

38. ネットワークインフラの運用・維持コストに関する統計分析

- 東北地方市町村の上水道を対象として -

Statistical Analysis of Operation and Maintenance Cost of Network Infrastructure

- Municipal water supply systems in Tohoku Region -

奥村 誠*・田中大司**
Makoto Okumura* and Hiroshi Tanaka**

It will become more difficult to operate and maintain network infrastructure, such as water, gas and power supply, because density of inhabitants and households will go down in Japan. This paper presents a statistical analysis of operation and maintenance cost of 97 water supply systems in Tohoku Region through estimating a stochastic frontier analysis model. This analysis uses not only the conventional data supplied by the Water Works Census, but also the spatial distribution of population, land-use and elevation data supplied by the MLIT Web site, after converted by a GIS. The estimated model regressed 13.2% of variance of the unit operation cost of water supply system, by the factors, such as customer density, roughness of supplied area, and oldness and other network characteristics.

Keywords: operation cost, maintenance cost, network, infrastructure, water supply, GIS

運用コスト, 維持コスト, ネットワーク, インフラ, 上水道, 地理情報システム

1. はじめに

日本の人口は 21 世紀初頭にピークを迎え、2006 年以降は年々減少が継続するようになった。非単独世帯数はすでに減少に転じており、単独世帯を加えた総世帯数も 2015 年ごろをピークに減少に向かうと予測されている。このような人口・世帯数の減少は、生活のための基礎的なサービスを提供している各種のインフラの需要を減少させると同時に、その運営や維持コストの負担力も減少させる。そのためインフラの運営主体には、施設の老朽化への対応として維持修繕や運営の一層の効率化が求められており、その実現手段としてアセット・マネジメントの導入の必要性が叫ばれている。

各種のインフラの中でも、電気、ガス、上下水道などのネットワーク系のインフラは、人口や需要量の全体量に加えてその空間的な分布が施設の運営や維持のコストに大きな影響を持っている。すなわち日本の各地では、一旦空間的に広がった市街地の中から五月雨式に人口が抜け出る形で減少して人口密度が低下する現象が進んでいるため、従来と変わらない規模のネットワークをより少ない需要者からの収入で負担するという、厳しい状況への変化が進行しつつある。

本研究では、ネットワーク系インフラに立脚した公共サービスの代表例である水道事業を取り上げ、以上で述べたような人口の空間分布や施設の老朽度が事業コストに与える影響を分析し、合わせて事業体ごとの効率性の差異を考査することを目的とする。具体的には、事業体の経営効率の分析にこれまで多く用いられてきている確率的フロンティア分析法を用い、東北地方の市町村が単独で運営している 97 の事業体の「配水費」に関する分析を行う。その際、

配水に関わる物理的な仕組みを考慮して独自の説明変数を定義し、人口の空間分布に関する情報を地理情報システム (GIS) 上で整理してその値を用意したところに大きな特徴がある。

2. 水道事業の特徴と本論文のアプローチ

(1) 水道事業の特徴

ネットワーク系インフラを使用する事業の中でも水道事業は、体積あたりの重量が大きく、またその挙動も複雑である水を対象物とし、各家庭までのサービスの供給のための物理的に連続した水道管ネットワークの設置と維持が必要であり、都市の人口分布変化などの質的な変化の影響を受けやすい事業である。

水道法では事業認可に当たり給水区域・給水人口および給水量を明記した事業計画書の提出を求めており(第 7 条)，かつ給水区域内の需要者からの給水契約を拒否できず、災害時などを除いて常時給水する義務を負っている(第 15 条)。一方水道法施行規則では、給水区域の設定に当たっては「当該地域における水系、地形その他の自然的条件及び人口、土地利用その他の社会的条件、水道により供給される水の需要に関する長期的な見通し並びに当該地域における水道の整備の状況を勘案して、合理的に設定する」としているが、同時に「水道の整備が行われていない地域の解消を配慮」する(第 6 条)と規定しており、需要家が一定の土地利用を行おうとしている場合には、そのニーズに対応して給水区域を拡大設定するという考え方になっている。

