

# 地域気候モデルを用いた地球温暖化に伴う 洪水・渇水リスクの評価に関する考察

## STUDY ON THE FLOOD AND DROUGHT RISK ASSESSMENT OF GLOBAL WARMING BY REGIONAL CLIMATE MODEL

和田 一範<sup>1</sup>・村瀬 勝彦<sup>2</sup>・富澤 洋介<sup>3</sup>

Kazunori Wada, Masahiko Murase and Yosuke Tomizawa

<sup>1</sup>正会員 国土技術政策総合研究所 流域管理研究官 (〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地)

<sup>2</sup>正会員 工修/政策修 国土技術政策総合研究所 河川研究部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地)

<sup>3</sup> 国土技術政策総合研究所 河川研究部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地)

The influence of global warming on hazard risk is estimated from the results of the regional climate model by Japan Meteorological Agency and Meteorological Research Institute. The horizontal resolution of the model is about 20km and the model outputs are expected to be useful for the risk assessment of the future. Before beginning the risk assessment, the model output values during 1981-2000 were verified by comparing with observed precipitation data. The verification shows that the precision of the models are generally well in representation of the precipitation, the normal value of the monthly precipitation and the annual maximum daily precipitation in each region. According to the analysis from the model outputs, the extreme daily precipitation in 100-yr time period will increase in some parts of western Hokkaido, northern Tohoku region, Hokuriku region and Nansei islands during 2081-2100. While, the result of the seasonal variation of precipitation shows that the precipitation will decrease especially in many areas in Japan except Hokkaido region from winter to spring, and the drought risk will increase there.

**Key Words :** *global warming, hazard risk, flood, drought, regional climate model*

### 1. はじめに

平成16年は7月の新潟、福井、8月の四国において、従来の記録を更新するような集中豪雨による災害が発生し、甚大な被害となった。新潟豪雨ではアメダス栃尾の24時間雨量が最大で422mmを記録し、観測開始以降の最大であった250mmの約1.7倍を記録し、福井豪雨ではアメダス美山の24時間雨量が最大で285mmを記録し、従来の約1.9倍の規模となった。

折しも、地球温暖化の進行によって降水量の変動幅の拡大及び降水パターンの変化等が指摘されている(たとえば、IPCC<sup>1)</sup>)中、温暖化による降雨特性の変化が、洪水や渇水の災害リスクに与える影響を評価しておくことは将来の対策を検討する上で不可欠であり、政策的に有用であると考えられる。

和田ら<sup>2)</sup>は、気象庁・気象研究所の地域気候モデル(MRI-RCM20-Ver.1)の結果を用い、将来の洪水・渇水リスクの評価プロセス構築を試みた。しかしながら、評

価そのものは、MRI-RCM20-Ver.1の再現性が良好な東日本を中心とした解析にとどまっていた。その後、MRI-RCM20は降水量の再現性向上を主眼に改良されたVer.2が開発され、石原ら<sup>3)</sup>によって1981年～2000年の現在気候計算結果を対象とした比較・検証が行われた。その結果、地域別の降雨特性の再現性は良好で、洪水・渇水リスクの評価に有効であることが明らかになった。

本研究では、MRI-RCM20-Ver.2(以降RCM20)の2081年～2100年の予測結果を用い、将来の洪水・渇水リスクの算定を試みた。なお、本研究は内閣の総合科学技術会議の枠組みの一環として進められている、地球温暖化研究イニシアティブの温暖化影響リスク評価研究プログラムに位置づけられる研究として進めているものである。

