



閱 覧 用

ISSN 1346-7328

国総研資料 第210号

平成16年12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.210

December 2004

気象予測データの利用可能性に関する研究

河川研究部

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

River Department

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

気象予測データの利用可能性に関する研究

和田 一範*
村瀬 勝彦**
富澤 洋介***

概 要 :

本報告書では、洪水時のダム管理に焦点を当て、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、分布型物理モデル

* : 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

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

Kazunori Wada*
Masahiko Murase**
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) accuracy of such systems would be raised if concerning area is larger than 1,000km²; 4) 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 Reseacher in the Water Management and Dam Division

*** : Reseacher in the Water Management and Dam Division

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、近年の気象変動傾向から発生が懸念される計画規模を超過する洪水や渇水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。

平成 16 年 12 月

目次

第 1 章	研究の背景及び目的	1
1.1	降水予測の現状	1
1.2	洪水予測の現状	3
1.3	本研究の目的と方法	4
第 2 章	予測雨量と地上雨量の比較	5
2.1	モデル流域・検討対象降雨	5
2.2	予測雨量	5
2.3	点雨量との比較	6
2.4	流域平均雨量との比較	18
2.5	まとめ	21
第 3 章	貯留関数モデルによる流出予測	23
3.1	予測モデル	23
3.2	流出予測シミュレーション	27
3.3	雨量予測誤差に由来する流出予測誤差	27
3.4	まとめ	33
第 4 章	分布型物理モデルによる流出予測	35
4.1	分布型物理モデル	35
4.2	実績降雨による流出解析	36
4.3	流出予測シミュレーション	39
4.4	まとめ	39
第 5 章	得られた知見及び今後の課題	43
	参考文献	45

第 1 章

研究の背景及び目的

1.1 降水予測の現状

短期の降水予測は、実況値を時間的・空間的に外挿して行う傾向予測と観測値を初期条件として物理モデルにより数値シミュレーションを行う数値予報とに大別される。前者は目先数時間程度までを予測の対象としており、後者はそれよりも時間スケールの大きい気象擾乱を主たる予測対象としている。

以下では、現在、気象庁が行っている降水短時間予報（SRF：Short-Range Forecast of precipitation）と数値予報（NWP：Numerical Weather Prediction）について記す。

1.1.1 降水短時間予報

降水短時間予報は、全国 20 ヶ所の気象レーダーの降水分布を約 1,300 ヶ所のアメダスの地上降水量で較正した降雨実況（レーダー・アメダス解析雨量）から約 2.5km メッシュで向こう 6 時間の 30 分毎の降水量を 30 分おきに予測するものである。降水短時間予報の予測方法は、先述のように、実況を外挿する傾向予測であり、降雨域の外挿速度は、パターン・マッチングの方法で算出されている。すなわち、100km 四方の領域毎に、1 ないし 2 タイムステップ前の雨量分布と最新の雨量分布との類似度が最も高くなる移動量を求め、隣接する格子点の移動量が連続関数となるように領域毎の移動量を各格子点の移動量に割り当てている。なお、パターン・マッチングの前処理としては、概念モデルである Seeder-Feeder モデルにより地形由来の停滞性降雨の除去が行われている。また、風向・風速や地形性降雨の発達・衰弱など数値予報による予測値を考量して精度向上を図っている [1]。

降水短時間予報は 1998 年 4 月に開始され、以後、レーダー・アメダス解析雨量に連動した予測情報の細密化及び予測アルゴリズムの改良を重ねて現在に至っている（表 1.1）。

さらに、2004 年 6 月 1 日からは、約 1.0km メッシュで向こう 1 時間の 10 分毎の降水量を 10 分おきに予測する「降水ナウキャスト」の提供が開始されている [2]。

表 1.1 レーダー・アメダス解析雨量と降水短時間予報の仕様の変遷

年・月	レーダー・アメダス 解析雨量	降水短時間予報
1988.4～	5km† 1時間毎	-
1991.4～	5km 1時間毎	-
1998.4～	5km 1時間毎	5km 1時間毎 3時間まで
2001.3～	2.5km 1時間毎	5km 1時間毎 6時間まで
2003.6～	2.5km 30分毎	5km 30分毎 6時間まで

† 南西諸島を除く。

(気象庁資料)

1.1.2 数値予報

気象庁は、メソ・モデル、台風モデル、領域モデル、全球モデルなどの予報領域・時間・解像度の異なる種々の数値予報モデルを運用し、用途に応じて使い分けている [3] (表 1.2)。これらの気象予測モデルは、計算機システム (NAPS : Numerical Analysis and Prediction System) の導入に合わせて更新・拡張が行われ、現在は 2001 年 3 月に導入された NAPS7 上で稼動している。予報結果は、数値予報天気図や格子点値 (GPV : Grid Point Value) として出力され、民間気象会社や報道機関に提供されているほか、外国の気象機関でも利用されている。

数値予報では、前処理として、時空間的に不均一、かつ、観測手法・観測精度が異なる多様な気象観測値 (地上・洋上観測、ゾンデ・航空機・ロケット観測、レーダー、ウィンド・プロファイラ、気象衛星) から、数値計算に用いる 3 次元の共形格子点上の気象変量を推定する「客観解析」、客観解析のデータセットから重力波ノイズの除去などを施す「初期値化」が行われる。また、客観解析に際しては、観測情報の不足を補い、解析・予報精度を向上させるため、前回の予報結果が第 1 推定値として与えられる。このように、数値予報は客観解析-予報の過程を繰り返し実行する「4 次元データ同化システム」という手法を採用している。

これらのモデルの内、河川・ダムの高水管理と関係の深い短期降雨の予報は、メソ・モデル

表 1.2 主な数値予報モデルの概要

予報モデル	用途	予報領域と水平解像度	予報期間	実行回数
メソ・モデル	防災気象情報	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	地球全体 55km	3.5 日間	1 日 1 回
	週間天気予報		9 日間	
アンサンブル週間 予報モデル	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	1 か月	週 1 回

(MSM : Meso-Scale Model), 領域モデル (RSM : Regional Spectral Model) および台風モデル (TYM : TYphoon Model) でなされる。メソ・モデルは、特に集中豪雨の予測のため、NAPS7 の導入と同時に供用が開始された。以降、1年後の2002年3月にはデータ同化法が4次元変分法 (メソ 4D-Var) [4] に高度化され、続いて2004年9月にはモデルの厳密化 (鉛直方向の運動を無視する静力学モデルから非静力学モデルへの変更, 降水過程の精密化) が行われる [5] など現在、最も旺盛に改良が進められている数値予報モデルである。さらに、次期 NAPS (2006年3月導入予定) では、空間解像度の高密度化 (5km メッシュ) が計画されている [5] *1。領域モデルおよび台風モデルは、旧 MSM と同等の静力学モデルを解析領域・空間解像度を変えて運用している。RSM のデータ同化システムは、2003年6月にメソ 4D-Var と同様のシステムに変更されている [6]。

1.2 洪水予測の現状

現在、1級109水系の193河川が水防法第10条第2項 (国の機関が行う洪水予報) の規定による洪水予報指定河川に、また、324河川が同法第10条の6第1項 (水防警報) の規定による水防警報河川に指定されており、全ての1級水系において何らかの手段で洪水予測を実施し、予警報業務に資している。

洪水予測手法としては、高水計画での採用実績などの歴史的経緯もあり、木村の貯留関数モデルによるものが圧倒的に多く、次いで水位相関など経験的な方法が採られている [7]。また、予備のシステムとしてタンク・モデルによる予測ルーチンを用意しているシステムも少なくない。過去の予測傾向に応じて将来予測の矯正を行うフィルタリングは、大半の河川で行われているものの、予測時点での観測流量を満足するように流出率あるいは貯留高を調整する、といった単純なアルゴリズムが採用されている場合が多いのが実情である。

一方、研究機関では、これまで、カルマン・フィルタ、ファジー理論、ニューラル・ネットワークなど制御工学の知見を流出予測問題に応用した事例が多く発表されてきている。このような手法を洪水予警報業務で実際に適用している例としては、山岡・岸の貯留関数モデルに拡張カルマン・フィルタを適用して予測の最適化を行う、石狩川水系他の洪水予測システムがある [8]。また、近年、盛んに研究・開発が行われているグリッド・ベース・モデルを流出予測に適用した学術報告もされており、現業への活用も行われつつある。

なお、洪水予測時の予測降雨の与え方としては、気象庁・(財)日本気象協会・(財)河川情報センターなどの予測値を利用しているケースが多いが、独自の降雨予測システムを構築している場合もある。

*1 現行の10kmメッシュの計算で捕捉可能な気象擾乱は数10kmであり、集中豪雨をもたらず個々の積乱雲 (数km~10km) を捕捉するためには、更なる細密化が必要になる。

1.3 本研究の目的と方法

本研究は、平成17年度を目途に、気象庁の降雨予測情報を河川・ダム管理に活用するための技術開発を行うことに目的をおいている。本文は、この手始めとして高水管理に着目し、短期降雨予測情報の適用可能性についてケース・スタディーを行った結果を報告するものである。

具体的には、

1. 予測雨量と地上雨量の比較
2. 予測雨量を用いた貯留関数モデルによる流出予測
3. 予測雨量を用いた分布型物理モデルによる流出予測

について検討を行い、降雨の予測精度及び予測雨量から流出モデルを介して流出量に変換した場合の流出予測精度について考察を行った。流出モデルは現行の洪水予測システムで標準的に採用されている貯留関数モデルと近年、水循環系の評価のため盛んに開発されている分布型物理モデルの2種類のモデルを適用した。

第 2 章

予測雨量と地上雨量の比較

2.1 モデル流域・検討対象降雨

モデル流域は、流域のスケール、ダムの存在状況、洪水予測システムの整備状況などを考慮して、表 2.1 に示す 5 流域を選定した。また、検討対象降雨は、メソ数値予報モデルのデータ同化システムが、現行のメソ 4D-Var に移行した 2002 年 3 月から 2003 年 8 月末までの間で、ダム貯水池のピーク流入量大きい 2 ないし 3 降雨をモデル流域毎に選定した（表 2.2）。ただし、左記期間において最大の気象擾乱となった 2003 年 8 月の台風 10 号降雨（以下、「台風 0310 号」）については、全モデル流域共通の検討対象降雨とした。

表 2.1 モデル流域の概要

項 目	A 流域	B 流域	C 流域	D 流域	E 流域
流域面積 (km ²)	5,113.9	4,6919.9	3,482.9	1,904.0	518.0
予測計算点数	26	22	41	14	9
ダム数†	5	7	5	5	2
雨量観測所数	54	38	23	23	10

† 国ないし水資源機構が管理する多目的ダムの数。

2.2 予測雨量

前節に記した期間のレーダー・アメダス解析雨量および降水短時間予報ならびに台風 0310 号に対するメソ・モデルおよび領域モデルによる数値予報の地上予測降水量の GPV は、気象庁予報部より提供を受けた。それぞれの GPV の仕様は表 2.3 の通りである。この内、数値予報は出力が膨大な量になるため、各予測時点の初期値のデータ・セットのみを残し、予測結果は蓄積されていない。今回、提供を受けた予報値は再解析による結果である。

また、表 2.2 の日付の地上雨量（毎正時の 1 時間雨量）を収集した。

表 2.2 検討対象降雨

流域	検討対象降雨
A 流域	平成 14 年 7 月 9 日～11 日 (台風 6 号・梅雨前線)
	平成 14 年 9 月 30 日～10 月 1 日 (台風 21 号)
	平成 15 年 8 月 8 日～10 日 (台風 10 号)
B 流域	平成 14 年 7 月 14～16 日 (台風 9 号・梅雨前線)
	平成 15 年 4 月 25 日～27 日 (前線)
	平成 15 年 8 月 8 日～10 日 (台風 10 号)
C 流域	平成 15 年 8 月 7 日～9 日 (台風 10 号)
	平成 15 年 8 月 13 日～15 日 (前線)
D 流域	平成 14 年 8 月 31 日～9 月 2 日 (台風 15 号)
	平成 15 年 8 月 7 日～9 日 (台風 10 号)
E 流域	平成 14 年 9 月 15～17 日 (前線)
	平成 15 年 7 月 11 日～13 日 (前線)
	平成 15 年 8 月 7 日～9 日 (台風 10 号)

