

社会課題解決を目指した下水処理施設のデータ分析アプローチ

Data Analysis Approaches for Wastewater Treatment Facilities Aimed at Solving Social Issues

天 早 健 太, 福 本 真 也

要 約 X市では下水処理工程で発生した消化ガスを発電に利用している。発電量を増加させるため、消化ガスの発生量の増加を目指しているが、消化ガスの発生原料となる生汚泥の流入量が減少しているという課題を有している。

今回、この課題についてオープンデータを用いて要因分析を行った。明確な要因の特定には至らなかったが、汚泥中に含まれる有機物の割合については「PT（最初沈殿池）流入量」と「気温」と関係があることが示唆された。合わせて、消化ガスの発生量の予測モデルを構築し、発生量に影響を及ぼす因子についても調査した。結果として、「平均気温」と、汚泥の引き抜き量に含まれる有機物の割合を表す「有機分（生）」が消化ガスの発生量に影響を及ぼす因子である可能性が示された。今回はオープンデータを用いて調査を行ったが、より詳細かつ精度の高い分析を進めるためには、分析目的に合致した質の高いデータの確保が重要となる。そのためには、有償のデータや、国や市と連携した独自のデータの継続的な収集も選択肢となる。

将来的にはX市の職員が自らデータ分析を行えるように、分析手法の確立や必要なデータ整備の実現のため、今後も本取り組みを続けていく。

Abstract In City X, digester gas generated during the sewage treatment process is utilized for power generation. To increase electricity output, the city aims to enhance digester gas production; however, a key challenge has emerged: the inflow volume of raw sludge, which serves as the primary feedstock for digester gas, is declining. This study investigates this issue through factor analysis using publicly available data. Although no definitive cause was identified, the analysis suggests a potential relationship between the organic content of sludge and both the inflow volume of primary settling tanks (PT) water and ambient temperature. Furthermore, a predictive model for digester gas generation was developed, and factors influencing gas production were examined. The results indicate that average temperature and the organic fraction of extracted sludge ("organic content (raw)") may significantly affect digester gas output. While this analysis relied on open data, securing high-quality datasets aligned with analytical objectives will be essential for more accurate and detailed studies. Options include acquiring paid data or continuously collecting proprietary data in collaboration with national or municipal authorities. Looking ahead, this initiative will continue with the goal of establishing analytical methodologies and organizing the necessary data infrastructure to enable City X personnel to conduct data analysis independently.

1. は じ め に

X市はデジタルトランスフォーメーション（以下、「DX」）の推進を目指して、下水処理施設の多様なデータを分析・活用することで、施設運営の高度化ならびに職員の負担軽減のため

の作業効率化を図る施策を検討している。これらの施策を踏まえて、X市とユニアデックス株式会社は、これまで個人の知見や経験の下で行われていた業務を高度化・効率化することを目的に、下水処理施設から得られるデータ活用の有用性を実証する共同研究を実施している。

X市は2024年度から、下水処理工程で発生したメタン約60%を含む消化ガスを精製し、発電^[1]に利用している。発電量の増加のためには消化ガスの発生量を増加させなければならないが、消化ガスの発生原料となる生汚泥において「流入する生汚泥が減少傾向にある」という課題を有していた。

今回、データを活用してX市の下水処理場に流入する生汚泥の減少傾向の要因について調査した。調査範囲は、処理場ごとに計測されるデータが異なる可能性を考慮し、調査対象の下水処理場が管理する区域に限定した。また、調査期間の都合上、使用するデータは一般に公開されている無償のオープンデータと下水処理場の計測データのみとした。

本稿では、今回実施した要因分析の手法とその結果について紹介する。まず、2章で一般的な下水処理のプロセスおよび国内の資源活用の取り組みについて説明する。3章で今回行った分析アプローチの内容について、4章で分析結果について説明し、5章で分析結果から見られる傾向と今後の取り組みにおける改善点について考察する。

2. 下水処理施設の取り組み

一般的な下水処理の流れ^[2]としては、まず「沈砂池」で流入してきた下水中の砂や大きなゴミなどを沈ませて取り除いた後、沈砂池で取り除けなかった細かい汚れを「最初沈殿池」で沈ませ、「反応タンク」でバクテリアなどの微生物を活用して汚れを分解する。処理された下水については、一部は再利用され、残りは河川や海に放流されている。

以降、2.1節では燃料として利用する消化ガスが発生するまでの下水処理プロセスについて、2.2節では国内の下水道局における資源活用の取り組み事例について説明する。

2.1 下水処理施設のフロー

下水処理場で行われている下水処理プロセスのイメージを図1に示す。

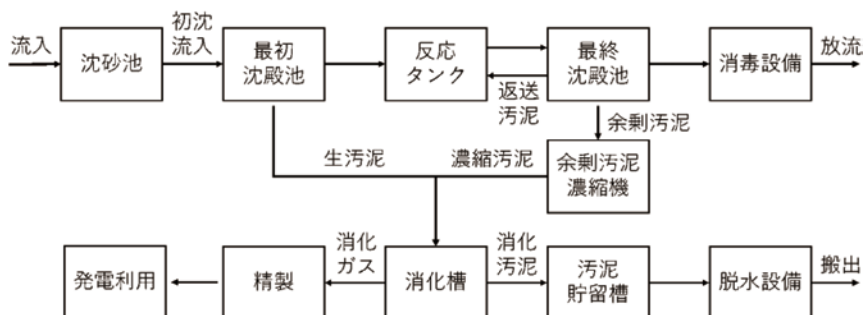


図1 下水処理場のプロセスイメージ

下水処理場に集められた下水は、まず「沈砂池」に流入し、大きなゴミや砂が取り除かれる。その後、「最初沈殿池」で固形物（生汚泥）を沈殿させ、「反応タンク」で活性汚泥が加えられ、下水中の汚れが分解される。活性汚泥は下水中の汚れを分解してきれいにする役割を担う微生物

