ISSN 1346-7328 国総研資料 第329号 平成 18 年 3 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 329

March 2006

気象予測データの利用可能性に関する研究 報告書

河川研究部

THE STUDY ON APPLICABILITY OF PRECIPITATION FORECASTING INFORMATION FOR RIVER FLOOD MANAGEMENT REPORT

River Department



National Institute for Land and Infrastructure Management Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

国土技術政策総合研究所資料

第 329 号 2006年3月

気象予測データの利用可能性に関する研究 報告書

和田 一範* 川崎 将生** 冨澤 洋介***

概 要:

本報告書では、洪水時のダム管理に焦点をあて、気象庁が実施している 予測雨量と地上雨量の比較を行うとともに、短時間の予測雨量を用いた流 出予測シミュレーションを行い、現状の降雨予測情報の高水管理への適用 性について考察する.

キーワード:降水短時間予報,数値予報,メソ・モデル,領域モデル

* :河川研究部 流域管理研究官

** :ダム研究室 主任研究官

*** :ダム研究室 研究官

Technical Note of NILIM No. 329 March 2006

THE STUDY ON APPLICABILITY OF PRECIPITATION FORECASTING INFORMATION FOR RIVER FLOOD MANAGEMENT REPORT

Kazunori Wada* Masaki Kawasaki** Yosuke Tomizawa***

Synopsis

In the past decades, weather forecast systems have been continuously improved due to sophisticated sensing and numerical modeling technique. Meanwhile most of the reservoir operations have been managed by empirical technique though there is still room for improvement by using such weather forecast systems. In this study, three kinds of grid-based weather forecast results have been compared with observations of rain observation station on the ground, and one of them is tested through applications for flood forecast in reservoir watersheds. The study shows that: 1) rainfall forecast of leading time of two hours is considerable for use; 2) dimension of floods could be held by using such systems; 3) flood forecast using such systems especially when the leading time is several hours is effective for reservoir control.

Key Words : precipitation forecasting information, river flood management, RAP, SRF, MSM, RSM

^{* :} Research Coordinator for Watershed Management, River Department

^{** :} Senior Researcher in the Water Management and Dam Division

^{*** :} Researcher in the Water Management and Dam Division

はじめに

国土技術政策総合研究所は,平成15年度に,新進の予測降水量を用いた洪水等の予測手法の 研究を進め,次世代水管理技術の開発することを目的として,研究イニシャティブの一環として 「地球規模水循環変動に対応する水管理技術に関する研究」[1]をプロジェクト研究として立ち 上げた.これの一環として,河川研究部ダム研究室では,主としてダムの高水管理に焦点をあ て,「気象予測データの利用可能性」について検討を行う.具体的には,気象庁が発信している 予測降雨の精度について検討するとともに,これを用いてダム貯水池の流入量の予測を行った 場合の予測流量の精度を検討した.

本研究の第一報は,平成16年12月に発行された国土技術政策総合研究所資料[2]でなされている.ただし,同報告は平成10年から平成15年までの洪水を対象としているため,西日本を中心として各地で水害をもたらした平成16年の一連の大型台風が含まれていなかった.本稿は,これらを追加して行った追加検討の成果を示すとともに,既報とあわせて,プロジェクト研究の総括を行うものである.

本報告書は全3章からなる.第1章では,時間雨量連続雨量について降水短時間予報および 2種の気象予測モデル(メソ・モデル,領域モデル)の予報値と実測雨量との比較を行うととも に,流域平均雨量について同様の比較を行い,両者の相関関係から予測精度の評価を行った.第 2章では,実測雨量と実測流量から流出モデルを最適化したうえで,降水短時間予報を予測降雨 とした流入量予測を行い,これと実測流量とを比較して,流出予測に対する降雨予測の影響の出 現傾向について検討した.第3章では,以上で得られた知見をとりまとめた.

なお,本研究の成果は論文等の形で外部に発信した.これについては巻末に示した.

平成 18 年 3 月

目次

第1章	降雨予測の精度	1
1.1	気象庁の降雨予測	1
1.2	時間雨量の比較.................................	2
1.3	連続雨量の比較..................................	6
1.4	流域平均雨量の比較・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
1.5	まとめ	9
第2章	流入量予測の精度	11
2.1	予測モデル	12
2.2	流入量予測の精度	14
2.3	まとめ	20
第3章	得られた知見及び今後の課題	21
付録 A	発表論文	23
付録 B	洪水予測モデルの調整について	49
参考文献		51

第1章

降雨予測の精度

本章では,気象庁が実施している降雨予測の内,降水短期予報,メソ・モデルによる数値予報 および領域モデルによる数値予報の3種の予測雨量を対象として,i)洪水予測演算の入力降雨 としての適性を見るための実測時間雨量との比較,ii)予備放流や洪水警戒体制の移行の判断へ の適用可能性を見るための連続雨量との比較,iii)洪水総量の推定の可能性を見るための流域平 均雨量との比較を行い,それそれの予測精度について評価した.

1.1 気象庁の降雨予測

降水短期予報,メソ・モデルおよび領域モデルの概要を表 1.1 に示す.^{*1}降水短時間予報(Very Short-Range Forecasting of Precipitation:以下「VSRF」という)は実況の降雨分布を表す レーダー・アメダス解析雨量(Radar-AMeDAS Precipitation:以下「RAP」という)を,風 向・風速,地形による降水の発達・衰弱の効果,数値予報の結果を考慮して時間的に外挿して降 雨予測を行うものである.

 メソ・モデル(MSM: MesoScale Spectral Model)は日本およびその近海を解析領域とし、

 メソ (200 ~ 2,000 km 台風・低気圧・前線)および 100 km 以上の地形性メソ (20 ~ 200 km 雷雨性集中豪雨)の気象擾乱を予報対象としており、一世代前の数値解析予報システ

項目	VSRF	MSM	RSM
空間格子間隔	約 2.5km	10km	約 20km
	0.5hr	6hr	
更新時間間隔	(毎正時,	(3AM/PM	12hr
	毎正時 30 分後)	$9 \mathrm{AM/PM})$	
最大先行時間	6hr	18hr	51hr

表 1.1 各種降雨予測の概要

^{*1} 本稿の検討で用いた平成 16 年時点での仕様である.平成 18 年 3 月に稼動を開始した現行の NAPS8 では, VSRF の水平解像度が 1km に細密化されるとともに, MSM の更新時間間隔が 3 時間に短縮されている.

ム (NAPS7: Numerical Analysis and Prediction System7)が供用を開始した 2001 年 3 月 に導入された.当初は次に記す RSM と同様,鉛直方向の圧力傾度力と重力の平衡を仮定した 静力学モデルであったが,2004 年 9 月にはこの近似を廃した非静力学モデルとなっている.

領域モデル (RSM: Regional Spectral Model) は日本を中心とする東アジアを解析領域とし て,メソ の気象擾乱を予測している.観測方法・観測場所が異なる多様な気象観測情報から合 理的に全ての計算格子の初期値を与えることを「データ同化」というが,このデータ同化システ ムとして MSM は導入時より,RSM は 2003 年 9 月より,4 次元変分法(メソ 4D-Var)を世 界に先駆けて採用している.

なお,これ以外の数値予報モデルとしては,全球数値予報モデル(GSM),台風数値予報モ デル(TYM),週間/1ヶ月/季節アンサンブル予報モデル,エルニーニョ予測モデルなどがあ り,用途に応じた使い分けがされている.

1.2 時間雨量の比較

時間雨量について実測降雨と予測降雨の比較を行った.対象流域は,北上川,利根川,木曽 川,阿賀川,淀川,吉野川および筑後川の7水系で稼動している洪水予測システムの最下流の 予測地点の上流域とし,対象降雨はNAPS7供用開始の2001年3月以降,2004年末までの期 間で対象流域のいずれかにおいて大規模な洪水を発生させた7ケース(表1.2)を選定した.

実測雨量は,対象流域内の 214 箇所の雨量観測所の雨量である.また,予測雨量は観測所に 最も近い VSRF, MSM あるいは RSM の格子点での値(GPV:Grid Point Value)から,観 測位置での値を補間して与えた.

実測降雨と予測降雨のハイエト・グラフの一例を図 1.1 に示す.2 段目以下は予測雨量の波形 を表し,図の右肩の括弧書の数字は予測先行時間の最大値を表している.すなわち,VSRF(3) は実際の時間の3時間前,MSM(12)は7~12時間前,RSM(24)は13~24時間前に予測さ れた時間雨量を連ねたものである.したがって,この図はVSRF,MSM,RSM それぞれ,72 回,12回(1日4回更新),6回(1日2回更新)分のGPVを用いて作画している.図1.2は, このケースの実測雨量と予測雨量の散布図である.

生起日	擾乱
2002/7/10	台風6号・前線
2002/8/12	前線
2003/8/8	前線
2004/8/5	台風 11 号
2004/8/30	台風 16 号
2004/9/29	台風 21 号
2004/10/20	台風 23 号

表 1.2 検討対象降雨



図 1.1 実測・予測の降雨波形の比較例(淀川水系 M 観測所)



図 1.2 実測・予測雨量の比較(2004 年台風 23 号 淀川水系 M 観測所)

表 1.2 に示した降雨群について,それぞれの雨量観測所に対する VSRF(1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6), MSM(6 / 12 / 18) および RSM(12 / 24 / 36 / 48) を計算し,これと実測雨量との相関係数,回帰係数を算出した.回帰モデルは切片無しの直線式とした.すなわち,標本数を N,実測時間雨量を r_o ,予測時間雨量を r_p とする時,回帰係数 a は,

$$r_p = a \cdot r_o$$
$$a = \left(\sum_{i=1}^N r_{p,i} \cdot r_{o,i}\right) \middle/ \left(\sum_{i=1}^N r_{o,i} \cdot r_{o,i}\right)$$

である.相関係数・回帰係数の計算に当たっては,実測時間雨量あるいは予測時間雨量のいずれ かが1mm以上であるものを標本として抽出した.

図 1.3 は,相関係数と回帰係数の全降雨・全観測点での平均値を予測の先行時間別にプロット したものである.両指標ともに先行時間が大きくなるにしたがって値が小さくなっている.比 較的高い相関が認められるのは VSRF の 2 時間先までで,他は相関が低い.また,回帰係数は 何れの先行時間でも 1.0 より小さい.すなわち,予測雨量が実測雨量に対して過小評価になっ ている.



図 1.3 相関係数・回帰係数と予測の先行時間の関係



図 1.4 相関係数・回帰係数と予測の先行時間の関係(2004 年台風 23 号)

ところで,時間雨量の予測精度は,降雨あるいは流域により大きく変動している.例えば,図 1.4 は平成16年10月に発生した台風23号降雨のみを抽出して同様に図化したものである.先 行時間の増加に伴って,指標値が減少する傾向は図1.3と同じであるが,MSM およびRSM に ついては,両指標とも図1.3の値を上回っており,MSMの6時間前および12時間前あるいは RSMの12時間前の指標値がVSRFの3時間前の指標値と同等ないし大きくなっている.こ のように,数値予報による降雨波形が実績に即しているようなケースもあり,逆に実績に対する 乖離が大きいケースもある.

1.3 連続雨量の比較

降雨予測の更新時刻(表 1.1)からの連続雨量について実測雨量と予測雨量の比較を行った. 連続雨量を求める積算時間は, VSRF は 6 時間, MSM および RSM については更新時間間隔・ 予測時間にあわせて, それぞれ, 6・12・18 時間, 12・24・36・48 時間とした.

時間雨量のケースと同様,相関係数,回帰係数を全ての降雨,全ての評価点について平均して 積算時間との関係で示した結果を図 1.5 に示す.

降雨予測の種類あるいは積算時間によらず,相関係数・回帰係数ともに 0.8 程度で推移して いる.つまり,長時間にわたり降雨規模は概ね捉えているといえる.



図 1.5 相関係数・回帰係数と予測の先行時間の関係(連続雨量)

したがって,予備放流・事前放流のための判断材料としての利用価値が認められる.

1.4 流域平均雨量の比較

前節では雨量観測所での実測雨量と予測雨量との比較を行ったが,実際の河川管理・ダム管 理では特定の位置での予測雨量が問題となることはまずなく,主要地点上流域・ダム流域など の流域平均雨量の実績値あるいは予測値が行動の判断材料となっている.また,後述のように, 現業における洪水予測は専ら,流出現象の空間特性をモデル・パラメータに集約する集中定数型 の予測モデルで行われおり,この演算にも斜面要素毎の流域平均雨量が必要となる.図1.6 は, 今回のモデル流域で最も豪雨の発生頻度が大きかった吉野川水系のモデル流域である D ダム上 流域内で平均雨量を算定する流域スケールを変化させた場合の実測雨量と予測雨量の相関係数・ 回帰係数を積算雨量について示したものである.図からは平均操作によって相関係数が極めて 大きくなっていること,RSM で流域スケールが大きい程,回帰係数がより1.0 に近づいている ことを読み取ることができる.これは降水量の予測値をより広域でとらえることにより,予測 の雨域が実績から多少ずれても捕捉される可能性が高まるためと推測される.



