

地球温暖化が近年の日本の豪雨に与えた影響について

気象庁 気象研究所 気候・環境研究部 主任研究官 **いまだ ゆきこ**
今田 由紀子

1. 地球温暖化と異常気象の関係を探る新手法

近年、日本では豪雨や猛暑などによる気象災害が後を絶ちません。図-1は、平成20年以降に気象庁が命名した気象災害を列挙したのですが、ほぼ毎年のように日本のどこかで気象災害が発生していることが分かります。

このうち過去4年間をさかのぼると、平成29年7月九州北部豪雨では土砂災害や洪水により

40名の命が奪われ、未曾有の気象災害と呼ばれた平成30年7月豪雨は200名以上の犠牲者を出しました。直後の平成30年夏の猛暑では東日本の高温記録を更新して、熱中症による死者数は1,400名を超えました。さらに同年9月に西日本に上陸した台風21号は、高潮や強風による多大な被害や社会経済へのダメージをもたらしました。また、令和元年東日本台風は関東に上陸し、河川氾濫などにより30名以上の犠牲者を、令和2年7月豪雨は球磨川を中心とする河川氾濫により80名以上の犠牲者を出しました。

平成20年8月末豪雨	名古屋市・岡崎市(愛知)の浸水害等。
平成21年7月中国・九州北部豪雨	防府市(山口)の土砂災害等、九州北部・山口・広島で死者30名以上。
平成23年7月新潟・福島豪雨	五十嵐川・阿賀野川(新潟)の氾濫等、新潟・福島で死者行方不明者6名。
平成24年7月九州北部豪雨	熊本広域の大水害、八女市(福岡)・竹田市(大分)の土砂災害・洪水害、矢部川(福岡)の氾濫等。死者行方不明者30名以上。
平成26年8月豪雨	台風12号・11号や前線停滞による西日本の土砂災害・河川氾濫・浸水。広島の土砂災害で死者74名。
平成27年9月関東・東北豪雨	鬼怒川(茨城)・渋井川(宮城)の氾濫等で死者8名、家屋被害16,000棟以上。
平成29年7月九州北部豪雨	朝倉市(福岡)・日田市(大分)の洪水害・土砂災害等、死者40名以上。
平成30年7月豪雨	西日本を中心に長時間の記録的大雨と広域的な被害。広島・愛媛の土砂災害、倉敷市真備町(岡山)の洪水害など、死者行方不明者200名以上。
令和元年房総半島台風(ファクサイ)	房総半島を中心とした各地で暴風等による被害。
令和元年東日本台風(ハギビス)	東日本の広範囲で記録的大雨。大河川の氾濫等による被害。1都12県で大雨特別警報を発表。
令和2年7月豪雨	西日本から東日本の広範囲にわたる長期間の大雨。球磨川(熊本県)などの河川氾濫や土砂災害による被害。死者行方不明者80名以上。

図-1 平成20年以降に気象庁が命名した豪雨事例の年表と概要
 参考：気象庁ホームページ「各種データ・資料」

このような状況下で必ず話題にのぼるのが、地球温暖化との関連です。地球温暖化のせいで近年の気象災害が発生している、という考え方はもっともらしく聞こえるかもしれませんが、このことを科学的に証明することは、実は簡単ではありません。個々の極端な気象現象は、大気や海洋が本来持っている「ゆらぎ」（偶発的に生じる日々や月々の変動など）が偶然重なった結果発生するため、その発生に地球温暖化がどの程度影響していたかを定量的に評価することは、これまで困難であると考えられてきました。

しかし、近年、地球温暖化などの将来予測に用いられるような気候モデルを駆使して大量の数値シミュレーションを行う「イベント・アトリビューション」という手法を用いて「ゆらぎ」を統計的に把握することで、地球温暖化の影響を定量的に評価することが可能になりました。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それぞれにおいて、注目する極端現象を対象とした大量の数値シミュレーションを行い、その現象の発生確率がどの程度変化したかを定量的に見積もる、という手法です。

イベント・アトリビューションはもともとオックスフォード大学の研究者が編み出した手法ですが、平成 23 年に『Nature 誌』で紹介されたのをきっかけに世界中から注目を集めました。当時、日本では文部科学省の「気候変動リスク情報創生プログラム」という研究プロジェクトが進行中でしたが、その中で東京大学大気海洋研究所、国立環境研究所、海洋研究開発機構、気象庁気象研究所を中心とするチームがいち早くこの手法を取り入れ、平成 24 年以降、毎年のように日本やアジアで発生する極端現象に対してイベント・アトリビューションを実施してきました。そして、地球温暖化がもはや将来の問題ではなく、その影響が私たちの生活に既に現れ始めていることを、国内外に発信し続けてきました。

