水質管理におけるAI・IoTの実践と展望

金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系
原 宏江
土木学会環境工学委員会
上下水道におけるIoT・ICT・AI活用小委員会　幹事

目次

1. 水分野のDX

2. 上下水道DX技術事例

3. 研究紹介（水質異常検知，残留塩素予測）

4. まとめ

DXとは？

デジタルトランスフォーメーション（DX）：

デジタル技術により仕組みを(根本から)良い方向へ変えること

IoT (Internet of Things):

モノをインターネットに繋げる技術．例：スマート家電.

ICT (Information Communication Technology):

情報通信技術．インターネットを介して伝える技術.

AI (Artificial Intelligence):

人工知能．人間の知的活動を機械で実現するという概念.

水分野のDX： 学会の活動

「上下水道におけるIoT・ICT・AI活用小委員会」

土木学会 環境工学委員会下に2022年発足.
委員長：山村寛（中央大学），幹事長：橋本崇史（東京大学）

設立趣旨（要点）

- 国の方針として、ビッグデータ活用やインフラ点検の高度化、DX推進が明確化（日本再興戦略、デジタル庁創設、重点計画 等）。
- 上下水道事業は、老朽化対策、災害対応、人材不足・技術継承、財政制約など多面的な課題に直面。
- 厳しい状況下でも、市民サービス、災害対応力、マネジメント力を維持・強化する必要がある。
- ICT・IoT の急速な発展に対し、上下水道分野では産官学の連携が不足し、最新成果の共有・実装が遅れがち。
- 多様な主体が交流し、従来技術と先進技術の成果・課題を共有する場を設け、産官学が協力して技術検証・サービス創出を進めることが重要。

水分野のDX： 学会の活動

「上下水道におけるIoT・ICT・AI活用小委員会」

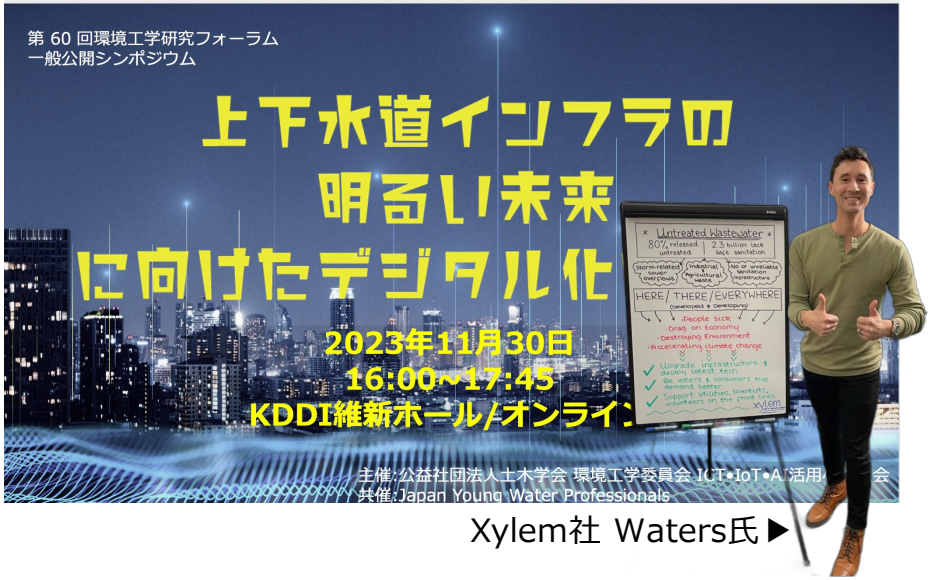
上下水DX合宿

2023年9月26-27日，富山



一般公開セミナー

2023年11月30日，山口



Xylem社 Waters氏▶

AI先端技術講演会

第1回

日時：2023年7月4日　15:00-16:30
講師：鈴木 恵二氏
（公立はこだて未来大学　理事長・学長）

第2回

日時：2024年10月23日　15:00-16:30
講師：山下 倫央氏
（北海道大学大学院情報科学研究 准教授）

国内における水DXは遅れている？

欧米：

- 研究・実証は先進，現場導入は限定的
- 欠測、長期データ不足

日本：

- 測定機器の安定性，壊れにくさ
- 常時監視，連続ログの精密さ

日本は潜在的な導入適性が高い!