図 1.6 積算雨量(流域平均雨量)の相関係数回帰係数

なお,ここでの流域平均雨量は RAP の GPV から推定した.具体的には分割流域内に位 置する格子点値の相加平均をとった.また,予測雨量の流域平均雨量も VSRF, MSM, RSM それぞれの GPV から同様に推定した.ただし, RAP との格子点間隔の相違を補正するため RAP と同程度の空間解像度となるように格子内を細分し,内部格子点での値を四隅の GPV か ら補間して与えている.図1.7 にこのモデル流域での雨量観測所と RAP および予測雨量の格子 点の位置図を示す.RAP を表す 印の間隔が約 2.5km である.雨量観測の密度は概ね 60km² に1ヶ所となっており,国土交通省としては平均的な観測密度となっている.RAP は実測雨 量と高い相関を有していることは別途確認されており,格子点は約 6 km² に1ヶ所と高密度で ある.

雨量観測密度が疎な空間では,実務的に使用されることの多いティーセン法による流域平均 雨量の推定値よりも RAP を用いて推定される流域平均雨量の精度が高いことが予想される.



図 1.7 雨量観測所・降雨予測格子点の位置

1.5 まとめ

本章では,地上雨量との相関係数および回帰係数を評価指標として,現在,気象庁が発信して いる VSRF および2種類の数値予報(MSM,RSM)の予測降雨の精度を検討した.この結果, 考察された事項は以下のようである.

- いずれの予測降雨でも先行時間の増加に伴って予測精度が劣化する.
- 平均的な傾向として,時間単位の予測雨量では,VSRFの1時間前ないし2時間前予測 が実測雨量と高い相関を有し,波形の一致度が高いが,VSRFの3~6時間前予測および 数値予報は誤差が大きい.
- ただし、降雨によっては数値予報の精度が VSRF の予測精度に匹敵するケースもあり、
 数値予報の精度は変動が大きいものと考えられる。
- これに対して,連続雨量(6時間雨量,12時間雨量,…)は,降雨予測の種別によらず, 実測雨量と高い相関を有する.
- RAP を用いて算定した流域平均雨量と上記の連続雨量の予測値を比較すると,流域面積 が大きいほど,両者の一致度が高くなる傾向にある.

第2章

流入量予測の精度

本章では,気象庁の降水短時間予報 VSRF をダム貯水池の流入量予測の入力降雨とした場合の流量の予測精度について記す.

流入量の予測モデルとしては,本邦河川の高水計画の標準モデルであり,また,洪水予測の ためのモデルとしても採用実績が多い木村の貯留関数モデルを採用した.同モデルのモデル・ パラメータは降雨予測の誤差に由来する流量予測の誤差成分を明確にするため,実績流入量と RAPを用いて算定した流域平均雨量を用いて同定を行いモデル誤差を最小化した.

検討対象降雨は,モデル7水系内について VSRF が開始された 1998 年以降 2004 年までの期間で水系内に位置するダム群の貯水池流入量が最大級となっている表 2.1 をそれぞれ選定した.

水系	検討対象降雨	水系	検討対象降雨
	2002/7/11 (台風6号・前線)		1998/10/7(台風5号)
	2002/8/12(前線)	大曽川	1999/6/30(低気圧)
40±/1			1999/9/15(台風 18 号・前線)
			2004/10/20(台風 23 号)
	1998/8/30(台風第 4 号・前線)		2004/8/5(台風 11 号)
利根川	1998/9/16(台風第 5 号・前線)	大津川	2004/9/29(台風 21 号)
וייאוינייי	2001/9/10(台風 15 号・前線)	10/#/11	2004/10/20(台風 23 号)
	2002/7/10 (台風6号·前線)		
	2002/7/11 (台風6号・前線)		1999/9/15(台風 16 号・前線)
际智川	2002/10/1(台風 21 号・前線)	吉野川	2004/8/30(台風 16 号)
四更/1			2004/9/29 (台風 21 号)
			2004/10/20(台風 23 号)
	1999/6/25(低気圧)		
筑後川	2001/6/29(梅雨前線)		
	2003/7/12(前線)		

表 2.1 検討対象降雨

2.1 予測モデル

ダム貯水池の流入量予測モデルは,本邦河川の標準的な短期流出モデルである次の木村の貯 留関数モデルを採用した.

$$q(t) = f_1 \cdot q_1(t) + (1 - f_1) \cdot q_2(t) + q_B$$

$$\frac{\mathrm{d} s_i(t)}{\mathrm{d} t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d} t} \left[k \left\{ q_i(t) \right\}^p \right] = r'_i(t) - q_i(t) \quad (i = 1, 2)$$

$$r'_1(t) = \overline{r}(t - T_l)$$

$$r'_2(t) = \begin{cases} 0 \quad (\sum \overline{r} \le R_{sa}) \\ \overline{r}(t - T_l) \quad (\sum \overline{r} > R_{sa}) \end{cases}$$

ここに,t:時間,q:流出高, q_B :基底流出高,s:貯留高, T_l :遅滞時間, R_{sa} :飽和雨量, f_1 :1次流出率,k:貯留係数,p:貯留指数である.また,添字iは流出成分であり,1は流出 域を,2は浸透域を表す.従って, r'_1 は流出域の成分降雨を, r'_2 は浸透域の成分降雨を表す.

さらに, *r* は流域平均降雨強度を表すが,ここでは,予測対象の流域内に位置する RAP ないし VSRF の格子点群の雨量の相加平均で与える^{*1}.

今回は降雨予測の精度が流量予測にどれほど影響を及ぼすかをとらえることが課題であるため,モデル自体が有する予測誤差を極力,小さく抑える必要がある.このため,現実の流量予測ではあり得ないことではあるが,前出の検討対象降雨毎,対象流域毎に実績の雨量および流量を用いて,全てのモデル・パラメータを最適化した.さらに,それぞれの降雨の各予測時点では, その時点での実測流量にあわせて,時々刻々,予測の初期値を矯正した.

モデルパラメータの最適化は局所最適解に陥ることが無いよう二段階で探索した.すなわち, 第一段階では,全てのパラメータ値を離散的にを変じた再現計算を行い,誤差標準偏差(RMSE) が最小となるようなパラメータ値の組み合わせを粗く探索し,第二段階では,この組み合わせを 出発値として準ニュートン法により最小の RMSE を与える組み合わせをより詳細に探索した.

$$\text{RMSE} = \frac{1}{j\text{max}} \left[\sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \left(q_{j,\text{cal}} - q_{j,\text{obs}} \right)^2 \right]^{1/2}$$

ここに, $q_{j, {
m cal}}$, $q_{j, {
m obs}}$ は,それぞれjステップでの計算流出高,実測流出高を表す.

予測の初期値の矯正方法としては,実測流量と計算流量との差分より流出域の貯留高を補正 する方法*²を採用した.

$$s_i^{(+)} = s_i^{(-)} + \left(\frac{\partial s_i}{\partial q}\right) \left[q_{\text{cal}} - q_{\text{obs}}\right]$$

 $^{^{*1}}$ 予測時点をauとして , $au+T_l$ までは RAP の平均量を , それ以降は VSRF の平均量を与える .

^{*2} いわゆる「現時刻合わせ方式」であり,状態変量を貯留高にとって上記のモデル式にカルマン・フィルターを適 用した場合の観測誤差をゼロと仮定,すなわち実測流量を真と見なすことに相当している.

ここに, $s_i^{(-)}$, $s_i^{(+)}$ は,矯正前後の貯留高を表す.

図 2.1 は流入量予測計算の一例を示すものである.図中の黒丸は実測流量を示し,黒丸から発 している実線はその時点から6時間先までの予測流量を表す.上段の図は実測降雨を与えた場 合の計算結果である.前章で記したように,ここではモデル誤差がなるべく小さくなるように 制御しているため,予測流量はほぼ実測流量に即した計算結果となっている.一方,下段の図は 予測降雨を与えた場合の計算結果である.予測雨量の精度は先行時間の増加とともに低下する ため,降雨継続中は同傾向で実測値からの乖離が顕著になっている.



図 2.1 流入量予測計算の例

2.2 流入量予測の精度

2.2.1 全体的な傾向

図 2.2 は,前出の図 1.3 と比較するため,先行時間別の全降雨ケース・全計算点の実測流量と 計算流量の相関係数の平均値をプロットしたものである.図中,破線で示した予測降雨を用い て計算を行った場合の相関係数は,先行時間とともに減少している.しかしながら,予測初期で は実測との相違が小さいため,係数値そのものは,降雨の場合の相関係数よりも大きい.一方, 実線で示した実測降雨を用いて計算を行った場合の相関係数は,先行時間によらず,ほぼ1.0 で 推移している.すなわち,ここでの予測モデルは十分に高い再現性を有している.従って,ここ で議論する流量の予測精度は,ほぼ降雨の予測精度に依存している.

実際には,降雨と異なり流出系は遅れがあるため,流域のスケールによって予測誤差の出現の 程度が異なる.図2.3は,予測地点の流域面積と入力降雨の相違による相関係数の差の関係をプ ロットしたものである.図中の直線は先行時間別に回帰した傾向線である.同図からは,いず れの先行時間についても線分が右さがりで流域スケールが大きくなるほど予測降雨の誤差の影 響が少なくなること,および先行時間が大きいほど線分の傾きが大きくなり上記の傾向が助長 されることが読み取れる.つまり,予測流量は降雨・流出系の持つ非線形性と遅滞効果により予 測降雨ほどには先行時間による予測精度の劣化を伴わず,VSRFの先行時間である6時間前の 予測値でも流出予測の現業に供し得る精度を維持しており,かつ流域が大きいほど,その水準が 高いことが確認される.今回の検討では,流域面積が約1,200km²となると,6時間先の予測流 量が実測雨量を用いた再現計算の流量と遜色ないものとなっている.



図 2.2 流量の相関係数・回帰係数



図 2.3 相関係数と流域面積の関係

2.2.2 個別流域・降雨での検討

前項で全体的な流量予測誤差の傾向を示したのに対して,本項では,より仔細に個別のダム流 域・降雨ケースでの予測誤差の発生状況を見る.事例としては,比較的大規模な流出が発生した 6 ダムでのケースを選んだ.各ダムの集水面積および降雨毎のピーク流出高は表 2.2 の通りで ある.

(1) 相関係数による評価

図 2.4 は実測流量と予測流量の相関係数および実測降雨と予測降雨の相関係数を先行時間別 に求めて図示したものである.図中,破線は流量の,実線は降雨量の相関係数を表す.また,記 号は降雨のケースを表す.相関係数の計算に当たっては,実測の流域平均雨量が所定の閾値を 超過する時間帯(ただし,無降雨・弱降雨下で流入量が最大となる場合は最大流入時まで延長)

ダム	流域面積	ピーク流出高 (mm/hr)			
	(km^2)	Run-1	Run-2	Run-3	
А	101.2	32.07	29.22	28.46	
В	322.9	15.95	4.84		
С	417.0	34.08	33.70	31.37	
D	492.3	5.69	5.62		
Е	635.0	6.14	5.20		
F	$1,\!147.4$	2.80	2.44		

表 2.2 流域面積および降雨毎のピーク流出高



図 2.4 先行時間別の流量および降雨量の相関係数

での実測・予測雨量の対ないし実測・予測流量の対を標本として抽出した. 閾値は対象流域の集水面積の大小を考慮するため,ダム設計洪水流量の比流量を与える Creager 曲線式の関数型を 引用して下式で与えた.

$$r_{\rm threshold} = 13 \cdot A^{c-1}, \ c = A^{-0.05}$$

ここに, $r_{\text{threshold}}$:1時間雨量の閾値(mm),A:集水面積 (km^2) である.

上式で計算される閾値は概ね 100km² に対して 5 mm, 300 km² に対して 3 mm, 750 km² 対して 2 mm, 2,600 km² に対して 1 mm となる.表 2.2 に示したダムおよび降雨ケースはこ の閾値を超過する流出が複数回発生した事例として選定している.流量の相関係数は,初期時 点での係数値が大きく,降雨の相関係数に比較して変化が穏やかであるため,いずれのケースで も降雨の相関係数以上の高い水準での相関を比較的長時間維持している.流量の相関係数は先 行時間に対して基本的には単調減少となっているが,降雨の相関係数の推移が下凸 降雨予測 の精度が回復する であるようなケースでは,追随して増加に転じる場合がある.なお,降雨量 (流域平均)の相関係数は,点雨量で比較した 図 1.1 とくらべて,やや大きな値となっているも のの,有意な相関関係が先行時間 1 ないし 2 時間までで留まっていることに変わりはない.

また,図中で流量の相関係数が概ね 1.0 となっているのは,流出の遅滞効果により実績の降雨 に依存した流出が発生している時間帯である.ここでは,Aダムで1時間,Dダムでは2時間, Eダムでは3時間,Fダムでは5時間先まで流量の相関係数がほぼ 1.0 となっており,集水面 積が大きい程,予測降雨による影響の出現が先送りされていることが読み取ることができる.

