

将来推計人口を考慮した流域下水道の 広域化・共同化の可能性に関する検討

秋山千亜紀*・秋山祐樹**

Study on the Possibility of Wide-area Expansion and Joint Development of Basin Sewage Systems in Consideration of Future Estimation Population

Chiaki M AKIYAMA*, Yuki AKIYAMA**

In Japan, a society with a declining population, the wide-area expansion and joint operation of sewerage projects are being considered to realize sustainable sewerage projects in the future. Therefore, this study proposes a simplified method for studying the appropriate treatment areas of a basin sewerage system in the future by considering the future estimation population for them whose treatment areas straddle multiple municipalities. We integrated the treatment area of the basin sewerage system in 2010 with the future estimation population in entire Aichi prefecture, Japan and identified a range of future treatment areas that would satisfy the 2010 population levels for each treatment area. The result shows that in the case of Aichi Prefecture, many treatment areas can satisfy the 2010 population level by establishing future treatment areas appropriately using the method proposed in this study.

Keywords: 流域下水道 (basin sewage systems), 持続可能性 (sustainability), 将来推計人口 (future estimation population), 広域化 (wide-area expansion)

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。特に下水道事業については手始めに人口が密集する大規模な都市部から整備が進められ、順次、地方の中小規模の都市にも整備が拡張された。そして、都市部の下水道の中には供用開始から50年以上を経たものも存在することから、今後の更新が課題となっている。また、1990年前後に整備が進められた主に地方都市の下水道は、バブル経済の影響を受けて嵩んだ整備費用が、現在も重くのしかかり、経営上の課題となっている。さらに、我が国の社会トレンドが人口減少・経済低成長へと転換したため、下水道事業の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。

1.1. 既存研究と著者らのこれまでの研究

前述の課題について、下水道サービスの提供を今

後も持続するための方策が議論されている。井出(2017)は、事業規模が大きく管路が張り巡らされている下水道事業の特徴を整理し、生活必需サービスである下水道事業の継続の重要性を説いている。そして、その実現化にむけた方策の一つとして、下水道処理区が複数の自治体を跨ぐ流域下水道に単独下水道などを接続する広域化が挙げられている。また、国土交通省水管理・国土保全局下水道部(2020)は、下水道整備区域における各戸から下水道への接続率の向上が課題として挙げられている。このように下水道整備後に利用者の確保とも言える各戸から下水道への接道率も、下水道事業の持続性を検討する上で重要な要素である。

以上の背景を受け、宮原ほか(2020)は、単独公共下水道を対象に広域化の効果を包絡分析法(DEA)により分析した結果、九州地方における市町村合併に伴う広域化については、約7割で広域化の効果が確認された。また、村岡ほか(2020)では、兵庫県但馬地方を対象に下水処理施設の統廃合を検討して

* 正会員 筑波大学生命環境系 (University of Tsukuba)

〒305-8571 茨城県つくば市天王台1-1-1 Tel : 029-853-4213 E-mail : akiyama.chiaki@geoenv.tsukuba.ac.jp

** 正会員 東京都市大学建築都市デザイン学部都市工学科 (Tokyo City University)

いる。同研究では現状維持ケースと比較し、汚水分散処理・早期更新ケースでは将来的なコストを削減できることを示した。また秋山（2019）では流域下水道を対象に、処理区内の人口がどの程度将来的に維持されるのかを将来人口推計データを用いて分析し、広域化することによって将来人口を維持できる可能性を示した。

以上の既存研究では、可能な限り取得可能な数多くの関連データを駆使した分析が行われている。しかし、対象地域が複数の自治体に跨る流域下水道事業の広域化・共同化を検討するためには、ステークホルダーが多くなり、議論の方向性を決めること自体が複雑になるものと考えられる。そのため、以上の議論を進めるためにも、入手が容易なデータを用いた簡易的な検討手法を開発することが望ましいといえる。

1.2. 本研究の目的

そこで本研究では、将来的な下水処理区域の広域化・共同化の可能性を検討するため、広域な処理区を有する汚水処理施設である流域下水道事業を対象に、各処理区内とその周辺の将来推計人口を用いて、将来設定すべき下水道処理区の範囲を簡易的に設定する手法の検討を行うことを目的とする。

2. 本研究の流れ

図1に本研究全体の流れを示す。本研究ではまず各下水道処理区内の人口を把握するために、下水道処理区の領域を示すポリゴンデータと国土数値情報の500mメッシュ別将来推計人口データ（H29国政局推計）から得られる2010年の4次メッシュ集計人口のポリゴンデータを空間結合することで、各下水道処理区に重複するメッシュを明らかにし、それらのメッシュに含まれる人口を集計することで、各下水道処理区の2010年の人口を求める。また、この後の処理を考慮し、この時点で各下水道処理区の領域は4次メッシュで表現する形とする。なお、日本では2008年をピークに人口減少が始まっているため、将来に亘って各処理区内の人口を2008年頃の人口水準を満足するような処理区の範囲を検討でき