つまり水道事業は、人口や土地利用の動向に受身的に対応する立場にあり、ネットワークの拡張を通じて 2008 年に

* 正会員 東北大学東北アジア研究センター (Tohoku University)

**学生会員 東北大学大学院工学研究科 (Tohoku University)

は、全国の水道普及率は 97.5%にまで達した。しかし、今後の人口減少にともない社会の費用負担能力が減少していく中で、水道ネットワークの運用・維持が困難になることは必至であり、水道事業者には高効率・低コストの運営が求められていることは、厚生労働省による水道ビジョン(2004)にも記載されている^①。従来から、市街地の広がりに対応するための新たな施設の建設コストには注目がなされ、新規土地開発に伴う開発者負担などが制度化されてきた。これに対して本研究では、一旦建設された施設を運用・維持していく段階でのコストの問題に着目しており、一時的な開発者負担ではカバーされない問題を指摘しようとするところに、本研究の特徴がある。

(2) 水道事業の効率性に関する既存研究

これまでにも、水道事業の運営における効率性に関して、確率的フロンティア分析 (Stochastic Frontier Analysis: SFA) モデルなどを用いた実証的研究が行われている。

原田(2004)では、労働、資本、その他投入財によって有収水量を説明する SFA モデルを構築し、非効率性の存在が、補助金依存度などの経営的な要因によるものか、ダム率や受水率など取水状況によるものかを分析している^②。小林・小西(2006)では、ネットワーク変数として配管延長を給水人口で除したもの導入して、年間配水量を説明する SFA モデルを構築し、水道料金や利益率、取水状況から非効率性の要因を分析している^③。中山(2007)では、パネルデータを用いて、規模の経済性や密度の経済性の存在を示している^④。

これらの研究では「地方公営企業年鑑」のデータを使用して水道事業全てを一括して分析しており、結果的に得られた非効率性の違いを、補助金依存度や水道料金のような制度的な項目、あるいはダム率や受水率などの取水方法や施設の利用率に関連付けて考察している。すなわち、一般的の製造企業と同様の枠組みで水道水の生産活動における効率性の違いを一括的に論じている。

そのため、算出された非効率性が、取水・導水・浄水・送水・配水・給水のどの部分において発生しているかが不明である。また、水道事業をとりまく環境による不可避的なものか、運営の非効率によるものかが区別されておらず、今後どのように効率性を高めていくべきかという工学的な示唆が十分ではない。

(3) 本研究のアプローチ

本研究では、確率的フロンティア分析 (SFA) モデルを用いて、水道事業をとりまく環境が事業コストに与える影響を分析する。特に、人口減少に伴う都市構造の変化から最も大きな影響を受けると考えられる、各需要家まで水を届ける「配水」をとりあげ、その運用・維持コストに関する分析を行う。なお、配水施設のストック額は水道事業に係る資産の 50%近くを占めていることから^⑤、配水に関わるコストを分析することの重要性は大きい。

本研究では既存研究で取り上げられた給水人口や有収水量といった生産量や生産規模を表す変数だけではなく、需要家の分布、地形条件、配水施設状況、給水量といった配水環境の質の違いに注目する。そのため、配水の計画や配管・施設についての工学的なデータを含んでいる「水道統計」のデータ^⑥を用いる。これに加え、国土数値情報ダウンロードサービスによる土地利用と標高傾斜度の 3 次メッシュデータ^⑦を組み合わせることで、地形条件の描写も試みる。そのデータ変換方法には、塚井・奥村(2006)が市町村の地理的条件を加味して地方財政の効率性を分析した研究^⑧が参考となる。

本研究では東北地方の市町村のうち行政区域とサービス区域の一一致した 97 の市町村をサンプルとして取り扱うこととした。なお、施設の新設や改良工事にかかる費用については、本研究の対象外である。

3. 確率的フロンティアモデルの定式化

本研究では、確率的フロンティア分析 (SFA) を用いて、水道事業の運用・維持費用を、説明変数でパラメトリックに説明できる不可避的な費用の部分(フロンティア費用)と、観測年次における突発的な影響や経営努力など事業体ごとの個別の事情により、完全には説明できない非効率性の部分に分離する。