(2) 予測誤差分散による評価

高棹ら [3] は予測降雨の期待値と分散を次のようにモデル化した.

$$\mathbf{E}(\hat{r}_{i+l}) = r_{i+l}$$
$$\operatorname{Var}(\hat{r}_{i+l}) = S_{i+l}^2 = a^2 \cdot l \cdot r_{i+l}^2$$

ここに, $E(\cdot)$:期待値, $Var(\cdot)$:分散, \hat{r} :予測降雨, r:実測降雨, S:標準偏差, a:定数, i:予測時間, l:先行時間である.

前出の 6 ダムの計算結果について上式を適用して,流量あるいは降雨量に対する予測誤差の 自乗値と実測値の自乗値から先行時間別の定数 $a^2 \cdot l$ を回帰して,プロットしたものが 図 2.5 である.なお,回帰分析の標本は前章で相関係数を算定した際の標本と同一である.前出の 図 2.4 と同じく,破線は流量,実線は降雨に対する定数を表し,記号は降雨のケースを表す.また, 灰色の実線は a 値を 0.1 から 0.5 まで変化させた時の $a^2 \cdot l$ の値を示す.

先ず,降雨について見ると,折れ破線は先行時間に対して単調に増加するのではなく,ある先行時間まで増加した後,減少ないし横ばいで推移している.つまり,この結果からは,一定時間 先までは式(12)に従い,これより大きな先行時間に対しては,時間に依存せず同程度の分散比 とする($S_{i+l}^2 = b^2 \cdot r_{i+l}^2$ b:定数)方が妥当である.なお,上記の一定時間までの a 値は降雨 ケースによる変動が大きいものの,ほぼ 0.4 前後となっている.ちなみに,国土交通省の雨量

レーダーの精度について,同様の検討を行った事例を紹介している既往文献[4]によれば, a 値は 0.37 から 0.47 となっており,ここでの値と同等となっている.

次に,流量について見ると,流出の遅滞時間内ではほぼゼロで推移し,その後,概ね遅滞時間 分の位相をもって上記の降雨での変化パターンに対応して推移している.立ち上がり部の傾き *a*を降雨の場合のそれと比較すると,一部の例外(BダムRun-1)を除いて緩勾配となってい る.これは降雨・流出系の非線形によるものと考えられる.

ところで,図の縦軸 $a \cdot l^{0.5}(=b)$ は実測雨量あるいは実測流量に対する予測値の誤差率(誤差 分布に正規分布を仮定すれば,信頼水準は68.3%)と解釈することができる.今,仮に実測値の 2 割を誤差率の許容誤差の限度とすると,今回の計算では,Dダム(492 km^2)では 3 時間先 予測,Eダム(635 km^2)では4時間先予測まで許容誤差を満足するものとなり,遅滞時間に対 して1ないし2時間,信頼にたる流出予測の先行時間が延長されている.今後,洪水予測実務 の現場においても,このような指標を用いて予測情報の管理を行うことが重要である.



図 2.5 先行時間 *l* と定数 *a* · *l*^{0.5} の関係

2.3 まとめ

本章では,気象庁の降水短時間予報 VSRF を予測降雨として用い,木村の貯留関数モデルに よりダム貯水池の流入量予測を行った場合の予測精度について検討を行った.得られた知見を 要約すると次のようである.

- 流量の予測精度は予測の先行時間の増加に伴い劣化する.劣化の程度は降雨の場合のそれに比べて小さい.また,劣化の程度は予測地点の流域面積に依存し,大流域ほど,その度合いが小さい.
- モデル・ダム流域の検討結果によれば、予測降雨の誤差分散は一定時間先までは先行時間
 と予測雨量の自乗値に比例し、比例定数はレーダー雨量計と同程度である.
- 一方,先行時間の増加に伴う流出予測誤差の増加の割合は,降雨の場合のそれに比して小さい.このため,今回の実験では,流出予測の許容誤差率を2割と置く時,流出の遅滞時間からさらに1ないし2時間先まで有効な予測が延長される結果となっている.

第3章

得られた知見及び今後の課題

本稿では,第一報に対して,2つの水系を検討対象として追加するとともに,西日本各地で 豪雨記録を塗り替えた平成16年台風23号降雨等を加えて,実測降雨と気象庁が実施している VSRF,MSM,RSMの3種類の方法による予測降雨との比較およびVSRFを用いた洪水予測 の予測精度の評価を行った.

先ず,実測降雨と予測降雨との比較では洪水予測用の予測降雨として2時間先までのVSRF の利用が可能であること,また6時間以上48時間までの時間間隔別の積算雨量の予測値につ いては実測雨量のそれに対して少なめに見積もる傾向はあるものの,MSM,RSM でも実測雨 量と比較的高い相関を示し,洪水調節の事前作業時の監視情報として十分利用可能であること が確認された.

次に, VSRF を用いた洪水予測のシミュレーションでは理想的なモデルで洪水予測がなされた場合,流域スケールに応じた遅滞時間の経過後に予測降雨の影響が出現するため, VSRF の 先行時間である6時間前でも実測流量と予測流量が比較的高い相関を示すことが知れた.

気象庁では,予報演算に用いるスーパー・コンピュータ・システムの更新にあわせて,順次, 予測モデルの精緻化を図っており,その都度,配信情報の高密化を行っている.このため,降雨 予測の精度は今後更に向上するものと考えられる.今後は,積極的に,より新たな予測情報を取 り入れる環境を整備するとともに,流出予測モデルの高度化を図り、既存ダムの有効利用を進め ることが重要と考える.

本研究の実施にあたり気象庁予報部より本稿で取り上げた予測降雨の各種 GPV の提供を受けた.また,東北地方整備局北上川ダム統合管理事務所,関東地方整備局利根川ダム統合管理事務所,北陸地方整備局阿賀野川河川事務所,中部地方整備局木曽川上流工事事務所,近畿地方整備局淀川ダム統合管理事務所,四国地方整備局吉野川統合管理事務所および九州地方整備局筑後川ダム統合管理事務所からは現行の洪水予測システムに関する資料および実測の気象・水文 データの提供を受けた.ここに記して感謝の意を表します.

付録 A

発表論文

土木技術資料 47-3 (2005)

◆報 文◆

河川の高水管理における予測降雨情報の適用性

和田一範* 村瀬勝彦** 冨澤洋介***

1. はじめに

地球規模の気象観測や数値モデルの高度化等に より気象予測の精度向上が図られている。一方、 多くのダムでは、実績の気象・水象情報に基づく 経験的な手法により洪水調節や各種用水の補給を 実施しており、こういった最新の予測情報を活用 して高水管理・低水管理を行う環境が十分に整え られていないのが現状である。

本研究は、内閣府総合科学技術会議の重点プロ ジェクトに指定されている「地球規模水循環変動 イニシアティブ」の一環として、気象庁の協力の もと進めているものであり、近年の気候変動から 発生が懸念される計画規模を超過する洪水や渇水 の多発をも視野に入れた水管理の高度化に資する 技術開発を行うものである。このためには、高精 度の降水予測情報に基づいた確度の高い短期・長 期の流出予測がなされることがまず前提と考えて いる。

本稿では、洪水時のダム管理に焦点をあて、気 象庁が実施している予測雨量と地上雨量の比較を 行うとともに、短時間の予測雨量を用いた流出予 測シミュレーションを行い、現状の降雨予測情報 の高水管理への適用性について考察する。

2. 予測降雨情報

今回、気象庁より提供を受けた予測降雨情報は、 降水短時間予報-Short-Range Forecast of Precipitation (以下「SRF」)、メソ・モデル予測雨 量-MesoScale Spectral Model (以下「MSM」) および領域モデル予測雨量-Regional Spectral Model (以下「RSM」)の3種の格子点値(Grid Point Value以下「GPV」)である。それぞれの GPVの仕様は表-1に示す通りである。

SRFは、実況の降雨分布を表すレーダー・アメ ダス解析雨量(空間格子間隔約2.5km、以下 「RAP」)を、風向・風速および地形による降水の 発達・衰弱の効果、MSMによる予報を考慮して 時間外挿したものである1)。

MSMおよびRSMは、気象庁の数値解析予報シ ステム (NAPS7: Numerical Analysis and Prediction System7)上で稼動している数値予報 モデルである¹⁾。現業の数値予報モデルとしては、 これ以外に、全球数値予報モデル (GSM)、台風 数値予報モデル (TYM)、週間/1ヶ月/季節ア ンサンブル予報モデル、エルニーニョ予測モデル がある。

MSMは日本およびその近海を、RSMは日本を 中心とする東アジアの領域を解析領域としており、 MSMはメソ α (200~2000km 台風・低気圧・ 前線)および100km以上の地形性メソ β (20~ 200km 雷雨性集中豪雨)の、RSMはメソ α の気 象擾乱を予報対象としている。ともに、鉛直方向 の圧力傾度力と重力の平衡を仮定した静力学モデ ルである。

今回の対象降雨は、MSMで初期値分布を与え る4次元変分法によるデータ同化システム(メソ 4D-Var)の供用が開始された平成14年3月以降 で、最大規模の気象擾乱となった平成15年8月の 台風10号降雨を採用した。

3. 実測雨量と予測雨量の比較

3.1 実測雨量との比較

平成15年10号台風時の実測雨量と予測雨量の 比較を行った。比較対象とした実測雨量は、利根 川上流域、木曽川流域、淀川水系木津川流域、吉 野川流域および筑後川上流域の5流域内の国土交 通省ならびに水資源開発機構所轄の136雨量局で の観測結果(速報値)である。

これら5流域での平均置局密度は、概ね60km²

表-1 予測降雨情報の仕様

SRF	MSM	RSM
1	1	3
約2.5	10	約20
0.5	6	12
6	18	51
	SRF 1 約2.5 0.5 6	SRF MSM 1 1 約2.5 10 0.5 6 6 18

- 64 -

A Study on Applicability of Precipitation Forecasts for River Flood Management

に1箇所となっている。また、観測データは、多 重無線を伝送手段とするテレメータリング・シス テムにより常時、所轄事務所の河川情報システム に集信され、関係機関に配信されるとともに、洪 水予測システムで利用されている。

図-1は、時間雨量の単相関係数、時間雨量の 直線回帰係数(説明変数:実測雨量、切片0)お よび3日雨量の比(実測雨量/予測雨量)の3指 標と先行時間の関係を示すものである。図中のシ ンボルは平均値を、折れ線は平均値に標本標準偏 差を加減したものを表す。実測雨量と比較する予 測雨量は、雨量観測所の最寄りの格子点の雨量と した。なお、ここでの3日雨量は対象降雨の総雨 量に相当する。また、SRF、MSMおよびRSMの 3日雨量は、特定の先行時間に対する予測雨量を 検討対象の3日間で累加した量である。

同図からは次のような事項が考察される。ただ し、これらは今回対象とした特定のケースでの評 価であり、かつ、地域格差を無視した、全地点平 均での評価であることに注意を要する。

- ●先行時間が1ないし2時間までのSRFは実績雨 量と有意な相関を有しており、かつ量的にも実 績に近似している。
- ●SRFで先行時間の増加に伴う予測精度の低下が 顕著である。
- ●本ケースではMSMの精度が他の2法に比べて 低い。
- ●RSMによる3日雨量の予測値は、分散が漸増す るものの平均的なレベルではほぼ実測雨量に相 当している。
- ●いずれの予測法でも時間雨量は小さく評価する 傾向がある。

個別のダムによって差異はあるが、通常、ダム 貯水池の高水管理では、洪水警戒体制への移行、 放流警報・予備放流の準備・執行等の洪水調節に 至る一連の判断・作業のため、半日ないし1日前 に今後発生する総雨量が必要な情報となる。また、 計画放流量に向けた放流開始から通常体制に復帰 するまでの時間帯では、ゲート操作支援のため、 数時間先までの流入量の予測計算に必要な短時間 の予測雨量が要求される²⁾。

図-1は、時間単位の雨量がSRFで、半日・日 単位の雨量がRSMでほぼ捕捉可能な結果となっ ており、現状での予測降雨情報が高水管理の支援 情報として有用であることを示している。ただし、 誤差レベルは大きく、先行時間とともに増加して いるため、予測誤差を考慮した利用のあり方が今後の課題といえる。

3.2 面積平均雨量の比較

図-2は実測雨量を用いてティーセン法(平均 雨量を求める流域に内在する雨量観測所群につい てそれぞれの観測所の代表域—隣接する雨量観測 所との垂直2等分線で囲まれる領域で設定—が占 める面積の割合で地上雨量の加重平均を求める) で計算した木曽川流域の各洪水予測地点上流域の 平均雨量とMSMないしRSMによる予測雨量の相 関係数、回帰係数、雨量比と流域面積の関係を示 したものであり、凡例の下2桁は予測先行時間を 表している。相関係数、回帰係数、雨量比はいず れも予測雨量が実績雨量に一致する場合に1.0と なるが、この図によれば、大局的に見て流域面積 が大きくなるにしたがい、予測法あるいは予測先



土木技術資料 47-3 (2005)

