

2018年7月豪雨の異常さと地球温暖化による影響評価

The Abnormality of the Heavy Rainfall Event in July 2018 and the Impact Assessment of Global Warming on It

小坂田ゆかり⁽¹⁾・中北英一

Yukari OSAKADA⁽¹⁾ and Eiichi NAKAKITA

(1) 京都大学大学院工学研究科

(1) Graduate School of Engineering, Kyoto University, Japan

Synopsis

The heavy rainfall event in 2018 was an extraordinary widespread and long-lasting heavy rainfall and caused a big damage. In this paper, we analyzed the abnormality of the heavy rainfall event in July 2018 in terms of some spacio-temporal scale indices, “atmospheric pattern”, “the amount of water vapor inflow”, and “the accumulated precipitation amount”, by comparing with the ensemble output of present and future climate experiments of climate model. As a result, the frequency of similar atmospheric pattern to that of the event in 2018 will not increase in the future climate. However, the amount of water vapor inflow will remarkably increase, moreover the accumulated precipitation of meso- β localized heavy rainfall, that could be a trigger of disaster like landslide or flooding, will also become more intense in the future climate. It is indicated that the frequency of similar widespread and long-lasting heavy rainfall may not increase but if the similar one occurs, the total rainfall amount is possibly increase and the disasters will also become more severe.

キーワード: 平成30年7月豪雨, 長時間, 広域, 気候変動, 災害

Keywords: the event in July 2018, long-lasting, widespread, climate change, disaster

1. はじめに

1.1 研究の背景

昨今, 大きな人的被害を伴う梅雨豪雨災害が頻発している. 平成30年7月豪雨(以下, 2018豪雨と記す)では, 2018年7月5日から数日にわたって梅雨前線が日本列島上に停滞した. 2017年に発生した, 典型的な梅雨豪雨である九州北部豪雨と比較するとその降雨強度は弱かったものの, 断続的に雨が降り続いたことにより, 西日本を中心とする非常に広域で多量の雨がもたらされ, 各地で大規模浸水や土砂災害などが発生した. その結果, 死者224名(内閣府, 2018)

という, 風水害においては平成最大の死者数となる甚大な人的被害が発生した. これまで典型的な梅雨期の豪雨としては, 2017年九州北部豪雨や平成26年広島豪雨のように, 同じ場所から積乱雲が繰り返し発生し組織化することで1つの系として局所的なエリアに停滞する, メソ β スケールの線状対流系が多く, その降雨強度の強さと局所性から非常に危険な事象として認識されてきた. 一方, 2018豪雨のような広域・長時間豪雨はこれまで同様の豪雨事例も少なく, 危険な現象であると強くは認識されてこなかった. また, 降雨及び災害のどちらにおいても, 典型的な梅雨豪雨である線状対流系とは大きく異なる

特徴を有していたため、我々に多くの新たな視点をもたらす契機となったと言えるだろう。

気象庁（2018）は2018豪雨について、特定の豪雨事例に関して初めて地球温暖化の影響を示唆した。さらに、平成30年の11月には気候変動適応法（環境省，2018）が施行されるなど、地球温暖化によってこうした豪雨災害が将来どのように変化するかという確度の高い将来予測の重要性はますます高まってきている。気象災害と地球温暖化の関連が注目される中、我が国では文部科学省「21世紀気候変動予測革新プログラム（2007~2011年度）」（以下、革新と記す）や「気候変動リスク情報創生プログラム（2012~2017年度）」（以下、創生と記す）等が実施されてきた。革新では全球平均気温約2.5度上昇のSRES A1Bシナリオ、創生では約4度上昇のRCP8.5シナリオで将来気候が計算され、各プログラムで20km解像度の全球気候モデルAGCM20や、そのネスティングによって作成された5km解像度の領域気候モデルNHRCM05など、様々な気候モデルが開発されてきた。気候モデルデータについては後に詳述するが、これらの気候モデルデータを用いて、これまで豪雨の将来予測研究は精力的に行われてきた。

1.2 既往研究と本研究の目的

梅雨期の豪雨に関してはこれまで多くの研究がなされてきた。Osakada and Nakakita（2018）はメソ β スケールの局所的な梅雨豪雨を対象として、創生で出力された5km領域気候モデルデータの降雨分布を解析することで、将来その発生頻度が全国的に増加することを示している。これは、革新の5km領域気候モデルデータを用いて同様の解析を行った中北ら（2012）の結果とも整合的であり、確度の高い結果であるといえる。さらに、局所的な梅雨豪雨だけでなくメソ α スケールから梅雨期の極端降水についても解析されている。Kanada *et al.*（2012）は革新の5km領域気候モデルデータを用いて、将来の7月上旬において、総雨量のうち日降水量100mmを越す極端降水が占める割合が増加することを示した。また岡田ら（2015）も、創生の全球気候モデルデータを用いて6~7月に日降水量100mmを越す極端降水が発生する頻度が西日本で高まることを示している。このように、将来は局所的な梅雨豪雨の増加や、日降水量などの指標を用いた極端降水の増加が予測されてきた。

本研究では、平成30年7月豪雨のように、長期間にわたり梅雨前線が停滞し、多くの総雨量をもたらすような豪雨が、地球温暖化の影響によって将来どう変化するのか、という点に焦点を当てる。2018豪雨の降雨特性と災害の特徴を整理し、それらの特徴の将来変化を解析することを目的とする。

