

九州大学工学部○学生員 小平田若司

正員 上田年比古

正員 神野 健二

学生員 河村 明

1. はじめに 水源に乏しい福岡市では水の有効利用が重要な事項とされ、この1つとして最適な配水コントロールが必要と考えられる。この基礎的研究として本報は、福岡市にある高宮、夫婦石、乙金、松崎、瑞梅寺の主要5浄水場について、日配水量(水需要量)の変動特性とその原因を把握し、次いで、日配水量の関数形を設定して、カルマンフィルター理論により需要予測を行ない、その精度を検討したものである。

2. 計算方法 (1)まず、昭和55年1月1日から昭和57年12月31日までの福岡市の主要5浄水場の日配水量のデータにより、各浄水場の曜日別平均配水量を計算し、図-1に示す。これによると、高宮、乙金浄水場では平日に比べて土、日曜日が少なく、他の浄水場では土曜日は最も少ないが、逆に日曜日は最も多くなっている。これは高宮浄水場の配水区域は天神・中洲をはじめとする商業地域、乙金浄水場の配水区域は空港及びそのまわりに工業地域が多く、他の浄水場の配水区域は住居地域の占める割合が多いためと考えられる。すなわち、商工業地域では土・日曜日が休日のため水の需要量が減り、逆に住居地域では日曜日を洗濯日や清掃日にあてているため需要量が増えるのではないかと考えられる。

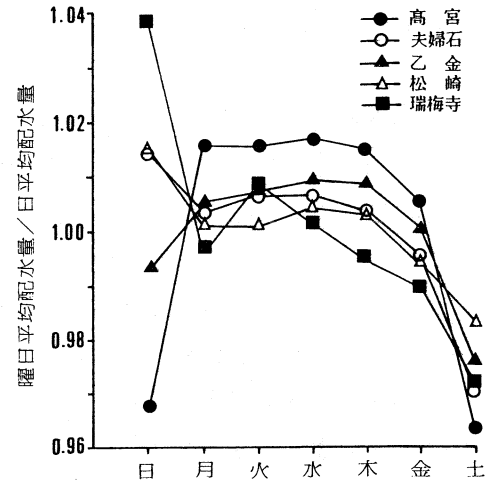


図-1 曜日別配水量の特性

表-1 福岡市浄水場における配水量特性

(2)次に、日平均気温、日最高気温、日照時間及び湿度の4つの外生項と日配水量との間の相関を調べるため、各浄水場について外生項との相関係数を求めた(表-1)。表-1より、

	平均 (千m ³ /日)	分散 (千m ³ /日) ²	変動係数	平均気温 との相関	最高気温 との相関	日照時間 との相関	湿度との 相関	トレンド (m ³ /日 ²)	低周波数 成分	高周波数 成分
高宮	134.7	219.56	0.110	0.145	0.196	0.333	-0.179	3.812	1/365	1/7, 2/7
夫婦石	101.6	331.45	0.179	0.634	0.617	0.178	0.266	5.154	1/365, 2/365	3/7, 3/7
乙金	65.6	62.18	0.120	0.499	0.497	0.239	0.141	11.905	1/365, 2/365	1/7
松崎	32.3	4.83	0.068	0.479	0.514	0.400	0.059	0.083	1/365	3/7, 3/7
瑞梅寺	9.23	1.88	0.149	0.456	0.476	0.338	0.085	1.829	1/365	3/7, 3/7

表-2 気温と配水量の相関係数

	0℃以上	5℃以上	10℃以上	15℃以上	20℃以上	25℃以上	30℃以上
高宮	0.149	0.099	0.063	0.078	0.076	0.280	0.990
夫婦石	0.644	0.664	0.673	0.664	0.752	0.872	0.999
乙金	0.500	0.501	0.502	0.508	0.573	0.785	0.964
松崎	0.485	0.443	0.403	0.499	0.603	0.767	0.992
瑞梅寺	0.463	0.433	0.421	0.430	0.456	0.665	0.950

i) 気温に関しては高宮浄水場は他の浄水場に比べかなり相関は低い、ii) 湿度に関してはどの浄水場もほとんど相関がない、iii) 日照時間に関しても気温ほど相関は高くない、といえる。次に、日平均気温について5℃ずつに区切った場合の相関係数を算出した(表-2)。これによると、どの浄水場もほぼ25℃を越えると急激に相関が高まっており、これは7、8月の洗濯水、入浴水あるいはプール用の水等の増加に起因していると考えられる。

(3)次に、各浄水場の日配水量の周期性を調べるため、最大エントロピー法(MEM)により日配水量のスペクトル解析を行なった。MEMの利点として、データ数が少なくても、スペクトルの分解能が極めて高い。等が挙げられる。さて、生データをそのままMEMにかけたところ、低周波数成分がはっきり現れなかったため、これを次のような low-pass-filter にかけて低周波数成分と高周波数成分に分離した。

$$y_L(k) = (1-C)y(k) + Cy_L(k-1) \dots (1), \quad y_H(k) = y(k) - y_L(k) \dots (2)$$

ここに、 $y(k)$: 日配水量、 $y_L(k)$: 低周波数成分、 $y_H(k)$: 高周波数成分であり、 $C=0.7$ とする。さらに y_L の1週間平均をとって $y_{L,7}$ とし、 y_H 、 $y_{L,7}$ をそれぞれMEMにかけスペクトル解析を行なった。その結果、表-1にも

