

# 湿度が決める温暖化時の極端な雨の強まり方

—湿度が高い場合に豪雨は1°C当たり7%強まる—

## 概要

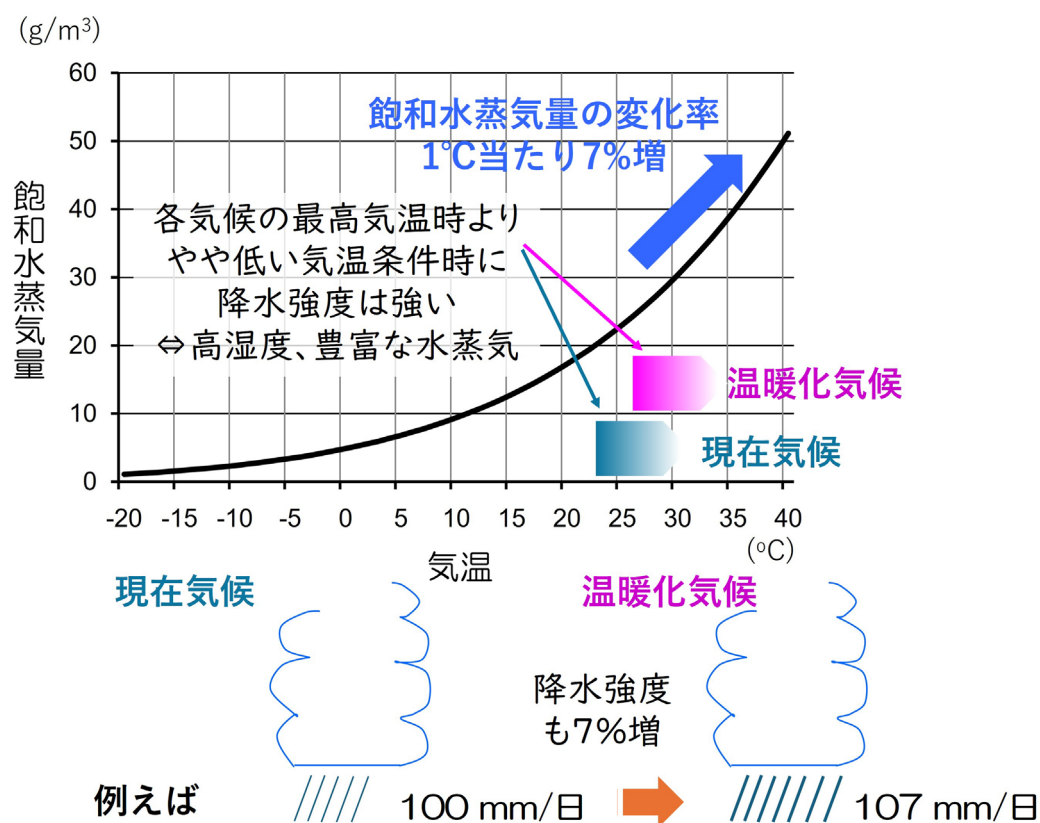
将来、地球温暖化が進行した時に、豪雨・台風・猛暑・干ばつといった極端な気象現象がどのように変化するのか、ということを理解することは、科学的にも社会的にも重要な課題です。

日本気象株式会社 Sridhara Nayak 主任研究員（元：京都大学防災研究所特任准教授）と京都大学防災研究所 竹見哲也教授の研究グループは、集中豪雨を念頭に置き、日本における極端な降水の温暖化時の変化の仕方について、気候予測データを用いて明らかにしました。使ったデータは、数値気候モデルを用いた現在の気候を再現した実験と、4°C上昇した温暖化気候を予測した実験結果で、20 km の分解能を持つものです。日本を7つの地域に区分して、地域性も調べました。

現在気候、温暖化気候ともに、気温が高いほど、極端降水は強まります。この極端降水の強まり方は、気温1°C上昇当たり7%程度の割合で増大します。特に、関東・中部地方より西側の地方では、この傾向が当てはまります。極端降水の中でも最も強い雨が出現する気温は、1年を通して気温が最も高い条件よりは、その次に気温が高い条件の時です。このような気温の条件の時に、湿度が高く、水蒸気が豊富に供給され、雨を強化します。そして、温暖化が進行するほど、極端降水が強まります。