(1) 目的変数

SFA モデルにおける目的変数を、有収水量あたりの単位配水コスト c_i [円/m³] とする。

$$c_i = \frac{\text{配水費} [\text{千円/年}]}{\text{有収水量} [\text{千m}^3/\text{年}]} \quad (1)$$

(1)式の分子の配水費とは、配水池・配水管・その他淨水の配水に係る設備の維持及び作業に要する費用である。水道統計では営業費用の項目を目的別に、原水費、浄水費、配水費、給水費、受託工事費、業務費、総係費、減価償却費、資産減耗費、その他、に分けている。これらの営業費用を支出段階で見ると、給料、手当、賃金、法定福利費、旅費、被服費、備品消耗品費、燃料費、光熱水費、印刷製本費、通信運搬費、委託料、手数料、貸借料、修繕費、路面復旧費、動力費、薬品費、材料費、補償金、負担金、受水費、雜費等に細分して支出されており、施設を利用して実際に水道事業を行っていく段階での費用を表している。水道統計では新たな配水施設の建設費用は、建設改良事業の中の配水施設費として計上されているが、本研究では対象外と考えて取り扱わない。

一方、(1)式の分母の有収水量とは、料金徴収の対象となった水量である。これには、一般の需要家の給水管に提供され料金徴収された水量に加えて、公園用水、公衆便所用水、防火用水など自治体の他会計から維持費用としての収入があるものも含まれる。

対象 97 市町村における有収水量と配水費のグラフを図-1に表す。図-1を見ると、有収水量と配水費には正の相関関係が見られるが、配水費／有収水量は市町村によってばらつきがあることがわかる。

(2) 配水環境変数

需要家・地形条件・配管施設・給水量の4つの側面から、配水環境の異質性を描写した変数を提案する。変数名は4種類を表す P, G, S, W に、おののの種類の中で変数を区別する番号を添えて表現する。具体的な数値は、平成20年度水道統計のデータに加え、国土交通省国土計画局の国土数値情報ダウンロードサービス（<http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/gis/index.html>）から得たデータを用いて作成する。

(I) 需要家に関する変数

給水人口あたりの有収水量を P_1 とする。多量の水を消費する工場や港が立地している場合にこの値は大きくなる。

次に給水区域における人口密度を P_2 とする。

(II) 地形条件に関する変数

地形の険しさを表す変数を構築するために、国土数値情報の3次メッシュデータを用いる。建物用地が多く、標高が低いところから需要家が分布すると考え、土地利用データから得られるメッシュ内建物面積と、標高傾斜度データから得られるメッシュ内最低標高の値に注目した。

次に市町村ごとの給水区域内の地形条件を算出する。そのため、市町村全域の建物面積や標高のメッシュデータのうちで給水区域分を取り出して集計する必要がある。しかし各事業者の実際の給水区域を一つ一つ調べてデータ化することは困難であるため、正確さは若干犠牲になるが、「建物面積の大きいメッシュから給水区域が指定される」、「メッシュ内の需要家世帯数は建物面積に比例する」という2つの仮定を置く。市町村ごとの給水区域内世帯数データにその自治体の世帯当たりの建物面積を掛けて、給水区域の総建物面積を推計し、建物面積が多いメッシュから順にその値になるまで給水区域に割り当てる。

そして、割り当てた給水区域メッシュを対象として、次式のように重み付標高標準偏差 G_1 を計算し、給水区域内の地形の険しさを表す変数として用いる。添字 k は給水区域内のメッシュを表す。なお、実際の配水費用は、配水施設の標高や上り・下り勾配の比率などの施設配置にも影響を受けると考えられるが、この変数 G_1 の目的は、施設配置によっても大きく変化させ難いような地形の影響を把握することにある。

