

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

A TRIAL FOR THE HAZARD RISK ASSESSMENT OF GLOBAL WARMING BY
REGIONAL CLIMATE CHANGE MODEL

和田 一範¹・村瀬 勝彦²・富澤 洋介³

Kazunori WADA, Masahiko MURASE and Yosuke TOMIZAWA

¹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)

²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)

³ 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 to hazard risk is estimated from the results of regional climate change models by Japan Meteorological Agency and Meteorological Research Institute. The output size of the models is about 20km. Before risk assessment, the outputs were checked through comparisons among monitoring data, those from global climate change models and regional climate change models in 1981-2000. The comparison shows that the outputs of regional climate change models are meaningful only in the east parts of Japan, while those in the west need recalculation. Even though the recalculation are in the middle of process, the result shows that the annual maximum daily precipitation in 2081-2100 will increase in the southern Hokkaido, Sanriku, southern Tohoku, and middle Kanto plain while the change on flood risk will differ region by region. It also shows that seasonal precipitation in 2081-2100 will decrease from winter and spring in many parts of the eastern Japan. This study implies that more detailed analysis in regional bases will be needed for flood and drought risk analyses.

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

1. はじめに

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予測されている(たとえば, IPCC¹⁾). これらの予測については依然不確実性が高いものの, このような不確実性を十分理解しつつ, 温暖化による変化が水資源に与える影響を予測し, 洪水や渇水の災害リスク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. ここでは気象庁・気象研究所が計算を進めている地域気候モデルによる気候変動予測速報値を用いて, 将来の災害リスクの算定を試みることとする.

なお, 今回使用した速報値は気象庁・気象研究所が計算を進めている途中段階のものを使用しており, 計算結果はさらに修正されていく性質のものであることから, 本論文では災害リスクの算定結果そのものよりも算定するプロセスの紹介に主眼を置いている.

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. 検討方法

災害リスク算定については, 2003年8月に気象庁・気象研究所から提供された地域気候モデルの出力を用い, 洪水や渇水のリスクを降雨量データから算定する. 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を確認した.

(1) 気候シナリオ

気候シナリオの作成には気候モデルに基づくシナリオ, 感度分析的シナリオ, 類似法シナリオなどいくつかの方法があるが, ここでは気候モデルによるシナリオを用いた. 気候モデルでは, さまざまな気候変化を物理的な根拠に基づいた方法で計算でき, 種々の温室効果ガス排出

量増加シナリオのもとでより現実的に起こり得る気候シナリオを作成することができる。また使用するモデルにより、計算対象となる気象現象、精度が異なるといった点等で課題があるものの、その課題を十分に踏まえれば将来の年々変動や季節変動、極端な気象現象についても有用な情報を得ることができるものと考えられる。

ここでは気象庁・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）²⁾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³⁾。地域気候モデルはこのうちの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は独立独歩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¹⁾。

(2) 地域気候モデル

気象庁・気象研究所の地域気候モデルは全球大気海洋結合モデルCGCM2（IPCC報告書ではMRI2と記載されている）から約280km格子で、1981年から2100年について求まる気温、降水量、海水分布、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。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。ダウンスケールでは詳細な狭領域モデル（ここでは気象庁・気象研究所の地域気候モデル）を長時間積分して粗い全球モデルにつなぐ、いわゆるネスティングが行われている。ネスティングにあたって側面境界付近でモデル間の位相差からノイズが発生するが、全球モデルの長波部分と狭領域モデルの短波部分を結合する波数空間結合法⁴⁾を用いて両モデルの位相を合わせ、ノイズの発生を抑えて、境界でなめらかにつなぐ方法がとられている⁵⁾。

なお、後述するモデル出力の検証でも明らかになるように1981から2000年のモデル出力と実際の観測値の間には地域によって大きな差が見られることから、気象庁・気象研究所で側面境界条件として使用したアジア域気候モデルを含めて2003年8月現在、見直し作業が行われている。また、気象庁³⁾にあるようにCGCM2にも気候モデル特有の系統誤差が伴っていること、またモデルで再現された気象現象は実現象の全てを再現したものではなく、例えば台風のような現象は厳密には再現できていないことも念頭に置く必要がある。そのため、ここでは災害リスク算定に先立って、モデルの再現性について検証を行うこととした。

