

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○端野 典平 京都大学防災研究所 正会員 宝 馨
(財)河川情報センター フェロー会員 中尾 忠彦

1. はじめに

DAD(Depth-Area-Duration)解析は洪水防御計画において重要であるが、最近の発達した計算処理能力や、レーダ雨量計により空間分布が精度良く推定された雨量データを用いる手法についての研究は数少ない¹⁾。本研究はこれらを用い、可能最大降雨(PMP)の推定を目的としたDAD解析を行う。その際、DA関係を計算する2つの方法と客観的に包絡線を引く方法を提案する。対象流域は那珂川流域で、その流域面積は約3,270km²である。当流域は、1998(平成10)年8月26日から31日まで記録的な豪雨に襲われた。

2. レーダ雨量計を用いた地上雨量の推定

建設省より提供された赤城山、高鈴山の2つのレーダ雨量計と45ヶ所の地上雨量計で観測された時間雨量を用いて1998年8月末の豪雨の空間分布を推定する。対象流域を一辺1.5km(レーダ雨量の分解能)のグリッドセルで覆い、そのセル上の雨量を用いて雨量の時空間分布を評価する。推定手法として以下の4通りを考えた。Cal-A、Cal-TはB-β法を用いるものである。それぞれ赤城山レーダ雨量計、高鈴山レーダ雨量計によるレーダー反射因子を用いて、空間的に一様なBとβを地上雨量との差が二乗和が最小になるよう毎時推定する。WMは相関係数が最大となるようにCal-AとCal-Tの雨量を重み付け平均する方法で、MRAは毎時重回帰分析を行い、Cal-AとCal-Tによる雨量を変数とする回帰平面を求める方法である。表1により、平方根平均二乗誤差(RMSE)、相関係数のどちらの観点からもMRAの推定精度が最も良いと言える。以下のDAD解析ではレーダ雨量として、MRAにより補正された雨量を用いることとする。各セルの雨量値には、レーダー雨量(MRA)を用いるときはその雨量値を、地上雨量計を用いるときは最近隣法による雨量値を用いる。

3. DAD式について

本研究では、既往最大の雨量値を包絡するよう定められたDAD式が、面積と降雨時間を指定したときの可能最大面積雨量を示すと仮定する。DD式としてSherman式、DAD式として角屋・永井²⁾と桑原³⁾により修正されたHorton式を用いる(それぞれ式(1)、(2))。

$$P_0 = I \cdot t = a \cdot t^{1-c} \quad (1)$$

表1: 45ヶ所の地上雨量とレーダ雨量の間の平方根平均二乗誤差と相関係数の比較 (Mean r_t は空間的、Mean r_i は時間的、 r_{all} は時空間的な相関性を評価。)

	RMSE	Correlation coefficient		
	(mm/hr)	Mean r_t	Mean r_i	r_{all}
Cal-A	4.30	0.694	0.862	0.853
Cal-T	4.11	0.788	0.851	0.869
WM	3.62	0.807	0.889	0.899
MRA	3.32	0.819	0.908	0.915

$$\widehat{P}_a(A, t) = at^{1-c} \exp\{-ut^{-v}(A - A_0)^n\} \quad (2)$$

ここで、 P_0 は最大地点雨量(mm)、 $\widehat{P}_a(A, t)$ は降雨面積 $A(\text{km}^2)$ と降雨継続時間 $t(\text{hour})$ を指定したときの可能最大面積雨量(mm)、 A_0 は $\widehat{P}_a(A, t)$ が P_0 に等しくなる面積、 a, c, u, v, n は定数である。定数 $c = 0.532$ は日本の最大地点雨量観測値⁴⁾から導かれる。 A_0 は、セルの面積 $1.5 \times 1.5 \text{km}^2$ である。

4. 包絡線を引く方法について

DD式(1)の定数 a の値は、両辺対数をとると直線の傾きを示すので観測値を包絡するように容易に決めることができる。しかしDAD式(2)の定数 u, v, n に対してはこの方法は使えないので、以下の方法を提案する。DAD解析の結果得られた全継続時間の最大面積雨量値を包絡するように包絡線を引くことを目的として、以下の非線型計画問題を考える。すなわち、 $\vec{x} = (u, v, n)^t = (x_1, x_2, x_3)^t$ 、 $\widehat{P}_a(A_i, t, \vec{x}) = a \cdot t^{1-c} \exp\{-x_1 \cdot t^{-x_2} \cdot (A_i - A_0)^{x_3}\}$ とにおいて、

$$\text{最小化: } f(\vec{x}) = \sum_{i,t}^{N,\ell} \{P_a(A_i, t) - \widehat{P}_a(A_i, t, \vec{x})\}^2 \quad (3)$$

$$\text{制約条件: } g(A_i, t, \vec{x}) = P_a(A_i, t) - \widehat{P}_a(A_i, t, \vec{x}) \leq 0 \quad (i = 1, \dots, N) \quad (4)$$

ここで A_i はDA関係を求める際に設定する面積($i = 1, \dots, N$)、 ℓ は降雨継続時間の最大時間、 $\widehat{P}_a(A_i, t, \vec{x})$ は A_i, t に対する可能最大面積雨量、 $P_a(A_i, t)$ は既往最大面積雨量である。