行時間によらず、ほぼ1に収斂する傾向が読み取 れる。MSM および RSM の空間格子間隔は、それ ぞれ10km、20km であるから、格子点の支配域 面積は100km²ないし400km²程度と考えられる



が、各指標値の収斂状況から、河川管理実務に適 用する場合には、1オーダ大きい、1.000km²ない し4.000km²程度の空間スケールでの予測情報とし てとらえることが適当と考えられる。なお、前記 の収斂傾向は単調なものとはなっておらず、流域 ごとの格差が大きいことに留意する必要がある。

4. SRFの精度

表-2は実測雨量とSRFの1時間、2時間および 3時間前の予測雨量の相関係数、回帰係数を流域 別に見たものである。木曽川流域、筑後川流域で は比較的、適合度が高い予測がなされている一方、 利根川流域での精度が他に比べてやや劣っている。 SRFについては平成15年台風10号降雨以外のケー スについても同様の整理を行った。これによれば、 同じく適合度に流域差が認められるが、降雨イベ ントによる流域間の優劣関係は一定しない結果と なった。

4.1 流域平均雨量の比較

表-3は表-2と同様の比較を後述の洪水予測シ ステムの分割小流域毎の流域平均雨量について行 ったものである。なお、流域平均雨量の実績値は 地上雨量からティーセン法により算定した雨量で 仮定している。

また、予測平均雨量は分割流域内に含まれる SRFの格子点のGPVの相加平均で与えた。分割 流域毎に雨量局の配置状況が異なるため、一般的 に論じることは難しいが、実測雨量との比較(表-2) にくらべて、実績値と予測値の相違が大きくなっ ている。

	(平成15	年台風10号降雨)	
流域		先行時間(hr)	
局数	1	2	3
间根川	0.55 (0.22)	0.38 (0.22)	0.27 (0.19)
4 日	0.05 (0.52)	0.07 (0.78)	0.74 (0.58)

表-2 実測雨量と短時間降水予報の関係

局数	1	2	3		
利根川	0.55 (0.22)	0.38 (0.22)	0.27 (0.19)		
54局	0.95 (0.52)	0.97 (0.78)	0.74 (0.58)		
木曽川	0.80 (0.16)	0.67 (0.15)	0.60 (0.14)		
38局	1.08 (0.41)	1.09 (0.44)	1.20 (0.42)		
木津川	0.65 (0.12)	0.46 (0.11)	0.34 (0.13)		
23局	1.04 (0.43)	0.79 (0.34)	0.61 (0.22)		
吉野川	0.68 (0.14)	0.47 (0.16)	0.40 (0.19)		
23局	1.10 (0.23)	0.89 (0.30)	0.89 (0.23)		
筑後川	0.77 (0.07)	0.59 (0.10)	0.38 (0.16)		
10局	1.07 (0.13)	0.90 (0.12)	0.78 (0.16)		
注)上段:相関係数、下段:回帰係数					

括弧内は標準偏差

流域		先行時間 (hr)			
局数	1	2	3		
利根川	0.51 (0.13)	0.25 (0.22)	0.04 (0.23)		
25分割	0.57 (0.22)	0.47 (0.20)	0.37 (0.17)		
木曽川	0.76 (0.13)	0.60 (0.16)	0.47 (0.15)		
22分割	0.74 (0.17)	0.59 (0.21)	0.45 (0.16)		
木津川	0.63 (0.12)	0.44 (0.18)	0.32 (0.28)		
22分割	0.65 (0.19)	0.67 (0.25)	0.63 (0.30)		
吉野川	0.79 (0.06)	0.65 (0.12)	0.60 (0.10)		
14分割	0.63 (0.10)	0.63 (0.09)	0.57 (0.10)		
筑後川	0.66 (0.16)	0.46 (0.14)	0.47 (0.06)		
9分割	0.64 (0.07)	0.61 (0.07)	0.57 (0.13)		
注)上段·相関係粉 下段·同県係粉					

表-3 流域平均雨量と短時間降水予報の関係 (平成15年台風10号降雨)

E) 上段:相関係数、下段:回帰係数 括弧内は標準偏差

5. SRFを用いた洪水予測シミュレーション

SRFを用いて、先述の5流域の予測地点の洪水予測シミュレーションを実施し、流量の予測精度について評価を行った。

計算ケースは平成15年台風10号降雨のほ か、平成14、15年に発生した主要洪水の原 因降雨を含め、各流域で2ないし3ケースを 選定した。

5.1 洪水予測計算

洪水予測計算は、現行の洪水システムで 採用されている木村の貯留関数モデル²⁾で 行った。流域分割図とこれに対応する洪水 追跡摸式図の一例を図-3、図-4に示す。図 中の点および□印はRAPとSRFの格子点 を示す。また、図-4で三角形、長方形、台 形、楕円のシンボルは、それぞれ、分割小 流域、河道、ダムおよび予測計算点を示す。 この例では最下流端の予測計算点の上流域 が25の小流域に分割されており、小流域の 平均的な面積は約100km²となっている。現 行システムで予測計算に用いている雨量局 は39局で、概ね130km²に一箇所となって いる。

実際の洪水予測システムにおいて、モデ ル・パラメータは、便宜的に降雨イベント によらず一定値を仮定して与えることが一 般的であるが、ここでは、流出予測の誤差 の内、予測降雨の誤差に由来する成分を明 確にするため、降雨イベント毎の実績の降 雨波形(RAPで算定した流域平均降雨波形)





- 67 -

土木技術資料 47-3 (2005)

を与えて計算した再現流量と実測流量の誤差分散 が最小となるように全てのモデル・パラメータを 最適化した。したがって、同一の流域であっても、 降雨イベントにより流出モデルが異なっている。

また、流出予測計算では、SRFを用いて分割小 流域毎に算定した1時間毎6時間先までの平均雨 量を予測雨量として与えた。また、各予測ステッ プでは、貯留関数モデルの遅滞時間だけ退行した 時間帯の降雨波形にRAPで算定した流域平均降 雨波形で与えた場合の計算流量が当該時点の実測 流量と一致するよう、貯留高を逆算して与えた。 さらに、ダムからの放流量は実績のハイドログラ フで与えた。

HダムとSダムの再現計算と予測計算の比較を 図-5に例示する。図中の点は実測流量を、折れ 線は6時間先までの予測流量を表す。なお、先述 のように、ここでの計算では各予測時点では予測 流量を実測流量と一致させている。両ダムともに 再現計算では全ての時間帯で計算値が実測値を良 く表現している。一方、予測計算では先行時間が大 きくなるにつれて実測流量との乖離が大きくなっ ている。

同様の再現計算および予測計算を5流域24地点、 9降雨の全63ケースについて行った。上記の傾向 はほぼ全ケースで見られた。ただし、当然の事な がら、予測降雨の影響が出現する先行時間は、計 算対象流域の遅滞時間の多少によって変化するも のとなっている。

5.2 予測精度の評価

本稿では、次の予測誤差指標eを用いて、流出 予測精度の良否を判断することとした。

 $e = [\Sigma (Qobs - Qcal)^{2} / (N - 1)]^{1/2} / Qp$ (5)

ここに、Qobs:実測流量、Qcal:予測流量、 N:時間ステップ数、Qp:実測ピーク流量、で ある。すなわち、誤差指標eは予測誤差の標本標 準偏差を実測ピーク流量で正規化したものである。 通常、洪水予測システムの構築に当たっては、こ の指標が0.15~0.2以下となるように予測モデル の調整を行っている³⁾。

図-6は、今回計算を行った全予測地点、全降 雨イベントでの予測誤差指標の平均値およびこれ の標準偏差を、再現計算と予測計算の双方につい て示すものである。図中の線分はそれぞれの平均 に標準偏差を加えた値をプロットしている。

これらによれば、再現計算の予測誤差指標の平



土木技術資料 47-3 (2005)



均値は先行時間に対して、ほぼ一定しており、標 準偏差は微増傾向にある。一方、流出予測計算で は、先行時間1時間に対する指標の平均値は、再 現計算のそれと同等であるが、先行時間が大きく なるにつれて再現計算との乖離が大きくなってい る。また、標準偏差も先行時間とともに急増して いる。

降雨の評価と同様、限られたケースでの評価で あるが、今回のシミュレーションによると、流入 量予測の許容誤差を前記のe=0.15と考えた場合、 平均的な水準では概ね4時間先までの流出予測が 実務的に有効な精度を有していることとなる。降 雨の場合(1ないし2時間)に比べて多少、有効 な先行時間が延長されているのは、流出遅れによ るものと考えられる。

6. 結 論

以上、現在、気象庁が実施している予測降雨情 報を高水時の河川管理に活用した場合の適用性を 検討するため、予測雨量と実測雨量の比較および この予測雨量を用いて計算した予測流量と実測流 量の比較を行い、それぞれの予測精度について大 局的な評価を行った。

今回、実施した検討ケースで得られた知見は次 のようにまとめることができる。

- ●降水短期予報による先行時間1ないし2時間の 予測雨量は実測雨量と有意な相関を有する。
- ●数値予報による総降水量の予測値は、分散が大きいものの、平均的には概ね実績値に相当しており、発生する洪水の大略の規模を把握する目的での利用が可能であると考えられる。
- ●精度の面から数値予報による予測降雨は1,000m² 以上の空間スケールでとらえる必要がある。
- ●降水短期予報は数時間先までの流出予測に利用 可能であると考えられる。

今後は、さらに豪雨時での検証事例を重ねて、以 上の評価の確度を高めてゆく必要がある。

謝辞:本研究にあたり、気象庁予報部より予測降 雨データの提供を受けた。ここに記して感謝の意 を表する次第である。

参考文献

- 気象庁:「気象業務はいま2004—活かそう情報、防ごう災害」、佐伯印刷、2004.6
- 例えば、国土交通省河川局、(社)日本河川協会:「改 訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)調査編」、山 海堂、1997.10
- 3) 建設省河川局、(財)ダム技術センター:「多目的ダム の建設―昭和62年版 第2巻 調査編」、(財)全国建設 研修センター、1987.11



土 木 技 術 資 料 47-11 (2005)

◆ 特集:水資源・水管理 ◆

気象予測の水管理実務への活用

和田一範*

1. はじめに

近年、気象観測や数値計算技術の発達によって、 予測降水量の精度向上がめざましい。加えて、内 閣府の下に設置される総合科学技術会議・環境分 野の重点課題「地球規模水循環変動研究イニシャ ティブ」¹⁾(以下、単に「研究イニシャティブ」 という。)が平成15年度から開始され、産官学連 携のもとに、さらなる降雨予測の精度向上に向け た取り組みがなされている。

昨今、降水量の変動が経年的に拡大する傾向に あり、未曾有の洪水や渇水の発生する危険性が増 大しつつある。これらに機動的かつ的確に対応し、 生じる被害を防止・軽減するためには、こういっ た降水量の予測情報を高水管理あるいは低水管理 の実務に活用する技術を開発することが必要とな る。

このような背景のもと、国土技術政策総合研究 所²⁾は、平成15年度に、研究イニシャティブの 一環として「地球規模水循環変動に対応する水管 理技術に関する研究」をプロジェクト研究として 立ち上げ、新進の予測降水量を用いた洪水等の予 測手法の研究を進め、次世代水管理技術の開発を 目指している。

予報モデルの種類	モデルを用いて発表する予報	予報領域と水平解像度	予告期間	実行回数
メソモデル	防災気象情報 降水短時間予報	日本周辺10km	18時間	1日4回
領域モデル	分布予報、時系列予報、 府県天気予報	東アジア 20km	2日間	1日2回
台風モデル	台風予報	北西太平洋の台風周辺24km	3,5日間	1日4回
全球モデル	府県天気予報 週間天気予報	地球全体55km	3,5日間 9日間	1日1回
アンサンブル 週間全球モデル	週間天気予報	地球全体110km	9日間	1日1回
1か月予報モデル	1か月予報	地球全体110km	34日間	週1回
季節予報モデル	3か月予報 暖候期・寒候期予報	地球全体180km	120日間 210日間	月1回

表-1 主な数値予報の概要

 予報の細かさ
 予報内容
 発表間隔

 降水
 5km間隔
 1,2,...,6時間後の降水量
 30分毎

 降水
 ...
 10分毎

 ドウキャスト
 1km間隔
 10,20,...,60分後の降水量

図-2 レーダーを利用した数時間先までの短時間予測情報

The Practical use of Weather Forecasting Information for River

Management

土 木 技 術 資 料 47-11 (2005)



図-1 大気現象の物理素過程

本稿では、先ず、気象予報の現状および洪水予 報の最近の状況を紹介する。次に、上記のプロジェ クト研究の成果の一端を記し、今後の展望につい て述べる。

気象予報の現状³⁾

気象庁⁴⁾ では2001年3月に新しいコンピュー タ・システム (NAPS:数値解析予報システム) が稼働を開始し、集中豪雨などに関する局地情報、 波浪予測、台風進路予報等の精度向上が図られて いる。

