

令和2年12月24日
気象研究所
(一財)気象業務支援センター

近年の気温上昇が令和元年東日本台風の大雨に与えた影響

気象庁気象研究所の研究チームは、数値シミュレーションを行い、人為起源の温室効果ガス排出の増加等に伴う気温及び海面水温の上昇が、令和元年東日本台風（台風第19号）に伴う関東甲信地方での大雨に与えた影響を評価しました。

この結果、1980年以降、また、工業化以降（注）の気温及び海面水温の上昇が、総降水量のそれぞれ約11%、約14%の増加に寄与したと見積もられました。

令和元年東日本台風（以後、台風第19号）は、大型で強い勢力のまま伊豆半島に上陸し、関東甲信、北陸、東北地方に記録的な豪雨をもたらしました。そこで、この台風を対象に、高解像度の数値シミュレーションを行い、人為起源の温室効果ガス排出の増加等に伴う気温及び海面水温の上昇が、台風第19号に伴う関東甲信地方での大雨に与えた影響を評価しました。

その結果、台風第19号に伴って関東甲信地方に降った雨の総量は、1980年以降の気温及び海面水温の上昇によって10.9%、工業化以降（注）の気温及び海面水温の上昇によって13.6%増加したことが分かりました。これらの降水量の増加率は、気温上昇から想定される水蒸気量の増加率（1℃あたり7%）より大きく、その要因としては、気温及び海面水温の上昇に伴って、台風自体がより発達したことから、中部山岳の風上で上昇気流がより強まったことなどが考えられます。

このように、近年発生した大雨に対する地球温暖化の影響を評価することで、大雨に対する地球温暖化の影響に関する社会の理解がより深まることが期待されることから、気象研究所では引き続き精度の良い推定手法の改良に努めていきます。

この研究成果は、2020年12月24日付けで日本気象学会が発行する科学誌「Scientific Online Letters on the Atmosphere」に早期公開されました。

注) 本研究では 1850 年以降としている。

< 発表論文 >

掲載誌： *Scientific Online Letters on the Atmosphere*

タイトル： Enhancement of extremely heavy precipitation induced by Typhoon Hagibis (2019) due to historical warming

著者名： Hiroaki Kawase¹, Munehiko Yamaguchi¹, Yukiko Imada¹, Syugo Hayashi¹, Akihiko Murata¹, Tosiya Nakaegawa¹, Takafumi Miyasaka^{2,1}, Izuru Takayabu¹

所 属： 1 気象庁気象研究所. 2 気象業務支援センター.

DOI： 10.2151/sola.17A-002

URL： <https://doi.org/10.2151/sola.17A-002>

< 関連情報 >

本研究は、文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」及び科学研究費補助金プロジェクト・新学術領域研究「変わりゆく気候系における中緯度大気海洋相互作用hotspot」の助成を受けて実施されました。

問合せ先： 気象研究所 応用気象研究部 主任研究官 川瀬 宏明

メール： hkawase@mri-jma.go.jp

(広報担当)

気象研究所 企画室 広報担当 電話：029-853-8535

1. 背景と経緯

人為起源の温室効果ガス排出の増加に伴う地球温暖化の進行によって、世界平均気温は工業化以降、1度程度上昇してきました（IPCC「1.5度特別報告書」、2018）。これに伴い、平成29年7月九州北部豪雨や平成30年7月豪雨といった近年発生した豪雨も地球温暖化との関連が指摘されています（令和2年10月20日 報道発表資料^{注1)}）。

猛暑や豪雨などの個々の極端現象に対する地球温暖化の寄与を調べるために、2種類の「イベント・アトリビューション^{*1)}」手法が提案されています。

一つは、気候モデル^{*2)}による大量の数値シミュレーション結果を利用し、過去に発生した猛暑や豪雨等の極端現象と似たパターンの発生確率の変化に注目する手法（確率的評価手法）で、上述の豪雨と地球温暖化との関連性はこの確率的評価手法を用いて評価されました。

これに対して、数値シミュレーションを用いて実際の極端現象を忠実に再現した上で、地球温暖化に伴う気温上昇分を除去したシミュレーションをさらに行うことで、その影響を量的に評価する手法（量的評価手法）があります。

本研究では、令和元年10月に大型で強い勢力を維持したまま日本に上陸し、関東甲信地方から東北地方にかけての広い範囲で大雨をもたらした令和元年東日本台風（以後、台風第19号）（令和元年10月24日報道発表資料^{注2)}）に対して、この量的評価手法を用いて、気温の変化が顕著な1980年以降、また、工業化以降の気温及び海面水温の上昇による影響をそれぞれ評価しました。

