

九州電力K.K.土木部

村瀬次男

1. まえがき 本論文の主たる研究成果を要約すると、次の通りである。

- (1) 洪水流（不定流）を自然界における自動制御システムと考え、その理論構造を示した。
- (2) 新洪水追跡法を提案し、マスキンガム法との関連を示した。
- (3) マスキンガム法の原理について別解釈を行ない、その意義を再評価し、洪水流の本質を明らかにした。
- (4) 降雨流出の新モデルを提案し、Prasadモデルとの相関を示した。
- (5) 河川蛇行の発生メカニズムを説明するための具体的アプローチの方法を示した。

2. 洪水流の自動制御システムの理論構造 著者は、洪水流（不定流）を、河道を含めて、図-1のような自動制御システムと考える。ここで、制御部 G_c を考えることは極めて重要な観点で、水の慣性および損失を制御パラメータと考えることを意味する。自動制御システムの基本式は次の通りである。

$$\Delta H_1 = \frac{1}{F_1 S} (\Delta Q_0 - \Delta Q_1) \quad \dots (1)$$

$$\Delta Q_1 = G_{c1} (\Delta H_1 - \Delta H_2) \quad \dots (2)$$

$$G_{c1} \equiv 1 / \left(\frac{\Delta x}{g f_1} S + \alpha_1 \right) \quad \dots (3)$$

etc.

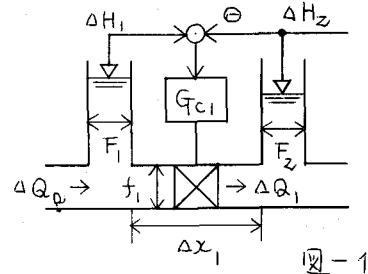


図-1

ただし、 α : 損失水頭係数、 $S \equiv d/dt$

(1) ~ (3) 式は、 f , F および α が一定の場合、 Δx および H の実数であるから、 Δx および H の制約のもとでしか正しくはない。図-2は、図-1の自動制御システムのブロック系図で、カスケード制御系の連鎖であることが判る。ところで、洪水流の Δx 区画では、流入量と流出量との間に線形関係が認められ、これは、実河川での実験の結果からいえることである。したがって、著者は、(1) ~ (3) 式の Δt の制約からの解放を考え、少なくとも実河川水路（特に、中、下流部）では、

$$\alpha f \equiv T(x, \Delta x) \quad \dots (4)$$

$$\Delta x / (g f) \approx 0 \quad \dots (5)$$

としてよいと考える。(4) 式の左めは、

水路断面として、貯留と流出の別々の柱能をもつ断面の共存を仮定する必要がある。¹⁾ この仮定の分析は次回にするが、²⁾ このような流出断面形は、申水路の断面の流速分布の系図に酷似していることを指摘しておきたい。(5) 式は、不定流の基礎方程式の加速度項を省略することには相当する。図-1および2の表現は(4) および (5) 式を仮定してこそ正しいのである。

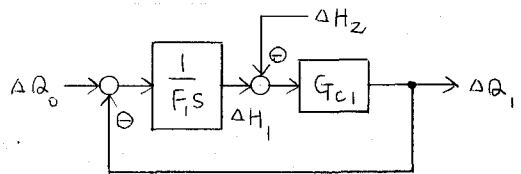


図-2

3. 洪水追跡法の新モデルの構造 著者は、洪水流と洪水追跡法との関係は、自重制御システムと自重制御モデルとの関係であると考える。いま、図-1およびその自重制御システムから有効な自重制御モデルを創出するには、 ΔH_2 , ΔH_3 , ... の連立をどこかで断ち切りフィードバック制御系にする必要がある*1。この断ち切り後であればあるほど精度の高いモデルがえられる代りにモデルの構造は複雑となる。さて、著者は、 ΔH_3 のところで断ち切った新自重制御モデルを提案する。その伝達関数(ΔX 区間の)は次のようになる。

$$\frac{\Delta Q_1}{\Delta Q_0} = \frac{T_2 S + 1}{T_1 T_2 S^2 + [(1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}) \cdot T_1 + T_2] S + 1} \dots \dots \dots (b)^{*2}$$

