

◆ 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** 富澤洋介***

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) 上で稼働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、木曾川流域、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
予測雨量 (hr)	1	1	3
空間格子間隔 (km)	約2.5	10	約20
更新時間間隔 (hr)	0.5	6	12
最大先行時間 (hr)	6	18	51

注) 気象庁¹⁾をもとに作成

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一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一が占める面積の割合で地上雨量の加重平均を求める)で計算した木曾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って、予測法あるいは予測先

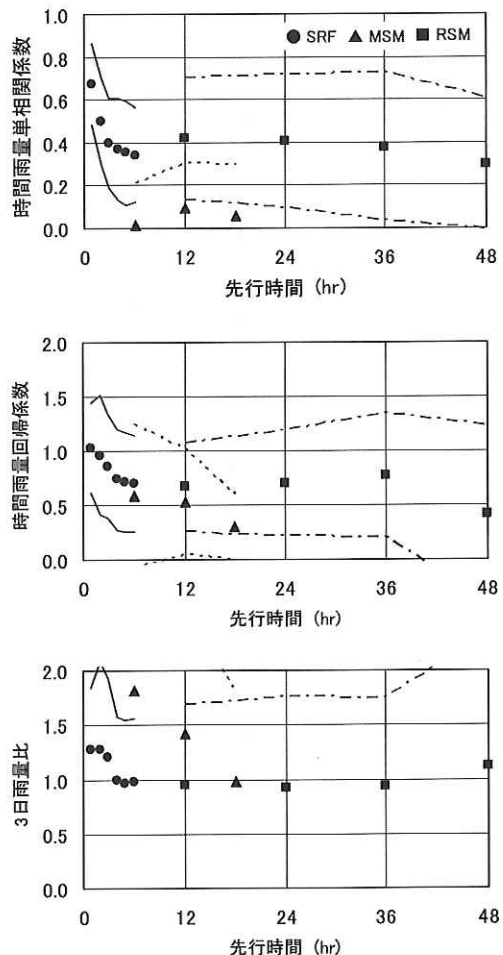


図-1 実測雨量と予測雨量の関係

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

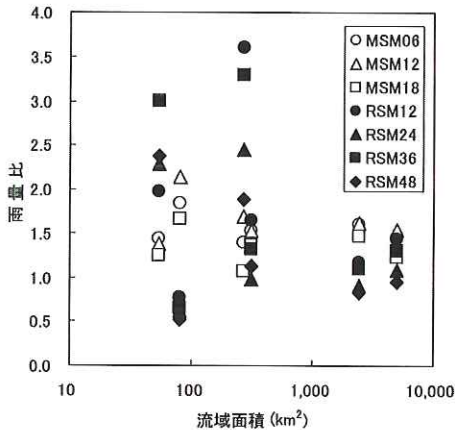
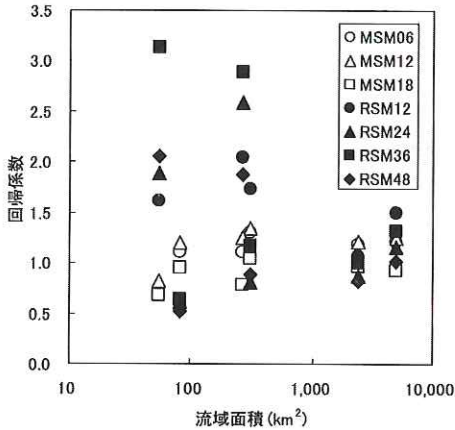
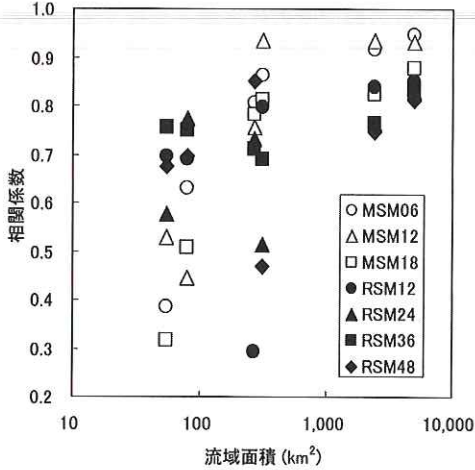


