

地球温暖化に伴う梅雨期の降雨および大気場の タイムシームレスな将来変化解析

中北 英一¹・原田 茉知²・小坂田 ゆかり³

¹正会員 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: nakakita@hmd.dpri.kyoto-u.ac.jp

²学生会員 京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail: harada@hmd.dpri.kyoto-u.ac.jp (Corresponding Author)

³正会員 京都大学助教 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: osakada@hmd.dpri.kyoto-u.ac.jp

気候変動に段階的な適応策を講じる重要性が高まっている中で、150年連続ランというタイムシームレスな気候予測データを用いた梅雨期降雨に関する将来変化予測を行った。解析の視点として、7月平均日雨量を用いた梅雨前線帯の定性的な将来変化と時間雨量を用いた極端降雨の定量的な将来変化の二面から解析した。結果として梅雨前線帯と極端降雨の発生場所の両方で徐々に北方へ浸潤することが明らかとなった。また、地方別の平均日雨量の解析で2060年代以降全国的な雨量増加がみられた一方で、むしろ過去平均よりも雨量が減少する年代を含む地域があり、その要因を海面水温や台風の影響から考察した。また、極端降雨の継続時間と積算雨量について、いずれも将来に向かって徐々に増加していくことを示した。

Key Words: Climate Change, Baiu Rainfall, Heavy Rainfall, Time-seamless, Adaptation

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

近年、梅雨豪雨が頻繁に発生し、甚大な被害をもたらしている。平成30年7月豪雨では主に西日本域において広範囲で長時間の降雨がもたらされ、気象庁¹⁾は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。同年11月には「気候変動適応法」²⁾が施行され、治水等の防災事業を気候変動に適応させる動きが加速している。

さて、気候変動に対する適応策は段階的に、地球温暖化の進行スピードとギャップを生まないよう進めることが重要である。まず、地球温暖化は一定のスピードで進むとは限らず、急激に進行する可能性もあれば、進行が緩和される可能性もある。また、治水などの防災事業における適応計画は費用や時間を膨大に要するため、段階的に、かつ手戻りのないように考えなければならない³⁾。以上の背景があり、段階的な適応に有用な気候変動予測情報が重要となっている。

こうした状況の中で、これまで梅雨の気候変動研究は多くなされてきた。例えば、Osakada and Nakakita⁴⁾では、RCP8.5シナリオに基づく5km解像度の領域気候モデル

RCM05を用いて、客観的基準と目視により抽出した6～8月の梅雨豪雨の発生場所が、21世紀末将来気候で北海道などこれまで梅雨豪雨が発生しなかった地域へ拡大することを示している。また、小坂田・中北⁵⁾では、上記と同様の梅雨豪雨事例を用いて強雨継続時間及びその時間当たりの積算雨量が将来気候において増加することが示されている。しかしこのような気候変動予測は、ある特定の期間の現在気候と将来気候を計算したタイムスライス実験を用いて行われており、現在から将来への時間連続的な推移は明らかにされていない。

CMIP3 (Coupled Model Inter-comparison Project) や CMIP5 では大気海洋結合モデルを用いて長期間のタイムシームレス計算が行われてきたものの、空間分解能は最も細かいものでも100km程度だった。そこで、台風や梅雨のような極端現象の将来変化を評価するため、海面水温予測を境界条件にして大気のみ計算する空間分解能60kmの全球大気モデルMRI-AGCM3.2H (以下、AGCM60) を用いて、SRES A1Bシナリオに基づき1986年から2099年の期間を計算した時間連続的な出力が作成された。この出力を用いて、Kusunoki et al.⁶⁾では東アジアにおける降雨について将来変化予測を行い、結果として年間平均日降水

量は 1970 年以降単調増加していることや、強雨指標である R5d（年最大 5 日雨量の総雨量）が将来増加傾向であることが示された。また大気場の観点からも考察しており、東アジア全域における地上気温の上昇や日本南海域の時計回り方向及び北緯 30 度付近の北東向きの水蒸気フラックス量の増加が中国南部などで雨量を増加させていると示した。しかし、この解析は現象別の詳細な解析は行っておらず、梅雨という現象に関するタイムシームレスな将来変化予測は未だ実現されていない。