物の集まりである。「最終沈殿池」ではこの活性汚泥の固まりを沈殿させ処理水と汚泥に分離し、一部の汚泥は反応タンクに返送し、残りは余剰汚泥として余剰汚泥濃縮機に送られる。最終的に処理水は「消毒設備」で消毒され、川や海に放流される。

上記の処理過程で生じた生汚泥や濃縮処理された汚泥は消化槽に送られ、メタン発酵することで消化汚泥として安定化する。消化汚泥は汚泥貯留槽を経た後、脱水処理され焼却や再利用のため場外に搬出される。なお、消化槽のメタン発酵にて発生した消化ガスは精製され不純物が除去されて、消化ガス発電の燃料として利用される。

2.2 国内の下水道局における資源活用の取り組み事例と課題

国内の資源活用の取り組みとしては、下水処理後に排出される汚泥を焼却や埋め立てで処理することが主流であったが、下水汚泥を資源として再利用することが環境負荷の軽減やコスト削減に繋がると注目を集めている。

下水汚泥の資源活用の例^[3]として、「エネルギー」、「緑地・農地」、「建築資材」への利用がある。「エネルギー」への資源活用では、下水の汚泥の有機分解などによって発生するメタンを、消化ガス発電用の燃料や自動車の燃料、さらには都市ガスそして火力発電所の石炭の代替品として利用している。「緑地・農地」への資源活用では、脱離液中からのリンをMAP（リン酸アンモニウムマグネシウムの結晶粒子）として、コンポストや乾燥汚泥を肥料として、炭化物や焼成物を土壌改良剤や園芸用土壌としてそれぞれ利用している。「建築資材」への資源活用では、下水工事の埋め戻しやセメントの原料、コンクリート、骨材、ブロック、レンガなどの原料として利用している。これらの取り組みはX市のみならず、国内の様々な下水道局で取り組まれている。しかし、消化ガスを精製させるための設備の運用コストや消化ガスが季節変動を受けやすく安定的な供給が難しい点など、汚泥の利活用には課題もあった^{[4][5]}。

X市は「消化ガス発生量の増加」を目的として、下水処理の過程で精製される消化ガスを活用したバイオマス発電に取り組んでいる。その中で、消化ガスの発生原料である生汚泥において「流入する生汚泥が減少傾向にある」という課題を有していた。そこで、この課題の要因を明らかにし、消化ガスの安定的な取得に関する課題の解決策を見出すため、今回のデータ分析を実施した。

3. X市における生汚泥流入量減少の要因分析アプローチ

本章では、X市の下水処理施設における生汚泥流入量減少の要因分析について、分析アプローチと調査内容を詳述する。分析にあたり、まず、生汚泥流入量の減少という課題に対して考えられる要因と仮説を整理し、その仮説に基づき、分析に用いるデータを選定した。

3.1節では要因分析アプローチについて、3.2節では今回の調査に使用したX市の下水処理場の計測データについて、3.3節ではオープンデータの取得元サイトと調査条件について説明する。

3.1 課題の要因と仮説の整理

分析アプローチの検討にあたって、ロジックツリーを活用して考えられる要因と仮説の整理を実施した。

整理した結果を図2に示す。今回の「生汚泥中に含まれる有機物の減少」という問題設定に

対して要因と仮説を整理するために、環境変化と行動変容に関する切り口として、「社会環境の変化」、「地域経済の変化」、「気候変動」の三つを設定した。

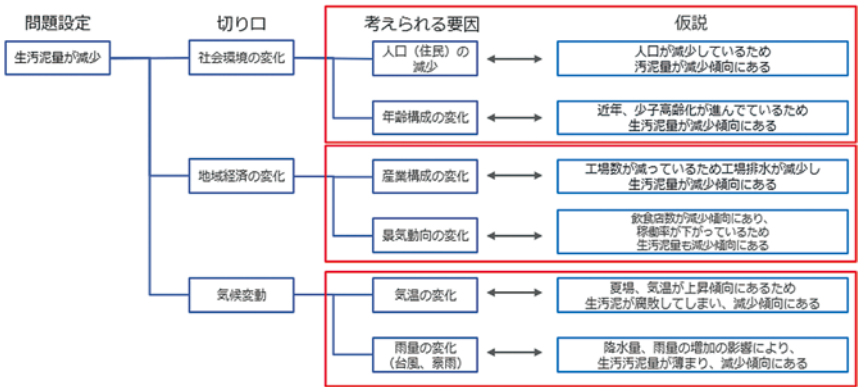


図2 要因と仮説

まず「社会環境の変化」では、少子高齢化の影響による若者の減少、高齢者の増加、対象区域の人口そのものの減少により、家庭などで排出される污水が減少し、生汚泥中に含まれる有機物が減少傾向にあるという仮説を立てた。次に「地域経済の変化」では、対象区域の工場数の減少、飲食店数の減少、各稼働率の減少により、生汚泥中に含まれる有機物が減少傾向にあるという仮説を立てた。最後に「気候変動」では、気温の上昇による影響で下水が下水処理施設に流れ着く前に、管渠内で下水中の微生物が増加し、微生物が下水中の有機物の一部を分解していることや、地球温暖化の影響により降水量が増加し、下水処理場に入ってくる汚泥中の有機物濃度が薄まっていることから、生汚泥中に含まれる有機物が減少傾向にあるという仮説を立てた。

