

領域略称名：中緯度大気海洋
領域番号：6102

令和6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）」
に係る研究成果報告書（研究領域）兼
事後評価報告書

「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6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	交付決定額	5
4	研究領域の目的及び概要	6
5	審査結果の所見及び中間評価結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況	8
6	研究目的の達成度及び主な成果	10
7	研究発表の状況	15
8	研究組織の連携体制	20
9	研究費の使用状況	21
10	当該学問分野及び関連学問分野への貢献の状況	23
11	若手研究者の育成に関する取組実績	24
12	総括班評価者による評価	25

研究組織 (令和6年3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	8
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雙 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：黒潮統流 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、国：国際活動支援班、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・黒潮続流上の大気海 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 一東シナ海中心 の全流路解析一	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
A01 公	22H04490 東シナ海の大気海洋変動に伴う集 中豪雨発生のメカニズム解明	令和４年度 ～ 令和５年度	山田 広幸	琉球大学・理学部・教授	1
A01 公	22H04491 日本周辺の急速な海面水温・気温 上昇が温帯低気圧に伴う顕著現象 へ与える影響の評価	令和４年度 ～ 令和５年度	平田 英隆	立正大学・データサイエン ス学部・専任講師	1

A01 公	22H04492 温暖化する中緯度大気海洋場における台風温帯低気圧化の力学過程の解明	令和４年度 ～ 令和５年度	辻野 智紀	気象庁気象研究所・台風・災害気象研究部・研究官	1
A02 公	22H04486 塩分が関与する中緯度大気海洋相互作用と海洋熱波	令和４年度 ～ 令和５年度	安田 一郎	東京大学・大気海洋研究所・教授	1
A02 公	22H04488 夏季西部北太平洋における固体エアロゾルと氷晶核の航空機観測	令和４年度 ～ 令和５年度	大畑 祥	名古屋大学・高等研究院（宇宙）・助教	1
A02 公	22H04489 東シナ海の黒潮の経年変動とその水温場への影響：梅雨に対する役割	令和４年度 ～ 令和５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	22H04493 対流圏ジェットの季節予測可能性に対する対流圏成層圏結合と中緯度海洋前線帯の役割	令和４年度 ～ 令和５年度	直江 寛明	気象庁気象研究所・気候・環境研究部・室長	1
A03 公	22H04487 黒潮とメキシコ湾流の同期現象が中緯度大気海洋に果たす役割の解明	令和４年度 ～ 令和５年度	神山 翼	お茶の水女子大学・基幹研究院・講師	1
公募研究 計 17 件（廃止を含む）					

[1] 総：総括班、国：国際活動支援班、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 交付決定額

年度	合計	直接経費	間接経費
令和元年度	301,470,000 円	231,900,000 円	69,570,000 円
令和 2 年度	294,580,000 円	226,600,000 円	67,980,000 円
令和 3 年度	371,540,000 円	285,800,000 円	85,740,000 円
令和 4 年度	267,540,000 円	205,800,000 円	61,740,000 円
令和 5 年度	244,270,000 円	187,900,000 円	56,370,000 円
合計	1,479,400,000 円	1,138,000,000 円	341,400,000 円

4 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回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。気候学の従来の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（H22-26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した。

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、その具体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・変調するののかも全く明らかにされていない。
- ・大気下層の雲の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。

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、気候系 hotspot 域に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、これら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も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海水温分布が、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を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大気への影響、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、「**8 研究組織の連携体制**」で詳述する。

5 審査結果の所見及び中間評価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、審査結果の所見及び中間評価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。

(審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況)

【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

我が国において異常気象や異常天候の実際の予測を行う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。そこで、この所見を受け、本領域と気象庁及び気象研究所の研究者との連携を当初計画以上に強化するため、本領域と気象庁・気象研究所の合同研究会をR3年3月とR5年11月の二度にわたって開催した。第1回合同研究会では、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、また本領域の研究成果や研究計画に関して情報を共有し、意見交換を行った。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が、**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る、それを本領域に期待する**という意見が明示された。本領域ではこの意見を十分に意識した研究を推進し、例えば、気象庁の予測現場で利用される台風強度予測の統計ガイダンスにおいて台風と海洋の相互作用を取り込むことで3-5日予報が10%程度改善することを示した^{#28}（上付き#の後の数字は「7研究発表の状況」で示す論文番号）。更に、この研究会における、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共通認識が、本領域と気象庁・気象研究所がそれぞれ計画していた梅雨期の東シナ海観測の合同実施へ繋がった。

第2回合同研究会では、中緯度大気海洋相互作用の気象現象（線状降水帯、台風、季節予測、大気海洋観測）に関する本領域の研究成果を紹介し、今後どのような研究が予測の向上に繋がりは社会の役に立つのかについて、気象庁及び気象研究所の関係官と意見を交換した。気象予測の現場である気象庁アジア太平洋気象防災センター、気候情報課異常気象情報センターの関係官から、本領域における台風発生発達メカニズム理解の深化や中高緯度域での大気海洋相互作用の力学過程の理解が、予測精度向上や予測現場における理解にも重要という意見が示され、**本領域の成果が予測の向上に寄与しうることが現場からの声として確認された**。また、今後の更なる官学連携に期待が寄せられ、R6年度に開始された学術変革領域研究(A)「ハビタブル日本」と気象庁・気象研究所との連携推進にも繋がっている。

【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った**。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、予測の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の可能性を上回るためである。例えば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一方で下流域で

は可能であることを示した^{#72}。また、A01-2 と A03-8 の連携成果として、高解像度かつ多数のアンサンブルメンバーを用いることで、九州や台湾の夏季の豪雨にも潜在的な予測の可能性が検出された^{#93}。

・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、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による予測計算を行う。A02-6 では黒潮続流下流域の海洋渦活動度の経年変動が 1 年以上先まで予測可能であることを^{#33}、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^{#98}。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ため、観測データがどれだけ予測向上につながるかの評価も重要である。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^{#66}。

（中間評価結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況）

【所見〔抜粋〕】「一方で、主要な研究データとなり得る観測研究の COVID-19 の影響による遅れは本領域研究の進捗に影響を及ぼすものであるが、今後の研究計画の修正・データ解析の工夫等により領域の目的を達成できるよう研究を進めることに期待したい。また、現象論に終わらないよう留意いただき、「気候学のパラダイムシフト」を目指して、より広汎で俯瞰的な研究推進を期待したい。」

・COVID-19 の影響による遅れに対する対応

2019 年度末からの COVID-19 の世界的流行が、観測計画に大きな影響を及ぼした。本領域では、海洋と大気の変動とそれらの相互作用の実態解明を進めることを目的に、船舶等を用いた幾つもの現場観測を計画していたが、新型コロナ感染拡大防止のために航海が中止され、2020 年度に計画していた北西太平洋黒潮再循環域（日本南東方沖）観測は 2021 年に、東シナ海黒潮域観測は 2022 年にそれぞれ実施した。また、新型コロナ感染拡大は観測機器や航空機の準備にも影響し、2021 年度に計画していた北海道南東方沖での航空機と船舶の同時観測も 2022 年度に実施した。

上記のように遅れが生じながらも、計画していた観測を全て成功裏に完遂した。逆にその遅れがより綿密な計画立案と陸上からの支援の向上をもたらし、それぞれの観測において狙っていた現象の観測成功に繋がった。観測結果の解析を行う時間が短くなったが、各集中観測についてデータ解析のための会合を高頻度で行う等の工夫により、2022 年 1 月の日本海観測については既に論文を公表し、他の集中観測についても精力的に解析結果の取りまとめ、論文投稿を進めている。

・「気候学のパラダイムシフト」を目指した、より広汎で俯瞰的な研究推進

次項「6 研究目的の達成度及び主な成果」に示すように、本領域では中緯度域における大気と海洋の変動、その相互作用に関する理解を更に深化させる広範な研究を推進してきた。中でも、特に、日本周辺の気候系 hotspot に注目することで、中緯度海洋が台風や爆弾低気圧、豪雨・豪雪、熱波といった極端な現象に顕著な影響を及ぼすことを本領域で明確に示すことに成功した。この成果を通じて、例えば気象庁においても日本周辺の海水温も注視するようになった（例、[2023 年 8 月 28 日気象庁報道発表「令和 5 年梅雨期の大雨と 7 月後半以降の顕著な高温の特徴と要因について」](#)）ように、中緯度海洋の気候への能動的影響に関する認識が、研究コミュニティだけでなく実社会への応用へと広がってきたことは、まさに新しいパラダイムへ繋がったものと考えられる。

近年、日本周辺の海水温が異常に高い状態が頻発していることもあり、その影響は社会的にも大きな注目を集めている。本領域開始前と比較して、マスコミの注目の高さには隔世の感がある。「7 研究発表の状況」で示す本領域の活動・成果に関するマスコミ報道多さや、本領域で実施した 3 つの集中観測がニュース番組で紹介されたことがそれを示す。これらを通じて、本領域で明らかにした中緯度の海水温が極端な現象に及ぼす影響についての認識が広く浸透しつつある（図 1）。



図 1. 2024 年 5 月 10 日テレビ朝日「報道ステーション」から。日本近海の高い海面水温（画面右手のディスプレイの赤い表示）が日本の異常気象に及ぼす影響への懸念を報道。

6 研究目的の達成度及び主な成果

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、(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) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとしたか

【項目 A01】黒潮や親潮などの日本周辺の中緯度海洋が極端気象に及ぼす影響の解明を進めるとともに、他の項目とも連携しつつ、現在及び将来の温暖化した環境場における地域スケールの気候や台風発達に対する中緯度海洋の重要性の解明を進めることを目的とした。具体的には、「気候系 hotspot」である黒潮・黒潮続流及びメキシコ湾流近傍でのストームー海洋相互作用のプロセス解明を重点的に進め、新たな支配メカニズムを見出すだけでなくストームの予報精度・予測可能性に知見を与えること、また、近年の黒潮・黒潮続流域の高温化による低気圧の強化・変調過程を評価すること、更に、ストーム活動の将来変化予測の不確実性の評価を目指した。(2)に示すように、これらの目標を十分達成するとともに、「黒潮やメキシコ湾流から遠方の熱帯低気圧への影響」や、「海水温の極端な高温異常である『海洋熱波』が地域スケールの気候や水産資源に及ぼす影響」等、当初想定を上回る成果をも得た。

【項目 A02】中緯度域の暖流等に伴う海水温分布やその変動が大気・気候へ及ぼす影響を、10日程度から年々変動の時間スケールに注目し、海洋と大気の両側から、現場観測、データ解析、数値モデリングを駆使して解明を進めることを目的とした。具体的には、

- ・ 冬季日本海及び夏季東シナ海における暖流に伴う海洋構造が豪雪や豪雨に及ぼす影響を明らかにするために、それらの実態を観測から把握すること、
- ・ 西部北太平洋などの下層雲の変動を海面水温や気象場、そして海洋からのエアロゾル供給などの観点から他の海域の下層雲との対比を含めて明らかにすること、
- ・ 亜熱帯モード水 (STMW) を始めとする西部北太平洋の表・中層水塊を様々な観測手法で調べ大気変動や生物地球化学過程との関わりを明らかにすること、
- ・ 中緯度大気海洋結合系のベースとなる暖流やそれに伴う海洋前線帯の形成・変動の理解を更に進めその予測の可能性を明らかにすること、
- ・ 中緯度の暖流に伴う顕著な水温前線とその南北変位等が持続的な大気の循環の異常を如何に強制するかを解明すること、

