

地域気候モデルを用いた地球温暖化に伴う 洪水リスクの評価に関する考察

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

和田 一範¹・川崎 将生²・富澤 洋介³
Kazunori WADA, Masaki KAWASAKI and Yosuke TOMIZAWA

¹正会員 博(工) 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工修 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正会員 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)

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 extreme precipitation distribution of the annual maximum daily precipitation. 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.

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

1. はじめに

地球温暖化の進行による降水量の変動幅の拡大, 降水パターンの変化等が指摘されている(たとえば, IPCC¹⁾)中, 温暖化による降雨特性の変化が, 洪水等の災害リスクに与える影響を評価しておくことは河川計画, 洪水管理等の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²⁾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³⁾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。

さらに和田ら^{4,5)}は, 過去の約100年間の観測データを用いて, 日降水量の変動傾向を調べ, 洪水リスクが増大

していることを示すとともに, MRI-RCM20-Ver. 2⁶⁾(以降「RCM20」という)の1981年~2000年の計算結果を用い, 観測値とRCM20の極値分布の適合性を検証した。その上で, 将来の洪水リスクを評価したが, 100kmメッシュでの日雨量の評価にとどまっていた。

全国の109水系河川の計画降雨は, 日雨量のみならず2日雨量や一部の流域では3日雨量が採用されている。地球温暖化に伴う洪水リスクを的確に評価し, これら河川計画実務における政策対応に結び付けていくことが重要である。

そこで, 本研究では, 20, 40, 60, 80, 100kmメッシュ毎にRCM20(1981-2000年)の日, 2日, 3日雨量の極値分布の再現性をレーダーアメダスデータやアメダス観測値と比較し, それぞれのスケール毎の特徴を把握した上で, 50年後(2031-2050年), 100年後(2081-2100年)の降水変化を評価することにした。

さらに, 年最大雨量から求める極値だけでなく, 洪水注意報・警報の基準を超える頻度が将来どのように変化するか, RCM20の結果を用いて評価した。

2. モデル出力の検証

温暖化評価に用いたRCM20は、気象庁・気象研究所の全球大気海洋結合モデルCGCM2の結果を境界条件としてダウンスケーリングされた20km水平分解能のモデルである。今回、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温室効果ガス排出シナリオA2に基づいて計算された結果を用いている。RCM20の1981-2000年、2081-2100年の出力と国土技術政策総合研究所と気象研究所とが共同研究で2031-2050年について計算を行った結果を用いて、現在、50年後、100年後についての洪水リスクを比較した。

(1) 極値分布の再現性の検証方法

本研究では、河川の高水計画で用いられることが多い年最大日、2日、3日降水量の確率雨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降水量としては主に治水計画に利用される100年確率最大降水量を求めるが、算出にあたってはガンベル分布関数を用いた。

RCM20については、連続した計算期間が20年間と短いため、1981年～2000年の20年間のデータから求める100年確率降水量の極値分布の形状の再現性を検証することとし、観測値とRCM20のそれぞれの年最大極値をガンベル分布に当てはめた分布形状を比較した。ガンベル分布の確率密度関数は以下の式で示される。

$$f(X) = \frac{1}{\beta} \exp \left[- \exp \left\{ - (X - \xi) / \beta \right\} - (X - \xi) / \beta \right] \quad (1)$$

$$\beta = S_X \sqrt{6} / \pi \quad (2)$$

$$\xi = X_m - \gamma \beta \quad (3)$$

ここで、 $f(X)$: X の出現確率密度関数、 S_X : X の標準偏差、 X_m : X の平均、 γ : オイラー定数 (=0.57721...)である。 ξ はlocation parameterで分布のピーク位置を示し、 β はscale parameterで分布の広がりを示している。

まず、RCM20と観測値から求めたそれぞれの極値分布の適合性を検討するために、RCM20の降水量出力データの年最大の日、2日、3日降水量それぞれの極値分布を以下の条件下の極値分布と比較した。レーダーアメダス5kmメッシュは提供開始の翌年1993年以降のデータを使用した。

