

上水オフグリッドを見据えた水道管路配置の分析

川辺 怜*・石井 儀光***・大澤 義明***

Analysis of water pipeline network to introduce water supply off-grid systems

Ren KAWANABE*, Norimitsu ISHII** and Yoshiaki OHSAWA***

With the aim of continuing waterworks projects that are facing imminent facility renewal throughout Japan as sustainable projects, we will analyze them from a hardware perspective and make long-term and short-term proposals. Specifically, we will use water pipeline data provided by local governments to examine pipeline layout and pipe reduction. Currently, many municipalities have pipeline layouts that cover most of their residents, but in light of the future population decline, the project will examine how infrastructure should be designed to achieve both cost reduction and quality of service, such as effective use of groundwater with an eye toward off-grid drinking water supply.

Keywords: 公共インフラ (public infrastructure), 水道事業 (waterworks projects), 管路網 (pipeline network), 地方自治体 (local government), オフグリッド (off-grid)

1. はじめに

近年、日本各地で高度経済成長期を中心に整備されたインフラの更新が迫っている。水道事業についても同様で、令和元年度において、法定耐用年数 40 年を超えた水道管路の割合は、日本全国の総管路延長約 73 万 km に対し、約 14 万 km と全体の 19.1% を占めている[1]。また、日本の総人口は 2060 年には 8,674 万人となり、2010 年に比べて給水人口は約 3 分の 1 減少すると予想されており[2]、水道事業の運営はさらに厳しさを増す。これらを踏まえて、インフラ整備が飛躍的に進んだ高度経済成長期と異なり、今後は持続可能なハード整備が求められている[3]。

その中で水道事業は、公共サービスの観点から、住民の誰もが利用できる整備が進められ、令和 2 年度時点で日本全国の水道普及率は 98.1%[4]となっている。しかしながら、老朽化に伴う設備更新、それに伴う費用等を考慮すると、人口減少や財政悪化の

状況ではこの水準を保つことは現実的ではない。これらのことを踏まえ、本研究では、水道事業の管路縮減[5]、すなわち上水オフグリッドを検討する。

ここでいう上水オフグリッドとは、これまで自治体の水道事業を利用してきた利用者が、水道事業の利用から、井戸から引いた地下水利用など自前での調達に切り替えることである。これにより、自治体が管理する管路延長が短くなり、ハード面での負担が軽減されることが期待される。

本研究では、つくばエクスプレス沿線開発により、1980 年からの 40 年間で人口が約 1.5 倍となった茨城県つくばみらい市、また同期間で人口が半減し、厳しい地理的条件にある北海道天塩町、それぞれ対照的な 2 自治体から入手した水道管路データを活用し、水道管路網についての現状を整理する。そして、管路データに人口を考慮した分析、2 自治体での比較を行い、現状の管路配置を踏まえた「上水オフグリッド」の可能性を考える。

* 学生会員 筑波大学大学院サービス工学学位プログラム (University of Tsukuba)
〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 E-mail : s2120506@s.tsukuba.ac.jp

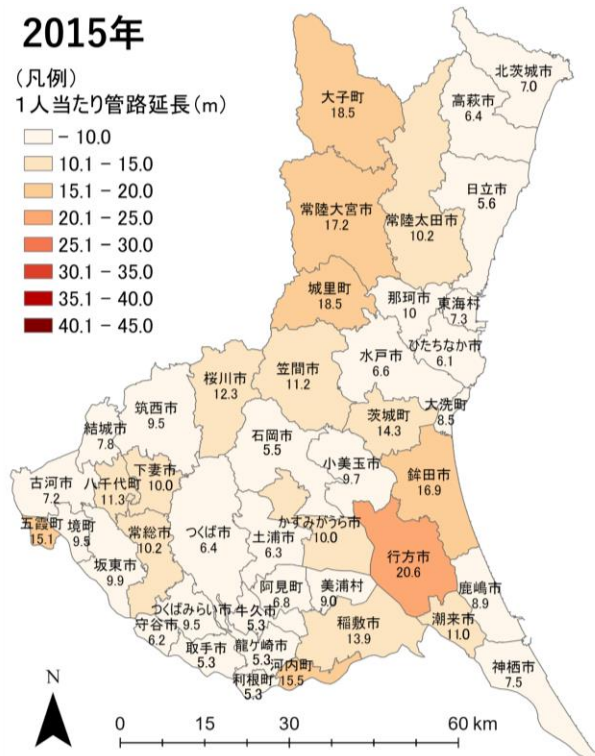
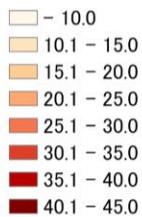
** 正会員 国土技術政策総合研究所 (National Institute for Land and Infrastructure Management)

