

## 特集論文

## 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<sup>†</sup>

## 摘 要

我が国では水質汚濁の改善のため、水質汚濁防止法等の法整備とともに下水道や浄化槽等の整備・普及を進めてきた。これらの污水处理施設の多くは人口増加・経済成長を前提に計画されたが、現在は人口減少・経済低成長へと転換したため、将来的な維持費の確保やインフラ設備の規模の見直し等が重要な課題となっている。そのため効率的な污水处理施設の維持管理に向けて、将来の人口予測および広域共同化を視野に入れた事業計画の策定が取り組まれている。

污水处理施設の中でも流域下水道は複数の自治体をまたぐため、広域化をより推し進められる対象だと考え、本研究では日本全国の流域下水道を対象に将来の持続性を検討することを目的とした。持続性を示す指標として、将来人口を選択し、分析には下水処理区域内における人口の偏在性をピンポイントに表すマイクロ将来推計人口を用いた。流域下水道の管理は都道府県が主体であり、情報公開に関する方針は都道府県によって様々である。下水道処理区域について、空間分析が可能な地理空間情報は公開されていなかったため、まず全国の地方自治体のホームページより入手可能な地理情報を基に下水道普及率の対象となる処理区域のポリゴンデータを整備した。その処理区域とマイクロ将来推計人口を突合させて、流域下水道毎に将来の持続性を分析した。

結果として、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とともに、処理人口の規模によっては全体計画人口の適正化を図る必要性が指摘された。本研究は全国を対象としたため、一定精度の地理情報の収集が課題であった。下水道施設等に関しては統計情報に関する情報公開が進められており、さらなる広域化・統合化を促進するには、本研究が示したように行政区域よりも詳細な単位での分析ができるよう地理空間情報を含めた環境情報の公開も必要ではないだろうか。

キーワード：流域下水道、将来推計人口、マイクロジオデータ

## 1. はじめに

我が国では水質汚濁の改善のため、水質汚濁防止法等の法整備とともに下水道や浄化槽等の整備・普及を進めてきた。これらの排水処理施設の多くは高度経済成長期に計画され、現在では多くの施設で更新や再整備等が検討されている。施設の整備当初は人口増加・経済成長という拡大路線であったが、現在は人口減少・経済低成長へと転換したため、将来的な維持費の確保やインフラ施設の規模の見直し等が重要な課題となっている<sup>1)</sup>。これらの課題につい

て、人口構造の変化を踏まえた将来的な污水处理事業の経営評価<sup>2)</sup>や処理方法による経済性の比較<sup>3)</sup>が事例地域を対象に実施され、研究が蓄積されている。また行政においては都道府県毎に効率的な排水処理施設の維持管理に向けた計画作りが進められている<sup>4)</sup>。さらに、2015年に改定された流域別下水道整備総合計画<sup>5)</sup>では、「時間」「空間」を考慮した統廃合等の最適な計画の促進を推進している。その実現のためには将来の人口予測および広域共同化を視野に入れた事業計画の策定が必要と指摘されており、2018年8月13日には国土交通省から「広

2019年1月7日受付、2019年2月12日受理

doi: 10.11353/sesj.32.46

筑波大学生命環境系, 〒305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

<sup>†</sup>Corresponding author: akiyama.chiaki@geoenv.tsukuba.ac.jp

域化・共同化」に向けた事例集<sup>6)</sup>が公表される等、取り組みがなされている。その一例として、秋田県では、下水道サービスの持続的な提供に向けて下水道・農業集落排水・し尿処理場との統合による生活排水処理の広域共同化を推進している<sup>7)</sup>。

効率的かつ持続的な排水処理施設の運用の実現のためには小規模化、あるいは共同広域化のいずれの戦略を採用する必要がある。これらを実現するためには、平成の大合併により範囲が拡張した市町村単位よりも、空間的に高精細な単位での将来推計人口に基づいた検討を進める必要がある。生活系由来の負荷量に着目するとその排出源は主に一般家庭であるが、ある下水処理区域内に高層マンションが建設されると建物一棟から排出される発生負荷量は何百世帯分に相当する場合もあるため、その処理区における汚染源として重要になる。つまり下水処理区域内における将来を含めた人口の偏在性をピンポイントまたはそれに類する集約単位（例えば町丁字界名等）で把握することによって、効率的で効果的な配置計画を立てることが可能になると考えられる。さらに下水処理施設には様々な種類があるが、その中でも複数の自治体からの排水を処理する流域下水道は、さらなる広域化を推し進められる対象であると考えられる。

