

流域水利用影響評価にリンクさせるための 地球温暖化影響予測結果の翻訳

INTERPRETATION OF PREDICTED GLOBAL WARMING IMPACTS FOR LINKING WITH IMPACT ASSESSMENT ON RIVER BASIN SCALE WATER USES

吉谷純一¹・奥村弘²

Junichi YOSHITANI and Hiroshi OKUMURA

¹正会員 工修 独立行政法人 土木研究所 水工研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

²正会員 工博 独立行政法人 土木研究所 水工研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

This research interprets simulated changes in characteristic of precipitation over Japan derived from an integrated hydrologic-atmospheric model for analysis of water uses on a river basin scale. First accuracy and reliability of simulated changes are evaluated in comparison with ground data, and changes averaged over each climatic region are evaluated in terms of mean and standard deviation that will be used to generate two sets of hydrologic data series under present and CO₂ doubling scenarios for sensitivity analysis of a water system to climate change. It was found that simulated precipitation represented the actual regional precipitation distribution with better accuracy but was generally underestimated, that the MRI-GCM global warming scenario would induce monthly decrease in precipitation in almost all climatic regions, and that regions with smaller precipitation tend to have larger degree of precipitation fluctuation.

Key Words : *Global warming, MRI-GCM, integrated regional-scale hydrologic/atmospheric model (IRSHAM), Japan.*

1. はじめに

人間活動にともない大気に排出される温室効果ガスは地球を温暖化させ、流域における水資源にも大きな影響を与える。流域水利用のための影響予測のためには、地球規模だけではなく流域スケールでの予測、水文循環だけでなく水利用をも含む影響予測の2種の研究が必要である。既往の研究は、GCMによる地球規模の地球温暖化予測結果等を元に気候変動シナリオを作成し、水利用を伴わない場合の水文循環への影響予測を行うのが主であった¹⁾。そこで、土木研究所とカリフォルニア大学デービス校は流域スケールの気候変動を知るために、Integrated Regional Scale Hydrologic/Atmospheric Model (IRSHAM)を開発し、長期間にわたるGCMの温暖化予測結果を安定した計算により地域スケールへ翻訳することを可能にし、図-1に示す結果を得た²⁾³⁾。また、地球温暖化が流域での水利用へ与える影響の考察のため、荒川流域での取水・還元を事例として、降水量と変動幅の変化が将来の水不足の発生確率に及ぼす影響の感度分析を行った⁴⁾。これら両アプローチを統合するのが理想

であるが、それに至っていない。

今日の水資源問題は、生態系の復元などの環境を中心とし治水、利水、危機管理、レクリエーションなど複数の競合する課題について費用・便益・リスクに基づく意思決定を行う問題と言え、気候変動はあらゆる課題の前提条件を変えてしまう¹⁾。気候変動の影響度は、個々の流域の持つ自然条件や水システムにより固有であり、個別に影響度を調べる必要があると考えられる。本論文は、過去、土木研究所が行った地球温暖化の地域的な影響予測のために開発したモデル³⁾により、地域的な気候変化を計算し、日本各地の水利用への影響予測に用いることができるように予測結果を整理し、評価するものである。

2. 本州・四国域への影響計算の概要²⁾

土木研究所により行われた地球温暖化の影響予測は、北緯22~58度、東経110~160度の範囲を60kmメッシュから成る範囲にIRSHAMを適用し(大領域モデル)、図-1に示す本州・四国域を含む範囲を20kmメッシュのIRSHAMでモデル化し(小領域モデル)、小領域モデルを大領域