上記の背景を踏まえ本研究では、20 km 解像度の全球大気モデル MRI-AGCM3.2S（以下、AGCM20）で RCP8.5 シナリオに基づき時間連続的に計算された最新のデータセット、150 年連続ラン（以下、150 年ランとも示す）を用いて、梅雨期の降雨がどのような経過をたどり将来変化していくのかについて、時間連続的な将来変化を予測する。すなわち、最新のタイムシームレスなデータセットを用いて梅雨期の降雨に特化し、現在から将来への推移傾向を示すという点で新規性を持つといえる。解析の視点として、7 月平均日雨量という指標から優位なものとして読み取れる梅雨前線降雨帯の振る舞いの将来変化という定性的な視点と、時間雨量を用いた梅雨期の極端降雨の発生場所や雨量の将来変化という定量的な視点の二つから解析を行う。特に、温暖化適応策を考える上で地方ごとにおける将来変化傾向を明らかにすることは非常に重要であるため、梅雨期降雨の空間分布の時間連続的な将来変化を解析し、加えて降雨の継続時間や総雨量といった、より工学的かつ定量的な指標について時間連続的な変化を示す。そして最後に時系列の変化の中でみられた特徴的な変動について、境界条件として与えられている海面水温や、台風除外日数との関連を考察した。

(2) 用いるデータセット

本研究では、文部科学省の「統合的気候モデル高度化研究プログラム」で作成された最新データセットである 150 年連続ラン⁷⁾を用いる。このデータセットの大きな特徴は RCP シナリオに基づいたタイムシームレスなデータセットであるという点で、過去気候(1950～2014 年)と将来気候(2015～2099 年)が連続して計算されている。そして本研究では、梅雨前線による降雨に注目するため、前線帯の降雨を表現できる 20 km 解像度の AGCM20 の 150 年ランを用いる。

実験設定の概要について説明する。150 年ランは、第 6 次結合モデル相互比較プロジェクト CMIP6 の内の一つである HighResMIP（高解像度モデル相互比較プロジェクト）の実験として AGCM60 及び 20 の二つの解像度の全球モデルを使用して実験された。そして、まず過去気候（1950～2014）の境界条件はイギリスのハドレーセンターで作成された観測値の HadISST2.2 0.25° 格子の日別

海面水温と海水密接度が用いられている。次に将来気候（2015～2099 年）の境界条件は、CMIP5 モデル平均の RCP シナリオに対応する昇温量を HadISST2 に上乗せして温暖化トレンドが作成されている⁷⁾。年々の自然変動成分は、HadISST2 から 1980～2015 年の 35 年間分の時系列が作成され、2016 年以降その時系列が繰り返し与えられている。また、現在 AGCM20 の 150 年ランは過去気候で 1 アンサンブル、将来気候で RCP8.5 シナリオのみ計算されている。ただ、高々 1 アンサンブルのため統計解析を行うには不十分で、今後アンサンブル数を増やすことが課題となっている。しかし、たとえ一本の時系列であっても、21 世紀末へ向かう経過の一つの可能性を示すという点で、非常に重要かつ有意義なものである。

2. 梅雨期降雨の定性的な将来変化

(1) 解析の流れと台風の扱い

本章では、梅雨期の降雨帯という定性的な将来変化について示す。梅雨期の降雨帯を表す指標として平均日雨量を用いた。梅雨前線帯の平均的な将来変化に着目するため解析期間は全国的に梅雨の影響を受ける 7 月を対象とした。そして、梅雨前線による日本陸域での降雨に着目するため、台風を除外する操作を行った。その手順は以下の通りである。まず気象庁気象研究所において作成されている台風トラックデータから日本近辺の領域（北緯 23～50 度、東経 122～150 度）に台風の中心が入った日を特定して、周辺の数日間を目視により確認し、台風や台風と判定されていない熱帯低気圧の直接降雨域が日本陸域に上陸した日を除外し、7 月平均日雨量を求めた。

