

# 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

秋山千亜紀\*・秋山祐樹\*\*・佐藤大誓\*\*\*

## Study on the Possibility of Expanding and Sharing Sewerage Treatment Areas in Consideration of the Actual Use of Buildings

Chiaki M AKIYAMA\*, Yuki AKIYAMA\*\*, Taisei SATO\*\*\*

As we enter a society with a declining population, local governments, and related ministries, such as the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, have been studying the "broadening and joint use" of sewerage projects in order to realize sustainable sewerage projects in the future. In this study, we will examine the distribution of sewerage treatment areas considering the actual use of buildings. In other words, by adding the daytime population to the consideration, it is expected that the study will be more in line with the actual usage of the treatment facilities.

**Keywords:** 建物用途 (building use), 下水道処理区 (sewerage treatment area), 流域下水道 (regional sewerage system), 持続可能性 (sustainability)

### 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・経済成長という社会トレンドを受けた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。

#### 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、人口構造の変化を踏まえた将来的な汚水処理事業の経営評価(細井ほか, 2009)や処理方法による経済性の比較(木戸浦・高橋, 2011), さらに立地適正化に伴う居住地移動による汚水処理の持続可能性に関する検討(宮原ほか, 2019)など事例地域における研究が蓄積されている。しかしながら、既往研究の多くは行政区域で集計された定住人口を対象としており、利用実態に迫った建物単位

での定住人口を考慮した分析は限られている(秋山・秋山, 2018)。

他方、流域下水道の事業計画策定の指針の中でも『昼間人口が夜間人口を大きく上回る地域では、別途昼間人口を推定することが望ましい (p.28)』(国土交通省, 2015)と、地域によっては昼間人口を考慮に入れる必要性について言及している。また、霞ヶ浦流域を対象とした事例研究でも昼間人口を考慮する重要性が指摘されている(安陪ほか, 2001)。

この乖離を引き起こす要因として、1) 汚水処理に限らず環境負荷を排出する場合には「受益者負担」という基本的な考え方があったため、2) 昼間人口の把握の困難さがあったため、という2点が推察される。1) については、公益事業という側面を有する汚水処理事業に関して、自然な論理であるものの、先述した人口減少など従来の枠組みが当てはまらない状況においては、受益者の再定義も検討の余地が出てくるかもしれない。ただ、現状でも、季節的・通年的に多くの来訪者が見込まれる、いわゆる観光地においては、個別に観光人口を計画時点で考慮して

---

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

〒305-8572 茨城県つくば市天王台1丁目1-1 Tel: 029-853-4213 E-mail: akiyama.chiaki@geoenv.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)

\*\*\* 非会員 LocationMind 株式会社 (LocationMind Inc.)

いる処理区もあり、受益者の再定義については慎重な議論が求められる。2) については、従来は昼間人口を把握するためには、大型の予算と大量の人員を投入して「交通量調査」を実施していたが、高頻度に広域の昼間人口を抑えることは困難であった。この状況に対して、昨今登場した携帯電話の移動履歴から得られた人口の分布や移動に関するビッグデータ（以下「モバイルビッグデータ」とする）が注目されている。悉皆調査ではないものの、人口の多い都市部において人流を理解する新たな手段となるものとして期待されている。

## 1.2. 本研究の目的

そこで本研究では、将来的な下水処理施設の広域化・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、夜間人口及び昼間人口の比率を推定することで実質的な利用者の数を推定することを目的とする。下水道事業の進捗を示す代表的な指標として、行政人口に対する処理区域内人口の比で示される「下水道普及率」が用いられる。これに対して、本研究では、下水道事業ごとに設定されている「計画人口」を分母とし、分子に「夜間人口」及び「(推定) 昼間人口」（本研究では「非在宅人口」と呼ぶ）を用いることによって、事業ごとの利用率の実態に迫ることとする。人口減少や節水技術の向上に伴う利用率の低下が、下水道事業の存続を危機に晒されている中、事業ごとに利用実態を把握しようと試みるものである。その際、昨今着目されている人流データと建物1棟1棟の建物属性、いわば利用実態を考慮することで、夜間人口と非在宅人口を推計する。非在宅人口の把握にはモバイルビッグデータを用いる。なお本稿では本研究で提案する手法の有用性と課題を明らかにするために、まず関東地方全域（茨城県・栃木県・群馬県・埼玉県・千葉県・東京都・神奈川県）を対象に実施するものとする。

