

領域略称名：中緯度大気海洋
領域番号：6102

令和3年度科学研究費助成事業
「新学術領域研究（研究領域提案型）」
に係る中間評価報告書

「変わりゆく気候系における中緯度大気海洋相互作用 hotspot」

領域設定期間

令和元年度～令和5年度

令和3年6月

領域代表者 国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門（アプリケーションラボ）・グループリーダー・野中 正見

目 次

研究組織

- 1 総括班・総括班以外の計画研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
- 2 公募研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3

研究領域全体に係る事項

- 3 研究領域の目的及び概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
- 4 審査結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況・・・・・・・・・・・・ 6
- 5 研究の進展状況及び主な成果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
- 6 研究発表の状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 13
- 7 研究組織の連携体制・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 18
- 8 若手研究者の育成に関する取組状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19
- 9 研究費の使用状況・計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 20
- 10 今後の研究領域の推進方策・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 21
- 11 総括班評価者による評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 23

研究組織

(令和3年6月末現在。ただし完了した研究課題は完了時現在、補助事業廃止の研究課題は廃止時現在。)

1 総括班・総括班以外の計画研究

研究項目[1]	課題番号 研究課題名	研究期間	研究代表者 氏名	所属研究機関・部局・職	人数 [2]
X00 総	19H05695 中緯度大気海洋研究の推進と統括	令和元年度 ～ 令和5年度	野中 正見	国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門（アプリケーションラボ）・グループリーダー	11
A01 計	19H05696 台風・爆弾低気圧の予測可能性とスケール間大気海洋相互作用	令和元年度 ～ 令和5年度	川村 隆一	九州大学・理学研究院・教授	7
A01 計	19H05697 急速に温暖化する日本周辺海域での大気海洋相互作用と極端気象	令和元年度 ～ 令和5年度	飯塚 聡	国立研究開発法人防災科学技術研究所・水・土砂防災研究部門・総括主任研究員	6
A02 計	19H05698 東アジア縁辺海と大気の連鎖的双方向作用とモンスーン変調	令和元年度 ～ 令和5年度	立花 義裕	三重大学・生物資源学研究科・教授	8
A02 計	19H05699 雲・エアロゾルを介した中緯度大気海洋相互作用	令和元年度 ～ 令和5年度	小池 真	東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・准教授	8
A02 計	19H05700 ハイブリッド海洋観測：黒潮続流域の循環変動とその大気・生物地球化学への影響	令和元年度 ～ 令和5年度	岡 英太郎	東京大学・大気海洋研究所・准教授	6
A02 計	19H05701 黒潮・親潮等海洋前線帯の大気海洋結合系における役割とその経年変動の予測可能性	令和元年度 ～ 令和5年度	野中 正見	国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門（アプリケーションラボ）・グループリーダー	8
A02 計	19H05702 大気循環変動とその予測可能性に関わる中緯度大気海洋相互作用	令和元年度 ～ 令和5年度	中村 尚	東京大学・先端科学技術研究センター・教授	6
A03 計	19H05703 中緯度域の気候変動のメカニズム解明と予測可能性	令和元年度 ～ 令和5年度	望月 崇	九州大学・理学研究院・准教授	5
A03 計	19H05704 中緯度域の気候変動と将来予測の不確実性	令和元年度 ～ 令和5年度	見延 庄士郎	北海道大学・理学研究院・教授	7
総括班・総括班以外の計画研究 計 10 件（廃止を含む）					

[1] 総：総括班、計：総括班以外の計画研究、公：公募研究

[2] 研究代表者及び研究分担者の人数（辞退又は削除した者を除く。）

2 公募研究

研究項目[1]	課題番号 研究課題名	研究期間	研究代表者 氏名	所属研究機関・部局・職	人数 [2]
A01 公	20H05166 高解像度大気海洋結合領域モデルによる中緯度台風の気候変動応答メカニズム解明	令和2年度 ～ 令和3年度	金田 幸恵	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任助教	1
A01 公	20H05168 CYGNSS衛星を用いた台風・爆弾低気圧の高頻度観測	令和2年度 ～ 令和3年度	市川 香	九州大学・応用力学研究所・准教授	1
A01 公	20H05170 黒潮大蛇行に対する爆弾低気圧の応答に関わるプロセスの解明	令和2年度 ～ 令和3年度	平田 英隆	立正大学・地球環境科学部・助教	1
A01 公	20H05172 中緯度の海面水温変動が台風活動の季節内の変動に及ぼす影響の明確化	令和2年度 ～ 令和3年度	那須野 智江	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)・グループリーダー	1
A02 公	20H05167 特定温位面以下の寒気質量を通して見る黒潮・黒潮統流上の大気海洋相互作用	令和2年度 ～ 令和3年度	菅野 湧貴	一般財団法人電力中央研究所・環境科学研究所・主任研究員	1
A02 公	20H05169 黒潮の経年・10年規模変動とその水温場への影響 ―東シナ海中心の全流路解析―	令和2年度 ～ 令和3年度	中村 啓彦	鹿児島大学・農水産獣医学域水産学系・教授	1
A02 公	20H05171 対流圏成層圏結合が対流圏ジェット変動に及ぼす影響と中緯度海洋前線帯の役割	令和2年度 ～ 令和3年度	直江 寛明	気象庁気象研究所・気候・環境研究部・室長	1
A02 公	20H05173 放射性セシウムをトレーサとした北太平洋亜熱帯モード水の子午面2次元循環の定量化	令和2年度 ～ 令和3年度	熊本 雄一郎	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(海洋観測研究センター)・主任研究員	1
A03 公	20H05175 高解像度データを用いた100年スケールの台風温低化と中緯度大気海洋変動の解析	令和2年度 ～ 令和3年度	中野 満寿男	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)・研究員	1
公募研究 計 9 件 (廃止を含む)					

[1] 総：総括班、計：総括班以外の計画研究、公：公募研究

[2] 研究代表者及び研究分担者の人数(辞退又は削除した者を除く。)

研究領域全体に係る事項

3 研究領域の目的及び概要

研究領域全体を通じ、本研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時の領域計画書を基に、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。なお、記述に当たっては、どのような点が「革新的・創造的な学術研究の発展が期待される研究領域」であるか、研究の学術的背景や領域設定期間終了後に期待される成果等を明確にすること。

【研究目的】

近年、豪雨や豪雪が毎年のように日本列島を襲い、人々の生命・財産を脅かしている。平成30年6月に成立した「気候変動適応法案」においても我が国で気候変動の影響が既に顕在化し始めていることが指摘された。従来、このような異常気象・異常天候については長期的な温暖化に加え、エルニーニョ現象等の熱帯域の海洋・大気変動が遠隔的に影響したもので、中緯度域の海洋は大気変動にただ受動的に応答するだけと考えられてきた。今日でも気候の季節予測はこうした気候学的な「常識」の下で行われているのである。

ところが、今世紀初め頃から、高度化した人工衛星観測と海洋・大気数値モデル実験による高分解能の海洋・大気データの解析により、中緯度域の海洋もその上空の大気の構造・変動に影響を及ぼすことが明らかとなってきた。更に「Nature」誌の表紙を飾った我々の研究により、中緯度海洋の影響が対流圏上層にまで及ぶことが示された。気候学の従来常識を覆すこの新パラダイムは気候学の世界的新潮流となり、今や中緯度気候の理解に不可欠なものとなりつつある。

このような流れを創出した我々は、新学術領域2205（平成22-26年度）を立ち上げ、中緯度域の海洋から大気への影響の鍵となる黒潮やメキシコ湾流等の強い暖流域とそれに伴う水温前線帯を“気候系 hotspot”と捉え、そこでの海洋・大気結合プロセスやメカニズムの解明を目指して多角的な研究を推進し、“climatic hotspot”の概念を国際的にも定着させるとともに、我々の研究が発端となったこの新パラダイムを確立させた。

このような我々の主導的な貢献により、気候系 hotspot を通じて中緯度海洋が能動的役割を果たすという新パラダイムが確立されたが、同時に、以下に例示するような更なる課題が浮き彫りにされた。

- 我が国への直接的な影響が示された対馬暖流に伴う日本海の気候系 hotspot について現場観測に基づく実態把握が全く行われていない。また、豪雨に重要な影響を及ぼす海面直上の水蒸気分布に関する観測も著しく不足している。
- 我々が見出した、海面水温分布の豪雨・豪雪や爆弾低気圧発達等への影響は、それらの予測への応用の可能性を示唆するが、その実際的な評価は全く行われていない。また、気象庁による現業の数値天気予報においても、利用されている海面水温データの実際的な解像度が不足し、海面水温分布が十分に表現されず中緯度海洋の影響が十分に取り込まれていない可能性がある。
- 温暖化に伴う将来気候変化の研究において、そこで用いられている気候モデルの解像度が限られていることもあり、中緯度海洋の影響が殆ど考慮されていない。一方、温暖化に伴い中緯度海洋の気候への影響がどのように変化・変調するのも全く明らかにされていない。
- 下層雲形成には大気微粒子（エアロゾル）が鍵であり、その大気-海洋間の交換は新しいタイプの大気海洋相互作用をもたらす可能性がある。しかしその実態は未解明である。下層雲は地球の放射バランスにも極めて重要だが、未だに気候モデルにおける再現が不十分である。

そこで本領域では、これらの課題に注目した先端的な観測・数値モデリングの融合研究により、新パラダイムの理解を更に深化させるとともに、豪雨・豪雪、爆弾低気圧の予測や地球温暖化に伴う将来気候予測といった、防災・減災に繋がる応用の可能性を評価することで、社会的な波及効果も大きな研究を展開する。「集中観測と数値モデリングの融合研究による新パラダイムの理解深化」を基盤に「異常気象・天候の予測や地球温暖化時の気候予測への応用」として、上に挙げた重要課題の解明に取り組む。このようにして、新学術領域2205で確立させた新パラダイムを格段に深化・発展させ、その社会的応用の可能性も示すのが本領域の趣旨である。

本領域は「当該領域の格段の発展・飛躍的な展開を目指すもの」に該当する。ここでは、我々が確立した「中緯度海洋の気候学的能動性」という新パラダイムについて、I) 先端的な観測技術と数値モデリングとの融合研究により、中緯度大気海洋相互作用に特有の多階層的な過程とその間の相互作用の理

解を飛躍的に深化させる。同時に、それを基盤として、Ⅱ) 台風や爆弾低気圧等の極端気象現象や異常天候をもたらす持続的な大気循環異常などの大気・海洋現象の予測の可能性や、Ⅲ) 地球温暖化に伴う気候系の将来予測という格段に広範な分野に応用を拡げ、そこでの中緯度海洋の能動的役割を明らかにする。このような学術的波及効果とともに、防災・減災や気候の将来予測など高い社会的波及効果を持つ研究を展開する。これにより、先に確立した新パラダイムの、科学的・社会的な重要性・有用性を提示することが本領域の目指す「格段の発展・飛躍的な展開」である。

【全体構想】

1) 基本的な研究戦略

本領域では、新学術領域 2205 の成果を基盤とし、現象の予測の可能性や気候変化による変調に主眼を置くことから、対象の時間スケールに応じて、[A01] 天気予報スケールの顕著現象と中緯度海洋、[A02] 季節予報スケールの大気海洋変動、[A03] 中緯度気候の将来予測に関わる大気海洋変動の3研究項目を設けた。[A01] の対象は、台風、爆弾低気圧、豪雨・豪雪など数日規模の顕著な気象現象、[A02] では中緯度域の雲・降水分布や大気・海洋の循環の10日～数年規模の変動、[A03] においては、10年規模からより長期の気候系の自然変動や地球温暖化における中緯度大気海洋相互作用の役割や変調が対象となる。[A01] [A02] を中心に、船舶・航空機と最新の自動測器を駆使した先進的な現場観測による実態把握と高解像度数値モデリングとの融合研究を展開し、hotspot 特有の多階層の大気海洋相互作用過程の理解を格段に深化させるとともに、各項目において、対象とする現象の数値モデル内での再現性や予測の確実性・不確実性を評価する。更に、[A03] を中心に領域全体で、温暖化などの長期気候変動に伴い、[A01] [A02] で扱う現象が、その予測の可能性も含め、如何なる変調を被るかも探求する。

[A01] [A02] で扱う現象は、災害をもたらす現象として人類が直接感じるものであり、これらの現象の変調、具体的には、顕著な現象（顕著な大気・海洋の循環異常も含む）の発現頻度、強さ、発生地域等に生じる長期変化・将来変化について評価を行う。これには3項目を横断した連携も重要であり、夏季・冬季それぞれの顕著現象に関して Working Group (WG) を設け、時空間スケール間の相互作用に注目した研究を展開する。こうして得られる知見は、防災・減災を含む温暖化への社会適合を論じる上で不可欠な情報であり高い社会的波及効果がある。

2) 具体的な研究内容

【A01】 天気予報スケールの顕著現象と中緯度海洋（計画研究 A01-1, -2）

・暖流等に伴う中緯度水温分布が、台風・爆弾低気圧など強い大気擾乱の予測の可能性とそれに与えるスケール間大気海洋相互作用に及ぼす影響（A01-1）や、温暖化する日本周辺海域の水温分布が豪雨・豪雪など地域的な極端気象の予測に及ぼす影響（A01-2）の解明を目指す。

【A02】 季節予報スケールの大気海洋変動（研究計画 A02-3, -4, -5, -6, -7）

・東アジア縁辺海、特に対馬暖流に伴う大気・海洋間の連鎖的な双方向作用、及び、それを介した冬季モンスーンの変調の可能性を、観測と数値モデリングの融合研究から探求する（A02-3）。
・西部北太平洋の航空機・船舶観測と数値モデリングの融合研究により、下層雲形成への大気海洋間の熱やエアロゾルの交換の役割を通じた、中緯度大気海洋相互作用の新しい側面の解明を進める（A02-4）。
・高解像度海洋モデル実験から黒潮続流や親潮域の水温前線や海洋渦の数年規模の予測の可能性を評価する（A02-6）と共に、高解像度モデル結果と最先端の海洋観測技術（海中グライダー、自動昇降フロート等）を駆使した黒潮続流や親潮域の海洋表層3次元循環や渦活動の実態把握を通じて、海洋変動が大気や海洋表層の生物地球化学過程に与える影響の解明を進める（A02-5）。
・暖流や水温前線からの降水系を介した影響、熱帯からの遠隔影響や成層圏との結合変動等の包括的研究から、大気循環変動とその予測の可能性に関わる中緯度大気海洋相互作用の解明を進める（A02-7）。