そこで本研究では以上の課題を踏まえ、高精細化された将来人口推計を用いて、全国の流域下水道を対象に将来的な持続性を検討するため、現時点での事業計画が将来的に達成されうるのか、またその方策について検討することを目的とする。なお本研究は筆者らによる既存研究を骨子としており<sup>8)</sup>、本稿では筆者らの既存研究における下水処理区域データの整備方法と分析方法を示すとともに処理区域人口からみた下水処理場の持続性に着目して分析結果を考察していく。

## 2. 研究方法

### 2.1 対象とする下水処理施設

生活排水処理に関しては、表1のとおり様々な污水处理施設があり、施設によって種別や所管が異なるものの、基本的に地方自治体が整備・運営を担っている。その中でも、流域下水道は人口密度の高い地域において集約的に生活排水を処理する形態であり、処理区は複数の市町村におよぶことから、他の生活排水処理施設よりも処理区が広域となる。そのため、中長期的な視点に立ち、将来的な下水道利用者数に応じた計画の検討が必要となる。以上の特徴を踏まえて、本研究では複数の市町村の生活排水処理を担う「流域下水道」を対象とする。

表1 生活排水処理施設の管轄と種類

污水处理施設	種別	所管
公共下水道	集合処理	下水道
特定環境保全公共下水道		
特定公共下水道		
流域下水道		
農業集落排水施設	浄化槽	農林水産省
漁業集落排水施設		
林業集落排水施設		
簡易排水施設		
小規模集合排水処理施設	し尿処理施設	総務省
コミュニティ・プラント		
個別排水処理施設	個別処理	浄化槽
特定地域生活排水処理施設		
合併浄化槽		環境省

### 2.2 流域下水道の処理区域データの整備

下水道事業に関する地理空間情報については、国土数値情報で下水道関連施設データとして下水処理場およびポンプ場等の関連施設のポイントデータが公開されているが、処理区域に関する情報は公開されていない。下水道事業の整備に関する指標としては、総人口に対する下水道が利用可能な人口を指す「下水道普及率」が多用される。ここでの利用可能な人口には、下水道利用者と下水道未利用者の両方が含まれる場合があることがある。一方、総人口に対する実際の下水道利用者の比率は「下水道接道率」と定義される。しかしながら、各建物の下水道への接続状況に関しては、下水道使用料に関する台帳には記載されているが、個人情報にかかわるため全国規模でその情報を収集することは現実的でない。

そこで本研究では、地方自治体のホームページより入手可能な情報を基に下水道普及率の対象となる処理区域のポリゴンデータを作成し、その領域内の将来人口を用いて分析を進める。処理区域データを整備する対象は、下水処理場に関する統計情報が収録されている平成27年度版「下水道統計」<sup>9)</sup>を参照し、平成27年度末までに実施および認可済みのものとした。

まず、流域下水道の処理区域の特性として、任意の流域下水道と任意の市町村は必ずしも「一対一」対応ではないという点が指摘される。具体例を、茨城県における二つの流域下水道と各処理区域に該当する地方自治体名を表した表2で示す。霞ヶ浦常南、小貝川東部の二つの流域下水道には、表中太字で示された「つくば市」が該当する。このことは、流域下水道と市町村は「一対一」対応ではなく、「一対多」となる場合を含むことを示している。

