

都市の水道事業における CO₂排出の空間分布の推計 -東京都と神奈川県を対象に-

藤田周*・中山俊**・巖網林***

Estimation of the spatial distribution of CO₂ emissions in urban water utilities -In case of Tokyo and Kanagawa prefecture

Amane Fujita*, Shun Nakayama**, Wanglin Yan***

Recently, it is necessary to reduce CO₂ emissions from infrastructure in order to achieve carbon-neutral. Water utilities are one such example. Because energy consumption in water supply depends on the water distribution system by topography, waterworks bureaus review them. However, water supply system is also factor of energy consumption in water supply, it has not been discussed because it depends on building structure. Therefore, this study estimates the spatial distribution of CO₂ emitted from intake to tap, considering the topography and building structure. As a result, the water supply CO₂ emission intensity of buildings with direct water service system is approximately twice as large as without. In addition, buildings in areas with natural flow systems had lower CO₂ emissions even if direct water service system could not be introduced. This study clarified how to reconstruct water infrastructure to reduce environmental impact and contribute to the reduction of CO₂ emissions in water supply.

Keywords: 地形 (topography), 建物構造 (building structure), 地理情報システム (Geographic Information System)

1. はじめに

我が国はインフラの老朽化や人口減少による維持管理の採算悪化から、大規模な再構築のタイミングに差し掛かっている (宇都, 2014)。インフラ事業は、一度システムを構築してしまうと、大規模に再び開発することはコスト面などから困難であり、温室効果ガスの排出がある程度固定化されやすい (Seto, K.C., et al.)。そのため、経済的・社会的コストだけでなく、環境コストを包括的に考慮して、インフラ事業の再構築を計画する必要性が指摘されている。

水道事業もインフラの再構築が進められており、併せて環境負荷削減に向けた取り組みが行われている (厚生労働省, 2005)。しかし、これまで水道事業全体の環境負荷を包括的に捉えたインフラ再構築のためのロードマップは描かれていない。これまで、水道局が維持・運営する取水・導水・浄水・送水・配水・給水の 6 つの工程はしばしば考慮されてきた。例えば、取水から配水までの CO₂排出量の 9 割は、

浄水処理の過程や配水プロセスにおいて使用するポンプの電力によるものであることが知られている (日本水道協会, 2020)。そのため、一般的に普及しているポンプ配水方式から、地形の高低差から生じる自然な水の流れによるエネルギーを利用した自然流下方式への転換が進められている。川崎市は自然流下方式を用いて配水したことで、配水量 1m³あたりの CO₂排出量が大都市水道事業体平均と比較して約 1/5 であることを報告している (川崎市水道局, 2020)。また、秋葉(2005)は、地形特性を利用した水道システムのエネルギー消費量を算出し、電力原単価が 1/3 以下になることを明らかにしている。

しかし、水道局が維持・運営しない給水過程も重要な水道もエネルギー消費の要因であり、環境負荷削減への対策が欠かせない。給水は、配水の水圧を利用して配水管から直接、需要家の蛇口に水を供給する直結給水方式と、配水管からの水を受水槽に貯めてからポンプで加圧して給水する貯水槽水道給水

* 学生会員 慶應義塾大学政策・メディア研究科 (Keio University Media and Governance)

〒252-0882 神奈川県藤沢市遠藤 5322 Tel : 0466-49-3404 または E-mail : famane19@sfc.keio.ac.jp

** 学生会員 慶應義塾大学政策・メディア研究科 (Keio University Media and Governance)

*** 正会員 慶應義塾大学環境情報学 (Keio University Environment and Information Studies)

方式の二つに大きく分けることができ、方式によりエネルギー消費量が異なる。直結給水方式は、ポンプを極力使わないため省エネルギー効果があり、新鮮な水を供給できる。そのため近年、環境面・衛生面の観点から導入が進められている。その一方で、貯水機能がないため、断水等のときは水の使用ができないことや、配水管の水圧を用いるため建物規模に一定の制限があるなどのデメリットもある。特に水圧が低くなりやすい自然流下による配水方式を採用しているエリアでは、建物規模がより制限される。一方、貯水槽水道給水方式は、ポンプを使うため消費者側に電力がかかり、直結給水方式よりもCO₂を多く排出すると考えられる。しかし、ポンプを使用することから階数の高い高層マンション等にも給水できるというメリットがある。どちらの給水方式を導入するかは、建物の高さや給水量に依存する（東京都水道局, 2012）。しかし、給水方式のCO₂排出量は調査データに含まれる個人情報の公開が難しいという問題があり、今まで議論されてこなかった。