## 2. 本研究の流れ

図1に本研究全体の流れを示す。本研究ではまず建物ごとの夜間人口と非在宅人口を推定するために、

住宅地図を用いて、関東地方全域の建物の空間分布を把握するデータである建物ポイントデータを整備した。続いて国勢調査から得られる夜間人口と、モバイルビッグデータから得られる非在宅人口を建物ポイントデータに按分し、建物ごとの夜間人口と非在宅人口を推定した。その後下水道処理区の領域を示すポリゴンデータと建物ポイントデータを空間結合し、下水道処理区ごとの夜間人口と非在宅人口を推定した。最後に下水道処理区ごとに設定された処理区人口と、夜間人口・非在宅人口を比較し、処理区ごとの処理区人口の適正度の評価を行った。

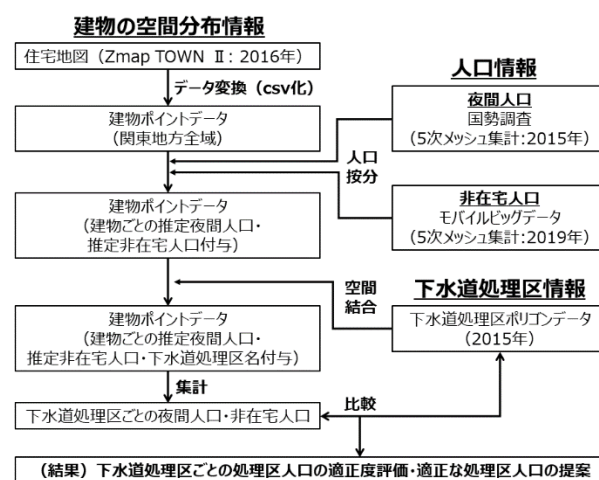


図1 本研究の流れ

## 3. 本研究で用いるデータ

### 3.1. 建物ポイントデータ

2016年の住宅地図（Zmap TOWN II：株式会社ゼンリン）を Akiyama et al. (2019)の手法でポイントデータ化したデータである。建物ごとの重心座標（経度緯度）、建物用途（戸建て住宅・戸建て事業所・目標物（各種公共施設）・共同ビル）、面積、階数等の属性を含む。また共同ビルとは複数の入居者が存在する建物であり、雑居ビルや共同住宅、オフィスビルなどを含む。さらに共同ビルの場合、別記情報と呼ばれる建物ごとの入居者の情報を用いることで、共同ビルに入居する住宅・事業所・目標物用途の部屋数も把握できる。

### 3.2. 国勢調査（夜間人口）

2015年の国勢調査の5次メッシュ集計データを用いた。同データを用いることで、5次メッシュごと

の総人口（夜間人口）を把握できる。なお、各メッシュの年齢性別人口は各年齢性別区分の人口が非常に少ない場合に秘匿される場合があるが、本研究で用いるメッシュの総人口は秘匿対象ではないため、全てのメッシュの人口を把握することができる。

### 3.3. モバイルビッグデータ（非在宅人口）

非在宅人口を把握するために、2019年のモバイルビッグデータを用いた。本研究で使用したモバイルビッグデータはLocationMind株式会社から提供を受けた「LocationMind xPop」データを使用した。このデータはNTTドコモが提供するアプリケーション（ドコモ地図ナビサービス（地図アプリ・ご当地ガイド）等の一部のアプリ）の利用者より、許諾を得た上で送信される携帯電話の位置情報を、NTTドコモが総体的かつ統計的に加工を行ったデータである。位置情報は最短5分毎に測位されるGPSデータ（緯度経度情報）であり、個人を特定する情報は含まれない。また、ここで取得できる情報は全ての携帯電話端末の情報ではないため、アプリユーザ数を日本の総人口規模になるように、アプリユーザに地域偏差を考慮した重みを与えることで（拡大推計）実際の人口を算出している。

本研究では2019年1年365日分のデータを5次メッシュ（約250mメッシュ）で集計した結果を用いた。同データからは2019年の日平均の居住地、勤務地、その他の目的で滞留している人口を5次メッシュごとに把握することができる。本研究ではこのうち勤務地とその他に滞留している人口を非在宅人口と定義した。