注1)

令和2年10月20日の報道発表資料

https://www.mri-jma.go.jp/Topics/R02/021020/press_021020.html

注2) 令和元年10月24日の報道発表資料

https://www.jma.go.jp/jma/press/1910/24a/20191024_mechanism.html

から参照できます。

2. 主な結果

(1) 気温及び海面水温の上昇に伴う降水量の増加

まず始めに、気象庁メソ客観解析データ^{*3)}をもとに、気象庁非静力学モデル（NHM）^{*4)}を用いた数値シミュレーションを行い、台風第19号に伴う降水量を計算しました（再現実験）。この結果、実際とほぼ同じ経路及び強さの台風、

それに伴う降水分布をほぼ適切に再現することができました（図1aと図1bを比較）。

次に、気象庁メソ客観解析データから1980年以降、また、工業化前からの気温と海面水温の上昇分を取り除いた状況を仮定した数値シミュレーション（気温上昇除去実験^{*5}）を行ない、再現実験の降水がどの程度多くなっているのかを調べました。気温上昇幅は、前者が約1度、後者が約1.4度となります。

両者を比較すると、広範囲にわたり、気温上昇除去実験よりも再現実験において降水が多くなっていることが分かります（図1c）。再現実験において、関東甲信地方及び北陸地方の一部地域（図2の黒枠内：以後、関東甲信地方）で平均した総降水量は、気温上昇除去実験の降水量に比べて10.9%多くなりました。関東甲信地方で平均した時間降水量の時系列図をみると、台風が接近し、強い降水が発生している時間帯に降水量の差が大きいことが分かります（図2a）。一方、工業化前からの気温及び海面水温の上昇を除去した実験では、降水量の変化はさらに大きく、再現実験は気温上昇除去実験に比べて、13.6%の降水量の増加となりました（図1d）。

気温が1度上昇すると、大気中に含むことできる水蒸気量（飽和水蒸気量）が7%程度増加することが分かっています。1980年以降の大気下層での平均的な気温変化は約1度（工業化前からは約1.4度）であるため、想定される飽和水蒸気量の変化も7%程度（工業化前からは10%程度）と考えられます。今回のシミュレーションでも期間最大の可降水量（鉛直方向に積算した水蒸気量）を比較すると、台風経路の近傍や関東地方やその周辺で7%程度増加しています（図3）。よって、今回の実験から得られた降水量の増加率（10.9%と13.6%）は、水蒸気の増加率（7%）よりは大きな値であったことが分かりました。この理由の一つとしては、南海上から北上し上陸するまでの台風の中心付近の気圧が気温上昇除去実験よりも再現実験の方が低い、すなわち台風自体が強くなっていることが考えられます（図2b）。

（2）降水量の変化の地域性と地形の影響

関東甲信地方では降水量が明瞭に増加していますが、日本海側では降水量が減少している場所もあります（図1c、d）。台風上陸直前から関東を通過するまでの15時間で平均した上空約3,000mの鉛直風の分布を見ると、関東甲信地方では上昇流になっている一方、日本海側では下降流になるなど（図4）、降

水量の増加は上昇流、降水量の減少は下降流と対応していました。気温上昇除去実験に対して再現実験では、上昇流が卓越する地域では上昇流がより強まり、下降流が卓越する場所では下降流が強まる傾向があり（図略）、この変化に対応して、降水量も変化したと考えられます。

降水量の増加に対する地形の影響を調べるため、日本の地形を除去して再現実験と同様の設定で計算を行ったところ、地形性上昇の効果がなくなったことにより、陸上の降水量が大幅に減少しました（図1e）。気温上昇除去実験との比較（図1f）でも、関東甲信地方で平均した降水量の増加率は6.8%にとどまっています。この結果は、地形の存在が気温上昇に伴う降水量の増加を増幅させている可能性を示唆するものです。なお、降水変化の地域性は、地形以外の要因も影響した可能性が考えられるので、今後、更なる調査が必要です。

3. 今後の展望

今回の研究結果は、ひとたび台風第19号のような台風が襲来した場合は、近年の気温上昇の影響が顕著に現れ、降水量を増加させることを示唆しています。

今後は、令和2年7月に球磨川の氾濫を引き起こした線状降水帯による豪雨に対する地球温暖化の寄与など、他の豪雨事例についても分析を進める予定です。また、イベント・アトリビューションを量的、確率的の二つの視点から行い、その結果を発信することは、適応策（地球温暖化による社会への影響を低減させる対策）に関する取組のより一層の推進に役立てられるとともに、地球温暖化による影響についての国民一人一人の理解が深まることが期待されます。