(2) 梅雨前線帯の北上

以上のようにして得られた 7 月平均日雨量の降雨分布に、推移傾向を掴みやすくする為に前 5 年、後 4 年の 10 年移動平均を施した後、梅雨前線降雨帯の温暖化影響による北方浸潤について調べた。閾値を 12 mm/day と定め、閾値以上の平均日雨量であった日本陸上グリッドの北限緯度の推移を解析した。この閾値に関しては、10 mm/day 等の他の値も検討した中で、目視により確認した強雨域で表現される梅雨前線帯の北上の動きとおよそ一致しており、かつ温暖化による北上の推移傾向が最も捉えやすかったため、12 mm/day の結果を示している。その結果が図 2 で、時系列の中で代表的な降雨分布図を併せて示している。梅雨前線降雨帯の北方への浸潤の傾向は、2010 年代までは見られず、2020 年代から変動を含みながら北緯 39 度を越え始める。そして、2060 年代以降は北緯 39 度から 41 度間の変動幅が小さくなる。北緯

39 度から 41 度の位置は岩手県から青森県の位置にあたり、東北地方北部まで梅雨前線降雨帯が安定的に北上するといえる。そして、最後の 2095 年のみ北海道の地点を拾っており、降雨分布からも北海道への雨域の浸潤は確認できた。将来気候で北海道まで梅雨の影響が強まることは、極端降雨の解析結果ではあるが Osakada and Nakakita⁹⁾でも示されており、そのような年代が世紀末である可能性が初めて示唆されたことはタイムシームレスな解析ならではといえる。ただし、具体的な年としては、高々1 アンサンブル数値実験結果の偶然の特徴であり、前後する危険性があると認識しておくことが重要である。

(3) 地方別に見た平均日雨量の将来変化

前節では梅雨前線降雨帯の北端に注目し、徐々に北進することを示した。では、次に地方別の変化傾向の違いを明らかにするため、9 地方(北海道・東北・関東・北陸・東海・近畿・中国・四国・九州)に分け、過去気候からの平均日雨量の偏差を示す。過去平均値を 1950-2010 年と定めて 2011 年以降の将来気候について過去気候からの偏差を求める。図 2 は 2011 年以降 10 年ごと(世紀末のみ 2091-2099 年の 9 年)の平均値と過去平均値の偏差の空間分布図である。また図 3 は地方別の過去平均値からの偏差の 10 年移動平均の推移である。上が北日本(北海道・東北・北陸・3 地方平均)、下がその他の地域(関東、東海、近畿、中国、四国、九州、6 地方平均)の推移であり、赤いシェードはそれぞれのグラフの地方平均推移における 2010 年までの値の 1 σ 区間を示す。

図 2 から読み取れる大きな傾向として、先に 2010 年代で東北や北海道で雨量が増加傾向となり、遅れて 2060 年以降にはほかの地方でも雨量が増加傾向を示している。次に時系列の変化として図 3 から北日本では 2020 年代以降世紀末にかけて 1 σ 区間を超え雨量が顕著に増加傾向であることが確認できる。一方で、東日本や西日本の地域では、2000~2010 年代や 2030 年代はそれ以前までと比べ、雨量が減少する時期となっていることがわかる。その後 2060 年以降 21 世紀末にかけて 6 地方平均は過去平均よりも増加傾向となった。この結果から、どの地域においてもおよそ 2060 年代以降は雨量の増加が見られる一方で、2010~2060 年代までの変化推移に関してはむしろ過去平均と比較して雨量が減少している地域がある。この雨量の減少に関してはデータセットの境界条件や解析手法の影響を 4 章で考察する。

(4) 梅雨期降雨をもたらす大気場の将来変化解析

ここまで、平均日雨量についての時間連続的な将来変化について述べ、特に東北や北海道などの北日本において顕著に雨量が増加することを示してきた。では次に、このような降雨に関する将来変化をもたらす大気場の将来変化を調べた。ここで大気場指標を、水蒸気輸送を表