このように、現状、取水から配水に伴うCO₂排出量は明らかになっているが、建物構造も踏まえた水供給におけるCO₂排出量も含めた議論は行われていない。そのため、配水方式に建物の高さなどの都市計画の観点を取り入れた、その土地に最適な水道

システムを計画することができない。そこで本研究では、地形や建物構造を考慮した取水から蛇口までに伴うCO₂排出量の空間分布の推計を行い、水供給の脱炭素に向けた配水方式と建築物の関係性を明らかにする。また、給水方式の違いによるCO₂排出量から電力量及び電気代を算出し、どのような建物構造が環境負荷低減にもっとも包括的かを明らかにする。本研究によって上水供給に伴う環境負荷の全体像が明らかにすることは、配水方式と都市計画を連動させたインフラの再構築に寄与するものである。

2. 研究手法

2.1. 水供給におけるCO₂排出量の算出

取水から給水までにおける水供給に伴うCO₂排出量の算出には、4つのステップがある。①建物ごとの年間上水需要の算出、②取水から配水までのCO₂排出原単位の算出、③給水におけるCO₂排出原単位の算出、④取水から給水までにおけるCO₂排出量の推計である。

①建物ごとの年間上水需要の算出

建物ごとの水需要を算出するには、建物ごとの世帯人員別世帯数とそれに伴う水消費原単位が必要であるが、建物ごとの人口データを入手できなかった

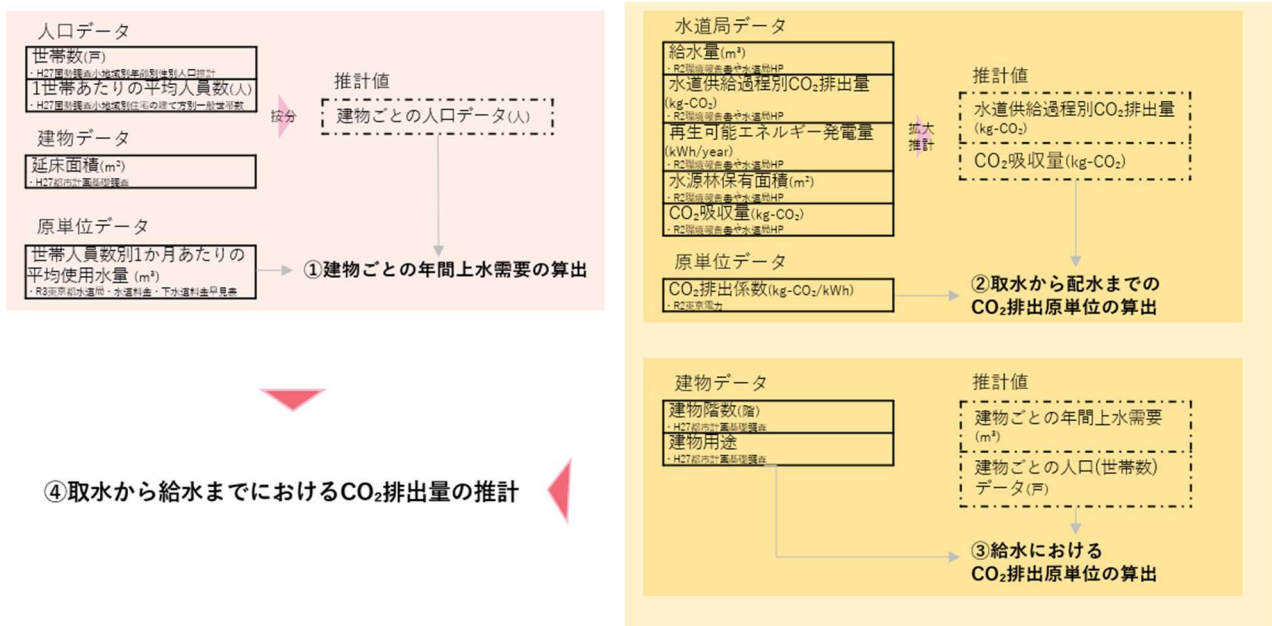


図1 研究フロー

ため、小地域別の人口データを各集合住宅の延床面積で按分した。その後、世帯人数別の1か月あたりの平均使用水量原単位を掛け合わせて年間の上水需要量(WD)[m³/year]を算出した。