気象研究所では、今後も極端現象に地球温暖化がどの程度影響を与えているかについての評価を行い、その影響についての社会の理解が深まるよう努めていきます。

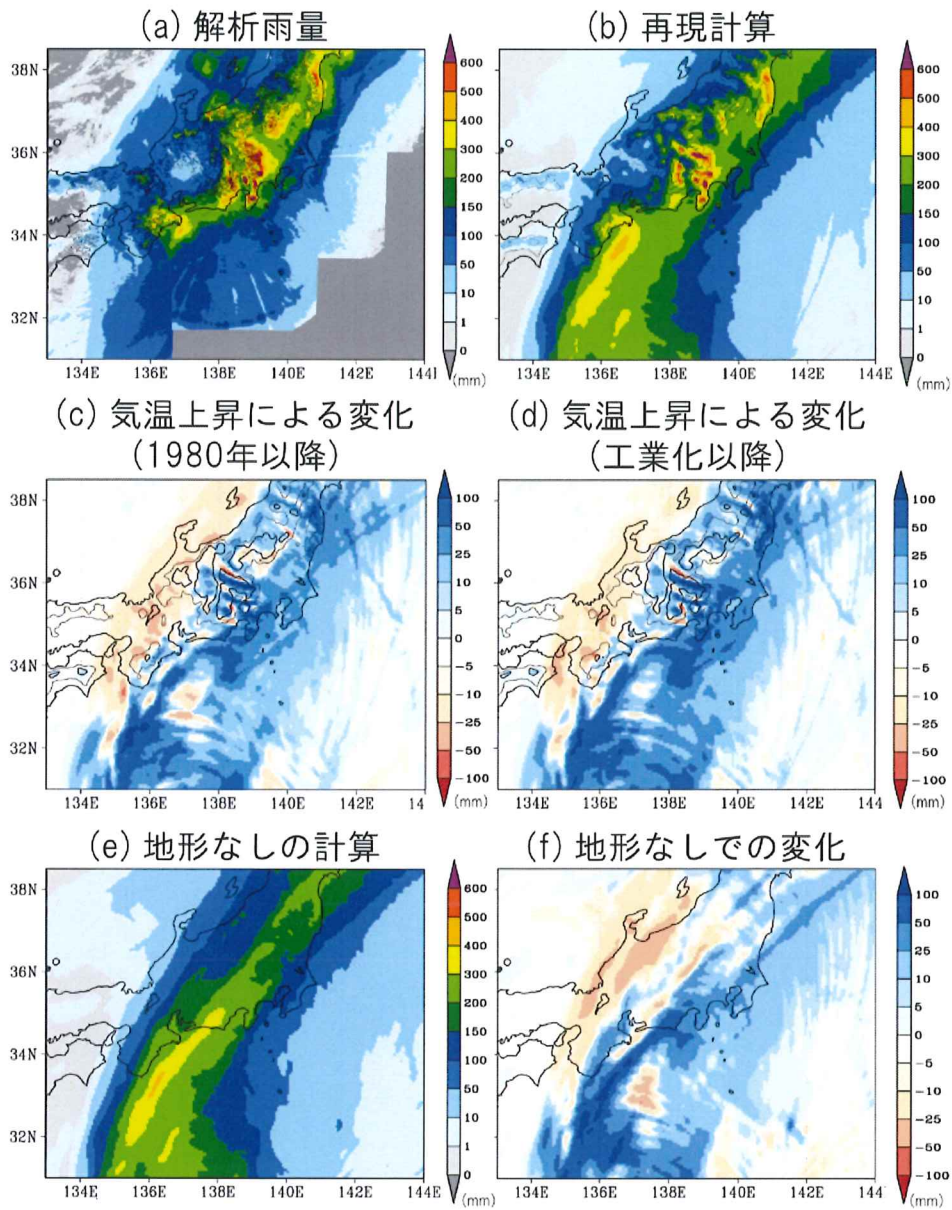


図1 期間積算降水量の分布と気温上昇に伴う変化

2019年10月10日午前9時から13日午前8時まで積算した降水量 (mm) の分布。(a) 気象庁解析雨量 (観測)。太平洋上の降水は十分に捉えられていない。(b) 再現実験。(c) 1980年以降の気温上昇による増加量 (再現実験—気温上昇除去実験)。(d) (c)と同じ。ただし、工業化以降の気温上昇による増加量。(e) (b)と同じ。ただし、地形を除去した実験。(f) (c)と同じ。ただし、地形を除去した実験。

