

## 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、それぞ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。<sup>\*1</sup>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

表 1.1 各種降雨予測の概要

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

<sup>\*1</sup> 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。

△ (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、木曾川、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。

表 1.2 検討対象降雨

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

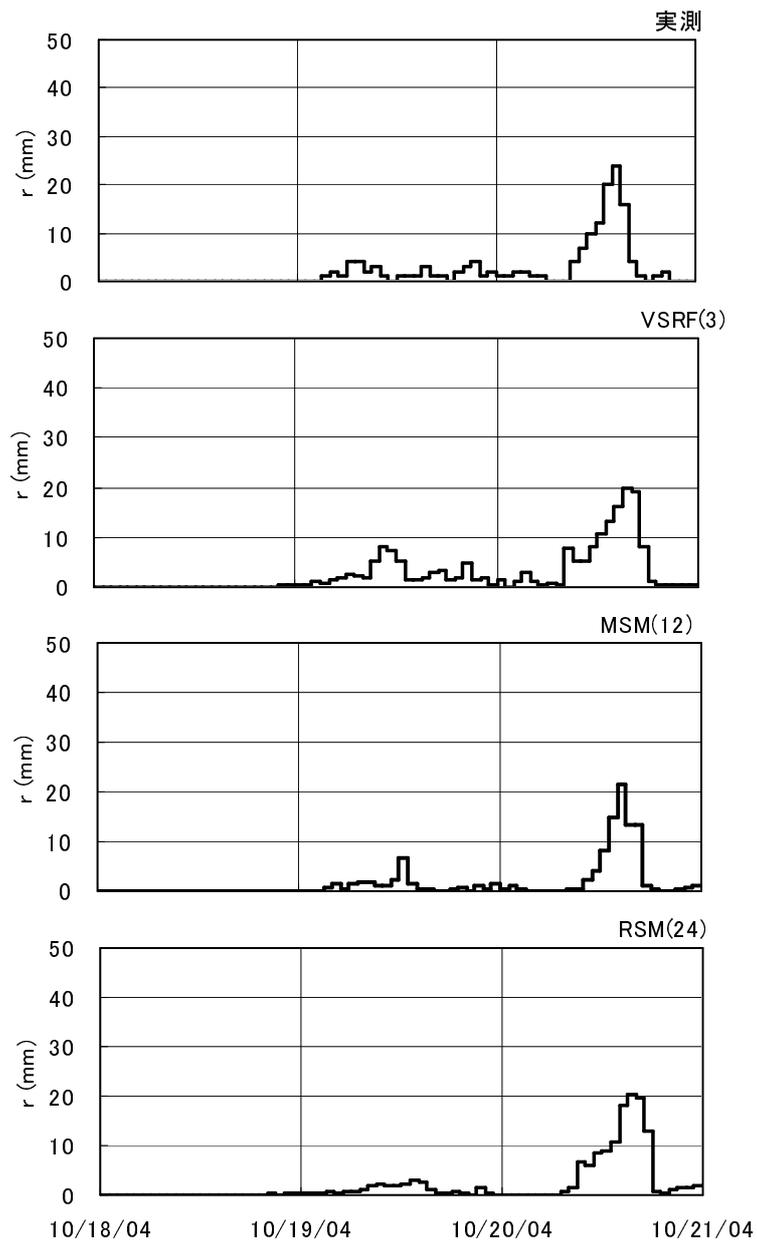
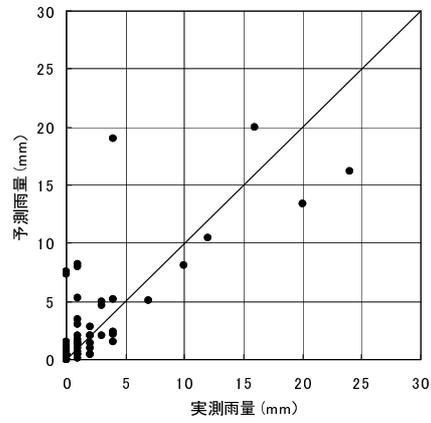
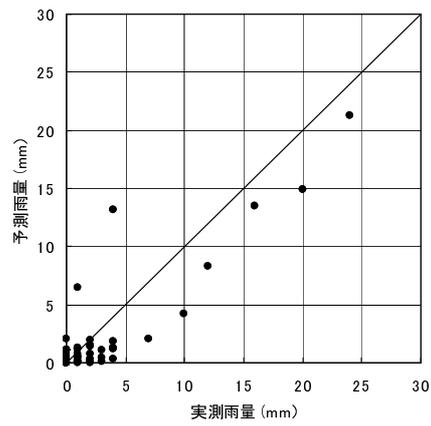


