

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

2-1904 気候変動影響評価のための日本域の
異常天候ストーリーラインの構築
(JPMERF20192004)
令和元年度～令和3年度

Drawing Storylines of Extraordinary Weather Phenomena around Japan for an Impact Assessment of
the Climate Change

〈研究代表機関〉

東京大学

〈研究分担機関〉

北海道大学

国土交通省気象庁気象研究所

国立研究開発法人国立環境研究所

九州大学

富山大学

国立研究開発法人海洋研究開発機構

東京学芸大学

東京都立大学

〈研究協力機関〉

三重大学

国土交通省気象庁 大気海洋部 気候情報課

立正大学

○図表番号の付番方法について

「Ⅰ. 成果の概要」の図表番号は「0. 通し番号」としております。なお、「Ⅱ. 成果の詳細」にて使用した図表を転用する場合には、転用元と同じ番号を付番しております。

「Ⅱ. 成果の詳細」の図表番号は「サブテーマ番号. 通し番号」としております。なお、異なるサブテーマから図表を転用する場合は、転用元と同じ図表番号としております。

令和4年5月

目次

I. 成果の概要	・・・・・・・・・・	1
1. はじめに（研究背景等）		
2. 研究開発目的		
3. 研究目標		
4. 研究開発内容		
5. 研究成果		
5-1. 成果の概要		
5-2. 環境政策等への貢献		
5-3. 研究目標の達成状況		
6. 研究成果の発表状況		
6-1. 査読付き論文		
6-2. 知的財産権		
6-3. その他発表件数		
7. 国際共同研究等の状況		
8. 研究者略歴		
II. 成果の詳細		
II-1 日本周辺域の異常天候に関するストーリーラインのための大気海洋大規模循環の研究	・・・・・・・・	15
（東京大学、富山大学、九州大学、三重大学）		
要旨		
1. 研究開発目的		
2. 研究目標		
3. 研究開発内容		
4. 結果及び考察		
5. 研究目標の達成状況		
6. 引用文献		
II-2 上部対流圏および成層圏循環と日本周辺域の異常天候との関連についての解析	・・・・・・・・・・	28
（北海道大学、国立研究開発法人海洋研究開発機構、東京学芸大学）		
要旨		
1. 研究開発目的		
2. 研究目標		
3. 研究開発内容		
4. 結果及び考察		
5. 研究目標の達成状況		
6. 引用文献		
II-3 日本周辺域の異常天候に関するユーラシア大陸の気候変化の解析	・・・・・・・・・・	43
（国土交通省気象庁気象研究所、国土交通省気象庁大気海洋部気候情報課、東京都立大学、立正大学）		

要旨

1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 研究目標の達成状況
6. 引用文献

II-4 温暖化に伴う日本域の異常天候に関するストーリーラインの影響評価・適応研究への連携研究 (国立研究開発法人国立環境研究所) 58
--	--------------

要旨

1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 研究目標の達成状況
6. 引用文献

III. 研究成果の発表状況の詳細 68
IV. 英文Abstract 96

I. 成果の概要

課題名 2-1904 気候変動影響評価のための日本域の異常天候ストーリーラインの構築
 課題代表者名 高藪 縁 (国立大学法人東京大学 大気海洋研究所 教授・副所長)

重点課題 主：【重点課題⑧】地球温暖化現象の解明・予測・対策評価

副：【重点課題⑦】気候変動への適応策に係る研究・技術開発

行政要請研究テーマ（行政ニーズ） 非該当

研究実施期間 令和元年度～令和3年度

研究経費

120,000千円（合計額）

（各年度の内訳：令和元年度：40,000千円、令和2年度：40,000千円、令和3年度：40,000千円）

研究体制

（サブテーマ1）日本周辺域の異常天候に関するストーリーラインのための大気海洋大規模循環の研究（東京大学、富山大学、九州大学）

（サブテーマ2）上部対流圏および成層圏循環と日本周辺域の異常天候との関連についての解析（北海道大学、国立研究開発法人海洋研究開発機構、東京学芸大学）

（サブテーマ3）日本周辺域の異常天候に関するユーラシア大陸の気候変化の解析（国土交通省気象庁気象研究所、東京都立大学）

（サブテーマ4）温暖化に伴う日本域の異常天候に関するストーリーラインの影響評価・適応研究への連携研究（国立研究開発法人国立環境研究所）

研究協力機関

三重大学、国土交通省気象庁 大気海洋部気候情報課、立正大学

本研究のキーワード 地球温暖化、気候変動、影響評価、異常天候、将来変化、ストーリーライン、CMIP、IPCC AR6

1. はじめに（研究背景等）

近年、我が国で記録的な異常天候が続き、その要因として地球温暖化の影響が懸念されている。2018年の7月豪雨、持続的猛暑、台風21号・24号による連続的な災害は、未経験の異常天候に対する社会の脆弱性を露呈させ、大きな衝撃を与えた。温暖化が進むにつれ、このような異常天候の増加、激化が予想され、政府や自治体は喫緊の適応策をとる必要がある。

2018年に気候変動適応法が施行され、環境省を中心に適応策が推進されている。異常天候の発生の変化を視野に入れた適切な政策のため、変化の可能性の幅を的確に見積る必要がある。一方、世界気候研究計画（WCRP）の枠組みの下、世界の数十の気候モデル実験の相互比較プロジェクト（CMIP）が数年毎に実施され、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の報告書に利用されている。2019年にはCMIP6データが集約され、IPCC第6次評価報告書（AR6）に向けて準備が整った。

影響評価・適応研究や地域適応コンソーシアム事業では気候モデル予測実験データ（気候シナリ

オ) を利用するが、複数のCMIP気候モデル間で気候シナリオに違い（不確実性）がある。現実には少数のシナリオしか利用できない場合、選択したモデルの癖の偏りが将来予測の不確実性幅の過小評価を招いている懸念がある。また、気候シナリオの違いは影響評価結果に大きな差をもたらすが、気候科学者の協力がなければそれをどのように解釈して利用すべきかわからないという影響評価研究者の声も多い。これらの問題に対応するため、オランダ等では、「ストーリーライン手法」が適応策検討のための政府の標準的気候シナリオ作成に採用されている。

ここで「ストーリーライン手法」とは、市民、政策決定者、様々な産業界、影響評価研究者などの利用者に対して気候変動予測の情報を提供する際に、将来起こり得る変化について、そのバリエーションを代表する複数のストーリーとして伝える手法を指す。これによって気候モデルによる将来予測のバリエーションについての情報も伝わり、情報の利用者が様々な状況に対応できるように準備できると期待される。

2. 研究開発目的

本課題は、日本域の異常天候の将来変化をターゲットとして、世界の気候モデルの予測のばらつきを加味したストーリーライン構築を目的とする。そのために、観測や多数の気候モデルによる予測実験から、注目すべき異常天候と大規模大気循環場を関連づけ、将来変化のばらつきを代表できる少数のモデルを選択する。そして、それらの情報を用いて、気候シナリオについて不確実性を含め、影響評価研究者や政策決定者等のユーザーにわかりやすく情報提供を行う。また、課題全体で協力して既存の気候シナリオの妥当性を検証するとともに、影響評価・適応研究プロジェクトに提示するために最新のCMIP6の代表5モデルを選択し、代表モデルによるストーリーラインを構築することを目的とする。

サブテーマ1は、まず、衛星観測降雨データ、雨量計データ、海面水温データ、気象再解析データ、およびCMIP実験データを用い、日本域に広域豪雨をもたらす極端降水現象のメカニズムを解析し、広域豪雨の将来予測に関するストーリーラインを構築する。また、海面水温データ、客観・再解析データなどを用い、猛暑・干ばつ・長雨・寒波など月平均程度の中間スケールの異常気象のメカニズムや予測可能性についてストーリーラインを議論する。最終的に課題全体と協力して成果を総括し、影響・評価研究プロジェクトおよび一般市民に伝える情報をとりまとめることを目的とする。

サブテーマ2は、CMIP5、CMIP6大気海洋結合モデル群の出力データや、気候モデルMIROCを用いて独自に行う数値実験等により、日本域の暖候期と寒候期の降水に関わる気候要素の長期的な変化に対流圏から成層圏にかけての大規模力学場が果たす遠隔影響の役割を明らかにし、ストーリーライン研究の枠組みで整理して提供する。

サブテーマ3は、日本域の豪雨、台風、猛暑、豪雪などの異常天候に注目し、日本の気候シナリオおよび影響評価に差をもたらす不確実性の大きいアジアモンスーン気候場の温暖化応答パターンを明らかにすることを目的とする。また、他のサブグループと協力してストーリーラインを構築し、気候変動に伴う変化の仕組みを明らかにする。

サブテーマ4は、影響評価・適応研究との連携推進を目的とする。まず影響評価研究者へのヒアリング等を通じて、日本域で注目すべき異常天候の抽出を行う。さらに既存の気候シナリオの妥当性を検証するとともに、今後の気候シナリオの選択・開発について指針を提案する。

3. 研究目標

全体目標	2018年7月豪雨やそれに続く猛暑、これまでにない台風の強風や広域豪雨など、近年、我が国で記録的な異常天候が続き、その要因として地球温暖化に伴う気候変動の影響が懸念されている。本課題は、適切な気候変動適応策が可能となるよう、日本域の異常天候に注目して、気候シナリオのばらつきを加味したストーリーラインの構築を目指す。すなわち、多数の気候モデルによる予測実験
------	--

	<p>(CMIP5及びCMIP6) から、注目すべき異常天候と大規模大気循環場を紐づけ、将来変化のばらつきを代表できる少数のモデルを選択する。そして代表的な気候シナリオに伴う異常天候の変化について、不確実性を含め、影響評価研究者や政策決定者等のユーザーにわかりやすいストーリーラインとして情報提供を行う。また、日本域全域を対象とした影響評価・適応研究プロジェクトや地域適応コンソーシアム事業で従来使われてきた気候シナリオをCMIP予測のばらつきの上にマッピングし、影響評価の不確実性評価の偏りや要因を検証すると共に、今後の影響評価・適応研究での気候シナリオの選択・開発への指針を提案する。各サブ課題は以下を受け持つ。</p>
サブテーマ 1	日本周辺域の異常天候に関するストーリーラインのための大気海洋大規模循環の研究
サブテーマリーダー/所属機関	高藪 縁/東京大学
目標	課題全体と協力し、以下を目標に総括する。注目する日本域の異常天候を選択する。異常天候と大規模気候場の変動パターンを紐づけ、CMIPモデルでのストーリーラインを構築する。従来利用されてきた気候シナリオのマッピングなど、成果を今後の影響評価・適応研究へ繋げる。
サブテーマ 2	上部対流圏および成層圏循環と日本周辺域の異常天候との関連についての解析
サブテーマリーダー/所属機関	堀之内 武/北海道大学
目標	対流圏上部から成層圏に注目し、日本域の天候の変化に効果的な大規模場要素を抽出する。他サブテーマと協力してストーリーラインを構築し、気候変動に伴う変化の仕組みを明らかにする。
サブテーマ 3	日本周辺域の異常天候に関するユーラシア大陸の気候変化の解析
サブテーマリーダー/所属機関	仲江川 敏之/国土交通省気象庁気象研究所
目標	ユーラシア大陸やチベット気候に注目し、ターゲットの変化に効果的な大規模場要素を抽出する。全体と協力してストーリーラインを構築し、気候変動に伴う変化の仕組みを明らかにする。
サブテーマ 4	温暖化に伴う日本域の異常天候に関するストーリーラインの影響評価・適応研究への連携研究
サブテーマリーダー/所属機関	江守 正多/国立研究開発法人国立環境研究所
目標	影響評価研究者へのヒアリング等を通じて、日本域の適応策検討において優先的なターゲット現象の抽出を行い、ストーリーラインの構築に貢献する。既存の気候シナリオをストーリーラインにマッピングして妥当性について検証するとともに、今後の影響評価・適応研究での気候シナリオの選択・開発について指針を提案する。

4. 研究開発内容

気候変動影響評価のための日本域の異常天候のストーリーライン構築（図0.1）に向け、まずサブテーマ4を中心とした影響評価・適応研究者などへのヒアリング等に基づき、課題全体で検討して日本域で注目すべき異常天候の抽出と影響評価モデルの入力データとして重要な気候変数のリストアップを行った。サブテーマ1から3では、様々な観測データやモデル出力データを用いてターゲットとして選択した地域的な異常天候のそれぞれの発現と大規模気候場との関係の物理的プロセス理解のための解析を行った。異常天候としては、豪雨、猛暑、干ばつ、台風、豪雪など、我が国の適応策検討のために把握が欠かせない現象に注目した。これらの知見に基づき、世界の気候モデル比較実験で集約されたCMIP5、CMIP6マルチモデルによる現在気候および将来予測実験結果を用いて、大規模気候場と日本周辺域の異常天候に関する温暖化応答のバリエーションを調べ代表的なストーリーラインを抽出した。一方、サブテーマ4では、高度なモデル選択手法を開発し、新しい共通気候シナリオの作成のための5つの代表気候モデルを選択し、影響評価・適応研究プログラム（推進費S-18、国立環境研究所・気候変動適応研究プログラム）の共通シナリオとして情報提供した。最後に、課題全体で協力して議論し、各々のサブテーマが扱った異常天候について、共通気候シナリオのための5つの代表気候モデルによるストーリーラインを構築した。

解析には、CMIP実験データの他、高解像度アンサンブル実験データd4PDF、最新の高機能衛星観測データ（低軌道衛星による立体降水観測や高頻度高解像度のひまわり観測）など異常天候の特徴を把握できる観測データ、全球気象再解析データなどを活用した。異常天候と関係する大規模場の抽出には、異常天候現象のその場の環境のみならず、成層圏、極域、熱帯海洋、ユーラシア大陸、チベット域などの気候変化による遠隔影響について調査した。その上でCMIP6の将来予測実験データを用い、日本周辺域の様々な異常天候の温暖化応答のバリエーションを分類したストーリーラインを構築した。さらに、サブテーマ4で選ばれた5つの代表気候モデルが、CMIP6アンサンブル全体の不確実性幅の中でどのような位置を占め、どういった特徴を持つかに関して課題全体で調査を行い、選択された代表5モデルから構築した気候変化シナリオのストーリーラインを温暖化影響評価・適応研究者に提供した。

<サブテーマ1>

まず長期観測データから暖候期日本域の広域豪雨の大規模環境を調査した。また、解像度の高い気象庁メソ解析データから、広域豪雨をもたらすメソスケール対流プロセスのメカニズムを調査した。衛星搭載降雨レーダから広域豪雨をもたらす降雨特性を調べ、その大規模環境場との関係を求めた。それに基づき、西日本と東日本の降雨特性の将来変化について、CMIP6データマルチモデルからストーリーラインを提示した。次に、夏季・冬季に東アジアに極端気象をもたらす代表的な大気循環変動について、気候モデルアンサンブル実験に基づき、将来の温暖化に伴う変化・変調やそのモデル間のばらつきに関するストーリーラインを提示した。

<サブテーマ2>

対流圏上部のジェット気流の変化と成層圏極渦の変化などに注目して、CMIPモデルを用いて、地球温暖化にともなう冬季および夏季の日本の降水の変化にかかわるストーリーラインを構築した。また、サブテーマ1と協力して事例解析を行った。詳細な解析により、対流圏から成層圏にかけての大規模な力学過程に応じて、将来変化予測にどのような違いをもたらされるかを明らかにした。極渦、亜熱帯ジェット上の波動伝搬、南の海上の下層風、熱帯の昇温など、変化のキーポイントを明らかにした。

<サブテーマ3>

サブテーマ3では、ユーラシア大陸やチベット気候に注目し、ターゲットとなる極端気象・気候現象の変化に寄与の大きい大規模場要素をCMIP5とCMIP6のマルチモデルアンサンブル実験から抽出し、日本の

気候シナリオおよび影響評価に差をもたらす不確実性の大きい気候場の温暖化応答パターンを明らかにした。これらの結果を基に、温暖化応答が正/負の場合などにどのような気候シナリオになるかというストーリーラインを構築し、気候変動に伴う変化の仕組みを明らかにした。

<サブテーマ4>

サブテーマ4は、まず影響評価研究者へのヒアリング等を通じて、日本域で注目すべき異常天候の抽出と影響評価モデルの入力データとして重要な気候変数のリストアップを行った。さらに既存の気候シナリオの妥当性を検証するとともに、新しい共通気候シナリオ作成のために高度なモデル選択手法を開発し、5つの代表気候モデルを選択した。

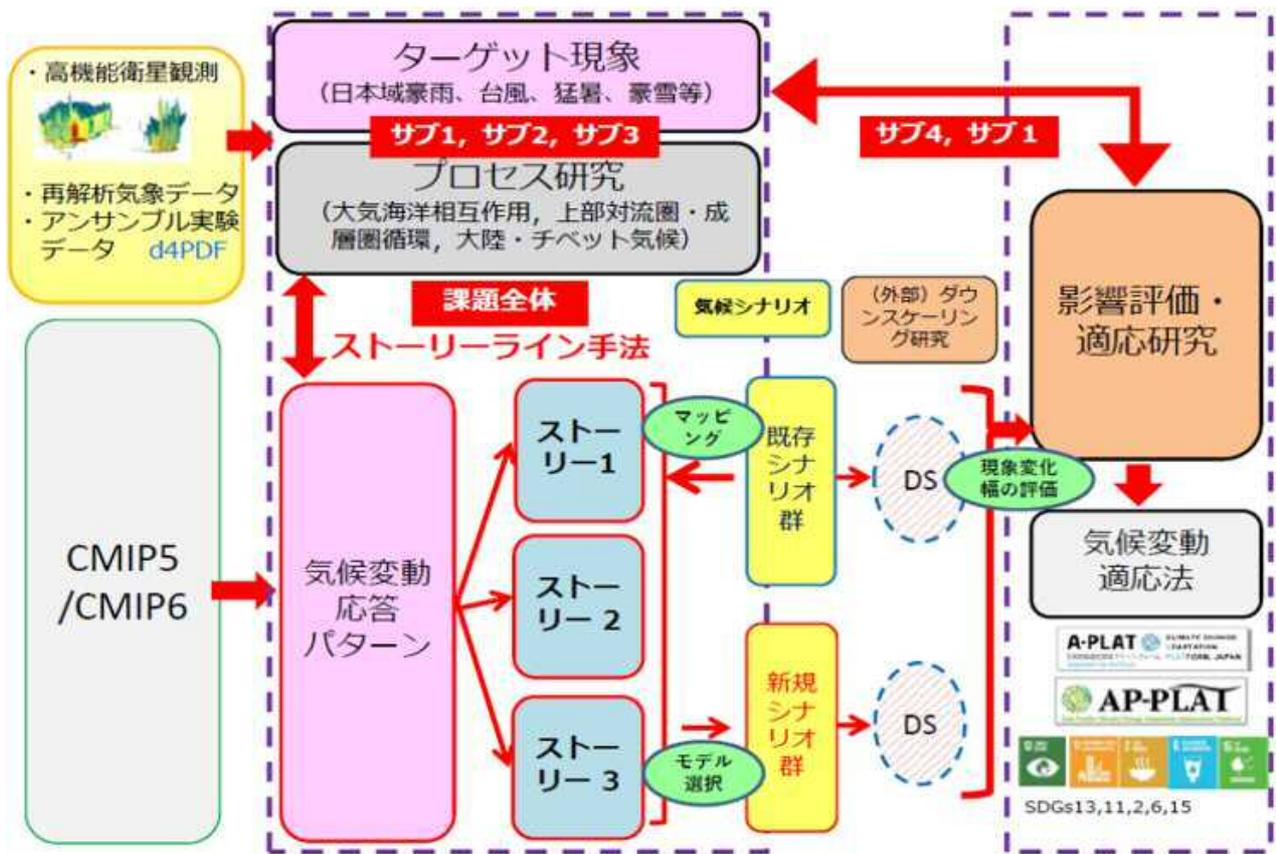


図0.1 研究の全体概要図

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

豪雨・猛暑・干ばつ・台風・豪雪等の異常天候に注目し、地域スケールの評価・適応研究や政策決定において異常天候の将来変化についての様々な可能性を見逃さないよう、CMIP6のマルチモデルから多様な予測を代表するいくつかの「ストーリーライン」を構築した。

特に、影響評価モデルの入力データとなる気候変数に関して、CMIP6モデル群の不確実性を適切にカバーする少数の代表GCMを選択する手法を開発し、CMIP6の5つの気候モデルを代表GCMとして選択した。この5つの代表GCMの気候シナリオデータ（影響評価モデルで使いやすいように加工された気候モデル予測データ）は国立環境研究所のA-PLAT-Proから公開され、推進費S18と国立環境研究所・気候変動適応

研究プログラムの共通気候シナリオとして、次期の気候変動影響評価報告書に向けた数多くの影響評価・適応研究で現在利用されている。また文科省・気象庁の気候予測データセット2022の重要な構成要素としても採用される予定である。

さらに、共通気候シナリオを用いた影響評価結果の解釈の助けとなるように、サブテーマ4で選ばれた5つの代表モデルが、CMIP6アンサンブル全体の不確実性幅の中でどのような位置を占め、どういった特徴を持つかに関して課題全体で調査を行い、代表5モデルによる異常気象将来変化のストーリーラインも構築した。その結果を影響評価・適応研究者および政策決定者に対して提示することができた。

また、ストーリーラインの視点からまとめた成果を、一般向けにわかり易いパンフレットとして発行し（図0.2）、Web上で公開すると共に多くの関連部署に配布した。



図0.2 課題の成果を総括して作成した一般向けパンフレット「暑いだけじゃない地球温暖化4 — 多様な気候モデル予測から読み取る将来の日本の異常天候 —」。2022年3月発行。

<https://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/~takayabu/pamphlet.html>

各サブテーマの成果の概要は以下の通り。

＜サブテーマ1＞

日本域暖候期の豪雨、夏季の持続的な猛暑・干ばつ・長雨のパターン、東アジア冬季の異常寒波に注目し、下記(1)から(7)の成果を挙げた。これらの研究の結果、それぞれの異常天候と大規模気候場の変動パターンを紐づけることに成功した。さらに、温暖化した将来における異常気象について、CMIP6モデルを用いて予測のばらつきを調査し、豪雨、猛暑・干ばつ、異常寒波のそれぞれの将来変化についてのストーリーラインを構築することができた。また、影響評価研究S-18およびNIES適応プログラムの共通気候シナリオとして選択されたCMIP6の5モデルについてどのストーリーラインが対応するかを評価した。サブ1は課題全体の総括の役割も果たし、共通シナリオの代表5モデルについて構築したストーリーラインを、連携するサブテーマ4を通して影響評価・適応研究者に伝えた。また、成果をストーリーラインの視点からまとめた一般向けパンフレットの企画編集・発行を中心となっておりまとめた。

(1) 日本域の広域豪雨に関しては、まず過去42年のアメダス長期データから暖候期の広域豪雨に先行する共通な大規模場を統計的に求め、西日本の広域豪雨に必要な気象要素を抽出した(図1.1)。次に、豪雨に関連する大規模環境場を表す19の気象変数を2つの変数群として低次元化することができた(図1.2)。大規模環境場の低次元化は、今後、環境場と豪雨との時空間変動を統計的に捉えるための調査において有効に活用できる。

(2) 2018年西日本豪雨における対流圏上層トラフの力学的効果を定量化した(図1.3)。さらに、2017年九州北部豪雨との違いを明らかにした(図1.4)。

(3) 大雨の前後の大気水蒸気収支解析から、広域豪雨をもたらす対流が、大気不安定により生じる局地的な雷雨とは異なるメソスケールの「湿潤絶対不安定」のメカニズムで生じていることを初めて統計的に指摘した(図1.5)。

(4) 最新の第6次結合モデル相互比較プロジェクトCMIP6モデルアンサンブルと衛星搭載レーダデータを併用して気候変動に伴う日本域の降水特性の変化を調べ、西日本と東日本とで、広域豪雨に繋がる「組織化降水」の将来変化の様相が異なることを発見し、その結果をストーリーラインとしてまとめた(図1.6~図1.8、表1.1)。特に、温暖化の進行に伴い東日本の広域豪雨が増加する危険性が、全てのモデルで共通に予測されることを指摘した。西日本の組織化豪雨の変化はモデル毎にばらつきがあり、それは上層のジェット気流の弱化の度合に依存することを指摘した。

(5) 夏季東アジアに極端気象をもたらす大気循環変動の1つである「シルクロードパターン」が、地球温暖化に伴って将来有意に弱体化し、この弱体化の大小の範囲がサブテーマ4で選択された5つの気候モデルで概ね捉えられることがわかった(図1.9~図1.10)。ただし、循環偏差の弱体化にも拘わらず、日本付近の降水偏差は背景場の水蒸気量増加の影響を反映して寧ろ強化され得ることがわかった。そのメカニズムに基づくストーリーラインを提示できた。

(6) 2018年7月の記録的猛暑をもたらした亜熱帯ジェット気流の持続的北偏が、熱帯や中緯度北太平洋の暖水偏差からの影響を反映した潜在的予測可能性を有することが大気モデルによるアンサンブル実験から得られた。

(7) 東アジア域を含む冬季ユーラシア大陸に寒冬をもたらす大気循環変動「WACE (Warm Arctic /Cold Eurasia) パターン」が、CMIP6のhistorical実験のトレンド解析で検出されたものの、気候モデルは海氷減少による大気応答を系統的に過小評価しており、この傾向はアンサンブル平均として冬季バレンツ・カラ海上空の温暖化が弱いモデルほど顕著であった(図1.11~図1.12)。また、ユーラシア中緯度域に寒波をもたらすWACEパターンについて、殆どの気候モデルではシグナルが過小評価されているものの、海氷減少に伴う北極温暖化が強いモデルメンバーほど明瞭というストーリーラインを構築できた。さらに、北極温暖化増幅モデル相互比較プロジェクト(PAMIP)において、将来の海氷減少に対する大気応答を16の大気大循環モデル間で比較したところ、ユーラシア中緯度域で地上気温応答のばらつきが極めて大きいことが確認された。

<サブテーマ2>

主にCMIP5マルチモデルデータを用いて、地球温暖化にともなう冬季および夏季の日本の降水の変化に対する遠隔影響を多角的に研究した。冬期の日本域降水分布の将来変化について、熱帯上部対流圏温度と成層圏極渦の変化を指標にとり、ストーリーラインを構築した。マルチモデル平均では、北日本で降水量が多く、南日本で降水量が少なくなる傾向を示している。一方で成層圏の渦が強く(弱く)熱帯の増幅が大きい(小さい)モデルでは、日本の大部分で降水量が多く(少なく)なっていることが明らかになった。日本付近の降水量の変化は、どの程度温暖化するかに加え、将来起こりうるストーリーに大きく依存することを示した(図2.1~図2.4)。

冬季に降水量の多い中部山岳域の将来変化については、CMIP5並びにCMIP6において、気温の上昇とともに降水が増えるモデルと、気温が上昇しても降水量はあまり変化しないモデルの2つのグループに分かれた。このことは、気温の勾配の変化や偏西風の変化に応じた低気圧活動の変化の違いで説明できることが明らかになった(図2.5~図2.11)。

夏季については、客観解析データと観測データより、大規模豪雨事例において、対流圏上層ジェットとそれに沿った波動伝搬が果たす役割を明らかにした(図2.12)。さらに、CMIP5マルチモデルデータを用いた解析により、梅雨等の夏季の降水の将来変化には、日本の南海上の南風が強化されるストーリーラインと、弱化するストーリーラインがあることが明らかになった。前者においては、梅雨降水は温暖化に対するマルチモデル平均よりさらに増加し、後者においては平均ほどには増加しない。その違いの一部は、上層のジェット上での波動伝搬によるシルクロードテレコネクションによって生ずることが明らかになった(図2.13~図2.14)。

<サブテーマ3>

サブテーマ3では、ユーラシア大陸やチベット気候に注目し、ターゲットとなる極端気象・気候現象の変化に寄与の大きい大規模場要素をCMIP5とCMIP6のマルチモデルアンサンブル実験から抽出し、日本の気候シナリオおよび影響評価に差をもたらす不確実性の大きい気候場の温暖化応答パターンを明らかにした。現在気候下で、これらの変化と要因が機序して、極端気象が生じているか調べるために、長期観測データや、季節予報モデルの予測結果を利用し、メカニズムを検証した。これらの結果を基に、温暖化応答が正/負の場合などにどのような気候シナリオになるかというストーリーラインを構築し、気候変動に伴う変化の仕組みを明らかにした。一連の研究を通して得られた成果は以下の通りである。

将来変化を予測する各気候モデルには不確実な過程が残るため、世界の研究機関による将来予測結果の間には変化の傾向が異なるところがある。予測の信頼度を定量化するために、CMIP6モデルおよびCMIP5モデルが予測する多数の夏季東アジア海面気圧配置の将来変化から代表的な空間パターンを統計的に取り出した。このストーリーラインアプローチの予測解析結果をもとに、大陸昇温が要因の確実な将来変化や、夏季降水量変化やモンスーンの不確実性の要因を特定した（図3.1～図3.10）。

夏季東アジアの降水量の将来変化についてCMIP5予測とCMIP6予測を比較した。東アジアではおおむね増加傾向が予測される点は共通だが、CMIP6予測では大陸上で降水量増加が明瞭化する一方、海洋上（日本付近を含む）では降水量増加が抑制されていた。この背景要因について検討したところ、CMIP6モデルで、ユーラシア大陸昇温による海陸温度コントラストの増大により、モンスーン循環が相対的に強化され、その結果、東アジアでは降水量増加域の中心が大陸上にシフトしたと考えられる（図3.11～図3.12）。

季節予報モデルを用いた海面水温感度実験を用いて、令和2年7月豪雨(2020年)に関連した活発な梅雨活動に対するインド洋の影響メカニズム、と平成22年(2010年)夏の夏季アジアモンスーンに対する北熱帯大西洋の影響メカニズムについて調査した。これらの解析から、アジア域の夏季の年々変動に対する熱帯太平洋、大西洋及びインド洋の海盆間相互作用による遠隔影響メカニズムが明らかになった（図3.13）。

「2018年の日本の高温現象発生に、ASM循環場の発達期である7月後半という時期が関係していたか」調べた結果、PJパターンを示した年々変動成分と気候学的な季節進行の位相が一致したことで猛暑となったと考えられる。また、最近11年間（2009年～2019年）の梅雨前線帯の降水活動を調査したところ、災害を引き起こす降水が頻発しており、要因として南からの水蒸気輸送の強化、亜熱帯ジェット気流上の波動による、朝鮮半島～東シナ海上空での大気的不安定化が明らかになった（図3.14～図3.15）。

<サブテーマ4>

サブテーマ4は、これまで影響評価研究（推進費S-8等）で広く利用されたCMIP5の4つの代表気候モデル(GCM)の妥当性を検討し、日本域の日射量将来変化に関してCMIP5アンサンブル全体の不確実性幅を適切にカバーできていないことを発見した。このような問題を解決すべく、影響評価モデルの入力データとしてよく使われる8つの気候変数に関して、CMIP6 アンサンブルの不確実性を適切にカバーする少数の代表GCMを選択する手法を開発した。その結果、ACCESS-CM2（オーストラリア）、IPSL-CM6A-LR（フランス）、MIROC6（日本）、MRI-ESM2.0（日本）、MPI-ESM1-2-HR（ドイツ）の5つのGCMが代表GCMとして選択された。さらに、5つの代表モデルがもつ将来予測の特徴を、評価・適応研究で用いられる変数の特性によって評価した（図4.1～図4.9）。選択された5つの代表GCMの気候シナリオデータ（影響評価モデルで使いやすいように加工された気候モデル予測データ）は国立環境研究所のA-PLAT-Proから公開され、推進費S18と国立環境研究所・気候変動適応研究プログラムの共通気候シナリオとして、次期の気候変動影響評価報告書に向けた数多くの影響評価・適応研究で現在利用されている。また文科省・気象庁の気候予測データセット2022の重要な構成要素としても採用される予定である。

さらに、共通気候シナリオを用いた影響評価結果の解釈の助けのため、CMIP6アンサンブル全体の不

確実性幅の中での代表5モデルの位置や特徴についての課題全体での議論について、サブテーマ1と共同で中心的役割を果たし、その結果を影響評価・適応研究者および政策決定者に対して提示した。

5-2. 環境政策等への貢献

<行政等が既に活用した成果>

1. 本課題で選択された5つの代表気候モデルの予測に基づく気候シナリオデータ（気候モデル予測データを影響評価モデルで使いやすいようにバイアス補正等加工したもの）は、国立環境研究所のA-PLAT-Proで公開され、影響評価研究プロジェクトである推進費S-18と国立環境研究所・気候変動適応研究プログラムの共通気候シナリオとして現在利用されている。また2022年内に発表される文科省・気象庁の気候予測データセット2022の重要な構成要素となる予定である。
2. 本課題の成果論文の6報がIPCC AR6 WG1に引用された。なお、今回は課題実施期間（2019.4-2022.3）とAR6の採択論文条件（投稿2019.12迄、受理2021.1迄）とのタイミングがよいとは言えなかったが、本課題参加者による査読付き論文のAR6への総引用数は106報であり、本課題の成果論文の次期評価報告書への成果の活用が期待できる。

<行政等が活用することが見込まれる成果>

1. 本課題で選択された5つの代表気候モデルから作成した気候シナリオデータは、現在数多くの影響評価・適応研究で利用されており、今後も利用者が増えると予測される。それらの影響評価・適応研究の成果と気候シナリオデータが次期気候変動影響評価報告書の根拠になるとともに、国と自治体の適応策検討のための基盤情報となると期待される。
2. 本課題の成果として異常天候や気候変動に関する62報の査読付き国際誌論文が発表されており、これらの成果は次期のIPCC評価報告書に活用されることが見込まれる。
3. 温暖化が進行すると、東日本域でも、現在西日本域で頻発するような集中豪雨の危険性が高まることを指摘した。これは、今後の防災政策決定において、重要な情報となると期待される。
4. 西日本の広域豪雨発生の大規模要因として、ユーラシア大陸から伝播する上空の大気の波による大気循環偏差と中国南部での大気水蒸気量の増加に伴う対流発生との相乗効果を明らかにした。この成果は、西日本の広域豪雨発生に備えるため、アジア域全体の循環の適切なモニターの有効性を政策決定者に示すことができる。
5. 西日本の広域豪雨は、局地的な雷雨とは異なるメカニズムで形成されていることを示した。温暖化に伴う大気全体の水蒸気量増加は、広域豪雨の可能性を高めることを指摘した。集中豪雨の予報には地上2-3kmの大気上空の水蒸気量のモニタリングが有効であることを示した成果は豪雨予報に貢献すると期待される。
6. 冬季のバレンツ・カラ海の水氷減少に伴い冬季日本に異常寒波をもたらす「WACE（Warm Antarctic/Cold Eurasia）パターン」が生じるメカニズムを示し、さらにこの現象が世界のほぼ全ての気候モデルで過小評価されていることを指摘した。WACEパターンに注目して将来予測に利用する気候モデルを改良していく研究を支援することの重要性を視野に入れることが期待される。
7. 多数の熱中症による犠牲者を生んだ2018年7月豪雨に続く猛暑は、熱帯域や中緯度北太平洋域の海面水温が通常よりも高かったことの遠隔影響であったことを数値モデリングにより指摘した。夏季の異常高温の予測精度向上のために、衛星観測による広域の海面水温モニタリングの必要性を明確にし、政策決定に重要な貢献が期待される。
8. 日本を含む東アジアの平均気圧配置パターンの将来変化で評価すると、本課題で選択された5つの代表気候モデルの気候シナリオが、CMIP6マルチモデルの不確実性の幅を適切に表現しているこ

とがわかった。今後、日本付近の気候の将来予測を気圧変化パターン予測とその要因に注目して説明することができ、データ利用者の理解の向上に繋がると期待される。

9. 日本を含む東アジアに自然災害を引き起こす梅雨前線の降水活動が、最近10年間は非常に活発であることが、長期間の人工衛星観測により明らかとなった。科学的な根拠の蓄積とシミュレーションの評価のために、降水を始めとして継続的な地球環境モニタリングが必要である。

5-3. 研究目標の達成状況

本課題では、日本域の豪雨、台風、猛暑、豪雪などの異常天候に注目し、日本の気候シナリオおよび影響評価に差をもたらす大規模気候場について、気候変動応答としての様々なバリエーションを明らかにした。そしてターゲットとした異常気象が気候モデル間でどのようにばらつくかについて、物理プロセスの理解と共にわかり易く表現するストーリーラインを構築した。代表的なストーリーラインに基づき、社会が備えるべき異常気象の将来変化の可能性についての情報を政策決定者向けのサマリーとして提供した。

また、日本域全域を対象とした影響評価・適応研究プロジェクトや地域適応コンソーシアム事業で従来使われてきたCMIP5に基づく気候シナリオをストーリーライン上にマッピングして評価し、CMIP5から選択されてきた気候シナリオは、CMIP5モデル群の予測のばらつきについては十分カバーしていなかったことを指摘した。CMIP6を用いた研究では、この点を改善するため統計的手法を開発し、CMIP6モデル群の予測のばらつきを的確にカバーできるように5つの代表モデルを選択し、影響評価・適応研究プログラムが用いる共通気候シナリオを作成した。これは、推進費S18と国立環境研究所・気候変動適応研究プログラムの共通気候シナリオとして、次期の気候変動影響評価報告書に向けた数多くの影響評価・適応研究で現在利用されている。また文科省・気象庁の気候予測データセット2022の重要な構成要素としても採用される予定である。さらに、上記の代表5モデルによる異常気象将来変化のストーリーラインも構築した。その結果を、共通シナリオのもつ異常天候の将来変化に関する知見として、影響評価・適応研究者および政策決定者に対して提示することができた。さらに課題全体の総括として成果をストーリーラインの視点からまとめ、わかり易い一般向けのパンフレットも作成して公開・配布した。

以上の通り、課題遂行中の比較的早い段階でCMIP6モデル群からモデル間のばらつきをカバーする5つの代表モデルを数理統計的に選択し、その情報を影響評価研究者に渡すことができ、これに基づく共通気候シナリオが多くの影響評価・適用研究で利用されるものとなったこと、様々な異常天候の将来予測に関して、この5つの代表モデルのばらつきについて物理プロセスを調査・解明しストーリーラインとして提供できたこと、さらに一般向けのパンフレットを作成・公開したなど、本課題の目標を大きく上回る成果を上げることができた。以下に、各サブテーマについて記載する。

<サブテーマ1>

日本域暖候期の豪雨、夏季の持続的な猛暑・長雨パターン、東アジア冬季の異常寒波に注目してメカニズムの解析を行い、それぞれの異常天候と大規模気候場の変動パターンを紐づけることに成功した。さらに、大規模気候場の将来変化と異常気象の将来変化とについて、CMIP5、CMIP6モデルを用いて予測のばらつきを調査し、豪雨、猛暑、異常寒波の将来変化についてのストーリーラインを構築することができた。また、影響評価研究S-18およびNIES適応プログラムの共通気候シナリオとして選択されたCMIP6の5モデルについてストーリーラインの中で評価した結果を、サブテーマ4と連携して影響評価・適応研究者に伝えることができた。各研究成果を積極的に記者発表した。課題全体の総括としては、成果をストーリーラインの視点からまとめ、一般向けのパンフレットも作成した（図0.2）。広域豪雨や上空波動の遠隔影響のエッセンスとなるメカニズムについても統計的に有意な解析からの理解に基づくストーリーラインを構築できたと共に、課題全体の総括も実りある形にまとめ、当初の目標を超える成果を得た。

<サブテーマ2>

冬季、夏季それぞれについて、成層圏や、対流圏上層の力学過程の遠隔影響が、日本の降水の将来変化について、どのようなストーリーラインとして現れるかを明らかにすることができた。当初に想定したように、冬季の成層圏の極渦や上部対流圏の昇温の大規模な南北構造、上部対流圏の亜熱帯ジェットやその上の停滞波動などが、重要な役割を果たしていることがわかり、具体的に整理された。CMIPモデルだけでは十分に分解されない局所的な極端現象についても、サブ課題1との協力より知見を得ることができた。以上より、当初の研究目標は十分に達成された。

<サブテーマ3>

サブテーマ3は、極端気象ターゲット現象の変化に効果的な大規模場要素を抽出し、日本の気候シナリオおよび影響評価に差をもたらす不確実性の大きい気候場の温暖化応答パターンを明らかにし、それをストーリーラインに結びつける研究目的を達成した。具体的には、夏季東アジアの海面気圧配置将来変化のストーリーライン予測、夏季東アジア降水量のCMIP5/6予測の違い、北西太平洋及び東アジアの異常天候に関する熱帯海洋の影響の解析、熱帯アジアモンスーンの降水活動と日本の夏の天候の関係など、いずれも成果を公表している。

<サブテーマ4>

目標を超える成果を得た。まず計画通り、影響評価研究者へのヒアリングを行い、日本域で注目すべき異常天候現象や変数を抽出した。また、既存の影響評価モデル研究で標準気候シナリオとして利用されてきた4つの代表GCMに大きな偏りがあることを示し、影響評価・適応研究で重要な8つの気候変数の不確実性を適切にカバーできる少数の代表GCMを選択する統計的な手法を開発した。研究目標では「今後の気候シナリオの選択・開発について指針を提案する」と掲げていたが、指針の提案を超えて、我々の選択した代表GCMの気候シナリオデータが推進費S-18等で共通気候シナリオとして採用された。

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

62件

<主な査読付き論文>

- 1) R. SHIBUYA, Y. N. TAKAYABU and H. KAMAHORI: *J. Climate*, 34, 22, 8955-8970, doi:10.1175/JCLI-D-21-0064.1 (2021) (IF:5.1)
Dynamics of Widespread Extreme Precipitation Events and the Associated Large-Scale Environment Using AMeDAS and JRA-55 Data.
- 2) C. YOKOYAMA, Y. N. TAKAYABU, O. ARAKAWA and T. OSE: *J. Climate*, 32, 5251-5274, doi:10.1175/JCLI-D-18-0656.1 (2019) (IF:5.1)
A Study on Future Projections of Precipitation Characteristics around Japan in Early Summer Combining GPM DPR Observation and CMIP5 Large-Scale Environments.
- 3) K. NISHII, B. TAGUCHI and H. NAKAMURA: *J. Meteor. Soc. Japan*, 98, doi:10.2151/jmsj.2020-041 (2020) (IF:2.2)
An AGCM Assessment of Oceanic Impacts on Extreme Climatic Events over Japan in July 2018.
- 4) T. J. YASUNARI, H. NAKAMURA, K.-M. KIM, N. CHOI, M.-I. LEE, Y. TACHIBANA and A. M. da SILVA: *Environ. Res. Lett.* 16, 064009, doi:10.1088/1748-9326/abf7ef (2021) (IF:6.8)
Relationship between Circum-Arctic Atmospheric Wave Patterns and Large-Scale

Wildfires in Boreal Summer.

- 5) T. HORINOUCI, Y. KOSAKA, H. NAKAMIGAWA, H. NAKAMURA, N. FUJIKAWA and Y. N. TAKAYABU: SOLA, 17, 112-115, doi:10.2151/sola.2021-019 (2021) (IF:2.2)
Moisture Supply, Jet, and Silk-Road Wave Train Associated with the Prolonged Heavy Rainfall in Kyushu, Japan in July 2020.
- 6) Y. KAWATANI, T. HORINOUCI and N. SATO: SOLA (2022) (IF:2.2)
Storylines of Projected Climate Changes Around Japan Associated with Upper Troposphere and Stratosphere Responses.
- 7) T. OSE, H. ENDO, Y. TAKAYA, S. MAEDA and T. NAKAEGAWA: J. Meteor. Soc. Japan, 100, doi:10.2151/jmsj.2022-032 (2022) (IF:2.2)
Robust and Uncertain Sea-Level Pressure Patterns over Summertime East Asia in the CMIP6 Multi-Model Future Projections.
- 8) H. G. TAKAHASHI and H. FUJINAMI: Sci. Rep., 11, 1-8, doi:10.1038/s41598-021-93006-0 (2021) (IF:4.4)
Recent Decadal Enhancement of Meiyu-Baiu Heavy Rainfall over East Asia.
- 9) H. SHIOGAMA, N. N. ISHIZAKI, N. HANASAKI, K. TAKAHASHI, S. EMORI, R. ITO, T. NAKAEGAWA, I. TAKAYABU, Y. HIJIOKA, Y. N. TAKAYABU and R. SHIBUYA: SOLA, 17, 57-62, doi:10.2151/sola.2021-009 (2021) (IF:2.2)
Selecting CMIP6-Based Future Climate Scenarios for Impact and Adaptation Studies.
- 10) M. HAYASHI and H. SHIOGAMA: SOLA, 18, doi:10.2151/sola.2022-016 (2022) (IF:2.2)
Assessment of CMIP6-Based Future Climate Projections Selected for Impact Studies in Japan.