②取水から配水までのCO₂排出原単位の算出

供給エリア別の取水から配水までのCO₂排出原単位の算出は以下の手順で行う。まず、①各水道局の環境報告書からデータ（給水量・水道供給過程別CO₂排出量・環境への取り組み）を収集し整理する。次に、②取水・導水・浄水・送水・配水の5つの工程から排出されるCO₂を水道局ごとに算出するために、データがない水道事業については給水量をもとに拡大推計を行う。また、③水供給におけるCO₂排出量だけでなく、環境負荷低減のために行った取り組みにおける水道局ごとのCO₂削減量や吸収量も算出する。その後、④各水道局の取水から配水までに伴う年間CO₂排出量を②と③を考慮して算出し、⑤対象地域に存在する全ての水道局ごとのCO₂排出原単位（1m³給水するのに係るCO₂排出量）の算出を行う。

①では、取水・導水、浄水、送水、配水に伴い発生するCO₂排出量(CE)[kg-CO₂]、給水量(WS)[m³]、環境への取り組みを整理した。環境への取り組みは、再生可能エネルギー（以下、再エネ）の導入による発電量、水源林の整備・保全を行っているかをデータとしてまとめる。

②の取水から配水までにかかるCO₂排出量のデータが不足している水道事業については次のように計算する。まず、対象とする都道府県ごとの1m³給水するのに伴って5つの工程から排出されるCO₂排出量の平均(ACE)をCO₂排出量(CE)と給水量(WS)から算出する。その後、データが不足している水道事業局の給水量(WS')を掛け合わせ、CO₂排出量(CE')[kg-CO₂/year]を算出する。

$$ACE = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n \left(\frac{CE}{WS} \right)_k \quad (1)$$

$$CE' = WS' * ACE \quad (2)$$

③では、水供給におけるCO₂排出量だけではなく、各事業者の環境取り組みによるCO₂削減量も考慮する。再エネのCO₂削減量では、実測値発電量(EG)[kWh]から対象地域の主要な電力会社のCO₂排出係数(CEF)[kg-CO₂/kWh]を掛け合わせ、CO₂排出削減量(CER)[kg-CO₂/year]を算出する。また、水源林の整備・保全によるCO₂吸収量[kg-CO₂/year]は、各水道局の環境報告書に記載されたCO₂吸収量(CA)データを使用した。さらに、水源林を保有しているがCO₂吸収量(CA')が記載されていないものについては、上記で使用したCO₂吸収量(CA)データと水源林面積(A)から水源林1m²あたりのCO₂吸収量の平均(ACA)を算出し、データが不足している水道局の水源林面積(A')を掛け合わせ算出した。

$$CER = EG * CEF \quad (3)$$

$$ACA = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n \left(\frac{CA}{A} \right)_k \quad (4)$$

$$CA' = A' * ACA \quad (5)$$

④水道局ごとの取水から配水までに伴う年間CO₂排出量(YCE) [kg-CO₂/year]を、②CO₂排出量CEあるいはCE'や③CO₂削減量CER、CO₂吸収量CAあるいはCA'を用いて、以下のように算出した。

$$YCE = CE(or CE') - (CER + CA(or CA')) \quad (6)$$

⑤では、各水道事業者の給水量(WS)[m³]、④年間CO₂排出量(YCE)を用いて、1m³給水するのに係る取水から配水までに伴う、CO₂排出原単位(WCEI)[kg-CO₂/m³]を算出した。

$$WCEI = YCE / WS \quad (7)$$

③給水におけるCO₂排出原単位の算出

増子・松澤(2010)の推計式を参考に直結給水方式のCO₂排出原単位(DCEI)[kg-CO₂/m³]、貯水槽水道給水方式のCO₂排出原単位(SCEI)[kg-CO₂/m³]、を算出した。直結給水方式は本来、直接給水するため貯水槽は設置されていないが、日使用水量を漲水容量と

捉えて推計する。また貯水槽水道給水方式の貯水槽容量は、貯水槽容量の設計が日使用水量の半量と定められているため、本研究では建物ごとの日使用水量[m³]の半分を貯水槽容量(SC)[m³]とした(松鶴ほか,2020)。

$$DCEI = 0.0004 * SC + 0.0866 \quad (8)$$

$$SCEI = 0.027Ln(SC) - 0.014 \quad (9)$$

④取水から給水までにおける CO₂排出量の推計

取水から配水までの CO₂排出原単位(WCEI)と給水における CO₂排出原単位(DCEI あるいは SCEI)を建物ごとに足し合わせ、その値に建物ごとの年間上水需要(WD)を掛け合わせ年間 CO₂排出量(BCEI)[kg-CO₂/year]を算出する。

$$BCEI = (WCEI + DCEI(or SCEI)) * WD \quad (10)$$

2.2. 建物構造による給水に伴う CO₂排出量の差異

どのような建物構造が環境負荷低減にもっとも包括的かを明らかにするために、階数ごとの CO₂排出量原単位と、階数別世帯別の給水年間電気料金の算出を行う。

階数ごとの CO₂排出量原単位の差異では、CO₂排出原単位にばらつきがあった神奈川県を対象に、各水道局の建物の高さ別 CO₂排出原単位を比較する。各水道事業の導入条件に基づき、直結給水方式から貯水槽水道給水方式に切り替わる階数に着目して、考察する。