現在、気象予報の現業で使用されている主たる 数値予報モデルの概要を表-1に示す。数値予報 モデルでは、図-1に示す現実の大気の様々な動 きが物理的な数式によって記述され、コンピューター・ シミュレーションによって予測がなされている。 これらの予報結果は、GPV(Grid Point Value) として民間を含めた各機関に配信され、利用され ている。

また、局地的な強雨等を把握するため、高解像 度のレーダーデータを利用した予測情報も提供さ れている。気象レーダーで観測した雨量と地上の アメダス観測所の雨量データとを合成したレーダー・



写真-1 地球シミュレーター (手前は筆者)

アメダス解析雨量は、運用当初、解像度が5km格 子であったが、現在、2.5km格子に細密化されて いる。また、2003年6月からは解析雨量と降水短 時間予報が30分間隔で提供されるようになった。 さらに、2004年6月からは、急速に発達する雨雲 の変化や移動を捉えるために降水ナウキャスト情 報の提供が開始されている(図-2)。

なお、研究イニシャティブでは、予報現業で使 用されている領域モデルを拡張・改良して地球温 暖化の研究に供している。これの演算には世界屈 指(平成17年6月現在、処理速度世界第4位)の スーパー・コンピュータである「地球シミュレー ター」が利用されている(写真-1)。

3. 洪水予測の現状³⁾

前章で紹介した予測情報の多くは国土交通大臣 が管理する一級河川の管理事務所にオンラインで 配信され、河川管理の参考値として利用されてい る。

国土交通省近畿地方整備局淀川ダム統合管理事 務所では、水系内のダム群を効率的かつ一元的に 管理するために、水文情報(雨量、水位、流量)、 雨量レーダー情報(深山、城ケ森山)に加え、気 象情報(アメダスデータ等の実況情報、降水短時 間予報などの予測情報)をリアルタイムで収集し、大 型計算機を用いて、降雨予測や洪水予測等を行っ ている(図-3)。この流域の特徴として、台風に よる大雨が多く、また、コースによって雨量に大 きな差が生じることから、台風の進路予測に基づ いた独自の降雨予測システムが運用されている。 また、洪水予測については事務所に駐在する気象



図-3 都道府県と気象台が共同で発表する洪水予報の流れ



土木技術資料 47-11 (2005)

図-4 ダム統合管理の流れ(淀川ダム統合管理事務所)

予報士が各種予測情報を総合的に判断した上で、 洪水予測システムへの入力を行っている。

都道府県知事が管理する二級河川についても、 平成14年度から都道府県と気象庁共同の洪水予報 が実施されている(図-4。平成17年8月現在25 水系41河川)。

和歌山県⁵⁾ は、有田川と日高川において和歌 山地方気象台と共同して洪水予報を行っている。 台風の接近などで大雨が発生するおそれがある場



合に、地方気象台は降水ナウキャストを河川流域 毎の平均量に加工し、県河川課の専用端末に自動 的に送信している。県河川課ではそれを用いて河 川洪水予報の流れ水位予測を自動的に行っている。

洪水予警報が必要と判断された場合は、双方の 情報をもとに予報文を作成し、両者が共同で洪水 予報を発表することになっている。予報文は関係 行政機関等に伝達されるとともに、報道機関の協 力を得て、流域住民へ周知されている。さらに、 和歌山県河川課はインターネットを通じて河川水 位及び降水量の実況と予測を公開している(図-5)。

4. 予測情報を用いた水管理^{6),7)}

降雨予測情報を高水管理に活用するうえでは、 先ず、現時点での情報の確度を把握する必要があ る。そこで、北上川、利根川、阿賀川、木曽川、 淀川、吉野川及び筑後川の7水系流域を対象とし て降雨の予測精度及び予測降雨を用いた流出量の 予測精度について検討した。

4.1 降雨の予測精度

図-6は吉野川上流域の雨量観測所と気象庁が 配信している各種GPVの格子点の位置を示すも のである。図中、「RAP」はレーダー・アメダス 解析雨量、「VSRF」はRAPを時間外挿して予測 を行う降水短時間予報、「MSM」、「RSM」は先に

土木技術資料 47-11 (2005)



紹介した気象モデル(メソ・モデル、領域モデル) による数値予報の格子点を表す。

この流域における雨量観測所の配置密度は概ね

60km²に一箇所となっており、国土交通省として は平均的な観測密度といえる。一方、〇印で示し たRAPの格子点は東西南北約2.5km間隔で、ほ ぼ6km²に一箇所と雨量観測に比べて高密度であ る。また、RAPと実測雨量が高い相関を有してい ることは別途確認されている。これらからRAP を用いて推定される流域平均雨量は高精度である ことが期待できる。

図-7は2004年10月、各地で大水害を引き起こ した台風23号時の吉野川水系のI雨量観測所での 実測雨量と同地点(直近格子点での値から空間補 間)の予測雨量の比較を示すものである。二段目 以下の図の右肩は予測手法と先行時間を表す。例 えば、二段目のSRF(3)は3時間前の降水短時 間予報を表す。各手法とも比較的良い予測がなさ れている。なお、本例に限らず、台風23号による降 雨は全般に実績降雨との合致度が高い傾向にあっ た。

図-8は降雨予測の方法、予測の先行時間の違いによる時間雨量の予測精度を、相関係数と回帰 係数(時間雨量の倍率)を指標にして比較したものである。図中、記号付きの太線は検討対象とし



土木技術資料 47-11 (2005)

た7流域内に位置する214の雨量観測所における7 ケースの降雨での平均値を表し、上側・下側の折 れ線は最も精度が良いあるいは最も精度が悪い流 域での相関係数あるいは回帰係数の平均値を表す。 地点による変動が大きいため(割愛するが、降雨 イベントによる変動も大きい)、一概には言えな いが、全平均で見る限り、MSM およびRSM は時 間単位の予測雨量としての精度があまり期待でき ない。また、VSRFでも先行時間が2時間を越え ると急減に相関係数・回帰係数の値が小さくなっ ている。

ところで、ダムの高水管理では時間雨量よりも むしろ今後の降雨規模が重要な予測情報となる局 面が多い。図-9は積算雨量(6時間雨量、12時間 雨量…) について 図-8と同様の分析を行った結果 である。ただし、図の横軸は積算雨量を求める時 間間隔を示す。時間雨量の場合に比べて、予測方 法・時間間隔によらず、相関係数・回帰係数は大 きい値で維持していることが読み取れる。すなわ ち、積算雨量は今後の降雨規模を捉えるための情 報として実用精度を有していると考えることがで きる。

1.0

連続雨量の相関係数 0.8

0.6

0.4

1.5

連続雨量の回帰係数 0.5 0.5

0.0

0



時間雨量の予測値としてVSRFを用いた場合の 流出予測計算を行い、流量に変換した場合の精度 について評価を行った。流出予測モデルは対象流 域の洪水予測で実用されている木村の貯留関数モ デルを適用した。ただし、ここでは予測降雨の誤 差に由来する流出予測精度への影響を評価するた め、実績の降雨波形と流量波形から流出予測誤差 を最小化するモデル定数を降雨イベント毎に同定 して与えた。

一例として、吉野川水系Sダム流域の計算結果 を図-10に示す。実測雨量による予測流量は実測 流量をよく再現しているのに対して、VSRF を時 間雨量として与えた場合の予測計算ではハイドロ グラフの頂部付近で過大な流量を予測している。

対象流域内の22ダムについて、VSRFが開始さ れた1998年以降の主要洪水を数ケースずつ抽出し て同様の予測計算を行った。図-11は先行時間に よる流出予測精度の変化を前出の降雨の評価と同



7,000.0



様、相関係数・回帰係数で表したものである。比 較の意味で流域平均雨量の相関係数・回帰係数は 破線で示してある。流域平均雨量は早期に予測精 度が劣化するのに反して、流出量はVSRFの予測 時間である6時間先でも0.8程度の相関係数を示し ている。また、回帰係数もほぼ1.0前後で推移し ている。つまり、流出予測モデルが十分に正確で あれば、目先数時間先までの流出予測精度は充分 に高いことを示している。これは予測降雨の影響 が流出の遅滞時間を経て出現することによる。

5. おわりに

以上見たように、現状での予測降雨はほぼ実用 可能な段階にあると考えられる。今後は洪水予測 の現場で即時予測の実験を行い、予測精度の向上 方策を検討する。また、並行して進められている 研究イニシャティブの成果を踏まえて、水管理の 高度化に向けた予測情報の活用法についての検討 を行う予定である。

参 考 文 献

- 33 -

1) 地球規模水循環変動イニシャティブ:/www.jam-

stec.go.jp/ipccwgl/water/

- 2) 国土技術政策総合研究所:www.nilim.go.jp/lab/ bbg/project/ppdf/p09.pdf
- 3)内閣府総合技術会議:地球規模水循環変動イニシャ ティブ・シンポジウム(水循環変動研究の最前線と 社会への貢献),2005.5
- 4)気象庁:「気象業務はいま 2004 一活かそう情報、 防ごう災害」、佐伯印刷, pp. 88-89, 2004
- 5) 和歌山県河川課: www.pref.wakayama.lg.jp/ prefg/080400/
- 6)和田一範・村瀬勝彦・冨澤洋介:河川の高水管理に おける予測降雨情報の適用性、土木技術資料平成17 年3月号,2005.3
- 7)和田一範・川崎将生・冨澤洋介:河川の高水管理に おける予測降雨情報の適用性に関する考察、水文・ 水資源学会誌(投稿中)



国土交通省国土技術政策総合研 究所河川研究部流域管理研究 官,工博 Kazunori WADA 技術・調査報告

水文·水資源学会誌第18巻6号(2005)

河川の高水管理における予測降雨情報の適用性に関する考察

和田 一範¹⁾・川崎 将生²⁾・冨澤 洋介²⁾ Kazunori WADA, Masaki KAWASAKI and Yosuke TOMIZAWA

 国土交通省国土技術政策総合研究所 流域管理研究官,2) 同 河川研究部 National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

I. はじめに

地球規模の気象観測や数値モデルの高度化等によ り気象予測の精度向上に向けて取り組みが進められ ている.一方,わが国のダムでは実績の気象・水象 情報に基づく経験的な手法により洪水調節や各種用 水の補給を実施している場合が多く,これら最新の 予測情報を活用し効率的な高水管理・低水管理を行 う環境が十分に整えられていないのが現状である. これは,これらの予測情報の定量性に関しての評価 が定まっていないことが原因の一端にあると考えら れる.

これまで,国内外で流出モデルや流出予測手法に 関しては様々な研究がなされてきているが,その際 の系への入力である降雨の予測精度についての議論 はあまりなされていない.また,降雨予測について の研究も同様に,方法論に力点が置かれ,水管理の 実務的な立場からその予測精度を吟味したような報 告は例を見ない.

本研究は内閣総合科学技術会議の下,環境研究イ ニシアティブの一つとして指定された「地球規模水 循環変動イニシアティブ」の一環として気象庁との 連携のもとで進めているものであり,近年の気候変 動から発生が懸念される,計画規模を超過する洪水 や渇水の多発を視野に入れた,水管理の高度化に資 する技術開発を行うものである.環境研究イニシア ティブについては内閣府(2005)を参照されたい. そのーステップとして,本稿ではダムにおける高 水管理に焦点をあて,気象庁が現業の気象予報業務 で用いている予測雨量と実測雨量の比較を行うとと もに,短時間の予測雨量を用いた流出予測シミュレ ーションを行い,現状の降雨予測情報の高水管理へ の適用性について考察する.

II. 気象庁の降雨予測

現在,気象庁が実施している降雨予報は降水短時 間 予 報 (Very Short-Range Forecasting of Precipitation:以下「VSRF」という)と数値予報 に大別される. VSRF は実況の降雨分布を表す レーダー・アメダス解析雨量 (Radar-AMeDAS Precipitation:以下「RAP」という)を,風向・ 風速,地形による降水の発達・衰弱の効果,数値予 報の結果を考慮して時間的に外挿して降雨予測を行 うものである.また,数値予報は気象に関する様々 な物理過程を組み込んだ予報モデルにより気象予報 を行うもので、用途に応じてメソ・モデル (MSM: MesoScale Spectral Model) , 領域モデ ル(RSM: Regional Spectral Model), 全球数値予 報モデル(GSM), 台風数値予報モデル (TYM), 週 間/1ヶ月/季節アンサンブル予報モデル、エル ニーニョ予測モデルを使いわけている。このうち MSM は日本およびその近海を解析領域とし、メソ α (200 ~ 2,000 km 台風・低気圧・前線)およ び 100 km 以上の地形性メソβ (20 ~ 200 km 雷雨性集中豪雨)の気象擾乱を予報対象としている. また, RSM は日本を中心とする東アジアを解析領 域として、メソαの気象擾乱を予測している.

MSMは現行の数値解析予報システム (NAPS7: Numerical Analysis and Prediction System7) が 供用を開始した 2002 年 3 月に導入されたモデル

表-1 予測降雨情報の仕様. Table1 Specifications of rainfall forecast products used by this study.

