値解析によって明らかにするとともに,間隙率の時空間的な変化が河川地形の不安定性に 与える影響について考察する.

2. 調査河川の概要 タリアメント川は、イタリア北東部をアルプス山脈からアドリア海へ南北方向に流れる流域 面積約 2580km²の河川である.下流域は蛇行流路であるが、調査対象地が含まれる中上流域は網状流路である. 河床材料は砂礫で構成されており、粘着性土は非常に少ない.タリアメント川流域は、ヨーロッパの中でも最も 人的インパクトが少ないと言われている.木津川は、鈴鹿、布引山脈に源を発し、上野盆地において西へ流れ、さ らに名張川を合流して笠置渓谷に至り、加茂から4kmほど下流において山付区間から沖積地河川の性状へ変わり、 枚方市において宇治川および桂川と合流して淀川となる.木津川の流域面積は、約 1650km² である.

3. 調査方法 現地調査は、河床表層と下層の間隙率及び粒度分布の測定と河床表面から約 1m までの深さの河床 強度を測定した.河床強度の測定は、長谷川式の簡易貫入試験機を用いて貫入量を求めた.長谷川式簡易貫入試 験機は、2kg の落錘を 50cm 落下させることにより、土壌表面より深さ 1m までの土壌の硬さを、半連続的に知る ことができる小型貫入試験機である.

4. 調査結果 図1にタリアメント川の砂州で測定された河床強度の鉛直分布を示す. 貫入量は河床表層付近で大きく, 深くなると小さくなることがわかる. さらに, 水際付近では貫入量が大きく, 水際から離れた植生域では





貫入量が小さいことがわかる.このような傾向は,木津川 の砂州においても確認された.図2は,間隙率と貫入量の 関係を示す.図に示すように,間隙率と貫入値との間には 線形的な関係が見られ,間隙率が大きいと貫入値が大きく なることがわかる.これらの結果から,河床内の間隙率は 0.17~0.38まで空間的に大きく変化していることがわかる. 図3は粒度分布の標準偏差と間隙率との関係を示す.図中 に示す解析値は,藤田ら¹⁾による粒子パッキングモデルに よる結果であり,粒度分布が正規分布である場合の各標準 偏差に対する最小の間隙率を示す.これによると,粒度が 広くなると,同一の標準偏差での間隙率の値の幅が大きく



なる.これは, 攪乱を受けてからあまり時間が経過していない場と堆積してから時間が経過して大きな間隙への 細粒土砂の堆積や圧密などによって間隙率が小さくなっている場が存在するためと考えられる.

5. 数値解析の概要 間隙率の時空間的な変化が河川地形に与える影響を調べるため,直線河道に形成される砂州 を対象として河床変動解析を行った.解析に用いた基礎方程式は,平面二次元の河床変動解析によるものである ^{a)}. 粒度の計算は,LocL.X.・EgashiraS.・Takebayashi H.³⁾による掃流砂層モデルを用いた.また,河道内の間隙率 は,堆積したばかりの土砂は高い間隙率を有し,圧密や間隙への細粒土砂の流入などにより時間とともに間隙率 が低下していく.そのため,土砂は間隙率0.4 で堆積し,時間の経過とともに線形的に最密状態まで低下していく と仮定した.網状流路の河床変動特性と間隙率の時間変化の関係を調べるため,間隙率が最密状態まで低下して 行く時間 Ta を変化させて解析を行った.解析区間は15km,水路幅は200mとし,初期河床はほぼ平坦とし,粒径 の1/100程度のスケールの微少な凹凸を河床全体に与えている.水と土砂は上流端から定常的に与え,給砂量は平 衡流砂量の値を与えた.河床勾配は0.032,幅・水深比は72,無次元掃流力は0.28 である.河床材料は,平均粒 径1.2cm,粒度分布の標準偏差3.2 の混合砂である.

6. 解析結果 図4は動的平衡状態に達したときの河床位と間隙率のコンター図である. 図より,間隙率を0.4 の 一定値とした Case5 に比べて, Case1 と Case3 では砂州の波高が小さくなることがわかる. これは,流砂量の空間 変化率が同じでも間隙率が小さくなると河床変動量が小さくなるためである. さらに,間隙率を0.4 の一定値にし た Case5 では周期性の高い交互砂州が形成されているが, Case1 と Case3 では波高や波長が空間的に変化しており, 砂州形状の不規則性が強くなっていることがわかる. Case3 では, Case1 に比べて河床の間隙率の値が大きいにも 関わらず, Case1 よりも波高は小さい砂州が存在する. これは,本解析では間隙率を時間的に変化する関数として 扱っているため,空隙率と河床位,さらには粒度(平均粒径)の各時間変化スケールが近くなるとお互いに干渉 して波高の増加及び減少を発生させると考えられる

砂防堰堤堆積土砂の排砂が下流河川の水質、河道地形及び生態系に与える影響の評価

厳島 怜¹⁾・大槻順朗²⁾・佐藤辰郎¹⁾・田中亘¹⁾・鹿野雄一¹⁾
 1)九州大学,2)国立研究開発法人土木研究所

1. はじめに

近年,流砂系の健全化を目的とした土砂バイパスや透過型砂防堰堤などの横断構造物の改良,置土,ダム撤 去等の土砂の河川への再導入が国内外で実施され,影響評価に関する科学的な知見が得られてきている.土砂 還元による影響評価研究は進展してきているがその多くは事業やモニタリングが経済的に可能な大きな河川 を事例としたものである.しかし,河川の規模が大きくなれば,イベントの影響を抽出することや流砂系の視 点に立った一貫した評価が難しくなるのが一般的である.それに対し,中小河川は流程が短いためそれが比較 的容易であるが,小堤の撤去などの土砂還元施策の評価事例は散見されるものの,水系一貫の評価や土砂以外 の生物生息場等の多面的な評価に至っているものはそれほど多くない.著者らは,土砂還元事業の流砂系一貫 評価を最終的な目標に据え,中小河川(福岡県加茂川)で行われた砂防堰堤の排水ゲート開放による土砂還元 を対象に,土砂・水質・水生生物・植物の多面的な観点から評価するためのモニタリングを実施している.本 報告は,それらのうち,堰堤からの排砂と河道への堆積プロセス及び生物相の変化について基礎的情報を取り まとめたものである.

2. 対象河川の概要

福岡県糸島市二丈町を流れる加茂川を研究対象とする.加茂川は流域面積7km²,流路長6kmの中小河川で ある(図-1).河口から2kmほどは礫段・礫列が卓越し、勾配1/15程度である.2kmより上流は河床勾配が 約1/5となり、step-poolとともに落差10mを超える滝も現れる急勾配区間となる.本研究の対象となる砂防堰 堤である真名子ダムはこの急勾配区間の上流端にあり、そのさらに上流部は勾配が1/100程度の盆地状の地形 である.真名子ダムは1981年に建設された堤高9mの砂防ダムである.堰堤の建設により水田であった上流 部に湛水域が生じ土砂堆積が始まった.真名子ダムは砂防ダムであるが、利水に用いることも想定していたた め越流部の下部に排水口(図-2,大きさ:1m×1m)が設置されており、砂防堰堤としては特殊な構造になっ ている.この排水口は29年前にゲートが壊れたことで常時閉鎖していたが、平水時の濁りや河床低下などの 環境の改善を望む地域住民の働きかけにより、ゲートが開放されることが決定した.堰堤上流部の湛水部の水 抜きの後、2017/3/14にゲートが開放された.湛水区間の土砂堆積域に澪筋が形成され堆積土砂が流出すると ともに、ダム上流で発生した土砂がダム下流に流下できるようになった.



図-1 調査河川位置図

図-2 堰堤放水口から排出される濁水

3. 研究の内容

堰堤排砂の影響として本稿では、堆積部の地形変化、底生動物のモニタリング結果の概要を記載する.

(1) 堰堤堆積部の地形変化及び出水時の水質挙動

排水ゲート開放による堰堤堆砂部の侵食・排砂プロセスについて、図-3 に堆積部の縦断図を示す.縦横断 測量及びUAVによる空撮をゲート開放後4回(2017円6月,7月,11月,2018年3月)実施しているが、7 月以降の縦横断図に大きな変化がみられないため、2017年7月の観測データまでを図示する.ゲートの開放 前後と第一洪水前後において,堆積域が大きく侵食しており、その後の7月の出水前後では大きな変化が見ら れない.詳細に見ていくと、侵食地形の縦断形は一様の勾配にならずに階段状に侵食地形が形成されている. 堆積域の土砂は侵食に抵抗する粘性土(概ね~0.1mm)に容易に流出する砂質土(0.1mm~)が薄く堆積した 互層となっており、砂質部分が弱部となり侵食する過程で粘性土部分が塊状となって崩れている様子が現場で 観察された.これを反映して階段状の侵食地形が形成されたと考えられる.縦断方向の地形変化を見ると、一 定勾配には至っていないものの出水期前後の変化は少なく安定化している.段差部分では湛水前にあった竹な どの植物の根などが露出しており、根茎によって侵食に強く抵抗している様子が見られた.

(2) 底生動物のモニタリング

底生動物は、対象とした8地点、春季、夏季、秋季、冬季の4回の調査で、3門5綱15目53科134種3,751 個体を採捕した. 表-1に各地点の優占3位までの分類群とそれらの生活型(底生動物の形態や生活の仕方に よる分類)を示した. 下流側の調査地点である St.1 及び St.2 では、春季及び夏季では造網型のコガタシマト ビケラ属及びウルマーシマトビケラが優占していたが、秋季及び冬季では遊泳型や匍匐型の種が優占していた. ウルマーシマトビケラの幼虫期である秋季から冬季にかけて出現個体数が減少していることや、河川内で一年 中観察されるコガタシマトビケラ属が秋季及び冬季に観察されなくなっていることから、土砂還元により造網 型の種が減少したものと考えられる.



図-3 堰堤湛水部における縦断図(平面図中の破線は縦断線を示す)

調査	順位春		春夏			秋	冬		
地点		taxon	生活型	taxon	生活型	taxon	生活型	taxon	生活型
	1	コガタシマトビケラ属	造網	ツリミミズ目	掘潜	シロハラコカゲロウ	遊泳	シロハラコカゲロウ	遊泳
St.1	2	ウルマーシマトビケラ	造網	コガタシマトビケラ属	造網	ウスイロフトヒゲコカゲロウ	遊泳	オオマダラカゲロウ	匍匐
	3	シロハラコカゲロウ	遊泳	サトコガタシマトビケラ	造網	エリユスリカ属	掘潜	オオクママダラカゲロウ	匍匐
	1	コガタシマトビケラ属	造網	ツリミミズ目	掘潜	シロハラコカゲロウ	遊泳	シロハラコカゲロウ	遊泳
St.2	2	シロハラコカゲロウ	遊泳	サトコガタシマトピケラ	造網	コガタシマトビケラ属	造網	オオクママダラカゲロウ	匍匐
	3	ウルマーシマトビケラ	造網	コガタシマトビケラ属	造網	ウスイロフトヒゲコカゲロウ	遊泳	オオマダラカゲロウ	匍匐
	1	ヒゲナガガガンボ属	掘潜	サトコガタシマトビケラ	造網	ウスイロフトヒゲコカゲロウ	遊泳	シロハラコカゲロウ	遊泳
St.3	2	ユスリカ属	掘潜	ダビドサナエ属	掘潜	シロハラコカゲロウ	遊泳	オオマダラカゲロウ	匍匐
	3	ヒゲユスリカ属	掘潜	フタスジモンカゲロウ	掘潜	ダビドサナエ属	掘潜	オオクママダラカゲロウ	匍匐
	1	シロハラコカゲロウ	遊泳	ウスイロフトヒゲコカゲロウ	遊泳	シロハラコカゲロウ	遊泳	オオクママダラカゲロウ	匍匐
St.4	2	ユスリカ属	掘潜	マダラカゲロウ属	匍匐	オオクママダラカゲロウ	匍匐	ナミヒラタカゲロウ	匍匐
	3	マダラカゲロウ属	匍匐	アシマダラブユ属	固着	アシマダラブユ属	固着	オオマダラカゲロウ	匍匐
	1	ヒゲナガガガンボ属	掘潜	シロハラコカゲロウ	遊泳	シロハラコカゲロウ	遊泳	シロハラコカゲロウ	遊泳
St.5	2	オオヤマシマトビケラ	造網	ダビドサナエ属	掘潜	ウスイロフトヒゲコカゲロウ	遊泳	フタバコカゲロウ	遊泳
	3	マダラカゲロウ属	匍匐	シマトビケラ属	造網	フタスジモンカゲロウ	掘潜	オオクママダラカゲロウ	匍匐
	1	フタスジモンカゲロウ	掘潜	オオヤマシマトビケラ	造網	シロハラコカゲロウ	遊泳	オオクママダラカゲロウ	匍匐
St.6	2	ウスイロフトヒゲコカゲロウ	遊泳	ウスイロフトヒゲコカゲロウ	遊泳	オオクママダラカゲロウ	匍匐	シロハラコカゲロウ	遊泳
	3	シロハラコカゲロウ	遊泳	シロハラコカゲロウ	遊泳	フタスジモンカゲロウ	掘潜	ナミヒラタカゲロウ	匍匐
	1	フタスジモンカゲロウ	掘潜	ダビドサナエ属	掘潜	オオクママダラカゲロウ	匍匐	オオクママダラカゲロウ	匍匐
St.7	2	コヤマトンボ	掘潜	シロハラコカゲロウ	遊泳	シロハラコカゲロウ	遊泳	シロハラコカゲロウ	遊泳
	3	オオヤマシマトビケラ	造網	オオヤマシマトビケラ	造網	フタツメカワゲラ属	匍匐	オオヤマシマトビケラ	造網
	1	フタスジモンカゲロウ	掘潜	ミゾツヤドロムシ	匍匐	フタスジモンカゲロウ	掘潜	シロハラコカゲロウ	遊泳
St.8	2	ユミモンヒラタカゲロウ	匍匐	シロハラコカゲロウ	遊泳	シロハラコカゲロウ	遊泳	フタスジモンカゲロウ	掘潜
	3	クロヒゲカワゲラ	匍匐	シロズシマトビケラ	造網	シロズシマトビケラ	造網	オオクママダラカゲロウ	匍匐

表-1 各地点の季節毎の優占種と生活型

国立研究開発法人土木研究所 正会員 〇竹内 大輝 国立研究開発法人土木研究所 正会員 中西 哲

1. はじめに

河床材料の調査手法には線格子法や面積格子法,容 積法などが用いられてきた.これらの方法は短時間に 多くの箇所で調査を行うことが難しい.そこで,面積 格子法や線格子法を写真上で行う写真測定法^{例えば 1)}, 無人航空機(UAV)や航空写真などを用いた粒度分析手 法^{例えば 2)},などの研究が進められており,河床表層の 粒度分布を広域で把握するための技術として開発が進 んでいる.しかし,河床材料の重なり具合によっては 正確に粒径を判読できないこと,捉えることのできる 粒径が画像の解像度に依存すること²⁾,写真撮影時の 天候や河床材料の湿り具合に解析精度が左右されるこ と³⁾などの課題がある.

