ＩＳＳＮ ０３８６－５８７８
土木研究所資料第3801号

土 木 研 究 所 資 料

メソスケール大気モデルによる平成10年８月末豪雨の再現に関する研究報告書

平成13年３月

国土交通省土木研究所
河川部　水文研究室

Copyright © (2001) by P. W. R. I.
All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.
この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設省は、平成13年1月6日付けで国土交通省に再編

土木研究所資料
第3801号2001年3月

メソスケール大気モデルによる
平成10年8月末豪雨の再現に関する研究報告書

水文研究室　室　　長　金木　誠
前主任研究員　吉谷　純一*
主任研究員　三輪　準二
交流研究員　中島　隆信**

要　旨

近年、平成10年の栃木県余笹川や高知県国分川における水害、平成12年の東海地方の庄内川、新川における水害等、集中豪雨による計画を上回る大洪水が発生している。通常、河川の計画においては、その流域における過去の降雨データに基づいて豪雨の生起する確率を推定し、計画が立てられているが、一つの流域における観測データが必ずしも当該地域の危険度を表す指標になるとは限らない。ある気象学的地域特性を有する地域内においては、気象条件が多少異なれば同じような集中豪雨が発生することも考えられることから、豪雨生起の可能性（可能最大降水量等）について検討し、超過洪水等の観点から十分に備えることが必要になっている。可能最大降水量については、山地等の地形要因等を考慮できる気象学的な方法で豪雨をシミュレートできれば、気象条件を変化させることによって豪雨の発生可能性を推定することが可能である。

本報告書は、今後、可能最大降水量を検討する上で有効となる、気象現象をシミュレートできるメソスケール大気モデルを開発し、北日本、東日本を中心とした大雨－平成10年8月末豪雨－を対象に再現計算を行い、モデルの有効性について検討した結果についてとりまとめた。

キーワード：メソスケール大気モデル、GPV、平成10年8月末豪雨、再現計算、可能最大降水量

＊　現 国土交通省土木研究所河川部都市河川研究室長
＊＊交流研究員在職期間：平成11年4月から平成12年3月まで

まえがき

近年の水害の特徴として、平成10年の栃木県余笹川や高知県国分川における水害、平成12年の東海地方の庄内川、新川における水害等、集中豪雨による大洪水が頻発していることが上げられる。これら集中豪雨による計画を超えるような大規模な洪水（超過洪水）に対しては、氾濫被害を最小限にとどめるため、川の中だけではなく流出抑制対策や氾濫原での対応、洪水情報等の的確かつ迅速な伝達、洪水時の避難体制の確立等流域全体での効果的な治水対策をはかり、危機管理施策を講じて行くことが必要である。

通常、河川の計画においては、その流域における過去の降雨データに基づいて豪雨の生起する確率を推定し、計画が立てられているが、一つの流域における観測データが必ずしも当該地域の危険度を表す指標になるとは限らない。ひとつのある気象学的な地域特性を有する地域内においては、同じような集中豪雨が潜在的にどこでも発生する可能性が考えられる。このため、これら気象学的な地域特性及び過去における豪雨を把握し、同じ気象特性をもつ地域での豪雨生起の可能性（可能最大降水量等）について検討し、超過洪水等の観点から十分に備えることが必要となっている。可能最大降水量の推定に際して、雨域を単に平行移動をさせてその可能性を示すことは、降雨が地形の影響を強く受けるため、気象学的には正しくない。可能最大降水量を流域管理に利用するためには、山地等の地形要因等を考慮でき、推定の対象となる地域の上層、下層の物理量（風、気温、湿度等）並びに周辺の物理量との相互作用等、豪雨を気象学的な方法でシミュレートできる数値モデルを用い、気象条件を変化させて豪雨生起の可能性を推定することが有効である。

国土交通省土木研究所河川部水文研究室では、地球温暖化の影響をシミュレートする目的で、メソスケール大気水文統合モデル（Integrated Regional Scale Hydrologic/Atmospheric Model：IRSHAM）を既に開発している。本報告書は、主に交流研究員の中島隆信氏による研究成果をとりまとめたもので、既に開発済みのメソスケール大気水文統合モデルから短期的な気象現象にほとんど影響しないと考えられる地表面水文過程を取り除いて簡略化し、気象条件を入力、降雨を出力としてシミュレートできるメソスケール大気モデル開発の成果及び大気モデルを用いた可能最大降水量推定方法の検討についてとりまとめたものである。

なお、本研究を実施するにあたって、カリフォルニア大学デービス校のM. L. Kavvas教授並びにZhiQiang Chen氏には、大気現象のモデリングに関する多数の貴重な助言を頂いた。また、東京大学生産技術研究所の沖大幹助教授並びに鼎信次郎助手には、研究成果に対する有益な意見と今後の研究の方向性に関する貴重な助言を頂いた。さらに、再現計算に際して、(株)建設技術研究所の関係諸氏に様々なご協力をいただいた。ここに記して敬意を表したい。

平成13年3月

水文研究室長　金木　誠

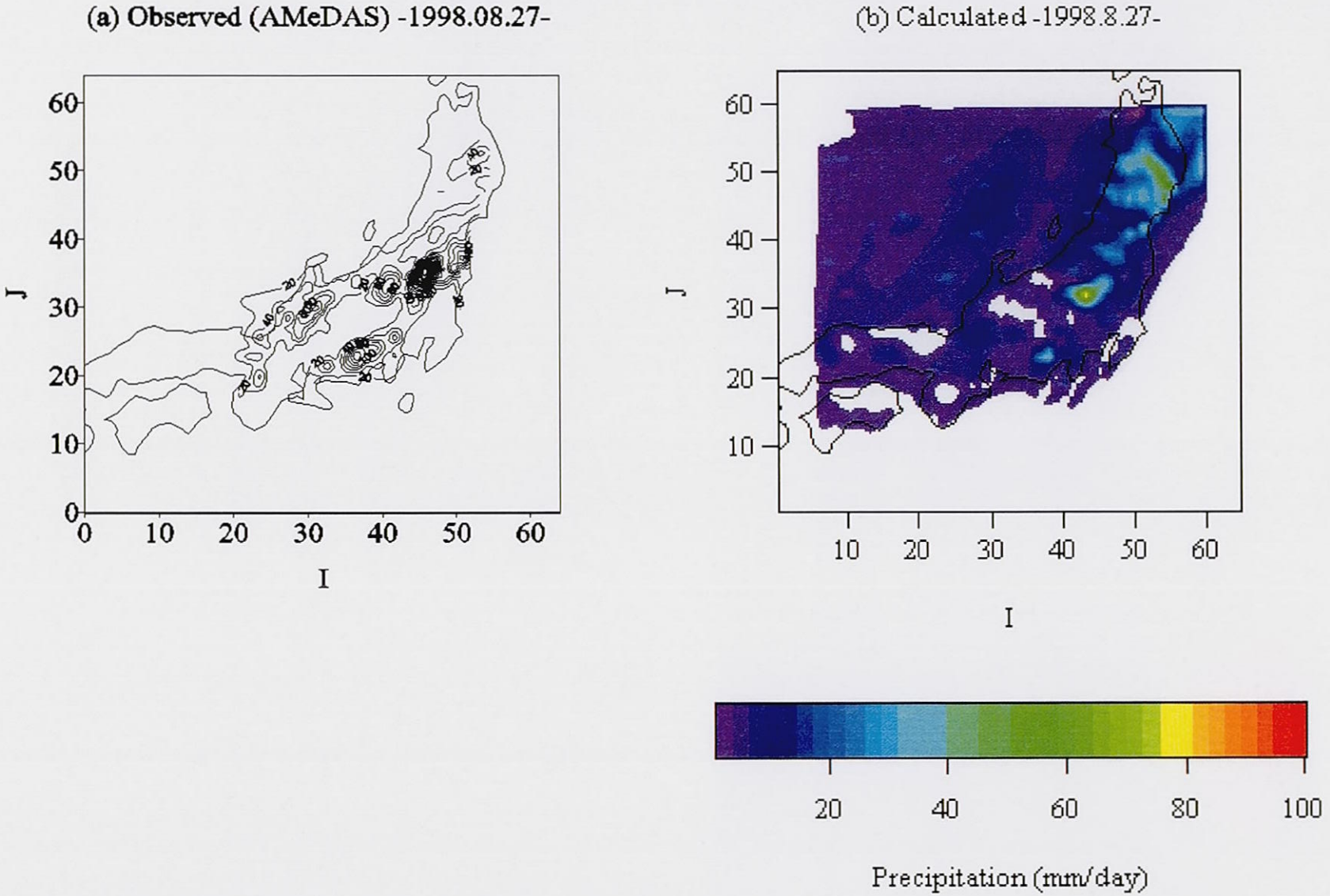


図　アメダスデータとメソスケール大気モデルによる日降水量（1998 年 8 月 27 日）

メソスケール大気モデルによる平成10年８月末豪雨の再現に関する研究報告書

－ 目　次 －

第１章　はじめに …… 1
1.1　研究の背景・目的 …… 1
1.2　研究方針 …… 1
第２章　メソスケール大気モデルの開発 …… 4
2.1　メソスケール大気水文統合モデル(IRSHAM)の概要 …… 4
2.1.1　概　要 …… 4
2.1.2　使用データ …… 7
2.1.3　基礎方程式 …… 8
2.1.4　数値解法 …… 9
2.1.5　パラメタリゼーション …… 9
2.2　入力条件作成プログラムの開発 …… 10
2.2.1　GPVの概要 …… 10
2.2.2　入力条件作成プログラムの開発 …… 13
2.3　メソスケール大気モデルの開発 …… 15
2.3.1　概　要 …… 15
2.3.2　使用データ …… 17
2.3.3　基礎方程式 …… 18
2.3.4　数値解法 …… 19
2.3.5　パラメタリゼーション …… 19
第３章　メソスケール大気モデルによる既往降雨の再現計算 …… 21
3.1　平成10年８月末豪雨の概要 …… 21
3.1.1　概　要 …… 21
3.1.2　気象の概況 …… 21
3.1.3　大雨の状況 …… 23
3.1.4　洪水の状況 …… 29
3.1.5　被害発生状況 …… 30
3.2　再現計算入力条件の設定 …… 32
3.2.1　初期条件 …… 32
3.2.2　境界条件 …… 33
3.3　メソスケール大気モデルによる再現計算 …… 34
3.3.1　再現計算条件 …… 34

3.3.2　再現計算結果 …… 35
3.3.3　結果の考察 …… 84
第4章　大気モデルを用いた可能最大降水量推定手法の検討 …… 85
4.1　従来の可能最大降水量推定手法の整理 …… 85
4.1.1　可能最大降水量の定義 …… 85
4.1.2　可能最大降水量推定手法の分類 …… 85
4.1.3　従来の可能最大降水量推定手法の概要 …… 88
4.1.4　従来の可能最大降水量推定手法の問題点 …… 93
4.2　大気モデルを用いた可能最大降水量推定手法の検討 …… 94
4.2.1　概　要 …… 94
4.2.2　日本における豪雨の特徴 …… 94
4.2.3　可能最大降水量生起シナリオ設定方法の検討 …… 95
4.2.4　大気モデルを用いた可能最大降水量推定方法の検討 …… 95
4.2.5　現時点における課題 …… 96
第5章　非静力学モデルについての整理 …… 97
5.1　非静力学モデルの必要性 …… 97
5.1.1　メソスケールについて …… 97
5.1.2　非静力学モデルの必要性 …… 99
5.2　代表的非静力学モデル …… 99
第6章　おわりに …… 101

参考文献 …… 102

巻末資料（入力条件作成プログラム） …… 104

第1章　はじめに

1.1　研究の背景・目的

近年、水循環系の健全性に対する国民の関心が高まるにつれ、水の総合的な管理、いわゆる流域管理の必要性が高まっている。

健全な水循環系の構築のためには、流域全体の水循環に関わる自然現象と人間活動を把握し、費用と投資効果（水量、水質等への効果）のバランスを最大限考慮した上で最適なマネジメント施策を決定する必要があるが、そのためには、様々なマネジメント施策シナリオに対する効果を評価できる手法の確立が急務である。

効率的・効果的な流域管理施策の実現に向けての具体的なアプローチとしては様々なものがあり、例えば吉谷ら[2), 3)]は、水資源開発・マネジメント施策が流域全体の水利用に与える影響・効果を確率論的に表現できるシミュレーションモデルを用いた利水面からの流域管理手法を提案している。

一方、我が国は、洪水・土砂災害の危険性が高い地域に居住せざるを得ない国土条件下にあり、これらの地域に人口、産業、社会の中枢機能が集中していることから、これまでの着実なハード施設整備にも関わらず、計画規模以上の予想を上回る自然現象の発生により大規模な洪水・土砂災害が発生する可能性を常に内在している。今後は、これまで国土マネジメントの基本とされてきたハード施設整備と合わせて流出抑制対策、避難体制の確立等川の中だけでなく、流域全体での効果的な対策を講じることにより超過洪水等による壊滅的な被害を防ぐ、被害極小型[1)]の国土マネジメントが必要とされている状況にある。

計画規模以上の予想を上回る降雨については、物理的（気象学的）に生起し得る最大の降水量、即ち可能最大降水量（Probable Maximum Precipitation：PMP）の推定手法の確立といった治水面からのアプローチが重要となってくる。可能最大降水量を流域管理に利用するためには、山地等の地形要因等を考慮でき、推定の対象となる地域の上層、下層の物理量（風、気温、湿度等）並びに周辺の物理量との相互作用等、豪雨を気象学的な方法でシミュレートできる数値モデルを用い、気象条件を変化させて豪雨生起の可能性を推定することが有効である。

本研究では、河川計画、超過洪水対策等への利用を目的として、将来の気象現象をシミュレートできるメソスケール大気モデルを開発し、既往の主要降雨を対象とした再現計算を通してモデルの有効性を確認した。

1.2　研究方針

本研究における主な検討項目は以下のとおりであり、そのフローチャートを図1.1に示す。

(1) メソスケール大気モデルの開発

1) 入力条件作成プログラムの開発

2) メソスケール大気モデルの開発

(2) メソスケール大気モデルによる既往降雨の再現計算

1) 再現計算入力条件の設定

2) メソスケール大気モデルによる再現計算

(3) 大気モデルを用いた可能最大降水量推定手法の検討

1)従来の可能最大降水量推定手法の整理

2)大気モデルを用いた可能最大降水量推定手法の検討

(4)非静力学モデルについての整理

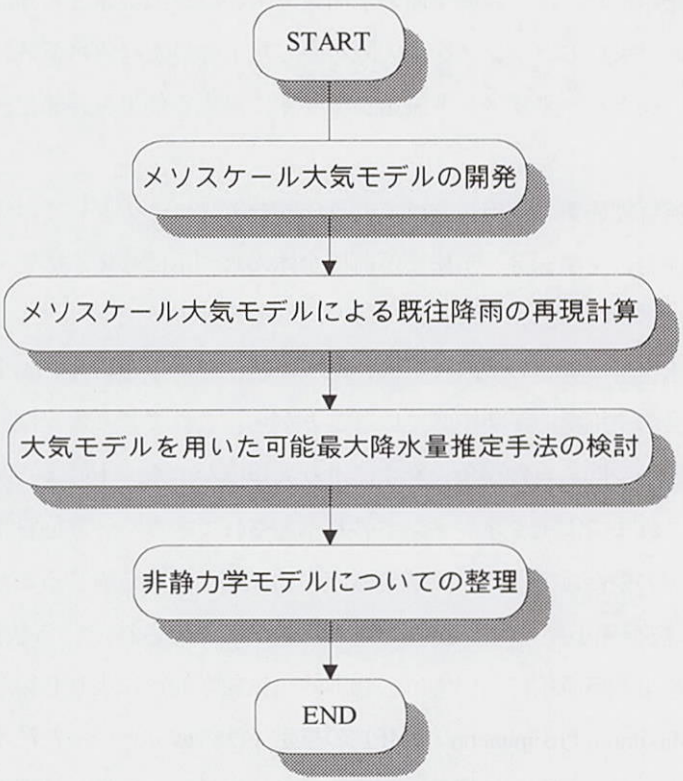


図1.1 研究フローチャート

上述した検討項目毎の検討方針は以下に示すとおりである。

(1)メソスケール大気モデルの開発

国土交通省土木研究所河川部水文研究室では、気候変動等の長期的な外的環境変化が将来の地域的な水利用に与える影響を把握することを目的として、カリフォルニア大学デーヴィス校（UCD）Kavvas 教授との共同研究により、既にメソスケール大気水文統合モデル（Integrated Regional Scale Hydrologic/Atmospheric Model：IRSHAM）を開発しており[4), 5), 6)]、この IRSHAM を基本として、短期的な気象現象をシミュレートできるメソスケール大気モデルを開発する。

1)入力条件作成プログラムの開発

メソスケール大気モデルを用いた解析に必要となる入力条件（初期条件並びに境界条件）を作成するプログラムを開発する。なお本モデルの入力条件として使用する気象情報は、将来的な情報入手の容易性等を考慮して、気象庁の現業領域数値予報モデル（Regional Spectral model：RSM）の初期場として作成されている領域客観解析値（Grid Point Value: GPV）とする。

2)メソスケール大気モデルの開発

既存の IRSHAM から短期的な気象現象にほとんど影響しないと考えられる地表面水文過程を取り除いて簡略化し、短期的な気象現象をシミュレートできるメソスケール大気モデルを開発する。

(2)メソスケール大気モデルによる既往降雨の再現計算

開発したメソスケール大気モデルの有効性を確認するため、既往の主要降雨を対象とした再現計算を行う。なお本計算では、平成 10 年 8 月 26 日から 31 日にかけて北日本・東日本を中心に多大な被害をもたらした集中豪雨（気象庁命名：平成 10 年 8 月末豪雨、栃木県那須町において総降水量 1,254mm を記録[7)]）を対象降雨とする。

1)再現計算入力条件の設定

対象降雨時の気象情報をもとに、メソスケール大気モデルを用いた再現計算に必要な入力条件（境界条件並びに初期条件）を設定する。

2)メソスケール大気モデルによる再現計算

開発したメソスケール大気モデルを用いて再現計算を実施し、本モデルの有効性を確認する。

(3)大気モデルを用いた可能最大降水量推定手法の検討

可能最大降水量（Probable Maximum Precipitation：PMP）推定手法に関する既往の文献調査を行い、従来の可能最大降水量推定手法における概要並びに問題点をとりまとめるとともに、可能最大降水量の推定に大気モデルを用いる場合の推定手法について検討する。

1)従来の可能最大降水量推定手法の整理

従来の可能最大降水量推定手法について、既往の文献を参考にその概要並びに問題点をとりまとめる。

2)大気モデルを用いた可能最大降水量推定手法の検討

1)での結果を踏まえ、可能最大降水量の推定に大気モデルを用いる場合の推定手法について検討する。

(4)非静力学モデルについての整理

河川流域等、更に細かい空間スケールでの気象現象を把握する場合に必要となる非静力学モデルについて、既往の文献等を参考に整理する。

第2章　メソスケール大気モデルの開発

国土交通省土木研究所河川部水文研究室では、気候変動等の長期的な外的環境変化が将来の地域的な水利用に与える影響を把握することを目的として、カリフォルニア大学デーヴィス校（UCD）の Kavvas 教授との共同研究により、既にメソスケール大気水文統合モデル（Integrated Regional Scale Hydrologic/Atmospheric Model：IRSHAM）を開発しており[4), 5), 6)]、この IRSHAM を基本として、短期的な気象現象をシミュレートできるメソスケール大気モデルを開発する。

2.1　メソスケール大気水文統合モデル（IRSHAM）の概要

2.1.1　概　要

既存の IRSHAM は、気候変動等の長期的な大気水文現象をシミュレートし、これらの外的環境変化が将来の地域的な水利用に与える影響を把握することを目的として開発されたものであり、具体的な計算手順は以下のとおりである（全体フローは図 2.1 参照）。

(1)　全球モデル(General Circulation Model：GCM)による解析値をネスティングし、アジア域を対象とした中領域モデル（水平解像度 60km×60km、以降「Large モデル」と称す）の初期条件並びに境界条件を作成する。

(2)　(1)で作成した初期条件並びに境界条件を用いて、Large モデルによる計算を行う。

(3)　Large モデルの解析値をネスティングし、日本域を対象とした小領域モデル(水平解像度 20km×20km、以降「Small モデル」と称す）の初期条件並びに境界条件を作成する。

(4)　(3)で作成した初期条件並びに境界条件を用いて、Small モデルによる計算を行う。

なお、Large モデル並びに Small モデルの計算領域は図 2.2 に示すとおりであり、空間分解能は、それぞれ、60km×60km 並びに 20km×20km である。但し Small モデルは、本州モデル（四国を含む）、北海道モデル及び九州モデルの 3 地域毎のモデルに分割されている。

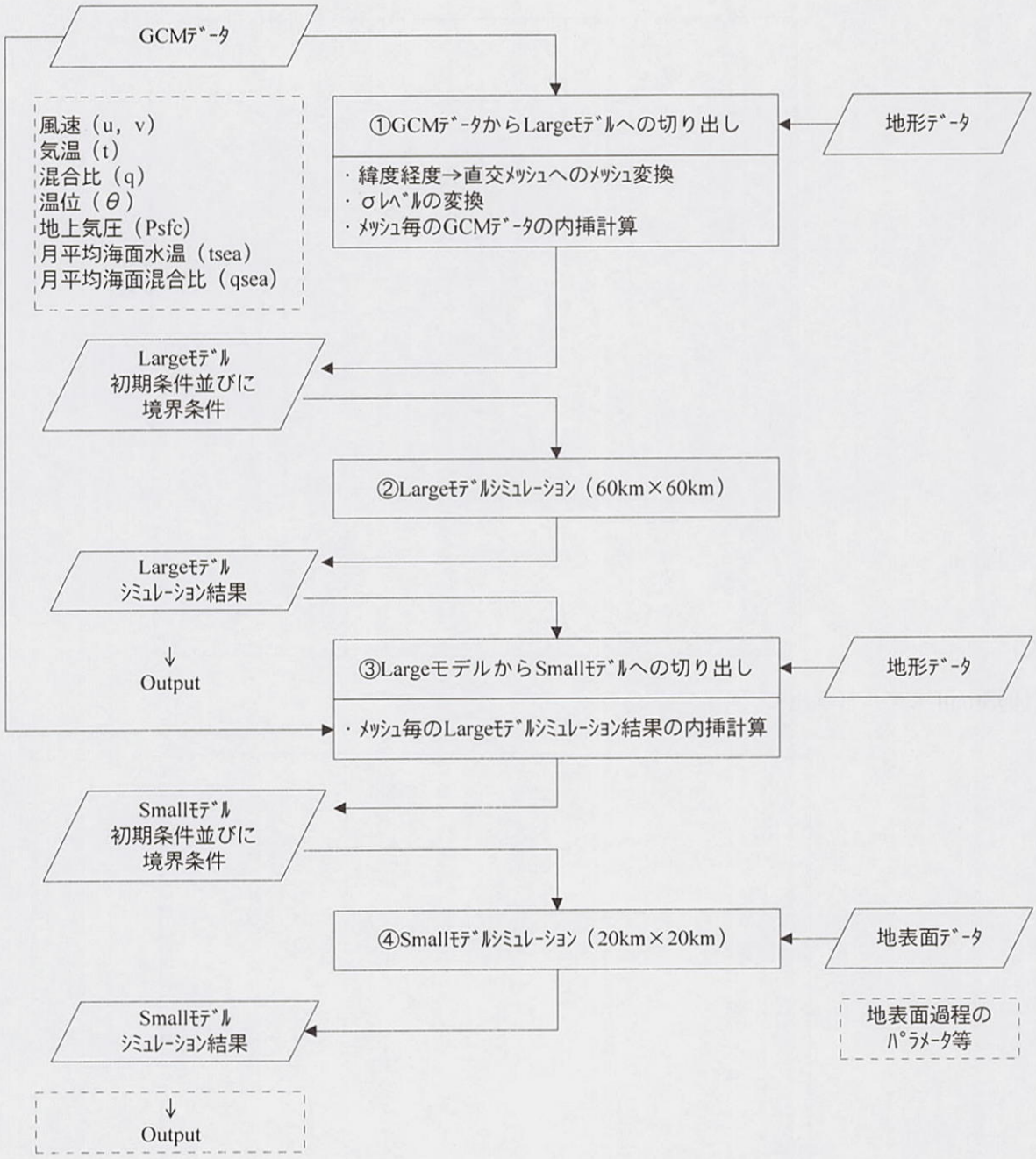


図 2.1 メソスケール大気水文統合モデル（IRSHAM）・全体フロー

(a)Large モデル



(b)Small モデル（本州モデル）



図 2.2 メソスケール大気水文統合モデル（IRSHAM）の計算領域

2.1.2 使用データ

(1)GCM データ

IRSHAM で使用する GCM データには、1)アメリカ国立気象センター（National Meteorological Center：NMC）及び大洋ー大気総合データセット（COADAS）と 2)気象庁気象研究所（MRI-GCM）の 2 種類があり、それぞれのデータの緒元は以下のとおりである。

1)NMC 及び COADAS データ

【NMC データ】

分 解 能：経度 2.5° ×緯度 2.5°

標準高度：12 層（1,000、850、750、500、400、300、200、150、100、70、50、25hPa）

気象要素：気温、風向・風速、湿度、気圧

【COADAS データ】

分 解 能：経度 2° ×緯度 2°

気象要素：月平均海面水温及び混合比

2)MRI-GCM データ

分 解 能：経度 4° ×緯度 5°

標準高度：5 層対流圏モデル（σ_1=0.0555556、σ_2=0.222222、σ_3=0.444444、σ_4=0.666667、σ_5=0.888889）

気象要素：気温、風向・風速、湿度、気圧、月平均海面水温及び混合比

(2)Large モデルデータ

上記 GCM データを用いて、Large モデルによる計算を行う。計算範囲及び緒元は以下のとおりである。

計算範囲 ：日本を含むアジア（サハリン～台湾）

メッシュ幅：60km×60km

メッシュ数：65 メッシュ×65 メッシュ

鉛直 P 座標：12 層または 10 層

NMC データ使用の場合 ：12 層（1,000、850、750、500、400、300、200、150、100、70、50、25hPa）

MRI-GCM データ使用の場合：10 層（1,000、900、800、700、600、500、400、300、200、150hPa）

出力データ：風向・風速（u，v）、温位（θ）、混合比（q）、地上気圧（P_{sfc}）、ジオポテンシャル高度（ϕ）、月平均海面水温（t_{sea}）及び月平均海面混合比（q_{sea}）

(3)Small モデルデータ

Large モデルデータを用いて、更に細かな Small モデルによる計算を行う。

Small モデルの主な特徴は、地表面データを用いて地表面水文過程の計算（大気との水分量、熱量等のやりとり）を行う点にある。

計算範囲及び緒元は以下のとおりである。

計算範囲　：日本（本州、北海道及び九州）

メッシュ幅：20km×20km

メッシュ数：64 メッシュ×64 メッシュ

鉛直 P 座標：12 層または 10 層

NMC データ使用の場合　：12 層（1,000、850、750、500、400、300、200、150、100、70、50、25hPa）

MRI-GCM データ使用の場合：10 層（1,000、900、800、700、600、500、400、300、200、150hPa）

出力データ：風向・風速（u，v）、温位（θ）、混合比（q）、地上気圧（P_{sfc}）、ジオポテンシャル高度（ϕ）、月平均海面水温（t_{sea}）及び月平均海面混合比（q_{sea}）

2.1.3　基礎方程式

IRSHAM の鉛直座標系には、気圧の無次元表示である σ 座標系を用いている。

$$\sigma = \frac{P}{P_{sfc}} \quad \cdots\cdots (1)$$

ここに、P_{sfc}: 表面気圧

である。

IRSHAM は、この σ 座標系を用いた以下に示す 6 つの基礎方程式より構成されている。

【x，y 方向の水平運動量保存式】

$$\frac{Du}{Dt} = \left(f - v\frac{\partial m}{\partial x} + u\frac{\partial m}{\partial y} \right) v - \dot{\sigma}\frac{\partial u}{\partial \sigma} - \left(m\frac{\partial \Phi}{\partial x} + mc_p\theta\frac{\partial \Pi}{\partial x} \right) + F_{u\sigma} \quad \cdots\cdots (2)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -\left(f - v\frac{\partial m}{\partial x} + u\frac{\partial m}{\partial y} \right) u - \dot{\sigma}\frac{\partial v}{\partial \sigma} - \left(m\frac{\partial \Phi}{\partial y} + mc_p\theta\frac{\partial \Pi}{\partial y} \right) + F_{v\sigma} \quad \cdots\cdots (3)$$

【熱エネルギー保存式】

$$\frac{D\theta}{Dt} = -\dot{\sigma}\frac{\partial \theta}{\partial \sigma} + \frac{\theta}{c_pT}H + F_{\theta\sigma} \quad \cdots\cdots (4)$$

【水蒸気量保存式】

$$\frac{Dq}{Dt} = -\dot{\sigma}\frac{\partial q}{\partial \sigma} + M + F_{q\sigma} \quad \cdots\cdots (5)$$

【質量保存式】

$$\frac{D\ln P_{sfc}}{Dt} = -V_\sigma \overline{V} - \frac{\partial \dot{\sigma}}{\partial \sigma} \quad \cdots\cdots (6)$$

【静力学方程式】

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} = -\frac{RT}{\sigma} = -c_p\theta\frac{\partial \Pi}{\partial \sigma} \quad \cdots\cdots (7)$$

ここに、

$\frac{D}{Dt}$: 水平方向の実体の間に関する導関数 $= \frac{\partial}{\partial t} + \bar{v} \cdot V$

f: コリオリのパラメータ $= 2\Omega \sin \phi$

Ω：地球の角速度

ϕ：緯度

u, v：x及びy方向の水平風速

$\dot{\sigma}$：σ座標における鉛直風速 $= \frac{d\sigma}{dt} = w$

Φ：ジオポテンシャル高度，$d\Phi(z) = gdz$

c_p: 空気の定圧比熱 $= 1{,}004 Jkg^{-1}K^{-1}$

T：気温

θ：温位

Π：無次元圧力 $= \frac{T}{\theta} = \left(\frac{P}{1{,}000}\right)^{0.286}$

m：極座標立体投射のための地図係数 $= \frac{1+\sin\phi_0}{1+\sin\phi}\ (\phi_0 = 60^\circ N)$

$F_{u\sigma}, F_{v\sigma}$: 鉛直方向のx及びy方向運動量乱流フラックスの発散

H：加熱または冷却率

$F_{\theta\sigma}$: 鉛直方向の熱乱流フラックスの発散

q：混合比

M：鉛直方向の対流による混合比の変化

$F_{q\sigma}$: 鉛直方向の水分乱流フラックスの発散

R：乾燥空気の気体定数 $= 287 Jkg^{-1}K^{-1}$

である。

2.1.4 数値解法

IRSHAM における数値解法には、疑似ラグランジェ移流法が用いられている。

このラグランジェ法は、通常用いられる差分法、有限要素法、スペクトル法等のオイラー法（オイラー法は、Δt 時刻後の各格子点における変数値の変化量を、t 時刻の各格子点値により推定する手法であり、各格子点における変数値の時間的変化のみを見る手法である）と異なり、ある格子点の変数値がΔt 時刻前にどの地点にあり、その値がいくらであったかを定め、それが移流するものとして今後の格子点値を求める手法である。

2.1.5 パラメタリゼーション

基礎方程式中の F、H、M は、本来、何らかの微分形で表現されるものであるが、その現象とモデルの分

解能（水平格子間隔，層間隔）の関係から、直接表現できない。

IRSHAM の Small モデルでも、水平格子間隔は高々20km×20km であり、後に述べる降水過程を例にとると、1 つの対流セルは概ね 10km 弱の大きさしか持っておらず、20km 間隔の格子点では直接微分形として表現できない現象である。そのため、20km 間隔の格子点値の違いを経験的に対流性降雨に結びつけることによりモデル化する「パラメタリゼーション」という手法が用いられている。

IRSHAM では、以下の 3 つの過程でパラメタリゼーションが用いられている。

(1)降水過程

(2)境界層の鉛直混合過程

(3)地表面過程

2.2　入力条件作成プログラムの開発

大気モデルを用いて将来の気象現象を予測あるいはシミュレートする場合、モデルの解像度に応じた初期条件並びに境界条件を設定する必要があるが、一般には、モデルの解像度が小さければ小さいほど、その入手は困難であるとされている。そのため、地域スケールの気象現象をシミュレートする場合には、比較的大きなスケールの現象を対象とした解析結果を順次必要なスケールまで内挿して地域スケールモデルの初期条件並びに境界条件を設定する「ネスティング」という手法が一般に用いられており、IRSHAM でも 2 段階のネスティング（GCM→Large モデル→Small モデル）により地域スケールを対象とした Small モデルの初期条件並びに境界条件を設定している。

しかしながら現在では、気象庁の現業領域数値予報モデル（Regional Spectral Model：RSM）の初期場として作成されている領域客観解析値（Grid Point Value：GPV）が 20km×20km の格子点値として比較的容易に入手できる状況にある。従って、この GPV を用いることにより上述したような 2 段階のネスティングを行う必要がなくなり、地域スケールの現象を対象とした Small モデルの計算を直接行うことが可能となる。

そこで、GPV を利用して直接地域スケールの気象現象をシミュレートできるよう、現行の IRSHAM を改良するものとした。

2.2.1　GPV の概要

本研究において大気モデルの初期条件並びに境界条件として利用する GPV は、領域解析地域における地上観測及び高層観測等の観測データ、衛星の観測データ等から、3 次元的に規則正しく分布する格子点上に解析された気象要素の値であり、1996 年 3 月以降の気象庁現業領域数値予報モデル（Regional Spectral Model：RSM）の初期場として作成されている。

領域客観解析は、0000UST、1200UST（0900JST，2100JST）について 1 日 2 回実施されており、解析気象要素は、海面気圧、高度、気温、湿数、風速（東西方向，南北方向）である。また、領域客観解析の解析領域は図 2.3 に示すとおりであり、格子数は 257×217 である。

GPV は、北緯 30 度と北緯 60 度を基準とするランベルト座標系であり、格子点（1，1）が解析領域の北西端、（257，217）が解析領域の南東端に対応している。

投影基準緯度：30° N 及び 60° N

投影基準経度：140° E

投影基準緯度での格子間隔：20×10^3（m）

投影基準点：格子点（165，155）=（30° N，140° E）

また、解析されている気圧面毎の気象要素は表 2.1 に示すとおりであり、鉛直レベルは、地上から 10hPa までの 21 層である。



図 2.3 領域客観解析の範囲

表 2.1 気圧面毎の気象要素

気圧面	気象要素				
地　上	Psea	Us	Vs	Ts	TTDs
1000 hPa	Z	U	V	T	TTD
950 hPa	Z	U	V	T	TTD
925 hPa	Z	U	V	T	TTD
900 hPa	Z	U	V	T	TTD
850 hPa	Z	U	V	T	TTD
800 hPa	Z	U	V	T	TTD
700 hPa	Z	U	V	T	TTD
600 hPa	Z	U	V	T	TTD
500 hPa	Z	U	V	T	TTD
400 hPa	Z	U	V	T	TTD
300 hPa	Z	U	V	T	TTD
250 hPa	Z	U	V	T	-
200 hPa	Z	U	V	T	-
150 hPa	Z	U	V	T	-
100 hPa	Z	U	V	T	-
70 hPa	Z	U	V	T	-
50 hPa	Z	U	V	T	-
30 hPa	Z	U	V	T	-
20 hPa	Z	U	V	T	-
10 hPa	Z	U	V	T	-

Psea：海面気圧（hPa）

Us：地上 10m 風速（東西方向）（m/sec）

Vs：地上 10m 風速（南北方向）（m/sec）

Ts：地上 1.5m 気温（K）

TTDs：地上 1.5m 湿数（K）

Z：ジオポテンシャル高度（m）

U：風速（東西方向）（m/sec）

V：風速（南北方向）（m/sec）

T：気温（K）

TTD：湿数（K）

2.2.2 入力条件作成プログラムの開発

GPVとメソスケール大気モデルの水平解像度は、いずれも20km×20kmと同じであるが、両者の投影法は、前者がランベルト座標系、後者がポーラステレオ座標系と異なっており、GPVをメソスケール大気モデルに直接利用するためには、座標変換等の前処理が必要となる。

そこで、以下に示す一連の前処理を行うコンバートプログラムを作成した。

(1) バイナリ形式からアスキー（テキスト）形式への変換
(2) 必要領域内（水平，垂直）の気象要素の切り出し
(3) ランベルト座標系からポーラステレオ座標系への水平座標系変換（図2.4参照）

なお(3)のランベルト座標系からポーラステレオ座標系への水平座標系変換には、以下の式を用いた。

$$X_r = (I - 165) \times 20{,}000 \quad \cdots\cdots (8)$$

$$Y_r = 7.71061 \times 10^6 + (J - 155) \times 20{,}000 \quad \cdots\cdots (9)$$

$$\phi = 90 - 2 \times \tan^{-1}\left\{1.37003 \times 10^{-10} \times (X_r{}^2 + Y_r{}^2)^{0.69875}\right\} \quad \cdots\cdots (10)$$

$$\lambda = 1.39750 \times \tan^{-1}\left(\frac{X_r}{Y_r}\right) + 140 \quad \cdots\cdots (11)$$

$$X_p = \frac{1.14243 \times 10^7}{20{,}000} \times \frac{\tan(45 - \phi/2) \times (1 - \sin 45)}{\sqrt{1 + \tan^2(\lambda - 140)}} \quad \cdots\cdots (12)$$

$$Y_p = X_p \times \tan(\lambda - 140) \quad \cdots\cdots (13)$$

ここに、

I ：ランベルト座標系における経度方向の格子点座標
J ：ランベルト座標系における緯度方向の格子点座標
ϕ ：緯度（deg）
λ ：経度（deg）
X_p ：ポーラステレオ座標系における経度方向の格子点座標
Y_p ：ポーラステレオ座標系における緯度方向の格子点座標

であり、関数$\tan^{-1}$の値域は-90°～90°である。

また水平座標系の変換に際しては、平均処理による局地的な気象現象の喪失を避けるため、メソスケール大気モデルの格子点に最も近いGPVの格子点値を用いるものとした。

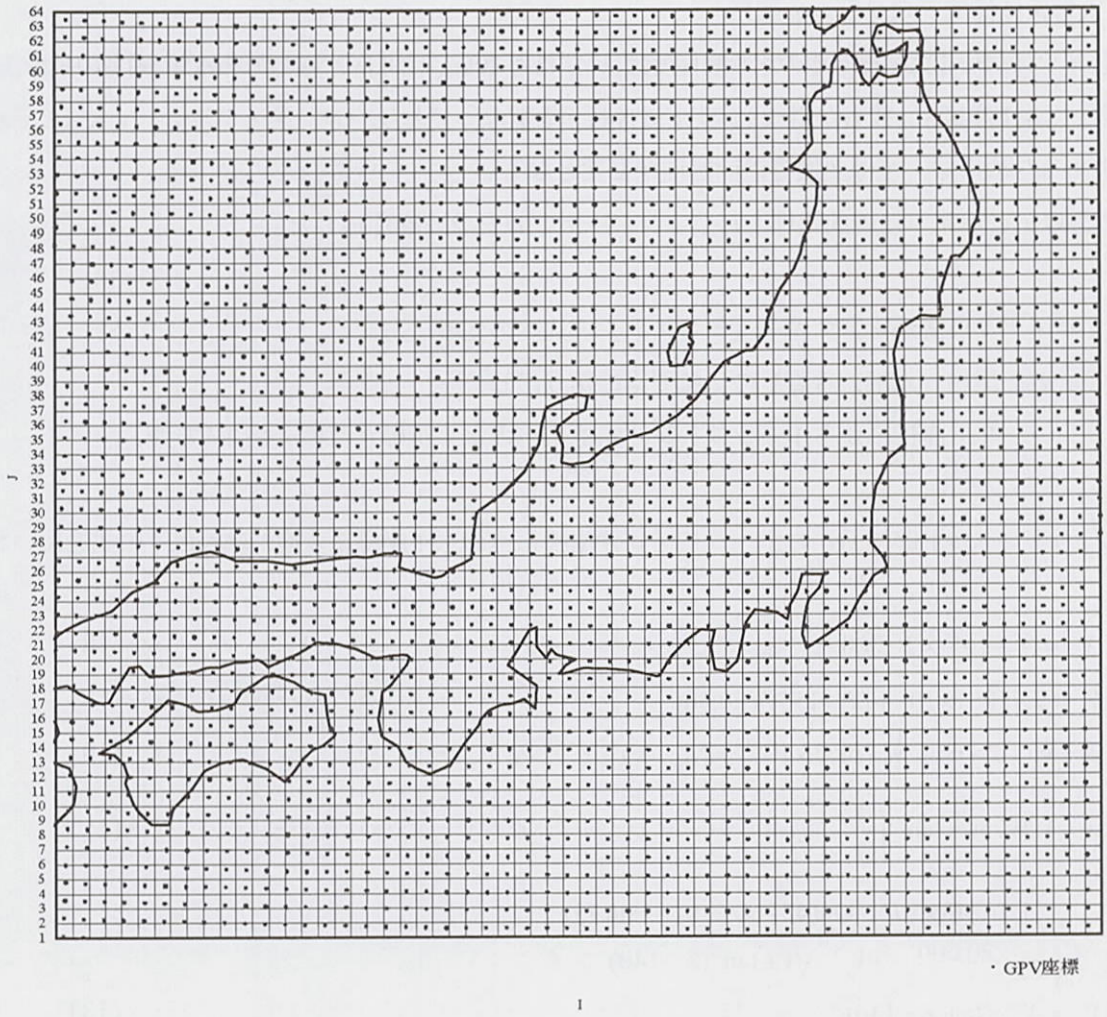


図 2.4 メソスケール大気モデルと GPV の水平座標系

2.3 メソスケール大気モデルの開発

2.3.1 概 要

前述したとおり、既存の IRSHAM は、まず全球モデル(GCM)による解析値を境界条件としてアジア域を対象とした Large モデル（水平解像度 60km×60km）を計算し、次にこの中領域モデルの解析値を境界条件として日本域を対象とした Small モデル（水平解像度 20km×20km）を計算するルーチンとなっている。しかしながら本研究では、入力条件（初期条件並びに境界条件）として水平解像度 20km×20km の GPV を使用するため、現行の Large モデルを計算する必要はなく、直接 Small モデルの計算を行うことが可能となる。

そこで、GPV を利用して直接メソスケールの気象現象をシミュレートできるよう、IRSHAM を以下のように簡略化した。

(1) IRSHAM の計算ルーチンから不要な部分（GCM から Large モデルの初期条件並びに境界条件を作成するルーチン、Large モデルの計算を行うルーチン）を削除。
(2) Small モデルの初期条件並びに境界条件作成のルーチン（既存の IRSHAM では、Large モデルの計算結果を内挿して Small モデルの初期条件並びに境界条件を作成）を、直接 GPV から作成するよう変更。
(3) 短期的な気象現象をシミュレートする場合、地表面水文過程は計算結果にさほど大きく影響しないと考えられることから、地表面水文過程のルーチンを削除。

開発したメソスケール大気モデルの具体的な計算手順は以下のとおりであり、その全体フローを図 2.5 に示す。

(1) GPV をメソスケール大気モデルの水平座標系（ポーラステレオ座標系）に変換し、本州域（四国を含む）を対象としたメソスケール大気モデル（水平解像度 20km×20km）の入力条件（初期条件並びに境界条件）を作成する。
(2) (1)で作成した入力条件（初期条件並びに境界条件）を用いて、メソスケール大気モデルによる計算を行う。

なお、開発したメソスケール大気モデルの計算領域は図 2.6 に示すとおりであり、空間分解能は 20km×20km である。

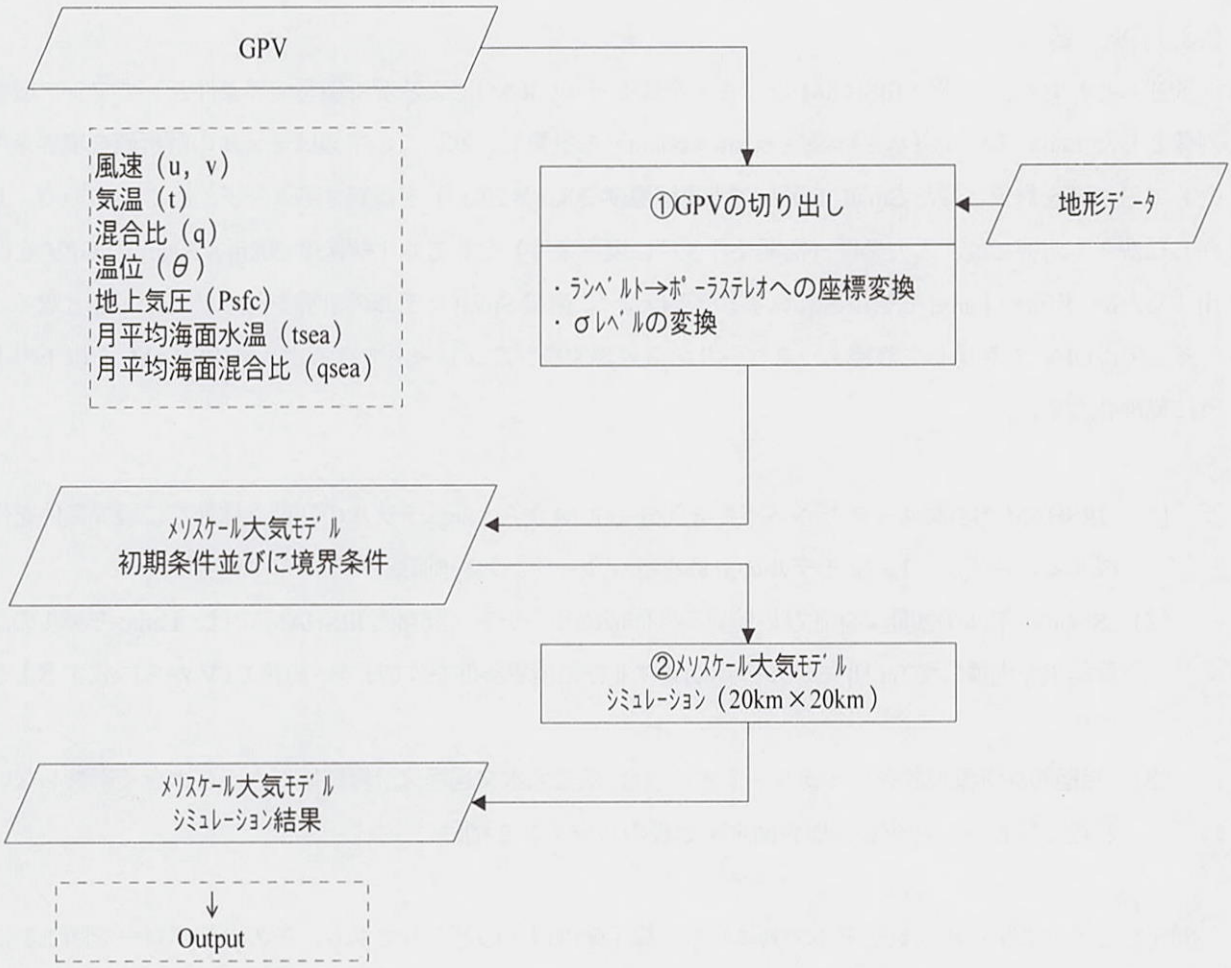


図2.5 メソスケール大気モデル・全体フロー

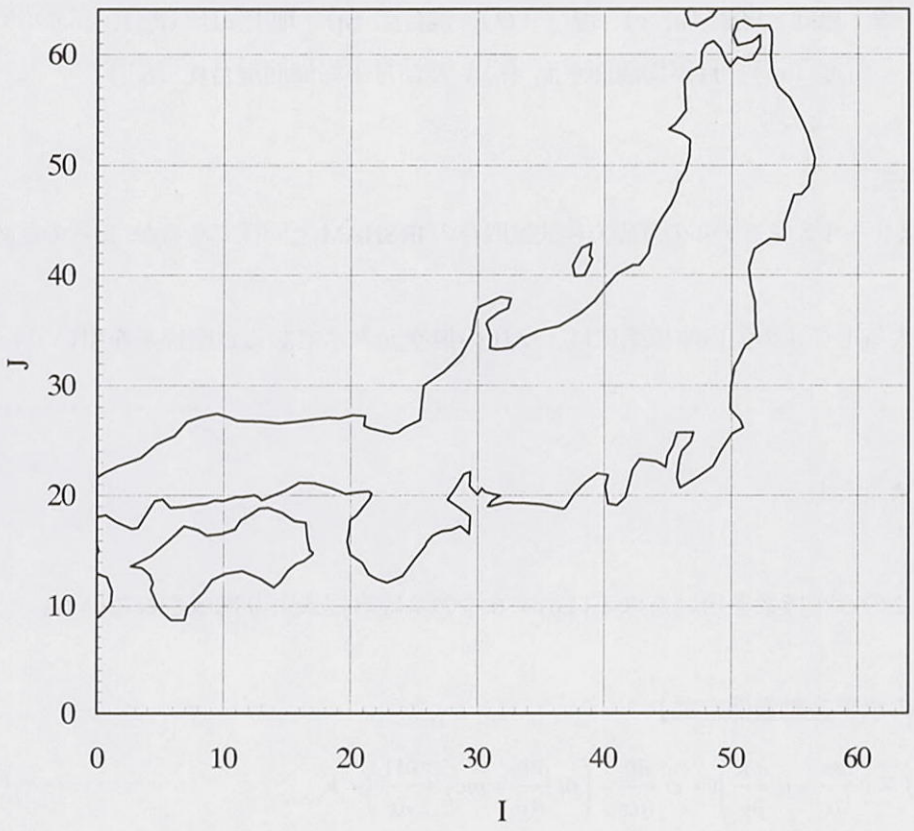


図 2.6 メソスケール大気モデル・計算領域

2.3.2 使用データ

(1)GPV

開発したメソスケール大気モデルで使用するデータは、前述したとおり、気象庁の現業領域数値予報モデル（RSM）の初期場として作成されている領域客観解析値（GPV）であり、その緒元は以下のとおりである。

