

# 2018年7月の豪雨や猛暑に対する地球温暖化の影響

今田由紀子<sup>1</sup>、川瀬宏明<sup>1</sup>

<sup>1</sup>気象研究所

## 1. はじめに

近年、日本各地で甚大な被害をもたらす異常気象が続いている。2018年には、7月上旬に西日本を中心とする広域で最大 1800 ミリの総降水量を記録する大雨が3日以上持続し、200名を超える死者・行方不明者を出す激甚災害となった。一方、梅雨明け後は日本列島を災害級の猛暑が襲い、熱中症による死者・緊急搬送者は過去最大となった。このような記録的猛暑は日本だけにとどまらず、世界各地で干ばつや山火事などの災害が発生している。このような異常気象に対して、地球温暖化をはじめとする様々な要因の寄与をラージアンサンブルデータを用いて定量的に推定する試みをイベント・アトリビューション（以下 EA）と呼ぶ。ここでは、高解像の気候モデルを用いて作成されたラージアンサンブルデータベースを用いて、2018年7月上旬の西日本を中心とする豪雨、および、梅雨明け後に日本列島を襲った災害級の猛暑に対して、EAを試みた結果を紹介する。

## 2. データ

本研究では、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（以下、d4PDF）を用いた。d4PDFには、過去再現実験、人為起源の気候変化が起こらなかった世界を想定した非温暖化実験、および全球気温4度昇温時の世界を想定した将来実験の結果が収録されており、各実験は気象研究所大気大循環モデルMRI-AGCM3.2（水平解像度は約60km、鉛直64層、モデルトップ0.01hPa、；以下、全球モデル）および気象研究所非静力学地域気候モデルNHRCM（水平約20km格子、鉛直

40層、日本域をカバー；以下、領域モデル）を用いて計算された。

全球モデルを用いた1950年から2018年7月までの過去再現実験（以下 HIST 実験と呼ぶ）では、観測された海面水温・海氷分布（COBE-SST2, Hirahara et al., 2014）と、過去の人為起源（温室効果ガス、エアロゾルなど）及び自然起源（太陽放射と火山活動）の外部強制要因をAGCMに与えて、100メンバーのアンサンブル実験を実施した（Mizuta et al. 2016）。比較対象となる人為起源影響がない条件下での仮想実験では、人為起源の外部強制要因を産業革命以前（1850年）の条件で固定し、海面水温（SST）と海氷分布から長期トレンドを除いた非温暖化実験（以下 NonW 実験）を同じく100メンバー実施した（Shiogama et al. 2016）。

領域モデルを用いた実験では、60km解像度の全球実験から、20km解像度まで力学的ダウンスケーリングを実施した（Sasaki et al. 2011; Murata et al. 2013）。本研究では、d4PDFに収録された実験セットのうち、全球モデルと領域モデルのHIST実験およびNonW実験の結果を用いてイベント・アトリビューションを試みた。（将来実験は本研究では用いないため、詳細は割愛する。）

検証に用いる降水量データには気象庁地域気象観測アメダスの地点データを、気温やジオポテンシャル高度、水蒸気フラックスには気象庁55年長期再解析（JRA-55, Kobayashi et al. 2015）を用いた。また、偏差場の解析に用いる気候値は、1981年から2010年までの平均値で定義した。

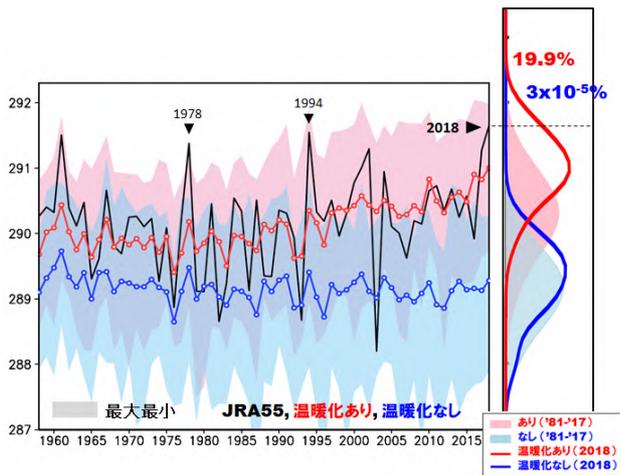


図 1 左：日本域（130-147°E, 30-43°N）の 850hPa 面における 7 月の気温の時系列（K）。黒線は JRA55、赤線と青線はそれぞれ HIST 実験、Non-W 実験の 100 メンバーの平均値。陰影は、100 メンバーの最大値と最小値を示す。右：2018 年 7 月の確率密度分布（線）と 1981-2017 年の確率密度分布（陰影）。