2. 最先端の気候データベースの完成

さらに試行錯誤を重ね、平成 28 年には、最先端の高解像度の気候モデルを用いて、過去から将来までの大量のシミュレーション結果をまとめた「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 database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)」(以下、「d4PDF」という)が完成しました。d4PDF は、日本における極端現象の再現や温暖化影響の検出・評価を目的に作成された世界でも最先端のデータベースであり、イベント・アトリビューションも実施可能な設計になっています。平成 30 年 7 月の記録的猛暑を対象に行ったイベント・アトリビューションの例では、地球温暖化がなければこの現象が起り得なかったことを示し、世界中で話題となりました。

このような、猛暑を対象としたイベント・アトリビューションの例は比較的多いですが、一方で、日本のような、急峻な地形の影響を受けて発生する局所的な豪雨を対象としたイベント・アトリビューションは、スケールの小さな地形や降水システムなど、気候モデルでは再現が難しい要素が重要となってくるため、困難であることが従前から指摘されてきました。

さらに、地球温暖化によって大気中の水蒸気量、すなわち雨の原料が増加することは報道などでもよく説明されていますが、水蒸気が降水量に変換される過程には他の偶発的な現象（気圧の谷、台風など）が関わってくるため、水蒸気の増加と雨の増加を簡単に結び付けられるわけではありません。このことも、豪雨のイベント・アトリビューションが困難である要因の一つでした。

しかし、高解像度の気候モデルを用いて作成された d4PDF が導入されたことで、これらの課題を克服し、日本で局所的に発生する豪雨に対して温暖化の影響を陽に示すことに成功する研究例が出てきました。

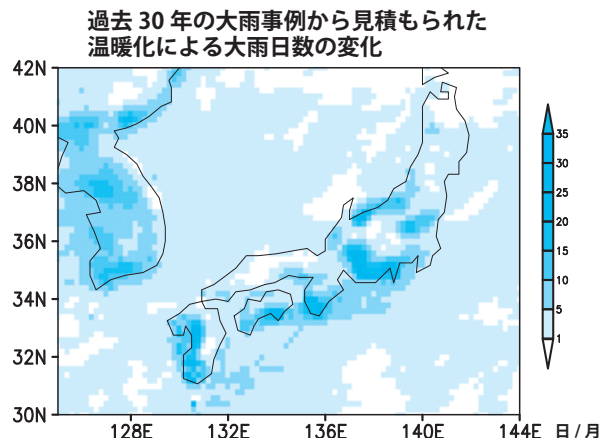


図-2 d4PDFの30年(1981～2010年)×100メンバーのシミュレーションによる、過去から現在までの7月の大雨日数(日降水量100mm以上になる日数)の変化(過去実験と非温暖化実験の差)

図-2に示したのは、d4PDFを使って見積もった「温暖化が進行している現実的な世界」と「温暖化がなかったと仮定した仮想世界」における梅雨期の日本の大雨の発生頻度(日降水量が100mmを超える日数)の差を示したものです。青色が濃いほど、温暖化によって大雨の頻度が増えていることを示します。

この図を見て、日本の急峻な地形が浮かび上がって見えることに気付くでしょうか? というのも、大雨の頻度の増加が目立っている場所は決まって、地形が盛り上がっている場所の南西側斜面だからです。

梅雨の時期、季節風は日本の南西から梅雨前線に向かって水蒸気を運んできます。これが日本の急峻な山地に当たると、風上側で地形性の上昇気流が発達し、水蒸気は雨となって落ちていきます。従って、風下側では水蒸気が除去された乾いた風が吹くこととなります。

つまり、山地の北東側は梅雨性の大雨は発生しにくいということになります。図-2が意味しているのは、梅雨前線が原因となって発生する大雨は、地球温暖化によって確実に発生確率が上がっている、ということです。

日本では通常6～7月に梅雨前線が出現し、南西から水蒸気を乗せた風が吹いてきて山地の風上側で雨が降る、という状況は毎年ほぼ同じなの

で、地球温暖化による水蒸気増加の効果が雨の増加に直接反映されやすくなっていると考えられます。

一方で、南西側斜面以外でも豪雨が発生することも、皆さんはよくご存知だと思います。それらの豪雨の主な原因は何なのでしょう? というまでもなく、それは台風です。台風の周辺の風は反時計回りに吹きますので、台風が南から接近してくると山地の東側が風上になる場合が多く、梅雨性の雨とは逆のことが起こります。

図-2が示唆するのは、台風が原因となって起こる大雨については、地球温暖化の影響をはっきりと証明することができない、ということです。これには二つの理由が考えられます。一つは、台風が日本に接近するか否かは偶然性が非常に高く、温暖化の影響があったとしても検出が難しいこと、もう一つは、d4PDFに用いられているような気候モデルが再現する台風の長期変化傾向は不確実性が高く(モデルが変わると結果も変わる)、台風の動向を正確に捉えられていない可能性があることです。

では、普段からあまり雨が降らない地域では、どうなっているのでしょうか。平成26年8月豪雨や平成30年7月豪雨の際には、普段は雨が少ない瀬戸内地域で大雨となり、土砂災害や水災害で多くの命が奪われました。この地域は中国山地と