(i) 検証領域：20, 40, 60, 80, 100kmメッシュ

(ii) 時間スケール：日、2日、3日降水量

(iii) 比較対象：

全国のアメダス観測雨量（1981-2000年）

気象庁レーダーアメダス5km(1993-2001年)

(2) レーダーアメダスとの比較

図-1, 2, 3に20, 60, 100kmメッシュにおけるレーダー

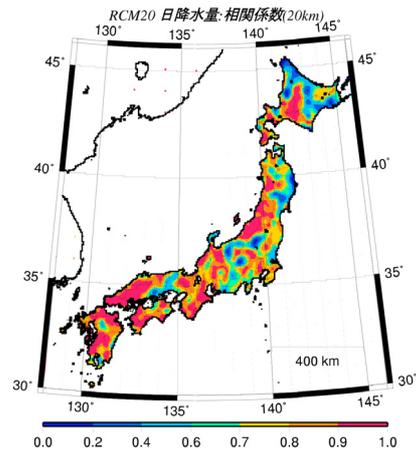


図-1 20kmメッシュにおけるRCM20とレーダーアメダスの年最大日降水量ガンベル分布の相関係数

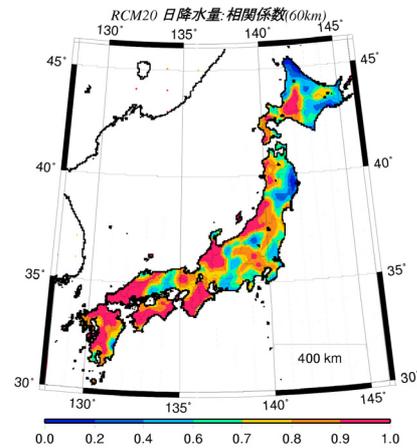


図-2 60kmメッシュにおけるRCM20とレーダーアメダスの年最大日降水量ガンベル分布の相関係数

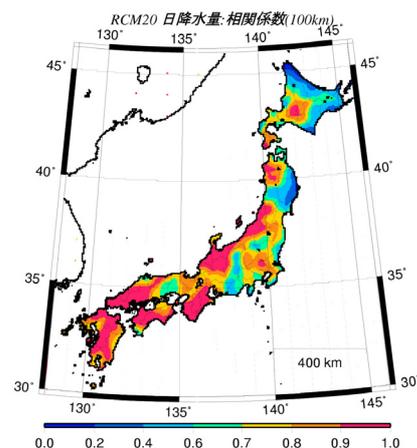


図-3 100kmメッシュにおけるRCM20とレーダーアメダスの年最大日降水量ガンベル分布の相関係数

アメダスとRCM20の年最大日降水量のガンベル分布の確率値同士の相関係数をそれぞれ図示した。図-1から北海道

北部・東部や東日本太平洋側，東海地方，瀬戸内地方の一部に相関係数0.4以下の地域が見られる．図-2, 3から，より広い範囲の降水量極値分布の比較をすると相関係数0.4以下の地域は減少しているが，依然，北海道東部，東北地方太平洋側，日光周辺，東海地方などは相関の低い地域も見られる．年最大2日，3日降水量ガンベル分布の相関係数図は省略したが，2日，3日雨量についても，相関係数の低い地域は同様な結果であった．

このため，全国地域別の極値分布再現性を調べるに際し，RCM20の水平分解能20kmよりも広い一定領域で評価すれば，ガンベル分布の再現性が極端に低い地域は減少する傾向が見られる．60kmメッシュでの評価でも，ほぼ全国的に大部分の地域が相関係数0.7以上になっている．ただし，上記の一部の地域のように，スケールを変えて比較しても相関係数が小さい地域があることも留意すべきである．

