

1.1 不確実性を考慮した地球温暖化が洪水・濁水流出特性に与える影響に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水災害研究グループ

研究担当者：深見和彦、上野山智也、廣江亜紀子、長谷川聡、牛山朋来

【要旨】

著しく再現性の低い全球気候モデルを除外するために、観測と全球気候モデルの現在気候実験で降水量の10年規模の変化傾向を比較した。また、空間補間手法を双線形補間法に変えることで、統計的ダウンスケーリングの結果を改善した。MRI-AGCM3.2Hのアンサンブル気候実験を用いて統計的ダウンスケーリングを行って、不確実性を考慮した降水量変化について議論を始めた。力学的ダウンスケーリング手法については、フィリピンのパンパンガ川流域を対象としモデルを構築した。まず、NCEP 客観解析を用いて台風にもなる豪雨の再現を試み、地上雨量観測と良く一致する雨量を再現することを確認した。さらに、MIROC5による現在気候実験データを用いた力学的ダウンスケーリング実験を行うため、必要なデータ変換手法を開発し、実験に着手した。

キーワード：気候変動、降水量、統計的ダウンスケーリング、力学的ダウンスケーリング

1. はじめに

気候変動に伴う降水特性の変化により、洪水災害リスクが増加することが指摘されている。このようなリスク変化に関する研究の社会的重要性は非常に高い。そこで、本課題では全球気候モデルによる各種の気候実験をもとに、気候変動に伴う洪水リスク変動について調査を行う。

平成24年度は、CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5)として世界各国の研究機関から提供されている数多くの全球気候モデルから著しく再現性の低いモデルを除外することを目指して、全球気候モデルの現在気候再現実験と既存の観測による年降水量の10年規模の変化傾向を比較する手法を検討した。

統計的ダウンスケーリングについては、バイアス補正手法は昨年度までと同様ながら、気候モデルのグリッドから観測データのグリッドへの空間補間手法を改良した。さらに水平解像度60 kmのMRI-AGCM3.2Hによるアンサンブル実験結果 (Endo et al, 2012)を統計的ダウンスケーリングすることで、気候変動に伴う降水量の変化について不確実性を考慮した議論が可能となった。

力学的ダウンスケーリングについては、領域気候モデルとしてWRF (Weather Research and Forecasting)を用いて、特定脆弱地域の例としてフィリピンのパンパンガ川流域を対象として研究を進めた。客観解析データをWRFの入力とした検証実験を行い、さらに全球気候モデ

ルの各種気候実験の結果を入力とするためのデータ変換手法の開発を行った。

2. 観測データに基づく降水量のトレンド解析

2.1 手法とデータ

数多くある全球気候モデルの中で、最も高性能な全球気候モデルであっても、その将来予測結果だけを信じて議論を進めることは非常に危険である。例えば、現時点で最も高解像度な大気全球気候モデルの一つである気象研究所のMRI-AGCM3.2S (Mizuta et al, 2012)であっても、最終的な影響評価においては非常に大きな不確実性が残ることは昨年度の本課題でも示した通りである。この局面を打開するには、ある程度信頼性の高い複数の全球気候モデルによるアンサンブル実験を用いて、不確実性を考慮しつつ議論を進める必要がある。

全球気候モデルによる現在気候実験と観測を比較して、降水量の変化トレンドが似ている全球気候モデルによる将来気候予測は信頼性が高いと考えることは非常に自然である。本研究では、観測と全球気候モデルによる現在気候実験の重なる1979年から2003年の25年間中、最初の10年間(1979-1988)と最後の10年間(1994-2003)について、年降水量の10年平均値に有意な差があるかを検定して、その地理分布を全球気候モデルと観測で比較した。その比較の基準は表1に示す。

