

神戸市 水道局 正会員 ○石 田 知 行  
神戸大学工学部 正会員 神 吉 和 夫  
神戸大学工学部 正会員 松 梨 順三郎

1. はじめに

水道の送配水施設の増加ならびに送配水システムの複雑化に伴ない、安全かつ合理的な管理が要求され、このため需要水量の予測の必要性が増している。従来、配水量の予測には種々の方法が用いられているが、モデルの構造を与えてパラメータを推定する問題がほとんどである。

配水量は自然的・社会的要因に影響され、その構造は複雑で時間的に変化するものと考えられる。<sup>1)</sup>本研究では日配水量の予測問題にGMDHを適用し、適応予測を行う。<sup>2),3)</sup>

2. 適応予測システムと入出カデータ

配水量の構造およびパラメータは時間により変化すると考えられる。また同定用データ数にも限度がある。このような時間的変化や制限された情報のもとでモデルの最適性を恒久に保つためには、時々刻々変化する新しい情報により、その時点において最適と考えられるモデルを作ってゆかねばならない。これを適応予測と呼ぶ。

これに対し、現象の構造およびパラメータが時間的に変化しないと考え、固定したモデルを用いて予測する方法も考えられる。具体的には前年のデータ(S.49 6/1~9/30)でモデルを同定し、このモデルを用いて予測する方法である。これを経年予測と呼ぶ。適応予測と経年予測のフローを図-1に示す。

神戸市の熊内低層配水池のデータを用いる。日配水量 $Q_t$ とはt日の午前6時からt+1日の午前6時までの配水量をいう。曜日W・午前の天気AW・午後の天気PW・午前の気温AT・午後の気温PTを基本変数と呼ぶ。入出カデータの観測時刻を図-2に示す。

曜日は日曜から土曜までの7個のカテゴリに分類される。これらの数量化にあたっては、カテゴリiに属する日配水量の平均値 $\bar{Q}_i$ と日曜日に属する日配水量の平均値 $\bar{Q}_{SUN}$ の比 $w_i$ をカテゴリiの値として与える。

$$w_i = \bar{Q}_i / \bar{Q}_{SUN} \quad (1)$$

ただし  $\bar{Q}_i = 1/N \sum_{t \in I} Q_t$ ,  $I = \{t | t \text{日は曜日} i \text{である}\}$ ,  $N = (I \text{の要素の数})$

曜日・天気のカテゴリの値を表-1に示す。

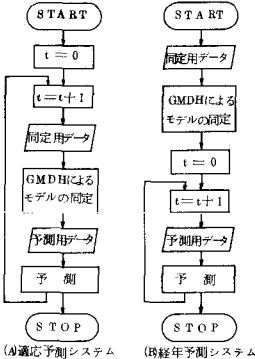


図1 予測システムのフローチャート

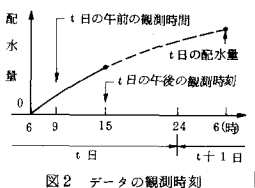


図2 データの観測時刻

表-1 曜日・天気の数値化

| 曜日 | 天気 | 値    |
|----|----|------|
| 日  | 快晴 | 1.05 |
| 月  | 晴  | 1.00 |
| 火  | 曇  | 0.95 |
| 水  | 雨  | 0.90 |
| 木  |    |      |
| 金  |    |      |
| 土  |    |      |

3. GMDHの日配水量予測問題への適用

基本変数に、それらの逆数および相互の積・和を加えたものを、入力変数 $x_i$ とする。

$$x_1=W \quad x_2=AW \quad x_3=PW \quad x_4=AT \quad x_5=PT \quad x_i = \begin{cases} 1/x_{i-5} & (i=6,7,\dots,10) \\ x_j \cdot x_k & (i=(j,k)=11,12,\dots,20; j=i+1, i+2, \dots, 5; k=1,2,\dots,4) \\ x_j + x_k & (i=(j,k)=21,22,\dots,30; k=j+1, j+2, \dots, 5; j=1,2,\dots,4) \end{cases} \quad (2)$$