分 解 能：20km×20km

標準高度：21 層（地上、1,000、950、925、900、850、800、700、600、500、400、300、250、200、150、100、70、50、30、20、10hPa）

気象要素：気温、風向・風速、湿数、海面気圧、ジオポテンシャル高度

（但し、湿数については、地上から 300hPa 面まで）

(2)メソスケール大気モデルデータ

GPV を用いて、メソスケール大気モデルによる計算を行う。

計算範囲及び緒元は以下のとおりである。

計算範囲　：日本（本州（四国を含む））

メッシュ幅：20km×20km

メッシュ数：64 メッシュ×64 メッシュ

鉛直 P 座標：10 層（1,000、900、800、700、600、500、400、300、200、150hPa）

出力データ：風向・風速（u，v）、温位（θ）、混合比（q）、地上気圧（P_{sfc}）、ジオポテンシャル高度（ϕ）、月平均海面水温（t_{sea}）及び月平均海面混合比（q_{sea}）

2.3.3 基礎方程式

開発したメソスケール大気モデルの基礎方程式は既存のIRSHAMと同様であるが、参考のために再度記載する。

メソスケール大気モデルの鉛直座標系には、気圧の無次元表示であるσ座標系を用いている。

$$\sigma = \frac{P}{P_{sfc}} \quad \cdots\cdots (1)$$

ここに、P_{sfc}: 表面気圧

である。

本モデルは、このσ座標系を用いた以下に示す6つの基礎方程式より構成されている。

【x，y方向の水平運動量保存式】

$$\frac{Du}{Dt} = \left(f - v\frac{\partial m}{\partial x} + u\frac{\partial m}{\partial y} \right) v - \dot{\sigma}\frac{\partial u}{\partial \sigma} - \left(m\frac{\partial \Phi}{\partial x} + mc_p\theta\frac{\partial \Pi}{\partial x} \right) + F_{u\sigma} \quad \cdots\cdots (2)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -\left(f - v\frac{\partial m}{\partial x} + u\frac{\partial m}{\partial y} \right) u - \dot{\sigma}\frac{\partial v}{\partial \sigma} - \left(m\frac{\partial \Phi}{\partial y} + mc_p\theta\frac{\partial \Pi}{\partial y} \right) + F_{v\sigma} \quad \cdots\cdots (3)$$

【熱エネルギー保存式】

$$\frac{D\theta}{Dt} = -\dot{\sigma}\frac{\partial \theta}{\partial \sigma} + \frac{\theta}{c_p T}H + F_{\theta\sigma} \quad \cdots\cdots (4)$$

【水蒸気量保存式】

$$\frac{Dq}{Dt} = -\dot{\sigma}\frac{\partial q}{\partial \sigma} + M + F_{q\sigma} \quad \cdots\cdots (5)$$

【質量保存式】

$$\frac{D\ln P_{sfc}}{Dt} = -V_\sigma \overline{V} - \frac{\partial \dot{\sigma}}{\partial \sigma} \quad \cdots\cdots (6)$$

【静力学方程式】

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} = -\frac{RT}{\sigma} = -c_p\theta\frac{\partial \Pi}{\partial \sigma} \quad \cdots\cdots (7)$$

ここに、

$\frac{D}{Dt}$: 水平方向の実体の間に関する導関数 $= \frac{\partial}{\partial t} + \overline{v}\cdot V$

f：コリオリのパラメータ $= 2\Omega \sin\phi$

Ω：地球の角速度

ϕ：緯度

u, v：x及びy方向の水平風速

$\dot{\sigma}$：σ座標における鉛直風速 $= \dfrac{d\sigma}{dt} = w$

Φ：ジオポテンシャル高度，$d\Phi(z) = gdz$

c_p：空気の定圧比熱 $= 1{,}004 Jkg^{-1}K^{-1}$

T：気温

θ：温位

Π：無次元圧力 $= \dfrac{T}{\theta} = \left(\dfrac{P}{1{,}000}\right)^{0.286}$

m：極座標立体投射のための地図係数 $= \dfrac{1+\sin\phi_0}{1+\sin\phi}\ (\phi_0 = 60^\circ N)$

$F_{u\sigma}, F_{v\sigma}$：鉛直方向のx及びy方向運動量乱流フラックスの発散

H：加熱または冷却率

$F_{\theta\sigma}$：鉛直方向の熱乱流フラックスの発散

q：混合比

M：鉛直方向の対流による混合比の変化

$F_{q\sigma}$：鉛直方向の水分乱流フラックスの発散

R：乾燥空気の気体定数 $= 287 Jkg^{-1}K^{-1}$

である。

2.3.4　数値解法

開発したメソスケール大気モデルにおける数値解法は、既存の IRSHAM と同様、疑似ラグランジェ移流法を用いている。

このラグランジェ法は、通常用いられる差分法、有限要素法、スペクトル法等のオイラー法（オイラー法は、Δt 時刻後の各格子点における変数値の変化量を、t 時刻の各格子点値により推定する手法であり、各格子点における変数値の時間的変化のみを見る手法である）と異なり、ある格子点の変数値がΔt 時刻前にどの地点にあり、その値がいくらであったかを定め、それが移流するものとして今後の格子点値を求める手法である。

2.3.5　パラメタリゼーション

基礎方程式中の F、H、M は、本来、何らかの微分形で表現されるものであるが、その現象とモデルの分解能（水平格子間隔，層間隔）の関係から、直接表現できない。

今回開発したメソスケール大気モデルでも、水平格子間隔は高々20km×20km であり、後に述べる降水過程を例にとると、1つの対流セルは概ね10km 弱の大きさしか持っておらず、20km 間隔の格子点では直接微分形として表現できない現象である。そのため、既存の IRSHAM と同様、20km 間隔の格子点値の違いを経験的に対流性降雨に結びつけることによりモデル化する、「パラメタリゼーション」という手法を用いている。

本モデルでは、IRSHAM で用いられている3つの過程のうち地表面過程を除いた、以下の2つの過程でパラメタリゼーションを用いている。

(1) 降水過程

(2) 境界層の鉛直混合過程

第3章　メソスケール大気モデルによる既往降雨の再現計算

開発したメソスケール大気モデルの有効性を確認するため、既往の主要降雨を対象とした再現計算を実施する。なお本計算においては、平成10年8月26日から31日にかけて北日本・東日本に多大な被害をもたらした集中豪雨（気象庁命名、平成10年8月末豪雨、栃木県那須町において総降水量1,254mmを記録[7]）を対象降雨とする。

3.1　平成10年8月末豪雨の概要

気象庁が発表した「災害時気象速報　前線による平成10年8月26日から8月31日にかけての北日本・東日本を中心とする大雨　－平成10年8月末豪雨－」[7]を参考に、再現計算の対象降雨に選定した平成10年8月末豪雨の概要をとりまとめる。

3.1.1　概　要

平成10年8月26日から31日にかけて、前線が日本付近に停滞し、台風第4号が日本の南海上をゆっくりと北上した。この期間、台風の間接的な影響も加わり前線に向かって暖かく湿った空気が南から流入して前線の活動が活発となり、北日本や東日本を中心に大雨が断続的に続き、北日本の太平洋側から関東地方にかけて記録的な降水量となったところが多かった。このため、各地で洪水、浸水、土砂災害の被害が発生した。特に8月26日夜から27日朝にかけて、栃木県と福島県の県境付近を中心に豪雨となり、河川の氾濫、土砂崩れ等の大きな被害が発生した。

3.1.2　気象の概況

8月26日から31日にかけて、前線が日本付近に停滞し活動が活発となったため、北日本や東日本を中心に大雨となった。この期間を通しての特徴として次の点があげられる。

- 中国大陸と日本の東海上に高気圧があり、日本付近は気圧の谷となった。前線は若干南北に振動しながら北日本から東日本にかけて、ほぼ同じ位置に停滞した。
- 台風4号が期間を通して日本の南海上にあり、動きが比較的遅かった。
- 日本の東海上にある高気圧の縁辺を回る形で南から高温の湿った空気が前線の停滞する北日本や東日本付近に流れ込むパターンが続いた。

図3.1に平成10年8月26日から31日にかけての地上天気図を示す。

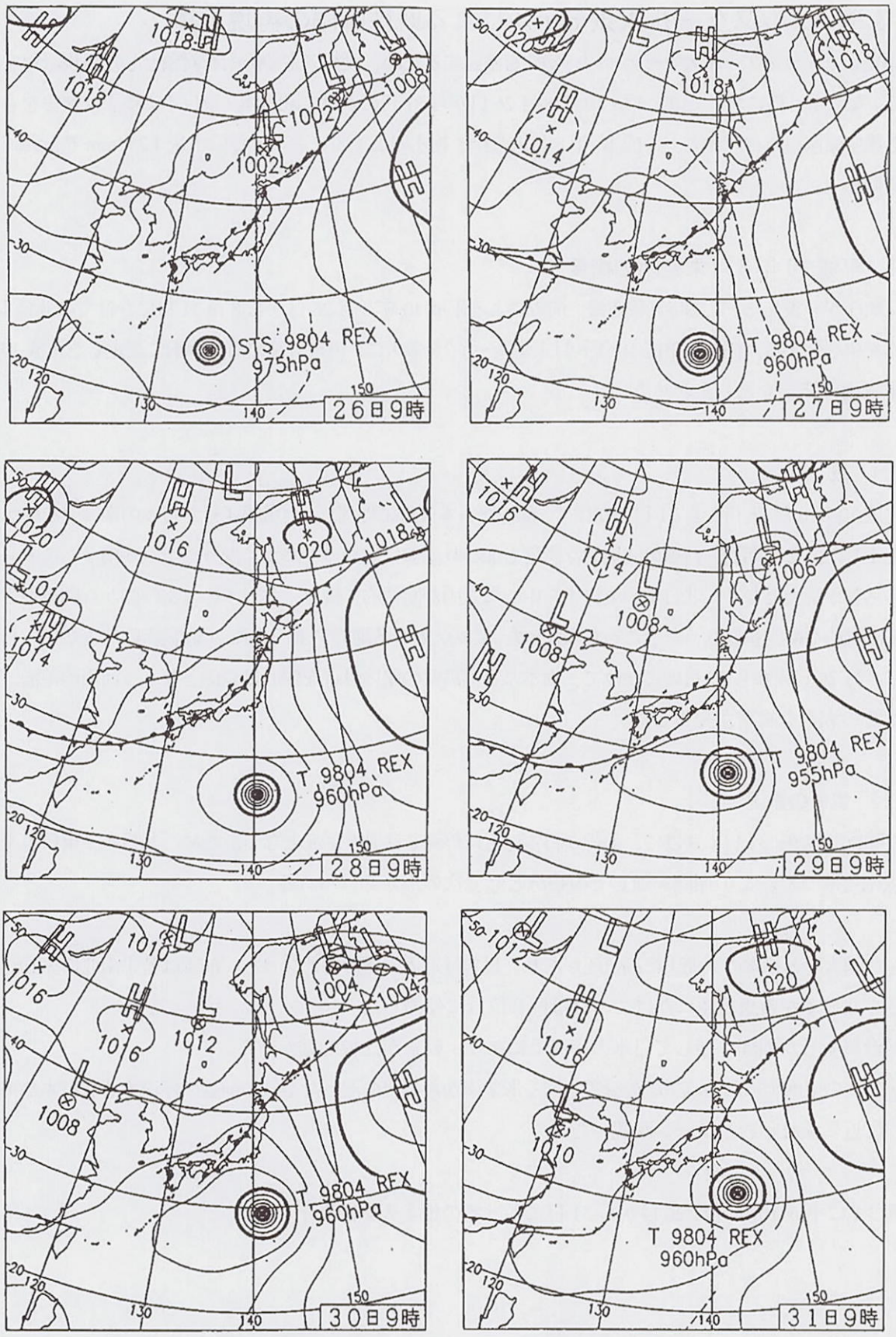


図3.1 地上天気図（1998年8月26～31日）

3.1.3 大雨の状況

8月26日から31日にかけての総降水量が300mmを超えた地点は、東北地方の太平洋側から関東地方北部を通って静岡県にかけてライン状に並んだ（図3.2，3.3参照）。これは、この期間に北日本から東日本にかけて停滞していた前線にほぼ沿っている。中でも、栃木県北部～福島県中通り地方、静岡県東部～神奈川県西部、岩手県の太平洋沿岸では500mm以上を観測したところがあった。特に、栃木県那須町では26日から5日間連続して130mm以上の日降水量を観測し、総降水量が1,254mmに達した（図3.4，3.5，表3.1，3.2参照）。これは、平年の那須町における降水量（1,815mm）の約3分の2、また、平年の8月の月降水量（283mm）の4倍以上にあたる。

降水量の多かった地点

都道府県名	市町村名	ｱﾒﾀﾞｽ地点名		降水量
栃木	那須町	那須	ﾅｽ	1254
栃木	矢板市	八方が原	ﾊｯﾎﾟｳｶﾞﾊﾗ	931
栃木県	黒磯市	黒磯	ｸﾛｲｿ	689
福島	長沼町	長沼	ﾅｶﾞﾇﾏ	688
神奈川	山北町	丹沢湖	ﾀﾝｻﾞﾜｺ	687
静岡	中伊豆町	天城山	ｱﾏｷﾞｻﾝ	678
神奈川	箱根町	箱根	ﾊｺﾈ	675
福島	白河市	白河	ｼﾗｶﾜ	656
神奈川	相模湖町	相模湖	ｻｶﾞﾐｺ	623
栃木	大田原市	大田原	ｵｵﾀﾜﾗ	578

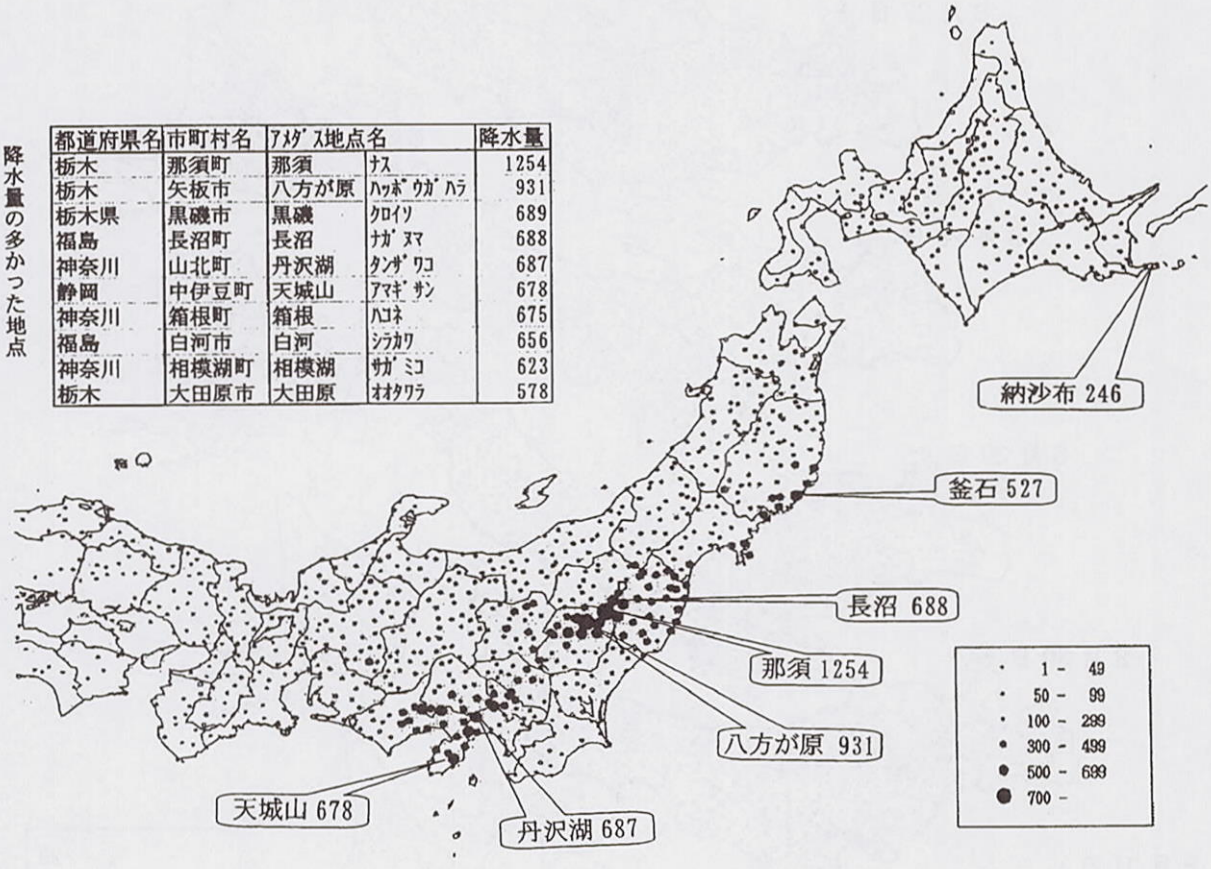


図3.2 総雨量分布図（AMeDAS観測値による，1998年8月26～31日，単位：mm）

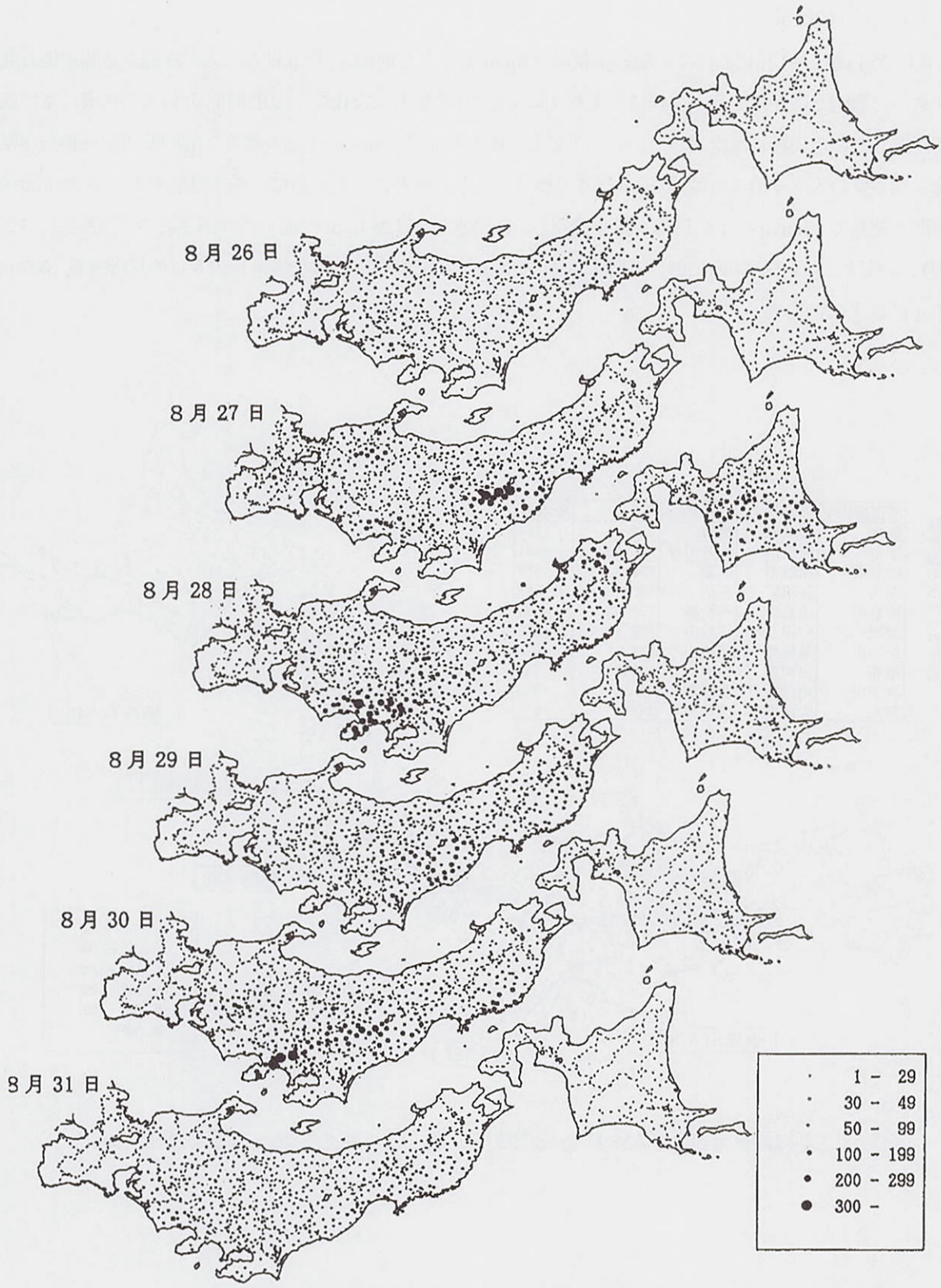


図3.3 日降水量図（00～24時の合計値，単位：mm）

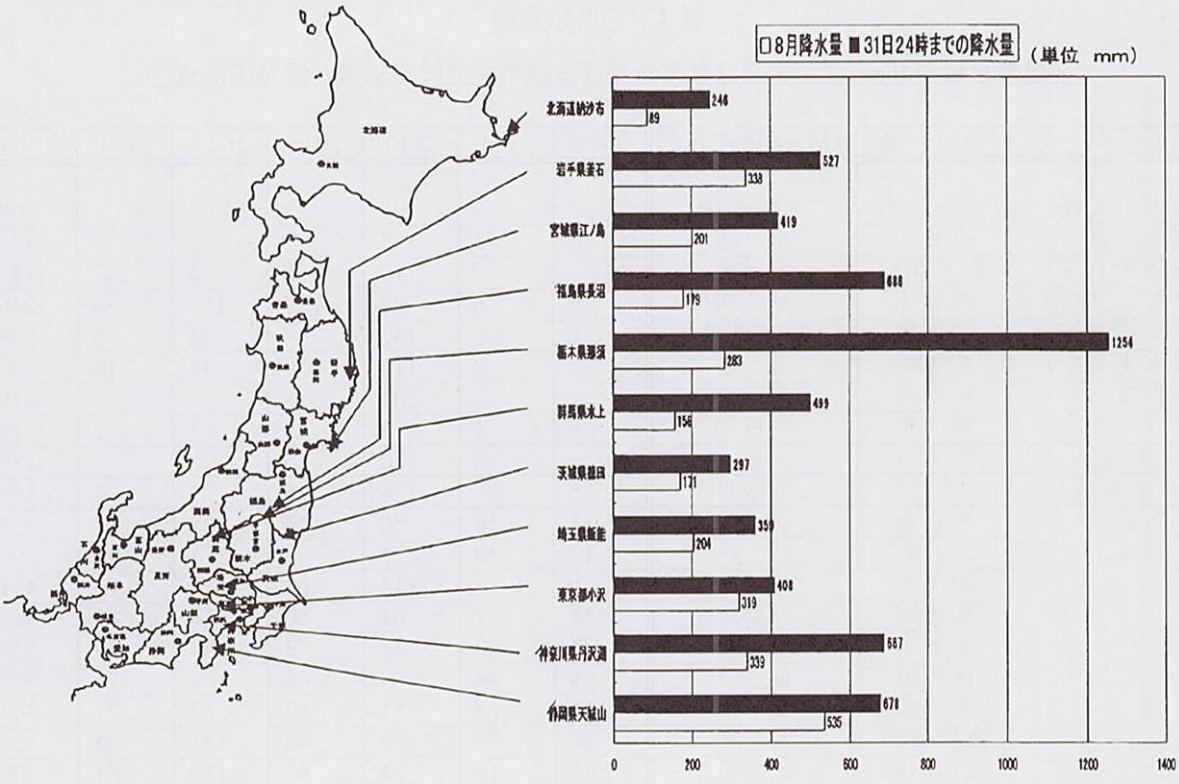


図 3.4 月降水量図（平年８月の月雨量との比較）

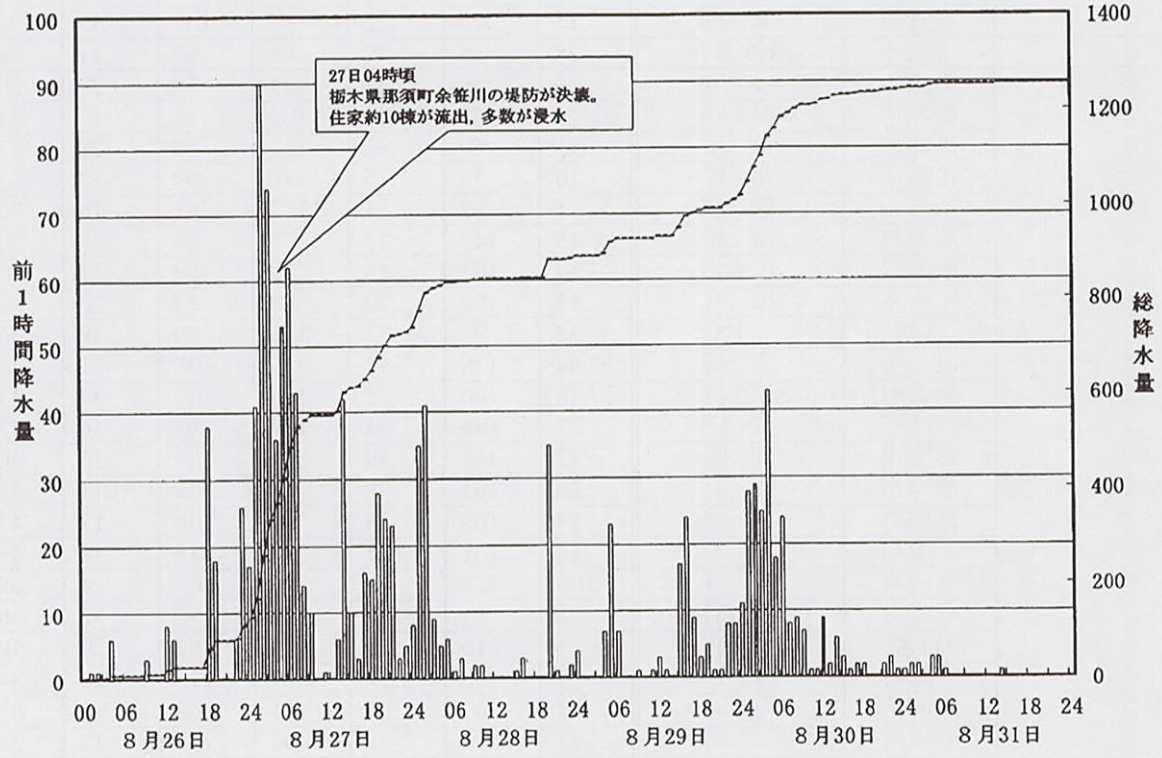


図 3.5 時系列降水量図（栃木県那須町，単位：mm）

表 3.1 日降水量表

（総降水量 300mm 以上または被害を受けた市町村で総降水量が最多の地点①）

都道府県名等	市町村名	AMeDAS地点名	26日	27日	28日	29日	30日	31日	合　計
北海道（上川支庁）	富良野市	前時雨山			196	13			209
（空知支庁）	夕張市	鹿　島	1	1	151	9			162
（網走支庁）	佐呂間町	佐呂間			110	28	5	2	145
（根室支庁）	根室市	納沙布	5	6	26	19	154	36	246
（釧路支庁）	阿寒町	阿寒湖畔	1	6	132	60	24	5	228
（十勝支庁）	広尾町	広　尾		2	115	39	37	10	203
（胆振支庁）	穂別町	穂　別			201	18			219
（日高支庁）	浦河町	中杵臼	3	1	176	25	11	2	218
青森県	岩木町	岳		2	120	15			137
秋田県	五城目町	五城目	5		124	15	1	5	150
岩手県	宮古市	宮　古	13	18	80	45	105	97	358
	川井村	川　井	10	30	23	39	111	94	307
	山田町	山　田	9	35	147	63	124	73	451
	住田町	五葉山	14	41	61	60	116	67	359
	釜石市	釜　石	27	20	183	73	154	70	527
	住田町	住　田	9	40	55	48	108	77	337
	一関市	祭　畤	17	8	51	87	67	71	301
	大船渡市	大船渡	24	23	88	48	131	53	367
	気仙沼市	気仙沼	47	15	34	47	112	54	309
宮城県	雄勝町	雄　勝	41	33	39	71	143	49	376
	石巻市	石　巻	59	56	18	46	107	41	327
	女川町	江ノ島	11	69	42	104	155	38	419
	亘理町	亘　理	17	64	22	70	94	34	301
	丸森町	筆　甫	11	76	22	72	106	35	322
山形県	米沢市	西吾妻山	28	95	52	66	62	11	314
福島県	梁川町	梁　川	9	59	25	109	79	27	308
	福島市	吾妻山	9	55	48	102	85	17	316
	福島市	福　島	15	60	30	112	90	27	334
	相馬市	相　馬	10	75	15	80	99	32	311
	福島市	鷲　倉	5	62	54	108	81	16	326
	飯舘村	飯　舘	15	142	17	76	94	39	383
	飯舘村	八木沢	17	107	16	72	89	33	334
	原町市	原　町	15	100	20	83	87	20	325
	二本松市	二本松	38	74	33	116	80	19	360
	浪江町	津　島	44	126	17	89	105	31	412
	船引町	船　引	18	100	25	143	107	37	430
	浪江町	浪　江	27	196	24	119	95	16	477
	郡山市	湖　南	12	131	59	81	109	15	407
	郡山市	郡　山	28	101	38	97	76	11	351
	富岡町	富　岡	17	169	25	91	106	17	425
	天栄村	湯　本	18	161	104	89	149	14	535
	長沼町	長　沼	100	324	62	85	103	14	688
	小野町	小野新町	8	91	16	130	92	32	369
	いわき市	川　前	8	215	19	149	81	20	492
	広野町	広　野	7	100	17	87	115	18	344
	白河市	白　河	97	267	65	114	102	11	656
	石川町	石　川	23	74	21	94	103	17	332
	田島町	山王峠		110	36	75	98	3	322
	古殿町	大辻山	18	93	19	109	86	28	353
	いわき市	上遠野	14	58	18	109	90	13	302
	塙　町	東白川	23	109	35	103	138	25	433
茨城県	美里村	徳　田	2	23	28	109	112	23	297

表3.1 日降水量表

（総降水量300mm以上または被害を受けた市町村で総降水量が最多の地点②）

都道府県名等	市町村名	AMeDAS地点名	26日	27日	28日	29日	30日	31日	合　計
栃木県	那須町	那　須	130	607	150	130	225	12	1,254
	藤原町	五十里	33	215	75	124	111	5	563
	矢板市	八方が原	12	409	138	116	243	13	931
	黒磯市	黒　磯	41	351	61	77	143	16	689
	栗山村	土呂部		70	53	96	81	9	309
	大田原市	大田原	36	211	84	140	89	18	578
	日光市	日　光		75	106	118	102	14	415
	今市市	今　市	14	164	58	125	190	1	552
	塩谷町	塩　谷	11	247	49	57	199	4	567
	足尾町	足　尾	2	36	112	80	99	16	345
	粟野町	方塞山	3	108	82	75	112	12	392
	鹿沼市	鹿　沼	16	127	61	32	158	4	398
	足利市	足　利		25	60	60	175	2	322
群馬県	水上町	藤　原	10	134	108	51	94	12	409
	水上町	水　上	14	179	125	71	101	9	499
	新治村	雨見山	12	90	117	92	75	10	396
	富士見村	赤城山	1	48	148	106	81	23	407
	榛名町	榛名山	35	96	69	86	82	9	377
	桐生市	桐　生		27	66	18	145	47	303
埼玉県	熊谷市	熊　谷	1	35	63	51	170	7	327
	鴻巣市	鴻　巣		37	140	81	60	1	319
	鳩山町	鳩　山	1	48	110	13	129	14	315
	飯能市	飯　能		48	180	12	114	5	359
	所沢市	所　沢		33	224	28	63	6	354
東京都	檜原村	小　沢	1	35	214	10	143	5	408
	青梅市	青　梅	1	58	189	20	101	2	371
	八王子市	八王子		55	180	15	76	5	331
	小笠原村	父　島	205	6	76	70	1		358
千葉県	我孫子市	我孫子		7	33	78	21	10	149
神奈川県	相模湖町	相模湖	1	92	185	14	325	6	623
	山北町	丹沢湖	3	62	187	104	311	20	687
	箱根町	箱　根	13	48	236	22	352	4	675
	小田原市	小田原		89	225	30	136	1	481
長野県	南木曽町	南木曽	22	14	36	11	111	31	225
山梨県	大月市	大　月	3	44	202	32	83	11	375
	上野原町	上野原	1	62	182	24	171	18	458
	上九一色村	上九一色	23	109	176	16	36	34	394
	山中湖村	山　中	8	64	196	26	68	32	394
	南部町	南　部	33	148	192	7	35	38	453
静岡県	富士宮市	白　糸	9	165	308	21	39	26	568
	静岡市	井　川	13	191	141	13	63	61	482
	静岡市	梅ヶ島	82	157	174	19	39	97	568
	御殿場市	御殿場	29	35	202	27	145	31	469
	富士市	吉　原	126	81	181	22	30	17	457
	三島市	三　島	11	22	224	11	182	1	451
	本川根町	本川根	122	152	78	8	9	58	427
	静岡市	鍵　穴	48	89	110	3	19	94	363
	清水市	清　水	120	51	141	33	52	18	415
	熱海市	網　代		39	212	22	92	1	366
	藤枝市	高根山	53	129	100	4	24	121	431
	静岡市	静　岡	27	44	100	18	43	131	363
	土肥町	土　肥	16	31	196	23	43		309
	天城湯ヶ島	湯ヶ島	6	36	284	28	138	1	493
	中伊豆町	天城山	20	83	240	101	230	4	678
愛知県	豊山町	豊　山	1	1	114	21	37	3	177
岐阜県	恵那市	恵　那	65	11	65	32	168	23	364
富山県	福光町	福　光		104	14		3		121
奈良県	田原本町	田原本		119					119
滋賀県	志賀町	南小松	3	60	2				65
京都府	綾部市	故屋岡		34	14		3	34	85

表 3.2 時間降水量表（50mm/hr 以上を観測した地点，単位：mm）

月　日	時	都道府県名	市町村名	AMeDAS地点名	降水量
8月26日	01時	静岡県	清水市	清　水	61
	03時	愛知県	小原村	小　原	57
8月27日	01時	福島県	長沼町	長　沼	51
		群馬県	沼田市	沼　田	51
		静岡県	三ヶ日町	三ヶ日	93
	02時	栃木県	那須町	那　須	90
		群馬県	榛名町	榛名山	62
	03時	栃木県	那須町	那　須	74
	05時	栃木県	那須町	那　須	53
	06時	栃木県	那須町	那　須	62
	07時	栃木県	矢板市	八方が原	58
		福島県	白河市	白　河	61
	13時	福島県	いわき市	川　前	56
	14時	福島県	郡山市	湖　南	52
	16時	栃木県	大田原市	大田原	60
		京都府	長岡京町	長岡京	61
	17時	栃木県	塩谷町	塩　谷	62
	18時	栃木県	黒磯町	黒　磯	84
		栃木県	大田原市	大田原	53
	19時	奈良県	田原本町	田原本	66
	22時	静岡県	本川根町	本川根	58
	23時	静岡県	富士宮市	白　糸	50
	24時	山梨県	上九一色村	上九一色	65
		静岡県	静岡市	井　川	99
		静岡県	静岡市	梅ヶ島	77
8月28日	01時	山梨県	南部町	南　部	74
		静岡県	富士宮市	白　糸	64
		静岡県	静岡市	井　川	58
	04時	岩手県	釜石市	釜　石	53
	05時	静岡県	天城湯ヶ島町	湯ヶ島	68
	07時	静岡県	熱海市	網　代	63
		静岡県	中伊豆町	天城山	57
		静岡県	東伊豆町	稲　取	51
8月29日	14時	栃木県	大田原市	大田原	51
8月30日	12時	栃木県	足利市	足　利	58
	13時	神奈川県	箱根町	箱　根	78
	24時	愛知県	田原町	田　原	50
8月31日	18時	静岡県	森　町	三　倉	55
	21時	静岡県	静岡市	静　岡	55

3.1.4 洪水の状況

8月27日から9月1日にかけて、北海道から東北、関東、北陸、東海、近畿地方の広い範囲で、河川の溢水、破堤等のため浸水被害が起きた。

特に、栃木・福島県境での記録的な豪雨によってこの区域を上流域とする阿武隈川や那珂川では、下流域にまで浸水被害を及ぼす大洪水となった。阿武隈川では二本松市で破堤し、また、那珂川でも河口付近の水戸市内でも計画高水位を大きく上回って溢水し浸水被害が発生する等した（図3.6参照）。

これに対して気象庁は、一般に対する警報・注意報や情報を提供し、また、建設省は指定河川で気象庁と共同で行う洪水予報（警報、注意報、情報）で警戒を呼びかけた。

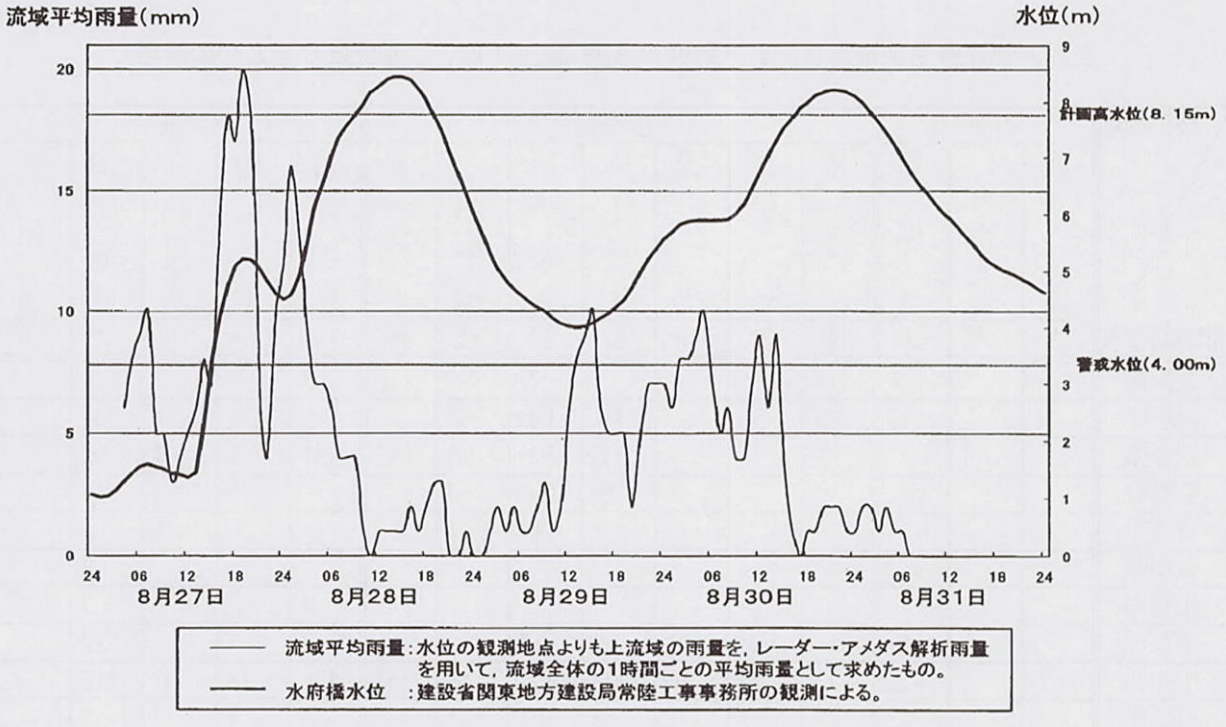


図3.6 流域平均雨量並びに水位（那珂川，茨城県水戸市水府橋地点）

3.1.5 被害発生状況

8月26日から31日にかけての災害は、1都1道1府16県にわたり、死者・行方不明者は22人、負傷者は50人以上に及んでいる。その他、家屋の倒壊、浸水、崖崩れ、道路損壊や耕地の被害をもたらした（図3.7，表3.3参照）。

その他、農業被害としては、農地の冠水等による水稲を中心とした農作物の被害面積が21,000haを超え（岩手県、福島県、栃木県等）、この他農地・農業施設、森林、林業施設等に被害があった。

また、災害対策本部の設置は、府県レベルでは福島県、栃木県、茨城県、愛知県で、市町村レベルでは北海道16市町村、宮城県22市町村、福島県58市町村、栃木県17市町村、茨城県9市町村、埼玉県9市町村、静岡県9市町村、愛知県26市町村等、各都道府県合わせて200市町村を超えた。

表3.3 都道府県別被害状況表（1998年8月26～31日，警察庁とりまとめの速報）

被害種別 / 都道府県名	人的被害			建物被害							土木被害				
	死者	行方不明者	負傷者	全壊	半壊	流失	床上浸水	床下浸水	一部損壊	非住宅	道路損壊	橋梁流失	堤防決壊	山崖崩れ	鉄軌道
	人	人	人	棟	棟	棟	棟	棟	棟	棟	ケ所	ケ所	ケ所	ケ所	ケ所
北海道							7	79		10	3			11	1
福島県	11		17	25	36		1,044	2,198	70		949	31	31	1,233	
岩手県		1					208	366	13	12	31	1	1	92	
宮城県							19	266	3					118	
青森県							1	14	1	6			1	5	
秋田県														3	
山形県								1		5	4			7	
東京都							5	15			3			12	
栃木県	5	2	22	13	25	16	363	1,484	53	151	166	18	67	113	
群馬県			3		1		54	387	1		6	1		2	
新潟県											1			5	
埼玉県							901	1,301			10			7	
山梨県							1	16	4	2	34			50	1
神奈川県								60		1				11	
静岡県	2		6	1			276	298	3	3	10		8	28	1
茨城県			5				417	385			3	2	2	3	
千葉県								10							
長野県														3	
富山県								10							
愛知県							5	62						1	
岐阜県								22			1			7	
奈良県	1						114	1,311		8	17		1	4	
滋賀県								15							
京都府								32							
合計	19	3	53	39	62	16	3,415	8,332	148	198	1,238	53	111	1,715	3

（1998年9月2日17時現在）

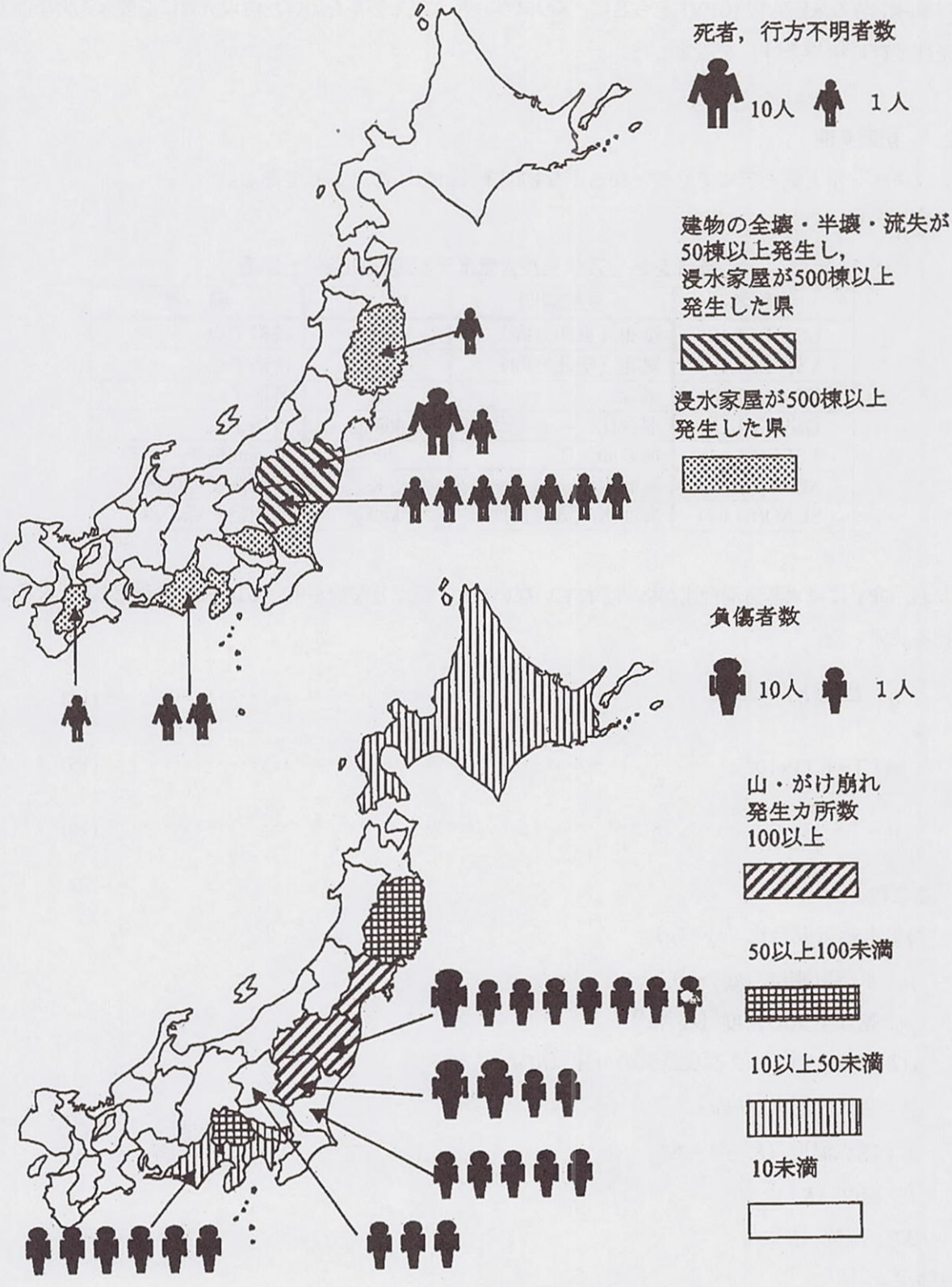

死者，行方不明者数
10人
1人
建物の全壊・半壊・流失が
50棟以上発生し，
浸水家屋が500棟以上
発生した県
浸水家屋が500棟以上
発生した県
負傷者数
10人
1人
山・がけ崩れ
発生カ所数
100以上
50以上100未満
10以上50未満
10未満