表 2.3 GPV の仕様

項目	解析雨量	降水短時間予報	メソ・モデル	領域モデル
予測雨量	—	1 時間雨量	1 時間雨量	3 時間雨量
先行時間	—	6 時間	18 時間	51 時間
更新間隔	1 時間 (2003 年 5 月以前) 30 分 (2003 年 6 月以降)		6 時間 (0/6/12/18UTC)	12 時間 (0/12UTC)
領域 (南西端) (北東端)	48N118E 20N150E		47.6E120E 22.4E150E	50N120E 20N150E
格子系	等緯度経度		ランベルト	等緯度経度
格子間隔 (東西) (南北)	0.75 秒 0.9375 秒 (約 2.5km 四方)	1.5 秒 1.875 秒 (約 5km 四方)	10km 10km	0.2 度 0.25 度 (約 20km 四方)

† 2003 年 5 月以前の更新時間は 1 時間。

2.3 点雨量との比較

地上雨量と観測点の最も近くに位置する格子点での解析雨量あるいは予測雨量との比較を行い、点雨量としての推定精度の吟味を行った。

2.3.1 レーダー・アメダス解析雨量との比較

今回のモデル 5 流域で洪水予測に利用している雨量観測所の配置密度は、単純平均で 106km² に 1 ケ所 (最大 124km², 最小 52km² に 1 ケ所) となっている。一方、レーダー・アメダス解析雨量の空間解像度は約 2.5km で約 6.3km² に 1 ケ所である。したがって、実況値として十分

な精度を有していれば、より正確な降雨状況を把握することが可能と考えられる。ひいては、予測降雨に依存しない流出のラグタイムまでの時間帯の予測精度が向上する可能と考えられる。

図 2.1 は地上雨量とレーダー・アメダス解析雨量との比較例を示す。図中、上段はレーダー・アメダス解析雨量、下段は地上雨量のハイエト・グラフを表す。いずれの地点も、ほぼ合同形となっていることがうかがえる。さらに、今回収集した全ての雨量観測所について、両者の相関係数、回帰係数および3日雨量比を求め、モデル流域別・降雨別に整理したものが表 2.4 である。ここでの回帰係数は、解析雨量を x_i 、地上雨量を y_i とする時、 $\sum x_i y_i / \sum x_i^2$ で定義した。また雨量比も同様に、 $\sum y_i / \sum x_i$ とした。

回帰係数・雨量比からは、少なめに見積もる傾向が見られるが、相関係数は高相関の目安とされる 0.7 以上となっており、実用上、十分な精度を有しているものと判断される。

表 2.4 地上雨量とレーダー・アメダス解析雨量の相関係数・回帰係数・雨量比

流域	検討対象降雨	平均相関係数	平均回帰係数	平均雨量比
A 流域	平成 14 年 7 月	0.84	1.07	1.18
	平成 14 年 9 月	0.95	1.09	1.12
	平成 15 年 8 月	0.79	1.12	1.26
B 流域	平成 14 年 7 月	0.70	1.01	1.34
	平成 15 年 4 月	0.85	1.15	1.24
	平成 15 年 8 月	0.90	0.99	1.08
C 流域	平成 15 年 8 月 (上旬)	0.74	1.25	1.44
	平成 15 年 8 月 (中旬)	0.87	1.07	1.09
D 流域	平成 14 年 8 月	0.87	1.31	1.52
	平成 15 年 8 月	0.86	1.30	1.42
E 流域	平成 14 年 9 月	0.93	1.10	1.05
	平成 15 年 7 月	0.73	1.06	1.26
	平成 15 年 8 月	0.88	1.03	1.17

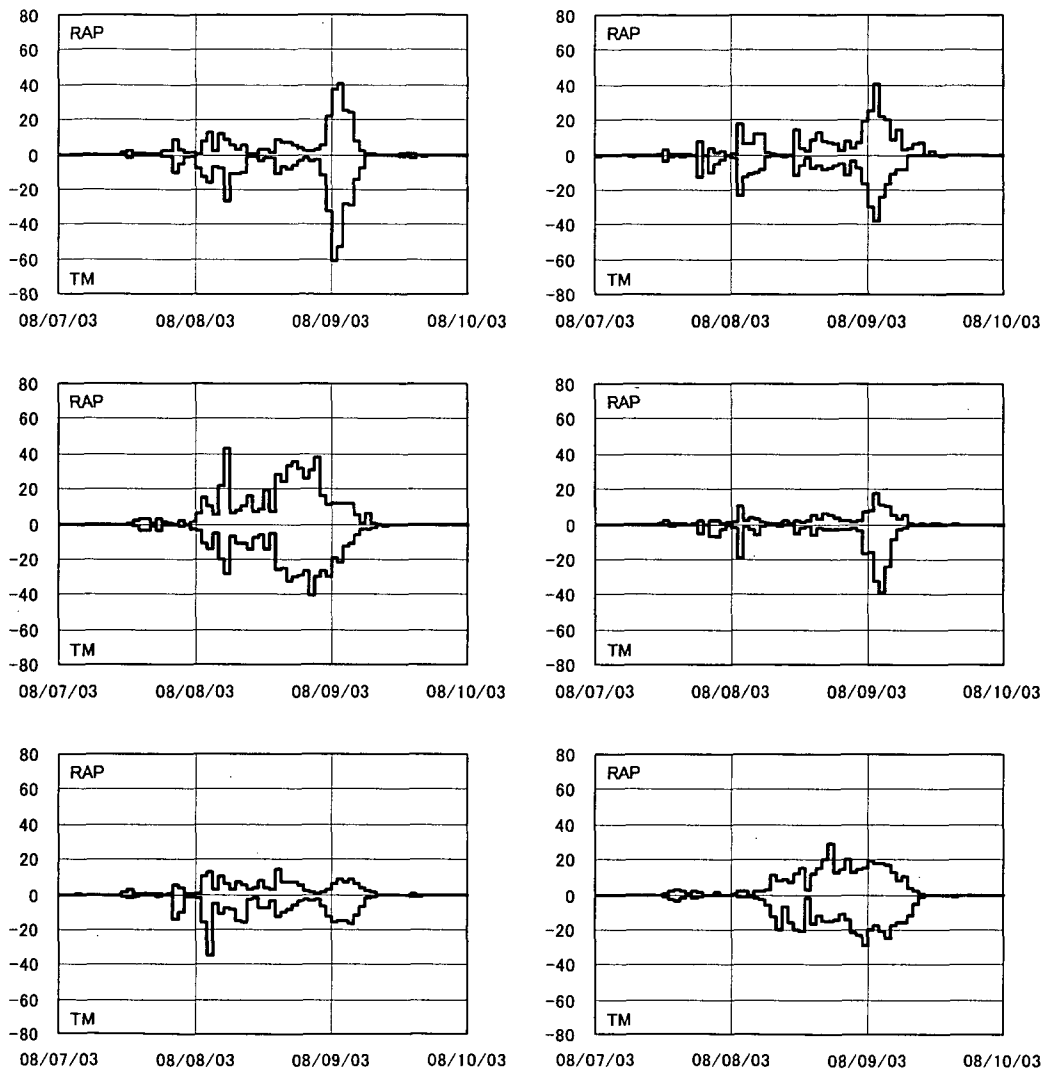


図 2.1 地上雨量とレーダー・アメダス解析雨量との比較例

2.3.2 予測雨量との比較

(1) 降水短時間予報

図 2.2 は地上雨量（左上隅）と降水短時間予報との比較例を示す。降水短時間予報のハイエト・グラフの右肩の括弧書きの数値は予測の先行時間を表すが、これが大きくなる程、地上雨量の波形の相違が大きくなる様子が見てとれる。降水短時間予報についても、レーダー・アメダス解析雨量と同様に、地上雨量との相関係数、回帰係数および日雨量比を求め、モデル流域別・降雨別かつ先行時間別に整理した（表 2.5）。表中、相関係数が 0.4 以上、回帰係数・日雨量比が 0.8 以上 1.2 以下の組合せには、網掛けを施した。これによると、1 ないし 2 時間先までの予測では相関係数が大きく、量的にも同等とみなし得るケースが多いことが分かる。また、初期の予測精度が高い程、精度の持続性が高い傾向がうかがえる。

(2) メソ・モデルによる予報

図 2.3 は地上雨量（最上段）とメソ・モデルによる予報との比較例を示す。予報のハイエト・グラフの右肩の括弧書きの数値は予測の先行時間の最大値を表す。例えば、「(12)」は 7～12 時間前の予測値（前回の予測更新時点での予測値）であることを示す。

また、表 2.6 は相関係数、回帰係数および日雨量比を示す。表中の網掛けは、前節の表 2.5 と同様である。

今回対象とした台風 0310 号降雨時の例で見ると、実績雨量と予測雨量の合致度が高い、と言いがたい。また、6 時間先の予測精度は降水短期予報のほうが高い結果となっている。

(3) 領域モデルによる予報

図 2.3 と同一の観測地点について、地上雨量と領域モデルによる 3 時間雨量の予報とを比較した例を図 2.4 に示す。波形の近似度は、メソ・モデルによる予報に比べて、やや高いようである。また、表 2.7 は、相関係数、回帰係数および日雨量比を示す。精度に地域格差が認められ、B 流域における予測が比較的、長時間にわたりの中している一方、D 流域では合致度が低い。また、いずれの流域でもメソ・モデルの 12 時間前予測とくらべて、精度が好い結果となっている。

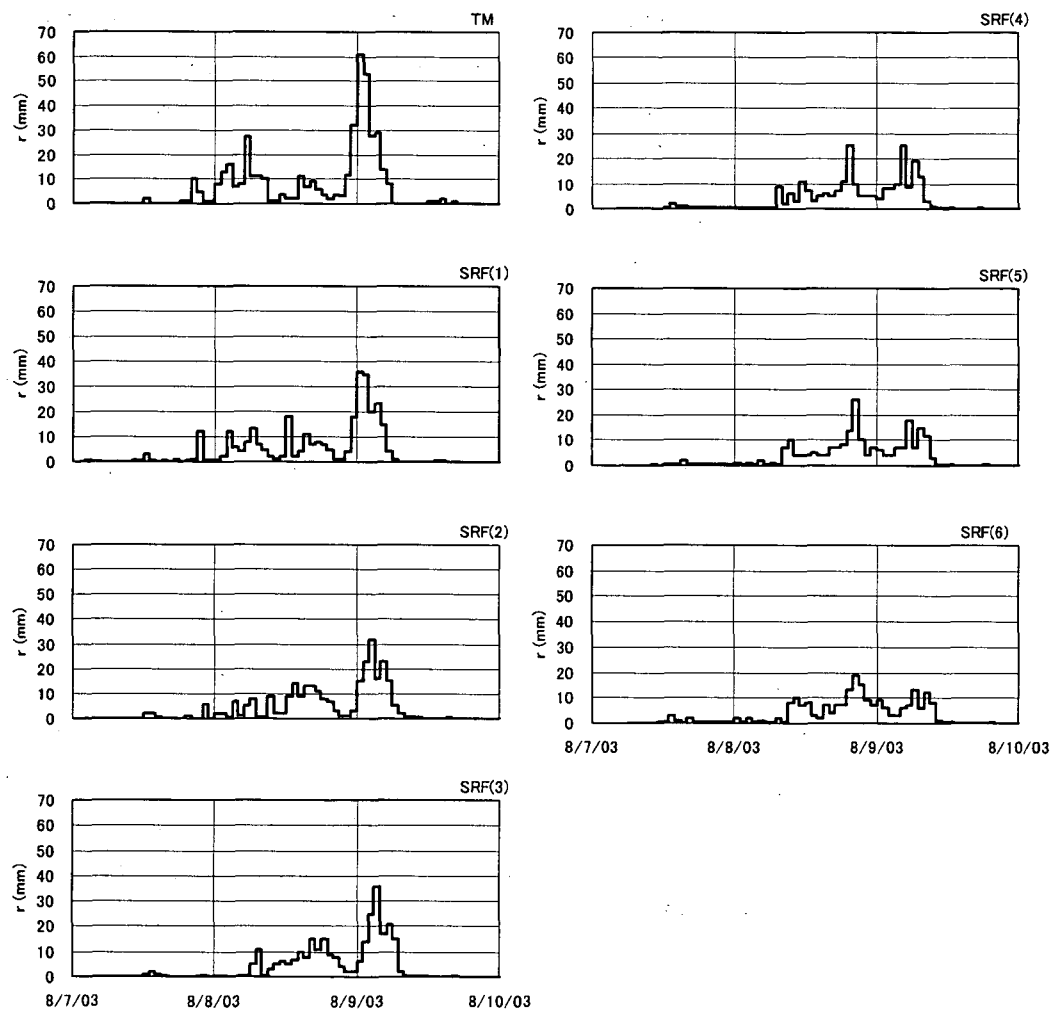


図 2.2 地上雨量と降水短時間予報との比較例 (1)