(b) 式から、新モデルは2次線形であることが判る。図-3および4に著者のモデルとそのブロック線図を示す。また、(b) 式において、

$$T_2 \ll (1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}) \cdot T_1 \dots (7)$$

$$\alpha_2 / \alpha_1 \ll 1 \dots \dots \dots (8)$$

とすると、

$$\frac{\Delta Q_1}{\Delta Q_0} = \frac{1 - \gamma TS}{(1 - \gamma) TS + 1} \dots (9)$$

$$\gamma \equiv \alpha_2 / (\alpha_1 + \alpha_2) \dots (10)$$

$$T \equiv (1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}) \cdot T_1$$

$$= (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot F_1 \dots (11)$$

となる。(9) ~ (11) 式は次第で述べるマスキング法のモデルそのものであるから、マスキング法が著者の洪水追跡法の近似的方法であることが判る。

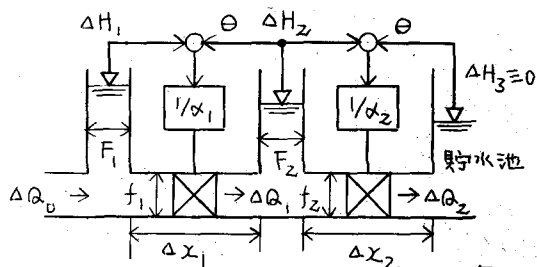


図-3

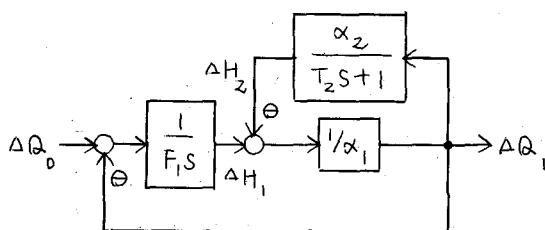


図-4

4. マスキング法のモデルの構造と洪水流の本質 マスキング法は、洪水追跡の実用計算法として著名であるが、その理論の基礎が明確でない*3。著者は、洪水流は結帯流であつて、図-5のように一種のポンプ作用(或いは、呼吸作用といつてもよい)があり、これがマスキング法の原理であると考える。ポンプ作用は、 ΔX 区間で、

$$\Delta Q_0 \propto \Delta H \dots \dots \dots (12)$$

$$\Delta Q_1 \propto \Delta H \dots \dots \dots (13)$$

のように線形であると仮定する。したがつて、この場合の基本式は次のようになる。

$$\Delta H = \frac{1}{F_S} \cdot (\Delta Q_0 - \Delta Q_1) \dots \dots \dots (14)$$

$$\Delta H = a \cdot \Delta Q_0 + b \cdot \Delta Q_1 \dots \dots \dots (15)$$

*1 降雨流出モデルとして著名なホルトンのモデルは ΔH_2 のところで断ち切ったモデルである。

*2 FはTの中に潜在し、これを直接考へなくともよいことが判る。このため、 ΔX_1 は或る程度大きくとれる。

ただし、 $a(x, \Delta x)$ 、 $b(x, \Delta x)$

(14) および (15) 式から、 ΔH を消去して、

$$\frac{\Delta Q}{\Delta Q_0} = \frac{1 - \gamma TS}{(1 - \gamma)TS + 1} \quad \dots \dots (16)$$

$$\gamma \equiv a / (a + b) \quad \dots \dots (17)$$

$$T \equiv (a + b) \cdot F \quad \dots \dots (18)$$

さうする。(16) ~ (18) 式は、マスキング法のモデルの伝達関数 (Δx 区間の) で、1次線形であることが判る。図-5 および b はマスキング法のモデルとそのブロック線図を示す。ところで、

(10) と (17) 式、(11) と (18) 式

をそれぞれ比較すると、

$$\left. \begin{aligned} a &= \alpha_2 \\ b &= \alpha_1 \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots (19)$$

であることが判る。(19) 式は、洪水流を図-1 のような自重制御システムと考えるのと、図-5 のようなポンプ作用のあるシステムと考えるのとは同

等であることを意味する。したがって、前記ポンプ作用の存在(仮定)は理論的には証明されたことになる。

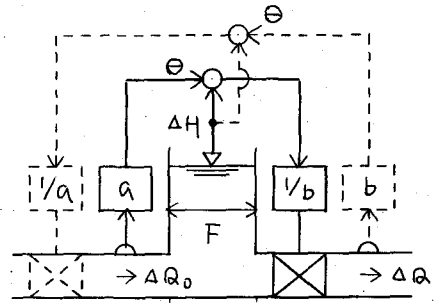


図-5

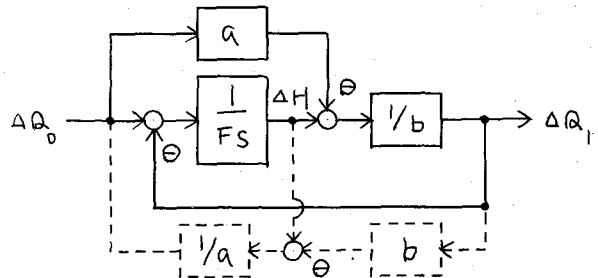


図-6

5. 降雨流出の新モデルの構造 3節で述べた著者の洪水追跡モデルから降雨流出の新自重制御モデルを誘導する。図-3において、

$$\Delta x_1 \gg \Delta x_2 \quad \dots \dots (20)$$

のように Δx_1 のみを大きくすると、T の非線形の影響が出てきて無視できない。したがって、

$$T_1 \Delta Q \equiv K \cdot \Delta Q^N \quad \dots \dots (21)$$

として、(17) 式の関係と、

$$S^2 \Delta Q_1 \equiv 0 \quad \dots \dots (22)$$

であることを考えると、(16) 式は次のようになる。

$$\frac{\Delta Q_1}{\Delta Q_0} = \frac{T_2 S + 1}{T_1 T_2 S^2 + K N \cdot (1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}) \Delta Q_1^N T S + 1} \quad \dots \dots (23)$$