一方,近年では測量技術の進歩により詳細な三次元 地形測量データを取得できるようになってきており, Pearson et al.は数値標高モデル(DEM)の標準偏差が D_{50} の推定に有効な情報となることを示唆した⁴⁾.

そこで、本研究では画像解析と DEM を用い、河床 材料分布情報を把握することを目的とする.ただし、 現地調査を十分行えておらず、粒径推定への DEM の 適用については現地調査結果と比較を行いながら検討 を進めるため、本稿では画像解析による輪郭抽出を用 いた河床表層粒径の推定手法や本研究を進める上での 課題について議論を行う.2章で使用データ及び解析 手法を述べ、結果と課題を3章に示し、4章にまとめ を記す.

2. 使用データ及び手法

調査箇所は天竜川水系小渋川の小渋ダム直下より 約1.8km 地点であり,任意の約30m×約15mのグリッ ド内を解析対象とした.

(1) UAV による測量条件

UAV による撮影は平成28年10月の晴天時に行った. 解像度は5cm/pixel 以下,撮影高度は地上150m, ラッ プ率及びサイドラップ率は 60%以上である.撮影した 画像を用いてオルソ画像化及び三次元点群データを作 成した.

(2) 河床材料の輪郭検出

輪郭はオルソ画像を白黒化し、閾値によって2値化 したものの外郭とした.閾値は小渋川流域の礫に輝度 が高いものが多いことを踏まえ185とした.閾値以上 の輪郭として検出されたピクセルの内、最も長い2点 を結ぶ直線の長さを粒径とした.

(3) 三次元測量点群データ

点群データとして出力された三次元測量データは解 析を容易にするために格子状にした.格子化には格子 内の点の標高値を平均したものをその格子の標高値と する手法を用いた.格子の大きさは欠損値が生じず, できる限り小さな格子とすることができた約5cmとし た.

3. 結果と課題

(1) 河床材料の粒度推定結果

写真-1 に作成したオルソ画像と解析対象地を示す. 調査地は床固め工の直上であり,小渋ダムの土砂バイ パスを通過した土砂が堆積している箇所である.

オルソ画像の輝度を元に河床材料の輪郭を抽出した 結果を図-1に示す.同図は輝度が高く比較的大きな礫 の輪郭をよく捉えている.一方,粒径の小さな白い砂 が堆積している箇所(図-1 左上)が一つの礫として認識 されていること,黒い礫を捉えられないこと,小さな



写真-1 作成したオルソ画像の抜粋と解析対象(赤枠内).



図-1 河床材料の輪郭抽出結果.赤線は抽出した輪郭を示す.



図-2 河床材料の輪郭抽出結果から算出した粒径分布.

ノイズのようなものも含まれていることなどから輝度 のみではオルソ画像から粒度推定を行う十分な情報で はないことが示唆される.

図-2 は河床材料の輪郭抽出結果より求めた粒径密 度曲線を示す.検出された河床材料は10cm~20cm 程度 の粒径が多く,最小粒径は4cm,最大粒径は260cmで あった.ただし,最大粒径として検出したものは白い 砂地を礫と誤認したものであり,実際には75cm 程度 であることを確認している.

三次元測量データより取得した標高値を図-3(a)に, その移動標準偏差を図-3(b)にそれぞれ示す.ここで, 移動標準偏差は各格子を中心とした 9×9 メッシュの 平均値に対する標準偏差とする.移動標準偏差は急に 標高が変化している所や比較的大きな粒径の河床材料 が堆積しているところで大きな値を示した.地形情報 は堆積している河床材料の特徴を示すと考えられるた め,画像解析による粒径推定精度向上に DEM 情報を 活用できないか今後検討していく.

4. まとめ

本研究は UAV の撮影画像から作成されたオルソ画 像と DEM から河床表層粒度を推定するものであり, 本稿はその結果と課題についてまとめたものである. 得られた成果は下記のとおりである.



503.00 503.25 503.50 503.75 504.00 504.25 504.50 504.75 505.00 505.25 [m]



図-3 (a)UAV による三次元測量結果より取得した標高値,

(b)その移動標準偏差.

輝度情報から河床材料の粒度推定を行う方法は輝度 の高い比較的大きな礫の粒径を推定できる可能性を示 唆した.しかし,黒い砂礫を検出できないことや白い 砂地を一つの礫として認識してしまう課題がある.

今後は河床材料の粒度の特長量として RGB 値や標 高値やその標準偏差,傾斜量,凹凸指標であるラプラ シアンなどを輝度情報と共に用いることで精度を向上 させること及び画像解析では識別できない小さな粒径 の材料の推定を可能とすることを目指す.さらに,現 地調査を行い,その結果と比較することによって精度 向上を図る.

参考文献

- 大橋慶介,井原一樹,安田真悟:画像処理による河床粒度分布情報の高空間解像度化,土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol67, No2, L_111-L_118, 2011.
- 原田守啓: UAV による河川地形・河床材料モニタリング手法の検
 討、インフラ・イノベーション研究会、第 31 回講演会発表資料、
 2016.
- 平生昭二,阿佐美敏和,吉村真,西口祐輝,河合彩里伊:UAV撮影画像処理による河床表層粒度分布把握に関する基礎的研究,河川技術論文集,第24巻,263-266,2018.
- Pearson, E., Smith, M. W., Klaar and M. J., Brown, L. E.: Can high resolution 3D topographic surveys provide reliable grain size estimates in gravel bed rivers?, Geomorphology, 293, 143-155, 2017.

土木研究所自然共生研究センター 正会員 〇大槻 順朗

1. 目的

災害外力の増大・頻発化により,直轄区間に対し整備安全度が低い中小河川の治水のあり方を見直す動きが 広がっている.山間地中小河川では洪水に加えて土砂・流木を伴って災害形態や甚大さが急激に変化する.そ れを念頭とし,決定的な被災を回避できる柔軟性が河川整備に求められている.同時に平時の河川環境にも十 分に配慮しなければならない.治水と環境面の双方の側面をバランスさせる河川整備技術の確立が必要である.

河道の部分拡幅(Local River Widening: LWR)は河道の一部を拡幅する工法である.河積の増大による水位 上昇の抑制,土砂堆積の促進による河床低下の防止,土砂の一時貯留などの治水上の効果だけではなく,生物 ハビタットの創出や美しい景観,人の利用のスペースの提供といった多面的な効果も期待される.本邦では部 分拡幅部で生じる現象や効果に関する知見は不足している.LRW は主に EU 諸国で適用事例がみられ,学術 的な検証等もなされているが,河川の条件も異なるため,必ずしも我が国の中小河川に適用できない可能性も ある.本研究では.近年の水害等の発生状況を念頭に置きつつ,中小河川において効果的にLRW を導入する ための留意事項を得ることを目的に,他国の事例を紹介と水理学的な現象論を整理,またLRW 適用後に被災 を生じた事例から留意点を抽出する.

2. 海外における部分拡幅

a) スイス・Thur 川 (47.592819, 8.766414)

スイス国内の主要な河川の8割以上は河川改修 済であり、流路の直線化とそれに伴う河床低下が 問題化している.これに対し低水護岸を除去し、 高水敷を自然に侵食させる河道拡幅がいくつかの 河川で実施されている.側方侵食が見込まれる場 合は水制を組み合わせる.ライン川支流のThur川

(勾配:1/625)の事例が有名である.河原再生に 成功しており,人の活動での利用が活発である. コチドリの飛来がおよそ 100 年ぶりに確認された. 河床形態の復元に成功した一方,環境評価の面で は困難さも見られる. Thur 川において施工 12 年 後に行われた包括的調査¹⁾では,流速・水深・底 質等物理環境のほか,各種水質と大型無脊椎動物 等が改修区間と非改修区間において調査された. 改修区間では顕著に河床が変動し底生動物の組成 等には一定の差異が見られるものの,河床変動以 外の物理・化学環境にはわずかな差しか確認され なかった.また,魚類については,形成された淵



a) Thur 川の部分拡幅部



b) Mareit 川の部分拡幅部図-1 海外事例における部分拡幅部

で越冬する魚種が確認されたが,統計的有意ではなかった.河川のローカルな部分の環境はその周辺からの分 散の影響も大きく,環境面の評価は簡単ではないことを示している.

キーワード 部分拡幅 | 河床変動 | 環境評価

連絡先 〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地自然共生研究センター Mail: k-ootsuki55@pwri.go.jp

b) イタリア・Mareit 川 (46.885477, 11.378404)

イタリア・南チロル地方の Mareit 川(流域面積:209km²,勾配:約1/80,Q₁₀:120 m³/s)は比較的急勾配 な区間での拡幅事例である.スイス同様,砂利採取と河床低下,対策としての数多くの落差工の設置により, 河道地形の単調化や物理環境の多様性の劣化が生じていた.過去の網状流路への復元と河床安定化を目指し, 1.9km に渡り落差工の撤去と合わせた河道拡幅を実施している²⁾.落差工は単に除去するのではなく,一部を 残すことで河岸保護のための水制として利用している.2011年に工事が完了し,2017年現在も網状流路と礫 河原が維持されている.拡幅によって捕捉される土砂は市場への供給も視野に入れており,土砂取り場として の機能も併せ持っている.

3. 国内における部分拡幅

国内でも部分拡幅の事例は増えてきている.その多くは、災害復旧事業(改良復旧)により河積 確保の必要性が生じたことがきっかけとなっている.河川用地として引ける箇所を拡幅する場合の ほか、流路変動による川幅拡大で生じたスペース を官有地化して拡幅される場合も見られる.しか し、海外の事例に見られるような、河床安定やハ ビタットの創出など、洪水流量を飲み込む以外の 効果を意図していない場合のほうが多い.

部分拡幅は治水対策として行われるため治水・ 防災効果の技術的な担保が必要である.一方,河



図-2 雫石川の部分拡幅部

川の平面・断面形状の急変部は流況が不安定になりやすいため注意を要する.部分拡幅部の流れは急拡・急縮 の流れであり、大きなエネルギー損失を伴って大きな水面変動と河床変動が生じる.特に、射流となる急勾配 区間では、流れの減速により常斜流が混在、跳水を生じる可能性が高い.

岩手県雫石川では H25 年の被災に対する復旧として,外岸侵食部を利用した部分拡幅を適用した(図-2). 多量の土砂堆積による河床上昇が被災要因であったため,流下土砂量を低減するための遊砂地機能を狙ったも のであった.しかし後の H29 年出水において,H25 年にも被災した出口部の河岸が再度被災した.現場はセ グメント M から1 への遷移区間で勾配は 1/80 程度である.計画断面に2次元河床変動計算を適用すると,跳 水を伴う水面不安定が生じること,拡幅部出口の縮流部で局所的な洗掘,偏流が発生することが示された.出 口部の形状の工夫により水位上昇,侵食量を低減できる.海外事例でも留意される河岸侵食の制御とともに縮 流部の対策は重要である.土砂堆積については,内岸側に付け替えられた流路に多く捕捉され被災要因の一つ になった一方,外岸側の高水敷部にはほとんど捕捉されなかった.適切に土砂を捕捉するには川幅と法線形に 十分配慮する必要がある.