*** 正会員 筑波大学社会工学域 (University of Tsukuba)

2015年

(凡例)

1人当たり管路延長(m)



2045年

(凡例)

1人当たり管路延長(m)

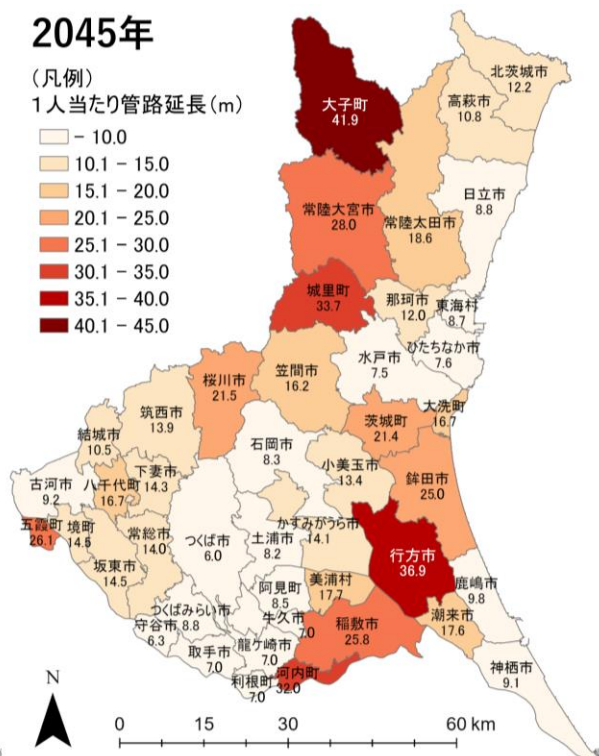
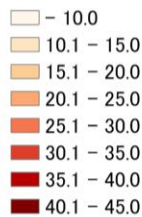


図 1 茨城県 44 市町村 1人当たり管路延長

2. 水道設備管理状況の把握

2.1. 1人当たり管路延長

水道管路に対する住民のコストを可視化するために、各自治体の管路延長を人口で除したものを、1人当たり管路延長とする。図1は茨城県44市町村について、現在の1人あたり管路延長（令和元年度の管路延長[6][7]を2015年の国勢調査人口で除した）と2045年の1人あたり推計管路延長（令和元年度の管路延長を2045年の将来推計人口で除した）である。この結果から2点分かる。第一に、自治体によって1人あたり管路延長に大きな差がある。2015年の最短は県南水道企業団（龍ヶ崎市、取手市、牛久市、利根町）の5.3m、最長は行方市の20.6mで、約3.9倍もの差がある。第二に、2015年から2045年にかけて1人あたり管路延長が大きく変化し、つくば市、つくばみらい市の2市を除いて、1人あたり管路延長が伸び、倍以上になる自治体もある。2045年時点での最短はつくば市の6.0m、最長は天子町の41.9mと約7.0倍もの差が生まれる。また、天子町の2045年時点の延長は2015年の値と比べ、2.3倍で、茨城県内で最大の伸び幅である。これらの結果から、

1人あたり管路延長の地域間格差はより大きくなり、管路縮減の検討は、持続可能な水道事業を作っていくうえで重要なことであることが考えられる。

2.2. ヒアリング調査

上水道管路の維持管理、更新についての実情、また上水オフグリッドについての考えを把握するため、茨城県つくばみらい市（2022年2月14日実施・図2）、北海道天塩町（2022年2月15日、8月26日実施・図3）でヒアリング調査を行った。設備更新、上水オフグリッドについてのヒアリング内容を簡潔に記す。