1.3 使用データ

2018豪雨の気象状況及び災害特性の解析では、まず国土交通省のXRAIN（X-band Polarimetric Radar Information Network）を利用した。XRAINは偏波ドップラーレーダー（以下、MPレーダーと記す）のネットワーク網のことである。XバンドMPレーダーは3次元立体観測が可能であり、その偏波機能により高い降雨強度の推定精度を実現している（五道ら，2014）。XバンドMPレーダーは強雨域背後を観測する際に減衰の影響を受けるが、XRAINはそれを補うためにネットワーク化され、これにより全国の政令指定都市をカバーしている。さらに、近年はより観測範囲を広げるため、広範囲観測が可能なCバンドMPレーダーも新たに導入され始めた。その結果、広範囲でかつ降雨強度の定量評価が可能な、X及びCバンドMPレーダーの合成雨量（以下、CX合成雨量と記す）も開発された（山地ら，2016）。そして、大気場の解析には気象庁のメソ数値予報モデルMSMのデータを用いた。

一方、気候変動の影響評価には創生の気候モデル出力を用いた。雨量や降雨分布の解析には、全球気候モデルMRI-AGCM3.2S（Mizuta *et al.*, 2012. 以下、AGCM20と記す）のネスティングにより開発された、5km解像度のMRI-NHRCM05（Murata *et al.*, 2015. 以下、RCM05と記す）を用いた。創生のRCM05はRCP8.5シナリオに基づき将来気候実験が行われており、計算期間は現在気候（1981-2000）と将来気候（2077-2096）それぞれ20年間である。また将来気候に関しては4本の海面水温アンサンブル（以下、c0~c3と記す）が出力されている。RCM05は5km解像度、30分出力と非常に高い時間空間解像度を持つため、降雨出力で局所的な梅雨豪雨のようなメソ β スケールの現象をも表現することが可能となった。さらに、創生では大量アンサンブルデータであるd4PDF（database for Policy Decision making for Future climate change）も開発されている（Mizuta *et al.*, 2017）。d4PDFの将来気候は全球平均気温4度上昇定常状態で計算されており、20km解像度の領域気候モデルと60km解像度の全球気候モデルがある。20kmのd4PDFは現在気候60年で50アンサンブル、将来気候60年で90アンサンブルが出力されており、60kmのd4PDFは現在60年で100アンサンブル、将来60年で90アンサンブルが出力されている。これにより、極端現象の統計的な将来変化予測も可能となった。一方、d4PDFはRCM05と比べて解像度がやや粗く、メソ β スケールの現象を表現することはできないので、本研究では20km解像度のd4PDF（以下、d4PDF20と記す）をメソ α 以上の大気場等の解析に用いた。

2. 平成30年7月豪雨の特徴

2.1 気象概況および降雨特性

本章ではまず、2018豪雨の気象特性と災害の特徴について述べる。

Fig. 1左図に、CX合成雨量から作成した2018豪雨の60時間積算雨量、右図にMSMから作成した2018年7月5～7日の3日間平均海面更正気圧と地表面水蒸気フラックスを示す。2018豪雨では非常に広域で多くの総雨量が記録されており、500mmを超えている地点も複数存在する。また気象概況としては、太平洋高気圧とオホーツク海高気圧に挟まれる形で梅雨前線が明瞭に存在し、南西方向から日本列島に非常に豊富な水蒸気が流入していた。2018豪雨の大きな特徴は、それほど強くない雨域が広い範囲を覆い長時間降り続いた点である。1972年の7月11～13日にも梅雨前線が長時間停滞して西日本の広域に災害をもたらしたが、その1972年豪雨以来の長時間・広域豪雨であった。そして2018豪雨では、広い弱雨の中で時折、スケールが小さく比較的強い線状の雨域が何度も通過していったことも特徴的であった。

次に、Fig. 2に2018豪雨時の広島県と平成29年九州北部豪雨時の福岡県におけるCX合成雨量とXバンドMPレーダーによるレーダー反射強度の立体図を示す。左図は2018豪雨の弱雨時、中図は2018豪雨の強雨時、そして右図が平成29年九州北部時を示す。立体図は、降雨強度の図中に白矢印で示す方向からの図で、それぞれ80km四方の領域のみを図示している。これを見るとFig. 2左に示す2018豪雨の弱雨時は平成29年九州北部豪雨時と比較して雲の低さが低い。

このことは、川野・鈴木・川村（2018）による「平成29年九州北部豪雨時には雷が多く発生したが、2018豪雨時には雷が少なかった」という結果と対応するものである。一方、Fig. 2中図に示す、2018豪雨でも時折発生した比較的強い線状の雨域は、弱雨時と比較して高くまで雲が発達している。すなわち2018豪雨は、基本的には背の低い雲による弱雨で広域が覆われており、その中に時折、弱雨の中に埋め込まれたような形で比較的背の高い雲による強い線状の雨域が通過した、という特徴を持っていたと言える。ただしここで、2018豪雨で発生した線状の強雨域が、必ずしも平成29年九州北部豪雨のような典型的な線状対流系であったというわけではないことに留意したい。

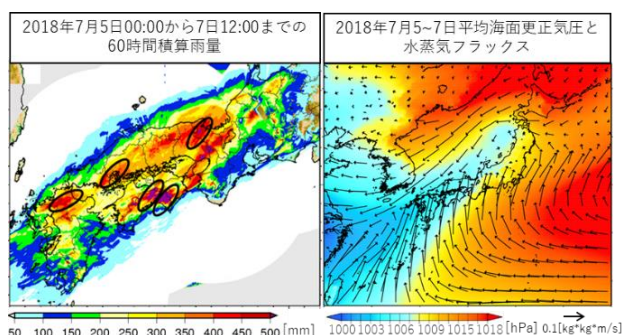


Fig. 1. (Left) 60-hours accumulated rainfall amount from 2018/07/05 00:00 calculated by using CX composite radar data and (right) 3-days averaged sea level pressure (color) and surface water vapor flux (arrow) obtained by MSM.

