

81 序 論

宮城県内の日降雨を多変量解析の一分野である成因分析法を用いて解析すると、県内全体を支配する主成因子(75.2%)、土地の高低差に因る第二因子(8.5%)及び南北の地理的差に因る第三因子(5.4%)の三つでその成因要素の約90%を説明できることが判っている¹⁾。これを限りある水資源の有効利用の面から見ると、県内のある地域が低水(豊水)状態にあれば県内全域がほぼ同様の相にあるわけで、この事は従来の固定的な操作規則に基づくダム群による水資源の有効利用を図る上で極めて不利である。

本論文は、まず§2でKalmanフィルター理論及び修正GMDH理論を実際の流域に適用して時間及び日流出量の予測を行ない、洪水規模の予知あるいは予備放流量の規模等の決定が事前に於いて可能であることを示し、続いて§3では一般にダム群による統合操作が明らかに制御過程であることから、最適制御の手法として有効なD.P.を名取川、広瀬川両水系から構成される並列ダムシステムの解析に適用し、従来の河川計画と比較した上で流出量の予測とD.P.を組合わせた“ダム群の動的統合操作”の有効性を、主に治水の面から論じたものである。

82 Kalman フィルター理論及び修正GMDH理論による流出量の予測と比較

1. Kalman フィルター理論

本理論は元来線形システムの状態推定として導かれていたが、システム・パラメーターの変化を記述するシステム方程式を用いて降雨-流出系全体を1つのパラメーター同定問題と考えることにより、任意の流域における流出量を予測することができる。ここで、本理論を同定問題に適用する場合にはシステム方程式は必ずしも線形である必要はなく、パラメーターに関して線形であればよいので本論文では時留関数式を定差化した式

$$Z(t+1) = d_1 Y(t) + d_2 Y(t-1) + \dots + d_n Y(t-n+1) + \beta_1 U(t) + \beta_2 U(t-1) + \dots + \beta_n U(t-n+1) \quad (1)$$

ここに Z : 予測流量, Y : 観測流量, d_i, β_i : 同定すべきパラメーター, $n, j = 1, 2, 3, \dots$

をシステム方程式として用いている。

パラメーター同定フローは図2-1に示す

通りで、これより次式が得られる。

$$\hat{h}_{k+1|k} = \psi_k \hat{h}_{k|k} + K_{k+1}(Y_{k+1} - M_{k+1} \psi_k \hat{h}_{k|k})$$

(2) ここで、 K_{k+1} (Kalman Gain) は次式により求まる。

$$K_{k+1} = (P_{k+1|k} M_{k+1}^T) (M_{k+1|k} M_{k+1}^T + R_{k+1})^{-1} \quad (3)$$

ここに $P_{k+1|k}$ 及び P_{k+1} は推定誤差の共分散行列で次式により導出できる。

$$P_{k+1|k} = \psi_k P_{k|k} \psi_k^T + Q_k \quad (4)$$

$$P_{k+1} = (I - K_{k+1} M_{k+1}) P_{k+1|k} \quad (5)$$

また Q_k, R_k はそれぞれシステム雑音 W 及び観測系雑音 V の変動行列で、 Q_k の算出法としては例えば [2] がある。

1) 橋本, 中村, 西田: 宮城県内の水資源について, 昭47, 東北支部

2) RAMAN K. MEHRA: IEEE 1971 Vol AC-16, No. 1

3) 池田三郎ら: GMDHによる非線形システムの同定と予測

4) 高橋, 池田, 池田: 水資源制御からみたダム群のシステム設計に関する論文論議, 研究, 工学会, 1975. 9

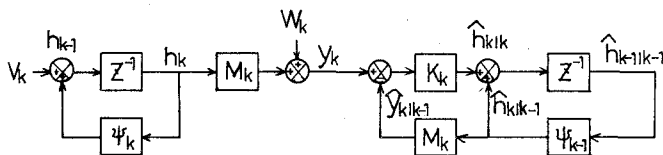


図2-1 システムパラメーター同定フロー

2. 修正GMDH理論

GMDH(Group Method of Data Handling - 発見的自己組織化法)は高次の非線形性を持ち、しかも次項の構造そのものが未知な系に対して少数のデータで高次の多項式近似を行ないシステムの構造を決定してある入力に対する応答を予測するものである。修正GMDH理論は、