(3) アメダス観測値との比較

次に，アメダス地点の観測データを用いてRCM20の極値分布を検証するため，桜井，山元⁷⁾らが年最大日降水量の長期変動検出のために一定領域内の複数観測地点のデータを標準化して1つの統計標本を作製して解析を行った．極値分布形状はガンベルのパラメータ β ， ξ で決定されるが，確率雨量に大きく影響する β について，アメダス観測値とRCMのそれぞれから求められる β の比（RCMの β /観測値の β ）を比較した．年最大降水量の観測データに欠測のない主要地点について図-4, 5, 6に，日，2日，3日雨量のガンベル分布の β 比を20, 40, 60, 80, 100kmメッシュ別に比較した結果を図4, 5, 6に示した．評価スケールが広くなると， β 比の地点ごとのばらつきの幅は狭くなる傾向があり，平均的に観測値とRCM20の極値分布の広がりやの程度は一致してくる．図-4, 5, 6は60km付近では0.8~1.5の範囲内にあり， β 比=1付近に集中してくるため，60kmメッシュで降水量の評価を採用することにした．事例として，図-7, 8にアメダスの名古屋地点を含む20kmメッシュと60kmメッシュの極値分布をそれぞれ示した．図から観測値とRCM20の極値分布の広がりやが60kmメッシュでは近づき，60kmメッシュ（図-8）では β 比が1に近づいている．これは一般に