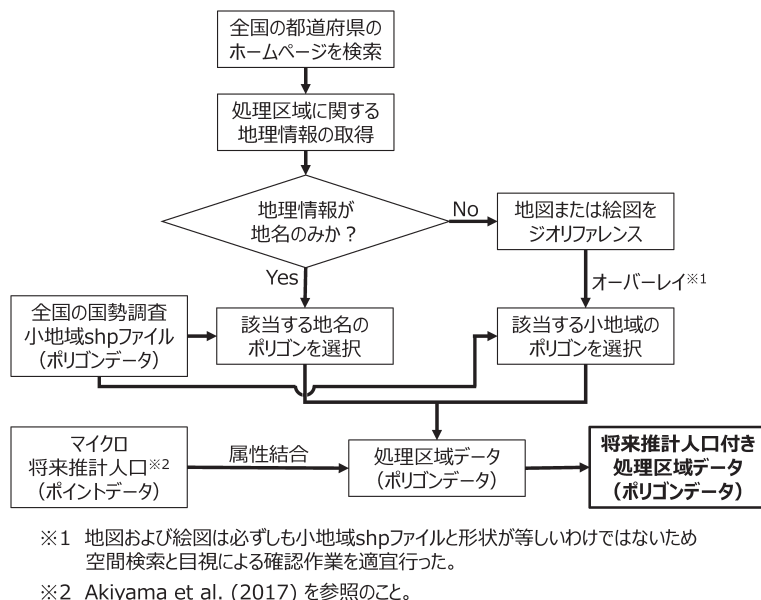


図1 処理区域データ整備のフロー図

表2 流域下水道と関係地方公共団体の対応

流域下水道名	関係地方公共団体名（下水道事業認可済）
霞ヶ浦常南	竜ヶ崎市, 牛久市, つくば市, 稲敷市, 河内町, 利根町 [4市2町]
小貝川東部	つくば市, 筑西市, 桜川市 [3市]

(平成27年度下水道統計<sup>9)</sup>より一部抜粋)

つまり「地方自治体名」は、流域下水道の処理区域を一意に特定する識別子として完全に機能しないことを意味する。そこで、流域下水道の処理区域の特定には、流域下水道の空間的な範囲を示した地理情報（地図）の取得が不可欠となる。

そこで流域下水道の処理区域データを構築するために、対象となる全国の流域下水道に関するホームページを検索し、公開されている処理区域に関する情報を収集した（図1）。次いで、平成22年国勢調査の小地域（町丁字界）ポリゴンをベースに、インターネットを介して処理区域に関する地図情報を入手できた箇所に関してはジオリファレンスをし、処理区域に含まれる町丁字界を処理区域として選択した。処理区に関する地図情報が入手できない場合は、当該区域に関して得られる情報を基に疑似的に処理区域とみなした。

表3にホームページ上での情報公開の状況を処理区ごとに集計したものを示す。流域下水処理場の管理は都道府県が行うことから、流域下水道を有する41都道府県が主な調査対象となる。表3の地図を用いた表記とは、都市計画図上に処理区域を重ね

表3 ホームページにおける流域下水道の処理区域に関する情報公開の状況

処理区域の公開方法	件数
地図を用いた表記	40
イメージ図（絵図）	109
地名のみ	23

合わせたものや自治体が公開している都市計画に関するWebGIS上でユーザー側が表示の縮尺を調整できるものも含む。また流域下水道の管理は基本的に都道府県が行うとされているものの、中には同一都道府県でも処理区によって公開されている処理区域の位置に関する情報の精度がばらつく事例も散見された。このため、本研究において整備した処理区域データは、処理区に関する地図情報の公開の程度によって、実際の処理区域よりも範囲が広く設定されている可能性がある。それに伴う留意点として、処理区によっては処理区域内人口が過大評価される場合があることが指摘される。

## 2.3 将来推計人口

将来推計人口に関して、国立社会保障・人口問題研究所（以下、社人研とする）のホームページ上で公開されているデータは、集計単位が都道府県および市区町村となっているが、2014年7月11日に国土数値情報においてメッシュデータが公開され、現在では1kmメッシュと500mメッシュの二つの集計単位のデータが利用可能である<sup>注1</sup>。しかしながら、本研究が対象とする流域下水処理場の処理区域は不規則矩形であることが多いため、処理区域毎の将来推計人口を集計するには、居住者が確認された建物1件1件に将来推計人口が収録されている将来推計人口を用いる。

