

# 下水道事業最適処理人口規模の 推定手法の構築

中村 憲明<sup>1</sup>・塚原 健一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 九州大学工学府 都市環境システム工学専攻 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

E-mail: nori.nakamura@doc.kyushu-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 九州大学工学研究院附属アジア防災センター教授 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

E-mail: tsukahara@doc.kyushu-u.ac.jp

下水道資産について、今後も持続可能性を担保するため、様々な取り組みが行われている。その一つとして、スケールメリットを生かした効率的な管理を可能とする広域化・共同化があり、全国の都道府県で、平成34年度までに「広域化・共同化計画」を策定することとされている。しかし、どの程度の広域化を目指すべきか等は示されておらず、その定量的な分析は行われていない。

そこで本研究では、下水道事業の広域化を進めるにあたり、目指すべき最適な規模を推定する手法を構築することを目的とした。具体的には、汚水が処理されることで得られる便益から下水道整備、維持管理にかかる費用を差し引いた純便益が最大となる時を最適と定義し、処理規模を変数とする便益推定式、費用推計式を作成、純便益が最大となる、最適処理規模を求める式を構築した。

**Key Words :** Sewerage, Broadening Management, Optimal Scale, Cost-Benefit Analysis

## 1. 本研究の背景と目的

下水道事業は、全国約1,500自治体で実施されており、全国における下水道処理人口普及率は、平成29年度末時点<sup>1)</sup>で78.8%<sup>1)</sup>となっている。その事業の経費は、使用料収入を柱とする受益者負担で賄うのが原則であるが、規模の小さい事業体では、使用料収入では汚水処理費を賄えきれていないという現状がある。更に、約35年後には1億人を割り込むという人口減少による使用料収入の減少と、既存ストックの改築更新需要の急速な増加が見込まれており、持続可能な下水道事業運営において、多くの自治体は不安を抱えている。

このような現状に対し、持続可能な事業運営に向けた取組みとして、効率的な施設の点検・調査、計画的な修繕・改築等を行うためのストックマネジメント計画の策定、企業会計化、使用料の適正化、広域化、官民連携によるPPPの推進などが、国主導で進められつつある。

これら取り組みの一つとして、スケールメリットを生かした効率的な管理を可能とする広域化・共同化がある。具体的には、「経済・財政再生計画改革工程表2017改定版」<sup>2)</sup>(平成29年12月21日経済財政諮問会議決定)において、平成34年度までの広域化・共同化を推進するための目標として、以下の2つを設定することとし、全国の都道府県に対して、平成34年度までに「広域化・共同化計

画」策定することを要請している。

[1]全ての都道府県における広域化・共同化に関する計画策定

[2]汚水処理施設の統廃合に取り組む地区数

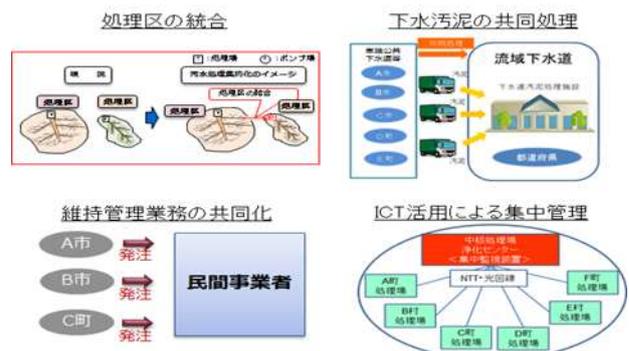


図-1 広域化に係る様々な取り組み  
(国土交通省ホームページより抜粋)

しかし、実際に規模としてどの程度の広域化を目指すべきか等は示されておらず、その定量的な分析は行われていない。

そこで、本研究は経営改善に向けて、下水道事業の広域化を進めるにあたり、目指すべき最適な規模を示すことを目的とする。

## 2. 既往研究等の整理と本研究の特色

既往研究については、平松ら<sup>3)</sup>が 排水処理施設の整備事業について、費用便益分析を行い、浄化槽や小規模下水道と、大規模下水道の純便益の比較を行っている。この研究では、未だ手法が確立されていなかった便益を的確に計測することを目標とし、費用便益分析を行っているが、事業規模についての記述はない。また、秋山ら<sup>4)</sup>は、ビッグデータを用いて、流域下水道の処理区域内の将来人口推移を集計することで、下水道事業の将来的な事業の達成状況を分析。広域化による処理区域人口の拡大により、