図 3.7 被害発生概況図

3.2 再現計算入力条件の設定

対象降雨時の気象情報（GPV）をもとに、メソスケール大気モデルを用いた再現計算に必要な入力条件（初期条件並びに境界条件）を設定した。

3.2.1 初期条件

メソスケール大気モデルで必要となる主な初期条件は以下のとおりである。

表 3.5 メソスケール大気モデルの初期条件一覧表

変数名	変数説明	単　位	備　考
US(64,64,10)	風速（東西方向）	m/sec	各格子点
VS(64,64,10)	風速（南北方向）	m/sec	各格子点
TS(64,64,10)	気温	K	各格子点
QS'64,64,10)	混合比	kg/kg	各格子点
PSFC(64.64)	地表面気圧	hPa	地表面格子点のみ
SEAT(64,64)	海面水温	K	海面格子点のみ
SEAQ(64,64)	海面水蒸気混合比	kg/kg	海面格子点のみ

なお、GPV には水蒸気混合比が格納されていないため、気温と湿数を用いて以下に示す式により水蒸気混合比を算定した。

$$q = \frac{\rho_w}{\rho_d} \cong 0.622 \frac{e(T')}{p} \quad \cdots\cdots (14)$$

$$e(T') = 6.11 \times 10^{\alpha} \quad \cdots\cdots (15)$$

$$\alpha = 7.5 \frac{T' - 273}{T' - 36} \quad \cdots\cdots (16)$$

ここに、

q：水蒸気混合比（kg/kg）

ρ_w: 水蒸気密度（kg/m^3）

ρ_d: 乾燥空気の密度（kg/m^3）

$e(T')$: 温度T'における水蒸気の分圧（hPa）

p：空気の圧力（hPa）

T'：露点温度（K）$= T - \Delta T$

T：温度（K）

ΔT：湿数（K）

である。

3.2.2 境界条件

メソスケール大気モデルで必要となる主な境界条件は以下のとおりである。

表 3.6 メソスケール大気モデルの境界条件一覧表

変数名	変数説明	単　位	備　考
BU(64,10,4)	風速（東西方向）の傾向値	(m/sec)/sec	各側方格子点
BV(64,10,4)	風速（南北方向）の傾向値	(m/sec)/sec	各側方格子点
BT(64,10,4)	気温の傾向値	K/sec	各側方格子点
BQ'64,64,10)	混合比の傾向値	(kg/kg)/sec	各側方格子点
BP(64.4)	地表面気圧の傾向値	hPa/sec	地表面側方格子点のみ

3.3 メソスケール大気モデルによる再現計算

開発したメソスケール大気モデルを用いて、平成10年8月末豪雨を対象とした再現計算を実施した。

3.3.1 再現計算条件

再現計算の計算条件は以下のとおりである。

(1)計算対象期間

再現計算の対象降雨は1998年8月26日から31日にかけて北日本・東日本を中心に発生した集中豪雨(気象庁命名：平成10年8月末豪雨）とし、このうち具体的な計算期間は、1998年8月25日0900JSTから31日2100JSTまでの156時間とした。

(2)計算対象領域

本計算では、図3.8に示す本州域（四国を含む）を水平格子間隔20km×20kmで64メッシュ×64メッシュに分割し、計算対象領域とした。

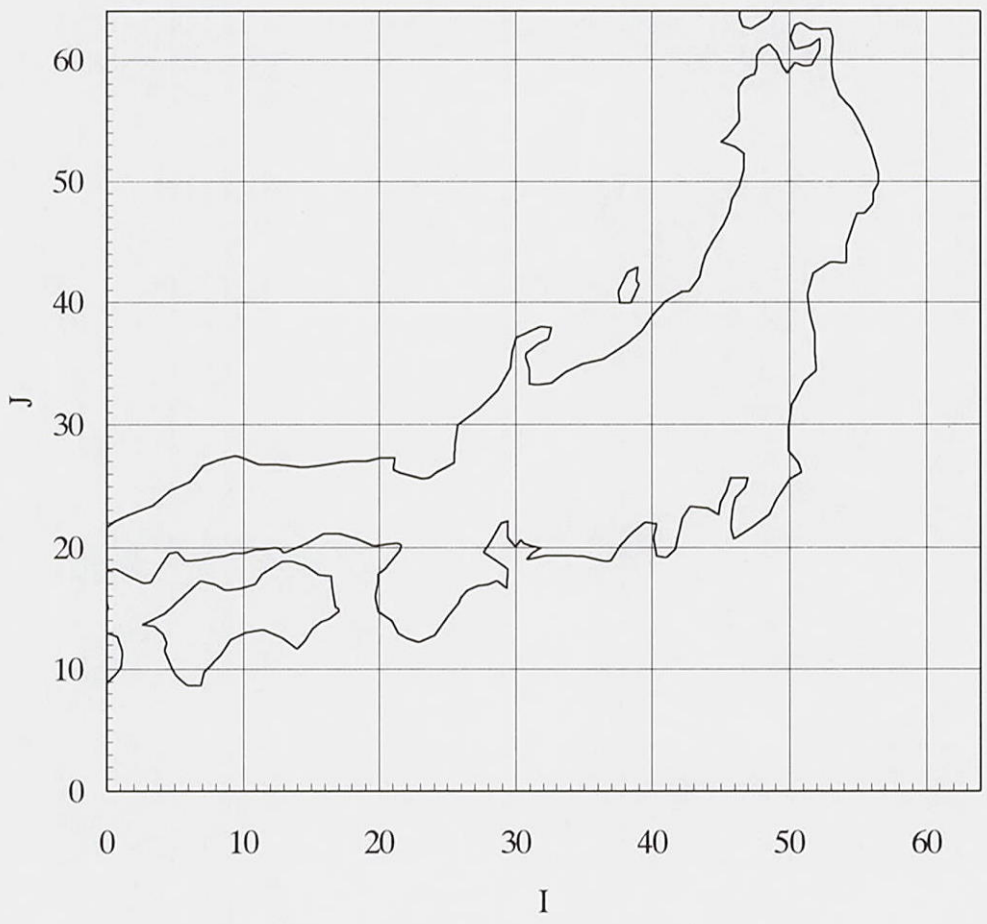


図3.8 再現計算対象領域

(3)初期条件並びに境界条件

前述したとおり、本計算においては、メソスケール大気モデルの入力条件（初期条件並びに境界条件）として気象庁の現業領域予報モデル（RSM）の初期場として作成されている領域客観解析値（GPV）を使用する。

なお、メソスケール大気モデルの入力条件となるGPVは、0900JSTと2100JSTの1日2回、12時間毎であるため、本計算においても、0900JSTまたは2100JSTで初期化し、以降12時間の気象状況をシミュレートするものとした。

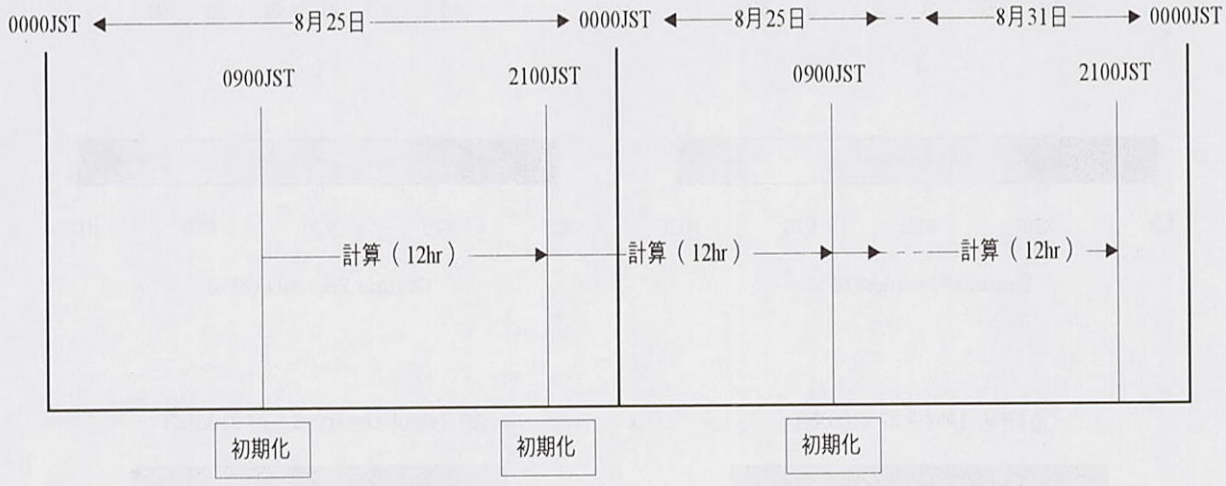


図3.9 再現計算フロー概念図

3.3.2 再現計算結果

前述した条件のもと、再現計算を行った結果は以下のとおりである。

(1)地表面気圧

対象とした降雨期間のうち、関東地方での降水量が最も多かった8月27日（0900JST並びに2100JST）における地表面気圧分布を図3.10に示す。

開発したメソスケール大気モデルによりシミュレートされた地表面気圧(b)は、0900JST、2100JSTともに、GPV(a)（但し、鉛直レベルをσ座標系に変換している）とほぼ同様の分布、値を示しており、このことから、地表面気圧については、ほぼ正確に再現できているものと判断される。

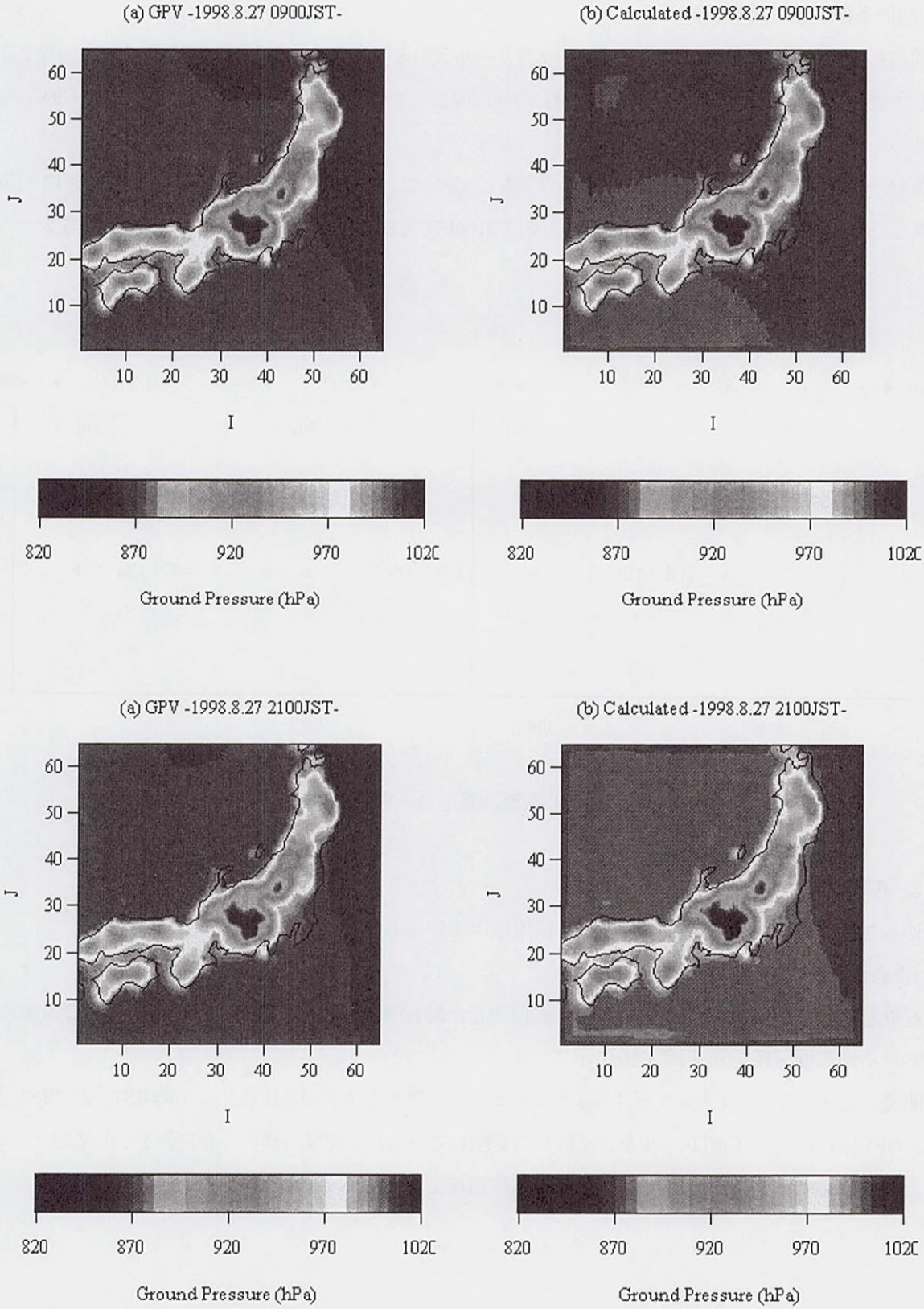


図 3.10 地上気圧分布（1998.8.27）

(2)温　位

8月27日0900JST並びに2100JSTにおける温位分布を図3.11に示す。

全般的に、メソスケール大気モデルによる計算結果(b)の方がGPV(a)と比較して、標高の高い地上部分で若干低い温位となっている等、細部では異なっているものの、全体的にはほぼ同様の温位分布を示しており、特に太平洋上の高温位域については、その存在をよく表現している。

しかしながらσ=9面並びにσ=10面の最上部については、あまりうまく再現できておらず、これについては、計算が安定していない（発散している）等の原因が考えられる。

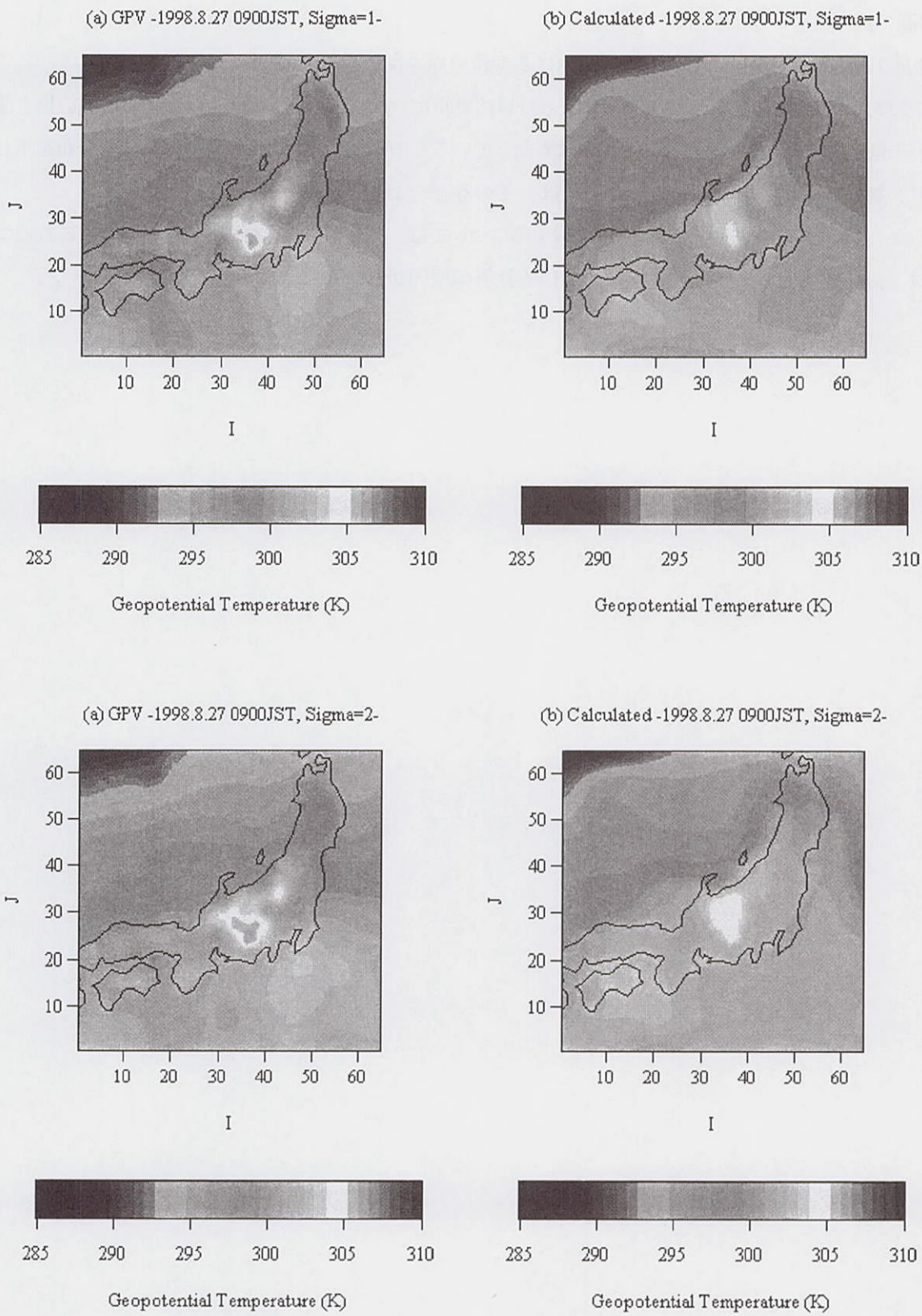


図 3.11 (1) 温位分布（1998.8.27 0900JST ①）

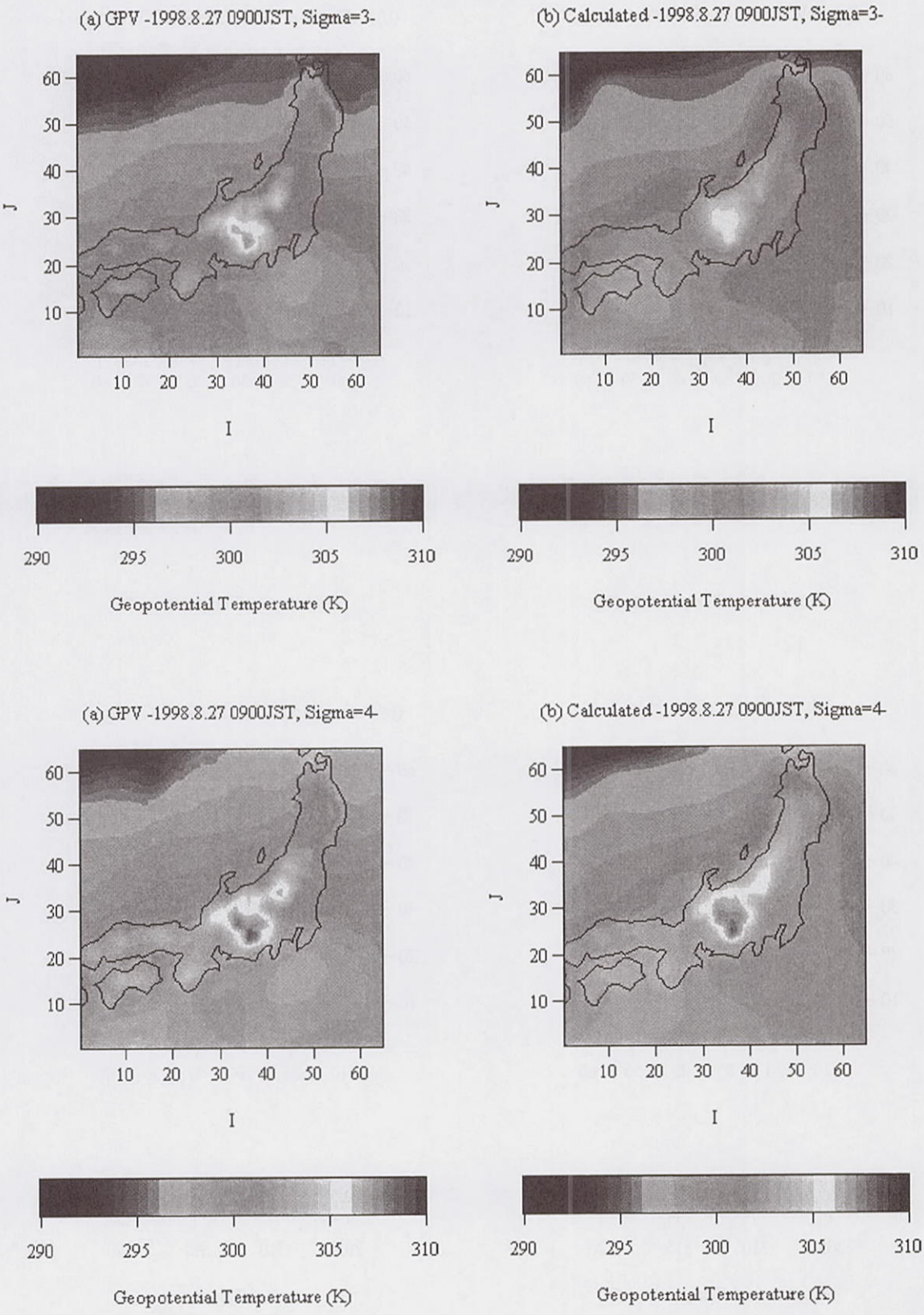
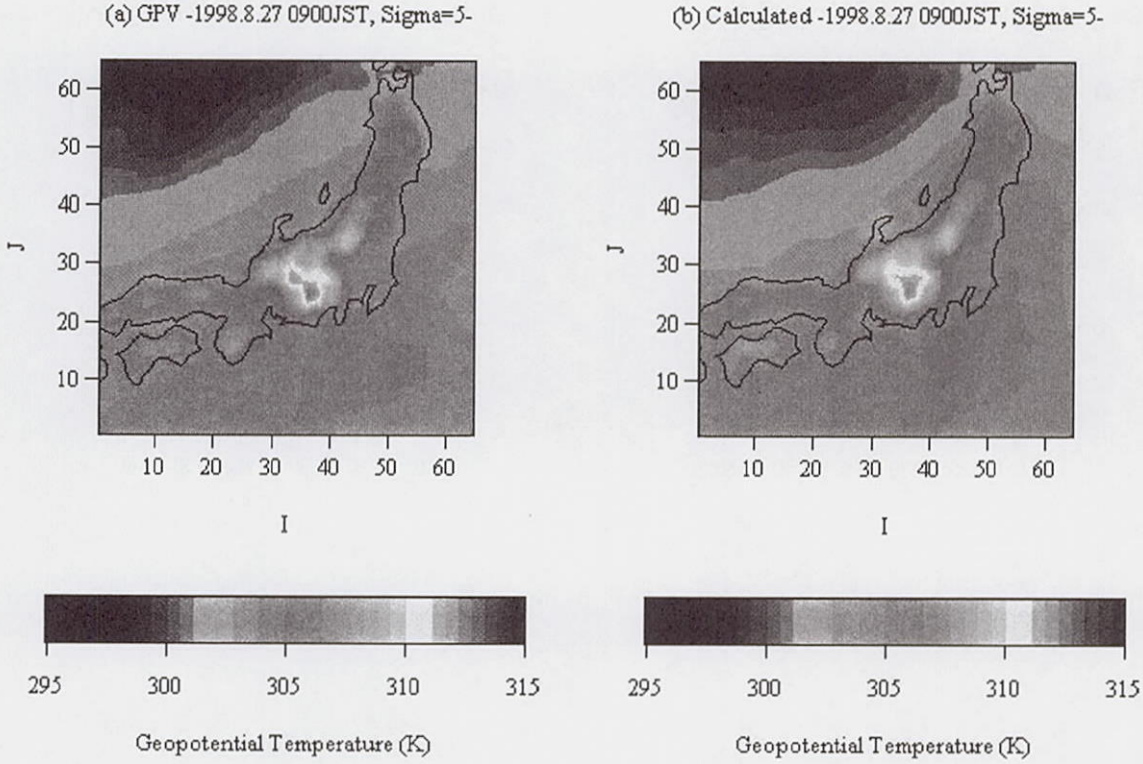


図 3.11 (1) 温位分布（1998.8.27 0900JST ②）



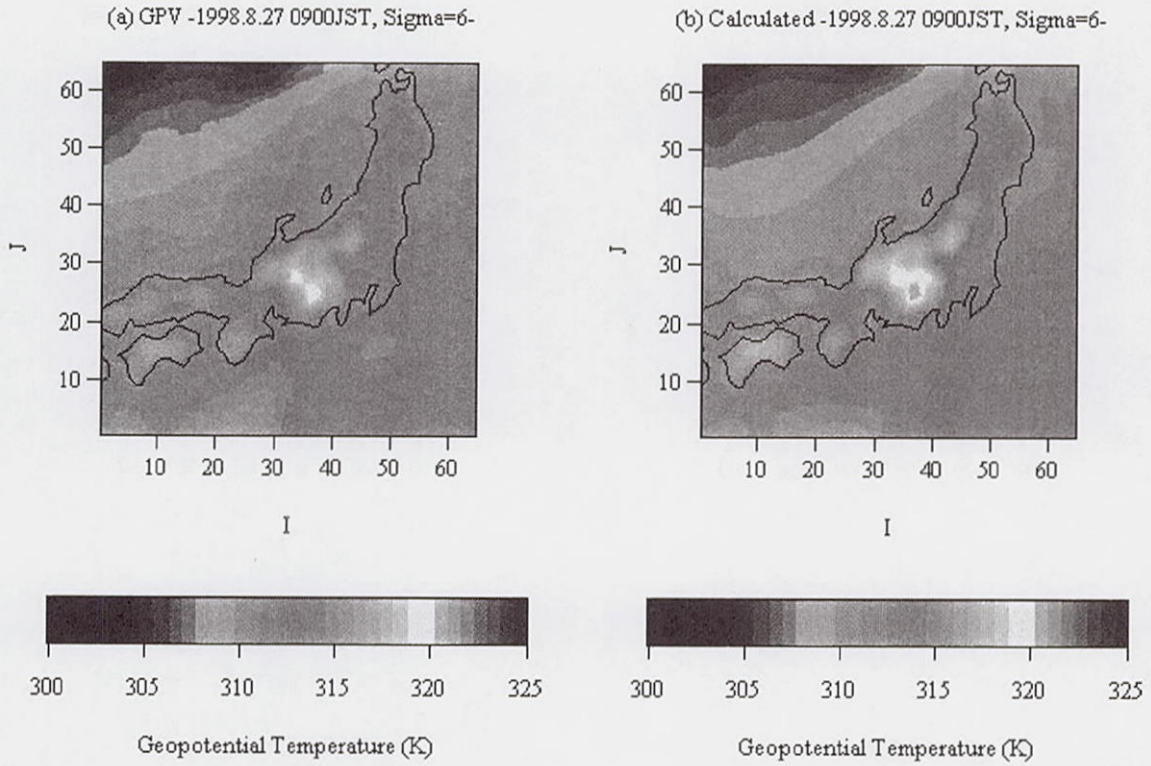


図3.11 (1) 温位分布（1998.8.27 0900JST ③）

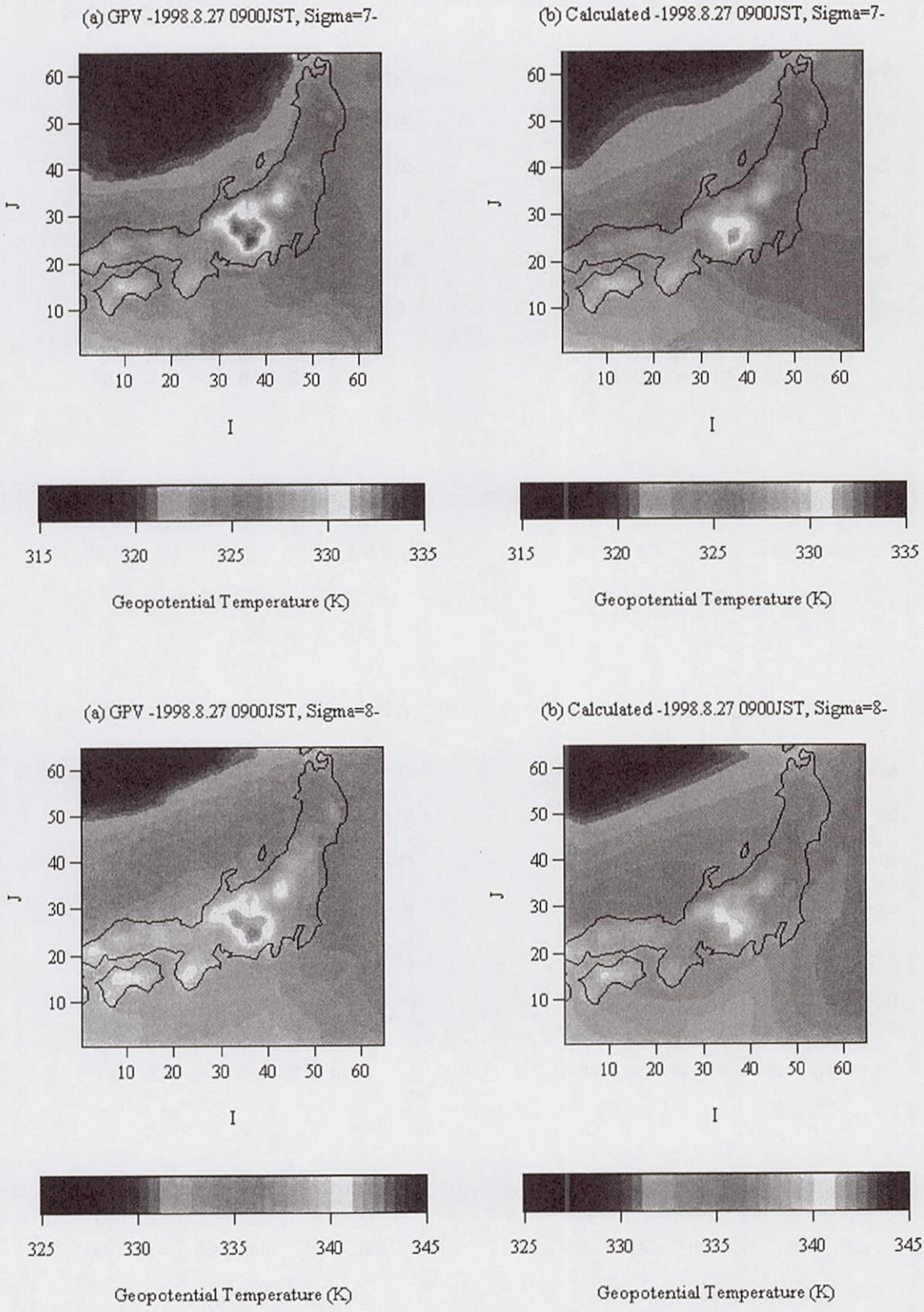
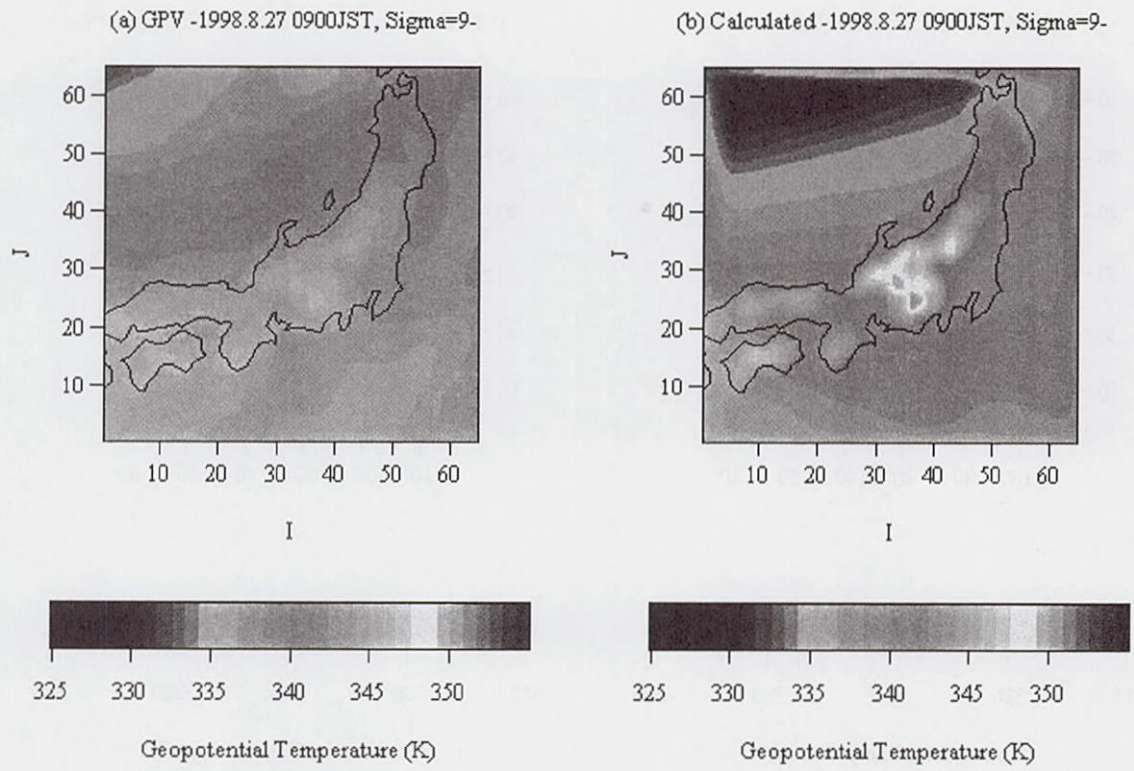


図 3.11 (1) 温位分布（1998.8.27 0900JST ④）



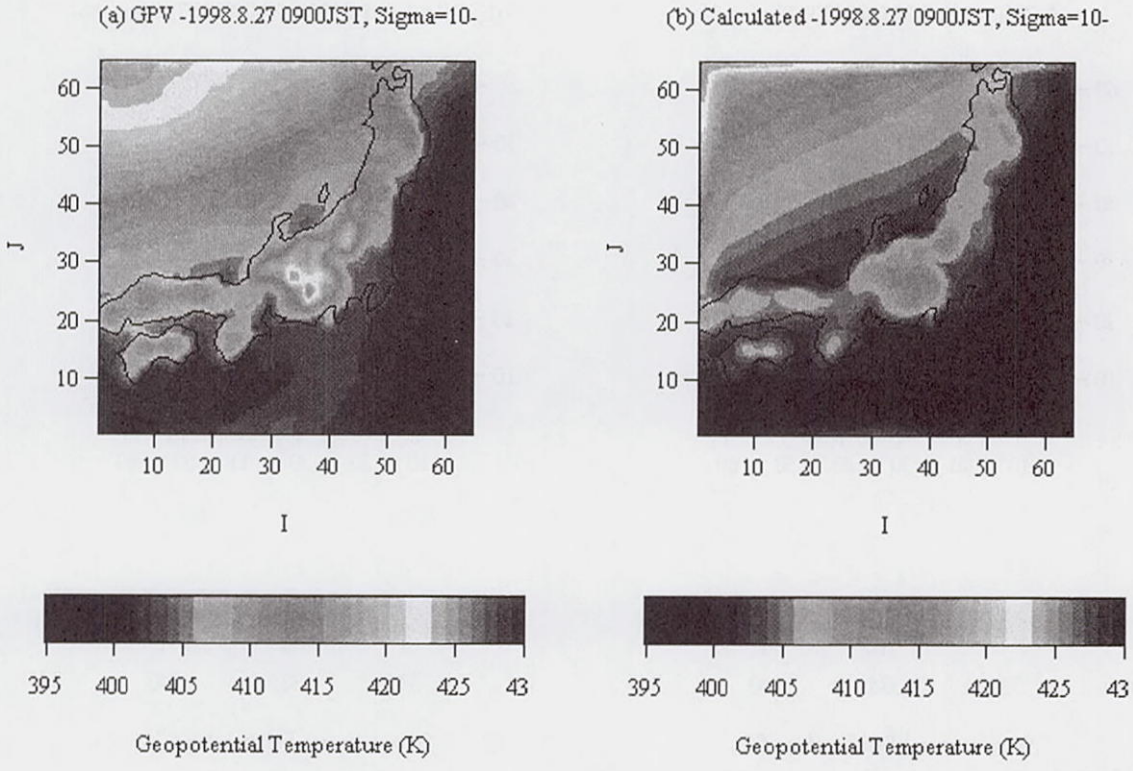


図 3.11 (1) 温位分布（1998.8.27 0900JST ⑤）

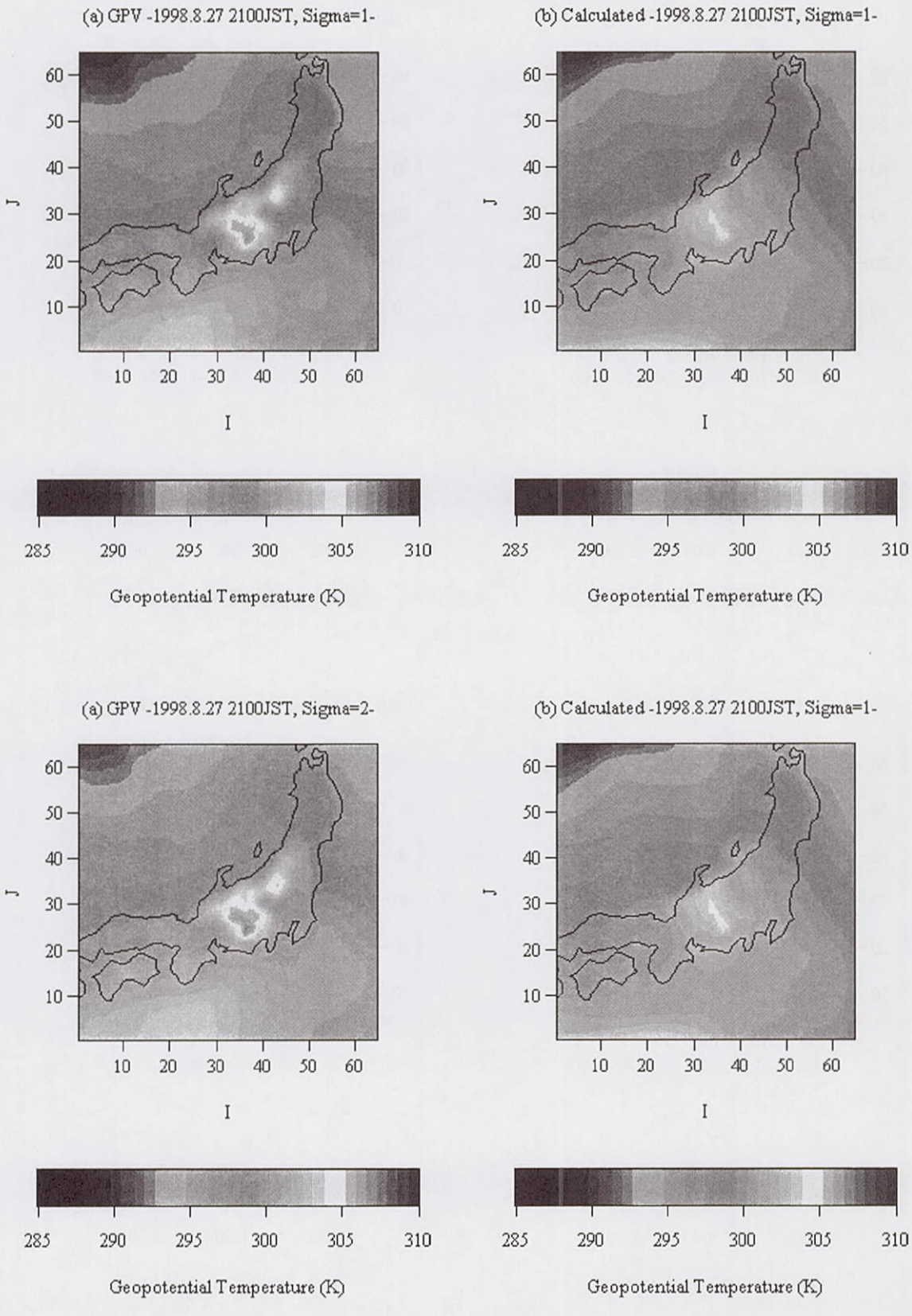


図 3.11 (2) 温位分布（1998.8.27 2100JST ①）

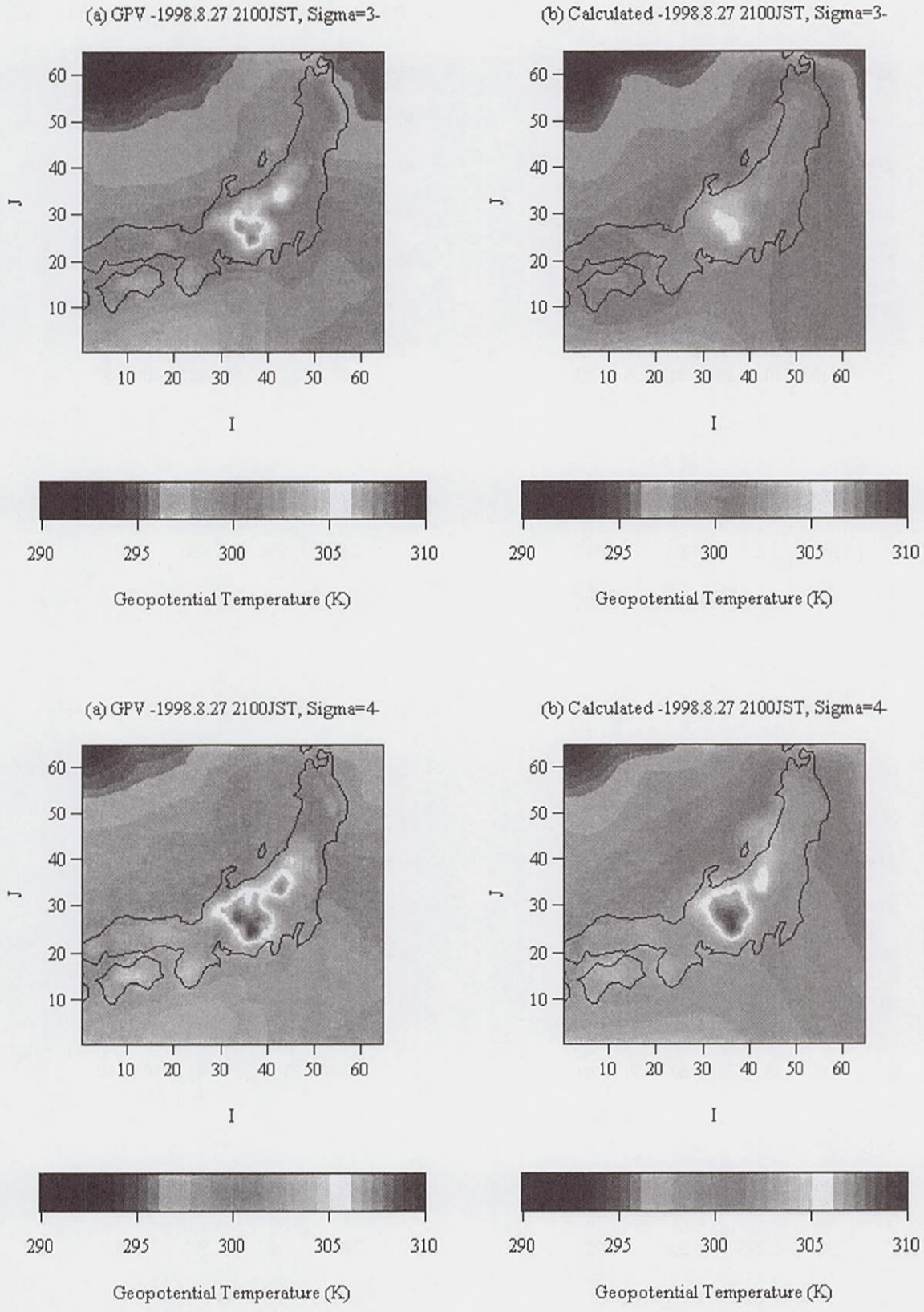
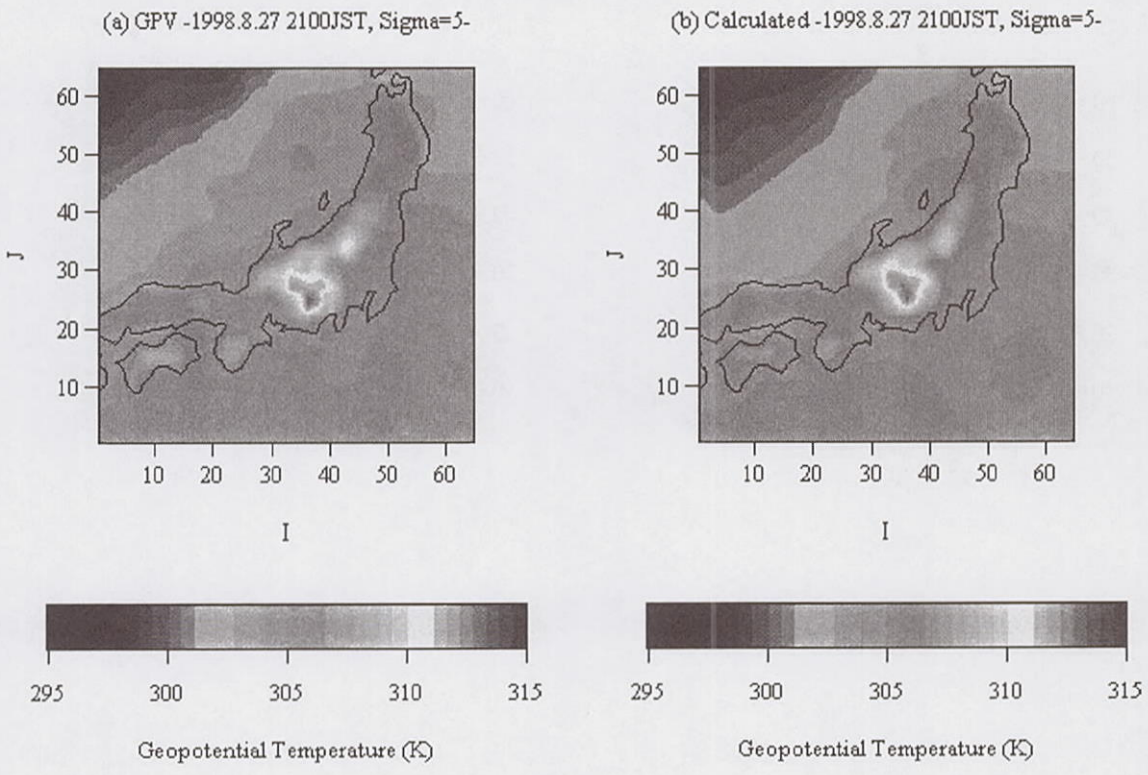


