

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13838

研究課題名（和文）感潮河川網におけるスカム動態の解明と解決策の提案

研究課題名（英文）Elucidation of scum dynamics in tidal river network and proposal of its solution

研究代表者

中谷 祐介（Nakatani, Yusuke）

大阪大学・工学研究科・助教

研究者番号：20635164

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：下水道越流水が流入する都市河川では、降雨後に大量の浮遊汚泥（スカム）が河面を埋め尽くす。スカムは水域生態系や生活環境に悪影響を及ぼすことから、早急な解決が強く望まれている。本研究では、大阪府寝屋川水系～大阪市内河川を対象として、感潮河川網で発生するスカムの動態を明らかにし、具体的な解決策を提案することを目標とした。

定点カメラを用いた河面観測ネットワークを構築し、カメラ画像からスカムを連続・定量的に判別できるAIを用いた解析により、スカムの挙動特性と浮遊・発生箇所を明らかにした。また、粒子追跡モデルをベースとしたスカム動態予測モデルを開発し、スカムが発生・集積しやすい地点を推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は実態が不明なスカムの動態を明らかにし、解決策を提案することを目標としており、現地調査やAI、数値流動モデルなどを駆使して取り組んだ。得られた知見は、実際の行政施策にも活用されるよう、河川管理者（大阪府）に積極的に情報提供を行った。実際に、府のスカム対策部会が新たに立ち上げられるなど、スカム問題の解決に向けた取り組みが活発化しており、本研究の成果も活用して具体的な対策が講じられている。

研究成果の概要（英文）：In urban rivers where sewer sewage overflows, a large amount of suspended sludge (scum) floats on the river surface after rainfall. Since scum adversely affects the aquatic ecosystem and living environment, an urgent solution is strongly desired. The purpose of this study was to clarify the dynamics of scum in urban tidal river networks and to propose concrete solutions. By constructing a river surface observation network using multiple fixed-point cameras and performing analysis using AI that can continuously and quantitatively identify scum from camera images, the behavior characteristics of scum and the location of floating / occurrence were clarified. In addition, a prediction model of scum dynamics based on a particle tracking model was developed, and it was possible to estimate the points at which scum easily occurs and accumulates.

研究分野：環境水理学

キーワード：河面観測システム AIを利用したカメラ画像解析 スカム動態予測モデル

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

下水道越流水が流入する都市河川では、降雨後に大量の浮遊汚泥（スカム）が河面を埋め尽くすことが問題となっている（図-1）。スカムは魚類の大量へい死などを引き起こし、水域生態系へ甚大な悪影響を及ぼすとともに、都市景観や悪臭、公衆衛生の観点からも早急な解決が強く望まれている。

しかし、現状では、発生後に水面清掃を行うなどの対処療法的な対応を行うしか手立てがなく、抜本的な対策はとられていない。その原因は、スカムの動態に関する基礎的データや科学的知見が不足しているために、問題解決のための工学的手法が確立されていないことである。

スカムの実態は、雨天時に合流式下水道越流水（CSO）として排出された下水由来の有機懸濁物が河床へ堆積し、堆積物中に嫌気ガスが蓄積することで水面に浮上した汚泥塊であることが報告されている^{（例えば1）、2）}。しかし、スカムの動態に注目した既往研究は少なく、降雨後の限られた期間にしかスカムが発生しないために観測が容易でないこと、様々な外力の影響を受ける感潮河川の流動構造が複雑なこと、各素過程に関する基礎的データが不足していることなどにより、スカムの動態には不明な点が多く残されている。具体的な対策を講じるためには、詳細な現地観測によりスカムの挙動特性や時空間分布を明らかにするとともに、スカムの動態を組み込んだ数値モデルによる解析が有効である。



図-1 平野川で発生したスカム
(2017年7月6日撮影)