6-2. 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	2件
その他誌上発表（査読なし）	18件
口頭発表（学会等）	156件
「国民との科学・技術対話」の実施	82件
マスコミ等への公表・報道等	109件
本研究に関連する受賞	5件

7. 国際共同研究等の状況

- 1) 日米共同の衛星観測計画、全球降水観測（Global Precipitation Measurements : GPM）の共同科学チームの日本側リーダーを務め、チームから衛星降水観測プロダクトの提供を行っている。
カウンターパート : Gail Skofronick-Jackson (NASA/GSFC, USA) (2019)、Scott Braun (NASA/GSFC, USA) (2020-)
- 2) 米国 NASA の Wei-Kuo Tao 博士との共同研究で、GPM 観測を用いた対流に伴う大気の大気 3 次元潜熱加熱推定アルゴリズム開発を行い、大気潜熱加熱プロダクトを NASA 及び JAXA の GPM 標準プロダクト

として世界に提供している。カウンターパート：Wei-Kuo Tao (NASA/GSFC, USA)

- 3) Future Earth プロジェクトへの貢献を目指す Belmont Forum 気候変動課題「季節～10年規模の地域間連関が気候予測の改善へ向けて持つ潜在的可能性 (InterDec)」の下で、東京大学先端科学技術研究センターとベルゲン大学 (ノルウェー)、マックス=プランク研究所 (ドイツ)、欧州中期予報センター (英国)、中国科学院等との共同研究を 2020 年末まで実施した。
- 4) EU Horizon 2020 の枠組みで欧州の共同研究者が申請中の 2 つのプロジェクト (グローバルな視点における極域気候プロセス研究プロジェクト “Blue-Action”、及び長期高解像度大気海洋シミュレーションプロジェクト “SOMMAR”) が採択された際には、本課題分担者がオブザーバーとして参画。
- 5) 第 6 次結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP6) の正式モデル相互比較プロジェクトである、Polar amplification MIP (PAMIP) に参画し、モデル実験データの提供を行なっている。
- 6) 国際共同研究計画名：QBO 気候モデル比較国際プロジェクト (QBOi)
 カウンターパート：Kevin Hamilton (米ハワイ大)、Yadwiga Richter (米NCAR)、Lesley Gray (英オックスフォード大)、Scott Osprey (英オックスフォード大)、Anne Smith (米NCAR)、Neal Butchart (英MetOffice)、Andrew Bushwell (英MetOffice)、Adam Scaife (英MetOffice)、James Anstey (加CCCma)、Tim Stockdale (ECMWF)、Laura Holt (米ノースウェスト研究所)、Francois Lott (仏パリ大学)
 参加・連携状況：月1・2回のテレビ会合を行い、論文を出版した。(Butchart et al. 2020, Richter et al. 2020)
 国際的な位置づけ：QBOを再現する世界中の気候モデルを集めて、同一のプロトコルに沿った実験を行い、QBOの理解を深める。
- 7) 国際共同研究計画名：成層圏再解析比較プロジェクト (S-RIP)
 カウンターパート：Kevin Hamilton (米ハワイ大)、Lesley Gray (英オックスフォード大)、Anne Smith (米NCAR)、James Anstey (加CCCma)、Lynn Harvey (米コロラド大)、Gloria Manney (米NWRA)、George Kiladis (米NOAA)
 参加・連携状況：主にメールによる議論を行っている。論文を出版した。(Kawatani et al. 2020)
 国際的な位置づけ：成層圏諸現象の再解析間の類似点・相違点を明示し、考えられる原因を突き止めることで、今後の再解析データの改良に役立てる。
- 8) 国際共同研究計画名：斬新な解析手法による中緯度ストームトラック力学と全球的遠隔影響過程の理解の深化：日本とイスラエルの二国間共同研究 (日本学術振興会・イスラエル科学基金) として 2021・22 年度の 2 年間に共同研究を実施する。既に国際共著論文を出版した (Okajima, Nakamura, Kaspi 2021)。

8. 研究者略歴

研究代表者

高 薮 縁

東京大学理学部卒業、東京大学大学院理学系研究科地球物理学専攻修士課程修了、博士 (理学)、国立環境研究所主任研究員、現在、東京大学大気海洋研究所教授・副所長

研究分担者

1) 中村 尚

東北大学理学部卒業、ワシントン大学大気科学科博士課程修了、学術博士、東京大学大学院理学系研究科教授、現在、東京大学先端科学技術研究センター教授

2) 堀之内 武

京都大学理学部卒業、京都大学大学院理学研究科博士課程（地球惑星科学専攻）修了、
博士（理学）、京都大学助手・助教、現在、北海道大学地球環境科学研究所教授

3) 仲江川 敏之

法政大学工学部卒業、東京大学工学系研究科土木工学科博士課程修了、博士（工学）東京大
学生産技術研究所助手、現在、国土交通省気象庁気象研究所応用気象研究部室長

4) 江守 正多

東京大学教養学部卒業、東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了、博士（学術）、
国立環境研究所研究員、現在、国立研究開発法人国立環境研究所地球システム領域副領域長

II. 成果の詳細

II-1 日本周辺域の異常天候に関するストーリーラインのための大気海洋大規模循環の研究

東京大学

大気海洋研究所

先端科学技術研究センター

富山大学 学術研究部

九州大学 応用力学研究所

<研究協力者>

東京大学

大気海洋研究所

先端科学技術研究センター

三重大学 大学院生物資源学研究科

富山大学

都市デザイン学部地球システム科学科

高薮 縁・宮川 知己

中村 尚・小坂 優

濱田 篤

森 正人

澁谷 亮輔・横山 千恵・辻 宏樹・釜堀 弘隆

宮坂 貴文・岡島 悟

西井 和晃

田口 文明

[要旨]

2018年の7月豪雨、持続的な猛暑、2019年に暴風をもたらした台風15号や広域の大洪水被害をもたらした台風19号など、近年、日本でも記録的な異常天候が続き、その要因として地球温暖化の影響が懸念されている。2018年12月には気候変動適応法が施行され、環境省を中心に適応策が推進された。その基礎となる影響評価・適応研究のため、地球温暖化によって異常天候がどのように変化するかをわかりやすく説明する必要がある。しかし、気候モデルによる将来変化予測にはモデルによるばらつきが大きく、また、モデル格子の粗さ等から異常天候といった地域スケールの現象を必ずしも表現できないといった困難が伴う。本課題は、地域スケールの評価・適応研究や政策決定において異常天候の将来変化についての様々な可能性を見逃さないよう、CMIPのマルチモデルから多様な予測を代表するいくつかの「ストーリーライン」を、影響評価・適応研究者および政策決定者に対して提示することを目的として研究を行った。

本サブテーマでは、**日本域暖候期の豪雨、夏季の持続的な猛暑・干ばつ・長雨のパターン、東アジア冬季の異常寒波**に注目し、それぞれ以下の成果を挙げた。(1) 日本域の**広域豪雨**に関しては6つの研究を行った。(a) 過去42年のアメダス長期データから暖候期の広域豪雨に共通する大規模場を統計的に求め、西日本の広域豪雨に必要な気象要素を抽出した。(b) 豪雨に関連する19の気象変数を2つの変数群として低次元化した。(c) (d) 2018年西日本豪雨における対流圏上層トラフの力学的効果を解析し、さらに2017年九州北部豪雨との違いを明らかにした。(e) 大雨の前後の大気水蒸気収支解析から、広域豪雨をもたらす対流が、大気不安定により生じる局地的雷雨とは異なるメソスケールの「湿潤絶対不安定」のメカニズムで生じていることを示した。(f) これらの知見に基づき、最新の第6次結合モデル相互比較プロジェクトCMIP6モデルアンサンブルと衛星搭載レーダデータを併用して気候変動に伴う西日本と東日本の（広域豪雨に繋がる）組織化降水の将来変化について調べ、温暖化の進行に伴う東日本の広域豪雨の危険性の増加を指摘した。(2) 我が国に**暑夏・渇水や冷夏・コメ不作**等をもたらす大気変動の遠隔影響の1形態である「シルクロードパターン」について、CMIP6やd4PDFアンサンブルのほとんどのモデルが将来の温暖化に伴う弱化を示していることを指摘し、その力学的メカニズムを解明することができた。さらに、温暖化が進行するとシルクロードパターンの弱化にも拘わらず日本域の降水への遠隔効果はむしろ強まることも指摘した。(3) **冬季の異常寒波**については、冬季バレンツ・カラ海の高氷経年変化に付随して維持・強化される「WACE(Warm Arctic/Cold Eurasia)パターン」について様々なモデル再現性を検証した。その結果、CMIP6による過去実験において、海氷減少に伴う北極域温暖化とユーラシア大陸の寒冷化の程度が、ほとんどのモデルで過小評価されていることを明らかにした。地球

温暖化による海氷減少の効果を適切に表現するため、WACEパターンの励起を現実的に表現できることの重要性を指摘した。

これらの研究の結果、それぞれの異常天候と大規模気候場の変動パターンを紐づけることに成功した。さらに、温暖化した将来における異常気象について、CMIP6モデルを用いて予測のばらつきを調査し、**豪雨**、**猛暑・干ばつ**、**異常寒波**のそれぞれの将来変化についてのストーリーラインを構築することができた。また、影響評価研究S-18およびNIES適応プログラムの共通気候シナリオとして選択されたCMIP6の5モデルについてどのストーリーラインが対応するかを評価した。サブ1は課題全体の総括の役割も果たし、共通シナリオの代表5モデルについて構築したストーリーラインを、連携するサブテーマ4を通して影響評価・適応研究者に伝えた。またストーリーラインの視点からまとめた成果を、一般向けにわかり易いパンフレットとして発行し、多くの関連部署に配布した。

1. 研究開発目的

サブテーマ1-1は**豪雨**をもたらす極端降水現象に関するストーリーライン構築を目的とする。まず衛星データ、地上観測データ、気象再解析データを用い、現実の極端降水をもたらす大規模循環場を抽出しメカニズムを議論する。さらにCMIP5,6実験を用いて、大規模循環場の将来変化に伴う極端降水現象の将来変化について不確実性の幅を含め議論する。サブテーマ1-2は、海面水温データ、客観・再解析データなどを用い、**猛暑・干ばつ・長雨**など月平均程度の中間スケールの異常気象のメカニズムや予測可能性についてストーリーラインを軸に議論する。サブ1-1、サブ1-2共に、他のサブグループと協力して既存の気候シナリオの妥当性を検証する。

2. 研究目標

課題全体と協力し、以下を目標に総括する。注目する日本域の異常天候を選択する。異常天候と大規模気候場の変動パターンを紐づけ、CMIPモデルでのストーリーラインを構築する。従来利用されてきた気候シナリオのマッピングなど、成果を今後の影響評価・適応研究へ繋げる。

3. 研究開発内容

本サブテーマでは、サブテーマ4と共同で日本の異常天候からターゲット現象を選択した。また、サブテーマ2と共同で海面水温と上層ジェットなど大規模大気循環の効果に注目し、ターゲットの変化に効果的な大規模場の要素を抽出すると共に、メカニズムを調べた。また、高機能衛星観測などを用いて大規模場と降水特性との統計的関係の研究を通し降水に対する従来の知見の検証と更新を行った。

最終的に課題全体で協力してCMIP6モデルでのストーリーラインの構築を行い、課題全体を総括した。特に、サブテーマ4は影響評価研究課題S-18やNIES適応プロの共通気候シナリオとして、CMIP6から5モデルを選択して提供したが、本課題全体から、異常天候の将来変化という視点においてその5モデルがいかなるストーリーラインをもたらすかを総括し、今後の影響評価・適応研究での気候シナリオの選択・開発についての指針を提案した。課題全体の成果を一般向けのパンフレットにわかりやすくまとめて配布した。

本サブテーマでは、特に、**日本域の広域豪雨**、**および、日本域夏季の猛暑・干ばつ・長雨のパターン**、**東アジア冬季の異常寒波**などの将来変化に注目した。個々の研究開発内容を以下に記す。

(a) 甚大な被害をもたらす西日本域の広域豪雨に注目し、直接観測であるAMeDAS雨量計の12時間平均降雨量データを基に、1979-2020年の過去42年間の梅雨期(6-7月)に広域で発生した極端豪雨現象「大規模広域豪雨」現象を抽出した。さらに、これらに共通してみられた大規模環境場の構造と広域豪雨に至る時間発展について調査した。

(b) 広域豪雨に伴う大規模環境場の物理量を統計的手法により客観的に分類した。1979-2018年の6、7月において、上記(a)の広域豪雨の指標で環境場を並び替えた統計量を作成して利用した。環境場の解析には気象庁JRA55再解析データ(1979-2018年)を用いた。先行研究において豪雨との関与が指摘されてきた計19種類の物理量の時系列的変動について主成分分析解析を行い、物理量間の主要な変動成分を抽出した。

(c) 衛星降雨データ、気象庁JRA55再解析データを用い、2018年西日本豪雨時に朝鮮半島上に停滞した対流圏上層トラフが広域な大雨に果たした力学的役割を解析した。

(d) 2017年九州北部豪雨および2018年7月豪雨の九州北部地域での豪雨の特徴と環境場の違いについて、気象庁メソ解析データ、降水レーダデータ、客観解析データを利用して比較解析し、そのメカニズムを調査した。

(e) 日本の梅雨期の大雨に対する、自由対流圏の水蒸気的重要性を明らかにするために、近年大雨が頻発する九州域を対象として、15年間の気象庁メソ解析データおよび気象庁JRA55再解析データ、AMeDAS雨量計データを用い、統計的調査を行った。大雨時における水蒸気収支の時間発展を求め、自由対流圏(900-300 hPa)と境界層(1000-900 hPa)の水蒸気フラックス収束などを比較した。

(f) 衛星搭載降雨レーダデータ、気象庁JRA55再解析データ、NOAA海面水温データ、およびCMIP5、CMIP6の現在気候と将来予測データ(RCP8.5、ssp5-8.5)を用い、東日本域と西日本域における初夏の降水特性について、地球温暖化に伴う将来変化のストーリーラインを構築した。

(g) 夏季に東アジアに極端気象をもたらす主要因の一つである「シルクロードパターン」と呼ばれる大気循環変動について、その振る舞いが地球温暖化によってどのように変化するかを、大気大循環モデルによる大規模アンサンブルシミュレーションd4PDFおよびCMIP6大気海洋結合モデルシミュレーションを用いて評価し、そのメカニズムを調査した。

(h) 冬季にユーラシア大陸の中央部から東アジア域に寒冬や異常寒波をもたらす要因の一つであるWACE(Warm Arctic/Cold Eurasia)パターンと呼ばれる大気循環変動は、北極域の海水変動と密接に関係していることが指摘されている。大気大循環モデルによるd4PDFや、CMIP6大気海洋結合モデルシミュレーション、ならびに北極温暖化増幅モデル相互比較プロジェクト(PAMIP)の大規模アンサンブル実験を用いて、地球温暖化に伴う海水減少がWACEパターンを介して東アジア域の寒冬や異常寒波へ与える影響を調査した。

(i) 東アジア・ユーラシアに猛暑・寒波など異常気象をもたらす大気循環の顕著な季節内変動のメカニズムと予報可能性について、海洋変動や大気場の長期変動の影響に着目した数値実験とデータ解析を実施した。具体的には、「平成30年7月豪雨」直後の記録的猛暑への海面水温偏差からの寄与を大気大循環モデルによるアンサンブル実験に基づき定量化し、その予報可能性を評価した。また、「令和元年東日本台風」に伴う三陸沿岸の記録的豪雨への北東海上の暖水渦からの影響について高解像度の領域大気モデルを用いて評価した。さらに、ユーラシア西部に寒波をもたらす停滞性波動擾乱の振幅が、北大西洋海面水温や北大西洋域の寒候期の大気卓越変動に見られる10年規模変動から被り得る影響について、長期再解析データを用いて調査した。

4. 結果及び考察

(a) 大規模広域豪雨発生の一週間以上前と発生数日前において、それぞれ特徴的な大気場が同定された(図1.1)。現象発生14日前から3日前には、停滞性の高気圧・低気圧を伴う大気波動(ロスビー波)が梅雨期のシベリア上空に存在する極前線ジェット気流を通じて小笠原高気圧にエネルギーを伝播し、その勢力を持続的に強めていたことが分かった。強く持続的な小笠原高気圧は大気下層で南から湿潤な空気を輸送することで、中国大陸上に湿潤な環境場を形成していた。さらにアルタイ山脈風下で発達した低気圧性循環が南方に伝播し中国大陸上で対流活動をトリガーすることで、これらに起因する背の低い低気圧性循環が中国大陸上で発生する様子が明らかになった。この低気圧性循環は対流を伴い勢力を強めながら梅雨前線に沿って東に移動し、東西に伸びた水蒸気偏差と作るとともに西日本域に豪雨をもたらす要因となったと考えられる。

本研究はさらに、この低気圧性循環の振る舞いが非断熱ロスビー波という大気力学的なフレームワークを通じて理解することが出来ることを示した。非断熱ロスビー波は強い前線帯とよく湿った背景場とが両立する場合において現れる大気波動として知られていたが、本研究が初めて大規模広域豪雨との統計的な関連を指摘した。成果論文を国際誌に発表した (Shibuya et al. 2021, J. Climate)¹⁾。

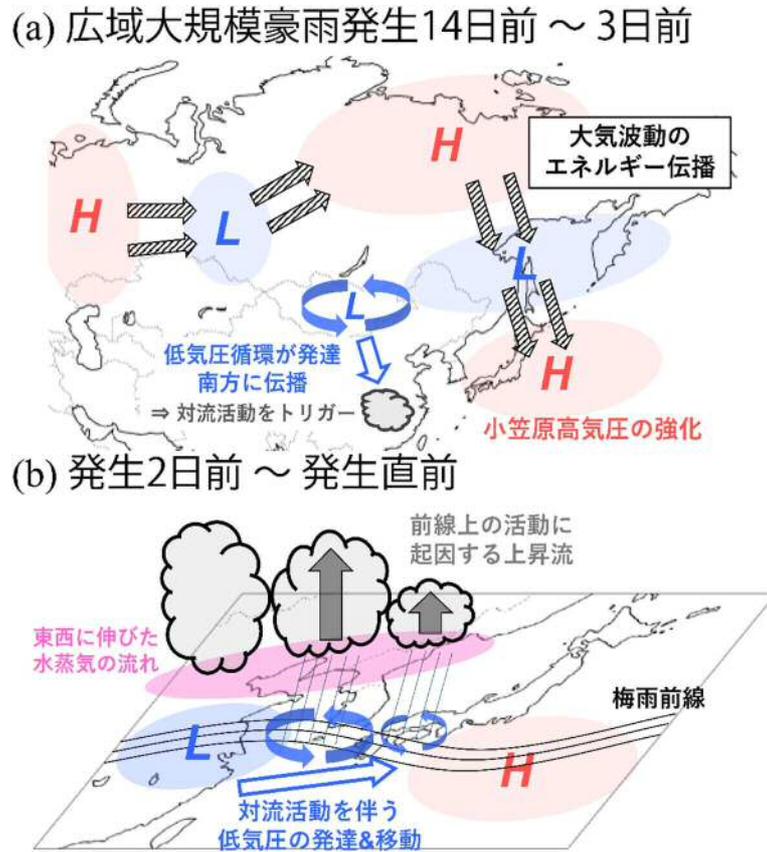


図1.1 西日本域で発生する大規模広域豪雨に共通する大気循環場パターンの概念図。それぞれ (a) 大規模広域豪雨発生14日前～3日前、 (b) 発生2日前～発生直前。

(b) 極端降水現象の同時観測点数（広域指標）は、梅雨期の豪雨に関する様々な物理量（例えば西日本上空の可降水量）との間に統計的に有意な相関関係を持つことが示された。主成分分析の第一・第二成分に対応する時間関数（PC1, PC2）と、同位相空間における極端降水現象発生点数（広域指標）との関係（図1.2a）から、広域指標に関連する19種類の変数が、主に前線の強さの指標（PC1）と水蒸気量に関する指標（PC2）の2つの変数群による変動で低次元化されて説明出来た。また、PC1, PC2が共に大きい広域極端豪雨イベントの発生数は比較的少なく、位相間の偏りも小さかった（図1.2b）。PC1成分は6月～7月初旬、PC2は6月下旬～7月にそれぞれ値が大きくなるイベント数が多く、両PC成分が共に大きくなりやすいのは6月下旬～7月初旬ごろであることが分かった。これは過去大きな被害をもたらした極端豪雨が同時期に集中していることと整合的である。

さらに、PC1成分は大気下層～中層の前線活動と相関があるだけでなく、大気上空のシベリア経由の波動伝播パターンも伴うことが明らかになった。一方PC2成分は上空にほとんど有意なシグナルが存在せず、その影響は大気下層の水蒸気や南風に限定されていた。これは、研究(a)で示された過去の広域豪雨によく見られる大循環パターンによく当てはまる事例（PC1, PC2が共に大きい）が目立つ一方、例えばPC2のみが大きく上空の偏差を伴わない豪雨事例がみられることなど、過去の多様な循環場が存在することを説明できる結果である。成果論文を国際誌に発表した (Shibuya et al. 2021, SOLA)²⁾。

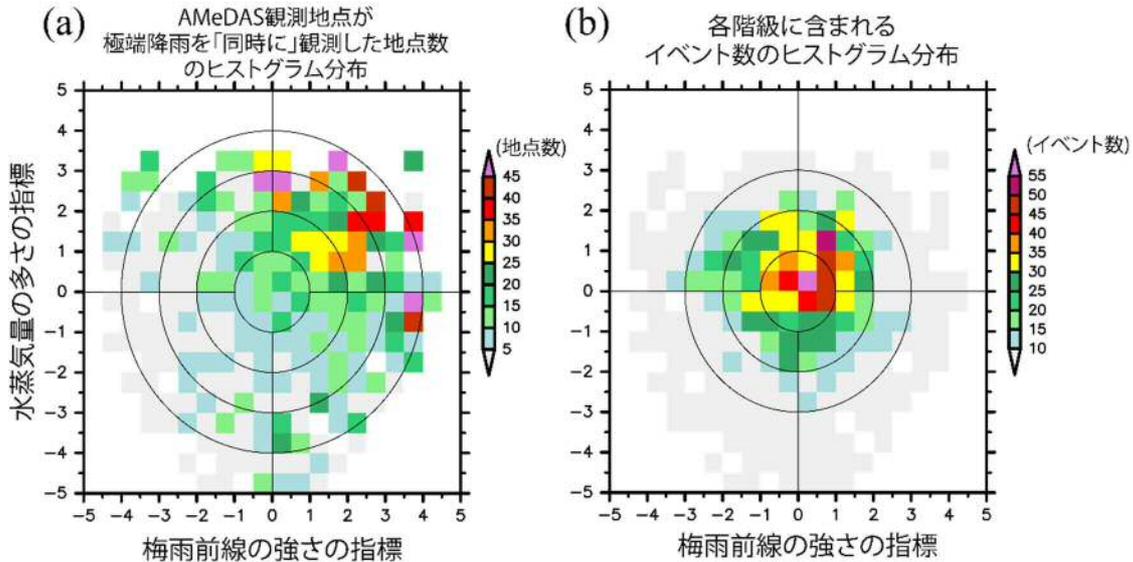


図1.2 梅雨前線の強さと水蒸気量の多さを階級としたときのヒストグラム分布。それぞれ (a) 極端降雨（各AMeDAS観測地点の上位1%で定義）が同時に観測される点数、(b) 1979-2020年6-7月において各階級に含まれるイベント数。

(c) 2018年西日本豪雨における対流圏上層トラフの力学的効果についての事例解析

2018年7月5-8日に西日本広域に豪雨をもたらした降水システムの特性と、降水システムの後方に停滞した対流圏上層トラフが果たした役割とを調べた（図1.3）。豪雨をもたらした降水システムは、広い層状雨域を伴う、比較的背の低い降水頂（7-9 km）の雨の多い、良く組織化した降水システムであった。一方、大気成層は気候値に比べて比較的安定で、対流圏全体が非常に湿潤であった。本研究では、このトラフが力学的に大規模上昇流を強制し、対流圏中上層を加湿する効果を持ったことを定量的に示した。この上昇流が中下層の水平水蒸気フラックス収束と共に、深い積雲対流の発達に好都合な場を作り出す役割を担っていた。また、対流自身の非断熱上昇流による対流圏中上層の加湿も定量化した。これらの効果によって非常に湿潤化された環境場において、組織化した降水システムが長時間維持され、広域で豪雨をもたらされた。以上の結果を論文としてまとめ、気象集誌の2018年7月豪雨特集号に発表した（Yokoyama et al. 2020, JMSJ）³⁾

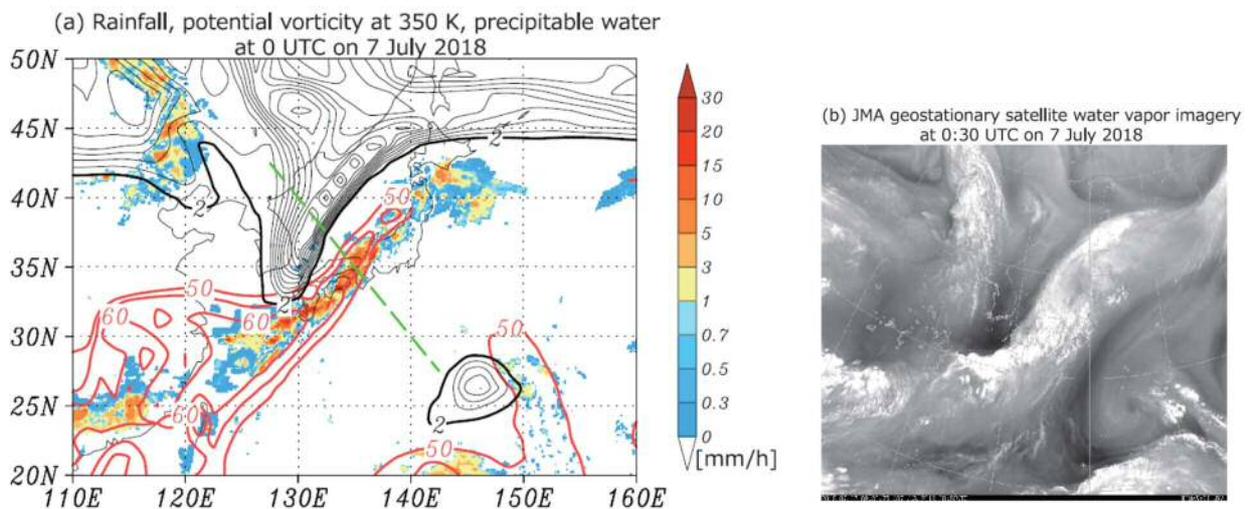


図1.3 2018年7月豪雨の最盛期における(a)GSMaP降水分布（色陰影）、対流圏上層350Kのポテンシャル渦度分布（黒等値線）、可降水量分布（赤等値線）。(b)ひまわり水蒸気画像にみられる上層トラフ（朝鮮半島上の黒っぽい部分）および強雨域（日本列島上の白い部分）。

(d) 2017年九州北部豪雨と2018年7月豪雨とは、いずれも梅雨末期の台風通過後に上層の西風ジェットの影響下という類似の条件下で発生したが、前者は高頻度な発雷が報告され後者の2018年の7月豪雨では発雷が少なかった（Kawano他, 2018気象学会）などの違いも指摘されていた。気象庁レーダーデータおよびJRA55再解析データから、2017年九州北部豪雨では、エコー頂10km以上の背の高く強い雨が卓越し、トラフに伴う寒気偏差が九州北部に不安定な環境場を生成していた。一方、2018年7月豪雨では、エコー頂が10kmを超えない中程度の高さの降水システムによって広範囲に長時間持続する雨が観測された。環境場は通常よりむしろやや安定だが、非常に湿潤な状況であった。上層トラフに伴う力学的上昇および南からの暖気移流の効果によって加湿化されていた（図1.4）。これらの対照的な特徴は、Hamada and Takayabu (2018, J. Climate) ⁴⁾で示された極端対流イベントと極端降水イベントの対比と整合的であり、西日本においてこの季節に2つの種類の極端降水が起こることが示された。成果論文を気象集誌の2018年7月豪雨特集号に発表した（Tsuiji et al. 2020, JMSJ）⁵⁾。

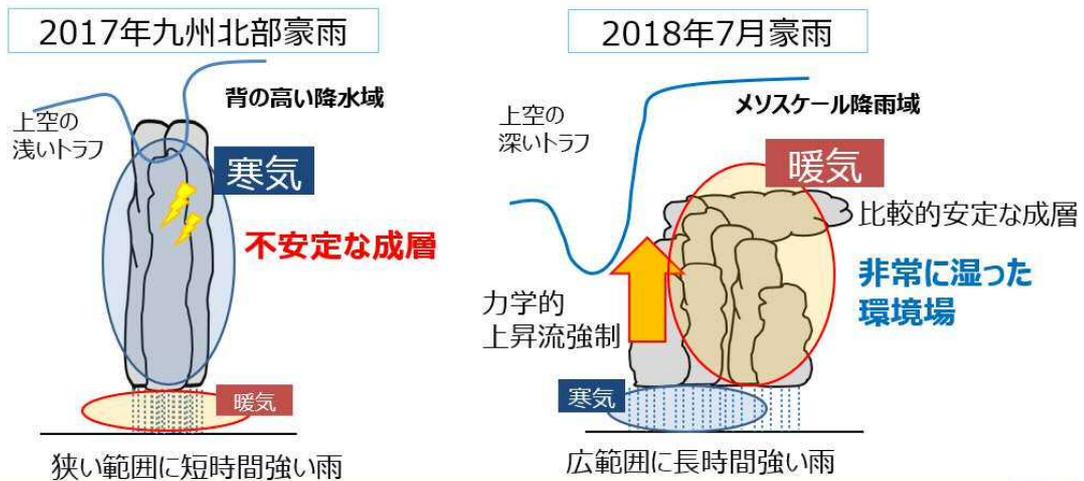


図1.4 2017年九州北部豪雨（左）と2018年7月豪雨（右）に九州北部域で観測された降水域と大気環境場の特徴の比較。

(e)九州域の大雨時における自由対流圏と境界層の水蒸気フラックス収束について、20年間の気象庁メソ解析およびAMeDAS雨量計データを用いた統計解析を行った結果、大雨時よりも約1日前から自由対流圏におけるの水蒸気収束が増加することが明らかになった。これは境界層の水蒸気収束の増加より有意に早い。また、九州域の大雨が湿った環境場においてメソ対流系のような持ち上げを伴い降水を起こす湿潤絶対不安定に伴ってもたらされている可能性を示し、気温の不安定による局所的な雷雨とは異なるメカニズムでの豪雨メカニズムを明らかにした（図1.5）。成果論文を国際誌に発表した（Tsuiji et al. 2021, Geophys. Res. Lett.）⁶⁾。

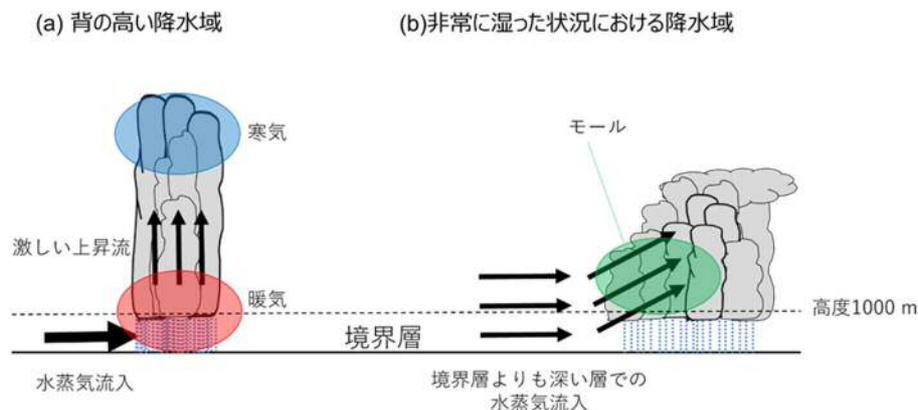


図1.5 (a) 不安定な大気での背の高い降水域と (b) 非常に湿った状況における組織化した降水域

(f) 日本域暖候期の大雨の将来変化の様子が東日本と西日本とで異なることが解った。モデル降雨データでは広域豪雨と局地的豪雨の違いは表現できないが、高機能衛星観測データを利用することにより、組織化タイプと小面積タイプとに区別できた(例:図1.6)。それを用いて海面水温と500hPa鉛直流という2つの指標で代表した大規模場との対応を求める手法を開発した。CMIP5で予測される気候における種類別の豪雨の将来変化を求め、国際誌に発表した(Yokoyama et al. 2019, J. Climate)⁷⁾。

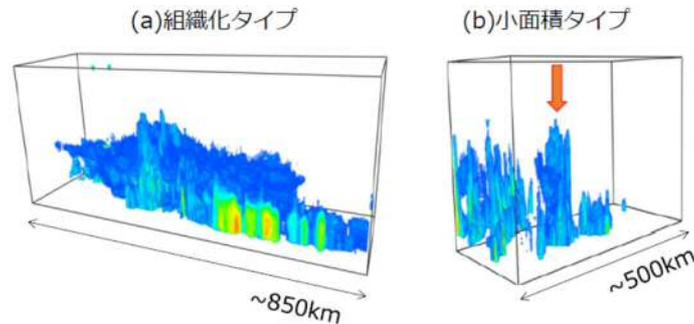


図1.6 全球降水観測衛星GPM搭載降雨レーダによって観測された(a)組織化タイプの降雨システムと(b)小面積タイプの降雨システムの例。小面積タイプは⇒で示すような、1つなりの小さな塊。

さらに、同じ手法を用いて、CMIP6の大規模場の将来変化から日本域暖候期の大雨の将来変化を推定した(図1.7)。その結果、小面積タイプの局地的豪雨(ゲリラ豪雨的な大雨)は、どのモデルでも将来の日本付近で増加が予測された。一方、組織化タイプの広域豪雨(広域集中豪雨)は、東日本と西日本とで異なる将来変化を示した。各モデルの将来変化予測(図1.8)を見ると、小面積タイプ降水は、東日本、西日本とも全てのモデルで将来増加している。これは、海面水温上昇に起因すると考えられる。一方、組織化タイプ降水の将来変化の仕方は日本の東西で異なる。西日本では、その将来変化はばらついており、増加傾向のモデルと減少傾向のモデルが半分ずつ程度存在する。東日本の組織化タイプ降水はどのモデルでも顕著に増加しており、これは海面水温の上昇の結果と考察される。組織化タイプに伴う広域な豪雨は現在西日本で卓越しているが、温暖化の進行に伴い、東日本でも現在の西日本と同程度まで増加することが見込まれる。

西日本の組織化タイプの将来変化は西日本付近の亜熱帯ジェットの変化と有意に相関し、将来の亜熱帯ジェットが減速が小さいモデルほど西日本における組織化タイプ降水が増加する傾向があることが解った。つまり、西日本の広域豪雨の将来変化が対流圏上層の循環場の変化に起因して増減しやすいことを示している。

図1.8からは、さらに、影響評価研究(S-18)やNIES適応プロの共通気候シナリオとして選択されたCMIP6の5モデルがCMIP6全体のばらつきの幅をよくカバーしていることもわかる。それぞれのモデルについて西日本と東日本の降水特性将来予測のストーリーラインを作成することができた(表1.1)。

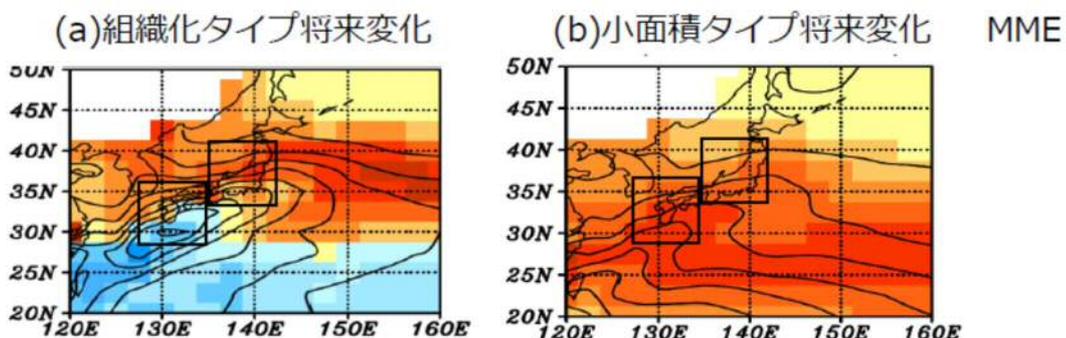


図1.7 (a)組織化タイプ降水量と(b)小面積タイプ降水量の将来変化について、CMIP6の19モデルの大規模場の将来変化から推定した値のマルチモデル平均(MME)を示す。黒コンターは現在の降水量MME、色は将来変化MME(赤系が増加、青系が減少)

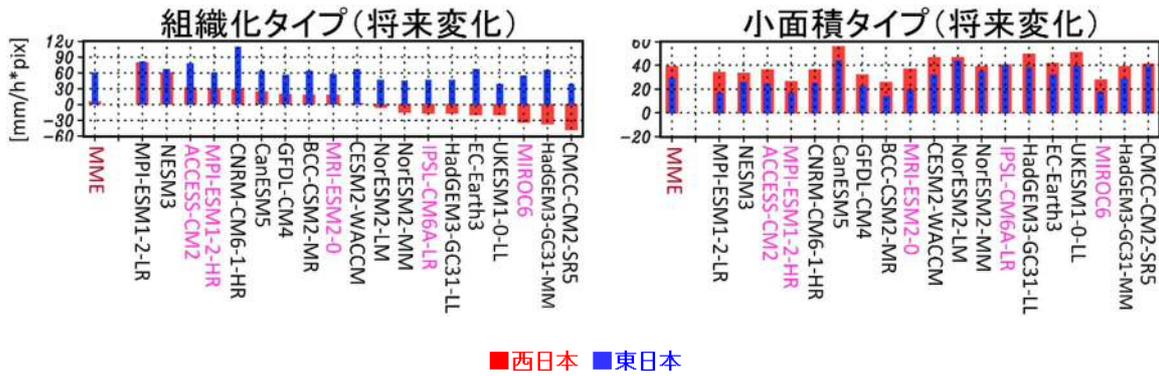


図1.8 組織化タイプ、小面積タイプ降水の将来変化。赤のバーは西日本平均、青のバーは東日本平均。西日本における組織化タイプ降水の将来変化によってモデルを並べ替えて表示されている。下方に名前を記したモデル（ピンク文字）は、共通シナリオとして選択された代表5モデル。

CMIP6	西日本		東日本	
	組織化タイプ (集中豪雨)	小面積タイプ (局地的豪雨)	組織化タイプ (集中豪雨)	小面積タイプ (局地的豪雨)
ACCESS-CM2	増加	増加	増加	増加
MPI-ESM1-2-HR	増加	増加	増加	増加
MRI-ESM2-0	微増	増加	増加	増加
IPSL-CM6A-LR	微減	増加	増加	増加
MIROC6	減少	増加	増加	増加
全19モデル平均	変化小	増加	増加	増加

表1.1 衛星搭載レーダデータと大規模場指標（NOAAの海面水温とJRA55の500hPa鉛直流）から求めた関係を利用してCMIP6の大規模場指標の100年後の将来変化から推定した降水タイプ別の降水量将来変化。代表5モデルのストーリーラインを示す。

(g) シルクロードパターンは夏季にチベット北縁を吹くアジアジェット気流の蛇行で特徴付けられ、本研究ではこれをアジアジェット域の上部対流圏における夏季季節平均南北風速の経年変動に帯する経験直交関数解析により同定した。d4PDFやCMIP6のほとんどのモデルで、このように定義したシルクロードパターンは地球温暖化に伴って有意に弱化的ことがわかった。この弱化的の大小の範囲を特にサブテーマ4で選択された5モデルが概ね捉えていることもわかった（図1.9）。弱化的の要因として①シルクロードパターンの形成における傾圧的な背景場からの有効位置エネルギー獲得の重要性が知られているが、温暖化に伴う対流圏成層強化とジェット軸高度の上昇により、圏界面付近の渦度偏差が中下層に誘起する循環偏差が弱まるため有効位置エネルギー獲得効率が低下すること、②上流の北大西洋極前線ジェットを伝播する波束が東欧付近でアジアジェットへと導波管を乗り換えて入射することでシルクロードパターンがよく励起されるが、温暖化に伴って両ジェットが南北に乖離するため乗り換えが起こりにくくなること、③上流の欧州におけるブロッキング活動などの大気循環変動が弱化的すること、の3つが示唆された（図1.10）。特に①は全て、②もほとんどモデルに共通する特徴であり、③も多数派のモデルで確認されることから、シルクロードパターンの弱化的が力学的に説明可能な信頼性の高い変化であると言える。さらに、シルクロードパターンが日本付近にもたらす地表気温・降水偏差の変化をCMIP6モデルで評価したところ、特に降水偏差では、上空の循環偏差の弱化的を凌駕して強化されることがわかった。これには背景場の水蒸気量の増加が要因として考えられる。さらに地表気温偏差も半数強のモデルで強化されていた。これらのことは、極端気象の診断や長期予測において、温暖化した気候ではより弱い循環偏差を捉えなければならないことを示唆している。

シルクロードパターンのような「変動の変化」はノイズの影響を受けやすく、検出は一般に容易でないが、当初の予想に反してほとんどのモデルに共通する明瞭な変化を見いだすことができ、さらにその力学的メカニズムも提示することができた (Kosaka and Uchida in prep.)⁸⁾

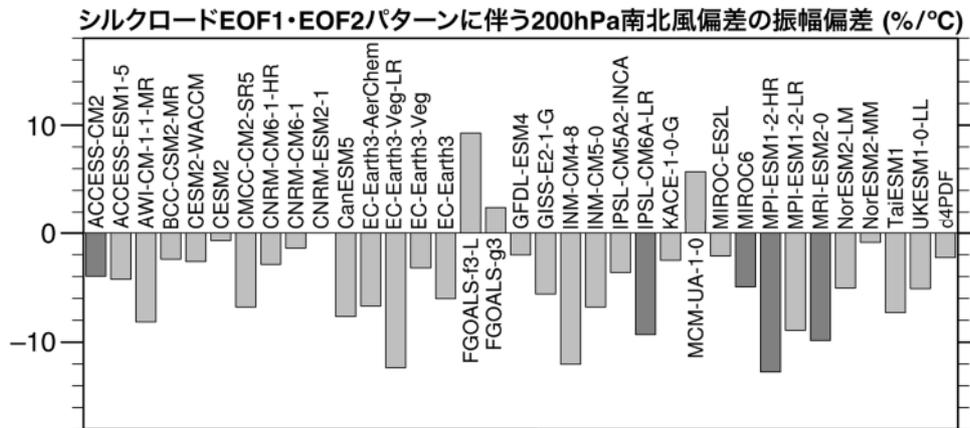


図1.9 CMIP6モデル及びd4PDFにおけるシルクロードパターンの振幅（6-8月平均200hPa南北風の25-50°N, 30°-130°Eにおける経験直交関数第1・第2モードに伴う分散）の地球温暖化1°Cあたり振幅変化（%/°C）。5つの共通気候モデルを濃色で示す。

d4PDFによる現在気候シミュレーションにおけるジェット気流とその変動、及びそれらの温暖化に伴う変化

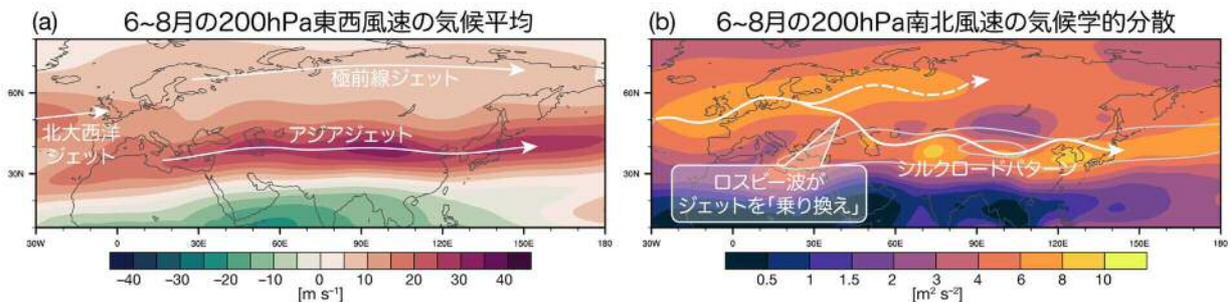


図1.10 d4PDFにおけるジェット気流とその蛇行の振幅。6-8月の200hPaにおける現在気候（1951-2000年）での(a)平均東西風速、(b)南北風速の年ごとの分散。(b)の灰色の等値線は(a)の平均東西風速に対応し、アジアジェットの位置を表す。現在の気候では、(b)に示したようなロスビー波の「乗り換え」がシルクロードパターンを発達させることがあるが、温暖化すると北大西洋ジェットとアジアジェットが南北に離れるため、乗り換えしにくくなる。

(h) JRA55再解析データ、並びに大規模アンサンブルシミュレーションであるd4PDFの過去再現実験・非温暖化実験を統合的に解析し、冬季ユーラシア大陸の東アジア域に寒冬や異常寒波をもたらす大気循環変動(WACEパターン)を同定した。WACEパターンは冬季のバレンツ・カラ海の海氷経年変動(図1.11)と密接に関係しており、地球温暖化による海氷の減少傾向に伴って、その発生頻度が長期的に増加していることが分かった(図1.12)。これは、冬季に北極温暖化が年々顕著になる一方で、東アジア域で寒冬や異常寒波の発生頻度が増えていることを意味している(近年では、2017/18年や2020/21年の冬に、WACEパターンによる寒波イベントが日本へ影響を与えていた)。このようなWACEパターンの増加傾向はd4PDFの過去再現実験で再現されていたものの、海氷減少傾向のない非温暖化実験には現れなかった。そのため、この傾向は地球温暖化に伴う海氷減少による大気応答と考えることができる。WACEパターンの出現頻度の増加は、冬季の地上気温の長期変化傾向にも現れており、極域やほとんどの陸域が温暖化傾向を示す一方で、ユーラシア大陸中央部の中緯度域だけが寒冷化傾向を示しており、海氷減少の寄与が強く示唆している。このような北極温暖化とユーラシア中緯度域の寒冷化の関係は、CMIP6の

historical実験のトレンド解析でも検出されたものの、モデルは海氷減少による大気応答を系統的に過小評価していることが分かった。具体的には、アンサンブル平均場において、冬季のバレンツ・カラ海上空の北極温暖化傾向が強く現実的なモデルほど、海氷減少量が多く、かつユーラシア中緯度域が寒冷化傾向にあることが分かった。また、この関係はそれぞれのモデルのアンサンブルメンバー間のばらつきにも見られたが、ほとんどのメンバーが観測された北極温暖化やユーラシア中緯度域の寒冷化の程度を過小評価していた。海氷減少域上空の対流圏の中・上層の温暖化がモデルでは弱いことが、モデルでWACEパターンが弱く、長期の中緯度寒冷化応答が弱くなる原因だと考えられる。従って、CMIP6の気候モデルは、海氷減少とユーラシア中緯度域の気温の関係を十分に再現しておらず、この現象に付随する東アジア域の寒冬や異常寒波の今後を精度良く評価することが現段階では難しいことが分かった⁹⁾。CMIP6の北極温暖化増幅モデル相互比較プロジェクト(PAMIP)に参画し、将来の海氷減少分布(全モデル共通)に対する大気応答を16の大気大循環モデル(AGCM)で比較したところ、ユーラシア中緯度域の地上気温応答のばらつきがモデル間で符号まで異なることが分かった(Smith et al. 2022)¹⁰⁾。また、観測データによる制約により、モデルは海氷減少に対する大気応答を過小評価している可能性が指摘され、CMIP6結合モデルを用いた解析と同様の結論が得られた。

海氷減少に伴う北極温暖化が強いモデル・アンサンブルメンバーほど、東アジア中緯度域が寒冷化傾向になるというストーリーラインを構築することができた。しかしながら、当初の予想に反して、解析した全てのCMIPモデルが現実の北極温暖化や中緯度寒冷化の程度を過小評価していることが明らかとなった。そのため、影響評価・適応研究へ繋げるには至らなかったが、CMIPモデルの問題点を提示できたことは影響評価コミュニティだけでなく、モデル開発コミュニティにとって有益であり、今後に向けて新しい課題を提示することとなった。

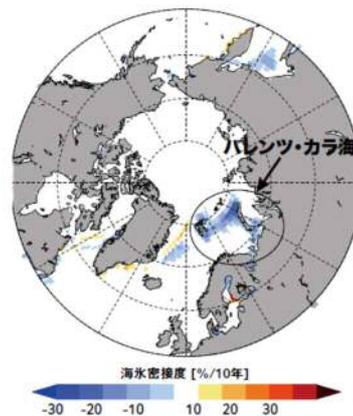


図1.11 1月の海氷密集度（値が大きいほど海氷に覆われている）の長期変化傾向（1980-2020年、%/年）。北極海は冬季に海氷で覆われるが、その周辺海のバレンツ・カラ海で特に著しい海氷の減少が見られる。