さらに、階数別世帯別の給水年間電気料金(EB)[円/year]では、給水に伴う CO₂排出量をもとに電気料金を算出し、階数によってどのくらい年間電気料金が異なるのかを考察する。給水に伴う CO₂排出量は年間上水需要(WD)[m³]に依存するため、1フロアごとの需要を揃えるべく、今回はシナリオを作成した。シナリオとして、1フロアに2人世帯が8世帯おり、1フロア増えるごとにこれらの家族が増えていくと仮定した。

階数別世帯別の給水年間電気料金(EB)の算出方法については以下の通りである。まず、シナリオのフ

ロア別年間上水需要(WD')を、建物ごとの年間上水需要の算出と同様に、世帯人数別の1か月あたりの平均使用水量原単位(WCI)と世帯数(Unit)を用いて算出する。その後、給水における CO₂排出原単位の算出をもとに、貯水槽容量(SC')[m³]から給水方式別の CO₂排出原単位(DCEI'あるいは SCEI')を算出し、年間上水需要(WD')を掛け合わせ給水に伴う CO₂排出量(WSCE) [kg-CO₂]を推計する。さらに、対象地域の主要な電力会社の CO₂排出係数(CEI)[kg-CO₂/kWh]で割って電気量(AE)[kWh/year]を算出する。最後に、上記で使用した電力会社の月間電気代の算出方法を参考に、給水に伴う年間電気代(EB)を階数別に算出した。ただし、直結直圧給水方式は5階建てまで導入可能であることから、給水電気料金の算出は5階建てまでとした。

$$WD' = WCI * Unit * 12 \quad (11)$$

$$WSCE = WD' * DCEI'(or SCEI') \quad (12)$$

$$AE = WSCE / CEI \quad (13)$$

2.3 使用データ

①建物ごとの年間上水需要の算出においては、本研究では住宅部門を対象とした。住宅部門の水需要の推計は、実態調査(厚生労働省,2020)や家計調査のような統計資料(福付,2011)を用いて、数多く実施されており、消費量と住宅種類、世帯構成などの相関も明らかになっている(長谷川・井上,2004)。しかし、エネルギー需要量に関するデータに比べ、水需要量に関する統計データは極めて限られている。そのため、本研究は、2021年東京都水道局・水道料金・下水道料金早見表の世帯人数あたりの月平均使用水量データと2015年国勢調査の小地域別住宅の建て方別一般世帯数と1世帯あたりの平均人員数を使って算出する。

②取水から配水までの CO₂排出原単位の算出では、2020年各水道局の環境報告書に記載されている5つの工程における CO₂排出量、給水量、水源林保有面積・CO₂吸収量、再生可能エネルギー発電量を用いた。また、再生可能エネルギーの CO₂排出削減原単位については、2020年東京電力 CO₂排出係数

0.441[kg-CO₂/kWh]を用いた（東京電力, 2021）。

③給水における CO₂排出原単位の算出では、2020 年各水道局のホームページを参考に直結給水方式の導入条件、増子・松澤(2010)の推計式・各水道局の直結給水方式導入条件、2015 年都市計画基礎調査の建物高さデータを使用する。

また、給水方式の違いによる CO₂排出量から階数別に電力量及び電気代では、2008 年東京電力の CO₂排出係数 0.332[kg-CO₂/kWh]及び、東京電力の関東エリアスタンダードコースの 1 か月の電気料金を使用して算出した。

3. 対象

3.1. 対象地域について

本研究では東京都・神奈川県全域の住宅を対象に、水道事業の取水から給水までの CO₂排出量を算出する。

東京都の水道はほとんどが河川水を水源としており、80%が利根川および荒川水系の川の水を使用している。昭和 30 年代までは、水源の多くを多摩川水系に依存してきたが、その後の急激な需要の増加に対応するため、利根川水系の水資源開発に合わせて、利根川水系への依存度を高めてきた。現在、東京都の保有する水源量は日量 680 万 m³で、この水源量の中には神奈川県や川崎市から分水を受けている(東京都水道局,2021)。一方、神奈川県は、県央部を流れる相模川と県西を流れる酒匂川にその多くを依存し、相模川水系と酒匂川水系の 2 つの水源により、県内水需要の 9 割以上を賅っている（神奈川県企業局利水電気部利水課, 2022）。