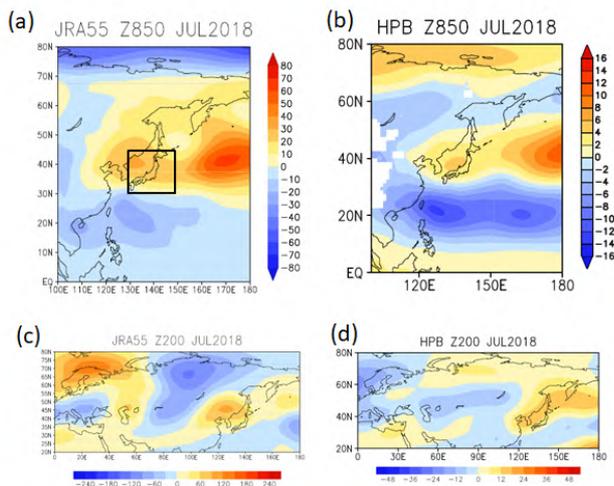


図 2 2018 年 7 月の 850hPa 面（上段）および 200hPa 面（下段）のジオポテンシャルハイト偏差（m）。(a) および (c)：実況値（JRA55）、(b) および (d)：HIST 実験の 100 メンバー平均。

### 3. 2018 年 7 月の猛暑の EA

図 1 に、7 月の日本域の 850hPa 気温の時系列と 2018 年 7 月の確率密度分布を示す。2018 年は、対流圏下層の気温でも観測史上最高気温を記録したが、HIST 実験の 100 メンバーの中にはこの異常な高温を再現しているメンバーが存在し、100 メンバーの平均値でも過去最高気温となっていた。

HIST 実験と NonW 実験における 2018 年 7 月の猛暑の確率密度分布を比較すると（図 1 右）、現在の地球温暖化の条件下では 19.9% の発生確率であるのに対し、地球温暖化が無かった場合には  $3 \times 10^{-5}\%$  と見積もられ、地球温暖化が無ければ 2018 年 7 月のような猛暑は起こり得なかったことが示された (Imada et al. 2019b submitted)。

この猛暑イベントを引き起こした要因の一つとして、対流圏の上層と下層で発達した二段重ねの高気圧の役割が大きかったことが知られている。

図 2 に、2018 年 7 月の 200hPa と 850hPa の高度偏差の実況値を示した。実況では、フィリピン付近の活発な対流活動（図略）に伴う Pacific-Japan テレコネクションパターン（PJ パターン、Nitta 1987）に加えて（図 2a および c）、上空では西からのロスビー波列が日本域の高気圧を強めている様子が明瞭である（図 2a）。モデルのアンサンブル平均場でも PJ パターンに伴う上層と下層の高気圧の強化は明瞭に見られた（図 2b および d）。このような気圧パターン自体が異常であったか否か、さらに、このパターンに対して地球温暖化が寄与していたか否かを調査するため、図 3b および d の四角で囲まれた領域のジオポテンシャル高度場に対して特異値分解解析を行い、第 1 モードとして二段重ねの気圧パターンを抽出した。第 1 モードの特異値の時系列で見ても（図 3a および c）、2018 年は観測史上 2 番目に二段重ね高気圧が強く現れていたことが分かり、2018 年は気温だけでなく循環場も特異であったことが分かった。さらに、HIST 実験と NonW 実験の結果を図 1 と同様に比較すると、100 メンバー平均で見た場合に両者にはほとんど差が見られないものの、2018 年 7 月は両者ともに正の特異値を持つことから、2018 年 7 月は地球温暖化の有無にかかわらず、内部変動として二段重ね高気圧が発生しやすい状況であったことが示された (Imada et al. 2019b submitted)。