5. DA関係の計算方法について

本研究では次のような方法を提案する。面積固定法(CAM)は、半径一定の円を全流域にわたって移動させ、円と重なるグリッドセル上の格子点にお

る雨量値を用いて円に含まれる領域の面積雨量を求めるものである。つまり円の面積に対応する最大面積雨量値を求める方法である。雨量固定法 (FRM) では、最大地点雨量を降雨域中心とし、1つの降雨域には1つの中心があると仮定する。そして降雨域ごとに以下のことを行う。雨量値を固定し、それ以上の雨量値をもつセルの面積とそれらのセルによる総雨量を求める。次に雨量値を変え、同様にして最大面積雨量とそのときの面積との関係を求める。CAMが降雨形状を円として DA 関係を計算するのに対して、FRMは柔軟に降雨形状に合わせて計算することができる。

6. 結果と考察

DD解析結果について述べる。まず、図1から1998年8月の豪雨時には、全ての降雨継続時間において既往最大降雨を上回る降雨が発生したことが確認できる。図2を見ると地上雨量計による値よりも上方にプロットされているレーダ雨量値がある。地上雨量計が捕らえられなかった局所的な豪雨をレーダ雨量計が検知したとみなせる。またレーダ雨量による値を包絡するように決めた DD 曲線 (式 (1)) の y 切片の値により、対象流域では局所的に1時間に183mmの豪雨が降り得ることが推測される。

次に DAD 解析を行った (図3、4、5)。4.の方法により既往最大面積雨量を包絡するように客観的に定数 u 、 v 、 n を決定することができた。地上雨量計のみを用いた場合には、 $2.25\text{km}^2 < A < 800\text{km}^2$ においてレーダ雨量を用いた場合よりも PMP を大きく推定する結果となった。これは最近隣法を用いた結果、面積約 100km^2 以内でプロットされた点が上に凸の曲線を描いたためである。降雨面積が 300km^2 以内では FRM のほうが CAM より大きい面積雨量を与える。FRM では、DAD 曲線 (PMP の推定線): $\hat{P}_a(A, t) = 183.0 \cdot t^{0.468} \cdot \exp\{-0.0239t - 0.108(A - 2.25)^{0.595}\}$ が求められ、 400km^2 以内では CAM の結果 (図4) より大きい PMP を推定した。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所河川部水文研究室: レーダ雨量計から見た降雨の時空間特性に関する調査報告, 土木研究所資料第2604号, 1988.
- 2) 角屋 睦・永井明博: 洪水比流量曲線へのアプローチ, 京都大学防災研究所年報第22号 B-2, pp. 195-208, 1979.
- 3) 桑原英夫: 日本における最大級豪雨の時間的空間的集中特性に関する実証的研究, 東京大学博士論文, 1986.
- 4) 水文・水資源学会 [編集]: 水文・水資源ハンドブック, pp. 228-231, 1997.

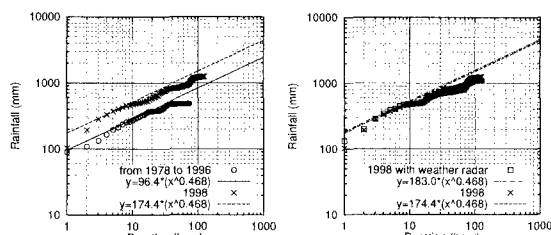


図1: 地上雨量計を用いた 図2: 1998年の豪雨に対して1978年から1996年までする地上雨量計とレーダと1998年のDD解析結果雨量を用いる場合のDD解析結果の比較

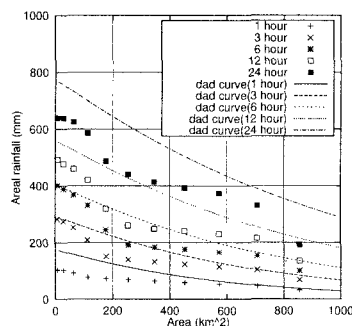


図3: 地上雨量計だけを用了 DAD 解析結果 (CAM)

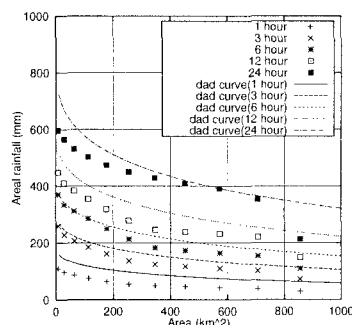


図4: レーダ雨量を用いた DAD 解析結果 (CAM)

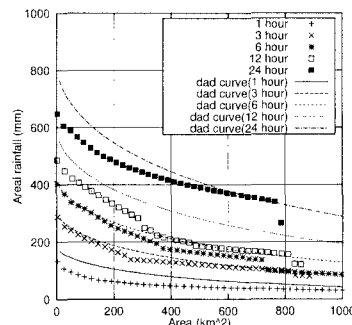


図5: レーダ雨量を用いた DAD 解析結果 (FRM)