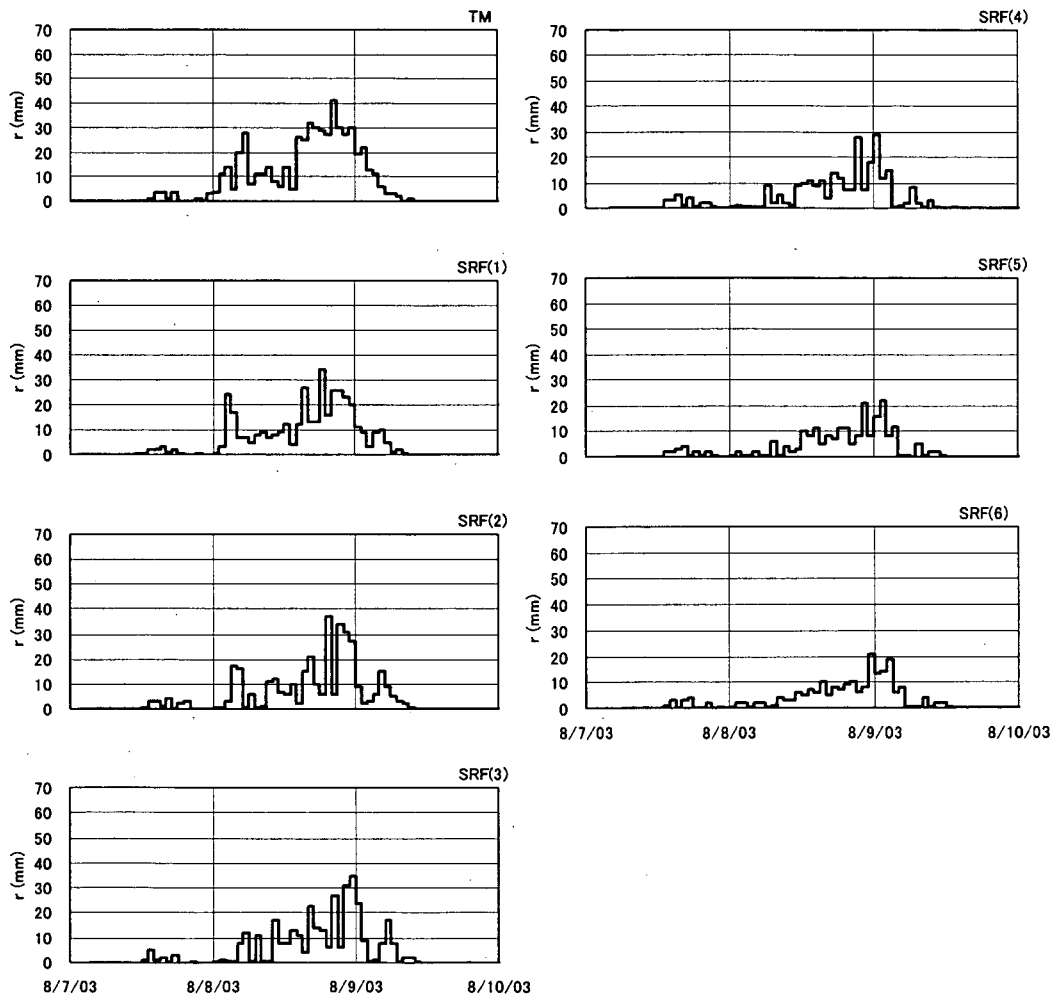


図 2.2 地上雨量と降水短時間予報との比較例 (2)

表 2.5 地上雨量と降水短時間予報の相関係数・回帰係数・雨量比

流域	調査対象降雨	指標	先行時間 (時間)					
			1	2	3	4	5	6
A 流域	平成 14 年 7 月	ρ	0.68	0.38	0.21	0.34	0.43	0.45
		a	0.98	0.77	0.70	0.75	0.83	0.85
		r	1.16	1.16	1.17	1.08	1.17	1.21
	平成 14 年 9 月	ρ	0.85	0.66	0.50	0.41	0.33	0.27
		a	0.99	0.86	0.76	0.62	0.55	0.49
		r	1.07	1.04	1.02	0.84	0.80	0.75
	平成 15 年 8 月	ρ	0.54	0.37	0.27	0.24	0.25	0.31
		a	0.96	0.98	0.77	0.49	0.47	0.47
		r	1.37	1.46	1.16	0.71	0.65	0.64
B 流域	平成 14 年 7 月	ρ	0.70	0.42	0.08	0.03	0.05	-0.01
		a	1.11	0.88	0.64	0.73	1.02	0.93
		r	1.68	2.31	2.91	2.23	2.06	1.88
	平成 15 年 4 月	ρ	0.63	0.34	0.23	0.19	0.23	0.29
		a	0.99	1.00	0.97	0.92	0.82	0.81
		r	1.26	1.78	1.93	1.63	1.22	1.10
	平成 15 年 8 月	ρ	0.80	0.67	0.60	0.66	0.60	0.51
		a	1.08	1.09	1.20	1.20	1.08	1.03
		r	1.24	1.34	1.58	1.36	1.24	1.24
C 流域	平成 15 年 8 月 (上)	ρ	0.65	0.46	0.34	0.24	0.23	0.27
		a	1.01	0.79	0.61	0.50	0.50	0.53
		r	1.15	0.95	0.86	0.78	0.80	0.83
	平成 15 年 8 月 (中)	ρ	0.75	0.53	0.44	0.48	0.47	0.41
		a	1.17	1.27	1.21	1.25	1.10	1.01
		r	1.25	1.55	1.51	1.39	1.22	1.16
D 流域	平成 14 年 8 月	ρ	0.57	0.26	0.09	0.19	0.19	0.22
		a	1.02	0.76	0.66	0.64	0.79	0.89
		r	1.28	1.26	1.30	1.04	1.21	1.31
	平成 15 年 8 月	ρ	0.68	0.47	0.40	0.35	0.35	0.36
		a	1.10	0.89	0.89	0.94	0.98	1.02
		r	1.33	1.31	1.39	1.42	1.47	1.49
E 流域	平成 14 年 9 月	ρ	0.77	0.40	0.14	-0.04	0.10	0.19
		a	1.00	0.78	0.47	0.25	0.41	0.65
		r	1.24	1.36	1.12	0.87	0.97	0.99
	平成 15 年 7 月	ρ	0.45	0.27	0.19	0.32	0.30	0.08
		a	0.77	0.72	0.80	1.09	1.52	1.21
		r	1.31	1.62	2.12	2.16	3.06	3.30
	平成 15 年 8 月	ρ	0.77	0.59	0.38	0.31	0.25	0.08
		a	1.07	0.90	0.78	0.59	0.62	0.53
		r	1.15	1.02	1.02	0.86	1.04	1.23

ρ : 相関係数, a : 回帰係数, r : 雨量比

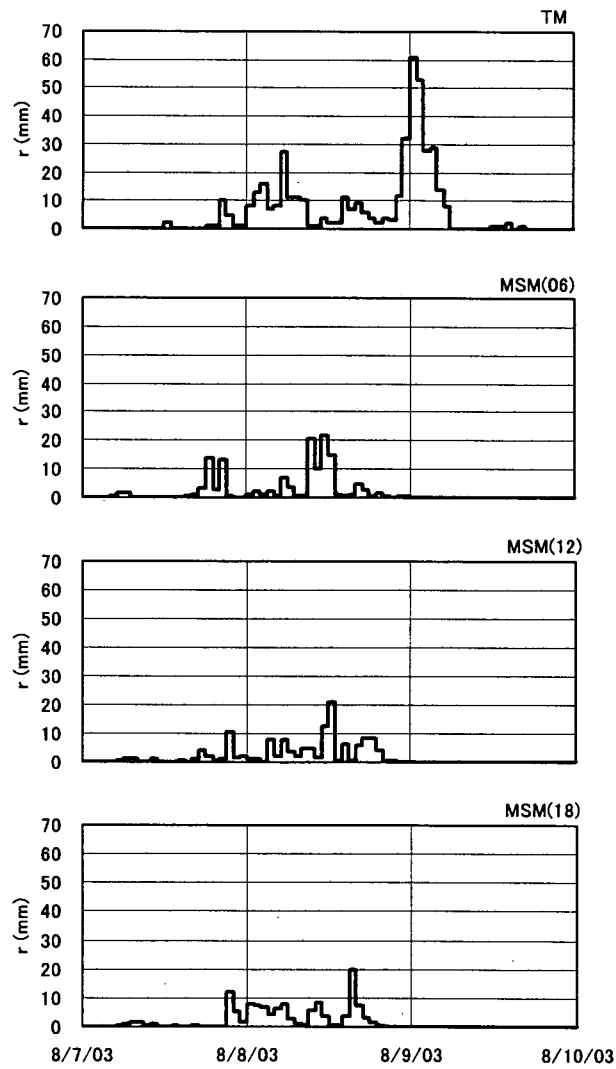


図 2.3 地上雨量とメソ・モデルによる予報との比較例 (1)

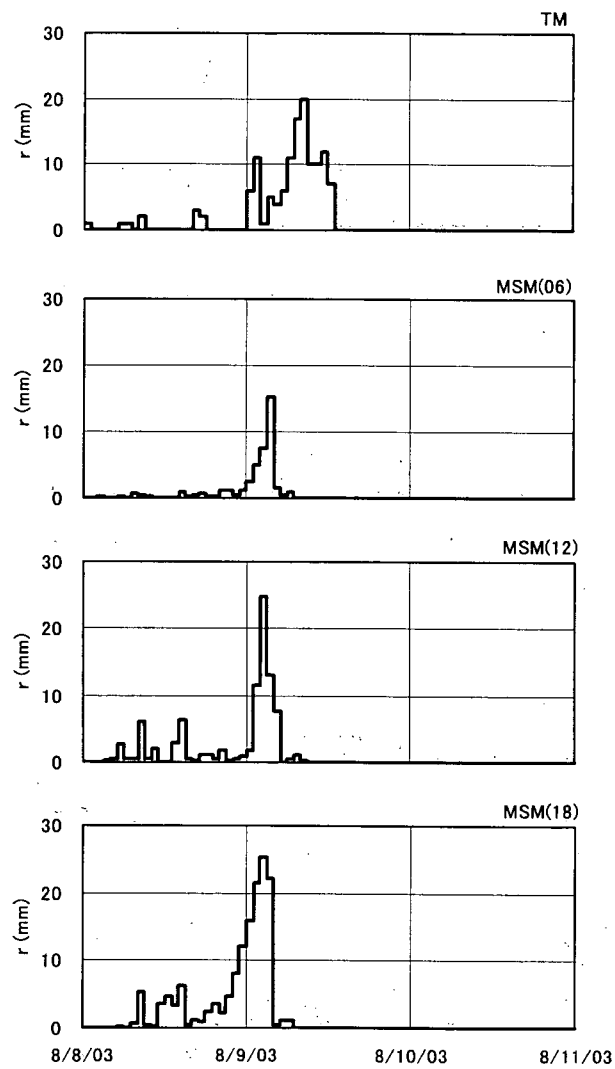


図 2.3 地上雨量とメソ・モデルによる予報との比較例 (2)