1.1 不確実性を考慮した地球温暖化が洪水・渇水特性に与える影響に関する研究

今年度は、大気全球気候モデルとして水平解像度が約20 kmのMRI-AGCM3.1Sと3.2S、同60 kmのMRI-AGCM3.2H、そして大気海洋結合全球気候モデルとして水平解像度100 km超と非常に高解像度であるMRI-CGCM3(Yukimoto et al, 2011)とMIROC5(Watanabe et al, 2010)の現在気候実験を用いた。これらの多くはCMIP5に登録された全球気候モデル実験である。また観測データとしては昨年度までと同様に、APHRODITEプロジェクト(Yatagai et al., 2012等)を引き継ぐ形で気象研究所において試作された対象領域を全球陸面としたグリッド日降水量データセットを用いた。

表 1 観測と気候モデルの現在気候の変化傾向の比較。

観測	気候モデル	判断
有意な変化	有意な同符号変化	信頼性の高い成果が期待される
	有意な逆符号変化	信頼性の低い成果が期待される → 除外も
	有意でない変化	注意して解析を進める必要あり
有意でない変化		

2. 2 現在気候実験と観測の年降水量トレンド比較

観測と複数の全球気候モデルについて上記の解析を行ったが、紙面の都合から観測とMRI-AGCM3.2Sの結果についてのみ図1として結果を示す。1979年から2003年の現在気候とした期間では、まだ気候変動の影響が大きくないこともあって、有意な差とはならない地点が非常に多かった。このような地域では全球気候モデル単独で信頼性を議論することは難しく、数多くの全球気候モデル実験を用いて議論を進める必要がある。

一方、図1の水色の破線で囲まれたロシア北部の広い地域では、観測と全球気候モデルの現在気候実験で共に有意な増加傾向が見られ、この地域の将来気候予測の信頼性が高いことが期待される。

逆に、図1のピンクの破線で囲まれた東欧の一部やカナダ北部では、全球気候モデルの現在気候実験と観測では共に有意ではあるが逆符号の変化傾向を示している。東欧(北米)では、観測で増加(減少)傾向にあるのに全球気候モデルでは減少(増加)傾向にある。これらの地域の将来気候予測の信頼性は低いと考えられる。実際には有意な逆符号の地点が流域に占める割合なども考慮する必要もあると考えられるため一概には言えないが、これらの地域を対象とする場合には、このような全球気候モデルを除外して議論を進めることもありうる。

この解析手法は全球気候モデルの信頼性の順位付けを

するようなツールではないが、数多い全球気候モデルから信頼性が低い全球気候モデルを除外するための「足切り」的な道具として簡易で有用な手法と考えられる。

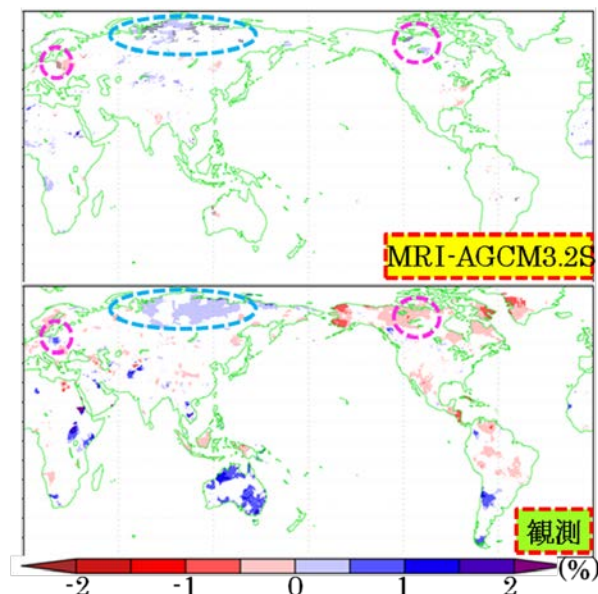


図 1 MRI-AGCM3.2S および観測における現在気候期間の前後 10 年平均の年降水量の変化率。有意水準 0.5%で平均値の差が有意な陸上の地点のみ色付け。