2.2.1. 管路や設備の維持・更新

つくばみらい市でのヒアリングでは、設備新設の予定はなく、今後は更新のみを行う方針であること、そして、管路更新は法定耐用年数も加味するが、漏水実績、漏水調査の結果から更新を行い、「壊れたところを中心に更新する」ことが多いことがわかった。地質など周辺環境の影響が年数よりも大きく、年数のみでは判断できないことが大きな理由である。そ



図 2 つくばみらい市役所でのヒアリング
(2022年2月14日実施)



図 3 天塩町役場でのヒアリング
(2022年8月26日実施)

の中でも避難所に該当する施設の管路は優先的に更新しているとのことである。

天塩町でのヒアリングでは、2010年の水害による水源の変更（地表水から地下水へ）をもとに、2つの浄水場が新設されたこと、それ以外は管路更新を中心に行っていることがわかった。また、どの配水区も経年化が進んでいるが、人口が集中している更岸浄水場の給水区域のみ、管路更新に際する10年計画を策定し、更新を進めているとのことである。

2.2.2. 上水オフグリッド

つくばみらい市の担当者によると、井戸水の水質低下、維持管理費の増加から、高齢者の水道加入希望が増えている現状もあり、上水オフグリッドは現実的でないのではないか、また誰が管理するかも疑問であるとの意見をいただいた。

また、天塩町では、平成18年度あたりに、上水オフグリッドを検討したことがあるとのことであった。しかし、人が少ない地域に居住している住民の多くが酪農を営んでおり、多量の水を必要とすることが

ら実現性が低く、断念したようだ。

2.2.3. ヒアリングまとめ

上水道管路・設備更新については2市町ともに、法定耐用年数や更新計画以上に、漏水の結果や地理的条件などこれまで現場で蓄積されてきた知識などを優先して実施されていることがわかった。

また、上水オフグリッドについて、天塩町では具体的に検討したことがあったそうだが、実装には至っていない。

したがって、どちらの自治体も将来的に水道事業運営が厳しくなることは把握しているものの、短期的な視点での設備更新、投資が中心となっており、長期的な視点での動きは先送りになっている。

2.3. 考察

2.1.節では1人当たりの管路延長を求めることで、人口減少が進む今後において、現状の水道管路、設備を維持していくことの厳しさを可視化した。特に2045年の推計管路延長については、自治体間の1人当たり管路延長の差が最大約7.0倍になることから、地域間格差がより大きくなることが分かる。

2.2.章ではヒアリングから現場の実態を把握した。ヒアリングを実施した2自治体について、設備更新については漏水実績や職員らによって蓄積された情報をもとに行われることが多いこと、上水オフグリッドを行っている事例はないことがわかった。

これらの結果から、数十年後に水道事業の運営は厳しくなることが明らかだが、管路・設備更新について、現状設備の維持が優先されており、長期的視点で有効な施策は行われていないことが把握できた。

3. 水道管路網データ分析

3.1. 対象地域

本研究では、茨城県つくばみらい市、北海道天塩町の水道管路データを用いて分析を行う。上記の2自治体を選んだ理由は2点ある。第一に、大きく異なる運営状況の2自治体を比較できることである。図4にあるように前者は関東地方、後者は北海道地方、特に寒さが厳しい西天北地域に位置し、地理的

条件が大きく異なる。また、人口について、前者は沿線開発の影響で近年増加傾向（図5）、対して後者は減少が著しい自治体である（図6）。第二に、水道管路データは個人情報保護、テロ対策の観点等から、容易に得ることができないデータである。その中で第1著者が何度も訪れたことのある2自治体から研究目的、データ提供に同意を得られたからである。



図4 2自治体の位置と東京駅、札幌駅からの50kmごとバッファー



図5 つくばみらい市空撮
(2020年8月13日撮影)



図6 天塩町空撮
(2020年11月14日撮影)