### 2. モデル出力の検証

本研究における災害リスク算定の手順は、基本的に

表-1 RCM20の概要

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| 基本となるモデル | RSM (Regional Spectrum Model)         |
| 側面境界条件   | 60kmメッシュのアジア域気候モデル (MRI-RCM60KM) 予測結果 |
| 水平分解能    | 20km                                  |
| 水平格子数    | 129×129                               |
| 鉛直総数     | 36                                    |
| 降水過程     | Arakawa-Shurbert+大規模凝結+対流調節           |
| 放射過程     | 長波放射+短波放射                             |
| 鉛直拡散     | Mellor and Yamadaのlevel2クロージャーモデル     |
| 接地境界層    | モニン・オブコフの相似則                          |
| 地面・地中温度  | 4層モデルにより予報                            |
| 海面水温     | 全球大気海洋結合モデル (MRI-CGCM2) から計算          |
| 降雪       | 診断的に計算                                |

和田ら<sup>2)</sup>に準じるものとし、2004年9月に気象庁・気象研究所から提供されたRCM20-Ver.2の出力を用いて洪水や渇水のリスクを降水量データから算定した。また算定にあたって、今回のモデル出力が降雨現象をどの程度正確に再現しているかについて、MRI-RCM20-Ver.1との違いを踏まえながら検証した。

## (1) RCM20の概要

本研究では気象庁・気象研究所による全球気候モデルによる気候シナリオを用いる。全球気候モデルでは、将来気候の計算条件（温室効果ガス排出シナリオ）として排出シナリオに関するIPCC特別報告書（SRES：Special Report on Emissions Scenarios）<sup>4)</sup>に記載された4つの叙述的シナリオ（A1、A2、B1及びB2）のうち、A2及びB2シナリオが使用されている<sup>5)</sup>。RCM20はこのうちのA2シナリオの計算結果が境界条件として使用されている。A2は独立独行と地域の独自性を基本にした地域的経済発展を中心としたシナリオである<sup>1)</sup>。

表-1に概要を示すRCM20は、水平分解能が約280km格子の全球大気海洋結合モデルCGCM2が1981年から2100年について計算した気温、降水量、海氷分布、海面水温及び海面水位等から、力学過程として地域スペクトル法を用いて、より細かな格子にダウンスケーリングするものである。RCM20は日々の天気予報に用いられる気象庁数値予報モデルRSMと同様のモデルであり、詳細については気象庁予報部<sup>6)</sup>に記されている。ダウンスケーリングは1981から2000年及び2081年から2100年の40年分について、60kmメッシュのアジア域気候モデルを側面境界条件として、Lambert投影による20kmメッシュで地上気圧、気温、降水量等が日単位で計算されている<sup>2)</sup>。

## (2) モデル出力の検証

RCM20による計算結果の利用に先立ってモデルが実

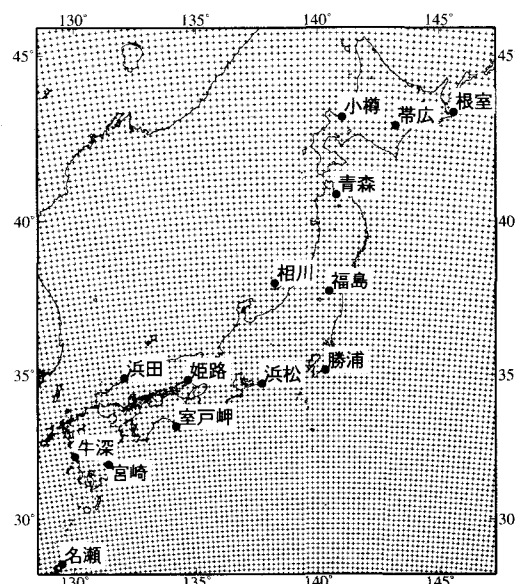


図-1 モデル出力の検証点 (小さいドットはRCM20の格子点)

現象をどの程度、再現しているかを検証した。

### a) 月別降水量

まず、RCM20-Ver.1との比較の意味も含め、和田ら<sup>2)</sup>が実施した月別降水量の平年値の再現性を検証した。

検証は図-1に示す全国の気象庁気象官署14地点で行い、気象官署の観測値とその気象官署に最も近いRCM20の出力格子の計算値を1981年～2000年の20年間月別平年値で比較した。

