

治水計画における多次元確率密度関数の導入

京都大学防災研究所 正 員 池淵 周一

京都大学防災研究所 正 員 小尻 利治

京都大学大学院 学生員 〇堀 智晴

1 緒 言

治水システム策定における施設の配置・規模計画は、近似的に上位解を抽出する Screening model と上位解に対して厳密な計算を行う Simulation model の 2 段階に分けられる。本研究は Screening model の一般的な構成方法を確認すべく、降雨・流量の条件付確率に多次元確立密度関数の概念を導入し、ダム、河道、遊水池などを含む流域モデルでの洪水氾濫確率を算定しようとするものである。また、実験計画法を用いて Screening 段階での最適化を行うものである。

2 降雨および流量の条件付確率の算定

隣接部分流域間の時間的空間的に一様でない T 時間連続降雨の条件付確率は確率密度関数を用いて次式のように表現できる。

$$\frac{\int_{R_{1t}, R_{1t+1}, \dots, R_{1t+T}} \int_{R_{2t}, R_{2t+1}, \dots, R_{2t+T}} \dots \int_{R_{Nt}, R_{Nt+1}, \dots, R_{Nt+T}} f(R_{1t}, R_{1t+1}, \dots, R_{1t+T} | Y_{1t}, Y_{1t+1}, \dots, Y_{1t+T}) \cdot f(R_{2t}, R_{2t+1}, \dots, R_{2t+T} | Y_{2t}, Y_{2t+1}, \dots, Y_{2t+T}) \cdot \dots \cdot f(R_{Nt}, R_{Nt+1}, \dots, R_{Nt+T} | Y_{Nt}, Y_{Nt+1}, \dots, Y_{Nt+T}) \cdot f(R_{1t}, R_{1t+1}, \dots, R_{1t+T}, R_{2t}, R_{2t+1}, \dots, R_{2t+T}, \dots, R_{Nt}, R_{Nt+1}, \dots, R_{Nt+T}) \cdot f(Y_{1t}, Y_{1t+1}, \dots, Y_{1t+T}, Y_{2t}, Y_{2t+1}, \dots, Y_{2t+T}, \dots, Y_{Nt}, Y_{Nt+1}, \dots, Y_{Nt+T})}{\int_{R_{1t}} f(R_{1t} | Y_{1t}) \cdot \int_{R_{1t+1}} f(R_{1t+1} | Y_{1t+1}) \cdot \dots \cdot \int_{R_{1t+T}} f(R_{1t+T} | Y_{1t+T}) \cdot \int_{R_{2t}} f(R_{2t} | Y_{2t}) \cdot \int_{R_{2t+1}} f(R_{2t+1} | Y_{2t+1}) \cdot \dots \cdot \int_{R_{2t+T}} f(R_{2t+T} | Y_{2t+T}) \cdot \int_{R_{Nt}} f(R_{Nt} | Y_{Nt}) \cdot \int_{R_{Nt+1}} f(R_{Nt+1} | Y_{Nt+1}) \cdot \dots \cdot \int_{R_{Nt+T}} f(R_{Nt+T} | Y_{Nt+T})}$$

上式の各項が対数正規分布に従うとすれば、ある範囲内の降雨確率を算定するには、(1) 上式を直接積分する方法と(2) Simulationによる方法の2つが考えられる。(1)の方法は多次元のたたみ込み積分となり積分の可能性が問題となる。(2)の方法は計算の回数や時間を要するがより現実的といえる。次に、部分流域末端流量の条件付確率を考えよう。流出変換モデルに線形応答関数を用いれば、流量確率の算定方法には(1)線形応答関数を上式に代入し周辺密度関数として求める解析的方法、(2)離散化された降雨の条件付確率を変換する方法、(3)降雨Simulationに流出変換モデルを組み込み、流量系列を発生させる方法の3種が考えられる。ところが、(1)では積分可能性から、(2)では計算機の容量上の問題からそれぞれ現実的ではない。したがって、本研究では(3)の方法を採用する。

3 流域モデルの構成

各種治水施設を含む流域治水モデルには、大別して、河道、ダム貯水池、遊水池、堤防の各モデルがあり、各々、以下のように定式化を行う。

(1) 河道モデル 河道の上流端流入量 $W_I(t)$ と時間遅れ ty を伴う下流端流出量 $W_O(t+ty)$ の間に $W_O(t+ty) = a \cdot W_I(t)$ なる関係を仮定し、(a は河道効果を表す定数)、この関係を離散化した流量幅に対して河道行列として表現することによって流域モデルに組み込む。

(2) ダム貯水池モデル ダム貯水池は洪水調節を目的とした放流量の決定と共に、貯留量の時間的变化による氾濫も考慮する必要がある。いま、ダムの流入量、放流量、貯留量を S, Q_I, Q_O とすると連続式は $S(t) - S(t-1) = Q_I(t) - Q_O(t)$ となり、入出力の形は左辺に依存する。 $A(t) = S(t) - S(t-1)$ とおくと $A(t)$ は貯留パターンを表すことになり、制御期間を3段階に分け、 $A(t)$ の符号によって、3種の貯留量行列を用意することになる。