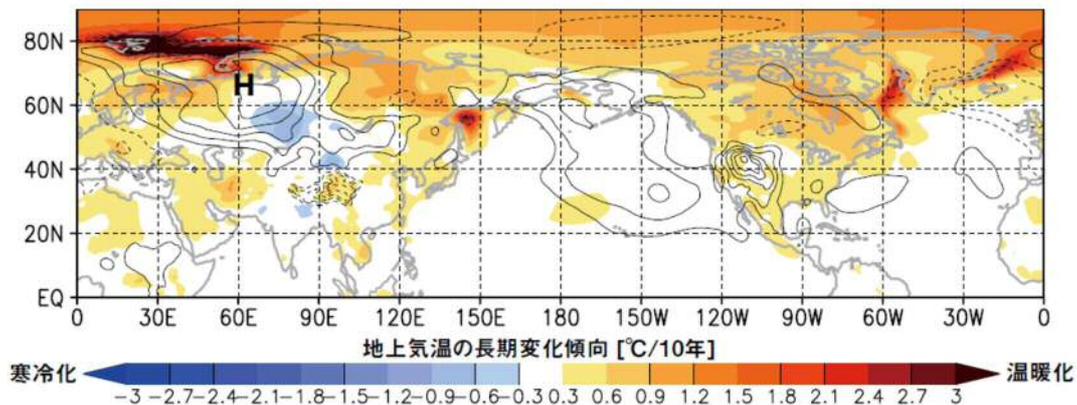


図1.12 1980-2020年のデータを用いた1月の地上気温の長期変化傾向（陰影、℃/10年）と海面高度

での気圧の長期変化傾向（等値線：hPa/10年、0.3hPa間隔、実線が高気圧化、破線が低気圧化）。

(i) ①2018年7月の我が国の記録的猛暑事例について、大気大循環モデルに各海域で観測された海面水温を与えた猛暑の予測再現アンサンブル実験と平年の水温分布を与えた参照アンサンブル実験との比較を行った¹¹⁾。その結果、2018年7月の記録的猛暑には、熱帯域や中緯度北太平洋域で観測された暖水偏差からの強制によって、夏季北西太平洋域で卓越する大気循環変動「PJパターン」の位相が亜熱帯ジェット気流の北偏する状態をとりやすくなって、日本域の高温偏差をもたらしたことが見出された。さらに、偏西風の持続的北偏の時間経過が、大気大循環モデルの解像度を高めるとより現実的になることも見出された。このアンサンブル実験から、日本域で観測された対流圏下層の高温偏差の約半分がこれら暖水偏差への応答として説明でき、その潜在的予測可能性が評価された。これに対して、猛暑の直前に「西日本豪雨」をもたらした大気循環偏差には暖水偏差からの有意な寄与は見出されず、「シルクロード・パターン」など大気の内変動からの寄与が卓越し、潜在的予測可能性が低いことが示唆された。

② 2019年10月中旬に上陸した台風19号（東日本台風）は広域に甚大な豪雨災害をもたらしたが、そのうち三陸沿岸地域の記録的豪雨への海面水温偏差からの影響について、高解像度の領域大気モデルに衛星観測に基づく高解像度海面水温偏差を与えた再現実験と平年の水温分布を与えた参照実験の比較から評価した¹²⁾。その結果、三陸北東海上の親潮域に観測された顕著な暖水渦からの影響により、沖合に形成された下層の前線と降水系とが沿岸内陸に変位することで沿岸域の豪雨をもたらされたことが見出された。これは、海洋力学で形成される暖水渦からの熱・水蒸気供給の増大が沿岸域の豪雨に影響を与え得ることを明確に示した初の研究成果の1つである。

③ 1900年以降の長期大気再解析ERA-20Cと海面水温データの解析から、欧州・中近東ユーラシア西部に寒波をもたらす季節内の停滞性波動擾乱の振幅が、「北大西洋振動（NAO）」として知られる寒候期の大気卓越変動や北大西洋海面水温の10年規模変動に強く影響されることを見出した¹³⁾。即ち、亜熱帯北大西洋域の持続的海面水温偏差とそれに伴う降水偏差の影響でNAOの特定の位相を現れ易くなる。NAOの負位相が現れ易い時期には北大西洋上の偏西風ジェット気流の分流が強まり、重畳する季節内の停滞性擾乱の振幅が増大傾向にある。よって、欧州域ではNAO負位相の平均的な低温傾向に加え、季節内波動擾乱の強化により、異常低温が現れ易い傾向が見出された。

④他の成果としては、i) 豪州夏季モンスーンの経年変動が海面水温変動に駆動されない傾向を既に見出したが¹⁴⁾、その影響で変化する海洋大陸上空の発散風が華南上空の亜熱帯ジェット気流に作用して停滞性ロスビー波を励起し、それがさらに「西太平洋（WP）パターン」と呼ばれる大気循環変動を駆動するという遠隔影響過程を大気再解析データや数値実験から明らかにした¹⁵⁾。なお、こうしたWPパターンに伴う冬季東アジアモンスーン変動は海面水温偏差により駆動されないため、季節予測の不確実性を高めるよう働く。ii) 今世紀に入り夏季に北欧・シベリア沿岸からアラスカ方面への停滞性ロスビー波の伝播が明瞭化したのに伴い、高気圧性偏差が持続した地域では異常高温・乾燥により森林火災が発生しやすくなった傾向を再解析データから見出し、記者発表を行った¹⁶⁾。これらの森林火災により排出されたエアロゾルの一部がグリーンランドや海氷域に輸送されると表面アルベドを低下させる恐れがある。iii) 移動性擾乱の極性別の渦領域と渦中心の同定を偏西風の強い上空でも可能とする定式化に初めて成功し、従来不可能だった移動性高気圧・低気圧からの対流圏の熱・運動量輸送やそれに伴う背景場とのエネルギー変換への寄与の分離が可能となった¹⁷⁾。この画期的診断法についても記者発表を行った。

なお、暖水偏差には長期的な温暖化の影響も含まれるため、その寄与の定量的評価を今後実施する必要がある。一方、西日本豪雨をもたらした大気循環偏差は内変動で、海洋からの強制が殆ど無いことから長期の予測可能性は低かったと考えられる。同様に、冬季東アジアモンスーンの経年変動のうち夏季豪州モンスーン変動からの遠隔影響は、海面水温偏差を基本的に伴わないことからその予測可能性は低いと考えられるが、海洋内部の変動は今後探究する必要がある。

5. 研究目標の達成状況

本サブテーマでは、日本域暖候期の豪雨、夏季の持続的な猛暑・長雨パターン、東アジア冬季の異常寒波に注目してメカニズムの解析を行った。その結果、それぞれの異常天候と大規模気候場の変動パターンを紐づけることに成功した。さらに、大規模気候場の将来変化と異常気象の将来変化とについて、CMIPモデルを用いて予測のばらつきを調査し、豪雨、猛暑、異常寒波の将来変化についてのストーリーラインを構築することができた。また、影響評価研究S-18およびNIES適応プログラムの共通気候シナリオとして選択されたCMIP6の5モデルについてストーリーラインの中で評価した結果を、サブテーマ4と連携して影響評価・適応研究者に伝えることができた。成果は34報の査読付き論文として国際誌に発表した。また、各研究成果を積極的に記者発表した。

課題全体の総括としては、成果をストーリーラインの視点からまとめ、一般向けのパンフレットを作成し、Web上で公開すると共に関連機関に配布した（図0.2）。

一般向けパンフレット「暑いだけじゃない地球温暖化4 ー多様な気候モデル予測から読み取る将来の日本の異常天候ー」。公開URL：<https://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/~takayabu/pamphlet.html>

以上のように、広域豪雨や上空波動の遠隔影響の本質的な理解を更新した上でストーリーラインを構築できたことは、当初の目標を超える成果であり、科学的手法から環境行政に貢献できたと評価できる。

6. 引用文献

- 1) R. SHIBUYA, Y. N. TAKAYABU and H. KAMAHORI: J. Climate, 34, 22, 8955-8970, doi:10.1175/JCLI-D-21-0064.1 (2021)
Dynamics of Widespread Extreme Precipitation Events and the Associated Large-Scale Environment Using AMeDAS and JRA-55 Data.
- 2) R. SHIBUYA, Y. N. TAKAYABU and C. YOKOYAMA: SOLA, Vol. 17, 251-256, doi:10.2151/sola.2021-044 (2021)
Objective Classification of Controlling Factors for the Occurrence of the Wide-spread Extreme Precipitation Events during Baiu season over Western Japan.
- 3) C. YOKOYAMA, H. TSUJI and Y. N. TAKAYABU: J. Meteor. Soc. Japan, 98, 235-255, doi:10.2151/jmsj.2020-013 (2020)
The Effects of an Upper-Tropospheric Trough on the Heavy Rainfall Event in July 2018 over Japan.
- 4) A. HAMADA and Y. N. TAKAYABU: J. Climate, 31(17), 6933-6945, (2018)
Large-scale environmental conditions related to midsummer extreme rainfall events around Japan in the TRMM region.
- 5) H. TSUJI, C. YOKOYAMA and Y. N. TAKAYABU: J. Meteor. Soc. Japan, 98, doi:10.2151/jmsj.2020-045 (2020)
Contrasting features of the July 2018 heavy rainfall event and the 2017 Northern Kyushu rainfall event in Japan.
- 6) H. TSUJI, Y. N. TAKAYABU, R. SHIBUYA, H. KAMAHORI and C. YOKOYAMA: Geophys. Res. Lett., 48, 18, e2021GL095030, doi:10.1029/2021GL095030 (2021) (IF:4.7)
The Role of Free-Tropospheric Moisture Convergence for Summertime Heavy Rainfall in Western Japan.
- 7) C. YOKOYAMA, Y. N. TAKAYABU, O. ARAKAWA and T. OSE: J. Climate, 32, 5251-5274, doi:10.1175/JCLI-D-18-0656.1 (2019)
A Study on Future Projections of Precipitation Characteristics around Japan in Early Summer Combining GPM DPR Observation and CMIP5 Large-Scale Environments.

- 8) Y. KOSAKA and Y. UCHIDA, in preparation.
Weakening of the Interannual Silk Road Teleconnection Pattern under Global Warming in GCM Simulations.
- 9) M. MORI and Y. KOSAKA, in preparation.
Underestimation of the impact of Arctic sea-ice reduction on the atmosphere in CGCM simulations.
- 10) D. SMITH, R. EADE, M. ANDREWS, H. AYRES, A. CLARK, S. CHRIPKO, C. DESER, N. J. DUNSTONE, J. GARCIA-SERRANO, G. GASTINEAU, L. S. GRAFF, S. C. HARDIMAN, B. HE, L. HERMANSON, T. JUNG, J. KNIGHT, X. LEVINE, G. MAGNUSDOTTIR, E. MANZINI, D. MATEI, M. MORI, R. MSADEK, P. ORTEGA, Y. PEINGS, A. A. SCAIFE, J. A. SCREEN, M. SEABROOK, T. SEMMLER, M. SIGMOND, J. STREFFING, L. SUN and A. WALSH: *Nature Communications*, 13, 727 (2022)
Robust but Weak Winter Atmospheric Circulation Response to Future Arctic Sea Ice Loss.
- 11) K. NISHII, B. TAGUCHI and H. NAKAMURA: *J. Meteor. Soc. Japan*, 98, 801-810 (2020)
An AGCM Assessment of Oceanic Impacts on Extreme Climatic Events over Japan in July 2018.
- 12) S. IIZUKA, R. KAWAMURA, H. NAKAMURA and T. MIYAMA: *SOLA*, 17A, 22-28 (2021)
Influence of Warm SST in the Oyashio Region on Rainfall Distribution of Typhoon Hagibis (2019).
- 13) P. MARTINEAU, H. NAKAMURA, Y. KOSAKA, B. TAGUCHI and M. MORI: *J. Climate*, 33, 18, 8125-8146 (2020)
Modulations of North American and European weather variability and extremes by interdecadal variability of the atmospheric circulation over the North Atlantic sector.
- 14) S. SEKIZAWA, H. NAKAMURA and Y. KOSAKA: *Geophysical Research Letters*, 45, 7748-7755 (2018)
Interannual variability of the Australian summer monsoon system internally sustained through wind-evaporation feedback.
- 15) S. SEKIZAWA, H. NAKAMURA and Y. KOSAKA: *J. Climate*, 34, 9551-9570 (2021)
Remote Influence of the Interannual Variability of the Australian Summer Monsoon on Wintertime Climate in East Asia and the Western North Pacific.
- 16) T. J. YASUNARI, H. NAKAMURA, K.-M. KIM, N. CHOI, M.-I. LEE, Y. TACHIBANA and A. M. da SILVA: *Environmental Research Letters*, 16, 064009 (2021)
Relationship between Circum-Arctic Atmospheric Wave Patterns and Large-Scale Wildfires in Boreal Summer.
- 17) S. OKAJIMA, H. NAKAMURA and Y. KASPI: *Scientific Reports*, 11, 13202 (2021)
Cyclonic and Anticyclonic Contributions to Atmospheric Energetics.

II-2 上部対流圏および成層圏循環と日本周辺域の異常天候との関連についての解析

北海道大学 地球環境科学研究所	堀之内 武
国立研究開発法人海洋研究開発機構	
地球環境部門環境変動予測研究センター	河谷 芳雄
東京学芸大学 教育学部	佐藤 尚毅
<研究協力者>	
北海道大学 地球環境科学研究所	松村 伸治

[要旨]

温暖化に伴う北半球冬期の日本域降水分布の変化について、熱帯上部対流圏温度と成層圏極渦の変化を指標にとり、ストーリーライン・アプローチを用いてCMIP5マルチモデルデータを解析した。マルチモデル平均では、北日本で降水量が多く、南日本で降水量が少なくなる傾向を示している。一方で成層圏の渦が強く（弱く）熱帯の増幅が大きい（小さい）モデルでは、日本の大部分で降水量が多く（少なく）なっていた。日本付近の降水量の変化は、どの程度温暖化するかに加え、将来起こりうるストーリーに大きく依存することが分かった。

CMIP5マルチモデルデータを用いて、冬季に降水量の多い中部山岳域を中心に気温と降水の将来予測を調べた。予測の結果は、気温の上昇とともに降水が増えるモデルと、気温が上昇しても降水量はあまり変化しないモデルの2つのグループに分けられた。実際に降水が増えた場合、標高や緯度が高く気温が低い地域では降雪や積雪の増加がもたらされる。降水が増加する原因は、北西季節風に伴う地形性の降水の増加というよりは、低気圧活動の強化によるものと考えられる。低気圧活動の変動は気温勾配や偏西風の変動と関連している。

客観解析データ、観測データを用いて、夏季の大規模豪雨事例において、対流圏上層ジェットとそれに沿った波動伝搬が果たす役割を明らかにした。さらに、CMIP5マルチモデルデータを用いて、夏季の平均降水量の100年変化におけるモデル間の差異を説明する関係性を調べた。その結果、梅雨降水の将来変化には、日本の南海上の南風が強化されるストーリーラインと、弱化するストーリーラインの2つが想定されることが明らかになった。前者においては、梅雨降水は温暖化に対するマルチモデル平均よりさらに増加し、後者においては平均ほどには増加しない。その違いの一部は、上層のジェット上でのシルクロードテレコネクションによって生ずることが明らかになった。

1. 研究開発目的

気候モデルは、将来の気候変動を考える上で欠かすことのできないツールである。気候モデルは各々異なるバイアスを持ち、気候変動予測もモデル依存性がある。将来の気候変動予測の議論の中で、マルチモデル平均値が頻繁に用いられてきた。図2.1に33種類のCMIP5モデルによる12月から2月まで(DJF)の降水変化を示す。HistoricalおよびRCP8.5実験について、それぞれ1959-1990年、2068-2099年の12-1-2月(DJF)平均のデータを用いた。RCP8.5からhistoricalを引いたものを将来変化とする。左上はマルチモデル平均である。マルチモデル平均は、日本の北部と南部でそれぞれ降水量の増加と減少を示している。各モデルは、日本全国で降水量が増加あるいは減少するなど、マルチモデル平均とは大きく異なる降水量の変化を予測している。モデル間の大きなばらつきを考慮すると、マルチモデル平均が気候変動予測の最良推定値と解釈することはできず(Knutti et al. 2010, 2013)¹⁾²⁾、将来起こりうる変化を見落とす可能性がある。

近年、新たな「ストーリーライン」アプローチがZappa and Shepherd (2017)³⁾により提案された。成層圏の地表・下層への地域的な影響については、欧州・北米地域で多くの研究が行われている(Scaife et al. 2014)⁴⁾。しかし、日本地域を対象とした研究は少ない。本研究では、CMIP5およびCMIP6モデル群を用いて、ストーリーライン手法などを用いて冬季および夏季の日本およびその周辺の

降水変動における、対流圏上層のジェット気流、成層圏の状態などによる、様々な遠隔的要因を明らかにする。以下では、1. 冬季の成層圏過程の影響の研究、2. 中部山岳域を起点にみる冬季の遠隔影響過程の研究、3. 夏季の降水の変動に関する研究、の3つにわけて詳述する。

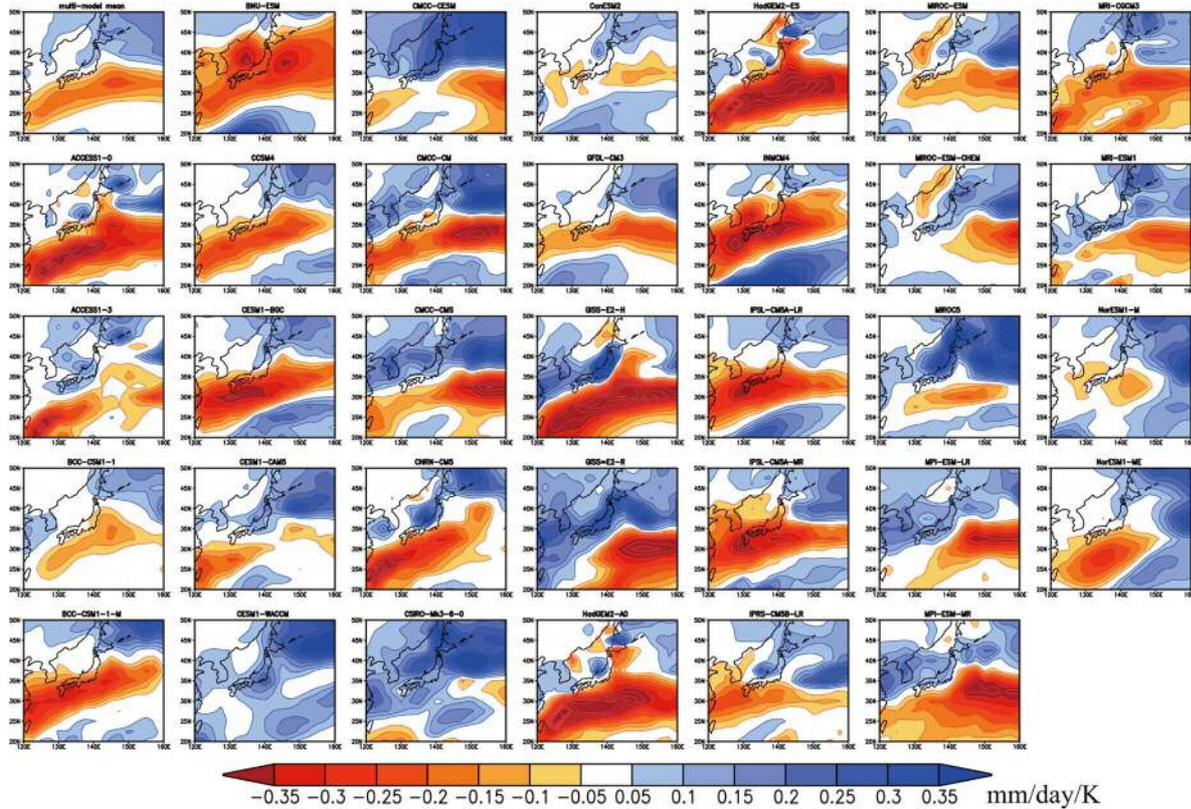


図2.1 CMIP5各モデルによる、RCP8.5 シナリオにおける 2068-2099 年の過去の 1959-1990 年の平均を差し引いた、地球温暖化 1K あたりの 12-1-2 月の降水量の変化。左上はマルチモデル平均。色間隔は 0.05mm/day/K。

2. 研究目標

対流圏上部から成層圏に注目し、日本域の天候の変化に効果的な大規模場要素を抽出する。他サブテーマと協力してストーリーラインを構築し、気候変動に伴う変化の仕組みを明らかにする。

3. 研究開発内容

3.1 冬季の成層圏過程の影響の研究

本研究では33種類のCMIP5モデルを用いてDJFの期間を解析した。解析期間は、Historical実験は1959-1990年、RCP8.5実験は2068-2099年について、12-1-2月(DJF)平均したデータを用いた。本研究におけるストーリーライン手法の手順は、基本部分はZappa and Shepherd (2017)³⁾と同じである。本研究では、2つの指標を選択した。一つは、熱帯増幅と呼ばれる、15°S-15°N で平均した 300hPa における赤道上対流圏の気温変化である。もう一つは、北半球の成層圏の渦の変化に基づく指標である。マルチモデル平均では、historical実験における成層圏極渦の中心緯度は高度10hPaで60°Nに位置している。マルチモデル平均の将来の帯状風の変化は、60°Nの南(北)で正(負)になっており、将来の成層圏極渦は南へシフトすることを示している。各モデルを見てみると、南へシフトするモデル、北へシフ

トするモデル、極渦全体が強まる・弱まるモデルなど、多様な結果を示している（図2.2）。なお、図2.2の黒線はhistorical実験の平均値を示すが、モデル間のばらつきが大きく、また再解析データ等との違いも目立ち、成層圏極渦の気候学的な基本構造においても、再現性が不十分であることを示している。

ここで成層圏の渦の強さを表す指標を、10hPa帯状平均東西風偏差について、60°N-70°Nから50°N-60°Nを引いた値と定義する。すなわち、この指数が正（負）であれば、将来の成層圏極渦が北緯60度より高緯度（低緯度）で強くなることを示す。この定義は、Zappa and Shepherd (2017)³⁾やManzini et al. (2014)⁵⁾が成層圏渦指数を20hPaで70°N-80°N、10hPaで70°N-80°Nの将来の帯状風変化と定義したのとは異なる。70°N-80°Nの緯度は日本から遠く、日本付近の帯状風と降水量の変化の相関は、彼らの指標よりも我々の指標の方が高い（図略）。なお、熱帯温度増幅と成層圏渦強度の相関は-0.22であり、5%水準で統計的に有意ではなく、将来の気候変動に対して独立したソースとして扱うことができる。

これら2つの指標は、いずれも各モデル(m)における年平均・全球平均の地表付近の大気温暖化 ΔT_m でスケールされている。重回帰の式では以下のように表される。

$$\frac{\Delta C_{xm}}{\Delta T_m} = a_x + b_x \left(\frac{\Delta T_{tropical}}{\Delta T} \right)'_m + c_x \left(\frac{\Delta U_{vortex}}{\Delta T} \right)'_m + e_{xm}. \quad (1)$$

ここで、 ΔC_{xm} は地点 x 、モデル m の物理量 C の気候変動応答、ダッシュはマルチモデル平均に対する標準化偏差、 a_x はマルチモデル平均、 b_x と c_x は各指標の感度、 e_{xm} は残差変動である。以後、係数の推定値は、 \hat{a}_x 、 \hat{b}_x 、 \hat{c}_x と表すことにする。

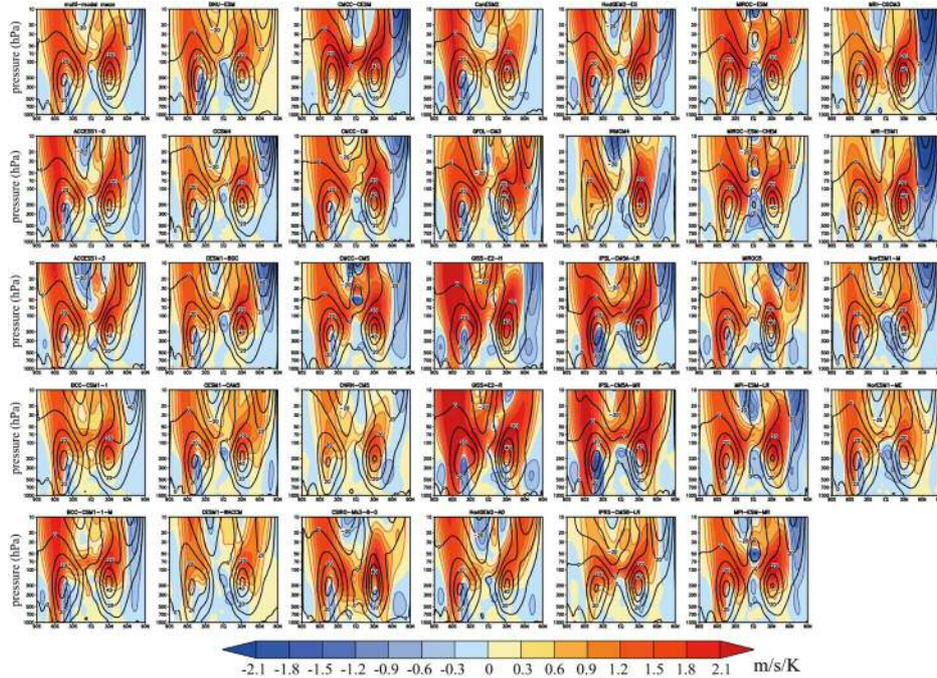


図2.2 図2.1と同じ。ただし帯状平均東西風の緯度—高度断面図。黒線はhistorical実験の値で10m/s毎に描いている。色間隔は0.3m/s/K。

3.2 中部山岳域を起点にみる冬季の遠隔影響過程の研究

東アジア域における北半球冬季（12～2月：DJF）の降水量分布の気候平均を確かめた上で、CMIP5気候モデルにおけるRCP4.5実験の結果を用い、中部山岳域での気温と降水のトレンドを調べ

た。この結果に基づき、32個の気候モデルを2つのグループに分けた。それぞれのグループにおいて、降水分布や気圧配置、上空の偏西風の変化の特徴を解析した。さらに、降水量の変化には低気圧活動の変化が重要と考えられるので、日別値が有効な17個のモデルについて、低気圧活動の統計的な指標の変化傾向も比較した。

3.3 夏季の降水の動に関する研究

近年、夏季に大規模な豪雨が頻発している。例えば、気象庁が名称を定めた全19件（2021年度末時点）の豪雨（いずれも夏季に発生）の最初のは1961年にあったが、5件は2014年以降に発生している。このような大規模な豪雨の発生には、数千kmから半球規模での流れ場の構造や波動伝搬などにかかわる力学的な条件が整うことが欠かせないと考えられる。豪雨をもたらす大規模場の力学を、事例によって明らかにすることは、豪雨を分解しきれない全球モデル（CMIPのモデル群など）による将来予測を補うものとなる。そこで、サブ課題1との協力のもと、サブ課題2主導で、令和4年7月豪雨の中でも特に顕著であった九州の豪雨（「熊本豪雨」を含む）をもたらした大規模な力学過程を、JRA-55再解析データならびに雨量計データをもとに調べた。

次いで、CMIP5データを用いて将来変化に関する研究を行った。梅雨などの東アジア夏季モンスーンは、マルチモデル平均では温暖化により降水が増えることが予想されているが、モデル間の差異は大きい。従来の研究では、主にマルチモデルの平均をもとに将来予測に関する議論が行われており、モデル間のばらつきは、マルチモデルアンサンブル結果の不確実性の程度を示唆するものとして扱われたきた（Christensen et al., 2013⁶⁾など）。本研究では、「ストーリーライン」アプローチに則り、ある程度は「起こり得る変動の幅」であるとみなし、それがどのように生ずるかを総合的に診断した。CMIPデータ（CMIP3やCMIP5）を用いた過去の研究では、梅雨降水を定義する当たって海上を広く含む領域をとるものが多いが（Kitoh and Uchiyama, 2006⁷⁾など）、本研究では主に陸上を対象とするよう注意深く領域を設定したのも特色となっている。現在気候にもとづくHistoricalランと、温暖化予測シミュレーション（RCP4.5, RCP8.5）による100年後の変化を、全球温暖化1℃あたりに規格化することで統一的に扱った。さらに、CMIP6データを用いて、研究の結果の確認も実施した。ただし、こちらはまだ一部にとどまっており、研究を継続する予定である。

極端気象のもととなる変動性に関連して、梅雨の年々変動に関する研究を行った。この研究では、JRA-55再解析データ、衛星降水データ、雨量計データを補間した地表降水データを使用した。経験的直交関数展開（EOF）スコアへの回帰により、様々な物理量にみられる空間構造から、年々変動の構造が2000年頃を境に変化していることを明らかにした。この研究はCMIPデータを用いた研究の補完となる。

4. 結果及び考察

4.1 冬季の成層圏過程の影響の研究

熱帯の増幅と成層圏の渦の反応を組み合わせ考慮し、4つのストーリーラインを作成した。Zappa and Shepherd (2017)³⁾と同様に、2種類の指標について、標準化された振幅が等しく、温暖化は1K、 χ^2 分布の上位20%に相当する場合を考えて、(1)式を以下のように表す。

$$C_x/\Delta T = \hat{a}_x \pm 1.26\hat{b}_x \pm 1.26\hat{c}_x. \quad (2)$$

(2)式より、4つのストーリーは、熱帯圏界面温度上昇が高く、成層圏極渦強度が強くなるモデル（第1象限）、温度が低く極渦が強いモデル（第2象限）、温度が低く極渦が弱いモデル（第3象限）、温度が低く極渦が弱いモデル（第4象限）に分類できる。

日本付近の帯状風変化の成層圏-対流圏関係は、第1象限で最も大きく、その応答は成層圏から地表にまで及び、亜熱帯ジェットの上昇も明瞭であった。一方、第2象限ストーリーでは、成層圏と対流圏のつながりが弱く、亜熱帯ジェットもあまり変化しないことがわかる。第3象限ストーリーでは、日本付近の亜熱帯ジェットも南下している（図略）。

ここでは、降水変化について示すことにする。4つのストーリーラインにおける日本周辺の降水量の将来変化を、マルチモデル平均値とともに示したものを図2.3に示す。第1象限（第3象限）のストーリーラインでは、日本地域の大部分で降水量が増加（減少）している。第2、第4象限ストーリーラインは、日本の北側（南側）の降水量が多い（少ない）という点で、マルチモデル平均とやや類似している。

図2.3は1Kあたりの温度上昇について、指標が1.26の場合について図示した。次に、ストーリーライン指数 t_s と地球温暖化の両方の関数を用いて、日本における将来の降水量変化について考察する。この場合式(2)は以下のように変形される。

$$\Delta C_x = \Delta T[\hat{a}_x + t_s(\hat{b}_x + \hat{c}_x)]. \quad (3a)$$

$$\Delta C_x = \Delta T[\hat{a}_x + t_s(\hat{b}_x - \hat{c}_x)]. \quad (3b)$$

式(3a)では正（負）の t_s は第1(3)象限のストーリーラインに対応し、式(3b)は正（負） t_s の第4(2)象限のストーリーラインに対応する。

図2.4は、北日本と南日本の陸域における将来の降水量の変化について、地球温暖化とストーリーライン指数の関数で示したものである。北日本（南日本）は、図2.3cで赤のプラス記号（青点）で示した陸上格子点を含む北緯37.5度以北（南緯35度以南）と定義する。図2.4の黒点は、 $|t_s|=1.26$ 、 $\Delta T=1K$ の将来の降水量の変化に対応する。

北・南日本での降水量の変化量は、第1及び第3象限ではストーリーライン指数の値に大きく依存する（図2.4a）。南日本では（図2.4c）、第3象限では常に降水量が減少するが、第1象限のストーリーライン指数に依存して降水量の減少・増加が生じる。つまり、第1象限と第3象限のストーリーラインでは、将来の降水量の量的変化は、ストーリーライン指数と温暖化の程度の両方に大きく依存する。一方、第2象限と第4象限のストーリーラインでは、北日本と南日本の降水量はストーリーライン指数にほとんど依存せず、地球温暖化の程度に大きく依存することが分かった（図2.4b、d）。

重回帰分析によるストーリーライン解析は、指標とするインデックスのモデルのばらつきが大きさに影響される。今回の分析では、考慮した2つの指標に大きな多様性があり（図略）、統計的に4つのストーリーを議論することができた。このような指標のばらつきは、モデル群やシナリオに依存する可能性がある。SSPシナリオを含むCMIP6モデルデータの解析については解析中であり、特に熱帯圏界面温度変化のモデル間ばらつきがCMIP5に比べて小さく、日本域降水量変化のばらつきも小さかった（図略）。CMIP6の詳細な解析は今後の課題である。

本研究で示された相関に関する物理的なメカニズムや因果関係を理解するためには、さらなる実験や解析が必要とされる。Kawatani et al. (2019)⁸⁾は、気候モデルを用いた現在気候シミュレーションにおいて、水平解像度や物理サブグリッドスケールのパラメータ化など他の設定を一定にした上で、異なるモデルトップを用いて成層圏と中間圏が対流圏に及ぼす影響を調べた。これにより、中層大気の循環が対流圏に与える影響の可能性を検討できた。気候モデルを用いて、地球気候変動における成層圏の役割を決定する物理機構を明らかにするために、同様な設定で温暖化実験を行う必要がある。

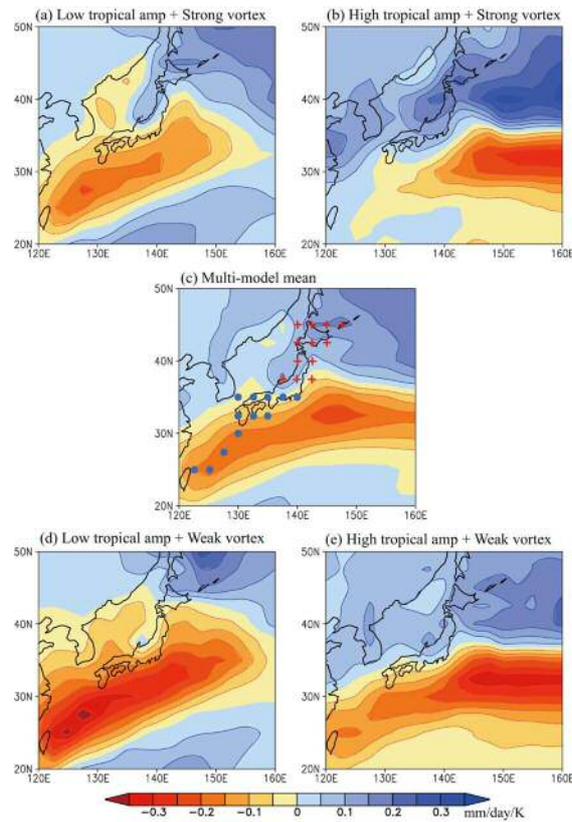


図2.3 各ストーリーラインにおける12-1-2月平均した日本域降水の将来変化。(c)はマルチモデル平均を示す。単位はmm/day/K。(b), (a), (d), (e)は本文中のそれぞれ第1, 2, 3, 4象限に相当する。

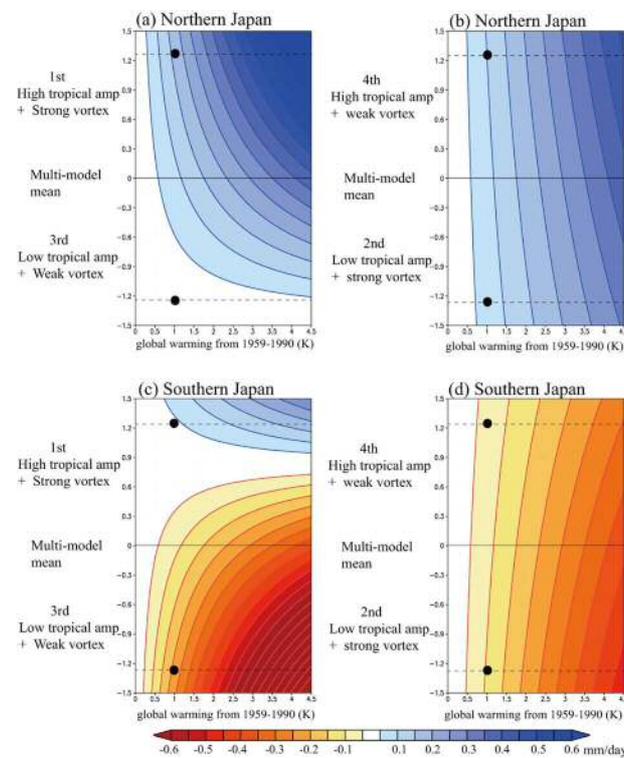


図2.4 (a, b)北日本(図2.3cの赤いプラス記号)と(c, d)南日本(図2.3cの青い点)における将来の降水量変化の地球温暖化とストーリーライン指数 t_s との比較。地球温暖化とは、過去の1959-1990年の平均値に対する地表面温度の上昇である。正の(負の) t_s は(a, c)では第1象限(第3象限)に、正の(負の) t_s は(b, d)では第4象限(第2象限)に対応する。黒点は $|t_s|=1.26$, $\Delta T=1K$ の場合の将来の降水量変化に対応する(図2.3に対応)。

4.2 中部山岳域を起点にみる冬季の遠隔影響過程の研究

北半球冬季（12～2月）の降水の分布を調べると、太平洋と大西洋の中緯度域で降水量が多いことがわかる（図2.5）。これは、ストームトラックにおける低気圧活動によるものである。日本は太平洋におけるストームトラックの西の端に位置しているが、中部地方は周辺よりも降水量が多くなっている。降水の多くは降雪としてもたらされており、大雪による災害も発生しやすい。本研究では、CMIP5気候モデル32個におけるRCP4.5実験の結果を用い、中部山岳域の冬季の降水の変化に重点を置いた解析を行なった。図2.6に、中部山岳域に相当する領域（北緯35～37.5度、東経137.5～140度）で予測された、冬季の気温と降水のトレンド（2006～2100年）を示す。100年当たりの変化量を示しているが、降水量は各モデルのhistorical runにおける降水量で規格化した変化率として表示している。図2.6を見ると、気温と降水量が両方増加するモデルと、気温は上昇するが降水はあまり変化しないモデルの2つのグループに分けられるように見える。そこで、32個のモデルの結果のうち、昇温がほとんどゼロになっているモデルを除く31個のモデルの結果について、t統計量が最大になるように2つのグループに客観的に分類した。その結果、気温と降水が両方増加するA群（白抜き）と、気温は上昇するが降水はあまり変化しないB群（黒）に分けられた。以下では、このそれぞれの群で予測されたトレンドの平均の差に注目する。なお、現在気候における年々変動は、暖冬の年には降水量が有意に減少する傾向にあり（図は省略）、温暖化における変化は、A群、B群のどちらであっても、これとは明らかに異なることが分かった。

A群とB群のモデルで予測された降水量のトレンドと、その差を図2.7に示す。北半球全体の傾向という観点で見ると、A群（左）とB群（中）のどちらにおいても、現在気候でもともと降水量の多い北太平洋と北大西洋域の中緯度域で降水量が増加すると予測されている。一方で亜熱帯域では減少傾向が予測されており、ストームトラックに伴う多降水域は、やや北上しながら強化されると解釈できる。日本付近に注目すると、A群とB群のどちらにおいても、本州の南海上では降水は減少傾向にある一方で、東日本の日本海側や北日本では増加傾向が見られ、北に行くほど降水量が増えやすいといえる。図2.5に示した現在気候の降水分布で極大が見られる中部地方においては周囲と比べて降水が増加しており、この点に関しては、“dry gets drier, wet gets wetter”の傾向を見ることができる。ただし、図2.5に示したように本州の南海上は現在気候では降水が多いが、将来の降水量は両群において減少しており、領域によって傾向は異なる点に注意が必要である。

両者の差（図2.7右）に注目すると、A群のほうが日本を含む東アジア域で降水の増加が顕著であることがわかる。ただし、両者の差がはっきりと見られるのは東アジア域に限られ、北太平洋のストームトラック域全体の降水量の増加トレンドはA群のほうがむしろ小さくなっている。しかし、一方で、A群のほうが降水量の増加が顕著に予想される領域は、ユーラシア大陸の東岸から日本海、日本列島の太平洋側まで広がっており、単に北西季節風に伴う地形性の降水のトレンドの違いによって図2.7の結果を説明することはできない。

次に図2.7に見られるような降水量のトレンドの違いがストームトラックにおける低気圧活動の違いに関係しているか調べるため、モデル出力の日別データを解析した。本研究では、一般的なストームトラックの解析の手法にならない、850 hPa面での南北風と気温のデータを用いた。南北風 v と気温 T のそれぞれについて、周期8日以内の短周期変動 v' と T' を抽出し、 v' 、 T' の時間平均値を低気圧活動の指標とした。日別値が提供されている期間は限られているため、2006～2100年のトレンドの代わりに、RCP4.5実験における2080/81～2099/2100年冬季の平均と、historical runにおける1980/81～1999/2000年冬季の平均の差を解析した。また、日別値が提供されているモデルの数にも限りがあり、ここでは32個ではなく17個のモデルの結果を用いた。

図2.8にhistorical runにおいて17個のモデルが再現した v' 、 T' の時間平均値の分布を示す。太平洋と大西洋の中緯度域で降水量が多いことがわかる。これは、ストームトラックにおける低気圧活動によるものと考えられ、図2.5の降水量分布にも対応している。日本は北太平洋のストームトラックの

西の端に位置しているが、本州の南岸と日本海に極大が見られ、これら2つの極大の間では低気圧活動がやや弱くなっている。これは、南岸低気圧と日本海低気圧に対応していると考えられる。

次に、A群とB群における低気圧活動の変化傾向を解析した結果を図2.9に示す。図2.8で低気圧活動の極大が2つに分かれていることに対応する形で、本州の南の海上と北海道の北で低気圧活動が強化され、その中間の本州付近では低気圧活動の強化は抑制されているか、逆に減少している。A群での変化傾向とB群での変化傾向の差を計算することによって両者を比較すると、西部北太平洋域では、A群のモデルにおいてB群と比べて低気圧活動が強くなる傾向があることが分かる。特に日本付近では低気圧活動のトレンドの差の有意性が高い。つまり、A群のモデルのほうが温暖化時の低気圧活動が日本付近で強くなる傾向があり、図2.7に示した降水量のトレンドの差と矛盾しない結果になっている。

温帯低気圧は、南北の温度勾配をエネルギー源として発達する。このため、一般には、南北の温度勾配が大きく、上空の偏西風の強い場所で低気圧活動は強くなる傾向がある。ここでは、再び、月別値を用いて、A群とB群のモデルで予測された東西風のトレンドを解析した(図2.10)。A群(左)では亜熱帯ジェットの前縁、あるいは、寒帯前線ジェットの前縁の出現頻度の増加が明瞭である。一方で、B群ではジェットの前縁の将来変化は小さい。

さらに、冬季平均した海面気圧の変化においても両群には差が見られ、A群のほうがシベリア高気圧とアリューシャン低気圧の相対的な弱体化が顕著である(図2.11)。これ自体は冬季平均した北西季節風の強さが弱くなることを示しており、A群における降水の増加には直接にはむすびつかない。したがって、季節平均場の変化ではなく、上層のジェットの変化に呼応する低気圧活動の変化によって、A群での降水増加がもたらされると考えられる。

上記の結果より、亜熱帯ジェットの前縁または寒帯前線ジェットの前縁の強化が生じるストーリーラインと、生じないストーリーラインという2種類のストーリーが想定される。前者のストーリーに対応する、亜熱帯ジェットの前縁や寒帯前線ジェットの前縁の強化が予想されるモデルにおいては、温暖化に伴って対流圏で傾圧帯が北上し、海洋のフロントと一致することによって、低気圧活動が強化されるというストーリーラインが成り立つ。このストーリーラインにおいては、最大でクラウドジウス・クラペイロンの関係と同程度に降水量が増加する可能性が考えられ、この場合、3℃の温暖化時に冬季の降水量が20%程度増加する。標高が高く気温の低い場所では、この程度の温暖化では雪が雨に変わらないので、降水量の増加はそのまま降雪量や積雪量の増加をもたらすであろう。現在気候で降水の多い中部山岳域を中心とした領域では、温暖化に伴う降水の増加も顕著である。しかし、降水の増加は、日本海や太平洋を含むやや広い範囲にわたっており、単純に冬型の気圧配置で生じる北西季節風に伴う地形性の降水の増加と解釈することはできない。それよりも、温暖化時には低気圧の通過に伴う降水が増加すると考えられ、大雪をもたらす典型的な気圧配置が冬型というよりは低気圧型に変わっていく可能性も想定する必要がある。一方で、後者のストーリーにおいては、亜熱帯ジェットや寒帯前線ジェットの変化が不明瞭で、温暖化しても降水量はあまり変化しないか減少すると予想される。この場合は、温暖化しても気圧配置はあまり変化せず、単純に気温だけが高くなり、雪が雨に変わるような変化が生じると考えられる。また、現在気候の年々変動においては、暖冬年には降水量が大幅に減少する傾向があるが、温暖化によって冬季の降水量が減少するストーリーは想定しにくい。

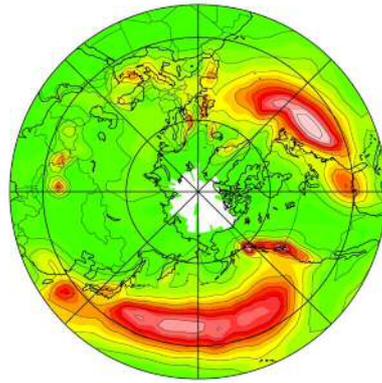


図2.5 CMAPによる1979/80～2020/21年の12～2月の平均降水量の分布。等線間隔は0.8mm/day。

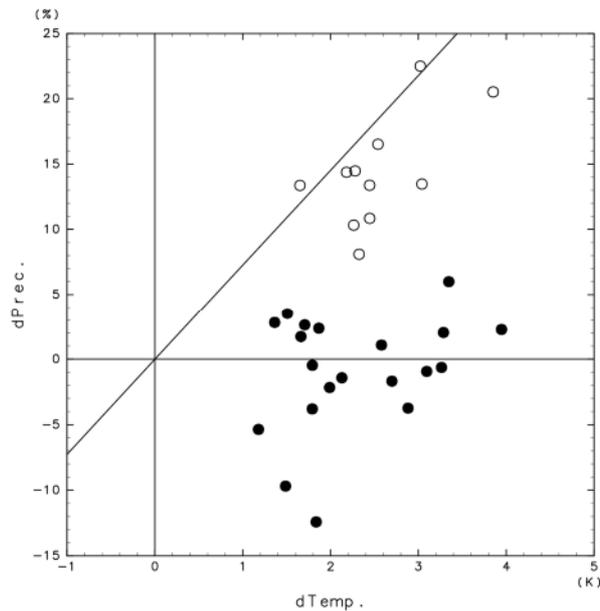


図2.6 中部山岳域（北緯35～37.5度、東経137.5～140度）において予測された気温と降水の将来変化。RCP4.5に基づく100年間のトレンドとして示す。降水量はhistorical runで規格化した。白抜きはA群、黒はB群のモデル。

