

土木研究所資料

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

平成8年3月

建設省土木研究所
河川部水文研究室

Copyright © (1996) 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 matching 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、本報告書の全文又は一部の転載、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。

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

| | | | |
|-------|--------|----|----|
| 水文研究室 | 室長 | 寺川 | 陽 |
| | 主任研究員 | 吉谷 | 純一 |
| | 主任研究員* | 渡辺 | 明英 |
| | 研究員** | 藤兼 | 雅和 |
| | 技官 | 松浦 | 達郎 |

要旨

地球温暖化に伴う気候変化が日本域における水文循環に及ぼす影響について、過去の気象パターンと降水量の統計的關係に基づいて温暖化時の降水時系列を擬似発生させる方法及び、地球スケールの気象モデルの出力を境界条件とした水文—気象モデルによってシミュレーションを行う方法等によって予測した結果をとりまとめた。

キーワード：地球温暖化，水文循環

• 現 広島大学工学部 助教授
** 現 建設省河川局海岸課 係長

はじめに

地球規模の環境問題のひとつである地球温暖化は、人間活動によって大気中に放出される二酸化炭素、メタン、オゾン、フロン等いわゆる温室効果気体の濃度増大によってもたらされる。

地球・大気系におけるエネルギーの出入りをマクロに見ると、太陽からの短波放射と大気からの長波放射の合計が地球表面でのそれらの反射及び長波放射とバランスしている。そして、ここで重要な役割を果たしているのが、大気中の水蒸気、二酸化炭素等の温室効果気体である。これらは、太陽からの短波放射は透過するのに対し、地表からの長波放射を吸収し、また同時に自ら長波放射を地表面に向かって放射する。もし、大気がないと仮定した場合、平衡状態における地球表面の平均温度は約 -18°C と計算される。現実の地表付近の温度が人間生活にとってより好ましいレベルにあるのは、大気中の温室効果気体による温室効果のためであると言える。

問題は、近年の急激な温室効果気体の濃度増大によって急速に地球規模のエネルギー収支が変化するところにある。すなわち、地表面からの長波放射のうち吸収される割合が大きくなることによって、地表部の平衡温度が全体として高くなる方向にシフトすることになる。これにより、例えば地球上の水文循環に影響が及び、降水量の地域分布が変化したり、南極の氷の融解や海水の膨張によって海水面が上昇し、その結果、現状の気候条件のもとで適応してきている人類の生活様式（農業生産活動や社会基盤施設を含む）に大きなインパクトが及ぼされることが懸念されるのである。

大気中の温室効果気体の増加による地球気候変化及びそれに伴う水文循環への影響が実際に起こるのかどうか、また起こるとしてその程度はどのくらいなのかについてはまだ不確実な点も少なくない。しかしながら、現段階で、影響を予測し、それに基づいて将来影響が顕在化した場合の対策についてあらかじめ検討しておくことは、エネルギー消費の規制等の政策を通じて温室効果気体の増加をくい止めることとあわせて重要な課題である。本報告書は、地球温暖化に伴う気候変化が日本域における降水や蒸発等の水文循環に及ぼす影響について、現状の技術で予測し得る結果をまとめたものである。

本研究は、前々水文研究室長吉野文雄氏のもとで開始され、前室長益倉克成氏、そして私（寺川）へと引き継がれ、今般とりまとめに至った。本成果は、この間当該テーマを担当した吉谷純一主任研究員、渡辺明英前主任研究員（現広島大学工学部助教授）、藤兼雅和前研究員（現河川局海岸課技術第一係長）、松浦達郎技官をはじめ多くの関係者の共同作業によって生み出されたものである。なお、報告書のとりまとめにあたっては、渡辺前主任研究員の精力的かつ多大な努力があったことを特記しておきたい。

平成8年3月

水文研究室長 寺 川 陽

目 次

はじめに

| | |
|--|----|
| 第1章 序 論 | 1 |
| 1.1 研究の目的 | 1 |
| 1.2 地球温暖化に関する既往の研究 | 2 |
| 1.3 研究の方法 | 3 |
| 参考文献 | 4 |
| 参考資料 | 4 |
| 第2章 気象・水文統計資料に基づく年平均気温と降水過程の関係 | 7 |
| 2.1 緒 言 | 7 |
| 2.2 年平均気温が高い期間と低い期間の降水現象の違い | 7 |
| 2.3 近年の気象状況 | 10 |
| 2.4 今後の課題 | 12 |
| 参考文献 | 12 |
| 第3章 地球温暖化時の日本域における可能蒸発量の変化に関する簡易な予測 | 13 |
| 3.1 緒 言 | 13 |
| 3.2 データのメッシュ化 | 13 |
| 3.3 メッシュデータの基づく可能蒸発量の予測 | 16 |
| 3.4 まとめ | 20 |
| 参考文献 | 20 |
| 第4章 気象研究所(MRI)-GCM の出力結果に見られる地球温暖化の影響 | 21 |
| 4.1 緒 言 | 21 |
| 4.2 MRI-GCM の概要 | 21 |
| 4.3 MRIGCM の結果に基づく気候変化に伴う気温・降水量の変化 | 23 |
| 4.4 MRIGCM の結果における気候変化に伴う気象パターンの出現率の変化 | 27 |
| 4.5 現状の技術レベルにおける GCM の問題点 | 38 |
| 4.6 まとめ | 39 |
| 参考文献 | 39 |

| | |
|--|-----|
| 第5章 気象パターンと降水量に関する確率過程に基づく気候変化に伴う降水量の変化予測 | 40 |
| 5.1 緒言 | 40 |
| 5.2 擬似降水シミュレーションモデル | 40 |
| 5.3 気象パターンと過去における降水過程の関係 | 44 |
| 5.4 確率過程に基づく擬似降水シミュレーション | 47 |
| 5.5 まとめ | 52 |
| 参考文献 | 52 |
| 参考資料 | 53 |
| 第6章 メソスケール水文・気象シミュレーションモデルの開発 | 75 |
| 6.1 緒言 | 75 |
| 6.2 モデルの全体構成 | 75 |
| 6.3 大気モデル | 76 |
| 6.4 各物理過程のモデル化 | 79 |
| 6.5 数値解析方法 | 91 |
| 6.6 モデルの検証 | 92 |
| 6.7 今後の課題 | 109 |
| 参考資料 | 114 |
| 第7章 メソスケール水文・気象シミュレーションモデルの利用による地球温暖化の影響評価 | 115 |
| 7.1 緒言 | 115 |
| 7.2 地球温暖化時と現状における気温・混合比・風場 | 115 |
| 7.3 地球温暖化時と現状における降水量・地表面水分量 | 147 |
| 7.4 地球温暖化が地表面水文過程に与える影響 | 165 |
| 7.5 まとめ | 186 |
| 第8章 結論 | 188 |
| 謝辞 | 189 |

第1章 序 論

地球の温度は、地球に入射する太陽エネルギーと大気から宇宙に向けての赤外放射エネルギーの収支バランスで決まる。地表から上向きの赤外放射が大気中の赤外活性ガスに吸収され、再び地表へ放射されるエネルギーが多いため、地表で適度な気温となっている。この大気の影響を温室効果(greenhouse effect)と呼び、このような働きを持つ大気中の気体を温室効果気体(greenhouse gas)と呼ぶ。主な温室効果気体には、二酸化炭素・メタン・オゾン・フロン・水蒸気等がある。温室効果に対しては人間が直接放出しない水蒸気が最も影響を及ぼし、次に二酸化炭素が影響を及ぼしている。水蒸気は自然にある温室効果気体であり、問題となっているのは人間活動に伴って放出される温室効果気体の急増である。これは、二酸化炭素等の影響によって気温が上昇すると、飽和水蒸気圧が上がり大気中の水蒸気量が増大して、温室効果が増幅させる可能性があるためである。

人間活動によって放出される代表的な温室効果気体は二酸化炭素、メタン、亜硫酸窒素、フロン、対流圏オゾン等である。現在の二酸化炭素濃度は350ppmであり、産業革命以前の280ppmに比べて多い。1920年代では300ppmであったことから、その増加は化石燃料の燃焼が原因であるとされている。最近の大気中の二酸化炭素の増加量は年間約34億トンであり、人間活動による二酸化炭素の排出量は年間約70億トンにまで達している。この内、過去100年間に大気中に放出された二酸化炭素の約2/3は化石燃料の消費、残りの1/3は森林や草地の破壊によるものであり、全放出量の約40%が大気中に残存している。この温室効果ガスの影響のために、対流圏でのエネルギー収支が新たな状態に移り、結果として地球温暖化(global warming)が進んだり、気候変化(climate change)が引き起こされる。

現在、地球が温暖化しつつあることは、国際的に認められている¹⁾。地球温暖化防止のための具体的な方策が検討されているが、国家間での経済問題・エネルギー問題等に直接関わるため、解決困難な問題となっている。地球全体で放出される二酸化炭素の量を積極的に削減し、1990年レベルの1/2に抑制したとしても(IPCCシナリオC, D)²⁾、100年後には排出された温室効果気体の等価二酸化炭素濃度は500ppm程度以上まで達するとされている。したがって、等価二酸化炭素濃度が2倍程度になることを避けることは、現実的にはほとんど不可能に近い。したがって、温暖化による影響を予測して、人間社会への被害が最小限に抑えられるように、あらかじめその対策を講じておくことが肝要になる。

1.1 研究の目的

地球規模の温暖化に起因して、地球上の気候や水循環が変化することが予想されている。これらの変化は独立したものではなく、互いに密接に関係している。温暖化によって降水量・降水特性や蒸発量・融雪量等が変化すると、流域における水循環も変化する。これらの変化は、水資源賦存量の変化や洪水被害の頻発を引き起こす可能性がある。しかしながら、現行の治水・利水計画は既往の水文統計量を基に立案されており、気候変化による降雨特性の変化等の影響は見込まれていない。気候変化の影響を河川計画に反映させるためには、流域規模での降雨量・降雨特性の変化とそれに伴う洪水流出や水資源賦存量の変化を予測する必要がある。

本研究では、河川計画及び水資源計画の立場から、気候変化に伴って日本域で生じる降水や蒸発等の水収支

変化を予測し、今後の計画策定に対して役立つ情報を得ることを目的としている。

1.2 地球温暖化に関する既往の研究

(1) 地球温暖化の現状

気温について、IPCC⁹⁾及び気象庁⁹⁾共に全球平均地上気温の上昇を認めている。これが温室効果気体の増大によるものか、気候の変動によるものかどうかは明確に判断できていない。しかしながら、関連を否定できるものはない。気象庁⁹⁾によると、地上気温は過去100年間で0.5℃上昇している。海上気温の上昇は北半球で1940年以前から、南半球で1960年代から顕著になっている。

また、海面は過去100年間で約10cm上昇している⁴⁾⁵⁾⁶⁾。その要因は、水温上昇に伴う海水の熱膨張と山岳氷河等小規模な陸氷の融解と見られている。

近年の年間降水量について、ヨーロッパ北部・アジア中緯度で増加、アフリカ・オセアニアで減少、日本で減少の傾向が見られる。

(2) 気候変化が引き起こす影響に関する予測

気候変化を予測する気候モデルは、大きく3つに分けられる。

① エネルギー収支モデル

地球の表面温度を一様として、太陽放射と地球からの放射に対してエネルギー保存則を適用し、地球全体で見た平均的な温度変化を予測する。

② 放射対流モデル

地球全体の大気を代表する空気柱を仮定し、鉛直方向には複数の大気層で表現するが水平方向の大気移動は考慮しない。

③ 大気大循環モデル

地球大気を3次元メッシュに分割し、質量、水蒸気、熱エネルギー、運動量の各保存式から、大気の運動を解析するものである。上記の2つのモデルと比較して精度は良いが、コンピュータの速度・容量や運用上の制約のため、メッシュ分割は概ね300km×300km程度のもが使われている。

これらのモデルを用いて多くの研究が行われた。以下に主な内容を示す。気候変化が引き起こす種々の現象に関する近年行われた個々の研究を取りまとめた結果は参考資料として章末に列記し、ここでは大まかにまとめて述べることにする。

温室効果という現象⁶⁾は、170年程前にフーリエによって、また130年程前にもジョン・ティンダルによって指摘されている。温室効果による地球の温暖化について、19世紀末にアレニュースは大気の赤外線吸収の収支から大気中の二酸化炭素濃度が2倍になると気温が5℃上昇すると述べ、1956年にギルバート・プラスは二酸化炭素の倍増により気温が4℃上昇すると述べている。これらは、かなり粗い予測であるが、現代における予測とそれほどかけ離れたものではない。一方観測から、1930年代にジョージ・カレンダーが50年間で0.25℃の温暖化が生じたことを指摘しており、1960年代には二酸化炭素濃度が年間0.5%ずつ増大していることが既に確認されていた。

現在、二酸化炭素増大による地球規模における気候変化に関する数多くの研究が行われている。近年におけ

る地球温暖化の研究は、GCM(general circulation model)による数値シミュレーションに依存している。地表面・海面の境界条件、海洋の取扱い、雲の評価の違い等により、その結果は異なっている。種々の研究結果を総合的に判断すれば、二酸化炭素の倍増による気温の上昇量は、全球平均でおよそ1.5℃~4.5℃の範囲にある。深層海洋まで含めたモデルによれば、海洋の熱容量のために温暖化の進行が遅くなり、温室効果ガスの年間増分量が現状維持の条件で気温は70年後に1.3℃~2.3℃上昇すると予想されている⁷⁾。モデル間の気温上昇量の違いの主な原因は、雲のパラメタリゼーションの違いである⁸⁾。雲は地表からの赤外線を吸収するだけでなく日射を反射・吸収する。しかし、雲による反射や吸収の程度は雲の形状に依存していて、この関係が明らかになっていない。これらの雲の形状やその影響が正確に反映されていないため、各モデルで気温の上昇量が異なっている。

二酸化炭素倍増時には気温上昇や蒸発量及び水蒸気量の増大のために水循環が活発になるので、GCMの解析では降水量は地球全体として4%~15%増大するとされている⁹⁾。この場合に、対流性の大雨が増えることが指摘されている。一般的には、高・低緯度で降水量が増大し、中緯度では降水量が冬に増大し夏に減少するとされている。気象研究所のモデルでは、低・中緯度で層状性降雨の減少が見られる。しかし、地域別の変動は各GCMによって異なるため、統一的な見解が得られていない。日本域での過去の統計資料¹²⁾によれば、近年では全国的に年間降雨量は多少減少し、大雨が増えているという傾向が見られる。日本内部でも、温暖化の割合は場所によって異なり、東日本で特に気候変動の影響が大きく現れている。熱帯性低気圧の発生等には、上述の雲による影響が非常に大きく、GCMでは雲の取扱いによって発生数が増減する。温暖化に伴う熱帯性低気圧の変動をGCMを用いて求めることは、現段階ではできていない。過去の統計データから、温暖期と寒冷期の熱帯性低気圧の発生数に特徴的な変化は見られない。風速等で表される台風等の勢力は近年になって多少増大しているようにも見えるが、台風を観測し始めてからの期間が短いことや日本へ来襲する台風の数が元々少ないことから、統計的に十分明解なデータは得られていない。

一方、地球の気候は、太陽活動の影響を受ける。マーシャル・レポートによれば過去100年間の気温は太陽活動と対応しており、これを根拠として地球温暖化予測の曖昧さを指摘している⁶⁾。一般に日射が1%増加すると気温が1℃増加すると言われている。この日射の強さに関係する太陽活動の強弱は黒点観測から知ることができる。黒点数は約11年周期で増減しているが、グライスペルグサイクルと呼ばれる約80年毎に約11年の周期が増減する現象がある。黒点周期が短くなると気温が上昇し、長くなると気温が低下する。しかしながら、太陽照度の変動周期を予測することはできても変動の大きさを予測することは困難である。温暖化予測には大きな不確定要因が存在し、この他エアロゾルによる日射の直接反射やエアロゾルが雲粒を細粒化することによる日射の反射量の増大等の不明な問題が残されている。

1.3 研究の方法

近年、温暖化時の予測は、ある程度正確さを持って定量的に現象を把握できるGCMを用いて温室効果ガス濃度をモデル上で強制的に変化させて計算(コントロールラン)を行い、諸現象の動向を探る方法が主流となっている。しかし、現在用いられているGCMは空間解像度が粗く、数百km間隔の格子点上のデータを与えるものである。本研究で対象としている降雨は、細かな地形の影響を受け、GCMのスケールよりも小さなス

ケールで生じるため、日本の各地方や一つの河川流域での降水の特性の変化までは GCM では求められない。そのため、日本の流域規模における温暖化した場合の降雨量や流出量等の水循環の変化を求める方法が必要になる。

このための一つのアプローチとして日本域を対象とした水文-気象モデルを用いたシミュレーション計算によって、将来、温暖化した場合の流域規模の降雨量変化を求める方法がある。そこで、二酸化炭素濃度を現状と同じに固定した場合と現状の2倍に固定した場合について、気象研究所の保有する大気大循環モデル(MRIGCM)によって得られている地球規模の気候変化シミュレーション結果を、日本を含む対象領域の境界条件として取り入れ、メソスケールで降雨量を予測するモデルを開発し、これにより、地形の影響を強く受ける日本域での降水特性の変化を予測することとした。

もうひとつのアプローチは、過去の気圧配置型等の気象パターンと降水量の関係について解析し、これと GCM によって計算された気候変化に伴う気象パターンの出現率の変化から、地球温暖化日本の降水量の変化を予測するという方法である。すなわち、気圧配置型等の大局的に見た気象条件の変化から降水量の変化を総観的に予測し、台風等の影響を補足する方法を検討したものである。

これらの温暖化時の降雨等の予測と併せて、蒸発散量の変化や流出量の変化を求めることによって、流域規模での水収支を推定することが可能になると考えられる。本文では、これらの結果をメッシュデータとして表す方法についても検討している。

本研究で用いた予測手法による推定結果は、基本的に GCM 等の出力結果に基づくものであるから、その予測の確実性は予測手法だけでなく、GCM 等によるシナリオに大きく依存している。GCM の技術と精度は、近年のコンピュータの進歩と共に年々向上している。したがって、これらの技術の進歩に伴って得られる情報を順次取り入れていくことで、さらに良い予測を行うことが可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 気象庁編：異常気象レポート'89-その実態と見直し-(IV), 1989.
- 2) 気象庁編：地球温暖化監視レポート, 1992.
- 3) 霞が関地球温暖化問題研究会 [編・訳]：IPCC 地球温暖化レポート, 1991.
- 4) 環境庁「地球温暖化問題研究会」編：地球温暖化を防ぐ, 1990.
- 5) 山元竜三郎：地球温暖化の実態に関する研究の動向, 天気 Vol. 37-No. 5, pp. 3-19, 1990.
- 6) 山元竜三郎：地球異常 [気候激変時代への警告], 1993.
- 7) 真鍋淑郎：Greenhouse Gas-Induced Evolution of the Coupled Ocean-Atmosphere-Land Surface System over Several Countries, 天気 Vol. 40-No. 3 IAMAP 特集, pp. 11-15, 1994.
- 8) 気象庁編：異常気象レポート'94, -その実態と見直し-(V), 1994.

参考資料

・温暖化予測について

- 1) 1985年10月

世界気象機関(WMO)、国連環境計画(UNEP)、国際学術連合会議(ICSU)

「二酸化炭素及びその他の温室効果気体の気候変動及びそれに起因する諸影響における役割」

(フィルラッパ'85会議)

- ① 二酸化炭素・一酸化二窒素・メタン・フロン・オゾン等の対流圏における微量気体は増加しており、その温室効果のため地球の気候に影響を及ぼす
- ② 現在の傾向が続けば、二酸化炭素と他の温室効果気体による温室効果は、2030年に産業革命前の2倍のレベルの二酸化炭素に等しい効果を持つであろう。
- ③ 気候モデルによる最も進んだ数値実験によれば、二酸化炭素濃度が2倍になった場合、全球平均の平衡地上気温は1.5℃～4.5℃上昇することが示されている。しかし、気候モデルの不完全さ等によりこの範囲外の値になることもあり、また海洋のもつ慣性のため、平衡温度に達するまで数10年の遅れが予想される。
- ④ エアロゾル濃度、太陽エネルギーの変化及び植生の変化等その他の要因も気候に影響するであろうが、温室効果気体は来世紀の気候変化の最も重要な要因となるであろう。
- ⑤ 1.5℃～4.5℃の温暖化により、20cm～140cmの海面上昇がもたらされると推定される。この上限の値は、沿岸地域や河口地域に大きな直接的影響を与えよう。しかし、西南極氷床の大規模な融解は来世紀中には起こらないであろう。
- ⑥ 過去100年間に全球平均気温は0.3℃～0.7℃上昇したと推定されており、これは温室効果気体の増大から予想される値と一致する。しかし、科学的に厳密には、この昇温原因を温室効果の増大のみに特定することはできない。
- ⑦ 気候モデルによって得られた程度の気候変化が起これば、全球的な生態系、農業、水資源、海氷に多大な影響を与えることはほとんど疑う余地がない。

2) 1988年9月

気象庁、気候問題懇談会温室効果検討部会

(異常気象レポート'89)

- ① 温室効果気体の濃度が現在の増加率で増え続けるとすれば、全球平均気温は2030年代に現在より1.5℃～3.5℃程度上昇すると予想される。昇温量は、冬期、特に北半球の高緯度で大きく、日本を含む北半球中緯度ではこれと同程度、低緯度ではこれより小さいと見られる。
- ② 全球平均降水量の増加が予想されるが、一方蒸発量も増加する。また、中緯度の多雨帯は特に北半球で極方向にずれる。
- ③ 全球平均気温の1.5℃～3.5℃程度の昇温にともない、海面水位は20cm～110cm上昇すると見られる。しかし、来世紀中には大規模な南極氷床の融解及び西南極の崩壊は起こらず、これによる大きな海面水位の上昇はないと見られる。

3) 1990年6月

IIPC 第2作業部会

- ① 二酸化炭素の倍増が、排出規制をしない場合2025～2050年の間に生じる。
- ② 全球平均気温の上昇は1.5℃～4.5℃の幅で生じる。
- ③ 熱帯地方では平均の1/2、極地方では2倍の上昇である。
- ④ 海面の上昇は、2050年までに0.3m～0.5m、2100年までに1mであり、0.7℃～2.5℃の海表面の温度上昇がある。

4) 1990年7月

気象庁、気候問題懇談会温室効果検討部会

- ① 2030年代の地球の平均地上気温は、 1.2°C ～ 3.0°C 上昇する。
- ② 対流性降水が増加し、降水域の集中化が起きる。強い降水強度の生じる確率が高くなる。

5) 1994年

IPCC 第1作業部会第2次報告書ピアレビュー

「将来の気候の見通し」に関する新たな知見

- ① 硫酸エアロゾルは、温室効果気体による地球温暖化をマスクしている。硫酸エアロゾルの影響は大都市部及びその周辺の地域で大きい。
- ② 炭酸ガス濃度増加に伴う昇温の速度は、炭酸ガス濃度の増加速度に依存する。
- ③ 炭酸ガス濃度漸増実験では海洋の熱塩循環の強さが弱まる。
- ④ シミュレーションによる今世紀100年間の水位上昇は、温室効果気体の増加のみを考慮した場合5 cm、硫酸エアロゾルの増加による影響も考慮した場合には2 cmとなる。シミュレーションによる来世紀の水位上昇はIPCC1990で示されている2～4 cm/10年の範囲に入る。大気中の炭酸ガス濃度を途中で安定化させても、海面水位は数世紀にわたって上昇し続ける。
- ⑤ 低緯度の降水量の年々変動が増大する。
- ⑥ 降水強度の強い雨が生じる確率が増大する。
「気候変化を引き起こす放射強制力」
- ⑦ 炭素循環モデルを用いた研究によると、人間活動による排出量を1990年レベル以下に削減しなければ、大気中の二酸化炭素濃度は現在の濃度とその2倍の間で安定させることができない。
- ⑧ 硫酸エアロゾル及びバイオマスの燃焼で生じるエアロゾルによる負の放射強制力の大きさは、全球平均して、人為的に排出された温室効果気体の正の放射効果の数割程度と推測される。この推定は、不確実性が高く、エアロゾルの影響は局地的なため、エアロゾルによって温室効果が単純に相殺されると考えることはできない。
- ⑨ 1991年～1993年の間、大気中の二酸化炭素濃度の増加率は、それ以前の10年間の平均増加率と比較してかなり低下した。1993年の後半には、二酸化炭素の増加率が再び増加している。
- ⑩ 1991年のピナツボ火山の噴火は、大気中のエアロゾルを1時的に大きく増加させ、ほぼ2年間に及ぶ地上気温の増加をもたらした。この気温低下は観測から 0.4°C と見積もられ、 $0.4\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ と予測したモデルシミュレーションの結果とほぼ一致した。
- ⑪ 1980年代の陸面の炭素吸収に関する新しい評価により、これまで知られていた吸収源、特に北半球の森林の再生がより正確に表現された。

第2章 気象・水文統計資料に基づく 年平均気温と降水過程の関係

2.1 緒言

本章では過去の温暖な時期と寒冷な時期を抽出し、その間の気象状況や水文現象を比較することによって、地球温暖化がどのような影響を与えるかについて類推を試みた結果について述べる。過去における気温変動の要因について明らかになっているわけではなく、これらの変動は必ずしも炭素ガス濃度の増加の影響によるものではないが、温暖化した場合に生じる現象についての一つの指標を示すと考えられる。

第2章では、気象庁の気象観測所で観測された100年程度の気温・降水量等の気象データを用いて、温暖な時期と寒冷な時期を抽出し、気温変化に対する降雨特性の変化を推定する。特に、温暖化と豪雨・少雨の生起傾向の関係について整理を行った。また、近年の気象の状況について簡単に記述した。

2.2 気温が高い期間と低い期間の降水現象の違い¹⁾

全国47都道府県の県庁所在地における年平均気温データから全国平均値を求め、これを基に10年間移動平均値が最大になる10年と最小になる10年を抽出した。図-2.1に示す期間における気温変動から、最も寒冷な10年は1901-1910年で平均気温は13.84℃、最も温暖な10年は1958-1967年で平均気温は14.58℃である。これらの期間の平均温度差は0.74℃である。平均化するデータの場所の選び方によって、これらの期間は多少前後する。年間平均気温の経年変化は日本全体で一様ではないので、これらの結果の解釈には注意が必要である。抽出された期間は、北半球における平均地上気温の偏差から見て、北半球での温暖な時期と寒冷な時期に対応している。最近のデータを含めると最も温暖な期間は、1980から1990年代前半の間である。

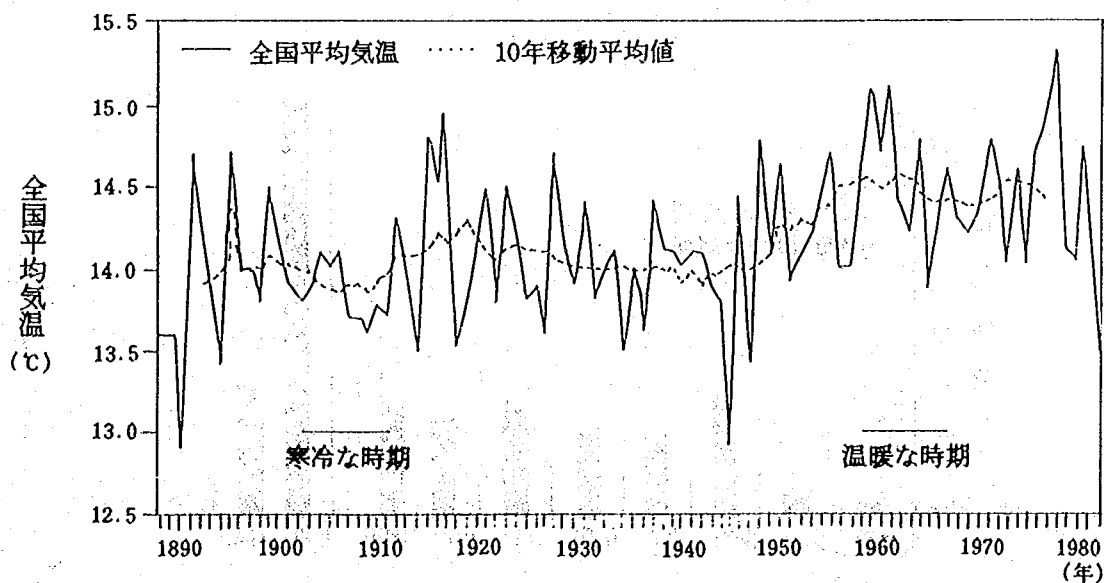


図-2.1 全国年平均気温の経年変化

表-2.1 ブロック別日降水量資料収集地点

| ブロック | 観測地点 |
|------|-----------------------------|
| 北海道 | 旭川、網走、札幌、帯広、釧路、根室、寿都、函館 |
| 東北 | 青森、秋田、宮古、山形、石巻、福島 |
| 関東 | 宇都宮、前橋、熊谷、水戸、甲府、銚子、東京、横浜 |
| 北陸 | 新潟、金沢、伏木、長野、松本、飯田 |
| 中部 | 高山、岐阜、名古屋、津、浜松 |
| 近畿 | 福井、京都、彦根、神戸、大阪、和歌山 |
| 中国 | 境、浜田、下関、広島、岡山 |
| 四国 | 松山、高知、徳島 |
| 九州 | 姪原、福岡、佐賀、大分、長崎、熊本、鹿児島、宮崎、名瀬 |
| 沖縄 | 石垣島、那覇 |

これらの期間における表-2.1に示す全国58か所の気象官署の日降水量が150mm以上及び300mm以上の豪雨の発生回数を、日本を10ブロックに分割して調べた結果を図-2.2(a)(b)に示す。豪雨の発生回数の説明は気温だけではできないが、寒冷期よりも温暖期の方が豪雨の発生回数が増加している様である。2日雨量150mm以上の生起回数でみると、北海道・近畿・中国・四国の各ブロックで温暖期に増加し、関東・中部・九州で僅かに増加し、沖縄では減少している。2日雨量300mm以上の生起回数でみると、関東・北陸・中部・近畿・四国・九州で増加している。

温暖な時期と寒冷な時期について、年間降水量を比較した結果を、図-2.3に、連続最小降水量を比較した結果を図-2.4(a)(b)に示す。年間降水量の変化は明確でないが、ほぼ同程度か、わずかな増加が認められる程度である。一方、最小降水量で見ると温暖期に減少しており、これらの最小値は冬期に生じている。温暖期には豪雨の増大傾向、長期の少雨傾向が生じていることから、温暖期には蒸発量の増大と相まって利用可能な水資源量は減少すると考えられる。

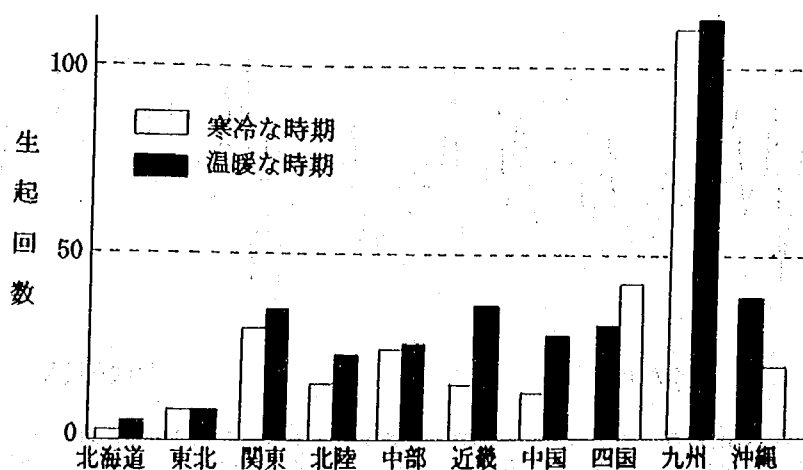


図-2.2 (a) 寒冷な時期と温暖な時期における2日雨量150mm以上の生起回数の比較

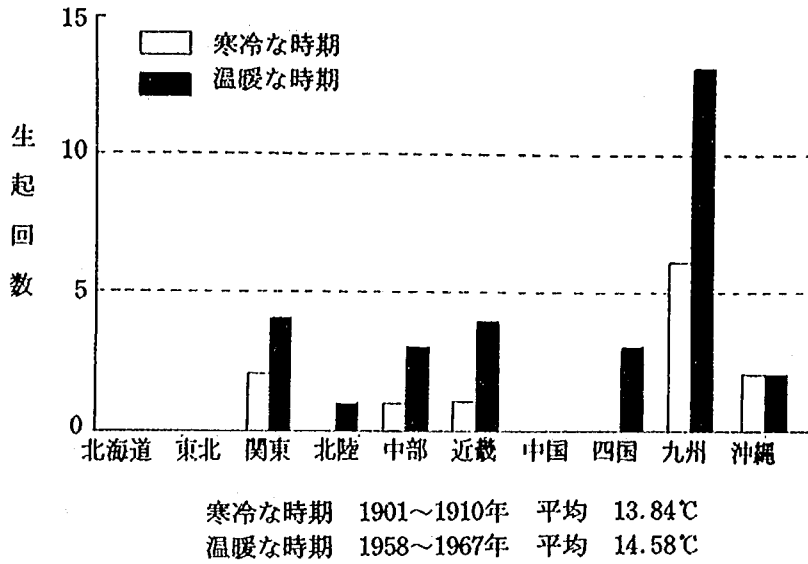


図-2.2 (b) 寒冷な時期と温暖な時期における2日雨量300mm以上の生起回数の比較

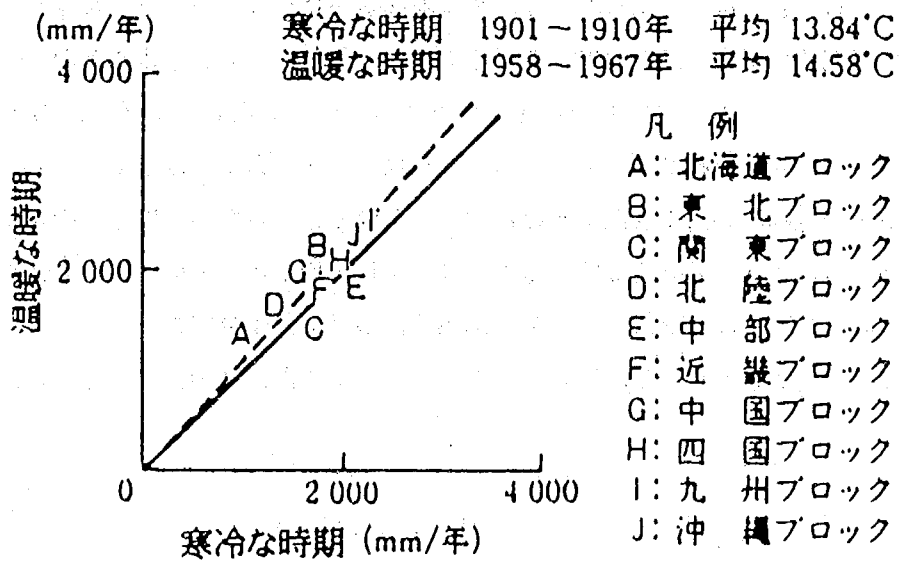


図-2.3 寒冷な時期と温暖な時期における年間降水量の比較

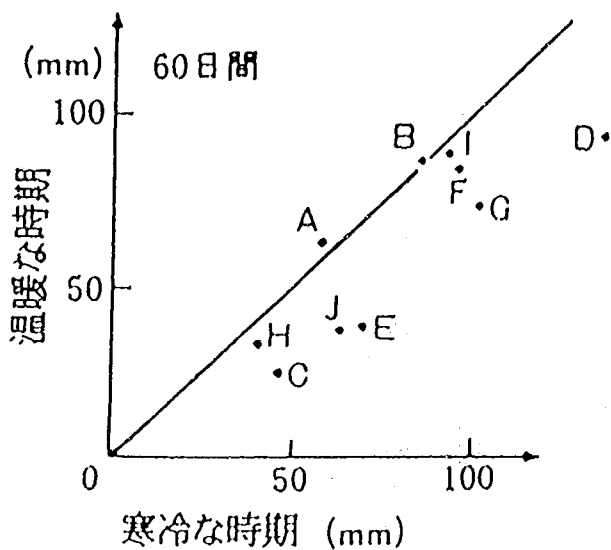


図-2.4 (a) 寒冷な時期と温暖な時期における連続60日間最小降水量の比較

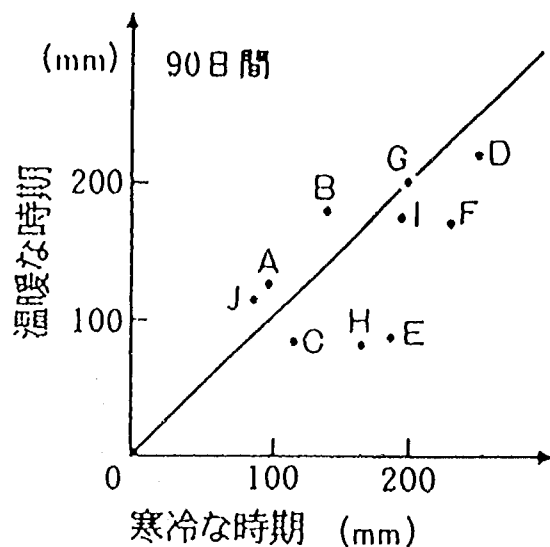


図-2.4 (b) 寒冷な時期と温暖な時期における連続90日間最小降水量の比較

一方、気象庁から発表されている異常気象レポート⁸⁹⁾によると、近年10年間の気象データを見ると日本では全体的に少雨傾向にある。降水量は1950年～1960年でピークを迎えた後に減少傾向にあり、少雨が多く発生している。変動は関東・東海・九州で大きくなっているようである。近年（1980年代）の降水量について上述のものと同様な解析を行うと、過去の寒冷期と比べて有為な差が見られないという報告もいくつかある⁹⁰⁾。したがって、ただ単に長期間の平均気温で抽出するだけでなく、気象に関する全体の状況や変動の状況等の周辺情報を集めて、データの抽出方法・抽出期間長やバラツキ等について検討する必要がある。長期間平均で1℃以内の気温差という小さい変動では、降雨量の差が有為な情報であると確信することは難しい。現在の技術力では長期的な気候の変動の要因や状況を明確にすることはできていない。地球が暖かくなれば、蒸発量と大気中の水蒸気が増えるために、最終的に地球全体では降水量が増えることになると考えられているが、気温の変動と降水量の変動の時間遅れや地域間の現象の関係等については十分明らかになっていないので、過去の気温変動と降水量変動の関係を将来予測に用いるに際しては、そのあたりの限界を念頭に置く必要がある。

2.3 近年の気象状況

ここでは、気象庁などから明らかにされている資料をもとに近年における気象の状況について簡単に要約しておく。

(1) 全体的な傾向

異常気象レポート⁹⁴⁾によれば、過去10年間の全球的な地上気温は過去110年間の中で最も高くなっている。特に暖冬になることが多い。世界各地で干ばつと洪水が頻繁に発生している。アフリカ・南アジア・オセアニアを除いて世界的に既に少雨の発生が多雨の発生よりも多い傾向にあり、これらの地域でも近年少雨になる傾向が認められている。1980年代までは日本においても異常少雨の方が全国的に目立つ傾向にあっ

た。しかし、1988年～1992年に限ってみれば、北海道と南西諸島を除いて全国的に多雨が少雨を上回っているようである。台風の発生数、接近数、上陸数については過去40年間で長期的な変化傾向は認められていない。ただし、日本への接近数や上陸数は発生数に比例する傾向は見られる。海面水温の長期変動は、全球的には1970年代半ば以降昇温傾向にある。一方、日本の東方海域と日本海では、1980年代では水温は低くなっている。

1991年6月にフィリピンのピナツボ火山が今世紀最大級の噴火を起こした。噴煙は高度30kmに達し、大量のエアロゾルが成層圏に放出され、直達日射量が減ぜられ、気象は大きな影響を受けた。このエアロゾルは、半径1 μ m程度以下の微粒子がSO₂等と化学変化を起こし、微少な硫酸エアロゾルとなる。一般に大気中での硫酸エアロゾルの寿命は短い。しかし、このような大量に放出されたエアロゾルは数年間にわたり成層圏に滞留することが懸念されるため、気象庁気象研究所によりエアロゾルの観測が行われた。ピナツボ火山によるエアロゾルは、3週間で地球を1周し、3か月間で南半球にも輸送された。エアロゾルは高度10kmから30kmにかけて層状に存在していた⁹⁾。エアロゾルは太陽放射を散乱・吸収するため、下部成層圏を昇温させ、その下の対流圏を降温させる。1991年から1992年にかけての観測結果では、気温の低下が見られ、このような火山噴火の影響がその一因となっている⁹⁾と考えられている。

(2) 1993年の冷夏と1994年の猛暑の状況

1993年は異常な冷夏となり、1994年は猛暑となった。これらは、気候変化や地球温暖化が直接的に影響したものであるとは判断できないが、いくつかの状況について述べる。

異常気象レポート'94⁹⁾によると、1993年は、南西諸島を除き、顕著な低温・日照不足、東日本・西日本で多雨が認められ、全国的な冷夏となった。夏期(6月～8月)の平均気温は、北日本の太平洋側で平年より2.0℃～2.5℃低く、南西諸島を除くその他の地域では1～2℃低かった。夏期の降水量は平年の1.5～2.5倍と多く、その反面日照時間が平年の50%～80%と少なくなり、東北・北海道を中心に農作物に大きな被害が出た。特に、米不足が社会的な現象として現れた。主要な都市では以下のものであった。札幌では少雨傾向で低温であり、仙台でも夏期に低温であった。東京では台風による大雨が発生し、鹿児島では夏期の3か月雨量が平均年間降水量を越えた。1993年は北太平洋高気圧が本州上空を覆うことは少なく、前線が停滞してることが多かった。7月から8月中旬にかけて曇天や雨天が続いたために、梅雨明けの日は特定されなかった。また、台風は7月に3個上陸し、8月に2個が接近または上陸した。

1994年の状況については、気象庁によると夏期の平均気温が、平年よりも1.5℃～2.0℃以上高く、最高気温は多くの場所で記録を更新した。空梅雨であったことと台風の来襲が少なかったことから、降水量が非常に少なかった。北陸・近畿・中国地方・九州北部の地域及び関東・東海の一部地域では、夏期の降水量は平年の40%程度であった。この高温・少雨傾向は夏以降も西日本を中心に各地で続いた。このため、西日本における多くの場所で、特に四国や北九州で水不足となった。この水不足は、市民の生活や農業・工業等へも大きな影響を与え、特に、飲料水や工業用水の不足が目立ち、多くの地域で断水が続いた。米は豊作となったが、日照りが続いたために一部の農作物には被害が出た。

2.4 今後の課題

過去100年間の気温・降水量データから温暖な時期と寒冷な時期を抽出し、気温の変化と降水量の変化について検討した結果、豪雨が増大する傾向が見られた。しかしながら、温暖な時期に近年のデータも含めるとここで得られたような関係が明確に現れないという結果もある。気温だけを指標としたことに問題点がある可能性もあり、また10年間という期間では現象をとらえられない可能性もある。したがって、今後、気温の影響だけでなく、他の現象の影響やデータのバラツキまで含めた検討を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 吉野文雄・丹羽薫・石井典夫・盛谷明弘：寒冷な時期と温暖な時期との降雨特性の比較検討，水文・水資源学会1990年研究発表会要旨集
- 2) 気象庁編：異常気象レポート'89，1989.
- 3) 丹羽薫・盛谷明弘：長期観測資料に基づいた温暖化の水資源への影響評価，水工学論文集第35巻，1991
- 4) 中津川誠：積雪寒冷地流域の水文現象のモデル化と環境変化がそれらに与える影響に関する研究，開発土木研究所第106号，1995.
- 5) 気象庁編：異常気象レポート'94，1994.

第3章 地球温暖化時の日本域における 可能蒸発量の変化に関する簡易な予測

3.1 緒言

流域規模での水資源賦存量の変化を予測する方法として、気象モデルに基づいて降水量や蒸発量を求める方法が考えられる。4章以降に説明する方法を用いることにより、日本各地における温暖化に伴う降水量の変化を求めることができる。得られた降水量分布を水文モデルに用いることによって、流域規模の流出の変化等を捉えることができるが、降水量や水文モデルには不確定な問題が含まれている。そこで、まず大まかに水収支への影響をマクロに把握することも重要である。

地球温暖化に伴う気候変化によって、降雨量だけでなく蒸発量も変化する。流出現象をマクロに考えれば、降雨量から蒸発量を差し引いた水資源賦存量が流出すると考えられる。蒸発量については各地点の気候値を用いておおまかに評価することができる。本章では、現在の気象や水資源に関する情報を把握してメッシュ情報¹⁾に変換したデータベースを作成し、このようなデータベースに気候変化シナリオを入力することによって、温暖化時における日本での蒸発散量及び流出高の変化の予測を試みた結果について報告する。

3.2 データのメッシュ化

温暖化の影響を評価するために用いる気候値として、気温・風速・日照時間・相対湿度・気圧・降水量・流出高の8項目について、月単位のメッシュデータを作成した。メッシュの大きさ及び対象範囲は、国土数値情報の3次メッシュ(経度30秒、経度45秒、約1km×1km)4つ分を1メッシュとして日本全域をカバーした。次に、6章以降で用いる日本域を対象としたメソスケール気象・水文モデルとデータリンクが容易な様に、図-3.1に示すような範囲を対象とした20kmメッシュデータとして整理を行った。

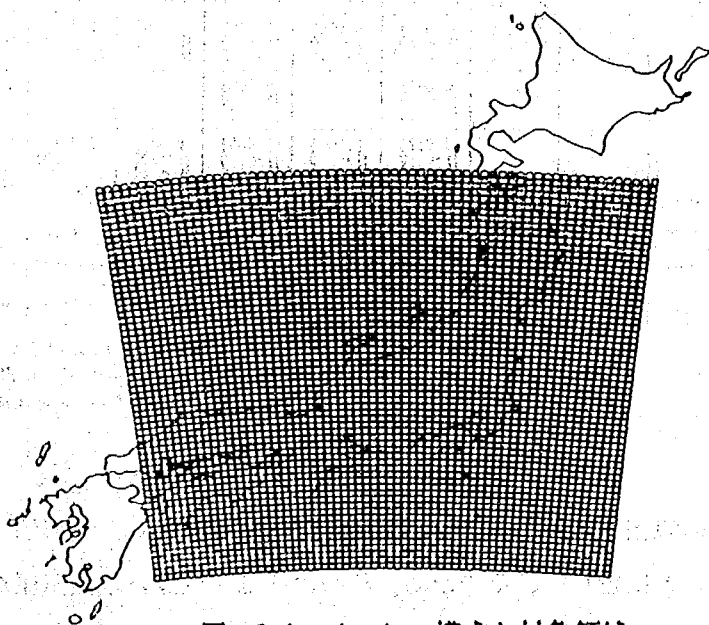


図-3.1 メッシュ構成と対象領域

各地点におけるメッシュデータの作成にあたり、以下のデータを収集した。気温・風速・日照率・降雨量については、気象庁アメダスデータ(853地点)を、相対湿度・気圧については気象庁普通気象観測署(153地点)のデータを、流出高については建設省の流量観測データ(78地点)を用いた。データはいずれも、1979年～1990年の12年間の気象値を月平均値に整理したものをを用いた。

(1) 気温・風速・日照率

データを観測されていないメッシュ点上に配置するためには、何らかの形でデータを補間する必要がある。これらの気候値は、地形や場所の影響を強く受ける。そこで、観測された気候値を目的変数とし、地形的・地理的因子を説明変数とした重回帰モデルを作成し、未観測地点のメッシュ気候値として表すこととした。表-3.1は、気温の重回帰パラメータと重相関係数の1例を示している。

表-3.1 気温の重相関係数

| 項目 \ 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1. 平均標高 (a) | | | | | | | | | | | | |
| 2. 最大標高 (a) | | | | | -0.0006 | -0.0007 | | | | | | |
| 3. 最小標高 (a) | -0.0013 | -0.0028 | -0.0008 | | | | | | | -0.0007 | -0.0007 | |
| 4. 標高差 (a) | 0.0009 | | | | | | | | | | | |
| 7. 海岸からの距離 (東 km) | | | | | | 0.0026 | 0.0029 | 0.0023 | | | | 0.0027 |
| 8. 海岸からの距離 (西 km) | 0.0014 | 0.0014 | 0.0014 | | 0.0014 | | | | 0.0008 | 0.0014 | 0.0016 | |
| 9. 海岸からの距離 (南 km) | -0.0106 | -0.0109 | -0.0114 | -0.0101 | -0.0089 | -0.0072 | -0.0079 | -0.0052 | -0.0070 | -0.0079 | -0.0020 | -0.0084 |
| 10. 海岸からの距離 (北 km) | | | | | | | | | | | | |
| 11. (2R+1) × (2R+1) メッシュ内の平均標高 (m) | | 0.0016 R=6 | | 0.0005 R=4 | 0.0011 R=20 | 0.0008 R=20 | | | 0.0005 R=2 | | | -0.0009 R=12 |
| 12. (2R+1) × (2R+1) メッシュ内の標高差 (m) | 0.0007 R=10 | 0.0003 R=10 | 0.0005 R=10 | 0.0005 R=10 | 0.0003 R=20 | 0.0011 R=2 | 0.0012 R=2 | 0.0002 R=20 | 0.0006 R=10 | 0.0005 R=10 | 0.0006 R=10 | 0.0006 R=10 |
| 13. (2R+1) × (2R+1) メッシュ内の傾度 ¹⁾ (%) | -0.0307 R=8 | -0.0169 R=8 | -0.0145 R=8 | | 0.0130 R=20 | | -0.0087 R=20 | -0.0037 R=6 | -0.0086 R=6 | -0.0169 R=8 | -0.0273 R=8 | -0.0305 R=8 |
| 14. (2R+1) × (2R+1) メッシュ内の傾度 ²⁾ (%) | | -0.0128 R=8 | -0.0114 R=8 | -0.0072 R=8 | R= | R= | R= | R= | R= | -0.0116 R=8 | | -0.0097 R=8 |
| 15. (2R+1) × (2R+1) メッシュ内の方位別傾度 N (%) | | 0.0059 R=20 | 0.0068 R=20 | 0.0080 R=20 | 0.0065 R=20 | 0.0033 R=20 | 0.0052 R=20 | 0.0026 R=20 | 0.0049 R=20 | 0.0053 R=20 | | 0.0050 R=20 |
| 16. (2R+1) × (2R+1) メッシュ内の方位別傾度 E (%) | | | 0.0053 R=20 | 0.0089 R=20 | 0.0053 R=20 | 0.0050 R=12 | 0.0059 R=18 | 0.0065 R=18 | 0.0026 R=20 | 0.0039 R=20 | | |
| 17. (2R+1) × (2R+1) メッシュ内の方位別傾度 S (%) | | | | | 0.0017 R=20 | | 0.0054 R=20 | | | | | |
| 18. (2R+1) × (2R+1) メッシュ内の方位別傾度 W (%) | -0.0081 R=20 | | | | -0.0121 R=20 | -0.0055 R=9 | -0.0054 R=9 | 0.0030 R=20 | -0.0081 R=20 | | | -0.0081 R=9 |
| 19. (2R+1) × (2R+1) メッシュ内の方位別傾度 | -0.0019 S R=20 | -0.0022 S R=20 | -0.0019 S R=20 | -0.0012 S R=20 | -0.0024 S R=20 | 0.0046 NE R=14 | 0.0054 NE R=14 | 0.0034 NE R=16 | -0.0014 S R=20 | -0.0020 S R=20 | -0.0024 S R=20 | -0.0024 S R=20 |
| 定数 | 5.8485 | 5.3067 | 8.2485 | 11.6628 | 15.6646 | 21.0039 | 24.6894 | 25.8947 | 21.4489 | 17.4033 | 13.2818 | 8.1765 |
| 山川内比 | 0.7319 | 0.7221 | 0.7194 | 0.6718 | 0.6591 | 0.6750 | 0.6764 | 0.6343 | 0.6626 | 0.7120 | 0.7268 | 0.7514 |

¹⁾ 傾度: 平均標高が10m以上のメッシュの占める割合
²⁾ 傾度: 中心メッシュの平均標高よりBm低いメッシュ数の総メッシュ数に対する割合

(2) 相対湿度・気圧

相対湿度と気圧は、これらの観測地点数が、メッシュの数に対して少なく、地形的・地理的因子を説明変数とした重回帰モデルで表すことは難しい。そのため、相対湿度は、気温と水蒸気圧から、気圧は当該メッシュ近傍の4観測所のデータを距離の逆数で重み付けして平均化することにより求めた。

(3) 可能蒸発量

図-3.2のフローに従って、メッシュ化した気温・風速・日照率・相対湿度・気圧等の気候値をペンマン式に代入し、月毎の可能蒸発量がメッシュデータとして算定される。ペンマン式は次のように表される。

$$E_p = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \left[\frac{R_N - Q_G}{L} \right] + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u) (e_{sat}(T_s) - e(T_s))$$

$$f(u) = 0.26 (0.5 + 0.54u)$$

ここで、 E_p ：ペンマン式による蒸発量， R_N ：正味放射量， Q_G ：地中熱流量， L ：水の気化熱， T_s ：表面温度， e_{sat} ：飽和水蒸気圧， e ：水蒸気圧， Δ ： T_s °Cにおける飽和水蒸気圧の勾配， γ ：乾湿計定数である。

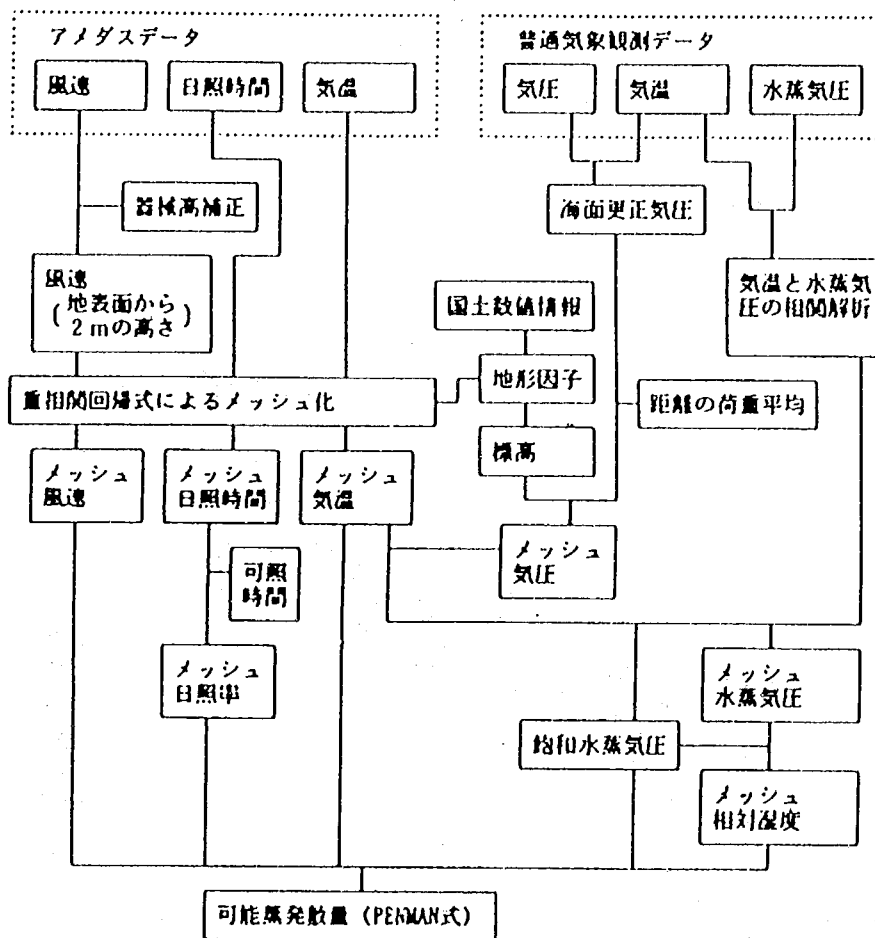


図-3.2 気候メッシュデータフロー

(4) 降水量

降水量は、アメダスによる月降水量を観測所毎に12年間分平均した。各メッシュ上の雨量は、観測所を含むメッシュは、その地点の観測所のデータをそのまま使い、メッシュ内に観測所がない場合には、当該メッシュ周囲8メッシュの降水量を平均化した。

(5) 流出高

できるだけ下流に位置し、なおかつ取水などの人為的な影響が少ないと思われる流量観測所を各1級河川の流域毎に1箇所選定し、その地点の流量を流域面積で除して、代表的な流出高とした。各メッシュの流出高は、これを用いて以下の手順に従って計算した。

- ・各流域に含まれるメッシュを抽出する。
- ・降水量と可能蒸発量のメッシュデータを用いてメッシュ単位での仮流出高 q を求める。
- ・仮流出高 q から流域毎の仮流出高を算定し、実流量から算定した水系の流出高との比 α を求める。
- ・仮流出高 q に α を乗じたものを各メッシュの流出高とする。

すなわち、現在の流出高と降水量の観測値から実蒸発量を逆算し、可能蒸発量と蒸発量の比を求めて、蒸発量・流出高を予測している。この比は蒸発過程における植生や土壌等の種々の影響をマクロに表すものであると考えられる。温暖化によって流域の植生状況などが変化すれば、この比の値も変化することになるが、現段階でこの変化を求めることは難しい。ここではその比の変化は小さいものと仮定して、本章での計算では温暖化時にも同一の値を用いることにした。

現況における流出高の分布を図-3.3に示す。飛騨～日本アルプス、奥羽山地等で流出高が大きく、水資源が豊かであることが分かる。

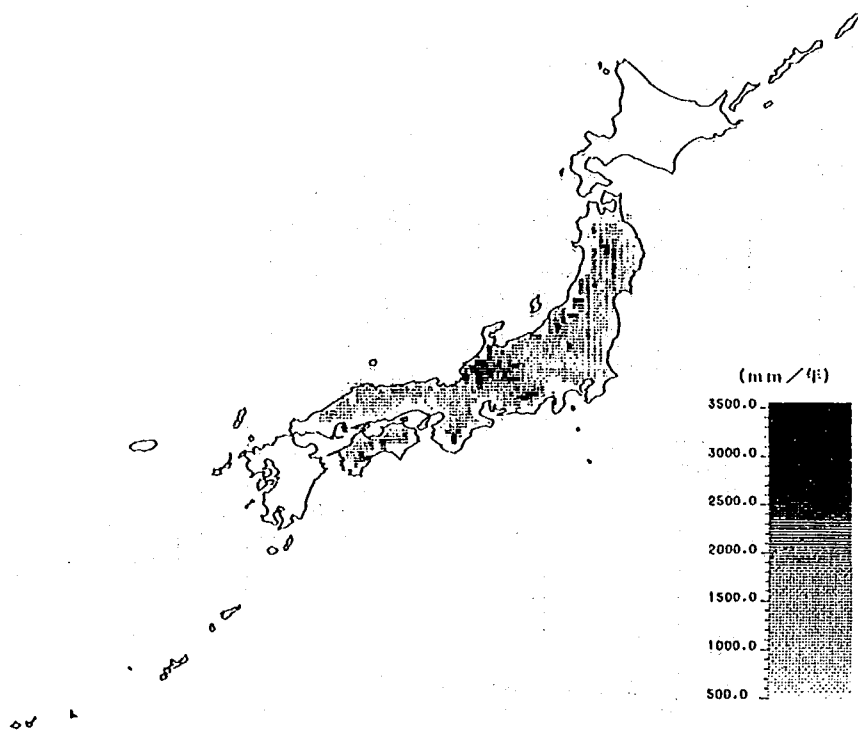


図-3.3 現況における年流出高の分布

3.3 メッシュデータの基づく可能蒸発量の予測

地球温暖化に伴う蒸発量や流出高の変化を、気温や湿度等が変化した以下の6つのシナリオを仮定して求めた。

- ① 気温+2℃, 相対湿度現状 ④ 気温+2℃, 相対湿度+10%
- ② 気温+3℃, 相対湿度現状 ⑤ 気温+3℃, 相対湿度+10%
- ③ 気温+4℃, 相対湿度現状 ⑥ 気温+4℃, 相対湿度+10%

シナリオは日本域で生じるであろう昇温温度である+2℃～+4℃の範囲に選んだ。地球全体での昇温温度は+1.5℃～+4.5℃とされているが、基本的に赤道付近の昇温はあまりなく、極付近では平気昇温温度の2倍以上も上がると言われている。したがって、日本でも一律に気温が上昇するわけではなく、昇温温度は、北海道・東北では九州・四国の2倍程度になる可能性があることに注意しておく必要がある。蒸発量は先に述べた可能蒸発量がペンマン式によって求められており、これを用いて最終的に流出高が求められることになる。

図-3.4(a)(b)(c), 3.5(a)(b)(c)に各シナリオにおける年間可能蒸発量の変化量をメッシュマップ上で示す。また、日本の代表的な14都市における現況の年間可能蒸発量及び各シナリオにおける年間可能蒸発量を表-3.2に示す。図から、元々暖かく蒸発量が多い本州南西部では、気温上昇量や湿度が多少変わっても、年間蒸発量の変化量は20～30mm/年前後であり、気候変動による大きな変化は見られない。一方、東北地方や越後山脈・飛騨山脈等の山間部で蒸発量が増大している。これは年間蒸発量のおよそ6%～10%程度に相当する。シナリオ⑥に対する都市部の蒸発量の変化量は、秋田の57mm/年が多く、東京の24mm/年が少ない。寒冷的な地域では相対湿度の変化の影響は小さく、気温変化が可能蒸発量に与える影響が大きいことが分かった。ただし、一般的に、相対湿度が高い方が極僅かに蒸発量が増大する傾向が見られる。

図-3.6(a)(b)(c), 3.7(a)(b)(c)に各シナリオにおける年間流出高の分布をメッシュマップ上で同様に示す。ここでは、降雨量は現状のものを用いている。流出高は蒸発量に比べて変化が顕著に現れていない。これは、蒸発散量よりも降雨量の方が3～5倍多く、蒸発量の変化が相対的に現れにくくなっているためである。

表-3.2 全国の主要都市域における現況の年可能蒸発散量と気候変化シナリオによる年可能蒸発散量の変化量

| 都市名 | 現況の年可能蒸発散量 (mm/年) | 気候変化シナリオによる年可能蒸発散量の変化量 (mm/年) | | | | | |
|-----|----------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | 気温:+2℃ 相対湿度:変化なし | 気温:+3℃ 相対湿度:変化なし | 気温:+4℃ 相対湿度:変化なし | 気温:+2℃ 相対湿度:+10% | 気温:+3℃ 相対湿度:+10% | 気温:+4℃ 相対湿度:+10% |
| 秋田 | 701.5 | 42.7 | 50.2 | 56.2 | 41.1 | 50.2 | 57.4 |
| 仙台 | 721.9 | 22.6 | 28.7 | 34.0 | 24.7 | 32.0 | 38.3 |
| 新潟 | 811.3 | 13.6 | 19.1 | 24.2 | 15.2 | 21.9 | 28.0 |
| 金沢 | 810.6 | 12.2 | 17.7 | 22.7 | 16.0 | 22.4 | 27.7 |
| 東京 | 829.2 | 8.8 | 13.0 | 17.0 | 14.2 | 19.0 | 23.9 |
| つくば | 798.5 | 10.5 | 15.3 | 20.1 | 17.6 | 22.9 | 28.3 |
| 松本 | 839.8 | 13.1 | 18.4 | 23.6 | 21.2 | 27.2 | 32.8 |
| 静岡 | 833.8 | 10.5 | 15.3 | 20.2 | 19.9 | 24.8 | 30.5 |
| 名古屋 | 882.3 | 11.4 | 17.2 | 22.2 | 19.0 | 25.1 | 30.9 |
| 大阪 | 881.2 | 10.8 | 15.5 | 20.4 | 18.8 | 24.2 | 29.9 |
| 松山 | 834.4 | 11.2 | 16.3 | 21.3 | 15.7 | 21.3 | 26.9 |
| 広島 | 882.3 | 11.0 | 16.0 | 20.9 | 19.3 | 25.1 | 30.7 |
| 高松 | 891.0 | 11.4 | 16.7 | 21.6 | 19.4 | 25.3 | 31.0 |
| 高知 | 880.1 | 11.0 | 16.3 | 21.3 | 21.0 | 26.8 | 32.3 |

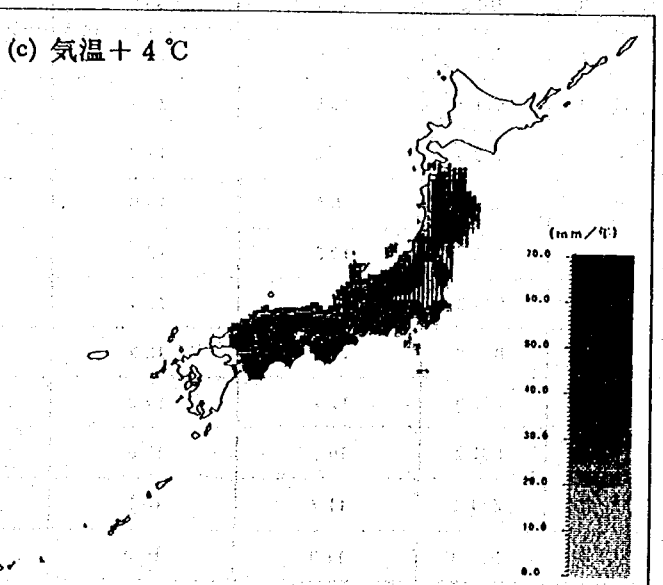
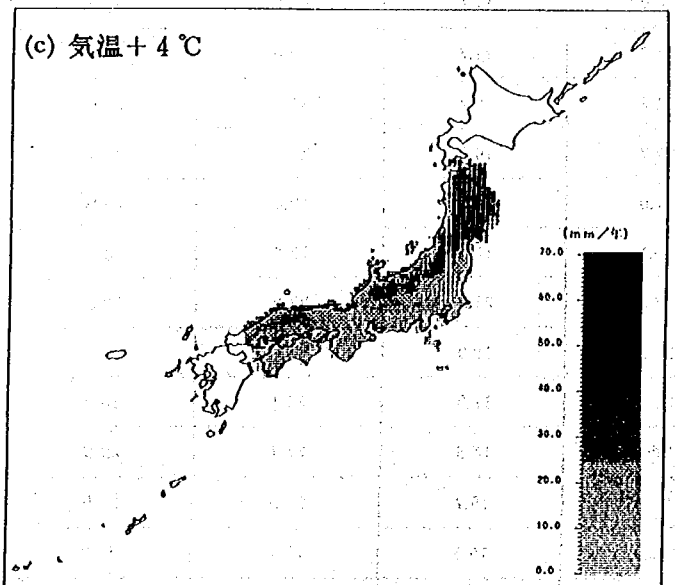
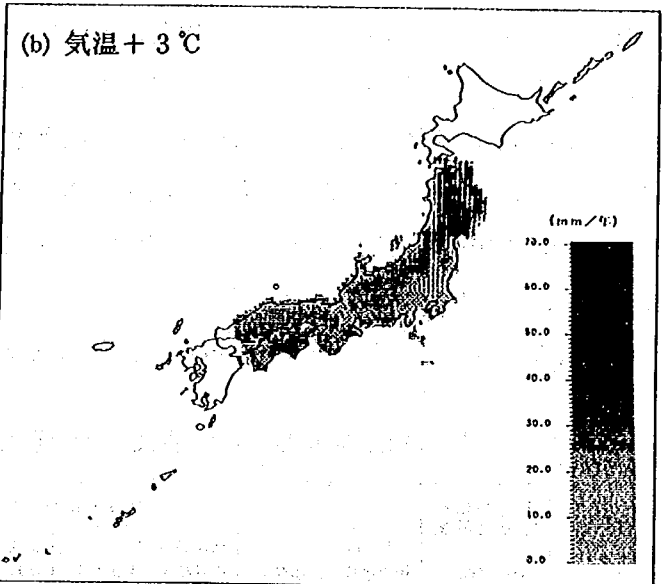
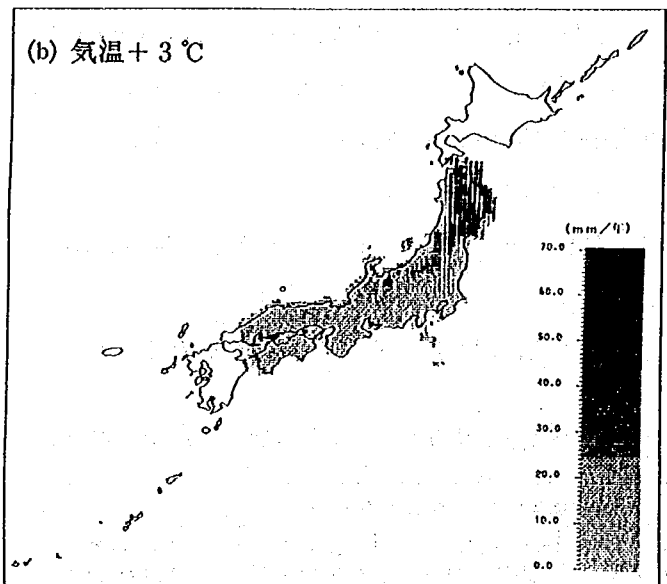
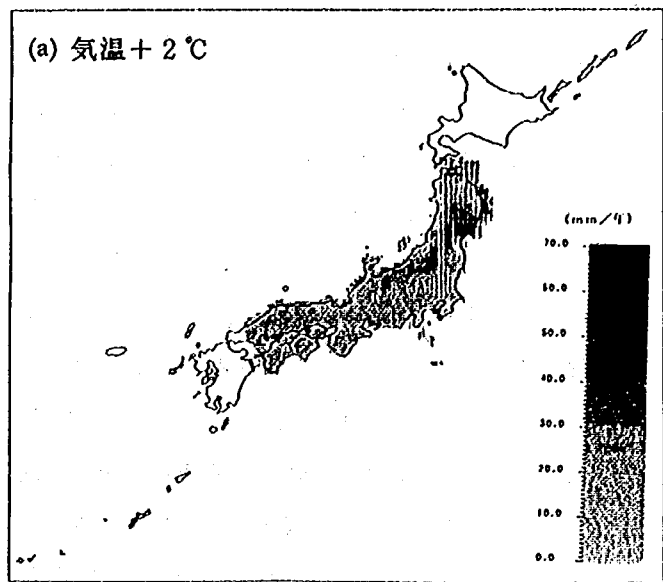
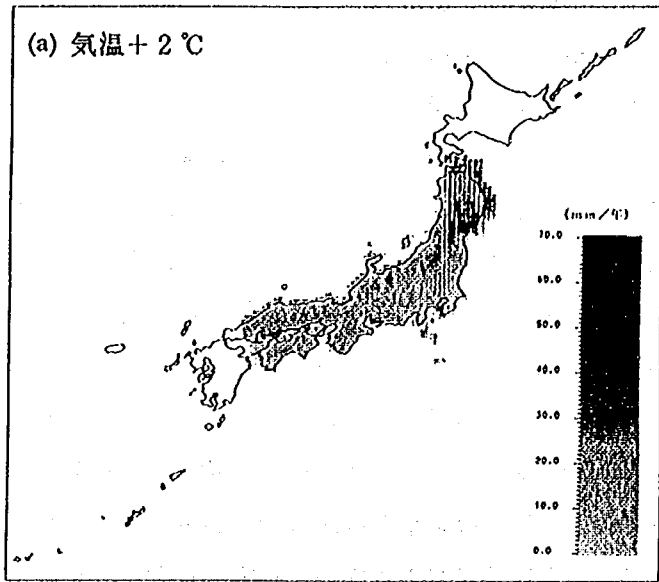


図-3.4 年可能蒸発量の変化 (相対湿度：現状)

図-3.5 年可能蒸発量の変化 (相対湿度：+10%)

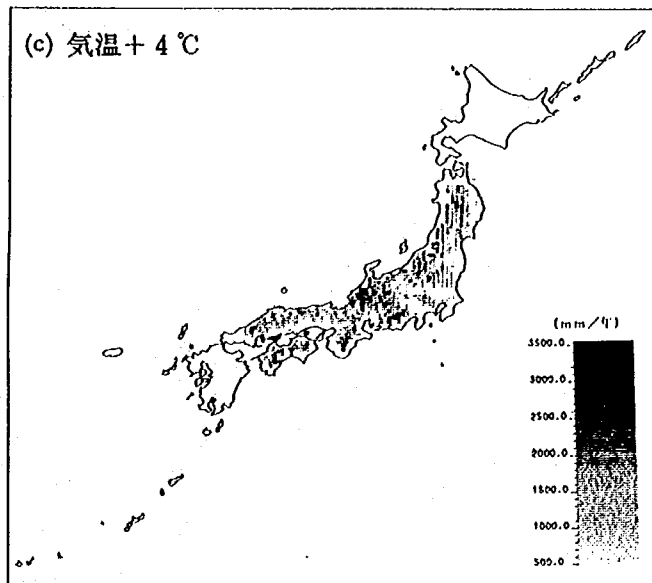
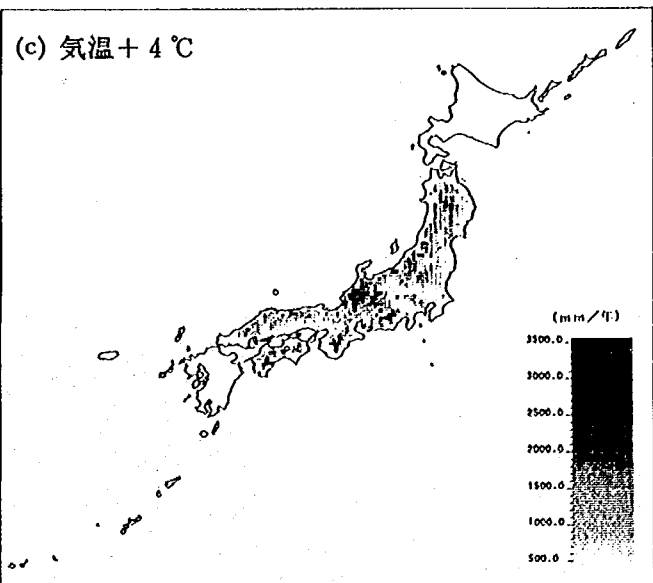
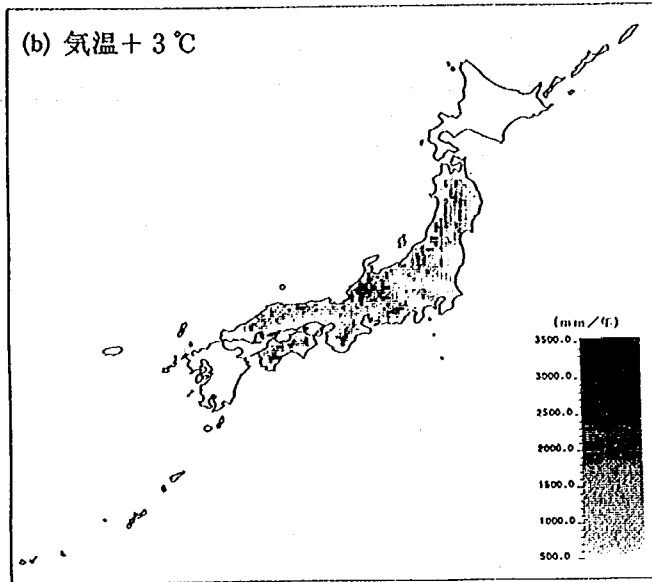
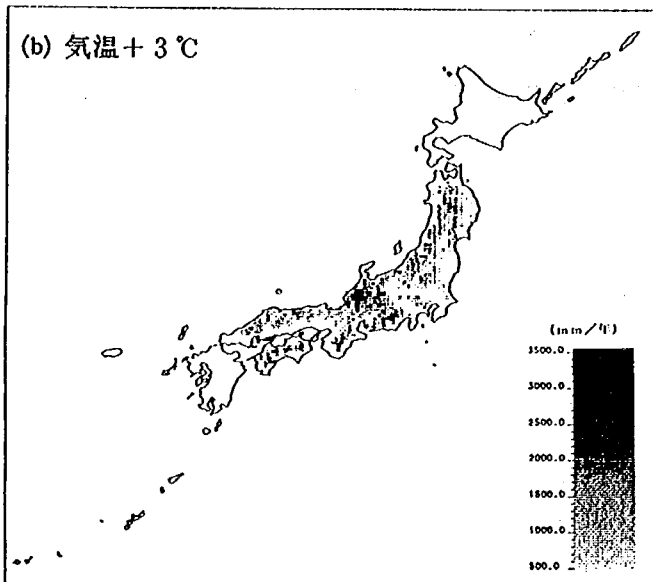
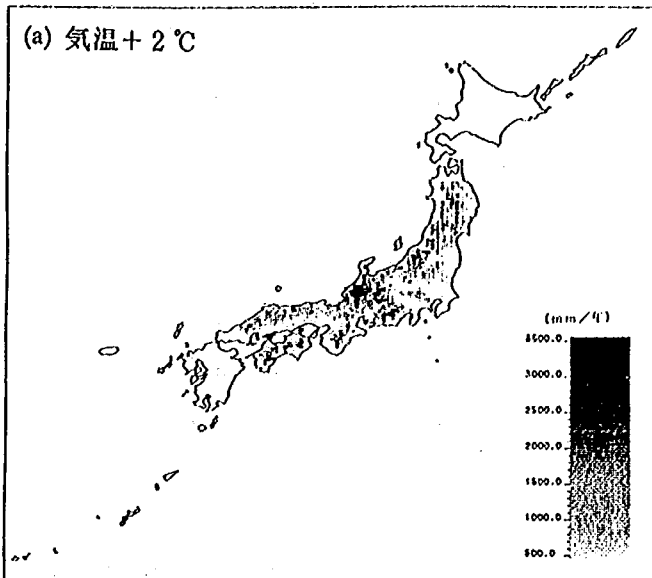
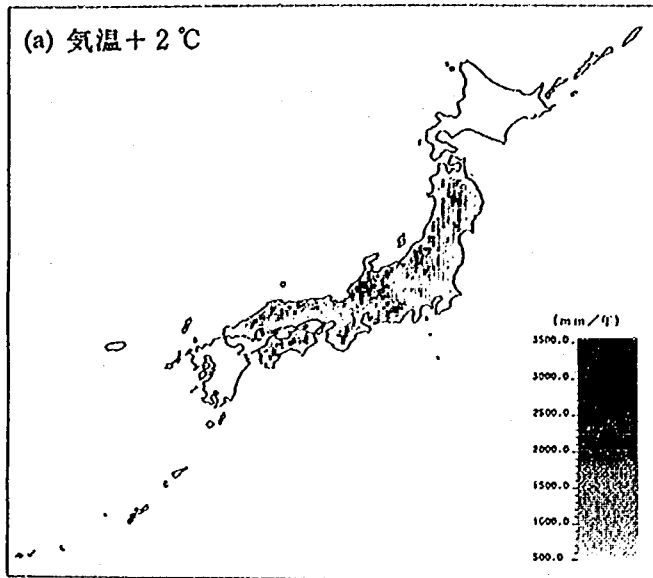


図-3.6 年流出高の変化 (相対湿度：現状)

図-3.7 年流出高の変化 (相対湿度：+10%)

3.4 まとめ

気象観測値をメッシュ化したデータを用いることによって、日本域における各気候値の面的分布状態を把握した。気候変化シナリオを仮定し、これらの条件に対する可能蒸発散量の変化を推定した。その結果、以下のことが分かった。

- 1) 元々温暖な日本南西部では気候変動に伴う蒸発量の増加は小さい。一方、東北等の寒冷な北部地域等において、可能蒸発散量の増加が大きく、年間蒸発散量の1割程度増加する可能性がある。
- 2) 年間総降雨量の方が年間総蒸発量よりも数倍大きいので、蒸発量の変化が流出高（水資源賦存量）に与える影響は、降水量変化の影響に比べて相対的に小さいと考えられる。

参考文献

- 1) 堀内輝亮・吉谷純一・益倉克成：気候変化影響予測のための気候メッシュデータの利用，土木学会第47回年次学術講演会，1992.
- 2) 松浦達郎：気候メッシュデータを用いた地球温暖化が流出に及ぼす影響の評価手法，土木研究所研究発表会論文集，1994.

第4章 気象研究所(MRI) GCM の出力結果 における地球温暖化の影響

4.1 緒言

炭酸ガス濃度の変化に起因する地球環境の変化を予測するためには、GCM の出力結果を用いて種々の解析やシナリオ作成を行うことが有効な手段となる。しかし、第1章で述べたように現在地球温暖化予測に用いられている GCM では解像度が粗いために、狭い範囲で地形が複雑に変化する日本における地域的な降水特性等を表すことはできない。

そこで、気候変化に伴う日本域における降水量の変化を GCM の出力結果を用いて予測するために、本報告書では大きく分けて2つの解析方法を採用している。一つは、気圧配置型等の気象パターンと各都市における降雨の確率過程関係を明らかにし、気象パターンの変化から降水量の変化を予測する方法である。この方法は、数値予報以前の天気予測に用いられていた総観気象学的な考え方に基づくものである。もう一つは、GCM の出力結果をそのまま用いて、メソスケール気象・水文モデルをネスティングすることによって直接的に解像度を上げて日本各地の降水量を予測するものである。

これらの予測結果は用いる GCM の予測結果に依存する。一方、種々の GCM を用いて求められた温暖化時における気象、特に降水現象の地域性に関する予測結果は異なっているのが現状である。したがって、用いる GCM の結果が異なれば、本文で得られる結果も当然異なる可能性がある。しかしながら、本研究で開発された技術は、他のモデルに対しても適用することが可能であり、将来 GCM の精度が向上すれば得られる結果の精度も上がると考えられる。

本研究では、気象研究所から提供された MRIGCM のデータを用いて、種々の解析を行っている。本章では MRIGCM の概要を紹介した上で、GCM の結果から直接読みとれる地球温暖化の影響について述べる。

4.2 MRIGCM の概要¹⁾

MRI・GCM-I (気象研究所大気大循環モデル) は、Arakawa らによる UCLA モデルを母体に1980年代初めに開発されたものであり、いわば一世代前のモデルである。地球温暖化予測等では長期にわたる解析が必要なため、Running の負荷が小さいこのような一世代前のモデルが用いられていることが多い。MRIGCM では、静水圧を仮定したプリミティブ方程式が用いられている。運動方程式、質量・熱エネルギー・水分量の移送方程式、熱力学の法則を連立させ、大気の状態を求めている。このモデルは、積雲対流、大気境界層、地表面過程日変化・季節変化を表現する放射をサブモデルとして含んでいる。

現在のモデルは、全球スペクトル展開したスペクトル法による GSM であり、さらに解像度の上がったモデルが気象予測に運用され、そのデータは GPV として公開されることになっているようである。MRI-GCM については、気象研究所技術報告等²⁾で詳しく説明されているので、ここでは簡単に要約し、モデルの特徴をかい摘んで述べることにする。

(1) 差分法

鉛直方向には、地表付近で σ 座標系、 $p=p_1$ より上で $\ln P$ が等間隔となるように分割されており、対流圏の5層モデルと成層圏も含んだ12層モデルがある。本研究では5層モデルの結果を用いている。上端では、開放の境界条件を与える代わりに、不透過条件に対してスポンジ層を与えて反射波を減衰させている。モデルでは、球面座標が採用され、緯度方向と経度方向に一定間隔で分割されている。間隔は緯度方向 4° 、経度方向 5° であり、日本近辺では1メッシュは約300km程度になる。水平方向の差分スキームには、Arakawaによって提案されたエネルギーとエンストロフィーを保存するArakawa Schemeが採用されている。球面座標を用いて差分を用いると、極で座標変換ができなくなる（向きが不定になる）特異点になり、またグリッド間隔が狭くなる等の問題が生じる。前者に対しては、極で風速を用いないようにし、後者に対しては、いくつかの項に対して平滑化を行っている。時間積分には、基本的にリープフロッグ法を用いている。非断熱項の計算は、時間間隔が異なっており、この計算の直後に松野スキームで解析時間を合わせるようになっている。

(2) 積雲対流

水蒸気の変化は、生成・消滅過程と移流過程で表現されている。積雲対流モデルには、Arakawa & Schubertの理論を基にした積雲モデルと積雲マスフラックスモデルから構成されている。潜熱の放散は、凝結、積雲降雨、中間層の対流降雨等をパラメータ化することで表している。降水量は地表面の温度で、雨と雪に判別される。

積雲は、それが誘起する補償下降流で周囲を昇温・乾燥化させ、雲頂で放出する飽和した気塊の蒸発・混合で周囲を冷却、湿潤化する。雲頂が -20°C より低い層に接した場合には、氷結過程が取り込まれている。大規模場（パラメタリゼーションする現象スケールよりも大きい場）において、湿潤不安定になると積雲集団が発生し、補償下降流の作用で不安定状態が解消され、大規模場が安定になると積雲の発達を抑えられると考える。このような準平衡状態として大規模場の現象が決まるとして、積雲対流のマスフラックスが算定され、気温・水蒸気量の変化が計算される。

(3) 大気境界層 (Planetary Boundary Layer)

地表面でのフラックスは熱量、水分量、運動量フラックスはバルク法で与え、大気境界層上面でのフラックスは、乱流運動のエネルギー収支に基づいて行われる。バルク輸送係数には、Deardorffのものが用いられている。

(4) 対流調節

GCMの水平方向のグリッドスケールは大きいために自由対流などの鉛直混合は起こり難く、静水圧近似を用いると鉛直方向運動は解かれない。そのため、人工的に何の調整もしなければ、実際には起こり得ないくらいに地表面が熱い不安定な大気状態となってしまう。そのため、対流調節と呼ばれる手法を用いて大気が不安定な密度分布の状態のままにならないように、鉛直方向の熱・水蒸気輸送を見積り、鉛直方向の混合を考慮している。

対流調節の手順は、乾燥対流調節、湿潤対流調節を行い、最後に大規模凝結の可能性を判断する。乾燥対流調節では、成層が絶対不安定にならないように判別し、不安定な場合には乾燥静的エネルギーを保存するように中立な状態にする。また、上下2層の内、下層の湿潤静的エネルギーが上層の飽和湿潤静的エネルギーを越えると湿潤不安定な状態になる。上層では対流雲から放出される湿った気塊で湿潤化され、下層では

水蒸気を失う。これと同時に、上層では対流雲の補償下降流で暖められて安定化する。グリッドの水蒸気が過飽和になると大規模凝結が起こるとする。この時、湿潤静的エネルギーを保存し、かつ湿潤曲線上にのるようにし、雨はすぐ下の層に落下させ、そこで一度蒸発させる。この手順が繰り返される。

(5) 地表面過程

モデルの中で地表面の種類は、海洋・海水・陸水・湖・陸地に分類されている。海面温度及び海水分布は気候値に基づいて与えられている。すなわち、MRIGCMは海洋結合モデルではなく、海洋の状態変化まで考慮した予測はできない。

水文過程は、基本的に真鍋の方式に基づき、土壌中に含み得る最大含水量をデータとして与え、これを越えた水分は流出として扱っている。蒸発量は、可能蒸発量と土壌湿潤度から算定している。

(6) 放射

放射の解析に用いる水蒸気とオゾンには予報値を用い、炭酸ガス濃度は一定の割合としている。雲については、大規模場での凝結による雲、背の高い積雲に伴う巻き雲、積雲、中層対流による凝結、大気境界層内の層雲を想定しており、初めの2つについて放射と相互作用を考慮し、黒体度を0.5としている。また、太陽放射に対して散乱と吸収を考慮している。ただし、エアロゾルの影響は考慮されていない。

4.3 MRIGCM の出力結果における気候変化に伴う気温・降水量の変化

(1) 全球における傾向²⁾

地球温暖化に伴う降水特性の変化を予測することは、温度上昇や海面上昇の予測よりも難しい。これは、GCMの解像度の問題と雲の取扱いの問題に起因している。しかしながら、気候変化に関する各機関所属のGCMの解析結果から、多くの研究者の意見が一致するところでは、

- ① 温室効果気体が二酸化炭素相当量で2倍になることによって、全球平均での降水量が7~18%程度増加する。(気象庁の予測によると、1.2℃~3.0℃の気温上昇に伴って降水量は2~9%増加する。)
- ② 中緯度多雨帯は、特に北半球で極方向にずれる。
- ③ 土壌水分量は、夏期北半球中緯度で減少し、冬期高緯度で増加する。
- ④ 温帯低気圧、熱帯低気圧並びに梅雨、台風については今後の課題である。

とされている。

MRI-GCMを用いたシミュレーション結果では

- ① 層状雲からの非対流性降水量は減少するが、積雲対流からの降水量の増加することによって全球平均の降水量は増加する。
- ② 中緯度多雨帯では大気境界層に根を持つ積雲対流からの降水の増加率は初夏にピークとなるが、自由大気中の積雲対流からの降水の増加率は夏に最小になる。
- ③ 全降水面積の減少は、大規模運動に伴う降水面積の減少による。
- ④ 強い対流性降雨の頻度は増大するが、強い非対流性の降雨の頻度は減少する。

温暖化は降水の形態に影響を与える。雨と雪の違いや温暖化による融雪の変化は、水資源に影響を及ぼす。

ということが指摘されている。

日本に対する地域的な気候変動の見通しとして、気象庁（1990年7月）は

- ⑨ 冬期、シベリア高気圧がしだいに弱まり、温室効果でさらに大陸からの冷たい季節風が弱まることによって、寒波の弱まり、回数の減少、来襲期間の短縮が見られる傾向にある。
 - ⑩ 夏期にアジアモンスーンが強まるために太平洋高気圧が強まって猛暑になる場合と、太平洋高気圧が現在より北上して台湾並の亜熱帯性気候になる場合の2つのケースが予想される。
- という予測を行っている。

しかしながら、日本の降水量への影響については統一的な見解が得られていない。

(2) 日本における降水量の変化³⁾

地球温暖化に伴う気候変化は、GCMによってシミュレーションされている。図-4.1に、MRIGCMにおける日本近辺の地形図を示す。これから分かるようにGCMのグリッドは粗く、日本については3メッシュ程度しかなく、地形形状もかなり異なっている。そのため、温暖化が流域スケールの水文循環に与える影響をGCMの出力結果から直接評価することは難しくなっている。ここでは、MRIGCM出力である日降水量データを用いて、温暖化時の降水パターンの変化を解析し、GCM上での降水特性の変化について検討してみる。MRIGCMで取り扱っている降雨は、対流性降雨と層状性降雨であり、台風や地形性降雨などの表現

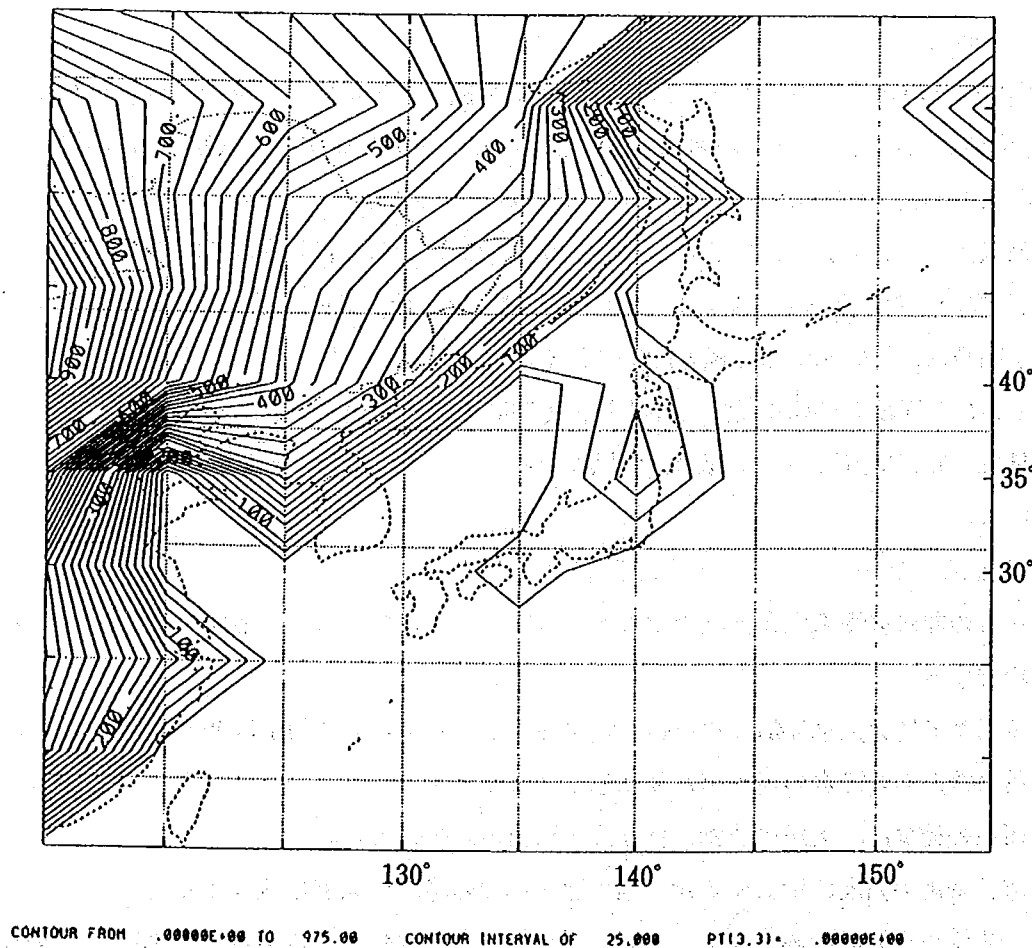


図-4.1 MRIGCM で使われた日本の標高

には限界がある。集中豪雨は、地形性が引き金となった対流性降雨であり、GCM ではこのような局所的な大雨は表すことはできない。GCM で表される降雨は大気安定性によって決まる広域的な雨のみである。

データの解析には、炭素ガス濃度通常シナリオと炭素ガス濃度倍増シナリオにおける GCM 出力結果が用いられている。表-4.1に示す日本を陸地として扱っている3グリッドの日降水量について整理を行った。

図-4.2は、日雨量50mm以上の発生回数を先の3グリッドについて表している。(a)はGCM アウトプットの各シナリオにおける結果を示し、(b)は2.2で示したデータをまとめ直したものを示している。ただし、図(b)の作成にあたって、気象官署の地点雨量データをGCMのグリッド及び計算期間に合わせるために、グリッド内の空間平均雨量を計算し、1年間当たり発生回数を求めている。図-4.2から、GCM データでは北部のグリッド1を除いて50mm以上の日降水量の発生回数は増加している傾向にある。過去のデータと比較した場合についても変わらないか、若干増える傾向が見られる。特に、南西部については、大雨が増加しやすい傾向があるように見える。

表-4.1 解析に使用した MRIGCM のグリッド

| | 緯度GRID | 経度GRID |
|--------|---------------|----------------|
| GRID-1 | No.34 (42° N) | No.29 (140° E) |
| GRID-2 | No.33 (38° N) | No.29 (140° E) |
| GRID-3 | No.32 (34° N) | No.28 (135° E) |

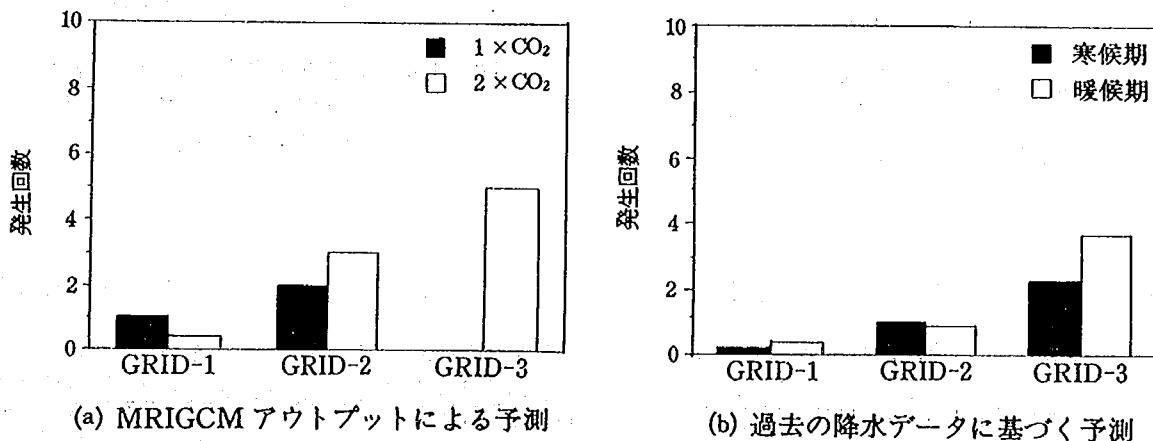


図-4.2 日降水量50mm以上の発生回数

図-4.3は、90日間の総降水量を求め、その最小降雨量をGCMデータについて表したものである。これより、炭酸ガス倍増シナリオでは、90日間最小降雨量は20~40%程度減少している。30日間、60日間の最小降雨についても同様な傾向が見られている。したがって、炭酸ガス倍増シナリオでは、長期間での少雨傾向にあると考えられ、水資源賦存量は減少する傾向に進む可能性があると思われる。図-4.4は、それぞれのシナリオにおける連続無効雨日数をグリッド3について比較して表したものである。ただし、初期降雨6mm

分は、山地における凹地貯留量等とみなして、無効雨として取り扱っている。これより、グリッド3では炭酸ガス濃度の増加に伴い、連続無降水日数は、5日以下が減少し、11日以上で増大している。これは、温暖化によって連続無降水日数が長期化する可能性があることを示している。

以上のことから、ここで示した様に少雨と大雨が増える可能性がある。しかし、これは地形の影響や台風等の降雨を除いた場合の結果であることに注意する必要がある。なお、MRIGCM-1での日本における総降水量は、現状のまま、もしくは若干の変化する程度のものである。

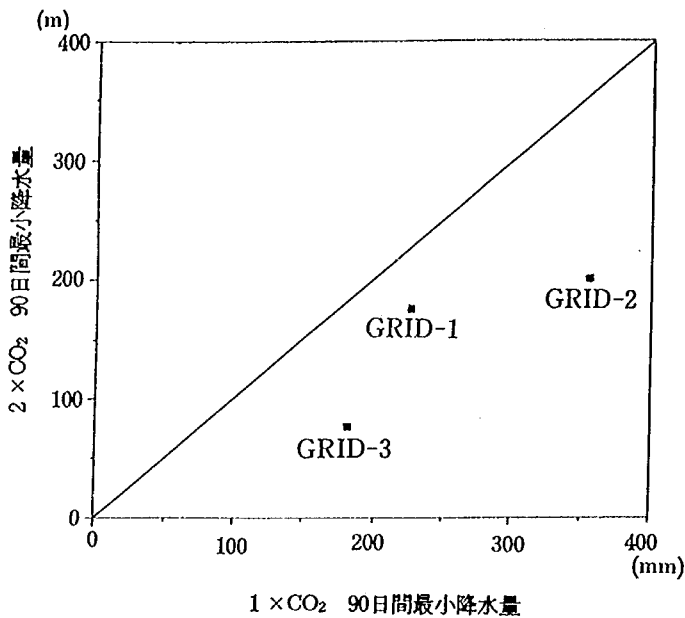


図-4.3 炭酸ガス濃度現状の場合と炭酸ガス濃度2倍の場合における90日間最小降水量の比較

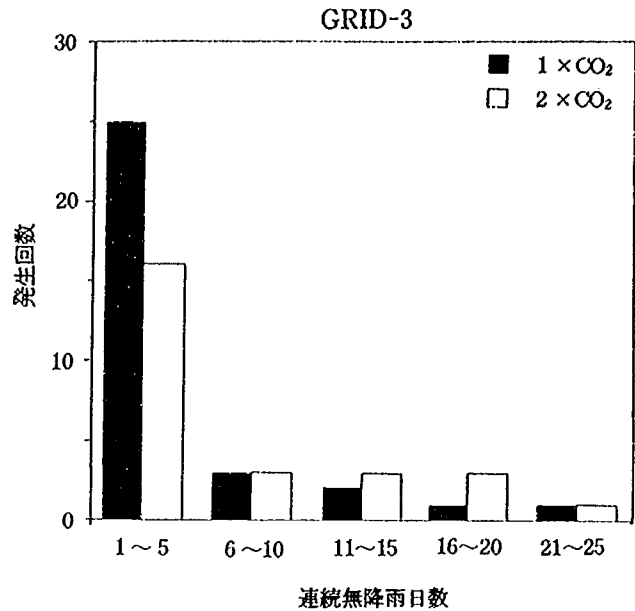


図-4.4 炭酸ガス濃度現状の場合と炭酸ガス濃度2倍の場合における連続無降水日数の比較

表-4.2 分類に用いた気圧配置型 (吉野⁴⁾)

| | | |
|-----|--------------------|--------------------------|
| I | 西高東低 | |
| II | 気圧の谷 (低気圧) | a. 北海道または樺太付近を東進 |
| | | b. 日本海から北東に進む |
| | | c. 台湾から日本の太平洋岸を東~東北東に進む |
| | | d. 2つ玉、または日本海と太平洋 |
| III | 移動性 高気圧 | a. 日本の北東または北部を東進 |
| | | b. 日本列島、主に本州上を進む |
| | | c. 帯状高気圧 |
| | | d. 太平洋岸または南方を東進 |
| IV | 主として 停滞性の 前線 | a. 日本列島上をほぼ東西方向に走る |
| | | b. 太平洋岸または日本南方をほぼ東西方向に走る |
| V | 南高北低 | 原則として北太平洋高気圧が日本列島を支配 |
| VI | 台風 | a. 南九州より南方の海上 |
| | | b. 本州及びその沿岸地帯 |
| | | c. 北日本 |

表-4.3 気圧配置型の出現数 (1961年~1985年)

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 計 |
| I | 406 | 291 | 161 | 24 | 8 | 1 | | | 16 | 71 | 185 | 323 | 1486 |
| IIa | 75 | 61 | 105 | 121 | 127 | 58 | 43 | 54 | 101 | 129 | 118 | 77 | 1069 |
| IIb | 42 | 38 | 45 | 47 | 52 | 42 | 29 | 28 | 38 | 35 | 48 | 50 | 494 |
| IIc | 45 | 77 | 91 | 88 | 77 | 45 | 16 | 12 | 14 | 51 | 53 | 45 | 614 |
| IId | 63 | 53 | 58 | 58 | 55 | 37 | 19 | 7 | 17 | 39 | 40 | 54 | 500 |
| IIIa | 17 | 24 | 33 | 62 | 55 | 53 | 38 | 34 | 86 | 84 | 47 | 13 | 546 |
| IIIb | 76 | 91 | 164 | 202 | 171 | 83 | 26 | 22 | 113 | 167 | 152 | 115 | 1386 |
| IIIc | 14 | 9 | 23 | 25 | 85 | 41 | 10 | 10 | 37 | 101 | 64 | 39 | 459 |
| IIId | 27 | 34 | 57 | 45 | 28 | 10 | 1 | 5 | 8 | 10 | 21 | 42 | 288 |
| IVa | 3 | 12 | 7 | 24 | 21 | 104 | 183 | 112 | 98 | 19 | 3 | 2 | 588 |
| IVb | 7 | 16 | 30 | 30 | 61 | 229 | 117 | 62 | 109 | 51 | 13 | 10 | 735 |
| V | | | 1 | 23 | 33 | 38 | 260 | 308 | 63 | 1 | | 1 | 728 |
| VIa | | | | | | 4 | 21 | 68 | 16 | 5 | 5 | | 119 |
| VIb | | | | | 1 | 5 | 11 | 52 | 28 | 11 | 1 | | 110 |
| VIc | | | | | | | 1 | 1 | 6 | 1 | | | 9 |
| 計 | 775 | 706 | 775 | 750 | 775 | 750 | 775 | 775 | 750 | 775 | 750 | 775 | 9131 |

4.4 MRIGCM の出力結果における気候変化に伴う気象パターンの出現率の変化

(1) 日本における気候パターンの特徴

日本域の気象パターンについては、吉野⁹⁾によって分類整理された表-4.2に示す気圧配置型を用いた。これは、日常の天気予報などで天気の説明にしばしば用いられてきたものである。1961年から1985年の25年間について気圧配置型の出現数を整理した結果を表-4.3に示す。

I型は冬季に多く現れる西高東低型である。また、V型は夏期に北太平洋高気圧が日本上空の大気を支配するものである。IV型は停滞前線であり、夏期の梅雨と秋雨がほとんどを占める。VI型は台風である。これらの気圧配置型は日本上空の大気運動を支配する典型的な気圧配置型である。VI型とVI型の場合には一般的に雨になることが多い。II型は気圧の谷（低気圧）、III型は移動性高気圧であり、これらは年間を通じて現れるが、他の気圧配置型が現れにくい春と秋に相対的に多くなっている。

参考として、各気象パターンの代表的な天気図をまとめて図-4.5に示しておく。

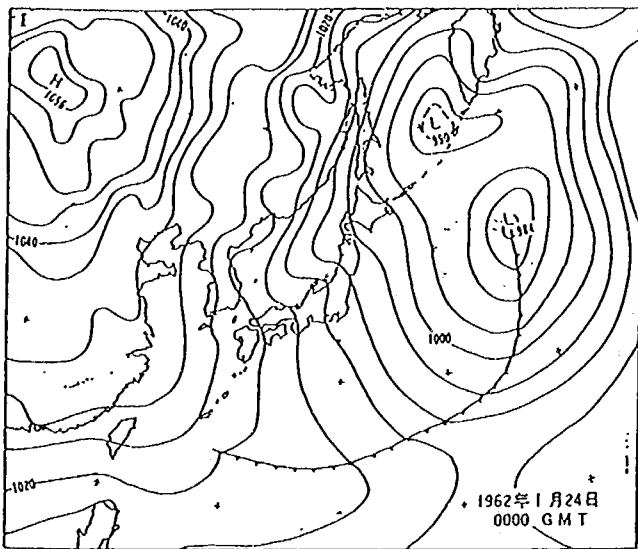


図-4.5(1) I型 (西高東低 (冬型))

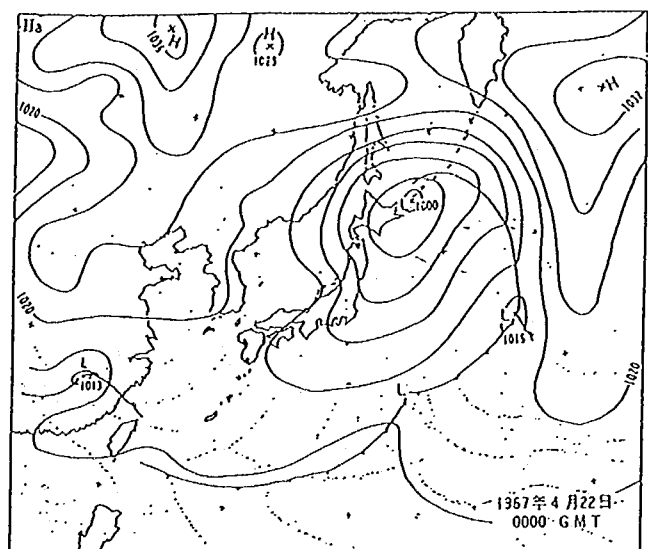


図-4.5(2) IIa型 (気圧の谷：低気圧が北海道または樺太付近を東進)

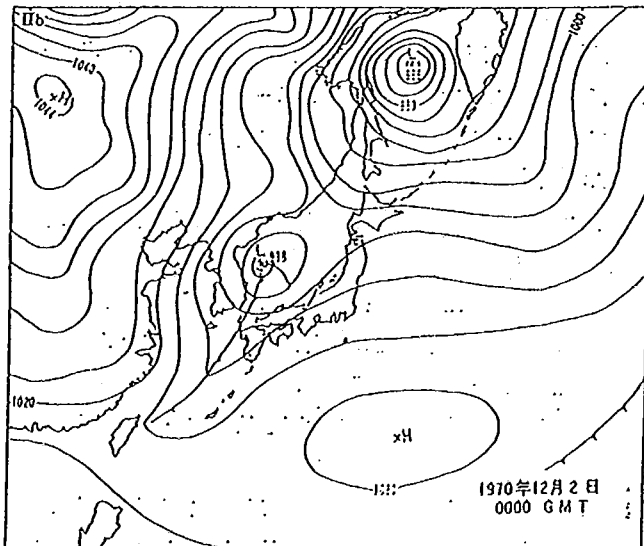


図-4.5(3) IIb型 (気圧の谷：低気圧が日本海を北東進)

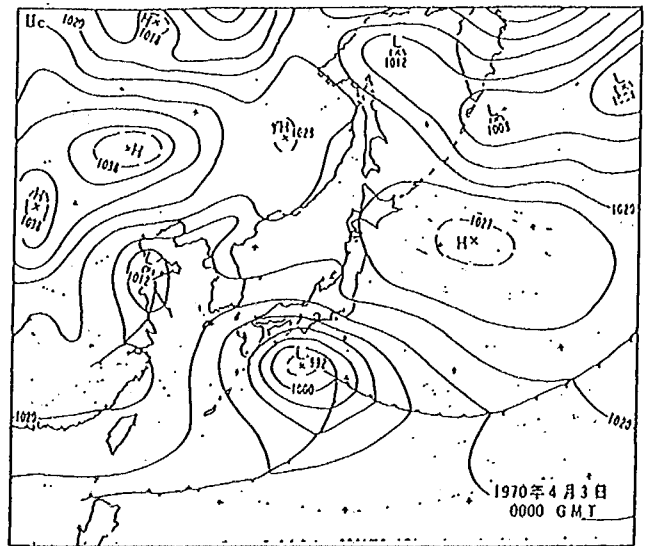


図-4.5(4) IIc型 (気圧の谷：低気圧が台湾から日本の太平洋岸を北東～東北東進)

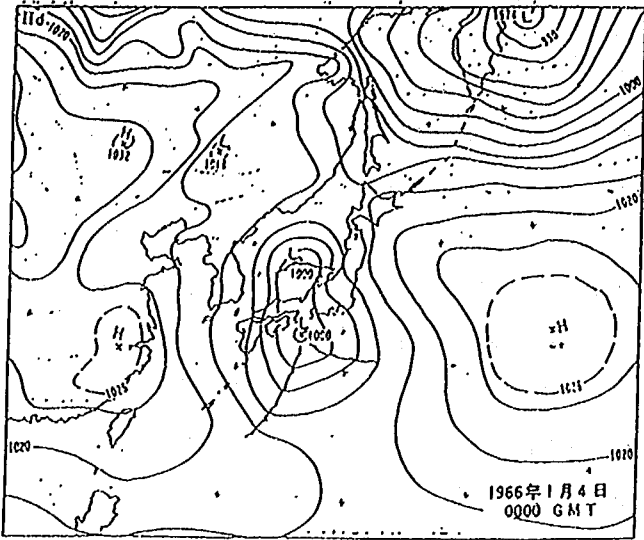


図-4.5(5) II d 型 (気圧の谷：二つ玉低気圧
または日本海と太平洋岸に低圧部)

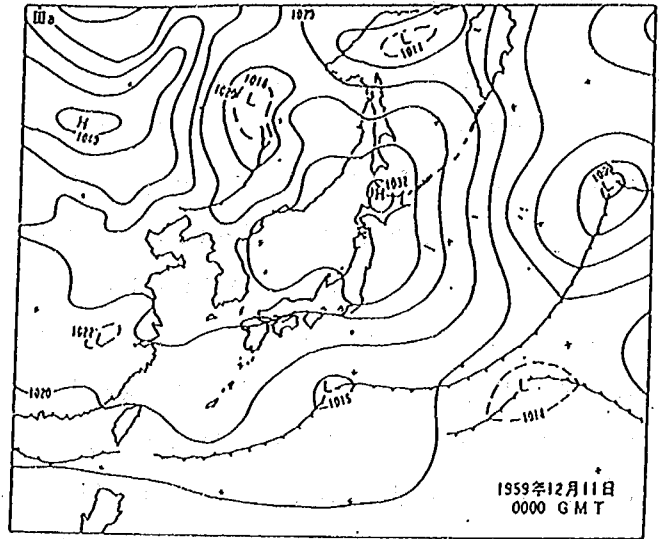


図-4.5(6) III a (移動性高気圧：日本の北方
または北部を東進)

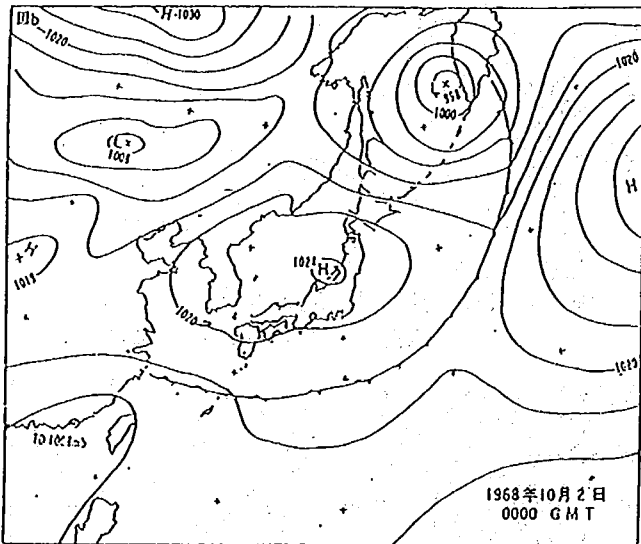


図-4.5(7) III b (移動性高気圧：日本列島上、
主として本州上を東進)

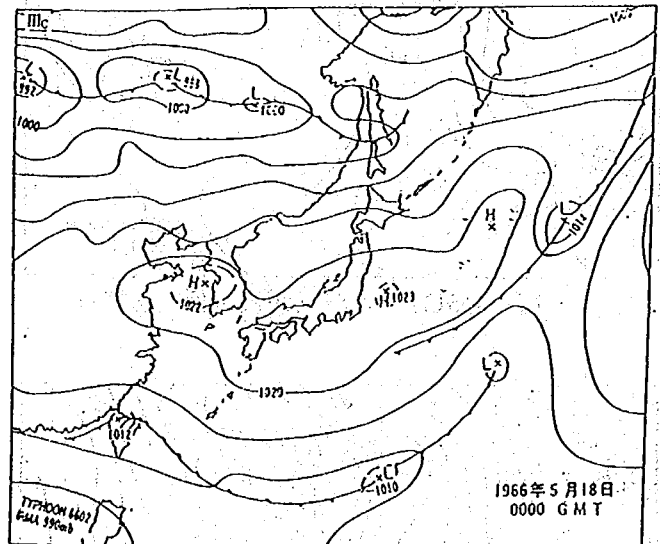


図-4.5(8) III c (移動性高気圧：带状高気圧)

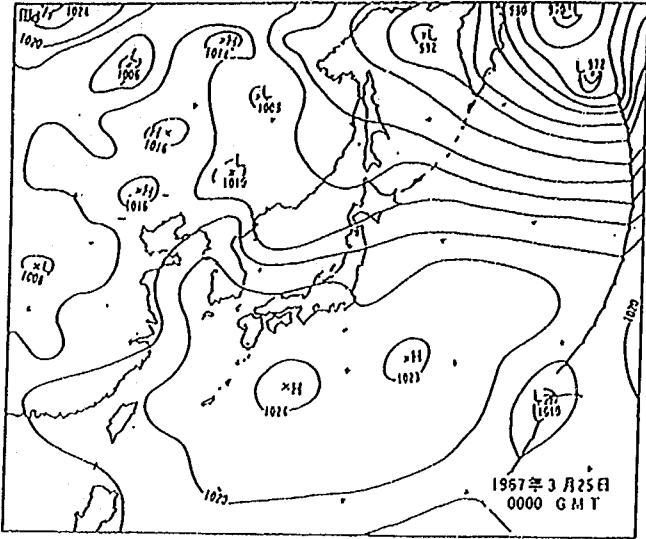


図-4.5(9) III d (移動性高気圧：日本の太平洋岸または南方を東進)

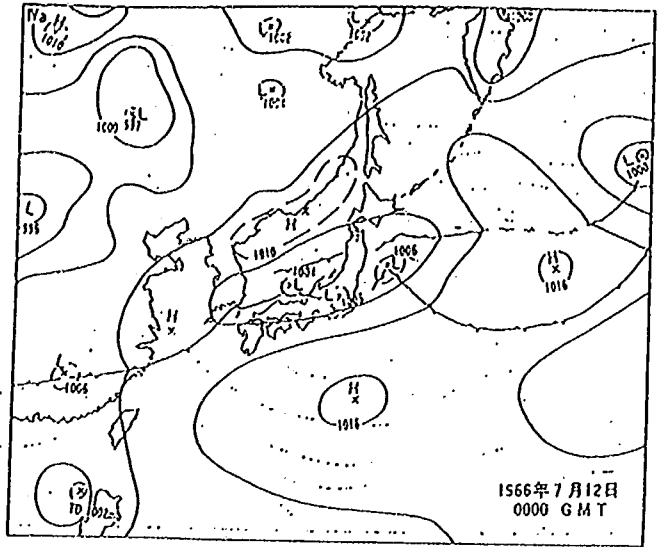


図-4.5(10) IV a (前線：日本列島上を東西に走る主として停滞性の前線)

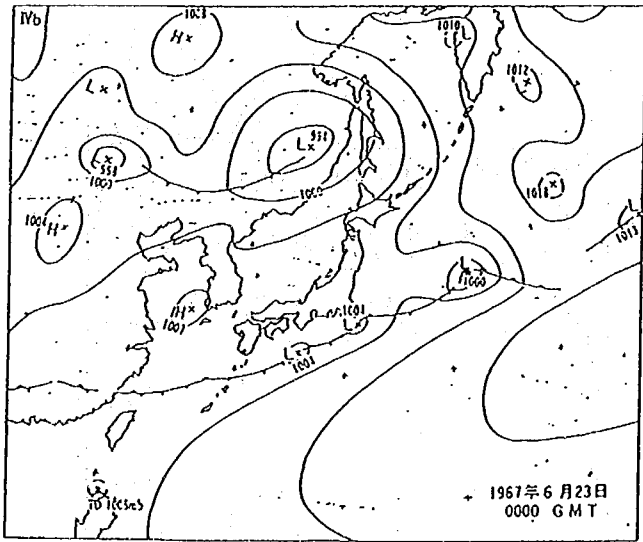


図-4.5(11) IV b (前線：太平洋岸または日本南方をほぼ東西に走る主として停滞性の前線)

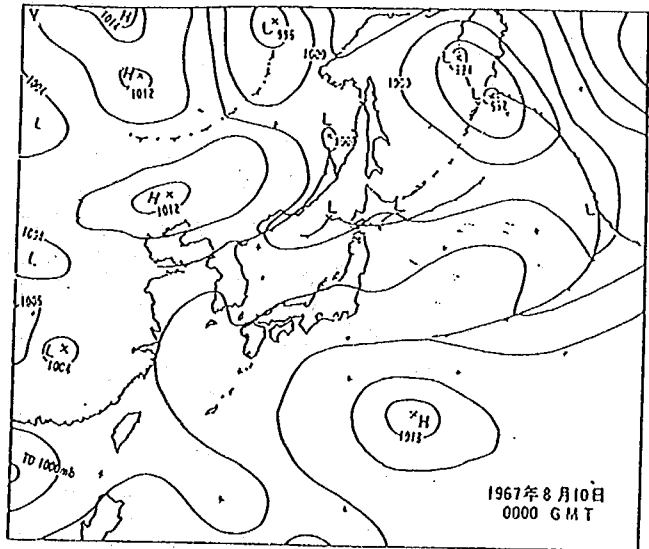


図-4.5(12) V (南高北低(夏型)：原則として北太平洋高気圧が日本列島を支配している場合)

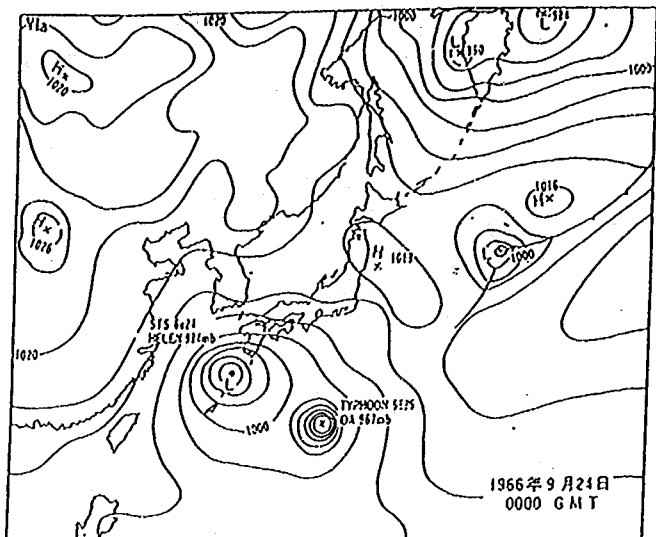


図-4.5(13) VIa (台風：台風が南九州より南方の海上にある場合)

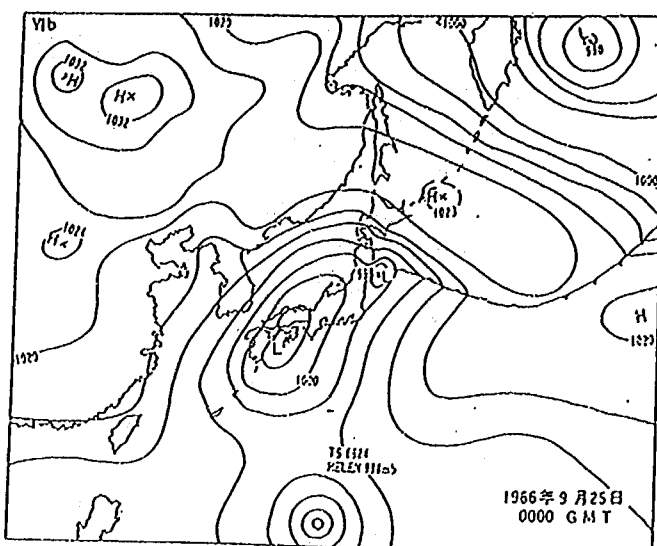


図-4.5(14) VIb (台風：台風が本州およびその接岸地帯にある場合)

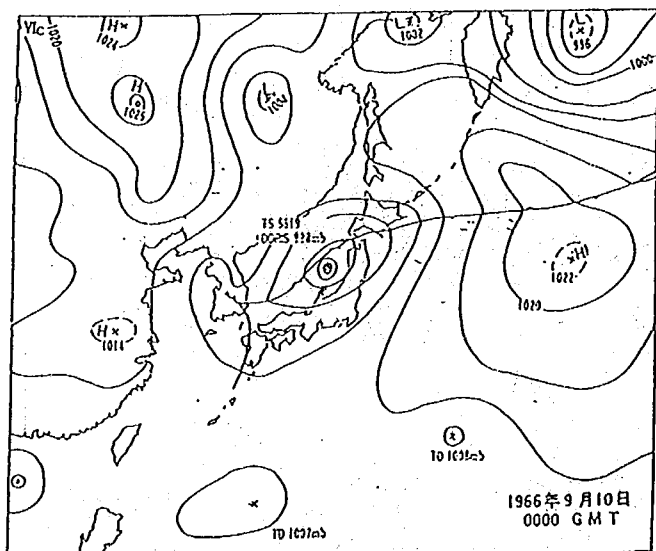


図-4.5(15) VIc (台風：台風が北日本にある場合)

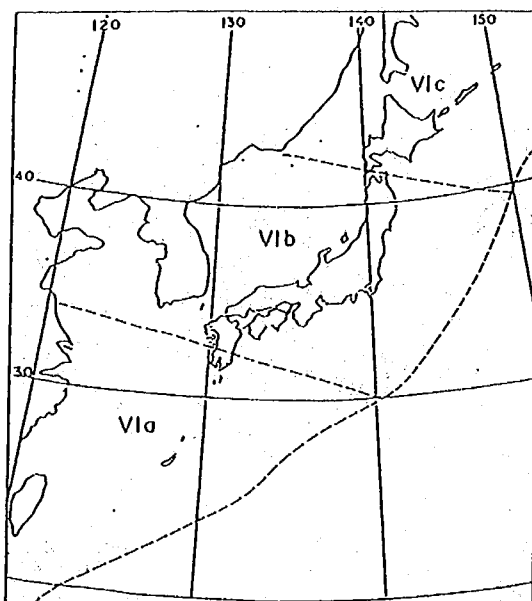


図-4.5(16) 台風の位置によるVa, Vb, Vcの区分

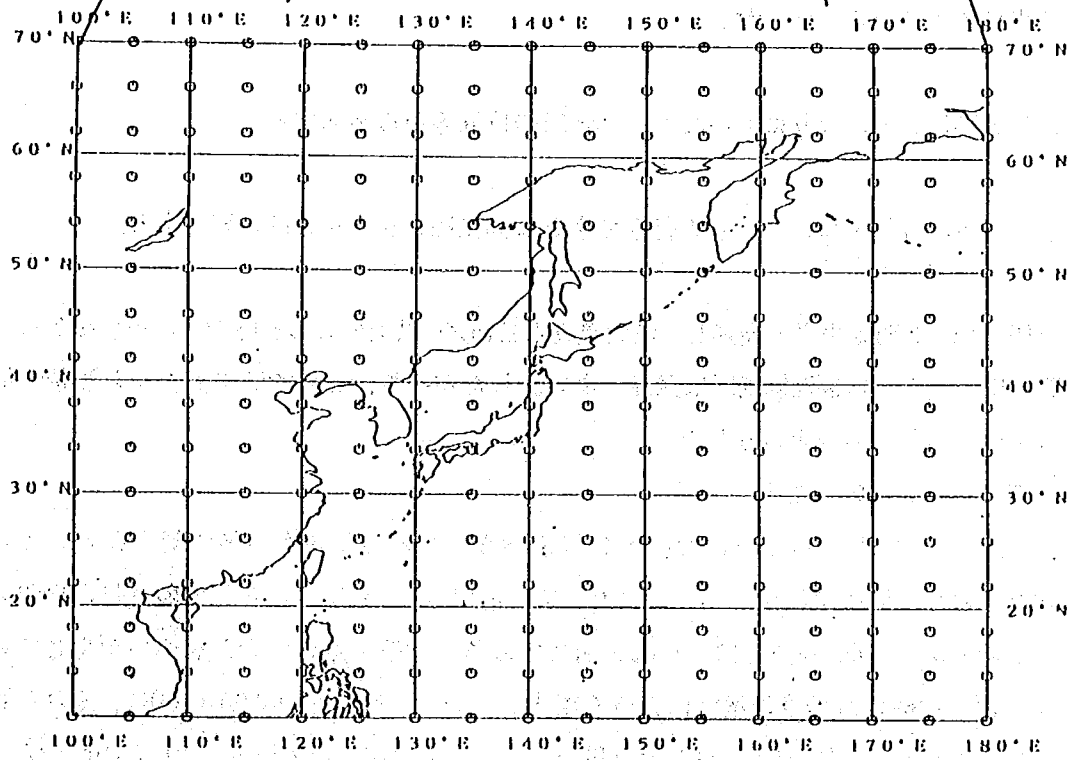
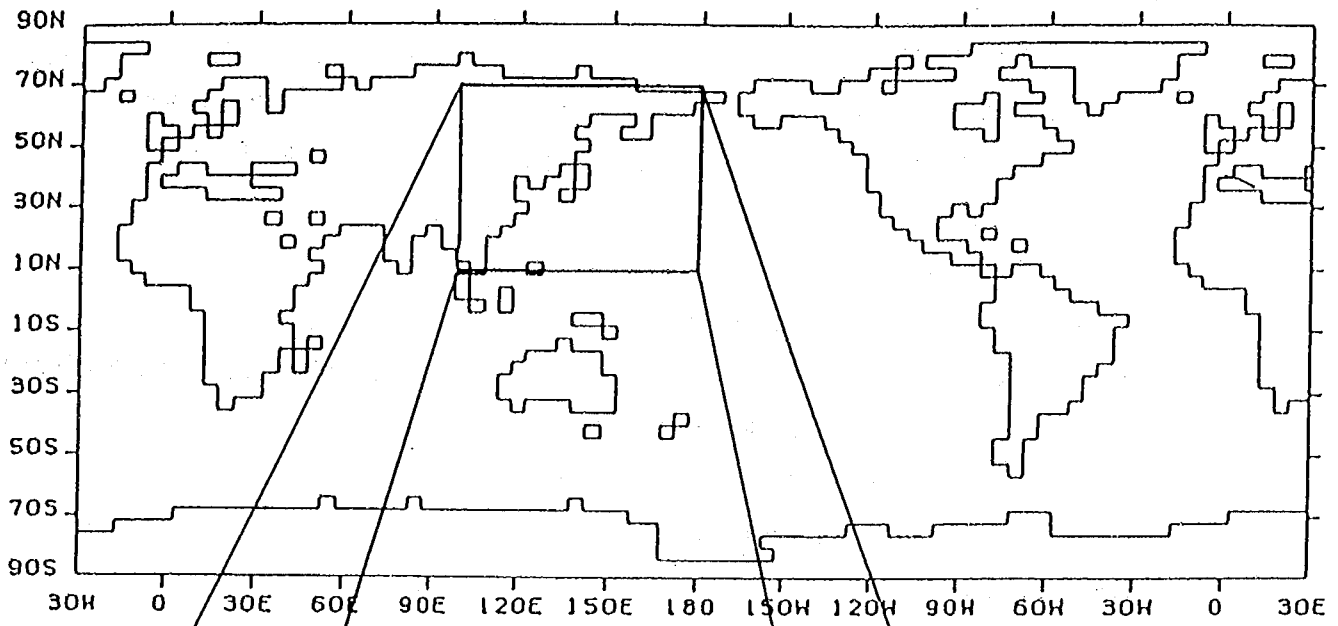


図-4.6 天気図作成範囲

(2) 天気図の作成方法と気象パターンの判別方法

炭酸ガス濃度通常時及び倍増時における各気象パターンの出現率を求めるため、気象研究所において解析された GCM (MRI-GCM-I) の出力結果に基づいて、等気圧線を表し、気圧配置や前線等を描き込んだ天気図を作成し、気象パターンの判別を行った。気圧配置型の判別にあたって、気圧配置型が 2 種類の気圧配置型の中間型・移行型であった場合には、それぞれが 1/2 づつ生じていると判別した。