本研究で用いるマイクロ将来推計人口は、社人研による「日本の地域別将来推計人口（2013年版）」（2010～2040年）を基に、全国の住宅地図（Zmap TWON II）から抽出された居住者の確認されている建物1件1件に対して、居住者の年齢・性別から推定される死亡率等を考慮しながら建物ごとに配分されたものであり、いわゆるマイクロジオデータに該当する。居住者の年齢を考慮した死亡率の設定等、建物毎に将来人口を割り当てる手法については、Akiyama *et al.* (2017)<sup>10)</sup> を参照されたい。マイクロ将来推計人口は、先述の図1が示すように、ポイントデータとして建物毎に将来推計人口を有する。その将来推計人口の値を小地域を最小単位とする処理区域データに結合させることで、処理区域単位での将来を見据えた分析が可能となる。

## 3. 処理区単位の人口分析

### 3.1 処理区単位の将来人口推移と人口規模

まず、処理区における現在の人口規模と将来の人口推移の関係をみるため、図2に将来人口推計の基準年である2010年人口に対する2040年の将来推計人口の比と処理区ごとに集計された処理区別将来推計人口（2010年）の散布図を示した。まず横軸となる人口比について、増加となったのは119処理区中9処理区に留まり、多くの処理区で人口が減少する（81処理区で0～5%の減少、さらに29処理区でそれ以上の減少）ことが示された。一方、2010年の処理区における人口規模をみると、全体のおよそ80%に相当する95処理区では2010年時点の推計人口は50万人以下となり、100万人を超えるのは11処理区に留まることが示された。このことから、処理区における人口が100万人を超える場合は2010年から2040年にかけての人口減少が10%までの範囲に留まるのに対して、人口規模がそれ以下となると増加する処理区がある一方で、将来的に人口が減

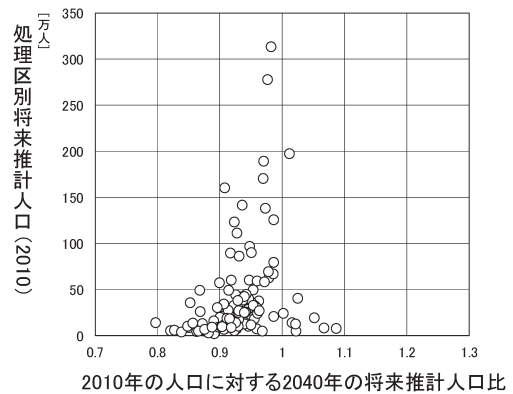


図2 2010年の人口に対する2040年の将来推計人口比と処理区別人口規模の比較（2010年）

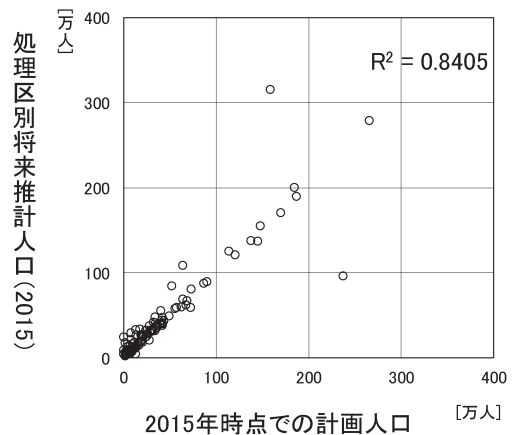


図3 2015年時点における計画人口と将来推計人口

少する場合は最大で20%の減少となり人口比の値の範囲が広がることが指摘される。以上のことは人口に着目した場合、処理区域を広域化することによって処理区内人口を拡大することで、将来的に処理区内人口をある程度保持できる可能性を示唆するものと考えられる。

### 3.2 計画人口に対する処理区内の計画人口

図3は下水道統計に記載されている2015年における流域下水処理場の全体計画の計画処理人口と2015年の処理区別将来推計人口を示す。2015年の決定係数は0.8405となり、本研究で整備した処理区域データ含まれる推計人口は2015年時点における計画人口を概ね再現できているものと考えられる。