$$G_1 = \sqrt{\frac{\sum_k^J b_k (h_k - \bar{h})^2}{\sum_k^J b_k}} \quad (2)$$

b_k : メッシュ内建物面積 J : 給水メッシュ数

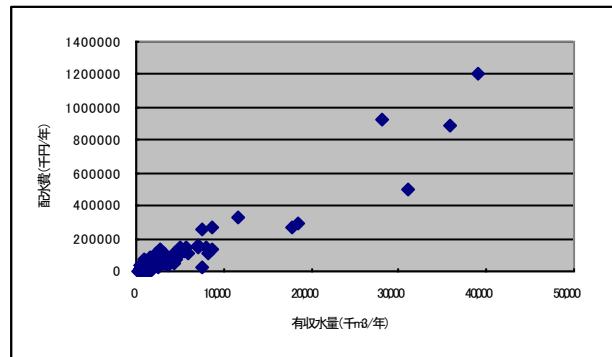


図-1 東北地方 97 市町村の配水費・有収水量

h_k : メッシュ内最低標高 \bar{h} : 給水区域平均標高

(III) 配管と施設に関する変数

給水人口あたりの配水管総延長を S_1 とする。この値は配管の量を表し、水道事業の効率性を取り扱う多くの既存研究でも用いられている変数である。次に法定耐用年数すなわち40年を超えた配水管の比率を S_2 とする。さらに給水人口あたりの配水有効容量を S_3 とする。有効容量は計画給水量によって決まり、施設の規模を表すものである。また、配管長断面積比を S_4 とする。

$$S_4 = \sum \frac{l}{d^2} \quad (3)$$

d : 配水管の口径 l : 口径 d である配管長

管内の水流を層流であると仮定し、流速が一定となるように管路が設計されていると考えると、エネルギー損失水頭は、(3)式に比例する。また、有収水量あたりの配管事故回数を S_5 とする。

(IV) 給水量に関する変数

給水量のうち有収水量が占める割合である有収率を W_1 とする。日最大給水量に対する日平均給水量の割合である負荷率を W_2 とする。水需要の変動を表すこの値は、一般的に大都市ほど大きくなる。さらに、給水量のうちで浄化された水を他の事業体から購入した受水量の割合を W_3 とする。

(3) 確率的フロンティアモデル

観測された単位配水コストを以下のように定式化する。

$$c_i = f(N_i; \beta) + \nu_i + \mu_i \quad (4)$$

ここで、 $f(N_i; \beta)$ はフロンティア費用関数であり、 N_i は(2)で説明した配水環境変数をまとめて表している。 β はそれぞれの配水環境変数に対応する係数ベクトルである。また、 ν_i は観測誤差を表す要素であり、 μ_i は配水費用の非効率性を表す非負の要素である⁹⁾。

本研究では、 $f(N_i; \beta)$ を線形式であると仮定する。ま

た、 ν_i は正規分布に従い、 μ_i は非負の半正規分布に従うものとし、これらは互いに独立であると仮定する¹⁰⁾。

$$\nu_i \sim N(0, \sigma_\nu^2), \mu_i \sim N^+(0, \sigma_\mu^2) \quad (5)$$

それぞれの確率密度関数 φ_ν, φ_μ は、以下の式のように表すことができる

$$\varphi_\nu(\nu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\nu} \exp\left(-\frac{\nu^2}{2\sigma_\nu^2}\right) \quad -\infty < \nu < \infty \quad (6)$$

$$\varphi_\mu(\mu) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_\mu} \exp\left(-\frac{\mu^2}{2\sigma_\mu^2}\right) \quad 0 \leq \mu < \infty \quad (7)$$

ここで、誤差の合計を $\mu_i + \nu_i = \varepsilon_i$ と表すと、 ν_i, μ_i の同時分布 φ_ε は以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \varphi_\varepsilon(\varepsilon, \mu) &= \int_0^\infty \varphi_\nu(\nu) \varphi_\mu(\mu) d\mu \\ &= \int_0^\infty \varphi_\nu(\varepsilon - \mu) \varphi_\mu(\mu) d\mu \end{aligned} \quad (8)$$

この式は、誤差 ε_i に関する尤度としてとらえることができるため、最尤推定法を用いて配水フロンティア費用関数の係数 β を求めることができる¹⁰⁾。実際の計算にはフリーの統計計算ソフト R のパッケージ Frontier¹¹⁾を用いた。