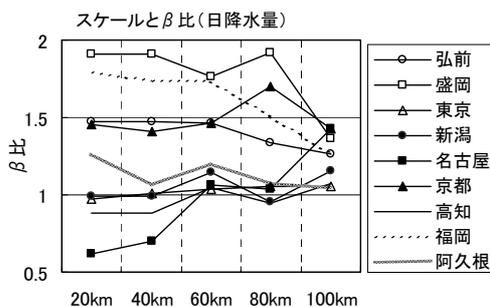


図-4 観測値とRCM20の β の比（日降水量の場合）

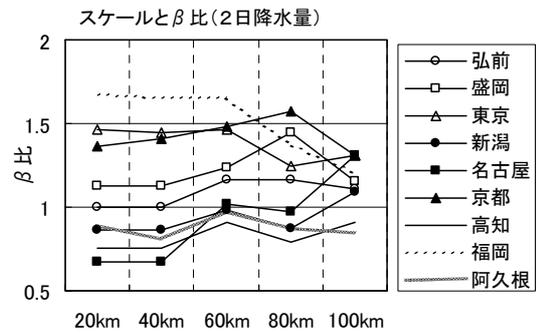


図-5 観測値とRCM20の β の比（2日降水量の場合）

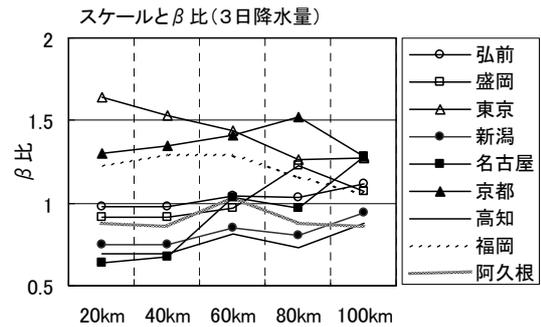


図-6 観測値とRCM20の β の比（3日降水量の場合）

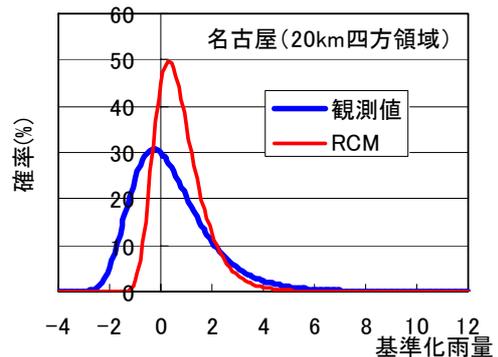


図-7 名古屋の観測値とRCM20の極値分布（20kmメッシュ）

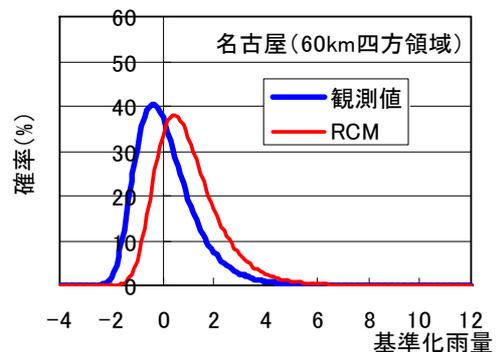


図-8 名古屋の観測値とRCM20の極値分布（60kmメッシュ）

RCM20のようなスペクトルモデルにおいては3格子程度の波長を再現可能であるとされる⁸⁾ことが，本論文で扱う確率雨量についてもいえることを示すものと考えられる．また図4~6において60kmスケール以上で比較的精度が

安定していることから、20kmより広い60km四方領域で評価することが確率雨量を論ずる面からも重要と考える。

3. 地球温暖化が洪水リスクに与える影響

(1) 100年確率雨量の変化について

RCM20出力の20km毎のデータをそのまま利用すると、観測結果との誤差が大きい地点もあった。このことは、現象の物理過程の再現性が重要であるとともに、地形効果などが20kmメッシュのモデルでは特に強い降水については不十分であることを表しているように見える。

このため、ガンベル法で求めた100年確率最大日、2日、3日雨量を60kmメッシュ平均を計算し、評価した。現在（1981年から2000年）と将来（2081年から2100年）の100年確率最大降水量の比の分布図を図-9～11（50年後）と図-12～14（100年後）に示す。

図から、50年後は現在よりも降水量が増加する地域が多く、100年後はさらに増加する傾向が、日、2日、3日雨量のいずれの場合にも見られる。

図-9, 10, 11から、50年後の日、2日、3日雨量についていずれも、北海道西北部、北陸、中国地方、南西諸島で他地域より大きな増加が共通している。3日雨量では、東北、北陸、山陰にかけての日本海側での増加も見られる。100年後では、ほぼ全国的に増加する地域が広がり、日、2日、3日雨量のいずれの場合についても、北海道～北東北、北陸、関東で40%以上増加する地域が多くみられ、北陸や新潟では2倍程度増加している。

50年後、100年後ともに共通している点として、太平洋側よりも日本海側での増加の程度が大きい傾向が見られた。これは、多くのGCM（General Circulation Model）⁹⁾に共通して見られるように、温暖化時に北太平洋高気圧が強化・北偏することが影響していると考えられる。