【A03】 中緯度気候の将来予測に関わる大気海洋変動（計画研究 A03-8, -9）

・気候系 hotspot 域の役割に着目し、中緯度域の気候変動のメカニズムと予測の可能性について、十年規模の長期自然気候変動や温暖化してゆく気候系における研究を展開する（A03-8）と共に、中緯度域の気候変動とその将来予測の不確実性の評価を行う（A03-9）。ここでは中緯度大気海洋相互作用の寄与を熱帯や北極域からの遠隔影響と比較しつつ評価する。また、A01・A02 と連携し、中緯度大気海洋結合変動とそれに伴う短期気象現象の温暖化に伴う変調にも着目した研究を推進する（A03-9）。

中緯度大気海洋相互作用における多階層構造の解明という本領域の目的達成には、研究項目・計画研究・公募研究相互間の有機的横断連携が不可欠である。これを実現するための連携体制については、「7 研究組織の連携体制」で詳述する。

4 審査結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況

研究領域全体を通じ、審査結果の所見において指摘を受けた事項があった場合には、当該指摘及びその対応状況等について、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。

貴重な所見及び留意事項を頂いたことに深く感謝する。以下、これらについて、それぞれ対応状況を記述する。

【所見〔抜粋〕】

「一方で、この研究分野に対する社会的要請は異常気象・異常天候の予測である。本研究領域の研究成果を、異常気象・異常天候の予測にどのようにつなげていくのかについて検討が必要である。」

・本研究領域の研究成果を、異常気象・異常天候の予測にどのようにつなげていくのかこの所見への対応として、本領域と気象庁及び気象研究所の研究者と連携を当初計画以上に強化するため、総括班が活動してきた。その一つの表われが、R3年3月にオンラインで開催した合同研究会である。本領域は中緯度大気海洋相互作用の理解を深化させ、それを基盤として、異常気象や異常天候などの大気・海洋現象の予測の可能性といった応用の可能性を評価することを目標に掲げている。我が国において異常気象や異常天候の実際の予測を行っている主要な機関は気象庁であり、将来的に気象庁の予測システムにおいて、中緯度大気海洋相互作用の影響が適切に組み込まれることで、予測に繋がられていくことになる。合同研究会では、気象庁における気候診断や大気予測システム開発の現状、また本領域における研究成果や今後の研究計画に関

異常気象・異常天候の予測精度向上に関する研究会	
- 数値予測における中緯度大気海洋相互作用の影響に関する意見交換 -	
2021年3月23日(火) 13:00-17:15	
オンライン開催	
目的: 台風や豪雨、豪雪等の極端気象現象や冷夏や暖冬などの異常天候に対する、中緯度域の海洋から大気への影響に注目した最新の研究成果に加え、数値予報システムの評価、異常気象・異常天候の予測精度向上へ向けての最新の研究・開発の紹介を行い、今後の研究の方向性について意見交換を行う。	
【各話題 30分: 講演時間 20分、質問・議論 10分】	
13:00-13:15	趣旨説明
13:15-13:45	日本周辺の海面水温分布が大気に与える影響—新学術領域第 1-2 期の成果を中心に—
	中村尚・東京大学
13:45-14:15	週から季節スケールの顕著現象の監視について
	石崎士郎・気象庁気候情報課
14:15-14:45	大規模アンサンブル予測データにおける自信過小・過剰問題への新たな診断アプローチと、その季節予報データへの適用
	見延庄士郎・北海道大学
14:45-15:00	休憩
15:00-15:30	季節予測(大気海洋結合モデル)の現状と課題
	小森拓也・気象庁数値予報開発センター
15:30-16:00	梅雨期の東シナ海と冬の日本海の観測計画
	立花義裕・三重大学
16:00-16:30	短期予報向け数値予報モデルの現状と課題
	佐藤芳昭・気象庁数値予報開発センター
16:30-17:00	議論
17:00-17:10	議論のまとめ
17:10-17:15	閉会

図 1. 気象研究所・気象庁との合同研究会のアジェンダ

して情報を共有し、数値予測における中緯度大気海洋相互作用の影響に関する予測精度向上へ向けた研究技術開発や観測研究、それに役立つような今後の研究について意見交換を行った(図1)。気象庁の予測システム開発の現場でも中緯度の海洋が異常気象等へ及ぼす影響は意識しているものの、気象庁においてその組み込みを推進するには、堅固で明確な科学的証拠を十分に揃える必要があり、それを本領域に期待するという意見が明示された。これは本領域における研究目標と良く合致するものであり、今後もこの意見を十分に意識して研究を推進することで本領域の成果をより良く予測に繋げることが出来る。また、この研究会の議論において、気象庁でも梅雨期の東シナ海上の水蒸気量が気象予測の精度向上に重要であるとの認識を持ち、梅雨期に気象庁の海洋気象観測船2隻(凌風丸・啓風丸)で東シナ海の大気海洋観測を実施予定であることが示され、気象庁による観測と本領域で計画する梅雨期の観測との連携観測(同時観測や、気象庁の測器を我々の船に搭載すること等)や、海洋観測の予測へのインパクトの検証を気象庁側から打診され、この研究会が今後の観測連携のきっかけとなった。

本領域には気象研究所や気象庁の研究者も研究分担者や研究協力者として多数参加している。この繋がりを通じて今後も気象庁や気象研究所との連携を持ち、より具体的な研究テーマに関しても予測へのニーズを意識した研究を展開することも重要となる。このために、台風や豪雨などの個別のテーマに関する研究会に本領域の研究者も積極的に参加し気象庁や気象研究所の研究者と最新の研究に関する情報交換をして来ている。また気象研究所で開発している大気海洋結合モデルを用いたシステムでの実験により、本領域 A02-6 で気象研究所の研究協力者が黒潮の台風への影響の調査を開始している。このような試みと本領域全体で広く連携して行くことが、より予測に直接的に繋がる研究となる。

【留意事項】

「本研究領域の研究成果として異常気象・異常天候の予測につなげることができれば社会的意義が大きい、予測の可能性についての見通しが明らかでない。ヒアリングにおいて「予測可能性の評価」という表現があったが、具体的にどのような手法により評価するのかを含め、より深い議論及び検討が必要である。」

「予測可能性の評価」として、その予測したい現象の潜在的な予測の可能性（大気や海洋の変動に内在する予測の可能性の上限）を評価した上で、予測システムを用いて過去に遡って観測された現象の予測を行い、その予測の可能性の評価を行う。その際に、予測システムの持つ「自信過剰」「自信過小」（後述）の傾向にも十分に注意を払う必要がある。以下にそれぞれの詳細を記述する。

・潜在的な予測の可能性の評価

大気や海洋の変動にはカオス性がある。すなわち、予測可能性をもたらす初期条件の影響および予測可能な外力や境界条件といった要因と無関係に、大気や海洋の内部で生じる変動成分があり、例えば計算機の数値丸め誤差程度のほんの僅かな初期値の相違からでも、その後の時間発展に大きな相違が生じうる。この成分は本質的に予測が不可能であり、たとえ数値予測モデルが完璧であっても、予測における不確実性として予測に限界をもたらす。予測したい現象において予測可能な成分が不確実性よりもずっと小さい場合、その現象は本質的に予測が困難である。

この予測の不確実性は、同一の外的要因を与えた数値モデル計算を、僅かに異なるが同程度に尤もらしい幾つもの初期値を与えて行う「アンサンブル実験」によって推定する。具体的には各計算（アンサンブルメンバー）間の相違が不確実性を表し、アンサンブルメンバーの平均が潜在的な予測可能成分を表す。「潜在的」というのは、実際の予測では初期条件を得るための観測などにも制約があるので、潜在的な予測可能性は実際の予測可能性を上回るためである。予測可能成分が不確実性よりもずっと小さい場合、予測可能な変動は不確実成分に埋もれてしまい、予測は困難である。一例として、A02-6では海洋渦の活動度の経年変動の潜在的な予測の可能性を評価し、黒潮続流の上流域では本質的に予測が困難であることが示された^{#67}。（上付き#の後の数字は「6 研究発表の状況」で示す論文番号）

・予測システムを用いた予測の可能性の評価

潜在的な予測の可能性のある現象に関して、実際にどの程度の予測が可能かは、予測システムによる予測結果と観測との整合性によって評価する。予測システムでは、観測データを大気や海洋の数値モデルに同化させて作ったある時刻の状態を初期値として数値モデルの予測計算を行う。不確実性を考慮するには、多数のアンサンブルメンバーにより、予測の可能性を確率的に示すことが有効である。A03-8では、夏季アジア域の天候を前年の春の初期条件から予測することがある程度可能であることを実証した^{#91}。また、アンサンブルメンバー数の増加が予測精度を向上させることも示されており、それが今後の予測精度向上へ繋がる可能性もある。

一方で、予測可能性をもたらす予測の初期値は観測データに依存するので、観測データがどれだけ予測向上につながるかを評価することも重要である。これについて詳しく議論するため、A02-7では気象予測システムにおける観測データの予測精度への影響を網羅的に診断可能なシステムを導入し、任意の観測がその後の予測に及ぼす影響の把握を可能にした^{#45}。

・予測システムの自信過剰・自信過小問題への新たな提言

上述のような多数のアンサンブルメンバーを持つ予測システムにおいて、実際の予測可能性（予測のアンサンブル平均と観測データとの相関）が、同じ予測システムで推定した潜在的な予測可能性を大きく上回る場合があるという問題が近年指摘された。即ち、予測システムは予測可能性の上限を過小評価しており、自らの予測について「自信過小」である（逆の状態が「自信過剰」）。この問題は現在大きな注目を集めており、中緯度海洋変動に対する大気応答の予測可能性についても当てはまる可能性があることから、このような予測システムの特性の理解は、本領域で予測の可能性の検討を深める上でも重要であると考えられる。そこで、「留意事項」での指摘に対応して、応募時には計画していなかったが A03-9でこれに取り組む研究を立ち上げた。

この研究の中ではこの問題に幾つかの型があることを見出し、それらをモデルと観測のデータから診断する方法を開発した。更に、欧米の気候センターの数季節先までの気候を予測する季節予測システムを例に診断を行い、ここで示した診断方法を用いて予測システムの特性を良く把握することが予測の可能性の議論に極めて重要であることを示した。

5 研究の進展状況及び主な成果

(1) 領域設定期間内及び中間評価実施時までには何をどこまで明らかにしようとし、中間評価実施時までにはどこまで研究が進展しているのか、(2) 本研究領域により得られた成果について、具体的かつ簡潔に5頁以内で記述すること。(1)は研究項目ごと、(2)は研究項目ごとに計画研究・公募研究の順で記載すること。なお、本研究領域内の共同研究等による成果の場合はその旨を明確にすること。

(1) 期間内及び中間評価までに何をどこまで明らかにしようとし、中間評価までにどこまで進展したか

【項目 A01】

・ 中緯度域の暖流近傍でのストーム－海洋相互作用のプロセス

台風や爆弾低気圧の個別事例解析を積み上げ、(a)ストームの応答、(b)海洋応答、(c)海面フラックス高精度推定を通して、新たな支配機構を見出しストームの予報精度・予測可能性に知見を与える。中間評価まで解析を積み上げる。*進展状況*：事例解析や数値実験、海上大気比湿推定手法の開発を進めた。

・ 日本周辺の複雑な海面水温分布の時空間的な変動とその極端な気象現象の予測への影響

領域大気モデルの数値実験からこれらの解明を進める。中間評価までに海洋前線や海洋渦スケールの中緯度海洋に特有な海面水温構造が豪雨に及ぼす影響について事例解析から明らかにする。*進展状況*：親潮域の暖水渦や黒潮大蛇行に伴う高水温偏差が陸域の雨量や降雨の位置に与える影響の実験を進めた。

・ 日本周辺の縁辺海での大気下層の水蒸気量の実態把握とそれに対する中緯度海洋の寄与

東シナ海及び日本海の離島での地上観測から実態把握を進め、それに対する中緯度海洋からの局所的寄与を評価し、豪雨・豪雪をもたらす水蒸気の起源の包括的な理解を目指す。中間評価までに離島において定常的な地上気象観測を開始し、数事例の豪雨・豪雪に対する水蒸気起源を明らかにする。*進展状況*：東シナ海の中央部の女島と能登半島沖合の舳倉島に気象観測測器を設置し、継続的な観測を開始した。

・ 黒潮・黒潮統流域の高温化や大気場の長期的な変化の下でのストームの変調

高温化が進行する前と近年の事例の比較により、黒潮・黒潮統流域の高温化による強化・変調過程を評価する。また、ストーム活動の長期変動及び将来変化予測の不確実性の評価を目指す。中間評価までに事例解析等から海面水温の長期的変化による降水強度特性の変調を明らかにする。*進展状況*：令和元年東日本台風等を対象に、近年の気温と海面水温の上昇傾向がそれぞれ豪雨に及ぼした影響を評価した。

【項目 A02】

多くの観測航海に基づく研究を計画しているが、それぞれ COVID-19 の影響を強く受けている。航海の延期を余儀なくされているが、それぞれの形で対応を進め、目標へ向けて推進している。

・ 豪雪をもたらす日本海寒帯気団収束帯 (JPCZ) が対馬暖流と交差する海域の大気と海洋の実態

船舶による大気海洋同時観測を冬季に実施し、気象要素の水平収束、相対渦度等や海洋微細構造を明らかにする。梅雨期～夏季にも豪雨に注目して実施する。中間評価までに梅雨期の観測を実施する計画であった。*進展状況*：COVID-19 の影響で観測は研究期間の後半に延期した。一方、どのようなデータの取得や解析が可能かを事前に詳しく検討する計算機上での「バーチャル観測」を新規に企画・実施した。

・ 縁辺海に起因する大気と海洋の双方向作用

大気モデルを用いて海洋構造に対する大気の影響を、また、海洋モデルを用いてこの大気影響に対する海洋の影響を調べる。これらの実験や観測との比較、更に、大気海洋結合モデルも用いて、縁辺海に端を発する大気-海洋間に働く強制的連鎖を抽出する。中間評価までにこの双方向作用の抽出を進める。*進展状況*：海水や海面水温が大気へ遠隔的に及ぼす影響の解析を進め、強制的連鎖の例を示した。