3. 全球気候モデルの降水量の検討

3.1 統計的ダウンスケーリング手法の改良

昨年度まで気象研究所によって開発された水平解像度が約20 kmの大気全球気候モデル MRI-AGCM3.1Sおよび3.2Sを用いて気候変動に伴う影響評価を行ってきた。しかし不確実性を考慮して議論を進めるには、より多くの気候モデル実験を扱う必要があり、そのためには水平解像度の粗い気候モデル実験群のダウンスケーリングが必要となる。ここでは計算機資源が力学的ダウンスケーリングほど必要とされない統計的ダウンスケーリング手法について言及する。本研究では、水平解像度の粗い全球気候モデルの日降水量データを空間詳細な観測の日降水量データと同じ格子以上に空間補間した後バイアス補正を行うことで統計的ダウンスケーリングとする。

今年度はバイアス補正手法をInomata et al (2011)のままとして、空間補間手法の改良を行った。昨年度の時点では、観測のある格子点に最も近い気候モデルの格子点のデータをそのまま用いる最近接(Nearest-Neighbor)法を用いて空間補間を行った後にバイアス補正を行った。その現在気候実験の統計的ダウンスケーリング結果の平均年降水量分布は観測と非常に近いものに見えた。しかし、将来気候実験の統計的ダウンスケーリング結果との

差を取って地域を詳細に見ると、例えば図2左図のように、本来の全球気候モデルの粗い空間構造が現れることがわかった。この欠点は、より粗い水平解像度の全球気候モデルでより顕著になると予想され、それらを用いた今後の研究で大きな問題となり得る。

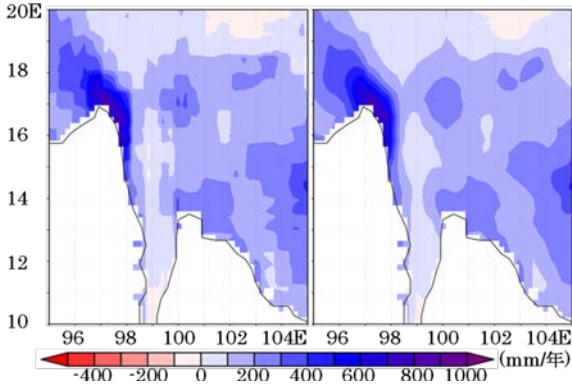


図2 チャオプラーヤ川周辺でのMRI-AGCM3.2Hの一組の標準的な実験による年平均降水量の将来気候と現在気候実験の差。左図は最近接法、右図は双線形補間法を用いた統計的ダウンスケーリングの結果。

そこで、空間補間手法として、観測データの存在する地点を囲む4点の全球気候モデルの格子点を用いて東西南北に線形補間を行う双線型補間法を採用した。その後バイアス補正した統計的ダウンスケーリングの結果は、例えば図2右図のように、将来と現在気候の差を取って地域を詳細に見ても滑らかな分布を示しており、最近接法での欠点が改善されたと考えられる。

3.2 MRI-AGCM3.2Hを用いた積雲スキームと海面水温分布の異なるアンサンブル予測実験の統計的ダウンスケーリング

気象研究所では、水平解像度20 kmと超高解像度の大気気候モデルMRI-AGCM3.2S等では計算機資源の問題から不可能であったアンサンブル実験を水平解像度60 kmのMRI-AGCM3.2Hで行うことで不確実性を議論するという方針がとられた(Endo et al, 2012)。MRI-AGCM3.2Hでは、3種類の積雲対流パラメタリゼーションのスキームを用いて現在および将来気候実験が行われ、さらに4種類の将来の海面水温分布を仮定して将来気候実験が行われ、都合3本の現在気候と12本の将来気候のアンサンブル実験が行われた。対応する積雲スキームの現在および将来気候実験の組み合わせで、合計12組の気候変動に伴う変化を用いて不確実性を議論することができる。

