

平成 30 年 5 月 11 日現在

機関番号：82109

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26800243

研究課題名(和文) 気候モデルによるアンサンブル季節予報を用いた極端異常気象予測

研究課題名(英文) Probabilistic seasonal forecast of extreme events based on a numerical climate model

研究代表者

今田 由紀子(金丸由紀子)(Imada (Kanamaru), Yukiko)

気象庁気象研究所・気候研究部・主任研究官

研究者番号：50582855

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：近年実用化が進められている季節予報では、アンサンブルメンバー数および解像度の不足から、地形性の大雨などの局所的な極端現象の発生確率を予測することは困難である。本研究では、季節予報のメンバー数を補填し、さらに高解像度の地域気候モデルを用いてダウンスケーリングする疑似季節予報実験を実施し、九州地方の地形性の大雨の発生確率予測に挑戦した。高解像度化により、大雨発生プロセスの地域差をモデルが妥当に再現し、発生確率の予測可能性が向上することが確認できた。また、メンバー数を増やしたことで予測スキルにも改善が見られたが、実用レベルには達しておらず、さらなるモデルの高解像度化が必要であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：It is challenging to apply the seasonal prediction system based on a numerical climate model to probabilistic forecast of local extreme events such as orographic local heavy rainfall due to lack of ensemble size and spatial resolution. In this work, I conducted large-ensemble seasonal hindcast in combination with dynamical downscaling based on a high-resolution regional climate model (RCM), and challenged probabilistic hindcast of local extreme heavy rainfall in Kyushu.

The RCM can capture regional differences in heavy rainfall processes, resulting in improved potential predictability of the event probability. Furthermore, probabilistic prediction skill has also been improved through the use of enough ensemble members, although it does not reach a level of practical use. Further advanced numerical models are required.

研究分野：気候力学・気候モデリング

キーワード：季節予報 異常気象の確率予測 ラージアンサンブル 気候モデル ダウンスケーリング 九州豪雨

1. 研究開始当初の背景

研究を開始した平成 26 年当初は、数値モデルを用いて数か月先の気候の予報を行う季節予報の精度向上が進み、期待が高まりつつある時期であった。一方で、世界各地で猛暑や大雨などの異常気象が頻発し社会問題となっていたが、長い時間スケールの平均的な気候の変動傾向を予測する季節予測を異常気象の予測に直接結びつけることは困難であり、季節予測プロダクトをいかに社会に還元するかが大きな課題となっていた。

大雨などの極端現象は、季節予測で予測可能なシグナル成分に、大気の流れの中で偶発的に発生する揺らぎ(ノイズ)が加わることでもたらされる。季節予測では、ランダムな摂動を埋め込んだ複数の初期値から予測を開始することで(これをアンサンブル予測と呼ぶ)、大気ノイズによる予測値のばらつきを表現し、その平均を取ることでノイズを除去して予測値を導く。しかしこの方法では、大気ノイズが加わることで生じる極端異常気象を捉えることはできない。また、現行のアンサンブル予測では、メンバー数は数十本に限られており、30年に一度の確率で生じるような異常気象を捉えるには十分なアンサンブル数であるとは言えない。

数値モデルを用いた予測のもう一つの大きな問題点は、地域的な降水現象を再現できるほどの性能を有していないことである。時間スケールの長い現象を扱うためには全球モデルの利用が不可欠であるが、計算資源の制約から、必然的に解像度は限られてしまうため、数百 km スケールの現象を扱うことしかできない。一方で、実際に甚大な被害をもたらす大雨などの異常気象は局所的に発生するものであり、異常気象予測のボトルネックとなっている。

2. 研究の目的

前述の通り、現行の季節予測システムは、異常気象の発生確率を予測できるような仕様になっていない。局所的な豪雨などの極端現象を扱うためには、アンサンブルメンバー数を増やすこと、解像度を上げること、の2点が課題となってくる。本課題では、とを季節予測システムに取り入れて、異常気象の発生確率を予測する新しい予測システムのプロトタイプを作成し、手法の有効性を検証することを目的としている。

3. 研究の方法

当所は、課題代表者が開発に携わった季節予測システム(日本を代表する気候モデルの一つである MIROC5 をベースとしたシステム。大気解像度は約 150km、アンサンブルサイズは 8 メンバー)を用いることを計画していた。アンサンブル数を 100 メンバーまで増加させ、課題代表者が考案した統計的ダウンスケーリング手法を適用して地域的な豪雨現象を表現することを考えていた。この

