

上水道の供給コストにおける配水環境の影響分析

Analysis of Effect of Distribution Environment to Water Service Cost

田中 大司*
Hiroshi TANAKA

*地域計画学研究室（指導教員：奥村誠 教授）

本研究では、水道事業のなかでも人口分布変動の影響を最も受けると考えられる配水事業に注目した。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GISデータダウンロードサービスのデータを組み合わせて、需要家・地形・施設・給水量の4つの観点から配水環境を描写した変数を提案した。それらを用いて有収水量あたりの配水費用を説明するSFA（確率的フロンティア分析）モデルを構築した。その結果、配水環境の違いが、配水事業の運営・維持管理コストに影響をもたらすことがわかった。

Key Words : 配水事業, GISメッシュデータ, SFA, 非効率性

1. はじめに

人口減少社会に突入したわが国の都市において、人口減少のために新たな需要の創造は困難であり、加えて少子高齢化の進展により社会の経費に対する国民の負担能力は減少の一途をたどるため、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。

（厚生労働省水道ビジョン2004より）しかし、水道事業などネットワーク型インフラを用いた公共サービスは、各家庭まで直接的にサービスを供給するため、人口の低密度化の影響により、特に運営コストの上昇が懸念される。

そこで本研究では、配水環境の違いが配水事業にかかるコストに与える影響を明らかにする。ここでは、有収水量あたりの配水費 c [円/m³] を説明するモデルを構築する。有収水量とは、給水量のうち料金収入に繋がる水量を表す。配水費とは、配水施設の運営・維持管理に係る費用のことであり、新施設の建設費用などは含まれていない。

2. 配水環境変数の構築

2.1 使用データ

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。

2.2 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。

i) 需要家に関する変数 P_i

給水人口あたりの有収水量を P_1 とする。この値が大きいほど、多量の水を消費する工場や港が立地し

ていることを示す。給水区域における人口密度を P_2 とする。行政区域全体に対する人口密度では、配水の行われていない地域も含まれるため、この値を用いた。

ii) 地形条件に関する変数 G_i

地形の険しさを表す変数を構築するために、GISの3次元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、メッシュ内建物面積とメッシュ内最低標高の値に注目した。また、建物面積の多い地域から順に給水が行われるとして、給水区域メッシュを割り当てた。そして、給水区域メッシュを対象とし、次式のように重み付標高標準偏差を計算し G_1 とする。

$$G_1 = \sqrt{\frac{\sum_k^J b_k (h_k - \bar{h})^2}{\sum_k^J b_k}} \quad (1)$$

b_k : メッシュ内建物面積 J : 給水メッシュ数
 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 S_i

給水人口あたりの配水管総延長を計算し S_1 とする。この値は配管量を表し、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た変数である。法定耐用年数すなわち40年を超えた配水管の比率を求め S_2 とする。給水人口あたりの配水有効容量を計算し 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。配管長断面積比を次式のように計算し S_4 と定義する。

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

表 1 係数推定結果

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、(2)式に比例する。有収水量あたりの配管事故回数を計算し S_5 とする。

iv) 給水量に関する変数 W_i

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。給水量のうちで浄化された水を購入した受水量の割合を計算し W_3 とする。

2.3 分析対象市町村の選定

気候条件も配水コストに影響する可能性があると考えたため、東北地方の市町村を対象とした。特に、便宜上の理由から行政区域とサービス区域が一致している97市町村を選定し分析の対象とした。

3. 配水コスト構造の分析

3.1 確率的フロンティア分析

本研究では、最低限必要とされる不可避免的な費用すなわちフロンティア費用と、その他の要因で生じる費用すなわち非効率性が存在すると考え、SFA (Stochastic Frontier Analysis) を用いた。モデルは次式のようになる。

$$c_i = f(P_i, G_i, S_i, W_i, \beta) + v_i + \mu_i \quad (3)$$

β : 係数 v_i : 観測誤差 μ_i : 非効率性
本研究では、フロンティア費用関数 $f(\square)$ に線形式を仮定する。データ解析ソフトRのパッケージ Frontier を用いて係数を推定した。

3.2 係数の推定結果と考察

SFAモデルの係数推定結果を表1に示す。すべての係数について有意であり、本研究で提案した配水環境変数は、有収水量あたりの配水費 c_i に対して有意に影響を与えることがわかった。