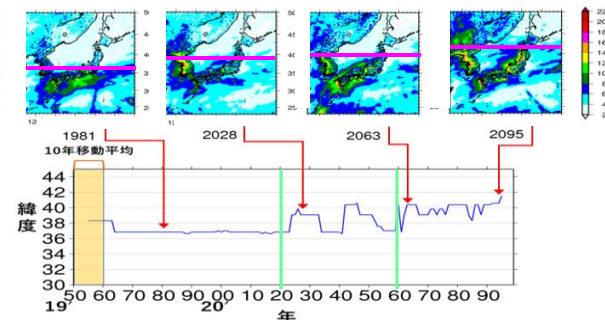


図 1 7 月平均日雨量が 12 mm/day を超える陸上グリッドの北限値の 10 年移動平均の推移。上は代表的な降雨分布図でピンクの線は北限緯度の位置を示す。

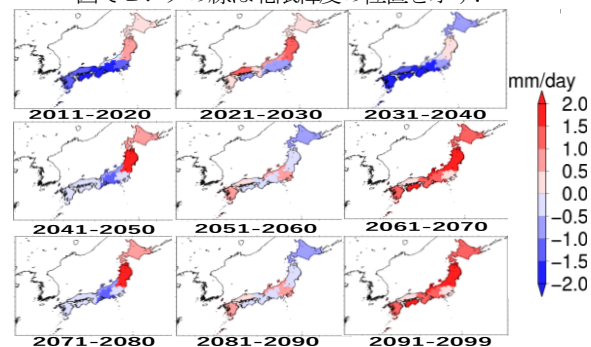


図 2 各地方における過去平均値からの 10 年毎の偏差。

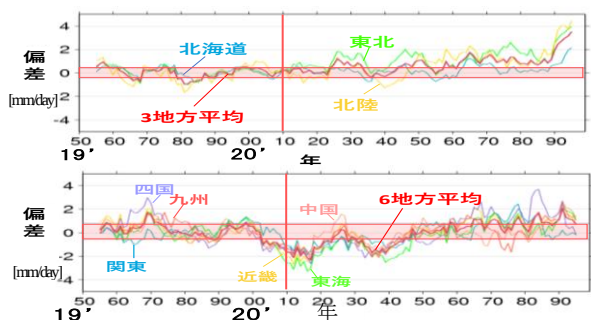


図 3 (上)北日本の 3 地方(下)東日本・西日本の 6 地方における過去平均(1950-2010 年)からの偏差の推移。

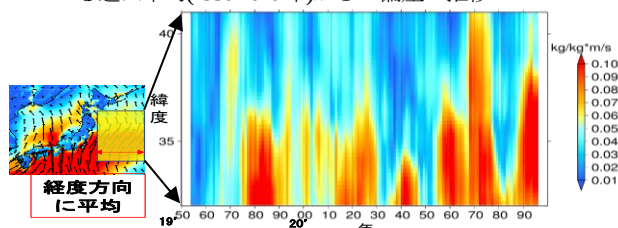


図 4 地表面水蒸気フラックスの強さをシェード部分で経度方向に平均した緯度方向の分布の時系列変化。

す指標として Kusunoki et al.⁹⁾でも用いられていた水平方向の地表面水蒸気フラックスを用いた。地表面水蒸気フラックスは 150 年ランの比湿および風速の日平均データを使い、2(1)の方法によって求めた。

こうして得られた水蒸気フラックスの空間分布を確認したところ、東北地方へは日本海側からも水蒸気が供給されるが、日本海側に比べ太平洋側南東の高気圧の上縁からの水蒸気フラックスの方が顕著に強まっていることが確認できた。そのため、梅雨前線帯の北上や北日本における雨量増加に寄与すると考えられる東北地方太平洋側の領域(図 4 のシェード部分)を切り取り、経度方向