結果を図-2に示す。帯広、根室、勝浦で夏期にRCM20の計算結果が実測より大きくなる傾向がみられるものの、RCM20は概ね月別降水量とその季節変化傾向を良好に再現しているのが判る。

特に、RCM20-Ver.1でみられた降水量が夏期に過小となっていた問題は、姫路、浜松、牛深、宮崎、室戸など大幅に改善されていることが判る。

なお、RCM20-Ver.2の計算結果が、北海道東部において実測に比べ大きくなっているのは、北海道東部とRCM20計算領域の東端の間に十分な距離が無かったため、境界条件の影響を受けたものと思われる。

以上のように、RCM20-Ver.2の月降水量の再現性はCGCM2やRCM20-Ver.1と比べて良好であり、地球温暖化による渇水リスク評価を行うモデルとして有効であることが確認できた。

### b) 年最大日降水量

地域的な洪水リスク評価への有効性を検証するために、年最大日降水量の地域分布を比較した。図-3は、1981年～2000年のRCM20-Ver.2の計算結果から求められた20年最大日降水量の分布図である。図-4は同期間のアメダスデータから求めた20年最大日降水量分布図を示している。図-3に示された、紀伊半島南東部、四国太平洋岸、九州

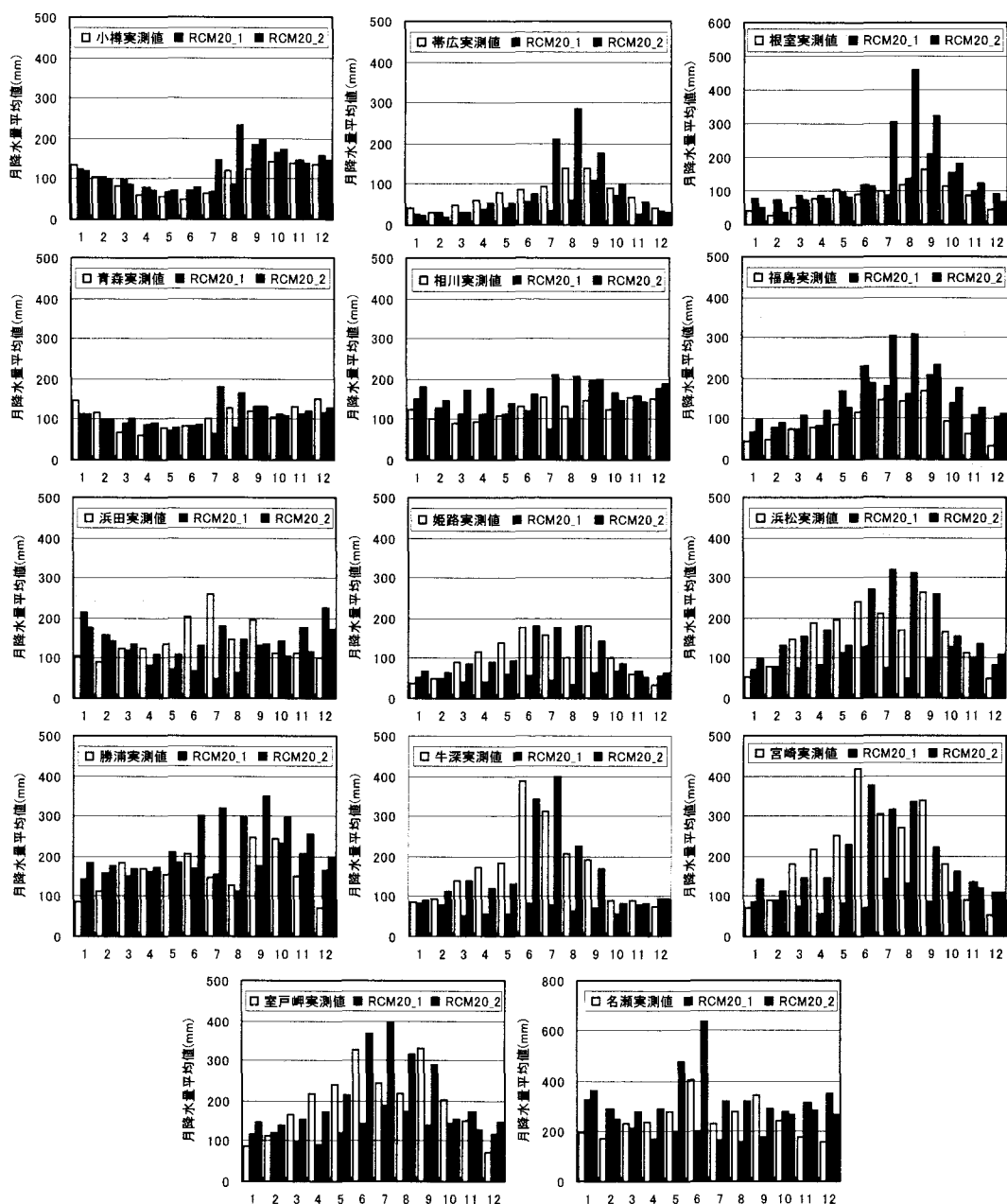


図-2 月別降水量の比較