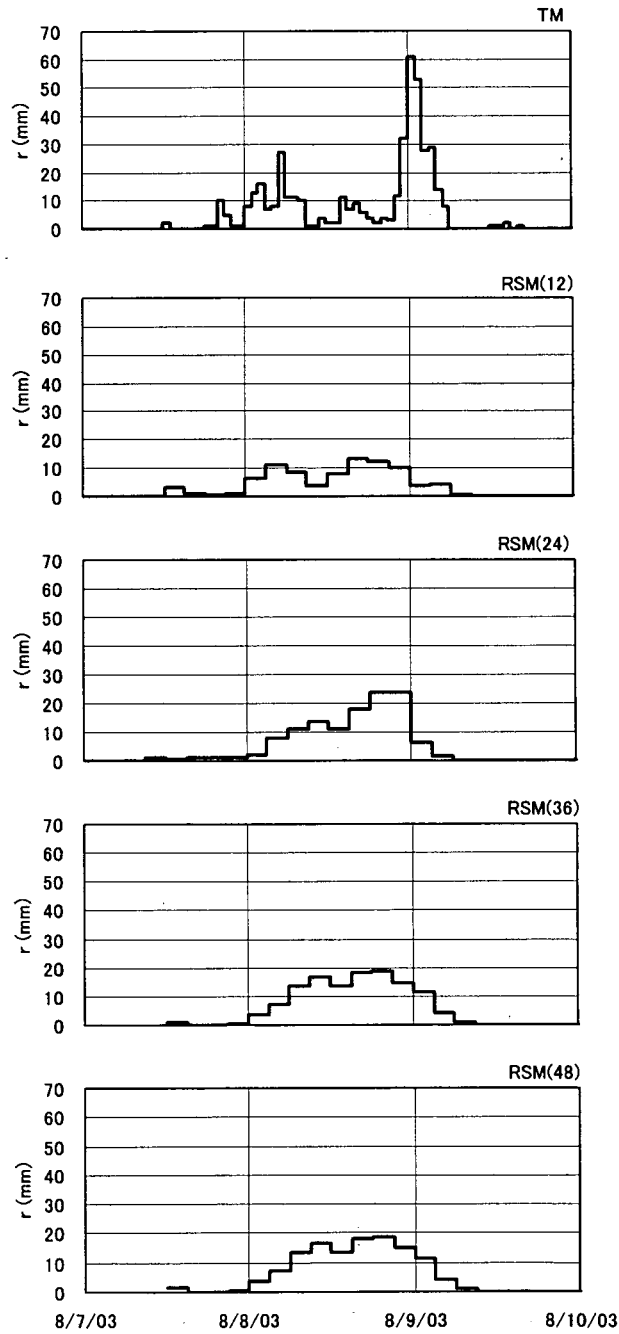


図 2.4 地上雨量と領域モデルによる予報との比較例 (1)

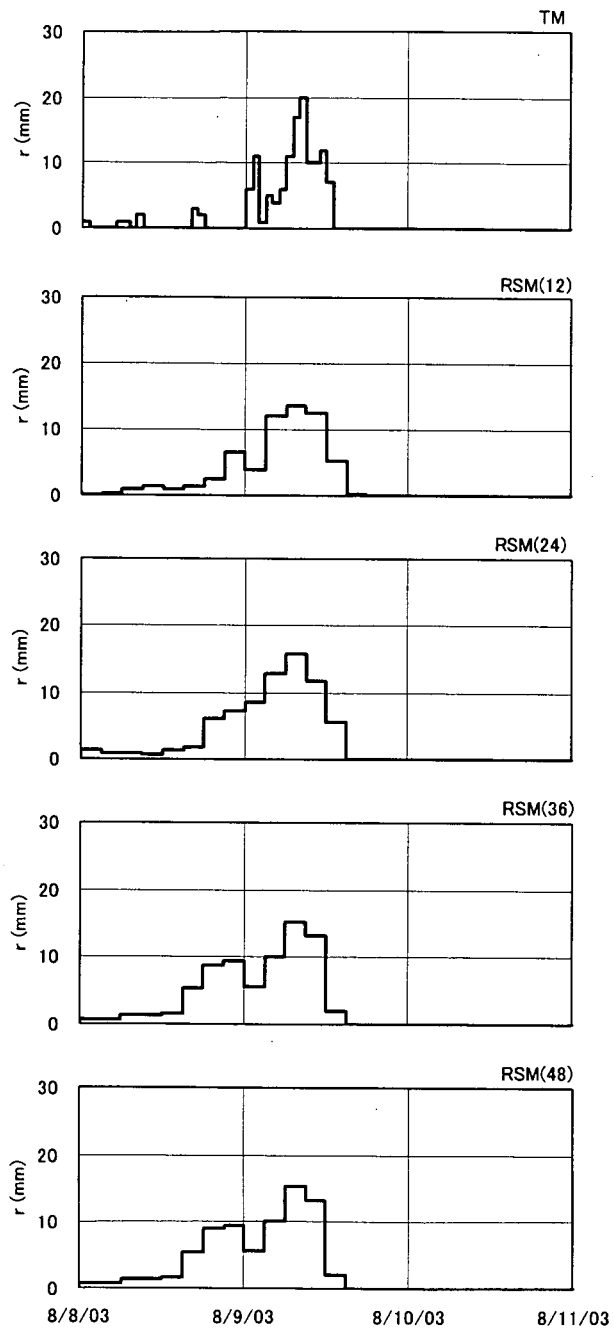


図 2.4 地上雨量と領域モデルによる予報との比較例 (2)

表 2.6 地上雨量とメソ・モデルによる予報の相関係数・回帰係数・雨量比

流域	指標	先行時間 (時間)		
		1~6	7~12	13~18
A 流域	ρ	0.00	0.10	0.01
	a	0.76	0.71	0.33
	r	1.70	1.70	0.93
B 流域	ρ	0.00	-0.01	-0.04
	a	0.69	0.45	0.26
	r	2.86	1.52	1.12
C 流域	ρ	0.01	0.20	0.24
	a	0.23	0.33	0.24
	r	0.62	0.62	0.50
D 流域	ρ	-0.02	0.06	-0.05
	a	0.35	0.55	0.27
	r	2.00	1.84	1.56
E 流域	ρ	0.26	0.23	0.40
	a	0.53	0.34	0.42
	r	0.95	0.61	0.62

ρ : 相関係数, a : 回帰係数, r : 雨量比

表 2.7 地上雨量と領域モデルによる予報の相関係数・回帰係数・雨量比

流域	指標	先行時間 (時間)			
		3~12	13~24	25~36	37~48
A 流域	ρ	0.32	0.30	0.30	0.29
	a	0.56	0.52	0.66	0.61
	r	0.72	0.70	0.81	0.85
B 流域	ρ	0.67	0.74	0.75	0.57
	a	0.86	0.89	0.98	0.70
	r	1.00	0.92	1.11	0.81
C 流域	ρ	0.45	0.40	0.34	0.23
	a	0.67	0.81	0.72	1.62
	r	1.14	1.50	1.20	2.58
D 流域	ρ	0.31	0.31	0.27	0.06
	a	0.52	0.36	0.49	0.55
	r	0.80	0.68	0.74	0.98
E 流域	ρ	0.09	-0.11	-0.29	-0.06
	a	0.70	0.16	0.17	0.22
	r	1.68	0.98	0.64	0.39

ρ : 相関係数, a : 回帰係数, r : 雨量比

2.3.3 予測法による精度の比較

降水短期予報および2種の数値モデルによる点雨量の予測精度の全体的な傾向を見るため、台風0310号時の相関係数、回帰係数および雨量比について、予測法別の各指標の先行時間の関係をプロットしたものが図2.5である。図中の記号は全雨量観測点の平均値を表し、「SRF」は降水短時間予報、「MSM」はメソ・モデルによる予報、「RSM」は領域モデルによる予報を示す。また、線分は平均値に標準偏差を加減した値を連ねたものである。

台風0310号という特定の降雨での評価であるため、一般的な結論とは言いかねるものの、同図からは以下の事項が読み取れる。

- メソ・モデルによる予測は、他の2法に比べて精度が劣る。
- 降水短時間予報の1ないし2時間前予測までが有意な相関を有しており、かつ時間雨量も実績に近似している。
- いずれの予測法でも雨量を少なめに評価する傾向がある。
- 領域モデルによる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績に相当している。
- 降水短時間予報では先行時間の増加に伴う予測精度の低下が顕著である。

2.4 流域平均雨量との比較

現行の洪水予測システムで採用されている集中定数モデルでの流出計算では、その入力として小分割流域毎の流域平均雨量が用いられている。また、その流域平均雨量を求める方法としては、ティーセン法が多用されている。

そこで、ティーセン法により地上雨量から計算した流域平均雨量と分割流域の分水界の内部に位置する格子点群のGPVの算術平均で計算した流域平均雨量とを比較して、面雨量として捉えた場合の予測雨量の精度について検討した。

図2.6は、台風0310号時の降雨について、B流域の流量予測地点毎にその上流域の流域平均雨量の実績値と予測値を求め、相関係数、回帰係数および雨量比を比較したものである。ティーセン法で計算した流域平均雨量が真の流域平均雨量を与えるとは限らないが、集水面積が大きい下流の流量予測地点ほど、指標値が1に近くなり、一致度が高まる傾向が見られる。

すなわち、数値予報はある程度、大域的な予測情報として捉える必要があることを示唆している。このことは、現行の数値予報モデルで仮定している静力学近似が成立する気象擾乱のスケール(100km以上)とも関連するものと考えられる。

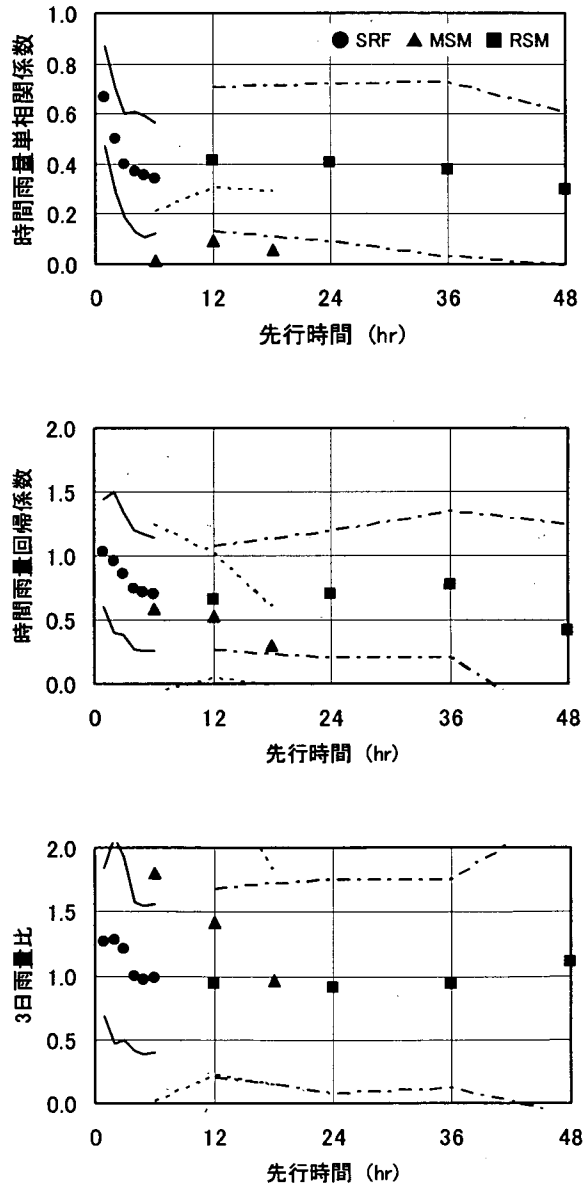


図 2.5 予測法による精度の比較

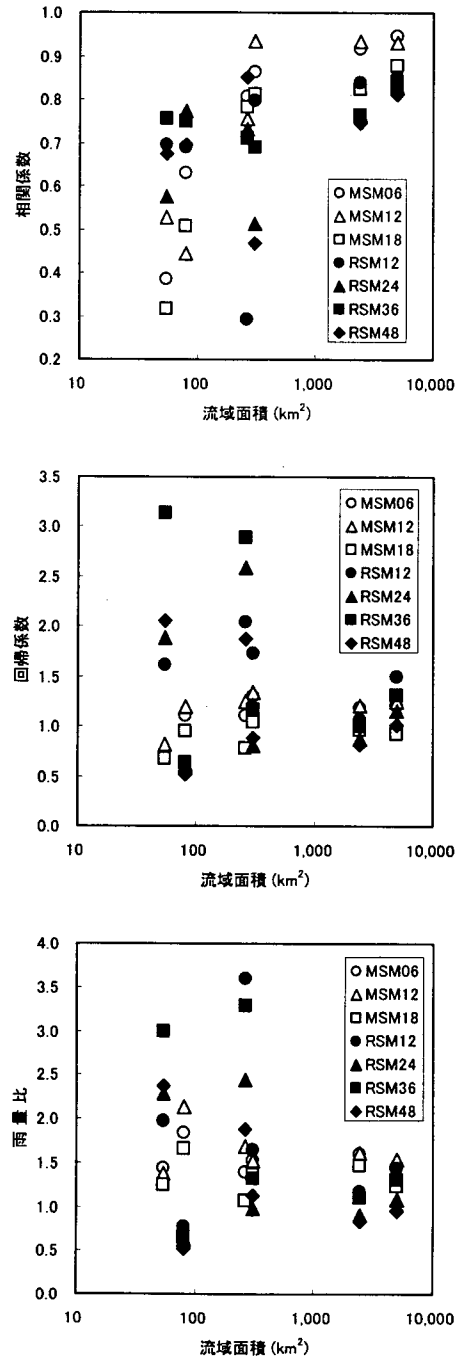


図 2.6 集水面積による精度の比較

2.5 まとめ

ダム貯水池の高水管理では、通常、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 [9]。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、ゲート操作のための数時間先までの流入量の予測に必要な短時間雨量が要求される。この際に求められる降雨の予測精度は、先行時間が小さい程、高いものであることはいうまでもない。

