

日本国内における下水道の経営戦略 に関する先行研究メタ分析

小茄子川 智弘・藤崎 晴彦・永松 陽明

1. はじめに

1-1 日本の下水道事業の現状

総務省 [1] が公表した2022年度地方公営企業等決算の概要によると、下水道事業は全体で約5.4兆円の決算規模である一方で負債の額も大きく、2022年時点で企業債の残高は約20.7兆円で発行額は約1.1兆円であった。さらに近年、下水道管渠の老朽化が進んでおり、山下他 (2023) [2] は管渠の退蔵化リスクが高いと推測された地域においては将来の計画的な対策が必要であると主張している。経営の観点では富田 (2022) [3] は、下水道経営は設備の更新需要や維持管理費の増加による支出増加が見込まれる一方、人口減少等に伴う下水道使用料の減少と経費回収率低下による収入不足も見込まれ、抜本的改革が求められると主張している。

また、下水処理には多くのプロセスが存在し、莫大なエネルギーを要することから環境負荷も軽視できない。国土交通省 [4] によると、2019年度の実績では下水道分野における温室効果ガス排出量は、CO₂換算で約530万トンであり、その内訳で最大要因となっているのが処理場での電力消費によるもので全体の約54%を占めると報告されている。

1-2 下水道事業の課題に対する取り組み

前述のような課題に対して様々な取り組みがなされているが、本論では経営においては管理・マネジメント方式の改革、環境負荷においてはエネ

ルギー活用について着目する。まず、管理・マネジメント方式の改革の例として挙げられるのが、宮城県 [5] において2022年より事業が開始された宮城県上地下水一体官民連携運営事業である。特別目的会社と維持管理会社を設立し、関連事業をより長期間にわたって一括で契約するものでコスト削減効果が得られると試算されている。

環境負荷、エネルギー対策については、環境省 [6] は、‘下水道における地球温暖化対策マニュアル’を2016年に公表し、各事業体に対して、下水道事業における温暖化対策推進計画の策定を推奨している。この中では省エネルギー対策や再生可能エネルギーの創出による維持管理経費の削減効果が述べられており、小茄子川・永松 (2018) [7] は、下水道経営において廃棄物を活用したエネルギー事業が、コストおよび実質的な温室効果ガス削減の双方に有効であると仮定し、その有効性を定量的に示した。

実際の下水廃棄物活用の実績としては、国土交通省 [4] によると、下水汚泥のリサイクル率について1988年の15%から2010年には78%まで上昇していたものの、2011年は55%まで激減しており、東日本大震災の影響が大きいと考えられる。翌年以降は再上昇傾向に転じ、2021年末時点で77%であるが、エネルギー活用の観点では同年の下水汚泥エネルギー化率は全国平均で約28%にとどまっている。

1－3 本論の目的

管理・マネジメント方式の観点では、コストの見直しは不可欠であり、今後さらに宮城県のように新形態が検討される可能性が高い。エネルギー活用については、近年の脱炭素社会やSDGsという観点からも今後の促進が見込まれる。これらの観点はすでに多くの議論、研究がなされてきており、この分野の研究を進めるにあたっては、これまでにどのような研究がなされたのか、またどのようなトレンドにあるのかを把握することはこの分野で研究を進めていく上で不可欠である。よって本論では「下水道」と「エネルギー」、「下水道」と「管理」および「マネジメント」をキーワードに

先行研究のメタ分析を実施する。

2. 既存研究サーベイ

田中（2014）[8]は、自伝的記憶の研究において、特徴を探るためにKH Coder を用いて 語られた思い出のテキストデータからその中心となる語を、共起ネットワークを用いて抽出、また定量的にどれくらい中心のかを示す指標である次数中心性や媒介中心性などを算出し、自伝的記憶の特徴をより客観的に示した。テキストデータに対する客観的な定量分析をする上でKH Coderが有用性を示している。

坂本他（2021）[9] は、難聴者の福祉と生活の質の評価に関する研究について日本語論文と英語論文それぞれを対象にテキストマイニングによる共起ネットワーク分析を実施し、その結果から研究の潮流において、日本と海外では違いがあると主張している。先行研究の潮流分析において共起ネットワーク分析が有用であることを示している。

