

令和5年9月19日

令和5年夏の大雨および記録的な高温に
地球温暖化が与えた影響に関する研究に取り組んでいます。
—イベント・アトリビューションによる速報—

文部科学省気候変動予測先端研究プログラムでは、取組の1つとして、気象庁気象研究所と協力し、近年頻発している異常気象に地球温暖化が与えた影響を定量化するための研究を実施しています。今般、迅速化のために改良した手法を適用し、令和5年6月から7月上旬の大雨および令和5年7月下旬から8月上旬にかけての記録的な高温を対象として研究を実施した結果、地球温暖化の影響が大きく寄与していたことの検出に成功しましたので、詳細を以下のとおりお知らせします。引き続き、今夏の天候を対象として研究を進めてまいります。

1. 概要

文部科学省気候変動予測先端研究プログラムでは、全ての気候変動対策の基盤となる科学的知見の充実を図り、気候変動適応策の推進に取り組んでおります。その中で、気象庁気象研究所と協力し、極端な気象現象（以下「極端現象」という。）の発生確率及び強さに対する人為起源の地球温暖化の影響を定量化するイベント・アトリビューション（Event Attribution、以下「EA」という。）を実施しています^{※1}。

今般、地球温暖化の影響をより迅速に情報発信するための取組の一環として、文部科学省気候変動リスク情報創生プログラム（平成24～28年度）で作成された「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）^{※2}を応用して開発された、極端現象の発生確率に対する地球温暖化の影響を迅速に見積もる新しいEAの手法（予測型の確率的EA手法）^{※3}を、今年発生した大雨および記録的な高温に適用しました。また、大雨については、発生確率に加えて総雨量に対する地球温暖化の影響も併せて評価しました。

今夏の天候については、先般、気象庁が報道発表^{※4}したとおり、令和5年6月から7月初めに西日本で線状降水帯^{※5}に伴う豪雨災害が発生し、続く7月から8月にかけては、統計開始以降1位となる記録的な高温となりました。この研究では、今年の梅雨期の大雨に対してイベント・アトリビューションを実施した結果、地球温暖化によって6月から7月上旬の日本全国の線状降水帯の総数が約1.5倍に増加していたと見積もられました。また、7月9日から10日に発生した九州北部の大雨を対象に地球温暖化の影響を評価したところ、総雨量が約16%増加していたことが確認されました。一方、高温イベントに対する発生確率を見積もった結果、今年に入って発生したエルニーニョ現象^{※6}等の影響と地球温暖化の影響が共存する状況下では1.65%程度の確率で起こり得たことが分かりました。これに対し、地球温暖化の影響が無かったと仮定した状況下では、その他の気候条件が同じであっても、発生し得ない事例であったことが分かりました。