3. モデル出力の検証

気象庁・気象研究所の気候モデルによる計算結果の利用に先立ってモデルが実現象をどの程度、再現しているかを検証する。検証は気象庁・気象研究所による全球気候モデルの日本付近の出力格子14点で行い、全球気候モデルによる出力と各点に最も近い気象官署の観測値及びその気象官署に最も近い地域気候モデルの出力格子の計算値の3つの値を1981～2000年の20年間月別平年値で比較した。検証を行った14点は図-1の通りである。検証に用いた最寄りの気象官署はそれぞれ点①は根室、点②は帯広、点③は小樽、点④は青森、点⑤は福島、点⑥は相川、点⑦は勝浦、点⑧は浜松、点⑨は姫路、点⑩は浜田、点⑪は室戸岬、点⑫は宮崎、点⑬は牛深、点⑭は名瀬である。

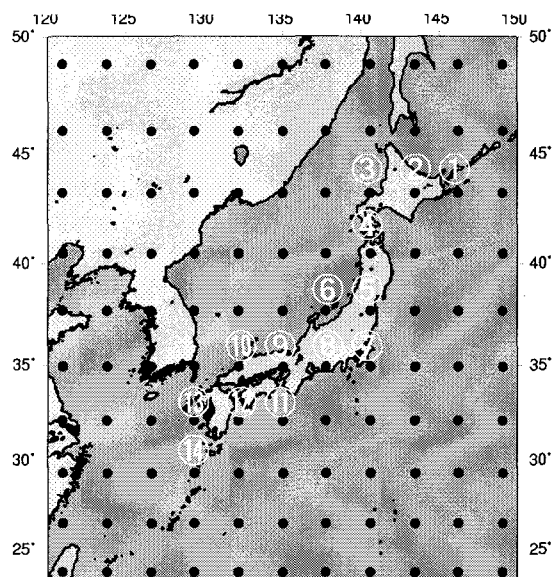


図-1 モデル出力の検証点（①～⑭）

(1) 東日本太平洋側（①根室、②帯広、⑤福島、⑦勝浦）

図-2から図-5に東日本太平洋側の4点について、1981～2000年の実測値、全球気候モデルの出力（CGCM2と記す、以下同様）、地域気候モデルの出力（RCM20と記す、以下同様）の月別降水量の平年値を示した。冬季にモデルが実測より大きくなる傾向が見られるが、おおむね月別降水量の経年変化をよく再現しており、全球気候モデルよりも実測値に近い傾向を示しているところもある。この地域においては今回の地域気候モデルの出力結果が洪水、渇水リスクの検討にある程度、有効に利用できるものと推測される。

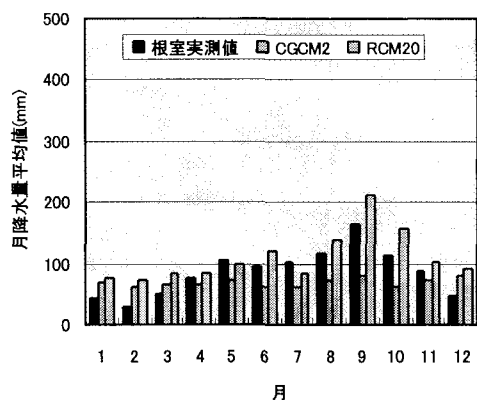


図-2 月別降水量の比較(1981～2000年平年値, ①根室)

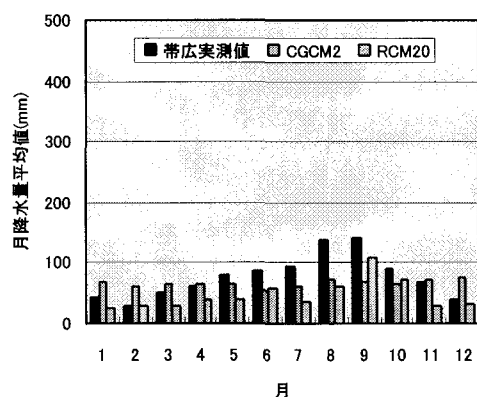


図-3 月別降水量の比較(1981～2000年平年値, ②帯広)

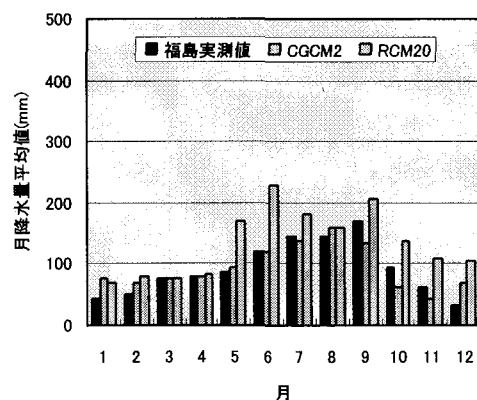


図-4 月別降水量の比較(1981～2000年平年値, ⑤福島)