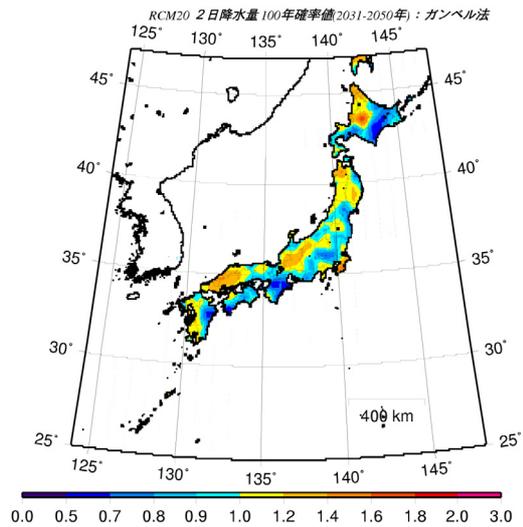


図-10 50年後2日降水量100年確率の変化率（60kmメッシュ）

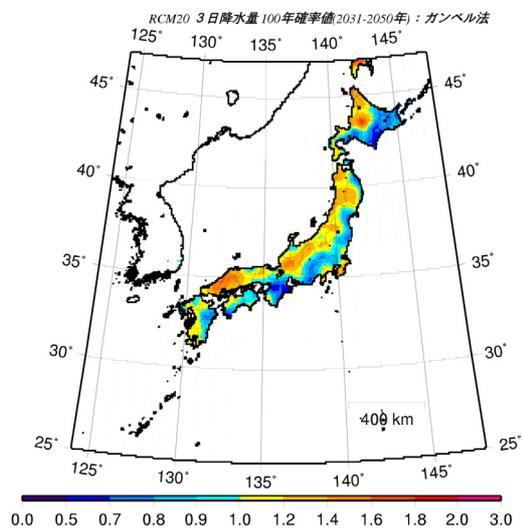


図-11 50年後3日降水量100年確率の変化率（60kmメッシュ）

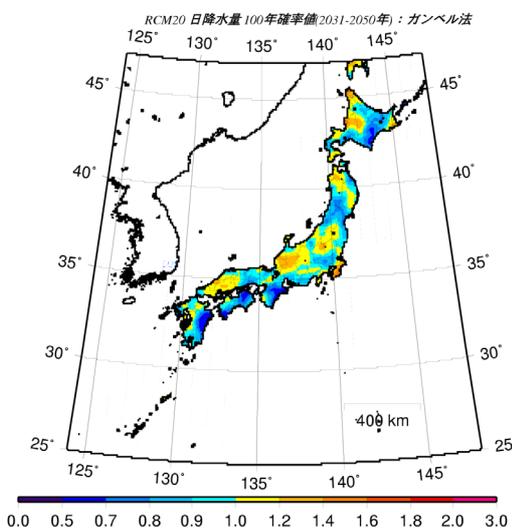


図-9 50年後日降水量100年確率の変化率（60kmメッシュ）

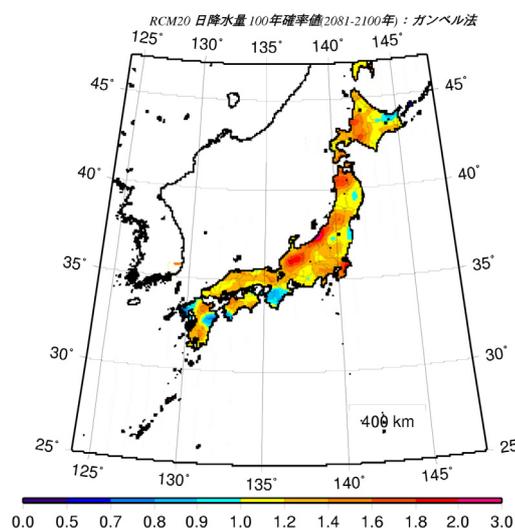


図-12 100年後日降水量100年確率の変化率（60kmメッシュ）

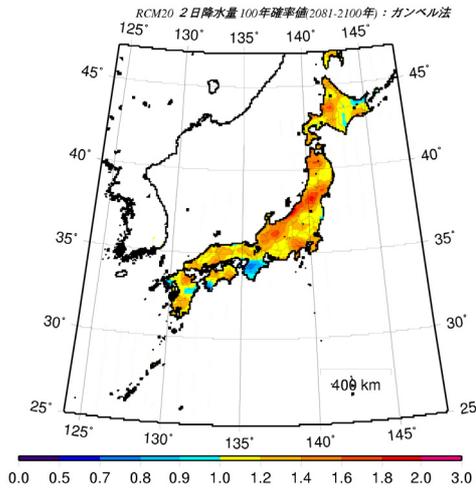


図-13 100年後2日降水量100年確率の変化率 (60kmメッシュ)

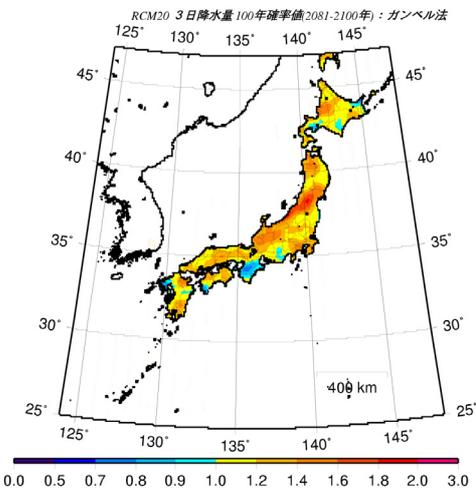


図-14 100年後3日降水量100年確率の変化率 (60kmメッシュ)