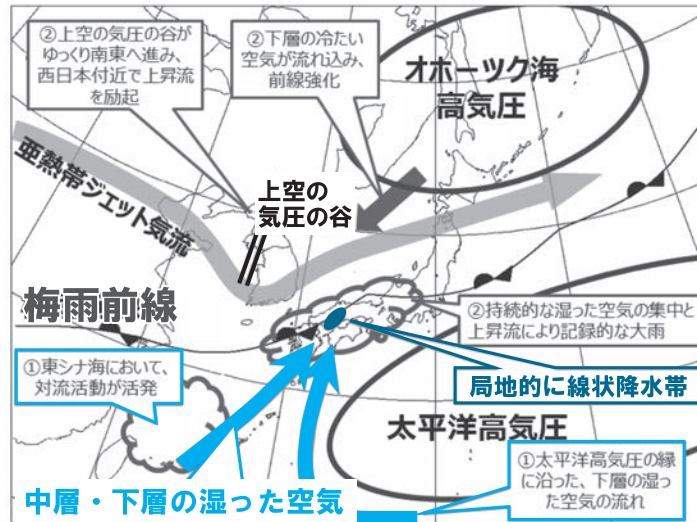


図-3 平成30年7月豪雨時の日本周辺の気象場の概要
平成30年8月10日の気象庁報道発表資料を一部改変

四国山地に挟まれているため水蒸気が流れ込みにくく、たまたま台風が直撃したり、たまたま水蒸気が細い通路を通过这个地域に入り込んだりした場合にまれに大雨になります。このように、瀬戸内地域で発生する豪雨は事例によって要因もさまざまで、偶然性が高いため温暖化の影響の検出が難しくなっています。

3. 豪雨のイベント・アトリビューションへの挑戦

ここまでは、日本の各地域で発生する大雨を総合的にみてきましたが、冒頭で述べたイベント・アトリビューションの醍醐味は、一つの豪雨事例に焦点を当てて、温暖化の影響がどの程度であったかを数値で表すことができる点です。ここでは、平成29年7月九州北部豪雨（九州北西部）と平成30年7月豪雨（瀬戸内地域）の大雨の発生確率について、地球温暖化の影響を評価した例を紹介します。

大雨特別警報の基準の一つである「50年に一度の大雨」を基準値として、このレベルの大雨の発生確率が過去から現在までの地球温暖化によってどの程度変化していたかを、d4PDFの平成29年7月と平成30年7月でそれぞれ見積もって

ると、平成29年7月九州北部豪雨時の発生確率は、温暖化が進行している現実の気候条件下では約2.8%、温暖化がなかった気候条件では約1.9%、平成30年7月豪雨時の発生確率は、温暖化が進行している現実の気候条件下では約4.8%、温暖化がなかった気候条件では約1.5%と推定されました。

つまり、過去から現在までの地球温暖化の影響により、平成29年7月九州北部豪雨の発生確率は約1.5倍に、平成30年7月豪雨の発生確率は約3.3倍になっていたと考えられます。

ここで一つ疑問が生じます。平成29年7月九州北部豪雨は地形の風上側で発生した典型的な梅雨性の豪雨でしたので、地球温暖化の影響が検出しやすいケースであったことは前述したとおりです。

一方、平成30年7月豪雨の際に大きな被害が出た瀬戸内地域は、図-2から推察すると地球温暖化の影響が出にくい場所であると考えられますが、実際は、温暖化の影響で発生確率が3.3倍になったという大きな値がはじき出されました。なぜそのような結果が得られたのでしょうか？この時の豪雨発生の背景にあった気象場から要因を探ってみましょう。

図-3は、平成30年7月豪雨の発生要因をま

とめた概念図です（平成30年8月10日の気象庁報道発表資料より抜粋・改変）。瀬戸内地域においては、西側の気圧の谷と東側の太平洋高気圧の張り出しに挟まれる形で、水蒸気が西日本に収束するような大気の状態になっていました。この水蒸気の流れは、運悪く四国と九州の間の豊後水道上を通り抜けて、大量の水蒸気を瀬戸内地域に送り込みました。

つまり、この事例に限っては、南西側斜面の場合と同様に、水蒸気の流れが大雨の主要因になっていたということであり、地球温暖化に伴う水蒸気増加の影響が大雨の発生確率に直接影響する状況になっていたといえます。

過去数十年の長い期間のデータを眺めているだけでは、この地域の大雨の要因は事例によってさまざまなので、明瞭な大雨頻度の変化傾向は見え

てきませんが（図-2）、事例を絞ることで初めて地球温暖化の影響を検出することが可能になったわけです。

4. おわりに

このように、イベント・アトリビューションは、漠然と感じている地球温暖化の極端現象への影響を数字で示すことが可能な方法です。イベント・アトリビューションの結果を発信することで地球温暖化の影響を実感していただき、現在我々が暮らしている世界、また今後子供たちが暮らしていく世界がどのような危機に直面しているのかを実感し、一人一人の危機感を高めていく手助けをすることが我々の使命であると考えています。