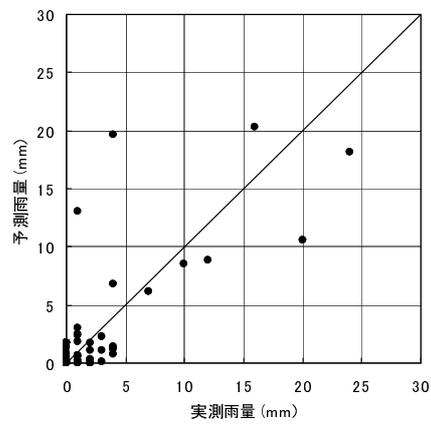
図 1.1 実測・予測の降雨波形の比較例 (淀川水系 M 観測所)



(a) VSRF(3)



(b) MSM(12)



(c) RSM(24)

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，

$$r_p = a \cdot r_o$$

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

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．

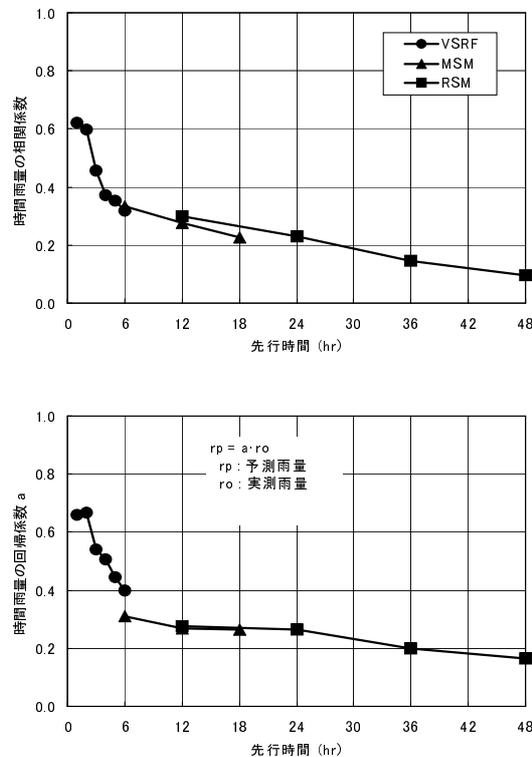


図 1.3 相関係数・回帰係数と予測の先行時間の関係

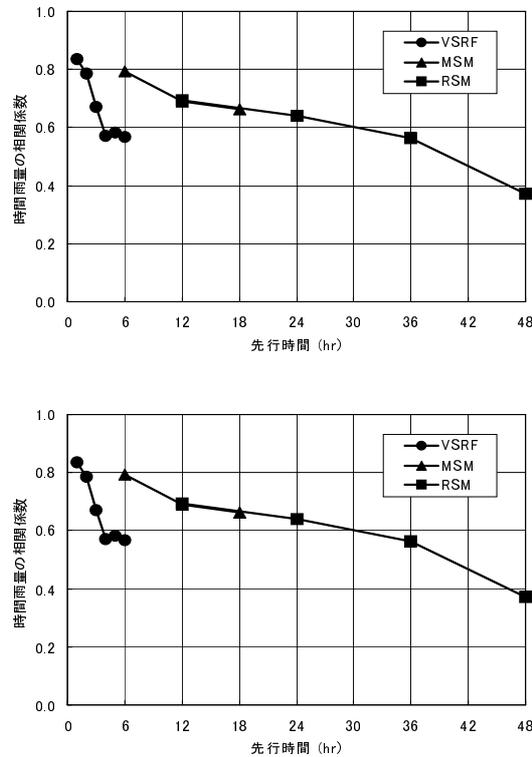


図 1.4 相関係数・回帰係数と予測の先行時間の関係（2004 年台風 23 号）

