

地球温暖化による将来の降雨量変化を詳細に評価するための ダウンスケーリング技術

牛山朋来・伊藤弘之

1. はじめに

近年、台風や梅雨前線などにもなう記録的豪雨が毎年のように発生し、それによる洪水・土砂災害が多大な被害をもたらしている。特に平成30年7月豪雨では西日本を中心に230名以上の死者・行方不明者が発生し、令和元年台風第19号とそれに続く大雨では100名を超える死者・行方不明者が生じた。このような大災害が頻発する一要因として、地球温暖化による影響が考えられる。例えば、平成30年7月豪雨における温暖化の寄与については、6.5%の雨量増加影響があったと推定されており¹⁾、既に大きな影響が表れていることが示されている。

今後の治水対策を検討する上で、このような地球温暖化による豪雨の増加を考慮すべきとの議論が高まっている。国土交通省の「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」は、平均気温2℃上昇に伴う将来の降水量の変化倍率が、全国平均で約1.1倍、北海道と九州北西部では1.15倍という気候変動影響の予測結果を踏まえ、治水計画をこれまでの実績降雨を活用した方法から見直すことを提言し²⁾しており、気候や降雨条件の将来推定は喫緊の課題となっている。海外でも温暖化影響研究の重要性は高まっている。特に東南アジアや南アジア等の熱帯域の国々では、世界平均よりも降水量が大幅に大きいのにに対し、河川堤防や治水ダムなどの基盤設備が脆弱であるため、ひとたび豪雨が発生すると被害は甚大である。土木研究所ICHARMでは海外の河川流域を対象とした洪水リスク変化について研究を進めている。

2. 地球温暖化研究による降水量推定

地球温暖化影響を議論するためには、GCM (General Circulation Model)によって地球全体の大気や海洋の状態を推定したデータが用いられる。国際連合の世界気象機関の傘下で推進された

CMIP5 (Coupled Model Inter-comparison Project 5)では、世界各国の研究機関が大気海洋結合GCMによって計算した温暖化実験データを持ち寄り、不確実性を踏まえた温暖化影響を評価する基盤データが作成された。これらはIPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change)の報告書作成に用いられている。ただし、これらGCMの計算結果は解像度が数100kmであるため、日本列島のような複雑な地形の影響を表現することができない。例えば、冬季季節風によって脊梁山脈の日本海側に降る降雪を正しく再現するためには、5km程度の解像度が必要と考えられている。そこで、文部科学省や環境省が推進する気候変動研究プログラムでは60kmや20kmの高解像度大気GCMを用いた温暖化実験を行い、さらに領域気候モデルを用いて日本周辺領域を対象に高解像度化する「力学的ダウンスケーリング」という手法により、解像度5km以下の温暖化実験データを作成している³⁾。また気象研究所や東京大学には大気海洋結合GCMを用いた温暖化実験や、大気GCMを用いた超多数の実験により不確実性を評価できるd4PDF (database for Policy Decision making for Future climate change)、d2PDFなどの先進的な研究も行われている。

力学的ダウンスケーリングに対して、統計的ダウンスケーリングという手法も存在する。これは、比較的簡便な手法を用いてGCMの結果を地域の雨量推定に利用するものである。雨量の空間分布の信頼性には劣るが、計算コストが小さいため、複数のGCMによる推定結果を求めて、推定結果のばらつきを把握することができる。

3. 将来気候の推定方法

3.1 GCMによる温暖化実験

2章で紹介したCMIP5では、不確実性を考慮した温暖化影響を評価することができるが、空間スケールの解像度が数100kmと粗く、そのまま

は河川流域における水文解析等に使いにくいのが欠点である。そこで、流域スケールでの分析に耐える高解像度での降水量変化を評価する手法を紹介する。

GCMは、大気や海洋の支配方程式を時間積分し、大気や海洋の状態を計算する数値シミュレーションモデルである。気候変動研究に使われるGCMとして、大気だけを計算する大気GCMと、大気と海洋を同時に計算する大気海洋結合GCMがある。その他、化学・生物過程をも併せて計算し、炭素循環なども評価できる地球システムモデル(ESM)も近年よく用いられている。これらのGCMは、対象とする計算過程が複雑になるほど計算量も多くなる。しかし、計算機資源は限られているため、解像度を落とすことによって計算時間を抑えるのが一般的である。

