

全国水道事業者を対象とした電力使用量のモデル化に関する一考察

首都大学東京大学院 学生 ○武蔵恵理子
 首都大学東京大学院 正会員 稲員とよの
 首都大学東京大学院 フェロー 小泉 明
 首都大学東京大学院 正会員 荒井 康裕

1. はじめに

近年、大量生産・大量消費により経済発展を遂げてきたが、人口増加やライフスタイルの変化によって世界的に石油や石炭等のエネルギー資源の枯渇が問題となっている。特に、日本はエネルギーの自給率が低く海外への依存度が諸外国に比べ、高い水準となっている。

上水道においても、浄水や水輸送の過程で多くの電力を消費しており、日本全体の電力使用量の0.9%を使用している¹⁾。そこで本研究では、全国水道事業者を対象として電力使用量に影響を及ぼす要因について検討し、電力使用量の推定モデルの構築を試みる。

2. 分析対象データの検討

平成18年度水道統計において、用水供給事業者以外の1572事業者について、表1のデータ項目を抽出した。まず、電力の使用効率を表わす指標として、電力使用量を有効水量で除した値を単位電力量とし、分析の目的変数とした。単位電力量の基本統計量より、 $\text{平均値} + 3\sigma$ ($3.38\text{kWh}/\text{m}^3$)より大きい場合は異常値とみなし、当該事業者を分析対象外とすることとした。

次に、単位電力量に影響を与えている要因の候補として、表2を設定し、事業者の規模を表す項目として給水人口を用いて、1万人未満、1万人以上5万人未満、5万人以上10万人未満、10万人以上50万人未満、50万人以上の5ランク別に影響要因の基本統計量を算定した。その際、各影響要因において、 $\text{平均値} + 2\sigma$ を考慮して異常に大きいデータを有する事業者について精査し、分析対象とする事業者を決定した。その結果、1万人未満が375事業者、1万人以上5万人未満が674事業者、5万人以上10万人未満が199事業者、10万人以上50万人未満が185事業者、50万人以上が24事業者となり、合計は1457事業者となった。

ここで、給水人口ランク毎の単位電力量のヒストグラムを作成した。代表として、1万人未満と50万人以上について、図1及び図2に示す。両図が示すように、1万人未満では、単位電力量のばらつきが大きく、電力効率が良い事業者と悪い事業者が存在するのに対して、50万人以上の規模の事業者では、電力効率が良い方に片寄った分布を有しており、分散も比較的小さいことが分かった。

表1 対象データ項目

| No. | 要因 | 単位 |
|-----|-----------|-------------------|
| ① | 給水人口 | 人 |
| ② | 給水面積 | km ² |
| ③ | 電力使用量 | kWh/日 |
| ④ | 有効水量 | m ³ /日 |
| ⑤ | 配水管延長 | m |
| ⑥ | 配水管容量 | m ³ |
| ⑦ | 取水量 | m ³ /日 |
| ⑧ | 浄水量 | m ³ /日 |
| ⑨ | 給水量 | m ³ /日 |
| ⑩ | 取水導水施設揚水量 | m ³ /日 |
| ⑪ | 浄水施設揚水量 | m ³ /日 |
| ⑫ | 送水施設揚水量 | m ³ /日 |
| ⑬ | 配水施設揚水量 | m ³ /日 |
| ⑭ | 排水処理施設 | 種別 |

表2 各要因の設定

| 要因 | 単位 |
|--------------------|-------------------------------------|
| 単位電力量(③÷④) | kWh/m ³ |
| 人口密度 | 人/km ² |
| 有効水量あたり配水管延長 | m/(m ³ /日) |
| 給水人口あたり配水管延長 | m/人 |
| 給水面積あたり配水管延長 | m/km ² |
| 有効水量あたり配水管容量 | m ³ /(m ³ /日) |
| 人口あたり配水管容量 | m ³ /人 |
| 面積あたり配水管容量 | m ³ /km ² |
| 取・導揚水量比率(⑩÷⑦) | - |
| 浄水揚水量比率(⑪÷⑧) | - |
| 送水揚水量比率(⑫÷⑨) | - |
| 配水揚水量比率(⑬÷⑨) | - |
| 送・配水揚水量比率((⑫+⑬)÷⑨) | - |

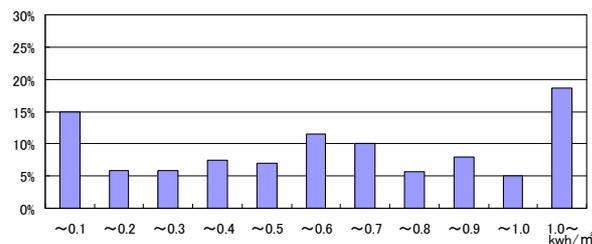


図1 1万人未満の単位電力量のヒストグラム

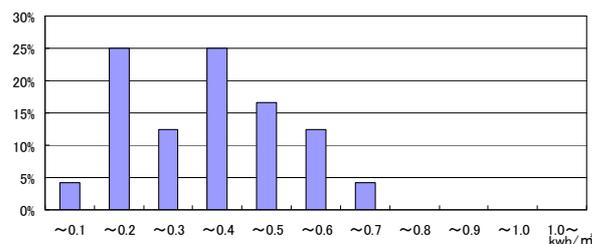


図2 50万人以上の単位電力量のヒストグラム

キーワード 電力使用量、重回帰分析、人口規模、配水管容量、揚水量比率

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL042-677-2789

3. モデルの作成

給水人口毎の単位電力量分布の分析結果より、単位電力量は事業体規模の影響を受けていると考えられるため、給水人口による 19 ランクに事業体を分割し、ランク毎に各要因の平均値と単位電力量の平均値を求め、実績値としてモデル化に用い、電力使用の平均的傾向を把握する。