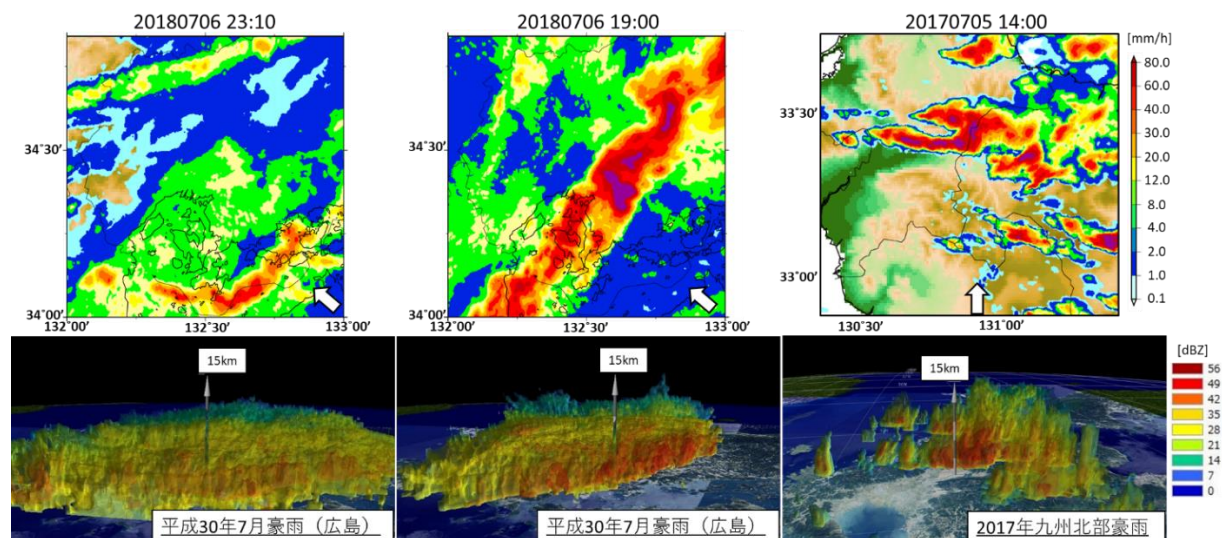


Fig. 2. (Upper) Rainfall intensity and (lower) radar reflectivity for (left and middle) the heavy rainfall event in July 2018 and for (right) the Northern Kyusyu heavy rainfall event in July 2017.

2.2 災害の特徴

次に、災害の特徴について述べる。2018豪雨では、比較的弱い雨ではあるものの、非常に長時間降り続いたことにより総雨量が増加し、岡山県真備町などにおける大規模浸水や広島県の安佐北区や呉市などにおける土砂災害など、多くの地点で災害が発生した。2018豪雨の災害は平成29年九州北部豪雨のような典型的な梅雨豪雨とは大きく特徴が異なるものであったため、ここでは広島県で発生した土砂災害を例に、災害発生時の状況について詳述する。

Fig. 3に、左からそれぞれ、広島県の呉市や安佐北区付近における降雨強度、2018年7月5日00時からの積算雨量、土壌雨量指数を示す。上段から6日19時、7日02時、7日05時の図である。積算雨量と土壌雨量指数の図中に示す白い星印は土砂災害があった場所を表しており、赤字のタイトルは土砂災害が発生したおよその時刻であることを示す。降雨強度と積算雨量の図はCX合成雨量から作成し、土壌雨量指数及び土砂災害の発生場所・時刻の情報は国土交通省砂防部からご提供いただいた。

Fig. 3の上中下段の各時点で、それまで降り続いた長雨により既にながりの積算雨量となっている。2018豪雨と同様に、広島県の安佐北区付近に大規模な土砂災害をもたらした平成26年豪雨における総雨

量が300mm未満であった（土木学会水工学委員会災害調査団、2015）ことを踏まえると、Fig. 3上段の6日19時時点で既に、山腹斜面や河川流域では水が満杯近くになっており、それ以上少しでも豪雨があると土石流や斜面崩壊が生じ得るような状態であったことが推測される。すなわち、ぎりぎりの耐えうる限界にあったと言える。そこへ、Fig. 3の左列で示すように、畳みかけるかの如く比較的強い線状の降水帯が何度も押し寄せ、1波、2波、3波、4波と通過していった。その度に、既に満身創痍であった多くの山腹斜面で次々と土砂災害を引き起こしていった。この比較的降雨強度の強い雨は、前節で述べた比較的雲の背が高い雨域であり、この強雨域がトンカチで連打するかの如く、多くの地点で土砂災害を起こしていった。

2018豪雨の災害は、長時間の長雨によって既に水が溢れそうになっていた山腹斜面や河川流域に、容赦なく、また新たに次々と豪雨の波が押し寄せたことにより、耐えきれなくなり発生した、という様相であった。災害を引き起こす最後のトンカチ役となった、周囲の雨域と比べると比較的強い豪雨の1波、2波の影響を評価するには、今後レーダーなどを用いた短時間降雨予測の更なる強化やその利用の促進も図る必要があるだろう。

