

気候予測の不確実性を考慮したダウンスケーリング技術の開発

課題責任者

佐藤 友徳 北海道大学 大学院地球環境科学研究所

著者

佐藤 友徳 北海道大学 大学院地球環境科学研究所

山田 朋人 北海道大学 大学院工学研究所

稲津 将 北海道大学 大学院理学研究所

初塚 大輔 北海道大学 大学院地球環境科学研究所

藤田 実季子 海洋研究開発機構 シームレス環境予測研究分野

我が国における気候変動適応策を社会実装するためにグローバルな気候予測をダウンスケーリングし、詳細な気候変動予測を行う必要がある。ここでは、アンサンブル予測データを高度利用することで、効率的かつ理解し易い情報公開を可能にする手法を試行し、その潜在的有用性を評価した。日本周辺域の降水量の将来変化を調査するためにd4PDFの全球モデルデータを用いた月降水量の解析を行った。夏季（7、8月）の月降水量は、北海道で気候値および異常多雨月の降水強度の増加を示し、将来、大雨の頻度が増加することが示唆された。一方、西日本では、異常少雨月の降水強度の低下が顕著に見られ、将来、より深刻な干ばつに見舞われる可能性があることが分かった。冬季（1、12月）の月降水量は日本のほぼ全域で気候値および異常多雨月の降水強度の増加を示した。冬季降水量の増加は地球温暖化による大気中の水蒸気量の増加や温帯低気圧の活動の変化が要因として考えられる。

キーワード：極端降水, 干ばつ, 気候変動適応, ダウンスケーリング, 降水量変化

1. 背景

気候変動によって生じる負の影響を軽減するために、適応策を立案し社会実装することが急務であり、そのための詳細な地域気候予測に対する需要が急速に高まっている。特に、社会の様々な分野に影響を及ぼす洪水や干ばつなど気象に関連する外部強制に起因するリスクを低減するための対策が求められている。そのためには、これらの外部強制の強度や頻度を科学的な知見に基づいて評価する必要がある。しかし、低頻度ながらインパクトの大きな事象の発生確率を評価するためには、従来の地域レベルの将来予測情報では実験期間の長さにより制約があるため統計解析に必要な事例数が不十分であった。さらに、適応策を社会実装する際のもう一つの障壁として、モデルによる予測結果の解釈の難しさが挙げられる。極端な気象に関連する事象の発生確率やリスクが定量的に評価されて、この情報に基づいて政策決定者は重要な意志決定を行うことになるが、リスク評価結果を適確に理解し市民に伝達するためには気候予測の条件や統計に関する高度な知識が求められる。

これらの諸課題を克服するために、本研究では各地域で生じうる極端な気象事例の将来予測を分かり易く表現するための手法を検討した。ここでは、大規模アンサンブル実験データを用いた結果を述べる。日本周辺における極端な降水事象の将来変化を調査するために、ここでは創生プログラムのもとで作成された、地球温暖化施策決定に資する気候再現・予測実験データベース（d4PDF）の月平均値データを解析した。極端降水に関する先行研究（例えば Kimoto et al., 2005[1]; Yamada et al., 2014[2];

Kawase et al., 2015[3]）では、短時間強雨や流出制御の対策に資する1時間～数日程度の短期間の降水強度に関する研究が主である。一方、1ヶ月程度の時間間隔における積算降水量の極値については、水資源や農業分野等の影響予測において重要であると考えられるが、これまであまり言及されてこなかった。このため、本研究では、日本周辺における夏季と冬季の月降水量の確率分布について解析を行った。

2. データと手法

本研究で使用したデータは水平解像度約60kmの気象庁気象研究所全球大気モデルMRI-AGCM3.2（Yukimoto et al. 2012[4]）を用いて実施されたアンサンブル実験出力のd4PDF（Mizuta et al. 2017[5]）である。将来実験は、RCP8.5シナリオの21世紀末に相当する設定で行われている。ここでは、過去実験（61年、100メンバ）と4℃上昇実験（61年、90メンバ）の月降水量を使用する。まず、各データ格子について両実験における月降水量の超過確率、確率降水量をそれぞれ計算し、次にこれらの値の将来変化を検証した。解析結果の伝達を平易にするため、実際に過去に観測された降水量を参照することとした。具体的には、札幌の2016年8月と12月における月降水量を例として採用する。ここに例示するように過去に観測された降水量を参照することで、異常降水のリスクが気候変動に伴って将来どのように変化するかを市民が実感を持って想像できるようになる効果が期待される。