4. 河道設計を支援するツール

災害復旧における河道断面の設計では、1次元不等流計算が検討材料として用いられるが、部分拡幅など現 象が2次元的の場合十分な流況再現が行えない場合がある.しかし、災害復旧では実質1ヶ月で計画立案する 必要があり中小河川では2次元河床変動計算や環境評価はほぼ実施されない.そこで災害復旧の場面をアシス トする河道設計支援ツールの開発を進めている.iRIC で実装される2次元河床変動計算をコアとし、計算結 果を用いて、環境の簡易評価を行うツールと柔軟な河道地形編集を行うツールから構成されている.今後開発 を進めるとともに、行政等への普及を図る予定となっている.

参考文献

- Martín et al. (2018). Evaluation of Restoration and Flow Interactions on River Structure and Function: Channel Widening of the Thur River, Switzerland. *Water*, 10(4), 439.
- 2) Wohl et al. (2015). The science and practice of river restoration. Water Resources Research, 51(8), 5974-5997.

利活用と河道特性を勘案した水際部の設計に向けた基礎的検討

国立研究開発法人土木研究所 水環境研究グループ 鶴田 無

1. はじめに

1980年代ごろから、河川とまちを融合させた良好な空間の形成が実践的に行われてきた.昨年実施の河川環境に 関する意識アンケート調査では、散策、自然観察、水泳・水遊び、釣り等、親水活動に対するニーズが依然として 高いという結果が得られている。河川における親水活動の種類と、それに対応する川幅、法勾配などの河道特性や 親水施設等については既往の調査・研究^{1),2)}がある.しかしながら,整備対象箇所における水辺空間の利用ポテンシ ャルの把握方法が確立されておらず、対象箇所の水辺空間がどのような用途に対応し得るのか検討できない. その ため、対象箇所のポテンシャルに合わない整備が行われ、利活用が活発化していない水辺も見られる.そこで筆者 らは、利活用を促進する水辺整備に資することを目的として、良好な整備事例を対象に、整備箇所の利用ポテンシ ャルをいかに捉え整備を実施したかを調査してきた³⁾.本稿では、流水部・水際部を対象に、既存知見及び事例に おける物理的条件や利用状況を調査・整理し、利用可能性評価フローを検討した結果を報告する.また、河道特性 を勘案した水際部の設計条件について、検討の方向性を示す.

2. 既往の良好な整備事例における河道の物理的条件及び利用状況の把握

土木学会デザイン賞を受賞する等,水辺整備に対す る評価が高く、活発に利活用されている 11 箇所の事 例を調査対象とした(表-1). これらの事例はいずれ も、治水と両立した整備が行われている.大半は、整 備前には水際までのアクセスが困難であった箇所で ある.

資料収集及び現地調査を行い,対象箇所の河道特性 (水際形状,水深,流速,河床材料,水温,水質)及 び利用状況を把握した.日常的な利用として,水遊び, 釣り,魚・貝採り,環境学習,散策,ボート・カヌー, 舟運,イベント利用として灯籠流し,稚魚の放流等が みられた.

3. 流水部・水際部における活動の成立要件

活動に必要な条件としては、水際への近づ きやすさ,水面の触れやすさ,水のきれいさ・ 安全性などが挙げられる. そこで, これらに関 する既存の調査・研究事例やガイドラインの 内容を整理し、利用可能性評価フロー(案)を 作成した (図-1).

①水質要件

水中に入れるかどうかを基軸としてフロー を作成した.水に直接関わる活動の実施には、 河川水質が最大の要件となることが多いこと

step1 水のきれいさ・安全性 No 水質要件 step2 OK 水中・水上での動作 No 水深·流速要件 可用性 OK step3 No 水への近づきやすさ, 水際要件 触れやすさ, 安全性 OK OK OK 水中に入る 水上利用 水に触れる 水際利用



から,まず「水質要件」を設定した.国土交通省が提示している指標案 %を参照し,「川の中に入って遊びやすい」 (ランク B) として示されているもの(ゴミの量:目につくが我慢できる,透視度:70cm 以上,川底の感触:不快 感がない、水のにおい:不快でない、糞便性大腸菌群数:1000(個/100ml))を判定基準として適用した.加えて、 水に入ったときの快適性(水温:20~30℃)も参考値として利用した.

议 八家事内						
調査対象事例	河床勾配	計画高水 流量 (m ³ /s)				
一乗谷川 ふるさとの川整備事業	1/80	180				
茂漁川 ふるさとの川モデル事業	1/234	60				
津和野川 ふるさとの川モデル事業	1/250	850				
和泉川 ふるさとの川モデル事業	1/250	100				
黒目川 河川改修事業	1/400	120				
上西郷川 河川改修事業	1/350-500	46				
阿武隈川 渡利水辺の楽校・御倉護岸整備	1/1020	5,800				
糸貫川 北方町かわまちづくり	1/1290	-				
白川 緑の区間河川改修事業	1/1700	2,000				
遠賀川 直方の水辺整備	1/1770	3,800				
太田川 基町環境護岸整備	1/2200	1,920				

主_1 社会重历



②水深·流速要件

次に,水中での活動が安全に実施できるか,十分なスペースがある か等を判定する「水深・流速要件」を設定した.平常時の河川におけ る親水活動の実態調査から,活動を成立させるための川の物理的条 件がとりまとめられたもの(**表-2**)を判定基準として利用した.

③水際要件

水際部では,無理な動作が伴わない構造,自力で脱出しやすい構造 とすることが第一である.既往の知見¹⁾では,安全性に配慮した水際 部の要件として,接近しやすさ(接近勾配:1/2より緩い階段,ま たは1/3より緩い法面)及び水際部の安定性(崩壊の危険がない), 水面からの高さ(~0.5m:水面に触れる活動,~1m:水中に入る活動) が挙げられている.これらを用いて判定基準を設定した.

表-2 親水活動に必要な条件(流速・水深等)^{1),5)}

	0.2m/s 以下(幼児の水遊び,魚とり等)
	0.1~0.4m/s (灯籠流し, 染色等)
流	~0.5m/s(川の中を歩く,水泳)
	0.6m/s(ボート遊びや水遊びの限界)
	1.2m/s~ (カヌー, 舟下り)
	0~0.3m(幼児の水遊び,魚とり等)
	0.3~0.5m(水神祭(みこし),染色等)
水	0.3~0.5m 以上 (ボート遊び等)
深	~0.6m(小学生の水泳等)
	~1.0m (大人の水泳・魚とり等)
	1.4m~ (舟運等)
	1.6m/人 以上 (水泳)
Ш	1.8m/1本 以上 (いかだ)
幅	4m/1艘以上(ボート,舟下り)
	6m/1艘以上(舟運)

4. 利用状況と利用可能性評価結果の照合とフローの見直し

2. で調査した対象箇所の物理的条件を利用可能性評価フロー(案)に挿入した結果と,実際の利用状況を比較・ 整理したところ,両者は概ね一致した.評価フローでは利用可能だが実際には利用がなかったもの(3例)につい ては,今後の利用可能性は考えられる.一方,評価フローでは利用不可だが実際には利用されていたもの(2例) については,評価フローの判定基準に追加した.例えば川幅が小さく水深が浅い箇所で,「水上利用」には該当しな かったが,"渡り石や潜り橋で水面の上を渡る"という利用が見られた.

5. 水際部の設計条件の検討方向性

活動の成立要件のうち,河川改修に より改良できるのは主に水際要件であ る.調査箇所において,「水に触れる」 以上の利用が行われていた水際部のデ ザインと,河道特性との対応関係を表-3 に整理した。これを基に,水際部の設 計方法を図-2 のように分類した.今後, 図-2 中オレンジ線で示した境界条件を 規定する河道特性及びその指標化につ いて検討していきたい.

表-3 水際部の設計と河道特性の関係

水際部の設計 形状	整備可能箇所	整備事例	
水際部及び水面 下を連続した緩 勾配法面とする	河岸に(横断方 向の)スペース が必要	寄り州を利用(津和野川,黒目川,阿武隈 川,糸貫川) 高水敷~水際の勾配を緩やかに再整備(阿 武隈川,糸貫川,遠賀川)※湾曲部内岸側 河岸のスペースを拡げて緩勾配法面を形 成(茂漁川,和泉川,上西郷川) スロープデッキ(カヌー乗り場)の設置(遠 賀川)	構造物 なし
水際部を階段状 とし,河床まで 連続させる 水面下までの落 差を小さくし, 河岸からある程 度の範囲の水深	水際まで到達で きれば可 潮位変動に対応 水際まで到達で きれば可	 階段護岸の整備(遠賀川)※水衝部 階段(船着場にもなる),階段状の水制(太田川;感潮区間) 階段+スロープ(船着場にもなる)(阿武隈川)※水衝部 根固工の上に様々な高さのコンクリート 平板を整備(白川) 	構造物あり



- 建設省土木研究所河川部都市河川研究室: 通常時の河川における人間活動(親水活動) と河川構造調査報告書,土木研究所資料第 2206 号, 1985.
- 2) 松浦茂樹,小栗幸雄:親水活動にとって魅力的な砂州及びその周辺の物理的条件,土 木技術資料, Vol.28, No.11, pp.3-8, 1986.
- 3) 鶴田舞, 萱場祐一:河岸の横断面形状に着 目した空間利用ポテンシャル評価指標の提 案,河川技術論文集第23巻, pp.597-602, 2017.
- 国土交通省河川局河川環境課:今後の河川 水質管理の指標について(案)【改訂版】, 2009.
- 5) 財団法人リバーフロント整備センター編: 川の親水プランとデザイン,山海堂,1995.



図-2 水際部の設計(概念図)

1.はじめに

著者は津波規模や津波荷重評価の高度化を目指して, 津波氾濫水密度ρ(または比重=ρ/ρ_w.ρ_wは清水の密度) の入射フルード数F_{rl}や土砂中央粒径d₅₀への依存性とと もに,土砂水遡上距離・清水遡上距離比L_R/L_{RW}や土砂堆 積距離・土砂水遡上距離比L_R/L_R,平均土砂堆積厚・土砂 堆積距離比Z/L_R,津波荷重(水平力F_xと鉛直力F_z)の氾 濫水密度への依存性も検討している.本発表目的は氾濫 水密度の重要性の周知と検討結果の現状紹介である.

2.実験

2.1 土砂

使用土砂は宮城県仙台海岸と秋田県南部海岸のもので, 中央粒径d₅₀は0.21-0.48 mm, 均等係数は1.29-2.72である.

2.2 実験方法

実験水路は簡易に高シールズ数を得るためすべり台状の開水路とした.すべり台斜面の下端には土砂を敷く水 平部①,その下流端には土砂を巻込んだ氾濫水(土砂水) を制限して採水するために高さが低く短い上り斜面を設 けた.遡上距離・土砂堆積実験ではその上り斜面に続け て緩斜面を,津波荷重実験では直方体建築物模型を設置 する水平部②を設けた.水路幅は0.3 mである.実験水路 の概略,測定器具の配置と諸記号の定義を図1に示す.

津波氾濫流はすべり台上端にゲート付きの貯水槽を設置し、ゲート急開流れで模擬した.すべり台上端高さh_D や貯水深h_U、すべり台斜面勾配S₁、水平部①の初期土砂 層域長L_S、初期土砂層厚h_T、上り斜面の高さh_Sと勾配S₂、 上り斜面下流端とメスシリンダー群先端間の水平距離 L_Gと鉛直距離L_V、上り斜面に続く緩斜面の長さと勾配S₃、 メスシリンダー群の傾きS₄は予備実験を行って決めた.

水理量評価のため初期土砂層域の上下流端に超音波式 水位計を設置した.水平部①と②における入射氾濫流の 先端移動速度,非先端部氾濫水深,人為的に発生させた マッハ波の角,フルード数F_{ri},氾濫流速を評価するため, スケールを配置し,上方や側方からビデオ撮影を行った.

2.3 遡上距離や土砂堆積の解析法

遡上距離・土砂堆積実験後の緩斜面域は平面形が舌状 の土砂堆積域とその上流側の非常に厚さの薄い水路床を 汚す程度の土砂堆積域に大別される. 図2にその状況例 を示す.本研究では舌状部を有意な土砂堆積域とし,流 れ方向は5 cm間隔,水路横断方向は8等分(9測点)して, ポイントゲージにより格子状に堆積厚を測定した.

2.4 実験条件

実験条件を表1に示す.実験では炉乾燥後に自然放置し て冷ました土砂を水平部①に敷詰めた.氾濫水密度実験 と土砂水による津波荷重・土砂堆積実験は各ケース1回, 清水による津波荷重実験は各ケース4回行った.





図2 緩斜面上の土砂堆積と土砂水の遡上状況例

3. 実験結果と考察

3.1 氾濫水密度

図3に入射フルード数F_nと氾濫水密度ρの関係を示す. 入射フルード数はビデオ解析に基づく入射氾濫流の先端 移動速度と非先端部氾濫水深を用いて評価している.図 から,入射フルード数が大きくなれば,氾濫水密度が高 くなることが判る.実線は高い実験値側の包絡線である.

3.2 遡上距離, 土砂堆積距離と平均土砂堆積厚

図4に氾濫水密度ρと土砂水遡上距離・清水遡上距離比 L_R/L_{RW}の関係を示す. 遡上距離は最大値を採用している. 実線は実験値に対する近似線である. 図から, 遡上距離 は氾濫水密度が清水から少し高くなるだけで急減し, そ の後は緩やかに減少することが判る. 遡上距離急減域の 氾濫水密度は実際的で, 歴史津波の規模評価に関わる.