	VSRF	MSM	RSM
空間格子間隔	約2.5km	10km	約 20km
	0.5hr	6hr	
更新時間間隔	(毎正時,	(3AM/PM	12hr
	每正時30分後)	9AM/PM)	(9AM/PM)
最大先行時間	6hr	18hr	51hr

注)気象庁(2004)をもとに作成.

であり、当初は現在の RSM と同様、鉛直方向の 圧力傾度力と重力の平衡を仮定した静力学モデルで あったが、2004 年 9 月にはこの近似を廃した非 静力学モデルとなっている.また、観測方法・観測 場所が異なる多様な気象観測情報から合理的に全て の計算格子の初期値を与えることを「データ同化」 というが、データ同化システムとして MSM は導 入時より、RSM は 2003 年9 月より、4 次元変 分法(メソ4D-Var)を世界に先駆けて採用してい る.さらに、次期 NAPS では MSM の格子間隔 の細密化(5km)が予定されるなど、予報精度向上 のためのモデルの改良・拡張が進められている.

III. 実測雨量と予測雨量の比較

NAPS7 供用開始の 2002 年3 月以降, 2004 年 末までの期間で規模の大きい洪水を発生させた 7 回の 降雨イベントについて実測雨量と予測雨量の 比較を行った.

対象流域は国土交通省直轄ないし水資源機構が管 理しているダムが存在する北上川,利根川,木曽川, 阿賀川,淀川,吉野川および筑後川の7水系の部 分流域をモデル流域とした.比較対象の実測雨量は これらの流域内で観測されている214箇所の雨量 観測所の時間雨量とした.予測雨量は VSRF, MSM および RSM の3種とし,前記の雨量観測 所の最寄りに位置する東西南北格子点値(GPV: Grid Point Value)を用いて,観測所の座標におけ る雨量値を空間的に補間して与えた.

1. 時間雨量の比較

ダムによる洪水調節では貯水池への流入量に応じ た所定の水量を放流する必要があり,先立って精度 の良い時間雨量が取得可能であれば,流入量の予測 精度も向上して,確実な放流操作が可能となる.そ こで,先ず,時間雨量の予測精度の現状について分 析を行った.

図-1 は 2004年, 各地で大きな水害を引き起こ



図-1 実測雨量・予測雨量の降雨波形の比較例. Fig. 1Comparison of observed and forecasted rainfall at a sample location.

した台風 23 号時の淀川水系の M 雨量観測所での 実測雨量(最上段)と同地点の VSRF, MSM お よび RSMによる予測雨量の比較を示すものである. 2 段目以下の予測雨量を表す図の右肩に記した 括弧書の数字は予測の更新間隔を刻みとする時間帯 中の先行時間の最大値を表している.すなわち, VSRF(3) は実際の時間の3 時間前, MSM(12) は 7~12 時間前, RSM(24) は 13~24 時間前に予測 された時間雨量を連ねたものである.したがって, この図では作画にあたって VSRF, MSM, RSM それぞれ, 72 回, 12 回(1 日 4 回更新), 6回 (1 日 2 回更新)分の GPV を用いている.

図-1 と同様に定義される VSRF(1/2/3/4/5/6), MSM(6/12/18) および RSM(12/24/36/48) を全ての降雨イベントおよび雨量観測点について求め、さらにこれらと実測雨量との相関係数およ



図・2 時間雨量の先行時間別の相関係数・回帰係数. Fig. 2 Correlation and regression coefficient between observed and forecasted rainfall versus leading time.

び回帰係数(実測時間雨量を r_0 , 予測時間雨量を r_p とする時の回帰式 $r_p = a \cdot r_0$ の係数 a. ただ し, $r_0 + r_p > 1$ mm)を算出した. このようにして 求めた相関係数・回帰係数と先行時間との関係を示 したものが 2である. 図中, 記号付きの太線は 全地点・全降雨の平均値を表し, 上側の折れ線は最 も精度が良い, また下側の折れ線は最も精度が悪い モデル流域での指標の平均値を表す.

ここでは、相関係数が 1.0 であれば降雨波形が 相似で,かつ回帰係数が 1.0 であれば,各時刻の 雨量も一致することを意味するが,図によると両指 標とも先行時間の増加とともに指標値が減少する傾 向にある.つまり,先行時間が増加すると降雨波形 の相似の度合いが低くなり,時間雨量を小さく見積 もる傾向が強くなっている.

地点による変動が大きいため(割愛するが,降雨 イベントによる変動も大きい),一概には言えない が,全平均(太線)で見る限り,MSM および RSM は時間単位の予測雨量として精度があまり期 待できない.またVSRF でも先行時間が2時間を 越えると急減に指標値が小さくなり予測精度が劣化 する結果となっている.このような事からダム貯水 池の流入量予測に適用可能な予測降雨は2時間前 までの VSRF の予報値と考えられる.

なお、今回は2002年以降の7ケースの大型気象

擾乱について検討を行ったが,2004 年 10 月の台 風 23 号降雨の予測精度が他に比して特に高かっ たことを付記する.

2. 積算雨量の比較

ダムの洪水調節に先立っては、諸関係機関との連 絡、貯水池周辺・下流河川の巡視、臨時点検、放流 警報の実施などの多くの事前作業が発生する.また、 ダムによっては事前に貯留水を放流して、所定の洪 水調節容量を確保する貯水池操作が行われる.これ らの事前作業の執行に際しては、前項の降雨の時間 波形よりも今後発生する降雨の時機や概ねの規模を 把握することがむしろ重要となる.より早い時期に より正確に、こういった予測情報が得られれば、余 裕をもって的確な準備作業が実施できるようになる ことは言うまでもない.

図-3 はこのような目的への適用性を確認するた め,検討対象期間に掛かる全ての予報時刻での VSRF の 6 時間雨量, MSM の 6・12・18 時間 雨量およびRSM の 6・12・18・24・36・48 時間 雨量の予測値とこれに対応する実測の積算雨量との 相関係数・回帰係数を求め,図示したものである.

図の横軸が積算雨量を求める時間間隔となってい ることを除き,図の様式,指標の算定方法は図-2 と同様である.相関係数に着目すると,降雨の予測 方法,時間間隔によらず,高い水準で大きな変動も



図・3 積算雨量の相関係数・回帰係数. Fig. 3 Correlation and regression coefficient between observed and forecasted rainfall at a sample location versus accumulation hours.

なく相関を維持していることが読み取れる.一方, 回帰係数については、VSRF の 6 時間雨量が比較 的大きな値を示しているもののいずれの時間間隔に 対しても予測値が実測値を下回る結果となっている こと,若干ではあるが時間間隔が大きいほど係数値 が増加傾向にあることが読み取れる.さらに、平均 的に見れば、MSM と RSM の差異は小さいが、 下段の図の破線に見られるように、モデル流域に よっては 12 時間雨量より長い時間間隔の雨量で RSM の予測精度が高い場合が見られる.

以上より,降雨強度を小さく見積もる傾向にある ものの,6時間雨量 ~ 48時間雨量の降雨波形は VSRF, MSM, RSM ともに比較的精度良く予測さ れていると考えることができる.

3. 流域平均雨量の比較

前節では雨量観測所での実測雨量と予測雨量との 比較を行ったが,実際の河川管理・ダム管理では特 定の位置での予測雨量が問題となることはまずなく, 主要地点上流域・ダム流域などの流域平均雨量の実 績値あるいは予測値が行動の判断材料となっている. また,後述のように,現業における洪水予測は専ら, 流出現象の空間特性をモデル・パラメータに集約す る集中定数型の予測モデルで行われおり,この演算 にも斜面要素毎の流域平均雨量が必要となる.

図・4 は、今回のモデル流域で最も豪雨の発生頻 度が大きかった吉野川水系のモデル流域である D ダム上流域内で平均雨量を算定する流域スケールを 変化させた場合の実測雨量と予測雨量の相関係数・ 回帰係数を積算雨量について示したものである. 図 からは平均操作によって相関係数が極めて大きく なっていること, RSMで流域スケールが大きい程, 回帰係数がより1.0 に近づいていることが読み取れ る. これは降水量の予測値をより広域でとらえるこ とにより、予測の雨域が実績から多少ずれても捕捉 される可能性が高まるためと推測される.

なお、ここでの流域平均雨量は RAP の GPV から推定した.具体的には分割流域内に位置する格 子点値の相加平均をとった.また、予測雨量の流域 平均雨量も VSRF, MSM, RSM それぞれの GPV から同様に推定した.ただし、RAP との格子点間 隔の相違を補正するため RAP と同程度の空間解 像度となるように格子内を細分し、内部格子点での 値を四隅のGPVから補間して与えている.図・5 に このモデル流域での雨量観測所とRAPおよび予測 雨量の格子点の位置図を示す. RAPを表す○印の 間隔が約 2.5km である.雨量観測の密度は概ね 60km² に 1 ヶ所となっており,国土交通省として は平均的な観測密度となっている. RAP は実測雨 量と高い相関を有していることは別途確認されてお り,格子点は約 6 km² に 1 ヶ所と高密度である. 雨量観測密度が疎な空間では,実務的に使用され ることの多いティーセン法による流域平均雨量の推 定値よりも RAP を用いて推定される流域平均雨 量の精度が高いことが予想される.



図-4 積算雨量(流域平均雨量)の相関係数 回帰係数.

Fig. 4 Correlation and regression coefficient between observed and forecasted rainfall in several catchment area versus accumulation hours.



図・5 雨量観測所・降雨予測格子点の位置. Fig. 5 Relative location map of rain gauge stations in the grid systems for rainfall forecast used in this study.

V. VSRFによる洪水予測シミュレーション

ダム貯水池の流入量予測の入力降雨としての適用 が可能と判断された VSRF の予測降雨を用いて洪 水予測シミュレーションを実施し,流量の予測精度 についての評価を行った.

1. 予測計算

流出モデルは今回のモデル流域を始めとして我が 国の河川の洪水予測モデルとして採用されることが 極めて多い,木村の貯留関数モデルを採用した.同 モデルの詳細は例えば、建設省(1997)に詳しい.

通常,現業の洪水予測システムではモデル・パラ メータを一定値で与えている場合が多いが,ここで は,流出予測の誤差のうち,予測降雨の誤差に由来 する成分を明確にするため,これを実測の降雨波形 を与えて計算した再現流量と実測流量の二乗平均平 方根誤差(RMSE: Root Mean Square Error)が 最小となるよう降雨イベント毎に最適化した定数群 で与えた.つまり,理想的な貯留関数モデルで予測 がなされた場合を仮想してシミュレーションを実施 した.また,流量予測の先行時間はVSRFの先行時 間に合わせて3時間(2000年以前)ないし6時間 (2001年以降),更新時間間隔は1時間とし,各 予測時間ステップでは単純に最新の実測流量から逆 算した貯留高を初期値として与えた.

図・6 は以上の条件のもとで実行した予測計算の 一例を示すものである. 図中の黒丸は実測流量を表 し,折れ線は各予測時間ステップでの 6 時間先ま での予測流量を表す. 上記の理由により当然の事な がら実測雨量による予測計算は実測流量をよく再現 しているのに対して, VSRF を時間雨量として与 えた場合の予測計算ではハイドログラフの頂部付近 で過大な流量を予測している.

同様の計算は VSRF が開始された 1998 年以降 2004 年 10 月までの間で最大級の流量を記録した 数降雨をモデル流域毎に選定して実行した。

2. 流出予測精度の評価

III に示した全対象流域について予測計算を行い、 ① 流域平均の実測雨量と予測雨量、② 実測流量と 実測雨量による予測流量、③ 実測流量と予測雨量 による予測流量のそれぞれについて先行時間別の相 関係数・回帰係数を求め、全流量予測地点・全降雨 イベントの平均値を比較したものが 図-7 である. 図中、破線で示した流域平均雨量については先行時



(a) 実測雨量による流出予測



(b) 予測雨量 (VSRF) による流出予測

図・6 吉野川水系 S ダム流域の計算結果. Fig. 6 A comparison of runoff forecast simulations. (a) is made by using observed rainfall and (b) is made by using forecasted rainfall VSRF in S・dam catchment in Yoshino river system.

間の増加に伴い,相関係数・回帰係数ともに減少し ている. 3 時間前予測と 4 時間前予測で折線が 屈曲しているのは2000 年前後の先行時間の採り方 の違いによるサンプル・サイズの相違が影響してい る.実測雨量による予測流量は先行時間によらず, 相関係数,回帰係数ともにほぼ 1.0 となっている のに対して予測雨量による予測流量は相関係数が流 域平均雨量と同様の傾きで先行時間とともに低減す る。しかし,初期段階での係数値がほぼ 1.0 と なっているため,予測精度の水準は流域平均雨量に 比べて高い.また,量的にも流域平均雨量のように 先行時間とともに過小評価することなく,実測流量 相当で推移していることが回帰係数の図から読み取 れる.