なお、同データの5次メッシュ集計された自宅滞留人口と、5次メッシュ集計の国勢調査人口を比較したところ、相関係数は0.8445、決定係数は0.7132、国勢調査のメッシュ人口平均値82.32に対し、平均絶対誤差は10.74となり、同データから得られる値の信頼性の高さと拡大推計の手法が妥当であることも明らかになった。

### 3.4. 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）。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処理区ポリゴンを作成した。

## 4. データ処理

### 4.1. 建物ごとの住宅用途・業務用途の床面積の算出

まず、夜間人口と非在宅人口を建物ごとに按分するために、建物ごとの住宅用途と業務用途の床面積を算出する。住宅用途の床面積には夜間人口を按分し、業務用途の床面積には非在宅人口を按分する。戸建て住宅の住宅用途面積は式1で、戸建て事業所及び目標物の業務用途面積は式2で算出する。

$$Sh_i = S_i F_i \quad (1)$$

$$Sw_i = S_i F_i \quad (2)$$

$S_i$ ,  $F_i$ ,  $Sh_i$ ,  $Sw_i$ はそれぞれ建物*i*の面積、階数、住宅用途面積、業務用途面積である。

一方、共同ビルの場合、入居者の情報を用いて共同ビルごとの住宅用途面積及び、業務用途面積は式3及び式4で算出する。

$$Sh_i = 0.8 S_i F_i \frac{h_i}{r_i} \quad (3)$$

$$Sw_i = 0.8 S_i F_i \frac{w_i + l_i}{r_i} \quad (4)$$

$r_i$ ,  $h_i$ ,  $w_i$ ,  $l_i$ はそれぞれ建物*i*の総部屋数、住宅用途の部屋数、事業用途の部屋数、目標物用途の部屋数である。すなわち、1つの共同ビルに住宅用途面積と業務用途面積の両方が格納される場合もある。なお式3及び式4それぞれの右辺の0.8はレンドブル比を示しており、石河ほか（2016）によると、日本の一般的な共同住宅のレンドブル比は0.9程度とされている。また、黄ほか（2016）によると、業務系ビルのレンドブル比は0.7程度とされて

いる。そこで本研究では、共同ビルのレンドブル比としてこれら値の平均値である 0.8 を採用した。

#### 4.2. 建物単位の夜間人口及び非在宅人口の推定

続いて、国勢調査から得られる夜間人口と、モバイルビッグデータから得られる非在宅人口を建物ポイントデータに按分することで、建物ごとの夜間人口及び非在宅人口を推定する。あるメッシュ内に分布する建物  $i$  の夜間人口及び非在宅人口は式 5 及び式 6 で算出する。

$$Ph_i = Ph \frac{Sh_i}{\sum Sh} \quad (5)$$

$$Pw_i = Pw \frac{Sw_i}{\sum Sw} \quad (6)$$

$Ph$ ,  $Pw$ ,  $\sum Sw$ ,  $\sum Sh$ , はそれぞれあるメッシュの総夜間人口, 総非在宅人口, 総住宅用途面積, 総業務用途面積であり,  $Ph_i$ ,  $pw_i$  はそれぞれ建物  $i$  の推定夜間人口, 推定非在宅人口である。

以上の手法により建物ごとに夜間人口と非在宅人口を配分することができた。図 2 に夜間人口の按分結果を、図 3 に非在宅人口の按分結果の例を示す。

図 2 と図 3 を比較すると、夜間人口は業務地区や商業地域が分布する JR 柏駅周辺を除いて広く一様に分布している一方、非在宅人口は柏駅周辺に近い地域に集積して分布していることが分かる。同様の手法を関東地方全域の建物ポイントデータに適用することで、関東地方全域の建物単位の夜間人口および非在宅人口のデータを整備した。

#### 4.3. 下水道処理区ごとの夜間人口及び非在宅人口の推定

最後に 4.2 で作成した建物単位の夜間人口と非在宅人口のポイントデータと、下水道処理区のポリゴンを空間結合して集計することで、下水道処理区ごとの夜間人口と非在宅人口を算出した。その結果、処理区毎に設定された処理区人口と夜間人口及び非在宅人口を比較することが可能になった。