そして、他項目とも連携して、上記の諸過程が温暖化や長期気候変動から被り得る変調を評価することを目指した。

本項目の現場観測に基づく研究は、コロナ禍の影響により全般的に2年程度の延期を余儀なくされたが、「5 審査結果の所見及び中間評価結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況」で詳述した通り、コロナ禍の影響を強く受けた観測的研究についても目標を達成するとともに、(2)に示すようにデータ解析、数値モデリング研究も上記の目標を十分に達成した。

【項目 A03】大気海洋結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP) に対応する気候シミュレーションを活用することで、中緯度の気候や大気海洋相互作用の理解をその長期的変動や変調、予測可能性にまで拡張するとともに、中緯度大気海洋相互作用と地球温暖化研究の連携を実現すること、また、複数モデルあるいは多数アンサンブルを用いることで、変動・変化の不確実性を含めて明らかにすることを目的とした。長期的変動としては、例えば特に北太平洋の黒潮と北大西洋のメキシコ湾流で同期して生じる変動の理解深化を目指した。(2)に示すように、CMIP シミュレーション解析に加え、多種多様なシミュレーションの実施、シミュレーションデータセットや観測、再解析データの解析により、特に東アジア域との関係に注目しながら、夏季と冬季における極端気象現象に対する大規模大気海洋変動の影響、およびその変調を明らかにするとともに潜在的な予測の可能性を実証した。以上の成果から当初目的は十分に達成した。

(2) 本研究領域により得られた成果

【項目 A01】

A01では、「気候系 hotspot 域」である黒潮・黒潮続流及びメキシコ湾流近傍での低気圧と海洋の相互作用解明を重点的に進めた。熱帯低気圧の強化に寄与する黒潮・メキシコ湾流の遠隔影響を明らかにし、遠隔海域 (特に暖流域) の海面水温の情報も精度が良くなければ、台風の強度予報も十分に改善されないことを指摘した^{#1, #17}。また、近年の黒潮の高温化が日本に接近する秋台風の強度を強めている可能性を

示した^{#13}。更に、温暖化に伴う中緯度の顕著台風の将来変化予測実験を行い、顕著台風の強度変化はその台風自身が起こす海面水温低下による発達抑制が台風間で大きく異なり、その効果を表現出来る高解像度の大気海洋結合モデルでなければ予測の不確実性を低減できないことを明らかにした^{#2}。一方、気候系 hotspot 域の爆弾低気圧（急激に発達する低気圧）の本質的理解のために理想化実験を行い、その出現の最適条件を明らかにし^{#14}、また A02 と連携し、**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を活性化させていることを示した^{#10}**。更に A03 と連携し、爆弾低気圧と関連する日本海寒帯気団収束帯(JPCZ)の今世紀末の将来変化を初めて予測し、JPCZ は将来北偏して冬季降水量は本州中部山岳域では減少するが、東北地方では日本海側を中心に顕著に増加する可能性が高いことを示した^{#3}。

A02・A03 とともに連携し、進行しつつある温暖化に対する中緯度海洋の影響にも注目した。東シナ海の黒潮近傍での長期的な海面水温の上昇が、積雲対流の活動と北向きの水蒸気輸送量を増加させることで、西日本における近年の梅雨末期の豪雨の増加に寄与していることを明らかにした^{#5}。これは、将来の日本周辺の極端気象予測における中緯度海洋の重要性を示す成果である。また、北海道周辺における冬季の長期的な気温上昇は、いわゆる西高東低の冬型の気圧配置の場合、地球温暖化によるオホーツク海の海水後退により、海からの冷却効果の弱体化がより顕在化し、冬季平均の 3 倍以上のペースで進行していることが示された^{#6}。この成果は、**地域スケールの気候に対する地球温暖化の影響の現れ方は、大気の大規模な循環と同時の中緯度海洋の状況により大きく変わる**という従来看過されてきた重要な知見であり、長期気候変化の影響評価手法への今後の活用が期待される。加えて、2017 年から続く黒潮大蛇行は典型的な黒潮大蛇行とは異なり、東海地方沿岸域の海面水温をより上昇させる流路であり、その影響が 2020 年 4 月の紀伊半島での大雨にも寄与したこと^{#11}、さらに北海道・東北沖では親潮の弱体化等の影響で海洋熱波と呼ばれる海面水温の局所的な異常高温が 2010 年以降多発し^{#16}、令和元年東日本台風の大雨^{#15}や近年のブリの漁獲量増加に影響を与えている^{#16} こと等、当初計画にはない成果も得られた。

【A01 公募研究】

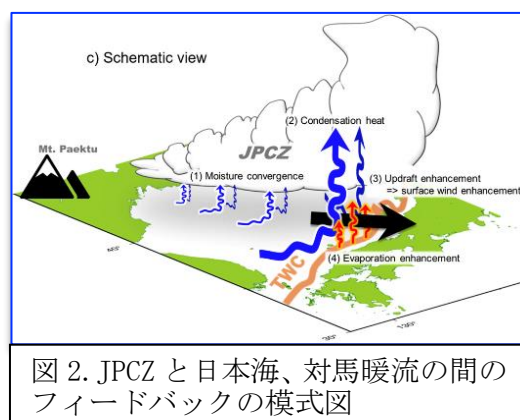
A01 で注目した気候系 hotspot 域での低気圧と海洋相互作用の解明を更に拡大させるため、領域雲解像モデルを用いた数値実験により、黒潮に伴う海面水温の構造や^{#19}、日本の東方海上の近年の顕著な海面水温上昇が温帯低気圧に伴う顕著現象へ与えた影響を評価した。2020 年 1 月茨城の温帯低気圧に伴い発生した大雨に対しては 42%、2023 年 9 月の台風 13 号に伴う千葉県における豪雨でも約 40-80%の降水量の増加へ寄与したことが示され、**日本の東方海上における近年の海面水温上昇が温帯低気圧や台風に伴う顕著現象の発生に顕著に影響することが定量的に明らかにされた**。更に、2023 年夏季の異常に高かった日本海の海面水温が台風第 7 号に伴う山陰地方の豪雨に影響を与えたことも示された。

また、台風の温帯低気圧化（熱帯で発達した台風が中緯度域で温帯低気圧に構造を変化させること）に対する温暖化の影響の解明を進めた。擬似温暖化実験から、将来の温暖化した環境では、温帯低気圧化の期間にも台風の特徴である暖気核構造が維持されており、これは温暖化で上昇した海面水温による大気への熱供給が、台風中心付近で暖気核構造の維持に寄与し得ることを示す。つまり、温暖化下では、温帯低気圧化によって強風域が広がりながらも、なお台風の特徴として中心付近の暴風域が残る、といった特徴が生じることが示された。

【項目 A02】

A02 では、観測データが限られ未解明であった強い暖流と豪雨や豪雪との関係や西部北太平洋域の下層の雲と大気中の微粒子（エアロゾル）の関係、また、日本南東沖の海洋表層下に広がる「亜熱帯モード水」等の水塊の挙動と気候や生物地球化学的過程との関係等について、直接観測からその実態の理解を進めた。更に、数値モデリング実験や多様なデータ解析から、海流の予測の可能性や、中緯度の海洋が成層圏よりも上層も含む大気の大規模な循環に及ぼす影響を広く探求した。

冬季の日本海では対馬暖流による暖かい海水の上に大陸からの冷たい乾燥した空気が吹き出すことで雪雲が発達する。この相互作用の実態を大気と海洋の両面から捉えるため、R4、R5 年度冬季に日本海側に豪雪をもたらす JPCZ（日本海寒帯気団収束帯）と対馬暖流の同時観測を実施した。R4 年度の観測では、JPCZ に伴う水蒸気の収束量が梅雨期の豪雨時の値に相当することが観測された。この強い水蒸気の収束は JPCZ 内に強い対流を生み、それが更にこの収束を強化するというフィードバック機構が提示された（図 2）^{#48}。続く R5 年度の冬季の日本海観測では、史上最強の



寒波に伴う JPCZ の直下で、海洋と大気鉛直構造の詳細な観測に成功した(論文投稿準備中)。

一方、東シナ海では、黒潮に伴う海面水温の強い前線と梅雨期の豪雨との関係に注目した観測を実施した。三隻の船舶が連動して高頻度観測を行うことで、水温前線を挟む水平的な分布を捉えることに成功し、水温前線が人工衛星で推定された構造よりも遙かに鋭い水平勾配を持つことが明らかとなった。そして、**その鋭い水温前線構造が大気に影響を及ぼし、梅雨期の豪雨を強化することが観測データとそれに連動させた数値的研究により示された(論文投稿準備中)**。関連して、日本海の極端な温暖化の新たな原因の提唱や^{#69}、冷たいオホーツク海の梅雨への影響^{#58}、日本周辺の水温の高温化と連動する気候レジームシフトの存在の提唱^{#30}などの成果も得られた。

また、大気中の微粒子(エアロゾル)を通じた新たなタイプの大気海洋相互作用の実態把握も本領域の大きな目的であり、これまでほとんど直接観測がない西部北太平洋の下層雲とエアロゾルについて、航空機と船舶を同期させた統合的な観測を実施した。この観測から、**海水中の微粒子および大気境界層中のエアロゾルの化学種とその粒径分布**、また、多くの研究が行われてきた亜熱帯東太平洋では見られない**海洋からの熱フラックスに対応した下層雲の鉛直構造の変化**などが明らかとなった。一方、人工衛星データからの雲の水・氷相判別解析アルゴリズムの開発などにより、複数の人工衛星データの解析を実施し、西部北太平洋を含むグローバルな雲の動態とその放射影響を評価した。この結果、グローバルな雲の水・氷相の分布^{#60}、それらの雲の鉛直構造の不均質性^{#44}、降水と上層雲の日変化の様子^{#52}などが明らかとなった。加えて、西部北太平洋を含むグローバルな下層雲について、本領域分担者が提案した下層の湿度の効果を考慮した下層雲量の新しい指標「ECTEI」を用いることにより、気候モデルの開発・改良を通じて、気候モデルでの下層雲量の再現性の向上^{#68}、海面水温と短波放射との間のフィードバックの再現性向上^{#54}、温暖化時の下層雲減少の説明などを実現した^{#41}。また上記の航空機・船舶観測のデータによって検証された数値モデルにより、海洋起源エアロゾルの正味の雲放射効果を推定した。

更に、亜熱帯モード水を始めとする西部北太平洋の表・中層水塊と大気変動や生物地球化学過程との関係を明らかにするため、自動昇降型フロート観測の他、様々な手法で観測を進めた。フロート観測では、衛星経由で取得したデータに品質管理を施し、研究に使えるデータを得るところまでが1つの大きな研究のステップである。酸素データについては投入時の船舶観測データとフロートが海面浮上時に測定する大気中酸素濃度データを利用した手法により、また pH データについては水温・塩分・酸素から経験的に推定した値を用いた手法により品質管理を進めた。これらの品質管理手法の開発はフロートの観測と同時並行で行い、全フロート観測終了後速やかに品質管理済みデータを得ることに成功した。得られたデータの解析から、「北海道南東沖における 2022 年の海洋熱波発生時の溶存酸素変化とその物理メカニズム」「大気海洋間酸素フラックスの定量：高緯度で吸って低緯度で吐く」「黒潮再循環域の亜表層における全炭酸と酸素の季節変化」等のテーマについて論文投稿中または準備中である。また、品質管理済み水温・塩分・酸素データを 2024 年 5 月に公開開始した。