場合、計算資源の制約から、計算対象は実際に極端現象が発生した限られた期間に限定する計画であった。

しかし、本研究課題の期間中に、課題代表者が別途参加していた「JAMSTEC 地球シミュレータ特別推進課題」において、「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)」と呼ばれる、高解像度で長期間に渡る大量アンサンブル実験データベースが作成されることが決まった。d4PDF 自体は、地球温暖化の影響評価等を目的として、過去 60 年の気候再現実験と、地球温暖化進行下の将来予測実験を 100 メンバーのアンサンブルサイズ、60km の全球気候モデル、さらに東アジア域は地域気候モデルを用いて 20km まで力学的にダウンスケーリングするというものであるが、過去再現実験は疑似的な季節予測プロダクトとして利用することが可能であり、この特別推進課題に参加したことで、本研究課題の目的であった大量アンサンブル実験と高解像度の過去再予測プロダクトの両方を、しかも 60 年という長期間に渡って得ることができた。

d4PDF による高解像度のアンサンブル再予測結果(データ期間 1951~2010 年)と、気象庁地点観測アメダスのデータ(1981~2010 年)を用いて、予測可能性および確率予測的中率を見積もった。予測対象の極端現象として、梅雨期に甚大な被害をもたらす九州地方の豪雨を取り上げる。2017 年 7 月の九州北部豪雨は記憶に新しい。ここでは、九州の各地点を、九州山地を境に日本海側と太平洋側に分類して、日降水量が 100mm を超えるイベントの発生確率を予測対象として取り上げる。

予測可能性の指標として、 R 値を用いる。 R 値は以下の式で表される。

$$R = \frac{S^2}{S^2 + N^2}$$

ここで、 S^2 はアンサンブル平均の年々変動から見積もられる予測可能なシグナル(アンサンブル平均の分散)、 N^2 はアンサンブルメンバー間のスプレッドから見積もられる予測不可能なノイズ成分(メンバー間の不偏分散)を表す。

実際の予測の精度の指標として一般的に用いられるアノマリ相関(ACC)スキルは、予測された偏差のアンサンブル平均の時系列と観測された偏差の時系列との間の相関係数で表される。

確率予測の精度の指標として、ブライアスキルスコア(BSS)を用いる。BSSは、ある現象の出現確率の実況値と予報値の差の二乗平均値(ブライアスコア(BS)と呼ぶ)が、気候値予報(現象の平均的な出現確率を常に確率予報値とする予報)に比べてどの程度改善したかを表す指標で、

$$BSS \equiv \frac{BS_c - BS}{BS_c}$$

と表される（添え字 c は気候値予報を表す）。完全予報で 1、気候値予報で 0、気候値予報より誤差が大きいと負となる。

これらの指標を、d4PDF の 20km 解像度のラージアンサンブル疑似季節予測結果に適用し、九州地方に発生する豪雨の出現確率予測の実現可能性を調査した。

4. 研究成果

図 1 に、d4PDF の 20km 解像度のモデルで再現される西日本の地形と、本研究で定義した九州西部と東部の領域を示す。各領域において 100mm/day 超の大雨の頻度の予測値をアメダスと比較したものが図 2 である。

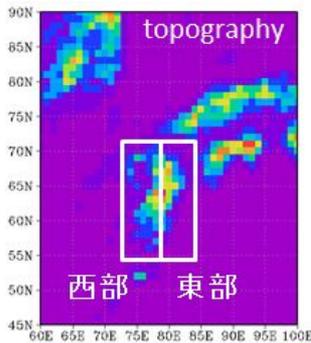


図 1 . d4PDF の解像度 20km モデルによる地形の表現。本研究で用いた九州西部と九州東部の定義域を四角で示す。

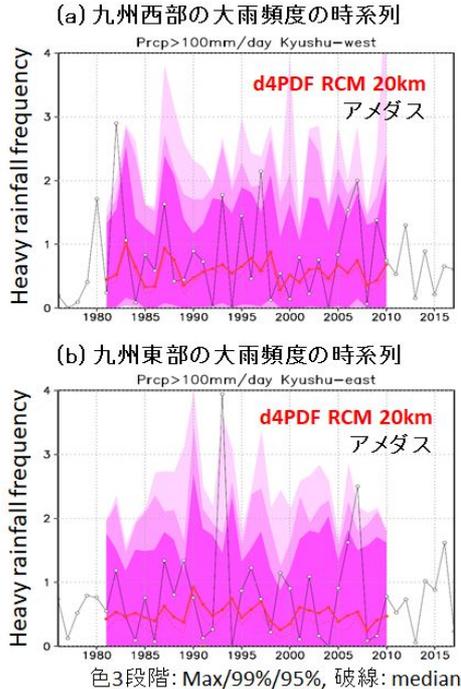


図 2 . 7 月に 100mm/day を超える日数の時系列（1 地点、1 メンバー辺りに換算）。黒線は地点観測アメダス、赤線は d4PDF（20km 解像度）による疑似季節予測結果のアンサンブル平均値、赤破線は中央値、陰影は淡色側から順に最大値・99 パーセンタイル値、95 パーセンタイル値を示す。（a）九州西部、（b）九州東部。