ただし、 T_1 : T_1 の線形等価値、 K および N : (21) 式に示す定数

(23) 式は、 Δx が十分に大きい場合の著者の洪水追跡モデルの伝達関数である。そして、この式は降雨流出モデルとしても充分利用できる。この場合は、 ΔQ_0 は有効降水と考えるのである。ところで、Prasad の降雨流出モデルは (23) 式の分子の T_2 のみを 0 (ゼロ) として導かれるので、理論的には正しくないことが判る。このことは、貯留方程式の上によく現れている。著者のモデルの貯留方程式は、図-4 より、

$$\Delta H_1 = \alpha_1 \Delta Q_1 + \Delta H_2 \quad \dots \dots (24)$$

$$\Delta H_2 = \frac{\alpha_2}{T_2 S + 1} \cdot \Delta Q_1 \quad \dots \dots (25)$$

したがって、

$$\begin{aligned} \Delta S_1 &\equiv F_1 \cdot \Delta H_1 \\ &= T_1 \cdot \left(1 + \frac{\alpha_2 / \alpha_1}{T_2 S + 1}\right) \cdot \Delta Q_1 \quad \dots (26) \end{aligned}$$

ただし、 ΔS : 貯水量の変分

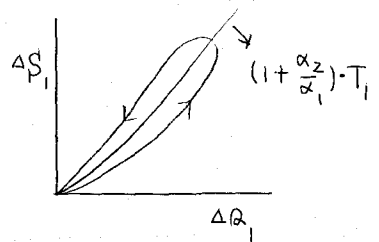


図-7

であるが、 $\Delta S_1 \sim \Delta Q_1$ の関係は種々ループの回転方向は図-7に示すようになる。これは Prasad の仮定した回転方向と異なるのである。⁴⁾

6. 河川蛇行の発生メカニズムのアプローチ 最近、河川蛇行の成因に関する議論が盛んであるが、未だ蛇行の発生メカニズムは勿論、それを説明するための具体的アプローチの方法さへよく判っていない。⁵⁾ そこで、今回は後者について私見を述べたいことにする。河川蛇行の発生を移動河床の3次元不安定問題と考えると、その自重制御システムは概念的には図-8のように示される。図-8は、前節までの用いた自重制御系とは異なり、示した自重制御系である。著者は、河川蛇行の発生メカニズムを説明するには、

(a) ΔQ_0 として、ステップ関数 $\Delta Q_0 / S$ を与える。^{*}

(b) 流水系および流砂系の非線形要素を考慮する。
の条件のもと、

(A) セイシユおよび交互砂礫堆の発生と発達。

(B) 図上2つの定着。

の2現象を理論的に証明する必要があるものと考え。そして、河川蛇行とTの値との関係について言えると、河川蛇行が沖積平野の中流部で多く見られるのは、そのような河

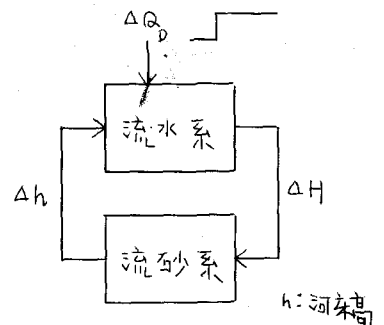


図-8

川では、自重制御作用の太さを示すTの値が河川の上、下流部よりも中流部で大きいこと、したがって、伝達関数もその区間で高次となり、(注)水流が不安定になり易いためではないかと。

7. 参考文献 1) Prasad, R. : A nonlinear hydrologic system response model, Proc. of ASCE, Vol. 93, No. HY4, pp. 204~206, 1967. 2) 本間仁: 水理学, 丸善, p. 127, 1967. 3) Linsley, R.K., M.A. Kohler and J.L.H. Paulhus Applied Hydrology, McGraw-Hill, pp. 496~502, 1949. 4) 前出1) と同じ 5) 熊川登: 河床形態の形成領域と発生機構, 土木学会第26回年次学術講演会講演集, 第2部, 研究討論会資料, 1971. 6) 例えば、林泰吉: 河川蛇行の成因についての研究, 土木学会論文報告集, No. 180, pp. 63~69, 1970.

* 既往の研究は、いずれも、系の入力として Δh (或いは、 ΔH) を与え、(*)も、正弦波進行波を考えている。