今後は、より高分解能のデータを使って、集中豪雨への気候変動の影響を適確に把握することが必要です。

本研究成果は、2025年10月15日に国際学術誌「Scientific Reports」にオンライン掲載されました。



## 1. 背景

地球温暖化といった気候変動の影響は、地球の平均気温の長期的な変化として表れるのみならず、豪雨や台風、猛暑や干ばつといった極端な気象現象としても現れます。近年の気温の上昇傾向と極端気象現象の発生とを考えると、将来、地球温暖化が進行した時の極端気象現象がどのように変わっていくのか、その影響はどのような形で現れるのか、といったことを明らかにすることは大切です。極端気象現象によって様々な形で災害につながりうることから、将来の地球温暖化の影響を考慮して、適切に対策を取り、気候変動に適応していくことが必要です。

このような背景のもと、文部科学省による「気候変動予測先端研究プログラム」の領域課題4「ハザード統合予測モデルの開発」では、将来の気候変動の影響を量的に評価するための予測モデルを構築し、自然災害、水資源、生態系に及ぼす気候変動の影響について研究を進めています。

この「ハザード統合予測モデルの開発」の一環として進めている「激甚化する災害ハザードの温暖化要因の定量化」の研究課題では、災害を引き起こすような豪雨・台風・猛暑といった極端気象現象に及ぼす温暖化の影響を定量的に示すための研究を進めています。今回の研究では、集中豪雨を念頭において、極端な降水を引き起こす気象条件、中でも水蒸気の条件に着目し、将来の地球温暖化による極端な降水への影響の表れ方や気温上昇1℃あたりの極端な降水の変わり方の地域性や気象条件の変化の仕方を明らかにしました。

## 2. 研究手法・成果

本研究では、気候モデル<sup>1)</sup>を用いてコンピューターシミュレーションにより現在の気候の再現と将来の気候の予測を行ったデータを用いて、極端な降水と気象条件を分析しました。用いた気候モデルのデータは「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<sup>2)</sup>」というものです。本研究で用いた d4PDF データは、1951～2010 年の気候（現在気候、と呼ぶことにします）の再現実験、および地球の平均気温が4℃上昇した場合を想定した将来気候（温暖化気候）の予測実験によるものです。解析した領域は、図1に示す通り、日本列島をおおよそカバーする範囲です。また、解析に用いた d4PDF データは、20 km の分解能を持つものを利用しました。

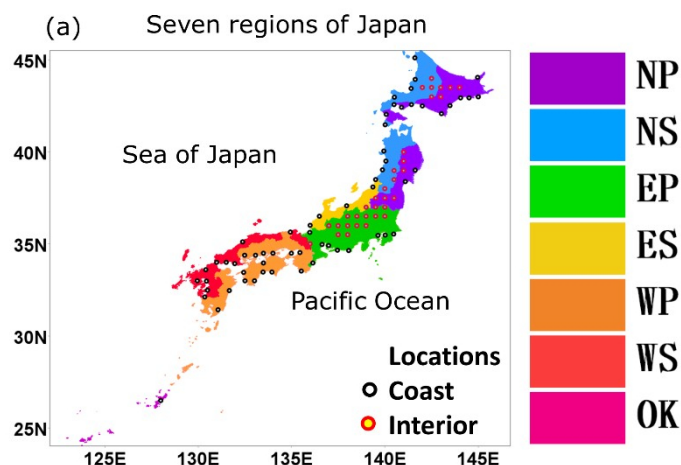
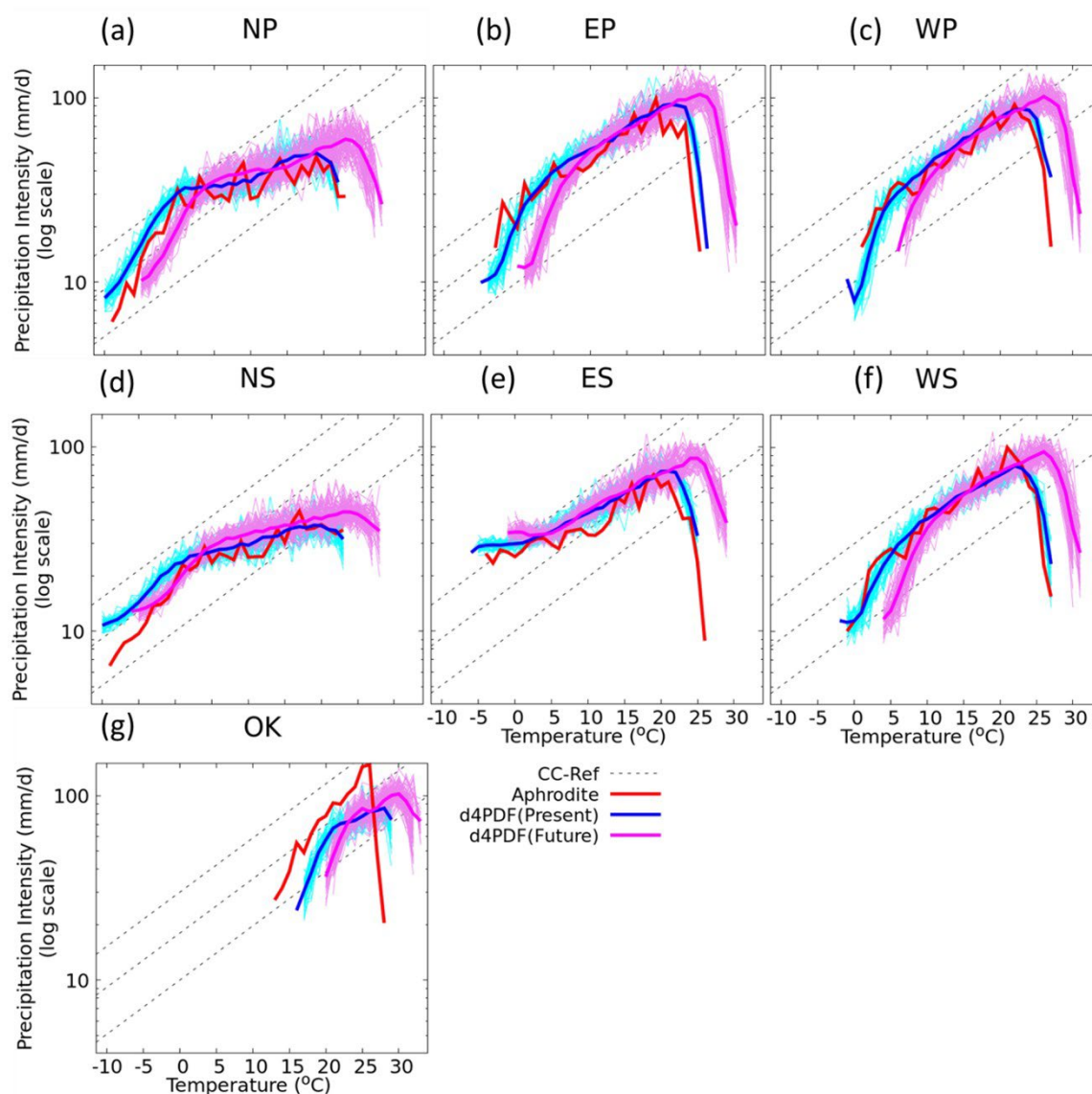