d4PDF のアンサンブル予測値から見積もられる予測可能性 R の平方根は、九州西部で 0.566、九州東部で 0.484 となる。 R の平方根は、モデルが完璧でアンサンブルサイズが十分大きいと仮定した場合の予測スキル ACC の上限値に相当することが知られている。九州の西部と東部で見積もられた ACC の上限値は、いずれも統計的に有意なレベルに達しており、完璧な予測システムがあれば、九州地方の大雨の発生確率は予測可能であることを示している。

次に、実際の予測値から見積もられた ACC を図 3 に示す。100 メンバーの予測値から得られる大雨の発生頻度の予測スキルは、九州西部で 0.178、九州東部で 0.038 と、 R 値から見積もられる上限値に比べてはるかに低い値となった。これらの値は、40 メンバーを超える辺りからほぼ横ばいであり、アンサンブルサイズは十分であると言える。したがって、予測スキルが予測可能性に比べて劣る理由は、モデルが不完全であること、特に、20km 解像度で再現される降水システムと地点観測データとのギャップによってもたらされているものと考えられる。

確率予報が気候値予報に対して改善しているか否かを検証するため、図 4 に、アンサンブルサイズに対する BSS の変化を図 3 と同様に示した。九州西部の大雨の発生確率予報では、20 メンバーを超える辺りから BSS が正の値となり、確率予報の利用価値があることが証明された。一方、九州東部の大雨の

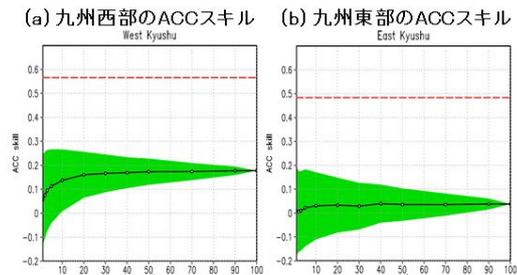


図 3 . アンサンブルサイズに対する ACC スキルの変化。陰影は、モンテカルロ法で見積もったサンプリング誤差の標準偏差。赤破線は、 R の平方根（ACC の理論上の上限値）を示す。（a）九州西部、（b）九州東部。

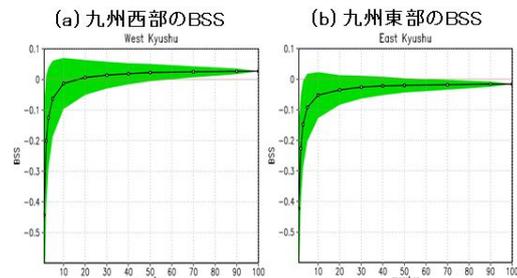


図 4 . アンサンブルサイズに対する BSS の変化。陰影は、モンテカルロ法で見積もったサンプリング誤差の標準偏差。（a）九州西部、（b）九州東部。

確率予報では、100 メンバーでも BSS は 0 をわずかに下回り、この地域の確率予報が困難であることを示している。

図 3 および図 4 の結果はいずれも、九州西部に比べて九州東部の大雨の予測が困難であることを示しているが、その理由として、大雨をもたらす降水のメカニズムが九州山地を隔てて全く異なることが考えられる。図 5 は、両地域で大雨頻度が増加する際に周辺の広域の環境場がどのような特徴を示しているかを、d4PDF の 60km の全球モデルの結果も併せて解析した結果である。九州西部では、太平洋高気圧が日本列島の南側に張り出して梅雨期の南西からの季節風が強化された際に大雨をもたらされるのに対し、九州東部の大雨は台風の直撃によってもたらされていることが分かる。実況データの解析からも、局所降水と広域の環境場の間の同様の関係が浮かび上がってくるが(図略) 実況データはサンプルが限られているため有意な相関を得ることはできない。図 5 のような有意な相関関係を示すことができたのは、d4PDF の豊富なアンサンブルメンバーの賜物である。

d4PDF を疑似予報として用いた解析から、ラージアンサンブルかつ高解像度で季節予報を実施することで、九州地方の局所的な大雨の確率予測の性能が向上することが示されたものの、実用的なレベルには達していない。今後、季節予報に用いる数値モデルの高度化に尽力する必要があることは言うまでもないが、検証に用いる観測値をモデルのスペックに合わせるなど検証方法にも改善の余地がある。いずれにしろ、これまで予測が難しいとされていた局所的な降水にルート R = 0.5 前後の高い予測可能性があることを示すことができたのは大きな成果である。