流出量の急増に対して前者による予測値の追従性が鈍いために入力変数の選択と中間変数の発生レベルに関して基本原理を修正したものである。

3. Kalman 理論による茨木の Gr-line 予測例

本理論を茨木の Gr-line 予測に適用した。図2-3は予測の時間間隔を各々変化させたもので間隔が大きくなるとピークが外れ値が大きくなる。また図2-4はある時刻より後のデータを全て自己増殖させたものである。図2-5は大倉、釜房両ダムへの適用例であるが、釜房ダムではダム側の予測値が観測値を上回っているが目立つ。なお以上の予測には

$$\hat{z}(t+1) = a_1 y(t) + a_2 y(t-1) + b_1 u(t) + b_2 u(t-1) \quad (6)$$

なるシステム方程式を用いている。

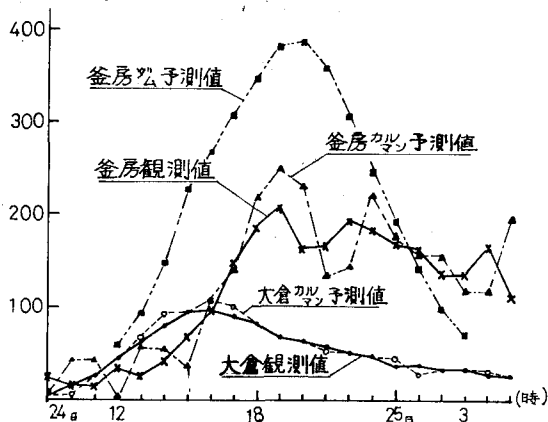


図2-5 大倉、釜房での予測(日49.9デー)

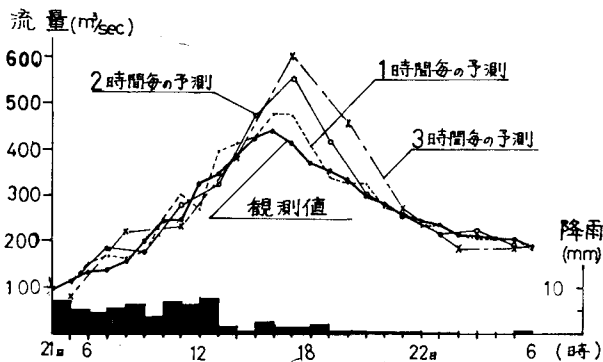


図2-3 四+四田ダムでの予測(日43.8)

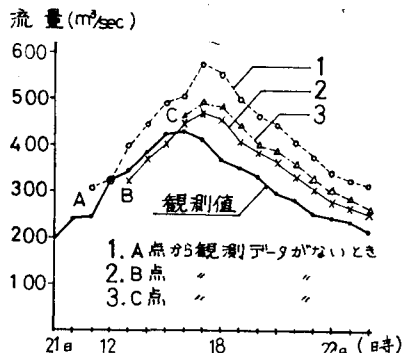


図2-4 四+四田ダムでの予測

4. 両理論の日流出予測への適用

両理論を鳴瀬川流域の日流出量予測に適用した。流域図を図2-6に、結果を図2-8に示す。なお、コヒーレンスを求めたところ、非線形性の非常に高い流域であることがわかっている。

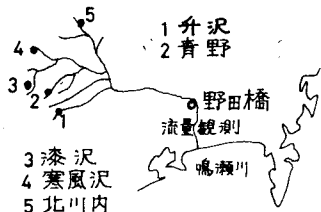


図2-6 流域図

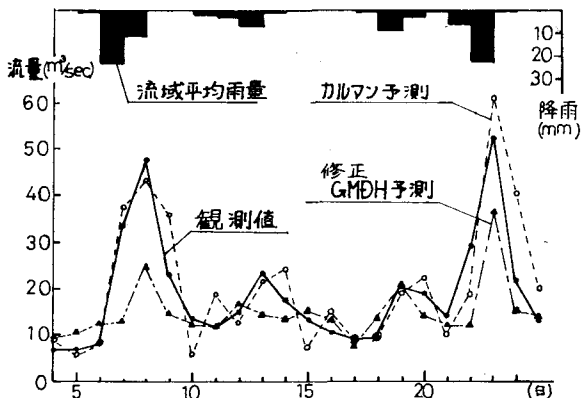


図2-8 鳴瀬川日流出予測(日48.6)

Kalman理論による予測には各地点毎の予測値とターセン分割により流域平均雨量を求めて予測したものとを比較したところ、後者の方がより良好な結果を与えることがわかった。なお、システム方程式は次式を用いた。

$$z(t+1) = \alpha_1 y(t) + \alpha_2 y(t-1) + \beta_1 u(t) + \beta_2 u(t-1) + \dots + \beta_6 u(t-6) \quad (7)$$