ると良いと考えたため、本研究では2008年に最も近い時期の国勢調査である2010年の国勢調査から得られる人口を将来維持すべき人口に設定した。

続いて、同様に国土数値情報の500mメッシュ別将来推計人口データ（H29国政局推計）から、愛知県全域の2020年、2030年、2040年、2050年の4次メッシュごとの人口を収集する。そしてまず2010年人口から得られる処理区毎の人口と2020年の将来推計人口を比較し、減少分の人口を原則として各処理区からの距離が近いメッシュから順に、また距離が同じ場合はより人口が多いメッシュから順にその処理区に統合する。この処理を行うことで、2020年時点でも2010年の人口水準を満足できる処理区の範囲を明らかにすることができる。なお、各処理区からより距離が近く人口が多いメッシュから統合する理由は、距離が近く人口が多い地域に対して下水管を延伸するほうが、経済性がより高いためである。

以降、同様にして2050年まで計算を進めることで、将来推計人口を考慮した流域下水道の広域化・共同化の可能性を検討することが可能になる。最後に本手法で得られた結果の考察および、本手法の課題や限界等について議論する。

2. 研究対象地域

本研究の研究対象地域は愛知県全域とする。愛知県は名古屋市という大都市を擁するだけでなく、数

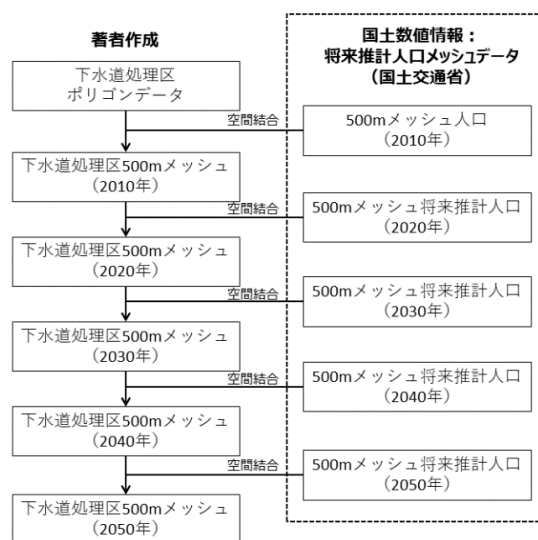


図1 本研究の流れ

多くの中小規模の都市が立地している一方、それらの都市から地理的に近い場所に中山間地域も有している、地理的に多様な特徴を有する地域である。また、県の西部に木曾三川（揖斐川・長良川・木曾川）と庄内川、中央部に矢作川、東部に豊川という一級河川を有し、それらに沿う形で流域下水道の供給地域が分布することから、県内の広い範囲が既に流域下水道の供給地域に含まれている。加えて後述する図2が示すように、愛知県内の流域下水道の各区域は何れも県境を跨いで分布することがないため、本研究で提案する手法を検討する上での対象地域として適切であると判断した。

3. 本研究で使用するデータ

3.1. 下水道処理区ポリゴンデータ

下水道処理区内の人口を把握するために作成した2015年の流域下水道の処理区ポリゴンデータを使用した（秋山, 2019; 秋山ほか, 2021）。なお、下水道処理区のポリゴンデータは、大阪府富田林市や愛知県など一部の自治体で公開されるに留まる。そのため秋山（2019）で、全国の流域下水道を対象に「平成27年度版下水道統計」と地方自治体のホームページを参照しながら、地方自治体のホームページより入手可能な情報をもとに作成した処理区ポリゴンを使用した。図2に同データを使用して作成した愛知県全域の下水道処理区の分布を示す。

3.2 将来推計人口メッシュデータ

本研究では各下水道処理区内およびその周辺の人口と将来推計人口を把握するために、国土数値情報から入手できる「500mメッシュ別将来推計人口（H29国政局推計）（shape形式版）」を使用した。同データは2010年の国勢調査に基づいて、2050年までの500mメッシュ（2分の1地域メッシュ）別の将来人口の試算を行った結果である。同データからは2010年の国勢調査に基づく500mメッシュごとの人口と、2050年までの5年毎の将来推計人口を把握することができる。また、将来推計人口には0~14歳（年少人口）、15~64歳（生産年齢人口）、65歳以上（高齢者人口）のそれぞれの人口の推定値も含まれ

ている。本研究では2010年の人口と、2020年、2030年、2040年、2050年の将来推計人口を使用した。

4. データ処理

4.1 各下水道処理区内人口（2010年）の推定

まず、各下水道処理区の2010年の人口を推定する。3.1の下水道処理区ポリゴンデータと3.2のメッシュデータを空間結合し、各処理区のポリゴンと重複するメッシュに処理区番号を与えた。なお、複数の処理区ポリゴンに跨って分布するメッシュの場合、最も重複する面積が大きい処理区の番号を与えた。図3に以上の処理を施し、図2の下水道処理区を500mメッシュに集計し直した結果を示す。また、表1に各下水道処理区のメッシュ数と2010年の各下水道処理区内の推定人口を示す。