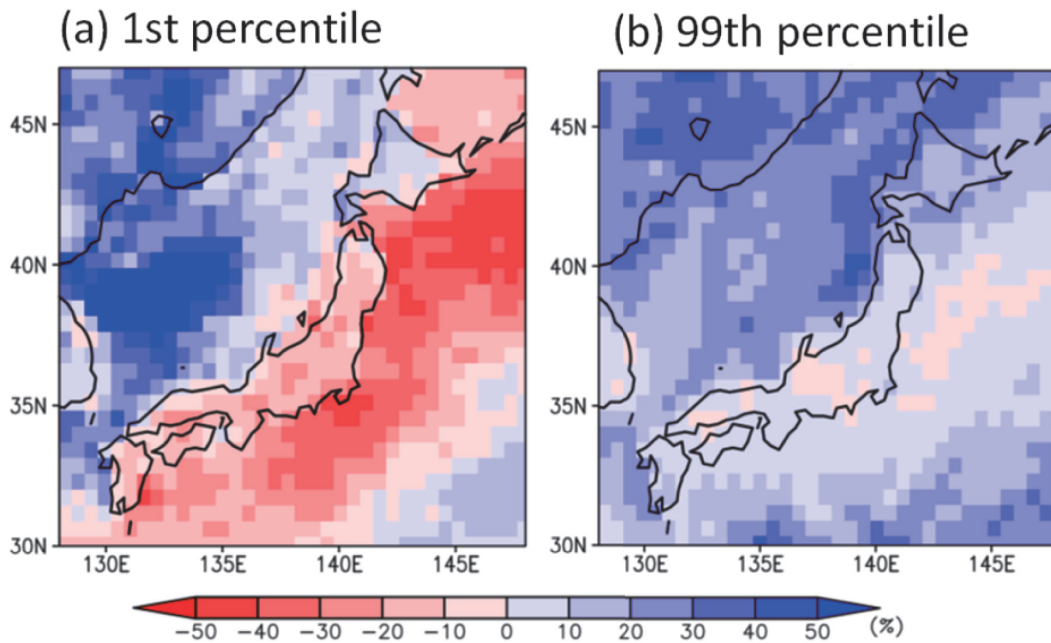


図1 8月における (a) 異常少雨年および (b) 異常多雨年の月降水量の将来変化率。

3. 夏の月降水量極値の変化

8月における月降水量極値の将来変化を図1に示す。ここでは、およそ100年に1回程度の頻度に着目するため、異常少雨および異常多雨の条件として月降水量の1パーセント値および99パーセント値を閾値として用いた。過去および将来のそれぞれについて決定した異常少雨年における降水量は、北海道を除いて、将来は減少する傾向を示した。これは、100年に1回程度の夏の少雨が将来はさらに深刻になることを示している。一方で、異常多雨年の降水量は西日本や東日本では明瞭な変化はみられないが、日本海上や北海道でさらに増加する傾向であることが読み取れる。北海道では、異常多雨年の降水量は10～30%の増加がみられ、将来の多雨年がこれまでよりも深刻になることが懸念される。

札幌における1876年～2016年の過去141年間の観測データにおいて2016年8月は8月として7番目に降水量の多い月であり、再現期間20年程度の規模の事例であった。これに対応するd4PDFにおける札幌相当グリッドの確率降水量は297.3mm/monthである。4K上昇実験における同様の20年確率降水量は367.4mm/monthであることから、図1と同様に異常多雨年の降水量がより強まる傾向であることが分かる。過去実験における20年確率降水量(297.3mm/month)と同程度の降水規模は、4K上昇実験では再現期間が7.7年となり、これまでよりも異常多雨の頻度が増加することを示唆している。

4. 冬の月降水量極値の変化

次に12月における異常多雨年の将来変化を図2に示す。12月の異常多雨年の降水量は4K実験で増加していることが確認できる。これは、冬季の平均降水量が増加することとも類似しており、大気中の水蒸気が将来増加する傾向にあることが関係していると考えられる。また、中緯度の低気圧活動の変化と関係している可能性がある。

夏季と同様に札幌における過去の観測データを参照すると、2016年12月は12月として過去2番目に降水量が多い(206mm/month)年であり、100年あたりに換算するとおよそ1.5回の頻度である。したがって、図2の結果は、2016年12月に札幌で観測された事例と同程度の異常多雨が、将来はより頻繁に起こるようになる、という傾向を示していると翻訳することができる。