南東部の500mm以上の領域は、図-4に示す実測と良い対応を示しており、その他の地域の分布も概ね良い一致度を示していることが判る。ただし、北海道東部では過大な計算結果となっている。この理由としては、月降水量の再現性で示したように、計算領域東端が北海道東部に接近しすぎたためと考えられる。

以上の結果より、RCM20-Ver.2の年最大日降水量の再現性は一部の地域を除いて、極値の面でも十分な精度を示しており、洪水リスク評価に利用できることが確認できた。

### 3. 地球温暖化が降水量に与える影響(災害リスク算定の試み)

#### (1) 洪水リスクの算定

本研究では、河川の高水計画で用いられる確率年最大日降水量の変化を洪水リスクの変化として取り扱うこととした。最大日降水量の確率水文量としては主に治水計画に利用される100年確率最大日降水量を求めるが、算出にあたっては分布関数を対数正規分布に変換して算出する岩井法、極値分布としてガンベル分布を用いる方法の2つの方法で確率最大日降水量を算出した。なお、2.においてRCM20-Ver.2の再現性が20年最大日降水量について高い再現性を示していることを示したが、確率水文量の算出にあたっては極値分布形状の類似度も重要となる。これについても、RCM20-Ver.2を用いた洪水リスク評価の適用限界の観点から詳細な検討を加えることが望