天気図の作成は以下の手順で行った。

- ・ 図-4.6 に示す範囲の気圧・気温等の情報を GCM データから切り出す。
- ・ 地面上及び海面上の気圧を経度方向・緯度方向共に 1° 毎に直線補間をし、周囲 4 点を含む加重平均を求め、2 hPa 毎の等値線を作成し、高気圧・低気圧の判別をする。
- ・ 800hPa 面上の気温コンターを気圧と同様な方法で作成する。
- ・ 図-4.7 を参考に、気温コンターから前線の判別と作図を行う。
- ・ 気圧図に前線を描き込む。

また、各気象パターンの判別は以下の点に注意して行った。

- ・ 気圧の谷 (II 型)
主たる低気圧の位置を重視して分類型を判別する。
- ・ 移動性高気圧 (III 型)
移動性のものと張り出してきているものを含む。
- ・ 前線 (IV 型)
停滞前線の場合には気温図は参考になりにくいいため、低気圧の位置等から判別する。
- ・ 南高北低 (V 型)
東から西に張り出している場合は V 型にし、日本付近で小さな高気圧となる場合は III 型とする。
- ・ 台風 (VI 型)
台風とは熱帯性低気圧の内、北西太平洋で発達し、最大風速が 17m/s 以上のものを呼ぶ。しかしながら、MRIGCM では台風と呼べるまで熱帯性低気圧は発達しない。したがって、ここでは南海上から熱帯性低気圧が北上した場合には擬似的に台風とみなした。

(3) 温暖化に伴う気象パターンの出現率の変化

図-4.8 は、炭酸ガス濃度通常時及び倍増時における各気象パターンの出現頻度の年間割合を表している。同時に、1976~1985 年の 10 年間の平均値を示す。また、表-4.5 は各シナリオのもとでの月毎の出現頻度を表の形で整理したものである。図-4.8 では、年間を通じてみると V 型を除いて大きな違いが生じていないように見える。V 型は、炭酸ガス濃度倍増時に大きく増大している。図-4.9 (a)(b)(c)(d) は、それぞれ特定の季節に集中して現れる I 型、IV 型、V 型、VI 型の出現率の月別の変化を示している。これらの図から、炭酸ガス濃度の増大に伴って以下の現象が読みとれる。I 型は、冬季の初めに減少し、終わりに増大している。停滞前線は 5 月、7 月、9 月に減少し、8 月に増大している。V 型は、4 月、5 月と 7 月に増大している。台風は、全体的に減少傾向が見られ、特に 8 月、9 月に減少している。台風の北上が減ったのは V 型が増えたためである。V 型は北太平洋高気圧が日本上空の大気を支配しているものであるため、夏に日本に接近する台風が減少しても問題はない。また、台風の北上という現象を水平対流の一部と見なし、熱量の極方

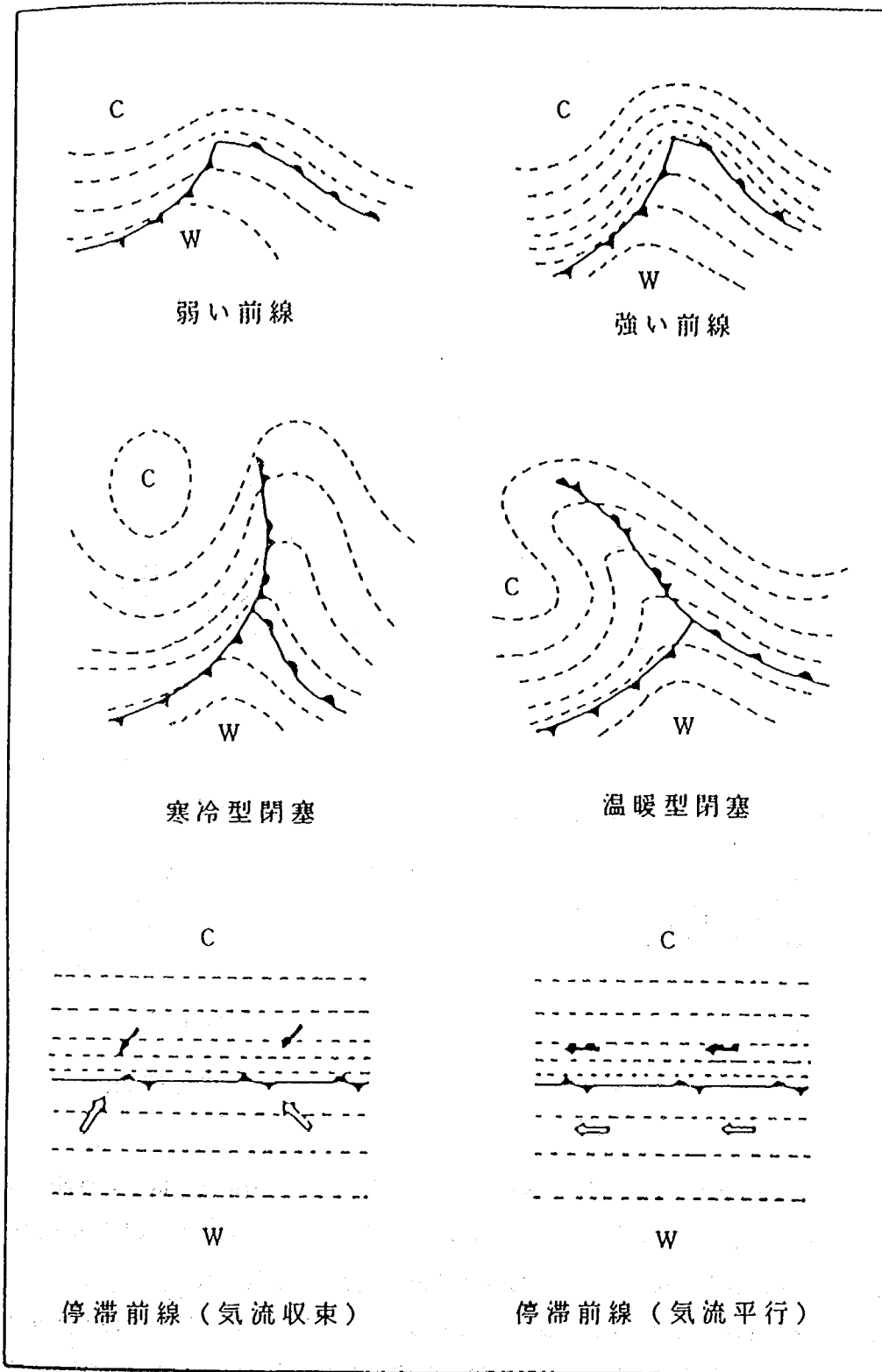


図-4.7 850hPa の等温線と前線の間係を決めるためのモデル

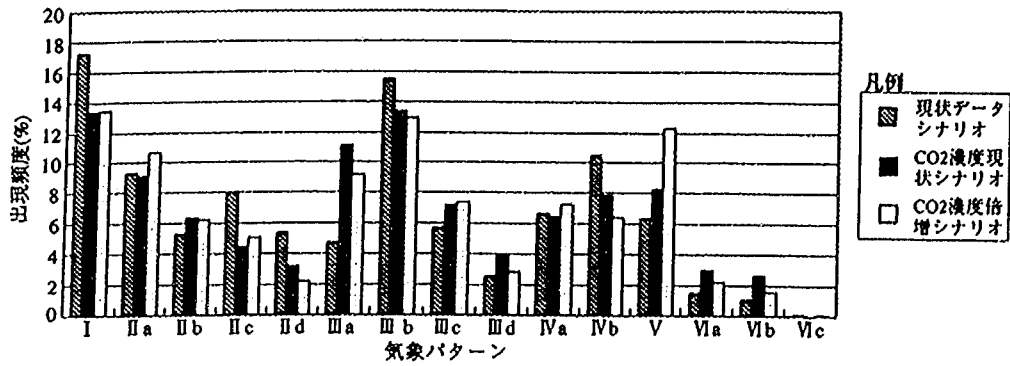


図-4.8 各シナリオにおける各気象パターンの年間出現頻度の比較

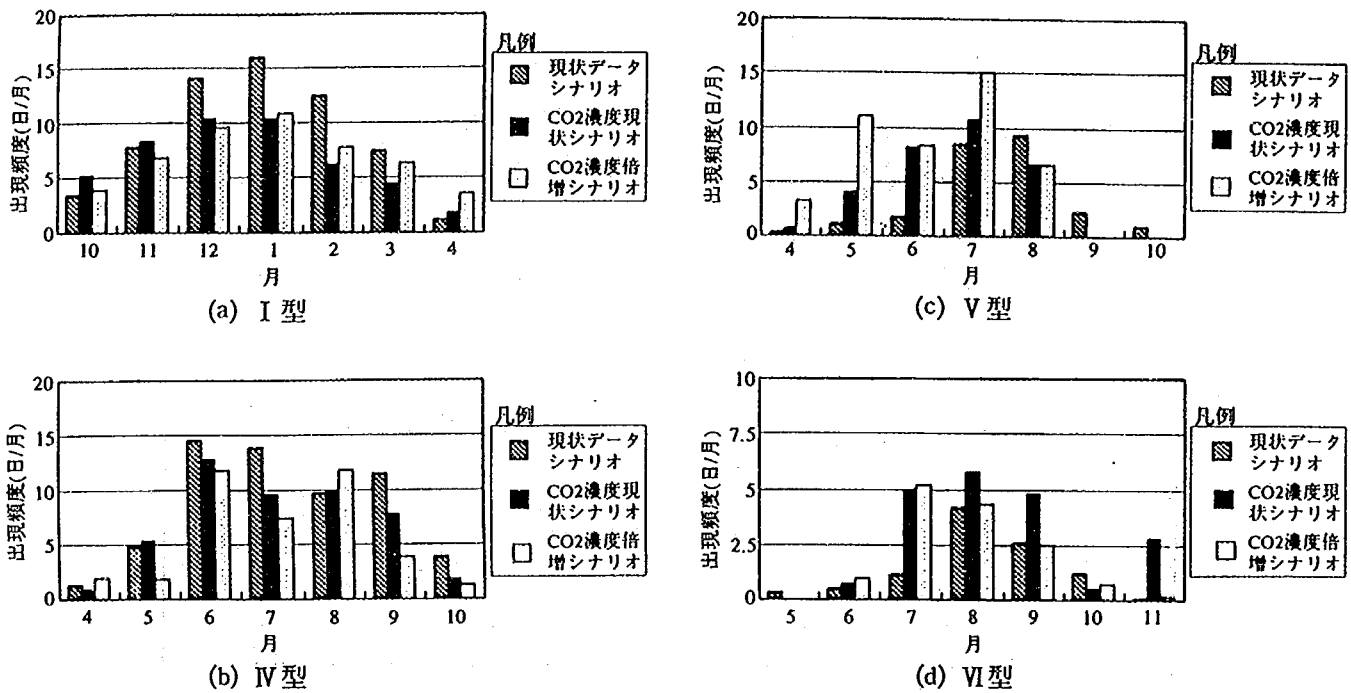


図-4.9 各シナリオにおける各気象パターンの出現率の月変化

向への大規模移動過程と解釈しても、既に極付近の温度が上がって極方向への温度差が小さくなっている温暖化時には駆動力が弱くなることが想像できる。したがって、ここで示された「温暖化が進むと台風が北上して日本に接近する数が少なくなる」という可能性は否定できないと思われる。

ただし、この結果の解釈にあたっては注意が必要であり、GCMによる気象現象のモデル化の限界を考慮に入れなければならない。例えば、GCMの解像度とモデル化の方法では、台風は発生してもその成長を十分に表現できない。そのため、日本に到来する台風に関して、過去の観測結果と炭酸ガス濃度通常時のものでは違っている。したがって、本アプローチによって我々が知り得ることは、解析条件の違いに応じて生じる差、すなわち、GCMが現状の大気現象を全体的にほぼ説明でき得るものならば、現状と将来の温暖化時における差の傾向は概ね正しいと仮定した上での推論である。

表-4.5(1) 月別気圧配置出現頻度表 (1976年~1985年)

| 分類 | 月 | | | | | | | | | | | | 計 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| I | 159.5 | 124.0 | 73.5 | 12.0 | 4.0 | 0.5 | | | 6.5 | 33.5 | 78.0 | 140.5 | 632.0 |
| II a | 25.5 | 15.5 | 26.0 | 39.5 | 39.0 | 17.5 | 13.0 | 20.5 | 35.5 | 42.5 | 39.5 | 26.5 | 339.5 |
| II b | 14.5 | 14.0 | 15.5 | 23.0 | 21.0 | 15.5 | 11.5 | 17.5 | 6.5 | 19.0 | 14.0 | 20.5 | 192.5 |
| II c | 21.5 | 36.5 | 56.0 | 42.5 | 31.0 | 19.5 | 8.5 | 8.5 | 4.5 | 16.5 | 31.5 | 15.5 | 292.0 |
| II d | 25.5 | 20.0 | 19.0 | 29.0 | 21.5 | 15.5 | 8.0 | 1.0 | 6.0 | 12.0 | 17.0 | 22.5 | 197.0 |
| III a | 4.5 | 9.0 | 11.0 | 24.5 | 12.0 | 14.5 | 17.0 | 16.5 | 24.5 | 24.0 | 15.0 | 4.5 | 177.0 |
| III b | 38.0 | 37.5 | 72.0 | 86.5 | 65.0 | 26.0 | 10.5 | 9.0 | 35.5 | 76.0 | 63.0 | 46.5 | 565.5 |
| III c | 4.0 | 4.5 | 17.0 | 10.0 | 43.5 | 20.0 | 8.0 | 6.0 | 18.5 | 34.5 | 22.5 | 20.5 | 209.0 |
| III d | 14.5 | 15.5 | 10.5 | 17.0 | 12.0 | 4.0 | | | 1.0 | 2.5 | 2.5 | 10.0 | 89.5 |
| IV a | | 1.0 | | 1.0 | 6.0 | 48.0 | 76.0 | 57.5 | 47.0 | 7.0 | 3.0 | | 246.5 |
| IV b | 2.5 | 5.5 | 9.5 | 12.0 | 41.5 | 97.0 | 62.0 | 38.5 | 66.5 | 31.0 | 13.5 | 3.0 | 382.5 |
| V | | | | 3.0 | 11.0 | 17.0 | 84.5 | 93.0 | 22.0 | 1.0 | | | 231.5 |
| VI a | | | | | 0.5 | 3.5 | 7.5 | 25.0 | 14.5 | 5.5 | | | 56.5 |
| VI b | | | | | 2.0 | 1.5 | 3.5 | 16.5 | 10.0 | 4.5 | 0.5 | | 38.5 |
| VI c | | | | | | | | 0.5 | 1.5 | 1.5 | | | 3.5 |
| 計 | 310.0 | 283.0 | 310.0 | 300.0 | 310.0 | 300.0 | 310.0 | 310.0 | 300.0 | 310.0 | 300.0 | 310.0 | 3653.0 |

表-4.5(2) 月別気圧配置出現頻度表 (CO₂×1、3年)

| 分類 | 月 | | | | | | | | | | | | 計 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| I | 31.0 | 18.5 | 13.0 | 8.0 | 2.5 | | | | 1.5 | 15.5 | 24.5 | 31.0 | 145.5 |
| II a | 9.0 | 11.0 | 9.0 | 7.5 | 11.5 | 4.5 | 1.5 | 7.0 | 12.0 | 12.0 | 6.0 | 8.5 | 99.5 |
| II b | 8.0 | 6.5 | 9.5 | 20.0 | 3.0 | 0.5 | 3.0 | 2.5 | 6.5 | 4.5 | 2.0 | 3.5 | 69.5 |
| II c | 9.5 | 5.0 | 7.0 | 4.5 | 6.5 | | | 3.0 | 4.0 | 1.5 | 3.0 | 4.5 | 48.5 |
| II d | 2.5 | 9.0 | 3.0 | 2.0 | 1.5 | | 1.5 | 1.0 | 2.0 | 3.5 | 4.0 | 5.0 | 35.0 |
| III a | 4.0 | 14.0 | 20.0 | 11.5 | 4.5 | 1.5 | 3.0 | 4.0 | 10.5 | 24.0 | 17.0 | 7.5 | 121.5 |
| III b | 20.5 | 14.0 | 14.0 | 18.0 | 13.5 | 3.5 | | 4.5 | 7.5 | 18.0 | 11.0 | 21.0 | 145.5 |
| III c | 7.0 | 2.0 | 6.0 | 6.0 | 8.5 | 15.0 | 8.0 | 1.0 | 6.0 | 7.0 | 6.5 | 6.0 | 79.0 |
| III d | 1.5 | 2.5 | 10.0 | 8.0 | 13.5 | | | 3.5 | 2.5 | | | 1.5 | 43.0 |
| IV a | | 1.0 | | 2.5 | 5.5 | 9.0 | 18.0 | 17.0 | 8.0 | 1.0 | 7.0 | 2.0 | 71.0 |
| IV b | | 0.5 | 1.5 | | 10.5 | 29.5 | 10.5 | 12.5 | 15.0 | 4.5 | 0.5 | 0.5 | 85.5 |
| V | | | | 2.0 | 12.0 | 24.5 | 32.5 | 19.5 | | | | | 90.5 |
| VI a | | | | | | 2.0 | 9.5 | 9.5 | 6.0 | 0.5 | 3.5 | 1.5 | 32.5 |
| VI b | | | | | | | 5.0 | 8.0 | 8.5 | 1.0 | 5.0 | 0.5 | 28.5 |
| VI c | | | | | | | | | | | | | |
| 計 | 93.0 | 84.0 | 93.0 | 90.0 | 93.0 | 90.0 | 93.0 | 93.0 | 90.0 | 93.0 | 90.0 | 93.0 | 1095.0 |

表-4.5(3) 月別気圧配置出現頻度表 (CO₂×2、3年)

| 分類 | 月 | | | | | | | | | | | | 計 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| I | 32.5 | 25.0 | 19.0 | 10.5 | 1.0 | | | | | 11.5 | 20.5 | 28.5 | 146.5 |
| II a | 6.0 | 9.5 | 14.5 | 8.5 | 18.0 | 3.0 | 4.5 | 9.0 | 11.5 | 17.5 | 9.5 | 5.5 | 117.0 |
| II b | 11.5 | 6.5 | 6.0 | 8.5 | 11.0 | 0.5 | | 0.5 | 5.0 | 8.0 | 5.5 | 4.5 | 67.5 |
| II c | 6.0 | 8.5 | 6.0 | 5.0 | 3.0 | 1.0 | | 6.0 | 6.0 | 5.5 | 3.0 | 5.5 | 55.5 |
| II d | 9.0 | 2.5 | 2.5 | 3.0 | | 0.5 | | | 1.0 | 1.0 | 2.5 | 2.5 | 24.5 |
| III a | 4.5 | 5.5 | 9.0 | 9.5 | 2.0 | 0.5 | 2.5 | 3.0 | 19.0 | 24.0 | 15.0 | 6.5 | 101.0 |
| III b | 19.0 | 16.0 | 14.0 | 20.0 | 12.0 | 1.0 | | 4.5 | 7.5 | 10.0 | 14.5 | 23.0 | 141.5 |
| III c | | 5.5 | 4.0 | 4.5 | 6.0 | 19.0 | 3.0 | 2.5 | 2.5 | 6.5 | 17.5 | 9.5 | 80.5 |
| III d | 3.5 | 4.0 | 10.0 | 5.0 | 1.5 | 2.0 | | | 0.5 | | | 5.0 | 31.5 |
| IV a | 0.5 | 2.0 | 6.5 | 4.0 | 4.0 | 7.0 | 19.0 | 19.5 | 11.0 | 4.0 | | 2.5 | 80.0 |
| IV b | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 1.5 | 27.5 | 3.5 | 15.5 | 15.5 | 3.0 | | | 71.5 |
| V | | | | 9.5 | 33.0 | 25.0 | 45.0 | 19.5 | 3.0 | | | | 135.0 |
| VI a | | | | | | 2.0 | 10.5 | 6.5 | 3.5 | | 1.5 | | 24.0 |
| VI b | | | | | | 1.0 | 5.0 | 7.0 | 3.0 | 2.0 | 0.5 | | 18.0 |
| VI c | | | | | | | | | 1.0 | | | | 1.0 |
| 計 | 93.0 | 84.0 | 93.0 | 90.0 | 93.0 | 90.0 | 93.0 | 93.0 | 90.0 | 93.0 | 90.0 | 93.0 | 1095.0 |

4.5 現状の技術レベルにおける GCM の問題点

GCM の精度は、現在の GSM による気象予測に対しても降雨の有無などでは 3 日～4 日分程度の信頼性しかない。これは、現実とモデルの間に何らかのバイアスがあり、これが時間の経過と共に増幅するためであると考えられている。実際には、観測値に基づく同定作業を行い、定期的にイニシャライゼーションして、このバイアスを適宜修正しつつ解析している。予想の曖昧さは、通常、非線形性のためと説明されているが、モデル自身の解像度や精度にも大きく依存していると思われる。新しい気象庁の 60km メッシュ 42 層の GS モデルでは、現在のモデルでは説明できなかった様な現象まで表せるようになってきているとのことである。これは、モデルの分解能が細かい方が熱量や水分量のマクロな移動をよく表現できるようになったためと考えてもよいと思われる。先に述べたように、現在の GCM では台風の素の発生と移動はシミュレートできても、発達させることはできない。また移動に関しても周りの風場で決まり、台風がこれに影響するので、正しいという保証はない。発達過程の解析には、台風の内部構造まで表す別の台風モデルが必要となる。十分発達した台風が移動すれば、これに伴って大量の熱量と水分量が移動することになるはずである。しかしながら、現在の GCM だけでは、このような現象は表せないという問題がある。GCM の通常シナリオでのコントロールランなどでは低緯度と高緯度の気温差が現実のものよりも大きくことが良く見られるが、これはこのような解像度の問題にも依存していると考えられる。

通常、温暖化の影響は、CO₂濃度現状シナリオと CO₂濃度倍増シナリオを GCM へ与えて、その結果を比較することにより、気温の上昇や降雨の増減を表している。しかしながら、通常シナリオでのコントロールランの結果は、現実のものとは多少違った結果となっていることに注意が必要である。また、現行の GCM を用いて、過去の条件に対してシミュレートすると少なくとも 1℃ 以上の温度上昇が生じていなければならないが、実際の気温上昇量は 0.5℃ 程度である。気象庁の新しいモデルの温暖化予測を対象としたテストランによれば、温室効果ガスによる気温上昇は 1.5℃ と程度と気象庁の従来予測の 2～4℃ よりも低くなっている。これは主に海洋モデル等を含めたモデルの精度向上のためとされている。また、実際には大きな影響を及ぼすエアロゾルに関するモデル上での取扱いが曖昧になっている。エアロゾルは、日射を反射し、雲の反射等を変化させる。したがって、放出された炭酸ガスの量に比べて現状において温暖化がそれほど進んでいないのは、産業活動に伴う二酸化炭素の放出とともに硫黄酸化物を放出してきたためと説明されることもある。したがって、これまでの GCM の温暖化予測は、一般的にオーバーエスティメイトしている可能性はある。1991 年のピナツポ火山の噴火の影響により、大量のエアロゾルが大気中に放出された影響で、一時的に寒冷化した可能性も指摘されている。エアロゾルはいつまでも大気中にあるわけではなく、排出規制等によりこれらの量が減少すれば、温暖化の基となる温室効果ガスが取り残されることになるので、温暖化を生じさせるポテンシャルとしては高いことになる。最後に、地球の気温を決めている最も大きな要因は太陽放射であり、地球温暖化シナリオの条件では太陽活動は基本的には現状の条件が使われている。しかし、現在のところ、太陽放射の強さについて将来予測をすることはできない。

4.6 まとめ

炭酸ガス濃度通常シナリオと炭酸ガス濃度倍増シナリオに対する MRIGCM の出力結果を整理し、比較した結果以下のことが示された。。

1) 炭酸ガス濃度の増加に伴って、MRIGCM の日本域に対応するグリッドポイントにおける50mm/day 以上の降水量は北部を除いて増加する傾向があり、特に南西部で顕著であった。また、南西部では連続無降水日数が増加する傾向が見られた。

ただし、GCM で解析された降雨は大規模な層状性降雨と対流性降雨のみであり、台風による降雨や地形性降雨は検討の対象外である。

2) 炭酸濃度の違いに対して、通年での各気象パターンの出現率は、V型を除きあまり変化していない。炭酸ガス濃度の増加に伴い、典型的な夏型であるV型の出現率は増加している。

その反面、台風と見なした熱帯低気圧の日本来襲の数は全体的に減少した。

3) 冬型であるI型は出現季節が遅れる傾向がある。停滞前線は5月、7月、9月に減少し、8月に増大している。

参考文献

- 1) 気象庁気象予報部：気象研究所大気大循環モデル—I (MRI・GCM-I)，気象研究所技術報告第13号，1984.
- 2) 気象庁：異常気象レポート'89，1989.
- 3) 山辺満・藤兼雅和・益倉克成：GCM アウトプットによる地球温暖化時の降雨変動解析，土木学会第47回年次学術講演会，1992.
- 4) 吉野正敏：気候学

第5章 気象パターンと降水量に関する確率過程に 基づいた気候変化に伴う降水量の変化予測

5.1 緒言

地球規模での気候変化の影響を把握するためには、前章で述べたように一般に GCM と呼ばれる数値解析モデルが用いられる。これは、地球上の大気層を海洋部も含めて 3次元格子網で覆い、大気の流れや熱・水蒸気の移動を計算するものである。しかし、現行の計算機的能力等から格子網のサイズに制約が課せられるとともに、格子スケールよりも小さい現象をパラメータ化して取り扱う方法についても未だ多くの問題が残されている。そのため、GCM では全地球的な現象については予測できても、地域的な降雨量を予測することは難しいとされている。

本章では、過去の気圧配置型²⁾等の気象パターンと降水量の関係について解析し、GCM によって計算された気候変化に伴う気象パターンの出現率の変化から地球温暖化時の降水量の変化を予測した結果について述べる。なお、本研究は米国地質調査所との共同研究として実施されたものである。

5.2 擬似降雨シミュレーションモデル³⁾

(1) モデルの概要

総観気象学的な降雨の予測方法には、種々の方法がある。従前に気象予測に用いられていた回帰法や MOS 等は、ある場所での気温や湿度、風速等と過去の降水状況との関係を回帰的に結びつけて、降水予測をする方法である。

一方、気象の型をパターン分類し、気象パターンと降水量の関係を結びつけて、降水量を予測する方法が Hay らによって提案されている³⁾。気象パターンとは、大気の流れや前線の配置などをマクロに見るものである。本研究では、気象パターンに 4章で述べた気圧配置型を選び、このモデルを用いて、擬似降水シミュレーションを行う。

まず、日々の気象パターンに対し、確率的に降水の有無を判定する。降雨の判定は過去の降水確率に対して、モンテカルロ法で行う。降水が生じると判定された場合には、日降雨強度は、式(1)を用いて計算する。

$$R=R_{ai} \{-\ln(\text{Rnd}_1)\}(1+\text{Rnd}_2) \quad (5.1)$$

ここに、 R_{ai} ：場所 a 気象パターン i に対する平均降水強度、 Rnd_1 ：(0, 1] の一様乱数、 Rnd_2 ：[-1, 1] の一様乱数である。式(1)の平均値は、概ね平均降水量と一致するように設定されている。正規化された確率密度関数は図-5.1に示す通りである。

ここで、各気象パターンと降水量の関係は、季節や温度等の違いによって大きく変化しないことが仮定されている。したがって、本章で得られる予測結果は、気候変化に伴って気象パターンと降水量の関係が変化しないと仮定したものであり、これが変化した場合には若干の修正を要する。GCM によれば気候変化に伴う降水量の変化は、年間平均で 4%~15%程度である。しかし、降水特性も変化することが指摘されてお

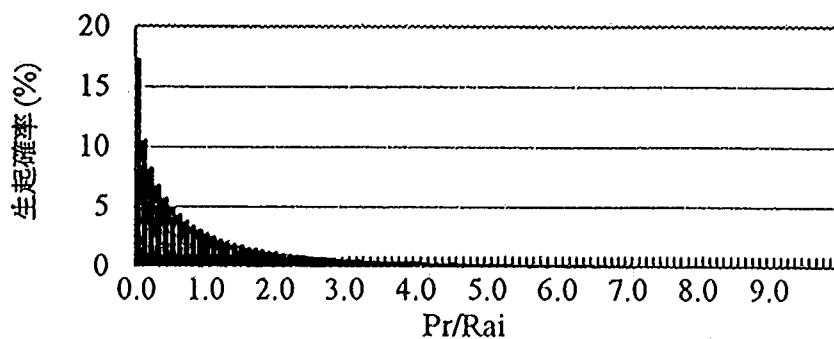


図-5.1 式 (5.1) から求められる確率密度関係

り、一律に増大させることはできない。

(2) モデルの検証

モデルを検証するために、裏筑波流出試験地に適用し、観測結果と比較した。解析には祖父が峰雨量観測所の1969-1985年の降水データを用い、モデルでは100回シミュレートした。シミュレーションのフローを図-5.2に示す。また、降雨判別と降雨量算定に用いた各気象パターンに対する裏筑波における無降水確率と平均降水量を表-5.1に示す。

表-5.1 裏筑波における気象分類別降水特性

| 気象パターン | 無降水確率 | 有降水時 平均降水量(mm) | 気象パターン | 無降水確率 | 有降水時 平均降水量(mm) |
|--------|--------|-------------------|--------|--------|-------------------|
| I | 0.8527 | 4.5 | III d | 0.8455 | 6.3 |
| II a | 0.9722 | 9.8 | IV a | 0.3360 | 12.8 |
| II b | 0.5928 | 13.1 | IV b | 0.4299 | 11.5 |
| II c | 0.3945 | 14.4 | V | 0.8601 | 11.0 |
| II d | 0.3731 | 14.6 | VI a | 0.5870 | 15.3 |
| III a | 0.6081 | 10.6 | VI b | 0.4259 | 27.4 |
| III b | 0.8204 | 7.8 | VI c | 0.8333 | 3.9 |
| III c | 0.8602 | 7.5 | | | |

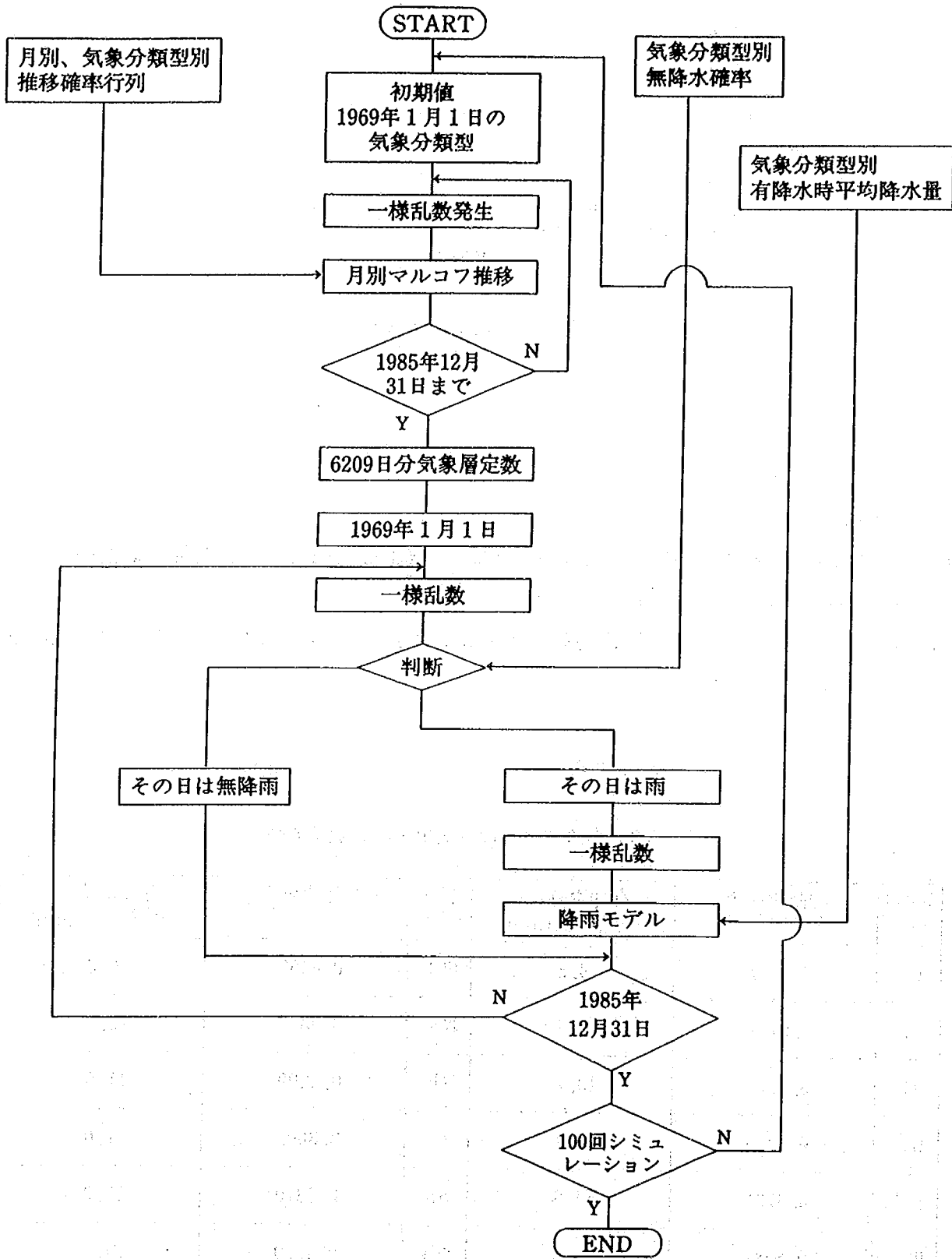


図-5.2 シミュレーションのフロー

観測結果とシミュレーション結果の年平均降水量を表-5.2に、順位毎の観測値とシミュレーションの平均値を図-5.3に示す。降雨算定式の期待値は平均雨量とほぼ一致するようになっているため、与えた乱数が一様であり、かつ十分な数量があれば、平均降水量は当然ほとんど一致する。また、降雨分布も全気象パターンについて重ね合わせれば概ね一致している。ただし、与える降水特性の分布形等に依存して、高い方では多少あわないところもある。これから、全体的な降水量や分布特性に関する過去のデータに基づく過去の降雨シミュレーション結果は、平均値や降水分布を元々合わせているので過去の観測結果を表現できる。図-5.4は、連続無降雨日数の頻度を比較して表したものである。これより、シミュレーション結果は観測値よりも連続無降雨日数が過小評価となっている。これは、冬期に強度の弱い雨が降り過ぎているためである。この原因は、降雨の判定が確率だけによっていて、気圧や風の強さ等の物理機構や日々の天気の変り変わり等の履歴効果が考慮されていないためである。言い替えれば、時系列的な並びについては確率過程に基づいて単純に決定されているので、この特性は与えた乱数の特性のみに依存してきまる。すなわち、乱数に癖がなければ、適当な期間をおけば確率的にいつかは降雨が生じてしまう。したがって、モデルで評価できるのは、ある程度長期間平均をとった場合の平均降水量や降水量分布の特性である。乱数の特性で決まる日

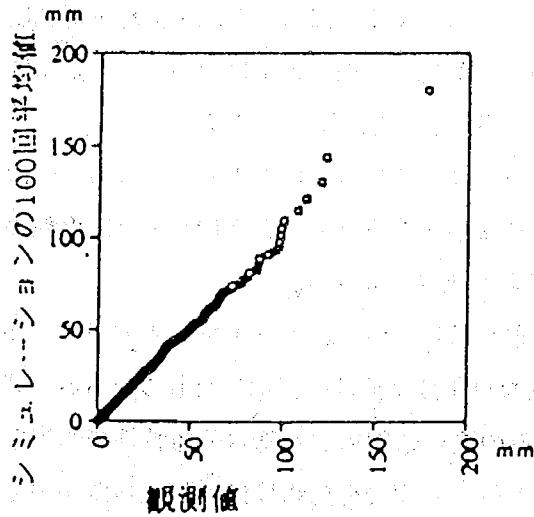


表-5.2 気象暦を利用したシミュレーション結果による年平均降水量(mm)

| | |
|----------------|--------|
| 裏筑波観測値'69, '85 | 1381.3 |
| シミュレーション結果 | 1385.1 |

図-5.3 観測降水と擬似降水の順位比較

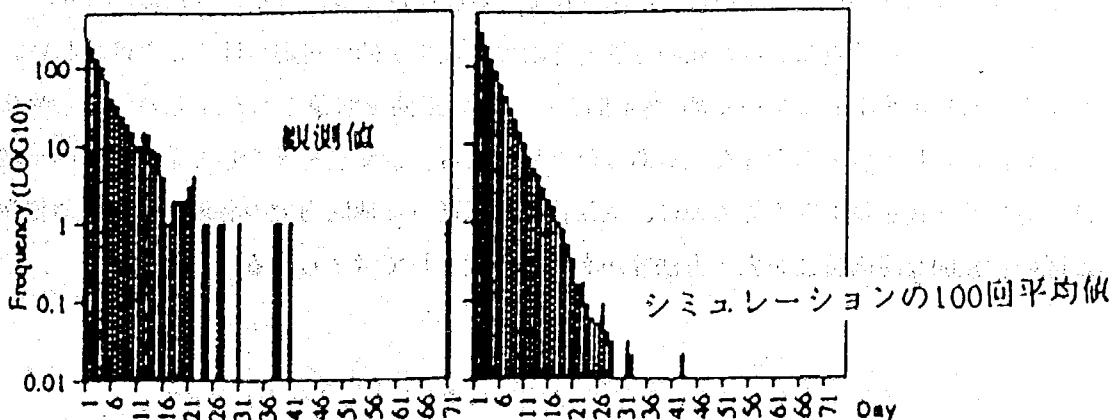


図-5.4 観測降水と擬似降水の連続無降水日数の頻度 (6209日)

単位の時系列データから求められる連続無降水日数などの極値を、このモデルを用いて表すことは必ずしもできないと判断される。

なお、平均降水量や降水量確率分布は式で与えられているので、時系列データを必要としないのであれば、モンテカルロ法を用いなくても、全体的な降水の平均量や分布は簡単な計算によって求めることができる。

5.3 過去の気象パターンと降水量の関係

気象パターンと降水量の関係を調べるために、1961年～1985年の25年間に、気象庁気象観測所で観測された日降水量について整理を行った。用いたデータは図-5.5に示す15地点で計測されたものである。これらの地点は、気温や降水量等に基づいて分類した日本の代表的な気候区分を代表するように選んだものである。

図-5.6は各地点での気象パターンに対する日降水量の期待値を示している。この図を作るベースとした各地点での無降水確率及び降水時の平均降水量を章末の参考資料に示す。(表-5.3) 北海道と東北地方では、VIc型による降雨の期待値が高い。しかし、VIc型が現れることはまれである。北海道では前線による降水は少なく、東北では前線が日本上にあれば降水は生じている。関東地方では、多くの降水は台風・前線・低気圧に起因して生じており、これらの大きさに明瞭な違いは見られない。中部地方と西南外帯においても、降水は主に台風・前線・低気圧によって生じている。そこでの降水量の大きさは、関東地方よりも大きい。

日本海側の地域の特徴として冬期のI型での降水がある。これは、多くの場合、降雪と考えられる。金沢は特にI型での降水強度が多く、年間に占める降水日数の割合も他の場所よりも多い。西南内帯では、台風による降水強度はそれほど大きくなく、前線による降水強度が他の場合と比べて大きい。

図-5.7は、静岡における低気圧・前線・台風時の降雨強度分布を示している。マーキングの違いは、25年間のデータを年平均気温の高い7年分、低い7年分、及び中間的な11年分に分けて表示したものである。第1の区分と第2の区分の気温の差は約0.5℃である。年平均気温のみの違いに起因した降水分布特性の明瞭な違いは見られない。低気圧と前線(Type II及びIII)の場合における降雨強度の発生頻度は、降雨強度が強くなるにつれて指数関数的に少なくなる。一方、台風(Type VI)の場合には30mm/dayを越えるとほぼ同一程度の発生頻度となっている。これは、台風時の降雨量は、台風の強さ・大きさや位置・移動方向等に依存しているためであると考えられる。しかしながら、観測されている範囲内では、日本にきた台風のイベント数はそれほど多くないため、この結果のみから台風の特性と降雨の特性を明確に対応づけることは難しい。

気象に関する情報量が基本的に多いため、25年間という短い期間を対象とした。そのため、個々のイベント数が少なく統計情報として多少不十分な点もあったと思われる。情報量を多くして基礎情報の精度を上げる手段としては、対象期間長を長く取る等の他に、気候特性が似通った地区内での各地点における情報を集計化して、その地区の代表的な降雨特性を表す方法等が有効な手段として考えられる。

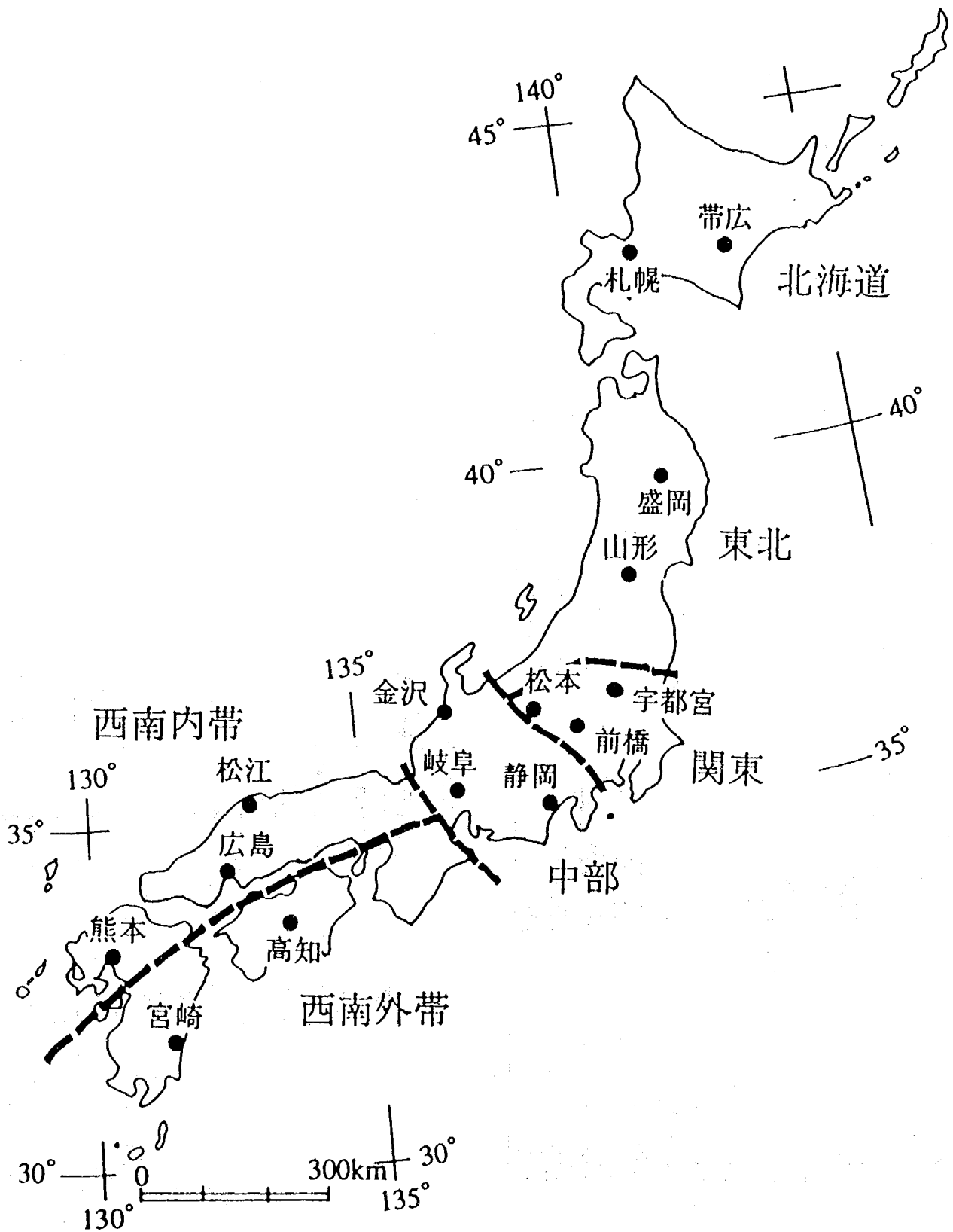


図-5.5 解析に用いた気象庁気象観測所の位置

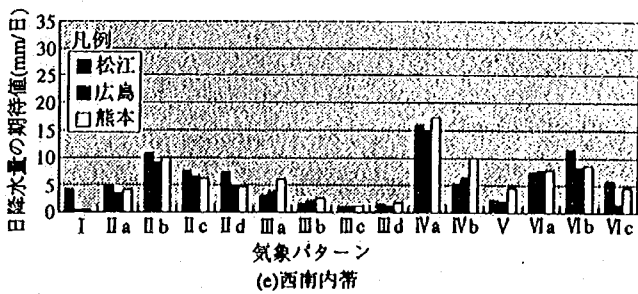
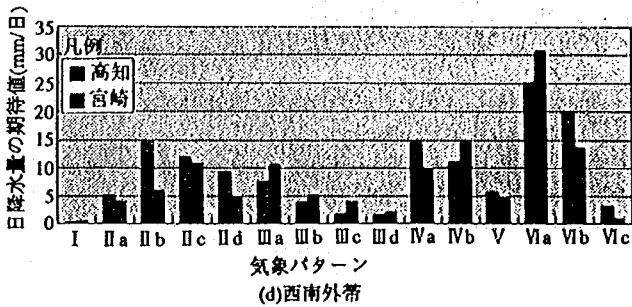
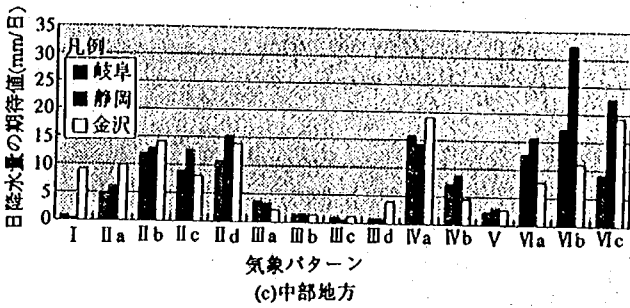
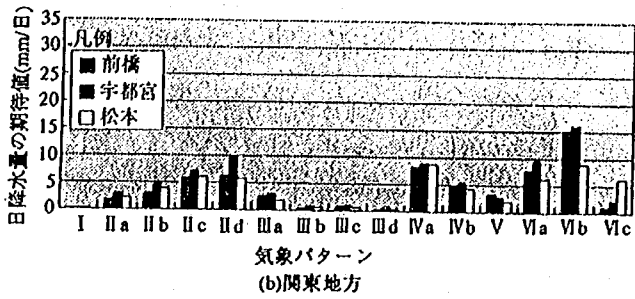
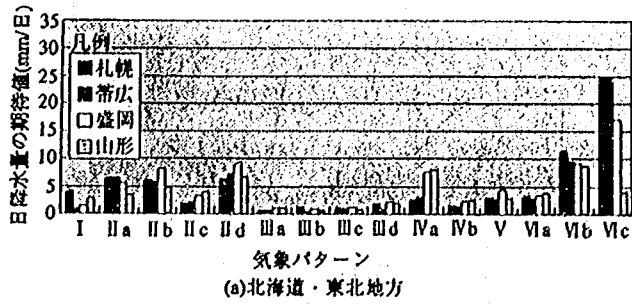


図-5.6 各地点での気象パターンに対する日降水量の期待値

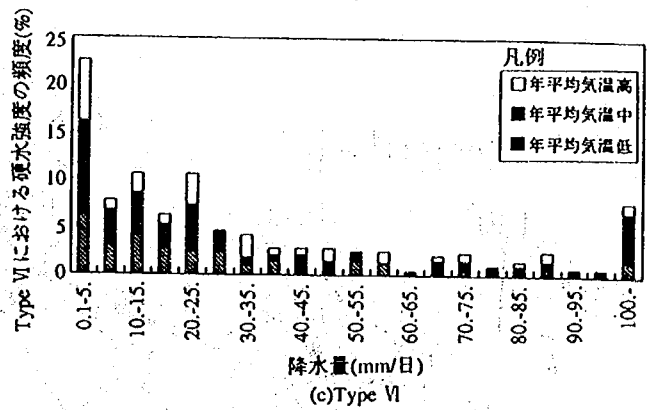
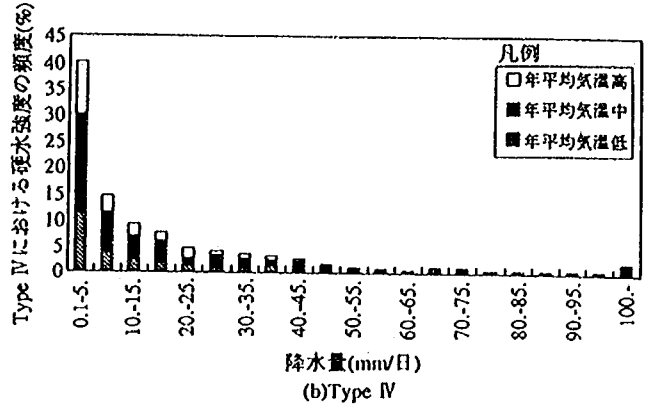
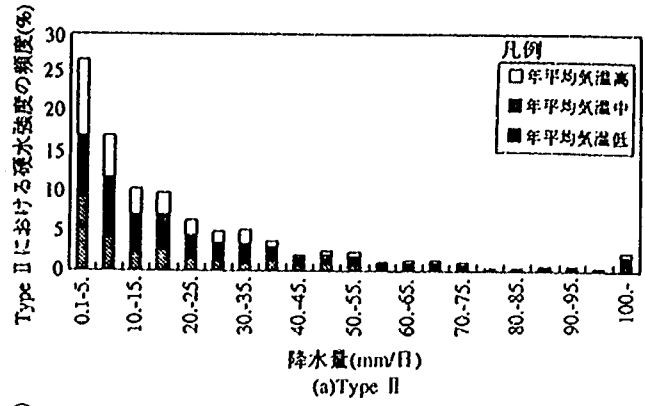


図-5.7 静岡におけるII型・IV型・VI型時の降雨強度頻度分布

5.4 確率過程に基づく擬似降水シミュレーション

観測データの気象パターン及びGCMの炭酸ガス濃度通常シナリオと炭酸ガス濃度倍増シナリオのもとでGCMの出力に基づく気象パターンについて、月別に日遷移確率行列を作成した。遷移確率行列を用い、モンテカルロ法によって気象パターンの時系列データを200年間分作成した。降雨シミュレーションを、作成した各シナリオ別の200年間の時系列データに対して行うことにより、日降水量の時系列データを求めた。以下の検討のベースとした計算結果を、章末の参考資料(表-5.4、5.5、5.6)に示す。

先に示した15地点において、炭酸ガス通常シナリオ、炭酸ガス倍増シナリオ、現状データシナリオについて降雨日系列データを求めた結果を年間降水量の形で示したものが図-5.8である。これによると、炭酸ガス濃度の倍増に起因した年間降水量の変化はそれほど大きいものではないことがわかる。図-5.9は、図-5.8における年間降水量の差を取ったものである。これより、関東地方・中部地方及び西南外帯では降水量が低下し、一方、北海道、東北地方、西南内帯では降水量は1%~2%増加しているか、ごくわずかに減少している。

これらの降水量の変化は、気象パターンの出現率の変化に起因している。図-5.10は、盛岡、静岡、高知における気候変化に伴う気象パターン毎の年間降水量の差を示したものである。炭酸ガス濃度の増加に伴い、一般的に、V型と前線(IVa型)による降水量は増加し、日本にくる台風の数減少に伴って、台風に起因した降水量が減っている。V型は典型的な夏の天気であり、ほとんどの場合晴天であり、降雨時の降水量は高い。過去のV型の降水に関して日々の降水の原因を明確にしたわけではないがV型での降水は雷雨が多いと考えられる。したがって、V型での降水量の増大は雷雨の増大を示す可能性がある。盛岡では、静岡や高知と比べて、台風に起因した降水量の減少の割合が小さい。前線とV型の場合における降水量の増加は場所によってそれほど変わっていない。盛岡でのこれらの和は台風による降水量の減少と同程度か多少大きい程度である。また、低気圧時の降水量は全体的に増加傾向にあり、移動性高気圧時の降水量は減少傾向にある。

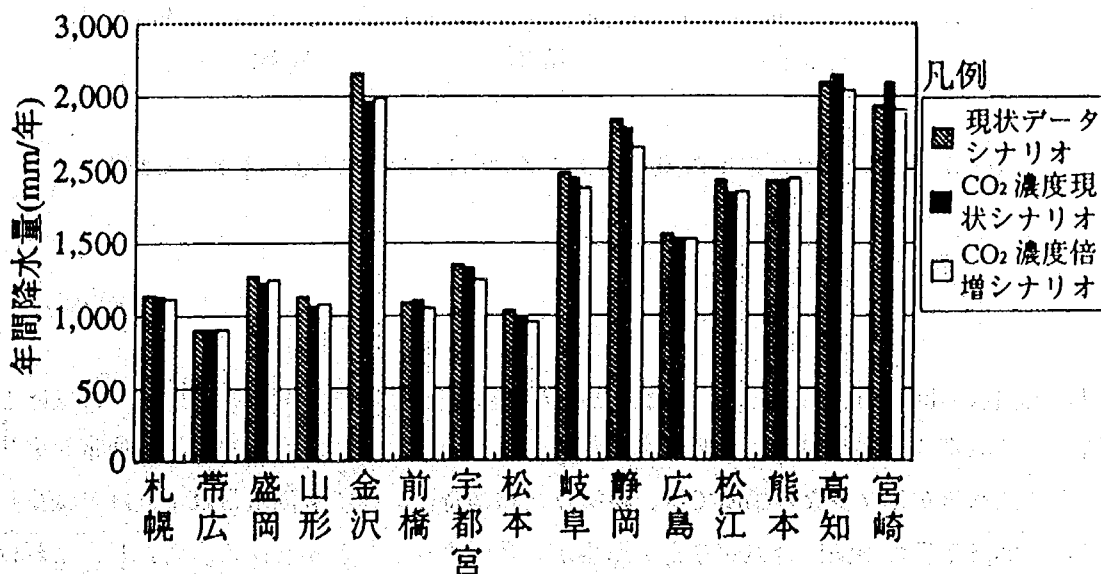


図-5.8 各シナリオにおける各地の年間降水量

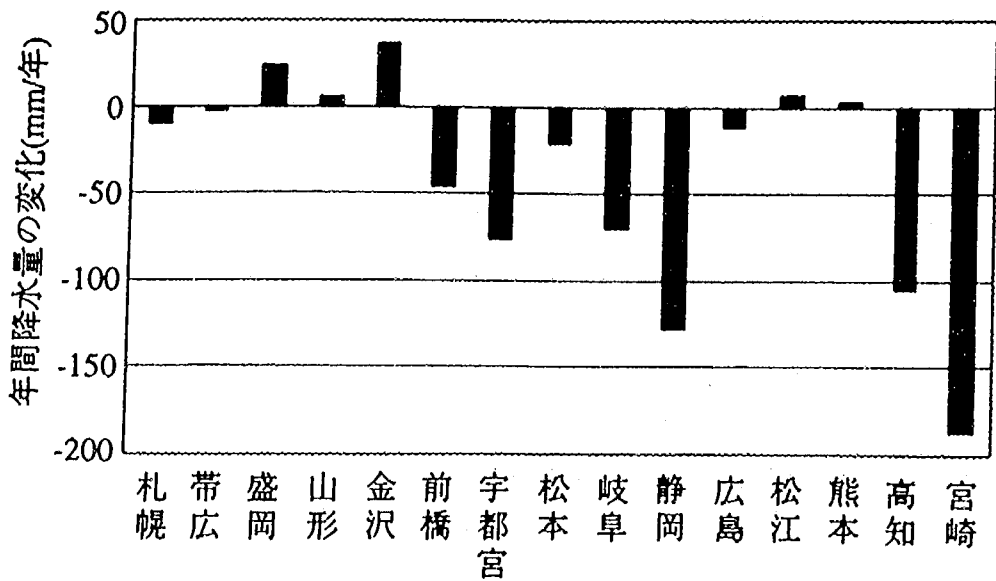


図-5.9 炭酸ガス濃度の違いによる各地の年間降水量の変化

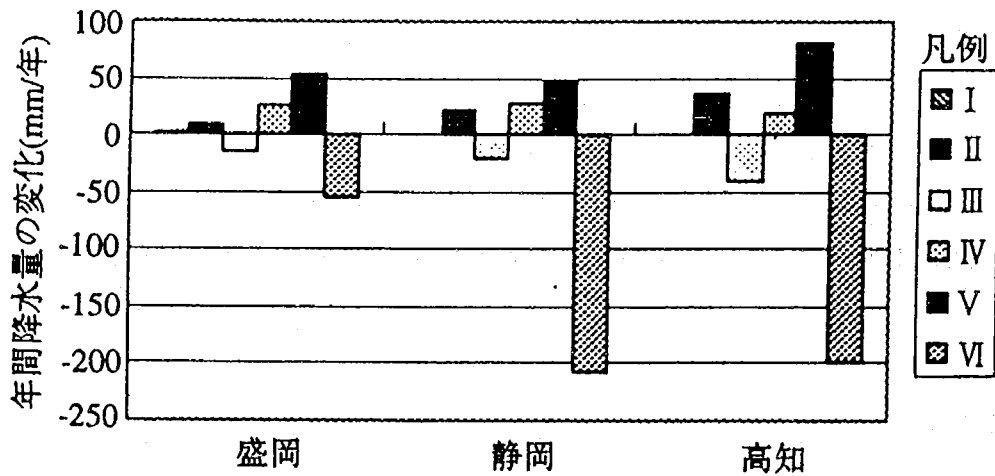


図-5.10 炭酸ガス濃度の違いによる各地気象パターン毎の降水量の変化

図-5.9と図-5.10の比較から明らかなように、炭酸ガス濃度通常シナリオの条件下で、台風による降水量が大きい場所で、炭酸ガス濃度増加時に年間降水量が減少している。逆に、炭酸ガス濃度通常シナリオの条件下で、台風による降水量が元々少ない場所では、炭酸ガス増加時においても降水量はそれほど減少しない。したがって、平均年間降水量の増減に台風が与える影響が非常に大きいことがわかる。ただし、これは平均値であるから、実際には年毎に日本にくる台風の数によって大きな変動が生じることが予想される。台風を除いて考えれば、どの地方も増加傾向にあるようである。

図-5.11は、気候変化に起因した大雨の発生頻度の変化を示している。図-5.9と比較する変化のパターンがほぼ同様である。すなわち、大雨の頻度は、関東地方、中部地方、西南外帯で減少している。これまで示してきたように、これらの大雨の頻度の変化は日本にくる台風の数の変化に起因すると考えられる。ただし、冬期に大雪の降る金沢は他の地域と多少傾向が異なる。

以上のことから、台風が降雨量の変化に与える影響は非常に大きく、気候変化に伴う降水量の変化を精度良く知るためには、気候変化に伴う台風の規模や挙動の変化についての予測が重要であることがわかる。

図-5.12, 5.13は、先の盛岡・静岡・高知における各降雨パターンに対する年間降水量と全気象パターンについて集計した月別降水量を示している。盛岡での降水量はII型、IV型とV型によるものが多い。静岡では、II型、IV型とVI型による降水量が多く、V型の降水量は他の2つと比べて少なくなっている。高知では、全体的に降水量が多い。月別に見ると、盛岡では年間の降水量の変動はあまり大きくなく、気候変化に伴う変化も小さい。静岡・高知では、降水量は全体的に高く、特に夏期に高い。気候変動に伴う降水量の変化は秋に大きい結果となっている。

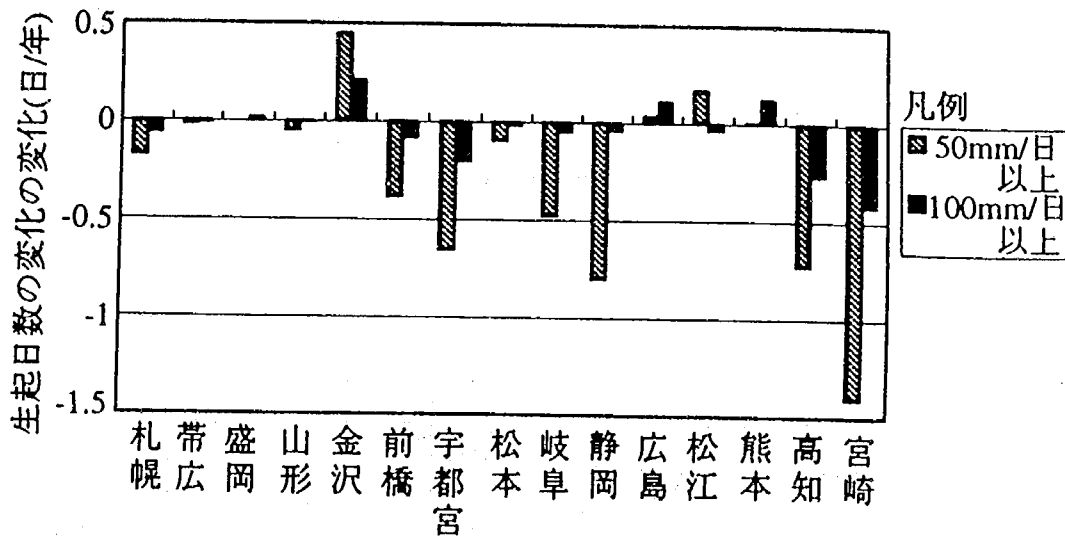


図-5.11 炭酸ガス濃度の違いによる各地の大雨発生頻度の変化

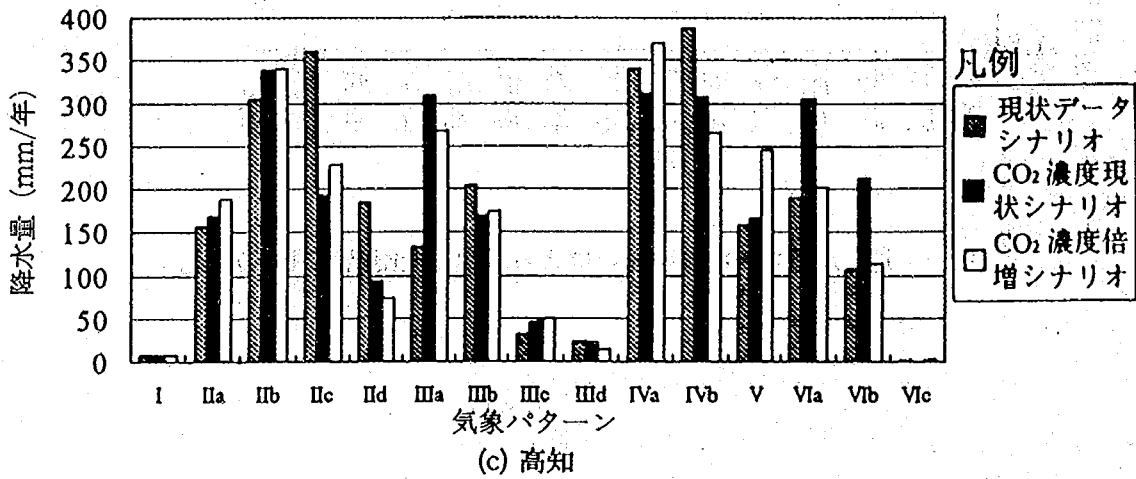
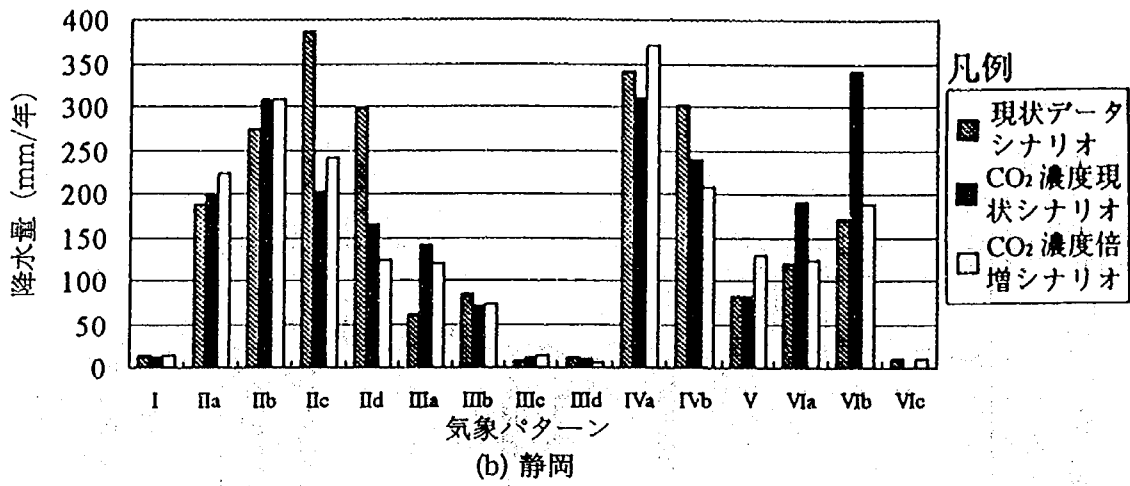
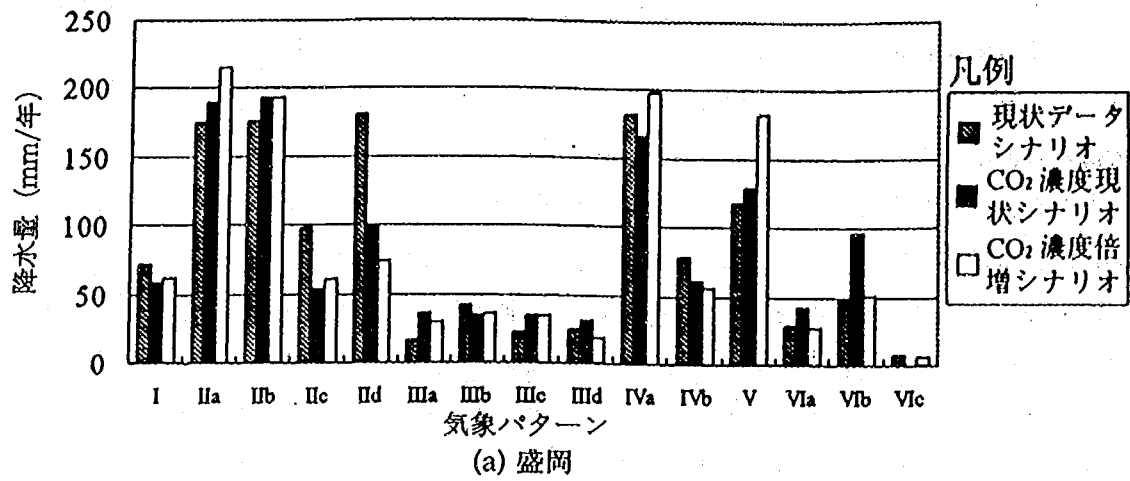


図-5.12 各気象パターンに対する年間降水量

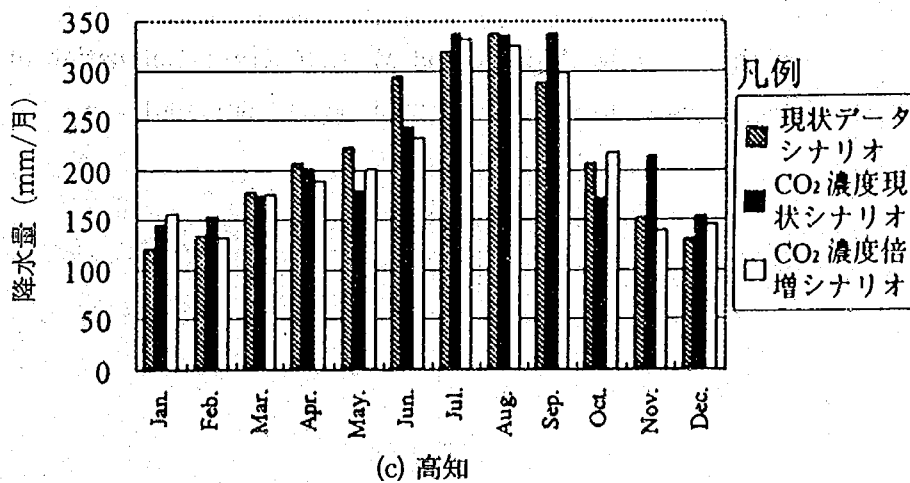
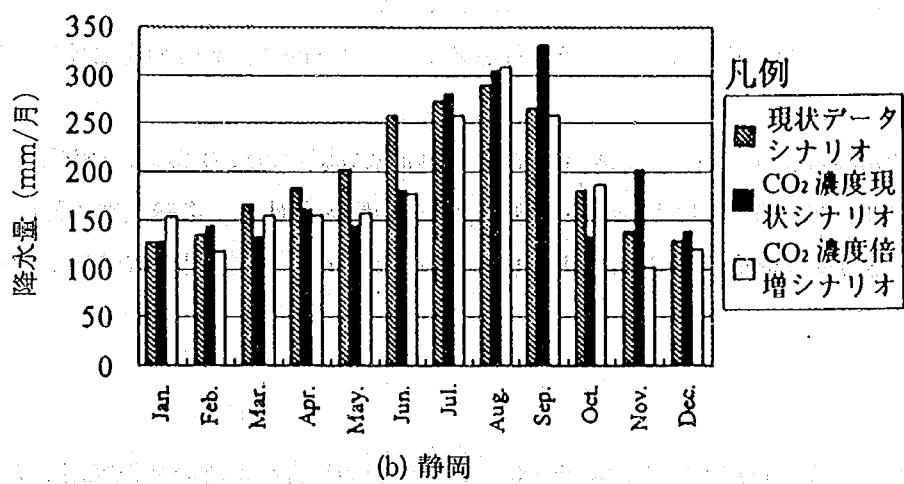
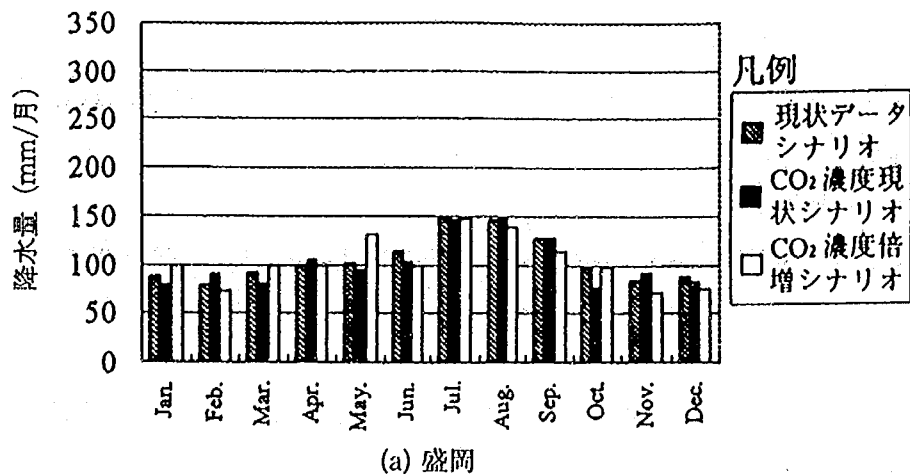


図-5.13 各月の降水量

5.5 まとめ

MRIGCM の出力結果に気象パターン解析法を適用してシナリオを作成し、地球温暖化に伴う日本域での降水量の変化を擬似降雨シミュレーションに基づいて検討を行った。

主な結果は次のように集約できる。

- 1) 一般的には、V型（北太平洋高気圧が支配）の出現頻度増加に伴って、この気象パターンによる降雨が増大している。次いで、気圧の谷と前線性の降雨が増えており、これらの合計がV型による降水と同程度である。
- 台風による降雨は減少している。すなわち、台風に起因する降水量を除けば、降水量は年間で50mm～100mm程度増加する可能性がある。
- 2) 北海道・東北地方・西南内帯では年間降水量はほとんど変化していない。金沢等の日本海側では、冬期の西高東低の気圧配置時の降水により、年間降水量は若干増加している。
- 3) 関東地方・中部地方・西南外帯では年間降水量が減少し、平均的には大雨の発生数も減少することが示された。
- 4) 降雨量の大きな減少は、主に日本に來襲する台風（熱帯低気圧）の数の減少に起因して生じている。

ただし、以上の推論は、GCMによる気象現象モデル化の制約条件と、温暖化時における気象パターンと降水量の関係が、過去の統計的關係から変化しないという仮定のもとでのものであることに留意する必要がある。

参考文献

- 1) 藤兼雅和・益倉克成：地球温暖化が河川流量に及ぼす影響把握のための擬似降雨モデルの開発，水文・水資源学会1993年研究発表会要旨集，1993.
- 2) 吉野正敏：気候学，1978.
- 3) L. E. Hay, G. J. McCabe Jr, D. M. Wolock and M. A. Ayers : Simulation of precipitation by weather pattern analysis., Water Res. Res., Vol. 27-4, pp. 493-501, 1991.

表-5.3 (1) 各地点の無降水確率及び有降水時の平均降水量の集計表 (1961~1985)

(1) 札幌

| 気象パターン | 有降水日数 | 無降水日数 | 総日数 | 総降雨量(mm) | 無降水確率 | 有降水時平均雨量(mm) |
|--------|--------|-------|--------|----------|-------|--------------|
| I | 1012.0 | 437.0 | 1449.0 | 5689.4 | 0.30 | 5.6 |
| IIa | 620.0 | 203.0 | 823.0 | 5253.1 | 0.25 | 8.5 |
| IIb | 357.0 | 158.0 | 515.0 | 3107.6 | 0.31 | 8.7 |
| IIc | 291.5 | 429.5 | 721.0 | 1237.6 | 0.60 | 4.2 |
| IId | 315.0 | 187.5 | 502.5 | 3134.5 | 0.37 | 10.0 |
| IIIa | 96.0 | 360.0 | 456.0 | 270.0 | 0.79 | 2.8 |
| IIIb | 497.0 | 894.5 | 1391.5 | 1642.0 | 0.64 | 3.3 |
| IIIc | 128.5 | 335.5 | 464.0 | 432.7 | 0.72 | 3.4 |
| IIId | 179.5 | 147.5 | 327.0 | 598.0 | 0.45 | 3.3 |
| IVa | 233.0 | 371.0 | 604.0 | 1492.9 | 0.61 | 6.4 |
| IVb | 276.5 | 603.0 | 879.5 | 1465.7 | 0.69 | 5.3 |
| V | 258.5 | 425.0 | 683.5 | 1964.9 | 0.62 | 7.6 |
| VIa | 58.5 | 117.0 | 175.5 | 561.1 | 0.67 | 9.6 |
| VIb | 59.0 | 70.5 | 129.5 | 1480.4 | 0.54 | 25.1 |
| VIc | 9.0 | 1.0 | 10.0 | 244.9 | 0.10 | 27.2 |

(2) 帯広

| 気象パターン | 有降水日数 | 無降水日数 | 総日数 | 総降雨量(mm) | 無降水確率 | 有降水時平均雨量(mm) |
|--------|-------|--------|--------|----------|-------|--------------|
| I | 290.5 | 1158.5 | 1449.0 | 1153.1 | 0.80 | 4.0 |
| IIa | 514.0 | 309.0 | 823.0 | 5341.9 | 0.38 | 10.4 |
| IIb | 293.0 | 222.0 | 515.0 | 2949.6 | 0.43 | 10.1 |
| IIc | 203.5 | 517.5 | 721.0 | 1414.8 | 0.72 | 7.0 |
| IId | 304.0 | 198.5 | 502.5 | 3650.9 | 0.40 | 12.0 |
| IIIa | 63.0 | 393.0 | 456.0 | 234.8 | 0.86 | 3.7 |
| IIIb | 178.5 | 1213.0 | 1391.5 | 602.1 | 0.87 | 3.4 |
| IIIc | 72.0 | 392.0 | 464.0 | 392.1 | 0.84 | 5.4 |
| IIId | 76.0 | 251.0 | 327.0 | 246.9 | 0.77 | 3.2 |
| IVa | 264.0 | 340.0 | 604.0 | 1828.2 | 0.56 | 6.9 |
| IVb | 259.0 | 620.5 | 879.5 | 1253.3 | 0.71 | 4.8 |
| V | 250.0 | 433.5 | 683.5 | 1828.1 | 0.63 | 7.3 |
| VIa | 60.0 | 115.5 | 175.5 | 507.8 | 0.66 | 8.5 |
| VIb | 69.5 | 60.0 | 129.5 | 1231.4 | 0.46 | 17.7 |
| VIc | 8.0 | 2.0 | 10.0 | 246.6 | 0.20 | 30.8 |

(3) 盛岡

| 気象パターン | 有降水日数 | 無降水日数 | 総日数 | 総降雨量(mm) | 無降水確率 | 有降水時平均雨量(mm) |
|--------|-------|--------|--------|----------|-------|--------------|
| I | 652.5 | 796.5 | 1449.0 | 1805.6 | 0.55 | 2.8 |
| IIa | 577.5 | 245.5 | 823.0 | 4578.5 | 0.30 | 7.9 |
| IIb | 381.5 | 133.5 | 515.0 | 4145.1 | 0.26 | 10.9 |
| IIc | 339.0 | 382.0 | 721.0 | 2346.7 | 0.53 | 6.9 |
| IId | 385.0 | 117.5 | 502.5 | 4580.6 | 0.23 | 11.9 |
| IIIa | 82.0 | 374.0 | 456.0 | 392.7 | 0.82 | 4.8 |
| IIIb | 273.5 | 1118.0 | 1391.5 | 1037.4 | 0.80 | 3.8 |
| IIIc | 135.5 | 328.5 | 464.0 | 588.9 | 0.71 | 4.3 |
| IIId | 159.5 | 167.5 | 327.0 | 646.9 | 0.51 | 4.1 |
| IVa | 367.5 | 236.5 | 604.0 | 4606.2 | 0.39 | 12.5 |
| IVb | 310.5 | 569.0 | 879.5 | 1996.9 | 0.65 | 6.4 |
| V | 265.5 | 418.0 | 683.5 | 2916.2 | 0.61 | 11.0 |
| VIa | 65.0 | 110.5 | 175.5 | 617.2 | 0.63 | 9.5 |
| VIb | 68.0 | 61.5 | 129.5 | 1169.2 | 0.47 | 17.2 |
| VIc | 8.5 | 1.5 | 10.0 | 170.7 | 0.15 | 20.1 |

表-5.3 (2) 各地点の無降水確率及び有降水時の平均降水量の集計表 (1961~1985)

(4) 山形

| 気象 パターン | 有降水 日数 | 無降水 日数 | 総日数 | 総降雨量 (mm) | 無降水 確率 | 有降水時 平均雨量(mm) |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|------------------|
| I | 1003.5 | 445.5 | 1449.0 | 4070.8 | 0.31 | 4.1 |
| IIa | 488.5 | 334.5 | 823.0 | 2793.4 | 0.41 | 5.7 |
| IIb | 356.5 | 158.5 | 515.0 | 2490.1 | 0.31 | 7.0 |
| IIc | 385.5 | 335.5 | 721.0 | 2852.4 | 0.47 | 7.4 |
| IId | 388.5 | 114.0 | 502.5 | 3389.5 | 0.23 | 8.7 |
| IIIa | 104.0 | 352.0 | 456.0 | 440.6 | 0.77 | 4.2 |
| IIIb | 273.0 | 1118.5 | 1391.5 | 734.8 | 0.80 | 2.7 |
| IIIc | 93.0 | 371.0 | 464.0 | 310.8 | 0.80 | 3.3 |
| IIId | 159.5 | 167.5 | 327.0 | 599.3 | 0.51 | 3.8 |
| IVa | 419.5 | 184.5 | 604.0 | 4810.0 | 0.31 | 11.5 |
| IVb | 328.5 | 551.0 | 879.5 | 2117.1 | 0.63 | 6.4 |
| V | 184.5 | 499.0 | 683.5 | 1894.3 | 0.73 | 10.3 |
| VIa | 57.5 | 118.0 | 175.5 | 664.4 | 0.67 | 11.6 |
| VIb | 64.5 | 65.0 | 129.5 | 1119.8 | 0.50 | 17.4 |
| VIc | 7.5 | 2.5 | 10.0 | 39.3 | 0.25 | 5.2 |

(5) 金沢

| 気象 パターン | 有降水 日数 | 無降水 日数 | 総日数 | 総降雨量 (mm) | 無降水 確率 | 有降水時 平均雨量(mm) |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|------------------|
| I | 1251.5 | 197.5 | 1449.0 | 13296.5 | 0.14 | 10.6 |
| IIa | 566.5 | 256.5 | 823.0 | 8062.1 | 0.31 | 14.2 |
| IIb | 430.5 | 84.5 | 515.0 | 7212.5 | 0.16 | 16.8 |
| IIc | 480.5 | 240.5 | 721.0 | 5827.0 | 0.33 | 12.1 |
| IId | 447.0 | 55.5 | 502.5 | 6946.5 | 0.11 | 15.5 |
| IIIa | 134.5 | 321.5 | 456.0 | 1006.6 | 0.71 | 7.5 |
| IIIb | 374.0 | 1017.5 | 1391.5 | 1879.7 | 0.73 | 5.0 |
| IIIc | 99.5 | 364.5 | 464.0 | 538.0 | 0.79 | 5.4 |
| IIId | 173.5 | 153.5 | 327.0 | 1270.3 | 0.47 | 7.3 |
| IVa | 444.0 | 160.0 | 604.0 | 11392.8 | 0.26 | 25.7 |
| IVb | 392.0 | 487.5 | 879.5 | 3789.5 | 0.55 | 9.7 |
| V | 153.0 | 530.5 | 683.5 | 1793.3 | 0.78 | 11.7 |
| VIa | 61.5 | 114.0 | 175.5 | 1360.1 | 0.65 | 22.1 |
| VIb | 80.0 | 49.5 | 129.5 | 1418.9 | 0.38 | 17.7 |
| VIc | 7.0 | 3.0 | 10.0 | 192.6 | 0.30 | 27.5 |

(6) 宇都宮

| 気象 パターン | 有降水 日数 | 無降水 日数 | 総日数 | 総降雨量 (mm) | 無降水 確率 | 有降水時 平均雨量(mm) |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|------------------|
| I | 107.0 | 1342.0 | 1449.0 | 334.5 | 0.93 | 3.1 |
| IIa | 282.0 | 541.0 | 823.0 | 2287.8 | 0.66 | 8.1 |
| IIb | 218.5 | 296.5 | 515.0 | 2270.5 | 0.58 | 10.4 |
| IIc | 437.0 | 284.0 | 721.0 | 5111.2 | 0.39 | 11.7 |
| IId | 350.5 | 152.0 | 502.5 | 4903.5 | 0.30 | 14.0 |
| IIIa | 159.5 | 296.5 | 456.0 | 1277.0 | 0.65 | 8.0 |
| IIIb | 185.5 | 1206.0 | 1391.5 | 971.2 | 0.87 | 5.2 |
| IIIc | 51.5 | 412.5 | 464.0 | 420.0 | 0.89 | 8.2 |
| IIId | 33.0 | 294.0 | 327.0 | 233.8 | 0.90 | 7.1 |
| IVa | 434.5 | 169.5 | 604.0 | 5345.4 | 0.28 | 12.3 |
| IVb | 494.5 | 385.0 | 879.5 | 4799.2 | 0.44 | 9.7 |
| V | 192.5 | 491.0 | 683.5 | 1821.1 | 0.72 | 9.5 |
| VIa | 84.5 | 91.0 | 175.5 | 1656.0 | 0.52 | 19.6 |
| VIb | 93.5 | 36.0 | 129.5 | 2064.7 | 0.28 | 22.1 |
| VIc | 5.0 | 5.0 | 10.0 | 21.9 | 0.50 | 4.4 |

表-5.3 (3) 各地点の無降水確率及び有降水時の平均降水量の集計表 (1961~1985)

(7) 松本

| 気象 パターン | 有降水 日数 | 無降水 日数 | 総日数 | 総降雨量 (mm) | 無降水 確率 | 有降水時 平均雨量(mm) |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|------------------|
| I | 160.0 | 1289.0 | 1449.0 | 215.9 | 0.89 | 1.3 |
| IIa | 254.5 | 568.5 | 823.0 | 1705.9 | 0.69 | 6.7 |
| IIb | 255.0 | 260.0 | 515.0 | 2001.2 | 0.50 | 7.8 |
| IIc | 404.0 | 317.0 | 721.0 | 4315.9 | 0.44 | 10.7 |
| IId | 319.0 | 183.5 | 502.5 | 2938.9 | 0.37 | 9.2 |
| IIIa | 128.5 | 327.5 | 456.0 | 830.1 | 0.72 | 6.5 |
| IIIb | 124.0 | 1267.5 | 1391.5 | 666.8 | 0.91 | 5.4 |
| IIIc | 46.0 | 418.0 | 464.0 | 220.6 | 0.90 | 4.8 |
| IIId | 28.0 | 299.0 | 327.0 | 82.7 | 0.91 | 3.0 |
| IVa | 399.0 | 205.0 | 604.0 | 5220.8 | 0.34 | 13.1 |
| IVb | 397.5 | 482.0 | 879.5 | 3808.0 | 0.55 | 9.6 |
| V | 195.5 | 488.0 | 683.5 | 1341.3 | 0.71 | 6.9 |
| VIa | 71.0 | 104.5 | 175.5 | 1104.6 | 0.60 | 15.6 |
| VIb | 81.5 | 48.0 | 129.5 | 1134.6 | 0.37 | 13.9 |
| VIc | 4.5 | 5.5 | 10.0 | 62.3 | 0.55 | 13.8 |

(8) 前橋

| 気象 パターン | 有降水 日数 | 無降水 日数 | 総日数 | 総降雨量 (mm) | 無降水 確率 | 有降水時 平均雨量(mm) |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|------------------|
| I | 82.5 | 1366.5 | 1449.0 | 171.7 | 0.94 | 2.1 |
| IIa | 225.0 | 598.0 | 823.0 | 1479.2 | 0.73 | 6.6 |
| IIb | 219.5 | 295.5 | 515.0 | 1450.7 | 0.57 | 6.6 |
| IIc | 412.5 | 308.5 | 721.0 | 4121.4 | 0.43 | 10.0 |
| IId | 316.0 | 186.5 | 502.5 | 3102.9 | 0.37 | 9.8 |
| IIIa | 161.5 | 294.5 | 456.0 | 1135.9 | 0.65 | 7.0 |
| IIIb | 146.0 | 1245.5 | 1391.5 | 603.8 | 0.90 | 4.1 |
| IIIc | 53.5 | 410.5 | 464.0 | 337.0 | 0.88 | 6.3 |
| IIId | 29.0 | 298.0 | 327.0 | 135.4 | 0.91 | 4.7 |
| IVa | 441.5 | 162.5 | 604.0 | 4883.5 | 0.27 | 11.1 |
| IVb | 487.0 | 392.5 | 879.5 | 4225.2 | 0.45 | 8.7 |
| V | 187.5 | 496.0 | 683.5 | 2302.2 | 0.73 | 12.3 |
| VIa | 86.5 | 89.0 | 175.5 | 1370.4 | 0.51 | 15.8 |
| VIb | 93.0 | 36.5 | 129.5 | 1933.8 | 0.28 | 20.8 |
| VIc | 4.0 | 6.0 | 10.0 | 10.3 | 0.60 | 2.6 |

(9) 岐阜

| 気象 パターン | 有降水 日数 | 無降水 日数 | 総日数 | 総降雨量 (mm) | 無降水 確率 | 有降水時 平均雨量(mm) |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|------------------|
| I | 326.5 | 1122.5 | 1449.0 | 1035.3 | 0.77 | 3.2 |
| IIa | 337.5 | 485.5 | 823.0 | 3962.3 | 0.59 | 11.7 |
| IIb | 339.5 | 175.5 | 515.0 | 6152.7 | 0.34 | 18.1 |
| IIc | 430.5 | 290.5 | 721.0 | 6420.4 | 0.40 | 14.9 |
| IId | 358.0 | 144.5 | 502.5 | 5408.2 | 0.29 | 15.1 |
| IIIa | 155.0 | 301.0 | 456.0 | 1699.0 | 0.66 | 11.0 |
| IIIb | 188.0 | 1203.5 | 1391.5 | 1754.9 | 0.86 | 9.3 |
| IIIc | 45.0 | 419.0 | 464.0 | 390.0 | 0.90 | 8.7 |
| IIId | 53.0 | 274.0 | 327.0 | 230.5 | 0.84 | 4.3 |
| IVa | 422.0 | 182.0 | 604.0 | 9451.9 | 0.30 | 22.4 |
| IVb | 438.5 | 441.0 | 879.5 | 6207.5 | 0.50 | 14.2 |
| V | 174.5 | 509.0 | 683.5 | 1644.8 | 0.74 | 9.4 |
| VIa | 89.5 | 86.0 | 175.5 | 2209.2 | 0.49 | 24.7 |
| VIb | 80.0 | 49.5 | 129.5 | 2212.7 | 0.38 | 27.7 |
| VIc | 4.5 | 5.5 | 10.0 | 89.4 | 0.55 | 19.9 |

表-5.3 (4) 各地点の無降水確率及び有降水時の平均降水量の集計表 (1961~1985)

(10) 静岡

| 気象 パターン | 有降水 日数 | 無降水 日数 | 総日数 | 総降雨量 (mm) | 無降水 確率 | 有降水時 平均雨量(mm) |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|------------------|
| I | 95.0 | 1354.0 | 1449.0 | 372.4 | 0.93 | 3.9 |
| IIa | 284.0 | 539.0 | 823.0 | 4846.0 | 0.65 | 17.1 |
| IIb | 267.5 | 247.5 | 515.0 | 6617.2 | 0.48 | 24.7 |
| IIc | 468.5 | 252.5 | 721.0 | 9078.0 | 0.35 | 19.4 |
| IId | 353.5 | 149.0 | 502.5 | 7687.4 | 0.30 | 21.7 |
| IIIa | 164.0 | 292.0 | 456.0 | 1530.2 | 0.64 | 9.3 |
| IIIb | 231.0 | 1160.5 | 1391.5 | 2085.6 | 0.83 | 9.0 |
| IIIc | 49.0 | 415.0 | 464.0 | 217.4 | 0.89 | 4.4 |
| IIId | 32.5 | 294.5 | 327.0 | 239.7 | 0.90 | 7.4 |
| IVa | 370.0 | 234.0 | 604.0 | 8640.4 | 0.39 | 23.4 |
| IVb | 482.0 | 397.5 | 879.5 | 7528.3 | 0.45 | 15.6 |
| V | 151.5 | 532.0 | 683.5 | 2008.5 | 0.78 | 13.3 |
| VIa | 91.5 | 84.0 | 175.5 | 2727.4 | 0.48 | 29.8 |
| VIb | 97.5 | 32.0 | 129.5 | 4207.5 | 0.25 | 43.2 |
| VIc | 3.5 | 6.5 | 10.0 | 227.1 | 0.65 | 64.9 |

(11) 松江

| 気象 パターン | 有降水 日数 | 無降水 日数 | 総日数 | 総降雨量 (mm) | 無降水 確率 | 有降水時 平均雨量(mm) |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|------------------|
| I | 992.0 | 457.0 | 1449.0 | 5917.9 | 0.32 | 6.0 |
| IIa | 430.5 | 392.5 | 823.0 | 4053.4 | 0.48 | 9.4 |
| IIb | 411.0 | 104.0 | 515.0 | 5476.6 | 0.20 | 13.3 |
| IIc | 489.5 | 231.5 | 721.0 | 5501.9 | 0.32 | 11.2 |
| IId | 404.5 | 98.0 | 502.5 | 3634.9 | 0.20 | 9.0 |
| IIIa | 171.5 | 284.5 | 456.0 | 1385.8 | 0.62 | 8.1 |
| IIIb | 343.5 | 1048.0 | 1391.5 | 2037.3 | 0.75 | 5.9 |
| IIIc | 79.5 | 384.5 | 464.0 | 413.5 | 0.83 | 5.2 |
| IIId | 110.0 | 217.0 | 327.0 | 485.1 | 0.66 | 4.4 |
| IVa | 437.5 | 166.5 | 604.0 | 9682.0 | 0.28 | 22.1 |
| IVb | 394.5 | 485.0 | 879.5 | 4574.1 | 0.55 | 11.6 |
| V | 149.0 | 534.5 | 683.5 | 1650.5 | 0.78 | 11.1 |
| VIa | 65.5 | 110.0 | 175.5 | 1296.2 | 0.63 | 19.8 |
| VIb | 69.0 | 60.5 | 129.5 | 1482.5 | 0.47 | 21.5 |
| VIc | 5.5 | 4.5 | 10.0 | 57.8 | 0.45 | 10.5 |

(12) 広島

| 気象 パターン | 有降水 日数 | 無降水 日数 | 総日数 | 総降雨量 (mm) | 無降水 確率 | 有降水時 平均雨量(mm) |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|------------------|
| I | 186.5 | 1262.5 | 1449.0 | 380.7 | 0.87 | 2.0 |
| IIa | 243.0 | 580.0 | 823.0 | 2684.4 | 0.70 | 11.0 |
| IIb | 296.0 | 219.0 | 515.0 | 4670.9 | 0.43 | 15.8 |
| IIc | 382.0 | 339.0 | 721.0 | 4701.9 | 0.47 | 12.3 |
| IId | 242.0 | 260.5 | 502.5 | 2393.1 | 0.52 | 9.9 |
| IIIa | 157.0 | 299.0 | 456.0 | 1764.2 | 0.66 | 11.2 |
| IIIb | 274.0 | 1117.5 | 1391.5 | 2842.0 | 0.80 | 10.4 |
| IIIc | 63.5 | 400.5 | 464.0 | 436.7 | 0.86 | 6.9 |
| IIId | 53.5 | 273.5 | 327.0 | 353.2 | 0.84 | 6.6 |
| IVa | 388.0 | 216.0 | 604.0 | 8997.6 | 0.36 | 23.2 |
| IVb | 379.0 | 500.5 | 879.5 | 5704.9 | 0.57 | 15.1 |
| V | 120.0 | 563.5 | 683.5 | 1232.7 | 0.82 | 10.3 |
| VIa | 71.0 | 104.5 | 175.5 | 1358.1 | 0.60 | 19.1 |
| VIb | 50.5 | 79.0 | 129.5 | 1064.9 | 0.61 | 21.1 |
| VIc | 1.0 | 9.0 | 10.0 | 12.8 | 0.90 | 12.8 |

表-5.3 (5) 各地点の無降水確率及び有降水時の平均降水量の集計表 (1961~1985)

(13) 熊本

| 気象 パターン | 有降水 日数 | 無降水 日数 | 総日数 | 総降雨量 (mm) | 無降水 確率 | 有降水時 平均雨量(mm) |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|------------------|
| I | 167.5 | 1281.5 | 1449.0 | 439.5 | 0.88 | 2.6 |
| IIa | 296.5 | 526.5 | 823.0 | 3370.4 | 0.64 | 11.4 |
| IIb | 309.0 | 206.0 | 515.0 | 5133.0 | 0.40 | 16.6 |
| IIc | 395.0 | 326.0 | 721.0 | 4527.3 | 0.45 | 11.5 |
| IId | 255.0 | 247.5 | 502.5 | 2368.6 | 0.49 | 9.3 |
| IIIa | 180.0 | 276.0 | 456.0 | 2765.1 | 0.61 | 15.4 |
| IIIb | 367.0 | 1024.5 | 1391.5 | 3518.7 | 0.74 | 9.6 |
| IIIc | 75.5 | 388.5 | 464.0 | 540.1 | 0.84 | 7.2 |
| IIId | 80.0 | 247.0 | 327.0 | 581.5 | 0.76 | 7.3 |
| IVa | 364.5 | 239.5 | 604.0 | 10562.2 | 0.40 | 29.0 |
| IVb | 461.0 | 418.5 | 879.5 | 8917.2 | 0.48 | 19.3 |
| V | 192.0 | 491.5 | 683.5 | 3012.0 | 0.72 | 15.7 |
| VIa | 87.0 | 88.5 | 175.5 | 1337.2 | 0.50 | 15.4 |
| VIb | 52.0 | 77.5 | 129.5 | 1102.4 | 0.60 | 21.2 |
| VIc | 4.0 | 6.0 | 10.0 | 43.5 | 0.60 | 10.9 |

(14) 宮崎

| 気象 パターン | 有降水 日数 | 無降水 日数 | 総日数 | 総降雨量 (mm) | 無降水 確率 | 有降水時 平均雨量(mm) |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|------------------|
| I | 83.0 | 1366.0 | 1449.0 | 529.3 | 0.94 | 6.4 |
| IIa | 255.0 | 568.0 | 823.0 | 3183.8 | 0.69 | 12.5 |
| IIb | 231.0 | 284.0 | 515.0 | 2983.4 | 0.55 | 12.9 |
| IIc | 395.0 | 326.0 | 721.0 | 7660.6 | 0.45 | 19.4 |
| IId | 198.5 | 304.0 | 502.5 | 2334.8 | 0.60 | 11.8 |
| IIIa | 241.0 | 215.0 | 456.0 | 4811.3 | 0.47 | 20.0 |
| IIIb | 466.0 | 925.5 | 1391.5 | 7270.8 | 0.67 | 15.6 |
| IIIc | 128.5 | 335.5 | 464.0 | 1778.4 | 0.72 | 13.8 |
| IIId | 67.5 | 259.5 | 327.0 | 674.0 | 0.79 | 10.0 |
| IVa | 315.0 | 289.0 | 604.0 | 5848.0 | 0.48 | 18.6 |
| IVb | 570.5 | 309.0 | 879.5 | 12829.0 | 0.35 | 22.5 |
| V | 263.0 | 420.5 | 683.5 | 3339.4 | 0.62 | 12.7 |
| VIa | 144.0 | 31.5 | 175.5 | 5373.3 | 0.18 | 37.3 |
| VIb | 57.0 | 72.5 | 129.5 | 1779.7 | 0.56 | 31.2 |
| VIc | 1.0 | 9.0 | 10.0 | 10.4 | 0.90 | 10.4 |

(15) 高知

| 気象 パターン | 有降水 日数 | 無降水 日数 | 総日数 | 総降雨量 (mm) | 無降水 確率 | 有降水時 平均雨量(mm) |
|------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|------------------|
| I | 67.5 | 1381.5 | 1449.0 | 240.6 | 0.95 | 3.6 |
| IIa | 262.0 | 561.0 | 823.0 | 4126.7 | 0.68 | 15.8 |
| IIb | 270.5 | 244.5 | 515.0 | 7280.5 | 0.47 | 26.9 |
| IIc | 416.5 | 304.5 | 721.0 | 8545.9 | 0.42 | 20.5 |
| IId | 258.0 | 244.5 | 502.5 | 4675.9 | 0.49 | 18.1 |
| IIIa | 203.0 | 253.0 | 456.0 | 3386.0 | 0.55 | 16.7 |
| IIIb | 334.5 | 1057.0 | 1391.5 | 5114.2 | 0.76 | 15.3 |
| IIIc | 88.5 | 375.5 | 464.0 | 816.5 | 0.81 | 9.2 |
| IIId | 55.0 | 272.0 | 327.0 | 520.0 | 0.83 | 9.5 |
| IVa | 368.5 | 235.5 | 604.0 | 8634.7 | 0.39 | 23.4 |
| IVb | 521.0 | 358.5 | 879.5 | 9801.9 | 0.41 | 18.8 |
| V | 227.0 | 456.5 | 683.5 | 3930.0 | 0.67 | 17.3 |
| VIa | 123.0 | 52.5 | 175.5 | 4407.4 | 0.30 | 35.8 |
| VIb | 64.5 | 65.0 | 129.5 | 2591.9 | 0.50 | 40.2 |
| VIc | 2.5 | 7.5 | 10.0 | 33.0 | 0.75 | 13.2 |

表-5.4 気象パターン別地点別の降水量

(1) 既往データ

単位: mm

| 気象パターン | 札幌 | 帯広 | 盛岡 | 山形 | 金沢 | 宇都宮 | 松本 | 前橋 | 岐阜 | 静岡 | 松江 | 広島 | 熊本 | 宮崎 | 高知 |
|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| I | 227.0 | 15.0 | 72.0 | 163.8 | 530.7 | 11.7 | 7.9 | 6.7 | 42.0 | 14.7 | 236.4 | 14.3 | 17.2 | 20.5 | 8.8 |
| IIa | 201.1 | 202.6 | 174.2 | 106.0 | 309.5 | 86.7 | 64.6 | 55.4 | 150.5 | 189.2 | 153.9 | 103.1 | 128.3 | 120.5 | 156.3 |
| IIb | 129.0 | 124.3 | 175.8 | 103.8 | 304.9 | 96.6 | 83.3 | 62.5 | 257.9 | 274.5 | 230.7 | 194.4 | 214.2 | 127.0 | 304.5 |
| IIc | 50.6 | 59.4 | 97.2 | 118.0 | 249.5 | 218.2 | 181.4 | 172.2 | 272.4 | 385.7 | 234.4 | 196.2 | 192.6 | 324.8 | 360.6 |
| IId | 122.9 | 140.8 | 180.1 | 131.7 | 269.1 | 192.0 | 113.0 | 120.4 | 210.0 | 297.7 | 111.0 | 96.6 | 94.5 | 92.0 | 184.0 |
| IIIa | 10.6 | 9.0 | 15.6 | 16.8 | 37.3 | 48.9 | 31.2 | 42.8 | 65.2 | 59.9 | 54.8 | 66.4 | 106.2 | 185.5 | 133.6 |
| IIIb | 65.0 | 24.3 | 42.2 | 30.0 | 76.0 | 37.1 | 25.9 | 21.9 | 71.0 | 83.7 | 82.2 | 115.6 | 140.5 | 285.3 | 204.0 |
| IIIc | 17.1 | 15.2 | 22.8 | 11.7 | 20.3 | 15.5 | 8.4 | 13.1 | 15.3 | 8.3 | 15.5 | 17.3 | 20.2 | 69.5 | 30.9 |
| IIId | 22.8 | 9.9 | 25.2 | 23.4 | 48.2 | 10.9 | 4.1 | 6.4 | 10.0 | 11.3 | 19.5 | 15.3 | 23.5 | 28.1 | 23.1 |
| IVa | 59.8 | 71.8 | 181.8 | 190.0 | 453.2 | 212.8 | 206.8 | 193.8 | 377.2 | 340.4 | 382.3 | 357.5 | 413.9 | 229.0 | 340.4 |
| IVb | 57.7 | 48.6 | 78.3 | 82.5 | 154.8 | 190.7 | 153.2 | 168.4 | 250.3 | 302.0 | 185.1 | 227.6 | 351.5 | 515.0 | 389.1 |
| V | 79.6 | 74.5 | 117.7 | 75.6 | 73.3 | 72.0 | 54.9 | 80.3 | 66.7 | 83.3 | 69.6 | 52.4 | 119.0 | 133.1 | 158.3 |
| VIa | 24.7 | 22.5 | 28.0 | 29.8 | 60.9 | 73.0 | 48.9 | 59.9 | 98.1 | 119.1 | 58.4 | 59.9 | 59.7 | 234.9 | 189.3 |
| VIb | 59.1 | 50.1 | 48.2 | 46.1 | 57.5 | 83.9 | 46.3 | 79.0 | 90.0 | 171.2 | 60.2 | 42.0 | 43.2 | 70.1 | 106.5 |
| VIc | 9.9 | 10.5 | 6.9 | 1.7 | 7.9 | 0.9 | 2.7 | 0.5 | 3.9 | 10.2 | 2.3 | 0.4 | 1.9 | 0.3 | 1.9 |
| 合計 | 1136.9 | 908.5 | 1266.1 | 1130.9 | 2653.1 | 1350.9 | 1032.8 | 1093.3 | 1980.4 | 2351.2 | 1926.2 | 1558.8 | 1926.4 | 2435.5 | 2591.0 |

(2) 通常時GCMデータ

単位: mm

| 気象パターン | 札幌 | 帯広 | 盛岡 | 山形 | 金沢 | 宇都宮 | 松本 | 前橋 | 岐阜 | 静岡 | 松江 | 広島 | 熊本 | 宮崎 | 高知 |
|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| I | 185.1 | 37.4 | 58.6 | 133.5 | 433.6 | 9.6 | 6.5 | 5.6 | 35.0 | 12.1 | 192.8 | 11.8 | 14.1 | 17.2 | 7.7 |
| IIa | 219.2 | 217.2 | 189.2 | 112.4 | 334.1 | 91.7 | 69.8 | 60.4 | 159.3 | 199.1 | 164.2 | 111.1 | 136.9 | 130.3 | 169.1 |
| IIb | 142.6 | 137.5 | 192.8 | 114.7 | 335.6 | 103.2 | 92.9 | 67.0 | 285.7 | 307.0 | 252.3 | 215.1 | 238.4 | 136.7 | 339.0 |
| IIc | 27.8 | 32.8 | 53.6 | 64.1 | 131.2 | 114.7 | 97.5 | 92.3 | 143.7 | 202.3 | 123.4 | 106.5 | 102.5 | 172.9 | 192.1 |
| IId | 66.1 | 74.8 | 98.7 | 72.1 | 148.5 | 106.4 | 60.8 | 64.8 | 115.8 | 164.9 | 77.5 | 48.5 | 48.1 | 49.0 | 93.7 |
| IIIa | 24.0 | 21.7 | 35.3 | 39.5 | 90.6 | 118.8 | 75.9 | 104.0 | 157.3 | 140.8 | 128.8 | 160.1 | 250.7 | 427.3 | 308.1 |
| IIIb | 55.6 | 21.1 | 34.8 | 24.7 | 60.8 | 32.2 | 22.6 | 19.5 | 63.2 | 71.5 | 67.4 | 95.3 | 113.1 | 236.9 | 168.3 |
| IIIc | 26.0 | 22.5 | 34.3 | 17.9 | 31.7 | 21.8 | 11.6 | 18.8 | 21.1 | 11.7 | 23.3 | 24.4 | 30.0 | 105.7 | 46.3 |
| IIId | 27.8 | 11.4 | 30.6 | 28.4 | 59.4 | 9.4 | 3.8 | 5.9 | 9.5 | 9.8 | 23.4 | 14.5 | 27.6 | 31.5 | 22.4 |
| IVa | 56.3 | 68.2 | 165.7 | 175.6 | 425.8 | 198.4 | 188.1 | 180.6 | 349.0 | 310.2 | 356.5 | 322.2 | 377.5 | 212.8 | 310.2 |
| IVb | 45.1 | 37.9 | 61.2 | 65.0 | 123.4 | 151.2 | 122.2 | 133.3 | 199.8 | 239.0 | 147.6 | 180.8 | 280.6 | 410.4 | 307.5 |
| V | 86.1 | 79.5 | 128.6 | 79.5 | 72.0 | 76.3 | 58.2 | 95.0 | 69.8 | 81.9 | 68.3 | 50.6 | 126.0 | 143.9 | 166.2 |
| VIa | 38.8 | 35.6 | 42.5 | 46.9 | 94.3 | 115.4 | 76.9 | 94.6 | 153.4 | 189.3 | 88.5 | 94.2 | 94.4 | 369.9 | 304.5 |
| VIb | 122.1 | 102.6 | 96.1 | 91.7 | 116.8 | 167.8 | 92.8 | 157.9 | 182.8 | 340.4 | 120.1 | 89.4 | 92.5 | 147.5 | 211.9 |
| VIc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 1122.7 | 900.2 | 1222.0 | 1066.2 | 2457.9 | 1316.9 | 979.6 | 1099.6 | 1945.3 | 2280.1 | 1834.3 | 1524.5 | 1932.3 | 2591.9 | 2647.0 |

(3) 温暖化時GCMデータ

単位: mm

| 気象パターン | 札幌 | 帯広 | 盛岡 | 山形 | 金沢 | 宇都宮 | 松本 | 前橋 | 岐阜 | 静岡 | 松江 | 広島 | 熊本 | 宮崎 | 高知 |
|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| I | 189.7 | 39.4 | 61.8 | 137.1 | 438.9 | 10.2 | 7.1 | 5.9 | 36.5 | 12.8 | 198.4 | 12.8 | 15.2 | 18.1 | 8.0 |
| IIa | 248.2 | 245.4 | 214.8 | 128.6 | 380.1 | 101.6 | 77.8 | 67.9 | 180.6 | 223.4 | 188.0 | 123.6 | 152.5 | 145.0 | 188.4 |
| IIb | 144.6 | 137.6 | 193.4 | 116.4 | 346.7 | 103.6 | 92.8 | 66.9 | 288.9 | 307.0 | 259.2 | 215.2 | 236.3 | 138.8 | 340.6 |
| IIc | 31.4 | 35.8 | 60.9 | 73.8 | 156.2 | 135.4 | 113.4 | 108.2 | 170.9 | 241.2 | 146.6 | 122.7 | 119.7 | 202.0 | 226.9 |
| IId | 51.2 | 58.8 | 74.5 | 54.4 | 115.3 | 79.6 | 47.1 | 50.2 | 86.7 | 123.4 | 58.9 | 38.6 | 37.9 | 39.3 | 73.8 |
| IIIa | 21.1 | 17.5 | 29.8 | 34.4 | 77.9 | 100.9 | 64.8 | 88.3 | 133.4 | 120.4 | 109.5 | 135.8 | 215.1 | 368.9 | 267.4 |
| IIIb | 56.0 | 21.5 | 36.3 | 25.8 | 63.8 | 32.8 | 23.5 | 19.8 | 62.1 | 73.0 | 70.1 | 99.3 | 118.6 | 241.2 | 174.2 |
| IIIc | 26.1 | 23.7 | 34.7 | 18.2 | 31.2 | 25.4 | 13.4 | 21.4 | 24.3 | 13.6 | 25.0 | 27.2 | 31.7 | 105.8 | 48.7 |
| IIId | 17.4 | 6.9 | 19.1 | 17.7 | 36.8 | 6.0 | 2.2 | 3.5 | 6.0 | 6.2 | 13.6 | 9.3 | 16.3 | 19.6 | 14.2 |
| IVa | 63.4 | 77.5 | 198.0 | 205.8 | 497.1 | 230.5 | 224.5 | 211.8 | 407.2 | 370.6 | 414.1 | 384.2 | 451.3 | 250.1 | 370.6 |
| IVb | 40.0 | 34.0 | 55.2 | 57.7 | 105.8 | 130.6 | 104.7 | 115.6 | 171.2 | 207.3 | 126.5 | 157.8 | 241.3 | 349.7 | 265.7 |
| V | 122.7 | 115.0 | 182.2 | 120.8 | 114.3 | 115.5 | 87.2 | 144.3 | 106.1 | 129.9 | 108.5 | 83.5 | 190.9 | 205.1 | 246.1 |
| VIa | 25.6 | 23.2 | 27.6 | 30.9 | 62.1 | 75.0 | 48.3 | 61.9 | 101.0 | 123.8 | 57.6 | 59.2 | 61.8 | 245.3 | 202.5 |
| VIb | 65.6 | 53.7 | 50.9 | 49.2 | 61.5 | 93.2 | 49.9 | 87.8 | 96.2 | 188.6 | 63.6 | 44.4 | 45.5 | 76.0 | 113.6 |
| VIc | 9.2 | 7.9 | 6.3 | 1.2 | 6.3 | 0.8 | 2.5 | 0.4 | 3.6 | 10.5 | 1.9 | 0.1 | 1.9 | 0.1 | 1.3 |
| 合計 | 1112.1 | 897.8 | 1245.5 | 1072.0 | 2494.1 | 1241.2 | 959.2 | 1054.0 | 1874.7 | 2151.8 | 1841.6 | 1513.7 | 1936.0 | 2405.0 | 2541.9 |

表-5.5 地点別の月別の降水量

(1) 既往データ

単位: mm

| 地点 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 札幌 | 117.7 | 92.2 | 92.6 | 82.1 | 82.7 | 76.5 | 94.0 | 103.0 | 100.9 | 90.2 | 95.7 | 109.4 | 1136.9 |
| 帯広 | 68.0 | 57.2 | 67.8 | 73.4 | 76.5 | 73.4 | 91.4 | 97.5 | 95.5 | 73.9 | 66.1 | 67.8 | 908.5 |
| 盛岡 | 88.7 | 78.6 | 91.1 | 98.9 | 101.7 | 115.0 | 150.3 | 146.4 | 127.7 | 96.4 | 83.7 | 87.6 | 1266.1 |
| 山形 | 95.7 | 83.1 | 84.4 | 79.0 | 82.4 | 100.7 | 131.2 | 123.6 | 105.6 | 79.9 | 76.8 | 88.6 | 1130.9 |
| 金沢 | 265.4 | 224.4 | 216.8 | 185.9 | 185.0 | 222.1 | 254.1 | 236.2 | 227.8 | 191.1 | 202.2 | 241.9 | 2653.1 |
| 宇都宮 | 70.9 | 76.2 | 92.7 | 103.4 | 117.5 | 153.2 | 167.0 | 173.0 | 147.4 | 103.2 | 77.4 | 69.0 | 1350.9 |
| 松本 | 50.5 | 58.2 | 71.5 | 74.3 | 87.4 | 123.0 | 140.3 | 130.9 | 115.9 | 75.9 | 55.7 | 49.3 | 1032.8 |
| 前橋 | 49.1 | 56.1 | 67.7 | 76.6 | 91.2 | 128.1 | 155.9 | 160.1 | 126.3 | 80.0 | 55.3 | 46.7 | 1093.3 |
| 岐阜 | 108.2 | 114.1 | 138.5 | 148.5 | 161.9 | 226.5 | 244.3 | 241.7 | 219.6 | 151.4 | 116.5 | 109.2 | 1980.4 |
| 静岡 | 127.3 | 134.4 | 167.2 | 183.5 | 202.4 | 257.8 | 272.9 | 290.2 | 265.4 | 181.9 | 139.0 | 129.4 | 2351.2 |
| 松江 | 148.0 | 134.6 | 145.1 | 136.1 | 140.5 | 195.4 | 222.3 | 206.2 | 190.2 | 139.9 | 128.4 | 139.5 | 1926.2 |
| 広島 | 73.8 | 81.7 | 105.9 | 119.8 | 129.1 | 193.3 | 210.2 | 182.4 | 177.2 | 118.8 | 87.8 | 78.7 | 1558.8 |
| 熊本 | 83.5 | 92.4 | 120.2 | 144.5 | 157.5 | 253.1 | 278.3 | 235.3 | 222.4 | 144.7 | 104.9 | 89.8 | 1926.4 |
| 宮崎 | 101.6 | 117.3 | 163.1 | 198.5 | 217.5 | 293.1 | 285.9 | 306.9 | 277.7 | 211.8 | 153.1 | 108.9 | 2435.5 |
| 高知 | 121.6 | 133.3 | 177.0 | 206.7 | 222.7 | 294.1 | 318.8 | 337.8 | 288.2 | 207.0 | 152.8 | 131.1 | 2591.0 |

(2) 通常時CCMデータ

単位: mm

| 地点 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 札幌 | 95.7 | 90.1 | 83.6 | 92.0 | 78.9 | 69.5 | 100.6 | 104.9 | 117.8 | 84.7 | 101.8 | 103.2 | 1122.7 |
| 帯広 | 60.9 | 69.6 | 62.1 | 76.5 | 67.6 | 64.3 | 96.0 | 99.3 | 104.5 | 64.7 | 70.2 | 64.6 | 900.2 |
| 盛岡 | 78.0 | 89.7 | 81.4 | 104.4 | 93.9 | 102.2 | 146.7 | 147.2 | 127.1 | 77.1 | 91.4 | 82.7 | 1222.0 |
| 山形 | 76.2 | 77.0 | 68.2 | 78.7 | 75.3 | 83.9 | 122.8 | 127.3 | 114.7 | 66.6 | 93.1 | 82.4 | 1066.2 |
| 金沢 | 211.2 | 200.9 | 179.3 | 208.0 | 161.5 | 157.4 | 229.4 | 262.0 | 232.2 | 175.0 | 221.7 | 219.1 | 2457.9 |
| 宇都宮 | 67.1 | 83.0 | 71.1 | 76.2 | 87.0 | 122.6 | 174.0 | 178.2 | 185.6 | 79.2 | 115.0 | 77.8 | 1316.9 |
| 松本 | 51.7 | 57.7 | 52.3 | 62.3 | 68.2 | 99.9 | 134.5 | 137.4 | 125.4 | 58.2 | 76.0 | 55.9 | 979.6 |
| 前橋 | 48.8 | 59.0 | 53.2 | 56.8 | 73.8 | 116.1 | 160.5 | 158.6 | 158.9 | 61.7 | 94.1 | 58.1 | 1099.6 |
| 岐阜 | 108.4 | 125.3 | 115.7 | 153.3 | 126.7 | 167.2 | 241.1 | 255.6 | 251.0 | 121.9 | 158.9 | 120.2 | 1945.3 |
| 静岡 | 127.4 | 143.2 | 132.4 | 161.5 | 143.3 | 181.3 | 280.3 | 305.0 | 331.6 | 132.7 | 202.6 | 138.8 | 2280.1 |
| 松江 | 133.2 | 126.9 | 122.9 | 152.4 | 119.1 | 145.4 | 201.3 | 222.3 | 197.1 | 121.0 | 156.1 | 136.5 | 1834.3 |
| 広島 | 84.2 | 90.7 | 100.0 | 126.6 | 106.9 | 146.2 | 185.3 | 199.3 | 178.4 | 99.5 | 117.3 | 90.2 | 1524.5 |
| 熊本 | 96.7 | 110.2 | 125.8 | 154.0 | 148.3 | 215.3 | 243.8 | 251.6 | 211.6 | 129.6 | 140.4 | 105.2 | 1932.3 |
| 宮崎 | 138.8 | 143.4 | 167.6 | 163.5 | 184.1 | 271.1 | 322.1 | 313.2 | 330.8 | 191.8 | 213.1 | 152.4 | 2591.9 |
| 高知 | 145.6 | 154.8 | 173.4 | 200.6 | 180.3 | 242.4 | 337.2 | 335.4 | 337.7 | 172.1 | 214.2 | 153.3 | 2647.0 |

(3) 温暖化時CCMデータ

単位: mm

| 地点 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 札幌 | 113.2 | 84.4 | 94.6 | 91.2 | 106.2 | 68.5 | 99.3 | 93.2 | 92.3 | 95.5 | 85.6 | 88.2 | 1112.1 |
| 帯広 | 74.1 | 53.8 | 73.0 | 74.3 | 98.0 | 64.5 | 95.1 | 89.1 | 85.6 | 80.0 | 54.2 | 56.2 | 897.8 |
| 盛岡 | 99.8 | 72.1 | 98.4 | 100.0 | 131.2 | 99.7 | 147.9 | 137.6 | 114.6 | 98.1 | 70.3 | 75.8 | 1245.5 |
| 山形 | 93.0 | 69.6 | 87.6 | 82.4 | 90.6 | 84.2 | 126.8 | 124.1 | 95.4 | 80.8 | 64.1 | 73.4 | 1072.0 |
| 金沢 | 251.1 | 191.7 | 229.3 | 204.8 | 191.8 | 149.0 | 220.9 | 251.6 | 219.9 | 208.4 | 177.8 | 197.6 | 2494.1 |
| 宇都宮 | 78.4 | 63.5 | 85.9 | 88.8 | 88.6 | 118.9 | 167.0 | 181.5 | 143.8 | 99.2 | 59.6 | 65.9 | 1241.2 |
| 松本 | 57.0 | 49.9 | 68.8 | 68.9 | 71.3 | 95.6 | 129.2 | 141.3 | 111.7 | 73.9 | 41.9 | 49.7 | 959.2 |
| 前橋 | 52.9 | 47.2 | 67.1 | 69.5 | 81.2 | 114.0 | 161.6 | 164.3 | 122.2 | 80.3 | 45.3 | 48.2 | 1054.0 |
| 岐阜 | 130.2 | 102.7 | 141.5 | 143.5 | 143.6 | 158.4 | 224.7 | 254.7 | 215.1 | 157.7 | 94.7 | 107.8 | 1874.7 |
| 静岡 | 153.4 | 117.5 | 155.1 | 155.5 | 157.5 | 177.9 | 258.7 | 307.9 | 259.2 | 187.4 | 101.8 | 119.7 | 2151.8 |
| 松江 | 151.0 | 122.6 | 150.9 | 146.0 | 141.2 | 136.8 | 193.1 | 220.5 | 186.6 | 153.2 | 112.1 | 127.8 | 1841.6 |
| 広島 | 93.7 | 79.5 | 116.9 | 117.3 | 115.0 | 137.1 | 177.7 | 205.3 | 175.8 | 130.3 | 74.1 | 91.1 | 1513.7 |
| 熊本 | 105.0 | 92.5 | 139.4 | 144.1 | 159.8 | 198.8 | 243.7 | 263.6 | 225.4 | 161.8 | 94.9 | 107.1 | 1936.0 |
| 宮崎 | 122.4 | 126.9 | 157.3 | 170.8 | 163.3 | 254.9 | 307.4 | 305.1 | 296.8 | 203.7 | 156.4 | 140.1 | 2405.0 |
| 高知 | 155.2 | 132.4 | 175.4 | 189.5 | 201.8 | 231.5 | 332.6 | 325.0 | 297.0 | 217.3 | 139.1 | 145.2 | 2541.9 |

表-5.6 (1) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点: 札幌

(1) 既往データ

単位: mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|--------|
| I | 60.3 | 41.6 | 25.6 | 3.6 | 2.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 11.8 | 29.9 | 50.2 | 227.0 |
| IIa | 17.7 | 11.9 | 18.3 | 21.4 | 19.9 | 10.1 | 8.9 | 10.9 | 20.3 | 23.9 | 23.0 | 14.9 | 201.1 |
| IIb | 11.2 | 9.5 | 11.9 | 13.6 | 11.5 | 11.1 | 5.5 | 8.3 | 11.0 | 10.7 | 10.3 | 14.5 | 129.0 |
| IIc | 4.5 | 6.8 | 8.7 | 6.3 | 5.8 | 3.2 | 1.1 | 0.9 | 1.5 | 3.5 | 4.1 | 4.2 | 50.6 |
| IId | 15.1 | 12.7 | 12.4 | 13.9 | 15.6 | 8.3 | 3.8 | 1.7 | 5.3 | 9.1 | 11.4 | 13.6 | 122.9 |
| IIIa | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 1.6 | 0.8 | 1.0 | 0.6 | 0.8 | 1.3 | 1.6 | 1.0 | 0.4 | 10.6 |
| IIIb | 4.4 | 3.5 | 7.8 | 9.4 | 8.2 | 4.1 | 1.0 | 1.0 | 4.9 | 6.8 | 8.1 | 5.8 | 65.0 |
| IIIc | 0.8 | 0.4 | 0.8 | 1.3 | 2.7 | 1.7 | 0.5 | 0.3 | 1.2 | 3.7 | 2.3 | 1.5 | 17.1 |
| IIId | 2.3 | 2.9 | 3.1 | 3.9 | 2.8 | 0.7 | 0.0 | 0.8 | 0.5 | 0.8 | 1.5 | 3.5 | 22.8 |
| IVa | 0.2 | 1.4 | 0.5 | 2.0 | 1.7 | 9.6 | 19.2 | 12.0 | 10.6 | 2.1 | 0.2 | 0.2 | 59.8 |
| IVb | 0.6 | 1.1 | 2.8 | 2.0 | 5.7 | 16.9 | 8.9 | 4.3 | 8.7 | 4.3 | 2.1 | 0.4 | 57.7 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 2.6 | 4.7 | 5.1 | 30.1 | 28.6 | 7.3 | 0.7 | 0.0 | 0.3 | 79.6 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 1.4 | 4.1 | 10.1 | 4.6 | 3.3 | 1.1 | 0.0 | 24.7 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 1.1 | 3.2 | 9.7 | 22.7 | 14.5 | 6.8 | 0.8 | 0.0 | 59.1 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.7 | 7.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 9.9 |
| 合計 | 117.7 | 92.2 | 92.6 | 82.1 | 82.7 | 76.5 | 94.0 | 103.0 | 100.9 | 90.2 | 95.7 | 109.4 | 1136.9 |

(2) 通常時GCMデータ

単位: mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|
| I | 38.2 | 22.7 | 18.2 | 11.1 | 2.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 19.6 | 31.2 | 39.9 | 185.1 |
| IIa | 19.2 | 22.4 | 20.4 | 16.9 | 25.0 | 10.7 | 3.2 | 18.8 | 21.0 | 27.8 | 13.4 | 20.4 | 219.2 |
| IIb | 13.9 | 13.1 | 18.7 | 40.8 | 6.8 | 1.1 | 6.6 | 4.8 | 12.9 | 10.2 | 6.1 | 7.7 | 142.6 |
| IIc | 6.0 | 2.7 | 3.3 | 3.0 | 3.6 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 1.8 | 1.3 | 1.5 | 2.7 | 27.8 |
| IId | 5.4 | 17.7 | 4.6 | 0.4 | 2.8 | 0.0 | 2.8 | 2.5 | 5.8 | 7.4 | 7.6 | 9.1 | 66.1 |
| IIIa | 0.8 | 2.8 | 3.7 | 3.0 | 0.8 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 2.3 | 4.8 | 3.0 | 1.5 | 24.0 |
| IIIb | 9.0 | 5.3 | 6.5 | 5.9 | 5.0 | 0.8 | 0.0 | 1.7 | 2.6 | 5.0 | 5.2 | 8.7 | 55.6 |
| IIIc | 2.6 | 0.7 | 1.3 | 2.0 | 2.7 | 4.5 | 2.9 | 0.4 | 2.2 | 2.6 | 1.9 | 2.2 | 26.0 |
| IIId | 0.7 | 1.4 | 6.2 | 5.7 | 9.3 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 27.8 |
| IVa | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 2.3 | 2.9 | 7.8 | 15.2 | 16.0 | 4.3 | 0.8 | 4.3 | 1.7 | 56.3 |
| IVb | 0.0 | 0.1 | 0.7 | 0.0 | 5.8 | 17.1 | 4.9 | 6.0 | 7.8 | 2.4 | 0.2 | 0.0 | 45.1 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 11.5 | 24.9 | 31.1 | 17.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 86.1 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 11.7 | 8.8 | 8.9 | 0.8 | 3.9 | 2.3 | 38.8 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.9 | 23.7 | 44.8 | 1.9 | 23.3 | 6.5 | 122.1 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 95.7 | 90.1 | 83.6 | 92.0 | 78.9 | 69.5 | 100.6 | 104.9 | 117.8 | 84.7 | 101.8 | 103.2 | 1122.7 |

(3) 温暖化時GCMデータ

単位: mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| I | 43.3 | 31.6 | 21.7 | 14.0 | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.3 | 31.7 | 33.0 | 189.7 |
| IIa | 13.1 | 18.9 | 30.8 | 21.8 | 36.0 | 7.4 | 8.8 | 17.5 | 23.3 | 34.6 | 19.8 | 16.1 | 248.2 |
| IIb | 24.5 | 11.5 | 11.6 | 19.2 | 23.2 | 2.0 | 0.0 | 1.0 | 11.4 | 17.9 | 10.2 | 12.2 | 144.6 |
| IIc | 3.1 | 4.5 | 4.4 | 2.7 | 1.7 | 0.4 | 0.0 | 3.6 | 4.0 | 2.6 | 1.3 | 3.2 | 31.4 |
| IId | 17.9 | 6.0 | 6.1 | 8.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 1.4 | 4.2 | 5.9 | 51.2 |
| IIIa | 1.0 | 1.2 | 1.7 | 2.4 | 0.4 | 0.0 | 0.7 | 0.5 | 3.9 | 4.8 | 3.3 | 1.2 | 21.1 |
| IIIb | 7.3 | 6.3 | 5.3 | 7.8 | 4.8 | 0.3 | 0.0 | 2.1 | 3.2 | 4.8 | 5.0 | 9.0 | 56.0 |
| IIIc | 0.0 | 1.7 | 0.7 | 1.0 | 2.2 | 6.6 | 1.7 | 0.6 | 0.9 | 1.9 | 5.8 | 2.9 | 26.1 |
| IIId | 2.5 | 1.5 | 6.0 | 2.7 | 0.8 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 17.4 |
| IVa | 0.2 | 1.0 | 4.9 | 3.2 | 2.7 | 6.1 | 14.3 | 16.5 | 9.0 | 3.1 | 0.0 | 2.3 | 63.4 |
| IVb | 0.2 | 0.5 | 1.3 | 1.1 | 1.3 | 14.3 | 3.0 | 9.0 | 8.0 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | 40.0 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.2 | 31.0 | 24.7 | 41.5 | 16.1 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 122.7 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 12.2 | 5.3 | 3.9 | 0.0 | 1.8 | 0.0 | 25.6 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.0 | 17.1 | 21.1 | 11.4 | 10.6 | 2.4 | 0.0 | 65.6 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9.2 |
| 合計 | 113.2 | 84.4 | 94.6 | 91.2 | 106.2 | 68.5 | 99.3 | 93.2 | 92.3 | 95.5 | 85.6 | 88.2 | 1112.1 |