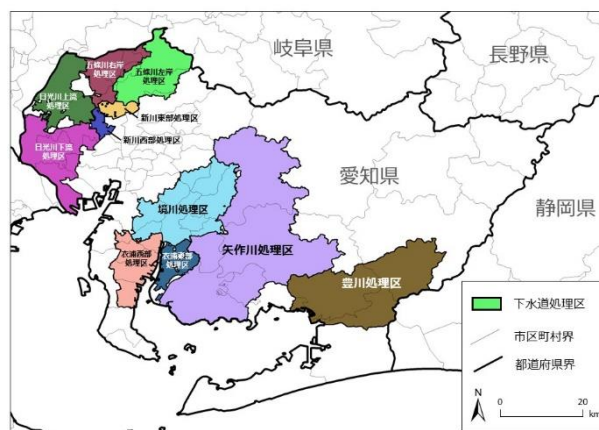


図2 下水道処理区の分布（愛知県全域）

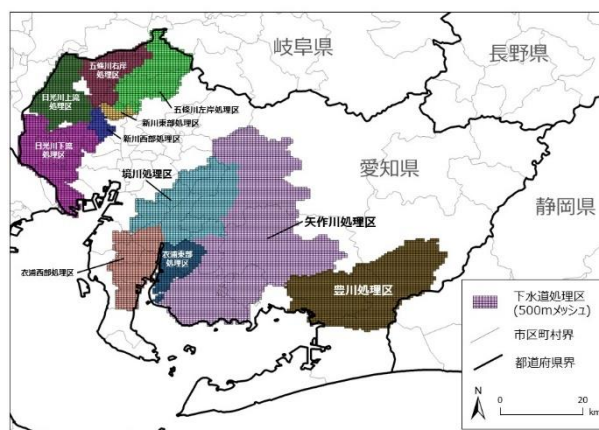


図3 下水道処理区を500mメッシュに集計した結果（愛知県全域）

最もメッシュ数の多い下水道処理区は矢作川処理区（2,044メッシュ）であり、下水道処理区内人口も約90万人と最も多かった。一方、最もメッシュ数が少ない下水道処理区は新川東部処理区（61メッシュ）であり、下水道処理区内人口も約7万8,000人と最も少なかった。しかし、メッシュあたりの平均人口を見ると新川東部処理区が1,277人と最も多く、メッシュあたりの平均人口が最も少ない豊川処理区（326人）と比べると、メッシュあたりの平均人口の差は約3.9倍となった。図4に下水道処理区ごとのメッシュ数とメッシュあたりの推定人口の平均値の関係を示す。概ねメッシュ数が少ない下水道処理区ほど、メッシュあたりの平均人口が多くなる傾向があることが分かった。この結果から、2010年時点においても人口が希薄な地域をカバーする下水道処理区では既に広域化が成されていることが明らかとなった。これは、人口が希薄な地域では下水道処理区を広域化しないと下水道処理区を維持することが困難であることを示唆していると言える。

4.2 各下水道処理区内の将来推計人口の推定

続いて4.1と同じく3.2の将来推計人口メッシュデータを4.1の各下水道処理区を構成するメッシュと結合し、各下水道処理区を構成するメッシュを持つ将来推計人口で集計することにより、各下水道処理区の2020年、2030年、2040年、2050年の将来推計人口を推定した。表2にその結果を示す。また、表3は2020年、2030年、2040年、2050年の将来推計人口の2010年人口比を示す。

何れの下水道処理区においても今後人口減少が進んでいくことが分かったが、下水道処理区によってその傾向が異なることがわかった。まず、表1でメッシュ当たりの平均人口が多かった新川東部処理区や新川西部処理区では2030年まで、境川処理区では2040年までは2010年の人口水準を維持可能であった。また、衣浦西部処理区と衣浦東部処理区も2020年～2030年までは2010年の人口水準を維持できることが分かった。これらの地域は衣浦臨海工業地域に属していることから、人口減少が比較的緩やかであるものと考えられる。さらに、メッシュ当た

りの平均人口は多くなかったものの、矢作川処理区は2030年までは2010年の人口水準を維持できることが分かった。これは2010年時点で既に広域化が進んでいることによるものと考えられる。

一方、五條川左岸・右岸処理区や日光川上流・下流処理区、豊川処理区では一貫して人口減少が続くと推計された。特に日光川下流処理区や豊川処理区では2050年には2010年の人口から20%以上減少すると推計された。

表1 各下水道処理区のメッシュ数と2010年の各下水道処理区内の推定人口（愛知県全域）

下水道処理区名	500mメッシュ数	下水道処理区内推定人口(2010年)	メッシュあたり推定平均人口(2010年)
五條川左岸処理区	422	247,971	587.61
五條川右岸処理区	404	337,988	836.60
新川東部処理区	61	77,911	1277.23
新川西部処理区	91	85,070	934.84
日光川上流処理区	478	326,786	683.65
日光川下流処理区	694	367,867	530.07
境川処理区	1,000	732,806	732.81
衣浦西部処理区	439	256,378	584.00
衣浦東部処理区	257	147,578	574.23
矢作川処理区	2,044	900,393	440.51
豊川処理区	894	291,802	326.40
合計	6,784	3,772,550	556.10