図1 解析の対象とした領域と7つの地域。7の地域区分は、北部太平洋側（NP）、北部日本海側（NS）、東部太平洋側（EP）、東部日本海側（ES）、西部太平洋側（WP）、西部日本海側（WS）、沖縄（OK）。

この現在気候と温暖化気候のデータから、それぞれの気候において、気温別に降水の強さ（本研究では、1日の降水量として表します；以下、降水強度）を調べました。ここで気温別に調べるとは、1°Cの範囲（例えば 19.5°Cから 20.4°Cの範囲で 20°Cでのデータとして整理する）で、その気温の範囲の時の降水強度の現れ方を見る、ということです。このようにして気温別に見ると、同じ気温でも降水強度は様々です。そこで気温別に、様々な降水強度のデータを強い順に並べ、上位 1%の降水強度を「極端降水」としました。この極端降水が、現在気候や将来気候において、どのような気温や水蒸気などの条件で現れるのかについて分析しました。

まず、解析対象の領域を、7つの地域に区分しました（図 1）。この 7つの地域毎に、気温別の極端降水の強さを調べました。結果を図 2 に示します。現在気候（青線）の結果を観測値（赤線）と比べると、現在気候はコンピューターシミュレーションで得られたものではあるものの実測を良好に反映しているものと評価できます。また、図中には、温度に対する飽和水蒸気量<sup>3)</sup>の変化の仕方についての理論線（飽和水蒸気圧曲線<sup>4)</sup>に基づくもの）も、参考として掲載しています。



**図 2** 7つの地域毎の気温別に見た極端降水の強さ。赤線は観測値、青線は現在気候、紫線は温暖化気候によるもの。灰色の点線は、飽和水蒸気量の温度に対する変化の仕方に関する理論に基づくもの。青・紫の細かい線は、各地域にある多数のメッシュ点から求められるばらつき具合を意味する。