表-5.6 (2) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点：帯広

(1) 既往データ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| I | 11.1 | 8.1 | 5.8 | 0.6 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 2.3 | 6.5 | 10.0 | 45.0 |
| IIa | 18.5 | 10.9 | 17.4 | 21.9 | 20.5 | 10.9 | 9.1 | 10.6 | 20.9 | 23.3 | 22.9 | 15.5 | 202.6 |
| IIb | 11.2 | 9.4 | 10.9 | 12.9 | 11.4 | 10.1 | 5.5 | 7.9 | 10.8 | 10.2 | 8.9 | 15.1 | 124.3 |
| IIc | 5.7 | 8.3 | 10.9 | 6.5 | 6.0 | 3.8 | 1.2 | 0.8 | 1.8 | 4.0 | 5.1 | 5.3 | 59.4 |
| IId | 17.0 | 14.7 | 14.0 | 16.3 | 18.0 | 9.9 | 4.3 | 1.9 | 6.1 | 10.0 | 13.0 | 15.6 | 140.8 |
| IIIa | 0.2 | 0.5 | 0.4 | 1.3 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.6 | 1.3 | 1.4 | 1.0 | 0.3 | 9.0 |
| IIIb | 1.7 | 1.3 | 3.1 | 3.6 | 3.1 | 1.6 | 0.3 | 0.4 | 2.1 | 2.4 | 2.6 | 1.9 | 24.3 |
| IIIc | 0.8 | 0.3 | 0.5 | 1.3 | 2.5 | 1.7 | 0.2 | 0.3 | 1.1 | 3.1 | 1.9 | 1.5 | 15.2 |
| IIId | 0.9 | 1.2 | 1.1 | 1.8 | 1.2 | 0.3 | 0.0 | 0.3 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | 1.8 | 9.9 |
| IVa | 0.3 | 1.6 | 0.6 | 2.4 | 2.1 | 11.5 | 23.0 | 14.4 | 12.5 | 2.7 | 0.3 | 0.3 | 71.8 |
| IVb | 0.5 | 1.0 | 2.5 | 1.6 | 4.8 | 14.4 | 7.5 | 3.6 | 7.1 | 3.6 | 1.7 | 0.3 | 48.6 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 2.5 | 4.5 | 4.9 | 28.2 | 26.7 | 6.8 | 0.5 | 0.0 | 0.3 | 74.5 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 1.2 | 3.7 | 9.3 | 4.1 | 2.9 | 1.0 | 0.0 | 22.5 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 1.2 | 2.3 | 7.2 | 20.0 | 12.9 | 5.7 | 0.6 | 0.0 | 50.1 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.6 | 7.4 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | 10.5 |
| 合計 | 68.0 | 57.2 | 67.8 | 73.4 | 76.5 | 73.4 | 91.4 | 97.5 | 95.5 | 73.9 | 66.1 | 67.8 | 908.5 |

(2) 通常時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| I | 7.8 | 4.9 | 3.8 | 2.3 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 4.5 | 6.1 | 7.4 | 37.4 |
| IIa | 19.1 | 21.6 | 20.0 | 17.9 | 24.4 | 9.5 | 3.2 | 18.4 | 20.9 | 27.7 | 14.3 | 20.2 | 217.2 |
| IIb | 13.9 | 12.3 | 19.1 | 38.7 | 6.3 | 1.0 | 6.5 | 4.4 | 12.7 | 9.5 | 5.6 | 7.5 | 137.5 |
| IIc | 7.7 | 2.9 | 3.5 | 3.7 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 2.2 | 2.0 | 1.5 | 1.6 | 3.3 | 32.8 |
| IId | 5.8 | 20.7 | 5.2 | 0.5 | 3.3 | 0.0 | 3.2 | 2.6 | 6.7 | 8.3 | 8.7 | 10.0 | 74.8 |
| IIIa | 0.6 | 2.7 | 3.5 | 2.9 | 0.8 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 1.9 | 4.1 | 2.5 | 1.3 | 21.7 |
| IIIb | 3.2 | 1.8 | 2.5 | 2.5 | 2.1 | 0.1 | 0.0 | 0.6 | 1.0 | 1.6 | 2.1 | 3.6 | 21.1 |
| IIIc | 2.6 | 0.8 | 0.9 | 2.0 | 2.6 | 3.9 | 2.7 | 0.2 | 1.3 | 1.7 | 2.0 | 1.8 | 22.5 |
| IIId | 0.2 | 0.5 | 2.8 | 2.4 | 3.7 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 11.4 |
| IVa | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 2.9 | 3.8 | 9.3 | 17.8 | 20.0 | 5.2 | 0.9 | 5.1 | 2.1 | 68.2 |
| IVb | 0.0 | 0.1 | 0.6 | 0.0 | 5.0 | 15.0 | 3.7 | 4.8 | 6.5 | 2.1 | 0.2 | 0.0 | 37.9 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 10.9 | 22.9 | 28.9 | 16.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 79.5 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 11.0 | 8.0 | 8.0 | 0.7 | 3.5 | 2.1 | 35.6 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.5 | 21.2 | 37.2 | 2.1 | 18.5 | 5.0 | 102.6 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 60.9 | 69.6 | 62.1 | 76.5 | 67.6 | 64.3 | 96.0 | 99.3 | 104.5 | 64.7 | 70.2 | 64.6 | 900.2 |

(3) 温暖化時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| I | 8.4 | 6.3 | 5.9 | 2.5 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.4 | 6.4 | 6.9 | 39.4 |
| IIa | 13.7 | 17.5 | 30.1 | 21.8 | 36.1 | 7.7 | 8.8 | 17.5 | 22.7 | 34.6 | 18.9 | 15.9 | 245.4 |
| IIb | 23.2 | 11.1 | 11.2 | 17.9 | 21.1 | 2.1 | 0.0 | 1.1 | 11.2 | 17.5 | 9.4 | 11.7 | 137.6 |
| IIc | 3.5 | 5.1 | 5.2 | 3.1 | 2.2 | 0.3 | 0.0 | 3.7 | 4.7 | 3.1 | 1.6 | 3.3 | 35.8 |
| IId | 20.5 | 7.0 | 7.2 | 9.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 1.5 | 4.5 | 7.0 | 58.8 |
| IIIa | 0.7 | 0.8 | 1.4 | 2.0 | 0.3 | 0.0 | 0.8 | 0.3 | 3.1 | 4.2 | 2.9 | 1.1 | 17.5 |
| IIIb | 2.6 | 2.3 | 2.2 | 3.3 | 1.7 | 0.1 | 0.0 | 0.7 | 1.2 | 1.6 | 1.7 | 4.2 | 21.5 |
| IIIc | 0.0 | 1.6 | 0.5 | 1.2 | 1.7 | 6.3 | 1.8 | 0.8 | 0.7 | 1.7 | 5.1 | 2.5 | 23.7 |
| IIId | 1.0 | 0.6 | 2.3 | 1.2 | 0.3 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 6.9 |
| IVa | 0.3 | 1.1 | 5.8 | 4.1 | 3.6 | 7.4 | 17.7 | 19.6 | 11.2 | 4.2 | 0.0 | 2.7 | 77.5 |
| IVb | 0.2 | 0.4 | 1.1 | 0.9 | 1.1 | 12.3 | 2.4 | 7.7 | 6.7 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 34.0 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.8 | 29.4 | 22.9 | 39.3 | 14.8 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 115.0 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.4 | 11.0 | 4.7 | 3.5 | 0.0 | 1.6 | 0.0 | 23.2 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.8 | 13.4 | 18.2 | 9.3 | 8.0 | 2.1 | 0.0 | 53.7 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.9 |
| 合計 | 74.1 | 53.8 | 73.0 | 74.3 | 98.0 | 64.5 | 95.1 | 89.1 | 85.6 | 80.0 | 54.2 | 56.2 | 897.8 |

表-5.6 (3) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点：盛岡

(1) 既往データ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| I | 18.9 | 12.4 | 8.5 | 1.0 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 3.8 | 9.8 | 16.2 | 72.0 |
| IIa | 15.5 | 10.3 | 15.2 | 18.4 | 17.6 | 9.0 | 7.5 | 9.3 | 17.5 | 20.7 | 19.6 | 13.6 | 174.2 |
| IIb | 15.2 | 12.7 | 17.5 | 18.3 | 15.4 | 14.7 | 7.3 | 11.8 | 14.7 | 14.7 | 13.7 | 19.6 | 175.8 |
| IIc | 8.6 | 13.0 | 16.7 | 12.1 | 12.2 | 5.9 | 2.0 | 1.6 | 2.6 | 6.7 | 8.2 | 7.3 | 97.2 |
| IId | 22.1 | 18.0 | 17.4 | 22.0 | 22.3 | 12.6 | 6.0 | 2.3 | 8.0 | 13.7 | 16.1 | 19.6 | 180.1 |
| IIIa | 0.3 | 0.8 | 0.8 | 2.4 | 1.3 | 1.4 | 1.0 | 1.2 | 2.0 | 2.5 | 1.6 | 0.5 | 15.6 |
| IIIb | 2.8 | 2.0 | 5.5 | 6.2 | 5.1 | 3.4 | 0.7 | 0.8 | 3.5 | 4.1 | 4.6 | 3.4 | 42.2 |
| IIIc | 1.1 | 0.5 | 1.0 | 1.8 | 3.4 | 2.1 | 0.7 | 0.3 | 1.6 | 5.0 | 3.1 | 2.1 | 22.8 |
| IIId | 2.6 | 3.3 | 3.3 | 4.3 | 2.8 | 0.8 | 0.1 | 0.9 | 0.6 | 0.8 | 1.7 | 4.0 | 25.2 |
| IVa | 0.7 | 3.5 | 1.3 | 5.5 | 5.0 | 31.0 | 56.8 | 38.4 | 30.8 | 7.3 | 0.8 | 0.5 | 181.8 |
| IVb | 0.7 | 2.0 | 3.7 | 2.6 | 7.5 | 22.5 | 12.1 | 5.9 | 12.0 | 6.2 | 2.7 | 0.4 | 78.3 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 3.8 | 7.0 | 7.7 | 44.4 | 42.1 | 11.0 | 1.0 | 0.0 | 0.4 | 117.7 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 1.4 | 4.4 | 12.0 | 5.5 | 3.5 | 1.1 | 0.0 | 28.0 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 1.2 | 2.3 | 6.9 | 19.4 | 12.2 | 5.5 | 0.5 | 0.0 | 48.2 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.4 | 5.0 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 6.9 |
| 合計 | 88.7 | 78.6 | 91.1 | 98.9 | 101.7 | 115.0 | 150.3 | 146.4 | 127.7 | 96.4 | 83.7 | 87.6 | 1266.1 |

(2) 通常時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| I | 11.9 | 7.3 | 5.7 | 3.5 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 6.7 | 9.7 | 12.6 | 58.6 |
| IIa | 16.8 | 19.0 | 17.5 | 15.0 | 21.7 | 8.9 | 2.8 | 15.7 | 18.2 | 23.8 | 11.9 | 17.8 | 189.2 |
| IIb | 19.4 | 17.6 | 25.3 | 54.9 | 8.7 | 1.4 | 8.6 | 7.1 | 17.5 | 13.6 | 8.0 | 10.6 | 192.8 |
| IIc | 11.8 | 5.3 | 6.5 | 5.6 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 3.7 | 3.8 | 2.4 | 3.0 | 5.4 | 53.6 |
| IId | 7.7 | 27.7 | 6.7 | 0.6 | 3.9 | 0.0 | 4.0 | 3.7 | 8.8 | 10.3 | 12.5 | 12.7 | 98.7 |
| IIIa | 1.2 | 4.1 | 5.6 | 4.5 | 1.3 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 3.5 | 6.5 | 4.4 | 2.4 | 35.3 |
| IIIb | 5.0 | 2.8 | 4.5 | 3.7 | 3.4 | 0.3 | 0.0 | 1.3 | 1.8 | 2.7 | 3.9 | 5.6 | 34.8 |
| IIIc | 3.5 | 0.9 | 1.7 | 2.5 | 3.5 | 5.8 | 3.9 | 0.5 | 2.8 | 3.5 | 2.7 | 2.9 | 34.3 |
| IIId | 0.6 | 1.6 | 7.0 | 6.2 | 10.7 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 30.6 |
| IVa | 0.0 | 3.0 | 0.0 | 6.5 | 9.0 | 22.6 | 43.2 | 48.4 | 12.7 | 2.2 | 13.1 | 4.9 | 165.7 |
| IVb | 0.0 | 0.3 | 0.9 | 0.0 | 7.7 | 22.7 | 6.9 | 7.9 | 11.2 | 3.2 | 0.3 | 0.0 | 61.2 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 16.8 | 37.6 | 46.4 | 26.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 128.6 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.6 | 13.2 | 9.5 | 9.5 | 0.9 | 4.1 | 2.7 | 42.5 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.0 | 20.3 | 34.9 | 1.5 | 17.9 | 4.5 | 96.1 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 78.0 | 89.7 | 81.4 | 104.4 | 93.9 | 102.2 | 146.7 | 147.2 | 127.1 | 77.1 | 91.4 | 82.7 | 1222.0 |

(3) 温暖化時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| I | 13.8 | 10.2 | 7.8 | 4.1 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 10.6 | 10.6 | 61.8 |
| IIa | 11.4 | 15.8 | 27.2 | 18.6 | 31.7 | 6.5 | 7.5 | 15.2 | 20.2 | 29.8 | 17.1 | 13.8 | 214.8 |
| IIb | 32.5 | 16.2 | 15.7 | 25.9 | 31.0 | 2.5 | 0.0 | 1.2 | 15.3 | 23.8 | 13.8 | 15.4 | 193.4 |
| IIc | 6.4 | 8.8 | 8.4 | 5.5 | 3.0 | 0.9 | 0.0 | 6.8 | 7.4 | 5.1 | 2.5 | 6.2 | 60.9 |
| IId | 26.3 | 8.2 | 9.0 | 11.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 2.4 | 6.8 | 8.2 | 74.5 |
| IIIa | 1.4 | 1.4 | 2.3 | 3.3 | 0.6 | 0.0 | 1.1 | 0.6 | 5.6 | 6.9 | 4.9 | 1.8 | 29.8 |
| IIIb | 4.6 | 3.9 | 3.7 | 4.8 | 2.8 | 0.1 | 0.0 | 1.4 | 2.4 | 3.0 | 2.9 | 6.7 | 36.3 |
| IIIc | 0.0 | 2.3 | 1.0 | 1.3 | 2.9 | 8.5 | 2.2 | 1.0 | 1.1 | 2.6 | 7.8 | 4.1 | 34.7 |
| IIId | 2.7 | 1.7 | 6.7 | 2.7 | 0.8 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 2.7 | 19.1 |
| IVa | 0.6 | 3.0 | 15.0 | 10.7 | 9.8 | 18.5 | 45.8 | 50.9 | 26.7 | 10.9 | 0.0 | 6.3 | 198.0 |
| IVb | 0.3 | 0.7 | 1.6 | 1.5 | 1.9 | 19.5 | 4.1 | 13.1 | 10.7 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 55.2 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.7 | 45.9 | 36.5 | 61.6 | 24.2 | 3.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 182.2 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.7 | 13.2 | 5.7 | 4.0 | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 27.6 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.4 | 12.5 | 17.4 | 8.8 | 7.7 | 2.0 | 0.0 | 50.9 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.3 |
| 合計 | 99.8 | 72.1 | 98.4 | 100.0 | 131.2 | 99.7 | 147.9 | 137.6 | 114.6 | 98.1 | 70.3 | 75.8 | 1245.5 |

表-5.6 (4) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点：山形

(1) 既往データ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| I | 43.8 | 29.8 | 18.5 | 2.7 | 1.4 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 8.5 | 21.6 | 36.2 | 163.8 |
| IIa | 9.5 | 5.7 | 9.2 | 11.2 | 10.4 | 5.9 | 4.8 | 5.6 | 11.1 | 12.1 | 12.2 | 8.3 | 106.0 |
| IIb | 9.0 | 7.6 | 9.5 | 10.9 | 9.2 | 9.0 | 4.4 | 6.7 | 8.8 | 8.6 | 8.3 | 11.7 | 103.8 |
| IIc | 9.9 | 15.5 | 20.3 | 15.1 | 15.6 | 7.3 | 2.4 | 2.4 | 3.1 | 8.0 | 9.6 | 8.9 | 118.0 |
| IId | 16.2 | 13.1 | 12.7 | 16.1 | 16.3 | 9.2 | 4.4 | 1.7 | 5.8 | 10.0 | 11.8 | 14.3 | 131.7 |
| IIIa | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 2.5 | 1.3 | 1.5 | 0.9 | 1.2 | 2.0 | 2.7 | 1.6 | 0.6 | 16.8 |
| IIIb | 2.0 | 1.4 | 3.9 | 4.4 | 3.6 | 2.4 | 0.5 | 0.6 | 2.5 | 2.9 | 3.3 | 2.5 | 30.0 |
| IIIc | 0.6 | 0.2 | 0.5 | 1.0 | 1.7 | 1.2 | 0.2 | 0.2 | 0.9 | 2.5 | 1.5 | 1.2 | 11.7 |
| IIId | 2.5 | 3.1 | 3.0 | 4.0 | 2.6 | 0.7 | 0.1 | 0.8 | 0.6 | 0.7 | 1.6 | 3.7 | 23.4 |
| IVa | 0.8 | 3.9 | 1.9 | 5.4 | 5.8 | 31.6 | 58.5 | 40.9 | 32.4 | 7.4 | 0.8 | 0.5 | 190.0 |
| IVb | 0.7 | 2.0 | 3.9 | 3.2 | 8.0 | 23.4 | 12.6 | 6.5 | 12.5 | 6.4 | 2.8 | 0.4 | 82.5 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 2.2 | 4.9 | 4.4 | 30.3 | 26.2 | 6.6 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | 75.6 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 1.7 | 5.0 | 12.2 | 5.6 | 4.0 | 1.3 | 0.0 | 29.8 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 1.2 | 2.3 | 7.0 | 18.5 | 11.0 | 5.4 | 0.5 | 0.0 | 46.1 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 1.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 1.7 |
| 合計 | 95.7 | 83.1 | 84.4 | 79.0 | 82.4 | 100.7 | 131.2 | 123.6 | 105.6 | 79.9 | 76.8 | 88.6 | 1130.9 |

(2) 通常時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| I | 27.6 | 16.6 | 13.1 | 8.1 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 14.2 | 22.5 | 28.8 | 133.5 |
| IIa | 9.8 | 11.4 | 10.4 | 9.4 | 12.6 | 4.8 | 1.6 | 9.4 | 10.8 | 14.1 | 7.7 | 10.3 | 112.4 |
| IIb | 11.2 | 10.5 | 15.1 | 32.8 | 5.5 | 0.9 | 5.3 | 3.8 | 10.4 | 8.2 | 4.9 | 6.2 | 114.7 |
| IIc | 14.6 | 6.2 | 7.4 | 6.4 | 7.4 | 0.0 | 0.0 | 4.6 | 5.0 | 2.7 | 3.4 | 6.4 | 64.1 |
| IId | 5.6 | 20.2 | 4.9 | 0.5 | 2.9 | 0.0 | 2.9 | 2.7 | 6.4 | 7.5 | 9.1 | 9.3 | 72.1 |
| IIIa | 1.3 | 4.6 | 6.0 | 4.7 | 1.3 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 3.7 | 7.9 | 5.2 | 2.5 | 39.5 |
| IIIb | 3.6 | 2.0 | 3.2 | 2.6 | 2.4 | 0.2 | 0.0 | 0.9 | 1.2 | 1.9 | 2.7 | 4.0 | 24.7 |
| IIIc | 2.0 | 0.6 | 0.7 | 1.4 | 1.8 | 3.1 | 2.1 | 0.3 | 1.3 | 1.7 | 1.5 | 1.6 | 17.9 |
| IIId | 0.6 | 1.5 | 6.5 | 5.7 | 9.9 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 28.4 |
| IVa | 0.0 | 3.1 | 0.0 | 6.3 | 10.1 | 23.6 | 44.7 | 49.6 | 16.4 | 2.5 | 14.0 | 5.4 | 175.6 |
| IVb | 0.0 | 0.3 | 0.9 | 0.0 | 8.1 | 24.1 | 7.3 | 8.5 | 12.1 | 3.3 | 0.3 | 0.1 | 65.0 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 11.5 | 24.2 | 27.7 | 15.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 79.5 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.8 | 14.2 | 10.7 | 10.7 | 1.0 | 4.7 | 2.8 | 46.9 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.3 | 18.6 | 33.8 | 1.5 | 17.0 | 4.5 | 91.7 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 76.2 | 77.0 | 68.2 | 78.7 | 75.3 | 83.9 | 122.8 | 127.3 | 114.7 | 66.6 | 93.1 | 82.4 | 1066.2 |

(3) 温暖化時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|--------|
| I | 31.4 | 22.7 | 15.7 | 10.1 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.9 | 22.9 | 23.8 | 137.1 |
| IIa | 7.1 | 9.3 | 15.9 | 11.5 | 19.0 | 4.0 | 4.7 | 9.1 | 12.2 | 17.7 | 9.6 | 8.3 | 128.6 |
| IIb | 19.7 | 9.2 | 9.3 | 15.5 | 18.7 | 1.6 | 0.0 | 0.8 | 9.1 | 14.4 | 8.2 | 9.8 | 116.4 |
| IIc | 7.3 | 11.4 | 9.9 | 6.9 | 3.7 | 1.1 | 0.0 | 8.1 | 8.4 | 6.4 | 3.1 | 7.5 | 73.8 |
| IId | 19.2 | 6.0 | 6.6 | 8.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 1.8 | 5.0 | 6.0 | 54.4 |
| IIIa | 1.6 | 1.8 | 3.0 | 3.7 | 0.8 | 0.0 | 1.2 | 0.8 | 6.2 | 7.8 | 5.3 | 2.1 | 34.4 |
| IIIb | 3.2 | 2.8 | 2.7 | 3.4 | 2.0 | 0.1 | 0.0 | 1.0 | 1.7 | 2.2 | 2.0 | 4.8 | 25.8 |
| IIIc | 0.0 | 1.1 | 0.4 | 0.8 | 1.3 | 4.8 | 1.4 | 0.5 | 0.7 | 1.4 | 4.0 | 1.9 | 18.2 |
| IIId | 2.5 | 1.5 | 6.2 | 2.5 | 0.8 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 17.7 |
| IVa | 0.5 | 2.9 | 16.3 | 11.9 | 9.8 | 19.6 | 46.6 | 53.1 | 27.8 | 10.6 | 0.0 | 6.6 | 205.8 |
| IVb | 0.3 | 0.9 | 1.6 | 1.5 | 1.9 | 20.8 | 4.2 | 13.6 | 11.1 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 57.7 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.6 | 31.2 | 25.5 | 41.6 | 14.1 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 120.8 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.8 | 14.7 | 6.4 | 4.8 | 0.0 | 2.2 | 0.0 | 30.9 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.4 | 12.5 | 16.5 | 8.4 | 7.6 | 1.7 | 0.0 | 49.2 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 |
| 合計 | 93.0 | 69.6 | 87.6 | 82.4 | 90.6 | 84.2 | 126.8 | 124.1 | 95.4 | 80.8 | 64.1 | 73.4 | 1072.0 |

表-5.6 (5) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点：金沢

(1) 既往データ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 140.6 | 99.5 | 59.1 | 8.9 | 4.5 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 4.4 | 27.6 | 70.0 | 115.8 | 530.7 |
| IIa | 27.8 | 18.1 | 27.0 | 32.9 | 31.5 | 16.1 | 13.4 | 16.7 | 31.0 | 36.4 | 34.7 | 23.7 | 309.5 |
| IIb | 25.3 | 22.8 | 31.6 | 31.2 | 26.3 | 26.6 | 14.4 | 19.3 | 24.7 | 25.1 | 23.1 | 34.4 | 304.9 |
| IIc | 22.1 | 32.9 | 41.1 | 31.4 | 32.3 | 16.1 | 5.6 | 4.8 | 5.7 | 16.4 | 21.8 | 19.2 | 249.5 |
| IId | 33.5 | 26.6 | 27.2 | 33.2 | 32.9 | 18.4 | 8.4 | 3.7 | 11.4 | 21.2 | 23.6 | 29.0 | 269.1 |
| IIIa | 1.4 | 1.6 | 2.0 | 5.5 | 3.3 | 3.6 | 2.0 | 2.7 | 4.7 | 5.8 | 3.6 | 1.1 | 37.3 |
| IIIb | 5.0 | 3.8 | 9.7 | 11.1 | 9.6 | 5.2 | 1.1 | 1.3 | 5.9 | 7.9 | 8.9 | 6.7 | 76.0 |
| IIIc | 0.9 | 0.4 | 0.9 | 1.8 | 3.0 | 2.0 | 0.4 | 0.4 | 1.5 | 4.4 | 2.7 | 2.0 | 20.3 |
| IIId | 5.0 | 6.1 | 6.4 | 8.1 | 5.7 | 1.6 | 0.1 | 1.8 | 1.1 | 1.6 | 3.2 | 7.5 | 48.2 |
| IVa | 2.2 | 9.1 | 4.5 | 13.0 | 14.6 | 77.5 | 135.9 | 99.3 | 76.5 | 17.3 | 2.1 | 1.1 | 453.2 |
| IVb | 1.4 | 3.6 | 7.2 | 5.8 | 14.7 | 45.2 | 24.3 | 11.8 | 22.7 | 12.0 | 5.3 | 0.8 | 154.8 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 2.4 | 4.9 | 4.1 | 29.6 | 25.0 | 6.3 | 0.4 | 0.0 | 0.4 | 73.3 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 3.2 | 9.7 | 25.5 | 11.6 | 8.0 | 2.6 | 0.0 | 60.9 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 1.4 | 2.3 | 9.0 | 23.4 | 14.6 | 6.0 | 0.6 | 0.0 | 57.5 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.5 | 5.7 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 7.9 |
| 合計 | 265.4 | 224.4 | 216.8 | 185.9 | 185.0 | 222.1 | 254.1 | 236.2 | 227.8 | 191.1 | 202.2 | 241.9 | 2653.1 |

(2) 通常時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 88.4 | 53.8 | 41.2 | 25.5 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.3 | 45.0 | 75.5 | 94.8 | 433.6 |
| IIa | 30.1 | 33.3 | 30.9 | 26.7 | 37.3 | 15.5 | 5.0 | 28.2 | 32.4 | 42.5 | 21.1 | 30.9 | 334.1 |
| IIb | 34.0 | 31.3 | 44.6 | 93.8 | 15.4 | 2.6 | 15.6 | 12.0 | 30.1 | 23.6 | 13.5 | 19.1 | 335.6 |
| IIc | 29.7 | 11.6 | 14.8 | 13.9 | 15.9 | 0.0 | 0.0 | 9.3 | 10.5 | 5.6 | 7.1 | 12.7 | 131.2 |
| IId | 12.0 | 41.7 | 10.4 | 1.3 | 6.1 | 0.0 | 5.9 | 5.4 | 14.0 | 14.8 | 18.7 | 18.2 | 148.5 |
| IIIa | 2.9 | 11.0 | 13.3 | 10.2 | 2.8 | 1.0 | 1.8 | 2.2 | 8.2 | 19.1 | 12.4 | 5.7 | 90.6 |
| IIIb | 9.5 | 5.4 | 7.8 | 6.5 | 6.0 | 0.7 | 0.0 | 2.1 | 2.7 | 4.8 | 5.8 | 9.4 | 60.8 |
| IIIc | 3.4 | 1.1 | 1.4 | 2.4 | 3.2 | 5.4 | 3.6 | 0.5 | 2.4 | 3.1 | 2.5 | 2.7 | 31.7 |
| IIId | 1.2 | 3.0 | 13.4 | 12.0 | 20.3 | 0.0 | 0.0 | 4.1 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 59.4 |
| IVa | 0.0 | 7.9 | 0.0 | 14.7 | 23.7 | 58.1 | 109.0 | 120.6 | 39.2 | 5.6 | 33.6 | 13.3 | 425.8 |
| IVb | 0.0 | 0.6 | 1.6 | 0.0 | 15.8 | 46.0 | 13.6 | 17.1 | 20.9 | 6.8 | 0.6 | 0.5 | 123.4 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 8.9 | 22.1 | 25.6 | 14.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 72.0 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.0 | 29.5 | 20.9 | 21.4 | 2.0 | 9.1 | 5.4 | 94.3 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.8 | 25.0 | 42.8 | 2.1 | 21.8 | 5.3 | 116.8 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 211.2 | 200.9 | 179.3 | 208.0 | 161.5 | 157.4 | 229.4 | 262.0 | 232.2 | 175.0 | 221.7 | 219.1 | 2457.9 |

(3) 温暖化時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 100.1 | 72.1 | 50.6 | 32.1 | 5.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 28.8 | 74.6 | 75.3 | 438.9 |
| IIa | 20.4 | 28.4 | 47.4 | 33.1 | 56.1 | 11.5 | 13.3 | 27.3 | 35.8 | 52.8 | 29.7 | 24.3 | 380.1 |
| IIb | 57.3 | 28.8 | 28.3 | 45.6 | 54.7 | 4.2 | 0.0 | 2.2 | 27.5 | 43.3 | 23.7 | 31.2 | 346.7 |
| IIc | 15.2 | 24.7 | 19.9 | 14.4 | 8.3 | 2.0 | 0.0 | 16.9 | 17.3 | 14.3 | 7.7 | 15.6 | 156.2 |
| IId | 39.5 | 13.5 | 13.2 | 17.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 4.5 | 11.1 | 11.6 | 115.3 |
| IIIa | 3.6 | 4.0 | 7.0 | 8.4 | 1.6 | 0.1 | 2.3 | 2.1 | 13.7 | 17.7 | 12.4 | 4.9 | 77.9 |
| IIIb | 8.1 | 6.7 | 6.5 | 9.0 | 5.1 | 0.2 | 0.0 | 2.3 | 4.1 | 5.4 | 5.3 | 11.1 | 63.8 |
| IIIc | 0.0 | 1.9 | 0.8 | 1.3 | 2.3 | 8.1 | 2.3 | 0.9 | 1.2 | 2.4 | 7.0 | 3.2 | 31.2 |
| IIId | 5.2 | 3.2 | 12.8 | 5.6 | 1.6 | 2.7 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 36.8 |
| IVa | 1.1 | 6.9 | 40.0 | 28.6 | 24.4 | 46.9 | 112.2 | 127.3 | 67.4 | 26.6 | 0.0 | 15.4 | 497.1 |
| IVb | 0.4 | 1.7 | 2.8 | 2.4 | 3.7 | 39.5 | 7.2 | 24.5 | 19.9 | 3.7 | 0.0 | 0.0 | 105.8 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.6 | 28.7 | 24.5 | 38.8 | 14.0 | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 114.3 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 29.8 | 12.6 | 9.3 | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 62.1 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.3 | 14.9 | 21.6 | 10.7 | 9.0 | 2.1 | 0.0 | 61.5 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.3 |
| 合計 | 251.1 | 191.7 | 229.3 | 204.8 | 191.8 | 149.0 | 220.9 | 251.6 | 219.9 | 208.4 | 177.8 | 197.6 | 2494.1 |

表-5.6 (6) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点：宇都宮

(1) 既往データ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| I | 3.2 | 2.5 | 0.9 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.5 | 1.4 | 2.7 | 11.7 |
| IIa | 7.1 | 4.4 | 8.3 | 8.5 | 9.0 | 5.7 | 3.4 | 4.5 | 9.4 | 9.4 | 10.0 | 7.1 | 86.7 |
| IIb | 8.7 | 7.4 | 8.7 | 9.8 | 10.5 | 7.9 | 4.5 | 5.4 | 7.9 | 8.3 | 6.9 | 10.6 | 96.6 |
| IIc | 18.5 | 28.1 | 36.0 | 27.9 | 28.8 | 14.5 | 4.2 | 4.2 | 5.2 | 14.8 | 18.9 | 17.1 | 218.2 |
| IId | 23.7 | 19.8 | 19.0 | 22.7 | 23.7 | 13.8 | 5.6 | 2.6 | 8.2 | 14.4 | 17.4 | 21.1 | 192.0 |
| IIIa | 2.0 | 2.1 | 2.9 | 7.4 | 3.9 | 4.4 | 2.8 | 3.8 | 5.9 | 7.4 | 4.8 | 1.5 | 48.9 |
| IIIb | 2.7 | 1.9 | 5.2 | 5.4 | 4.7 | 2.4 | 0.5 | 0.6 | 3.2 | 3.7 | 3.9 | 3.0 | 37.1 |
| IIIc | 1.1 | 0.4 | 0.6 | 1.6 | 2.6 | 1.4 | 0.3 | 0.2 | 0.8 | 2.8 | 2.2 | 1.4 | 15.5 |
| IIId | 1.0 | 1.4 | 0.9 | 2.0 | 1.2 | 0.4 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 1.0 | 2.3 | 10.9 |
| IVa | 1.0 | 4.4 | 2.2 | 6.0 | 6.9 | 36.0 | 64.2 | 46.2 | 36.3 | 8.1 | 1.0 | 0.5 | 212.8 |
| IVb | 1.8 | 3.8 | 8.0 | 9.2 | 19.5 | 54.7 | 28.3 | 14.4 | 28.0 | 15.4 | 6.2 | 1.5 | 190.7 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 2.1 | 4.6 | 4.1 | 28.8 | 25.2 | 6.3 | 0.5 | 0.0 | 0.3 | 72.0 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 4.4 | 11.9 | 31.3 | 13.6 | 8.7 | 2.8 | 0.0 | 73.0 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 1.7 | 3.4 | 12.4 | 34.4 | 21.9 | 8.8 | 0.7 | 0.0 | 83.9 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.6 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.9 |
| 合計 | 70.9 | 76.2 | 92.7 | 103.4 | 117.5 | 153.2 | 167.0 | 173.0 | 147.4 | 103.2 | 77.4 | 69.0 | 1350.9 |

(2) 通常時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|--------|
| I | 2.1 | 1.5 | 0.8 | 0.6 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 1.0 | 1.7 | 1.8 | 9.6 |
| IIa | 8.2 | 8.8 | 8.2 | 7.0 | 10.9 | 3.9 | 1.5 | 7.4 | 8.0 | 11.4 | 6.8 | 9.7 | 91.7 |
| IIb | 10.1 | 9.7 | 14.9 | 27.8 | 4.4 | 0.6 | 6.0 | 2.9 | 9.1 | 7.2 | 5.0 | 5.7 | 103.2 |
| IIc | 27.0 | 10.7 | 12.8 | 12.4 | 13.4 | 0.0 | 0.0 | 8.0 | 8.9 | 5.0 | 5.7 | 10.9 | 114.7 |
| IId | 8.0 | 29.5 | 7.0 | 0.7 | 4.2 | 0.0 | 4.6 | 4.1 | 9.6 | 11.2 | 13.3 | 14.2 | 106.4 |
| IIIa | 4.3 | 14.7 | 18.0 | 13.3 | 3.7 | 1.1 | 2.4 | 3.3 | 11.7 | 23.3 | 16.4 | 6.5 | 118.8 |
| IIIb | 4.8 | 2.8 | 3.8 | 3.8 | 3.2 | 0.2 | 0.0 | 0.9 | 1.5 | 2.5 | 3.2 | 5.5 | 32.2 |
| IIIc | 2.6 | 0.8 | 0.9 | 1.5 | 2.5 | 4.1 | 3.1 | 0.2 | 0.9 | 1.7 | 1.6 | 2.0 | 21.8 |
| IIId | 0.0 | 0.3 | 2.8 | 1.5 | 3.4 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9.4 |
| IVa | 0.0 | 3.4 | 0.0 | 7.0 | 11.2 | 27.3 | 50.0 | 56.3 | 18.4 | 2.6 | 15.7 | 6.4 | 198.4 |
| IVb | 0.0 | 0.8 | 1.9 | 0.0 | 19.1 | 55.8 | 17.0 | 21.3 | 25.3 | 8.4 | 1.1 | 0.6 | 151.2 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 10.8 | 22.7 | 27.1 | 14.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 76.3 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.0 | 34.7 | 24.0 | 28.0 | 2.2 | 11.9 | 7.6 | 115.4 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 27.7 | 34.5 | 63.3 | 2.7 | 32.7 | 7.0 | 167.8 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 67.1 | 83.0 | 71.1 | 76.2 | 87.0 | 122.6 | 174.0 | 178.2 | 185.6 | 79.2 | 115.0 | 77.8 | 1316.9 |

(3) 温暖化時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| I | 2.4 | 1.6 | 1.5 | 0.8 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 1.6 | 1.6 | 10.2 |
| IIa | 6.1 | 6.8 | 13.5 | 8.3 | 14.5 | 2.9 | 3.6 | 7.2 | 9.7 | 14.0 | 7.6 | 7.3 | 101.6 |
| IIb | 17.3 | 8.8 | 8.2 | 14.2 | 15.5 | 1.2 | 0.0 | 0.6 | 7.9 | 13.5 | 6.9 | 9.5 | 103.6 |
| IIc | 13.2 | 21.5 | 17.6 | 12.7 | 7.3 | 1.9 | 0.0 | 15.1 | 15.5 | 11.6 | 5.8 | 13.4 | 135.4 |
| IId | 28.6 | 9.0 | 9.1 | 12.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.4 | 2.0 | 7.1 | 9.1 | 79.6 |
| IIIa | 4.7 | 5.1 | 8.7 | 10.3 | 1.8 | 0.1 | 3.2 | 2.8 | 19.4 | 22.2 | 15.5 | 7.1 | 100.9 |
| IIIb | 4.0 | 3.6 | 3.3 | 5.1 | 2.6 | 0.1 | 0.0 | 1.1 | 1.8 | 2.4 | 2.5 | 6.4 | 32.8 |
| IIIc | 0.0 | 1.6 | 0.5 | 1.1 | 1.5 | 6.4 | 1.6 | 1.0 | 0.9 | 1.8 | 5.6 | 3.2 | 25.4 |
| IIId | 0.8 | 0.4 | 1.9 | 1.3 | 0.2 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 6.0 |
| IVa | 0.6 | 3.3 | 18.4 | 13.6 | 11.5 | 21.8 | 51.3 | 59.4 | 31.2 | 12.0 | 0.0 | 7.4 | 230.5 |
| IVb | 0.7 | 2.0 | 3.2 | 2.7 | 3.9 | 47.5 | 9.5 | 31.0 | 24.9 | 5.2 | 0.0 | 0.0 | 130.6 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.3 | 29.5 | 24.3 | 39.9 | 13.7 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 115.5 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.6 | 36.8 | 16.3 | 11.1 | 0.0 | 4.2 | 0.0 | 75.0 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.8 | 21.0 | 33.2 | 16.4 | 14.0 | 2.8 | 0.0 | 93.2 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 |
| 合計 | 78.4 | 63.5 | 85.9 | 88.8 | 88.6 | 118.9 | 167.0 | 181.5 | 143.8 | 99.2 | 59.6 | 65.9 | 1241.2 |

表-5.6 (7) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点：松本

(1) 既往データ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| I | 2.0 | 1.5 | 0.8 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 1.1 | 1.9 | 7.9 |
| IIa | 5.3 | 3.5 | 5.6 | 6.4 | 6.9 | 4.6 | 2.6 | 2.9 | 7.3 | 7.2 | 7.4 | 5.0 | 64.6 |
| IIb | 7.3 | 6.0 | 7.6 | 8.4 | 8.5 | 6.9 | 3.8 | 4.8 | 7.0 | 6.9 | 6.1 | 9.9 | 83.3 |
| IIc | 15.3 | 24.2 | 31.0 | 22.7 | 24.4 | 11.5 | 3.7 | 3.6 | 4.6 | 12.0 | 14.8 | 13.6 | 181.4 |
| IId | 13.9 | 11.7 | 11.4 | 12.8 | 14.4 | 7.7 | 3.5 | 1.6 | 4.9 | 8.3 | 10.5 | 12.5 | 113.0 |
| IIIa | 1.2 | 1.4 | 1.7 | 4.7 | 2.5 | 2.9 | 1.6 | 2.3 | 3.8 | 5.0 | 3.1 | 1.0 | 31.2 |
| IIIb | 1.9 | 1.3 | 3.5 | 3.9 | 2.9 | 1.6 | 0.3 | 0.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.3 | 25.9 |
| IIIc | 0.6 | 0.2 | 0.3 | 0.9 | 1.4 | 0.8 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 1.5 | 1.3 | 0.8 | 8.4 |
| IIId | 0.4 | 0.6 | 0.4 | 0.8 | 0.4 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.4 | 0.7 | 4.1 |
| IVa | 0.9 | 4.3 | 2.1 | 6.0 | 6.5 | 34.3 | 64.3 | 44.0 | 34.9 | 8.1 | 0.9 | 0.5 | 206.8 |
| IVb | 1.4 | 3.5 | 7.2 | 5.7 | 14.5 | 44.7 | 24.1 | 11.7 | 22.4 | 11.9 | 5.2 | 0.8 | 153.2 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 3.6 | 3.4 | 21.5 | 19.4 | 4.8 | 0.4 | 0.0 | 0.2 | 54.9 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 2.5 | 7.6 | 21.3 | 9.4 | 6.1 | 1.9 | 0.0 | 48.9 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 1.1 | 2.0 | 7.1 | 18.5 | 11.8 | 5.2 | 0.5 | 0.0 | 46.3 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 1.9 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 2.7 |
| 合計 | 50.5 | 58.2 | 71.5 | 74.3 | 87.4 | 123.0 | 140.3 | 130.9 | 115.9 | 75.9 | 55.7 | 49.3 | 1032.8 |

(2) 通常時GCNデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| I | 1.3 | 0.8 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 1.2 | 1.3 | 6.5 |
| IIa | 6.4 | 6.8 | 6.0 | 5.4 | 8.4 | 3.2 | 1.2 | 5.1 | 6.3 | 8.8 | 5.3 | 6.9 | 69.8 |
| IIb | 9.5 | 8.6 | 13.2 | 25.5 | 4.0 | 0.5 | 4.7 | 2.8 | 8.6 | 6.3 | 3.9 | 5.2 | 92.9 |
| IIc | 22.1 | 9.4 | 11.2 | 10.5 | 11.5 | 0.0 | 0.0 | 6.8 | 7.4 | 4.2 | 4.9 | 9.6 | 97.5 |
| IId | 5.0 | 16.3 | 4.2 | 0.4 | 2.6 | 0.0 | 2.5 | 2.3 | 5.3 | 6.8 | 7.0 | 8.4 | 60.8 |
| IIIa | 2.5 | 9.2 | 11.2 | 8.6 | 2.5 | 0.8 | 1.6 | 1.9 | 6.8 | 15.8 | 10.4 | 4.7 | 75.9 |
| IIIb | 3.5 | 2.1 | 2.8 | 2.6 | 2.3 | 0.1 | 0.0 | 0.6 | 0.9 | 1.8 | 2.4 | 3.5 | 22.6 |
| IIIc | 1.4 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 1.4 | 2.2 | 1.7 | 0.1 | 0.4 | 0.9 | 0.8 | 1.2 | 11.6 |
| IIId | 0.0 | 0.1 | 1.1 | 0.6 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.8 |
| IVa | 0.0 | 3.4 | 0.0 | 7.0 | 10.4 | 25.0 | 48.6 | 53.7 | 16.6 | 2.8 | 14.6 | 6.0 | 188.1 |
| IVb | 0.0 | 0.6 | 1.5 | 0.0 | 15.6 | 45.6 | 13.5 | 16.9 | 20.7 | 6.7 | 0.6 | 0.5 | 122.2 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 8.1 | 17.6 | 21.0 | 11.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 58.2 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 24.1 | 16.3 | 17.8 | 1.7 | 7.6 | 4.4 | 76.9 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.7 | 19.7 | 34.2 | 1.7 | 17.3 | 4.2 | 92.8 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 51.7 | 57.7 | 52.3 | 62.3 | 68.2 | 99.9 | 134.5 | 137.4 | 125.4 | 58.2 | 76.0 | 55.9 | 979.6 |

(3) 温暖化時GCNデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| I | 1.6 | 1.0 | 1.0 | 0.6 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 1.1 | 1.3 | 7.1 |
| IIa | 4.8 | 5.3 | 10.4 | 6.5 | 11.4 | 2.3 | 2.7 | 5.4 | 7.4 | 10.6 | 5.7 | 5.5 | 77.8 |
| IIb | 15.7 | 7.6 | 7.3 | 12.4 | 13.8 | 1.2 | 0.0 | 0.5 | 7.1 | 12.6 | 6.5 | 8.2 | 92.8 |
| IIc | 11.0 | 18.3 | 15.1 | 10.5 | 5.8 | 1.6 | 0.0 | 12.4 | 13.0 | 9.3 | 4.8 | 11.4 | 113.4 |
| IId | 16.5 | 5.5 | 5.6 | 7.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 1.3 | 3.9 | 5.4 | 47.1 |
| IIIa | 3.1 | 3.4 | 5.6 | 7.1 | 1.3 | 0.0 | 1.9 | 1.8 | 11.6 | 14.8 | 10.4 | 4.0 | 64.8 |
| IIIb | 3.0 | 2.8 | 2.6 | 3.6 | 1.7 | 0.1 | 0.0 | 0.7 | 1.2 | 1.6 | 1.9 | 4.2 | 23.5 |
| IIIc | 0.0 | 0.9 | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 3.6 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 2.8 | 1.8 | 13.4 |
| IIId | 0.3 | 0.1 | 0.7 | 0.5 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 2.2 |
| IVa | 0.6 | 3.3 | 17.6 | 12.5 | 10.7 | 21.2 | 51.0 | 58.5 | 30.1 | 11.5 | 0.0 | 7.5 | 224.5 |
| IVb | 0.4 | 1.7 | 2.8 | 2.4 | 3.6 | 39.1 | 7.2 | 24.2 | 19.7 | 3.7 | 0.0 | 0.0 | 104.7 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.8 | 22.0 | 18.3 | 30.4 | 10.4 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 87.2 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.8 | 23.2 | 9.8 | 7.2 | 0.0 | 3.3 | 0.0 | 48.3 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 11.8 | 17.0 | 8.7 | 7.5 | 1.7 | 0.0 | 49.9 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.5 |
| 合計 | 57.0 | 49.9 | 68.8 | 68.9 | 71.3 | 95.6 | 129.2 | 141.3 | 111.7 | 73.9 | 41.9 | 49.7 | 959.2 |

表-5.6 (8) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点: 前橋

(1) 既往データ

単位: mm

| 気象 パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| I | 1.9 | 1.5 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.9 | 1.6 | 6.7 |
| IIa | 4.9 | 3.0 | 4.8 | 5.8 | 5.8 | 3.7 | 2.1 | 2.6 | 5.9 | 6.1 | 6.5 | 4.4 | 55.4 |
| IIb | 5.6 | 4.7 | 5.6 | 6.4 | 6.7 | 5.1 | 2.8 | 3.6 | 5.3 | 5.3 | 4.4 | 6.8 | 62.5 |
| IIc | 14.4 | 23.0 | 29.3 | 21.7 | 23.3 | 11.0 | 3.5 | 3.5 | 4.3 | 11.4 | 14.2 | 12.8 | 172.2 |
| IId | 14.8 | 12.4 | 12.2 | 13.6 | 15.3 | 8.2 | 3.7 | 1.7 | 5.2 | 8.9 | 11.2 | 13.4 | 120.4 |
| IIIa | 1.7 | 1.8 | 2.5 | 6.5 | 3.4 | 3.8 | 2.5 | 3.3 | 5.2 | 6.5 | 4.2 | 1.3 | 42.8 |
| IIIb | 1.7 | 1.1 | 2.9 | 3.1 | 2.6 | 1.6 | 0.3 | 0.3 | 2.0 | 2.0 | 2.3 | 1.9 | 21.9 |
| IIIc | 0.9 | 0.4 | 0.4 | 1.3 | 2.1 | 1.2 | 0.2 | 0.2 | 0.7 | 2.5 | 1.8 | 1.3 | 13.1 |
| IIId | 0.7 | 0.9 | 0.6 | 1.2 | 0.6 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.6 | 1.1 | 6.4 |
| IVa | 0.9 | 3.9 | 1.9 | 5.6 | 6.3 | 32.7 | 58.3 | 42.2 | 33.0 | 7.4 | 0.9 | 0.5 | 193.8 |
| IVb | 1.6 | 3.4 | 7.0 | 8.1 | 17.0 | 48.5 | 25.0 | 12.8 | 24.8 | 13.5 | 5.4 | 1.3 | 168.4 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 2.7 | 5.9 | 5.2 | 36.2 | 31.3 | 7.9 | 0.5 | 0.0 | 0.4 | 90.3 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 3.6 | 9.6 | 26.1 | 11.1 | 7.1 | 2.3 | 0.0 | 59.9 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 1.6 | 3.2 | 11.7 | 32.4 | 20.6 | 8.3 | 0.7 | 0.0 | 79.0 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.5 |
| 合計 | 49.1 | 56.1 | 67.7 | 76.6 | 91.2 | 128.1 | 155.9 | 160.1 | 126.3 | 80.0 | 55.3 | 46.7 | 1093.3 |

(2) 通常時GCMデータ

単位: mm

| 気象 パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| I | 1.2 | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.5 | 0.9 | 1.1 | 5.6 |
| IIa | 5.6 | 6.3 | 5.5 | 4.6 | 7.2 | 2.6 | 1.0 | 4.0 | 5.7 | 7.7 | 4.4 | 6.0 | 60.4 |
| IIb | 6.6 | 6.4 | 9.6 | 18.0 | 2.9 | 0.4 | 3.8 | 1.8 | 6.0 | 4.6 | 3.2 | 3.7 | 67.0 |
| IIc | 21.2 | 8.8 | 10.6 | 9.9 | 10.8 | 0.0 | 0.0 | 6.5 | 7.0 | 3.9 | 4.7 | 9.1 | 92.3 |
| IId | 5.3 | 17.4 | 4.5 | 0.4 | 2.7 | 0.0 | 2.7 | 2.4 | 5.7 | 7.3 | 7.5 | 8.9 | 64.8 |
| IIIa | 3.7 | 12.9 | 15.8 | 11.6 | 3.2 | 1.0 | 2.1 | 2.9 | 10.3 | 20.4 | 14.4 | 5.7 | 104.0 |
| IIIb | 3.0 | 1.7 | 2.5 | 2.3 | 2.0 | 0.1 | 0.0 | 0.5 | 0.9 | 1.5 | 1.8 | 3.1 | 19.5 |
| IIIc | 2.2 | 0.7 | 0.7 | 1.3 | 2.1 | 3.4 | 2.6 | 0.2 | 1.1 | 1.6 | 1.3 | 1.6 | 18.8 |
| IIId | 0.0 | 0.2 | 1.8 | 0.9 | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.9 |
| IVa | 0.0 | 3.1 | 0.0 | 6.4 | 10.1 | 24.8 | 45.3 | 51.4 | 16.9 | 2.4 | 14.5 | 5.7 | 180.6 |
| IVb | 0.0 | 0.7 | 1.7 | 0.0 | 17.0 | 49.3 | 15.0 | 18.3 | 22.4 | 7.5 | 0.9 | 0.5 | 133.3 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 13.7 | 28.9 | 33.1 | 18.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 95.0 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.7 | 29.0 | 19.6 | 22.7 | 1.8 | 9.8 | 6.1 | 94.6 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 26.0 | 32.4 | 59.6 | 2.5 | 30.8 | 6.6 | 157.9 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 48.8 | 59.0 | 53.2 | 56.8 | 73.8 | 116.1 | 160.5 | 158.6 | 158.9 | 61.7 | 94.1 | 58.1 | 1099.6 |

(3) 温暖化時GCMデータ

単位: mm

| 気象 パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| I | 1.4 | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.8 | 1.0 | 5.9 |
| IIa | 4.2 | 4.4 | 9.3 | 5.8 | 10.0 | 2.0 | 2.1 | 4.7 | 6.4 | 9.5 | 4.9 | 4.7 | 67.9 |
| IIb | 11.1 | 5.6 | 5.3 | 9.1 | 9.9 | 0.8 | 0.0 | 0.4 | 5.2 | 8.8 | 4.7 | 6.1 | 66.9 |
| IIc | 10.3 | 17.5 | 14.5 | 9.9 | 5.5 | 1.5 | 0.0 | 11.9 | 12.4 | 9.0 | 4.8 | 10.8 | 108.2 |
| IId | 17.6 | 5.8 | 5.0 | 8.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 1.4 | 4.1 | 5.8 | 50.2 |
| IIIa | 4.1 | 4.4 | 7.6 | 9.0 | 1.6 | 0.1 | 2.8 | 2.4 | 17.0 | 19.4 | 13.6 | 6.2 | 88.3 |
| IIIb | 2.5 | 2.2 | 2.2 | 2.9 | 1.5 | 0.1 | 0.0 | 0.6 | 1.0 | 1.4 | 1.5 | 3.8 | 19.8 |
| IIIc | 0.0 | 1.3 | 0.4 | 0.9 | 1.2 | 5.5 | 1.6 | 0.8 | 0.8 | 1.7 | 4.8 | 2.6 | 21.1 |
| IIId | 0.5 | 0.2 | 1.0 | 0.8 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 3.5 |
| IVa | 0.6 | 2.9 | 17.1 | 12.3 | 10.5 | 20.1 | 47.3 | 54.3 | 28.7 | 11.2 | 0.0 | 6.7 | 211.8 |
| IVb | 0.6 | 1.8 | 2.9 | 2.5 | 3.5 | 42.0 | 8.2 | 27.4 | 22.2 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 115.6 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.9 | 37.3 | 30.5 | 49.7 | 16.8 | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 144.3 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.7 | 30.1 | 13.6 | 9.0 | 0.0 | 3.4 | 0.0 | 61.9 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.5 | 19.8 | 31.3 | 15.4 | 13.2 | 2.7 | 0.0 | 87.8 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 |
| 合計 | 52.9 | 47.2 | 67.1 | 69.5 | 81.2 | 114.0 | 161.6 | 164.3 | 122.2 | 80.3 | 45.3 | 48.2 | 1054.0 |

表-5.6 (9) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点: 岐阜

(1) 既往データ

単位: mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 10.5 | 7.6 | 5.3 | 0.5 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 2.1 | 5.7 | 9.1 | 42.0 |
| IIa | 12.6 | 8.5 | 14.2 | 14.7 | 14.6 | 9.1 | 6.2 | 7.8 | 15.7 | 17.1 | 17.6 | 12.5 | 150.5 |
| IIb | 23.1 | 19.5 | 23.0 | 26.9 | 23.5 | 22.0 | 10.8 | 16.5 | 21.7 | 22.1 | 19.3 | 29.4 | 257.9 |
| IIc | 22.8 | 35.7 | 45.1 | 35.0 | 35.9 | 18.2 | 5.3 | 5.3 | 6.6 | 18.2 | 23.3 | 20.8 | 272.1 |
| IId | 25.9 | 21.8 | 20.6 | 24.9 | 25.9 | 14.9 | 6.5 | 2.8 | 9.0 | 15.6 | 19.1 | 23.1 | 210.0 |
| IIIa | 2.4 | 2.7 | 3.8 | 9.7 | 5.3 | 5.9 | 3.7 | 5.2 | 8.0 | 10.1 | 6.4 | 1.9 | 65.2 |
| IIIb | 4.9 | 3.7 | 10.2 | 10.2 | 9.0 | 4.9 | 1.0 | 1.0 | 6.2 | 6.8 | 7.4 | 5.6 | 71.0 |
| IIIc | 1.2 | 0.4 | 0.6 | 1.6 | 2.5 | 1.5 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 2.7 | 2.3 | 1.5 | 15.3 |
| IIId | 1.0 | 1.3 | 0.9 | 1.8 | 1.3 | 0.3 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.8 | 1.9 | 10.0 |
| IVa | 1.6 | 7.6 | 3.9 | 10.8 | 12.1 | 64.0 | 115.0 | 80.9 | 64.6 | 14.5 | 1.5 | 0.9 | 377.2 |
| IVb | 2.2 | 5.4 | 10.8 | 9.8 | 24.8 | 72.6 | 38.3 | 19.5 | 37.1 | 19.5 | 8.5 | 1.8 | 250.3 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 4.3 | 3.8 | 26.7 | 23.4 | 5.7 | 0.4 | 0.0 | 0.3 | 66.7 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 5.6 | 16.2 | 42.0 | 18.3 | 11.8 | 3.7 | 0.0 | 98.1 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 2.2 | 3.7 | 14.1 | 36.6 | 22.9 | 9.4 | 0.9 | 0.0 | 90.0 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.4 | 2.7 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 3.9 |
| 合計 | 108.2 | 114.1 | 138.5 | 148.5 | 161.9 | 226.5 | 244.3 | 241.7 | 219.6 | 151.4 | 116.5 | 109.2 | 1980.4 |

(2) 通常時GCMデータ

単位: mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 7.2 | 5.0 | 3.5 | 2.1 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 4.0 | 5.7 | 7.2 | 35.0 |
| IIa | 14.1 | 15.7 | 13.6 | 12.5 | 18.9 | 7.0 | 2.6 | 13.4 | 13.6 | 19.8 | 11.6 | 16.5 | 159.3 |
| IIb | 28.5 | 25.6 | 37.4 | 81.5 | 13.8 | 1.8 | 13.6 | 9.8 | 25.8 | 20.5 | 12.0 | 15.3 | 285.7 |
| IIc | 33.3 | 13.6 | 16.2 | 15.5 | 16.8 | 0.0 | 0.0 | 9.9 | 11.2 | 6.3 | 7.1 | 13.8 | 143.7 |
| IId | 8.7 | 32.5 | 7.6 | 0.7 | 4.6 | 0.0 | 5.0 | 4.4 | 10.3 | 12.4 | 14.3 | 15.4 | 115.8 |
| IIIa | 5.0 | 19.4 | 23.5 | 17.8 | 5.0 | 1.6 | 3.3 | 4.0 | 15.9 | 31.3 | 21.7 | 8.9 | 157.3 |
| IIIb | 9.0 | 5.1 | 8.0 | 7.1 | 6.5 | 0.3 | 0.0 | 1.8 | 3.1 | 4.8 | 6.9 | 10.6 | 63.2 |
| IIIc | 2.5 | 0.8 | 0.9 | 1.3 | 2.6 | 3.9 | 3.0 | 0.2 | 0.7 | 1.6 | 1.5 | 2.1 | 21.1 |
| IIId | 0.1 | 0.5 | 2.6 | 1.7 | 3.2 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 9.5 |
| IVa | 0.0 | 6.2 | 0.0 | 12.5 | 20.0 | 47.4 | 89.1 | 97.9 | 32.3 | 4.8 | 27.3 | 11.4 | 349.0 |
| IVb | 0.0 | 1.0 | 2.5 | 0.0 | 25.5 | 74.7 | 22.7 | 27.1 | 33.8 | 10.3 | 1.2 | 0.9 | 199.8 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 9.5 | 21.5 | 24.3 | 13.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 69.8 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9.0 | 46.3 | 33.8 | 36.3 | 2.8 | 15.5 | 9.6 | 153.4 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 31.0 | 39.1 | 66.9 | 3.3 | 34.1 | 8.3 | 182.8 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 108.4 | 125.3 | 115.7 | 153.3 | 126.7 | 167.2 | 241.1 | 255.6 | 251.0 | 121.9 | 158.9 | 120.2 | 1945.3 |

(3) 温暖化時GCMデータ

単位: mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| I | 8.0 | 6.0 | 5.1 | 2.4 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.2 | 6.1 | 6.3 | 36.5 |
| IIa | 9.9 | 12.4 | 23.1 | 15.2 | 26.3 | 5.6 | 6.9 | 12.7 | 16.2 | 25.7 | 14.0 | 12.6 | 180.6 |
| IIb | 48.1 | 23.3 | 23.5 | 37.9 | 46.4 | 4.1 | 0.0 | 2.0 | 22.5 | 36.4 | 20.5 | 24.2 | 288.9 |
| IIc | 16.7 | 27.1 | 22.4 | 16.1 | 9.1 | 2.4 | 0.0 | 18.9 | 19.2 | 14.6 | 7.4 | 16.9 | 170.9 |
| IId | 31.2 | 9.7 | 9.8 | 13.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.6 | 2.2 | 7.8 | 9.8 | 86.7 |
| IIIa | 6.1 | 6.9 | 11.6 | 13.7 | 2.5 | 0.1 | 4.4 | 3.5 | 25.5 | 29.6 | 20.6 | 8.9 | 133.1 |
| IIIb | 7.6 | 6.8 | 6.8 | 9.3 | 4.8 | 0.2 | 0.0 | 2.0 | 3.5 | 4.8 | 4.6 | 12.0 | 62.1 |
| IIIc | 0.0 | 1.6 | 0.4 | 0.9 | 1.4 | 6.5 | 1.7 | 0.9 | 0.9 | 1.6 | 5.1 | 3.3 | 24.3 |
| IIId | 0.9 | 0.4 | 2.1 | 1.2 | 0.2 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 6.0 |
| IVa | 1.1 | 5.7 | 32.1 | 23.8 | 19.8 | 39.1 | 92.0 | 104.2 | 55.8 | 20.8 | 0.0 | 12.9 | 407.2 |
| IVb | 0.6 | 2.8 | 4.5 | 3.7 | 5.6 | 63.4 | 11.9 | 40.1 | 32.6 | 5.9 | 0.0 | 0.0 | 171.2 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.8 | 26.9 | 22.5 | 36.6 | 12.7 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 106.1 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9.1 | 47.9 | 24.1 | 14.6 | 0.0 | 5.1 | 0.0 | 101.0 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.1 | 23.4 | 33.7 | 16.7 | 14.0 | 3.3 | 0.0 | 96.2 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.6 |
| 合計 | 130.2 | 102.7 | 141.5 | 143.5 | 143.6 | 158.4 | 224.7 | 254.7 | 215.1 | 157.7 | 94.7 | 107.8 | 1871.7 |

表-5.6 (10) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点：静岡

(1) 既往データ

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 4.0 | 3.2 | 1.2 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.6 | 1.8 | 3.5 | 14.7 |
| IIa | 15.0 | 9.9 | 18.1 | 18.6 | 19.3 | 12.1 | 7.2 | 10.8 | 20.5 | 20.5 | 22.0 | 15.2 | 189.2 |
| IIb | 23.9 | 20.0 | 24.3 | 27.3 | 27.4 | 23.0 | 12.3 | 17.5 | 22.8 | 22.9 | 20.2 | 33.0 | 274.5 |
| IIc | 33.4 | 49.8 | 63.2 | 48.9 | 50.6 | 25.1 | 8.9 | 7.5 | 8.9 | 25.7 | 33.3 | 30.2 | 385.7 |
| IId | 36.7 | 30.6 | 29.5 | 35.2 | 36.8 | 21.4 | 8.7 | 4.0 | 12.8 | 22.3 | 27.0 | 32.7 | 297.7 |
| IIIa | 2.3 | 2.1 | 3.3 | 9.2 | 4.6 | 5.2 | 3.7 | 4.9 | 7.7 | 9.0 | 5.9 | 1.7 | 59.9 |
| IIIb | 5.9 | 4.0 | 11.3 | 11.9 | 10.6 | 6.2 | 1.1 | 1.7 | 7.3 | 7.8 | 9.4 | 6.4 | 83.7 |
| IIIc | 0.6 | 0.2 | 0.3 | 0.8 | 1.4 | 0.7 | 0.2 | 0.1 | 0.4 | 1.5 | 1.2 | 0.7 | 8.3 |
| IIId | 1.1 | 1.5 | 0.9 | 2.1 | 1.2 | 0.4 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 1.1 | 2.4 | 11.3 |
| IVa | 1.3 | 6.6 | 2.5 | 10.2 | 9.3 | 58.1 | 106.4 | 71.9 | 57.8 | 13.7 | 1.6 | 0.9 | 340.4 |
| IVb | 2.9 | 6.1 | 12.5 | 14.5 | 30.5 | 87.0 | 44.9 | 22.9 | 44.4 | 24.2 | 9.7 | 2.3 | 302.0 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 2.8 | 5.6 | 4.6 | 33.6 | 28.5 | 7.2 | 0.4 | 0.0 | 0.5 | 83.3 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 6.8 | 20.1 | 50.7 | 22.1 | 14.3 | 4.5 | 0.0 | 119.1 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 4.5 | 6.7 | 25.3 | 69.2 | 44.7 | 18.4 | 1.4 | 0.0 | 171.2 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.2 | 8.6 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 10.2 |
| 合計 | 127.3 | 134.4 | 167.2 | 183.5 | 202.4 | 257.8 | 272.9 | 290.2 | 265.4 | 181.9 | 139.0 | 129.4 | 2351.2 |

(2) 通常時GCMデータ

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 2.7 | 1.8 | 1.0 | 0.8 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 1.2 | 2.1 | 2.3 | 12.1 |
| IIa | 17.7 | 19.1 | 17.5 | 15.2 | 24.1 | 8.8 | 3.2 | 15.8 | 17.6 | 24.2 | 14.7 | 21.3 | 199.1 |
| IIb | 30.7 | 28.1 | 43.4 | 84.2 | 14.8 | 1.7 | 15.2 | 9.2 | 29.4 | 21.1 | 12.6 | 16.5 | 307.0 |
| IIc | 46.9 | 18.0 | 22.7 | 21.3 | 24.1 | 0.0 | 0.0 | 14.2 | 15.2 | 8.7 | 11.0 | 20.2 | 202.3 |
| IId | 12.5 | 45.7 | 10.9 | 1.0 | 6.6 | 0.0 | 7.2 | 6.3 | 14.8 | 17.4 | 20.6 | 22.1 | 164.9 |
| IIIa | 5.1 | 17.3 | 21.5 | 15.8 | 4.4 | 1.3 | 2.9 | 4.1 | 13.8 | 27.5 | 19.3 | 7.7 | 140.8 |
| IIIb | 10.4 | 5.6 | 8.9 | 7.7 | 6.7 | 0.6 | 0.0 | 2.3 | 3.3 | 5.5 | 8.3 | 12.1 | 71.5 |
| IIIc | 1.4 | 0.4 | 0.5 | 0.8 | 1.4 | 2.2 | 1.7 | 0.1 | 0.5 | 0.9 | 0.9 | 1.1 | 11.7 |
| IIId | 0.0 | 0.4 | 3.0 | 1.6 | 3.5 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9.8 |
| IVa | 0.0 | 5.7 | 0.0 | 12.2 | 16.9 | 42.3 | 80.9 | 90.6 | 23.9 | 4.1 | 24.5 | 9.2 | 310.2 |
| IVb | 0.0 | 1.2 | 3.1 | 0.0 | 30.4 | 88.4 | 26.8 | 32.8 | 40.1 | 13.5 | 1.7 | 1.0 | 239.0 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 10.1 | 25.2 | 29.1 | 16.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 81.9 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.8 | 57.9 | 41.5 | 44.6 | 3.5 | 19.4 | 11.6 | 189.3 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 55.3 | 71.2 | 127.5 | 5.2 | 67.5 | 13.6 | 340.4 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 127.4 | 143.2 | 132.4 | 161.5 | 143.3 | 181.3 | 280.3 | 305.0 | 331.6 | 132.7 | 202.6 | 138.8 | 2280.1 |

(3) 温暖化時GCMデータ

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 3.0 | 2.0 | 1.9 | 1.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 2.0 | 2.0 | 12.8 |
| IIa | 13.0 | 14.6 | 30.0 | 17.8 | 31.7 | 6.3 | 8.3 | 16.2 | 20.8 | 31.0 | 17.9 | 15.7 | 223.4 |
| IIb | 51.7 | 24.6 | 24.4 | 39.9 | 46.0 | 4.0 | 0.0 | 1.7 | 25.9 | 41.1 | 20.9 | 26.9 | 307.0 |
| IIc | 23.7 | 38.5 | 31.1 | 21.9 | 13.2 | 3.2 | 0.0 | 26.1 | 26.7 | 22.0 | 10.8 | 24.1 | 241.2 |
| IId | 44.3 | 13.9 | 14.0 | 19.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.7 | 3.1 | 10.9 | 14.1 | 123.4 |
| IIIa | 5.1 | 5.9 | 10.5 | 12.2 | 2.1 | 0.1 | 3.7 | 3.4 | 23.5 | 26.2 | 18.4 | 8.7 | 120.4 |
| IIIb | 9.3 | 7.9 | 7.8 | 9.7 | 5.8 | 0.2 | 0.0 | 2.8 | 4.5 | 5.5 | 5.8 | 13.7 | 73.0 |
| IIIc | 0.0 | 0.8 | 0.3 | 0.6 | 0.8 | 3.5 | 0.9 | 0.6 | 0.5 | 1.0 | 3.0 | 1.7 | 13.6 |
| IIId | 0.8 | 0.4 | 2.0 | 1.4 | 0.2 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 6.2 |
| IVa | 1.0 | 5.6 | 28.1 | 20.0 | 18.4 | 34.5 | 85.7 | 95.2 | 50.0 | 20.4 | 0.0 | 11.8 | 370.6 |
| IVb | 1.1 | 3.3 | 5.1 | 4.4 | 6.2 | 75.3 | 14.8 | 49.2 | 39.9 | 8.0 | 0.0 | 0.0 | 207.3 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.5 | 32.7 | 27.8 | 44.1 | 15.9 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 129.9 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 11.2 | 58.6 | 29.4 | 18.0 | 0.0 | 6.5 | 0.0 | 123.8 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 11.3 | 42.6 | 67.3 | 33.3 | 28.5 | 5.6 | 0.0 | 188.6 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.5 |
| 合計 | 153.4 | 117.5 | 155.1 | 155.5 | 157.5 | 177.9 | 258.7 | 307.9 | 259.2 | 187.4 | 101.8 | 119.7 | 2151.8 |

表-5.6 (II) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点: 松江

(1) 既往データ

単位: mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 63.2 | 43.1 | 26.6 | 3.9 | 2.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 12.3 | 31.0 | 52.1 | 236.4 |
| IIa | 13.2 | 8.4 | 14.2 | 15.5 | 15.3 | 9.0 | 6.6 | 7.7 | 16.5 | 17.9 | 17.3 | 12.2 | 153.9 |
| IIb | 19.8 | 17.1 | 23.1 | 23.7 | 20.0 | 20.3 | 10.2 | 14.9 | 19.1 | 18.7 | 17.7 | 26.0 | 230.7 |
| IIc | 20.7 | 30.8 | 38.3 | 29.8 | 30.3 | 15.1 | 5.6 | 4.5 | 5.3 | 15.5 | 20.8 | 17.9 | 234.4 |
| IId | 17.4 | 13.9 | 13.8 | 17.6 | 17.2 | 9.9 | 4.6 | 1.8 | 6.2 | 10.9 | 12.4 | 15.3 | 141.0 |
| IIIa | 2.1 | 2.3 | 2.9 | 8.4 | 4.1 | 4.5 | 3.6 | 4.5 | 6.9 | 8.5 | 5.5 | 1.5 | 54.8 |
| IIIb | 5.3 | 4.0 | 10.5 | 12.2 | 10.3 | 5.8 | 1.2 | 1.5 | 6.4 | 8.6 | 9.1 | 7.2 | 82.2 |
| IIIc | 0.8 | 0.3 | 0.7 | 1.3 | 2.4 | 1.7 | 0.2 | 0.3 | 1.1 | 3.1 | 1.9 | 1.7 | 15.5 |
| IIId | 1.8 | 2.6 | 2.5 | 3.2 | 2.4 | 0.7 | 0.1 | 0.8 | 0.4 | 0.6 | 1.4 | 3.2 | 19.5 |
| IVa | 1.9 | 7.8 | 3.9 | 10.8 | 12.4 | 64.6 | 115.4 | 83.0 | 65.2 | 14.5 | 1.8 | 1.0 | 382.3 |
| IVb | 1.7 | 4.2 | 8.7 | 6.9 | 17.6 | 54.0 | 29.1 | 14.1 | 27.1 | 14.4 | 6.3 | 1.0 | 185.1 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 4.7 | 3.9 | 28.1 | 23.8 | 6.0 | 0.3 | 0.0 | 0.4 | 69.6 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 3.0 | 9.1 | 24.9 | 11.5 | 7.2 | 2.4 | 0.0 | 58.4 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 1.5 | 2.8 | 8.6 | 24.3 | 15.3 | 6.8 | 0.7 | 0.0 | 60.2 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 1.5 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 2.3 |
| 合計 | 148.0 | 134.6 | 145.1 | 136.1 | 140.5 | 195.4 | 222.3 | 206.2 | 190.2 | 139.9 | 128.4 | 139.5 | 1926.2 |

(2) 通常時GCMデータ

単位: mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 39.9 | 23.9 | 18.8 | 11.7 | 2.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 20.4 | 32.6 | 41.5 | 192.8 |
| IIa | 14.5 | 16.7 | 15.4 | 13.8 | 18.5 | 7.0 | 2.3 | 13.6 | 15.7 | 20.3 | 10.5 | 15.9 | 164.2 |
| IIb | 26.1 | 23.2 | 32.4 | 71.6 | 11.3 | 2.0 | 11.4 | 9.1 | 22.8 | 17.3 | 10.4 | 14.6 | 252.3 |
| IIc | 28.0 | 11.0 | 14.1 | 13.1 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | 8.7 | 9.8 | 5.3 | 6.7 | 11.8 | 123.4 |
| IId | 6.3 | 21.8 | 5.2 | 0.5 | 3.0 | 0.0 | 3.2 | 2.9 | 7.1 | 7.9 | 9.8 | 9.9 | 77.5 |
| IIIa | 4.6 | 15.7 | 19.8 | 14.2 | 4.1 | 1.2 | 2.6 | 3.6 | 12.7 | 25.6 | 17.7 | 7.0 | 128.8 |
| IIIb | 10.6 | 5.8 | 8.8 | 7.2 | 6.6 | 0.7 | 0.0 | 2.3 | 3.0 | 5.3 | 6.6 | 10.5 | 67.4 |
| IIIc | 2.8 | 0.8 | 1.0 | 1.9 | 2.6 | 3.9 | 2.6 | 0.3 | 1.4 | 2.3 | 2.1 | 1.8 | 23.3 |
| IIId | 0.5 | 1.2 | 5.7 | 4.9 | 7.9 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 23.4 |
| IVa | 0.0 | 6.2 | 0.0 | 12.6 | 20.1 | 49.1 | 89.8 | 101.2 | 33.1 | 4.8 | 28.1 | 11.4 | 356.5 |
| IVb | 0.0 | 0.7 | 1.9 | 0.0 | 18.9 | 55.0 | 16.3 | 20.4 | 25.0 | 8.1 | 0.7 | 0.6 | 147.6 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 8.5 | 21.0 | 24.3 | 13.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 68.3 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.4 | 27.5 | 19.8 | 19.8 | 1.9 | 8.5 | 5.6 | 88.5 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.2 | 25.4 | 43.7 | 1.8 | 22.4 | 5.6 | 120.1 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 133.2 | 126.9 | 122.9 | 152.4 | 119.1 | 145.4 | 201.3 | 222.3 | 197.1 | 121.0 | 156.1 | 136.5 | 1834.3 |

(3) 温暖化時GCMデータ

単位: mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 45.7 | 33.1 | 22.8 | 14.6 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.8 | 33.0 | 34.2 | 198.4 |
| IIa | 10.6 | 14.0 | 23.6 | 16.1 | 28.0 | 5.6 | 6.8 | 13.6 | 17.8 | 25.7 | 13.7 | 12.5 | 188.0 |
| IIb | 42.7 | 22.1 | 20.8 | 34.7 | 41.3 | 3.2 | 0.0 | 1.5 | 20.8 | 31.7 | 17.8 | 22.6 | 259.2 |
| IIc | 14.3 | 23.1 | 18.6 | 13.7 | 7.7 | 1.8 | 0.0 | 15.9 | 16.6 | 13.2 | 7.1 | 14.5 | 146.6 |
| IId | 20.3 | 6.6 | 7.1 | 9.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.1 | 2.2 | 5.4 | 6.3 | 58.9 |
| IIIa | 4.7 | 5.4 | 9.6 | 10.9 | 1.9 | 0.1 | 3.6 | 3.1 | 21.0 | 24.1 | 17.2 | 7.9 | 109.5 |
| IIIb | 8.9 | 7.5 | 6.9 | 10.1 | 5.3 | 0.3 | 0.0 | 2.5 | 4.6 | 6.0 | 5.7 | 12.4 | 70.1 |
| IIIc | 0.0 | 1.5 | 0.5 | 1.1 | 1.7 | 6.6 | 1.8 | 0.8 | 0.6 | 2.0 | 5.6 | 2.7 | 25.0 |
| IIId | 2.2 | 1.3 | 4.6 | 2.1 | 0.7 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 13.6 |
| IVa | 1.1 | 5.9 | 33.1 | 24.4 | 20.6 | 39.2 | 92.3 | 106.8 | 56.1 | 21.5 | 0.0 | 13.2 | 414.1 |
| IVb | 0.5 | 2.0 | 3.3 | 2.9 | 4.4 | 47.2 | 8.7 | 29.3 | 23.8 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 126.5 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 27.3 | 23.2 | 36.8 | 13.3 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 108.5 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.7 | 27.5 | 11.9 | 8.4 | 0.0 | 4.1 | 0.0 | 57.6 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.0 | 15.7 | 21.8 | 11.0 | 9.6 | 2.5 | 0.0 | 63.6 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 |
| 合計 | 151.0 | 122.6 | 150.9 | 146.0 | 141.2 | 136.8 | 193.1 | 220.5 | 186.6 | 153.2 | 112.1 | 127.8 | 1811.6 |

表-5.6 (12) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点：広島

(1) 既往データ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| I | 3.6 | 2.6 | 1.6 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.7 | 2.0 | 3.5 | 14.3 |
| IIa | 8.6 | 5.6 | 8.6 | 10.1 | 11.0 | 7.1 | 4.3 | 4.5 | 11.9 | 11.5 | 12.0 | 7.9 | 103.1 |
| IIb | 17.5 | 14.6 | 17.1 | 20.2 | 17.9 | 15.8 | 8.5 | 12.4 | 16.9 | 16.0 | 13.9 | 23.6 | 194.4 |
| IIc | 16.5 | 25.7 | 33.7 | 25.0 | 26.0 | 12.1 | 4.0 | 4.0 | 5.1 | 13.3 | 15.9 | 14.8 | 196.2 |
| IId | 11.7 | 10.2 | 9.5 | 11.7 | 12.4 | 6.8 | 3.0 | 1.1 | 3.6 | 6.7 | 9.3 | 10.5 | 96.6 |
| IIIa | 2.4 | 2.7 | 3.9 | 9.9 | 5.4 | 6.1 | 3.8 | 5.3 | 8.2 | 10.3 | 6.5 | 2.0 | 66.4 |
| IIIb | 7.7 | 5.4 | 15.2 | 17.1 | 14.0 | 9.3 | 1.9 | 2.3 | 9.6 | 11.2 | 12.5 | 9.4 | 115.6 |
| IIIc | 1.0 | 0.4 | 0.6 | 1.6 | 2.6 | 1.8 | 0.3 | 0.2 | 1.1 | 3.7 | 2.1 | 1.8 | 17.3 |
| IIId | 1.5 | 1.9 | 1.4 | 2.7 | 2.0 | 0.4 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 1.3 | 3.0 | 15.3 |
| IVa | 1.3 | 7.4 | 3.3 | 10.6 | 11.2 | 60.2 | 111.4 | 75.0 | 60.4 | 14.2 | 1.6 | 1.0 | 357.5 |
| IVb | 1.9 | 5.2 | 10.8 | 8.6 | 21.9 | 66.5 | 34.6 | 17.5 | 33.5 | 18.0 | 7.9 | 1.3 | 227.6 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 3.4 | 2.8 | 21.2 | 18.1 | 4.6 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 52.4 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 3.0 | 9.3 | 26.0 | 11.5 | 7.5 | 2.3 | 0.0 | 59.9 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.9 | 1.5 | 7.9 | 15.8 | 10.0 | 5.0 | 0.6 | 0.0 | 42.0 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 |
| 合計 | 73.8 | 81.7 | 105.9 | 119.8 | 129.1 | 193.3 | 210.2 | 182.4 | 177.2 | 118.8 | 87.8 | 78.7 | 1558.8 |

(2) 通常時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|--------|
| I | 2.3 | 1.6 | 0.9 | 0.8 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 1.4 | 2.1 | 2.4 | 11.8 |
| IIa | 10.2 | 11.0 | 9.6 | 8.8 | 13.2 | 5.2 | 1.7 | 8.0 | 10.4 | 13.9 | 8.2 | 11.1 | 111.1 |
| IIb | 21.7 | 19.3 | 29.9 | 60.6 | 9.9 | 1.5 | 10.2 | 6.8 | 19.9 | 14.8 | 8.8 | 11.7 | 215.1 |
| IIc | 24.3 | 10.3 | 12.2 | 10.7 | 12.3 | 0.0 | 0.0 | 7.6 | 8.3 | 4.5 | 5.6 | 10.7 | 106.5 |
| IId | 3.9 | 12.7 | 3.8 | 0.4 | 2.4 | 0.0 | 1.7 | 1.6 | 3.8 | 5.4 | 6.4 | 6.4 | 48.5 |
| IIIa | 5.1 | 19.8 | 23.9 | 18.1 | 5.1 | 1.6 | 3.4 | 4.1 | 16.2 | 31.9 | 22.1 | 9.0 | 160.1 |
| IIIb | 13.8 | 7.7 | 12.3 | 10.1 | 9.2 | 0.7 | 0.0 | 3.5 | 4.8 | 7.3 | 10.6 | 15.4 | 95.3 |
| IIIc | 2.7 | 1.0 | 0.9 | 1.7 | 2.8 | 4.4 | 3.1 | 0.3 | 1.6 | 2.0 | 1.9 | 2.0 | 24.4 |
| IIId | 0.1 | 0.7 | 4.0 | 2.6 | 4.9 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 14.5 |
| IVa | 0.0 | 5.9 | 0.0 | 12.2 | 17.9 | 43.3 | 82.8 | 93.7 | 26.4 | 4.3 | 25.3 | 10.3 | 322.2 |
| IVb | 0.0 | 0.7 | 2.4 | 0.0 | 23.1 | 67.1 | 20.5 | 24.6 | 31.1 | 10.3 | 0.8 | 0.3 | 180.8 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 6.0 | 16.3 | 16.7 | 10.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 50.6 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 29.5 | 19.9 | 21.8 | 2.1 | 9.3 | 5.4 | 94.2 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.8 | 17.9 | 32.8 | 1.6 | 16.2 | 5.3 | 89.4 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 84.2 | 90.7 | 100.0 | 126.6 | 106.9 | 146.2 | 185.3 | 199.3 | 178.4 | 99.5 | 117.3 | 90.2 | 1524.5 |

(3) 温暖化時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| I | 2.7 | 2.0 | 1.9 | 0.9 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 2.0 | 2.4 | 12.8 |
| IIa | 7.5 | 8.2 | 16.5 | 10.4 | 18.5 | 3.5 | 4.4 | 8.1 | 11.6 | 17.1 | 9.1 | 8.6 | 123.6 |
| IIb | 36.3 | 17.3 | 17.6 | 28.1 | 32.9 | 3.3 | 0.0 | 1.7 | 17.5 | 27.4 | 14.7 | 18.3 | 215.2 |
| IIc | 12.1 | 19.0 | 16.4 | 11.4 | 6.1 | 1.9 | 0.0 | 13.5 | 13.9 | 10.7 | 5.1 | 12.5 | 122.7 |
| IId | 13.4 | 4.2 | 5.1 | 6.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 1.0 | 2.9 | 4.8 | 38.6 |
| IIIa | 6.2 | 7.0 | 11.8 | 13.9 | 2.5 | 0.1 | 4.5 | 3.6 | 26.0 | 30.1 | 21.0 | 9.0 | 135.8 |
| IIIb | 12.5 | 10.7 | 10.3 | 13.1 | 7.6 | 0.3 | 0.0 | 3.9 | 6.5 | 8.3 | 7.8 | 18.5 | 99.3 |
| IIIc | 0.0 | 1.9 | 0.5 | 1.1 | 1.8 | 7.2 | 1.9 | 1.0 | 0.8 | 2.0 | 5.9 | 3.1 | 27.2 |
| IIId | 1.3 | 0.6 | 3.2 | 1.8 | 0.4 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 9.3 |
| IVa | 1.1 | 5.8 | 29.5 | 21.9 | 18.7 | 35.6 | 87.1 | 100.3 | 51.1 | 20.4 | 0.0 | 12.7 | 384.2 |
| IVb | 0.6 | 2.6 | 4.1 | 3.8 | 5.2 | 58.9 | 10.8 | 36.1 | 30.3 | 5.3 | 0.0 | 0.0 | 157.8 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.6 | 21.0 | 17.7 | 27.8 | 11.3 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 83.5 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.9 | 28.4 | 12.0 | 8.9 | 0.0 | 4.0 | 0.0 | 59.2 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 12.8 | 13.8 | 6.8 | 7.3 | 1.7 | 0.0 | 44.1 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 合計 | 93.7 | 79.5 | 116.9 | 117.3 | 115.0 | 137.1 | 177.7 | 205.3 | 175.8 | 130.3 | 74.1 | 91.1 | 1513.7 |

表-5.6 (13) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点：熊本

(1) 既往データ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| I | 4.3 | 3.2 | 1.9 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.7 | 2.5 | 4.1 | 17.2 |
| IIa | 10.2 | 6.6 | 12.2 | 12.6 | 13.2 | 8.2 | 5.0 | 7.2 | 13.9 | 13.8 | 15.0 | 10.3 | 128.3 |
| IIb | 19.5 | 15.9 | 18.6 | 22.1 | 19.7 | 19.0 | 9.2 | 13.7 | 18.0 | 17.8 | 15.5 | 25.2 | 214.2 |
| IIc | 16.4 | 25.7 | 33.0 | 24.1 | 25.9 | 12.2 | 3.9 | 3.9 | 4.9 | 12.9 | 15.6 | 14.3 | 192.6 |
| IId | 11.3 | 10.2 | 9.1 | 11.3 | 12.0 | 6.7 | 2.9 | 1.4 | 3.7 | 6.7 | 8.9 | 10.3 | 94.5 |
| IIIa | 3.9 | 4.7 | 5.7 | 16.5 | 7.9 | 8.7 | 6.8 | 9.3 | 13.1 | 16.3 | 10.5 | 2.8 | 106.2 |
| IIIb | 9.2 | 7.2 | 18.2 | 20.3 | 17.4 | 9.8 | 2.0 | 2.4 | 10.9 | 14.3 | 16.4 | 12.3 | 140.5 |
| IIIc | 1.0 | 0.5 | 0.7 | 1.8 | 3.3 | 2.2 | 0.3 | 0.4 | 1.5 | 4.1 | 2.5 | 2.0 | 20.2 |
| IIId | 2.2 | 2.9 | 2.6 | 4.2 | 3.0 | 0.6 | 0.1 | 0.7 | 0.5 | 0.8 | 1.8 | 4.3 | 23.5 |
| IVa | 1.7 | 8.1 | 3.1 | 12.7 | 11.4 | 71.4 | 129.8 | 85.9 | 70.3 | 16.5 | 1.9 | 1.2 | 413.9 |
| IVb | 3.5 | 7.4 | 15.0 | 14.9 | 34.8 | 101.8 | 53.4 | 26.9 | 52.1 | 27.6 | 11.5 | 2.5 | 351.5 |
| V | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 3.5 | 7.6 | 6.7 | 47.6 | 41.6 | 10.4 | 0.8 | 0.0 | 0.5 | 119.0 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 3.5 | 9.4 | 25.8 | 11.4 | 7.0 | 2.3 | 0.0 | 59.7 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 1.0 | 2.2 | 8.0 | 16.2 | 10.1 | 5.0 | 0.6 | 0.0 | 43.2 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 1.4 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 1.9 |
| 合計 | 83.5 | 92.4 | 120.2 | 144.5 | 157.5 | 253.1 | 278.3 | 235.3 | 222.4 | 144.7 | 104.9 | 89.8 | 1926.4 |

(2) 通常時GCNデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 2.8 | 1.8 | 1.2 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 1.6 | 2.6 | 2.9 | 14.1 |
| IIa | 12.0 | 12.9 | 12.1 | 10.3 | 16.8 | 5.9 | 2.1 | 11.1 | 12.2 | 16.8 | 9.9 | 14.9 | 136.9 |
| IIb | 23.8 | 21.0 | 32.6 | 67.8 | 11.0 | 1.6 | 11.4 | 7.8 | 22.0 | 16.7 | 9.8 | 12.9 | 238.4 |
| IIc | 23.3 | 9.8 | 11.9 | 10.6 | 12.2 | 0.0 | 0.0 | 7.1 | 7.8 | 4.3 | 5.2 | 10.2 | 102.5 |
| IId | 4.1 | 12.9 | 3.7 | 0.4 | 2.3 | 0.0 | 1.7 | 1.8 | 3.6 | 5.3 | 6.1 | 6.3 | 48.1 |
| IIIa | 9.0 | 30.6 | 38.2 | 27.6 | 7.9 | 2.2 | 5.0 | 7.0 | 24.7 | 50.3 | 34.8 | 13.4 | 250.7 |
| IIIb | 17.8 | 10.1 | 14.6 | 11.9 | 11.0 | 1.1 | 0.0 | 3.9 | 5.1 | 8.9 | 11.0 | 17.6 | 113.1 |
| IIIc | 3.4 | 1.1 | 1.3 | 2.6 | 3.4 | 5.2 | 3.6 | 0.3 | 1.7 | 2.3 | 2.7 | 2.4 | 30.0 |
| IIId | 0.5 | 1.5 | 6.8 | 5.5 | 9.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 2.2 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 27.6 |
| IVa | 0.0 | 7.0 | 0.0 | 15.1 | 20.6 | 52.4 | 98.4 | 108.9 | 28.9 | 4.9 | 29.8 | 11.5 | 377.5 |
| IVb | 0.0 | 1.5 | 3.4 | 0.0 | 36.1 | 103.7 | 31.7 | 38.7 | 47.4 | 15.1 | 1.7 | 1.2 | 280.6 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 17.9 | 37.5 | 44.7 | 24.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 126.0 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.6 | 28.4 | 20.7 | 22.4 | 1.7 | 9.6 | 6.0 | 94.4 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 18.2 | 33.5 | 1.6 | 17.2 | 5.3 | 92.5 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 96.7 | 110.2 | 125.8 | 154.0 | 148.3 | 215.3 | 243.8 | 251.6 | 211.6 | 129.6 | 140.4 | 105.2 | 1932.3 |

(3) 温暖化時GCNデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| I | 3.3 | 2.3 | 2.3 | 1.2 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 2.3 | 2.9 | 15.2 |
| IIa | 8.8 | 9.9 | 20.0 | 11.9 | 21.6 | 4.2 | 5.5 | 11.2 | 14.2 | 21.4 | 12.3 | 11.3 | 152.5 |
| IIb | 39.3 | 19.1 | 18.8 | 31.4 | 36.7 | 3.5 | 0.0 | 1.8 | 18.8 | 29.7 | 16.9 | 20.2 | 236.3 |
| IIc | 11.6 | 19.0 | 16.0 | 11.2 | 6.2 | 1.7 | 0.0 | 13.2 | 13.7 | 10.0 | 5.0 | 12.1 | 119.7 |
| IId | 13.1 | 4.2 | 5.0 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 1.1 | 2.9 | 4.8 | 37.9 |
| IIIa | 9.0 | 11.0 | 19.5 | 21.7 | 3.7 | 0.2 | 7.5 | 6.2 | 40.7 | 47.0 | 33.7 | 15.0 | 215.1 |
| IIIb | 15.1 | 12.7 | 11.8 | 16.9 | 9.1 | 0.5 | 0.0 | 4.2 | 7.5 | 9.9 | 9.9 | 20.9 | 118.6 |
| IIIc | 0.0 | 2.1 | 0.7 | 1.5 | 2.3 | 8.4 | 2.4 | 1.1 | 0.9 | 2.2 | 6.8 | 3.3 | 31.7 |
| IIId | 2.5 | 1.5 | 5.4 | 2.8 | 0.8 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 2.2 | 16.3 |
| IVa | 1.3 | 6.9 | 33.7 | 23.9 | 22.8 | 42.4 | 103.1 | 116.8 | 61.6 | 24.4 | 0.0 | 14.5 | 451.3 |
| IVb | 0.9 | 3.9 | 6.2 | 5.3 | 7.6 | 88.9 | 16.7 | 57.8 | 46.0 | 8.1 | 0.0 | 0.0 | 241.3 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.4 | 48.8 | 40.2 | 65.9 | 22.7 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 190.9 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.6 | 29.7 | 14.3 | 8.9 | 0.0 | 3.3 | 0.0 | 61.8 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.1 | 12.9 | 14.4 | 7.0 | 7.3 | 1.7 | 0.0 | 45.5 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 |
| 合計 | 105.0 | 92.5 | 139.4 | 144.1 | 159.8 | 198.8 | 243.7 | 263.6 | 225.4 | 161.8 | 94.9 | 107.1 | 1936.0 |

表-5.6 (14) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点：宮崎

(1) 既往データ

| 気象 パターン | 単位：mm | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
| I | 5.7 | 4.5 | 1.5 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.9 | 2.6 | 4.7 | 20.5 |
| IIa | 10.0 | 6.5 | 10.4 | 11.9 | 12.9 | 8.5 | 4.9 | 5.4 | 13.6 | 13.5 | 13.8 | 9.2 | 120.5 |
| IIb | 11.2 | 9.5 | 11.3 | 12.8 | 13.8 | 10.7 | 5.9 | 7.4 | 10.5 | 10.7 | 8.8 | 14.3 | 127.0 |
| IIc | 27.6 | 43.4 | 55.6 | 40.6 | 43.7 | 20.6 | 6.5 | 6.6 | 8.2 | 21.7 | 26.3 | 24.1 | 324.8 |
| IId | 10.9 | 10.2 | 9.6 | 11.5 | 12.2 | 6.0 | 3.0 | 1.2 | 2.7 | 6.4 | 8.6 | 9.5 | 92.0 |
| IIIa | 5.4 | 8.0 | 10.0 | 31.2 | 15.5 | 14.1 | 11.4 | 16.3 | 23.9 | 27.2 | 17.3 | 5.4 | 185.5 |
| IIIb | 19.3 | 14.8 | 35.0 | 42.3 | 35.8 | 18.2 | 4.5 | 4.3 | 21.6 | 29.7 | 34.8 | 25.0 | 285.3 |
| IIIc | 3.2 | 1.6 | 3.1 | 5.4 | 11.0 | 6.7 | 2.2 | 1.0 | 5.0 | 14.9 | 9.4 | 5.9 | 69.5 |
| IIId | 2.7 | 3.3 | 2.6 | 5.5 | 3.6 | 0.7 | 0.1 | 0.6 | 0.6 | 1.0 | 2.2 | 5.0 | 28.1 |
| IVa | 0.9 | 4.8 | 1.9 | 7.2 | 6.7 | 38.0 | 71.6 | 47.7 | 40.4 | 7.8 | 1.2 | 0.7 | 229.0 |
| IVb | 4.5 | 10.7 | 21.9 | 25.2 | 52.1 | 147.4 | 74.5 | 39.0 | 74.0 | 43.8 | 17.3 | 4.5 | 515.0 |
| V | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 4.3 | 7.9 | 8.5 | 50.3 | 47.9 | 12.2 | 1.1 | 0.0 | 0.5 | 133.1 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 10.0 | 39.1 | 102.5 | 47.9 | 24.8 | 10.0 | 0.0 | 234.9 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 1.4 | 3.5 | 11.9 | 27.1 | 16.5 | 8.4 | 1.0 | 0.0 | 70.1 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 |
| 合計 | 101.6 | 117.3 | 163.1 | 198.5 | 217.5 | 293.1 | 285.9 | 306.9 | 277.7 | 211.8 | 153.1 | 108.9 | 2435.5 |

(2) 通常時GCMデータ

| 気象 パターン | 単位：mm | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
| I | 3.8 | 2.6 | 1.5 | 1.1 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 1.6 | 2.8 | 3.3 | 17.2 |
| IIa | 12.0 | 12.7 | 11.2 | 10.2 | 15.7 | 5.9 | 2.2 | 9.5 | 11.8 | 16.4 | 9.9 | 12.9 | 130.3 |
| IIb | 14.1 | 12.8 | 19.8 | 36.7 | 5.9 | 0.8 | 7.5 | 4.1 | 11.9 | 9.5 | 6.2 | 7.4 | 136.7 |
| IIc | 39.2 | 16.5 | 20.0 | 17.9 | 20.6 | 0.0 | 0.0 | 12.1 | 13.2 | 7.3 | 8.8 | 17.2 | 172.9 |
| IId | 4.1 | 11.9 | 4.2 | 0.5 | 2.6 | 0.0 | 2.0 | 1.6 | 4.3 | 5.7 | 5.8 | 6.3 | 49.0 |
| IIIa | 16.2 | 53.8 | 64.8 | 46.2 | 14.3 | 4.1 | 9.7 | 13.3 | 40.4 | 82.6 | 60.5 | 21.5 | 427.3 |
| IIIb | 38.2 | 22.3 | 27.6 | 26.2 | 21.6 | 3.0 | 0.0 | 7.3 | 10.9 | 21.0 | 22.0 | 36.9 | 236.9 |
| IIIc | 10.6 | 3.0 | 5.1 | 8.2 | 11.0 | 18.2 | 11.8 | 1.5 | 8.9 | 10.6 | 7.7 | 9.0 | 105.7 |
| IIId | 0.5 | 1.7 | 7.9 | 6.5 | 10.0 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 2.8 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 31.5 |
| IVa | 0.0 | 4.3 | 0.0 | 8.7 | 12.1 | 29.1 | 54.8 | 62.3 | 16.3 | 2.8 | 16.1 | 6.4 | 212.8 |
| IVb | 0.0 | 1.9 | 5.5 | 0.0 | 50.6 | 146.8 | 47.2 | 59.0 | 70.0 | 24.4 | 3.4 | 1.7 | 410.4 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 19.3 | 41.5 | 52.0 | 29.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 143.9 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.6 | 109.0 | 82.2 | 85.5 | 7.6 | 42.6 | 21.3 | 369.9 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 26.0 | 29.2 | 54.7 | 2.4 | 27.3 | 7.9 | 147.5 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 138.8 | 143.4 | 167.6 | 163.5 | 184.1 | 271.1 | 322.1 | 313.2 | 330.8 | 191.8 | 213.1 | 152.4 | 2591.9 |

(3) 温暖化時GCMデータ

| 気象 パターン | 単位：mm | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
| I | 4.2 | 3.0 | 2.6 | 1.3 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 2.5 | 3.0 | 18.1 |
| IIa | 9.0 | 9.8 | 19.3 | 12.1 | 21.2 | 4.2 | 5.1 | 10.1 | 13.8 | 19.7 | 10.6 | 10.2 | 145.0 |
| IIb | 23.2 | 11.5 | 10.7 | 18.9 | 20.8 | 1.7 | 0.0 | 0.8 | 10.3 | 18.3 | 9.6 | 13.0 | 138.8 |
| IIc | 19.6 | 32.0 | 27.0 | 18.9 | 10.4 | 2.9 | 0.0 | 22.3 | 23.2 | 16.9 | 8.4 | 20.4 | 202.0 |
| IId | 14.3 | 4.8 | 5.1 | 5.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 1.0 | 2.8 | 4.9 | 39.3 |
| IIIa | 15.9 | 21.8 | 31.3 | 37.9 | 6.8 | 0.3 | 11.8 | 9.6 | 70.7 | 78.4 | 58.8 | 25.7 | 368.9 |
| IIIb | 30.9 | 26.8 | 23.7 | 34.4 | 19.8 | 1.2 | 0.0 | 8.3 | 13.9 | 20.6 | 21.3 | 40.1 | 241.2 |
| IIIc | 0.0 | 6.8 | 3.0 | 3.9 | 9.1 | 26.7 | 6.8 | 2.6 | 3.6 | 7.7 | 23.7 | 11.8 | 105.8 |
| IIId | 2.8 | 1.7 | 6.6 | 3.6 | 0.9 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 2.7 | 19.6 |
| IVa | 0.7 | 3.9 | 19.4 | 13.9 | 12.0 | 22.8 | 57.4 | 62.8 | 35.8 | 13.3 | 0.0 | 8.3 | 250.1 |
| IVb | 1.8 | 4.9 | 8.6 | 8.5 | 9.9 | 127.1 | 24.0 | 80.3 | 69.5 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | 349.7 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.0 | 51.8 | 41.3 | 69.3 | 26.9 | 3.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 205.1 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.8 | 112.3 | 57.0 | 38.1 | 0.0 | 16.0 | 0.0 | 245.3 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.7 | 20.7 | 24.4 | 13.0 | 11.7 | 2.5 | 0.0 | 76.0 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| 合計 | 122.4 | 126.9 | 157.3 | 170.8 | 163.3 | 254.9 | 307.4 | 305.1 | 296.8 | 203.7 | 156.4 | 140.1 | 2405.0 |

表-5.6 (15) 気象パターン別の月降水量・年間降水量

地点：高知

(1) 既往データ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 2.8 | 1.8 | 0.6 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 8.8 |
| IIa | 12.8 | 8.3 | 13.9 | 15.4 | 16.7 | 10.8 | 6.2 | 7.7 | 17.4 | 17.4 | 17.9 | 11.8 | 156.3 |
| IIb | 27.0 | 22.0 | 27.1 | 30.7 | 30.2 | 25.2 | 13.4 | 20.5 | 25.0 | 25.1 | 22.0 | 36.2 | 304.5 |
| IIc | 30.2 | 47.7 | 60.6 | 45.7 | 48.2 | 23.2 | 7.3 | 7.2 | 8.8 | 24.5 | 30.0 | 27.4 | 360.6 |
| IId | 22.1 | 19.9 | 17.7 | 21.9 | 23.4 | 13.0 | 5.6 | 2.7 | 7.1 | 13.0 | 17.3 | 20.1 | 184.0 |
| IIIa | 4.3 | 5.8 | 7.7 | 21.5 | 9.9 | 10.4 | 8.9 | 11.8 | 16.3 | 20.8 | 12.7 | 3.5 | 133.6 |
| IIIb | 13.7 | 10.2 | 26.3 | 29.6 | 25.5 | 14.7 | 3.1 | 3.6 | 16.1 | 20.5 | 22.7 | 18.0 | 204.0 |
| IIIc | 1.5 | 0.6 | 1.3 | 2.8 | 4.5 | 3.2 | 0.4 | 0.5 | 2.2 | 6.5 | 4.1 | 3.1 | 30.9 |
| IIId | 2.2 | 2.9 | 2.2 | 4.2 | 3.0 | 0.7 | 0.1 | 0.5 | 0.4 | 0.7 | 1.9 | 4.3 | 23.1 |
| IVa | 1.3 | 6.6 | 2.5 | 10.2 | 9.3 | 58.1 | 106.4 | 71.9 | 57.8 | 13.7 | 1.6 | 0.9 | 340.4 |
| IVb | 3.6 | 7.6 | 17.2 | 19.1 | 39.0 | 110.5 | 58.0 | 28.8 | 57.9 | 31.3 | 13.0 | 3.1 | 389.1 |
| V | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 4.8 | 9.5 | 10.0 | 61.4 | 55.9 | 14.7 | 0.9 | 0.0 | 0.7 | 158.3 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 9.1 | 31.8 | 83.7 | 37.3 | 19.6 | 7.3 | 0.0 | 189.3 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 2.8 | 5.3 | 16.1 | 42.9 | 25.4 | 12.4 | 1.3 | 0.0 | 106.5 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 |
| 合計 | 121.6 | 133.3 | 177.0 | 206.7 | 222.7 | 294.1 | 318.8 | 337.8 | 288.2 | 207.0 | 152.8 | 131.1 | 2591.0 |

(2) 通常時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 1.8 | 1.1 | 0.8 | 0.5 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.7 | 1.1 | 1.4 | 7.7 |
| IIa | 15.3 | 16.5 | 14.9 | 12.9 | 20.0 | 7.5 | 2.8 | 12.7 | 15.3 | 21.0 | 12.7 | 17.6 | 169.1 |
| IIb | 34.2 | 31.2 | 47.6 | 93.2 | 16.2 | 2.0 | 16.8 | 10.2 | 32.2 | 23.6 | 14.0 | 18.0 | 339.0 |
| IIc | 44.0 | 18.3 | 21.9 | 20.7 | 22.4 | 0.0 | 0.0 | 13.3 | 14.8 | 8.4 | 9.7 | 18.7 | 192.1 |
| IId | 8.0 | 25.1 | 7.3 | 0.7 | 4.4 | 0.0 | 3.4 | 3.4 | 7.0 | 10.4 | 11.8 | 12.2 | 93.7 |
| IIIa | 10.9 | 38.1 | 47.7 | 33.4 | 10.0 | 3.2 | 6.6 | 8.4 | 29.3 | 61.0 | 44.0 | 15.6 | 308.1 |
| IIIb | 25.9 | 14.7 | 21.7 | 18.1 | 16.5 | 1.8 | 0.0 | 5.7 | 7.8 | 12.8 | 16.9 | 26.3 | 168.3 |
| IIIc | 5.2 | 1.6 | 1.9 | 3.7 | 4.9 | 7.5 | 5.2 | 0.8 | 3.4 | 4.4 | 3.9 | 3.8 | 46.3 |
| IIId | 0.2 | 1.0 | 5.9 | 3.8 | 7.6 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 22.4 |
| IVa | 0.0 | 5.7 | 0.0 | 12.2 | 16.9 | 42.3 | 80.9 | 90.6 | 23.9 | 4.1 | 24.5 | 9.2 | 310.2 |
| IVb | 0.0 | 1.5 | 3.7 | 0.0 | 38.1 | 112.7 | 34.1 | 44.8 | 52.5 | 16.8 | 2.0 | 1.2 | 307.5 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 23.1 | 48.9 | 59.5 | 33.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 166.2 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 90.3 | 67.9 | 71.4 | 5.5 | 34.2 | 18.6 | 304.5 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 37.7 | 43.0 | 78.1 | 3.4 | 39.3 | 10.4 | 211.9 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 合計 | 145.6 | 154.8 | 173.4 | 200.6 | 180.3 | 242.4 | 337.2 | 335.4 | 337.7 | 172.1 | 214.2 | 153.3 | 2647.0 |

(3) 温暖化時GCMデータ

単位：mm

| 気象パターン | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| I | 2.1 | 1.2 | 1.1 | 0.5 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 1.1 | 1.3 | 8.0 |
| IIa | 11.5 | 12.6 | 25.3 | 15.6 | 27.4 | 5.3 | 6.8 | 13.0 | 17.9 | 25.5 | 14.2 | 13.2 | 188.4 |
| IIb | 57.0 | 27.5 | 27.6 | 43.8 | 51.6 | 4.3 | 0.0 | 2.3 | 28.4 | 44.9 | 23.5 | 29.7 | 340.6 |
| IIc | 21.9 | 36.2 | 30.0 | 21.7 | 12.1 | 3.1 | 0.0 | 24.7 | 25.5 | 18.8 | 10.1 | 22.8 | 226.9 |
| IId | 25.4 | 8.2 | 9.6 | 11.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 2.0 | 5.6 | 9.3 | 73.8 |
| IIIa | 10.9 | 14.1 | 24.1 | 27.3 | 4.5 | 0.2 | 8.9 | 6.9 | 49.9 | 58.6 | 43.7 | 18.3 | 267.4 |
| IIIb | 21.5 | 19.0 | 17.2 | 23.9 | 13.5 | 0.7 | 0.0 | 6.3 | 11.7 | 14.6 | 13.9 | 31.9 | 174.2 |
| IIIc | 0.0 | 3.2 | 0.9 | 2.1 | 3.4 | 12.9 | 3.4 | 1.5 | 1.6 | 3.8 | 10.9 | 5.0 | 48.7 |
| IIId | 2.3 | 0.9 | 4.8 | 2.8 | 0.5 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 14.2 |
| IVa | 1.0 | 5.6 | 28.1 | 20.0 | 18.4 | 34.5 | 85.7 | 95.2 | 50.0 | 20.4 | 0.0 | 11.8 | 370.6 |
| IVb | 1.5 | 4.0 | 6.7 | 5.6 | 8.0 | 96.8 | 19.2 | 61.3 | 51.7 | 10.9 | 0.0 | 0.0 | 265.7 |
| V | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.6 | 61.9 | 48.6 | 85.3 | 30.6 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 246.1 |
| VIa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.4 | 94.3 | 44.8 | 33.6 | 0.0 | 12.3 | 0.0 | 202.5 |
| VIb | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.6 | 28.9 | 38.2 | 19.3 | 17.6 | 3.9 | 0.0 | 113.6 |
| IVc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 |
| 合計 | 155.2 | 132.4 | 175.4 | 189.5 | 201.8 | 231.5 | 332.6 | 325.0 | 297.0 | 217.3 | 139.1 | 145.2 | 2511.9 |

第6章 メソスケール水文・気象シミュレーション モデルの開発

6.1 緒言

大規模な気候変化シミュレーションに有効な方法は、大気運動を物理的にシミュレートする GCM であり、地球規模での気候変化の予測はこの GCM によって行われている。現在、地球環境の予測に用いられている GCM の格子スケールは計算機の能力の制約等から、300km 程度である。しかし、このメッシュサイズでは、地球規模での気候変化を概ねシミュレーションすることはできるが、日本の様に狭い範囲で複雑に地形が変化する場の降雨や気象の変化を求めることはできない。すなわち、GCM の出力結果を、国土が狭く、地形の変化が激しい日本に対してそのまま適用しても十分な精度を持って予測を行うことはできない。

したがって、気候変化が日本における大気や水文量に与える影響を明らかにするためには、地形変化の影響を表すことのできる中小規模のメソスケール大気モデルを開発し、これを GCM 出力結果に対して適用する必要がある。GCM による気候シミュレーション結果をメソスケール地域に適用させるためには、GCM の粗いメッシュで表された領域の中の任意の小領域に細かいメッシュを持つメソスケール大気モデルを Nesting する方法を用いることが考えられる。このため、土木研究所では、カリフォルニア大学デービス校環境土木工学科カバス教授との共同研究により、大きな領域を対象としたモデル(GCM)で大まかに求められた結果を境界条件として、この中から日本を含む限られた範囲を取り出し、その中でさらに細かい現象を求めるメソスケール水文-気象モデルを開発した。土研モデルには、中領域用の60km メッシュモデルと小領域用の20km メッシュモデルがある。20km メッシュモデルは、60km スケールで得られた結果を20km モデルの条件として、複雑に変化する地表面条件をモデルに反映させるものである。以下に本章では開発したモデルについて説明する。

6.2 モデルの全体構成¹⁾

中領域モデルである60km メッシュのメソスケールモデルは、北緯22°~58°，東経100°~160°の東アジアを含む図-6.1に示す範囲を対象としている。小領域モデル(20km メッシュモデル)は図中の線で囲まれた本州域を対象としている。中領域モデルの境界条件と初期条件には、4章で述べた気象研究所の大気大循環モデル(GCM)の出力結果を用いている。中領域モデルの対象領域には鉛直5層、9×8点のGCMデータがある。

メソスケール気象モデルは、GCM スケールから水文現象を取り扱うスケールにスケールを落とすために中領域モデル・小領域モデルの2段階のネスティングを行っている。中領域モデルは基本的に地表面水文現象を扱う小領域モデルにネスティングするためのモデルである。メソスケール大気モデルで取り扱っているものは、風速ベクトル・気圧・密度・気温・水蒸気に関する大気現象である。これらは、浅水流近似した大気の運動方程式及び静水力学の方程式、質量保存の式、熱エネルギー保存の式、水蒸気量保存の式、並びに熱力学の第一法則等の基礎方程式を同時に解くことにより求められる。これらを解く過程において水蒸気量の変化から降水量も同時に求められる。

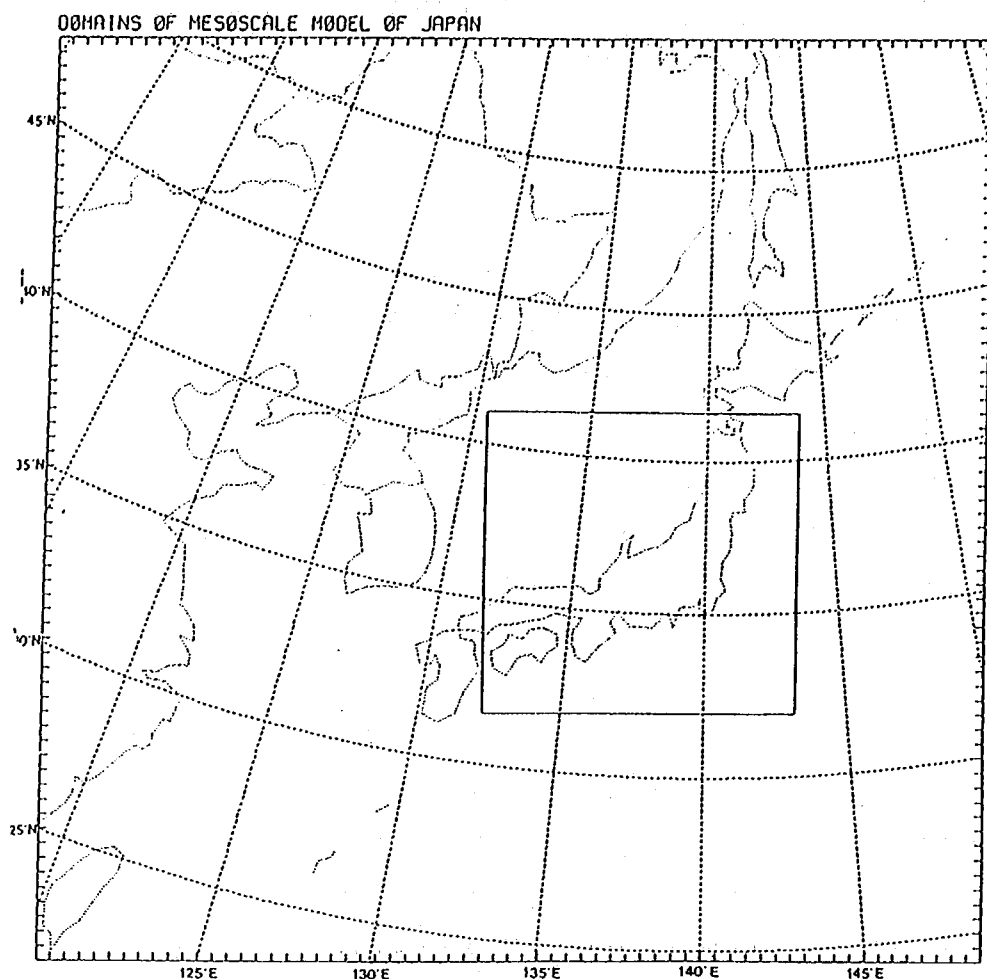


図-6.1 中領域モデルの対象範囲と小領域モデルの対象範囲

ここで、さらに地面及び水面での境界条件を与える必要がある。地表面での境界条件として必要なものは、風速ベクトルに対する抵抗、熱移動量、蒸発量である。海面に対し、地表面は地形、植生、利用状況などに応じて複雑な条件を持つ境界となっている。これらの地表面の複雑さは、ここで用いているモデルのメッシュの60km、20kmというスケールと比較して小さいため、この複雑な条件を持つ地表面での水や熱の移動を表現するモデルが必要である。

各モデルについて以下説明する。

6.3 大気モデル

(1) MRIGCM へのネスティング

メソスケール大気モデルをネスティングする MRIGCM の座標系は、対流圏では σ 座標系、成層圏では正規化された P 座標系で構成されている。本解析では、鉛直 5 層モデル ($\sigma_m = 0.0556, 0.2222, 0.4444, 0.6667, 0.8889$) の結果が用いられている。

このMRIGCMの出力結果が、メソスケール大気モデルの初期条件及び境界条件に使われる。使用するデータセットは、Q3T, Q2T, TOPOG, SD, PHIである。Q3Tは、大気の平面流速ベクトル・温度・混合比を、Q2Tは地表面の大気圧を、TOPOGは海水面の大気圧と地表面・海水面の温度を与える。SDは σ 速度を、PHIは各 σ 座標値の鉛直高度を与える。これらのデータは σ 座標系で表されており、これらのデータをP座標(P=1000, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 200, 150hP)10点に内挿して整理する。

$$\sigma = P/P_s$$

中領域モデルでの鉛直座標は、

と表される。鉛直方向には10層に分割されており、層の中央部の σ 座標は0.995, 0.980, 0.960, 0.925, 0.850, 0.698, 0.498, 0.362, 0.287, 0.125である。先のP座標でのデータをこれらの σ 座標の点上でのデータに再修正する。なお、 $\sigma=0.995$ の位置は地上50m相当の高さである。

次に、中領域モデルの範囲について、MRIGCM(9*8メッシュ)のデータを、水平方向に64*64のメッシュデータに補間して、初期条件及び境界条件を設定する。中領域モデルでは、アジア域の地表面の状況が良く分からないので陸面での地表面過程を結合しておらず、海面温度、海面上の混合比は、MRIGCMにおけるデータの月平均値を用いている。すなわち、中領域モデルはGCMの情報を物理方程式に基づいて補間し、小領域モデルに伝えるものであると言える。

中領域モデルの境界条件のための情報は、MRIGCMで与えられている12時間毎のデータセットから内挿補間により求めている。小領域モデルに対する境界条件は、中領域モデルの結果から与えられる。これらの刻々変化するデータがネスティングしたモデルに対しての駆動力となる。

データの初期条件は、ネスティングしているモデルの1つ上のモデルのデータを内挿して求められている。中領域モデルに対するデータの初期化は1日に1回行われ、小領域モデルのデータの初期化は各月の初日に行われる。計算は1か月毎に行い、月を超えて計算はされていない。中領域モデルでの時間間隔は60秒、小領域モデルの時間間隔は10秒とした。

(2) メソスケール大気モデル

このモデルでは、水平方向にx,y直交座標系、鉛直座標に大気圧で正規化して地形の影響を取り入れた σ 座標系で表されたプリミティブ方程式系が用いられている。このモデルで予測する大気の状態量は、風速ベクトル・気圧・質量・熱エネルギー(温位)・水蒸気量である。これらは以下の方程式を解く事によって求められる。

・水平方向の運動方程式

$$\frac{Du}{Dt} = (f - v \frac{\partial m}{\partial x} + u \frac{\partial m}{\partial y}) v - \sigma \frac{\partial u}{\partial \sigma} - (m \frac{\partial \Phi}{\partial x} + mc_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial x}) + F_u \quad (6.1)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = (f - v \frac{\partial m}{\partial x} + u \frac{\partial m}{\partial y}) u - \sigma \frac{\partial v}{\partial \sigma} - (m \frac{\partial \Phi}{\partial y} + mc_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial y}) + F_v \quad (6.1)$$

・静水力学方程式及び状態方程式(断熱過程)

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} = - \frac{RT}{\sigma} = c_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial \sigma} \quad (6.3)$$

・質量の保存式

$$\frac{D \ln P_{sc}}{Dt} = - \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\dot{\sigma}}{\sigma} \quad (6.4)$$

・温位の保存式

$$\frac{D\theta}{Dt} = - \dot{\sigma} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} + \frac{\theta}{c_p T} H + F\theta \quad (6.5)$$

・水蒸気の保存式

$$\frac{Dq}{Dt} = - \dot{\sigma} \frac{\partial q}{\partial \sigma} + M + F_q \quad (6.6)$$

ここで、

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y}$$

$f = 2 \Omega \sin \phi$: コリオリパラメータ, Ω : 地球の角速度, ϕ : 緯度

u, v : x, y 方向の水平流速

$$\dot{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt} = w : \sigma \text{座標における鉛直流速}$$

Φ : 重力ポテンシャル ($d\Phi = g dz$)

c_p : 空気の定圧比熱 (1004 J/kgK)

T : 気温

θ : 温位

R : 気体定数 (287 J/kgK)

π : 無次元圧力 ($T/\theta = (P/1000) 0.286$)

$m = (1 + \sin \phi_0) / (1 + \sin \phi)$: 極座標立体表示のための係数、 $\phi_0 = 60^\circ N$

H : 加熱率または冷却率

q : 混合比 [水蒸気の g/乾燥空気の kg]

M : 鉛直対流による混合比の変化

を表している。

式(1)(2)の右辺第1項はコリオリ力であり、第2項は鉛直移流項である。第3項が圧力勾配項に相当する。

最後の項 F^* は鉛直乱流フラックスの発散である。

鉛直方法の上方境界は大気圧 $P_{top} = 0$ の面であり、鉛直方向の境界条件は

$$\dot{\sigma} = w = 0$$

であり、地表面上で

$$\sigma_1 = 1, u_1 = v_1 = 0, \pi_1 = 1, \Phi_1 = 0$$

である。

6.4 各物理過程のモデル化

6.4.1 鉛直乱流フラックス

本モデルの第1大気層の厚さは約70m程度であるので、これは大気境界層の表面層の中にあると見なすことができる。運動量・熱量・水分量の移動は、乱流移送方程式で表すことができる。乱流によるフラックスの発散はそれぞれ、

$$F_u = \frac{\delta}{\delta z} (K_m \frac{\partial u}{\partial z}) \quad (6.7a)$$

$$F_v = \frac{\delta}{\delta z} (K_m \frac{\partial v}{\partial z}) \quad (6.7b)$$

$$F_\theta = \frac{\delta}{\delta z} (K_h \frac{\partial \theta}{\partial z}) \quad (6.8)$$

$$F_q = \frac{\delta}{\delta z} (K_q \frac{\partial q}{\partial z}) \quad (6.9)$$

で表される。ここで、 K_m , K_h , K_q はそれぞれ運動量、熱量、水分量の乱流による混合を表す係数であり、大気の安定度を表すリチャードソン数 R_i を用いて以下のように表される。

i) $R_i \leq 0$ (不安定状態)

$$K_m = (1 - 21R_i)^{1/2} L_s^2 \cdot S_b \quad (6.10a)$$

$$K_q = K_h = (1.87R_i)^{1/2} L_s^2 \cdot S_b \quad (6.10b)$$

ii) $0 < R_i \leq R_{ic}$ (遷移状態)

$$K_m = K_h = K_q = 1.1 \left(\frac{R_{ic} - R_i}{R_{ic}} \right) L_s^2 \cdot S_b \quad (6.11)$$

iii) $R_{ic} < R_i$ (安定状態)

$$K_m = K_h = K_q = 0$$

ここで、リチャードソン数は勾配型で表す

$$R_i = \frac{g(P_s / \sigma P_{sfc})^{R/cp}}{\theta} \cdot \frac{\delta \theta / \delta z}{(\partial u / \delta z)^2} \quad (6.12)$$

を用いており、臨界リチャードソン数 R_{ic} は0.2としている。また、各パラメータは以下のように定義されている。

$$S_b = \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right)^{1/2} : \text{風速の鉛直せん断,}$$

$$L_s = \frac{\kappa z}{(1 + \kappa z / \lambda)} : \text{乱れの長さの尺度,}$$

$$\kappa = 0.4,$$

$$\lambda = 0.00027 \text{ug/f} : \text{大気境界層厚,}$$

$$\text{ug} : \text{地衡風の風速}$$

地表面でのフラックスの発散は、次の様にモデル化されている。

$$F_{u1} = \frac{\delta}{\delta z} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial z} - u_*^2 \frac{u_1}{(u_1^2 + v_1^2)^{1/2}} \right) \quad (6.13)$$

$$F_{v1} = \frac{\delta}{\delta z} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial z} - u_*^2 \frac{v_1}{(u_1^2 + v_1^2)^{1/2}} \right) \quad (6.14)$$

$$F_{\theta_1} = \frac{\delta}{\delta z} \left(K_h \frac{\partial \theta}{\partial z} - u_* \theta_* \right) \quad (6.15)$$

$$F_{q1} = \frac{\delta}{\delta z} \left(K_q \frac{\partial \theta}{\partial z} - u_* q_* \right) \quad (6.16)$$

ここで、地表面におけるフラックスを算定する u_* , θ_* , q_* 等は、モーニン・オブコフの相似理論を用いて求められる。モーニン・オブコフの相似理論は表面上の平均的な風・気温の場合は、①地表からの高さ z 、②地表面でのせん断応力、③地表面での熱フラックス、④浮力のパラメータ g/T によって表されるとするものである。この理論に従うと

$$u_* = \kappa (u_1^2 + v_1^2)^{1/2} / [\ln(z_1/z_0) - \psi_m] \quad (6.17)$$

$$\theta_* = \kappa(\theta_1 - \theta_{s0}) / [\ln(z_1/z_0) - \psi_h] \quad (6.18)$$

の形で表される。 θ_1 , z_1 はそれぞれ第1層の温度と高さである。粗度高さ z_0 における空気温度 θ_{s0} は、 u_* , θ_* を用いて次のように表される。

$$\theta_{s0} = \theta_s + 0.0962 \frac{\theta_*}{\kappa} \left\{ \frac{u_* z_0}{\nu} \right\}^{0.45} \quad (6.19)$$

θ_s は地表面土壌温度であり、地表面における熱収支過程から求められる。

ψ_m , ψ_h は、それぞれ運動量と熱量に対する安定のための補正項であり、表面層の無次元高さ ξ 、

$$\xi = \frac{\kappa g \theta_* z_1}{(\theta_1 + \theta_{s0})/2 \cdot u_*^2} \quad (6.20)$$

を用いて以下のように表される。

$\xi < 0$ の不安定状態の場合には、

$$\psi_m = \ln \left(1 + (1 - 15\xi)^{1/4} \right)^2 + \ln \left(1 + (1 - 15\xi)^{1/2} \right) - 2 \tan^{-1} (1 - 15\xi)^{1/4} - 0.5086 \quad (6.21a)$$

$$\psi_h = \ln \left(1 + (1 - 22.5\xi)^{1/3} + (1 - 22.5\xi)^{2/3} \right)^{3/2} - 3^{1/2} \tan^{-1} \left\{ \frac{1 + 2(1 - 22.5\xi)^{1/3}}{3^{1/2}} \right\} + 0.1659 \quad (6.21b)$$

であり、 $\xi \geq 0$ の安定状態及び中立状態の場合には、

$$\psi_m = \ln \left(1 + (1 + 5\xi)^{-1/4} \right)^2 + \ln \left(1 + (1 + 5\xi)^{-1/2} \right) - 2 \tan^{-1} (1 + 5\xi)^{-1/4} - 0.8247 \quad (6.22a)$$

$$\psi_h = \ln \left(1 + (1 + 5\xi)^{-1/2} \right)^2 - 2(1 + 5\xi)^{-1/2} - 0.66(1 + 5\xi)^{-3/2} + 1.2804 \quad (6.22b)$$

である。

水分の無次元フラックス q_* は、

$$q_s = -E_s / \rho u_s \quad (6.23)$$

で定義され、蒸発散量 E_s は地表面水文モデルによって算定される。

6.4.2 降水過程のモデル化

本来ならば、降水過程は雲のマイクロ物理過程を用いるべきであるが、メソスケールモデルであったとしても十分な解像度があるわけではないので、大規模場でのパラメタリゼーションモデルを採用した。

(1) 大規模非対流性降雨

モデルで計算された混合比が飽和混合比を越え、かつ、大気成層が安定である場合には、非対流性降雨が発生すると考える²⁾。飽和に対する余剰水分は潜熱で空気を暖めながら等圧的に凝縮すると仮定し、混合比と気温は空気が飽和状態になるように調節して降水量を求める。

以下に手順を簡単に説明する。

まず、モデルの格子点上の気温 T 、混合比 q 、気圧 p を求める。このとき、温度と気圧によって定まる飽和混合比 q_s よりもその場所の混合比 q が高い場合には、気温と混合比は空気が飽和状態になるように変化する。すなわち、混合比が飽和水蒸気圧で決まる飽和混合比と一致するまで水蒸気は潜熱を放出して空気を暖め、気圧一定のまま気温を上げる。その結果、水蒸気は雨滴となる。このモデルは利にかなっているが解像度が粗い場合には、現象が平均化されてしまうので、局所的な降雨量もしくは降水強度は多少少なめになる可能性がある。

ある一つの層における気温と混合比の調節量は、

$$\delta T = (q - q_s) / [(c_p/L) + (Lq_s/RT^2)] \quad (6.24a)$$

$$\delta q = c_p \delta T / L \quad (6.24b)$$

であり、値は

$$q - \delta q = q_s(T + \delta T, p)$$

を満たすように求められる。各メッシュの非対流性の降水量は、 δq を各層について積分した後、混合比から水の量に変換して求められる。

(2) 対流性降雨の定式化

対流性降雨²⁾に対しては、Kuo のモデルが用いられている。Kuo の方法では、以下の仮定が成立しているものとしている。

- ① 積雲対流は水蒸気の集束する場所の条件付不安定な鉛直成層内に発生する。
- ② 集束した水蒸気は積雲の形成に使われる。
- ③ 積雲は凝結高度から気体を湿潤断熱的に上昇させた時の温度が周囲の温度と等しくなる高度にかけてできる。
- ④ 生成された積雲は周囲の空気と混合し、周囲の空気は積雲内の気温と同じになる。

単位水平面積当たりの水分供給量 M_i は、大気カラムの中に集束する水分であり、

$$M_i = W_B \cdot q_B / g \quad (6.25)$$

の様に与えられる。ここで、 W_B は雲の基底層上の P 座標系での鉛直流速成分であり、 q_B は雲の基底層における混合比である。水分の一部が凝縮して降下し、周辺の温度 T_e は雲の温度 T_c まで上昇する。残りの水分は雲カラムの中の混合比を q_e から雲の値 q_c まで増加させる。したがって、単位面積上の雲を作り出すのに必要な水蒸気の総量 W_v は、 p 座標系の積分表示で

$$W_v = \int_{P_T}^{P_B} \left\{ (c_p/L)[T_c(p) - T_e(p)] + [q_c(p) - q_e(p)] \right\} dp \quad (6.26)$$

として与えられる。ここで、 P_B は雲基底層における気圧、 P_T は最上層の気圧である。

単位面積上の大気カラムへの水分の集束量 M_i を単位面積当たりの雲を作り出すのに必要な水蒸気量 W_v で除すと、単位時間当たりの雲の生産率 Y となり、これに単位時間を乗じると、生産された雲量が得られる。

したがって、対流から放出される潜熱による気圧 p 層における時間当たりの加熱率 $H(p)$ は、

$$H(p) = Y \cdot c_p [T_c(p) - T_e(p)] \quad \text{at } T_c(p) > T_e(p) \text{ and } M_i > 0 \quad (6.27)$$

である。また、混合比の時間当たりの増加率 $M(p)$ は、

$$M(p) = Y \cdot [q_c(p) - q_e(p)] \quad \text{at } q_c(p) > q_e(p) \text{ and } M_i > 0 \quad (6.28)$$

である。

時刻 t から時刻 $(t + \Delta t)$ まで間の降水量と積雲対流に影響を与えない気圧層 P 及び発生する温度 $T'(p)$ が得られたとする。積雲対流による加熱の導入により、この温度は次式

$$T(t + \Delta t, p) = T'(p) + Y \Delta t [T_c(p) - T_e(p)] \quad (6.29)$$

で修正される。

空気を温度 $T'(p)$ から $T(p)$ へ暖めるのに使われた熱量は水蒸気の凝結によって生じたと考えられるので、単位時間・単位面積に降る対流性の降雨量 P_r は対流層について積分して、

$$P_r = \frac{Y}{L} \int_{P_T}^{P_B} c_p [T_c(p) - T_e(p)] dp \quad (6.30)$$

で表される。

この Kuo のモデルでは、比湿 q を過大評価し、降雨量を過小評価する傾向があることに注意しておく必要がある。これは、このモデルでは乾いている空気中では集束した水蒸気は比湿の増大に使われ、凝結に使われるのが少なくなるためである。また、雲の外の下降流によって比湿が減ぜられる効果が考慮されていないためである。

