

13. ダウンスケーリング解像度とアンサンブル実験数が降雨量変化倍率推計に及ぼす影響の一考察

影山 壮太郎^{1*}・渡部 哲史²・知花 武佳³

¹東京大学工学部（〒113-8656東京都文京区本郷7-3-1）

²東京大学大学院工学系研究科 特任講師（〒113-8656東京都文京区本郷7-3-1）

³東京大学大学院工学系研究科 准教授（〒113-8656東京都文京区本郷7-3-1）

* E-mail: s.kageyama@hydra.t.u-tokyo.ac.jp

本研究では将来の降水量変化倍率推計結果が、大規模気候アンサンブル実験の力学的ダウンスケーリング結果における解像度とアンサンブル実験数によりどのように異なるかについて考察を行った。結果から、詳細な解像度における短時間の減少においては両者の差が特に明確であり、詳細な解像度による実験の重要性が改めて示された。一方で、粗い解像度においては多アンサンブルによりもたらされる結果の幅が極端な現象の推計に資する可能性があることも示された。また、降雨継続時間が長時間で雨域面積が広い場合に低解像度多アンサンブルが適することが示唆された。

Key Words : d4PDF, precipitation, downscaling, ensemble simulations, climate change

1. はじめに

気候変動を踏まえた治水計画の立案に際し、将来の降水量を適切に把握することが求められている。気候変動に対する予測は世界で盛んに行われており、我が国においても文部科学省により地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)¹⁾が公開されている。このような背景を受け、国土交通省²⁾では今後の治水計画の策定にあたり、将来の降雨量が現在の降雨量と比較して何倍になるかという値について、上述のd4PDFを日本域にダウンスケールした結果を基に推計した結果を公表している。

日本域を対象としたd4PDFの力学的ダウンスケーリングは複数行われている。まず日本全域を対象とした20km解像度の実験³⁾は6つの海面水温 (SST) パターンに対してそれぞれ15のアンサンブル実験が行われている。さらに細かい解像度を対象とした実験として、国道交通省等³⁾による北海道および九州を対象とした5km解像度の実験と、Sasai et al.⁴⁾による北海道と沖縄を除く地域を対象とした5km解像度の実験が行われている。詳細な5km解像度の実験のうち前者の北海道および九州を対象としたものは20km解像度と同様のアンサンブル数の実

験が行われている一方で、後者のものはその1割程度のアンサンブル数の実験しか行われていない。国土交通省²⁾では北海道地方、九州地方を対象とした20km解像度と5km解像度の実験結果の比較を実施しており、5km解像度の実験が強い降雨の頻度をより実績に近く再現することを示している。さらに、アンサンブル実験数の違いがもたらす影響の調査として、筑後川流域において2つの5km解像度の実験結果についての比較も実施しており、アンサンブル数の少ない実験結果ではSSTによる結果の差が大きな傾向があることを示している。

大量のアンサンブル実験結果を有するd4PDFを利用することで予想の不確実性について考慮した将来予想を実現することが期待できる。ただし、このアンサンブル実験結果の数はモデルの解像度とトレードオフの関係がある。解像度は高いほど、アンサンブル数は多いほど良いが両方を満たすことは計算資源を考えると現実的には難しい。これらの最適な組み合わせについて検討する必要がある。

以上の点を踏まえ、本研究ではダウンスケールの解像度とアンサンブル実験数の違いが降水量変化倍率の推計結果に及ぼす影響について明らかにすることに取り組む。具体的には国土交通省により推計された方法と同様の方