に平均した水蒸気フラックスの緯度方向の分布の時系列推移を図4に示す。ただし、図4ではベクトル成分を考慮できていないものの、空間分布からこの領域では北向きベクトルが卓越していることを確認したため、南方からの水蒸気流入を表しているとして解析を行った。図4から、北日本で降雨増加傾向がみられていた2020年代から2050年代で水蒸気の流入は増加しておらず、降雨の変化傾向とは必ずしも一致していない一方で、2060年代以降から強い水蒸気フラックスの浸潤が顕著になっており、梅雨前線降雨帯が安定して東北北部に達する年代と一致する。すなわち強い水蒸気フラックスの流入が梅雨前線帯の北上に寄与していることが示唆された。

3 梅雨期極端降雨の定量的な将来変化解析

(1) 解析の流れと台風の扱い

前章では梅雨前線降雨帯としての空間分布的变化について述べた。本章では、災害を及ぼす危険性の高い極端降雨の発生場所の変化についての解析を示す。極端降雨の将来変化に関する研究には、既出の Osakada and Nakakita⁴⁾や小坂田・中北⁵⁾がある。これらの先行研究を踏まえ、極端降雨の時間連続的な将来変化について解析した。

本解析では、AGCM20の150年連続ランにおいて最も時間解像度の高い、1時間雨量データを用いた。150年間の1時間毎の出力データという膨大な量のデータであるため、先行研究の客観的抽出基準をなるべく保持した下記の客観基準により全て自動抽出で解析した。まず、解析期間は先行研究と同様に6~8月とした。そして、雨量基準を超える1時間雨量が同じグリッドで2時間以上継続した場合を1イベントとしてグリッド毎に抽出する。ただし、1イベントの継続時間に関しては、3時間以上の継続は1時間のみ間欠を許容して同じイベントとする。そして、台風による影響を除外する操作は2(1)とは異なり、以下の通りである。まず、気象研究所作成の台風トラックデータを用い、抽出されたグリッドが台風の直径500km以内にあれば台風による直接降雨として除外する。これは大型の台風の強風域の直径がおよそ500km以上1000km未満であり、台風が刺激した梅雨豪雨を含めるため、最低限の台風の中心から直径500km以内とした。そして、台風トラックデータと1時間雨量データの日時の対応は簡易的に日にちで対応させた。ただし、用いたデータは20km解像度であり、Osakada and Nakakita⁴⁾が用いた5km解像度のRCM05に比べ局所的極端降雨は表現されにくい。このような空間解像度による雨量表現の違いを踏まえ、先行研究において用いられた50mm/hの雨量基準よりも少ない40mm/hや30mm/hの雨量基準も用いて極端降雨イベントの抽出を行った。

(2) 梅雨期極端降雨の発生場所の北方浸潤

上述の方法で雨量基準を40mm/hとして抽出された極端降雨イベントについて、各グリッドにおける極端降雨イベントの初発生年を色分けしてプロットした結果を図5に示す。雨量基準について、50mm/hによる解析結果でも将来変化傾向は概ね同様であったものの、北陸や北海道で一度もイベントが発生しない場所が多く存在しており、梅雨前線の影響を既に大きく受けている九州地方でも2020年以降で初めてイベントが発生している地域があったため、空間的な将来変化が最も捉えやすかった40mm/hによる結果を示す。

全体の傾向として、地形特性や年々変動によってばらつきはあるものの、北陸地方や北日本では概ね2010年以降から極端降雨イベントが発生しているのに対し、その他の地域では概ね2000年までに発生している。また、東北よりも北海道の方が2040年代以降に発生しているイベントの割合が多いことから、空間的に南北に変動しながらも東北から北海道へ極端降雨の発生場所が徐々に北方へ拡大していくことが読み取れる。極端降雨の発生場所が世紀末に北海道まで拡大する傾向は先行研究とも整合的であり、さらに東北地方や北陸地方から徐々に拡大していくという時間連続的な結果が得られた。一方で、東北地方の奥羽山脈太平洋側の地域で2010年までに発生していることや、西日本だが比較的災害の少ない穏やかな気候である瀬戸内で極端降雨の発生が遅れている地点があることなどのばらつきがみられる。こうした地域性は防災事業の適応策に対し有用な情報となり得るため、今後物理的メカニズムを探っていくことが課題である。