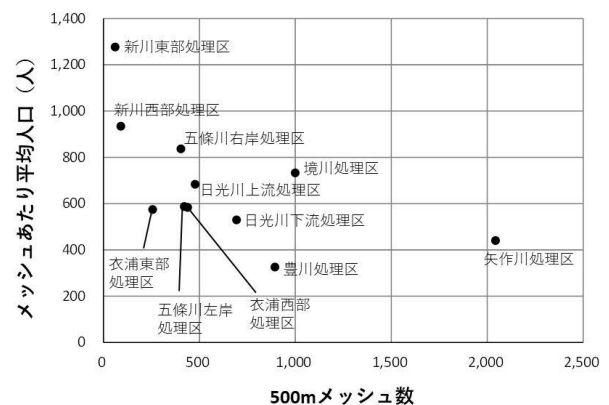


図4 下水道処理区ごとの500mメッシュ数とメッシュ当たり平均人口の散布図

表2 各下水道処理区内の2010年人口と2020年、2030年、2040年、2050年将来推計人口の推定結果

下水道処理区名	下水道処理区内推定人口				
	2010年	2020年	2030年	2040年	2050年
五條川左岸処理区	247,971	245,293	233,982	218,415	202,348
五條川右岸処理区	337,988	332,844	316,440	295,712	274,221
新川東部処理区	77,911	79,877	78,412	75,814	72,870
新川西部処理区	85,070	86,799	85,355	82,623	79,216
日光川上流処理区	326,786	320,898	304,038	282,868	259,989
日光川下流処理区	367,867	360,425	340,573	316,086	290,803
境川処理区	732,806	763,811	764,466	749,107	723,919
衣浦西部処理区	256,378	259,710	253,511	242,556	228,870
衣浦東部処理区	147,578	149,876	148,467	144,860	139,466
矢作川処理区	900,393	913,611	898,560	864,415	819,277
豊川処理区	291,802	283,748	268,617	249,272	228,750

表3 各下水道処理区内の2020年、2030年、2040年、2050年の将来推計人口の2010年人口比

下水道処理区名	下水道処理区内推定人口の2010年比			
	2020年	2030年	2040年	2050年
五條川左岸処理区	0.99	0.94	<i>0.88</i>	<i>0.82</i>
五條川右岸処理区	0.98	0.94	<i>0.87</i>	<i>0.81</i>
新川東部処理区	1.03	1.01	0.97	0.94
新川西部処理区	1.02	1.00	0.97	0.93
日光川上流処理区	0.98	0.93	<i>0.87</i>	<i>0.80</i>
日光川下流処理区	0.98	0.93	<i>0.86</i>	<i>0.79</i>
境川処理区	1.04	1.04	1.02	0.99
衣浦西部処理区	1.01	0.99	0.95	<i>0.89</i>
衣浦東部処理区	1.02	1.01	0.98	0.95
矢作川処理区	1.01	1.00	0.96	0.91
豊川処理区	0.97	0.92	<i>0.85</i>	<i>0.78</i>

※太字は2010年より大きい値、斜体は10%以上減少

4.3 各下水道処理区の広域化処理

表3の結果から、各下水道処理区の値が1未満となる年までに、その不足分の人口をカバーできるように下水道処理区の広域化を行っておかないと、2010年の人口水準を維持できなくなることが分かる。そこで、本研究では下水道処理区内推定人口が2010年比で1未満となった下水道処理区において、近隣のメッシュを下水道処理区に統合することで、その不足分の人口を賄うことを考える。ただし、本処理を行う上で考慮すべき点として以下の3点が挙げられる。

(1) 下水道処理区から可能な限り距離が近いメッシュを選択する必要がある点

まず、統合先として下水道処理区から可能な限り距離が近いメッシュを選択する必要がある。これは物理的に近い地域ほど、既存の下水道処理区に組み込む際の各種インフラ整備のコストを小さくすることが可能で、より経済性が高いためである。つまり、下水道処理区を広域化するための事業費をできるだけ小さくするために必要な考え方といえる。そのため、原則として広域化処理を行う時点の下水道処理区に隣接するメッシュから選択する。

(2) 既存の下水道処理区に隣接するメッシュのうち、どのメッシュを既存の下水道処理区に統合するべきかを選択する必要がある点

次に既存の下水道処理区に隣接するメッシュのうち、どのメッシュを既存の下水道処理区に統合するべきかを選択する必要がある。この際に考慮すべき点は、やはり(1)と同じく、事業費をできるだけ小さくすることであるが、基本的に流域下水道が各住戸に接する公道に整備された際は、住戸からの排水を下水道に接続するための排水設備にかかるコストは、各住戸の居住者の負担となる(広島市下水道局管理部管理課2019)。すなわち、既存の下水道処理区を広域化するには、人口規模の大きい地域(メッシュ)から既存の下水道処理区に順次組み込んでいくことで、広域化に伴う経済性を可能な限り大きくしながら、下水道処理区内の人口を維持することが可能になる。そこで、既存の下水道処理区に隣接するメッシュのうち、メッシュ内人口ができるだけ大きいメッシュを選択するようにする。

(3) 流域下水道に接続可能な人口のうち流域下水道に実際に接続し直す人口の割合を考慮する必要がある点

ただし、流域下水道が近隣まで接続されたとしても、全ての住戸が流域下水道に接続するとは限らない。特に居住者の高齢化が進んでいる住戸では、浄化槽から下水道に接続し直すインセンティブが大きいと、流域下水道への接続が進まず、結果と

して処理区内人口の増加に貢献しない可能性がある（細井ほか 2007; 深谷ほか 2015）。すなわち「③高齢者による流域下水道への接続率」というシナリオを考慮する必要がある。前述の通り、本研究で使用する将来推計人口には、2010年から2050年のメッシュごとの高齢者人口も含まれているため、本研究では y 年におけるメッシュ i の下水道処理区への接続人口 P_{yi} を式1で推定する。

$$P_{yi} = py_{yi} + pw_{yi} + cr \cdot pe_{yi} \quad (1)$$

py_{yi} , pw_{yi} , pe_{yi} はそれぞれ y 年のメッシュ i における年少人口、生産年齢人口、高齢者人口であり、 cr は高齢者による流域下水道への接続率である。本研究では $cr=1$ （理想的シナリオ）、 $cr=0.5$ （楽観的シナリオ）、 $cr=0$ （悲観的シナリオ）で、それぞれ結果を算出する。