3.2 調査に使用した計測データ

本調査に使用したデータは、X市の下水処理場の最初沈殿池から脱水設備までの処理過程の中で計測された月次の平均データである。データの期間は2002年4月から2024年3月までである。

まず、X市の下水処理場で計測されたデータの項目は以下の通りである。

[下水処理場の計測データ]

年、月、SS_mg/L、COD_mg/L、雨量_mm/月、PT流入量_m³/日、PT汚泥抽出量_m³/日、生汚泥投入量_m³/日、濃縮余剰汚泥量_m³/日、ガス発生量_m³/日、蒸発残（生）_％、強熱残（生）_％、有機分（生）_％、蒸発残（余剰）_％、強熱残（余剰）_％、有機分（余剰）_％、固形物量（PT流入）_t/日、固形物量（生抽出）_t/日、固形物量（生投入）_t/日、固形物量（余剰投入）_t/日、有機物量（生抽出）_t/日、有機物量（生投入）_t/日、有機物量（余剰投入）_t/日

「SS_mg/L」、「COD_mg/L」、「雨量_mm/月」、「PT流入量_m³/日」、「有機分（生）_％」、「有機物量（生抽出）_t/日」、「固形物量（PT流入量）」、「固形物量（生抽出）」、「PT汚泥抽出量」の9項目については、最初沈殿池の処理過程の前後などで計測されたデータを示している。そ

の他のデータについては、最初沈殿池以降から消化ガスの発生処理過程の前後で計測されたデータを示している。

次に、本調査で使用した主要な項目について説明する。「PT 流入量」は、最初沈殿池 (Primary Settling Tanks) に溜まった処理される前の下水の 1 日当たりの流入量を表しており、「有機物量 (生抽出)」は最初沈殿池に沈殿した汚泥を引き抜く際の一回分の引き抜き量に含まれる有機物の量を表している。「有機分 (生)」は一回分の引き抜き量に含まれる有機物の割合を表している。

しかし、計測データには本調査の課題となる「生汚泥量」を直接示すデータは含まれていなかった。「PT 汚泥抽出量」という項目があるが、これは最初沈殿池から一定の汚泥量を調整の上、抽出した値のため、処理前の汚泥の総量である「生汚泥量」として扱うことは適切ではなかった。そこで、消化ガスの精製及び生汚泥量と関連性がある「有機物量 (生抽出)」と「有機分 (生)」を目的変数に設定した。

PT 流入量の推移と本調査の分析範囲を図 3 に示す。計測データの推移を確認したところ、2008 年 8 月ごろに PT 流入量および有機物量 (生抽出) に急激な増加傾向が確認できた。これは、2002 年 4 月から 2008 年 7 月まで、海水混入の影響を避けるため最初沈殿池の一部の流入量が制限されていたためであった。流入量の制限解除後の急激な増加傾向が調査に影響を及ぼすことを考慮し、本調査の対象範囲を、2008 年の翌年度である 2009 年 4 月から 2024 年 3 月に設定した。

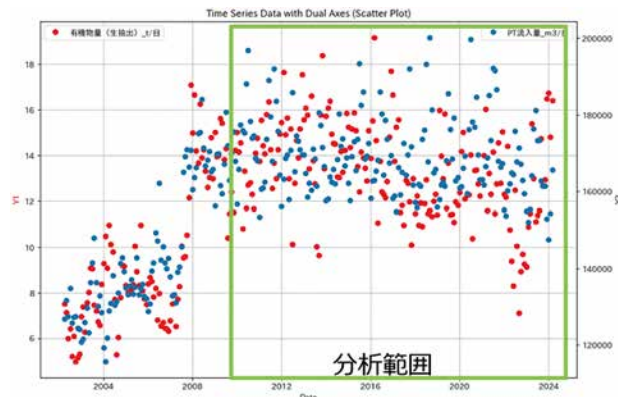


図 3 PT 流入量の推移と分析範囲

また、調査を始めるにあたり、有機物量 (生抽出) および有機分 (生) の年度の推移から、生汚泥が減少傾向にあるかを確認した。

結果を図 4 に示す。これより、1 回分の引き抜き量に含まれる有機物量は 2022 年度以降少しずつ上昇傾向にあるものの、全体で見ると 2016 年度から 2022 年度にかけて有機物量 (生抽出) と有機分 (生) のどちらも減少傾向にあったことが分かる。