我々が用いたMRI-AGCM3.2S(気象研究所大気GCMバージョン3.2S)は水平解像度20km相当であり、世界でも最も高解像度の温暖化実験モデルの一つである。これは、CMIP5では大気海洋結合GCMが用いられるのに対し、海面状態を境界条件として大気の状態のみを内部で計算する大気GCMを用いることで計算量を節約し、大気温暖化データを高解像度で計算可能としたものである。1979～2003年の過去気候と、2075～2099年の21世紀末将来気候のそれぞれ25年間で計算されている。将来気候に関しては海表面温度(SST)をCMIP5の様々なGCMの結果から推定した代表的な分布(クラスター1～3)とその平均値の4種類を用いた実験データが存在する。なお、温暖化シナリオは温度上昇幅が最も大きいRCP8.5(21世紀末の全球平均気温が20世紀末に比べて約4度上昇するシナリオ)のみが用いられている。

また、MRI-AGCM3.2Hという解像度60kmのモデルによる実験も行われている。こちらは、解像度が低いため多くの実験が行われており、温暖化シナリオもRCP2.6(21世紀末の全球平均気温が20世紀末に比べて1度程度上昇するシナリオ)、4.5、6.0(2.6と8.5の中間のシナリオ)、8.5の4種類について計算され、また積雲モデルも3種類が用いられている。

3.2 領域気候モデルによる力学的ダウンスケーリング

上記のMRI-AGCM3.2Sの計算結果を力学的ダ

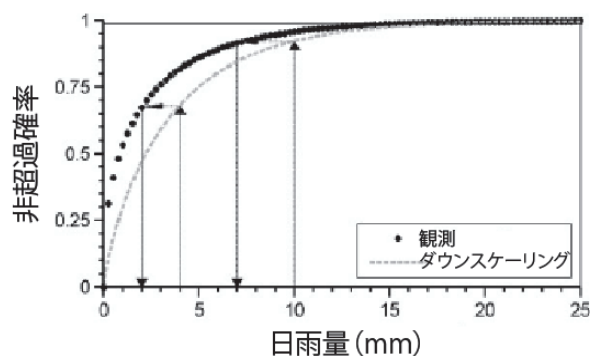


図-1 バイアス補正のマッピング法の概念図。RCMは領域気候モデルを意味する。(Teutschbein and Seibert 2012⁴⁾の図を日本語に改変)

ウンスケーリングすることで、水平解像度5kmの温暖化実験データを作成した。これは、GCMの計算結果を領域モデルの境界条件として与え、領域モデル内部で大気の支配方程式を時間積分して気象要素を計算するものである。計算に用いる領域気候モデルとして、米国で開発され多くの適用例があるWeather Research and Forecasting model(WRF)を用いた。計算対象としたのは、フィリピン・ルソン島のパンパンガ川流域、ミンダナオ島のダバオ川流域、そしてインドネシア・ジャワ島のソロ川流域である。それぞれ15kmと5kmの解像度を持つ2重のモデル領域を用いた。

領域気候モデルの設定には、解像度や計算領域の大きさの他にも、積乱雲による降水過程を表現する積雲モデルが、降水量計算結果に及ぼす影響が大きい。これは、地域によって降水過程に違いがあるためであり、計算においても地域の特性に適合した手法を選ぶ必要がある。

3.3 降水量のバイアス補正

3.2節で再現された過去の降水量は、月降水量・年最大強度・強度別出現頻度などの特徴が地上雨量計観測と一致すべきである。しかし、領域モデルの解像度が十分細くないことなどから、実際にはこれらは完全に一致せず、バイアス(評価誤差)がある場合が多い。洪水・渇水リスクを議論する上では降水量の絶対値が重要であり、できる限りバイアスを除去する必要があるため、バイアス補正を行う。ここでは、一般的に用いられているマッピング法⁴⁾を用いる。これは図-1のように、ある地点の月別の日降水量について、大きさ順に並べた分布を雨量計観測とダウンスケーリングの値が一致するように変換する方法である。

例えば、図-1内の矢印のように、ダウンスケーリング結果が10mmの場合、同じ非超過確率の観測値である7mmに補正するという処理を施す。なお、将来気候の降水量については観測雨量が存在しないため、過去気候における雨量計とダウンスケーリング結果の関係の比率が将来も変わらないと仮定して、バイアス補正を行った。なお、本研究では図-1のマッピング法を改良し、年間の上位0.5%の日雨量は月に関係なく補正を行うInomata⁵⁾の方法を用いた。