3.2. 対象地域内の水道局の特性

水道事業は、水道法により基本的に市町村が運営するとされているが、水源・財源の確保、技術力の維持等の問題から、市町村域をこえて広域的な事業運営が行われることが多い。

東京都多摩地区では当初、各市町村によって水道事業が運営されていたが、現在は多摩地区全 29 市町のうち、武蔵野市、昭島市、羽村市、檜原村（以下、この 4 つの市村を未統合市と呼ぶ）を除く 25 市

表 1 水道事業別給水方式導入条件

	直結給水方式	貯水槽水道給水方式
東京都水道局	200 戸まで	-
武蔵野市	10 階まで	10 階以上
神奈川県営水道事業	1 日の最大使用水量 143m ³ 以下	-
横浜市 自然流下方式	5 階まで	-
横浜市 ポンプ配水式	15 階まで	高層マンション等
川崎市	中高層建物 (5 階まで)	高層建物
横須賀市	約 265 戸まで	-
その他	中小規模マンション・ビル (5 階まで)	大型マンションや重要施設等

町で東京都水道局による水道事業運営が行われている。東京都水道局は令和 2 年度において、約 1239km²の区域、約 1363 万人の都民に供給している。一方、未統合市は東京都水道局からの暫定分水と地下水をまぜて送り出している。

また神奈川県においても、18 事業者を中心に水道水を供給している。このうち、神奈川県内の 12 市 6 町を給水区域とする神奈川県企業庁と、規模の大きな横浜市水道局、川崎市上下水道局、横須賀市上下水道局の 4 水道局の年間給水量は県内の総給水量の約 91%を占めている(神奈川県内水道事業検討委員会, 2010)。また、この 4 水道局は、神奈川県内広域水道企業団（以下、企業団）という特別地方公共団体を共同で設立し、水道用水の広域的有効利用を図っている。企業団は 4 水道局に水道用水を供給し、2021 年度時点で 4 水道局の総給水量の約 2 分の 1 を占めている。

本研究では、東京都水道局、武蔵野市、昭島市、羽村市、檜原村の未統合市、神奈川県内広域水道企業団、神奈川県営水道事業、横浜市、川崎市、横須

賀市上水道局、その他神奈川県内市町村の水道局の計 11 事業を供給エリア・配水方式の違いをおさえながら考慮した。また、給水方式の選定では、建物一つ一つに対して表 1 の導入条件に基づいて行った。東京都水道局や神奈川県営水道事業などは貯水槽水道給水方式の導入条件が記載されていなかったため、直結給水方式に当てはまらなかったものは全て貯水槽水道給水方式を導入していると仮定した。

4. 推計結果

4.1. 各水道局の CO₂排出原単位の評価

表 2 は取水から配水までの上水供給全体における CO₂排出原単位を示したものである。

この表から、東京都水道局は、朝霞浄水場の CO₂排出原単位が一番小さく、それ以外はほとんど一律である結果となった。一方、未統合市は武蔵野市や羽村市の CO₂排出原単位が大きい一方で、檜原村はマイナスの値をとっている。この理由として、檜原村は檜原村民の森林水源林と呼ばれる水源林を保有しているため大気保全機能があり、また森林面積が大きい供給先が少ないために、CO₂吸収量が CO₂排出量を上回ったことがあげられる。

神奈川県に着目してみると、企業団を共同で設立している 4 水道局の中で一番 CO₂排出原単位が小さかった地域は、川崎市水道局の供給エリア 121.5[g-CO₂/m³]であり、続いて横浜市自然流下エリア 131.5[g-CO₂/m³]であった。一方、横浜市ポンプ配水エリアや横須賀市水道局は 300[g-CO₂/m³]前後ととても大きな値となった。また、4 水道局以外では、松田町の値がマイナスとなる結果になった。これは、松田町も檜原村と同様に、やどりき水源林と呼ばれる中津川源流域にある水源林を保有し、CO₂吸収量が CO₂排出量を上回ったことに起因する。

東京都と神奈川県を比較すると、東京都の CO₂排出原単位の平均は 229.2[g-CO₂/m³]であり、神奈川県の CO₂排出原単位は平均で 234.5[g-CO₂/m³]であり、神奈川県の方が CO₂排出原単位が大きいことが明らかとなった。

