状態変数を用いた流出解析モデルに関する考察

京都大学工学部　正員　高棹琢馬
京都大学工学部　正員　椎葉充晴
運輸省　正員　○久保省吾
京都大学大学院　学生員　森川雅行

1．はじめに

河川流域における雨水の流出過程は、流動法則の異なる種々の流れから構成され、それらは相互に関係しあっている。本研究は、このような流域内部における雨水の移動機構を量的に把握しつつ流出解析を行なうための手法として、状態変数を用いた流出モデルの構成とその解析法について考察したものである。

2．状態変数を用いた流出システムのモデル化

流出システムは、相互に関係する有限個の部分システムから構成されると考え、それらの状態をそれぞれ1個の状態変数で表現する。そして、これらの状態変数と降雨強度の推移によって、流出系内部および系外への雨水の移動状況を表現する。その数理的構造は、流出システムを

$$dSi/dt = f_i(S_1, \cdots, S_N, r) \qquad i = 1, \cdots, N \qquad (1)$$

の連立常微分方程式系で表わすものである。$\{S_1 \cdots S_N\}$およびrは、それぞれ時刻tにおける各部分システムの状態量および降雨強度である。

具体的に状態量として雨水の貯留量を選べば、(1)式は各部分システムごとの連続式

$$dSi/dt = \sum_j q_{ji} + q_{oi} - q_{io} \qquad i = 1, \cdots, N \qquad (2)$$

と、各雨水の移動強度を$\{S_1, \cdots, S_N, r\}$の関数として表現することによって構成される。ここで、q_{ji}：時刻tにおける部分システムij間の雨水の移動強度、q_{oi}：同じく系外から部分システムiへの流入強度、q_{io}：同じく部分システムiから系外への流出強度である。

モデルの全体構造はFig1に示す通りであるが、本研究では山腹斜面における複雑な流出機構の分析に力点を置くため、山間地小流域を対象とし、いわゆる河道効果は考えない。また、山腹斜面上の流れとして、A層被覆域における機構と水みちにおける機構とを相互のやりとりを有する並列的な機構と考えている。

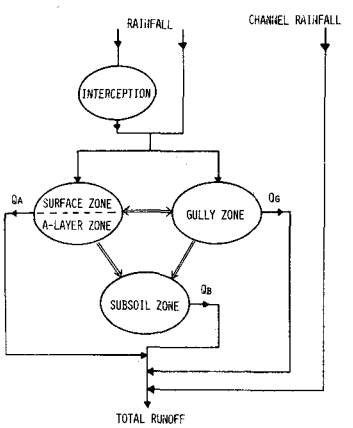

Fig.1 SCHEMA OF RUNOFF SYSTEM MODEL

この流出モデルの特長は次のようである。

1)各部分システムにおける貯水量とそれら相互間の雨水の移動機構とを量的に追跡できる。

2)流出ハイドログラフをあらかじめ分離して解析の対象とするのではなく、その全量を対象とするモデルである。

3)常微分系であるため、計算時間間隔を任意にとれ、またパラメーターの物理的意味が明確である。

4)状態変数の値さえわかれば、過去の履歴を必要とせず、任意の時刻から解析をスタートできる。

5)雨水の移動強度を必ずしも状態変数の関数で表現する必要はなく、Dynamic Programmingの手法を利用して、貯留量・移動量の最適系列を求めることが可能である。すなわち、関数型が不明確な部分についてはその移動強度を決定変数とし、観測値と計算値の2乗誤差を評価関数としてD.P.計算をし、得られた最適系列の分析によりその関数型を見出してモデルを改善してゆくことができる。

3. 部分システムのモデル化

部分システムのモデル化は、それぞれの特性を明確に把握したうえで行なう必要がある。本研究では各機構の水理学的な偏微分方程式系の定常時の解より、その貯留量～移動強度関係を求めた。

紙数の都合で、ここでその誘導と結果を列挙することはできないが、一例としてA層内の中間流と水みち流との間の雨水の授受のモデル化を挙げる。

一様な斜面におけるA層内流れの水理式を水みち流の水理式等を境界条件として、時間微分項を無視し、差分法で数値解析した。その結果を分析して

$$Q_{ag} = C_1 \cdot S_g (C_2 \cdot S_a - S_g) \quad (3)$$

(Q_{ag}: A層から水みちへの雨水の移動強度, S_a, S_g: A層および水みちにおける貯留量, C_1, C_2: 定数) とモデル化した。

4. 実流域への適用

この流出モデルのパラメーターは、地下水流出に関するものは実測ハイドログラフの低減部解析から、それ以外のものは実測と計算ハイドログラフの2乗誤差を順次極小にするように同定する。

右図は本モデルを野洲川支川上流部の荒川流出試験地に適用した結果である。昭和46年7月1日と7日の出水データよりパラメーターを同定し(Fig2, Fig3) 18日の降雨データより流出のシミュレーションを行なったものがFig4である。流域内の雨水の移動機構を表わす計算結果、およびこれらの結果に対する考察は講演時に述べたい。

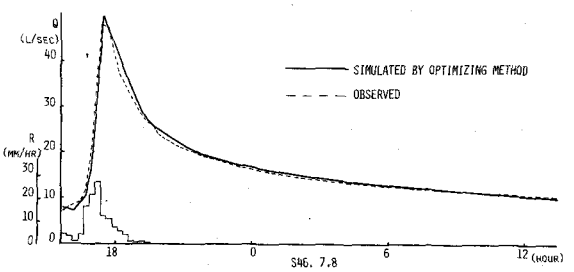

FIG.2 FLOW COMPARISON

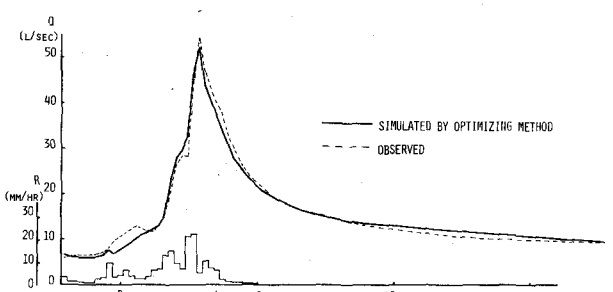

FIG.3 FLOW COMPARISON

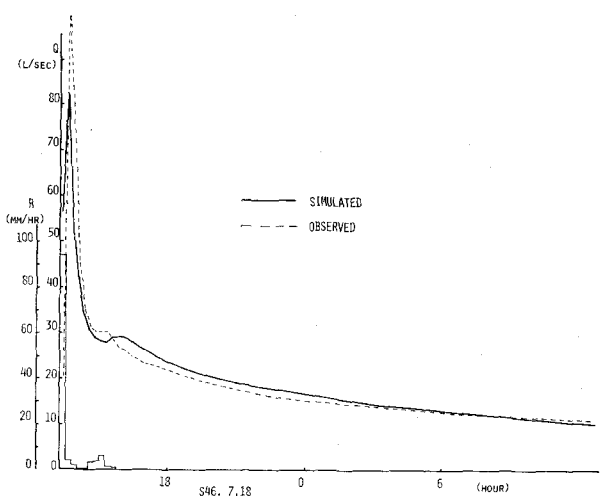

FIG.4 FLOW COMPARISON