上下水道DX技術事例



https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/watersupply_sewerage/jyouge_dx/pdf/jyoge_DX_catalog.pdf

主な用途

上水：漏水、管路劣化、運転最適化

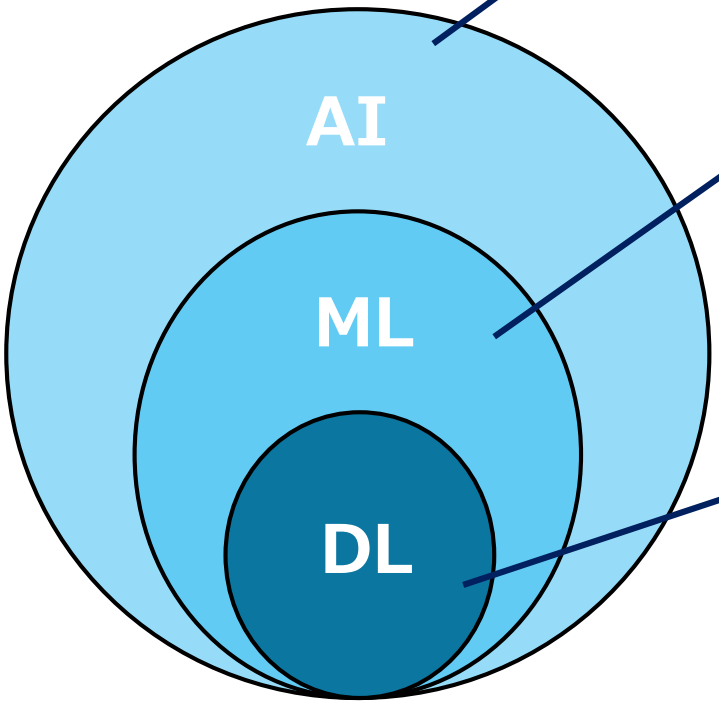
下水： 画像解析、曝気制御

水質： IoT+クラウド監視

代表事例

- 漏水検知（スマートメーター）
- 管路劣化診断（Fracta）
- 配水池内部点検（ドローン）
- 下水CCTV画像AI
- 水質DX（IoT＋クラウド監視）

AIって何？



Artificial Intelligence

人工知能．人間の知的活動を機械で実現するという概念.

Machine Learning

機械学習．大量のデータからパターンを学習，予測・判断を行う手法群.

Deep Learning

深層学習．機械学習の一つ．人の脳にある神経回路を模した数理モデルを用いる.

研究①：水質異常検知

研究背景 –水供給における近年の課題

① 災害時の安全な飲用水源の確保



出典：読売新聞オンライン（2024年2月19日）

2024年元日に発生した能登半島地震では，断水が広範囲に及んだ



湧水，井戸水をはじめ現地調達可能な水源の安全性がわからない

② 小規模水供給システムにおける水質の確保



出典：株式会社ジャパンウォールHP

人口減少に伴い分散型の小規模水供給システムの導入が増大

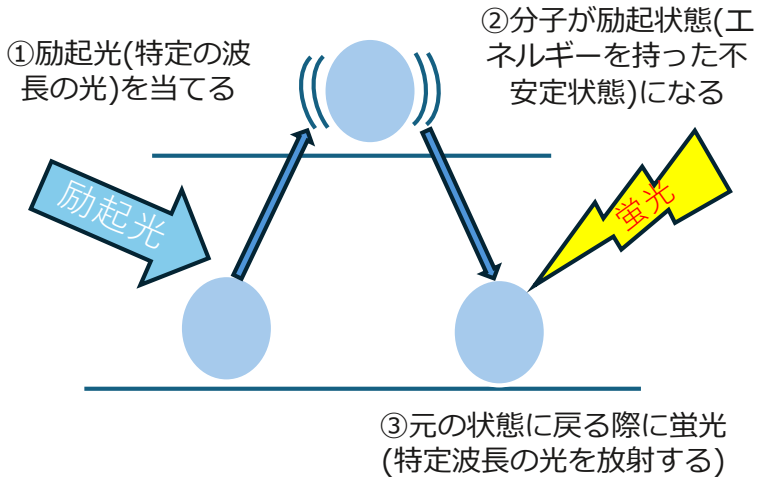


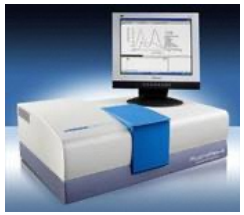
検査コストを理由に十分な水質検査が行われていないケースも

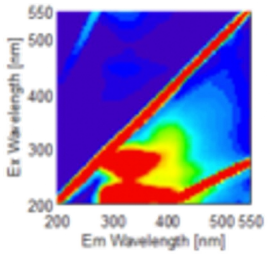
現地で利用可能な，迅速・簡便な水質監視ツールが求められている

研究①：水質異常検知

研究背景 –三次元励起蛍光分析（EEM）







蛍光スペクトルのパターンを活用できないか？

EEM技術の基本原理:

水試料に励起光を照射し、様々な波長で放出される蛍光の強度を測定。蛍光スペクトルを利用して、水中の有機物、重金属、その他の化学物質を同定。

EEMのメリット:

広範囲の化学物質に対する応答性とその応用による包括的な水質評価。複雑な前処理不要であり、現場での即時分析が可能。

水質評価におけるEEMの活用事例:

① 河川水質モニタリングへのEEM-PARAFAC法の適用に関する基礎的検討：BODの推測 ---池田 和弘, 柿本 貴志（土木学会論文集G（環境），2018）

② 三次元励起・蛍光スペクトルを用いた溶存有機物のキャラクタリゼーション ---亀田 豊, 橘 治国, 清水 達雄（環境工学研究論文集，1999）

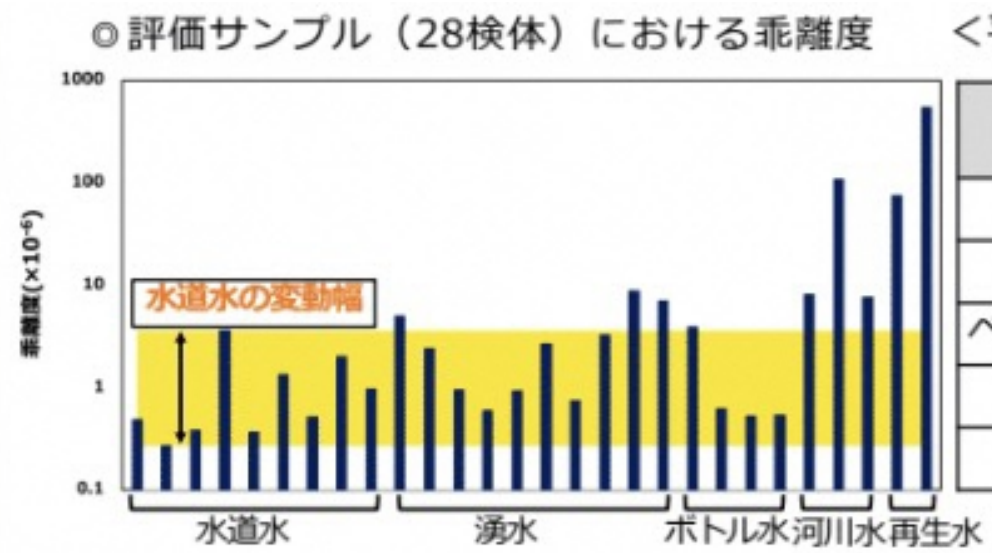
③ 水道水質管理における三次元蛍光分析の活用 ---春田 知昭, 平林 達也, 北本 靖子（水道協会雑誌，2020）

研究①：水質異常検知

研究背景 –EEMデータ解析への機械学習の適用

先行研究：

EEMデータに基づく機械学習モデルによる飲用水と非飲用水の判別



＜平均乖離度＞

種別	n	乖離度 ($\times 10^{-6}$)
水道水	9	1.095
湧水	10	3.205
ペットボトル水	4	1.378
河川水	3	29.769
再生水	2	325.102

（五十嵐ら，2023）

非飲用水を識別可能な**水質異常検知モデル**の構築に成功!!

課題：

1) 「異常」と判定される原因成分に関する情報がない
2) 現場（連続監視が前提）への適用可能性が検証されていない

研究①：水質異常検知

研究目的

先行研究において開発した，水の蛍光特性に基づく水質異常検知モデルについて，モデルの信頼性および分散型集落の水質監視における実用可能性を評価する。

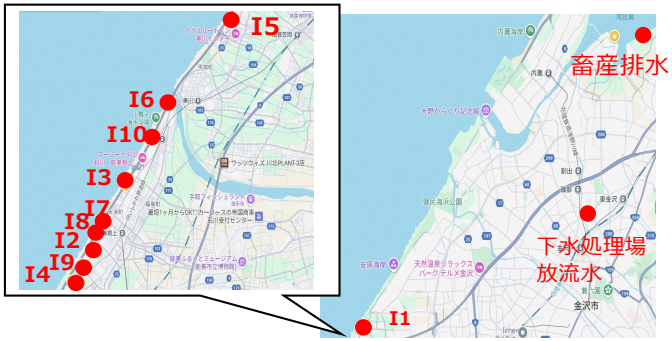
研究①：水質異常検知

研究方法　排水試料の調整とEEM分析

①実排水の採取

採水期間：2025年5月

排水の種類
石川県内の
下水処理場放流水(M):1地点
畜産排水(L)：1地点
工場排水を含む河川水(I)：
10地点



表：採水地点図

②実排水の希釈

希釈水：湧水，水道水

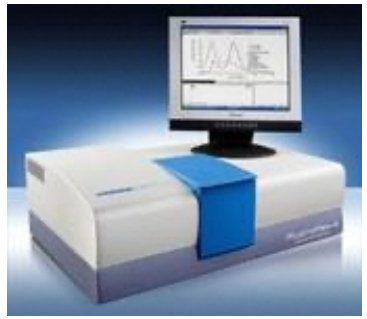
希釈割合：
採取した排水を希釈水
と混合して
50%,10%,1%,0.1%の
排水混合試料を作製