図 3.11 (2) 温位分布（1998.8.27 2100JST ②）



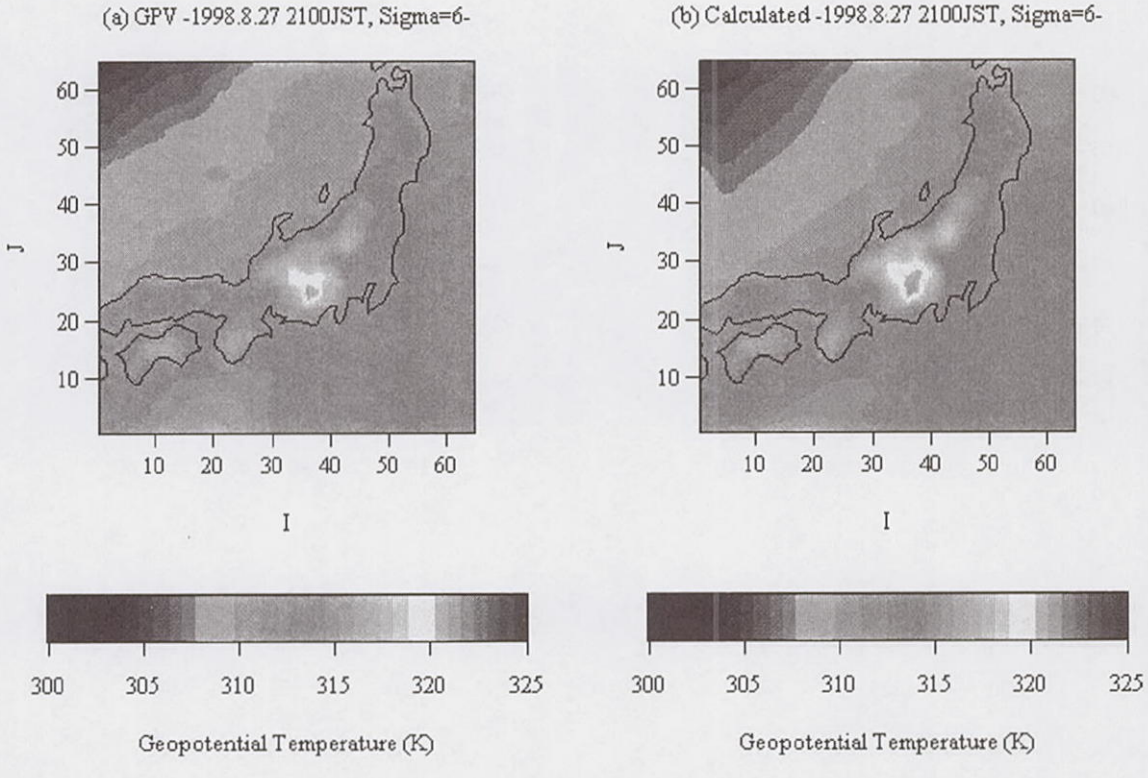
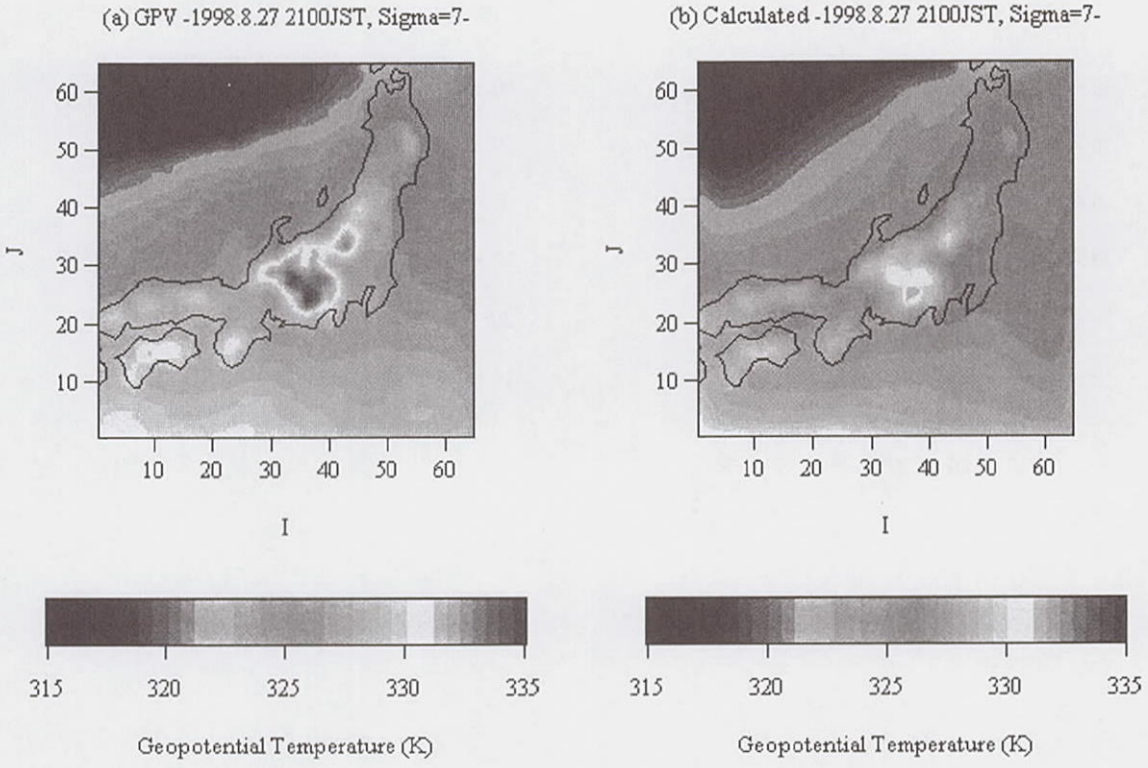


図 3.11 (2) 温位分布（1998.8.27 2100JST ③）



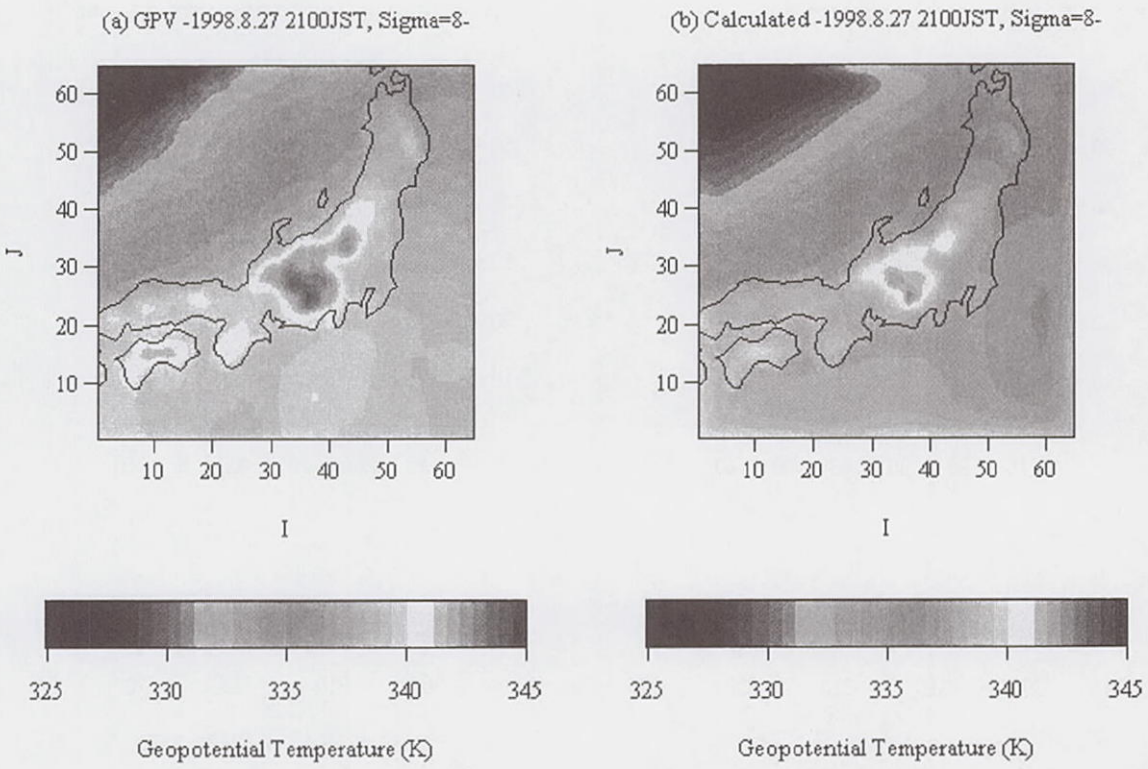


図 3.11 (2) 温位分布（1998.8.27 2100JST ④）

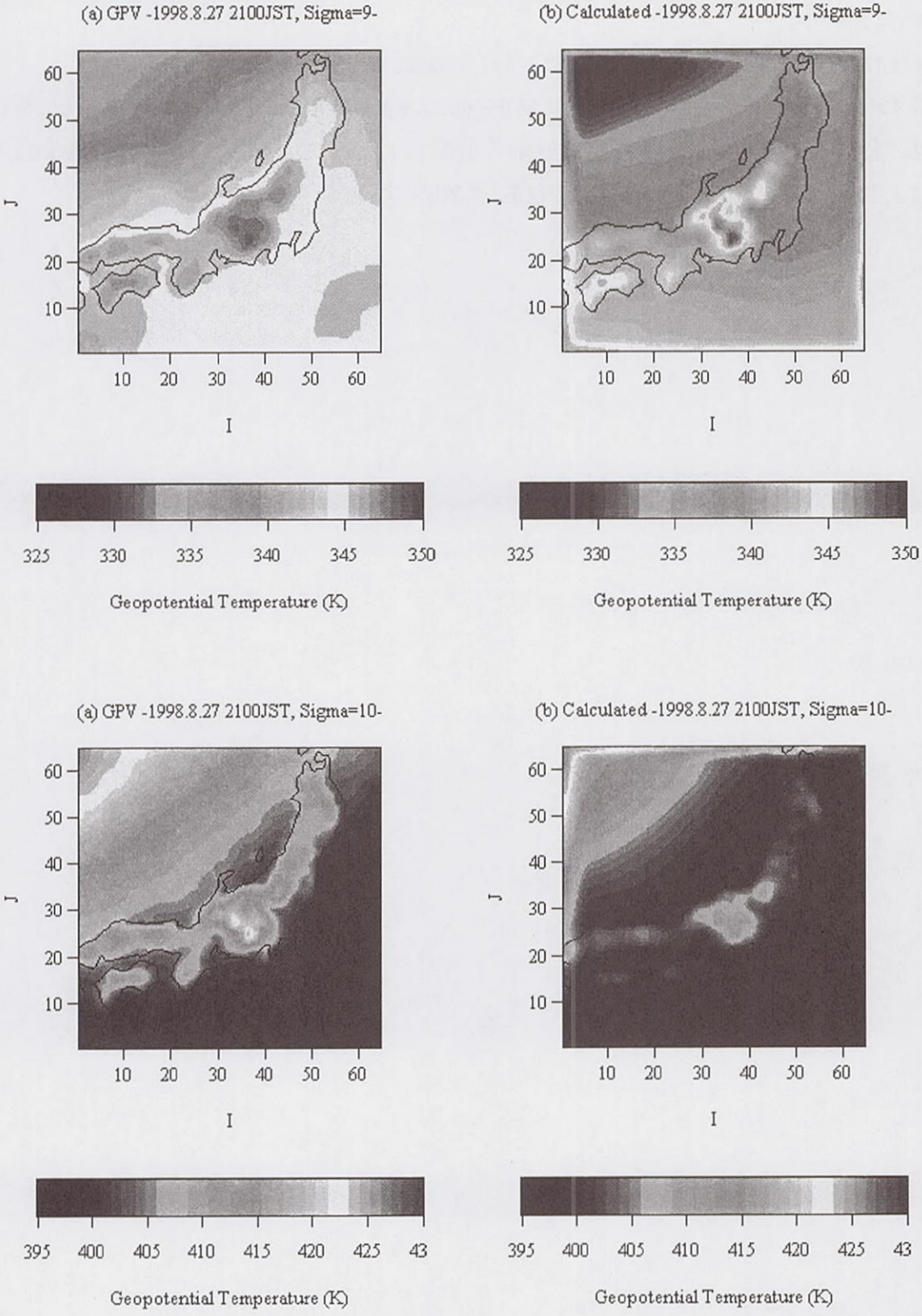


図 3.11 (2) 温位分布（1998.8.27 2100JST ⑤）

(3)水蒸気混合比

8月27日0900JST並びに2100JSTにおける水蒸気混合比分布を図3.12に示す。

いずれの時刻においても、メソスケール大気モデルによる計算結果(b)の方が、GPV(a)と比較して若干小さめの水蒸気混合比を示しているものの、全体的な水蒸気混合比分布の再現性については概ね良好であり、特に太平洋上の湿った（暖かい）空気の存在をよく表現している。

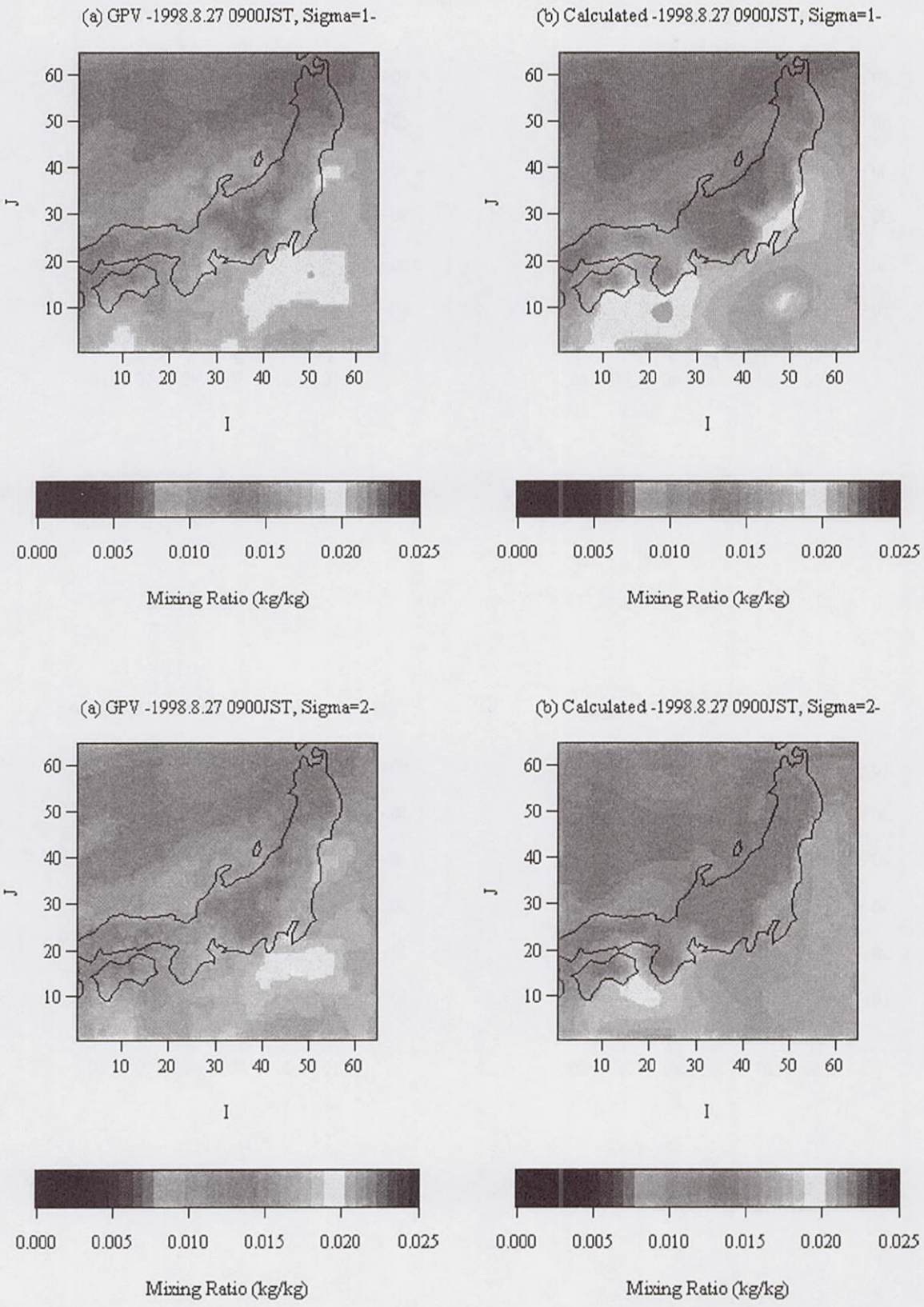


図 3.12 (1) 水蒸気混合比分布（1998.8.27 0900JST ①）

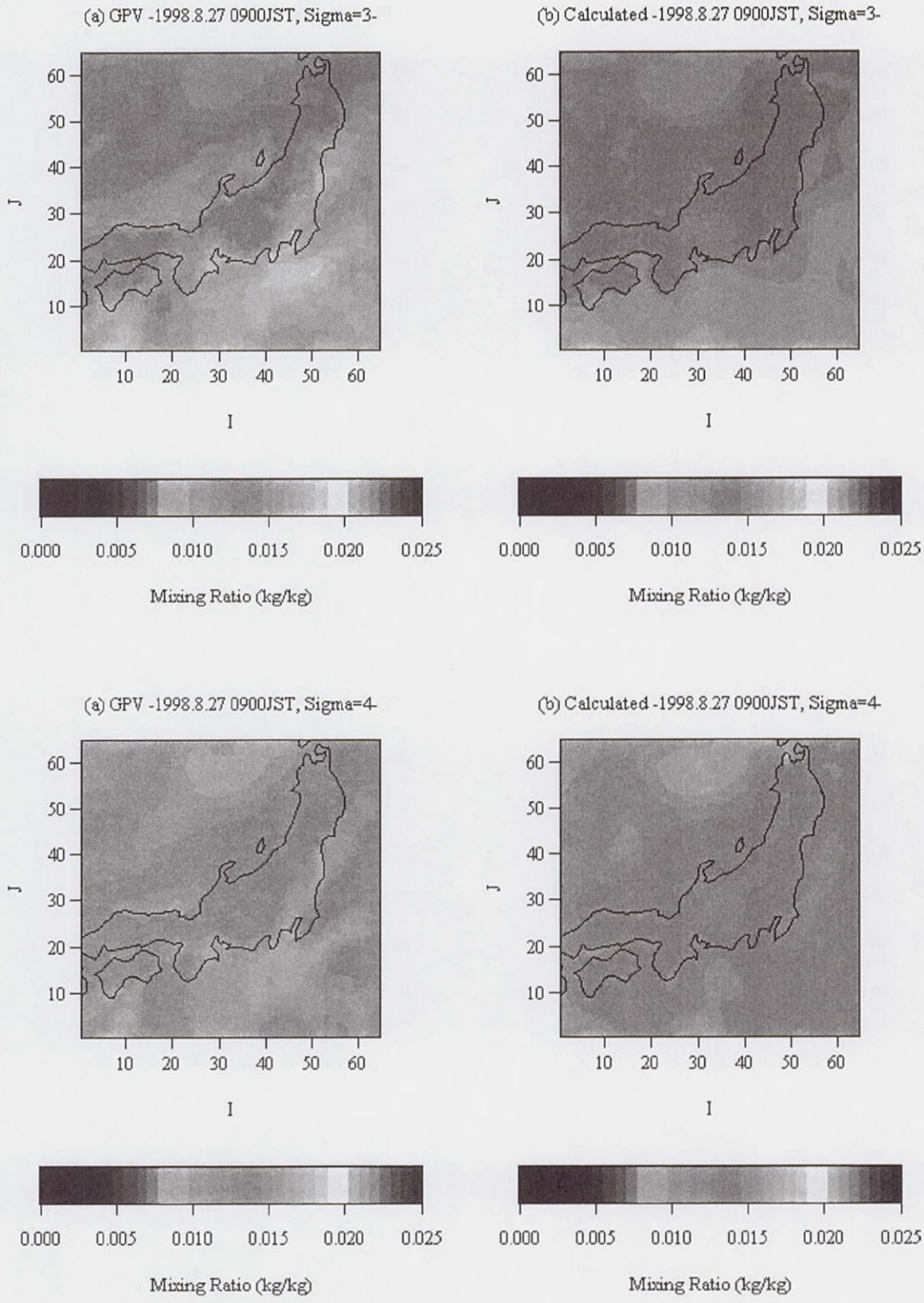


図 3.12 (1) 水蒸気混合比分布（1998.8.27 0900JST ②）

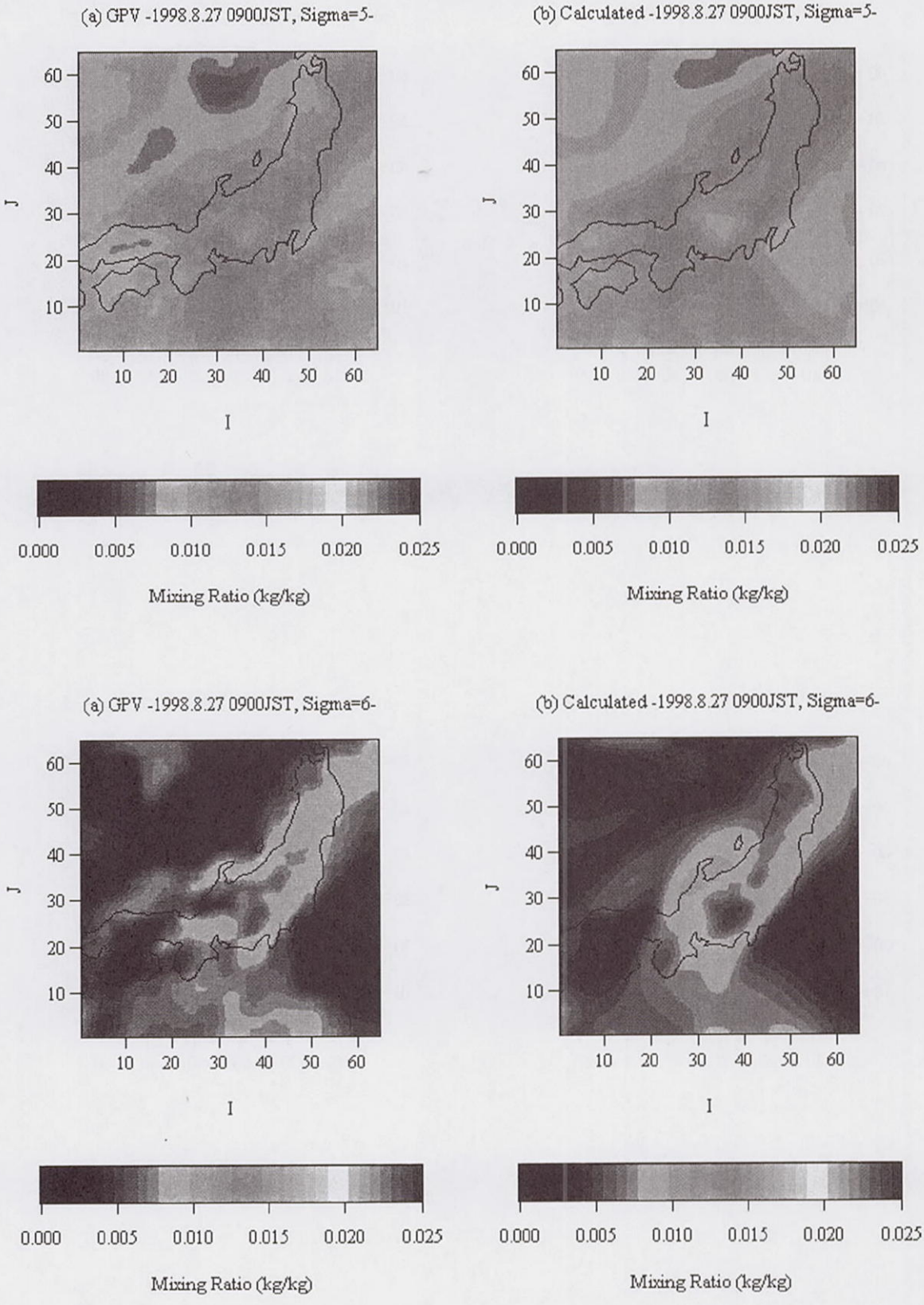


図 3.12 (1) 水蒸気混合比分布（1998.8.27 0900JST ③）

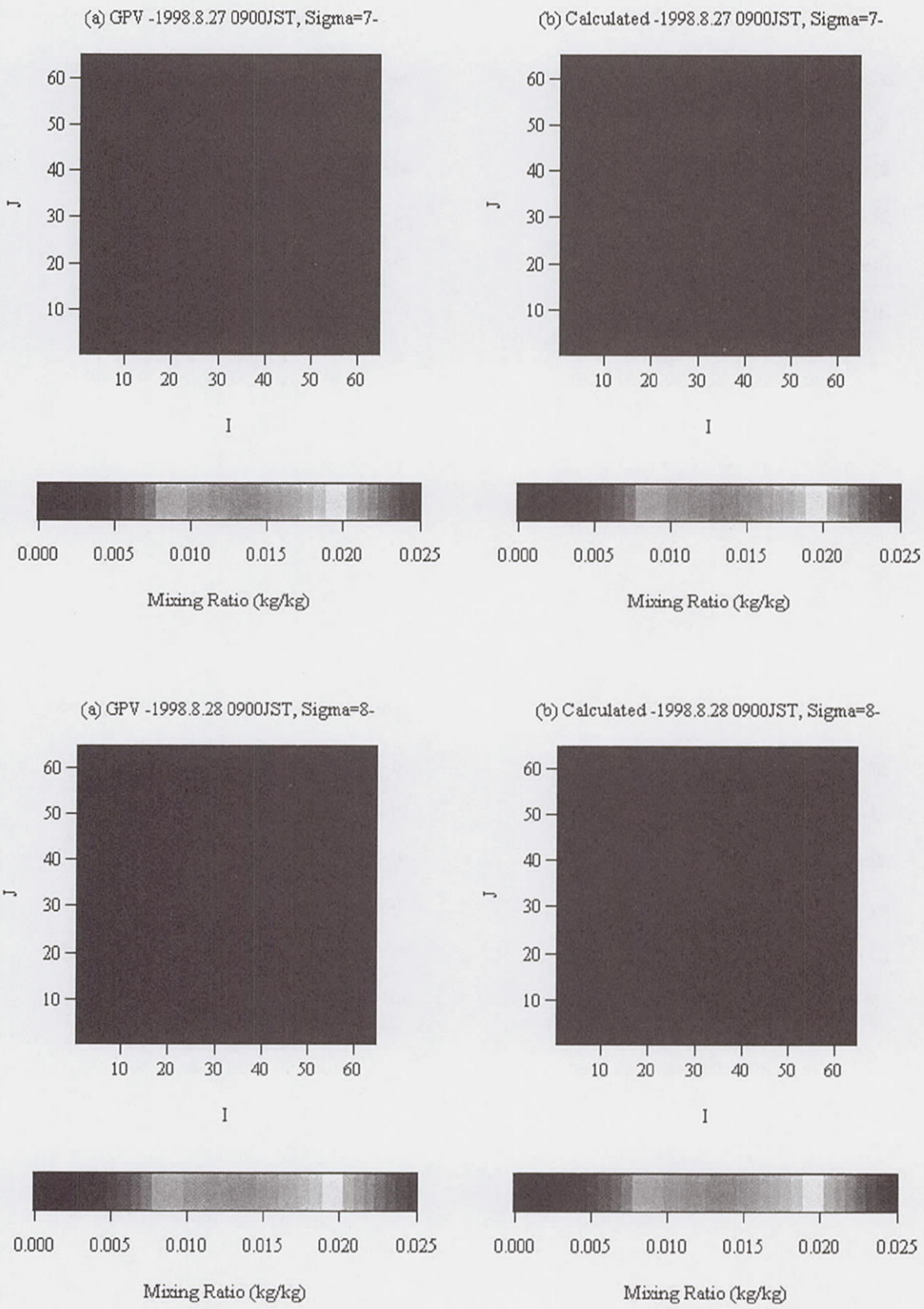
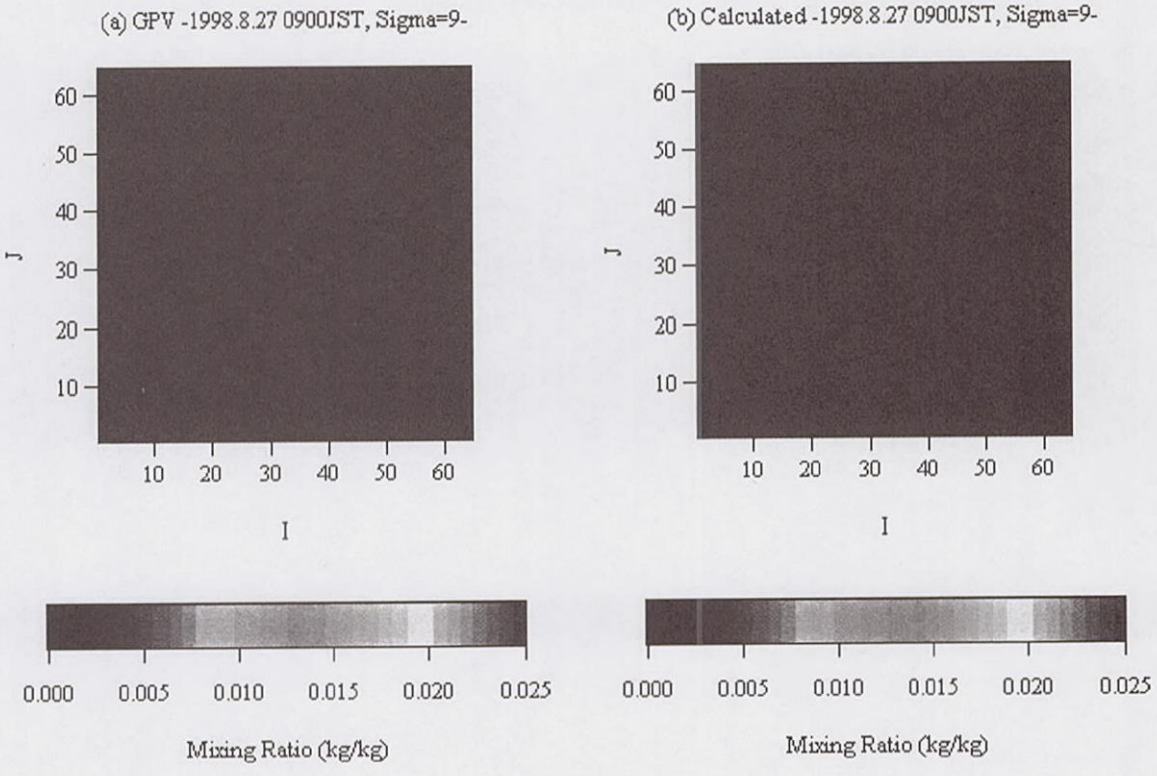


図 3.12 (1) 水蒸気混合比分布（1998.8.27 0900JST ④）



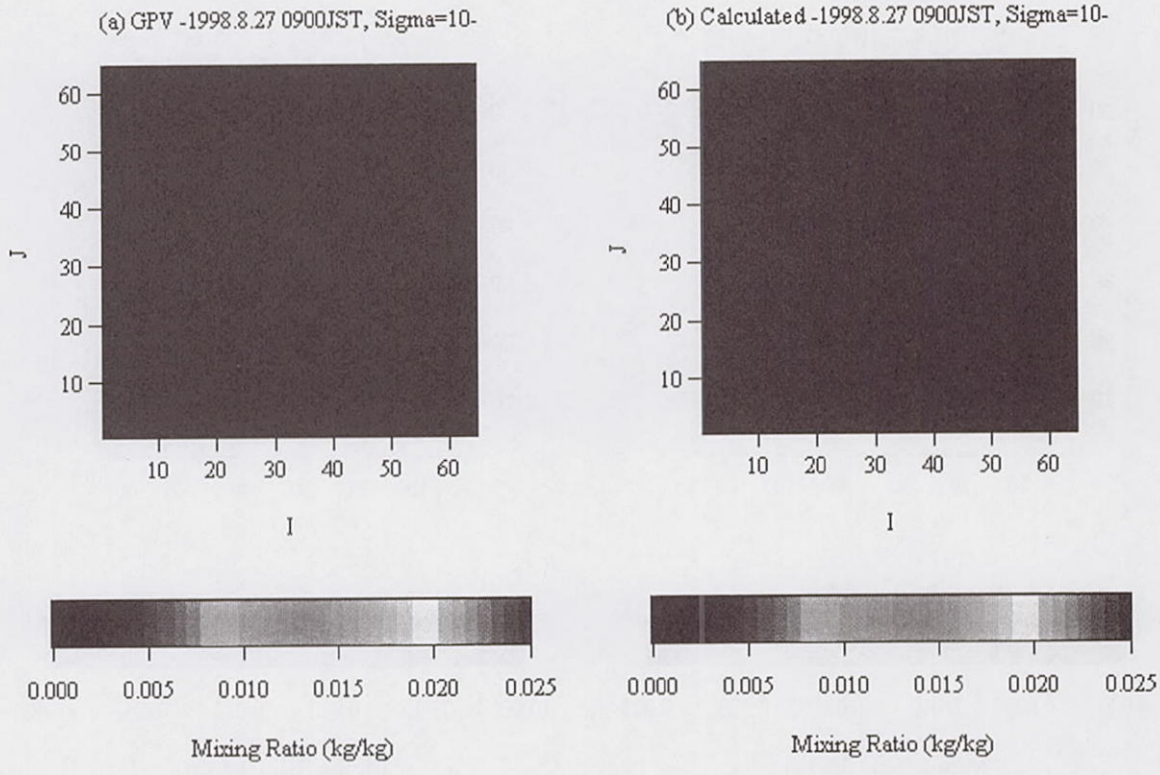


図 3.12 (1) 水蒸気混合比分布（1998.8.27 0900JST ⑤）

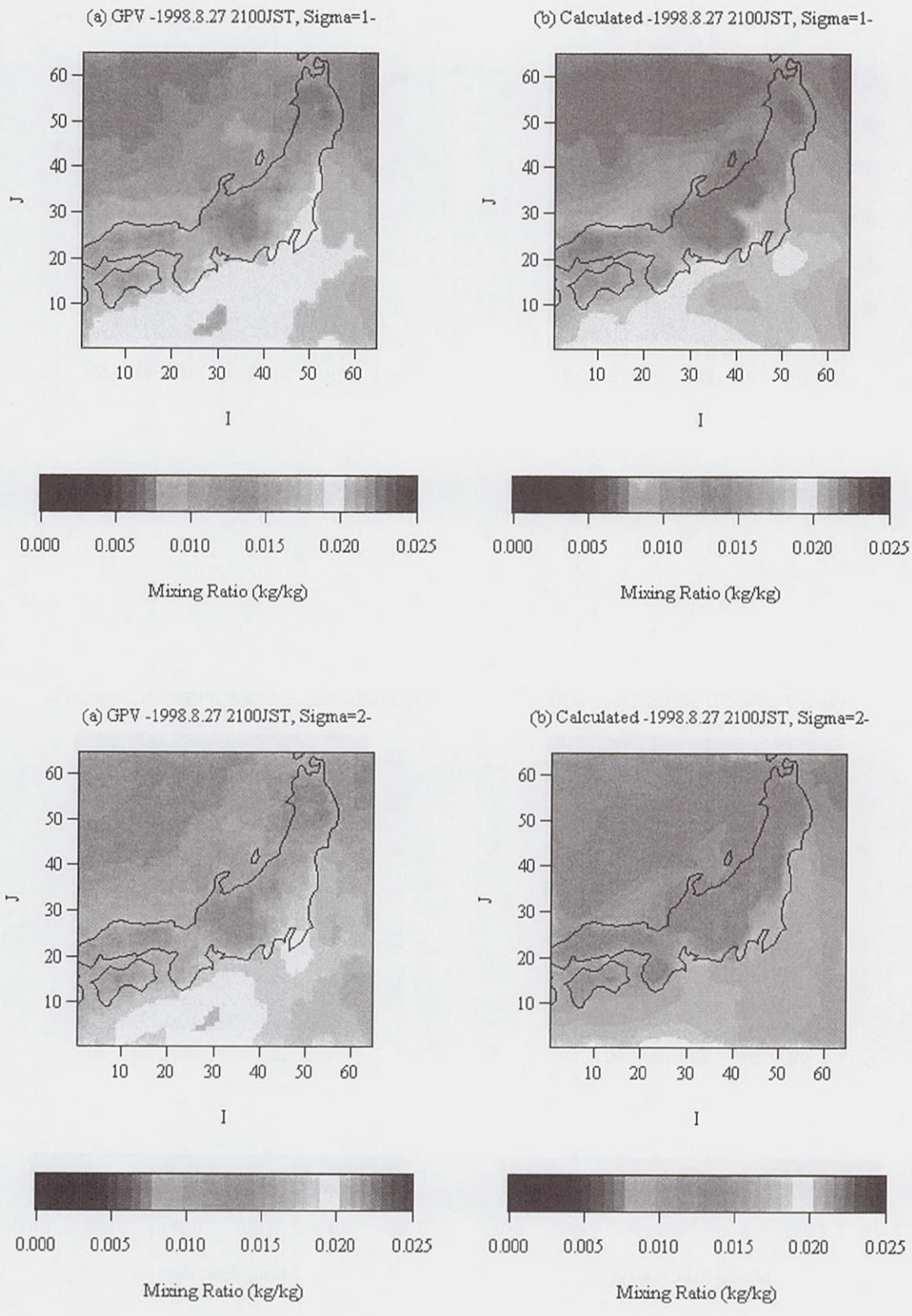


図 3.12 (2) 水蒸気混合比分布（1998.8.27 2100JST ①）

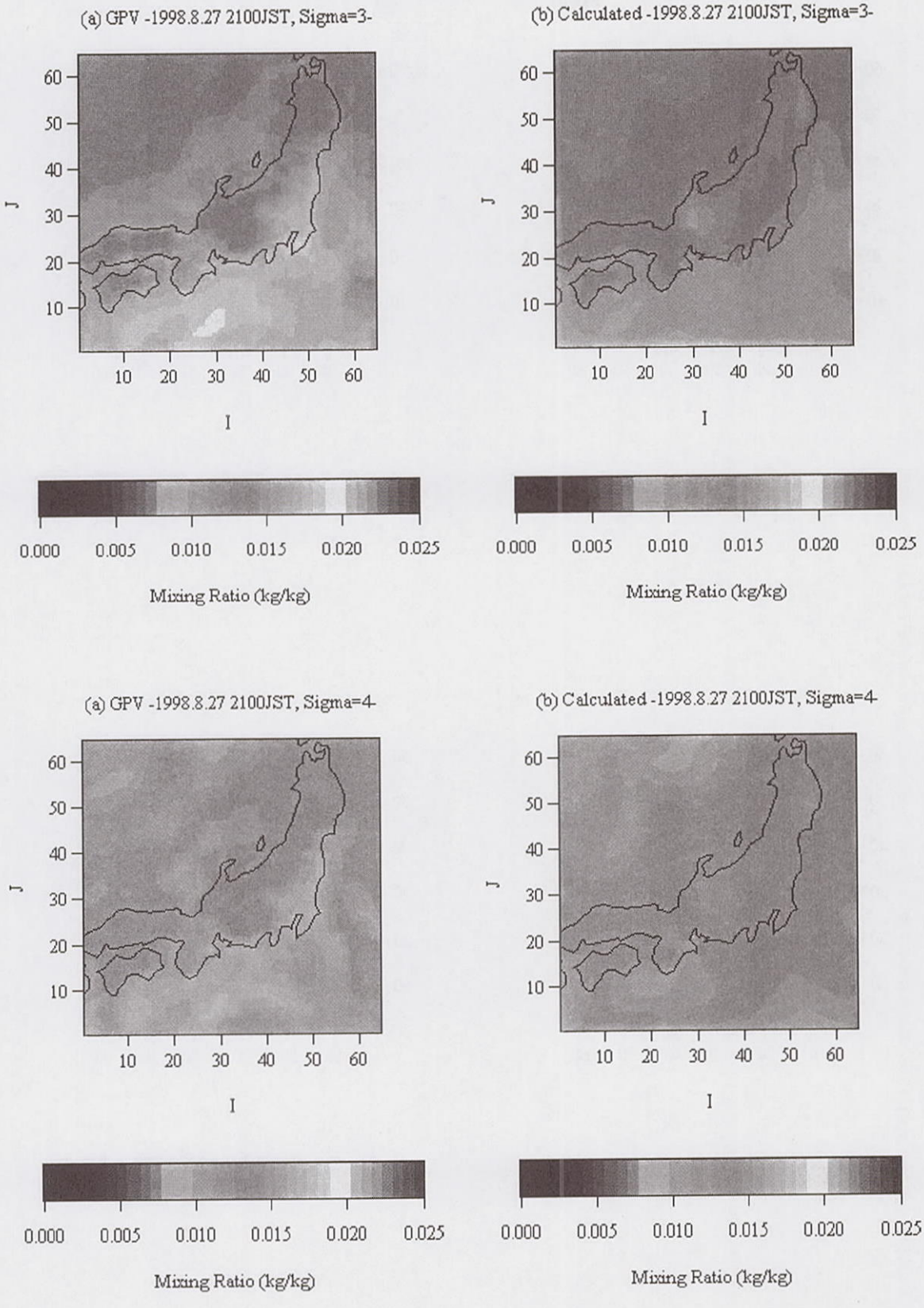


図 3.12 (2) 水蒸気混合比分布（1998.8.27 2100JST ②）

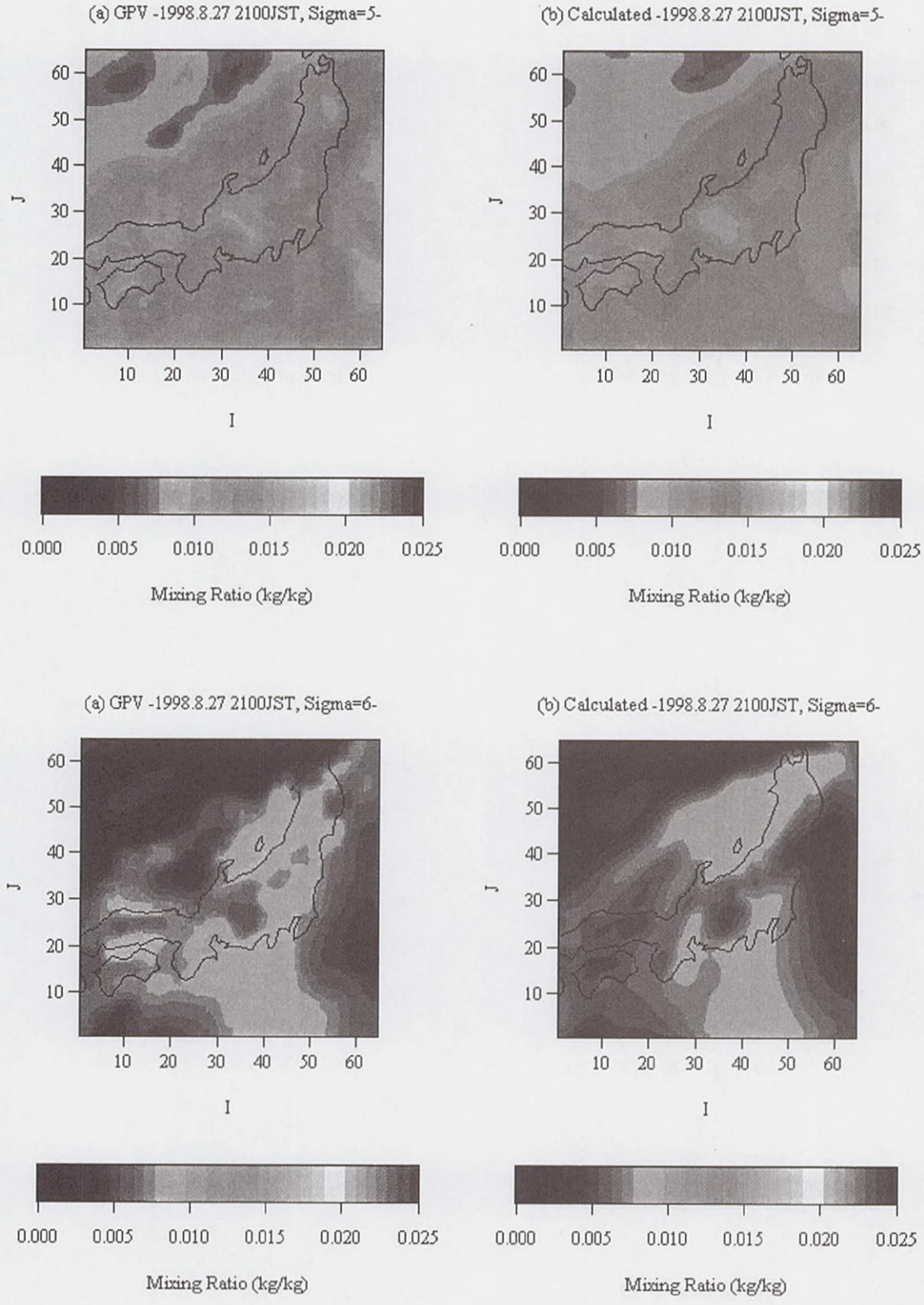


図 3.12 (2) 水蒸気混合比分布（1998.8.27 2100JST ③）

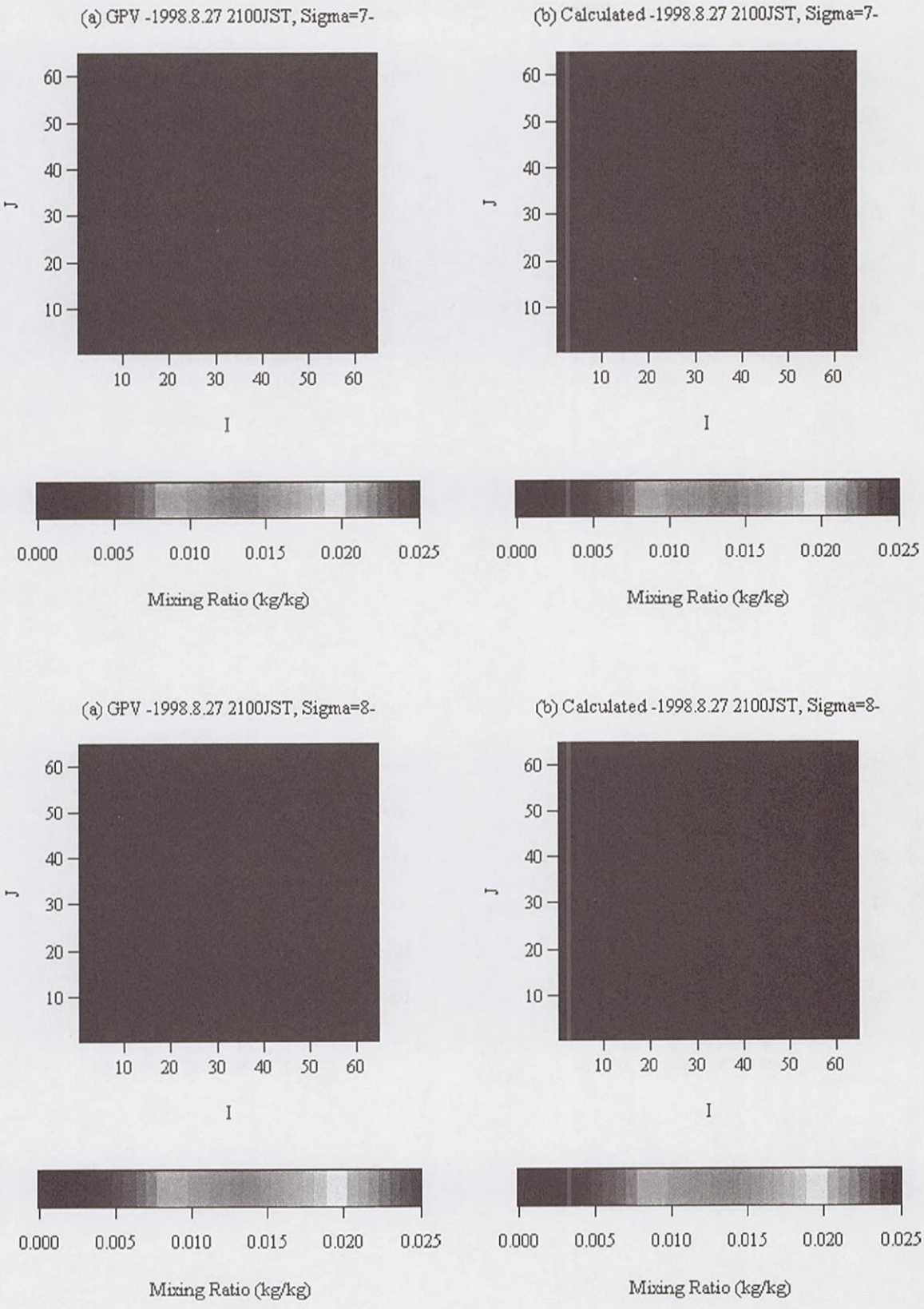


図 3.12 (2) 水蒸気混合比分布（1998.8.27 2100JST ④）

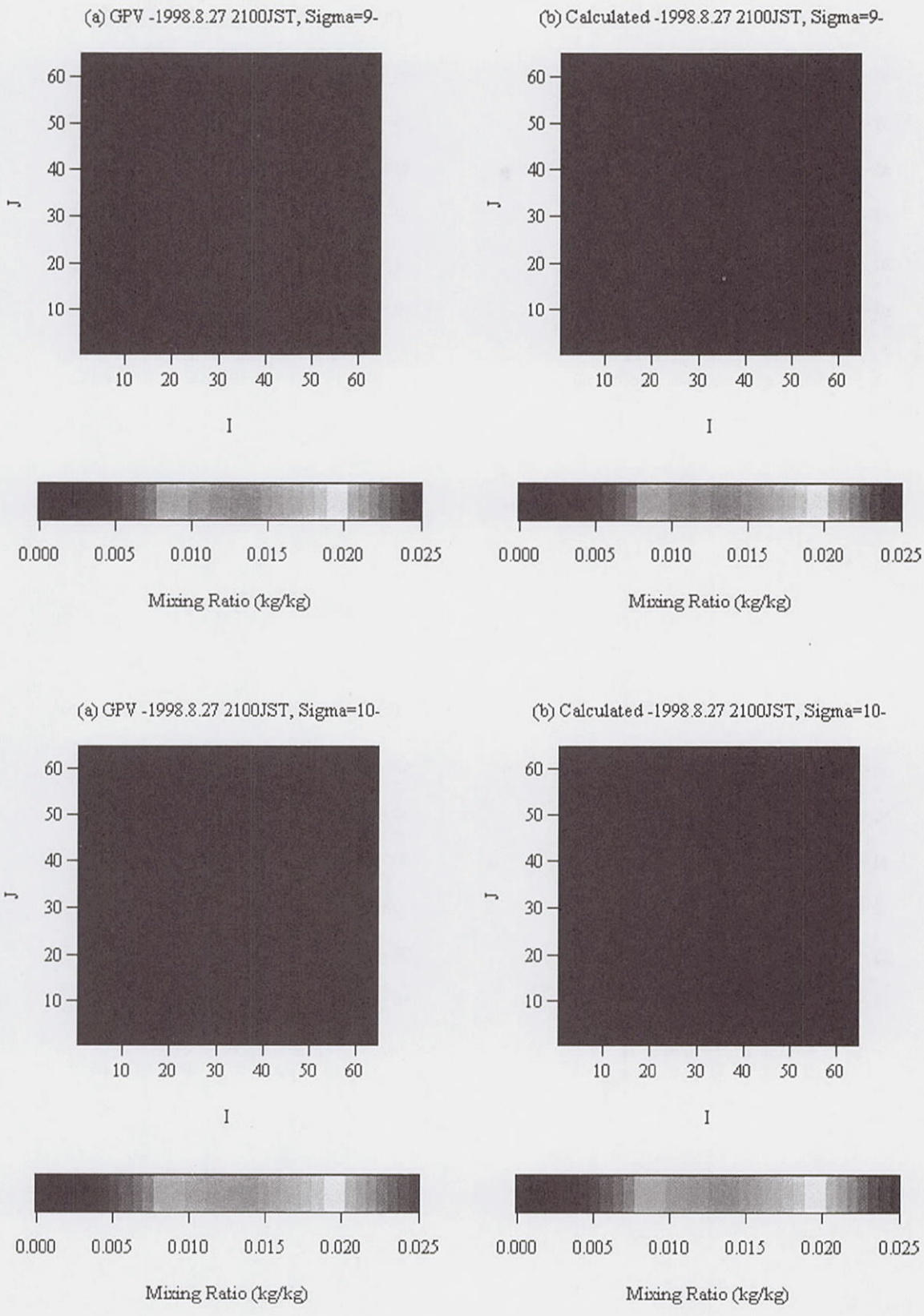


図 3.12 (2) 水蒸気混合比分布（1998.8.27 2100JST ⑤）

(4)風向・風速

8月27日0900JST並びに2100JSTにおける風速ベクトル分布を図3.13に示す。

最下層（σ=1 面）の風速については、いずれの時刻においても、メソスケール大気モデルによる計算結果(b)の方がGPV(a)と比較して70〜80%程度の若干小さめの風速を示しているものの、全体的な傾向、特に風向については、概ね再現できている。特に最下層（σ=1 面）からσ=6 面までの層については、台風第4号の東進に伴う南東風を比較的よく再現しており、この風速ベクトル分布と前述した気温分布、水蒸気混合比分布をあわせて考えると、今回の集中豪雨の原因とされる”東日本への南からの暖かい湿った空気の流入”[7), 8)]という気象現象は概ね再現できているものと判断される。