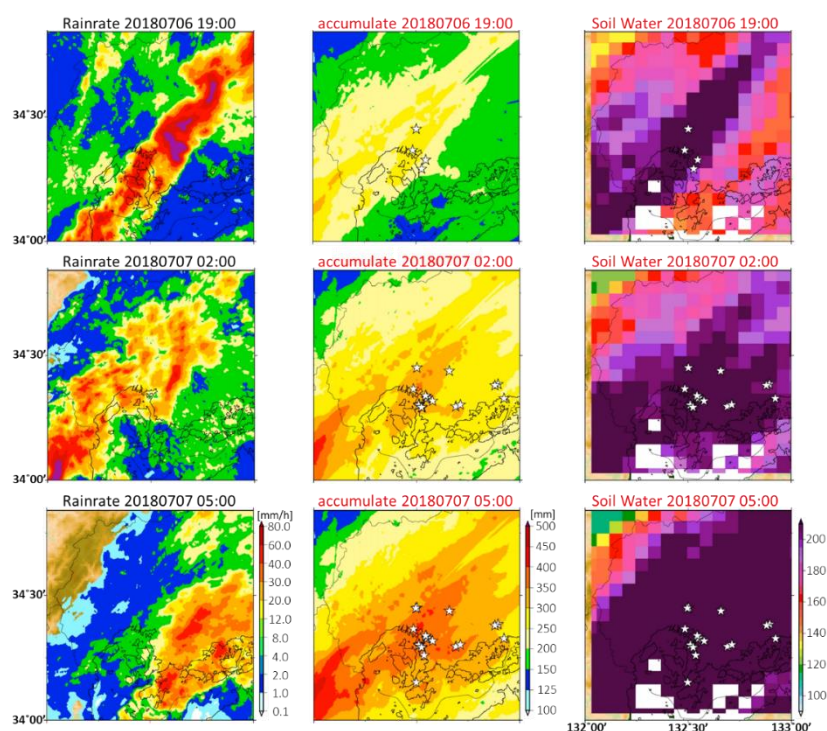


Fig. 3. (Left) Rainfall intensity, (middle) accumulated rainfall amount from 7/5 00:00, and (right) soil water index around Hiroshima area in the heavy rainfall event in July 2018. White star marks in middle and right figures represent the location of landslides, and titles in red represent roughly timing of landslide occurrence. Soil water index and the information of landslide location and time of occurrence were provided by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism.

3. 地球温暖化の影響評価

3.1 大気場パターンの将来変化

ここからは、前章までで述べた2018豪雨の特徴の将来変化について述べる。本節では初めに、梅雨前線が停滞した2018豪雨の大気場の特徴に注目し、この大気場と類似した大気場の発生頻度を、d4PDF20を用いて解析した。

3.1.1 SOMを用いた解析

まず、クラスター分類手法の1つであるSOM手法を用いて、大気場の解析を行った。SOMは入力層と競合層（出力層）からなる教師なしのニューラルネットワークである。SOMは入力データである大量の多次元データを特徴ごとに集めて、低次元のマップ上に視覚的にわかりやすく分類することができる。入力データの代表的な特徴はマップ上の各ノードで表現され、マップ上の位置的に近いノードは互いに類似した特徴を持ち、反対に遠いノードは互いに異なる特徴を持つように組織化される。そしてさらに、SOMマップ上に仮想的に表現された特徴と実際のデータのユークリッド距離を計算し、最小のユークリッド距離を持つ（最も類似した）ノードにデータを分類することも可能である。SOMのアルゴリズムの詳細は中北・小坂田（2018）を参照されたい。

本研究では、2018豪雨と類似した大気場パターンの将来変化を解析するため、入力ベクトルとしてAGCM20の3日平均海面更正気圧と水蒸気フラックスを用いて各変数それぞれに対して50ノードずつのSOMマップを作成した。そしてさらに、AGCM20から作成したSOMマップ上にd4PDF20の大気場指標も分類し、各ノードに分類された将来気候と現在気候の大気場の数を比較することによって、各ノードで表現された大気場パターンの将来変化を解析した。今回は梅雨期の大気場を解析するため、AGCM20、d4PDF20ともに6～8月のデータを用いた。

d4PDF20の大気場をSOMマップ上に分類し、各ノードに分類された将来と現在の大気場の数を示した図をFig. 4に示す。寒色のノードは将来減少する大気場パターンを、暖色のノードは将来増加する大気場パターンを意味している。さらに、黄色の星印はMSMから作成した2018豪雨の際の3日平均海面更正気圧と水蒸気フラックスが分類されたノードを示している。Fig. 4を見ると、2018豪雨発生時の3日平均大気場が分類されたノードは寒色であり、将来増加するパターンではない。しかし、その周辺は寒色や暖色が混在しており、明瞭な傾向ではない。またSOMというクラスター分類手法では2018豪雨の極端な大気場の特徴が十分に表現されていない可能性もある。

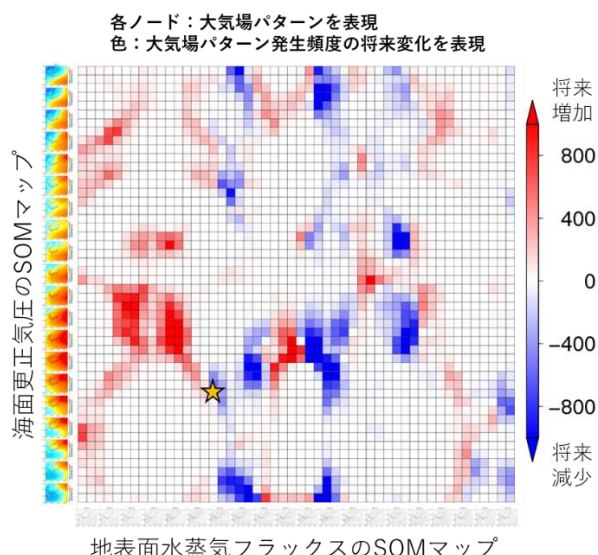


Fig. 4. The classification of d4PDF20 on SOM map. The red (blue) node represents the atmospheric pattern that will increase (decrease) in the future climate. Yellow star shows the node where the atmosphere of the event in 2018 was classified on.