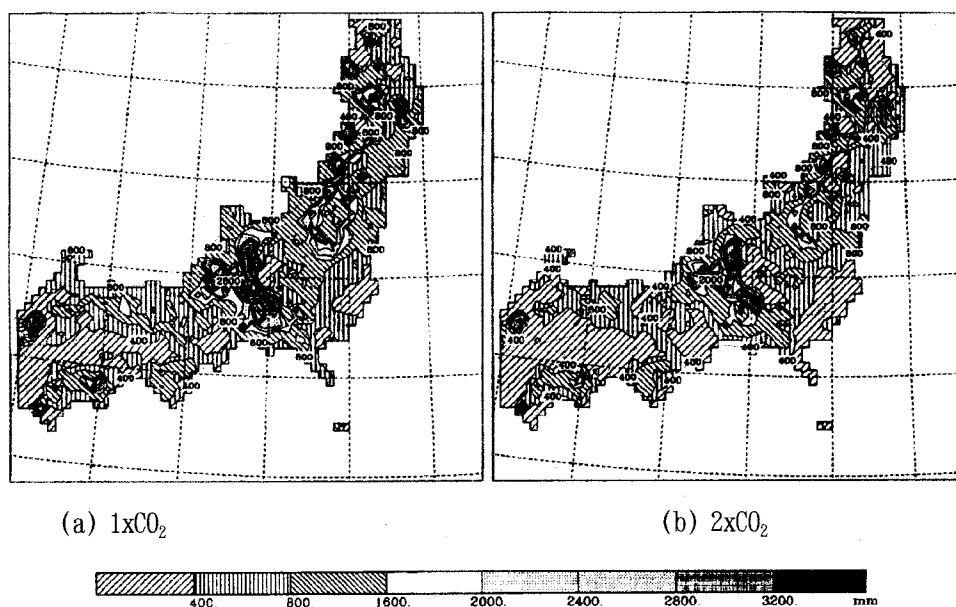


図-1 IRSHAMによる本州・四国域の年降水量予測計算³⁾

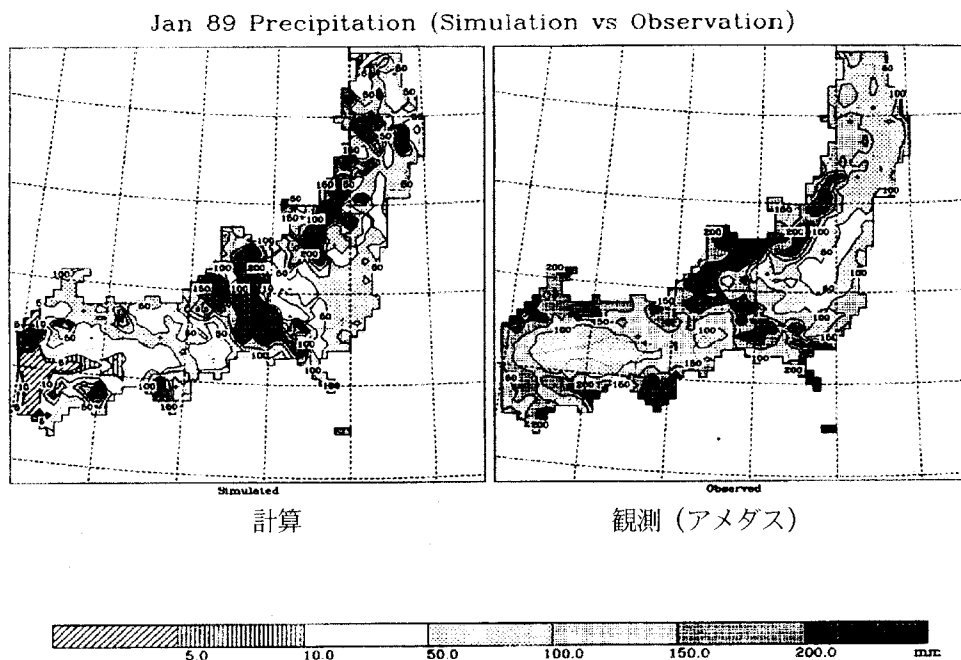


図-2 1989年1月の降水量の計算結果とアメダス降水量の比較³⁾

モデルにネスティングしたモデルにより行われた。大領域モデルの初期条件並びに境界条は気象研究所のGCM (MRI-GCM)⁵⁾ による現状 ($1 \times \text{CO}_2$) 及び二酸化炭素倍増条件下 ($2 \times \text{CO}_2$) での3年間分の計算結果をもとに与えられた。さらに、大領域モデルによって得られた計算結果は小領域モデルの初期条件並びに境界条件として与えられた。なお、降水モデルにはKuoスキーム⁶⁾を用いている。先述の図-1は、MRI-GCMによる二酸化炭素現状 ($1 \times \text{CO}_2$) および倍増下 ($2 \times \text{CO}_2$) におけるそれぞれの計算結果をネスティングすることにより作成される初期条件並びに境界条件を用いてIRSHAMにより計算された本州・四国域の

年降水量である³⁾。IRSHAM開発途上には、計算不能あるいはシミュレーション精度が極端に低い問題に直面したが、既往の研究成果として大気モデル最下層と表層部の地表面過程を連結させた解法⁷⁾を加えたこと、地表面過程の面的な非均一性を考慮するモデル³⁾を加えたことにより、これらの問題を解決することができた。計算手法の詳細は文献8)に譲る。

3. モデル計算結果の精度検証

IRSHAMによる計算では、気温、湿度、表層土壌水分の変化も予測されるが、本文では、紙数の都合上、水文循環に最も影響の大きい降水量のみを対象として以下に論じる。

既往の研究において、モデル計算における精度検証のため、例として二酸化炭素現状($1\times CO_2$)と倍増下($2\times CO_2$)におけるMRI-GCMアウトプットを用いてIRSHAMにより3年間分計算された年降水量の平均値と、観測された年降水量の実態との比較検討を行った。