表1は2自治体の人口、面積、人口密度、昼夜間人口比率（いずれも2020年国勢調査）、人口増減率（1980年、2020年国勢調査の比較、市町村合併を考

表1 2自治体の概要

	つくばみらい市	天塩町
人口	49,872	2,950
面積 (km ²)	79.2	353.6
人口密度 (人/km ²)	630.0	8.3
昼夜間人口比率(%)	88.6	103.5
人口増減率(%)	51.5	-53.0
財政力指数	0.81	0.16

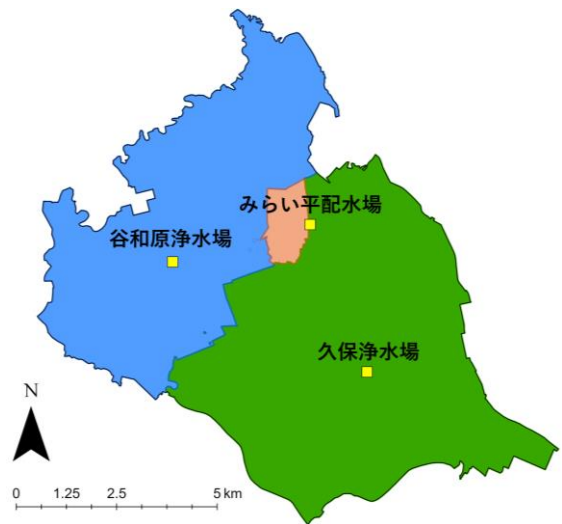


図7 つくばみらい市浄配水場と配水区域

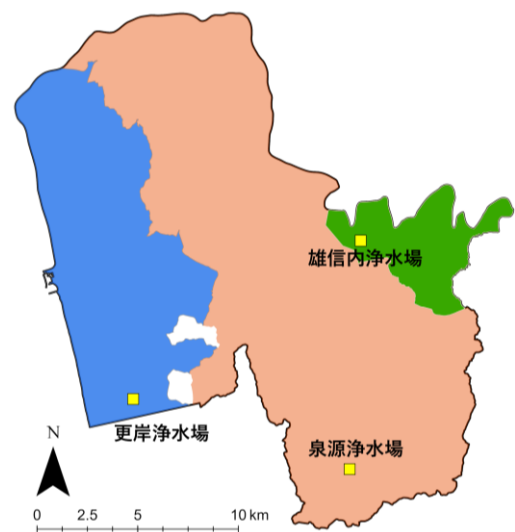


図8 天塩町浄水場と配水区域



図 9 つくばみらい市谷和原浄水場
(2022年8月29日撮影)

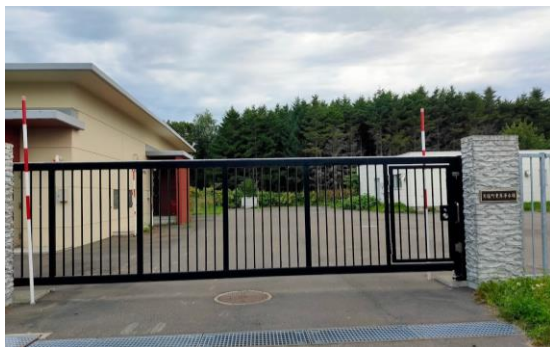


図 10 天塩町更岸浄水場
(2022年8月27日撮影)

慮), 財政力指数 (2020 年度) についてである。水道設備については, つくばみらい市は浄水場を 2 か所, 配水場を 1 か所稼働させており, 給水量全体の 64.2% を茨城県企業局が運営する県南西広域水道用水供給事業からの受水, 残りの 35.8% を市管轄の深井戸から引いた地下水でまかなっている[8]。図 7 はつくばみらい市の浄水場, 配水場の位置とそれらの施設がカバーしているエリアを表したものである。

天塩町は浄水場を 3 か所稼働させており, 給水量全体を町管轄の深井戸から引いた地下水でまかなっている[9]。図 8 は図 7 と同様に, 天塩町の水道設備とその区域を表したものである。

そして, 図 9 の谷和原浄水場 (配水能力: 7,910 m³/日), 図 10 の更岸浄水場 (配水能力: 1,354 m³/日) は各自治体で最も配水能力が大きい浄水場である。