4. モデル推定結果の考察

(1) 推定結果の概要

(4)式のモデルの最尤法による推定結果を表-1 に示す。一方比較のために、小林・小西(2006)³⁾などの既存研究で用いられた給水人口、ネットワーク強度という量的変数のみを用いた SFA モデルを定式化し、最尤法により推定した結果を表-2 に示す。比較用モデルでは同じ量的変数を用いてできるだけ再現性が高くなるように関数への変数の入れ方は変更している。表-1 に示すように、(4)式のモデルでは、すべての配水環境変数に対する係数が統計的に有意になっている。

残差についての分散 σ^2 の値は、量的変数のみを用いた比較モデルでは $\sigma^2 = 469.5$ 、(4)式のモデルでは $\sigma^2 = 422.1$ であった。前者に比べて後者は 10% 程度の残差が減少しており、説明力が増加していることがわかる。もとの c_i についての分散は $\sigma_c^2 = 486.5$ であったため、2 つの SFA モデルによってそれぞれ分散の 3.4%、13.2% の部分が説明できたことになる。

ところで、z 値とは係数推定値を標準誤差で正規化した値であり、係数の真値が 0 であるという帰無仮説を t 検定を用いて統計的に検定できる。その有意水準を表中に記号で示している。また、 γ は残差のうち非効率性に起因する割合を表す。

(2) 需要家に関する変数の影響

まず、需要家一人あたりの有収水量 P_1 に対する係数は、

表-1 配水環境変数を用いたSFAモデルの推定結果

変数	単位	係数推定値	z 値	有意性
定数項		5.64	5.81	***
給水人口あたり有収水量 P_1	千m ³ /人	-147	-147	***
給水区域内人口密度 P_2	人/km ²	0.00390	1.89	+
重み付標高標準偏差 G_1	m	0.115	7.09	***
ネットワーク強度 S_1	m/人	0.221	2.07	*
40 年経年配管比率 S_2	無次元	3.71	2.76	**
給水人口あたり有効容量 S_3	m ³ /人	10.5	9.60	***
配管長断面積比 S_4	m ⁻¹	5.03 × 10 ⁻⁸	2.80	**
配管事故発生率 S_5	回/千m ³	0.640	63.8	***
有収率 W_1	無次元	-7.93	-8.69	***
負荷率 W_2	無次元	6.67	6.99	***
受水依存度 W_3	無次元	3.17	2.53	*
$\sigma_\mu^2 + \sigma_\nu^2$	σ^2	422	421	***
$\sigma_\mu^2 / (\sigma_\mu^2 + \sigma_\nu^2)$	γ	1.00	279	***

有意性: *** 0.1% 有意, ** 1% 有意, * 5% 有意, + 10% 有意

表-2 量的変数のみを用いた比較用SFAモデルの推定結果

変数	単位	係数推定値	z 値	有意性
定数項		7.92	1.19	
ネットワーク強度/有収水量	m/人・千m ³	115	1.38	
給水人口/有収水量 $1/P_1$	人/千m ³	-0.256	-0.386	
$\sigma_\mu^2 + \sigma_\nu^2$	σ^2	469	5.52	***
$\sigma_\mu^2 / (\sigma_\mu^2 + \sigma_\nu^2)$	γ	0.982	51.1	***

有意性: *** 0.1% 有意, ** 1% 有意, * 5% 有意, + 10% 有意

符号は負であり 0.1% 有意であった。これは、大需要家が存在するほどたくさんの配水をまとめて一括して行うことができるため、有収水量あたり配水費用を減少させる傾向があると考えられる。

次に、給水区域における人口密度 P_2 に対する係数は、符号は正であるが有意性は弱く 10% 有意であった。これより東北地方においては、人口が集中する場合に配水コストが増加する傾向があると考えられる。後述するように本モデルでは配管長に関する S_1, S_4 という変数が別に加味されている。このためこの人口密度 P_2 に対する係数は、人口密度が高い地域ほど管に強い水圧がかかり配水管の綿密な維持点検が必要となること、あるいは人口密度が高いところほど道路交通量が多いため、工事・修繕などにより多くのコストがかかることを意味していると考えられる。