この中で、図-1の $1\times CO_2$ での降水量分布は山岳部で多く、瀬戸内海部では小さいという地域分布や、日単位でみた降水の有無は、比較的良く表現されているものの、河川流域スケールの降水分布特性を再現する精度はないということが分かった。また、図は省略するが、冬季に日本海側の降水量が多い等の季節性は、月単位の計算結果を見ると良く再現されていることも分かった。しかしながら、降水量の絶対値については、図-2に示した1月は比較的再現性が良いが一年を通した計算降水量は平均的に観測値より3~4割程度小さくなっていることが分かった。これは、降水モデルの限界により対流性降水等の再現が不十分であること、台風が再現できないこと、20kmの分解能では地形の影響が十分に反映されていないこと、及び境界条件として用いたGCMアウトプットの精度やモデルの限界等が原因として考えられる。これらの問題は、気象モデル全般に共通の大きな問題であり、早急に改善されるものではないので、モデル計算の限界を理解した上で、気候変化の影響予測に役立てるべきと考えられる。

1989年1月の観測値(アメダス)を一例として、IRSHAMにおける月単位の降水分布の計算結果を比較検討したものが、図-2である。再現精度は十分とは言えないまでも、日本海側や山岳部での降水の発生箇所を大まかに再現できている。ただし、特に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ある。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ことが考えられる。その理由として、小領域モデルであっても山岳地帯の峰のような詳細な地形を表しきれないため、降水量を十分表せないことが考えられる。

4. 地域毎の温暖化予測計算結果

現状及び二酸化炭素濃度倍増時の計算降水量を整理する際、20kmスケールの個々の計算メッシュで整理することもできるが、時として妥当性を欠く変動が計算結果に含まれる可能性があるため、地域的に平均して整理する。これは大気水文モデル計算において、先述の種々の制約・限界に起因する計算値の不確実性であると考えられる。本来、20kmの分解能を持つ小領域モデルは、年降水量で見たように、この分解能で表現される地形の影響