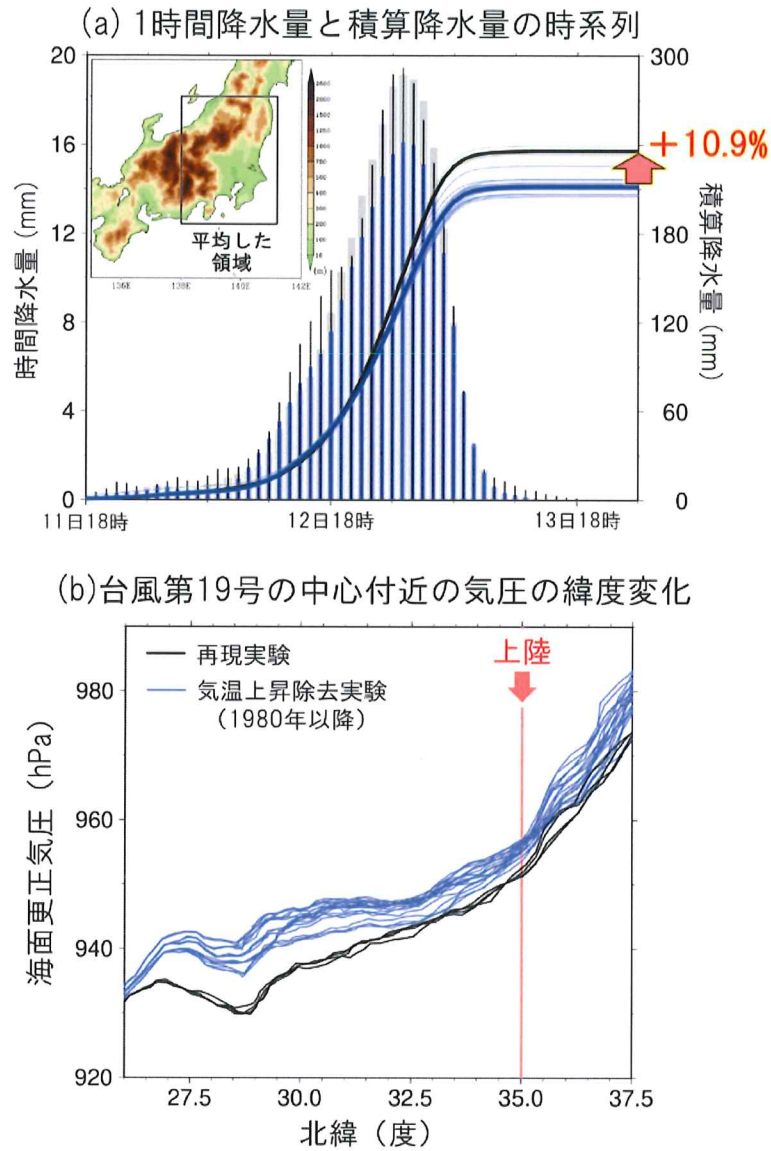


図2 1時間降水量と積算降水量の時間変化と台風の中心気圧の緯度変化

(a) 関東甲信及び周辺地域（左上の枠内）で平均した降水量の時系列。棒グラフは1時間降水量、曲線は積算降水量。灰色棒と黒線が再現実験の結果。青棒と青線が1980年以降の気温上昇除去実験の結果。細棒は解析雨量。再現実験と気温上昇除去実験は上陸時刻が、実際の上陸時刻より約5時間遅れているため、観測のピークをモデルのピークに合わせてずらしている。(b) 台風の中心気圧の緯度変化。初期条件等を変えて行った複数の結果を示す。再現実験は4パターン、気温上昇除去実験は20パターン。