将来にわたる処理区域人口の維持が期待されることを示している。この研究では、将来人口推計を踏まえた上で、現時点の事業計画が将来的に達成できるのかを検討することを目的とし、広域化の必要性について言及しているが、広域化に向けて具体的にどの程度の事業規模を目指すべきであるかといった分析は行われていない。

これらの論文のように費用便益分析により、整備地域、手法の検討を行うものや、広域化の必要性を説く論文はあったが、具体的に最適事業規模を推定するような研究は見当たらなかった。

以上を踏まえ、汚水が処理されることで得られる便益から下水道整備、維持管理にかかる費用を差し引いた純便益が最大になる時を最適と定義し、最適処理規模を求め、今後の広域化に向けて目指すべき規模を示すことが本研究の大きな特徴である。

## 3. 最適処理規模の推定手法

汚水が処理されることで得られる便益から下水道整備、維持管理にかかる費用を差し引いた純便益が最大になる時を最適と定義し、処理規模を変数とする便益推定式、費用推計式を作成、純便益が最大となる、最適処理規模を推定する手法を構築した。なお、今回の推定式は、1つの下水処理場に対する拡がりの規模を求めることとし、対象は、単独の公共下水道を有する自治体とする。また、1つの自治体でも複数の下水処理場を持つ場合があるため、1つの下水処理場を持つ下水処理区単位での最適規模を算出をし、それらを合計することで、自治体ごとの最適下水処理規模を示すこととする。

本研究で提案する最適処理規模の推定手法のフローを示す。

- i. 処理規模を変数とした、汚水が処理されることによる便益の推計式を作成する。
- ii. 処理規模を変数とした、下水道維持管理、整備コスト推計式を作成する
- iii. 便益から下水道維持管理、整備コスト推計式を差

し引いた純便益が最大となる時の処理人口を推定する。

### (2) 便益推定式の作成について

便益項目は、「下水道事業における費用効果分析マニュアル(平成28年)」<sup>5)</sup>を参考に、「周辺環境の改善効果」、「居住環境の改善効果」の二つを用いる。また、一般に下水道は規模が大きくなると、固定費の割合が減るなどして、スケールメリットが働く。これを考慮するため「処理人口の増加による一人当たりの負担軽減」を加えた大きく三項目を便益の項目とする。前2項目については、費用効果分析マニュアルを参考に代替費用法を用いて算出する。また、本研究では同マニュアルにおいて示される算定手法の内、年あたり費用による算出が可能な簡易比較法を用いることとする。よって、年あたり費用ではない建設費等には、

$$\text{換算係数} = \left\{ i + i / \left[ (i + 1)^n - 1 \right] \right\}$$

$i$ : 社会的割引率(0.04)  $n$ : 耐用年数  
を乗じることで、年あたり費用に換算する。

#### a) 周辺環境改善効果

下水道が実施されない場合、未整備区域では、周辺環境保全のために代替事業として悪臭防止のための中小水路の覆盖及びヘドロ除去等のための水路の定期清掃が必要であると考えられる。そのため、周辺環境改善効果として、「中小水路の覆盖費用」、「水路底部の清掃費用」の2項目を考える。

2項目の計算に用いる、「整備区内水路延長距離」については、「多賀城市流域関連公共下水道事業費用効果分析説明書(汚水)(平成20年)」<sup>6)</sup>を参考に、汚水管渠延長を2倍することで代用する。これにより、2項目を式化すると、

$$Bs = e \times 2L(x) \times j \dots \dots \dots (1)$$

$$Bt = g \times 2L(x) \dots \dots \dots (2)$$

となる。 $Bs$ が水路覆盖費用、 $Bt$ が水路底部清掃費用、 $j$ が換算係数、 $L(x)$ が $x$ までの管渠延長を示している。 $e$ は覆盖単価55,000(円/m)、 $g$ は清掃単価で1,764(円/m/年)である。