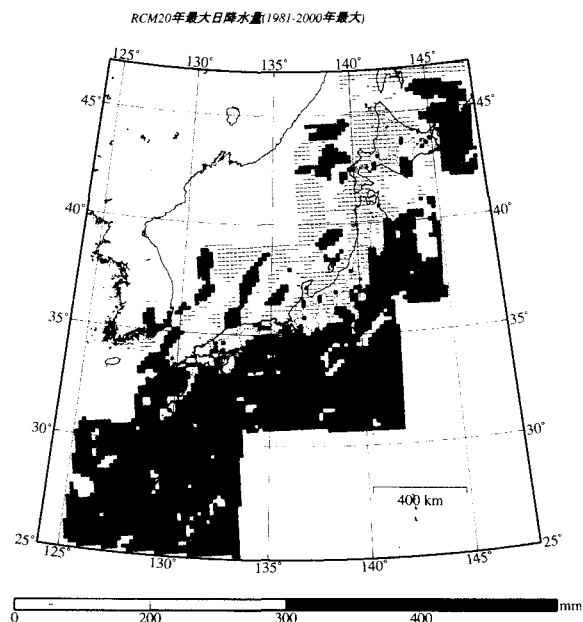


図-3 RCM20から求められた20年最大日降水量の分布

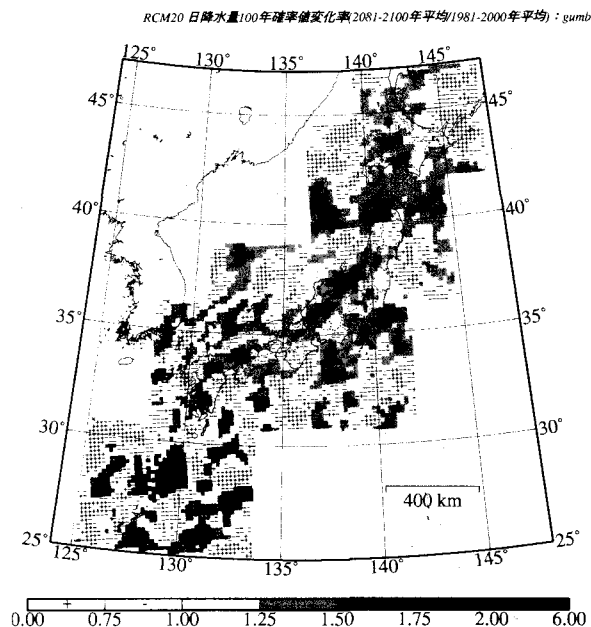


図-5 100年確率最大日降水量の変化率  
ガンベル分布 (100年後/現在)

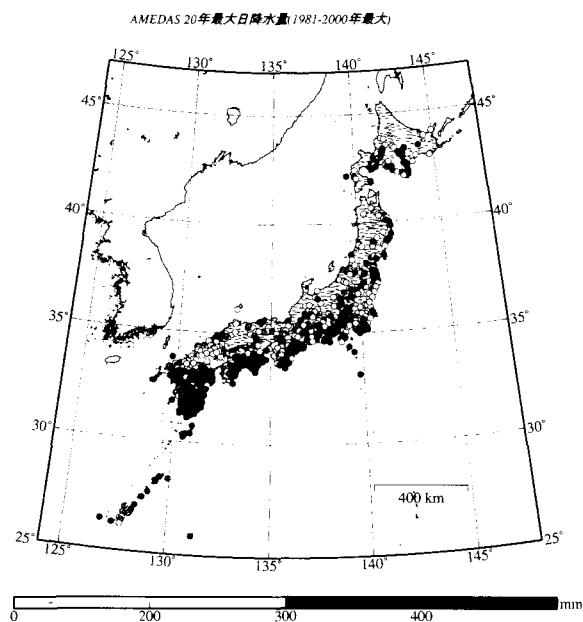


図-4 アメダスから求められた20年最大日降水量の分布

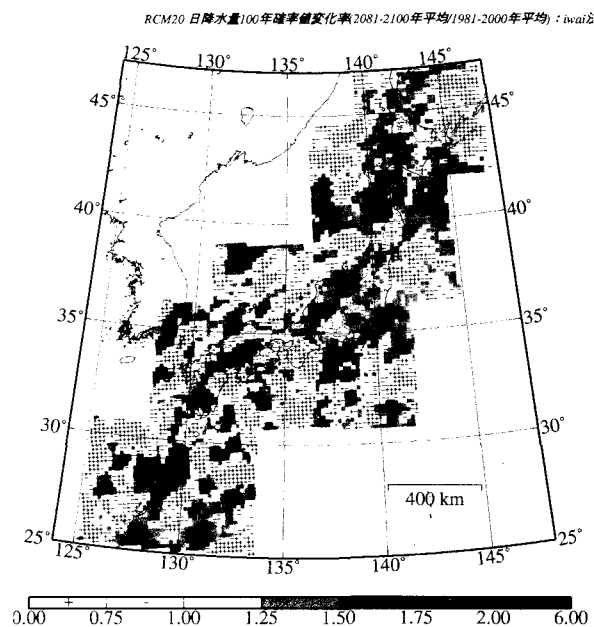


図-6 100年確率最大日降水量の変化率  
岩井法 (100年後/現在)