2018 年は、猛暑を記録した地点が延べ 6000 地点を上回り過去最多となったことにも注目が集ま

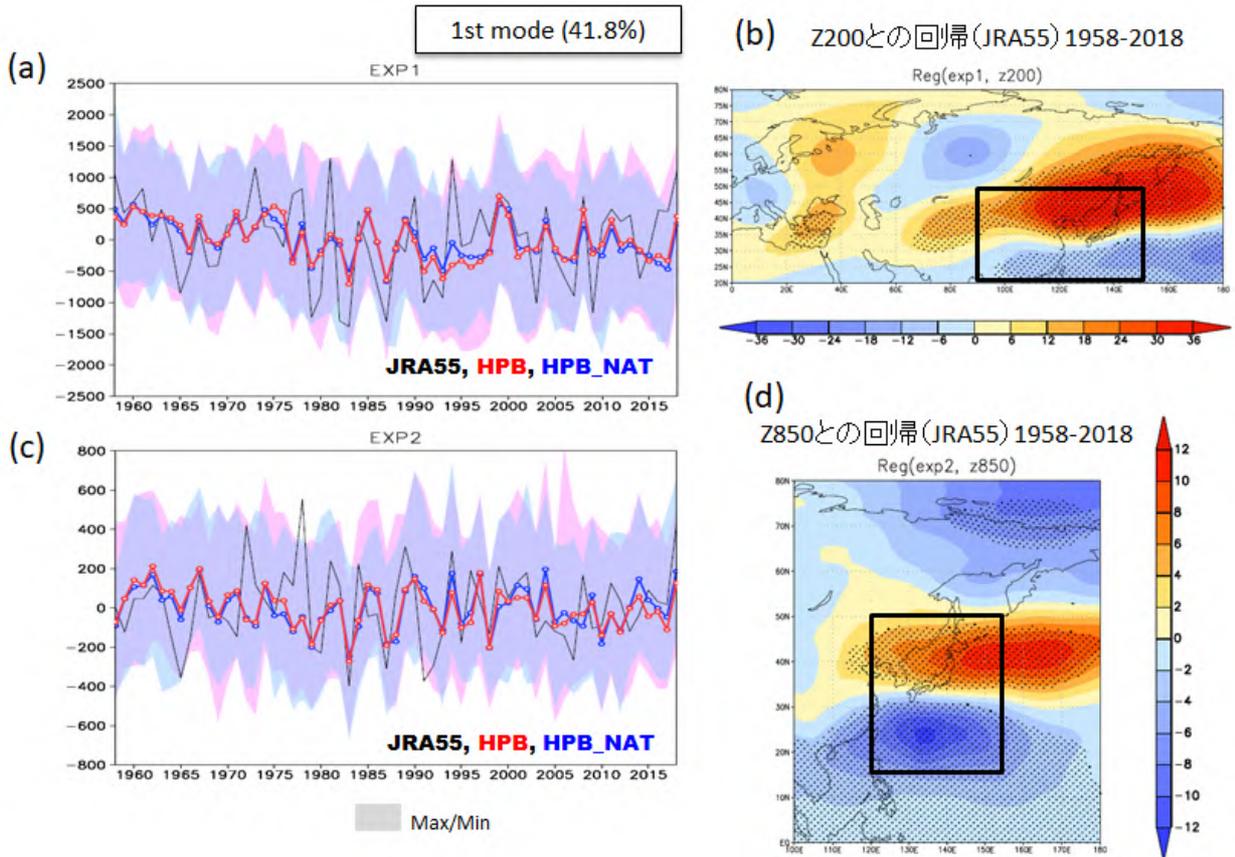


図3 日本周辺の200hPaと850hPa高度場(JRA55)に対する特異値分解解析の第1モード(寄与率41.8%)の結果。(a)および(c):2変数の特異値の時系列。黒線はJRA55に基づく結果。赤線と青線は、JRA55の特異ベクトルに対してHIST実験およびNonW実験の結果を射影して得られた時系列。(b)および(d):特異値に回帰した各変数のパターン。ドットは統計的に有意な領域。

った。地球温暖化と日本の猛暑地点数の関係を導くため、d4PDFの領域モデル(解像度20km)の結果を用いて、NonW実験からの全球気温の昇温量に対する年間の延べ猛暑地点数(日本の陸上の全グリッドの日最高気温の99パーセント値を超える延べ日数)をアメダス地点数に換算してプロットしたものが図4である。猛暑地点数は、全球気温の上昇に対して指数関数的に増加していく様子が見られ、パリ協定で達成目標とされる全球気温1.5度昇温時には3500地点以上、2度昇温時には5000地点以上が当たり前に起こる可能性があることが示唆される。年間の延べ猛暑地点数が3000点を超える状況は、我々が過去に数回しか経験したことがない異常な事態であり、例えば1.5度目標が達成されたとしても予断を許さない事態であることに変わりはない。