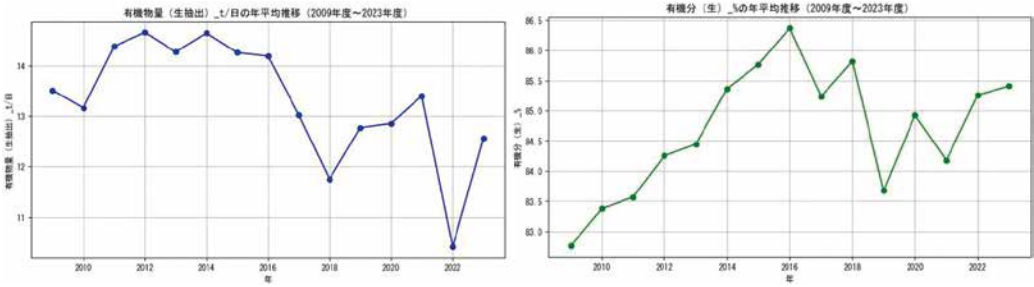


図 4 有機物量（生抽出）および有機分（生）の推移

3.3 分析に用いるオープンデータの選定

3.1 節で整理した各仮説をもとに、今回の分析に使用するオープンデータの調査を行った。調査した主なサイトを表 1 に示す。これらは「市の統計書」, 「e-stat」, 「経済産業省」, 「総務省統計局」, 「気象庁」などの市や国で実施された統計調査の結果を含むサイトである。

また、調査をする際には、以下の三つの条件をできるだけ満たすよう考慮した。

- 「X 市または対象区域のデータ」であること。
- 「2009 年 4 月から 2024 年 3 月までの月次または日次単位の連続データ」であること。
- 「エクセルまたは csv などの分析しやすいデータ形式」であること。

表 1 調査した主なサイト

No.	調査した主な Web サイト	調査対象
1	e-Stat（政府統計の総合窓口） ^[6]	—
2	X 市役所（X 市統計書） ^[7]	対象区域人口・年齢人口の推移
3	G 空間情報センター ^[8]	対象区域の昼間人口など
4	経済産業省（工業統計調査 ^[9] , 経済行動実態調査 ^[10] , 商業統計 ^[11] ）	上下水道の使用量の推移 工場の推移, 稼働率
5	総務省統計局（事業所・企業統計調査 ^[12] , 経済センサス活動調査） ^[13]	飲食店数の推移, 稼働率
6	気象庁 ^[14]	気温・降水量の推移
7	農林水産省（農林業センサス） ^[15]	農業集落排水施設数の推移
8	その他（X 市水道局 ^[16] , 「ホームメイト」 ^[17] , 「GD Freak!」 ^[18] ）	飲食店数の推移 上下水道の使用量の推移

表 2 は表 1 をもとにオープンデータの調査・取得結果をまとめたものである。表より、分析で使用した要件に合致するデータは、対象の市または区の「人口総数の推移」「年齢人口の推移」, 「気温・降水量の推移」のみであった。その他の「人流・昼間人口の推移」, 「上下水道の使用量の推移」, 「工場・飲食店数の推移, 稼働率」, 「農業集落排水施設数の推移」に関するデータについては、統計調査の期間が少なく長期間調査が実施されていない、または調査期間が年間ごと、2 年おき、5 年おきのようにデータの粒度が異なる、もしくは対象の市や区域のデータがないなどの理由で、今回は調査対象外とした。

表2 オープンデータの調査結果

No.	オープンデータ	取得有無
1	人口・年齢人口の推移	○
2	気温・降水量の推移	○
3	人流・昼間人口	×
4	上下水道の使用量の推移	×
5	工場・飲食店数の推移, 稼働率	×
6	農業集落排水施設数の推移	×

次に、本調査で使用するデータについてまとめる。使用するデータは、2009年4月から2024年3月の期間における、以下の月次の平均データである。

- X市の下水処理の計測データ
- X市の地方気象台の気温・降水量のデータ
- 対象区域の住民基本台帳の人口総数、年齢人口数のデータ

各データについて説明する。「X市の下水処理の計測データ」については、3.2節で記述した下水処理場の計測データと同様のデータである。「X市の地方気象台の気温・降水量のデータ」については、「平均気温」、「最高気温」、「最低気温」、「降水量」、「日照時間」、「降雪量」、「平均湿度」などのデータである。「対象区域の住民基本台帳の人口総数、年齢人口数のデータ」については、「人口総数」、「5歳階級ごとの人口数」、「各5階級の年齢人口の割合」などのデータである。ただし、「5歳階級ごとの人口数」のデータは分析するには粒度が小さ過ぎたため、年齢人口を「15歳未満の人口数（年少人口）」、「15歳以上65歳未満の人口数（生産年齢人口）」、「65歳以上の人口数（老年人口）」の3階級になるようデータクレンジングを実施した。

4. 分析結果

3.3節で説明したデータを活用し、生汚泥中に含まれる有機物の減少の要因について分析を行った。分析をする際には、生汚泥が最初沈殿池に沈殿した際の一回分の引き抜き量に含まれる有機物の量を示す「有機物量（生抽出）」と有機物の割合を示す「有機分（生）」を目的変数とした。合わせて、今回取得したオープンデータを用いて今後の消化ガスの発生量を予測するモデルを試験的に構築し、消化ガスの発生量に影響を受けている因子があるかを調査した。

4.1節で目的変数とオープンデータとの要因分析の結果について、4.2節で将来の消化ガス発生量の予測分析結果について説明する。

4.1 目的変数とオープンデータとの要因分析

取得したオープンデータと目的変数である「有機物量（生抽出）」および「有機分（生）」について、各変数の相関の傾向を確認するために相関係数を求めた。

相関係数の目安について図5に示す。一般的に、絶対値の値が1に近いほど相関があるとされており、相関係数の値が0.5以上の場合は正の相関の傾向、相関係数の値が-0.5以下であれば負の相関の傾向があるとされている。

