

戦-46. 気候変化が洪水流出に与える影響評価に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 26

担当チーム：水災害研究グループ（水文）

研究担当者：深見和彦、猪股広典、長谷川聡

【要旨】

世界最高レベルの高い空間解像度を誇る気象研究所の MRI-AGCM3.2S（21 世紀気候変動予測革新プログラムにおける後期モデル）の計算結果を中心として、国内外の他の GCM と比較しながら、現在気候条件下での再現特性と将来気候下（21 世紀末）での年平均降水量や洪水の原因となる極値的な豪雨特性について、比較分析を行った。MRI-AGCM3.2S による降水量予測の信頼性は、高い地上分解能に支えられて他のモデルと比べて総じて優位とあると考えられるものの、地域・流域や降水量指標毎に他のモデルも併せて参照することで将来動向を総合的に判断する必要があることを確認した。

キーワード：地球温暖化、GCM、気象研究所 MRI-AGCM3.2S、降水量予測

1. はじめに

IPCC 第 4 次報告書で、気候変化により気温上昇はもとより、降水量の強度および強雨の頻度が増加することが予測されている。これらの気温や降水量傾向に関する結論は 23 個の GCM（General Circulation Model：地球温暖化予測シミュレーションを行うための大気大循環モデル）の計算結果をアンサンブル平均することで大陸～地域スケールにおいて導かれた結論である。一方、これらの降水量の傾向予測をもとに洪水流出についても全球スケールでの平均として増加することがマクロに推定されているが、具体的な個別の河川流域において、洪水流出特性への影響評価について複数の GCM の計算結果に基づく定量的な考察を行っている事例は見あたらず、また長期の地上観測データを用いた 20 世紀におけるトレンド変化解析も GCM を用いた検討と比較して事例が少ない。将来規模・頻度共に増加すると見込まれる洪水への適応策を考えるにあたっては、個々の GCM の予測データのみでは不確実性を含むものであるため、地上観測値との整合を確認した上で、洪水流出特性の変化についても複数の GCM データを入力として活用し、河川計画・水資源管理の対象となる極値を含めて、誤差の程度を把握しながら、定量的もしくは定性的に必要な情報を抽出する手法を比較分析しつつ開発する必要があると考えられる。

本研究では、まず、国内外で利用可能な GCM データおよび地上観測降水量データをはじめとした水文データ

の収集を行う。次に、取得した GCM データ及び地上観測降水量から再現される 20 世紀（現在気候）における長期トレンド等の降水特性の変化と両者の整合性について基礎的な検討を行う。その精度評価結果を基にして信頼できる GCM データ群をもとにしつつ、特に強雨の将来降水量変化について検討を行う。またそれら複数の GCM データを ICHARM で開発中の全球流出シミュレーションモデルに入力することで気候変動影響下の洪水流量の変化についてアンサンブル平均手法を基盤としながら、極値を含む洪水流出特性の抽出手法と信頼性について評価を行う。

今年度は、世界最高レベルの高い空間解像度を誇る気象研究所の MRI-AGCM3.2S（21 世紀気候変動予測革新プログラムにおける後期モデル）の計算結果を中心として、国内外の他の GCM と比較しながら、現在気候条件下での再現特性と将来気候下（21 世紀末）での年平均降水量や洪水の原因となる極値的な豪雨特性について、比較分析を行った。

2. GCM の収集

2. 1 本研究で用いる GCM

IPCC の第 4 次報告書作成の根拠となった、国内外の多くの GCM による気候変化予測シミュレーション結果は、CMIP3 と呼ばれる GCM データの比較公開プロジェクトにより（モデルにより公開しているデータの内容に一部差異がみられるものの）、世界に公開され自由に取

得可能となっている。これに、上述の気象研究所における最新の GCM のシミュレーション結果を含めて、地上観測降水量と比較しながら、その特性の分析を行った。表-1 に、今回取得した GCM データの一覧表を示す。MRI-AGCM シリーズが、大気モデルにおいて 1 オーダー高い空間解像度を有していることがわかる。但し、MRI-AGCM シリーズは、大気・海洋結合モデルではない。