2. 研究の目的

本研究では、感潮河川で発生するスカムの動態を明らかにし、具体的な解決策を提案することを目的とした。スタディケースとして、実際にスカムが頻発し、生活環境に悪影響を及ぼしている大阪府寝屋川水系（図-2）を対象領域とし、特に平野川に着目して調査解析を行った。

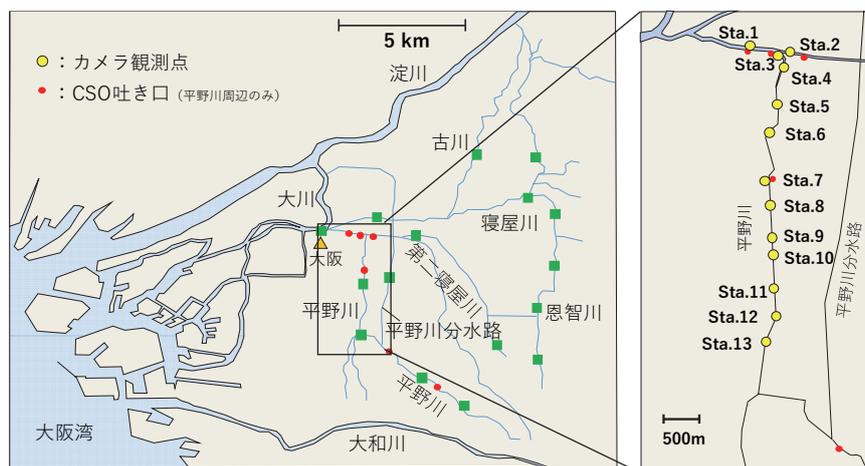


図-2 寝屋川水系の概略と調査地点

3. 研究の方法

(1) 定点カメラを用いた河面観測および流動・水質・底質の現地調査

固定式カメラを第二寝屋川と平野川の河岸（Sta. 1～13）に設置し、河面を1分間隔で連続撮影することで、スカムの観測を行った。調査は2018年11月から開始し、2020年6月現在も継続している。2019年度からは大阪府と連携調査を開始し、調査規模を拡大した。

感潮河川である平野川の基本的な流況・水質特性を把握するために、Sta. 8においてメモリー式の圧力式水位計、電磁流速計、溶存酸素DO計を係留し、2018年12月に連続計測を行った。また、2019年10月には縦断方向8地点でグラブ式採泥器を用いて河床泥を採取し、強熱減量やノルマンヘキサン抽出物質などの分析を行った。分析データは関係機関による調査報告値³⁾とあ

わせて整理し、平野川における有機泥の堆積状況を調べた。さらに、河川・下水・事業場等の関連データを関係機関より収集し、CSO や事業場排水の水量と水質について分析を行った。

(2) スカム判別 AI を用いたスカムの挙動解析

河面カメラ画像からスカムの浮遊量を連続かつ定量的に判別可能な AI プログラムを開発し、その性能評価を行った。AI の開発においては、大規模なスカム発生イベントに対してスカム浮遊量を精確に判別することを目標とし、画像をピクセル単位で分類するセマンティック・セグメンテーション法の一つであり、全層畳み込みニューラルネットワークの一種である U-net⁴⁾ を基本構造として採用した。

開発した AI プログラムを用いて、平野川におけるスカムの時空間分布特性を解析するとともに、長期的なスカムの発生・浮遊状況および発生箇所を把握し、気象・潮位・水質・底質などとの関係について調べた。

(3) スカム動態予測シミュレーション

平野川を含む寝屋川水系 - 大阪市内河川網 (図-3) を対象に、三次元流動モデル FVCOM を適用するとともに、粒子追跡モジュールをベースにしたスカム動態モデルを開発し、スカムの挙動について解析を行った。大阪港から非感潮域までを含む大領域で計算を行った後、1-way ネスティングによりダウンスケーリングし、平野川について高解像な計算格子を用いた詳細な解析を行った。計算には大阪大学サイバーメディアセンターの大規模計算機 OCTOPUS を使用し、MPI + OpenMP のハイブリッド並列により領域分割計算を行った。