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。

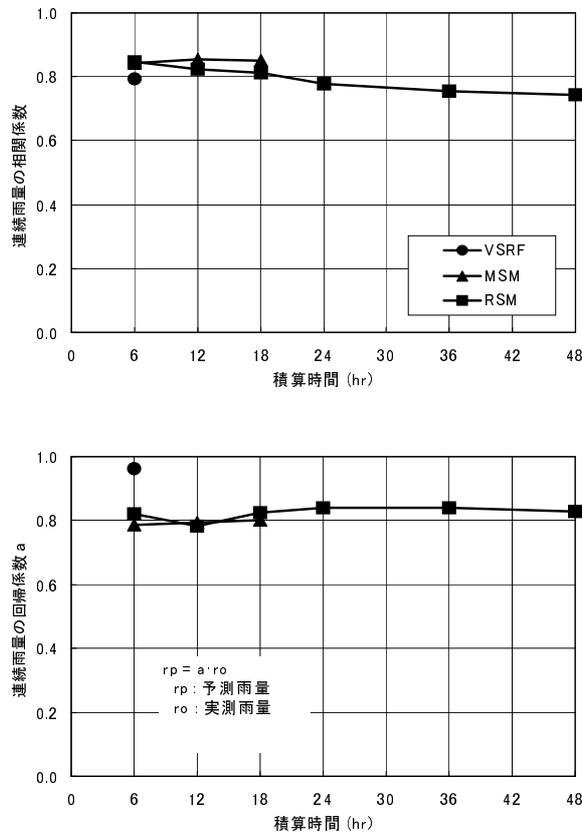


図 1.5 相関係数・回帰係数と予測の先行時間の関係（連続雨量）

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。

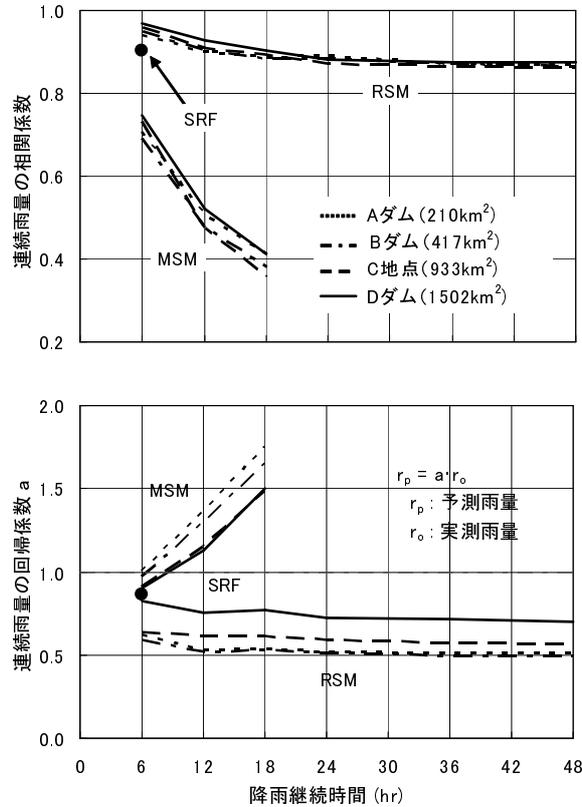


図 1.6 積算雨量（流域平均雨量）の相関係数回帰係数

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  $60\text{km}^2$  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  $6\text{km}^2$  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．

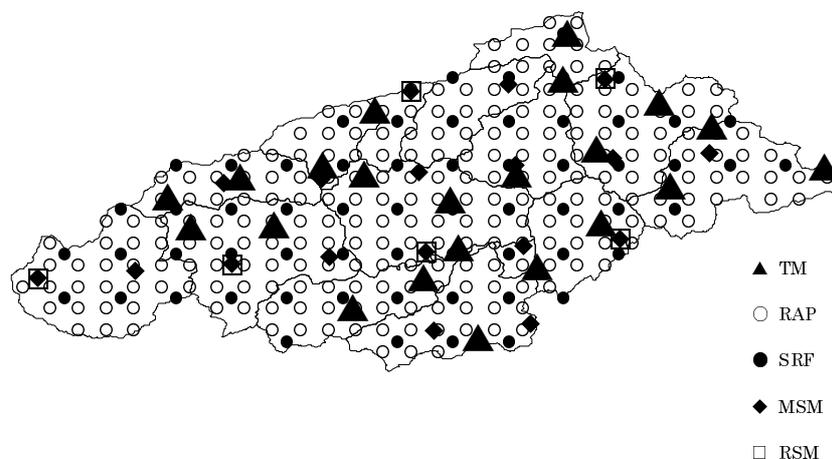


図 1.7 雨量観測所・降雨予測格子点の位置

## 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ものである。

- 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．

表 2.1 検討対象降雨

水系	検討対象降雨	水系	検討対象降雨
北上川	2002/7/11 (台風 6 号・前線) 2002/8/12 (前線)	木曽川	1998/10/7 (台風 5 号) 1999/6/30 (低気圧) 1999/9/15 (台風 18 号・前線) 2004/10/20 (台風 23 号)
利根川	1998/8/30 (台風第 4 号・前線) 1998/9/16 (台風第 5 号・前線) 2001/9/10 (台風 15 号・前線) 2002/7/10 (台風 6 号・前線)	木津川	2004/8/5 (台風 11 号) 2004/9/29 (台風 21 号) 2004/10/20 (台風 23 号)
阿賀川	2002/7/11 (台風 6 号・前線) 2002/10/1 (台風 21 号・前線)	吉野川	1999/9/15 (台風 16 号・前線) 2004/8/30 (台風 16 号) 2004/9/29 (台風 21 号) 2004/10/20 (台風 23 号)
筑後川	1999/6/25 (低気圧) 2001/6/29 (梅雨前線) 2003/7/12 (前線)		

## 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。

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

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

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

$$r'_2(t) = \begin{cases} 0 & (\sum \bar{r} \leq R_{sa}) \\ \bar{r}(t - T_l) & (\sum \bar{r} > R_{sa}) \end{cases}$$

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、 $\bar{r}$  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。

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

ここに、 $q_{j,\text{cal}}$ 、 $q_{j,\text{obs}}$  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。

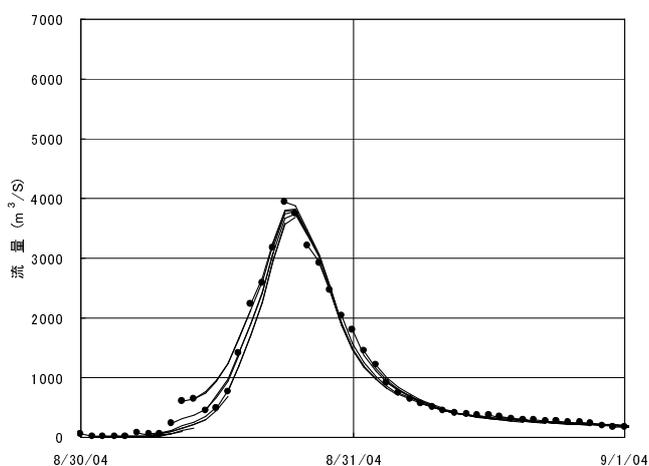
$$s_i^{(+)} = s_i^{(-)} + \left( \frac{\partial s_i}{\partial q} \right) [q_{\text{cal}} - q_{\text{obs}}]$$

\*1 予測時点を  $\tau$  として、 $\tau + T_l$  までは RAP の平均量を、それ以降は VSRF の平均量を与える。

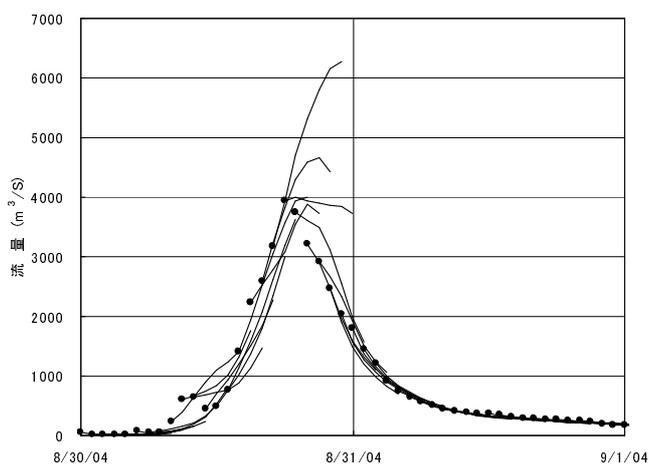
\*2 いわゆる「現時刻合わせ方式」であり、状態変量を貯留高にとって上記のモデル式にカルマン・フィルターを適用した場合の観測誤差をゼロと仮定、すなわち実測流量を真と見なすことに相当している。

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。



(a) 実測降雨による予測流量



(b) VSRF による予測流量

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、係数值そのものは、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 1,200km<sup>2</sup> 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。

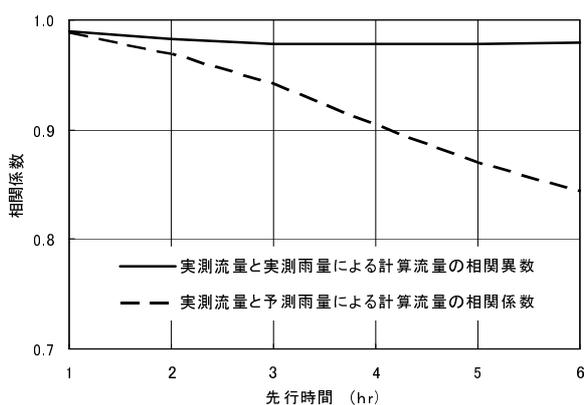


図 2.2 流量の相関係数・回帰係数

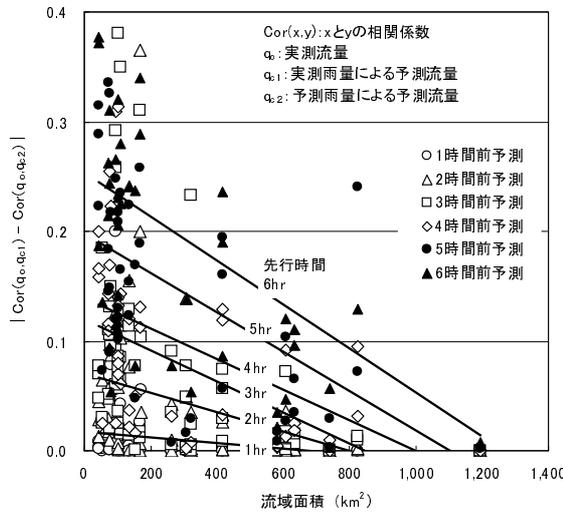


図 2.3 相関係数と流域面積の関係

### 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）

表 2.2 流域面積および降雨毎のピーク流出高

ダム	流域面積 (km <sup>2</sup> )	ピーク流出高 (mm/hr)		
		Run-1	Run-2	Run-3
A	101.2	32.07	29.22	28.46
B	322.9	15.95	4.84	
C	417.0	34.08	33.70	31.37
D	492.3	5.69	5.62	
E	635.0	6.14	5.20	
F	1,147.4	2.80	2.44	