ましいが、改良されたRCM20-Ver.2の出力を用いた速報性を重視する観点から、モデルの出力単位のメッシュをそのまま使用し、このメッシュごとに計算を行うこととした。

## (2) 洪水リスクの評価

100年確率最大日降水量をガンベル法と岩井法を用いて算出した。現在(1981年から2000年)と将来(2081年から2100年)の100年確率最大日降水量の比の分布図を図-5及び図-6に示す。ガンベル法と岩井法から求められた比の分布形状は類似しており、いずれの図においても

紀伊半島、九州の一部を除いて100年確率年最大日降水量が増加している。特に、北海道西部、東北北部、北陸、南西諸島では100年確率年最大日降水量が2倍程度増加する結果となっている。100年確率値を求める統計に用いた期間が20年間と短いために、統計上の誤差が増幅されている可能性があるが、これらの地域では洪水のリスクが将来的に増加していくことが推察される。

なお、南西諸島を除き増加の激しい地域が北陸～北日本の日本海側に多く出現しているのは、平成16年度のように太平洋高気圧の勢力範囲が北にシフトするパターンが増加し、その結果として、湿潤な大気が北陸から北日本の日本海に流れ込み、前線が活発となる位置が従来の九州、山陰の日本海側から北へ移動したためと推察される。

今後、洪水リスクの評価をさらに進めるにあたっては、年最大雨量を算出した気象パターンについての詳細な解析や、確率分布形状について実測との比較検証が重要と考える。

### (3) 渇水リスクの算定

渇水リスク算定のため、地域気候モデルによる降水量の計算値を用いた季節降水量の算出を試みた。

従来、渇水リスクは年降水量との関係で議論されることが多かったが、平成15年水資源白書<sup>7)</sup>等では、過去100年間における年降水量の変化傾向のみならず、季節降水量の変化についても言及されている。このため、本論文では、将来の夏季渇水や冬季渇水のリスクを評価するために季節降水量の変化傾向を調べた。リスク評価にあたっての季節降水量の再現性については、RCM20の月降水量の再現性について図-2に示すように良好な再現性が確認されており、季節降水量の精度についても十分と判断した。渇水リスクは本来、降雨によって生じる河川流量を評価する必要があるが、ここでは洪水リスク算定と同様、速報性を重視し、簡易な方法として、季節降水量の変化を渇水リスクの変化として取り扱うこととした。

地域気候モデルは日別に出力されているため、これを季節ごとに集計して現在(1981～2000年)の平年値と将来(2081～2100年)の平年値を求めた。算定は洪水リスクと同様、地域気候モデルの出力単位である20kmメッシュごとに行っている。

### (4) 渇水リスクの評価

図-7 (1)～(4)に月降水量から求めた春季(3-5月)、夏季(6-8月)、秋季(9-11月)、冬季(12-2月)について将来(2081～2100年)の季節別降水量を現在(1981～2000年)の季節別降水量で割った変化率の分布を示した。これによると、日本全体としては季節降水量は増加傾向にあるものの、冬季から春季にかけて、北海道を除く広い範囲で降水量の変化率が1.0を下回る地域が多いことが分かる。

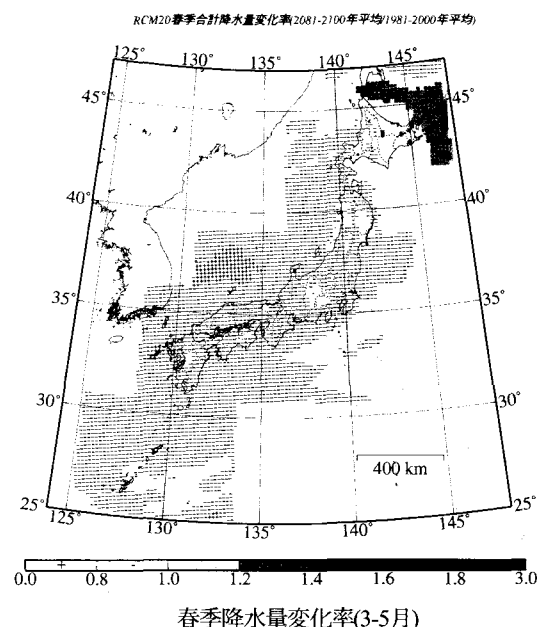


図-7 (1) 季節別降水量変化率(2081-2100年/1981-2000年)