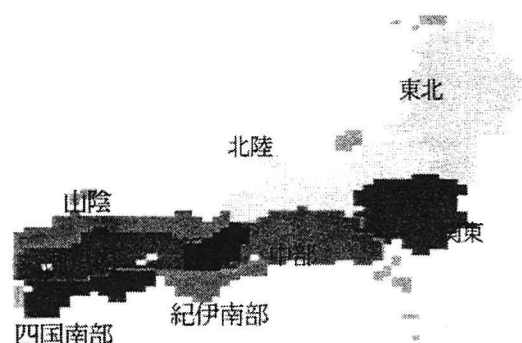


図-3 地域区分

を受ける気象を再現するものであり、各メッシュの計算値のみから直接利水計算を行うことは不十分であると判断するからである。

IRSHAMによる二酸化炭素濃度倍増計算結果によると、本州・四国域では全体として降水量が724mmから555mmへと減少する。これを地域的に見ると、日本アルプス付近で3,000mm程度の年降水量が2,200mm程度まで減少し、同様に、関東、仙台付近、及び山陰から北陸の一部にかけては800mm程度から400mm程度に減少する。本研究では地域毎の計算降水量を検討するための一例として、これらを図-3のクリーガー曲線で用いる地域区分⁹⁾を用いた。このとき、月毎のその変化を整理すると図-4のとおり、ほぼ全ての地域、全ての月で降水量は減少となる。特に、3-6月の降水減少は他の月に比べて大きくなっている。これは、MRI-GCMのシナリオ下において地域的な水管理に与える影響シナリオとして、地域によらない一般的シナリオと成り得ると考えられる。

5. 降水量の変動幅の変化

流域での水利用への影響を知るためには、降水量の期待値変化だけでなく、変動幅に関する情報も必要である。特に重要なのは、水不足が発生する少雨の発生頻度の変化である。当該流域の降水量の平均値と標準偏差の変化を知ることが出来れば、気候変動がない場合とある場合の2種類の人工的に合成¹⁰⁾した流量あるいは降雨を作成し、それぞれの合成流量で利水計算をして、水利用に障害が発生する頻度の違いを調べることににより、二酸化炭素倍増時の水不足発生頻度の変化を推定することが可能となる²⁾。

このような利水計算に反映するため、各月の日降水量の標準偏差を、計算メッシュ毎に計算した。月単位で整理したのは、一月内に日平均雨量値の期待値はほぼ一様と見なすことができ、標準偏差を計算するに十分な数のサンプルが得られるからである。

日平均降水量と同様に、地域区分毎に標準偏差を平均

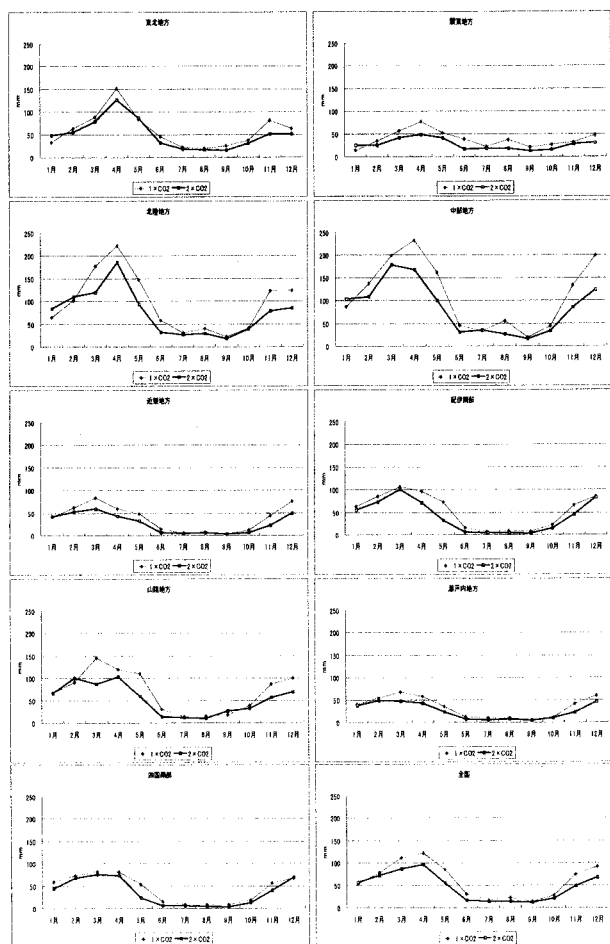


図-4 二酸化炭素倍増による月別に表した地域区別の日平均降水量(mm/day)