計画人口に対する推計人口が著しく少ない処理区は埼玉県荒川左岸流域下水道であり、一方計画人口に対する推計人口が多い処理区は同じく埼玉県の



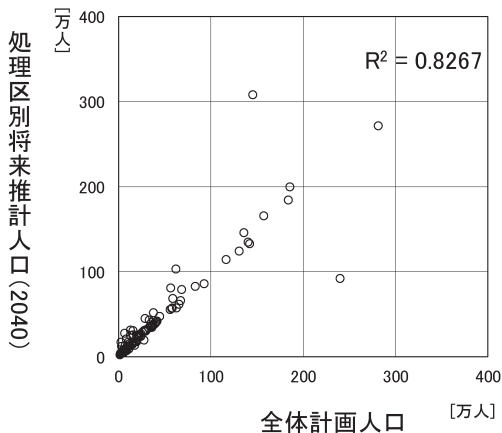


図4 全計画人口に対する2040年の将来推計人口

中川流域下水道であった。埼玉県における流域下水道の処理区域に関する情報は、表3の区分では「地名のみ」に該当する。流域下水道名を列記した二つの流域下水道の対象自治体として、さいたま市や川口市など人口規模の多い地名が列記されているものの、市域における下水道ごとの領域区分は示されていないことから、図3中のプロット位置が極端に振れたものと考えられる。さらなるデータの精度の向上を図るためには、個別自治体に処理区域に関する「地図を用いた表記」つまり、地理情報の提供を問い合わせることも有効と考えられる。

図4は流域下水道ごとに設定されている最終的な全体計画人口に対する2040年の将来推計人口の散布図である。外れ値に関しては図3と同様の二つの流域下水道によるものであることが確認された。図4では、図3よりも決定係数がわずかに低下した。図2で2040年において多くの処理区で人口減少が推計されていることから、処理区によっては現在計画されている全体計画人口の達成にこだわらず広域化を図ることと同時に、全体計画人口そのものの適正化を図る可能性についての検討も必要と考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では、まず広域的な実態把握が難しい下水処理場の処理区域を、入手可能な資料を基に国勢調査の小地域ポリゴンデータを基に疑似的な処理区域を作成した。次いで、建物ごとの将来推計人口<sup>10)</sup>を用いて、流域下水道の処理区域内の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した。その結果、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

期待されるとともに、処理人口の規模によっては全体計画人口の適正化を図る必要性も指摘された。

実務的には、国土交通省をはじめ関係各所が連携して2022年を目標に「広域化・共同化」に向けた取り組みがますます推進されることが予想される。その環境整備の一環として、全国の下水道施設情報を共有・分析できる「下水道全国データベース」<sup>注2)</sup>が公開されている。これにより従来は別個の年鑑や統計書に収録されていた下水道施設等に関する情報を横断的に利用することが可能になった。その一方で、本データベースに収録されているデータの形式はテーブル形式であり、データの集約単位は市町村ないし施設ごととなっており、位置情報や地理的範囲に関する形式ではない。確かに最終的な意思決定は自治体単位で行われるが、広域化・統合化をさらに促進するには、本研究で示したように行政区域よりも詳細な単位で分析できるように地理空間情報も含めた環境情報の公開も必要ではないだろうか。先行事例として既に、国土地理院より公開されている「基盤地図情報」の枠組みがそのヒントになるものと考えられる<sup>注3)</sup>。基盤地図情報は、全国の自治体が地理情報標準プロファイル (JPGIS) という地理情報規格群<sup>注4)</sup>に準拠した形式で作成した地理空間情報を国土地理院が集約・公開する形をとっている。この枠組みを污水处理施設に横展開することにより、既に自治体内に蓄積されている全国共通規格に基づいた地理空間情報の作成から公開までのスキームを実現できるのではないだろうか。

今後は、実社会における「広域化・共同化」の動向を踏まえながら、分析対象を表1で示した他の污水处理施設に拡張しつつ、引き続き建物単位および小地域といった詳細な分析単位の地理空間情報を活用した研究を進めていきたいと考えている。これにより、実業務において、現在では個人情報保護の観点から、直接台帳を管理する部署以外での利用が困難な地理空間情報 (例えば、住民基本台帳、建築確認申請、および上下水道の利用実績等) の庁内での有効利用が議論されるようになれば幸いである。

