

# 都市の集約化に伴う上水道の 維持管理費用の変化

奈須 朝也<sup>1</sup>・円山 琢也<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 熊本大学 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1)

E-mail:140d8825@st.kumamoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 熊本大学准教授 政策創造研究教育センター (〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1)

E-mail:takumaru@kumamoto-u.ac.jp

人口減少・少子高齢時代に突入し、行政の財源の減少が予測されるなか、望ましい将来都市構造として、コンパクトシティが注目されている。本研究の目的は、都市の集約化に伴う都市施設の維持管理費用の変化を都市施設の機能評価や更新時期・更新費用を詳細に考慮しながら明らかにすることである。本稿では上水道施設の配水施設、管路に着目している。具体的に、熊本市を対象とし、将来都市構造シナリオに応じた上水道の維持管理費用の変化を試算する。

**Key Words :** compact city, water supply system, renewal date, renewal expense, functional assessment

## 1. はじめに

戦後、日本の都市は高度経済成長期の人口増加、モータリゼーションの進展、大型店や公共施設の拡散によって郊外化が進んだ。都市の郊外化は、中心市街地の空洞化、自動車利用に伴う二酸化炭素排出による環境汚染、都市施設の維持管理費用の増加など様々な問題を引き起こしている。都市施設の維持管理費用に着目すると、日本の人口は減少傾向にあり、少子高齢化が予測されているため、都市施設の維持管理に投資可能な費用は減少し、社会保障費用は増加することが予想される。つまり、今後日本の都市の財政力は低下するが、現在のような郊外に人口を拡散した都市構造では維持管理費用は増加するため、財政の大きな負担になることが予測される。これらの問題に対し、都市を集約させることによって、効率的で持続可能な都市を目指したコンパクトシティが注目されている。

都市の集約化による維持管理費用の削減に関する研究は多く行われている。森本<sup>1)</sup>は都市の集約化と都市財政に着目し、全国の都市施設維持管理費用、施設諸元データを用いて人口の変動による維持管理費用を算出するためのモデルを構築した。また宇都宮市を対称として2025年までに都市の集約化を行った場合を想定し、保育園、小学校、中学校、道路橋梁、下水道、上水道にお

ける維持管理費用の算出を行い、削減効果を比較・検討している。岩本ら<sup>2)</sup>は地方小都市が大都市に比べ、人口減少や高齢化の進行が早いこと、また集約化の現実的な適用を考慮し、様々な多極集中型シナリオに着目した。地方小都市である府中市の実績データを用いて維持管理費用を算出するモデルを構築し、2035年の都市構造について、道路、上水道、下水道、小学校、中学校、保育所、公民館を対象として維持管理費用を算出し、削減費用を比較・検討している。

このように都市の集約化に関する既往研究は多く存在しているが、集約化による維持管理費用の削減に関する研究では、集約化に伴う人口増加による都市施設の機能を評価しているものは見られない。例えば上水道の場合、実際に都市の集約化を行う場合には、人口の増加によって水需要が増加することが考えられる。そのため集約地域に水を供給している施設は既存の機能では増加した水需要に対応できない事態が予想され、その結果施設の機能を向上させることが必要となる。また、実在する都市施設の更新時期を考慮している研究も少ない。そこで本研究では、集約化に伴う都市施設の詳細な維持管理費用の変化に関する知見を得ることを目的とする。そのためには道路、上水道、下水道、電力、ガス、公園、学校などのすべての都市施設の変化を考慮することが必要となるが、本研究では施設が機能しなければ人命に影響を与

える可能性のある上水道に着目し、都市の集約化による上水道の維持管理費用の削減効果を配水施設の更新時期・更新費用、配水施設の機能に着目しシナリオごとに比較・検討を行っている。

## 2. 研究対象地

本研究の対象地である熊本市は九州のほぼ中心に位置している。阿蘇火山の大火砕流噴火によって生まれた熊本の大池は透水性に優れ、水が浸透しやすい性質をもっている。この大池のおかげで熊本に降り注いだ雨は地下水になりやすく、熊本市は市民の水道資源の 100%を地下水で賄っている<sup>3)</sup>。これは世界的にもめずらしく、2013年には世界で優れた水管理の仕組みを表彰している国連水関連機関調整委員会から熊本市が国連“生命の水(Water for Life)”最優秀賞を日本で初めて受賞している<sup>3)</sup>。