本章では、5つのモデル流域の2ないし3降雨を対象として、地上雨量とレーダ・アメダス解析雨量ないし各種予測雨量とを比較した。この結果、降水実況の把握にレーダ・アメダス解析雨量が有用であること、目先1ないし2時間の雨量が降水短時間予報で、ほぼ捕捉可能な結果となっていること、1ないし2日先までの大域的な降雨量が領域モデルによる数値予報で、変動は大きいものの、ある程度は把握できることが知れた。

したがって、現状では、ゲート操作時に用いる短期の予測降雨として数値予報の情報をを用いるには、精度的に問題があり、それ以前の行動計画の判断材料としての活用が当面の数値予報の用途と考えられる。

第3章

貯留関数モデルによる流出予測

3.1 予測モデル

3.1.1 現行システムの予測モデル

表 3.1 にモデル 5 流域の洪水予測システムの概要を示す。流出モデルは、いずれも、斜面モデル・河道モデルともに木村の貯留関数モデル（以下「貯留関数モデル」）を採用している。分割流域の面積は、流域の全体規模やダム・水位観測所の配置状況によって異なるが、平均で約 140km^2 である。モデル・パラメータは既定値が初期設定されている。実績降雨はテレメタリングされた地上雨量をティーセン法で流域平均雨量に変換している。また、予測降雨は操作員が予想値を入力するか、独自システムでの予測値、レーダー雨量（国土交通省）の時間外挿による予測値、(財)日本気象協会の予測値を用いている。最新の実測流量とそれ以前の予測流量との誤差から以後の予測を矯正するフィード・バックの方法としては、(i) 実測流量から逆算される貯留高を初期値として与える、(ii) 実測流量と一致するよう基底流量を変更する、といった方法などが採られている。

3.1.2 モデル・パラメータの最適化

本研究では、降雨の予測精度と流出の予測精度の関係を評価することが目的であるため、モデル誤差に由来する流出予測の誤差を最小化するよう、モデル・パラメータの最適化を行った。

最適化手法には各種あるが、ここでは、傾斜法^{*1}の一種である準ニュートン法を適用した。適用にあたって、評価関数は実績の流域平均雨量のもとでの計算流量と実績流量との誤差の自乗和とした。ただし、真の流域平均雨量は不可知であるため、流域平均雨量は現行システム同様にティーセン法で与えた場合とレーダー・アメダス解析雨量を与えた場合の 2 ケースを考えた。さらに、説明変数は貯留関数モデルの全てのモデル・パラメータ（流域の 1 次流出率 f_1 、飽和雨量 R_{sa} 、貯留係数 k 、貯留指数 p 、遅滞時間 t_l および河道の貯留係数 K 、貯留指数 P 、遅滞時間 T_l ）とした。

^{*1} 説明変数群に対する評価関数の導関数（傾斜）から評価関数がより大きく（より小さく）なる新たな説明変数群を求める演算を繰り返すことで、評価関数が最大値（最小値）となる説明変数群を探索する。

表 3.1 モデル流域の洪水予測システム

項目	A 流域	B 流域	C 流域	D 流域	E 流域
予測モデル	貯留関数モデル				
オンライン情報	39 雨量局, 12 水位局, 10 ダム局	49 雨量局, 2 水位局, 10 ダム局	73 雨量局, 17 水位局, 7 ダム局	32 雨量局, 5 水位局, 5 ダム局	10 雨量局, 6 水位局, 2 ダム局
実績降雨	ティーセン法				
予測降雨		マイコス予測雨量		台風降雨予測システム, マイコス予測雨量	レーダ雨量計予測降雨, 気象庁予報値
流域・河道分割	26 流域, 21 河道, 6 ダム	22 流域, 21 河道, 7 ダム	41 流域, 34 河道, 11 ダム, 1 遊水池	14 流域, 6 河道, 5 ダム	9 流域, 3 河道, 2 ダム
フィード・バックの方法	実測流量から逆算される貯留高を初期値として与える.	実測流量と当時刻の予測流量の比を将来予測流量に乗じる.	実測流量と一致するよう基底流量を変更する.	実測流量から逆算される貯留高を初期値として与える.	実測流量と一致するよう基底流量を変更する.

最適化前後のモデル・パラメータで計算したハイドロ・グラフの比較を図 3.1 に例示する。図中の点は実測流量を、線分は計算流量を表す。本例では、ティーセン法で求めた流域平均雨量が双峰の波形となっているのに対して、レーダー・アメダス解析雨量のそれはハイドロ・グラフに同じく単峰となっている。また、妥当な降雨波形のもとで最適化された流出モデルは十分な精度を有している。このように、レーダー・アメダス解析雨量で求めた流域平均雨量の波形は、流出波形との対応が良い場合が多く、流出予測精度の向上につながるようである。

図 3.2 は同一の流域で異なる降雨を与えた場合の最適化の例である。また、これに対応する流域のモデル・パラメータは表 3.2 のようである。個別には実績を再現しているが、モデル・パラメータはそれぞれで変動している。理論的にも貯留係数 k 、遅滞時間 t_l は降雨強度の関数であり [10]、多様な降雨波形に対応するためには、イベントに応じてこれらの値を変化させることが必要と考えられる。

表 3.2 モデル・パラメータ

ケース	k	p	T_l (hr)
Case1	65.1	0.29	0.00
Case2	71.4	0.20	0.89
Case3	62.0	0.30	0.40
Case4	40.0	0.24	0.09
Case5	50.3	0.39	0.35

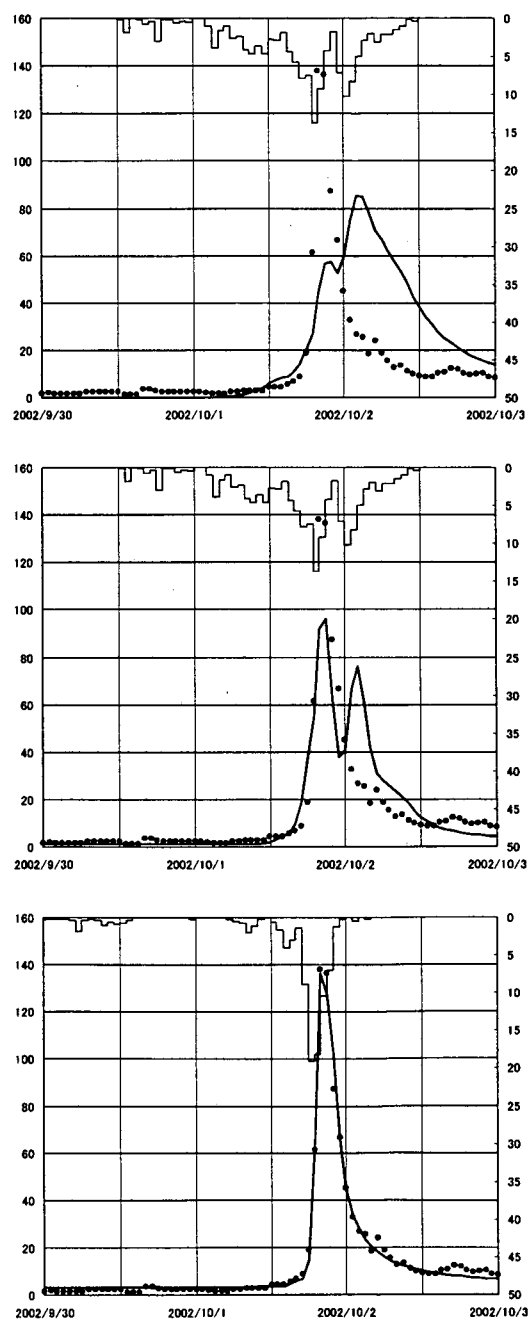


図 3.1 ハイドロ・グラフの比較（上段：現行，中断：最適化，中断：解析雨量で最適化）

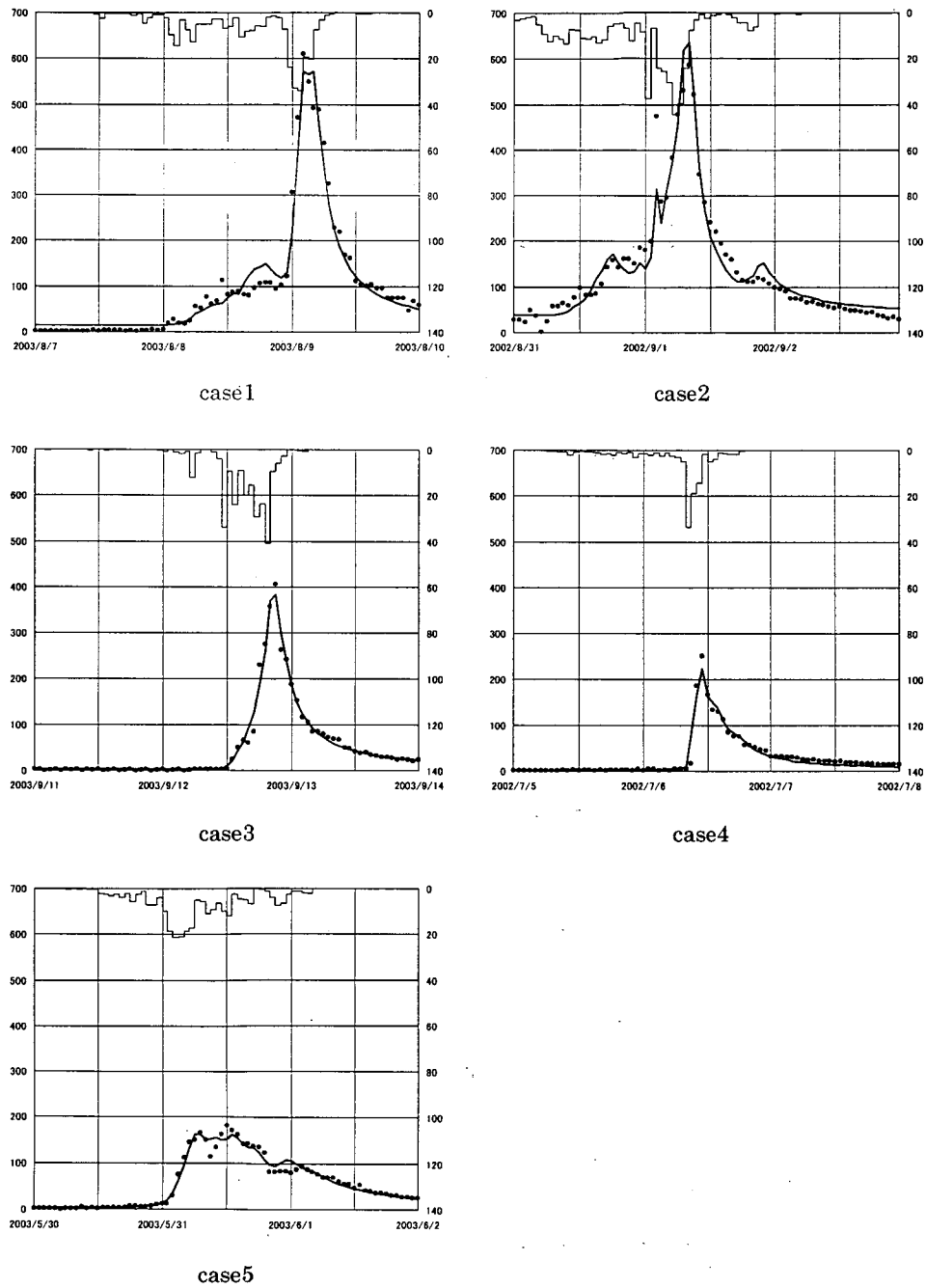


図 3.2 最適化の例

3.2 流出予測シミュレーション

前章の検討において、降水短時間予報は目先 1 ないし 2 時間先までの予測情報として利用可能と判断された。そこで、これを用いて算定した流域平均雨量を予測降雨として与えた場合の流出予測シミュレーションを行った。