須永（2022）[10]は、ウルドゥー語研究の世界的な状況を把握するため、その傾向についてメタ分析を実施している。手法として、オンライン学術データベースを用いて「Urdu」や「ウルドゥー」をタイトルに含む学術論文を検索し、該当タイトルのテキストマイニングを実施するとともに、年代別の別ウルドゥー関連論文数の推移や年代ごとにどのようにタイトルが変わっていったかを分析している。その結果として、コンピューターサイエンス分野、中でも人文情報学関連の研究が急増するなど研究拠点の分散化や研究分野の多様化を主張している。研究の各年代の状況やトレンドを把握する上で、年代ごとの論文タイトルを分析することが有用であることを示していると考えられる。

3. 仮説の構築、検証方法の検討

2 節で述べた既存研究サーベイを踏まえ、本研究ではオンライン学術データベースにおいて、1 - 3 節で示したキーワードが含まれるタイトルの先行研究を抽出し、出力されたテキストデータに対して一定の期間ごとに論文数の変化についての分析や共起ネットワーク分析など実施し、トレンドについて考察する。具体的には以下に述べる3点について1 節で述べた背景を踏まえ、それぞれ仮説を構築し検証を実施する。

まず1 点目として「管理」や「マネジメント」は経営において重要な要素であることから、エネルギー関連の論文よりも数は多いと想定される。但し、下水道業界においてもエネルギー活用に対する注目度は上がっておりその数も増加傾向にあると考えられる。よってその想定を仮説1 とし、抽出された論文数の推移により検証を行う。

2 点目として、前述の通りエネルギー活用に対する注目度があがっていることからそれを含めた「管理」「マネジメント」に関する論文が増えていると想定される。また、「管理」「マネジメント」に関しては、宮城県の例のように業務委託に関する議論が盛んになっていると思われることから、その関連度が上がると推測される想定を仮説2 とし、抽出された論文の掲載誌の変化に着目し、その変遷を確認すること、また論文タイトルに対して共起ネットワーク分析を行うことで使用されているキーワードについて、その関連性について確認する。これらの検証を実施する上で、その変化について考察するため分析対象期間を下水道においても大きな影響を与えた2011年の東日本大震災の前後に分けて検証する。

最後に3 点目として、エネルギー活用に対する注目度があがっていることは使用エネルギーを減らすというより、エネルギー生成に関する観点が増えていると想定でき、これを仮説3 点目とする。この検証については上述の仮説2 の検証と同様に掲載誌の変遷を確認するとともに共起ネットワーク分析も同様に実施しキーワードについて確認する。

以上より仮説を以下の3点にまとめる。

仮説1「下水道」と「管理」「マネジメント」をキーワードにした論文は「下水道」と「エネルギー」をキーワードにした論文よりも多いが、後者は増加傾向にある。

仮説2「下水道」と「管理」「マネジメント」をキーワードにした論文において、エネルギーの観点や業務委託について触れていると思われる論文が増加している。

仮説3「下水道」と「エネルギー」をキーワードにした論文において、エネルギー生成の観点に触れていると思われる論文が増加している。

4. データソースの抽出

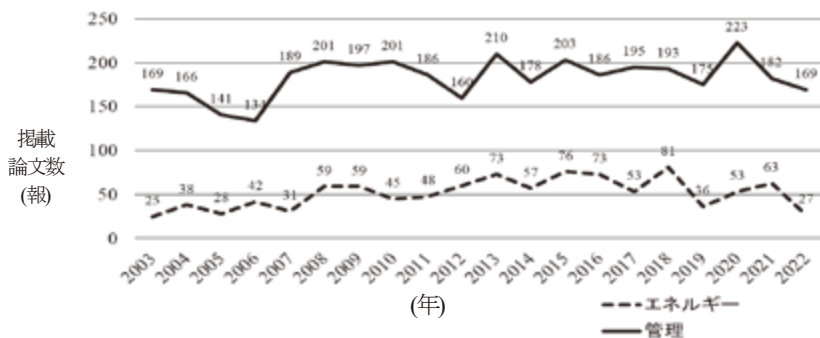
4-1 抽出条件

分析対象の先行研究データについて国立情報学研究所が提供する学術データベースであるCinii Reserchにて以下の条件を指定して抽出を実施した。まず抽出ワードとして「フリーワード」の枠に、「下水道」&「管理」、「下水道」&「マネジメント」または英語で「sewer」&「management」を指定する。エネルギーの観点では「下水道」&「エネルギー」、または英語で「sewer」&「energy」を指定する。期間は2003年から2022年を指定し、最後にデータ種別として「論文」形式データを指定する。