熊本市の人口は 2010 年の国勢調査では 73 万人であり、65 歳以上の高齢者の占める割合は 21.1%であった。国立社会保障・人口問題研究所の将来人口の予測では 2040 年には熊本市の人口は約 65 万人、高齢者の占める割合は 33.9%となる(図-1)。人口減少と高齢化に対処するために熊本市では多核連携型の街づくりを目指している<sup>4)</sup>。

熊本市の上水道事業は大正 13 年に八景水谷を水源として開始した。その後熊本市は周辺の町村などと合併を繰り返して、発展してきた。人口増加に伴い水需要が増加してきたことにより、新たな整備を繰り返し現在は第 6 次拡張事業が行われている<sup>3)</sup>。

現在は熊本市の上水道事業の事業収益は長期的にみて減少傾向にある<sup>3)</sup>。2013 年 3 月 31 日には、城南町・植木町の上水道事業及び簡易事業を統合したことによって事業収益は増加したが今後の人口減少や節水意識の向上等によって水需要の増加は見込めず、経営環境は非常に厳しくなることが予想される<sup>3)</sup>。

水道施設の主なものは、113 取水施設、56 配水施設等で構成されており、平成 20 年度の富合町との合併や平成 21 年度の城南町・植木町との合併によって簡易水道事業を引きついでいる。

平成 25 年度時点の管路総延長は 3, 309, 719m である。

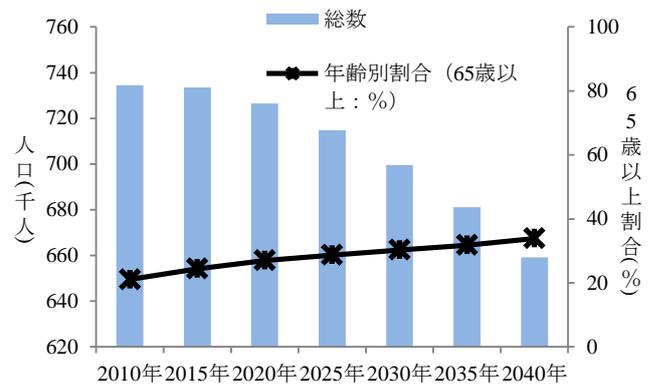


図-1 熊本市の人口推計<sup>5)</sup>

## 3. 方法

### (1) 総費用の算出

本研究では各シナリオ別の総費用の定義として、配水施設の維持管理費用、管路の維持管理費用、配水施設の更新費用の和とする。また、都市の集約化によって発生する費用として配水施設の機能向上のための更新費用を考慮している点、実在する施設の更新時期を考慮している点が特色である。

### (2) 将来人口の推計及び水需要予測

熊本市の配水区毎の将来人口を予測するためにコーホート変化率法を用いて推計を行った。具体的な手順を以下で説明する。

初めに図-2 に示す平成 25 年度給水栓水水質検査地点位置図を参考に GIS を用いてデジタル化した配水区図を作成した<sup>4)</sup>。次に国勢調査の町丁目単位の人口データを統合し、平成 12 年、平成 17 年、平成 22 年毎の配水区毎の人口を作成した。作成したデータを用いてコーホート変化率法を用いて将来人口を算出した(図-3)。

次に配水区毎の将来配水量の予測方法について説明する。配水区毎の将来配水量の予測は配水区毎の将来人口を用いて行った。将来配水量の予測は平成 25 年度熊本市上下水道年報配より、配水区水区毎の年間配水量(m<sup>3</sup>/年)と配水区の必要管路長さ(km)で回帰分析を行い、得られた回帰式を用いて推計を行った<sup>3)</sup>(表-1)。