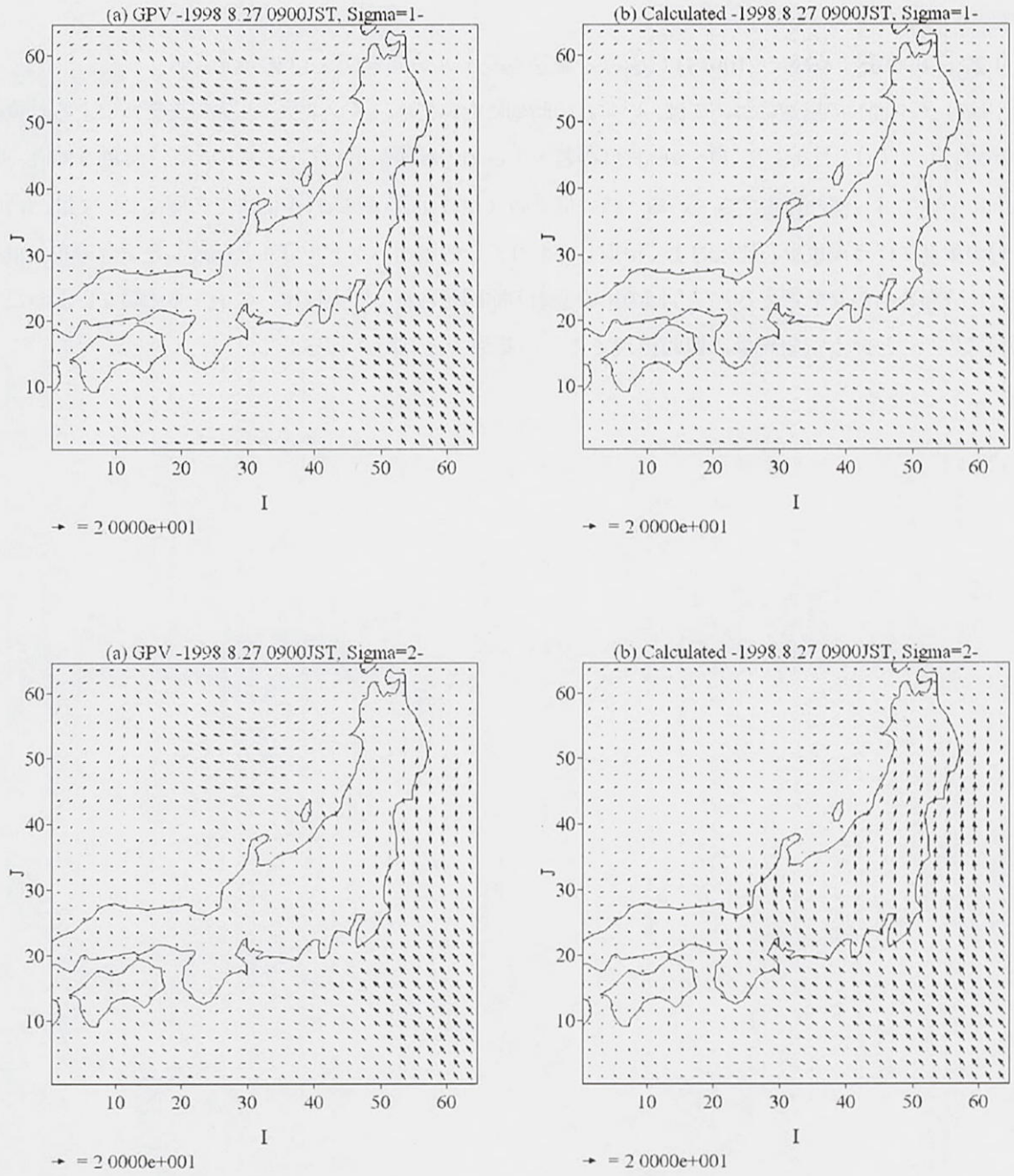


図 3.13 (1) 風速ベクトル分布（1998.8.27 0900JST ①）

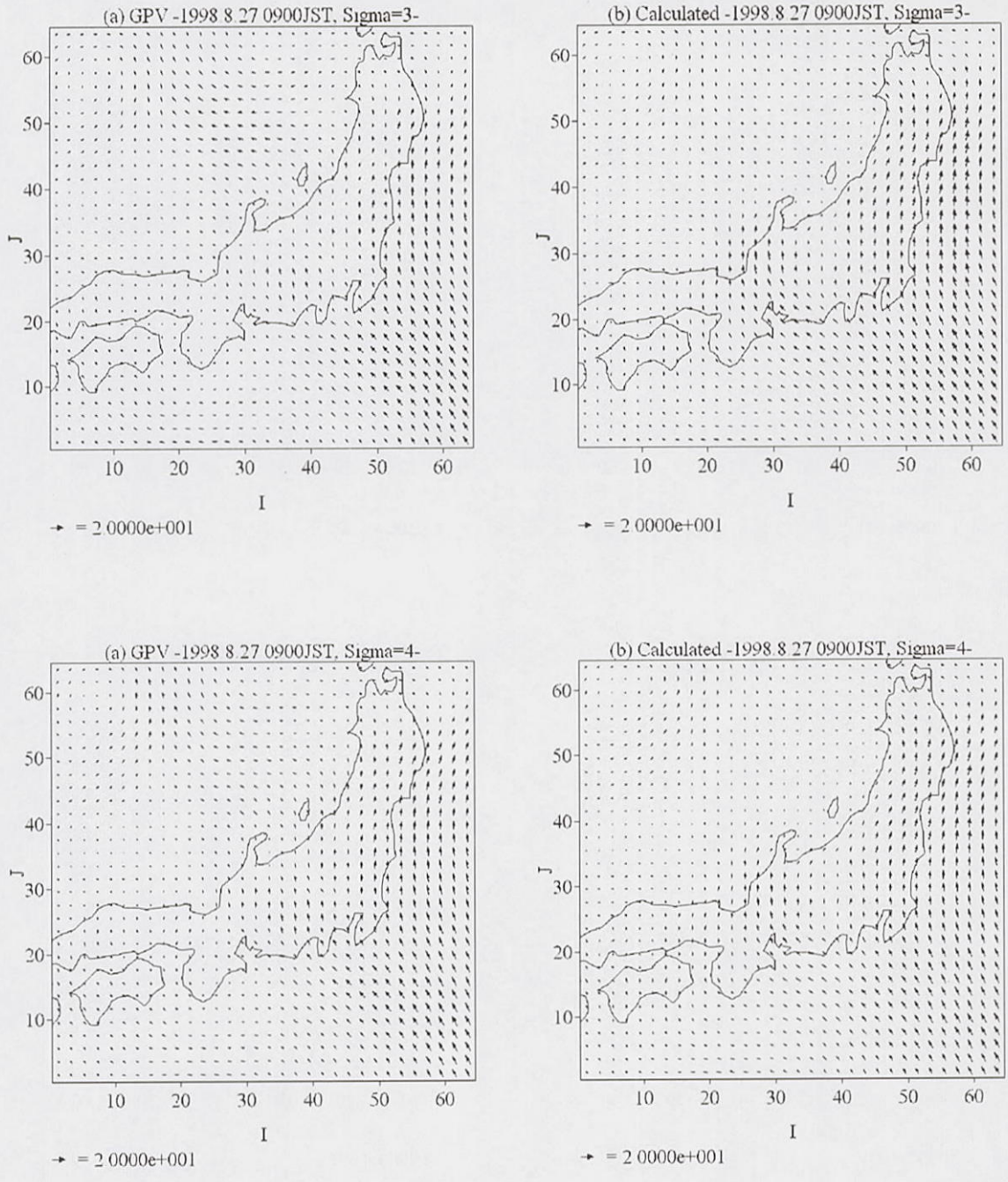


図 3.13 (1) 風速ベクトル分布（1998.8.27 0900JST ②）

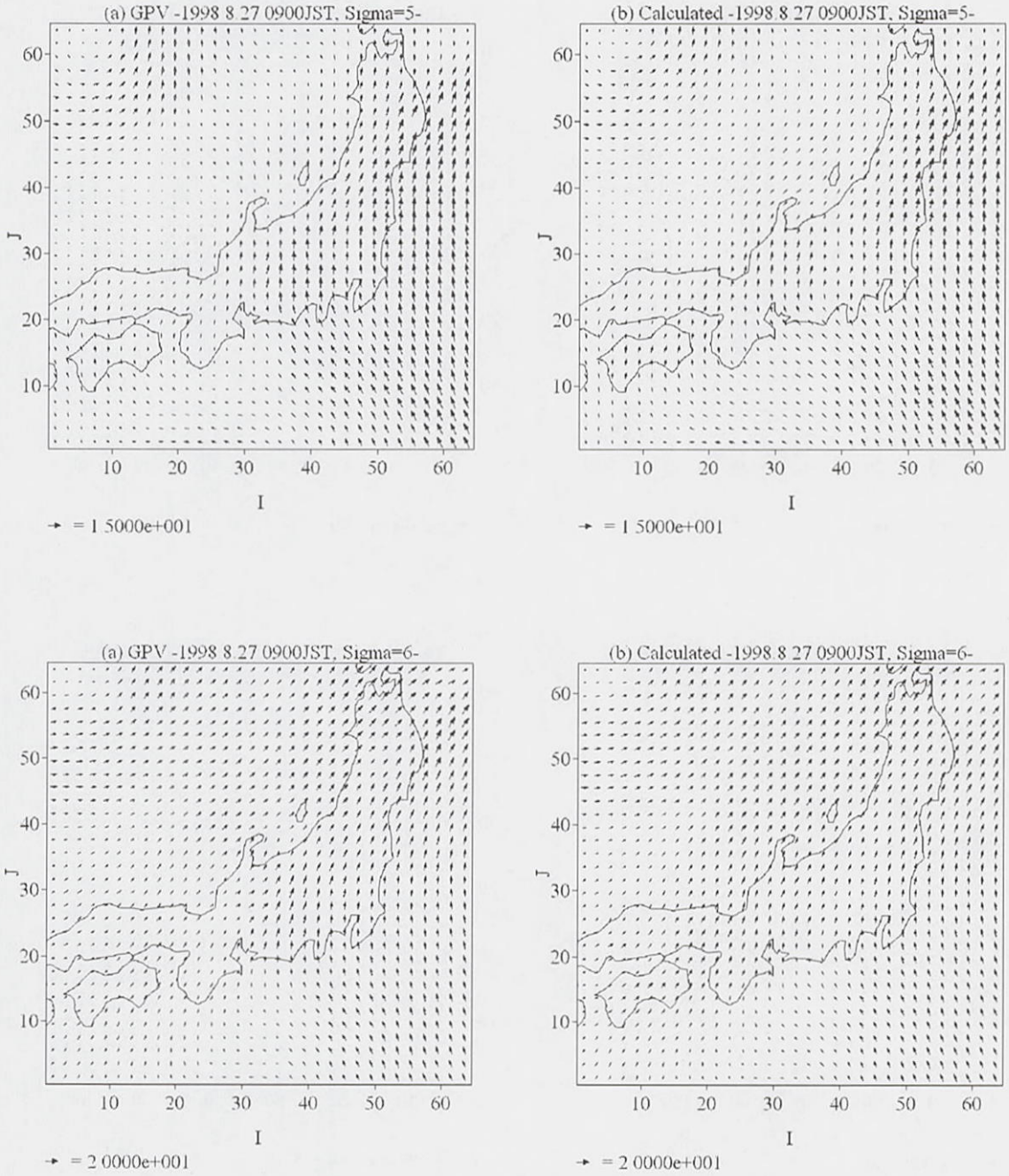


図 3.13 (1) 風速ベクトル分布（1998.8.27 0900JST ③）

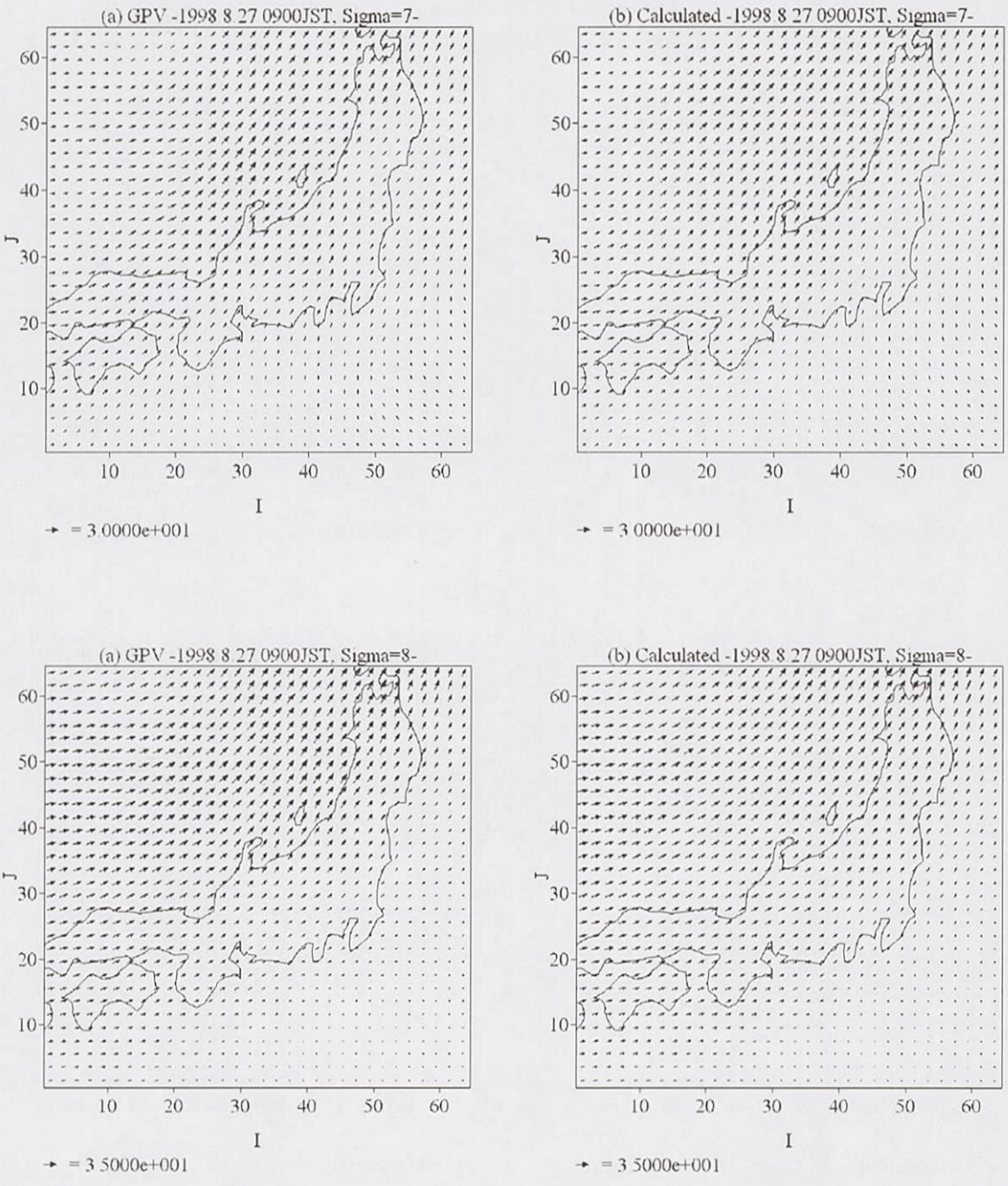


図 3.13 (1) 風速ベクトル分布（1998.8.27 0900JST ④）

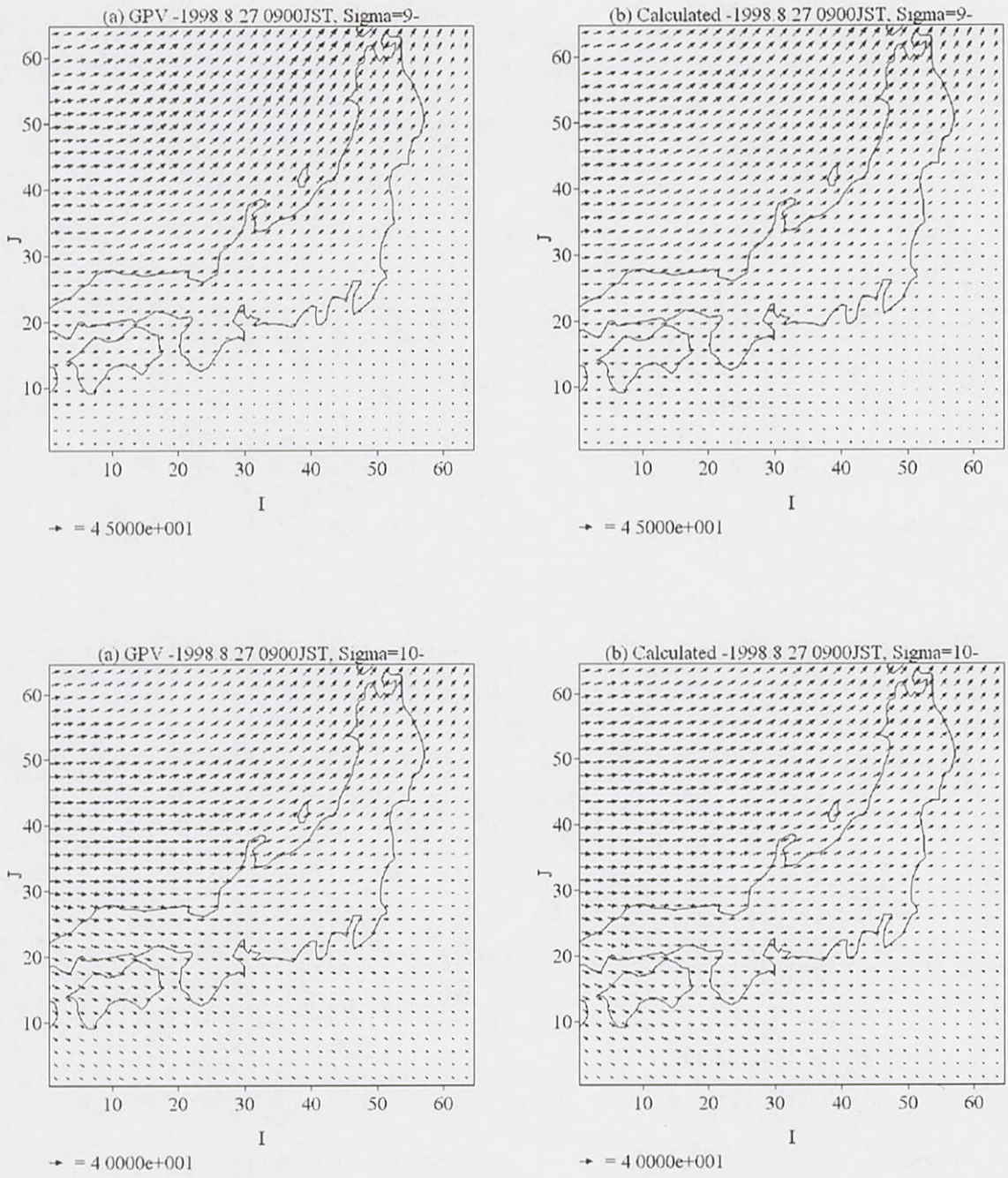


図 3.13 (1) 風速ベクトル分布（1998.8.27 0900JST ⑤）

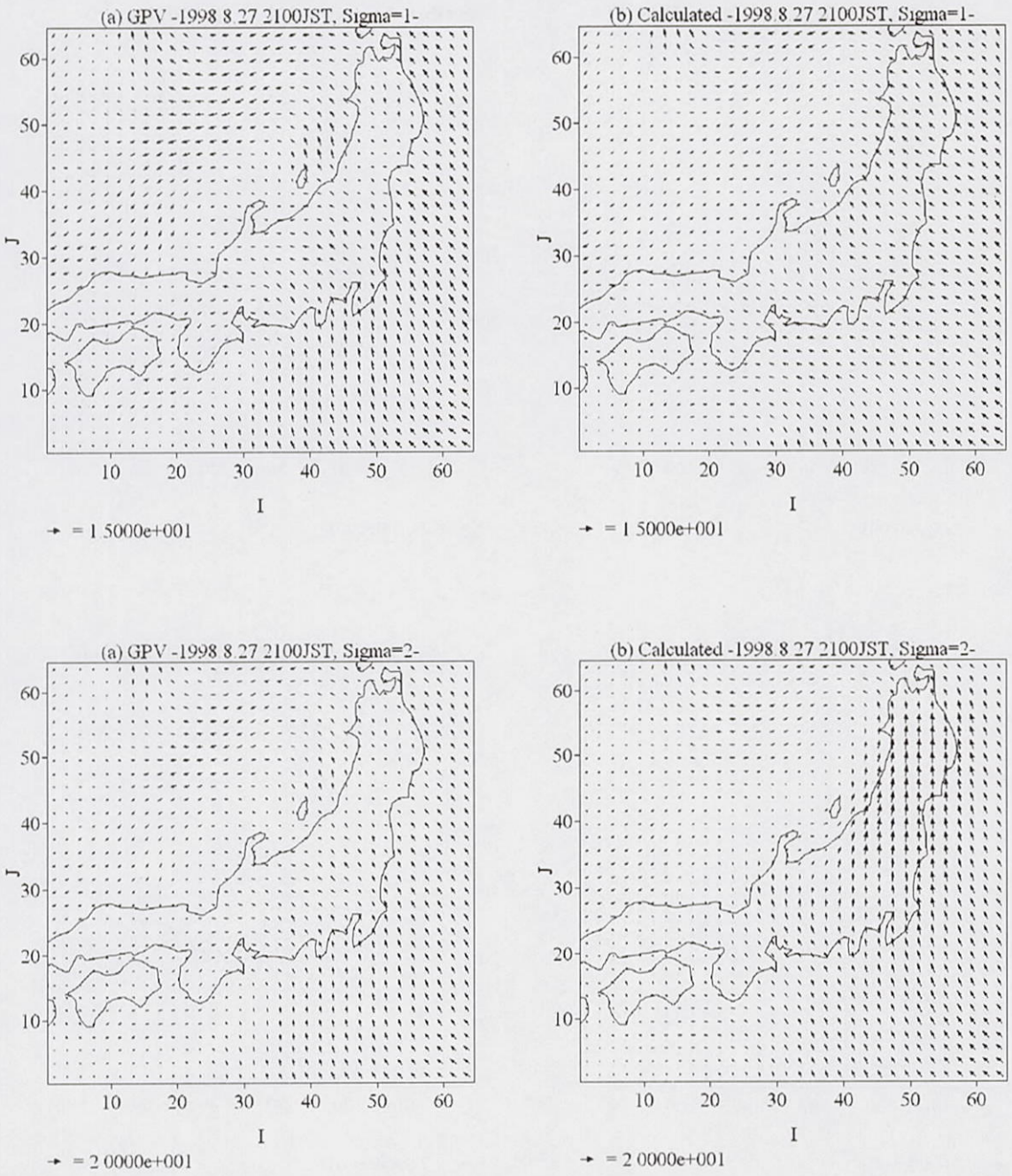


図 3.13 (2) 風速ベクトル分布（1998.8.27 2100JST ①）

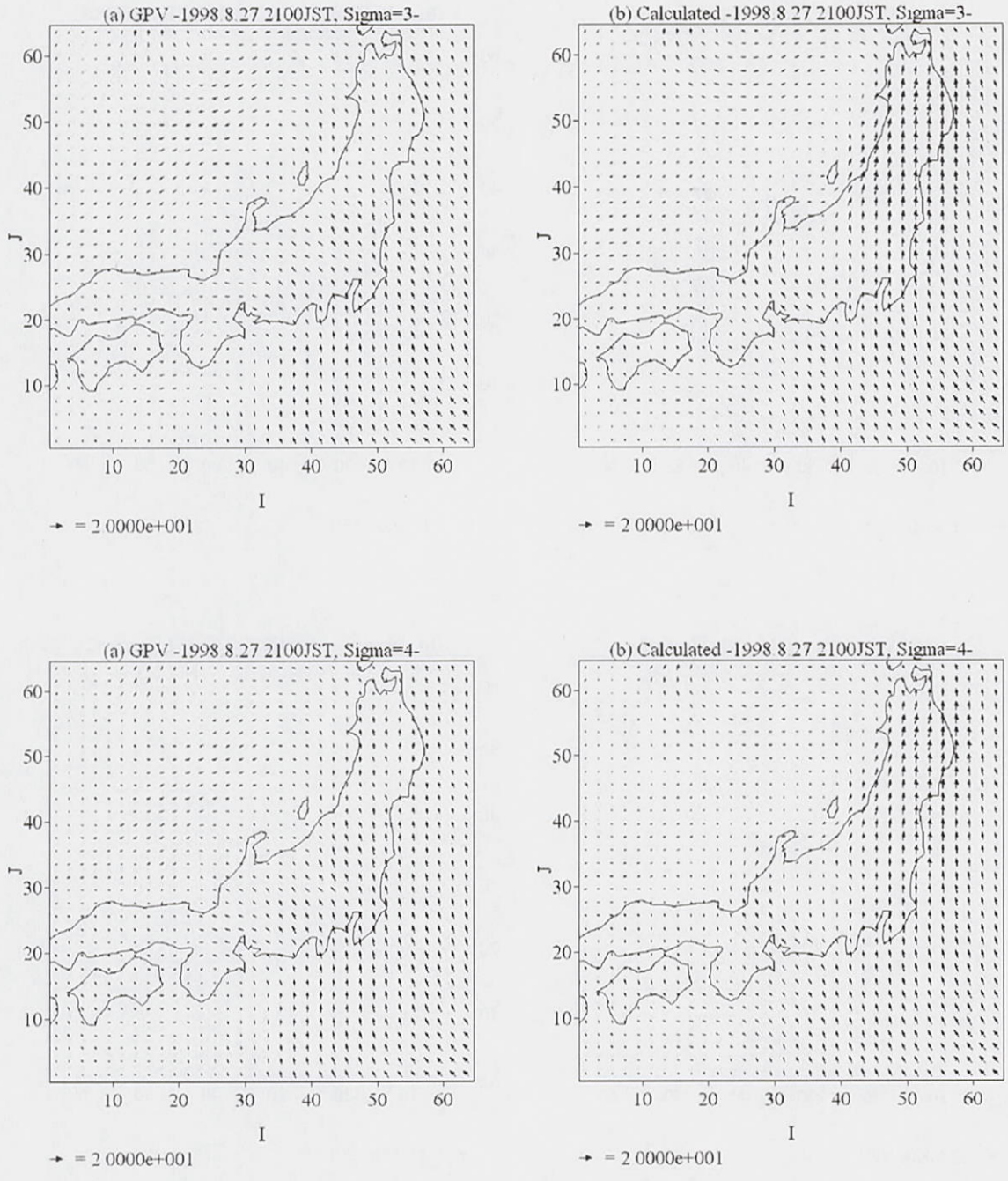


図 3.13 (2) 風速ベクトル分布（1998.8.27 2100JST ②）

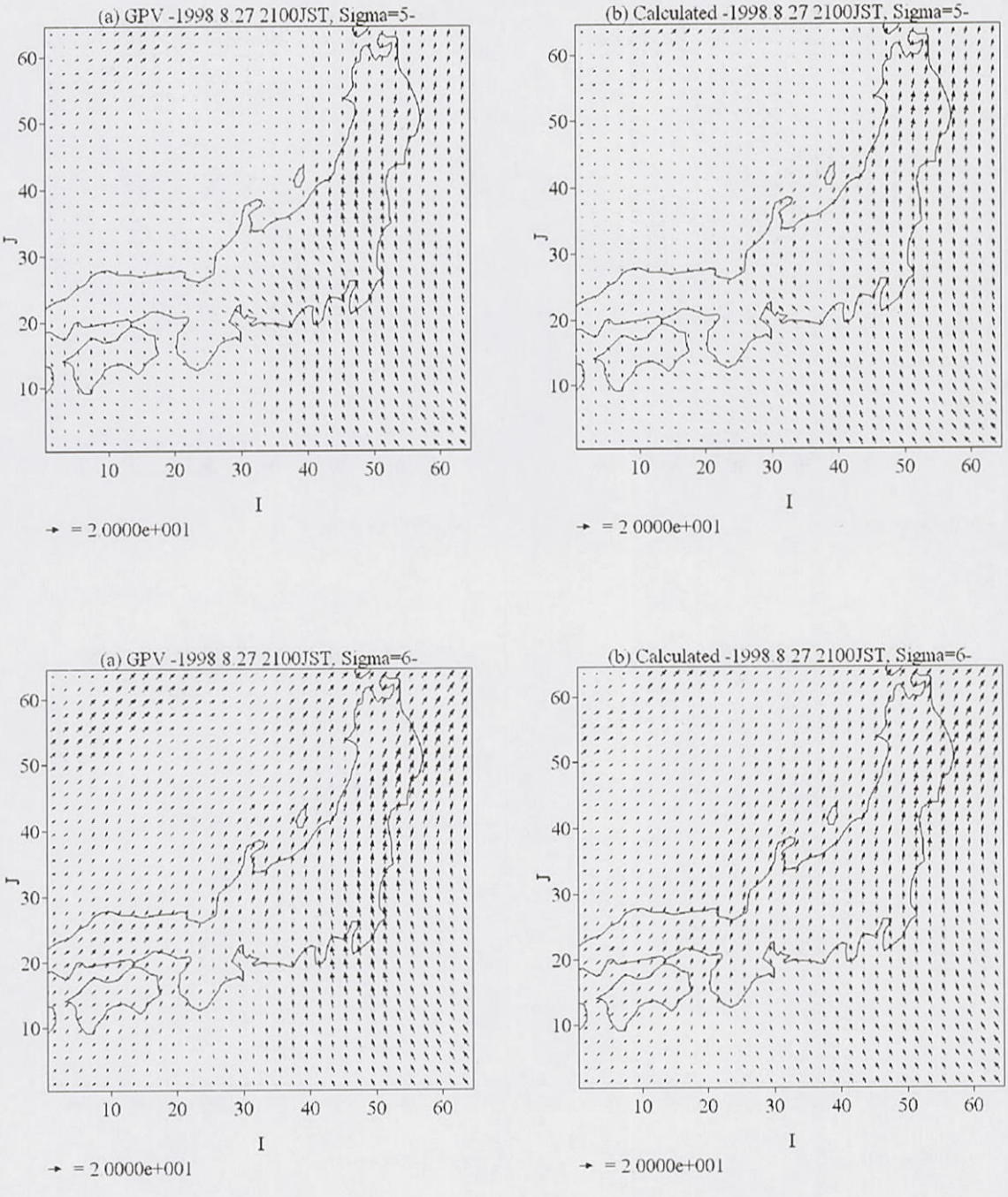


図 3.13 (2) 風速ベクトル分布（1998.8.27 2100JST ③）

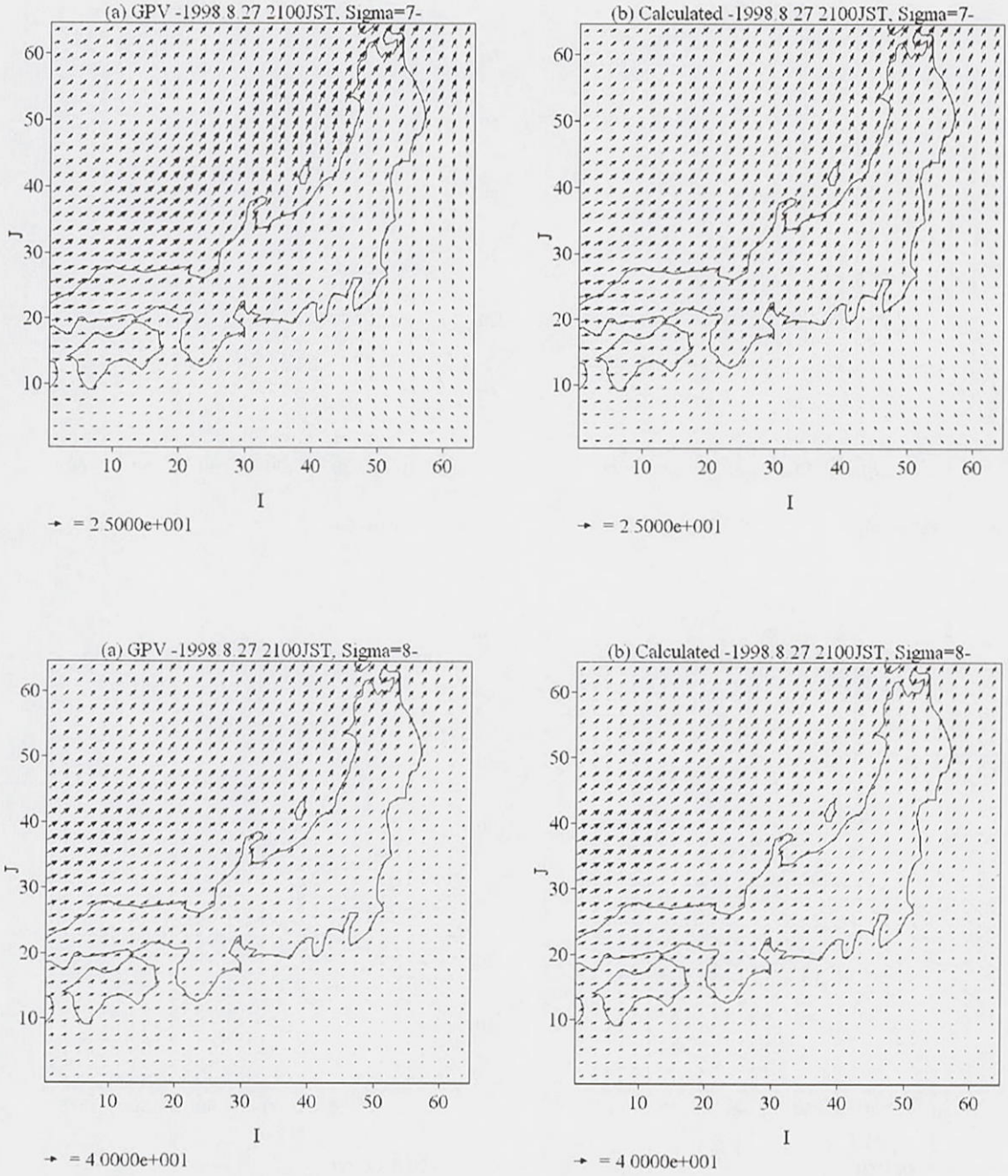


図 3.13 (2) 風速ベクトル分布（1998.8.27 2100JST ④）

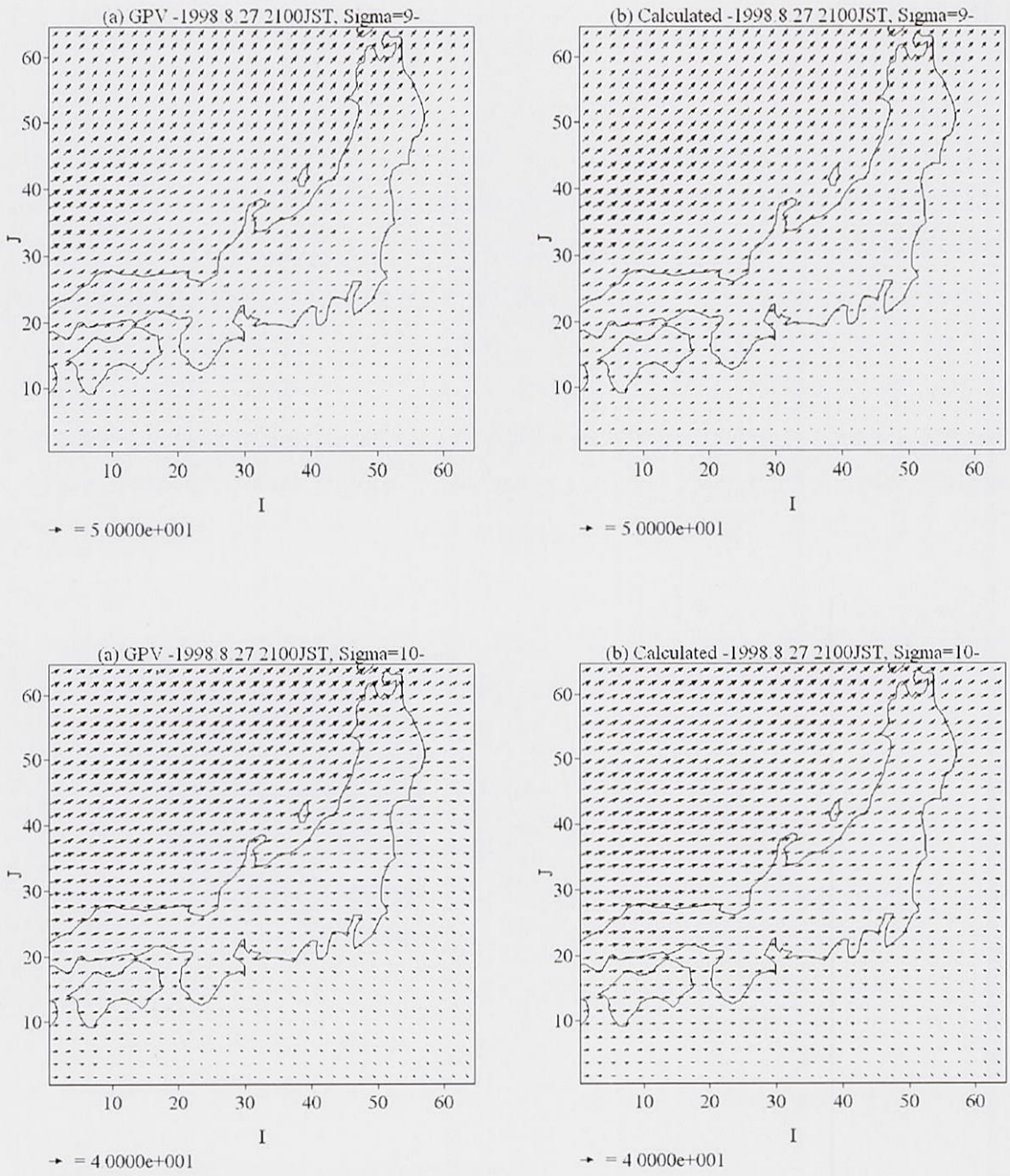


図 3.13 (2) 風速ベクトル分布（1998.8.27 2100JST ⑤）

(5)降水量

1)日降水量分布

図3.14に8月27日における日降水量分布を示す。

開発したメソスケール大気モデルによりシミュレートされた日降水量(b)そのものについてはAMeDASによる実測(a)と比較して全般的に50〜90%程度と少なめに再現されているものの（但し、記録的な豪雨のあった那須地方では計算値はかなり小さな値となっている)、降水域については過去の研究[9]と比較して正確に再現できている。特に記録的な豪雨を観測した栃木県那須地方の降水域は、南西方向に80km程度（南方，西方にそれぞれ3メッシュ程度）のずれにとどまっている。

日降水量そのものの再現性が高くない理由として、本研究において開発し、再現計算に使用したメソスケール大気モデルの空間スケールの問題（空間スケールが20km×20kmであるため、複雑な地形を考慮できない等)、入力気象情報として使用したGPVそのものの品質（精度）の問題等が考えられる。