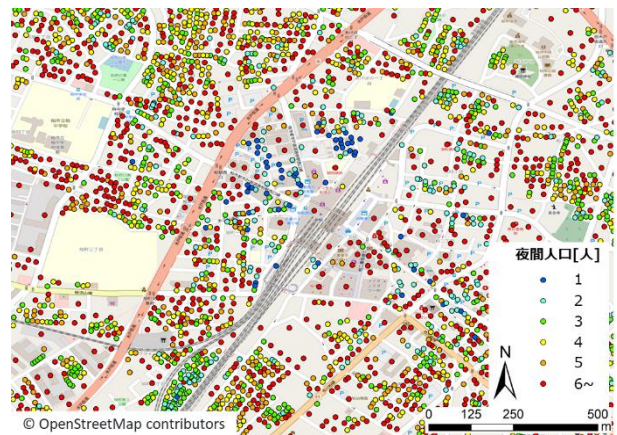


図 2 夜間人口の按分結果 (JR 柏駅周辺の例)

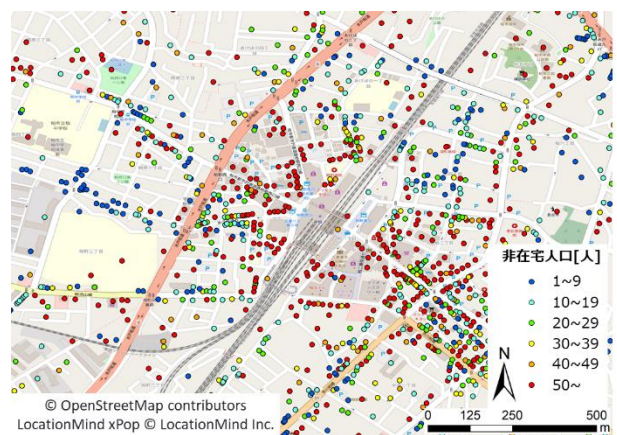


図 3 非在宅人口の按分結果 (JR 柏駅周辺の例)

## 5. 結果と考察

表 1 に関東地方の流域下水道処理区の処理区人口, 夜間人口, 非在宅人口を比較した結果を示す。なお, 表 1 の値は処理区単位の集計値であり, 個人情報には該当しない。

処理人口 (a) に対する推定夜間人口 (b) の比 (b/a) 及び, (a) に対する推定非在宅人口 (c) の比 (c/a) を算出し, それぞれ図 4, 5 に示した。表 1 では, 処理人口に対する比が 1 以上の値となった箇所を着色しており, (b/a), (c/a) の最大値はそれぞれの 33.6, 77.2 といずれも埼玉県利根川右岸処理区であった。利根川右岸処理区は, 下水道統計によると事業認可が 2004 (平成 16) 年, 供用開始が 2009 (平成 21) 年と流域下水道事業としては比較的新しい処理区である。元々, 本庄市の下水処理を担っていた本庄浄化センターを流域化することによって, 現在, 本庄市と近隣 3 町 (美里町, 神川町, 上里町) の下水処