・ 自然起源の海洋性エアロゾルと人為的なエアロゾルの動態と雲への影響

これらについて、航空機と船舶からのエアロゾル・雲の直接観測により、ほとんど直接観測がない北太平洋の下層雲に注目して評価する。中間評価までに観測の準備を進める。*進展状況*：COVID-19 の影響で航空機・船舶同時観測を R4 年夏に延期した。一部の装置については計画以上の開発が進みつつある。

・ 北太平洋などの中緯度下層雲の基本的描像とエアロゾルや海面水温変動に対する応答

中間評価までに測定方法の構築を進める。また下層雲の応答について、数値モデル等により解明を進める。従来は主に亜熱帯東太平洋で調査されてきたが、本研究では中緯度下層雲の新たな描像を得ることを目指す。中間評価までに下層雲のモデリングの改良を進める。*進展状況*：雲の微物理過程を診断する手法を開発した。また、層積雲スキームの改良の効果を確認した。

・ 中緯度の海流や海洋渦の変動が大気循環の持続的異常を如何に強制するか

移動性高低気圧活動の変調等を介し、対流圏ジェット気流の変動、ブロッキング高気圧等の持続的循環異常を

如何に強制するか、その海洋への再強制の過程も含め明らかにする。中間評価までに海洋から大気への強制の解明を進める。*進展状況*: 暖流や水温前線が持続的循環異常に与え得る影響について解明を進めた。

・ **中緯度大気海洋相互作用が熱帯からの遠隔影響や成層圏との結合変動に与える影響**

これらを大気モデル実験から同定するとともに、予測の可能性への中緯度からの寄与と、熱帯や極域からの影響との相対的重要性を明らかにする。中間評価までに大気モデル実験を実施する。*進展状況*: 水温前線が中層大気に及ぼす影響、熱帯・極域から中高緯度域への遠隔影響に及ぼす影響を同定する実験を進めた。

・ **中緯度暖流域からの熱・水蒸気供給が持続的な降水帯の形成・変動に与える影響**

梅雨前線・秋雨前線に注目し、水蒸気輸送過程への影響も明らかにする。中間評価までに梅雨期等の解明を進める。*進展状況*: 黒潮や対馬暖流からの熱・水蒸気供給が、梅雨降水帯の形成とそれを支える水蒸気輸送過程「大気の川」に与える影響の探究を進め、近年の夏季の豪雨・猛暑への海洋の影響を同定した。

・ **中緯度大気海洋相互作用が温暖化や長期気候変動から被り得る変調**

予測の可能性への影響も含めた評価を行う。このテーマは期間後半に集中的に推進する計画である。

・ **亜熱帯モード水 (STMW) の循環・再出現過程と大気海洋相互作用への影響**

フロート観測等により、西岸にまで達する STMW が沈み込む海域、西岸への移動過程で水温・塩分の偏差がどの程度保持され、更にどのように海面に再出現するかを調べ、循環の時間スケールを特定する。また、STMW の十年規模変動が大気海洋相互作用や表層生物・化学過程に与える影響を解明する。中間評価までに溶存酸素センサー付フロート 13 台 (内 4 台は pH センサー付) を投入 (令和 2 年 4-5 月) し、初期データを得る計画であった。*進展状況*: COVID-19 の影響で令和 2 年春の投入航海は全て中止された。令和 3 年 2-6 月の 4 航海で計 12 台を投入し、1 年強の遅れでフロート観測網がほぼ完成した。

・ **表層下の生物地球化学過程の定量的評価**

フロートの溶存酸素データの解析から、有機物分解速度の時空間変化やその溶存無機炭素や栄養塩の変動への影響の定量的評価等を行う。また、海洋モデルを用いて大気擾乱や海洋微細現象等が生態系や物質循環に与える影響の理解を進める。中間評価までにフロート観測網の構築と初期解析を計画していた。*進展状況*: 上記の観測遅延のため、既存データや海洋モデルを用いて生態系の応答の評価を進めた。

・ **海洋前線帯や微細構造の形成・変動機構と予測の可能性**

北太平洋における亜熱帯-亜寒帯循環間の海洋前線帯の形成と海水交換、また、海洋表層の塩分の変動機構やそれが海面水温に与える影響の解明を進める。海洋グライダーによる観測から、渦や渦に伴う数 10 km 程度の「サブメソスケール構造」、乱流スケールの現象が海水の輸送・変質に及ぼす影響を明らかにする。また、高解像度海洋モデルを用いて亜寒帯域を含む北太平洋のサブメソスケール構造の時空間変動や、黒潮・黒潮続流が日本沿岸水位や周辺海域の水温変動に及ぼす影響、海洋渦活動の予測の可能性を示す。中間評価までに海洋微細構造や海洋渦の発生、その影響の解明を進める。*進展状況*: 西部北太平洋の海洋微細現象の変動機構や海水輸送への影響、海洋渦の潜在的な予測の可能性の解析を推進した。グライダー観測も実施の計画であったが、COVID-19 の影響及び測器の故障で延期した。

【項目 A03】

温暖化予測研究の国際標準である大気海洋結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP) に含まれる高解像度モデル相互比較 (HighResMIP) と十年規模気候予測 (DCPP) と強く連携し以下を推進する。

・ **変わりゆく気候の中での中緯度気候の変動物理や極端現象の中長期的な変化・変調傾向の解明**

・ **中緯度気候にまつわる変動物理やその中長期変化傾向と予測の可能性の解明**

これらについて、上記プロジェクトのデータ、大気海洋結合モデルの感度実験等を活用し、遠隔影響も含めた地球規模の視点から解明を進める。中間評価までにシミュレーション実施、変動物理解析を実施する。*進展状況*: 解析等を進め、特に注目すべき中長期変調や大気海洋結合現象を具体化してきた。

・ **台風・爆弾低気圧・豪雨現象の将来変化**

台風が沿岸に接近しやすくなったという観測事実に対する温暖化による寄与、将来の傾向を明らかにする。中間評価までには、答を概ね得る。爆弾低気圧の将来の分布の変化、その要因の解明を進める。中間評価までに将来分布の変化を得る。豪雨については、大気中の細長い水蒸気の流れ「大気の川」に注目しつつ、将来変化を明らかにする。中間評価までに、国内の将来予測実験をもとに検証を進める。

・ **日本周辺の主要な海洋の変化**

黒潮・親潮・対馬海流などの変動、大気温暖化進行を緩和している海洋熱吸収とそれに伴う成層強化、混合層変化に注目する。また、北太平洋十年振動に伴う海洋から大気へのフィードバックを不確実性も含めて明らかにする。中間評価までには、いくつかの海洋現象で温暖化の影響を評価する。

(2)本研究領域により得られた成果 (上付き#の後の数字は「6 研究発表の状況」で示す論文番号)

【応募時の計画外の成果】

「海洋の極端現象」とも言える黒潮の大蛇行が R3 年 6 月現在も継続し、観測史上 2 番目の長さとなっている。これを受け、その海洋構造とそれに対する大気応答についての多様な研究を展開している。大蛇行に伴い、関東・東海沖で海面水温が上昇することを、近年利用可能になった超高解像度の海面水温データから解明し (図 2 ①) #102、更にそれが水蒸気の輸送を通じて関東地方の夏季の気温を上げ得ることを示した (図 2 ②③) #90。夏季の気温上昇は健康被害にも繋がり得る社会的にも重要な問題である。また、この高水温が紀伊半島の豪雨に及ぼした影響や、公募課題として、黒潮大蛇行の爆弾低気圧の発達への影響に関する研究も推進中である。数年スケールの黒潮大蛇行から日スケールの豪雨に至るこれらの研究は、急遽設置した「黒潮大蛇行サブ WG」を通じ、項目間を越えた領域内の横断研究として推進している。この新たに見出され重要性が示された東海沖の水温偏差とそれに対する大気応答に関し、それぞれの鉛直構造を含む実態の把握のために、同サブ WG での議論を基に、計画外であったが観測航海の提案に至り、R3 年 5 月にこの海域での海洋と大気の現場観測を実施した。計画以上のデータ取得に成功し、今後更にその解析を推進する。

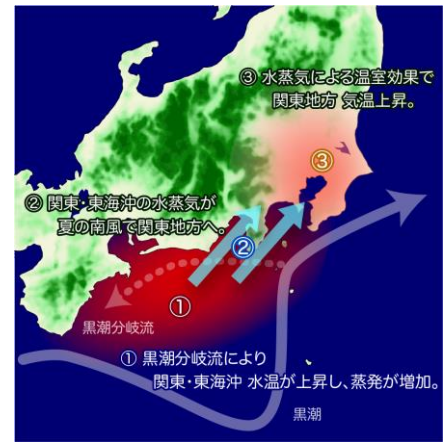


図 2. 黒潮大蛇行が関東地方の気温に及ぼす影響の概要図

【項目 A01】計画研究

・中緯度域の暖流近傍でのストームー海洋相互作用のプロセス解明

理想化した大気大循環モデルにより、縁辺海および黒潮続流域の海面熱フラックスが低気圧活動に与える影響を明らかにし、縁辺海から黒潮域まで広がる hotspot が日本付近の低気圧の特性 (爆弾低気圧 & 二つ玉低気圧) を決定づける要因の一つである事を見出した。また、衛星マイクロ波放射計の観測に基づく海上大気比湿推定手法の開発を進め、既存の方法より欠測率が大幅に減少し、台風時の観測では 80-90%をカバーすることが可能となった。

・日本周辺の複雑な海面水温分布の時空間的な変動と極端気象現象の予測への影響

北海道・東北沖では、海面の異常高温 (海洋熱波) が 2010-2016 年の毎夏に継続的に発生していたことが明らかにした#5。これは近年のブリの漁獲量増加とも関係する可能性が高く、当初の計画にはない水産学への波及も期待される成果である。更に、この海域の海面の異常高温が、令和元年東日本台風と前線に伴う大雨を東北沿岸域にもたらした要因になっていたことを明らかにした#2。十年規模の海洋変動から台風に伴う大雨に繋がる現象であり、「顕著現象 WG」を通じ領域を横断した連携の成果である。

・日本周辺の縁辺海での大気下層の水蒸気量の実態把握とそれに対する中緯度海洋の寄与の評価

令和 2 年 7 月豪雨をもたらした水蒸気の約 4 割もが、黒潮域を含む中緯度の西部西太平洋海域から供給されていたことわかり、中緯度海洋の重要性が示唆された#8。

・黒潮・黒潮続流域の高温化や大気場の長期的な変化の下でのストームの変調の解明

典型的な秋台風が南西諸島付近を北上中に黒潮の海面水温偏差の影響を受ける事を見出し、近年の黒潮・黒潮続流域の海面水温上昇は日本に接近する秋台風の強度に有意に影響している事が示唆された#11, 12。更に、北太平洋爆弾低気圧活動の長期変化を解析し、近年の北西太平洋の海面水温上昇が北太平洋中央部での爆弾低気圧活発化の要因であることを明らかにした。一方、令和元年東日本台風に関し、1980 年以降の日本周辺の広範囲の気温と海面水温の長期的な上昇が、大気中の水蒸気量の増加と台風強度の維持にそれぞれ影響し、関東・甲信地方の雨量を 10%以上増加させたことを示した#3。

【項目 A01】公募研究：台風や爆弾低気圧への海面水温の影響に関する詳細なプロセスを超高解像度数値モデルを用いて調べるとともに、台風の下での強風を観測する手法の開発を進めた。

中緯度の海洋変動が季節内スケールの台風活動に及ぼし得る影響を解明するため、全球雲解像大気モデルを用いて、北西太平洋中緯度の海面水温の高温偏差に対する応答を調べた。西太平洋での全体的な台風活動の弱体化と、西部に特化した台風活動の増長が検出された。熱帯・亜熱帯の海面水温偏差の影響より弱いが、中緯度海面水温が系統的な影響を及ぼし得ることが示された。

また、温暖化の進む気候系への中緯度の台風の応答メカニズムを海洋との相互作用に着目して解明するため、超高解像度の領域大気海洋結合モデルを用いた数値実験を実施した。近年の顕著な台風を事例として、将来の温暖化気候下に置くと、特に移動速度が遅い顕著台風では、台風がより強くなることで

より大きな海面水温の低下を引き起こし、台風の発達により抑制される機構が明らかになった。

一方、暴風域で広域の風速分布を得るために人工衛星による強風観測として、白波被覆率を利用した JAXA の AMSR2 の全天候プロダクトと、GNSS 電波の反射波を利用する NASA の CYGNSS Level2 ver.3 風速プロダクトを比較した結果、明確な差異が認められた。CYGNSS は波長の長いうねりの影響を受けるため、台風の風速推定の際に有義波高を考慮する必要性が認識された。

更に、A01-1 や A02-6 と公募研究が共同し、黒潮の暖かい海水から大気への熱放出が、黒潮域を通過する低気圧に伴う降水帯の強化に強く影響することを示した^{#25}。また、爆弾低気圧に対する黒潮大蛇行の影響の解明を進め、黒潮大蛇行に対する低気圧応答の様々なプロセスの影響を定量評価する手法を確立した。これにより、低気圧中心付近の構造の差異によって低気圧の発達タイプが異なり、それに起因して黒潮大蛇行に対する爆弾低気圧の応答プロセスが異なることが示された。

【項目 A02】計画研究

・豪雪をもたらす日本海寒帯気団収束帯 (JPCZ) が対馬暖流と交差する海域の大気と海洋の実態

集中観測に先立ち数値モデル研究に着手し、対馬暖流強化に伴う暖水域が JPCZ 上に存在すると、JPCZ が強化され豪雪も強化することを示した。一方で、潮位計データや数値モデル結果の解析から、黒潮の流軸が日本に近いほど、対馬暖流の流量が多くなることが示された。これらは黒潮の変動が日本海の水温に遠隔的に影響し、JPCZ に伴う豪雪にまで影響が連鎖することを示唆する。

・縁辺海に起因する大気と海洋の双方向作用

寒冷なオホーツク海の影響により、大気温の南北傾度が強まり、高低気圧活動を活発にすることを介して南の太平洋高気圧を強めること、太平洋高気圧を回る暖かく湿った空気が日本に到達しやすくなることを示した^{#30}。太平洋高気圧の強化は、下向き太陽放射を強めその直下の海水温を高くすることにも寄与し、海面からの蒸発も促進する。これらは梅雨の強化に繋がり、更に梅雨の強化が上空の太平洋高気圧の強化にも繋がることを示された。この成果も海洋と大気の変動の連鎖を示唆した研究である。