この計算の際には、管渠延長 $L(x)$ を処理人口 $n(x)$ で回帰し、処理人口を変数としている。これは次式の通りである。

$$L(x) = pn(x)^2 + qn(x) \dots \dots \dots (3)$$

$p, q$ は定数である。 $(p = -2.19E-7, q = 3.54, R^2 = 0.950)$

#### b) 居住環境の改善効果

居住環境の改善効果は、下水道事業が実施されない場合代替手段である合併浄化槽を設置、維持管理するための費用及び、汚泥処理を処理するための費用を考えるこ

ととする。

$$Wc = kh(x) \times j \dots \dots \dots (4)$$

$$Ws = mH(x) \dots \dots \dots (5)$$

$$Wo = rH(x) \dots \dots \dots (6)$$

$Wc$ は、合併浄化槽の建設費、 $Ws$ は合併浄化槽の維持管理費、 $Wo$ は合併浄化槽汚泥処理処分費である。 $H(x)$ は $x$ 地点までの処理世帯数（合併浄化槽基数）を表し、 $h(x)$ は、 $x$ 地点での処理世帯数(合併浄化槽基数)を表している。本研究においては、世帯数は処理人口を県全体平均の世帯人口で除することによって求める。 $k$ は合併浄化槽設置単価840,000(円/基)、 $m$ は合併浄化槽維持管理単価65,000(円/基/年)であり、 $r$ は、合併浄化槽汚泥処理処分単価20,000(円/基/年)である。

c) 処理人口増加による一人当たりの負担軽減

平成28年下水道統計を用い、処理人口一人当たりの汚水処理費を処理人口で回帰すると、処理人口が増える程、一人当たりの汚水処理費は安くなるという下の式が出てくる。

$$C'o = un(x)^v \dots \dots \dots (7)$$

$C'o$ は、一人当たり汚水処理費、 $u, v$ は定数である ( $u=131.9, v=-0.249, R^2=0.463$ )

a),b)で得た便益の合計から,(5)式に計算地点までの人口を乗じたものを減ずることで、処理人口増加による一人当たりの負担軽減を示す。

(1) 下水道維持管理、整備コストの算出

下水道維持管理コストは、平成28年下水道統計に記載された、単独の公共下水道を供用している665団体の維持管理費（内汚水処理費）をもとに回帰分析により、処理人口を変数として作成する。

下水道維持管理コスト関数を式(1)に示す。

$$Co = an(x)^2 + bn(x) + c \dots \dots \dots (8)$$

ここで、 $Co$ は下水道維持管理コスト、 $x$ は処理場からの距離、 $n(x)$ は、 $x$ 地点までの処理人口を表しており、 $a, b, c$ は、それぞれ定数である。 $(a=2.89E-7, b=4.80, c=120,620, R^2=0.994)$

下水道整備コストは、管渠建築費として「持続的な汚水処理システム構築に向けた都道府県構想マニュアル」に記載の、管渠建設にかかる原単位6.3万円/mを用いる。よって、下水道整備コストは、

$$Cs = dl(x) \times j \dots \dots \dots (9)$$

ここで、 $Cs$ は下水道整備コスト、 $d$ は、管きよ建設原単位

63,000(円/m)であり、 $J(x)$ は、地点 $x$ における管渠延長である。

(3) 純便益が最大となる時の処理人口の推定

前節までで記した、便益推定式から、下水道維持管理、整備コストを減じて得られる純便益を求め、右上図-1のように最大となる時の処理人口が最適人口規模といえる。

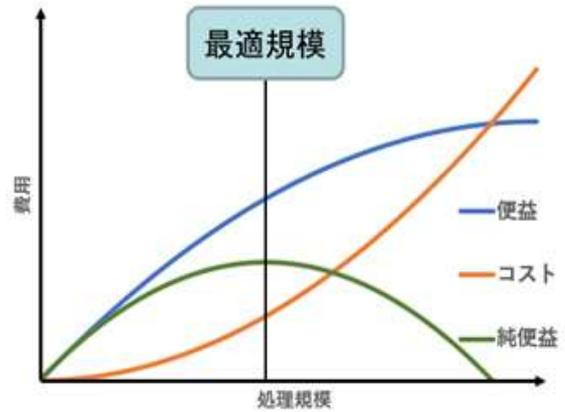


図-2 本研究における最適規模の推定イメージ

(4) 下水処理場からの人口分布の把握

純便益の計算に際して、下水処理区によって異なる人口の分布の仕方を入力しなければならない。

処理場へ向かう人口の分布の仕方については、既存研究にも見当たらなかった。そこで今回は下図のように、GISを用いて下水処理場を中心に10km東西南北四方向の人口分布を求めた。