図5に氾濫水密度ρと土砂堆積距離・土砂水遡上距離比 *L_{Rs}/L_R*の関係を示す.堆積距離も遡上距離も最大値を採用 している.図から,氾濫水密度が高いほど,土砂堆積距 離・土砂水遡上距離比は小さい傾向にあることが判る.

図6に氾濫水密度ρと平均土砂堆積厚・土砂堆積距離比 Z/L_{RS}の関係を示す.図から,氾濫水密度が高くなるにつ れて,平均土砂堆積厚・土砂堆積距離比は上に凸の曲線 傾向で大きくなることが判る.実線は破線囲いの実験値 を除いた場合の実験値に対する近似線である.

3.3 津波荷重

図7に水平力F_xと建築物前面浸水深hの関係を示す.図



図3入射フルード数Friと氾濫水密度ρの関係(hT=6 cmに限定)







図-6ρと平均土砂堆積厚・土砂堆積距離比Z/L_{RS}の関係 中には実線で前面浸水深と床高h_Bに基づく清水の計算上 の前面全静水圧(=p_wg(h-h_B)²B/2.gは重力加速度,Bは建 築物模型幅)が示されている.図から,(1)清水を用いた 貯水域の長い実験では,建築物模型幅に比べて前面浸水 深が小さい場合を除き,水平力は前面全静水圧で評価で きることが示されたが,本研究実験の水平力は前面全静 水圧の1/2~1/3程度と小さい,(2)前面浸水深が同じ場合, 清水による水平力に対する土砂水による水平力の増加率 は氾濫水密度の増加率(7.2-8.5%)より大きいことが判る.

 ρ (g/cm³)

図8に前面全静水圧で無次元化した水平力と前面浸水 深係数(*h*/*h*_{iup})の関係を示す.入射氾濫水深として初期土



図7 水平力Fxと建築物前面浸水深hの関係(開口率0%,h_B=5mm)







図9 無次元水平力と入射フルード数F_{rib}の関係 砂層域上流端におけるものを採用している.図から,(1) 前面浸水深係数が小さくなれば,無次元水平力は大きく なり,水平力は前面全静水圧に近づく,(2)土砂水の場合, 氾濫水密度が大きくなれば,前面浸水深係数は小さく, 水平力は前面全静水圧に近づく傾向にあることが判る.

図9に前面全静水圧で無次元化した水平力と建築物模型前面における入射フルード数F_{rb}の関係を示す. 図から,入射フルード数が小さくなれば,無次元水平力は大きくなり,水平力は前面全静水圧に近づくことが判る. この傾向を明示するため,図中に既存実験値を加えている. 4. おわりに

これまでの主な結果として以下を得ている.

- (1)氾濫水密度ρは入射フルード数F_{ri} (~シールズ数)や 土砂中央粒径d₅₀ (粒度分布)に依存する(図3).
- (2)土砂水遡上距離・清水遡上距離比L_R/L_{RW}, 土砂堆積距 離・土砂水遡上距離比L_{RS}/L_R, 平均土砂堆積厚・土砂 堆積距離比Z/L_{RS}(図4~6)は氾濫水密度に依存する.
- (3)氾濫水密度の入射フルード数への依存、 $L_R/L_{RW} > L_{RS}/L_R$ 、 Z/L_{RS} の氾濫水密度への依存に関する4実験式を得た.
- (4)建築物に作用する津波荷重(水平力F_xと鉛直力F_z)が氾 濫水密度に依存することを実証した(例えば図7~9).

(国研) 土木研究所 〇中西 哲、本山 健士、横山 慎

1. はじめに

河川を遡上する津波や跳水を伴う構造物周辺の流 れは、3次元(少なくとも断面2次元)の非静水圧条 件であり、かつ自由表面を含む現象である。

3次元の数値計算法では,自由表面をどう取り扱う か,また膨大な数のメッシュへの対応や境界条件の 設定等が問題となる.近年波浪や津波を対象とした 数値計算について,オープンソースの数値計算ライ ブラリである OpenFOAM の使用が増えている.

OpenFOAM は、流体現象の偏微分方程式に関する各 種解法をソルバとして用意しているほか、計算メッ シュ作成などの前処理および計算結果の抽出等の後 処理に関するユーティリティが備わっている.また、 境界条件等の拡張機能についてサードパーティとし て開発されている.

そこで、シェル構造ゲートを含む河川遡上津波を 対象とした数値計算について、境界条件の設定や計 算条件等について紹介し、水理模型実験との比較し た結果を示す。

2. OpenFOAMの概要

OpenFOAM は、有限体積法の偏微分方程式ソルバー 開発用のクラスライブラリである.そのためユーザ ーは、自身が対象とする問題に対して適当なツール をクラスライブラリから選択することができる9). 本研究の対象となる問題は、3次元(断面2次元)の 自由表面問題であり、これに対応する標準ソルバー は、interFoamとして用意されている.interFoamは 自由表面の捕捉手法として VOF (Volume of Fluid) 法を採用している.使用した OpenFOAM のバージョン は2.4.0 である.

境界条件

河川遡上津波は、下流から非定常の(波状)段波が 侵入する.水理模型実験ではゲートの解放により、津 波を再現した.数値計算で水理模型実験と同様の波 形を与えるため、実験での最下流端水位計測位置(津 波発生ゲートから2.5m上流)での波高の時系列変化 を用いた。与え方は、OpenFOAMの拡張ユーティリテ ィである waves2Foam ライブラリを使用した.

入射波の境界条件には,一次近似 Stokes 波 (Airy 波)を重ね合わせた. Airy 波は波長,波高および時 間遅れをパラメータとするコサイン波で表される. そのため,実験条件の最下流端水位にフーリエ変換 (離散コサイン変換)を行うことで,線形波に分解 し,そのスペクトル上位 50 個の線形波を重ね合わせ ることで下流端境界条件の入力波とした.

計算メッシュ

計算領域のメッシュは, OpenFOAM のメッシュ作成ユ ーティリティである, blockMesh および snappyHexMeshを使用した.ゲート付近のメッシュは 図-1のとおりである

計算条件

離散化スキームは、時間微分は 2 次精度の Crank-Nicolson 法、勾配項 (grad) は cellLimitede forth と した.発散項(div)は流速ベクトルは線形補間に TVD 制限をつけた limitedLinearV を、VOF 法の体積率 Fについては制限関数付き 2 次精度 TVD (MUSCL) とした. 拡散項は 2 次精度の線形補間とした. 圧力 一速度場の連成手法は SIMPLE 法と PISO 法を組み 合わせた PIMPLE 法で行った.

離散化スキームには高精度の手法を採用している が、これらによってゲート周辺の気液境界が比較的 安定させることができる.一方、離散化スキームに低



図-1 ゲート周辺メッシュ





b) 第一波衝突時から0.7秒後



図-3 ゲート周辺での水面形詳細(Case1)(それぞれの時刻で上:実験動画,下:数値計算結果.数値計算結果は青が液体でグレーが気体を表す)

精度のスキームを採用すると、構造物周辺の静水面 が非物理的な挙動を示す。これらは、今回のケースが 比較的複雑な構造物を対象とし、構造物と流体とが 接する面が必ずしも直行になっていない。このよう な場合については、高精度の計算スキームが必要と なる。

3. 結果

水位の時間変動

図 - 2 は水位計測位置における水理実験と計算結 果の比較である. x = 2.5 m は最下流端であり,境界 条件として与えた水位である.離散コサイン変換に より分解した合成波が精度よく与えられている. x =7.5m では若干の位相のズレは見られる. x = 17..5m および x = 18.9 m では位相のズレは x = 7.5 m と比較 して大きくなったものの,段波第一波から第三波ま での水位変化を良好に再現している.

ゲート周辺の水面形変化の詳細を検討するため, 実験を側部から撮影した動画と計算結果の比較を行った.図-3は第一波衝突時とその0.7秒後の実験時 に取得した動画のキャプチャ画像と計算結果の比較 である.動画キャプチャ画像は気液境界を明確化す るため,目視によりトレースした界面を付加してい る.計算結果が実験を正確に再現していることがわ かる.特に衝突後0.7秒後では,ゲート上流部静水面 付近(図中ゲート右上)で気液境界の急激な湾曲とゲ ート上流側の巻き波をよく再現できている.

4. おわりに

非定常である河川遡上津波の数値計算を実施し、 境界条件の設定手法と計算スキームについて、一部 紹介した。

水理模型実験との比較を行うと、良好な結果を得 たことから、境界条件、計算スキームやメッシュを良 好に設定することができれば、実現性を良好な精度 で再現可能であると考えられる。

藻類のライフサイクルを考慮した水質モデルの開発

(株)建設技術研究所 鶴田 泰士、森井 裕、守谷将史

1. はじめに

我が国の閉鎖性水域ではアオコやカビ臭が、主要 な水質障害の1つとなっている。その原因となる藻 類は、同一個体が休眠状態となって湖底に堆積し、 一度系外に出た後、再び発芽して系内に戻り、湖内 で増殖するといったライフサイクルを有しているこ とが知られている¹⁾。近年の現地調査に基づく研究 成果において、このライフサイクルがカビ臭原因藻 類の増殖に重要な役割を果たしていることを示唆す る結果が報告されている²⁾。

アオコやカビ臭の発生予測及び水質保全対策検討 に用いられる数値解析モデルは、流動解析の主流で あるオイラー型モデルに移流拡散方式を組み込む方 法が一般的である。しかし、オイラー型モデルでは、 個体レベルで系内外を往来するような藻類のライフ サイクルを表現することはできない。

そこで、本研究では、海外の既往研究事例を参考 として、藻類のライフサイクルを考慮してアオコや カビ臭現象を解析し得るラグランジュ型粒子追跡モ デルを構築したので報告する。

2. 藻類ライフサイクルモデルの構築

藻類のライフサイクルのモデル化にあたっては、 Hellweger らが紹介している Agent Based Model

(ABM)¹⁾を参考とした。モデル化した藻類のライ フサイクルの概念図は図-1 に示す通りであり、生 殖細胞(vegetative cell)と休眠細胞(akinete)の2 種類の状態で構成される。さらに、生殖細胞・休眠 細胞を含むライフサイクルを図-2 に示す5つのス テージに分けて考えた。



図-1 藻類ライフサイクルの概念図



各ライフステージにおける光合成、呼吸、細胞分裂、栄養塩吸収、沈降、ガス胞量変化による浮上を 伴う鉛直運動の有無は図-3に示す通りとした。



3. 現地への適用

構築した藻類ライフサイクルモデルを、オイラー 型の鉛直二次元貯水池水質モデルに導入し、現地で の藻類増殖現象への適用性を確認した。

水質モデルの概要

水質モデルの構造を図-4 に示す。水域の流動や 主な水質項目の輸送はオイラー型モデルで解き、藻 類の挙動のみラグランジュ型粒子追跡モデル(以下、 ラグランジュ型モデル)およびライフサイクルモデ ルで取り扱った。なお、本モデルでは藻類細胞内の リン・窒素を考慮しているため、これらの挙動はラ グランジュ型モデルで扱っている。藻類による無機 態の取り込みや捕食や枯死に伴う栄養塩の形態変化 については、図-5 に示すようにラグランジュ型モ デルとオイラーモデル間でのやりとりによる質量保 存が成立するようにした。



(2) 適用対象フィールドの概要と計算条件

構築した水質モデルを適用したフィールドは、貯 水容量 1800 万 m³の多目的ダム(以下、Aダム)で ある。当該ダムは、流域からの自然由来のリン負荷 が大きいために富栄養化しており、アオコの発生頻 度も高い。

モデルの水域分割は水平方向 100m、鉛直方向 1m とし、流入・放流量等の貯水池運用や気象条件は実 績に基づいて設定した。また、流入水温はダム地点 の日平均気温・流量との関係式に基づき日単位で設 定した。流入水質は、出水時を含む水質観測結果に 基づき作成した L-Q 式で設定した。藻類(クロロフ ィル a)は定期調査結果に基づき、一定値(0.5 µ g/L)で設定した。

(3) 計算結果

図-6 にAダムのダムサイトにおけるクロロフィ ルa濃度変化の2ヶ年の計算結果を示す。図中には 藻類増殖を従来のオイラー型モデルで扱い、藻類の ライフサイクルを考慮していない計算結果も併せて 示している。

オイラー型・ラグランジュ型の両モデルでは、藻 類の最大増殖速度や水温・日射・栄養塩による律速 条件などは共通としているが、オイラー型モデルで は、年間の変化が緩やかで、1年目の秋や2年目の 夏季に見られる顕著な藻類増殖を再現するには至ら ない。一方、ラグランジュ型モデルでは、こうした 顕著な藻類増殖の傾向を再現できている。

図-6 中には、休眠を経て発芽した藻類によるク ロロフィルa濃度を破線で示している。特に2年目 の夏季に見られる藻類の顕著な増殖は、休眠を経た 藻類の割合が高い。この藻類増殖はAダムの貯水位 が EL. 260m を下回る時期に生じている。Aダムでは 藻類の増殖に好条件となる季節に貯水位 EL. 260m 未 満になると休眠細胞が発芽しやすいという調査研究 成果も報告されており、本研究の計算結果はこれと 一致する。このように、藻類のライフサイクルを考 慮したことで、Aダムでの藻類増殖をより良好に再 現することができたものと考えられる。