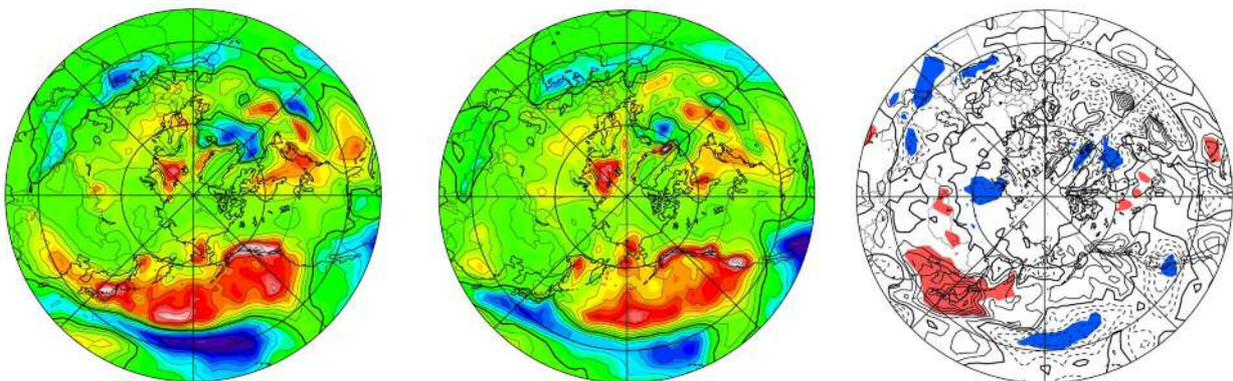


図2.7 A群（左）とB群（中）のモデルで予測された降水量のトレンド（mm/day/100年）と、A群とB群の差（右）（mm/day/100年）。等値線間隔は0.1mm/day/100年、ゼロの等値線は太い実線、右の図では、負の等値線は点線、有意水準95%で有意な正偏差（負偏差）を赤（青）で示す。

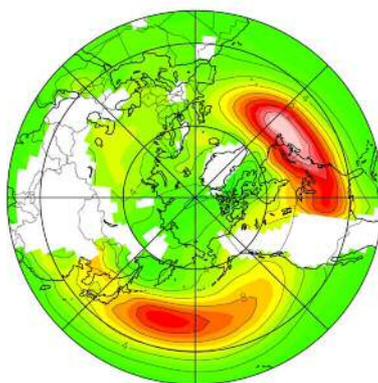


図2.8 Historical runで再現された低気圧活動の全モデル平均 (K m/s)。等値線間隔は2K m/s。

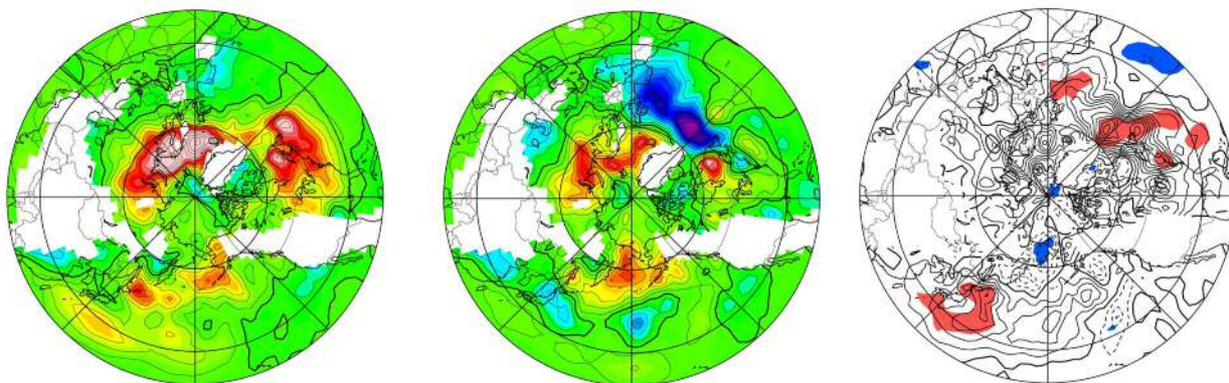


図2.9 図2.7と同じ、ただし、低気圧活動の変化 (K m/s)。等値線間隔は0.2K m/s。

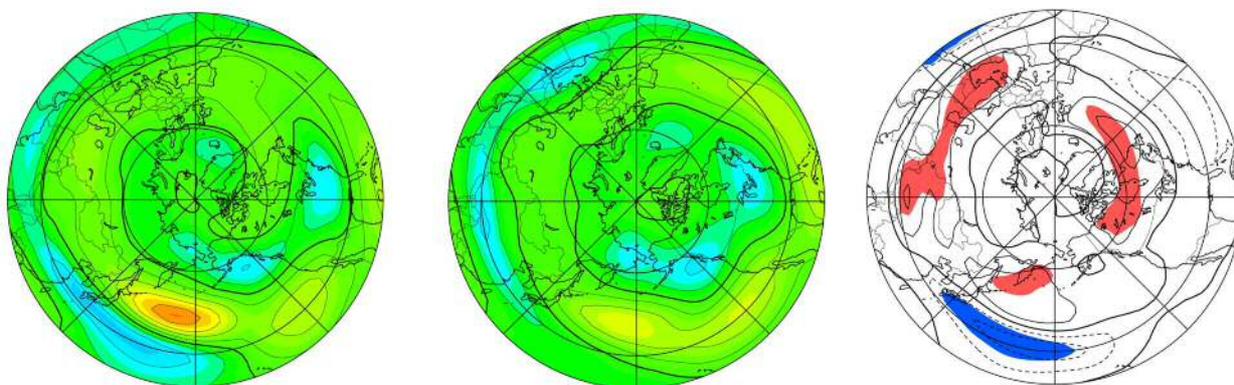


図2.10 図2.7と同じ、ただし、300hPa東西風のトレンド (m/s/100年)。等値線間隔は1m/s/100年。

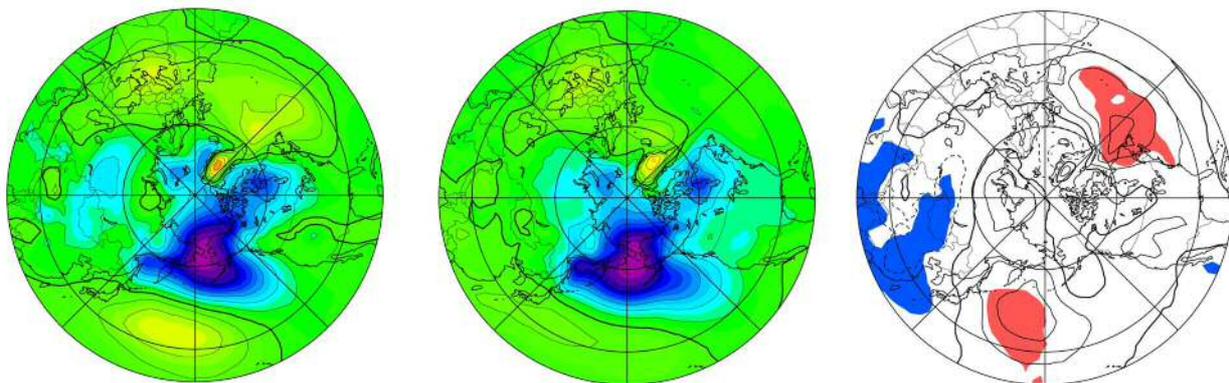


図2.11 図2.7と同じ、ただし、海面気圧のトレンド (hPa/100年)。等値線間隔は0.5hPa/100年。

4.3 夏季の降水の変動に関する研究

令和2年7月豪雨の中でも最も顕著であった、7月上旬の九州での豪雨（球磨川の氾濫をもたらした熊本の豪雨を含む）について、JRA-55再解析ならびに雨量計データを用いて研究した。7月上旬に九州各地で豪雨が頻発したが、これは一連の現象として捉えられる。1～2週間程度の時間スケールでの九州全体での総降水量は、観測史上最大であった。九州を囲む矩形の領域を設定し、水蒸気フラックスとその収束を調べた結果、西側と南側の辺からそれぞれ過去最大級の流入があり、さらに、流入に対する収束（通り過ぎずに降水になる割合）も、平均の2倍程度と高かったことで、総降水量の大きさが説明できることが明らかになった（図2.12a-d）。よって、豪雨の成因を明らかにすることは、高い水蒸気流入が長期間つづいた要因と、その収束割合が比較的高かった要因の両面を明らかにすることに帰着する。当時、一部の研究者の発信において、上流の可降水量が高かったことを強調する発信がなされたが、それは本質的ではないことも明らかになった。

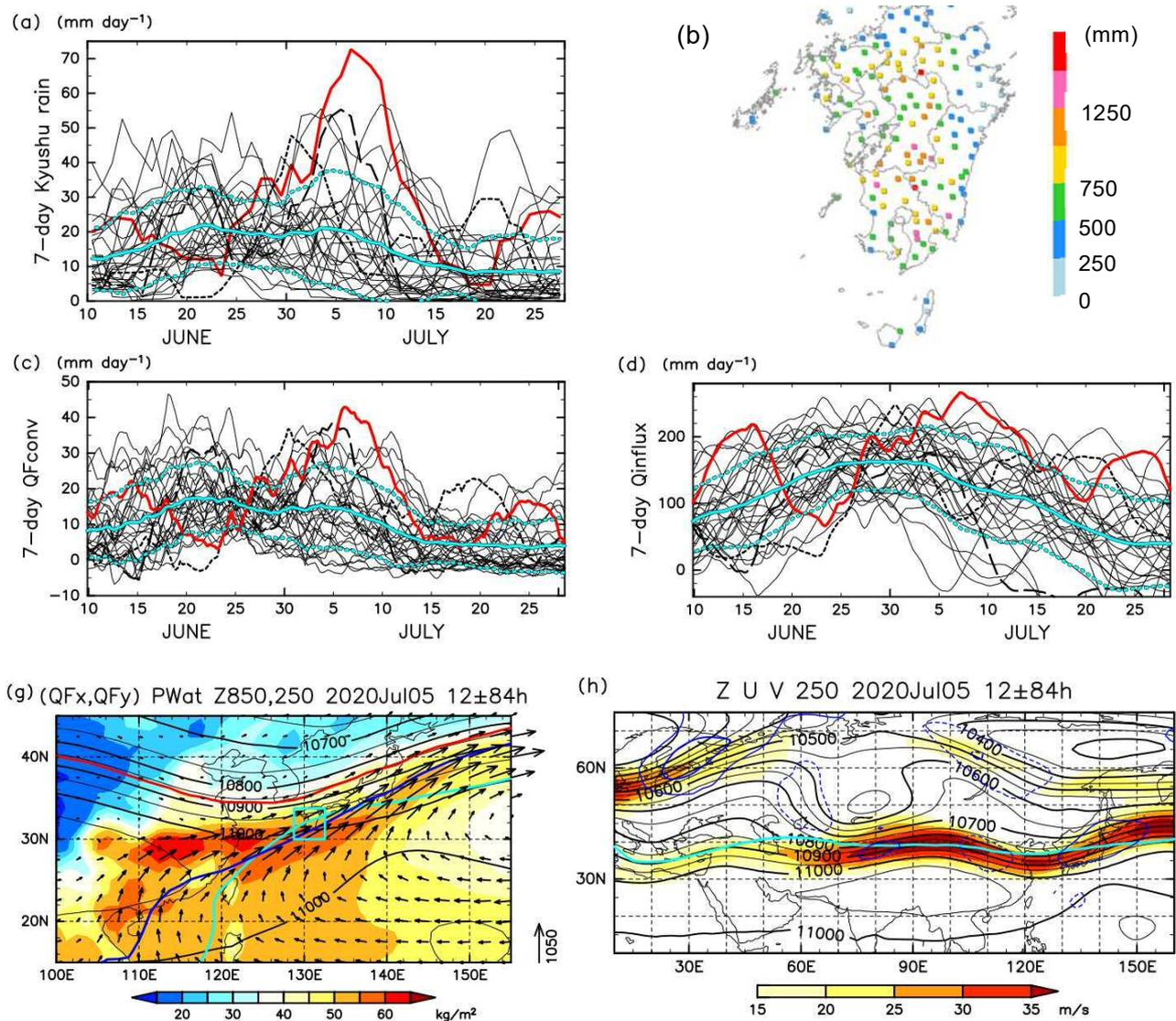


図2.12 (a)過去30年の7日移動平均降水量（九州全体の気象庁の雨量計の平均。2020年が赤）、(b) 2020年6月25日から7月14日までの各地点での総降水量。(c), (d)はJRA-55による、九州を含むBox (g)に表示)における水蒸気収束と南・西辺からの流入量。(g), (h)は2020年7月5日を中心とする7日間の水蒸

気フラックス (gの矢印) や上層のジェット気流(hのカラー)など。Horinouchi et al (2021)⁹⁾のFig.1の一部パネルを除いたものとなっているので、詳細は同論文参照。

2020年7月上旬は何が特別だったかを、複数年にわたる総合的な比較から明らかにした。日々の水蒸気フラックスは、梅雨前線に沿ったピークとしては特別に大きくはなかったが、その緯度がちょうど九州あたりにあり続け(図2.12ghなど)、期間中弱まることなくあったという定常性、持続性が特徴的であった。この緯度固定は、シルクロードパターンの波列の末端となる黄海～朝鮮半島のトラフが強くなっており持続したことによる。また、九州はこのトラフの南東にあったため、二次循環的に上昇流がしやすい位置にあたったことが、流入量に対する収束量が多めであったことを説明する。シルクロードパターンとは、ユーラシアの亜熱帯ジェット(アジアジェットとも呼ばれる)に沿って夏季に生ずるテレコネクションパターンであり、その遠隔作用は停滞ロスビー波のメカニズムで説明される。本研究の結果、6月に生じやすい停滞構造が存在し、2020年はジェットの北上が遅れたことに対応して、その構造が7月上旬まで長持ちしたことがわかった。以上の成果は、査読付き論文5)(Horinouchi et al, 2021)⁹⁾として出版された。

CMIP5データを用い、6、7月の各月について、History実験の1979-1999年の21年分の平均から、将来予測実験(RCP4.5およびRCP8.5)の2079-2099年の21年分の平均への変化を調べた。対称のため、梅雨後の8月についても調べた。この研究では、全球地表気温の昇温量1度あたりの変化に規格化することで、シナリオの違いや、モデル全体の気候感度の違いを平準化した。各モデル1アンサンブルメンバーのみ用いているので、大気海洋結合による長周期変動などの「内部変動」の影響をうけるが、同一モデルのRCP4.5とRCP8.5の結果の差のバリエーションは、多くの指標について、無相関な場合の期待値の半分程度にとどまったので、ある程度はモデルに内在する特性を反映している。

日本、中国、朝鮮半島それぞれでの梅雨を表す「Baiu」域、「Meiyu」域、「Changma」域を設定し、降水の将来変化のモデル間スプレッドと様々な量との相関を計算した。すると、いずれにおいても、対象域の南側の鉛直積算水蒸気フラックスの北向き成分のスプレッドとの相関が高いことが分かった(Baiuの結果を図2.13に示す)。その相関は特に6月に高く、決定係数のピークは0.6を超える(図2.13a)。南の海上の矩形領域でフラックスを平均することで散布図でも相関を表す(図2.13d-f)。縦軸で表した梅雨降水の将来変化は、平均的には正であるが、一部のモデルは負(減少)ですらある。なお、6月に相関が特に高い理由は、この時期はSSTが盛夏ほど高くなく、降水において長距離輸送された水蒸気をもととなる割合が高いからと考えられる。つまり、定性的には期待される結果であるが、それを定量的に明らかに、相関の空間構造を明らかにしたことに意義があると言える。特に、6月の相関の高さは特筆すべきものであり、南の海上の水蒸気フラックスの変動とそのメカニズムが、重点的に研究すべき問題であることが明らかになったということである。

鉛直積算水蒸気フラックスの北向き成分の変化は、850 hPaの南北風の変化との相関が非常に高い。つまり、ほぼ下層の南北風の変化に支配される。しかし、より広く太平洋高気圧の大規模な変化との関連を見出すのは困難で、3領域の降水変化間の相関も弱く、局所性が高かった。このことは従来の研究で用いられがちな、大規模なモンスーンのインデックスの変化などが、必ずしも良い指標とならないことを示唆する。下層での遠隔相関関係は、規模があまり大きくないということである。

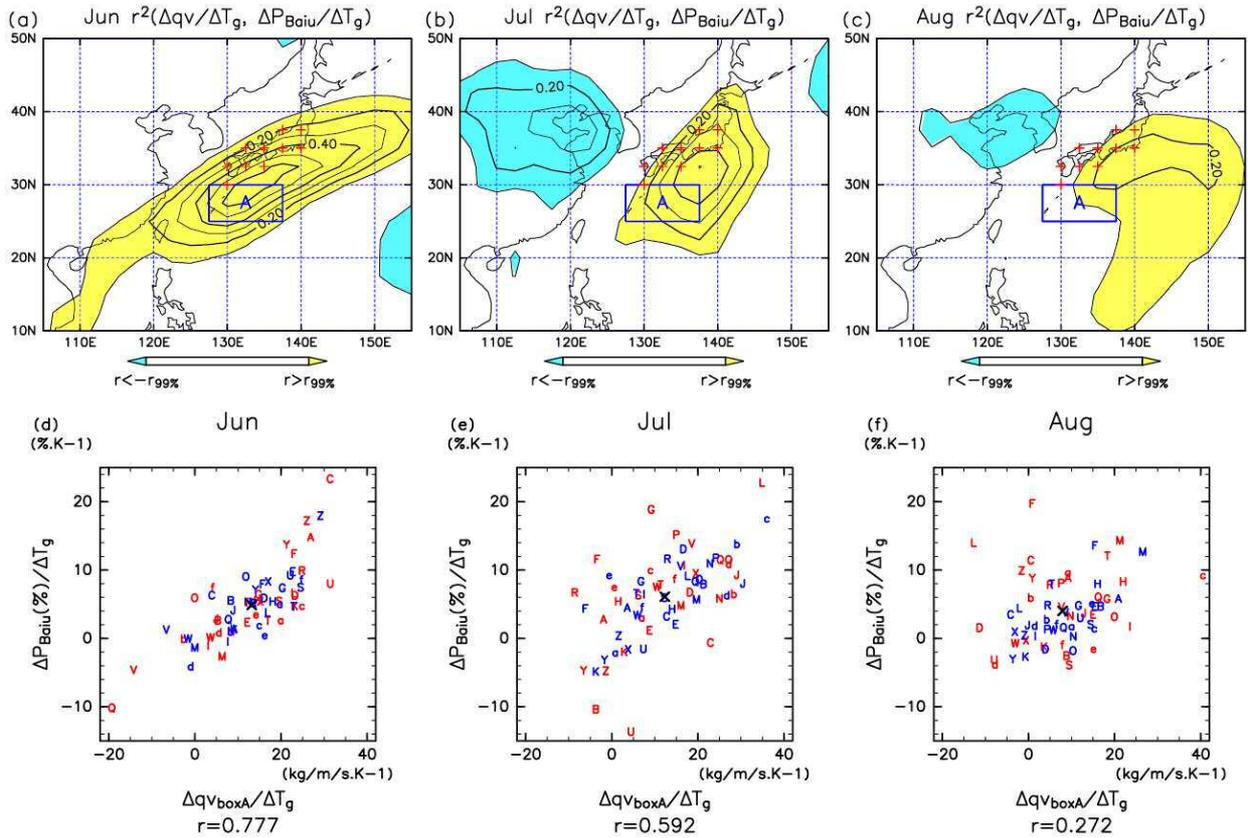


図2.13 (a-c) 梅雨域 (赤い十字マークの点) での6、7、8の各月での平均降水量の100年変化 (全球昇温量で規格化) のモデル間の違いと、各点での鉛直積算水蒸気フラックスの北向き成分の相関係数の2乗 (決定係数、コンター)。相関係数が正 (負) で統計的に有意なところに黄色 (水色) の彩色を施す。(d-f) 梅雨域での6、7、8の各月での平均降水量の100年変化 (縦軸) と、(a-c) に表示した矩形領域Aで平均した水蒸気の南北フラックスの間を、全球昇温量で規格化し、モデル毎、シナリオ毎 (赤、青) で示した散佈図。X印は平均を表す。

6、7月のBaiuの変化のモデル間スプレッドを200 hPaの南北風の変化に回帰すると、シルクロードパターンのような相関パターンが現れる (図2.14)。この構造は、日本の南海上の下層の南北風に回帰したほうが高いこと、並びにその鉛直構造から、上下層のジェットにつながりによって生ずると説明できる。この結果は、以下のように解釈できることが示された。気候変化にともない、アジアジェット上に気候値として現れる停滞波の位相や強度も変化する。その中で、日本上空の対流圏上層における南風を強化するように変化するケースにおいては、それに連動して南の海上の南風が強化され、梅雨域への水蒸気流入が増して、降水が増大する。そして、当該緯度帯の対流圏上層にはアジアジェットがあるため、その変動の構造は東西に広く広がっている。よって、上述の下層の水蒸気フラックスの変動の一部は、ユーラシア大陸上の上空での広域のテレコネクションによって引き起こされていると言える。

上記の結果をもとにストーリーラインを構築すると、梅雨降水の将来変動は、日本の南海上の南風が強化されるストーリーラインと、弱化するストーリーラインという2つのストーリーラインを想定するのが妥当である。前者においては、梅雨降水は温暖化に対するマルチモデル平均よりさらに増加し、後者においては平均ほどには増加しない。このような変化は、中国と日本でほぼ独立であるなどの局所性があるが、一方で、特に日本について、シルクロードテレコネクションを通じた、ユーラシアの全経度帯にわたる上層の停滞波の変動が影響するという広域性があることが明らかになった。

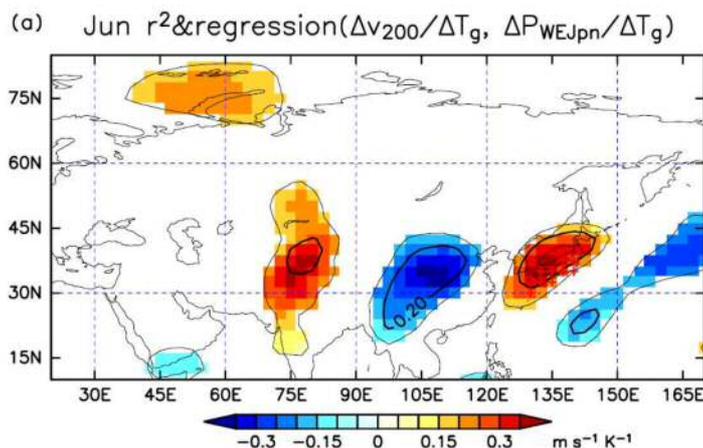


図2.14 図2.13と同様だが、6月について梅雨降水の変化と200 hPaの南北風の変化の間の相関について、コンターで決定係数を示し、色で回帰係数を示す。

2020年の九州での豪雨に関する上記のケーススタディに続いて、またもシルクロードテレコネクションによる停滞波列の重要性が示された点は注目される。長期平均に現れる停滞波列は、豪雨に繋がる比較的短い期間でのテレコネクションの背景場として働くので、その変動は豪雨に確率的な影響も与える。そして、平均降水量の増加は、確率的には豪雨が強まることを意味する。

CMIP5を用いた上記の研究は、Climate Dynamics誌に投稿後、査読を経て改訂稿を準備中である。本研究ではさらに、図2.13.3に示したような解析をCMIP6データでも行っている。研究をさらに進めて、論文を投稿する予定である。

主にJRA-55再解析データを用いて、夏季の東アジアの降水の年々変動のEOFスコアとその回帰などから、変動パターンの長期変化を調べた。その結果、2000年頃までは、太平洋-日本(P-J)パターンを伴う変動性が卓越するのに対し、2000年以降は別の変動パターンが卓越することが明らかになった。2000年以降に卓越する降水のEOFは、九州から台湾付近にかけて、つまり南西諸島での降水の変動が大きく、300 hPaの流線関数をその主成分に回帰する太平洋に伸びる波列パターンが現れる。南西諸島の降水に回帰して得られる変動パターンは、2000年以前は、停滞前線の強度変動をあらわすような構造をもつ一方で、2000年以降は積雲対流活動の消長を表すような構造をもつという違いがあることが明らかになった。その要因は温暖化であると考えられる。つまり、夏季の平均降水量は年々変動するが、温暖化により年々変動の現われ方が質的に変わり得ることが示唆される。本研究は、現在投稿準備中である。

5. 研究目標の達成状況

冬季、夏季それぞれについて、成層圏や、対流圏上層の力学過程の遠隔影響が、日本の降水の将来変化について、どのようなストーリーラインとして現れるかを明らかにすることができた。当初に想定したように、冬季の成層圏の極渦や上部対流圏の昇温の大規模な南北構造、上部対流圏の亜熱帯ジェットやその上の停滞波動などが、重要な役割を果たしていることがわかり、具体的に整理された。CMIPモデルだけでは十分に分解されない局所的な極端現象についても、サブ課題1との協力より知見を得ることができた。以上より、当初の研究目標は達成された。

6. 引用文献

- 1) R. KNUTTI, R. FURRER, C. TEBALDI, J. CERMAK and G. A. MEEHL: *J. Climate*, 23, 2739-2758 (2010)
Challenges in combining projections from multiple climate models.
- 2) R. KNUTTI, D. MASSON and A. GETTELMAN: *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1194-1199 (2013)
Climate model genealogy: Generation CMIP5 and how we got there.
- 3) G. ZAPPA and T. G. SHEPHERD: *J. Climate*, 30, 6561-6577 (2017)
Storylines of atmospheric circulation change for European regional climate impact assessment.
- 4) A. SCAIFE and co-authors: *Geophys. Res. Lett.*, 41, 2514-2519 (2014)
Skillful long-range prediction of European and North American winters.
- 5) E. MANZINI et al.: *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, no. 13, 7979-7998, doi:10.1002/2013JD021403 (2014)
Northern winter climate change: Assessment of uncertainty in CMIP5 projections related to stratosphere-troposphere coupling.
- 6) J. H. CHRISTENSEN and co-authors: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by Stocker, T. F. et al., Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 1217-1308 (2013)
Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change.
- 7) A. KITO and T. UCHIYAMA: *J. Meteor. Soc. Japan*, 84, 247-258. (2006)
Changes in onset and withdrawal of the East Asian summer rainy season by multi-model global warming experiments.
- 8) Y. KAWATANI, K. HAMILTON, L. J. GRAY, S. M. OSPREY, S. WATANABE and Y. YAMASHITA: *J. Atmos. Sci.*, 76, 1203-1226 (2019)
The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model.
- 9) T. HORINOCHI, Y. KOSAKA, H. NAKAMIGAWA, H. NAKAMURA, N. FUJIKAWA and Y. N. TAKAYABU: *SOLA*, 17, 112-115, doi:10.2151/sola.2021-019 (2021) (IF:2.2)
Moisture supply, jet, and Silk-Road wave train associated with the prolonged heavy rainfall in Kyushu, Japan in July 2020.

II-3 日本周辺域の異常天候に関するユーラシア大陸の気候変化の解析

国土交通省気象庁 気象研究所

応用気象研究部	第二研究室	仲江川 敏之
気候・環境研究部	第二研究室	遠藤 洋和
全球大気海洋研究部	第二研究室	高谷 祐平
気候・環境研究部	第二研究室	尾瀬 智昭 (令和元年～令和2年度)
全球大気海洋研究部		前田 修平 (令和元年度)

東京都立大学 都市環境科学研究科
 <研究協力者>

高橋 洋

国土交通省気象庁 気象研究所

気候・環境研究部	第二研究室	尾瀬 智昭 (令和3年度)
----------	-------	---------------

国土交通省気象庁

大気海洋部	気候情報課	後藤 敦史
大気海洋部	気候情報課	ト部 佑介・山田 賢 (令和元年～令和2年度)
大気海洋部	気候情報課	前田 修平 (令和3年度)
大気海洋部	気候情報課	池田 友紀子・原田 昌・瀬崎 歩美 (令和3年度)
高層気象台		前田 修平 (令和2年度)

一般財団法人 気象業務支援センター

伊東 瑠衣

東京都立大学 都市環境科学研究科

神澤 望 (令和元年～令和2年度)

立正大学

地球環境科学部	環境システム学科	神澤 望 (令和3年度)
---------	----------	--------------

[要旨]

本研究課題全体でターゲットとする日本域の豪雨、台風、猛暑、豪雪などの異常天候について、本サブ課題では、ユーラシア大陸やチベット気候に注目し、ターゲット現象の変化に効果的な大規模場要素を抽出し、日本の気候シナリオおよび影響評価に差をもたらす不確実性の大きい気候場の温暖化応答パターンを明らかにするために研究を実施し、以下のことを明らかにした。

将来変化を予測する各気候モデルには不確実な過程が残るため、世界の研究機関による予測間には変化の傾向が異なるところがある。予測の信頼度も考えて利用するためには、予測の共通点とともに異なる点についても知っておく必要がある。この点を明らかにするために、CMIP6モデルおよびCMIP5モデルが予測する多数の夏季東アジア海面気圧配置の将来変化を比較し、これに含まれる代表的な空間パターンを統計的直交関数（EOF）解析によって取り出した。このストーリーラインアプローチの予測解析結果をもとに、大陸昇温が要因の確実な将来変化や、夏季降水量変化やモンスーンの不確実性の要因を特定した。

夏季東アジアの降水量の将来変化についてCMIP5予測とCMIP6予測を比較した。東アジアではおおむね増加傾向が予測される点は共通だが、CMIP6予測では大陸上で降水量増加が明瞭化する一方、海洋上（日本付近を含む）では降水量増加が抑制されていた。この背景要因について検討したところ、CMIP6モデルが予測するユーラシア大陸の大きな昇温の影響が示唆された。すなわち、ユーラシア大陸昇温による海陸温度コントラストの増大により、モンスーン循環が相対的に強化され、その結果、東アジアでは降水量増加域の中心が大陸上にシフトしたと考えられる。

季節予報モデルを用いた海面水温感度実験を用いて、令和2年7月豪雨（2020年）に関連した活発な梅雨活動に対するインド洋の影響メカニズム、及び、平成22年（2010年）夏の夏季アジアモンスーンに対する北熱帯大西洋の影響メカニズムについて調査した。これらの解析により、アジア域の夏季の年々変動に対する熱帯太平洋、大西洋及びインド洋の海盆間相互作用による遠隔影響メカニズムが明らかになった。温暖化による異常天候の発現は、長期的な気候平均場の変化に加え年々変動の変調を通じて生じると考えられるため、得られた知見は温暖化時の東アジア域の異常天候の変化の理解に

資すると期待される。

「2018年の日本の高温現象発生に、アジア夏季(ASM)循環場の発達期である7月後半という時期が関係していたか」を調べるため、1981年から2018年までの期間で、約15日という時間スケールで、PJパターンとASMの季節進行の関連についてコンポジット解析した。その結果、PJパターンを示した年々変動成分と気候学的な季節進行の位相が一致したことで猛暑となったと考えられる。また、近年の梅雨期の気象災害の頻発が実際に起きているかを明らかにするために、梅雨期の降水量の長期変化を衛星観測降水量から調べ、最近11年間（2009年～2019年；2010年代）の梅雨前線帯における降水活動は活発化しており、要因として南からの水蒸気輸送の強化、亜熱帯ジェット気流上の波動による、朝鮮半島～東シナ海上空での大気不安定化が挙げられる。

1. 研究開発目的

本研究課題全体でターゲットとする日本域の豪雨、台風、猛暑、豪雪などの異常天候について、本サブ課題では、ユーラシア大陸やチベット気候に注目し、ターゲット現象の変化に効果的な大規模場要素を抽出し、日本の気候シナリオおよび影響評価に差をもたらす不確実性の大きい気候場の温暖化応答パターンを明らかにすることを目的とする。これらの成果を基に、温暖化応答が正／負の場合などにどのような気候シナリオになるかというストーリーラインを構築し、気候変動に伴う変化の仕組みを明らかにする。

2. 研究目標

ユーラシア大陸やチベット気候に注目し、ターゲットの変化に効果的な大規模場要素を抽出する。全体と協力してストーリーラインを構築し、気候変動に伴う変化の仕組みを明らかにする。

3. 研究開発内容

(1) 夏季東アジアの海面気圧配置将来変化のストーリーライン予測

地球温暖化予測において、確かな夏季東アジア海面気圧配置と不確かな気圧配置およびこれらの要因について研究するため、第6次および第5次結合モデル相互比較プロジェクト（CMIP6とCMIP5）の多数モデル実験に対して経験直交関数（EOF）解析を適用して主要な気圧配置将来変化パターンを取り出した。さらに、得られたパターンを用いたストーリーライン将来予測の立場から、夏季東アジアの南風モンスーンや降水量の将来変化を分析した。また、これらの主要パターンがShiogama et al. (2021)¹⁾選択の5つのCMIP6モデルにどのように寄与しているかを調べて、将来の気圧配置変化の観点からCMIP6モデルの小アンサンブルとしての妥当性を評価した。

(2) 夏季東アジア降水量のCMIP5/6予測の違い：ユーラシア大陸昇温との関係

日本周辺域の夏季異常天候の背景となる夏季東アジア降水量の将来変化について、CMIP5およびCMIP6のマルチモデル予測データを用いて調べた。また、利用可能なCMIP5の42モデルおよびCMIP6の39モデルを対象として、高排出シナリオ（CMIP5ではRCP8.5シナリオ、CMIP6ではSSP585シナリオ）に基づき、20世紀末（1979～2003年）に対する21世紀末（2075～2099年）の変化を調べた。更に、モデル間およびシナリオ間の昇温量の違いの影響を除くため、各モデルで全球1℃昇温相当に規格化して解析した。

(3) 北西太平洋及び東アジアの異常天候に関する熱帯海洋の影響の解析

日本を含む東アジアの東アジア域の異常天候に対する海洋変動の影響及びその背後にある変動メカニズムの理解の深化を目的とし、熱帯海域の海面水温偏差を改変した海面水温感度実験を行なった。2010年夏（6～8月）の日本の平均気温は過去113年間で最も高くなり、全国的に記録的な高温となった。また、同夏には北熱帯大西洋域の海面水温が観測史上で最も高かった。2020年夏前半には、令和2年7月豪雨（2020年）及び中国の長江域の豪雨など、活発な梅雨活動により各地で洪水が発生した。本研

究では、これらの年に着目し、複雑に連関する海盆間相互作用の因果関係とその夏季アジアモンスーンへの影響を数値モデルによる感度実験を解析した。

(4) 熱帯アジアモンスーンの降水活動と日本の夏の天候の関係

2018年の日本の高温現象発生に、ASM循環場の発達期である7月後半という時期が関係していたかについて、約15日という時間スケールで、Pacific-Japan (PJ)パターンとアジア夏季(ASM)の季節進行の関連についてコンジット解析をおこなった。また、2018年のモンスーントラフの強さを調べ、摂動運動エネルギーと降水量データを用いて、西進する熱帯擾乱の様子を調べた。

また、近年の梅雨期の気象災害の頻発が実際に起きているのかどうかを明らかにするために、梅雨期の降水量の長期変化を衛星観測降水量から調べた。

4. 結果及び考察

(1) 夏季東アジアの海面気圧配置将来変化のストーリーライン予測

(a) 主要パターンの成因と陸面の影響

地球温暖化による温度上昇は、大陸と海洋、高緯度と熱帯、地表面付近と上空の間で異なり、これは気圧配置と大気の流れ、さらに地域の気温や降水量などの気候に変化をもたらす。

38のCMIP6モデルによるアジア太平洋域夏季の海面気圧配置(図3.1aの等値線)を見ると、高気圧が太平洋から西に広がる一方、大陸は低気圧で、日本では南風が卓越する夏の天気図をよく再現している。図3.1aの陰影は、CMIP6モデルが予測する気圧配置のssp585シナリオによる将来変化(21世紀末と20世紀末の差)で、ここで紹介する将来の気候は、地球平均で地上気温4度上昇した時に規格化している。太平洋の高気圧の日本から北への張り出しは弱くなり、日本の南では強くなる予測になっている。ただし、西日本付近では高気圧はやや北に張り出す傾向が見られる。rcp8.5シナリオによる38のCMIP5モデルの同様の将来変化予測の場合も、類似の将来変化を示している(図3.1b)。

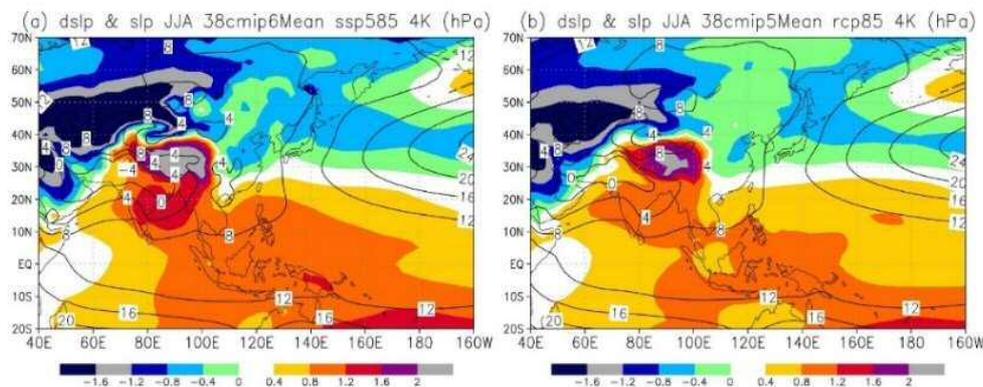


図3.1 (a) 38のCMIP6モデル平均の夏季(6月~8月平均)海面気圧配置の現在気候再現(等値線は1000hPaからの差を4hPa毎)とその21世紀末将来変化(カラーの陰影の単位はhPa)、(b) 38のCMIP5モデル平均の場合。

将来変化を予測する各気候モデルには不確実な過程が残るため、世界の研究機関による予測間には変化の傾向が異なるところがある。予測の信頼度も考えて利用するためには、予測の共通点とともに異なる点についても知っておく必要がある。この点を明らかにするために、38のCMIP6モデルが予測する38通りの海面気圧配置の変化の予測を東アジア(北緯10度から50度、東経110度から160度)で比較し、これに含まれる代表的な空間パターンを統計的直交関数(EOF)解析によって取り出した。第1モードから第6モードを図3.2a-fに示す。詳細は、Ose et al. (2022)²⁾を参照。

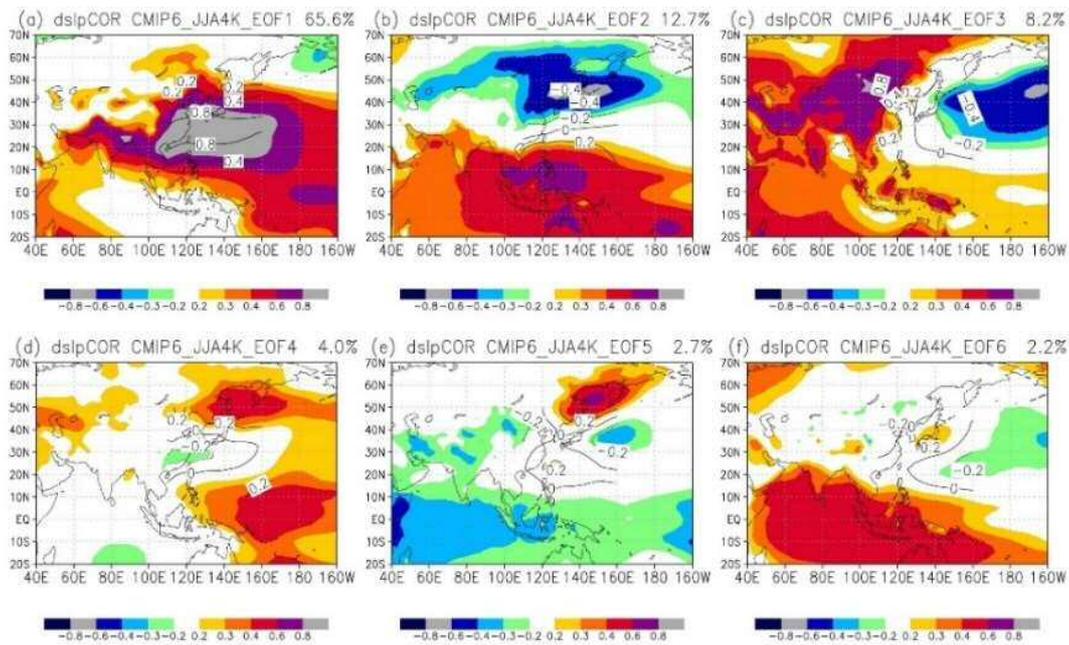


図3.2 夏季東アジアにおけるCMIP6海面気圧将来変化予測を構成する主要空間パターン。(a) カラーの陰影は、38のCMIP6モデル予測アンサンブルにおける、第1 EOFモード係数と世界の海面気圧将来変化との相関係数。等値線(-0.8, -0.4, -0.2, 0.0, 0.2, 0.4, 0.8hPa)は、標準偏差をかけた第1 EOFモードの空間パターンを定義域の東アジア域(北緯10-50度、東経110-160度)で示す。(b)-(f)は、(a)と同じ。ただし、第2 EOFモードから第6 EOFモードの場合。

図3.3a-fの白抜き棒グラフ(横軸番号1-38)は、38のCMIP6モデルの海面気圧将来変化パターンに図3.2a-fの各EOFモード(変化パターン)がどれくらい含まれているかを、ばらつきの標準偏差で規格化し定量的に示す。黒の棒グラフ(横軸番号0)は、38モデル平均の将来変化を示す。赤色の棒グラフ(横軸番号40-44)は、5つのCMIP6モデル(SACCESS-CM2、IPSL-CM6A-LR、MIROC6、MPI-ESM1-2-HR、MRI-ESM2-0で、詳しくはShiogama et al. 2021)¹⁾を示し、この5つのモデル平均を緑の棒グラフ(横軸番号45)が表す。黒と緑の棒グラフを比較し、また、白抜きと赤の棒グラフ間で上下のばらつきの程度を比べると、図3.2a-fの各EOFモードの空間パターンについて、5つのモデルからなる将来予測の小アンサンブルは、38のCMIP6の大アンサンブルと統計的に同じ程度に含んでいることがわかる。これは、38のCMIP6モデルによる将来の海面気圧変化パターンが表す地表面付近の風や雨や天候の将来変化を、統計的に同じ程度に5つのモデルが表現していることが期待される。図3.2a-cの比較的大きな空間パターンの第1 EOFから第3 EOFモードのみならず、図3.2d-fの第4から第6 EOFモードの細かな空間パターンまで統計的に適切に表現されている。

図3.2と図3.3から、北日本を中心に高気圧の北への張り出しが弱くなる変化パターンである第2モードは、ほとんどすべてのモデルによる将来予測で共通(図3.3bの棒グラフはほとんど正)して見られる将来変化パターンであることがわかる。高気圧が日本の南西を中心に強くなる第1モードや、夏の気圧配置に伴う南風が弱くなる第3モードは、各モデルの将来変化に含まれる符号(図3.3aと図3.3cの棒グラフの正負)がモデル間で一致していない。このように、38のCMIP6モデルの予測の幅は大きいですが、温暖化の影響を評価するために選択された5つのモデルは予測の幅を適切に表現していることが確認できた。

38のCMIP5モデルが予測する38通りの海面気圧配置の将来変化予測に対して、38CMIP6モデルと同じ方法で統計的直交関数(EOF)解析を行った結果(図3.8)と比較すると、第1モードから第3モードは、38のCMIP6(図3.2a-c)とCMIP5(図3.8b-d)間で1対1に対応する共通の将来変化パターンとしてみなせることがわかる。

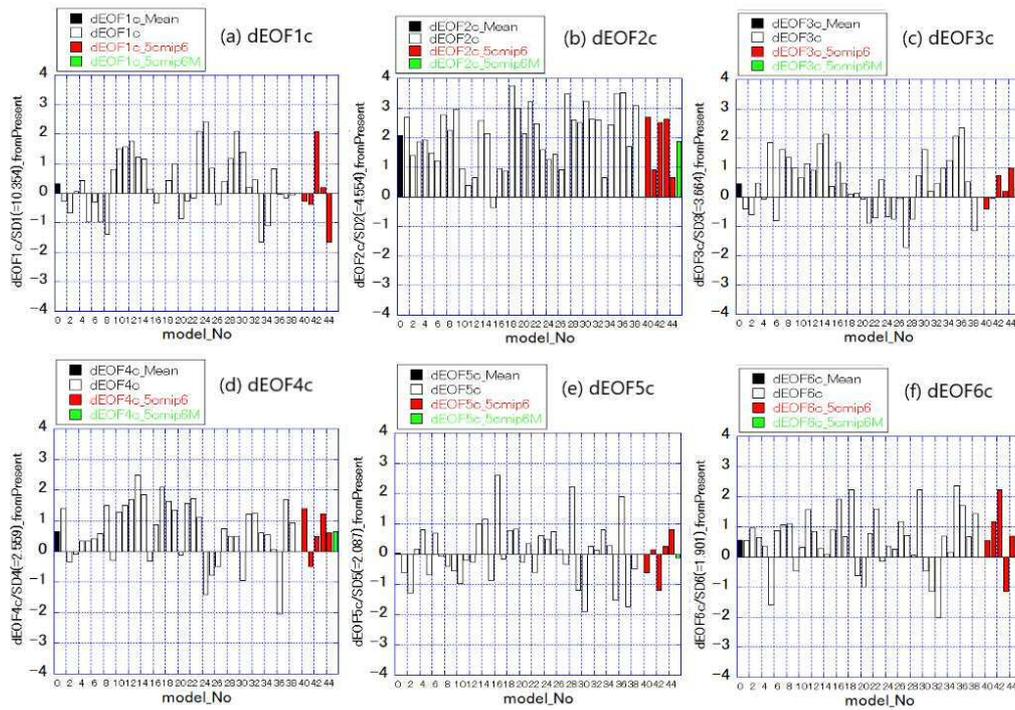


図3.3 CMIP6各モデルの海面気圧将来変化予測に含まれる主要空間パターン。(a) 白抜き
の棒グラフ(横軸番号1から38)は、38CMIP6各モデルの海面気圧将来変化予測パターンの、第1
EOFモード空間パターンへの射影値を表す。縦軸は第1 EOFモードが表現するばらつきの標準偏
差で規格化。黒棒グラフ(横軸番号0)は、38のCMIP6モデルの平均値。赤棒グラフ(横軸番号
40-44)は、Shiogama et al. (2021)¹⁾選択の5つのCMIP6各モデルの場合。緑棒グラフ(横軸
番号45)は、5つのCMIP6モデルの平均値。(b)-(f)は、(a)と同じ。ただし、第2 EOFから第6
EOFモードの場合。

2つのアンサンブルで統計的にも安定した将来変化モードとして、CMIP6アンサンブル予測の第1から第3モードを取り上げて、CMIP5の解析結果と共通した特徴に注目して各モードの成因を調査した。ここでは、鉛直1次元モデルの温暖化実験(Manabe and Weathersald, 1967)³⁾でも明瞭な基本的変化として、地上気温の昇温と対流圏内の静的鉛直安定度の増加に注目し、これらを大気循環の将来変化の成因として考えた。後者は、これまでの研究において現在気候の鉛直循環を抑制する効果として3次元予測実験の解釈の中で現れてくる(Held and Soden, 2006)⁴⁾。図3.4b-dは、モデルの将来予測に第1モードから第3モードがどれくらい含まれているかを表す分解係数と、世界各点の地上気温昇温量との相関係数を調べたものである。図3.5b-dは同様に、世界各点の500hPa面での鉛直速度変化との相関係数を示す。

図3.3bから確認できるように、第2モードはほぼすべてのCMIP6将来気圧変化に正符号で寄与していて、確実な将来変化パターンを表すが、図3.4bは、このモードと北半球の大陸上の地上気温の将来変化と高い相関があることを示すことから、この確実な将来変化モードは、北半球大陸およびその周辺海域の地表付近で、全球平均以上に強い昇温の結果生じた低圧変化が東アジア北部の日本付近まで広がっているためと成因を推定できる。