図2の結果から、現在気候、温暖化気候（紫線）ともに、気温が高いほど、極端降水の数値が大きくなるのが分かります。この極端降水の上がり方は、飽和水蒸気量に関する理論式と比べると、理論式より変化が緩やかであったり急であったりする場合がありますものの、おおむね理論に従っている地域が多いと言えます。この理論式は、1℃上昇あたり飽和水蒸気量が7%増加する、というものです。水蒸気量と降水量とは同一ではありませんが、図2の結果から、極端降水の強まり方は1℃上昇あたり7%増加する、と言えます。特に、東部・西部の太平洋側・日本海側、沖縄では、この傾向が当てはまります。一方、北部では、極端降水の強まり方はやや小さめです。

図2の結果からもう一つ分かることは、いずれの地域でも、気温が最も高い部類の条件では、極端降水はそれほど強くない、ということです。ただし、最高気温の条件の出現頻度は低いのにに対し、その次に高い気温の条件の出現頻度はより高くなります。現在の気候において最高気温の次に高い部類の気温条件は、温暖化とともにより高頻度で出現します。その際の極端降水は、現在に比べて温暖化気候のほうがより強くなります。つまり、温暖化が進行するほど、極端降水が強まります。その強まり方は、1℃上昇あたり7%程度、ということになります。また、極端降水が強まるメカニズムとして、現在気候に比べて温暖化気候において、上昇流が強まる傾向にあることが挙げられます。上昇流が強まることで、雨雲がより発達するようになり、雨も強くなる、ということになります。

補足ですが、図2の最高気温の条件時に極端降水が弱くなるのは、大気の相対湿度が低い、つまり、より乾燥していることが原因です。大気が乾燥すると、雨雲が発達しにくくなりますので、強い雨も発生しにくくなります。このことから、図2のような特徴が表れたと言えます。

### 3. 波及効果、今後の予定

極端降水が起きる気象条件として気温と湿度の条件の双方が大切なことから、こういった気象条件を把握することが大切です。そして、将来の気候変動によって、集中豪雨がどう変化するのか、気温がどの程度上昇したら雨の強さはどのように変化するのか、ということを知ることは、豪雨災害への気候変動影響を把握して気候変動に適応してゆくために、大切な情報となります。今回の研究では、極端降水という指標で、集中豪雨を念頭において、温暖化の影響を明らかにしました。ただし、用いたデータの空間分解能が20 kmであるため、集中豪雨を正確に表現するにはまだ限界があります。今後は、より高分解能のデータを使って、集中豪雨への気候変動の影響を適確に把握することが必要です。

### 4. 研究プロジェクトについて

本研究は、文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」の領域課題4「ハザード統合予測モデルの開発」（JPMXD0722678534）の支援を受けて行われました。

#### <用語解説>

1. 気候モデル：地球の気候を再現または予測するためのコンピューターシミュレーション用の数値モデル。一般に気候モデルは、大気モデル、海洋モデル、陸面モデルなど地球の気候を形成する様々な要素を組み合わせたモデルです。d4PDFでは、大気モデルのみから構成された数値モデルが用いられています。
2. d4PDF：「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、database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)」。大気の気候モデルを用いて、スーパーコンピューターによって現在気候や将来気候の再現・予測をした大規模アンサンブルの数値実験データ。文部科学省「気候

変動リスク情報創生プログラム」により作成された気候予測のデータベースである。地球全体を対象とした全球気候モデルから 60 km 解像度、日本列島の領域を対象とした地域気候モデルから 20 km 解像度などのデータが利用できる。

3. 飽和水蒸気量：ある温度の時に単位体積当たりの大気を含むことのできる最大の水蒸気量のことを、その温度における飽和水蒸気量という。大気中の水蒸気の量を、水蒸気の圧力で表現した場合には、飽和している時の水蒸気の圧力を飽和水蒸気圧という。
4. 飽和水蒸気圧曲線：飽和水蒸気圧（飽和水蒸気量でも同じ）の温度に対する変化の割合を表示したもの。液体・気体の状態が平衡にある場合に成立するクラウジウス・クラペイロンの式を水の場合に当てはめたものである。

#### <研究者のコメント>

地球温暖化により豪雨・台風といった極端気象がどのように変化するかということを理解することは、科学的に興味深いとともに、社会的にも重要な課題です。温暖化による極端気象がどうなるのかということを、科学的に正確な根拠で定量的に示していくよう、今後も研究を進めたいと思っています。

#### <論文タイトルと著者>

タイトル：Regional and vertical scaling of water vapor with temperature over Japan during extreme precipitation in a changing climate（気候変動に伴う温度上昇に対する日本の極端降水時の水蒸気量分布の地域特性および鉛直特性）

著 者：Sridhara Nayak, Tetsuya Takemi

掲 載 誌：Scientific Reports DOI：10.1038/s41598-025-22287-6