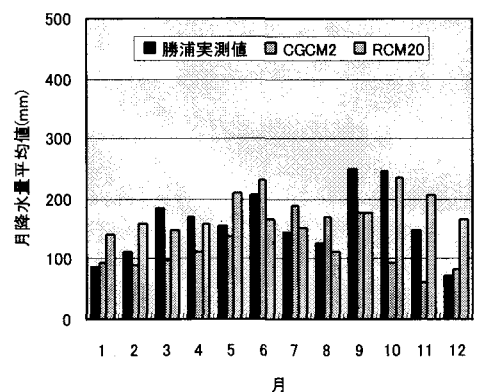


図-5 月別降水量の比較(1981～2000年平年値, ⑦勝浦)

(2) 東日本日本海側 (③小樽, ④青森, ⑥相川)

図-6から図-8に東日本日本海側の3点について、1981～2000年の実測値、全球気候モデル、地域気候モデル出力の月別降水量の平年値を示した。秋季は実測よりも小さくなる傾向があるが、おおむね月別降水量の経年変化をよく再現しており、特に冬季は全球気候モデルよりも実測値に近い傾向を示している。この地域においては今回の地域気候モデルの出力結果が洪水、渇水リスクの検討にある程度、有効に利用できるものと推測される。

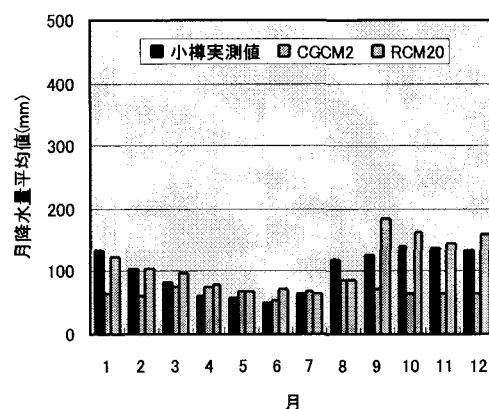


図-6 月別降水量の比較(1981～2000年平年値, ③小樽)

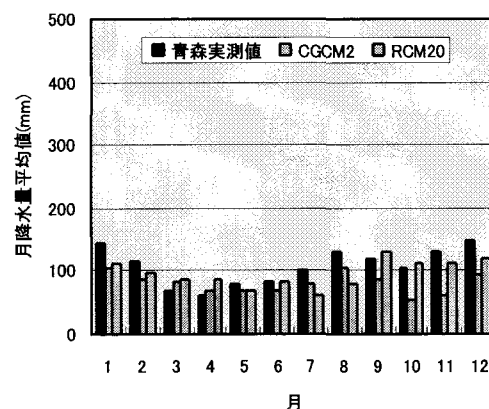


図-7 月別降水量の比較(1981～2000年平年値, ④青森)

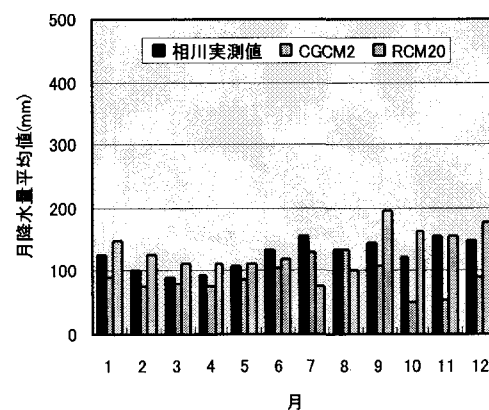


図-8 月別降水量の比較(1981～2000年平年値, ⑥相川)

(3) 浜松以西

図-9に浜松以西の7点のうち、一例として浜田について1981～2000年の実測値、全球気候モデル、地域気候モデル出力の月別降水量の平年値を示した。夏季は実測値及び全球気候モデルよりも小さく、冬季は実測値及び全球気候モデルより大きくなる傾向があり、月別降水量の経年変化を地域気候モデルが再現しているとはいえない。西日本については気象庁・気象研究所による見直し作業の結果を待つべきだと考えられる。