表：混合試料の作製状況

種類／割合	下水放流水	畜産排水	産業排水系	
			I1~I4	I5~I10
100%	○	○	○	○
50%	○	○	○	
10%	○	○	○	○
1%	○	○	○	
0.1%	○	○	○	

③EEM分析

測定条件：
Ex：220-550nm，2nm間隔
Em：220-550nm，2nm間隔
波長走査速度：10,000nm/mir
ホトマル電圧：400V
前処理：超純水および硫酸キ
ニーネ硫酸溶液で補正した



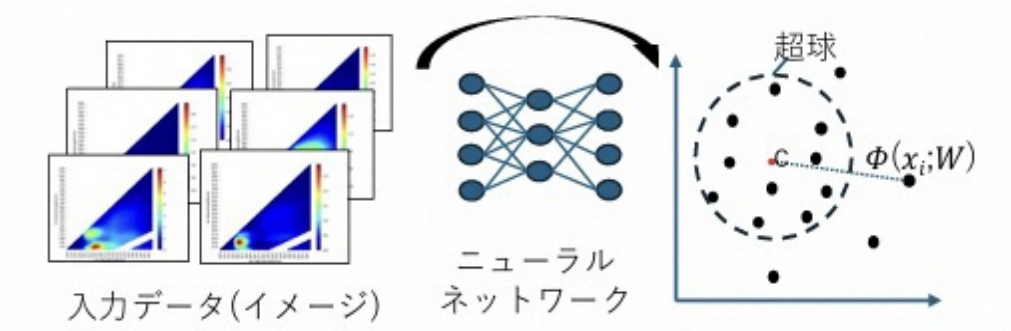
日本分光 FP-8000

研究①：水質異常検知

研究方法　異常検知モデルと説明可能AI

Deep Support Vector Data Description（Deep SVDD）

- 正常データだけを使って学習して正常データをニューラルネットワークで特徴空間に変換し、最小半径の超球を構築する。超球の中心からどれだけ離れているかに基づき異常度として算出する.
- 本研究では，全国各地の飲用水（水道水、湧水、ペットボトル水）142件を正常データとして学習させた先行研究のモデルを使用.