3.1.2 再現期間の推定

そこで次に、SOM手法を用いず直接2018豪雨の大気場との類似度を算出するという方法で解析を行った。本解析でも、Fig. 1左で示した3日平均の海面更正気圧と地表面水蒸気フラックスを大気場指標とし、類似度指標としてユークリッド距離（以下、距離と記す）を用いた。今回は2018豪雨の大気場との距離にある閾値を設け、その閾値以下の距離を持つ大気場の数を、d4PDF20の将来気候と現在気候で比較した。閾値は、2018豪雨と同様に長時間かつ広域豪雨であった1972年豪雨の大気場と2018豪雨の大気場との距離とした。次頁のFig. 5に本解析のイメージ図を示す。また、次頁のFig. 6にMSMから作成した2018年7月5～7日平均（Fig. 1左の再掲）、JRA55から作成した1972年7月11～13日平均の海面更正気圧と地表面水蒸気フラックスを示す。これらの現実には発生した2つの事例どうしの大気場の距離が閾値となる。

Fig. 6を見ると、1972年豪雨発生時も太平洋高気圧とオホーツク海高気圧の間に南西から水蒸気が入り込んで梅雨前線が形成されており、2018豪雨の大気場と同様の特徴を持っていることがわかる。ここで、今回用いた指標はあくまで3日平均値であることから、必ずしも梅雨前線が3日間停滞していたことにはならない。しかし、3日平均値でも高気圧と梅雨前線の構造が明瞭であるため、3日平均値は梅雨前線の停滞を表現できていると仮定し、以下の解析を進めた。

距離は、比較する大気場どうしの、各グリッドにおける大気場指標の距離の総和で表される。距離を

算出する際、海面更正気圧と地表面水蒸気フラックスの値のオーダーを揃えるため、d4PDF20の将来・現在全てのデータの、各グリッドにおけるそれぞれの変数の最大値と最小値を用いて、（正規化前の値－最小値）／（最大値－最小値）とすることで、各変数を0～1の値に正規化した。本研究では梅雨期の大気場頻度を解析するため、d4PDF20の将来と現在それぞれの6～8月のデータを用いた。

まず、海面更正気圧と地表面水蒸気フラックスの2変数を大気場指標として解析を行った。閾値となる、2018豪雨と1972年豪雨それぞれの大気場どうしの距離を算出した結果、13.4170となった。そして、2018豪雨の大気場との距離が13.4170以下となるd4PDF20の大気場の数をカウントすると、現在3000年（60年×50アンサンブル）で107回、将来5400年（60年×90アンサンブル）で35回となった。これを再現期間に換算すると、現在で約28年に1回、将来で約154.3年に1回となる。すなわち、将来気候では2018豪雨と同様の大気場は減少する結果となった。

次に、類似度の高い大気場としてd4PDF20から抽出された大気場の、海面更正気圧と地表面水蒸気フラックスの平均値を次頁のFig. 7に示す。現在と将来のどちらにおいても、発達した太平洋高気圧とオホーツク海高気圧に挟まれた梅雨前線の構造が良く表れており、2018豪雨の特徴と類似度の高い大気場を上手く抽出できていると言える。同様に3日雨量の平均値もFig. 8に示す。現在と将来ともに、西日本を中心とする広域で降雨があり、Fig. 1の左図で示す2018豪雨時の降雨分布と似た空間分布をしている。すなわち、大気場が類似しているだけでなく、降雨分布としても類似していた。一方で雨量に関しては、20km解像度のd4PDF20を用いているため、極端降水を定量的に評価するにはやや不十分な解像度であり、2018豪雨における雨量よりも少ない。さらに、今回はd4PDF20の降水量バイアスについても考慮していないため、降雨の地域特性や雨量に関する定量的な議論は行わない。しかし、現在と将来で雨量を比較すると、3日平均雨量で150mm以上の領域が将来では増加しており、将来で同様の大気場が発生した際の総雨量が増加する危険性が示唆された。

ここで、上記の解析で得た再現期間について考察する。現在気候における約28年という値は、1972年から2018年までの46年と比較するとやや短い、妥当な値である。現実の事例を基準として閾値を決め、近似的にはあるが、比較的现实と近い大気場の再現期間を求めることができたと言える。一方、将来気候での再現期間は約154年で、現在と比べ発生数が非常に少ない。この理由としては、将来気候で同様の大気場の発生頻度が減少する可能性に加えて、将

来気候における水蒸気量の増加が、距離の増加に寄与している可能性が考えられる。そのため、純粋に循環場に関する将来変化予測を行うためには、水蒸気の影響を外して考える必要がある。

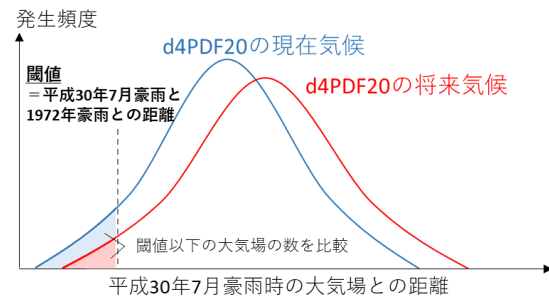


Fig. 5. A concept of this analysis.

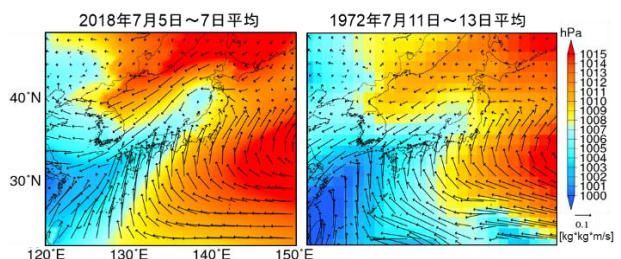


Fig. 6. 3-days averaged sea level pressure (color) and surface water vapor flux (arrow) in the heavy rainfall event in 2018 (left) and the heavy rainfall event in 1972 (right).

