

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

- 1. DXとは？**
- 2. 上下水道DX技術事例**
- 3. AI入門**
- 4. 研究紹介（水質異常検知，残留塩素予測）**
- 5. まとめ**

- 1. DXとは？**
- 2. 上下水道DX技術事例**
- 3. AI入門**
- 4. 研究紹介（水質異常検知，残留塩素予測）**
- 5. まとめ**

DXとは？

4

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。

「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。

上下水道における国内のDXは遅れている？

6

欧米：研究は進んでいるが現場導入は限定的

- ・ データ形式の不統一、欠測、長期データ不足

日本：データ管理品質が極めて高い

- ・ 校正履歴、常時監視、連続ログの精密さ
- ・ 遅れてをとっているものの導入適性が高い

1. DXとは？

2. 上下水道DX技術事例

3. AI入門

4. 研究紹介（水質異常検知，残留塩素予測）

5. まとめ

上下水道DX技術事例

8



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

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：実装例が少なく、発展途上

代表的な5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）

事例1：スマート水道メーター

9

■スマート水道メーターを用いたクラウド型遠隔自動検針・漏水発見技術 (愛知時計電機株式会社)

<https://www.aichitokei.co.jp/aichicloud/lp/>

【技術の概要】

- ・ 本技術は、水道メーター、無線通信端末(キャリア通信)、クラウド検針ソフトの3つから構成されます。
- ・ 需要家宅内メーター情報を無線通信端末を介し、クラウドに集約。事務所にいながら、全国単位でも検針できます。
- ・ 水使用のパターンから健康と要介護の間の状態:フレイル状態を検知できないか、といった研究も進められています。

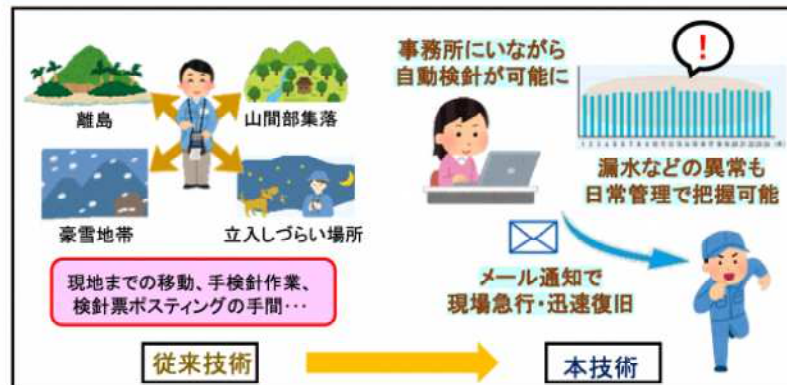


事例1：スマート水道メーター

10

【導入効果】

効率性（スピードアップ）



（例）約400戸の全戸スマート化をした場合、半日近くかかっていた検針業務が数クリック、数十分程度で済むようになった。

（例）2ヶ月に1度の検針から、前日24時間分のデータを毎日確認できるようになり、異常水量等、早期発見できるようになった。

事業性（低コスト化）



（例）年に数回、大規模な漏水調査を人工、費用をかけて実施していたが、メーターからの漏水アラートや使用量推移から、漏水箇所の絞り込みがある程度できるようになった。

【導入実績】

長崎市上下水道局、備前市産業建設部ほか、令和7年9月末時点で全国約330事業者へ導入、運用中となります。

導入先	導入範囲	導入年度
長崎市 上下水道局	スマート水道メーター（10カ所）	令和5年度
備前市 産業建設部	スマート水道メーター（約4,900カ所）	令和5～6年度
安平町役場 水道課	スマート水道メーター(842カ所)	令和4年度
羽咋市 産業建設部 地域整備課	スマート水道メーター(327カ所)	令和4年度



導入事業者からのコメント：インタビューより、抜粋（長崎市上下水道局様、備前市産業建設部様）

- ・アイチクラウドによる検針の自動化により、漏水検知アラームを利用して早期の発見、対応が可能になりました。
- ・広範囲の流量監視ができ、工数削減、効率化を図れました。災害時の優先修繕箇所把握にも応用が可能ではないかと期待しています。

事例2：管路劣化診断

11

■AI 管路劣化診断 『AIEyes アイズ』 (Fracta Japan株式会社)

<https://fracta-jp.com/>

【技術の概要】

- 弊社は水道管の劣化診断に世界で初めてAIを適用した企業であり、国内外における実績が豊富です。
 - 約170種類以上から成る環境データと管路情報、漏水情報などの組み合わせをAIに学習させ傾向をつかみ、将来の漏水リスクを算出します。
 - 事業体様にご提供頂くデータは「管路情報」及び「漏水履歴」の2つのみです。
 - 診断結果はデータ受領から最短約3か月でご提示可能です。
- 診断結果は既存のマッピングシステムにて反映させ、閲覧することができます。
- マッピングシステムの所有有無に関わらず、ウェブ上で診断結果を閲覧可能なシステムを契約後一定期間無償で提供いたします。