(2) 洪水注意報・警報基準を超える頻度の変化について

年最大日降水量のような極値については、将来、増加し洪水リスクが大きくなる傾向が見られた。地球温暖化の影響で、洪水注意報や警報の基準値を超える頻度についても将来どの程度の変化があるかを把握することは、河川管理・防災面からは重要である。実際の洪水注意報・警報は、雨量観測データと予報資料から基準値を超えると判断した時点で発令されることや発令が、1, 3, 24時間雨量のどの基準に基づいてされたのか後から判別するのが困難なため、RCM20の結果が基準値を超えた頻度と直接比較検証することは難しい。

RCM20の日雨量データを利用して、洪水注意報や洪水警報の基準値(24時間雨量)を超える頻度について、現在と将来について比較し、変化率を20kmメッシュ毎に求めた。洪水注意報・警報の基準は、過去の災害事例を基にそれぞれの地域別に設定されている。本論文では、県内細区分の基準を平均した県別平均値を比較対象として用いたが、参考のため気候区分内の県別基準値の範囲を表に示す。

参考 洪水注意報・警報基準の範囲(気候区分内最小値～最大値mm)

区分名	注意報	警報	区分名	注意報	警報
北日本日本海側	70~150	100~201	東日本太平洋側	80~155	153~285
北日本太平洋側	70~116	120~161	西日本日本海側	80~175	150~250
東日本日本海側	70~120	140~203	西日本太平洋側	70~209	132~367
			南西諸島	123	221