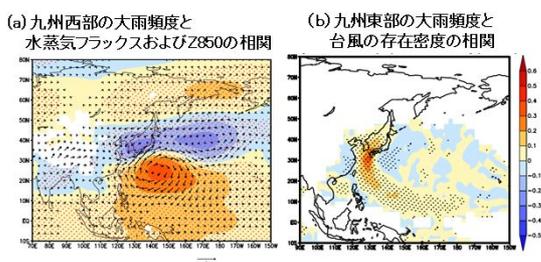


図 5 .(a) 図 2a の九州西部の大雨頻度の各メンバーの予測値に対する水蒸気フラックス(ベクトル)および Z850(色)の予測値の相関係数の分布。(b) 図 2b の九州東部の大雨頻度の各メンバーの予測値に対する台風の存在密度予測の相関係数の分布。ハッチは t 検定による有意水準を超える領域。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計10件)

Imada, Y., H. Shiogama, C. Takahashi, M. Watanabe, S. Maeda, M. Mori, and Y. Kamae, 2018: Climate change increased the likelihood of the 2016 heat extremes in Asia. [in "Explaining Extreme Events of 2016 from a Climate Perspective"]. Bulletin of the American Meteorological Society, 査読あり, 99(1), S97-S101.

Imada, Y., S. Maeda, M. Watanabe, H. Shiogama, R. Mizuta, M. Ishii, and M. Kimoto, 2017: Recent enhanced seasonal temperature contrast in Japan from large ensemble high-resolution climate simulations. Atmosphere, 査読あり, 8, 57, doi:10.3390/atmos8030057.

Saito, N., S. Maeda, T. Nakaegawa, Y. Takaya, Y. Imada, and C. Matsukawa, 2017: Seasonal predictability of the North Atlantic Oscillation and zonal mean fields associated with stratospheric influence in JMA/MRI-CPS2. SOLA, 査読あり, 13, 209-213.

Mizuta, R., A. Murata, M. Ishii, H. Shiogama, K. Hibino, N. Mori, O. Arakawa, Y. Imada, K. Yoshida, T. Aoyagi, H. Kawase, M. Mori, Y. Okada, T. Shimura, T. Nagatomo, M. Ikeda, H. Endo, M. Nosaka, M. Arai, C. Takahashi, K. Tanaka, T. Takemi, Y. Tachikawa, K. Temur, Y. Kamae, M. Watanabe, H. Sasaki, A. Kitoh, I. Takayabu, E. Nakakita, M. Kimoto, 2017: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models. Bull. Amer. Meteor. Soc., 査読あり, 98, 1383-1398.

Sugi, M., Y. Imada, T. Nakaegawa, K. Kamiguchi, 2017: Estimating probability of extreme rainfall over Japan using Extended Regional Frequency Analysis. Hydrological Research Letters, 査読あり, 11, 19-23.

Shiogama, H., Y. Imada, M. Mori, R. Mizuta, D. Stone, K. Yoshida, O. Arakawa, M. Ikeda, C. Takahashi, M. Arai, M. Ishii, M. Watanabe, M. Kimoto, 2016: Attributing Historical Changes in Probabilities of Record-Breaking Daily Temperature and Pre-cipitation Extreme Events. SOLA, 査読あり, 12, 225-231.

Imada, Y., H. Tatebe, M. Watanabe, M. Ishii, and M. Kimoto, 2016: South Pacific influence on the termination of El Nino in 2014. Scientific Reports, 査

読あり, 6, 30341.

Kimura, Y., M. Tanoue, Y. Imada, and Y. Hirabayashi, 2016: An event attribution of the 2012 Amazon flood. *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser. G (Environmental Research), 査読あり, 72, I_1-I_6.

Imada, Y., H. Tatebe, M. Ishii, Y. Chikamoto, M. Mori, M. Arai, M. Watanabe, and M. Kimoto, 2015: Predictability of Two Types of El Nino Assessed Using an Extended Seasonal Prediction System by MIROC. *Monthly Weather Review*, 査読あり, 143, 4597-4617.

Imada, Y., S. Kanae, M. Kimoto, M. Watanabe, and M. Ishii, 2015: Predictability of Persistent Thailand Rainfall during the Mature Monsoon Season in 2011 Using Statistical Downscaling of CGCM Seasonal Prediction. *Monthly Weather Review*, 査読あり, 143, 1166-1178.