(3) 地形条件に関する変数の影響

重み付き標高標準偏差 G_1 に対する係数は、符号は正であり 0.1% 有意であった。これは、地形の凸凹が激しい地域に配水するほど、より多くのエネルギーを要し、有収水量あたり配水費用が増加することを示している。

(4) 配管・施設に関する変数の影響

次に、給水人口一人あたりの配管長（ネットワーク強度） S_1 に対する係数は、符号は正であり 5% 有意であった。これは、配水管が長い場合、維持管理のための費用がより多く必要となるため、有収水量あたり配水費用を増加させることを表わしている。

次に、40 年経年配管比 S_2 に対する係数は、符号は正で

あり 1%有意であった。法定耐用年数を超えて老朽化した配管の割合が高いと、多くの維持管理費用が必要であると考えられる。

次に、給水人口一人あたりの有効容量 S_3 に対する係数は、符号は正であり 0.1%有意であった。必要以上の配水施設を所持しているとより多くの維持管理のため費用がかかるため、有収水量あたり配水費用は増加することを表している。

次に、配管の長さ断面積比 S_4 に対する係数は、符号は正であり、1%有意であった。これは、管の摩擦損失エネルギーを表しており、細い管が長く敷設されているほど、配水のためにより多くのエネルギーが必要とされるため費用が増加する傾向にあることを意味している。

そして、配水管事故率 S_5 に対する係数は、符号は正であり 0.1%有意であった。配水管の事故が発生したとき、復旧のために余分な費用が必要となるため、このような結果となったと考える。

特に、本研究の分析対象市町村において、人口減少の著しい西会津町・猪苗代町・女川町・藤沢町などにおいて S_1 や S_3 の値が大きくなっている、これらの係数が正であることから費用の増大につながっている。つまり、人口減少にともない既存の配水管や施設を必要以上に抱えたことが運用・維持管理費用の増大につながるという問題が、東北地方においてすでに発生しているということが明らかとなった。

(5) 給水量に関する変数の影響

次に、有収率 W_1 に対する係数は、符号は負で 0.1%有意であった。有収率が高いことは、漏水などによる水量の損失が少なく、よって余分な水量を配水する必要がないため、配水した水の大部分を有収水量とすることができていることを表しており。コストへの符号が負であることは理解できる。

次に、負荷率 W_2 に対する係数は、符号は正で 0.1%有意であった。負荷率が高いほど、給水量の限度に近い水量を常に配水しているため、配水能力の余裕があまり多く残っていないと考えられ、そのことが費用の増加をもたらしていると考えられる。

そして、受水依存度に対する係数は、正であり 5%有意である。通常の送水の費用に比べて、受水にはより多くの費用が必要となるようである。

(6) 推定された非効率率の考察

ここで、本研究で提案した配水環境変数で説明しきれなかった j 市町村の非効率率 $\hat{\mu}_j$ は、係数の推定値 $\hat{\beta}$ を用いて計算されるフロンティア費用を上回って必要となっているコストであり、(9)式のように計算される。

$$\hat{\mu}_j = c_j - f(N_j; \hat{\beta}) \quad (9)$$

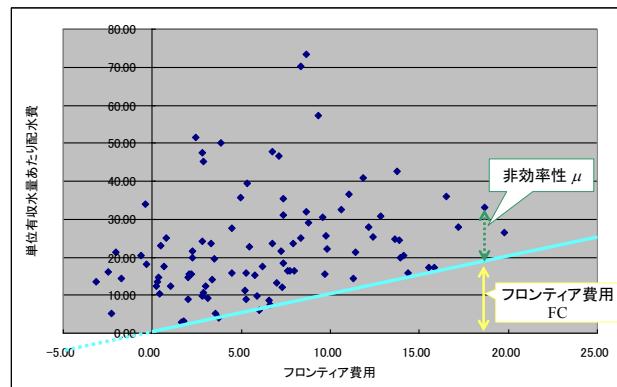


図-2 有収水量あたり配水費とフロンティア費用

(4)式の SFA モデルの推定結果は $\hat{\gamma} = 1$ であるため、観測誤差の分散 $\sigma_v^2 = 0$ となり、観測誤差は十分に小さく $v_i = 0$ と考えてよいため、(9)式により非効率の値を推定する。