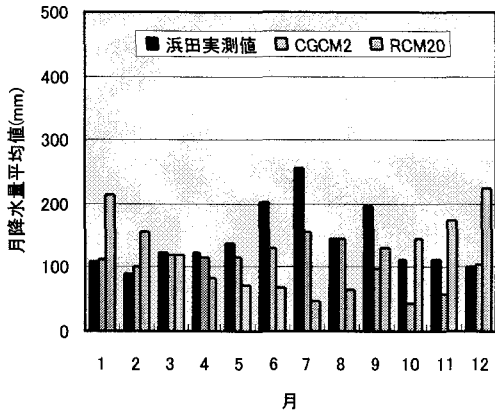


図-9 月別降水量の比較(1981～2000年平年値, ⑩浜田)

4. 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)

気象庁・気象研究所のモデル出力を検証した結果、特に西日本については見直し結果を待つ必要があるが、地球温暖化が降水量に与える影響(暫定値)を用いて、洪水及び渇水リスクの変化の算定を試みる。

(1) 洪水リスクの算定

洪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確率水文量の算出を試みる。今回の検討ではそのプロセスに主眼を置いたものであることを勘案し、簡易な方法として、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50年確率最大日降水量、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の2つの方法で確率最大日降水量を算出した。

算定は地域気候モデルの出力である20kmメッシュごとに行う。これについても、流域もしくは流域の治水基準点ごとに算定することが望ましいが、地域気候モデルの出力の速報値という観点から、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。

(2) 洪水リスクの評価

洪水リスクとして主に治水計画に利用される50年確率最大日降水量、100年確率最大日降水量を岩井法とガンベル分布を用いて算出した。岩井法とガンベル分布による方法で求めた現在(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を図-10及び図-11に示す。

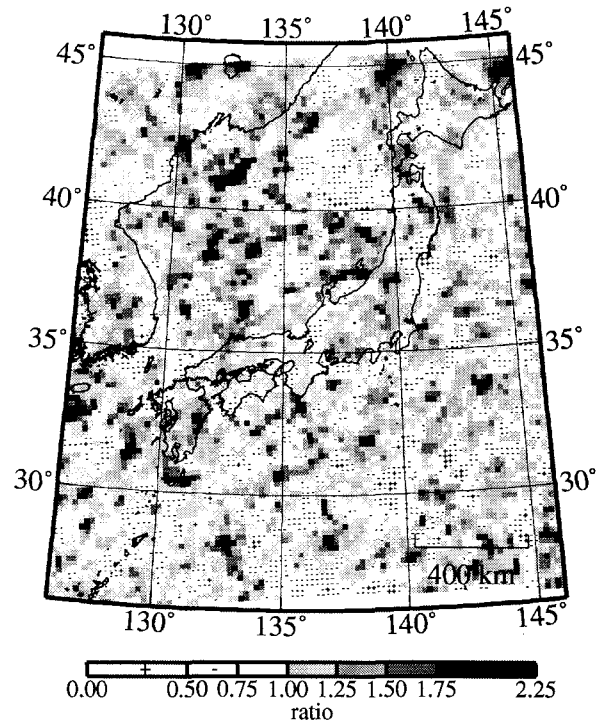


図-10 RCM20日降水量100年確率値変化率(2081-2100年/1981-2000年: 岩井法)

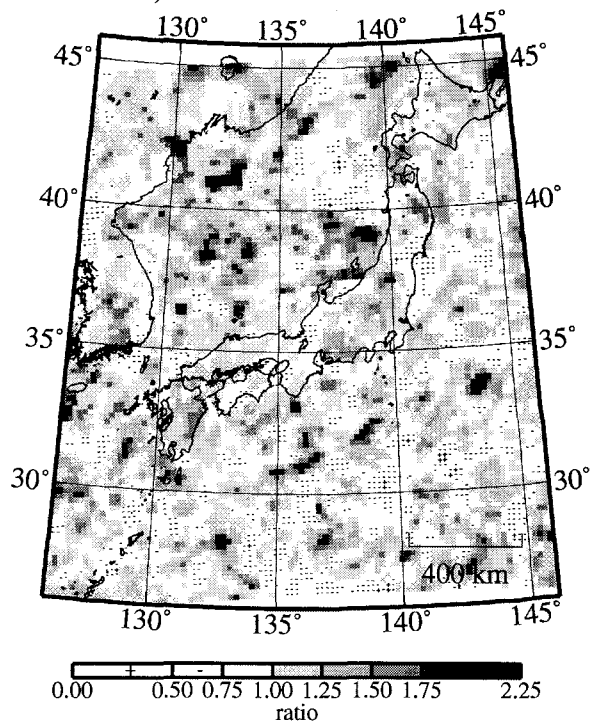


図-11 RCM20日降水量100年確率値変化率(2081-2100年/1981-2000年, ガンベル分布による方法)