#### 謝 辞

本研究は科研費・若手研究(B)JSPS (16K21595)の助成を受けて実施した研究成果である。また本研究を実施する上で必要な様々な空間情報データを東京大学空間情報科学研究センターの共同研究利用システムより、共同研究No.694の一環として提供を受けた。

最後に、電気通信大学の山本佳世子先生からは、本稿の研究成果を2018年9月11日開催の環境科学

会2018年会シンポジウムh.「環境情報科学研究の成果と展開」において発表する機会を作って頂いた。以上、ここに記して謝意を表したい。

### 注

- 注1 国土交通省国土政策局国土情報課, 国土数値情報2014, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>, (参照2019-2-13).
- 注2 国土交通省・公益社団法人日本下水道協会, 下水道全国データベース2016, <https://portal.g-ndb.jp/portal/>, (参照2019-2-13).
- 注3 国土交通省国土地理院, 基盤地図情報2009, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>, (参照2019-2-13).
- 注4 国土交通省国土地理院, 地理情報標準プロファイル Japan Profile for Geographic Information Standards (JPGIS) 2014, <http://www.gsi.go.jp/common/000091216.pdf>, (参照2019-2-13).

### 文 献

- 1) 宇都正哲・北詰恵一・浅見泰司・植村哲士 (編) (2013) 人口減少下のインフラ整備, 東京大学出版会, 299pp.
- 2) 細井由彦・増田貴則・赤尾聡史・麻本裕也 (2009) 人口減少高齢化構造からみた一般行政サービスの受益と負担を考慮した污水处理事業経営. 環境システム研究論文集, 37, 145-152.
- 3) 木戸浦茂実・高橋正宏 (2011) 下水道既整備地域において人口減少を考慮した場合の下水処理システム維持管理・改築更新費用のシナリオ別推計. 環境システム研究論文集, 67, II\_93-II\_103.
- 4) 国土交通省・農林水産省・環境省 (2014) 持続的な污水处理システム構築に向けた都道府県構想策定マニュアルI本編, 1-71.
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 (2015) 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説, 1-147.
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 (2018) 「広域化・共同化」が下水道経営を救う～課題解決のヒントはこの事例集の中にある～, <http://www.mlit.go.jp/common/001249122.pdf>, (参照2019-2-13).
- 7) 秋田県建設部下水道課 (2017) 2018あきたの下水道資料編, <https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/665>, (参照2019-2-13).
- 8) 秋山千亜紀・秋山祐樹 (2018) ミクロな将来人口推計を用いた下水処理施設の持続可能性に関する研究. 第27回地理情報システム学会講演論文集, B-4-1.
- 9) 日本下水道協会(編) (2018) 平成27年度版下水道統計, 72, 日本下水道協会 (CD-ROM).
- 10) Akiyama Y., Y. Nishimoto and R. Shibasaki (2017) Projecting future distributions of facility deserts for smart regional planning: A micro geodata approach in Japan. CUPUM2017 Conference Proceedings, #35081.

## Sustainability Study of Sewerage Project Based on Future Estimated Population

Chiaki M. AKIYAMA

(Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba,  
1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan)

### Abstract

Recently, local government officials from various offices have been discussing methods to ensure the sustainability of Japan's sewage system, which is threatened by the deterioration of river-basin sewerage, an aging population, and population decline. This study aims to analyze the sustainability of river-basin sewerage using micro estimated future population data. First, we developed polygon data for each treatment district of Japan's river-basin sewerage, as there is currently no such open data. Second, micro estimated future population data for each building location were spatially joined to the polygon data, making it possible to analyze the sustainability of every treatment district based on future estimated population and the planned population for each sewage project. As a result, we can expect to maintain the future population of each treatment district in order to expand them appropriately. At the same time, it suggests that shrinking of the planned treatment district area is necessary to maintain river-basin sewerage depending on the future treatment district population. In order to promote further expansion and integration, it would be helpful to publish environmental data online including geospatial information in more detailed units than administrative areas as shown in this research.

**Key Words:** River-basin sewerage, future estimated population, micro geodata