6.4.3 地表面過程

地球表面と大気との間での熱量と水分量の交換によって、大気中の温度、湿度、土壌水分量等が変化する。このような地球表面で生じる現象は地表面過程と呼ばれる。これらの地表面過程における諸現象は、微細構造を取り扱わなくとも、気象モデルで取り扱っているメソスケール(10km~100km)よりも小さい数 m~km の

オーダーのスケールで生じる。そのため、メソスケールの大きさをそのまま取り扱おうと問題が生じる。したがって、地表面水文過程を明らかにした上で現象をメソスケールで取り扱うためのパラメータ化を行う必要がある。ここでは、地表面における熱収支・水収支プロセスのモデル化の考え方について述べる。

(1) 地表面熱収支モデル

熱収支モデルは、図-6.2に示すように、地表面での熱交換と地表面土層の熱量の蓄積、土層下部での熱伝導から構成される。地表面での熱交換は、熱放射と熱フラックスに分けられる。熱放射の収支は、太陽からの短波放射・長波放射と、地表面でのアルベド（短波放射の反射率）によって決まる短波放射の反射・温度の関数である長波放射との差から求められる。

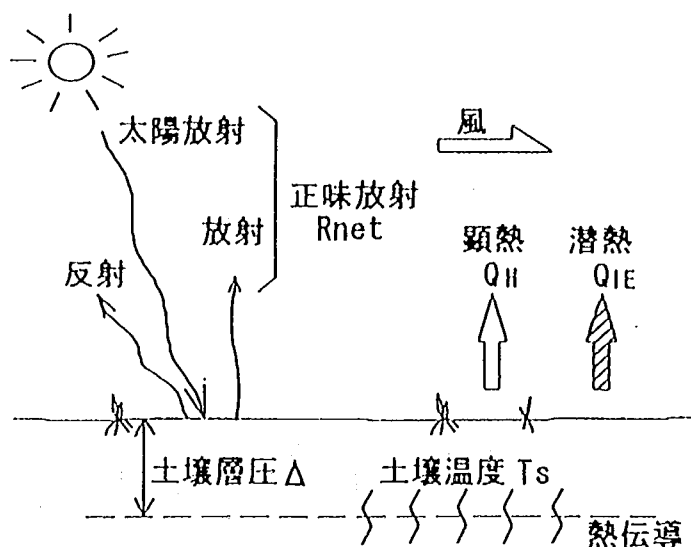


図-6.2 地表面熱収支モデルの概要

熱フラックスは、熱量が空気の温度として直接運ばれる顕熱フラックス Q_H と、水分が気化熱を奪って蒸発し、その熱量を水蒸気の中に蓄えて運ぶ潜熱フラックス Q_{LE} （蒸発量×気化熱）に分けられる。これらの熱フラックスは、地表面の大気（風速・気圧・温度・湿度）、地表面の温度・湿度などを用いて算定する。ここで、地表の水分量が蒸発量の支配要因となるため、地表面での水分移動を含めた水文モデルを構築する必要がある。これについては(2)で述べることにし、ここでは各熱移動過程のモデルについて述べる。

地表面での熱収支は、厚さ Δ の土層に対する表層と下層における熱の出入りと温度変化で表される。

$$\frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{\Delta}{3} C_g \rho_g T_{st} \right) = R_{net} - Q_H - Q_{LE} + Q_g \quad (6.31)$$

ここで、 C_g ：土層の比熱、 ρ_g ：土層の密度、 T_{st} ：土層表層の温度、 R_{net} ：正味放射量（下向き正）、 Q_g ：土層下部での熱伝導（上向き正）である。

大気との熱移動を表す地表面での顕熱フラックス Q_H は、先に述べたように気象モデルで得られた地表面

での風速場と温度場に境界層型モデルを適用してモーニン・オブコフの相似則に基づいて求められる。潜熱フラックス Q_{LE} は蒸発散量から求められる。熱伝導は、場所によって変化する熱伝導率 ν_k を用いた勾配拡散型表示で

$$Q_x = -C_x \nu_k (T_{st} - T_{so}) / \Delta \quad (6.32)$$

と表される。 T_{so} は深部土壌の年間平均温度であり、土壌表面の標高 $z(m)$ を用いて、

$$T_{so} = 291.16 - 0.00065z \quad (6.33)$$

と仮定した。

短波放射による入射エネルギーは、地表面の短波放射の反射率 α 、空気の透過性 T_k 、位置及び時間で変わる太陽角度 Ψ によって

$$S = (1 - \alpha) T_k \sin \Psi \cdot 1370 (W/m^2) \quad (6.34)$$

の形で表される。大気の意味透過率は、太陽高度と雲量によって変化する。雲量の影響はモデルの中では、相対湿度 R_{HM} の関数として

$$T_1 = 1.0 - 4.48(R_{HM} - 0.8)$$

と表される。ただし、この式は雲が発生すると仮定している相対湿度が80%以上の場合に用いる。また、太陽高度の影響による補正は

$$T_2 = (0.6 + 0.2 \sin \Psi)$$

として表されると仮定する。最終的に空気の透過性 T_k は

$$T_k = T_1 \cdot T_2 \quad (6.35)$$

で表される。

地表面からの長波放射は主に夜間に地表を冷やす様に働く。長波放射は、ファンウルデン・ホルツラークに従って、

$$L = -D \cdot T_r^4 (1 - C \cdot T_r^2) + 4D \cdot T_r^3 (T_r - T_{st}), \quad (6.36)$$

T_r : 第1層の温度

として定式化した。

(2) 地表面水収支モデル

新たに開発した地表面水分収支モデルの概要を図-6.3に示す。ここで、veg.は対象区域内の植生領域の割合を表し、その他の変数の定義は図に示す通りである。この水分収支モデルは、a) 植生による降雨の遮断・貯留・流出、b) 地表からの蒸発、植生からの蒸発散、c) 地表での水分の浸透・浸出、地中での水分移動の過程によって構成される。以下順にこれらを説明する。モデル計算に必要な降雨量 Pr 、風速 Va 、気圧 Pa 、温度 Ta 、比湿 qa (水蒸気密度/湿潤空気密度) は気象-水文モデルの地表層の値から与えられる。

a) 植生モデル

植生の効果は、葉によって雨が遮られ、地表に直接到達するのを防ぐ降雨遮断と蒸発・蒸散である。ここでは、ディアドルフ³⁾による降雨遮断モデルについて述べる。降雨遮断モデルは、図-6.4に示す葉の上での水分収支で表す式 (6.37) で記述される。

$$\frac{\delta W_r}{\delta t} = \text{veg.} (P_r - E_v + E_r) - R_r \quad (6.37)$$

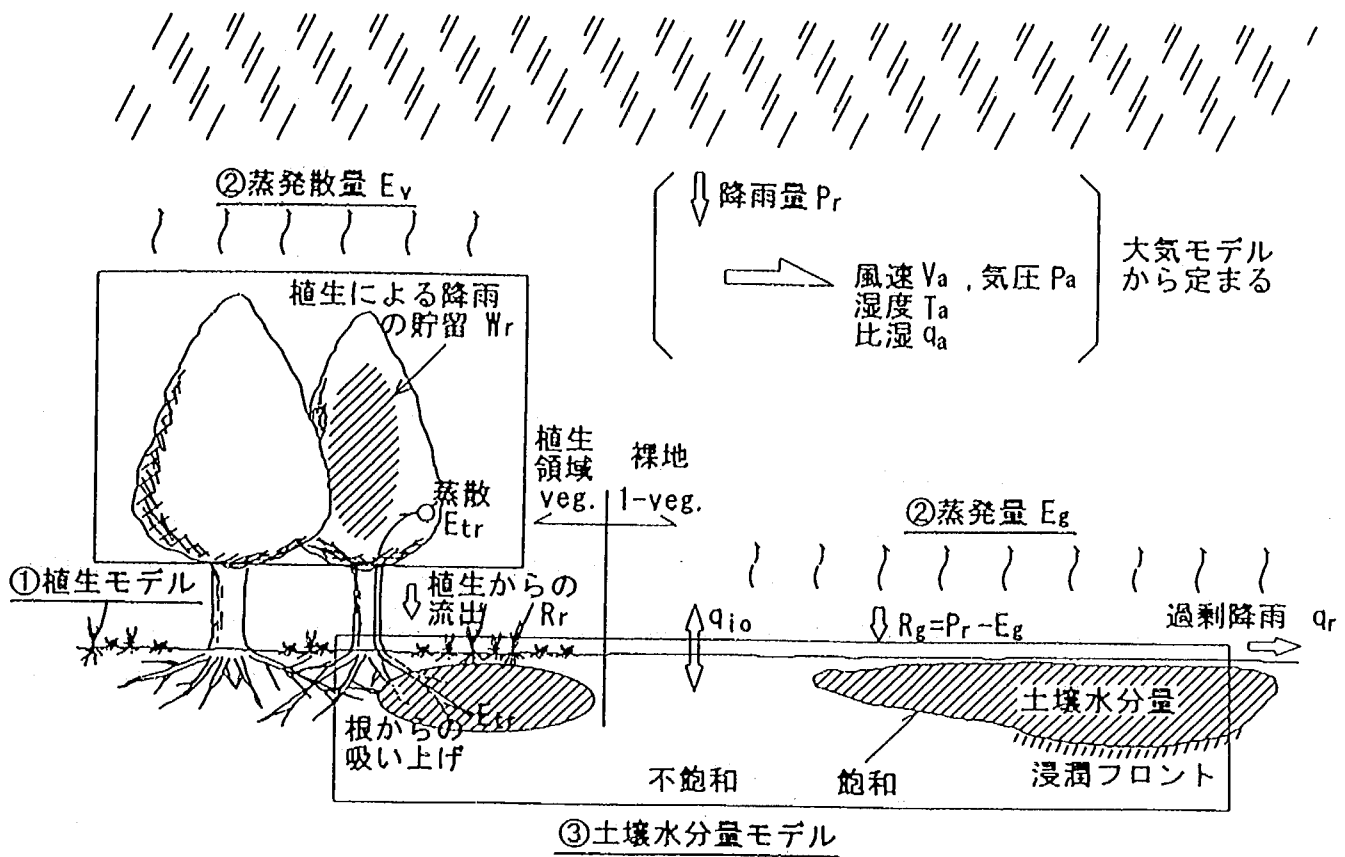


図-6.3 水収支モデルの概要

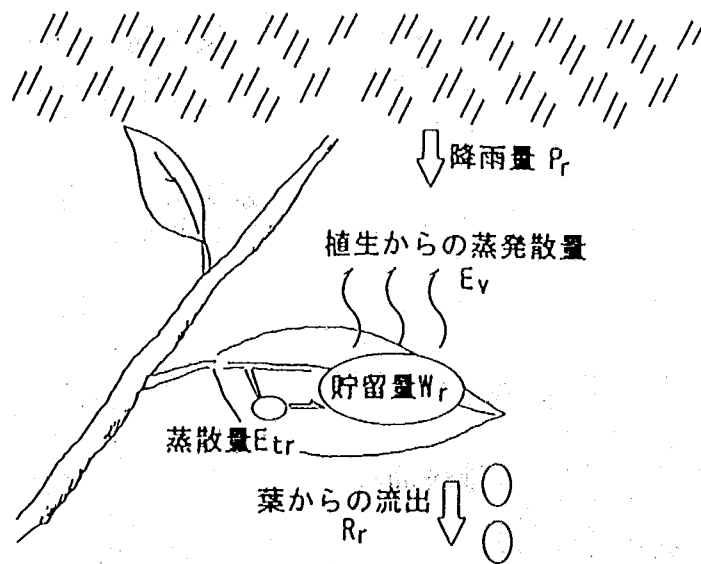


図-6.4 植生による降水遮断モデル

降雨 P_r や根から吸い上げた水を葉から出す蒸散 E_r などによって、葉の上に水滴が貯まる。この水滴から大気中へ蒸発 E が生じる。この水分の貯留量 W_r の値がある限界 W_{rmax} を越えると、過剰に供給された水分が葉からこぼれ落ちる。これが葉から地表への流出 R_r であり、貯留段階では流出は生じず、 R_r は 0 である。最大可能遮断水量である樹幹の保水容量 W_{rmax} は、葉面積指標 (LAI) に比例するものとし、葉の上に貯まる水の薄膜の厚さを 0.2mm と仮定し

$$W_{rmax} = 0.2LAI \quad (6.38)$$

とした。

b) 蒸発量・蒸散量モデル

蒸発量 E は、大気の比湿 q_a と地表面や葉面上の比湿 q との差 $(q - q_a)$ 、風速 V_a 、風速 \times (物理量の差) に対する鉛直方向輸送量の比 (輸送係数) 及び密度の積とその補正係数 h_v から求められる。

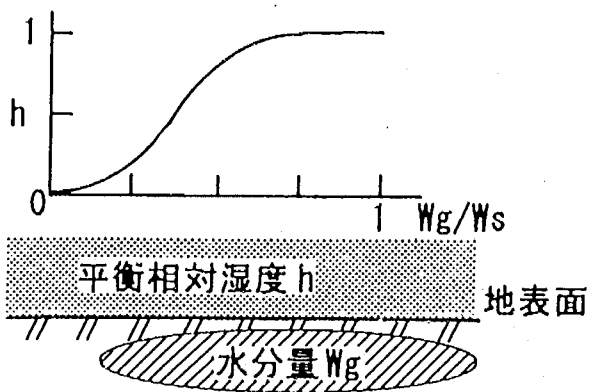
ここで新たに求める必要があるものは、地表面の比湿 q と葉面上蒸発量の補正係数 h_v である。地表面の比湿は飽和比湿 q_{sat} に相対湿度 h を乗じて求める。飽和比湿は、温度・気圧によって決まる飽和水蒸気量から求められる。飽和水蒸気量に対する水蒸気量の比、すなわち相対湿度の地表面での値は、図-6.5 (a) に示す様に地中での水分量 W_g と飽和水分量 W_s を用いて、式 (6.39)⁴⁾ で求める。 W_g は、地中水分量モデルで与えられる。

$$h = 0.5 [1 - \cos(wg/0.75ws)] \quad w_g < 0.75w_s \quad (6.39a)$$

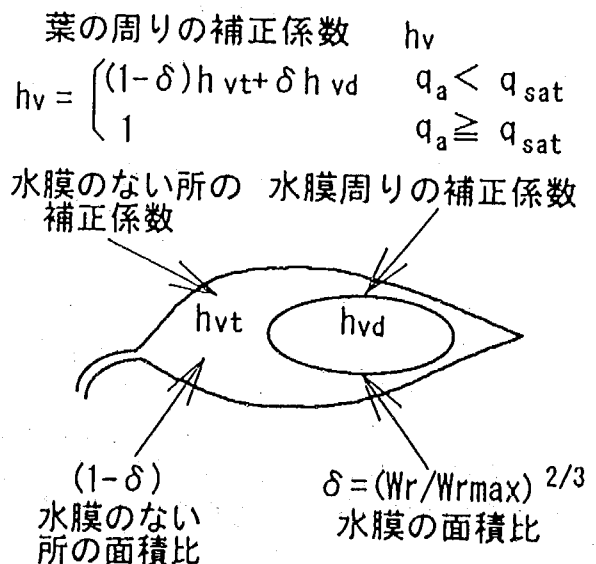
$$h = 1 \quad w_g \geq 0.75w_s \quad (6.39b)$$

一方、葉面上での蒸散と蒸発は水膜から生じるものとし、比湿には飽和比湿 q_{sat} を用い、その他の影響を補正係数 h_v 、 h_{vt} 、 h_{vd} でまとめて表す。

$$h_v = \begin{cases} h_{vd} + h_{vt} & \text{at } q_a \leq q_{sat} \\ 1 & \text{at } q_a > q_{sat} \end{cases} \quad (6.40a)$$



(a) 地表面の相対湿度



(b) 葉面上の蒸発散量補正係数

図-6.5 蒸発量モデルのパラメータ

$$h_{vd} = \frac{\delta}{Ra} \quad (6.40b)$$

$$h_{vd} = \frac{1-\delta}{Ra+Rs} \quad (6.40c)$$

定義はそれぞれ図-6.5(b)に示す通りである。ここで、Ra は地表面風速 V_a とバルク輸送係数 C_H を用いて

$$Ra = 1/V_a C_H \quad (6.41)$$

と表されるので、 h_{vd} は

$$h_{vd} = \delta \cdot (V_a C_H), \quad (6.42)$$

$$C_H = \kappa^2 [\ln(z/z_o) - \Psi_m]^{-1} [\ln(z/z_o) - \Psi_h]^{-1}$$

と書き表される。 Ψ_m , Ψ_h は6.4.1で与えられる。

気孔からの蒸散量の補正を表す h_{vd} は Ra と Rs から求められ、Rs は葉の密度 LAI・葉の表面抵抗係数 Rs_{mn} ・太陽放射の影響 F_1 と水分状態・大気の水蒸気圧や気温の影響などによる補正係数 F_2 , F_3 , F_4 を用いて

$$Rs = \frac{Rs_{mn}}{LAI} \frac{F_1}{F_2 F_3 F_4} \quad (Rs_{mn} = 40(\text{s/m})) \quad (6.43)$$

$$F_1 = \frac{1 + (1.1R_g/R_{gl})/LAI}{(1.1R_g/R_{gl})/LAI + Rs_{mn}/Rs_{mx}} \quad (R_{gl} = 60(\text{W/m}^2), \quad Rs_{mx} = 5000(\text{s/m}))$$

$$F_2 = \begin{cases} 1 & (w_2 > 0.75w_s) \\ \frac{w_2 - w_w}{0.75w_s - w_w} & (ww \leq w_2 \leq ws) \\ 0 & (w_2 < ww) \end{cases}$$

$$F_3 = 1 - b(e_s(T_{st}) - e_a) \quad (b = 0.025(1/\text{hP}))$$

$$F_4 = 1 - 0.0016(298.0 - T_a)$$

と表される。ここで、 R_g : 太陽放射、 w_w : しおれ点の水分容量、 e_s : 飽和水蒸気圧、 e_a : 水蒸気圧、 T_{st} : 地表面温度、 T_a : 地表の大気温度である。また、 δ が 1 の場合は蒸発のみが生じ、逆に δ が 0 の場合には蒸散のみが生じる。最終的に蒸発量 E_g ・蒸散量 E_v は、これらの値を用いて、式(6.44), (6.45), (6.46) から求められる。

$$E_g = \rho C_H V_a \cdot [hq_{sat} - q_a] \quad (6.44)$$

$$E_v = \rho C_H V_a \cdot hv [q_{sat} - q_a] \quad (6.45)$$

$$E_{tr} = \rho C_H V_a \cdot hvt [q_{sat} - q_a] \quad (6.46)$$

大気中への蒸発散量 E は、植生域の蒸発散量 E_v と非植生域の蒸発量 E_g の和で

$$E = \text{veg. } E_v + (1 - \text{veg.}) E_g$$

(6.47)

と表される。

c) 地中水分量モデル

地中の3次元的な水分移動を表すモデルにリチャーズの式がある。これは数cm～数10cm程度のスケールで現象をモデル化して表したものである。これを用いて実際に適用できるスケールは、領域の大きさとともに計算量が多くなり、また膨大な地形・地質データを必要とするためにそれほど大きなものではなく、このモデルを流域スケールに適用するには無理がある。流域スケールでの水文モデルでは、ある程度マクロに現象をとらえたタンクモデルや分布型の多段型タンクモデル等がある。

本モデルの水文モデルのスケールは20kmメッシュであり、何等かのマクロモデルを用いる必要がある。この地中水分量モデルで取り扱っているのはバケツモデルのように地表面での降雨の浸透と蒸発散だけであり、流出モデルやタンク型のモデルのように流出や側方移動を考慮するわけではない。将来性を考えれば、タンク型のようなモデルの方が望ましいが、パラメータ同定が難しいため、以下に述べるような単層での浸透による水分の鉛直移動のみを考慮したモデルを採用した。

地表面では R_r と $(1 - \text{veg.})(P_r - E_g)$ の和で表される水分量が到達し、一方、根を通して蒸散量 E_r が失われている。また、蒸散が行われている場合には葉は水膜で満たされていないので R_r は0であり、葉から流出が行われているときは E_r が0で R_r は $\text{veg.}(P_r - E_r)$ である。

地表面で q の流入があった場合の地中への浸透過程を、図-6.6に示すように地中水分量が矩形型であるとして、その浸透速度が透水係数 K と浸潤深さ Z で表されるとする Green-Ampt モデル⁹⁾によって表す。ここで、水分量 W と飽和度 S は図-6.7のように定義されている。初期の飽和度 S_i 、時刻 t の飽和度を S_t とすると、流入した水分量は、定義から $(W_s - W_r)(S_t - S_i)Z$ で表される。図-6.8に示すように浸潤過程においては、①②③の様に飽和度を上げながら浸潤フロントが地中深く浸透する。フロントの移動

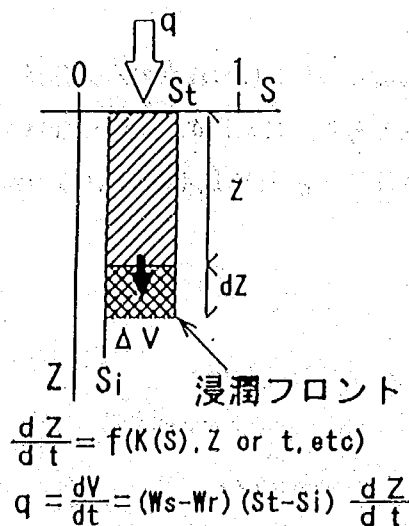


図-6.6 Green-Ampt モデルの概要

速度は、先にも述べたように透水係数 K と浸潤深さ Z を用いて計算される。また、乾燥過程では飽和度を下げながら浸潤フロントが地中に進む。地表面から失われる蒸発散量は蒸発散モデルから求められる。

ここで、一つの対象区域を取っても土壌特性や水分量などが一様でないため、対象区域について水分量などを単純に平均化することはできないという問題がある。そこで、一つの対象領域内でのこれらの分布特性を飽和透水係数 K_s の確率密度分布で代表させて表す⁹⁾ことにする。

図-6.9, 6.10に浸透モデルの概念を示す。図-6.9(a)に示すように土壌が不飽和の場合には水は全て地中に浸透するものとする。このとき、飽和透水係数、飽和度と不飽和透水係数や土壌水分吸引圧の関係から、浸透量が分かれば飽和度と浸潤深さを求めることができる。逆に言えば、全量を浸透させるために必要な飽和透水係数の値 K_{st} を求められる。この透水係数の値より飽和透水係数が小さい場合には全量浸透することはできない。この場合には地表面土壌は既に飽和状態にある。図-6.10に示すように、飽和透水係数の確率密度分布を与え、ある時刻の K_{st} を求めることによって、飽和した領域と不飽和の領域

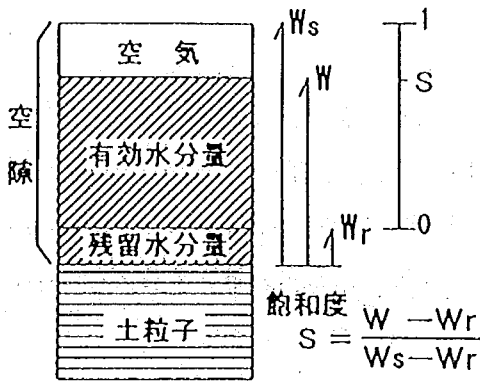
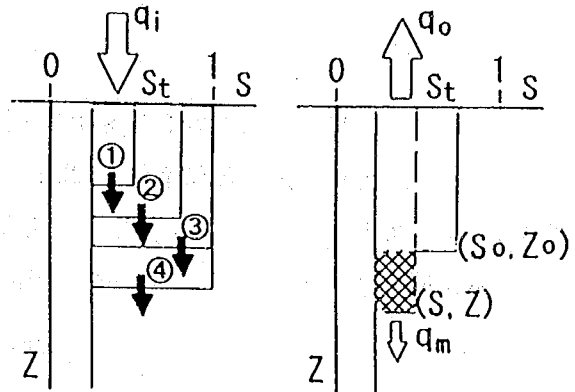


図-6.7 飽和度の定義



(a) 浸潤過程 (b) 乾燥過程

図-6.8 水分量の変化と浸潤フロントの移動の仮定

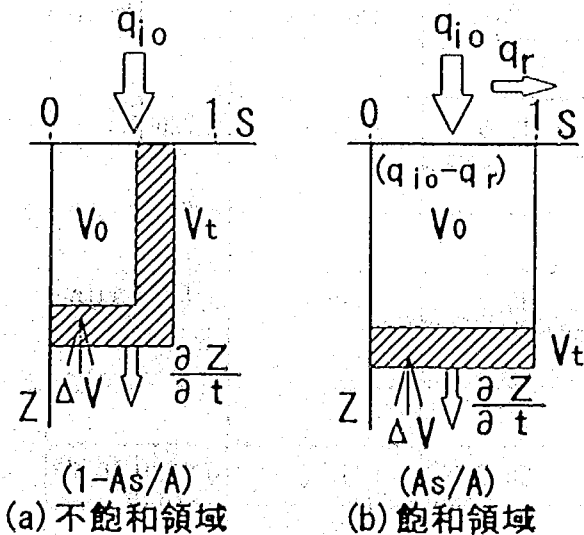


図-6.9 浸透量の仮定

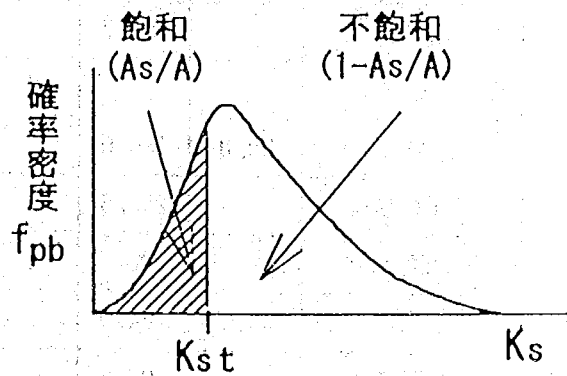


図-6.10 飽和透水係数の確率密度と飽和・不飽和の関係

を区別することができる。飽和の場合には、飽和度を増大できず、浸潤フロントの移動速度が決まっている。すなわち、浸透可能な量が決まる。浸透可能量を上回って地表面に達した水分は過剰降雨量 q_r となり、窪地に貯留したり、流出したりするものとみなす。

これらの関係を用いて、流域全体の水分量を求める。不飽和域では、浸透した量から飽和透水係数の値別に飽和度 S を求める。 S に飽和透水係数 K_s の確率密度分布を乗じて不飽和域 ($K_s = K_{sa} \sim \infty$) について積分し、不飽和域の割合 $(1-A_s/A)$ で除すと、不飽和域での平均飽和度 S_{sa} が求められる。これと不飽和域での全水分量 V_i から、平均浸潤深さ Z_{sa} が定まる。

$$S_{sa} = 1/(1-A_s/A) \int S(K_s) f(K_s) dK_s \quad (6.48a)$$

$$Z_{sa} = V_i/S_{sa} \quad (6.48b)$$

一方、飽和域での飽和度 S_{sa} は 1 であり、飽和域 ($K_s = 0 \sim K_{sa}$) で同様に確率密度分布を用いて平均化した浸潤深さ Z_s が求められる。

$$S_s = A_s + (1-A_s)S_{sa} \quad (6.49a)$$

$$Z_s = (V_i - A_s(V_i - Z_{sa}))/S_s \quad (6.49b)$$

これらの値から、対象区域全体での飽和度や水分量を求めることが可能となる。

土壌の物理条件は、国土数値情報を 20km メッシュに集計してものを用いた。表-6.1は、土壌をその透水性によって大きく 3つの型に分類した場合のパラメータを示したものである。飽和土壌水分量 W_s としおれ点土壌水分量 W_w は、それぞれ表の PF 0 に相当する水分量と相当水分量をそれぞれ平均化するこ

表-6.1 土壌特性パラメータ一覧

| 土 壤 型 | 固体分 | 浸透量* | 土の湿潤度 pF 0 % | 相当水分 % | 飽和透水係数 mm/sec | λ | Ψ_w (mm) |
|---------|------|-------|-----------------|-----------|------------------|-----------|------------------|
| 1) 高透水性 | | | | | | | |
| 平均 | 21.8 | 133.3 | 70.4 | 45.6 | 10-1 | 0.725 | 160.3 |
| 標準偏差 | | 156.7 | | | | | |
| 2) 中透水性 | | | | | | | |
| 平均 | 30.0 | 185.0 | 60.7 | 35.2 | 10-2 | 0.12 | 33.0 |
| 標準偏差 | | 232.6 | | | | | |
| 3) 低透水性 | | | | | | | |
| 平均 | 31.7 | 64.9 | 68.4 | 32.5 | 10-3 | 0.152 | 10.79 |
| 標準偏差 | | 97.7 | | | | | |

* 400cm²の断面を通る5/4の動水勾配の下における値, cc/min

とによって求められる。土壌の物理特性はブルックス&コーレイ型で表した。飽和透水係数 K は場所によって変化するものとし、その確率密度関数には平均値 K_m に対して対数正規分布

$$f(K) = \frac{1}{K\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[\ln(K) - \ln(K_m)]^2}{2\sigma_y^2} \right\} \quad (6.50)$$

を与えた。透水係数の分散は、表-6.1における浸透量 I_s の平均値 $\langle I_s \rangle$ と分散 $\text{Var}(I_s)$ から

$$\sigma_y^2 = \ln \left[1 + \frac{\text{Var}(I_s)}{\langle I_s \rangle^2} \right] \quad (6.51)$$

のように与えられる。

6.5 数値解析方法

解析方法の具体的なアルゴリズムやプログラムの使用方法等については巻末の資料に添付するので、そちらを参照されたい、ここでは、本モデルで採用した微分方程式の数値解法に的をしぼって述べる。

移流項の計算には、二次精度で内挿補完して解を求める擬似ラグランジェ移流法が用いられる。移流項以外の解析には、通常の差分法を用いて表している。

ギジラグランジェ法は、各時刻における空気塊の原位置を求め、時間刻みに対する空気塊の移動経路沿って移流項の積分をそのまま行うものである。

大気の解析で用いる σ 座標系での移流方程式は、一般的に

$$DG/Dt = s \quad (6.52)$$

の形で表記することができる。 DG/Dt は、 $\sigma = \text{const.}$ の面に沿って動く時の変数 G の変化を表し、 s は鉛直(σ)方向の移流を含む残り全ての項である。

G を時間軸と移動する空間軸に沿って積分するときの終端位置を各格子点にとると、積分して得られる G^{n+1} は

$$G^{n+1} = G_0 + s\delta t \quad (6.53)$$

$$s = (s^{n+1} + s_0(x - \delta x, y - \delta y, t - \delta t)) / 2$$

と近似的に表される。 s^{n+1} は時間外挿を用いて

$$s^{n+1} = s^n + (s^n - s^{n-1})$$

を仮定する。ここで、 G_0 と s_0 は、 G の原位置の点での G と s の値である。

時刻 δt 前における G の原位置は、以下の手順で求められる。格子点上の時刻 $t - \delta t$ の流速ベクトルから、仮の位置を

$$(x - u\delta t, y - v\delta t)$$

で近似的に求め、この位置での時刻 $t - \delta t$ の流速ベクトル (u_0, v_0) を周辺格子点から二次内挿で与える。また、 G を求める格子点上の時刻 t の流速ベクトル (u^{n+1}, v^{n+1}) は $t - \delta t$ の流速ベクトルから外挿しておく。これらを用いて G の原位置は

$$(x - [u_0 + u^{n+1}] / 2\delta t, y - [v_0 + v^{n+1}] / 2\delta t)$$

で与えられる。

なお、擬似ラグランジェ法は、空気塊の経路上の値を積分するものであるため、その経路と経路上の s の値が分かるならば、時間刻みに CFL 条件が必ずしも満足されなくとも良い、すなわち時間刻みを大きく採れるという特徴がある。しかしながら、時間や空間で補間しながら計算を行うので、時間刻みはある程度は小さい方が望ましい。また、擬似ラグランジェ法では保存則を数値的に満たす保証がないので、長時間積分には向かないので GCM 等では用いられていない。

6.6 モデルの検証

(1) 大気モデル及び降水過程のテストラン

60km メッシュモデルの降水シミュレーションでは、CO₂濃度現状時の結果は既往の年間降雨量分布の全体的な特徴を表すが、九州・四国などの降雨量は実測値に対して低くなっていた。すなわち、本モデルの年間降水量は、観測値に比べて全体的に低めに出るようである。これは、大気モデルの解像度や台風による降雨を十分に表現できないことに起因すると思われる。しかしながら、広域的な降水に関する場所の違いに対する相対的な変化は表していると考えられる。

60km メッシュでは解像度が粗いために、地形の細かい特徴やスケールに依存する現象をモデルの中で詳細には表せないなど、降水量の予測に関して多少の問題があることが分かった。これはメッシュを細かくすることで改善されると考えられる。

そこで、メッシュを細分化した20km メッシュモデルについて、1989年1月の条件の下で検証を行った結果を図-6.11(a)(b)に示す。この検証計算に対する元の入力データには COADS のデータが用いられている。計算結果は、十分と言えないまでも、日本海側や山岳部などでの降雨の発生箇所と降雨量を大まかに予測できていることが分かる。このように冬季の降水（雪）については、20km メッシュモデルで概ね推定することが可能であることが分かる。

ただし、日本海側での降水量が少なく見積もられ、その代わりに太平洋側の降水量が多くなっている傾向が読み取れる。これは日本海側で降りきれなかった降水が太平洋側で生じたと考えられる。この傾向は小領域モデルに用いている地形で日本海側での山岳の標高が400m 以下である場所で顕著である。すなわち、小領域モデルであっても、山岳地帯の峰などのような細かい起伏は表しきれず、山岳による大気の流れに対する影響を十分採り切れていないために、日本における降水の状況は必ずしも十分表せていない可能性がある。また、本モデルでは Kuo の対流性降雨モデルを採用しているため、降水量が多少低くなる可能性がある。

1989年1月の青森・秋田・仙台・新潟・日光・水戸・東京・金沢・松本・甲府・静岡・岐阜・京都・神戸・和歌山・松江・広島・高知における日降水量・日平均の地表気温・日平均の地表相対湿度の日変化に関する小領域モデルでの計算結果と観測結果を、図-6.12, 6.13, 6.14に示す。観測データにはアメダスデータを使用している。ただし、アメダスデータは観測点での情報であるのに対して、解析結果はそれらの都市を含むメッシュでの平均値であるため、完全に一致するものではない。

図-6.12によると、降水については、降水の有無や降水量の変化パターン等についてはおおむねあわせている。しかし、日降水量の値そのものについては、場所に関わらずに相対的に大きくなったり、小さくな

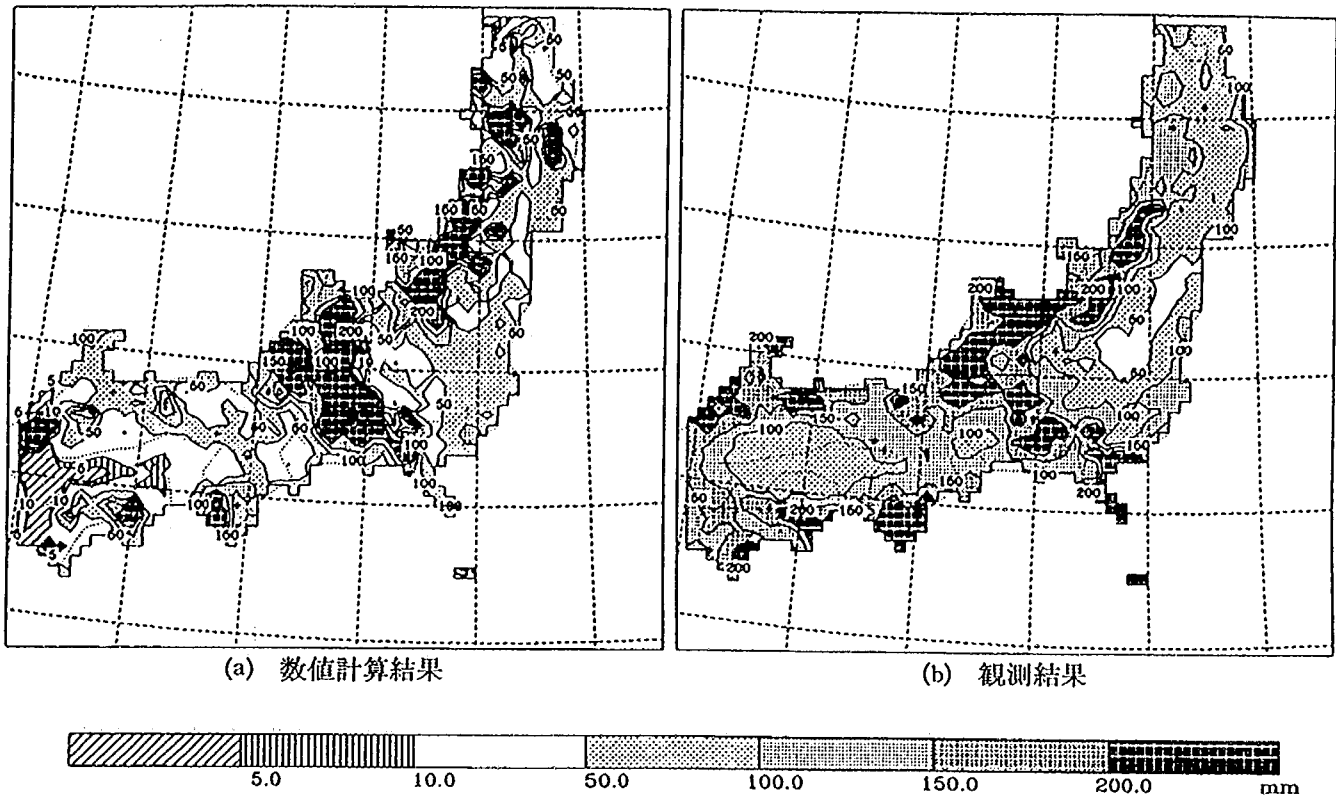
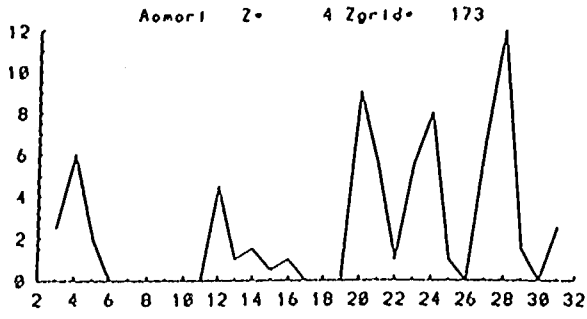


図-6.11 1989年1月、本州における降水量の観測結果と計算結果の比較

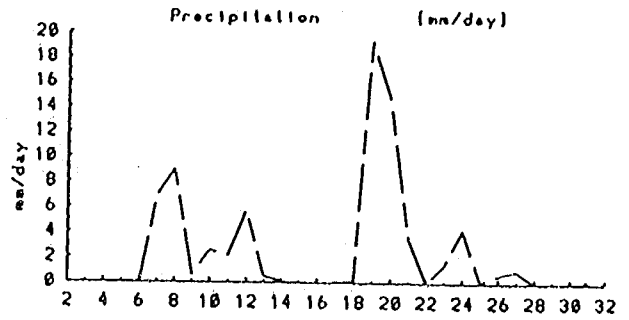
ったりしていた。また、月初めについては降雨の有無なども多少合わない所もあるようである。

図-6.13によると、解析結果における気温の変化のパターンは、観測結果をほぼ表している。これは、気温に対する外力は、地表面温度等であり、地表面温度は日射量や雲量等によって決まるので、これらの入力条件が大まかに合っているならば結果が合うということと思われる。ただし、気温の絶対値については合っていない所がある。青森・金沢・松本・甲府・日光・京都・神戸等における気温は特に低く、広島・高知等も低い。これは山間部の盆地や山つきの海岸部にある場所では、計算点における標高が周りの山地に引きづられてしまうためであると考えられる。すなわち、観測結果は都市部の値を求めているのに対し、これらの場所での計算値は山間部の値を算出していることになるために絶対値に差が表れたと考えられる。開けた平野部での誤差が小さいようである。

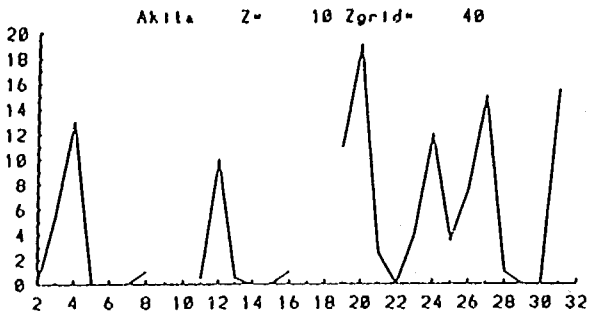
図-6.14によると、気温と同様に相対湿度の変化のパターンは概ね観測結果と合っているが、相対湿度は全体的にやや高めているようである。これは、気温の所でも述べたように、メッシュの平均標高は都市部の値でなく、山間部も含んだ平均値になっているために、気温が低くなり、結果として相対湿度が高くなっているためと考えられる。降水量の有無は、比湿と飽和水蒸気量を元に判断されるが、降水量は全層に対する積分値として与えられるので、地形の影響を受け易い地表面のデータだけでは降雨量への影響を推定することは難しい。



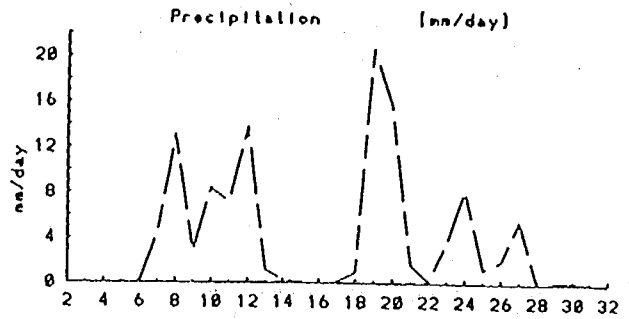
(a-1) 観測結果 (青森)



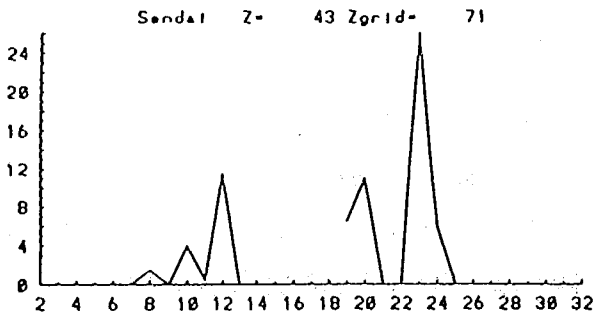
(b-1) 計算結果 (青森)



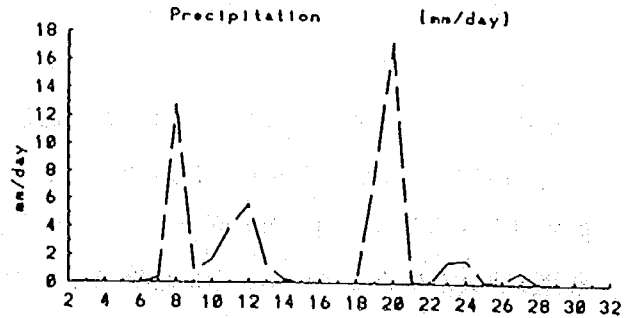
(a-2) 観測結果 (秋田)



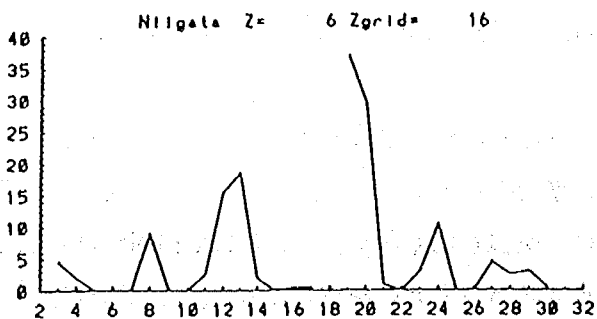
(b-2) 計算結果 (秋田)



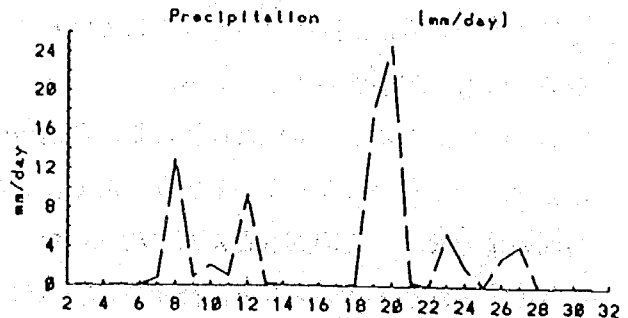
(a-3) 観測結果 (仙台)



(b-3) 計算結果 (仙台)

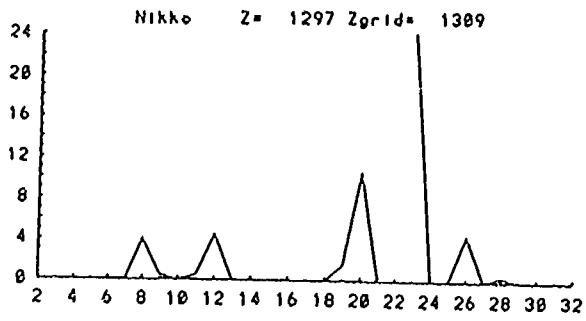


(a-4) 観測結果 (新潟)

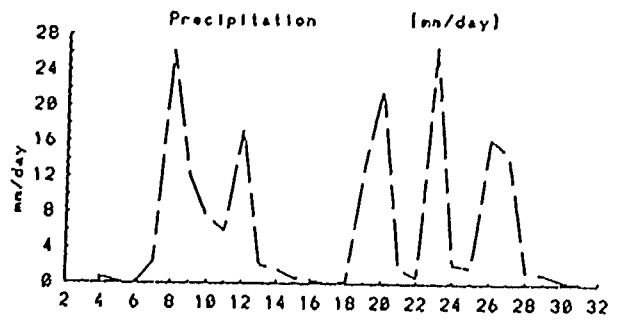


(b-4) 計算結果 (新潟)

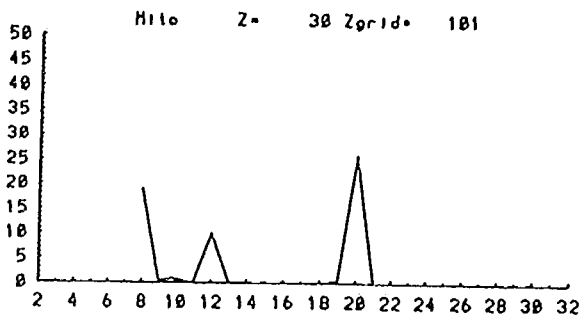
図-6.12 1989年1月の日降水量の観測結果と計算結果の比較



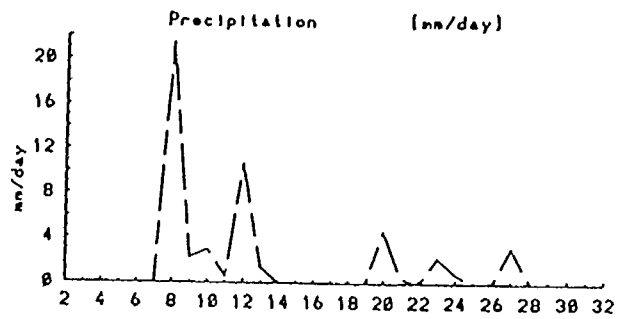
(a-5) 観測結果 (日光)



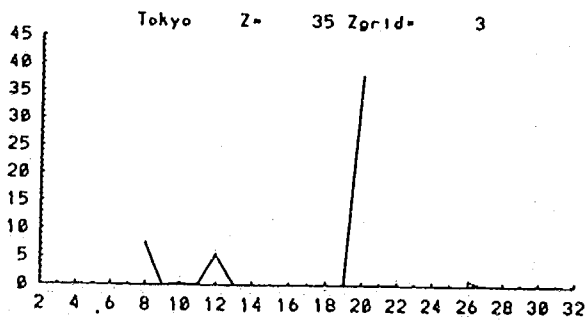
(b-5) 計算結果 (日光)



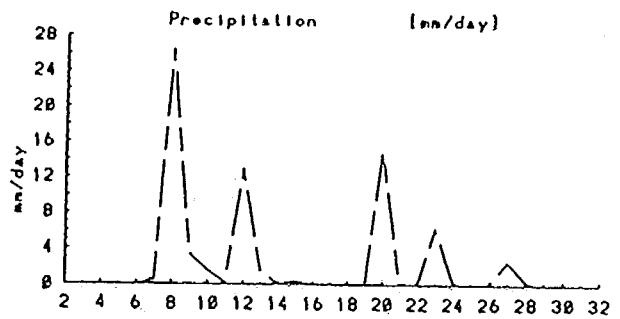
(a-6) 観測結果 (水戸)



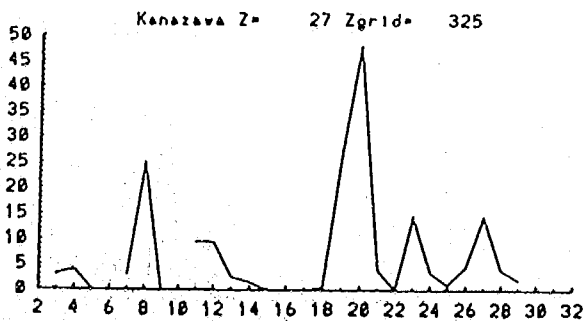
(b-6) 計算結果 (水戸)



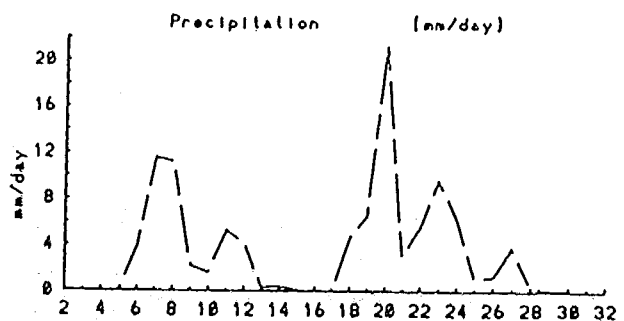
(a-7) 観測結果 (東京)



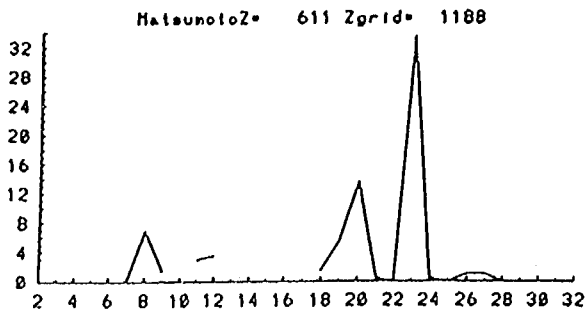
(b-7) 計算結果 (東京)



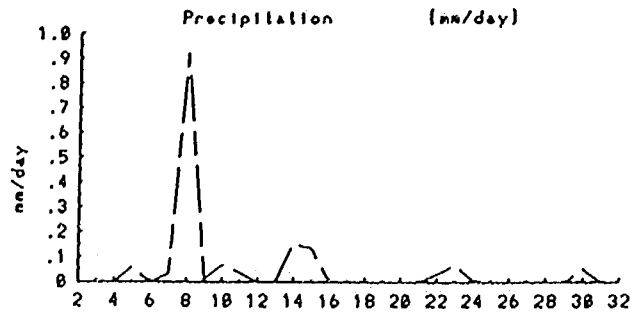
(a-8) 観測結果 (金沢)



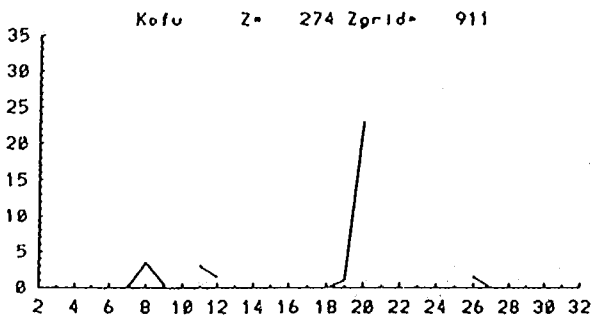
(b-8) 計算結果 (金沢)



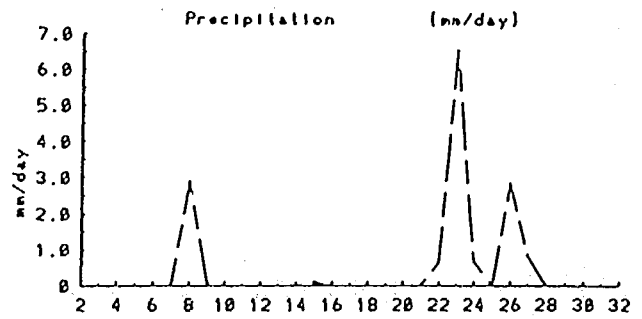
(a-9) 観測結果 (松本)



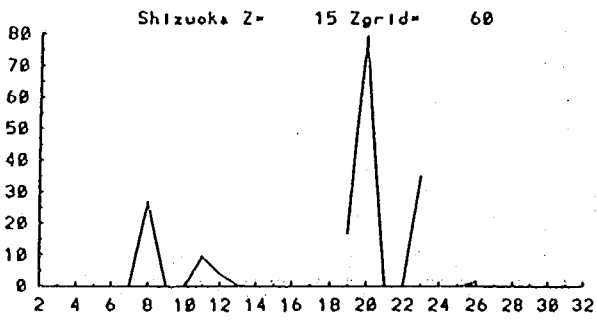
(b-9) 計算結果 (松本)



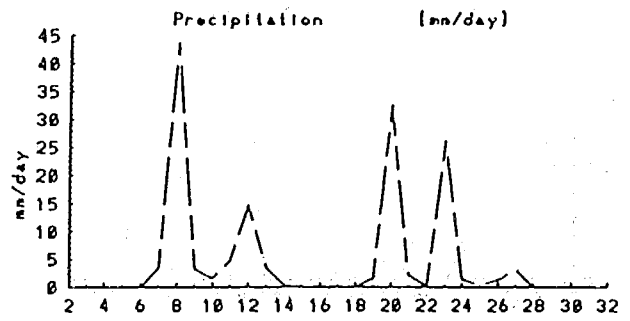
(a-10) 観測結果 (甲府)



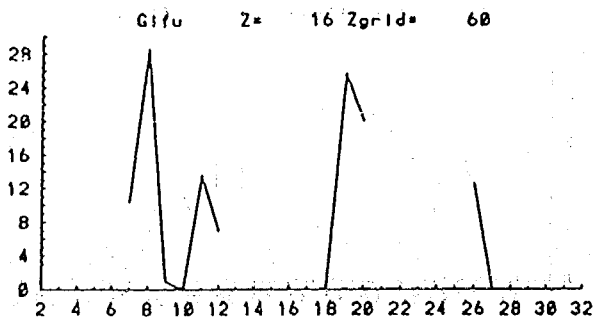
(b-10) 計算結果 (甲府)



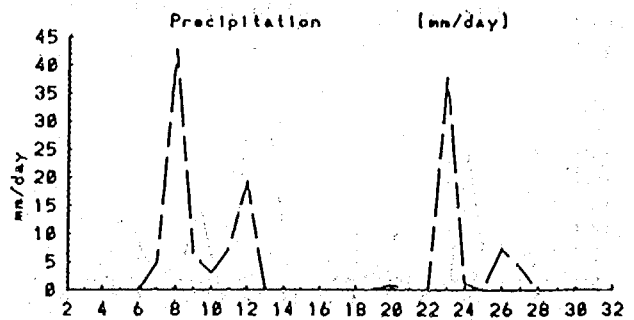
(a-11) 観測結果 (静岡)



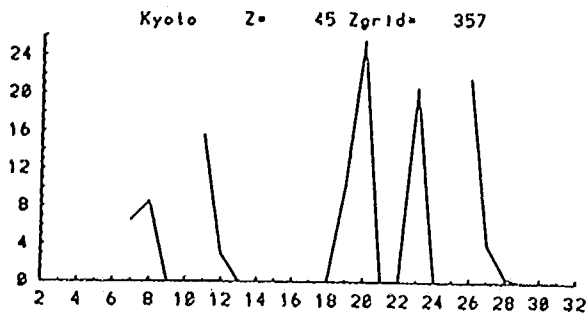
(b-11) 計算結果 (静岡)



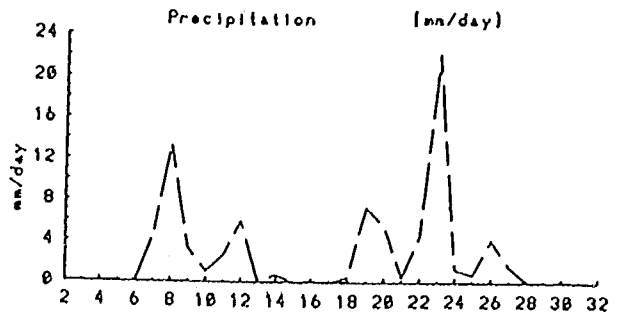
(a-12) 観測結果 (岐阜)



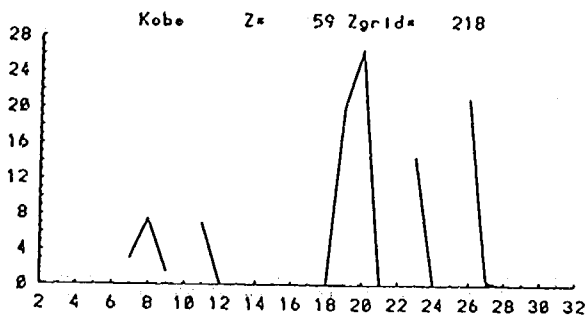
(b-12) 計算結果 (岐阜)



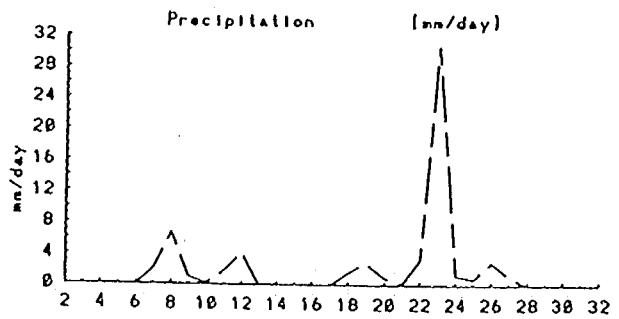
(a-13) 観測結果 (京都)



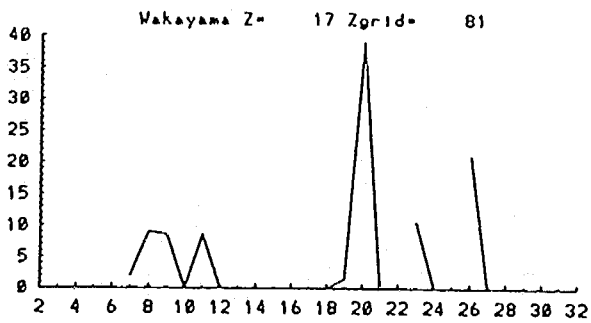
(b-13) 計算結果 (京都)



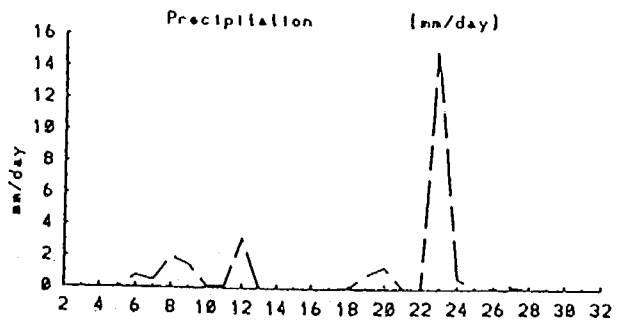
(a-14) 観測結果 (神戸)



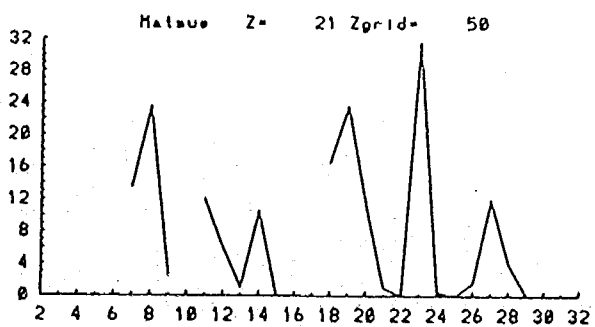
(b-14) 計算結果 (神戸)



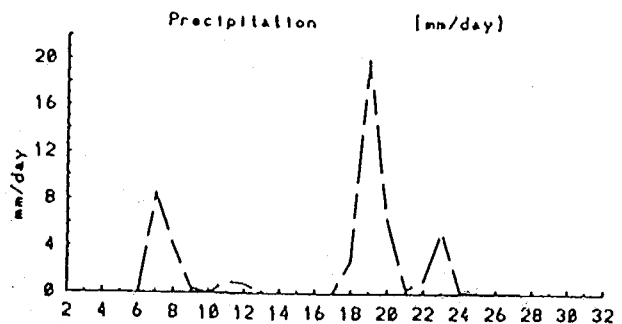
(a-15) 観測結果 (和歌山)



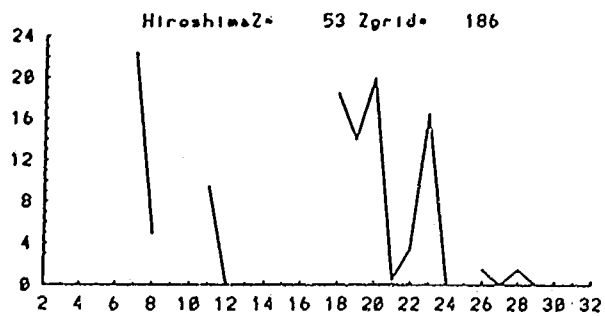
(b-15) 計算結果 (和歌山)



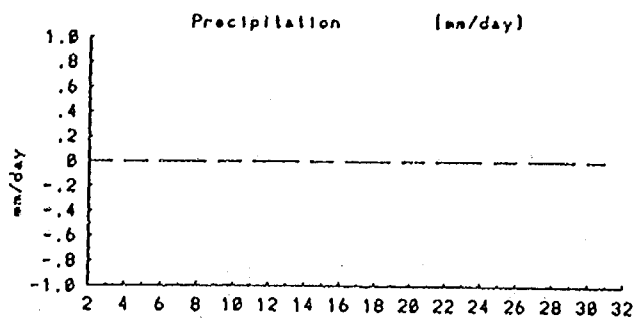
(a-16) 観測結果 (松江)



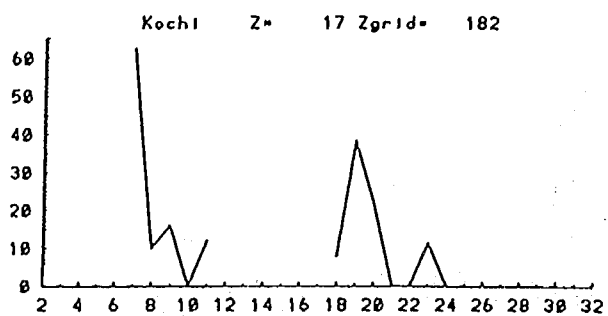
(b-16) 計算結果 (松江)



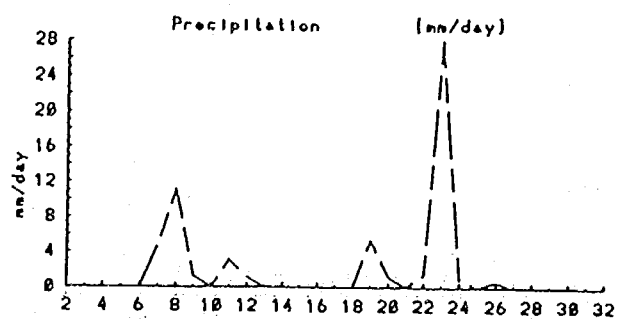
(a-17) 観測結果 (広島)



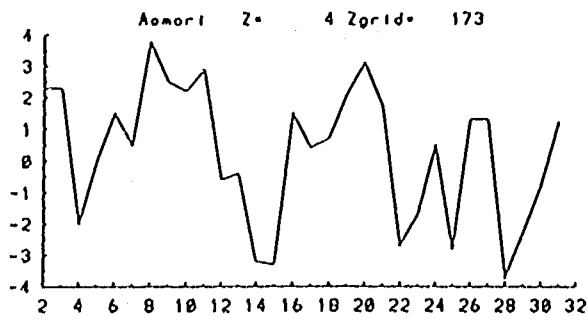
(b-17) 計算結果 (広島)



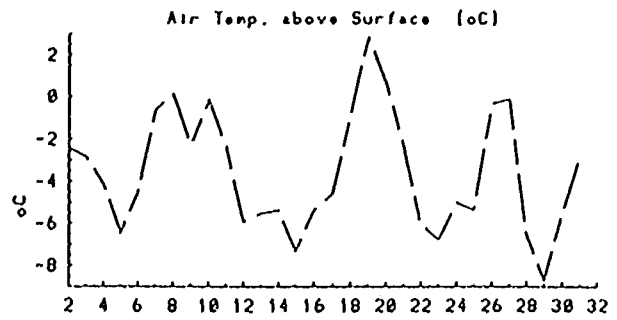
(a-18) 観測結果 (高知)



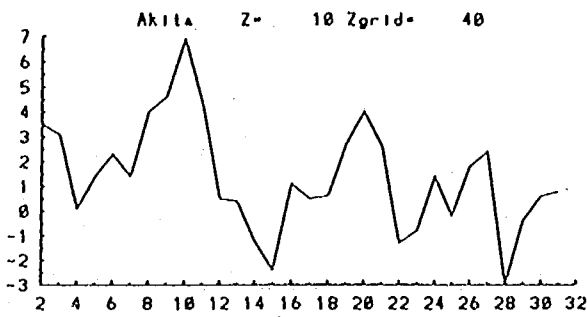
(b-18) 計算結果 (高知)



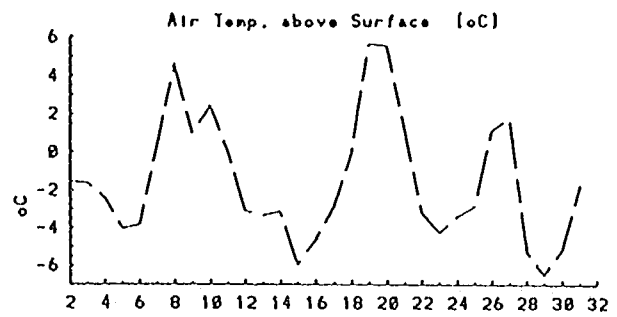
(a-1) 観測結果 (青森)



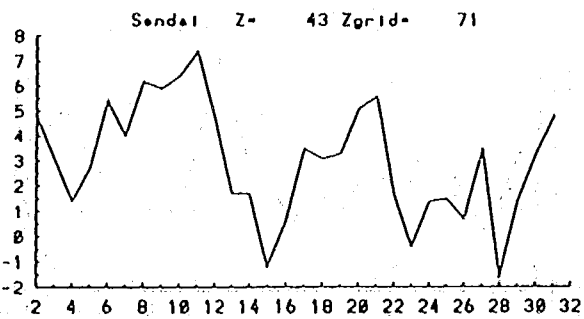
(b-1) 計算結果 (青森)



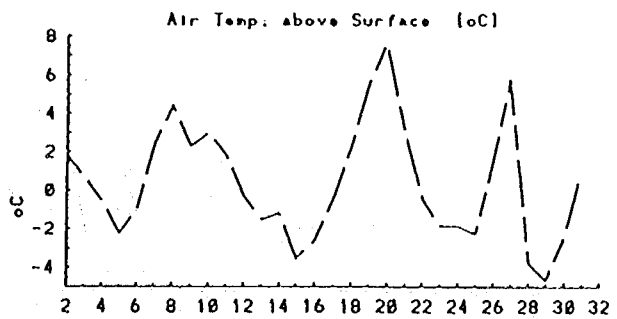
(a-2) 観測結果 (秋田)



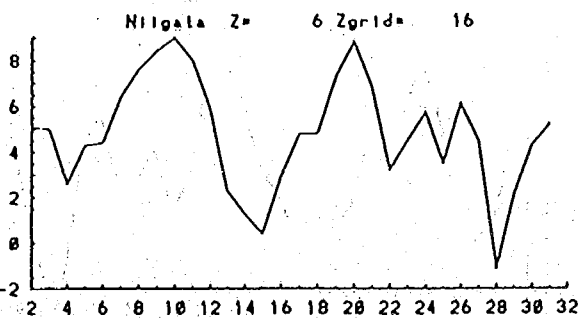
(b-2) 計算結果 (秋田)



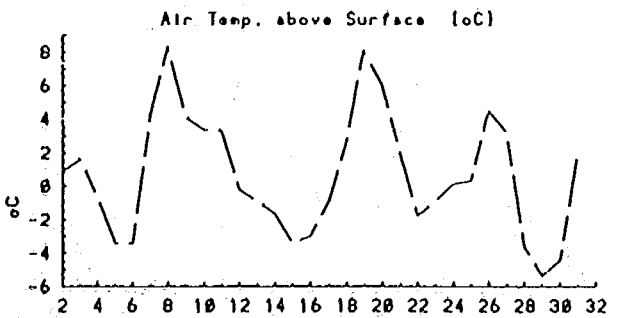
(a-3) 観測結果 (仙台)



(b-3) 計算結果 (仙台)

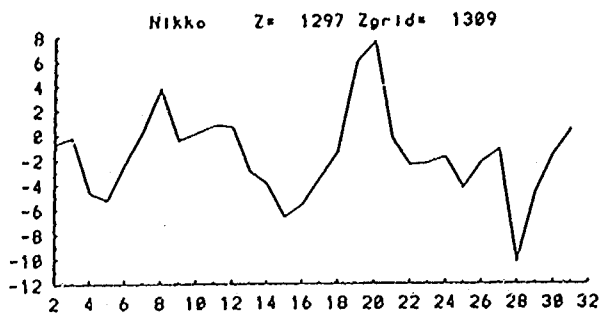


(a-4) 観測結果 (新潟)

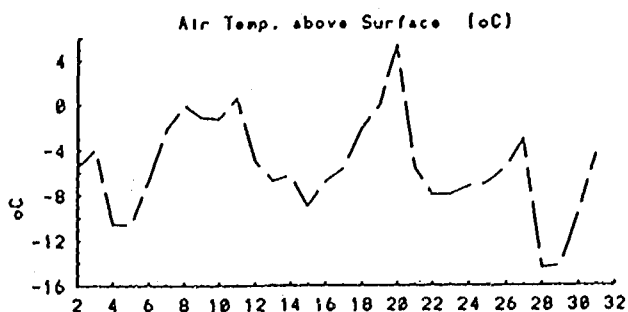


(b-4) 計算結果 (新潟)

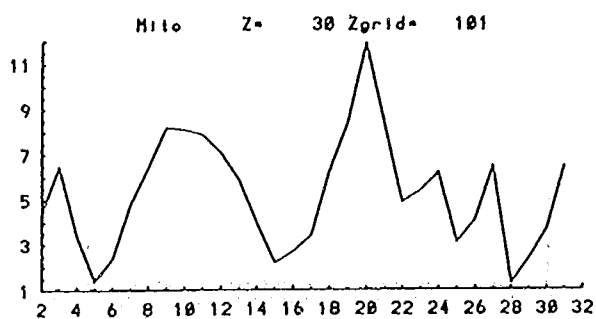
図-6.13 1989年1月の日平均地表気温の観測結果と計算結果の比較



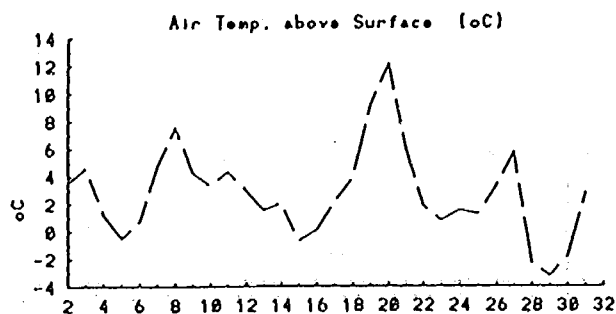
(a-5) 観測結果 (日光)



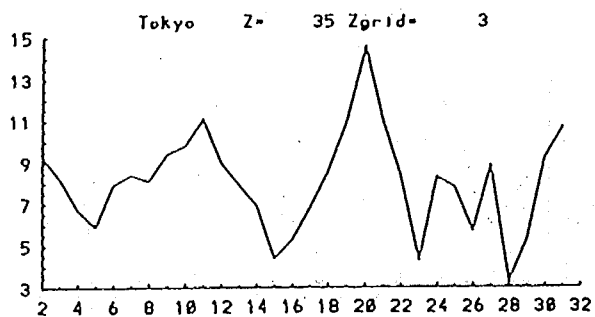
(b-5) 計算結果 (日光)



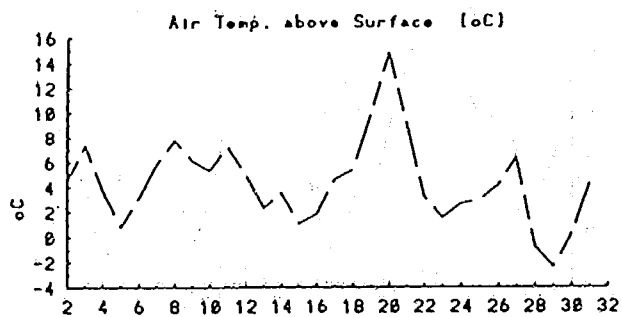
(a-6) 観測結果 (水戸)



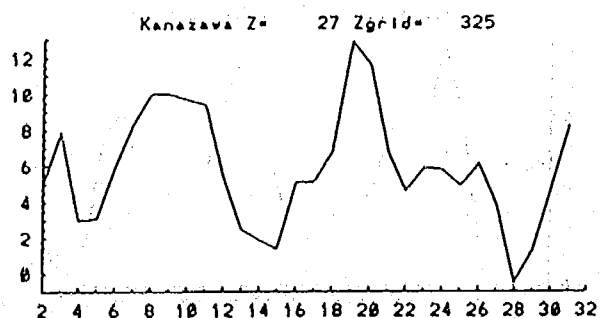
(b-6) 計算結果 (水戸)



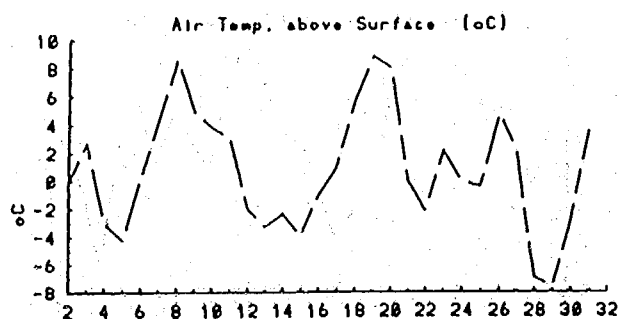
(a-7) 観測結果 (東京)



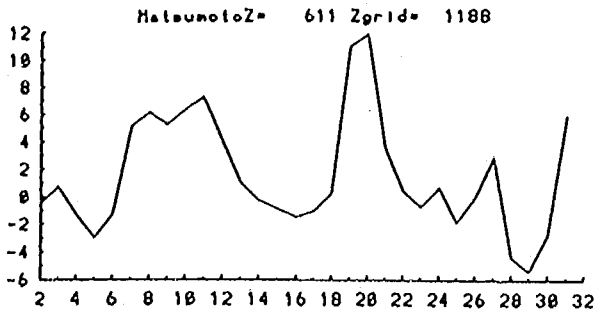
(b-7) 計算結果 (東京)



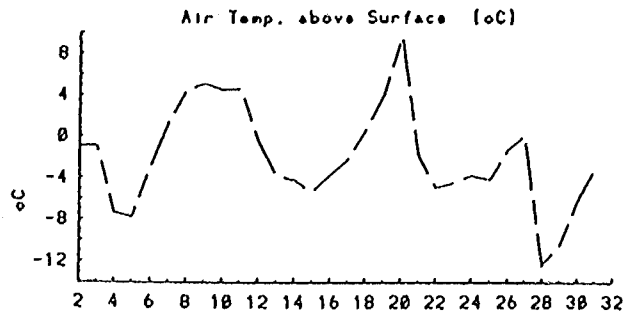
(a-8) 観測結果 (金沢)



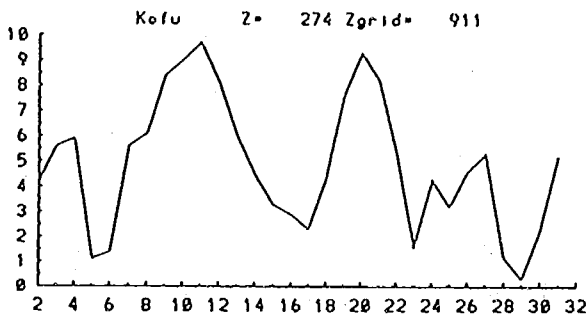
(b-8) 計算結果 (金沢)



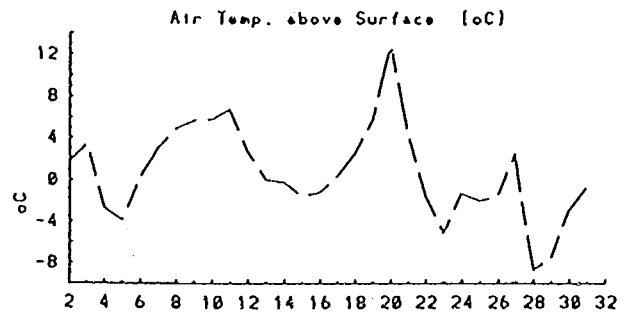
(a-9) 観測結果 (松本)



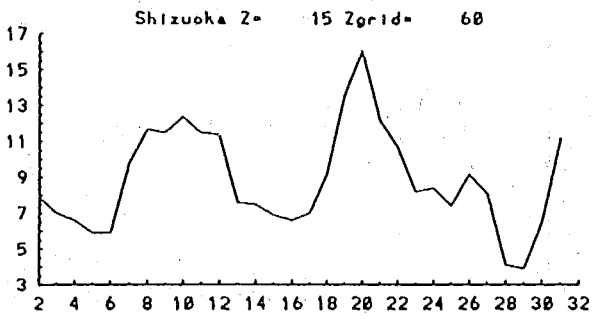
(b-9) 計算結果 (松本)



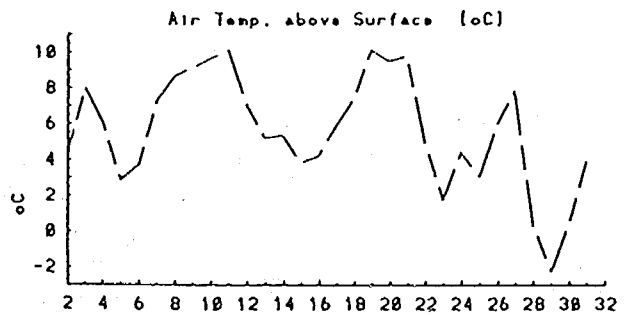
(a-10) 観測結果 (甲府)



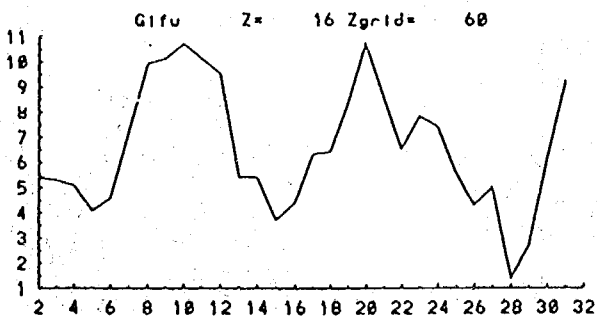
(b-10) 計算結果 (甲府)



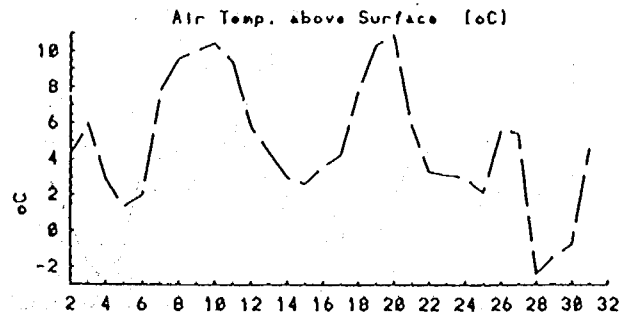
(a-11) 観測結果 (静岡)



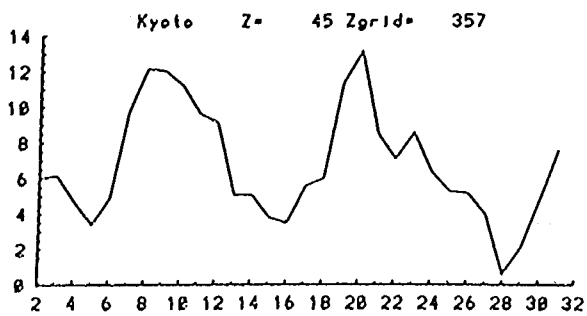
(b-11) 計算結果 (静岡)



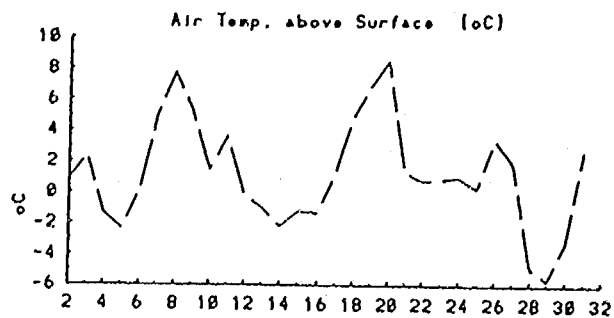
(a-12) 観測結果 (岐阜)



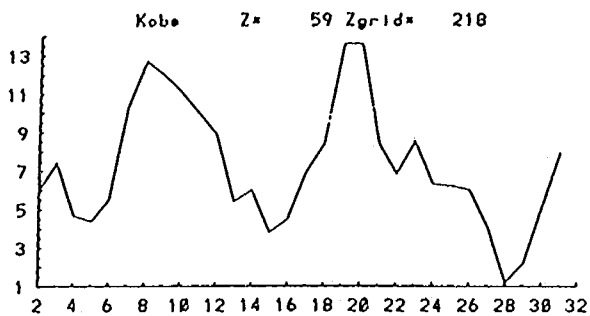
(b-12) 計算結果 (岐阜)



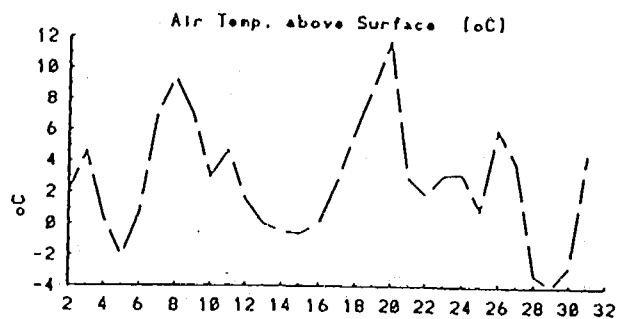
(a-13) 観測結果 (京都)



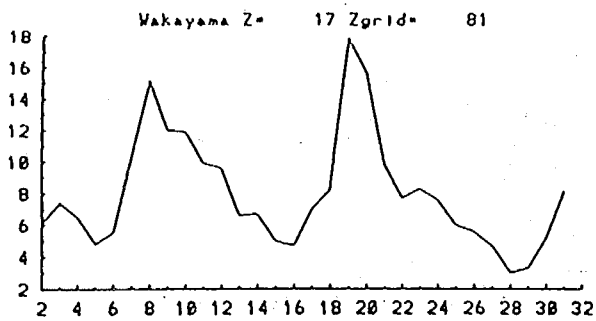
(b-13) 計算結果 (京都)



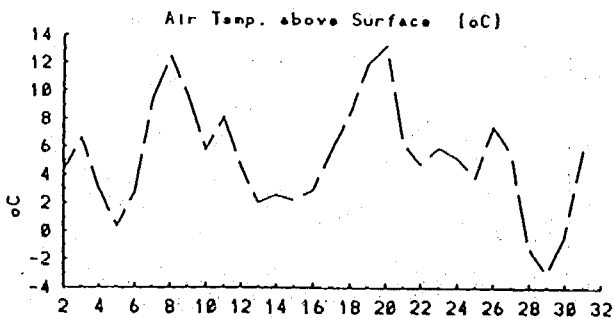
(a-14) 観測結果 (神戸)



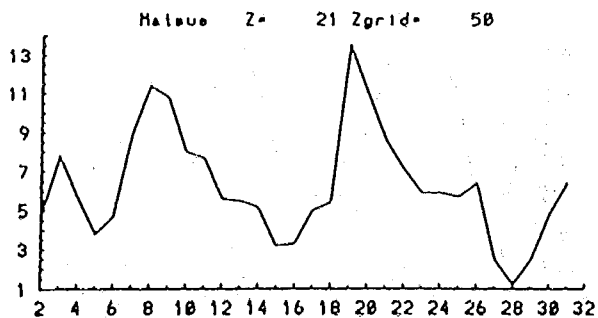
(b-14) 計算結果 (神戸)



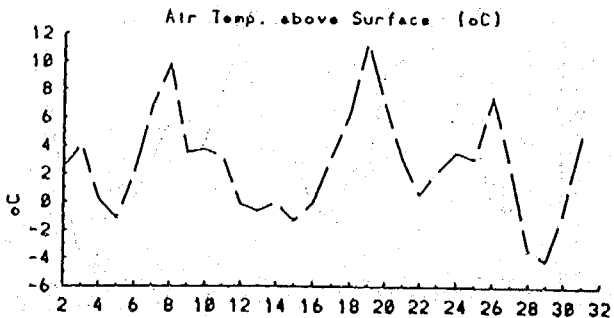
(a-15) 観測結果 (和歌山)



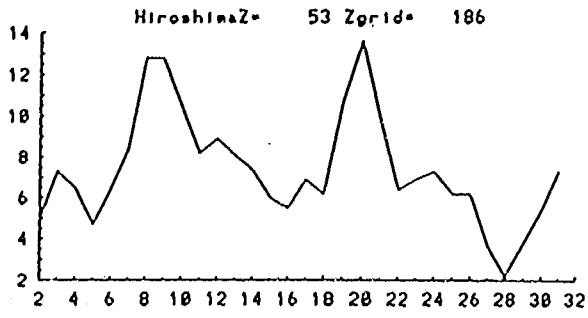
(b-15) 計算結果 (和歌山)



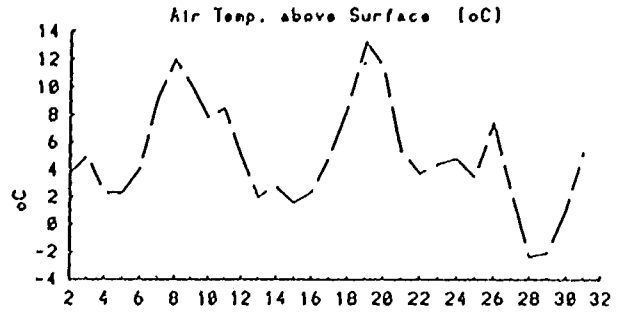
(a-16) 観測結果 (松江)



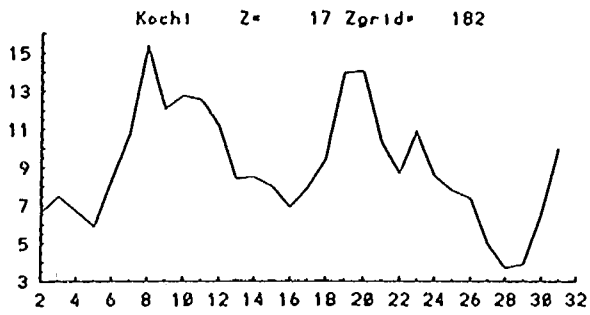
(b-16) 計算結果 (松江)



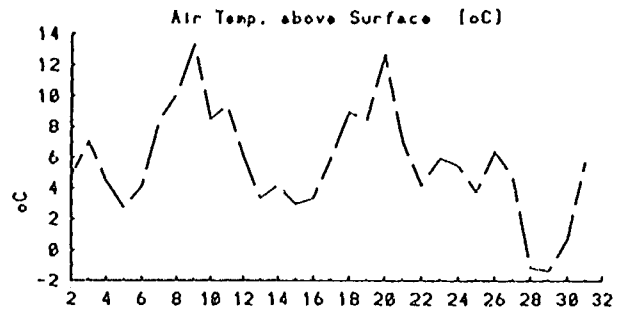
(a-17) 観測結果 (広島)



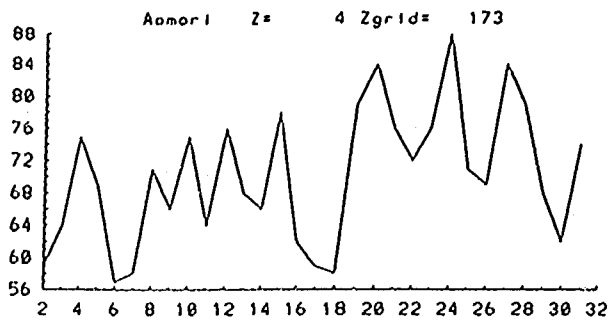
(b-17) 計算結果 (広島)



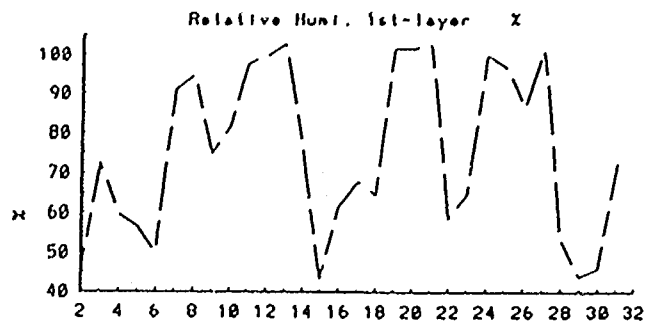
(a-18) 観測結果 (高知)



(b-18) 計算結果 (高知)



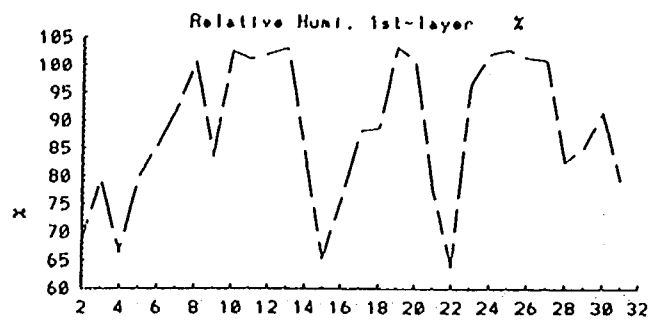
(a-1) 観測結果 (青森)



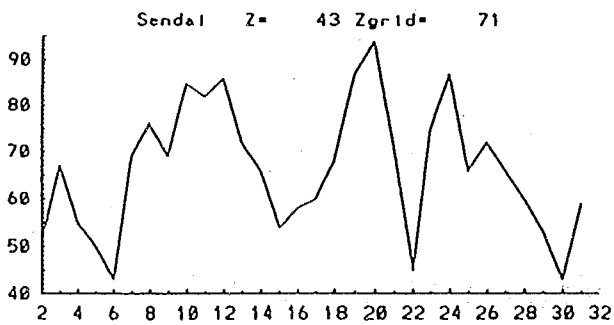
(b-1) 計算結果 (青森)



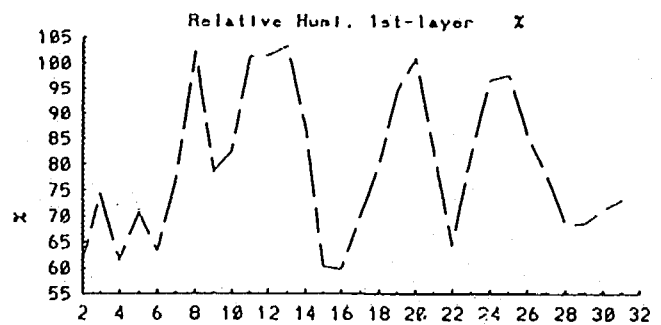
(a-2) 観測結果 (秋田)



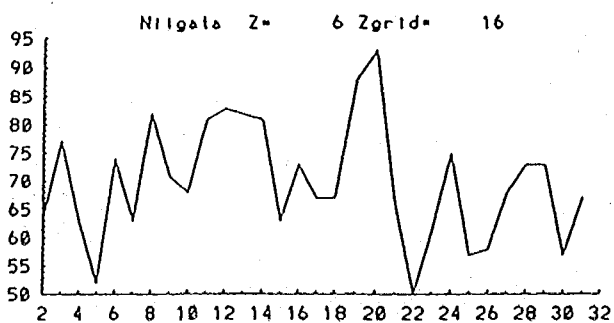
(b-2) 計算結果 (秋田)



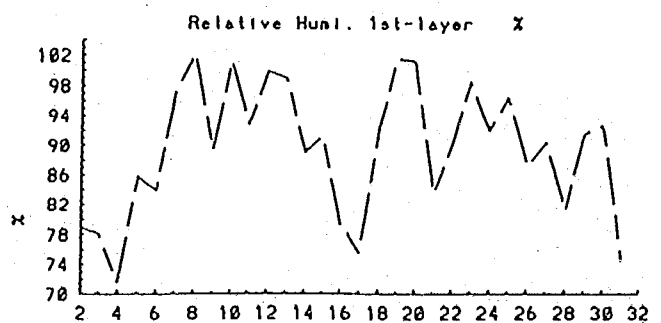
(a-3) 観測結果 (仙台)



(b-3) 計算結果 (仙台)

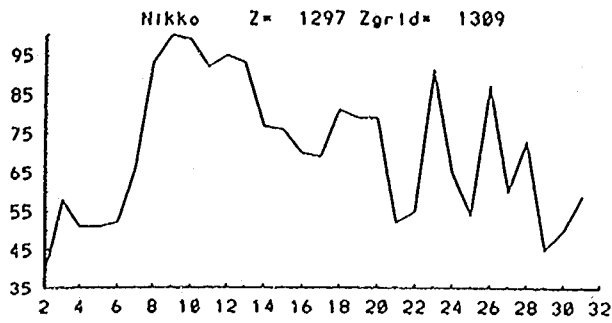


(a-4) 観測結果 (新潟)

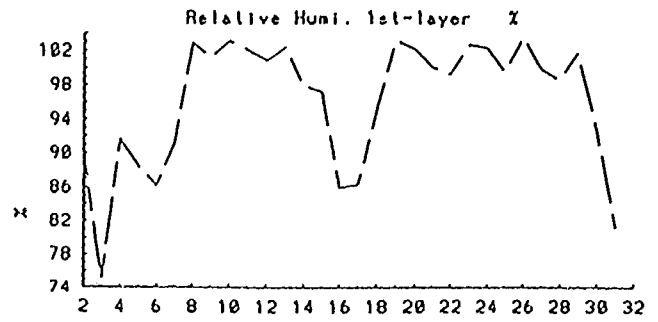


(b-4) 計算結果 (新潟)

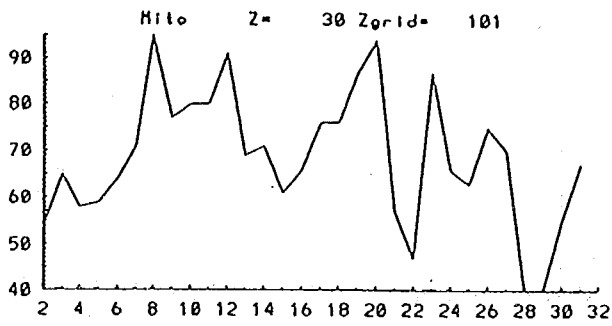
図-6.14 1989年1月の日平均地表相対湿度の観測結果と計算結果の比較



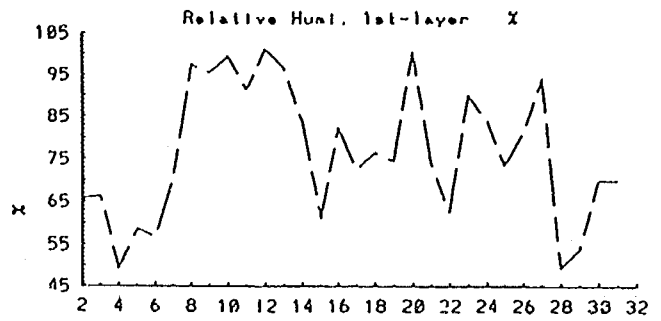
(a-5) 観測結果 (日光)



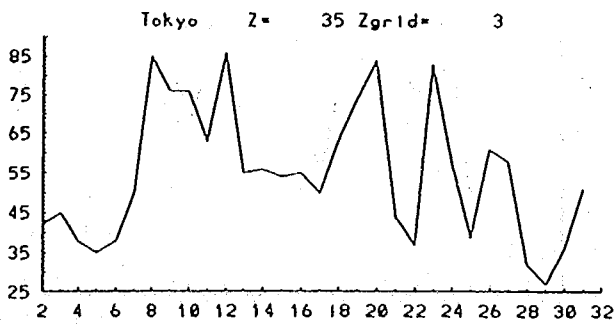
(b-5) 計算結果 (日光)



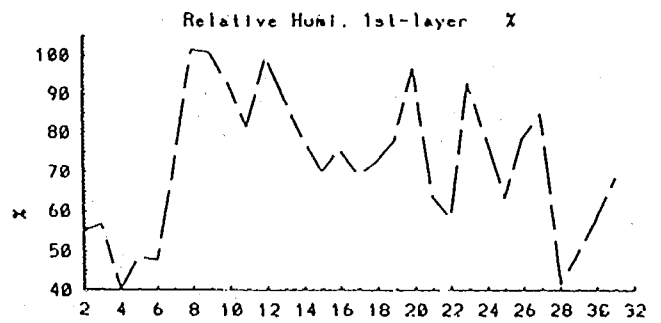
(a-6) 観測結果 (水戸)



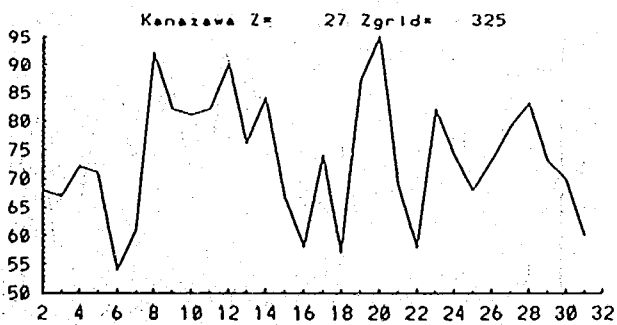
(b-6) 計算結果 (水戸)



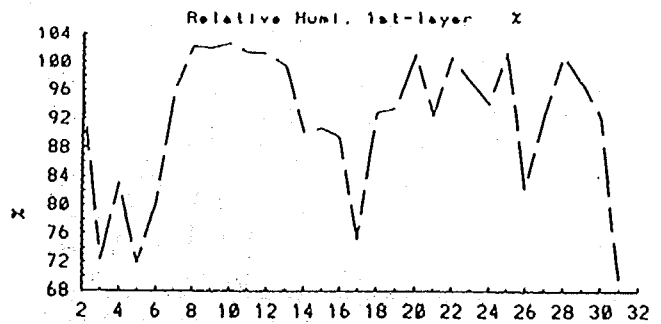
(a-7) 観測結果 (東京)



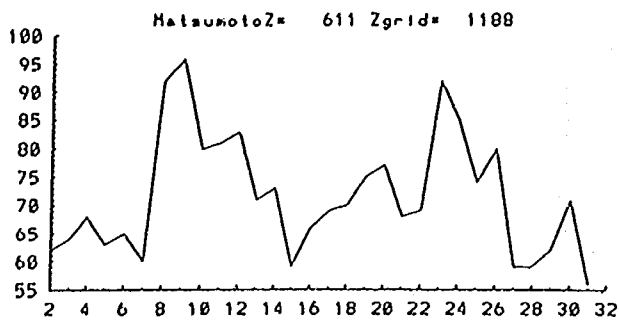
(b-7) 計算結果 (東京)



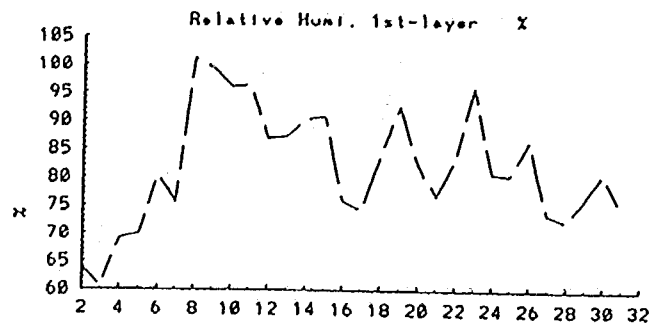
(a-8) 観測結果 (金沢)



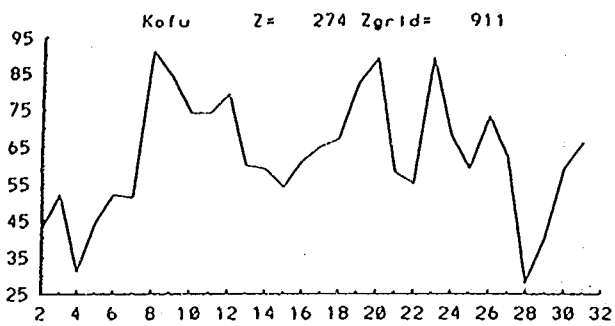
(b-8) 計算結果 (金沢)



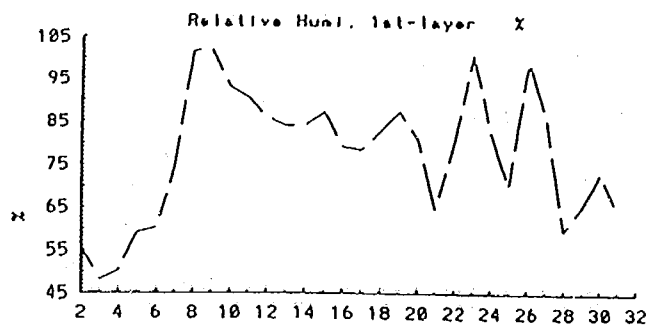
(a-9) 観測結果 (松本)



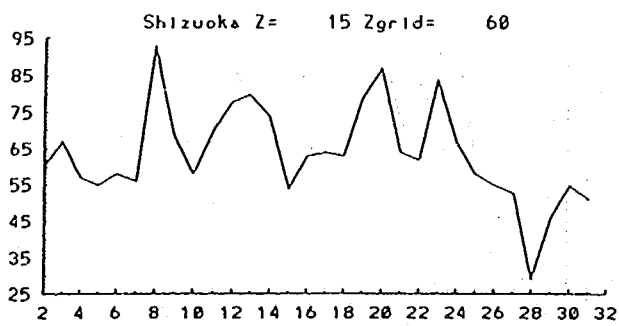
(b-9) 計算結果 (松本)



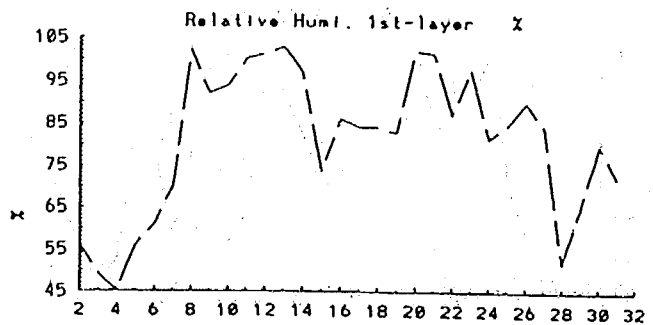
(a-10) 観測結果 (甲府)



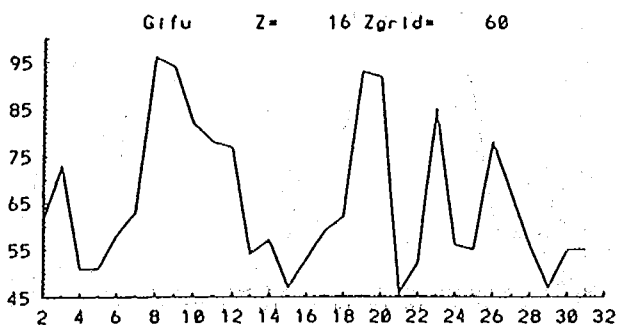
(b-10) 計算結果 (甲府)



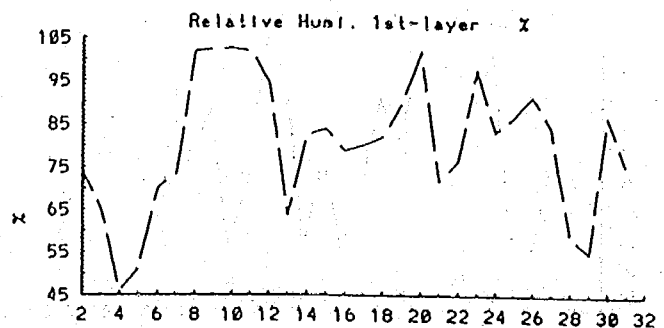
(a-11) 観測結果 (静岡)



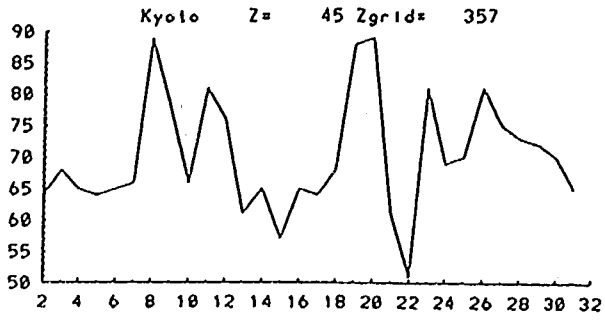
(b-11) 計算結果 (静岡)



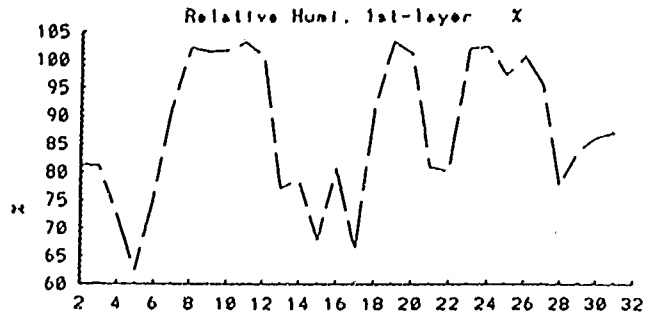
(a-12) 観測結果 (岐阜)



(b-12) 計算結果 (岐阜)



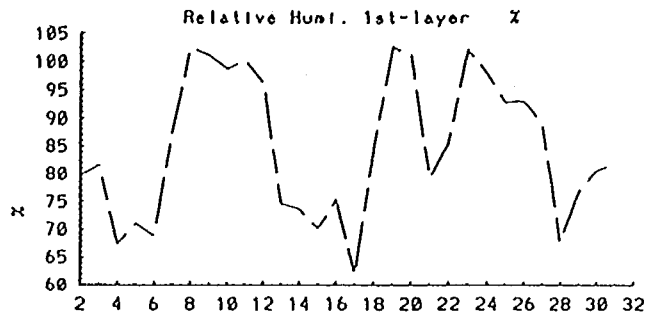
(a-13) 観測結果 (京都)



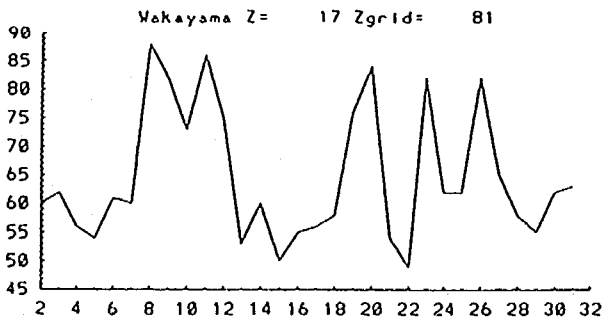
(b-13) 計算結果 (京都)



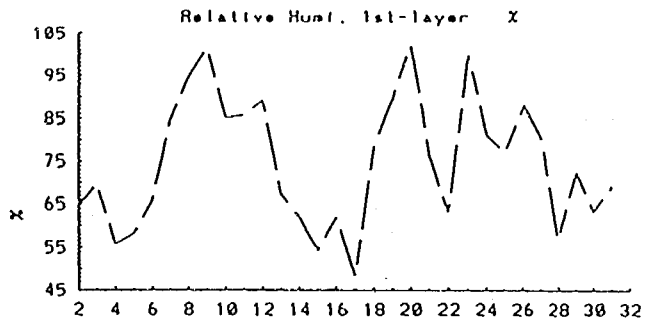
(a-14) 観測結果 (神戸)



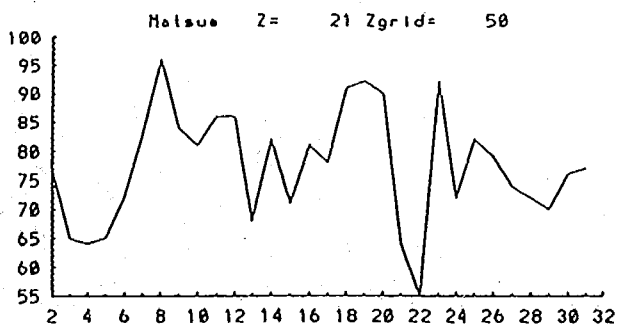
(b-14) 計算結果 (神戸)



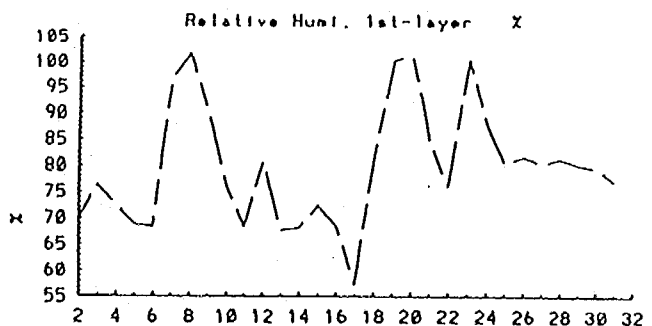
(a-15) 観測結果 (和歌山)



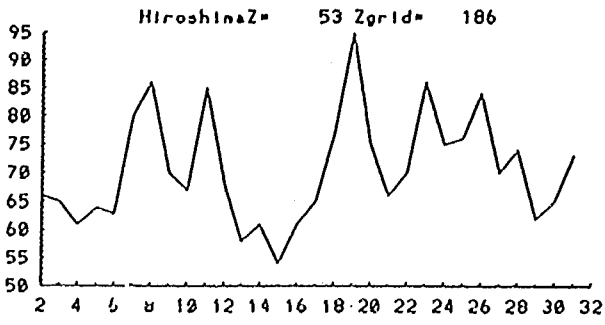
(b-15) 計算結果 (和歌山)



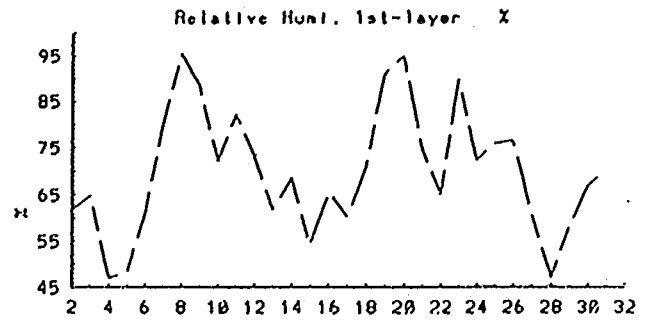
(a-16) 観測結果 (松江)



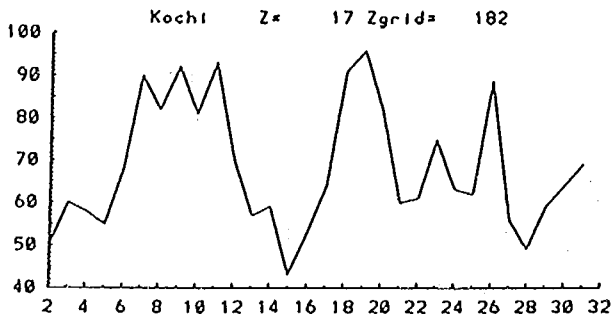
(b-16) 計算結果 (松江)



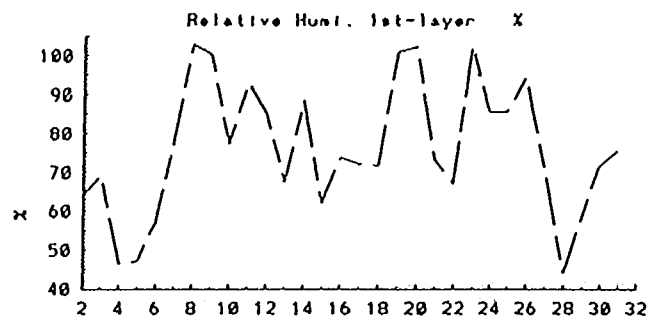
(a-17) 観測結果 (広島)



(b-17) 計算結果 (広島)



(a-18) 観測結果 (高知)



(b-18) 計算結果 (高知)

(2) 水文モデルのテストラン

開発した地表面水文モデルのテストランを行った結果について述べる。メソスケール大気モデルにより、大気の温度・湿度・気圧・風速・降水量及び太陽放射を与え、地表面の水収支モデルにより顕熱量・蒸発散量・土壌水分量などを求めた。地表面水収支モデルを用いる際に、日本域の土壌・植生の分布が必要となる。国土数値情報を用いて、日本全国について1 km メッシュでの地表近くでの土壌・透水性・植生・土地利用状況を分類したものを20km メッシュで集計し、土壌特性・植生被覆率・アルベド等に関するデータを作成した。解析に用いた地表面条件をそれぞれ図-6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20に示す。

検証期間は先と同様に1989年1月に選び、検証データには筑波大学水理実験センターで観測されたもの⁷⁾を用いた。図-6.21は、つくばにおける日平均した太陽放射・気温・地表面温度・降水量・蒸発量を示す。

図-6.21(a)から、太陽放射はモデル式で実際の観測値を表現できている。図-6.21(b)に示されるように、気温は先と同様に変化パターンをほぼ表現可能であるが、全体的に見れば、計算結果は観測値に比べて月の前半で高めに、後半で低めに出ている。図-6.21(c)から、地表面温度の計算結果は、月の後半は観測値に近いが、月初めはかなり合っていない。したがって、特に地表面過程において、初期条件の設定方法が難しいことが分かる。図-6.21(d)から、降水量に関しては先にも述べたように、降水の有無と降水量のオーダーについてはほぼ一致していると思われるが、降水量の値そのものについては一致していない。図-6.21(e)から、蒸発量の計算結果は、所々合わない箇所もあるが、全体的には概ね観測結果を表現していると考えられる。

6.7 今後の課題

開発したメソスケール大気モデルは日本の気象状況を概ね再現できることが分かった。ただし、降水量については、冬期の降水量を比較的良く表しているが、年間降水量に対して少なめに見積もっている。地表面過程では、蒸発量などをある程度正確に把握することができるようになった。

しかしながら、まだ幾つかの問題が残されている。本手法による夏期の降水量の予測については、雷雨はメソスケール大気モデルでは本来スケールの十分に表現できないこと、台風は推定に用いる GCM の結果では十分に表現できていないこと等の問題がある。これらを解決するためには GCM そのものの精度の向上に期待する部分であり、今後の課題としたい。

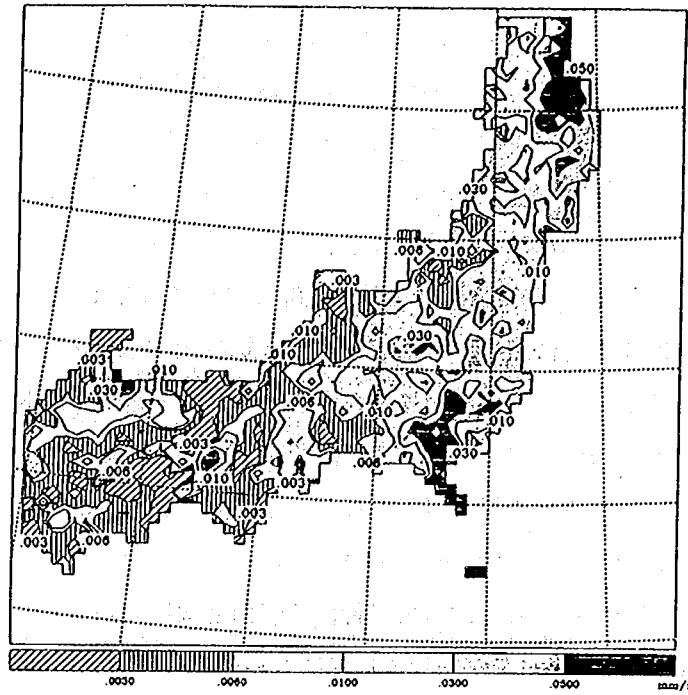


図-6.15 解析に用いた飽和透水係数の分布

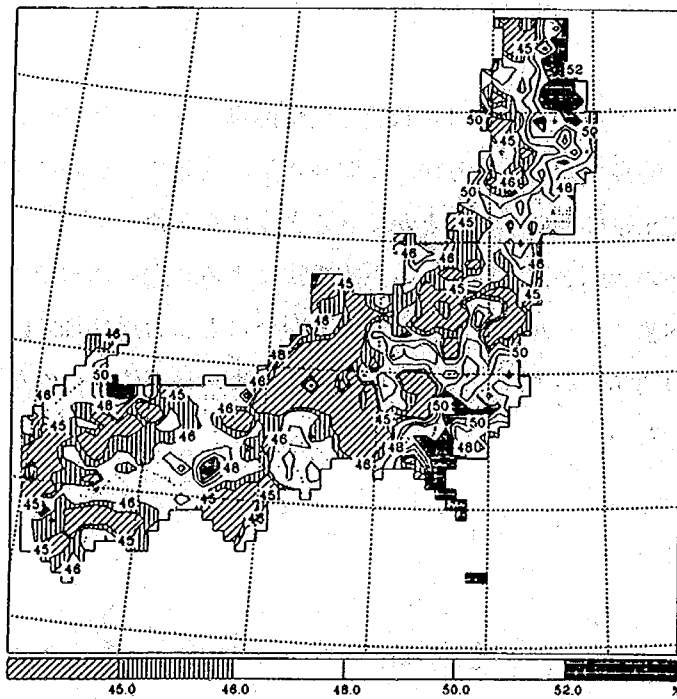


図-6.16 解析に用いた空隙率（飽和含水量）の分布

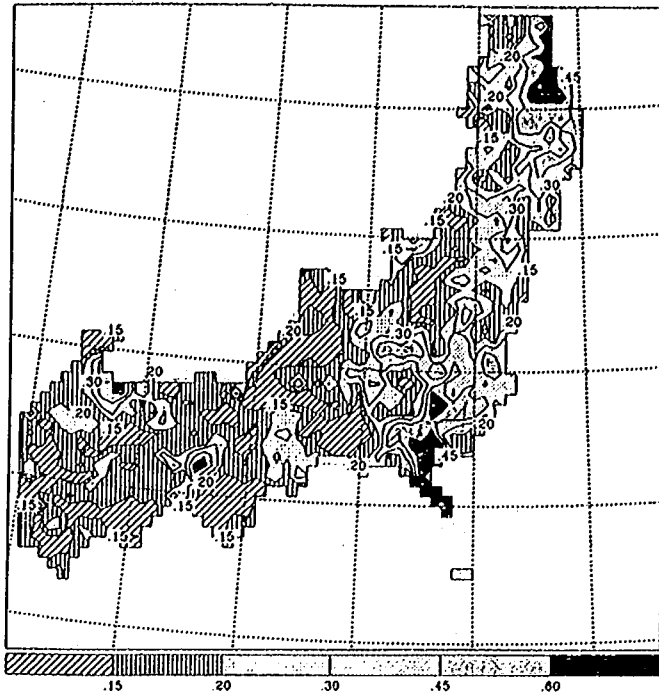


図-6.17 解析に用いた空隙指数の分布

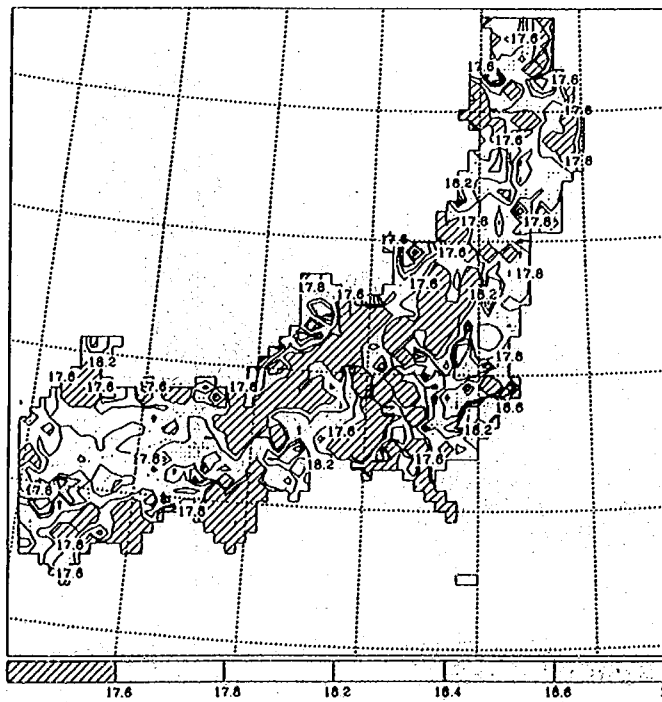


図-6.18 解析に用いたアルベドの分布

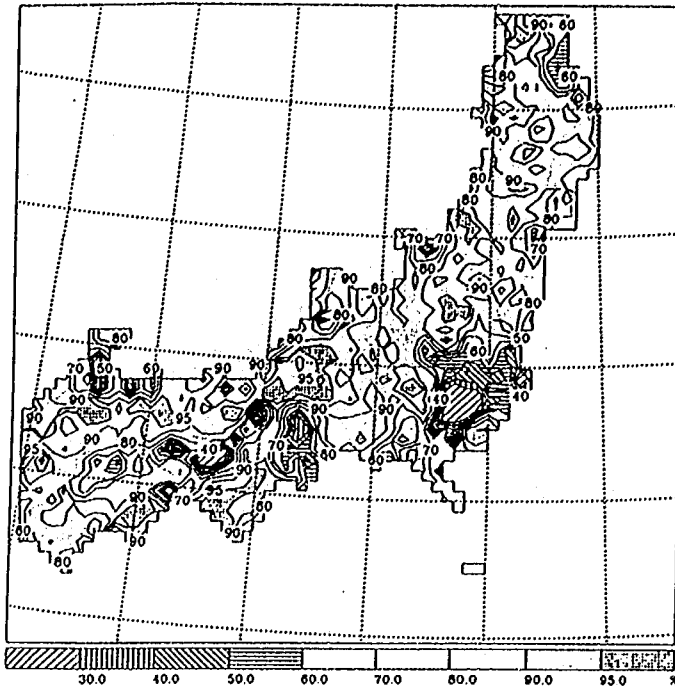


図-6.19 解析に用いた植生が被覆している割合の分布

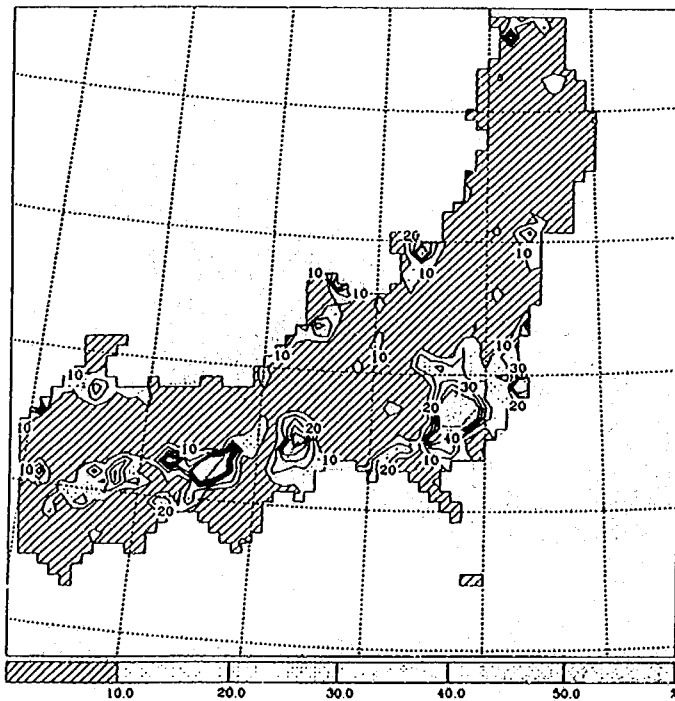
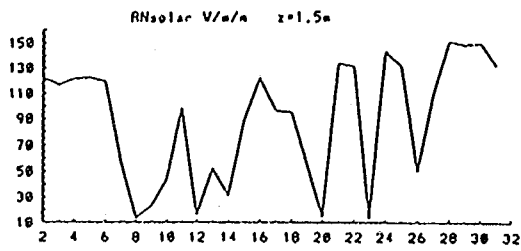
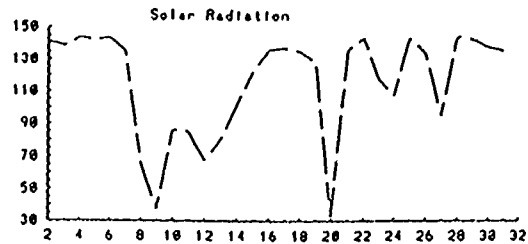


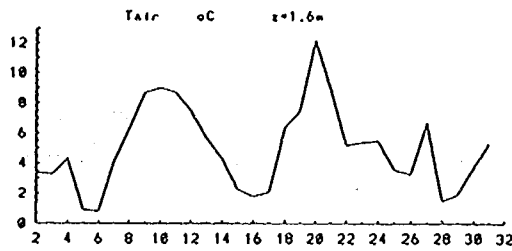
図-6.20 解析に用いた不透水面積率の割合の分布



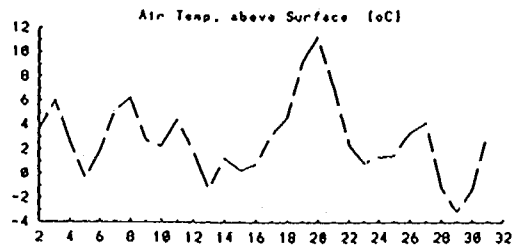
(a-1) 太陽放射 (観測値)



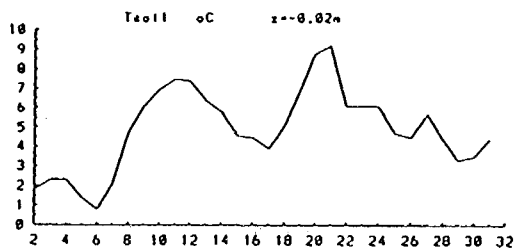
(a-2) 太陽放射 (計算値)



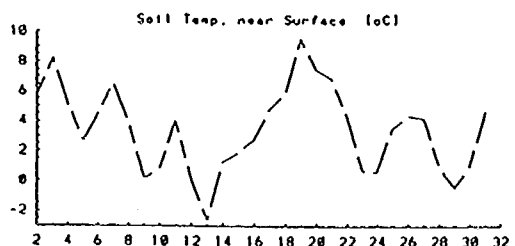
(b-1) 気温 (観測値)



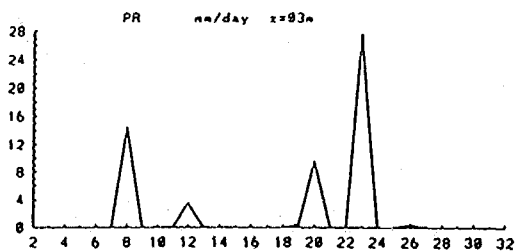
(b-2) 気温 (計算値)



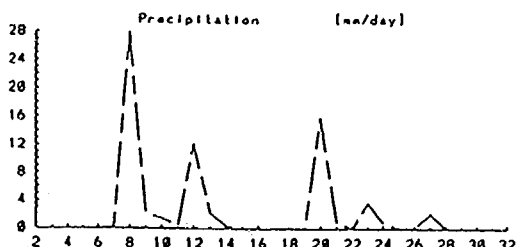
(c-1) 表面温度 (観測値)



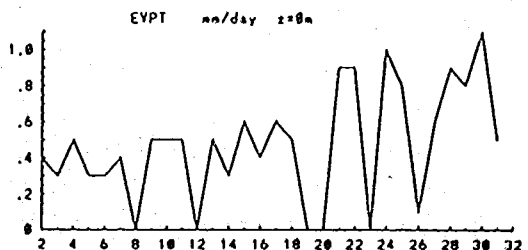
(c-2) 表面温度 (計算値)



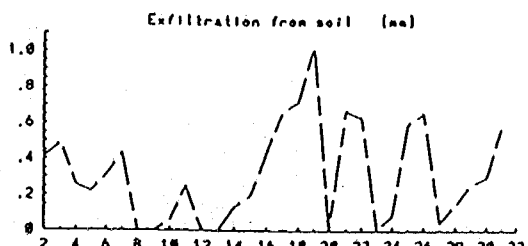
(d-1) 降水量 (観測値)



(d-2) 降水量 (計算値)



(e-1) 蒸発量 (観測値)



(e-2) 蒸発量 (計算値)

図-6.21 筑波大学による観測値と計算値の比較 (1989年1月)