予測モデルは前節で示した 現行の予測システムと同様のモデル (モデル 1)、 地上雨量を用いてティーセン法で与えた流域平均雨量で最適化したモデル (モデル 2)、 レーダー・アメダス解析雨量を用いて算定した流域平均雨量で最適化したモデル (モデル 3) の 3 ケースで設定した。なお、計算上、予測時点から遅滞時間までの時間ステップの流出量は予測降雨に依存せず、実績の流域平均雨量に依存するが、モデル 1 およびモデル 2 では、これをティーセン法による流域平均雨量で、モデル 3 ではレーダー・アメダス解析雨量から求めた流域平均雨量で与えた。また、便宜的に、将来時点のダム放流量も実測値で既知と仮定して計算を行った。さらに、フィード・バックの方法は、洪水予測の現業で採用されることの多い「定数固定現時刻合わせ方式」、すなわち、実測流出高 (q_o) から逆算される貯留高 ($k \cdot q_o^p$) を予測時点の貯留高の初期値として与える方法を選択した。

以上の条件のもとで実施した予測計算の例 (比較的良好なケース—A ダム, 過小評価するケース—B ダム, 過大評価するケース—C ダム) を図 3.3 に示す。図中の点は実測流量を、線分はそれを起算時として 6 時間先までの予測流量を表す。

今回は 9 降雨 27 地点で同様のシミュレーションを行ったが、残留域からの流出量よりも上流のダムや水位局の放流量・通過流量の影響が卓越するような予測地点を除き、実績流量と予測流量の適合度はケース・バイ・ケースで、一定の傾向は見出せないものとなっている。

3.3 雨量予測誤差に由来する流出予測誤差

雨量予測の誤差に由来する流出予測の誤差を評価するため、予測雨量に替えて実績雨量を与えた場合の流出予測のシミュレーションを行った。

評価にあたっては、次の予測誤差指標 e を用いて、精度の良否を判断することとした。

$$e = \frac{1}{Q_{op}} \sqrt{\frac{\sum(Q_o - Q_c)^2}{N}}$$

ここに、 Q_o : 観測流量, Q_c : 計算流量, N : 時間ステップ数, Q_{op} : 観測ピーク流量である。すなわち、この誤差指標は予測誤差の標準偏差を観測ピーク流量で無次元化した相対誤差率である。ちなみに、通常、洪水予測システムの構築に当たっては、この誤差指標が 0.15 ~ 0.2 となるようにモデル・パラメータの調整を行っている [9]。

図 3.4 は前節の図 3.3 に示した各ケースの先行時間毎の誤差指標を示すものである。図中、予測モデルの別は記号で、計算に用いた雨量の別は記号の色で表した。黒印で示した予測雨量を用いた場合の誤差指標は A ダムは 4 時間先まで低レベルで推移しているのに対し、B ダム・C ダムは先行時間とともに増加しており、ハイドロ・グラフによる視覚的な適合度の判定と調和し

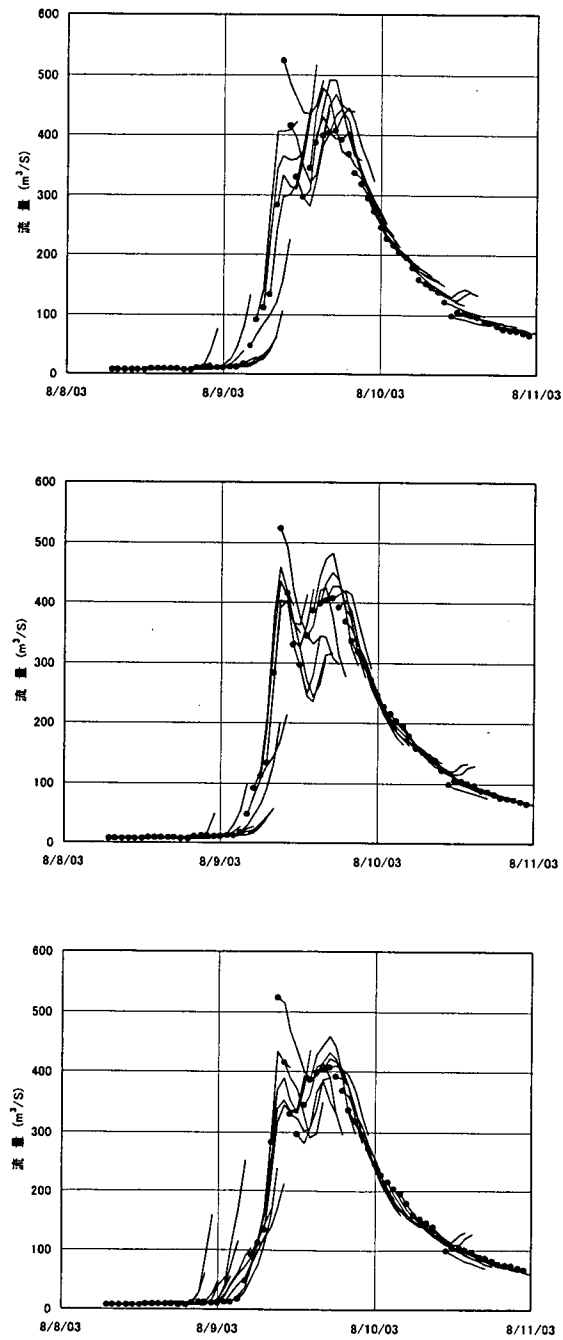


図 3.3 流出予測の例 (A ダム)

(上段：モデル 1, 中段：モデル 2, 下段：モデル 3)

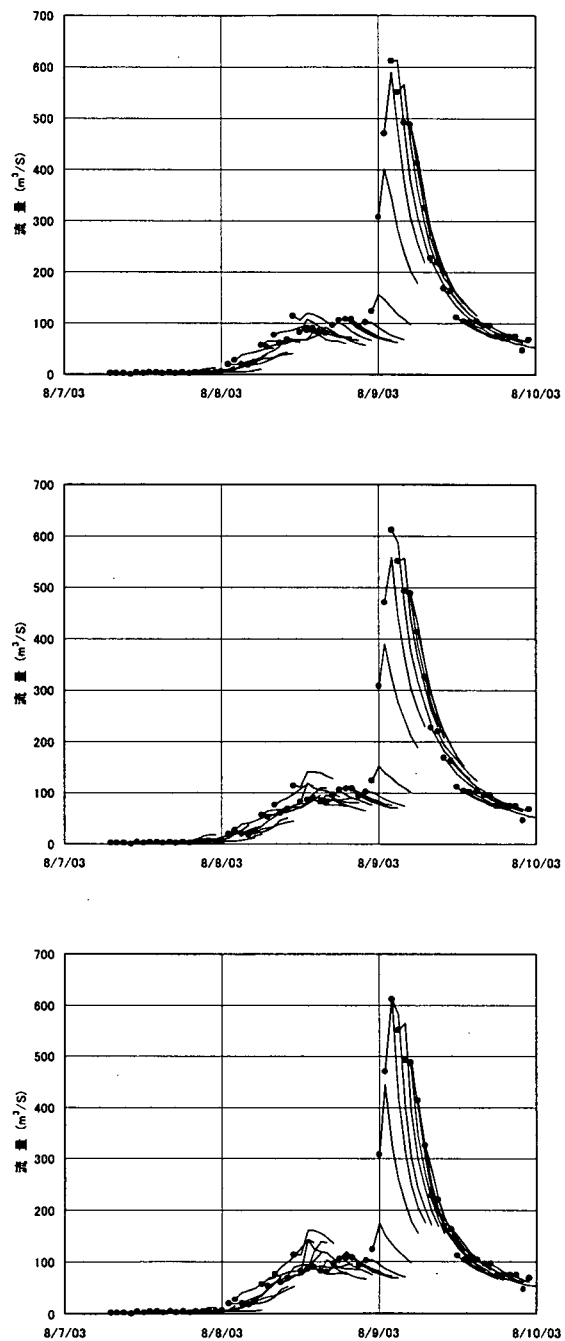


図 3.3 流出予測の例 (B ダム)
(上段 : モデル 1, 中段 : モデル 2, 下段 : モデル 3)

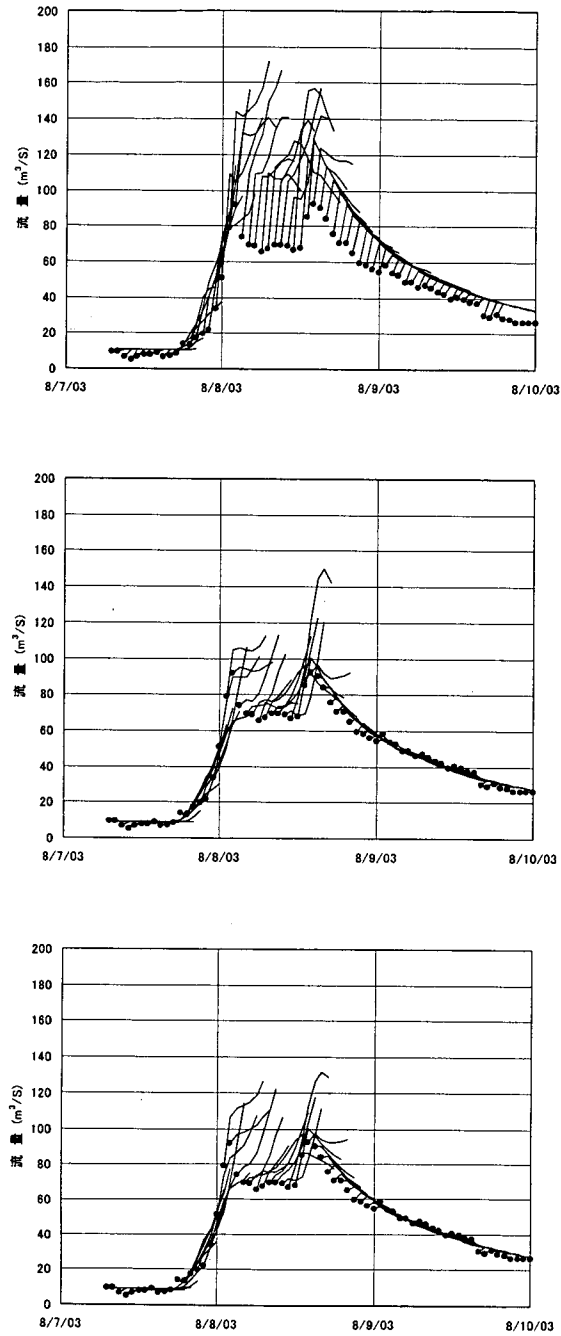


図 3.3 流出予測の例 (C ダム)
(上段 : モデル 1, 中段 : モデル 2, 下段 : モデル 3)

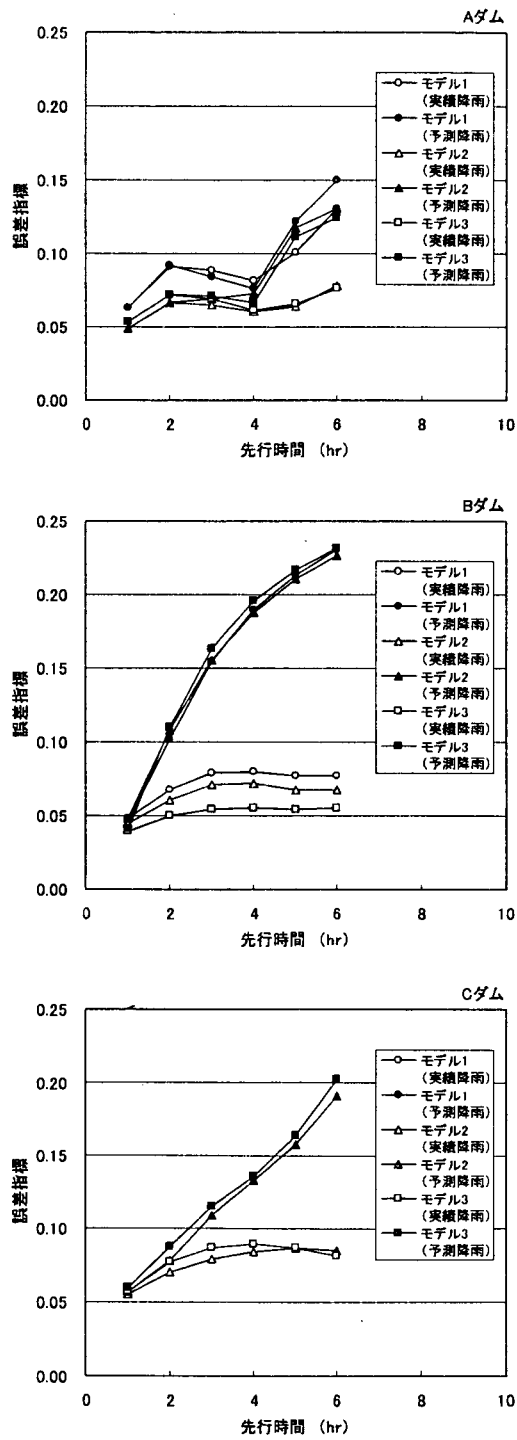


図 3.4 モデル別・先行時間別の誤差指標

ていることが分かる。なお、これと白印で示した実績測雨量を用いた場合の誤差指標（モデル誤差）との差が、予測雨量の誤差に起因する誤差成分を示すこととなる*2。

同様に、今回シミュレーションを行った全予測地点の先行時間別の誤差指標の平均値を実測雨量を用いて計算した場合と予測雨量を用いて計算した場合についてプロットしたものが図 3.5 である。予測モデルはモデル誤差が最も小さいモデル 2 である。図中の実線・破線は、それぞれの平均値に標準偏差を加減したものである。仮に、許容誤差を 0.15（一点破線）と考えた場合、予測モデルが十分な精度を有していれば、降水短時間予報を用いることで、平均的には 4 時間先、標準偏差を考慮すると 2 時間先程度まで有効な流出予測がなされることを示している。