図3は統計的ダウンスケール後の年平均降水量変化のアンサンブル平均の分布を示す。図中の「×」は12組のうち10組以上がアンサンブル平均と同符号の地域を

1.1 不確実性を考慮した地球温暖化が洪水・渇水特性に与える影響に関する研究

示す。北半球の高緯度地帯やアマゾンの多くを除く南米等に×印が多く分布して、全球気候モデル実験間で共通した変化傾向にあることを示している。アフリカ中央部でも変化傾向は共通しているが、この地域は観測が非常に少ないために統計的ダウンスケーリング結果の信頼性は非常に乏しい点は注意する必要がある。

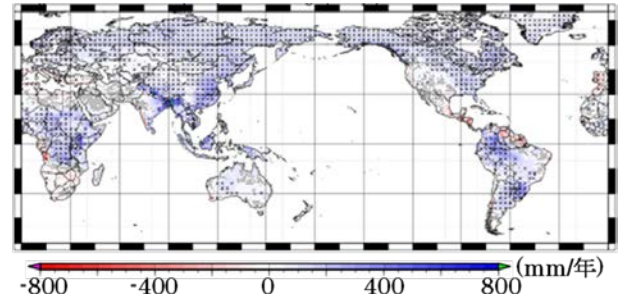


図3 MRI-AGCM3.2Hを用いた統計的ダウンスケーリング後の年平均降水量の将来気候と現在気候実験の差のアンサンブル平均。

一方、図3の灰色の地域は12組中8組以上がアンサンブル平均と逆符号であることを示す。サハラ砂漠からアラビア半島を経てインド西部にかけて、そしてオーストラリアやアメリカ中部やアマゾンの一部等では、全球気候モデル間で変化傾向があまり一致せず、不確実性が大きいことが示唆される。このようなアンサンブル実験の多数決は不確実性の議論の第一歩と言える。

4. 力学的ダウンスケーリングを用いた洪水リスク評価

4.1 概要

力学的ダウンスケーリングは、客観解析データや全球気候モデルなどの解像度の粗いデータを初期条件や境界条件として、物理法則に則った領域気候モデルで計算することで対象地域のより高解像度の情報を得る技術手法である。流域面積が大きく洪水到達時間の長い河川では、必要とされる時空間解像度が高くないため、統計的ダウンスケールでも一般には十分であるが、流域面積が小さく洪水到達時間が短い河川では、洪水流出解析において高い時空間解像度が要求されるため、力学的ダウンスケーリングが一般に必要となる。本研究で用いるWRFは米国NCAR(National Center for Atmospheric Research)を中心として開発されている領域気候モデルである。

本研究では全球気候モデルによる現在気候実験および温室効果ガス排出の複数のシナリオを元にした将来気候実験から対象地域の豪雨イベントを抽出して力学的ダウンスケーリングをした後に統計解析により洪水リスク評価を行うことを目指している。今年度はその準備段階と

1.1 不確実性を考慮した地球温暖化が洪水・渇水特性に与える影響に関する研究

して、客観解析データを入力に用いてWRFによる力学的ダウンスケーリング手法の検証を行った。さらに、全球気候モデルのデータを入力とした力学的ダウンスケーリングに必要なデータ変換などのプログラムを開発した。

流域面積が小さいために時空間解像度の高い降水分布が必要とされる例として、調査対象地域はフィリピンのパンパンガ川流域とした。図4にそのモデル領域を示す。後に示す客観解析データおよび全球気候モデルの力学的ダウンスケーリングでは、共通の設定でWRFによる計算を実行した。多くの客観解析データや全球気候モデルの水平解像度は一般に100 km 超と非常に粗いため、WRFで二重ネスティングを用いて力学的ダウンスケーリングを行った。二重ネスティングの外側の格子間隔は10 km、最終的な対象地域となる内側では2 km として、積雲対流を十分に解像できるようにした。