1 データ取得・活用

お預かりしたデータを整理

管路データ

布設年・口径・管種等

漏水履歴

漏水地点・漏水要因等

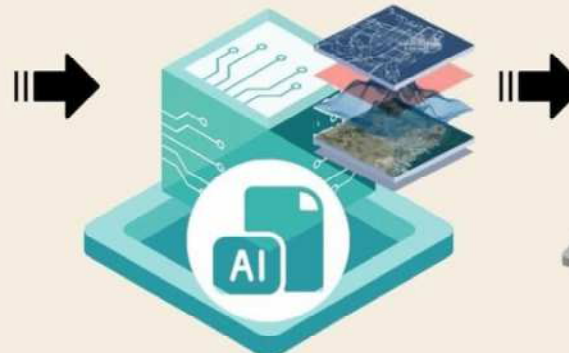
独自に構成した
環境データ
FRACTA

環境データ

人口・土壌・交通網等

2 学習・予測

学習データを基に
AIモデルを構築



3 診断結果

管路の漏水確率を
ヒートマップとして
地図上に可視化



オンラインツール

shp.csvファイルでも結果をお渡しします

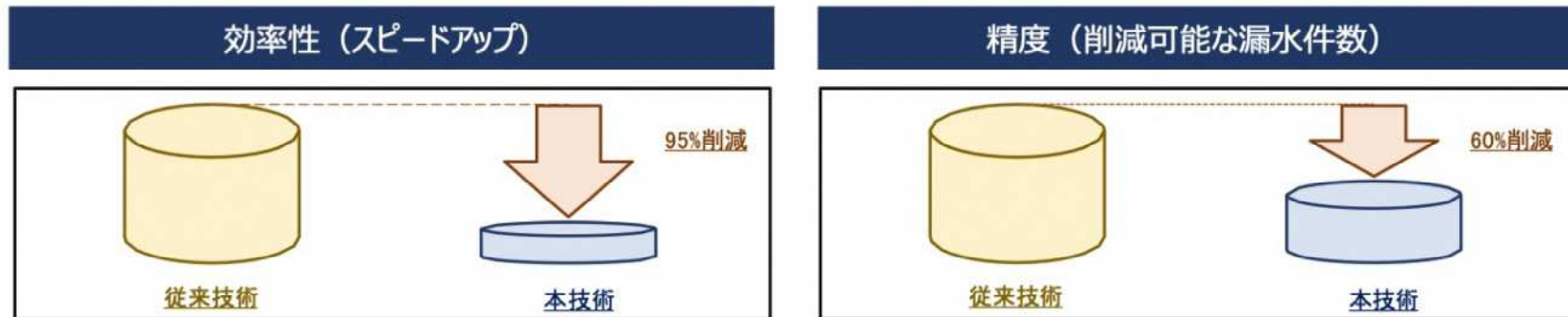
事例2：管路劣化診断

12

【導入効果】

・従来技術と比較して本技術により削減される作業日数・人(効率性)及び診断精度を評価※

※ 試算条件は、上記コストの条件と同様とする。



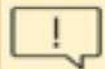
本技術の導入により、調査・解析に要する作業日数・人は、従来技術(管体調査等)から約95%削減できると試算されました。

本技術の導入により、削減可能な漏水件数は、従来技術に比べ約60%削減できると試算されました。

【導入実績】

宇都宮市上下水道局、四日市市上下水道局ほか、令和7年度9月末時点で約75事業者へ導入

導入先	導入範囲	導入年度
宇都宮市上下水道局	管路延長：約1,700km	R5年度
四日市市上下水道局	管路延長：約2,100km	R3,4,5年度
静岡県企業局	管路延長：約740km	R5年度
金沢市企業局	管路延長：約2,400km	R4年度



導入事業者からのコメント：宇都宮市上下水道局

水道管路AI劣化診断により、管路毎のリスクの可視化を実現させ、その結果を活用した漏水調査では調査範囲の絞り込みが可能となり、効果的・効率的な調査を実施することができました。今後は老朽管更新計画にも活用予定です。

13

https://www.ace-con.co.jp/file/ROV_202312.pdf

22

事例3：配水池内部点検

14

【導入効果】

・従来技術と比較して本技術により削減される作業日数・人(効率性)及び費用(事業性)を評価

本技術の導入による効率性（スピードアップ）と事業性（低コスト化）



本技術の水質に影響を与えない調査方法によって水抜き・清掃・水張り・水質試験が不要となります。
従来技術の作業工程を大幅に短縮、施設の供用を停めることなく調査ができるため、効率化と低コスト化が実現します。

【導入実績】

令和7年9月末時点で深谷市環境水道部、南足柄市上下水道課へ導入

導入先	導入範囲	導入年度
深谷市環境水道部	配水池(面積:400m ²)	R5年度
南足柄市上下水道課	配水池(面積:180m ²)	R5年度



導入事業者からのコメント①

供用中の施設の為、簡単には水を抜けない施設が多いが、安全に配水池内部の状況(躯体・塗膜・配管・バルブ等)を把握する事が出来て非常に良かったです。



導入事業者からのコメント②

水が無い状態では流入管にエアが混入している事が分かりませんが、水が有る状態での調査だから分かり、維持管理の上で非常に貴重な情報でした。

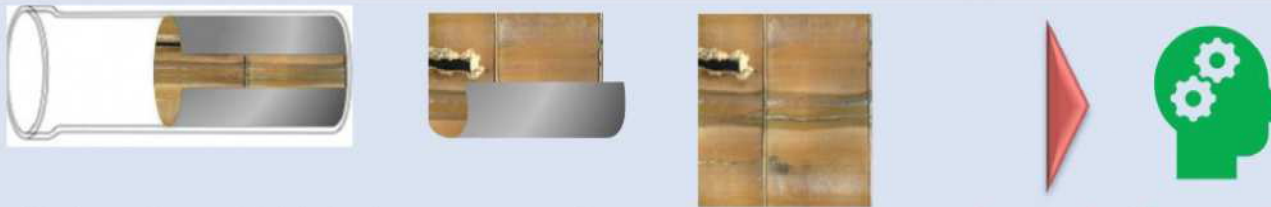
事例4：下水CCTV画像AI

15

■AI画像認識を活用した下水道管路の損傷自動検出技術 (株式会社 福山コンサルタント, 公益財団法人 日本下水道新技術機構)

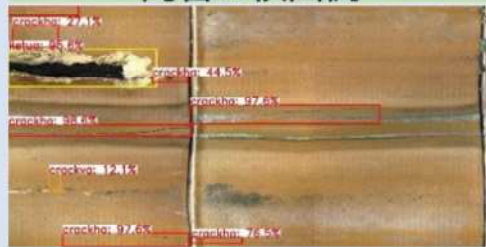
【技術の概要】

- 本技術は、AIによる画像認識技術を用いて画像内の損傷を自動検出し、**管路維持管理の効率化**に貢献する技術です。
- 本技術は、AIによる画像認識の中核的技術である「**物体検出**」及び「**セグメンテーション**」を用いて、下水道管路の多様な損傷に対応した検出を実現します。