前述のように洪水リスクは流域もしくは流域の治水基準点ごとに算定することが望ましいが、ここでは地域気候モデルの出力の速報値という観点から、モデルの出力単位の20kmメッシュ値をそのまま使用し、このメッシュごとに最大日降水量がどのように変化するかを計算することで洪水リスクの変化を求めた。

山元⁹⁾によると全球大気海洋結合モデルの年率1% CO₂漸増ランから全国ベースで年最大日降水量が5.8～12.8%の増加傾向があることを示している。モデル出力の検証で明らかになったように、浜松以西については再計算の結果を待つ必要があるため単純に比較はできないが、東日本に着目すると、北海道南部、三陸周辺、東北南部や関東平野中央に日降水量が現在(1981～2000年)に比べて25%以上増加する地域があることが分かる。一方で、減少する地域も存在することから、洪水リスクを全国一様に考えるのではなく、予測モデルの信頼度を踏ま

えつつ、地域ごとに洪水リスク軽減対策を考慮することも非常に有効であると考えられる。

(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月降水量の算出を試みる。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。しかしここでは洪水リスク算定と同様、検討のプロセスを重視し、簡易な方法として、月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、これを月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。また洪水リスクと同様、算定は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。

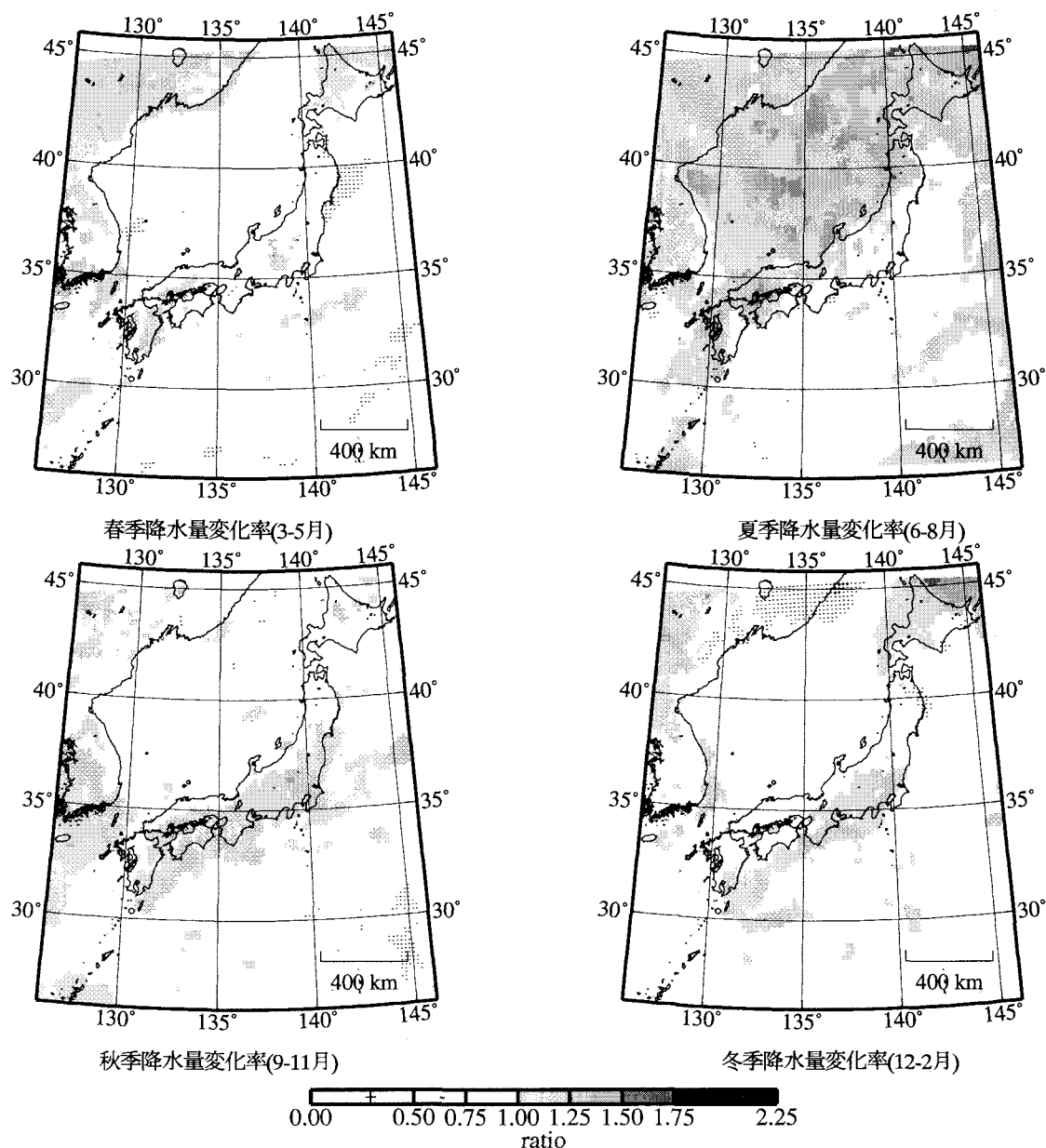


図-12 季節別降水量変化率(2081-2100年/1981-2000年)

(4) 渇水リスクの評価

図-12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。

渇水リスクについても、浜松以西については再計算の結果を待つ必要があるため、ここでは東日本に着目する。これによると特に秋季から春季にかけて降水量の変化率が1.0を下回る地域が多いことが分かる。特に雪が多い東北地方から北陸地方にかけて、冬季から春季において少雨傾向が強い。以上のことから、東日本では冬から春にかけて少雨傾向が強くなり、渇水リスクが高まることが推測される。

渇水リスクを考慮する際、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。洪水と異なり、渇水は水利用に支障が生じる際に発生する。今回の結果から、東日本で冬の後半から初夏にかけて少雨傾向が予測されたが、この時期、この地域での水利用を考慮する必要がある。また同地域の多くが積雪地域であることにも注意を払う必要がある。定性的ではあるが同地域でこの時期に田植えが行われ、そ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る。今回の出力結果では東日本を中心に考察したが、渇水については西日本で発生することが多い。したがって、再計算の結果を待って、さらに地域ごとに渇水リスクを評価していく必要がある。

5. 結論

