

岩手大学 正員 ○大村 達夫
大沼 正郎

[1] はじめに 赤川は北上川上流にある二次支川で、松尾休廃止鉱山からの鉱内排水が流れ込んでいるため、その水質は強酸性かつ多量の鉄分を含んだものとなっている。今日、この河川水は中和処理施設で、炭酸カルシウムまたは消石灰で中和された後、北上川へ放流されている。1977年には、中和処理の前に、河川水中に含まれる Fe^{2+} を、鉄バクテリアにより、 Fe^{2+} に酸化した後、中和されて放流されることになっている。そこで、赤川の Fe^{2+} 濃度を予測することは、鉄バクテリアによる酸化過程の制御に役立つものと考えられるし、 Fe^{2+} 濃度変化により、中和剤の量も変化させることができるので、中和処理にと

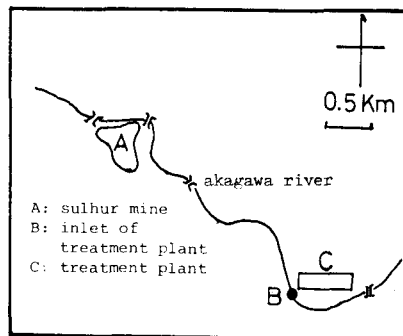


Fig. 1 The location of inlet

ても有意義なことである。このような観点より、図-1に示す中和処理施設の取水口での Fe^{2+} 濃度の予測を重回帰分析 (MR)、GMDH、カルマンフィルター (KF) の3つの手法により行なった。MRおよびGMDHにより、 Fe^{2+} 濃度を予測する場合は、1975年と1976年に得られた水質データをもとに、 Fe^{2+} 濃度の評価式をMRとGMDHにより決定し、その評価式から1977年の予測を行なった。取水口での水質測定項目は、pH、水温 (WT)、全鉄 (TF)、酸度 (A8)、流量 (Q)、 Fe^{2+} (F2) であり、データは建設省岩手工務事務所より入した。

[2] 取水口における全鉄と Fe^{2+} 濃度 表-1に、取水口での Table 1 Correlation matrix of water qualities.

	pH	WT	TF	A8	Q	F2
pH	1.00					
WT	0.20	1.00				
TF	-0.82	0.03	1.00			
A8	-0.85	0.02	0.97	1.00		
Q	0.69	0.21	-0.67	-0.73	1.00	
F2	-0.35	-0.41	0.12	-0.09	0.09	1.00

水質の相関行列を示す。この相関行列は、1975年と1976年のデータより得られたものである。全鉄は、pH、酸度と特に高い相関がある。これは、河川中に含まれる全鉄が $FeSO_4$ と $Fe_2(SO_4)_3$ の形であるため、全鉄が増加すればするほど、pHは低下し、酸度は増加することになる。また、 Fe^{2+} 濃度は、全鉄とは異なり、他の水質との間にほとんど相関がない。 Fe^{2+} 濃度が全鉄との間に相関が見られないことは、全鉄中に Fe^{2+} が占める割合が一定ではないことを示している。すなわち、これらの水質以外の要因により、 Fe^{2+} 濃度が変動すること示している。この要因としては、河道に棲息する鉄バクテリアなどの影響が考えられ、 Fe^{2+} 濃度が水温と若干の相関がある点を考慮すれば、水温により鉄バクテリアの活性が変化することとも一因と思われる。

[3] 重回帰分析およびGMDHによる Fe^{2+} 濃度の評価 重回帰分析により、 Fe^{2+} 濃度の評価を季節ごとに行なった結果、1975年、1976年の7月と8月のデータより、 Fe^{2+} 濃度の重回帰式が(1)式と(2)式のように求められた。

$$Fe^{2+}(t) = 0.337 \times 10^6 - 0.135 \times 10^6 pH(t) + 0.940 \times 10^6 WT(t) - 0.353 \times 10^7 TF(t) + 0.523 \times 10^6 Q(t) - 0.226 \times 10^6 A8(t) \quad (1)$$

$$Fe^{2+}(t) = 0.167 \times 10^6 - 0.669 \times 10^6 pH(t) + 0.363 \times 10^6 WT(t) + 0.790 \times 10^7 Fe^{2+}(t-1) + 0.659 \times 10^6 TF(t) - 0.130 \times 10^6 Q(t) - 0.644 \times 10^6 A8(t) \quad (2)$$

(2)式の場合は、前日の Fe^{2+} 濃度を独立変数として加えている。 $Fe^{2+}(t)$ は t 日の Fe^{2+} 濃度を示している。GMDHによって、 Fe^{2+} 濃度を評価する場合は、 Fe^{2+} 濃度の変動を傾向成分 (W_T) とランダム成分 (W_F) とに分割し、ランダム成分についてGMDHを適用した。1975年と1976年の8月の Fe^{2+} 濃度をGMDHにより求めた評価式は、それぞれ(3)式と(4)式である。

$$W_T(t) = 32.989 - 12.245 pH(t) + 0.011 TF(t) - 0.229 A8(t), W_F(t) = 0.249 + 0.085 X + 0.118 Y - 0.042 Y - 0.182 Z + 0.338 Y^2$$

$$X = Fe^{2+}(t-2) - W_T(t-2), Y = Fe^{2+}(t-1) - W_T(t-1) \quad (3)$$

(3)式は、傾向成分がその時刻の pH、TF、A8に関連し、ランダム成分は非線形の高次の項を含んだ関数で表

現される。また、ランダム成分は、前日と前々日の Fe^{2+} 濃度に依存することになり、自己回帰となっている。

$$\begin{aligned} W_F(t) &= 26.367 pH(t), \quad W_F(t) = 0.104 - 0.017 f_1(t) - 0.0005 f_2(t) + 0.100 f_3(t) \cdot f_4(t) \\ f_1(t) &= -0.025 - 0.076 x - 0.015 y + 0.142 x y, \quad f_2(t) = -0.026 + 0.010 z + 0.0004 w + 0.148 z w \\ x &= Fe^{2+}(t-1) - W_F(t-1), \quad y = TF(t-2), \quad z = Q(t-1), \quad w = AS(t-2) \end{aligned} \quad (4)$$