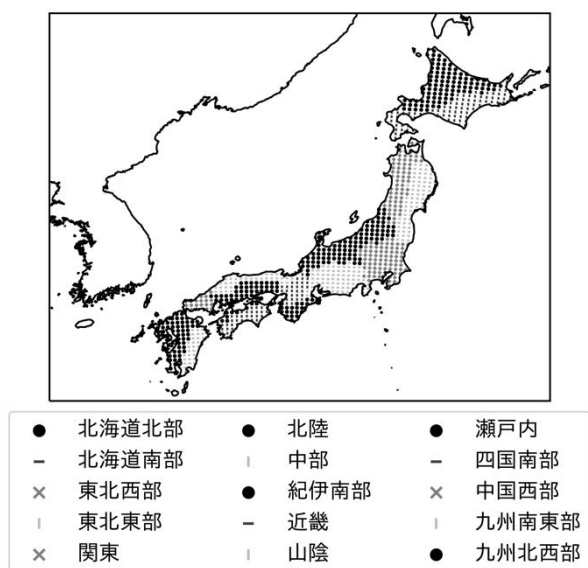


図-1 20kmメッシュにおける座標と地域区分

法を用いて 20km 解像度の実験結果から計算し、その結果を国土交通省のものと比較する。つまり、解像度が低いアンサンブル数が多いデータによる結果と解像度が高いアンサンブル数が少ないデータによる結果を比較する。この比較を通じて解像度とアンサンブル数が降水量変化倍率に及ぼす影響について考察する。

2. 手法

(1) 利用データ

d4PDFの領域モデル実験の現在気候60年50アンサンブル計3000年、将来気候の60年6SST15アンサンブル計5400年の降水量を対象に解析を行う。これらの解析は国土交通省による推計と同様の地域区分（図-1）において実施する。この地域区分により推計を行いその結果を国土交通省²⁾による推計（以降、国交省推計）と比較する。各地域の領域は国土交通省による推計²⁾を基に設定した。

(2) 計算手法

全ての時刻において、全てのメッシュを対象にn時間降雨($n = 1, 2, 3, 6, 12, 24, 48, 72$)を計算し、地域区分ごと、降雨面積ごと ($400\text{km}^2, 800\text{km}^2, 1200\text{km}^2, 1600\text{km}^2$)にn時間降雨の年最大降雨を計算し、それらを各SSTで一つにする。次に、各SSTで一つとなった集団に対してガンベル分布を当てはめ、再起期間が100年に相当する降水量を推計する。ここで、ガンベル分布の母数推計はL積率法を用いた。

各降雨面積における降雨の計算ではメッシュの各点の降雨が格納された行列に対し、面積に対応するメッシュ数

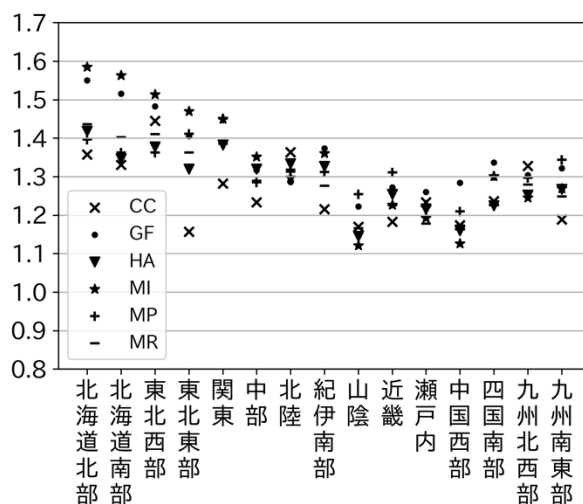


図-2 各地域区分におけるSSTごとの降雨量変化倍率

に該当するあらゆる形状における降水量を求める。例えば、 1600km^2 の場合、対象とする格子を含む4つのメッシュのあらゆる形状（東西に直線の4メッシュ、南北に直線の4メッシュ、該当メッシュに接する東西および南北の4メッシュのうち3メッシュと該当メッシュを含む丁の字型の4メッシュ、該当メッシュに対して東西南北のいずれかの方向に1メッシュと2メッシュを含むL字型など）に対して降水量を求める。なお、国土交通省推計では5km解像度の実験結果を用いているため、計算負荷に関する問題から、本研究のようにすべてのメッシュ形状に対して計算を行っていない。本研究における推計結果の比較は、各面積に対応する降雨の抽出方法に由来する差の比較も含んでいることとなる。

3. 結果

(1) 地域区分ごとの降雨量変化倍率

将来降雨の変化量倍率について、各地域区分でSST別の結果を求めた（図-2）。ここでは、まず各降雨継続時間、各雨域面積について平均した結果を比較する。

縦軸は現在から将来に対する再現期間100年の降水量の変化倍率を地域ごとに示している。各SSTの推計結果をプロットにおける記号で表している。

北海道や東北などでは1.3から1.6程度と他の地域と比べて高い値となっている。一方で近畿、山陰中国西部では1.3を下回っている。東北東部など一部の地域では、特定のSSTにおける結果が他と大きく異なるという事例が見られたが、その他の地域においてはSSTにおける結果の差は倍率で0.2程度の範囲に収まるものであった。