さらに、同図を数表で示したものが表 3.3 である。「全体誤差」は予測降雨によるシミュレーション、「モデル誤差」は実績降雨によるシミュレーションに対応する。予測降雨に由来すると考えられる「残差」に着目すると、先行時間が 4 時間を越えると、予測雨量に由来する誤差が過半となり、また、バラツキの多少を示す標準偏差も大きくなる結果となっている。

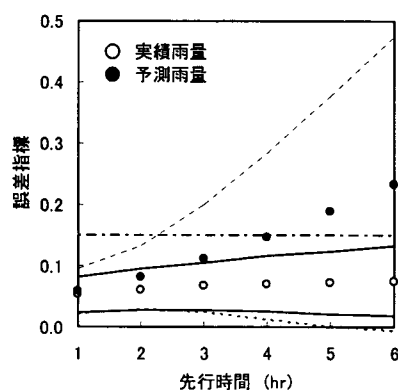


図 3.5 先行時間別の誤差指標（地点平均）

表 3.3 先行時間別の誤差指標（地点平均）

先行時間 (時間)	全体誤差		モデル誤差		残差（予測降雨由来）		
	μ	σ	μ'	σ'	$\mu - \mu'$	μ'/μ	$\sigma - \sigma'$
1	0.058	0.037	0.052	0.029	0.005	9.5%	0.008
2	0.081	0.051	0.061	0.034	0.020	24.3%	0.018
3	0.111	0.087	0.067	0.039	0.045	40.2%	0.048
4	0.147	0.136	0.070	0.045	0.077	52.4%	0.091
5	0.188	0.186	0.073	0.051	0.115	61.3%	0.135
6	0.233	0.239	0.075	0.056	0.158	67.7%	0.183

μ : 平均値, σ : 標準偏差

*2 予測モデルが非線形モデルであるため、厳密には両者の差が予測降雨に由来する誤差とはならないが、これに準ずるものとして考えることができる。

3.4 まとめ

以上、本章では現行の洪水予測システムで採用されることが多い木村の貯留関数モデルに気象庁の降水短時間予報を予測降雨として与えた場合の洪水予測シミュレーションを行い、予測誤差について評価した。

この結果、予測モデルや降雨などにより、地点毎に適合性が異なり一定の傾向は見られないものの、総じてみた場合、予測モデルが十分に正確であれば、2ないし4時間先まで有効な予測が可能との結論を得た。

さらに、レーダー・アメダス解析雨量を実績の流域平均雨量として与えることで予測精度が向上することが知れた。なお、モデル・パラメータの最適化の結果から、対象降雨によりモデル・パラメータを変動させる必要があることを示した。

第4章

分布型物理モデルによる流出予測

近年、地形・地質、土地利用などのデータから流域における循環経路毎の水の挙動を把握・評価する「水循環モデル」が多く提案されている。水循環系を解析する手法の中で最も精緻なものとして「分布型物理モデル」がある。分布型物理モデルは、流域を2次元ないし3次元の格子で分割し、流れの物理則にそって格子点間の水分移動を追跡することで流域の水循環系を表現するモデルである。したがって、分布型物理モデルは空間的に分布する流域の物性値を直接モデルに組み込めるとともに、時間的・空間的に変化する降雨も扱うこともできる。

本章では分布型物理モデルに降水短時間予報の予測降雨を与えた場合の流出予測を試みた結果について記す。

4.1 分布型物理モデル

今回、適用した分布型物理モデルの構成は表4.1のようである[11]。表面流は標高分布から定めた落水方向で追跡を行う。不飽和浸透流は地下2mまでの表層土壌で発生するものとし、中間流（落水方向のフラックス）の動水勾配は地表勾配に等しいものと仮定している。地下水流の計算では上下の地層との水分移動の他、河川からの涵養・河川への浸漏を考慮している。微分方程式の数値解析法は有限差分法である。

分布型物理モデルを適用する場合、計算メッシュ毎にモデル・パラメーターを与える必要がある。これらの内の多くは標高や土地利用などの数値地図を用いて推定することが可能であるが、

表 4.1 分布型物理モデルの構成

項目	モデル	
斜面	損失	蒸発散・窪地貯留（不浸透域）
	表面流	1次元キネマティック・ウェーブ・モデル
	中間流	鉛直準2次元不飽和浸透流モデル
	地下水流	平面2次元飽和浸透流モデル（地層別）
河道	1次元キネマティック・ウェーブ・モデルまたは1次元ダイナミック・ウェーブ・モデル	

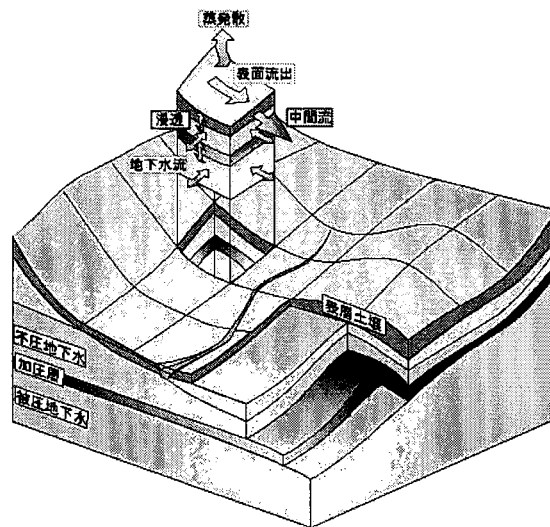


図 4.1 モデルの概念図

表層土壌の物性値については対象流域内の土質分類毎に現地試験を行って与えるのが通常である。また、深層の飽和透水係数などは実測することができないため、地下水位観測データから逆推定する方法が用いられている。

しかしながら、今回、検討対象とした5流域では土壌の物性・地下水位ともに実測値が得られないため、表層土壌の水分保持特性（水分量・吸水圧・相対不飽和透水係数の関係）を関東ロームのそれで代用し、層厚および飽和透水係数は流域内で一様と仮定し試算を繰り返して設定した。また、表層土壌の下層は風化岩層で、貯留係数 0.1、透水係数 $1.0 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ と仮定した。

4.2 実績降雨による流出解析

それぞれのモデル流域内の部分流域についてレーダー・アメダス解析雨量を与えた場合の再現計算を行った。空間格子間隔は対象域の大小により 100m ないし 250m とした。降雨分布はレーダー・アメダス解析雨量の格子点を中心とする 2.5km 四方の領域毎に与えた。

結果を図 4.2 に示す。比較的単純に流域条件をモデリングしたことを考え合わせれば、ほぼ満足すべき適合度と考えられる。

ところで、図 4.3 は d ダム上流域に対して e ダムと同等の表層土壌の条件を与えた場合の計算結果（図中、破線）との比較を示すものである。このように、この種の物理モデルにおいて表層土壌の条件は計算結果を大きく左右する因子であり、現地の特徴を十分に把握・反映する必要がある。

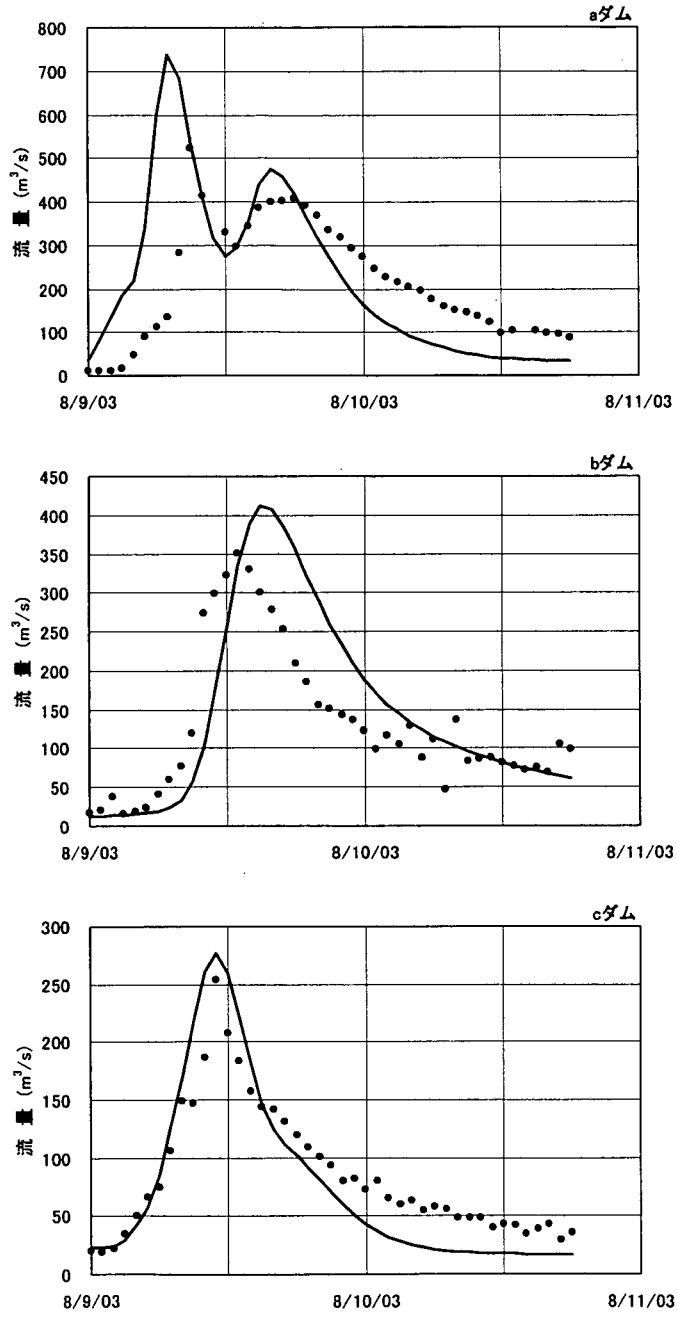


図 4.2 再現計算結果 (1)

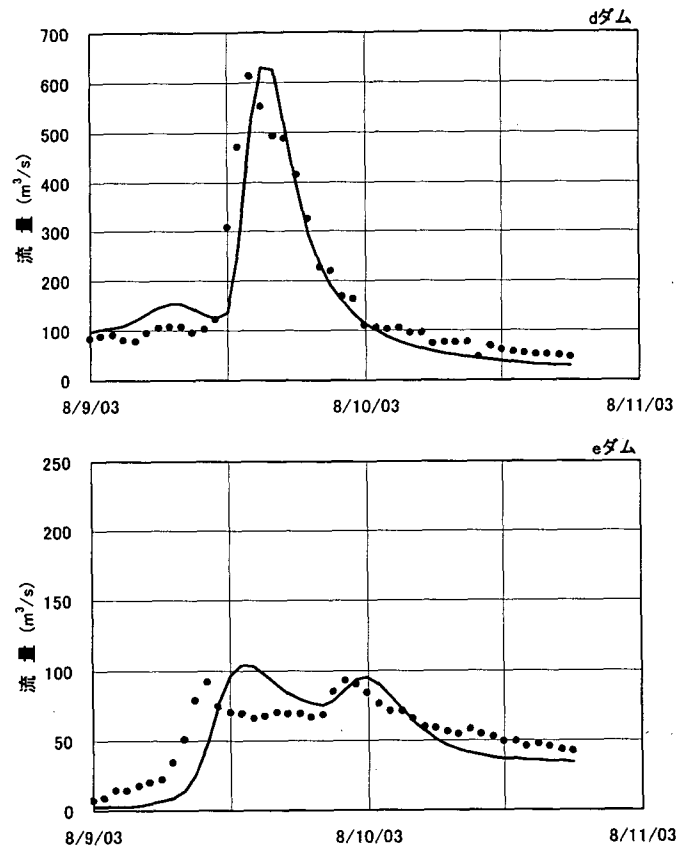


図 4.2 再現計算結果 (2)