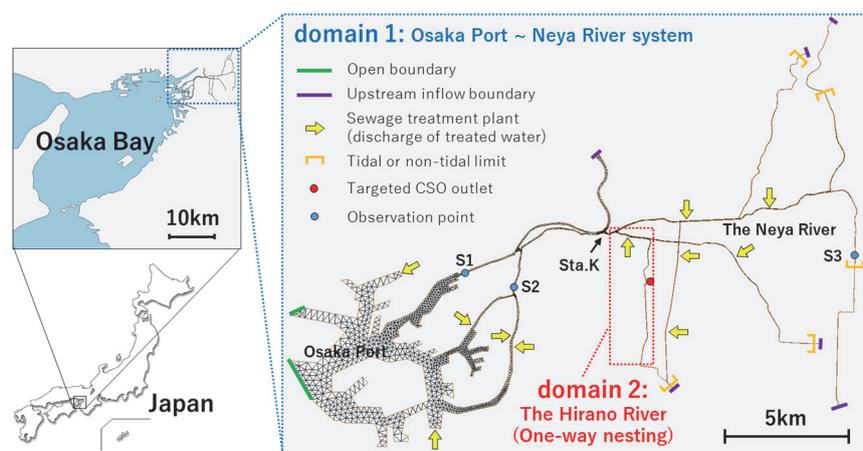


図-3 数値シミュレーションの対象領域

ラグランジュ粒子追跡法により、仮想粒子を CSO 吐き口から流入した有機物 (POM) に見立て、その堆積分布を調べた。平野川は感潮河川であるため、CSO が発生する潮時によって POM の挙動は異なる。また、CSO には様々な粒径の POM が含まれているため、沈降速度は大きな幅を有している。そこで、CSO が発生する潮時 (満潮～干潮) と沈降速度のオーダー ($10^{-5} \sim 10^{-2} \text{m/s}$) の設定を組み合わせた 8 つの計算ケースを実行し、各ケースで得られた POM の堆積分布を重ねることで、POM が堆積しやすいと考えられる空間分布を推定した。

次に、推定された POM の堆積分布がスカムの発生地点であると仮定し、そこからスカムに見立てた粒子を放出し、その後の挙動を追跡した。粒子は沈降速度を持たず、常に水表面を浮遊し続けるものとした。スカムの発生タイミングを予測することは困難であるため、POM の場合と同様に、スカムが発生する潮時を 8 ケース想定し、各ケースについて挙動を解析した。

4. 研究成果

(1) 現地観測およびカメラ画像解析

Sta. 8 における水位、流下方向流速、DO 濃度の計測結果より、流速は水位に比べてより短い時間スケールで変動し、概ね $\pm 15 \text{cm/s}$ の範囲で転流を繰り返していたが、流速と風速との間に明瞭な関係性は認められなかった。DO は潮時に応じて変動しており、下げ潮時には上流から高 DO の水塊が流下する一方で、上げ潮時には下流から低 DO の水塊が遡上しており、12 月下旬には冬季であるにもかかわらず 3mg/L を下回る貧酸素状態が発生していた。

水位と北向流速について、高速フーリエ変換により周波数スペクトルを求めたところ、いずれについても半日周潮と日周潮に対応する周期成分が卓越し、平野川の流動には主要四分潮 (M2, S2, K1, O1) が支配的であった。一方、4～5h 周期に相当する周波数帯に着目すると、水位のスペクトルには微小なピークしか確認されない一方で、流速においては日周潮や半日周潮に匹敵する高いピークが認められ、より高周波の振動成分も平野川の流動に大きな影響を及ぼしていることが示唆された。

底質調査の結果 (図-4)、強熱減量は縦断方向に 2 つのピークを示し、有機泥は 2 ヶ所に集中

して堆積していた。未処理下水について高い値を示す n-ヘキサン抽出物質と強熱減量の間強い正の相関が認められたことから、堆積している有機泥は下水由来であると考えられた。高い強熱減量を示した Sta. 9~11 は河床勾配が急激に緩やかになる区間であり、上流に位置する CSO 吐き口から流入した有機物が堆積していると推察された。Sta. 3~4 については、背水の影響で上流から流下した有機物が堆積、あるいは、第二寝屋川由来の有機物が堆積している可能性が考えられた。

Sta. 8 に設置された固定カメラの画像より、2017 年 10 月 1 日~2018 年 12 月 31 日を対象に長期的なスカムの出現状況を調べた。10 分間隔で画像を目視確認し、「多量」「中量」「少量」「なし」の 4 段階に区分して整理した。スカム出現状況と日最大時間降水量 (AMeDAS 大阪) の時系列を図-5 に示す。これまで平野川では春季から秋季にスカムの出現が報告されていたが、実際には季節に依らず、年間を通して頻発していることが明らかになった。スカムの出現状況と日最大時間降水量との関係をより詳細に調べたところ、降雨の 1~3 日後にスカムが確認されるケースが多くみられた。また、2017 年 12 月上旬や 2018 年 7 月中旬~8 月中旬のように中小規模の降雨がなかった期間にはスカムが出現していないことから、他河川を対象とした既往研究でも指摘されているように、平野川でもスカムの発生には雨天時の CSO が関連していることが推察された。

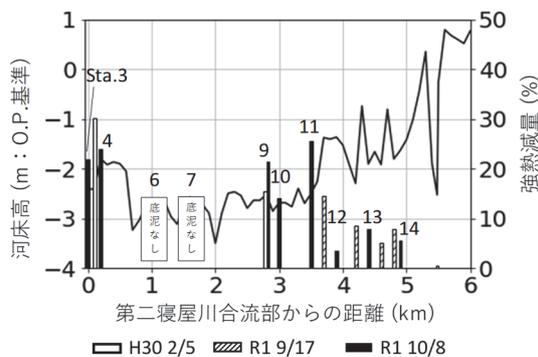


図-4 底泥の強熱減量の縦断分布

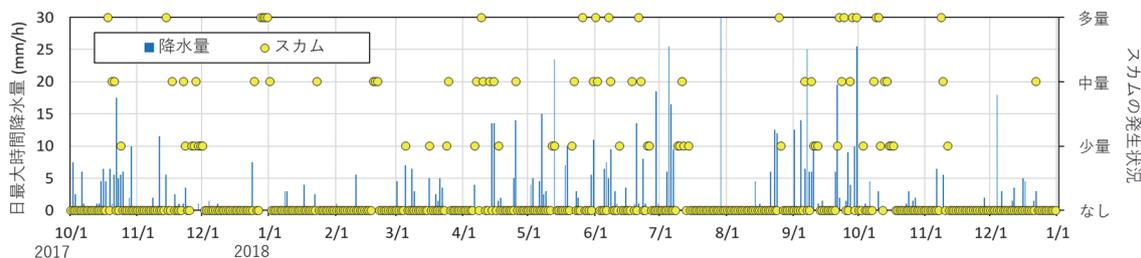


図-5 Sta. A におけるスカムの出現状況と降水量 (2017/10/1~2018/12/31)

(2) AI を用いたスカムの挙動解析

AI によるスカムの判別画像の例を図-6 に示す。河面には建物なども映り込んでいるが、スカムの形状を良好に判別することが可能であった。河面に占めるスカムの被覆率について、観測値と AI 推定値の比較を図-7 に示す。図より、大規模なスカムイベントに対しては、スカム被覆率を高精度に判別できていることが確認された。ただし、風の影響により水面にさざ波が生じた場合や、太陽光の反射が強い場合には、誤判別率が高くなる傾向もみられた。今後、学習データ数への依存性やハイパーパラメータの見直しも含め、さらなる精度向上を目指した解析を進めていく予定である。



図-6 AI によるスカム判別の例

(左：元画像，右：判別画像)

構築した AI を用いて、2019 年 8 月 1 日から 12 月 29 日に発生した大規模なスカムイベント (計 7 回) について、スカムの浮遊が確認された回数を地点ごとにカウントした結果を図-8 に示す。なお、Sta. 5 と Sta. 13 についてはデータの欠損期間が含まれていたため、近傍の観測地点におけるスカムの浮遊状況を基に欠損期間における回数を推定した。図より、スカムは平野川の上流から下流にかけて広範囲で浮遊しており、特に Sta. 5~7 の区間で頻繁に確認されることが明らかになった。

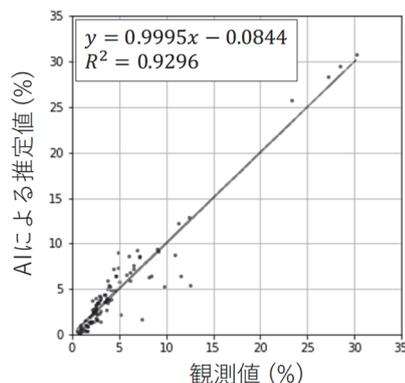


図-7 河面に占めるスカムの被覆率 (観測値と AI 推定値の比較)

同期間について、カメラ画像を基に、スカムが発生 (浮上) した回数を地点ごとに集計した結果を図-9 に

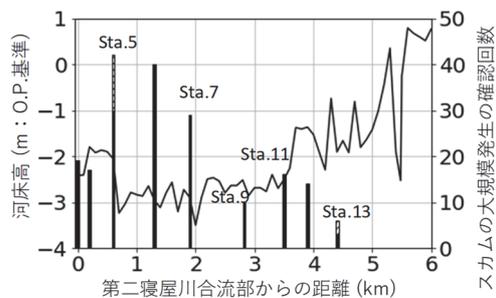


図-8 スカムの浮遊が確認された回数

(2019年8月1日～12月29日)

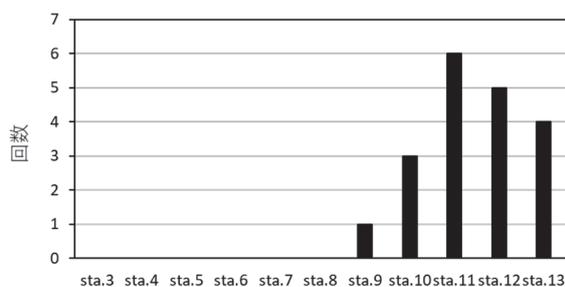


図-9 各地点でスカムが発生した回数

(2019年8月1日～12月29日)

示す。スカムはSta. 9よりも上流側でのみ発生しており、下流のSta. 3～8での発生は確認されなかった。この発生場所は図-4に示した底泥の強熱減量が高い区間とほぼ一致していることから、スカムはこの区間の河床に堆積している有機泥に由来している可能性が高いと考えられた。以上の結果は、Sta. 9～13における底質対策（浚渫や薬剤による底質改善など）が、平野川におけるスカムの発生抑制に対して効果的であることを示唆している。

(3) スカムの動態シミュレーション

解析結果の一例として、Sta. 7付近のCSO吐き口から流入したPOMの堆積分布を図-10に示す。沈降速度が 10^{-5} m/sの微細粒子は平野川で堆積することなく大半が下流へ流出しており、平野川におけるスカムの発生に寄与する可能性は低いと考えられた。このPOM堆積分布から発生したスカムの挙動について、一例として干潮時にスカムが発生したケースの計算結果を図-11に示す。潮汐の影響を受ける感潮河川の流動特性のために、スカムは上げ潮時には集積する一方で、下げ潮時には分散する様子が確認された。発生する潮時に依らず、24時間以内には第二寝屋川との合流部を通過したことから、スカムの回収を行う場合には、発生後速やかに行う必要があると考えられた。なお、今回はSta. 7付近の吐き口から流出するPOMを対象に解析を行ったが、現地調査で明らかにされたように、平野川では上流に位置するCSO吐き口から流入したPOMがSta. 9～13付近に堆積しており、その区間がスカムの発生源となっている可能性が高い。この事実を踏まえて、今後追加の解析を行う予定である。

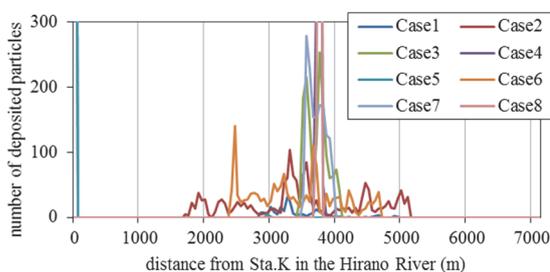


図-10 POM堆積分布（計算結果）

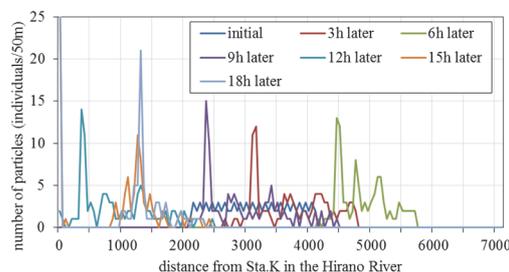


図-11 スカムの浮遊分布（計算結果）

本研究で得られた知見は、実際の行政施策にも活用されるよう、河川管理者（大阪府）にも随時提供を行っている。スカム問題の解決に向けて府の底質改善対策検討部会が新たに立ち上げられるなど、スカム問題の解決に向けた取り組みが活発化しており、本研究の成果も活用して具体的な対策が講じられている。今後、さらなる調査解析を進め、実際のスカム問題の解決に資する知見を蓄積していきたいと考えている。

謝辞：

本研究を進めるにあたり、大阪府河川室および寝屋川水系改修工営所には、調査協力やデータ提供などのご高配を賜った。ここに記し、感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 山崎正夫, 津久井公昭: 河川におけるスカムの発生に関する研究 (その 1), 東京都環境科学研究所年報, pp. 174-179, 1991.
- 2) 菅原正孝, 石川宗孝, 西田一雄, 北村誠, 梶智裕, 木本茂宏, 大西敏夫: 汚濁河川に発生するスカムの生成機構について, 環境技術, Vol. 24, No. 7, pp. 26-29, 1995.
- 3) 大阪府寝屋川水系改修工営所: 一級河川古川外底質調査業務報告書, 2020.
- 4) Badrinarayanan, V., A. Kendall, and R. Cipolla: SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 39, No. 12, 2017.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 中谷祐介, 岩岡慶晃, 西田修三	4. 巻 75(4)
2. 論文標題 都市感潮河川における定点カメラを用いたスカムの現地観測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_427-I_432
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.2208/jscejhe.75.I_427	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Nakatani, Y., Naka, Y., Nishida, S., and Taniguchi, K.
2. 発表標題 Behavior analysis of scum deposited from a combined sewer system in urban river system
3. 学会等名 15th Estuarine Coastal Modeling Conference(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口和也, 中谷祐介, 西田修三
2. 発表標題 寝屋川水系における浮遊汚泥の挙動に関する研究
3. 学会等名 平成30年度瀬戸内海研究フォーラムin神戸
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥村素基, 中谷祐介, 西田修三
2. 発表標題 定点カメラ画像を用いた深層学習による河川スカムの定量的解析
3. 学会等名 平成31年度土木学会関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中谷祐介, 岩岡慶晃, 西田修三
2. 発表標題 大阪府平野川におけるスカムの浮遊挙動特性
3. 学会等名 第55回環境工学研究フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩岡慶晃, 奥村素生, 中谷祐介, 西田修三
2. 発表標題 都市感潮河川における定点カメラを用いたスカムの動態解析
3. 学会等名 令和2年度土木学会関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考