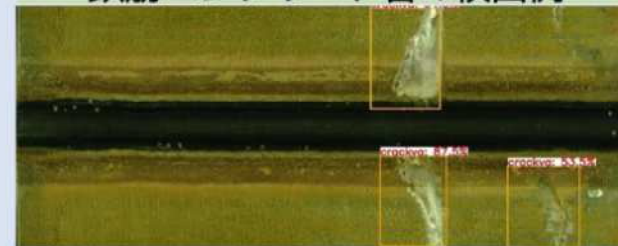


管内画像を管軸方向に**展開図化した画像**を**AI**に入力して**損傷を自動検出**

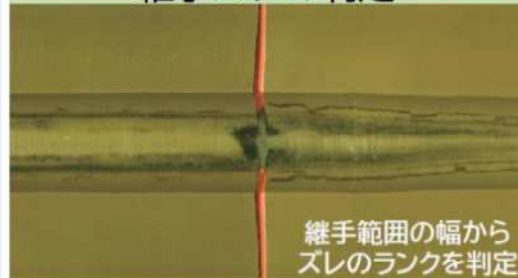
陶管の検出例



鉄筋コンクリート管の検出例



継手ズレの判定



たるみの判定



事例4：下水CCTV画像AI

16

【技術の適用条件・範囲】

<https://business.fukuyamaconsul.co.jp/gesuidou>

- ・陶管および鉄筋コンクリート管の展開画像が、損傷検出の対象画像になります。

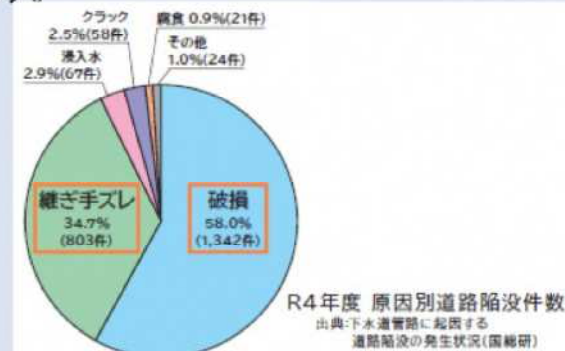
- ・検出対象の損傷は、以下になります。

管路の改築の判断で重要な損傷を網羅しており、スクリーニング調査への活用が可能です。

- ①管の腐食(Aランクのみ)
- ②上下方向のたるみ
- ③管の破損
- ④管のクラック
- ⑤管の継手ズレ

※③、④のランクの判定は開発中

また、道路陥没の主要因となる損傷(右図参照:破損・継手ズレ)を検出の対象としていることから、W-PPPにおける性能発注への適用も考えられます。

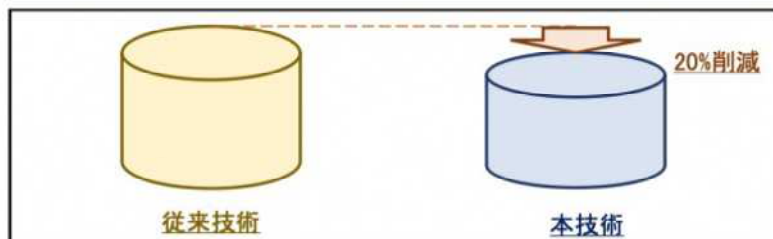


【導入効果】

- ・従来技術と比較して本技術により削減される作業日数・人(効率性)及び費用(事業性)を評価※

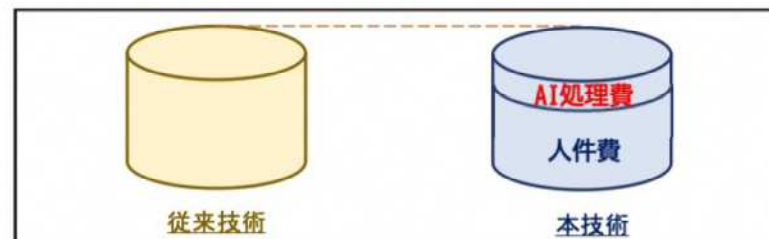
※ 試算条件は、上記コストの条件と同様とする。

効率性 (スピードアップ)



本技術の導入により、記録表作成に要する作業日数・人は、従来技術から20%削減できると試算されました。

事業性



本技術の導入により、記録表作成に要する費用は、従来技術と同等と試算されました。(時短効果が期待できます)