(4)式は、傾向成分がその時刻の pH のみに依存し、ランダム成分は高次の項を含まない非線形関数として表現される。また、ランダム成分は、 $Fe^{2+}(t-1)$, $TF(t-2)$, $Q(t-1)$, $AS(t-2)$ からなる中間変数 x と y の関数であらうとされる。以上より、年ごとに Fe^{2+} 濃度の評価関数が異なった。

例 重回帰分析, GMDH およびカルマンフィルターによる Fe^{2+} 濃度の予測

1) 重回帰分析による予測 重回帰分析による Fe^{2+} 濃度の評価式より、1977年8月の Fe^{2+} 濃度を予測した結果を図-2に示す。(2)式を用いて、予測をした場合は、相関係数は0.87, 残差の標準偏差は33.79であり、(1)式の場合は相関係数が0.63, 残差の標準偏差が52.09であった。したがって、明らかに(2)式を用いた予測が優れていることがわかる。また、予測における相関係数と残差の標準偏差は、評価式のそれらとほぼ等しい結果となったので、重回帰分析により得られた評価式は、その精度で十分 Fe^{2+} 濃度を予測できるものと考えられる。

2) GMDHによる予測 GMDHにより求めた Fe^{2+} 濃度の評価式(3)式と(4)式をそれぞれ用いて、1977年8月の Fe^{2+} 濃度を予測した結果を図-3に示す。その結果(3)式で予測した場合が、相関係数0.68, 残差の標準偏差74.68であり、(4)式の場合が、相関係数0.31, 残差の標準偏差97.16であった。したがって、評価式(3)式を用いた方がより優れた予測をすることが出来ることがわかった。しかし、重回帰分析により求めた評価式による予測に較べて良い予測とは言えない。すなわち、GMDHで求めた評価式の構造が年毎に変わるため、あまり予測に適さない。

3) カルマンフィルターによる予測 図-4に1977年8月の Fe^{2+} 濃度の予測結果を示す。相関係数は0.71, 残差の標準偏差は51.44であった。重回帰分析の評価式で予測した場合と同程度の予測をすることができた。しかし、カルマンフィルターによる予測では、予測結果に遅れが生じ、その遅れは観測時間程度である。すなわち、水質が1日毎に測定されているため、1日の遅れが生じている。したがって水質がより短い間隔で測定されているならばもっと良い予測が出来るものと考えられる。

⑤ おわりに 重回帰分析では、 Fe^{2+} 濃度の評価および予測ともかなり精度良く行なうことが出来た。GMDHは、評価には非常に適した手法であるが、予測にはあまり適さない。カルマンフィルターは重回帰分析による予測とほぼ同程度の良い予測が出来たが、データが連続的に得られているならばもっと良い予測が可能であろう。

謝辞：解析を行なうにあたり、色々御教示いただいた秋田工専羽田守夫先生に感謝の意を表します。また、計算を行なうに当り努力された当時四年次学生であった高橋清君、村上喜一郎君に感謝します。貴重なデータをいただいた建設省岩手工専事務所に感謝の意を表します。参考文献 ①羽田守夫；雄物川の水質の変動特性とそのモデル化，土木学会論文集，265，pp73~81，1977

2) 田中・板垣；水質データへのGMDHの適用，農業土木学会論文集，74，pp24~31，1977

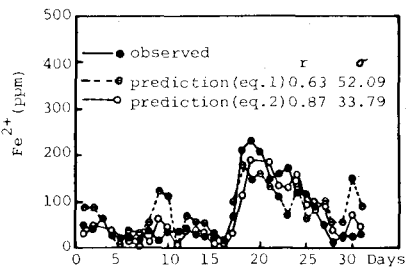


Fig. 2 Prediction by MR in August, 1977

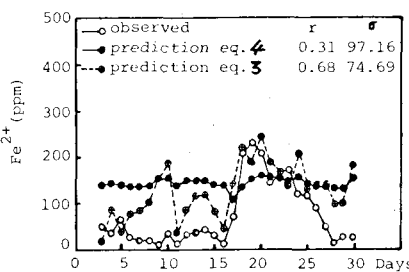


Fig. 3 Prediction by GMDH in August, 1977

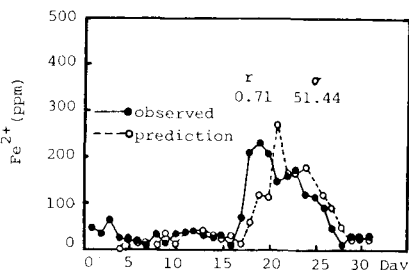


Fig. 4 Prediction by KF in August, 1977