4-2 抽出結果

抽出された結果を時系列の推移に表したところ、以下の図1の通りとなった。

全体的な抽出結果として、まず日本語で「下水道」&「管理」および「下水道」&「マネジメント」、英語で「sewer」&「management」を指定して抽出した論文は計4,074報であった。このうち重複して抽出された論文やタイトルが欠落しているデータなど分析に際して不適合な論文を除くと



出典：Cinii Reserchから抽出されたデータより筆者作成

図1 掲載論文数の時系列推移

3,658報となった。次に日本語で「下水道」と「エネルギー」を指定、英語では「sewer」と「energy」を指定して抽出した論文は計1,063報であった。こちらも同様に不適合な論文36報を除くと1,027報となった。

5. 仮説の検証

5-1 論文数の検証

仮説1について、前節で示した通り「下水道」と「管理」「マネジメント」をキーワードにした論文数の方が抽出した全期間にわたって「下水道」と「エネルギー」をキーワードにした論文よりも論文数が多いことが示されているため、支持された。また後半部分の「下水道」と「エネルギー」をキーワードにした論文の増加については出力された結果をもとに以下のように期間を区切って回帰分析を実施する。2003年から東日本大震災発生までの2011年、2012年から新型コロナウイルスの影響を受ける前年の2018年、それ以降の2019年から2022年の3期間に分け、各期間にダミー変数を設定する。これを用いて以下の式で表し、算出した結果を表1に示す。

表 1 論文数の検証に関する算出結果

パラメータ	a_1	a_2	a_3	B	$adj. R^2$	DW
計算結果 (t 値)	2.395 (-1.968)	2.398 (-1.979)	2.38 (-1.97)	-4764.919 (-1.951)	0.533	2.44

出典：Cinii Reserch から抽出されたデータより筆者作成

$$y = a_1 \cdot D_1 \cdot t + a_2 \cdot D_2 \cdot t + a_3 \cdot D_3 \cdot t + b$$

<notations> y : 論文数, a, b : パラメータ, t : 時間, D : 期間ダミー変数

上記の結果より、全期間を通じて論文数は微増ではあるものの、増加基調であると示され、仮説 1 の後半部分である「下水道」と「エネルギー」をキーワードにした論文の増加についても支持された。期間ごとでは、2012～2018年は2003～2011年の期間と比べて増加傾向が強まったものの、2019年以降は2003～2011年よりも緩やかな傾向になった。

5-2 管理、マネジメントに関する検証

仮説 2 の検証において「下水道」と「管理」「マネジメント」に関する

表 2 「下水道」& 「管理」または「マネジメント」を指定して
抽出された論文の掲載誌 (2003-2011)

学術誌名	論文数
月刊 下水道	381
下水道協会誌	241
下水道研究発表会講演集	140
維持管理	129
Jascoma: 下水道管路管理の専門誌	67
水道公論	26
月刊 水	25
建設マネジメント技術	23
衛生工学シンポジウム論文集	23
水マネジメント: 上下水道を運営管理から考える	21
その他	508
計	1,584

出典：Cinii Reserch から抽出されたデータより筆者作成

表3 「下水道」＆「管理」または「マネジメント」を指定して抽出された論文の掲載誌（2012-2022）

学術誌名	論文数
下水道協会誌	400
下水道研究発表会講演集	287
月刊 下水道	283
Jascoma：下水道管路管理の専門誌	203
維持管理	147
建設マネジメント技術	51
水道公論	47
水マネジメント：上下水道を運営管理から考える	36
電気学会研究会資料	34
水すまし	24
その他	562
計	2,074

出典：Cinii Reserchから抽出されたデータより筆者作成

論文の分析にあたり、抽出された結果から該当論文の掲載誌について、2003～2011年、2012～2022年で期間を区切って確認した。抽出された論文掲載誌のうち数が多い順に上位10誌を下記表2、3に示す。