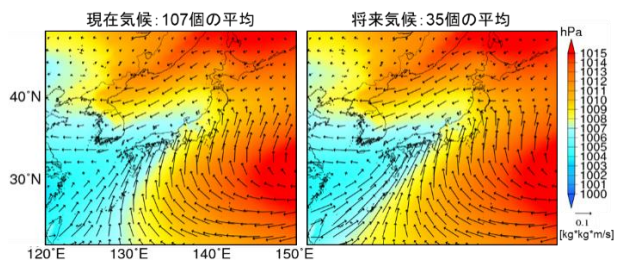


Fig. 7. 3-days averaged sea level pressure (color) and surface water vapor flux (arrow) of d4PDF20 present (left) and future (right) climate which were judged as the similar atmospheric pattern to that of the event in 2018.

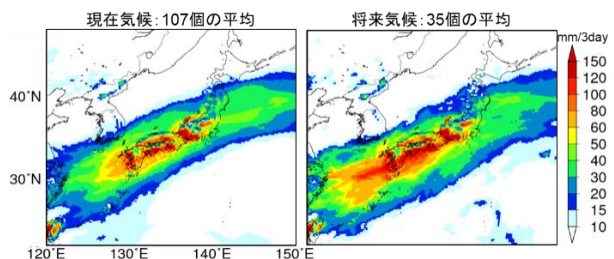


Fig. 8. 3days-averaged precipitation of d4PDF20 present (left) and future (right) climate.

そこで、海面更正気圧のみを大気場指標として用いて同様の解析を行った。2018豪雨と1972年豪雨の大気場の距離は6.0090となり、閾値以下となるd4PDF20の大気場の数は現在3000年で381回、将来5400年で420回となった。再現期間に換算すると、現在で約7.9年に1回、将来で約12.9年に1回となった。すなわち、循環場のみ将来変化でも、将来気候では2018豪雨と同様の海面更正気圧場は増加しないという結果となった。

2018豪雨の大気場解析結果をまとめると以下のようになる。まず、2018豪雨と同様の大気場パターンの発生頻度は、SOMを用いた場合でも直接ユークリッド距離を算出した場合でも、将来気候においては減少傾向にある。一方で、再現期間の推定など、まだ多くの課題が残る。海面更正気圧と地表面水蒸気フラックスの2変数を用いた解析では、現在の再現期間は妥当な値を得ることができたが、将来の値は水蒸気量増加の影響が考えられ、妥当な値とは言い難い。また、海面更正気圧のみの解析では、水蒸気量を考慮していないため大気場の発生数がかなり増加した。今後、より精度高く再現期間を推定するためには、将来と現在の水蒸気量の差を上手く考慮して、再現期間推定に取り込む必要がある。また他の課題として、本研究で用いたユークリッド距離の算出方法は、大気場指標の空間分布に加えてその絶対値も考慮されるようになっている。すなわち、相対的には同様の海面更正気圧分布だった場合でも（例えば空間分布で見た時、相対的に太平洋高気圧が発達していた、等）、値の絶対値が異なればユークリッド距離は大きくなる。純粋に大気場指標の相対的な空間分布の類似度を考慮するような類似度指標を創る必要もあるだろう。さらに、今回は大気場の解析に3日平均値の大気場指標を用いたが、3日平均値が3日間停滞したことを上手く表現できているかどうかは今後精査していくべき点である。

3.2 水蒸気流入量の将来変化

次に、d4PDF20を用いた水蒸気流入量の将来変化について述べる。今回、日本域へ流入する水蒸気量を、北緯30°上の東経128~138°間で地表面水蒸気フラックスの南北成分、東経127.8°上の北緯30~33°間で東西成分を、北及び東を正として合計したものと定義し、水蒸気フラックス量 F と定義する。今回は、数日にわたって持続した2018豪雨の特徴を踏まえ、3日間合計の F を解析した。2018豪雨と平成29年豪雨発生時の F はMSMから、比較のための1972年豪雨時の F はJRA55から作成した。また、d4PDF20は6~8月のデータを用いて現在気候及び将来気候の3日間合計 F を算出した。その相対頻度分布をFig. 9に示す。

2018豪雨発生時の水蒸気流入量は、現在気候では相対頻度分布のかなり裾野に位置していることから、2018豪雨時はやはり非常に稀な量の水蒸気量が日本域に流入していたことがわかる。1972年豪雨発生時も、2018豪雨時には及ばないまでも、かなりの水蒸気量が流入していた。一方、局所的な線状対流系であった平成29年九州北部豪雨発生時は極端な水蒸気流入量ではなかった。平成29年九州北部豪雨は局所的な現象であるため、広域での水蒸気流入量ではその稀さを表現できなかったと言えるだろう。時間空間スケールが小さい平成29年九州北部豪雨の特徴を踏まえ日平均 F を用いて同様の比較も行ったが、結果は3日平均 F の場合と同じだった（図省略）。

2018豪雨発生時の水蒸気量は将来気候においても極端な流入量ではあるが、将来では同程度の水蒸気量が流入する頻度が増加し、それ以上の水蒸気量も流入し始めることが見て取れる。すなわち将来気候では、大量アンサンブルの現在気候再現の中でもほぼ最大レベルの水蒸気流入量を記録した2018豪雨発生時よりも、さらに多量の水蒸気量が流入し得ることを意味している。これらの結果は、前節で述べた2018豪雨の大気場の解析結果や、Fig. 8で示す将来における雨量の増加とも整合的である。