以上、日本周辺における月降水量の異常年の特徴を踏まえると、8月は北海道周辺で異常多雨、他の地域では異常少雨、さらに12月は日本各地において異常多雨の頻度がそれぞれ増加する傾向が示されており、これらに対する影響の予測と対策の検討が求められる。また、上述のように、各地域で過去に発生した事例を参照することで、当該地域において降水量極値の伝達が容易になることが期待される。ただし、さらに定量的な降水量変化の傾向を明らかにするためには、今後、ダウンスケーリング実

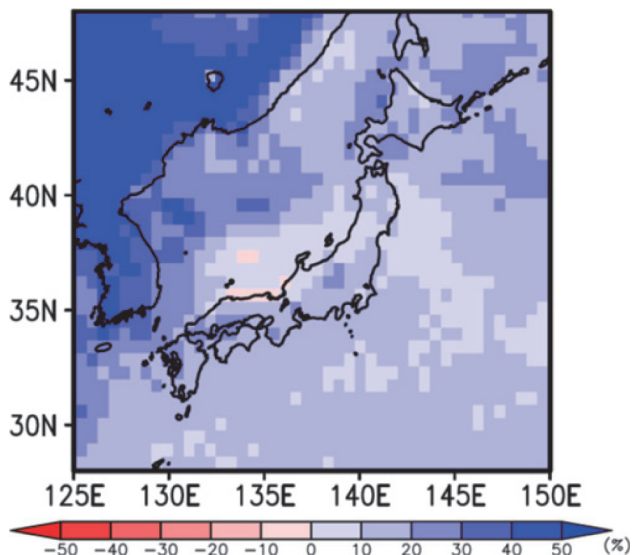


図2 12月における異常多雨年の月降水量の将来変化率。

験とその出力の解析が必要である。

謝辞

本研究は、文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) の支援により行われました。

文献

- [1] Kimoto, M., Yasutomi, N., Yokoyama, C., and Emori, S., 2005 : Projected changes in precipitation characteristics around Japan under the global warming. SOLA, 1, 85-88.
- [2] Yamada, T. J., Farukh, M. A., Fukushima, T., Inatsu, M., Sato, T., Pokhrel, Y. N., and Oki, T., 2014 : Extreme precipitation intensity in future climates associated with the Clausius-Clapeyron-like relationship. Hydrol. Res. Lett., 8, 108-113.
- [3] Kawase, H., Sasaki, H., Murata, A., Nosaka, M., and Ishizaki, N. N., 2015 : Future changes in winter precipitation around Japan projected by ensemble experiments using NHRCM. J. Meteor. Soc. Japan, 93, 571-580.
- [4] Yukimoto, S., et al., 2012: A new global climate model of Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3 -- model description and basic performance --. J. Meteor. Soc. Japan, 90A, 23–64, doi:10.2151/jmsj.2012-A02.
- [5] Mizuta R. et al., 2017: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models. Bull. Amer. Meteor. Soc., DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0099.1>, in press.

A Development of Downscaling Method Considering the Uncertainty of Climate Prediction

Project Representative

Tomonori Sato Faculty of Earth Environmental Science, Hokkaido University

Authors

Tomonori Sato Faculty of Earth Environmental Science, Hokkaido University

Tomohito J. Yamada Faculty of Engineering, Hokkaido University

Masaru Inatsu Faculty of Science, Hokkaido University

Daisuke Hatsuzuka Faculty of Earth Environmental Science, Hokkaido University

Mikiko Fujita Department of Seamless Environmental Prediction Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

To implement social adaptation action against the climate change in Japan, it is necessary to utilize the detailed climate change projections generated by the dynamical downscaling of the global climate projections. Here, we designed and demonstrated a methodology that provides user-friendly information on regional climate change in extreme weather events by using the output of intensive ensemble experiments. In order to investigate future changes of extreme precipitation in the surrounding areas of Japan, monthly precipitation provided by the d4PDF archive was analyzed. In Hokkaido the intensity and frequency of abnormally high summer precipitation is increased in the future in July and August. On the other hand, in western Japan, the probability of abnormally high monthly rainfall is reduced, indicating that there is an increasing possibility of severe droughts in the future. Meanwhile, abnormally high winter precipitation showed an increase across Japan in December and January. The increase in the amount of water vapor in the atmosphere and the change in middle latitude storm activities are considered to be associated with the increased frequency of abnormal monthly precipitation in winter.