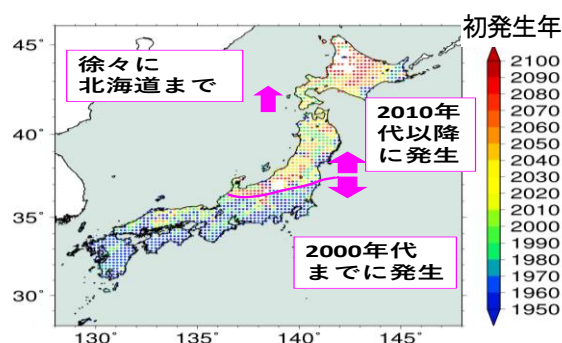


図5 40mm/h以上の降雨イベントの分布の将来変化。色でグリッドにおけるイベントの初発生年を示す。

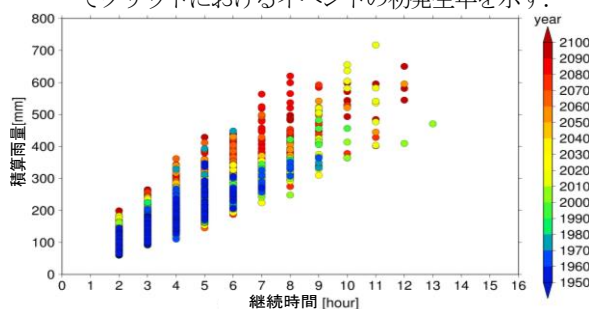


図6 30mm/day基準で得られた極端降雨イベントの継続時間と総雨量の関係。色は発生年数を表す。

(3) 梅雨期極端降雨の継続時間と総雨量の将来変化

次に、降雨の継続時間とその時間当たりの総雨量を指標として用いた定量的な将来変化を示す。図 6 は 30 mm/day の基準で抽出された極端降雨イベントに関して、横軸を継続時間、縦軸に総雨量、色で発生年を表し、2099 年から過去に遡る順番で上書きしてプロットしたものである。ここで雨量基準を 30 mm/day としたのは、50 mm/day や 40 mm/day でも同様の傾向がみられたが、イベント数を多く確保できた 30 mm/day の雨量基準による結果が最も明瞭な推移傾向を示していたためである。

全体の傾向として、将来気候へ向けてグラフ上のプロットがより右へより上へと分布し、極端降雨の継続時間・積算雨量ともに徐々に拡大している。継続時間の広がりを見ると、継続時間が 10 時間以上になると 2000 年以前のイベントの割合が非常に少なく、ほとんどが 2000 年以降のイベントである。そして積算雨量の広がりを見ると、継続時間 6 時間から 8 時間におけるイベントの発生年分布がカラーバーの配列に似た分布となり、将来にかけて継続時間あたりの積算雨量も徐々に増加していることが見て取れ、先行研究と同様の結果が得られた。ただし、この解析ではグリッドごとにイベントを自動抽出しており、目視による確認をしていないため、隣り合うグリッドの強雨が同じ豪雨システムによってもたらされているのに、別イベントとしてカウントしている危険性を含む。今後は目視による確認を行い、より精緻な解析をしていくことが課題として挙げられる。

4. 時空間の変動に関する考察

これまで、定性的な降雨分布の将来変化解析や極端降雨に関する定量的な将来変化解析の結果を示してきた。その中で特徴的だった変動は、図 3 でみられた東日本や西日本の地方の雨量が 2010 年代や 2030 年代で減少していたことが挙げられる。本章ではこの変動が生まれる原因について、考えられる可能性を最後に考察する。

まず初めに、150 年ランの境界条件である海面水温の、年々自然変動成分による影響を考えるために、図 7 に日本近海（北緯 23～50 度、東経 122～150 度）の海面水温の推移を示す。海面水温の年々変動成分は 1.2) でも述べたように 1980 年から 2015 年の年々変動の時系列を 2016 年以降繰り返し与えており、図 7 においてもその挙動が見て取れる。しかし、海面水温の推移は温暖化トレンドとしては単調増加であり、図 3 の東日本や西日本の 10 年単位程度の変動のような大きな変動はなく、海面水温が雨量の変動に対して影響を与えているとはいえない。