図-6 クロロフィル a 計算結果(貯水池表層)

5. おわりに

本研究では粒子追跡モデルを用いて藻類のライフ サイクルを考慮した貯水池水質モデルを構築した。 国内のダム貯水池での藻類現象の再現に適用した結 果、藻類増殖の再現性が向上する可能性があること を確認した。本モデルは、藻類のライフサイクルを 考慮することで、近年、カビ臭の発生要因とされて いる浅場上の底質からの藻類供給を再現することが 可能であり、カビ臭現象の分析や対策手法の検討に 活用することが期待できる。

ただし、現時点では、生殖細胞や休眠細胞の分布 や時間的な変動についての現地データによる条件設 定やモデル検証が不十分な点が課題である。今後、 詳細な現地データを用いた検証を進め、モデルの精 度向上を図っていきたい。

参考文献

- 秋山,有賀,坂本,横浜:藻類の生態,内田老鶴 圃,1986.
- 2) 小澤,木村:貯水池浅場上の底泥がカビ臭現象に与える影響に関する調査研究,.平成24年度水源地環境技術研究所所報,p3-9,2012.
- Hellweger, Kravchuk, Nobotny, Gladyshev, Agentbased modeling of the complex life cycle of a cyanobacterium in a shallow reservoir : Limnol.Oceanogr., 53(4), pp.1227-1241, 2008.
- 岡田:アオコの浮上・沈降とその増殖について,環 境技術, Vol.9, No.8, pp.29-31, 1980.
- 5) 水理公式集例題プログラム集: 土木学会, 2002.
- 6) 岩佐義朗: 数值水理学, 丸善, 1995.
- 野村:アオコ抑制のための底泥中のアナベナ休眠細胞の発芽特性解析、科研費研究成果報告書、2015.

山口大学大学院 赤松 良久

1. 緒論

河川の瀬・淵構造を有するような場においては流 れの擾乱によって、特有の河川生態系が構築されてい ると考えられる.しかし、近年、中国地方の多くの河 川において、外来沈水植物であるオオカナダモが繁茂 し、従来の生態系が失われている.オオカナダモの繁 茂拡大のメカニズムに関しては十分な検討がなされて いない.特に、河川内においては増水時に発生した切 れ藻が、流下して礫床に着床し、広く群落化していく と考えられるが、その定着過程に関しては不明な点が 多い.

そこで本研究では、実験水路を用いて切れ藻が河床 にトラップされた状況を再現し、流況のみを変化させ て生育実験を行うことで、オオカナダモの河床定着と 水理条件の関係を明らかにすることを目的とした.

2. 実験方法

2.1 実験概要

実験に用いた水路の立面図・平面図を図-1 に示す. 水路は 10cm 幅の全長約 2m の循環式であり,ほぼ中 央部に 20cm の礫設置区間がある(写真-1).切れ藻が 礫に挟まる様子を模して礫層と切れ藻を3本設置した. この実験水路を用いて,水理条件を変化させたときに, 切れ藻が河床に定着した後の藻体の変化を観察するこ とにより,流れとオオカナダモの生育の関係を明らか にすることを実験の目的とした.

2.2 実験条件

実験では、平均流速が一定流速低速(0.19m/s)、一定 流速高速(0.38m/s)、変動流速(0.19m/s⇔0.38m/sを1 日ごとに交互に入れ替える)という3ケースで実施し た.各実験ケースでは水深、水質、水温を一定条件と した(**表-1**).実験は実験開始日から13~14日後を終 了日とし、実験終了時には藻体長と重量、新芽および 根の発芽(発根)ならびに成長の有無を記録した.実 験では、江の川水系土師ダム下流のオオカナダモ群落 から採取し、水槽内で十分な日射と栄養分を与え生育 した藻体を用いた.この藻体は、根と芽をあらかじめ



図-1 実験水路の(a)平面図および(b)立面図



写真-1 オオカナダモ設置部

表-1 実験条件

	一定低流速	流速変動	一定高流速
1000	2017/10/11	2017/12/14	2017/10/26
山田目	~10/25	~12/24	~11/8
	2017/11/27	2018/1/5	2017/11/10
2回目	~12/11	~1/19	~11/24
2018	2018/2/28	2018/2/8	2018/1/24
3回日	~3/14	~2/22	~2/7
流速(m/s)	0.19	0.19 + 0.38	0.38
水深(cm)	5	5	5
水温 (°C)	25~30	25~30	25~30
T-N(mg/L)	0.6	0.6	0.6
T-P(mg/L)	0.09	0.09	0.09

取り除き藻体長 15cm に切り, すべての実験ケースの すべての回で同条件とした. 礫は粒径 16mm 以上のも のを水路中央部に敷き詰め, 比較的大きい礫を最上部

表-2 実験後の新芽・根の数

		一定低流速		変動流速			一定高流速		
	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
	2017/10/11	2017/11/27	2018/2/28	2017/12/14	2018/1/5	2018/2/8	2017/10/26	2017/11/10	2018/1/24
	~10/25	~12/11	~3/14	~12/24	~1/19	~2/22	~11/8	~11/24	~2/7
新芽の数(本)	6	4	3	2	0	3	3	3	2
根の数(本)	10	8	9	0	1	4	7	4	5



写真-2 実験終了後の新芽・根の様子

に設置し、その礫に挟む形で藻体を設置した.礫は毎 回撮影する写真をもとに、同じ配置になるように調整 した.藻体の成長に必要な日射を与えるために、オオ カナダモ設置区間の上部に蛍光灯を設置して(図-1(b))、野外での状況を模して日中(6時~18時)は点 灯し、夜間は消灯した.栄養塩濃度は、硝酸カリウム およびリン酸二カリウムを純水で溶解した水溶液を水 槽に添加し、毎日パックテスト(共立理化学)で測定 し、適宜調整した.また、水温は、オオカナダモの成 長が最も盛んな25~30℃を保つために、タンク内に投 げ込み式の水槽用ヒーターを設置し、サーモスタット を接続して25~30℃に範囲内に維持した.

3. 実験結果

表-2に実験終了後の新芽および根の本数を示す.こ こでは各ケースの1~3回の実験毎に3本の藻体から 確認できた新芽・根の総本数で表している.新芽に関 しては、一定低速流のケースにおいて顕著に本数が多 いことがわかる.変動流速のケースでは新芽が全く見 られない回もあり、変動流速の環境下では新芽が成長 しにくいと考えられる.写真-2に各ケースにおける実 験終了後の新芽・根の様子を示す.

根に関しては、図-2に実験終了後の根の長さの箱ひ げ図を示す.箱ひげ図の中央線はデータの中央値を示 し、箱の最上端は第3四分位数、箱の最下端は第1四 分位数、上側と下側のひげはそれぞ最大と最小を示し ている.表-2からもわかるように変動流速の場合では



図-2 実験後の根長

3回目を除いてほぼ成長してないことがわかる.また, 図-2に示すように3回目に関しても根の長さは中央値で1.8cmと短い.それに対して,一定低流速や一定高 流速のケースでは10cm 程度まで伸びている根もあっ た(図-2).降雨時に流速が増加する河川においては, 礫の間に根を張ることはオオカナダモの群落拡大に必 要不可欠であるが,もともと流速が変動する環境にさ らされた切れ藻は根を張りにくく,定着しにくいこと が明らかとなった.

4. 結論

本実験から流れ場の擾乱は河川沈水植物の定着・繁 茂に大きな影響を与えていることが明らかとなった.

利水ダム貯水池における水温変化と選択取水に伴う冷水放流の河川水温への影響

田代 喬(名大減災セ), 〇中村俊之(名大院工), 後藤健宏(いなべ市教委)

1. はじめに

湖沼や河川などにおける水温は、生息生物の代謝過程に大きな影響を及ぼすことから、生物の活動と分布 を規定する重要な環境要因の一つである.地球温暖化の指標としても着目されているが、そうした影響を議 論できる定点観測データは不足しがちなだけでなく、一般に気温に比べて明確な傾向が見出し難い(新井、 2000).また、水深の大きな湖沼や貯水池の水温分布は季節によって鉛直方向に成層化することがあり、選択 取水設備は、流入水と放流水の水質的な不連続性の緩和に用いられるが(天野, 2012)、利水ダム貯水池では、 農業・工業・水道用に都合の良い水質を利用するため、利水事業者が取水口高さを定めていることも多い.

そこで本報では、利水ダム貯水池における水温環境の実態を把握するとともに、取水口高さに着目しなが ら放流水温を推定することにより、下流河川の生態系への影響評価に資する整理を行うことを目的とする.

2. 材料と方法

調査地である N ダム貯水池は,流域を跨いで総合的に開発された利水事業の主水源であり,ダム建設から 約40年が経過し,ダム堤体,貯水容量ともに全国有数のスケールを持つ.また,放流先の河川水系には,こ の地域固有で希少な水生生物が生息している.ここでは,管理者提供の過去10ヵ年における貯水池内水温デ ータ,同時期の最寄りのアメダス観測所のアメダス気象観測データ(国土交通省気象庁)に加え,2017年夏 季に計測した,放流先河川における気温・水温データを材料とする.これら諸量を用いて,貯水池内水温の 鉛直分布特性を整理したうえで,放流水温,河川水温と気象条件の関係を分析・考察する.

3. 結果と考察

図1には、Nダム貯水池において2007年度に記録された水温の鉛直分布から、毎正時のデータで描いた日 変化(左)とそこから抽出した特定標高における水温変動(右)を示す.ここでの特定標高は、典型的な取 水口高さを表すが、図より、春から夏にかけて水温成層が形成される一方、この時期に取水口高さが変更に なると放流水温が10℃以上も変化し得ることが確認された.春から夏は多くの水生生物の繁殖時期に相当す るため、利水都合による取水口高さの変更が生態系に多大な影響を及ぼす可能性が示唆される.実際、図2



図1 2007 年度における N ダム貯水池における水温の鉛直分布(左)と特定標高における水温変動(右)

には,年度途中に取水口高さが変更にな った2015年度の放流水温の変化を示す. 取水口高さの上下に伴い,6月初旬に 10℃以上低下し,9月中旬に5℃程度上昇 したが,3月には変化しないなど,放流水 ⁵ 温が著しく変化した様子が窺える.

図3には、水温環境への影響が大きい 夏季に現場で計測した気温、河川水温と 貯水池からの放流水温(貯水池水温と表 記)を示す.河川水温は気温と貯水池水 温の間に位置したが、それら相互の関係



図2 2015年度におけるNダム貯水池の取水口高さと放流水温の変化

に着目すると(図4,5),河川水温と相関係数が最も高いのは貯水池水温であった.ここでの冷水放流の影響 はやや緩和されているものの,下流河川の生態系に及ぼす影響の重大性は再認識されたものと言えよう.







図5 貯水池水温と河川水温の関係

参考文献

天野邦彦(2012):ダム貯水池における水環境保全の取り組み,水環境学会誌 35(3):70-74.

新井正(2000):地球温暖化と陸水水温,陸水学雑誌 61:25-34.

国土交通省気象庁:過去の気象データ検索, http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php. (2018.6.18 閲覧)

図3 気象条件と貯水池水温,河川水温の変化(2017年6月6日~8月7日)

九州工業大学大学院 建設社会工学研究系 重枝 未玲

1. はじめに

時々刻々と変化する河道内水位は,洪水時の河道で生じている現象の解明,効果的な減災対策を講じる上で 重要である.近年では,Society5.0の具体として,低価格の水位計の設置とICT,IoT技術を用いた危機管理 技術との統合化もなされており,多点での連続水位観測のシステムが構築されつつある¹⁾.このような水位デ ータに基づき洪水時の流量を推定し,洪水時の流況や河道の状況を推定することができれば,河道の維持管理 に供する有用なデータになると考えられる.本研究は,以上のような背景を踏まえ,従来の解析のように流量 ハイドログラフを与条件とするのではなく,水位ハイドログラフを与条件とした平面 2 次元洪水流解析法の 予測精度について検討を行ったものである.