- ※1 本研究は下記の領域課題が連携した合同研究チームにより実施。
- 領域課題 1（東京大学）：気候変動予測と気候予測シミュレーション技術の高度化（全球気候モデル）（JPMXD0722680395）
 - 領域課題 3（気象業務支援センター、海洋研究開発機構）：日本域における気候変動予測の高度化（JPMXD0722680734）
 - 領域課題 4（京都大学）：ハザード統合予測モデルの開発（JPMXD0722678534）
- ※2 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）
- 気候モデルによる過去再現実験や非温暖化実験（1850年以降の温室効果ガス等の人為起源物質が排出されなかったと仮定した場合の境界条件を与えた実験。）、将来予測実験などから得られた気候データが保存されているデータベース。それぞれの実験について多数の計算例（1951年～2010年（データ公開時）、2011年～2023年6月（延長）の計算について100個の異なるシミュレーション結果）が利用できます。多数の計算例を使うことで、気温上昇の影響を確率的に捉えることができます。d4PDFは、文部科学省で開発したデータ統合・解析システム（DIAS）に蓄積されています。
- ※3 予測型の確率的イベント・アトリビューション（EA）手法
- 過去再現実験と非温暖化実験の多数の計算例を用いて、特定の極端現象の発生確率に対する地球温暖化の影響を見積もるEAを実施するためには、モデルに与える境界条件を現実の観測データから与える必要があります。予測型のEAでは、モデルに与える境界条件を気象庁が提供する3か月予報データから与えることで、予め各時季の数値計算結果を用意することが可能となり、情報発信までに掛かる時間を大幅に短縮できるようになります。今回は2023年7月から8月まで予測型のEAを実施しています。
- ※4 気象庁報道発表「令和5年梅雨期の大雨事例と7月後半以降の顕著な高温の特徴と要因について～異常気象分析検討会の分析結果の概要～」（令和5年8月28日）
- <https://www.jma.go.jp/jma/press/2308/28a/kentoukai20230828.html>
- ※5 気象庁が発表している「顕著な大雨に関する気象情報」では、降水量や降水域の形状に関する基準のほか、キキクル（危険度分布）に関する基準を用いて判定しており、本研究と抽出条件は異なります。
- 参考：気象庁HP「顕著な大雨に関する気象情報とは」
- https://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownbosai/kishojoho_senjokousuitai.html#b
- ※6 エルニーニョ現象
- 太平洋赤道域の日付変更線付近から南米沿岸にかけて海面水温が平年より高くなり、その状態が1年程度続く現象。

2. 研究内容

地球温暖化は喫緊の課題であり、私たちの日々の生活にも影響が現れ始めています。日本では、毎年のように甚大な被害を伴う気象災害が発生していますが、地球温暖化の進行とともに極端現象（いわゆる異常気象と呼ばれるかなり稀な現象を含む）の発生確率と強さが更に増加することが予測されています。

これまで、個別の気象条件下で生じる極端現象に対する長期的な地球温暖化の影響を科学的に定量化することは困難でした。なぜなら、日本の極端現象の主要因である太平洋高気圧の張り出しや上空ジェット気流の蛇行などは大気が本来持っている「ゆらぎ」が偶然重なった結果発生するため、一つ一つの事例について地球温暖化の影響を分離して定量化することが難しかったからです。

しかし、近年の計算機能力の飛躍的な発展により、起こり得る大気の流れの状態を、大量の気候シミュレーションによって網羅的に計算するという画期的な方法が誕生しました。気候モ

デルを用いて、温暖化した気候状態と温暖化しなかった気候状態のそれぞれにおいて、大量の計算結果を作り出して比較する手法を「イベント・アトリビューション (EA)」と呼びます。

文部科学省気候変動予測先端研究プログラムでは、世界に先駆けてこの手法を取り入れ、近年の日本の極端現象に適用してきました。例えば、温暖化影響の検出・評価を目的に設計された「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)」を用いて、平成30年7月の日本の猛暑の事例に対して EA を実施し、人為起源の地球温暖化がなければこの事例は起こり得なかったことを示しました。

一方で、EA は大量の気候シミュレーションを必要とするため、極端現象発生から結果が出るまでに数か月を要し、社会が求めるタイミングで迅速に情報発信ができないことが最大の課題となっていました。そこで、文部科学省気候変動予測先端研究プログラムの合同研究チームでは、極端現象発生後に迅速に EA を実施するための新しい手法を考案し、日本で発生する極端現象の EA に適用する取り組みを開始しました。

迅速化のための手法の一つである予測型の確率的 EA 手法では、境界条件として与える海面水温や海水の状態を気象庁の3か月予報データから得ることにより、EA に必要な大量のシミュレーションを予め準備しておくことで、高速化を実現しています(今回の事例では3か月予報データを7月から利用しています)。大気気候モデルを用いて現実の気候を再現するためには、温室効果ガス等の外部要因に加え、観測データから得られた現実の海面水温と海水の状態を境界条件としてモデルに与える必要がありますが、これらを事前に用意する手段を考案したことで、情報発信までに掛かる時間を大幅に短縮することに成功しています。今回の事例では、モデルの水平解像度を5kmまで細かくすることにも挑戦し、線状降水帯の振る舞いを調べることを可能にしました。