参考文献

- 1) 寺川陽・渡辺明英・藤兼雅和：地球温暖化による日本域での降水量変化の予測手法—メソスケール水文—気象モデルによるアプローチ，土木技術資料 vol.36-8, 1994.
- 2) 例えば 時岡達志・山岬正紀・佐藤信夫：気象の数値シミュレーション，東京大学出版会
- 3) Deadroff, J. W.: Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusions of a layer of vegetation., J.Geophys.Res. 83, 1978.
- 4) Noilhan, J. and S. Planton: A simple parameterization of land surface processes for meteorological models, Mon.Weath.Rev. 117, 1989.
- 5) 例えば 洪水流の数値解析
- 6) Chen, Z. Q., R. S. Govindaraju, and M. L. Kavvas: Spatail averaging of unsaturated flow equations under infiltration conditions over areally heterogeneous fields, 1, Development of models, Water Res.Res. 30 (2), 1994
- 7) 筑波大学水理実験センター報告

第7章 メソスケール水文・気象シミュレーション モデルの利用による地球温暖化の影響評価

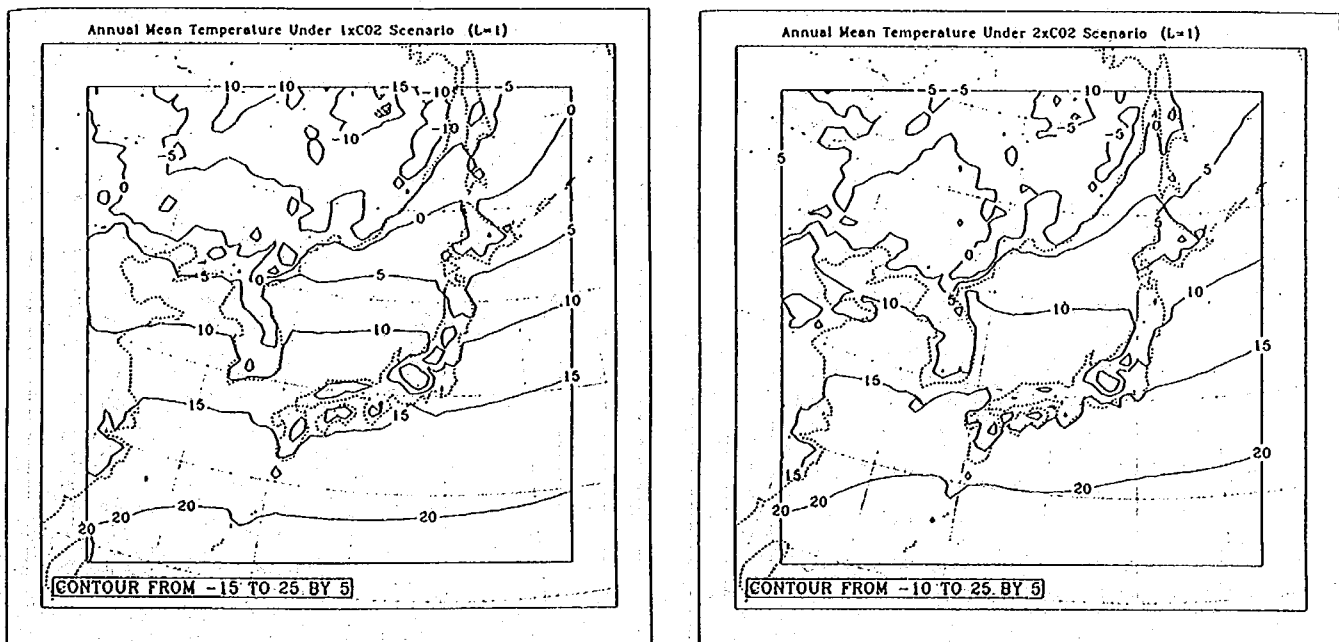
7.1 緒言

本章では、CO₂濃度が現状のままである場合とCO₂濃度が倍増した場合におけるGCM出力結果を初期条件・境界条件として、メソスケールモデルを用いて1年間の大気変動を中領域モデル及び小領域モデルでシミュレートした結果について述べる。特に、温度や降水量・蒸発量などについて結果をまとめた。これらの結果を比較することにより、炭酸ガス濃度の増加によってもたらされるメソスケールでの日本各地における気象や降水現象の変化を見出すことができると考えられる。しかしながら、元のGCMでは台風は発達していないので、台風の影響についてはこのモデルでも考慮されていない。また、中領域モデルでは、地表面過程は求められておらず、基本的にGCMによって与えられた大気の状態に対して、物理モデルに基づいて内挿するようのものである。少領域モデルは、中領域モデルの大気状態に対して地表面過程との相互作用を考慮したモデルとなっている。地表面水文現象は小領域モデルでのみ扱われており、最終的に小領域モデルの結果で日本域での諸現象が表されることになる。

7.2 地球温暖化時と現状における気温・混合比・風場

(1) 中領域モデルの結果

図-7.1は、各CO₂濃度に対する年平均気温分布を示す。両者を比較すると、CO₂濃度の倍増によって、気温が1.5℃～5.5℃上昇している。特に北海道等東北部において気温の上昇が激しく、九州・四国では気温

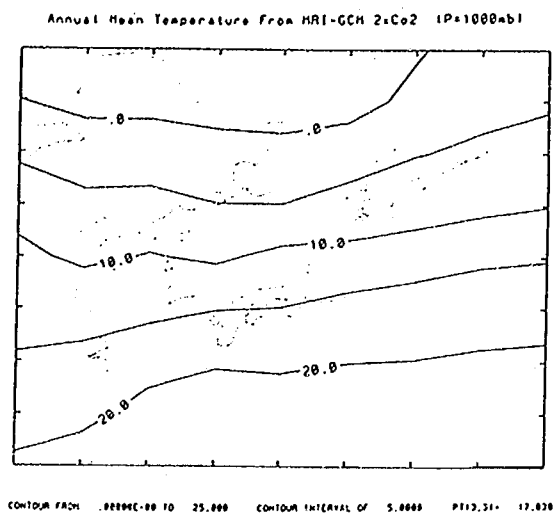
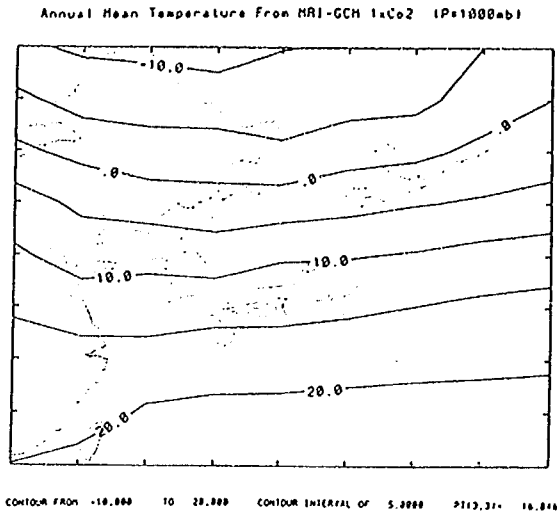


(a) 炭酸ガス濃度現状

(b) 炭酸ガス濃度2倍

図-7.1 中領域モデルによる地表付近の年平均気温分布

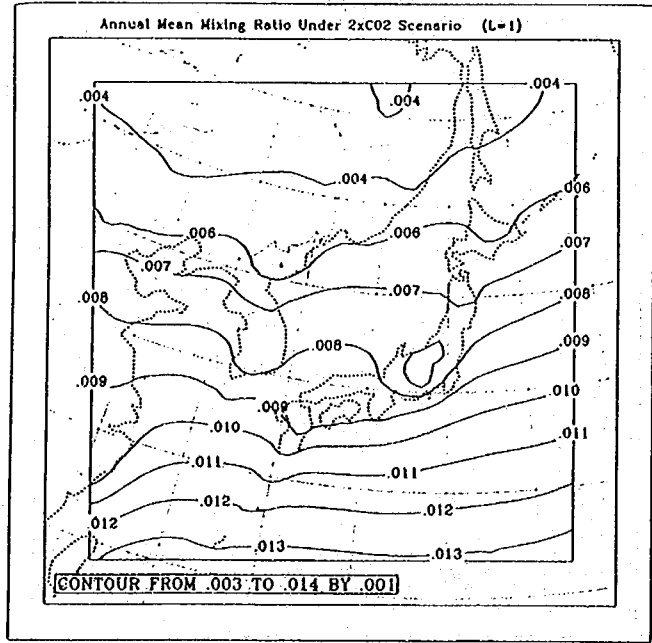
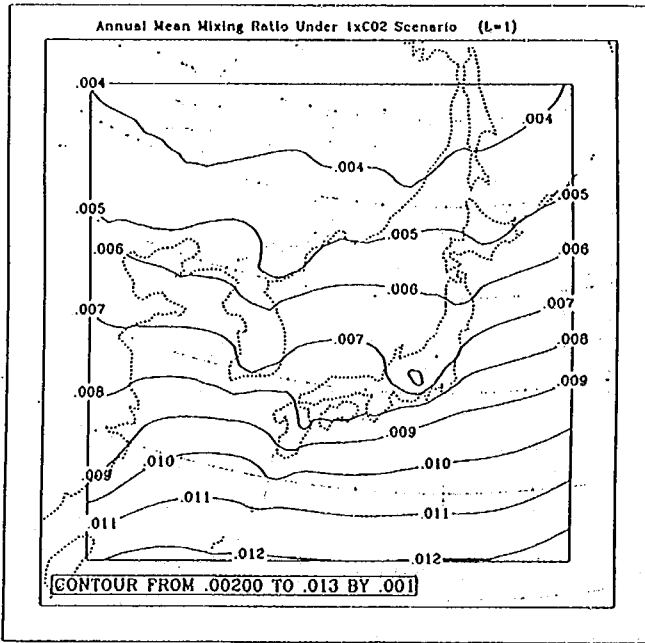
はそれほど上がっていない。図-7.2に GCM の出力結果を同様に示す。図-7.1, 7.2から、気温の基本的な上昇量は GCM の結果によって決まっているが、中領域モデルでは地形の影響が現れるようになっている。計算結果から判断すると、気候変化の影響は季節的・地域的にも異なっている。図-7.3は、混合比の年間平均値に関する解析結果を示している。混合比（水蒸気量）も元の0.005~0.010の値に対して0.0007~0.0010程度増加し、これも緯度の高い場所で多く増加している。図-7.4は、風場の年間平均像を表している。風場については明確な変化は現れていないようである。



(a) 炭酸ガス濃度現状時

(b) 炭酸ガス濃度倍増時

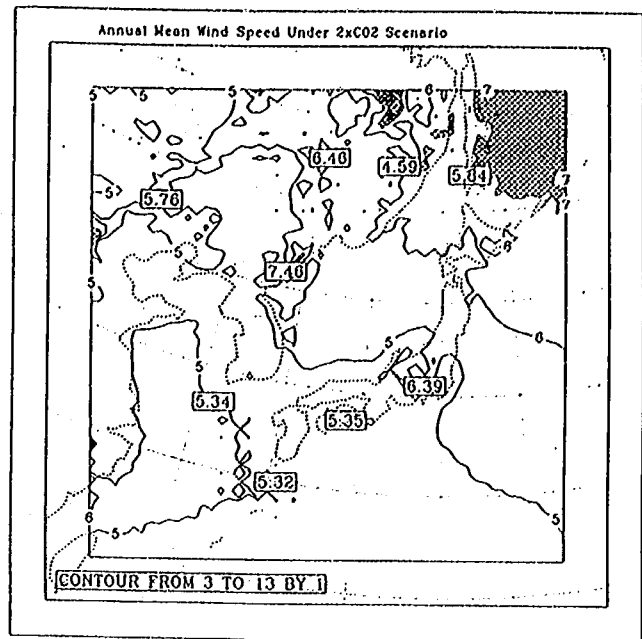
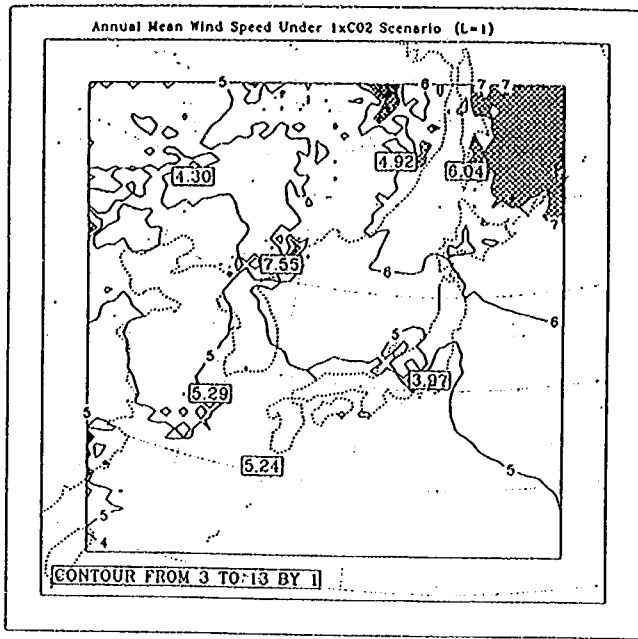
図-7.2 入力シナリオである MRIGCM の年平均気温分布



(a) 炭酸ガス濃度現状時

(b) 炭酸ガス濃度倍増時

図-7.3 中領域モデルによる地表付近の年平均混合比



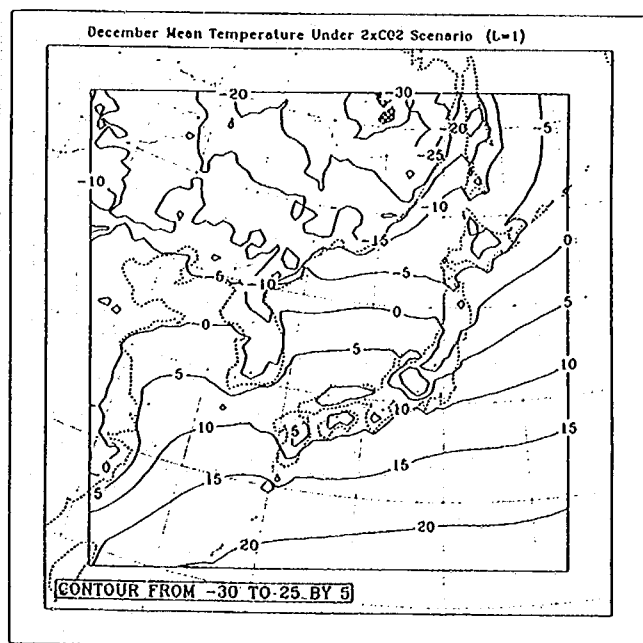
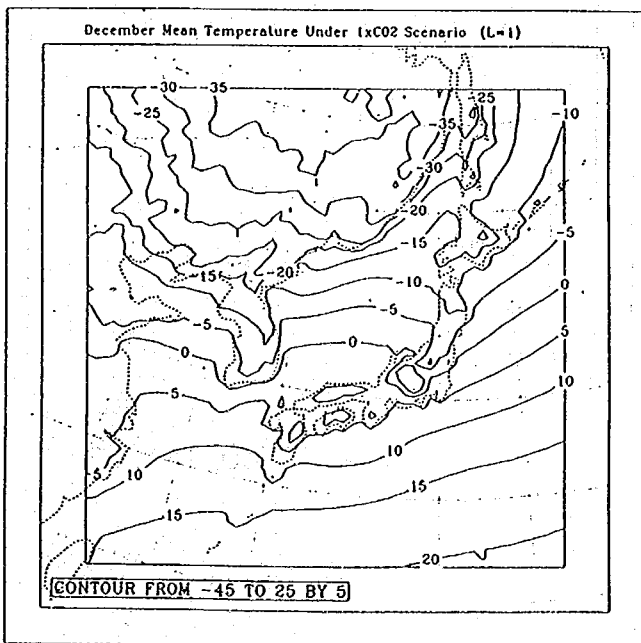
(a) 炭酸ガス濃度現状時

(b) 炭酸ガス濃度倍増時

図-7.4 中領域モデルによる地表付近の風の年平均値

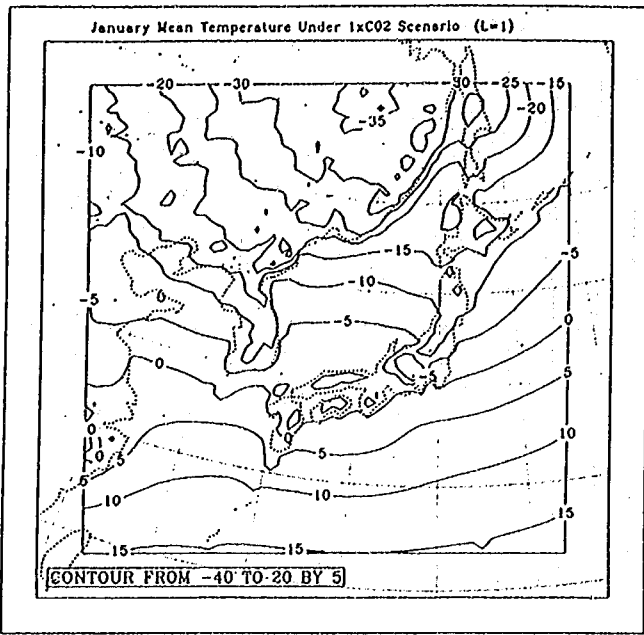
図-7.5(a)(b)(c)(d)に示すように、冬季の気温は気候変化時には年間平均と比較した場合よりも高くなっており、4℃～7℃も上昇する。特に北部における温度上昇が著しい。3月(図-7.5(d))になると、南部での気温上昇はほとんどないが、北部では10℃近く増加している。すなわち、年間平均気温の上昇に占める冬

図-7.5 中領域モデルによる地表付近の月平均気温

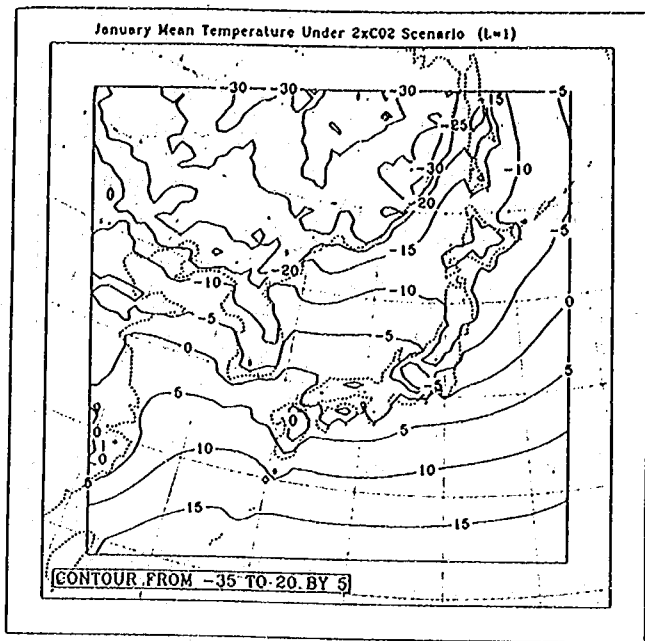


(a-1) 12月 (CO₂×1)

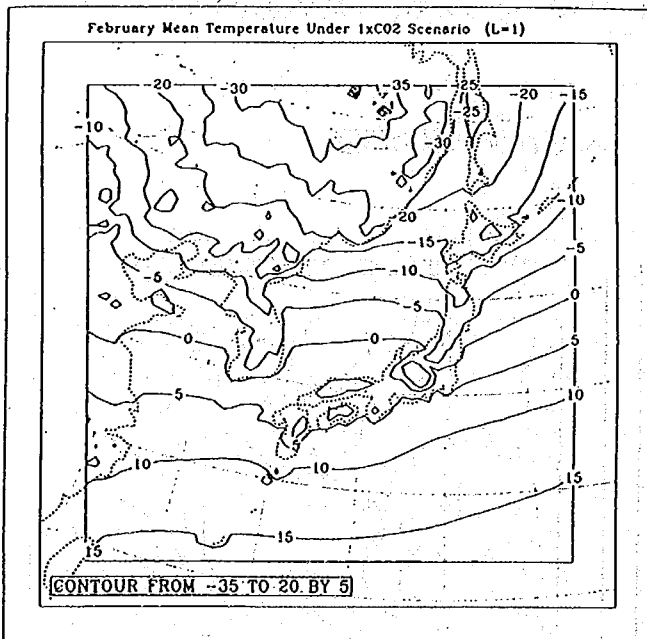
(a-2) 12月 (CO₂×2)



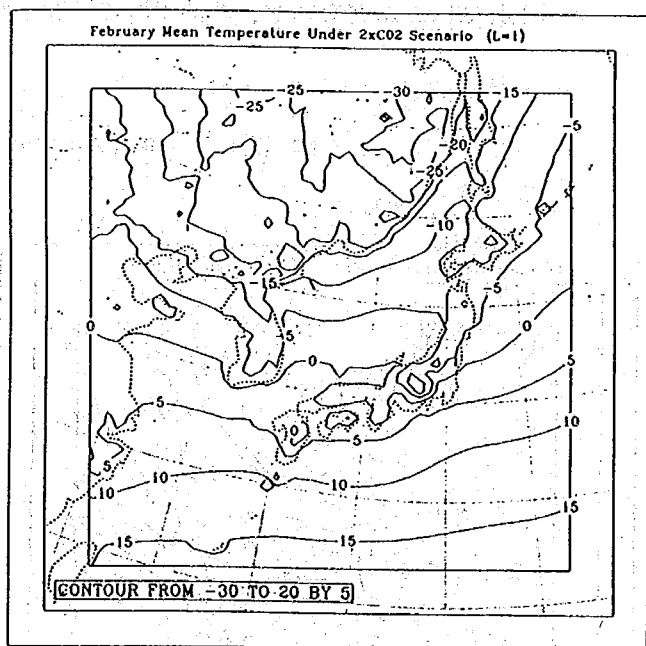
(b-1) 1月 (CO₂×1)



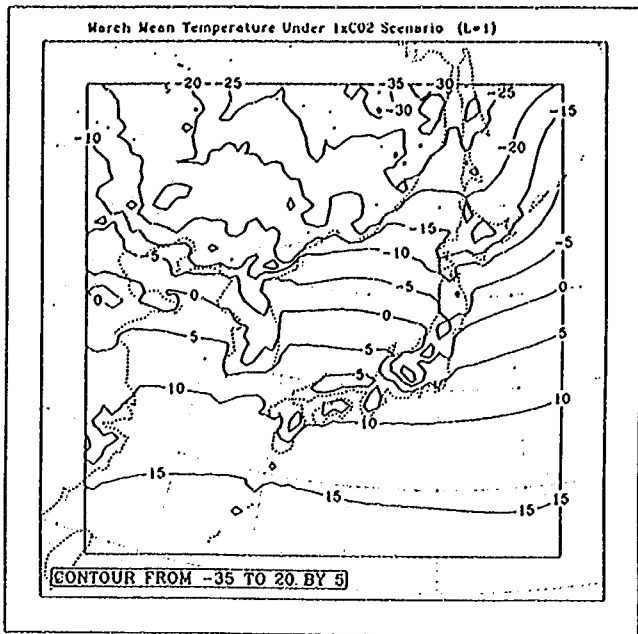
(b-2) 1月 (CO₂×2)



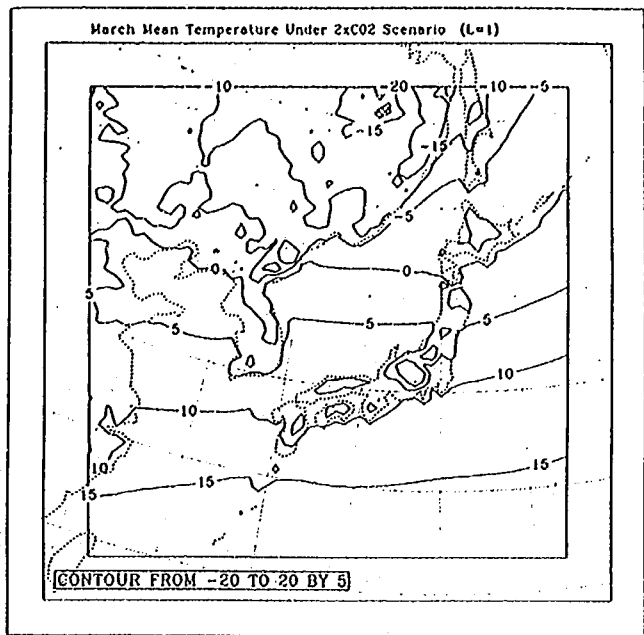
(c-1) 2月 (CO₂×1)



(c-2) 2月 (CO₂×2)



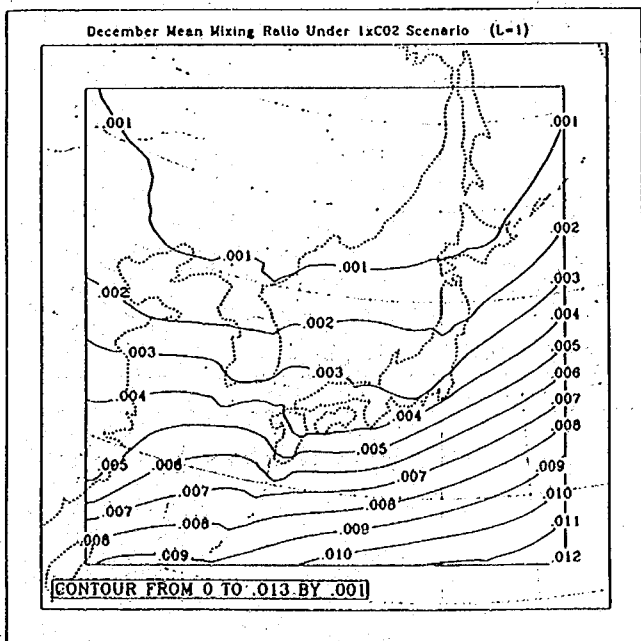
(d-1) 3月 (CO₂×1)



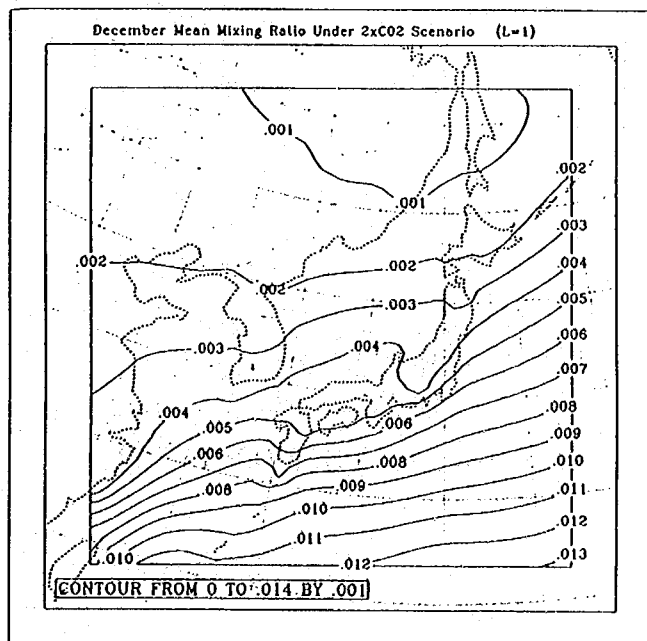
(d-2) 3月 (CO₂×2)

季の気温上昇の割合は北部で非常に顕著である。図-7.6(a)(b)(c)(d)に示すように、冬季の混合比は0.001弱増加している。3月(図-7.5(d))になると、北海道・東北部で0.002程度の上昇が認められる。図-7.7(a)(c)(d)に月平均した風の様子を示す。風の様子は、12月と1月に大きな変化は見られないが、多少弱まっているようである。CO₂濃度倍増時には、風は2月に強くなっている。

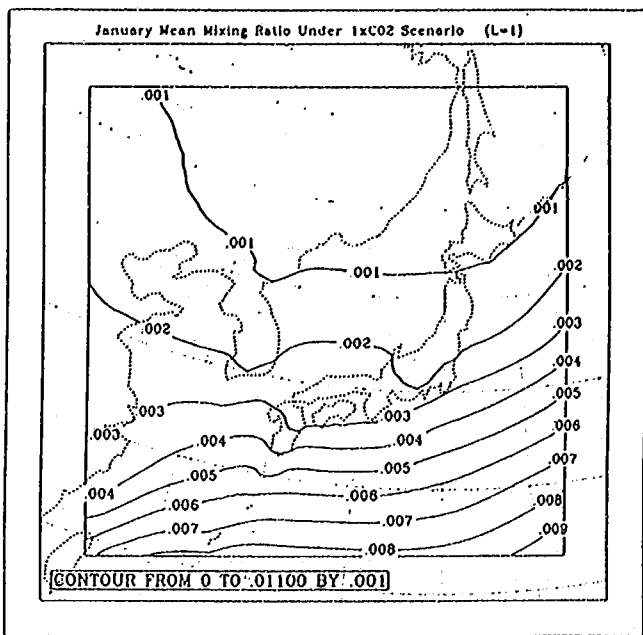
図-7.6 中領域モデルによる地表付近の月平均混合比



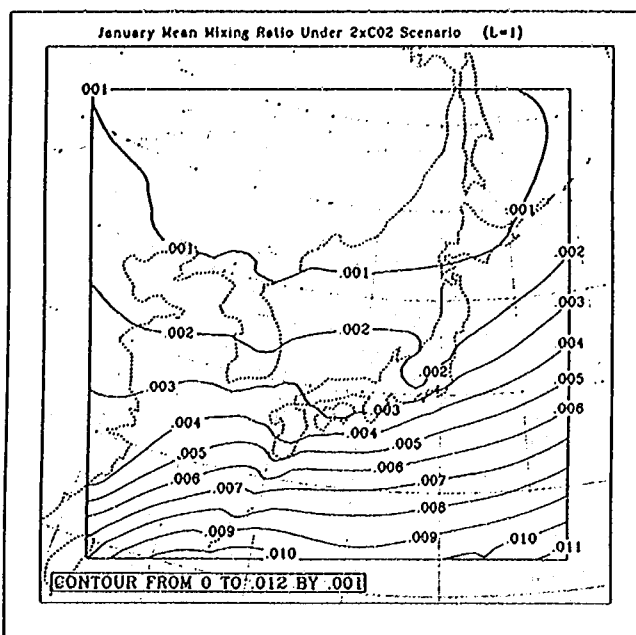
(a-1) 12月 (CO₂×1)



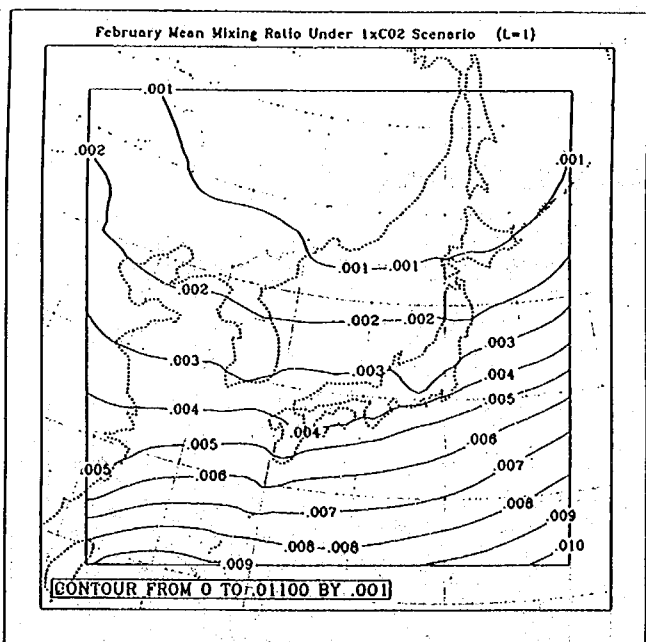
(a-2) 12月 (CO₂×2)



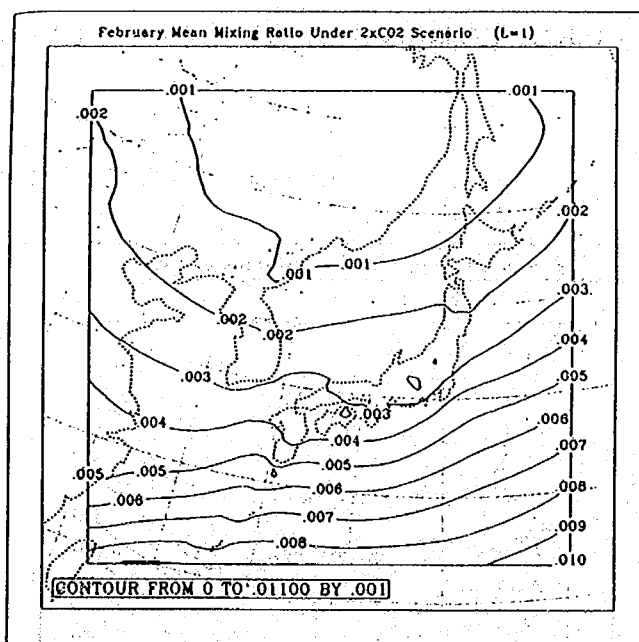
(b-1) 1月 (CO₂×1)



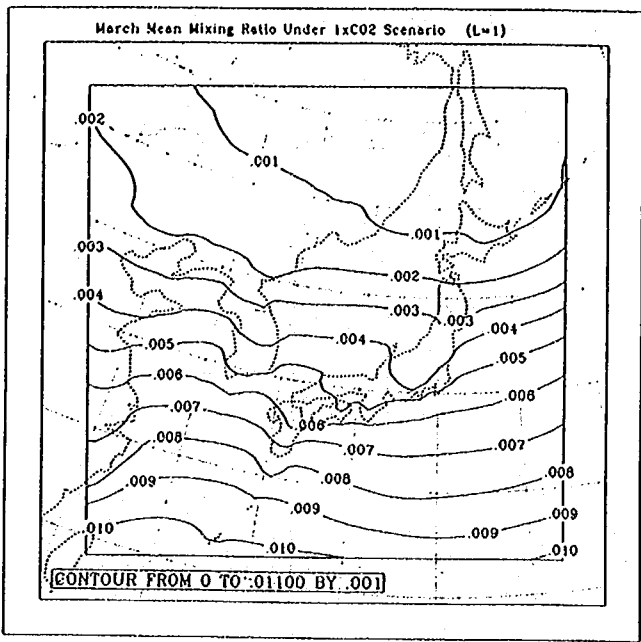
(b-2) 1月 (CO₂×2)



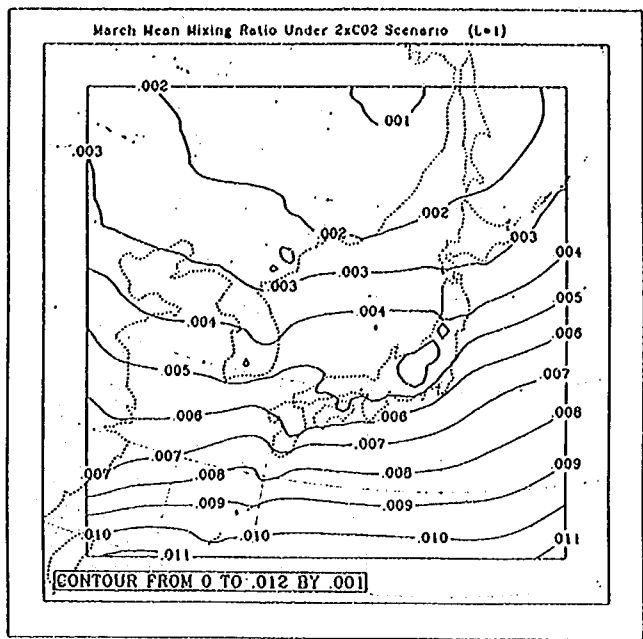
(c-1) 2月 (CO₂×1)



(c-2) 2月 (CO₂×2)

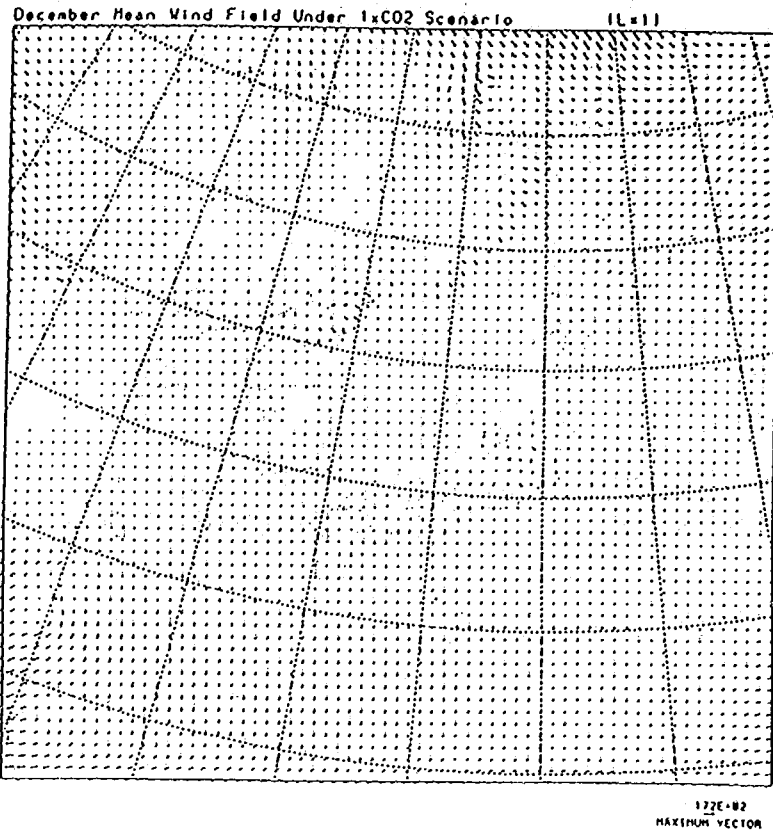


(d-1) 3月 (CO₂×1)

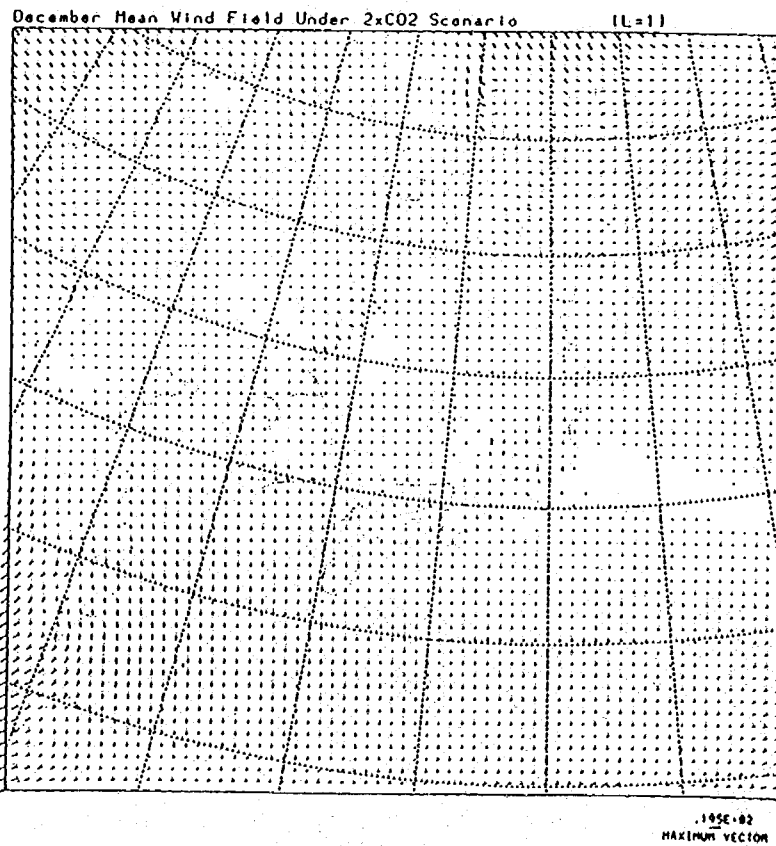


(d-2) 3月 (CO₂×2)

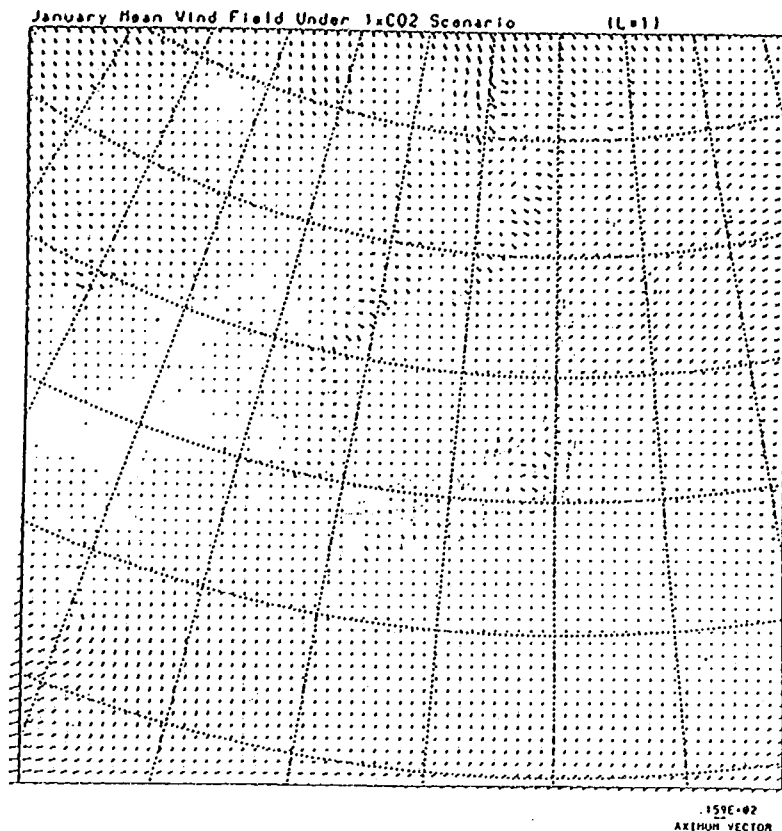
図-7.7 中領域モデルによる地表付近の月平均の風速ベクトル



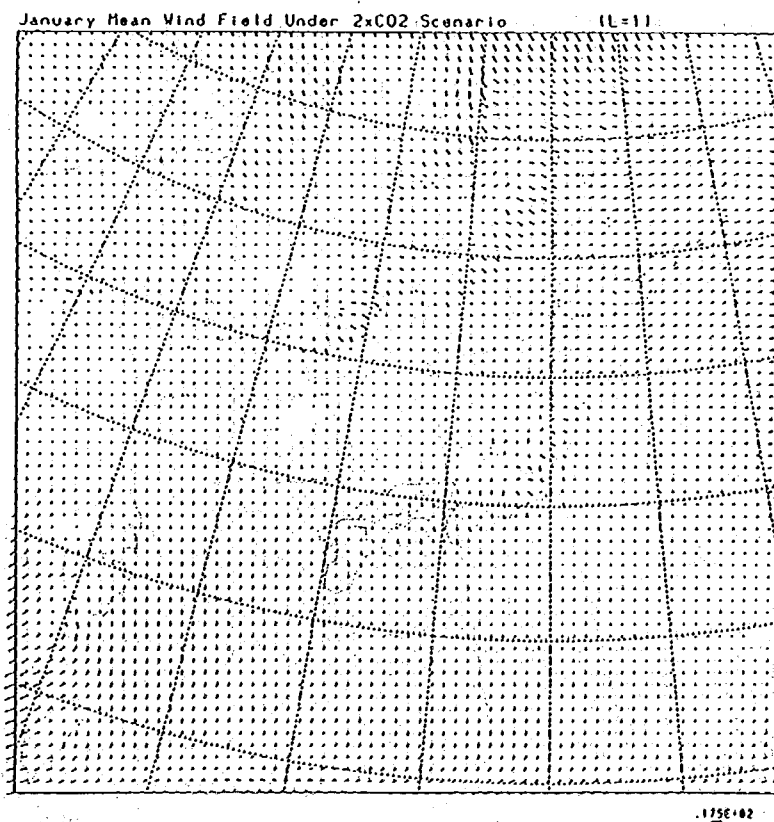
(a-1) 12月 (CO₂×1)



(a-2) 12月 (CO₂×2)

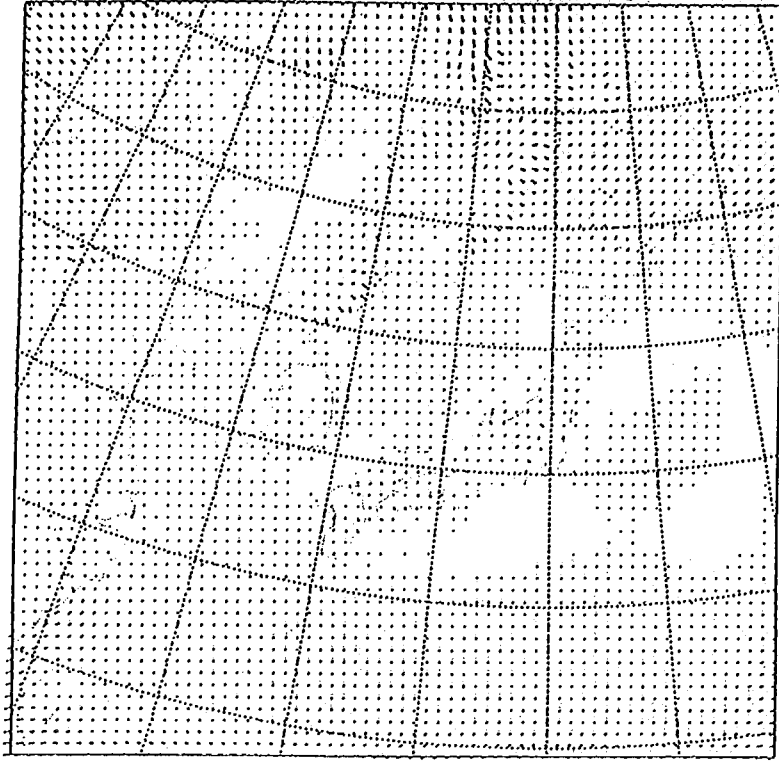


(b-1) 1月 (CO₂×1)



(b-2) 1月 (CO₂×2)

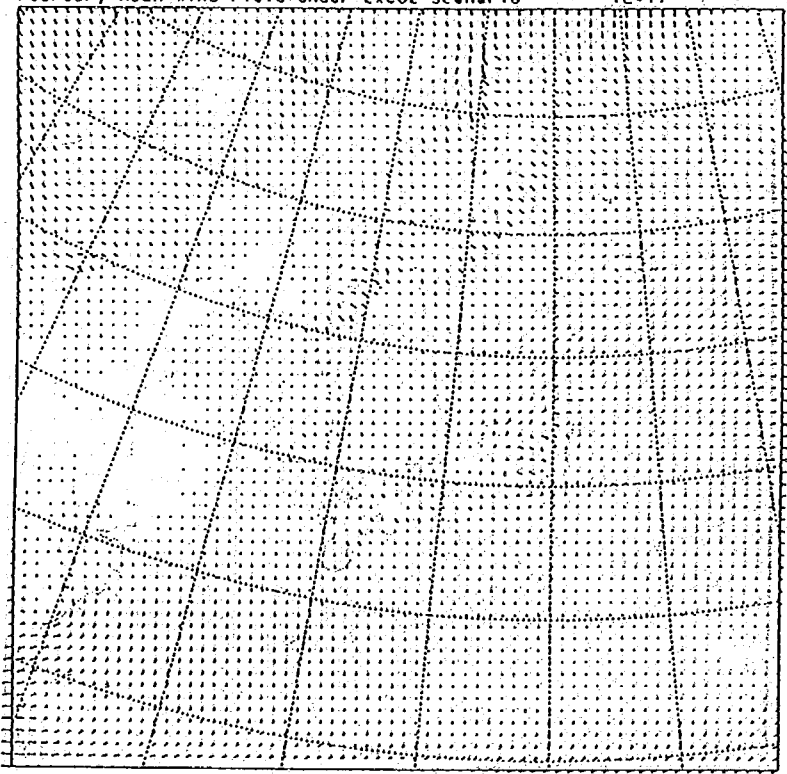
February Mean Wind Field Under 1xCO₂ Scenario (L=1)



149E-02

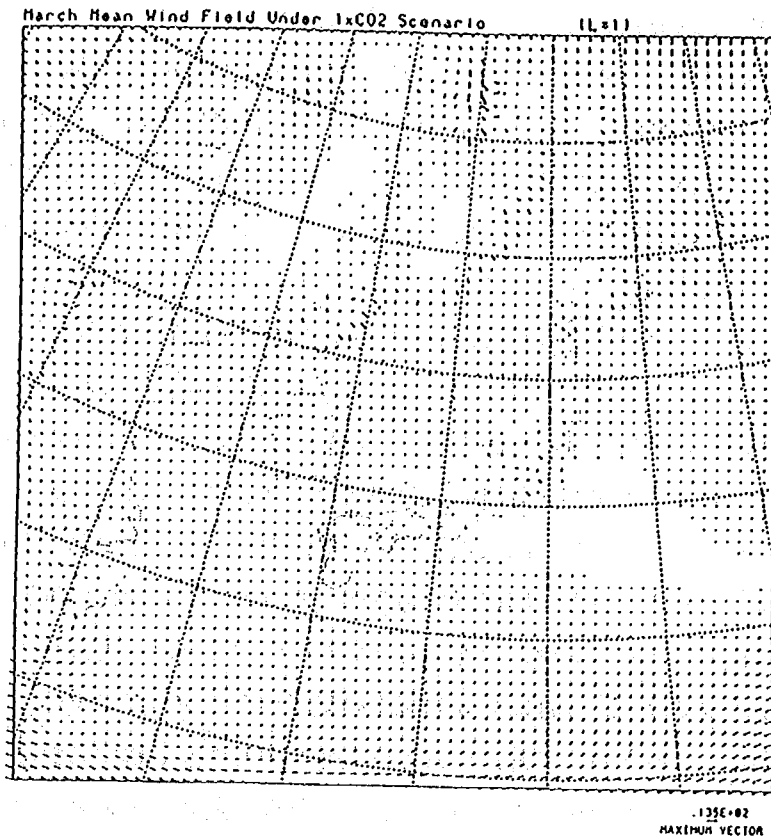
(c-1) 2月 (CO₂×1)

February Mean Wind Field Under 2xCO₂ Scenario (L=1)

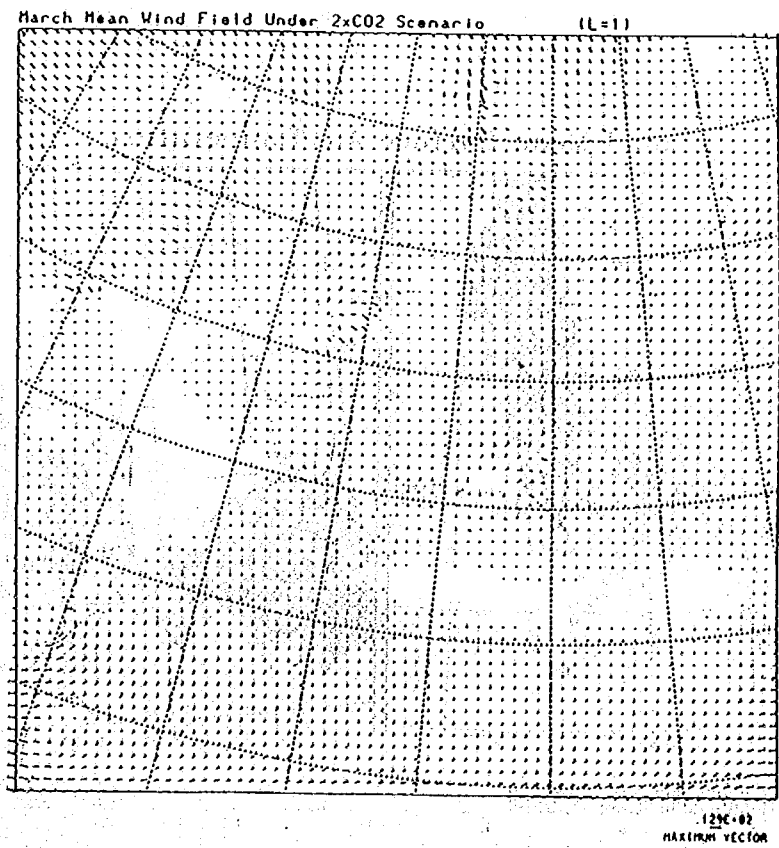


149E-02

(c-2) 2月 (CO₂×2)



(d-1) 3月 (CO₂×1)



(d-2) 3月 (CO₂×2)

(2) 小領域モデルの結果

図-7.8は、年間平均気温の分布を比較して示したものである。これより、炭酸ガス濃度が現状の場合には8℃以下の範囲が中部地方山岳地帯から東北地方にかけて大きく広がっているのに対し、温暖化シナリオでは中部・東北地方の山岳地帯の一部に限られている。中国・四国地方では、温暖化に伴い気温は全体的に2℃程上昇しているようである。関東付近では2℃～3℃程度上昇している。東北地方では基本的に2℃～3℃程度上昇しており、局所的には4℃程上昇している所もある。本州・四国地方で見れば、炭酸ガス濃度が倍増したことによって全体的に2℃～3℃上昇すると考えられる。

図-7.9(1)~(12)はそれぞれ、炭酸ガス濃度通常時と倍増時における1月から12月までの月気温分布を比較して示したものである。これらから、1月及び2月の気温に大きな差は見られなかい。気候変化に伴い、1月では瀬戸内地方及び中部から関東にかけての太平洋沿岸で若干の気温上昇が認められ、2月には中部山岳地帯で低温域が多少広がり東北の北部で気温の上昇が認められる程度である。炭酸ガス濃度倍増シナリオでは、3月に急速な気温上昇が生じており、関東以西では5℃程度の上昇、東北部で5℃～10℃程度の上昇が生じている。4月の気温はシナリオに依らず同程度であるが、5月は3月と同様に気温が上昇している。気温上昇は、東北部で約5℃程度である。6は、中部から東北部にかけて気温が上昇している。7月も同様であるが、気温の差はあまり明確でない。8月にも5℃以上の気温の上昇が一部で確認でき、9月においても気温上昇の程度は大きく変わっていない。11月、12月も東北部を中心に5℃程度の気温上昇が見られる。したがって、気温上昇が著しい月と気温変化が小さい月があり、年間を通じてその気温の変動量は変化している。一般的に、気候変化による気温変化は関東以西よりも東北部において大きいようである。気温変動の月変化については一般的な傾向はないようであるが、冬季の東北部における気温上昇量は大きいようである。

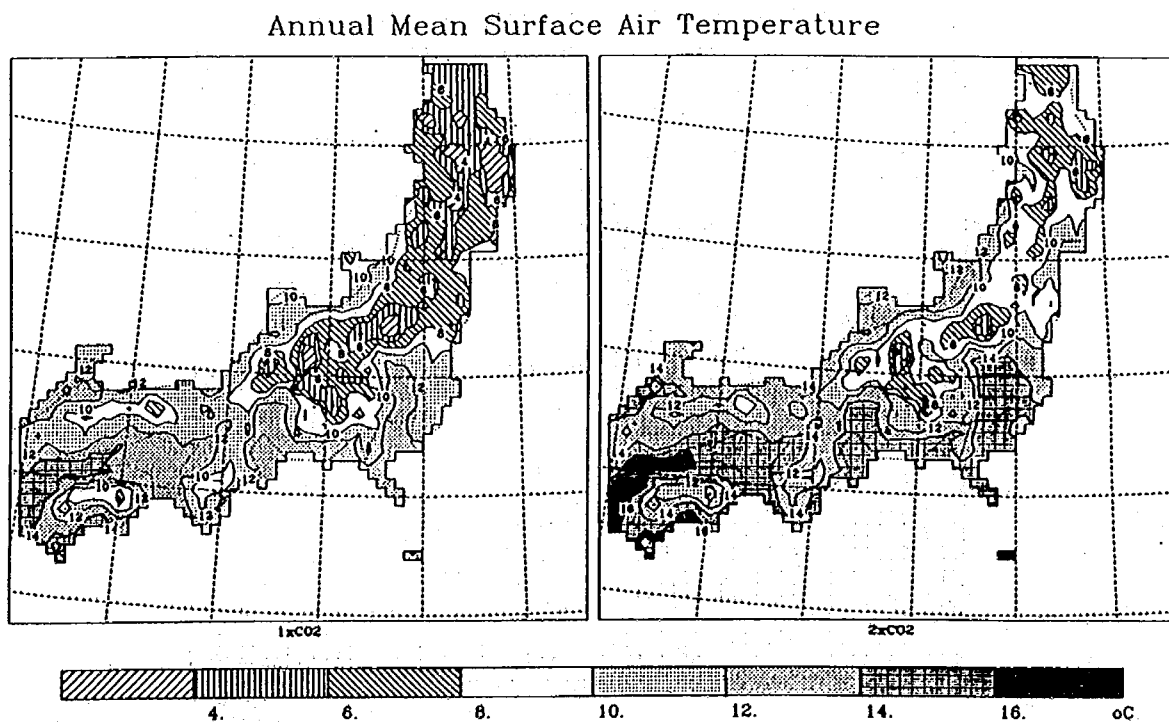
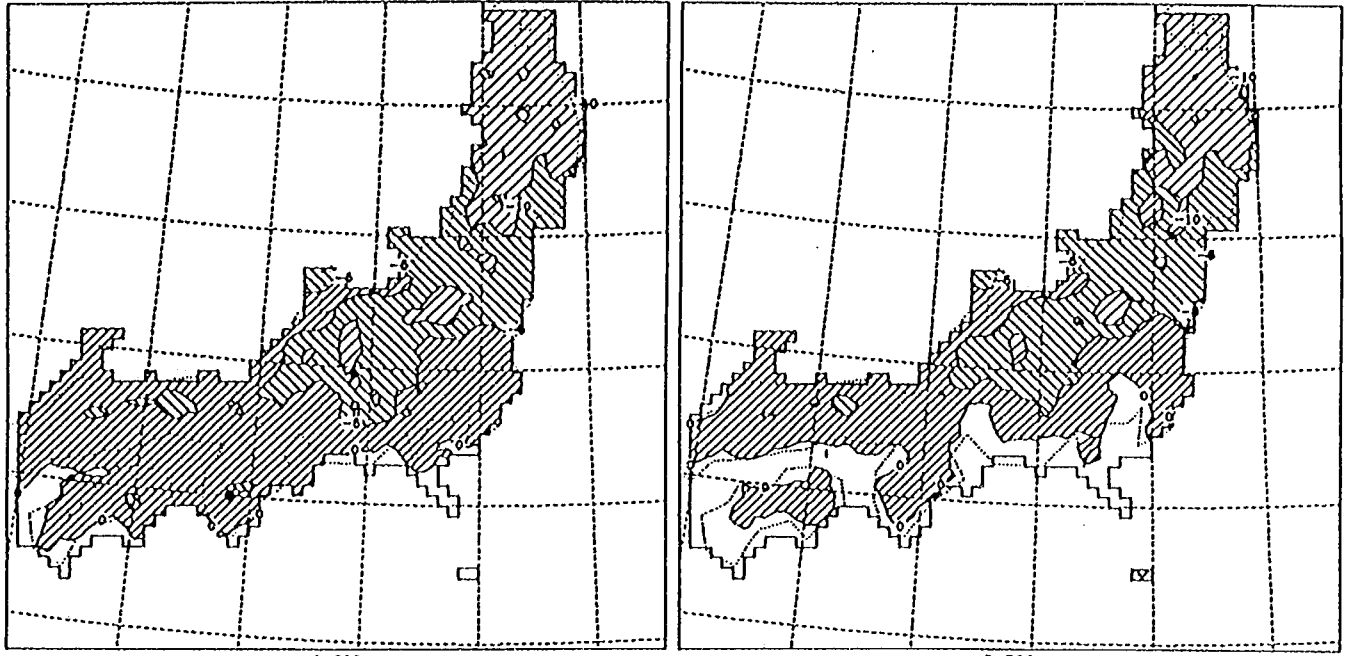


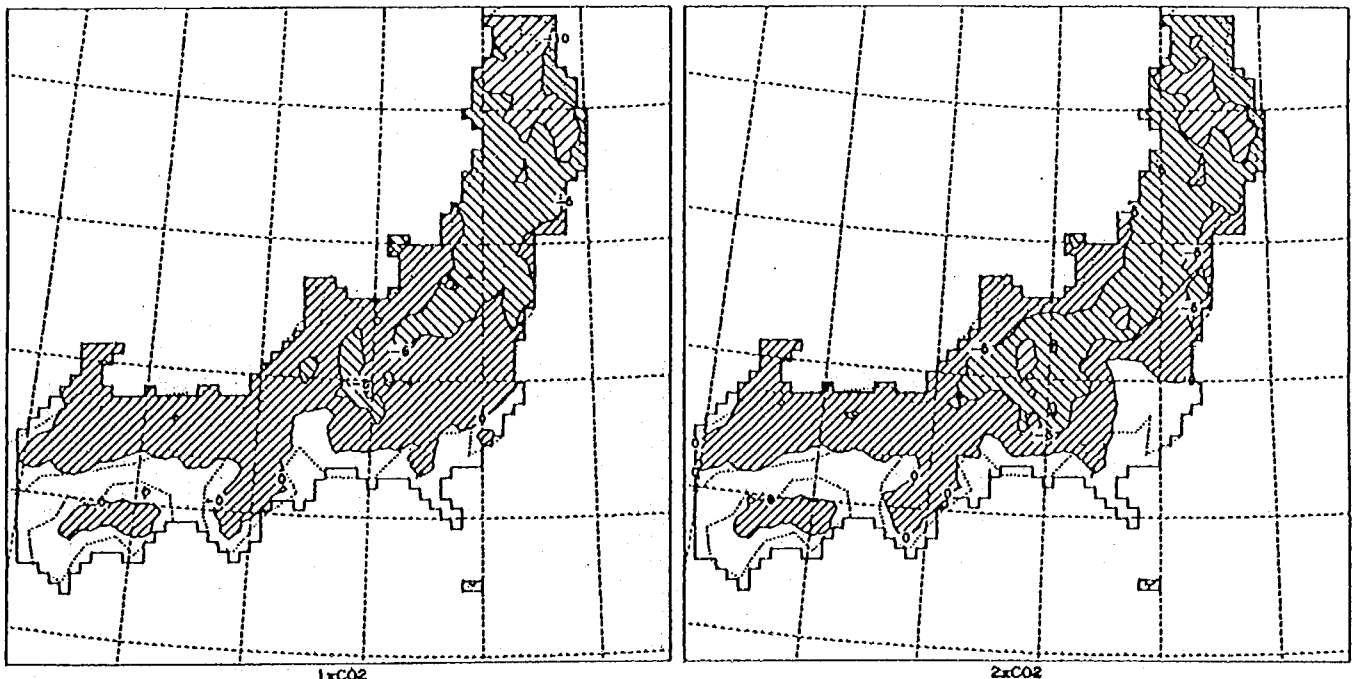
図-7.8 小領域モデルによる地表付近の年平均気温

図-7.9 小領域モデルによる地表付近の月平均気温



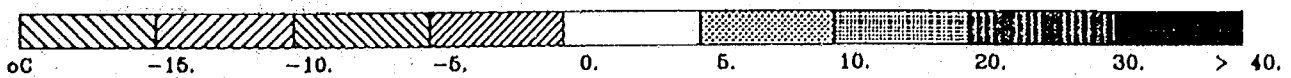
(1-a) 1月 (CO₂ × 1)

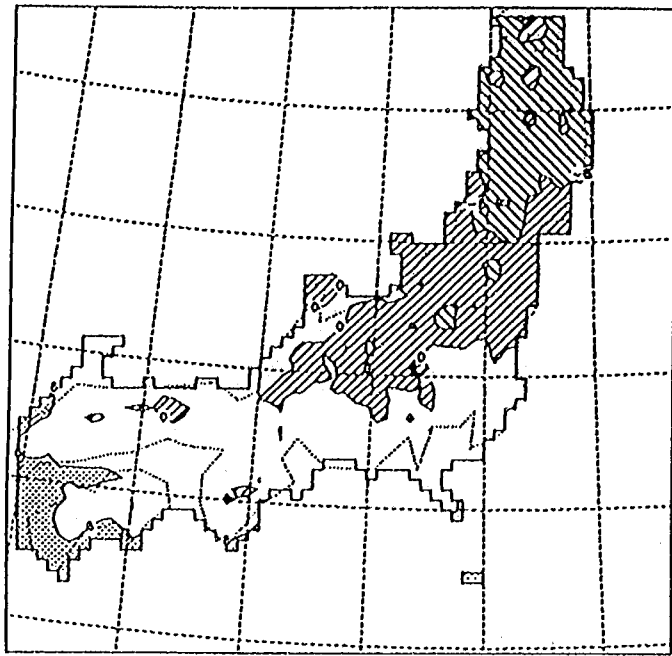
(1-b) 1月 (CO₂ × 2)



(2-a) 2月 (CO₂ × 1)

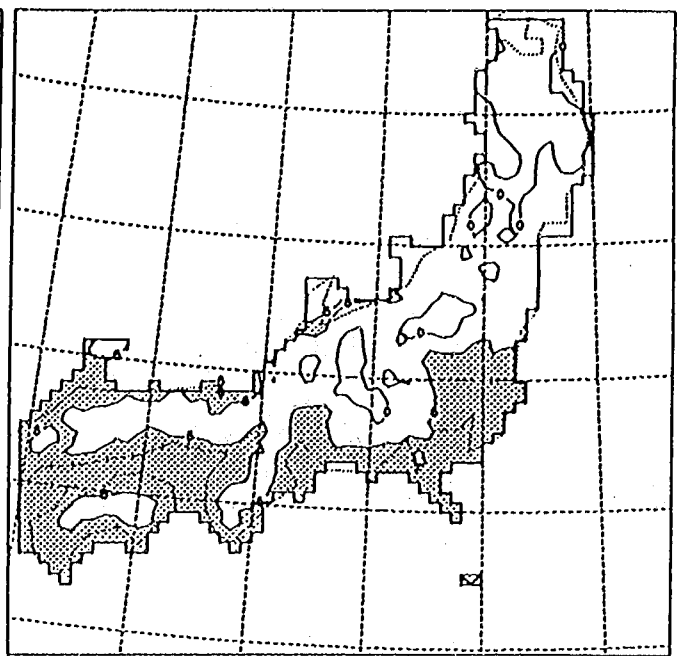
(2-b) 2月 (CO₂ × 2)





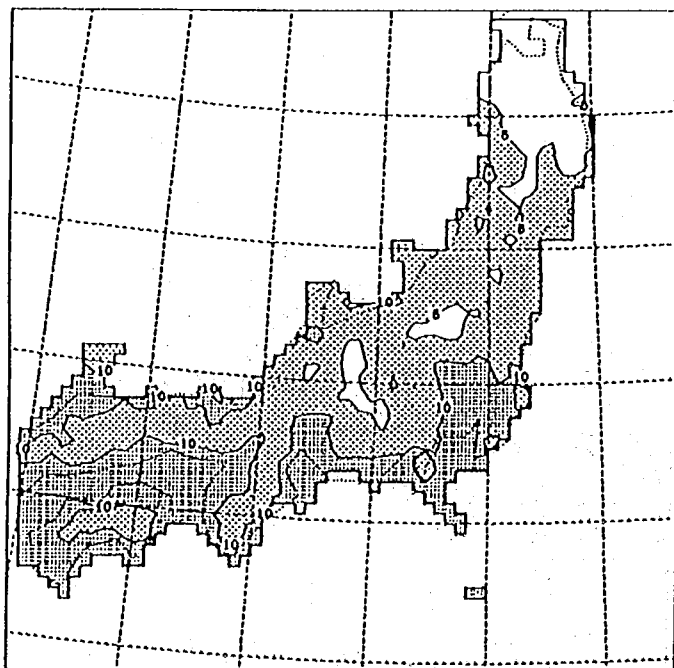
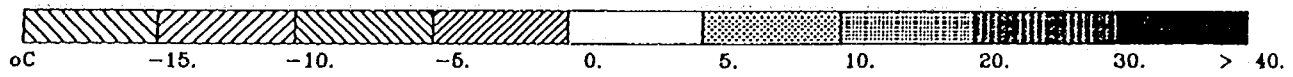
1xCO2

(3-a) 3月 (CO₂×1)



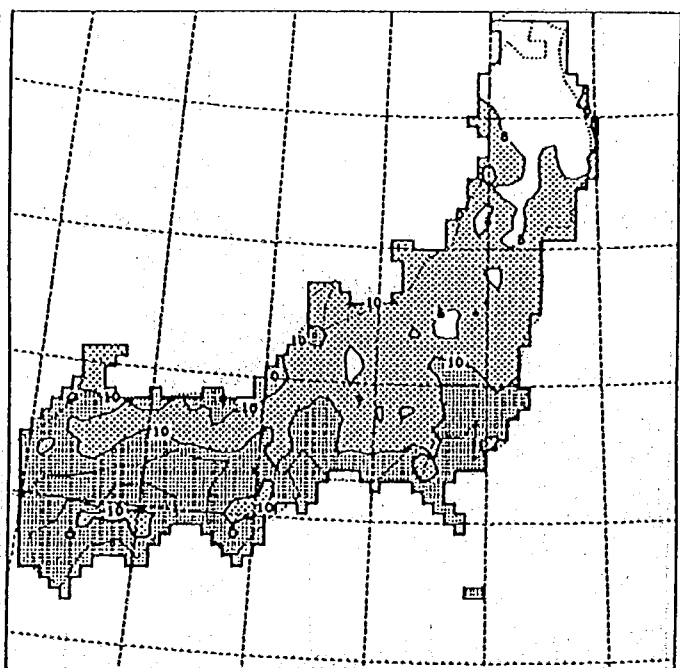
2xCO2

(3-b) 3月 (CO₂×2)



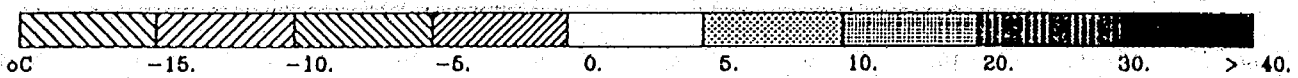
1xCO2

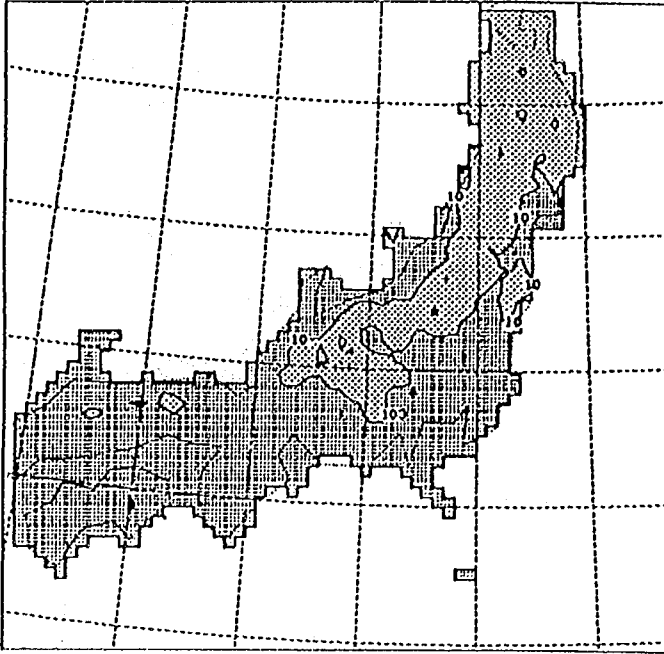
(4-a) 4月 (CO₂×1)



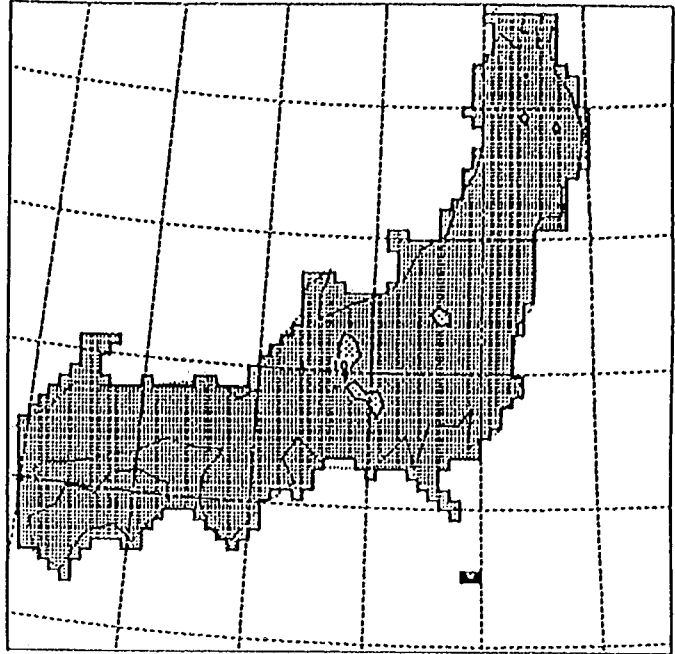
2xCO2

(4-b) 4月 (CO₂×2)

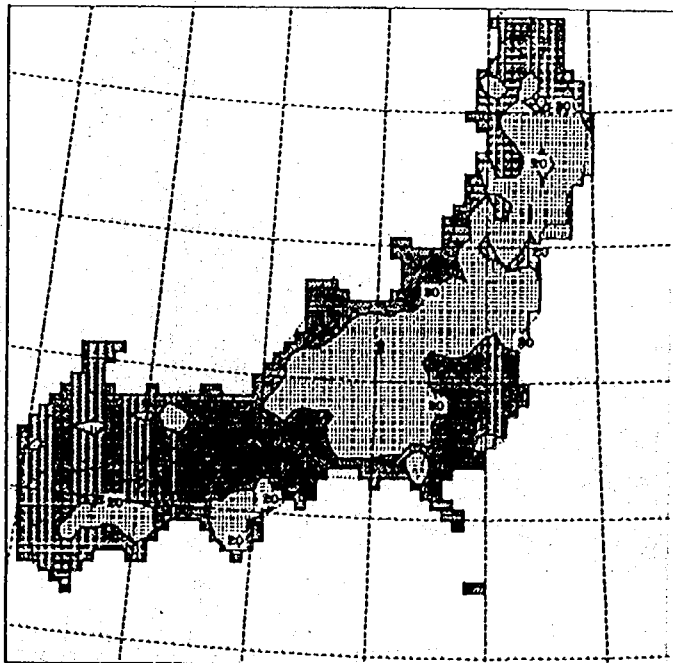
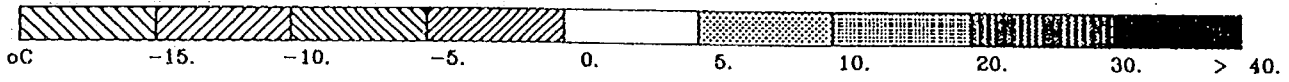




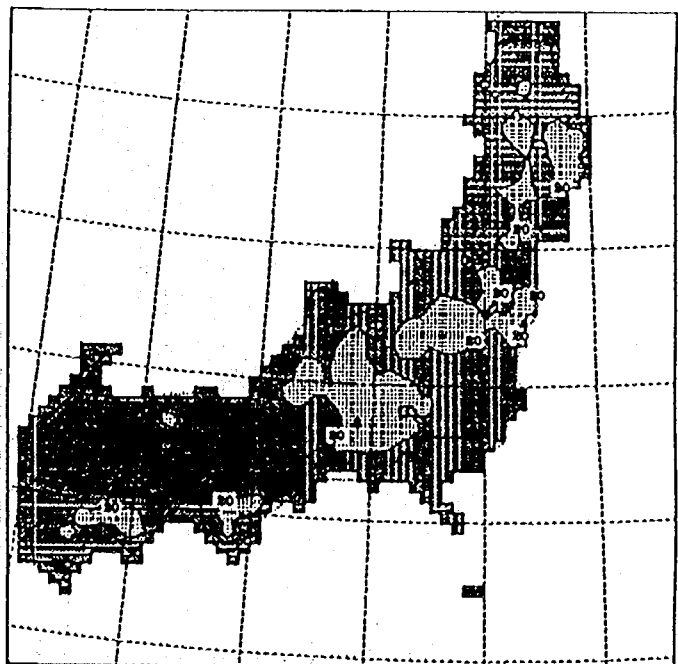
(5-a) 5月 (CO₂×1)



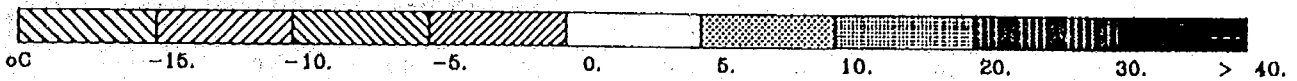
(5-b) 5月 (CO₂×2)

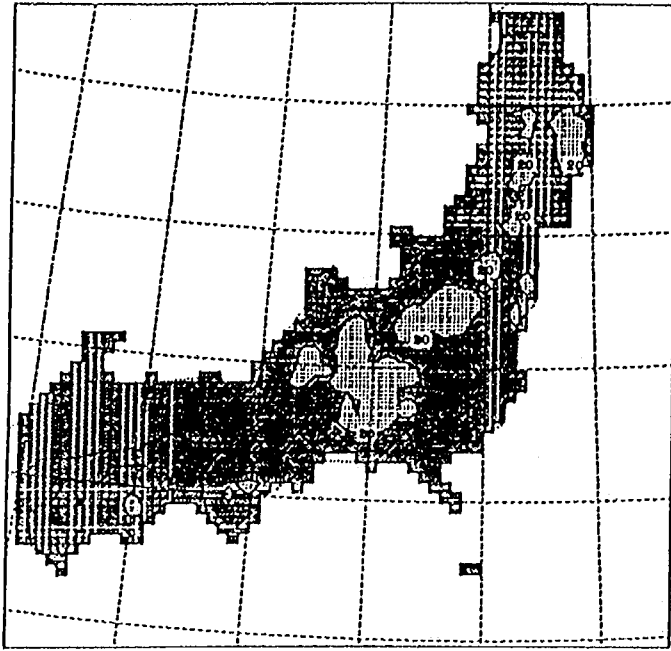


(6-a) 6月 (CO₂×1)

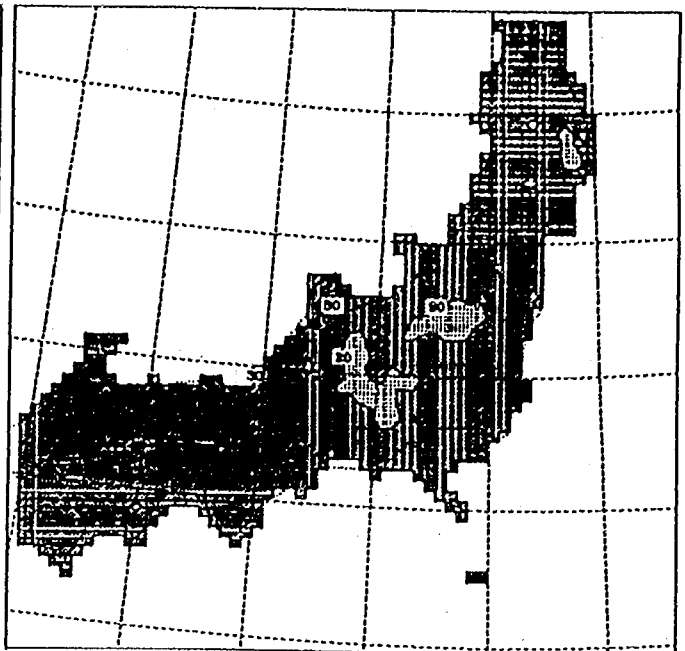


(6-b) 6月 (CO₂×2)

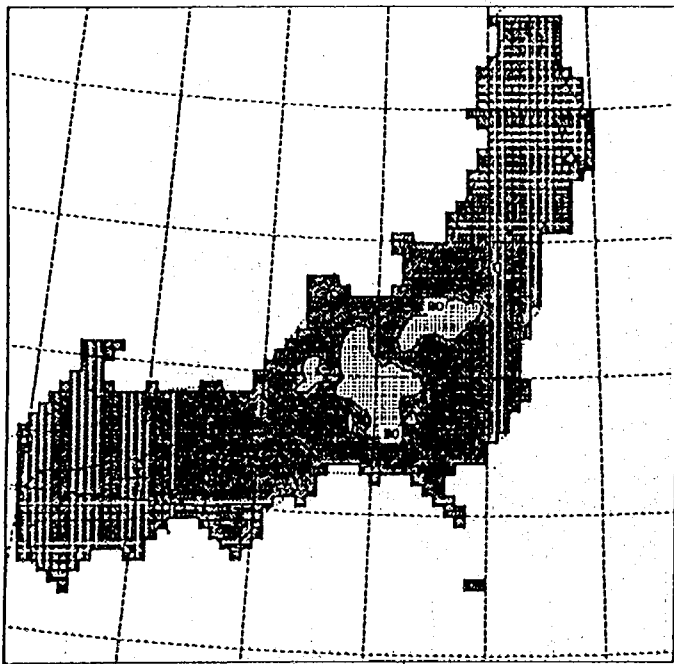




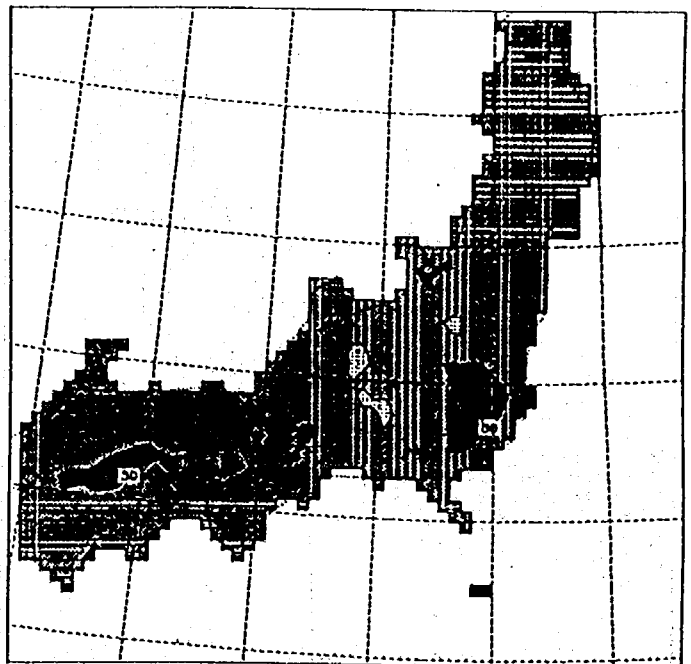
(7-a) 7月 (CO₂×1)



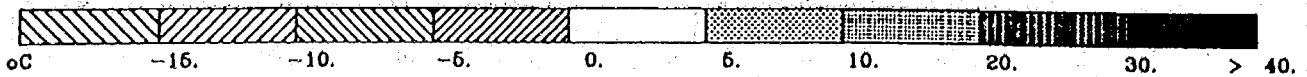
(7-b) 7月 (CO₂×2)

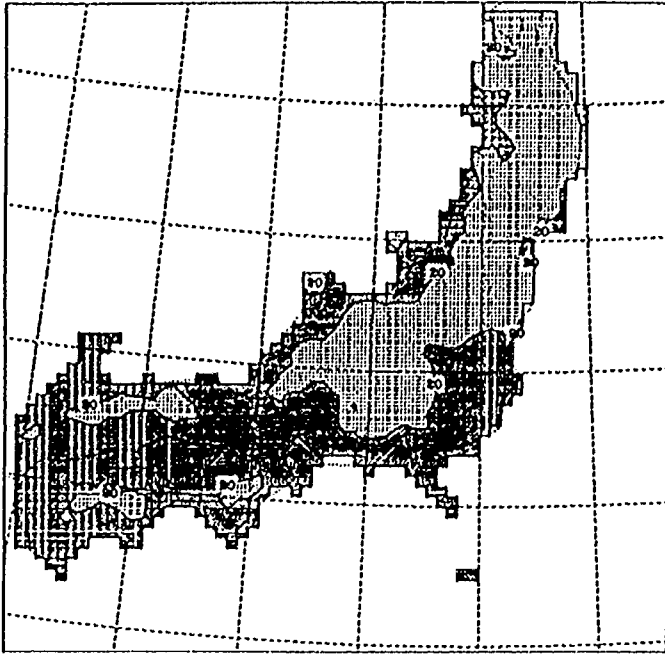


(8-a) 8月 (CO₂×1)

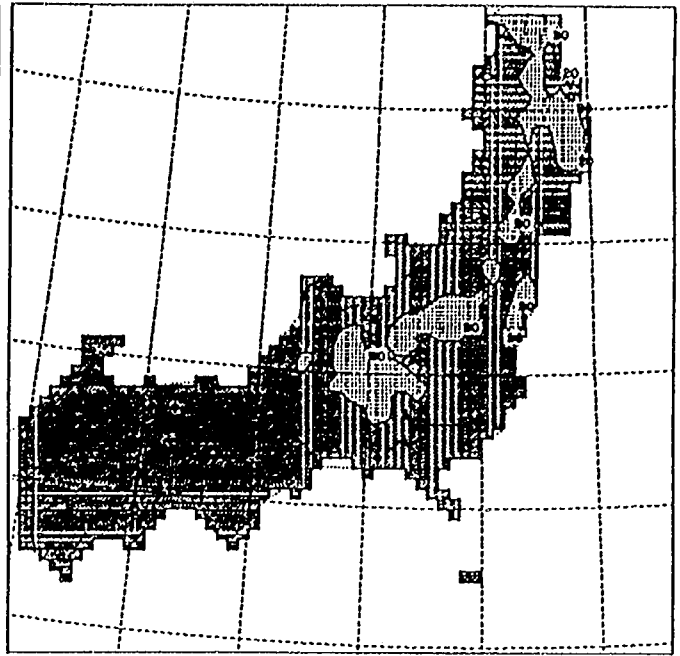


(8-b) 8月 (CO₂×2)

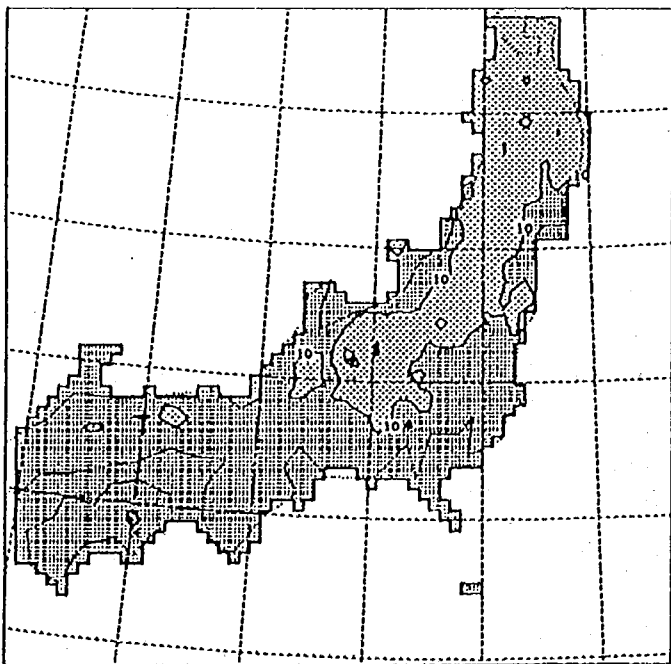
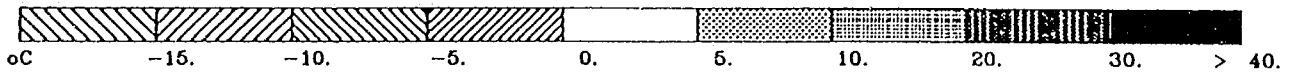




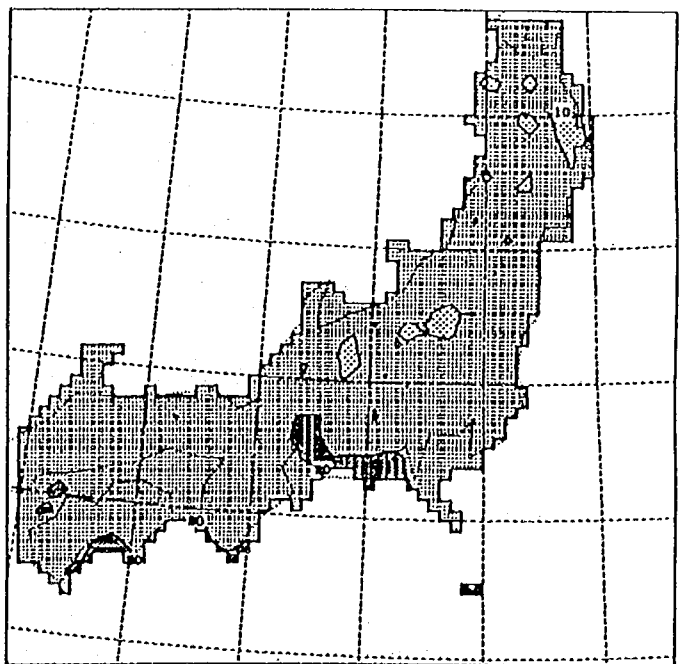
(9-a) 9月 (CO₂×1)



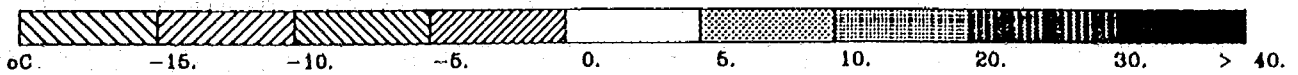
(9-b) 9月 (CO₂×2)

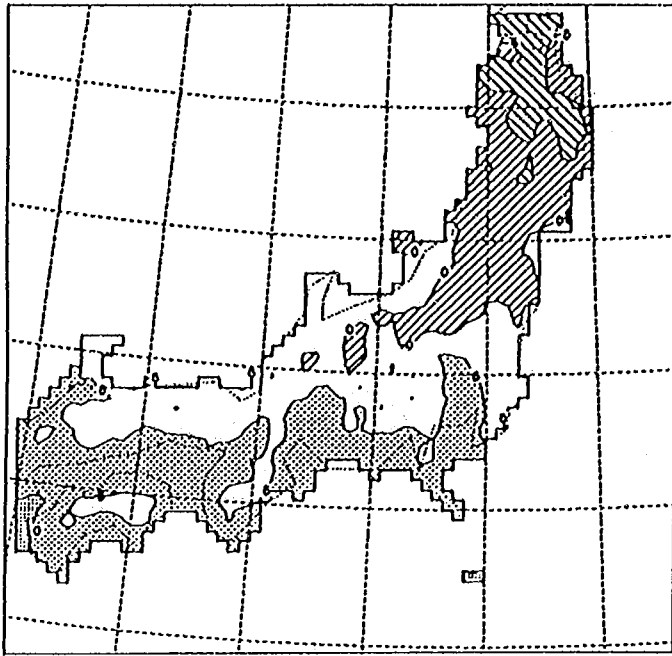


(10-a) 10月 (CO₂×1)



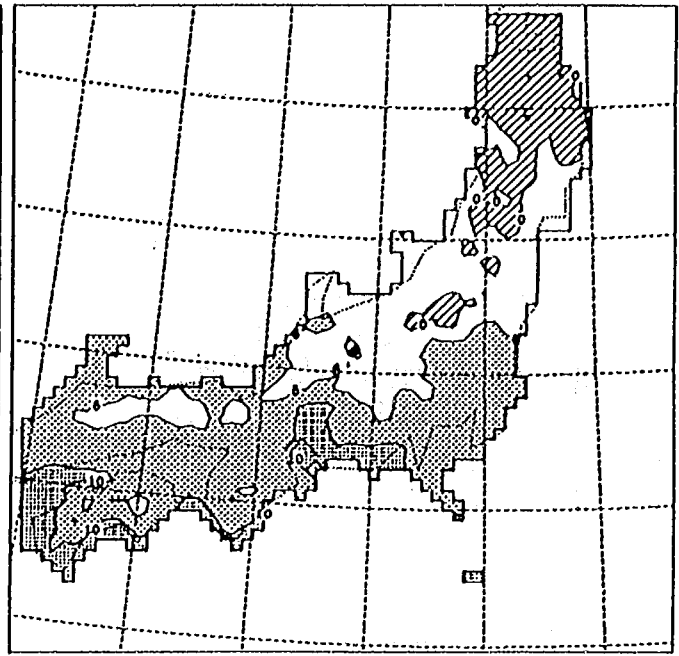
(10-b) 10月 (CO₂×2)





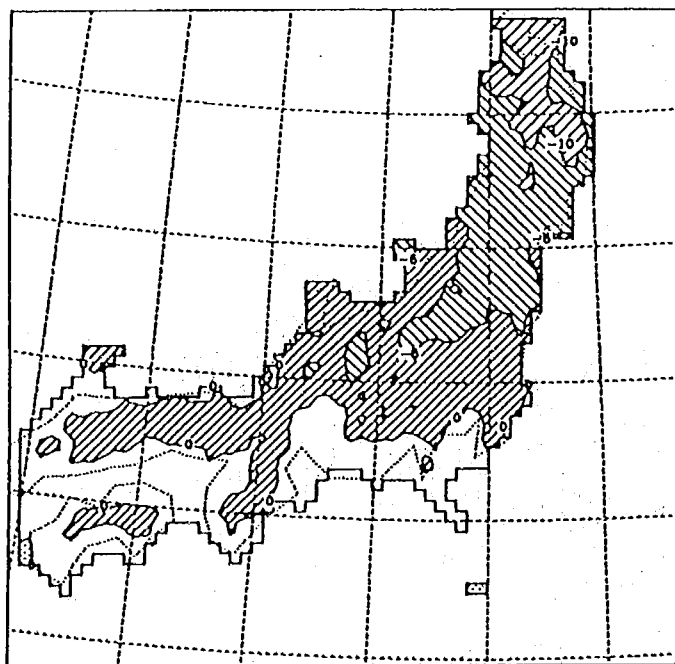
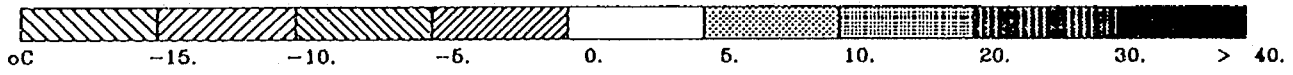
1xCO₂

(11-a) 11月 (CO₂×1)



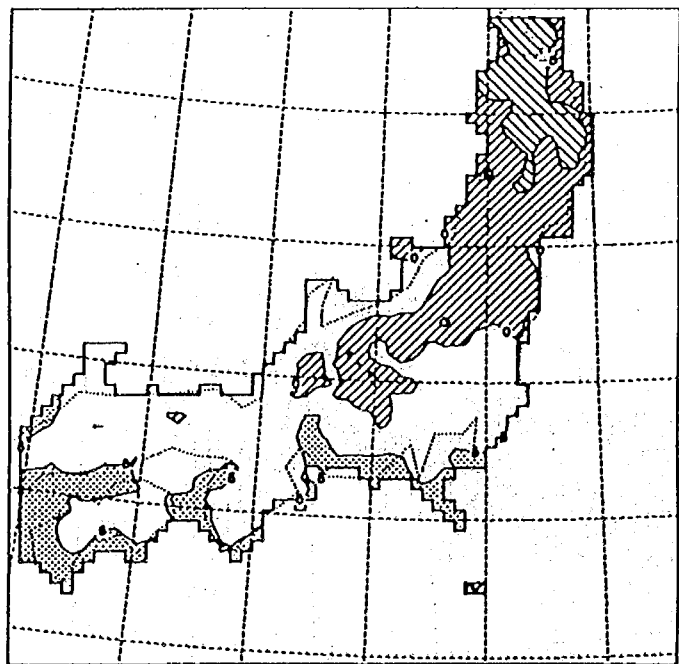
2xCO₂

(11-b) 11月 (CO₂×2)



1xCO₂

(12-a) 12月 (CO₂×1)



2xCO₂

(12-b) 12月 (CO₂×2)

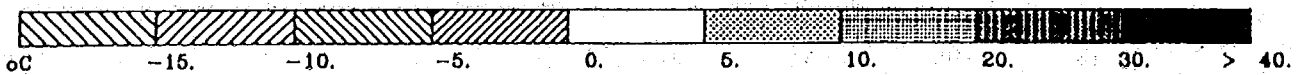


図-7.10に年間平均した相対湿度の分布を比較して示す。これより、相対湿度は全体的に5%程度減少している。特に、中部山岳地帯～東北山岳地帯にかけて10%程度の相対湿度の減少が顕著に現れている。ただし、山岳部を除いた東北部における減少量は、他の領域よりも少ない部分もあるように見える。中領域モデルで示したように混合比で見れば若干の増加が見られるが、相対湿度で見れば日本上ではこのように減少傾向にある。これは、気温が $10^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ の範囲では、気温が 10°C 上がると飽和水蒸気圧は約2倍になる、すなわち気温 1°C の変化に対して飽和水蒸気圧は約10%変化するために、混合比が1割上昇しても、気温が 2°C 上昇すると相対的に相対湿度は1割低下するためである。

しかしながら、日本上空の大気湿度に関しては、日本の地表面から蒸発量の影響よりも太平洋や日本海等の大海における蒸発量や混合比の影響を受けると考えるべきである。ここで用いた手法では入力シナリオや開発したモデルにおいて、海洋過程が適切にモデル化されていないため、温暖化時の海面での現象を十分予測できないという欠点がある。すなわち、入力シナリオに用いたMRIGCMは海洋結合型モデルではないので、温暖化時の海面上の熱収支や水分収支については、このモデルに従う限り未解明な点が多い。この他、台風が十分発達しないので、実際には台風などの接近によってもたらされる大量の熱量と水蒸気量または水分量等についても十分に解析できているとは言えない。したがって、ここで言えることはこれらの影響を除いた場合の結果であることに注意しておく必要がある。

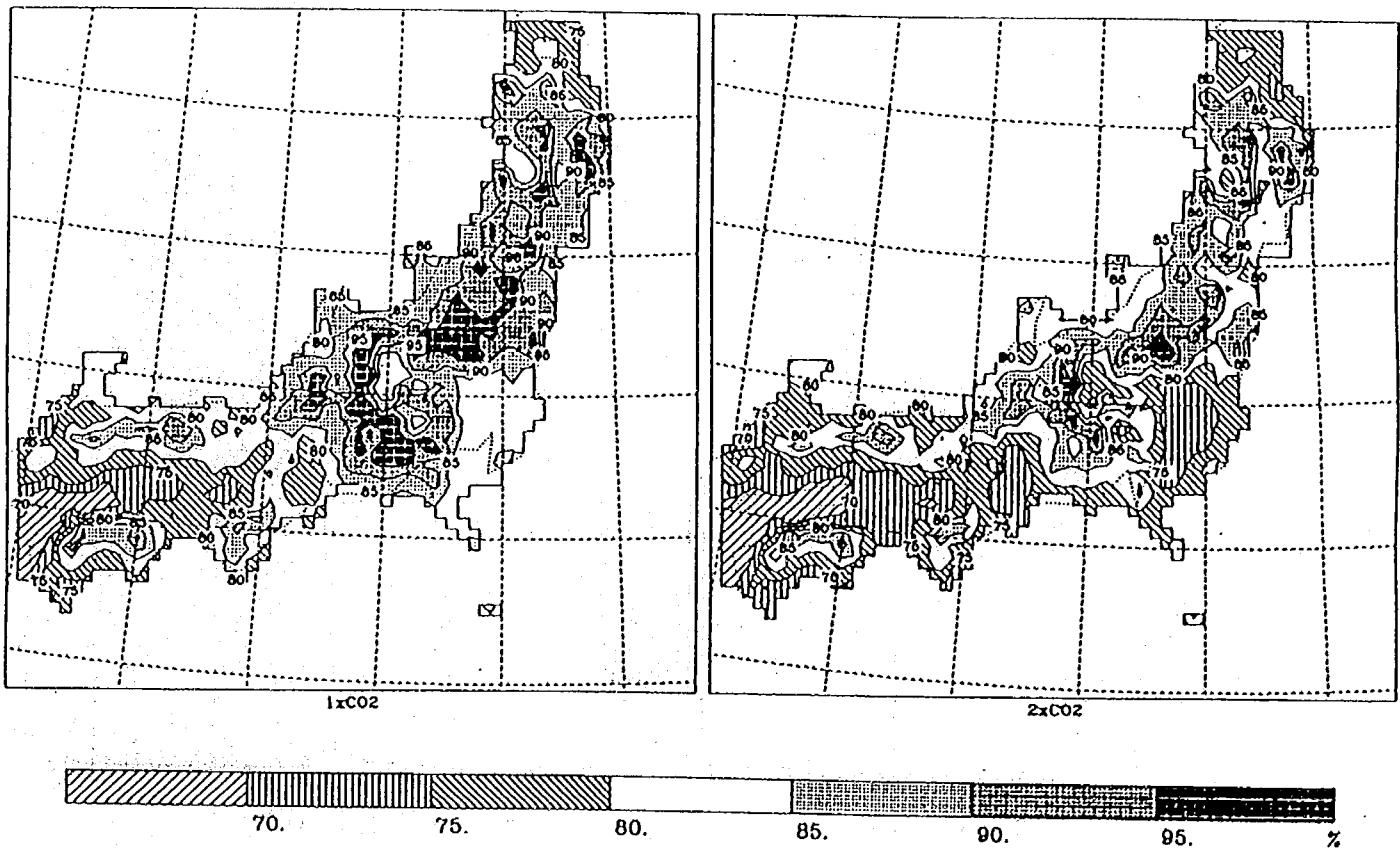
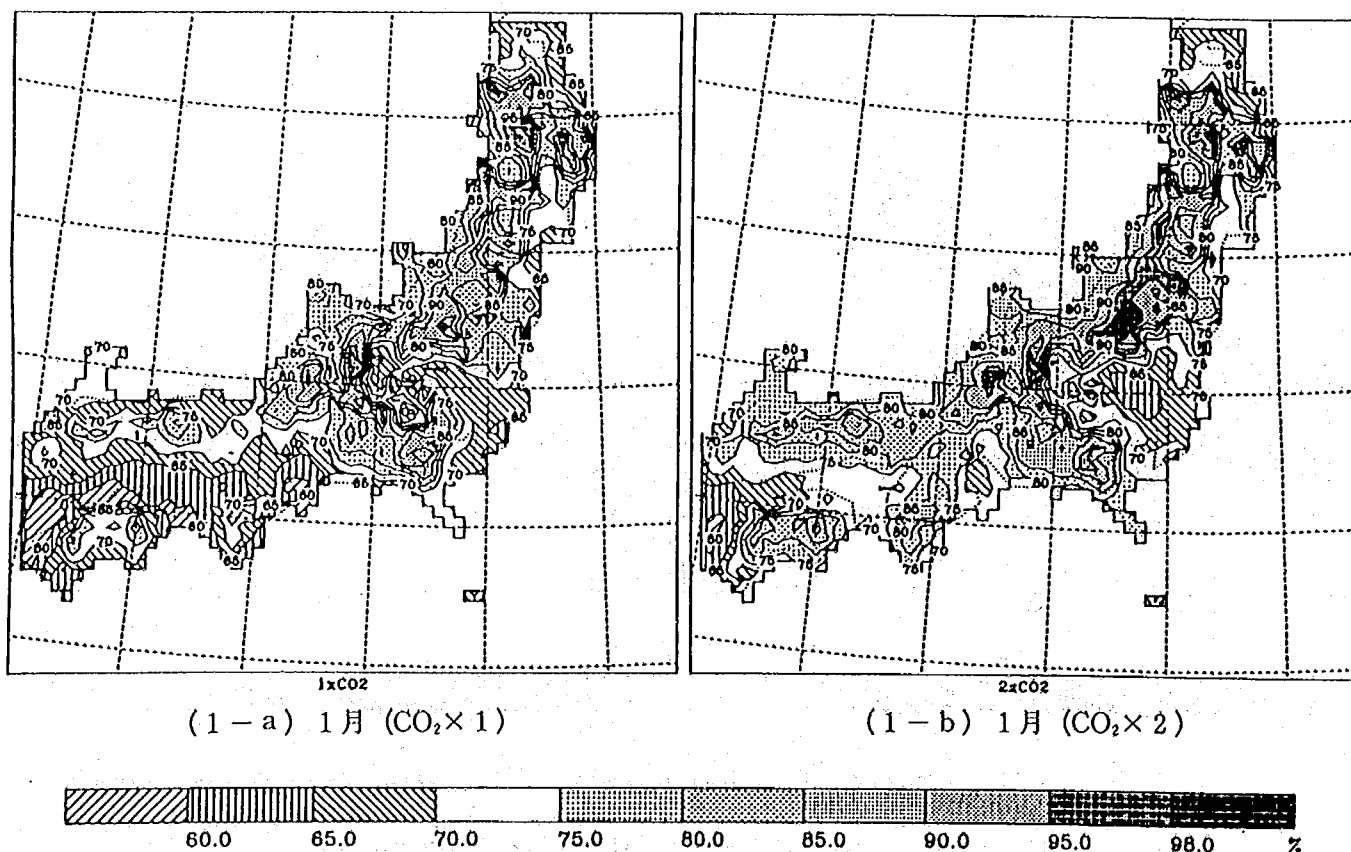


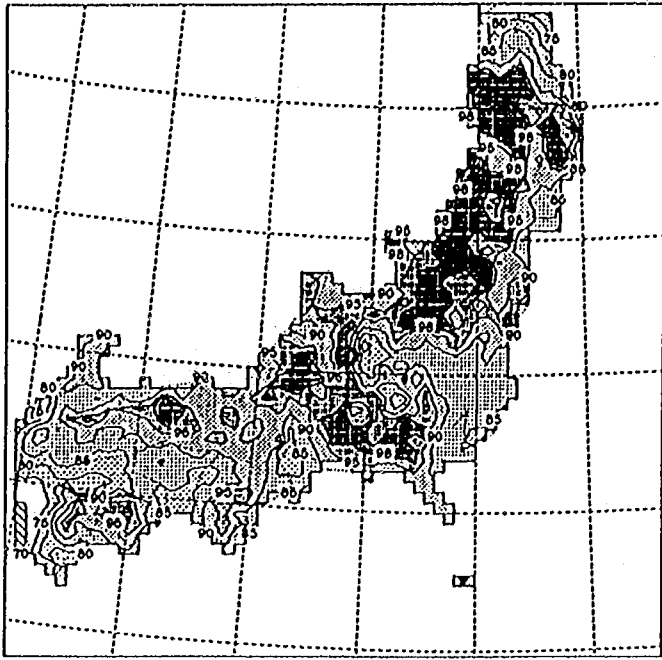
図-7.10 小領域モデルによる地表付近の年平均相対湿度

図-7.11(1)~(12)は、それぞれ炭酸ガス濃度通常時と倍増時における1月から12月にかけての相対湿度の分布を比較して示したものである。1月及び2月で相対湿度のシナリオ間の差はまだ小さく5%~10%程度であるが、1月から3月にかけて徐々に差が大きくなり、炭酸ガス濃度倍増時の相対湿度が低くなっている。3月になると先に示したように気温の差が大きくなるので、炭酸ガス濃度倍増シナリオにおける湿度は相対的に見て全体的に低下している。厳密に言えば炭酸ガス濃度現状シナリオの方が先に湿潤していき、炭酸ガス濃度倍増シナリオでは、あまり湿潤していない。ただし、4月になると逆に、炭酸ガス濃度倍増シナリオの方が全体的に急速に湿潤している。5月は、炭酸ガス濃度倍増シナリオにおける東北部太平洋側での湿度の上昇と関東地方太平洋岸の湿度の下降を除いて両シナリオ間の差はあまりない。6月から8月の間に、両シナリオにおいても相対湿度が徐々に低くなっていき、炭酸ガス濃度倍増シナリオの方が、乾燥化が速い。8月はどちらのシナリオでも湿度は低くなっており、炭酸ガス濃度倍増シナリオの方が5%程湿度が低く、中部山岳地帯から東北部にかけての変化が多少大きく見える。9月から11月にかけて炭酸ガス濃度現状シナリオの方が先に湿潤していく。逆に12月になると炭酸ガス濃度倍増シナリオの湿度の方が全体的に5%程度高くなっている。

ただし、本モデルでは、両シナリオにおいて6月から8月にかけて乾燥化が生じている。日本上空の水蒸気は大陸とは異なり、海洋の影響を大きく受ける。また、これまで述べてきたように粗いGCMでは、梅雨前線や台風及び台風などに伴う前線等を表現できない。したがって、これらの結果の解釈にあたっては十分な注意が必要である。

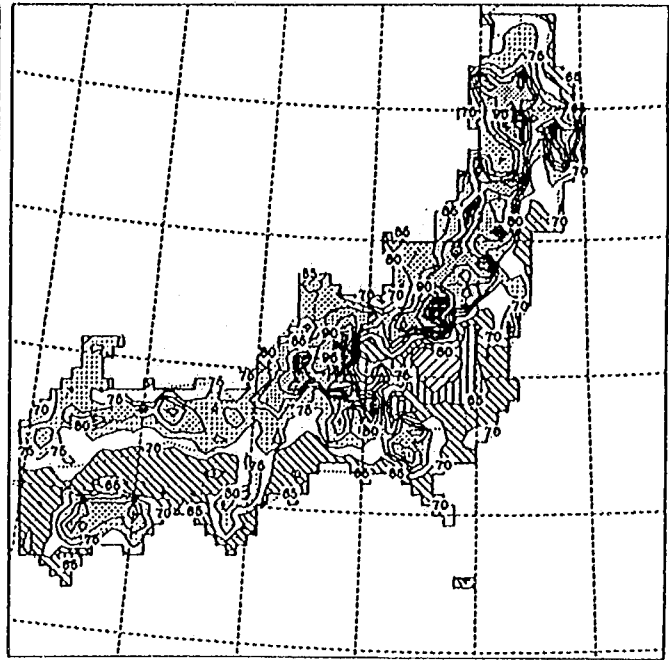
図-7.11 小領域モデルによる地表付近の月平均相対湿度





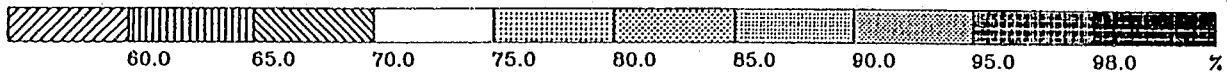
1xCO2

(2-a) 2月 (CO₂×1)

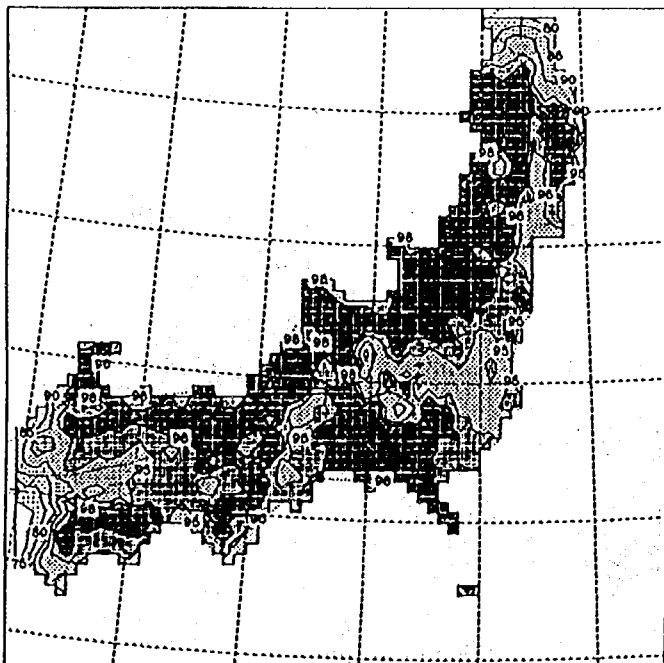


2xCO2

(2-b) 2月 (CO₂×2)

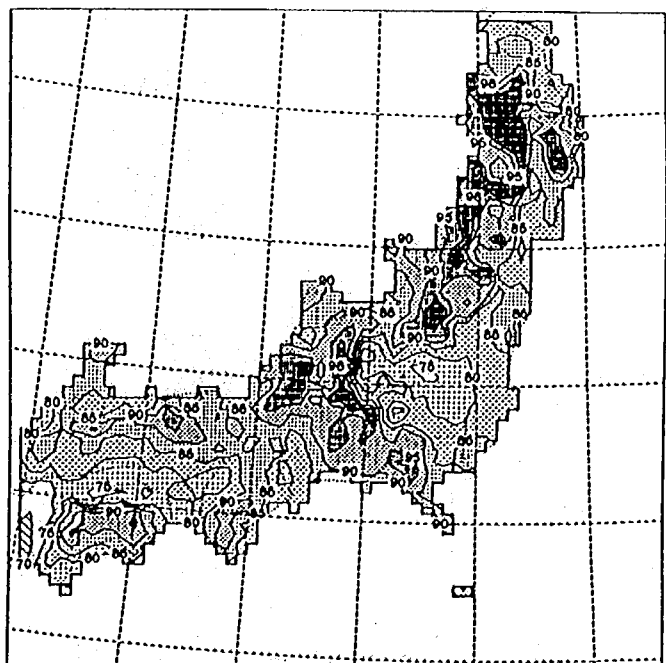


60.0 65.0 70.0 75.0 80.0 85.0 90.0 95.0 98.0 %



1xCO2

(3-a) 3月 (CO₂×1)

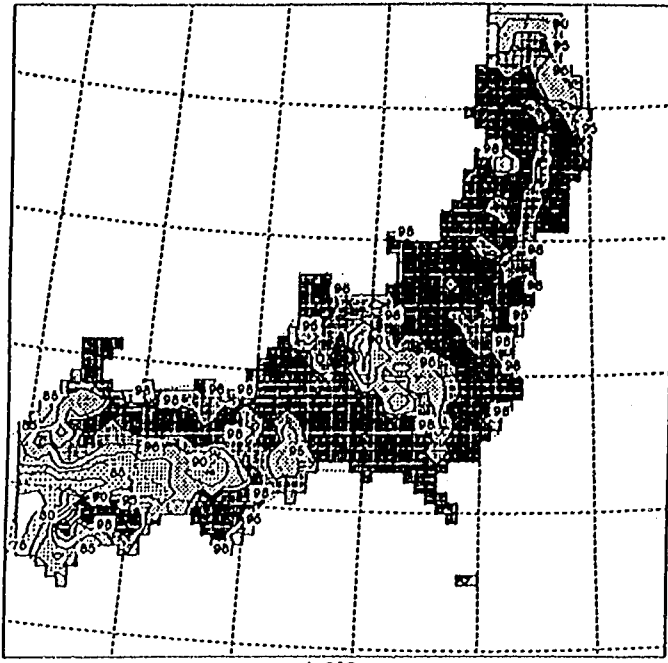


2xCO2

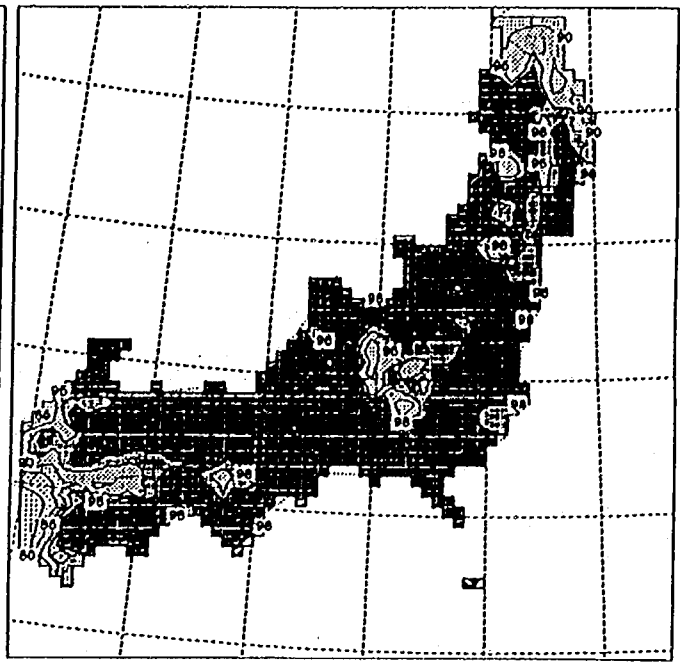
(3-b) 3月 (CO₂×2)



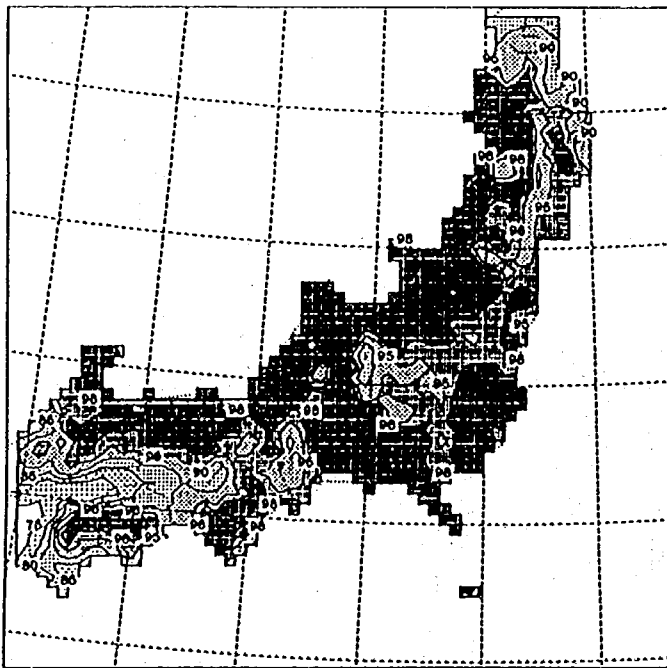
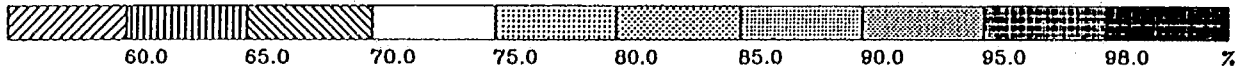
60.0 65.0 70.0 75.0 80.0 85.0 90.0 95.0 98.0 %



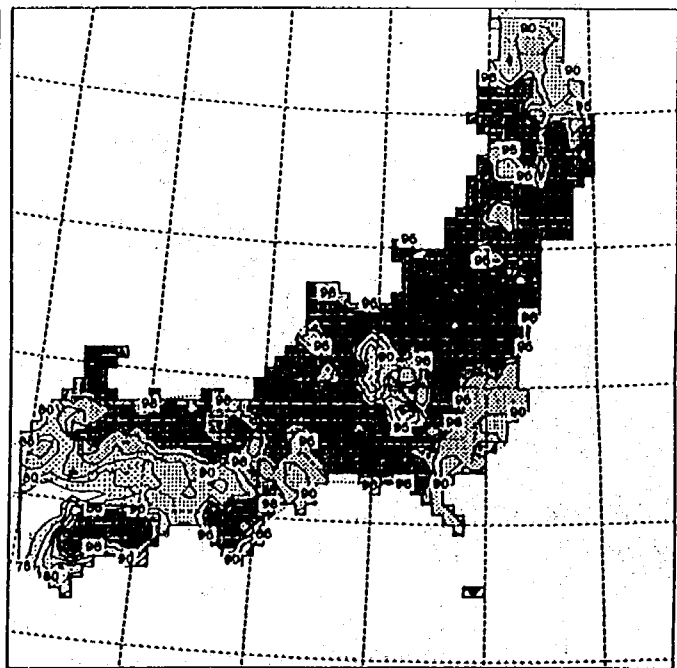
(4-a) 4月 (CO₂×1)



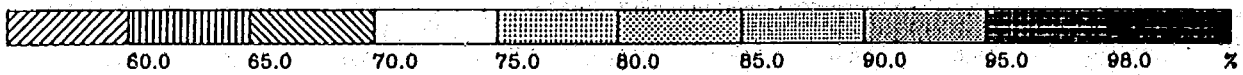
(4-b) 4月 (CO₂×2)

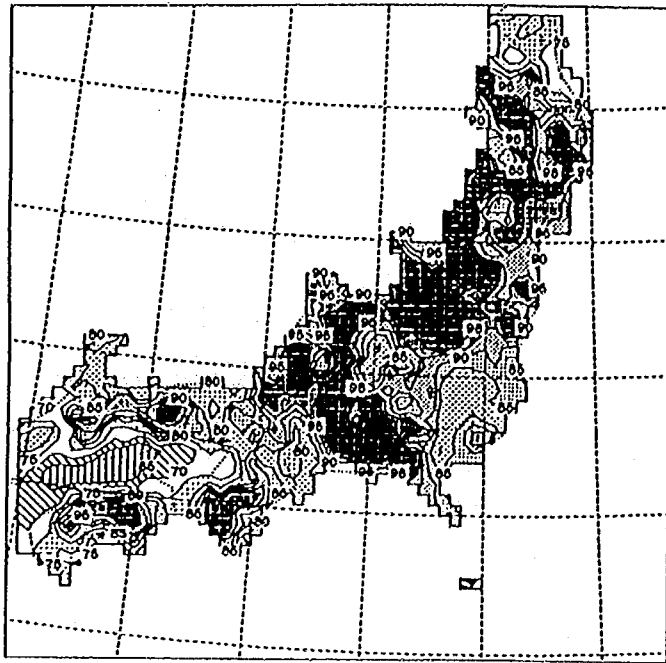


(5-a) 5月 (CO₂×1)



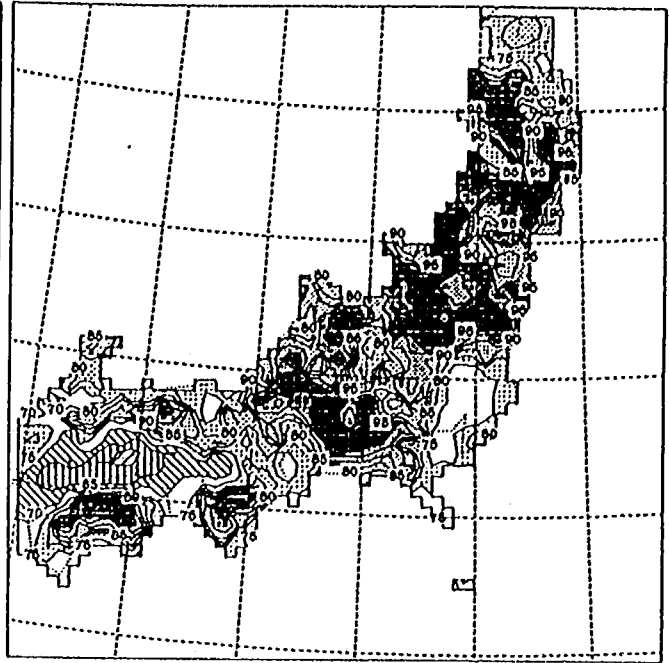
(5-b) 5月 (CO₂×2)





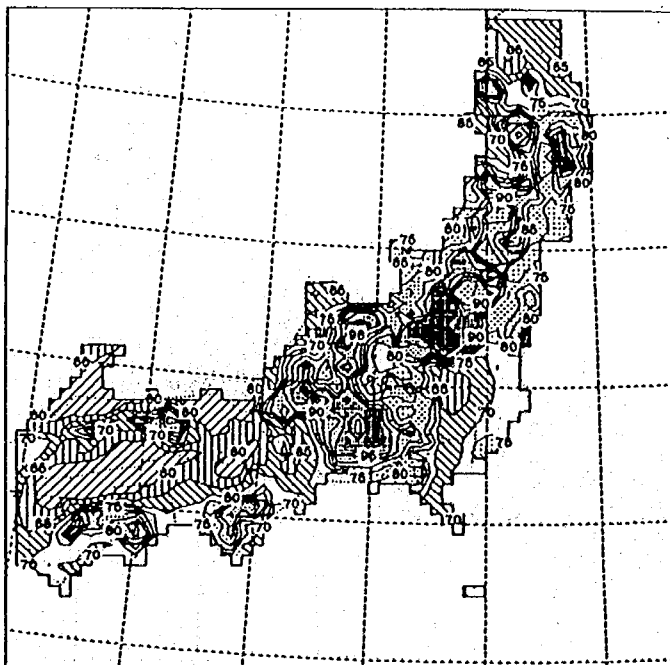
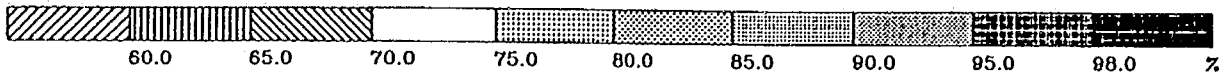
1xCO2

(6-a) 6月 (CO₂×1)



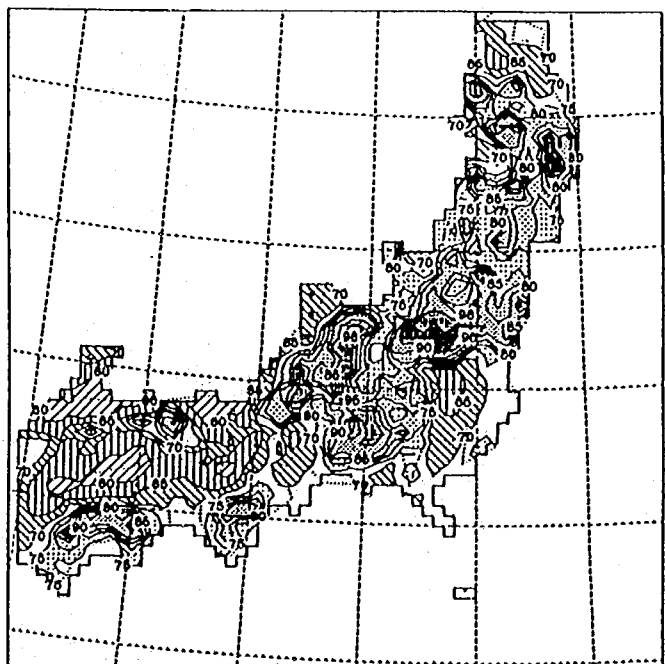
2xCO2

(6-b) 6月 (CO₂×2)



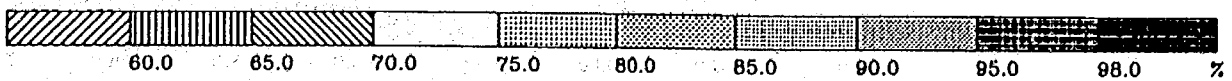
1xCO2

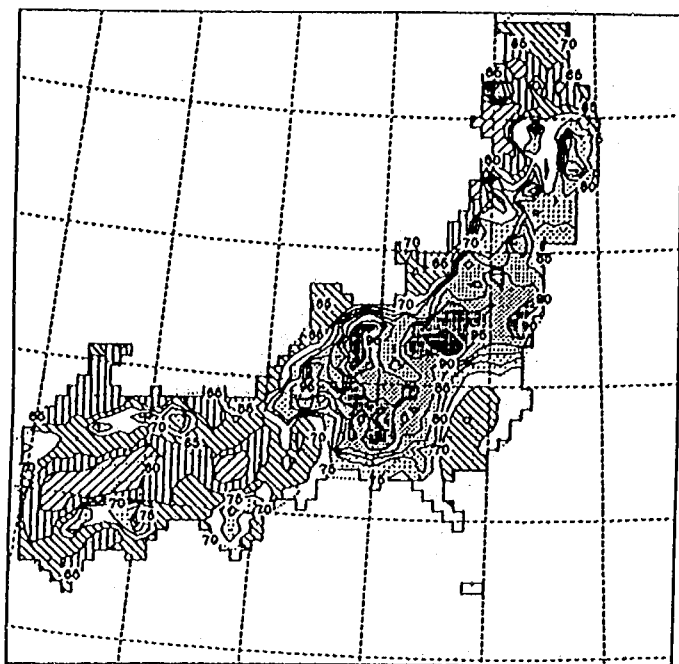
(7-a) 7月 (CO₂×1)



2xCO2

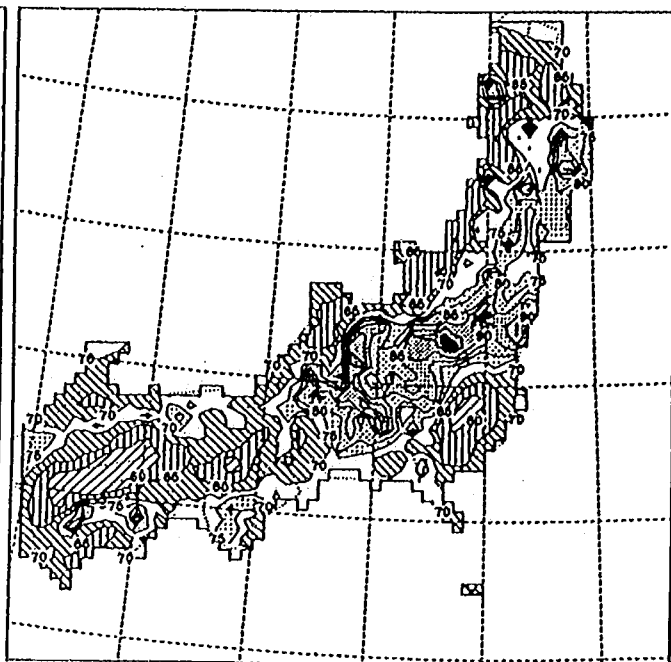
(7-b) 7月 (CO₂×2)





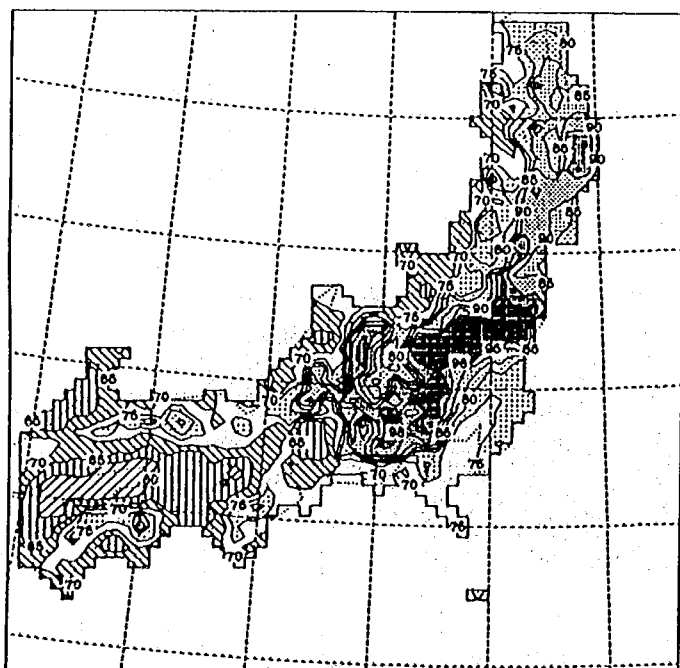
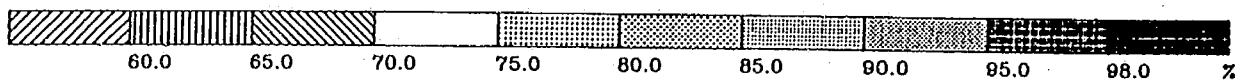
1xCO2

(8-a) 8月 (CO₂×1)



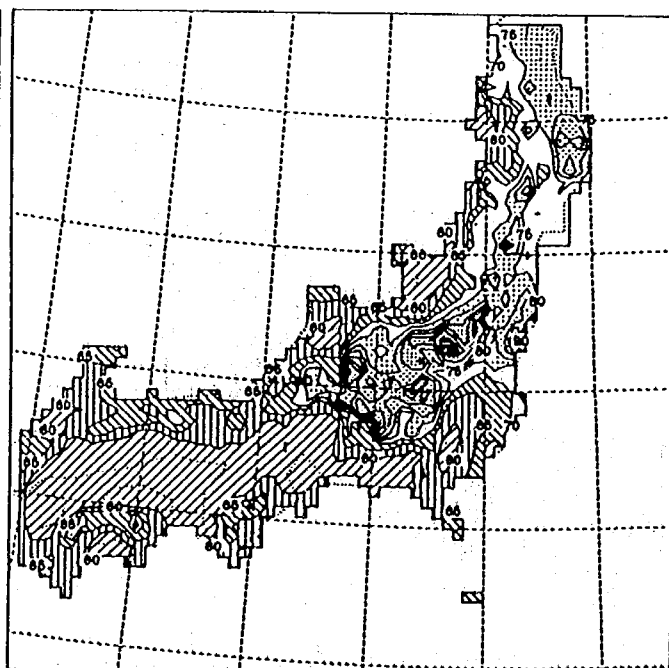
2xCO2

(8-b) 8月 (CO₂×2)



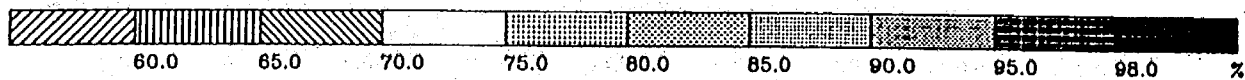
1xCO2

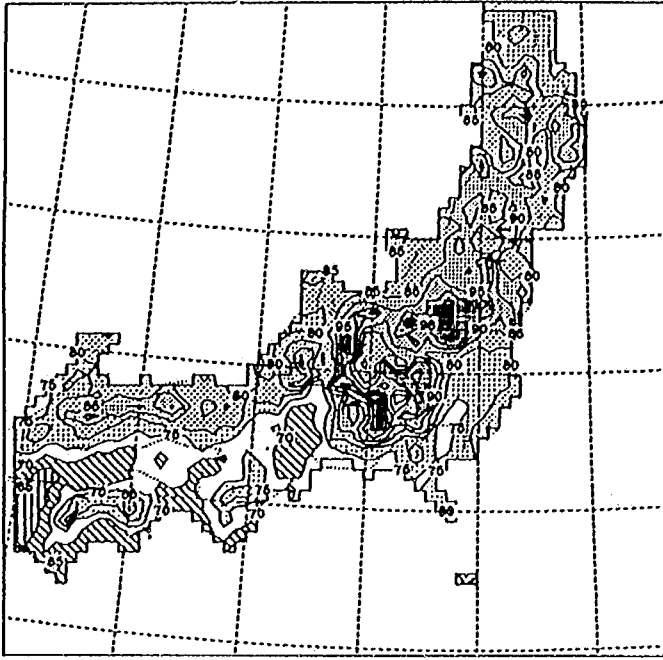
(9-a) 9月 (CO₂×1)



2xCO2

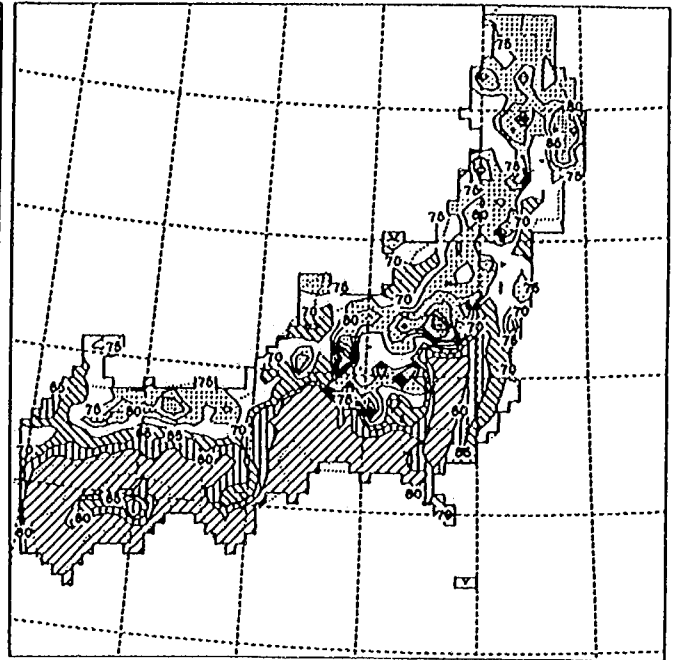
(9-b) 9月 (CO₂×2)





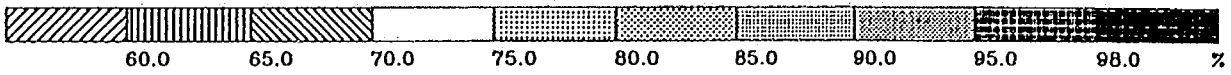
1xCO2

(10-a) 10月 (CO₂×1)



2xCO2

(10-b) 10月 (CO₂×2)



60.0

65.0

70.0

75.0

80.0

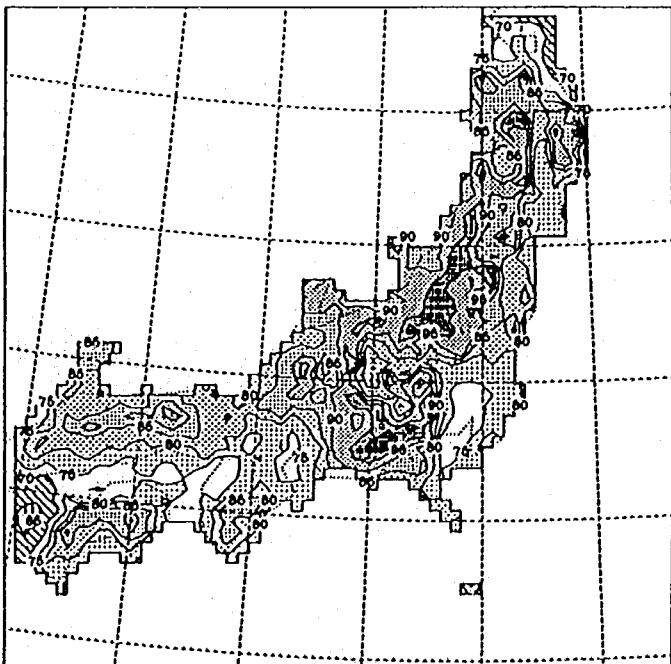
85.0

90.0

95.0

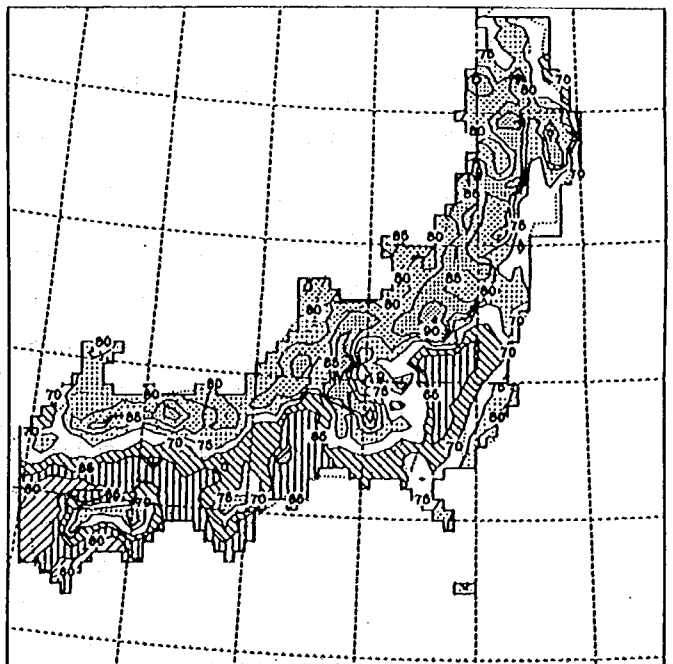
98.0

%



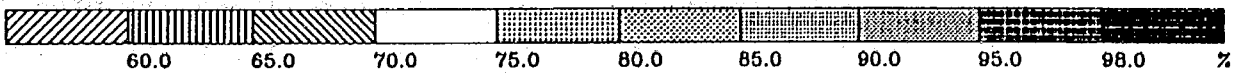
1xCO2

(11-a) 11月 (CO₂×1)



2xCO2

(11-b) 11月 (CO₂×2)



60.0

65.0

70.0

75.0

80.0

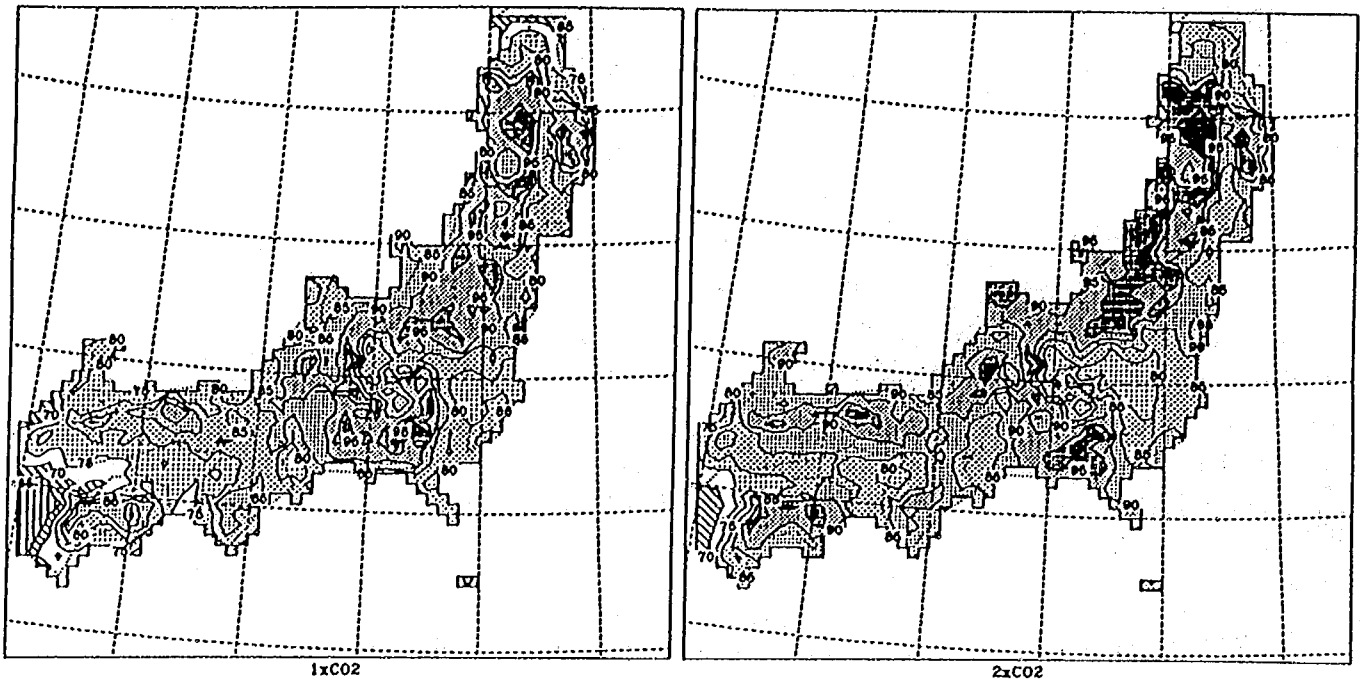
85.0

90.0

95.0

98.0

%



(12-a) 12月 (CO₂×1)

(12-b) 12月 (CO₂×2)

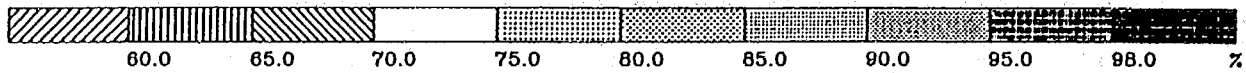
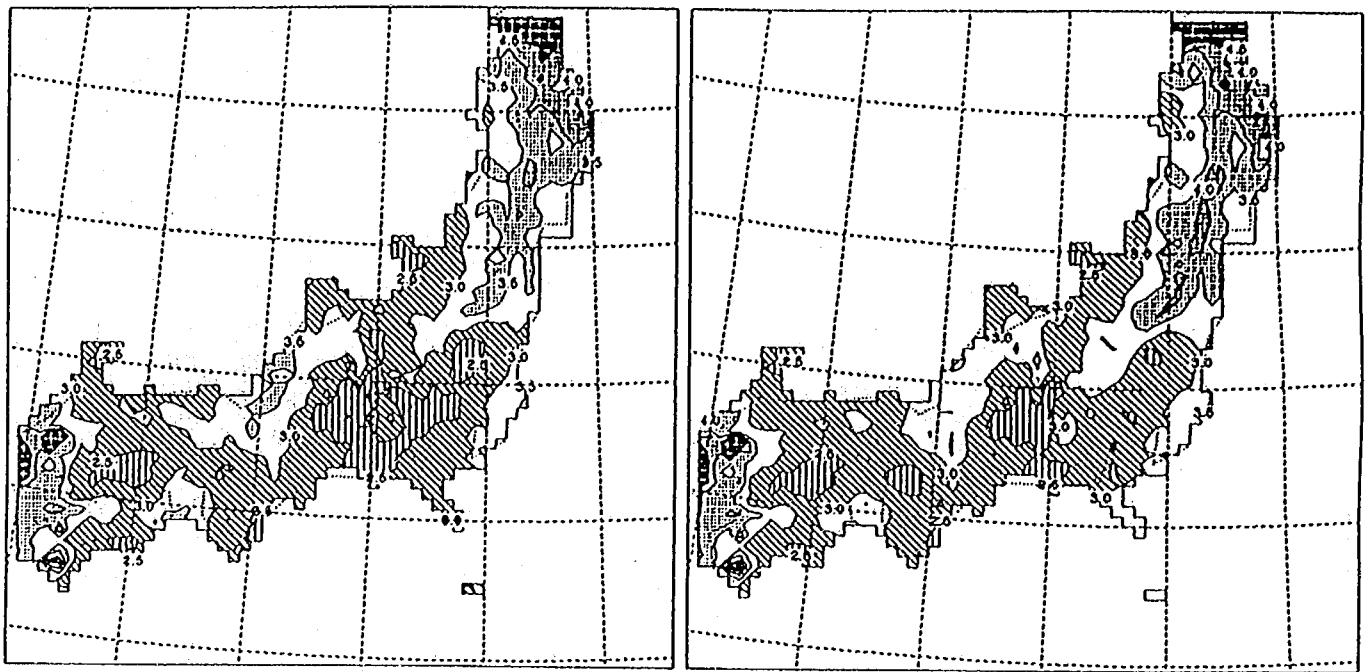


図-7.12に年間平均した地表面付近の風速を比較して示す。風速に関しては、炭酸ガス濃度現状シナリオと倍増シナリオで有為な差は見られない。図-7.13(1)~(12)は、それぞれ炭酸ガス濃度通常時と倍増時における1月から12月にかけての月平均した風速を表している。1月、4月~7月、9月~12月はほとんど違いが見られない。中領域モデルで述べたように、2月に違いが見られ、炭酸ガス濃度倍増シナリオの中部山岳地帯から東部の山岳地帯にかけて風速が大きくなっている。3月の傾向は2月と同様であるが、変化量はかなり小さくなっている。8月は逆に、炭酸ガス濃度倍増シナリオにおいて風速が小さくなっている範囲が大きくなっている。



CO₂ × 1

CO₂ × 2

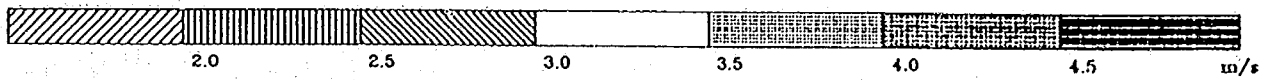
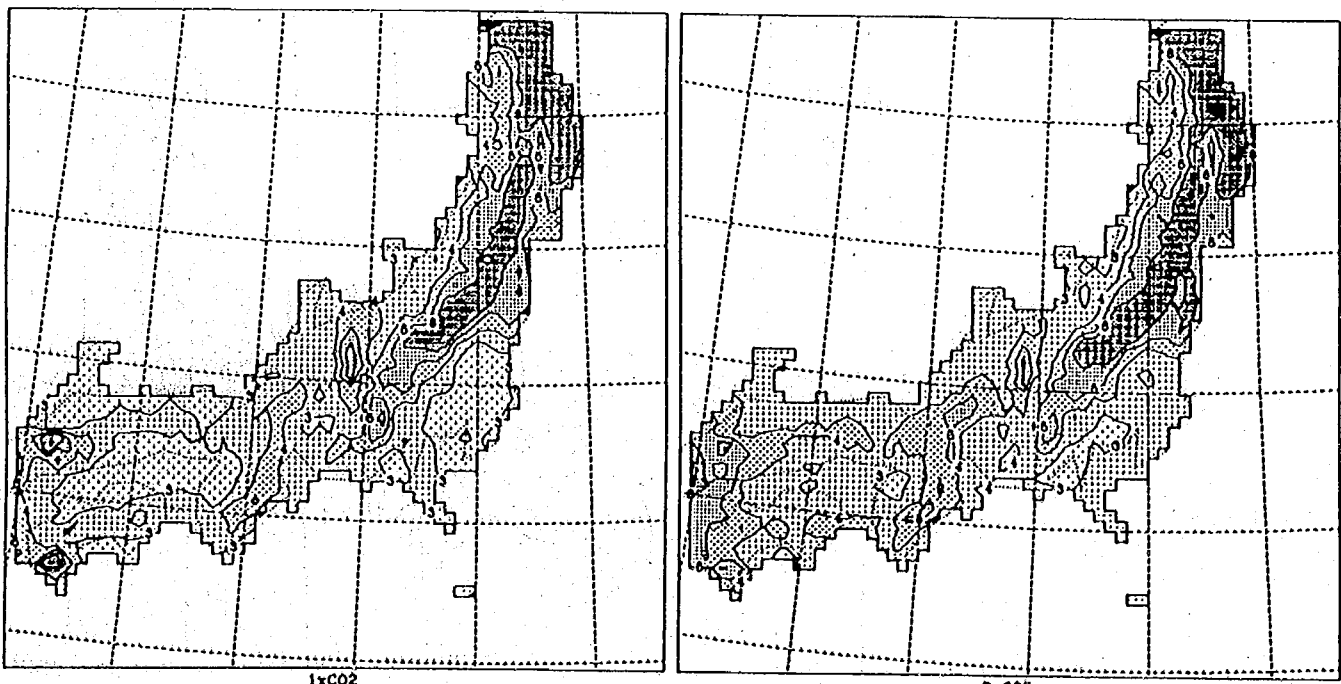


図-7.12 小領域モデルによる地表付近の年平均風速

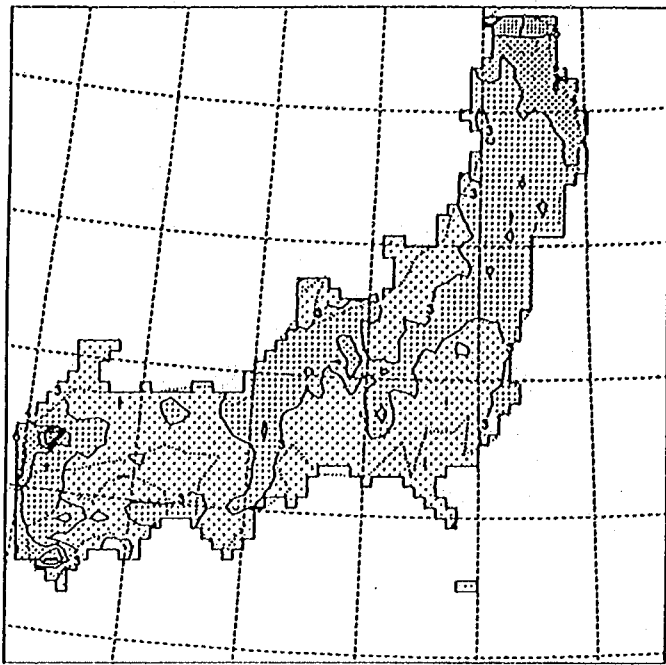
図-7.13 小領域モデルによる地表付近の月平均風速



(1-a) 1月 (CO₂ × 1)

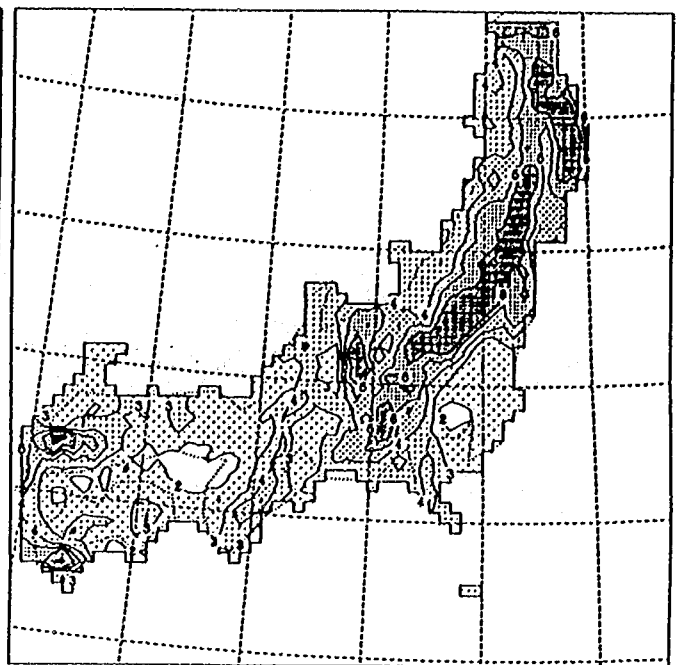
(1-b) 1月 (CO₂ × 2)





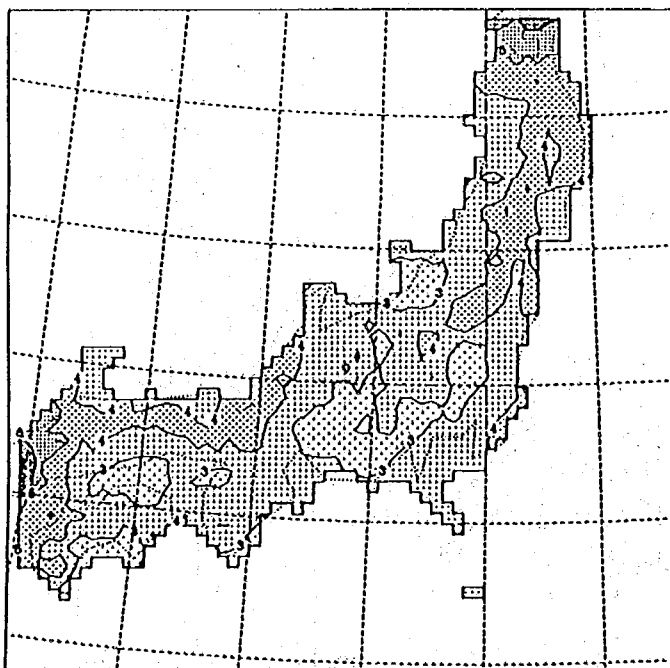
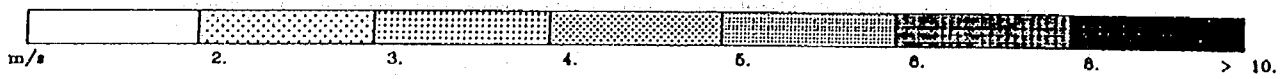
1xCO2

(2-a) 2月 (CO₂×1)



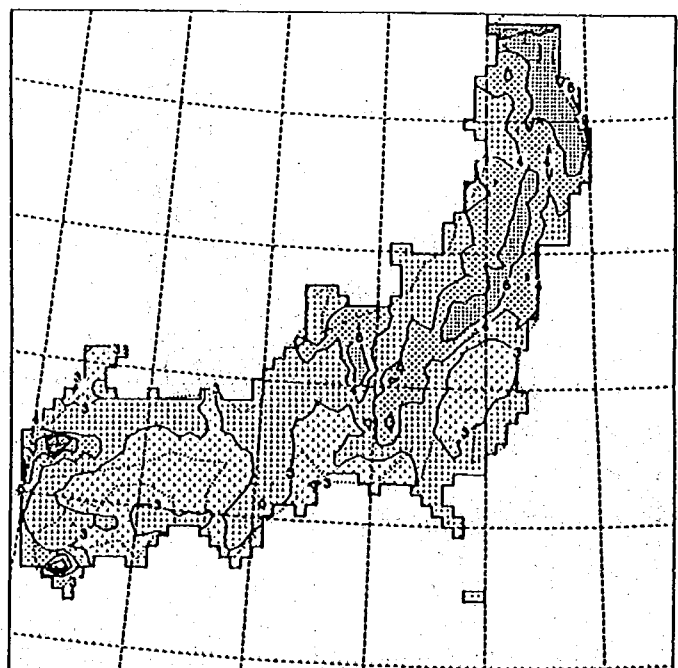
2xCO2

(2-b) 2月 (CO₂×2)



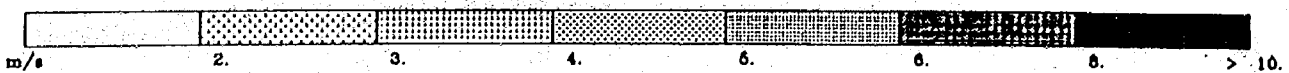
1xCO2

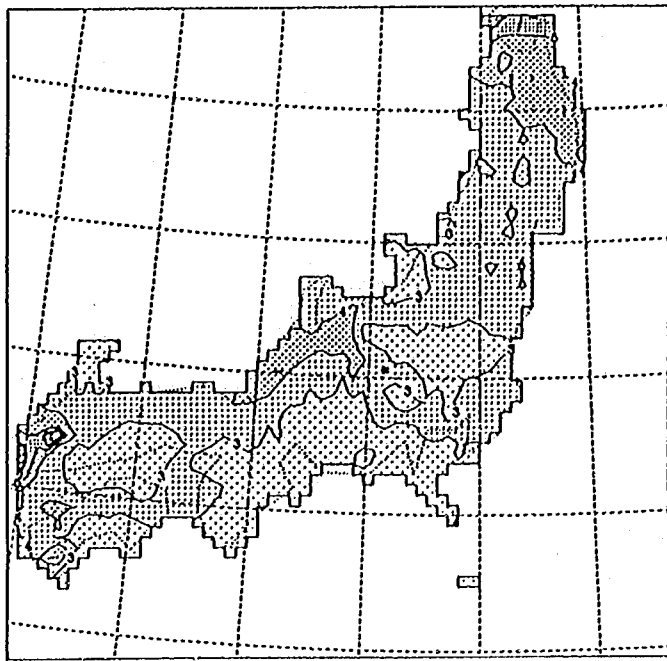
(3-a) 3月 (CO₂×1)



2xCO2

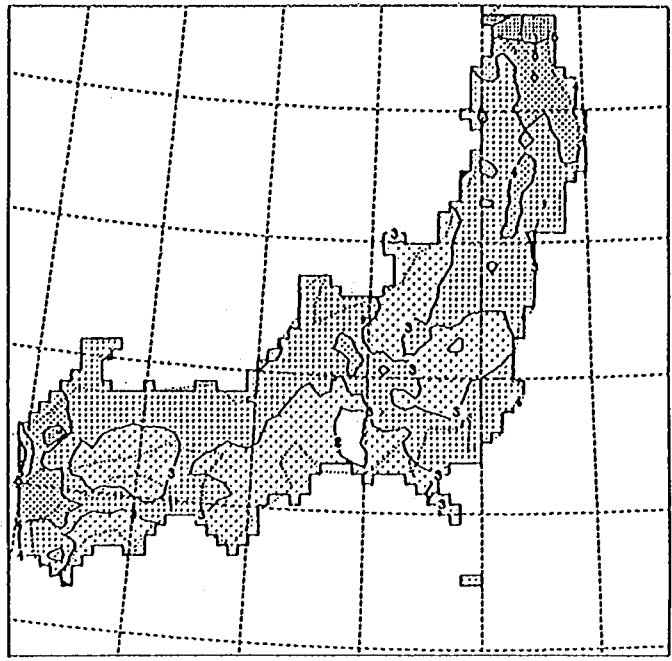
(3-b) 3月 (CO₂×2)





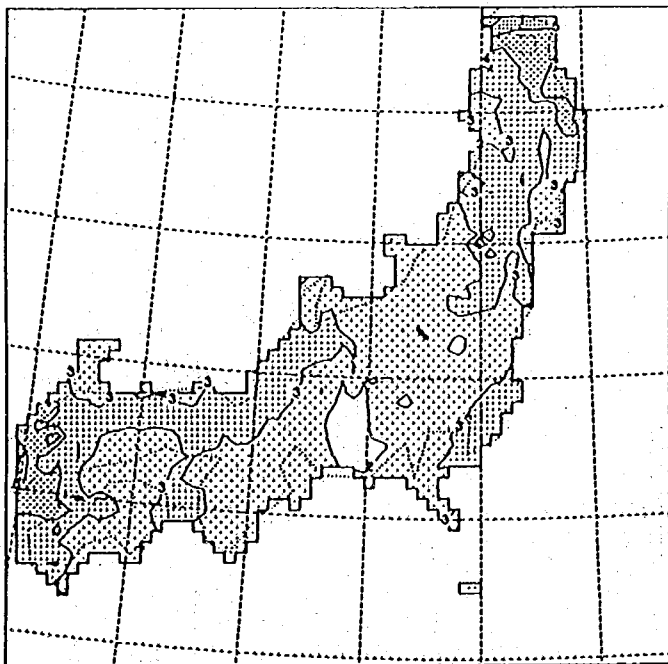
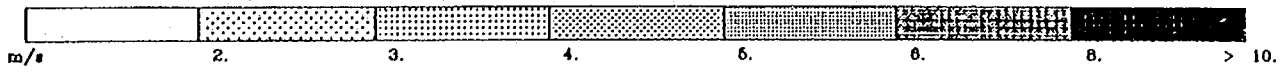
1xCO2

(4-a) 4月 (CO₂×1)



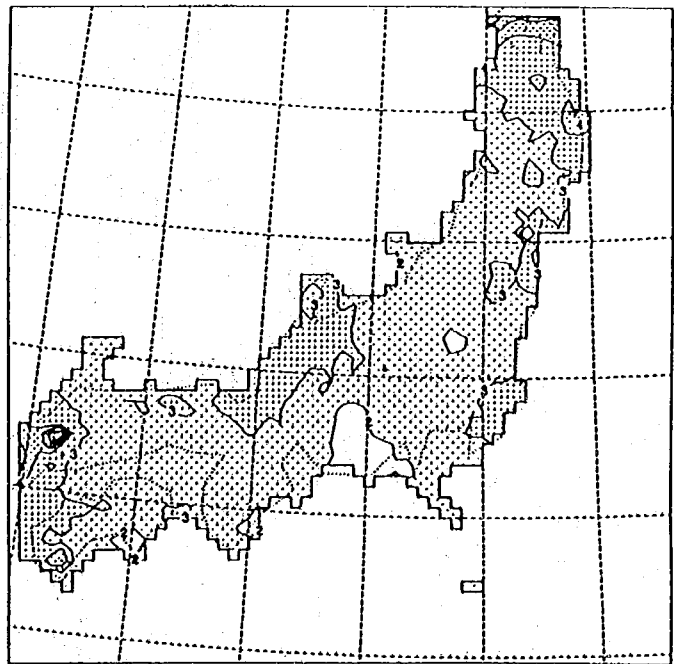
2xCO2

(4-b) 4月 (CO₂×2)



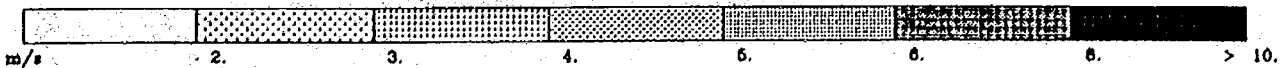
1xCO2

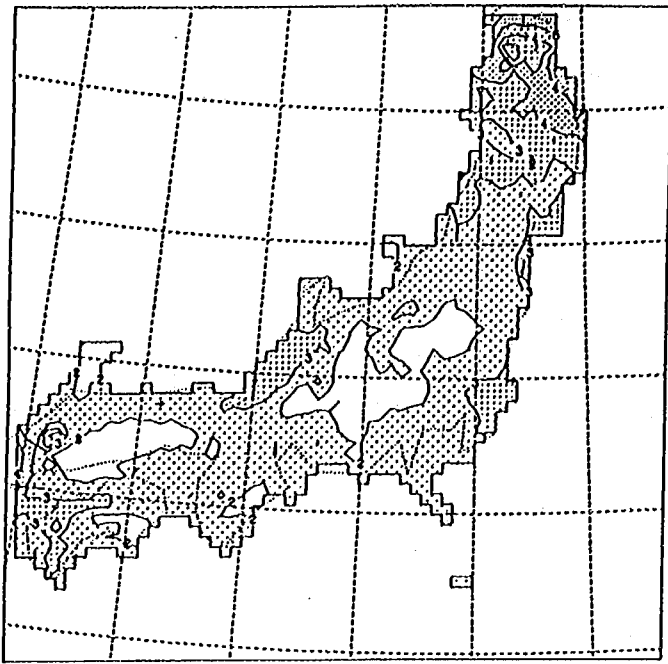
(5-a) 5月 (CO₂×1)



2xCO2

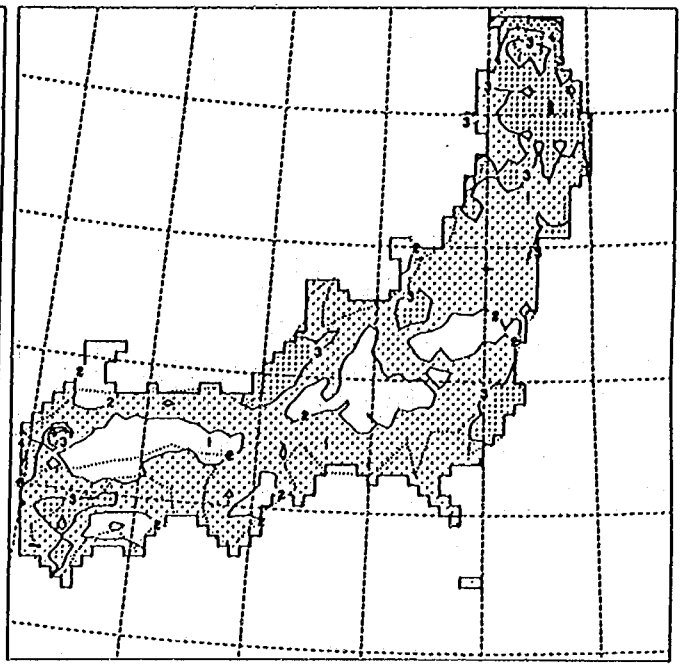
(5-b) 5月 (CO₂×2)





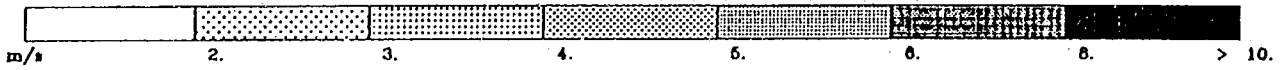
1xCO2

(6-a) 6月 (CO₂×1)

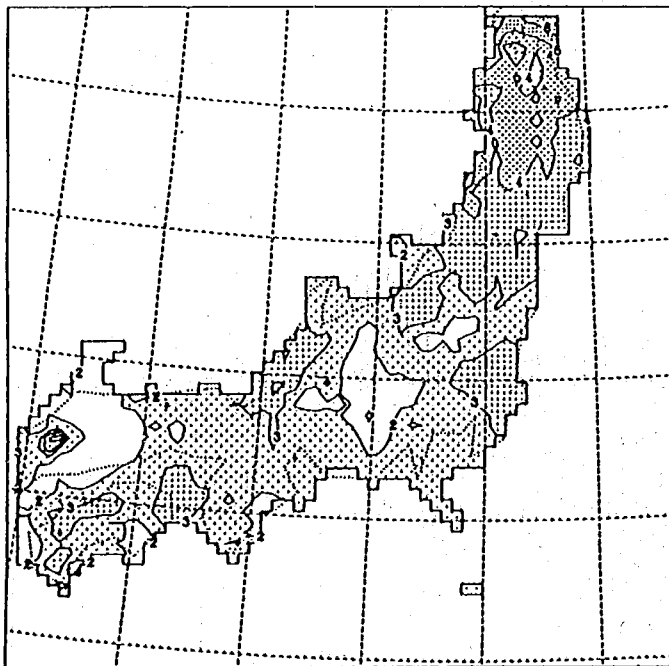


2xCO2

(6-b) 6月 (CO₂×2)

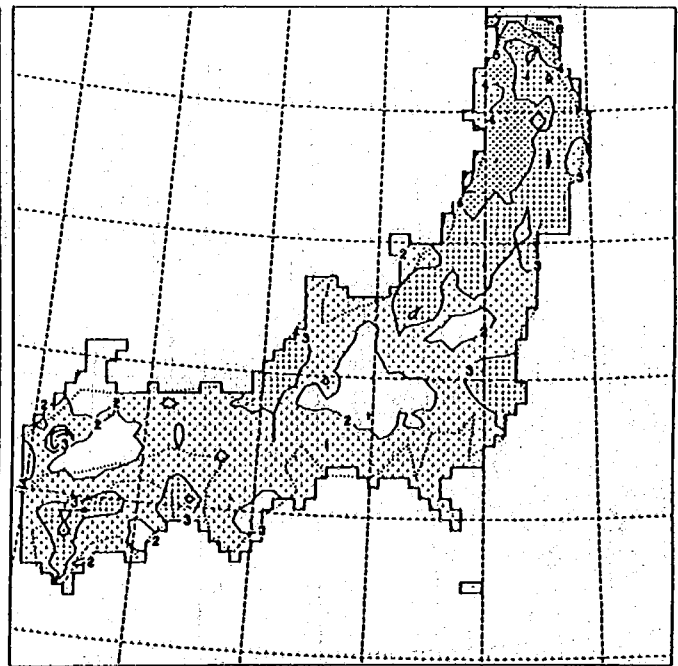


m/s



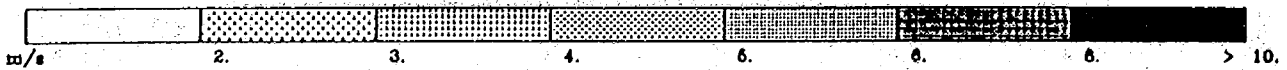
1xCO2

(7-a) 7月 (CO₂×1)

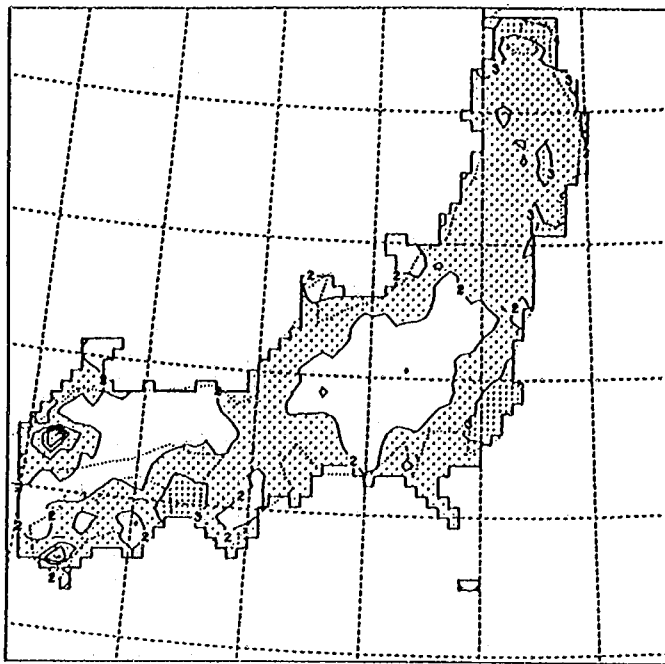


2xCO2

(7-b) 7月 (CO₂×2)

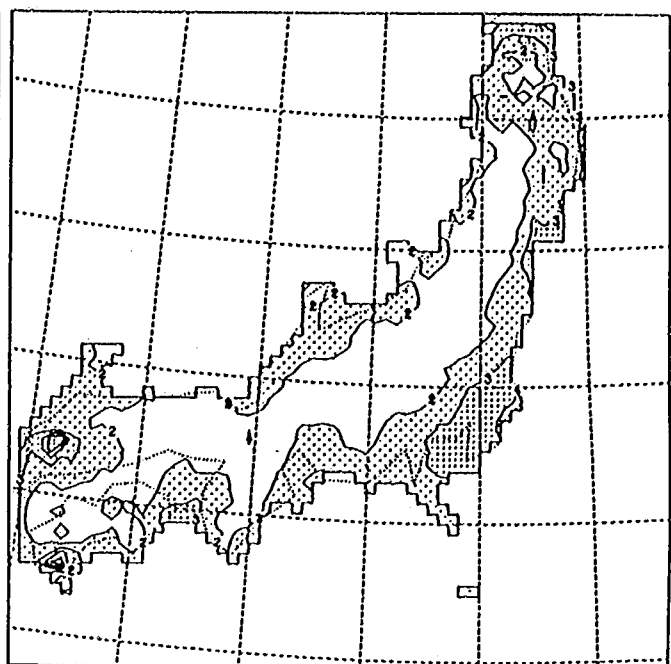


m/s



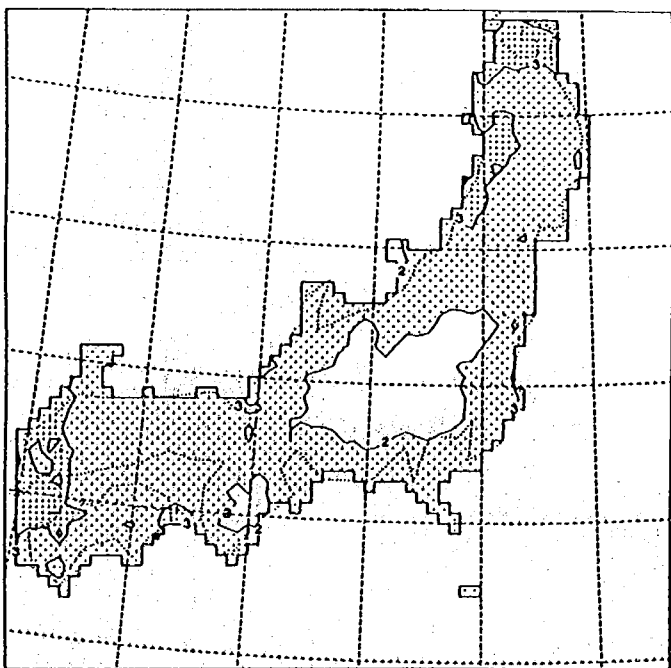
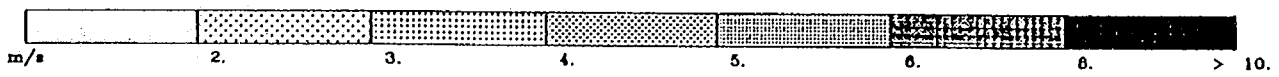
1xCO2

(8-a) 8月 (CO₂×1)



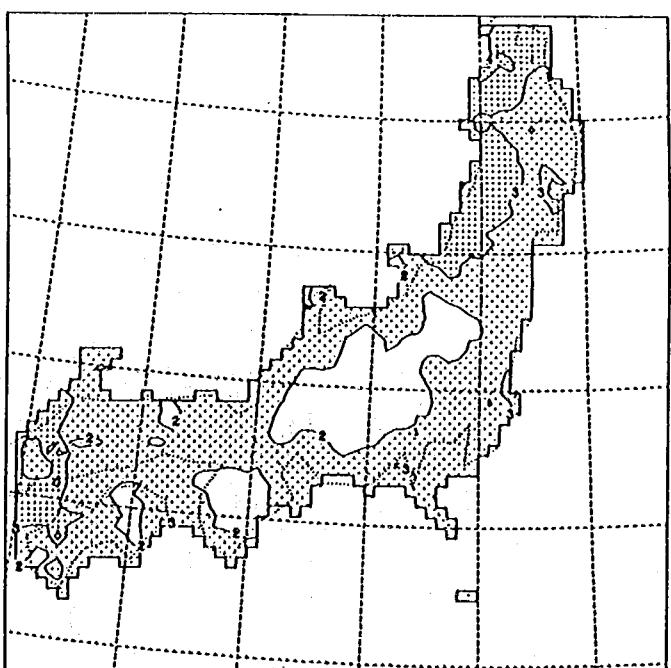
2xCO2

(8-b) 8月 (CO₂×2)



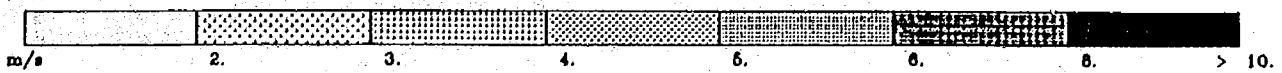
1xCO2

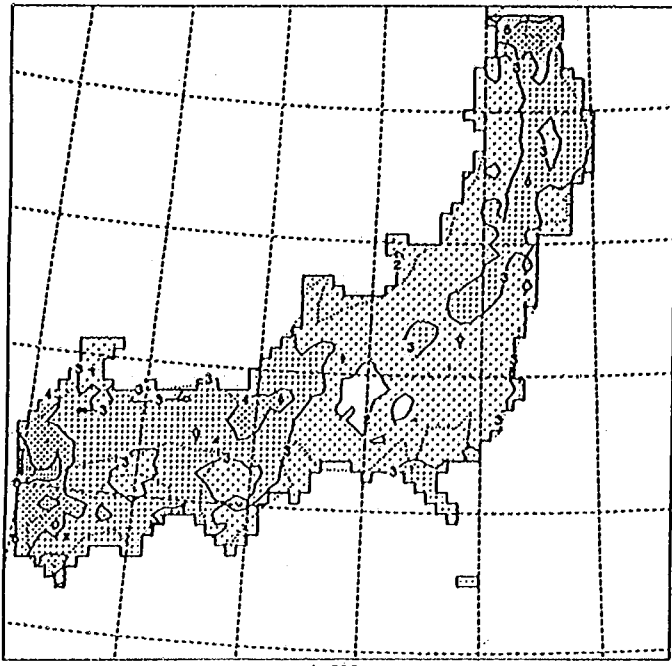
(9-a) 9月 (CO₂×1)



2xCO2

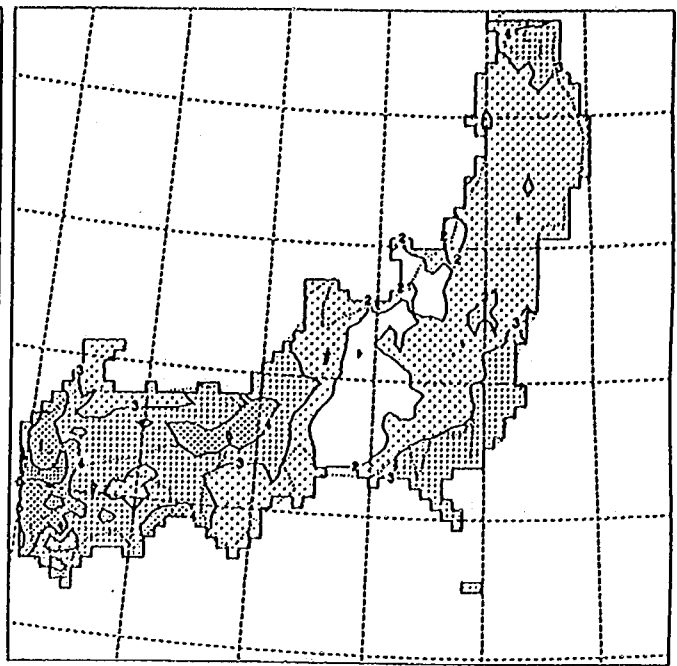
(9-b) 9月 (CO₂×2)





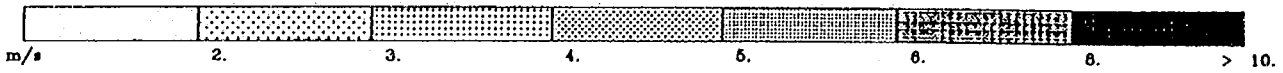
1xCO2

(10-a) 10月 (CO₂×1)

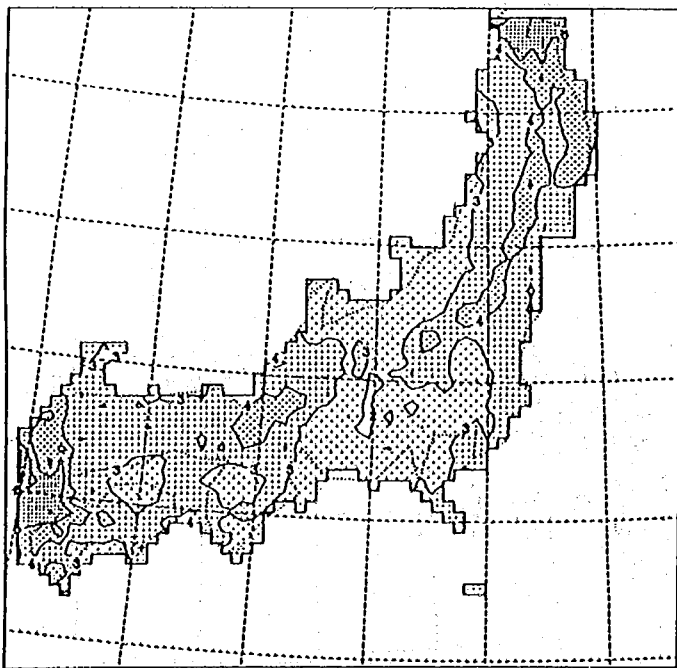


2xCO2

(10-b) 10月 (CO₂×2)

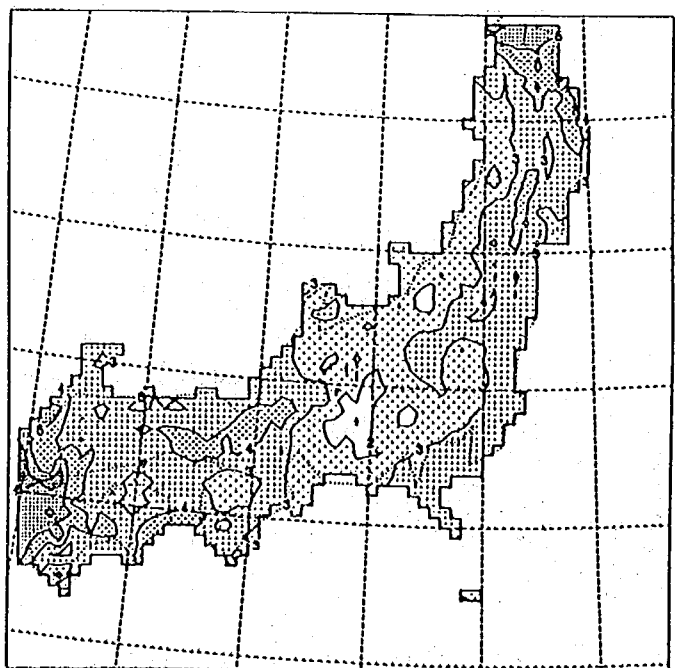


m/s 2. 3. 4. 5. 6. 8. > 10.



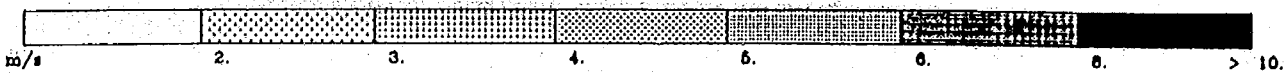
1xCO2

(11-a) 11月 (CO₂×1)

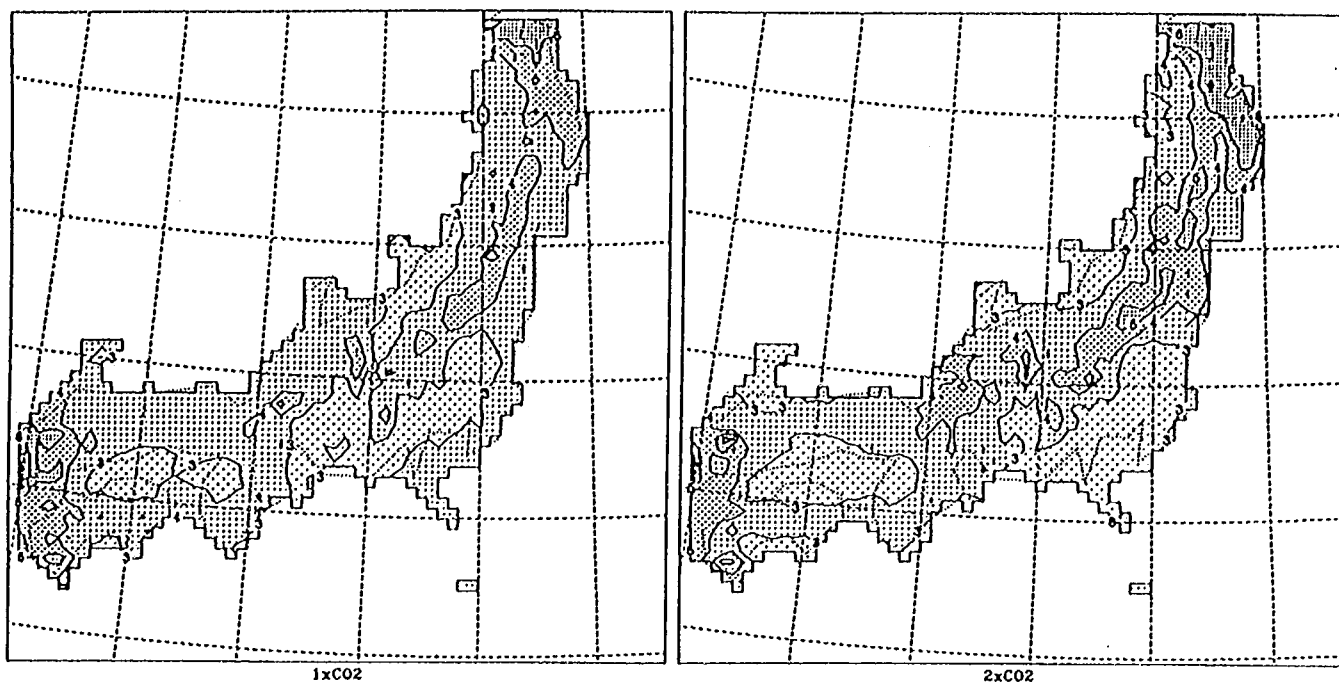


2xCO2

(11-b) 11月 (CO₂×2)

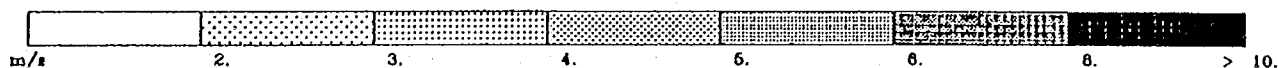


m/s 2. 3. 4. 5. 6. 8. > 10.



(12-a) 12月 (CO₂×1)

(12-b) 12月 (CO₂×2)



7.3 地球温暖化時と現状における降水量・地表面水分量

(1) 中領域モデルの結果

CO₂濃度通常時とCO₂濃度倍増時における年間降水量を比較して図-7.14に示す。温暖化に伴って、中領域モデルでは、気候変化に伴い年間降水量が全体的に減少している。中部の日本アルプス付近で概ね500mmの減少、北海道・四国・九州で100mm~200mm程度の減少が見られる。MRI・GCM-1の結果から、これまでに求められている気候変化に伴う降雨量の変化はおおまかには不変であり、一部でわずかに増加している傾向が見られる程度であることが知られている。この違いの原因は明確でないが、計算機の性能と研究期間の制約から、シミュレート期間が短いこと、地表面過程が考慮されていないことや海面過程が適切でないことなどによって混合比の増加が少なくなっている等の理由も考えられる。両者の比較によると降雨の減少は、山岳地帯で比較的大きいようである。また、6章で述べたように中領域モデルでは、地形の影響等が十分取り込めていない等の理由もあって、降水量は元々現実のものとは比べて少なくなる傾向がある等の違いがある。中央アルプスを除いた地域では、炭酸ガス濃度通常シナリオにおいても降水量が少なくなっており、現実の降水量に比べて九州南部・四国太平洋側が特に少なくなっている。

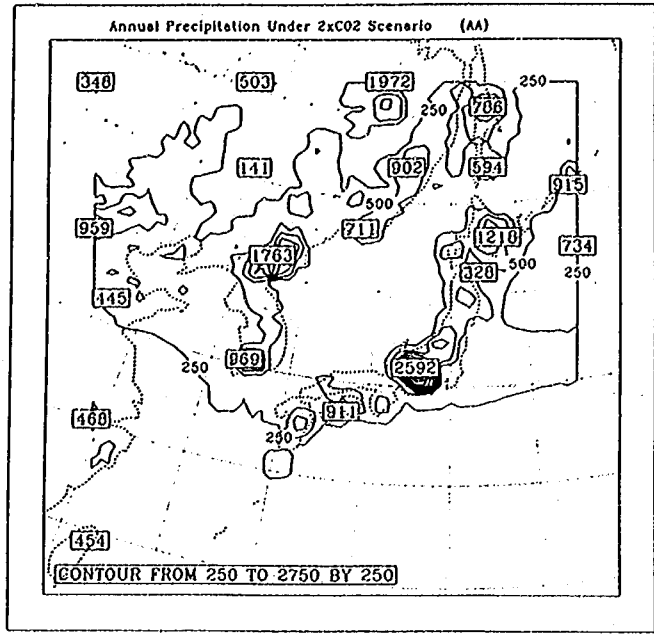
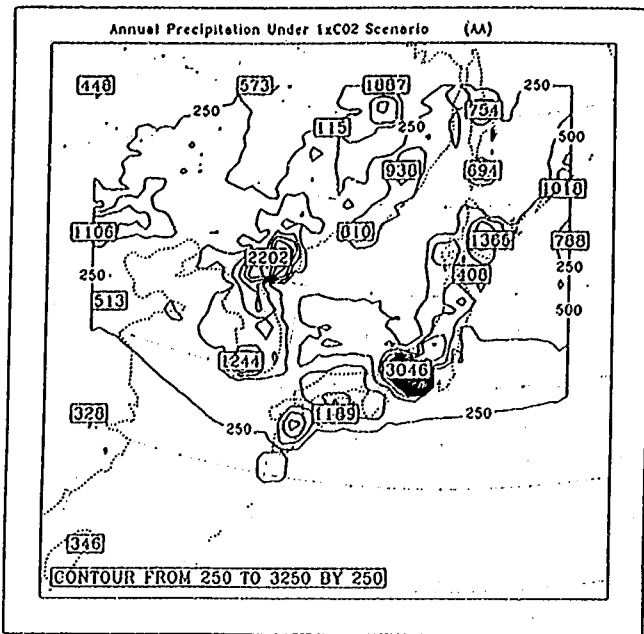
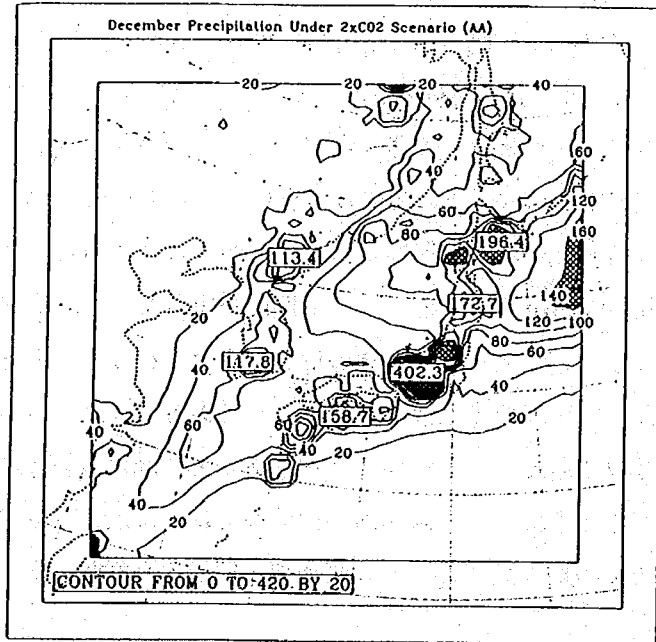
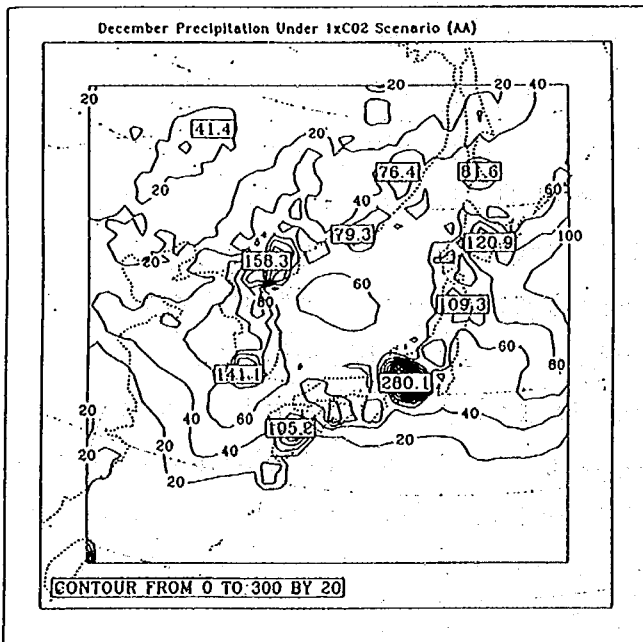


図-7.14 中領域モデルによる地表付近の年平均降水量

図-7.15 (a)(b)(c)(d)に示すように、CO₂濃度倍増時における冬季の降水量は、CO₂濃度現状時におけるものと比較して増加傾向が見られる。12月、1月で若干増加傾向にあり、2月に減少していた。3月では、北海道と九州で降雨が増加し、中部で降水量が減少している。したがって、1年を通してみると、気候変化によって夏期の降水量が減少していることになる。

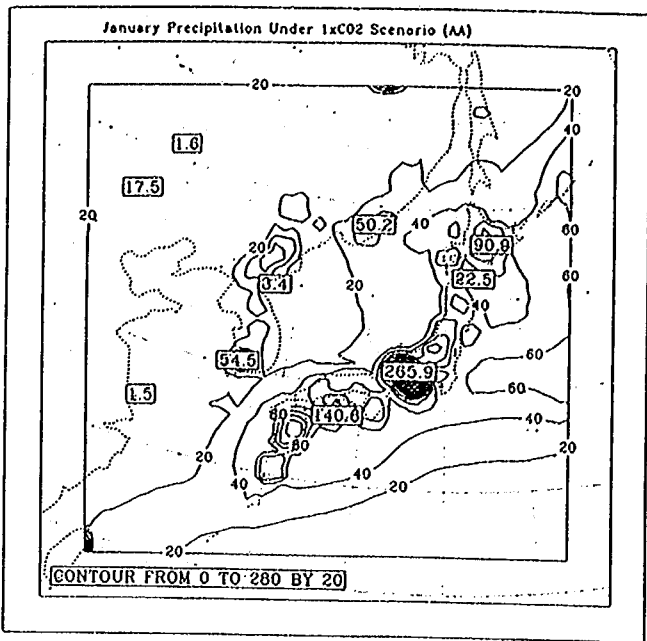
なお、中領域モデルは、地表面での蒸発量及び水分量は求められていない。

図-7.15 中領域モデルによる地表付近の月平均降水量

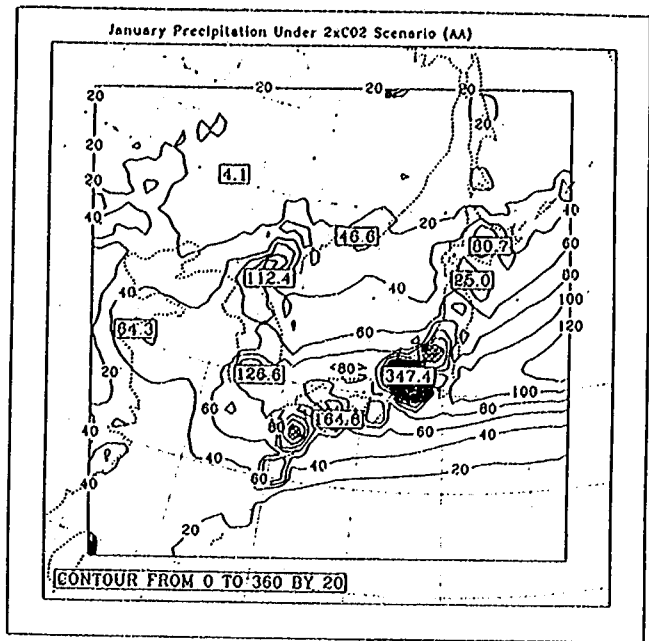


(a-1) 12月 (CO₂×1)

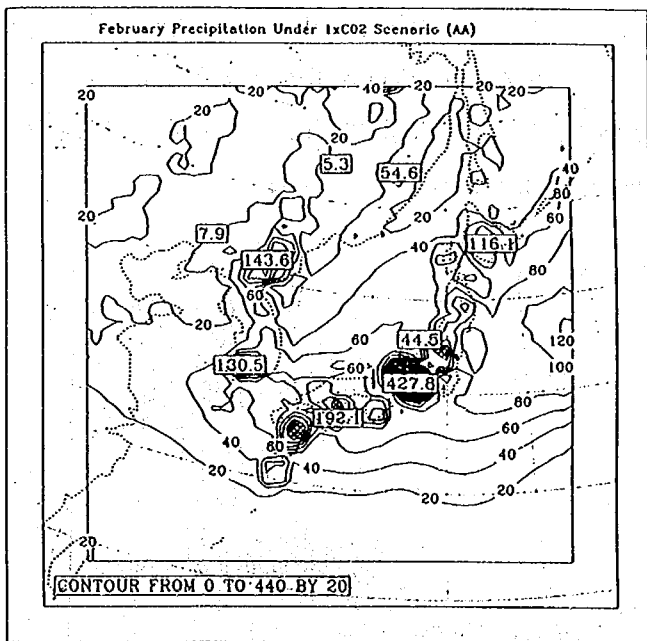
(a-2) 12月 (CO₂×2)



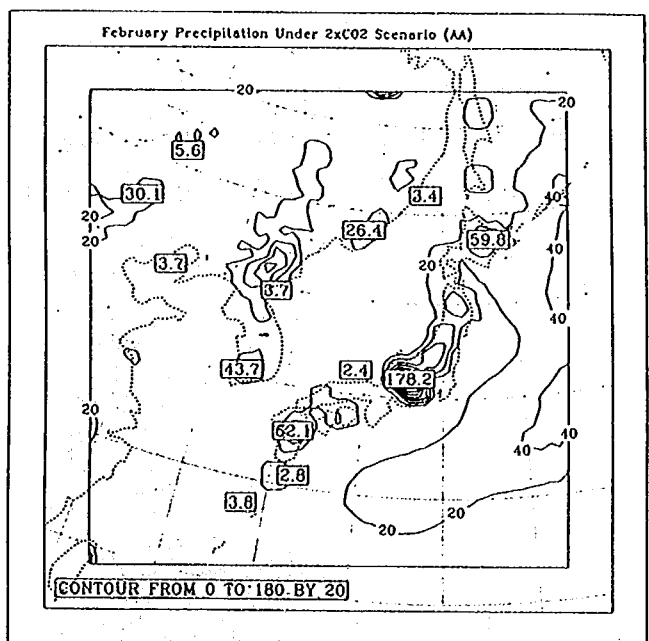
(b-1) 1月 (CO₂×1)



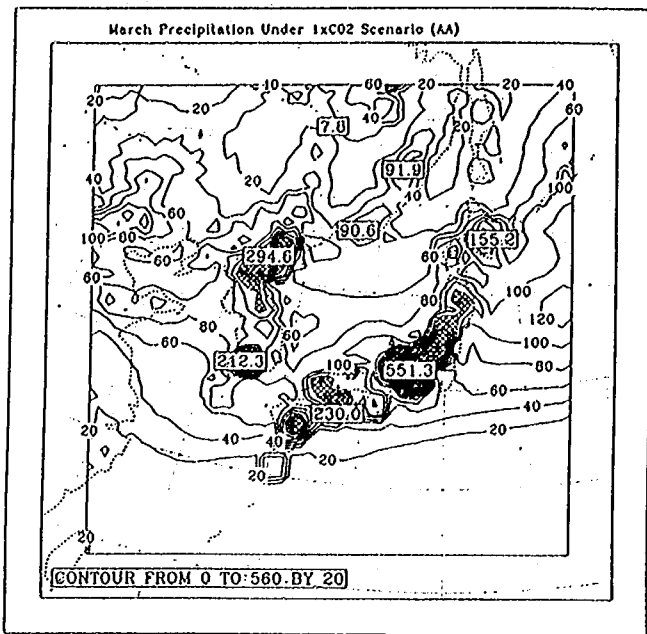
(b-2) 1月 (CO₂×2)



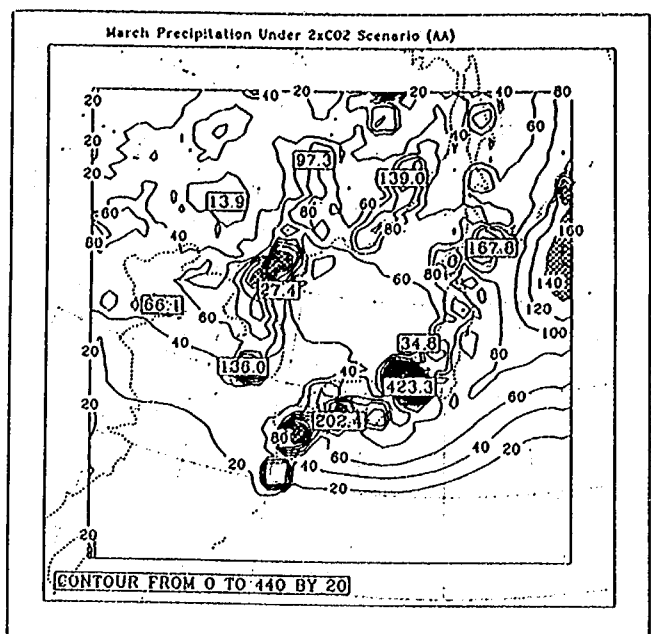
(c-1) 2月 (CO₂×1)



(c-2) 2月 (CO₂×2)



(d-1) 3月 (CO₂×1)



(d-2) 3月 (CO₂×2)

(2) 小領域モデルの結果

図-7.16は、年間降水量の分布を同様に比較して示したものである。図-7.21から炭酸ガス濃度倍増シナリオでは全体的に降水量が減少していることが分かる。炭酸ガス濃度現状シナリオでは、中部地方の山岳地帯で2800~3200mm程度の降水が生じているが、温暖化シナリオでは3000mm程度の降水は生じていない。関東付近では800mm程度から400mm程度に減少している。仙台付近では400mm程度の減少が見られる。この他、山陰から北陸の一部区域において400mm程度の降水量の減少が生じている。

Annual Precipitation

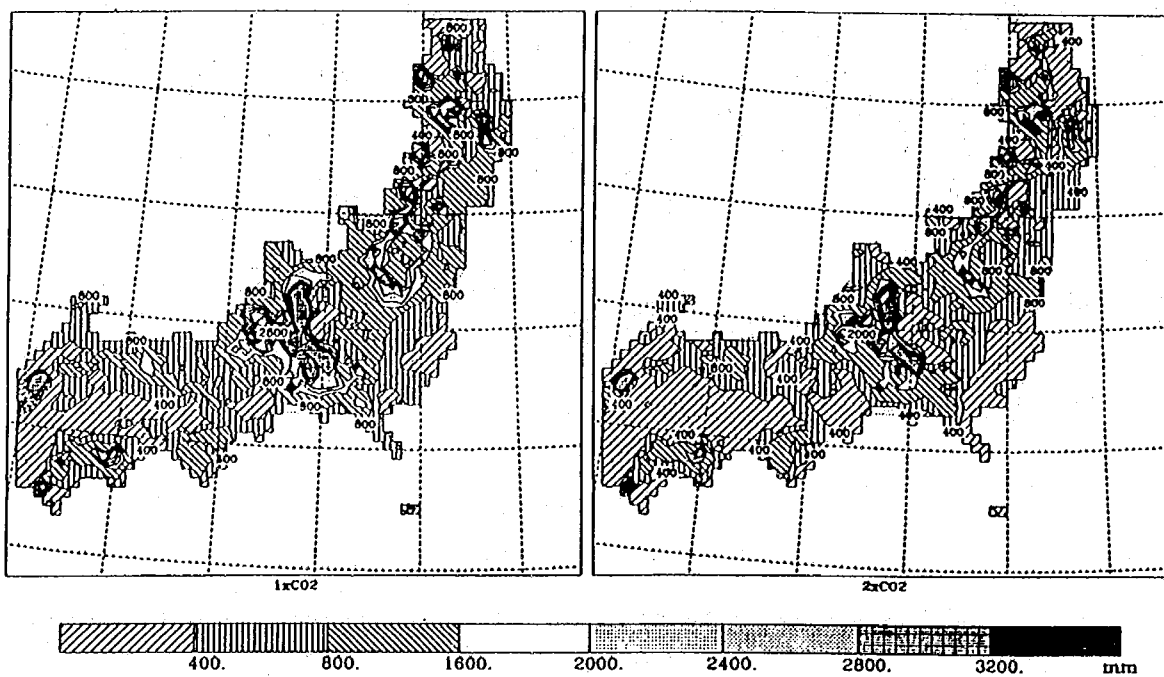


図-7.16 小領域モデルによる地表付近の年降水量

ここで、既往の観測データによると、本州での年間降水量は、東北部太平洋側で1000mm、日本海側で1600～2000mm、北陸部で2000～2500mm程度であり、中部から中国・四国にかけては1500～2000mm程度、瀬戸内海部で1000～1500mmである。ただし、四国太平洋側と紀伊半島で2000～2500mm以上である。

このように、炭酸ガス濃度現状シナリオと現在の観測結果は、南西部、特に太平洋側において、1000～1400mm程度と大きく異なっている。この他、北陸・東北日本海側でも800mm程度少ない。また、平野部においても観測結果に対して降水量の減少傾向が見られる。

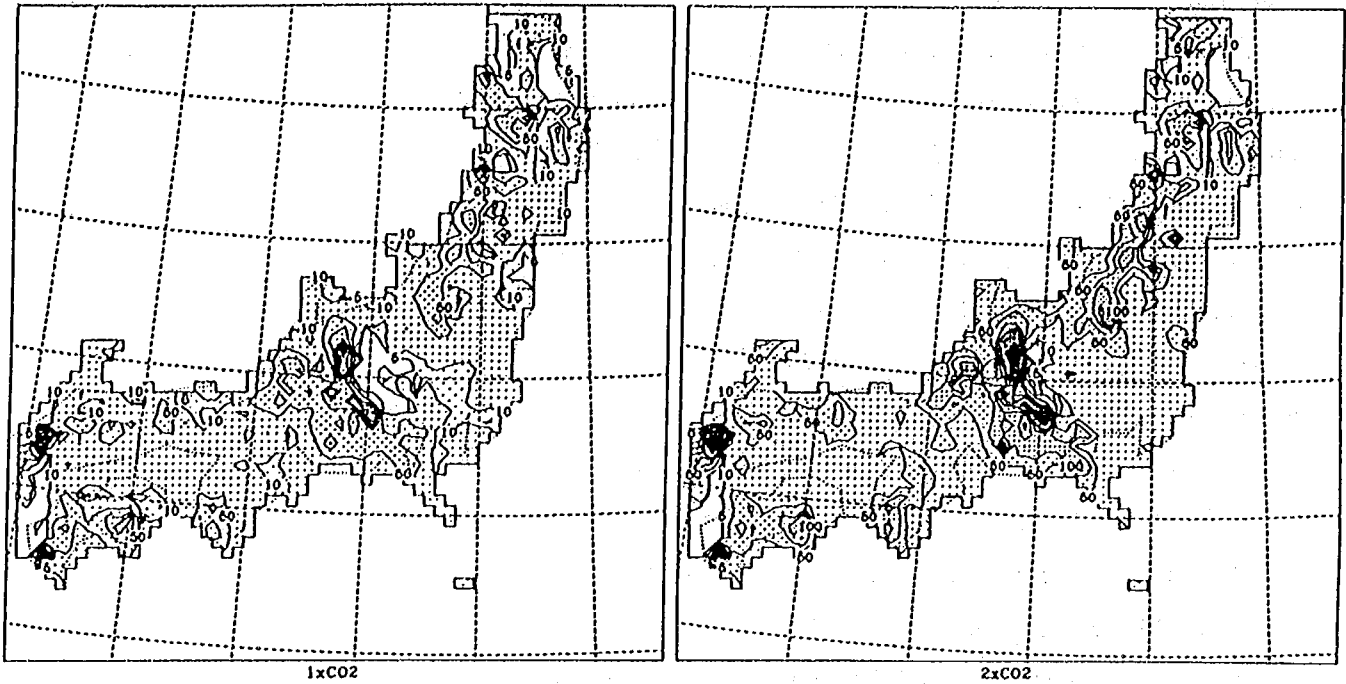
これらの違いは、平成5年度の解析で冬期の降水量をある程度表現できていたこと、及び南西部太平洋側の降水量は夏期の降雨量によって年間全体の2/3程度占められていること等から、夏期における降水量の違いが現れた可能性が高いと思われる。中部地方の山岳地帯では降雨量が3000mm程度あるので、降水量の減少は地形に依らない降雨によるものが多いと推測される。ただし、細かな地形の起伏を起因とする降雨については表現できていない可能性がある。以下に夏期の降雨に対する問題点を述べる。

1つめの問題として雷雨性の降雨、すなわち対流性降雨のモデル化が十分でないことなどが挙げられる。雷雨性降雨を表現するためには数kmスケールの現象を取り扱うようにしなければならず、現在の小領域モデルでは直接対応できない。2つめの問題として台風の問題がある。1年間に日本に接近または上陸する台風の数3～5個程度で、1台風当たり平均100mmの降水量をもたらすと仮定すれば、台風が考慮されなだけで年間降水量に平均で300mm～500mmの差が生じてしまう。衆知のように現行のGCMの100kmオーダの解像度と対流のモデル化では台風の素のようなものは発生しても、気圧が十分下がる程発達しないので、台風(最大風速17m/s以上の熱帯低気圧)にはなれない。なお、台風を直接取り扱うためには、GCM上で数km～10km程度の解像度(現行の1000～10000倍以上の計算能力)が必要とされる。したがって、このメソスケール気象モデルでは台風も通常より少し強い程度の低気圧の現象となり、100mmオーダの大雨をもたらさない。特に降水量の低下が目立つのが南西部であることから、4章のシナリオ解析と5章の擬似降雨シミュレーションの結果と併せて考えれば、これらの主な原因は入力シナリオ中に台風が入っていないことが推定される。したがって、このモデルで得られることができるのは、台風等の影響を除いた場合の降水量に対する影響である。この他の要因として、元の入力シナリオにおける前線部分が緩やかになっており、前線の影響がぼやけているので大雨になりにくいという問題が考えられる。

一般に地球温暖化に伴って、地球全体での降水量は平均的に1割前後増加するとされている。これは、気温上昇に伴い蒸発量が増加するためと考えられている。本解析の場合には、先に示したようにGCM上で日本域における湿度が低下したため、降水が減少したものと考えられる。

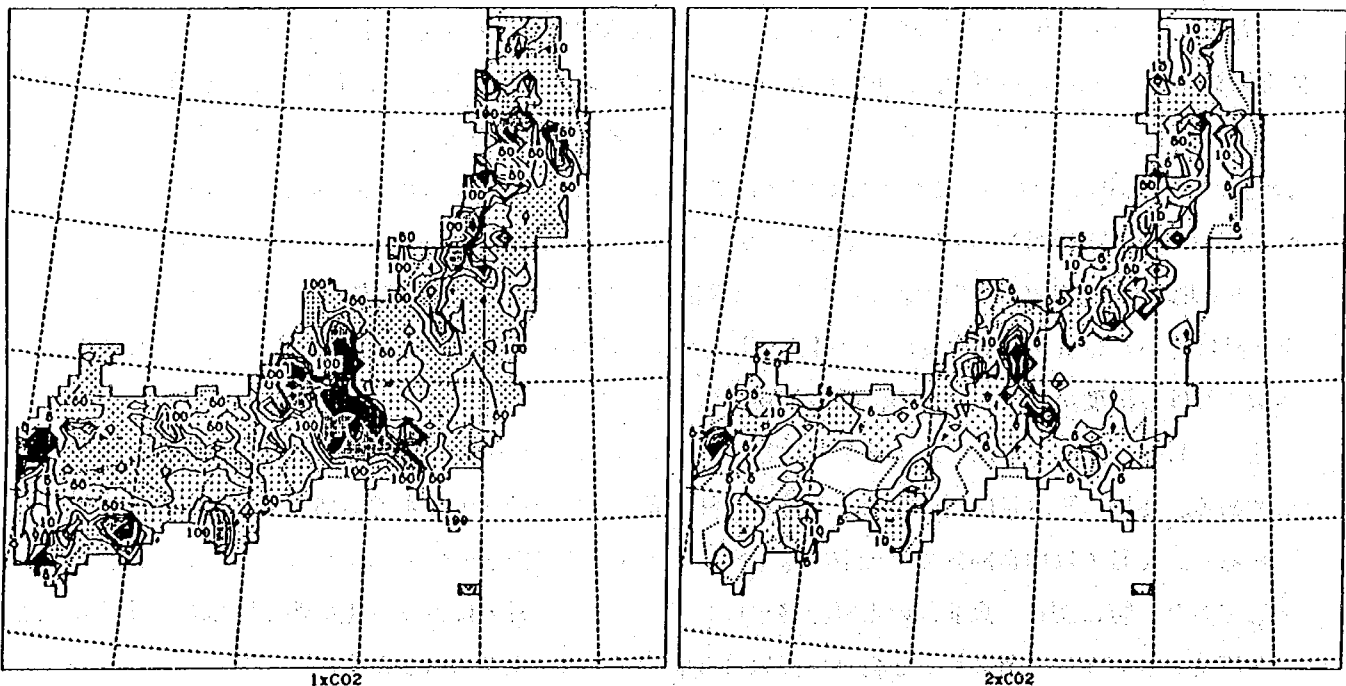
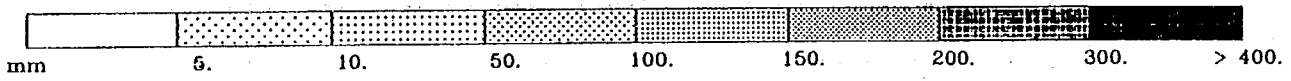
図-7.17(1)～(12)は、それぞれ1月から12月にかけての各シナリオにおける降水量の分布を比較して示したものである。冬期の降水量については、1月と3月は炭酸ガス倍増シナリオで増加している所と減少している所がある。1月では山岳部分で多少増加しているが、3月では山岳部分で減少している。2月は全体的に減少しており、特に関東・東北部の太平洋側が目立っている。4月では気候変化に伴う降水量の変化はほとんど確認できないが、5月になると再び中部地方以北で若干の降水量の減少が生じている。6月、7月では両シナリオにおいて降水量が少なくなっており、本来ならば梅雨の期間であるこの時期の降水量としては少ない。炭酸ガス濃度倍増シナリオでは、8月になると本州中央部の山岳地帯及び関東地方の降水量の減少が目立つ。9月・10月では、関東以西で降水量が少なく、炭酸ガス倍増シナリオではほとんど降水が生じていな

図-7.17 小領域モデルによる地表付近の月降水量



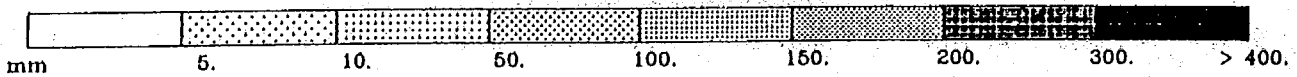
(1-a) 1月 (CO₂×1)

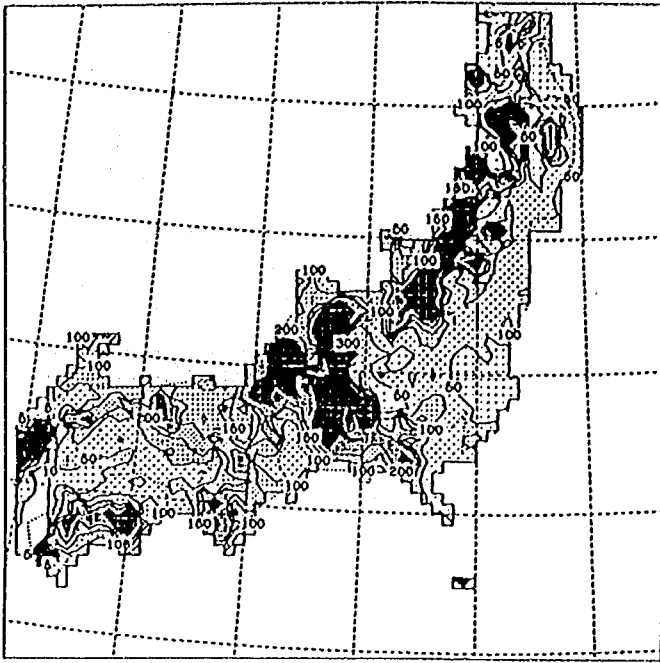
(1-b) 1月 (CO₂×2)



(2-a) 2月 (CO₂×1)

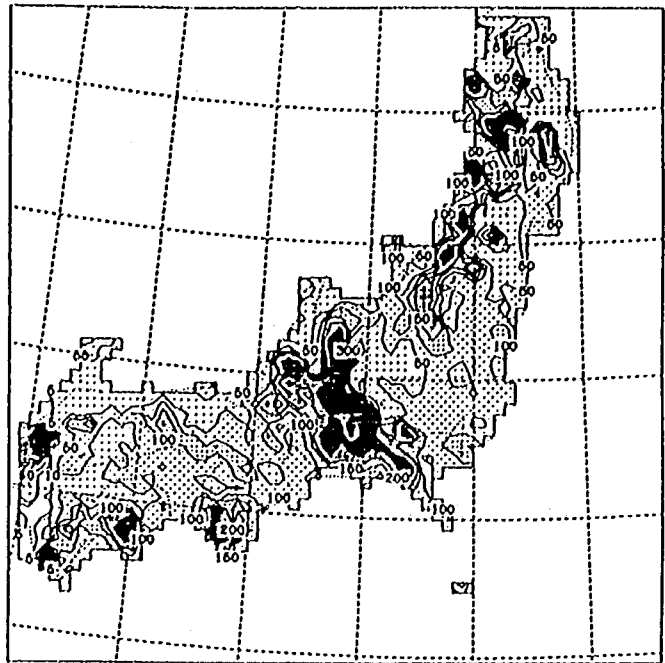
(2-b) 2月 (CO₂×2)





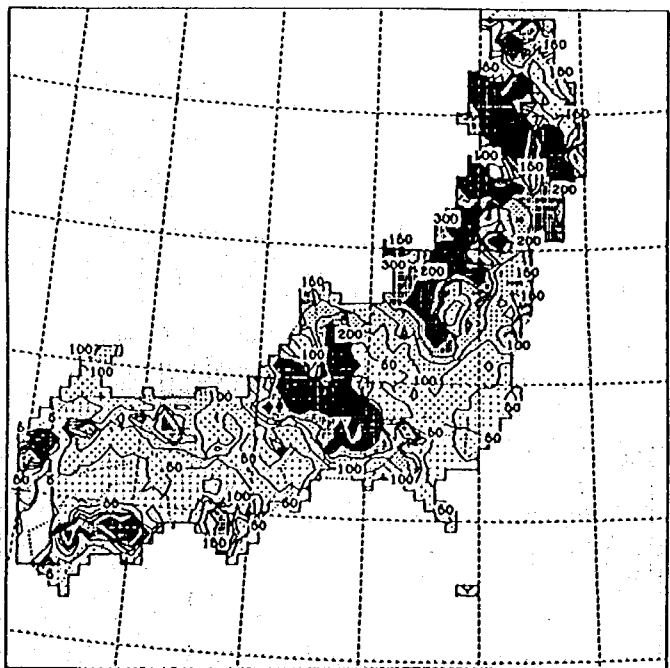
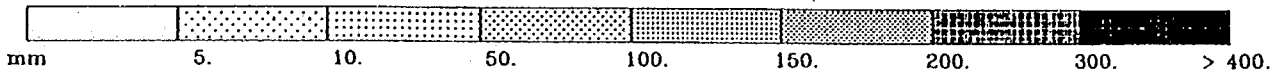
1xCO₂

(3-a) 3月 (CO₂×1)



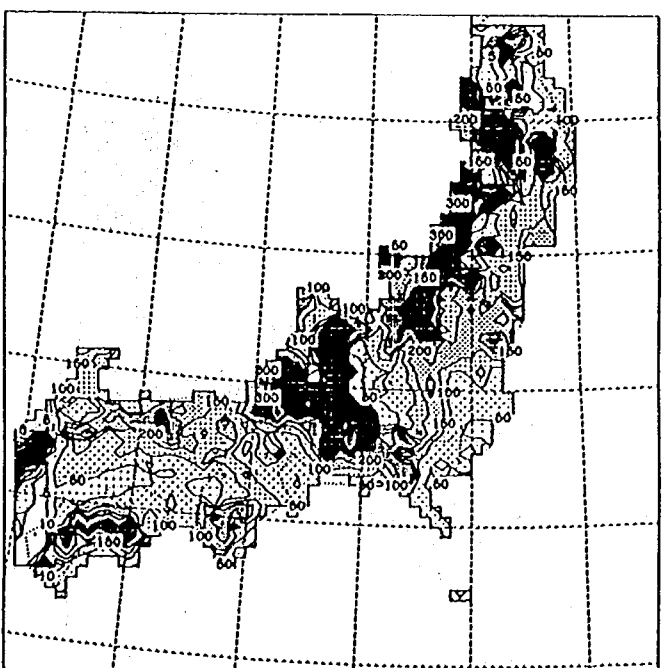
2xCO₂

(3-b) 3月 (CO₂×2)



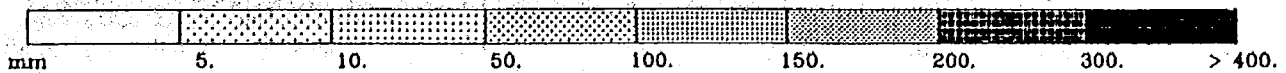
1xCO₂

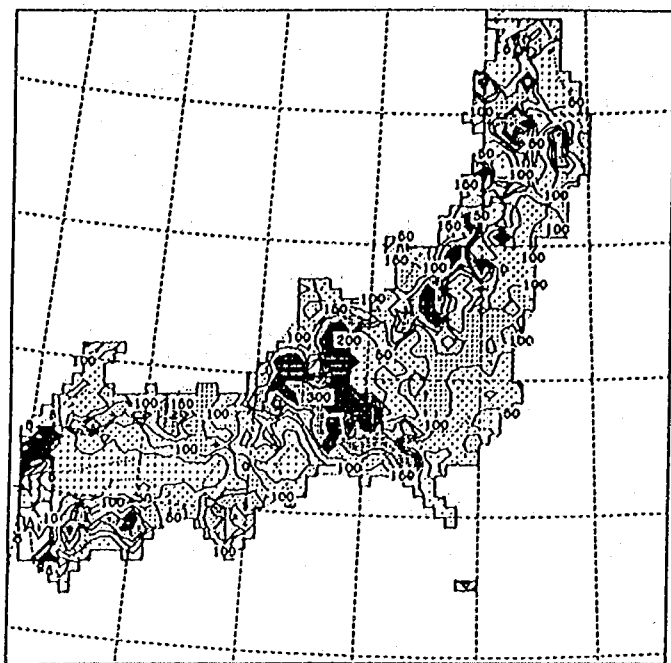
(4-a) 4月 (CO₂×1)



2xCO₂

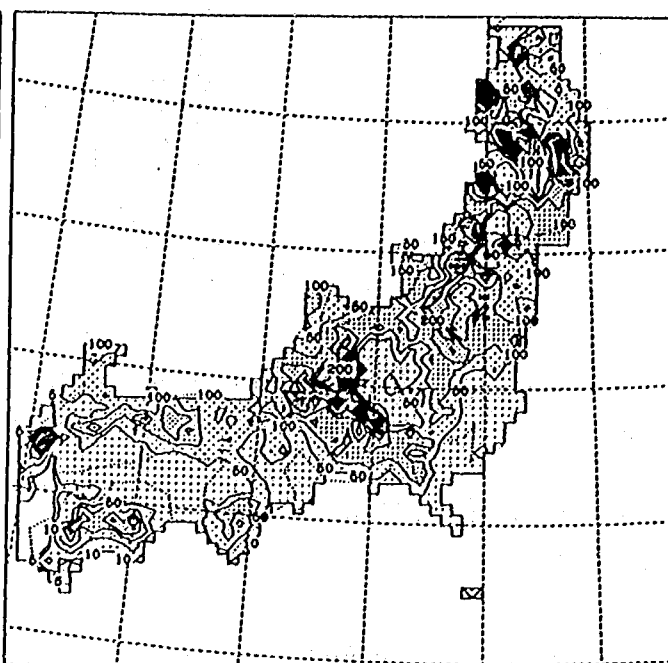
(4-b) 4月 (CO₂×2)





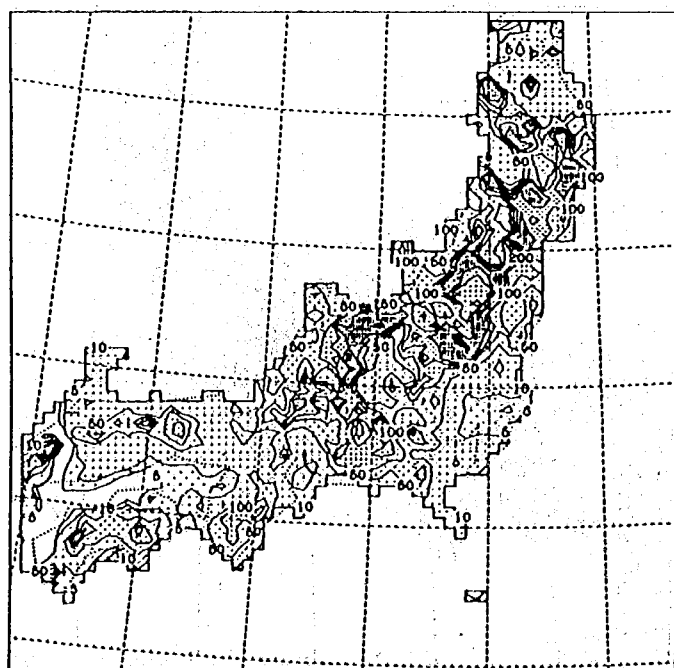
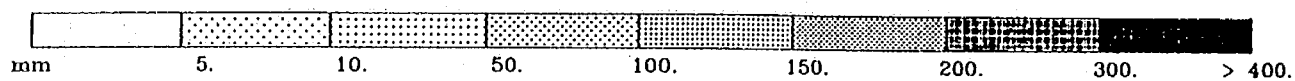
1xCO2

(5-a) 5月 (CO₂×1)



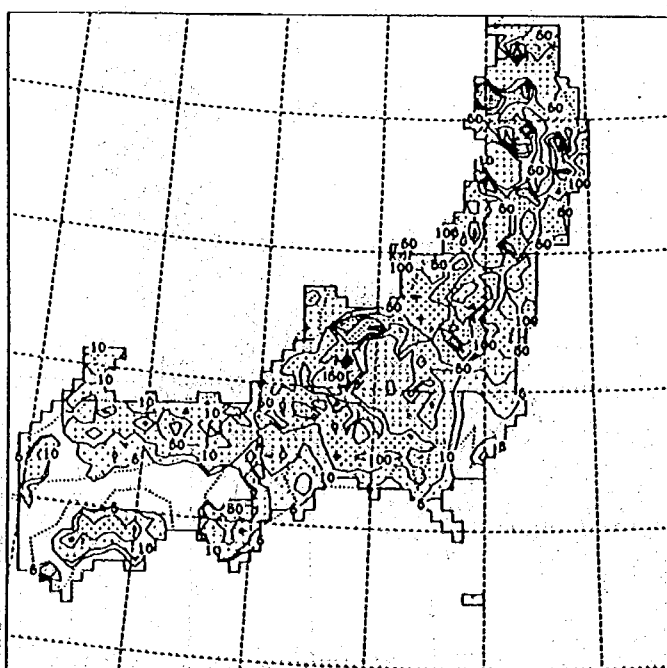
2xCO2

(5-b) 5月 (CO₂×2)



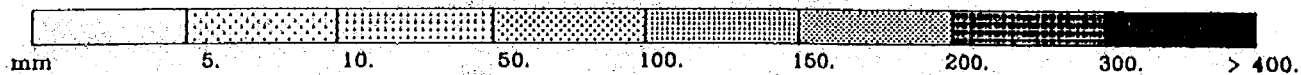
1xCO2

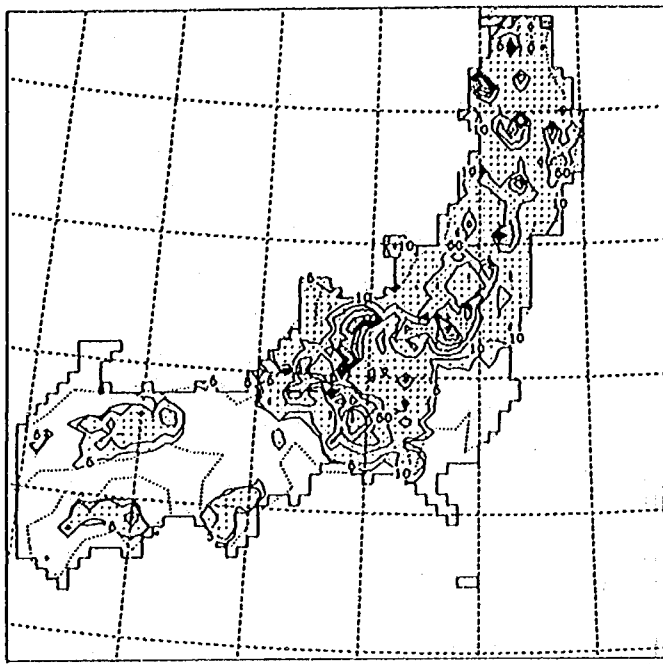
(6-a) 6月 (CO₂×1)



2xCO2

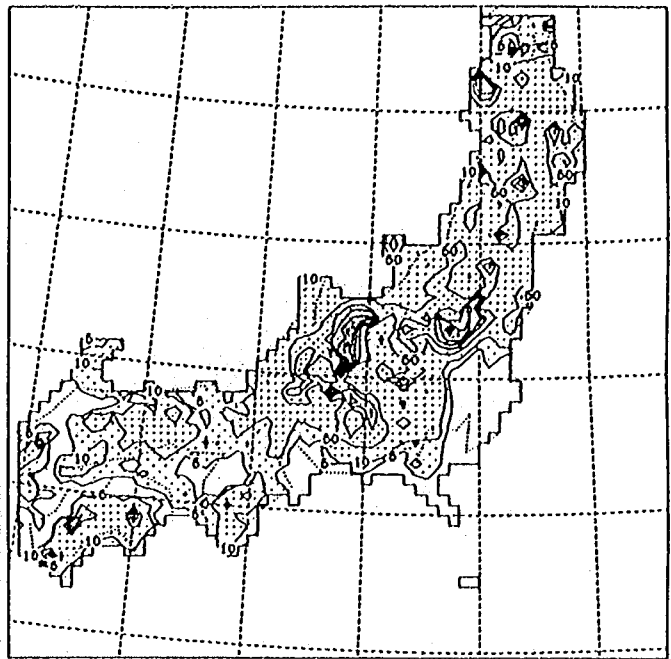
(6-b) 6月 (CO₂×2)





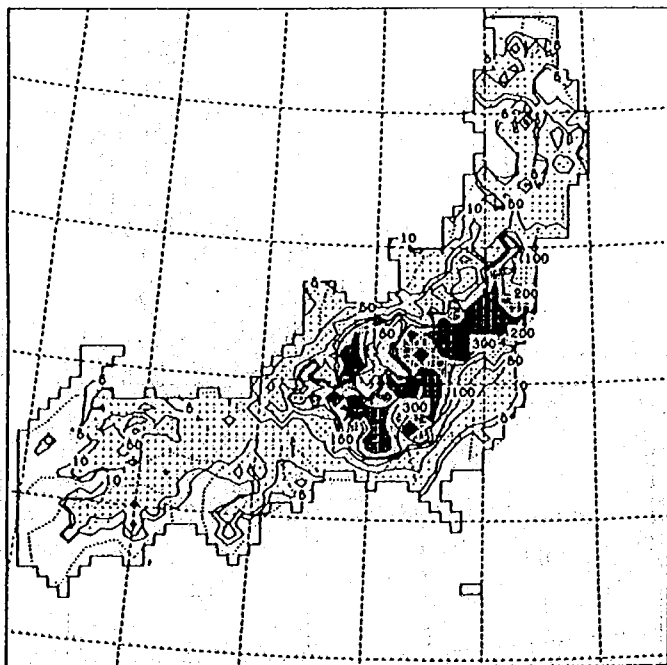
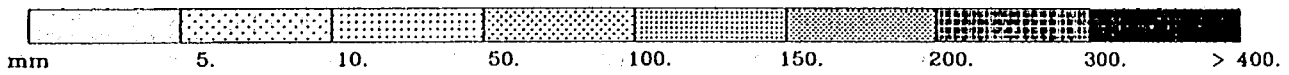
1xCO2

(7-a) 7月 (CO₂×1)



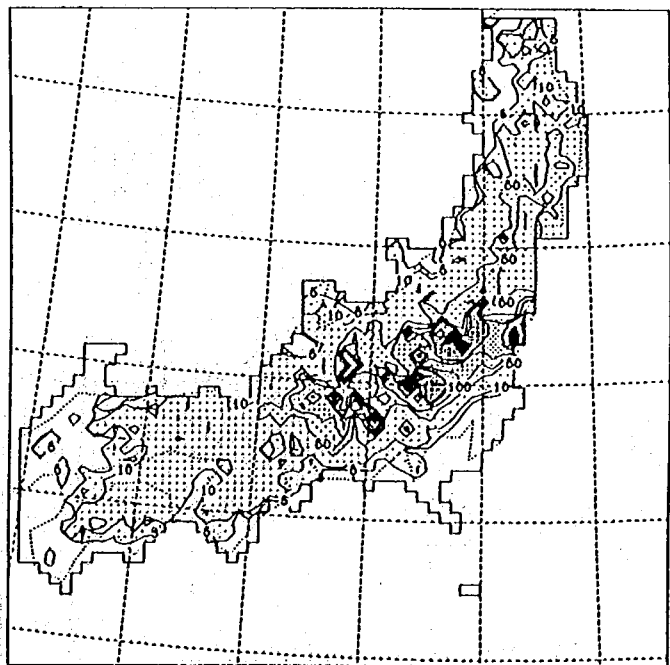
2xCO2

(7-b) 7月 (CO₂×2)



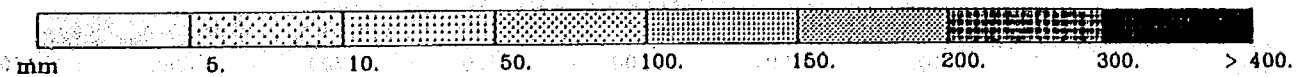
1xCO2

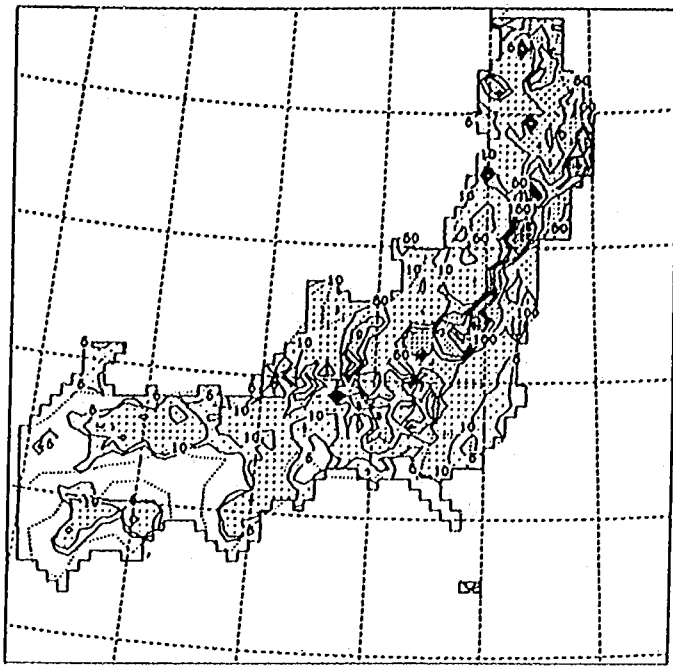
(8-a) 8月 (CO₂×1)



2xCO2

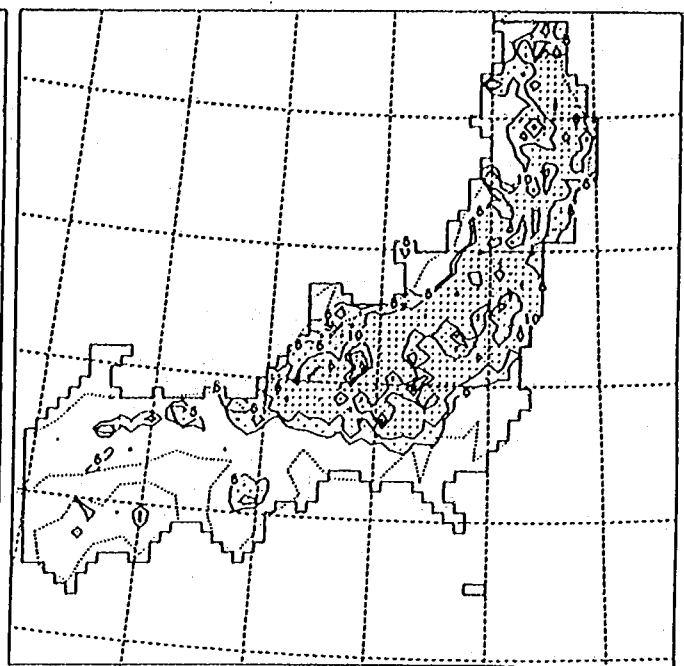
(8-b) 8月 (CO₂×2)





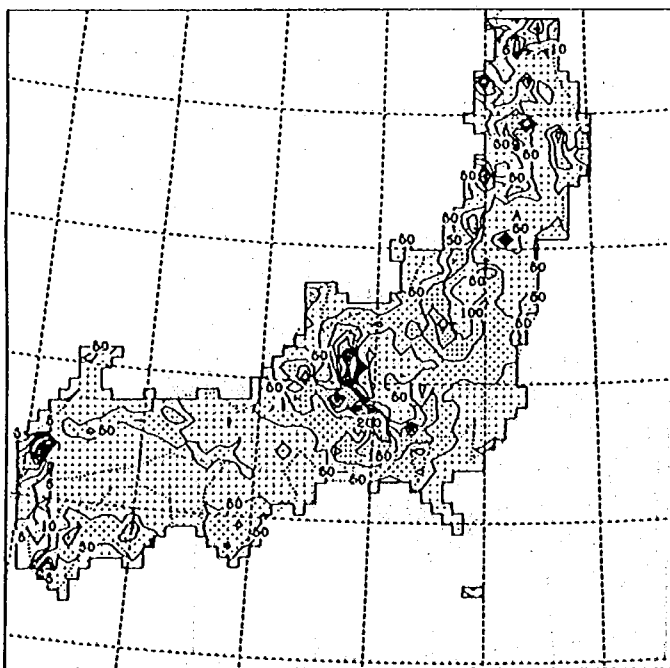
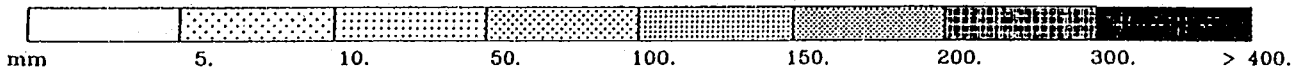
1xCO2

(9-a) 9月 (CO₂×1)



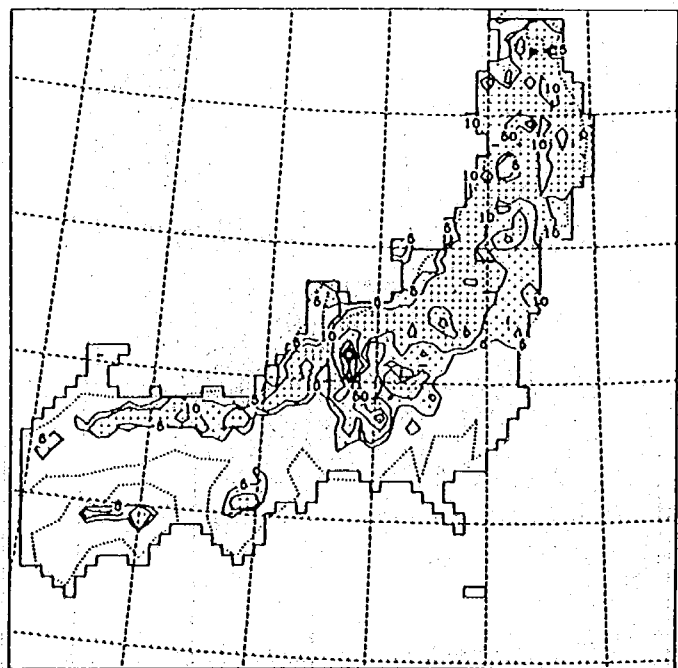
2xCO2

(9-b) 9月 (CO₂×2)



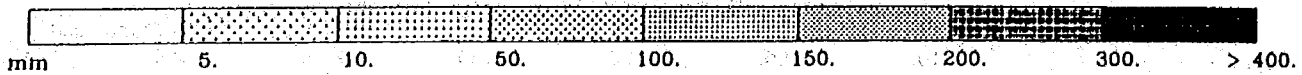
1xCO2

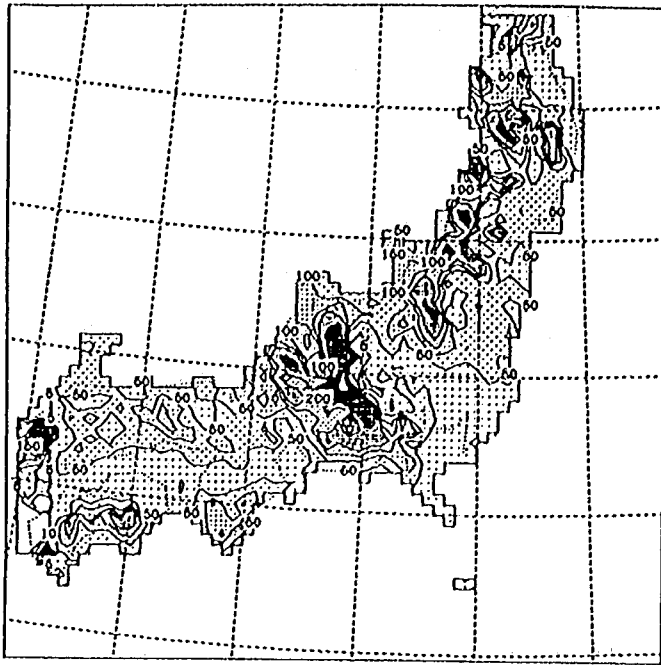
(10-a) 10月 (CO₂×1)



2xCO2

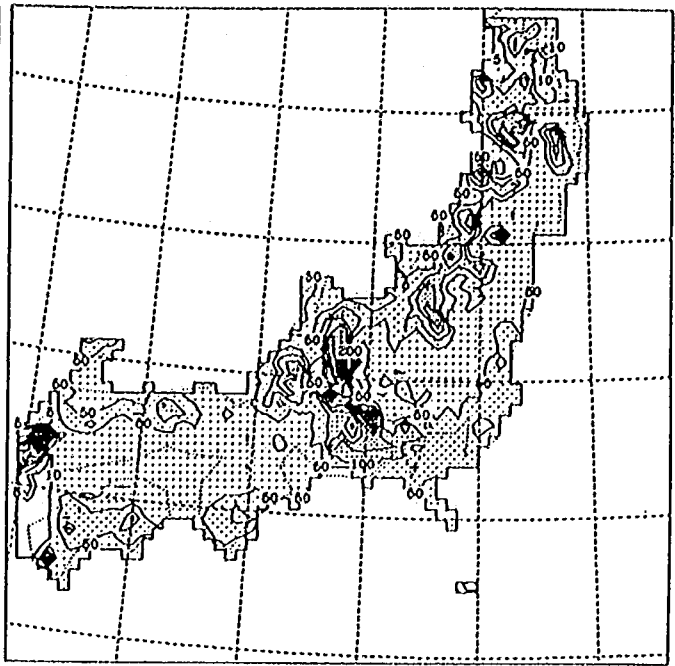
(10-b) 10月 (CO₂×2)





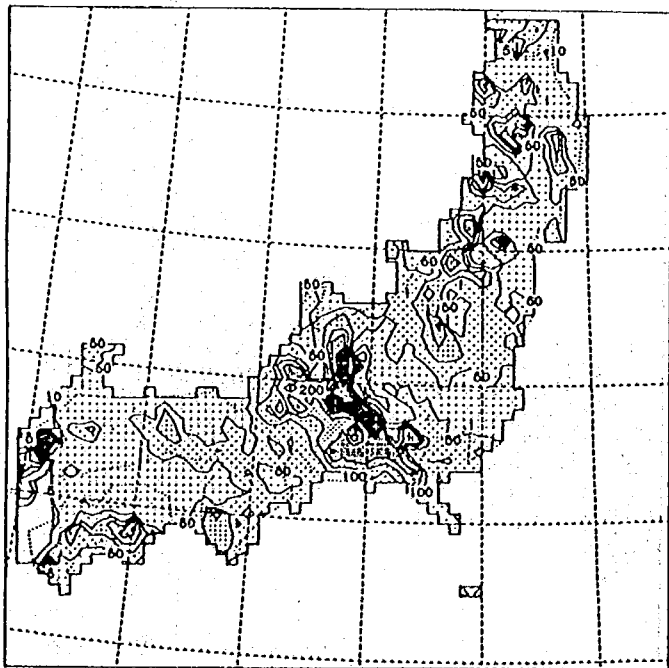
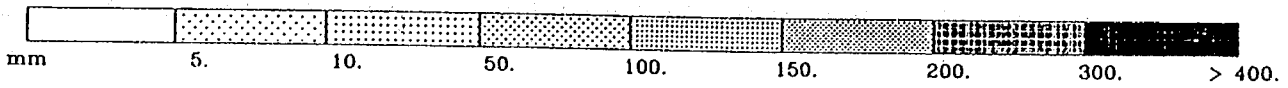
1xCO2

(11-a) 11月 (CO₂ × 1)



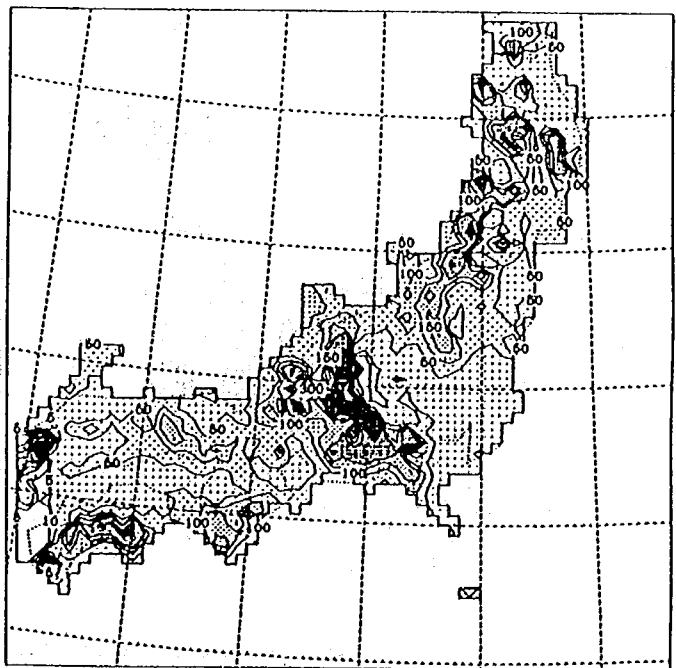
2xCO2

(11-b) 11月 (CO₂ × 2)



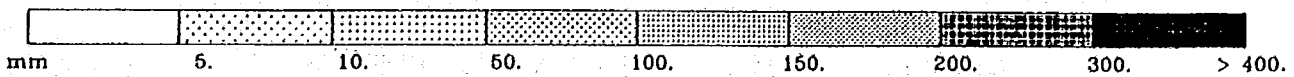
1xCO2

(12-a) 12月 (CO₂ × 1)



2xCO2

(12-b) 12月 (CO₂ × 2)



い。11月になると降水が生じるようになり、炭酸ガス倍増シナリオの降水量が若干少ない程度である。12月において、炭酸ガス倍増シナリオの降水量の方がわずかに多くなっている。以上のことから、気候変化に伴う降水量の減少は5月、6月、9月、10月に生じていることになる。一方、6月～10月にかけて炭酸ガス濃度通常シナリオにおいても降水量が観測値よりも小さくなっている。

図-7.18は地表面水分量の年間平均値を比較して示している。これより、南西部においては気候変化に伴って水分量はほとんど変化していない。これに対し、中部地方の山岳地帯から東北部の山岳地帯及び太平洋側にかけて土壌の乾燥化が確認できる。これらの範囲、特に東北地方では第5章で示したように元々台風による降水量は少ないので、夏期の降水量にエラーが少なくなっていると考えられる。東北太平洋側における年降水量の観測値は1000～1200mm程度であり、炭酸ガス濃度現状シナリオに対する計算結果は先に図-7.16で示したように800mm以上程度であるから実際に大きな違いはない。したがって、年間降水量は現状シナリオと現在の観測結果は大きく異なっておらず、温暖化に伴う変化も概ね正しいと仮定するとこれらの場所では、降水量の減少と気温の上昇に伴って乾燥化が進むことになると考えられる。一方、関西よりも西の範囲では、計算による降水量の変化が少ないことと、気温の上昇量等が小さいなど気候変化の影響が少ないので地表面における土壌水分量の変化が認められなかったと考えられる。しかし、これらの範囲において炭酸ガス濃度現状シナリオの降水量が現状と一致していなかったため、実際には降水量の変化は台風などに影響されると考えられた方が妥当であり、実際にほとんど変化しないかどうかまでは分からない。仮に、台風による降水量が減少したとするならば、多少は乾燥するものと思われる。

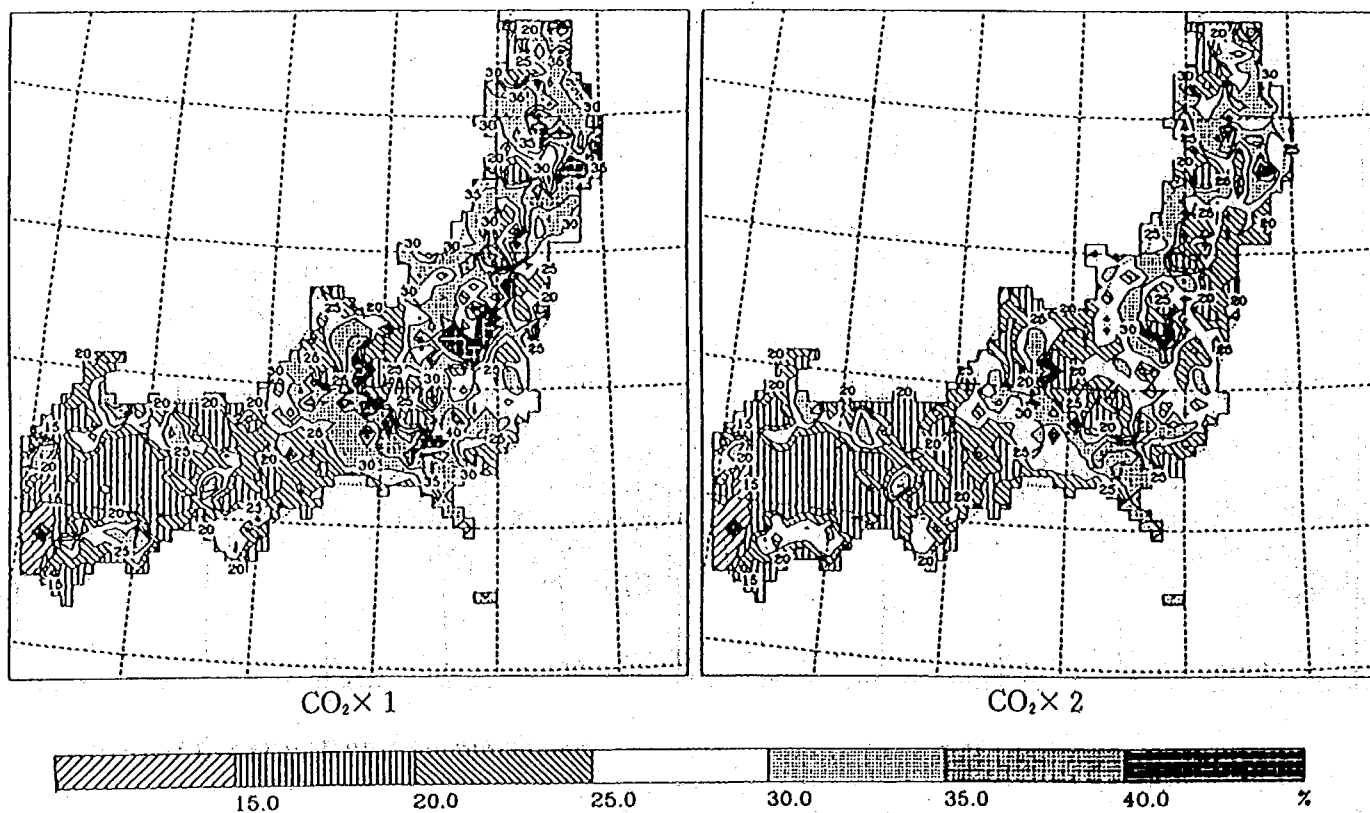
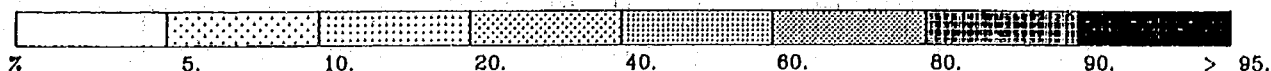
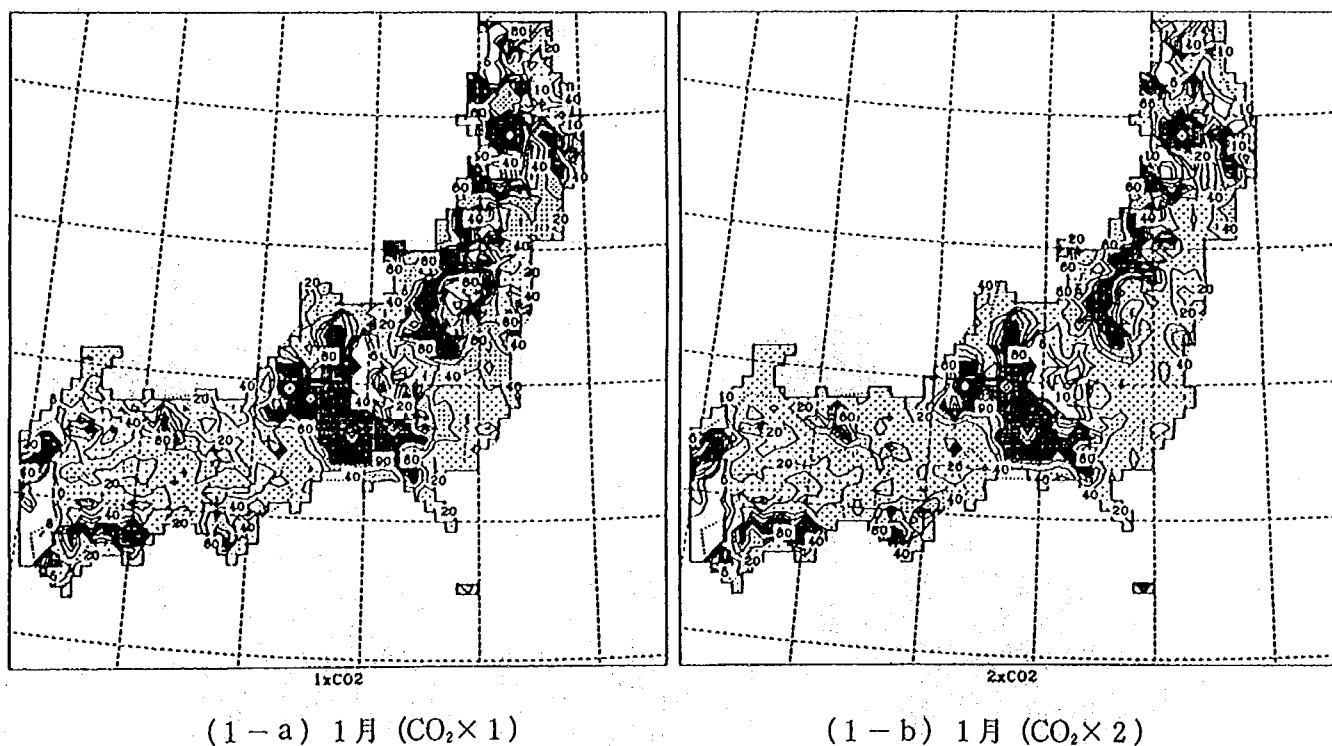
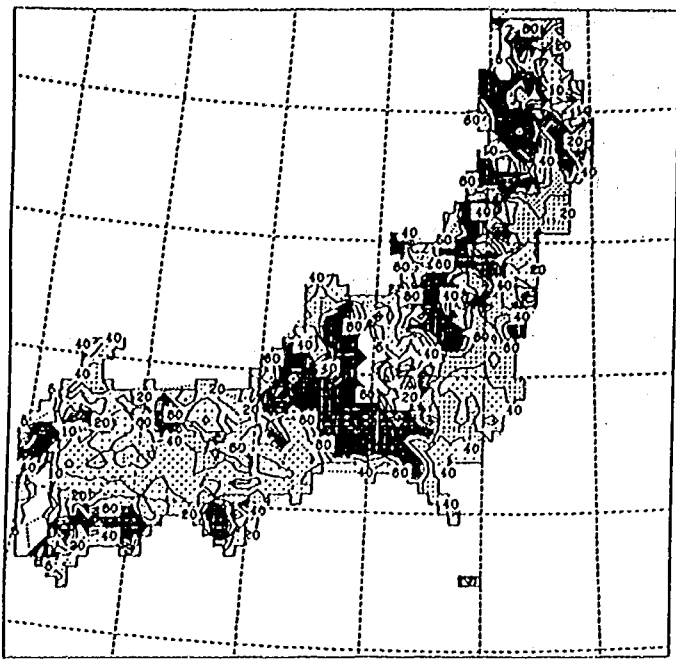


図-7.18 小領域モデルによる地表水分量の年平均値

図-7.19(1)~(2)は、それぞれ1月から12月における各シナリオに対する地表面の飽和度の分布を比較して示したものである。1月及び4月には、両シナリオ間において飽和度の分布に差は見られない。2月及び3月では炭酸ガス濃度倍増シナリオで乾燥しており、中部・関東・東北の太平洋側で乾燥化が確認できる。炭酸ガス濃度倍増シナリオでは、5月から乾燥化が進み、10月まで乾燥状態になる。この間、炭酸ガス濃度通常シナリオでも乾燥化が進み、炭酸ガス濃度倍増シナリオの場合よりも極端ではなく、10月にはかなり回復している。炭酸ガス濃度倍増シナリオに対する8月前後の結果では、一部の地域を除いてほとんど乾燥している。これはモデル上で夏期に降水がほとんど生じていないためである。11月になると降水が生じるようになっているので両者とも飽和度が回復してくるが、12月になっても炭酸ガス倍増シナリオにおける結果の方が全体的にわずかに乾燥している。

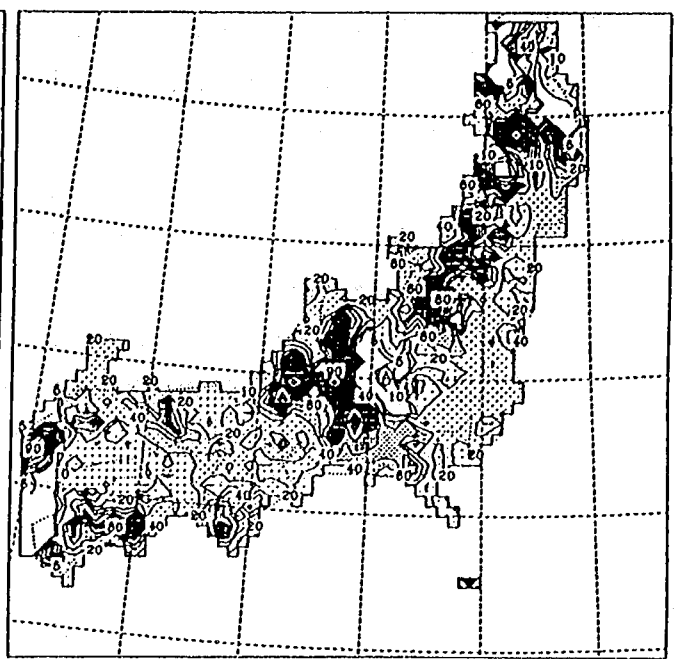
図-7.19 小領域モデルによる地表水分量の月平均値





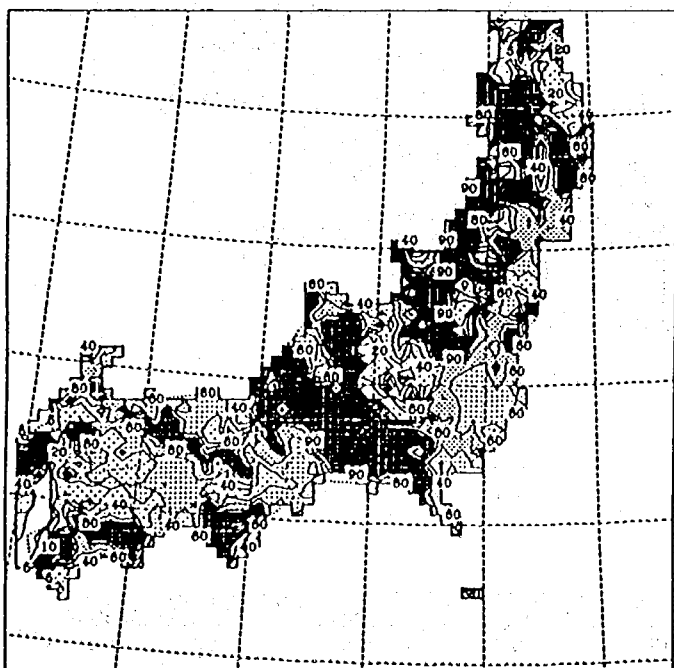
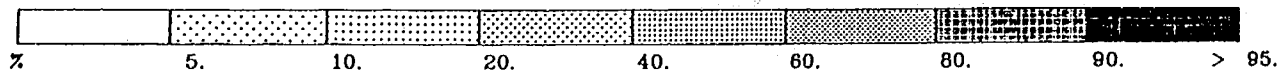
1xCO2

(2-a) 2月 (CO₂×1)



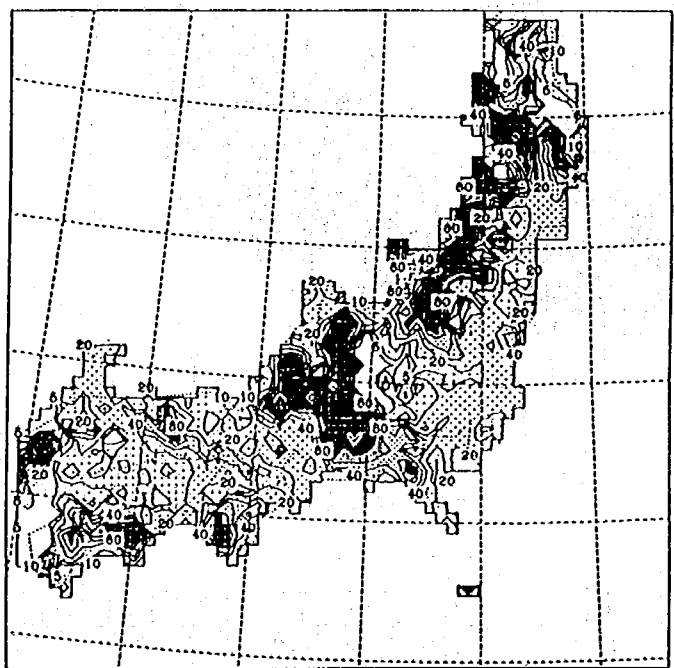
2xCO2

(2-b) 2月 (CO₂×2)



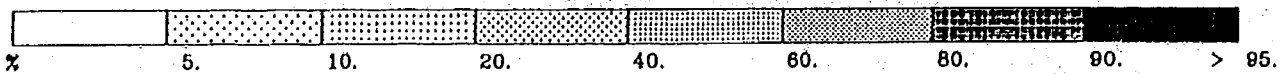
1xCO2

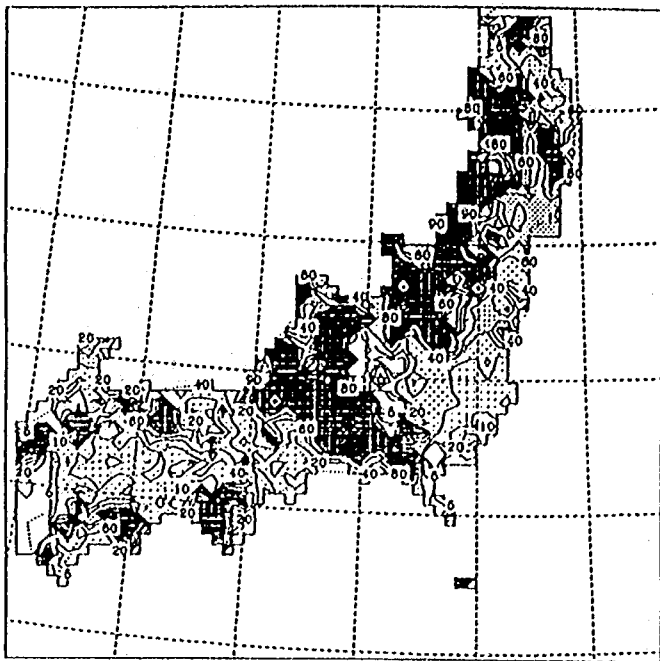
(3-a) 3月 (CO₂×1)



2xCO2

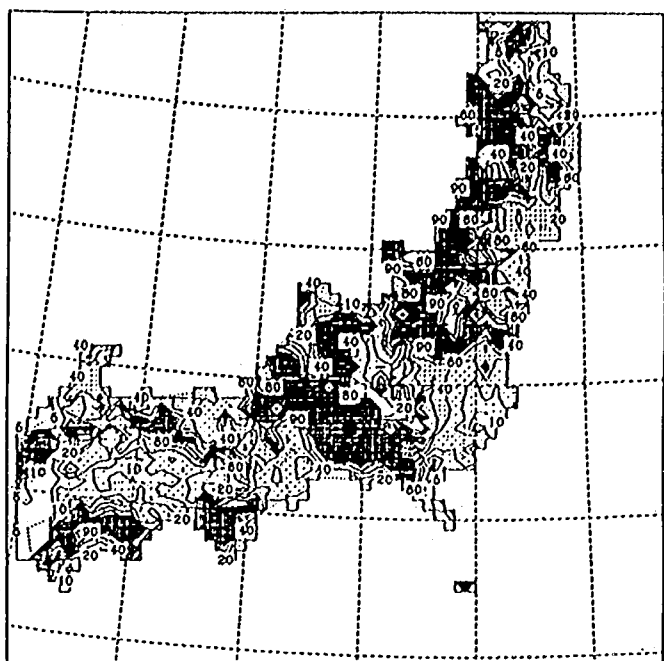
(3-b) 3月 (CO₂×2)





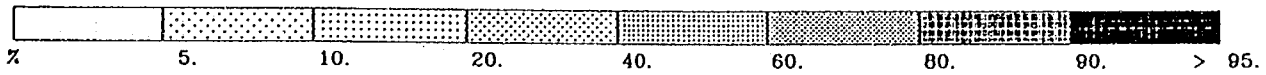
1xCO2

(4-a) 4月 (CO₂×1)

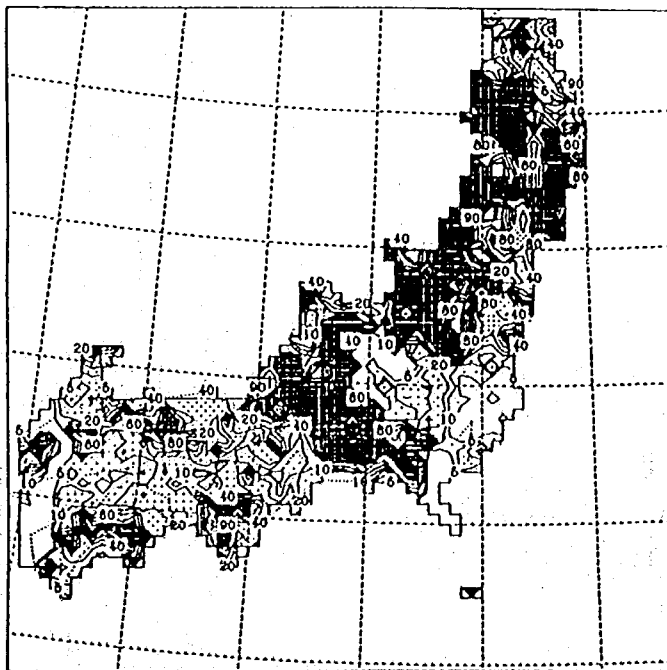


2xCO2

(4-b) 4月 (CO₂×2)

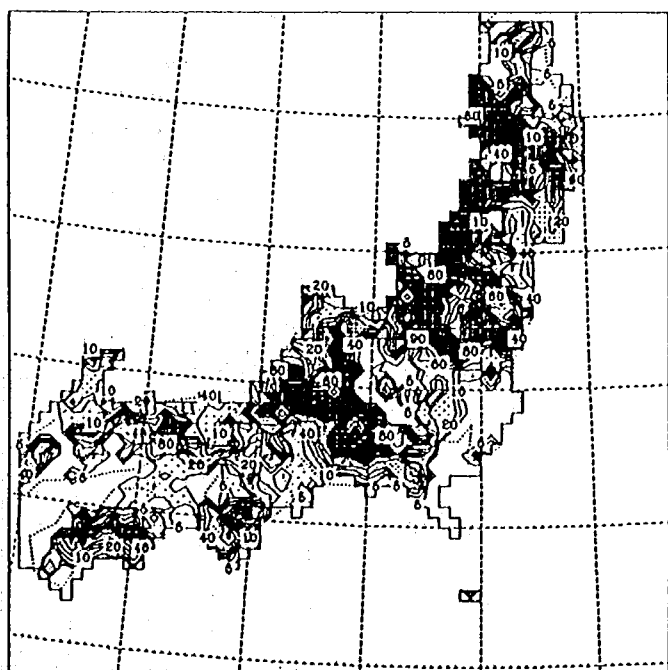


% 5. 10. 20. 40. 60. 80. 90. > 95.