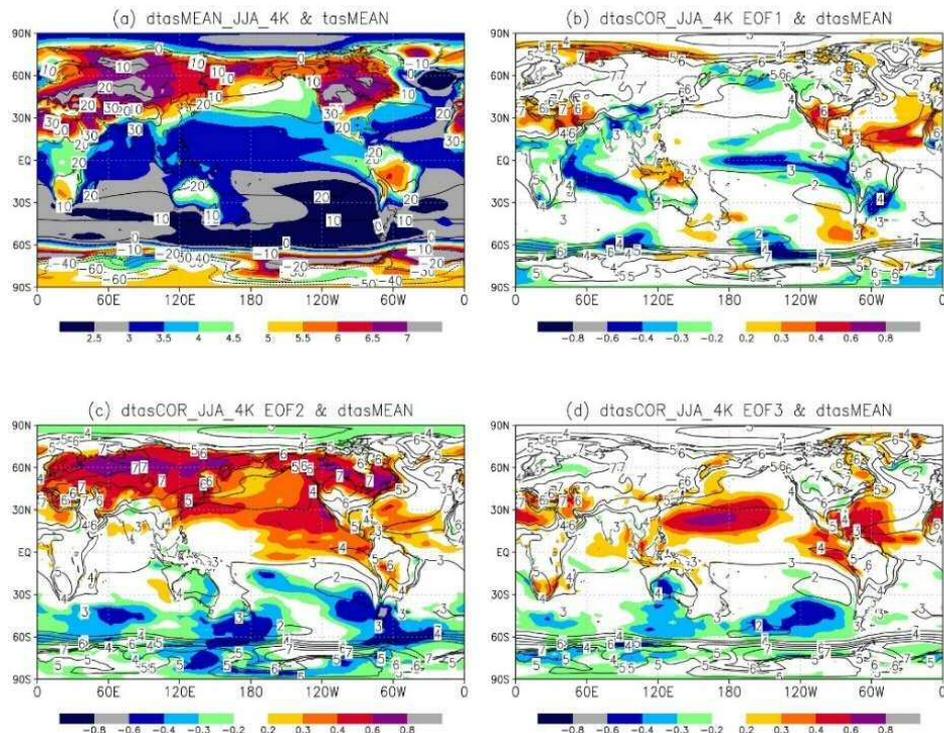


図3.4 夏季地上気温のCMIP6将来予測および東アジア気圧配置の将来変化各モードとの関係。(a) カラーの陰影は、38のCMIP6モデルによる地上気温将来変化予測のアンサンブル平均。等値線(10 °C毎)は、現在気候再現実験における地上気温(°C)再現分布を示す。(b) カラーの陰影は、38のCMIP6モデル予測アンサンブルにおける、第1 EOFモード係数と地上気温将来変化との相関係数。等値線(1 °C毎)は、38のCMIP6モデルによる地上気温将来変化予測のアンサンブル平均。(c)と(d)は、(b)と同じ。ただし、第2 EOFモードと第3 EOFモードの場合。

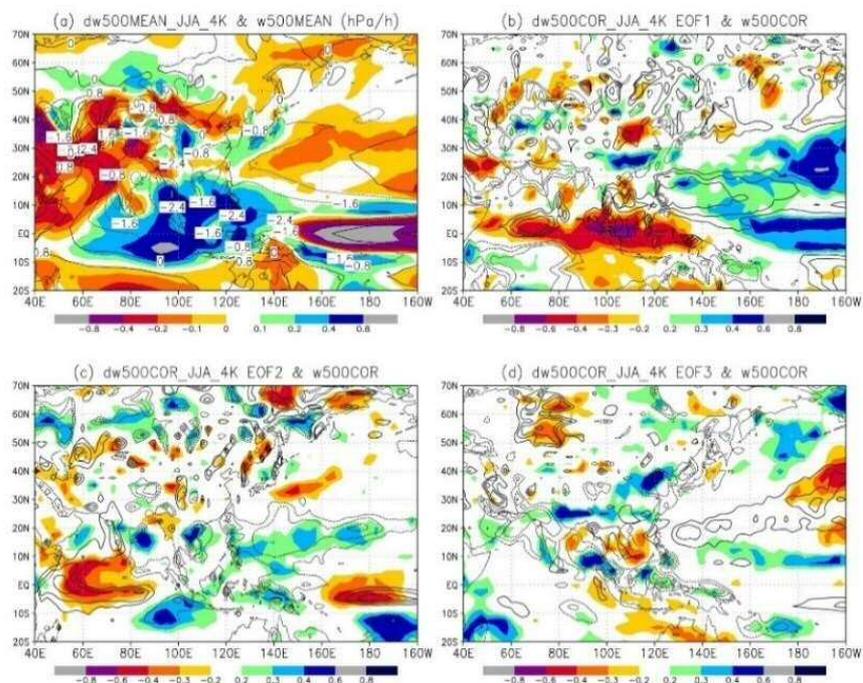


図3.5 夏季500hPa鉛直速度のCMIP6将来予測および東アジア気圧配置の将来変化各モードとの関係。(a) カラーの陰影は、38のCMIP6モデルによる500hPaにおける鉛直気圧速度(単位はhPa/hour)で、上昇は負値、下降は正值となる)の将来変化予測のアンサンブル平均。等値線(0.8hPa/hour毎)は、現在気候再現実験における500hPa鉛直気圧速度分布を示す。

図3.5 (続き) (b)カラーの陰影は、38のCMIP6モデル予測アンサンブルにおける、第1 EOFモード係数と500hPa鉛直気圧速度の将来変化との相関係数。等値線(0.2毎)は、38のCMIP6モデル予測アンサンブルにおける、第1 EOFモード係数と500hPa鉛直気圧速度の現在気候再現値との相関係数。(c)と(d)は、(b)と同じ。ただし、第2 EOFモードと第3 EOFモードの場合。

第1モードと第3モードは、アンサンブル実験の将来変化に寄与する符号がモデルで異なるため、主要ではあるが不確実な予測パターンであると考えられる。これらのモードと高い相関係数を示す地上気温の昇温量は、おおむね海洋上に限られている。ただ、これらの海洋上の相関係数分布も、CMIP5と比較すると大きく異なっている点があることがわかった(図略)。むしろ、共通する高い相関係数分布は、鉛直流の将来変化の分布に見られる(図3.5 bとd)ことがわかった。具体的には、第1(第3)モードは、地球温暖化で鉛直方向に安定化した大気をもたらす、インド洋の赤道域(北方域)での鉛直流抑制および太平洋の赤道域(北方域)での逆方向の鉛直流偏差が要因として考えられる。平たく表現すれば、第1モードはウォーカー循環の将来変化と、第3モードはアジアモンスーンの鉛直循環の将来変化が要因とみなせる。これらのモードの特徴は、CMIP5の解析結果と本質的に共通している。一方で、CMIP5の解析結果と異なっている第1モードや第3モードの海面水温偏差は、各モードのCMIP6とCMIP5間の2次的な水平分布の違いと関係していることがわかった。

さらに興味深いのは、不確実な将来変化のある部分は、現在気候における降水量再現性の系統的なモデル差異に原因を求めることができる。というのも、これが地球温暖化時に抑制される鉛直流分布を決めているからである。

(b) 南風モンスーンと平均降水量の将来予測

第5次結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP5)の将来予測(IPCC, 2013)⁵⁾では、夏季東アジアモンスーンの南風指数(SWI)は強まると報告されている。しかし、そのモデル間の差は平均に比べて相当大きい(図3.6)。ここで、南風指数SWIは、北緯10度から50度で平均した、東経160度上の海面気圧と東経110度上の海面気圧の差として定義されている。rcp8.5の21世紀末の全球平均昇温量を4度に規格化した解析においても、SWIのCMIP5モデル平均値は、モデル間のばらつきから来る不確実性と比較すると非常に小さい(図3.7a)。なぜSWIで代表される南風モンスーンの不確実性は大きいのかを調べるため、SWIを定義する夏季東アジア域の海面気圧配置の将来変化に対して経験直交関数(EOF)解析を適用し、アンサンブル平均(図3.8a)と5つの気圧主要変化パターンとしてEOFモード(図3.8b-f)を取り出して、考えられる要因を推定した。さらに、これに伴う降水量変化(図3.10)を検討した。詳細は、Ose et al. (2020)⁶⁾を参照されたい。

夏季東アジア域の海面気圧将来変化を比較すると、CMIP5アンサンブル平均(図3.1b)および第1 EOFから第3モード(図3.8b-d)は、CMIP6の解析結果(図3.1aおよび図3.2a-c)と類似している。なお、図3.8は、相関係数の計算では地上気圧変化を使っているため、図3.1や図3.2と比較する場合は、大陸上の特に高山域では注意が必要である。38のCMIP5モデルによる夏季アジア太平洋域における平均将来変化(図3.7a)は、おおむね第1モードから第3モードで構成されている。これらのモードの空間パターンの水平分布(図3.8b-d)からもわかるように、CMIP5アンサンブル平均で見ると、第1モード成分(図3.7b)と第2モード成分(図3.7c)は将来の南風強化に貢献するが、これは第3モード成分(図3.7d)によっておおむね打ち消される。さらに、図3.7aと図3.7dを比較してわかるように、南風将来変化の大きなモデル依存性は第3モードによって作り出されている。第3モードの空間パターンは夏季東アジアの気圧配置の弱い太平洋高気圧を表していて、CMIP6の解析結果と同様、北半球インド洋上での鉛直流の抑制と北半球太平洋での逆方向の鉛直流の将来変化が成因として考えられる(図略)。

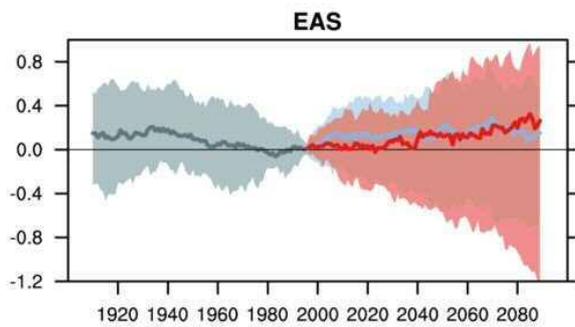


図3.6 CMIP5モデルアンサンブル予測における夏季東アジア南風指数 (SWI) の20世紀初頭からの過去再現と21世紀末までの将来変化の時間変化 (Fig. 14.5a of IPCC AR5⁵⁾を引用)。塗りつぶしと太線は确实性の幅とアンサンブル平均を表し、灰色、水色、赤色はそれぞれ、歴史実験、RCP4.5、RCP8.5を表している。

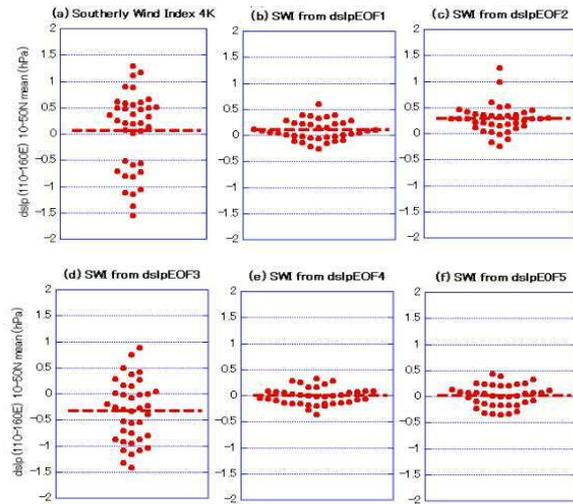


図3.7 38のCMIP5モデルによる夏季東アジアの南風指数の4K昇温時の将来変化。(a) 赤の各点は、38のCMIP5モデルによる21世紀末の夏季東アジア南風指数 (SWI) 将来変化で、横破線は、その平均値を示す。(b) 赤の各点は、38のCMIP5モデルによる21世紀末の夏季東アジア南風指数 (SWI) 将来変化のうち、第1EOFモードで表現される将来変化分。横破線は、その平均値。(c)-(f) 第2-第5 EOFモードの場合。

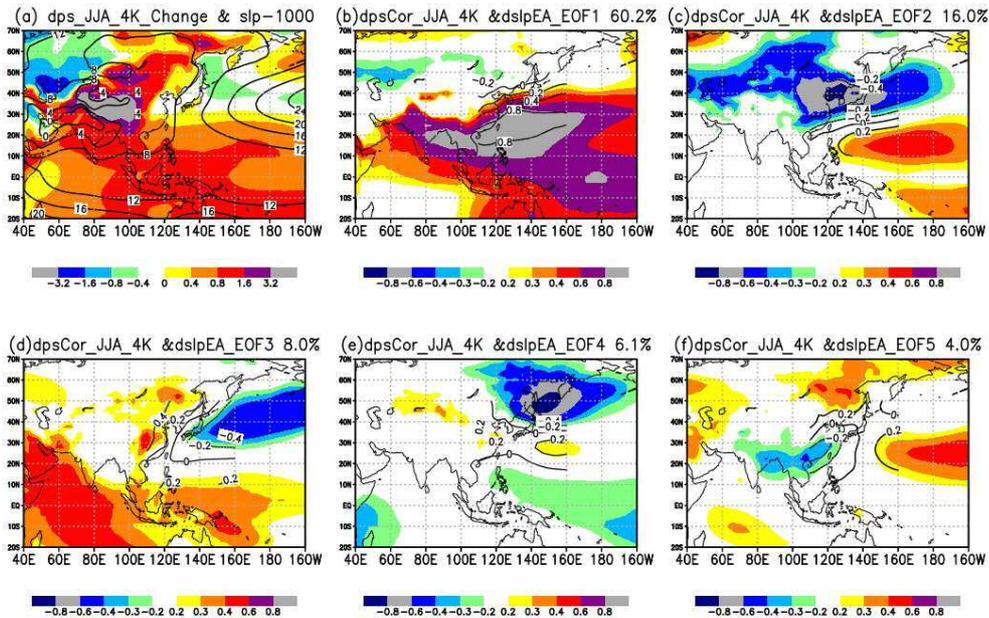


図3.8 38のCMIP5モデルによる、夏季東アジア海面気圧配置の将来予測とこれを構成する主要空間パターン。(a) 38のCMIP5モデル平均の夏季(6月~8月平均)の海面気圧配置の現在気候再現(等値線は1000hPaからの差を4hPa毎で表現する)と地上気圧の将来変化(陰影の単位はhPa)。(b) カラーの陰影は、38のCMIP5モデル予測アンサンブルにおける、第1 EOFモード係数と地上気圧将来変化との相関係数。等値線(-0.8、-0.4、-0.2、0.0、0.2、0.4、0.8hPa)は、標準偏差をかけた海面気圧第1 EOFモードパターンを、その定義域である東アジア域(北緯10-50度、東経110-160度)の範囲で示す。(c)-(f)は、(a)と同じ。ただし、第2 EOFモードから第5 EOFモードの場合。

地球温暖化時に生じる各モードに関係した鉛直流の抑制は、現在気候における鉛直流(すなわち降水量)分布を反映しているため、東アジアの南風モンスーン変化の強弱に関わる、第3モードの鉛直流の抑制と関係する、現在気候の南アジアから東南アジアの海洋上の現在気候の降水量が比較的少ない(多い)モデルは、第3モードの気圧配置将来変化が小さく(大きく)表れる傾向があり、この結果、将来の夏季東アジア南風指数の増加(減少)を予測する傾向を示すことがわかった(図3.9)。

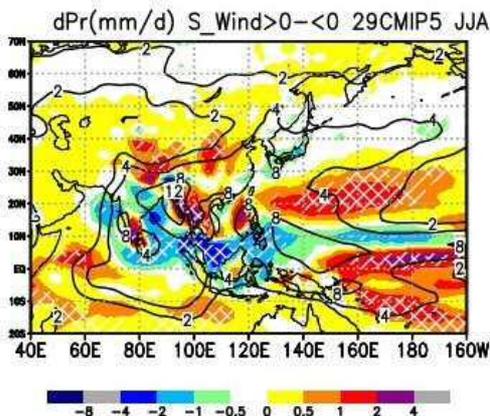


図3.9 夏季東アジアの南風指数将来変化の強弱と現在気候降水量分布の関係。熱帯のアジア太平洋域(南緯20度-北緯20度、東経40度-西経160度)でGPCP観測解析降水量と0.7以上の相関がある現在気候夏季降水量の再現性を持つ29のCMIP5モデルのうち、南風指数将来変化(図7a)が正の22モデルの現在気候夏季降水量と、負の7モデルの現在気候夏季降水量の差。斜線域は片側95%以上の信頼度で有意な差で、ハッチ域は片側97.5%以上の有意域。

図3.8e-fが示す、第4モードはオホーツク海高気圧を、第5モードは東アジア南部の海洋上における海面気圧の東西コントラストを表している。これらのモードの水平スケールは小さいが、日本域の降水量の将来変化と相関関係が高いことがわかる(図3.10e-f)。この事実は、降水量分布の将来変化に

は、第1モードから第3モードが示す、大きな空間スケールの気圧配置の将来変化のみならず、小さな空間スケールの気圧配置の将来変化も重要であることを示す。

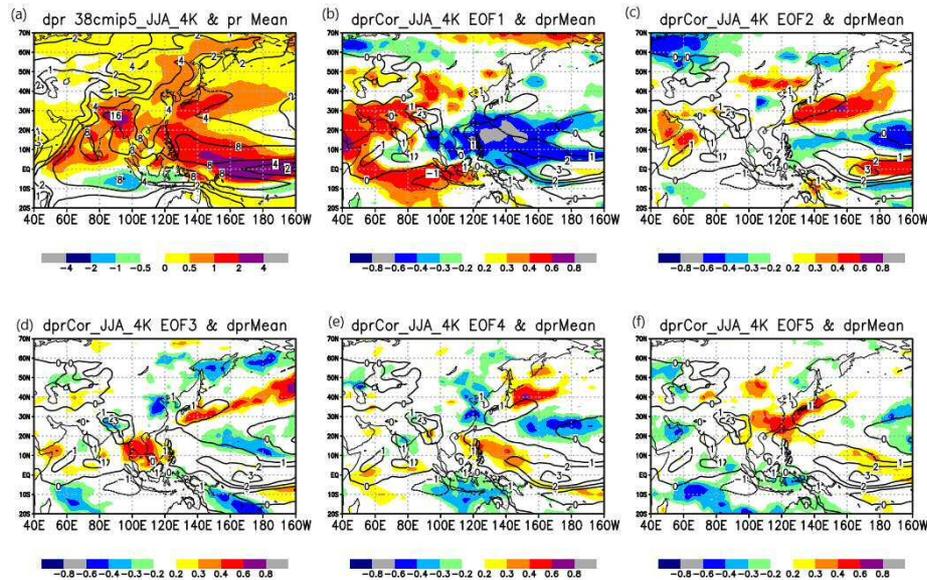


図3.10 38のCMIP5モデルによる夏季降水量の将来変化。(a)カラーの陰影(mm/day)は、38のCMIP5モデルによる降水量将来変化予測のアンサンブル平均。等値線(2, 4, 8, 16mm/day)は、現在気候再現実験における夏季降水量分布を示す。(b)カラーの陰影は、38のCMIP5モデル予測のアンサンブルにおける、第1 EOFモード係数と降水量将来変化との相関係数。等値線(-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3mm/day)は、38のCMIP5モデルによる降水量将来変化予測のアンサンブル平均(aのカラー陰影と同じ)。(c)-(f)は、(b)と同じ。ただし、第2 EOFモードから第5 EOFモードの場合。

(2) 夏季東アジア降水量のCMIP5/6予測の違い：ユーラシア大陸昇温との関係

夏季東アジアの降水量の将来変化について、CMIP5予測とCMIP6予測および両者の差を図3.11に示す。CMIP5/6予測を比較すると、東アジアではおおむね増加傾向が予測される点は共通だが、詳細な空間分布には違いが見られる。すなわち、CMIP6予測では大陸上で降水量増加が明瞭化する一方、海洋上(日本付近を含む)では降水量増加が抑制されている。また、梅雨降水帯の季節進行による北上がCMIP5予測よりも早まり、7月の降水量増加の中心は、CMIP5予測では海洋上に分布するがCMIP6予測では大陸上に分布する。降水量変化におけるCMIP5/6予測の違いは全球規模でも見られる(図3.12b)。CMIP6予測ではアジアや北アフリカの陸上モンスーン地域で降水量増加が強化している。一方で北西太平洋では降水量増加が抑えられている。

これらCMIP5/6予測の違いを説明する背景要因として、CMIP6予測におけるユーラシア大陸での大きな昇温が挙げられる(図3.12a)。温暖化に伴う気温上昇は一般的に海上よりも陸上で大きい、CMIP6モデルではその傾向が強まり、特にユーラシア大陸中高緯度で昇温量が増大している。CMIP5/6モデル(81モデル)を用いてアジアの海陸温度差変化と降水量変化の統計関係を調べると、得られた分布はCMIP5/6予測の差の分布と良く類似し(図3.12b, c)、アジアの海陸温度差変化と陸上モンスーン降水量変化には有意な正相関がみられた(図3.12d)。すなわち、CMIP6予測ではユーラシア大陸昇温による海陸温度コントラストの増大により、モンスーン循環が相対的に強化され、その結果、東アジアでは降水量増加域の中心が大陸上にシフトするとともに、梅雨降水帯の北上がCMIP5予測よりも早期化したと考えられる。

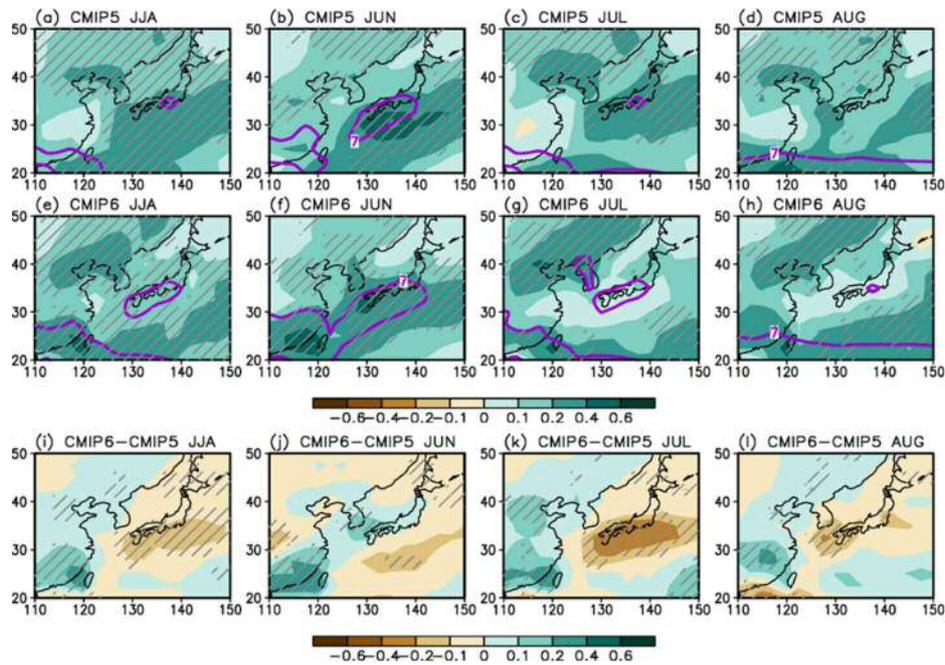


図3.11 降水量の将来変化（21世紀末と20世紀末の差）。左から順に6月～8月平均、6月、7月、8月。(a-d)CMIP5モデル平均（42モデル、RCP8.5シナリオ）、(e-h)CMIP6モデル平均（39モデル、SSP585シナリオ）、(i-l)CMIP6平均とCMIP5平均の差。太線：現在気候の7mm/d等値線、斜線：(a-h)80%以上のモデルで将来変化の符号が一致、(i-l)信頼度95%以上で有意な偏差。全球1℃昇温相当に規格化して示す。単位はmm/d。

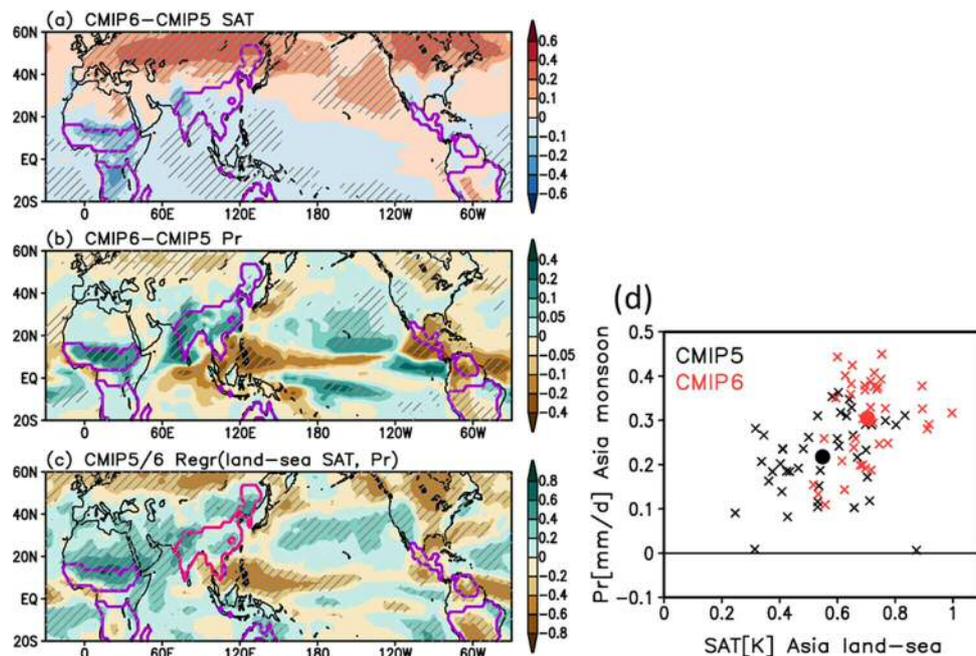


図3.12 (a)地上気温および(b)降水量の将来変化におけるCMIP6平均とCMIP5平均の差。(c)CMIP5/6モデル(81モデル)における降水量変化のアジア海陸温度差変化からの回帰係数。アジア海陸温度差は、45E-180E, 30N-60Nの陸域と45E-180E, 10S-60Nの海域の地上気温差として定義した。(d)アジア海陸温度差変化(横軸)とアジア陸上モンスーン領域((c)でマゼンダ色の太線で囲まれた領域)の降水量変化(縦軸)の関係。いずれも、6月～9月平均、全球1℃昇温相当に規格化して示す。(a-c)斜線は信頼度95%以上で有意な偏差、太線で囲まれた地域は陸上モンスーン領域(観測データで①雨季(5～9月)と乾季(11～3月)の降水量差が2.5mm/d以上かつ②雨季降水量が年間降水量の55%以上の陸域)。

(3) 北西太平洋及び東アジアの異常天候に関する熱帯海洋の影響の解析

(a) 令和2年の活発な梅雨に熱帯インド洋が与えた影響

まず、使用する季節予報モデルが、過去30年間（1981年～2010年）、毎年4月末の時点でその年の6～7月の梅雨・メイユ域の降水をある程度適切に予測できる能力があることを確認した上で、2020年の梅雨期の予測実験を行った。

2020年4月末を初期値とする予測実験では、梅雨・メイユ域の多雨を観測と同様に捉えていた他、多雨の要因と考えられる亜熱帯高気圧の南西への張り出し等、観測された大気循環を再現していた。一方、熱帯インド洋域の海面水温を気候値に緩和し、人為的に高い海面水温の状態を除いた実験では、これらの観測された循環場が再現されないことを確認した。さらに、大気と海洋の解析値を用いた解析により、2019年秋に発生した強い正のインド洋ダイポールモード現象が熱帯インド洋の昇温をもたらす以下の一連のメカニズムがわかった（図3.13）。① 2019年秋の正のインド洋ダイポールモード現象に続いて、インド洋全域、特に北インド洋の海面水温が高い状態になった。② 熱帯インド洋南西部及び東部、アラビア海で対流活動が活発化した。③ ソマリア沖から東南アジアにかけての風の流れ（モンスーン循環）が弱化した。④ 太平洋高気圧が南西方向に張り出した。⑤ 中国東部から日本にかけて南西風が強まり、水蒸気の輸送が増えた。⑥ 梅雨が活発化した。

これらの結果は、エルニーニョ現象を伴わない正の強いインド洋ダイポールモード現象が翌夏のインド洋の昇温及び東アジア域の梅雨・メイユの活発化等の異常天候を引き起こしうることを示す。温暖化予測によると顕著なダイポール現象の発現が増えることが指摘されている。本結果を踏まえると、将来の顕著なダイポール現象が東アジア域の翌夏の異常天候を引き起こす可能性があるため、今後、更なる研究が必要である。

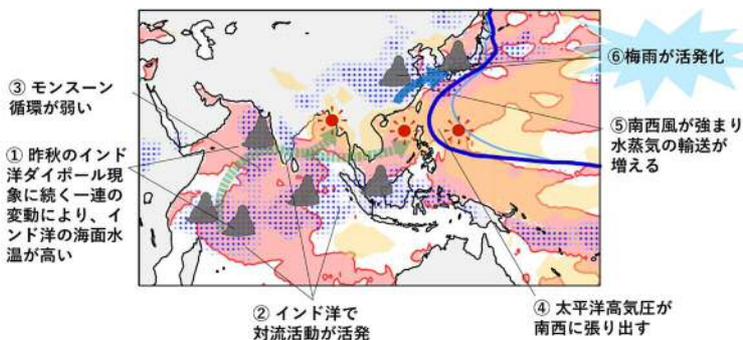


図3.13 インド洋に関連する令和2年梅雨の活発化をもたらした要因の模式図。赤色は海面水温が平年より高い海域、青点は降水が活発な領域（雲のマーク）、黄色は降水が不活発な領域（晴れのマーク）を示す。緑色の破線矢印はモンスーン循環が弱いことを、水色の矢印は水蒸気の輸送が平年より多いことを示す。濃い青色線は、令和2年6月～7月の太平洋高気圧の縁の位置、水色線は平年の位置を示す。

(b) 北熱帯大西洋変動による北西太平洋モンスーンへの影響

北熱帯大西洋の海面水温緩和実験と標準実験（緩和無し実験）を比較することで、以下のことが明らかになった。2010年夏には、従来指摘されていた、インド洋の高温な海面水温に加え、顕著に高温であった北熱帯大西洋の海面水温の影響が北西太平洋モンスーンに働いていたことがわかった。このメカニズムには、大気ケルビン波を介した東向き影響と、ウォーカー循環とラニーニャ現象への遷移の強化を

介した西向き影響があった。このことは、東アジア域に近い熱帯太平洋やインド洋だけでなく、熱帯大西洋の影響も夏季アジアモンスーンに及ぶことを意味する。さらに、北熱帯大西洋の海面水温の過去数十年の顕著な昇温に伴い、十年規模変動による成分も夏季アジアモンスーンの変動に寄与していたことがわかった。このように、熱帯海洋間の海盆間相互作用は温暖化時においても作用すると考えられ、熱帯の海盆毎の昇温パターンの違いが、温暖化時の夏季アジアモンスーンの変化を説明する可能性を示唆するものである。

(4) 熱帯アジアモンスーンの降水活動と日本の夏の天候の関係

コンポジット解析により、6月後半から8月前半の約15日ごとにフィリピン周辺域での対流活動に対する日本付近の高気圧の発達を調べた。また、北西太平洋上のモンスーントラフと呼ばれる熱帯擾乱発生域の活発度合い（東への広がり具合）を調べ、2018年の猛暑のときのフィリピン周辺域の対流活発化について調査した。

日本の猛暑を引き起こす原因となるPJパターンについて、フィリピン周辺域の対流活動による中緯度への影響の季節変化を調べた(図3.14)。6月後半から8月前半のどの時期においても、フィリピン周辺域の対流活動が活発なときには、日本やその南東の海洋上に高気圧性偏差が出現した。その中で、7月後半に日本の広範囲を覆うような高気圧性循環強化の応答が見られた。これは、平均場の太平洋高気圧が平年よりも強化され、日本が晴天となり、猛暑となりやすいことを示している。つまり、フィリピン周辺域の対流活動活発期が7月後半に重なると、日本はPJパターンの影響を受けやすい。

これには、背景場である夏季アジアモンスーンの大規模循環場の季節進行が関連している。7月後半は、15日程度の月平均よりも短い時間スケールで捉えられる気候学的な季節変化として、中緯度の太平洋高気圧と熱帯西太平洋域のモンスーントラフが同時に急激に発達する時期であるので、気候学的大規模循環場の季節進行がPJパターンのような空間構造となる。そのため、背景場の急激な季節変化とその年の対流活動の波が重なり合うと、2018年の様な猛暑となりやすいと考えられる。

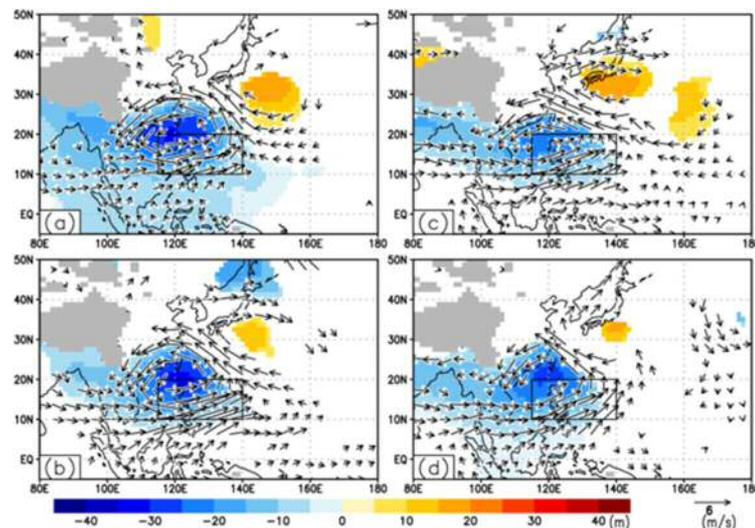


図3.14 (a) 6月後半 (b) 7月前半 (c) 7月後半 (d) 8月前半の850-hPaジオポテンシャル高度 (色)

と水平風 (ベクトル) に関するフィリピン周辺域 (10° - 20° N, 115° - 140° E) の擾乱活動が活発な年と不活発な年の差のコンポジット (有意水準10%)。1981-2018年において、フィリピン周辺域の外向き長波放射量が低かった (高かった) 5年を活発 (不活発) な年とした。季節変化は取り除いている。

2018年7月中下旬のモンスーントラフは、北西太平洋上で平年より東に張り出していて、活発な熱帯擾乱活動が期待される状況であった。実際に、モンスーントラフ上の対流活動を伴いながら西進する熱帯低気圧や熱帯擾乱が多数発生していたことが確認され、フィリピン付近の対流活動の活発化に寄与し

ていたと考えられる。よって、熱帯アジアモンスーンの観点から見ると、2018年の日本の猛暑は、PJパターンを示した年々変動成分と気候学的な季節進行の位相が一致したことで猛暑となったと考えられる。

また、長期変化に関しても、日本を含む東アジアに自然災害を引き起こす梅雨前線の降水活動が最近10年間は、豪雨の頻度の増加など、非常に活発であることが、明らかになった。人工衛星の降雨レーダのデータを用いて、日本を含む東アジアモンスーン域における、梅雨期の降水量変動の長期変化について詳細に解析した結果、最近11年間（2009年～2019年；2010年代）の梅雨前線帯における降水活動が、その前の11年間（1998年～2008年；2000年代）よりも活発である、という観測結果が得られた（図3.15）。これは、近年頻発する梅雨期の気象災害に強く関連していると思われる。

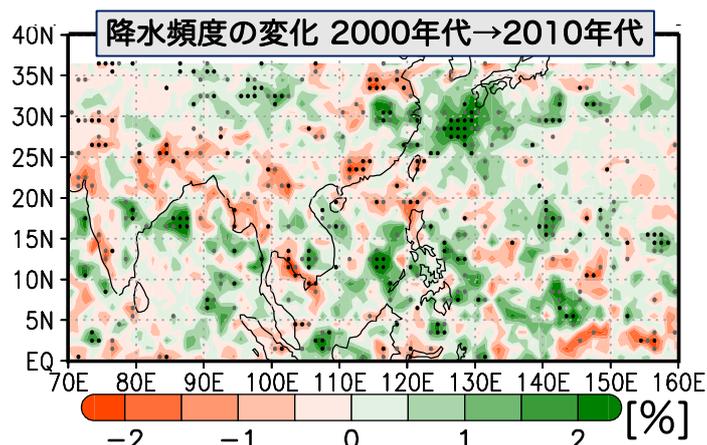


図3.15：TRMMおよびGPM衛星の観測による、1998年～2008年と2009年～2019年の各11年平均の降水頻度の差。単位は%。緑色（オレンジ色）は、降水活動が活発化（不活発化）していることを示す。図中の黒丸（灰色の丸）は、平均値の差が有意水準95%（90%）で統計的に有意であることを示す。北緯36度以北は、TRMMでは軌道外で観測していないため、差が計算できない。

梅雨前線の活発化がどのような大気の流れの変化によってもたらされるのかを理解するために、最近約20年間の梅雨期の大気の流れも解析した結果、2010年代は2000年代に比べて、2つの傾向が顕著に見られた。それは、（1）太平洋高気圧の東縁に沿った、南からの水蒸気輸送の強化、と（2）亜熱帯ジェット気流上の波動による、朝鮮半島～東シナ海上空での大気的不安定化などである。2020年の梅雨期にも、これら2つの特徴が明瞭に観測されていた。このことから、梅雨前線の活発化は、令和2年7月豪雨（2020年）など、最近の梅雨期の気象災害の頻発に強く関連している可能性がある。

5. 研究目標の達成状況

研究目的に掲げた4つのテーマは、全て研究が完了し、うち3つは査読付き論文として既に公表されており、目標は達成された。以下にそのまとめを、記載する。

将来変化を予測する各気候モデルには不確実な過程が残るため、世界の研究機関による予測間には変化の傾向が異なるところがある。予測の信頼度も考えて利用するためには、予測の共通点とともに異なる点についても知っておく必要がある。この点を明らかにするために、CMIP6モデルおよびCMIP5モデルが予測する多数の夏季東アジア海面気圧配置の将来変化を比較し、これに含まれる代表的な空間パターンを統計的直交関数（EOF）解析によって取り出した。このストーリーラインアプローチの予測解析結果をもとに、大陸昇温が要因の確実な海面気圧将来変化パターンや、夏季降水量変化やモンスーンの不確実性の要因を特定した。

夏季東アジアの降水量の将来変化についてCMIP5予測とCMIP6予測を比較した。東アジアではおおむね増加傾向が予測される点は共通だが、CMIP6予測では大陸上で降水量増加が明瞭化する一方、海洋上（日本付近を含む）では降水量増加が抑制されていた。この背景要因について検討したところ、CMIP6モデルが予測するユーラシア大陸の大きな昇温の影響が示唆された。すなわち、ユーラシア大

陸昇温による海陸温度コントラストの増大により、モンスーン循環が相対的に強化され、その結果、東アジアでは降水量増加域の中心が大陸上にシフトしたと考えられる。

季節予報モデルを用いた海面水温感度実験を用いて、令和2年7月豪雨(2020年)に関連した活発な梅雨活動に対するインド洋の影響メカニズム、及び、平成22年(2010年)夏の夏季アジアモンスーンに対する北熱帯大西洋の影響メカニズムについて調査した。これらの解析により、アジア域の夏季の年々変動に対する熱帯太平洋、大西洋及びインド洋の海盆間相互作用による遠隔影響メカニズムが明らかになった。温暖化による異常天候の発現は、長期的な気候平均場の変化に加え年々変動の変調を通じて生じると考えられるため、得られた知見は温暖化時の東アジア域の異常天候の変化の理解に資すると期待される。

「2018年の日本の高温現象発生に、ASM循環場の発達期である7月後半という時期が関係していたか」を調べるべく、1981年から2018年までの期間で、約15日という時間スケールで、PJパターンとASMの季節進行の関連についてコンポジット解析した。その結果、PJパターンを示した年々変動成分と気候学的な季節進行の位相が一致したことで猛暑となったと考えられる。また、近年の梅雨期の気象災害の頻発が実際に起きているのかどうかを明らかにするために、梅雨期の降水量の長期変化を衛星間総降水量から調べ、最近11年間(2009年～2019年；2010年代)の梅雨前線帯における降水活動は活発化しており、要因として南からの水蒸気輸送の強化、亜熱帯ジェット気流上の波動による、朝鮮半島～東シナ海上空での大気的不安定化が挙げられる。

6. 引用文献

- 1) H. SHIOGAMA, N. N. ISHIZAKI, N. HANASAKI, K. TAKAHASHI, S. EMORI, R. ITO, T. NAKAEGAWA, I. TAKAYABU, Y. HIJIOKA, Y. N. TAKAYABU and R. SHIBUYA: SOLA, 17, 57-62, doi:10.2151/sola.2021-009 (2021)
Selecting CMIP6-Based Future Climate Scenarios for Impact and Adaptation Studies.
- 2) T. OSE, H. ENDO, Y. TAKAYA, S. MAEDA and T. NAKAEGAWA: J. Meteor. Soc. Japan, 100, doi:10.2151/jmsj.2022-032 (2022)
Robust and Uncertain Sea-Level Pressure Patterns over Summertime East Asia in the CMIP6 Multi-Model Future Projections.
- 3) S. MANABE and R. T. WEATHERALD: J. Atmos. Sci., 24, 241-259 (1967)
Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity.
- 4) I. M. HELD and B. J. SODEN: J. Climate, 19, 5686-5699 (2006)
Robust responses of the hydrological cycle to global warming.
- 5) T. F. STOCKER, D. QIN, G. K. PLATTNER, M. TIGNOR, S. K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX and P. M. MIDGLEY (eds.): Cambridge University Press, Cambridge, pp.1535 (2013)
IPCC, 2013: Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
- 6) T. OSE, Y. TAKAYA, S. MAEDA and T. NAKAEGAWA: J. Meteor. Soc. Japan, 98, 927-944, DOI:10.2151/jmsj.2020-047 (2020)
Resolution of summertime East Asian pressure pattern and southerly monsoon wind in CMIP5 multi-model future projections.