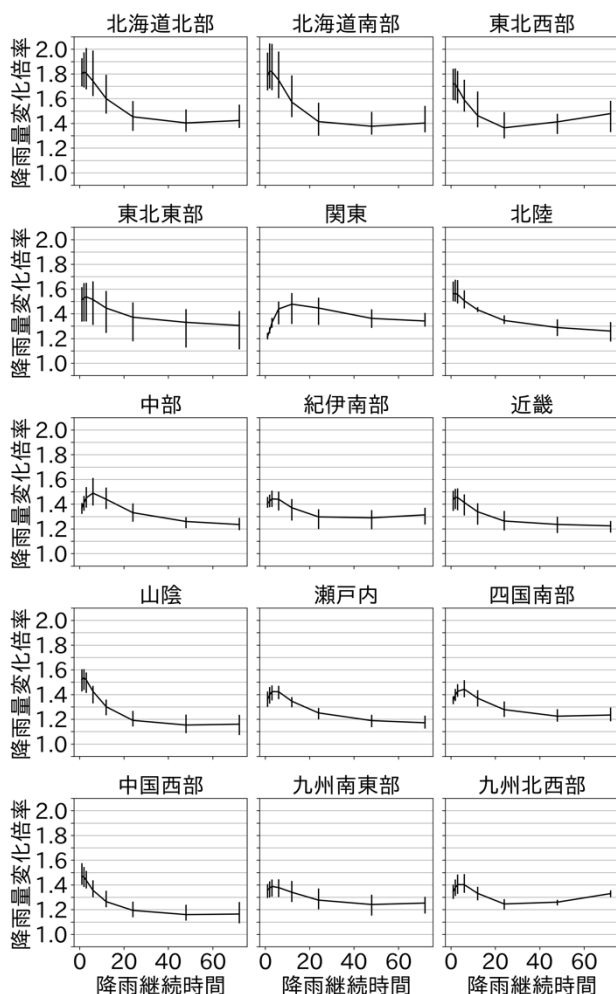


図-3 雨域面積400km²での各地域区分における降雨継続時間と降雨量変化倍率の関係。エラーバーは6つのSSTによる予測の幅を示している

これらの結果はおおむね国土交通省推計と同様の傾向を示している。ただし、国土交通省推計と比べ本研究の結果はSST間の差が小さくかつSSTのうち最小となる倍率が高い傾向が見られた。

(2) 降雨継続時間と降雨量変化倍率の関係

次に降雨継続時間と降雨量変化倍率の関係について確認する。図-3は対象とする各地域における降雨継続時間と降雨量変化倍率について示したものである。九州北西部、東北西部を除けば降雨継続時間が長時間になるにつれて降雨量変化倍率が下がる傾向が確認できる。また、平均値の推移自体が北東の地域ほど特に短時間で極端になっていること、海面水温によってもたらされる結果の幅は降雨継続時間とは明確な関係がないことが確認できる。

これらの結果も概ね国土交通省推計と一致している。一

表-1 地域区分、降雨継続時間、雨域面積別の降雨量変化倍率

雨域面積(km ²)		400	1600	雨域面積(km ²)		400	1600
北海道北部	12時間	1.60	1.57	近畿	12時間	1.34	1.30
	24時間	1.45	1.44		24時間	1.26	1.23
	48時間	1.40	1.39		48時間	1.24	1.19
北海道南部	12時間	1.57	1.50	山陰	12時間	1.30	1.27
	24時間	1.41	1.38		24時間	1.19	1.16
	48時間	1.38	1.35		48時間	1.15	1.12
東北西部	12時間	1.46	1.44	瀬戸内	12時間	1.35	1.31
	24時間	1.36	1.37		24時間	1.25	1.21
	48時間	1.41	1.42		48時間	1.19	1.15
東北東部	12時間	1.45	1.40	四国南部	12時間	1.37	1.35
	24時間	1.37	1.35		24時間	1.28	1.27
	48時間	1.33	1.33		48時間	1.22	1.23
関東	12時間	1.48	1.43	中国西部	12時間	1.26	1.24
	24時間	1.45	1.40		24時間	1.19	1.18
	48時間	1.36	1.34		48時間	1.16	1.15
北陸	12時間	1.43	1.39	九州南東部	12時間	1.34	1.32
	24時間	1.35	1.32		24時間	1.28	1.27
	48時間	1.29	1.27		48時間	1.24	1.23
中部	12時間	1.44	1.38	九州北西部	12時間	1.33	1.30
	24時間	1.33	1.29		24時間	1.25	1.23
	48時間	1.26	1.24		48時間	1.26	1.27
紀伊南部	12時間	1.37	1.34	全国平均	12時間	1.41	1.37
	24時間	1.30	1.28		24時間	1.31	1.29
	48時間	1.29	1.29		48時間	1.28	1.26