示すように、i)すべての浄水場に1年周期が顕著に現れ、ii)高宮、乙金浄水場にのみ1週間周期が顕著に現れ、iii)乙金以外の4浄水場では半週間あるいは1/3週間に卓越し、iv)夫婦石及び乙金では半年周期も現れる、等がわかった。このうち、半年周期、半週間周期あるいは1/3週間周期が卓越しているという物理的説明は難しく、単なる見かけ上のものでないかと考えられる。

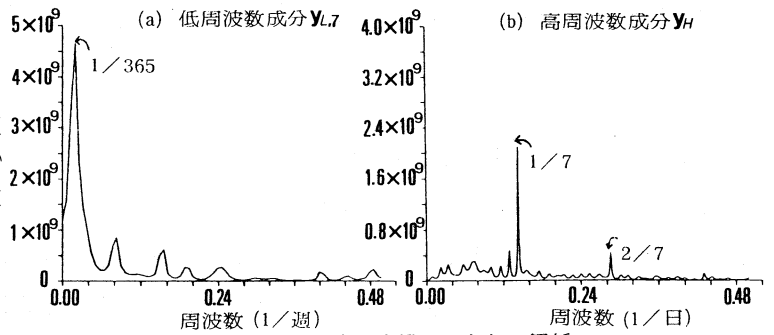


図-2 高宮浄水場スペクトル解析

スペクトル解析結果の一例として図-2に高宮配水場の結果を示す。

(4)上記(2)、(3)で得られた特性を生かして次式の数学モデルを作成した。すなわち、日配水量を3~4の周期関数と3次のARモデルを基本とし、これに補正の意味で日平均気温を外生変数項として加えた。

$$y(k) = a_0 + \sum_{i=1}^3 (a_i \sin 2\pi f_i k + b_i \cos 2\pi f_i k) + \sum_{j=1}^3 c_j y(k-j) + d \cdot u(\theta(k)-25) \cdot (\theta(k)-25) + w(k) \quad \dots (3)$$

ここに、 f_i :周波数、 u :ステップ関数、 $\theta(k)$:当日の日平均気温、 $w(k)$:観測雑音。外生項は表-2のように25℃を越えると急激に配水量が増えることより25℃以上のときのみ考慮されるようにステップ関数を用いた。

(5)数学モデル式(3)をカルマンフィルタに適用し、翌日の予測配水量を求めた。カルマンフィルタのシステム方程式及び観測方程式はそれぞれ次式で示される。

$$x(k+1) = \Phi(k) x(k) \quad \dots (4)$$

$$y(k) = H(k) x(k) + w(k) \quad \dots (5)$$

ここに、 x :システムの状態ベクトル、 Φ :

状態遷移行列、 H :既知の観測行列、 w :観測雑音。これに式(3)を適用すれば、

$$x(k) = [a_0 \ a_1 \ b_1 \ \dots \ a_n \ b_n \ c_1 \ \dots \ c_3 \ d]^T, H(k) = [1 \ \sin 2\pi f_1 k \ \cos 2\pi f_1 k \ \dots \ \sin 2\pi f_n k \ \cos 2\pi f_n k \ y(k) \ \dots \ y(k-3) \ u(\theta(k)-25) \cdot (\theta(k)-25)] \quad \dots (6)$$

ここに、 T :転置記号

以上により、オンライン予測を行なった。一例として高宮浄水場の1982年の日配水量予測結果を図-3に示す。また、各浄水場の予測精度を表-3に示す。松崎浄水場は他の浄水場より精度が高く、瑞梅寺浄水場は極端に落ちる。この原因として、表-1に示した変動

表-3 配水量予測の精度

	誤差率3%以内の割合	誤差率5%以内の割合	誤差率10%以内の割合	平均誤差率
高宮	46.5%	70.1%	92.2%	4.34%
夫婦石	46.4	66.1	91.7	4.64
乙金	56.4	78.9	94.8	3.37
松崎	58.3	81.5	97.4	3.14
瑞梅寺	36.7	57.8	88.3	5.36

係数が考えられる。すなわち、日配水量の変動幅が平均値に対して大きい浄水場ほど予測精度が悪いようである。また、表-4にシステムパラメータの最終同定結果を示す。

表-4 パラメータの最終同定結果

	a_0	a_1	b_1	a_2	b_2	a_3	b_3	a_4	b_4	c_1	c_2	c_3	d
高宮	2.41×10^4	1.56×10^3	-5.91×10^2	2.70×10^3	2.03×10^2	-4.81×10^2	2.31×10^2	/	/	0.734	-0.030	0.117	6.08×10^2
夫婦石	1.73	-2.21	-18.6	1.42	0.28	-12.8	0.24	-8.18×10^2	-1.42×10^3	0.582	0.173	0.072	6.99
乙金	0.56	-0.18	-0.27	-0.21	0.21	6.31	0.62	/	/	0.768	-0.047	0.192	2.36
松崎	0.93	0.13	-0.40	-0.31	-0.05	-1.04	-0.31	/	/	0.524	0.064	0.124	1.04
瑞梅寺	0.13	-0.06	-0.02	-0.14	-0.06	-0.80	-0.25	/	/	0.590	0.153	0.118	1.00

3. むすび 本研究において、水需要量は都市構成と関係があることがわかった。また、予測精度は他の文献値と比較して必ずしもよくないが、正月、お盆、祝祭日などの特殊日や天気予報などを考慮すれば精度はよくなると考えられる。なお今後、適切な配水コントロールのため数時間先の予測、あるいは取水計画等に必要月間予測、年間予測も必要と考えられる。

参考文献 1) 斎藤 謙: カルマンフィルタを用いた配水量予測, 第28回全国水道研究発表会講演集, 昭和52年度

2) F. Fallside, et al. : "Online Prediction of Consumption for Water Supply Network Control"

IFAC World Congress (1975-8)