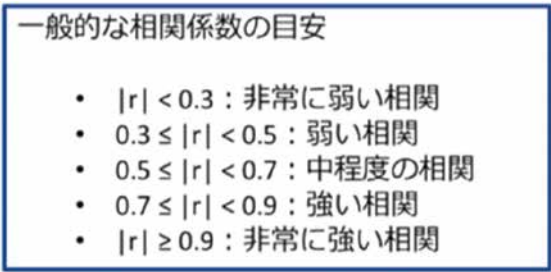


図 5 相関係数の目安

「有機物量（生抽出）」と「有機分（生）」に対して相関係数を求めた結果を図 6，図 7 に示す。図 6 の通り，「有機物量（生抽出）」と相関係数の絶対値が 0.5 以上であった項目は「PT 汚泥抽出量」，「蒸発残（生）」，「固形物量（生抽出）」，「固形物量（生投入）」，「有機物量（生投入）」であった。取得したオープンデータの項目と相関係数が高いものはなかった。

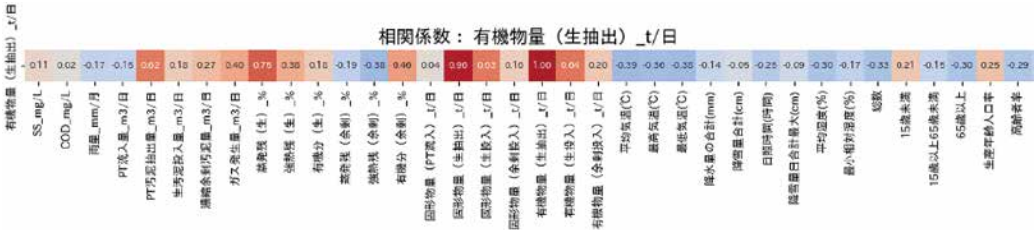


図 6 有機物量（生抽出）の相関係数

図 7 の通り，「有機分（生）」と相関係数の絶対値が 0.5 以上であった項目は「PT 流入量」，「ガス発生量」，「強熱残（生）」，「平均気温」，「最高気温」，「最低気温」であった。特に最初沈殿池から引き抜き，下水処理する前の過程で関連性のある「有機分（生）と PT 流入量」，「有機分（生）と気温」の相関係数が -0.55，-0.56 であり，負の相関があることが示唆された。

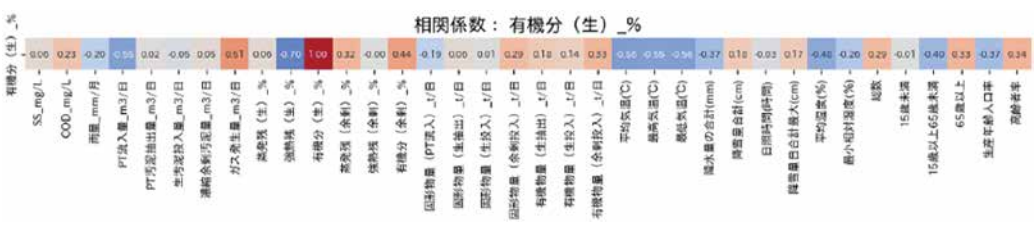


図 7 有機分（生）の相関係数

「有機分（生）と PT 流入量」の関係性については，3.1 節の図 2 に示した通り「降水量，雨量の増加の影響により，生汚泥量が薄まり，減少傾向にある」という仮説を立てたが，「PT 流入量が増加することによって下水処理場に入ってくる下水中の有機物濃度が薄まり，汚泥中に含まれる有機物の割合が減少傾向にある」ことが示唆された。

「有機分（生）と気温」に負の相関があることについては，「夏場，気温が上昇傾向にあるた

め生汚泥が腐敗し減少傾向にある」こと、つまり図2で示した「気温の上昇による影響で下水が下水処理施設に流れ着く前に、管渠内で下水中の微生物が増加し、微生物が下水中の有機物の一部を分解している」ために有機物の割合が減少傾向にある、という仮説が正しいことを示唆している。

また、有機分（生）については、降水量とは相関が見られず、PT 流入量と相関があった。このことから、最初沈殿池に入ってくる流入量の内、降水量以外の各家庭の上水の使用量などが影響していることが考えられる。加えて、生汚泥中に含まれる有機物量と対象区域の人口に相関の傾向はなかったが、下水処理場に流れてくる汚水は家庭のみから排出されているわけではないため、より動的な人流などのデータを利用して分析することで、汚泥中に含まれる有機物と人口との関係性が見えてくる可能性もある。

さらに、相関分析をした結果を参考に有機分（生）を予測するモデルを構築し、モデルに対して各因子がどのくらい影響を与えているのかを調査した。モデルについては、重回帰モデルの Lasso 回帰を使用した。

精度評価の結果を表3に示す。モデルの精度を評価する上で利用した評価指標は「決定係数 (R^2)」、「平均二乗誤差 (MSE)」、「平方根平均二乗誤差 (RMSE)」の三つである。