次に降雨の変動と台風を除外した影響の関係を考えた。2.1) における台風の除外日数を 10 年移動平均した結果

と、図 3 (下) の平均日雨量の推移の比較を図 8 に示す。ここで台風は 2.1) に記載の方法で除外していることに注意されたい。図 8 から、東日本や西日本で降雨量が減少している 1980 年代や 2010 年代で、台風の除外日数は多くなっており、台風の除外日数と雨量の推移には負の相関関係がみられ、台風の除外が適切でなく降雨量の減少に影響を与えた可能性がある。そこで、図 9 に 2000 年代から 2020 年代の台風除外後と除外前の平均日雨量の推移を重ね、地域差がみられた一例を示す。九州や四国では、台風除外前後で雨量に差があり、台風を除外した影響が表れた一方、近畿では除外前後で差が表れず、台風の除外による影響が明瞭でなかった。地方によって影響の出現が異なるため、台風の不上陸場所を考慮した解析が今後の課題として挙げられる。一方で、2030 年代でも雨量の減少が特徴的であったが、ここでは台風の除外日数は減少している。しかし、将来気候で台風の発生個数は減少するが強度が増加することが示唆されている⁹⁾ため、台風一個あたりの強度についての解析が必要であると考ええる。以上のことから、梅雨による降雨量の変動と台風の除外日数に一部で対応がみられ、台風の上陸位置や台風の強度を考慮した解析が今後必要である。

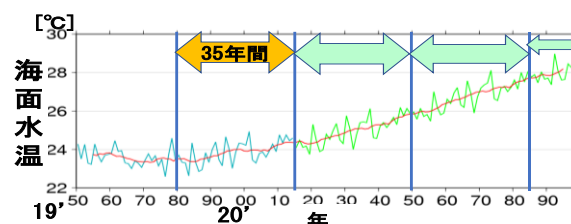


図 7 日本近海（北緯 23～50 度、東経 122～150 度）における海面水温の推移。青線が過去気候、緑線が将来気候、赤線が 10 年移動平均を表す。矢印は年々変動成分の繰り返し期間を示す。

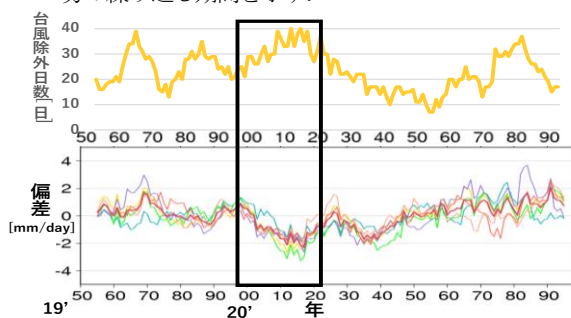


図 8 第 2 章における台風の除外日数を 10 年移動平均した推移(上)と図 3(下)のグラフの比較。

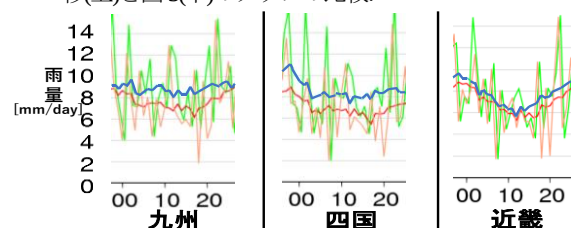


図 9 図 8 における黒枠の年代における、台風除外前(青線)と除外後(赤)の 7 月平均日雨量の推移の九州・四国・近畿の比較。

5. おわりに

本論文では、梅雨期の降雨について、平均日雨量を指標とした前線帯としての降雨の将来変化と時間雨量を用いた極端降雨の二つの側面から、150年連続ランを用いて時間連続的な将来変化予測を行った。