・自然起源の海洋性エアロゾルと人為的なエアロゾルの動態と雲への影響

氷雲粒子を形成する可能性のある固体エアロゾルの化学種と粒径を測定可能な新たな測定技術を開発した^{#62}。また海洋からの雲・降水システムへのエアロゾル供給を解明するために、船上エアロゾル計測システムを構築し、予備的な航海観測 (R3 年 2-3 月) と解析を進めた。

・北太平洋などの中緯度下層雲の基本的描像とエアロゾルや海面水温変動に対する応答

JAXA/GCOM-C 衛星に搭載された多波長光学放射計からのデータを用いて、雲の微物理過程 (凝結成長と衝突併合) を観測的に診断する手法を開発した^{#65}。また、ひまわり 8 号の赤外輝度温度データの解析から、梅雨前線に伴う 6 月の雲量の日周期が降水システムの違いによって異なることを示唆した。一方で、気象庁の現業で使用される予定の次期季節予報モデルにおける層積雲スキームの改良により、海面水温と下向き短波放射のフィードバック関係が大きく改善されることを示した。

・亜熱帯モード水 (STMW) の循環・再出現過程と大気海洋相互作用への影響

気象庁東経 137 度線の長期観測データから、本州南方の STMW の厚さの十年規模の変動に伴い、夏季の STMW と海面の間に位置する表層直下の水温が変動することを見出した。これは、これまで想定してきたような STMW の再出現によらずとも、STMW が海面付近の水温構造を変化させうることを示し、気候システムや表層の生物地球化学過程における STMW の役割を考える上で重要な発見である^{#32}。

・海洋前線帯や微細構造の形成・変動機構と予測の可能性

海洋グライダーにより観測された溶存酸素や塩分の詳細な分布と高解像度の海洋モデルを用いた解析 (A02-5 と A02-6 の連携) から、海洋渦に伴う海洋微細構造によって、黒潮続流を横切って東北沖から日本南方へ低塩・高酸素の海水の輸送が起きていることが示された^{#28}。数値モデルとの融合で詳細観測が大きなスケールの海洋循環の理解に繋がった、連携研究の好例である。一方、北太平洋西部亜熱帯域で冬季に活発な微細現象の要因とその十年規模の変動を解明し、更にその微細現象からより大きい海洋現象への新たなエネルギー遷移を示唆した^{#72}。また、黒潮続流の下流域での海洋渦の活動度の経年変動の潜在的な予測の可能性を示し^{#67}、海洋微細現象から海洋渦についての総合的な理解が大きく進展した。

・中緯度の海流や海洋渦の変動が大気循環の持続的異常を如何に強制するか

中緯度の強い暖流沿いに平均的に見られる海上風の収束の形成機構について、暖流に伴う水温前線に沿って頻繁に発達する低気圧の背後での寒気の吹出し時に暖流からの水蒸気・熱放出がもたらす中程度に強い海上風の収束に伴って浅い対流性の降水系が組織化されることが本質的なことを見出した^{#59}。気候系 hotspot に特有の現象を解明し、中緯度大気海洋相互作用の中心的課題を前進させる成果である。ま

た、北大西洋の水温の十年規模変動に伴う偏西風ジェット気流の温度構造の変化が、気温偏差の増幅に影響することで、欧州での寒波の頻度を変化させるという予測の可能性に関わる過程を明らかにした^{#56}。

・中緯度大気海洋相互作用が熱帯からの遠隔影響や成層圏との結合変動に与える影響

熱帯太平洋のエルニーニョ現象からの遠隔影響で北太平洋上の偏西風の温度構造が変化すると、北米域での冬季地表気温変動の予測可能性が変化する傾向を見出した^{#36}。

・中緯度暖流域からの熱・水蒸気供給が持続的な降水帯の形成・変動に与える影響

平成 30 年 7 月「西日本豪雨」と令和 2 年 7 月「九州豪雨」への水蒸気供給と積乱雲組織化に果たす亜熱帯ジェット気流の蛇行の役割を同定した^{#77, 27}。一方、平成 30 年 7 月に記録的猛暑をもたらした上空の高気圧性循環偏差の形成に、熱帯太平洋に加え、中緯度北太平洋の暖水偏差も影響したことを示した^{#66}。

【項目 A02】公募研究：亜熱帯モード水（STMW）の直接観測を補う放射性セシウムの観測研究を実施するとともに、計画研究を補完する黒潮変動及び大規模な大気場と海洋の関係に関する研究を推進した。

2011 年 3 月に福島原発事故で放出された放射性セシウムの子午面鉛直分布から STMW の循環を定量的に議論するため、2020 年 6-7 月に、東経 137 度に沿った北緯 5-28 度での放射性セシウム濃度を測定した。その解析から、北緯 15 度以北の亜熱帯域では 200~400m 深の STMW に相当する層に濃度極大が維持されていた。これは北太平洋の STMW の循環が 10 年以上の時間規模を持つことを示唆する。一方、人工衛星観測データ（1993-2018 年）から、流軸座標を用いて黒潮・黒潮続流の流速・流路の十年規模変動を解析し、黒潮・黒潮続流は 3 つのサブシステムを持つことを示した。更に、黒潮続流と日本南岸の黒潮は太平洋十年規模変動に強制されながら逆位相の関係で流速が変動することが分った。

また、北極域からの寒気と中緯度海洋の関係を理解するため、海洋上に流出した寒気の消滅と関係する大気海洋相互作用を定量的に調査した。海面において、寒気内の熱の鉛直拡散量と海面から大気へ渡される顕熱はよく一致し、海洋からの加熱が寒気の消滅の半分以上を説明することが示された。

更に、海上に偏西風を伴い海洋循環を駆動する中緯度の対流圏ジェットに対する、対流圏成層圏の力学結合が及ぼす影響とその機構を解明するため、成層圏突然昇温（SSW）に伴う中緯度ジェット変動とその役割を解析した。SSW の直前に対流圏上層の中高緯度ジェットに惑星波の波動源が存在し、中緯度ジェット変動は対流圏成層圏結合に重要な役割を果たしていることが示された。

【項目 A03】計画研究

・変わりゆく気候のなかでの中緯度気候の変動物理や極端現象の中長期的な変化・変調傾向の解明

高解像度大気シミュレーションを用いて日本の極端降水の発生確率の潜在的な予測の可能性を調査した。梅雨期の九州西部や台風襲来時の九州東部で極端降水の頻度の予測の可能性を実証するとともに、熱帯域の海面水温変動との結びつきを明らかにした。また、温暖化に伴う気候トレンド変調の季節依存性を精査した。日本を含む東アジア域では、夏季は北太平洋高気圧や局所的な下層雲フィードバックの影響が大きく、冬季は北極海氷やシベリア地上気温に伴うモンスーン強度の影響が強いことが示された。

・中緯度気候にまつわる変動物理やその中長期変化傾向と予測の可能性の解明

雲解像度（水平 14km より高解像度）の大気モデルと渦解像度（水平 0.1 度）の海洋モデルを結合した超高解像度大気海洋結合モデルの 1 カ月積分を実現し、当初予定を超える気候解析での有用性を探った。既存のモデルに比べ、西岸境界流やそれに伴う海面水温分布等の表現に大きな改善が見られる。

・台風・爆弾低気圧・豪雨現象の将来変化

爆弾低気圧の個数が低解像度モデルよりも高解像度数値モデルでははるかに多いことを明らかにした^{#96}。また、高解像度大気モデルを用いて実施された、6 種類の温暖化パターンを仮定した将来予測実験の結果をもとに、「大気のカ」の発生頻度の変化を検証した。加えて、東アジア域における実験結果を、高解像度領域モデルを用いてダウンスケールした結果と組み合わせることで、温暖化時の豪雨頻度・強度変化において、「大気のカ」の役割が非常に大きいことを明らかにした

・日本周辺の主要な海洋の変化

20 世紀における東シナ海の温暖化は、黒潮流軸付近と中国沿岸の大陸棚上で全球平均よりも大きいことを明らかにした^{#89}。また、北太平洋の 700m 深までの海洋の成層は 1980 年以降 10%程度強化し、さらに黒潮の流量が 5%程度強化していること明らかにした。

【項目 A03】公募研究：台風の将来変化について中緯度域で重要となる温帯低気圧化に注目した。

台風の温帯低気圧化（ET）の長期トレンドを解析した。1958-2019 年において台風の発生個数は明瞭に減少している一方で、ET の発生数はトレンドが殆ど見られず、全台風に対する ET の割合は増加傾向にあることが示された。今後、高解像度全球気候実験データを用いて将来予測の解析を進める。

6 研究発表の状況

研究項目ごとに計画研究・公募研究の順で、本研究領域により得られた研究成果の発表の状況（主な雑誌論文、学会発表、書籍、産業財産権、ホームページ、主催シンポジウム、一般向けのアウトリーチ活動等の状況。令和3年6月末までに掲載等が確定しているものに限る。）について、具体的かつ簡潔に5頁以内で記述すること。なお、雑誌論文の記述に当たっては、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究代表者（発表当時、以下同様。）には二重下線、研究分担者には一重下線、corresponding author には左に*印を付すこと。

以下、原著論文は注釈無い限り査読有り。破線下線は本領域で雇用のポストドク等研究員、点線下線は研究協力者。J.は Journal of の略、SOLA は Scientific Online Letters for the Atmosphere の略。発表論文総数は159篇（うち査読無し10篇）であり、研究発表の状況の詳細は、以下の領域ウェブページに掲載している。 <https://www.jamstec.go.jp/apl/hotspot2/achievements.html>

【研究項目 A01】計画研究

【主な雑誌論文】

1. *Hatsuzuka, D., T. Sato, and Y. Higuchi (2021): Sharp rises in large-scale, long-duration precipitation extremes with higher temperatures over Japan. **npj Climate and Atmospheric Science**, 4, 29.
2. *Iizuka, S., R. Kawamura, H. Nakamura, and T. Miyama, (2021): Influence of warm SST in the Oyashio region on rainfall distribution of Typhoon Hagibis (2019). **SOLA**, 17A, 21–28.
3. *Kawase, H., M. Yamaguchi, Y. Imada, S. Hayashi, A. Murata, T. Nakaegawa, T. Miyasaka, and I. Takayabu (2021): Enhancement of extremely heavy precipitation induced by Typhoon Hagibis (2019) due to historical warming. **SOLA**, 17A, 7–13.
4. *Manda, A. (2021): Impact of sea-ice cover on storm-mediated atmospheric warming over the Barents Sea: A regional modelling study. **Okhotsk Sea and Polar Oceans Research**, 5, 23–30.
5. *Miyama, T., S. Minobe and H. Goto (2021): Marine Heatwave of Sea Surface Temperature of the Oyashio Region in Summer in 2010–2016, **Frontiers in Marine Science**. doi.org/10.3389/fmars.2020.576240
6. Shinoda, Y., *R. Kawamura, T. Kawano, and H. Shimizu (2021): Dynamical role of the Changbai Mountains and the Korean Peninsula in the wintertime quasi-stationary. **International J. Climatology**, 41, E602–E605.
7. *Tomita, H., M. F. Cronin, and S. Ohishi (2021): Asymmetric air-sea heat flux response and ocean impact to synoptic-scale atmospheric disturbances observed at JKEO and KEO buoys. **Scientific Reports**, 11, 469. 国際共著
8. *Zhao, N., A. Manda, X. Guo, K. Kikuchi, T. Nasuno, M. Nakano, Y. Zhang, and B. Wang (2021): A Lagrangian view of moisture transport related to the heavy rainfall of July 2020 in Japan: Importance of the moistening over the subtropical regions. **Geophysical Research Letters**, 48, e2020GL091441. 国際共著
9. *Fudeyasu, H., K. Yoshida and R. Yoshida (2020): Future Changes in Western North Pacific Tropical Cyclone Genesis Environment in high-resolution large-ensemble simulations. **Oceans**, 1, 355–368.
10. *Fudeyasu, H., R. Yoshida, M. Yamaguchi, H. Eito, C. Muroi, S. Nishimura, K. Bessho, Y. Oikawa, and N. Koide (2020): Development Conditions for Tropical Storms over the Western North Pacific Stratified by Large-Scale Flow Patterns. **J. the Meteorological Society of Japan. Series II**, 98, 61–72.
11. *Fujiwara, K., R. Kawamura, and T. Kawano (2020): Suppression of tropical cyclone development in response to a remote increase in the latent heat flux over the Kuroshio: A case study for Typhoon Chaba in 2010. **SOLA**, 16, 151–156.
12. *Fujiwara, K., R. Kawamura, and T. Kawano (2020): Remote Thermodynamic Impact of the Kuroshio Current on a Developing Tropical Cyclone Over the Western North Pacific in Boreal Fall. **J. Geophysical Research: Atmospheres**, 125, e2019JD031356.
13. Fukuda, K., *K. Yasunaga, R. Oyama, A. Wada, A. Hamada, and H. Fudeyasu (2020): The diurnal cycle of clouds in tropical cyclones over the Western North Pacific basin. **SOLA**, 16, 109–114.
14. *Iizuka, S., and N. Sakai (2020): What factors contributed to the torrential rainfall of Hurricane Harvey over Texas? **J. Disaster Research**, 15, 726–734.
15. *Kawano T., and R. Kawamura (2020): Genesis and maintenance processes of a quasi-stationary convective band that produced record-breaking precipitation in northern Kyushu, Japan on 5 July 2017. **J. the Meteorological Society of Japan**, 98, 673–690.
16. *Manda, A., T. Mitsui, J. Inoue, M. E. Hori, K. Kawamoto, and K. K. Komatsu (2020): Storm-mediated ocean-atmosphere heat exchange over the Arctic Ocean: A case study of a Barents Sea cyclone observed in January 2011. **Okhotsk Sea and Polar Oceans Research**, 4, 1–9.
17. *Tamura K. and T. Sato (2020): Responses of polar mesocyclone genesis to topographic forcing along the eastern coast of Eurasian continent. **J. the Meteorological Society of Japan**, 98, 1261–1277.
18. *Wada, A., H. Tomita and S. Kako (2020): Comparison of the third-generation Japanese ocean flux data set J-OFURO3 with numerical simulations of Typhoon Djuan (2015) traveling south of Okinawa. **J. Oceanography**, 76, 419–437.
19. *Yamamoto, M. (2020): Ensemble simulations of the influence of regionally warm sea surface on moisture and rainfall in Tsushima Strait during August 2013. **Atmospheric Research**, 238, 104876–104876.
20. *Yanase, W., U. Shimada, and N. Takamura (2020): Large-scale conditions for reintensification after the