【導入実績】

令和7年9月末時点で1事業者へ導入

事例5：IoT＋クラウド監視

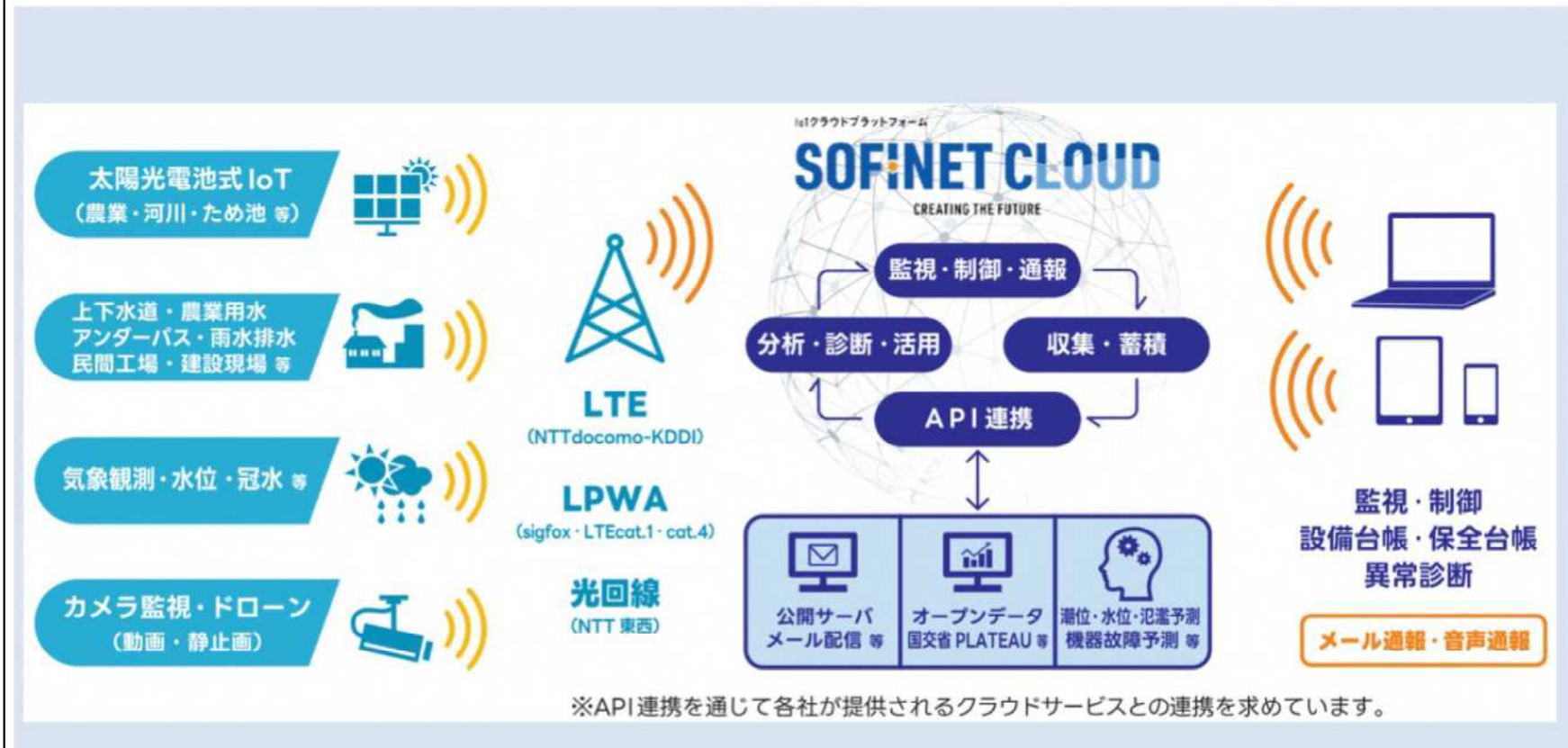
17

■クラウド型 遠隔監視・制御サービス SOFINET (日本ソフト開発株式会社)

<https://www.nihonsoft.co.jp/sofinetcloud/>

【技術の概要】

- 本技術は、インターネットを介して使うクラウドアプリケーション(アプリ)のプラットフォームを、地方公共団体を中心に提供する技術です。
- 本技術は、「IoT技術」及び「クラウド技術」及び「太陽光技術」の3つから構成されます。
- 他社システムとのAPI連携等、公開サーバーの構築も可能です。
- 既設資産を活用可能なため、**初期コストを抑制した構築も可能**です。



事例5：IoT＋クラウド監視

18

【導入効果】

区分	期待できる効果
拡張性	複数メーカーの汎用機器、多様なネットワークに対応。
好 機	水処理エンジニアリング会社6社とOEM協業提供。
柔軟性	規模、運用、コストに応じたラインナップ。
創造力	他社システム連携を図り価値創造に展開。
進 化	毎年20項目以上において価値の進化を実践。
経済性	ライフサイクルコスト抑制。最適リソースで運用。
信頼性	東西IDCともに冗長化（CPU、メモリ、HDD、NW機器）

【導入実績】

全国約400事業体の約10,000施設 政令都市60%,中核都市45%以上で稼働（OEM提供含む）

導入先	導入範囲	導入年度
大阪府 大阪市（下水道）	125箇所	H25年度
岐阜県 岐阜市（雨水・アンダーパス）	69箇所	R4年度
滋賀県 草津市（下水道）	110箇所	R4年度
兵庫県 豊岡市（水道）	69箇所	H29年度



導入事業者からのコメント：滋賀県 草津市 下水道施設課

クラウド化したことで経費を抑えつつ維持管理の質を向上でき、経営健全化につながった。

関連サイト：[地域企業のキーパーソンに聞くvol.5 | 地域社会DXナビ](#)

1. DXとは？
2. 上下水道DX技術事例
3. AI入門
4. 研究紹介（水質異常検知，残留塩素予測）
5. まとめ

AIの発展史

20

第1次AI（1960s–1980s）

- 記号処理・エキスパートシステム —
if-thenルールに基づき“知識”を表現。
拡張性が低く、連続変化系には不向き。

第2次AI（1990–2000s）

- 機械学習 —
データから規則性を学ぶ時代へ
SVM、ランダムフォレスト、ブースティングなど。
水質予測、設備診断の応用が増加。

第3次AI（2012–現在）

- 深層学習の爆発的发展 —
CNN、LSTM、Transformer の登場。
時系列や画像の精度が飛躍

現在：AI + XAI + MLOps

- 精度だけでなく、説明性・運用性が重視される

【予測モデル】

- 線形回帰：基準として重要。構造が理解しやすい。
- ランダムフォレスト：非線形関係を捉えやすく安定。
- XGBoost：高精度で実務でも多用。
- LSTM：残留塩素のような時系列変動の予測に強い。

【異常検知モデル】

- One-class SVM：正常データだけで境界形成。
- Isolation Forest：孤立しやすさを利用し、異常を捉える。
- Deep SVDD：正常データの“特徴空間の中心”を学び、外れたものを異常とする。

【説明可能性（XAI）】

- SHAP：予測に対する変数の寄与度を定量化。
 - LIME：個別サンプル周辺での説明を生成。
- 「なぜその結果になったか」の理解を助ける。

【データ前処理技術（AIではない）】

- VMD：時系列を複数モードに分解し、変動の構造を抽出。
 - EMD：経験的モード分解。
 - PCA：多次元データの次元圧縮。
- AIの精度・安定性を大きく左右する

1. DXとは？
2. 国内DX事例
3. AI入門
4. 研究紹介（水質異常検知，残留塩素予測）
5. まとめ

研究①：水質異常検知

24

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年元旦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



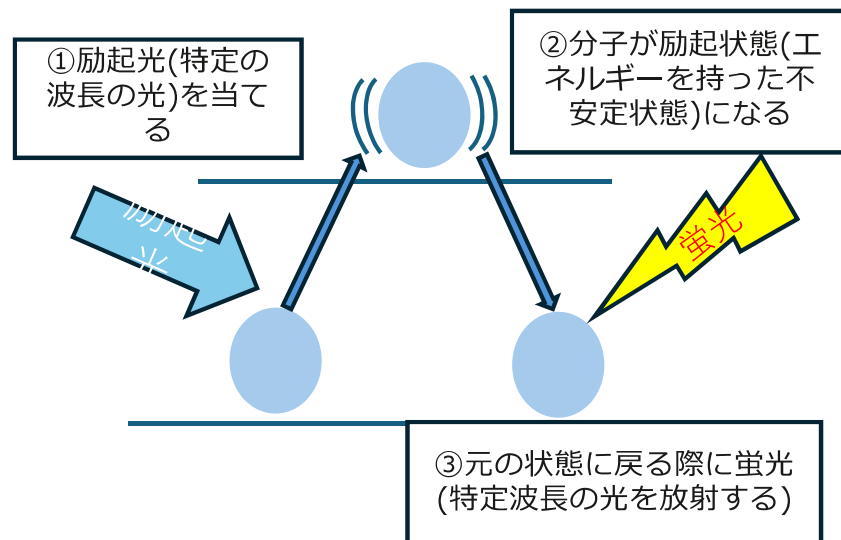
検査コストを理由に十分な水質検査が行われていないケースも

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

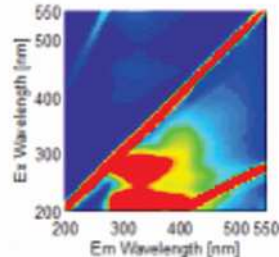
研究①：水質異常検知

25

研究背景－三次元励起蛍光分析（EEM）



出典：<https://www.klv.co.jp/corner/what-is-fluorescence-measurement.html>



蛍光スペクトルデータを集約し、定量化できないか？

EEM技術の基本原則:

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, 橋 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）

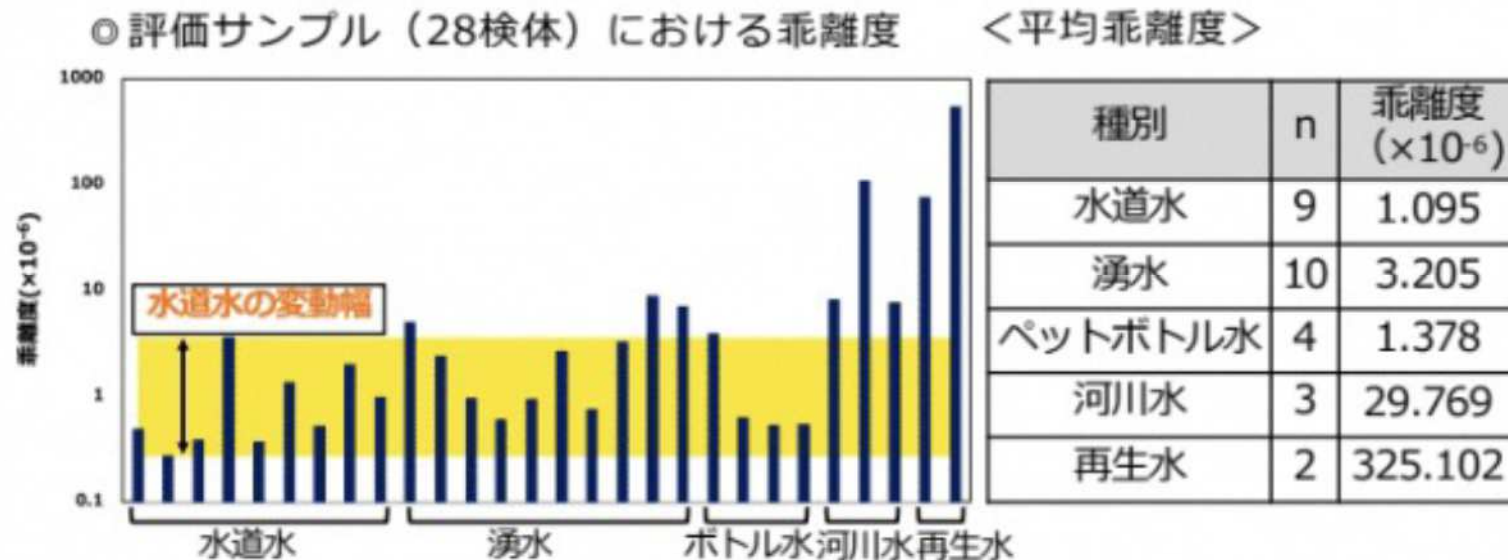
研究①：水質異常検知

26

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



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

27

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。

- ① 信頼性の評価：説明可能AIモデルを用いて、異常判定の原因となる成分に関する知見を得る
- ② 実用可能性の評価：珠洲に整備される金沢大学の実証フィールドにおいて、開発モデルを用いた連続的な水質監視（地下水・雨水）を行う