2003～2011年および2012～2022年ともに「月刊下水道」、「下水道協会誌」等の下水道関連の学術誌が最も多いが、2012～2022年は「電気学会研究会資料」が増加している。また「環境システム計測制御学会誌」などの環境に関する学術誌においても件数が増加している。よって仮説2のエネルギーの観点に触れていると思われる論文の増加について支持された。

次に「下水道」と「管理」「マネジメント」に関する論文について同様に期間を区切って共起ネットワーク分析を実施した。出力結果を図2、3に示す。2つの図を比較すると「包括」、「委託」、「民間」というキーワードがどちらにも出力されているが、2012～2022年の方が他のキーワードとの共起関係が強まり媒介中心性が上昇している。よって業務委託の関連度は上昇しており仮説2の該当部分は支持された。

またその他に「マネジメント」に対して「ストック」の結びつきが見受けられるようになった。「ストックマネジメント」は1節で述べた下水道



表4 「下水道」＆「エネルギー」を指定して
抽出された論文の掲載誌（2003-2011）

学術誌名	論文数
再生と利用	85
下水道研究発表会講演集	61
下水道協会誌	47
月刊下水道	29
下水道新技術研究所年報	10
学術講演梗概集	7
環境システム計測制御学会誌	6
新都市	5
土木技術 社会と土木を結ぶ総合雑誌	5
電気学会研究会資料	4
その他	116
計	375

出典：Cinii Reserchから抽出されたデータより筆者作成

表5 「下水道」＆「エネルギー」を指定して
抽出された論文の掲載誌（2012-2022）

学術誌名	論文数
再生と利用	173
下水道研究発表会講演集	108
月刊下水道	87
下水道協会誌	77
電気学会研究会資料	13
水すまし	11
土木技術資料	9
クリーンエネルギー	9
空調和・衛生工学会大会 学術講演論文集	9
エネルギー・資源	8
その他	148
計	652

出典：Cinii Reserchから抽出されたデータより筆者作成

設備の老朽化を受けて国土交通省が提唱する対策であり、この点についての議論が活発になっていると考えられる。

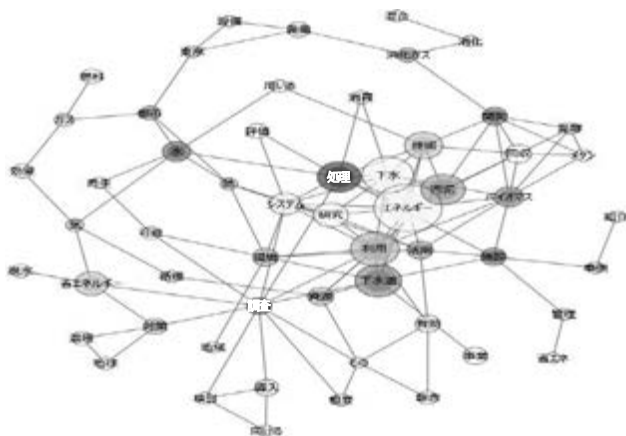
5-3 エネルギーに関する検証

仮説3の検証の「下水道」と「エネルギー」に関する論文の分析にあたり、抽出結果から該当論文の掲載誌について、2003～2011年、2012～2022年で期間を区切ってその変化を確認した。

「下水道」&「エネルギー」を指定して抽出された論文掲載誌のうち数が多い順に上位10誌を下記表4、5に示す。

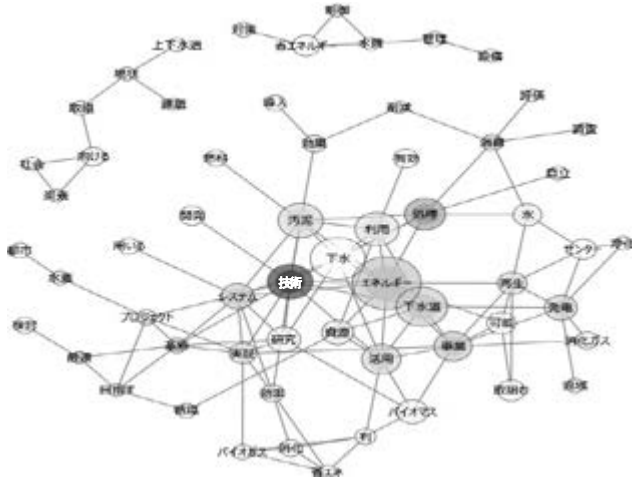
クリーンエネルギーの観点もあることから下水道業界のみならず他業界からも再生可能エネルギーとして注目度が上がっていると考えられ、仮説3のエネルギー生成の観点が増えている点は支持された。