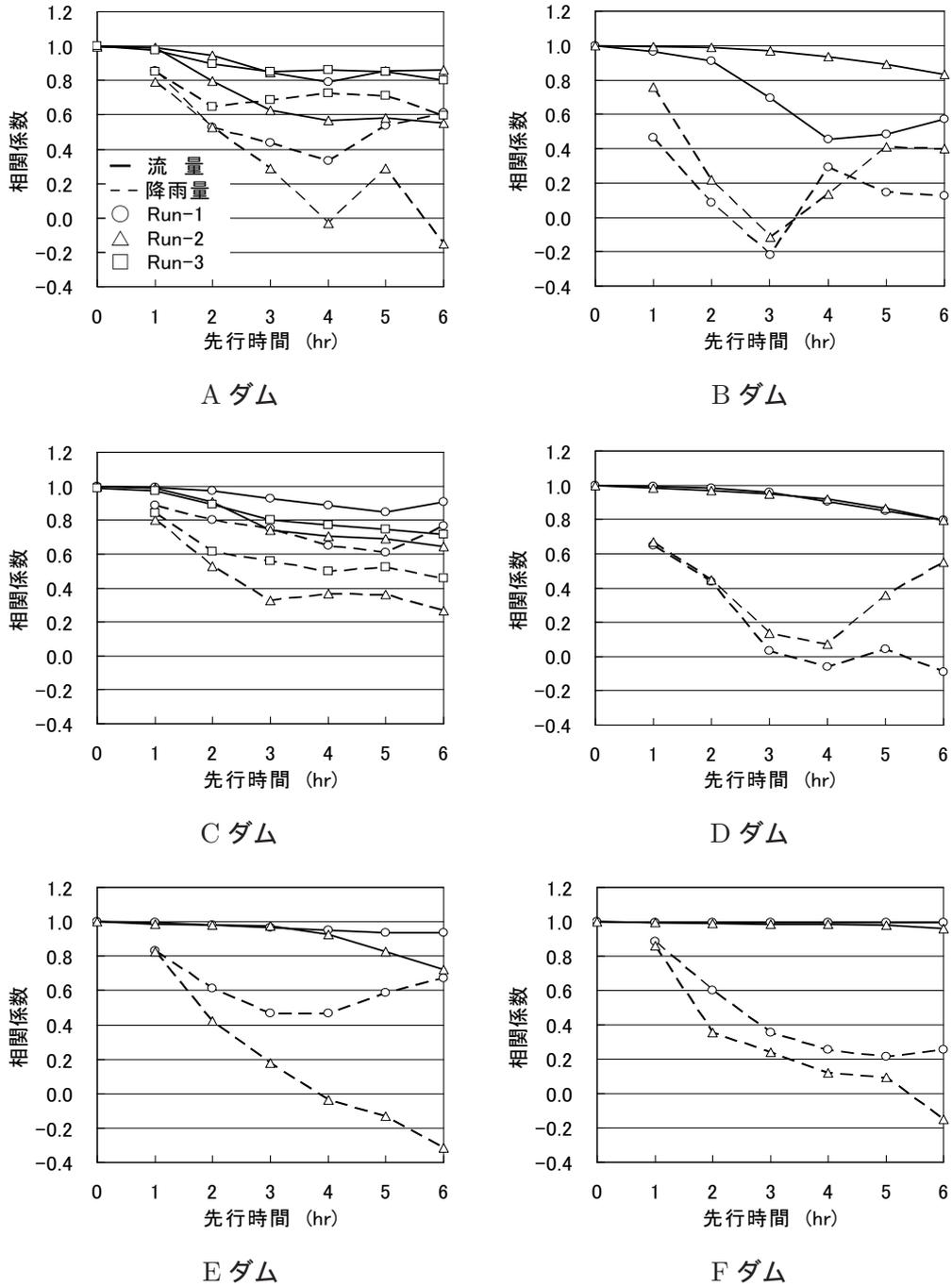


図 2.4 先行時間別の流量および降雨量の相関係数

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。

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

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

上式で計算される閾値は概ね  $100\text{km}^2$  に対して 5 mm,  $300\text{km}^2$  に対して 3 mm,  $750\text{km}^2$  に対して 2 mm,  $2,600\text{km}^2$  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、追隨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。

$$E(\hat{r}_{i+l}) = r_{i+l}$$

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

ここに、 $E(\cdot)$  : 期待値,  $\text{Var}(\cdot)$  : 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。

まず、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<sup>2</sup>) では 3 時間先予測、E ダム (635 km<sup>2</sup>) 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。