なお、それぞれの GCM の特性を直接評価することを目的とするため、いずれの GCM 計算結果に対してもバイアス補正は行っていない。

2.2 比較に用いる地上観測降水量

比較の対象とする地域は、アジア域、欧州域、北米域とした。現在気候における GCM 計算値と比較するための地上観測降水量データについては、アジア域では谷田

表-1 用いる GCM データ

No.	GCM データ名称	データ提供国	大気モデルの空間解像度 (deg)	海洋モデルの空間解像度 (deg)
1	MRI-AGCM3.1S	日本	0.1875×0.1875	なし
2	MRI-AGCM3.2S	日本	0.1875×0.1875	なし
3	BCCR-BCM2.0	ノルウェー	1.9×1.9	0.5-1.5×1.5
4	CGCM3.1(T42)	カナダ	2.8×2.8	1.9×1.9
5	CGCM3.1(T63)	カナダ	1.9×1.9	0.9×1.4
6	CNRM-CM3	フランス	1.9×1.9	0.5-2.0×2.0
7	CSIRO-MK3.0	オーストラリア	1.9×1.9	0.8×1.9
8	CSIRO-MK3.5	オーストラリア	1.9×1.9	0.8×1.9
9	GFDL-CM2.0	アメリカ	2.0×2.5	0.3-1.0×1.0
10	GFDL-CM2.1	アメリカ	2.0×2.5	0.3-1.0×1.0
12	INMCM3.0	ロシア	4.0×5.0	2.0×2.5
13	IPSL-CM4	フランス	2.5×3.75	2.0×2.0
14	MIROC3.2 (Hires)	日本	1.1×1.1	0.2×0.3
15	MIROC3.2 (Medres)	日本	2.8×2.8	0.5-1.4×1.4
16	MIUB-ECHO-G	ドイツ・韓国	3.9×3.9	0.5-2.8×2.8
17	MPI-ECHAM5	ドイツ	1.9×1.9	1.5×1.5
18	MRI-CGCM2.3.2	日本	2.8×2.8	0.5-2.0×2.5
19	NCAR-PCM	アメリカ	2.8×2.8	0.5-0.7×1.1

らによって作成された APHRODITE Monsoon Asia (APHRO_MA) を用いた。欧州域では、A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006 (E-obs)、

北米域では、NOAA CPC 0.25°×0.25° Daily US Unified Precipitation の各データベースを用いた。これらのデータベースは、いずれも、過去の地上降水量値をメッシュ化したものであり、計算結果がメッシュ値として得られる GCM 計算結果との比較に都合が良い。

2.3 検討対象とする期間と比較項目

現在気候については、1980 年から 1999 年までの 20 年間を対象期間とする。比較項目は、20 年間での平均年降水量、平均月降水量 (8 月)、20 年間での上位 40 位の日降水量強度の平均値である。

将来気候については、2080 年から 2099 年までの 20 年間を対象期間とし、比較項目は、現在気候のそれと同じである。

3. 現在気候における各種 GCM の再現結果の比較

3.1 アジア域における比較

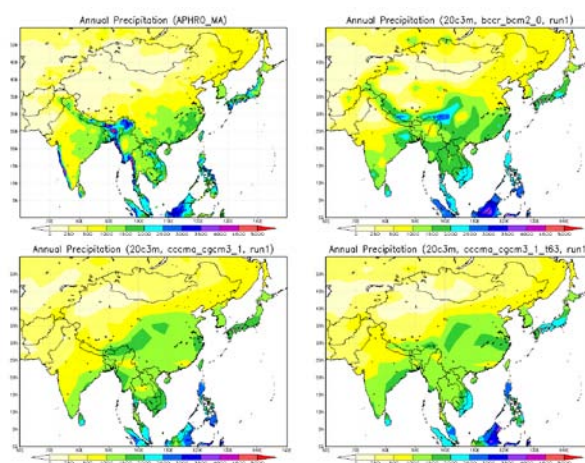


図-1 アジアにおける平均年降水量の比較

(左上：観測降水量、右上：BCCR-BCM2.0、左下：CGCM3.1-T42、右下：CGCM3.1-T63)

図-1, 2, 3 に、アジア域における現在気候 20 年平均の年降水量分布について、気象研究所の MRI-AGCM3.2S を含めた国内外の主要な GCM による計算結果を地上観測メッシュ降水量 (APHRO_MA) と比較した例を示す。