図-7 の実測雨量による予測流量(q_{c1})と実測流量 (q_o)の相関係数と予測雨量による予測流量(q_{c2})と 実測流量の相関係数の差(Cor(q_o,q_{c1})- Cor(q_o,q_{c2})) は予測降雨に起因するものと見なせる.図-8 は全



図-7 雨量・流量の相関係数・回帰係数. Fig. 7 Correlation and regression coefficient between observed and forecasted rainfall (dash line). Correlation and regression coefficient between observed and computed discharge using observed rainfall and forecasted rainfall versus leading time. This shows accuracy change due to rainfall data used.

ての予測地点について,この相関係数の差の絶対値 を流域面積との関係で示したものである.図中の直 線は先行時間別に回帰した傾向線である.同図から は、いずれの先行時間についても線分が右さがりで 流域スケールが大きくなるほど予測降雨の誤差の影 響が少なくなること,および先行時間が大きいほど 線分の傾きが急になり,上記の傾向が助長されるこ とが読み取れる.

つまり, VSRF による予測流量は降雨・流出系 の持つ非線形性と遅滞効果により予測降雨ほどには 先行時間による予測精度の劣化を伴わず, VSRF の先行時間である 6 時間前の予測値でも流出予測 の現業に供し得る精度を維持しており, かつ流域が 大きいほど, その水準が高いことが確認された.

IV. まとめ

以上,本稿では実測降雨と気象庁が実施している VSRF, MSM, RSMの3 種類の方法による予測降 雨との比較および VSRF を用いた洪水予測の予測 精度の評価を行った.先ず,実測降雨と予測降雨と の比較では洪水予測用の予測降雨として2 時間先 までの VSRF の利用が可能であること,また 6 時間以上48 時間までの時間間隔別の積算雨量の





Fig. 8 The accuracy change of runoff forecast due to rainfall data used versus catchment area. Vertical axis indicates the changes in correlation coefficient between models using observed rainfall and forecasted rainfall.

予測値については実測雨量のそれに対して少なめに 見積もる傾向はあるものの, MSM, RSM でも実 測雨量と比較的高い相関を示し, 洪水調節の事前作 業時の監視情報として十分利用可能であることが確 認された.また, VSRF を用いた洪水予測のシ ミュレーションでは理想的なモデルで洪水予測がな された場合, VSRF の先行時間である 6 時間前で も実測流量と予測流量が高い相関を示し, 流域ス ケールが大きいほど, その水準が高く十分に実用に 供し得る現状にあることが知れた.

今後は高水管理の高度化に向けて,最新の気象予 報情報を積極的に利用するための環境を整備すると ともに,分布型モデルへの移行など従来の概念型モ デルに代わる流出予測モデルの適用を検討すること が必要と考える.

謝辞:本研究にあたり気象庁予報部より本稿で取り 上げた予測降雨の各種 GPV の提供を受けた.こ こに記して感謝の意を表する次第である.

引用文献

内閣府(2005): 環境研究イニシャティブの位置付け www8.cao.go.jp/cstp/project/envpt/main/position.pdf 気象庁(2004):「気象業務はいま 2004 一活かそ

う情報,防ごう災害」,佐伯印刷, pp.88-89 建設省河川局(1997):「ひ訂新版 建設省河川砂防

技術基準(案)調查編」,山海堂,pp.89-90

(受付:2005年3月8日,受理:2005年8月23日)

_____22 【技 術 研 究】

高水管理実務における降雨予測情報の適用に関する考察

国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部		和	田		範*
"	ダム研究室	Ш	﨑	将	生**
"	4	富	澤	洋	介***

キーワード 降水短時間予報・洪水予測・予測誤差・高水管理

1. はじめに

近年の地球規模の気象観測の充実,情報通信・情報処 理能力の飛躍的な向上,気象予測モデルの高度化等によ り気象予測の精度が向上している。

伴って、わが国のダム管理の現場でもこういった最新 の気象予測情報を導入する動きはあるものの、実績の気 象・水象情報に基づく経験的な手法により洪水調節や各 種用水の補給を実施している場合が多く、未だ予測情報 を活用した効率的な高水管理・低水管理を行う状況には 達していない。これは、予測情報の確度が十分に検証さ れていないことが原因の一端にあると考えられる。

これまで,国内外で降雨予測モデル・流出モデルおよ び実時間での流出予測手法に関しては様々な研究がなさ れてきているが,その際の入力データである実況降雨あ るいは予測降雨の精度の流出予測精度への影響について の議論はあまりなされていないのが実状である。

国土技術政策総合技術研究所¹⁰では、内閣総合科学技 術会議の下、環境研究イニシアティブの一つとして指定 された「地球規模水循環変動イニシアティブ」の一環と して、気象庁と連携して気象予測情報を河川管理に活用 するための新技術の開発に向けての研究プロジェクトを 平成15年度より実施している。これの第一ステップと して、和田ら^{21,39}は気象庁が実施している降水短時間予 報(Very Short-Range Forecasting of Precipitation.以 下「VSRF」という)の洪水予測への適用可能性に着目し、 これと時間単位の地上雨量との比較を行った結果、予測 の先行時間が概ね1ないし2時間までであれば、比較的 良好な降雨予測が成されていることなどを確認した。

* 流域管理研究官,博(工)

** 主任研究官

*** 研究官

本論文では、これに続く研究として、河川・ダムの高 水管理実務への降雨予測情報の活用を目ざして、流出予 測の現場で実際に使用されている貯水池流入量の予測モ デルを用い、これへの入力降雨として VSRF を用いた 場合の流出予測精度について検討した。

2. 降水短時間予報

気象庁が実施している降水短時間予報は,実況 の降雨分布を表すレーダー・アメダス解析雨量 (Radar-AMeDAS Precipitation:以下「RAP」という) を風向・風速,地形による降水の発達・衰弱の効果を考 慮して時間的に外挿するものである。近年は現業の気象 予報で用いられている最新のモデルであるメソ・モデル (MSM: Meso-Scale Spectral Model)による数値予報の 結果も VSRF に反映されるようになっている。

VSRF は平成 10 年度初に配信を開始しているが,数 値解析予報システム(NAPS: Numerical Analysis and Prediction System)の高度化にあわせて,空間解像能, 先行時間,予測更新時間間隔を細密化してきており,現 在は約5km四方の格子点上の6時間先までの予測時間 雨量を30分間隔で配信している。

図-1は現在の NAPS である NAPS 7 が供用を開始し た平成 13 年 3 月以降,平成 16 年末までの期間に発生し た 7 ケースの降雨について北上川,利根川,木曽川,阿 賀川,淀川 (木津川),吉野川および筑後川の 7 水系の 部分流域内に存在する 214 の雨量観測所の時間雨量と各 雨量観測所の直近格子の VSRF から内挿補間で求めた 先行時間毎の予測雨量との相関係数および回帰係数(回 帰モデル $r_p = a \cdot r_o r_p$:予測降雨, r_o :実測降雨,a:回帰係数)の平均値を示すものである。相関係数は先 行時間の増加とともに減少する。また,回帰分析の際の 標本を1 mm 以上とした場合,先行時間が1 ないし 2 時

ダム技術 No.233(2006.2)





間までであれば、相関係数が0.6程度と比較的、強い相 関を示すのに対して、この閾値を5mm以上とした場合 は先行時間が1時間でも0.4程度に留まっている。回帰 係数は閾値によらず、0.6強から0.4で推移し、実績に 対して小さく見積もる傾向にある。なお、以上は各指標 の平均値での議論であり、地点および降雨による格差は 大きく、図-2に示す昨年10月の台風23号時の吉野川 流域のN雨量観測所の例では6時間先(各段の図の左肩 の数値が先行時間を示す)でも相関係数・回帰係数とも に0.85程度と良好な予測がなされている。

3. VSRF を用いた洪水予測シミュレーション

VSRFを用いて洪水予測シミュレーションを行った。 予測対象は前出の7 流域内で国土交通省ならび水資源機 構が管理する22のダムの貯水池流入量である。これら のダムは流域の最上流に位置している。従って,これら のダムの貯水池流入量は上流ダムの放流量の影響を受け ない自然流量とみなすことができる。検討対象降雨はそ







24

れぞれのダムについて,平成13年3月以降,同16年末 までの期間で最大級のピーク流入量を記録した降雨を2 ないし3ケースずつ選定した。

予測モデルは現業の洪水予測での採用実績が圧倒的に 多い次の木村の貯留関数モデル⁴⁰を採用した。それぞれ のダムについて,平成13年3月以降,同16年末までの 期間で最大級のピーク流入量を記録した降雨を2ないし 3ケースずつ選定した。

予測モデルは現業の洪水予測での採用実績が圧倒的に 多い次の木村の貯留関数モデル⁴⁾を採用した。

$$\begin{aligned} q &= f_1 \cdot q^{(1)} + (1 - f_1) \cdot q^{(2)} + q_B \quad (1) \\ ds^{(i)} / dt &= r^{(i)} - q^{(i)}, \ s^{(i)} = k \cdot [q^{(i)}]^{p} \ (i = 1, \ 2) \end{aligned}$$

(2)

$$r^{(1)}(t) = r(t - T_1)$$
 (3a)

$$r^{(2)}(t) = \begin{cases} 0 \quad (\Sigma r \le R_{sa}) \\ r \quad (t - T_l) \ (\Sigma r > R_{sa}) \end{cases}$$
(3b)

ここに、q:流出高、qB:基底流出高、s:貯留 高、r:流域平均降雨強度、t:時間座標、T₁:遅滞 時間、R_{sa}:飽和雨量、f₁:1次流出率、s:貯留高 である。また、括弧付きの肩字は流出成分であり、1 は 流出遠を、2 は浸透域を表す。

計算に際して,流域平均雨量は計算対象流域内に位置 する格子点での降水量(実績降雨は RAP,予測降雨は VSRF)の相加平均で与えた。また,実測流量を取得す る各時点においては,拡張カルマンフィルター⁵¹を適用 して逐次,予測を矯正した。すなわち,

$P_i(-) = A_{i-1}^2 \cdot P_{i-1}(+) + Q_{i-1}$	(4)
$A_i = 1/\exp\left[J_i \Delta t/f_1\right]$	(5)
$G_{i} = J_{i} \cdot P_{i}(-) / [J_{i}^{2} \cdot P_{i}(-) + R_{i}]$	(6)
$\hat{x}_{i}(+) = \hat{x}_{i}(-) + G_{i} \cdot [z_{i} - \hat{z}_{i}(-)]$	(7)
$P_i(+) = [1 - G_i \cdot J_i] \cdot P_i(-)$	(8)
$J_{i} = f_{1} \cdot k^{-1/p} \cdot \hat{x}_{i} (-)^{1/p-1/p}$	(9)

とした。ここに, i:時間ステップ, Δt :時間刻み, x:状態変量 (ここでは, 流出域の貯留高 s⁽¹⁾), z: 観測値 (ここでは, 流出高 q), P: xの分散, Q:シ ステム誤差分散, R:観測誤差分散である。また, 括 弧内の符号±は観測流量取得の直前・直後を表し, アク セント[^] は推定値を表す。さらに, 誤差標準偏差 $Q_i^{0.5}$ および $R_i^{0.5}$ は, それぞれ x_i , z_i の10%と仮定し, Δt は1時間, 予測時間は VSRF の先行時間にあわせて 6 時間とした。ちなみに, 現業の洪水予測では「観測流量 は常に真」と仮定し、計算流量が最新の観測流量と合致 するように貯留高あるいは流出率を調整して、その時点 以降の予測を行う場合が多い。

モデルパラメータは実測流域平均雨量を用いて計算し た計算流量と観測流量の誤差分散が最小となる組み合わ せを数値代入法により探索して与えた。つまり,理想的 なモデルのもとで実時間予測が行われるものとして,純 粋に降雨の予測誤差に由来する流出予測誤差を評価する ものとした。

計算結果の一例を図-3に示す。図中,黒丸は実測流 量を,細線は6時間先までの予測流量を示している。

当然のことながら、実測降雨による予測流量は極めて 良好な再現を示している。一方、予測降雨(VSRF)に よる予測流量は降雨予測の誤差により実測流量との乖離 が生じている。



ダム技術 No.233 (2006.2)

4. 流出予測誤差の評価

前章で行った流出予測シミュレーションの結果から実 測降雨量と予測降雨量あるいは実測流量と予測流量の相 関係数および予測誤差の分散(予測の期待値からのばら つき度)を先行時間別に求めて,流出予測誤差の評価を 行った。

ここでは、比較的大規模な流出が発生した6ダムの例 を掲げる。各ダムの集水面積および降雨毎のピーク流出 高は表-1の通りである。

(1) 相関係数による評価

図-4は実測流量と予測流量の相関係数(以下,単に 「流量の相関係数」)および実測降雨と予測降雨の相関係 数(同じく,「降雨の相関係数」)を先行時間別に求めて 図示したものである。図中,破線は流量の,実線は降雨 量の相関係数を表す。また,記号は降雨のケースを表 す。相関係数の計算に当たっては,実測の流域平均雨量 が所定の閾値を超過する時間帯(ただし,無降雨・弱降 雨下で流入量が最大となる場合は最大流入時まで延長) での実測・予測雨量の対ないし実測・予測流量の対を標 本として抽出した。閾値は対象流域の集水面積の大小を 技術研究 25