現場観測の実施と並行して既存の観測データの解析も推進し、気象庁による東経 137 度線の夏の長期船舶観測データから、分厚い水塊である亜熱帯モード水 (STMW) の厚さが十年規模で変動し、厚い時期には STMW がそれよりも浅い等密度面を押し上げ、深さ約 50m を中心とする亜表層に低温偏差が現れるという、STMW の「持ち上げ効果」を発見した^{#59}。Okamoto et al.^{#38} は、この「持ち上げ効果」が季節を問わず働き、100m の STMW 厚変動によって、暖候期の亜表層を中心に 1℃近い水温変動が生じることを示した(図 3)。また、**A01・A03 との連携成果**として、海水温と台風

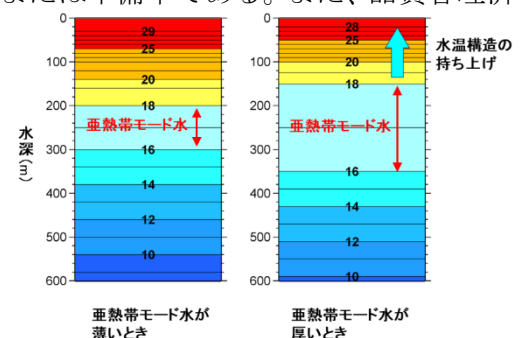


図 3. 亜熱帯モード水の厚さが水温(色で表示)に及ぼす影響の模式図

風の長期観測データから、STMW が厚い(薄い)時期には、海面水温が低下し熱帯低気圧の発達率が有意に低下(上昇)することを示した。これまで、中緯度海洋の大気に対する能動的影響についてはもっぱら黒潮などの海流からの影響が注目されてきたが、この発見は数千 km 規模の広がりを持つ水塊もまた、大気に能動的に影響することを示し、**中緯度海洋が大気に影響する全く新たなメカニズムを提示した**。モード水の持ち上げ効果は有光層への栄養塩供給にも影響していることが予想されるほか、モード水は全球の中緯度海洋に 10 種類程度が存在しており、今後幅広い波及効果が予期される。一方、温暖化に伴い STMW の厚さが減少していくことが予期され、熱帯低気圧発達への影響が懸念される。

台風に対する海洋の影響は、台風の強度予測の精度にも影響する。気象庁で台風の強度予報に用いら

れている「統計ガイダンス」では、海洋に関する説明変数として海面水温と海洋表層の貯熱量を使用する。現在のガイダンスでは、海面水温と海洋貯熱量は予測開始時の値に固定されており、台風に対する海洋の応答が考慮されていない。そこで海洋モデルで予報した海面水温と貯熱量を用いることで台風と海洋の結合過程を擬似的に表現し、2020年の全台風を対象に予測実験を行った結果、3-5日予報に10%程度の改善が示された^{#28}。気象庁で実際に用いるシステムを基盤にした実験で定量的な予測改善を示した意義は大変大きい。一方、強い海流に伴う海洋前線帯や海洋中規模渦（100km 規模の渦）の変動について、大気変動が励起した海洋ロスビー波の伝播により、数年先までの潜在的な予測の可能性を解明した^{#72} 上で、実際の予測の可能性を定量的に明らかにするため、予測システムを開発した。極域を除く海洋全域の海洋前線帯や海洋渦を含む変動を再現するデータセットをまず作成し（公開済）^{#40}、このデータを初期値として、1994-2020年の各年1月から3年先までの予測実験を実施した。その結果、「気候系 hotspot 域」である黒潮続流とメキシコ湾流の流速とそれぞれの下流域の海洋渦の活動度の経年変動が1-2年先まで高い精度で予測可能であることが明らかとなった^{#33}。更に、より長期の変化として、黒潮続流が過去29年間で約200km北上していることを人工衛星観測データから解明した。大気の長期データの解析から、黒潮続流の緯度帯以北の風系に見られる長期変化が海洋の亜熱帯循環とその北端に形成される黒潮続流の北上を励起させるものであることが示され、数値海洋モデル実験からもそれが確認された^{#32}。

このような強い海流に伴う海洋構造やその変動・変化に対する大気の大規模な応答の理解にも格段の発展が得られている。黒潮やメキシコ湾流など強い暖流沿いには平均場として海上風の収束が生じるが、その理解には従来の平均場や強い低気圧に注目した解析では不十分であり、水温前線に沿って頻繁に発達する低気圧の背後の寒気吹出時に暖流からの水蒸気・熱放出が増大し、それによる中程度に強い海上風収束に伴って浅い対流性降水系が組織化されることがこの海域の大気の応答として本質的に重要なことを見出した^{#70}。一方、想定以上の成果として、流れの曲率に着目することで大気の下層・上層を問わず高・低気圧性の渦を分離し、各々の熱・水蒸気・運動量輸送への寄与を分離できる画期的手法を開発した^{#62}。これを海洋前線の強弱が異なる2つの海面水温を与えた大気モデル実験に適用し、メキシコ湾流域や黒潮続流域の水温前線への大気応答として生じる低気圧に伴う降水の増大を、主に高気圧に伴う暖流からの蒸発の増大と高気圧から低気圧への正味の水蒸気輸送の増大が補うことを初めて定量化した^{#25}。

更に大規模な大気循環への影響として、中高緯度海洋における大気と海洋間の熱交換が大気大循環の特定の卓越変動パターンを選択的に増幅させる傾向を見出した^{#24}。また、上端の高い全球大気モデル実験から、中緯度海洋前線への応答として移動性擾乱活動が増大すると大気重力波等の生成が活発化し、その上方伝播に伴う下向き運動量輸送によって冬季南半球で中間圏下部の極夜ジェット気流（PNJ）を効果的に減速させることを初めて実証し（図4）、海洋前線の現実的表現が気候モデルに共通する中層大気のバイアス軽減に貢献し得るという画期的な成果を得た^{#22}。一方で、黒潮や対馬暖流からの熱や水蒸気供給の影響として、2018年7月「西日本豪雨」と2020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^{#74}。更に、近年の東シナ海の温暖化傾向による2017年7月「九州北部豪雨」の雨量増大を高解像度大気モデル実験から定量化した^{#42}。一方、2018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、熱帯太平洋及び中緯度北太平洋の暖水偏差が共に影響したことを全球大気モデル実験から見出し^{#71}、また、2023年夏の記録的猛暑の要因を分析し、黒潮続流の極端な北上に伴う海洋熱波からの影響を指摘した^{#26}。

【A02 公募研究】

固体エアロゾルの測定手法の評価を進め^{#77}、計画研究班が実施した西部北太平洋の航空機観測に測器を乗せ、観測期間中の平均の鉱物ダスト数濃度（粒径範囲0.3-3 μm ）が0.8 cm^{-3} 、-20 $^{\circ}\text{C}$ における平均の氷晶核数濃度が0.2 L^{-1} であることを示した。これら直接観測によりエアロゾルの実態を把握したデータは気候モデルの評価にとって大変重要である。

一方、計画研究でも大気や海洋生態系への影響が注目された海洋熱波に関し、北太平洋東部に注目した詳細な解析から、海洋亜表層を東向きに移流された高温高塩分偏差が表層へ供給されたことと、北太平洋の十年規模変動や太平洋熱帯域のエルニーニョ現象等に伴う大規模な大気循環偏差による水平熱輸送偏差が、アラスカ湾で発生した海洋熱波を数年にわたり持続させたことを示した。これと合致して、こ

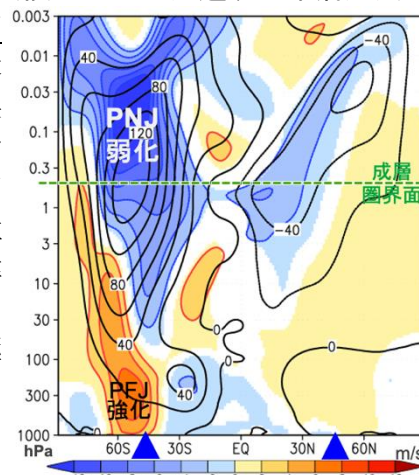


図4. 海洋前線（青▲）の有無が大気モデルの東向き風に与える影響、青が西風弱化

これらの気候変動に伴いアラスカ湾の海洋熱波が繰り返し起こりうることが気候モデルから示された。更に、北太平洋の十年規模変動が、18.6年周期の潮汐振動、その1.5倍の27.9年周期、3倍の55.8年周期の3成分で良く表現されることが明らかとなり、**熱波の長期予測の可能性**が示唆された。

また、東シナ海の黒潮の変動に注目した解析から、2005年以降、東シナ海の黒潮流速と流軸位置は顕著に準3年周期変動したことが示された。この原因は、2005年以降、エルニーニョ現象の中心が太平洋熱帯域の東部から中央部に変わったため、北太平洋の西部亜熱帯域で風応力カールの明瞭な変動が起こるようになり、効果的に東シナ海の黒潮の変動を励起したことによる^{#78}。また、最近約40年間で**東シナ海の黒潮域では海面水温が大きく上昇し**、これがその上の海面気圧の低下とそれに伴う大気下層での収束、対流圏上層に及ぶ対流を強化し、**6月の梅雨前線の強化に寄与**していることが示された^{#75}。

更に、中緯度海洋前線帯の冬季北大西洋の季節内予測への影響を評価するため、気象庁/気象研究所季節予測システムを用いて、北大西洋域における冬季の季節内予測（3-4週目予測）に焦点を当て、海洋モデル解像度の異なる予測実験の比較を行った。広域平均した海面水温及び、海洋前線近傍の下層気温の予測精度は海洋高解像度化で改善することが示された^{#76}。**気象庁で実際に用いている季節予測システムを用いて中緯度海洋前線帯の予測への影響を評価出来た意義は大変大きい。**

【項目 A03】

A03 では、大気海洋結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP)に対応する気候シミュレーションを活用することで、中緯度気候や大気海洋相互作用の理解をその長期的変動や変調にまで拡張した。温暖化が進行しつつある近年の変動に注目し、**東アジア域の顕著な降水の年々変動について**、高解像度モデル大規模アンサンブルデータ「d4PDF」を用いて、**その潜在的な予測の可能性を実証し**、局所的な顕著降水が大規模気候変動(エルニーニョ現象やインド洋海盆全体での海面水温変動)と深く関わることを示した^{#82, #93}。いずれの大規模気候変動でも西太平洋域での大気-海洋結合プロセスが鍵であり、超高解像度大気海洋結合モデルNICAM/NICOCOシミュレーションを実施して、特にアジアモンスーンとの関わりを例にその重要性を指摘した^{#84}。冬季の東アジア域に対しては、とりわけ中緯度大気海洋相互作用を通じて東アジアに影響する熱帯太平洋の気候変動について、亜熱帯域やインド洋^{#87, #91}、大西洋^{#89}との関わりを、各海盆に観測された海面水温の経年変動を与える数値気候モデル実験等によって多角的に指摘した。このように、極端気象や異常天候に対する気候変化の影響に関する理解の格段の深化に加え、膨大な量のCMIPシミュレーション解析により、気候システムに内在する気候変動が亜熱帯高気圧の強弱に対応する下層雲量変化を通じて地球温暖化傾向に中長期的な変調を与えることも示した^{#85}。