Ⅱ-4 温暖化に伴う日本域の異常天候に関するストーリーラインの影響評価・適応研究への連携研究

国立研究開発法人国立環境研究所

地球システム領域	江守 正多
地球システム領域 地球システムリスク解析研究室	塩竈 秀夫
気候変動適応センター	肱岡 靖明
気候変動適応センター 気候変動影響評価研究室	花崎 直太
気候変動適応センター 気候変動影響評価研究室	石崎 紀子
社会システム領域	高橋 潔

<研究協力者>

地球システム領域 地球システムリスク解析研究室	廣田 渚郎
地球システム領域 地球システムリスク解析研究室	林 未知也 (令和2年度～令和3年度)
地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室	MELNIKOVA Irina (令和2年度)

[要旨]

サブテーマ4は、影響評価・適応研究との連携推進を目的としている。まず影響評価研究者へのヒアリングを行い、日本域で注目すべき異常天候現象や、影響評価モデルの入力データとして重要な気候変数に関する情報を抽出し、課題全体で共有した。また第2次気候変動影響評価報告書の主要な根拠となった影響評価研究プロジェクト推進費S-8で利用されたCMIP5の4つの代表気候モデル(GCM)の妥当性を検討し、日本域の日射量将来変化に関してCMIP5アンサンブル全体の不確実性幅を適切にカバーできていないことを発見した。これは、日射量変化に敏感な影響評価結果に深刻な偏りをもたらすことを示唆している。このような問題を解決すべく、影響評価モデルの入力データとしてよく使われる8つの気候変数に関して、CMIP6 アンサンブルの不確実性を適切にカバーする少数の代表GCMを選択する手法を開発した。選択された5つの代表GCMの気候シナリオデータは国立環境研究所のA-PLAT-Proから公開され、推進費S18と国立環境研究所・気候変動適応研究プログラムの共通気候シナリオとして、次期の気候変動影響評価報告書に向けた数多くの影響評価・適応研究で現在利用されている。文科省・気象庁の気候予測データセット2022の重要な構成要素としても採用される予定である。また共通気候シナリオを用いた影響評価結果の解釈の助けとなるように、5つの代表GCMのCMIP6 アンサンブル内での位置づけを示した。さらに全球平均気温変化のばらつきを考慮するだけで不確実性幅をカバーできる変数と、そうでない変数を明らかにした。

1. 研究開発目的

影響評価・適応研究や国や地域適応策検討ではGCM予測実験データに基づく気候シナリオを利用するが、複数のGCM間で予測に差があるため、多数のGCMのデータを用いて不確実性を議論する必要がある。しかし影響評価・適応研究では、研究資源の制約などから少数の気候シナリオしか利用できない場合が多く、また政策決定者も少数の影響評価結果を提示されること好む傾向がある。少数の代表GCMの気候シナリオしか用いない場合、不確実性幅の過小評価や偏りがもたらされる懸念があるが、これまでは予測の専門家ではない影響評価研究者がモデル選択も担当してきたため、その妥当性は十分に検討されてこなかった。またそれらの代表GCMの予測がどのような特質を持っているかも、十分に調べられてこなかった。サブテーマ4は、気候変動予測研究者と影響評価・適応研究者との連携を推進し、より適切な気候変動予測情報を影響評価・適応研究に提供するために設定された。

2. 研究目標

影響評価研究者へのヒアリング等を通じて、日本域の適応策検討において優先的なターゲット現象の抽出を行い、ストーリーラインの構築に貢献する。既存の気候シナリオをストーリーラインにマッピングして妥当性について検証するとともに、今後の影響評価・適応研究での気候シナリオの選択・開発について指針を提案する。

3. 研究開発内容

- (a) まず日本域の気候変動影響の大小を強く左右する気候変数や気象現象は何かを明らかにするために、水環境・水資源、農業、人間健康、防災、国民生活・都市生活、自然生態系の6分野9名の影響評価研究者にインタビューを行った。
- (b) 過去の影響評価研究プログラム推進費 S-8 は CMIP5 アンサンブルの中の 4GCM (MRI-CGCM3.0, MIROC5, GFDL CM3, HadGEM2-ES) を共通気候シナリオとして定め、その後の地域適応コンソーシアムなどの多くの影響評価研究プロジェクトが同じ GCM を影響評価に用いてきた。しかし、その 4GCM の選択方法の妥当性に関しては十分に検討されてこなかった。我々は日本の日射量変化予測に関して、4GCM が CMIP5 アンサンブルの不確実性幅を適切にカバーしているかどうかを検証した。
- (c) 推進費 S-18 (2022-24年) などの現在進行中の影響評価研究プロジェクトで使用される共通気候シナリオを作成するために、CMIP6アンサンブルの不確実性幅を適切にカバーする少数(5つ)の代表 GCM を選択する手法を開発した。
- (d) (c) で選択した5つの代表 GCM が、複数の変数に関して CMIP6 全体の中でどのような位置づけにあるのかを調べた。
- (e) 全球平均気温変化のばらつきだけで、どの変数の不確実性幅をカバーできるか、またはできないのかを調査した。

4. 結果及び考察

(a) 6分野9名の影響評価研究者へのインタビューから、暑さ寒さに敏感な影響指数が多いことを明らかにした。また降水(防災、水環境・水資源)、強風(防災、国民生活・都市生活、自然生態系)、台風(防災、自然生態系)など分野ごとに重要な気象現象を抽出した(表4.1)。さらに影響評価モデルの入力データとしてよく利用される8つの気候変数(日最高気温、日平均気温、日最低気温、降水量、相対湿度、地上風速、短波放射、長波放射)をリストアップした。この成果は、課題全体に報告し、研究ターゲットの選択のための参考情報とした。

		水環境・水資源	農業等（畜産）	国民生活・都市生活	人間健康
1. 影響指標（研究対象となる将来の影響）は何か		<ul style="list-style-type: none"> 水の需要と供給バランス（水資源、人工水源、河川流量、地下水、再生水、農業・工業・生活用水、環境用水） 水循環（河川流量、氾濫面積、濁水） 	<ul style="list-style-type: none"> 乳用牛、肉用牛、ブタ、産卵鶏、ブロイラーへの暑熱影響 	<ul style="list-style-type: none"> 都市街区スケールにおける暑熱による影響（熱中症による搬送者数） 	<ul style="list-style-type: none"> 健康被害への影響：低栄養、下痢、熱ストレス、マラリアやデング熱（動物媒介感染症）、沿岸洪水、河川洪水
影響指標を計算する際に必要となる気象に関する入力変数	共通	【日別値】 <ul style="list-style-type: none"> 気温 降水量 相対湿度 風速 気圧 下向き長波、上向き長波 	【日別値】 <ul style="list-style-type: none"> 気温 相対湿度 	【日別値】 <ul style="list-style-type: none"> 最高気温 相対湿度、湿球温度 風向風速 下向き短波、長波 	【日別値】 <ul style="list-style-type: none"> 気温（最高/平均） 降水量 相対湿度 風速 気圧 下向き短波、長波
	その他	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 可能な場合、特別値も参考にしている。 気温、湿度のみ使用可能な場合は、WBGTではなく、不快指数を算出 	【月平均値（動物媒介感染症）】 <ul style="list-style-type: none"> 日最低気温 降水量
入力変数に用いられる時期		通年	6～9月	6～9月	通年
気候変動に関連し、どのような時期（季節）どのような場所（地域）で、どのような影響・リスクを注視しているかその影響・リスクの大きさを強く左右する気候変数や気象現象は何か		<ul style="list-style-type: none"> 日本：春先（融雪期）、入梅時期、干ばつや濁水のリスク 雨季の安定した降雨の有無、高温の影響を受ける。 	<ul style="list-style-type: none"> 西日本（九州、中国四国）：夏季 極端な高温と継続性の影響が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> 大都市：夏季期間ではなく、dailyの人の健康への暑熱リスク（救急搬送者） 山地や農地：夏季フェーン現象（daily）による稲の白化 冬季のフェーン現象による大火事：2016年糸魚川、1950s鳥取 フェーン現象は、気温が高く、風が強く、湿度が低いと暑熱リスクが高まる。 	<ul style="list-style-type: none"> 都市部：夏季人口密集地は考慮すべきだが、現状は特に指定していない。 熱波へ影響するジェット気流の位置や、干ばつや飢饉に影響するENSO

		防災		自然生態系		
1. 影響指標（研究対象となる将来の影響）は何か		<ul style="list-style-type: none"> 洪水災害、土砂災害、高潮災害および洪水と高潮の複合災害（被害額） 	<ul style="list-style-type: none"> 海面上昇、高潮、波浪、砂浜への影響（高潮は被害額） 高潮や波浪への影響は、特に台風や冬季の爆弾低気圧に着目 	<ul style="list-style-type: none"> 松枯れの拡散と危険域 乾燥化による森林の減少 竹林の分布可能域の変化 	<ul style="list-style-type: none"> 日本周辺海域（EEZ）のサンゴ（熱帯/温帯）や海藻分布への影響 ウニやアイゴ（食害） サンゴに棲む小型の魚の分布（2次的な影響） 	<ul style="list-style-type: none"> 植物分布（フナなど） 樹木（年輪）の生長量 フェノロジー（高山帯植物の紅葉や落葉、展葉時期等） 植物種の多様性（構成樹種の組成変化） 潜在分布域（高山植物の開花時期や見頃、山菜の潜在分布域）
影響指標を計算する際に必要となる気象に関する入力変数	共通	【特別値（洪水/土砂）】 <ul style="list-style-type: none"> 降水量（時間/24時間） 【特別値（高潮）】 <ul style="list-style-type: none"> 気圧 	【特別値（高潮/波浪）】 <ul style="list-style-type: none"> 気圧 風速 	【月平均値】 <ul style="list-style-type: none"> 気温 降水量 	【月平均値】 <ul style="list-style-type: none"> 海水温 	【月平均値】 <ul style="list-style-type: none"> 気温 降水量
	その他	<ul style="list-style-type: none"> 洪水は、24時間降水量から年最大降水量を計算し、10年/30年/50年/100年/200年確率降水量を算出 	【月平均値（海面上昇）】 <ul style="list-style-type: none"> 海水温 海水密度 【月平均値（台風/爆弾低気圧）】 <ul style="list-style-type: none"> 3次元の温度分布 水蒸気量 温位 海水温 	-	【日別値（サンゴ）】 <ul style="list-style-type: none"> 海水温 	【日別値（フェノロジー）】 <ul style="list-style-type: none"> 気温（最低/平均） 降水量 下向き短波 【特別値（樹木の生長量）】 <ul style="list-style-type: none"> 気温 降水量 下向き短波、長波 比湿 風速 雲被率
入力変数に用いられる時期		通年	通年	通年	通年	通年
気候変動に関連し、どのような時期（季節）どのような場所（地域）で、どのような影響・リスクを注視しているかその影響・リスクの大きさを強く左右する気候変数や気象現象は何か		<ul style="list-style-type: none"> 沿岸低平地の都市部：年間通じた24時間最大降雨量 佐賀：洪水と高潮の複合災害リスク（主に台風） 	<ul style="list-style-type: none"> 沿岸の3大都市（東京、名古屋、大阪）：通年 熱帯低気圧、台風がリスクを左右する。 気象現象の変動、バイアスを注視している。 	<ul style="list-style-type: none"> 日本：初夏から秋まで（植物の生長期）における気温と降水 北海道、九州：台風による倒木（過去被害あり） 青森、長野：松枯れの北限、高標高域の最前線 	<ul style="list-style-type: none"> 日本：分布の辺縁部の変化 サンゴの南限は黒潮に面した九州（北部除く） 四国沿岸部 北の海藻の北限は北海道西部～青森 海水温変化による影響が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> フナの北限分布、中部山岳地域における多様性の変化、内陸部と沿岸部の違い等、分布の辺縁（marginal）域 高山帯：北アルプスと南アルプス、旭岳（大雪山）の3エリア 紅葉具合については、寒さの積算気温や、展葉日の時期（融雪日と相関あり）の影響が大きい。

表4.1 水環境・水資源、農業、人間健康、防災、国民生活・都市生活、自然生態系の6分野9名の影響評価研究者へのインタビュー結果。

(b) CMIP5アンサンブルを分析した日本の気温変化と降水量変化に関する研究は多いが、これまで日射量変化に関する研究はほとんどなかった。我々はCMIP5 GCMのRCP2.6実験（2℃目標相当）とRCP8.5実験（最悪排出シナリオ）における日本域の日射量変化予測を調べた（図4.1）。どの季節においても、ほとんどのGCMで日射量が増加していた。これは、日本の上空のジェット気流の位置が温暖化時に移動し、低気圧の経路が変わって雲量が減ることで日射が地上に届きやすくなるためである（図4.2）。またS-8共通気候シナリオの4GCMは、春の日射量変化の不確実性幅の下半分、夏・秋の上半分しかカバーしていないことが分かった（図4.1）。この結果は、第2次気候変動影響評価報告書の根拠になっている多くの影響評価モデル研究において、日射量変化予測の不確実性幅を十分に網羅できていなかったこと

を意味している。そのため、日射量変化に敏感な分野の影響評価結果には大きな偏りがあることが懸念される。このようにS-8共通気候シナリオの4GCMの日射量変化に偏りが生じた原因は、日本域の気温変化と降水量変化のばらつきだけを考慮して代表GCMが選択されたためである。この成果は、学術論文として出版された¹⁾。

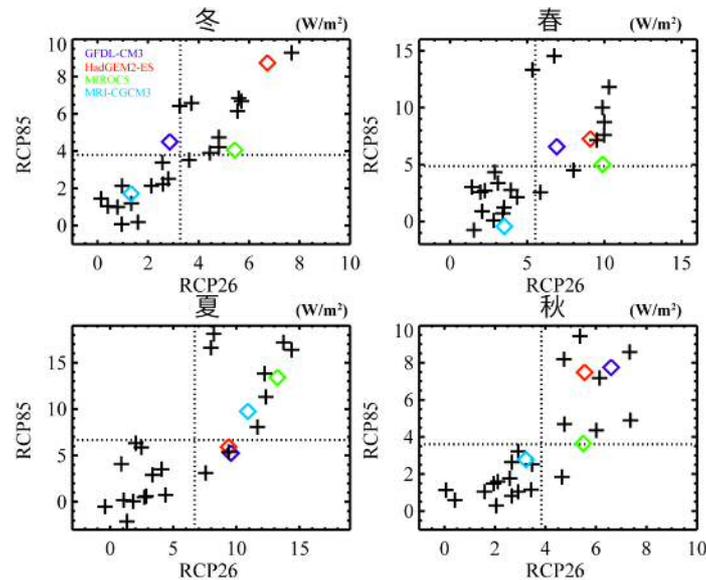


図4.1 RCP2.6シナリオ（横軸）とRCP8.5シナリオ（縦軸）における21世紀末までの日本平均日射量変化予測(W/m²)。色つき菱形はS-8共通気候シナリオの4GCM、黒十字はそれ以外のCMIP5モデルを表す。点線は、モデル平均値。

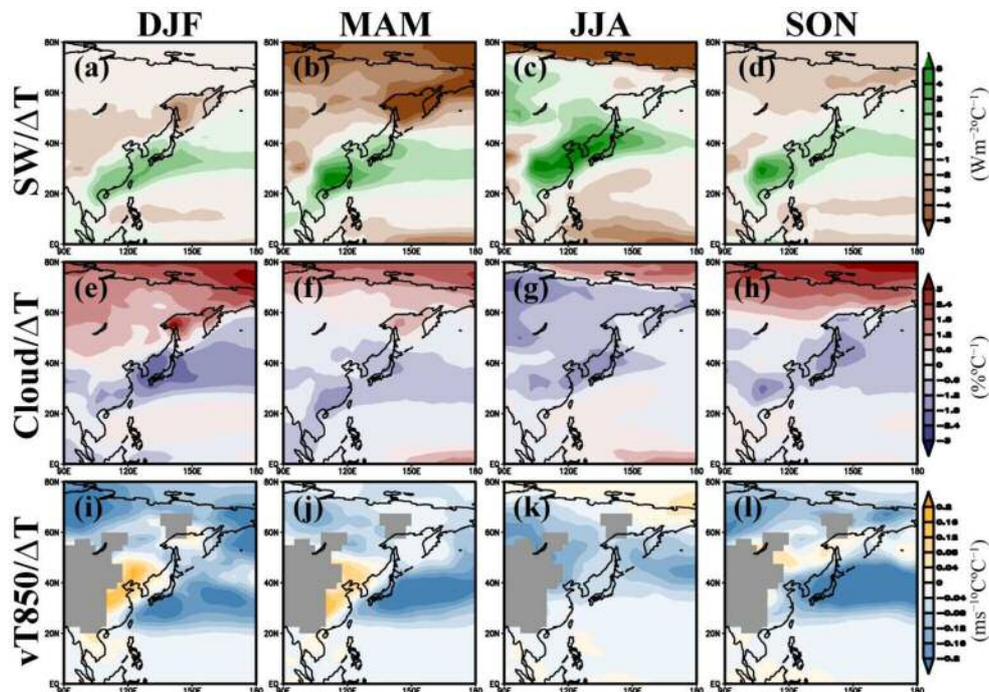


図4.2 CMIP5アンサンブルで平均した冬(DJF)、春(MAM)、夏(JJA)、秋(SON)の1°C温暖化あたりの日射量(上段)、雲量(中段)とストームトラック(移動性高低気圧)活動度(下段)の将来変化。ジェット気流の変化(図省略)に伴って、ストームトラックの活動度が下がって雲量が減り、それによって日本の広い範囲で地上に届く日射量が増加する。

(c) 次期の気候変動影響評価報告書の主要な根拠となることが期待されている推進費S-18などで使われ

る共通気候シナリオの作成のために、CMIP6アンサンブル（以下フルアンサンブル）から偏りのない少数の代表GCM（ミニアンサンブル）を選ぶ必要があった。しかし、これまでのように気温変化と降水量変化のばらつきだけから代表GCMを選択した場合、ほかの重要な変数に関して不確実性幅を十分にカバーできない可能性が高い。そのため我々は、影響評価研究でよく使われる8変数（日最高気温、日平均気温、日最低気温、降水量、相対湿度、地上風速、短波放射、長波放射）をターゲットとして定め、これらの8変数の将来変化に関して予測不確実性を偏りなくカバーできるミニアンサンブルを選ぶ手法を開発した。

まず、気温変化予測の不確実性低減に関する近年の研究を参考にして、将来の温暖化を過大評価していると考えられている複数のモデルを省いた（残ったサブアンサンブルをCMIP6*と呼ぶ）。次に、日本の気候モデル研究機関が開発してきたMRI-ESM2.0とMIROC6は、影響評価研究の過程で様々なサポートが期待できるため、優先順位1位とした。この2モデルを含みながら、影響評価研究でよく使われる8変数に関して、3つ（温室効果ガス排出量が低、中、高）のSSPシナリオでCMIP6*の予測のばらつきを良くカバーし、かつ現在気候の誤差が少ない5GCMを客観的に選択する統計的な手法を開発した。その結果、ACCESS-CM2（オーストラリア）、IPSL-CM6A-LR（フランス）、MIROC6（日本）、MRI-ESM2.0（日本）、MPI-ESM1-2-HR（ドイツ）の5つのGCMが代表GCMとして選択された。

これらの代表GCMは、どのSSPシナリオでも、様々な変数に関して日本の陸上でCMIP6*のばらつきを偏りなくカバーすることを確認した（図4.3）。この選択手法の開発過程では、推進費S18や国立環境研究所・気候変動適応研究プログラムに参加する影響評価研究者との意見交換会を開催し、手法の妥当性に関して議論した。この選択手法の記述論文は、学術誌において出版された²⁾。

選択された5つの代表GCMに関して、国立環境研究所・気候変動適応研究プログラム内において、日本域で1km間隔に内挿し統計的に誤差を補正した気候予測データ（気候シナリオデータ）が作成され、A-Plat-Proから公開された（図4.4）。この気候シナリオデータは、推進費S18と国立環境研究所・気候変動適応研究プログラムの共通気候シナリオとして採用され、次期気候変動影響評価報告書に向けた数多くの影響評価・適応研究で現在利用されている。また文科省・気象庁の気候予測データセット2022の重要な構成要素として採用される予定である。

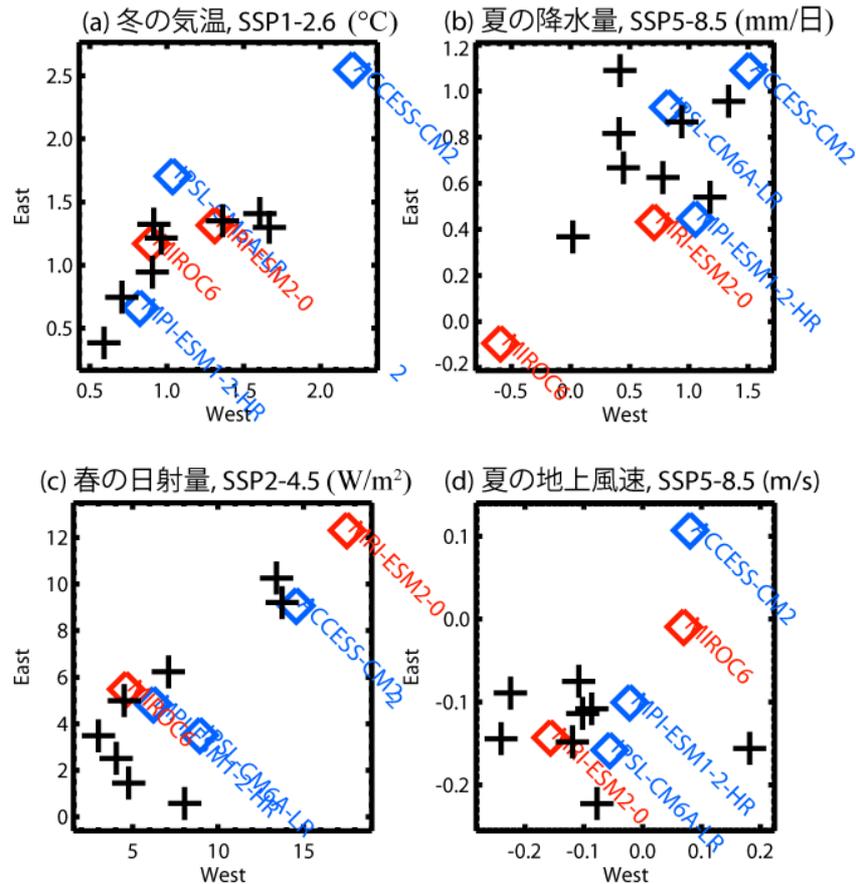


図4.3 CMIP6 GCMの21世紀末までの(a)気温(SSP1-2.6シナリオの冬)、(b)降水量(SSP5-8.5シナリオの夏)、(c)日射量(SSP2-4.5シナリオの春)、(d)地上風速(SSP5-8.5シナリオの夏)の変化予測。横軸は西日本平均で、縦軸は東日本平均。赤菱形はMRI-ESM2とMIROC6、青菱形はそれ以外の3つの代表GCM。黒十字は、代表GCM以外のCMIP6* GCM。

Data Downloader -NIES2020-

1. データセット [名称/略称 (カレンダー)]
 MIROC6/m60_ (standard)

2. アンサンブル
 —

3. シナリオ
 historical ssp126 ssp245 ssp585

4. 時間解像度
 yearly monthly daily

5. 変数
 hurs (near_surface_relative_humidity) pr (precipitation_flux) rlds (surface_downwelling_longwave_flux_in_air)
 rsds (surface_downwelling_shortwave_flux_in_air) sfcWind (wind_speed) tas (air_temperature)
 tasmax (maximum_daily_surface_air_temperature) tasmin (minimum_daily_surface_air_temperature)

6. 期間
 1986 ~ 1986
 1000 9999

Advanced options

7. 空間ドメイン
 オリジナルの空間ドメイン
 空間ドメインを設定する
 範囲
 経度 122 - 146
 緯度 24 - 46
 地図で選択

図4.4 国立環境研究所のA-PLAT-Pro (<https://ccca-scenario.nies.go.jp/>) における5つの代表GCM気候シナリオデータ（気候変動予測データを影響評価研究で使いやすいように加工したもの）の公開ページ。A-PLAT-Proでは、日本全体の気候シナリオデータから任意の地域のデータだけを切り出してダウンロードしたり、特定の市町村で平均した時系列を図示したりすることが可能である。

(d) 今後、この5つの代表GCMの予測に基づく様々な分野の影響評価結果が報告され、それをもとに国や自治体の適応策が検討されることになる。5つの代表GCMの予測には差があるため、それに基づく影響評価にも差が生じる。影響評価結果の違いを理解し適応策検討に生かすためには、それぞれの代表GCMの将来変化予測がどのような特徴を持っているのかをより詳しく調べる必要がある。

図4.5は、19GCMのCMIP6フルアンサンブルの中で小さい方から大きい方へと並べたときに各代表GCMの予測値が何%に位置するか（パーセンタイルランク）を各グリッドで示したものである³⁾。将来の増加量が小さい（または減少量が大きい）ほどパーセンタイルランクは小さくなり、増加量が大きければ（または減少量が小さければ）パーセンタイルランクも大きくなる。全球平均気温上昇量の大きいACCESS-CM2とIPSL-CM6A-LRが、日本付近の日平均気温変化に関しても上昇量が大きく、フルアンサンブルの中でも上位を占めている。一方、MPI-ESM1-2-HRは下位を、MRI-ESM2.0とMIROC6は中位に位置する。西日本の降水量増加に関しては、MRI-ESM2.0とACCESS-CM2が上位を占めるのに対して、MIROC6は下位になり、気温の場合とパーセンタイルランクが大きく異なる。年平均日射量はフルアンサンブル平均で増加するが、MRI-ESM2.0とACCESS-CM2の増加量が特に大きい。地上風速はフルアンサンブル平均では減少するが、MRI-ESM2.0、MIROC6、MPI-ESM1-2-HRの減少は小さい一方で、IPSL-CM6A-LRはフルアンサンブルの中でも減少量が大きいモデルであることがわかる。

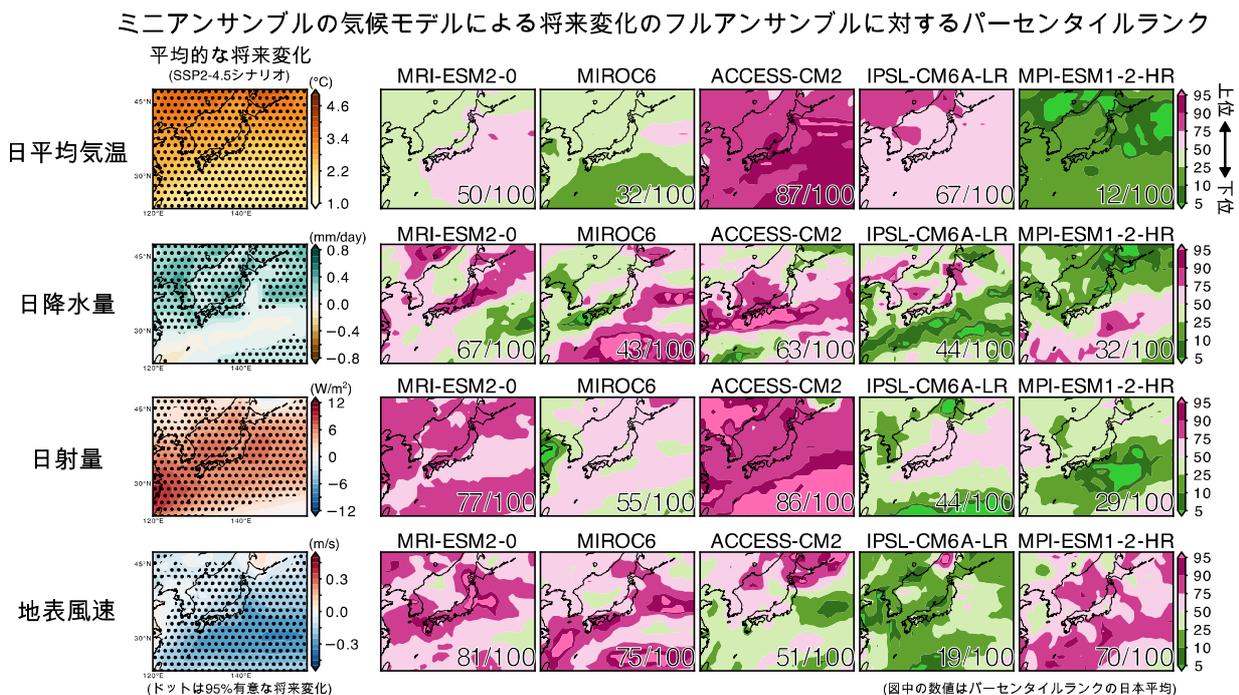


図4.5 フルアンサンブルでの平均的な将来変化（左端）と、代表5GCMによる将来変化のフルアンサンブルに対するパーセンタイルランク。パーセンタイルランクは、各々のモデルから得られる値のフルアンサンブル19モデルにおける順位を百分率としたもので、日本域での平均値は図中に示される。また左端の図では、統計的に95%以上有意な将来変化にドットを重ねる。

図4.6の曲線は、CMIP6フルアンサンブルにおける8月の北西太平洋海面水温の発生頻度分布（確率分布）が、過去と将来の温暖化によってどのように変化するかを示している。ここでは、観測データと比較したGCMの海面水温気候値のバイアスは補正している。2020年8月に史上最高の海面水温が観測されているが、過去の温暖化によって2020年8月観測値を超える確率が上がっており、さらに温暖化レベルが1.5°Cを超えるであろう2031~2050年には、2年に一度は2020年に観測された異常高温を上回ると推定された（黒い曲線）。つまり、2020年に観測記録を更新した異常高温は、遠くない未来に「新たな日

常」となる見込みである。海面水温の上昇は、台風の強度や漁業、サンゴなどにも影響するものだが、1.5°C温暖化でもこのような大きな変化があることがわかり、適応策を急ぐ必要があると示唆された⁴⁾。左側の箱ヒゲ図は、2031~2050年の代表5GCMの確率分布を表しており、MRI-ESM2-0が予測する水温はフルアンサンプルの平均と同程度だが、ACCESS-CM2とIPSL-CM6A-LRではより高く、MIROC6とMPI-ESM1-2-HRではより低くなることが分かった。

このほかの様々なストーリーラインにおける代表GCMの位置づけは、サブテーマ1-3から報告される。

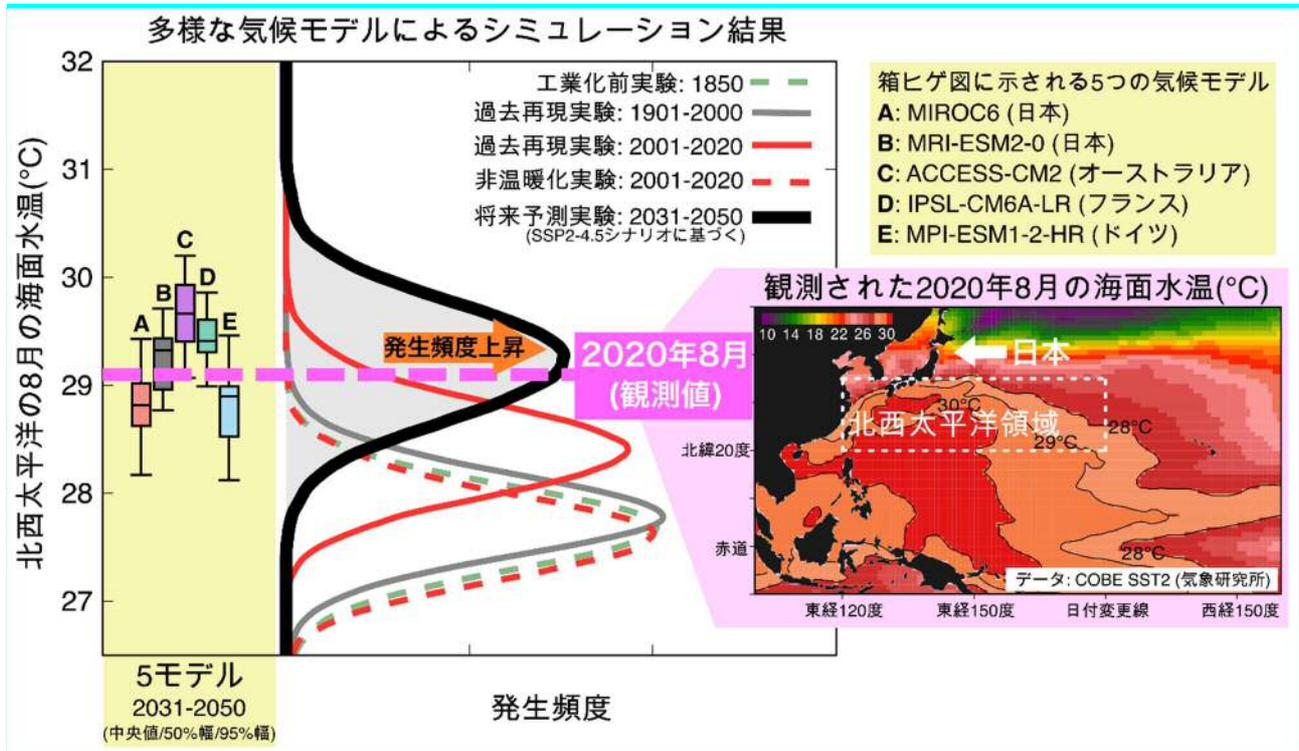


図4.6 2020年8月に観測された海面水温分布(ピンク色枠内)と、様々なGCMシミュレーションによる北西太平洋の8月の海面水温の頻度分布。ピンクの点線は2020年8月の観測値。グラフは異なる実験・期間での発生頻度。黄色枠内の箱ヒゲ図は5つの代表GCMによる将来予測の分布幅。

(e) ミニアンサンプルが予測幅を広くカバーする上で、全球気温変化のモデル間の違いが果たす役割を調べた³⁾。図4.7上段から、ミニアンサンプルは変数によらずフルアンサンプルでの将来変化の最大・最小幅を広くカバーしていることがわかる。一方、フルアンサンプルから全球平均気温変化と相関する成分だけを取り出した場合でも、日平均気温変化の不確実性幅をカバーできることがわかった(図4.7下段)。同様に日最高気温、日最低気温および長波放射についても不確実性幅をよくカバーできる(図省略)。これらの変数に関しては、全球平均気温のばらつきだけを考慮すれば、日本の将来気候変化予測の不確実性幅を十分にカバーできる代表GCMが選択できることが分かった。

一方、全球気温変化と相関する成分だけでは日降水量や日射量、地表風速の予測幅を十分にカバーできないことがわかった(図4.7下段)。相対湿度についても同様である(図省略)。全球気温変化と日本での各変数の変化の関係をみると(図4.8)、日本の気温上昇との比例関係は明らかだが、風速弱化和との関係は高排出シナリオ(SSP5-8.5)を除いて統計的に有意ではなく、また日降水量や日射量の増加幅についてはGCMごとのばらつきがより目立つ。日射量に関してはSSPシナリオ間で系統的な差があるが、これはエアロゾルや水蒸気による日射の反射・吸収の影響によるものである。

このように全球気温変化のばらつきのみで代表GCMを選んだ場合にフルアンサンプルの不確実性幅をカバーできる変数(気温と長波放射)とそうでない変数(降水量、日射量、地上風速、相対湿度)を明

らかにした。影響評価研究の中には気温しか使用しないものも一部あるが、多くは複数の気候変数が入力データとして必要である。そのため、今後も影響評価研究のために気候シナリオデータを作成する際には、我々の開発したような高度なモデル選択手法が必要であることが確認された。

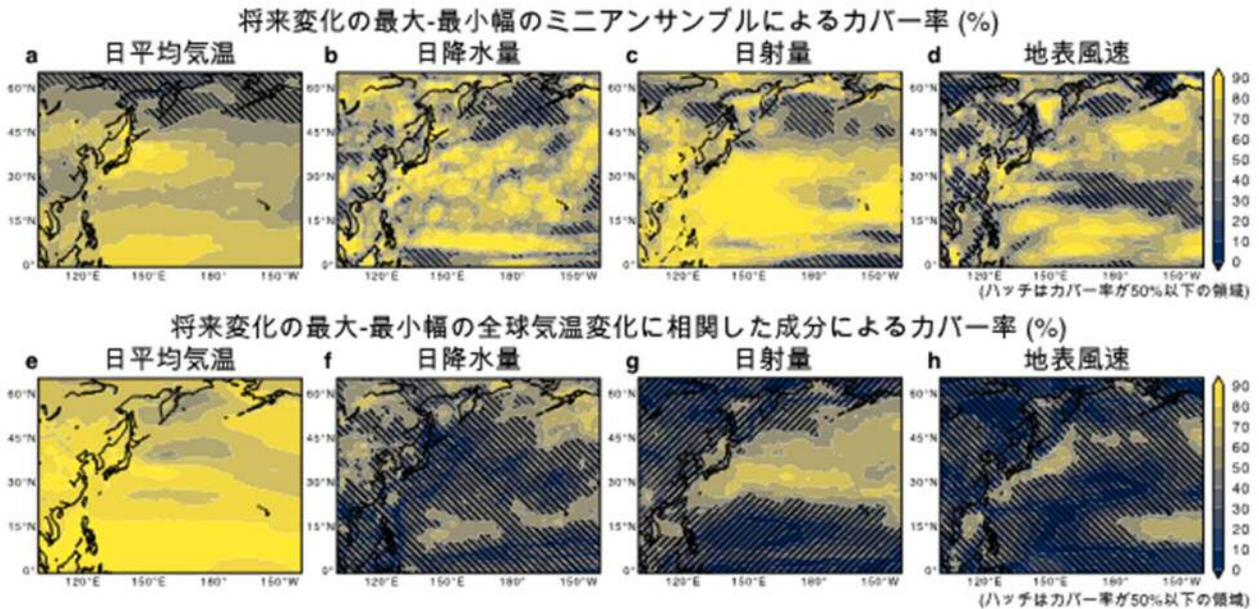


図4.7 (上図) フルアンサンブルの将来変化の最大・最小幅にミニアンサンブルの5GCMの最大・最小値幅が占めるカバー率。(下図) 全球気温変化に相関する成分だけでカバーできる率。ハッチは50%以下の領域を示す。

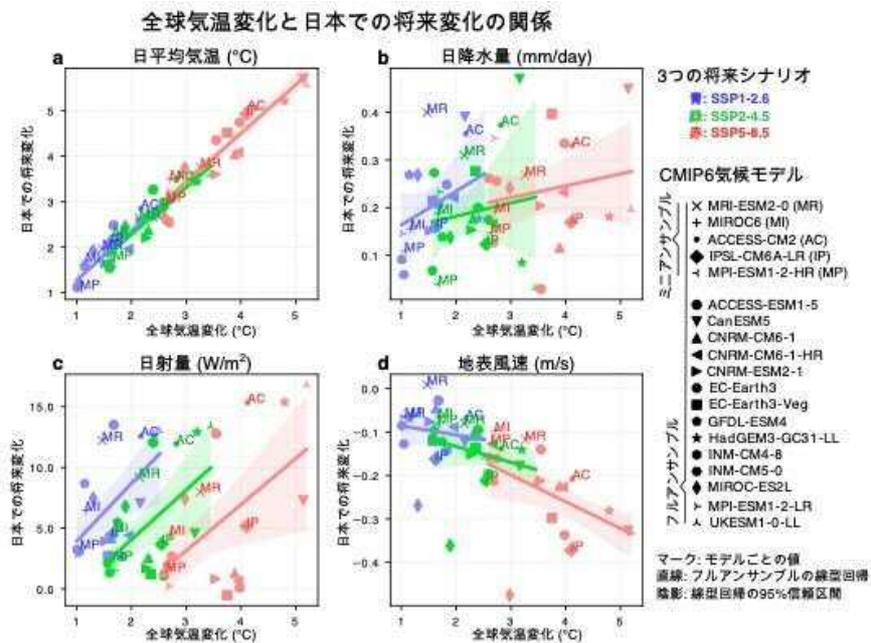


図4.8 全球気温変化と日本気候の将来変化との関係。マークはそれぞれのモデルの値で(凡例参照)、ミニアンサンブルはアルファベット併記)、3つの将来シナリオについて示される(青: SSP1-2.6、緑: SSP2-4.5、赤: SSP5-8.5)。直線と陰影はフルアンサンブルでの線型回帰直線とその95%信頼区間。

5. 研究目標の達成状況

計画通りに最初に影響評価研究者へのヒアリングを行い、日本域で注目すべき異常天候現象や変数を抽出した。次に推進費S-8以降日本の影響評価モデル研究で標準気候シナリオとして利用されてきた4つの代表GCMの日射量変化に関して検証し、大きな偏りがあることを示した。これは気候シナリオの選択・開発において、これまでのように気温と降水量のばらつきを考慮するだけでは、影響評価・適応研究にとって重要な様々な変数の不確実性幅を十分にカバーできないということを示すものであった。

上記の知見と推進費S-18や国立環境研究所・気候変動適応研究プログラムの影響評価研究者との協議に基づき、影響評価・適応研究で重要な8つの気候変数の不確実性を適切にカバーできる少数の代表GCMを選択する統計的な手法を開発した。研究目標では「今後の気候シナリオの選択・開発について指針を提案する」と掲げていたが、指針の提案を超えて、我々の選択した代表GCMの気候シナリオデータが推進費S-18と国立環境研究所・気候変動適応研究プログラムの共通気候シナリオとして採用された。また同気候シナリオデータは、文科省・気象庁の気候予測データセット2022の重要なコンポーネントとなる予定である。さらに我々の選択した代表GCMの気候シナリオデータを用いる影響評価の結果のGCM間のばらつきを解釈する際の助けとなるように、代表GCMのCMIP6アンサンブル内での位置づけも示した。

以上のように、本サブテーマは当初の目標をすべて達成し、さらに次期気候変動影響評価報告書に向けた影響評価・適応研究にとって重要な貢献を行ったものと考えている。

6. 引用文献

- 1) H. SHIOGAMA, R. ITO, Y. IMADA, T. NAKAEGAWA, N. HIROTA, N. N. ISHIZAKI, K. TAKAHASHI, I. TAKAYABU and S. EMORI: SOLA, 16, 75-79, doi:10.2151/sola.2020-013 (2020)
Selecting Future Climate Projections of Surface Solar Radiation in Japan.
- 2) H. SHIOGAMA, N. N. ISHIZAKI, N. HANASAKI, K. TAKAHASHI, S. EMORI, R. ITO, T. NAKAEGAWA, I. TAKAYABU, Y. HIJIOKA, Y. N. TAKAYABU and R. SHIBUYA: SOLA, 17, 57-62, doi:10.2151/sola.2021-009 (2021)
Selecting CMIP6-Based Future Climate Scenarios for Impact and Adaptation Studies.
- 3) M. HAYASHI and H. SHIOGAMA: SOLA, 18, doi:10.2151/sola.2022-016 (2022)
Assessment of CMIP6-Based Future Climate Projections Selected for Impact Studies in Japan.
- 4) M. HAYASHI, H. SHIOGAMA, S. EMORI, T. OGURA and N. HIROTA: Geophys. Res. Lett., 48, 1, doi:10.1029/2020GL090956 (2021)
The Northwestern Pacific Warming Record in August 2020 Occurred under Anthropogenic Forcing.

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

【サブテーマ1】

- 1) C. YOKOYAMA, Y. N. TAKAYABU, O. ARAKAWA and T. OSE: *J. Climate*, 32, 5251-5274, doi:10.1175/JCLI-D-18-0656.1 (2019) (IF:5.1)
A Study on Future Projections of Precipitation Characteristics around Japan in Early Summer Combining GPM DPR Observation and CMIP5 Large-Scale Environments.
- 2) C. YOKOYAMA, H. TSUJI and Y. N. TAKAYABU: *J. Meteor. Soc. Japan*, 98, 235-255, doi:10.2151/jmsj.2020-013 (2020) (IF:2.2)
The Effects of an Upper-Tropospheric Trough on the Heavy Rainfall Event in July 2018 over Japan.
- 3) R. MASUNAGA, H. NAKAMURA, B. TAGUCHI and T. MIYASAKA: *J. Climate*, 33, 9083-9101, doi:10.1175/JCLI-D-19-0948.1 (2020) (IF:5.1)
Processes Shaping the Frontal-Scale Time-Mean Surface Wind Convergence Patterns Around the Gulf Stream and Agulhas Return Current in Winter.
- 4) C.-Y. WANG, S.-P. XIE and Y. KOSAKA: *J. Climate*, 33, 4095-4108, doi:10.1175/JCLI-D-19-0426.1 (2020) (IF:5.1)
ENSO-Unrelated Variability in Indo-Northwest Pacific Climate: Regional Coupled Ocean-Atmosphere Feedback.
- 5) K. NISHII, B. TAGUCHI and H. NAKAMURA: *J. Meteor. Soc. Japan*, 98, doi:10.2151/jmsj.2020-041 (2020) (IF:2.2)
An AGCM Assessment of Oceanic Impacts on Extreme Climatic Events over Japan in July 2018.
- 6) K. FUKUDA, K. YASUNAGA, R. OYAMA, A. WADA, A. HAMADA and H. FUDEYASU: *SOLA*, doi:10.2151/sola.2020-019 (2020) (IF:2.2)
The Diurnal Cycle of Clouds in Tropical Cyclones over the Western North Pacific Basin.
- 7) H. TSUJI, C. YOKOYAMA and Y. N. TAKAYABU: *J. Meteor. Soc. Japan*, 98, doi:10.2151/jmsj.2020-045 (2020) (IF:2.2)
Contrasting features of the July 2018 heavy rainfall event and the 2017 Northern Kyushu rainfall event in Japan.
- 8) T. MIYASAKA, H. KAWASE, T. NAKAEGAWA, Y. IMADA and I. TAKAYABU: *SOLA*, doi:10.2151/sola.2020-022 (2020) (IF:2.2)
Future Projections of Heavy Precipitation in Kanto and Associated Weather Patterns Using Large Ensemble High-Resolution Simulations.
- 9) P. MARTINEAU, H. NAKAMURA, Y. KOSAKA, B. TAGUCHI and M. MORI: *J. Climate*, 33, 18, 8125-8146, doi:10.1175/JCLI-D-19-0977.1 (2020) (IF:5.1)
Modulations of North American and European weather variability and extremes by interdecadal variability of the atmospheric circulation over the North Atlantic sector.
- 10) P. MARTINEAU, H. NAKAMURA, Y. KOSAKA and A. YAMAMOTO: *Sci. Rep.*, 10, 12671, doi:10.1038/s41598-020-69551-5 (2020) (IF:4.4)
Importance of a Vertically Tilting Structure for Energizing the North Atlantic Oscillation.

- 11) S. IIZUKA, R. KAWAMURA, H. NAKAMURA and T. MIYAMA: SOLA, 17A, 22-28, doi:10.2151/sola.17A-004 (2021) (IF:2.2)
Influence of Warm SST in the Oyashio Region on Rainfall Distribution of Typhoon Hagibis (2019).
- 12) N. SHI and H. NAKAMURA: J. Climate, 34, 1467-1483, doi:10.1175/JCLI-D-20-0037.1 (2021) (IF:5.1)
A New Detection Scheme of Wave-Breaking Events with Blocking Flow Configurations.
- 13) Y. ABE, S. ONOZAKI, I. NAKAI, K. ADACHI, Y. IGARASHI, Y. OURA, M. EBIHARA, T. MIYASAKA, H. NAKAMURA, K. SUEKI, H. TSURUTA and Y. MORIGUCHI: Prog. Earth Planet. Sci., 8, 13, doi:10.1186/s40645-020-00403-6 (2021) (IF:3.6)
Widespread Distribution of Radiocesium-Bearing Microparticles over the Greater Kanto Region Resulting from the Fukushima Nuclear Accident.
- 14) H. SHIOGAMA, N. N. ISHIZAKI, N. HANASAKI, K. TAKAHASHI, S. EMORI, R. ITO, T. NAKAEGAWA, I. TAKAYABU, Y. HIJIOKA, Y. N. TAKAYABU and R. SHIBUYA: SOLA, 17, 57-62, doi:10.2151/sola.2021-009 (2021) (IF:2.2)
Selecting CMIP6-Based Future Climate Scenarios for Impact and Adaptation Studies.
- 15) A. MIYAMOTO, H. NAKAMURA, T. MIYASAKA and Y. KOSAKA: J. Climate, 34, doi:10.1175/JCLI-D-20-0709.1 (2021) (IF:5.1)
Radiative Impacts of Low-Level Clouds on the Summertime Subtropical High in the South Indian Ocean Simulated in a Coupled General Circulation Model.
- 16) T. HORINOUCHE, Y. KOSAKA, H. NAKAMIGAWA, H. NAKAMURA, N. FUJIKAWA and Y. N. TAKAYABU: SOLA, 17, 112-115, doi:10.2151/sola.2021-019 (2021) (IF:2.2)
Moisture supply, jet, and Silk-Road wave train associated with the prolonged heavy rainfall in Kyushu, Japan in July 2020.
- 17) P. MARTINEAU, H. NAKAMURA and Y. KOSAKA: Wea. Clim. Dyn., 2, doi:10.5194/wcd-2020-22 (2021) (IF:4.4)
Influence of ENSO on North American Subseasonal Surface Air Temperature Variability.
- 18) T. J. YASUNARI, H. NAKAMURA, K.-M. KIM, N. CHOI, M.-I. LEE, Y. TACHIBANA and A. M. da SILVA: Environ. Res. Lett. 16, 064009, doi:10.1088/1748-9326/abf7ef (2021) (IF:6.8)
Relationship between Circum-Arctic Atmospheric Wave Patterns and Large-Scale Wildfires in Boreal Summer.
- 19) E.-P. LIM, H. HENDON, A. BUTLER, D. J. THOMPSON, Z. LAWRENCE, A. SCAIFE, T. SHEPHERD, I. POLICHTCHOUK, C. KOBAYASHI, R. COMER, L. COY, A. DOWDY, R. GARREAUD, P. NEWMAN, H. NAKAMURA and G. WANG: Bull. Amer. Meteor. Soc., 102, doi:10.1175/BAMS-D-20-0112.1 (2021) (IF:6.4)
The 2019 Southern Hemisphere Stratospheric Polar Vortex Weakening and its Impacts.
- 20) S. OKAJIMA, H. NAKAMURA and Y. KASPI: Sci. Rep., 11, 13202, doi:s41598-021-92548-7 (2021) (IF:4.4)
Cyclonic and Anticyclonic Contributions to Atmospheric Energetics.
- 21) M. NAKAYAMA, H. NAKAMURA and F. OGAWA: J. Climate, 34, 18, 7389-7408, doi:10.1175/JCLI-D-20-0359.1 (2021) (IF:5.1)
Impacts of a Midlatitude Oceanic Frontal Zone for the Baroclinic Annular Mode in the Southern Hemisphere.
- 22) A. YAMAMOTO, M. NONAKA, P. MARTINEAU, A. YAMAZAKI, Y.-O. KWON, H. NAKAMURA and B. TAGUCHI: Wea. Clim. Dyn., 2, 819-840, doi:10.5194/wcd-2-819-2021 (2021) (IF:4.4)
Oceanic Moisture Sources Contributing to Wintertime Euro-Atlantic Blocking.