- extratropical transition of tropical cyclones in the western North Pacific Ocean. **J. Climate**, 33, 10039–10053.
21. *Yoshida, R., and H. Fudeyasu (2020): How Significant are Low-Level Flow Patterns in Tropical Cyclone Genesis over the Western North Pacific? **Monthly Weather Review**, 148, 559–576.
 22. *Nolan D.S., Y. Miyamoto, S.N. Wu, and B.J. Soden Masunaga, R., H. Nakamura, B. Taguchi, and T. Miyasaka (2019): On the Correlation between Total Condensate and Moist Heating in Tropical Cyclones and Applications for Diagnosing Intensity. **Monthly Weather Review**, 147, 3759–3784. 国際共著
 23. *Sato Y., Y. Miyamoto, and H. Tomita (2019): Large dependency of charge distribution in a tropical cyclone inner core upon aerosol number concentration. **Progress in Earth and Planetary Science**, 6, 62.
 24. *Yasunaga K., A. Hamada, and K. Nishii (2019): An increasing trend in the early-winter precipitation around Japan and its relationship with enhanced heating over the tropical eastern Indian Ocean. **SOLA**, 15, 238–243. 【書籍】
1. 万田敦昌, 2019/7/1: 急速に温暖化する日本近海が豪雨に及ぼす影響, 岩波書店「科学」【アウトリーチ活動】新聞等 67 件、テレビ・ラジオ等 11 件、その他アウトリーチ活動 3 件
- 【研究項目 A01】公募研究
- 【雑誌論文】
25. *Hirata, H., R. Kawamura, M. Nonaka, and K. Tsuboki (2021): Kuroshio-Enhanced Convective Rainband Associated with an Extratropical Cyclone in the Cold Season. **J. the Meteorological Society of Japan**, in press.
 26. *Ichikawa, K., X.F. Wang, and H. Tamura (2020): Capability of Jason-2 subwaveform retracers for significant wave height in the calm semi-enclosed Celebes Sea. **Remote Sensing**, 12 (20), 3367. 【書籍】
 2. *Hirata, H., and M. Nonaka (2021): Impacts of strong warm ocean currents on development of extratropical cyclones through the warm and cold conveyor belts: A review. In *Tropical and Extratropical Air–Sea Interactions: Modes of Climate Variations*, S. K. Behera (Ed.), chap. 11, pp. 267–293, Elsevier, ISBN:9780128181560, doi:10.1016/B978-0-12-818156-0.00014-9.

【研究項目 A02】計画研究

【主な雑誌論文】

27. *Horinouchi, T., Y. Koşaka, H. Nakamigawa, H. Nakamura, N. Fujikawa, Y. N. Takayabu (2021): Moisture supply, jet, and Silk-Road wave train associated with the prolonged heavy rainfall in Kyushu, Japan in July 2020, **SOLA**, 17A, in press
28. *Hosoda, S., R. Inoue, M. Nonaka, H. Sasaki, Y. Sasai, and M. Hirano (2021): Rapid water parcel transport across the Kuroshio Extension in the lower thermocline from dissolved oxygen measurements by Seaglider. **Progress in Earth and Planetary Science**, 8, 16.
29. *Kawai, Y., S. Hosoda, K. Uehara, and T. Suga (2021): Heat and salinity transport between the permanent pycnocline and the mixed layer due to the obduction process evaluated from a gridded Argo dataset. **J. Oceanography**, 77, 75-92.
30. Kawasaki, K., *Tachibana Y., T. Nakamura, and K. Yamazaki (2021): Role of the cold Okhotsk Sea on the climate of the North Pacific subtropical high and Baiu precipitation, **J. Climate**, 34, 495-507.
31. *Kida, S., K. Takayama, Y. N. Sasaki, H. Matsuura, N. Hirose (2021): Increasing trend in Japan Sea Throughflow transport, **J. Oceanography**, 77, 145-153.
32. *Kobashi, F., 他 3 名 (2021): Decadal-scale variability of the North Pacific subtropical mode water and its influence on the pycnocline observed along 137°E. **J. Oceanography**, 77, 487-503.
33. *Kouketsu, S. (2021): Inverse estimation of diffusivity coefficients from salinity distributions on isopycnal surfaces using Argo float array data. **J. Oceanography**, in press.
34. *Lamb, K. D., Matsui, H., Katich, J. M., Perring, A. E., Spackman, J. R., Weinzierl, B., Dollner, M., and Schwarz J. P. (2021): Global-scale constraints on light-absorbing anthropogenic iron oxide aerosols, **npj Climate and Atmospheric Science**, 4, 15. 国際共著
35. Liu, M., and *Matsui, H. (2021): Radiative forcings induced by the substantial changes in anthropogenic emissions over China during 2008-2016, **Atmos. Chem. Phys.**, 21, 5965-5982.
36. *Martineau, P., H. Nakamura, Y. Koşaka (2021): Influence of ENSO on North American subseasonal surface air temperature variability. **Weather & Climate Dynamics**, 2, 395-412.
37. *Miyamoto, A., H. Nakamura, T. Miyasaka, Y. Koşaka (2021): Radiative impacts of low-level clouds on the summertime subtropical high in the South Indian Ocean simulated in a coupled general circulation model. **J. Climate**, 34, 3991-4007.
38. Nakanishi, T., *Tachibana Y., and Y. Ando (2021): Possible semi-circumglobal teleconnection across Eurasia driven by deep convection over the Sahel, **Climate Dynamics**, 59, <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05804-x>
39. *Nakashita, S. and T. Enomoto (2021): Factors for an Abrupt Increase in Track Forecast Error of Typhoon Hagibis (2019), **SOLA**, 17A, 33-37.
40. *Oka, E., H. Nishikawa, S. Sugimoto, B. Qiu, and N. Schneider (2021): Subtropical Mode Water in a recent

- persisting Kuroshio large-meander period. Part I: Formation and advection over the entire distribution region. **J. Oceanography**, in press. 国際共著
41. *Shi, N., H. Nakamura (2021): A new detection scheme of wave-breaking events with blocking flow configurations. **J. Climate**, 34, 1467-1483.
 42. *Shiozaki, S. and T. Enomoto (2021): Two types of mid-latitudes responses during La Niña, **SOLA**, 17, 103-108.
 43. *Shiozaki, M., T. Enomoto, and K. Takaya (2021): Disparate Midlatitude Responses to the Eastern Pacific El Nino, **J. Climate**, 34, 773-786.
 44. *Usui, N., K. Ogawa, K. Sakamoto, H. Tsujino, G. Yamanaka, T. Kuragano, and M. Kamachi (2021): Unusually high sea level at the south coast of Japan in September 2011 induced by the Kuroshio. **J. Oceanography**, 77, doi:10.1007/s10872-020-00575-1.
 45. *Yamazaki, A., T. Miyoshi, J. Inoue, T. Enomoto, N. Komori (2021): EFSO at different geographical locations verified with observing-system experiments. **Weather Forecasting**, in press.
 46. Hotta, H., *Suzuki, K., Goto, D., and Lebsock, M. (2020): Climate impact of cloud water inhomogeneity through microphysical processes in a global climate model, **J. Climate**, 33, 5195-5212. 国際共著
 47. *Hwang, J., P. Martineau, S.-W. Son, T. Miyasaka, H. Nakamura (2020): The role of transient eddies in North Pacific blocking formation and its seasonality. **J. Atmospheric Sciences**, 77, 2453-2470.
 48. *Ishii, M., K. B. Rodgers, H. Y. Inoue, K. Toyama, D. Sasano, N. Kosugi, H. Ono, K. Enyo, T. Nakano, D. Iudicone, B. Blanke, O. Aumont, and R. A. Feely (2020): Ocean acidification from below in the tropical Pacific. **Glob. Biogeochem. Cycles**, 34, doi: 10.1029/2019GB006368. 国際共著
 49. *Kako, S., S. Morita, and T. Taneda (2020): Estimation of plastic marine debris volumes on beaches using unmanned aerial vehicles and image processing based on deep learning, **Marine pollution Bulletin**, 155, 10.1016/j.marpolbul.2020.111127.
 50. *Kanaya, Y., Yamaji, K., Miyakawa, T., Taketani, F., Zhu, C., Choi, Y., Komazaki, Y., Ikeda, K., Kondo, Y., and Klimont, Z. (2020): Rapid reduction in black carbon emissions from China: evidence from 2009–2019 observations on Fukue Island, Japan, **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, acp-20-6339-2020.
 51. *Katsura, S. and J. Sprintall (2020): Seasonality and formation of barrier layers and associated temperature inversions in the eastern tropical North Pacific. **J. Physical Oceanography**, 50, 791-808. 国際共著
 52. *Katsura, S., H. Ueno, H. Mitsudera, and S. Kouketsu (2020): Spatial distribution and seasonality of halocline structures in the subarctic North Pacific. **J. Physical Oceanography**, 50, 95-109.
 53. *Kawai, H., and Shige, S. (2020): Marine low clouds and their parameterization in climate models, **J. the Meteorological Society of Japan**, 98, 1097-1127.
 54. Kawai, H., and Koshiro, T. (2020): Does Radiative Cooling of Stratocumulus Strengthen Summertime Subtropical Highs?, CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling/WMO, 50, 7.11-7.12, <http://bluebook.meteoinfo.ru/>. (査読無し)
 55. *Koike, M., Goto-Azuma, K., Kondo, Y., Matsui, H., Mori, T., Moteki, N., Ohata, S., Okamoto, H., Oshima, N., Sato, K., Takano, T., Tobo, Y., Ukita, J., and Yoshida, A. (2020): Studies on Arctic aerosols and clouds during the ArCS project, **Polar Science**, 100621.
 56. *Martineau, P., H. Nakamura, Y. Kosaka, B. Taguchi, M. Mori (2020): Modulations of North American and European weather variability and extremes by interdecadal variability of the atmospheric circulation over the North Atlantic sector. **J. Climate**, 33, 8125-8143.
 57. *Martineau, P., H. Nakamura, Y. Kosaka, A. Yamamoto (2020): Importance of a vertically tilting structure for energizing the North Atlantic Oscillation. (Nature) **Scientific Reports**, 10, 12671.
 58. *Masunaga, R., H. Nakamura, B. Taguchi, T. Miyasaka (2020): Processes shaping the frontal-scale time-mean surface wind convergence patterns around the Gulf Stream and Agulhas Return Current in winter. **J. Climate**, 33, 3991-4007.
 59. *Masunaga, R., H. Nakamura, B. Taguchi, T. Miyasaka (2020): Processes shaping the frontal-scale time-mean surface wind convergence patterns around the Kuroshio Extension in winter. **J. Climate**, 33, 3-25.
 60. *Matsui, H. (2020): Black carbon absorption efficiency under preindustrial and present-day conditions simulated by a size- and mixing-state-resolved global aerosol model, **J. Geophysical Research: Atmosphere**, 125, e2019JD032316.
 61. *Mizuta, R., H. Endo (2020): Projected changes in extreme precipitation in a 60-km AGCM large ensemble and their dependence on return periods. **Geophysical Research Letters**, 47, e2019GL086855.
 62. *Moteki, N. (2020): Capabilities and limitations of the single-particle extinction and scattering method for estimating the complex refractive index and size-distribution of spherical and non-spherical submicron particles, **J. Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, 243, 106811.
 63. *Muller, C., Y. N. Takayabu (2020): Response of precipitation extremes to warming: what have we learned from theory and idealized cloud-resolving simulations, and what remains to be learned? **Environmental Research Letters**, 15, 035001. 国際共著
 64. *Murata, K., S. Kido, and T. Tozuka (2020): Role of reemergence in the central North Pacific revealed by a mixed layer heat budget analysis. **Geophysical Research Letters**, 47, e2020GL088194.
 65. *Nagao, T. M., and Suzuki, K. (2020): Identifying particle growth processes in marine low clouds using spatial variances of imager-derived cloud parameters, **Geophysical Research Letters**, 47, e2020GL087121.