これらの入力変数の全てを有用入力変数とする。データは予測日より過去90日間を採用し、予測日の前日より交互にtraining dataとchecking dataに分割する。基礎関数は次式を用い、パラメータの推定には最小2乗法を適用する。

$$Z_k = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_j \quad (3)$$

ただし、Ill-condition行列をもつ変数の組み合わせは除去する。中間変数の評価はchecking dataによる2乗平均誤差ECで行い、各層においてECの小さい順に5個の中間変数を選択し、次層の入力変数とする。

$$EC = \sqrt{1/N \sum_i (Z_i - Y_i)^2} \quad (Z_i: \text{中間変数の値}, Y_i: \text{実績値}) \quad (4)$$

各層におけるECの最小値が前層の最小値より増加するとき、前層の最小のECを与える中間変数をもって最終記

述とする。最高制限層の4層に達したときは、4層の最小のECをもつ中間変数をもって最終記述とする。

GMDHと比較するために、曜日・天気・気温を説明変数とする線形重回帰モデルを考える。

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \tag{5}$$

$x_i$ はGMDHと同じである。予測日ごとに上式のパラメータを決定する方法を回帰モデルによる適応予測と呼ぶ。

4. 日配水量の予測結果とその考察

予測結果；GMDHによる適応予測・経年予測と線形重回帰モデルによる適応予測の結果を図-3・図-4に示す。図中の予測信差は予測値 $\hat{y}_t$ と実績値 $y_t$ の30日間の相対2乗平均誤差 $E_2 = \sqrt{1/30 \sum \{(\hat{y}_t - y_t)/y_t\}^2}$ である。図より、GMDHの方が線形重回帰モデルよりも精度がよい。また適応予測の方が経年予測よりも精度がよい。

配水量の構造；適応予測において予測期間を前期15日間(7/2~7/26)と後期15日間(7/27~8/10)に分けて配水量の構造の変化を調べる。最終記述として選ばれた変数を表-2に示す。前期・後期の変化が5倍以上の変数に\*印を付けている。曜日Wは前期から後期へ減少傾向にあり午前の気温ATは増加傾向にある。この傾向は基本変数を含む入力変数の合計にもあらわれており、配水量の前期の構造はWおよび午後の気温PTに大きく影響されるが、後期の構造はW・PTに加えてATにも大きく影響されることを示している。さらに選ばれた変数の56%(後期)は、基本変数の積の形をしている。これは基礎関数が1次式であることから、構造の非線形性を意味する。最終記述層は約2層である。

表2 最終記述として選ばれた変数の割合の15日平均値(%)

|                            |                        |   |    |    |  | 前 | 後 |
|----------------------------|------------------------|---|----|----|--|---|---|
|                            |                        |   |    |    |  | 期 | 期 |
| 有<br>用<br>入<br>力<br>変<br>数 | $x_1 = W$              | * | 17 | —  |  |   |   |
|                            | $x_5 = PT$             |   | 2  | —  |  |   |   |
|                            | $x_6 = 1/W$            |   | 5  | 2  |  |   |   |
|                            | $x_7 = 1/AW$           |   | 8  | —  |  |   |   |
|                            | $x_9 = 1/AT$           | * | 2  | 14 |  |   |   |
|                            | $x_{10} = 1/PT$        |   | 18 | 12 |  |   |   |
|                            | $x_{11} = W \cdot AW$  |   | 1  | 1  |  |   |   |
|                            | $x_{12} = W \cdot PW$  |   | 8  | 6  |  |   |   |
|                            | $x_{13} = W \cdot AT$  | * | 2  | 14 |  |   |   |
|                            | $x_{14} = W \cdot PT$  |   | 13 | 18 |  |   |   |
|                            | $x_{17} = AW \cdot PT$ |   | —  | 1  |  |   |   |
|                            | $x_{18} = AT \cdot PT$ |   | 10 | 21 |  |   |   |
|                            | $x_{19} = W + AW$      |   | 5  | 1  |  |   |   |
|                            | $x_{21} = W + PW$      |   | 17 | 14 |  |   |   |
|                            | $x_{24} = W + PT$      |   | 8  | —  |  |   |   |
| 基<br>本<br>変<br>数           | $x_{30} = AT + PT$     |   | 5  | 1  |  |   |   |
|                            | Wの含まれる変数の合計            |   | 66 | 51 |  |   |   |
|                            | AW                     | 〃 | 9  | 3  |  |   |   |
|                            | PW                     | 〃 | 20 | 20 |  |   |   |
|                            | AT                     | 〃 | 9  | 50 |  |   |   |
|                            | PT                     | 〃 | 46 | 48 |  |   |   |