3.3 DPによる並列ダムの最適ゲート操作

1. DPによる定式化

いま、制御期間が1, 2, ..., Tで与えられ、任意の期間tでのダムnの流入量、放流量が各 $I_n(t)$, $O_n(t)$ と既知で期間tの初期貯水量が $S_n(t)$ であるとき、連続式は

$$S_n(t+1) = S_n(t) + I_n(t) - O_n(t) \quad (8)$$

で与えられる。また制約条件及び初期条件を

$$O_n(t) \leq g_n(S_n(t) + I_n(t)), \quad C_n = S_n(T+1) \quad (9)$$

DPによる定式化は次のようになる。

$$f_n(t, S_n, S_{n+1}) = \min_{O_n} \{ \sum_{i=1}^N \alpha_i f_{i+1}(S_{i+1}, S_{i+2}, \dots, S_N) + f_{i+1}(S_{i+1}, S_{i+2}, \dots, S_N) \} \quad (10)$$

なお本論文では治水制御の目的を、洪水のピーク流量を可能な限り小さくし、各評価地点での被害のウェイトをできるだけだけ均等化し最大化することにおき、評価関数として次式を用いている。

$$D_n(t) = \{ (w+1) \cdot m \} \cdot \alpha \cdot Q_n(t) - b \quad (11)$$

2. 並列ダムシステムへのDPの適用並びに結果

著者は、名取川水系釜房ダムと広瀬川水系大倉ダムが図3-1に示した1つの並列ダムシステムを構成することに着目し、両河川計画の対象である昭25.8.4~5の洪水をDPを用いて解析した。なお解析にあたり流量100 m^3 を1単位とし、洪水ハイドロは同時に評価地点に達するよう洪水到達時間を考慮した平行移動を施してある。使用データ並びに解析結果は、表3-1、表3-2及び図3-2に示した。なお初期値は $S_1=50$, $S_2=30$ で与えた。

3. 解析結果の検討

表3-2(A)は随所でもかなりの氾濫を来すため最終で $S_1=50$, $S_2=30$ とするゲート操作は適当でない。表3-2(B)は最終で $S_1=103$, $S_2=57$ としたもので、現行計画洪水流量をかなり下回る治水流量となり、治水の目的を十分に果しているといえる。

§4 むすび : 洪水規模、予備放流量の規模等が予知できれば洪水期に貯水位を制限水位以下に限定しないですみ、既存のダムの貯水能力を有効に発揮する操作が可能となる。結局本論文で述べた洪水予測とDPを組合わせたダム群の動的統合操作が行なってはじめて限りある水資源をより効率よく活用することが可能となる。

表 3-1

T	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I1	11	11	12	17	15	14	11	7	6
I2	8	11	12	9	2	1	0	0	0
Q1	7	9	11	14	10	1	1	1	1
Q2	5	8	10	7	9	9	5	6	4
Q3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Q1'	18	21	28	29	24	12	8	8	7
Q2'	13	19	22	16	11	10	5	6	4
Q3'	32	41	51	46	36	23	14	15	12

表 3-2 (A)

T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S1	50	54	66	83	95	97	92	82	69	50
S2	30	32	44	56	56	57	54	46	40	30
O1	7	0	0	3	12	16	17	20	25	
O2	6	1	8	7	1	4	8	6	10	
Q1	14	9	11	17	22	17	18	21	26	
Q2	11	9	10	11	10	18	13	12	14	
Q3	26	19	22	32	34	31	32	34	41	

表 3-2 (B)

T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S1	50	61	73	104	109	109	108	106	103	
S2	30	32	42	54	58	58	57	57	57	
O1	0	0	0	1	9	11	8	9	9	
O2	6	1	0	5	2	1	1	0	0	
Q1	7	9	11	15	19	12	9	10	10	
Q2	11	9	10	12	11	10	6	6	4	
Q3	19	19	22	28	31	23	16	17	15	

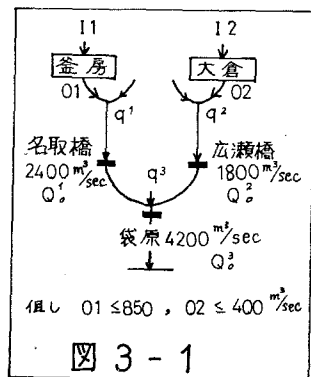


図 3-1

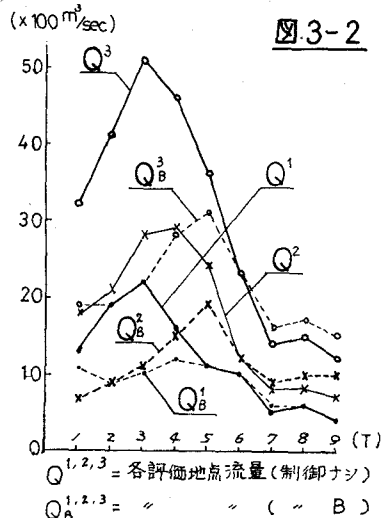


図 3-2