2. 水位を与条件とした解析法の概要

本解析法²⁾は,水位ハイ ドログラフを上・下流端境 界条件に与え,水位・流量 を求める解析法である.本 解析は,SA-FUF-2DF モ デル²⁾をベースとしてる. 同モデルは,式(1)に示す2 次元浅水流方程式を基礎 方程式としており,エネル ギー損失項で堰や橋など の河川構造物を簡易的に

 $\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} + S_1 + S_2 + S_3 = 0 \quad (1)$ $U = (h, uh, vh)^T ; E = (uh, u^2h + 1/2gh^2, uvh)^T ; F = (vh, uvh, v^2h + 1/2gh^2)^T ;$ $S_1 = (0, -gh(S_{\alpha x} + S_{Lx}) + F_x, -gh(S_{\alpha y} + S_{Ly}) + F_y)^T ; S_2 = (0, ghS_{fx}, ghS_{fy})^T ; S_3 = (q_r, 0, 0)^T$ $U : Ref = \overset{\wedge}{\Delta r} \wedge v, E, F : x, y = fn \otimes (\pi + r) \wedge v, S_1 : \exists \pi \leftrightarrow x \Rightarrow v \neq - \exists + \exists + \exists + d = \pi +$

取り扱う.離散化には流束差分離法が用いられている.境界条件に は、図-1に示すように、右側セルを計算領域外とし、各セルの上・ 下流端境界条件に水位を与え、式(1)を流束差分離法と同様な方法で 風上化をすることで求まる境界条件式(式(2)と(3))より、単位幅流量 を算定する.式中の記号の定義は図-1に示す通りである.ここに、

 $S_{on}=S_{ox}n_x+S_{oy}n_y, S_{fn}=S_{fx}n_x+S_{fy}n_y$ である.境界条件の設定手順は次の通 図-1 音りである.まず、①境界条件として与えた新しい時間ステップの水位 $H^{+\Delta t}$ から水 深 $h^{t+\Delta t}(=H^{t+\Delta t}-z_b)$ を求める.次に、②式(2)、(3)を用いて、新しい時間ステップの単位幅流量 $(u_nh)^{t+\Delta t}, (u_th)^{t+\Delta t}$ を算出する.

3. 平成 24 年九州北部豪雨時の彦山川流域への適用

彦山川流域の概要を図-2 に示す. 解析は上流端境界条件に水位ハイドログラフ を与える RunA, 流量ハイドログラフを与える RunB の 2 通りを実施し, RunA で は上流端境界に添田,春日橋,夏吉観測所の実測水位を与えた. なお,赤枠で示す 流域では水位観測が行われていないため,流出解析より得られた流量を内部境界と して与えた. RunB では上流端および内部境界に流出解析より得られた流量を与え た. 下流端には,中島観測所の実測水位を与え,堰はエネルギー損失で考慮した.

図-3は、上流端とした各観測所の流量ハイドログラフと観測結果とを比較した

ものである.これらより, RunAは, (1)RunBに比べ,流量ハイドログラフの波形を高い精度で再現している こと, (2)ピーク時の流量誤差は約3%であること,などが確認できる.図-4は,赤池観測所での水位と流量



計算領域外 🔒

n R

堷界

算領域

 $(u_{nR}, u_{tR}, h_R, z_{bR})$

 $u_{\rm nL}, u_{\rm tL}, h_{\rm L}, z_{\rm b}$

R

の解析結果と観測値とを比較したものである.これらより, <u>@</u>600 RunA, Bともに, (1)流量・水位ハイドログラフの波形を概 0 ₩ ₩ ね再現していること、(2)ピーク時の流量・水位を過大に評 ^援200 価していること, RunA は RunB に比べ, (3)2 山目の流量・ 水位を高い精度で再現していること、などが確認できる. RunA がピーク流量・水位を過大に評価したのは、上流端 流量の再現精度が高いことを踏まえると、図-2の赤枠に示す流 域外からの流入量を適切に評価できていないためと考えられ る. 図-5は、解析最大水位と痕跡水位の比較を行ったものであ り, RunA, Bともに, 痕跡水位を概ね再現していることが確認 できる.

4. 平成 29 年九州北部豪雨時の花月川流域への適用

解析対象河川は花月川の大臣直轄管理区間である.花月川は, 一級河川筑後川の支川であり、その流域面積は136.1km²、流路 延長は16.6km である.同区間には、5の堰と18の橋が存在す る.花月川流域の概要および観測所位置を図-6に示す.

本解析では、上・下流端境界条件として痕跡水位を与えた.河 道横断面図には平成29年のものを、粗度係数には推定粗度係数と逆算粗 度係数を用いた.

図-7 に、上流端流量ハイドログラフの解析結果、解析最大水位と痕跡 水位との比較を示す.これより、同モデルが距離標 0.6km 周辺で水位を 過小評価しているものの,花月川の痕跡水位を十分な精度で再現してい ることが確認できる.距離標 0.6km 周辺では河道が急縮しており、そこ での横断面形状が不明であったため、その影響を解析に反映できなかっ たことが,差異の要因と考えられる.上流端流量ハイドログラフから, 花月水位観測所でのピーク流量は 1.413m³/s であることが確認できる. 本解析結果は、平成24年7月豪雨でのピーク流量1,350m3/sに比べ、若 干大きいが同程度の流量となった.同区間では激甚事業により流下能力 が向上されたことに加え、今次豪雨では同流域に約1.6倍の降雨量であ ったことにより、同観測所の流量は平成24年に比べ大きいことが予想さ れる.同区間は経年的にも平均河床が低下しており、同区間での河床が 変動したと考えられる、今回の解析では河床変動を考慮していないこと から,流量が平成24年7月豪雨時と同程度となったと考えられる.この 点については、河床変動を考慮に入れた流量の推定を今後検討したいと 考えている.また,水位と流量との関係を求めたところ,水位と流量は1 対1の関係にあることが確認された.



の比較

(m)^q15

™ 世10 回

時刻

5. おわりに

本研究から、本解析法は、水位を境界条件とする本解析法は、実河川での上流端流入流量を適切に評価でき ることが確認された.

参考文献) 1)国土交通省 ・経済産業省:ICT,データ活用等による戦略的なインフラメンテナンス等, https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/suishinkaigo2018/infla/dai2/siryou5.pdf, 2018., 2) 重枝ら: 水位ハイドログラフを境界条件とした平面2次元洪水流解析,土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, I_1453-I_1458, 2018.

大規模アンサンブル気候予測データを用いた九州地方の将来の降雨形態の変化

九州大学 田井明・杉原裕司 福岡大学 橋本彰博 佐賀大学 押川英夫

1. 目的

IPCC 第5次評価報告書によると、地球温暖化により極端な降雨現象が強度・頻度ともに増す可能性が 非常に高いと報告されている.極端降雨の増加は人間社会に対して大きな影響をもたらすため、対策を 講ずるためにも精度の高い予測が必要である.しかし、これまでの予測データベースでは、予測計算の アンサンブル数が少ないため、発生頻度の低い現象の確率的な評価ができていなかった.そこで、本研 究では大規模アンサンブル気候予測データベース d4PDF (database for Policy Decision making for Future climate change)を用いることにより、多数のアンサンブル実験データを用いて、総降水量と集中豪雨の将 来変化に対する確率的な評価を行った.

<u>2. 内容</u>

2.1. モデルバイアスの検証と年総降水量の変化

本研究では d4PDF のデータのうち,水平解像度約 20km で日本全域をカバーする領域実験結果を用い, 九州地方における過去実験 2500 年分,4℃上昇実験 5400 年分の解析を行った.まず,モデルバイアスの 有無を検証するために,観測所の実測値(30 年分)と d4PDF の過去実験(2500 年分)を用いて,年総降水量 を算出し比較を行う.図-1 と図-2 はそれぞれ実測値と過去実験の年総降水量の全期間平均値である.両 者とも九州北部で降水量が少なく,九州南部で降水量が多い傾向を示しており,また,その降水量も類 似しているため,モデルバイアスはないと考えた.次に過去実験と将来実験の比較を行った.図-3 に将 来の年総降水量を示す.過去実験と比較すると,将来,九州全域で降水量が増加する結果となった.特 に熊本県,鹿児島県,宮崎県で降水量が大幅に増加することが確認できる.しかし,長崎県南部では降 水量が大きく増えているものの,九州北部では降水量の増加は明瞭ではない.九州地方は地理的条件に より台風の影響を受けやすい九州山地東側や鹿児島県南部,梅雨前線や低気圧の影響を受けやすい九州 山地西側の熊本県では降水量が他の九州の地域と比べて多く,また,九州北部のうち,特に福岡県平野 部における降水量は比較的少ない傾向にある.このような傾向は,将来的に地球温暖化が進行していく 中で,顕著化していくと推察される.





<u>2.2.集中豪雨の将来変化</u>

次に、集中豪雨の将来変化を調べるために、1時間、48時間年最大降水量の50年確率に対する検討を 行った.九州全域の平均変化量は、1時間年最大降水量で+24.9mm、48時間で+102.5mmとなり、将来、集 中豪雨時の降水量が増加する結果となった.また、1時間年最大降水量では増加量の地域差はほとんど なかったが、48時間年最大降水量では地域差が顕著に確認できる.地域差の詳細な検討をするために、 両者で変化量の少なかったA地点、1時間、48時間年最大降水量で変化量が大きかったB地点、C地点 をそれぞれ選び、ヒストグラムを作成した.図-6はA地点とB地点における1時間年最大降水量のヒ ストグラムである.A地点、B地点ともに過去と将来のヒストグラムが類似していることから、1時間 年最大降水量の将来変化は地域差があまりないことが推察される.図-7はA地点とC地点の48時間年 最大降水量のにストグラムである.A地点の過去と将来のヒストグラムはお互いに類似しており、ほと んど降雨の増加はない.しかし、C地点のモストグラムでは、過去より将来のヒストグラムの方が多雨 側に大きく推移しており、将来的にC地点の豪雨時における降水量は大幅に増加すると考えられる.こ のことから、48時間年最大降水量の将来変化は地域差が大きいことが分かった.

3. 結論

本研究から、地球温暖化の影響により、九州全域で年総降水量が増加し、集中豪雨の強度・頻度とも に高くなっていくことが分かった.さらに、集中豪雨の変化には地域差があり、北部では増加量は比較 的少ないが、南部では大幅な増加が予測される.

気候変動に伴う SS 負荷量の変化に着目した貯水池水質予測

八千代エンジニヤリング株式会社 鈴木伴征 小林真之 工藤将志 山本茂友 国立研究開発法人土木研究所 櫻井 寿之** 中西 哲 對馬 育夫

1. はじめに

近年,気候変動による干ばつや大雨頻度の増加,河川流量 の減少や増加により,貯水池及び湖沼の水位や水質に変化が生 じ,それにより量的・質的な問題が生じることが示唆されてい る.そのため,気候変動を考慮した貯水池や湖沼の水質予測に 関する研究が多数行われているが,流入負荷量の設定方法に着 目した研究は少ないと思われる.一般的に貯水池の水質計算で は,境界条件として負荷量と流量の関係式(L-Q 式)を用いて 設定される.この場合,気候変動による影響は流量のみで決定 することになり,降雨特性(時間的変化,空間的変化等)によ る影響は十分反映されない可能性がある.

そこで本研究では、水質の中でも降雨の影響を強く受ける SS(濁り)に着目し、農学分野で広く用いられる土壌流出量 の経験式(USLE式)を用いて降雨の空間分布や降雨強度の違 いを直接的に流入 SS 負荷量に反映させ、気候変動に伴う貯水 池水質予測を実施し、LQ 式による予測との違い等について検 討した.

2. 現在と将来予測データの概要

本研究では環境省が公表している RCP シナリオに基づいた 地域気候モデル (MRI-NHRCM20:水平格子間隔 20 km)を使用 した.現在気候は 1984 年 9 月~2004 年 8 月,将来気候は 2080 年 9 月~2100 年 8 月の期間で出力されている.本研究では現在 気候・将来気候 (RCP4.5・RCP6.0・RCP8.5)の4 シナリオにつ いて実施した.

(1) 気象データ

気候変動モデルの出力結果は観測値との差異があるためバイ アス補正を行った.気温については月毎に観測値とモデル出力



図 1 A ダム流域の流域区分と土地利用

※現一般財団法人ダム技術センター

値の差分を補正し、降水量については月別に累積分布関数を作 成し補正を行った.その他の気象条件については風速は観測値 の月平均値を使用し、湿度・日射量・雲量は降水量との関係式 を作成した後、バイアス補正後の降水量を用いて作成した.

(2) 流入量·放流量

作成した気象データを用いて分布型流出モデルによる流出計 算を行い流入量を作成した.一方,放流量は実績のダム運用を 踏まえた利水モデルを構築し設定した.

3. USLE 式によるダム流入負荷量の推定

USLE 式¹は 5 種類の係数の積から土壌流出量を算出する経 験式である.この式は降雨・地形・土壌・土地利用といた土壌 侵食の要因と土壌侵食との関係性について,現地実験を重ねて 算定されたものである.

$A = R \cdot K \cdot LS \cdot P \cdot C$

ここで、A:単位面積当たりの流出土砂量(ttha)、R:降雨 係数(tt·m²/ha/h)、K:土壌係数(h·m²)、LS:地形係数,C: 作物係数,P:保全係数(1.0)である。各係数の設定方法を表 1に示す。

本研究では、ダム流域の流域情報の分布に着目し、「森林」 を主とする流域と「農用地」を主とする流域が区別されるよう、 8 つの流域区分を設定し、流域毎に USLE 式の係数を算定した (図 1). USLE式用いて算出した A ダム流域の流出土砂量を図2 に示す.崩壊地の発生等により流入土砂量が大きくなった可能 性がある年がみられるが、1984 年~2004 年の堆砂実績から算 定した流出土砂量の傾向を概ね良く再現することができた.