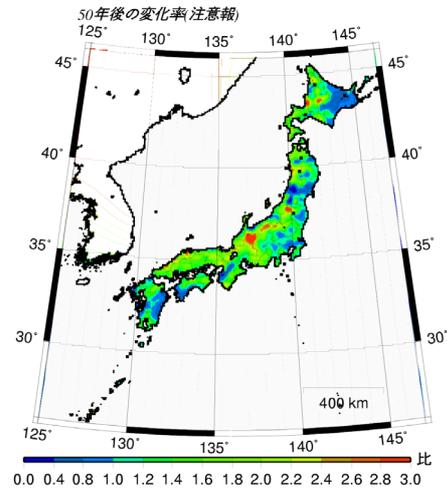


図-15 50年後の注意報基準を超える頻度変化率

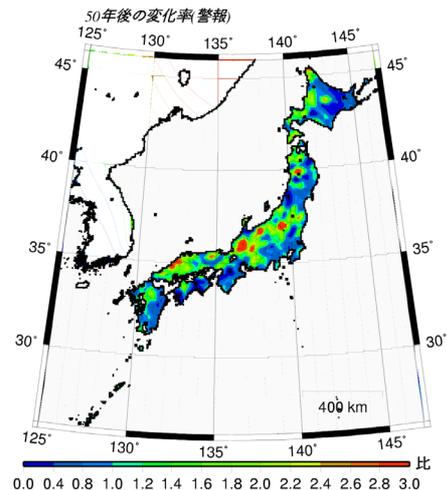


図-16 50年後の警報基準を超える頻度変化率

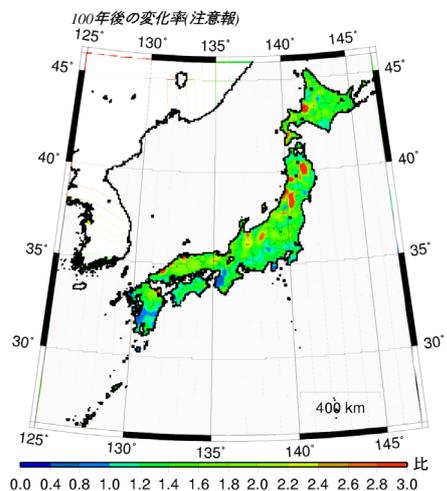


図-17 100年後の注意報基準を超える頻度変化率

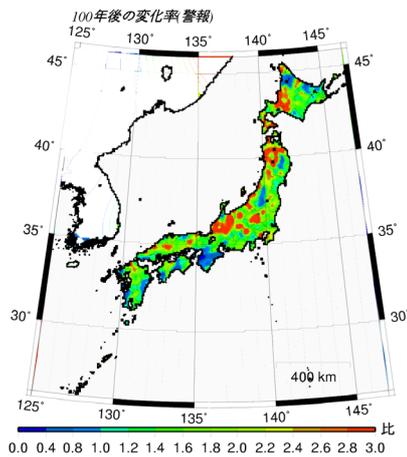


図-18 100年後の警報基準を超える頻度変化率

図-15～18に、50年後、100年後の洪水注意報、警報の基準を超える頻度変化率(将来の頻度/現在の頻度)の20kmメッシュ分布図を示す。東北地方太平洋側や関東から九州にかけての太平洋側の一部の流域を除き、50年、100年後いずれも洪水注意報・警報基準を超える頻度は現在よりも増加している地域が多い。特に洪水警報基準を超える頻度は、東北から北陸、山陰にかけての日本海側の地域で大きな増加を示す流域が多いことが図-15～18から判る。

4. 結論

本研究では、気象庁・気象研究所の地域気候モデルMRI-RCM20-Ver. 2の計算結果を用いた将来の洪水リスクの評価を行った。本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 1981年～2000年の現在気候計算結果を用いて実測値の極値分布の再現性の比較検証を行った。検証は、20, 40, 60, 80, 100kmメッシュ毎に、気象庁レーダーアメダスデータや複数観測地点から求めた極値分布と比較を行った。その結果、20kmメッシュでは、地点により精度のばらつきが大きいため、精度の落着く60km程度で評価することが妥当と判断し、極値降水量の使用範囲である現在と将来の渇水リスクの比較を行う際には、60kmメッシュの空間スケール内で平均化された値で評価することにした。
- (2) 50年後の日、2日、3日雨量についていずれも、北海道西北部、北陸、中国地方、南西諸島で他地域より大きな増加が見られた。さらに100年後では、ほぼ全国的に増加する地域が広がり、日、2日、3日雨量のいずれの場合についても、北海道～北東北、北陸、関東で40%以上増加する地域が多くみられ、北陸や新潟では2倍程度増加していた。
- (3) RCM20出力を用いて洪水警報・注意報基準を超える頻度の変化を調べたところ、東北地方太平洋側や関東から九州にかけての太平洋側の流域を除き、将来

50年、100年後いずれも、注意報や警報基準を超える頻度は現在よりも増加している地域が多い。特に警報基準を超える頻度は、東北から北陸、山陰にかけての日本海側の地域で大きな増加を示す流域が多くなっている。このため、年最大日、2日、3日雨量の極値の増加だけでなく、洪水注意報・警報を超える頻度についても、リスクが将来的に増加する可能性が推察された。

以上のように、RCM20出力は地域ごとの災害リスク評価を可能にするが、リスク評価をさらに意味あるものとするためには短時間雨量の評価も今後の課題と思われる。

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RCM20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.
- 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, 2004.
- 4) 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時の洪水・渇水リスク評価に関する研究, 水工学論文集, 第49巻, 2005.
- 5) 和田一範, 村瀬勝彦, 富澤洋介: 地球温暖化に伴う降雨特性の変化と洪水・渇水リスクの評価に関する研究, 土木学会論文集, No.796/II-72, 23-37, 2005.
- 6) 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.
- 7) 櫻井康博, 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1998年春季大会講演予稿集, p. 140, 1998.
- 8) 例えば, 米谷恒春・葛葉泰久・岸井徳雄: 気候変動と水災害, 新山社サイテック, 2002.
- 9) 例えば, 西森基貴, 鬼頭昭雄: 統計的ダウンスケーリング手法による温暖化時の夏季東アジア域の降水量予測, 第6回水資源に関するシンポジウム論文集, 水資源シンポジウム委員会, pp.489-494, 2002. (2005. 9. 30受付)