すると図-5のようになる。全般的に、降水量の標準偏差は二酸化炭素倍増により減少する。特に、地域によらず4月と11、12月でその傾向が顕著である。標準偏差の減少が顕著な地域は、中部地方であり、山岳部での変化が顕著なためと考えられる。

6. 降水量の平均値、標準偏差の地域分布

各水系ごとの降水量と標準偏差の変化を知ることができるように、本州・四国域で計算された降水量の平均値、標準偏差の地域分布をみる。夏冬の代表として2月と8月の結果を図-6に示した。図-4に示したとおり、二酸化炭素倍増により降水量は2月、8月とも全域で減少する傾向にある。他の月の傾向は次のようである。1月と3月は炭酸ガス倍増シナリオで増加する地域と減少する地域があり、山岳部は1月に増加、3月に減少している。6-7月は8月と同様に全域で降水量が減少し、9-10月では、関東以外で降水量が減少する。11月は若干の降水量の減少が見られ、12月は降水量が若干増加する。

2月の日平均降水量と標準偏差の分布を比較すると降水量が多い東北日本海側や中部山岳部において、標準偏

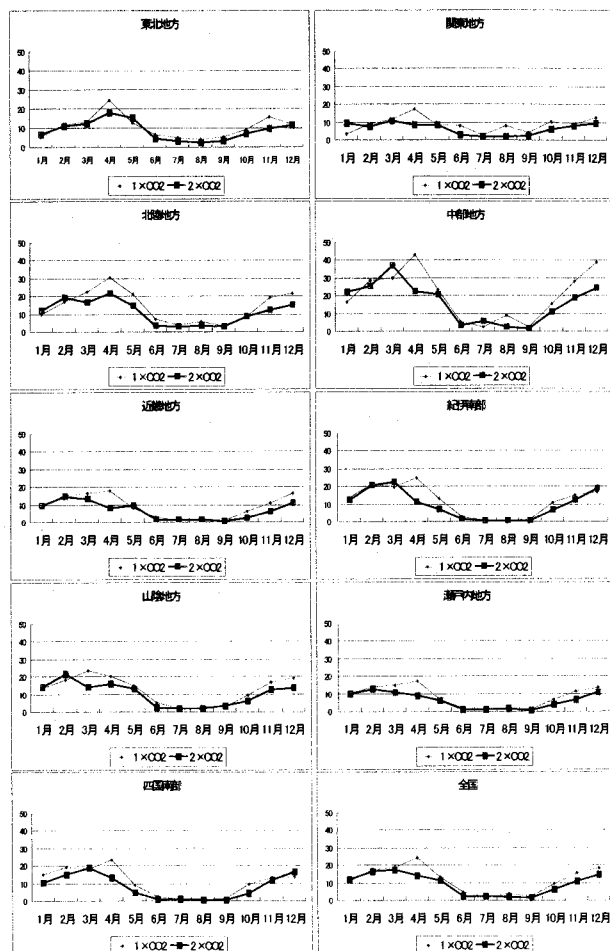


図-5 二酸化炭素倍増による月別に表した地域区別の日平均降水量標準偏差

差も大きくなっているのに対し、紀伊半島付近や四国南部は降水量が小さいにもかかわらず標準偏差は他地域より大きくなっている。二酸化炭素濃度倍増による標準偏差の縮小の地域差はないように見える。

8月は、降水量はどの地域でも少なく、中部、関東の山岳部の標準偏差が大きくなっているが、二酸化炭素倍増によりその変動幅は縮小している。

上記の地球温暖化の降水特性に与える影響評価は、3年間のシミュレーション結果に基づくものであり、ここで得られた標準偏差を渇水時の局値現象に適用することは大きな誤差を伴うことが考えられる。しかし、この種の情報は他には見られないので、流域水利用への影響を検討する際の参考情報として活用することができる。