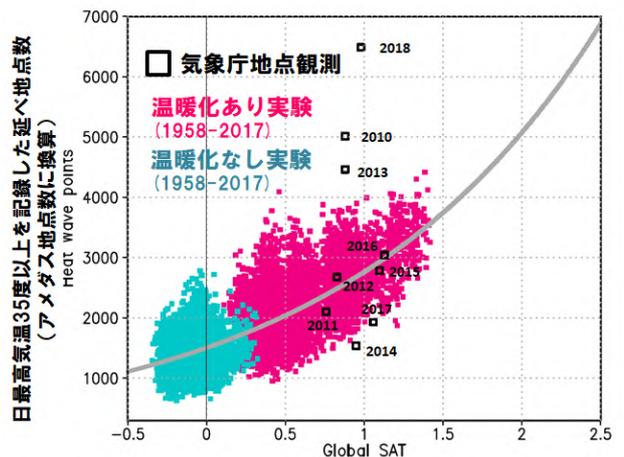


図4 1850年以降の全球気温の変化と、日本の年間の延べ猛暑地点数との関係(アメダス地点数に換算)。青印はNonW実験、赤印はHIST実験、黒印は2010年以降のアメダスの結果。

#### 4. 2018年7月豪雨のEA

熱力学的効果がダイレクトに影響する猛暑事例と比べ、循環場の変化等の力学的効果に大きく左右される局所的な豪雨事例については、循環場のノイズが温暖化による変化を隠すため、前節で用いたような EA 手法では温暖化の影響を検出するのが難しいことが知られている。さらに解像度が限られる気候モデルでは細かな降水システムの再現自体に問題を抱えていることも多く、豪雨に対する EA は困難であるとされてきた。d4PDF による 20km 領域モデルによる EA 実験は、世界でも最高レベルの解像度を実現し、これまで難しいとされてきた局所的な豪雨に対する EA のブレイクスルーとなった。解像度の壁を突破したとしても、循環場のノイズの問題は依然として残るが、我々のこれまでの調査から、H29 年の九州北部豪雨のように、水蒸気が地形の効果で収束して大雨をもたらすような豪雨事例の場合には、循環場のノイズを上回って水蒸気増加の効果が顕著に現れる事例が存在することも明らかになってきている (Kawase et al. 2019 *submitted*; Imada et al. 2019a *submitted*)。

では、2018年7月の西日本の豪雨についてはどうだろうか。図5は、大雨が広範囲で持続した6月29日から7月8日にかけての850hPa高度と水蒸気フラックスの偏差である。この期間には、

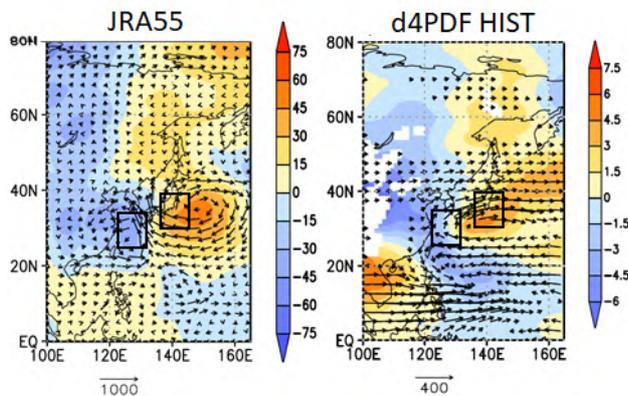


図5 6月29日から7月8日にかけての850hPa高度 (m、色) と鉛直積算水蒸気フラックス ( $m^2/s$ 、矢印) の偏差。左: JRA55、右: HIST 実験 100 メンバー平均。

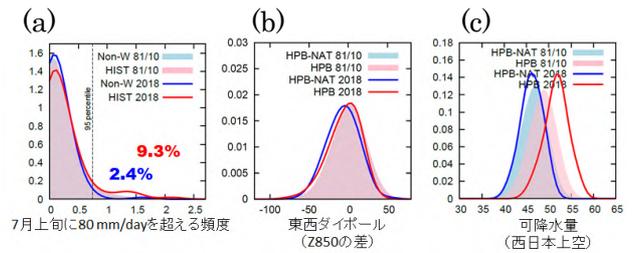


図6 (a) 6月29日から7月8日にかけて、瀬戸内地方 ( $25^{\circ}$ - $35^{\circ}$ N,  $125^{\circ}$ - $135^{\circ}$ E) において日降水量80 mmを超える日数の確率密度分布。赤線は HIST 実験、青線は NonW 実験の2018年の結果。射影は過去30年 (1981-2010年) の結果。(b) 東西ダイポール指標について (a) と同様に示したもの。(c) 日本域の可降水量について (a) と同様に示したもの。