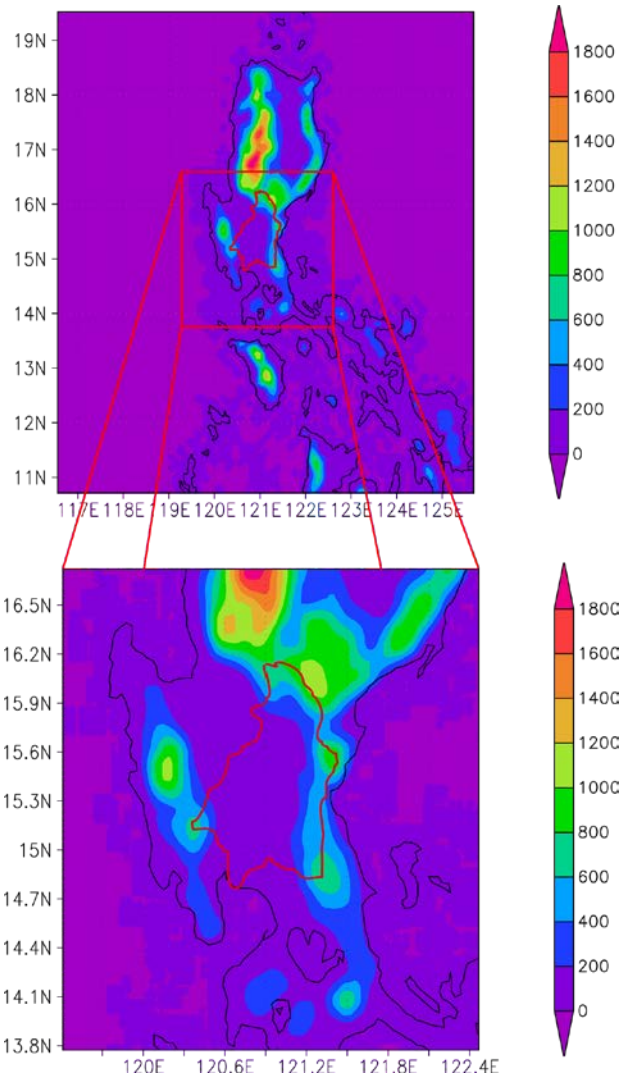


図4 WRF計算領域の地形分布。赤い閉曲線はパンパンガ川流域。

4.2 客観解析データを用いた検証

米国NCEP (National Centers for Environmental Prediction)の再解析データを用いてWRFで計算を行い、その結果を観測データと比較することで力学的ダウンスケーリング手法の検証を行った。NCEP再解析データの緯度経度方向のグリッド間隔は 2.5° である。

2011年9月27日に実際にパンパンガ川流域で起こった洪水イベントを対象に、再解析データの力学的ダウンスケーリングを行い、雨量分布を求めた結果を図5に示す。流域内平均雨量は、NCEP再解析データでは地上雨量計に対して過小であったが、力学的ダウンスケーリングによって地上雨量計と同等の雨量変動を再現した。また、図6のように降水分布は気象衛星による赤外温度の低い部分と良く一致した。これらのことから、この地域の台風を対象としたWRFによる力学的ダウンスケーリングが効果的であることを確認した。