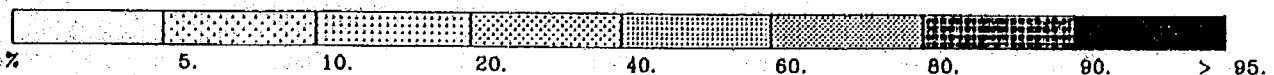
1xCO2

(5-a) 5月 (CO₂×1)

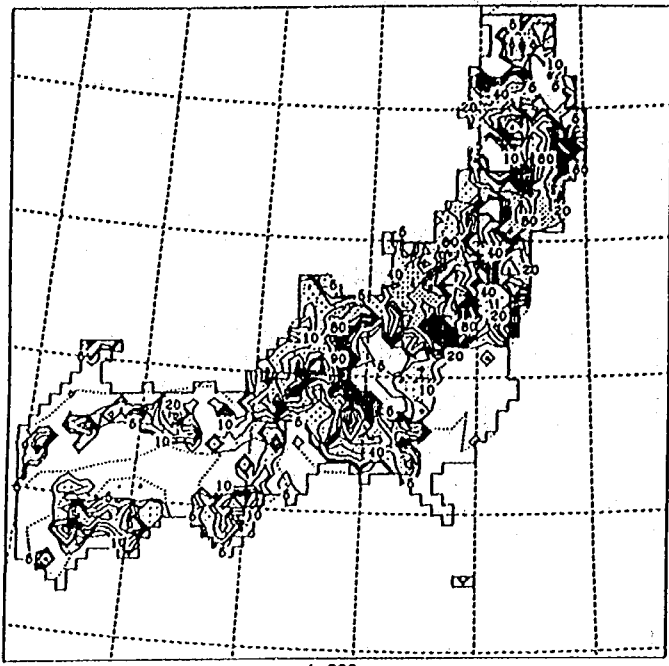


2xCO2

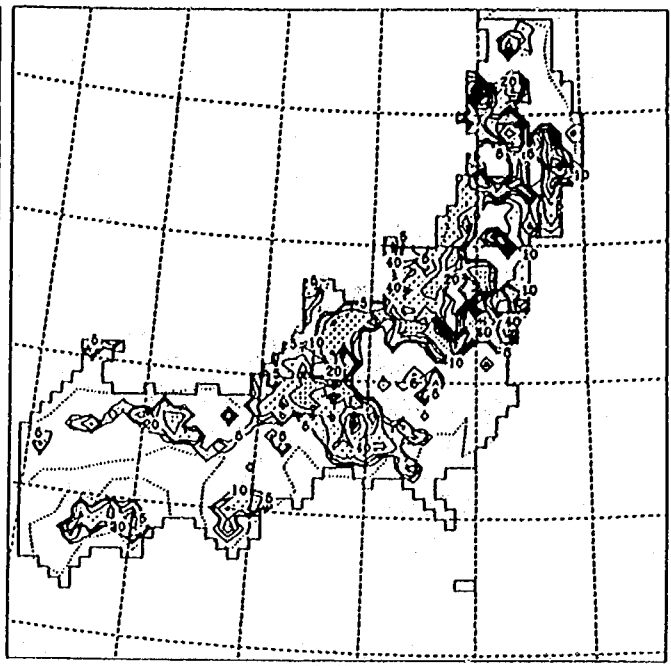
(5-b) 5月 (CO₂×2)



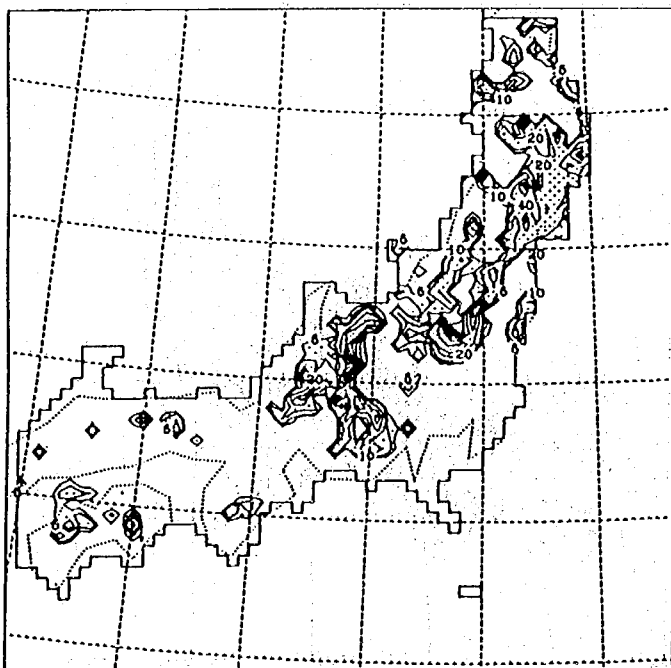
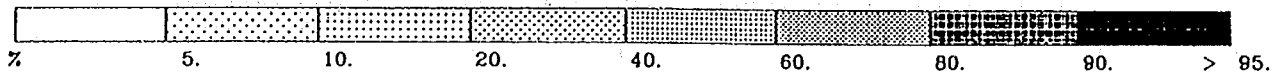
% 5. 10. 20. 40. 60. 80. 90. > 95.



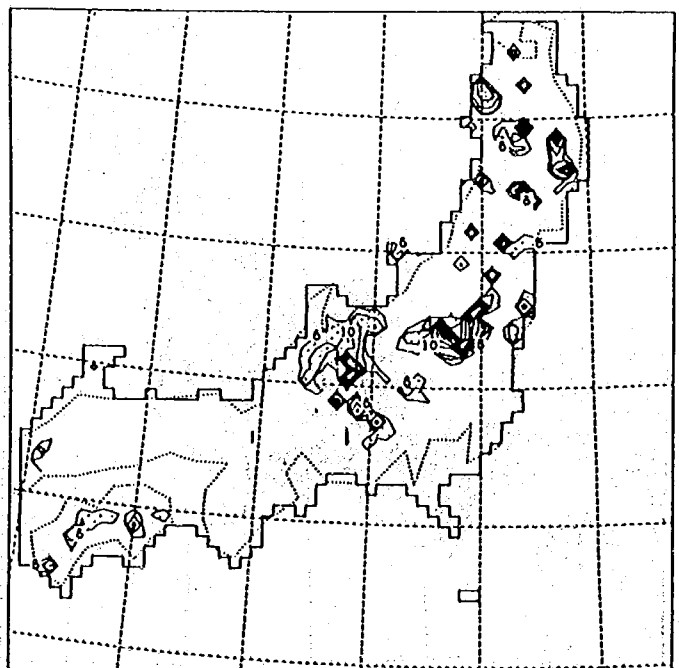
(6-a) 6月 (CO₂×1)



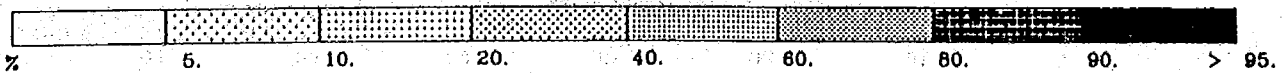
(6-b) 6月 (CO₂×2)

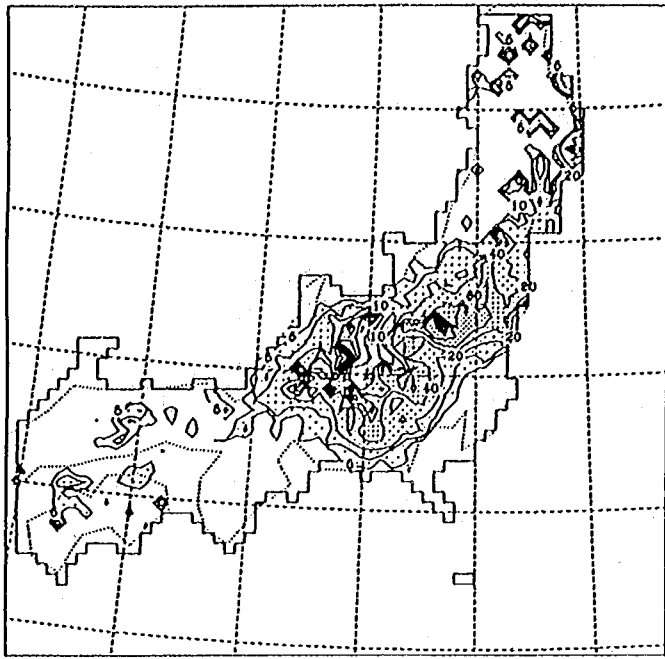


(7-a) 7月 (CO₂×1)



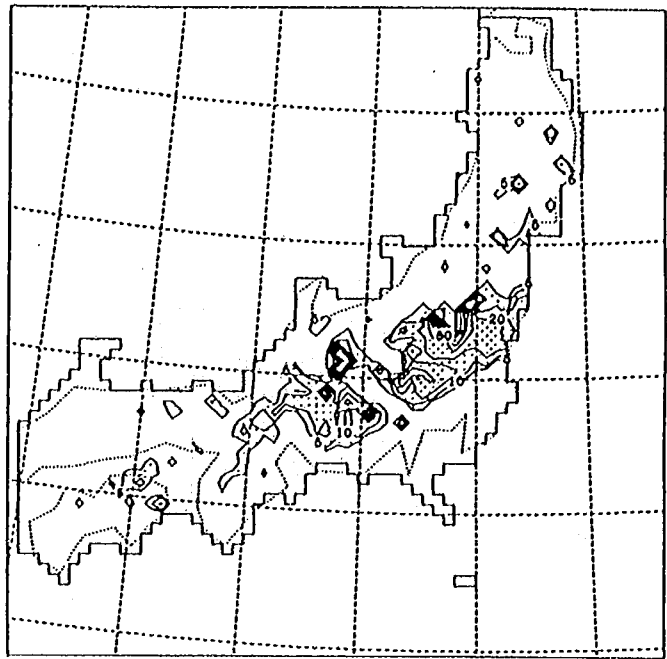
(7-b) 7月 (CO₂×2)





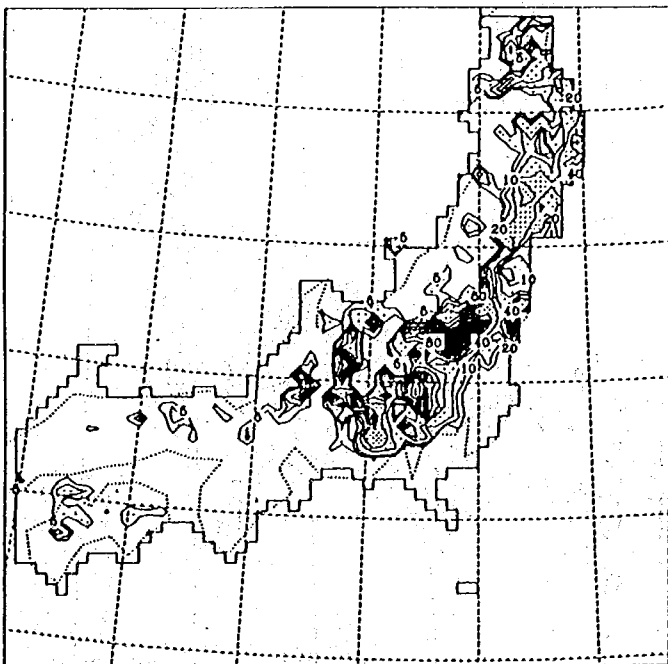
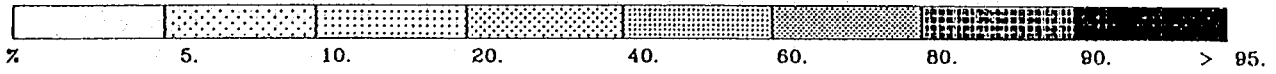
1xCO₂

(8-a) 8月 (CO₂×1)



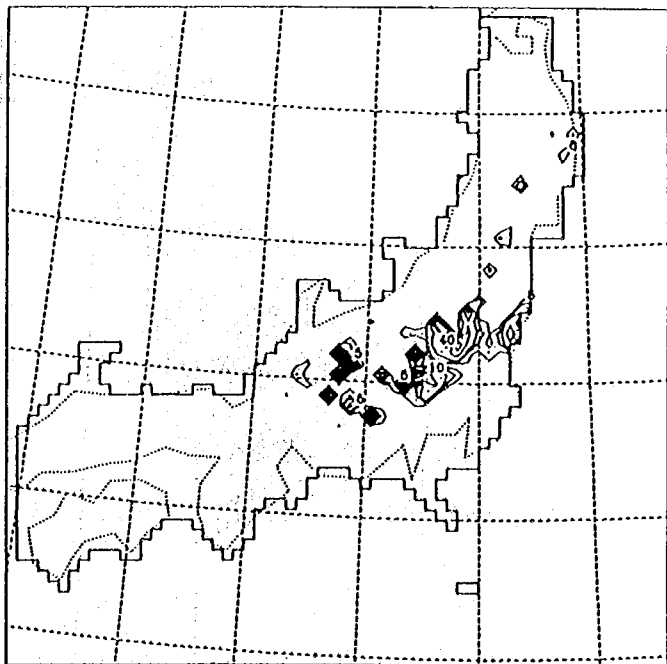
2xCO₂

(8-b) 8月 (CO₂×2)



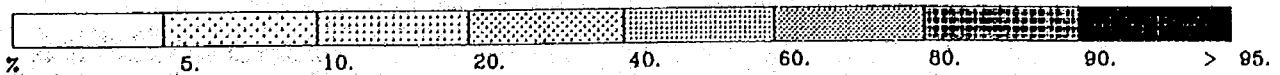
1xCO₂

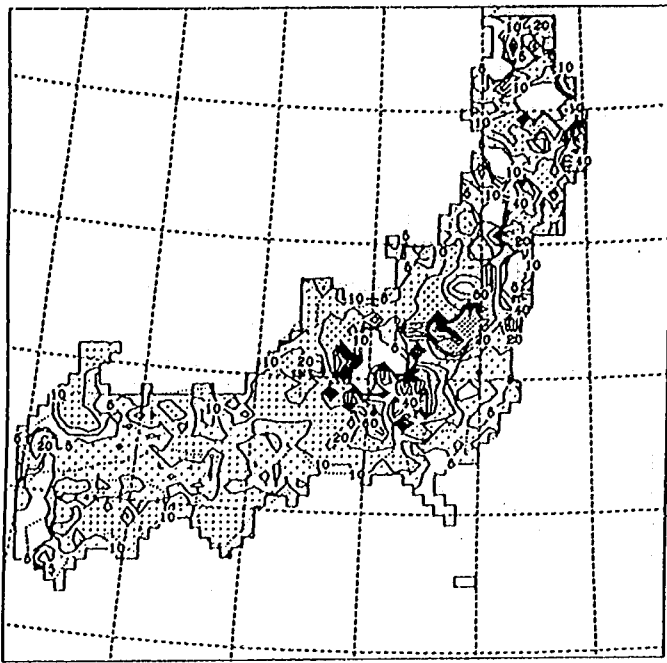
(9-a) 9月 (CO₂×1)



2xCO₂

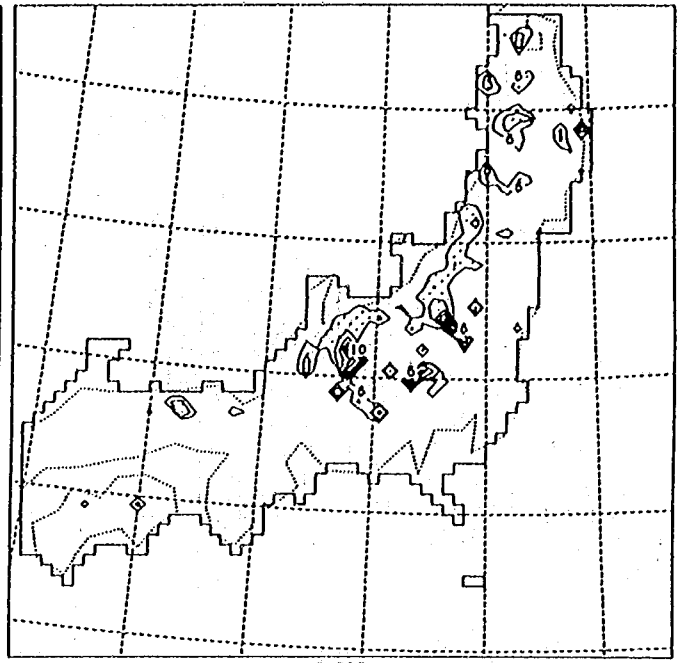
(9-b) 9月 (CO₂×2)





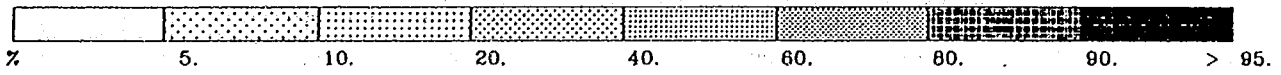
1xCO2

(10-a) 10月 (CO₂×1)

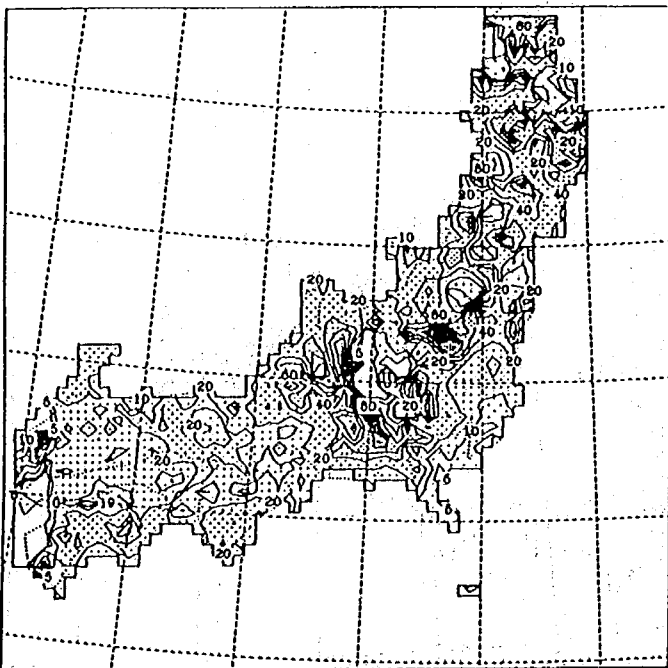


2xCO2

(10-b) 10月 (CO₂×2)

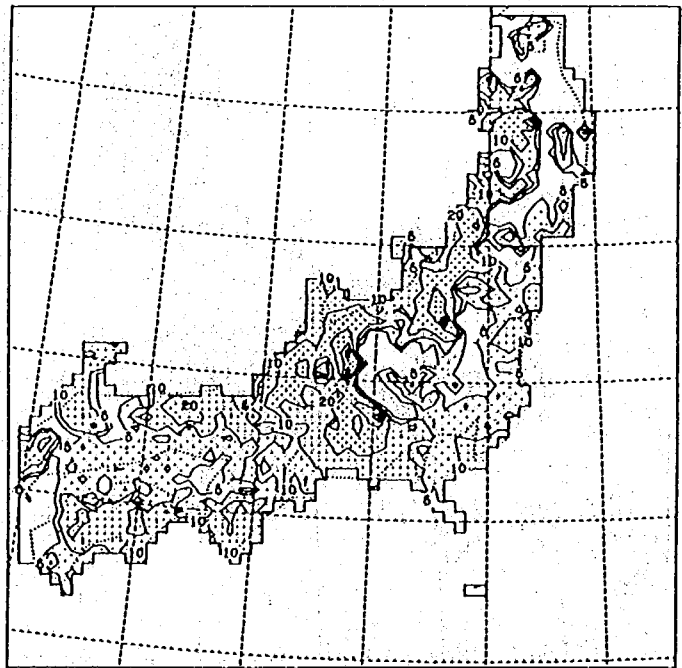


% 5. 10. 20. 40. 60. 80. 90. > 95.



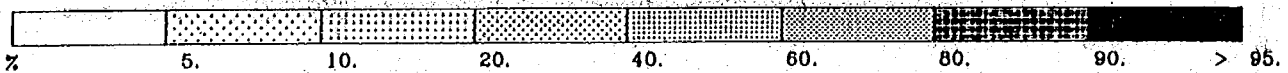
1xCO2

(11-a) 11月 (CO₂×1)

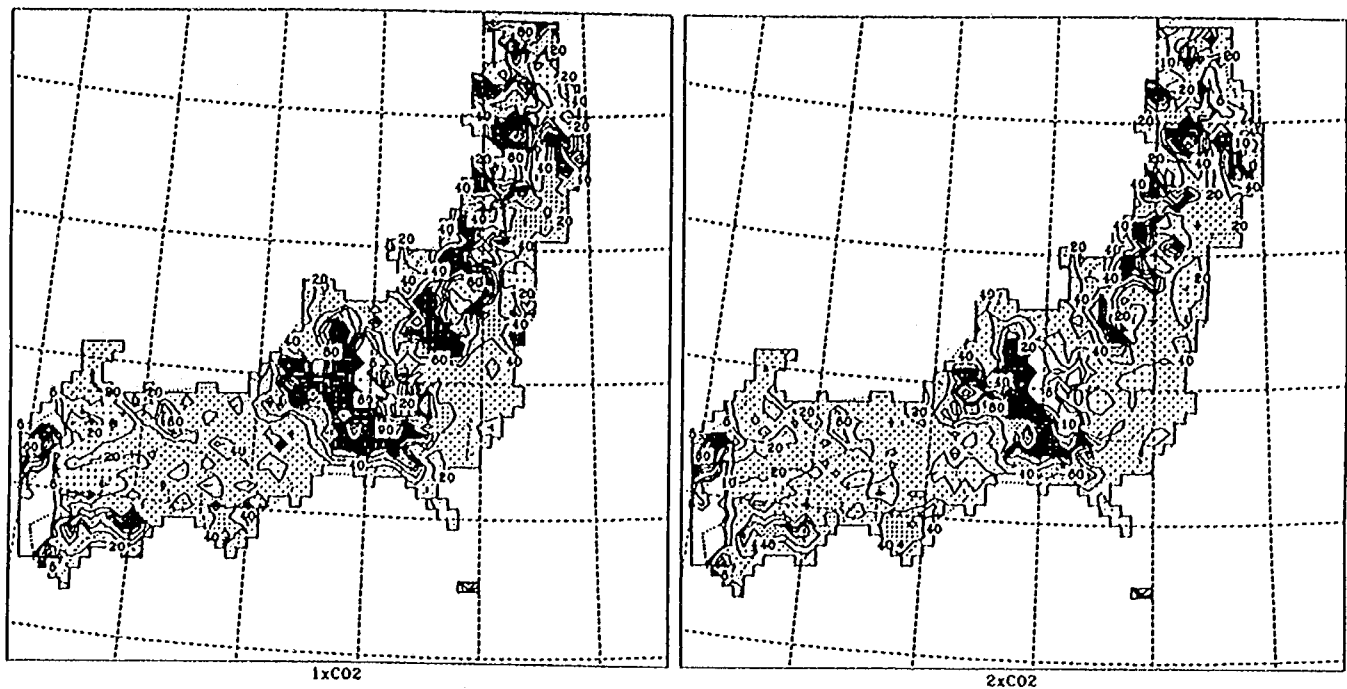


2xCO2

(11-b) 11月 (CO₂×2)

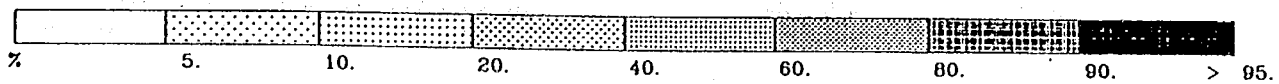


% 5. 10. 20. 40. 60. 80. 90. > 95.



(12-a) 12月 (CO₂×1)

(12-b) 12月 (CO₂×2)



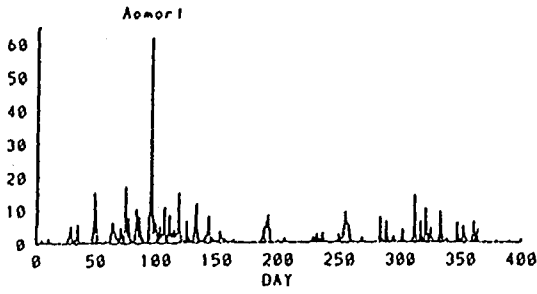
7.4 地球温暖化が地表面水文過程に与える影響

小領域モデルで対象とした本州・四国における代表的な地点20箇所を選定し、地表面付近での水文現象の日系列変化を求めた。ここでは、気温・降水量・蒸発量について着目する。選定した地点は、青森・秋田・仙台・新潟・日光・水戸・筑波・東京・甲府・静岡・松本・金沢・岐阜・京都・鈴鹿・和歌山・神戸・広島・松江・高知の20箇所である。

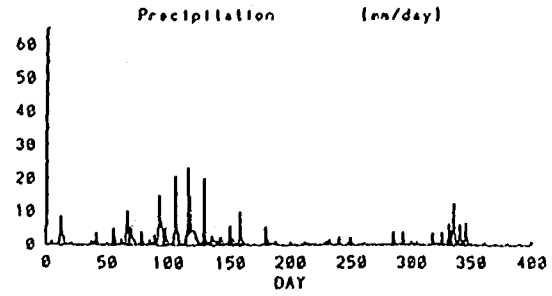
図-7.20(1)~(20)に炭酸ガス濃度通常シナリオと倍増シナリオにおいて求められた日本各地の日降水量の日変化を示す。両シナリオに共通していることとして、夏期の降水量が少ないことが挙げられる。山間部や東北地方及び関東地方の一部、例えば仙台・金沢・日光・松本などでは、8月(210日~240日)に降水が生じているが、それ以外場所では6月~8月(150日~240日)にかけて降水量がほとんどない。両シナリオを比べると、全体的には炭酸ガス倍増シナリオの場合の総降水量と降水イベントの数が減少している。しかし、気候変化に伴って1日当たりの降水強度が全体的に小さくなっているわけではない。

シミュレーション期間が短いため降水強度頻度分布まで確実に言えるわけではないが、東北地方では、気候変化に伴って降雨量とイベント数だけでなく、降雨強度も多少小さくなっているようである。第5章で降水量を示した図-5.13の静岡、高知と図-7.20(10)(20)の現状シナリオの結果を比べると、3月~4月または5月、10月~12月の計5、6か月については十分とは言えないまでも、モデルの再現性はある程度あると思われる。ただし、先に述べたように6月~9月にかけて梅雨前線・雷雨・台風・秋雨前線等によって大きな降水が生じる期間については、モデルで表現できていない。これが計算による年間降水量が、現実のもの比べて少なく

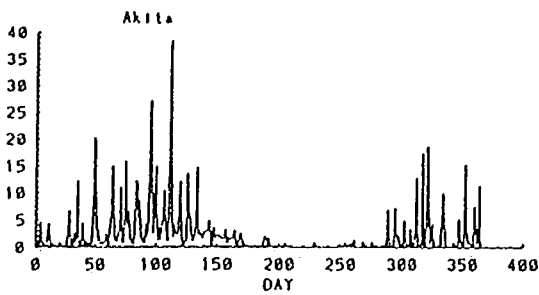
図-7.20 日本各地の日降水量の日変化



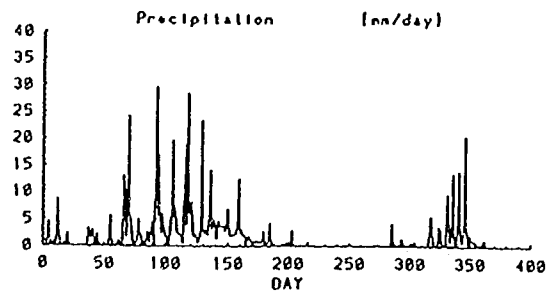
(1-a) 青森 (CO₂×1)



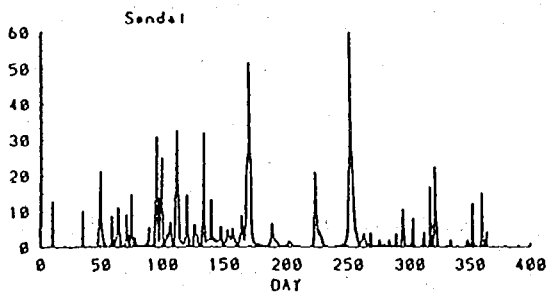
(1-b) 青森 (CO₂×2)



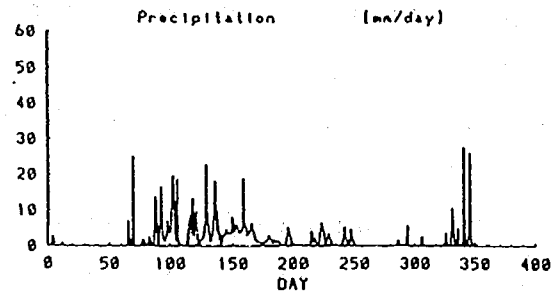
(2-a) 秋田 (CO₂×1)



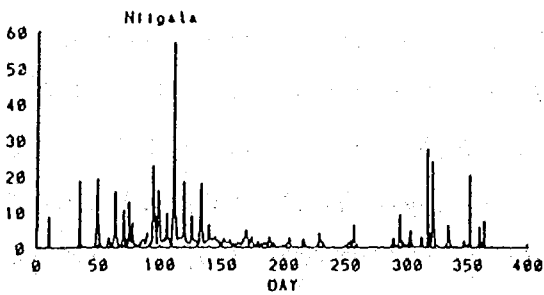
(2-b) 秋田 (CO₂×2)



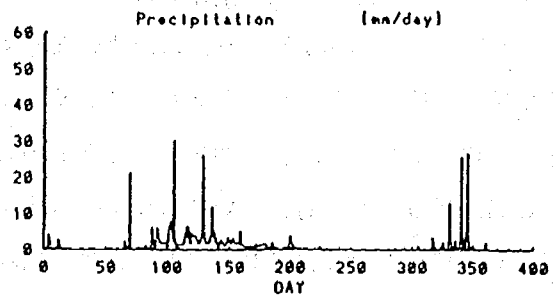
(3-a) 仙台 (CO₂×1)



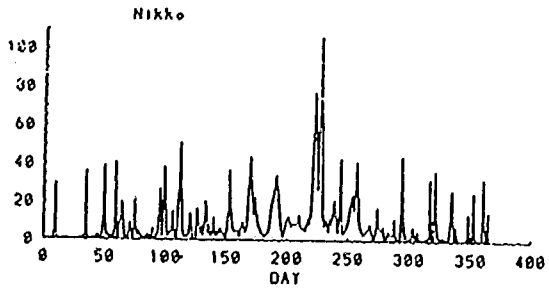
(3-b) 仙台 (CO₂×2)



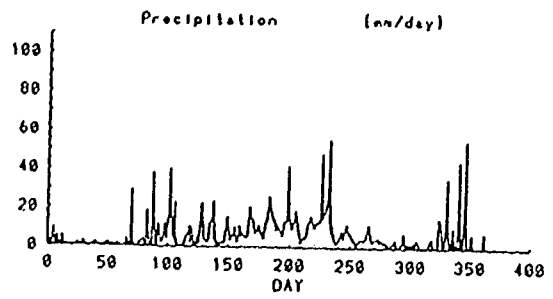
(4-a) 新潟 (CO₂×1)



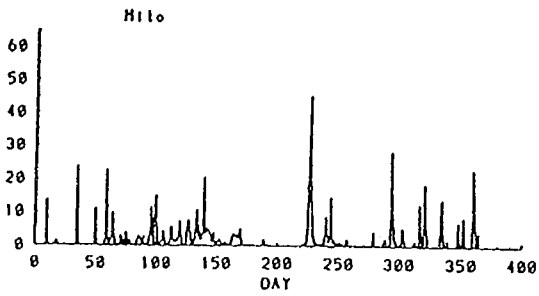
(4-b) 新潟 (CO₂×2)



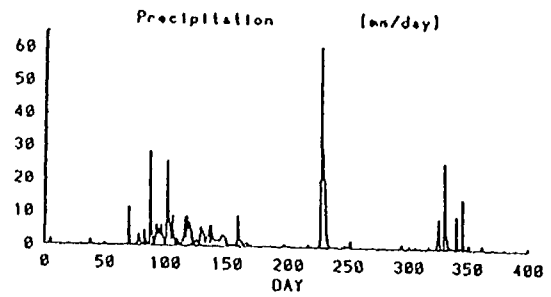
(5-a) 日光 (CO₂×1)



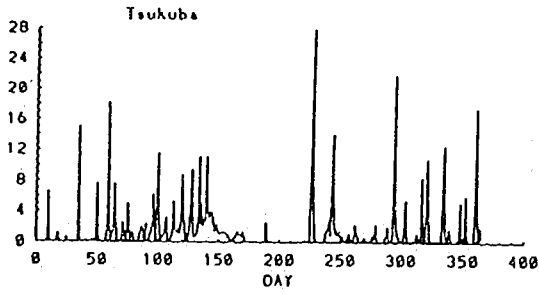
(5-b) 日光 (CO₂×2)



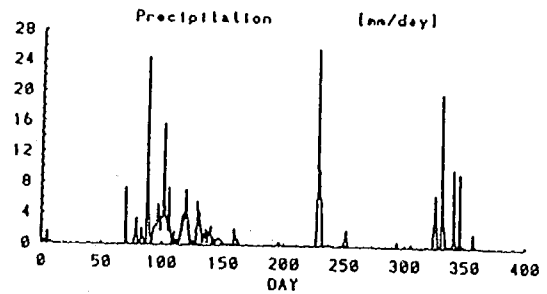
(6-a) 水戸 (CO₂×1)



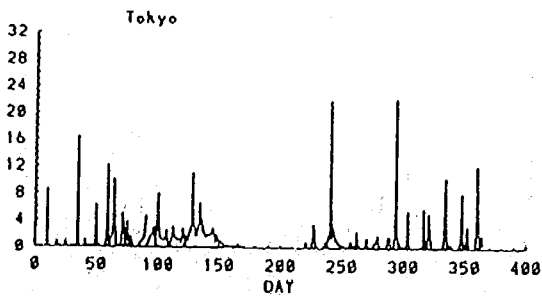
(6-b) 水戸 (CO₂×2)



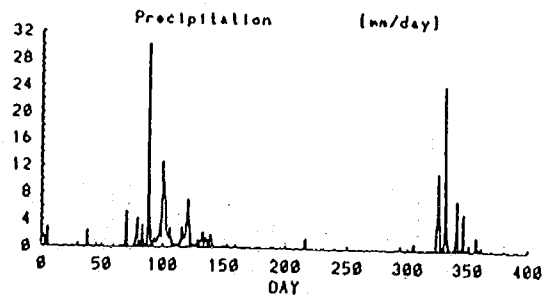
(7-a) 筑波 (CO₂×1)



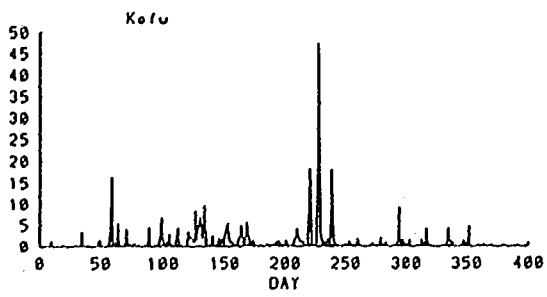
(7-b) 筑波 (CO₂×2)



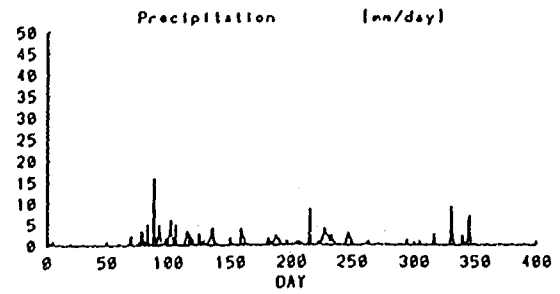
(8-a) 東京 (CO₂×1)



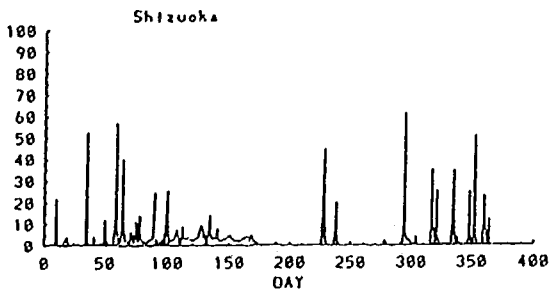
(8-b) 東京 (CO₂×2)



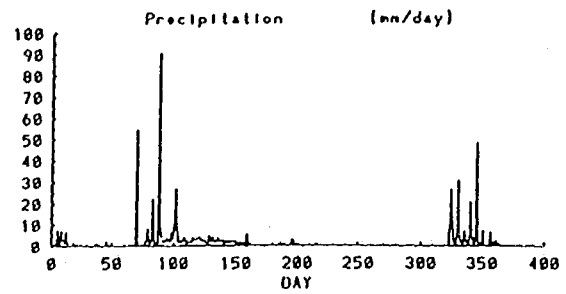
(9-a) 甲府 (CO₂ × 1)



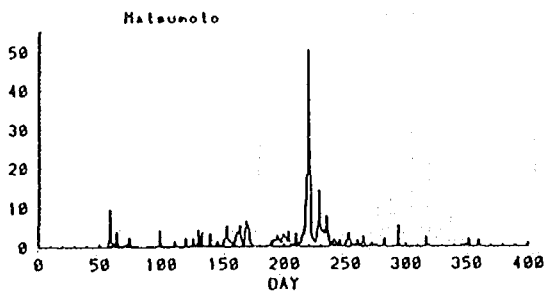
(9-b) 甲府 (CO₂ × 2)



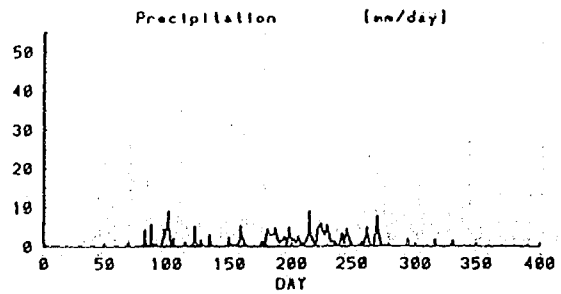
(10-a) 静岡 (CO₂ × 1)



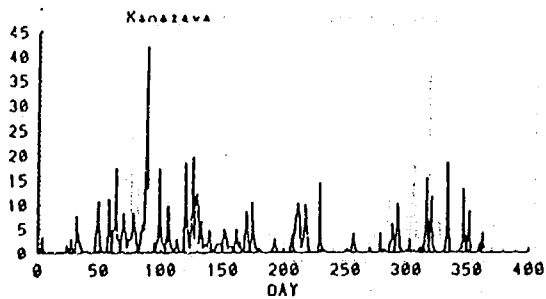
(10-b) 静岡 (CO₂ × 2)



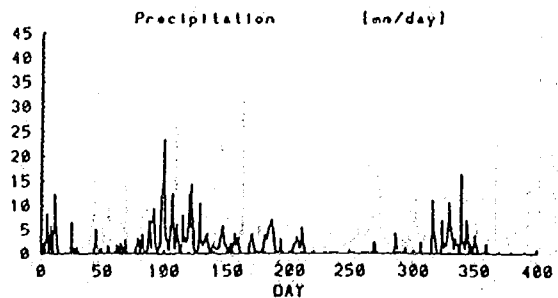
(11-a) 松本 (CO₂ × 1)



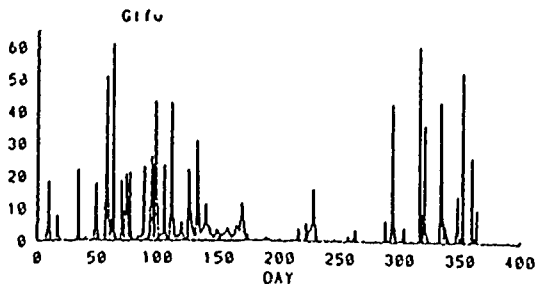
(11-b) 松本 (CO₂ × 2)



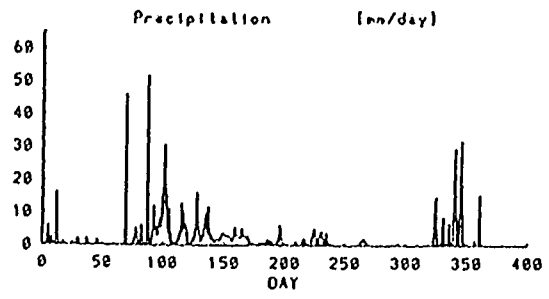
(12-a) 金沢 (CO₂ × 1)



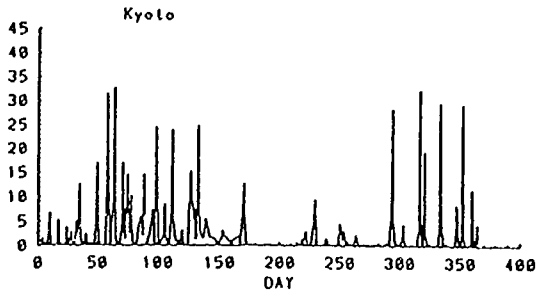
(12-b) 金沢 (CO₂ × 2)



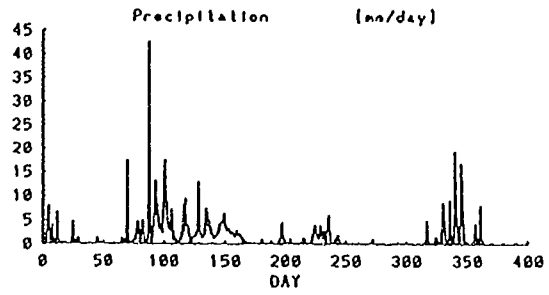
(13-a) 岐阜 (CO₂ × 1)



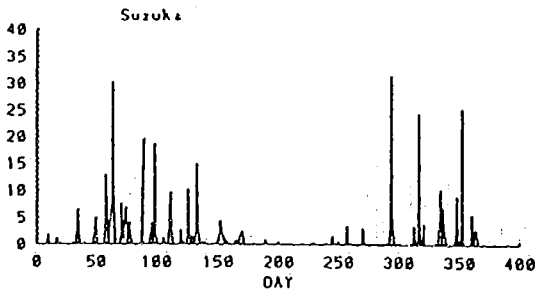
(13-b) 岐阜 (CO₂ × 2)



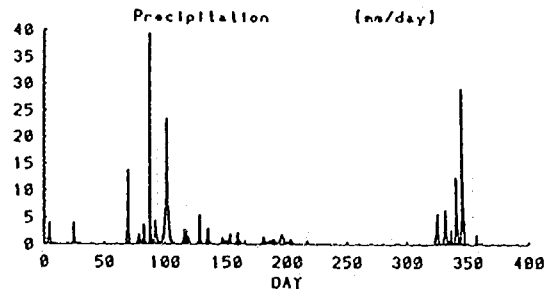
(14-a) 京都 (CO₂ × 1)



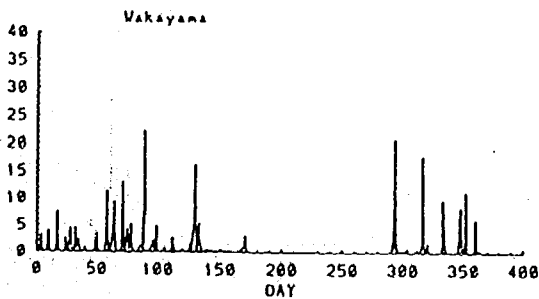
(14-b) 京都 (CO₂ × 2)



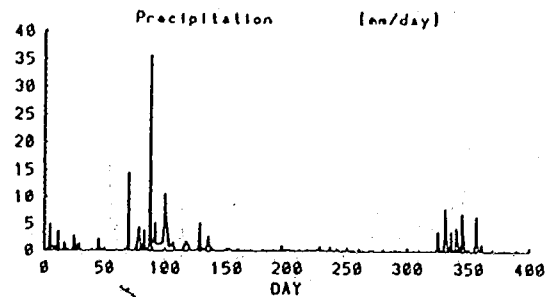
(15-a) 鈴鹿 (CO₂ × 1)



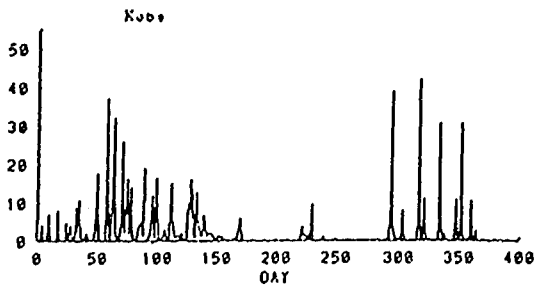
(15-b) 鈴鹿 (CO₂ × 2)



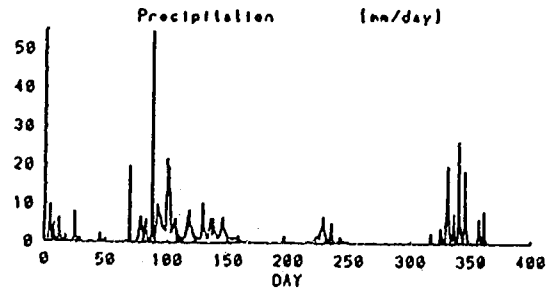
(16-a) 和歌山 (CO₂ × 1)



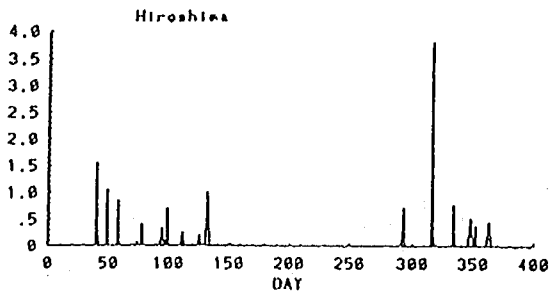
(16-b) 和歌山 (CO₂ × 2)



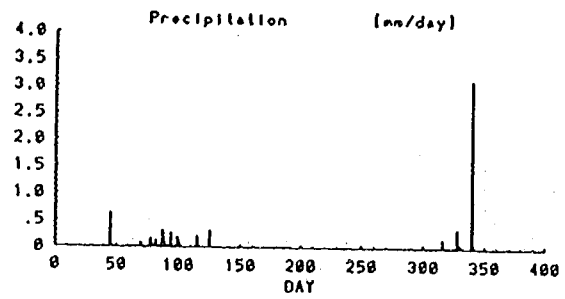
(17-a) 神戸 (CO₂×1)



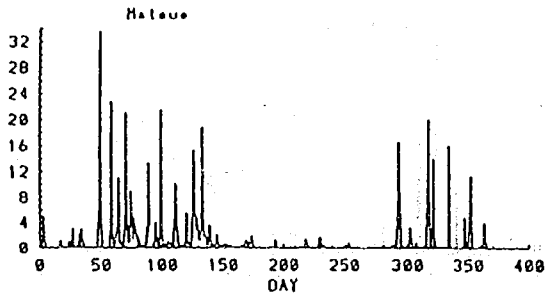
(17-b) 神戸 (CO₂×2)



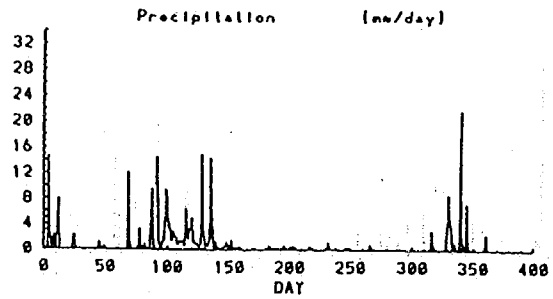
(18-a) 広島 (CO₂×1)



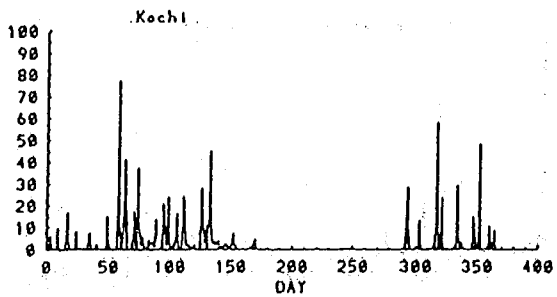
(18-b) 広島 (CO₂×2)



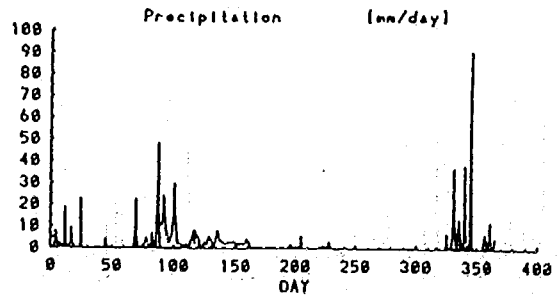
(19-a) 松江 (CO₂×1)



(19-b) 松江 (CO₂×2)



(20-a) 高知 (CO₂×1)

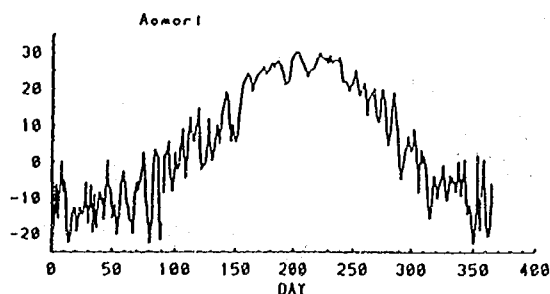


(20-b) 高知 (CO₂×2)

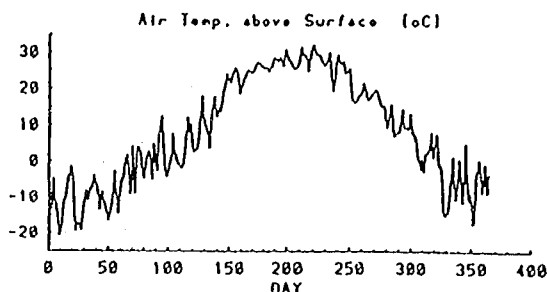
なっている理由である。この夏期の期間を除いて両シナリオ間の降水量を比べてみると、擬似降雨による推定においても、小領域モデルによる推定においても、気候変化に伴って静岡・高知ではあまり変化しないか多少減少する程度であるということが分かる。

図-7.21(1)~(2)に炭酸ガス濃度現状シナリオと倍増シナリオにおいて求められた日本各地の日平均気温の日変化を示す。炭酸ガス倍増シナリオでは、場所に関わらず日平均気温は年間を通じてほぼ上昇しており、春期と秋期に気温が上がっているように見える。炭酸ガス倍増シナリオでは、夏期の日平均気温が30℃に達したり、30℃を越える日数が多くなっている。また、相対的には12月の気温が上がっているように見える。1月及び2月の気温はあまり上がっていない。

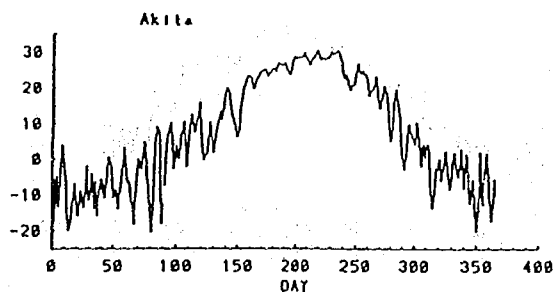
図-7.21 日本各地の日平均気温の日変化



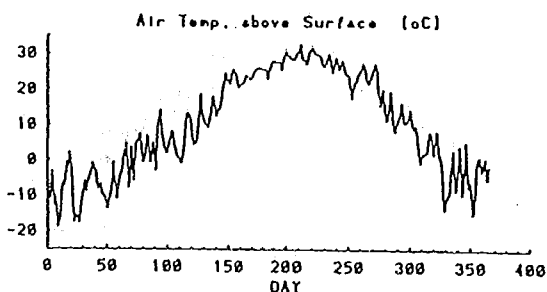
(1-a) 青森 (CO₂×1)



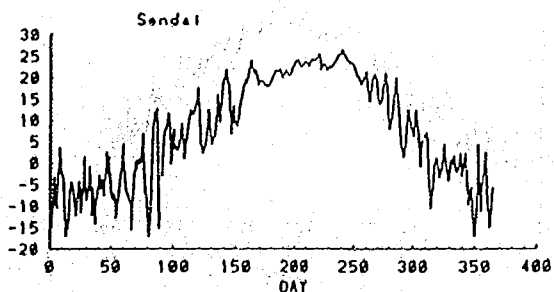
(1-b) 青森 (CO₂×2)



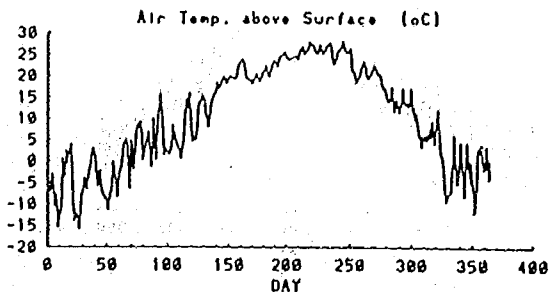
(2-a) 秋田 (CO₂×1)



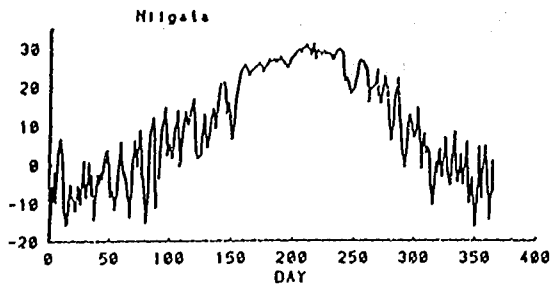
(2-b) 秋田 (CO₂×2)



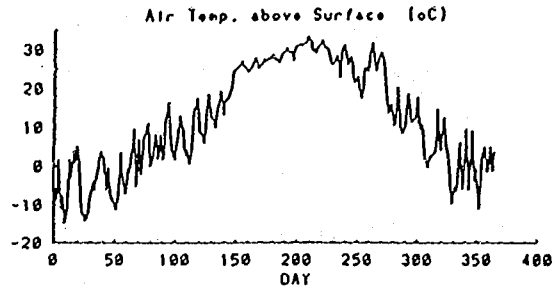
(3-a) 仙台 (CO₂×1)



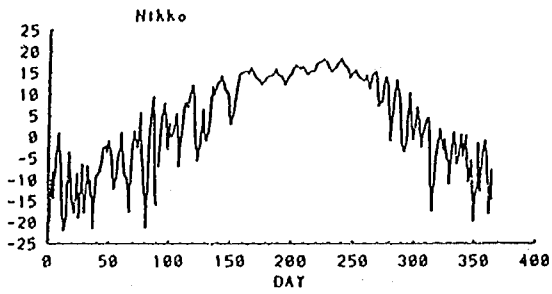
(3-b) 仙台 (CO₂×2)



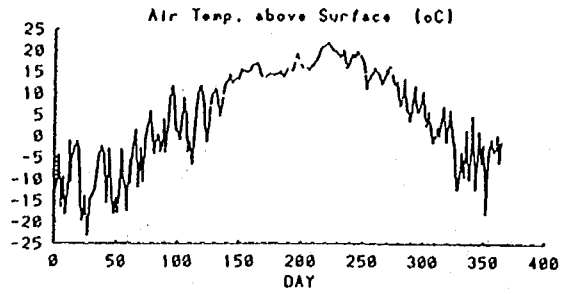
(4-a) 新潟 (CO₂ × 1)



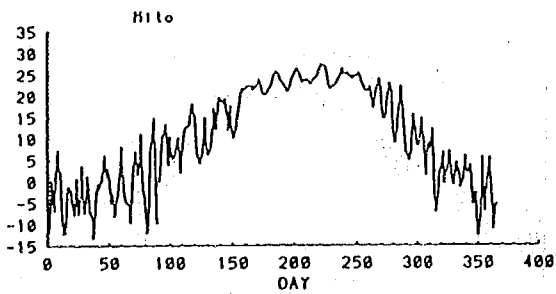
(4-b) 新潟 (CO₂ × 2)



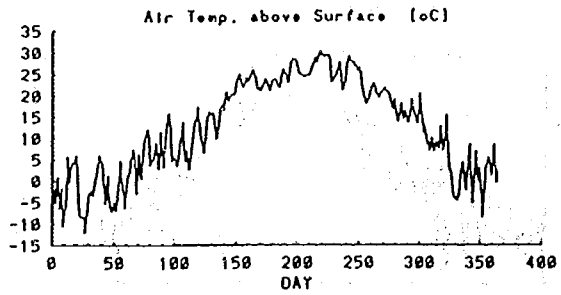
(5-a) 日光 (CO₂ × 1)



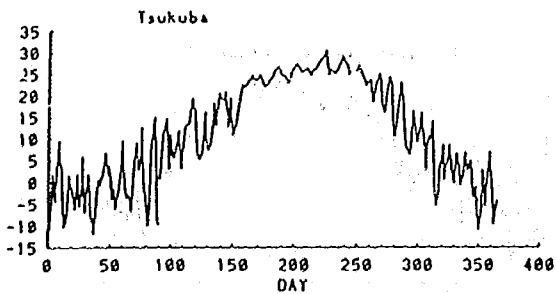
(5-b) 日光 (CO₂ × 2)



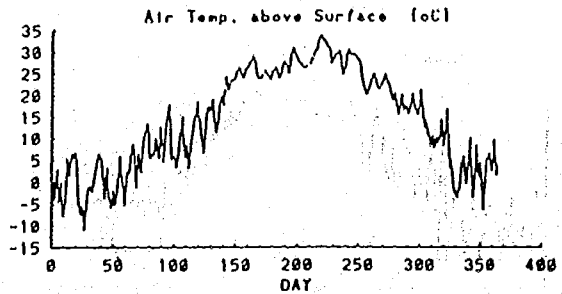
(6-a) 水戸 (CO₂ × 1)



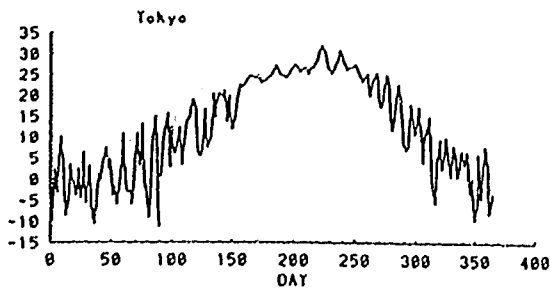
(6-b) 水戸 (CO₂ × 2)



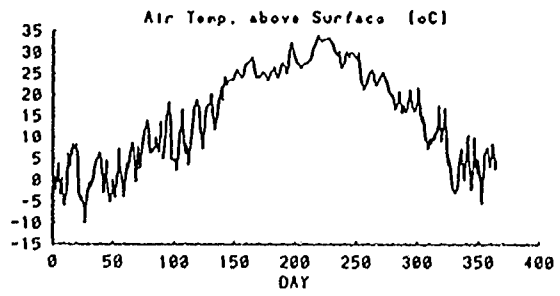
(7-a) 筑波 (CO₂ × 1)



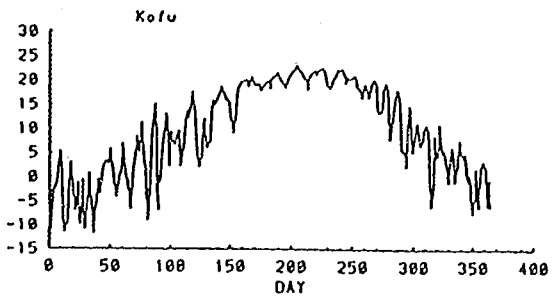
(7-b) 筑波 (CO₂ × 2)



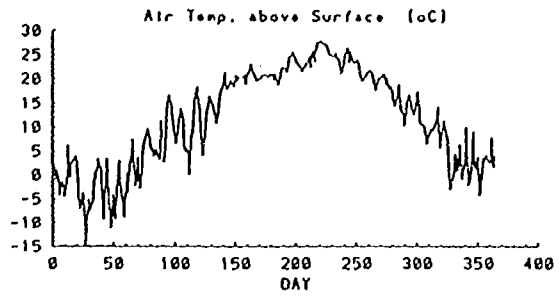
(8-a) 東京 (CO₂ × 1)



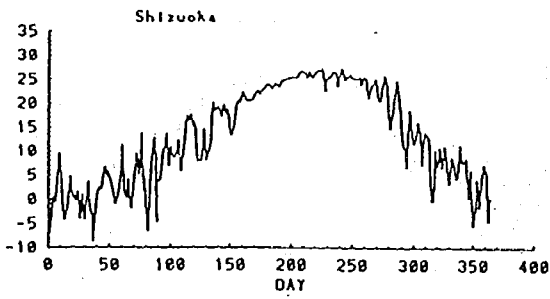
(8-b) 東京 (CO₂ × 2)



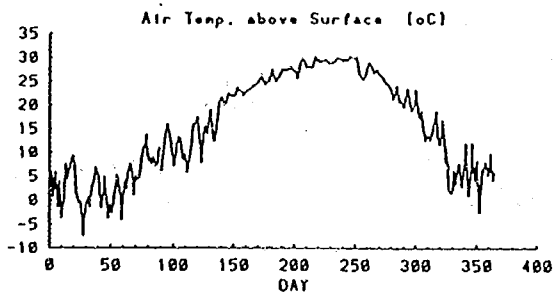
(9-a) 甲府 (CO₂ × 1)



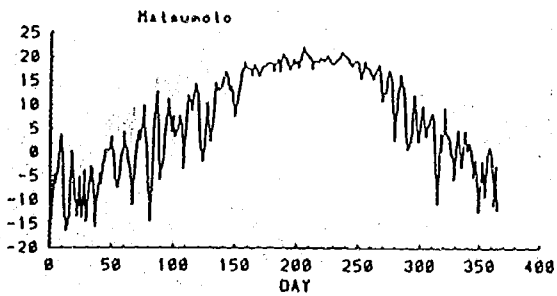
(9-b) 甲府 (CO₂ × 2)



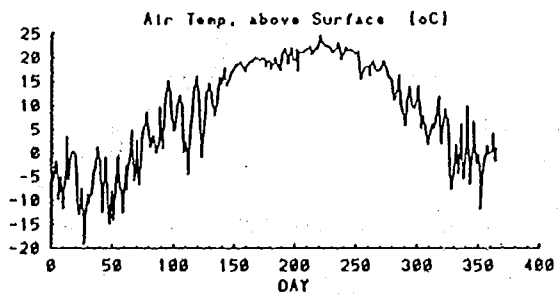
(10-a) 静岡 (CO₂ × 1)



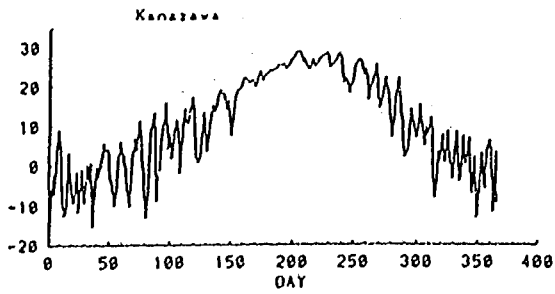
(10-b) 静岡 (CO₂ × 2)



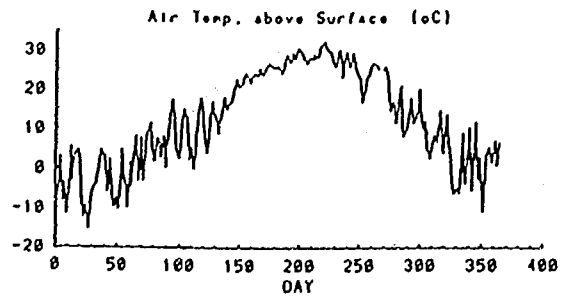
(11-a) 松本 (CO₂ × 1)



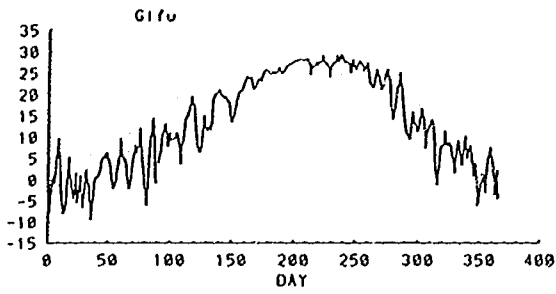
(11-b) 松本 (CO₂ × 2)



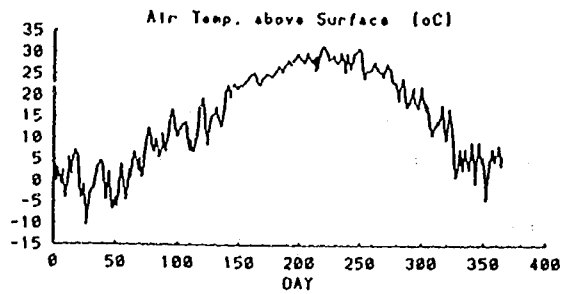
(12-a) 金沢 (CO₂ × 1)



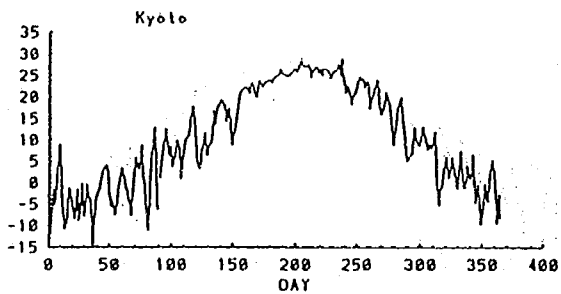
(12-b) 金沢 (CO₂ × 2)



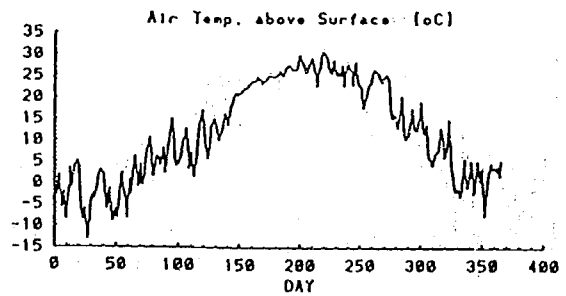
(13-a) 岐阜 (CO₂ × 1)



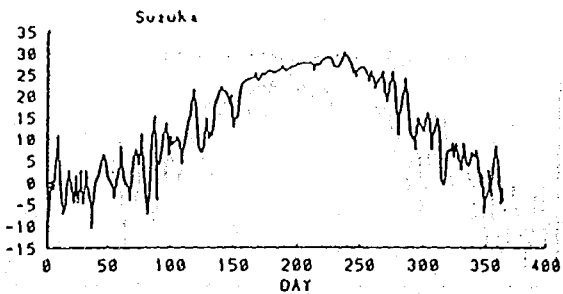
(13-b) 岐阜 (CO₂ × 2)



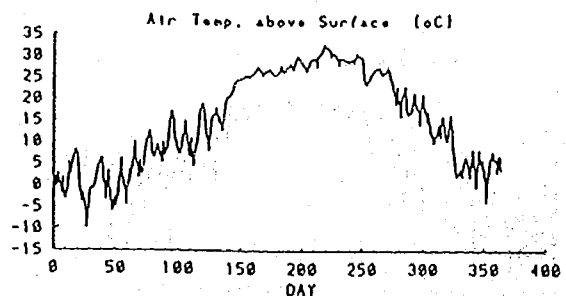
(14-a) 京都 (CO₂ × 1)



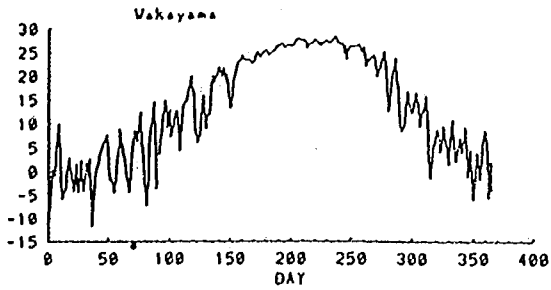
(14-b) 京都 (CO₂ × 2)



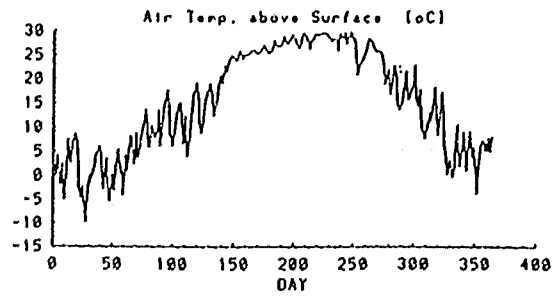
(15-a) 鈴鹿 (CO₂ × 1)



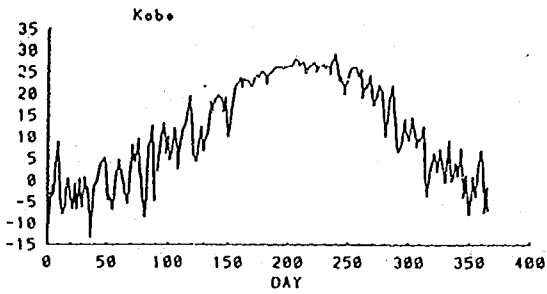
(15-b) 鈴鹿 (CO₂ × 2)



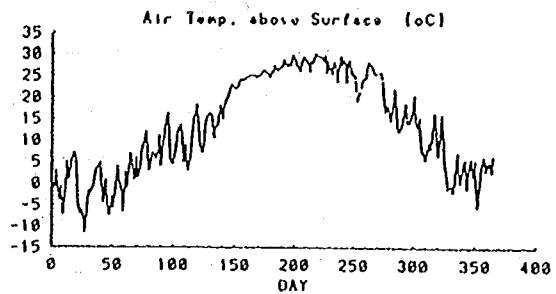
(16-a) 和歌山 (CO₂ × 1)



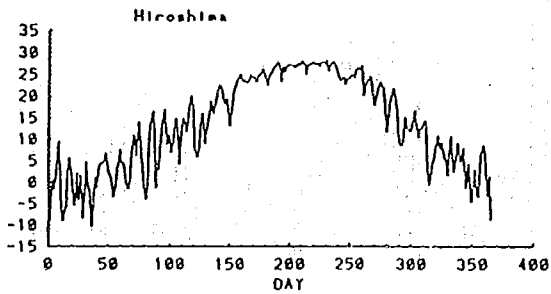
(16-b) 和歌山 (CO₂ × 2)



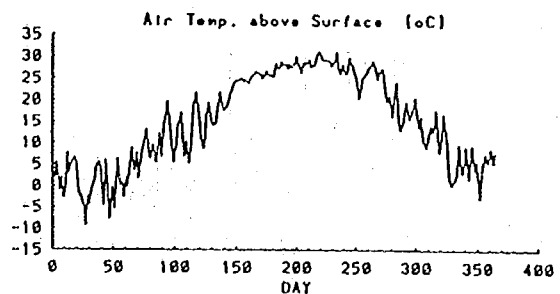
(17-a) 神戸 (CO₂ × 1)



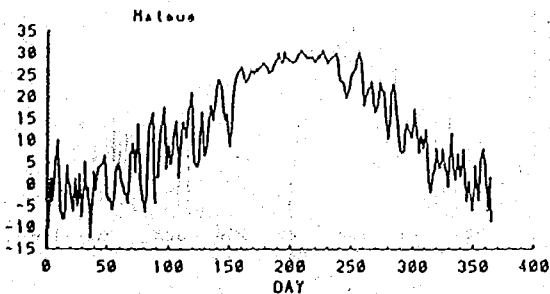
(17-b) 神戸 (CO₂ × 2)



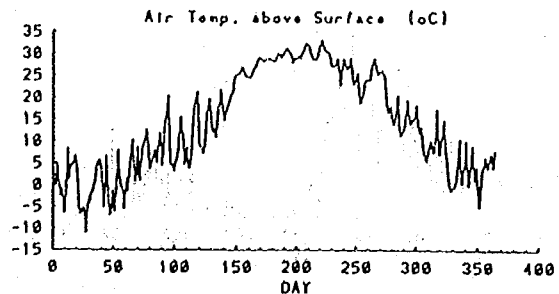
(18-a) 広島 (CO₂ × 1)



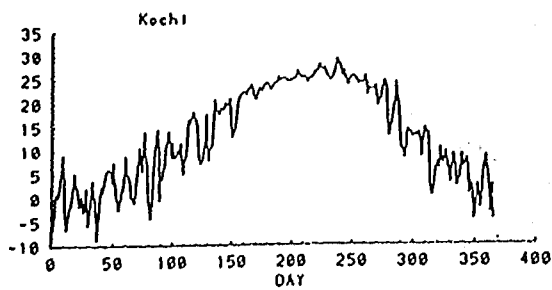
(18-b) 広島 (CO₂ × 2)



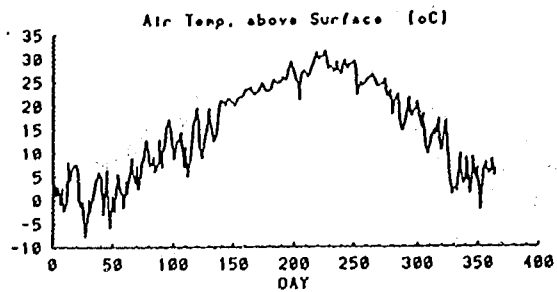
(19-a) 松江 (CO₂ × 1)



(19-b) 松江 (CO₂ × 2)



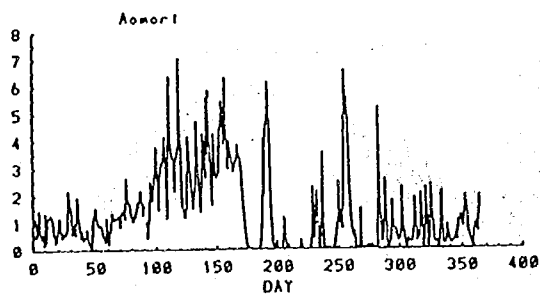
(20-a) 高知 (CO₂×1)



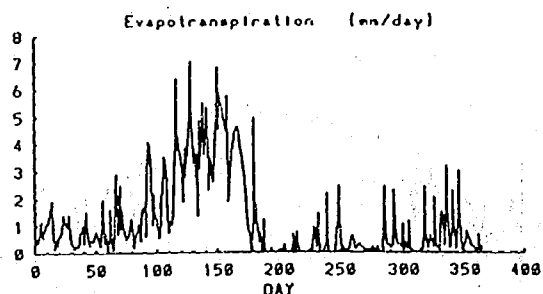
(20-b) 高知 (CO₂×2)

図-7.22(1)~(20), 7.23(1)~(20)に炭酸ガス濃度通常シナリオと倍増シナリオにおいて求められた日本各地の蒸発量と地表面水分量の日変化を示す。地表面水分量は、いずれのシナリオのもとでも、日光を除く各都市で、6月から10月まで乾燥状態にある。これに対応するように、蒸発量は4月から7月の間に非常に活発になっており、7月から10月の間は東北と山間部を除いてほとんど生じていない。大きな降雨に対応した水分量の増加とその後乾燥過程等については定性的によく表されている。炭酸ガス濃度倍増シナリオにおいて水分量が少ない傾向は明かである。しかし、蒸発量は水分量に依存しているためにどちらが大きいとは言えない。

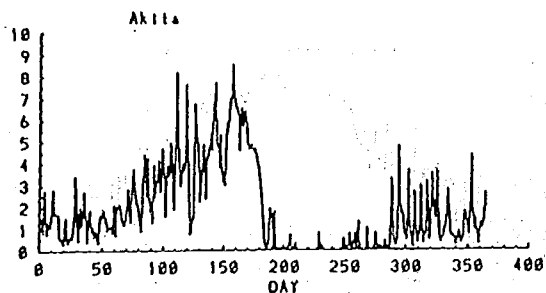
図-7.22 日本各地の日蒸発量の日変化



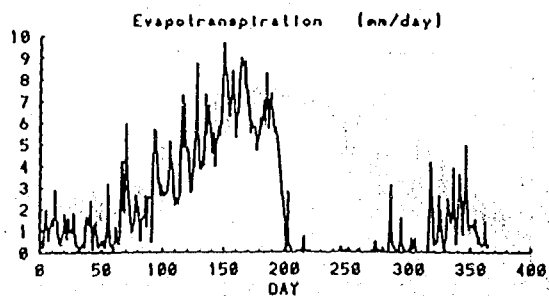
(1-a) 青森 (CO₂×1)



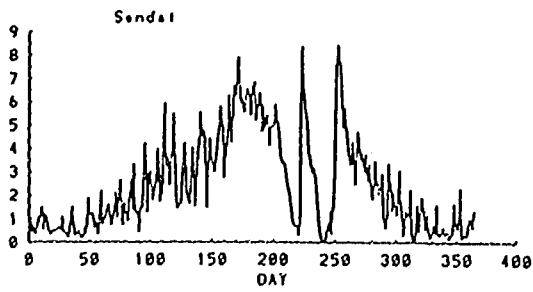
(1-b) 青森 (CO₂×2)



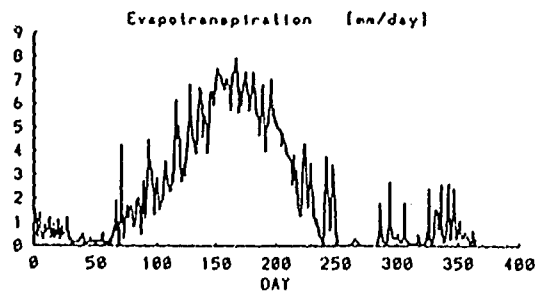
(2-a) 秋田 (CO₂×1)



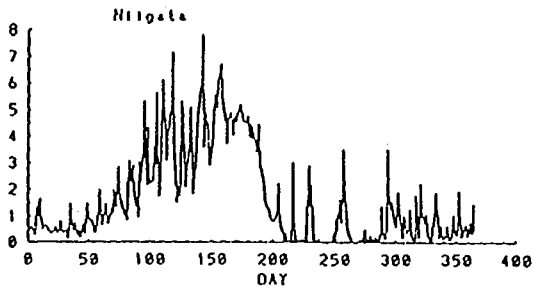
(2-b) 秋田 (CO₂×2)



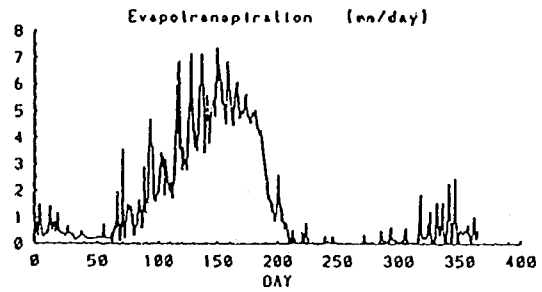
(3-a) 仙台 (CO₂×1)



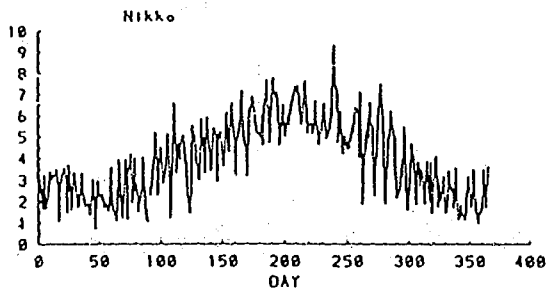
(3-b) 仙台 (CO₂×2)



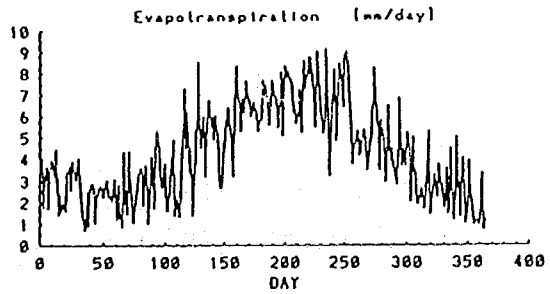
(4-a) 新潟 (CO₂×1)



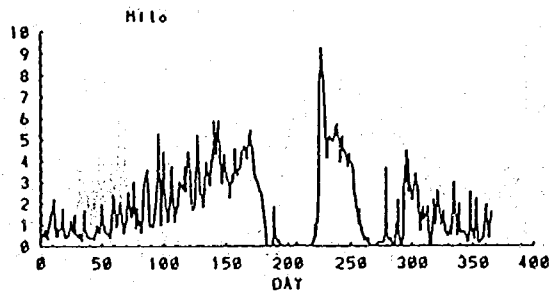
(4-b) 新潟 (CO₂×2)



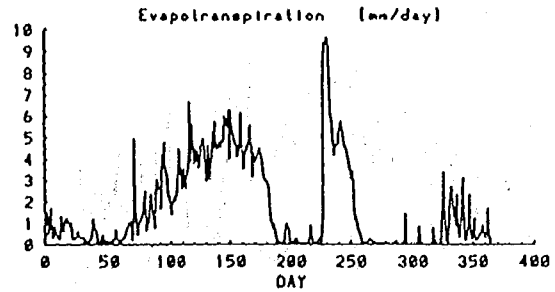
(5-a) 日光 (CO₂×1)



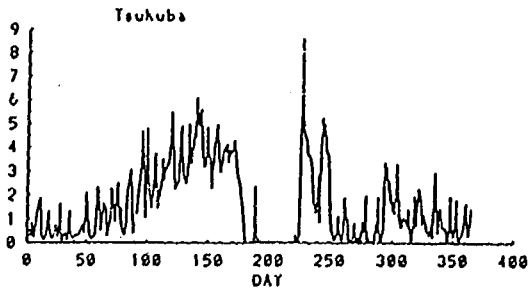
(5-b) 日光 (CO₂×2)



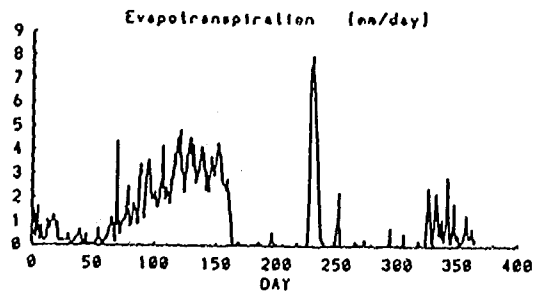
(6-a) 水戸 (CO₂×1)



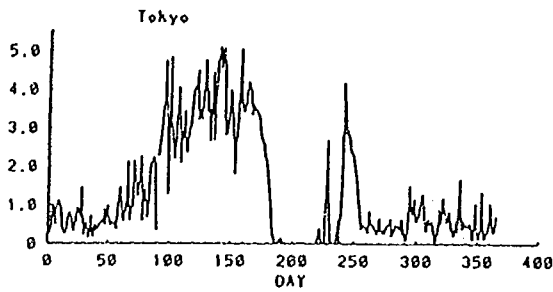
(6-b) 水戸 (CO₂×2)



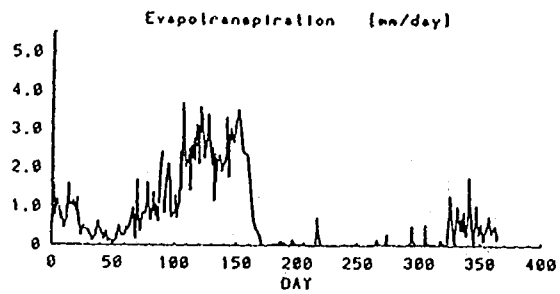
(7-a) 筑波 (CO₂ × 1)



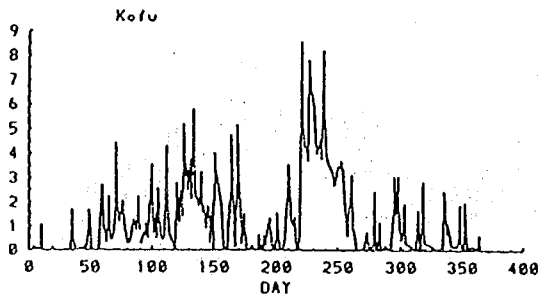
(7-b) 筑波 (CO₂ × 2)



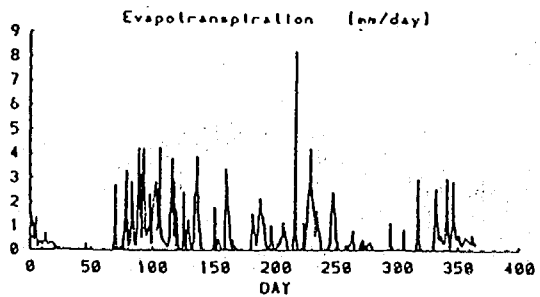
(8-a) 東京 (CO₂ × 1)



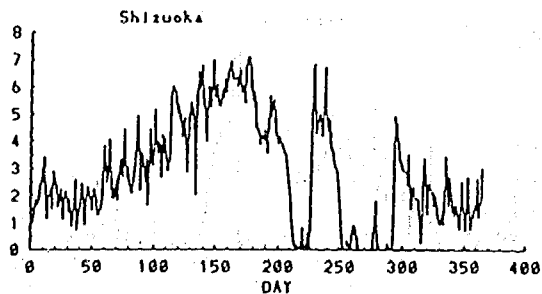
(8-b) 東京 (CO₂ × 2)



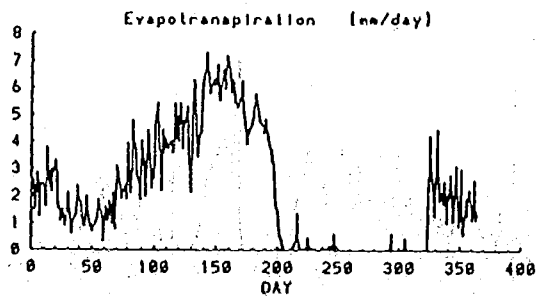
(9-a) 甲府 (CO₂ × 1)



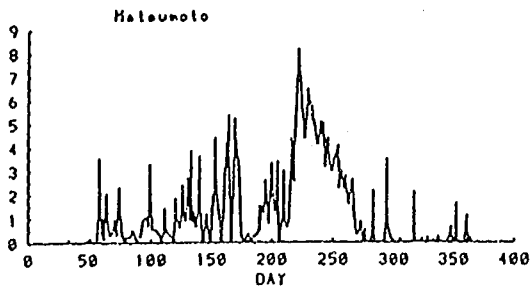
(9-b) 甲府 (CO₂ × 2)



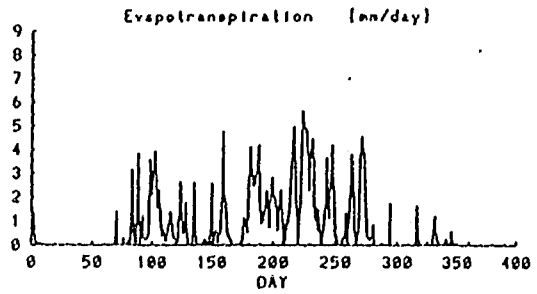
(10-a) 静岡 (CO₂ × 1)



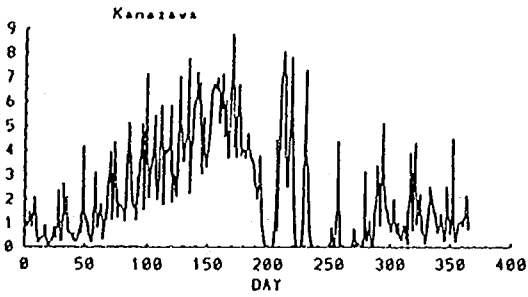
(10-b) 静岡 (CO₂ × 2)



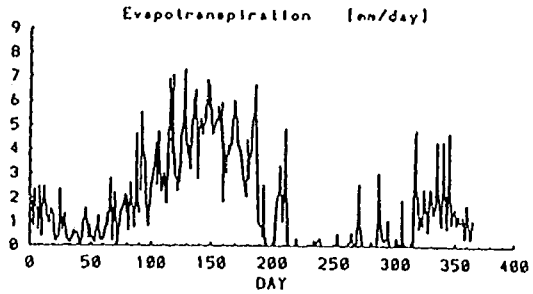
(11-a) 松本 (CO₂×1)



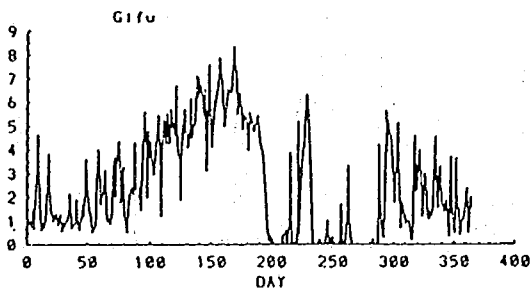
(11-b) 松本 (CO₂×2)



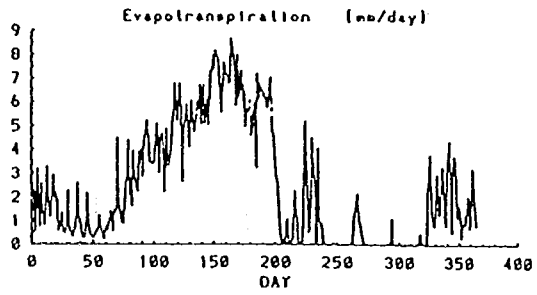
(12-a) 金沢 (CO₂×1)



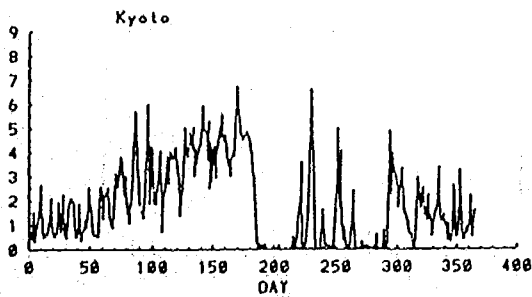
(12-b) 金沢 (CO₂×2)



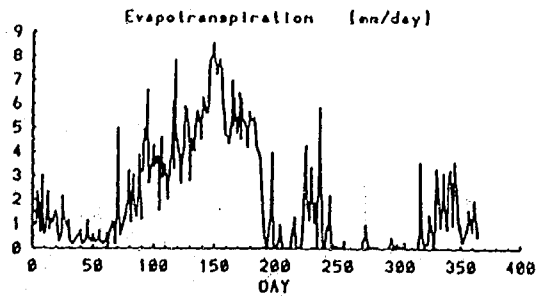
(13-a) 岐阜 (CO₂×1)



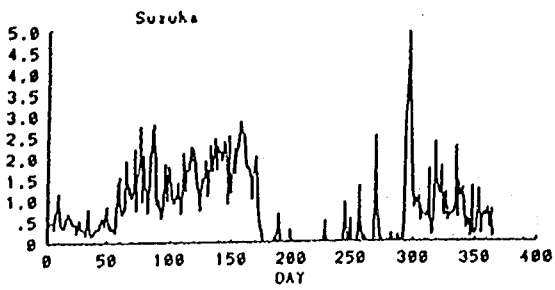
(13-b) 岐阜 (CO₂×2)



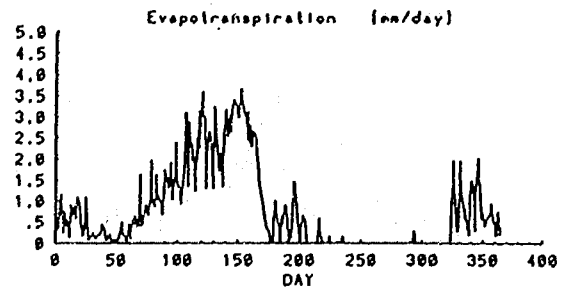
(14-a) 京都 (CO₂×1)



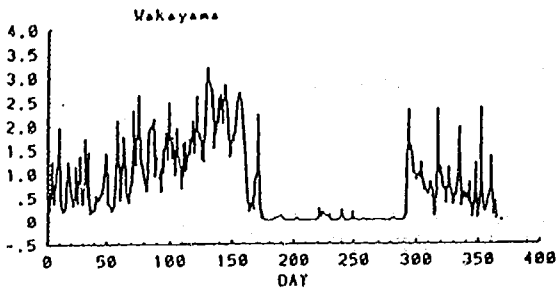
(14-b) 京都 (CO₂×2)



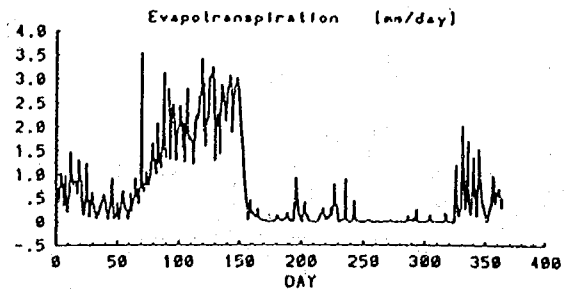
(15-a) 鈴鹿 (CO₂ × 1)



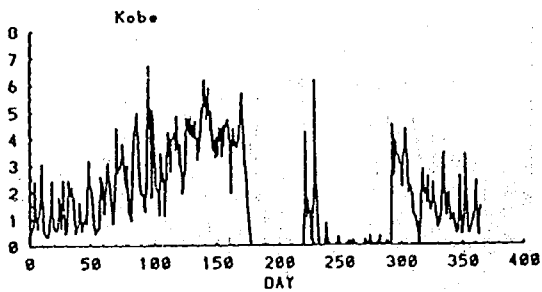
(15-b) 鈴鹿 (CO₂ × 2)



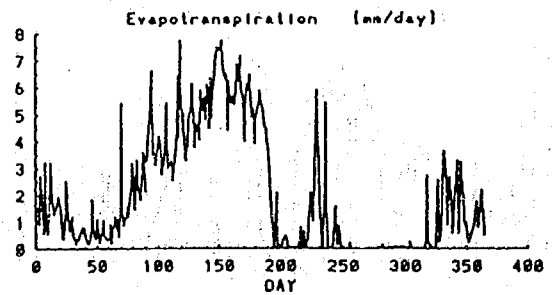
(16-a) 和歌山 (CO₂ × 1)



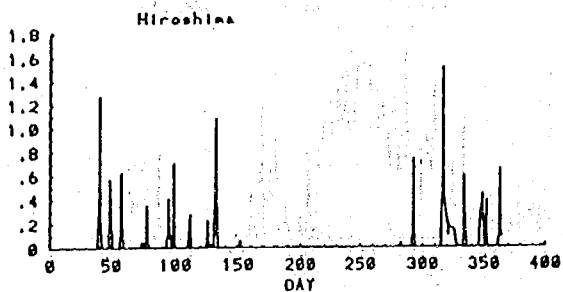
(16-b) 和歌山 (CO₂ × 2)



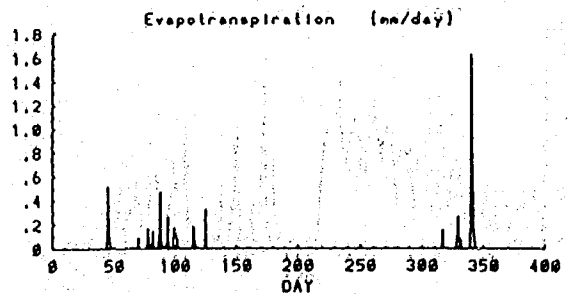
(17-a) 神戸 (CO₂ × 1)



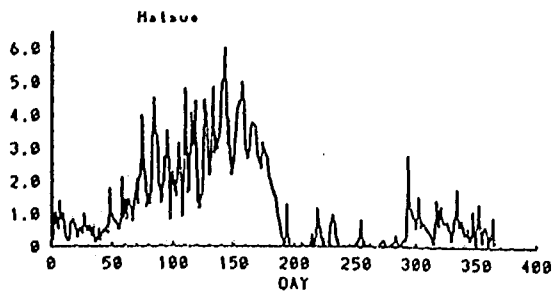
(17-b) 神戸 (CO₂ × 2)



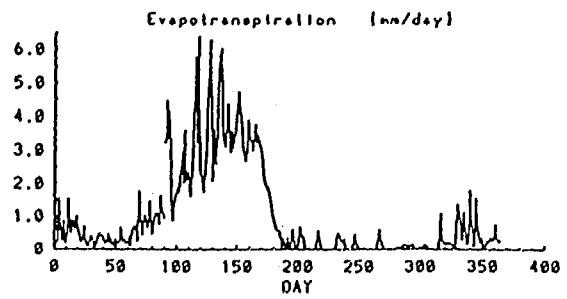
(18-a) 広島 (CO₂ × 1)



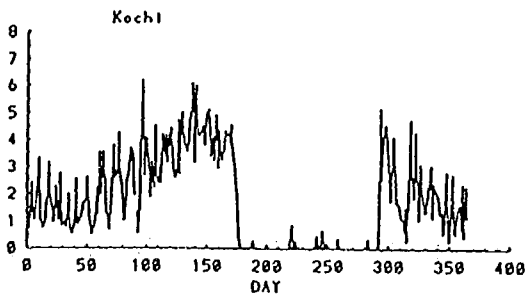
(18-b) 広島 (CO₂ × 2)



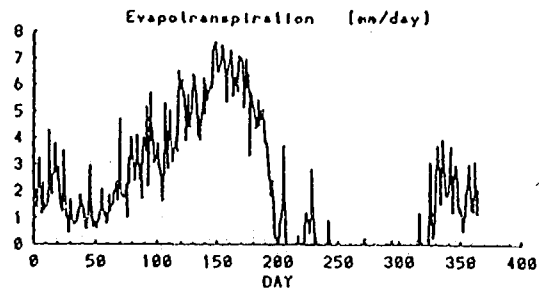
(19-a) 松江 (CO₂×1)



(19-b) 松江 (CO₂×2)

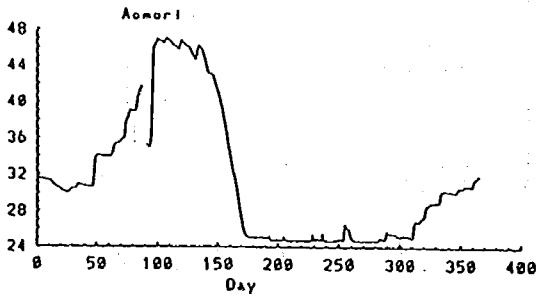


(20-a) 高知 (CO₂×1)

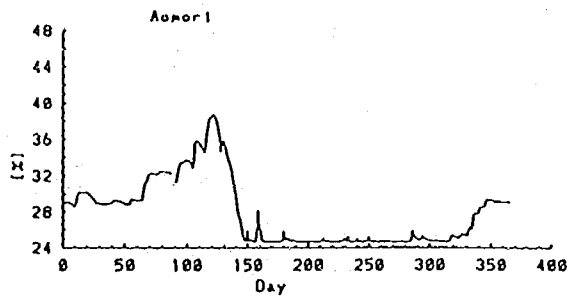


(20-b) 高知 (CO₂×2)

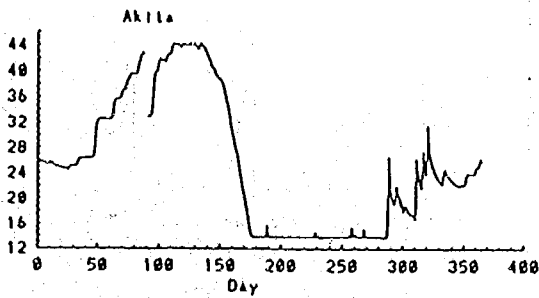
図-7.23 日本各地の土壌水分量の日変化



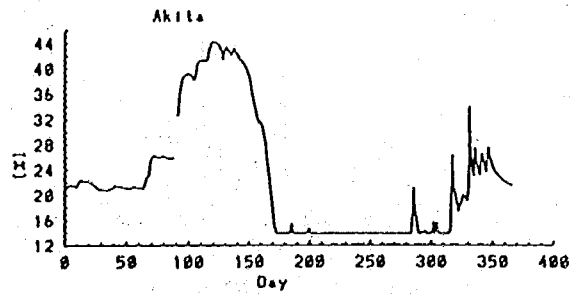
(1-a) 青森 (CO₂×1)



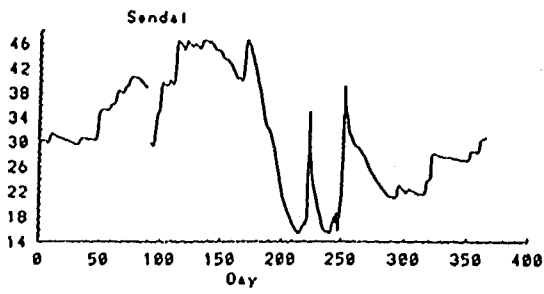
(1-b) 青森 (CO₂×2)



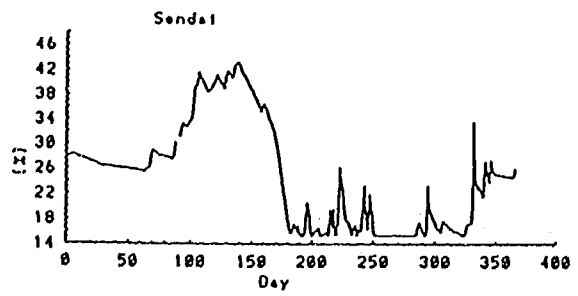
(2-a) 秋田 (CO₂×1)



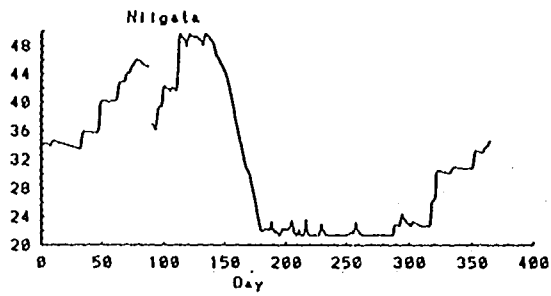
(2-b) 秋田 (CO₂×2)



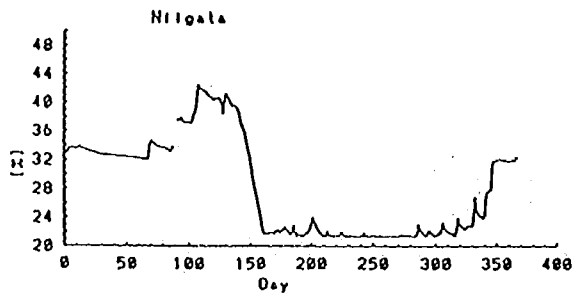
(3-a) 仙台 (CO₂×1)



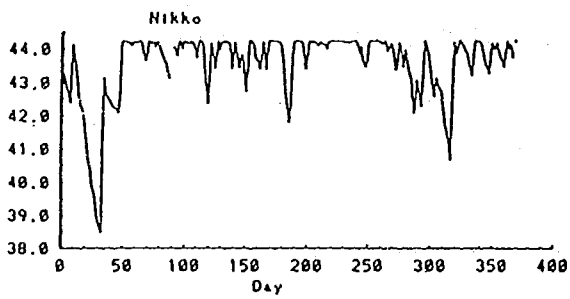
(3-b) 仙台 (CO₂×2)



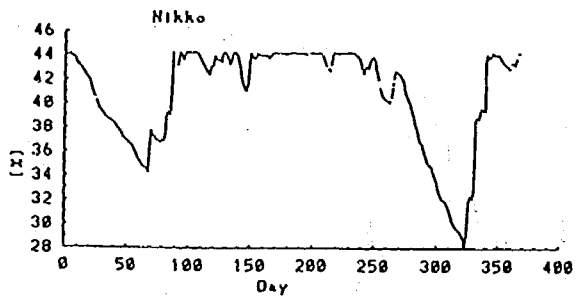
(4-a) 新潟 (CO₂×1)



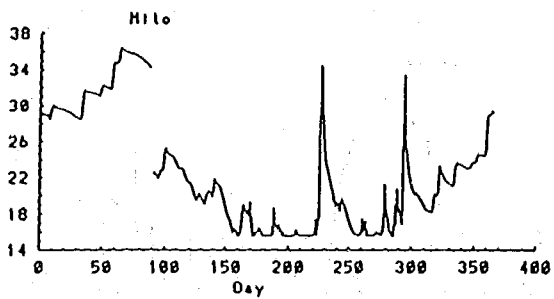
(4-b) 新潟 (CO₂×2)



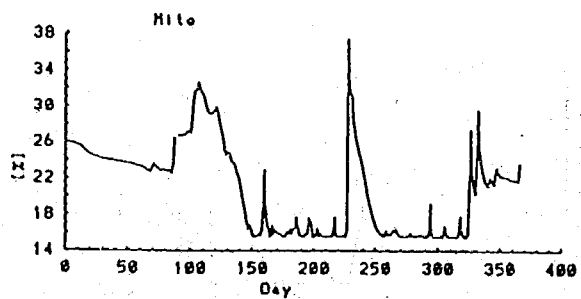
(5-a) 日光 (CO₂×1)



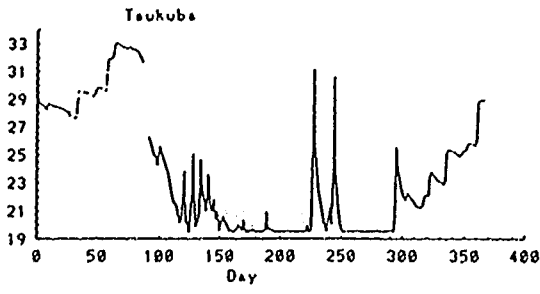
(5-b) 日光 (CO₂×2)



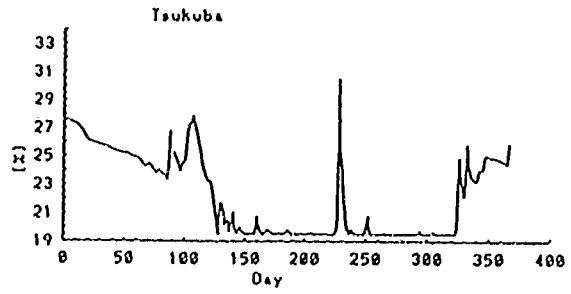
(6-a) 水戸 (CO₂×1)



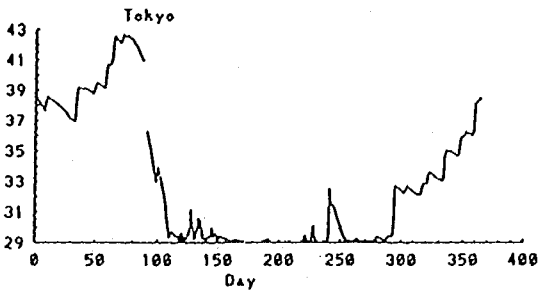
(6-b) 水戸 (CO₂×2)



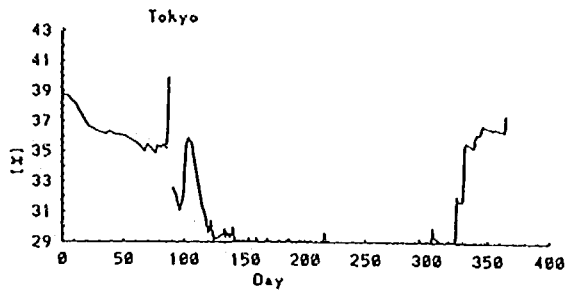
(7-a) 筑波 (CO₂ × 1)



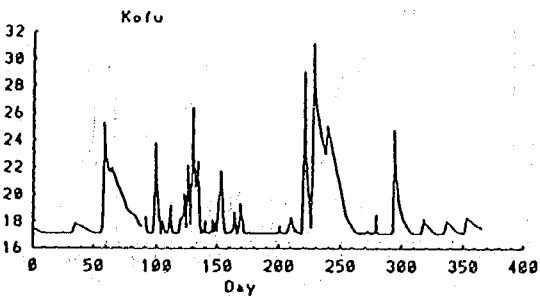
(7-b) 筑波 (CO₂ × 2)



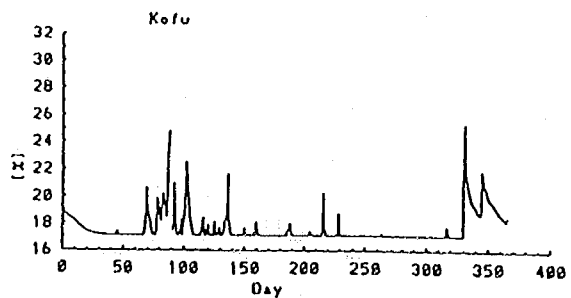
(8-a) 東京 (CO₂ × 1)



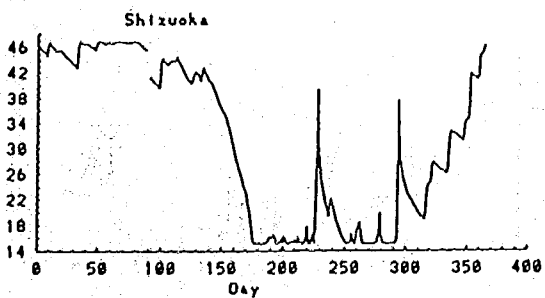
(8-b) 東京 (CO₂ × 2)



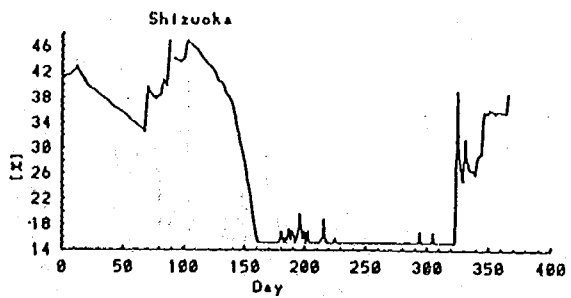
(9-a) 甲府 (CO₂ × 1)



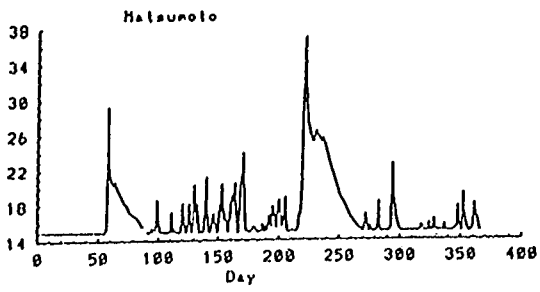
(9-b) 甲府 (CO₂ × 2)



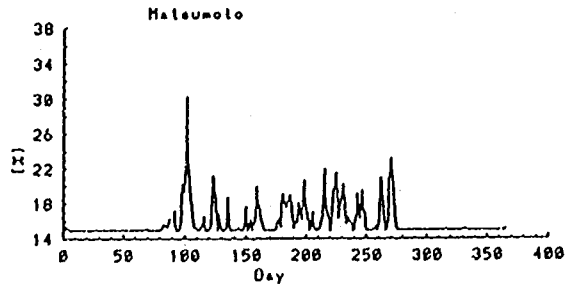
(10-a) 静岡 (CO₂ × 1)



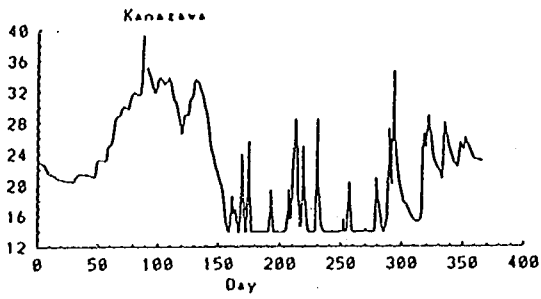
(10-b) 静岡 (CO₂ × 2)



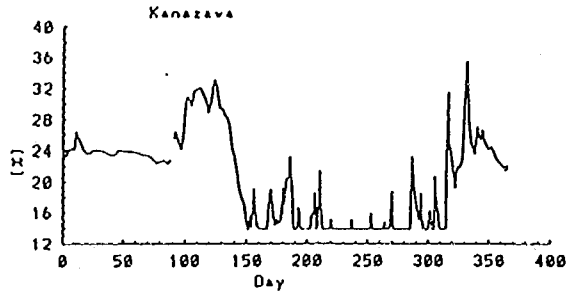
(11-a) 松本 (CO₂ × 1)



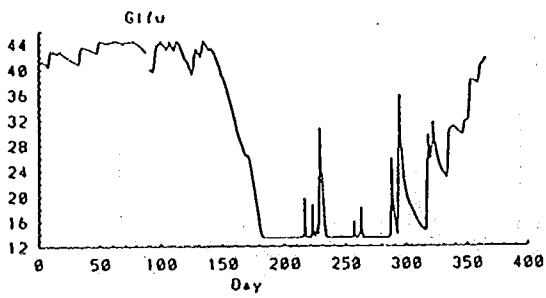
(11-b) 松本 (CO₂ × 2)



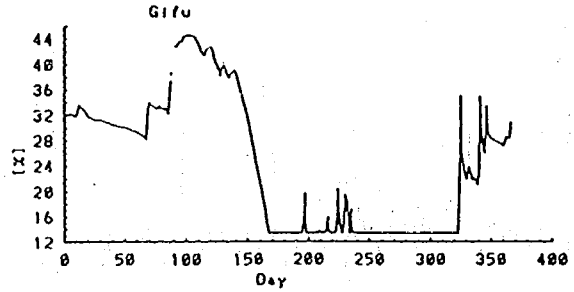
(12-a) 金沢 (CO₂ × 1)



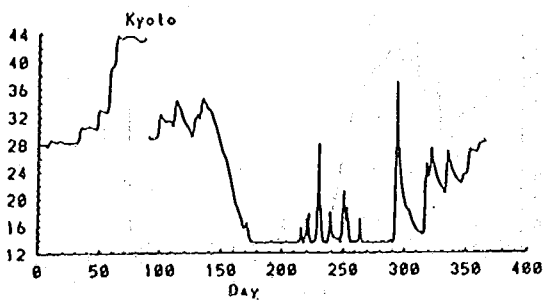
(12-b) 金沢 (CO₂ × 2)



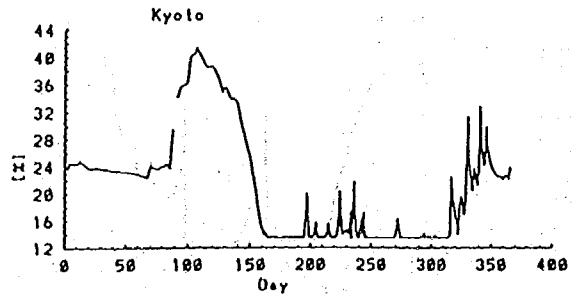
(13-a) 岐阜 (CO₂ × 1)



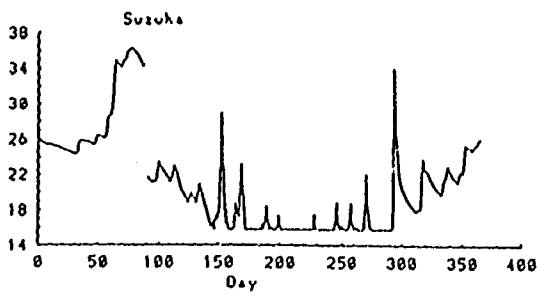
(13-b) 岐阜 (CO₂ × 2)



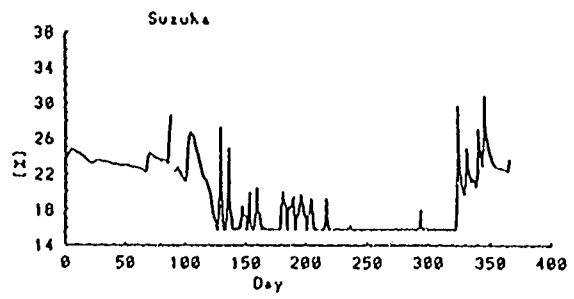
(14-a) 京都 (CO₂ × 1)



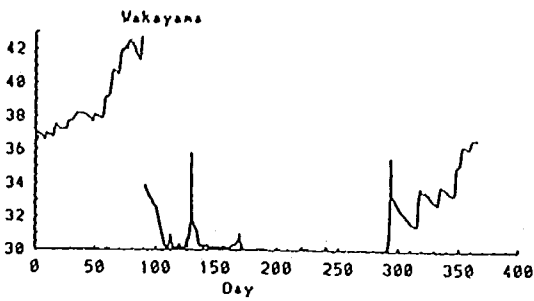
(14-b) 京都 (CO₂ × 2)



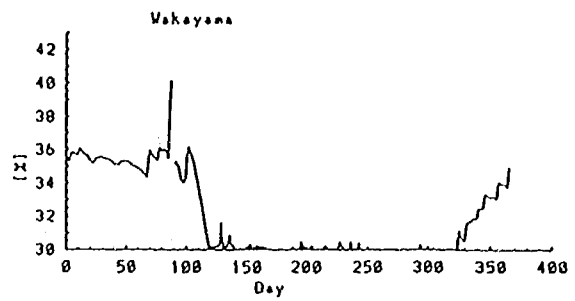
(15-a) 鈴鹿 (CO₂ × 1)



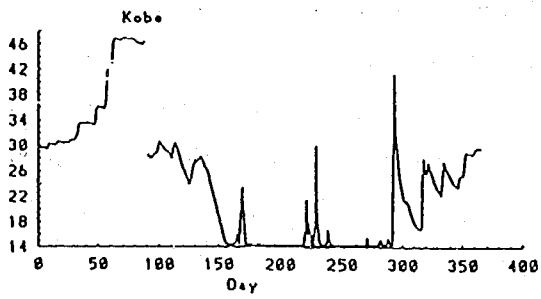
(15-b) 鈴鹿 (CO₂ × 2)



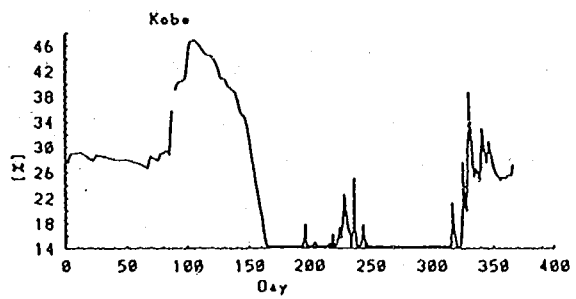
(16-a) 和歌山 (CO₂ × 1)



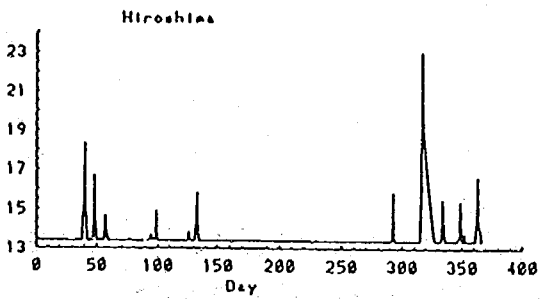
(16-b) 和歌山 (CO₂ × 2)



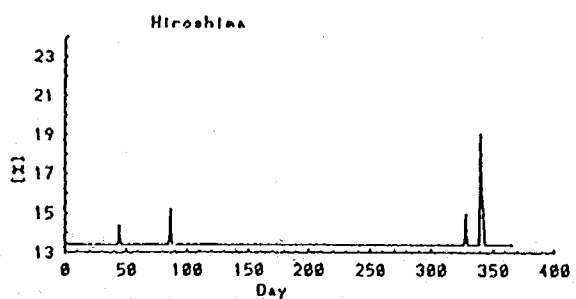
(17-a) 神戸 (CO₂ × 1)



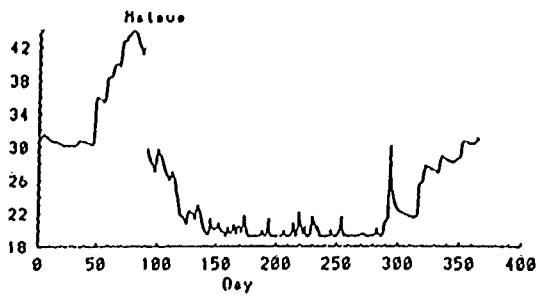
(17-b) 神戸 (CO₂ × 2)



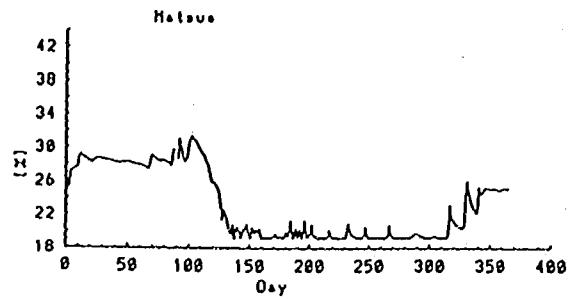
(18-a) 広島 (CO₂ × 1)