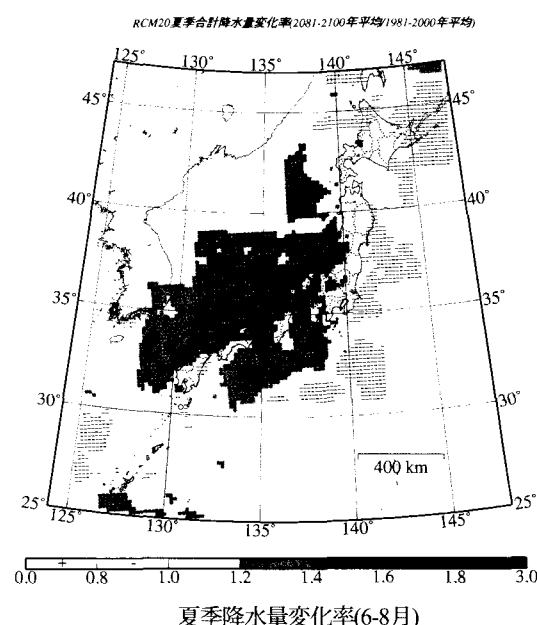


図-7 (2) 季節別降水量変化率(2081-2100年/1981-2000年)

渇水リスクを考慮する際、洪水と異なり、需要側の状況、すなわち水利用を無視することはできない。降水量が減少すると予想された地域の多くが積雪地域であることを考慮すると、定性的ではあるものの、同地域における田植えの水源が冬から春にかけての融雪に依存していることから影響は小さくないと想像され、これらの地域では渇水リスクが高まることが推測される。

本論文では平均的な増減傾向を評価するという観点にたち、とりあえず20年間平均値での比較を行っている。今後、渇水リスク評価を進めるにあたっては、1/10少雨など年々変動幅の変化にも注目することが重要と考える。

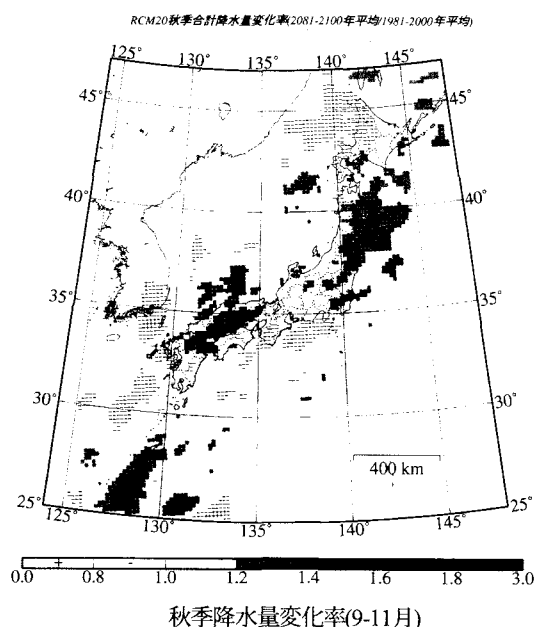


図-7 (3) 季節別降水量変化率(2081-2100年/1981-2000年)