また、A03-9が主導し、ヨーロッパの高解像度気候モデル相互比較プロジェクトであるPRIMAVERAと本領域の協力関係を構築し、本領域の研究者は英国が構築したデータ収集・解析サーバ「JASMIN」上で、直接データを解析することが可能となった。PRIMAVERAデータを用いた研究から、爆弾低気圧の分布がモデル解像度によって大きく異なること^{#99}、爆弾低気圧が地球温暖化でその分布を変え日本付近では減少すること(改訂中)、台風の最大勢力時の位置の長期変動は温暖化ではなく熱帯太平洋を中心とする自然な十年スケール変動によること(改訂中)、異常気象をもたらすブロッキングに密接に関係する大気の波活動の分布と変化^{#83}が示された。一方で、**温暖化によって「大気の川」が強大化するために豪雨が強まることを、A01と連携して明らかにした**^{#94}。更に、想定外の成果として、**黒潮大蛇行にともなう関東上空への水蒸気供給が、温室効果を引き起こし、関東の熱波に影響**することを見出した(図5)^{#97}。また、気候の季節から数年予測を、今後重要となる海洋生態系予測にどうつなげるかを、CLIVAR、PICESと協力して国際執筆チームを組織し**A02とも連携して展望論文として発表した**^{#88}。

【A03 公募研究】

数十年規模の変動に見られる黒潮流速とメキシコ湾流の同期現象について、「既知現象との位置付け」と「中緯度気象との関係」に注目し、たとえば、メキシコ湾流には「北半球環状モード(NAM)」や海洋のロスビー波等を介して黒潮を強制する物理プロセスが存在すること(論文準備中)、境界流同期はNAM指数の確率分布を歪め異常気象をもたらすことなどを強く示唆する結果を得た(論文準備中)。

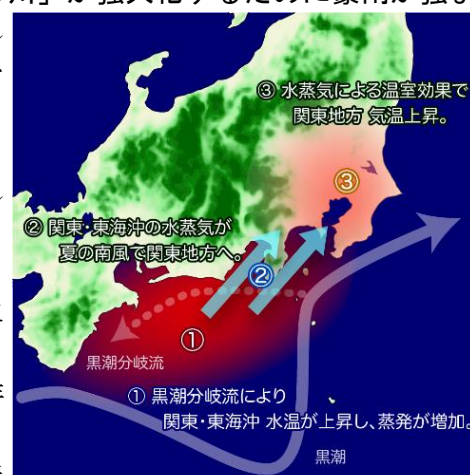


図5. 黒潮大蛇行が関東地方の気温に及ぼす影響の概要図

7 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、一般向けアウトリーチ活動等の状況。令和6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ドク等研究員、点線下線は研究協力者、波線下線は学生。JはJournal of の略、SOLAはScientific Online Letters for the Atmosphere の略。発表論文総数は480篇（うち査読無し43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. *Fujiwara, K., and R. Kawamura (2023): Intensification of a distant hurricane by warm-core eddies in the Gulf Stream in boreal fall. **Atmospheric Science Letters**, 24, e1141.
2. *Kanada, S., and A. Nishii (2023): Observed Concentric Eyewalls of Supertyphoon Hinnamnor (2022). **SOLA**, 19, 70–77.
3. *Kawano, T., R. Yasukiyo, R. Kawamura, and T. Mochizuki (2023): A projection of future JPCZs by WRF dynamical downscaling simulations based on MIROC6 ScenarioMIP ssp585. **SOLA**, 19, 101–108.
4. *Li, S., T. Sato, T. Nakamura, and W. Guo (2023): East Asian summer rainfall stimulated by subseasonal Indian monsoonal heating. **Nature Communications**, 14, 5932.
5. *Matsumura, S., and S. Iizuka (2023): Local-scale circulation associated with enhanced poleward moisture transport for Meiyu-Baiu heavy rainfall over western Japan. **Environmental Research Letter**, 18, 1–8.
6. *Tamura, K. and T. Sato (2023): Localized Strong Warming and Humidification Over Winter Japan Tied to Sea Ice Retreat. **Geophysical Research Letters**, 50, 1–10.
7. *Yoshida, N., R. Kawamura, T. Kawano, T. Mochizuki, and S. Iizuka (2023): Remote dynamic and thermodynamic effects of typhoons on Meiyu-Baiu precipitation in Japan assessed with bogus typhoon experiments. **Weather and Climate Extremes**, 41, 1–12.
8. *Hatsuzuka, D., and T. Sato (2022): Impact of SST on present and future extreme precipitation in Hokkaido investigated considering weather patterns. **J. Geophysical Research-Atmosphere**, 127, 1–16.
9. *Kawase, H., S. Watanabe and Y. Imada (2022): Impacts of historical atmospheric and ocean warming on heavy snowfall in December 2020 in Japan. **J. Geophysical Research-Atmosphere**, 127, 1–19.
10. *Kuwano-Yoshida, A., S. Okajima, and H. Nakamura (2022): Rapid increase of explosive cyclone activity over the midwinter North Pacific in the late 1980s. **J. Climate**, 35, 1113–1133.
11. *Tochimoto, E. and S. Iizuka (2022): Impact of warm sea surface temperature over a Kuroshio large meander on extreme heavy rainfall caused by an extratropical cyclone. **Atmospheric Science Letters**, 24, 1–10.
12. *Yanase, W., K. Araki, A. Wada, U. Shimada, M. Hayashi, and T. Horinouchi (2022): Multiple dynamics of precipitation concentrated on the north side of Typhoon Hagibis (2019) during extratropical transition. **J. the Meteorological Society of Japan**, 100, 783–805.
13. *Fujiwara, K., and R. Kawamura (2021): Active Role of Sea Surface Temperature Changes over the Kuroshio in the Development of Distant Tropical Cyclones in Boreal Fall. **J. Geophysical Research: Atmospheres**, 126, e2021JD035056.
14. *Yamamoto, M. (2021): Atmospheric response to the North Pacific hotspot in idealized simulations: Application to explosive and binary cyclogenesis. **Atmospheric Science Letters**, 22, e1060.
15. *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.
16. *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**, 7, 576240.
17. *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.
18. *Zhao, N., A. Manda, X. Guo, K. Kikuchi, T. Nasuno, M. Nakano, Y. Zhang, and B. Wang (2020): 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

【書籍】

1. 川瀬宏明 (2021): 極端豪雨はなぜ毎年のように発生するのか, 株式会社 化学同人, 224
- 【アウトリーチ活動】新聞等 144 件、テレビ・ラジオ等 36 件、その他アウトリーチ活動 13 件。

【研究項目 A01】公募研究

【雑誌論文】

19. *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.

20. *Ichikawa, K., X.F. Wang, and H. Tamura (2020): Capability of Jason-2 subwaveform retracker for significant wave height in the calm semi-enclosed Celebes Sea. **Remote Sensing**, 12 (20), 3367.
【書籍】
21. *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.

【研究項目 A02】計画研究

【主な雑誌論文】

21. *Kawai, Y., K. Katsura, and S. Hosoda (2024): Spatiotemporal variations in upper-ocean salinity over the North Pacific in 2004–2021. **J. Geophysical Research: Oceans**, 129, e2023JC020309.
22. *Kawatani, Y., H. Nakamura, S. Watanabe, and K. Sato (2024): Effects of mid-latitude oceanic fronts on the middle atmosphere through upward propagating atmospheric waves. **Geophysical Research Letters**, 51, e2024GL108262.
23. Matsuura, H., and *S. Kida (2024): Role of Japan Sea Throughflow in the spatial variability of the long-term sea surface temperature trend. **J. Oceanography**, in press.
24. *Mori, M., Y. Kosaka, B. Taguchi, H. Tokinaga, H. Tatebe, and H. Nakamura (2024): Northern Hemisphere winter atmospheric teleconnections are intensified by extratropical ocean-atmosphere coupling. **Communications Earth and Environment**, 5, 124.
25. *Okajima, S., H. Nakamura, and T. Spengler (2024): Midlatitude oceanic fronts strengthen the hydrological cycle between cyclones and anticyclones. **Geophysical Research Letters**, 51, e2023GL106187. 国際共著
26. *Takemura, K., H. Sato, A. Ito, T. Umeda, S. Maeda, M. Hirai, Y. Tamaki, H. Murai, H. Nakamigawa, Y. N. Takayabu, H. Ueda, R. Kawamura, Y. Tanimoto, H. Naoe, M. Nonaka, T. Hirooka, H. Mukougawa, M. Watanabe, and H. Nakamura (2024): Preliminary diagnosis of primary factors for an unprecedented heatwave over Japan in 2023 summer. **SOLA**, 20, 69–78.
27. Wang, M., *SP. Xie, H. Sasaki, M. Nonaka, and *Y. Du (2024): Intensification of Pacific tropical instability waves over the recent three decades. **Nature Climate Change**, 14, 163–170. 国際共著
28. *Yamaguchi, M., N. Usui, and N. Hirose (2024): Typhoon Intensity Forecasts using TIFS with Pseudo Ocean Coupling. **SOLA**, 20, 86–91.
29. *Yamazaki, A., S. Fukui, and S. Sugimoto (2024): The impacts of East Siberian blocking on the development of the JPCZ, **SOLA**, 20, 31–38.
30. Amano, M., *Y. Tachibana, and Y. Ando (2023): Consideration of whether a climatic regime shift has prevented the occurrence of a cold summer in northeast Eurasia since 2010. **J. Climate**, 36, 8059–8071.
31. *Katsura, S., J. Sprintall, S. Kido, Y. Tanimoto, and M. Nonaka (2023): Classification of interannual surface layer salinity variability. **Geophysical Research Letters**, 50, e2022GL102261. 国際共著
32. *Kawakami, Y., H. Nakano, L. S. Urakawa, T. Toyoda, K. Aoki, and N. Usui (2023): Northward shift of the Kuroshio Extension during 1993–2021. **Scientific Reports**, 13, 16223.
33. *Kido, S., M. Nonaka, and Y. Miyazawa (2023): Skillful multiyear prediction of the Kuroshio and Gulf Stream jets and eddies. **Geophysical Research Letters**, 50, e2023GL103705.
34. *Martineau, P., S.K. Behera, M. Nonaka, H. Nakamura, and Y. Kosaka (2023): Tropical Pacific Influence on summertime South African high-frequency temperature variability and heat waves. **Geophysical Research Letters**, 50, e2022GL101983.
35. *Miyaji, Y., T. Hasegawa and Y. Tanimoto (2023): Intercomparisons of methods for extracting the internal climate variability from the observed records over the Indo-Pacific sector. **International J. Climatology**, 43, 57–75.
36. *Miyamoto, A., H. Nakamura, S.-P. Xie, T. Miyasaka, and Y. Kosaka (2023): Radiative impacts of Californian marine low clouds on North Pacific climate in a global climate model. **J. Climate**, 36, 8443–845. 国際共著
37. *Nishikawa, H., E. Oka, and S. Sugimoto (2023) Subtropical Mode Water in a recent persisting Kuroshio large-meander period: Part II — formation and temporal evolution in the Kuroshio recirculation gyre off. **J. Oceanography**, 79, 461–471.
38. *Oka, E., S. Sugimoto, F. Kobashi, H. Nishikawa, S. Kanada, T. Nasuno, R. Kawamura, and M. Nonaka (2023): Subtropical Mode Water south of Japan impacts typhoon intensity. **Science Advances**, 9, eadi2793.
39. Kawai, H., H. Yoshida, T. Koshiro, and S. Yukimoto (2022): Importance of Minor-Looking Treatments in Global Climate Models. **J. Advances in Modeling Earth Systems**, 214, e2022MS003128.
40. *Kido, S., M. Nonaka, and Y. Miyazawa (2022): JCOPE-FGO: an eddy-resolving quasi-global ocean reanalysis product. **Ocean Dynamics**, 72, 599–619.
41. *Koshiro, T., H. Kawai, and A.T. Noda (2022): Estimated cloud-top entrainment index explains positive low-cloud-cover feedback. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America**, 119, e2200635119.
42. *Manda, A., S. Iizuka, H. Nakamura, and T. Miyasaka (2022): Assessing the impact of the recent warming in the East China Sea on a torrential rain event in northern Kyushu (Japan) in early July 2017. **Frontiers in Climate**, 4.
43. *Martineau, P., H. Nakamura, A. Yamamoto, and Y. Kosaka (2022): Baroclinic blocking. **Geophysical Research**