有収水量あたり配水費と推定されるフロンティア費用をプロットしたグラフを図-2 に、フロンティア配水費用と非効率性の市町村ごとの値をそれぞれ地図上に図示したものを図-3、図-4 に表す。フロンティア費用の推定値が負となっている市町村が 12 個見られるが、青森県藤崎町、宮城県気仙沼市など、給水区域が低平な市街地で大企業などの需要家があり施設も若いという条件がそろっている市町村である。

非効率の値が小さい市町村は、自らの持つ配水環境の中で効率的な運営がなされていると言える。図-2 を見ると、非効率の値は市町村によって 0~約 64 円/m³ という大きな差異が存在することがわかる。一方、本研究で推定されたフロンティア費用は、最大でもせいぜい 20 円/m³ であるので、非効率が大きいことが c_j の値に決定的な影響を持っている。このことは、図-3 において濃い色で塗られている市町村は、図-4 において濃い色で塗られている市町村とほぼ一致していることからも確認できる。

具体的には、青森県田子町、岩手県山田町、宮城県丸森町、山形県長井市・朝日町・飯豊町、福島県川俣町において非効率の値が大きく、秋田県南部や南三陸の地域などにおいて非効率が次に大きい値となっている。これらの市町村において、本研究で提案した配水環境変数で説明できなかつた非効率性が存在していることになる。これらの市町村は空間的にまとまりが見られ、突発的な豪雪などの異常気象・自然災害の影響で、配水コストが通常よりも余計にかかってしまった可能性が考えられる。また、事業体において勤続年数の長い従業員の割合が高まったこと、新しいコンピューターなどの運営機材の導入により余分に費用がかかってしまったことなどの、統計上に現れてこない影響が存在することが予想される。これらの原因を確認するには、複数の年次のデータを収集して分析を行うことが望まれる。