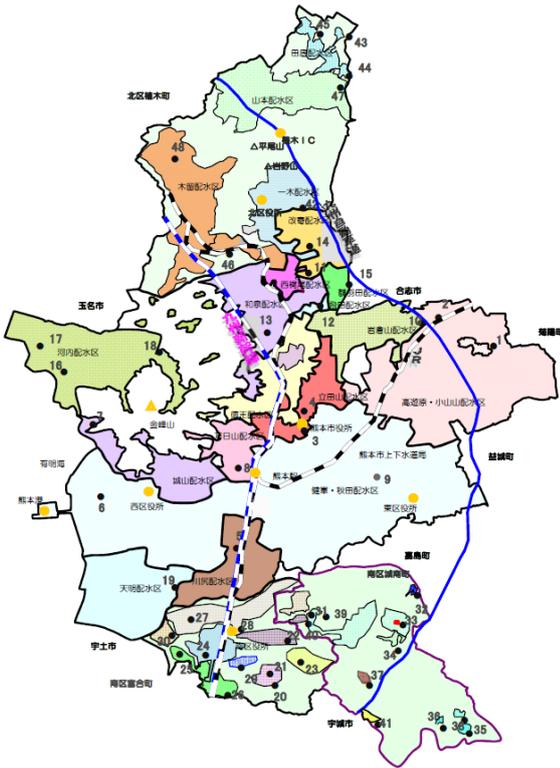


図-2 平成 25 年度給水栓水水質検査地点位置図<sup>3)</sup>

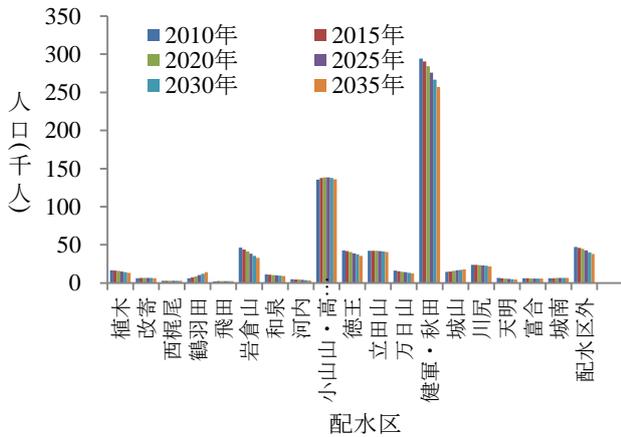


図-3 熊本市の配水区分別将来人口の予測結果

表-1 配水量の回帰分析結果

説明変数	推定値	t 値	
必要管路長さ (km)	$2.96 \times 10^4$	25.29	**
定数項	$2.20 \times 10^5$	0.66	
サンプル数		18	
決定係数		0.976	
修正済み決定係数		0.974	
t 値: 1.96 以上 5% 有意, 2.26 以上 1% 有意			

### (3) 配水施設の維持管理費用の予測

本研究では得られたデータの都合上、配水施設の維持管理費用は動力費のみという仮定で推計を行った。平成 25 年度熊本市行下水道年報より  $1 \text{ m}^3$  当たりの電力料金  $8.55 (\text{円}/\text{m}^3)$  を配水区毎の将来配水量に乘じ、配水施設の維持管理費用を算出した<sup>3)</sup>。

### (4) 管路の維持管理費用の予測

管路の維持管理費用の予測では森本が提案した施設の原単位を利用した都市施設の維持管理費用の算出方法を用いている<sup>1)</sup>。

管路の維持管理費用では、管路長が維持管理費用に大きな影響を与えることが考えられるため、単位面積当たりの管路延長に対して、人口密度による施設延長の必要量を把握した。算出された必要量に固定の維持管理費用原単位を乗ずることによって、管路の維持管理費用の算出を行った。

具体的には平成 22 年度地方公営企業年間より全国 713 市の総管路延長を都市の面積で除すことによって管路延長密度を算出し、人口密度と単回帰分析を行い、必要管路原単位を設定する<sup>6)</sup>(表-2)。

管路の維持管理費用の算出には、各配水区分別の人口密度から必要管路原単位を用いて管路延長密度を算出し、そこに各配水区分別の面積を乗じることによって各配水区毎の必要管路長さを求めている。管路の維持管理費用は必要管路長さに  $1 \text{ km}$  当たりの維持管理費用を乗ずることによって算出している。