- Letters**, 49, e2022GL097791.
44. Nagao, T. M., and K. Suzuki (2022): Characterizing vertical stratification of the cloud thermodynamic phase with a combined use of CALIPSO lidar and MODIS SWIR measurements. **J. Geophysical Research: Atmosphere**, 127, e2022JD036826.
 45. *Sasai, Y., S. L. Smith, E., Siswanto, H. Sasaki, and M. Nonaka (2022): Physiological flexibility of phytoplankton impacts modeled biomass and primary production across the North Pacific Ocean. **Biogeosciences**, 19, 4865–4882.
 46. *Sasaki, H., B. Qiu, P. Klein, M. Nonaka, and Y. Sasai (2022): Interannual Variations of Submesoscale Circulations in the Subtropical Northeastern Pacific. **Geophysical Research Letters**, 49, e2021GL097664. 国際共著
 47. *Sambe, F., and T. Suga (2022): Unsupervised Clustering of Argo Temperature and Salinity Profiles in the Mid-Latitude Northwest Pacific Ocean and Revealed Influence of the Kuroshio Extension Variability on the Vertical Structure Distribution. **J. Geophysical Research: Oceans**, 127, e2021JC018138.
 48. *Tachibana, Y., M. Honda, H. Nishikawa, H. Kawase, H. Yamanaka, D. Hata, and Y. Kashino (2022): High moisture confluence in Japan Sea polar air mass convergence zone captured by hourly radiosonde launches from a ship. **Scientific Reports**, 12, 21674.
 49. *Tozuka, T., Y. Sasai, S. Yasunaka, H. Sasaki, and M. Nonaka (2022): Simulated decadal variations of surface and subsurface phytoplankton in the upstream Kuroshio Extension region. **Progress in Earth and Planetary Science**, 9, 70.
 50. *Usui, N. and K. Ogawa (2022): Sea level variability along the Japanese coast forced by the Kuroshio and its extension. **J. Oceanography**, 78, 515–527.
 51. *Wang, T., T. Suga, and S. Kouketsu (2022): Spiciness anomalies in the upper North Pacific based on Argo observations. **Frontiers in Marine Science**, 9, 1006042.
 52. Yamashita, T., and H. Iwabuchi (2022): Diurnal Variations of Different Types of Cloud over the Baiu– Meiyu Frontal Zone Using Retrieved Cloud Properties: Implication for the Rainfall Process. **Atmospheric Research**, 271, 106139.
 53. *Yuan, N., and H. Mitsudera (2022): Cross-shelf overturning in geostrophic-stress-dominant coastal fronts. **J. Oceanography**, 79, 27–48.
 54. Chiba J., and H. Kawai (2021): Improved SST–shortwave radiation feedback using an updated stratocumulus parameterization, **CAS/JSC WGNE Research Activities in Earth System Modelling/WMO report**, 51, 403–404. (査読なし)
 55. *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.
 56. Kasuga, S., *M. Honda, J. Ukita, S. Yamane, H. Kawase, and A. Yamazaki (2021): Seamless Detection of Cutoff Lows and Preexisting Troughs. **Monthly Weather Review**, 149, 3119–3134.
 57. Kawai, H., T. Koshiro, and S. Yukimoto (2021): Relationship between shortwave radiation bias over the Southern Ocean and the double-intertropical convergence zone problem in MRI-ESM2. **Atmospheric Science Letters**, 22, e1064.
 58. Kawasaki, K., *Y. Tachibana, 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.
 59. *Kobashi, F., T. Nakano, N. Iwasaka, and T. Ogata (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.
 60. Nagao, T. M., and K. Suzuki (2021): Temperature-independent cloud phase retrieval from shortwave-infrared measurement of GCOM-C/SGLI with comparison to CALIPSO. **Earth and Space Science**, 8, e2021EA001912.
 61. *Nakayama, M., H. Nakamura, and F. Ogawa (2021): Impacts of a midlatitude oceanic frontal zone for the Baroclinic Annular Mode in the Southern Hemisphere. **J. Climate**, 34, 7389–7408.
 62. *Okajima, S., H. Nakamura, and Y. Kaspi (2021): Cyclonic and anticyclonic contributions to atmospheric energetics. **Scientific Reports**, 11, 13202. 国際共著
 63. *Sekizawa, S., H. Nakamura, and Y. Kosaka (2021): Remote influence of the interannual variability of the Australian summer monsoon on wintertime climate in East Asia and the western North Pacific. **J. Climate**, 34, 9551–9570.
 64. *Shiozaki, M., T. Enomoto and K. Takaya (2021): Disparate Midlatitude Responses to the Eastern Pacific El Niño. **J. Climate**, 34, 773–786.
 65. *Takikawa, T., A. Morimoto, M. Kyushima, K. Ichikawa, and K. Yufu (2021): Fortnightly Variation of the Tsushima Warm Current on the Continental Shelf in the Southwestern Japan Sea. **J. Geophysical Research: Oceans**, 126, e2020JC017141.
 66. *Yamazaki, A., T. Miyoshi, J. Inoue, T. Enomoto, N. Komori (2021): EFSO at different geographical locations verified with observing-system experiments. **Weather Forecasting**, 36, 1219–1236.
 67. *Aiki, H., F. Kondo, M. Konda, K. Tanaka, T. Fujita (2020): Marine wave boundary layer observation using an optical particle counter with 10-Hz temporal resolution. **Eurozoru Kenkyu**, 35, 160–169.
 68. *Kawai, H. and S. Shige (2020): Marine Low Clouds and their Parameterization in Climate Models, **J.**

Meteorological Society of Japan, 98, 1097-1127.

69. *Kida, S., K. Takayama, Y.N. Sasaki, H. Matsuura, and N. Hirose (2020): Increasing trend in Japan Sea Throughflow transport. **J. Oceanography**.
70. *Masunaga, R., H. Nakamura, B. Taguchi, and 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.
71. *Nishii, K., B. Taguchi, and H. Nakamura (2020): An atmospheric general circulation model assessment of oceanic impacts on extreme climate events over Japan in July 2018. **J. the Meteorological Society of Japan**, 98, 801–820.
72. *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
73. *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.
74. *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. Meteorological Society of Japan**, 98, 235–255.

【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 138 件、テレビ・ラジオ等 198 件、その他アウトリーチ活動 69 件
特に、本領域で実施した集中観測について、以下の番組で報道された：

- ・黒潮・黒潮続流域観測 2021 年 5 月 5 日 テレビ朝日「報道ステーション」
- ・日本海観測：2023 年 2 月 2 日テレビ朝日「報道ステーション」、2023 年 2 月 11 日 NHK WORLD
- ・東シナ海観測：2022 年 7 月 20 日テレビ朝日「スーパーJ チャンネル」

【研究項目 A02】公募研究

【雑誌論文】

75. *Qiao, Y.-X., H.-H. Nakamura, T. Tomita (2024): Warming of the Kuroshio Current over the last four decades has intensified the Meiyu-Baiu rainband. **Geophysical Research Letters**, 51, e2023GL107021.
76. *Adachi, Y., H. Naoe, and Y. Kubo (2023): Impact of the SST-front on subseasonal predictions of North Atlantic winter circulation using the JMA operational seasonal prediction system. **SOLA**, 19, 282–288,.
77. *Ohata, S., N. Moteki, H. Kawanago, Y. Tobo, K. Adachi, and M. Mochida (2023): Evaluation of a method to quantify the number concentrations of submicron water-insoluble aerosol particles based on filter sampling and complex forward-scattering amplitude measurements. **Aerosol Science and Technology**, 57 1013–1030,.
78. *Qiao, Y.-X., H.-H. Nakamura, T. Tomita, S. Kako, A. Nishina, X.-H. Zhu, and Z.-J. Liu (2023): ENSO-related interannual variability of the Kuroshio in the East China Sea since the mid-2000s. **J. Geophysical Research: Oceans**, 128, e2023JC019749.
79. *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. 国際共著
80. *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 J. Royal Meteorological Society**, 148, 1568-1592. 国際共著
81. *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】

82. *Mochizuki, T. (2024): Multi-year potential predictability of the wintertime heavy precipitation potentials in East Asia. **Geophysical Research Letters**, 51, e2024GL108312.
83. *Yamamoto, A., and P. Martineau (2024): On the Driving Factors of the Future Changes in the Wintertime Northern-Hemisphere Atmospheric Waviness. **Geophysical Research Letters**, 51, e2024GL108793.
84. *Masunaga, R. T. Miyakawa, T. Kawasaki, and H. Yashiro (2023): Flux Adjustment on Seasonal-Scale Sea Surface Temperature Drift in NICOCO. **J. the Meteorological Society of Japan**, 101, 175–189.
85. *Tsuchida, K., T. Mochizuki, R. Kawamura, T. Kawano and Y. Kamae (2023): Diversity of lagged-relationships in global means of surface temperatures and radiative budgets for CMIP6 piControl simulations. **J. Climate**, 36, 8743–8759.
86. *Yamada, Y., T. Miyakawa, M. Nakano, C. Kodama, W. Wada, T. Nasuno, Y.-C. Chen, A. Yamazaki, H. Yashiro, and M. Satoh (2023): Large ensemble simulation for investigating predictability of precursor vortices of

Typhoon Faxai in 2019 with a 14-km mesh global nonhydrostatic atmospheric model. **Geophysical Research Letters**, 50, e2022GL100565.