いずれのモデルも、アジア大陸スケールでマクロに見れば、東アジアから東南アジア地帯にかけての多雨地帯の分布を概ね表現できていることがわかる。しかし、地域スケールでみると、モデル毎に異なる特性が見えてくる。例えば、

- ・カナダの CGCM 2 種および MIROC3.2-Medres は、華中から華北に近い部分まで 1500mm 以上の地域が広がっており、観測降水量分布を過大評価している。

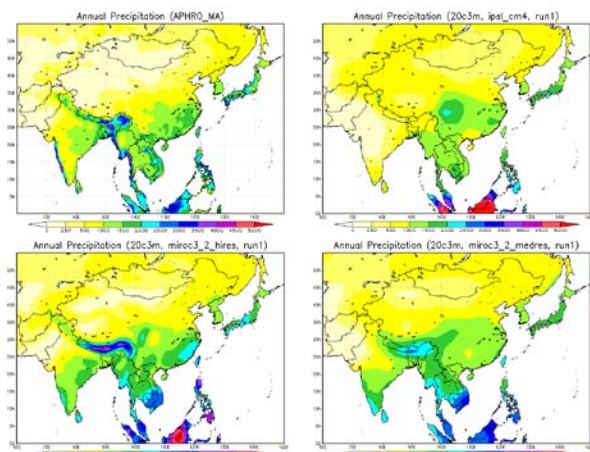


図-2 アジアにおける平均年降水量の比較
(左上：観測降水量、右上：IPSL-CM4、
左下：MIROC3.2-Hires、右下：MIROC3.2-Medres)

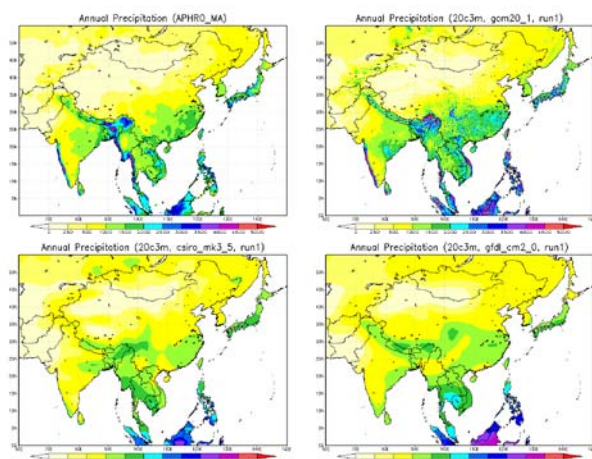


図-3 アジアにおける平均年降水量の比較
(左上：観測降水量、右上：MRI-AGCM3.2S、
左下：CSIRO_MK3.5、右下：GFDL-CM2.0)

- BCCR-BCM2.0、IPSL-CM4、MRI-AGCM3.2S は、中国内陸山間部において観測にない多雨地帯が見られる。
- IPSL-CM4、MIROC3.2-Hires、GFDL-CM2.0 は、カリマンタン島における降降水量を過大に評価している。
- CGCM3.1-T42、CGCM3.1-T63、IPSL-CM4、MIROC3.2-Medres、CSIRO_MK3.5、GFDL-CM2.0 では、ネパール～ブータン～インド東北部の山岳地帯における降降水量を過小評価している。
- IPSL-CM4、MIROC3.2-Hires、MIROC3.2-Medres、CSIRO_MK3.5 等では、インド東岸における降水量分布が観測のそれと異なる。

といった点である。現状の国内外の多くの GCM が抱える地域～河川流域スケールでの不確実性の問題がここに確認される。一方、気象研究所の MRI-AGCM3.2S に着目する

と、インド西岸やインドシナ半島西岸の海岸線付近の多雨域、ネパール～ブータン～インド東北部といった山岳部の多雨域の再現性が高いことがまず目を引く。これは、気象研究所モデルの他の GCM にはない高い空間解像度の効果が現れているものと推測される。また、最初に列記した比較的顕著な問題点が比較的少なく、かつ、メコン川中流部や華南における降水量分布をかかなりの確に再現できている点なども含めると、現在気候の再現精度の面で、全体として MRI-AGCM3.2S の優位性が認められる。