H25 年度熊本市上下水道局年報より熊本市の管路の維持管理費用原単位は  $255,543 (\text{円}/\text{km})$  であった<sup>3)</sup>。

表-2 必要管路原単位算出のための累乗近似結果

原単位 ( $\text{km}/\text{k m}^2$ )	決定係数
$y = 0.0229x^{0.7755}$	0.820

※ x は人口密度 ( $\text{km}^2$ )

### (5) 配水施設の機能評価と更新費用の算出

本研究では築造年月がわかっている 44 個の配水施設を対象に機能評価及び更新費用の算出を行った(表-3)。本研究で対象とした配水施設の構造は RC 構造、PC 構造、SUS 構造の 3 種類であった。RC 構造とは鉄筋コンクリートで造られた配水施設であり、PC 構造とはプレスとレストコンクリートで造られた配水施設、SUS 構造とは主にステンレス系鋼板を用いた配水施設のことである。これらを対象に更新時期を築造年月から 60 年後に設定し、各シナリオ別に総費用の計算を行った。具体的

には配水区の中で更新時期を迎える配水施設があれば集約地域に移動させ、更新時期を迎える配水施設がなければ存続させる方法を取り、目標年の 2035 年にはすべての人口を集約地域に人口を移動させている。

集約地域では、シナリオによっては人口の増加によって既存の配水施設の機能では対応できない場合が生じる。そのため集約地域の配水施設は予想される人口増加に対応できるように機能を向上させる必要がある。本研究では H25 年度熊本市上下水道局年報より配水施設容量と年間配水量の関係を回帰式で表し(表-4)、求めた近似式に集約地域の必要配水量を代入することで必要配水施設容量を算出した。更新費用の算出は厚生労働省の水道事業の再構築に関する施設更新費用の手引きを用いた。厚生労働省の水道事業の再構築に関する施設更新費用の手引きに記載されている配水施設の構造別の費用関数に配水容量を代入することで集約地域の配水施設の更新費用を算出している(表-5)<sup>7)</sup>。なお集約化によって機能の向上が必要な場合の更新費用は 2015 年にかかるとしている。

表-3 対象配水施設

配水施設	配水区	築造年月	容量(m <sup>3</sup> )	配水施設構造
岩倉山	岩倉山	昭和47年	7500	RC
岩倉山	岩倉山	昭和54年	3750	RC
岩倉山	岩倉山	昭和63年	3750	RC
徳王	徳王	昭和35年	3000	RC
徳王	徳王	昭和46年	4500	RC
徳王	徳王	昭和53年	3000	RC
立田山	立田山	大正13年	7500	RC
立田山	立田山	昭和31年	5000	RC
立田山	立田山	昭和37年	5000	RC
立田山	立田山	昭和38年	5000	RC
健軍	健軍・秋田	昭和49年	24000	PC
秋田	健軍・秋田	昭和58年	40000	PC
小高山	高遊原・小高山	昭和56年	3500	RC
高遊原	高遊原・小高山	平成3年	11000	RC
高遊原	高遊原・小高山	平成12年	11000	RC
高遊原	高遊原・小高山	平成20年	11000	RC
川尻	川尻	昭和57年	4000	PC
万日山	万日山	昭和51年	5000	RC
城山	城山	昭和38年	630	RC
城山	城山	昭和46年	2000	PC
鶴羽田	鶴羽田	平成1年	1050	PC
飛田	飛田	昭和54年	1570	PC
改審	改審	平成9年	2500	PC
西橋尾	西橋尾	平成4年	1500	PC
和泉	和泉	平成3年	1560	PC
和泉	和泉	平成18年	4400	SUS
白浜	河内	平成20年	300	SUS
川床	河内	平成17年	500	SUS
富合南部	富合	平成19年	238	SUS
富合東部	富合	平成23年	200	SUS
舞原	城南	平成21年	800	SUS
山本	徳木	平成14年	1306	SUS
島崎1号	徳王	平成5年	600	PC
島崎2号	徳王	平成22年	800	SUS
花岡山	徳王	昭和56年	30	鋼板製(RCと仮定)
平	万日山	昭和55年	48	RC
梅酒	城山	昭和50年	9	RC
岳野出	河内	平成15年	92	RC
岳大多尾	河内	平成18年	128	RC
三ノ岳	河内	昭和56年	43	RC
上松尾第1受水槽	城山	平成10年	150	RC
上松尾第1	城山	平成10年	500	RC
上松尾第2	城山	平成10年	800	RC
天明	天明	昭和60年	1300	PC