表 2 各水道局・浄水場の CO₂排出原単位

都県	水道局名/浄水場名	CO ₂ 排出原単位 [g-CO ₂ /m ³]
東京都	ひむら浄水所	244.2
	乙津/戸倉/御岳山/深沢/ 成木/千ヶ瀬第二/大久野/ 大坂上/大丹波/沢井第一/ 二俣尾/日原/日向和田/氷 川富士見第一/富士見第三 /立川栄町浄水所, 上石原/ 仙川/東恋ヶ窪配水所/福 生武蔵野台/保谷町給水所	242.8
	砧下浄水所	244.2
	金町浄水場	243.9
	高月浄水所	244.2
	三園浄水場	241.7
	三郷浄水場	244.1
	小河内浄水所	244.2
	小作浄水場	244.2
	朝霞浄水場	215.7
	長沢浄水場	244.2
	東村山浄水場	239.9
	武蔵野市水道局	258.3
	羽村市水道局	258.9
	昭島市水道局	255.7
檜原村水道局	-286.0	
神奈川県	神奈川県営水道事業	286.1
	横浜市水道局 自然流下	131.5
	横浜市水道局 ポンプ配水方式	335.0
	川崎市水道局	121.5
	横須賀市水道局	299.7
	山北町/小田原市/開成町/ 湯河原/大井町/中井町/秦 野市/清川村/愛川町/真鶴 町/座間市水道局	258.9
	南足柄市水道局	237.8

4.2. 建物1軒あたりのCO₂排出量の分布

図1は、水供給における年間CO₂排出量を空間的に可視化したものである。

東京都の建物1軒あたりのCO₂排出量の平均は124.4[kg-CO₂/year]であり、神奈川県は111.8[kg-CO₂/year]と、東京都の方が建物1軒あたりのCO₂排出量は大きくなった。上記で東京都のCO₂排出原単位の平均は神奈川県はCO₂排出原単位の平均よりも小さい値であったことから、CO₂排出原単位とCO₂排出量は反する結果となった。また、東京都においては、23区内は外よりもCO₂排出量が大きい、台東区・北区・豊島区は比較的CO₂排出量が小さいことが読み取れる。

一方、神奈川県に注目すると、横浜市沿岸や藤沢市でCO₂排出量が180.0[kg-CO₂/year]以上超える建物がいくつかあることが読み取れる。CO₂排出量が小さい地域に着目すると、川崎市登戸周辺や横浜市青葉区周辺が他の市町村と比較して小さいことが読み取れる。また、高層マンションが多く年間上水需要がとても高い武蔵小杉周辺では、川崎市の中では123.5[kg-CO₂/year]と大きいのだが、神奈川県でみると平均値を少し上回る程度であった。

4.3. 階数ごとのCO₂排出量原単位の差異

表3は水道事業別CO₂排出量原単位を示したものである。二重線は、直結給水方式から貯水槽水道給水方式に切り替わることを表した。その結果、川崎市水道局は、1階から5階まで一番CO₂排出原単位が小さいことが、6階になると、横浜市水道局よりもCO₂排出原単位が大きくなる結果となった。また、導入条件が厳しいその他神奈川県内市町村においても、川崎市同様に6階になるとCO₂排出原単位が約1.5倍大きくなったことが読み取れる。

4.4 階数別1世帯あたりの給水年間電気料金の差異

表4は、階数別1世帯あたりの給水年間電気料金を給水方式別に表したものである。この表の直結直圧給水方式に着目すると、階数を重ねるごとに1世帯あたりの給水工程に伴う年間電気料金が高くなっていることが読み取れる。一定に料金が増えていっ