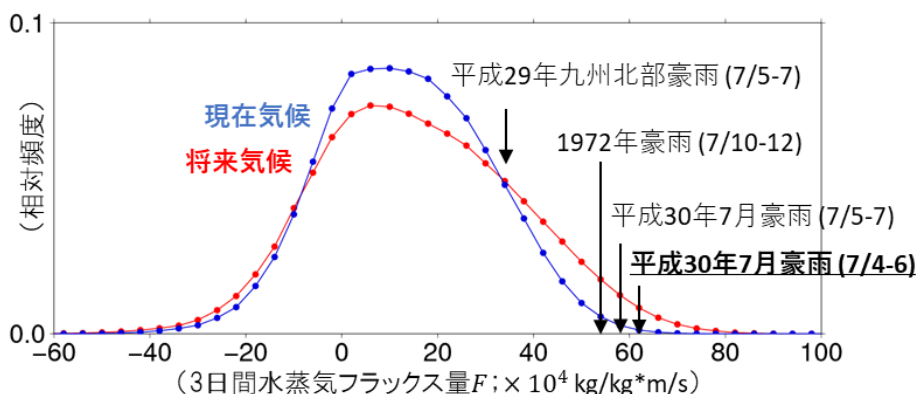


Fig. 9. The future change of water vapor inflow using d4PDF20. Blue (red) line represents present (future) climate.

3.3 メソβスケールの強雨の将来変化

前節までで、メソαスケールの特徴である大気場や水蒸気流入量の将来変化について述べてきた。本節では最後に、メソβスケールの強雨についての将来変化予測についてまとめる。

小坂田・中北（2018）では、創生の高解像度領域気候モデルRCM05の6~8月における降雨分布から抽出されたメソβスケールの梅雨豪雨事例（中北・小坂田，2018）を用いて、50mm/h以上の強雨継続時間当たりの積算雨量が将来増加することが示されている。そこで本研究では、2018豪雨の中で時折発生した強雨を比較するため、CX合成雨量を用いて、小坂田・中北（2018）で用いられた梅雨豪雨抽出基準の1つである、「50mm/h以上の雨域が一定場所に2時間以上持続した降雨」に当てはまる2018豪雨中の降雨を対象に、同様に強雨継続時間と積算雨量を算出した。2018豪雨のうちこの条件に当てはまった降雨は、Fig. 1左の黒楕円で囲んだ場所で発生した5事例である。そして、これら5事例を小坂田・中北（2018）に加筆した図を、Fig. 10に示す

Fig. 10の青△は創生RCM05の現在気候、赤○は将来気候で発生した梅雨豪雨を示しており、□が気象レーダーを用いた過去の事例を示す。各事例の（）内のXがXバンドMP、CXがCX合成雨量から算出されたことを示す。2018豪雨については黒□で示しており、発生場所と発生日を図中に示している。そのうち、広島（7/6）と書かれた事例はFig. 3上段左の降雨強度の図に示されている線状の強雨域、すなわち2018豪雨で災害を起こすきっかけとなった強雨である。Fig. 10を見ると、2018豪雨では災害を起こし得た強雨であっても、過去の局所的な梅雨豪雨や気候モデルで発生した梅雨豪雨と比較すると、その強度は決して強くはなかったことがわかる。この結果はまず1つ、2018豪雨では、メソβスケールの他の豪雨

事例と比較してそう強くない降雨でも災害を起こし得るほど、それまでに長く降り続いた雨によるダメージが大きかったことを示している。気候モデルや過去の典型的な梅雨豪雨事例と比較することで、改めて2018豪雨の降雨及び災害の特性が強調されたとと言える。そしてもう1つは、将来気候ではメソβスケールの雨量が現在気候よりも増加する予測であることから、2018豪雨で災害を起こすトンカチ役となった強雨域も、より強大になる可能性を示唆している。

4. まとめ

平成30年7月豪雨では、梅雨豪雨としては珍しく長期間に広い範囲で多くの総雨量がもたらされた。その結果、過去の典型的な梅雨豪雨と比較すると必ずしも強くはない線状の雨域によって、土砂崩壊や洪水などが各地でもたらされた。2018豪雨は、降雨特性や災害の特徴に関して過去の梅雨豪雨とは異なる特徴を有していたため、情報伝達や避難に関しても多くの視点をもたらしたと言える。我々はこうした2018豪雨の特徴を踏まえ、地球温暖化によってこれらの特徴がどう変化するのかについて解析を行った。以下に本研究で得た知見をまとめる。

1. 平成30年7月豪雨のように、太平洋高気圧とオホーツク海高気圧に挟まれた梅雨前線が数日間にわたって停滞する大気場の発生頻度は、将来気候において増加する傾向は見られない。
2. しかし、平成30年7月豪雨発生時の水蒸気流入量は、現在気候ではほとんど最大レベルの流入量であった。そして、将来気候ではそれと同程度以上の水蒸気が流入する頻度が増加する。
3. さらに、平成30年7月豪雨で災害を引き起こす最後のきっかけとなった線状の強雨は、将来その雨量が増加する。