3.2. データ概要

2 自治体から得た水道管路データは, 複数の情報が付記されたシェープファイルである。このデータ

を ESRI 社の ArcGIS Pro を用いて分析した。また, 管路 1 本ごとに以下の情報が付記されている。

- ・管区分: 配水管, 送水管, 導水管など管の役割。つくばみらい市は 8 種類, 天塩町は 5 種類。
- ・布設年度: 1969 年度から 2021 年度まで (つくばみらい市は 1971 年度から)。布設年度不明のデータも多数存在。
- ・管種: 水道管の材質。VWP, DCIP, HPPE など 27 種類。
- ・口径: 20mm~600mm の全 20 区分。口径不明のデータも存在。
- ・配水系統: どの配水区 (地域) に属している管路であるかを示す。2 自治体ともに 8 系統。
- ・管路延長: 単位メートル。ArcGIS Pro で算出。

3.3. 管路網データ分析

ここでは, 管路網データに付記された情報をもとに 2 自治体の水道管路についての分析を行う。はじめに総管路延長について, つくばみらい市は約 491km, 天塩町は約 195km もの水道管路が布設されている。

3.3.1. 管区分

前述の総延長に対して, 配水管, 送水管, 導水管, その他の管の管路延長がどの程度の割合を占めているかを表 2 に記す。仮配水管は配水管に含めた。

2 自治体ともに配水管が全体の 9 割弱を占めている。この結果から, 自治体が管理する水道管路のほとんどが配水管であり, 給水所から配水区域に水を配るために布設されている, という役割[10]も含め, 配水管はオフグリッドの対象となる管である。

表 2 管区分の延長とその割合

	つくばみらい市		天塩町	
	管路延長(km)	百分率	管路延長(km)	百分率
配水管	437.3	89.0%	174.9	89.4%
送水管	12.1	2.5%	14.1	7.2%
導水管	19.3	3.9%	6.6	3.4%
その他	22.7	4.6%	0	0.0%
計	491.4	100.0%	195.6	100.0%

また、つくばみらい市のデータには、天塩町のデータにはない、埋捨管 (18.1km)、排泥管 (3.4km)、場内管 (0.6km)、給水管 (0.1km)、不明管 (0.5km) の 5 種類の管路データが存在しており、それらを「その他」として分類している。

3.3.2. 布設年度

2 自治体の管路の布設年度について、縦軸に管路延長をとり、10 年ごとにまとめたものが図 11 である。ただし、更新済みの管路については、1 回目の布設年度でなく更新時の布設年度が適用されていること、また布設年度が不明の管路がある一定数存在していることに留意したい。さらに水道管路の法定耐用年数 40 年を越えた管 (経年管) について、2022 年時点では 1982 年以前に布設の管路が経年管に該当する。全延長に対するその割合 (延長) はつくばみらい市で 13.5%(61.8km)、天塩町で 36.5%(71.4km) となり、2 自治体を比較すると天塩町の方が経年管の割合が高くなっていることが確認できる。

また、布設年度が不明の管路は、ヒアリング調査から、元々紙で扱っていた管路情報をデータ化する際に、布設年度が確認できなかった場合が多数であるということから、長く使用されている管、すなわち経年管である可能性が高い。布設年度不明管路の全延長に対する割合はつくばみらい市で 13.2%(60.7km)、天塩町で 25.2%(49.3km) である。したがって、経年管と布設年度不明管の割合の合計はつくばみらい市で 26.7% (122.5km)、天塩町で 61.7%(120.7km) である。この結果から、天塩町の約 6 割の管路は法定耐用年数を超えて使用されている、