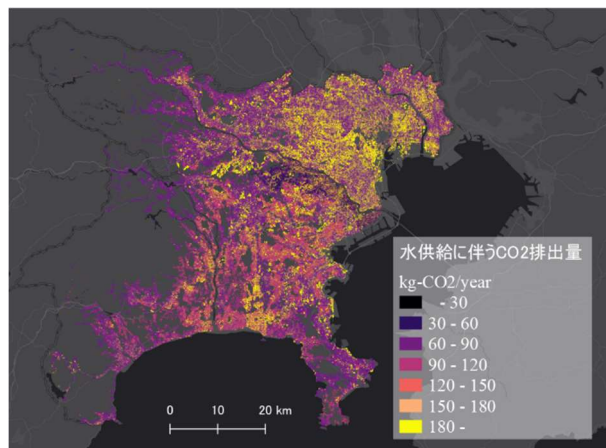


図2 水供給に伴うCO₂排出量

表3 水道事業別階数別CO₂排出原単位

g-CO ₂ /m ³	川崎	横浜	県営	横須賀	その他
1階	194.3	309.7	358.0	360.7	330.8
2階	224.4	335.8	404.1	378.1	364.9
3階	238.6	352.5	447.7	387.4	385.6
4階	249.7	364.8	503.8	400.8	399.4
5階	263.0	374.7	569.1	409.1	411.7
6階	422.8	384.0	570.6	409.2	655.4
7階	450.1	395.5	583.7	416.1	640.9
8階	424.3	392.1	587.1	418.5	589.2
9階	423.9	395.4	578.0	419.9	605.4

表4 階数別1世帯あたりの給水年間電気料金

円/year	直結給水	貯水槽水道給水
1階	497	1428
2階	496	1223
3階	549	1161
4階	602	1179
5階	650	1229

ているのではなく、階数が増えるごとに1つ前の階数との増加率は下がっていることもわかる

一方、貯水槽水道給水方式では、三階までは減少したが、4階からまた値段が上がっていることが読み取れる。また、1世帯あたりの給水に伴う年間電気料金が一番高かったのは1階であった。

5. 考察

推計結果より、CO₂排出量、階数ごとのCO₂排出原単位、給水年間電気料金の差異の順に解釈していく。

まず、表2と図1より東京都の平均CO₂排出原単位が神奈川県平均CO₂排出原単位よりも小さいにも関わらず、東京都の平均CO₂排出量が大きくなったことが明らかとなった。これは、建物1つに対しての需要が神奈川県よりも多いため、CO₂排出原単位のアドバンテージを需要で打ち消してしまったと考えられる。また、台東区・北区・豊島区のCO₂排出量が比較的小さかった結果に対しては、朝霞浄水場や金町浄水場などのCO₂排出原単位が小さいエリアかつ一般世帯総数や一般単独世帯数に対する高齢単身世帯が多いなど需要も少ない地域であったことから小さかったのだと予想される(特別区協議会, 2017)。一方、神奈川県に注目すると、川崎市登戸周辺や横浜市青葉区周辺は、他の市町村と比較してCO₂排出量が小さいことが明らかとなった。これは、川崎市や横浜市一部が地形の高低差を活かした自然流下方式という配水方法を用いているためだと考えられる。標高が高い位置に配水池や浄水場を設置することで配水工程のポンプの使用を最小限抑え、取水から配水までに伴うCO₂排出原単位を小さくすることができたのではないだろうか。また、川崎市水道局供給エリアに6階以上の建物が建てられている割合が10%を下回っていたことから、自然流下方式かつ直結給水方式である建物が多かったことも要因であると考えられる。しかし、川崎市水道局の供給エリア全体がCO₂排出量が小さかったわけではなかった。これは、武蔵小杉などの高層マンションの上水需要がとて大きく、CO₂排出原単位のアドバンテージがなくなってしまったからである。

表3の階数ごとのCO₂排出原単位では、川崎市やその他神奈川県内の水道局が5階から6階にあがる前後でCO₂排出原単位が約1.5~2.0倍ほど大きくなった。これは、配水方式に原因がある。川崎市の配水方式である自然流下方式は配水管の水圧が弱く、建物規模が大きくなってしまうと、省エネ効果がある直接給水方式を導入できなくなる。川崎市の直接

給水方式導入限度は5階までであるため、6階以上は貯水槽水道給水方式を導入し、CO₂排出原単位が大きくなったと考えられる。その他神奈川県内の水道局は、自然流下方式を導入していないが、導入条件が厳しいため、6階以上のCO₂排出原単位が大きくなったと考えられる。

最後に表4の階数ごとの給水に伴う年間電気料金の違いでは、直結直圧給水方式は階数を重ねるごとに1世帯あたりの給水工程に伴う年間電気料金が高くなり、1つ前の階数との増加率は階数を追うごとに小さくなった結果となった。これは、1階建てよりも5階建ての方が水圧を強くしなければならず、その分CO₂排出量が増えるからだと考えられる。しかし、一度給水すると一定律、水圧が担保されるため1つ前の階数との増加率は少なくなる。貯水槽水道給水方式では、3階までは減少したが、4階からまた値段が上がり、1世帯あたりの給水に伴う年間電気料金の最大値は1階である結果となった。この値段の振れがあるのは、東京電力の1kWhあたりの電気代が使用した電気量に応じて変化するからである。1つ前の階数との増加率がマイナスであった3階までは電力量が120kWhを超えなかったが、4階、5階になると月間電気量が137.8kWh、173.9kWhと120kWhを超えたため、1kWhあたりの電気料金が高くなった。また、最大値が1階であった理由として、貯水槽水道給水方式は、屋上にタンクを設置するため1階であろうと一度水を上げる作業が必要である。そのため、ある階数までは1階が最大値となる。