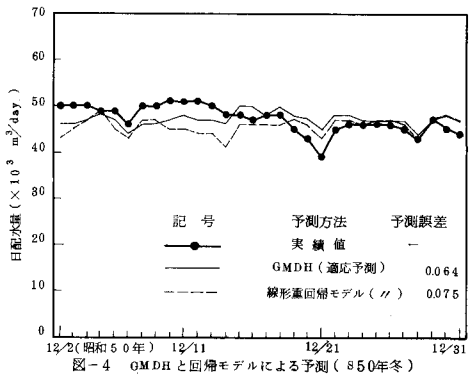
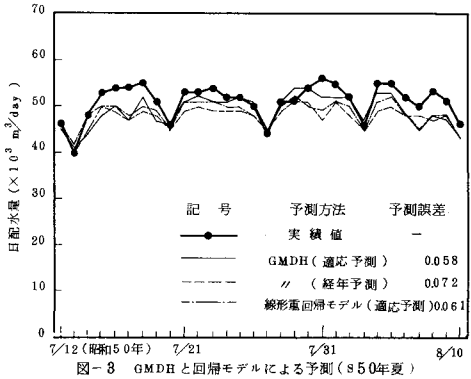
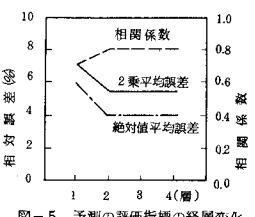


表-3 予測精度の評価 (適応予測 850年夏)

| 予測方法     | $E_1$ | $E_2$ | $\rho$ | G    |
|----------|-------|-------|--------|------|
| GMDH     | 0.047 | 0.058 | 0.81   | 0.92 |
| 線形重回帰モデル | 0.052 | 0.061 | 0.88   | 0.75 |

同定・予測能力の評価；相対誤差 $E_1 = (1/N \sum |\hat{y}_t - y_t| / y_t) \cdot E_2$ で予測精度を評価する。実績値の変動に対する予測値の追従性を相関係数 $\rho_{yy}$ で評価する。また予測値の標準偏差 $\sigma_y$ と実績値の標準偏差 $\sigma_y$ の比 $G = \sigma_{\hat{y}} / \sigma_y$ を考える。以上の値を表-3に示す。GMDHによる予測は工學上十分な精度であると考えられる。図-5より予測の評価値は1層から2層にかけて改良されており、checking dataによる中間変数の評価の妥当性を示している。1日の予測の計算時間は、構造決定の場合約20秒(FACOM230-25)・パラメータの推定の場合約0.5秒であり、オンライン制御として活用できると考えられる。



5. おわりに GMDHを用いて夏期を中心に日配水量の適応予測を試みたが、結論は以下のとおりである。

- ①日配水量はGMDHを用いて数%の誤差で予測できる。計算時間的にもオンライン予測として活用できる。
- ②日配水量の構造は時間的に変化しており、その最適モデルを求めるためには適応予測が有効である。
- ③日配水量は曜日・天気・気温の順に大きく影響されており、その構造は基本変数に関して非線形である。

参考文献:1)石田神吉松梨関西支那年学講(1977), 2)A.G.Ivakhnenko:Soviet Automatic Control(1969), 3)池田権木計測制御(1975)