このうち、 P_2 の係数は正であるが、配管に関する変数を別に考慮しているため、人口が集中している地域ほど水圧の維持や修繕工事が難しく費用が増加すると考えられる。 G_1 の係数の符号は正で、地形条件が険しい場合に配水にエネルギーが必要となり費用が高くなると考えられる。 S_1 と S_3 はともに過疎化が進む市町村で大きな値となり、係数の符号は正であるため、人口減少にともない既存施設の運営費用が増大する問題が、すでに発生していると考えられる。

観測された c_i の分散は486.5のうち、本研究で推計

| 配水環境変数を用いたモデル | 単位 | 係数推定値 | z値 | Pr(> z) | 有意 |
|--|------------------|-----------|----------|-----------|-----|
| 定数項 | — | 5.64E+00 | 5.8084 | 6.31E-09 | *** |
| 給水人口あたり有収水量 | P_1 千 m^3 /人 | -1.47E+02 | -146.773 | < 2.2e-16 | *** |
| 給水区域内人口密度 | P_2 人/ km^2 | 3.90E-03 | 1.8682 | 0.061736 | . |
| 重み付標高標準偏差 | G_1 m | 1.15E-01 | 7.0919 | 1.32E-12 | *** |
| ネットワーク強度 | S_1 m/人 | 2.21E-01 | 2.0665 | 0.038782 | * |
| 40年経年配管比 | S_2 無次元 | 3.71E+00 | 2.7611 | 0.005761 | ** |
| 給水人口あたり有効容量 | S_3 m^3 /人 | 1.05E+01 | 9.6042 | < 2.2e-16 | *** |
| 配管長断面積比 | S_4 m^{-1} | 5.03E-08 | 2.8012 | 0.005091 | ** |
| 配管事故発生率 | S_5 回/ km^3 | 6.40E+01 | 63.7923 | < 2.2e-16 | *** |
| 有収率 | W_1 無次元 | -7.93E+00 | -8.692 | < 2.2e-16 | *** |
| 負荷率 | W_2 無次元 | 6.67E+00 | 6.9856 | 2.84E-12 | *** |
| 受水依存度 | W_3 無次元 | 3.17E+00 | 2.5333 | 0.011298 | * |
| $\sigma_\mu^2 + \sigma_v^2$ | σ^2 | 4.22E+02 | 421.2637 | < 2.2e-16 | *** |
| $\sigma_\mu^2 / (\sigma_\mu^2 + \sigma_v^2)$ | γ | 1.00E+00 | 279477 | < 2.2e-16 | *** |

有意水準: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

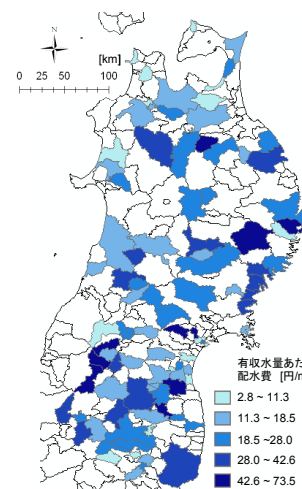


図1 市町村別 c_i

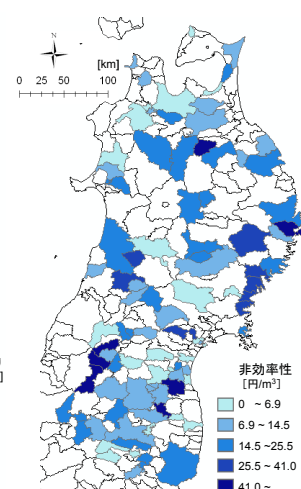


図2 市町村別 μ_i

された非効率性 μ_i の分散は422.1であり、SFAモデルにより13.2%の部分が説明できたことになる。図1と図2を比較すると、非効率性 μ_i が大きくなっている市町村において c_i の値も大きくなっていることがわかる。

4. 今後の課題

推定された非効率性は、観測年次における突発的な気象の影響や、運営方法・設備など統計上に現れてこない影響が考えられるため、複数年次のデータを用いた解析を行うことで、より安定した分析を行うことが望まれる。

参考文献

1) 厚生労働省健康局：水道ビジョン, 2004
2) Subal C. Kumbhakar, C.A. Knox Lovell: Stochastic frontier analysis, 2000

(2011年2月10日提出)