(3) 遊水池モデル ダムモデルと同様にモデル化でき、ダム貯留量行列の $A(t) > 0$ の場合と同様な遊水池行列によって構成される。

(4) 堤防モデル 河道の限界水位を越える流量が越流によって氾濫し河道外に一時貯留されるものとすれば、堤防モデルは越流量を示す堤防行列によって構成される。

4 Sift operationの実用化 Sift operation法を実流域に適用する際には流量確率行列の整合性に若干の問題が生じるので、その特性を分類しておこう。

(1) ダム貯水池を有する支川が本川と合流した後さらに他の支川と合流する場合（図-1）本川流量 Q_2 と支川 $i+1$ の合流を考える際には、 Q_2 の列成分をダム放流量から部分流域 i の流量を表す行列 Q_{B2} に変換しなければならない。

(2) 支川のダム放流量と残流域流入量との合流（図-2） Q_1 と P_{i+1} の合流流量行列 Q_1 を算出するためには、放流量行列 Q_1 の列成分を部分流域 $i-1$ の流量から部分流域 i の流量を表す行列に変換しなければならない。

(3) ダム残流域を有する支川と本川の合流 Q_1 と Q_2 の合流を考える際には、 Q_1 の列成分を部分流域 $i+1$ から $i-1$ の流量を表すような変換が必要である。

5 上位解の抽出 以上のScreening modelを Y 流域に適用しよう。最適化をはかる目的関数のある許容氾濫確率の制約下での費用最小化と定義すれば、

$$COST = \sum C(i) \rightarrow \min. \text{ st. } \max(P_j(t)) \leq P_{aj}$$
 となる。ここに、 $C(i)$ は地点 i の施設の建設費、 P_{aj} は評価地点 j の許容氾濫確率、 $P_j(t)$ を氾濫確率とする。また、各治水施設に3段階の水準を考えると、施設の組み合わせが531,441 とおりと膨大になるため直行配列表 $H_{3,36}$ を用いて実験回数を効果的に減少させる。表 1~3 は、各施設の水準と上位解である。治水施設の配置状況によって氾濫確率が大きく変化しているようすがうかがえよう。

6 結 語 本研究は、Screening model のより一般的な構成方法を確立すべく、多次元確率密度関数の導入、流域モデルの構成等を行ったが、今後、氾濫確率の精度やさらに上位解の抽出方法に考察を加えていくつもりである。

〔参考文献〕 高樺琢馬・池淵周一・小尻利治
 水系一貫した治水計画の策定に関する研究、
 京都大学防災研究所年報 第21号B-2、1978

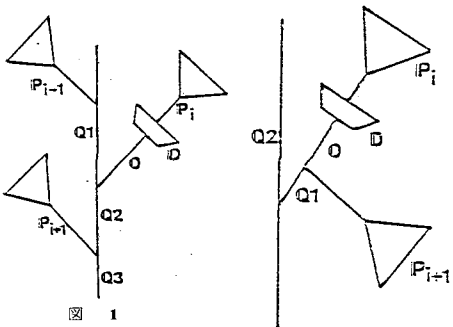


表 1

ESTIMATE POINT	FLOOD CONTROL CAPACITY (M ³)		
	LEVEL 0	LEVEL 1	LEVEL 2
1	0	291600	580400
2	0	874800	1458000
3	0	291600	580400
4	0	2818800	3790800
5	0	291600	580400
6	0	291600	580400

表 2

ESTIMATE POINT	ALLOWABLE DISCHARGE (M ³ /SEC)		
	LEVEL 0	LEVEL 1	LEVEL 2
1	480	270	420
3	750	450	900
4	1050	600	1200
5	1350	750	1350
6	1500	900	1650
7	1800	1050	1950

表 3

実験番号	因 子		氾濫確率	費用	順位
	ダム	堤防			
2	1 1 1 2 2 1	1 2 1 0 0 1	0	124.3	3
5	1 1 1 1 0 1	0 1 0 1 1 2	0.0277	151.5	
6	2 2 2 2 1 2	1 2 1 2 2 0	0	137.9	
8	1 1 2 1 1 0	2 0 1 1 2 1	0.0317	118.5	2
9	2 2 0 2 2 1	0 1 3 2 0 2	0	62.1	
12	2 2 1 1 2 0	2 2 0 0 2 2	0.0106	48.5	
15	2 0 1 1 2 2	0 0 1 2 1 1	0		1
23	1 2 2 0 2 0	0 1 1 0 1 0	0.095		
30	2 1 0 2 2 0	1 0 0 1 1 0	0		
33	2 1 1 0 1 1	0 0 2 0 2 0	0		