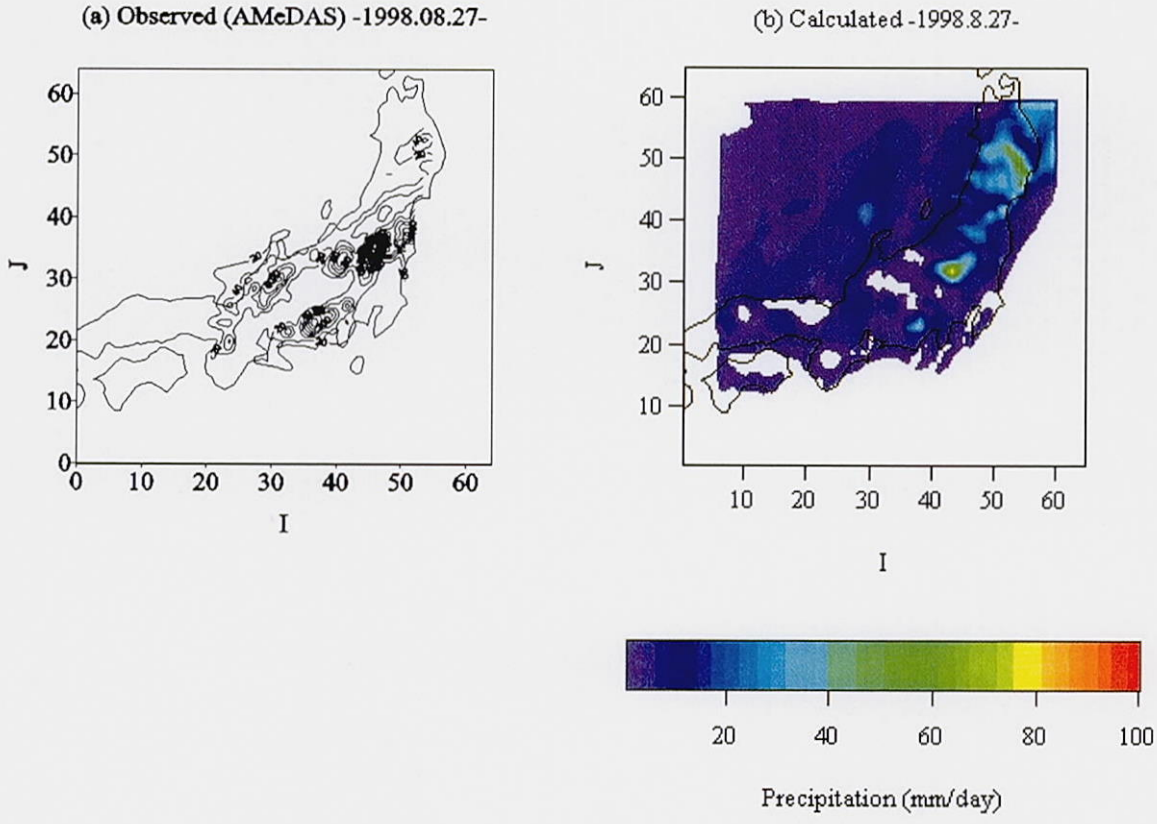


図3.14 日降水量分布（1998.8.27）

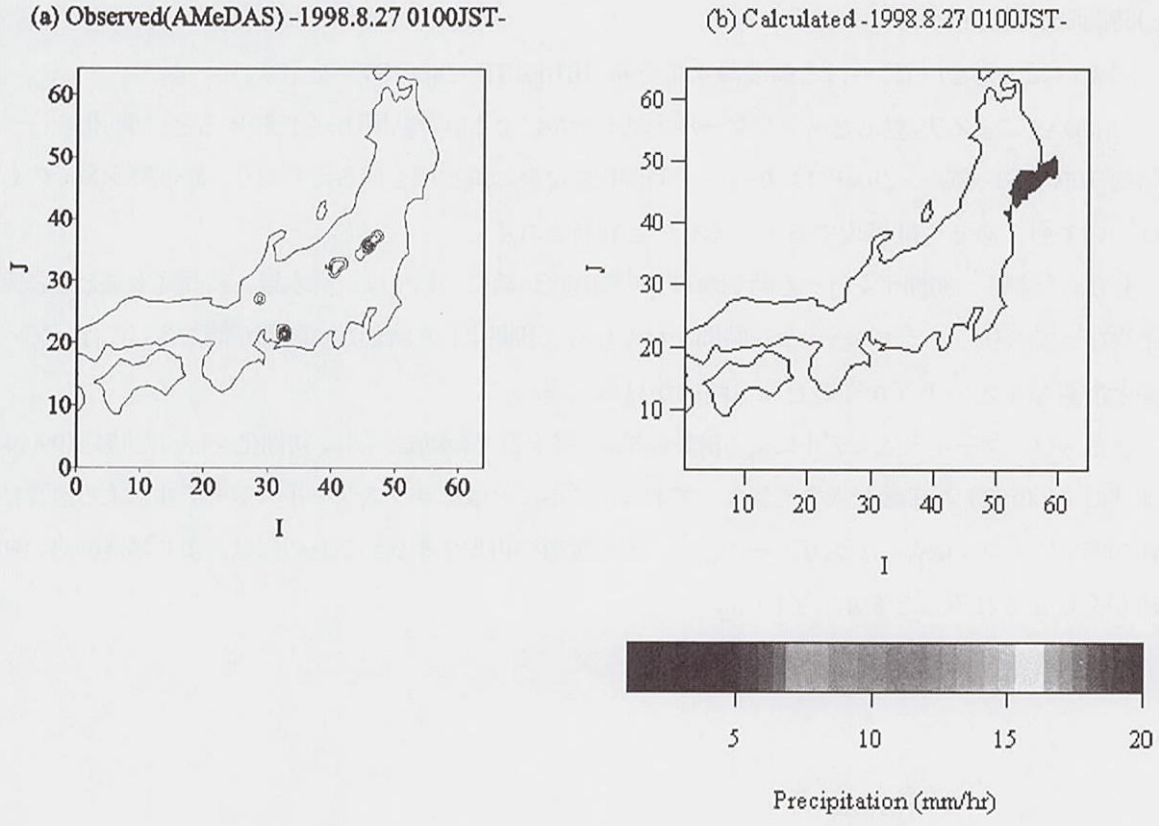
2)時間降水量分布

図3.15に8月27日における時間降水量分布（0100JST～2400JST）を示す。

AMeDASによる実測(a)とメソスケール大気モデルによる計算結果(b)を比較すると、初期化を行った時刻（0900JST並びに2100JST）からの5時間程度は概ね降水域を捕らえており、時間降水量そのものについても、ある程度再現できているものと判断される。

しかしながら、初期化を行った時刻から5時間程度以降については、降水域、時間降水量ともに実測と異なっており、シミュレーション時間が長くなる（初期化した時刻から時間が隔たる）に伴って、実測と計算結果との差異が顕著となる傾向が見られる。

またメソスケール大気モデルによる計算結果は、降水量、降水域ともに、初期化を行った時刻（0900JST並びに2100JST）の前後で大きく異なっており、このことは、メソスケール大気モデルによる計算結果が初期値に大きく依存しており、そのため、降水現象の再現性を高めるためには、より精度の高い初期値が必要とされることを示している。



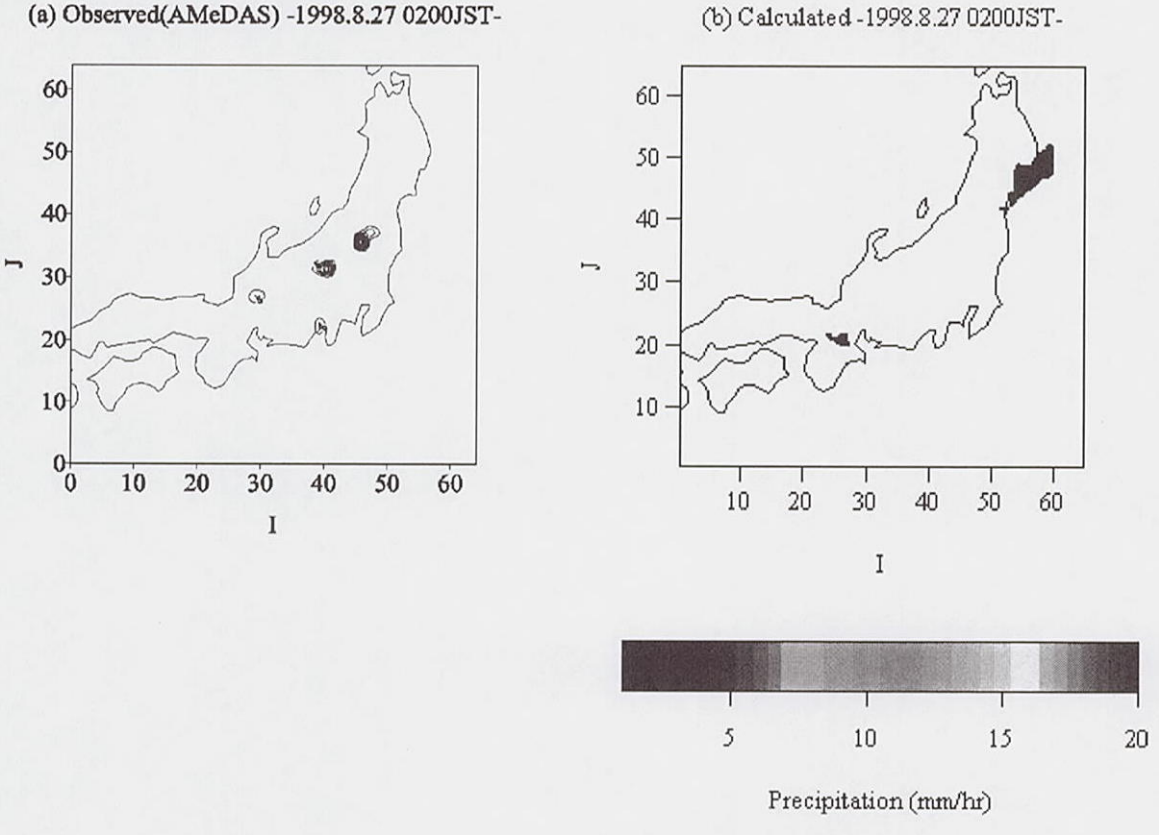
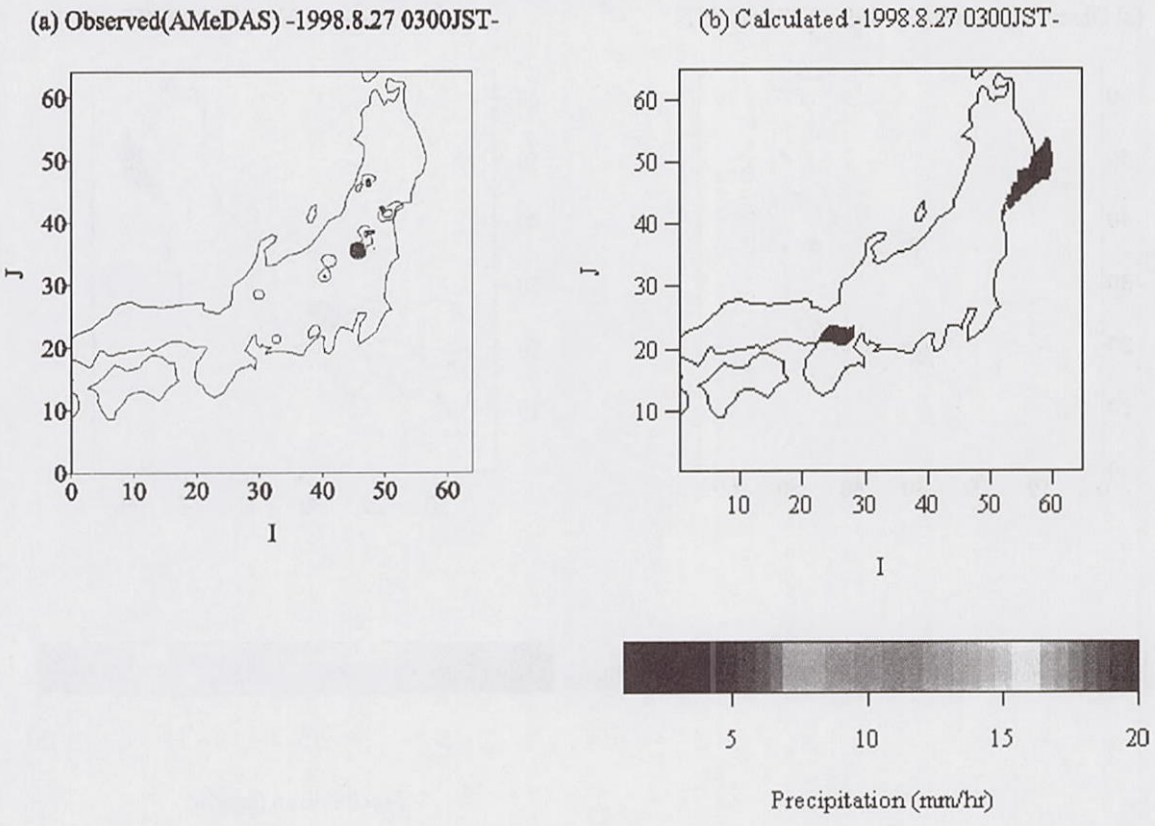


図 3.15 時間降水量分布（1998.8.27 ①）



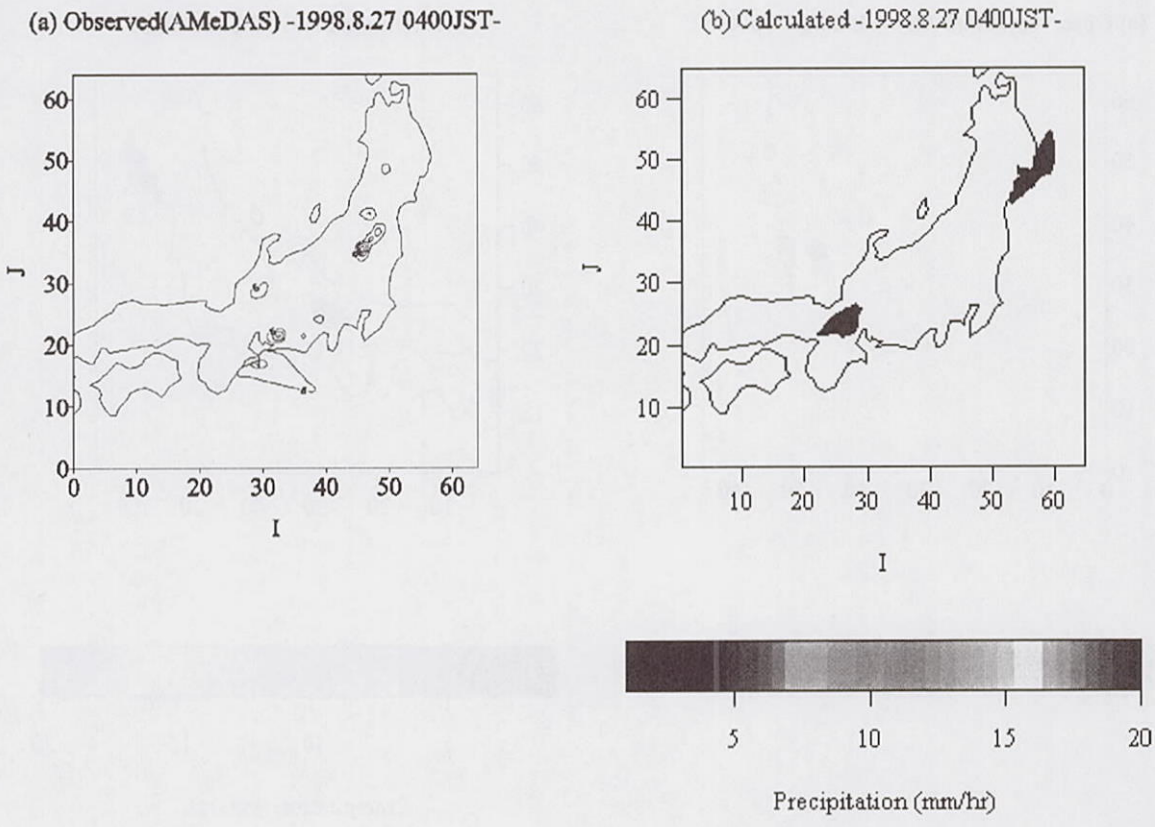
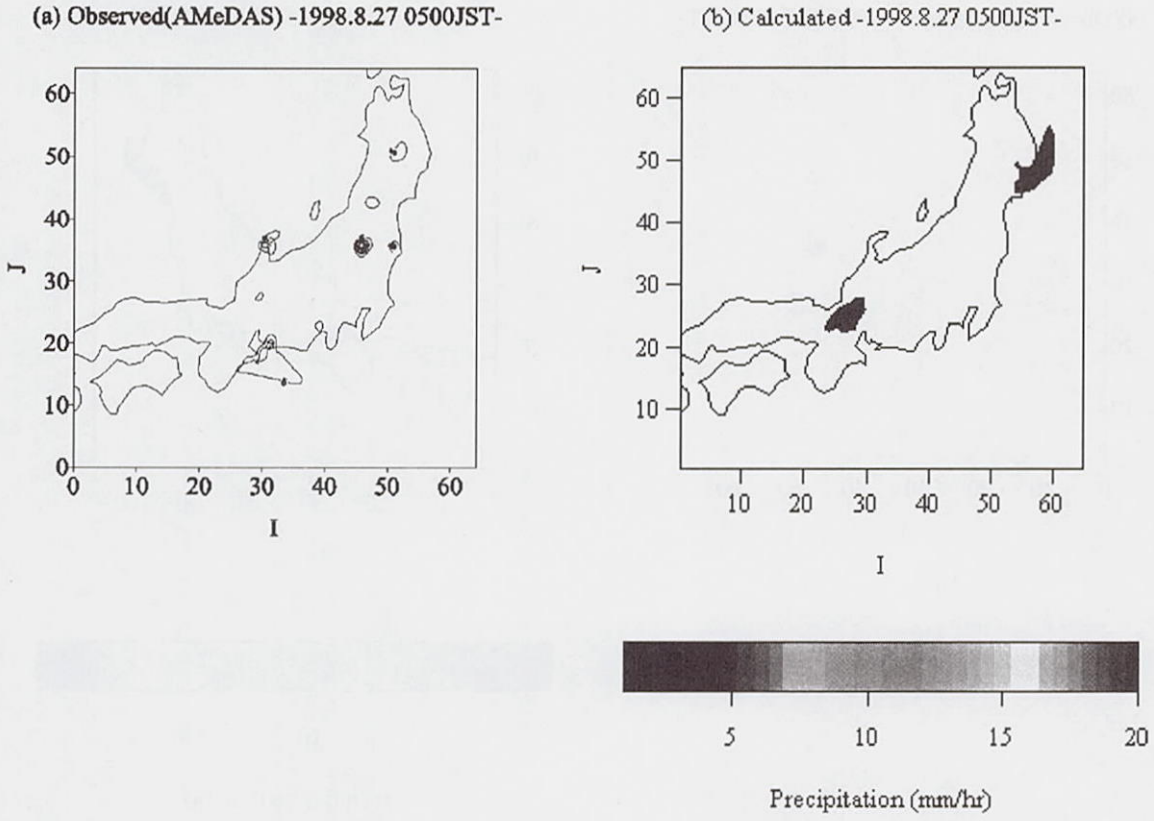


図3.15 時間降水量分布（1998.8.27 ②）



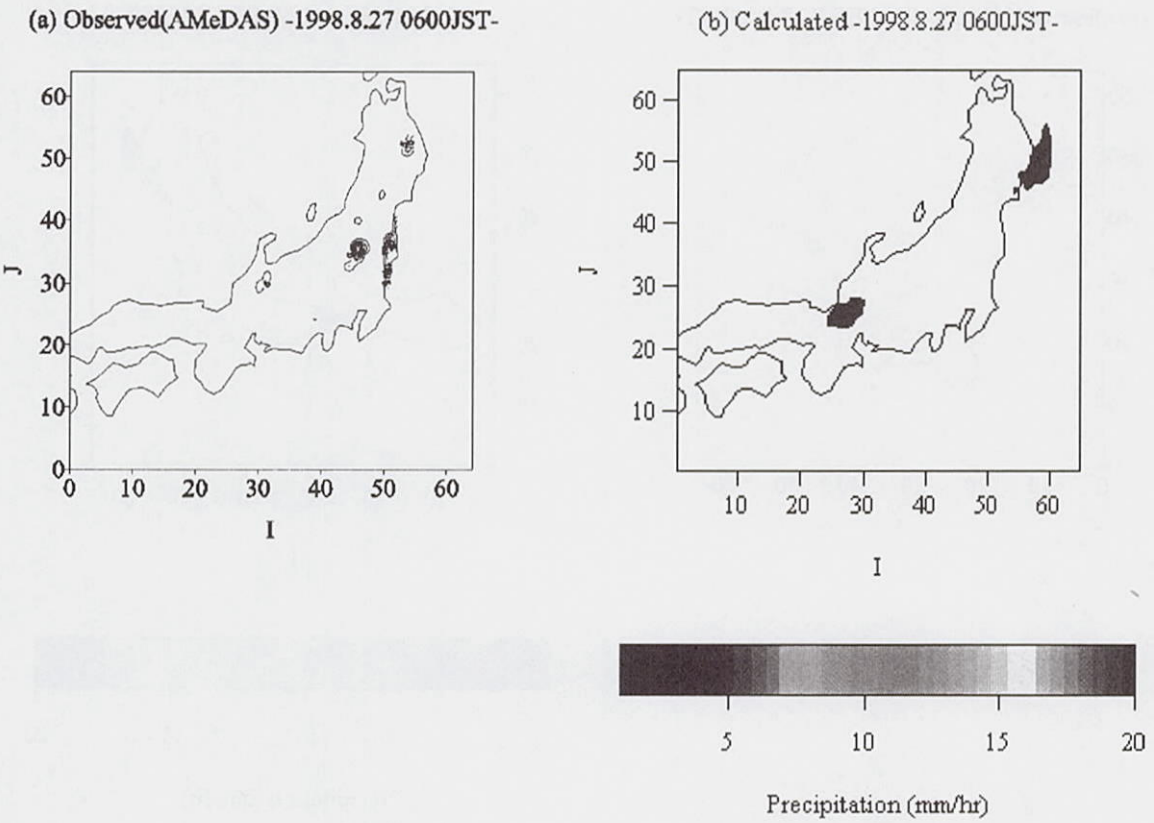
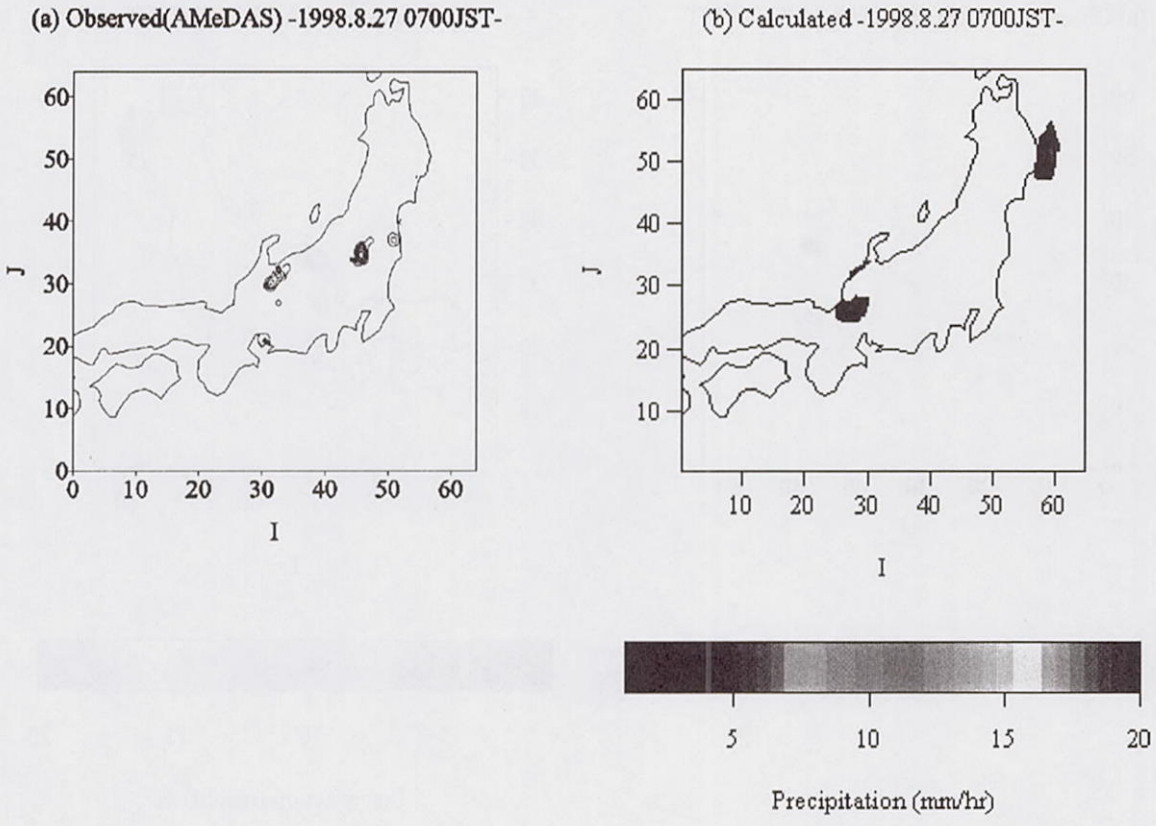


図 3.15 時間降水量分布（1998.8.27 ③）



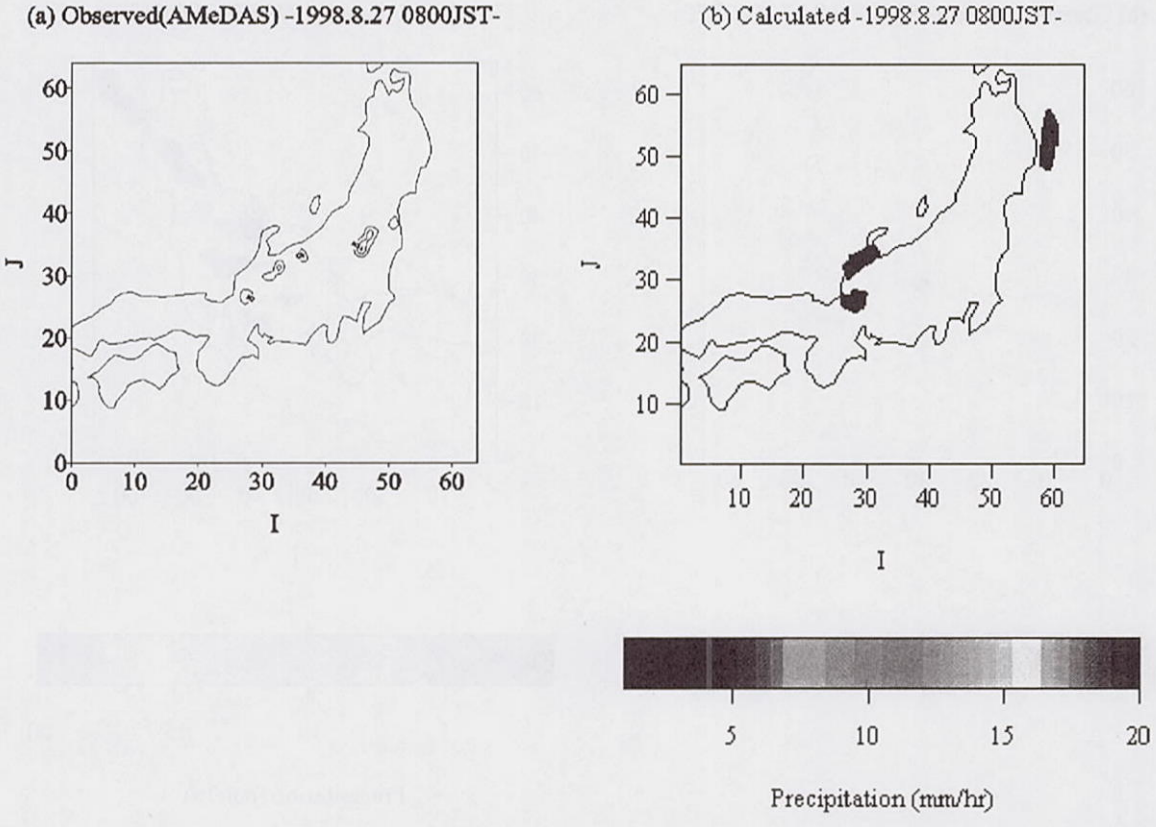
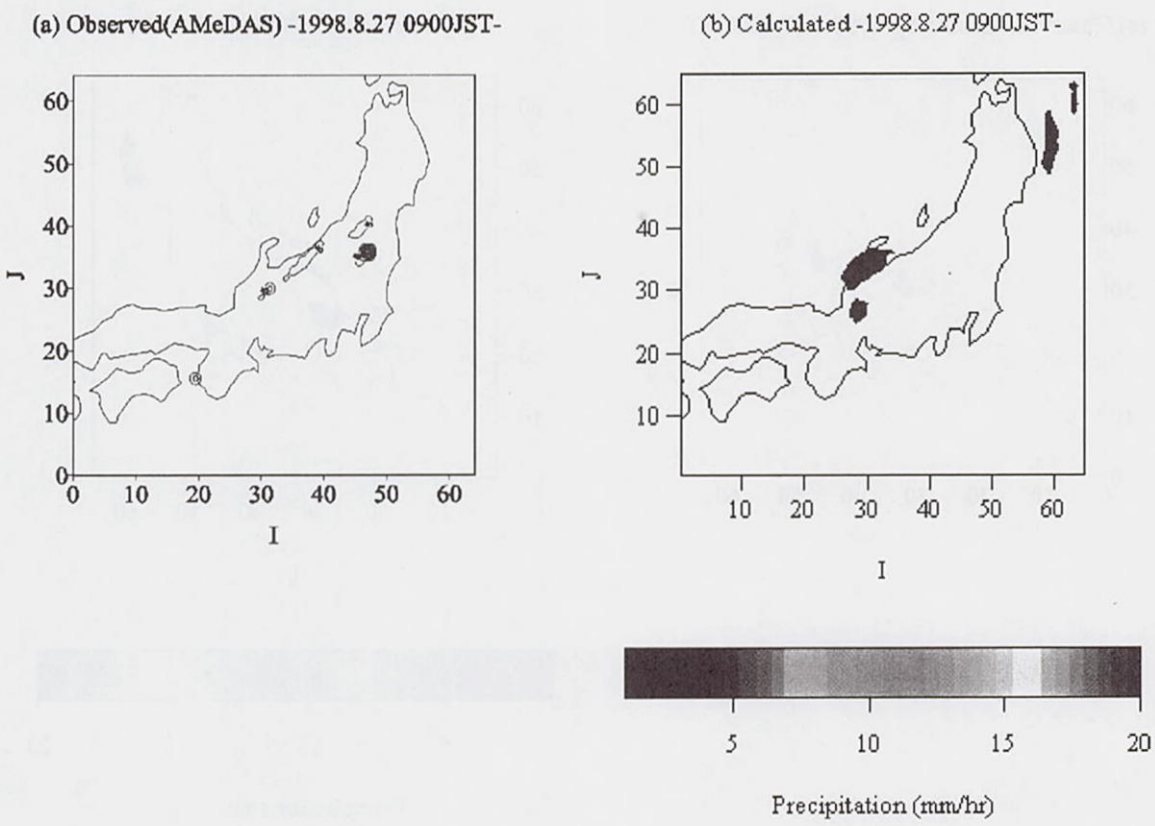


図3.15 時間降水量分布（1998.8.27 ④）



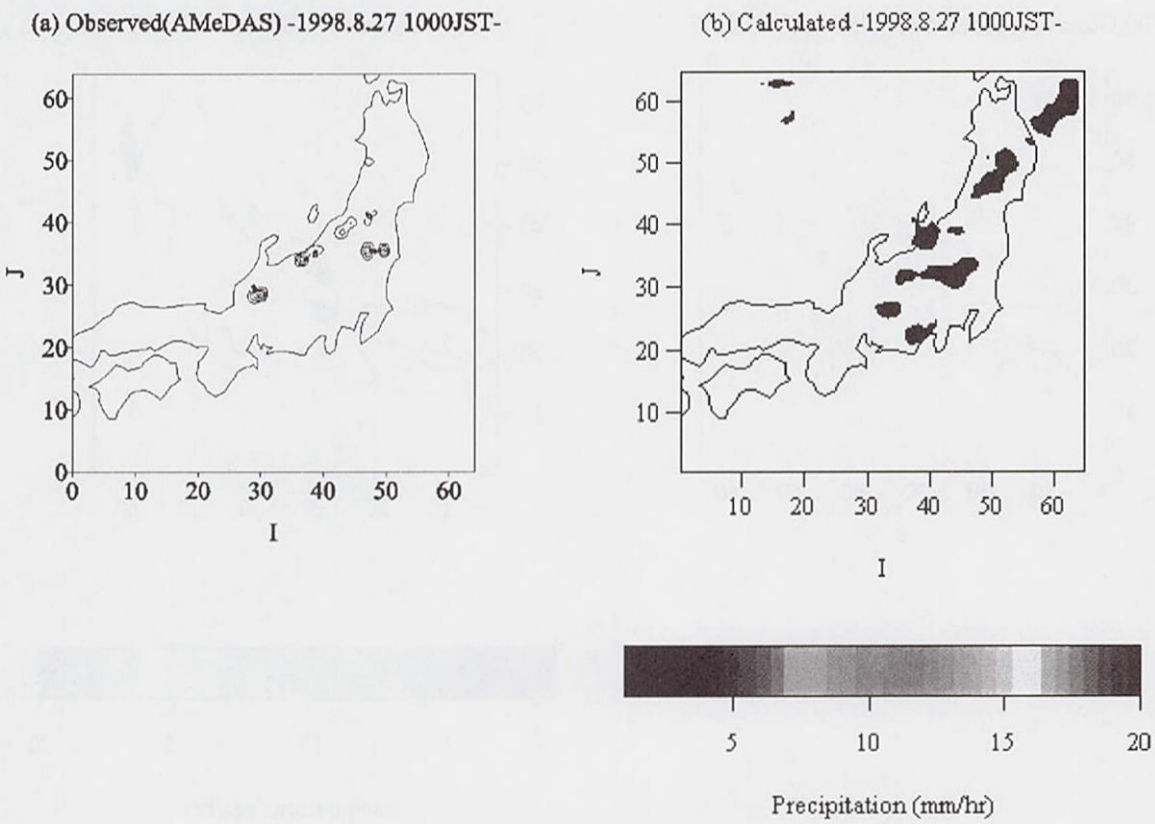
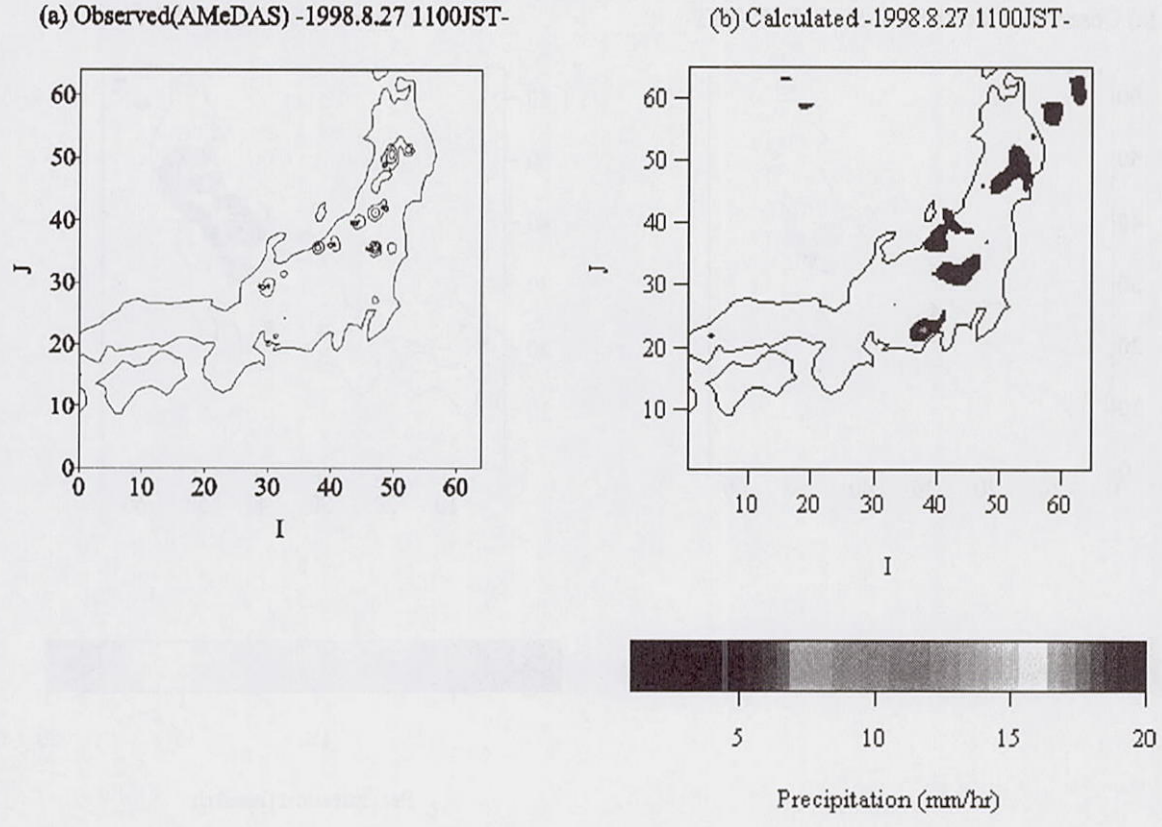


図 3.15 時間降水量分布（1998.8.27 ⑤）



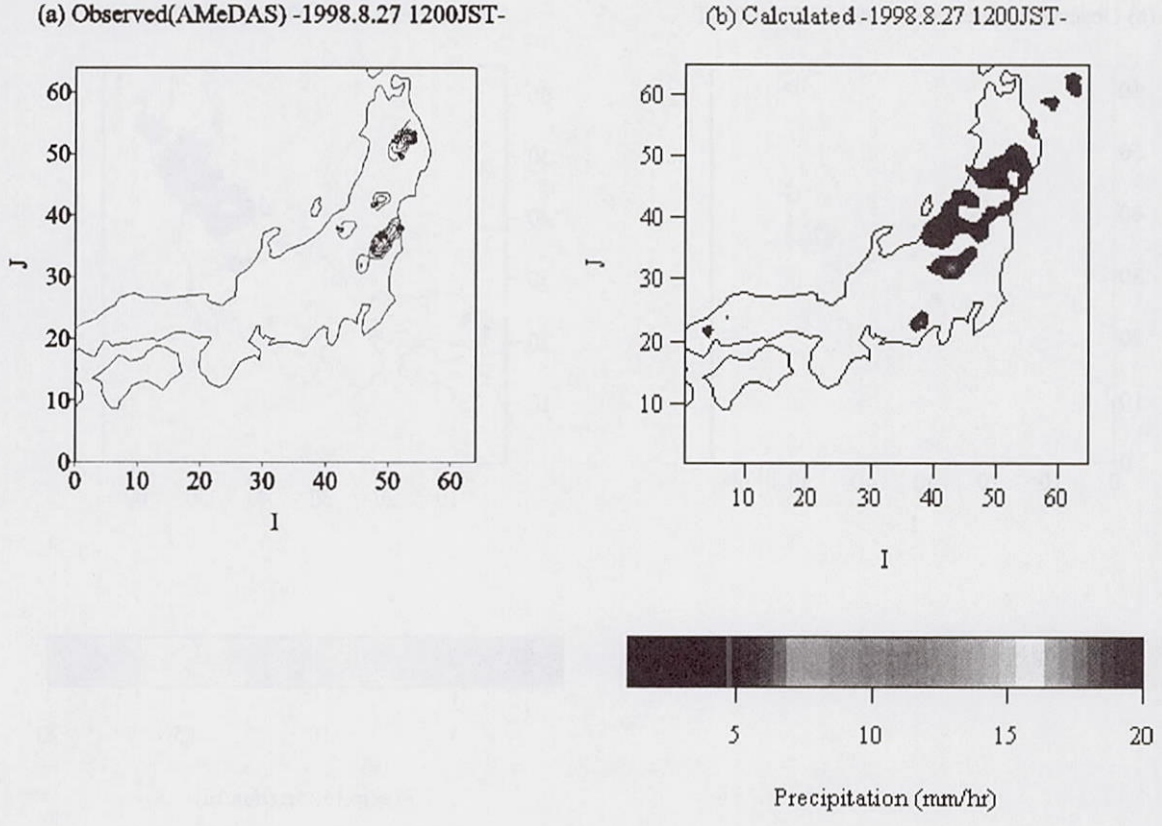
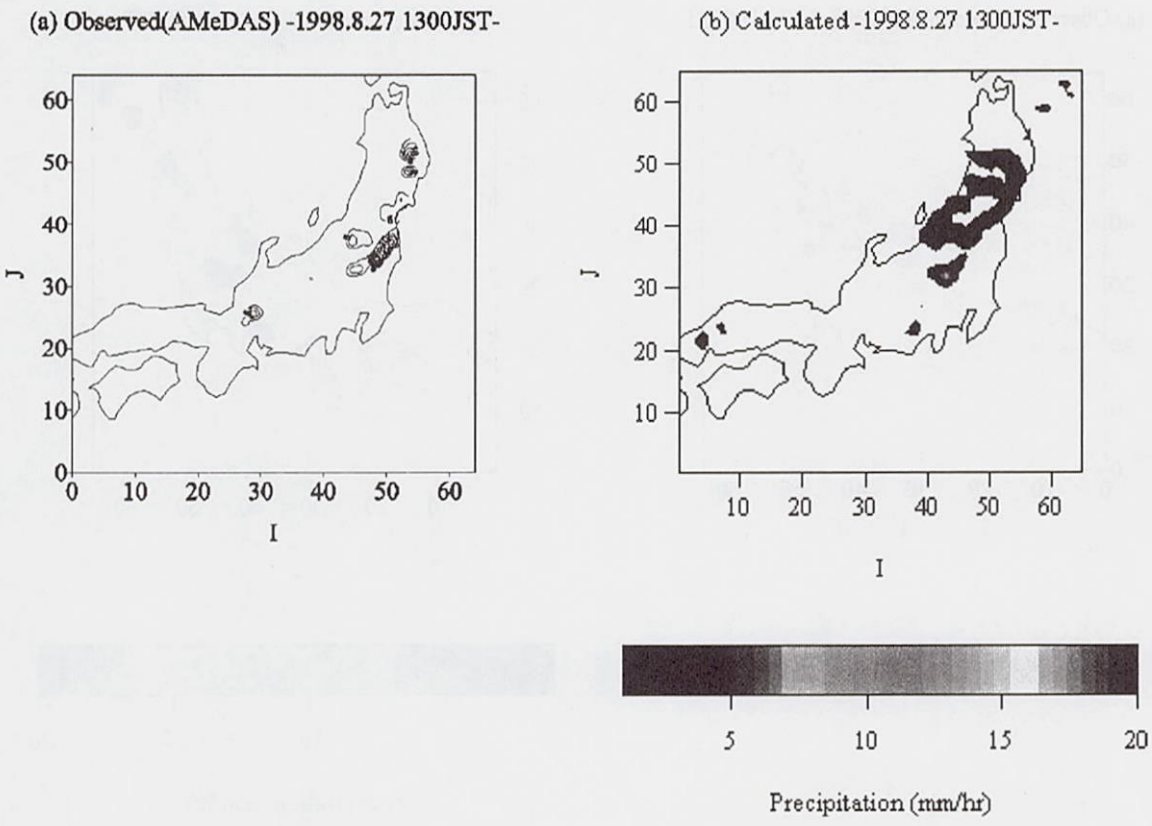


図 3.15 時間降水量分布（1998.8.27 ⑥）



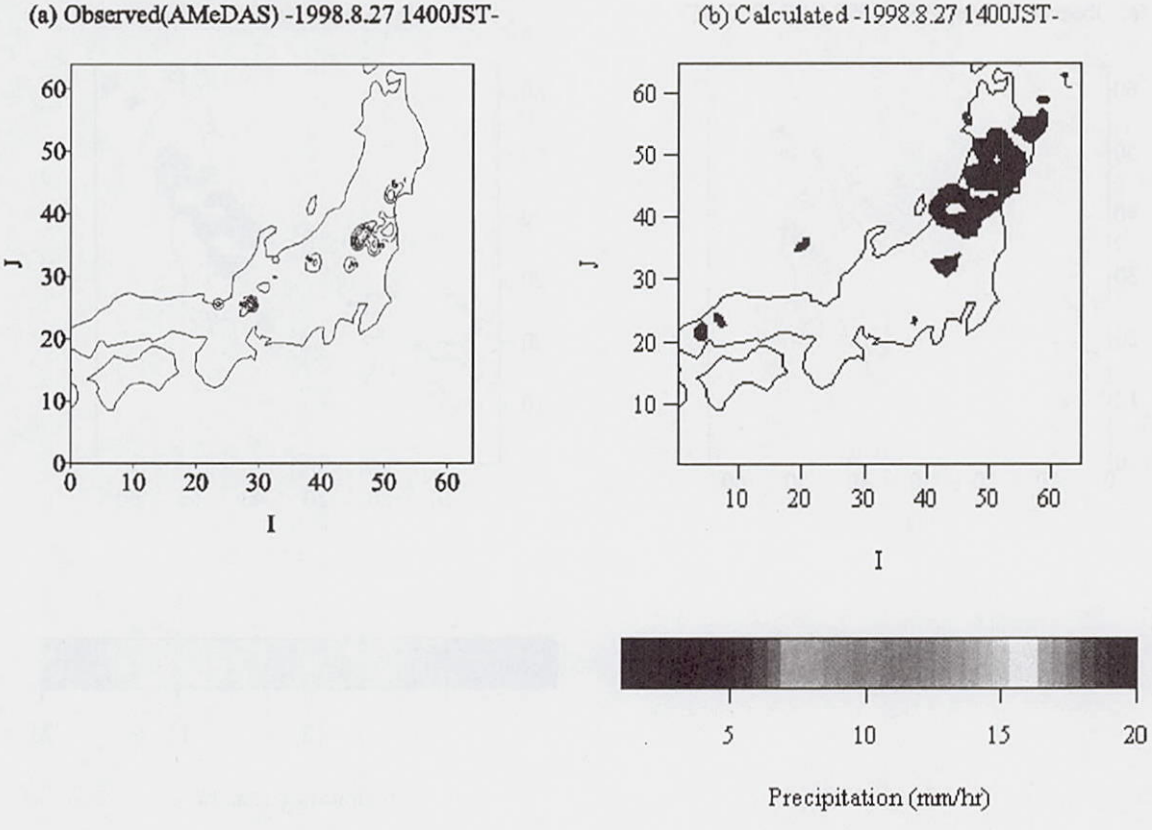
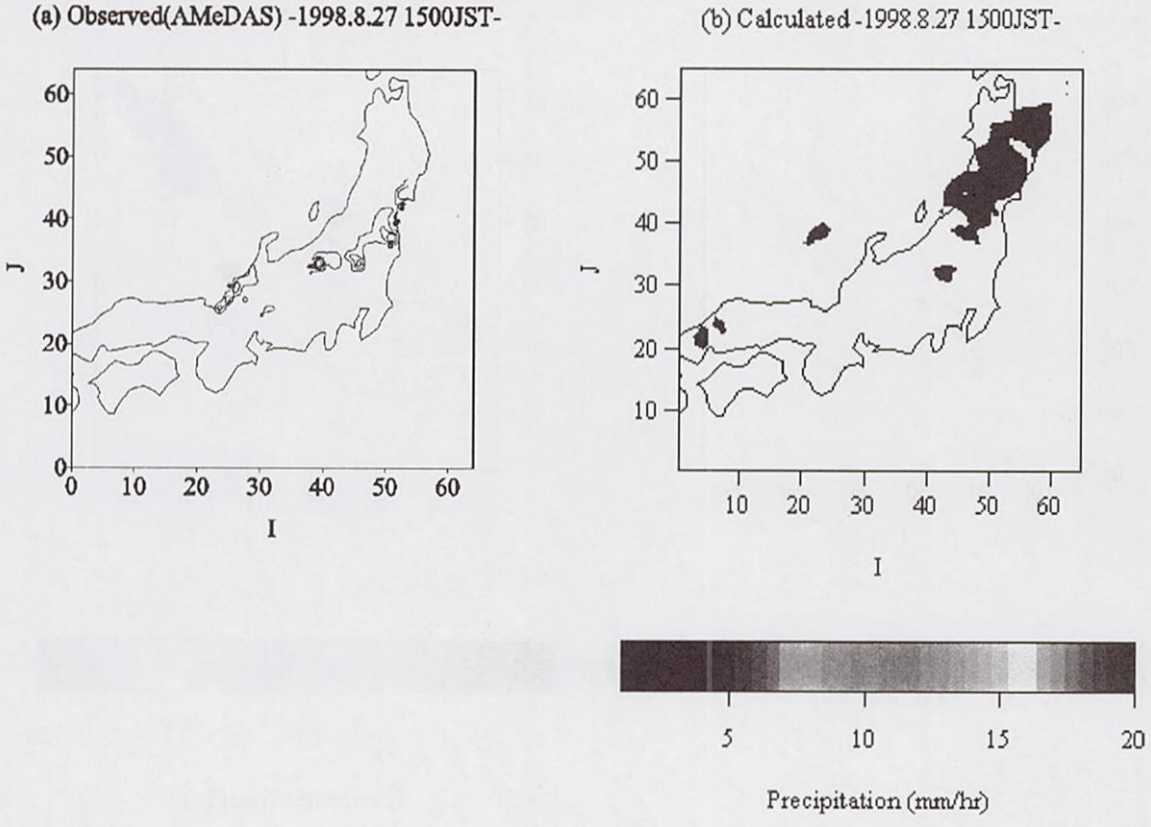