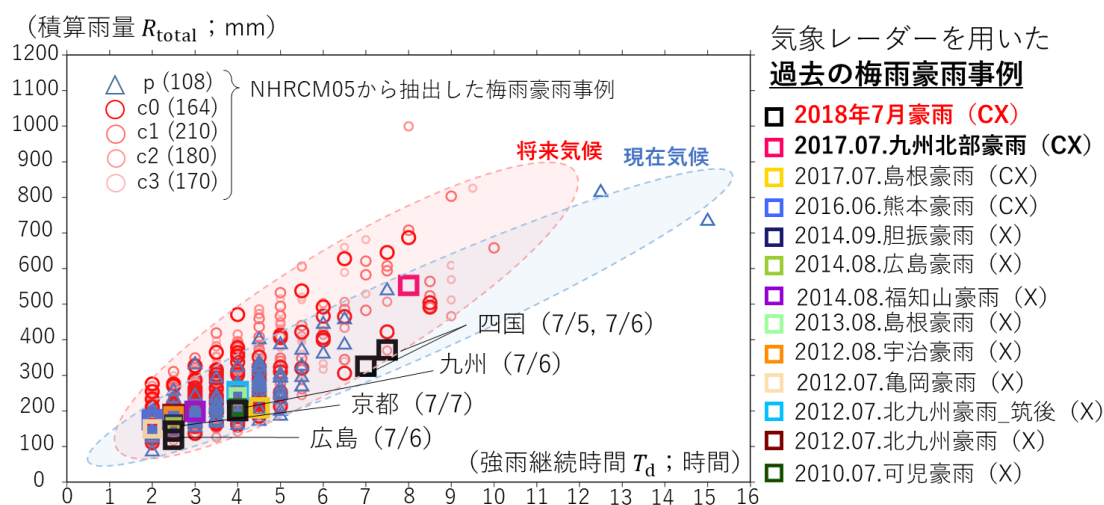


Fig. 10. Future change of total rainfall amount and heavy rainfall duration. Correction of Osakada and Nakakita (2018).

すなわち、将来気候では必ずしも平成30年7月豪雨と類似した大気場が増加するとは限らない。しかし、もし将来気候で2018豪雨と同様の豪雨が発生した場合は、将来は水蒸気流入量が増加することから総雨量が増大する可能性がある。さらに、2018豪雨で災害をもたらしたような線状の強雨域の強度も将来増加すると推定されていることから、災害がより甚大になったり、総雨量の増大に伴ってより早いタイミングで災害が発生したりする危険性が示唆された。

今後の課題はまず、2018豪雨と同様の大気場が増加しないのであれば、なぜ増加しないかのメカニズムを明らかにすることである。メカニズムを明らかにすることで、より確度の高い将来変化予測を行うことができる。また、将来変化予測の確度を高めることに加え、防災計画策定にも有益な情報として創出していくことが求められる。大気場の再現期間については類似度指標をより精査し、JRA55のように過去のデータベースも用いながら引き続き検討していくとともに、水蒸気流入量など他の指標も考慮することで、再現期間推定精度の向上やリスクとしての新たな指標を創出することを目指す。また、今回は簡易的に確認するに留まった大気場と雨量の対応付けについても、解析を深めていくことが重要である。さらに、豪雨の将来変化予測と併せて流出モデルなどを用いた計算も行うことで、将来気候で発生し得る災害の評価も行っていく予定である。

謝 辞

本研究で用いた土壌雨量指数及び土砂災害の発生場所・時刻の情報は国土交通省砂防部からご提供いただいた。気候モデル出力は、文部科学省委託事業気候変動リスク情報創生プログラム「課題対応型の精密な影響評価」で出力されたデータを使用した。気象レーダーデータは国土交通省XRAINの情報を利用した。ここに記して謝意を示す。

参考文献

岡田靖子・竹見哲也・石川裕彦・楠昌司・水田亮 (2015) : 地球温暖化予測における梅雨期の降水および大気場の変化, 京都大学防災研究所年報B, **58(B)**, pp. 157-161.
小坂田ゆかり・中北英一 (2018) : 領域気候モデルによる梅雨豪雨継続時間と積算雨量の将来変化予測と過去の事例を用いた検証, 土木学会論文集B1 (水工学), **74(5)**, pp. I_25-I_30.
川野哲也・鈴木賢士・川村隆一 (2018) : 平成29年7

月九州北部豪雨をもたらした線状降水帯の発電特性, 日本気象学会秋季大会.

環境省 (2018) : 環境省ホームページ「気候変動への適応」.

気象庁 (2018) : 報道発表資料「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について」.

五道仁実・内藤正彦・土屋修一 (2014) : Kdp-R関係式の適用範囲拡張によるXバンドMPレーダの観測精度の向上, 土木学会論文集B1 (水工学), **58**, pp. 505-510.

土木学会水工学委員会災害調査団 (2015) : 平成26年8月広島豪雨災害調査報告書.

内閣府 (2018) : 平成30年7月豪雨による被害状況等について.

中北英一・小坂田ゆかり (2018) : 気候変動に伴う梅雨期集中豪雨と大気場の将来変化に関するマルチスケール解析, 土木学会論文集B1 (水工学), **74(4)**, pp. I_139-I_144.

中北英一・宮宅敏哉・K. Kim・木島梨沙子 (2012) : 気候変動に伴う梅雨期の集中豪雨の将来変化に関する領域気候モデルを用いた基礎的研究, 土木学会論文集B1 (水工学), **68(4)**, pp. I_427-I_432.

山地秀幸・土屋修一・川崎将生 (2016) : CバンドMPレーダ雨量計とXRAINによる高精度広域雨量観測, 土木技術資料, **58(7)**, pp. 26-29.

Kanada S., Nakano M. and Kato T. (2012): Projections of future changes in precipitation and the vertical structure of the frontal zone during the Baiu season in the vicinity of Japan using a 5-km-mesh regional climate model, J. Meteor. Soc. Japan, **90A**, pp. 65-86.

Mizuta R., et al. (2012): Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid, J. Meteor. Soc. Japan, **90A**, pp. 233-258.

Mizuta R., et al. (2017): Over 5,000 years of ensemble future climate simulations by 60-km global and 20-km regional atmospheric models, Bull. Am. Met. Soc., **98**, pp. 1383-1398.

Murata A., et al. (2015): Projection of future climate change over Japan in ensemble simulations with a high-resolution regional climate model, SOLA, **11**, pp. 90-94, doi:10.2151/sola.2015-022.

Osakada, Y. and Nakakita E. (2018): Future change of occurrence frequency of Baiu heavy rainfall and its linked atmospheric patterns by multiscale analysis, SOLA, **14**, pp. 79-85, doi:10.2151/sola.2018-014.

(論文受理日: 2019年6月17日)