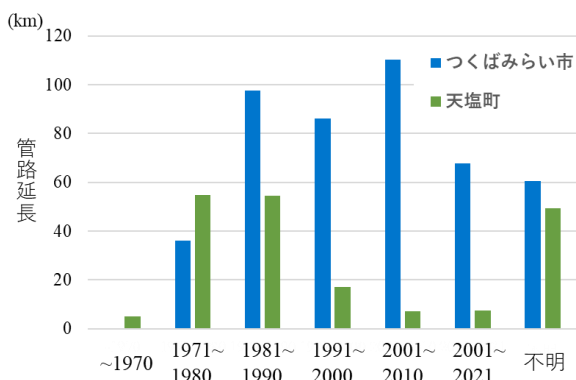


図 11 2 自治体の管路布設年度

あるいはその可能性が高く、老朽化による破損の可能性が高い管路が多いことが考えられる。

3.3.3. 浄配水場からの管路延長と人口

ここでは 2 自治体の管路網データと、500mメッシュ人口データ (2015 年国勢調査) を用いて、それぞれの浄配水場から管路をたどって、どれくらいの距離に何人が居住しているかを算出する。具体的には、浄配水場から布設された配水管をネットワークとし、それぞれの管路が浄配水場を始点とした場合に何 m の場所にあるかを計算する。さらにそれらの管路から 100m バッファの範囲 (以下、水道管路到達圏) を算出し、その範囲に重なった人口メッシュデータを重なった面積に応じて按分し、人口を算出した。

図 12 はつくばみらい市の水道管路について、浄配水場からの距離を 1,000m ごとに区切り、その範囲を可視化したものである。浄配水場から離れるほど、色が濃く表現されている。また、谷和原浄水場のエリアは青基調、みらい平配水場のエリアは赤基調、久保浄水場のエリアは緑基調である。到達圏の広がり管路網に依存するため、同心円状のような規則性があるわけではない。

そして、これらの到達圏に居住している人口をまとめたものが図 14 である。圏域が狭いみらい平配水場のエリアを除くと、浄配水場から近い管路の周辺には人口が少ないが、徐々に人口は増え、3,000-5,000m のあたりでピークを迎える。圏域が狭いみらい平配水場のエリアを除くと、図 9 で示した谷和原浄水場のエリアも 4,001-5,000m の階級で最も人口が多くなっている。

同様に、天塩町についてまとめたものが図 13、図 15 である。

図 13 について、つくばみらい市と比べると、可住地面積が小さいことから町内の一部しか水道管路到達圏でカバーされていないことがわかる。また、つくばみらい市では、浄水場から最も遠いエリアにおける管路延長は約 9,000m であったが、天塩町の場合は約 35,500m と約 3.9 倍となり、大きな差がある。