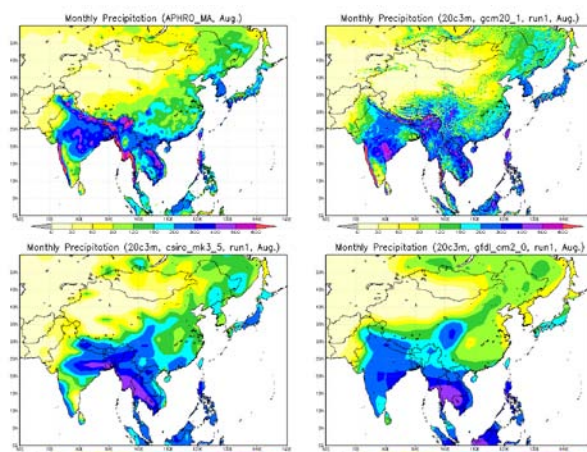


図-4 アジアにおける 8 月の平均月降水量の比較
(左上：観測降水量、右上：MRI-AGCM3.2S、
左下：CSIRO_MK3.5、右下：GFDL-CM2.0)

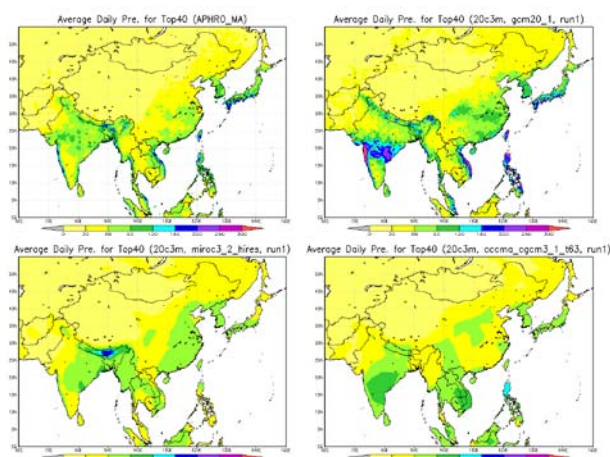


図-5 アジアにおける 20 年間の上位 40 位日雨量平均値の比較

(左上：観測雨量、右上：MRI-AGCM3.2S、
左下：MIROC3.2-Hires、右下：CGCM3.1-T63)

次に、主要な GCM を対象に、東～東南アジアの主要地域で雨季となる 8 月について、現在気候 20 年平均の月降水量分布を描いたものを図-4 に示す。空間解像度の高さもあり、MRI-AGCM3.2S の適合性が全体として高いように見受けられるが、地域ごとにみると、華北・華中地方にお

ける降水量分布において CSIRO_MK3.5 等の方が適合性が高いなど、モデル間で一長一短があることがここでも確認できる。

次に洪水をもたらす極値的な豪雨の再現特性を比較するために、主要な GCM についてアジア域での現在気候 20 年間の上位 40 位の日降水量平均値を図-5 には示す。MRI-AGCM3.2S は全体として過大評価の傾向があるが、分布としては、適合性は高いように見受けられる。

3.2 欧州域および北米域における比較

主要な GCM について、アジア域と同様に、欧州域と北米域を対象として、現在気候 20 年平均の年降水量分布を描いた事例を、図-6,7 にそれぞれ示す。欧州域の場合は BCCR-BCM2.0 が分布としては最も近く、

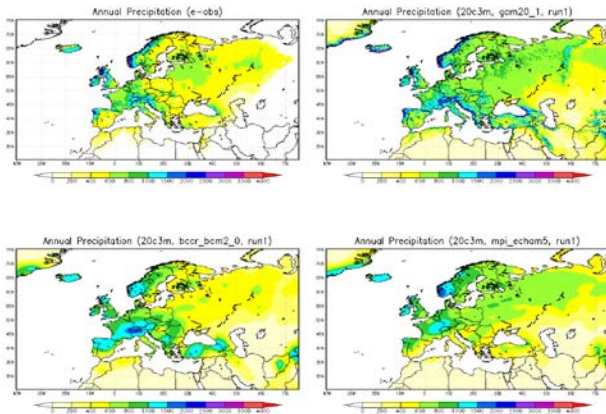


図-6 ヨーロッパにおける平均年降水量の比較
(左上：観測雨量、右上：MRI-AGCM3.2S、
左下：BCCR-BCM2.0、右下：MPI-ECHAM5)