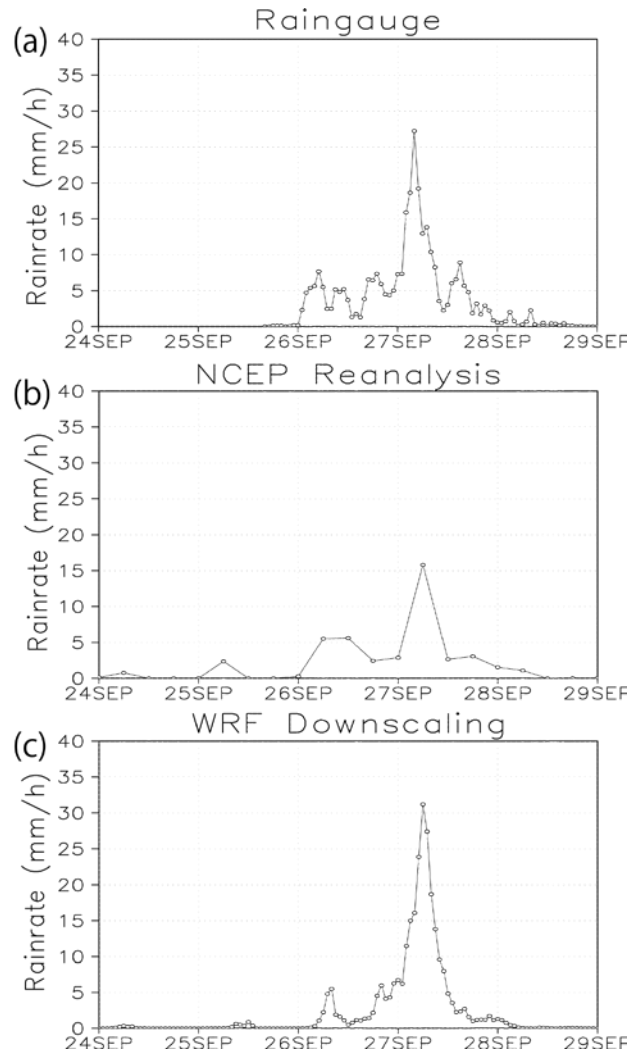


図5 (a) 地上雨量計、(b) NCEP再解析、(c) WRFダウンスケーリングによる流域内平均雨量の時系列。

1.1 不確実性を考慮した地球温暖化が洪水・渇水特性に与える影響に関する研究

公開されている MIROC5 (Watanabe et al, 2010) の現在気候実験を用いて、全球気候モデルの出力データを用いた WRF による力学的ダウンスケーリングに着手し、その有効性を調査した。MIROC5 は CMIP5 で公開された大気海洋結合全球気候モデルの中でも高解像度なモデルの一つであり、その水平解像度は約 150 km である。また、現在気候の 10 年規模の年降水量の変化傾向を観測と比較検証したが、別段の問題はなかった。

全球気候モデルの出力データはそのままでは WRF の入力データとして用いることはできず、WRF の入力に合う形に変換する必要がある。多くの全球気候モデルでは、水平方向には南北に等間隔ではなく、また鉛直方向にも指定気圧面ではない特殊な座標系が用いられている。座標系だけでなく、単位やデータのフォーマットの違いや不足する気象要素の導出にも対処する必要がある。具体的に MIROC5 のケースでは、鉛直方向はハイブリッドシグマ座標系から指定気圧面上に内挿し、南北方向はガウシアン座標系から等緯度間隔座標系に内挿した。緯度格子間隔は経度格子間隔と同じ 1.40625° とした。ただし、指定気圧面の高度データが CMIP5 の全球気候モデルでは出力されていないため、座標変換前の格子上で気圧と気温から測高公式を用いて高度を求めた。以上により、CMIP5 世代の GCM である MIROC5 の出力データを変換して WRF の入力データとした上で力学的ダウンスケーリングを行うための変換ツールを開発した。

5. まとめ

全球気候モデルの現在気候実験と観測の年降水量の 10 年規模の変化傾向を比較することで、著しく再現性の低い全球気候モデルを除外する一つの判断材料を得られるようになった。今後の全球気候モデルデータの入手後には同様の解析を行なって判断材料とする一方、決して完全な基準というわけでもないため臨機応変に解析手法に改良を加えることが必要と考えられる。

統計的ダウンスケーリングについては、水平解像度の粗い全球気候モデルにも対応できる状態が構築された。今後は CMIP5 で公開されているなるべく多くの全球気候モデルによる各種の実験結果に対して統計的ダウンスケーリングを施して解析を進めることで、気候モデルや温暖化シナリオの違いに伴う不確実性を考慮した降水量の変化傾向について研究を深める予定である。

力学的ダウンスケーリングについては、客観解析データを入力とした WRF による計算結果が観測の降水量分布とよく一致したことで、WRF による力学的ダウンスケー

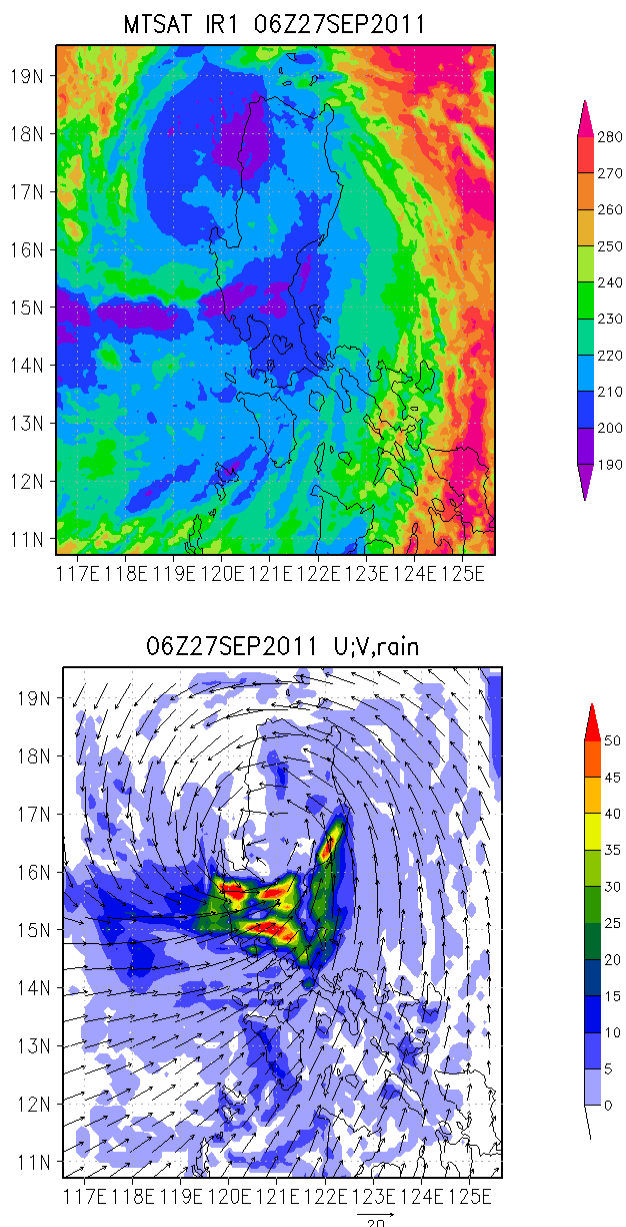


図 6 気象衛星 MTSAT の赤外画像(上)と WRF ダウンスケーリングによる雨分布(下)。9 月 27 日 06UTC。

4. 3 全球気候モデル実験結果を用いた力学的ダウンスケーリング計算のための変換ツールの開発

WRF 等の領域気候モデルの初期条件や境界条件として、地表面付近の二次元データだけではなく、気温や風速といった大気の三次元データが数時間間隔の瞬間値が必要とされる。しかし平成 23 年度で終了した 21 世紀気候変動予測革新プログラムで行われた MRI-AGCM による様々な気候実験では大気の三次元データはその巨大さから保存されておらず、MRI-AGCM のデータを用いた力学的ダウンスケーリングは平成 24 年度から開始された気候変動リスク情報創生プログラムでの成果を待つ必要がある。

そこで今年度は CMIP5 で大気の三次元データも含めて

リング手法が効果的であることを検証した。さらに MIROC5 を例として全球気候モデルの出力データを WRF の入力データに適した形に変換するツールを開発した。他の全球気候モデルのデータを変換するには個別の対応が必要な部分もあると考えられるが、今年度が開発されたツールを元に改良すれば十分に対処できると考えられる。今後は気候変動リスク情報創生プロジェクトの一環として気象研究所が行なっている MRI-AGCM3.2S による現在および将来気候実験で提供されるデータを用いた力学的ダウンスケーリングを行う予定である。

参考文献

- 1) Endo, H., A. Kitoh, T. Ose, R. Mizuta and S. Kusunoki : Future changes and uncertainties in Asian precipitation simulated by multiphysics and multi-sea surface temperature ensemble experiments with high-resolution Meteorological Research Institute atmospheric general circulation models (MRI-AGCMs), *J. Geophys. Res.*, Vol.117, D16118, 2012.
- 2) Inomata, H., K. Takeuchi and K. Fukami : Development of a statistical bias correction method for daily precipitation data of GCM20, *Ann. J. of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol.55, S_247-252, 2011.
- 3) Mizuta, R., H. Yoshimura, H. Murakami, M. Matsueda, H. Endo, T. Ose, K. Kamiguchi, M. Hosaka, M. Sugi, S. Yukimoto, S. Kusunoki and A. Kitoh : Climate simulations using MRI-AGCM3.2S with 20-km grid, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol.90A, pp.232-258, 2012.
- 4) Watanabe, M., T. Suzuki, R. Oishi, Y. Komuro, S. Watanabe, S. Emori, T. Takemura, M. Chikira, T. Ogura, M. Sekiguchi, K. Takata, D. Yamazaki, T. Yokohata, T. Nozawa, H. Hasumi, H. Tatebe and M. Kimoto : Improved climate simulation by MIROC5: Mean status, variability, and climate sensitivity, *J. Climate*, Vol.23, pp.6312-6335, 2010.
- 5) Yatagai, A., K. Kamiguchi, O. Arakawa, A. Hamada, N. Yasutomi and A. Kitoh : APHRODITE Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol.93, pp.1401-1415, 2012.
- 6) Yukimoto, S., H. Yoshimura, M. Hosaka, T. Sakami, H. Tsujino, M. Hirabara, T. Y. Tanaka, M. Deushi, A. Obata, H. Nakano, Y. Adachi, E. Shindo, S. Yabu, T. Ose and A. Kitoh : Meteorological Research Institute-Earth System Model version 1 (MRI-ESM1) – model description, Technical Report of the Meteorological Research Institute, Vol.64, 83pp, 2011.

CLIMATE CHANGE IMPACT ASSESSMENT ON RIVER FLOW FROM FLOOD TO DROUGHT UNDER UNCERTAINTY OF PROJECTION

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2016

Research Team : Water-related Hazard Research Group

Author : FUKAMI Kazuhiko

UENOYAMA Toshiya

HIROE Akiko

HASEGAWA Akira

USHIYAMA Tomoki

Abstract : We compared decadal-scale trend of annual precipitation in present climate condition between an observational data and global climate models (GCMs) in order to exclude inadequate GCM with very low reproducibility for each region. A statistical downscaling method based on the bias correction was improved using the bilinear interpolation instead of the nearest-neighbor method. We can discuss model uncertainties of precipitation in the ensemble runs of MRI-AGCM3.2H after the statistical downscaling. For a dynamical downscaling part, first we verified a regional climate model WRF by simulating a severe rainfall event in Pampanga River Basin, Philippines. WRF reproduced rainfall distribution of a typhoon event reasonably, consistent with ground raingauge and satellite images. We confirmed the regional dynamical downscaling model worked well using the reanalysis data. We have also started the preparation of dynamic downscaling of MIROC5 output using WRF.

Key words : climate change, precipitation, statistical downscaling, dynamic downscaling