4. ダウンスケーリング解析結果

4.1 パンパンガ川流域

図-2に、フィリピン・ルソン島のパンパンガ川流域平均の月降水量分布を示す。黒が雨量計観測、青が過去気候計算によるものであり、両者の値はバイアス補正を施した結果よく一致した。また、赤から黄色の線は将来気候の計算結果に前記の過去気候におけるバイアス補正と同じ補正比率を当てはめた値であるが、過去気候と比べて大きな違いはなく、パンパンガ川流域の月降水量には将来大きな変化はないことを示唆している⁶⁾。

続いて、図-3にパンパンガ川流域の年最大48時間降水量の頻度解析結果を示す。48時間降水量を用いたのは、河口の流量との相関が最も高かったためである。この図の黒・青線が過去気候の結果を表している。一方、赤・オレンジ・黄色で示した海面温度条件の異なる各々の将来気候の値は、特に赤や短破線で示したRCP8.5とRCP8.5C2の直線が上に行くほど右に傾き、再現期間の長い降水量の値が大きいことがわかる。これらの結果から、パンパンガ川流域では、例えば年超過確率1/50の極端降水量であれば、現在の320mmから470mm程度に増えることが予想される。

4.2 ダバオ川流域

図-4に、フィリピン・ミンダナオ島のダバオ川流域平均の月降水量分布の過去気候と将来気候の計算結果（バイアス補正済）を示す。ここでは、赤で示した将来気候の降水量は7～9月で過去気候に比べて大幅に大きくなっていた。一方図-5に示された頻度解析の結果は、再現期間の長い降水量は、将来も現在と同程度であることを示した。このように、ダバオ川流域はパンパンガ川流域と異なり、月平均降水量は将来夏季に増えるものの、

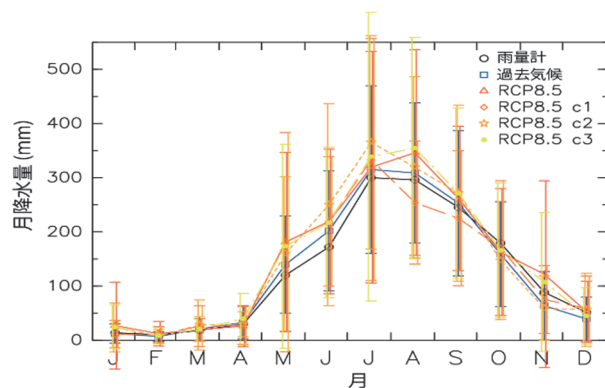


図-2 力学的ダウンスケーリングを行った後のパンパンガ川流域月降水量、バイアス補正済み。直線の色のカプションは右上に示した。C1～C3は海面温度の種類を表す。縦棒は標準偏差。