No.1 の決定係数は、回帰分析のモデルにおいてどれだけデータを説明できているかを示す指標である。1に近いほど精度が高いとされており、目安として0.5以上であれば精度が良いと言える。No.2 の平均二乗誤差は、予測値と実測値の差（誤差）を二乗して平均した指標である。誤差を二乗するため、誤差が大きい場合は実際の誤差よりさらに大きな値を取る。No.3 の平方根平均二乗誤差は、No.2 の平均二乗誤差に平方根を加えた指標である。誤差の単位が元のデータの値と同じになることが特徴である。No.2, 3 は実測値と予測値の誤差を示す指標であり、0に近いほど誤差が少なく精度が良いモデルとされる。

今回作成したモデルについては、No.1 の決定係数の精度は0.5に届かなかったが、No.3 の平方根平均二乗誤差の値は1.3と小さく、精度が良いモデルと言える。

表3 有機分（生）予測モデルの精度評価の結果

No.	評価指標	精度結果
1	決定係数 (R^2)	0.414977
2	平均二乗誤差 (MSE)	1.934820
3	平方根平均二乗誤差 (RMSE)	1.376245

次に、今回作成したモデルについて、ある特徴量がどれだけモデルの予測精度の向上に寄与しているのかを確認するため、特徴量重要度を算出した。特徴量重要度の結果を図8に示す。使用したデータは月次平均のデータであり、使用する変数も限られていたものの、「気温」と「PT 流入量」が上位にあることから、この二つが有機物の割合と関係性があることが改めて示唆された。

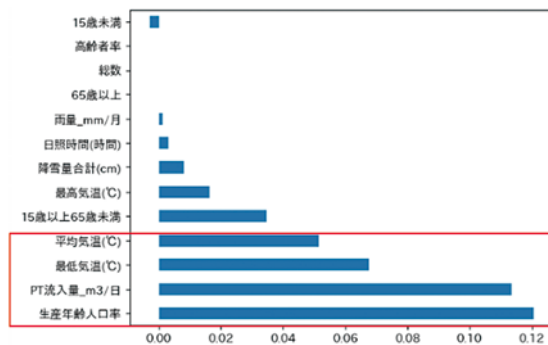


図8 有機分（生）予測モデルの特徴量重要度

4.2 オープンデータを活用した消化ガス発生量の予測分析

有機物の減少の要因分析に加えて、今回調査したオープンデータなどを活用して、試験的に3年後、5年後、10年後の消化ガスの発生量を予測するモデルを構築した。消化ガスは、生汚泥以外に汚水の汚れを分解する過程で発生する「余剰汚泥」や地域バイオマスを、消化タンクに投入し発酵させることで精製される。生汚泥以外にも影響のある因子が存在する可能性が考えられるため、改めて消化ガス発生量と影響のある因子について調査を行った。

調査をするにあたって、X市が職員のデータ活用による業務効率化を目指していたことも考慮して、試験的に生成 AI サービスの「Azure AI Agent Service^[19]（以下、「AI Agent」）」を用いて分析を行った。AI Agent はユーザーが実現したい目標を自然言語で設定し指示することで、AI が自動でタスクを考え実行することができるプログラムである。

消化ガスの発生量の予測モデルを構築する際には、「SARIMAX」と呼ばれる統計モデルを使用した。SARIMAX は、目的変数の周期性や季節性に加えて、外部要因を考慮して時系列データを予測することができる統計モデルである。分析期間は3.2節で説明した調査範囲と同じく、2009年4月から2024年3月までの期間である。データも要因分析に用いたものと同じデータを使用した。

また、2012年4月から2021年3月までの期間には、X市の取り組み^[1]の一環として、木質系（グリーン）と食品製造系（スイーツ）の下水道に好適な地域バイオマスの受け入れを行い、受け入れたバイオマスを消化タンクに直接投入し、消化ガスの発生量を増加させる試みが行われていた。本件を踏まえて、一定期間の消化ガス発生量の人為的な増加を考慮し、グリーン、スイーツの月次の投入量のデータも含めて分析した。

まず、消化ガス発生量とその他の変数に対して、相関係数を算出し相関があるか確認した。消化ガス発生量と相関係数の算出結果について図9に示す。消化ガス発生量と相関係数の絶対値が0.5以上であった項目は「有機分（生）」、「平均気温」、「最高気温」、「最低気温」、「15歳未満の人口」、「スイーツ投入量」であった。そのうち、多重共線性を考慮して、「有機分（生）」、「平均気温」、「15歳未満の人口」、「スイーツ投入量」の四項目を説明変数として使用した。

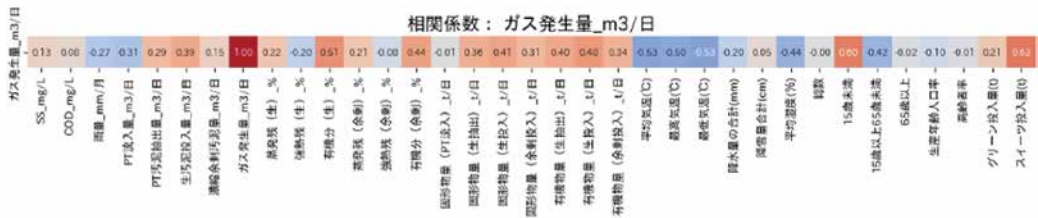


図9 消化ガス発生量の相関係数

消化ガス発生量の予測モデルの精度評価の結果は、MAE（平均絶対誤差）が479.53、RMSE（二乗平均平方根誤差）が778.46であった。予測結果をプロットした結果を図10、図11に示す。