表 1 関東地方の下水道処理区の処理区人口、  
夜間人口、非在宅人口の比較

流域名	処理区人口(a)	推定夜間人口(b)	推定非在宅人口(c)	b/a	c/a
08_霞ヶ浦湖北湖北	237,500	59,768	117,738	0.2517	0.4957
08_霞ヶ浦常南	373,874	134,707	320,564	0.3603	0.8574
08_霞ヶ浦水郷	24,586	18,346	37,799	0.7462	1.5374
08_鬼怒小貝	32,070	50,995	93,220	1.5901	2.9068
08_小貝川東部	22,937	67,377	139,021	2.9375	6.0610
08_那珂久慈	313,868	840,291	1,954,118	2.6772	6.2259
08_利根左岸さしま	30,974	248,307	554,312	8.0166	17.8960
09_鬼怒川上流	236,700	140,057	329,630	0.5917	1.3926
09_渡良瀬川下流	77,540	199,767	419,352	2.5763	5.4082
09_巴波川	75,690	147,778	313,273	1.9524	4.1389
09_北那須	77,450	168,755	357,951	2.1789	4.6217
10_東毛桐生	60,000	13,996	32,226	0.2333	0.5371
10_東毛佐波	17,000	24,725	57,941	1.4544	3.4083
10_東毛新田	25,000	84,186	228,750	3.3674	9.1500
10_東毛西邑楽	34,000	194,211	543,263	5.7121	15.9783
10_利根川上流	541,580	1,488,881	3,610,259	2.7491	6.6662
11_元荒川処理区	2,085,360	558,477	1,347,616	0.2678	0.6462
11_古利根川処理区	116,370	114,576	230,649	0.9846	1.9820
11_荒川右岸処理区	1,448,450	1,981,084	4,541,553	1.3677	3.1355
11_荒川上流処理区	18,990	41,464	88,115	2.1835	4.6401
11_市野川上流処理区	34,990	272,738	664,057	7.7947	18.9785
11_中川処理区	1,307,420	2,384,511	5,413,124	1.8238	4.1403
11_利根川右岸処理区	58,753	1,976,184	4,537,467	33.6355	77.2295
12_印旛処理区	1,361,125	1,204,223	2,602,537	0.8847	1.9120
12_江戸川左岸処理区	1,205,500	1,177,198	2,603,106	0.9765	2.1594
12_手賀沼処理区	637,980	1,635,001	3,614,976	2.5628	5.6663
13_荒川右岸処理区	696,140	255,206	584,016	0.3666	0.8389
13_多摩川	2,570,000	3,082,688	7,269,039	1.1995	2.8284
14_酒匂川(左岸・右岸)	282,350	236,797	546,543	0.8387	1.9357
14_相模川下流	1,797,824	2,509,259	6,387,054	1.3957	3.5527

推定非在宅人口(c)・c/a : LocationMind xPop © LocationMind Inc.

注) b/a 及び c/a において、値が 2 以上を背景オレンジに、1 以上 2 未満を背景黄色に着色した。

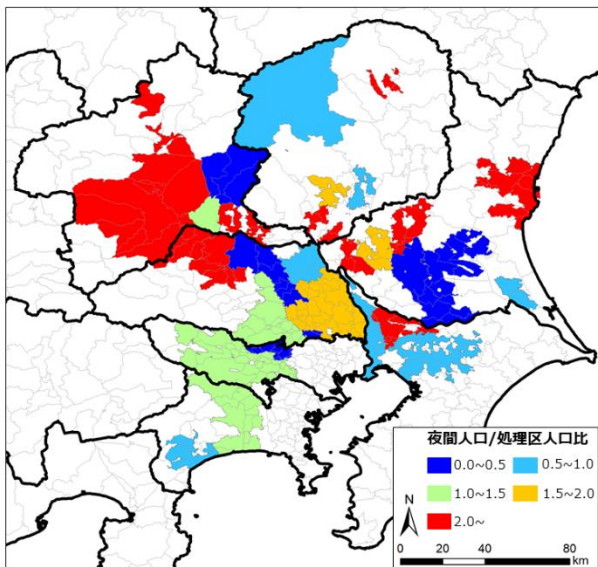


図 4 関東地方における流域下水道処理区ごとの処理区人口に占める夜間人口の割合

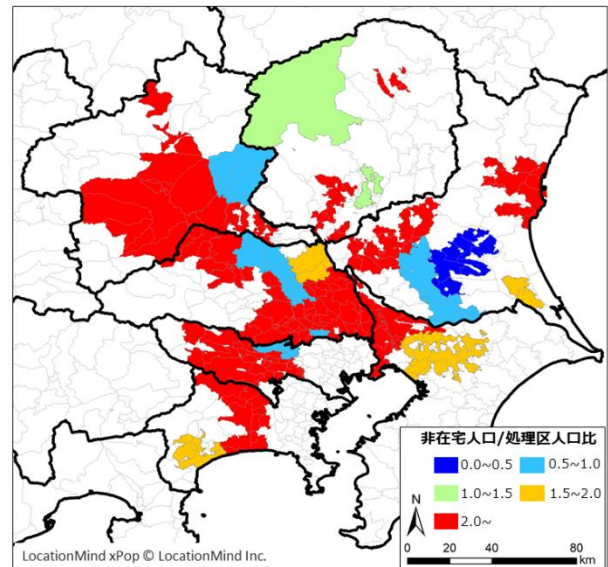


図 5 関東地方における流域下水道処理区ごとの処理区人口に占める非在宅人口の割合

理を担っている。この処理区は、JR 東日本・上野新宿ライン、八高線、上越・北陸新幹線に加えて、関越自動車道・本庄児玉 IC を有するなど交通網も充実している。そのため、多くの事業所、工場、大学、専門学校が立地しており通勤・通学先となる施設を有することから、(c/a) の値が大きくなったものと考えられる。