異常度　$s(x) = ||\Phi(x_i;\, W) - \boldsymbol{c}||^2$

$\boldsymbol{c}$：超球中心座標

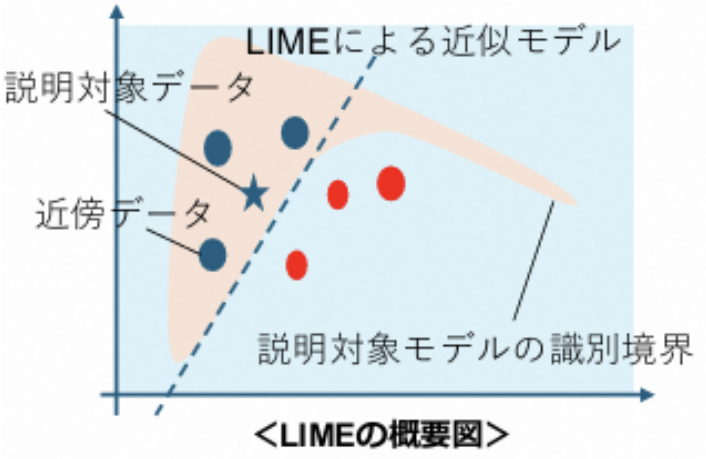
$(x_i;\, W)$：ニューラルネットワークの出力値

課題：どの変数が異常度に影響したのかは不明

対策：説明可能AIを併用する

Local Interpretable Model-agnostic Explanations（LIME）

複雑な機械学習モデルを局所的に単純なモデルに置き換え、予測結果に寄与した変数を推定する手法。

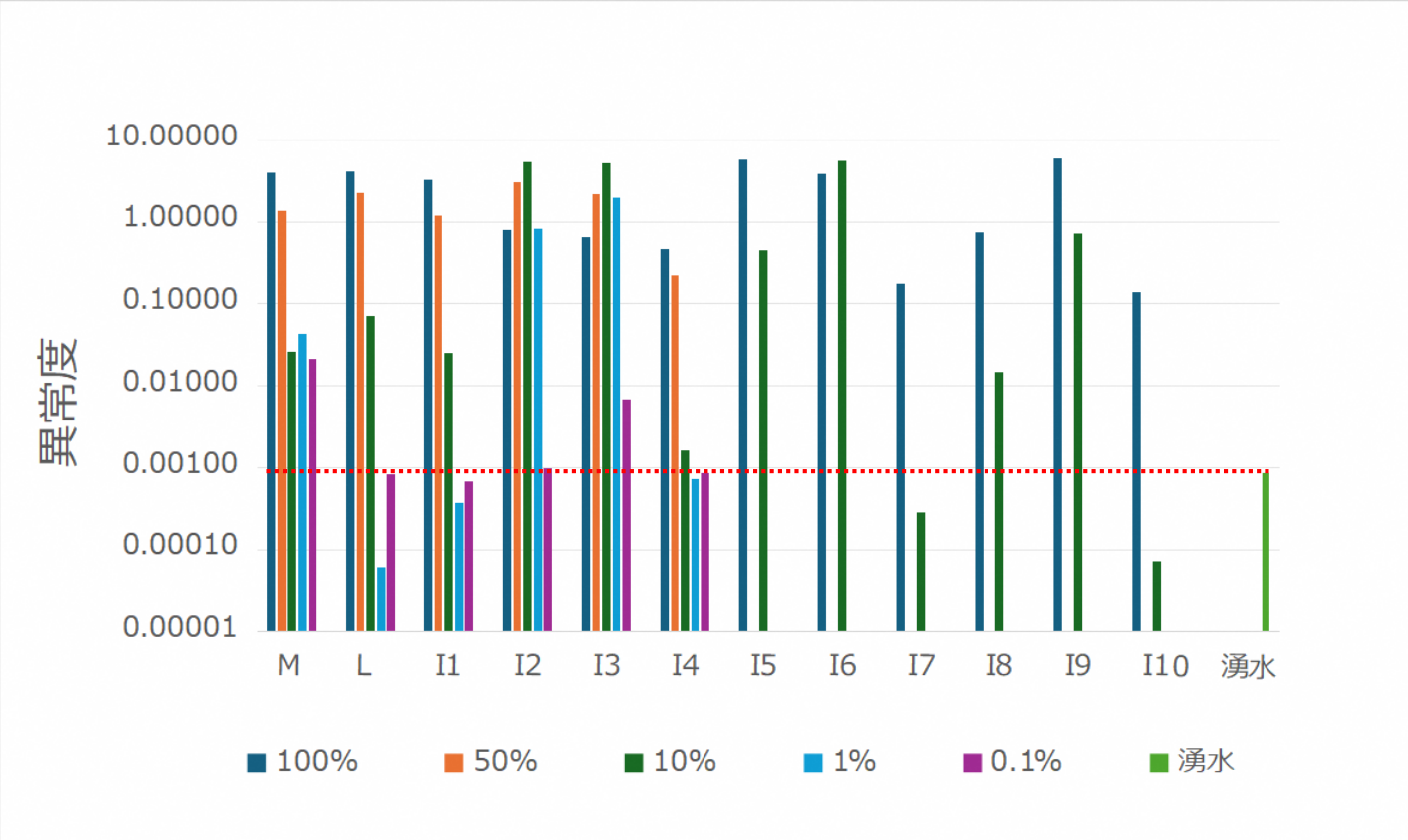


<LIMEの概要図>

Deep SVDD により異常と判定されたデータに LIME を適用し、異常度を上昇させた変数（= 水質異常の原因）を推定する。

研究①：水質異常検知

これまでの結果：排水混合試料の「異常度」



下水処理場放流水(M)
畜産排水(L)
工場排水を含む河川水(I)