研究①：水質異常検知

28

研究方法 排水試料の調整とEEM分析

①実排水の採取

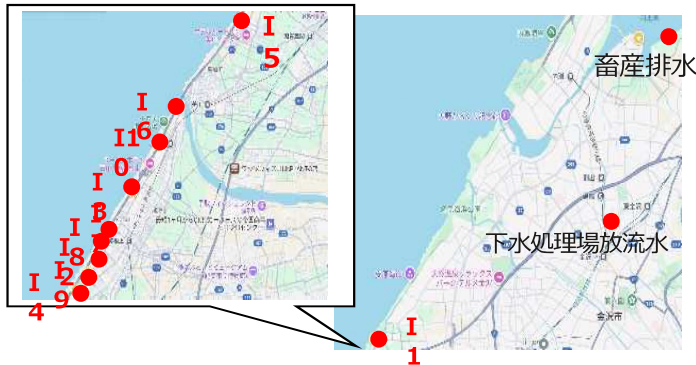
採水期間：2025年5月

排水の種類

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



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

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－ネ硫酸溶液で補正した



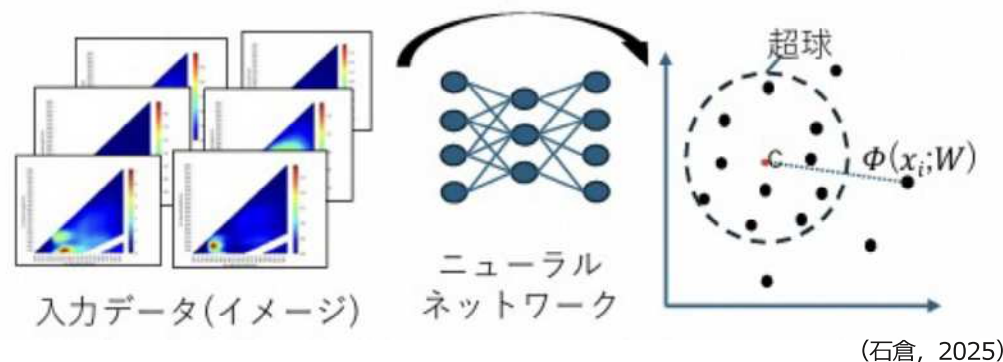
研究①：水質異常検知

29

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。



$$\text{異常度 } s(x) = ||\phi(x_i; W) - c||^2$$

c : 超球中心座標

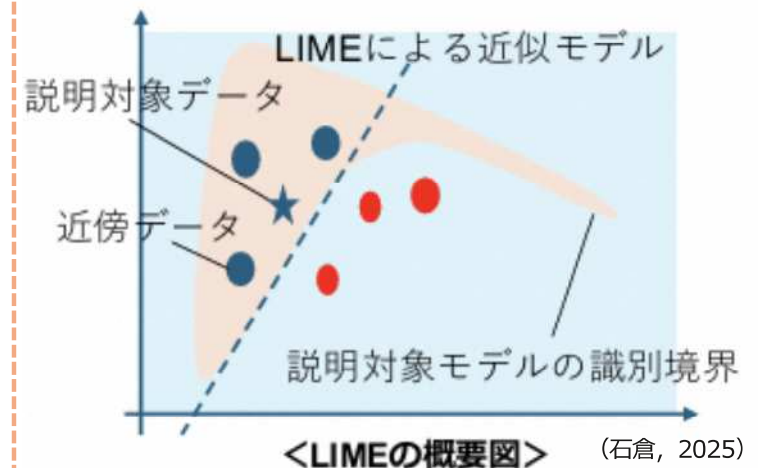
$(x_i; W)$: ニューラルネットワークの出力値

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。

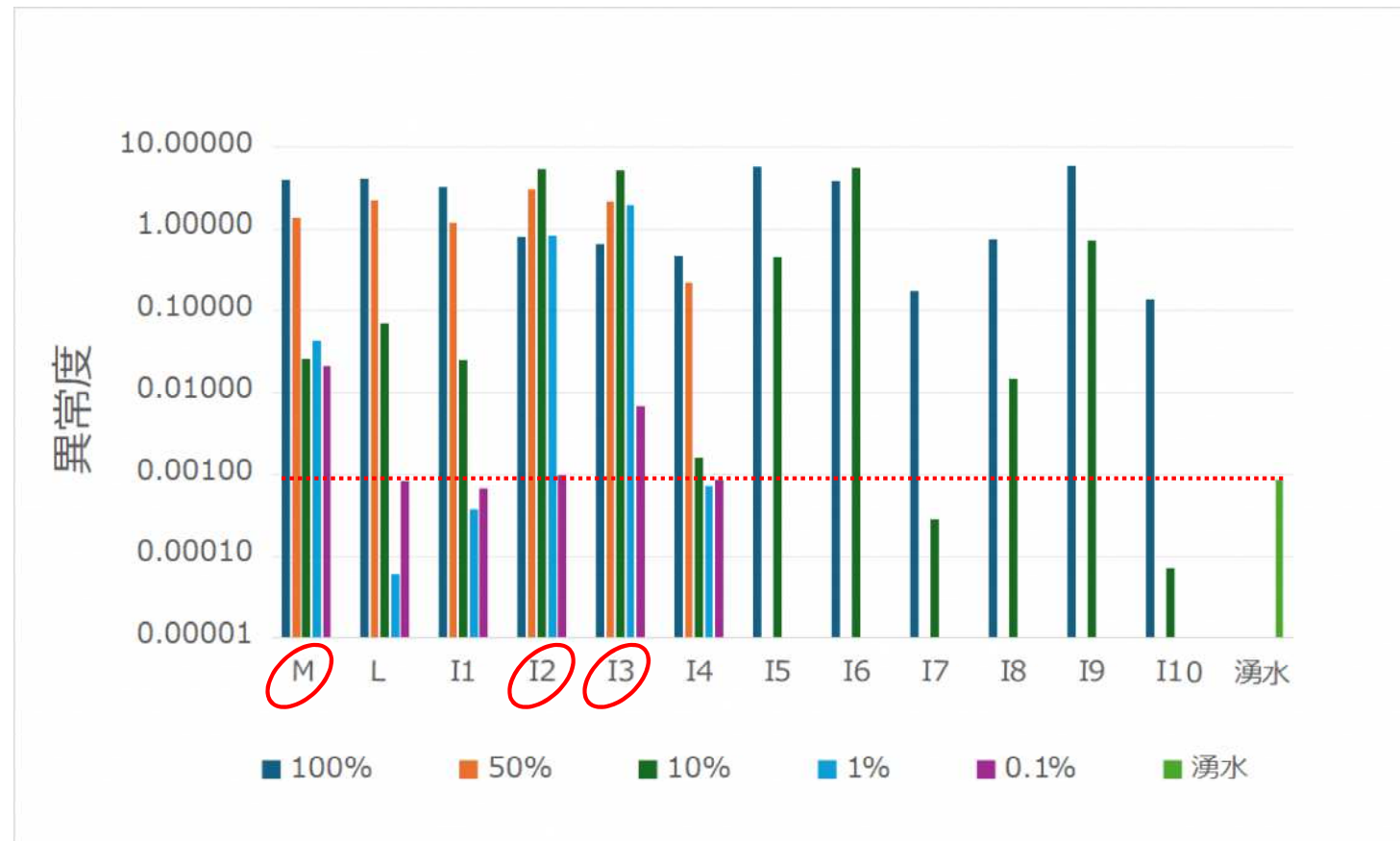


Deep SVDD により異常と判定されたデータに LIME を適用し、異常度を上昇させた変数 (= 水質異常の原因) を推定する。

研究①：水質異常検知

30

これまでの結果：排水混合試料の「異常度」



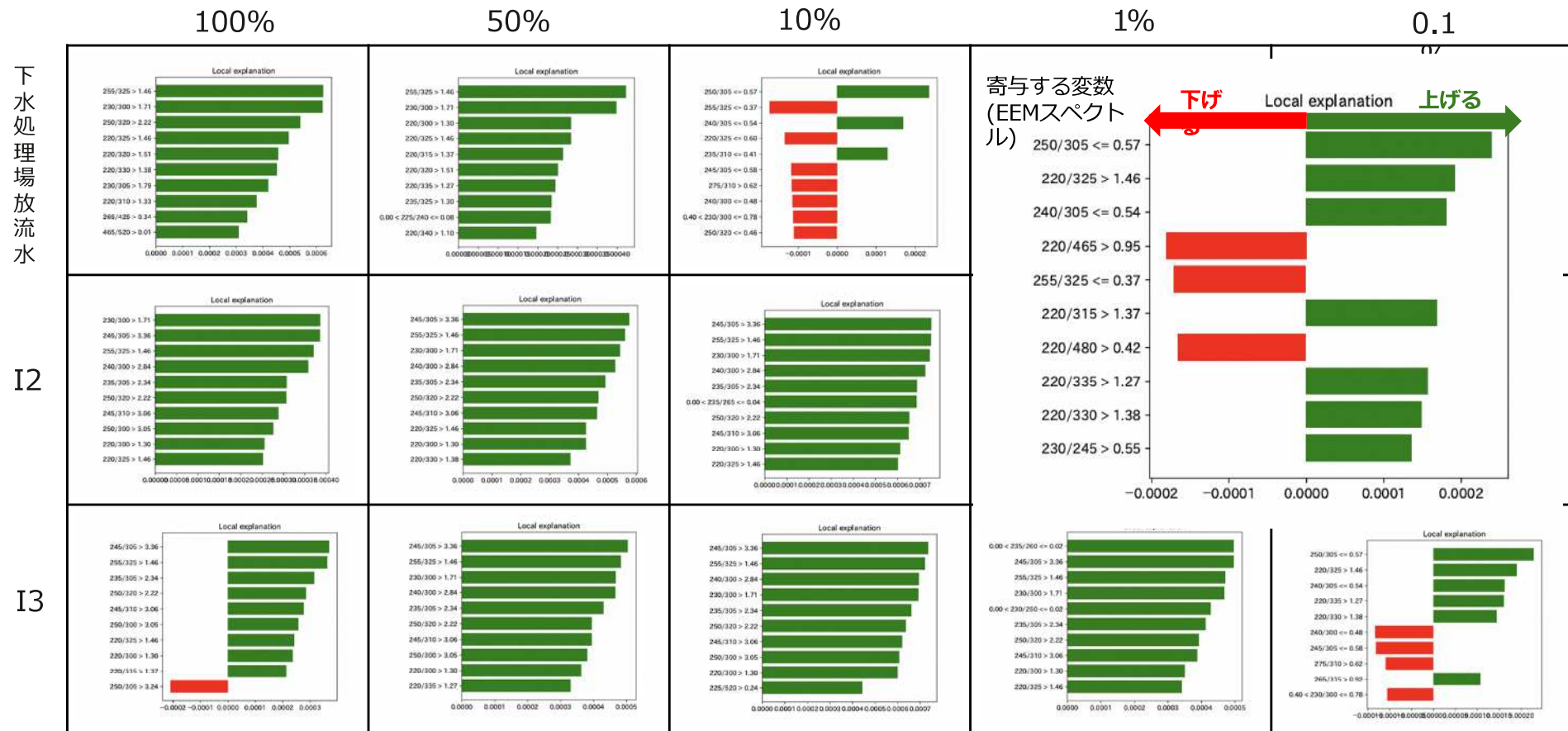
下水処理場放流水(M)
畜産排水(L)
工場排水を含む河川水(I)

- 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
- 特に, M, I2, I3で低濃度でも高い異常度（ $-3.39 \sim -1.33$ ）が得られた