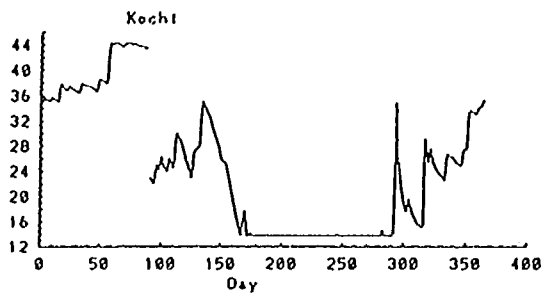
(18-b) 広島 (CO₂ × 2)



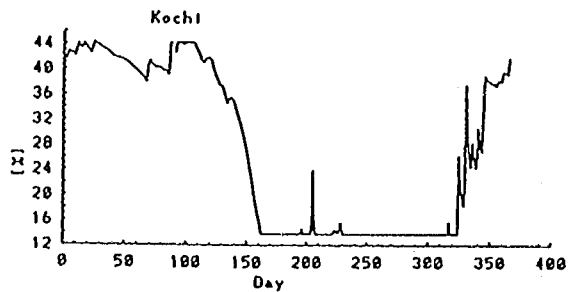
(19-a) 松江 (CO₂×1)



(19-b) 松江 (CO₂×2)



(20-a) 高知 (CO₂×1)



(20-b) 高知 (CO₂×2)

洪水流出に関しては、余剰降水しか見ていないので、地中に浸透した降水が全て蓄えられ、土壤の水分量が多く見積もられる。その結果として蒸発量が高く計算されている可能性がある。また、土壤内水分量の鉛直分布等も考慮していないので、土壤がある程度湿潤していて蒸発量が少ない場合には今回開発した地表面過程モデルで十分であることは検証している。しかし、土壤が乾燥してきた場合には、水分量の鉛直分布形が表面付近で絶乾するような極端な分布形に変わるはずである。この場合にはモデルの前提条件が満たされなくなっている。このような場合には実際には表面で乾燥しているために蒸発しにくくなっているが、モデル上では平均水分量を用いるので表面の状態に関わらずに蒸発が行われるので、乾燥化が急速に進んでいるものと考えられる。

降雨と土壤水分と蒸発量の関係では、6月付近の梅雨がどちらのシナリオにも現れていない。梅雨がないと、水分供給がされずに天気が晴になるので日射によって逆に乾燥化が進む。これは夏期の雨全体について同様なことが言えると思われる。

7.5 まとめ

日本域を対象とした小領域メソスケール気象・水文モデルを用いて、GCMの出力結果を入力条件として、地球温暖化に伴って日本域で生じる水文特性の変化を求めた。主要な結果は以下の通りである。

- 1) 本州・四国における気温は、炭酸ガス濃度の倍増によって2℃～4℃上昇し、東北部における気温上昇率が高い。

2) 炭酸ガス濃度の倍増によって大気中の水分量は上昇する。しかし、気温上昇による飽和蒸気圧の上昇量の方が大きいので、相対湿度は下がる傾向が見られた。これについては、GCM 段階から海洋過程まで含めた蒸発量や熱流動に関する検討が必要である。

3) 炭酸ガス濃度の倍増によって風速等はそれほど変化しないようである。

4) 炭酸ガス倍増シナリオでは、気温上昇に伴う日本上空での相対湿度の低下に起因して年間降水量は全体的に減少する傾向が見られた。

ただし、夏期の降雨についてほとんどの地域で両シナリオともに生じていない。したがって、この結果は夏期を除いた結果であると判断した方がよい。夏期の降水量の変化予測については検討のまだ余地があり、入力シナリオの精度を上げるか、擬似降雨シミュレーション等の他の方法で予測した結果で評価することが望ましい。

5) 台風の効果が取り入れられていない本方法では、特に台風が年間降水量に大きく影響する本州中央部から南西部にかけての諸現象について検討することは難しい。特に、降水量・土壌水分量・蒸発量等は問題が残されている。

6) 気温上昇と降雨の減少によって土壌の乾燥化は進む。これは、東北部では概ね正しいと判断されるが、南西部については夏期の降雨がうまく取り込めていないために検討の余地がある。

第8章 結 論

大気中の炭酸ガス濃度増大に伴う地球温暖化に起因する降水量と蒸発量の変化に着目して、各章で述べたことをまとめると以下の通りである。

第2章では、降雨と年平均気温に関係から、年平均気温が増大している期間では豪雨が増大する傾向が見いだされたが、近年のデータまで含めるとそのような明確な傾向は見られなくなる。

第3章では、気候変化が生じても降雨の特性が現状と変化しないと仮定すると、温暖化に伴って蒸発量が増加しても、このことが流出高にあたる影響は小さく、相対湿度の変化は蒸発量に大きく影響しないことが示された。ただし、東北部などの寒冷な地区においては、年間蒸発量は1割程度増加する可能性がある。

第4章では、MRIGCMの結果を気象パターン分析をすると、気候変化に伴って夏に北太平洋高気圧が日本上空を支配する日数が増え、熱帯低気圧が日本に來襲する数が減少する傾向が見いだされた。

第5章では、温暖化時において気象パターンと降水特性の関係が変化しないと仮定すると、気候変化に対する気象パターンの変化から、夏に北太平洋高気圧が支配する場合の降水が増え、気圧の谷・前線による降水が多少増えること、台風の來襲する日数の減少によって降水量及び大雨の日数が減少することが見いだされた。台風の増減に伴う降水量の変化は、現状で台風が來襲する割合が高い関東地方・中部地方・西南日本外帯部で大きい。

第6章では、MRIGCMデータに2段階ネスティングする大気モデルモデル及び地表面過程モデルを作成してテストランを行い、20kmメッシュの小領域モデルでは冬季の降水量を予測できること、地表面の気温、地中温度、土壌水分量、顕熱量、蒸発量等をシミュレーションできることが確かめられた。

第7章では、メソスケール大気・水文モデルに基づいて解析を行った結果、気温の上昇に水蒸気量の上昇が追いつけず相対湿度が下がるため、全体的に降水量が減少すること、特に西南日本において降水量の減少傾向が強いことが示された。ただし、夏期の降雨については梅雨(前線)や台風等が十分表現されていないため、炭酸ガス濃度を現状のままとして計算した場合でも現状の観測結果と比べると年間降水量で平均的に600~1000mm程度ずれがある。また、日本上空に輸送されてくる水蒸気量の算定法にも問題があると考えられる。

以上、MRI・GCM-1の出力結果を用いて種々の解析を行って得られたことを中心に総合的に判断すると、次のように整理できる。

台風や前線などの夏期における降水の影響を除いた場合、気温の増大と共に日本上空の大気中の相対湿度が減少すれば、7章の結果から全体的に降水量は減少することになる。もし、相対湿度が現状と変わらない程度まで大気中の水蒸気量が増えるならば気象パターンと降水量の関係はあまり変化しないと考えられるので、5章の結果から台風の影響を除いて考えれば、全体的に降水量は少し増大するという結論が得られる。ただし、日本上空に運ばれてくる水蒸気量についてはGCM上及び中領域モデル上で不確実な点が残されている。台風については、4章の結果を信頼するならば、台風時の降雨の状況が現状と変化しない限り、日本へ來襲する数が減るので降水量も減ることになる。

したがって、場所によって値は異なるが長期間平均した年間降水量は、温暖化に伴って來襲する台風の数が減少することにより100mm~数100mm程度減少する可能性が高く、特に関東・中部・南西部において降水量

が減少する可能性が高い。米襲する台風の数に変化しなければ長期間平均した年間降水量は大きく変化しない可能性が高い。ただし、各年毎の変動については今回行った解析結果からは不明である。また、米襲する台風がもたらす平均的な降雨量は、過去の統計的な特性が変化しないと仮定していることに注意する必要がある。蒸発量は温暖化によって増加する。蒸発量の増加は、気温上昇量が大きい東北部で大きい。総合的に考えれば、温暖化によって全体的には日本の水資源賦存量が減少する可能性は高いことになる。

謝 辞

本研究の実施にあたり、基礎データとなる MRI-GCM の出力データを提供して頂いた気象庁時岡氏（元気象研究所）GCM アウトプットに基づく気圧配置型分類にあたってご協力頂いた農業環境研究所の山川氏、気象パターン分類法に基づく擬似降雨シミュレーション手法について教示頂いた米国地質調査所マッケイブ氏及び、メソスケールモデルによる水文循環予測の共同研究者であるカリフォルニア大学デービス校カバス教授に感謝の意を表します。

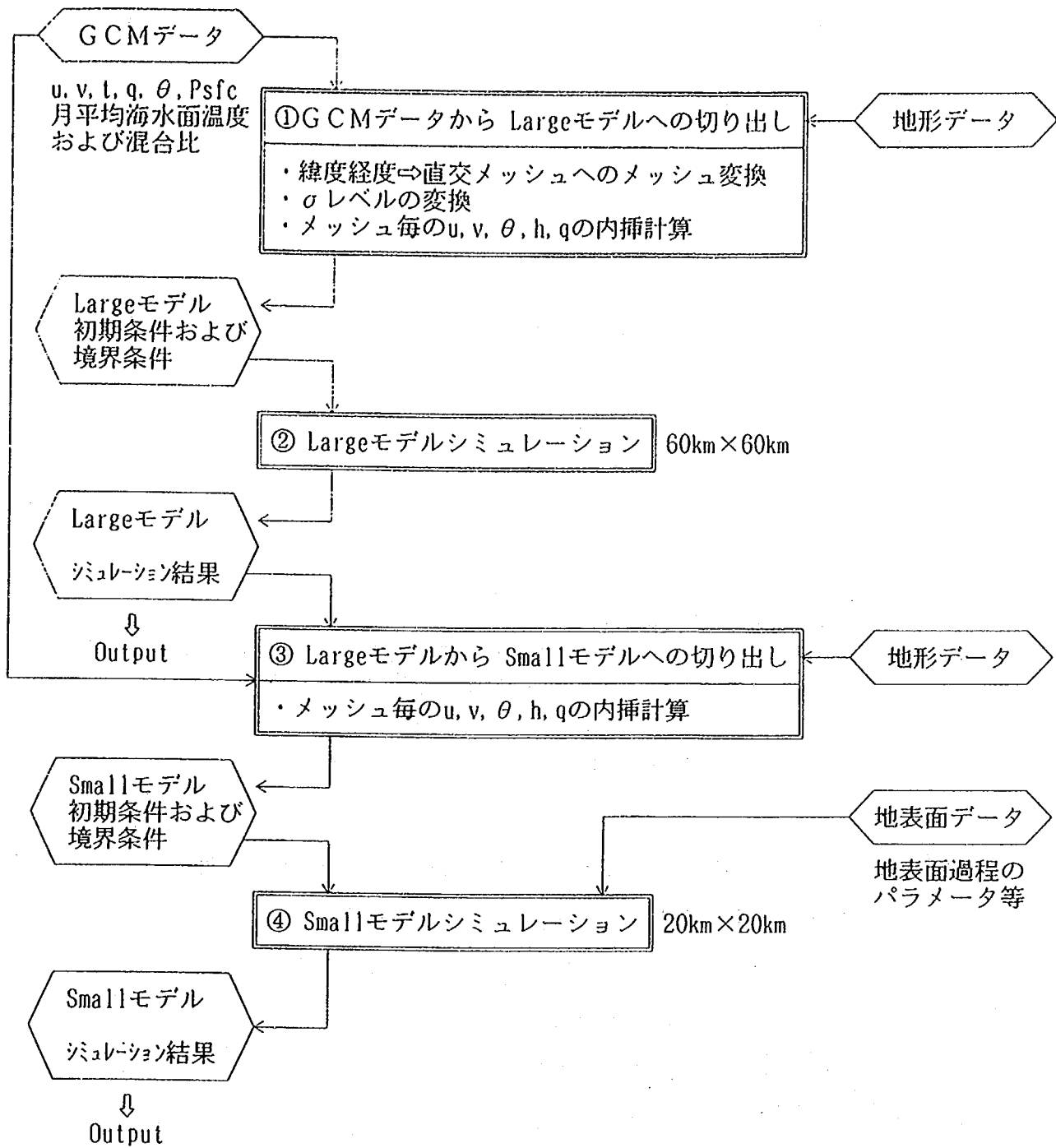
巻 末 資 料

第6章で述べたメソスケール水文-気象シミュレーションモデルの計算手順フローチャート及び入出力フォーマット等を、参考資料として掲載する。

1. モデルの概要
2. サブモデル間の情報伝達および計算フロー
3. Lage モデルの入出力データ
4. Small モデルの入出力データ

1. モデルの概要

1-1. 計算手順のフローチャート



1-2. 境界条件及び計算範囲

a) GCMデータ

使用するGCMデータには、①NMC（アメリカ国立気象センター）およびCOADS（大洋-大気総合データセット）と、②MRIGCM（気象研究所）の2種類があり、各データの諸元は以下のとおりである。

① NMCデータおよびCOADSデータ

・NMCデータ

分解能 : 経度 2.5° × 緯度 2.5°

標準高度 : 12層 (1000, 850, 750, 500, 400, 300, 200, 150, 100, 70, 50, 25mb)

使用データ : 気温, 風の場合, 湿度, 気圧データ

・COADSデータ

分解能 : 経度 2° × 緯度 2°

使用データ : 月平均海面温度および混合比データ

② MRIGCMデータ

分解能 : 経度 4° × 緯度 5°

標準高度 : 5層対流圏モデル

$(\sigma_1=0.0555556, \sigma_2=0.222222, \sigma_3=0.444444,$
 $\sigma_4=0.666667, \sigma_5=0.888889)$

使用データ : 気温, 風の場合, 湿度, 気圧,

月平均海面温度および混合比データ

b) 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。計算範囲およびデータ諸元は、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

垂直方向P座標 : 12層又は10層

┌ NMCデータ使用の場合

12層 P=1000, 850, 750, 500, 400, 300, 200, 150,
100, 70, 50, 25mb

└ MRIデータ使用の場合

10層 P=1000, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300,
200, 150mb

出力データ : u, v, θ , q, Psfc, ϕ

月平均海面温度および混合比データ

c) Smallモデルデータ

Largeモデル計算結果を用いて、さらに細かなSmallモデルによる計算を行う。

Smallモデルの大きな特徴は、地表面データを用いて地表面過程の計算（大気との水分量、熱等のやりとり）を行う点にある。

計算範囲およびデータ諸元は以下のとおりである。

計 算 範 囲 : 日本（但し、北海道および九州を除く範囲）

メ ッ シ ュ 幅 : 20km×20km

メ ッ シ ュ 数 : 65メッシュ×65メッシュ

垂直方向P座標 : 12層又は10層

┌ NMCデータ使用の場合

12層 P=1000, 850, 750, 500, 400, 300, 200, 150,
100, 70, 50, 25mb

└ MRIデータ使用の場合

10層 P=1000, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300,
200, 150mb

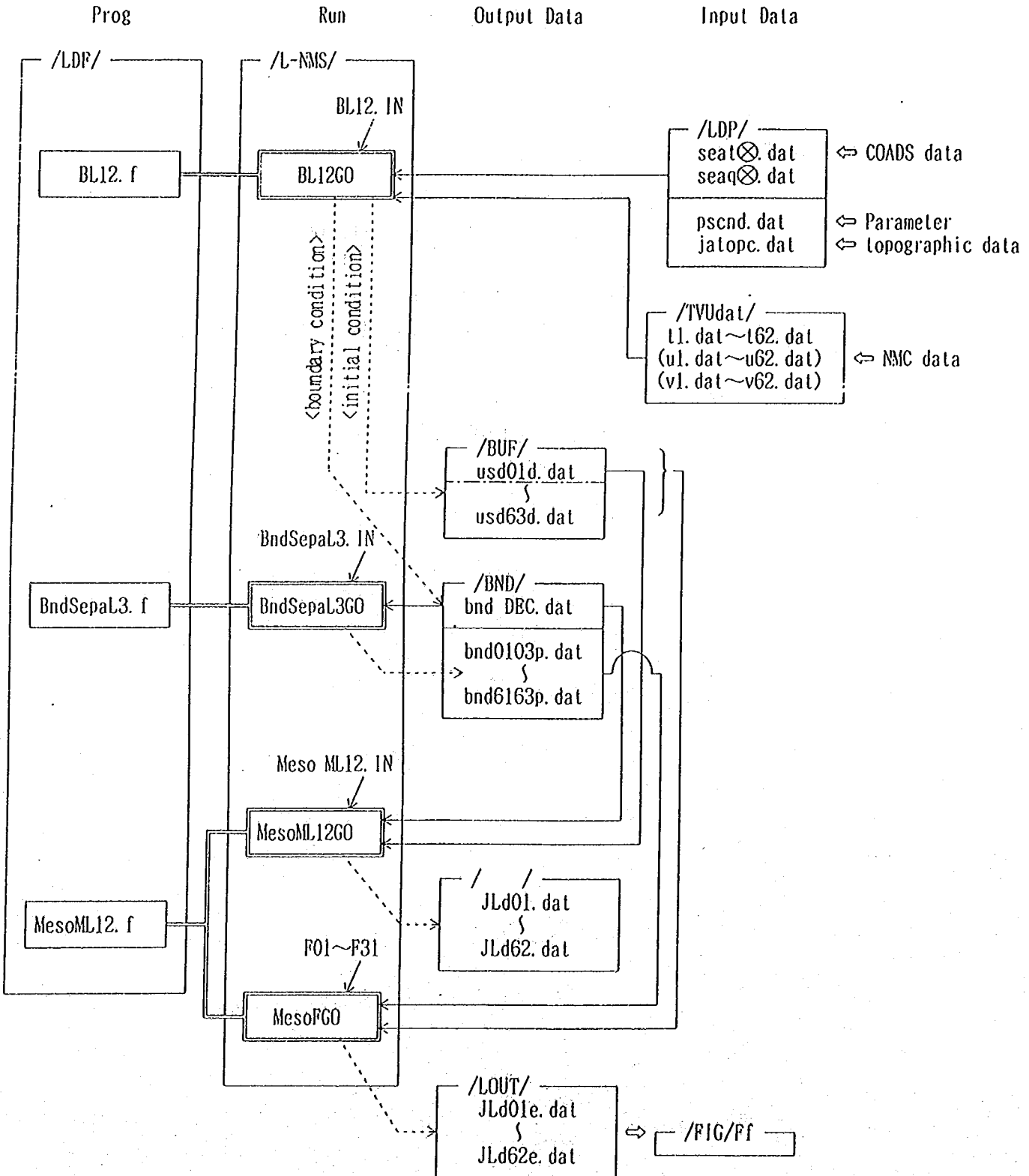
出力データ : u, v, θ , q, Psfc, ϕ

月平均海水面温度および混合比データ

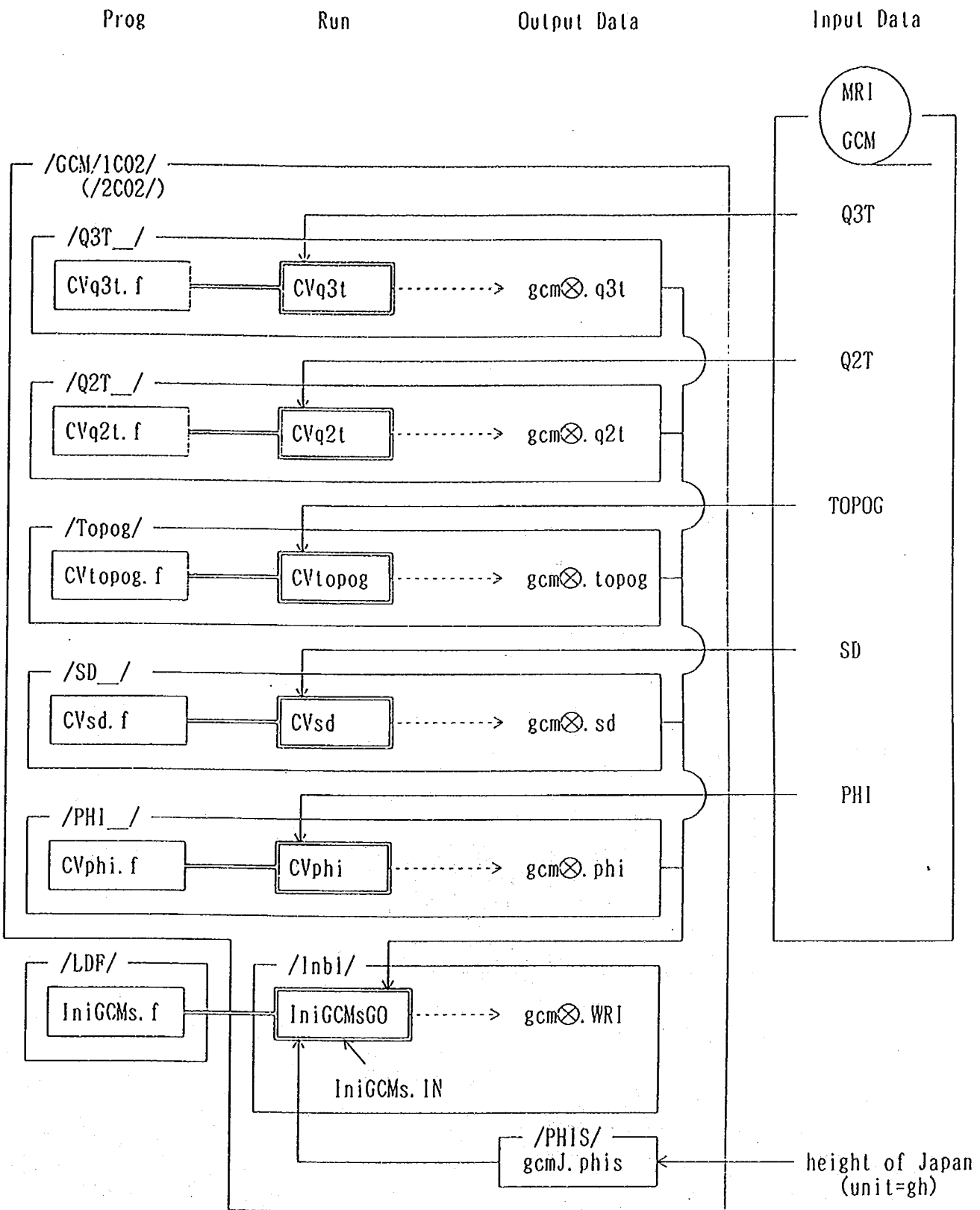
2. サブモデル間の情報伝達および計算フロー

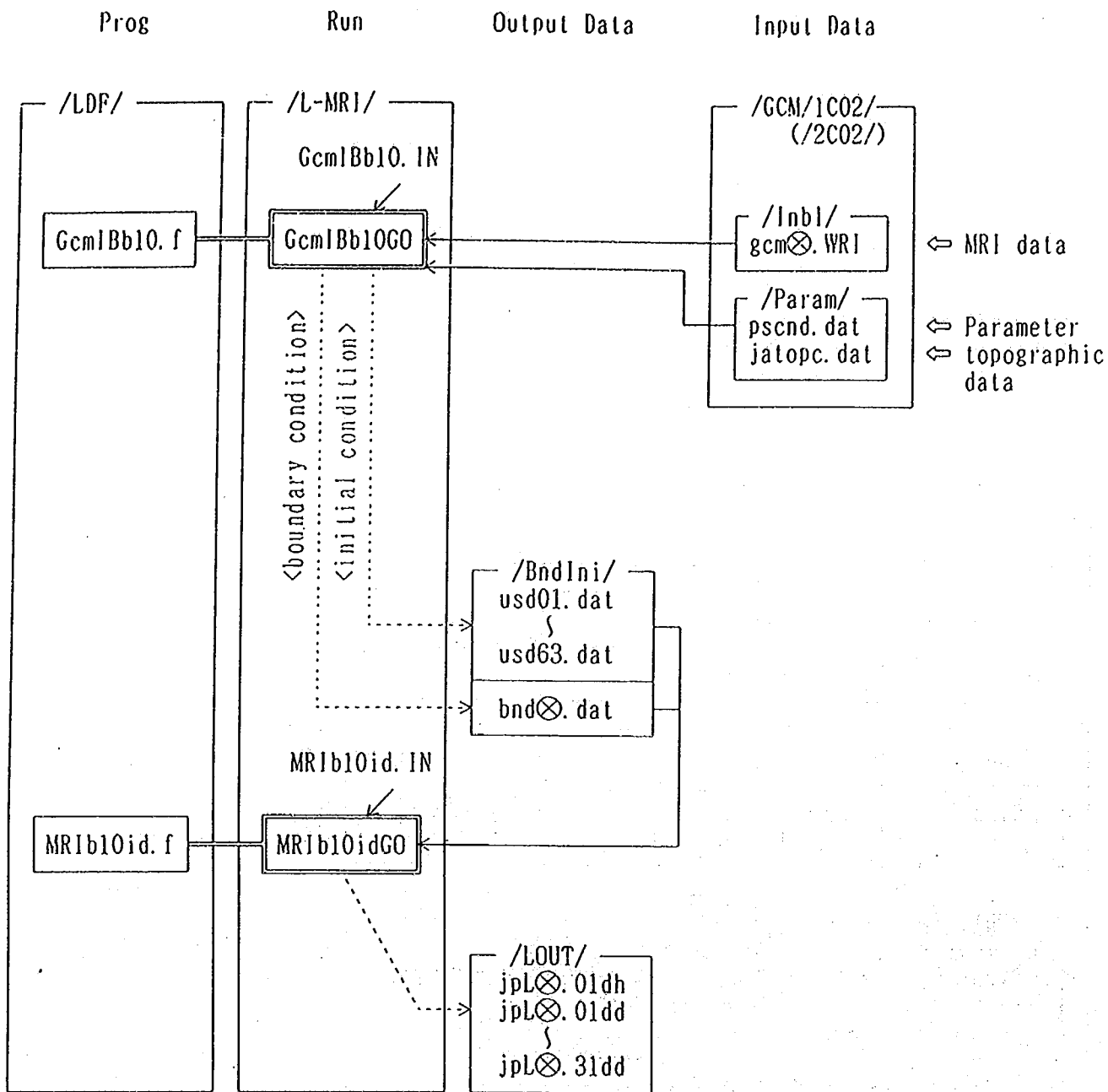
ここでは、GCMからLargeモデルへの情報伝達、LargeモデルからSmallモデルへの情報伝達の方法と、本シミュレーションの核となるプログラムの計算フローを整理した。

2-1. GCM から Large モデルへの情報伝達 (NMC モデル)



2-2. GCM から Large モデルへの情報伝達 (MRI モデル)





2-3. Large モデルの計算フロー

<Meso ML12.5>

Initials--- (TAPE) → DISK
Time Var. Some Const's READ

Const's READ

AINDSK

ADFNC

BRUN

XDREAD

JJ=1, 2, 3, 4

CHYDS

各層の π の計算
要結果 ←→ PIPT

CORVA

DRY Convective Adjustment
m項の計算
Vertical advection項 ($\frac{du}{dt} \frac{dv}{dt} \frac{de}{dt} \frac{dq}{dt}$)
Vertical turb Exchs項 () 海面のみ

DACTQ

KUO TYPE CONVECTIVE (LATENT HEAT,
MOISTURE)

CHYDS

π 要結果 ←→ PIPT
Dry convective Adjustment

JJ変換 Ground HT → COR

XMOVEX

JJ=7 ← JJ=1

DACUV

(JJ=1, ~ JJ=3 を使用)
PRESSURE GRADIENT 項 ($\frac{du}{dt} \frac{dv}{dt}$)
u と v の差分を 40倍したものをE.Vに加えている

DIFD

JJ=1 (JJ=1と2と3を使用)

FLAG

FIRST GUESS ADVECTIVE DISTANCE

Big loop
JJ=2~N-1

XDREAD

JJ=5

FLAG

FIRST GUESS ADVECTIVE DISTANCE

CORVA

m項
VERTICAL ADVECTION項 ($\frac{du}{dt} \frac{dv}{dt} \frac{de}{dt} \frac{dq}{dt}$)
VERTICAL TURB, Exchs項 ()

DACTQ

KUO TYPE CONVECTIVE (LATENT HEAT,
MOISTURE)

CHYDS

π の計算
要結果 ←→ PIPT
DRY CONVECTIVE ADJUSTMENT

DACUV

PRESSURE GRADIENT 項 ($\frac{du}{dt} \frac{dv}{dt}$)

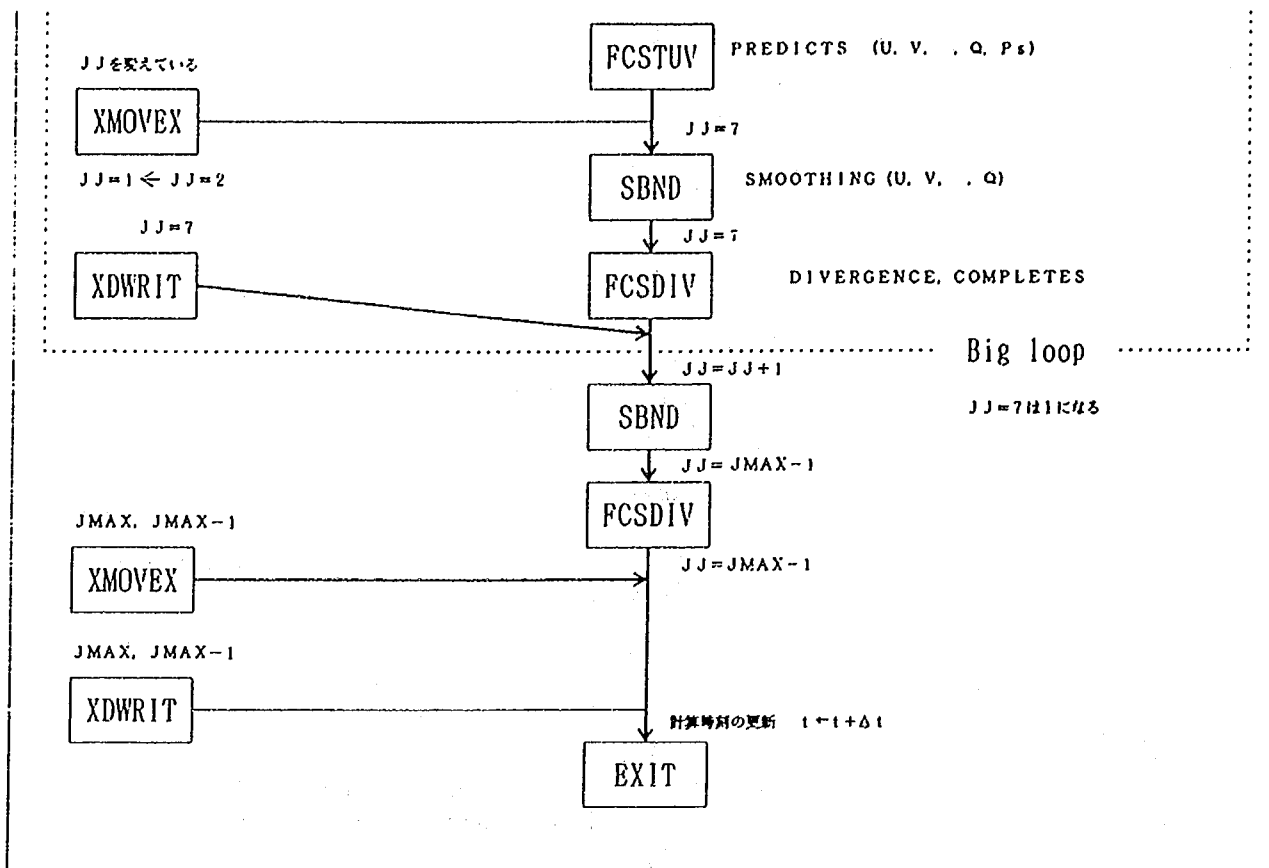
FLAG

FIRST GUESS ADVECTIVE DISTANCE

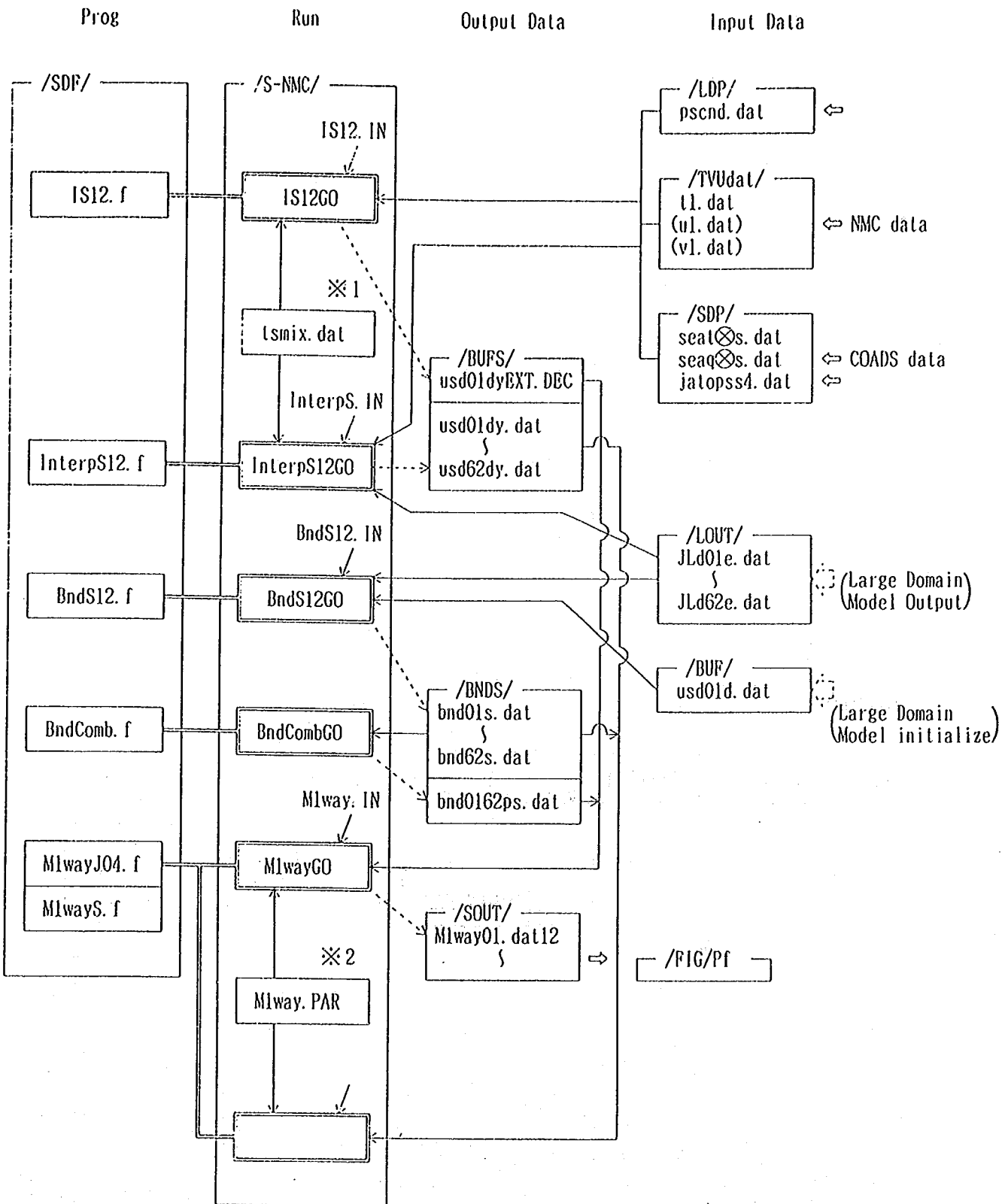
FDXDY

HORIZONTAL ADVECTIVE DISTANCES

JJ=2



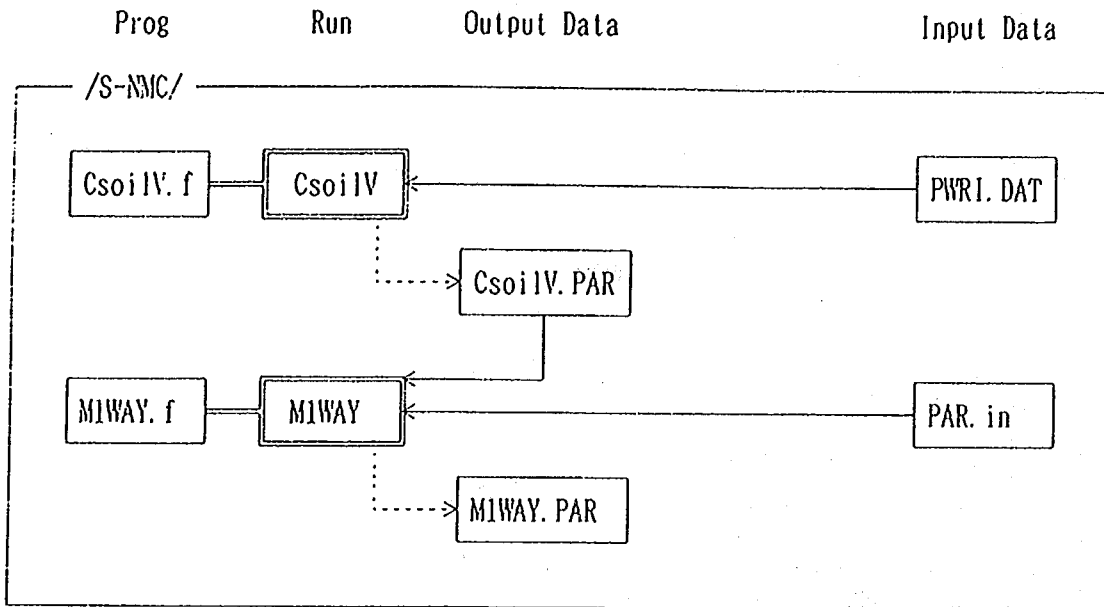
2-4. Large モデルから Small モデルへの情報伝達 (NMC モデル)



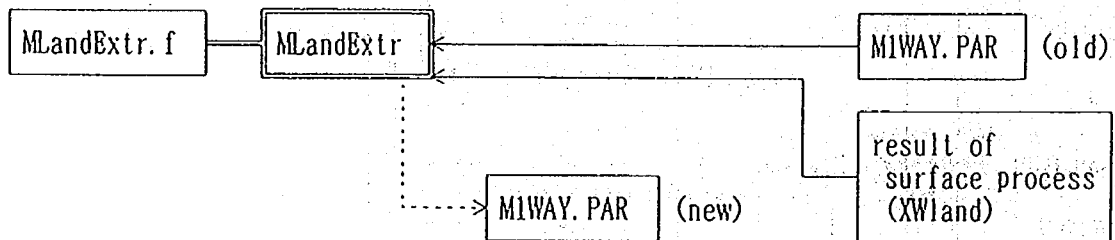
※1 tsmix.dat : sea & landsurface initial data & parameter

input but not use

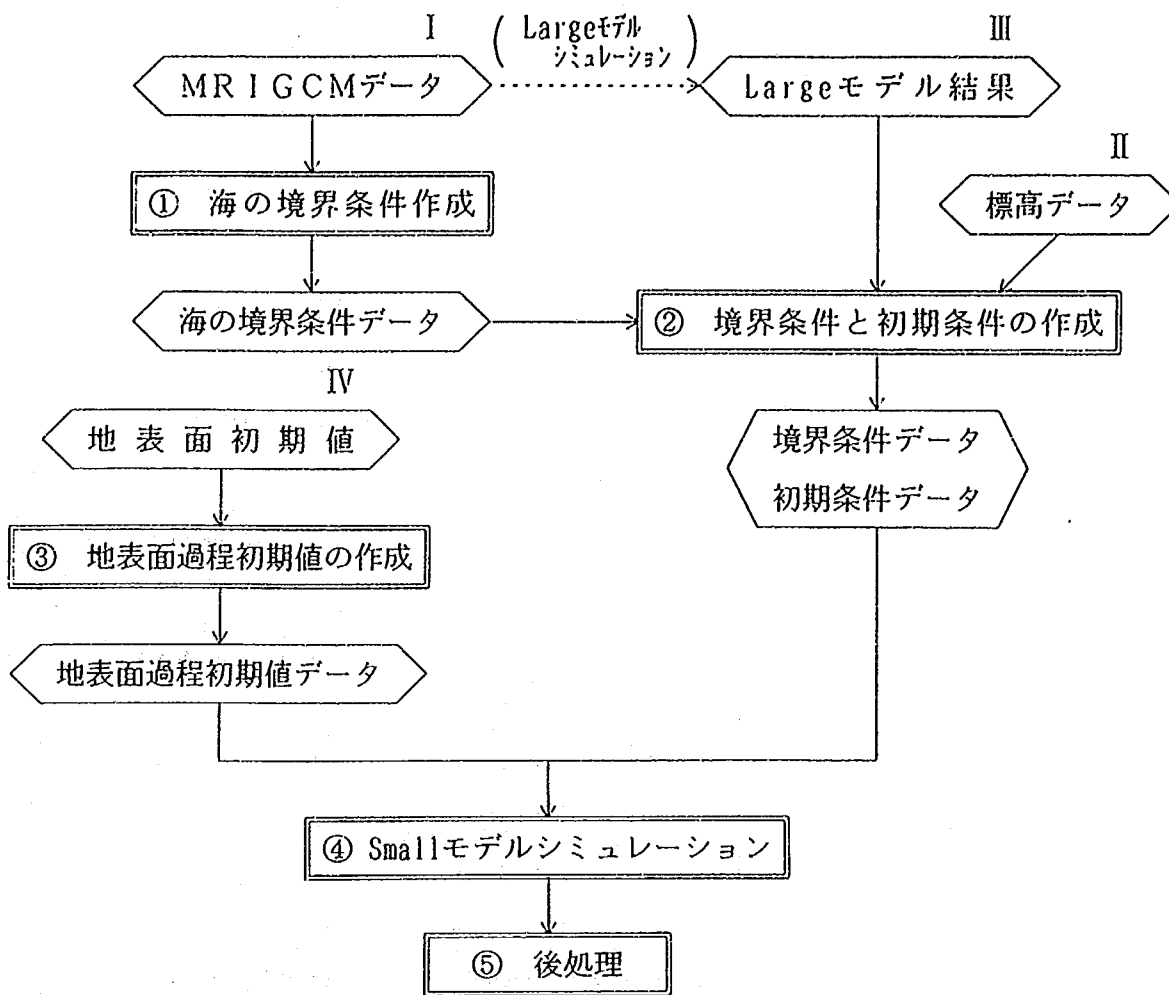
※2 MIWAY.PAR : land surface initial data & parameter

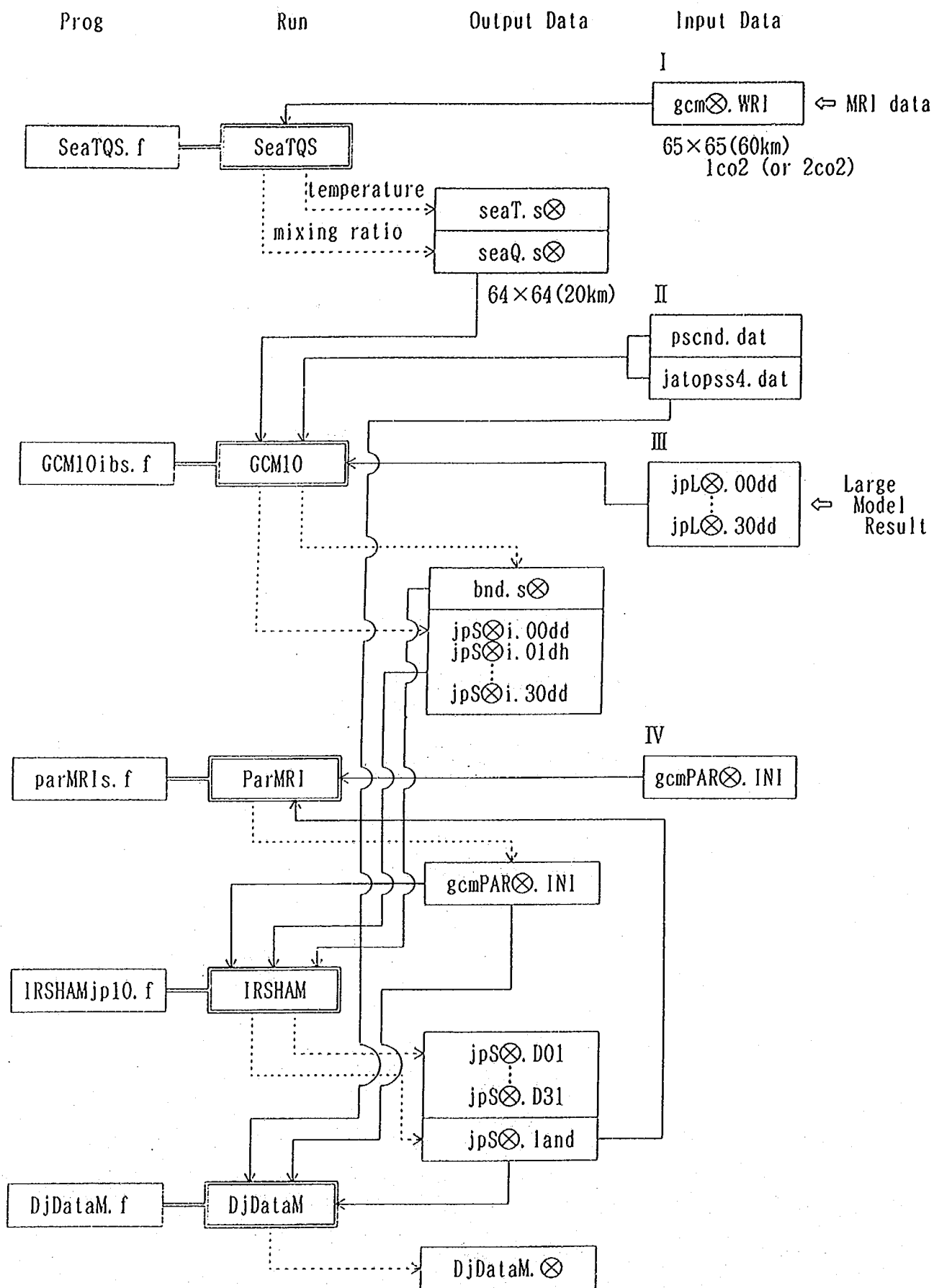


(OPTION)



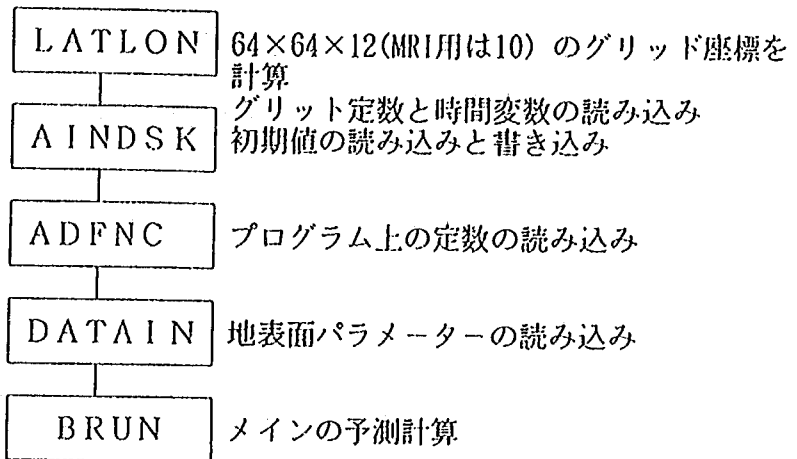
2-5. LargeモデルからSmallモデルへの情報伝達 (MRIモデル)



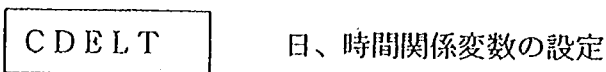


2-6. Small モデルの計算フロー

< MIWAYJ04 Small domain model >



BRUN

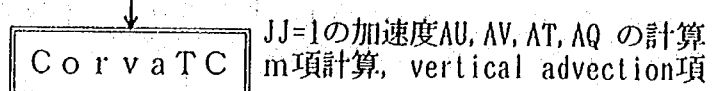
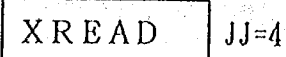
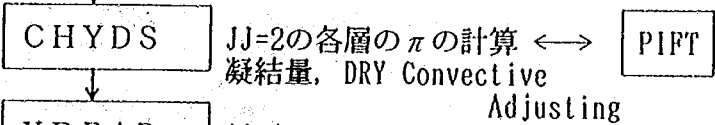
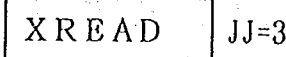
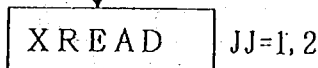


境界条件傾向値の読み込み

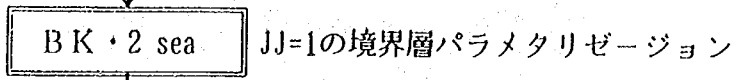
傾向値×Δt (時刻ごとの傾向値を設定)

時刻 0 設定

J列 カウンターの初期値化 (設定JM1 ~JP5 の7列, 他)



($\frac{du}{dt}, \frac{dv}{dt}, \frac{do}{dt}, \frac{dq}{dt}$)
 vertical turb:Exchs 項
 (") 海面のみ



エタマン層の計算

USTRL

接地層の U^* , θ^* , q^* , L の計算

FSOLAR

ソーラーラディエーションの計算

EVPLand

蒸発散モデル
植物遮断貯留モデル

SHARP

土壌水分流動モデル

接地層の計算

地表面熱収支

海面での熱収支

JJ=1, 2列のDIV, σ の仮定

$\Omega = dp/dt$ の計算 $k=1, 2, 3, 4, 5$

DACTQ

JJ=1の KUO対流降雨パラメタリ
ゼーション

CHYDS

JJ=3の各層の π の計算 \longleftrightarrow PIPT
凝結量, DRY Convective
Adjusting

XMOUEX

JJ=7 \leftarrow JJ=1

DACUV

JJ=1の圧力傾向項の計算 $(\frac{du}{dt}, \frac{dv}{dt})$

DIFD

JJ=1 u と v の差分を40倍したものを
 u, v に加えている

FLAG

JJ=1, 2の First guess 移流距離

Big loop

FLAG

JJ=3の First guess 移流距離

CorvaTC

JJ=2の加速度AU, AV, AT, AQ の計算
m項計算, vertical advection項

$(\frac{du}{dt}, \frac{dv}{dt}, \frac{d\omega}{dt}, \frac{dq}{dt})$
vertical turb:Exchs 項
(")
海面のみ

BK · 2 sea

エタマン層の計算

USTRL

接地層のU*, θ^* , q^* ,
Lの計算

FSOLAR

ソーラーラディエーションの計算

EVPland
↓
SHARP

蒸発散モデル
植物遮断貯留モデル

土壌水分流動モデル

接地層の計算

地表面熱収支

海水面での熱収支

DACTQ

JJ=2の KUO対流降雨パラメタリ
ゼーション

CHYDS

JJ=4の各層の π の計算 ←→ PIFT
凝結量, DRY Convective
Adjusting

DACUV

JJ=2の圧力傾向項の計算

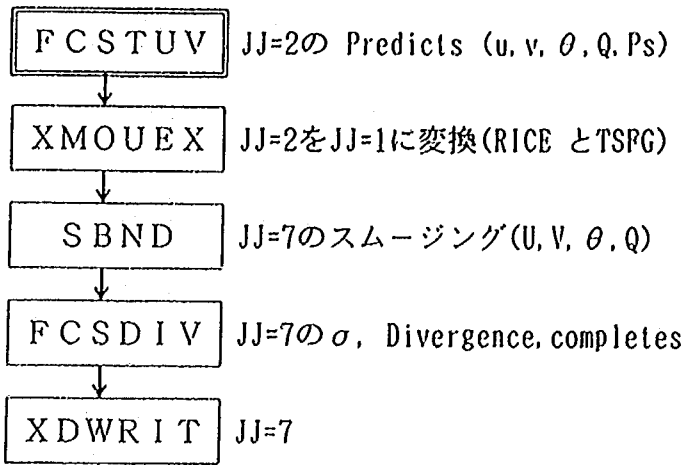
$(\frac{du}{dt}, \frac{dv}{dt})$

FLAG

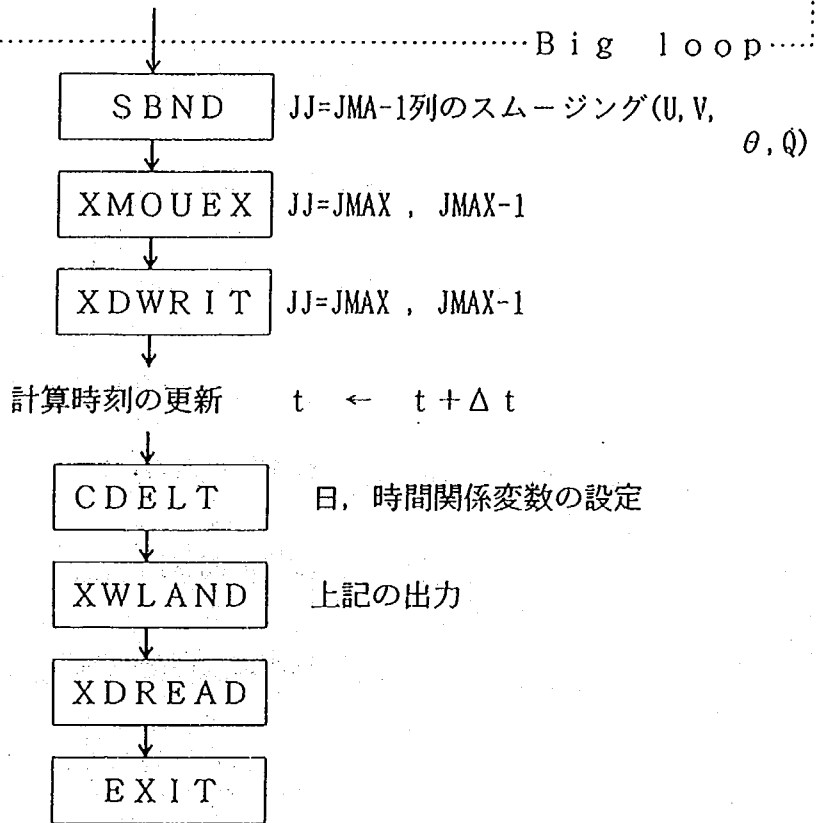
JJ=3の First guess 移流距離

FDXDY

JJ=2の HORIZONTAL ADVECTIVE
DISTANCE

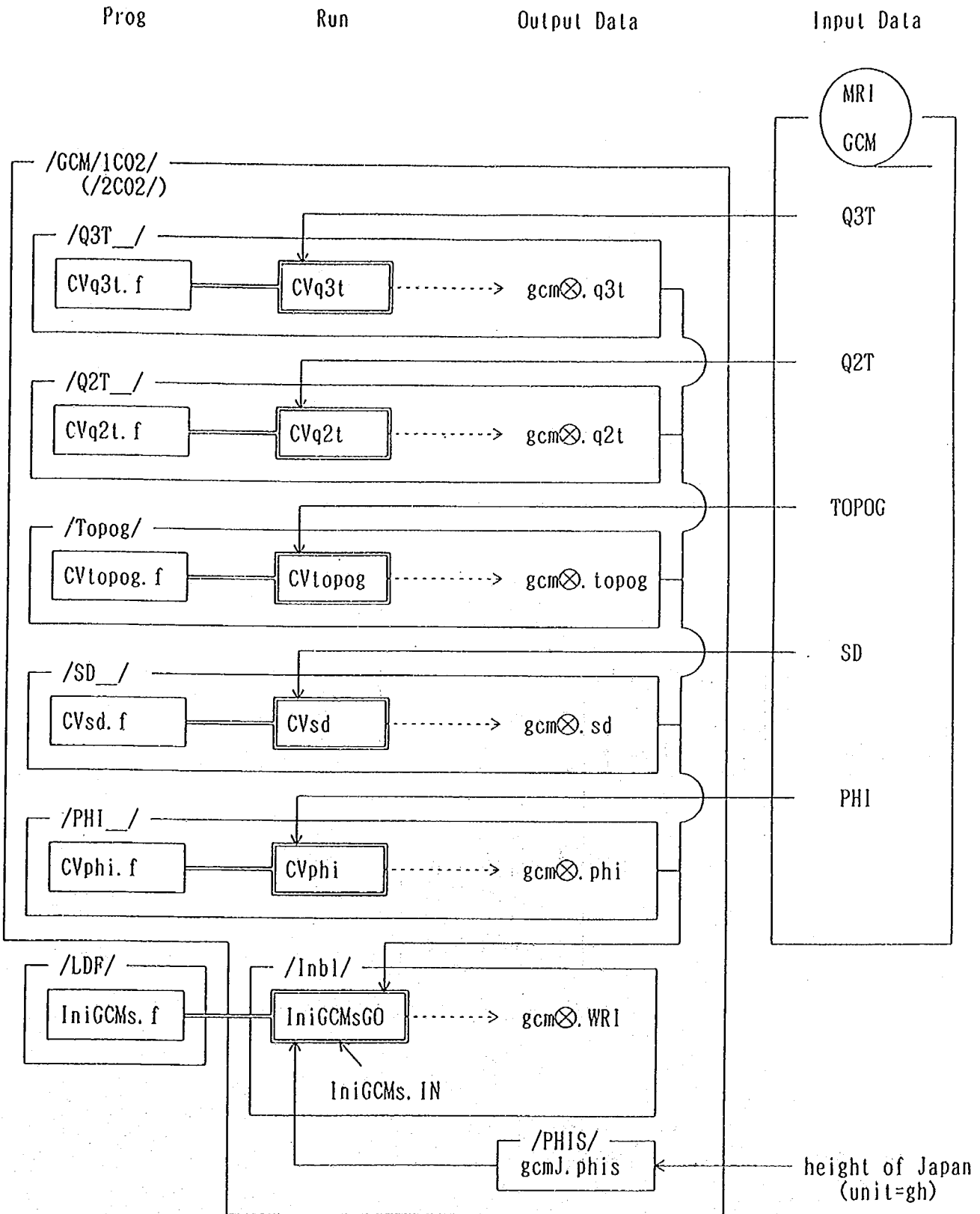


J Jのカウンタをそれぞれずらして、新たに設定



3. Large モデルの入出力データ

3-1. 処理フロー

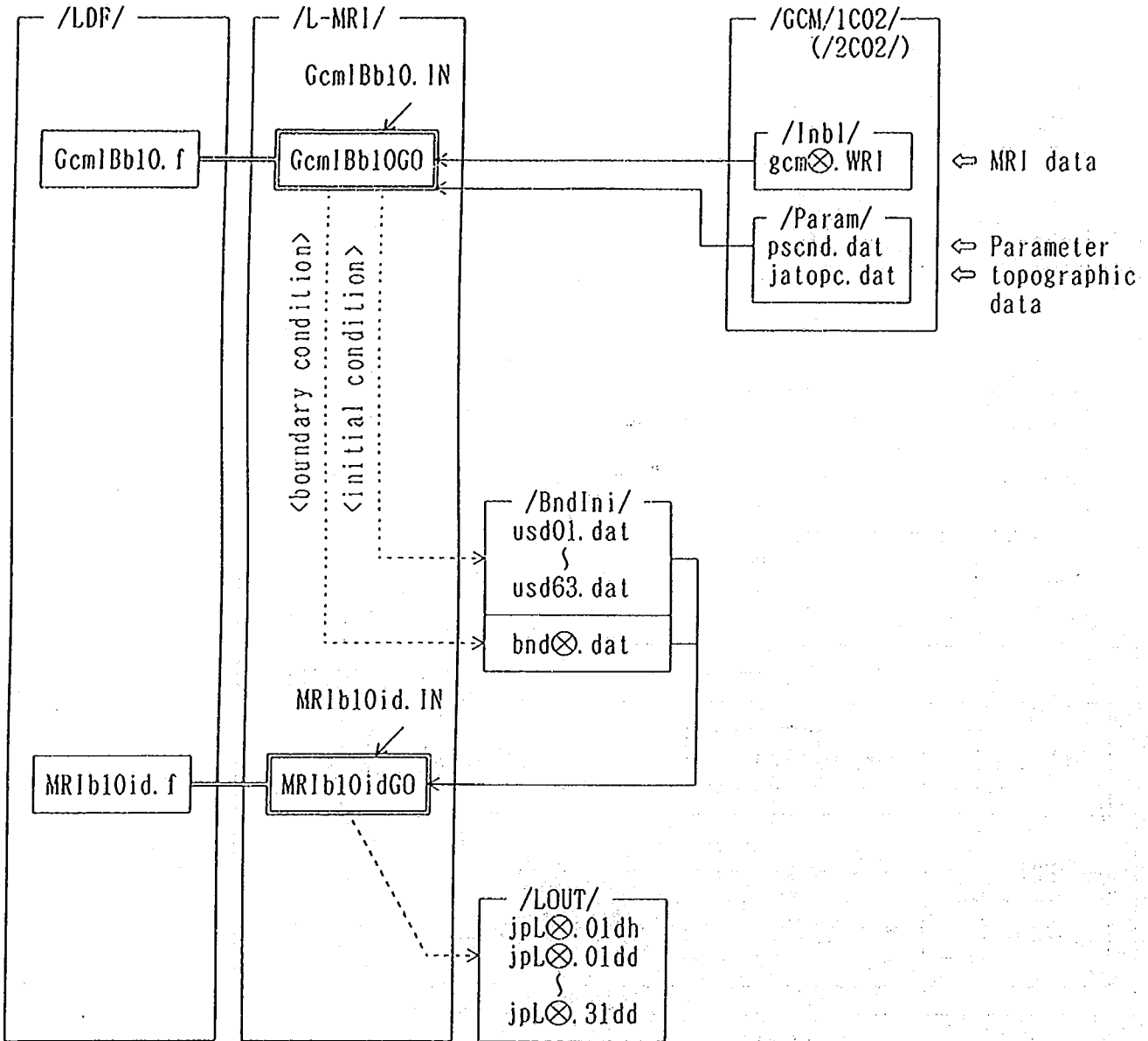


Prog

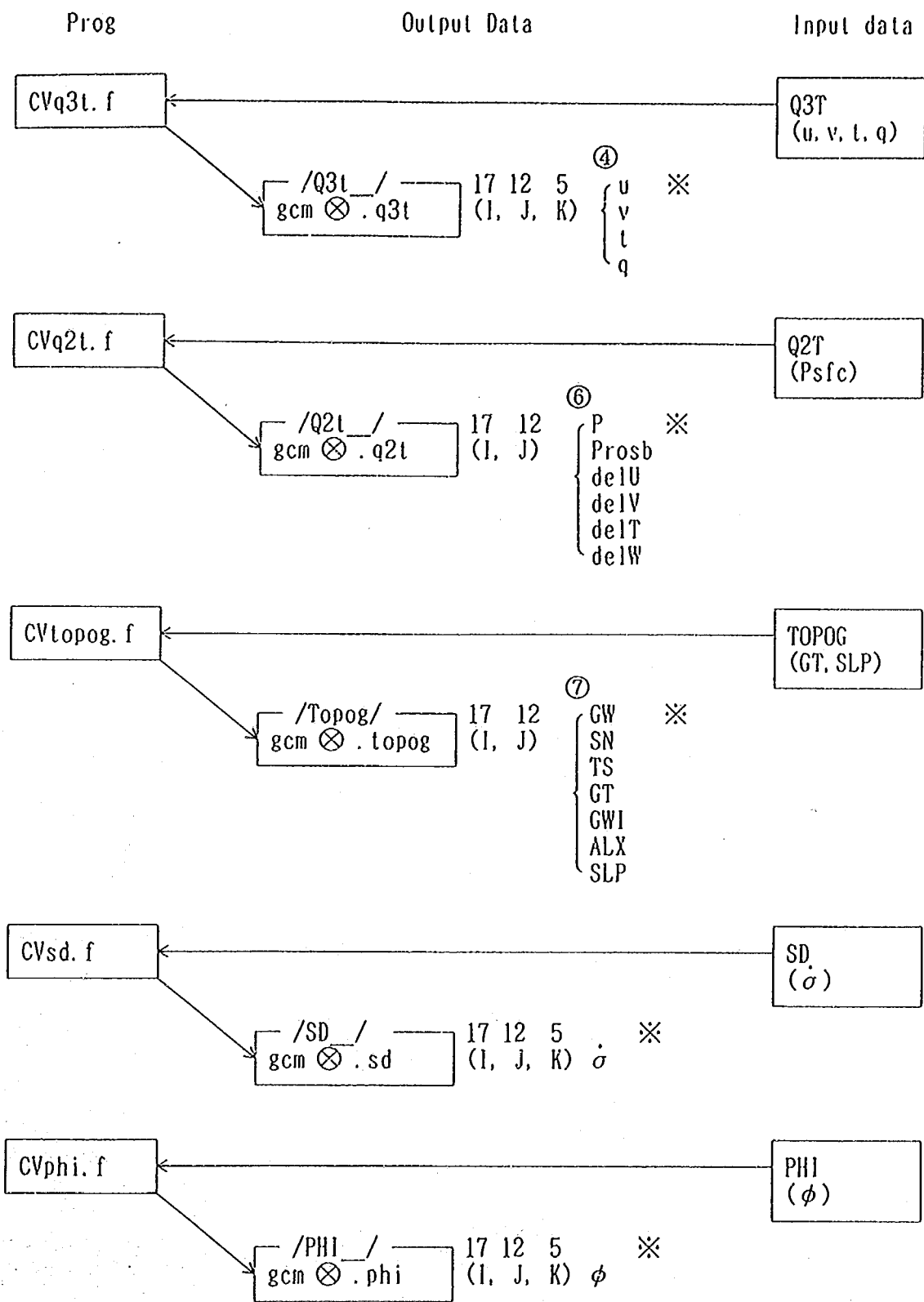
Run

Output Data

Input Data



3-2. 前处理



※ loop 1 to 63

GCM 標高データの入力 rPHIS(17×12) (gh)

QTsea

海水面の月平均 {temperature} 算出
{mixing ratio}

月平均海面 {temperature} の出力
{mixing ratio}

63step繰返し

VrDK39

Pgの抽出

MRI σ レベル \rightarrow P レベルへの変換 \rightarrow LDMでの σ レベルへ変換
(5層) (10層)

| |
|---|
| 1 |
| 2 |
| 3 |
| 4 |
| 5 |

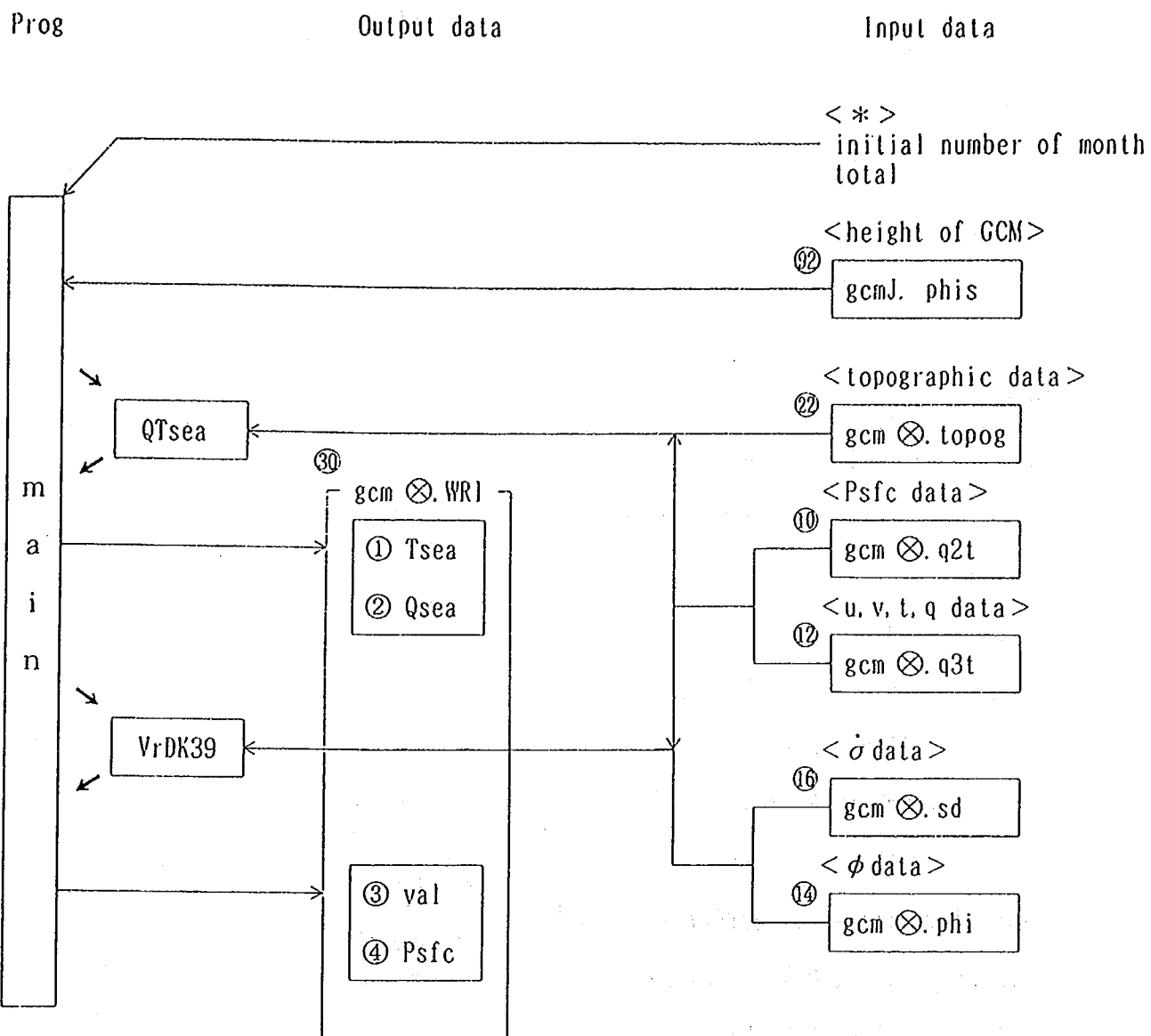
| |
|----|
| 1 |
| 2 |
| 3 |
| 4 |
| 5 |
| 6 |
| 7 |
| 8 |
| 9 |
| 10 |

$P_{sfc} = P_g + P_{top}$

k = 1, 10
u, v, θ , ϕ , qの出力

P_{sfc}の出力

3-3, データの入出力



« IniGCMs.f input data from Terminal »

① NINT, NTOL (ex. 3031 1)

NINT : initial number of management month

NTOL : total number of management month

« IniGCMs.f input data »

① height data of GCM

position : main

unit : 92

name of variables : rPHIS(17,12) (gh)

② topographic data (sea level pressure & surface temperature)

position : QTsea

unit : 22

name of variables : rTOPOG(17,12,7) (*1)

③ Psfc data (land surface pressure)

position : QTsea & VrDK39

unit : 10

name of variables : rQ2T(17,12,6) (*2)

④ u, v, t, q data (at MRI σ layer)

position : QTsea & VrDK39

unit : 10

name of variables : rQ3T(17,12,5,4) (*3)

⑤ ϕ data (at MRI σ layer)

position : VrDK39

unit : 14

name of variables : rPHI(17, 12, 5)

⑥ $\dot{\sigma}$ data (at MRI σ layer)

position : VrDK39

unit : 16

name of variables : rSD(17, 12, 5)

*1 real rTOPOG(17, 12, 7)

| | | |
|--------|---------------------------------|----|
| 1. GW | Soil moisture | |
| 2. SN | Depth of snow | cm |
| 3. TS | Temperature on the ground | K |
| 4. GT | Temperature of the surface soil | K |
| 5. GWI | Frozen soil water | |
| 6. ALX | Albedo | |
| 7. SLP | Air pressure on the sea surface | mb |

*2 real rQ3T(17, 12, LM, NQFDS)

| | | |
|------|------------------------------|-------|
| 1. U | Wind velocity of west-east | m/s |
| 2. V | Wind velocity of south-north | m/s |
| 3. T | Temperature | K |
| 4. Q | Mixing ratio of vapor | kg/kg |

*3 real rQ2T(17, 12, NOFDS)

| | | | |
|----------|--|----------------------------|-------|
| 1. P | ??? | Air pressure on the ground | mb |
| 2. PRESB | Thickness of planetary boundary layer | | |
| 3. DELU | Gap of wind velocity (e-w) at the top of PBL | | m/s |
| 4. DELV | Gap of wind velocity (s-n) at the top of PBL | | m/s |
| 5. DELT | Gap of temperature at the top of PBL | | K |
| 6. DELW | Gap of mixing ratio of vapor at the top of PBL | | kg/kg |

<< IniGCMs.f output data >>

① temperature of searface (monthly average)

position : main

unit : 30

name of variables : Tsea(13×12)

② mixing ratio of sea surface (monthly average)

position : main

unit : 30

name of variables : Qsea(13×12)

③ u, v, θ , ϕ , q data (at σ layer)

position : main

unit : 30

name of variables : val(13×12, 5)

format : DO 4000 K=1, 10 (layer number)

$$\left[\begin{array}{l} L' \\ val(I, L') = rDK(I, J, K, L) (*1) \\ write val(I, L'), I=1, 13 \times 12 \end{array} \right.$$

*1 real rDK39(17, 12, 10, 7)

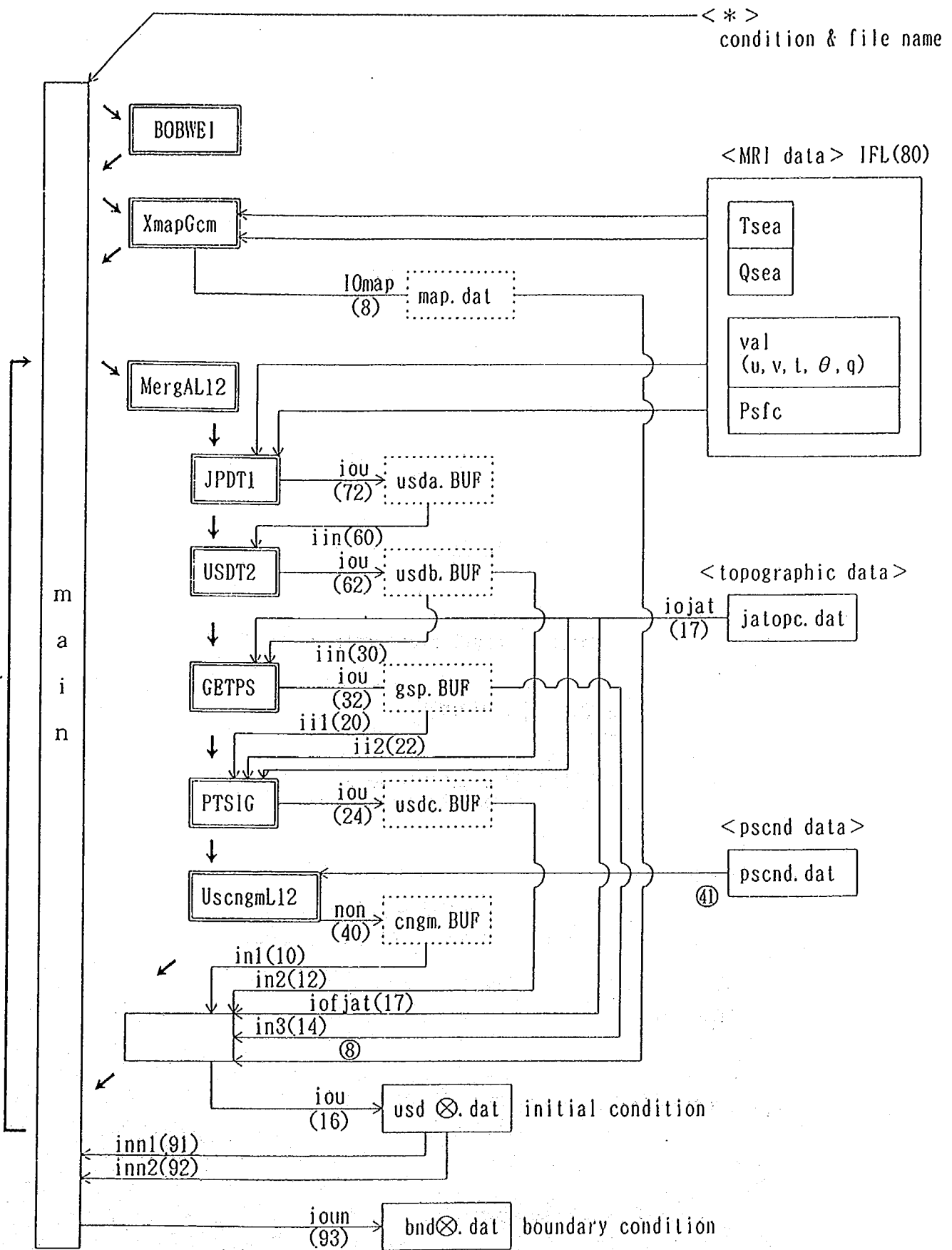
| | | | output |
|----------|---|-------------------------------------|--------|
| 1. U | Wind velocity of west-east | m/s | → 1 |
| 2. V | Wind velocity of south-north | m/s | → 2 |
| 3. T | Temperature | K | → 3 |
| 4. Q | Mixing ratio of vapor | kg/kg | → 5 |
| 5. TOTH | Total heating (sensible+latent+radiation) | W/m ² | → 4 |
| 6. PHI | Geopotential height (=gz) | ?100 m ² /s ² | |
| 7. OMEGA | W(P-velocity) | mb/s | |
| | | | |

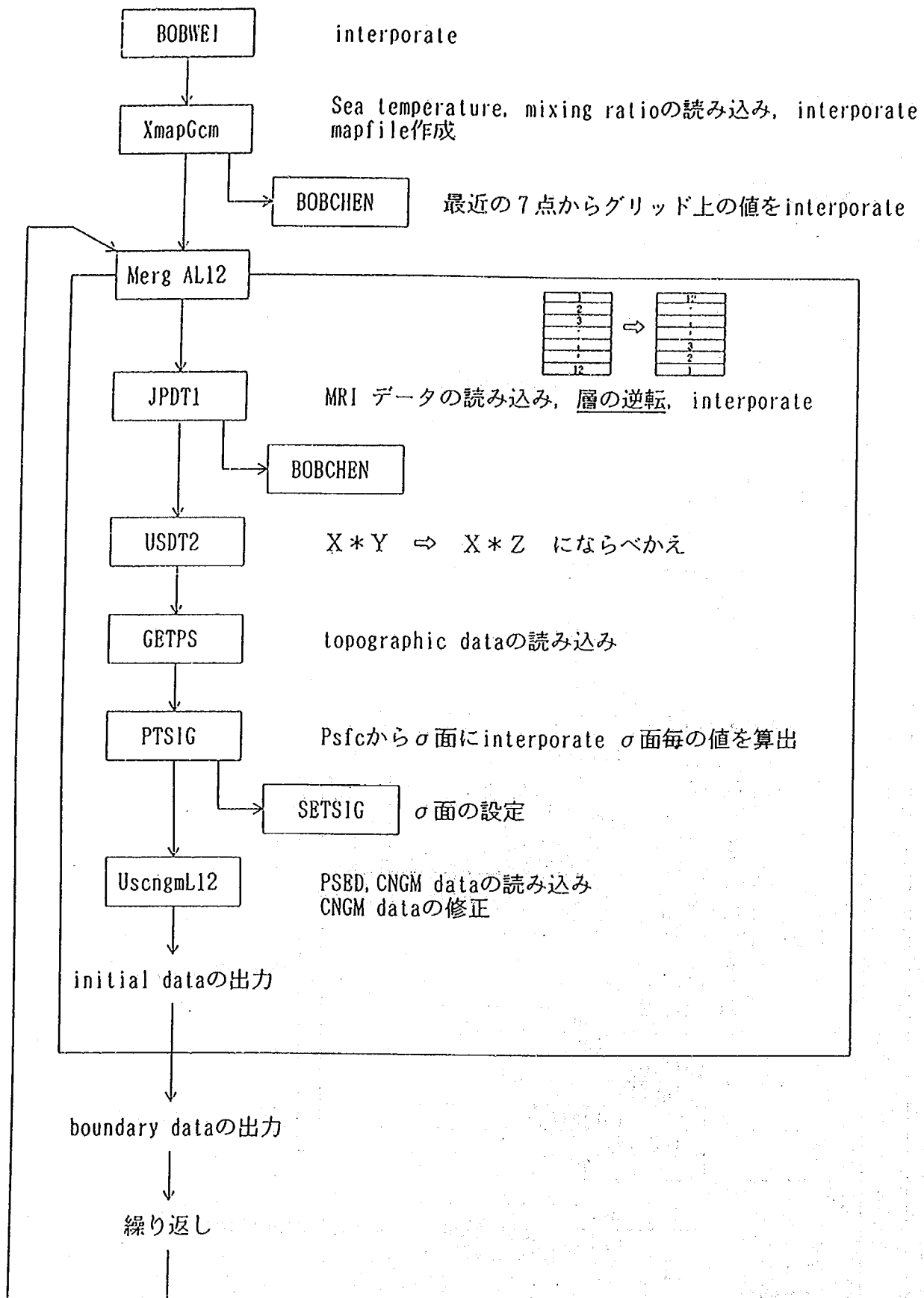
④ Psfc data

position : main

unit : 30

name of variables : PSFC(13×12) ⇔ rDK39(I, J, 1, 5)





◀ GcmIBb10.f input data from Terminal ▶

① Initialize time (ex. 31 3 1 0)

 IY, IM, ID, IH : Year, Month, Day, Hour

② Input Datafilese name

 fpscd : pscnd.dat

 fjatopc : jatop.dat

③ Input GCMDData filename

 fgcmdat : GCMDData

④ beginning & end

 nbd : calculation start step (day)

 ned : calculation end step (day)

⑤ BC Output Datafilenames

 fbnddat : Output boundary condition

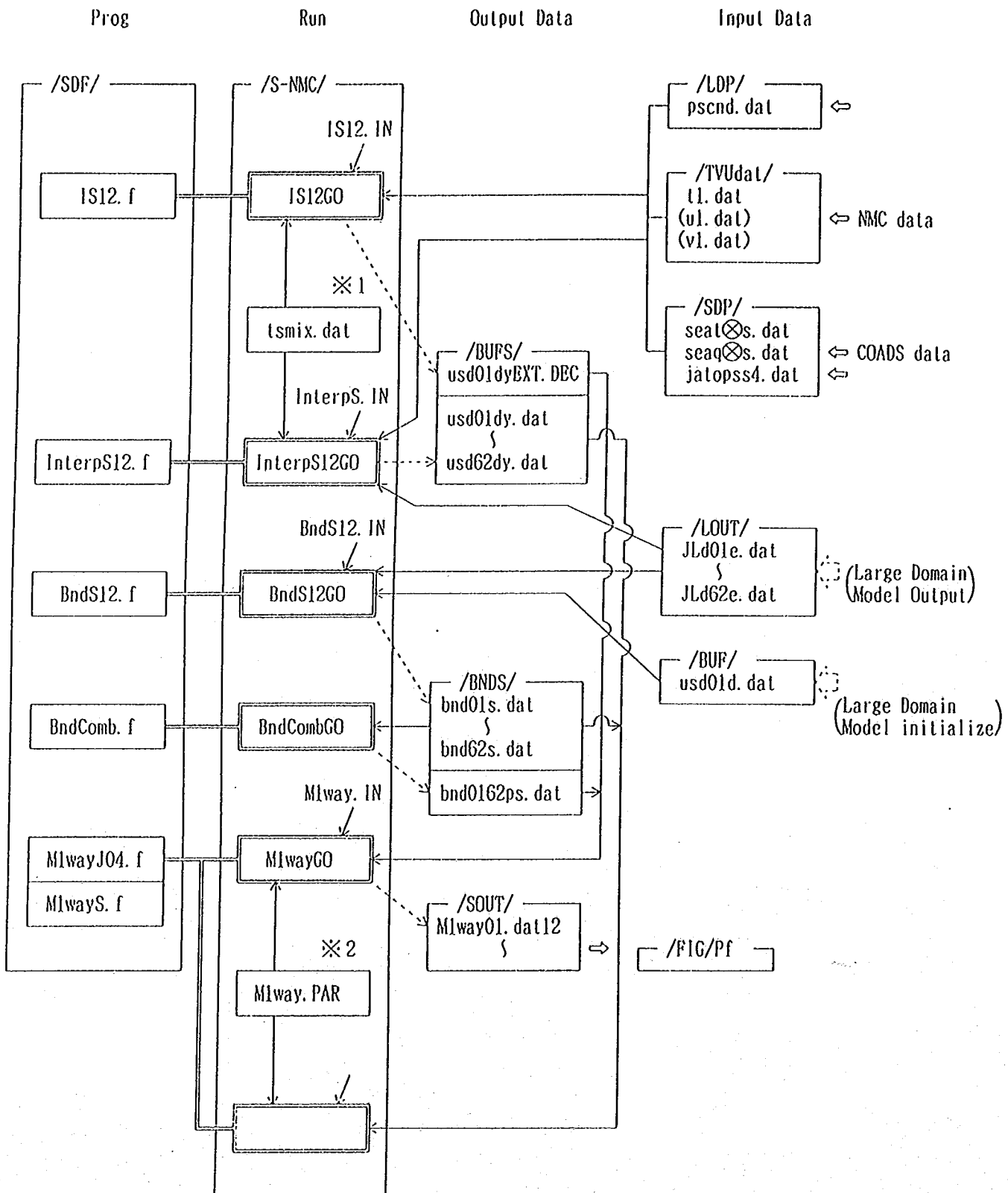
⑥ Output Datafilenames

 fusdd(ned*2+1) : Output Initialize condition

4. Small モデルの入出力データ

SmallモデルはNMCモデルもMRIモデルも入力方法が同様であることから、ここでは、NMCモデルの入力方法について述べる。

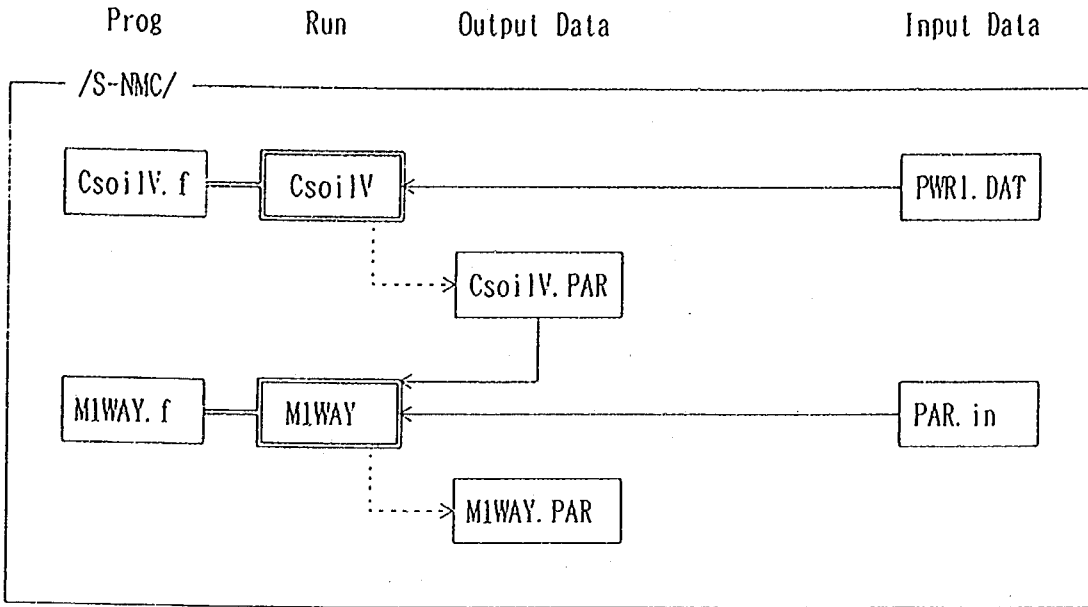
4-1. 処理フロー



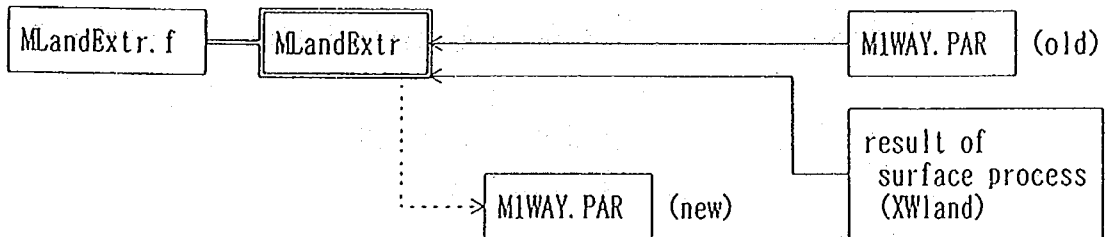
※1 tsmix.dat : sea & landsurface initial data & parameter

input but not use

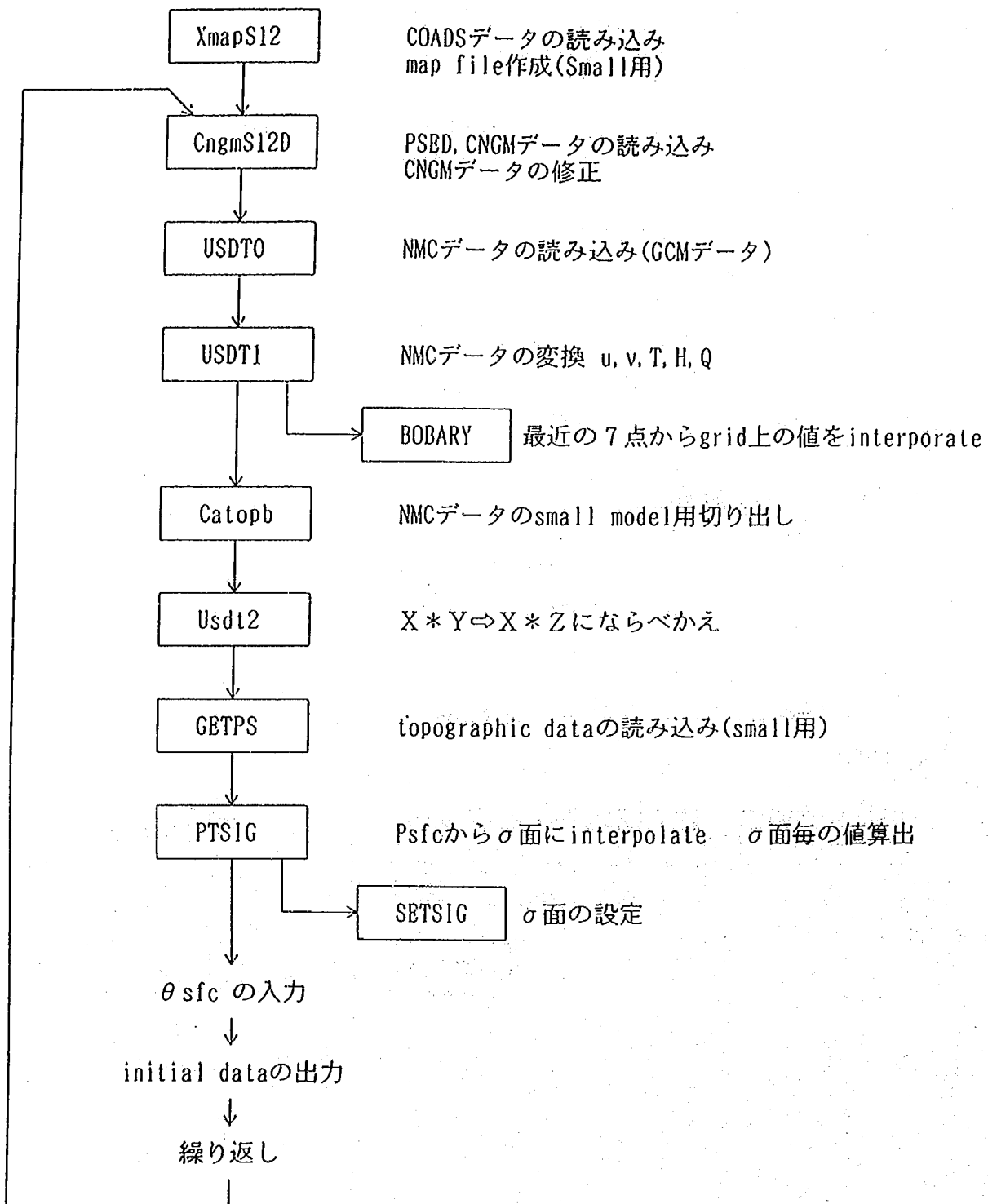
※2 MIWAY.PAR : land surface initial data & parameter

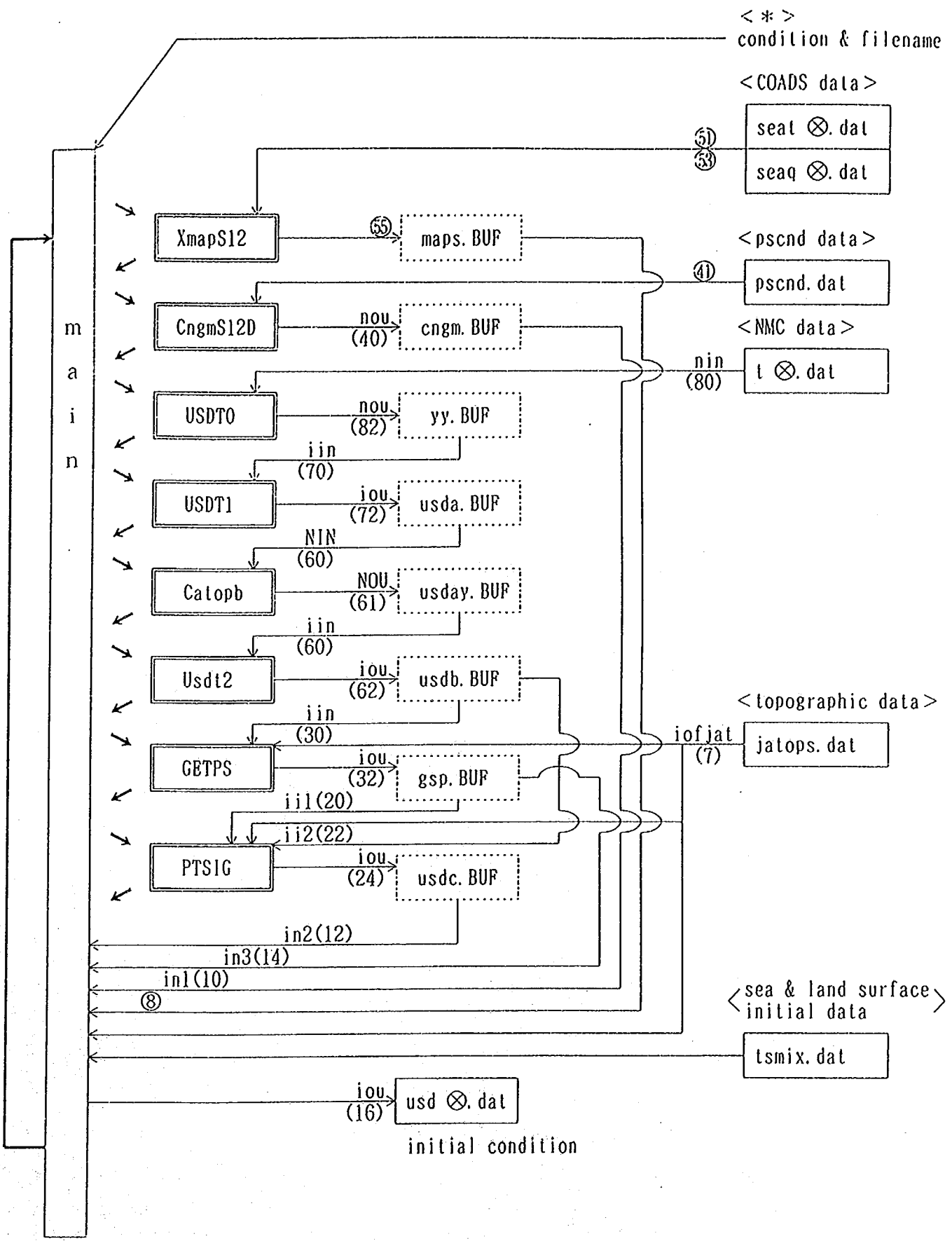


(OPTION)



4-2. 海面の境界条件の作成





« IS12.f input data from Terminal »

- ① initialize time : year, month, date, hour
- ② filename of sea surface temperature data (COADS data)
- ③ filename of sea surface mixing ratio data (COADS data)
- ④ filename of psed & cngm data
- ⑤ filename of topographic data
- ⑥ calculate start date
- ⑦ calculate end date
- ⑧ (Loop ⑥ to ⑦)
 filename of NMC data (tt*.dat)
- ⑨ (Loop ⑥ to ⑦)
 filename of Output initialize data

◀ IS12.f input data ▶

① COADS data (sea surface temperature & mixing ratio)

position : XmapS12

unit : 51.53

name of variables : sst (64, 64)

ssq (64, 64)

format : free sst
 ssq

② NMC data

(BL12.fと同様)

③ topographic data

position : GETPS

unit : iofjat(7)

name of variables : TOPO(64, 64)

format : TOPO (6E12.5)

④ psed & cngm data

position : CngmS12D

unit : 41

(BL12.fと同様)

⑤ sea & landsurface initial data & parameter

position : main

unit : 9

name of variables : TSFC(64)

```
format : free      [ DO 12 J=1, JMAX (64)
                   [ READ(9) TSFC
                   [ 12 CONTINUE
```

↓

SBLOKに追加

input but not use

① initialize data

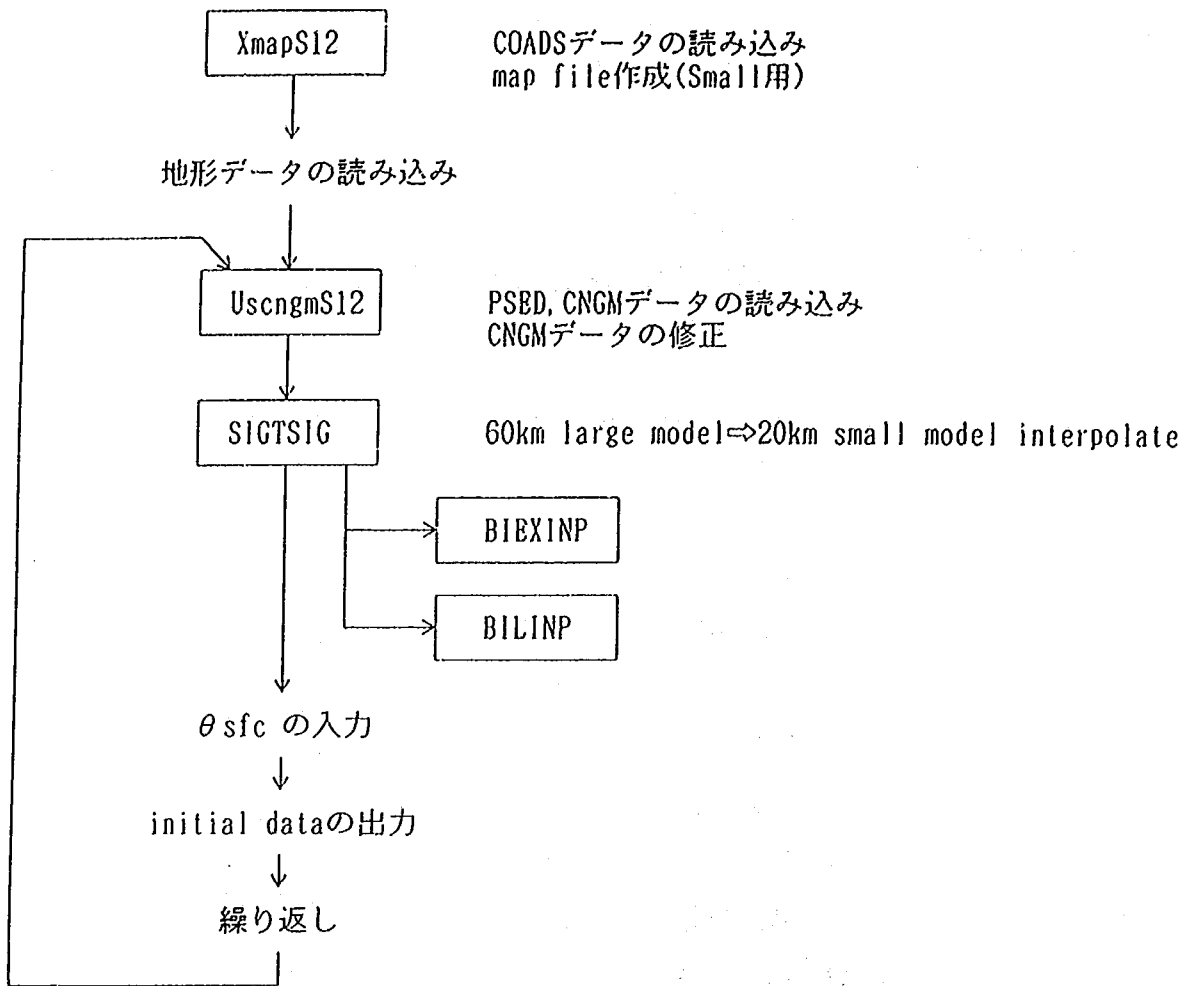
position : main

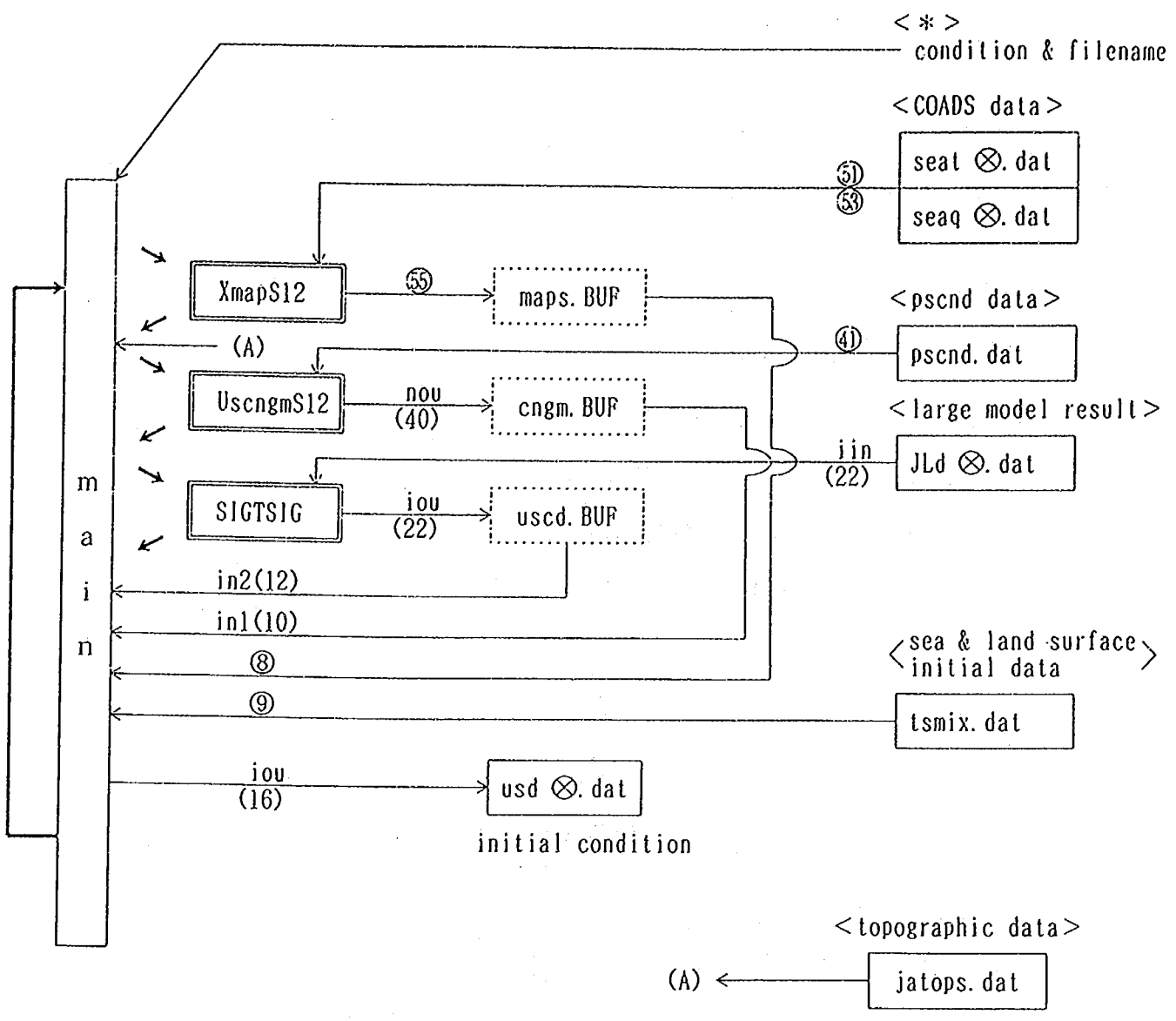
unit : iou(16)

name of variables : { PSED (1182)
CNGM (200)
SBLOK (IBLK=64 × (12 × 10 + 15) = 8640)

- SBLOK ⇒
- ① US(64, 12)
 - ② VS(64, 12)
 - ③ TS(64, 12)
 - ④ QS(64, 12)
 - ⑤ AS(64, 12) ——
 - ⑥ PSFC(64)
 - ⑦ RICE(64) ——
 - ⑧ SEAT(64)
 - ⑨ ZGDH(64)
 - ⑩ CD(64)
 - ⑪ XMAP(64)
 - ⑫ DXMP(64)
 - ⑬ DYMP(64)
 - ⑭ COR(64)
 - ⑮ SEAQ(64)
 - ⑯ XLON(64)
 - ⑰ PRCP(64) ——
 - ⑱ BS(64, 12) ——
 - ⑲ CS(64, 12) ——
 - ⑳ DS(64, 12) ——
 - ㉑ SDOT(64, 13) ——
 - ㉒ DIVS(64, 12) ——
 - ㉓ TSFC(64)

4-3. 初期条件の作成





« InterpS12.f input data from Terminal »

- ① initialize time : year, month, date, hour
- ② filename of sea surface temperature data (COADS data)
- ③ filename of sea surface mixing ratio data (COADS data)
- ④ filename of pscd & cngm data
- ⑤ filename of topographic data
- ⑥ calculate start step (1 step = 12 hours) } not day
- ⑦ calculate end step (1 step = 12 hours) } (day*2)
- ⑧ file name of large model output data
- ⑨ filename of Output initialize data

« InterpS12.f input data »

- ① COADS data
 - ③ topographic data
 - ④ psed & cngm data
 - ⑤ sea & land surface initial data & parameter
- } IS12.fと同様

② 60km×60km large model result

position : SIGTSIG

unit : iin(22)

name of variables : (IS12.fと同様)

« InterpS12.f output data »

① initialize data

position : main

unit : iou(16)

name of variables : { PSED (1182)
CNGM (200)
SBLOK(1BLK=64×(12×10+15)=8640)

| | | | | | |
|-------|---|---|--------------|---|---|
| SBLOK | ⇒ | ① | US(64, 12) | | |
| | | ② | VS(64, 12) | | |
| | | ③ | TS(64, 12) | | ← large model result |
| | | ④ | QS(64, 12) | | |
| | | ⑤ | AS(64, 12) | — | |
| | | ⑥ | PSFC(64) | | |
| | | ⑦ | RICE(64) | — | |
| | | ⑧ | SEAT(64) | | sea surface temperature (k) |
| | | ⑨ | ZGDH(64) | | ϕ geopotential height (m^2/s^2) |
| | | ⑩ | CD(64) | | $\phi \leq 0.0 : 1.5 \times 10^{-3} > 0.0 : 2.0 \times 10^{-3}$ |
| | | ⑪ | XMAP(64) | } | map data |
| | | ⑫ | DXMP(64) | | |
| | | ⑬ | DYMP(64) | | |
| | | ⑭ | COR(64) | | |
| | | ⑮ | SEAQ(64) | | sea surface mixing ratio (kg/kg) |
| | | ⑯ | XLON(64) | | longtitude(°) |
| | | ⑰ | PRCP(64) | — | |
| | | ⑱ | BS(64, 12) | — | |
| | | ⑲ | CS(64, 12) | — | |
| | | ⑳ | DS(64, 12) | — | |
| | | ㉑ | SDOT(64, 13) | — | |
| | | ㉒ | DIVS(64, 12) | — | |
| | | ㉓ | TSFC(64) | | surface layer temperature (k) |

4-4. 境界条件の作成

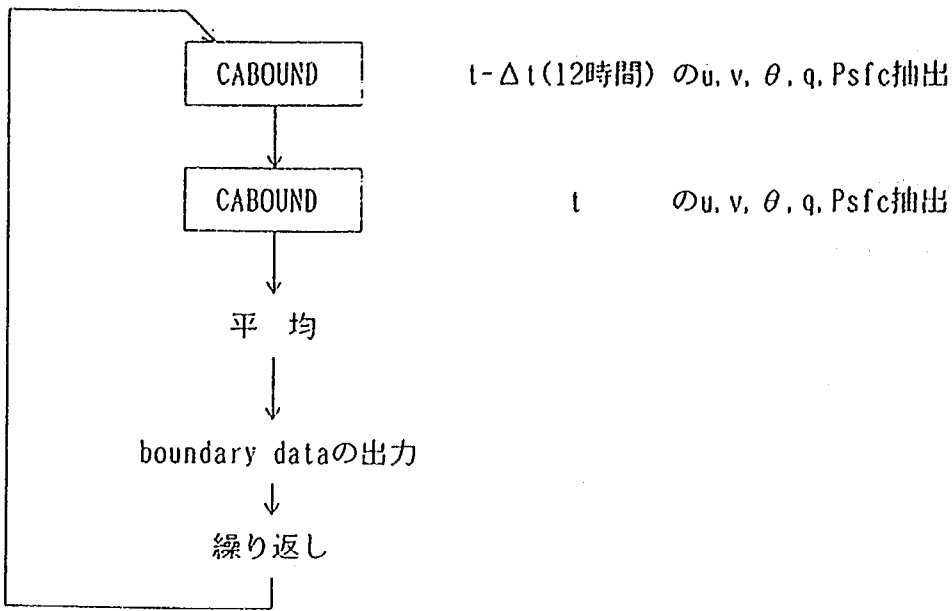
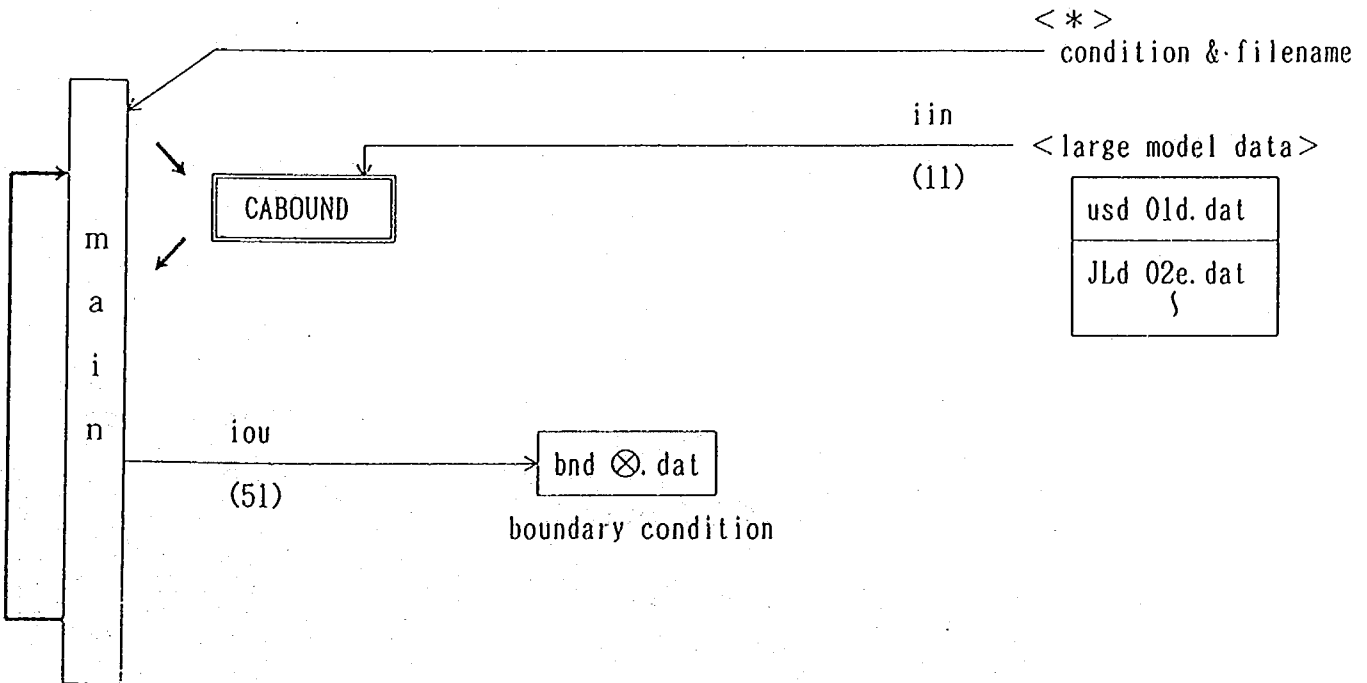


図 3-12(1) BndS12.f management flow



« BndS12.f input data from Terminal »

- ① calculate start step 1 step = 12 hours
- ② calculate end step
- ③ [loop ①-1 to ②
filename of large model data (← only 0.0hr : use GCM data)
- ④ [loop ① to ②
filename of Output boundary data

« BndS12.f input data »

① large model data

a) large model initial data (t=0) ⇔ usd

+

b) large model calculation result dat $\begin{pmatrix} t=1 \\ \vdots \\ t=62 \end{pmatrix}$ ⇔ Jld 01. dat $\begin{pmatrix} \vdots \\ t=62 \end{pmatrix}$

« BndS12.f output data »

① boundary condition data

position : main

unit : iou(51)

name of variables : BE (IBND=64*4*(12*4+1)+1=12545)

BE ⇨ ① BH
② BU(64, 12, 4) u(m/s)
③ BV(64, 12, 4) v(m/s)
④ BT(64, 12, 4) θ (° k)
⑤ BQ(64, 12, 4) q(kg/kg)
⑥ BP(64, 4) Psfc(mb)

4-5. 地表面データの編集

<< CsoilV.f input data >>

① PWRJ. DAT

position : Main

unit : 1

name of variables : ① J, I, istype(6), itotal, ivtype, isn)

② al(16) (8F10.2)

① J

I

istype(6) (1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

itotal

ivtype

isn

② al(16)

(see another explanation)

《 CsoilV.f output data 》

① Parameter for the land surface moisture flow models (地表水分流動モデルの
パラメータ)

position : Main

unit : 2

name of variables : J, I, M, sksmd, sgmay, thsm, thrm, beatam, alf,

albedo, zoo, veg, Area, ivtype

(3I5, E10.3, 9F10.4, I5)

| | | |
|--------|--------------------------|---------------------|
| J | longitud direction | |
| I | latitude direction | |
| M | serial number | |
| sksmd | ln (Km) | (ln (飽和透水係数分布の中央値)) |
| sgmay | σ_y | (パラメータ) |
| thsm | Wsat | (飽和した土壌含水量) |
| thrm | Wwilt | (含水量のしおれ点) |
| beatam | λ | (パラメータ) |
| alf | $\phi \omega / \eta - 1$ | (パラメータ) |
| albedo | albedo α | (アルベド) |
| Zoo | Zo | (粗度標高) |
| veg | veg | (植物の被覆率) |
| Area | area | |
| ivtype | forest type | |

4-6. 地表面過程の初期条件の作成

<< Mlway.f input data >>

① Parameter of land surface moisture (constants)

position : Main

unit : 10

name of variables :

| | | |
|------------|---|------------------------------------|
| 1) LDITE | : number of iteration in EVPland | 3 |
| 2) ① AIL | : LAI (leaf area index) | 7.0 m ² /m ² |
| ② Rglim | : limit of incoming solar radiation | 60W/m ² |
| ③ Rsmín | : Minimum surface resistance | 40s/m |
| ④ Rsmáx | : Maximum surface resistance | 5000s/m |
| 3) ① soi | : soil moisture | 10 |
| ② oli | : soil wetting depth | 10mm |
| ③ precpi | : change of precipitation in 1 hours ($\Delta pci/1hours$) | 1mm |
| ④ wpi | : W_r (intercept water by leaves) | 10mm |
| ⑤ Area Min | : minimum of area | 10km ² |

② Parameter of land surface moisture

position : Main

unit : 12

name of variables : J, I, MM, ymdk(M), syk(M), thsx(M), thrx(M),

yh(M), alx(M), albd(M), Zo(M), vege(M), Area, Ivtype

(See CsoilV.f)

« Mlway. f output data »

① Parameter of land surface moisture

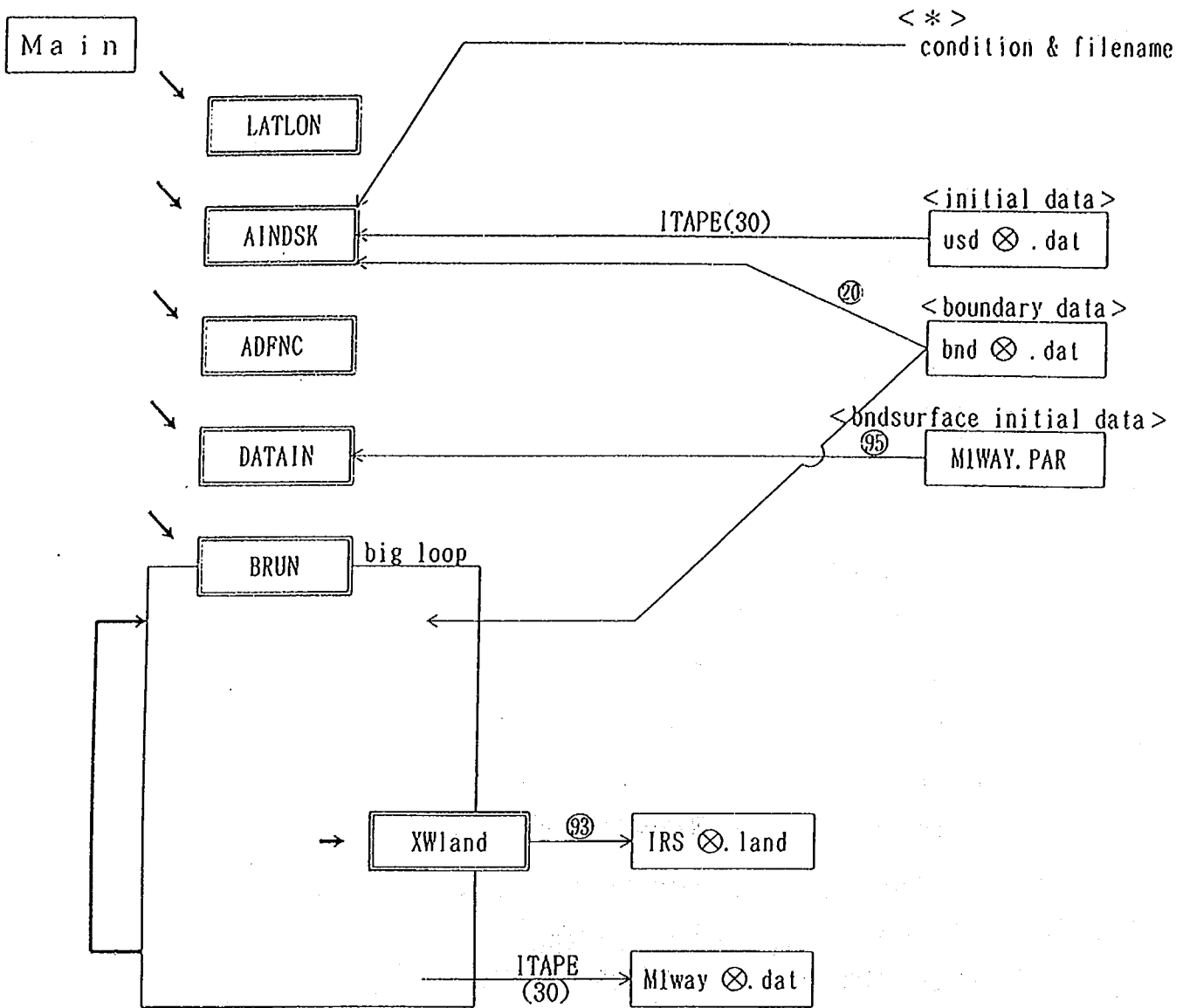
position : Main

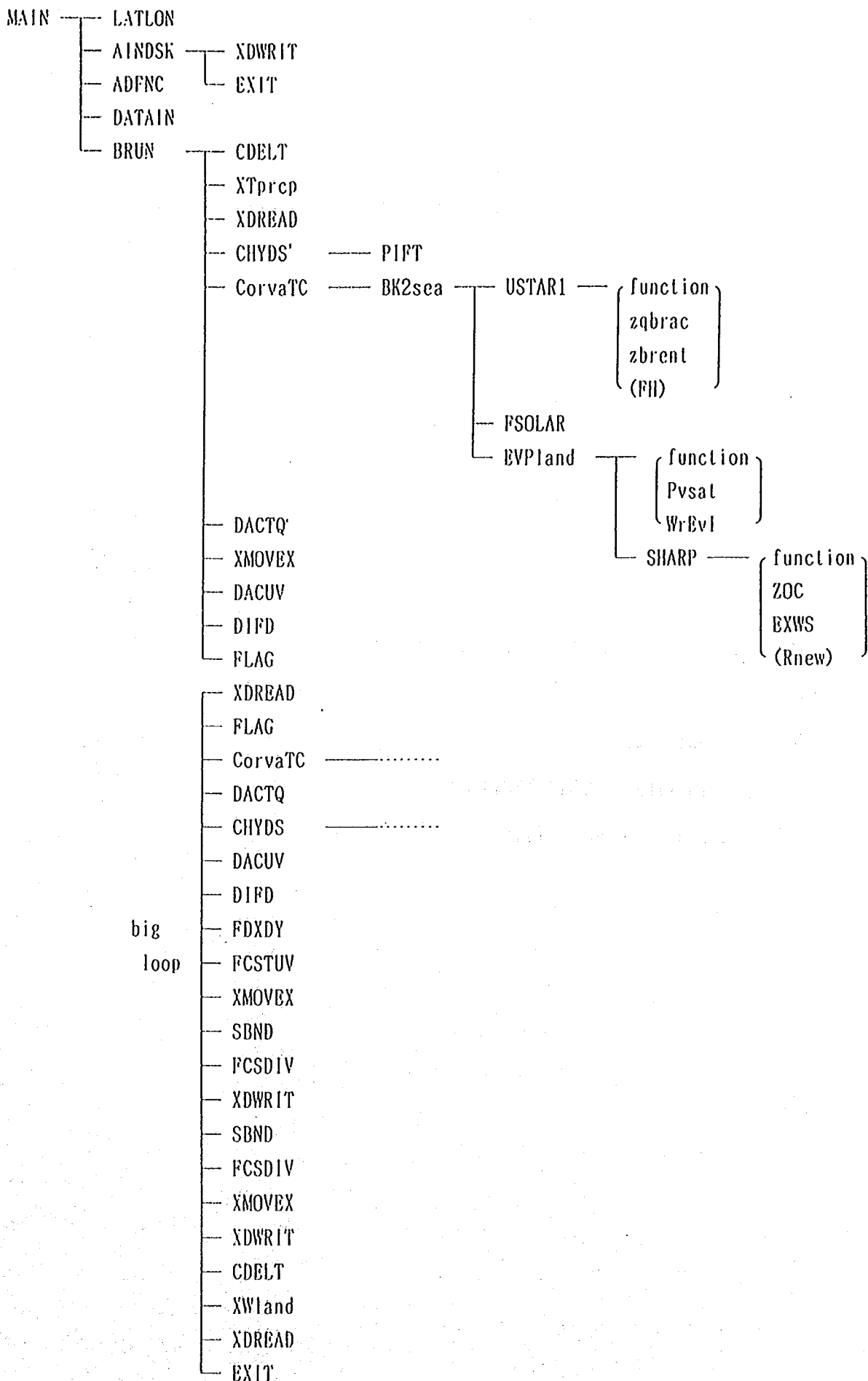
unit : 95

name of variables :

| | |
|---------------|--|
| 1) LPM(64,64) | |
| 2) ymdk(1000) | ln (Km) |
| syk (1000) | σ_y |
| alx (1000) | $\phi \omega / \eta - 1$ |
| thsx(1000) | Wsat |
| thrx(1000) | Wwilt |
| yh (1000) | λ |
| albd(1000) | albedo α |
| Zo (1000) | Zo |
| vege(1000) | veg |
| 3) AIL | AIL (7.0m ² /m ²) |
| Rglim | Rglim(60W/m ²) |
| Rsmin | Rsmin(40s/m) |
| Rsmax | Rsmax(5000s/m) |
| 4) so (1000) | soil moisture (10) |
| ol (1000) | soil wetting depth (10mm) |
| evp (1000) | 0.0 |
| wp (1000) | Wr(10mm) |
| evpb | — |
| dprcp(1000) | $\Delta pci / 1 \text{ hours}(1mm)$ |
| wcd (1000) | — |
| tg (1000) | — |
| tq (1000) | — |
| rex (1000) | — |
| 5) fland | |
| 6) LDITE | number of iteration in EVPland(3) |

4-7. Small モデル計算





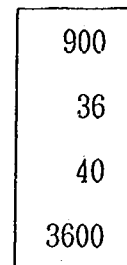
« MlwayJ04.f Input data from Terminal »

- ① file name of Initial Condition data
- ② file of Boundary Condition data
- ③ Calculate Start-hour, End-hour, Start-print hour, Print interval-hour

TIME TEND TPRNT TRPT

④

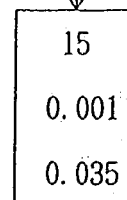
IOSC interval of check time(sec)
 IIH (not use)
 JJH (not use)
 IOTSC interval of land surface parameterization(sec)



constant!!

⑤

TSTEP interval of atmospheric condition(sec)
 XNLP (Smoothing)
 XNL (Smoothing)



- ⑥ [loop 1 to (TEND-TPRNT)/TRPT)+1
 [filename of Output file

《 MlwayJ04. f input data 》

① initialize data

position : AINDSK

unit : ITAPE(30)

name of variables : PSED(1182)

CNGM(200)

SBLOK(8640, 7)

(IS12. f, 参照)

② boundary data

position : AINDSK

&

BRUN

unit : 20

name of variables : BTEND(12545)

(BndS12. f, 参照)

③ land surface initialize data

position : DATAIK

unit : 95

name of variables :

1) LPM(64, 64)

2) ymdk(1000)

syk (1000)

alx (1000)

thsx(1000)

thrx(1000)

yh (1000)

albd(1000)

Zo (1000)

vege(1000)

3) AIL

Rglim

Rsmim

Rsmax

4) so (1000)

soil moisture

ol (1000)

soil wetting depth

evp (1000)

Etr

wp (1000)

Wr

evpb (1000)

bowen ratio

dprcp (1000)

change of precipitation / 1 hours

wcd (1000)

Rr

tg (1000)

temperature of land surface

ta (1000)

temperature of air

rex (1000)

qr

5) fland

6) LDITE

« MlwayJ04.f output data »

① result of Small Domain Simulation

position : BRUN

unit : ITAPE(30)

name of variables : { PSED(1182)
CNGM(200)
SBLOK(8775, 7)

| | | | |
|---------|---|--------------|--|
| SBLOK ⇨ | ① | US(64, 12) | u(m/s) |
| | ② | VS(64, 12) | v(m/s) |
| | ③ | TS(64, 12) | θ (k) |
| | ④ | QS(64, 12) | q(kg/kg) |
| | ⑤ | AS(64, 12) | du/dt |
| | ⑥ | PSFC (64) | Psfc(mb) |
| | ⑦ | RICE (64) | isobaric condition(cm) |
| | ⑧ | SEAT (64) | sea surface temperature(k) |
| | ⑨ | ZGDH (64) | ϕ geopotential height(m ² /s ²) |
| | ⑩ | CD (64) | $\phi \leq 0.0 : 1.5 \times 10^{-3}, > 0.0 : 2.0 \times 10^{-3}$ |
| | ⑪ | XMAP (64) | } map data |
| | ⑫ | DXMAP(64) | |
| | ⑬ | DYMAP(64) | |
| | ⑭ | COR (64) | |
| | ⑮ | SEAQ (64) | sea surface mixing ratio(kg/kg) |
| | ⑯ | XLON (64) | longtitude (°) |
| | ⑰ | PRCP (64) | precipitation(cm) |
| | ⑱ | BS(64, 12) | du/dt |
| | ⑲ | CS(64, 12) | d θ /dt |
| | ⑳ | DS(64, 12) | dq/dt |
| | ㉑ | SDOT(64, 13) | $\dot{\sigma}$ |
| | ㉒ | DIVS(64, 12) | divergence |
| | ㉓ | TSFG(64) | surface layer temperature(k) |
| | ㉔ | TSFA(64) | above surface layer temperature(k) |

② result of surface process

(to make a graph)

position : XWland

unit : 93

name of variables :

| | | |
|-------|--|------|
| so | (soil moisture) | [—] |
| ol | (soil wetting depth) | [mm] |
| evp | Etr(evapo transpiration) | |
| wp | Wr (intercepted water by leaves) | |
| evpb | (bowen ratio) | |
| dprcp | (change of precipitation in 1 hours Δ) | |
| Qo | infortration exfiltration | |
| tg | (temperature of land surface) | |
| ta | (temperature of air) | |
| rex | qr (rain fall excess rate) | |

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

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3432号
平成8年3月(1996)

寺川 陽, 吉谷純一, 渡辺明英, 藤兼雅和, 松浦達郎

要 旨

地球温暖化に伴う気候変化が日本域における水文循環に及ぼす影響について、過去の気象パターンと降水量の統計的關係に基づいて温暖化時の降水時系列を擬似発生させる方法及び、地球スケールの気象モデルの出力を境界条件とした水文-気象モデルによってシミュレーションを行う方法等によって予測した結果をとりまとめた。

キーワード：地球温暖化，水文循環

郵便はがき

五十円切手
をはって下
さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

河川部水文研究室 行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3432号 部

上記のとおり受領しました。

所属 (住所)

氏名

印