

東北大学 工学部

正 員 岩崎敏夫

三菱重工(株)神戸造船所

正 員 西田吉男

1 序論 宮城県内の日降雨の要因を分析すると、県内全体を支配する主成因子が全体の75.2%を占め、⁴⁾県内のある地域が低水状態であれば県内全体が同様の流況相を示すことは明らかで、水需要度の年々の増加に対し新水源を他水系からの導水に期待することは必ずしも得策であることは言難い。本論文では、「洪水期の出水も水資源の貴重な供給源である。」との考えに立って、限りある水資源の有効利用を目指す上で検討を加えるべき諸問題中、特に流出量の予測に関し、既に報告されたカルマンフィルター理論を幾つかの具体例に適用して検討すると共に、ティーセン法と併用して、多地点の要素を考慮しなければならない非線形度の高い流域での日流量予測について、GMDH理論との比較検討を試みたものである。

2 カルマンフィルター理論²⁾ 降雨流出系をパラメータ同定問題と考え、以下の4式からパラメータの最適推定値を逐次決定して任意の流域における流出量を予測するもので、

$$P_{k+1} = (I - K_k M_k) P_k \quad (1) \quad K_{k+1} = (P_{k+1} M_k^T X M_k P_{k+1} M_k^T + R_k)^{-1} \quad (3)$$

$$P_{k+1} = \Psi_k P_k \Psi_k^T + Q_k \quad (2) \quad \hat{y}_{k+1|k} = \Psi_k \hat{y}_{k|k} + K_{k+1} (y_{k+1} - M_{k+1} \hat{y}_{k|k}) \quad (4)$$

ここに、 $\hat{y}_k$: システムパラメータ Ψ_k : 遷移行列 P_{k+1} : 推定誤差の分散行列 M_k : 観測値行列

K_k : カルマンゲイン y_k : 観測流量 $\hat{y}_k$: 最適推定値であることを示す Q_k : ノイズ

与えるシステム方程式は必ずしも線形である必要はなく、同定するパラメータに関して線形であればよいので、ここでは貯留関係式を定差化したものをを用いる。

$$Z(t+i) = \alpha_1 y(t) + \alpha_2 y(t-1) + \dots + \alpha_i y(t-i+1) + \beta_1 u(t) + \beta_2 u(t-1) + \dots + \beta_j u(t-j+1) \quad (5)$$

ここに、 Z : 予測流量 y : 観測流量 α_i, β_j : 同定するパラメータ ($i, j = 1, 2, \dots$)

3 GMDH理論 A. G. Ivakhnenko の提唱によるもので、高次の非線形性を持ち、しかもシステムの構造が複雑でモデル化の困難な系について、発見的自己組織化法 (Heuristic Self-Organization) を適用することにより少数のデータで高次の多項式近似を行って、その構造を決定しようとするものである。(詳細は他に譲った。)⁵⁾

4 日流量予測における両理論の比較 県内の鳴瀬川流域での昭和48年6月4～25日のデータを用いて行った日流量予測について、その結果を以下に述べる。まず比較の基盤となる本流域は、解析結果から非線形度が高く、支流が多岐に分れていることから予測値の比較に適したものであるといえる。⁶⁾ (図-1 参照)

そこで、流量観測地点として野田橋を選び、流域内の10地点について各観測所毎の雨量データを用いてカルマン理論による予測を行ったところ、観測値と予測値の自乗平均誤差の値として表-1が得られた。すなわち、予想されたことではあるが図-1に示すような形の流域では、どの雨量観測所を選定するかが予測の重要な鍵となることがわかる。この点GMDH理論を用いれば、そういった支障なく予測を行うことができる。(予測結果を図-2に示す。) しかしながら、カルマン理論の方法には、①計算時間が迅速である。②データの取扱が簡単である。という2つの大きな利点があった。そこで、この利点を活かすために、本論文では観測所選定の問題に対して

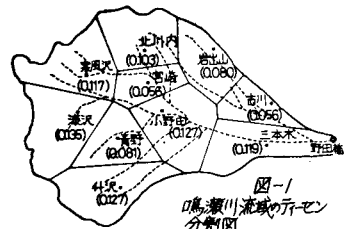


図-1 鳴瀬川流域のティン分割図

表-1 Kalman理論による日流出予測

観測所名	自乗平均誤差	観測所名	自乗平均誤差
古 川	9.8	岩 野	10.3
三本木	23.6	岩 野	8.0
小野田	7.5	岩 野	8.3
岩崎山	13.1	北川内	9.1
井 沢	10.0	漆 沢	9.7

ティーセン法とカルマン理論を併用することを考え、その結果を図-2に示した。まず、流域全体を10地区にティーセン分割して(図-1参照)、流域平均雨量を求め、これを新たに雨量データとしてカルマン理論による予測を行ったところ、自乗平均誤差が