7. 結論

MRI-GCMの現況及び二酸化炭素濃度倍増計算結果3年分を用いて、20kmメッシュの分解能を持つIRSHAMにより本州・四国域の降水量分布を計算した結果から以下の結論及び推論が導かれた。

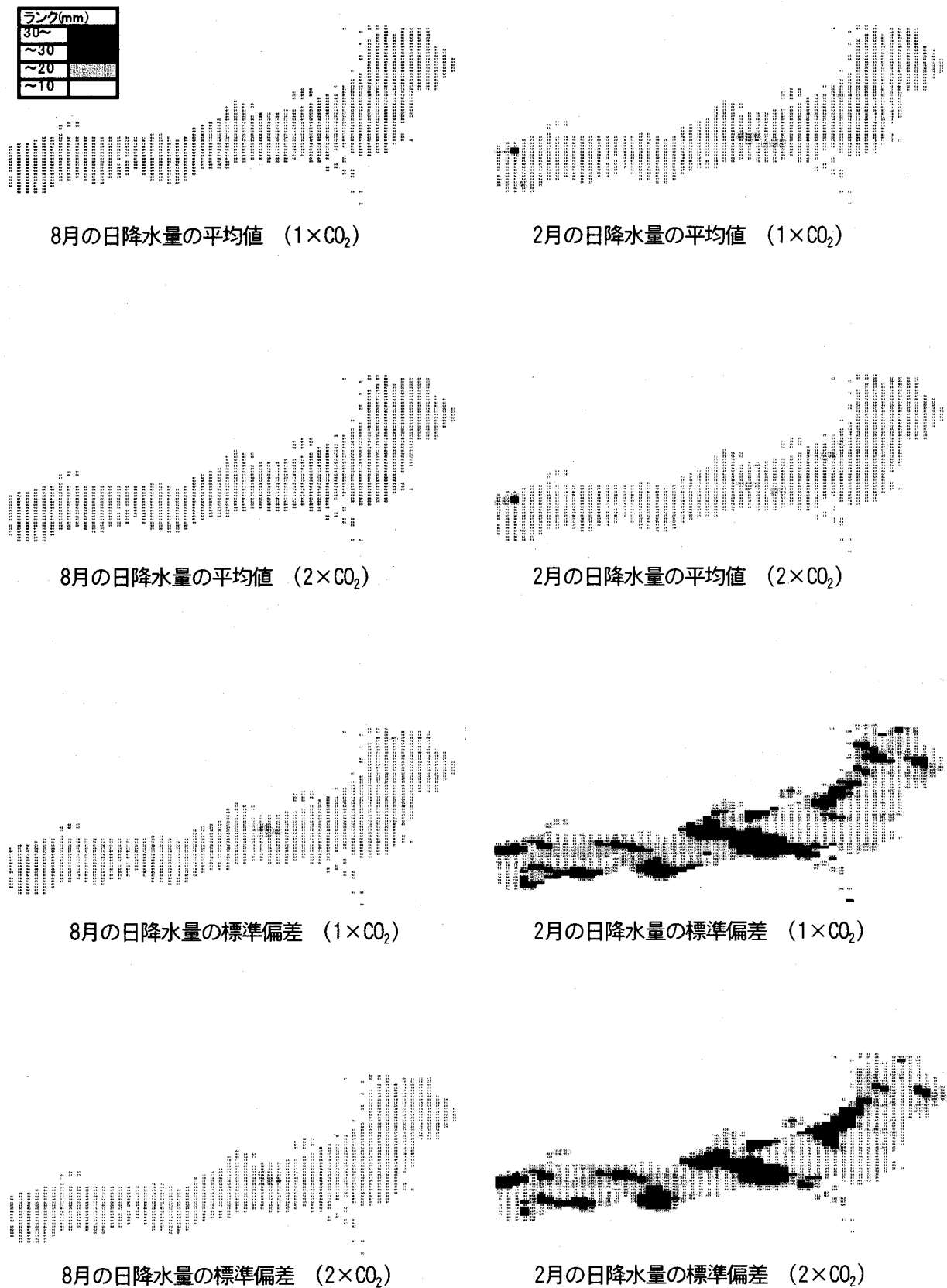


図-6 本州・四国域の2日平均雨量計算値の平均値と標準偏差
 (左列：8月，右列：2月， $1 \times \text{CO}_2$ 及び $2 \times \text{CO}_2$ ：現状及び2倍の二酸化炭素濃度条件を境界条件とした
 計算結果，表示領域は図-1に示す領域に同じ，1～12月各月のメッシュ毎の数値は土木研究所
 ホームページ<http://www.pwri.go.jp>の水理水文チームのページで公開)

- ・MRI-GCMアウトプットのダウンスケール結果は、降水の地域分布は比較的良好であるが、降水量は過小に計算される。
- ・二酸化炭素倍増により降水量の平均値は、ほぼすべての地域で減少する傾向がみられ、3-6月でその傾向が顕著である。
- ・二酸化炭素倍増により降水量の標準偏差は、ほぼすべての地域で減少する傾向が見られ、4月及び11-12月にその傾向が顕著である

本研究で得られたメッシュ毎及び地域区分における、月単位での計算降水量平均値と標準偏差を整理し、今後の流域水利用への温暖化影響研究に生かすことができるよう数値データをホームページに公開したい。

謝辞：香川大学大学院工学研究科修士1年の松居君は図表作成や計算の一部を行った。地球温暖化の影響予測計算に用いたIRSHAMは、旧建設省土木研究所とカリフォルニア大学デービス校の共同研究成果である。

参考文献

- 1) 環境省地球温暖化問題検討委員会温暖化影響評価ワーキンググループ：地球温暖化の日本への影響2001, 2001.
- 2) 建設省土木研究所：地球温暖化が日本域における水文循環に及ぼす影響の予測に関する研究報告書，土木研究所資料第3432号，平成8年3月.
- 3) Yoshitani J., M.L.Kavvas and Chen,Z.-Q. : Coupled Regional-scale hydrologic-atmospheric model for the study for climate impact on Japan, Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Schemes and Large-scale Hydrological Models (Proceedings of a symposium held during the Sixth IAHS Scientific Assembly at Maastricht, The Netherlands, July 2001). IAHS Publ. No.270, pp.191-198, 2001.