87. *Zhang X., and T. Mochizuki (2023): Decadal modulation of ENSO and IOD impacts on the Indian Ocean upwelling. **Frontiers in Earth Science**, 11, 1212421.
88. *Minobe, S., A. Capotondi, M. Jacox, M. Nonaka, and R. R. Rykaczewski (2022): Toward regional marine ecological forecast using global climate model predictions from subseasonal to decadal timescales: bottlenecks and recommendations. **Frontiers in Marine Science**, 9, 855965. 国際共著
89. *Mochizuki, T., and M. Watanabe (2022): Atlantic impacts on subdecadal warming over the tropical Pacific in the 2000s. **Frontiers in Climate**, 4, 1040352.
90. *Sugimoto, S. (2022): Decreasing wintertime mixed-layer depth in the northwestern North Pacific subtropical gyre. **Geophysical Research Letters**, 49, e2021GL095091.
91. *Zhang X., and T. Mochizuki (2022): Sea surface height fluctuations relevant to Indian summer monsoon over the northwestern Indian Ocean. **Frontiers in Climate**, 4, 1008776.
92. *Hu, K., *G. Huang, P. Huang, Y. Kosaka, and S.-P. Xie (2021): Intensification of El Niño-induced atmospheric anomalies under greenhouse warming. **Nature Geoscience**, 14, 377–382. 国際共著
93. *Imada Y., H. Kawase (2021): Potential Seasonal Predictability of the Risk of Local Rainfall Extremes Estimated Using High - Resolution Large Ensemble Simulations. **Geophysical Research Letters**, 48, e2021GL096236.
94. *Kamae, Y., Y. Imada, H. Kawase, and W. Mei (2021): Atmospheric rivers bring more frequent and intense extreme rainfall events over East Asia under global warming. **Geophysical Research Letters**, 48, e2021GL096030, doi:10.1029/2021GL096030.
95. *Mori, M., Y. Kosaka, M. Watanabe, B. Taguchi, H. Nakamura, M. Kimoto (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.
96. *Sasaki, Y. N. and 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**, 34, 4803–4815.
97. *Sugimoto, S., B. Qiu, and 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**, 34, 3751–3589. 国際共著
98. *Takaya, Y., Y. Kosaka, M. Watanabe, and S. Maeda (2021): Skilful predictions of the Asian summer monsoon one year ahead. **Nature Communications**, 12, 2094.
99. *Alsepan, G., and 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.
100. *Amaya, D. J., A. J. Miller, S.-P. Xie, and Y. Kosaka (2020): Physical drivers of the summer 2019 North Pacific marine heatwave. **Nature Communications**, 11, 1903. 国際共著
101. *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
102. *Imada, Y., H. Kawase, M. Watanabe, M. Arai, and I. Takayabu (2020): Advanced event attribution for the regional heavy rainfall events. **npj Climate and Atmospheric Science**, 3, 35.
103. Naoi, M., *Y. Kamae, H. Ueda, and W. Mei (2020): Impacts of seasonal transitions of ENSO on atmospheric river activity over East Asia. **J. Meteorological Society of Japan**, 98, 655–668.
104. Yang, J.-C., X. Lin, S.-P. Xie, Y. Zhang, Y. Kosaka, and Z. Li (2020): Synchronized tropical Pacific and extratropical variability during the past three decades. **Nature Climate Change**, 10, 422–427. 国際共著
105. *Czaja, A, C. Frankignoul, S. Minobe, and B. Vanniere (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
106. *Mori, M., Y. Kosaka, M. Watanabe, B. Taguchi, H. Nakamura, M. Kimoto (2019): Reply to: Is sea-ice-driven Eurasian cooling too weak in models? **Nature Climate Change**, 9, 937–939.

【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. 今田由紀子 (2021): 『保健の科学』温暖化と気候, 杏林書院, 854.

【アウトリーチ活動】新聞等 11 件、テレビ・ラジオ等 11 件、その他アウトリーチ活動 6 件

【研究項目 A03】公募研究

【雑誌論文】

107. *Mita, Y., and T. Kohyama (2023): Direction of Tornado Motions and Its Relationship with the Large-scale Wind Field. **Jxiv** doi:10.51094/jxiv.554. (査読なし)
108. *Nakamura, A., and T. Kohyama (2022): Reconsidering the oscillation center of the El Niño Southern Oscillation. **SOLA**, 18, 236–242.

8 研究組織の連携体制

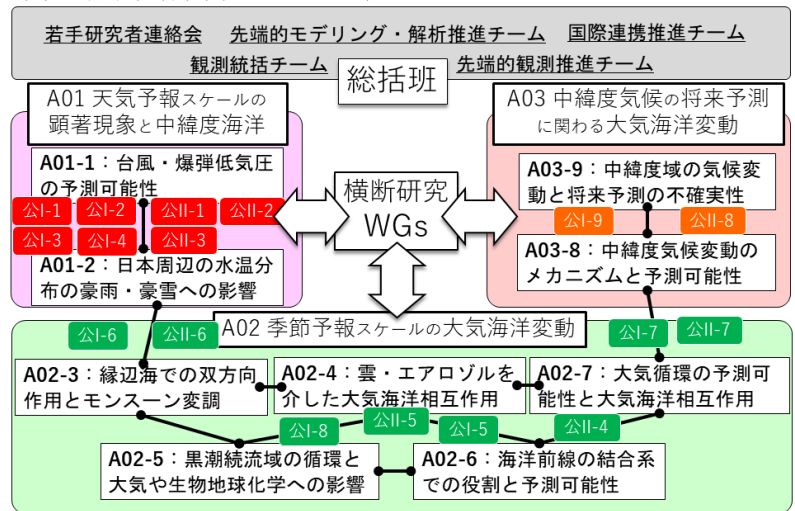
研究領域全体を通じ、本研究領域内の研究項目間、計画研究及び公募研究間の連携体制について、図表などを用いて具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

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6)。

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て連携した。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年から継続している黒潮大蛇行に注目した「黒潮大蛇行サブWG」、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」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推進した。「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た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。一方「日本海JPCZサブWG」により、日本海集中観測においては気象研究所を中心とした大気モデル・予測研究者グループが詳細な大気予測情報を用いて船舶観測を陸上から支援したことで動きの速いJPCZ(日本海寒帯気団収束帯)を捉えることに成功した。更にこのサブWGを通じて、日本海側の豪雪に対する近年の温暖化の影響等、異なる時空間スケール間の関係を解明する研究が進められた。

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・議論し、主体的に領域内の活動に参加出来る体制を整備した。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とした。この成果として、第1期・第2期ともに公募課題代表として参画した直江氏(気象庁気象研究所)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、二度にわたる本領域と気象庁・気象研究所との合同研究会(R3年3月、R5年11月開催)の実施に尽力した。また、同じく第1期・第2期ともに公募課題参画した平田氏は「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、他のサブWGメンバーとともに黒潮大蛇行に関するレビュー論文の取りまとめを進めている。第2期公募研究として参画した二つの観測課題は、それぞれ東シナ海梅雨観測、北海道南東沖航空機船舶同時観測に参加し、計画研究には無かった視点からの観測により、それぞれの集中観測の成果の幅を更に広げることに成功した。計画研究班と公募課題の合同研究会も頻繁に行い、交流を深めた結果として、第1期公募課題の二課題の代表は3年度目から計画研究班A01-1の研究分担者として参画した。また、公募課題への学部生・大学院生の参加も多く、総括班内に設置した「若手研究者連絡会」への参加を通じて、領域全体で若手研究者の交流を深めるとともに、現場観測へも積極的に参加し本領域の研究推進に大きく貢献した。「若手研究者連絡会」の活動については「11 若手研究者の育成に関する取組実績」に詳述する。

図6. 領域組織図 (計画研究班名は略称)



9 研究費の使用状況

研究領域全体を通じ、研究費の使用状況や効果的使用の工夫、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に簡潔に2頁以内で記述すること。また、領域設定期間最終年度の繰越しが承認された計画研究（総括班・国際活動支援班を含む。）がある場合は、その内容を記述すること。

本領域では、①現場観測、②計算環境整備、③人材育成に大きな研究費を使用した。以下、それらの使用状況を記述する。

①現場観測

本領域では図7に示す現場観測を実施した。以下、具体的内容とともに研究費の使用状況を記す。

日本海対馬暖流域観測

日本に度々豪雪をもたらす JPCZ（日本海寒帯気団収束帯）の構造やメカニズム、また JPCZ に対する対馬暖流の影響を現場観測データから明らかにするために、A02-3 班を中心に、2022 年 1 月、2023 年 1 月の二度にわたって実施した。水産大学の耕洋丸からラジオゾンデ等による大気観測と XCTD（投棄式水温塩分深度計）等による海洋観測を行い、JPCZ の鉛直構造とその直下の海洋構造を同時に捉えることに成功した。

東シナ海黒潮域観測

梅雨期の豪雨に対する黒潮に伴う海面水温前線の影響を現場観測データから明らかにするために、気象庁・気象研究所とも連携し、A02-3 班を中心に、2022 年 6-7 月に実施した。長崎大学長崎丸、鹿児島大学かごしま丸、三重大学勢水丸の三隻が同期して格子点状の大気海洋観測を行い、黒潮に伴う海面水温前線付近での豪雨とそれに伴う大気と海洋の三次元的構造を捉えることに成功した。

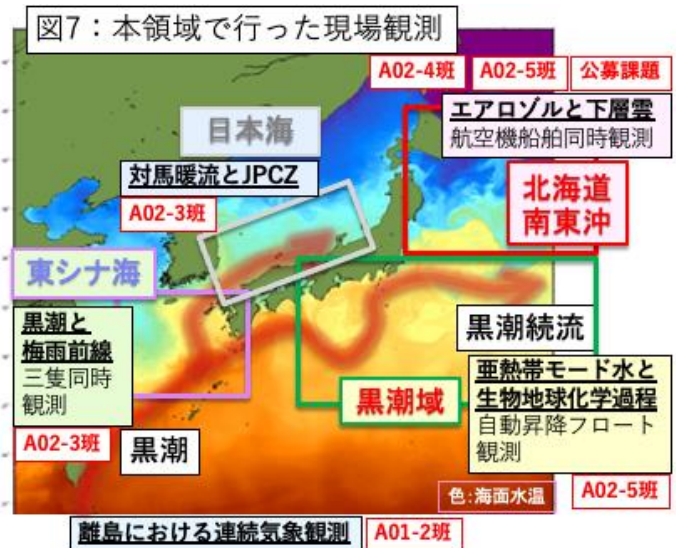
上記の日本海観測、東シナ海観測では、ラジオゾンデ、気球、ヘリウムガス、気圧計、大気乱流を測定する気象観測機器、XCTD、および付随する観測消耗品を調達した。なお、これら機器の多くは使い捨て型である。機器輸送費、観測装置設置に関連した国内旅費等を加え、経費は日本海観測と東シナ海観測で合計約 33 百万円。

北海道南東方沖航空機船舶同時観測

夏季の北西太平洋亜寒帯域のエアロゾル（大気中微粒子）と下層の雲を船舶と航空機から同時観測することで、この海域のエアロゾルと下層雲の実態を解明するために 2022 年 7-8 月に実施した。A02-4 班と A02-5 班を中心に、公募課題も加わり、海洋研究開発機構の新青丸とダイヤモンドエアサービス社の King Air を用いて、日本が主導する初めての航空機と船舶との同時観測を実現することにより、物質を通じた大気海洋相互作用に関わる、海水中の微粒子から雲の鉛直構造までの統合的な描像を取得することができた。この観測では、ラジオゾンデ等の観測消耗品、測定機器の購入・開発・改良・整備費、航空機観測のための修理改造検査に関わる経費（機内レイアウトの検討等）、航空機の運用費、航空機・船舶観測機器の輸送費、旅費、観測後のデータ処理の謝金などを使用した。経費は合計で約 53.5 百万円。