4.4 広域化処理プログラムの開発

図3で得られた下水道処理区メッシュに対して、4.3の広域化処理を行うプログラムを開発した。 y 年（2020年、2030年、2040年、2050年）において、その年の下水道処理区内人口が2010年の処理区内

人口未達となった場合に、(1)の条件を満たすメッシュを検索し、 y 年の下水道処理区メッシュに統合処理を行う。また4.3の(3)を計算できるように、 y 年ごとに任意の cr を設定できるようにした。なお、あるメッシュが複数の下水道処理区の統合先候補となった場合は、人口減少率が最も大きい、すなわち（ y 年の処理区内人口 / $y-10$ 年の処理区内人口）が最も小さい下水道処理区に統合することとした。さらに y 年の下水道処理区に対して4.3の(1)の処理を行い、全ての隣接するメッシュを統合したとしても2010年の下水道処理区内人口に達しない場合、隣接するメッシュを全て統合した後の下水道処理区に隣接するメッシュを更に統合する処理を行うものとする。

5. 結果

図5に $cr=1$ 、図6に $cr=0.5$ 、図7に $cr=0$ の2020年から2050年の2010年の人口水準を満たす下水道処理区を推定した結果を示す。本研究で提案した広域化処理の方法を採用することにより、 $cr=1$ 、 $cr=0.5$ 、 $cr=0$ 何れの場合も、将来に亘って下水道処理区の大規模な広域化を行うことなく、2010年の人口水準を満たすことが出来ることが明らかとなった。また、図