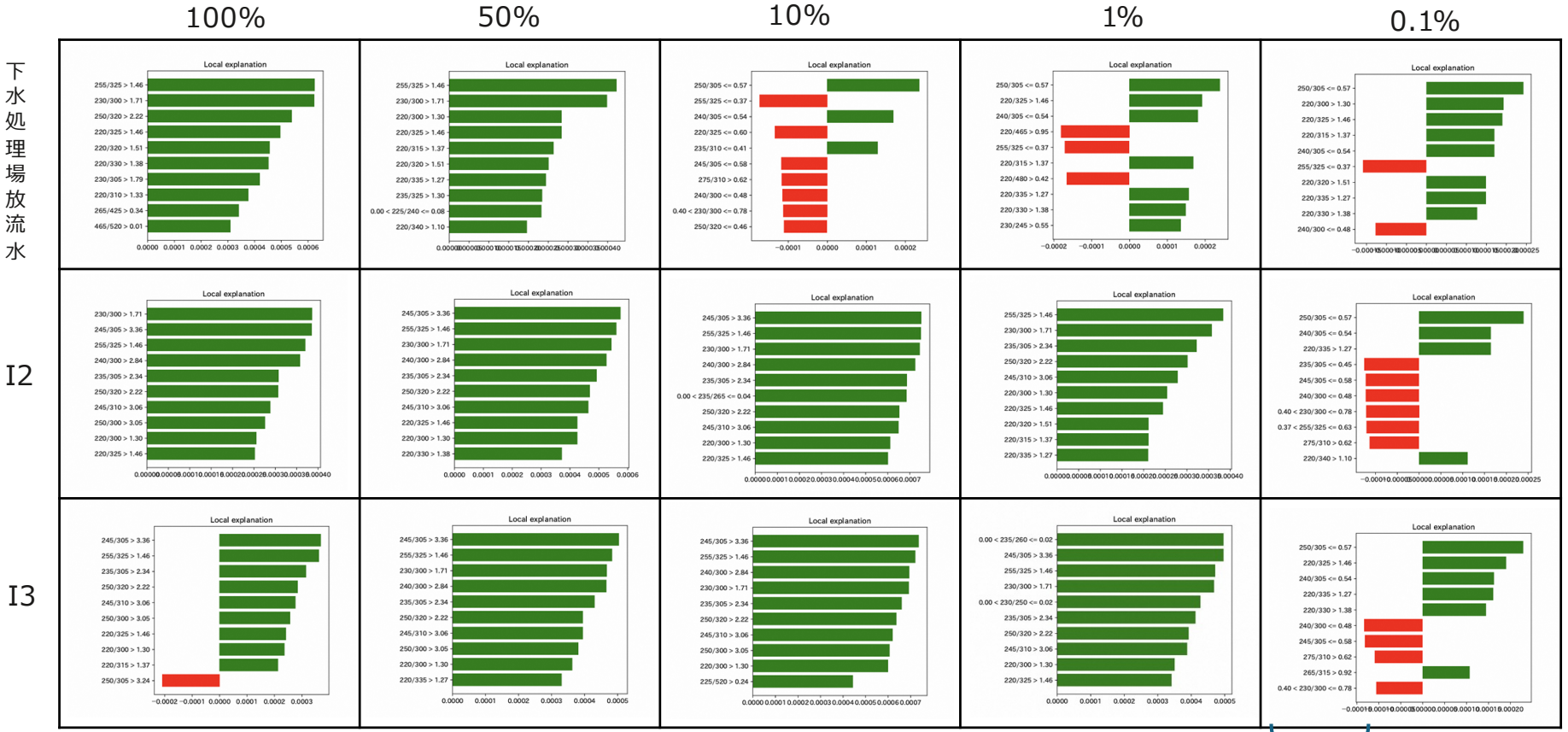
- 希釈に湧水と水道水を用いたが，両者で同様の結果となった
- 多くの排水混合試料で10%の混入を検知することができた
- M，I2, I3では1~0.1%のごく低濃度の混入も検出することができた