次に図 15 について、天塩町でも同様に浄水場か

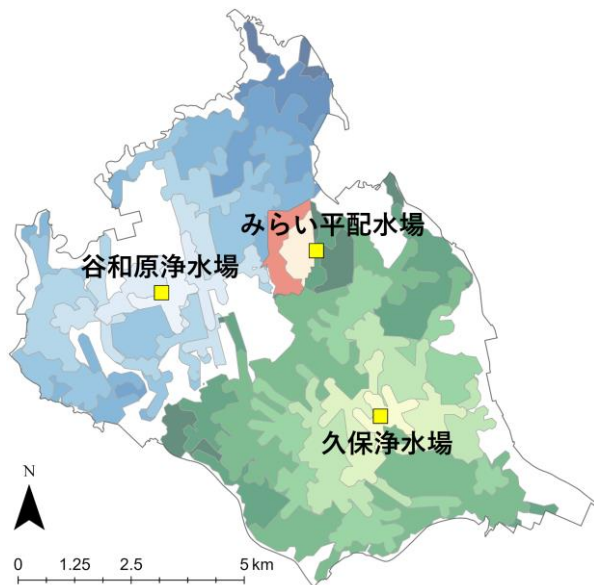


図 12 つくばみらい市水道管路到達圏

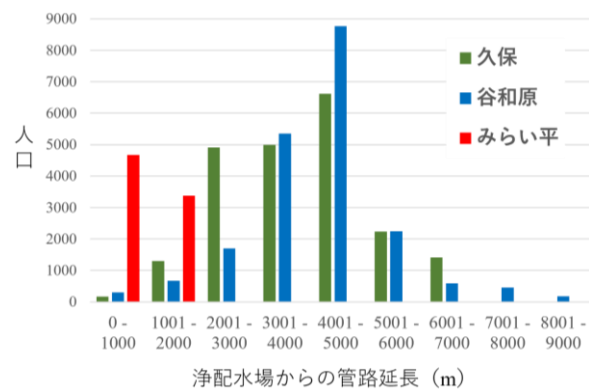


図 14 つくばみらい市水道管路到達圏人口

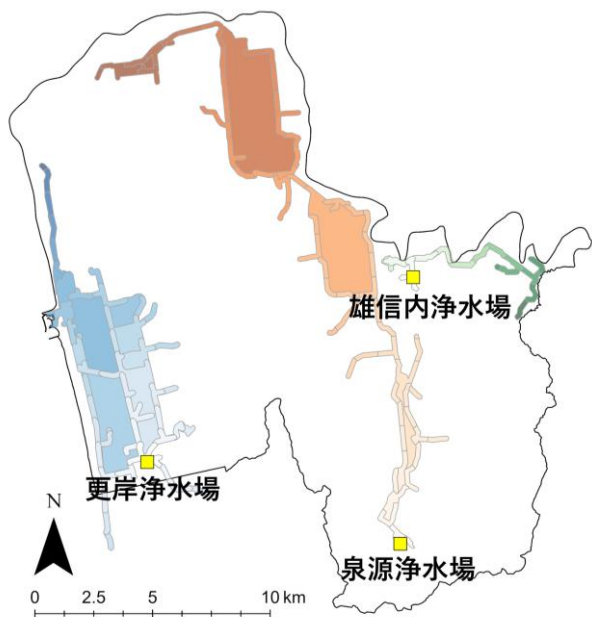


図 13 天塩町水道管路到達圏

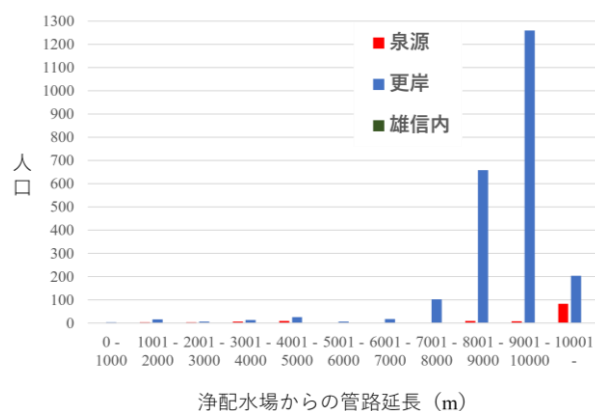


図 15 天塩町水道管路到達圏人口

から離れた場所に人口が多く位置していることがわかる。特に更岸浄水場(図 10)のエリアの人口が多く、8,000-10,000m の階級に人口が集中していることが分かる。その中で、つくばみらい市と大きく異なる点は、10,000m 以上の延長に人口が存在していることである。特に、図 16 に記す泉源浄水場からの管路延長が長く、人口が少ない。そして、25,001~30,000m の階級において一番人口が多くなっている。したがって、人口に対する効率性のみ考えた場合、天塩町、特に泉源浄水場のエリアの管路は非常に利用効率が

低い。ただし、このエリアには天塩町の主要産業であり多量の水を要する酪農牧場も点在している。

このように、天塩町の場合、人口が少ない地域でかつ浄水場からの距離が遠いにもかかわらず、管路が布設されていることが分かる。

3.4. 考察

人口規模、地理的条件等が大きく異なる 2 自治体の比較であるが、管路延長とそれを利用する住民の数に大きな違いがあることが分かった。

まず、浄配水場からの管路延長について、天塩町の管路延長は、つくばみらい市と比較し長い。つくばみらい市は全住民が浄水場から 9,000m 以内の位置に住んでいるが、天塩町に関しては、1,000m ほどの人口でみると、人口が一番多い階級は 9,000~10,000m、そして最も浄配水場から遠い住民は 35,485m の位置に居住しており、その差は大きい。