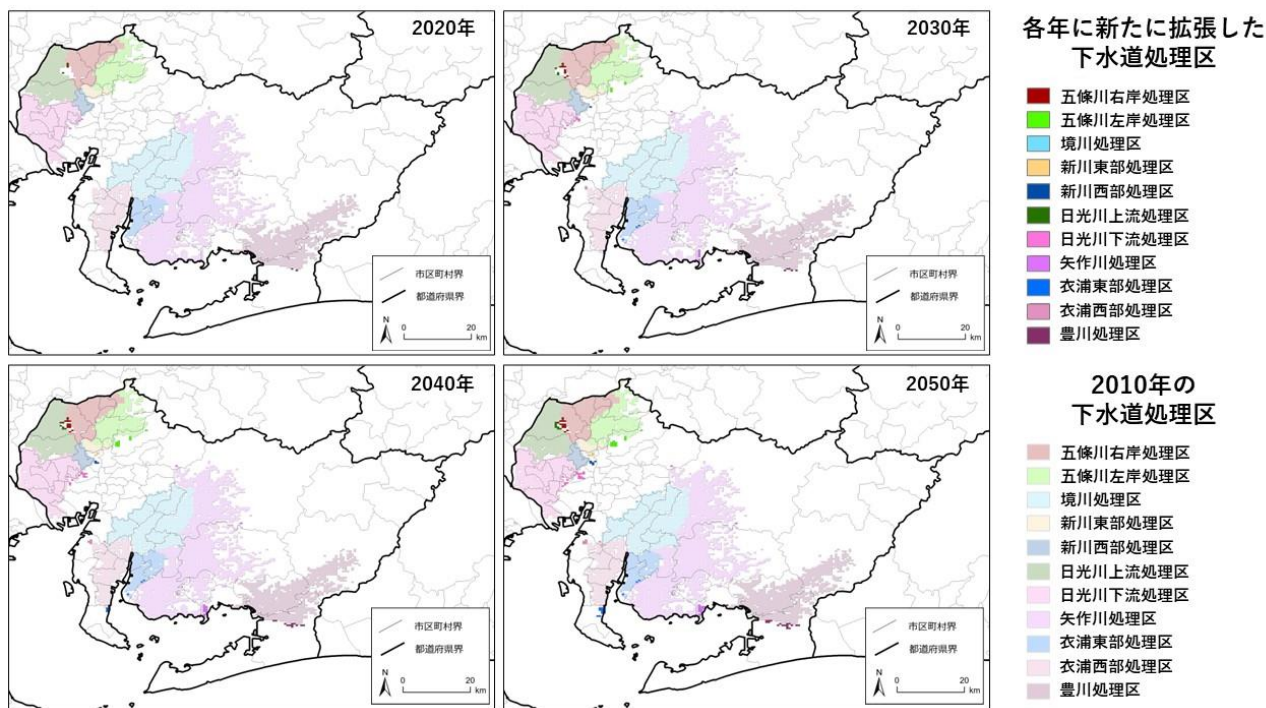


図5 2020年から2050年の2010年の人口水準を満たす下水道処理区を推定した結果（ $cr=1$ の場合）

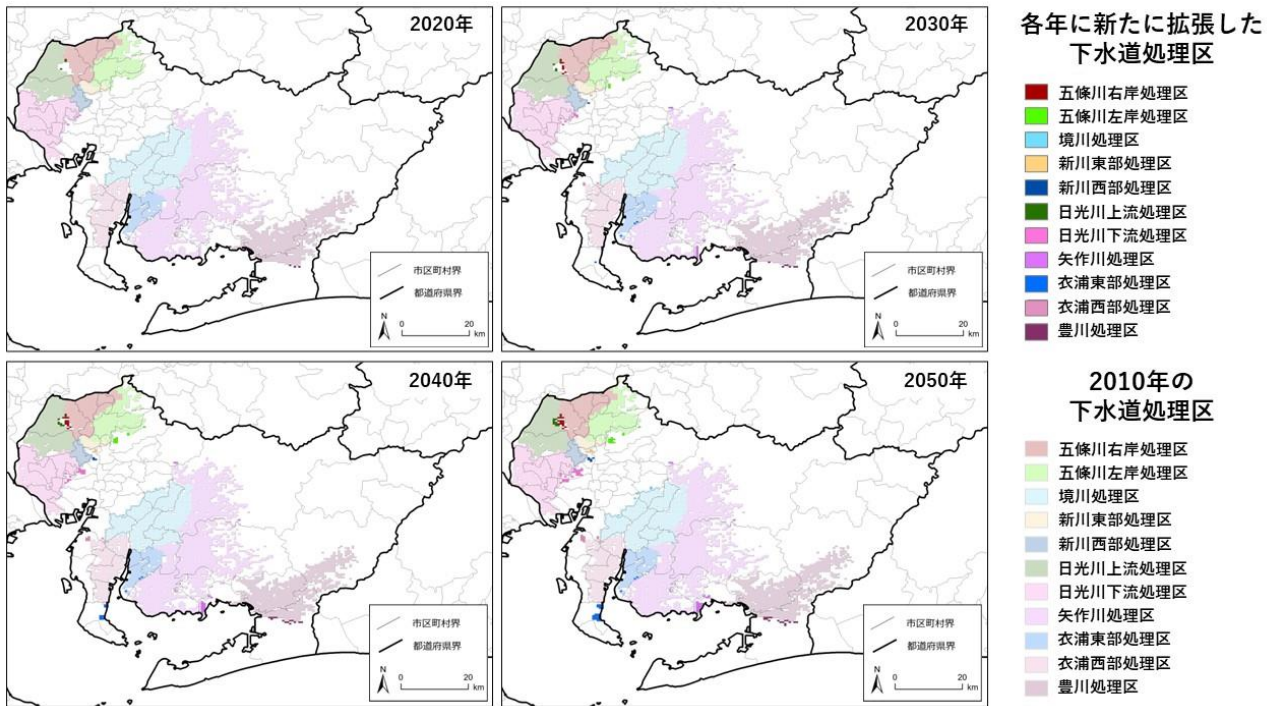


図6 2020年から2050年の2010年の人口水準を満たす下水道処理区を推定した結果 ($cr=0.5$ の場合)

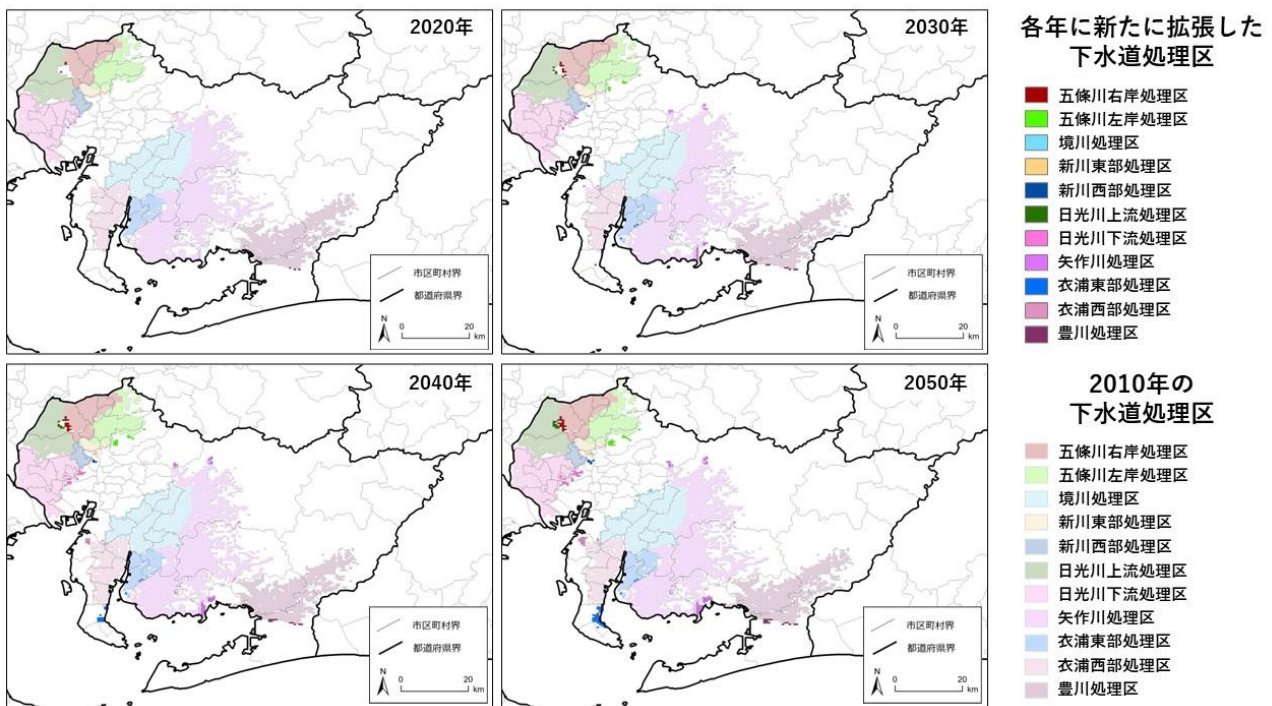


図7 2020年から2050年の2010年の人口水準を満たす下水道処理区を推定した結果 ($cr=0$ の場合)