まず、影響要因と単位電力量(Y)との散布図を検討したところ一部において非線形な関係が見られたため、非線形重回帰モデルを適用することとした。そこで、対数変換したデータより相関係数(表 3)を求め、要因の類似性を考慮して、相関の高い 5 変数を選択した。

- X₁: 人口密度(人/km²)
- X₂: 有効水量あたり配水管延長(m/(m³/日))
- X₃: 面積あたり配水管容量(m³/km²)
- X₄: 取・導揚水量比率
- X₅: 送水揚水量比率

重回帰分析では、係数の符号の論理的適合性を加味し、偏回帰係数の t 値(絶対値)の小さい変数から順次削りながらモデルを推定していく変数減少法を用いた。表 4 に示すように、説明変数が 1 つになるまで分析を行い、偏回帰係数の物理的有意性と自由度調整済相関係数 R*より、ケース 3 を電力使用量のモデル化の式として選択した。

$$Y = 1.754X_1^{-0.145} X_3^{0.092} X_4^{0.392} \dots\dots(1)$$

本モデルによる推定値と実績値の散布図を図 3 に示す。図 3 より、非常に適合性の高いモデルと判断される。

得られたモデルの 99%信頼区間を図 4 に示す。多少ばらつきはあるものの、給水人口が小さな事業体ほど単位電力量の推定値は大きく、信頼区間の幅も大きい傾向にある。この結果を用いることにより、個々の事業体におけるエネルギー効率の良否を判断することが可能と考えられる。

4. おわりに

本稿では、全国水道事業体の電力使用量の実態を把握するために、平成 18 年度の水道統計をもとに、人口密度、面積あたり配水管容量、取・導揚水量比率を用いることにより、単位電力量を推定可能なモデルを得ることができた。今後は、本稿で得られたモデルを各事業体の取水源や浄水処理方法等を考慮したモデルへと発展させていきたいと考えている。

表 3 単位電力量との相関係数

データ数 19

| 影響要因 | 相関係数 | |
|--------------|--------|-------------------|
| 人口密度 | -0.903 | (X ₁) |
| 有効水量あたり配水管延長 | 0.880 | (X ₂) |
| 人口あたり配水管延長 | 0.857 | |
| 面積あたり配水管延長 | -0.881 | |
| 有効水量あたり配水管容量 | 0.232 | |
| 人口あたり配水管容量 | 0.155 | |
| 面積あたり配水管容量 | 0.825 | (X ₃) |
| 取・導揚水量比率 | 0.690 | (X ₄) |
| 浄水揚水量比率 | -0.233 | |
| 送水揚水量比率 | 0.405 | (X ₅) |
| 配水揚水量比率 | -0.306 | |
| 送・配水揚水量比率 | -0.063 | |

表 4 非線形重回帰分析結果

| ケース | 説明変数 | | | | | 定数項 | R* | 物理的有意性 |
|-----|------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|---------|--------|--------|
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | | | |
| 1 | -0.092 -0.471 | 0.025 0.069 | 0.119 1.990 | 0.628 3.325 | -0.375 -1.961 | 0.1219 | 0.9338 | × |
| 2 | -0.172 -0.827 | -0.058 -0.146 | 0.097 1.508 | 0.385 2.463 | / | 0.4214 | 0.9198 | × |
| 3 | -0.145 -1.724 | / | 0.092 1.777 | 0.392 2.738 | / | 0.2440 | 0.9252 | ○ |
| 4 | / | / | 0.170 6.500 | 0.539 4.416 | / | -0.0838 | 0.9156 | ○ |
| 5 | / | / | 0.212 6.025 | / | / | 0.0902 | 0.8138 | ○ |

(注)表内の数値は、上段が偏回帰係数、下段が t 値を示す。

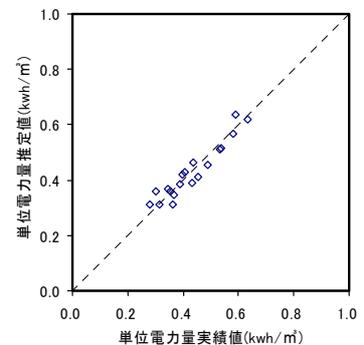


図 3 ケース 3 における実績値と推定値

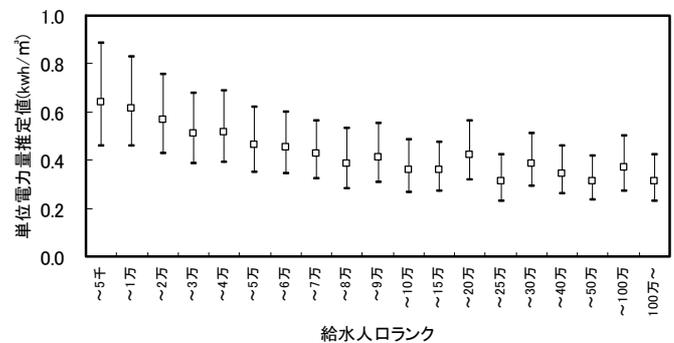


図 4 単位電力量(kwh/m³)の 99%信頼区間

【参考文献】1)厚生労働省健康局：水道ビジョン(平成 20 年 7 月改訂)，

<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/vision2/index.html>, p.10, 2009