66. *Nishii, K., B. Taguchi, H. Nakamura (2020): An AGCM assessment of oceanic impacts on extreme climatic events over Japan in July 2018. **J. the Meteorological Society of Japan**, 98, 801-820.
67. *Nonaka, M., H. Sasaki, B. Taguchi, and N. Schneider (2020): Atmospheric-driven and intrinsic interannual-to-decadal variability in the Kuroshio Extension jet and eddy activities. **Frontiers in Marine Science**, 7, 547442. 国際共著
68. *Ogata, T., and M. Nonaka (2020): Mechanisms of long-term variability and recent trend of salinity along 137°E. **J. Geophysical Research: Oceans**, 125, e2019JC015290.
69. *Oka, E., S. Kouketsu, D. Yanagimoto, D. Ito, Y. Kawai, 他 2 名 (2020): Formation of Central Mode Water based on two zonal hydrographic sections in spring 2013 and 2016. **J. Oceanography**, 76, 373-386. 国際共著
70. *Qiu, B., S. Chen, N. Schneider, E. Oka, and S. Sugimoto (2020): On reset of the wind-forced decadal Kuroshio Extension variability in late 2017. **J. Climate**, 33, 10813-10828. 国際共著
71. *Sasaki, H., S. Kida, R. Furue, H. Aiki, N. Komori, Y. Masumoto, T. Miyama, M. Nonaka, Y. Sasai, and B. Taguchi (2020): A global eddying hindcast ocean simulation with OFES2. **Geoscientific Model Development**, 13, 3319–3336.
72. *Sasaki, H., B. Qiu, P. Klein, Y. Sasai, and M. Nonaka (2020): Interannual to decadal variations of submesoscale motions around the North Pacific Subtropical Countercurrent. **Fluids**, 5, 116. 国際共著
73. *Shiozaki, M and T. Enomoto (2020): Comparison of the 2015/16 El Nino with the Two Previous Strongest Events, **SOLA**, 16, 12-16.
74. *Tachibana, Y., K. K. Komatsu, V. A. Alexeev, L. Cai, and Y. Ando (2020): Warm hole in Pacific Arctic sea ice cover forced mid-latitude Northern Hemisphere cooling during winter 2017-18, **Scientific Reports**, 10, 5184, 2020 国際共著
75. *Tobo, Y., Uetake, J., Matsui, H., Moteki, N., Uji, Y., Iwamoto, Y., Miura, K., and Misumi, R. (2020): Seasonal trends of atmospheric ice nucleating particles over Tokyo, **J. Geophysical Research: Atmospheres.**, 125, e2020JD033658.
76. *Tsuji, H., C. Yokoyama, Y. N. Takayabu (2020): Contrasting features of the July 2018 heavy rainfall event and the 2017 Northern Kyushu rainfall event in Japan. **J. the Meteorological Society of Japan**, 98, 859-876.
77. *Yokoyama, C., H. Tsuji, Y. N. Takayabu (2020): The effects of an upper-tropospheric trough on the heavy rainfall event in July 2018 over Japan. **J. the Meteorological Society of Japan**, 98, 235-255.
78. *Kawatani, Y., K. Hamilton, (他 4 名) (2019): ENSO modulation of the QBO: Results from MIROC models with and without non-orographic gravity wave parameterization. **J. Atmospheric Sciences**, 76, 3893-3917. 国際共著
79. *Ono, H., N. Kosugi, K. Toyama, 他 6 名 (2019): Acceleration of ocean acidification in the western North Pacific. **Geophysical Research Letters**, 46, 13161-13169.
- 【書籍】
3. 柏野祐二, キンダーブックがくしゅうおおぞら 8 月号, フレーベル館, 2020
 【アウトリーチ活動】新聞等 35 件、テレビ・ラジオ等 45 件、その他アウトリーチ活動 1 件
 その中で、特に、白鳳丸 KH-21-1 次航海について、以下の番組で報道された：
 ・2021 年 5 月 5 日 テレビ朝日「報道ステーション」大量の CO2 吸収 “亜熱帯モード水” 調査に密着
https://news.tv-asahi.co.jp/news_society/articles/000215164.html
- 【研究項目 A02】公募研究
- 【雑誌論文】
80. *Abdillah, M. R., Y. Kanno, T. Iwasaki, and J. Matsumoto (2021): Cold Surge Pathways in East Asia and Their Tropical Impacts. **J. Climate**, 34, 157–170, doi:10.1175/JCLI-D-20-0552.1 国際共著
81. *Anstey, JA, IR. Simpson, JH. Richter, H. Naoe, (25 others) (2021): Teleconnections of the quasi-biennial oscillation in a multi-model ensemble of QBO-resolving models. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, in press, doi:10.1002/qj.4048. 国際共著
82. Zhang Z.-L., *H.-H. Nakamura, and X.-H. Zhu (2021): Seasonal velocity variations over the entire Kuroshio path part I: data analysis and numerical experiments. **J. Oceanography**, in press, doi:10.1007/s10872-021-00604-7.
83. *Zhang Z.-L., H.-H. Nakamura, and X.-H. Zhu (2021): Seasonal velocity variations over the entire Kuroshio path part II: dynamical interpretation for the current speed variation. **J. Oceanography**, in press, doi:10.1007/s10872-021-00603-8.
84. *Nakamura, H.-H., R. Inoue, A. Nishina, and T. Nakano (2020): Seasonal variations in salinity of the North Pacific Intermediate Water and vertical mixing intensity over the Okinawa Trough. **J. Oceanography**, 77, 199–213.
- 【書籍】
4. *Nakamura, H.-H. (2020): Changing Kuroshio and Its Affected Shelf Sea: A Physical View. In Changing Asia-Pacific Marginal Seas., Chen CT., and X. Guo (Ed.), pp. 265–305, Atmosphere, Earth, Ocean & Space. Elsevier, doi:10.1007/978-981-15-4886-4_15.

【研究項目 A03】 計画研究

【主な雑誌論文】

85. *Masunaga, H., 他 4 名 (2021): Transient aggregation of convection: Observed behavior and underlying processes. **J. Climate**, 34, 1685-1700.
86. *Miyamoto, A., H. Nakamura, T. Miyasaka, Y. Kosaka (2021): Radiative impacts of low-level clouds on the summertime subtropical high in the south Indian Ocean simulated in a coupled general circulation model. **J. Climate**, 34, 3991-4007.
87. *Mori, M., Y. Kosaka, 他 4 名 (2021): Reply to: Eurasian cooling in response to Arctic sea-ice loss is not proved by maximum covariance analysis. **Nature Climate Change**, 11, 109-111,.
88. *Ogata, T, Taguchi, B., Yamamoto, A., Nonaka, M. (2021): Potential predictability of the tropical cyclone frequency over the western North Pacific with 50 - km AGCM ensemble experiments. **J. Geophysical Research: Atmospheres**, 126, e2020JD034206.
89. *Sasaki, Y. N. C. Umeda (2021): Rapid warming of sea surface temperature along the Kuroshio and the China coast in the East China Sea during the 20th century. **J. Climate**, in press
90. *Sugimoto, S., B. Qiu, N. Schneider (2021): Local atmospheric response to the Kuroshio large meander path in summer and its remote influence on the climate of Japan. **J. Climate**, in press 国際共著
91. *Takaya, Y., Y. Kosaka, 他 2 名 (2021): Skilful predictions of the Asian summer monsoon one year ahead. **Nature Communications**, 12, 2094.
92. *Amaya, D. J., A. J. Miller, S.-P. Xie, Y. Kosaka (2020): Physical drivers of the summer 2019 North Pacific marine heatwave. **Nature Communications**, 11, 1903. 国際共著
93. Alespan, G., & *S. Minobe (2020): Relations between interannual variability of regional-scale Indonesian precipitation and large-scale climate modes during 1960–2007. **J. Climate**, 33, 5271-5291.
94. *Chikamoto, Y., Z. F. Johnson, S.-Y. Wang, M. J. McPhaden, T. Mochizuki (2020): El Nino Southern Oscillation evolution modulated by the Atlantic forcing. **J. Geophysical Research**, 125, e2020JC016318. 国際共著
95. *Deser C., ..., S. Minobe 他 (20 人中 16 番目) (2020): Insights from Earth system model initial-condition large ensembles and future prospects. **Nature Climate Change**, 10, 277-286. 国際共著
96. Gao J., *S. Minobe, 他 8 名 (2020): Influence of model resolution on bomb cyclones revealed by HighResMIP-PRIMAVERA simulations. **Environmental Research Letters**, 15, 084001.
97. Iida, M., *S. Sugimoto, and T. Suga (2020): Severe cold winter in North America linked to Bering Sea ice loss. **J. Climate**, 33 8069-8085.
98. *Johnson, Z. F., Y. Chikamoto, S.-Y. Wang, M. J. McPhaden, T. Mochizuki (2020): Pacific Decadal Oscillation remotely forced by the equatorial Pacific and the Atlantic Oceans. **Climate Dynamics**, 55, 789-811. 国際共著
99. *Masunaga, H., B. E. Mapes (2020): A mechanism for the maintenance of sharp tropical margins. **J. Atmospheric Sciences**, 77, 1181-1197.
100. *Minobe, S., J.-H., Park, K. S. Virts (2020): Diurnal cycles of precipitation and lightning in the tropics observed by TRMM3G68, GSMaP, LIS, and WLLN. **J. Climate**, 33, 4293-4313. 国際共著
101. Naoi, M., *Y. Kamae, H. Ueda, W. Mei (2020): Impacts of seasonal transitions of ENSO on atmospheric river activity over East Asia. **J. Meteorological Society of Japan** 98, 655-668.
102. *Sugimoto, S., B. Qiu, and A. Kojima (2020): Marked coastal warming off Tokai attributable to Kuroshio large meander. **J. Oceanography**, 76, 141-154. 国際共著
103. Terada M., *S. Minobe, C. Deutsch (2020): Mechanisms of Future Changes in Equatorial Upwelling: CMIP5 Intermodel Analysis. **J. Climate**, 33, 497-510.
104. *Yamamoto, A., H. Tatebe, M. Nonaka (2020): On the Emergence of the Atlantic Multidecadal SST Signal: A Key Role of the Mixed Layer Depth Variability Driven by North Atlantic Oscillation, **J. Climate**, 33, 3511-3531.
105. *Yang, J.-C., X. Lin, S.-P. Xie, Y. Zhang, Y. Kosaka, Z. Li (2020): Synchronized tropical Pacific and extratropical variability during the past three decades. **Nature Climate Change**, 10, 422-427. 国際共著
106. *Czaja, A., Frankignoul, C., Minobe, S, Vanniere, B (2019): Simulating the Midlatitude Atmospheric Circulation: What might We gain from high-resolution modeling of air-sea interactions? **Current Climate Change Reports**, 5, 390-406. 国際共著
107. *Masunaga, H., 他 5 名 (2019): Inter-product biases in global precipitation extremes. **Environmental Research Letters**, 14, 125016.

【書籍】

5. *Keenlyside, N., Y. Kosaka, 他 6 名 (2020): Cambridge University Press, Basin Interactions and Predictability. In C. Mechoso (Ed.), *Interacting Climates of Ocean Basins: Observations, Mechanisms, Predictability, and Impacts*, 342pp, doi:10.1017/9781108610995.009, ISBN: 978-1-108-49270-6. 国際共著
6. *Kosaka, Y., 他 2 名 (2020): Elsevier, The Indo-western Pacific Ocean capacitor effect. In S. Behera (Ed.), *Tropical and Extratropical Air-Sea Interactions*, 307pp, doi:10.1016/B978-0-12-818156-0.00012-5, ISBN: 978-0-12-818156-0.

【アウトリーチ活動】 新聞等 14 件、テレビ・ラジオ等 11 件

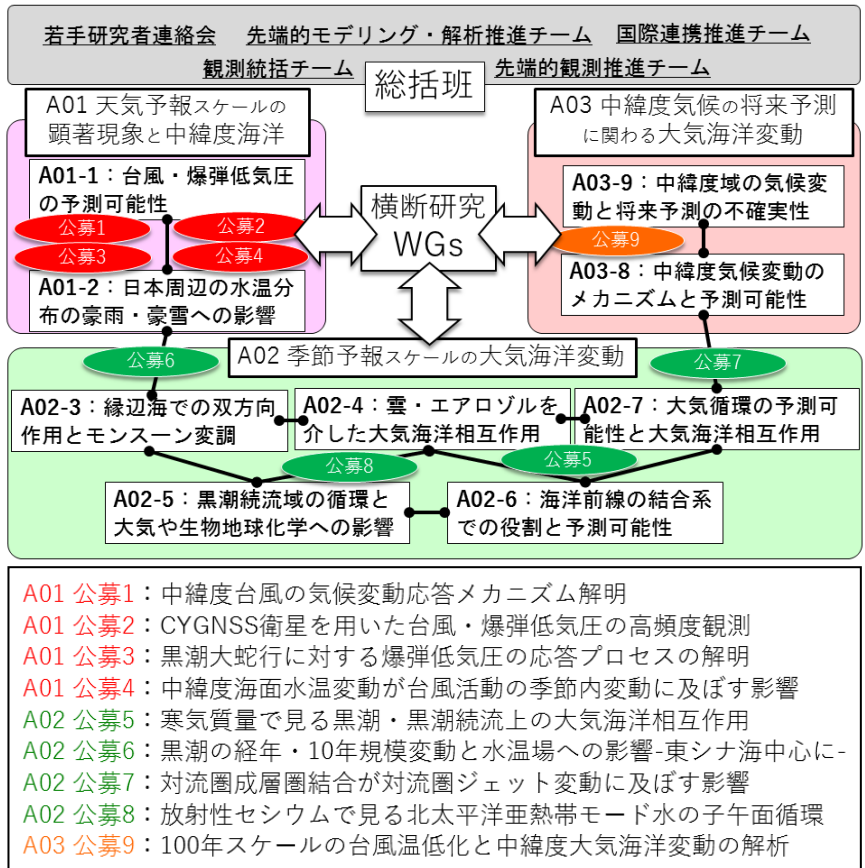
7 研究組織の連携体制

研究領域全体を通じ、本研究領域内の研究項目間、計画研究及び公募研究間の連携体制について、図表などを用いて具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

本領域では、研究対象とする大気・海洋現象の時間スケールによって3つの研究項目を設けた(図3)。具体的には、[A01] 天気予報スケールの顕著現象と中緯度海洋(数日~10日程度)、[A02] 季節予報スケールの大気海洋変動(季節~数年程度)、[A03] 中緯度気候の将来予測に関わる大気海洋変動(十年~数十年、長期のトレンド)の3研究項目である。一方で、時間スケール間の相互作用も極めて重要であり、例えば、地球温暖化などに伴う背景となる気候の変化により、爆弾低気圧や豪雨・豪雪などの顕著な気象現象の強度や発生頻度がどのように変調するかといった重要な課題には項目を越えた連携が必須となる。その推進のため、重要課題に関する課題別ワーキンググループ(WG)を設けた。当初、豪雨や豪雪、台風や爆弾低気圧等の極端な気象現象に注目する夏季、冬季それぞれの「異常気象・異常天候に関するWG」を設置したが、より連携するため2つを合併し「顕著現象WG」とした。またその中に海洋の顕著現象であり、2017年から継続して生じている黒潮大蛇行に注目した「黒潮大蛇行サブWG」を設置した。「顕著現象WG」が全計画研究・公募研究で様々な時間スケールの枠組みの中で推進されている関連研究の情報を共有し、時間スケール間の相互作用に関して効率的な連携を進めている。「黒潮大蛇行サブWG」は、黒潮大蛇行に伴い、海洋内部にとどまらず大気にもその影響が見えて来ていることから綿密な連携を実現するために設置した。このサブWGを通じた大気・海洋、数値モデル・観測研究の連携により、黒潮大蛇行に伴う大気から海洋表層下に及ぶ構造の変化の実態把握へ向け、応募時には計画になかった日本南方黒潮域での現場観測の実施(R3年5月)に至った。更に日本海対馬暖流域での集中観測と関連研究を念頭に、「日本海JpCZサブWG」の設置を検討している。

一方、公募研究課題代表は拡大総括班メンバーとして領域運営に関する情報を常に共有し、領域の動向を計画研究班代表等の総括班メンバーと同様に把握し議論出来る立場となっている。各計画研究班における研究会等の情報も共有され、関連する計画班の会議に随時参加可能な体制を確立している。この成果として、公募課題7代表の直江氏(気象研究所)は、拡大総括班内で深く議論された「本領域の成果を予測へ繋げて行く」ことの重要性を鑑み、気象研究所・気象庁との合同研究会(R3年3月開催)の実施に尽力した。公募課題1-4はA01-1、A01-2班の会議に参加し、議論を交えつつ研究を推進している。公募課題3に関しては黒潮変動のモデリング研究を行うA02-6班とも連携し黒潮変動が低気圧発達や豪雨発生に及ぼす影響に関する成果を得ている。また、公募課題3代表の平田氏は「黒潮大蛇行サブWG」の世話人として領域内の関連研究を推進する多くの研究者の連携にも尽力している。公募課題5、7はA02の大気研究をメインとするA02-3、A02-7班との連携を中心に、公募課題6、8はA02の海洋研究を主とするA02-5、A02-6班と連携しつつ研究を推進している。公募課題6は東シナ海にも注目することからA02-3班とも深く連携し合同観測の計画も進めている。公募課題9は欧州の高解像度気候モデリングプロジェクトのデータを解析する課題であり、A03-9班や「先端的モデリング・解析推進チーム」「国際連携推進チーム」と連携し、欧州のプロジェクトとの協働を推進している。