8は最も悲観的なシナリオである $cr=0$ の各下水道処理区のメッシュ数の推移を、2010年を1として表した結果であり。図9は同じく $cr=0$ の各下水道処理区における流域下水道に接続する将来推計人口の推移

を、2010年を1として表した結果である。図8の結果から、衣浦東部処理区以外はメッシュ数の増加は緩やかであり、2050年においても衣浦東部処理区を除けば、五條川右岸処理区の1.16(2010年比で16%

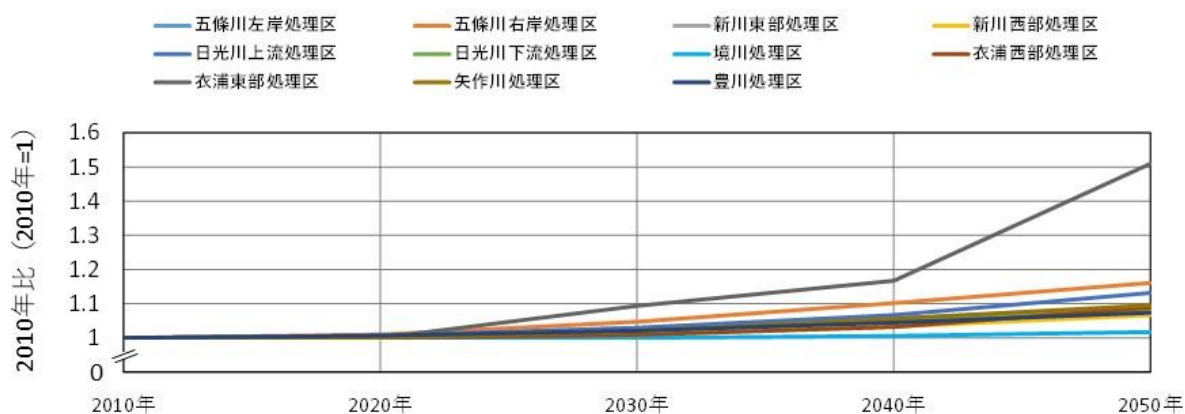


図8 各下水道処理区のメッシュ数の推移 (2010年比: $cr=0$ の場合)

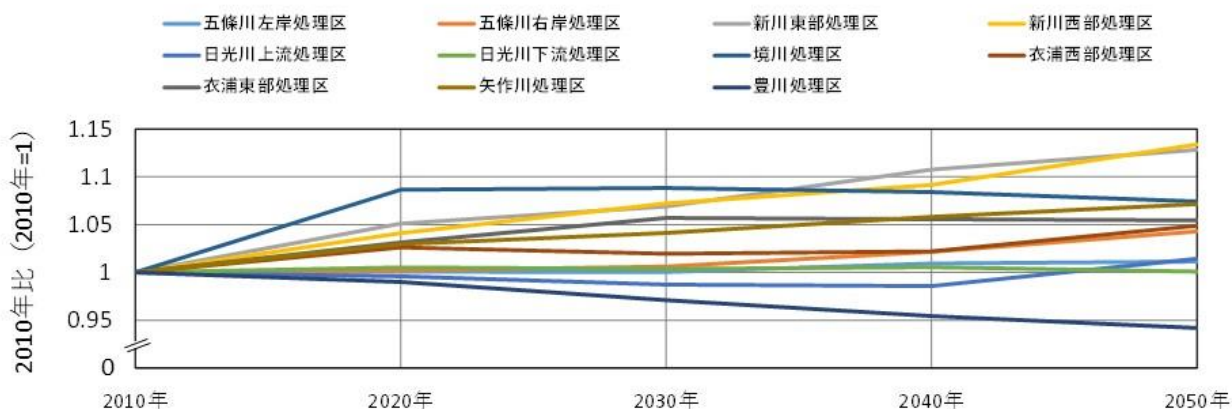


図9 各下水道処理区の流域下水道に接続する将来推計人口の推移 (2010年比: $cr=0$ の場合)

増加)が最大であった。なお、図7が示す通り、衣浦東部処理区は周辺を他の下水道処理区に囲まれており、陸続きで統合可能なメッシュがほとんど存在しない状況であった。そのため、本研究で提案した広域化プログラムの処理に従って、衣浦港対岸の知多半島のメッシュを統合することで広域化を図っていることが分かる。しかし、このような海を越えた下水道処理区の広域化は、事業費が大きくなり現実的であるとはいえない。そのため、今後はこのような地理的な障壁も考慮に入れた手法を検討する必要がある。また、図9によると、本研究の手法で下水道処理区の範囲を拡張することで、豊川処理区以外は2050年になっても流域下水道に接続する将来推計人口が2010年の人口水準を維持できることが分かった。豊川処理区は表1も示すように2010年の