なお、今年の大雨については、発生確率に対する地球温暖化の影響だけではなく、雨量に対する影響も併せて評価しました。雨量を対象とする場合は、計算する領域と時間を極端現象発生時のものに絞り込んだ上で、現実¹に即した境界条件を高解像度気象モデルの上下四方に与え続けるという手法を採用します(量的 EA 手法)。これにより、極端現象発生時の気象状況をより正確にモデル内に再現することができるようになります。そのうえで、d4PDF の過去実験と非温暖化実験から得られた気温や海面水温の情報を用いて、仮想的に温暖化前の状態を作り、雨量への影響を評価します(擬似非温暖化実験)。温暖化した気候状態と温暖化しなかった気候状態の境界条件のもとでシミュレーションを行う点は確率的 EA 手法と同じですが、領域や時間を限定したことで計算量を減らし、迅速に EA を実施することができます。

3. 研究結果

(1) 令和5年梅雨期の大雨の EA

令和5年梅雨期の大雨事例について、予測型の確率的 EA 手法と量的 EA 手法を用いて評価しました。

予測型の確率的 EA 手法を令和5年6月から7月上旬の大雨発生期間に適用した結果、人為起源の地球温暖化により日本全国の線状降水帯の総数が約1.5倍に増加していたと見積もられ、特に九州地方で増加が顕著でした(図1)。

また、令和5年7月9日から10日に発生した九州北部の大雨を対象に量的 EA 手法を適用した結果、この時期の総雨量が、地球温暖化がなかったと仮定した場合と比べて16%増加していたことが分かりました(図2)。

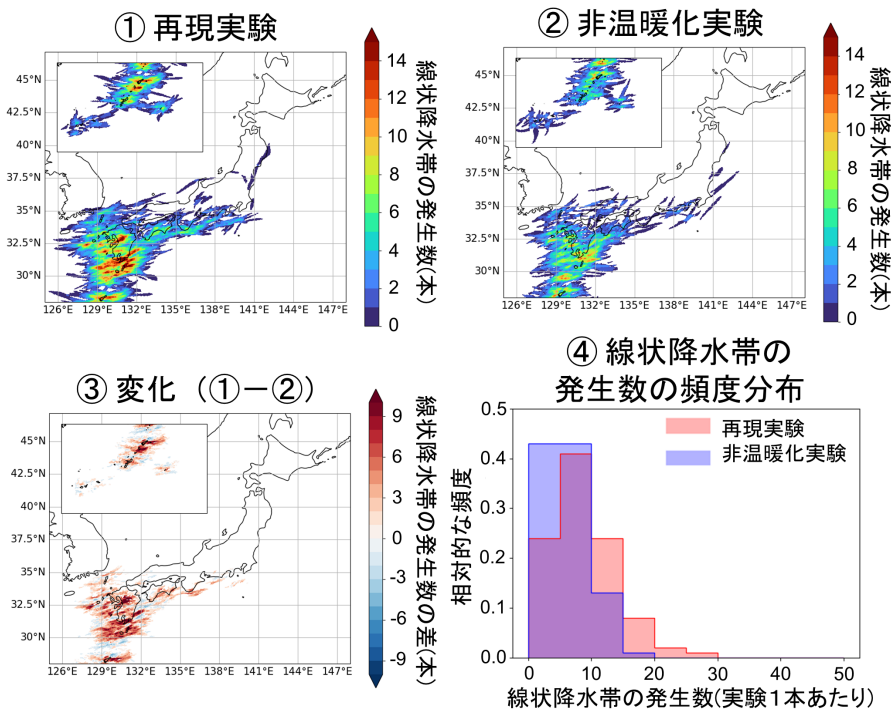


図1 令和5年6月から7月上旬にかけての線状降水帯の発生数

左から、①実際の（温暖化がある）2023年（令和5年）の気候条件下のシミュレーションにおける線状降水帯の発生数（100本のシミュレーションの合計値、期間は6月1日から7月10日）、②温暖化がなかったと仮定した2023年の気候条件下のシミュレーションにおける線状降水帯の発生数、③①と②の差、④解析領域内で合計した線状降水帯の発生数（シミュレーション1本あたり）を頻度分布で表現したもの（赤が①、青が②）。