56と改善されると共に、ピーク流量に関してGMDH理論による予測値よりも優れた予測値の得られることがわかった。なお、用いたシステム方程式は、 $Z(t+1)=\alpha_1 y(t)+\alpha_2 y(t-1)+\beta_1 u(t)+\beta_2 u(t-1)+\dots+\beta_7 u(t-6)$ (6)であり、時間ステップは1日とした。

5 カルマンフィルター理論による洪水のQn-Line予測 この予測方法が持つ特徴的な事例についての研究成果はすでに報告されているが、⁷⁾実際に洪水のQn-Line予測を試みた例は意外に少ない。そこで本論文では以下の3例についての適用結果を報告する。1), 図-3は、北上川上流の四+四田ダムにおける昭和48年8月21日の洪水データを用いた結果である。(ダム側は野留関数を用いている。)これによれば、①ダム側の予測ではピークが1時間早く現われるが、本理論によれば完全に一致する。②ダム側の予測では第2の降雨による影響が現われていないが、本理論によればそれが速かに予測値に反映している。などの点を指摘することができる。2), 図-4は、名取川上流の釜房ダムにおける昭和49年9月24~5日の洪水データを用いた結果である。(ダム側は単位関数を用いている。)これによれば、明らかに本理論による予測値が優れた結果を与えることがわかる。3), 図-5は、広瀬川上流の大倉ダムにおける昭和49年9月24~5日の洪水データを用いた結果であり、観測値と良く一致した予測が行えていることがわかる。なお以上で用いたシステム方程式は

$Z(t+1)=\alpha_1 y(t)+\alpha_2 y(t-1)+\beta_1 y(t)+\beta_2 y(t-1)$ (7)
であり、時間ステップは1時間とした。

6 結論 本研究の結果、次の通りの成果がえられた。(1), 高次の非線形性を示す複雑な流域における日流量の予測については、雨量観測所の選定という障害の有無の点からみればGMDH理論に分があるが、テーゼン法とカルマン理論を併用することにより、前者以上に満足いく予測結果が得られた。(2), 実際の洪水データについてカルマン理論によるQn-Line予測を行ったところ、野留関数法、単位関法といった従来の手法による予測値に比べて良好な結果が得られた。(3), 1日先あるいは数時間先の流量が把握できると、任意の洪水に対して時間的に余裕を持った適切な量の予備放流が行い得るから、空虚な容積部分にその貯水辺の放流能力に見合う量の水を貯えておくことができる。

最後に、本論文を作成するにあたって、計算結果の整理等に御協力戴いた池田秀生君(現、埼玉県)に感謝するとともに、貴重な資料の提供を戴いた建設省東北工務、宮城県、仙台市大倉ダム並びに仙台管区气象台の方々に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 板橋勝彦・中村隆幸・西田吉男: 宮城県内の水資源について 昭和49年度報告 5) 池田三郎・榎本義一: GMDH理論による環境システムの同定と予測, 文部省 昭和48年度研究報告
- 2) R.E. KALMAN: A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems Trans. ASME, Series D, Journal of Basic Eng. 10/82, 1960, pp.35~45
- 3) 相良節夫: 同定問題, 予測と制御, Vol. 8 第4章 pp.268~280
- 4) 日野幹雄: Kalmanの予測値と理論の平易な導出について 東北工務報告 No. 57/73
- 6) 西田吉男: 貯水池の水資源的管理に関する研究 昭和49年度東北大学修士論文
- 7) 日野幹雄: 水文流出予測へのカルマンフィルター理論の適用 土木学会誌 No. 221 1974

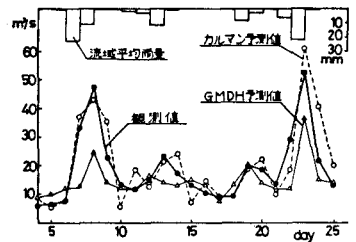


図-2 1日先の日流量予測 (昭和48年6月4日~25日)

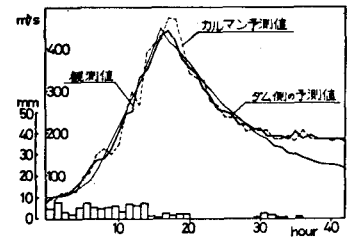


図-3 観測データによる1時間先の流量予測

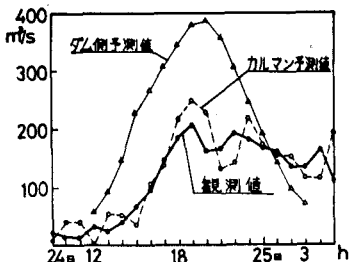


図-4 釜房ダムでの予測

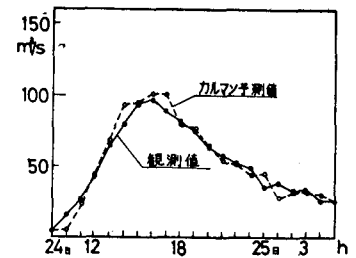


図-5 大倉ダムでの予測