- I2, I3の排水は主に繊維加工工場に由来する

研究①：水質異常検知

31

これまでの結果：説明可能AIの適用結果



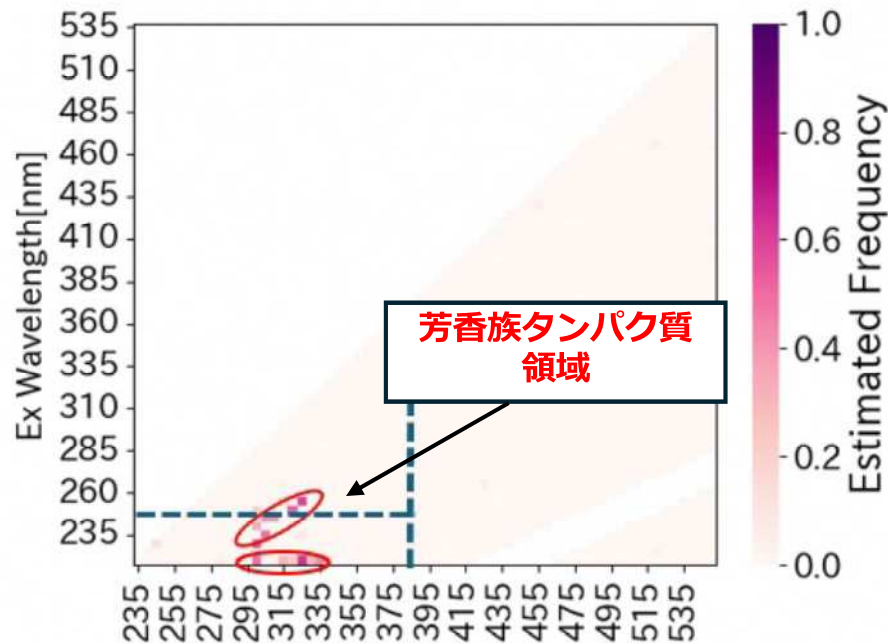
芳香族タンパク質の領域、特に親水性中性成分(TPIN)に特徴的なピーク領域であることが明らかになった

研究①：水質異常検知

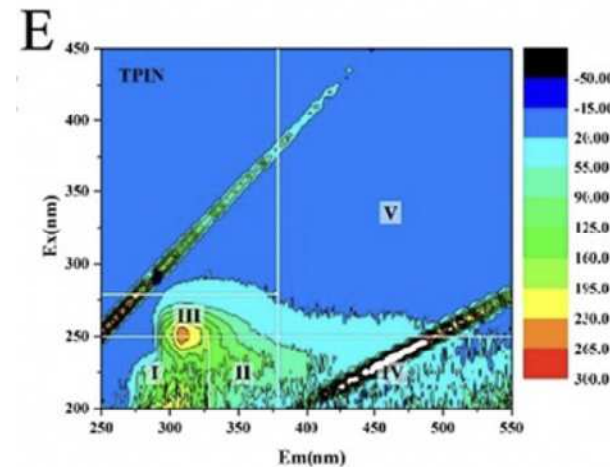
32

異常度に寄与する成分の探索

検出強度高いと異常度上昇



Quadrupole Time-of-Flight
Mass Spectrometer/Mass
Spectrometry
(QTOF/MS)



親水性中性成分
(TPIN)

- Ex220nm~260nmの範囲に寄与の大きな変数が集まっていることがわかった。
- この領域は、芳香族タンパク質の領域であり、また、親水性中性成分(TPIN)に特徴的なピーク(Ex220-260nm, Em<350nm)が出現する領域と報告されている。
(Environmental Science and Pollution Research,2023)

これまでのまとめ

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。

①信頼性の評価：説明可能AIモデルを用いて，異常判定の原因となる成分に関する知見を得る

- 水質異常検知モデルを様々な排水混合試料に適用した結果，特に**繊維加工工場排水**で低混合割合（0.1%）でも高い異常度が検出された
- 異常度の高いサンプルにLIMEを適用し，異常度に寄与する変数とその条件を明らかにした

研究②：残留塩素濃度予測

34

対象地域：仙南・仙塩広域水道事務所



▶南部山浄水場

- 送水残留塩素濃度 (mg / L)
- 送水水温 (°C)
- 着水井水温 (°C)
- 着水井電気伝導度 (mS / m)
- 高区系・低区系流量 (m³/h)