図 3.15 時間降水量分布（1998.8.27 ⑦）



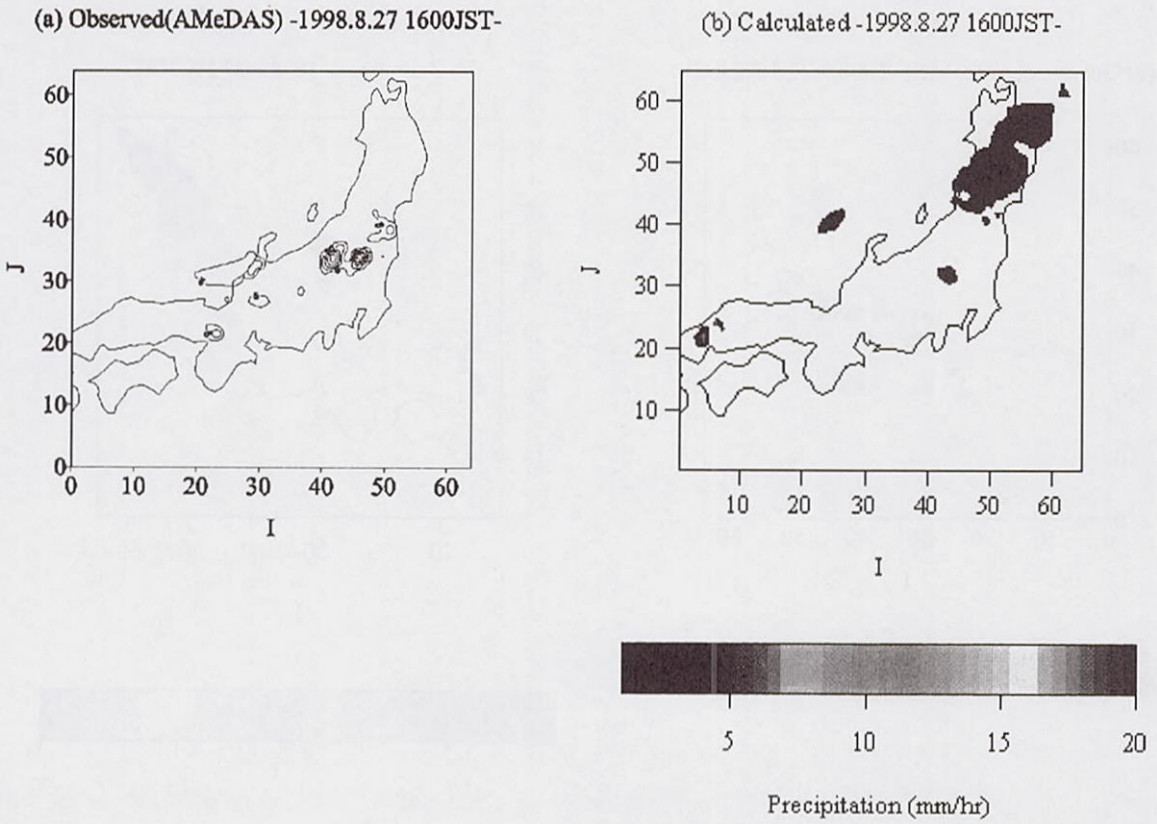
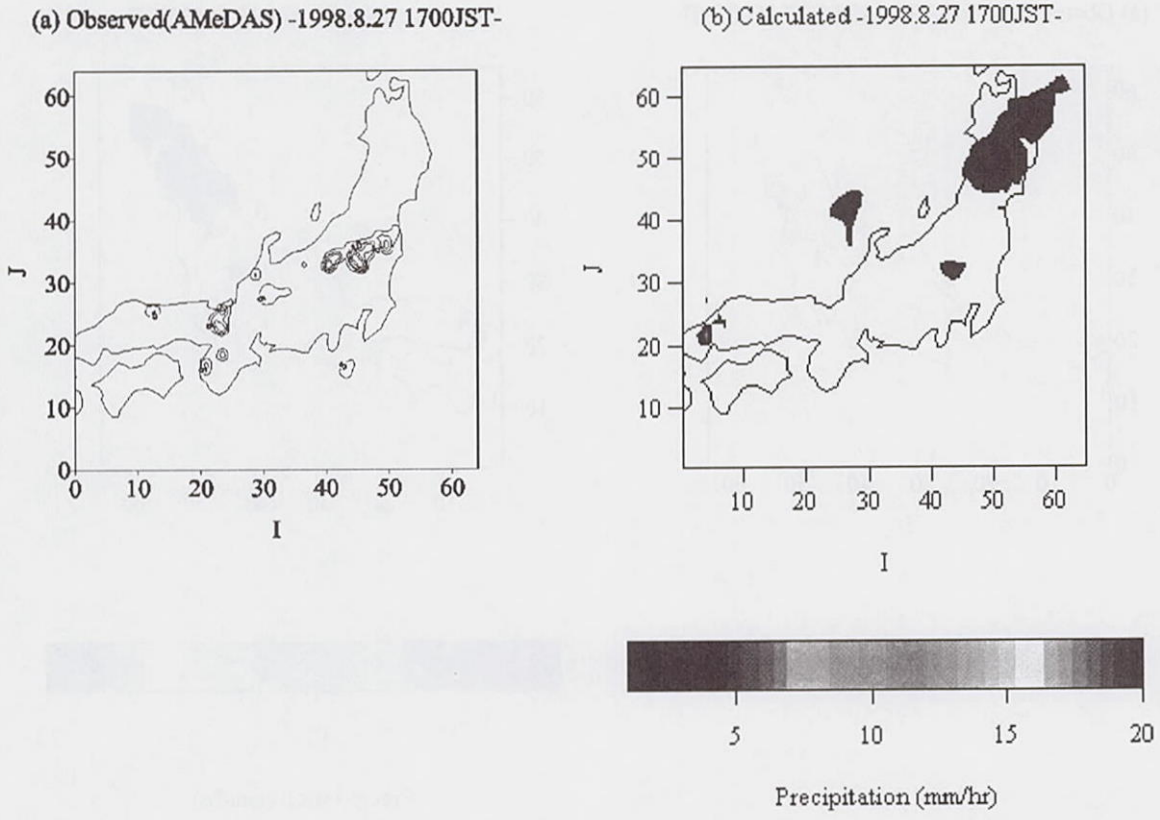


図 3.15 時間降水量分布（1998.8.27 ⑧）



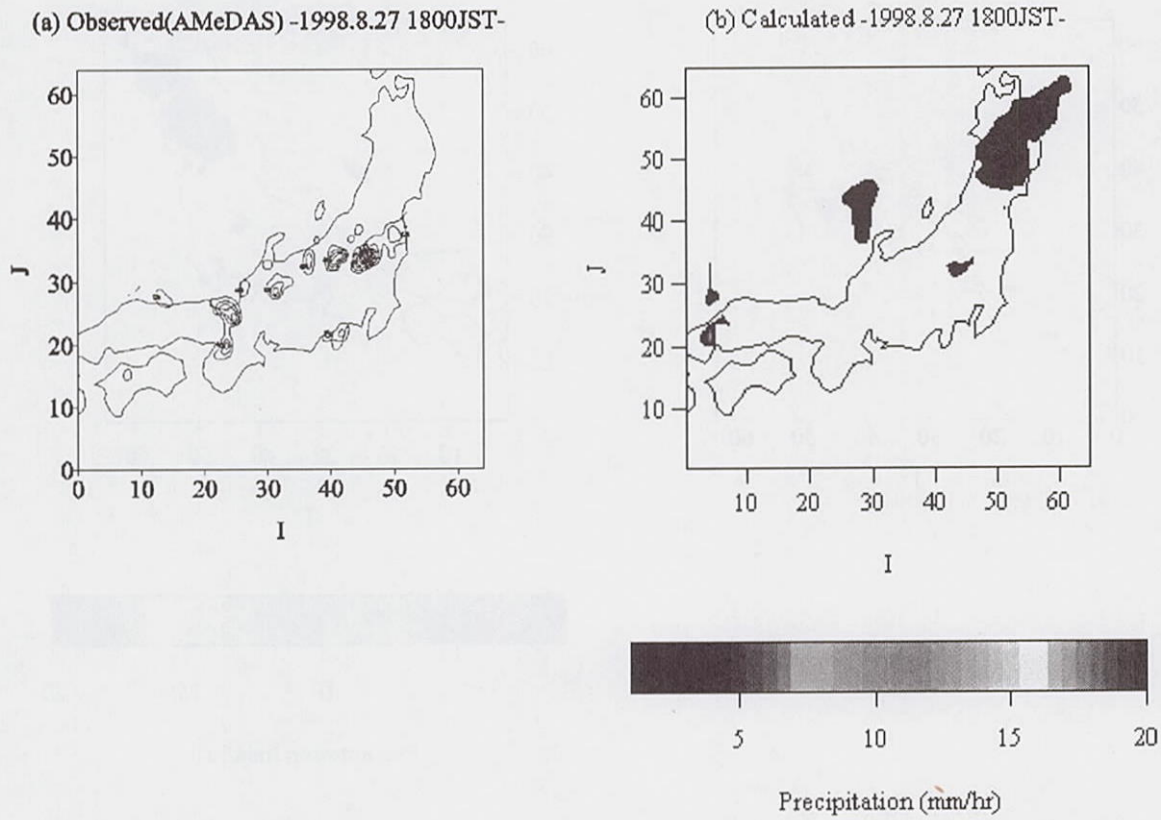
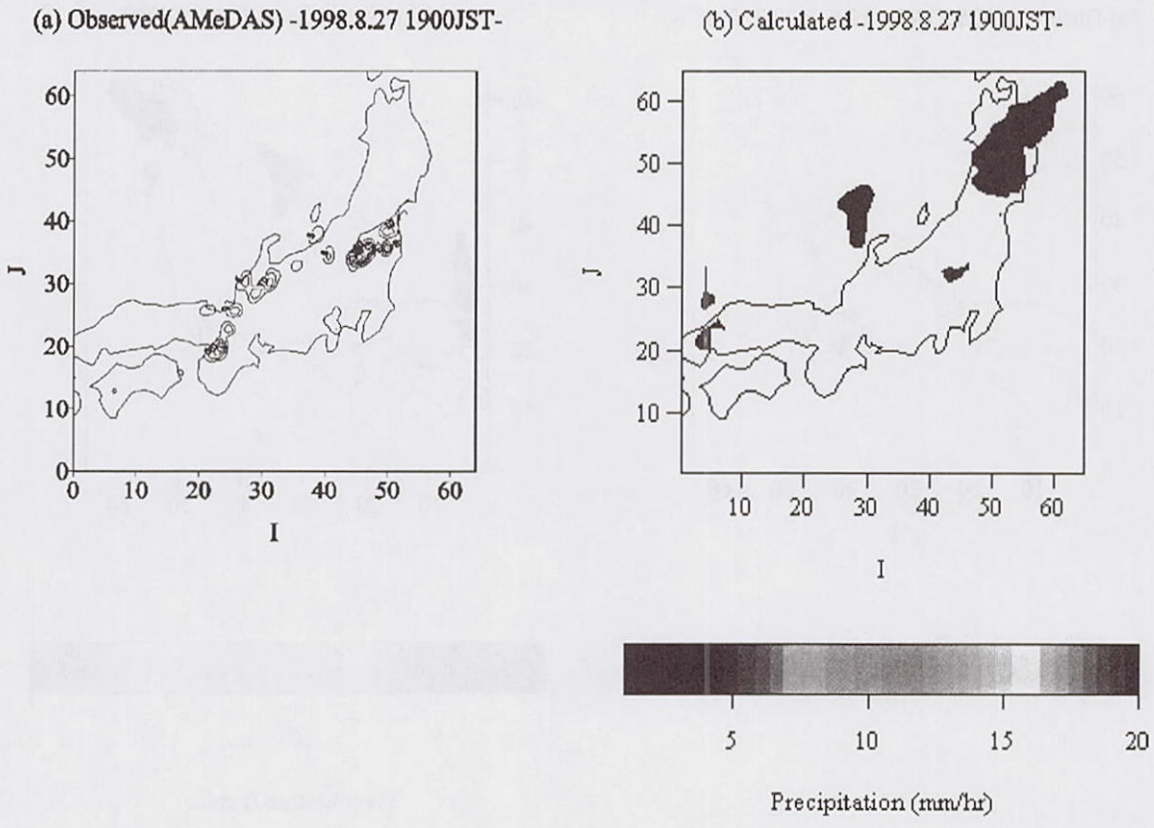


図 3.15 時間降水量分布（1998.8.27 ⑨）



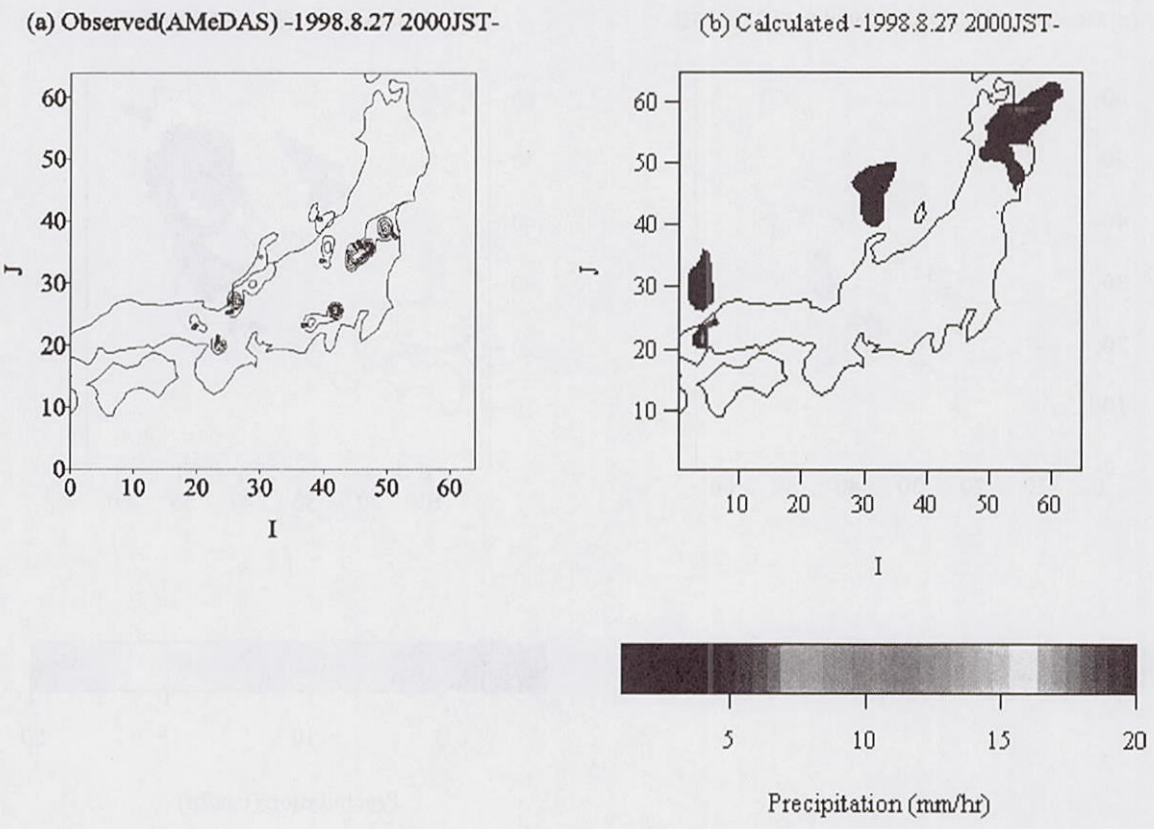
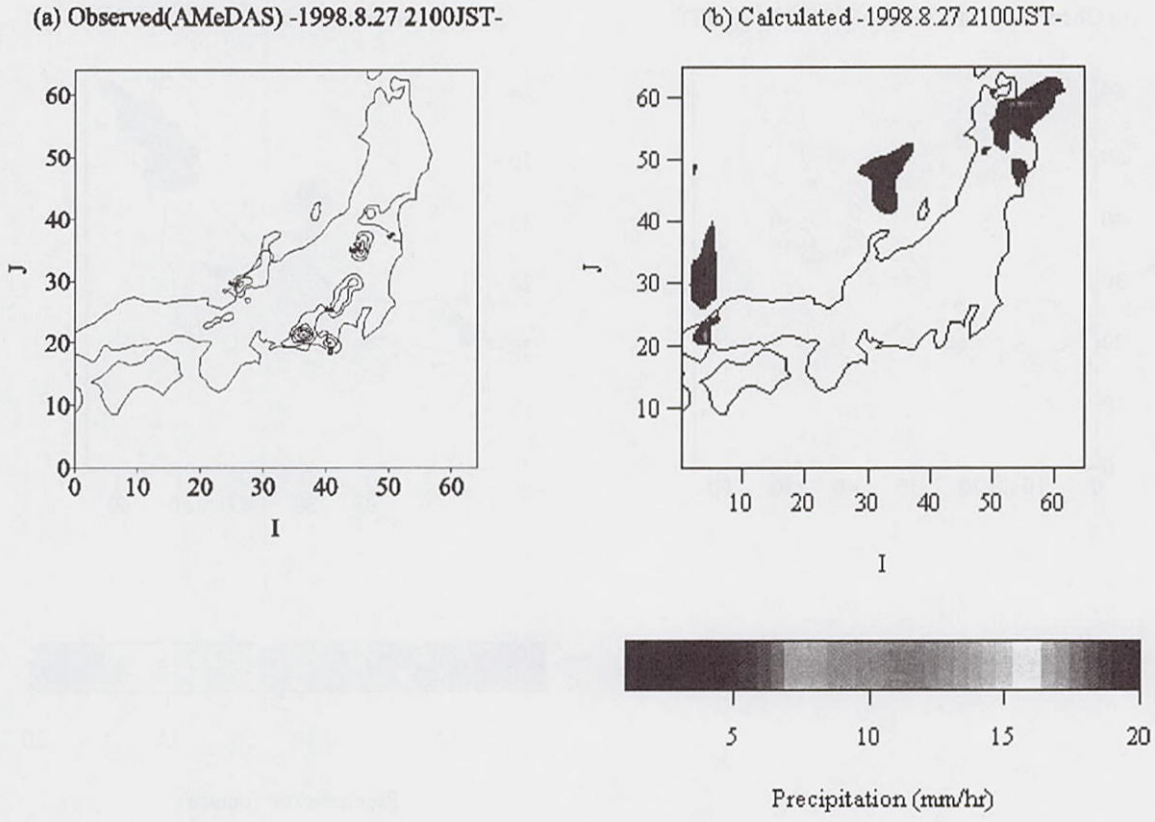


図 3.15 時間降水量分布（1998.8.27 ⑩）



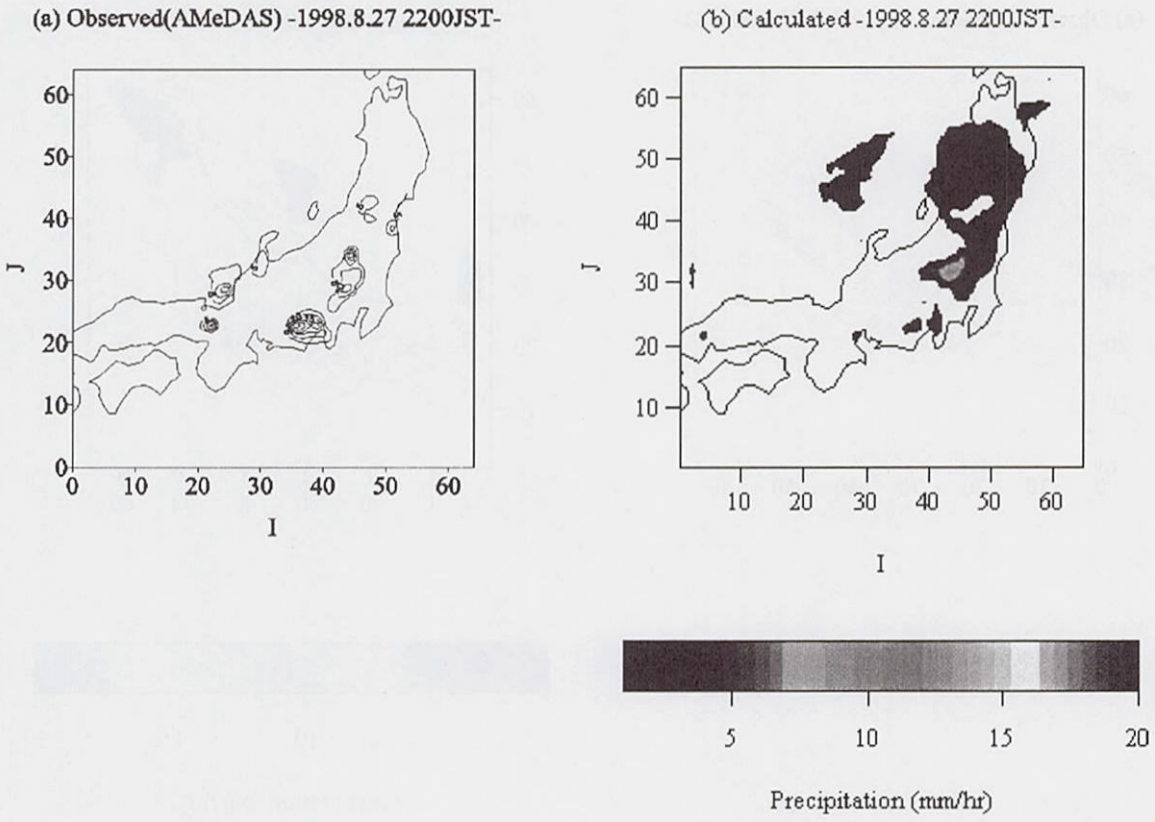
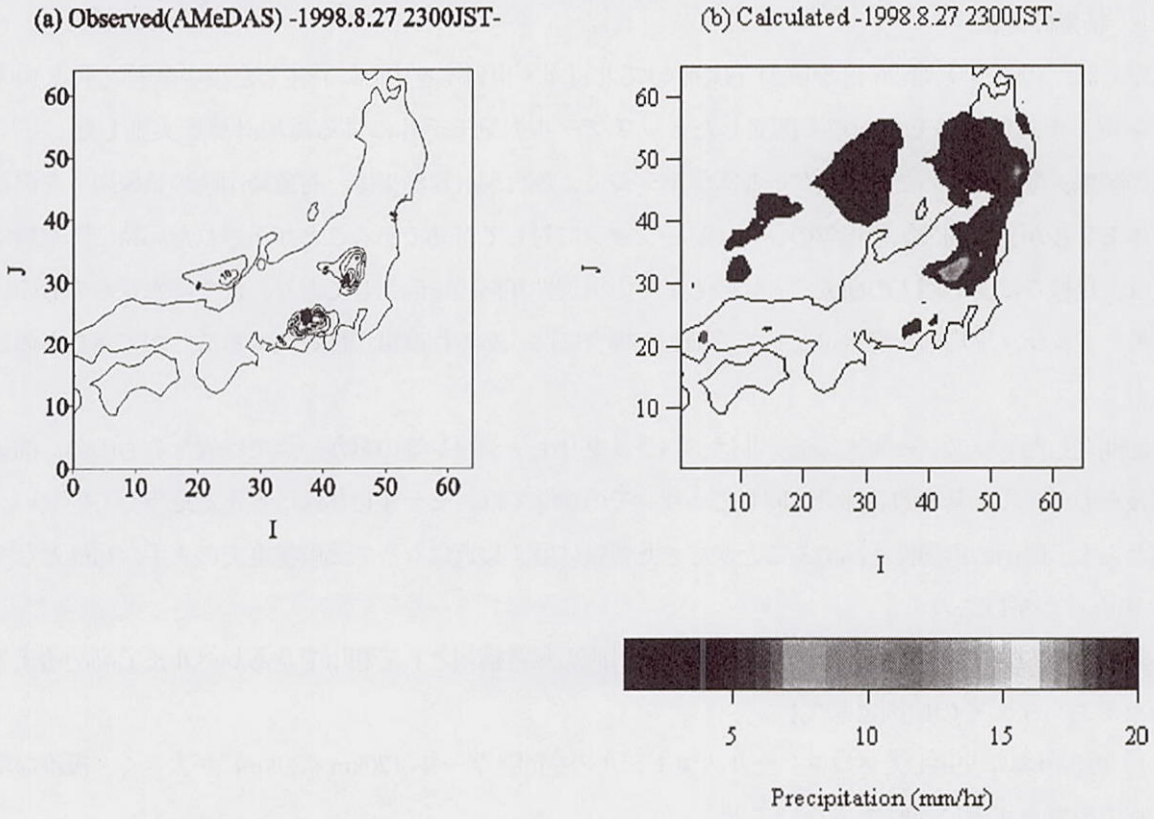


図 3.15 時間降水量分布（1998.8.27 (11)）



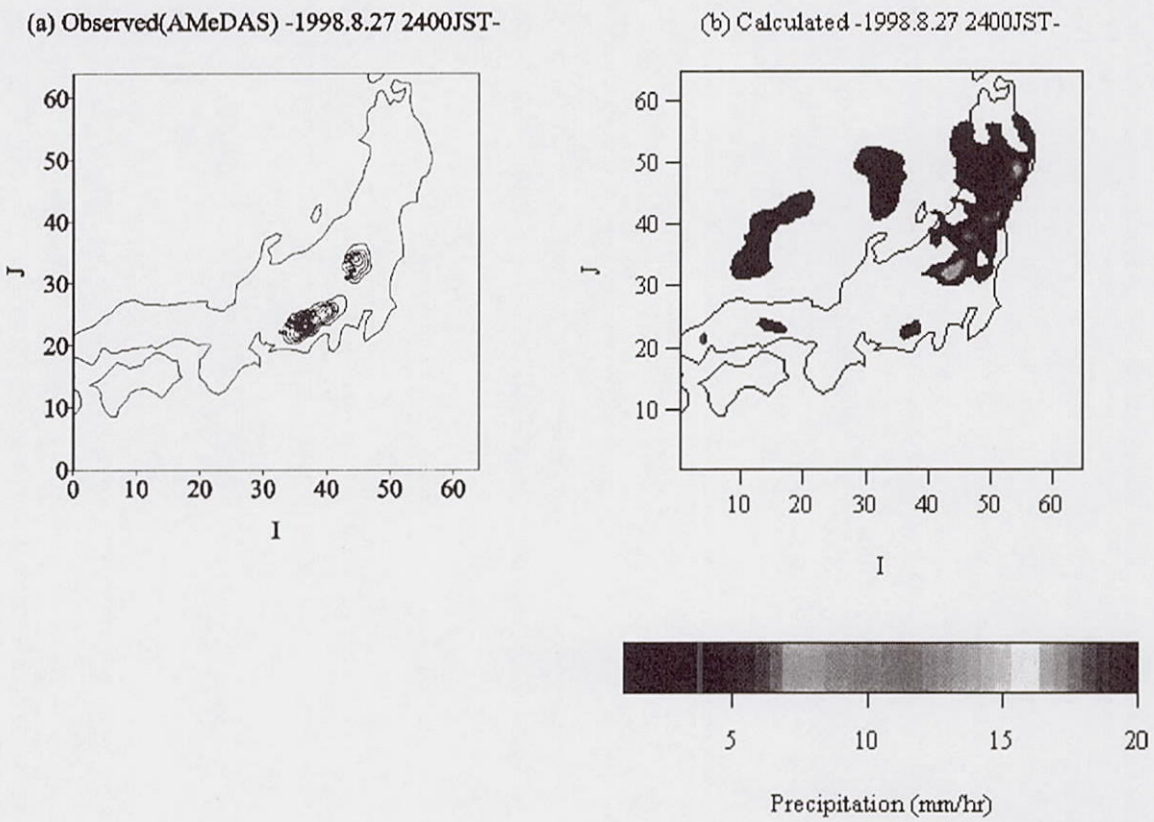


図 3.15 時間降水量分布（1998.8.27 ⑫）

3.3.3 結果の考察

本章では、1998年8月26日から31日にかけて北日本・東日本を中心に発生した集中豪雨（平成10年8月末豪雨）を対象として、前章で開発したメソスケール大気モデルによる再現計算を実施した。

その結果、今回開発したメソスケール大気モデルによる再現計算結果は、対象降雨時の気象現象を再現でき、本モデルが短期間の気象現象のシミュレーションに対して有効であることが示された。特に降水域については、是枝らによる過去の研究[9]と比較してその再現性が格段に向上しており、また降水量そのものについても、メッシュ平均的な降水量として評価した場合には、ある程度再現性を高めることができたものと判断される。

今回開発したメソスケール大気モデルは、パラメタリゼーション等の細かい点では異なるものの、前述した是枝らのモデルと基本的な部分は同じであり、その意味では、モデル自体はほとんど進歩していない。にも関わらず、降雨の再現性を高めることができた背景には、最近になって高解像度での入手が可能となったGPVの存在が挙げられる。

しかしながら、降水量そのものの再現性を河川計画の参考情報として利用できるレベルまで高めるまでには至っておらず、その原因として、

(1) 再現計算に使用したメソスケール大気モデルの空間スケール（20km×20km）が大きく、複雑な地形の影響を正確に反映できないこと。

(2) 入力気象情報（初期条件並びに境界条件）として使用したGPVそのものの品質（精度）が未だ悪いこと。

等が考えられる。

第4章　大気モデルを用いた可能最大降水量推定手法の検討

本章では、可能最大降水量（Probable Maximum Precipitation：PMP）推定手法に関する既往の文献調査を行い、従来のPMP推定手法における概要並びに問題点をとりまとめるとともに、PMPの推定に大気モデルを用いる場合の推定手法について検討する。

4.1　従来の可能最大降水量推定手法の整理

4.1.1　可能最大降水量の定義

可能最大降水量は、Probable Maximum Precipitation、略してPMPと呼ばれており、世界気象機関（World Meteorological Organization：WMO）では、「1年のある特定の時期、ある流域で、物理的に可能な理論的に最大化された降水量」また、アメリカ気象協会では、「ある季節、地域に対して物理的に可能な、理論的に最大化された降水量」と定義されている[10)]。

PMPに関する研究は、1930年代前半、アメリカにおいてダムのスピルウェイ（余水吐）の規模を流域の洪水ポテンシャルの上限（Probable Maximum Flood：PMF）から決定するために始まり、当初はMaximum Possible Precipitation：MPPと呼ばれていたが、どのように求めても不確定域を脱しないことから、1940年頃から現在のPMPと呼ばれるようになった。

4.1.2　可能最大降水量推定手法の分類

可能最大降水量推定手法は、以下の4つに大別される[注)]。

(1)統計的手法

(2)湿度の最大化による手法

(3)可降水量の3次元水収支による手法（山岳性降雨）

(4)気象学的数値モデルによる手法

統計的手法と湿度の最大化による手法は、PMPを推定する際に従来から用いられてきた手法であり、近年、パラメータ等の改良により精度向上が図られているが、降水現象をほとんど考慮していないために理論的根拠が乏しく、推定値の精度、推定手法の発展性に問題があるとされている。そのため近年では、降水現象のメカニズムを考慮し、気象学的（物理的）見地からPMPを推定する数値モデルを用いた推定手法に関する研究が盛んに行われるようになってきている[11), 12), 13), 14)]。

＊　これ以外にも、観測された雨滴粒径の極値から推定する手法も提案されているが、この手法は、特にPMPの推定を目的としたものではないこと、観測期間中の極値であり、”可能最大”ではないこと等のため、今回の分類からは除外した。

表 4.1 可能最大降水量推定手法の分類①

分　類	研究者 (研究機関)	推定手法の概要	空間スケール	時間スケール	備　考
統計的手法	宝馨[15] (京都大学防災研究所)	既往の継続時間別最大地点降水量の回帰曲線を，残差が上方に最大となる点を通るように平行移動し，PMP の包絡線を推定	地　点	10 分～月	推定した PMP を用いた頻度解析が主目的
	桑原英夫[16] (東京大学)	Horton 型 DAD 解析により PMP を推定 $P = a\sqrt{t \cdot \exp(B)}$ $B = -u \cdot t^{-v} \cdot A^{n}$ ここに， P：降雨時間t，面積Aでの最大面積雨量	任　意	任　意	この式以外にも，多くの DAD，DA，DD 式を検討
湿度の最大化による手法	アメリカ[9]	可降水量の補正により PMP を推定 $PMP = q \cdot P_d$ $q = W_{\max} / W_{stm}$ $W = -g \int_{\text{地表面}}^{200\ hPa} q\, dq$ P_d: 既往最大日降水量 $W_{\max}$: 可降水量最大値 W_{stm}: 生起日の可降水量	ある地点	－	転置（地形的，気象的な条件が同じ地域に生じた豪雨の DAD 値を取り入れる），包絡(周辺地域と PMP 値がスムーズになるよう，各種の指標により修正する）により補正
	裏戸勉，中村昭，長谷川修[17), 18)] (建設省土木研究所ダム部水資源開発研究室)	湿度の補正により PMP を推定 $PMP = q \cdot P_d$ $q = S_m / S_r$ P_d: 既往最大日降水量 S_m: 可能最大比湿 S_r: 生起日の最大比湿	ある地点	日	74 気象官署 44 大雨記録地点
	高須修二，宮脇千晴，廣瀬昌由，松山兼二[19)] (建設省土木研究所ダム部水工水資源研究室)	湿度の補正により PMP を推定 $PMP = q \cdot P_d$ $q = S_m / S_r$ P_d: 既往最大　1時間降水量 S_m: 可能最大比湿 S_r: 生起日の最大比湿	ある地点	1 時間	150 気象官署 1.300AMeDAS 11 気候区分 $R_1 = 1.16 \cdot R_h$ R_h: 毎正時降水量

表 4.1 可能最大降水量推定手法の分類②

分　類	研究者 （研究機関）	推定手法の概要	空間スケール	時間スケール	備　考
可降水量の3次元収支による手法	気象庁盛岡測候所[20), 21)]	山岳性降雨に対してPMPを推定 $I = C \cdot V' (D_2 - D_3 + \Delta D_3)$ $V' = K \cdot Y'/(h_0 - h)$ C, K, Y', h_0, h, $D_2 - D_3$, ΔD_3等は 予め設定	北上川流域 （岩手県）	日	
気象学的数値モデルによる手法	矢島啓，辻基宏，池淵周一，中北英一[11), 13)] 矢島啓[12)] 大石哲，中北英一，池淵周一，辻基宏[14)] （京都大学防災研究所）	ケスラータイプの暖かい雨に対してPMPを推定	半径1km 高さ20km	数時間	
観測雨滴粒径からの推定手法 （参考）	沖大幹，虫明功臣[22)] （東京大学生産技術研究所）	Disdrometerにより雨滴粒径分布の連続観測を行い，観測期間毎の極値を用いて降水強度を推定	ある地点	—	PMP推定が主目的ではない

4.1.3 従来の可能最大降水量推定手法の概要

(1)統計的手法

宝は、過去の豪雨の日本記録並びに世界記録について DD 解析を行い、日本並びに世界における PMP の包絡線を推定している（図 4.1 参照）[15]。

表 4.2[15]、表 4.3[15] に宝が整理した豪雨の日本記録並びに世界記録を示す。

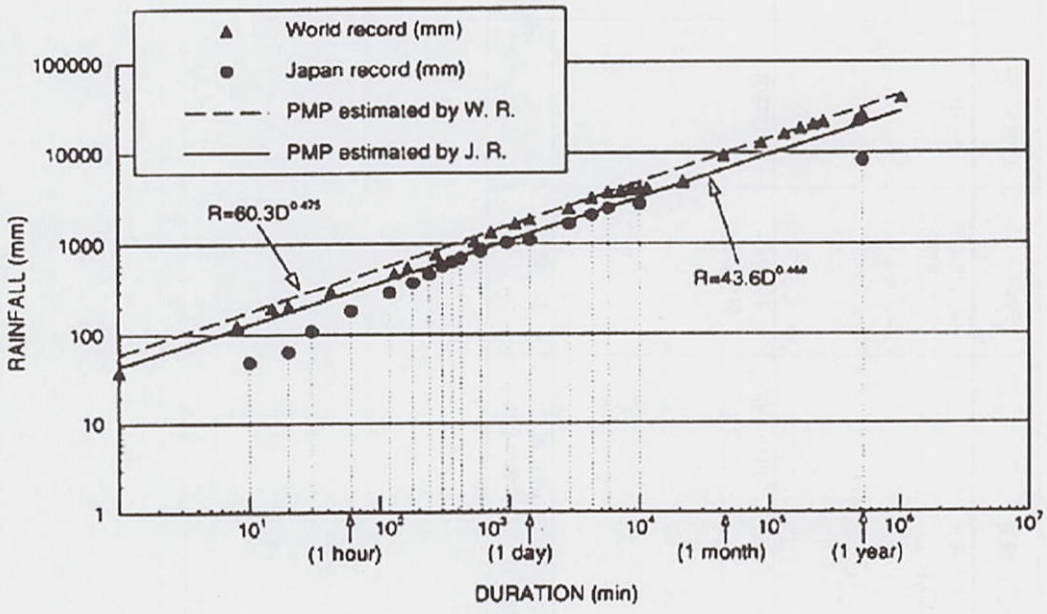


図 4.1 豪雨の世界記録と日本記録及び PMP 推定線

表 4.2 豪雨の日本記録

期　間	降水量（mm）	地　点	生起日
10min	49.0	足摺岬（高知）	Sept.13, 1946
20min	64.4	足摺岬（高知）	Oct. 17, 1944
30min	110.0	幸　物（長崎）	July 25, 1982
1hr	187.0	長与町（長崎）	July 25, 1982
2hr	296.3	足摺岬（高知）	Oct. 17, 1944
3hr	377.0	西　郷（長崎）	July 25, 1957
4hr	467.0	西　郷（長崎）	July 25, 1957
5hr	575.0	西　郷（長崎）	July 25, 1957
6hr	647.0	西　郷（長崎）	July 25, 1957
7hr	707.0	西　郷（長崎）	July 25, 1957
10hr	844.5	西　郷（長崎）	July 25, 1957
16hr	1,052.5	西　郷（長崎）	July 25, 1957
24hr	1,114.0	日　早（徳島）	Sept.11, 1976
2day	1,685.0	日　早（徳島）	Sept.10-11, 1976
3day	2,114.0	日　早（徳島）	Sept.10-12, 1976
4day	2,508.0	日　早（徳島）	Sept.10-13, 1976
7day	2,781.0	日　早（徳島）	Sept. 7 -13, 1976
1month	3,514.0	大台ヶ原山（奈良）	Aug., 1938
12month	8,517.0	大台ヶ原山（奈良）	Sept., 1919-Aug., 1920

表 4.3 豪雨の世界記録

期　間	降水量（mm）	地　点	生起日
1min	38.1	Barot Guadeloupe	Nov. 26, 1970
5min	63.0	Port Bells, Panama	Nov. 29, 1911
8min	126.0	Fussen, Bavaria	May 25, 1920
15min	198.1	Plumb Point, Jamaica	May 12, 1947
20min	205.7	Curtea-de-Arges, Rumania	July 7 , 1947
42min	304.8	Holt, Mo.	June 22, 1947
2hr 10min	482.6	Rockport, W.Va.	July 18, 1889
2hr 45min	588.8	D'Hanis, Tex. (17mi.NNW)	May 31, 1935
4hr 30min	782.3	Smethport, Pa.	July 18, 1942
9hr	1,086.9	Belouve, La Reunion	Feb. 28, 1964
12hr	1,340.1	Belouve, La Reunion	Feb. 28-29, 1964
18hr 30min	1,688.8	Belouve, La Reunion	Feb. 28-29, 1964
24hr	1,869.9	Cilaos, La Reunion	Mar. 15-16, 1952
2day	2,499.9	Cilaos, La Reunion	Mar. 15-17, 1952
3day	3,240.0	Cilaos, La Reunion	Mar. 15-18, 1952
4day	3,721.1	Cherrapunji, India	Sept. 12-15, 1974
5day	3,853.9	Cilaos, La Reunion	Mar. 13-18, 1952
6day	4,055.1	Cilaos, La Reunion	Mar. 13-19, 1952
7day	4,110.0	Cilaos, La Reunion	Mar. 12-19, 1952
8day	4,129.8	Cilaos, La Reunion	Mar. 11-19, 1952
15day	4,797.6	Cherrapunji, India	June 24-July 8, 1931
31day	9,300.0	Cherrapunji, India	July, 1861
2month	12,766.8	Cherrapunji, India	June-July, 1861
3month	16,368.8	Cherrapunji, India	May-July, 1861
4month	18,737.6	Cherrapunji, India	Apr.-July, 1861
5month	20,411.9	Cherrapunji, India	Apr.-Aug., 1861
6month	22,454.5	Cherrapunji, India	Apr.-Sept., 1861
11month	22,990.0	Cherrapunji, India	Jan.-Nov., 1861
1year	26,461.2	Cherrapunji, India	Aug., 1860-July, 1861
2year	40,768.3	Cherrapunji, India	1860-1861

(2)湿度の最大化による手法

1)湿度補正によるによる手法（日降水量）

建設省土木研究所ダム部水資源開発研究室（当時）では、日雨量が問題となる流域が大きい場合において、湿度補正により可能最大日降水量の推定を行っている[17), 18)]。

$$PMP(day) = q \cdot P_d \quad \cdots\cdots (17)$$

$$PMP(24hr) \approx PMP(day) \cdot 1.2 \quad \cdots\cdots (18)$$

$$q \approx S_m / S_r \quad \cdots\cdots (19)$$

$$S_m = 622 \cdot e_m / (P_m - 0.378 \cdot e_m) \quad \cdots\cdots (20)$$

$$S_r = 622 \cdot e_r / (P_r - 0.378 \cdot e_r) \quad \cdots\cdots (21)$$

ここに、

P_d: 既往最大日降水量（24時間日界の72気象官署,9時日界の44観測所）

S_m: 可能最大比湿(g/kg)

S_r: 記録最大日降水量生起日における最大比湿(g/kg)

e_m:5月から10月までの各地点における記録最大水蒸気圧

e_r: 記録最大日降水量生起日における最大水蒸気圧

P_m:5月から10月までの各地点における記録最低気圧

P_r: 記録最大日降水量生起日における最低気圧

である。

2)湿度補正によるによる手法（時間降水量）

国土交通省土木研究所ダム部水工水資源研究室では、上記1)の研究に対して、ダムに着目して流域の小さい場合の時間雨量を中心に、湿度補正により可能最大降水量の推定を行っている[19)]。

$$PMP(\text{正時}) = q \cdot P_d \quad \cdots\cdots (22)$$

$$PMP(\text{任意}) \approx PMP(\text{正時}) \cdot 1.16 \quad \cdots\cdots (23)$$

$$q \approx S_m / S_r \quad \cdots\cdots (24)$$

$$S_m = 622 \cdot e_m / (P_m - 0.378 \cdot e_m) \quad \cdots\cdots (25)$$

$$S_r = 622 \cdot e_r / (P_r - 0.378 \cdot e_r) \quad \cdots\cdots (26)$$

ここに、

P_d: 既往最大1時間降水量（150気象官署,1,300*AMeDAS*観測所）＋

S_m: 可能最大比湿(g/kg)

S_r: 既往最大1時間降水量生起時における比湿(g/kg)

e_m: 既往最大比湿生起時の各地域における水蒸気圧

e_r: 既往最大1時間降水量生起時の各地域における水蒸気圧

P_m: 既往最大比湿生起時の各地域における気圧

P_r: 既往最大1時間降水量生起時の各地域における気圧

である。

(3)可降水量の3次元収支による手法

気象庁盛岡測候所では、岩手県の北上川上流域を対象として、可降水量の3次元収支による山岳性降雨に対する可能最大降水量の推定を行っている[20), 21)]。

1)計算仮定

① 滑りなしの定常運動

② 気流は至る所で定まった鉛直平面に平行

③ 摩擦なし

④ 上層のある等圧面で水平一定風速、それより上では地形の影響なし

⑤ 流入気流は偽断熱減率を有した飽和大気、海面気圧は1,000hPa

⑥ 水蒸気が遊離しても空気の質量変化なし

⑦ 重力加速度一定

⑧ 降水の発生原因は地形的原因のみ

⑨ 凝結した水蒸気はすべて降雨となる

2)計算手法

$$I = \frac{C \cdot V_{1S}}{Y_i}(D_2 - D_3 + \Delta D_3) \quad \cdots\cdots (27)$$

$$V_{1S} = K_0 \frac{Y'}{b_0 - b} \quad \cdots\cdots (28)$$

ここに、

I：降雨強度

V_{1S}: 地上風速

であり、C, K_0, Y', b_0, b, Y_i, $D_2 - D_3$, ΔD_3 等の変数の値は、予め数値表として求められている。

なお、風速高度分布は、仙台における豪雨期間中の平均降雨分布を用いて、近似的に、

$$V_{1Z} = V_{1S}(1 + 0.2 \cdot Z) \quad \cdots\cdots (29)$$

$$D = \int_b^a V dw \quad \cdots\cdots (30)$$

ここに、

V_{1Z}: 高度Zにおける風速

a :460hPa（Z = 6km）

b：地表面気圧

であり、D の値は、地表面気圧 b、露点温度により予め求められている。

(4)気象学的数値モデルによる手法

矢島らは、局所的かつ短時間に最大降水量をもたらすような雷雨性降雨に代表される”強い積雲対流”による降雨を対象に、気象学的数値モデルを用いた可能最大降水量の推定を行っている[11), 12), 13)]。

対流性降雨の降水量や降雨強度は、

・大気の湿潤度

・大気の不安定度

・対流を引き起こす誘因の強度

と密接に関連していると考えられており、矢島らは、上記3つの要因をパラメータとして、Ferrierによって開発されたケスラータイプの暖かい雨を対象とした降水過程を有する1次元積雲対流モデル[24)]を用いた数値シミュレーションを実施している。

