

洪水予測のためのレーダー雨量の逐次補正について

京都大学工学部 正員 高棹 琢馬
 京都大学工学部 正員 宝 馨
 京都大学大学院 学生員 〇三谷裕次郎
 建設省 正員 笛田 俊治

1. はじめに

豪雨出水に基づく災害を防止・軽減するためには、降雨・流出の精度のよい予測が要望される。この目的に、レーダー雨量計の即時的・広域的観測特性が有望視されている。

本研究では、レーダー雨量計データを雨量に換算する際に用いるレーダー定数 B 、 β を流域内の多数の地上雨量計データを利用して実時間において逐次補正していくことによって、より正確な面積雨量の推定を行い、出水予測精度の向上を図ることを目的とし、逐次補正の有用性を検討する。

2. 解析資料

図1に由良川流域とその上方にかかるレーダーメッシュを示す。黒丸は地上雨量計の位置を表わす。由良川には、福知山を基準地点とする洪水予測用のモデルが設定されている。これは、図2・表1に示すように、福知山上流域を5流域・2河道に分割し、それぞれ貯留関数法を適用して各流域・河道の定数決定がなされている。本研究では、現行の洪水流出モデル（大野ダム放流量記録を用いてダム下流4部分流域の流出計算を行う）と、大野ダム上流域について昭和48年の予測モデル検討業務の際に求められた貯留関数のモデル定数を用い、ダム操作プログラムを組み込んで5部分流域の流出計算をしたものの2つで検討した。

表2に解析対象期間を示す。このうち、Case4とCase6はレーダー雨量の欠測期間が長い場合のため除外した。実際に解析を行なったのは4つのケースである。

3. キャリブレーションの方法

レーダー雨量計によって評価される降雨量を「レーダー雨量」と呼ぶことにする。レーダー雨量は、

Takuma TAKASAO, Kaoru TAKARA, Yujirou MITANI and Toshiharu FUETA

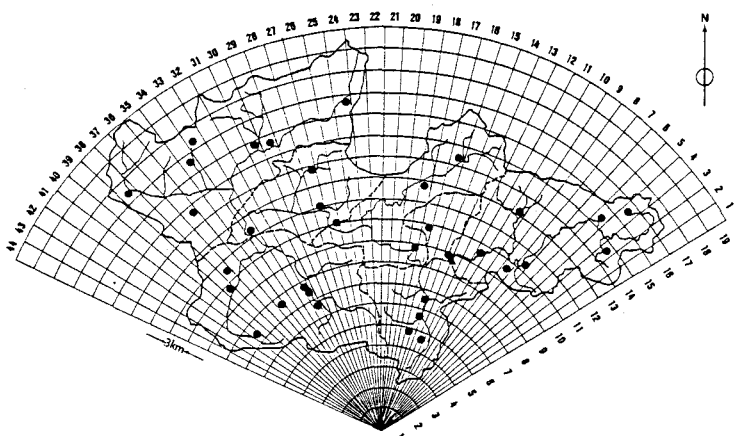


図1 レーダーメッシュと地上雨量計位置

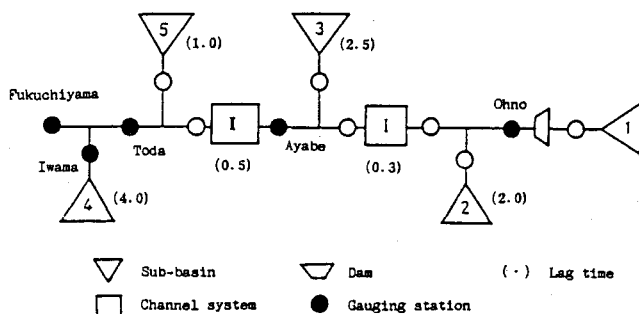


図2 由良川流域現行洪水予測モデル

極座標系のメッシュで囲まれる区画ごとの平均値の形で評価される。詳細については文献¹⁾⁻⁶⁾を参照されたい。

$$P_r = C \cdot F \cdot Z / r^2 \quad (1)$$

$$Z = B \cdot R^\beta \quad (2)$$

$$R_r = (200/B)^{1/\beta} (E/E_0)^{2/\beta} \quad (3)$$

(1)式および(2)式は、レーダー方程式として良く知られているもので平均受信電力 P_r とレーダー反射因子 Z との関係式である。 C 、 F は補正係数である。(3)式が本研究で用いた変換式で、