方で、北海道や東北を除く地域では本研究による推計結果における6つのSSTによる予測の幅は国交省推計と比べ小さなものとなっている。

6つのSSTの結果を平均した値を表-1に示す。多くの地域において降雨時間および降雨面積で明確な差は見られなかった。国交省推計と比較すると長時間、広い雨域面積では両者が近い値となっている。広い降雨面積では20kmの実験結果が5kmの実験結果と近づくというを示しており、妥当な結果と考えられる。

4. まとめ

降水量の将来変化倍率に関して、低解像度多アンサンブルによる結果と高解像度少アンサンブルによる結果を比較した。特に小さい雨域面積、短い降雨継続時間で平均値が異なっていた。低解像度実験をこれらに用いることの課題が示されたと言える。

降雨継続時間と降雨量変化倍率の関係を比較した結果では、降雨継続時間による倍率の変化が本研究と国交省

推計で異なっていた。降雨継続時間により影響力のある現象が異なることを考えると解像度の差による再現性の差が現象により異なり、解像度に左右されにくい降雨継続時間、左右されやすい降雨継続時間があることが示唆される。6つのSSTの結果を平均した降雨量変化倍率を平均した値の比較結果では、広い雨域面積で国交省推計と近い値になっていることと合わせると降雨継続時間が長く雨域面積が広い場合には解像度による差は顕在しにくい。一方、アンサンブル数による差は条件による変化が少なく常にアンサンブル数が多いほどばらつきは小さいため、解像度とアンサンブル数の最適な組み合わせは計算の対象となる降雨継続時間、雨域面積によって変化し、降雨継続時間が長い場合雨域面積が広い場合低解像度多アンサンブルが、降雨継続時間が短い場合雨域面積が広い場合には高解像度少アンサンブルが適することが示唆された。

詳細な解像度のモデルによる推計結果の活用は詳細な現象に関する理解のために必要不可欠であるが、稀な現象の理解のためには多数のアンサンブル実験を行うことが必要である。あらゆる地域に対して詳細な実験が行えることが最も望ましいが、それが叶わない場合には着目する現象と発生頻度を踏まえて両者を使い分けることが必要になると考えられる。本研究はこれらの点に資するための基礎的な知見を得るための取り組みである。本報告においては倍率を比較するに留まったが、降雨量自体を比較することで更なる示唆が得られると考えられる。

謝辞：本研究は東京大学社会連携講座「水循環データ統合の展開学」、JSPS科研費（18K13834, 18H01543）、文部科学省委託統合的気候モデル高度化研究プログラムにより実施された。本研究では、文部科学省による複数の学術研究プログラム（「創生」、「統合」、SI-CAT, DIAS）間連携および地球シミュレータにより作成されたd4PDFを使用した。

参考文献

- 1) Mizuta R., and co-authors: Over 5,000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models. Bull. Amer. Meteor. Soc., 98, 1383–1398, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0099.1>. 2017.
- 2) 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会：気候変動を踏まえた治水計画のあり方。2020.
- 3) 国土交通省北海道開発局，北海道，北海道大学：気候変動を踏まえた新しい洪水リスク解析。一般財団法人北海道河川財団。2019.
- 4) Sasai, T., Kawase, H., Kanno, Y., Yamaguchi, J., Sugimoto, S., Yamazaki, T., et al.: Future projection of extreme heavy snowfall events with a 5-km large ensemble regional climate simulation. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2019; 124: 13975–13990. <https://doi.org/10.1029/2019JD030781>