 降雨新数
 ・観測データ
 降雨の分布を考慮して、満頭区分毎に陸雨 係数を算出する

 土線系数
 ・国土交通各発行の20万分の1の土 地分類基本調査(土均氣の)
 既往文献を基に土/線系数を設定する³

 地形系数
 ・国土数値音報
 減減広公毎に地所系数を変出する¹

 作物係数
 ・国土数値音報
 減減広公毎に1時所系数を設定する³

 800



表 1 USLE式の係数設定方法

4. USLE 式を用いた貯水池水質再現計算

A) 水質計算概要

貯水池の水質計算は鉛直2次元モデルを使用し,連続式,ブ シネスク近似した運動方程式及び,相対密度差とSSの輸送方 程式から構成されたモデルを使用した.

USLE 式より得られた年間負荷量は土壌を対象としており砂 分を含む量である.そのため、粘土・シルト分(SSを対象と した粒径)に換算する必要がある.換算方法は堆砂ボーリング データなどをもとに、実績の粒径別流入土砂量の比率を算出し、 換算した.また、SSの流入条件は年間負荷量を日流入量の2 乗で配分し日平均のSS濃度を作成し境界条件とした.

B) 計算結果

1984年~2004年の期間で年最大時間流入量(1,375 m³/s)が発生した 1990年のダムサイト 3 深度の SS 濃度時系列変化を図 3 に示す. 8 月中旬頃をみると、出水後の貯水池 SS 濃度の観測値を比較的良く再現していた.



図 3 ダムサイト3深度のSS濃度の計算と観測の比較

5. 気候変動を考慮した貯水池水質計算

A) 現在気候・将来気候の USLE 係数

現在気候および将来気候の降雨データを用いて、流域毎の降 雨流出係数を算出した結果を図4に示す.図4の赤丸をみると、 流域1における降雨流出係数の年最大値が RCP6.0 で 700 を越 える高い値となっている.流域1は農地利用が多い流域であり、 土壌流出が活発な流域となるため、多くの降雨が生じることで RCP6.0における 2099年は高い SS 負荷量が生じる結果となった

(図5の赤丸). なお、降雨流出係数以外の各係数については、 再現計算時の係数をそのまま使用した.

B) 気候変動を考慮した貯水池水質計算結果

降雨の空間分布に違いが見られたシナリオ RCP60 の計算結 果を図 6 に示す. 比較的降雨量が多く, 流入量の多い 2084 年 (青)や 2093 年(緑)は USLE 式と L-Q 式はそれぞれ, 計算 期間 20年間のうち, 7月の月平均最大濃度と9月の月平均最大 濃度となっている. 一方, USLE 式で SS 負荷量の多い結果と なった 2099 年は流入量の比較的少ない年であったため, L-Q 式の計算結果では平年並の濃度となっているが, USLE 式の計 算結果では8月の月平均 SS 濃度が 20年間で最大となった.

次に融雪期(3月~5月)をみると,USLE式の計算結果は融 雪出水の影響で,下層のSS濃度が常に高い値となっている. これは単純に年間負荷量を流入量ベースで配分したことが原因 であると考えられる.





6. まとめ

検討の結果, L-Q 式では考慮できない降雨の空間分布や強度 の違いを USLE 式によって直接的に SS 負荷量に反映すること で,気候変動に伴う SS 負荷量の変化をより適切に表現できる 可能性を示すことができた.また,USLE 式は水質データの観 測結果が少なく,L-Q 式を作成することが困難な貯水池でも SS 負荷量を推定できる可能性があることも示された.なお, 融雪期における負荷量は,年負荷量を流量によって単純に按分 すると過大となるため,融雪期の負荷量の設定方法が課題とし てあげられた.

参考文献

- ・鵜木啓二,子檜山雅之:汎用土壌流亡予測式による 農業流域からの土砂流亡量予測,寒地土木研究所月 報,No.700, pp.13-19, 2011.
- 農林水産省:「土地改良事業計画指針 農地開発 (改良山成畑工)平成4年5月」,1992.
- 3) 今井啓,石渡輝夫:統計資料等を用いて整理した北海道における土壌浸食因子の地域性について、寒地 土木研究所月報,No.640,,2011.

気候変動に伴う気温・河川水温・海水温の変化が有明海の密度成層構造と 貧酸素水塊の消長に与える影響の評価

九州大学大学院 学生会員 田所壮也・中村潤幸・秦培植 九州大学大学院 フェロー 矢野真一郎

1. 目的

近年,気候変動による環境異変が疑われる現象が数多く見られている.例えば,公共用水域の多くで水温の 上昇傾向が確認されている.地球温暖化の進行に伴い,気温・河川水温・海水温の上昇が懸念されるが,それ に伴う沿岸域の密度成層構造の変化や貧酸素水塊の消長への影響に着目した研究はほとんどない.有明海は半 閉鎖性の内湾であり,筑後川をはじめとする多数の河川が流入するため河川水の影響を受けやすい.しかし基 礎データとなる河川水温の連続データは筑後川の一地点でしか計測されておらず,流れなどの数値計算を行う 際は,筑後川以外は仮定した水温が与えられていた.本研究では,温暖化が沿岸域の水環境へ与える影響評価 を目的として,疑似温暖化実験による河川水温変動が有明海の密度成層構造と溶存酸素分布に与える影響の評 価を試みる.その際に,河川水温変化が与える影響の評価を精緻に行うために,流入する一級河川において水 温の長期連続観測を行い,取得された河川水温データをベースにしたシミュレーションを試みる.

2. 内容

1) 河川水温のモニタリングと気温との相関式の作成: 2015 年 8 月以降に小型メモリ式水温計による長期モニタリングを実施した.対象はモニタリングデータがある筑後川を除く,六角川・嘉瀬川・矢部川・菊池川・ 白川・緑川の6つの一級河川である(図-1).測定地点は国交省管理の流量観測所のうち,感潮域を除いて河 口に最も近い場所を選定した.測定後,直近のアメダス観測所の気温データとの相関を調べ,河川毎に相関式 を作成した.一例として白川の場合を図-2 に示す.

2)流動シミュレーション:数値モデル Delft3D を用いた有明海・八代海結合モデルを用いた.ここでは、① 現在気候、②将来気候(気温+2℃)、③将来気候(気温+4℃)の状態を想定したケースを設定して計算を行 った.その際、河川水温は1)で得られた相関式から一様に上昇させた気温から算定した.また、海水温(開 境界に設定する海水温)は必ずしも気温と一対一で対応しないと考えられるが、(A)河川水温の上昇分の平均 値を用いて一様に上昇させる場合と(B)現在の海水温を与える場合を想定した(表-1).

3) D0 シミュレーション: 熱成層の計算結果を用いて, 溶存酸素 DO の鉛直 1 次元計算を行い, 熱成層構造 の変化が DO 分布に与える物理的な影響の評価を試みた. DO の計算には鉛直 1 次元拡散方程式を用いた.水 面で大気からの曝気,海底で一定の酸素消費速度(諫早湾の実測値)を境界条件として与えた.

<u>4) 結果と考察</u>: 各ケースにおける現在気候(Case①)からの DO の減少率を求めた.図-3 に Case①の水温 と DO の B6 地点(夏場に常態的に貧酸素の発生が見られる)におけるイソプレットを水温成層が発達する 8 月下旬について示す.同様に,図-4,5 に Case③(B)と Case③(A)について,水温と DO の Case①との差を示す.

気候変動下においては、現在気候より全体的に酸素濃度が減少している.特に8月22日から25日にかけて底層で両ケースのDOが大きく減少している.Case③(A)に比べCase③(B)の減少率が大きいのは、計算条件である河川水温と海水温の差が大きいため、水温成層が強いことが影響している.よって、温暖化により河川水温が上昇すると海水温の上昇の有無にかかわらず水温成層が強化され、鉛直混合が抑制されて貧酸素化が促進する可能性があることが分かった.

3. 結論



連続河川水温データをベースにしたシミュレーションを行うことで,温暖化が有明海の成層構造に与える影響を検討した.また,温暖化により河川水温が上昇した場合,成層が強化され貧酸素水塊の発達を助長することが分かった.

扇状地端部を流れる湧水河川の流れ場と水収支

○田代 喬(名古屋大学減災連携研究センター),片貝武史(同未来社会創造機構)

1. はじめに

扇状地では、頂部で涵養され伏流した地下水が端部で湧出する.断層地形などによる山地と平地の境界に は、複数の扇状地が隣接して存在することがあり、そうした地域では扇端部からの豊富な地下水を集める「湧 水河川」が形成される.湧水河川では四季を通じて一様な流況・水温環境を保たれ、独特な生態系が成立す るが、河道内の表流水のみでは連続条件を満たさないため、既往研究では周辺地下水を含めた巨視的な水動 態に関心が寄せられてきた.本報では、湧水河川における水理現象とそれが生み出す生息環境を記述するこ とを目的とし、水位・水質の連続観測による流況把握を行いながら、河川地形と3次元流速分布を同時収集 する超音波流向流速計(ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler)を用いて流れ場を可視化することにより、 流れ場と水収支に及ぼす湧水の影響を考察する.

2. 材料と方法

対象河川は,濃尾平野西端に位置し岐阜県海津市を流れる揖斐川水系津屋川である.津屋川は,「養老の滝」 に源を発し,急峻で脆い養老山地に沿って流れ,流域面積 71.2 km²,幹線流路延長 12.6 km を有する.右岸 (西)側には急峻な養老山地と濃尾平野の境界に形成された扇状地が多数存在する一方,左岸(東)側には 圃場整備により区画化された水田地帯を背後に抱え堤防が築かれているが,本川と接続する湧水池や後背湿 地が一部残存する区間となっている.調査地は,揖斐川合流点から 8.3 km 上流に位置する平均勾配 1/450 の 区間から,湧水池から連なる排水路が流入する,瀬・淵を含む約 60 m のリーチを選定した. Fig. 1 には,調 査地とその周辺について,ドローン (DJI Phantom3 Standard) で撮影した画像を Agisoft Photoscan Professional にて処理・作成したオルソフォト写真を示す.

2016年夏季以降, 湧水が流れる排水路(St. SPRING)とその流入前後の河川(Sts. UP / DOWN)において水深, 電気伝導度を自記式測器(HOBO Onset Logger, U20L/U24)で連続計測する一方, 出水期を挟む 2016

年6月7日と同12月3日には、河川地形と流速 分布を超音波流向流速計 ADCP(Sontek / YSI, River Surveyor M9) により計測した. 一般に ADCPは、センサー部に4つの送受信面を備え、 発射した超音波ビームが水中の微小懸濁物(浮 遊物など)に反射して戻ってくる際に生じる周 波数の変化を受信することで一時に多量のデー タを取得できる(金子・伊藤, 1994).本機器は, 周波数の異なる 5 方向の超音波ビームを送受信 可能なセンサーを備え、浅水域を含む広範な水 深領域(20 cm~80 m)で計測でき(米倉ら, 2013), 高精度な位置情報を取得可能な RTK-GPS (Realtime Kinematics Global Positioning System) も備え ている. 計測の際は, これら一式を小型艇に搭載 して,調査範囲の水面を移動させながら,無線接 続した PC 上の制御ソフト Hydro Surveyor (Sontek /YSI) にてデータ収集・整理を行った.



Fig. 1 An orthophotograph of study site with spring creeks in Tsuya River (taken on Dec. 02, 2016)



Fig. 2 Temporal variations of water temperatures (a) and electric conductivities (b) (Jun. 07, 2016-May 01, 2018)



Fig. 3 Spatial distribution of depth averaged velocity (Left) and longitudinal variations of flow rate and water level / riverbed elevations (Right) (on Dec. 02, 2016)

3. 結果と考察

Fig. 2 には、各地点における水温 (a)、電気伝導度 (b)の変動状況について、当該期間中の降雨状況(松山 観測所、国土交通省水文水質データベース、http://www1.river.go.jp/) とともに示す. 湧水の水温は、若干の日 周変動を伴いつつも年間を通じて安定している一方、本川の水温は降雨や季節によっても大きく変化した. また、電気伝導度は時折急変しつつも地点間で差異が認められ、上流、下流、湧水の順に大きい期間が大半 を占めたため (欠測を除く全期間の 72.5%)、湧水流入による希釈効果が示唆された. そこで湧水寄与率を求 めたところ、全期間を通じ 49.3%、夏季に 31.6% (2016/8/12-9/2)、冬季に 61.9% (同 11/11~12/2) となった.

今回実施した2時期における3次元流れ場の計測では、河川流量は6月7日に平均0.16 m³/s(最大0.43 m³/s),12月2日に平均0.21 m³/s(最大0.47 m³/s),湧水流入量はそれぞれ0.022 m³/s,0.027 m³/sと推定された.この結果は前記した冬季の湧水寄与率が大きくなることと合わせて精査する必要がある.Fig.3には、計測結果の一例を示すが、全体的に低流速ながらも本川上流部の淵と中下流部の瀬の分布が可視化され、縦断的に分布する瀬・淵によって大きく流量が変動する様子が確認された(平均値の10~220%).以上から、本調査地では湧水水路の流入(約3902515 m 地点)によらず、河床による湧出、浸透による水交換の影響が少なくない可能性が示唆された.

参考文献:金子・伊藤:海の研究 3(5): 359-372, 1994. /米倉他:土論 B1: 69(4): I_1285-1290, 2013.