図3. 領域組織図 (計画研究班名は略称)



8 若手研究者の育成に係る取組状況

研究領域全体を通じ、本研究領域の研究遂行に携わった若手研究者（令和3年3月末現在で39歳以下。研究協力者やポスドク、途中で追加・削除した者を含む。）の育成に係る取組状況について、具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

本研究領域では、若手研究者の育成を目的として、「若手研究者連絡会」を設置した。この連絡会を通して、気象学および海洋学に関わる若手研究者のキャリアパス形成に資する取り組みや、次世代に向けた普及啓発のための取り組みを若手研究者が中心となって進めている。「若手研究者連絡会」による一連の活動は、相対的に年富な若手研究者には、中堅・シニアな研究者と相談しつつ以下に記すような活動をリードすることでプロジェクト推進の経験、また自分達の世代のネットワーク構築に繋がることになる。一方で、大学院生などのより若い研究者には、自分の世代に近いながらも研究者としてのキャリアを開始している、まさに自分達のすぐ前のキャリアパスを実現している若手研究者との交流を通じて多くのことを学ぶ機会となる。

COVID-19 蔓延により活動方針には大幅な軌道修正を余儀なくされたが、本領域の幅広い研究者との議論や、若手研究者同士の深い交流、大気・海洋に関する知識と技術レベルの向上を目指して、「若手研究者連絡会」が中心となって以下の活動を行ってきた。

- **ポスター発表会開催・若手研究者表彰**：R2年9月とR3年3月の研究領域全体オンライン会合では、若手研究者連絡会がポスター発表会の開催を担い、若手研究者を中心に多くの発表が行われ議論を深めた。更に、このポスター発表では、若手研究者の研究活動を奨励するため、学生とポスドク研究者を対象に「若手発表賞」の表彰を主催した。
- **学会セッション開催**：R2年から3年にかけて、若手研究者が国際会議（2回）や国内学会（1回）のセッションの提案・運営を行った。研究者として必要かつ重要な経験を積むとともに、これらを通じて国内・海外研究者との交流を進めるための基盤形成、ネットワーク形成に繋がることが期待される。
- **オンラインセミナー開催**：研究領域全体に関わる話題である、「中緯度大気海洋の十年規模変動とグローバル気候」を題材としたオンラインセミナーを「若手研究者連絡会」が（R3年1月）、また、「黒潮大蛇行サブWG」が黒潮大蛇行に関するオンラインセミナーを開催した（R3年4月）。それぞれ42名、60名が参加し好評を得た。今後、サマーセミナーの開催も計画している。
- **オンライントレーニングコース開催**：気象学・海洋学研究の基盤となる統計解析の知識と技術向上のため、オンライントレーニングコースを開催した（R3年5月、32名参加）。プログラミング言語Pythonを利用した演習も実施し、研究分野だけでなく民間でも有為なプログラミング技術・データ解析技術の向上も促進した。また、「先端的モデリング・解析推進チーム」と連携し、CMIPマルチモデル解析セミナーを開催し、CMIPマルチモデル解析の歴史的背景や技術を共有した（R3年5月、52名が参加、内15名は学部生でアンケート結果も大変好評であった）。次回はR3年7月の予定である。これらは録画し領域の共有サーバに保存することで事後の閲覧も可能になっている。
- **バーチャル観測会開催**：COVID-19の影響で、観測航海の殆どが1-2年延期された。これは観測への参加を希望する大学院生には極めて大きな問題である。これを少しでも補うことを目指し、船舶観測の経験が少ない若手研究者と、経験豊富な中堅研究者がオンラインで参集し、冬季日本海で発達する収束帯の発生に関わる大気・海洋観測航海を模した「バーチャル観測会」を開催した（R3年3月）。ここでは、大気・海洋現象に関する知識や観測・解析技術の習得に加え、観測を模した数値データを取得し、解析するためのグループワークを導入することにより、大学・研究機関・研究計画班の枠を超えた若手同士の交流を促進した。学部生、大学院生、若手研究者と運営メンバー合わせて24名が参加し、学生と若手参加者の94%から大変満足・満足との感想が得られた。
- **現場観測参加**：「観測統合チーム」と連携し、実際の観測現場の経験を積むために、若手研究者の観測への積極的な参加を推奨した。R3年2月の北西太平洋黒潮再循環域観測には10名、R3年5月の日本南方黒潮域観測には8名の若手研究者が参加した。今後の観測でも若手の参加を奨励して行く。
- **次世代育成へ向けた取り組み**
次世代を担う人材を育成することを目指し、本領域のウェブサイトにて、若手研究者が取り組んでいる研究活動について紹介する動画を掲載し、大学生や高校生に向けて、観測研究を含む中緯度大気海洋現象の研究の魅力を伝える試みを行っている。また、同ウェブサイトにて、中緯度大気海洋現象に関わる最新の用語を、若手研究者がわかりやすく解説するページを掲載している。

9 研究費の使用状況・計画

研究領域全体を通じ、研究費の使用状況や今後の使用計画、研究費の効果的使用の工夫、設備等（本研究領域内で共用する設備・装置の購入・開発・運用、実験資料・資材の提供など）の活用状況について、総括班研究課題の活動状況と併せて具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

本領域で使用する研究費で大きな割合を占めるものは現場観測ポスドク研究員の雇用である。以下、それらを中心に使用状況と今後の使用計画を記述する。

【観測】

航空機観測：航空機使用料約4000万円に加え、複素散乱振幅の測定装置の開発および航空機搭載用のエアロゾル観測装置の準備のために予算を使用している。この観測では本領域外からも相乗り観測を募集し観測機会を有効活用するとともに、観測機器を共同利用するなどの効率化も図っている。

船舶観測：「船舶牽引型水温塩分計」を導入予定であったが、冬の日本海の荒天における安全性を鑑み、XCTDの利用に切り替えた。主な購入機器は、海上水しぶき光学粒子計、XCTD、大気観測に用いるラジゾンデ。また、船舶の運航に必要な重油代の高騰から、練習船の備船費も今後必要となる。

自動観測装置による観測：

フロート観測：2年間に亘り海洋中を漂流し5日毎に深さ2000mまでの水温、塩分、溶存酸素を自動観測する装置（以下、フロート）13台を購入。内4台はpHも測定する。フロートは10日毎に海面に浮上し、人工衛星経由で観測データを送信する。フロート13台約8150万円、観測データ送信のための通信費320万円。また、この観測を補うための係留用溶存酸素センサー4台約350万円。

グライダー観測：移動をある程度制御可能で、高解像度の水温、塩分、溶存酸素の分布を自動観測する。参画機関が所有する測器を用いるが、バッテリーを新規購入約600万円。

投棄式水温塩分（XCTD）観測：船舶から投入し800m深までの水温、塩分の鉛直分布を観測する。短期間に海洋の断面を観測するために用いる。XCTDプローブ79本約400万円。

以上の観測装置及び消耗品等購入の他、観測実施のための支援費約300万円。

離島における気象観測：海洋上の水蒸気の変動の実態把握のため、海洋性の特徴を示す離島において大気下層の水蒸気とその輸送量を観測する。海域毎の違いも見るために、日本海の舢倉島と東シナ海の女島の2地点に設置する気象観測システムを購入し、継続観測を実施している。各地点約250万円。これら一連の観測においては、「観測統合チーム」による調整を通じ、可能な限り既存の機器を効率的に用い、集中観測間での機器の融通を行う等、領域全体として最大限に費用の効率化を図っている。

【ポスドク研究員雇用】

部分雇用も含め、合計14名の若手研究者を雇用し、機関により異なるが、フル雇用の場合年間一人当たり500-600万円程度を使用している。これらの若手研究者は「若手研究者連絡会」の中核として活動するとともに、大学学部生・高校生へ向けた研究活動紹介動画の作成に5名が参加し、より若い世代の育成へ向けた活動にも大きく貢献している。A02-5班・西川氏は「黒潮大蛇行サブWG」の世話人を務めるとともに、日本南方黒潮域での観測航海（R3年5月実施）を主席研究員として主導した。A02-6班の木戸氏は本領域開催の国際ワークショップ（R3年6月）の現地組織委員会に於いて中心的に貢献した。このように本領域で雇用された若手研究者は活発な研究推進とともに、領域内の活動に極めて積極的に参画し、多くの経験を積んでいる。これは本領域終了後の活動に繋がって行くものと期待される。

【その他】

・旅費：研究成果の国際的な発信、特に若手研究者を中心とした国際的な交流促進のために多くの国際会議への参加、また、「国際連携推進チーム」とA03-9班を中心に海外で計算された高解像度気候モデルの多量の出力データの取得のために海外の研究機関への滞在を計画し、それらのための旅費を計上していた。しかしながら、初年度末からCOVID-19の影響でそれらの渡航がほぼ中止・延期された。対応する予算は適宜繰越により延期に備えるとともに、これを利用して応募時には計画していなかった観測航海の実施や、若手育成へ向けた研究活動の紹介動画の制作など、活動の更なる充実を図っている。

・計算機整備：本領域で用いる高解像度の数値モデル等のデータは極めて多量であり、ネットワーク越しの共同利用は現実的ではない。このため各機関で計算機環境を整備している。その中でも多量データの収集を効率化するため、「先端的モデリング・解析推進チーム」が領域内の共有データサーバを構築し、効率的なデータストレージ利用を進めている。また、スーパーコンピュータ利用に関しては、海洋研究開発機構の「地球シミュレータ」公募課題による無償利用等により費用の効率化を図っている。

10 今後の研究領域の推進方策

研究領域全体を通じ、今後の本研究領域の推進方策について、「革新的・創造的な学術研究の発展」の観点から、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。なお、記述に当たっては、今後公募する公募研究の役割を明確にすること。また、研究推進上の問題点がある場合や、国際的なネットワークの構築等の取組を行う場合は、その対応策や計画についても記述すること。

【研究推進上の問題点：COVID-19の影響】

COVID-19の多大な影響の克服が今後の推進の大きな課題となる。特に、本領域の計画で重要な位置を占める現場観測の実施は、その殆どが1-2年の延期を余儀なくされている。今後、現時点の計画に沿って観測を実施出来ても、本領域の終了までに観測結果を解析する時間が限られるため、効率的にデータ処理、解析、議論を進める体制を整備する。また、海外研究機関からの高解像度気候データの取得は大きな計画変更を余儀なくされたが、可能な形でデータ取得を進めている。また、海外研究者との交流も極めて限られた状況であり、今後、特に若手研究者の国際交流の推進に努力する必要がある。

【国際ネットワーク構築の取組】

「国際連携推進チーム」を中心に関係する国際プログラム等との関係を維持強化し、国際学会でのセッション提案も引き続き行う。気候研究推進の最大の国際組織「世界気候研究計画(WCRP)」及びそのコアプロジェクトの一つ「気候と海洋-変動・予測可能性・変化(CLIVAR)」の複数のパネルに本領域参加者が参加し引き続き連携を進める。CLIVARとの共催の下、R3年6月に開催した国際ワークショップの報告をCLIVARのニューズレターに掲載し、このワークショップの意義をより広く発信する計画である。また、国際連合教育科学文化機関(ユネスコ)政府間海洋学委員会西太平洋地域小委員会で承認されたThe 2nd Cooperative Study of the Kuroshio and Adjacent Regions (CSK-2)に参画した。これを通じて黒潮沿岸国との研究ネットワークの構築を進める。更に、個々の研究における国際的な連携協力も強めていく。COVID-19はなお大きな問題だが、最終年度の国際会議開催等、効果的な方策を機動的に駆使し、若手研究者も含んだ国際ネットワークの構築の推進により、本領域終了後の更なる飛躍へと繋げる。

【研究推進方針】

本領域は「当該領域の格段の発展・飛躍的な展開を目指すもの」であり、I) 中緯度大気海洋相互作用に特有の多階層的な過程とその間の相互作用の理解を飛躍的に深化と、それを基盤として、II) 大気・海洋現象の予測の可能性や、III) 地球温暖化に伴う気候系の将来予測という格段に広範な分野に応用を広げる。これにより「中緯度海洋の気候学的能動性」の科学的・社会的な重要性・有用性を提示することが本領域の目指す「格段の発展・飛躍的な展開」である。これへ向けたI、II、IIIの方針を記す。

I) 中緯度大気海洋相互作用に特有の多階層的な過程とその間の相互作用の理解の飛躍的な深化

COVID-19の影響で観測研究が1-2年遅れているが、多階層の大気海洋相互作用の理解の深化に向け、基本的には今後も当初の計画に基づいて研究を推進する。一方で、これまでの成果を考慮して、一部、当初の計画から拡大する。以下、領域内を横断する連携や、当初計画からの変更点を中心に述べる。

・日本海：集中観測を中心にした日本海寒帯気団収束帯(JPCZ)等との双方向作用研究

2021年度と2022年度冬期の船舶観測を軸に数値的研究も融合させて進める。これまでの研究で、日本海では太平洋側の変動の影響も受けて水温や流量の上昇傾向があることが示された。そこで、黒潮および黒潮続流と日本沿岸水位の関係を調査するとともに、日本海の水温上昇がJPCZに及ぼす影響にも注目する。JPCZは強い対流活動を伴うことから、大気上層の循環にも影響し、冬期モンスーンの変調が予測される。一方でJPCZの挙動が日本海の海洋構造に影響する可能性もある。JPCZ変動に伴うこれら一連の連鎖に注目し、A02-3を中心にA01-2の観測、A02-6、A03-9等のモデル研究との連携の下で推進する。

・東シナ海：海洋の長期変化と豪雨への影響

「極端現象WG」を中心にA01-2、A02-1、A02-3、A02-6、A02-7、A03-8や公募研究で連携し、東シナ海の黒潮の長期変化に関する調査を進め、海面水温の上昇をもたらす陸棚上の亜表層水温の昇温への黒潮の寄与を明らかにする。更に、東シナ海の表層水温変動およびそれに伴う海洋から大気への潜熱・水蒸気放出の変動と過去の九州地方の豪雨事例との対応を調べる。