- 23) S. SEKIZAWA, H. NAKAMURA and Y. KOSAKA: *J. Climate*, 34, 9551-9570, doi:10.1175/JCLI-D-21-0202.1 (2021) (IF:5.1)
Remote Influence of the Interannual Variability of the Australian Summer Monsoon on Wintertime Climate in East Asia and the Western North Pacific.
- 24) H. TSUJI, Y. N. TAKAYABU, R. SHIBUYA, H. KAMAHORI and C. YOKOYAMA: *Geophys. Res. Lett.*, 48, 18, doi:10.1029/2021GL095030 (2021) (IF:4.7)
The Role of Free-Tropospheric Moisture Convergence for Summertime Heavy Rainfall in Western Japan.
- 25) R. SHIBUYA, Y. N. TAKAYABU and H. KAMAHORI: *J. Climate*, 34, 22, 8955-8970, doi:10.1175/JCLI-D-21-0064.1 (2021) (IF:5.1)
Dynamics of Widespread Extreme Precipitation Events and the Associated Large-Scale Environment Using AMeDAS and JRA-55 Data.
- 26) Y. HAMAGUCHI and Y. N. TAKAYABU: *J. Atmos. Sci.*, doi:10.1175/JAS-D-20-0334.1 (2021) (IF:3.2)
An Initiation Process of Tropical Depression-type Disturbances under the Influence of Upper-level Troughs.
- 27) R. SHIBUYA, Y. N. TAKAYABU and C. YOKOYAMA: *SOLA*, Vol. 17, 251-256, doi:10.2151/sola.2021-044 (2021) (IF:2.2)
Objective Classification of Controlling Factors for the Occurrence of the Wide-spread Extreme Precipitation Events during Baiu season over Western Japan.
- 28) Y. NAKAMURA and Y. N. TAKAYABU: *J. Atmos. Sci.*, 79, 247-262, doi:10.1175/JAS-D-21-0080.1 (2022) (IF:3.2)
Convective Couplings with Equatorial Rossby Waves and Equatorial Kelvin Waves. Part I: Coupled Wave Structures.
- 29) A. MIYAMOTO, H. NAKAMURA, T. MIYASAKA and Y. KOSAKA: *J. Climate*, 35, 323-334, doi:10.1175/JCLI-D-21-0178.1 (2022) (IF:5.1)
Wintertime Weakening of Low-Cloud Impacts on the Subtropical High in the South Indian Ocean.
- 30) A. KUWANO-YOSHIDA, S. OKAJIMA and H. NAKAMURA: *J. Climate*, 35, 1113-1133, doi:10.1175/JCLI-D-21-0287.1 (2022) (IF:5.1)
Rapid Increase of Explosive Cyclone Activity over the Midwinter North Pacific in the late 1980s.
- 31) D. SMITH, R. EADE, M. ANDREWS, H. AYRES, A. CLARK, S. CHRIPKO, C. DESER, N. J. DUNSTONE, J. GARCIA-SERRANO, G. GASTINEAU, L. S. GRAFF, S. C. HARDIMAN, B. HE, L. HERMANSON, T. JUNG, J. KNIGHT, X. LEVINE, G. MAGNUSDOTTIR, E. MANZINI, D. MATEI, M. MORI, R. MSADEK, P. ORTEGA, Y. PEINGS, A. A. SCAIFE, J. A. SCREEN, M. SEABROOK, T. SEMMLER, M. SIGMOND, J. STREFFING, L. SUN and A. WALSH: *Nat. Commun.*, 13, 727, doi:10.1038/s41467-022-28283-y (2022) (IF:14.9)
Robust but weak winter atmospheric circulation response to future Arctic sea ice loss.
- 32) S. OKAJIMA, H. NAKAMURA and Y. KASPI: *J. Climate*, 35, 1137-1156, doi:10.1175/JCLI-D-21-0123.1 (2022) (IF:5.1)
Energetics of Transient Eddies Related to the Midwinter Minimum of the North Pacific Storm-Track Activity.
- 33) Y. ZHANG, S.-Y. YU, D. J. AMAYA, Y. KOSAKA, M. F. STUECKER, J.-C. YANG, X. LIN and L. FAN: *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2022GL098148, doi:10.1029/2022GL098148 (2022) (IF:4.7)

Atmospheric forcing of the Pacific Meridional Mode: Tropical Pacific-driven versus internal variability.

- 34) A. MIYAMOTO, H. NAKAMURA, T. MIYASAKA, Y. KOSAKA, B. TAGUCHI and K. NISHII: *J. Climate*, 35, doi:10.1175/JCLI-D-21-0518.1 (2022) (IF:5.1)
Maintenance Mechanisms of the Wintertime Subtropical High over the South Indian Ocean.

【サブテーマ2】

- 1) Y. KAWATANI, K. HAMILTON, K. SATO, T. J. DUNKERTON, S. WATANABE and K. KIKUCHI: *J. Atmos. Sci.*, 76, 3893-3917, doi:10.1175/JAS-D-19-0163.1 (2019) (IF:3.2)
ENSO Modulation of the QBO: Results from MIROC Models with and without Nonorographic Gravity Wave Parameterization.
- 2) N. BUTCHART, J. A. ANSTEY, Y. KAWATANI, S. M. OSPREY, J. H. RICHTER and T. WU: *Geophys. Res. Lett.*, 47, doi:10.1029/2019GL086903 (2020) (IF:4.7)
QBO Changes in CMIP6 Climate Projections.
- 3) J. H. RICHTER, J. A. ANSTEY, N. BUTCHART, Y. KAWATANI, G. A. MEEHL, S. M. OSPREY and I. R. SIMPSON: *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 125, doi:10.1029/2019JD032362 (2020) (IF:4.3)
Progress in Simulating the Quasi-Biennial Oscillation in CMIP Models.
- 4) Y. KAWATANI, T. HIROOKA, K. HAMILTON, A. K. SMITH and M. FUJIWARA: *Atmos. Chem. Phys.*, doi:10.5194/acp-20-9115-2020 (2020) (IF:6.1)
Representation of the Equatorial Stratopause Semiannual Oscillation in Global Atmospheric Reanalyses.
- 5) T. HORINOUCI, Y. KOSAKA, H. NAKAMIGAWA, H. NAKAMURA, N. FUJIKAWA and Y. N. TAKAYABU: *SOLA*, 17, 112-115, doi:10.2151/sola.2021-019 (2021) (IF:2.2)
Moisture supply, jet, and Silk-Road wave train associated with the prolonged heavy rainfall in Kyushu, Japan in July 2020.
- 6) J.A. ANSTEY, I. R. SIMPSON, J. H. RICHTER, H. NAOE, M. TAGUCHI, F. SERVA, L. J. GRAY, N. BUTCHART, K. HAMILTON, S. OSPREY, O. BELLPRAT, P. BRAESICKE, A. C. BUSHHELL, C. CAGNAZZO, C-C. CHEN, H-Y .CHUN, R. R. GARCIA, L. HOLT, Y. KAWATANI, T. KERZENMACHER, Y-H. KIM, F. LOTT, C. MCLANDRESS, J. SCINOCCA, T. N. STOCKDALE, S. VERSICK, S. WATANABE and K. YOSHIDA: *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, doi:10.1002/qj.4048 (2021) (IF:3.7)
Teleconnections of the Quasi - Biennial Oscillation in a Multi - Model Ensemble of QBO - Resolving Models.
- 7) H. FUJIWARA, H. OKOCHI, M. KAMOGAWA, T. SUZUKI, S. HAYASHI, N. SATO, Y. ORIHARA. J. MATSUMOTO, J.-I. HAMADA, K. MURATA, E. YOSHIKAWA and T. KUDO: *J. Atmos. Electr.*, 40, 1, doi:10.1541/jae.40.10 (2021)
Difference between lightning activities in thunderstorm cells with and without hailfall in western Tokyo.
- 8) Y. GOTO and N. SATO: *SOLA*, 18, doi:10.2151/sola.2022-002 (2022) (IF:2.2)
Relationship between the upper-level winds and the horizontal movement of localized heavy rainfall in the afternoon of summer days around Tokyo.
- 9) Y. KAWATANI, T. HORINOUCI and N. SATO: *SOLA* (2022) (IF:2.2)
Storylines of projected climate changes around Japan associated with upper troposphere and stratosphere responses.

【サブテーマ 3】

- 1) T. OSE: *J. Meteor. Soc. Japan*, 97, 5, 1041-1053. doi:10.2151/jmsj.2019-055 (2019) (IF:2.2)
Future Changes in Summertime East Asian Monthly Precipitation in CMIP5 and Their Dependence on Present-Day Model Climatology.
- 2) R. ITO, H. SHIOGAMA, T. NAKAEGAWA and I. TAKAYABU: *Geosci. Model Dev.*, 13(3), pp.859-872. doi:10.5194/gmd-13-859-2020 (2020) (IF:6.3)
Uncertainties in climate change projections covered by the ISIMIP and CORDEX model subsets from CMIP5.
- 3) H. SHIOGAMA, R. ITO, Y. IMADA, T. NAKAEGAWA, N. HIROTA, N. N. ISHIZAKI, K. TAKAHASHI, I. TAKAYABU and S. EMORI: *SOLA*, 16, 75-79, doi:10.2151/sola.2020-013 (2020) (IF:2.2)
Selecting future climate projections of surface solar radiation in Japan.
- 4) T. MIYASAKA, H. KAWASE, T. NAKAEGAWA, Y. IMADA and I. TAKAYABU: *SOLA*, 16, 125-131. doi:10.2151/sola.2020-022 (2020) (IF:2.2)
Future projections of heavy precipitation in Kanto and associated weather patterns using large ensemble high-resolution simulations.
- 5) T. OSE, Y. TAKAYA, S. MAEDA and T. NAKAEGAWA: *J. Meteor. Soc. Japan*, 98, 927-944, doi:10.2151/jmsj.2020-047 (2020) (IF:2.2)
Resolution of Summertime East Asian Pressure Pattern and Southerly Monsoon Wind in CMIP5 Multi-model Future Projections.
- 6) H. G. TAKAHASHI, N. KAMIZAWA, T. NASUNO, Y. YAMADA, C. KODAMA, S. SUGIMOTO and M. SATOH: *J. Climate*, 33, 8147-8164, doi:10.1175/JCLI-D-19-0824.1 (2020) (IF:5.1)
Response of the Asian summer monsoon precipitation to global warming in a high-resolution global nonhydrostatic model.
- 7) H. G. TAKAHASHI and T. YAMAZAKI: *SOLA*, 16, 206-211, doi:10.2151/sola.2020-035 (2020) (IF:2.2)
Impact of sea surface temperature near Japan on the extra-tropical cyclone induced heavy snowfall in Tokyo by a regional atmospheric model.
- 8) R. ITO, T. OSE, H. ENDO, R. MIZUTA, K. YOSHIDA, A. KITOH and T. NAKAEGAWA: *Hydrol. Res. Lett.*, 14, 130-135, doi:10.3178/hr1.14.130 (2020)
Seasonal characteristics of future climate change over Japan and the associated atmospheric circulation anomalies in global model experiments.
- 9) Y. TAKAYA, I. ISHIKAWA, C. KOBAYASHI, H. ENDO and T. OSE: *Geophys. Res. Lett.*, 47, e2020GL090671, doi:10.1029/2020GL090671 (2020) (IF:4.7)
Enhanced Meiyu-Baiu rainfall in early summer 2020: Aftermath of the 2019 super IOD event.
- 10) H. G. TAKAHASHI: *Int. J. Climatol.*, 41, 2316-2329, doi:10.1002/joc.6960 (2021) (IF:3.8)
Long-term trends in snowfall characteristics and extremes in Japan from 1961 to 2012.
- 11) Y. TAKAYA, N. SAITO, I. ISHIKAWA and S. MAEDA: *J. Climate*, 34(5), 1619-1634, doi:10.1175/JCLI-D-20-0503.1 (2021) (IF:5.1)
Two Tropical Routes for the Remote Influence of the Northern Tropical Atlantic on the Indo-Western Pacific Summer Climate.
- 12) H. SHIOGAMA, N. N. ISHIZAKI, N. HANASAKI, K. TAKAHASHI, S. EMORI, R. ITO, T. NAKAEGAWA, I. TAKAYABU, Y. HIJIOKA, Y. N. TAKAYABU and R. SHIBUYA: *SOLA*, 17, 57-62, doi:10.2151/sola.2021-009 (2021) (IF:2.2)

- Selecting CMIP6-based future climate scenarios for impact and adaptation studies.
- 13) H. G. TAKAHASHI and H. FUJINAMI: *Sci. Rep.*, 11, 13665, doi:10.1038/s41598-021-93006-0 (2021) (IF:4.4)
Recent decadal enhancement of Meiyu-Baiu heavy rainfall over East Asia.
- 14) H. ENDO, A. KITOH, R. MIZUTA and T. OSE: *J. Meteor. Soc. Japan*, 99, 1501-1524, doi:10.2151/jmsj.2021-073 (2021) (IF:2.2)
Different future changes between early and late summer monsoon precipitation in East Asia.
- 15) H. ENDO, A. KITOH and R. MIZUTA: *SOLA*, 18, 58-64, doi:10.2151/sola.2022-010 (2022) (IF:2.2)
Future changes in extreme precipitation and their association with tropical cyclone activity over the western North Pacific and East Asia in 20 km AGCM simulations.
- 16) T. OSE, H. ENDO, Y. TAKAYA, S. MAEDA and T. NAKAEGAWA: *J. Meteor. Soc. Japan*, 100, doi:10.2151/jmsj.2022-032 (2022) (IF:2.2)
Robust and Uncertain Sea-Level Pressure Patterns over Summertime East Asia in the CMIP6 Multi-Model Future Projections.

【サブテーマ 4】

- 1) H. SHIOGAMA, R. ITO, Y. IMADA, T. NAKAEGAWA, N. HIROTA, N. N. ISHIZAKI, K. TAKAHASHI, I. TAKAYABU and S. EMORI: *SOLA*, 16, 75-79, doi:10.2151/sola.2020-013 (2020) (IF:2.2)
Selecting Future Climate Projections of Surface Solar Radiation in Japan.
- 2) N. N. ISHIZAKI, M. NISHIMORI, T. IIZUMI, H. SHIOGAMA, N. HANASAKI and K. TAKAHASHI: *SOLA*, 16, 80-85, doi:10.2151/sola.2020-014 (2020) (IF:2.2)
Evaluation of Two Bias-Correction Methods for Gridded Climate Scenarios over Japan.
- 3) M. HAYASHI, H. SHIOGAMA, S. EMORI, T. OGURA and N. HIROTA: *Geophys. Res. Lett.*, 48, 1, doi:10.1029/2020GL090956 (2021) (IF:4.7)
The Northwestern Pacific Warming Record in August 2020 Occurred under Anthropogenic Forcing.
- 4) H. SHIOGAMA, N. N. ISHIZAKI, N. HANASAKI, K. TAKAHASHI, S. EMORI, R. ITO, T. NAKAEGAWA, I. TAKAYABU, Y. HIJIOKA, Y. N. TAKAYABU and R. SHIBUYA: *SOLA*, 17, 57-62, doi:10.2151/sola.2021-009 (2021) (IF:2.2)
Selecting CMIP6-Based Future Climate Scenarios for Impact and Adaptation Studies.
- 5) I. MELNIKOVA, O. BOUCHER, P. CADULE, P. CIAIS, T. GASSER, Y. QUILCAILLE, H. SHIOGAMA, K. TACHIIRI, T. YOKOHATA and K. TANAKA: *Earths Future*, 9, e2020EF001967, doi:10.1029/2020EF001967 (2021) (IF:7.5)
Carbon Cycle Response to Temperature Overshoot Beyond 2° C: An Analysis of CMIP6 Models.
- 6) N. HIROTA, T. OGURA, H. SHIOGAMA, P. CALDWELL, M. WATANABE, Y. KAMAE and K. SUZUKI: *Environ. Res. Lett.*, 16(7):074015, doi:10.1088/1748-9326/abfb9e (2021) (IF:6.8)
Underestimated Marine Stratocumulus Cloud Feedback Associated with Overly Active Deep Convection in Models.
- 7) M. HAYASHI and H. SHIOGAMA: *SOLA*, 18, doi:10.2151/sola.2022-016 (2022) (IF:2.2)
Assessment of CMIP6-Based Future Climate Projections Selected for Impact Studies in Japan.
- 8) I. MELNIKOVA, O. BOUCHER, P. CADULE, K. TANAKA, T. GASSER, T. HAJIMA, Y. QUILCAILLE, H. SHIOGAMA, R. SÉFÉRIAN, K. TACHIIRI, N. VUICHARD, T. YOKOHATA and P. CIAIS: *Earth*

Syst. Dynam., 13, 2, doi:10.5194/esd-13-779-2022 (2022) (IF:5.5)

Impact of bioenergy crops expansion on climate-carbon cycle feedbacks in overshoot scenarios.

<査読付論文に準ずる成果発表>

【サブテーマ1】

- 1) Y. KOSAKA: in Indian Summer Monsoon, J. S. Chowdary, A. Parekh, C. Gnanaseelan Eds., Elsevier (2021)
Chapter 13: Coupling of the Indian, Western North Pacific, and East Asian Summer Monsoons.

【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ3】

- 1) A. KITOH and H. ENDO: In: C.-P. Chang, K.-J. Ha, R. H. Johnson, D. Kim, G. N.-C. Lau, and B. Wang (eds.), The Multiscale Global Monsoon System. World Scientific Publishing, pp.343-353, doi:10.1142/11723 (2020)
Future changes in global monsoon precipitation and their uncertainty: Results from 20-km and 60-km MRI-AGCM Ensemble Simulations.

【サブテーマ4】

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

【サブテーマ1】

- 1) H. H. HENDON, D. W. J. THOMPSON, E.-P. LIM, A. H. BUTLER, P. A. NEWMAN, L. COY, A. SCAIFE, I. POLICHTCHOUK, R. S. GARREAU, T. G. SHEPHERD and H. NAKAMURA: Nature, 573, 495 (2019)
Rare Forecasted Climate Event Under Way in the Southern Hemisphere.
- 2) 「現代用語の基礎知識2020」(自由国民社)(2019)
気象・海洋(共同執筆:中村尚)
- 3) E.-P. LIM, H. H. HENDON, A. H. BUTLER, R. S. GARREAU, I. POLICHTCHOUK, T. G. SHEPHERD, A. SCAIFE, P. A. NEWMAN, L. COY, D. W. J. THOMPSON and H. NAKAMURA: SPARC Newsletter, 54, 10-13 (2020)
The 2019 Antarctic Sudden Stratospheric Warming.
- 4) 日本学術会議「未来からの問い」(2020)
第7-1-(3)節 地球温暖化・気候変動・気象災害(執筆:中村尚)
- 5) 「現代用語の基礎知識2021」(自由国民社)(2020)
気象・海洋(共同執筆:中村尚)
- 6) 東京大学新聞「科目別・東大教員から受験生に向けたメッセージ」(2020)
地学:現代に不可欠な科学(執筆:中村尚)
- 7) Medicina (2020年7月号、特集 真夏の診察室 総論「地球という患者」執筆:高薮縁)(2020)
- 8) 未来探究2050—東大30人の知性が読み解く世界(2021)
【気象学】地球規模の雨や雲のメカニズムを解明(執筆:高薮縁)

- 9) 中村尚：生産研究、73(4)、211-221 (2021)
 顕在化する地球温暖化と異常気象 —その仕組みと防災・減災への備え—
- 10) 小坂優：グローバルネット、373号、6-8、地球・人間環境フォーラム (2021)
 気候変動への人為的影響
- 11) 気象研究ノート (日本気象学会)、第244号「気候系のhotspot:中緯度大気海洋相互作用研究の最前線」 (2021)
 梅雨の年々変動と大気海洋相互作用 (共同執筆：小坂優)
 北太平洋における下層雲・降水帯の季節性と海洋前線帯 (共同執筆：中村尚)
 夏季北太平洋における下層雲の10年規模変動 (共同執筆：中村尚)
 環状モード変動とそれを介した対流圏成層圏結合変動における中緯度海洋前線帯の役割 (共同執筆：中村尚)
 南インド洋の亜熱帯高気圧、ストームトラック、下層雲 (共同執筆：中村尚)
 中緯度北太平洋におけるマルチスケールの大気海洋相互作用 (共同執筆：中村尚)
 東シナ海の海洋前線が台風の構造に及ぼす影響：事例解析 (共同執筆：中村尚)
 極東・北太平洋域における大気海洋雪氷系の鉛直結合変動 (共同執筆：中村尚)
 冬季モンスーン影響下におけるマルチスケールの大気海洋相互作用 (共同執筆：中村尚)
 気象庁全球大気再解析データ高解像度水温版JRA-55CHS (共同執筆：中村尚)
- 12) 「現代用語の基礎知識2022」(自由国民社) (2021)
 気象・海洋 (共同執筆：中村尚)
- 13) 小坂優：学術の動向 (日本学術協力財団)、2022年1月号、66-69 (2022)
 地球規模の気候の変化に対する人類の影響
- 14) 中村尚：MilSil (国立科学博物館)、15(1)、6-8 (2022)
 黒潮が日本の気候・気象に及ぼす影響
- 15) 中村尚：科学 (岩波書店)、92(2)、106-107 (2022)
 真鍋淑郎先生のノーベル物理学賞受賞に寄せて
- 16) 気象研究ノート (日本気象学会)、第245号「2018年夏の異常気象 —記録的な広域豪雨と猛暑」 (2022) (出版予定)
 第3章 平成30年7月豪雨における対流圏上層トラフの役割 (執筆担当：横山千恵、辻宏樹、高菦縁)
 第4章 平成30年7月豪雨とその後の記録的猛暑への海洋からの影響 (共同執筆：中村尚)
 第11章 2018年夏の異常気象：防災・減災への今後の取り組みにどう活かすか？ (共同執筆：中村尚)

【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ3】

- 1) T. NAKAEGAWA：国際水環境工学研究協会 (IAHR) 2020年度 世界水の日へのアクション、Lectures on Climate Change.

【サブテーマ4】

- 1) 高橋潔：エネルギーレビュー、39、12、11-14 (2019)、極端気象と地球温暖化：その影響と適応策を考える

(2) 口頭発表 (学会等)

【サブテーマ1】

- 1) M. MORI, Y. KOSAKA, M. WATANABE, H. NAKAMURA and M. KIMOTO: Arctic - East Asia Weather Linkage Workshop, Incheon, Korea, 2019
 “A reconciled estimate of the influence of Arctic sea-ice loss on recent Eurasian cooling.” (invited)
- 2) 横山千恵、高薮縁、辻宏樹：日本気象学会2019年度春季大会（2019）
 「2018年7月豪雨の降水特性と後方の上層トラフの効果について」
- 3) 辻宏樹、横山千恵、高薮縁：日本気象学会2019年度春季大会（2019）
 「上層トラフの効果の違いに着目した2018年7月豪雨と2017年九州北部豪雨の比較」
- 4) 森正人、今田由紀子、塩竈秀夫、小坂優、高橋千陽、荒井美紀、釜江陽一、長谷川聡、渡部雅浩：日本気象学会2019年度春季大会（2019）
 「2017/18年の東アジアの寒冬に対する温暖化寄与の定量化」
- 5) 森正人、小坂優、渡部雅浩、中村尚、木本昌秀：日本気象学会2019年度春季大会（2019）
 「近年のユーラシアの寒冷化に果たす北極海氷減少の影響」
- 6) 浜口佑也、高薮縁：日本気象学会2019年度春季大会（2019）
 「対流圏上層のトラフ前面の南風偏差領域におけるTD型擾乱の発生過程の研究」(poster)
- 7) 西井和晃、田口文明、中村尚：日本地球惑星科学連合2019年大会（2019）
 「平成30年7月豪雨期間中の大気循環の主要変動モード」
- 8) B. TAGUCHI, K. NISHII and H. NAKAMURA: Japan Geoscience Union Meeting 2019, Chiba, Japan, 2019
 “Kuroshio Extension and Gulf Stream’s influences on the variability of near-surface baroclinicity and the associated atmospheric fields.”
- 9) S. SOBUE, Y. HONDA, S. ROKUGAWA, A. IWASAKI, N. TAKAHASHI, Y. N. TAKAYABU, R. OKI, T. KIMURA, T. NAKAJIMA, T. TADONO and K. YAMAMOTO: Japan Geoscience Union Meeting 2019, Chiba, Japan, 2019
 “Development of the global earth observation system using satellites.”
- 10) H. NAKAMURA: Japan Geoscience Union Meeting 2019, Chiba, Japan, 2019
 “Contributions from the Science Council of Japan to international cooperation in the field of Earth and Planetary Science.” (invited)
- 11) 末藤菜保、谷田貝亜紀代、高薮縁：日本地球惑星科学連合2019年大会（2019）
 「日本の暖候期の豪雨に影響するAtmospheric Riverとその循環場の解析」
- 12) H. NAKAMURA, M. NAKAYAMA, M. MIZUKOSHI, Y. KOSAKA, B. TAGUCHI, M. MORI, F. OGAWA and K. NISHII: IUGG General Assembly 2019, Montreal, Canada, 2019
 “Importance of a midlatitude oceanic frontal zone for the baroclinic annular mode.”
- 13) M. MORI, Y. KOSAKA, M. WATANABE, H. NAKAMURA and M. KIMOTO: IUGG General Assembly 2019, Montreal, Canada, 2019
 “A reconciled estimate of the influence of Arctic sea-ice loss on recent Eurasian cooling.” (invited)
- 14) Y. KOSAKA, T. TAKIGAWA, L. SYENDSEN, B. TAGUCHI and Y. IMADA: IUGG General Assembly 2019, Montreal, Canada, 2019
 “Remote influence of ENSO and Tropical Pacific Decadal Variability on the Arctic climate.” (invited)
- 15) K. NISHII, B. TAGUCHI and H. NAKAMURA: IUGG General Assembly 2019, Montreal, Canada, 2019
 “An AGCM assessment of oceanic impacts on extreme climatic events over Japan in July 2018.”
- 16) H. NAKAMURA, A. MIYAMOTO and T. MIYASAKA: IUGG General Assembly 2019, Montreal,

- Canada, 2019
 “Seasonality of low-cloud fraction and the subtropical high over the South Indian Ocean: Importance of the Agulhas SST front.”
- 17) Y. N. TAKAYABU: AOGS 16th Annual Meeting, Singapore, 2019
 “Five-year outcomes of the Global Precipitation Measurement Mission for Precipitation Sciences in Japan.”
- 18) Y. N. TAKAYABU: AOGS 16th Annual Meeting, Singapore, 2019
 “Contrasting characteristics of the heavy rainfall event in July 2018 in Japan and the Northern Kyushu heavy rainfall event in 2017.”
- 19) Y. N. TAKAYABU: 2019 University Allied Workshop on Climate and Extreme Weather, Chiba, Japan, 2019
 “What we learned about extreme precipitation from 3D measurements from space.”
- 20) W. KANEKO and Y. N. TAKAYABU: 2019 University Allied Workshop on Climate and Extreme Weather, Chiba, Japan, 2019
 “The Effect of Upper-tropospheric Jet for Atmospheric Rivers and Precipitation in Pacific Region.”
- 21) Y. HAMAGUCHI and Y. N. TAKAYABU: 2019 University Allied Workshop on Climate and Extreme Weather, Chiba, Japan, 2019
 “An Initiation Process of Tropical Depression-type Disturbances under an Influence of Upper-Level Troughs.”
- 22) H. NAKAMURA: ECMWF Annual Seminar, Reading, U.K., 2019
 “Multi-scale impacts of the midlatitude ocean on the atmosphere - an overview of processes.” (invited)
- 23) H. NAKAMURA, S. SEKIZAWA, M. MORI, Y. KOSAKA and M. WATANABE: The Batsheva de Rothschild Seminar on Climate and Wave Dynamics, Eilat, Israel, 2019
 “Modulations of the East Asian winter monsoon through remote influence from the Tropics and Arctic.” (invited)
- 24) 田口文明、西井和晃、中村尚：日本海洋学会2019年度秋季大会（2019）
 「黒潮続流十年規模変動に対する大気応答のモデル解像度依存性」
- 25) 森正人、小坂優、渡部雅浩、中村尚、木本昌秀：日本海洋学会2019年度秋季大会（2019）
 「近年のユーラシアの寒冷化に果たす北極海氷減少の影響」（招待講演）
- 26) 西井和晃、田口文明、中村尚：日本海洋学会2019年度秋季大会（2019）
 「2018年7月の豪雨と猛暑への海面水温偏差の寄与」
- 27) 中村尚：第59回治山研究発表会「特別講演」（2019）
 「近年の異常気象と地球温暖化－山地防災の観点を踏まえて－」（招待講演）
- 28) Y. N. TAKAYABU: SEVERE WEATHER and TAHOPE Planning workshop, Taipei, Taiwan, 2019
 “What we can learn from 3D Precipitation Measurements from Space.”
- 29) 西井和晃、田口文明、中村尚：日本気象学会2019年度秋季大会（2019）
 「2018年7月の豪雨と猛暑への海面水温偏差の寄与」
- 30) M. MORI, Y. KOSAKA, M. WATANABE, H. NAKAMURA and M. KIMOTO: Meteorological Society of Japan Fall Meeting 2019, Fukuoka, Japan, 2019
 “A reconciled estimate of the influence of Arctic sea-ice loss on recent Eurasian cooling.” (invited)
- 31) Y. KOSAKA, T. TAKIGAWA, L. SYENDSEN, B. TAGUCHI and Y. IMADA: Meteorological Society of Japan Fall Meeting 2019, Fukuoka, Japan, 2019
 “Remote influence of the tropical Pacific internal variability on Arctic climate.”

- (invited)
- 32) 横山千恵、高藪縁：日本気象学会2019年度秋季大会（2019）
「GPM DPR観測とCMIP5気候モデル予測の複合利用による初夏日本付近の降水特性の将来変化推定：手法の妥当性について」
- 33) 釜堀弘隆、高藪縁、横山千恵、辻宏樹、澁谷亮輔：日本気象学会2019年度秋季大会（2019）
「様々な時間スケールのアメダス降水量の長期変動」
- 34) 辻宏樹、高藪縁：日本気象学会2019年度秋季大会（2019）
「2014年8月広島豪雨の解析で示されたAtmospheric riverと切離低気圧の相互作用に伴う降水強化の一般性」
- 35) 内田裕太、小坂優：日本気象学会2019年度秋季大会（2019）
「d4PDFにおけるシルクロードパターンの温暖化に伴う変調」
- 36) 金子航、高藪縁、辻宏樹：日本気象学会2019年度秋季大会（2019）
「太平洋地域のAtmospheric Riverと対流圏上層ジェットとの蛇行との関係」
- 37) 浜口佑也、高藪縁：日本気象学会2019年度秋季大会（2019）
「対流圏上層のトラフ前面におけるTD型擾乱の発生過程の研究」
- 38) 中村尚、P. MARTINEAU、小坂優、山本絢子、田口文明、森正人：京都大学防災研究所共同研究集会（2019）
「北大西洋振動（NAO）の力学：偏差場の維持過程と長期変動」
- 39) Y. N. TAKAYABU, Y. IKUTA, S. SHIGE, C. YOKOYAMA, A. HAMADA, H. TSUJI and M. YAMAJI: Tenth Asia-Oceania Meteorological Satellite Users' Conference, Melbourne, Australia, 2019
“Estimate of 3D convective latent heating (SLH) from space-borne radar measurements and its assimilation with the JMA Local Forecast Model.” (invited)
- 40) 浜口佑也、高藪縁：第11回熱帯気象研究集会（2019）
「対流圏上層のトラフ後面におけるTD型擾乱の発生過程」
- 41) H. NAKAMURA, K. NISHII and B. TAGUCHI: Ocean Sciences Meeting, San Diego, U.S.A., 2020
“An AGCM assessment of oceanic impacts on a heat wave over Japan in July 2018.”
- 42) B. TAGUCHI, K. NISHII and H. NAKAMURA: Ocean Sciences Meeting, San Diego, U.S.A., 2020
“Kuroshio Extension and Gulf Stream's influences on the variability of near-surface baroclinicity and the associated atmospheric fields.”
- 43) H. NAKAMURA, R. MASUNAGA and A. MIYAMOTO: U.S. CLIVAR, Surface Current in the Coupled Ocean-Atmosphere System Workshop, La Jolla, U.S.A., 2020
“Impacts of the warm western boundary currents on the mean-state and variability of the overlying atmosphere.” (poster)
- 44) 高野雄紀：日本気象学会2020年度春季大会（2020）
「MSMGPVを用いた雲を考慮する日の出予想の試み」
- 45) 金子航：日本気象学会2020年度春季大会（2020）
「Atmospheric Riverの降水特性に及ぼす効果と経年変化に関する研究」
- 46) 辻宏樹：日本気象学会2020年度春季大会（2020）
「GPM SLH（スペクトル潜熱加熱推定法）V06Xプロダクトにおける改良点」
- 47) 釜堀弘隆：日本気象学会2020年度春季大会（2020）
「様々な時間スケールのアメダス極端降水量の季節・長期変動－ENSOへの応答－」
- 48) Y. N. TAKAYABU, H. NAKAMURA, T. HORINOUCI, T. NAKAEGAWA and S. EMORI: JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online, 2020
“Drawing Storylines of Extraordinary Weather Phenomena around Japan in Changing

- Climate.” (poster)
- 49) Y. HAMAGUCHI and Y. N. TAKAYABU: JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online, 2020
 “An Initiation Process of TD-type Disturbances under an Influence of Upper-Level Troughs.” (poster)
- 50) H. TSUJI, Y. N. TAKAYABU and E. TOCHIMOTO: JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online, 2020
 “Precipitation and latent heating distribution in extratropical cyclones observed by the Global Precipitation Measurement Dual-frequency Precipitation Radar.” (poster)
- 51) Y. NAKAMURA and Y. N. TAKAYABU: JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online, 2020
 “A statistical study on precipitation characteristics coupled with equatorial Kelvin waves and equatorial Rossby waves.” (poster)
- 52) C. YOKOYAMA, Y. N. TAKAYABU, O. ARAKAWA and T. OSE: JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online, 2020
 “Future Projections of Precipitation Characteristics around Japan in Early Summer Combining GPM DPR and CMIP5 Data: Analysis of multi-model variations.” (poster)
- 53) R. SHIBUYA, Y. N. TAKAYABU, C. YOKOYAMA, H. TSUJI and H. KAMAHORI: JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online, 2020
 “A statistical study of large-scale environment associated with extreme precipitation using AMeDAS and JRA55/ERA5 data.”
- 54) Y. KOSAKA and D. KADO: JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online, 2020
 “Summertime climate anomalies in Asia and the Northwestern Pacific induced by ENSO: Dependence on ENSO’s phase transition.” (poster)
- 55) 小坂優: 日本気象学会 気候形成・変動機構研究連絡会「夏の特別編」、オンライン (2020)
 「d4PDFにおける経年変動シルクロードパターンの再現性と潜在的予測可能性」
- 56) 中村尚: 日本気象学会2020年度秋季大会「藤原賞」受賞記念講演、オンライン (2020)
 「中・高緯度の大規模な大気循環変動メカニズムに関する研究および異常気象分析を通じた気象業務との連携の推進」 (招待講演)
- 57) 岡島悟、中村尚、Y. KASPI: 日本海洋学会2020年度秋季大会、オンライン (2020)
 「北太平洋における移動性擾乱活動の『真冬の振幅低下』のメカニズムに関する調査」
- 58) 辻宏樹、高藪縁、澁谷亮輔、釜堀弘隆、横山千恵: 異常気象研究会2020、オンライン (2020)
 「九州地方の大雨に先行する自由対流圏水蒸気フラックス収束の存在」
- 59) 澁谷亮輔、高藪縁、釜堀弘隆: 異常気象研究会2020、オンライン (2020)
 「西日本域の広域極端豪雨現象に伴う大規模循環場の統計的解析」
- 60) Y. KOSAKA and Y. UCHIDA: American Geophysics Union Fall Meeting, online, 2020
 “Modulations of the Silk Road teleconnection pattern under global warming in large ensemble AGCM simulations.”
- 61) 加藤里枝、濱田篤、安永数明: 2020年度日本気象学会中部支部研究会、オンライン (2020)
 「アンサンブル気候予測データを用いた現在・将来気候における梅雨期日本域の降水特性に関する統計解析」
- 62) 室内創太、濱田篤、安永数明: 2020年度日本気象学会中部支部研究会、オンライン (2020)
 「隣接閉領域追跡法による梅雨前線上のメソ α 低気圧の同定と追跡」
- 63) 晴枝茜、安永数明、濱田篤: 2020年度日本気象学会中部支部研究会、オンライン (2020)
 「梅雨前線における水蒸気の輸送過程の変化」
- 64) 関涼平、安永数明、濱田篤、林昌宏、和田章義: 2020年度日本気象学会中部支部研究会、オンライン (2020)
 「台風になる熱帯低気圧と台風にならない熱帯低気圧に関する研究」
- 65) Y. N. TAKAYABU, W. KANEKO and H. TSUJI: 34th Conference on Climate Variability and

- Change, AMS 101 Annual Meeting, online, 2021
 “Effects of the Atmospheric Rivers on Rainfall Characteristics and Their Implications for a Long-term Trend of Heavy Rainfalls.”
- 66) 森正人：「長期予報と大気大循環」研究会、気象庁、オンライン（2020）
 「北極海の海氷減少と東アジアの寒冬について」
- 67) R. SHIBUYA: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
 “Statistical Study of the Large-scale environment associated with widespread extreme precipitation using a rain gauge observation network (AMeDAS) and JRA-55 data.”
- 68) T. MIYASAKA: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
 “Future projections of heavy precipitation in Kanto and associated weather patterns using large ensemble high-resolution simulations.”
- 69) Y. KOSAKA: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
 “Modulations of the Silk Road Teleconnection Pattern Under Global Warming in Large Ensemble AGCM Simulations.”
- 70) Y. N. TAKAYABU: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
 “Project Introduction: Drawing Storylines of Extraordinary Weather Phenomena around Japan in Changing Climate.”
- 71) H. KAMAHORI: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
 “Seasonal and long-term variation in extreme precipitation in various time scale over Japan.” (poster)
- 72) H. TSUJI: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
 “Contrasting features of the July 2018 heavy rainfall event and the 2017 Northern Kyushu rainfall event.” (poster)
- 73) M. MORI: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
 “A reconciled estimate of the influence of Arctic sea-ice loss on recent Eurasian cooling.”
- 74) C. YOKOYAMA: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
 “Multi-model variations in future projections of early summer precipitation characteristics around Japan using CMIP6 and GPM DPR.”
- 75) 辻宏樹、高藪縁、澁谷亮輔、釜堀弘隆、横山千恵：日本気象学会2021年度春季大会、オンライ

- ン (2021)
「九州地方の大雨に先行する自由対流圏水蒸気フラックス収束の存在とその役割」
- 76) 澁谷亮輔、高薮縁、横山千恵：日本気象学会2021年度春季大会、オンライン (2021)
「西日本域の広域極端豪雨現象をもたらす環境場と主成分分析による統計的分類」
- 77) 細谷桂介：日本気象学会2021年度春季大会、オンライン (2021)
「令和2年7月豪雨の環境場解析」
- 78) 横山千恵、高薮縁：日本気象学会2021年度春季大会、オンライン (2021)
「GPM DPRとCMIP6モデルとを用いた初夏日本付近の降水特性の将来変化推定のばらつき」
- 79) A. HAMADA, R. KAWABATA and K. YASUNAGA: Japan Geoscience Union Meeting 2021, Online, 2021
“Statistical analysis of precipitation system characteristics observed by GPM/DPR over high-latitude land.”
- 80) H. NAKAMURA: Japan Geoscience Union Meeting 2021, online, 2021
“How can we effectively utilize atmospheric forecasts that include uncertainties?” (invited)
- 81) H. NAKAMURA and R. MASUMAGA: CLIVAR International Workshop for Mid-latitude Air-sea Interaction, online, 2021
“Daily-scale processes shaping the time-mean atmospheric structure around midlatitude SST fronts.” (invited)
- 82) C. YOKOYAMA and Y. N. TAKAYABU: AOGS 2021 18th Annual Meeting, online, 2021
“Multi-model Variations in Future Projections of Early Summer Precipitation Characteristics Around Japan Using CMIP6 and GPM DPR.”
- 83) Y. HAMAGUCHI and Y. N. TAKAYABU: AOGS2021 18th Annual Meeting, online, 2021
“An Initiation Process of Tropical Depression-type Disturbances Under the Influence of Upper-level Troughs.” (poster)
- 84) Y. KOSAKA, T. MACHIMURA, H. KUBOTA, H. NAKAMURA and S.-P. XIE: ACRE 2021 Virtual Workshop, online, 2021
“Two dominant teleconnection patterns over the summer Northwestern Pacific and their interdecadal modulations.”
- 85) H. NAKAMURA, S. SEKIZAWA, Y. KOSAKA and K. NISHII: Northeastern Asian Symposium, online, 2021
“Modulations of the East Asian Winter Monsoon as the Remote Influence from the Tropics.” (invited)
- 86) 中村尚：第49回日本救急医学会総会 (2021)
「近年我が国で発生した豪雨災害と地球温暖化」 (招待講演)
- 87) 澁谷亮輔、高薮縁：日本気象学会2021年度秋季大会 (2021)
「広域極端降雨現象のストーリーライン構築のための主成分分析による環境場の分類と将来変化の帰納的推測」 (poster)
- 88) 横山千恵、高薮縁：日本気象学会2021年度秋季大会 (2021)
「GPM DPRとCMIP6モデルとを用いた初夏日本付近の降水特性のストーリーライン研究」 (poster)
- 89) 刀祢晴菜、高薮縁：日本気象学会2021年度秋季大会 (2021)
「GPM/DPR データを用いた極端降水イベントとその環境場についての統計解析」
- 90) 高野雄紀、高薮縁：日本気象学会2021年度秋季大会 (2021)
「民間気象業務における「顕著雨準備情報」の運用」
- 91) 中村雄飛、高薮縁：日本気象学会2021年度秋季大会 (2021)

- 「赤道Kelvin波・Rossby波の結合過程に関する統計解析」
- 92) 高野雄紀、高薮縁：日本気象学会2021年度秋季大会（2021）
「NICOCOによる高解像度気候計算に向けた基礎調査」
- 93) 草野優一郎、濱田篤、安永数明：日本気象学会2021年度秋季大会（2021）
「北西太平洋の熱帯低気圧が大気の大規模な川形成に及ぼす影響」(poster)
- 94) 小野有紀、濱田篤、安永数明：日本気象学会2021年度秋季大会（2021）
「マルチパラメータフェーズドアレイ気象レーダー(MP-PAWR)を用いたダウンバーストの力学的構造の解析」(poster)
- 95) 森正人、小坂優、田口文明：日本気象学会2021年度秋季大会（2021）
「WACEパターン形成・維持に対する大気-海氷結合の役割」
- 96) 小坂優：日本気象学会2021年度秋季大会（2021）
「CMIP6におけるシルクロードパターンの温暖化に伴う変調」
- 97) 中村尚：日本気象学会2021年度秋季大会シンポジウム（2021）
「近年の我が国の異常気象：顕著事例の実態・メカニズムと地球温暖化との関連」（招待講演）
- 98) H. TSUJI, Y. N. TAKAYABU, R. SHIBUYA, H. KAMAHORI and C. YOKOYAMA: AGU Fall Meeting 2021, online, 2021
“The role of free-tropospheric moisture convergence for summertime heavy rainfall in western Japan.”
- 99) Y. KOSAKA: AGU Fall Meeting 2021, online, 2021
“Weakening of the Silk Road teleconnection pattern under global warming in CMIP6 projections.”
- 100) H. TSUJI and Y. N. TAKAYABU: The Joint PI Meeting of JAXA Earth Observation Missions FY2021, online, 2022
“Characteristics of precipitation systems causing heavy rainfall over Kyushu in August 2021 with GPM KuPR.”
- 101) H. NAKAMURA, A. MIYAMOTO, T. MIYASAKA, Y. KOSAKA, B. TAGUCHI and K. NISHII: Ocean Sciences Meeting 2022, online, 2022
“Air-sea Interaction for the Maintenance of the Wintertime Subtropical High over the South Indian Ocean.”
- 102) Y. N. TAKAYABU: The 7th WMO International Workshop on Monsoon (IWM-7), online, 2022
“Warm Season Heavy Precipitation Observed from Satellite Earth Observations.”
(invited)

【サブテーマ2】

- 1) Y. KAWATANI, K. HAMILTON, L. J. GRAY, S. M. OSPREY, S. WATANABE and Y. YAMASHITA: IUGG 2019, Montreal, Canada, 2019
“The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model.” (invited)
- 2) 佐藤尚毅：日本気象学会2019年度秋季大会（2019）
「気候シナリオのストーリーライン構築のための積雪のモデル計算」
- 3) 入江健太、佐藤尚毅：日本気象学会2019年度秋季大会（2019）
「寒冷渦が台風の温帯低気圧化に与える影響」
- 4) 門前由喜子、佐藤尚毅：日本気象学会2019年度秋季大会（2019）
「日本海と太平洋を通過する爆弾低気圧の前線構造の違い」
- 5) Y. KAWATANI, K. HAMILTON, L. J. GRAY, S. M. OSPREY, S. WATANABE and Y. YAMASHITA:

RCAST special symposium on climate science, Tokyo, Japan, 2019

“The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model.”