考慮するため、ダム設計洪水流量の比流量を与える Creager 曲線式⁶⁰の関数型を引用して式(10)で与えた。

$$r_{\rm threshold} = 13 \cdot A^{\rm c-1}, \ c = A^{-0.05}$$
 (10)

ここに、r_{threshold}:1時間雨量の閾値(mm),A:集 水面積(km²)である。式(10)で計算される閾値は概ね 100 km²に対して5 mm, 300 km²に対して3 mm, 750 km²対して2 mm, 2,600 km²に対して1 mm となる。 表-1に示したゲムおよび降雨ケースはこの閾値を超過 する流出が複数回発生した事例として選定している。

表一1 流域面積および降雨毎のピーク流出高

	ダ ム (km ²)	ビーク流出高 (mm/hr)			
		Run-1 O	Run-2	Run-3	
Γ	A	101.2	32.07	29.22	28.46
Γ	В	322.9	15.95	4.84	
Γ	С	417.0	34.08	33.70	31.37
	D	492.3	5.69	5.62	
Γ	E	635.0	6.14	5.20	
	F	1,147.4	2.80	2.44	

注)表中の記号は図-4と対応。



26

流量の相関係数は、初期時点での係数値が大きく、降 雨の相関係数に比較して変化が穏やかであるため、いず れのケースでも降雨の相関係数以上の高い水準での相関 を比較的長時間維持している。流量の相関係数は先行時 間に対して基本的には単調減少となっているが、降雨の 相関係数の推移が下凸一降雨予測の精度が回復する一で あるようなケースでは、追随して増加に転じる場合があ る。なお、降雨量(流域平均)の相関係数は、点雨量で 比較した図-1とくらべて、やや大きな値となっている ものの、有意な相関関係が先行時間1ないし2時間まで で留まっていることに変わりはない。

また、図中で流量の相関係数が概ね1.0となっている のは、流出の遅滞効果により実績の降雨に依存した流出 が発生している時間帯である。ここでは、Aダムで1 時間、Dダムでは2時間、Eダムでは3時間、Fダム では5時間先まで流量の相関係数がほぼ1.0となってお り、集水面積が大きい程、予測降雨による影響の出現が 先送りされていることが読み取ることができる。

(2) 予測誤差分散による評価

高棹ら"は予測降雨の期待値と分散を次のようにモデ ル化した。 $E (\hat{r}_{i+1}) = r_{i+1}$ $Var (\hat{r}_{i+1}) = (S_{i+1})^2 = a^2 \cdot 1 \cdot (r_{i+1})^2$ (11)
(11)
(12)

ここに, E(・):期待値, Var(・):分散, r:予 測降雨, r:実測降雨, S:標準偏差, a:定数, i: 予測時間, 1:先行時間である。

前出の6ダムの計算結果について式(12)を適用して, 流量あるいは降雨量に対する予測誤差の自乗値と実測値 の自乗値から先行時間別の定数 a²・1を回帰して,プ ロットしたものが図-5である。なお,回帰分析の標本 は前章で相関係数を算定した際の標本と同一である。

前出の図-4と同じく,破線は流量,実線は降雨に対 する定数を表し,記号は降雨のケースを表す。また,灰 色の実線は a 値を 0.1 から 0.5 まで変化させた時の a²・1 の値を示す。

先ず,降雨について見ると,折れ破線は先行時間に対 して単調に増加するのではなく,ある先行時間まで増加 した後,減少ないし横ばいで推移している。つまり,こ の結果からは,一定時間先までは式(12)に従い,これよ り大きな先行時間に対しては,時間に依存せず同程度の 分散比とする ($(S_{i+1})^2 = b^2 \cdot (r_{i+1})^2$ 。b:定数)方が



ダム技術 No.233(2006.2)

妥当である。なお、上記の一定時間までの a 値は降雨 ケースによる変動が大きいものの、ほぼ0.4 前後となっ ている。

次に, 流量について見ると, 流出の遅滞時間内ではほ ほゼロで推移し, その後, 概ね遅滞時間分の位相をもっ て上記の降雨での変化パターンに対応して推移してい る。立ち上がり部の傾き a を降雨の場合のそれと比較す ると, 一部の例外(Bダム Run-1)を除いて緩勾配と なっている。これは降雨・流出系の非線形によるものと 考えられる。

ところで、図の縦軸 $a \cdot 1^{0.5}$ (= b) は実測雨量あるい は実測流量に対する予測値の誤差率(誤差分布に正規分 布を仮定すれば、信頼水準は 68.3%)と解釈すること ができる。今、仮に実測値の 2 割を誤差率の許容誤差の 限度とすると、今回の計算では、Dダム(492 km²)で は 3 時間先予測, Eダム(635 km²)では 4 時間先予測 まで許容誤差を満足するものとなり,遅滞時間に対して 1 ないし 2 時間,信頼にたる流出予測の先行時間が延長 されている。今後、洪水予測実務の現場においても、こ のような指標を用いて予測の品質管理を行うことが重要 である。

5. 結 論

気象庁の降水短時間予報(VSRF)を用いて、実際の ダム集水域を対象とするオンライン洪水予測の模擬実験 を行い、予測流量あるいは予測降雨の精度について分析 を行った。得られた知見を要約すると次のようである。

- ・点雨量での比較と同様、流域平均雨量についても実 測降雨と予測降雨が有意な相関(相関係数0.6以 上)をもつのは1ないし2時間先までである。
- ・これに対して、実測流量と予測流量は、流出の遅滞時間分、予測降雨による影響の出現が先送りされるため、同じ先行時間に対して降雨より常に高い相関を持ち、今回実験した集水面積100km²以上の流域では、殆どのケースでVSRFの予測時間である6時間先でも有意な相関を維持している。
- 降雨量の予測誤差分散は、ある先行時間(対象流 域、降雨により異なる)までは先行時間とともに単 調するが、その後は先行時間に依存しなくなる傾向 にある。

技術研究 27

 先行時間の増加に伴う流出予測誤差の増加の割合は、降雨の場合のそれに比して小さい。このため、 今回の実験では、流出予測の許容誤差率を2割と置く時、流出の遅滞時間からさらに1ないし2時間先まで有効な予測が延長される結果となっている。

以上,今回の検討流域で見る限り,VSRFを予測降 雨とする予測流量は実用可能な水準の精度を有している ものと判断される。今後は高水管理の現場における気象 庁の予測降雨情報の利用(併用)を進め,個別流域での 適用可能限度を見極めて行く必要があるものと考えられ る。

今回の解析では、河川・ダムの高水管理実務への降雨 予測情報の活用を目ざして、流出予測の現場で実際に使 用されている貯水池流入量の予測モデルを用いたが、解 析にあたって用いた最適モデルパラメータと、実際の予 測システムで使用しているモデルパラメータとが、結果 として大きく相違する流域も散見される。このことはす なわち、予測降水量の導入に際しては、流出解析モデル の同定を充分に行い、カルマンフィルタリング等、適切 な実時間予測アルゴリズムを採用することで流出予測モ デルの精度向上を図ることが重要であることが、あらた めて認識された。

謝辞:本研究にあたり、気象庁予報部より予測降雨 データの提供を受けた。ここに記して感謝の意 を表する次第である。

参考文献

- 1) 和田一範:地球規模水循環変動研究イニシアティブがスタート,土 木技術資料,平成15年10月号,pp.12~13.2003.
 2) 和田一範・村瀬勝彦・冨澤洋介:河川の高水管理における予測降雨
- 2) 和田一範・村瀬廚彦・昌澤汗介.河川の高小宮空におりる丁調厚雨 情報の適用性,土木技術資料,平成15年3月号,pp.64~69. 2005.
- 3) 和田一範・川崎将生・冨沢洋介:河川管理における予測降雨情報の 適用性に関する考察,水文・水資源学会誌,第18巻6号,2005.
- 建設省河川局:「改訂新版 建設省河川砂防技術基準(条)調査編」, 山海堂, pp. 89 ~ 90,
- 5) (財)北海道河川防災研究センター・研究所:「実時間洪水予測シス テム理論」、2004.
- (財)国土開発技術研究センター:改訂 解説・河川管理施設等構造 令,山海道. 1999.
- 7) 高棹琢馬・椎場充晴・宝藝:洪水流出の確率予測におけるモデルと 手法,第19回 自然科学シンポジウム, pp. 63~66, 1982.

ダム技術 No.233 (2006.2)

付録 B

洪水予測モデルの調整について

第2章で示したように,本研究では純粋に予測降雨の精度を議論するため,木村の貯留関数 モデルの全てのモデル・パラメータを最適化して,モデルに由来する予測誤差を最小化した. 一般に,洪水予測システムで設定しているするモデル・パラメータは,固定値で与えている場 合が多いが,上記の最適化で得られたモデル・パラメータは,降雨によって変化する結果となっ ている.特に,遅滞時間は,対象流域によらず,降雨事例間で値の変動が大きい(表 B.1).

図 B.1 はピーク流出高 q_p と遅滞時間 T_l の最尤値の関係を示すものである.図中のシンボル は流域の別を示す.図に見られるように,遅滞時間は洪水の規模が大きいほど短くなる傾向に ある.これは,高強度時に流下速度が大きくなることを意味しており,合理的な結果といえる.

遅滞時間は流出予測問題で予測降雨の影響が出現する時間を左右する非常に重要なパラメー タである.したがって,洪水予測は多様な規模の降雨に対して精度を確保することが望ましく, 予測モデルの調整に当たっては,降雨強度によって変化させるような措置が必要であろう.



図 B.1 ピーク流出高 qp と遅滞時間 Tl の関係

ダム	降雨型	k	p	T_l (hr)
аダム	平成 10 年 8 月	29.2	0.12	0.77
$167.4 \mathrm{km}^2$	平成 10 年 9 月	40.0	0.19	0.55
	平成 11 年 9 月		0.38	2.34
	平成 14 年 7 月	40.0	0.32	1.18
	変動係数	0.185	0.462	0.660
b ダム	平成 10 年 8 月	31.0	0.12	0.37
95.4km ²	平成 10 年 9 月	39.9	0.30	0.20
	平成 11 年 9 月	40.0	0.32	0.52
	平成 14 年 7 月	20.1	0.60	0.00
変動係数		0.288	0.593	0.825
сダム	ブム 平成 10 年 8 月		0.25	0.89
$110.8 {\rm km}^2$	平成 10 年 9 月	25.2	0.40	1.01
	平成 11 年 9 月	27.8	0.60	0.49
	平成 14 年 7 月	39.2	0.37	0.30
	変動係数	0.421	0.358	0.500
dダム	平成 10 年 8 月	67.5	0.22	2.67
$607.6 {\rm km}^2$	平成 10 年 9 月	54.5	0.34	1.78
	平成 11 年 9 月	26.9	0.60	0.57
	平成 14 年 7 月	51.1	0.33	2.20
	変動係数	0.338	0.429	0.499
еダム	平成 10 年 8 月	58.7	0.51	4.39
322.9km ²	平成 10 年 9 月	62.5	0.37	2.20
	平成 11 年 9 月	24.5	0.33	1.47
	平成 14 年 7 月	76.2	0.30	1.68
	変動係数	0.396	0.247	0.550
fダム	平成 11 年 6 月	37.1	0.33	0.98
$308.1 \rm{km}^2$	平成 11 年 9 月	44.7	0.33	1.00
	平成 16 年 10 月	36.7	0.37	0.64
	変動係数	0.114	0.056	0.232
gダム	平成 11 年 6 月	59.3	0.39	1.18
$54.7 \mathrm{km}^2$	平成 11 年 9 月	62.4	0.38	0.00
	平成 16 年 10 月	63.1	0.33	0.52
	変動係数	0.033	0.084	1.044
hダム	平成 11 年 6 月	37.8	0.33	0.08
80.4km ²	平成 11 年 9 月	30.5	0.33	0.40
	平成 16 年 10 月	40.0	0.29	0.24
	変動係数	0.137	0.073	0.649
і ダム	平成 11 年 6 月	44.3	0.33	1.54
$264.9 \mathrm{km}^2$	平成 11 年 9 月	76.1	0.25	2.32
	平成 16 年 10 月	59.9	0.33	1.10
	変動係数	0.265	0.155	0.373

表 B.1 貯留関数モデルのモデル・パラメータ

参考文献

- [1] 和田一範(2003): 地球規模水循環変動研究イニシアティブがスタート,土木技術資料, 平成15年10月号,pp12-13
- [2] 朝倉正・関口理朗・新田尚(1995): 新版 気象ハンドブック,朝倉書店
- [3] 高棹琢馬・椎場充晴・宝馨(1982): 洪水流出の確率予測におけるモデルと手法,第19 回 自然科学シンポジウム, pp.63-66
- [4] 国土交通省北海道開発局建設部河川管理課(2004): 「実時間洪水予測システム理論」解 説書, p.110

.....

国 土 技 術 政 策 総 合 研 究 所 資 料
 TECHNICAL NOTE of N I L I M
 No. 329 March 2006
 編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

.....

本資料の転載・複写の問い合わせは 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675