図 4, 5 の比較より、夜間人口よりも非在宅人口の方が優勢となる地域が散見され、該当処理区については局所的な通勤・通学先ないし、首都圏における通学・通勤先となっている地域が相当する。また、表 1 により (c/a) が (b/a) の概ね 2 倍程度となっていることが分かった。夜間、定住地で過ごす際の水利用（風呂、調理、排泄等）については標準的な排水量が原単位として整備されていることが多い。そのため、次の段階としては、昼間、つまり非在宅人口が滞留期間中に下水道をどの程度利用しているか、利用実態の把握であると考えられる。

## 6. おわりに

これまで、汚水処理施設の中でも複数世帯が利用する集合処理については、施設使用料を支払う利用者、つまり定住者を基準として分析されることがほとんどであった。それに対して本論文では、流域下

水道事業を対象に、建物ポイントデータと人流データを援用することで昼間・夜間の人口をそれぞれ推計し、計画人口に対する比を算出し、処理区毎の利用実態を把握しようと試みた。

その結果、今回対象とした関東地方における流域下水道に関しては、昼間人口に相当する非定住人口は推定夜間人口の2倍程度の人口がみられ、計画人口を大幅に上回ることが分かった。昼間人口に関しては、その数値の把握の重視性については着目されてはいたものの、従来は広域かつ時系列的に取得することが困難であった。これに対して本研究では、建物ポイントデータの建物属性と人流データを組み合わせることによって、夜間人口と非定住人口に区分することが可能になった。今回は人口規模を確保するため関東地方を対象としたが、今後は対象を広げるなど他の地域での汎用性を検証したい。

課題としては、今回は非定住人口の推計にとどまったものの、下水道の利用実態に迫るには排水量、ひいては滞留中の水利用の把握が必要となる。具体的には、非在宅人口については、夜間人口と異なり、特定の場所に長時間滞在するわけではない。滞在時間が長いほど水利用の機会は増え、一人当たりの排水量も多くなることが予想される。そのため、単位時間あたりの排水量、事業所や大型商業施設などの建物属性など場所による単位排水量が必要となる。さらに、在宅勤務者や夜勤など交代勤務制等で昼間に在宅している人口に関する処理も必要となる。これらの課題は今後検討を進めていく予定である。

## 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。また本研究を遂行する上で、不可欠な使用したモバイルビッグデータ「LocationMind xPop」データを LocationMind 株式会社から提供を受けた。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 (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.
- 安陪和雄・大八木豊・安田佳哉 (2001) 基準地域メッシュ単位における人工系水循環の推定,「環境システム研究論文集」, **29**, 321-330.
- 石河正寛・松橋啓介・有賀敏典 (2016) 建物ポイントデータの床面積補正を通じた民生部門エネルギー消費量の推計,「土木学会論文集 G (環境)」, **72**(6),II\_87-II\_94.
- 黄雄明・山口容平・宮地優介・金範峻・木村舜・下田吉之 (2016) 事務所ビルを対象とするフロア稼働状況変動とエネルギー消費への影響,「空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (鹿児島) 第5巻 熱負荷・外皮性能・シミュレーション 編」**E-33**,209-212
- 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・改築更新費用とシナリオ別推計,「土木学会論文集 G (環境)」, **67**(6),II\_93-II\_103.
- 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」  
<https://www.mlit.go.jp/common/001065300.pdf>
- 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汚水処理事業経営,「環境システム研究論文集」, **37**, 145-152.
- 宮原慎・中村憲明・塚原健一・秋山祐樹 (2019) 居住誘導施策による下水道既存インフラ資産の改築更新に与える影響の把握と汚水処理の持続可能性確保に向けたマネジメントに関する研究,「土木学会論文集 F4 (建設マネジメント)」, **75** (2), I\_120-I\_131.
- Akiyama, Y. and Ogawa, Y., Development of Building Micro Geodata for Earthquake Damage Estimation, *IGARSS 2019 Proceedings* (ISBN 978-1-5386-9154-0),5528-5531, 2019.