図10のグラフは縦軸が消化ガスの発生量を表し、横軸が日付を表している、実線が消化ガスの発生量の実測値を指し、点線が予測モデルの予測値を指している。

今回のモデルにおけるAI Agentの自動予測では、消化ガスの発生量は規則的に徐々に減少する傾向にあるとされた。また、平均気温と有機分（生）が影響を及ぼす因子だと判断された。

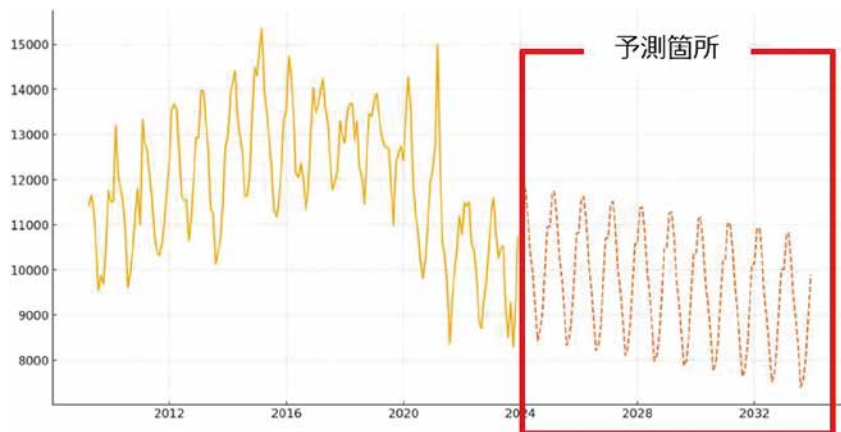


図10 AI Agent が作成した時系列データの予測グラフ



図11 AI Agent が求めた予測モデルの特徴量

5. 分析結果の考察と今後の課題・展望

本調査では、生汚泥に含まれる有機物の減少傾向の要因を明らかにするために、一般に公開されているオープンデータを用いて生汚泥に含まれる有機物量または有機物の割合に着目

し、減少傾向の要因について分析を行った。

まず、流入する生汚泥に含まれる有機物の量とオープンデータについて相関分析をした結果、明確な要因の特定には至らなかったが、最初沈殿池に沈殿した汚泥を引き抜く際の1回分の引き抜き量に含まれる有機物の割合を指す「有機分（生）」については「PT 流入量」と「気温」それぞれに負の相関の傾向があることが示唆された。

分析前には「降水量、雨量の増加の影響により生汚泥量が薄まり、生汚泥中に含まれる有機物が減少傾向にある」という仮説を立てていたが、降水量などには相関の傾向がなく、PT 流入量に相関の傾向があった。このことから、最初沈殿池に入ってくる流入量の内、降水量・雨量以外の各家庭の上水の使用量や工業排水や、商業施設などから排出される使用済みの水が、生汚泥中に含まれる有機物に影響を与えている可能性などが考えられる。

また、対象区域の人口については、生汚泥中に含まれる有機物量と相関の傾向はなかったが、下水処理場に排出される汚水には各家庭で使用する水だけでなく、対象区域以外の人も訪れる商業施設や工場からの水なども含まれる。そのため、対象区域の人口に限らず、より動的な対象区域の人流などのデータを用いて分析すべきであると考えられる。

さらに、AI Agent を活用し試験的にガス発生量と関係のある因子について分析した結果については、今回のモデルでは「平均気温」と「有機分（生）」が消化ガスの発生量に影響を及ぼす因子である可能性が示された。これは汚泥中に含まれる有機物の割合が消化ガスの発生量に影響を与えており、汚泥中に含まれる有機物の割合が高いほど消化ガスが発生しやすいことを示唆している。

今回の調査では、AI Agent の活用によりユーザーが実現したいことを自然言語で指示することで、データのクレンジングからモデルの構築・予測結果の出力に加えて、追加質問に応じて特徴量の出力、精度評価の指標の値を提示することができた。簡易的な分析については数分で結果が出るため、ツールとしての実用性・有用性は高い。しかし、デフォルトで使用できる予測モデルに制限があり、一部のモデルしか使用できないなどの課題もあった。また、複雑な指示であればあるほど、生成される分析工程や最終結果が指示するたびに異なってしまうことがあった。現状では、機械学習の分析などに生成 AI を使用する場合は、プロンプトの設定内容や出力内容について精査し、使用する場面についても考慮すべきと考えられる。

最後に、今回要因の特定に至らなかった原因について考察する。原因の一つとしては「データ取得」が考えられる。課題に関する仮説を立てたものの、無償で利用できるオープンデータは住民基本台帳に含まれる「人口」に関するデータと気象庁の「気温」、「降水量」などに関するデータのみであった。市や国で実施された統計調査や国勢調査のサイトなどを中心に調査したものの、「人流」や「産業構成の変化」、「景気動向」に関するデータについては「調査期間が短い」、「5年おきのデータしかない」、「分析に必要となるデータの粒度が異なる」、「対象のデータがない」などの理由で、全ての仮説に対して分析することができなかった。