▶その他

- 高区調整池出口残留塩素濃度
- 高区流出流量
- 低区調整池出口残留塩素濃度
- 低区流出流量
- 松島受水残留塩素濃度
- 山元山寺受水残留塩素濃度

▶平均滞留時間

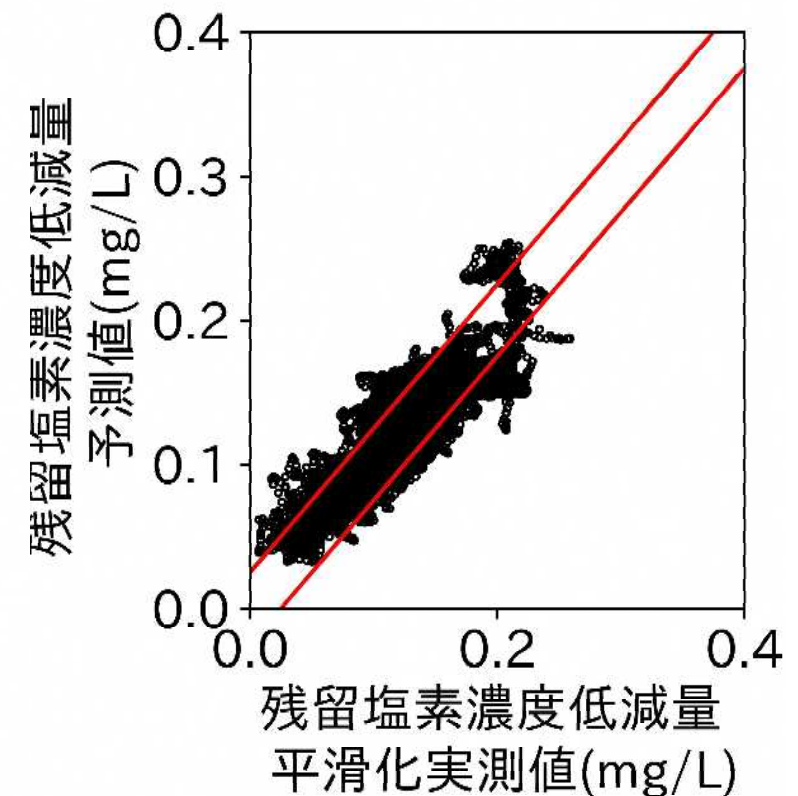
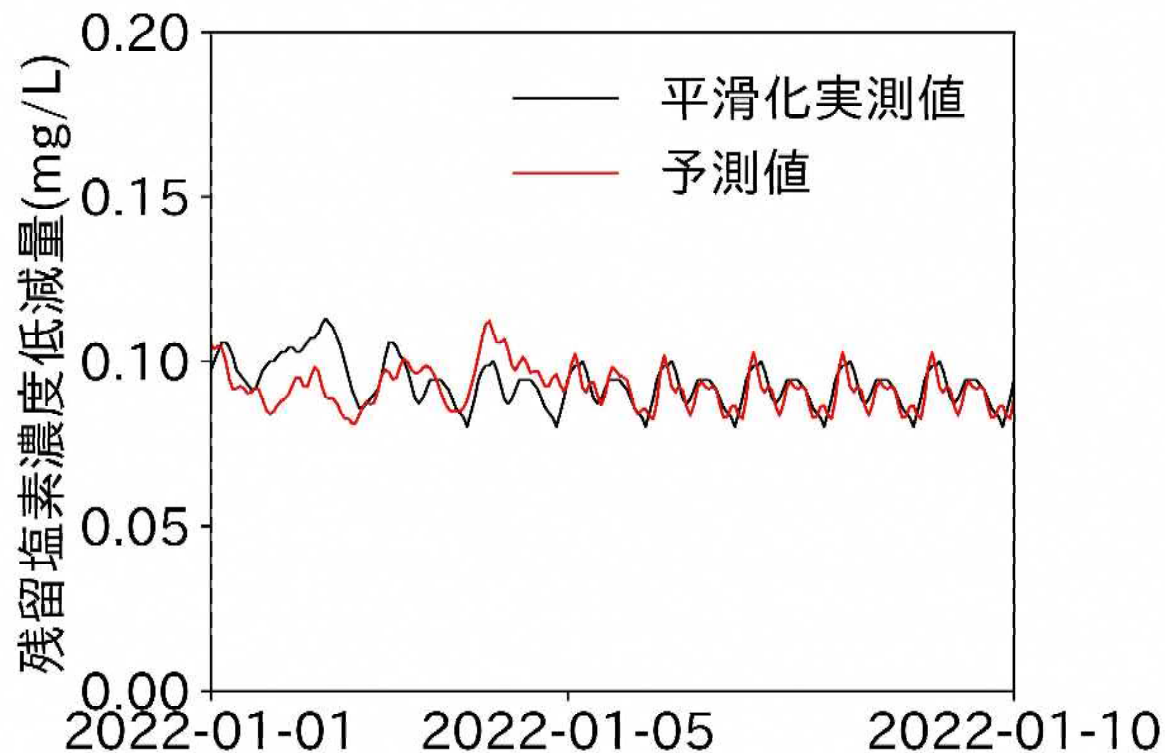
- 南部山浄水場—高区調整池：
24時間～36時間
- 南部山浄水場—低区調整池：
12時間
- 高区調整池—松島： 48時間
- 低区調整池—山元山寺：
12時間～24時間

研究②：残留塩素濃度予測

35

実験結果 ～高区調整池～

ブロック：48時間・予測時間：24時間・移動平均：7時間



- RMSEは0.0202となった
- 一部実測値と予測値が一致しない箇所があるが、流量追加・成分分解モデルと比較して精度が向上した

- DXとは：デジタル技術で業務や判断の仕組みを根本から改善する取り組みであり、課題の多い上下水道での必要性が高い。
- DXの主な適用領域（上水・下水・水質）：
 - 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：クラウド型遠隔監視は進みつつあるが、AI活用など高度水質DXはまだ実装例が少なく発展途上
- AI入門：AIは予測・異常検知・説明性を組み合わせ、データに基づく現場判断を支援する技術である。
- 研究紹介：水質異常検知モデルと残留塩素予測モデルは、水質DXの実装に向けた有望なアプローチを示している。

AI・IoTは上下水道の運転管理を支える“判断補助の技術”