表-4 配水施設容量の回帰分析結果

説明変数	推定値	t 値	
H25配水量(m <sup>3</sup> /年)	0.002	30.28	**
定数項	497.15	0.81	
サンプル数		18	
決定係数		0.983	
修正済み決定係数		0.982	
t 値:1.96 以上 5%有意, 2.26 以上 1%有意			

表-5 更新費用の算出<sup>7)</sup>

配水施設の構造	費用関数
RC造	y=0.1100x+0.24
PC造	y=0.0673x+147.13
SUS造	y=0.1156x+94.69

(6) シナリオの設定

本研究では、都市の集約化が完了する年を目標年とし、目標年を 2035 年に設定した。都市の集約化に対して3つの施策を設定し、シナリオ分析を行う。都市の集約化を行う際には、集約地域の人口密度の比を用いて集約外人口を集約地域に配分している。

①現状維持シナリオ:目標年である 2035 年まで、現在の都市の構造が継続すると仮定したもの。

②一極集中型シナリオ:熊本市の公共交通機関の核となる熊本駅及び熊本交通センターのある健軍・秋田配水区及び立田山配水区に人口が集中すると仮定したもの。(図-4 左)。

③多核連携型シナリオ:熊本第2次マスタープラン概要版地域別構想に記載してある熊本市の目指す多核連携都市の地域拠点を含んでいる配水区である健軍・秋田配水区、城南配水区、城山配水区、富合配水区、小高山・高遊原配水区、岩倉山配水区、川尻配水区、徳王配水区、植木配水区、立田山配水区、西橋尾配水区に人口が集中すると仮定したもの。(図-4 右)。

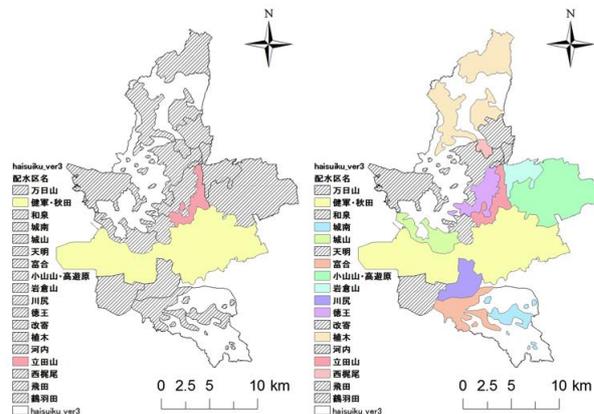


図-4 一極集中型(左)・多核連携型(右)

## 4. 結果

### (1) 各シナリオの総費用の分析

各シナリオ別の総費用を図-5、各シナリオ別の総費用の内訳を図-6、各シナリオ別の管路の維持管理費用を図-7、各シナリオ別の配水施設の維持管理費用を図-8、各シナリオ別の配水施設の更新費用を図-9に示す。まず図-5の結果より2035年を目標年に設定した場合、最も総費用が低くなるのは一極集中型であった。また、配水施設の機能評価を考慮した結果、更新費用が増加した多核連携型は目標年の2035年の段階では現状維持よりも総費用が増加する結果となった。現状維持よりも多核連携型の総費用が増加した原因は、図-6、図-9より配水施設の更新費用が増加した原因は、2035年の段階では現状維持では更新が行われていない配水施設を都市の集約化による機能向上を行うための更新費用が掛かったためであると考えられる。そのため長期的に見れば図-7、図-8より維持管理費用は現状維持よりも多核連携型が安価であるため、総費用を抑えられることが示唆される。次に図-7、図-8に着目すると、一極集中型シナリオのみ大きく維持管理費用が減少していることがわかる。これは本研究では都市の集約化を人口密度の上昇と考えているため、人口密度の一番大きい一極集中型の維持管理費用が一番安価になったことが考えられる。また、現状維持と多核連携型の維持管理費用に差があまり見られないのは、今回用いた多核連携型は人口密度の値が現状維持と比較しても大きな差が無く、このような結果が得られたことが考えられる。