図-2 流域面積と各指標値の関係
(平成15年台風10号降雨、木曾川流域)

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。木曾川流域、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。

表-2 実測雨量と短時間降水予報の関係
(平成15年台風10号降雨)

流域 局数	先行時間 (hr)		
	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)
木曾川	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)
本津川	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

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)

流域 局数	先行時間 (hr)		
	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)
木曾川	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：相関係数、下段：回帰係数
括弧内は標準偏差

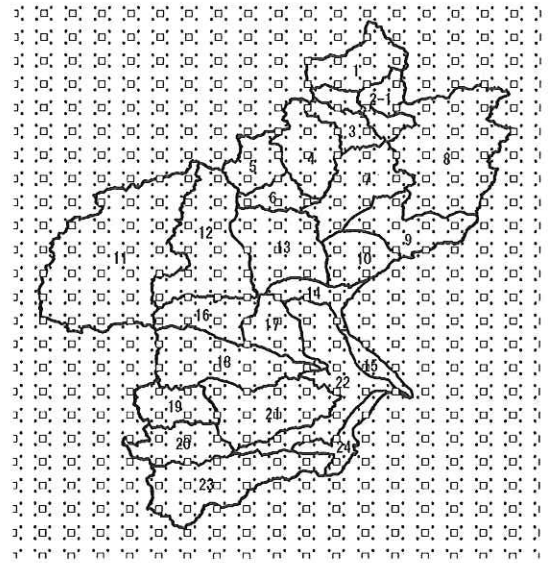


図-3 流域分割図の例

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模式図の一例を図-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)