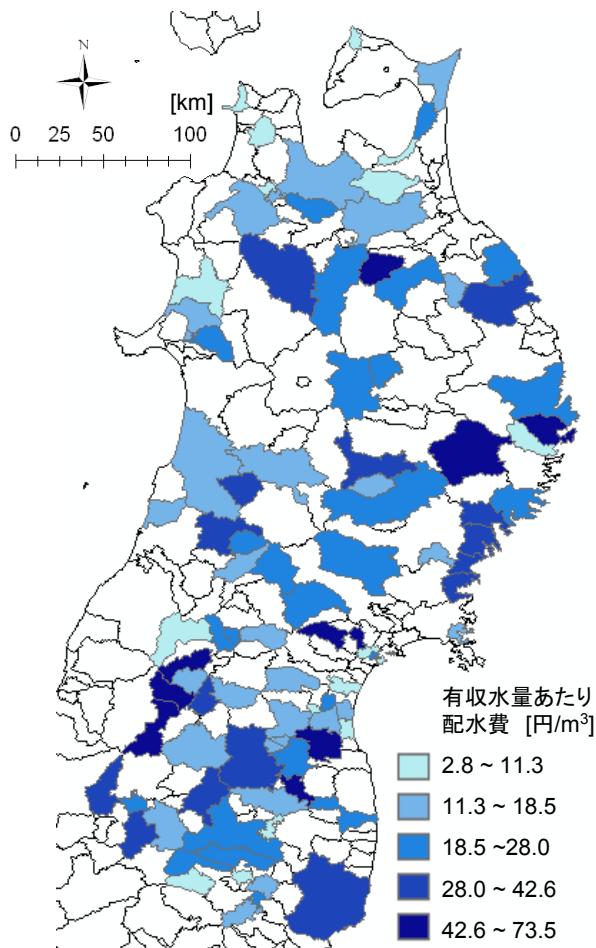


図-3 市町村別の有収水量あたり配水費 c_i

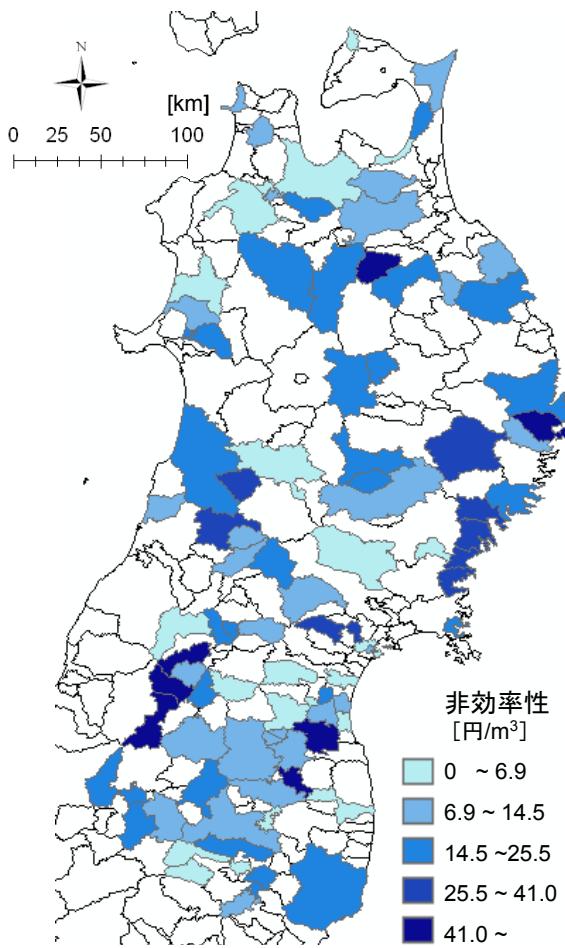


図-4 市町村別の非効率性推定値 μ_i

5. おわりに

本研究では、典型的なネットワーク型インフラを利用する公共サービスである水道事業の運用、維持コストに関するSFAモデルの推定を行った。その結果、4.(3)に示したように、地形が険しい地域へのサービスがコストの増加をもたらしていることが確認できた。また、4.(4)に示した配管・施設に関する説明変数の係数推定値から、人口の減少が施設の利用効率の低下をもたらし、施設の老朽化とあいまって、今後コストの増加を招く危険性が大きいことを確認できた。コストの増加を回避するためには、必要以上の規模の配水施設を持たないように可能な限り施設の縮小を行うとともに、老朽化した配管の更新を進めて事故の発生を防ぐことが重要であることがわかった。

本研究のモデルで推定された非効率性の値は、観測年次における突発的な気象の影響や、運営方法・設備の特性で統計上に現れてこないものの影響が考えられる。今後は複数年次のデータを用いることで、より安定的な分析を行うことが望まれる。

謝辞

本研究は、JST-JICA 地球規模課題対応国際科学技術協力事業「氷河減少に対する水資源管理適応策モデルの開発」の一部として実施したものである。研究費のサポートに対して、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 厚生労働省健康局：水道ビジョン、2004
- 2) 原田慎夫：水道事業の効率性分析、『同志社大学経済学論叢』第55巻 第4号、pp101-133、2004
- 3) 小林尚弘・小西秀樹：確率的生産関数を用いた水道事業の効率性分析、2006.<http://www.soc.itech.ac.jp/publication/Theses2005/graduate/01-0986-6.pdf>
- 4) 中山徳良：確率的フロンティアとパネルデータを用いたわが国の水道事業の費用効率性と規模の経済性の計測、日本地域学会第44回大会、2007
- 5) 中村玄正：三訂版 入門上水道、工学図書株式会社、2001
- 6) 日本水道協会：水道統計「平成20年度」(第91号)
- 7) 国土交通省国土計画局：国土数値情報ダウンロードサービス <http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/gis/index.html>
- 8) 塚井誠人・奥村誠：行政コスト不効率性に基づく市町村合併の評価、日本都市計画学会、都市計画論文集 No.41-3、2006
- 9) Kumbhakar S. C., Lovell C. A. K.: Stochastic frontier analysis, 2000
- 10) Coelli, T. J.: A Guide to FRONTIER Version 4.1: A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation, 1996
- 11) Coelli, T., Henningsen A.: Package ‘frontier’, 2010