受信電力 E を雨量に変換するものである。 R_r は5分間の降雨強度を代表する値である。 E_0 はレーダーサイトから192km離れた地点での1mm/hrの雨量を基準として調整したときに設定される基準電圧値である。(現在深山レーダーでは $E_0 = 1.7$ を用いている。) B 、 β はレーダー定数と呼ばれるものである。標準値として $B=200$ 、 $\beta=1.6$ がよく用いられる。レーダー雨量 R_r は5分単位で得られるのに対して、地上雨量は1時間単位に整理されている。したがって、レーダー雨量を1時間単位に変換する必要がある。これを R_R と表わす。各地上雨量計に対して添字 i を付して R_{Gi} とする。そして、地上雨量とその直上方のメッシュ区画のレーダー雨量(これを R_{Ri} とする)との誤差二乗和が最小になるように B 、 β を最適化する。最適化に際してはFACOMのSSLIIのMINFIを用いた。

$$\sum (R_{Ri} - R_{Gi})^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

$R_{Gi} > 0$ となる地上雨量計が3地点以上のときに限り、キャリブレーションを行なうことにした。面積雨量算定の方法として、次の7通りを考えた。

- ①地上雨量計のみを利用
- ②逐次キャリブレーションしないで定数固定($B=200$, $\beta=1.6$)
- ③流域全体で同一の定数を逐次キャリブレーションする。
- ④流域全体で $\beta=1.6$ と固定して B のみを逐次キャリブレーションする。
- ⑤流域全体で $B=200$ として(3)式の右辺に新たに補正係数 a を乗じ、 a 、 β を逐次キャリブレーションする。
- ⑥部分流域ごとに異なる定数を逐次キャリブレーションする。(ただし、 $B > 0$, $\beta \geq 0.1$)
- ⑦レーダーサイトからの距離レベルごとに異なる定数を逐次キャリブレーションする。

4. 考察

逐次キャリブレーションによってどの程度レーダー雨量と地上雨量の相関が良くなったかを図3に

表1 由良川流域現行洪水予報モデルの定数

Sub-system No.		Area (km ²)	K	P	Tl (hr)	Rsa (mm)
Sub-basin	1	330	25	0.50	1.5	80
	2	220	13	0.65	2.0	80
	3	240	30	0.65	2.5	80
	4	370	22	0.65	4.0	80
	5	170	20	0.65	1.0	80
Channel	I	—	9	0.6	0.3	—
	II	—	23	0.6	0.5	—

表2 解析対象期間

	地上雨量解析期間	降雨原因
CASE1	S57.07.26 ~ 08.05	台風8210
CASE2	S58.09.19 ~ 09.29	台風8310くずれの低気圧
CASE3	S59.06.22 ~ 07.01	前線性降雨
CASE4	S60.06.21 ~ 07.15	前線性降雨
CASE5	S61.07.19 ~ 07.24	梅雨前線の活発化による雷雨
CASE6	S62.07.13 ~ 07.19	台風8705が梅雨前線を刺激

	レーダー雨量解析期間
CASE1	S57.07.26 13:00 ~ 08.05 24:00
CASE2	S58.09.25 14:00 ~ 09.29 03:00
CASE3	S59.06.25 11:00 ~ 06.28 24:00
CASE4	
CASE5	S61.07.20 15:00 ~ 07.22 12:00
CASE6	

示す。これは、②、③、⑥の場合であるが、あきらかに②-③-⑥の順に相関が良くなっている。地点ごとでみれば、十分にキャリブレーションの効果があつたといえる。

上述の7つの方法によって得た計算流量と、観測流量との $rmse$ (平均二乗誤差の平方根) を表3に示す。7通りの方法(①~⑦)の中でどれが最も良いのか判断する一つの指標としてコンコダンス・アナリシスを採用した。⁷⁾この方法は代替案評価手法の1つであるスコアリング法の一つであり、項目別に各案の優劣を判断し、その後各項目別に重みを配分して加算することにより1元的な評価を得ようとするものである。この結果、もっとも評価が高いのは⑤で、以下④-①-⑥-⑦-③-②の順であった。