### (2) 更新時期を考慮することによる総費用の差

一極集中型シナリオにおいて、目標年(2035年)に集約化を行う場合と既存配水施設の更新時期を考慮して都市の集約化を行った場合の総費用の差を図-10に示す。

更新時期を考慮した場合、更新時期を考慮しなかった場合と比較して総費用が約21億円低くなると予測された。約21億という差が生まれた原因は更新時期を迎えた施設の更新費用が大きいためである。具体的には更新時期を考慮した場合の更新費用は11,859百万円、更新時期を考慮しなかった場合では更新費用は13,906百万円であり、更新費用だけで約20億円の差が生まれている。この結果より更新時期を考慮した都市の集約化を行うことによって総費用を下げる事が可能であり、効率的な都市の集約化を行うことが可能であると示された。

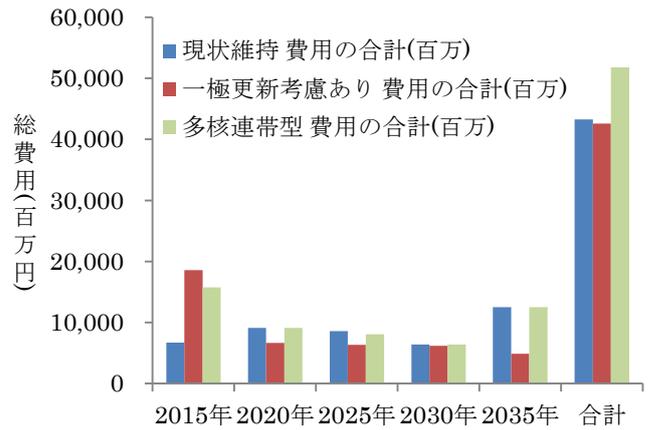


図-5. 各シナリオ別の総費用

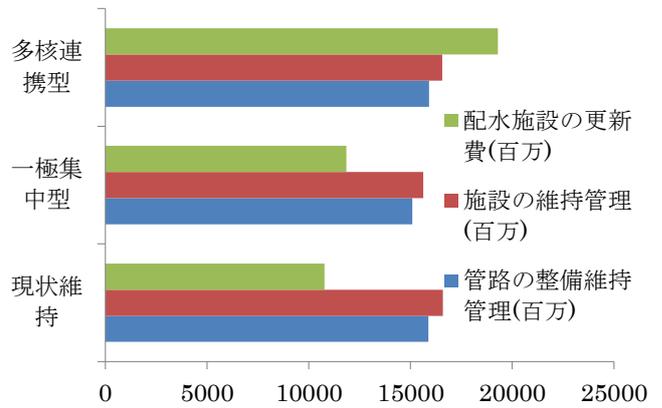


図-6. 各シナリオ別の総費用の内訳

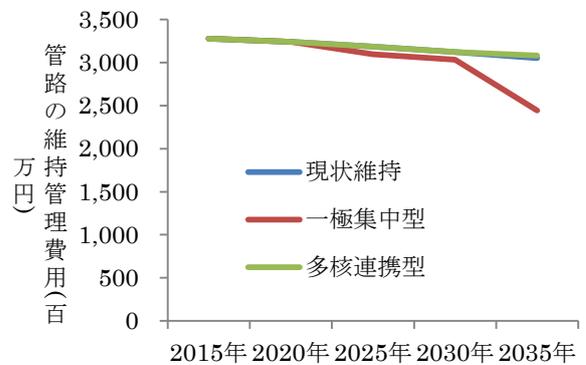


図-7. 各シナリオ別の管路の維持管理費用の変化

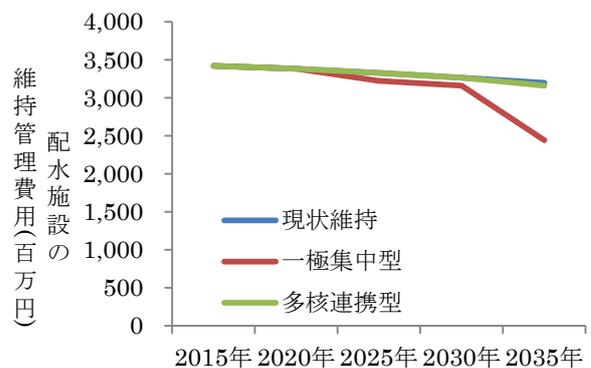


図-8. 各シナリオ別の配水施設の維持管理費用の変化

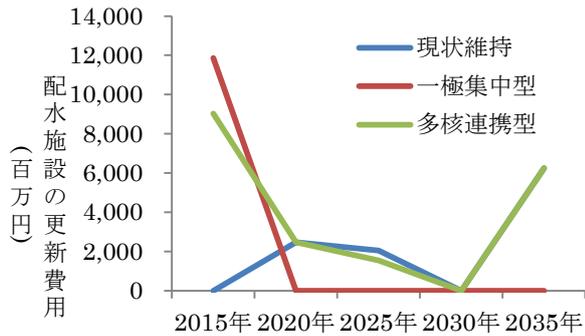


図-9. 各シナリオ別の配水施設の更新費用の変化

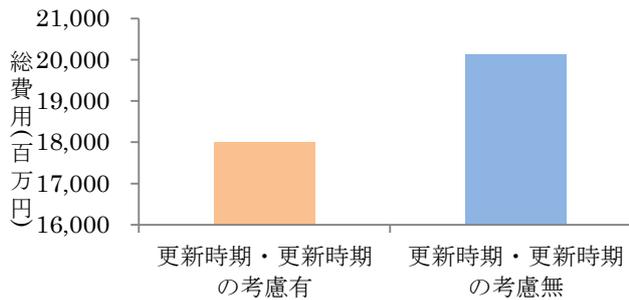


図-10. 更新時期の有無の総費用の比較

#### 4. まとめ

本研究では都市の集約化による上水道の維持管理費用の変化を更新時期・更新費用、配水施設の機能に着目し算出した。その結果、都市の集約化による総費用の減少効果を得るためには長期間必要であることが明らかになった。また、更新時期・更新費用を考慮することで得

られる総費用の減少効果を定量的に明らかにした。

本研究では上水道の施設機能評価では配水施設にのみ着目し分析を行ったため、今後は他の取水施設、導水施設、管路等も今後考慮していく必要があると考える。また、将来配水量の推定はさらに検討する必要がある。今回は上水道に着目したが都市の集約化によって維持管理費用が減少すると考えられるその他の社会基盤施設を検討していく必要があると考える。

#### 参考文献

- 1) 森本章倫：都市のコンパクト化が財政及び環境に与える影響に関する研究，都市計画論文集，Vol. 46, No. 3, 2011.