[学会発表](計14件)

Y. Imada, H. Shiogama, M. Mori, C. Takahashi, Y. Kamae, M. Watanabe, R. Mizuta, M. Ishii, M. Kimoto: "Large ensemble and long-term climate simulations with high-resolution MRI-AGCM and NHRCM - Application to Event Attribution study -" 2018-03-14, International Detection and Attribution Group Meeting 2018, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley (US).

Y. Imada, H. Shiogama, C. Takahashi, Y. Kamae, M. Mori, M. Watanabe, R. Mizuta, M. Ishii, M. Kimoto: "Event attribution with large-ensemble simulations generated by MRI-AGCM" 2017-10-02, International Workshop on Climate Downscaling Studies, つくば国際会議場(茨城).

Y. Imada, S. Maeda, M. Watanabe, H. Shiogama, R. Mizuta, M. Ishii, and M. Kimoto: "Recent enhanced seasonal temperature contrast in Japan associated with Interdecadal Pacific Variability" 2017-08-09, Asia Oceania Geosciences Society 14th Annual Meeting, Suntec Singapore Convention and Exhibition Centre, Singapore (Singapore).

Y. Imada, S. Maeda, M. Watanabe, H. Shiogama, R. Mizuta, M. Ishii, and M. Kimoto: "Large ensemble high-resolution climate simulations - Application to Event Attribution study" 2017-05-20, JpGU-AGU Joint Meeting

2017, 幕張メッセ (千葉).

今田由紀子, 前田修平, 渡部雅浩, 塩竈秀夫, 水田 亮, 石井正好, 木本昌秀: "高解像度 MRI-AGCM アンサンブル実験を用いた日本域の 10 年規模の気温変動に関する要因分析" 2016-11-07, 異常気象研究集会「異常気象と長期変動」, 京都大学, 宇治 (京都).

今田由紀子, 前田修平, 渡部雅浩, 塩竈秀夫, 水田 亮, 石井正好, 木本昌秀: "高解像度 MRI-AGCM アンサンブル実験を用いた日本域の 10 年規模の気温変動に関する要因分析" 2016-10-27, 日本気象学会 2016 年度秋季大会, 名古屋大学 (名古屋).

今田由紀子, 建部洋昌, 渡部雅浩, 石井正好, 木本昌秀: "太平洋十年規模変動に伴う南太平洋の偏差が ENSO 予測に与える影響" 2015-10-28, 日本気象学会 2015 年度秋季大会, 京都テルサ (京都).

今田由紀子, 前田修平, 渡部雅浩, 塩竈秀夫, 水田 亮, 石井正好, 木本昌秀: "高解像度 MRI-AGCM アンサンブル実験による日本域の過去の 10 年規模イベントの要因分析" 2015-10-28, 日本気象学会 2015 年度秋季大会, 京都テルサ (京都).

Y. Imada: "MIROC5 seasonal prediction system: focusing on the ENSO prediction in 2014" 2015-09-03, 熱帯降水系研究会 2015, 海洋研究開発機構 (横浜), 招待講演.

今田由紀子, 建部洋昌, 渡部雅浩, 石井正好, 木本昌秀: "2014 年夏のエルニーニョはなぜ成長しなかったか? - 南太平洋からの寄与" 2015-05-26, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張メッセ (千葉).

今田由紀子, 建部洋昌, 渡部雅浩, 石井正好, 木本昌秀: "2014 年夏のエルニーニョはなぜ成長しなかったか?" 2015-05-24, 日本気象学会 2015 年度春季大会, つくば国際会議場 (茨城).

今田由紀子, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 森正人, 石井正好, 木本昌秀: "統計的ダウンスケーリングを用いた局所的な豪雨に対するイベント・アトリビューション (要因分析) の試み" 2014-10-21, 日本気象学会 2014 年度秋季大会, 福岡国際外議場 (福岡).

Y. Imada, K. Yamazaki, M. Watanabe: "Sea Surface Temperature Anomaly in the North Tropical Atlantic and its Role in the Seasonal Predictability of ENSO" 2014-07-28, AOGS 11th Annual Meeting, ロイトン札幌ホテル (北海道).

今田由紀子, 山崎邦子, 渡部雅浩: "ENSO の季節予測における熱帯太平洋 熱帯北大西洋間の大気海洋相互作用の重要性" 2014-04-28, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, パシフィコ横浜 (横浜).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

今田(金丸) 由紀子

(IMADA(KANAMARU), Yukiko)

気象庁気象研究所・気候研究部・主任研究員

研究者番号：50582855

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし