

VII-151

地域特性を考慮した水需要変動の構造分析

東京都立大学大学院 学生員 ○具 滋茸

東京都立大学工学部 正員 小泉 明

東京都立大学工学部 正員 稲貝 とよの

1. はじめに

水道は都市生活を営む全ての人に利用されるものであり、都市の諸活動を支える重要な施設になっている。水道により水需要量を経済的かつ安定的に供給するためには配水施設の適切な運用が要求される。水需要量の変動は地区によって大きな差異があるため、対象地域の特性を考慮した水需要変動の構造を把握した上で、各地区の水需要量を適確に予測する必要がある。

本研究では、配水地区の特性を分析するため、対象地域に対して主成分分析を適用し、配水地区別の特性を分析する。さらに、水需要変動の構造を表わすため、筆者らが既に提案した多元ARIMA(Auto Regressive Integrated Moving Average)モデル¹⁾により、配水地区別水需要モデル式を求め、地域特性を考慮した水需要変動の構造分析を検討する。

2. 地域特性分析

今回、対象地域とする韓国のソウル市の水道システムは、合計620万 m^3 /日を浄水処理可能な9ヶ所の浄水場より図1に示すような9つの配水地区に給配水を行っている。

地域特性を分析するためには様々な手法が考えられるが、ここでは主成分分析によって地域の特性を把握することとする。水需要変動に影響を与えと考えられる要因は数多く存在するが、従来の研究も踏まえ各配水地区別に収集可能であったものに限定し、表1の7要因を用いることとした²⁾。

表1に示す主成分分析の結果によると、第1主成分(Z_1)は「都市産業活動の強さを示すファクター」と意味付けることができる。そして、第2主成分(Z_2)は「都市の成熟度を示すファクター」と意味付ける。なお、第2主成分までの累積寄与率が約8割(表1参照)であることから、これらの主成分を用いた分類を行う。第1主成分と第2主成分で表される総合特性値の因子得点による配水地区の分類結果を図2に示す。以上のことから、ソウル市に於ける相対的評価の下で、都市産業活動の強さと都市の成熟度というファクターを用いて各配水地区を4グループに分類することができた。

3. 地区別水需要モデルの検討

水需要モデルの検討に先き立ち、時系列データの変動特性を把握するため、まずはじめに自己相関係数による定常時系列長の検討を行う。そこで、全市に於ける配水量について、1993年4月を基準にとり、データサイズを1ヵ月から1年まで変化させ、各ケースの自己相関係数を計算した結果、データサイズを6ヵ月以内とすれば、定常時系列として取り扱えと判断された。また、水需要影響要因の分析では、データサイズを6ヵ月として、配水量と他要因との間の相互相関分析を行い、配水量に影響を及ぼすと思われる要因を選択する。この結果、モデルに用いる要因は自然環境要因としては最高気温、社会的要因としては休日要因に決定した。

既存の短期水需要予測モデルとしては数多くの手法が提案されているが³⁾、本研究で用いる多元ARIMAモデルの基本式は次式で表される。

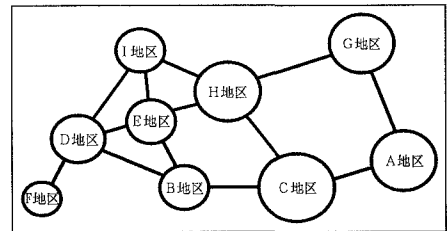


図1 各配水地区の隣接関係

表1 主成分分析の計算結果

項目	主成分	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7
固有値		3.7155	1.9226	0.7849	0.6087	0.0676	0.0301	0.0006
累積寄与率(%)		53.1	78.7	89.9	98.6	99.6	99.9	100.0
項目	要因	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
因子	第1主成分(Z_1)	-0.012	0.798	0.761	-0.608	0.979	0.864	-0.652
負荷量	第2主成分(Z_2)	0.718	-0.514	0.568	-0.839	0.020	-0.093	0.523

注) X_1 :世帯構成人員、 X_2 :従業者構成比率、 X_3 :人口密度、 X_4 :一戸当たり住宅土地面積、 X_5 :面積当たり給水量、 X_6 :面積当たり製造業事業所数、 X_7 :人口増減

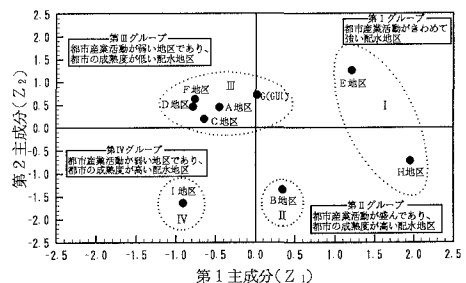


図2 配水地区別因子得点散布図

$$Y_t = \sum_{i=1}^m \frac{\omega_i(B)}{\delta_i(B)} X_{i,t} + \frac{\theta(B)}{\phi(B)} a_t + \mu \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Y_t ： t 時点の出力、 $X_{i,t}$ ： i 要因の t 時点の入力、 a_t ： t 時点のランダム誤差、 $\omega_i(B)/\delta_i(B)$ ：伝達関数荷重、 $\omega_i(B) = \omega_{i,0} - \omega_{i,1}B - \dots - \omega_{i,s}B^s$ 、 $\delta_i(B) = 1 - \delta_{i,1}B - \dots - \delta_{i,r}B^r$ 、 $\phi(B)$ ：自己回帰演算子 $[\phi(B) = 1 - \phi_1B - \dots - \phi_pB^p]$ 、 $\theta(B)$ ：移動平均演算子 $[\theta(B) = 1 - \theta_1B - \dots - \theta_qB^q]$ 、 μ ：定数である。なお、 B は後退演算子を表し、 $BX_t = X_{t-1}$ 、 $B^2X_t = X_{t-2}$ を意味している。まず、対象地域全体について入力要因の時間遅れを含む影響を検討するため、全市の実測データをもとに、伝達関数荷重項の次数 r と s について $r=0, 1$ 及び $s=0, 1$ の組合わせについて計算した結果、いずれも同程度の推定精度であった。これより、次数はできるだけ小さい方が係数推定に於いて安定であるという統計的視点より、伝達関数荷重項は $r=s=0$ を選択した。つぎに、主成分分析の結果をもとに、各グループの代表的配水地区である4つの地区別水需要モデル式を比較するため、ARIMA項の次数についてはとりあえず $p=q=1$ と仮定し、同様な構造による水需要のモデル化を行った。

表2 地区別水需要モデル式

グループ	地区	モデル式	R ² 値
I	H	$Y_t = 818.52 + 1.92X_{1,t} - 19.57X_{2,t} + \left[\frac{1+0.25B-0.50B^2}{1-0.21B+0.70B^2} \right] a_t$	0.701
II	B	$Y_t = 236.90 + 0.75X_{1,t} - 3.28X_{2,t} + \left[\frac{1-0.26B}{1-0.94B} \right] a_t$	0.919
III	D	$Y_t = 500.11 + 1.63X_{1,t} + 6.57X_{2,t} + \left[\frac{1-0.74B-0.06B^2}{1-1.13B+0.18B^2} \right] a_t$	0.587
IV	I	$Y_t = 270.58 + 0.27X_{1,t} - 0.70X_{2,t} + \left[\frac{1-0.30B}{1-0.91B} \right] a_t$	0.868

注) ここで、 $X_{1,t}$ は最高気温であり、 $X_{2,t}$ は休日要因である。
なお、 R^2 値は自由度調整済み重相関係数を示す。

た。なお、モデルの推定による残差の χ^2 検定が5%有意とならない地区については、自己回帰項及び移動平均項を追加して再度モデルを推定した。この結果、DとH配水地区に於いては $p=q=2$ とすることより推定精度が向上した。地区別水需要モデル式を表2に示す。表2で明らかなように、都市産業活動が強いグループであるH及びB地区のモデルは、最高気温が上がると水需要が増加し、休日には水需要が減少する構造となっている。一方、都市産業活動が弱いD地区のモデルは、最高気温については同様の傾向にあるが、休日の係数はプラスで大きいことから、住宅地区の特性を示していると解釈できる。また、都市の成熟度の高いI地区のモデルは、都市産業活動が強い地区のモデルにやや類似した構造となっていることが判明した。これら4つの地区別モデルによる推定値と実測値を比較した結果を図3に示す。いずれの配水地区についても、モデルによる平均相対誤差は2%以内と小さく、その推定値は実測値の変動傾向を良く表現できている。以上の結果、これらのモデル式による水需要変動の予測が可能となり、各地区の特性を考慮した水運用計画を検討することができる。

4. おわりに

本研究では、配水量の日データをもとに、地区特性を考慮した水需要変動の構造分析について検討した。まず、主成分分析による地域特性の分析を行い、抽出された総合特性値である第1主成分と第2主成分を用いて配水地区を4グループに分類した。そして、水需要変動を把握するため、各グループの代表的配水地区ごとの水需要モデルを作成した結果、それぞれの地区の特性を表現できる水需要変動の構造モデルを得ることができた。今後、これらのモデルを用いた水運用計画について研究を進めて行きたいと考えている。

【参考文献】1)小泉明・稲貝とよの・千田孝一・川口士郎：多元ARIMAモデルによる水使用量の短期予測、水道協会雑誌、第57巻 第12号、1988

2)小泉明・稲貝とよの・具滋章：都市における水需要変動の統計的分析、水道協会雑誌投稿中、1996

3)Koizumi, A., Inakazu, T., Koo, J.: A Comparative Analysis of Multiple ARIMA Model and Kalman Filter Model for Seasonal Short-Term Water Demand Forecasting, Memoris of Faculty of Eng. T. M. U., No. 45, 1995

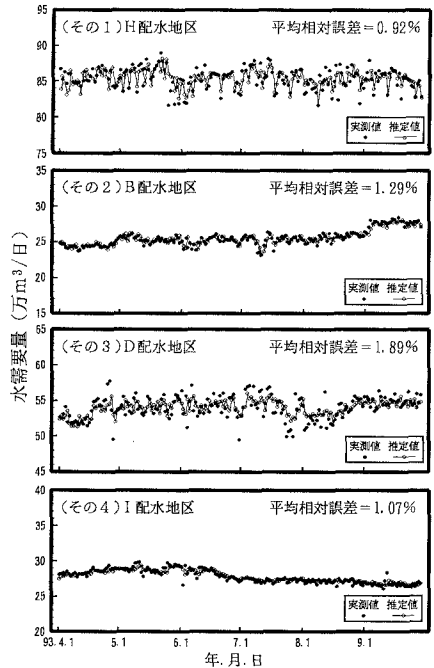


図3 地区別水需要量の推定結果