時点でも人口密度が低く人口が希薄な地域を数多く含むことが分かる。そのため、下水道処理区を順次拡張していったとしても、将来的には2010年の人口水準を維持することが難しいものと考えられる。しかし、本研究の手法は2010年の人口水準を満たせるようになるまで下水道処理区を拡張する手法を採用しているため、この結果が真に将来の人口減少によるものなのか、あるいは本研究で提案している手法に何か不完全な点があるのかについては、今後さらなる検証が必要である。

7. おわりに

本研究は下水道の処理区域が複数の自治体に跨る流域下水道を対象に、将来推計人口を考慮することで、将来における適切な流域下水道の処理区域を検

討する簡易的な手法を提案した。愛知県全域を対象に2010年時点の流域下水道の処理区域と500mメッシュ集計の将来推計人口を組み合わせて、処理区域ごとに2010年の人口水準を満足する将来の処理区域の範囲を明らかにした。その結果、愛知県の場合、本研究で提案する手法で将来の処理区を設定することで、多くの処理区で2010年の人口水準を満足できることが明らかとなった。

なお、本研究で提案した手法は、下水道処理区の範囲を表現するポリゴンデータと、オープンデータである将来推計人口のメッシュデータがあれば、比較的簡便なデータ処理を行うだけで、日本全国に適用可能である。また、本研究で対象とした愛知県の場合、下水道処理区の範囲が県境を跨いでいないため、愛知県内のみで計算が完結したが、例えば関東地方の場合、複数の都県に跨って分布する下水道処理区も数多く存在する。しかし、本研究で提案した手法は複数の都道府県をまとめて処理することも可能であるため、計算のリソースが許せば日本全国をまとめて処理することも可能である。このように本研究の手法により得られる成果は、日本全国の任意の範囲に柔軟に適用可能であることから、我が国の下水道事業の今後の広域化・共同化を検討する上で有益な情報を提供するものと期待される。

7.1. 今後の課題

本研究を通して明らかになった課題は以下の通りである。まず、本研究で提案した手法は簡便な手法であるが故に、メッシュ内の人口の空間的な偏りは考慮していない。メッシュ内の人口の偏りを考慮するためには、秋山ほか(2021)などで使用されている建物単位のマクロな人口データを活用する手法に拡張することができる。ただし、同手法を適用するためには、住宅地図などの詳細な建物データが必要になるため、データの準備に一定の負担が発生する点が課題である。

また、本稿時点の手法では下水道処理区を拡張する際の事業費は考慮されていない。本稿で前述したように、既存の下水道処理区から距離が近いメッシュを統合するほど、その事業費は小さくなるものと

期待される。しかし、現実には統合したいメッシュ間や、統合先となるメッシュ内に事業費を高騰させる様々な物理的制約(例えば山地や河川などの地形的制約や既存の各種インフラとのコンフリクトなど)が存在することがあるため、これらの影響をどのように盛り込んでいくかは今後の課題である。

さらに、5章の衣浦東部処理区の例に見られた、不自然な下水道処理区の拡張を抑制する方法も検討する必要がある。例えば海、湖沼、幅員の広い河川を横断するような下水道処理区の拡張は行わないようにするといったコントロールが必要である。

最後に4.3(3)の「流域下水道に接続可能な人口のうち流域下水道に実際に接続し直す人口の割合を考慮」で採用したシナリオは、65歳未満の人口は全員流域下水道に接続するという相当楽観的なシナリオとなっている。年代別の接続率は、既存の関連する事業に関する資料等から、より実態に即したシナリオを検討していきたい。

謝辞

本研究は科研費・若手研究JSPS(19K20503)・基盤研究(C)JSPS(21K12362)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.1114の一環として提供を受けた。以上、ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 秋山千亜紀・秋山祐樹・佐藤大誓(2021)建物の利用実態を考慮した下水道処理区の広域化・共同化に関する可能性の検討、「第30回地理情報システム学会講演論文集」,D31-1-5.
- 秋山千亜紀(2019)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、「環境科学会誌」,32(2),46-52.
- 井出多加子(2017)人口減少時代におけるコンパクト・シティと生活の質下水道事業にみるインフラの効率化と民間活力の導入方法、「季刊住宅土地経済」,2017年夏季号,2-7.

- 細井由彦・灘 英樹・増田貴則（2007）人口減少高齢化地域における下水道整備後の家計の接続行動に関する研究,「環境システム研究論文集」,35,29-35.
- 深谷 歩・小川文章・榊原 隆（2015）汚水処理施設の概成を実現するためのコストキャップ型下水道計画,「国総研レポート 2015」,140.
- 宮原 慎・中村憲明・加知範康・塚原健一（2020）包絡分析法を用いた市町村合併による下水道の効率化の検証と広域化で目指す規模の目安に関する研究,「下水道協会誌」,57(690),94-102.
- 村岡治城・尾崎 平・中久保豊彦（2020）人口減少下の下水道処理施設更新に係る集約型・分散型更新施策のライフサイクル評価—小規模施設が点在する地域を対象として—,「環境システム研究論文集」,76(6),II_305-II_317.
- 国土交通省水管理・国土保全局下水道部（2020）人口減少下における維持管理時代の下水道経営のあり方検討会報告書—持続可能な下水道事業経営の実現に向けて—<<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001371608.pdf>>（最終閲覧日 2022年8月30日）
- 広島市下水道局管理部管理課（2019）排水設備の手引き平成30年版.<<https://www.city.hiroshima.lg.jp/site/gesuido/2713.html>>（最終閲覧日 2022年8月30日）