- 6) 河谷芳雄：九州大学理学部第4回地球惑星科学談話会（2019）
「成層圏・中間圏が対流圏循環場に及ぼす影響～気候モデルを用いた考察～」
- 7) 佐藤尚毅、堀之内武、河谷芳雄：日本気象学会2020年度春季大会（2020）
「冬季の中部日本におけるマルチモデル気候予測の二極分布」
- 8) T. HORINOUCI: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
“Dynamical variability of the CMIP5 future projection of the East Asian Summer Monsoon.”
- 9) Y. KAWATANI: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
“Impact of the upper troposphere and stratosphere on the climate change around Japan.” (poster)
- 10) N. SATO: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
“Bimodal distribution found in the multimodel climate prediction over central Japan in winter.”
- 11) 河谷芳雄、堀之内武、佐藤尚毅：異常気象研究会2021（2021）
「上部対流圏－成層圏の温暖化レスポンス差が日本周辺の気候場に与える影響」
- 12) 河谷芳雄、堀之内武、佐藤尚毅：日本気象学会2021年度秋季大会（2021）
「上部対流圏－成層圏の温暖化レスポンス差が日本周辺の気候場に与える影響（II）」
- 13) 佐藤尚毅、堀之内武、河谷芳雄：日本気象学会2021年度秋季大会（2021）
「CMIP6マルチ気候モデルにおける冬季中部日本での降水変動」
- 14) 堀之内武、河谷芳雄、佐藤尚毅：日本気象学会2021年度秋季大会（2021）
「CMIP5による梅雨の将来変化のモデル間差異における循環場の役割」

【サブテーマ3】

- 1) T. NAKAEGAWA：国際水環境工学研究協会（IAHR）世界会議、パナマ（2019）
「基調講演：気候変化と極端イベント」
- 2) H. ENDO and A. KITOH: The 1st International Workshop on Global Monsoons Intercomparison Project (GMMIP), Beijing, China, 2019
“Monsoon precipitation responses to global warming and their regional differences simulated by CMIP models.”
- 3) 尾瀬智昭：日本気象学会2019年度秋季大会（2019）
「CMIP5モデルの夏季東アジア現在気候再現性と降水量将来変化（その2）」
- 4) 前田修平：日本気象学会気候形成・変動機構研究連絡会（2019）
「気候形成・変動に関する素朴な疑問」
- 5) 神澤望、高橋洋：日本地理学会2020年春季学術大会（2020）
「2018年7月に日本で発生した高温現象時への太平洋・日本パターンの影響と夏季アジアモンスーンの季節進行の関係性」
- 6) 尾瀬智昭、遠藤洋和、仲江川敏之：日本気象学会2020年度春季大会、オンライン（2020）

- 「日本域の季節平均気圧配置の将来変化」
- 7) H. ENDO, A. KITOH, R. MIZUTA and T. OSE: JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online, 2020
“Future changes in East Asian summer monsoon precipitation and their uncertainty in 60km-mesh MRI-AGCM ensemble simulations.”
 - 8) 伊東瑠衣、尾瀬智昭、遠藤洋和、水田亮、吉田康平、鬼頭昭雄、仲江川敏之：日本気象学会2020年度秋季大会、オンライン（2020）
「温暖化による日本域での気候変化と循環場との相関関係」
 - 9) 宮坂貴文、川瀬宏明、仲江川敏之、高薮出：日本気象学会2020年度秋季大会、オンライン（2020）
「関東における極端降水と付随する循環場の将来変化」
 - 10) 尾瀬智昭、高谷祐平、仲江川敏之、前田修平：日本気象学会2020年度秋季大会、オンライン（2020）
「CMIP5マルチモデル将来予測実験における夏季東アジアの気圧配置および南風モンスーンの分析」
 - 11) 塩竈秀夫、伊東瑠衣、今田由紀子、仲江川敏之、廣田渚郎、石崎紀子、高橋潔、高薮出、江守正多：日本気象学会2020年度秋季大会、オンライン（2020）
「気候変動影響評価で利用されてきた日射量変化予測の幅は十分か？」
 - 12) 高谷祐平、齊藤直彬、石川一郎：日本気象学会2020年度秋季大会、オンライン（2020）
「ENSO-アジアモンスーン関係の再考」
 - 13) Y. TAKAYA, N. SAITO, I. ISHIKAWA, S. MAEDA, Y. KOSAKA and M. WATANABE: AGU Fall Meeting 2020, online, 2020
“Rethinking the ENSO-monsoon relationship in light of trans-basin interactions.”
 - 14) R. ITO, T. OSE, H. ENDO, R. MIZUTA, K. YOSHIDA, A. KITOH and T. NAKAEGAWA: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
“Seasonal characteristics of future climate change over Japan and the associated wind change indices in GCM experiments.”
 - 15) T. MIYASAKA, H. KAWASE, T. NAKAEGAWA, Y. IMADA and I. TAKAYABU: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
“Future projections of heavy precipitation in Kanto and associated weather patterns using large ensemble high-resolution simulations.”
 - 16) T. OSE: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
“Resolution of summertime East Asian pressure pattern and southerly monsoon wind in CMIP multi-model future projections.”
 - 17) H. G. TAKAHASHI: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
“Impact of sea surface temperature near Japan on the extra-tropical cyclone induced heavy snowfall in Tokyo by a regional atmospheric model.”
 - 18) Y. TAKAYA, N. SAITO, I. ISHIKAWA and S. MAEDA: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
“Two Tropical Routes for the Remote Influence of the Northern Tropical Atlantic on

- the Indo-Western Pacific Summer Climate.”
- 19) H. ENDO, A. KITOH, R. MIZUTA and T. OSE: Japan Geoscience Union Meeting 2021, online, 2021
 “Different future changes between early and late summer monsoon precipitation in East Asia.”
- 20) H. SHIOGAMA, R. ITO, Y. IMADA, T. NAKAEGAWA, N. HIROTA, N. N. ISHIZAKI, K. TAKAHASHI, I. TAKAYABU and S. EMORI: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021
 “Selection method of CMIP6-based future climate scenarios for impact and adaptation studies in Japan.”
- 21) Y. TAKAYA, N. SAITO, I. ISHIKAWA and S. MAEDA: WCRP-CLIVAR Workshop on Climate Interactions among the Tropical Basins, online, 2021
 “Two Tropical Routes for the Remote Influence of the Northern Tropical Atlantic on the Indo-western Pacific Summer Climate.”
- 22) 高谷祐平、石川一郎、小林ちあき、遠藤洋和、尾瀬智昭：日本気象学会2021年度春季大会（2021）
 「2020年の活発な梅雨・メイユに対するインド洋の影響」
- 23) 尾瀬智昭、遠藤洋和、仲江川敏之：日本気象学会2021年度春季大会（2021）
 「海面気圧の類似年による盛夏期日本の将来気候変化推定」
- 24) 尾瀬智昭、遠藤洋和、仲江川敏之：日本気象学会2021年度秋季大会（2021）
 「夏季日本域月別海面気圧の近年「トレンド」と温暖化予測」
- 25) 尾瀬智昭、遠藤洋和、高谷祐平、仲江川敏之、前田修平：日本気象学会2021年度秋季大会（2021）
 「夏季東アジアにおける海面気圧将来変化のパターン分析 —CMIP 6 とCMIP 5 の比較—」
- 26) 神澤望、高橋洋：日本気象学会2021年度秋季大会（2021）
 「CMIP6 による夏季アジアモンスーン降水量の将来変化」

【サブテーマ 4】

- 1) 高橋潔：坂井地区水田農業ハイグレード推進大会（2019）
 「異常気象時代に生き残るためのリスク管理」
- 2) 石崎紀子、日下博幸、荒木貴光、Q. V. DOAN、池田亮作：日本気象学会2019年度秋季大会（2019）
 「領域モデルにおける境界層スキームとramp現象の再現性」（poster）
- 3) M. NISHIMORI, T. IIZUMI, N. ENDO, N. N. ISHIZAKI, H. SHIOGAMA, N. HANASAKI and K. TAKAHASHI: 日本農業気象学会2020年全国大会（2020）
 “Inter-comparison of multiple statistically downscaled and bias corrected regional climate scenarios for Japan.”
- 4) H. SHIOGAMA: JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online, 2020
 “Droughts, fires and fire emissions of CO2 and PM2.5 in equatorial Asia due to historical and future climate changes.”（poster）
- 5) 石崎紀子、塩竈秀夫、花崎直太、高橋潔：日本気象学会2020年度秋季大会（2020）
 「日本域の日データを対象としたバイアス補正手法の検討」
- 6) 塩竈秀夫：日本気象学会2020年度秋季大会（2020）
 「気候変動影響評価で利用されてきた日射量変化予測の幅は十分か？」（poster）
- 7) H. SHIOGAMA: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional

Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021

“Selection method of CMIP6-based future climate scenarios for impact and adaptation studies in Japan.”

- 8) M. HAYASHI: Online International Workshop 2021: Storyline Approach on Regional Extreme Weather and Their Future Change for Better Adaptations to the Climate Change, online, 2021

“The record-high SST over the northwestern Pacific Ocean in August 2020: Detecting the impact of human-induced climate changes.”

- 9) M. HAYASHI, H. SHIOGAMA, S. EMORI, T. OGURA and N. HIROTA: EGU General Assembly 2021, online, 2021

“Detecting Anthropogenic Effects on the Record-Warm Northwestern Pacific Sea Surface Temperature in August 2020.” (poster)

- 10) 塩竈秀夫、石崎紀子、花崎直太、高橋潔、江守正多、伊東瑠衣、仲江川敏之、高薮出、脇岡靖明、高薮縁、澁谷亮輔：日本気象学会2021年度春季大会（2021）

「日本の気候変動影響評価・適応策研究のための気候シナリオ選択」 (poster)

- 11) 林未知也、塩竈秀夫、江守正多、小倉知夫、廣田渚郎：日本気象学会2021年度春季大会（2021）

「2020年8月の北西太平洋の記録的高温と人為的地球温暖化」

- 12) 塩竈秀夫、石崎紀子、花崎直太、高橋潔、江守正多、伊東瑠衣、仲江川敏之、高薮出、脇岡靖明、高薮縁、澁谷亮輔：日本地球惑星科学連合2021年大会（2021）

「影響評価・適応策研究のための気候シナリオ選択手法の開発」

- 13) 塩竈秀夫、石崎紀子、花崎直太、高橋潔、林未知也、江守正多、高薮出：日本気象学会2021年度秋季大会（2021）

「日本の適応策推進のための気候シナリオ研究」

- 14) 江守正多：I-URICフロンティアコロキウム総括シンポジウム（2021）

「気候変動の「予測」と不確実性」

(3) 「国民との科学・技術対話」の実施

【サブテーマ1】

- 1) 日本学術会議公開シンポジウム「繰り返される災害」にて講演「異常気象と気候変動」（実施者：中村尚、共催：日本学術会議 地球惑星科学委員会 地球・人間圏分科会、土木工学・建築学委員会 IRDR 分科会、2019年4月5日、日本学術会議講堂）
- 2) 日本地球惑星科学連合大会2019年大会 パブリックセッションにて講演「平成30年7月豪雨と猛暑：異常気象の連鎖と地球温暖化の影響」（実施者：中村尚、主催：公益社団法人日本地球惑星科学連合、2019年5月26日、幕張メッセ）
- 3) 先端研キャンパス公開「研究室紹介 “気象アーカイブ -あの日はどうな天気だった?-”」（実施者：中村尚、小坂優、2019年5月31日～6月1日、東京大学先端科学技術研究センター）
- 4) 公開シンポジウム「Future Earth、構成プロジェクトの連携で地球環境問題の解決へ - Future Earth時代における地球表層システム科学と防災・減災研究 -」にて講演「衛星観測を用いた豪雨形成機構の新たな理解」（実施者：高薮縁、主催：日本学術会議環境学委員会・地球惑星科学委員会合同FE・WCRP合同分科会、及びフューチャー・アースの推進と連携に関する委員会、2019年8月7日、日本学術会議講堂、聴講者約120名）
- 5) 公開シンポジウム「Future Earth、構成プロジェクトの連携で地球環境問題の解決へ - Future Earth 時代における地球表層システム科学と防災・減災研究-」にて講演「変動する大気海洋と異常気象」（実施者：中村尚、主催：日本学術会議環境学委員会・地球惑星科学委員会合同

- FE・WCRP合同分科会、及びフューチャー・アースの推進と連携に関する委員会、2019年8月7日、日本学術会議講堂、聴講者約120名)
- 6) 東京大学柏キャンパス一般公開2019 大気海洋研究所講演会にて講演「梅雨時の日本の雨は将来どう変わるか？」（実施者：横山千恵、主催：大気海洋研究所、2019年10月26日、東京大学柏キャンパス大気海洋研究棟、聴講者約30名）
 - 7) 東京大学先端科学技術研究センター・スペシャルシンポジウム「Special symposium on climate science with Prof. B. J. Hoskins」（実施者：中村尚、小坂優、2020年11月8日、東京大学先端科学技術研究センターENEOSホール）
 - 8) 第24回「震災対策技術展」にて講演「近年我が国を襲った豪雨のメカニズムと地球温暖化の影響」（実施者：中村尚、主催：「震災対策技術展」横浜 実行委員会、2020年2月6日、パシフィコ横浜）
 - 9) 第26回南極&北極の魅力講演会にて講演「北極温暖化で変わる！？異常気象のリスク」（実施者：森正人、主催：公益財団法人日本極地研究振興会、2020年2月8日、（株）日本印刷会館）
 - 10) 公開シンポジウム「東大水フォーラム」にて講演「地球温暖化と日本周辺の雨の降り方」（実施者：高藪縁、主催：東京大学大学院工学系研究科社会連携・産学協創推進室、2020年2月14日、東京大学本郷キャンパス、観客約70名）
 - 11) 日本学術会議公開シンポジウム「低頻度巨大災害を考える」にて講演「我が国の近年の極端気象と地球温暖化」（実施者：中村尚、主催：日本学術会議 防災減災学術連携委員会、土木工学・建築学委員会、低頻度巨大災害分科会、2020年3月18日、インターネットによる公開中継）
 - 12) 令和元年度シンポジウム「地球を観る、災害を観る」にて講演「富山の気候変動」（実施者：濱田篤、主催：富山大学 都市デザイン学部、2020年6月9日、10日、オンライン）
 - 13) 防災学術連携体第1回Web研究会にて講演「近年の異常気象と地球温暖化 ― 今夏への備えも含めて ―」（実施者：中村尚、主催：防災学術連携体、2020年6月23日～24日、オンライン）
 - 14) 日本食品工業倶楽部にて講演「昨今の異常気象と地球温暖化」（実施者：中村尚、主催：日本食品工業倶楽部、2020年7月8日、東京）
 - 15) いわき市平第三中学校遠隔授業にて講演「地球温暖化・異常気象」（実施者：中村尚、2020年9月17日、オンライン）
 - 16) 東京大学2020年度JSTグローバルサイエンスキャンパスプログラム遠隔講義「異常気象と地球温暖化 ― 近年の我が国の状況を中心に ―」（実施者：中村尚、2020年9月26日、オンライン）
 - 17) 日本学術会議公開シンポジウム／第10回防災学術連携シンポジウム「複合災害への備えー with コロナ時代を生きる」にて講演「気候変動と今年の気象災害」（実施者：中村尚、2020年10月3日、オンライン）
 - 18) 公開フォーラム「第4回海中海底工学フォーラム・ZERO」の特別セッションにて講演「地球衛星観測から温暖化と雨の変化を考える」（実施者：高藪縁、主催：海中海底工学フォーラム・ZERO 運営委員会、2020年10月16日、東京大学大気海洋研究所講堂・Web参加）
 - 19) 「時代を刷新する会」にて講演「地球温暖化の顕在化とともに深刻化する気象災害」（実施者：中村尚、主催：時代を刷新する、2020年11月17日、東京）
 - 20) 「令和2年度防災啓発中央研修会」にて講演「気候変動と異常気象・気象災害」（実施者：中村尚、2020年11月19日、東京）
 - 21) 私立市川学園SSH講座にて講演「顕在化する地球温暖化と異常気象」（実施者：中村尚、2020年11月21日、市川）
 - 22) エコプロonline2020にて研究紹介動画公開「日本のどの地域で集中豪雨が増えるか？―ストーリーライン構築の試み―」（実施者：高藪縁、主催：日本経済新聞社・（一社）サステナブル経営推進機構、2020年11月25日～11月28日、オンライン）
 - 23) 神奈川県経営者協議会「環境問題研究会・防災問題研究会」にて講演「世界的な異常気象と地球温暖化 ～豪雨・猛暑のメカニズムと地球温暖化の影響～」（実施者：中村尚、主催：神奈川

- 県経営者協議会、2020年12月3日、オンライン)
- 24) 「データ活用社会創成シンポジウム」にて講演「高付加価値の地域気象データの構築と社会利用を目指して」(実施者:中村尚、主催:東京大学、2020年12月25日、オンライン)
 - 25) 異常気象・異常天候の予測精度向上に関する研究会にて講演「日本周辺の海面水温分布が大気に与える影響」(実施者:中村尚、主催:気象庁、2021年3月21日、オンライン)
 - 26) 令和2年度シンポジウム「地球を観る、災害を観る」にて講演「気象学的に観た令和3年1月豪雪の特徴」(実施者:濱田篤、主催:富山大学 都市デザイン学部、2021年3月29日、オンライン)
 - 27) 豊田中央研究所「カーボンニュートラル講演会」にて講演「近年の異常気象から近未来の我が国の気候状態を展望する」(実施者:中村尚、主催:豊田中央研究所、2021年4月16日、オンライン)
 - 28) 東京大学EDGENEXT講演会にて講演「顕在化する地球温暖化と異常気象の激甚化—安心・安全社会のための気象・気候データの活用—」(実施者:中村尚、主催:東京大学、2021年5月28日、東京)
 - 29) 外務省第20回科学技術外交セミナーにて講演「大気・海洋データから読み解く気候変動と異常気象」(実施者:中村尚、主催:外務省、2021年6月8日、東京)
 - 30) 東京大学駒場リサーチキャンパス公開2021にて講義「深刻化する災害と防災・減災への挑戦—大学からの提案—」(実施者:中村尚、主催:東京大学、2021年6月11日、オンライン)
 - 31) 科学技術振興機構CRDS環境・エネルギーエキスパートセミナーにて講演「気象・気候研究開発の基盤と最前線」(実施者:中村尚、主催:科学技術振興機構、2021年6月18日)
 - 32) 気象振興協議会「令和3年度総会」にて講演「顕在化する地球温暖化と我が国の異常気象」(実施者:中村尚、主催:気象振興協議会、2021年7月7日、オンライン)
 - 33) スイス再保険「スイス・リー クレーム コンファレンス2021」にて講演「顕在化する地球温暖化と異常気象」(実施者:中村尚、主催:スイス再保険、2021年7月8日、オンライン)
 - 34) BIEN2021「Women Scientist and Engineers Leading the Future from New Normal」にて基調講演「Perspectives on future changes in climate and precipitation from satellite earth observations」(実施者:高薮縁、主催:The Association of Korean Woman Scientists and Engineers (KWSE) The International Network of Women Engineers and Scientists (INWES)、2021年8月20日、オンライン)
 - 35) 日本海洋学会秋季大会シンポジウム「中緯度大気海洋相互作用研究の現状と展望」にて招待講演「温暖化と大気の流れと豪雨について:地球衛星観測による理解の進展」(実施者:高薮縁、主催:日本海洋学会、2021年9月18日、オンライン)
 - 36) 横浜市民講座「持続可能な社会を目指して」にて講義「顕在化する地球温暖化と近年の異常気象との関連」(実施者:中村尚、主催:横浜市民プラザ、2021年9月22日、横浜)
 - 37) 防災学術連携体 第10回Web研究会にて講演「令和8年8月の記録的な大雨の状況と要因」(実施者:中村尚、主催:防災学術連携体、共催:日本気象学会、2021年9月30日、オンライン)
 - 38) 富山南高校大学見学会模擬授業「宇宙から観る雲と雨」(実施者:濱田篤、2021年10月15日、富山)
 - 39) IPCCシンポジウム2021「気候変動を知る ~最新報告書が示すこれまでとこれから~」にて講演「気候変動への人為的影響」(実施者:小坂優、主催:環境省・気象庁・文部科学省、2021年10月29日よりオンラインで動画公開)
 - 40) 高校生と大学生のための金曜特別講座にて講演「気候変動の自然科学的理解 ~IPCC による最新の報告書を読み解く~」(実施者:小坂優、主催:東京大学教養学部、2021年11月26日、オンライン)
 - 41) 『未来探究2050』× IFIセミナー「知の未来を探究する」第2回:人がくらす地球の未来にて講演「地球温暖化と降水—衛星観測から見えてくること—」(実施者:高薮縁、主催:東京大学

未来ビジョン研究センター、2021年11月19日、オンライン)

- 42) 第26回「震災対策技術展」にて講演「近年我が国を襲った異常気象のメカニズムと地球温暖化の影響」(実施者: 中村尚、主催: 「震災対策技術展」横浜 実行委員会、2022年2月4日、パシフィコ横浜)
- 43) 国立研究開発法人連携講座フロンティア宇宙工学研究拠点(地球観測センサ科学研究拠点) ワークショップ 地球観測センサの設計ビジョンにて基調講演「地球観測の科学的要請とミッション構築について」(実施者: 高薮縁、主催: 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻、JAXA、2022年2月15日、オンライン)
- 44) 公開シンポジウム「海洋政策策定に向けた海洋ビックデータの構築」にて講演「4次元地域気象データの構築に向けてー日本域気象再解析プロジェクト ClimCOREー」(実施者: 中村尚、主催: 日本海洋政策財団・早稲田大学、2022年2月22日、オンライン)
- 45) ROLES/RCAST International Webinar 「From Sea and Sky, East and West: How Earth Science Grasps the Global Warming」にて講演「Recent extreme weather events under the tangible global warming」(実施者: 中村尚、主催: 東京大学先端科学技術研究センター、2022年3月7日、オンライン)

【サブテーマ2】

- 1) 東京学芸大学公開講座「夏休み自由研究教室「親子で学ぶ天気図講座」」、「同「中高生のための天気図講座」」、「ウィンタースポーツのための天気図講座」(実施者: 佐藤尚毅、主催: 東京学芸大学、2019年7、8、11月、東京学芸大学、聴講者約120名)
- 2) やりがい講座「天気を予報してみよう！」(実施者: 佐藤尚毅、主催: 東大和市中心公民館、2020年10月10日、17日、東大和市上北台公民館)
- 3) 令和3年度 立川市夏季教員研修「理科実践事例研修」(実施者: 佐藤尚毅、主催: 立川市教育委員会、2021年7月28日、立川市立立川第五中学校)

【サブテーマ3】

- 1) 首都大学東京(現: 東京都立大学) オープンユニバーシティ公開講座にて講演「地球温暖化と気候変動適応法」(実施者: 高橋洋、主催: 首都大学東京(当時)、2019年7月27日、八王子市、受講者約20名)
- 2) 東京都北区中央公園文化センター公開講座にて講演「なぜ起こる? 異常気象の謎に迫る」(実施者: 前田修平、2019年8月24日、北区中央公園文化センター、参加者約30名)
- 3) 近畿地区気候情報連絡会「異常気象の発生メカニズムと予測」(実施者: 前田修平、2019年10月18日、大阪市、参加者約30名)
- 4) つくば市谷田部地区シルバークラブ連合会第2回シルバー教室にて講演「世界、日本、茨城の気候変化と将来予測」(実施者: 遠藤洋和、2019年11月26日、市民ホールやたべ、聴講者約70名)
- 5) 気象研究所成果発表会にて講演「地球温暖化によるアジアの降水変化～日本の梅雨はどうなる?～」(実施者: 遠藤洋和、2019年12月7日、一橋大学一橋講堂、聴講者約300名)

【サブテーマ4】

- 1) 一般公開地球環境セミナー「気候変動と脱炭素社会 - 地球環境のピンチをまちづくりのチャンスに変える -」にて講演「脱炭素社会」構築に必要な「大転換(トランスフォーメーション)」(実施者: 江守正多、主催: 生駒市、国立環境研究所、2020年2月15日、生駒市南コミュニティセンターせせらぎ、聴講者約80名)
- 2) 一般公開地球環境セミナー「気候変動と脱炭素社会 - 地球環境のピンチをまちづくりのチャンスに変える -」にて講演「最近の異常気象は地球温暖化のせい? 将来はどうなる?」(実施

- 者：塩竈秀夫、主催：生駒市、国立環境研究所 2020年2月15日、生駒市南コミュニティセンターせせらぎ、聴講者約80名)
- 3) 気候変動シンポジウム「Climate Hope ～コロナウイルスと気候変動を超えてvol.1 地球再生宣言！」にて講演「気候変動への地球規模の対応」（実施者：江守正多、主催：気候変動シンポジウム実行委員会、2020年4月19日、オンライン）
 - 4) 映画公開特別企画「No More! SDGsウォッシュ 『グリーン・ライ〜エコの嘘〜』が暴く皮肉な現実」にて講演「我慢じゃ、もたない〜科学者からの警鐘」（実施者：江守正多、主催：株式会社大川印刷、2020年5月22日、オンライン）
 - 5) 令和元年度シンポジウム「地球を観る、災害を観る」にて講演「全球的な観点からの気候変動」（実施者：塩竈秀夫、主催：富山大学 都市デザイン学部、2020年6月9日、10日、オンライン）
 - 6) 令和2年度地域センター職員研修「気候変動情報発信プロジェクト学習会」にて講演「いま必要な気候コミュニケーション」（実施者：江守正多、主催：一般社団法人地球温暖化防止全国ネット、2020年6月11日、オンライン）
 - 7) 五井平和財団講演会シリーズ「21世紀の価値観」にて講演「気候変動リスクと『卒炭素』への道」（実施者：江守正多、主催：公益財団法人五井平和財団、2020年6月14日、オンライン）
 - 8) 子ども大学水戸第7期第1回講義特別編にて講演「気候危機とコロナ危機〜ダブル危機の中をどう生きるか!〜」（実施者：江守正多、主催：特定非営利活動法人子ども大学水戸、2020年6月20日、オンライン）
 - 9) 「気候変動 x 2030 IPCCレポートから未来図をみんなで共創! 個人や組織の” ヴィジョン” づくり」にて講演「IPCC解説」（実施者：江守正多、主催：ACT SDGs、2020年6月21日、オンライン）
 - 10) Leave No One Behindウェビナー「地球環境問題を通して考えるWithコロナの時代について」にて講演「気候危機・コロナ危機と社会の大転換」（実施者：江守正多、主催：JICA緒方貞子平和開発研究所、2020年6月24日、オンライン）
 - 11) 国際環境政策研究所主催セミナーにて講演「気候変動リスクと脱炭素社会へのプロセス」（実施者：江守正多、主催：特定非営利活動法人国際環境政策研究所、2020年6月26日、オンライン）
 - 12) SDGs Youth Summit 2020 Accelerated Action and Road Map for Implementing the 2030 Agendaにて講演「気候危機・コロナ危機と社会の大転換」（実施者：江守正多、主催：持続的な社会に向けたジャパンユースプラットフォーム、2020年7月4日、オンライン）
 - 13) おおいた夏の省エネ・節電セミナーにて講演「いま求められる気候変動緩和策・対応策」（実施者：江守正多、主催：大分県地球温暖化防止活動推進センター、2020年7月10日、オンライン）
 - 14) One Earthology Seminar特別企画「気候変動」にて講演「気候危機・コロナ危機と社会の大転換」（実施者：江守正多、主催：東京大学大学院農学生命科学研究科One Earth Guardians育成機構、2020年7月14日、オンライン）
 - 15) 「気候危機からの脱出のためのシンポジウムin藤沢」にて講演「気候の危機は止められるか? 気候変動リスクと私たちの未来」（実施者：江守正多、主催：気候危機からの脱出のためにシンポジウムin藤沢、2020年7月26日、オンライン）
 - 16) Sport For Smile 10周年記念イベントにて講演「気候危機の状況と私たちがとるべき行動」（実施者：江守正多、主催：一般社団法人Sport For Smile、2020年8月10日、オンライン）
 - 17) いま世界で異常気象が起きている?! Z世代と専門家と一緒に考える未来の地球(実施者：江守正多、主催：国際環境NGOグリーンピースジャパン、2020年8月26日、オンライン)
 - 18) 令和2年度富山県環境科学センター研究成果発表会にて基調講演「近年の異常気象と地球温暖化」（実施者：塩竈秀夫、主催：富山県環境科学センター、2020年11月16日、富山市富山県民会

館)

- 19) 京都市・京エコロジーセンター主催講演会にて講演「地球温暖化の今(とこれから)」(実施者: 塩竈秀夫、主催: 京都市環境保全活動センター京エコロジーセンター、2021年2月7日、オンライン)
- 20) 環境問題を基礎から学ぶ～企業に求められる‘脱炭素社会’～オンラインセミナーにて講演「地球温暖化の現状と今後の予測」(実施者: 塩竈秀夫、主催: 日本通信販売協会、2021年4月22日、オンライン)
- 21) 東京大学工学部2021年度環境講演会にて講演「気候危機のリスクと社会の大転換」(実施者: 江守正多、主催: 東京大学工学部、2021年4月28日、オンライン)
- 22) エコシティかわさきフェスタ2021にて講演「気候変動のリスクと私たちの未来」(実施者: 江守正多、主催: かわさき生活クラブ生活協同組合、2021年5月23日、オンライン)
- 23) 気候危機アクション21 私の暮らしから考える気候変動にて講演「気候危機のリスクと社会の大転換」(実施者: 江守正多、主催: 気候危機アクション21実行委員会、2021年6月5日、オンライン)
- 24) 環境パートナーシップ・CLUB令和3年度総会における基調講演会にて講演「気候危機のリスクと社会の大転換」(実施者: 江守正多、主催: 環境パートナーシップ・CLUB、2021年7月8日、オンライン)
- 25) 令和3年度「高校生による気候変動学習プログラム」第2回勉強会にて講演「気候変動による諸課題について」(実施者: 江守正多、主催: 京都環境文化学術フォーラム、2021年7月28日、オンライン)
- 26) STOP! 温暖化講演会2021気候危機を止めるには・・・「科学の声」と「市民の声」にて講演「気候危機は止められるか-気候変動の基礎知識と最新の科学」(実施者: 江守正多、主催: PV-Net、2021年8月21日、オンライン)
- 27) (一社) 科学技術と経済の会第25期第2回代表者懇談会にて講演「19世紀から現在そして将来の気候変動」(実施者: 塩竈秀夫、主催: 科学技術と経済の会、2021年12月14日、オンライン)
- 28) 国際ガラス年2022記念「地球環境」をテーマにしたweb講演会にて講演「過去と未来の温暖化と極端気象現象」(実施者: 塩竈秀夫、主催: ガラス産業連合会環境技術部会、2022年3月7日、オンライン)
- 29) 環境問題とSDGsを学ぶ(オンラインセミナー)にて講演「気候変動と異常気象の現状と課題について」(実施者: 塩竈秀夫、主催: 日本訪問販売協会、2022年1月24日、オンライン)

(4) マスコミ等への公表・報道等>

【サブテーマ1】

- 1) テレビ朝日「サタデーステーション」(2019年6月1日、中村尚、今夏の特徴としてのインド洋のダイポールモード現象とエルニーニョについて解説)
- 2) テレビ朝日「大下容子ワイド! ス克蘭ブル」(2019年7月2日、中村尚、九州の豪雨と欧州の熱波の要因と相互関連について解説)
- 3) 朝日新聞デジタル(2019年7月4日、高薮、「西日本豪雨級の雨、100年後の梅雨期は東北でも頻発か」)
- 4) NHKラジオ第1「三宅民夫のマイあさ!」(2019年7月5日、中村尚、九州の豪雨と欧州の熱波の要因や将来の豪雨・台風について解説)
- 5) 日本経済新聞(2019年7月6日、中村尚、夕刊「異常気象、世界襲う」)
- 6) TBSテレビ「報道特集」(2019年7月6日、中村尚、温暖化に伴う九州の豪雨の激甚化について解説)
- 7) 東京新聞(2019年7月17日、中村尚、朝刊「終わらない 今年の梅雨」)
- 8) 朝日新聞(2019年7月20日、高薮、朝刊4面「西日本豪雨級」頻発の恐れ - 100年後、温暖化進め

- ば各地で)」
- 9) 隔月刊 地球温暖化 (2019年7月号、小坂、自然科学の立場から気候変動を読み解く。第5回 地域的な気候変化の原因特定)
 - 10) 毎日新聞 (2019年8月14日、中村尚、朝刊「異常気象 温暖化で加速」)
 - 11) 中国新聞 (2019年8月18日、高薮、11面「ゲリラ豪雨広範囲で増加-温暖化の日本の将来予測-」)
 - 12) 福島民報 (2019年8月20日、高薮、13面「ゲリラ豪雨広範囲に」)
 - 13) 山形新聞 (2019年8月21日、高薮、18面「脅威増す 日本の雨」)
 - 14) 北海道新聞 (2019年8月21日、高薮、4面「ゲリラ豪雨 広域化へ」)
 - 15) 熊本日日新聞 (2019年8月23日、高薮、19面「地球温暖化 ゲリラ豪雨列島」)
 - 16) 山梨日日新聞 (2019年8月23日、高薮、11面「ゲリラ豪雨 広範囲で増」)
 - 17) 日経ヴェリタス (2019年8月25日、中村尚、「『緩和と対応』で温暖化に備え」)
 - 18) 大分合同新聞 (2019年8月26日、高薮、4面「温暖化進むと…ゲリラ豪雨が広範囲に」)
 - 19) 四国新聞 (2019年8月30日、高薮、14面「ゲリラ豪雨が広範囲に」)
 - 20) 神奈川新聞 (2019年9月1日、高薮、20面「温暖化でゲリラ豪雨増」)
 - 21) 静岡新聞 (2019年9月2日、高薮、7面「ゲリラ豪雨 将来増加 - 東大、衛星利用し温暖化影響予測 -」)
 - 22) 佐賀新聞 (2019年9月6日、高薮、13面「ゲリラ豪雨 広範囲に」)
 - 23) 高知新聞 (2019年9月12日、高薮、4面「世紀末 ゲリラ豪雨広域化」)
 - 24) 隔月刊 地球温暖化 (2019年9月号、小坂、自然科学の立場から気候変動を読み解く。第6回 イベント・アトリビューション)
 - 25) テレビ朝日「サンデーLIVE!!」 (2019年9月29日、中村尚、地球温暖化の影響によって今後日本の天候・気候に起こり得る変化や必要な対策について解説)
 - 26) NHKラジオ第1「三宅民夫のマイあさ!」 (2019年10月15日、中村尚、甚大な水害をもたらした台風19号の特徴や地球温暖化の影響について解説)
 - 27) NHK総合テレビ「NHKニュース7」 (2019年10月19日、中村尚、台風19号がもたらした甚大な広域豪雨の要因と将来の防災について暖かい海水温・地球温暖化の観点から解説)
 - 28) 読売新聞 (2019年10月31日、中村尚、朝刊「台風19号で見た課題」)
 - 29) 地球環境研究センターニュース (2019年11月号、高薮、Vol.30 No.8、通巻第347号「衛星観測を用いた豪雨形成機構の新たな理解」)
 - 30) 毎日新聞 (2019年11月8日、中村尚、朝刊「30年に一度、いつ起きても」)
 - 31) NHK BS1スペシャル 気候クライシス～IPCC特別報告書からの警告 (2020年1月13日、高薮、情報提供)
 - 32) フジテレビ「Live News it!」 (2020年1月8日、中村尚、オーストラリアの森林火災などについて地球温暖化の観点も含めて解説)
 - 33) テレビ朝日「サンデーLIVE!!」 (2020年1月19日、中村尚、オーストラリアの大規模森林火災をもたらした要因について解説)
 - 34) フジテレビ「めざましテレビ」 (2020年1月20日、中村尚、オーストラリアの大規模森林火災が今後もたらし得る大気環境や異常気象への影響について解説)
 - 35) NHK総合テレビ「クローズアップ現代」 (2020年1月30日、中村尚、オーストラリアの大規模森林火災の要因と生態系への影響について解説)
 - 36) 週刊現代 (2020年2月29日、中村尚、「21世紀の公害を考える」)
 - 37) 東京新聞 (2020年3月1日、中村尚、朝刊「<地球異変 迫り来る気候危機> (上) 森林火災、固有種の悲劇 高温の豪・カンガルー島襲う」)
 - 38) 毎日新聞 (2020年3月31日、中村尚、朝刊「記録的な暖冬 雪も少なく」)
 - 39) グローバル教育出版 サクセス 15、 (2020年6月号、小坂、「ようこそ気象学の世界へ」)

- 40) テレビ朝日「大下容子ワイド!スクランブル」(2020年7月7日、中村尚、九州豪雨のメカニズムについて解説)
- 41) New York Times (2020年7月9日、中村尚、「Japan's Deadly Combination: Climate Change and an Aging Society」今回の九州の豪雨への地球温暖化の影響についてコメント)
- 42) 共同通信(静岡新聞・信濃毎日新聞)(2020年7月9日、中村尚、「大量水蒸気、列島で猛威」今回の広域豪雨への地球温暖化の影響についてコメント)
- 43) NHK BSプレミアム「体感!グレートネイチャーSP「驚異の大気循環」(2020年7月11日、中村尚、大気の循環に伴って起こる様々な激しい大気現象について解説)
- 44) NHK総合1、東京「NHKスペシャル」(2020年7月12日、中村尚、今回の九州豪雨への地球温暖化の影響について解説)
- 45) TBSテレビ「News23」(2020年7月13日、中村尚、大気の循環に伴って起こる様々な激しい大気現象について解説)
- 46) テレビ朝日「大下容子ワイド!スクランブル」(2020年7月15日、高藪、令和2年7月豪雨における大気の川、および、地球温暖化に伴う将来変化の見通しについて解説)
- 47) 東京新聞朝刊(2020年7月28日、中村尚、「統計史上初 7月の台風ゼロに?」7月の台風の異例の台風の少なさの要因と九州の豪雨への影響などについてコメント)
- 48) 日本経済新聞朝刊(2020年8月1日、中村尚、「ずっと梅雨 台風ゼロ? 異例の7月」7月に台風が発生しなかった要因についてコメント)
- 49) 読売新聞朝刊(2020年8月2日、中村尚、「線状降水帯 11時間継続」、7月の九州の豪雨への温暖化に伴う海水温上昇の影響についてコメント)
- 50) 毎日新聞(2020年8月18日、中村尚、「浜松 41.1℃最高タイ 「2階建て」高気圧猛威」(猛暑の要因について解説)
- 51) NHK総合テレビ「ニュース0845」「ニュースウオッチ9」(2020年8月20日、中村尚、「令和2年7月豪雨」(気象庁異常気象分析検討会の要因分析について解説)
- 52) 時事通信(2020年8月20日、中村尚、「偏西風北上に遅れ、梅雨前線停滞=7月の大雨要因」気象庁異常気象検討会の分析について解説)
- 53) NHK総合テレビ「おはよう日本」(2020年8月21日、中村尚、8月猛暑の要因について偏西風の蛇行の観点から解説)
- 54) テレビ朝日「ANNニュース」(2020年8月21日、中村尚、「令和2年7月豪雨」の要因分析(気象庁異常気象分析検討会-)
- 55) 読売新聞(2020年8月21日、中村尚、「偏西風 前線北上遅れ 要因…7月豪雨」(気象庁異常気象検討会の分析について解説)
- 56) 読売新聞(2020年8月27日、中村尚、「記録的猛暑:2階建て高気圧 来月も」(猛暑の要因について解説)
- 57) BBC “Future Planet” (2020年9月4日、小坂、“The wind turbines standing up to the world's worst storms” 日本における台風や温帯低気圧活動のこれまでの変化についてコメント)
- 58) 日経産業新聞(2020年9月7日、中村尚、「温暖化で「極端気象」増える データ収集し災害対策を」(温暖化と災害対策についてコメント)
- 59) NHK総合テレビ「クローズアップ現代」(2020年9月8日、中村尚、最大級の警戒が呼びかけられた今回の台風10号について海面水温と台風の関係について解説)
- 60) 日経産業新聞(2020年9月23日、中村尚、「天候変動の広域分析を豪雨など予測の糸口に」(天候変動の分析についてコメント)
- 61) 日本テレビ「ニュースZERO」(2020年10月8日、中村尚、「天気コーナー」(藤原賞について解説)
- 62) 日経産業新聞(2020年10月6日、中村尚、「大災害テックで挑む 燃えない森を作る」(大災

害の備えについてコメント)

- 63) NHK BS プレミアム「体感！グレートネイチャー SP」(2021年1月16日、中村尚、「幻の1万m峰 ヒマラヤ大隆起の謎」(ヒマラヤ山脈の形成がアジアモンスーンや偏西風に与えた影響について解説)
- 64) 毎日放送「ミント！」(2021年3月1日、岡島、「学校に行こッ！」(研究者となるに至るまでの経緯と北太平洋における移動性擾乱活動の真冬の振幅低下について解説)
- 65) NHKみんなdeプラス「持続可能な社会へ “地球のミライ” は私たちの手に」(2021年2月22日、中村尚、「地球温暖化なのになぜ寒波？」地球温暖化と寒波について解説)
- 66) 気象・海洋「現代用語の基礎知識 2021」(自由国民社) 2020年11月(共同執筆：中村尚)
- 67) 北日本新聞朝刊(2021年1月25日、濱田、27項、「7~11日県内大雪：重なった3つの条件」)
- 68) 読売新聞夕刊(2021年5月18日、中村尚、近年の秋台風の北上速度が遅くなった要因について解説)
- 69) テレビ朝日「大下容子ワイド！スクランブル」(2021年5月21日、高薮、豪雨災害激甚化が指摘される中、温暖化とともに活発化する線状降水帯などについて解説)
- 70) 読売新聞(2021年6月22日、中村尚、温暖化に伴う災害級の豪雨事例の増加について解説)
- 71) NHK広島放送局「ラウンドちゅうごく」(2021年7月9日、高薮、線状降水帯の発生につながる「大気の川」について解説)
- 72) Financial Times(2021年7月23日、中村尚・小坂、“Tokyo’s troubled Olympics offers taste of problems to come”にて地球温暖化と災害についてコメント)
- 73) 建設通信新聞(2021年7月28日、中村尚、温暖化に伴う豪雨関連災害の増大への備えについて解説)
- 74) Straits Times(2021年8月5日、中村尚、“Scorching heat at the Olympics portends worse to come for sport amid climate crisis”にて温暖化の下でのスポーツイベント開催のリスクのコメント)
- 75) 毎日新聞(2021年8月14日、中村尚、進行中の広域豪雨の要因について解説)
- 76) 日本経済新聞(2021年8月17日、中村尚、進行中の持続的広域豪雨の要因について解説)
- 77) 時事通信(2021年9月13日、中村尚、8月中旬の持続的広域豪雨の要因に関する気象庁異常気象分析検討会の見解)
- 78) TBS ニュース(2021年9月13日、中村尚、8月中旬の持続的広域豪雨の要因に関する気象庁異常気象分析検討会の見解)
- 79) NHK ニュース(2021年9月13日、中村尚、8月中旬の持続的広域豪雨の要因に関する気象庁異常気象分析検討会の見解)
- 80) テレビ朝日ニュース(2021年9月13日、中村尚、8月中旬の持続的広域豪雨の要因に関する気象庁異常気象分析検討会の見解)
- 81) 朝日新聞(2021年9月15日、中村尚、8月中旬の持続的広域豪雨の要因に関する気象庁異常気象分析検討会の見解)
- 82) 時事通信(2021年10月5日、中村尚、真鍋淑郎博士のノーベル物理学賞受賞に関するコメント)
- 83) NHK ニュースおはよう日本(2021年10月5日、中村尚、真鍋淑郎博士のノーベル物理学賞受賞に関するコメント)
- 84) 北日本新聞朝刊(2021年10月6日、濱田、27項、温室ガス削減 強調：真鍋さんノーベル賞)
- 85) 読売新聞朝刊(2021年10月6日、中村尚、真鍋淑郎博士のノーベル物理学賞受賞に関するコメント)
- 86) 東京新聞夕刊(2021年10月6日、中村尚、真鍋淑郎博士のノーベル物理学賞受賞に関するコメント)
- 87) RKB 毎日放送「地球からの警告～九州にも迫るタイムリミット～」(2021年10月9日、小坂、気候変動に対する人為的影響と将来予測や異常気象との関連について解説)

- 88) 読売新聞朝刊（2021年11月11日、中村尚、COP26に関連して地球温暖化に伴う気象関連災害の深刻化について解説）
- 89) 秋田さきがけ新聞（2021年12月3日、中村尚、真鍋淑郎博士のノーベル物理学賞受賞に関するコメント）
- 90) 神戸新聞（2021年12月12日、中村尚、真鍋淑郎博士のノーベル物理学賞受賞に関するコメント）
- 91) 中部経済新聞（2021年12月15日、中村尚、真鍋淑郎博士のノーベル物理学賞受賞に関するコメント）
- 92) 長崎新聞（2021年12月26日、中村尚、真鍋淑郎博士のノーベル物理学賞受賞に関するコメント）
- 93) 中国新聞（2021年12月29日、中村尚、真鍋淑郎博士のノーベル物理学賞受賞に関するコメント）
- 94) 時事通信（2022年3月14日、中村尚、この冬の大雪・低温の要因に関する気象庁異常気象分析検討会の見解）
- 95) 読売新聞（2022年3月15日、中村尚、この冬の大雪・低温の要因に関する気象庁異常気象分析検討会の見解）
- 96) NHK ニュース（2022年3月15日、中村尚、この冬の大雪・低温の要因に関する気象庁異常気象分析検討会の見解）
- 97) TBS「アーティストリポート」（2022年3月28日、小坂、気候変動に関する解説部分を監修）

【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ3】

- 1) 朝日新聞デジタル（2020年8月17日、遠藤、「集中豪雨、温暖化の影響も」）
- 2) 週刊タイヤ新報（2020年10月19日、高橋洋「東京での雪の予報に 寄与する新たな要素として 関東及び東北地方東方の海面水温の監視が必要」）
- 3) 新聞デジタル（2021年7月16日、高橋洋、「近年の梅雨、やはり猛威増加 衛星で確認、温暖化影響か」）
- 4) 朝日新聞（2021年8月10日、高橋洋、朝刊22面「梅雨の雨 10年で活性化 都立大など分析」）

【サブテーマ4】

- 1) 茨城放送「菊地真衣の防災ラボ」（2020年5月11日、江守、相次ぐ異常気象・災害の背景と今後の見通し、気候変動との関連性について解説）
- 2) Japan Times（2020年5月12日、江守、Outnumbered but unafraid: Japanese climate activists confront society to save it）
- 3) ラジオ関西「正木明の地球にいいこと」（2020年5月25日、江守、日本の排出削減目標提出について解説）
- 4) テレビ朝日「ABEMA Prime」（2020年5月28日、江守、気候変動とポストコロナの社会について解説）
- 5) ラジオ関西「正木明の地球にいいこと」（2020年6月1日、江守、コロナ危機と気候危機について解説）
- 6) 東京新聞（2020年6月10日、江守、朝刊「そもそも温暖化って？＜地球異変・温暖化のはてな＞」）
- 7) 日本テレビ「深層NEWS」（2020年6月12日、江守、地球温暖化と気象災害の関係について解説）
- 8) 朝日小学生新聞（2020年6月25日、江守、「みんなで考えるコロナ後 気候危機にやさしい対策

を」)

(5) 本研究費の研究成果による受賞

- 1) 中村尚：日本気象学会藤原賞（受賞対象業績：中・高緯度の大規模な大気循環変動メカニズムに関する研究および異常気象分析を通じた気象業務との連携の推進）（2020）
- 2) 中村尚：Top 10 downloaded paper 2018-19 (Tyris et al. JGR-Atmos) (2020)
- 3) 高薮縁：アメリカ気象学会 (AMS) フェロー受賞 (2021)
- 4) 小坂優：日本地球惑星科学連合第4回西田賞（受賞対象業績：気候変動と異常気象に関わる熱帯大気海洋相互作用と遠隔影響メカニズムの研究）（2021）
- 5) 中村尚：Top cited article 2020-2021 (Tyris et al., Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 2020) (2021)

IV. 英文Abstract

Drawing Storylines of Extraordinary Weather Phenomena around Japan for an Impact Assessment of the Climate Change

Principal Investigator: Yukari N. TAKAYABU

Institution: The University of Tokyo, 7-3-1 Bunkyo-ku, Tokyo, JAPAN

Tel: 04-7136-4402 / Fax:04-7136-4375

E-mail: yukari@aori.u-tokyo.ac.jp

Cooperated by: Hokkaido University, Meteorological Research Institute, National Institute for Environmental Studies, Kyushu University, University of Toyama, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Tokyo Gakugei University, Tokyo Metropolitan University

[Abstract]

Key Words: Global Warming, Climate Change, Impact Assessment, Future Change, Storyline Approach, CMIP, IPCC AR6

Frequent occurrences of extraordinary weather events in recent years have disclosed the vulnerability of our society to unexperienced kinds of extreme events. Increase of such extreme weather events are attributed to the global warming. Since we expect to face even further increases of extreme events in future, it is necessary to support policy makers for making adequate adaptation plans. To this end, we aim to estimate the range of uncertainty for future changes of phenomena, and to adequately convey such information to the policy makers.

In this project, supported by the Environment Research and Technology Development Fund (JPMEERF20192004), we employed the Storyline Approach, a method to narrate representative possibilities for future changes of extraordinary weather phenomena, based on physical understanding of how they are affected by the global climate change.

Utilizing various observational data and CMIP6 multi-model ensemble data, we drew storylines focusing on future changes of local extreme phenomena around Japan, such as torrential rainfalls, droughts, heat waves, typhoons, heavy snowfalls, etc. Future changes are attributed not only to thermodynamic impacts but also to dynamic teleconnections associated with the climate change. For example, utilizing space-borne precipitation radar observations, global reanalysis data, and CMIP6 future projections, we pointed out that as the global warming progresses, the risk of torrential rainfall increases in Eastern Japan. While in Western Japan, their future projections vary among models, depending on the future change of the subtropical jet streams.

On the other hand, we developed a method to select a small number of representative Global Climate Models (GCMs) that appropriately cover the uncertainty range of the CMIP6 projections in terms of climate variables utilized in the impact assessment model. We selected five representative CMIP6 GCMs and produced a climate scenario data, which has been released from the A-PLAT-Program of the National Institute for Environmental Studies (NIES). It has been utilized as a common climate scenario in S-18 project, in NIES impact assessment and adaptation studies, and in other studies for the next Climate Change Impact Assessment Report.

Finally, we examined how these five representative models cover the uncertainty range of the CMIP6 ensemble in terms of future changes of the extreme weather around Japan. Storylines of various extraordinary weather phenomena were drawn for the five representative models and provided to the impact assessment and adaptation researchers.

The results are summarized as a pamphlet for the public. URL <https://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/~takayabu/pamphlet.html>