台風7号の接近や上空のトラフの通過など、豪雨に関わるメソスケールの現象が含まれるが、期間平均で見ると西日本を境に東西の気圧ダイポール構造が見られ、南から水蒸気が流れ込みやすい場になっていたことが分かる (図5左)。このような構造は HIST 実験の100メンバー平均値でも見られ、総観スケールの気候場でもこのような構造が卓越しやすく、メソスケールの現象による要因を底上げしていたと考えられる。

特に被害が大きかった瀬戸内地域を対象に、領域モデルで再現された大雨の確率密度分布を描いたものが図6aである。過去30年の各年同時期の大雨の頻度を HIST 実験と NonW 実験で比較すると (暖色系と寒色系の陰影)、両者の差はごくわずかである。これは、この地域の大雨をもたらす要因が台風やトラフの通過などの偶発的な現象に左右されるために、温暖化によって水蒸気が増加した影響が直接見えて来ていないと推測される。一方、2018年のケースに限定して確率密度分布を比較すると (赤線と青線)、95パーセンタイル値を超える頻度は地球温暖化によって約4倍に増加しているという結果が得られた。これは、2018年のこの時期のように水蒸気が流れ込みやすい条件が整った背景場のもとで EA を行うと、水蒸気増加の効果がより直接的に見えてくることを示唆する。実際、力学的効果を代表する指標 (図5の四角域の高度差で表される東西ダイポール) と熱力学的効果を代表する指標 (日本域の可降水量) の出現

確率を HIST 実験と NonW 実験で比較してみると (図 6b および c)、東西ダイポール指標に対する温暖化の影響は僅かであることから、2018 年の瀬戸内地域大雨事例では、熱力学的な効果が水蒸気増加を通して直接的に効いたと考えられる。

## 5. まとめ

ここで見てきたような異常気象は今後も増え続けると予想される。EA は比較的新しい研究分野であり、手法にも改善の余地が残されているが、最新の技術を用いて、甚大な災害をもたらした異常気象に対する地球温暖化の寄与を数値として世に発信していくことは、人々の実感を促し、防災意識を高め、国の緩和策への取り組みへの理解を促すという重要な意味があると考えている。

## 謝辞

本研究は文部科学省の統合的気候モデル高度化研究プログラムの協力を得た。

## References

Hirahara, S., M. Ishii, Y. Fukuda, 2014: Centennial-scale sea surface temperature analysis and its uncertainty. *J. Climate*, 27, 57–75.

Imada, Y., H. Kawase, M. Arai, M. Watanabe, H. Hideo, and I. Takayabu, 2019a: Challenging event attribution for the regional heavy rainfall events (submitted).

Imada, Y., M. Watanabe, H. Kawase, H. Hideo, and M. Arai, 2019b: July 2018 Heat waves in

Japan could not have happened without human-induced global warming (submitted).

Kawase, H., Y. Imada, H. Sasaki, T. Nakaegawa, A. Murata, M. Nosaka, and I. Takayabu, 2019: Contribution of current experienced global warming to orographic heavy precipitation estimated by large ensemble high-resolution simulations (submitted).

Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, 93, 5-48, doi:10.2151/jmsj.2015-001.

Mizuta, R. et al., 2016: Over 5000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60 km Global and 20 km Regional Atmospheric Models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 98, 1383-1398.

Murata, A., H. Sasaki, M. Hanafusa, and K. Kurihara (2013), Estimation of urban heat island intensity using biases in surface air temperature simulated by a nonhydrostatic regional climate model. *Theor. Appl. Climatol.*, 112, 351–361, doi: 10.1007/s00704-012-0739-2.

Nitta, T., 1987: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 373 – 390.

Sasaki, H., A. Murata, M. Hanafusa, M. Oh'izumi, and K. Kurihara (2011), Reproducibility of present climate in a non-hydrostatic regional climate model nested within an atmosphere general circulation model, *SOLA*, 7, 173–176, doi:10.2151/sola.2011-044.

Shiogama, H. et al., 2016: Attributing historical changes in probabilities of record-breaking daily temperature and precipitation extreme events. *SOLA*, 12, 225-231.