本モデルでは、水分変数として水蒸気、雲水、雨水の3つを考え、これらが凝結、成長、捕捉、蒸発等により相変化するものとしている（図4.2参照)。

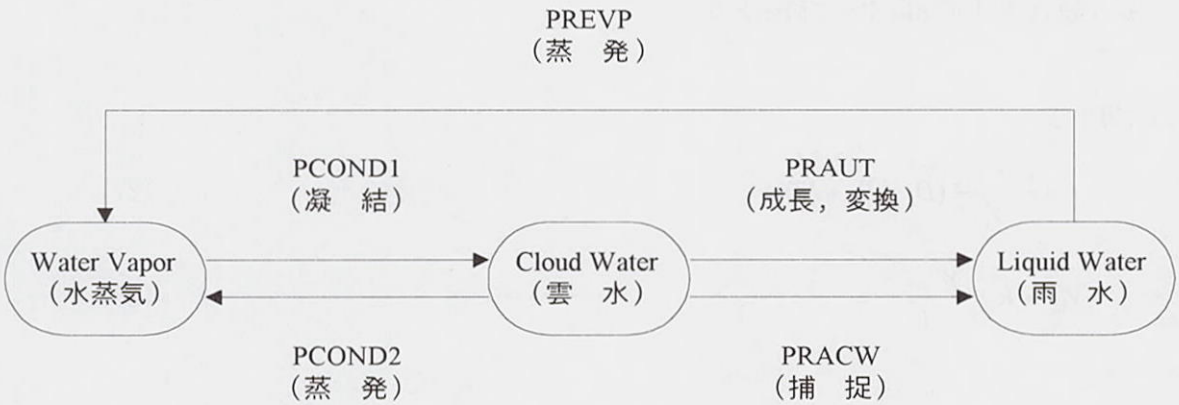


図4.2 1次元積雲対流モデルの降水過程における相変化

本モデルで計算される変数は、

・鉛直風速 w

・温位 θ

・水蒸気混合比 q_v

・雲水混合比 q_{cw}

・雨水混合比 q_r

であり、これらの変数の雲周辺の場における値 A_e と雲中における実際の値 A_c との差を A（$A = A_c - A_e$）とすると、予報方程式は、

$$\overline{\frac{\partial A}{\partial t}} = -\frac{\partial Ae}{\partial t} - \overline{w}\frac{\partial A_e}{\partial z} + \overline{\frac{dA_c}{dt}} + \frac{\tilde{A}}{\rho_e R^2}\frac{\partial}{\partial z}(\rho_e R^2 \overline{w}) - \frac{1}{\rho_e R^2}\frac{\partial(\rho_e R^2 \overline{wA})}{\partial z} \quad \cdots\cdots(31)$$

$$\overline{\frac{dw}{dt}} = \overline{B} - R_d \theta_{ve}\frac{\partial \overline{P}}{\partial z} \quad \cdots\cdots(32)$$

$$\overline{\frac{d\theta}{dt}} = \frac{L}{\pi C_P}(PCOND + PREVP) \quad \cdots\cdots(33)$$

$$\overline{\frac{dq_v}{dt}} = -PCOND - PREVP \quad \cdots\cdots(34)$$

$$\overline{\frac{dq_{cw}}{dt}} = PCOND - PRAUT - PRACW \quad \cdots\cdots(35)$$

$$\overline{\frac{dq_r}{dt}} = PREVP + PRAUT + PRACW + \overline{\frac{1}{\rho_e}\frac{\partial}{\partial z}(\rho_e \hat{V}_r q_r)} \quad \cdots\cdots(36)$$

$$\pi = \left(\frac{P_e}{1{,}000}\right)^{R_d / C_p} \quad \cdots\cdots(37)$$

$$\overline{B} = g\left(\frac{\overline{\theta}}{\theta_e} + 0.61\overline{q}_v - \overline{q}_{cw} - \overline{q}_r\right) \quad \cdots\cdots(38)$$

$$\overline{P} = \frac{T_{ve}\overline{p}}{\theta_{ve} P_e} \quad \cdots\cdots(39)$$

ここに、

$\overline{A}$：雲中での平均値

$\tilde{A}$：雲の外周上に沿った平均値

$\hat{v}$：粒径分布による重み付けを行った落下速度

である。

4.1.4 従来の可能最大降水量推定手法の問題点

前節に示した従来の可能最大降水量推定手法はいくつかの問題点を有している。

まず統計的手法については、過去の豪雨時の極値を用いて可能最大降水量の推定を行っており、その極値がそのまま将来の極値になるとは限らないため、流域管理への利用には問題を残している。

また、湿度の最大化による手法並びに可降水量の 3 次元収支による手法については、物理的な降水現象を考慮せず、単に可降水量や比湿をパラメータとして用いて可能最大降水量を推定することへの問題点等が指摘されている。

従って、可能最大降水量を流域管理に利用するためには、山地等の地形の要因や植生の要因等を境界条件として考慮でき、可能最大降水量推定の対象となる流域の上層、下層での物理量（風，気温，湿度等）のプロファイル並びにその周辺の物理量との相互作用等、3 次元的な物理量の気象学的メカニズムを表現できる手法（例えば、前述の矢島ら、大石らによる気象学的数値モデルを用いた推定手法等）が望ましいと考えら

れる。

4.2 大気モデルを用いた可能最大降水量推定手法の検討

4.2.1 概 要

前節で指摘したとおり、従来の可能最大降水量推定手法（但し、気象学的数値モデルによる手法を除く）は、降雨の物理的機構を考慮していないため、推定の理論的根拠に乏しく、推定値精度の評価並びに向上が困難である。従って、可能最大降水量推定精度の向上のためには、降雨の物理的機構を考慮できる推定手法を用いる必要がある。

可能最大降水量の推定に際して降雨の物理的機構を考慮するためには、例えば矢島らや大石らが用いている1次元積雲対流モデルのような気象学的な数値モデルを可能最大降水量推定手法に用いることが有効である。

可能最大降水量の推定に気象学的な数値モデルを用いる場合、物理的（気象学的）に生起し得る最大の降水量をもたらすような大気プロファイルを予め設定し、その設定した大気プロファイルをモデルの境界条件として与えて計算することにより可能最大降水量を推定することになる。そのため、可能最大降水量の推定精度は、推定に用いる気象学的数値モデルの精度もさることながら、モデルの境界条件として与える大気プロファイルの設定にも大きく左右される。

前章において開発したメソスケール大気モデルは、気象学的なメカニズムを表現できる物理モデルであり、空間分解能が20km×20kmで、平均的な可能最大降水量を求めるには十分であると考えられる。

そこでここでは、可能最大降水量の推定に気象学的な数値モデルを用いる場合の大気プロファイル（可能最大降水量生起シナリオ）の設定方法並びに開発したメソスケール大気モデルを用いて可能最大降水量を推定するための手法について検討する。

4.2.2 日本における豪雨の特徴

可能最大降水量生起時の具体的な大気プロファイルの設定方法の検討に先立ち、既往文献[23]を参考に、一般的な降水現象並びに日本における豪雨（通常、日降水量 100mm 以上の降雨を豪雨と定義）の特徴を列記すると以下のとおりである。

(1) 降水現象が発生し、それが持続するためには、大規模な気流による水蒸気の輸送と大気擾乱に伴う凝結過程が必要である。

(2) 24 時間以上（数日～1 ヶ月）の時間帯の降水量の極値は、多量の水蒸気が供給される中で特定地域に擾乱が次々と発達、通過するか、大規模な気流が連続的に存在して地形性上昇流が続くことにより発生する。

(3) 短い時間スケールを持つ強雨は積乱雲によりもたらされることが多い。

(4) 日本においては世界記録と比較して 1～24 時間の降水量が大きく、そのほとんどが梅雨前線と台風の影響で起こっている。

(5) 台風による豪雨日数の方が前線による豪雨日数よりもかなり多い。

(6) 台風による豪雨は日降水量で大きい値を示し、1 時間降水量、10 分間降水量が大きい値を示すのは前線、雷雨による豪雨である。

(7) 前線に伴う豪雨では、非常に発達した積乱雲あるいはそれらが中規模現象として組織化されたものが重要な役割を果たすのに対して、台風に伴う豪雨では、大きな水蒸気輸送量が長時間続く中で地形の影響が加わって降雨が続くために起こることが多い。

(8) 1時間あるいはそれ以下の時間帯の降水量についての各地点の極値は、局地性の強い分布を示さないのに対して、各地点の日降水量の極値の分布は局地性を示す。

(9) 台風に伴う豪雨は、地形による強制上昇流によりもたらされるものも多く、地形性上昇流が発生しやすい地域では日降水量数100mmの豪雨がしばしば起こる。

(10) 梅雨期の豪雨では、地形性上昇流よりもむしろ大気擾乱そのものが重要となり、大規模な低気圧の他に前線上に中間規模の低気圧が発達し、更にその近傍で中規模の擾乱が発生し、それに伴って豪雨が起こる。

4.2.3 可能最大降水量生起シナリオ設定方法の検討

前項で整理した日本における豪雨の特徴をもとに、大気モデルの境界条件として与える可能最大降水量生起シナリオの具体的な設定方法について検討する。

前述した日本における豪雨の特徴から、可能最大降水量が生起するための大気の必要条件（決して十分条件ではない）として以下の3つの要因が考えられる。

(1) 多量の水蒸気

(2) 風の収束

(3) 強い上昇流

つまり、風の収束によりある特定の領域に多量の水蒸気が供給され、そこに強い上昇流（地形性の強制上昇流あるいは下層の暖かい空気塊の上昇に伴う上昇流）が形成されることにより多量の降水量がもたらされると考えられる。

ちなみに矢島らは、1 次元積雲対流モデルによる局所的な雷雨性降雨を対象としたシミュレーションを行い、”大気湿潤度（比湿）”、”強制上昇流”、”大気の不安定度（CAPE）”の3つが降雨の最大化に際してのパラメータとなり得ることを示している[11), 12), 13)]。

従って、可能最大降水量の生起シナリオは、ある状態の大気プロファイルから、水蒸気量（比湿）、風向・風速、気温の3つの要因を変化させることにより設定できるものと考えられる。

4.2.4 大気モデルを用いた可能最大降水量推定方法の検討

ここでは、これまでの検討結果を踏まえ、前章において開発したメソスケール大気モデルを用いて可能最大降水量を推定する手法について検討する。

現時点で考えられる具体的な可能最大降水量推定手法は以下のとおりである。

(1) 過去に大規模な豪雨をもたらした多くの降雨イベントを対象として、その時の気圧、温度、湿度、風等の3次元的な大気プロファイルを整理し、地域（関東，九州等）別、降雨成因（台風性、前線性等）別に代表的な3次元大気プロファイルを設定する。

(2) 設定した地域別、降雨成因別の代表的 3 次元大気プロファイルを基本として、水蒸気量、風向・風速、気温の3つの要因を変化させ、開発したメソスケール大気モデルによるシミュレーションを行う。

(3) 開発したメソスケール大気モデルによるシミュレーションの結果、より多くの降水量をもたらした大気プロファイルを可能最大降水量生起シナリオとし、その時の降水量を可能最大降水量とする。

なお、(1)の代表的な3次元大気プロファイルの設定に際しては、前述したように、24時間程度までの極値は前線性あるいは雷雨性降雨、また、24時間以上の極値は台風性降雨によりもたらされることが多いことから、対象とする時間スケール（降雨継続時間）に応じて複数の異なる対象降雨を選定することになるであろう。

4.2.5 現時点における課題

本章では、気象学的な根拠に乏しい従来の可能最大降水量推定手法に代わる推定手法として、気象学的な降雨機構を表現できるメソスケール大気モデルを用いた推定手法について検討した。

今回開発したメソスケール大気モデルの水平解像度は20km×20kmであり、地域平均的な可能最大降水量の推定には十分利用可能であると考えられるが、その推定精度の向上のためには、メソスケール大気モデルの更なる精度向上を図る必要がある。前述したとおり、大気モデルの精度は、その入力気象情報の精度に大きく左右されるため、本モデルの入力気象情報として使用している GPV の精度をできるだけ向上させる必要があるが、現時点では、その品質については GPV の作成を行っている気象庁にその役割をゆだねざるを得ないのが実状である。

また、ここでは、大気モデルを用いた可能最大降水量推定手法の概略を整理するにとどまり、詳細な推定手法の提案までには未だ至っていない。従って、大気モデルの感度分析等も含めて、今後更なる検討が必要である。

第5章　非静力学モデルについての整理

5.1　非静力学モデルの必要性

5.1.1　メソスケールについて[24)]

大気現象は、竜巻等のミクロな現象から高低気圧に代表される大規模場のマクロな現象まで、様々なスケールの現象により構成されている。

「メソ（meso）」とは、ギリシャ語で「中間」を意味し、従って「メソスケール」は、マクロスケールとミクロスケールの中間のスケールを表す言葉であるが、メソスケールの具体的な範囲については明確に定義されていないのが実状である。

Orlanski は、時空間スケールを基礎にして大気の波動を分類し、メソスケールを 3 つに分類している（図 5.1 参照）[24)]。

これによるとメソαスケールは、水平スケール 200km～2,000km 程度、時間スケール 1～5 日程度で、前線や台風等が対応し、雲クラスターやスコールライン等が対応するメソβスケールは、水平スケール 20km～200km 程度、時間スケール数時間～1 日程度である。またメソγスケールは、水平スケール 2km～20km 程度で、雷雨や晴天乱流等が挙げられている。

また Pielke は、一般に、個々の積雲には静力学平衡は成り立たず、大規模場では地衡風の関係が成り立っていることから、「メソスケール現象とは、静力学平衡が成立する程度に大きく、地衡風の関係が成り立たない程度にスケールの小さな現象である。」と、力学面から見た定義を行っている。

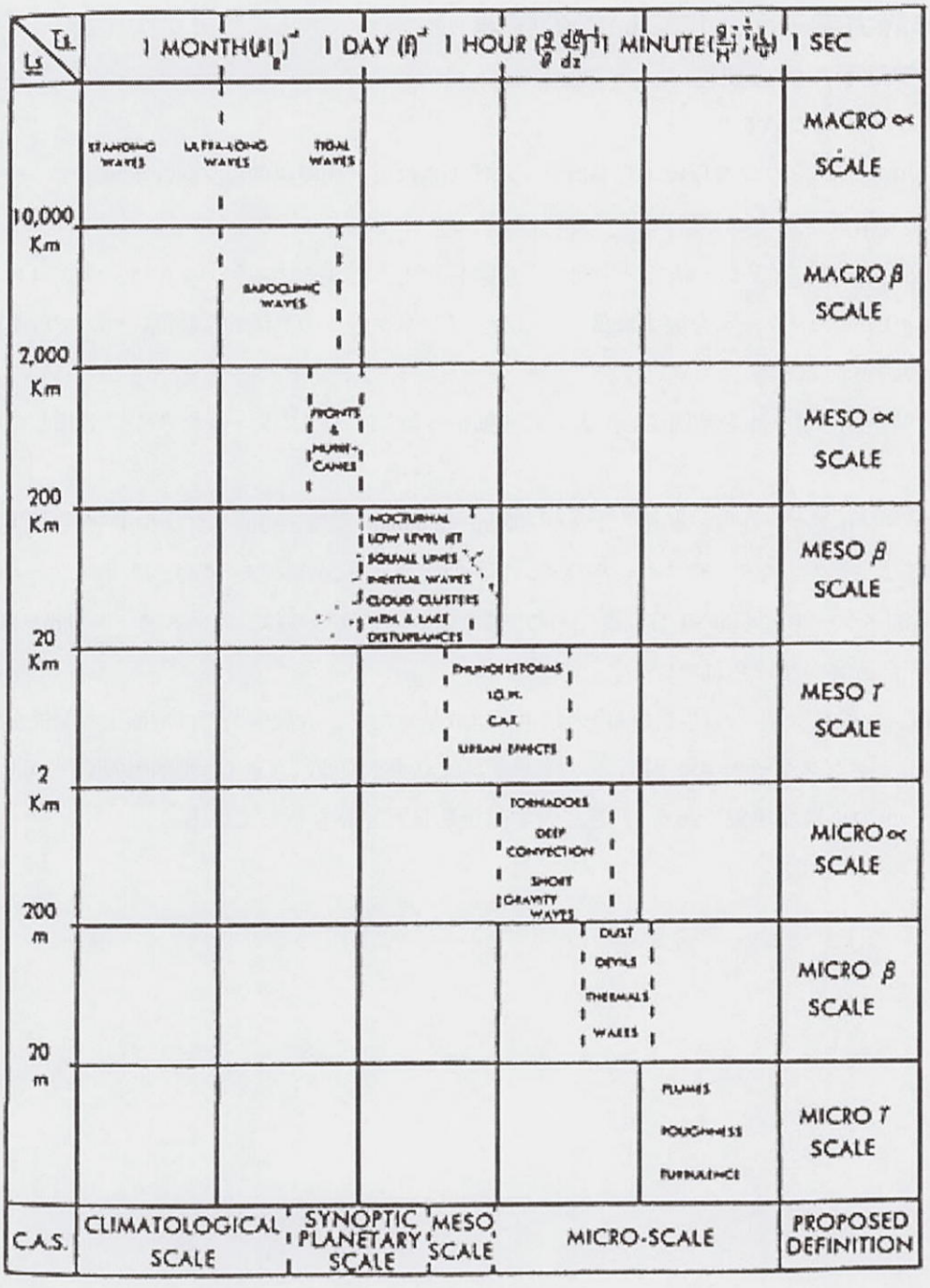


図 5.1 大気現象のスケールによる分類

5.1.2 非静力学モデルの必要性[25]

大気の状態は、風や気温、湿度等の物理量で表現でき、これらの物理量の時間変化は、いくつかの基本的な物理法則によって支配されている。そのため、大気の状態を支配する物理法則に基づいてこれらの物理量の時間変化を定量的に求めることにより、将来の大気の物理的な状態を推定することができる。大気モデルは、この大気の運動を支配する方程式を数値的に解くためのプログラムであり、一般には，流体の運動方程式、熱力学方程式、連続方程式、気体の状態方程式、水蒸気保存式の５つの支配方程式から構成される。

流体力学や熱力学等の物理法則に基づいて、つまり大気モデルを用いて将来の大気の状態を定量的に予測しようとする試みは、1922 年の L. F. Richardson に始まり、1950 年の J. Charney らによって最初の成功を収めた。この大気モデルは、その後の気象学的な知識並びに計算機能力の飛躍的な向上に伴い、パロトロピックモデル、準地衡風モデル、そして現在ほとんどすべての大気モデルで用いられているプリミティブモデルへと、大気状態を記述する方程式系に当初設けられていた様々な近似を除去しながら次第にその精度を高め、発展してきた。

このプリミティブモデルの実用化により、水平スケール 20km～200km 程度のメソβスケールの大気現象までは、かなりよく表現できるようになったが、より局所的な大気現象を表現するためには、積雲対流や複雑な地形の効果が重要となり、この場合には、最後の近似と言われる静力学平衡を前提とするプリミティブモデルでは不十分で、方程式系中に近似を何ら用いない非静力学モデルが必要となる。

本研究において開発したメソスケール大気モデルの水平解像度は高々20km×20km であり、本モデルを河川計画の支援調査等に直接利用することは現状では困難である。日本の河川流域で大気モデルを利用するためには、モデルの解像度を数 km 程度にまで高める必要があるが、一般に、静力学平衡近似が成り立つ水平スケールの限界は 10km とされており、静力学モデルである本モデルの解像度をそのまま細かくして利用することはできない。従って、将来的には、数 km 程度の大気現象をシミュレートできる非静力学モデルの開発が必要であると考えられる。

5.2 代表的非静力学モデル

現在、メソスケール（正確にはメソαスケール以下）の大気現象の解明を目的として、国内外の様々な機関で非静力学メソスケールモデルの開発が進められている。参考として、国内外の代表的な非静力学モデルを表 5.1 に示す[26]。

これらの非静力学モデルは、研究用もしくは現業化を目的として開発されたものがほとんどであり、その入手は困難であると推測されるが、その一方では、フリーソフトとして無料（もしくはかなりの少額）で入手できる非静力学モデルもある。

比較的入手が容易な非静力学モデルとしては、

- MM5（NCAR）
- RAMS（コロラド州立大学）
- ARPS（オクラホマ州立大学）

等が代表的であり、これらを利用した方が効率的と考えられる（但し、内容の理解、使用方法の習得は多少

困難である)。

表 5.1 国内外の代表的な非静力学メソスケールモデル①

研究機関	気象庁数値予報課／気象研究所	気象研究所	米国大気研究所／ペンシルバニア州立大学	米国コロラド州立大学（CSU）	米国大気海洋庁（NOAA／NCEP）
（文献）	郷田・栗原（1991） Kurihara（1995）	斉藤・加藤（1996） Saito(1994; 1997)	Dudhia（1993） Grell *et al.*(1994)	Cotton and Tripoli（1978） Pielke *et al.*,(1992)	Juang（1992; 1998） Juang *et al*(1997)
基礎方程式系	完全圧縮系	完全圧縮系 水物質の落下を考慮	完全圧縮・非膨張系	準圧縮・非膨張系	完全圧縮系
予報変数	u, v, w, π, θ	ρu, ρv, ρw, p, θ	pu, pv, pw, p, T	ρu, ρv, ρw, p, θ	u, v, w, log(p), T
移流計算	移流型 スペクトル法	フラックス型 風上補正（Kato ,1998）	フラックス型 Arakawa B 格子を使用	フラックス型	移流型 スペクトル法
鉛直座標系	z*	z*	p-σ	z*	p-σ
音波の扱い	HI-VI	HI-VI（AE も可）	HE-VI	HE-VI	HI-VI
雲物理	.....	Ikawa *et al.*(1991)	Dudhia（1989）	Meyers *et al.*(1992)	Hong *et al.*(1998)
備考	スペクトル法 第 9 章に詳細	"MRI-NHM" Ikawa and Saito (1991) の発展． 第 11 章に詳細	"NCAR／PSU MM-5" 2 ウェイネスティング可能	"CSU-RAMS"	スペクトル法

表 5.1 国内外の代表的な非静力学メソスケールモデル②

研究機関	米国大気海洋庁（NOAA／NCEP）	イギリス気象局（UKMO）	フランス気象局（CNRM）	ドイツ気象局（DWD）	カナダ気象局
（文献）	Gallus and Rancic（1996）	Tapp and White (1977) Carpenter(1979) Golding(1990;1992)	Lafore *et al.*(1998)	Doms and Schaettler（1997）	Tanguay *et al.*（1990） Benoit *et al.*(1997)
基礎方程式系	完全圧縮系	完全圧縮系	非弾性系 マップファクターを含む	完全圧縮・非膨張系	完全圧縮系
予報変数	u, v, w, p, T	u, v, w, π, θ	ρu, ρv, ρw, π, θ	u, v, w, p, T	u, v, w, log(p), T
移流計算	移流型	セミラグランジアン(Golding, 1992)	フラックス型 (Smolarkiewicz and Grabowski, 1990)	移流型	セミラグランジアン
鉛直座標系	p	z*	z*	z*	p-σ
音波の扱い	HE-VI	HI-VI	AE	HE-VI（HI-VI バージョン追加; Thomas *et al.*, 1999）	HI-VI
雲物理		Cox（1988）	Kessler（1969）		
備考	"ETA Model"（Black, 1994）の非静力学バージョン	"UKMO Mesoscale Model"	"Meso-NH" 平均気圧を質量フラックスで補正	"Lokal-Modell" 回転球面座標系	"Canadian MC-2"

第6章　おわりに

本研究では、河川計画、超過洪水対策等に利用することを目的として、短期的な気象現象をシミュレートできるメソスケール大気モデルを開発し、1998年8月末豪雨を対象とした再現計算を通してモデルの有効性を確認した。また、開発した大気モデルを可能最大降水量の推定に利用するための手法並びに将来的に必要となると推測される非静力学モデルについて簡単にとりまとめた。

本研究により、気象学的な大気モデルを将来的な流域管理に利用する可能性がある程度示されたものと判断されるが、現時点では、大気モデルをそのまま河川計画に利用することは困難である。しかしながら、大気モデルを用いたシミュレーションを通して、”なぜこの場所にこのような雨が降ったか”といった気象学的な理解を深めることは河川管理者にとって非常に重要であり、そのためには、今回のような大気モデルを用いた研究を継続して行っていくべきであると考える。

なお、現時点で考えられる具体的な検討項目は以下のとおりである。

○　主要降雨を対象とした再現計算

本研究において再現計算の対象降雨に選定した平成10年8月末豪雨以外の主要な降雨を対象として再現計算を行う。

○　大気モデルを用いた降雨現象の気象学的な理解

大気モデルによりシミュレートされた降雨がどうしてその場所で発生したのかを、地形条件、水蒸気混合比等の気象条件を変更して（例えば月平均値を用いて）検討する。また、

地形を実際の半分にして（具体的にどのように半分にするかは難しいが）計算し、結果を比較してみる（地形が影響しているのであれば降水量が減る）。

また、降雨が発生した場合と発生しなかった場合の初期値（GPV）を比較（両者の差を取る）し、降雨の発生に何が影響しているかを検討する。

参考文献

1) 近藤徹：治水計画と治水施設設計の信頼性・安全性向上に関する研究，東京大学博士論文，1996
2) 吉谷純一，鈴木正規，金木誠：確率論的な利水モデルと気候変動による影響評価への応用，土木技術資料 41-12，pp.44-49，1999
3) 鈴木正規，吉谷純一，金木誠：気候変化が水利用に及ぼす影響評価手法の一提案，水文・水資源学会 1999 年研究発表会要旨集，1999，pp.4-5
4) 建設省土木研究所河川部水文研究室：地球温暖化が日本域における水文循環に及ぼす影響の予測に関する研究報告書，土木研究所資料第 3432 号，1996
5) 建設省土木研究所，北海道開発庁開発土木研究所：地球温暖化による水収支への影響評価に関する研究，平成 5 年度～平成 7 年度，環境庁地球環境研究総合推進費終了研究報告書
6) 建設省土木研究所河川部水文研究室：地域スケール大気水文統合モデルユーザーズマニュアル，土木研究所資料第 3543 号，1998
7) 気象庁：前線による平成 10 年 8 月 26 日から 8 月 31 日にかけての北日本・東日本を中心とする大雨－平成 10 年 8 月末豪雨－，災害時気象速報，1998
8) 今本博健，宝馨，林泰一，中川一，戸田圭一，中北英一，武藤裕則，市川温：1998 年 8 月豪雨による那珂川の水害について，平成 10 年度河川災害に関するシンポジウム，土木学会水理委員会自然災害総合研究班，1999，pp.1-10
9) 是枝伸和，益倉克成，藤兼雅和，沖大幹：気象力学的手法による短時間降雨予測モデルの開発，水文・水資源学会 1992 年研究発表会要旨集，1992，pp.88-91
10) World Meteorological Organization (WMO)：Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation, Operational Hydrology Report, No.1, Second Edition, WMO-No.332, 1986
11) 矢島啓，辻基宏，池淵周一，中北英一：短時間降雨の可能最大降水量（PMP）推定手法に関する基礎的研究，京都大学防災研究所年報第 38 号 B-2，1995，pp.333-348
12) 矢島啓：都市域の降水メカニズムと PMP（可能最大降水量）推定に関する研究，京都大学学位論文，1995
13) 矢島啓，辻基宏，池淵周一，中北英一：積雲対流モデルを用いた短時間可能最大降水量（Probable Maximum Precipitation）推定手法の検討，水文・水資源学会誌，Vol.9，No.2，1996，pp.143-152
14) 大石哲，中北英一，池淵周一，辻基宏：狭域・短時間の可能最大降水量推定に関する研究，水文・水資源学会 1997 年研究発表会要旨集，1997，pp.103-104
15) 宝馨：異常降雨記録，水文・水資源ハンドブック，水文・水資源学会編，第 7 章水文リスク解析 7.1 異常水文の記録，朝倉書店，1997，pp.228-231

16) 桑原英夫：日本における最大級豪雨の時間的空間的集中豪雨に関する実証的研究，東京大学学位論文，1988
17) 裏戸勉，中村昭，長谷川修：可能最大日雨量の試算，土木技術資料 20-8，1978，pp.397-402
18) 建設省土木研究所ダム部水資源開発研究室：日本の主要地点における可能最大日雨量ー湿度補正法による推定結果ー，土木研究所資料第 1398 号，1978
19) 高須修二，宮脇千晴，廣瀬昌由，松山兼二：時間雨量の地域特性，水工学論文集第 38 巻，1994，pp.45-50
20) 草野和夫，野口和則，村上哲夫，菊池徹夫：北上川上流域の最大可能降水量，気象庁研究時報 4 巻 10 号
21) 草野和夫，野口和則，村上哲夫，菊池徹夫：北上川上流域の雨量予想について（その最大可能降水量第 2 報），気象庁研究時報 5 巻 6 号
22) 虫明功臣，沖大幹：雨滴粒径分布連続観測による雨の短時間変動とレーダ雨量観測パラメータ，平成 5 年度研究開発助成報告
23) 武田喬男：日本の豪雨，大気科学講座 2 雲や降水を伴う大気，岸保勘三郎・浅井冨雄編，第 6 章降水の形態と分布，東京大学出版会，1981，pp.139-144，
24) 瀬上哲秀：メソモデルの現状と将来，数値予報課報告・別冊第 32 号メソスケール現象と数値予報，1986，pp.2-22
25) 郷田治稔，栗原和夫：非静力学モデルの開発，数値予報報告・別冊第 37 号狭領域モデルの課題と展望，1991，pp.67-82
26) 斉藤和雄：非静力学モデルの分類，気象研究ノート第 196 号，日本気象学会，1999，pp.19-35

巻　末　資　料（入力条件作成プログラム）

GPV 切り出しプログラム

```
c
c     ****************************************************
c     **       Catting of GPV data for Honshu domain     **
c     **                                                 **
c     **                                                 **
c     ****************************************************
c
      parameter (iend=257,jend=217,layer=21,kmax=6)
      parameter (is=125,ie=182,js=91,je=146)
c
      dimension gpv(iend,jend,layer)
      dimension d(iend,jend,layer),t(iend,jend,layer),
     +          p(iend,jend,layer),q(iend,jend,layer)
c
      character*37 diname
      character*15 finame
      character*54 foname
      character*7  ftime1
      character*8  ftime2
      character*1  fkind(kmax)
      character*4  fzzz(layer)
c
      diname='c:¥My Documents¥Pwri¥Calc¥Gpv¥Inpdat¥'
c
      ftime1='n80831b'
c
      ftime2='98083121'
c
      fkind(1)='D'
      fkind(2)='T'
      fkind(3)='U'
      fkind(4)='V'
      fkind(5)='Z'
      fkind(6)='Q'
c
      fzzz( 1)='grnd'
      fzzz( 2)='1000'
      fzzz( 3)='0950'
      fzzz( 4)='0925'
      fzzz( 5)='0900'
      fzzz( 6)='0850'
      fzzz( 7)='0800'
      fzzz( 8)='0700'
      fzzz( 9)='0600'
      fzzz(10)='0500'
      fzzz(11)='0400'
      fzzz(12)='0300'
      fzzz(13)='0250'
      fzzz(14)='0200'
      fzzz(15)='0150'
      fzzz(16)='0100'
      fzzz(17)='0070'
      fzzz(18)='0050'
      fzzz(19)='0030'
      fzzz(20)='0020'
      fzzz(21)='0010'
c
      do j=1,jend
        do i=1,iend
          p(i,j, 2)=1000
          p(i,j, 3)=950
          p(i,j, 4)=925
          p(i,j, 5)=900
          p(i,j, 6)=850
          p(i,j, 7)=800
          p(i,j, 8)=700
          p(i,j, 9)=600
          p(i,j,10)=500
          p(i,j,11)=400
          p(i,j,12)=300
          p(i,j,13)=250
          p(i,j,14)=200
          p(i,j,15)=150
          p(i,j,16)=100
          p(i,j,17)=70
          p(i,j,18)=50
          p(i,j,19)=30
          p(i,j,20)=20
          p(i,j,21)=10
        end do
      end do
c
c     *** ( Data Read ) ***
c
```

```
      do k=1,kmax-1
c
        finame='d:¥'//ftime1//fkind(k)//'.dat'
        open(unit=5,FILE=finame)
c
        do l=1,layer
c
          write(*,1000) k,l
 1000     format('K= ',i5,5x,'L= ',i5)
c
          if(k.eq.1 .and. l.gt.12) then
            do i=iend,1,-1
              do j=1,jend
                gpv(i,j,l)=d(i,j,12)
                d(i,j,l)=gpv(i,j,l)
              end do
            end do
          else
            do i=iend,1,-1
              read(5,*) (gpv(i,j,l),j=1,jend)
              if(k.eq.4) then    ! for draw : V-direction north -> south is +
                do j=1,jend      !            (original is south -> north is +)
                  gpv(i,j,l)=-gpv(i,j,l)
                end do
              end if
              if(k.eq.1) then
                do j=1,jend
                  d(i,j,l)=gpv(i,j,l)
                end do
              end if
              if(k.eq.2) then
                do j=1,jend
                  t(i,j,l)=gpv(i,j,l)
                end do
              end if
              if(k.eq.5.and.l.eq.1) then
                do j=1,jend
                  p(i,j,l)=gpv(i,j,l)
                end do
              end if
            end do
          endif
c
c     *** ( Print Out ) ***
c
          foname=diname//ftime2//fkind(k)//fzzz(l)//'.org'
          open(unit=11,FILE=foname)
c
          do j=js,je
            write(11,'(58f10.2)') (gpv(i,j,l),i=is,ie)
          end do
c
          close(11)
c
        end do
c
      end do
c
c     *** ( Calculation of Q ) ***
c
      k=6
      do l=1,layer
c
        write(*,1000) k,l
c
        do j=1,jend
          do i=1,iend
            td=t(i,j,l)-d(i,j,l)
            alfa=7.5*(td-273.0)/(td-36.0)
            e=6.11*10**alfa
            q(i,j,l)=0.622*e/p(i,j,l)
          end do
        end do
c
        foname=diname//ftime2//fkind(k)//fzzz(l)//'.org'
        open(unit=11,FILE=foname)
c
        do j=js,je
          write(11,'(58e10.2)') (q(i,j,l),i=is,ie)
        end do
c
        close(11)
c
      end do
```

```
169 c
170       stop
171       end
```

座標系コンバートプログラム

```
c
c     ****************************************************
c     **   Interpolation of GPV data for Honshu domain   **
c     **                                                 **
c     **                                                 **
c     ****************************************************
c
      parameter (imd=257,jmd=217)
      parameter (imin=125,imax=182,jmin=91,jmax=146)
      parameter (iegpv=58,jegpv=56,iek=64,jek=64,le=21,kmax=6)
c
      dimension x(iegpv,jegpv),y(iegpv,jegpv)
      dimension gpv(iegpv,jegpv,le)
      dimension sita(iek,jek,9)
      dimension dist(iegpv,jegpv)
      dimension gpvnew(iek,jek,le)
      dimension iimin(iek,jek),jjmin(iek,jek)
c
      dimension d(iek,jek,le),t(iek,jek,le),u(iek,jek,le),
     +          v(iek,jek,le),z(iek,jek,le),q(iek,jek,le),
     +          p(iek,jek,le)
      dimension us(iek,10),vs(iek,10),ts(iek,10),zs(iek,10),
     +          qs(iek,10),ps(iek)
c     dimension us(iek,12),vs(iek,12),ts(iek,12),zs(iek,12),
c     +          qs(iek,12),ps(iek)
c
      character*37 doname,diname
ct      character*54 foname
      character*24 foname
ct      character*24 finame2
      character*54 finame2
      character*45 finame1
      character*8  ftime
      character*2  fexy,fexm,fexd,fext
      character*1  fkind(kmax)
      character*4  fzzz(le),iyim,fexk
      character*56 foname1
ct      character*32 foname1
      character*57 foname2,foname3
ct      character*33 foname2,foname3
c
      doname='c:¥My documents¥Pwri¥Calc¥Gpv¥Output¥'
      diname='c:¥My documents¥Pwri¥Calc¥Gpv¥Inpdat¥'
c
      iyim='1081'
      iy=98           ! Year
      im=08           ! Month
ct      ids=31          ! Start Day
ct      ide=31          ! End Day
      ids=01          ! Start Day
      ide=31          ! End Day
c     its=09          ! Start Time (09 or 21)
c     ite=21          ! End Time (09 or 21)
c
      fkind(1)='D'
      fkind(2)='T'
      fkind(3)='U'
      fkind(4)='V'
      fkind(5)='Z'
      fkind(6)='Q'
c
      fzzz( 1)='grnd'
      fzzz( 2)='1000'
      fzzz( 3)='0950'
      fzzz( 4)='0925'
      fzzz( 5)='0900'
      fzzz( 6)='0850'
      fzzz( 7)='0800'
      fzzz( 8)='0700'
      fzzz( 9)='0600'
      fzzz(10)='0500'
      fzzz(11)='0400'
      fzzz(12)='0300'
      fzzz(13)='0250'
      fzzz(14)='0200'
      fzzz(15)='0150'
      fzzz(16)='0100'
      fzzz(17)='0070'
      fzzz(18)='0050'
      fzzz(19)='0030'
      fzzz(20)='0020'
      fzzz(21)='0010'
c
      do j=1,jek
```

```
        do i=1,iek
          p(i,j, 2)=1000
          p(i,j, 3)=950
          p(i,j, 4)=925
          p(i,j, 5)=900
          p(i,j, 6)=850
          p(i,j, 7)=800
          p(i,j, 8)=700
          p(i,j, 9)=600
          p(i,j,10)=500
          p(i,j,11)=400
          p(i,j,12)=300
          p(i,j,13)=250
          p(i,j,14)=200
          p(i,j,15)=150
          p(i,j,16)=100
          p(i,j,17)=70
          p(i,j,18)=50
          p(i,j,19)=30
          p(i,j,20)=20
          p(i,j,21)=10
        end do
      end do
c
c     *** ( Data Read ) ***
c
      finame1=doname//'GPV.grid'
      open(unit=5,FILE=finame1)
c
      read(5,'(3a4)') dummy
      do j=1,jmd
        do i=1,imd
          read(5,'(2i5,2f12.3)') ii,jj,xx,yy
          if((ii.ge.imin.and.ii.le.imax).and.
     +                    (jj.ge.jmin.and.jj.le.jmax)) then
            ii=ii-(imin-1)
            jj=jj-(jmin-1)
            x(ii,jj)=xx
            y(ii,jj)=yy
          end if
        end do
      end do
c
      close(5)
c
      do j=1,jek
        do i=1,iek
c
          do jj=1,jegpv
            do ii=1,iegpv
              dist(ii,jj)=sqrt((abs(real(i)-x(ii,jj)))**2.0
     +                      +(abs(real(j)-y(ii,jj)))**2.0)
              if(ii.eq.1.and.jj.eq.1) then
                iimin(i,j)=1
                jjmin(i,j)=1
                distmin=dist(1,1)
              else
                if(dist(ii,jj).le.distmin) then
                  iimin(i,j)=ii
                  jjmin(i,j)=jj
                  distmin=dist(ii,jj)
                end if
              end if
            end do
          end do
c
          sumdist=0.0
          do ii=iimin(i,j)-1,iimin(i,j)+1
            do jj=jjmin(i,j)-1,jjmin(i,j)+1
              sumdist=sumdist+1.0/dist(ii,jj)
            end do
          end do
c
          kkk=0
          do ii=iimin(i,j)-1,iimin(i,j)+1
            do jj=jjmin(i,j)-1,jjmin(i,j)+1
              kkk=kkk+1
              sita(i,j,kkk)=1.0/(dist(ii,jj)*sumdist)
            end do
          end do
c
        end do
      end do
c
```

```
      if(iy.le.9) then
        write(fexy,'("0",i1)') iy
      else
        write(fexy,'(i2)') iy
      end if
c
      kkk=0
      do id=ids-1,ide
        do it=9,21,12
          if(id.eq.ids-1) then
            if(it.eq.9) then
              goto 2000
            else
              if(im-1.le.9) then
                write(fexm,'("0",i1)') im-1
              else
                write(fexm,'(i2)') im-1
              end if
              fexd='31'
              fext='21'
            end if
          else
            if(im.le.9) then
              write(fexm,'("0",i1)') im
            else
              write(fexm,'(i2)') im
            end if
            if(id.le.9) then
              write(fexd,'("0",i1)') id
            else
              write(fexd,'(i2)') id
            end if
            if(it.le.9) then
              write(fext,'("0",i1)') it
            else
              write(fext,'(i2)') it
            end if
          end if
c
          ftime=fexy//fexm//fexd//fext
c
      do k=1,kmax
c
        do l=1,le
c
          write(*,1000) id,it,k,l
 1000     format(5x,'ID= ',i5,5x,'IT= ',i5,5x,'K= ',i5,5x,'L= ',i5)
c
          finame2=diname//ftime//fkind(k)//fzzz(l)//'.org'
ct          finame2='d:¥Org¥'//ftime//fkind(k)//fzzz(l)//'.org'
          open(unit=11,FILE=finame2)
c
          do j=1,jegpv
            if(k.ne.6) then
              read(11,'(58f10.2)') (gpv(i,j,l),i=1,iegpv)
            else
              read(11,'(58e10.2)') (gpv(i,j,l),i=1,iegpv)
            end if
          end do
c
          close(11)
c
c     *** ( Interpolation of GPV data ) ***
c
          do j=1,jek
            do i=1,iek
ct              gpvnew(i,j,l)=
ct     +              gpv(iimin(i,j)-1,jjmin(i,j)-1,l)*sita(i,j,1)+
ct     +              gpv(iimin(i,j)-1,jjmin(i,j)  ,l)*sita(i,j,2)+
ct     +              gpv(iimin(i,j)-1,jjmin(i,j)+1,l)*sita(i,j,3)+
ct     +              gpv(iimin(i,j)  ,jjmin(i,j)-1,l)*sita(i,j,4)+
ct     +              gpv(iimin(i,j)  ,jjmin(i,j)  ,l)*sita(i,j,5)+
ct     +              gpv(iimin(i,j)  ,jjmin(i,j)+1,l)*sita(i,j,6)+
ct     +              gpv(iimin(i,j)+1,jjmin(i,j)-1,l)*sita(i,j,7)+
ct     +              gpv(iimin(i,j)+1,jjmin(i,j)  ,l)*sita(i,j,8)+
ct     +              gpv(iimin(i,j)+1,jjmin(i,j)+1,l)*sita(i,j,9)
              gpvnew(i,j,l)=gpv(iimin(i,j),jjmin(i,j),l)
              if(k.eq.1) then
ct                d(i,jek-j+1,l)=gpvnew(i,j,l)
                d(i,j,l)=gpvnew(i,j,l)
              end if
              if(k.eq.2) then
ct                t(i,jek-j+1,l)=gpvnew(i,j,l)
                t(i,j,l)=gpvnew(i,j,l)
```

```
253               end if
254               if(k.eq.3) then
255 ct                u(i,jek-j+1,l)=gpvnew(i,j,l)
256                 u(i,j,l)=gpvnew(i,j,l)
257               end if
258               if(k.eq.4) then
259 ct                v(i,jek-j+1,l)=gpvnew(i,j,l)
260                 v(i,j,l)=-gpvnew(i,j,l)
261               end if
262               if(k.eq.5) then
263                 if(l.eq.1) then
264 ct                  p(i,jek-j+1,l)=gpvnew(i,j,l)
265                   p(i,j,l)=gpvnew(i,j,l)
266                 else
267 ct                  z(i,jek-j+1,l)=gpvnew(i,j,l)
268                   z(i,j,l)=gpvnew(i,j,l)
269                 end if
270               end if
271               if(k.eq.6) then
272 ct                q(i,jek-j+1,l)=gpvnew(i,j,l)
273                 q(i,j,l)=gpvnew(i,j,l)
274               end if
275             end do
276           end do
277 c
278 c     *** ( Print Out ) ***
279 c
280 ct          foname=doname//ftime//fkind(k)//fzzz(l)//'.int'
281           foname='d:¥Int¥'//ftime//fkind(k)//fzzz(l)//'.int'
282           open(unit=21,FILE=foname)
283 c
284 c     --- ( Note ! : This is to make j increase with increasing latitude ) ---
285           do j=1,jek
286             if(k.ne.6) then
287               write(21,'(64f10.2)') (gpvnew(i,jek-j+1,l),i=1,iek)
288 ct              write(21,'(64f10.2)') (gpvnew(i,j,l),i=1,iek)
289             else
290               write(21,'(64e10.2)') (gpvnew(i,jek-j+1,l),i=1,iek)
291 ct              write(21,'(64e10.2)') (gpvnew(i,j,l),i=1,iek)
292             end if
293           end do
294 c
295           close(21)
296 c
297         end do
298 c
299       end do
300 c
301       kkk=kkk+1
302       ki=(kkk-1)*12
303       if(ki.le.9) then
304         write(fexk,'(".00",i1)') ki
305       else
306         if(ki.le.99) then
307           write(fexk,'(".0",i2)') ki
308         else
309           write(fexk,'(".",i3)') ki
310         end if
311       end if
312 c
313       foname1=doname//'GPVdata¥GPV'//iyim//fexk
314       foname2=doname//'GPVdata¥SeaT'//iyim//fexk
315       foname3=doname//'GPVdata¥SeaQ'//iyim//fexk
316 ct      foname1='d:¥Irsham99v¥GPVdata¥GPV'//iyim//fexk
317 ct      foname2='d:¥Irsham99v¥GPVdata¥SeaT'//iyim//fexk
318 ct      foname3='d:¥Irsham99v¥GPVdata¥SeaQ'//iyim//fexk
319       open(unit=41,FILE=foname1)
320       open(unit=31,FILE=foname2)
321       open(unit=32,FILE=foname3)
322 c
323       do j=1,jek
324         write(31,'(4e16.6)') (t(i,j,1),i=1,iek)
325         write(32,'(4e16.6)') (q(i,j,1),i=1,iek)
326       end do
327 c
328       do j=1,jek
329         do i=1,iek
330           ps(i)=p(i,j,1)
331           ll=0
332           do l=1,le
333             if(l.eq. 2.or.l.eq. 5.or.l.eq. 7.or.l.eq. 8.or.
334      +         l.eq. 9.or.l.eq.10.or.l.eq.11.or.l.eq.12.or.
335      +         l.eq.14.or.l.eq.15) then
336 c     +          l.eq.14.or.l.eq.15.or.l.eq.16.or.l.eq.18) then
```

```
337               ll=ll+1
338               us(i,ll)=u(i,j,l)
339               vs(i,ll)=v(i,j,l)
340               ts(i,ll)=t(i,j,l)
341               zs(i,ll)=z(i,j,l)
342               qs(i,ll)=q(i,j,l)
343             end if
344           end do
345         end do
346         write(41,'(4e16.6)') ((us(i,l),i=1,iek),l=1,10),
347      +                       ((vs(i,l),i=1,iek),l=1,10),
348      +                       ((ts(i,l),i=1,iek),l=1,10),
349      +                       ((zs(i,l),i=1,iek),l=1,10),
350      +                       ((qs(i,l),i=1,iek),l=1,10),
351      +                       (ps(i),i=1,iek)
352 c        write(41,'(4e16.6)') ((us(i,l),i=1,iek),l=1,12),
353 c     +                       ((vs(i,l),i=1,iek),l=1,12),
354 c     +                       ((ts(i,l),i=1,iek),l=1,12),
355 c     +                       ((zs(i,l),i=1,iek),l=1,12),
356 c     +                       ((qs(i,l),i=1,iek),l=1,12),
357 c     +                       (ps(i),i=1,iek)
358       end do
359 c
360       close(33)
361       close(32)
362       close(31)
363       close(41)
364 c
365  2000 end do
366       end do
367 c
368       stop
369       end
```