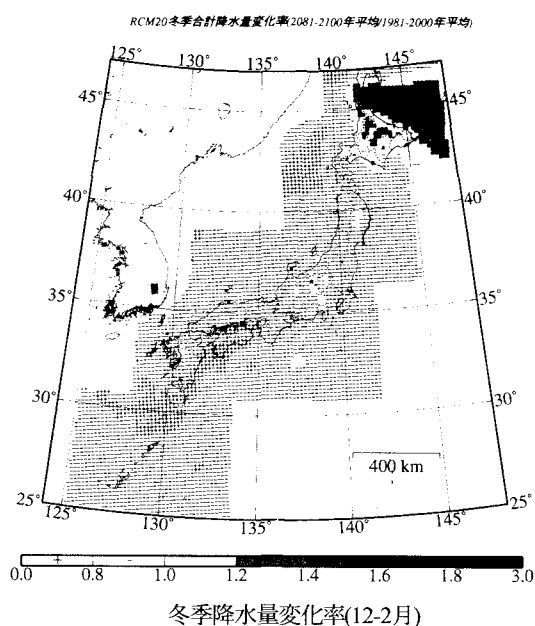


図-7 (4) 季節別降水量変化率(2081-2100年/1981-2000年)

#### 4. 結論

本研究では、2004年9月に気象庁・気象研究所から提供された地域気候モデルMRI-RCM20-Ver. 2の計算結果を用いた将来の洪水・渇水リスクの評価を行った。まず、1981年～2000年の現在気候計算結果を用いて実測値との比較検証を行った結果、地域別の月降水量の平年値を概ね良好に再現し、2003年8月に提供されたVer.1に比べて再現性が大きく向上したことが確認できた。さらに、20年最大日降水量の地域分布においても、実測値との対応

が良好であることが確かめられた。

計算結果を用いて100年確率年最大日降水量の変化を調べた結果、北海道西部、東北北部、北陸、南西諸島では2倍程度増加する地域も出現した。確率値を求めるデータ期間が20年と短いために、統計上の誤差が増幅されている可能性があるものの、洪水リスクが将来的に増加する可能性が推察された。

また季節別降水量に着目すると、冬から春にわたって北海道を除く広い範囲で降水量の変化率が1.0を下回る地域が多く、渇水リスクが高まることが推測された。

以上のように、RCM20-Ver.2の出力は地域ごとの災害リスク評価を可能にするものと思われるが、洪水リスク評価については、確率分布形状の類似性の検証や、年最大雨量を算出した気象パターンの確認等が今後の課題と思われる。また、今回は100年後を対象とした評価に限られたが、中間の期間に対する計算を追加し、100年ごとの結果とあわせて、地域毎・流域毎ごとに洪水・渇水リスクを評価していきたいと考えている。

**謝辞：**本研究にあたり、総合科学技術会議の重点分野の環境プロジェクトにおいて設定された地球温暖化研究イニシアティブの温暖化リスク評価研究プログラムの枠組みの下で、気象庁・気象研究所による地域気候モデルの出力値の提供を受けた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

#### 参考文献

- 1) IPCC: Climate Change 2001: The Scientific Basis. *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. I. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, UK, 881p, 2001. (邦訳として気象庁・環境省・経済産業省監修「IPCC地球温暖化第三次レポート-気候変化2001-」を使用)
- 2) 和田一範・村瀬勝彦・富澤洋介: 地域気候モデルを用いた地球温暖化による災害リスク算定の試み, 水工学論文集, 第48巻, pp.457-462, 2004.
- 3) 石原幸司・栗原和夫・和田一範・村瀬勝彦・富澤洋介: 洪水・渇水リスク評価に向けたMRI-RCM20の降雨特性再現性, 日本気象学会2004年秋季大会講演予稿集, 投稿中
- 4) Nakic'enovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grubler, T. Y. Jung, T. Kram, E. L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Raihi, A. Roehrl, H.-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor, Z. Dadi.; *IPCC Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 p, 2000.
- 5) 気象庁: 地球温暖化予測情報 第5巻, HTML版, <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpinfo/GWP/>, 2003.
- 6) 例えば, 気象庁予報部: 平成12年度新しい数値解析予報システム, 平成12年度数値予報研修テキスト 数値予報課報告・別冊47号 合併号, 2000.
- 7) 国土交通省土地・水資源局水資源部: 平成15年版日本の水資源, 2003.

(2004.9.30 受付)