- 4) 鈴木正規，吉谷純一，金木誠：気候変化が水利用に及ぼす影響評価手法の一提案，水文・水資源学会1999年研究発表会要旨集，pp.4-5，1999年8月.
- 5) 気象研究所：A description of the MRI Atmospheric General Circulation Model (The MRI GCM-I), Technical report No.12. 1984.
- 6) Kuo, H.L.: Perturbations of plane Couette flow in stratified fluid and origin of cloud streets, The Physics of Fluids, 6, pp.195-211.
- 7) Kavvas,M.L., Chen, Z.-Q., Tan,L., Soong, S.-T., Terakawa A, Yoshitani J., and Fukami K : A regional-scale land surface parameterization based on areally-averaged hydrological conservation equations, Hydrological Sciences Journal, 43(4), pp.611-631, August 1998.
- 8) Yoshitani, Kavvas and Chen: Chap.4 Regional-scale Hydroclimate Model, in Mathematical Models of Large Watershed Hydrology - Volume 1, pp.237-282, Water Resources Publications, LLC, Colorado, 2001.
- 9) 建設省河川局：改訂新版 建設省河川砂防技術基準（案）同解説調査編，山海堂，平成10年.
- 10) Ven Te Chow, Section 8-IV Statistical and probability analysis of hydrologic data in "Applied Hydrology", 1964.

(2002. 9. 30受付)