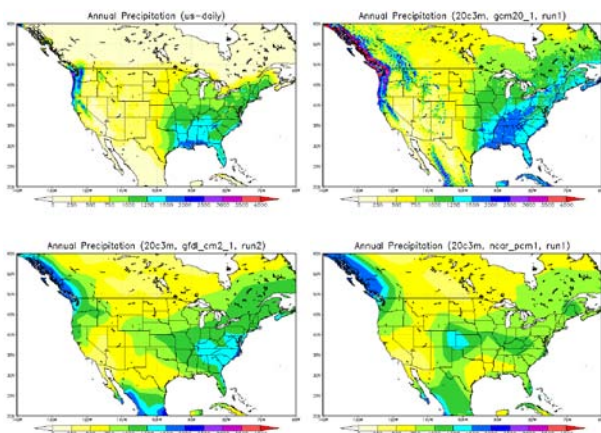


図-7 北アメリカにおける平均年降水量の比較
(左上：観測雨量、右上：MRI-AGCM3.2S、
左下：GFDL-CM2.1、右下：NCAR-PCM1)

MRI-AGCM3.2S は全体として過大評価気味となっている。一方、北米域の場合は絶対値レベルとしては GFDL や NCAR のモデルが良い結果を与えているが、降水量分布形状としてみると、MRI-AGCM3.2S の方が観測値に近い。一つのモデルでグローバルスケール、地域スケール、及び、河川流域スケールの全てで高い適合性を確保することは難しく、比較の観点によって一長一短があることが確認される。

4. 各種 GCM の将来降水量予測結果の比較

将来気候における 20 年平均年降水量、20 年間の上位 40 位の日降水量平均値を対象として、現在気候の降水量値に対する将来気候における降水量値の比率（以下降水量変化率と呼ぶ）を求めて、モデル間での比較を行った。現在気候の再現比較と同様に、アジア域、欧州域、および、北米域のそれぞれについて実施した。

まず、アジア域を対象とした場合の、平均年降水量とその降水量変化率、および、上位 40 位の日降水量平均値とその降水量変化率の平均・分散特性の事例について、図-8,9 にそれぞれ示す。平均年降水量の降水量変化率、

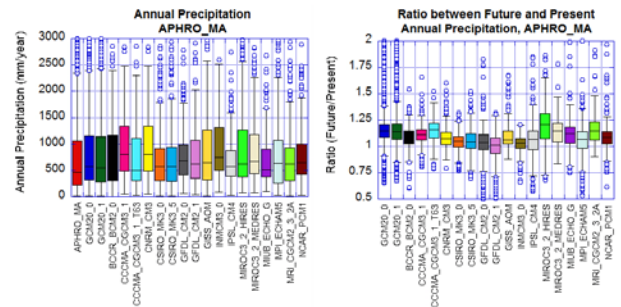


図-8 アジアにおける GCM ごとの
年降水量 (左) と現在・将来の比 (右)

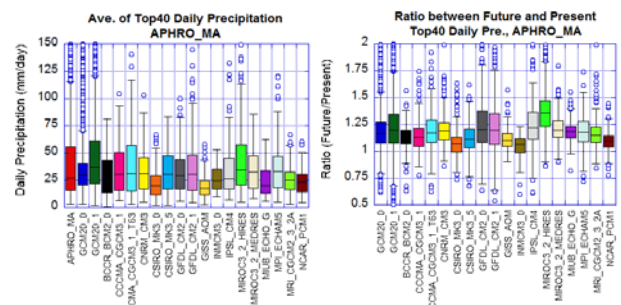


図-9 アジアにおける GCM ごとの
上位 40 位の日雨量強度の平均値
(左) と現在・将来の比 (右)

20 年間の上位 40 位の日降水量平均値の降水量変化率とともに、MRI-AGCM3.2S を含むすべての GCM で平均値が 1 を超え、当該降水量指標が将来増加する予測結

