

研 究 報 告

令和 7 年 4 月 17 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属 : 北海道大学大学院工学研究院

氏 名 : 中屋佑紀

研究課題名 : AI を活用した活性汚泥ズーム画像のディープラーニングによる
物理的处理性能の迅速診断法の開発

助成金額 : 100 万円

研究実施期間 : 自 令和 6 年 4 月 1 日 ~ 至 令和 7 年 3 月 31 日

AI を活用した活性汚泥ズーム画像のディープラーニングによる物理的処理性能の迅速診断法の開発

Development of rapid diagnostic method of activated sludge performances by deep learning of floc images

北海道大学大学院工学研究院 助教 中屋 佑紀

（研究計画ないし研究手法の概略）

我が国の下水道事業は、職員の減少（ヒト）、設備の老朽化（モノ）、人口減少による減収（カネ）の問題に直面しており、事業持続のための様々な取り組みが必要になると予想される。これらの問題により下水処理が不十分となると、水環境が汚染され健全な水循環が損なわれる。これに対応する新技術の開発として、特に人工知能（AI）活用に関しては 2022 年に国土交通省が「AI による下水処理場運転操作 DX 検討会」を設置するなど AI 活用の環境整備・DX 推進が進められている。研究代表者らは、光学顕微鏡に比べて安価なデジタル顕微鏡やスマートフォンのカメラ機能により活性汚泥の形状や動きをとらえ、AI を活用して簡易迅速に分析する技術の開発に取り組んできた[1, 2]。下水処理に求められる能力は、下水からの懸濁粒子（SS）、易分解性溶存有機物（BOD 成分など）、細菌の除去である。一方で、デジタル顕微鏡やスマートフォンにより低コストで取得できる画像や動画の情報には空間分解能の限界がある。そのため、活性汚泥法において有機物成分の分解・硝化・脱窒などの生物化学的な能力に関係する細菌の特定や監視にはこれらの情報を使うことができないと考えられる。しかしながら、汚泥の全体的な形状や、デジタル顕微鏡で観測可能なサイズである糸状菌の様態は、汚泥の沈降性、脱水性、SS および細菌の活性汚泥への吸着除去などといった物理的な汚泥性能に影響を与えると考えられる。これらの物理的性能と画像で簡易に取得可能な情報との関係性は未知の部分が多い。そこで本研究は、活性汚泥の沈降性とフロック形状の関係を調べ、活性汚泥の物理的性能を向上・維持し簡易に性能診断する技術を開発することを最終的な目的とする。

本研究では、北海道にある S 下水処理場、T 下水処理場、E 下水処理場から活性汚泥を提供いただいた。デジタル顕微鏡と自動撮影プログラム[1, 2]を使用し、活性汚泥 50 μ L のプレパラートを撮影し、154 枚の活性汚泥のズーム画像を得た。この画像を基に、Deep Learning（Inception-v3）を用いた教師あり学習により、3 種類の画像分類器を作成した。まず、S 処理場において糸状菌が多く観察された日の画像 462 枚を 1、糸状菌数が少なかった日の画像 462 枚を 0 としてラベル付けし学習した分類器 S を作成した。この分類器を使用し、10 月 7 日から翌年 6 月 9 日の間に 11 回採取した S 処理場の活性汚泥フロック画像を分類した。次に、T 処理場において密度が小さい汚泥が多く観察された日の画像 462 枚を 1、密度が大きい汚泥が多く観察された日の画像 462 枚を 0 としてラベル付けし学習した分類器 T を作成した。この分類器を使用し、同じ期間に 9 回採取した T 処理場の活性汚泥フロック画像を分類した。最後に、E 処理場において密度が小さい汚泥が多い日の画像 1540 枚を 1、密度が大きい汚泥が多い日の画像 1540 枚を 0 としてラベル付けし学習した分類器 E を作成した。この分類器を用いて E 処理場の活性汚泥フロック画像を分類した。これらの画像分類器は、0 および 1 でラベル付けして学習した画像のどちらに類似しているかを、0 から 1 の間の数として出力するものである。また、S 処理場の画像については、画像内の糸状菌の面積を、Deep