まず7月平均日雨量を用いた梅雨前線による降雨帯の北上や地方別の雨量変化の解析から、2020年代から梅雨前線帯の北進が始まり、21世紀末には北海道まで到達する可能性が示唆された。現在梅雨による影響が少ない地域における雨量の増加傾向は防災の観点からも非常に重要な結果である。また、東日本や西日本では、計算あるいは解析条件により値が変動する年代もあった。さらに、大気場の観点として、2060年代以降東北地方太平洋側領域において、より強い水蒸気フラックスが北方へ流入することを確認し、これが梅雨前線降雨帯の北上に寄与していると考えられる。今後は水蒸気の供給経路について物理的メカニズムを考慮して検討していく。

次に、時間雨量を用いた極端降雨についての解析による結果を示す。極端降雨の発生場所は、2000年代までに西日本や東日本（関東や東海）で既に発生し、それ以降東北、北海道へと徐々に拡大することを示した。そして、極端降雨の継続時間とその時間当たりの積算雨量について、ともに増加していくことが明らかとなり、先行研究で示された傾向を時間連続的に示すことができた。

最後に、時系列の中でみられた特徴的な変動について、境界条件として与えられている海面水温や、台風除外日数との関連を考察した。海面水温の年々変動成分の繰り返しとの関連性はみられなかった一方で、台風の除外による影響がみられる年代や地域があった。今後は台風の上陸場所や、台風の強度を考慮した解析が必要である。

本研究では1アンサンブルのみの解析であったため、自然変動を除去するために移動平均を施して解析を行ったものの、やはり1アンサンブルでは、10年変動のような大きな変動は取り除くことができない。今後、より

多くのアンサンブルを用いて平均を取ることができれば自然変動と大きな変動の影響を減らしたより滑らかな温暖化トレンドを得ることが期待できると考えている。

謝辞：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領域テーマD「統合的ハザード予測」で出力されたデータを利用した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 気象庁：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」, <https://www.jma.go.jp/jma/press1808/10c/h30gouon20180810.pdf>, 2018.
- 2) 環境省：環境省ホームページ「気候変動への適応」<http://www.env.go.jp/earth/tekiou.html>, (閲覧日：2021年6月29日).
- 3) 中北英一：近年の豪雨災害と気候変動への適応, 国づくりと研修 vol.144 特集『気候変動により激甚化する水災害への対応』pp.16-19, 一般財団法人全国建設研修センター, 2020
- 4) Osakada, Y. and E. Nakakita: Future change of occurrence-frequency of Baiu heavy rainfall and its linked atmospheric patterns by multiscale analysis, SOLA, 14, 79-85, doi:10.2151/sola.2018-014, 2018.
- 5) 小坂田ゆかり, 中北英一：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), Vol.74, No.5, pp.I_19-I_24, 2018.
- 6) Kusunoki, S. and R. Mizuta: Changes in precipitation intensity over East Asia during the 20th and 21st centuries simulated by a global atmospheric model with a 60 km grid size, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: ATMOSPHERES, VOL. 118, pp.11,007-11,016, doi:10.1002/jgrd.50877, 2013.
- 7) 文部科学省統合的気候モデル高度化研究プログラム：令和元年度研究成果報告書, 2020.
- 8) 気象庁：日本の気候変動2020—大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書—, <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>, (閲覧日：2021年6月29日).

(Received June 30, 2021)
(Accepted September 3, 2021)

TIME-SEAMLESS FUTURE CHANGE ANALYSIS ON BAIU RAINFALL AND ATMOSPHERIC CONDITIONS DUE TO GLOBAL WARMING

Eiichi NAKAKITA, Machi HARADA, Yukari OSAKADA

With the growing importance of taking stepwise adaptation measures to climate change, we conducted a future change analysis of rainfall during the Baiu season using 150-year continuous run. We analyzed the future changes of baiu frontal zones using average daily rainfall and baiu extreme rainfall using hourly rainfall. As a result, the rainfall area gradually moves northward in both the frontal zone and location of the extreme rainfall events. However, there were also regions that contained periods when rainfall was lower than the historical average while there was a marked tendency for rainfall to increase in northern Japan. This reasons are discussed in terms of the influence of sea surface temperatures and typhoons. Furthermore, we showed that the duration of extreme rainfall events will gradually increase in the future.