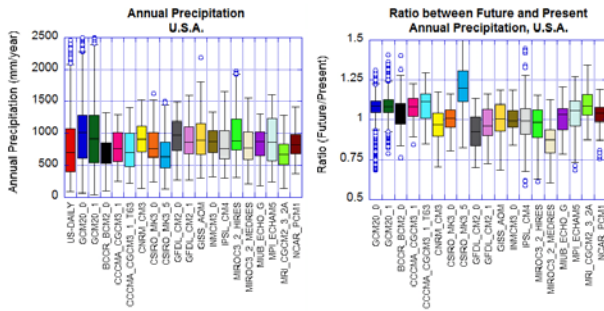


図-10 北アメリカにおける GCM ごとの
上位 40 位の日降水量強度の平均値 (左)
と現在・将来の比 (右)

果となっている。しかも、特に上位 40 位の日降水量平均値のような豪雨においてすべてのモデルに共通して大きく増大する予測となっている点、また、MRI-AGCM3.2S の予測は、多くの GCM のほぼ平均的な特性を代表している点は、注目される。図は省略するが、欧州域でも同様の傾向となった。

一方、北米域に関しては、図-10 に示すように、20 年間の上位 40 位の日降水量平均値の降水量変化率は、モデル間でかなり異なる傾向となっていることがわかった。また、MRI-AGCM3.2S については、他の多くの GCM よりも降水量変化率を大きめに予測する結果となっている。

このように、降水量指標・地域によっては、モデルによってある程度一致した傾向が得られる事例がある一方で、そうでないケースも見られ、一つのモデル予測結果を単純に定量的な予測として捉えることには危険が伴うことも確認された。

5. まとめ

今年度は、世界最高レベルの高い空間解像度を誇る気象研究所の MRI-AGCM3.2S (21 世紀気候変動予測革新プログラムにおける後期モデル) の計算結果を中心として、国内外の他の GCM と比較しながら、現在気候条件下での再現特性と将来気候下 (21 世紀末) での年平均降水量や洪水の原因となる極値的な豪雨特性について、比較分析を行った。その結果、現在気候下における各種降水量指標での地上観測データとの比較において、MRI-AGCM3.2S は、特に降水量分布の再現において最

も高い適合度を確保していた。しかし、一部で例外があり、かつ、降水量値絶対レベルにおいて、過大評価傾向が見られる地域も存在した。また、将来予測については、地域スケールでマクロに見た場合、年平均降水量が増加することはほぼ全ての地域・モデルで共通となる予測結果であったが、洪水をもたらすような豪雨においては、地域によってはモデル間で異なる予測結果を与えていた。MRI-AGCM3.2S も、地域や指標によって、他のモデルの予測結果との相対的な関係が異なっていた。

以上のことから、MRI-AGCM3.2S による降水量予測の信頼性は、高い地上分解能に支えられて他のモデルと比べて総じて優位とあると考えられるものの、地域・流域や降水量指標毎に他のモデルも併せて参照することで将来動向を総合的に判断する必要があることを確認した。MRI-AGCM3.2S が大気・海洋結合モデルではなく、完全な意味での自律的な将来気候予測モデルではないことにも配慮が必要と思われる。

今後は、空間解像度等の計算条件が互いに異なる複数の GCM 計算結果を有効に活用し、極値を含む洪水流出特性の予測を行う観点から必要となるアンサンブル予測手法や、その予測結果の評価分析手法を検討する必要がある。

謝辞

本研究で用いた気象研究所の GCM データは、文部科学省 21 世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」の一環として入手したデータである。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 文部科学省研究開発局：21 世紀気候変動予測革新プログラム、超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究、平成 21 年度研究成果報告書、2011 年 3 月。

STUDY ON ASSESSMENT OF EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON FLOOD RUNOFF CHARACTERISTICS

Budgeted : Grants for operating expenses, General account

Research Period : FY2010-2014

Research Team : Hydrologic Engineering Research Team,
Water-related Hazard Research Group

Author : FUKAMI Kazuhiko

INOMATA Hironori

HASEGAWA Akira

Abstract : The characteristics of various GCMs' simulating precipitations, in particular, extreme heavy rainfall events resulting in floods under the present-climate and the future-climate conditions was evaluated and discussed in comparison with in-situ precipitation observational databases. The reliability of precipitation simulation with MRI-AGCM3.2S seemed better, as a whole, than other low-spatial-resolution GCMs. But, at the same time, it was clarified that we need evaluate future trends of precipitation respectively for each its indices, regions, and/or river basin areas.

Key words : global warming, GCM, MRI-AGCM3.2S, and rainfall projection