黒潮・黒潮続流域自動昇降型フロート観測

日本の南東沖に広く分布する分厚い水塊である亜熱帯モード水をはじめとする西部北太平洋の表・中層水塊の形成・輸送・散逸とそれに伴う生物地球化学過程との関係を明らかにすることを目的に、A02-5 班を中心にフロート観測を実施した。2021 年 2-6 月に 12 台、2022 年 4 月に残る 1 台のフロートを投入した。最初から稼働しなかった 1 台を除く 12 台のフロートは、5 日毎に深さ 2000 m までの観測を 92~256 回（平均 181 回）行い、2023 年 9 月に全観測を終了した。得られた酸素データについて、観測と並行して品質管理手法の開発を進め、従来の船舶観測に比べて鉛直解像度と時間解像度がはるかに大きい酸素・pH データを、水温・塩分データとともに取得することに成功した。このデータの解析により、亜熱帯モード水の詳細な循環像、大気海洋間酸素フラックス、黒潮再循環域の亜表層における全炭酸と酸素の季節変化などを明らかにした。フロート投入航海における現場観測における費用も含め、経費は合計で約 97 百万円。



離島における連続気象観測

水蒸気の情報豪雨・豪雪の予測精度に強い影響を及ぼすことが知られているが、海上での水蒸気の情報を得ることは難しい。そこで、下層水蒸気量とその輸送の実態を把握することを目的に、海洋性の変動の特徴を示す離島での連続気象観測を実施した。A01-2 班を中心に、東シナ海の女島、日本海の舳倉島に自動気象観測装置を設置し、約 4 年の長期観測で取得されたデータが、学生の学会での受賞につながる研究活動に大きく寄与し博士課程への進学にもつながった。気象観測装置の購入と設置、維持等の費用を含め、経費は合計で約 10 百万円。

総括班では、「**先端的観測推進チーム**」と「**観測統括チーム**」を設置し、生物地球化学センサー付フロート等の最先端の測器の導入を促進するとともに、上記の現場観測において共通で必要となる測器・資材を効率的に使い回せるよう統括を行った。これにより既存の測器・機材等を最大限に活用し、経費の効果的利用が可能となった。

②計算環境整備

本領域では中緯度域の強い海流やそれに伴う海面水温の前線構造や海洋中規模渦が大気へ及ぼす影響に注目するため、特に高解像度の気象・海洋データ（人工衛星観測、数値シミュレーション等）を用いた。このために大容量のデータの保管と解析のための計算機および外部記憶装置が不可欠であった。情報セキュリティやデータアクセスの利便性の観点から、参画者の所属機関毎に必要なに応じてこれらを整備した。一方、高解像度数値シミュレーションに必要な高速計算機については、「地球シミュレータ」等の各機関が保有する既存の大型計算機を活用することで経費の最小化を図った。また、総括班に設置した「**先端的モデリング・解析推進チーム**」が中心となって共有データサーバを運用し、領域内で共通に利用される数値シミュレーションデータを共有し、外部記憶装置の有効利用とともに、データ収集の効率化を実現した。計算機環境整備と計算機使用料等の経費は合計で約 145 百万円。

③人材育成

若手研究者による研究推進とそれを通じた人材育成を目的として、全ての計画研究班で若手研究者を助教、特別研究員、特任研究員、学術研究員、博士研究員、ポスドクトラル研究員、臨時研究補助員等の形で雇用した。具体的には、A01-1:4, A01-2:4, A02-3:4.5, A02-4:6, A02-5:4, A02-6:4, A02-7:3, A03-8:8, A03-9:6（単位：人年）の雇用を行い、その費用は合計約 189 百万円。これらの若手研究者は、本領域の研究推進はもちろん、総括班に設けた「**若手研究者連絡会**」の中心メンバーとして、大学院生・学部生との交流も積極的に進め、若手向けサマースクールを主導する等、本領域の活動の中で大きく成長し、本領域後半には若手育成の中心的役割を果たした。また、領域内の連携促進のために総括班内に設置した「**黒潮大蛇行サブ WG**」、「**日本海 JPCZ サブ WG**」においてもこれらの若手研究者が世話人となり、それらの活動を活発に進めた。更に、現場観測やそれに対する陸上支援においても、これらの若手研究者が中心的なメンバーとなった。これらの活動には「**若手研究者連絡会**」を通じて多くの大学院生・学部生も参加しており、すぐ目の前に行く先輩として研究者の姿を見せることができたことは、大学院生・学部生が進路を考える上でも大きな意味があったと思われる。

①②③に加え、国内・国際会議へ参加し、成果発信とともに、最新の知見、研究動向等の情報収集を進めた。旅費は合計で約 65 百万円。特に若い世代の研究推進とネットワーク形成へ向け、学部生・大学院生の学会・研究集会等への積極的な参加を促した。これも人材育成に資するものとなった。同様に特に若い世代の国際連携の強化と本領域の成果発信を目的として、総括班の「**国際連携推進チーム**」を中心に国際会議を R3 年度（コロナ禍のためオンライン開催）と R5 年度（於富山国際会議場）に開催した。それぞれ 130 名、118 名が参加し、特にオンライン開催ではその特性が活かされ、海外からも多くの若手が参加し、コロナ禍後の直接的な国際交流にも繋がった。上記旅費は R5 年度の会議の旅費も含む。

【領域設定期間最終年度の繰越】

計画研究班 A02-7 では、毎年度の予算はほぼ予定通り執行出来たが、コロナ禍で海外交流活動が一時ほぼ完全に休止したために、毎年度繰越を行った影響で、令和 6 年度に 380 万繰り越すことになった。A03-8 では、雇用した学術研究員が最終年度の途中で国外の大学に職を得たことに伴い先送りされた研究を推進する学術研究員の雇用と投稿論文の出版のため 230 万円を繰り越した。A03-9 では、地球沸騰が宣言された 2023-24 年の地球の異常な気候状態が、大気・海洋そして地球外とのきわめて膨大な熱交換に起因することを見出し、それを踏まえた解析を行うために、355 万円の繰越を行った。また、公募研究 A03-8 では、未達成の論文掲載費等の充当分として 124.5 万円の繰越を行った。

10 当該学問分野及び関連学問分野への貢献の状況

研究領域全体を通じ、本研究領域の成果が当該学問分野や関連学問分野に与えたインパクトや波及効果などについて、「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1頁以内で記述すること。なお、記述に当たっては、応募時に「①既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成を目指すもの」、「②当該領域の各分野発展・飛躍的な展開を目指すもの」のどちらを選択したか、また、どの程度達成できたかを明確にすること。

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。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、**中緯度大気海洋相互作用の理解を飛躍的に深化させ、それを基盤に、台風や爆弾低気圧等の極端気象現象や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での中緯度海洋の能動的役割を解明することを目指した。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し、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。**

以下に示すように、これを十分に達成した。

上の目標を達成するため、本領域では災害に直結する台風や爆弾低気圧、豪雨・豪雪、熱波といった極端な大気・海洋現象に特に注目し、それらに対する日本周辺の強い海流や海水温分布の影響という本領域独自の視点から、それらのメカニズム理解を飛躍的に深化させることに成功した。具体例を幾つか挙げる：

- ・ 遠隔の**台風**の発達に対する黒潮からの水蒸気輸送の影響（図8）^{#1, #13, #17}、
- ・ 台風の影響で海水温が下がる効果を取り入れることが**台風強度の数日先の予測の精度**^{#28}や、温暖化に伴う**台風強度の将来変化予測**に及ぼす影響^{#2}、
- ・ 日本南方の海洋表層下に広く分布する**水塊「亜熱帯モード水」**の厚さがその上を通過する**台風**の発達に及ぼす影響^{#38}、
- ・ 現場観測から示した、日本に**豪雪**をもたらす日本海寒帯気団収束帯の発達への対馬暖流に伴う日本海の温かい海水の影響^{#48}、
- ・ **最近数十年の海面水温の上昇**が日本海側の**豪雪**^{#9}や九州の**豪雨**^{#42}の増加に及ぼす影響、
- ・ **黒潮の大蛇行**に伴う東海地方沿岸域の平年より暖かい海面水温が関東地方の**熱波**に及ぼす影響^{#97}、
- ・ **黒潮の大蛇行**などに伴う日本近海の高い海面水温が日本各地の**豪雨**に及ぼす影響^{#11, #15}、

数日から温暖化のスケールまで、多彩な現象にわたるこれらの広範な成果は、台風等の極端な現象に関する研究に対し新たな方向性を与えると同時に、**防災・減災に繋げるために、中緯度域の海水温や海流などの海洋構造に関しても精密な情報を得る必要があるという新たな認識に至らせるものとなった。**

一方で、中緯度域の海洋前線帯が大気擾乱の経年的な変動^{#61}や成層圏から中間圏にまで至る大気循環に及ぼす影響^{#22}の解明は、気候の将来変化の予測を担う気候モデルに共通して見られる問題点の克服に中緯度海洋前線帯の適切な再現が不可欠であることを示した。また、地球全体の熱バランスに大きく影響する^{#85}ものでありながら理解が十分に進んでいない下層の雲について、観測の希薄な西部北太平洋域で空と海からの直接観測により、海洋からの影響という視点も含めて実態の把握に成功するとともに、海面水温に強く影響される下層の大気の湿度も考慮した新たな指標を用いることで下層の雲の将来予測の不確実性（バラつき）を減らす効果があることを示した^{#41}。これらの成果は**気候の将来変化予測研究、その更なる高精度化に大きなインパクトを与えるものである。**

また、準全球で海洋中規模渦や強い海流を解像する、60年経年変動シミュレーション^{#73}、海洋観測を同化した30年に及ぶ再解析データ^{#40}と、海洋渦を解像する3年先までの準全球海洋予測システム^{#33}の構築は、海洋渦を解像する従来のデータや予測の規模（領域～海盆規模、半年程度）から大きく進展した。両データは公開され海洋学、気候学に大きく貢献しつつある。一方、自動鉛直観測フロートを用いた生物地球化学的変数の直接観測は、従来とは比較にならない頻度、解像度のデータをもたらし、大気・海洋の物理的な場の変動が生態系へ及ぼす影響について画期的な研究の展開につながることが期待される。近年の日本周辺の海流・海水温の極端な異常から、本領域の成果の応用が喫緊の課題となり、本領域から化学・生物・水産方面に飛躍的発展を図った学術変革領域研究(A)「ハビタブル日本」がR6年に開始した。

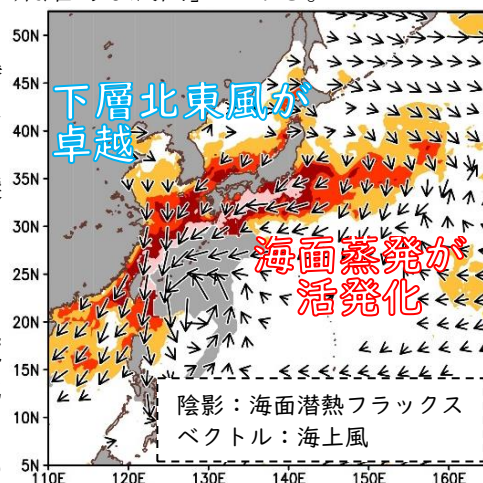


図8. 台湾付近を北上する台風への日本南岸の黒潮域からの水蒸気の輸送。

11 若手研究者の育成に関する取組実績

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6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。）の育成に係る取組の実績について、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、総括班に「若手研究者連絡会」を設置した。これを通じて、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研究に関する技術レベルの向上を進めるとともに、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た。以下に、「若手研究者連絡会」を中心とした一連の活動を記す。本領域の前半には、相対的に年輩な若手研究者が中心となり、中堅・シニアな研究者と相談しつつ活動をリードした。これをベースに、本領域後半には、ポスドクレベルの若手研究者が活動の企画・推進の中心となっており、これらの活動がまさに若手研究者の育成に繋がっていることが分かる。