・黒潮大蛇行：海洋の極端現象から大気への影響

これまでの研究で、黒潮の大蛇行に伴う水温分布が東海地方沿岸周辺に海洋熱波をもたらすことが示された。これを受け、当初の計画に無かった観測航海を、A02-5の西川(ポスドク研究員)を主席研究員として令和3年5月に実施した。「黒潮大蛇行サブWG」を核にA01-1、A01-2、A02-5、A02-6や公募研究

等で連携し、この観測を基に、黒潮大蛇行やそれに伴う海洋構造とそれがこの地域の気象、特に豪雨に及ぼす影響を明らかにする。その中でさらに課題が見つかった場合は、更なる観測計画を企画する。

II) 大気・海洋現象の予測の可能性

以下の研究を推進し、急速に温暖化する日本周辺海域の海面水温が豪雨・豪雪などの極端気象の予測に及ぼす影響を解明し、領域の目標を目指す。また、注目すべき極端な気象現象が発生した場合には、海面水温との関係を調べる研究を適宜進める。

・豪雨、豪雪等

予測に対する中緯度海洋の役割の評価のために、メソ気象モデルから前線上の降水の海面水温依存性を調査し、海面水温の近接・遠隔作用の観点で整理する。特に A01-2 と A02-6 の連携により、最新の高解像度海洋再解析データを活用して、従来の海面水温データにはない日変化スケールなどの海面水温変動が、気温・豪雨等の予測精度へ及ぼす影響を調査する。また、予測に対する海洋上の水蒸気の役割の評価のために、A01-2 と A02-3 の連携により、2つの離島での継続的な観測と船舶観測による大気と海洋のデータを活用して、豪雨・豪雪をもたらす水蒸気の起源に関する包括的な理解を目指す。

・異常天候に繋がる持続的な大気循環変動

異常天候に繋がる持続的な大気循環変動について、暖流や水温前線の変動に伴う大気変動の予測の可能性・不確実性を評価するため、海面水温を与えた大気モデル実験のアンサンブル実験（初期値の僅かなばらつきにより生じる予測結果のばらつきが予測の不確実性の指標を与える）を活用し、大気変数の変動の潜在的な（海面水温偏差が予測できたと仮定した場合の）予測の可能性の評価を行う。この際に、中緯度大気海洋相互作用の寄与と熱帯や極域からの遠隔影響の寄与との相対的重要性も吟味する。同時に、熱帯からの遠隔影響による大気変動の予測可能性・不確実性への中高緯度の大気海洋（海氷）相互作用からの寄与についても慎重に検討する。

・海洋現象

準全球の海洋渦を解像可能な海洋大循環モデルに観測データを同化するシステムを開発し、それを初期値とした海流や海洋渦を含んだ海洋予測実験を実施する。その結果から海洋渦等の予測の可能性を統計的に明らかにする。また、高解像度の気象海洋結合モデルを用いた過去予測実験により、台風の水温低下における黒潮の影響等、海洋構造が大気予測に及ぼす影響を調査する。

III) 地球温暖化に伴う気候系の将来予測

日本や東アジア域の極端現象や季節進行における中長期変化変動、変化変動を与える極域や熱帯域からの影響と中緯度大気海洋結合に注目する。解析の焦点を予測の可能性の探求に拡げることが今後の研究のポイントになる。高解像度モデルデータの収集が重要であり、A03-9 班の主導で進行中である。

・極端気象現象の変調

温暖化に伴う極端な気象現象の強さや頻度の変調は、本領域の最も重要な課題の一つであり、同時に領域横断的な取り組みが不可欠である。A03 を中心とした温暖化に関する研究と A01 を中心とした極端気象現象に関する研究が「極端現象 WG」を通じて連携し、これらの研究を効率的かつ高水準に推進する。具体的には、多アンサンブル高解像度大気モデルの温暖化実験から爆弾低気圧活動予測の不確実性を評価する。また、日本近海の爆弾低気圧活動の長期変動の主要因の一つである熱帯気候レジームシフトの影響評価を継続する。一方、黒潮・黒潮続流域の高温化が進行した場合の台風の強度や台風に伴う豪雨発生の変化の予測の不確実性を評価する。更に、近年の気温上昇及び水温上昇が豪雨・豪雪に及ぼす影響や、大雨頻度と気温・海面水温との関係の温暖化による長期変動を解析する。

最近スーパーコンピュータ「富岳」の運用が始まった。これを用いた挑戦的な取り組みにも拡張する計画である。また、本領域発足以後も、数々の「異常な気象」が発生した。すでにその原因や影響の研究に着手した事例もあるが、今後の「異常な気象」を含め、今後の研究に盛り込む計画である。

【今後公募する公募研究の役割】上の研究推進方針を受け、以下のような公募研究が期待される

- ・観測研究：今後実施する集中観測に相乗りし、既存の計画を強化或いは補完する観測研究が期待される。特に、航空機と船舶の同時観測で、その機会を最大限に活用するような観測の提案が望まれる。
- ・予測研究：「所見」にあるように、本領域の成果を異常気象や異常天候の予測にどのように繋げていくのかは大きな課題である。異常気象や異常天候に対する中緯度海洋からの影響に関する普遍的な知見を示すことを目指す研究、また、結合過程が予測に及ぼす影響を調査する研究等の提案が望まれる。
- ・横断的研究：時間スケール間の相互作用は重要な課題であり、横断的にこれに取り組むために WG を中心に連携している。これを拡張するような時間空間スケールを横断する研究課題の提案も望まれる。

11 総括班評価者による評価

研究領域全体を通じ、総括班評価者による評価体制（総括班評価者の氏名や所属等）や本研究領域に対する評価コメントについて、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。

【花輪公雄：山形大学理事・副学長／東北大学名誉教授】

本領域は、新学術領域研究 2205「気候系の hot spot：熱帯と寒帯が近接するモンスーンアジアの大気海洋結合変動」（2010年6月～2015年3月）の後継プログラムであり、その目的は、大洋西岸域の中緯度海洋が、大気海洋相互作用において‘能動的・主導的な役割’を担っている実態をいっそう明らかにするとともに、地球温暖化が進行する中で気候変化にどのような変調をもたらすのかを解明することにある。この分野の研究は現在世界中で極めて活発に行われている中、前プログラムの成功もあり、我が国の研究が世界をリードしていると言っても過言ではない。

本領域発足以来、野中正見領域代表者の強いリーダーシップの下、既に研究活動が極めて活発に行われ、多くの注目すべき研究成果が発信されてきた。また、計画班を超えた連携研究も活発に行われている。この背景には、重要課題ごとに設けたワーキンググループ（WG）が適切にその役割を担っていることが大きい。一例として、本領域開始直前に発生した黒潮大蛇行（本州南方で黒潮の流路が直進することなく、大きく南側に張り出す現象）に伴う‘大気海洋相互作用の変調’を解明するための「黒潮大蛇行サブWG」の設置を挙げることができる。このサブWG設置はまさに時宜に適ったものであり、既にこれを中心テーマにした研究成果が発信され、研究航海も急遽立案されて行われた。

本領域の研究は比較的新しいものであるが、わが国では研究者の層が厚く、若手研究者も多数参加している。本領域では若手研究者の活動を一層推進するため「若手研究連絡会」を設置し、独立性を尊重しつつ、「オンライントレーニングコース」の開催など種々の支援をしているのは好ましい工夫である。

本領域の採択に当たっては「所見」と「留意事項」で2点重要な指摘がなされたが、双方に対し適切に対応していると判断している。特に留意事項で述べられた予測可能性の評価の検討は、モデル結果のいわゆる「自信過剰・過小」問題など、最新の研究テーマでもあり、A03-9班の重要な研究活動と位置付けられた。今後の研究の進展と成果の世界への発信に大いに期待したい。

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の蔓延により、予定されていた研究航海の中止や国際研究集会のオンライン開催など、当初の予定を大きく変更することを余儀なくされたが、すぐフォローする研究航海が立案されたりするなど、ダメージを最小限に留める工夫をしていることは好ましい。

【早坂忠裕：東北大学教授】

・当初設定した課題に対する進捗状況と成果

当初設定された研究計画は、新型コロナウイルス感染症の影響を受けた船舶や航空機の観測を除き、概ね順調に進んでおり、成果が得られていると判断される。

台風や近年頻発している集中豪雨の予報、および気候の将来予測における大きな課題の一つは海域における下層大気の実態把握と変動メカニズムの解明である。本研究領域では、衛星搭載マイクロ波放射計による下層の水蒸気観測の精度向上や数値モデルを用いた研究により、これらの現象の理解が大きく進みつつある。

一方、下層雲とエアロゾルに関する研究は船舶・航空機同時観測が延期されたために進捗が遅れているが、エアロゾルの化学種と粒径を測定する技術を開発し、予備的な船舶観測を実施している。また、衛星データや数値モデルを用いた雲の解析も進んでおり、航空機観測が成功すれば大きな成果が得られるものと期待される。

近年の温暖化の影響で日本付近の海面水温も上昇し、以前とは異なる特徴を有する台風や集中豪雨も見られるようになってきた。その結果、気象庁の台風予測の精度向上も改善がやや足踏み状態にある。これに対し本研究領域では最近の台風や集中豪雨の具体的な事例を対象に、水蒸気の流れや海面水温の変化など、何がどのように関係しているのかということの解明し、予測精度向上の可能性を示した。たとえば、予測精度が不十分であった台風について、移動速度が遅い場合には強風により海面水温が低下し、予報よりも台風が発達しないメカニズムを明らかにした。このような成果は、台風や集中豪雨の予測精度の改善に貢献するものと期待される。

研究の実施に際しては、現場観測、衛星観測、数値シミュレーションの協働、また、計画研究班の間の連携や計画研究と公募研究の連携が見られ、研究推進体制が有機的に機能していると思われる。

・所見の指摘に対する対応

異常気象の予測精度向上に向けて、気象庁の担当者と意見交換をする会合を開催し、気象庁側からも中緯度の海洋が異常気象へ及ぼす影響の重要性とともに本研究領域に対する期待が示された。今後も、定期的に意見交換の場を設けてはどうか？本研究プロジェクトが終了する頃には、その成果が具体的に示されることを期待したい。

・新型コロナ感染症の影響

雲・エアロゾルに関する船舶・航空機同時観測は延期されているが、一部の船舶観測は様々な工夫をこらすことにより実施している点は評価できる。また、予めどのような観測データの取得や解析が可能かを事前に検討する計算機上での「バーチャル観測」を試みるなど、新たなアイデアも生まれている。

・特筆すべき成果（科学的、社会的）

黒潮大蛇行については、当初、詳細な研究計画は立てられていなかったが、サブWGを急遽設置するなどして研究を進め、関東地域の夏季の気温の高温化や紀伊半島における豪雨への影響など、黒潮大蛇行の社会的影響を明確に示す結果を得た。

【新野 宏：東京大学名誉教授】

本領域は、平成22-26年度に行われた新学術領域研究「気候系のhot spot: 熱帯と寒帯が近接するモンスーンアジアの大気海洋結合変動」の成果も含めて、我が国が世界を牽引する形でその確立に貢献してきた「中緯度海洋が能動的役割を演ずる」という新しいパラダイムの理解を飛躍的に深化させると共に、その科学的・社会的な重要性・有用性を提示することを目指している。

本領域の開始以来、2回の領域全体会議や国際ワークショップを通して、すべての計画研究・公募研究の進捗状況を拝見してきたが、領域代表者のリーダーシップのもと、我が国で中緯度大気海洋相互作用に関わる研究者がその総力を結集して研究を推進しており、これまでに黒潮・黒潮続流域や北西太平洋の海面水温上昇が台風や台風に伴う大雨および爆弾低気圧などに及ぼす定量的な影響の評価や、将来気候における極端降水の発生頻度の変化に関わる過程や予測可能性など、多くの興味深い研究成果が得られている。原著論文もNature Climate Change 4編、Nature Communications 2編、Scientific Reports 3編を含む100編を越える原著論文が発表されてきており、順調に研究が進捗していると判断する。

本領域研究は、対象とする現象の時間スケールにより数日～10日程度、季節～数年程度、10年から数10年の3つの計画研究に分けて研究が進められているが、各時間スケールの現象は他の時間スケールの現象と強い相互作用を行っていることから、これら計画研究間の連携を推進する「顕著現象ワーキンググループ」や総括班の中のモデリング・解析、国際連携、観測を支援するチーム群が組織されており、有機的かつ効率的に研究が進められている。

本領域研究の大きな特色の1つは船舶・航空機による観測と数値シミュレーションが連携して、中緯度大気海洋相互作用の理解を深めることにあるが、観測に関してはあいにくCOVID-19の蔓延により当初予定した観測をやむなく中間評価以降に延期せざるをえない状況となっている。しかしながら、この間にも、航空機観測等で用いる独創的な機器の開発に成功しているほか、実際の観測時にどのようなデータ取得や解析が可能かを計算機上で検討する「バーチャル観測」も行っており、観測の実施に向けた準備は着実に進められている。

また、これまでで2番目に長い3年10ヶ月にわたる黒潮大蛇行が継続中という当初想定しなかった貴重なイベントが起きているが、これに伴い東海沖に高海面水温偏差が分布することや、その影響により東海沖から関東地方の夏季の気温が高くなっていることなどが解明されたほか、中止になった国際会議のための外国旅費を活用して急遽機動的に実施した大蛇行域での船舶観測により、大蛇行に伴う大気海洋相互作用や亜熱帯モード水の輸送への影響の実態の把握など、興味深い研究成果が得られつつある。

審査結果の所見で指摘があった、本研究の成果を社会的に重要な異常気象・異常天候の予測に繋げていく努力の一環としては、業務的な予報を行う気象庁及びその附属機関の気象研究所との合同研究会が開催され、気象庁との密接な連携が図られている。また「留意事項」にあった予測可能性の評価に関しても、多数のアンサンブル予測を用いた予測可能性の確率的な把握や予測システムの自信過剰・自信過小問題など予測可能性の推定が抱える課題の研究が進みつつある。

「若手研究者連絡会」の設置により、セミナーやトレーニングコース、現場観測などを通して、中堅・シニア研究者との交流を行い、若手研究者の育成に関する積極的な取り組みが見られることも高く評価できる。後半の期間にむけて、延期となった観測も含め、研究のさらなる発展に強く期待している。