研究①：水質異常検知

これまでの結果：説明可能AIの適用結果

異常度を，

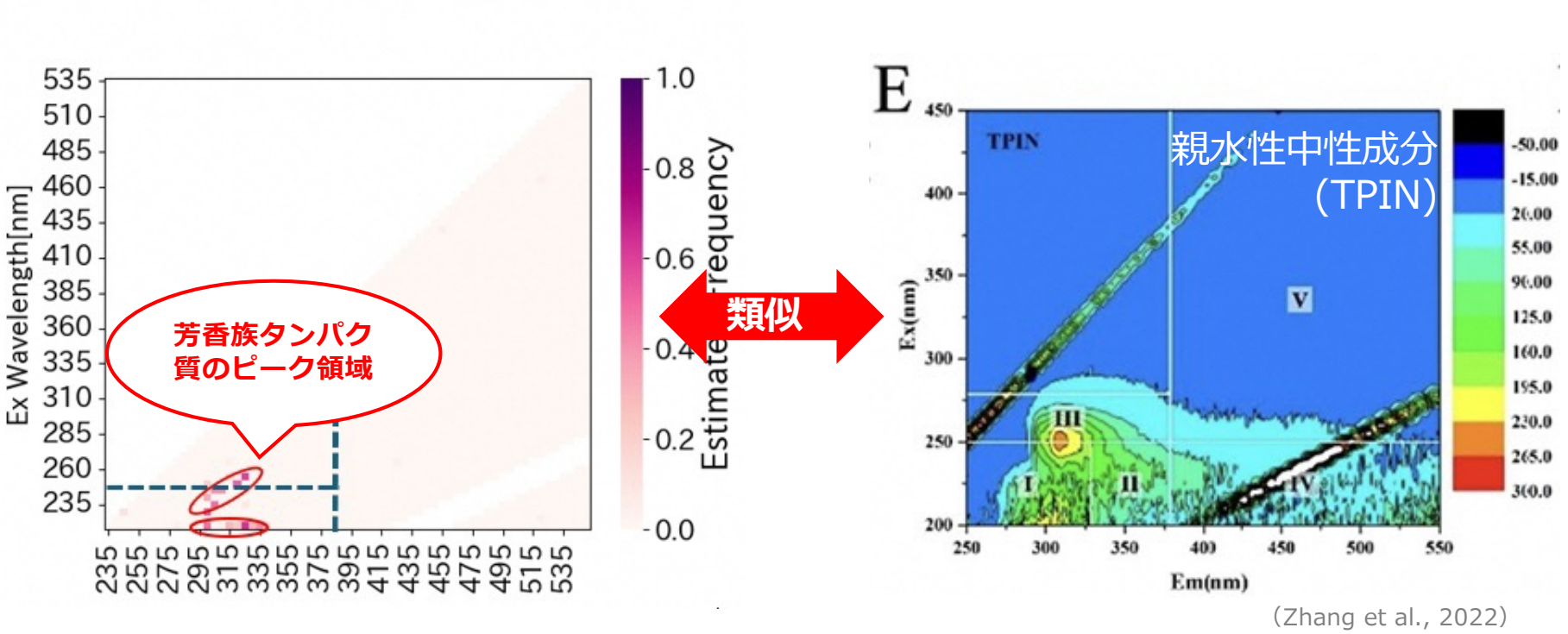
下げる　上げる



寄与が推定された変数
（EEMスペクトル）

研究①：水質異常検知

考察：異常度に寄与する成分は何か？



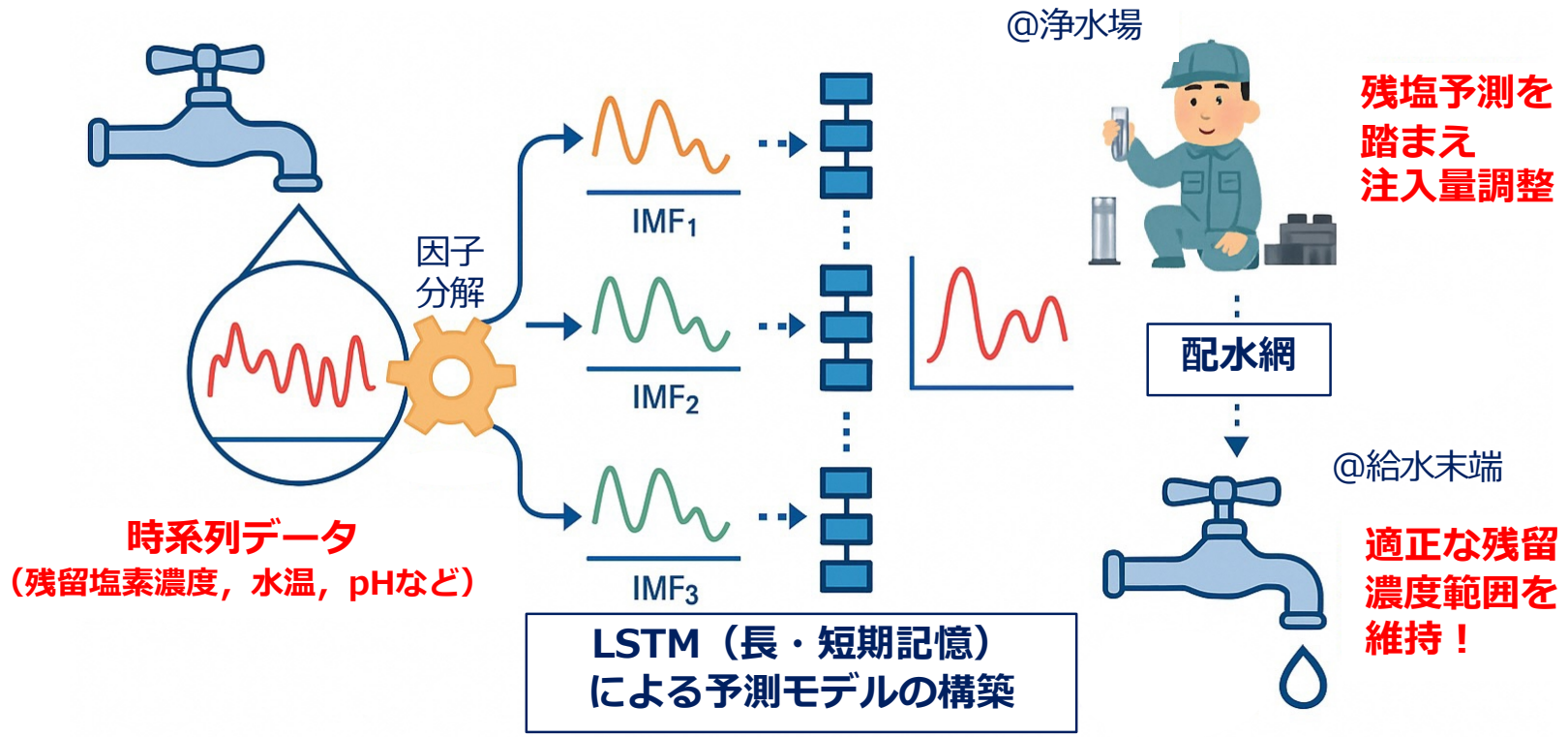
(Zhang et al., 2022)