この他に地点(福知山、綾部、岩間)ごとのハイドログラフや各部分流域のハイトグラフなどを相互に比較検討し総合的に判断すると、次のようなことが分かった。

- 1) 定数固定の場合では、計算ハイドログラフに大きな誤差が生ずる可能性があるため何らかの補正(逐次キャリブレーション)を行う必要がある。
- 2) 5つのキャリブレーション(③~⑦)の中では④、⑤が地上雨量を用いたものより良くなっている。特に④の場合をみると、(3)式をそのまま用いて B 、 β を同定するよりも結果が良いことが分かる。
- 3) 由良川流域のように、約50km² に一つの割合で地上雨量計があるような流域では、流出計算結果を見ても分かるように地上雨量計による面積雨量推定の精度は高いものと思われる。
- 4) ⑥の場合、 B 、 β の値に制約をつけないで面積雨量に換算すると極めて異常な値がでることがあった。これは、地上雨量計の数が少なく、かつ地上雨量計が強雨域を捕らえていないときに起きる。強雨域が極端に大きく外挿されてしまうのである。少ない地上雨量計でキャリブレーションを行うときには、この点に十分な注意を払う必要がある。
- 5) ⑥の場合、キャリブレーションがうまくいく部分流域とそうでない流域とがあり、(土師川流域と大野ダム上流域において概して良い結果を得た。) 今後、地上雨量計の適正な配置の研究によってキャリブレーションの精度が向上する可能性がある。

今回対象としたのはわずか4ケースであり、今後もさらに検討を加える必要があるが、特に以下の

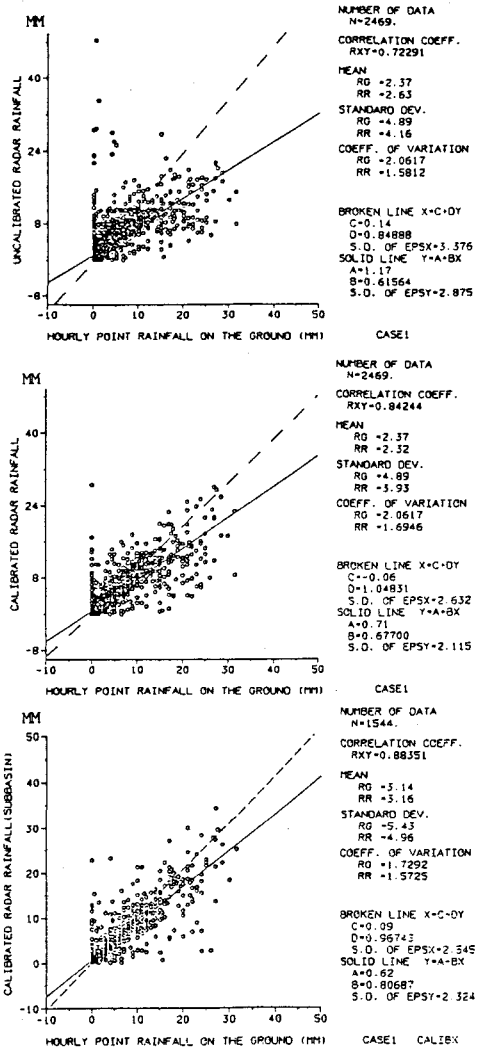


図3 地上雨量とレーダー雨量の相関図

ような項目が考えられる。

a)本研究の場合、貯留関
数法の遅滞時間のため
に降雨予測が必要でな
かったが、降雨予測が
必要となるとき、こう
したキャリブレーション
の結果をどう生かす
かを検討する。

b)気象条件ごとに適した
キャリブレーションの
有無を検討する。

c)地上雨量計の位置によ
って、レーダー雨量と
の相関がよいものと悪
いものがあることが
考えられる。キャリブ
レーション用地上雨量
計の適切な配置を検討
する。