- 2) 岩本慎平 田中貢宏 西名大作：都市施設整備・維持管理費の視点からみた都市構造の検討，日本建築学会技術報告集，2011.
- 3) 熊本市上下水道局：平成 25 年度熊本市上下水道事業年報，2013.
- 4) 熊本市：第 2 次熊本都市マスタープラン概要版地域別構想，2014.
- 5) 国立社会保障・人口問題研究所，<http://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/jshicyoson13/t-page.asp>，2015 年 7 月 20 日アクセス.
- 6) 平成 22 年度地方公営企業年間水道事業ホームページ，[http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/czaisei/kouei22/html/mokuji.html](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/czaisei/kouei22/html/mokuji.html)，2015 年 1 月 12 日アクセス.
- 7) 厚生労働省健康局水道課：水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き，2011.

### CHANGE OF WATER-SUPPLY MAINTENANCE-COST BY MAKING URBAN FORM COMPACT

Tomoya NASU and Takuya MARUYAMA

Japan is now the aged society with fewer children and decreasing population and. Some professionals argues the compact city is desirable urban form in future Japanese cities. The purpose of this study is to reveal the changes in the maintenance costs of urban facilities by making urban form compact. We conduct a case study in water-supply systems of Kumamoto City. We reveals the change of water-supply maintenance-cost by several urban-form scenarios.