次に「下水道」と「エネルギー」に関する論文の分析にあたり、抽出された論文のタイトルについて同様に期間を区切って共起ネットワーク分析を実施した。出力結果を図4、5に示す。図4、5を比較するとエネルギー



出典：Cinii Reserchから抽出されたデータより筆者作成

図4 2003年～2011年の出力結果



出典：Cinii Reserchから抽出されたデータより筆者作成

図 5 2012年～2022年の出力結果

に関して「省エネルギー」または「省エネ」と「発電」というキーワードが出力されているものの、前者は2003年～2011年の方が多く検出されているのに対し、後者は2012年～2022年の方が他のキーワードとの共起関係が強まり、媒介中心性が上昇している。

よって仮説3のエネルギー生成の観点が增加する点は支持された。

6. 結論

本論では、財政的に厳しさが増す現状にある一方で、エネルギー・環境負荷の観点でも著しく注目されつつある日本の下水道経営において、管理あるいはマネジメント、エネルギーの観点でこれまでどのような研究がなされてきたのか、またどのような現状トレンドとなっているのかを把握するため、2003年から2022年の先行研究についてメタ分析を実施した。

結果、論文数の観点では「下水道」と「管理」「マネジメント」をキー

ワードにした論文は「下水道」と「エネルギー」をキーワードにした論文よりも数は多いが、後者は増加傾向にあることが確認された。トレンドの観点では「下水道」と「管理」「マネジメント」をキーワードにした論文において、エネルギーの観に触れていると思われる論文や業務委託について触れていると思われる論文が増加していることが確認された。また近年では「ストックマネジメント」に関する議論がなされるようになっていく点が見受けられた。エネルギーに関するトレンドでは「下水道」と「エネルギー」をキーワードにした論文においてエネルギー生成の観点に触れていると思われる論文が増加していることが確認された。

以上より、近年の日本の下水道経営においては、財政的な問題解決のために業務委託やストックマネジメントの観点に関する議論がより一層なされるようになってきた一方で、エネルギーに対して特に生成する観点での注目度が上がっていると考えられる。業務委託やストックマネジメントは財政課題解決の点で、エネルギー生成は温暖化対策につながる点で今後も議論は活発に続くものと推測される。

参考文献一覧

- [1] 総務省（2023）‘令和4年度地方公営企業等決算の概要’
<URL:https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01zaisei06_02000294.html>
- [2] 山下奈穂，松代竜毅，蛭田有希，白川博章，谷川寛樹（2023）‘下水道管渠を対象とした社会資本ストックの退蔵化リスク評価’，環境情報科学論文集，37，pp. 70-77.
- [3] 富田新（2022）‘日本における下水道事業の現状と課題’，国土館大学経営論叢，12（1），pp. 69-84.
- [4] 国土交通省 下水道データ室
<URL:<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerag>>

(最終閲覧2024年1月31日)

[5] 宮城県

<URL:<https://www.pref.miyagi.jp/site/miyagigata/>>

(最終閲覧2024年1月31日)

[6] 環境省 (2016) ‘下水道における地球温暖化対策マニュアル’

<URL:<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/gel/ghg-guideline/sewer/manuals.html>>

(最終閲覧2024年1月31日)

[7] 小茄子川智弘, 永松陽明 (2018) ‘システム・ダイナミックスを用いた下水道経営における環境対策事業の有効性についての実証研究’, 日本経営システム学会誌, 35 (1), pp. 69-74.

[8] 田中京子 (2014) ‘KH CoderとRを用いたネットワーク分析’, 久留米大学コンピュータジャーナル, 28, pp. 37-52.

[9] 坂本秀樹, 永松陽明, 安川文朗 (2021) ‘難聴者の福祉と生活の質の評価に関する先行研究メタ分析’, 厚生指標 = Journal of health and welfare statistics / 厚生労働統計協会編, 68 (6), pp. 36-42.

[10] 須永美恵子 (2022) ‘南アジア研究トピックの変遷—学術論文データベースを活用したテキストマイニングによる分析—’, 高崎商科大学紀要, 37, pp. 211-216.