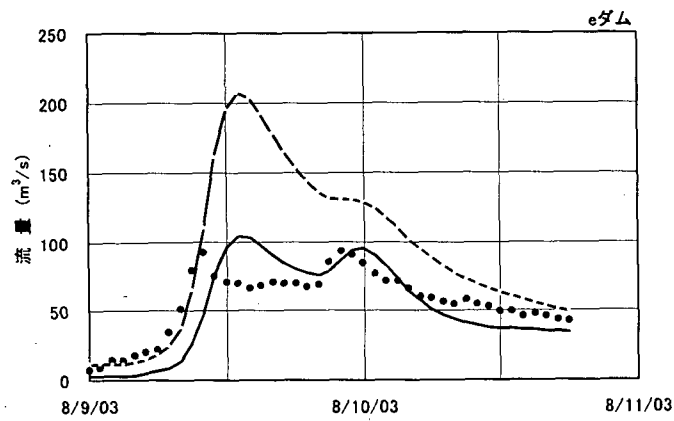


図 4.3 表層土壌条件による再現結果の相違

4.3 流出予測シミュレーション

前節で設定したモデルに降水短時間予報の予測雨量を与えて流出予測シミュレーションを行った。降雨の与え方は再現解析と同様であるが、降水短時間予報の場合は格子間隔（5km 四方）が異なる。なお、予測時点での初期条件は当該時刻までの再現計算結果で与えている。

計算結果を図 4.4 に、先行時間別の誤差指標を表 4.2 に示す。これらを見る限り、予測精度は実用に供しうるレベルとは言い難い状況となっている。第 2 章で見たように降水短時間予報の予測降雨で精度が期待し得るのは目先 1 ないし 2 時間先までであるため、予測時点での初期の誤差が大きい場合、その後の予測誤差も大きくならざるを得ない。分布型物理モデルの場合、フィード・バックを行おうとすると、気象庁の数値予報における同化システムと同様のシステム（モニタリング・システムを含む）を構築してモデルの支配方程式群を満たす初期値分布（地中の状態量を含む）を与えてやる必要がある。一方、現状で取得可能な水文情報は流域末端の流量観測結果程度であり、実際問題としてフィード・バックを行うことは極めて難しい。

表 4.2 先行時間別の誤差指標（分布型物理モデル）

ダ ム	先行時間 (hr)					
	1	2	3	4	5	6
a ダム	0.52	0.53	0.43	0.34	0.35	0.38
b ダム	0.28	0.33	0.34	0.39	0.40	0.43
c ダム	0.15	0.26	0.42	0.49	0.51	0.51
d ダム	0.12	0.14	0.20	0.30	0.32	0.34
e ダム	0.26	0.32	0.46	0.61	0.71	0.83

4.4 まとめ

モデル 5 流域の部分流域で分布型物理モデルを作成し、計算格子点毎の降雨の時間・空間分布としてレーダー・アメダス解析雨量を与えた場合の再現解析と降水短時間予報の予測雨量を与えた場合の洪水予測シミュレーションを行った。

この結果、何れの流域でも主因子である水理地質に関する現地観測情報が得られず単純なモデルでの解析となったが、こういった事情を考慮すれば、まずまずの精度で再現解析結果が得られた。一方、洪水予測シミュレーションでは降雨予測の精度以前の問題として予測の初期値の誤差がそのまま予測結果に反映される結果となった。分布型物理モデルでは合理的にフィード・バックを行うことが至難であるため、これが洪水予測用の流出モデルとして使用する場合の課題となる。

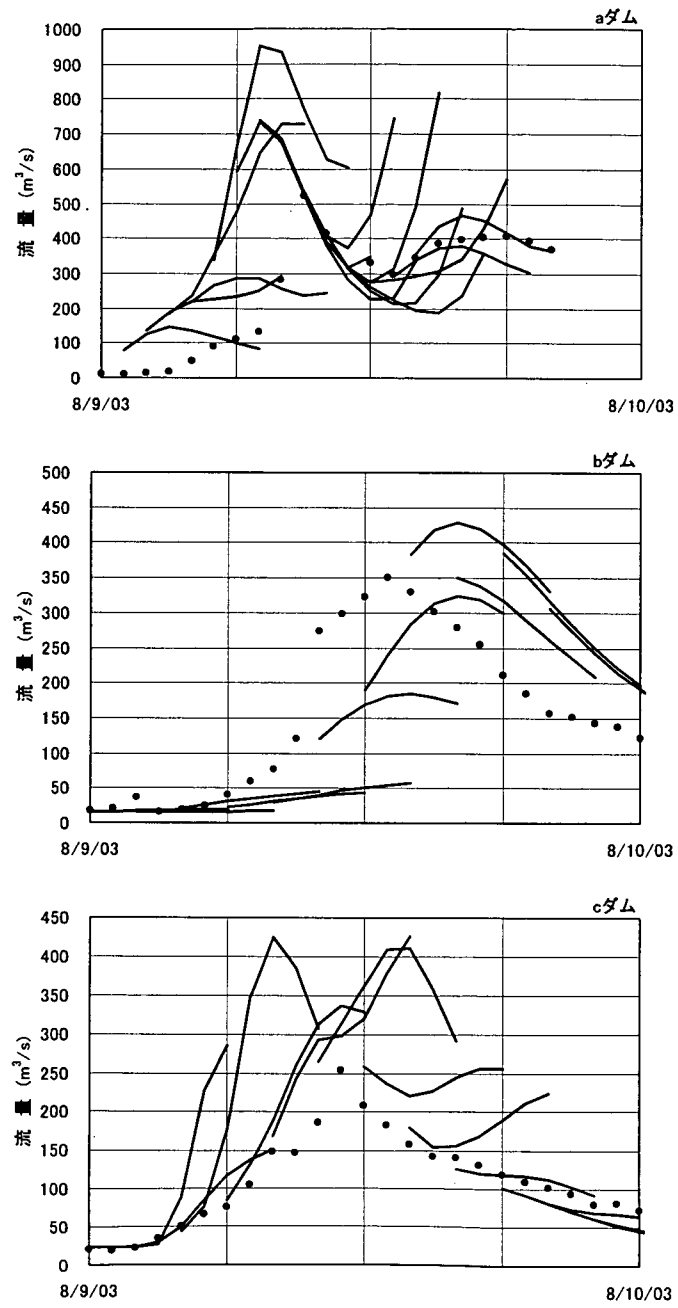


図 4.4 予測計算結果 (1)

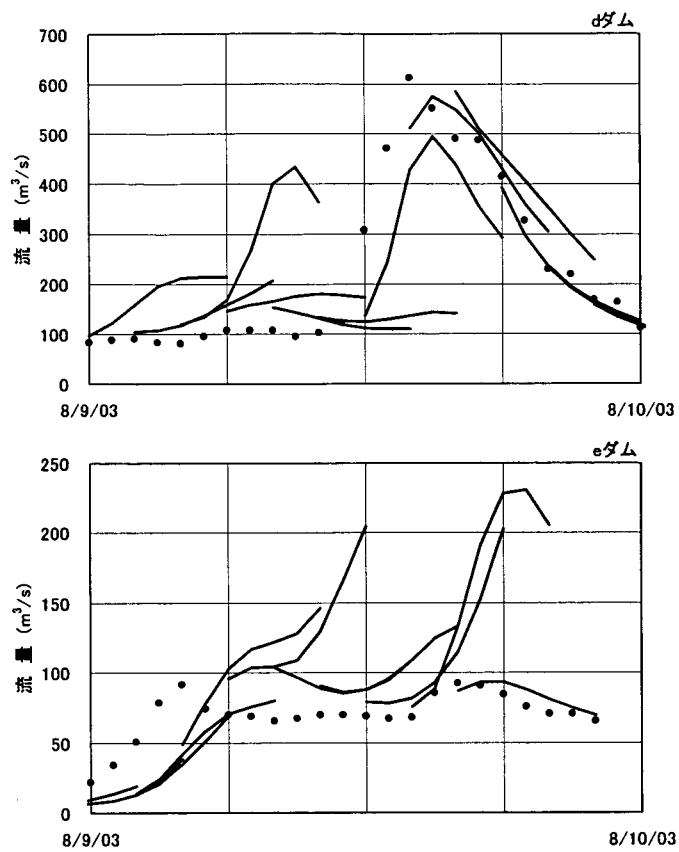


図 4.4 予測計算結果 (2)

第5章

得られた知見及び今後の課題

本研究では、5つのモデル流域を選定し、気象庁が実施している短期短時間予報および数値予報の高水管理への適用可能性についてケース・スタディーを行った。

今回の検討を通して得られた知見を列挙すれば、以下のようである。

- 地上雨量とその雨量観測所に最寄の格子点でのレーダー・アメダス解析雨量はほぼ同等であり、雨量観測所の配置密度に比べて格子点のそれが密であるため、流域平均雨量の実績値をより正確に把握可能である。
- 降水短時間予報は1ないし2時間先まで地上雨量と有意な相関を持ち、初期の予測精度が高いほど精度を持続する傾向がある。したがって、降水短時間予報は洪水予測用の予測降雨として利用可能である。
- 台風0310号での比較でみる限り、実測降雨と数値予報の予測降雨の時間波形の合致度が低く、数値予報を洪水予測に供するのは難しい。また、メソ・モデルによる降雨の予測精度は領域モデルのそれに劣る。
- ただし、変動は大きいものの平均的に捉えた場合、領域モデルによる総雨量の予測値は実績総雨量に相当し、態勢移行・予備放流など洪水調節前の管理事務の判断材料としての利用価値はある。
- 現在のところ、数値予報による予測結果は100kmオーダーの大域的な情報としてとらえる必要がある。
- 貯留関数モデルは降雨毎のモデル・パラメータの変動が大きく、固定値と見なし難い。
- 貯留関数モデルのモデル誤差が最小になるよう降雨毎にモデル・パラメータを設定し、降水短時間予報を予測雨量として与えた場合、今回の対象流域では平均で3・4時間先までであれば、モデル誤差と同等の誤差レベルで流出予測が可能となる。
- 分布型物理モデルは表層土壌の物性値など現地情報を適切に反映しないとモデル誤差が大きい。また、モデルの性格上、フィード・バックが行い難いため、流出予測に適用しようとする場合、高精度なモデルの構築を要する。

以上で記した結論は今回検討の対象とした5流域・9降雨でのそれであり、とりわけ、数値予報による予測降雨については台風0310号という特定の擾乱での比較から得られた結果である。

今後は対象流域および降雨イベントを増やして検討の確度を上げるとともに、それを踏まえたダム管理の高度化に向けた気象予測情報の活用方策について検討する必要がある。

参考文献

- [1] 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
- [2] 気象庁（2004）：降水ナウキャストの提供開始について，平成 16 年 5 月 27 日報道発表資料
- [3] 気象庁：数値予報とは，<http://www.kishou.go.jp/know/whitep/1-3-1.html>
- [4] 気象庁（2004）：メソ数値予報モデルの改善について—高度な初期値作成手法「4次元変分法」の導入—平成 13 年 12 月 20 日報道発表資料
- [5] 気象庁（2004）：防災気象情報用に新しい数値予報モデルを導入します，平成 16 年 7 月 22 日報道発表資料
- [6] 気象庁（2003）：気象庁数値予報の改善，平成 15 年 6 月 26 日報道発表資料
- [7] 末次忠司（2004）：河川の減災マニュアル—現場で役立つ実践的減災読本—，p.27，山海堂
- [8] 星清（1988）：洪水予測法の実例，第 24 回水工学に関する夏期研修会講義集，pp.A-3-1～A-3-20
- [9] 建設省河川局監修（1987）：多目的ダムの建設—昭和 62 年版 第 2 巻 調査編，（財）ダム技術センター
- [10] 永井明博・角屋睦・杉山博信・鈴木克英（1988）：貯留関数法の総合化，京大防災研究所年報 第 25 号 B-2，pp.207～220
- [11] 「都市小流域における雨水浸透、流出機構の定量的解明」研究会（2000）：都市域における水循環系の定量化手法—水循環系の再生に向けて—，（社）雨水貯留浸透技術協会



国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of N I L I M
No. 210 December 2004
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