Keywords: extreme precipitation, drought, climate change adaptation, downscaling, precipitation change

1. Introduction

There has been rapidly increasing demands for detailed regional climate projections aiming at promoting social adaptation strategies to minimize the harmful influences caused by climate change. It is important to take appropriate counteractions to reduce the risk caused by weather-related forcing, such as floods and droughts which potentially induce multi-sectoral damages. Therefore, the magnitude and occurrence frequency of such forcing events need to be evaluated. However, the available information on regional climate change is limited in terms of the number of extreme weather event samples which is necessary for evaluating the probability (or return period) of the rarely occurring strong forcing events because of the limited length of climate simulations.

Another barrier for the social implementation of adaptation strategies is the difficulty in interpretation of the simulated results. Based on the quantitative evaluation of the probability or the risk of extreme events, policymakers must understand the scientific meaning of the risk and interpret it to citizens at the time of crucial decision making. However, it requires sufficient knowledge in meteorology and statistics.

To overcome these issues, we developed and demonstrated

a methodology that provides user-friendly information on regional climate change focusing on extreme weather events by using the output of intensive ensemble experiments. In order to investigate future changes of extreme precipitation in the surrounding area of Japan, monthly precipitation provided by the d4PDF (database for Policy Decision making for Future climate change) archive was analyzed. Many earlier studies conducted analysis on short-ranged extreme precipitation, such as accumulated precipitation ranging from hourly to several day timescales (e.g., Kimoto et al., 2005[1]; Yamada et al., 2014[2]; Kawase et al., 2015[3]), which is useful for discussing adaptation strategies for reducing disasters related to heavy rainfall and also river discharge controls. Meanwhile, the future change in probability of monthly total precipitation is poorly understood despite abnormal weather conditions which is likely to persist in a monthly timescale is essential for evaluating the impact of climate to water resource and agricultural yields. As reasons mentioned above, this study analyzed the probability of monthly total precipitation in summer and winter around Japan.

2. Data and Method

The dataset used is d4PDF (Mizuta et al. 2017[4]) which is derived from intensive ensemble experiments by 60km mesh

MRI-AGCM3.2 (Yukimoto et al. 2012[5]) corresponding to end of the 21st century under the RCP (Representative Concentration Pathway) 8.5 scenario of CMIP5. In this study, monthly mean precipitation and other meteorological variables in present climate run (Historical simulation; 61 years and 100 ensemble members) and future climate run (+4K future simulation; 61 years and 90 ensemble members) was used. Firstly, exceedence probability of monthly total precipitation for each month was calculated at each grid point. Secondly, future change in the amount of monthly precipitation was evaluated. To establish a user-friendly outcomes, we consider the reference precipitation amount by taking account of the observed precipitation value in past years. In this demonstration, precipitation amount observed at Sapporo in August and December 2016 was adopted as an example. By using this reference precipitation amount, local citizens is expected to easily imagine the intensity and impact of climate forcing to be discussed in relation to climate change.

3. Abnormal precipitation in summer

Figure 1 displays future change in extreme monthly precipitation in August. The abnormally low (high) precipitation years were defined as years when monthly total precipitation was below 1st percentile (above 99th percentile) level, corresponding to once per century severe dry (wet) years in summer. Future change in monthly precipitation at low precipitation extremes shows decreasing tendency in many areas of Japan except for Hokkaido. This means the intensity of once per century drought becomes more severe in the future climate. Total precipitation in extreme wet years become larger in future climate over the Sea of Japan. The change was not clearly identified over western and eastern Japan. In contrast, in Hokkaido 99th percentile value increased by 10-30% relative to the present climate, indicating abnormally high precipitation years that occur once per 100 year become more severe in the future climate.

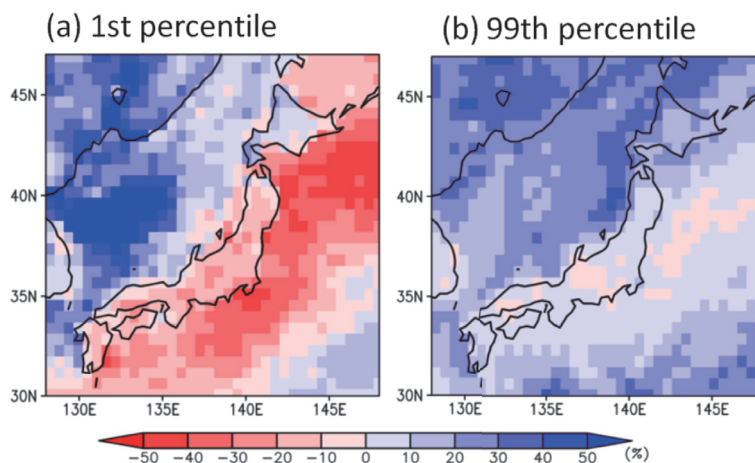


Fig. 1 Future change (defined as percentage change) in monthly precipitation in August for abnormally (a) low and (b) high precipitation year defined as 1st and 99th percentiles, respectively.

According to the 141-year-long observation record during 1876-2016 in Sapporo, August 2016 was ranked 7th largest precipitation, approximately corresponding to the 95th percentile monthly precipitation and return period of 20 years. In the present climate run, 95th percentile monthly precipitation in Sapporo is 297.3 mm/month. The once per 20-year monthly precipitation is increased by 367.4 mm/month indicating that future wet year is stronger than the current one. The change in return period for monthly precipitation of 297.3 mm, i.e. current once per 20-year precipitation, is projected to be shortened by 7.7 year, suggesting that abnormal wet summer in present climate tends to occur more frequently in the future.

4. Abnormal precipitation in winter

Figure 2 shows future change of monthly precipitation in abnormally wet December. Extremely high winter precipitation tends to be larger in future climate similar to mean winter precipitation change. This is consistent with the likelihood that the increase in atmospheric water vapor content and also likely due to the change in middle latitude storm activities. Among the past observed monthly precipitation since 1876 in Sapporo, the December 2016 was ranked second highest precipitation month (206 mm/month), approximately corresponding to the frequency of 1.5 times per century. Therefore, the result can be interpreted as, in Sapporo very wet winter like 2016 December is likely to occur more frequently and become more strong in the future.

These results suggest adaptation actions for summer precipitation need to be arranged for each region, i.e. adaptations to increasing wet summers in Hokkaido region and to increasing dry summers in other regions, while winter precipitation extremes call adaptations to increasing wet winters across Japan.

Acknowledgements

This study was supported by SI-CAT (Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology) funded by Ministry of Education, Culture, and Transportation.

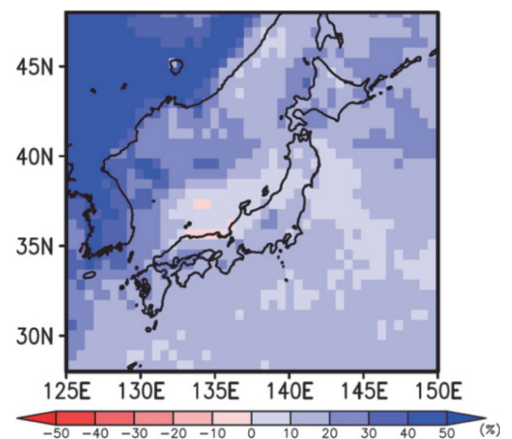


Fig. 2 Future change in monthly precipitation in December for abnormally high precipitation year defined as 99th percentile value of monthly precipitation.

References

- [1] Kimoto, M., Yasutomi, N., Yokoyama, C., and Emori, S., 2005 : Projected changes in precipitation characteristics around Japan under the global warming. SOLA, 1, 85-88.
- [2] Yamada, T. J., Farukh, M. A., Fukushima, T., Inatsu, M., Sato, T., Pokhrel, Y. N., and Oki, T., 2014 : Extreme precipitation intensity in future climates associated with the Clausius-Clapeyron-like relationship. Hydrol. Res. Lett., 8, 108-113.
- [3] Kawase, H., Sasaki, H., Murata, A., Nosaka, M., and Ishizaki, N. N., 2015 : Future changes in winter precipitation around Japan projected by ensemble experiments using NHRCM. J. Meteor. Soc. Japan, 93, 571-580.
- [4] Mizuta R. et al., 2017: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models. Bull. Amer. Meteor. Soc., DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0099.1>, in press.
- [5] Yukimoto, S., et al., 2012: A new global climate model of Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3 -- model description and basic performance --. J. Meteor. Soc. Japan, 90A, 23–64, doi:10.2151/jmsj.2012-A02.