リン除去速度と蓄積量の評価-玉川上水を例として-

法政大学理工学部創生科学科教授 山田啓一

法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻 小川智也

法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻 田倉充英

1. はじめに

現在,東京湾や大阪湾など都市化された水域では, **TP** 負荷源の6割が「生活排水」であり年々その比重 が増している.生活排水の大半は下水処理水であり, これを水深が大きく流速が速い大河川に放流すると 希釈され除去されずにそのまま流出する.これによ って植物プランクトンの異常繁殖等の富栄養化を引 き起こす.栄養塩類の施設内での処理は高度な技術 や莫大な費用を要する.休耕田や水生植物による生 物学的除去も試みられているがごく部分的である. ところで,米国を中心に1980年代から「湿地」によ る栄養塩類除去の研究と実用化が進み,設計基準も 提案されている.これらの成果は適切な濃度範囲と 水深・流速の管理により,主として土壌微生物による 栄養塩除去が達成されていることを示している.

本研究ではリンを含む再生水が定常的に放流されて いる玉川上水でのリン除去速度と底質土壌リン蓄積 量の関係を考察した.

2. 対象地域と観測項目

玉川上水は、高度処理水が流れている周辺水域から の流入が少ない用水路であり、栄養塩類の濃度が他 の河川に比べて高い.また、最終的に東京湾へと流 れていくことから、周辺水域の富栄養化に影響を与 えていると考えられる.観測地点は参考文献(山田ら 2018)に記してあるWR,T1,T2である.調査項目は TN, TP, COD, pH, ORP, 流量である.

3. 物質収支による除去速度の算定

各水路区間における物質収支を(*)式を用いて検討 する. A 区間(WR-T1)で10時間, B 区間(T1-T2) で5時間の時間遅れを考慮する. 溶存物質TP等は 流水と共に移動すると仮定する. すなわち, 濃度変化 は拡散ではなく、移流によるとする. なお、各区間の 流量変動は全体の10%程度であり、ごくわずかであ る.

$$R = \frac{86.4(C_{u}Q_{u} - C_{d}Q_{d} - C_{L}Q_{L})}{A}$$
(*)

R:除去速度 (g/m2/day), Cu:上流の濃度(mg/L), Cd:下流の濃度 (mg/L), Qu:上流の流量 (L/sec), Qd:下流の流量 (L/sec), QL=Qu-Qd:浸透流量 (L/sec), CL=(Cu-Cd)/2:浸透水濃度 (mg/L)

4. リン除去速度の濃度依存性

WR における TP 時間変化は早朝に最大値となるが、それ以外の時間帯も短期変動がみられる. WR と比べると、T1において TP は 70~80%減少している.
 T2 は T1 に比べると若干低下している.

(*) 式を用いてリン除去速度 RP と流入濃度 CP の 関係を図-1 に示す.なお、C 区間については TP 濃度 が極めて不安定であり、同区間は A・B 区間と比べて 流速が倍以上あり、底質リンの巻き上げが考えられ、 この考察から除外した.A 区間で kP = 0.09 m/day と B 区間で kP = 0.23 m/day の 2 通りの除去係数が みられた.A 区間では、米国の湿地のリン除去係数の 平均値 0.03 m/day より僅かに大きい.なお、B 区間 では流入濃度が下限値に近いため安定した除去係数 が得られない.



図-1 TP 除去速度の濃度依存性

5. 土壌リン蓄積量の推定

採泥は 2017/8/24, 11/8, 2018/1/17 に W0, T1, T2 の 3 地点の底質土壌を使用した.各地点における採泥 した土に含まれる有機態リンと無機態リンを図・2 に示す.乾燥重量 1g あたりおよそ 0.5 mg のリンを 蓄積し,有機態リンが 8割を占め,無機態リンが 2割 を占める.また,流下過程で有機態リンは流下方向に 0.06 mg/g 増加しているようである.なお,3 回の観 測値はかなり変動があり,より詳細に検討したうえ で最大リン蓄積可能量の検討が必要である.なお,米 国の計測例ではリン 蓄積量がおよそ 0.3 ~ 1 mg/g(Kadlec, 1996)であり,今回の結果と比較をす ると妥当な値である.





これまでに示した年リン除去速度と土壌中リン蓄 積量を用いて、何年分のリンが蓄積されているかを 推定する. W0-T1の5.3 km 区間において底質土壌 中リン蓄積量0.5 mg/gが深さ0.5 m 以内の全域にわ たって均一に蓄積されているとする. 土の単位体積 質量を 2.6 g/cm3 とすると, 総リン蓄積量は 1.2× 104 kg である. 今回の物質収支法で得られた平均 RP = 0.05 g/m2/day を考慮すると, およそ 32 年分の蓄 積になる. 通水を開始してから 31 年経つ玉川上水を 考慮すると, 総リン蓄積量とリン除去速度の関係は 妥当な関係といえ, 今後もリン除去が期待される.

6. まとめ

TP除去速度の濃度依存性が示された.除去係数 kP は米国での湿地での測定値よりやや大きめであるが 類似した値であった.pH 6.8~8.0の範囲で **TP**除去 は,pH 増加とともに促進された. ORP 30 mV~250 mVの範囲で**TP**除去はORP 増加とともに促進した.

土壌中リン蓄積量は 0.5 mg/g で有機態が 8 割, 無 機態が 2 割となった. なお, その値は米国の実測値 よりやや大きい. W0-T1 区間において推定された 土壌中リン蓄積量を 0.5 mg/g とすると, 深さ 0.5 m の範囲でこの範囲にリンが蓄積されたと仮定すれば, この区間の土壌中の総リン蓄積量は観測されたリン 除去量の 32 年分に相当する. これは玉川上水が通水 を始めてからの期間とほぼ対応する. なお, 今後の課 題を挙げると以下の諸点である.

流動方向に沿ったより短距離区間の水質変化観
 測

② 土壌中リン蓄積量は深度方向,流下方向の観測 脱窒やリン保留に関する底質土壌の役割は極めて 大きい.これらの実態はより詳細に検討すべきであ る.

〈参考文献〉

山田啓一,小川智也,田倉充英(2018):玉川上水にお ける再生水の窒素・リン除去機構

Kadlec, R.H. and R.L.Knight(1996):*Treatment Wetlands*, 373-480

キーワード 再生水,玉川上水,リン除去速度,土壌中リン蓄積量 連絡先 〒184-0002 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学理工学部創生科学科 <u>TEL:042-387-6292</u>

温州大 〇井芹 寧・郝 愛民*・趙 敏 西日本技術開発 阪田 和弘・寒地土木研 大石 哲也 佐賀大 原口 智和・九州大 久場 隆広・山口大 朝位 孝二

1. 目的

本研究は、LED 照射による生物活性化機構に基づ き、我が国で衰退が著しい沈水植物のシャジクモ 帯の修復及び湖沼やダム湖等で水質障害を引き起 こしている貧酸素水塊の改善技術を開発すること を目的としている(図-1).

2.シャジクモ帯修復技術の開発

シャジクモ種子を含んだ底泥にLED 照射を行い, 水草の出現状況を観察した. 2×2×1.6m の野外水 槽(図-2)実験では6週間後にシャジクモ類を含む 多様な水草の発芽が観察された、自然光と比較し て,LED 光の方がシャジクモ以外の藻類の発芽数が 少なく,特に青LEDではシャジクモ類のみ発芽し, 自然光より成長(湿重量増加)する状況も観察され た(表-1,図-4).赤LEDでは青LEDより現存量は少 ないが,LED ランプに近いほど現存量が大きくなる 傾向が認められた.光強度別室内発芽実験(20℃)に



図-1 LED 照射による水域生態系改善イメージ

無光

自然光

小 (混合を除く)

自然 混合

赤×10

書

おいて,赤 LED で 4 μ mols⁻¹m⁻²程度の光強度でシャジクモ類の発芽が認められ,40 μ mols⁻¹m⁻²程度で,6週間 後には 200 株以上(0.2m²当たり),最大藻体長 5cm の発芽成長が観察された(図-3).



表-1 野外水槽発芽実験(No. 1)発芽株数(6週間後)

*連絡先 〒325035 中国浙江省温州市茶山高教園区 温州大学 生命環境科学学院 10C302 E-mail: hao aimin@wzu.edu.cn

3. 貧酸素水塊改善技術の開発

(1) 実験池人工窪地実験

岐阜県に位置する国立研究開発法人土木研究所自然共生研究センター敷地内の貯水容量約560m³の実験池に, 直径約2.5mの円形,池底からの深さ約1.3m(湛水時水深2.3m)の人工窪地を3ヶ所造成し,実験区とした.実 験区はLED設置区として赤色LED区,青色LED区及び対照区として,架台のみのControl(無光)区を設けた.

常時点灯稼働時の各実験区の水質連続計測結果を図-5 に示す.実験開始後次第に赤 LED 区で D0 が上昇し, Control 区と比較して,日平均値で 5mg/L 以上の上昇が観察された.青 LED 区に関しては,Control 区が夜間 から午前中にかけて最低値がしばしば 2mg/L 以下に低下するのに対し,LED 区では概ね 4mg/L までに低下を抑 制した.照射装置に設置された生物付着担体において,Cocconeis sp.,Oedogonium sp.等の付着藻類の増殖 が観察され,これらの光合成作用により酸素が生産されたことが D0 上昇に寄与したものと推察される.二次 的効果として,動物プランクトン,原生動物,底生魚の現存量増加傾向も観察されており,一次生産者活性化 を基盤とした生態系修復法としての発展性も示唆された.



図-5 LED 照射装置,実験池水質連続計測結果(水温,D0,pH 推移図,D0 毎時平均,最大,最小値グラフ)

(2) ダム貯水池貧酸素層

佐賀県の藤ノ平ダムにおいて,水深10m程度の湖底に窪 地実験と同仕様の青,赤LED照射装置を設置した.5カ月 後の水質鉛直分布調査において,湖底直上でDOの上昇が 観察され,水質水平分布調査により,LED設置地点周辺数 十m以上にわたって,DOが供給されている状況が認められ た(図-6).

4. まとめ

LED 照射法においてシャジクモ類発芽成長促進, D0 供給 作用があることが確認された.実用化に向けて,波長別の

定量的改善機構の解明,費用対効果評価など課題も多いが,本法は,従来法と比較して物理的攪乱も少なく, 土着の生物群活性化の効果に基づいていることから,周辺環境への影響が比較的少ない,生態工学的生態系修 復法としての発展が期待される.



島根大学エスチュアリー研究センター 矢島 啓

鳥取大学農学部 吉岡有美

岐阜大学流域圏科学研究センター 丸谷靖幸

1.はじめに 汽水域における生態系は,淡水と海水の微妙なバランスの上に成り立っている.汽水湖においては, シジミが特産品となっていることも多いが,その生長には栄養となる植物プランクトンの量も影響を与えるが,産 卵などの生長サイクルにおける塩分条件の重要度も指摘されている¹⁾.このような背景のもと,将来の温暖化がも たらす気候変化が,汽水湖環境にもたらす変化を把握しておく必要がある.そこで,本研究では,汽水湖である中 海・宍道湖を対象に,将来の温暖化がこれら湖沼の水温と塩分および濁度環境に与える影響を評価した.

2.研究方法 比較の対象とする現在気候および将来予測シナリオの気象値については、CMIP5 から得られた 3 つの GCM モデル(ACCESS, GFDL MIROC)の 1996 年からの 10 年間(現況)の再現計算値および 2090 年から 10 年間の rcp4.5 シナリオの予測値(将来)にバイアス補正を実施した. それをもとに分布型流出モデル HSPF で斐伊川流域の流 出計算を行った. ただし本研究においては、ダム運用や神戸川放水路をモデルに組み込んでいないため、実際よりも 過大流量となっている. 次に、流出モデルの計算結果より得られた水温、濁度および流量を境界条件に、3 次元湖沼 生態系モデル AEM3d を用いて宍道湖~中海~美保湾までをモデル化し、現在気候および将来気候時の両湖沼に おける、水温、塩分、濁度の評価を行った.

3. 結果及び考察 将来の年間降水量の変化は大きくなく(現況の 93~104%),年間流出量の変化もあまりみられないが(現況の 99~108%),洪水の巨大化と渇水の頻度増加が予測された.これらの結果を用いて宍道湖・中海の水 質予測を行ったところ,将来は気温上昇の影響による水温上昇とともに,塩分および濁度の上昇も予測された.塩分の 上昇は,斐伊川の低水流量と関係があり,渇水の影響を受けていると考えられた.また,濁度の上昇は,斐伊川の豊 水流量と関係があり,洪水の影響を受けていると考えられた.





4. **まとめ** 本研究では、将来の宍道湖・中海の汽水湖環境はかなり変化することが予想された.本結果は研究途中 のものであるが、将来の海面上昇を考慮すると、現在の宍道湖・中海の生態系はより厳しい環境に移行する可能性 がある. 今後は、本研究の精度を高めるととともに、適応策についても検討を行う必要がある.

謝辞本研究は,日本学術振興会南アとの二国間交流事業共同研究「気候変動と土地利用変化を踏まえた日本・南 アの表流水の水質に関する将来シナリオ」(研究代表:矢島啓)より研究助成を受けて行われた.ここに記して謝 意を表します.

参考文献 1) 中村幹雄:シジミ学入門,日本シジミ研究所, 220pp, 2018.