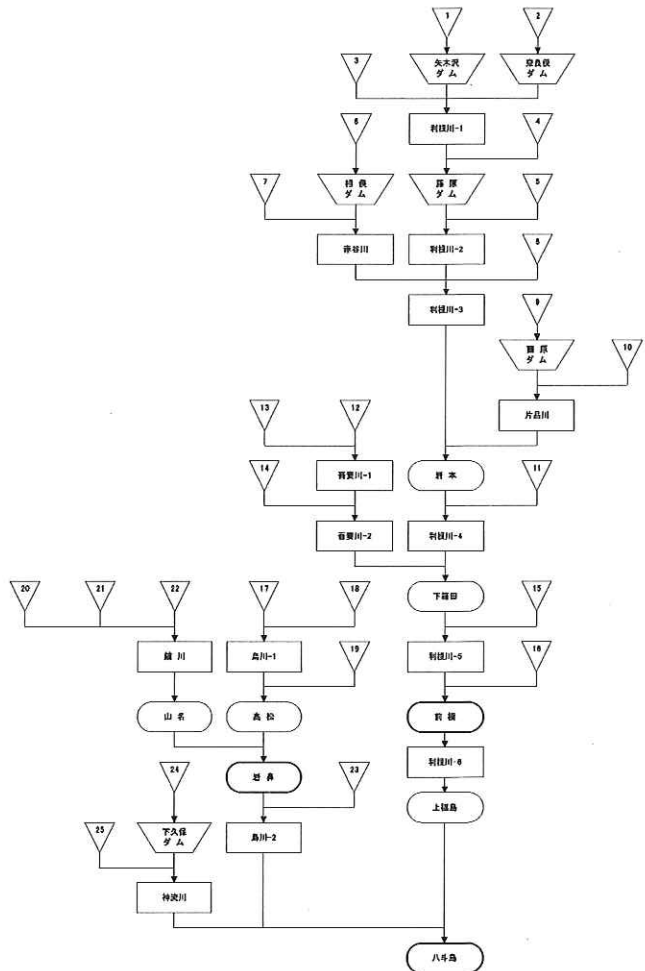


図-4 洪水追跡模式図の例

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

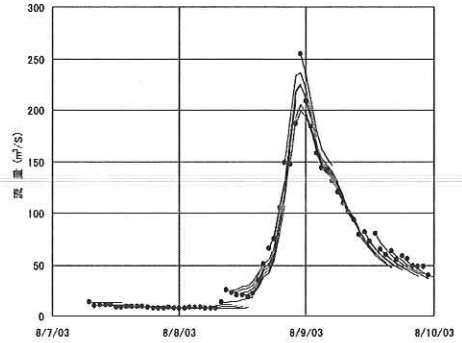
本稿では、次の予測誤差指標eを用いて、流出予測精度の良否を判断することとした。

$$e = [\sum (Q_{obs} - Q_{cal})^2 / (N - 1)]^{1/2} / Q_p \quad (5)$$

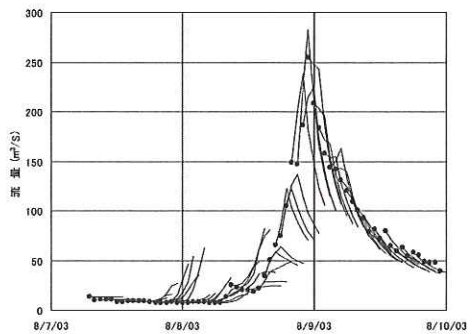
ここに、 Q_{obs} ：実測流量、 Q_{cal} ：予測流量、 N ：時間ステップ数、 Q_p ：実測ピーク流量、である。すなわち、誤差指標eは予測誤差の標本標準偏差を実測ピーク流量で正規化したものである。通常、洪水予測システムの構築に当たっては、この指標が0.15～0.2以下となるように予測モデルの調整を行っている³⁾。

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。

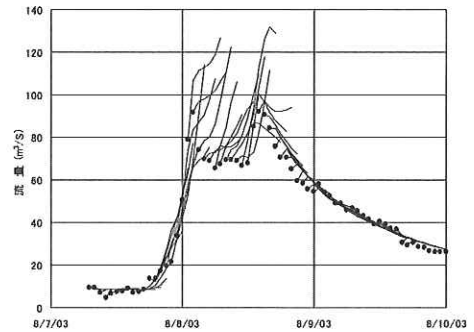
これらによれば、再現計算の予測誤差指標の平



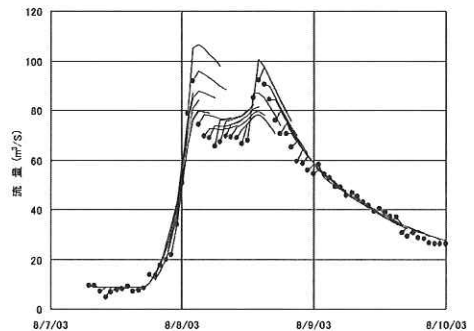
(Hダム再現計算)



(Hダム予測計算)



(Sダム再現計算)



(Sダム予測計算)

図-5 再現計算・予測計算の例

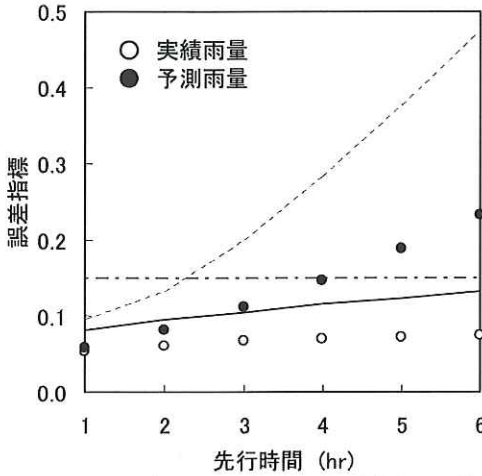


図-6 再現計算と予測計算の予測誤差指標の比較

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

- 1) 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
- 2) 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

和田一範*



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
Kazunori WADA

村瀬勝彦**



国土交通省国土技術政策総合研究所企画部企画課長
(前 河川研究部ダム研究室主任研究官)
Masahiko MURASE

富澤洋介***



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部ダム研究室研究官
Yosuke TOMIZAWA