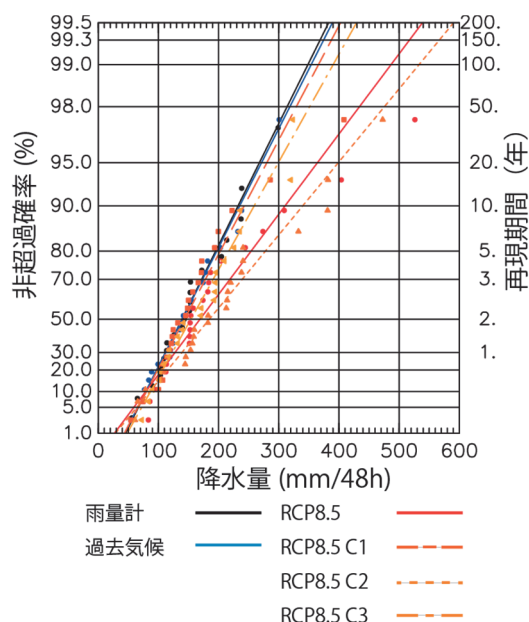


図-3 パンパンガ川流域の48時間降水量の頻度解析。直線はグンベル分布を当てはめたものである。線の色のカプションは図の下に示した。

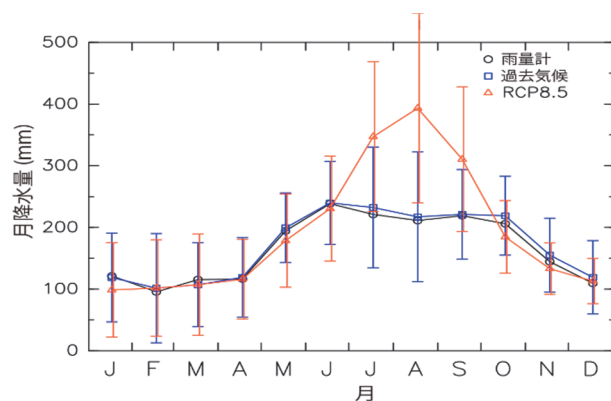


図-4 力学的ダウンスケーリングを行った後のダバオ川流域月降水量、バイアス補正済み。色のカプションは右上に示した。縦棒は標準偏差。

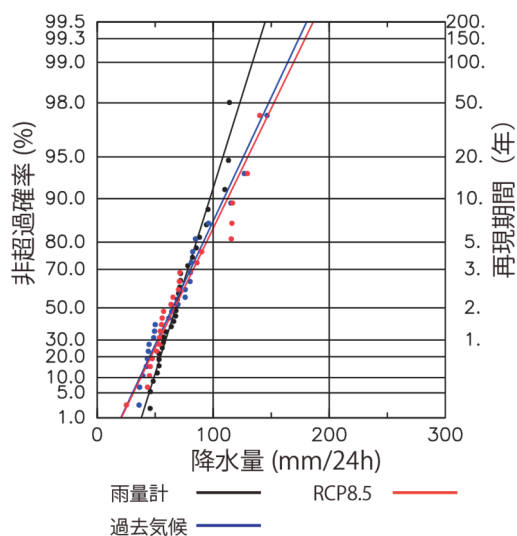


図-5 ダバオ川流域の24時間降水量の頻度解析。
色のキャプションは、図-4と同様である。

極端降水量は将来でも現在とほとんど変わらないという結果が得られた。以上の結果から、パンパンガ川流域とダバオ川流域では将来の降水の変化傾向に違いがあり、洪水リスクの変化にも違いがあることが示唆された。このことは、洪水リスク管理分野における気候変動適応対策のあり方が、両流域で異なり得ることを示唆するものである。また、ここでは、フィリピン・パンパンガ川流域の降水量変化予測に関する分析事例を紹介したが、ダウンスケーリングで重要となる最適なバイアス補正手法や、本報告では紹介できなかった最適な積雲モデルは、インドシナ半島諸国、インドネシアなど、地域によっても異なってくる。それらの地域特性を把握することが、各地域内の河川流域における気候変動適応策を検討する上で重要となる。さらに、図-3の結果にみられるように、この地域では海水面温度の影響が大きく、それによる不確実性が大きいことにも留意する必要がある。

5. まとめ

ICHARMで進められてきた力学的ダウンスケーリングによる温暖化研究データの作成手法と結果について紹介した。その結果、地域に依存した温暖化による降水量変化が定量的に示された。これらの情報は、水文流出モデルに導入し、洪水氾濫リスク評価に用いる予定である。今後、他のGCMを用いて計算期間を増やし、計算結果の信

頼性を強化する他、他の温暖化シナリオについても計算を行い、不確実性を含めた議論を行う予定である。

謝 辞

本研究は、文部科学省気候変動リスク情報創生プログラム、統合的気候モデル高度化研究プログラムの助成を受けた。

参考文献

- 1) 川瀬宏明、津口裕茂、今田由紀子、村田昭彦、野坂真也、仲江川敏之、清野直子、高薮出：近年の気温上昇が平成30年7月豪雨に与えた影響、日本気象学会2019年度春季大会予稿集、p.143、2019
- 2) 国土交通省「気候変動を踏まえた治水計画に係る治水計画のあり方」提言、第5回配布資料、https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/dai05kai/06_dai5kai_teigenan-gaiyou.pdf、2019
- 3) 文部科学省「創生プログラム研究成果集」、https://www.jamstec.go.jp/sousei/jp/product/images/170303_sousei_seika_UP.pdf、2017
- 4) Teutschbein, C., and J. Seibert: Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. J. Hydrology, 456-457, 2012
- 5) Inomata, H., K. Takeuchi, and K. Fukami: Development of a statistical bias correction method for daily precipitation data of GCM20. Annual Journal of Hydraulic Eng. JSCE, 55, S_247-S_252. 2010.
- 6) Ushiyama, T., A. Hasegawa, M. Miyamoto, and Y. Iwami, 2016: Dynamical Downscaling and Bias Correction of Rainfall in the Pampanga River Basin, Philippines, for investigating Flood Risk Change on Global Warming. Hydrological Research Letters, Vol.10(3), 106-112. 2016

牛山朋来



土木研究所水災害・リスク
マネジメント国際セン
ター水災害研究グループ
専門研究員、博士(地球環
境工学)
Dr.USHIYAMA Tomoki

伊藤弘之



土木研究所水災害・リス
クマネジメント国際セン
ター水災害研究グループ
上席研究員
ITO Hiroyuki