次に、管路を利用している住民の数について、天

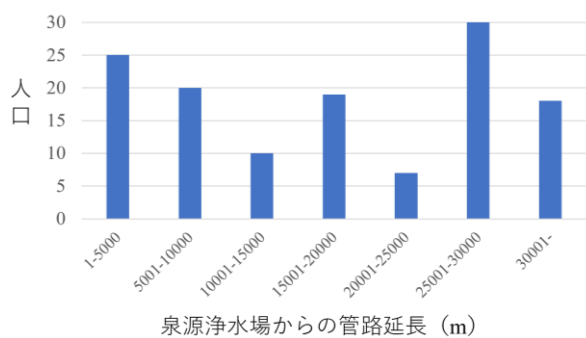


図 16 泉源浄水場からの人口 (5000m ごと)

塩町はつくばみらい市と比較して、著しく少ない。天塩町 1 人当たり管路延長は、2015 年の値が 54.3m、2045 年の値が 125.9m であり、茨城県の市町村との差が大きいことは明らかであるが、図 16 の泉源浄水場の結果を見ても、現状数百人の利用のために約 35,000m もの水道管路が敷かれていることは、経営面からみて非効率であると考えられる。

公共サービスの観点から、自治体の支出のみを考慮することは適切ではない。しかしながら、限りある財源を有効活用し、持続可能な事業運営を行うためには、従前の枠組みを見直す必要があることが本章の結果からも考えられる。

4. おわりに

人口減少と施設の老朽化で運営が厳しくなる水道事業について、本研究では、自治体職員へのヒアリング調査、自治体から得た管路網データの分析等を通して、以下の知見を得た。

第一に、人口減少に伴い、住民一人当たりの管路延長は増大する。また、その現状は多くの自治体で共通するものであるが、ヒアリングを行った自治体では長期的な視点での動きは先送りになっている現状がある。第二に、管路網データと人口データを紐づけることで、水道管路を住民の居住地に合わせて布設することが、厳しい運営下においては、必ずしも効率的ではないことを明らかにした。

これまでの行政サービスは、公平性を最優先してきたが、人口減少が進む現在ではその体制に限界がある。今後は、サービスの長期的な持続のため、自治体は従前の体制を見直し、住民協働で公共サービ

スに關与できる仕組みづくりが必要である。上水道事業についても、普及率の多寡でなく、施設のダウンサイジングやオフグリッド、またダイナミックプライシングの導入など、既存体制の見直しに取り組むことが求められる。

今後の課題としては、上水オフグリッドの効果を可視化することが挙げられる。利用者数や地理的条件等でその効果は増減するため、具体的な条件を加味し、詳細な分析・検討を進める必要がある。

謝辞 この研究は JSPS 科学研究費 21H01559 の一環で実施した。また、茨城県つくばみらい市、北海道天塩町からデータ提供をいただき、ヒアリング調査を通して貴重なご助言をいただきました。

参考文献

- [1] 厚生労働省医薬・生活衛生局水道課 (2022) 令和 3 年度全国水道関係担当者会議。「全国水道関係担当者会議資料 (資料編)」, 6-8.
- [2] 平山修久・山田武史・越後信哉・伊藤禎彦(2016) 人口減少社会における配水管網の再構成のあり方に関する検討「土木学会論文集 G (環境)」, 72(7), p.III_467-III_474.
- [3] 酒井宏治・佐竹明・滝沢智 (2019) 水道管路の老朽化と維持管理に関する評価指標の検討「土木学会論文集 G (環境)」, 75(7), p. III_413-III_423.
- [4] 厚生労働省(2021) 令和 2 年度 現在給水人口と水道普及率「水道の基本統計」.
- [5] 西口和宏・渡辺晴彦 (2014) 人口減少社会における水道管路のダウンサイジング可能性評価手法に関する研究「土木学会論文集 G(環境)」, 70(6), p. II_291-II_296.
- [6] 茨城県県民生活環境部水政課(2021)茨城県の水道 令和元年度.
- [7] 公益財団法人 日本水道協会(2021)令和元年度 水道統計 施設・業務編, CD-ROM.
- [8] つくばみらい市 都市建設部 上下水道課(2021) つくばみらい市水道ビジョン・水道事業経営戦略, 5.
- [9] 北海道天塩町(2021)天塩町簡易水道事業令和 2 年度水質検査計画.
- [10] 東京都水道局(2021)給水所・配水管・水運用センターの紹介.
<<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/suidojigyo/gaiyou/mizuunyou.html>>.