今回使用した速報値は気象庁・気象研究所が計算を進めている途中段階のものを使用しており、計算結果は修正されていくものであるが、地球温暖化に関する現段階における研究状況を紹介することは、災害リスク評価の今後の方向を示すことに資するものと判断した。

モデル出力の検証で明らかになったように、浜松以西については、地域気候モデルによる出力は夏季は実測値及び全球気候モデルよりも小さく、冬季は実測値及び地域気候モデルより大きくなる傾向があり、月別降水量の経年変化を地域気候モデルが再現しているとは言い難い。そのため、西日本については気象庁・気象研究所による見直し作業の結果を待って解析をする必要があると考えられる。

地域気候モデルの再現状況が比較的良かった東日本に着目すると、北海道南部、三陸周辺、東北南部や関東平野中央に日降水量が現在に比べて25%以上増加し、洪水リスクが現在よりも大きくなる可能性があることが推測された。また季節別降水量に着目すると、特に冬から春にわたって東日本では降水量の変化率が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。

これまでの全球気候モデルでは計算予測メッシュが大きかったため、日本全体についての議論が中心であった。今回の地域気候モデルの出力は地域ごとに災害リスクを評価することを可能にするものであり、地球温暖化による影響をより正確に評価する大きな一歩であると考えられる。気象庁・気象研究所による再計算の結果を受けて、予測モデルの信頼度を踏まえつつ、地域ごとに洪水・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・気象研究所による全球気候モデル及び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, 881pp, 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) Nakicenovic, 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 pp, 2000.
- 3) 気象庁：地球温暖化予測情報 第5巻，HTML版，<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/GWP/>, 2003.
- 4) Sasaki, H., H. Kida, T. Koide and M. Chiba: The performance of long-term integration of a limited area model with the spectral boundary coupling method, *J. Meteor. Soc.*, Vol.73, No.2, pp.165-181, 1995.
- 5) Sasaki, H., Y. Sato, K. Adachi and H. Kida: Performance and evaluation of the MRI regional climate model with the spectral boundary coupling method, *J. Meteor. Soc.*, Vol.78, No.4, pp.477-489, 2000.
- 6) 山元龍三郎・岩嶋樹也・野田彰・吉松和義・鬼頭昭雄：大気・海洋結合モデル出力における極端に激しい降雨の長期傾向，日本気象学会講演予稿集73，p.153，1998.

(2003. 9. 30受付)