36時間積算降水量

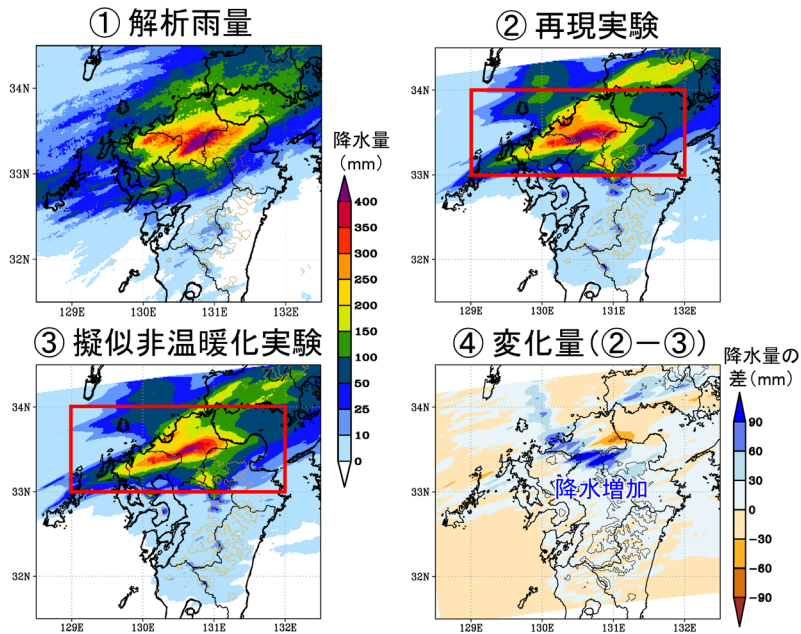


図2 令和5年7月9日から10日にかけての大雨事例のシミュレーション

7月9日9時から10日21時までの36時間積算雨量。左上から、①解析雨量、②実際の（温暖化がある）2023年（令和5年）7月9日から10日のシミュレーションにおける36時間雨量、③温暖化がなかったと仮定した2023年7月9日から10日のシミュレーションにおける36時間雨量、④②と③の差。赤枠内の陸上で総雨量を比較。①と②を比較することで、シミュレーションの再現性を検証できます。

(2) 令和5年7月後半以降の高温のEA

予測型の確率的EA手法を令和5年7月下旬から8月上旬の記録的な高温イベントに適用した結果、この時期の日本上空の気温の発生確率が現実的な気候条件下では1.65%（誤差幅0.26~3.51%）であったことが分かりました（図3）。これは、地球温暖化の影響を取り除かなくても、およそ60年に1度の非常に稀な高温イベントであったことを意味しています。

今年に入って熱帯太平洋ではエルニーニョが発生していますが、日本に冷夏をもたらす易いエルニーニョが発生していたにもかかわらず高温になった背景として、自然の「ゆらぎ」として発生していたフィリピン付近の対流活動や台風第6号などの偶発的で非常に極端な環境が影響していたものと考えられます。一方、このうち地球温暖化の影響のみを取り除いた場合の実験結果からは、今回の高温イベントの発生確率がほぼ0%、つまり、様々な偶然が重なったとしても、人為起源の地球温暖化による気温の底上げがなければ起こり得なかったことが示されました（図3）。