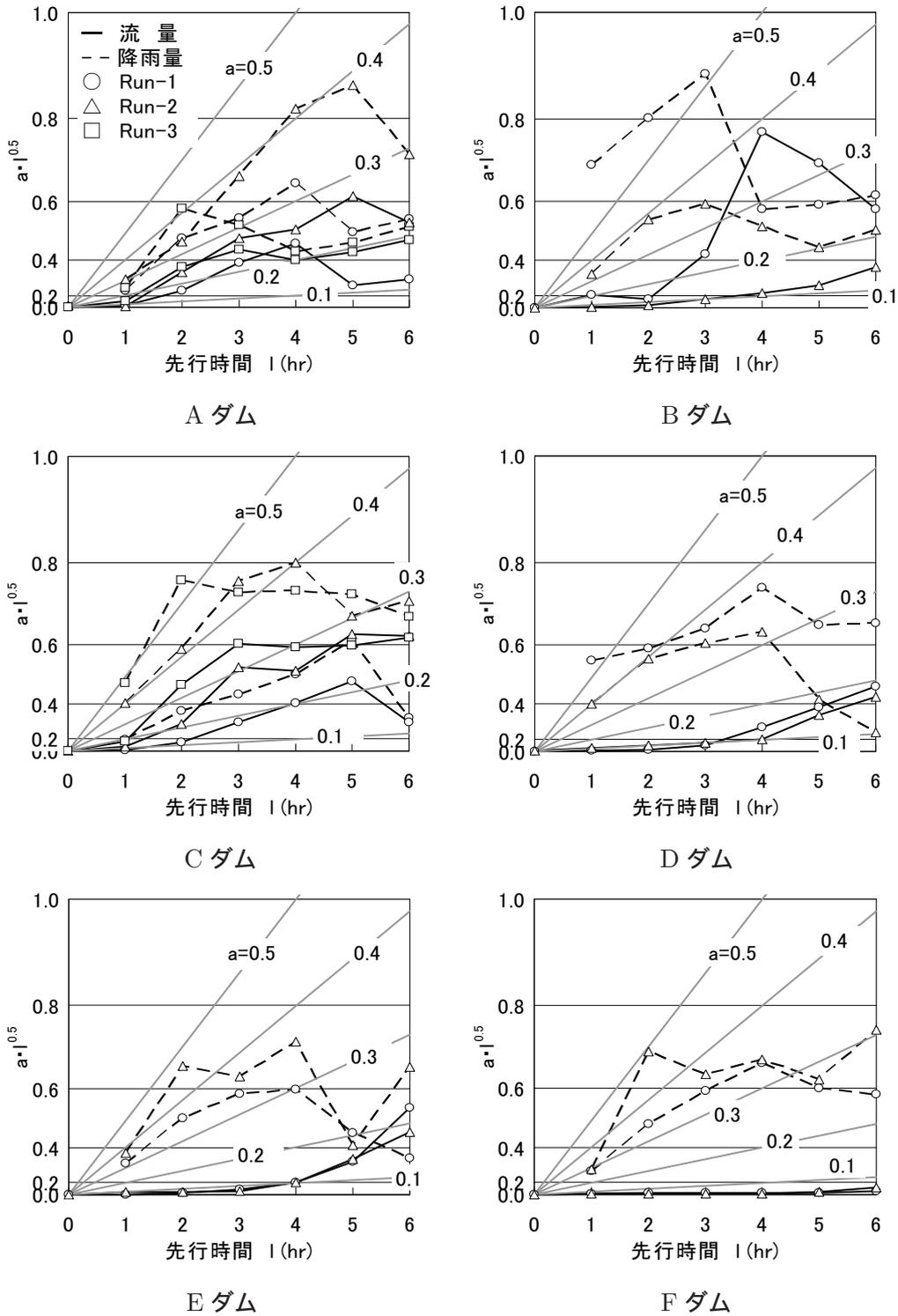


図 2.5 先行時間  $l$  と定数  $a \cdot l^{0.5}$  の関係

## 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。

まず、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、中部地方整備局木曾川上流工事事務所、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。