- 芳香族タンパク質のピーク領域（Ex220nm~260nm）に寄与の大きな変数が集まっていることがわかった。
- この領域には，親水性中性成分(TPIN)に特徴的なピーク(Ex220–260nm, Em<350nm)が出現することが報告されている。(Zhang et al.,2023)

研究②：残留塩素濃度予測



- 残留塩素濃度を適正に保つためにベテラン職員の経験が重要
- ベテラン職員の高齢化により技術継承が課題だが職員不足もあり難航
- デジタル技術を活用した運転管理支援が求められている

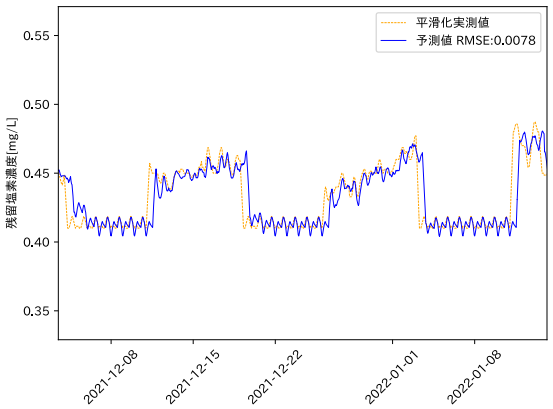


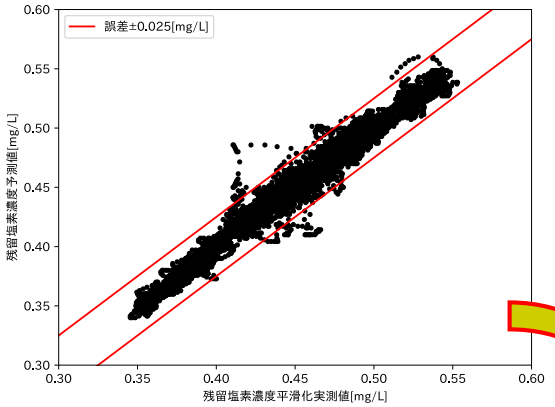
研究②：残留塩素濃度予測

実験結果

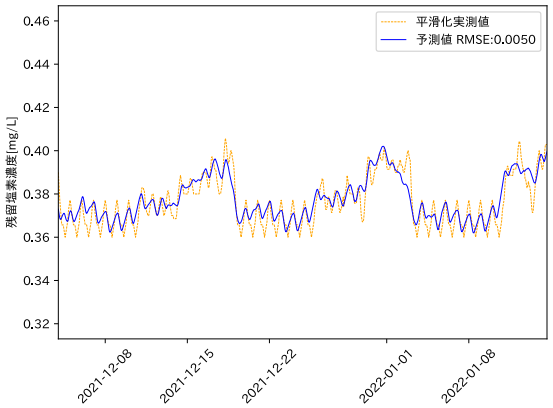
ブロック：48時間
入力データ：着水井戸水温・EC, 浄水場出口水温・塩素濃度, 調整池塩素濃度
出力データ： 24時間後の調整池塩素濃度（7時間移動平均）

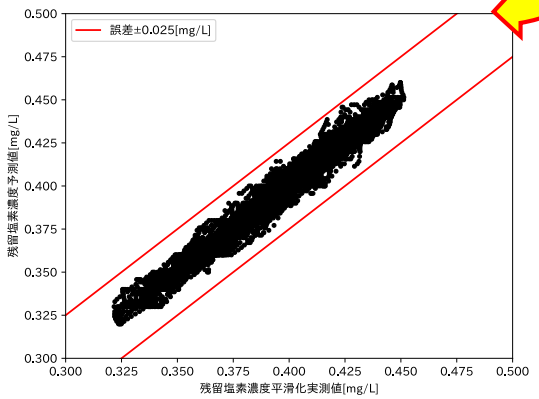
LSTMのみ





入力データの因子分解＋LSTM





因子分解により主要なパターンを抽出した上で学習させることで，予測精度が向上した！

まとめ

- **上下水道におけるDX**
  DXはデジタル技術で業務や判断の仕組みを改善する取り組みであり、効率化・省人化を迫られている上下水道分野での活用が望まれてい。
  また，日本はデータ管理品質が高く潜在的な適性は高いと言える。

- **これまでのDX適用領域**
  上水： 漏水検知、管路劣化診断、運転最適化
  下水： 画像解析、曝気制御
  水質： IoT＋クラウド監視（より高度な水質DXへ・・）

- **研究紹介より**
  蛍光分析データに基づき基準となる水質からの逸脱を発見してアラートを出したり（水質異常検知），施設に眠っている常時観測データを用いて運転支援に活かすなど（ex.残留塩素濃度予測）,より高度な水質DXが期待できる！