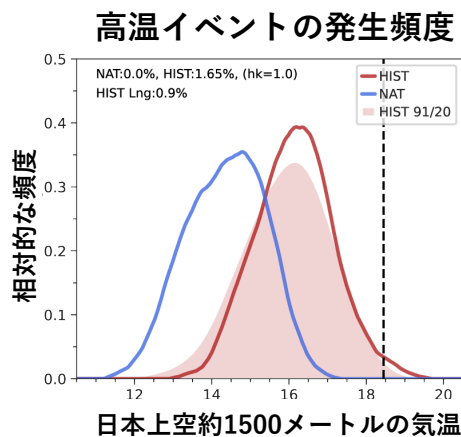


図3 令和5年7月下旬から8月上旬にかけての高温イベントの発生確率

横軸は、日本上空（東経138-146度、北緯37-45度）約1500メートルの気温の頻度分布（平均期間は7月23日から8月10日）。赤実線は実際の（温暖化がある）2023年（令和5年）の気候条件、青実線は温暖化がなかったと仮定した場合の2023年の気候条件。薄赤色の山型は、1991年から2020年の30年間を用いた場合の頻度分布。2023年の実測値を表す黒破線の値を超えた面積が今回の高温イベントの発生確率を表します。本高温イベントは、過去30年では発生確率0.9%程度の非常に稀な現象と言え、2023年値でも1.65%と稀な現象でした。これに対し、人為起源の地球温暖化がなかったと仮定した条件下では発生し得ない（発生確率ほぼ0%）現象であったと推定されました。

4. 今後の取組

予測型の確率的EA手法および量的EA手法の適用により、令和5年6月から8月にかけての極端現象を対象としたEAの研究成果を社会に対して迅速に情報発信することに繋がりました。これにより、地球温暖化が極端現象に与える影響について、一般市民の理解が深まることが期待されます。

引き続き、予測型の確率的EAの5km解像度の実験結果を分析することで、各都道府県の観測地点別の高温イベントの発生確率及び強さの評価を進めてまいります。

さらに、記録的な高温や大雨などの極端現象に加えて、極端現象に起因する洪水等の水災害までEAの対象を拡張した研究を進めてまいります。

現在、文部科学省気候変動予測先端研究プログラムでは、EAをさらに迅速化し、かつ簡易的に実施することを可能とする新しい機動的EAシステムを開発中です。このシステムを活用す

ることで、エルニーニョ等の地球温暖化以外の影響も評価することが可能になり、また気温や雨量以外の変数に容易に適用できるようになることが期待されます。

これらの研究を通じて、人為起源の地球温暖化の影響を社会に対して迅速に情報発信し、一人一人が地球温暖化の進行をより現実のものとして捉えることができるようにすることで、地球温暖化の問題解決に向けた行動につなげていくことを目指していきます。

今後、文部科学省としては、気候変動予測先端研究プログラム等を通じて気象庁気象研究所と協力し、全ての気候変動対策の基盤となる科学的知見の充実を図り、気候変動適応策の推進に取り組んでまいります。

<本研究に関するお問い合わせ>

東京大学 今田 由紀子 電話：04-7136-4385/E-MAIL：yimada@aori.u-tokyo.ac.jp

渡部 雅浩 電話：04-7136-4387/E-MAIL：hiro@aori.u-tokyo.ac.jp

気象庁気象研究所

川瀬 宏明 電話：029-853-8620/E-MAIL：hkawase@mri-jma.go.jp

高薮 出 電話：029-853-8606/E-MAIL：takayabu@mri-jma.go.jp

京都大学 竹見 哲也 電話：0774-38-4160/E-MAIL：takemi@storm.dpri.kyoto-u.ac.jp

森 信人 電話：0774-38-4321/E-MAIL：mori.nobuhito.8a@kyoto-u.ac.jp

<担当> 文部科学省 研究開発局 環境エネルギー課
環境科学技術推進官 松原（内線 4470）
専門職 小野（内線 4472）
電話：03-5253-4111（代表）
03-6734-4143（直通）
気象庁気象研究所 企画室 広報担当
電話：029-853-8535