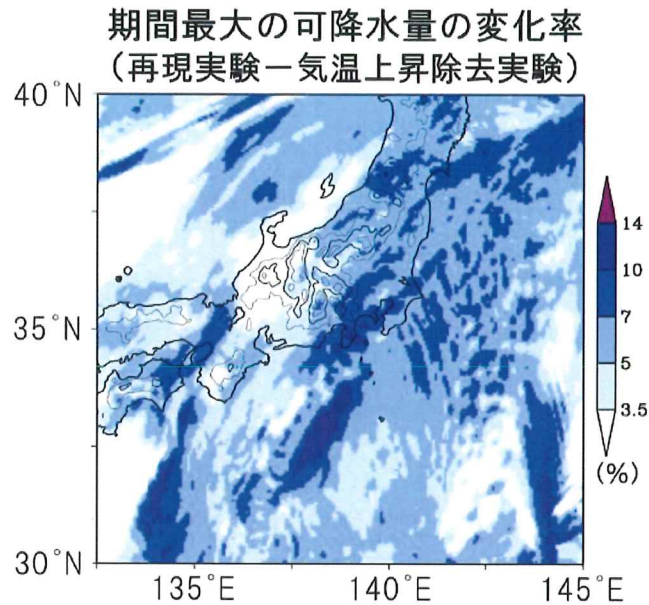


図3 可降水量（鉛直方向に積算した水蒸気量）の変化率
 再現実験の期間最大の可降水量から気温上昇除去実験（1980年以降）の期間最大の可降水量を引いた図。気温上昇除去実験からの増加率（%）として描画。

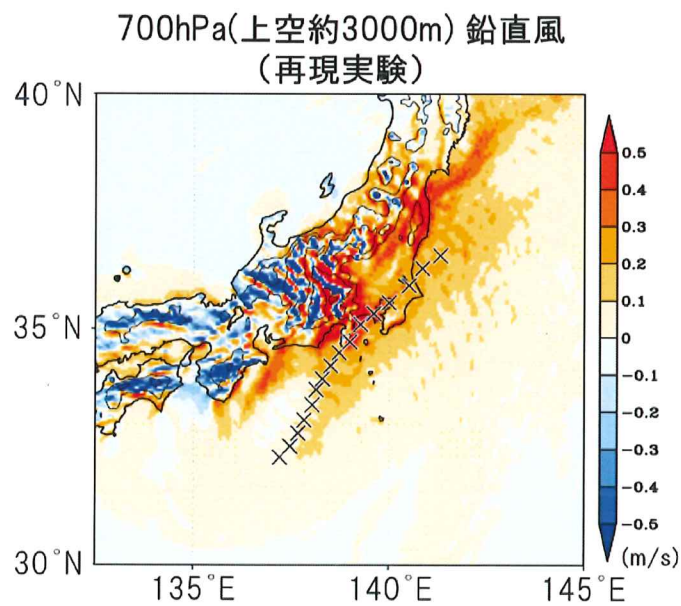


図4 再現実験の鉛直風
 台風第19号が関東に接近した際の上空約3000m（700hPa）の鉛直風。令和元年10月12日15時から13日午前6時までの平均値。赤色は上昇流、青色は下降流を示す。×印は一つの再現実験で計算された台風の中心位置。

用語の解説

1) イベント・アトリビューション

個々の極端現象に対して、地球温暖化がどの程度影響を与えていたかを定量的に評価するアプローチの総称。極端現象の頻度や強度など、何の変数を対象にするかによって、用いるモデルや手法は異なる。

2) 気候モデル

気候システムを構成する大気・海洋・陸面・雲・河川・雪氷・成層圏・大気汚染物質といった多岐に渡る要素を、物理法則に則った微分方程式で表現し、定量的に見積もる数値モデル全般を指す総称。地球全体を対象とする全球大気モデル、日本周辺の大気に計算領域を絞った高解像度の領域大気モデルがある。

3) 気象庁メソ客観解析データ

データ同化（メソ数値予報モデルと観測データを合わせた解析手法）により、日本周辺域を規則的な格子間隔（5kmメッシュ）で、水平方向・鉛直方向の大気の状態を表したデータ。

4) 非静力学モデル（NHM）

気象庁が開発したメソ数値予報モデル。領域大気モデルの一種。現業のメソモデル、局地モデルとして使われていた。現在は、現業では新しい非静力学モデルasucaが使われており、NHMは研究目的で使用されている。

5) 気温上昇除去実験

日本周辺（130°E-150°E、25°N-40°N）で平均した気温及び海面水温の上昇分を除いた気象庁メソ解析データを基に、領域大気モデルで台風第19号の大雨を計算する実験。ここでは、1980年以降の気温上昇及び工業化前からの気温上昇を除去する実験を行った。上記の日本周辺領域で平均すると、気温上昇は、前者が約1度、後者は約1.4度である。1980年以降の気温上昇は、気象庁55年長期再解析（JRA-55）、工業化前からの気温上昇は、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（d4PDF）の過去実験と非温暖化実験を基に算出した。過去実験は、過去の人為起源の温室効果ガス排出による気候を再現した実験。非温暖化実験は、工業化以降の人為起源の温室効果ガス排出がなかったと仮定した場合の気候を推定する実験。