Learning を利用したセグメンテーションにより求めた[3]。

（実験調査によって得られた新しい知見）

図 1 に分類器 S による S 処理場の画像の分類結果と SVI（汚泥容積指数）および糸状菌量を示す。分類器 S の出力値は 1 に近いほど糸状菌が多い画像、0 に近いほど糸状菌が少ない画像に近い画像であることを意味する。糸状菌量は SVI とともに 3 月 3 日以降に大きく増加しており、糸状性バルキング（沈降性の急激な悪化）を示唆しているが、分類器 S の出力値はそれよりも早く上昇している。図 2 に S 処理場の 1 月から 3 月の代表的な画像を示す。糸状菌はラベル 1 の画像群と比べると明らかに少なかったが、ブロック周辺や内部に糸状菌がみられた。このように、ブロック外部の糸状菌は多くはないが、周辺や内部に存在する糸状菌を分類器 S が認識したことで、1 月から 3 月の画像に対する出力値が上昇していたと考えられる。分類器 S は外部の糸状菌量以外の特徴も学習していることが示唆された。実際、SVI が大きく増加する 3 月 3 日以前から糸状菌量は徐々に増加しており、それに先行して分類器 S の出力値が上昇していた。この結果から、本研究で作成した分類器 S で糸状性バルキング発生の予兆を検知できる可能性が示唆された。

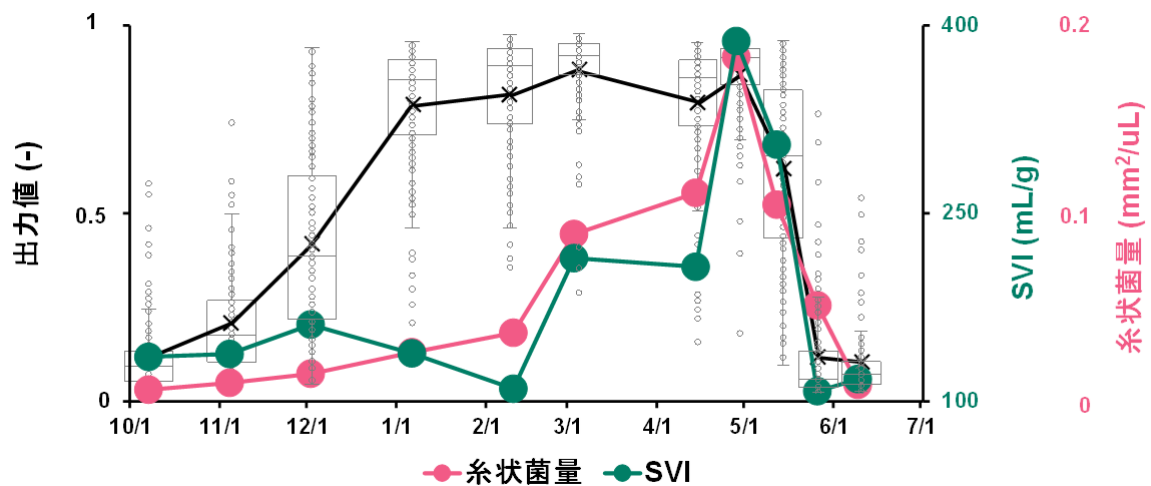


図 1. 分類器 S による S 処理場の画像の分類結果と SVI および糸状菌量。

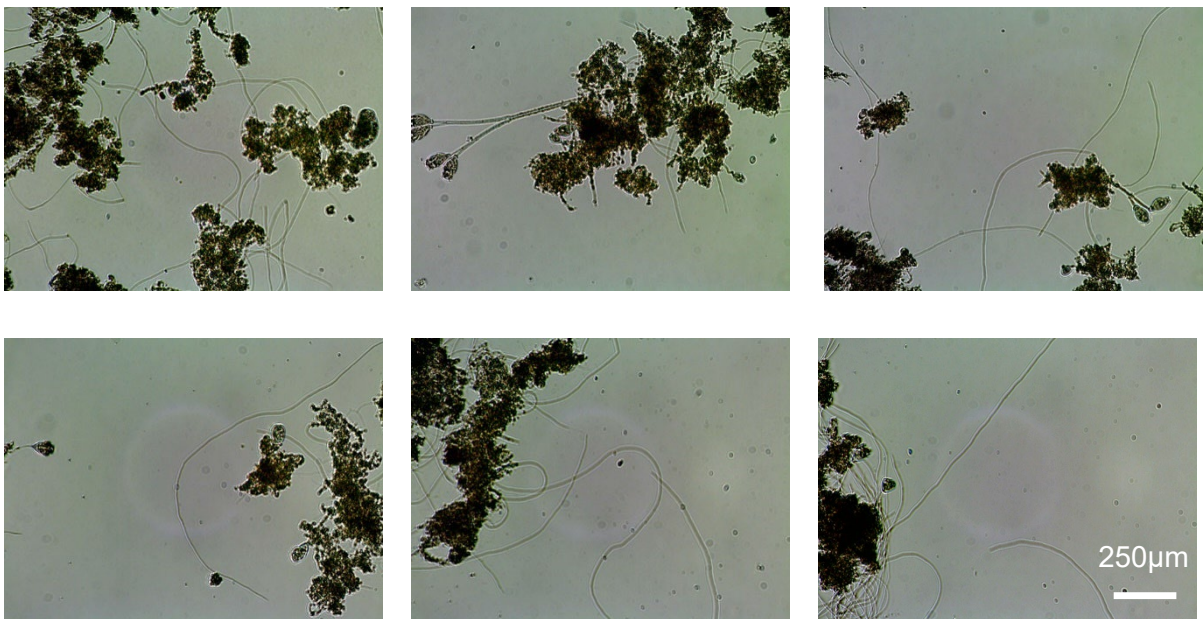


図 2. S 処理場の活性汚泥の 1 月から 3 月の代表的な画像。

図 3 に分類器 T による T 処理場の画像の分類結果と SVI を示す。分類器 T の出力値は 1 に近いほど密度が低い（分散した汚泥の）画像、0 に近いほど密度が高い（凝集した汚泥の）画像に近ことを意味する。分類器 T では、T 処理場の分散型バルキングを 3 月や 4 月を除いておおむね診断することができた。しかし、S 処理場のような糸状性バルキングとは異なり、予兆のような出力値の早い上昇はみられなかった。図 4 に T 処理場の 3 月と 4 月の画像を示す。見た目では 3 月より 4 月の活性汚泥の方がより凝集しているように見える。しかし、出力値は 4 月の方が高く、分類器 T は 3 月より 4 月の活性汚泥の方が分散した汚泥が多く沈降性が悪い（ラベル 1）、すなわち分散型バルキングの活性汚泥に近いと診断した。このことから、分類器 T は分散・凝集以外の特徴学習していることが考えられる。今後、学習データを精査し、精度を向上する必要がある。

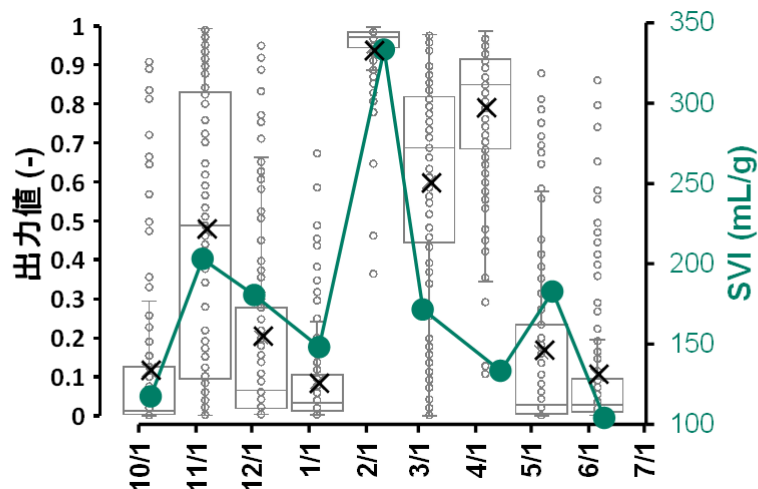


図 3. 分類器 T による T 処理場の画像の分類結果と SVI。

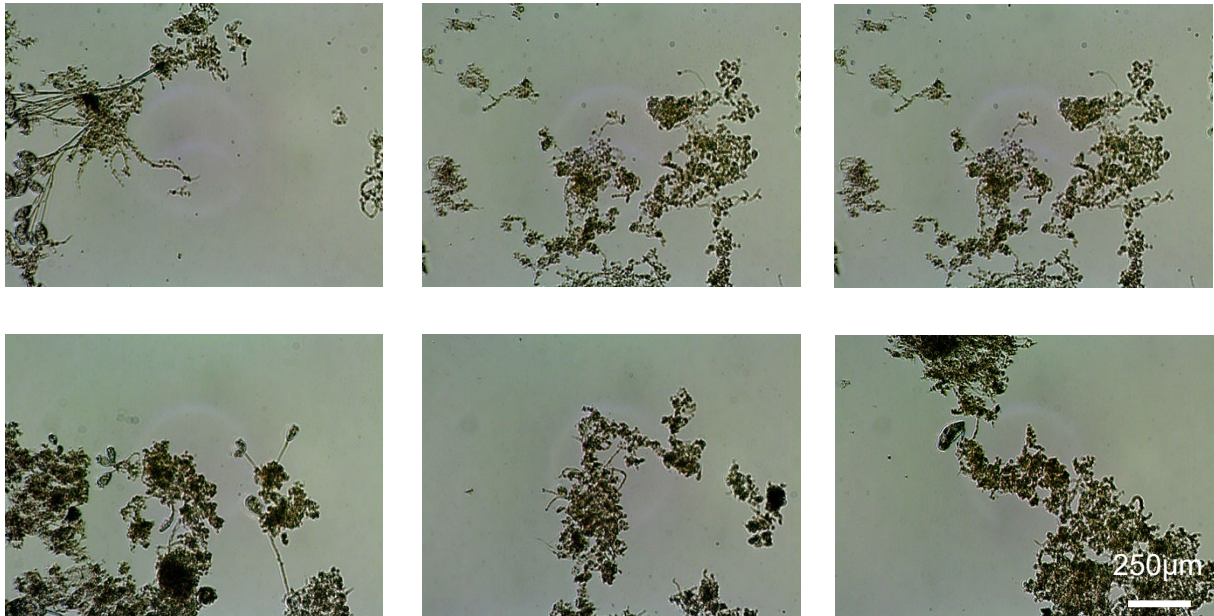


図 4. T 処理場の活性汚泥の 3 月（上段）と 4 月（下段）の画像。

図 5 に分類器 ES による T 処理場の画像の分類結果を示す。分類器 ES の出力値は 1 に近いほど密度が小さい画像、0 に近いほど密度が高い画像に近い画像であることを意味する。分類器 ES では T 処理場の分散型バルキングによる SVI の変化を捉えた出力値が得られず、診

断できなかった。見た目の似た汚泥であっても、学習（分類器の作成）とテストで異なる処理場の画像を適用した場合は分類精度が低下すると考えられる。すなわち、活性汚泥は複雑で処理場によって大きく異なるため、処理場ごとに学習する必要があると言える。

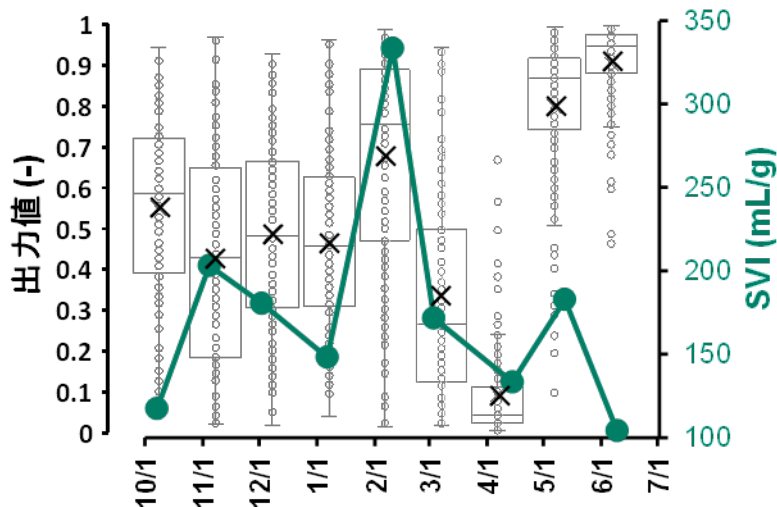


図 5. 分類器 ES による T 処理場の画像の分類結果。

本研究により得られた知見をまとめると、以下ようになる。糸状菌の多寡の情報を含む画像を学習した分類器 S は外部の糸状菌量以外の特徴も学習しており、糸状性バルキングの予兆をとらえられることが示唆された。T 処理場の分散型バルキングは、T 処理場の凝集・分散状態の汚泥画像を学習した分類器 T でおおむね診断できたが、別の処理場の凝集・分散した汚泥画像を学習した分類器 ES では適切に診断できなかった。このことから、見た目が似た汚泥であっても、異なる処理場のデータで学習した分類器を適用した場合、分類精度が低下することが明らかになった。

参考文献

- [1] Satoh et al., Environ. Sci. Water Res. Technol. 7, 298-305, 2020.
- [2] Nakaya et al., Environ. Technol. 45, 4042-4052, 2023.
- [3] Kaushalya et al., J. Water Process Eng. 70, 107053, 2025.

（ 発 表 論 文 ）

本研究に関連して下記の論文を発表しました。ご支援に深く御礼申し上げます。

Uthpala Kaushalya, Yuki Nakaya, Shota Ishizaki, Kai Sugino, Reiko Hirano, Hisashi Satoh. “Quantification of morphological characteristics and filamentous bacteria in activated-sludge flocs through quantitative image-analysis techniques incorporating image-processing software and U-Net deep-learning framework” Journal of Water Process Engineering, Volume 70, 2025, 107053, ISSN 2214-7144, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107053>.

他に 2 報を国際誌論文での掲載に向けて準備中です。