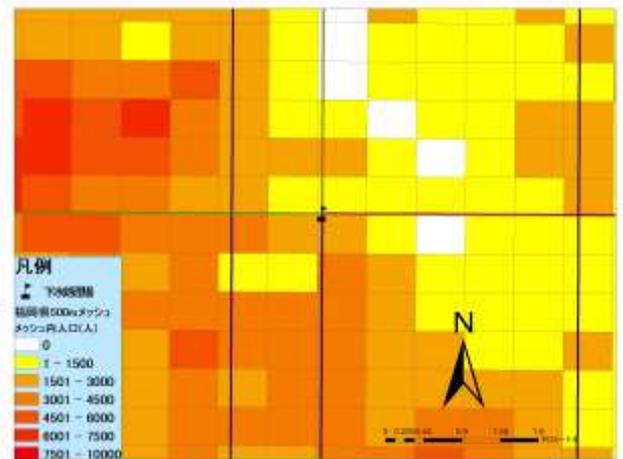


図-3 本研究の下水処理場からの人口分布把握手法例

具体的には下水処理場のポイントデータから東西南北四方向に一律に10kmの直線を伸ばし、500mメッシュ平成27年国勢調査データと重ねることで、下水処理場から約500mごとの人口分布を10km先まで求めることが出来た。

#### 4. 最適処理規模の推定結果

前節までで構築した下水道最適規模を求める式を適用し、最適人口規模を求めた。

今後研究を進める上では、日本全国の単独で公共下水道を運営する665自治体全てについて分析を行うが、本論文では先ず福岡県北九州市、糸島市の2都市について東西南北四方向の最適人口規模を求めた。結果が表-1である。

表-1 北九州市、糸島市における最適処理人口規模

	下水処理場	東方向(人)	西方向(人)	南方向(人)	北方向(人)
北九州市	皇后崎浄化センター	22768	14121	26030	4366
	新町浄化センター	7800	18884	5515	78
	菅根浄化センター	2631	19417	6506	17243
	日明浄化センター	3413	4387	31344	0
	北湊浄化センター	46	524	13597	0
	下水処理場	東方向(人)	西方向(人)	南方向(人)	北方向(人)
糸島市	黒磯浄化センター	1581	437	675	39
	前原下水管理センター	5834	795	1913	4659

人口100万人近い北九州市と人口10万人程度の糸島市の比較にはなるが、規模の違いが大きく反映されている。実際の規模との比較も今後進めていきたい。

#### 5. 結論

本論文では、事業継続していくことに大きな不安を抱えている下水道事業について、今後進んでいくと思われる広域化を進めていく上で目指すべき規模を示すことを目的とし、下水道事業による便益と費用から純便益を求め、それが最大となる最適処理人口を求めることが出来る式を構築した。

今後は最適処理規模を各都市で計算を進め、どのような規模（近接自治体同士や、大都市に付随することや、県単位で運営するなど）で広域化を進めるべきか考察を深めたい。

また、最適規模推定式についてもより精緻なものとしたい。

#### 参考文献

- 1) 環境省：平成29年度末の汚水処理人口普及状況について，2018，  
<https://www.env.go.jp/press/105821.html>
- 2) 内閣府：経済・財政再生計画改革工程表 2017 改定版，2017，  
[https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/minutes/2017/1221/shiryo\\_02-2.pdf](https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/minutes/2017/1221/shiryo_02-2.pdf)
- 3) 「排水処理施設整備の費用便益分析」，平松登志樹，肥田野登，環境科学会誌，1993
- 4) 「将来推計人口に基づいた下水道事業の持続可能性の検討」，秋山 千亜紀，環境科学会誌32(2)：46- 52 (2019)
- 5) 国土交通省：下水道事業における費用効果分析マニュアル，2016，  
[https://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/seisaku\\_hyouka/gaiyou/hyouka/pdf/gesui\\_manual04.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyouka/gaiyou/hyouka/pdf/gesui_manual04.pdf)
- 6) 多賀城市下水道部下水道課：多賀城市流域関連公共下水道事業費用効果分析説明書（汚水），平成20年，  
[https://www.city.tagajo.miyagi.jp/toshisomu/shise/gyosehyoka/documents/si-gy-ko-index\\_20gesuitsiryouusui.pdf](https://www.city.tagajo.miyagi.jp/toshisomu/shise/gyosehyoka/documents/si-gy-ko-index_20gesuitsiryouusui.pdf)
- 7) 国土交通省，農林水産省，環境省：持続的な汚水処理システム構築に向けた都道府県構想マニュアル，2016，  
<https://www.mlit.go.jp/common/001028145.pdf>

(2009.10.4 受付)