今回はオープンデータを用いて調査を行ったが、より詳細かつ精度の高い分析を進めるためには、分析目的に合致した質の高いデータの確保が重要となる。そのためには、有償のデータや、国や市と連携した独自のデータの継続的な収集が必要であると考えられる。継続的なデータ収集を行った上で、統計分析および予測モデルを検討すべきである。

6. お わ り に

本調査では一般に公開されているオープンデータを用いて「生汚泥中に含まれる有機物の減少傾向の要因分析」および「AI Agent を活用した消化ガス発生量と関係のある因子の調査」を行った。結果としては、流入する生汚泥の減少要因の特定には至らなかったが、「PT 流入量」と「気温」が汚泥中に含まれる有機物の割合と関係があることが示唆された。

オープンデータを活用して要因分析に取り組んだ所感としては、適切なデータを確保することの重要性を強く感じた。今回の「生汚泥量の減少傾向」の要因分析で使用したデータは、市や国などで実施されている統計調査のデータがほとんどであった。こういった統計調査は、2009 年度から継続的に毎年行われているものは少なく、多くは数年おきに実施されていた。そのため、統計調査などのオープンデータのみでは適切な期間や粒度のデータが不足しており、詳細に分析するには限界があった。より詳細かつ精度の高い分析を進めるためには、分析目的に合致した質の高いデータの確保が重要となる。そのためには、国や市と連携した独自のデータの継続的な収集が求められる。

また、「生汚泥中に含まれる有機物の減少傾向の要因分析」および「AI Agent を活用した消化ガス発生量と関係のある因子の調査」について、予測モデルの精査までには至らなかったため、今後の検討の必要性を感じている。

将来的には X 市の職員が自らデータ分析を行えるように、分析手法の確立や必要なデータ整備の実現のため、今後も本取り組みを続けていく。

最後に、本稿を執筆するにあたり多大なるご指導、ご支援をいただいた皆様に厚くお礼を申し上げます。

-
- 参考文献** [1] 阪口浩一 他, 現地レポート 神戸市下水道における資源・エネルギー回収の取組み, 土木技術資料 = Civil engineering journal: 土木技術の総合情報誌, 土木研究センター, 2014 年 5 月, 38-41
- [2] 「下水処理の仕組み」, 公益社団法人日本下水道協会 JSWA, <https://www.jswa.jp/sewage/operation-public/>
- [3] 「下水汚泥のリサイクル」, 公益社団法人日本下水道協会 JSWA, <https://www.jswa.jp/recycle/>
- [4] 「消化プロセス導入に伴うメリット・デメリット」, 公益社団法人日本下水道協会 JSWA, https://www.jswa.jp/wp2/wp-content/uploads/pdf/digestion_process_merit_demerit.pdf
- [5] 岡安祐司 他, 消化ガスの効率的運用に関する基礎的研究, 土木研究所, 成果報告書, 2023 年 3 月, 1-15
- [6] 「政府統計の総合窓口」, e-Stat, <https://www.e-stat.go.jp/>
- [7] 「神戸市統計書 - 住民基本台帳年齢 5 歳階級, 男女, 区別人口」, 神戸市市役所, 2025 年 7 月, <https://www.city.kobe.lg.jp/a47946/shise/toke/toukei/toukeisho/kobetoukeisho.html#jinnkou3>
- [8] 「全国の人流オープンデータ (1km メッシュ, 市区町村単位発地別)」, 一般社団法人社会基盤情報流通推進協議会, 2024 年 10 月 5 日, <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/mlit-1km-fromto>
- [9] 「工業統計調査」, 経済産業省, <https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/>
- [10] 「経済構造実態調査」, 経済産業省, <https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kkj/index.html>

- [11] 「商業統計」, 経済産業省,
<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/syougyo/index.html>
- [12] 「平成 18 年事業所・企業統計調査」, 総務省統計局,
<https://www.stat.go.jp/data/jigyoku/2006/index.html>
- [13] 「令和 3 年経済センサス-活動調査」, 総務省統計局,
<https://www.stat.go.jp/data/e-census/2021/index.html>
- [14] 「過去の気象データ検索」, 気象庁,
<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>
- [15] 「農林業センサス」, 農林水産省,
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/index.html>
- [16] 「神戸市水道局」, 神戸市水道局,
<https://kobe-wb.jp/>
- [17] 「神戸市の市場調査データ/ホームメイト」, 東建コーポレーション株式会社,
<https://www.homemate.co.jp/research/pr-hyogo/kobe-city/>
- [18] 「グラフで見る!神戸市の住民 1 人当たり個人所得」, 株式会社アクシスリサーチ研究所,
<https://jp.gdfreak.com/public/detail/jp010050005010128100/1>
- [19] 「Azure AI Foundry のドキュメント」, Microsoft Corporation,
<https://learn.microsoft.com/ja-jp/azure/ai-services/agents/>

※ 上記参考文献に含まれる URL のリンク先は, 2025 年 11 月 12 日時点での存在を確認

執筆者紹介 天 早 健 太 (Kenta Amahaya)

2021 年ユニアデックス(株)に中途入社。AI チャットボットの社内外導入・運用支援, AI ナレッジサービスの機能開発・導入支援に取り組む。また, 2024 年度から下水道関連のデータ利活用業務に参画。



福 本 真 也 (Masaya Fukumoto)

2024 年ユニアデックス(株)入社。技術戦略部にて AI チャットボットの導入・運用支援, 生成 AI を活用した CoE サービスの社内導入, 運用支援に取り組む。