5. おわりに

ここでは、広域での洪水
予報を念頭に置いて、かな
り広い流域(千数百 km^2)
でレーダー雨量計の有用性

について検討した。次のステップとして、数百 km^2 程度の流域で、かつ流域内に地上雨量計と流量観測所が多くあるような流域で(例えば大野ダム上流域)で逐次キャリブレーションの効果について、上記 a), b), c) をも含めて詳細に検討してみたいと考えている。

最後になりましたが、貴重なデータ・資料を提供してくださった建設省近畿地方建設局電気課・広域管理課、同福知山工事事務所調査課、京都府大野ダム管理事務所、日本気象協会関西本部調査課の関係者各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所河川部水文研究室：土木研究所資料，第1634号，昭和56年2月。
- 2) 建設省土木研究所河川部水文研究室：土木研究所資料，第2078号，昭和59年3月。
- 3) 深山レーダー雨量計システム研究委員会：深山レーダー雨量計システム開発報告書，昭和59年3月。
- 4) 建設省土木研究所河川部水文研究室：土木研究所資料，第2353号，昭和61年3月。
- 5) 木下武雄：レーダー雨量計の実用化への開発，土木学会論文集，第351号ノII-2，pp.1-15，昭和59年11月。
- 6) 友杉邦雄：レーダー雨量と地上雨量の一致性向上に関する一考察，京都大学防災研究所年報，第28号B-2，pp.179-193，昭和60年4月。
- 7) 戸田常一：総合的な代替案評価手法の分類と考察，土木学会関西支部講習会テキスト「都市施設計画の総合評価と住民参加」。

表3 ハイドログラフの誤差の比較 (rmse, m^3/sec)

		大野上流域あり			放流データ使用		
	用いた降雨データ	福知山	綾部	岩間	福知山	綾部	岩間
CASE 1	地上雨量のみ	170.7	193.9	50.0	171.8	195.7	50.0
	固定定数	205.6	208.6	79.4	191.3	196.9	79.4
	全流域キャリブレーション	182.9	195.1	80.9	190.8	195.6	80.2
	β 固定キャリブレーション	166.7	166.7	76.0	169.4	178.0	76.0
	α , β キャリブレーション	157.0	174.3	65.6	157.2	175.2	65.6
	部分流域キャリブレーション	153.4	191.3	57.2	159.5	201.2	57.2
	レンジ毎キャリブレーション	165.5	165.5	73.9	171.2	177.4	73.9
CASE 2	地上雨量のみ	185.6	72.9	119.3	139.0	88.0	119.3
	固定定数	513.0	338.2	178.9	442.2	280.5	178.9
	全流域キャリブレーション	237.9	182.5	88.8	239.4	180.4	88.8
	β 固定キャリブレーション	148.2	75.2	69.6	107.7	70.1	69.6
	α , β キャリブレーション	189.5	86.7	77.5	122.1	62.8	77.5
	部分流域キャリブレーション	253.1	205.3	75.4	244.7	195.8	75.4
	レンジ毎キャリブレーション	249.6	193.9	90.8	249.1	189.8	90.8
CASE 3	地上雨量のみ	71.6	64.5	27.5	55.8	67.4	27.5
	固定定数	126.5	86.7	28.1	59.7	55.7	28.1
	全流域キャリブレーション	72.5	68.9	33.2	54.8	63.9	33.2
	β 固定キャリブレーション	60.1	66.7	35.8	59.9	70.4	35.8
	α , β キャリブレーション	67.1	65.3	32.1	54.0	65.2	32.1
	部分流域キャリブレーション	65.3	68.1	33.3	64.6	73.6	33.3
	レンジ毎キャリブレーション	68.0	69.4	37.3	64.1	70.5	37.3
CASE 5	地上雨量のみ	91.4	158.9	31.5	115.2	154.7	31.5
	固定定数	65.2	163.7	22.5	88.4	161.5	22.5
	全流域キャリブレーション	66.1	194.3	38.3	96.6	174.2	38.3
	β 固定キャリブレーション	68.7	192.7	39.4	99.9	174.7	39.4
	α , β キャリブレーション	109.2	157.9	38.6	128.2	151.9	38.6
	部分流域キャリブレーション	65.9	168.9	36.6	104.6	153.8	36.6
	レンジ毎キャリブレーション	69.9	173.8	48.6	105.8	161.9	48.6