6. 結論

本研究では、地形や建物構造を考慮した取水から蛇口までに伴うCO₂排出の空間分布の推計を行った。その結果、東京都のCO₂排出原単位が神奈川県と比較して小さかったにも関わらずCO₂排出量が大きくなってしまったことや、自然流下方式を取り入れている川崎市のCO₂排出原単位が対象地域内で最も小さいが、武蔵小杉のCO₂排出量は川崎市内の中では大きかったことが明らかとなった。また、給水に伴う階数別のCO₂排出量に着目すると、直結給水方式を導入している建物は階数を重ねるごとに電気

代が高くなることも示された。しかし、本来、直結給水方式や貯水槽水道給水方式はより細かく分類することができ、導入条件やCO₂排出原単位も再分類に伴って変化するため、さらに検討していくことが必要であろう。

このことから、水インフラの再構築の際は、自然流下方式をできる限り取り入れ、導入条件ぎりぎり（川崎市であれば5階程度）の建物高さにすることで、CO₂排出量を削減することができる。また、水供給に伴うCO₂排出原単位が小さいエリアであれば、地域内の需要が多くてもCO₂排出量を抑えることができるため、今後、直結給水方式を導入しながら、都市更新時には、配水池を標高が高いところに設置させるなどの政策を提案すべきである。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、2022年度森泰吉郎記念研究振興基金「再エネ導入による優先順位付けモデルの開発と効果検証」の助成を得た。

参考文献

秋葉憲治 (2005) 札幌市水道局における環境配慮型事業への取り組み. 「衛生工学シンポジウム論文集」, **13**, 39-42.

宇都正哲 (2014) インフラ老朽化の観点から東京に関して. 「都市在宅学」, **87**, 14-17

長谷川善・井上隆 (2004) 全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究：世帯特性の影響と世帯間のばらつきに関する考察その1. 「日本建築学会環境系論文集」, **69** (583), 23-28.

福付和 (2011) 西瀬戸5都市家庭部門における2000年代のエネルギー・水道水消費量. 「空気調和・衛生工学会 論文集」, **36** (171), 9-22

増子敦・松澤峰矢・芦田裕志・田村聡志・小泉明 (2010) 貯水槽水道の直結給水化に伴う二酸化炭素排出量の削減効果に関する研究. 「環境工学研究論文集」, **4**, 329-337

松鶴さとみ・二宮秀典・赤井, 仁志 (2020) 貯水槽

における細菌汚染の実態調査 (第4報) 2019年度実測調査. 「空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集」, **1**, 9-12

Seto, K.C., Davis, S.J., Mitchell, R.B., Stokes, E.C., Unruh, G., Urge-Vorsatz, D., (2016) Carbon Lock-In: Types, Causes, and Policy Implications. Annual Review of Environment and Resources. **41**, 425-452
神奈川県内水道事業検討委員会 (2010) 神奈川県内水道事業検討委員会報告書.

<https://www.pref.kanagawa.jp/documents/78259/51295.pdf>

神奈川県企業局利水電気部利水課 (2022) 神奈川の水源と水利用.

<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/vh6/cnt/f8018/1015.html>

川崎市水道局 (2020) 令和2年度決算版環境計画年次報告書.

<https://www.city.kawasaki.jp/800/cmsfiles/contents/0000135/135655/R02houkoku.pdf>

厚生労働省 (2005) 水道事業における環境対策の手引書(改訂版).

<https://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/jouhou/kankyoku/090729-1.html>

厚生労働省健康局水道課 (2013) 新水道ビジョン.

<https://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/newvision/newvision/newvision-all.pdf>

東京都水道局 (2012) 給水方式について.

<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/kurashi/chokketsu/houshiki.html>

東京電力 (2021) 2020年度のCO₂排出係数について.

<https://www.tepco.co.jp/ep/notice/news/2021/16286758909.html>

東京都水道局 (2021) 環境報告書 2021.

<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/30854/File/2021-houkoku-all.pdf>

日本水道協会 (2020) 水道統計.

http://www.jwwa.or.jp/info/suidou_statistics.html