・**若手研究者表彰**：各年度に開催した領域全体会合、R5年3月に開催した研究集会、同年6月に開催した国際会議において、若手の優秀研究発表者の表彰を若手研究者連絡会が主催した。5年間で合計14名が表彰された。（表彰の審査は若手以外の研究者が担当。）

・**学会セッション開催**：JpGU（日本地球惑星科学連合）の毎年の大会において、「中緯度大気海洋相互作用」や「黒潮大蛇行」セッションを若手研究者が中心となって開催し、R6年2月の国際学会 Ocean Sciences Meeting においても若手研究者が共同コンビナーとして中緯度大気海洋相互作用に関するセッションを開催した。国内学会でも日本海洋学会で毎年「中緯度海洋の果たす役割」セッションを開催した。

・**勉強会開催**：「若手研究者連絡会」と「黒潮大蛇行サブWG」、「先端的モデリング・解析推進チーム」の共同で、「データ解析のための基礎統計学演習」「大気海洋データ解析のためのPython入門」「CMIPマルチモデル解析セミナー」等々、計10回のオンライントレーニングセミナーを開催した。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意識した内容であり、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した。また、本領域前半にはコロナ禍のため現場観測が延期されたことから、観測への参加を希望した学生への影響を少しでも補うことを目指し「バーチャル観測会」を開催した（R3年3月）。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、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。

・**サマースクール開催**：コロナ禍によりR3年度までは殆ど直接の交流が出来なかったことは、大学院生をはじめ若手研究者には極めて重大な影響を及ぼした。R4年度以降、出来る限りこれを取り戻すため、「主に若手のための対面会合」（R4年4月）「若手研究者連絡会サマースクール」（R4年9月、R5年9月）を開催し、学部生・大学院生・若手研究者が参集して交流を進めた。ここでは、招待講演により海外経験や若手時代の経験など、少し上の世代からの経験談も共有された。個々の研究議論は、「研究相談会」と題し、大学院生は学部生の、若手研究者は大学院生の研究相談を受ける形で行うことで、相談する側・される側、それぞれの立場での育成にもつなげた。

・**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（図9）。本領域の合計6回に及ぶ集中現場観測の成功には、これら若手研究者の参加が不可欠であった。同時に、長いものでは2週間以上に及ぶ集中観測で苦楽をともにすることは研究者間の非常に強いネットワーク構築にも繋がり、これが本領域の若手ネットワークの軸ともなった。

・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も、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た。また、同ウェブサイトにも、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た。



図9. 北海道南東方沖船舶観測（R4年7-8月）の参加者。

12 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。

評価体制：中緯度大気海洋相互作用の理解を飛躍的に深化させ、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格段に広範な分野での中緯度海洋の能動的役割を解明するという本領域の目的から、海洋と気候を専門とする久保田先生、メソ気象学を中心に広く大気を専門とする新野先生、雲やエアロゾルを中心に大気と気候を専門とする早坂先生に、領域全体会議、総括班会議、国際シンポジウムにご参加頂き、研究内容や領域運営について、アドバイスと評価を頂いてきた。

本研究領域に対する評価コメント

【久保田雅久：東海大学 名誉教授】

本領域は、平成22年度に立ち上げられた新学術領域2205「気候系のhot spot」（H22-26年度）の後継的研究として令和元年度に立ち上げられた。気候系のhot spotでは、強い暖流域とそれに伴う水温前線帯について先駆的研究を行うと共に、“climatic hotspot”の概念を国際的に定着させた。「気候系のhot spot」によって構築された新しい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、本領域の目的である。はからずも、研究期間内に、線降水帯、熱波、黒潮大蛇行などといった注目すべき多くの気象、あるいは海洋の顕著現象が多発したことにより、本研究の重要性が改めて浮き彫りにされたとも言える。本領域の組織は、時空間スケールによって3つの班から構成されている。具体的には、1. 天気予報、2. 季節予報、3. 将来予測の3種類に関する班に大別される。どれにも、“予報”、あるいは“予測”の文字が含まれていることから分かるように、本領域の研究目的の出口は、いろいろな時空間スケールの大気海洋現象の予報、あるいは予測である。ただ、本研究の目的は、予報、あるいは予測自体ではなく、予報の成否に関連する現象に対する理解を促進し、予測精度の向上に必要な手段を検討することである。この目的に対して、それぞれのグループで大きな成果をあげていることは、400編を越える論文数からも明らかである。例えば、海面水温の重要性が、台風の強度予報、爆弾低気圧の活発化、JPCZ（日本海寒帯気団収束帯）の予測などに対しても示されたことは、現象の社会的重要性を考慮すると、画期的な成果と判断される。ところで、課題によっては、その内容が複数の班に関連することもあるが、それに対して複数の課題別ワーキンググループを設置して、グループ間の緊密な連携を実現したことは特筆される。本領域の大きな特徴とである、現場観測の実施に関しては、高額な費用や、船舶などの利用、人員の適切な配置など克服すべき点がたくさんある。COVID-19の蔓延により、予定されていた研究航海の中止もあり、中間評価では観測の遅延が指摘されていたが、その後の迅速な対応で、3隻の同時観測をはじめ、画期的な現場観測が実施され、大きな成果を挙げた点は高く評価できる。一方、研究成果を、予測精度の向上などに役立て、社会に還元するために、気象庁などと合同研究集会を開催したことも重要な活動である。本領域では、中緯度の大気海洋相互作用に対する理解を飛躍的に深め、さらに地球温暖化に伴う気候系の将来予測についても中緯度海洋の能動的役割を明らかにするなどの世界をリードする画期的な研究結果を得ている。最後に、1. 若手研究者連絡会の設置、2. 若手研究者表彰、3. 勉強会やサマースクール開催など、若手研究者の育成活動が非常に活発に実施されたことも忘れてはならない。本領域の多くの会議に参加した際に、若手研究者の躍動している姿が非常に印象的であった。これも領域代表者を初め、中心となる研究者たちの領域運営の成功を意味すると考えられる。

【新野 宏：東京大学大気海洋研究所 名誉教授】

本領域は、我が国が世界をリードしてその確立に貢献してきた「中緯度海洋が大気海洋システムにおいて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的として遂行された。評価者は全5回の領域全体会議や国際ワークショップ、研究集会に出席し、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、我が国の中緯度大気海洋相互作用に関わる研究者が総力を結集して研究を推進し、黒潮・黒潮続流域や北西太平洋の海面水温上昇が台風・豪雨・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とその予測可能性など、多くの興味深い研究成果が得られたことを高く評価している。査読付原著論文もNature 1編、Nature Climate Change 5編、Nature Geosciences 2編、Nature Communications 10編、Science Advances 2編等を含む436編が一流国際誌に掲載された。本領域研究は、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行われたが、各時間スケールの現象は互いに強い相互作用を行っているため、各計画研究間の連携を図る「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、機能的・効率的に研究が進められた。

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simulationが連携して中緯度大気海洋相互作用の理解を深めたことにある。中間評価時にはCOVID-19の流行により、当初予定した観測が実施できていなかったが、その後、担当研究者の多大な努力により予定の観測はすべて実施され、寒気の吹き出し時の厳しい環境での日本海極気団収束帯(JPCZ)の船舶観測、北海道南東沖における船舶・航空機同時観測など優れた成果が得られた。また、研究期間中には2017年8月から始まった黒潮大蛇行が過去最長を記録して継続するという貴重な機会に恵まれ、これに伴い東海地方沖の海水の高温偏差が関東地方の夏季の気温を高める機構などが解明されたほか、船舶観測によっても、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把握など、貴重な成果が得られた。

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る努力の一環としては、予報業務を行う気象庁及び気象研究所との合同研究会を2回開催し、気象庁との密接な連携が図られた。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など予測可能性の推定に関わる課題の研究が進んだ。「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・シニア研究者との密接な交流が行われ、また運営面でも責任ある役割を受け持たされ、若手研究者の研究・運営両面における著しい成長が認められたことも高く評価できる。

【早坂 忠裕：東北大学 大学院理学研究科 教授】

本研究は中緯度の気海洋相互作用がその近辺、さらにはより広い地域の気象・気候に及ぼす影響を総合的に解明したものである。まず、黒潮・黒潮続流を含む北西太平洋の海面水温の上昇が日本付近の台風に影響すること、台風の強度には台風通過に伴う海面水温の低下の評価が重要であることを明らかにした。また、東シナ海の海面水温の上昇が下層大気の水蒸気輸送等を通じて近年の西日本の豪雨をもたらしていること、温暖化により豪雨が強まることを明らかにした。台風に及ぼす海洋の影響については、気象庁の現業システムを用いた実験で改善が見られるなど、今後の進展が期待される。さらに、中高緯度海洋における大気海洋相互作用が大気大循環の卓越変動パターンに影響することを見出したほか、東アジア域の降水、モンスーンと海洋の関係性、亜熱帯高気圧と下層雲の変化による温暖化進行への影響を示すなど、大気海洋相互作用の多階層的な実態解明とメカニズムの理解が大きく進展した。

メキシコ湾流域も対象となっているが、黒潮続流域とともに水温前線への大気応答として生じる降水の増加について、主に高気圧に伴う暖流からの蒸発の増加と高気圧から低気圧への水蒸気輸送の増加が重要であることを示すなど、注目すべき成果が得られた。一方で、明確には示されていないが、2つのhotspotを比較することにより今後得られる新たな知見があるものと期待される。

船舶や航空機を用いた観測では、新型コロナ感染症下で計画が遅れたにもかかわらず、最終的には貴重なデータが得られ、観測の成果は十分認められる。特に、冬季日本海の厳しい環境下でラジオゾンデを多数放球するなど今までにない観測が実施された。その結果、水蒸気の収束とJPCZの間でフィードバックメカニズムがあり、JPCZがより強化されて大雪につながることを示された。また、下層雲とエアロゾルに関する船舶・航空機同時観測も特筆すべき点で、エアロゾルの化学組成と粒径を測定する技術を開発し、質の高いデータが得られている。観測が予定よりも後年度にずれたこともあり、研究期間内には十分な成果の取りまとめが進んでいない面もあるが、今後、十分成果が期待できる。

研究の実施に際しては、現場観測、データ解析、数値シミュレーションの協働、計画班の間の連携や計画班と公募班の連携、若手研究者の育成などが有機的に機能しており、高く評価できる。また、気象庁の現業部門の連携も進み、今後、研究成果が社会貢献につながることを期待される。

最後に、研究成果の発信について、学術雑誌における論文数(国際誌・査読付き436編)や、受賞(60件)、国際学会における招待講演・基調講演(82件)が示すように学術的に十分な成果が得られたものと評価できる。また、報道(新聞301回、テレビ212回)による社会への成果発信も高く評価できる。

以上により、本研究は当初の目的を達成したものと評価できる。特に、現場観測データは今後のこの分野の研究にも大きく資するものであり、研究成果のさらなる学術的・社会的波及効果を期待したい。