# 変わりゆく気候系における中緯度大気海洋相互作用 hotspot

領域番号:6102

令和元年度～令和 5 年度

科学研究費助成事業(科学研究費補助金)

(新学術領域研究(研究領域提案型))

研究成果報告書

令和 7 年 6 月

領域代表者　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

## 【はしがき】

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。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。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。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「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」**（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新パラダイムを確立**した。

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した「格段の発展・飛躍的な展開」である。

これらの目標の達成へ向け、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く浸透**してきた（図 1）ことは、気候学における新しいパラダイムへ繋がったものと考えられる。

本領域の推進にあたり、終始貴重なご指導を頂いた総括班評価者の新野宏先生、早坂忠裕先生、久保田雅久先生、花輪公雄先生、多くのご助言を頂いた文部科学省学術調査官の方々、本領域に参画した全ての関係者の皆様に深くお礼申し上げます。

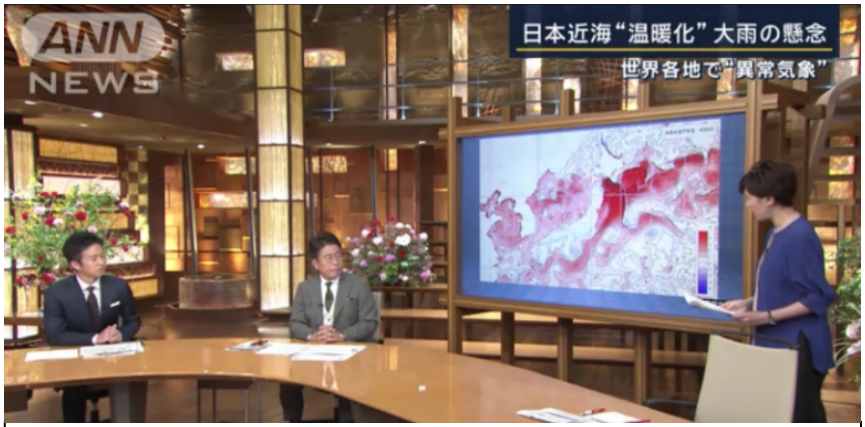


図 1. 2024 年 5 月 10 日テレビ朝日「報道ステーション」からキャプチャ。日本近海の高い海面水温（画面右手のディスプレイの赤い表示）が日本の異常気象に及ぼす影響への懸念を報道。

## 【研究組織】

領域代表　　野中 正見（海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門・グループリーダー）

### 総括班

研究代表者　　野中 正見（海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門・グループリーダー）
研究分担者　　川村 隆一 （九州大学・理学研究院・教授）
研究分担者　　飯塚 聡 （防災科学技術研究所・水・土砂防災研究部門・上席研究員）
研究分担者　　立花 義裕（三重大学・生物資源学研究科・教授）
研究分担者　　小池 真（東京大学・大学院理学系研究科・准教授）
研究分担者　　岡 英太郎 （東京大学・大気海洋研究所・教授）
研究分担者　　中村 尚（東京大学・先端科学技術研究センター・教授）
研究分担者　　望月 崇（九州大学・理学研究院・准教授）
研究分担者　　見延 庄士郎（北海道大学・理学研究院・教授）
研究分担者　　川合 義美（海洋研究開発機構・地球環境部門・グループリーダー代理）
研究分担者　　小坂 優（東京大学・先端科学技術研究センター・准教授）
研究協力者　　柳瀬 亘（気象庁気象研究所・主任研究官）
研究協力者　　吉田 聡 （京都大学・准教授）
研究協力者　　万田 敦昌 （三重大学・准教授）
研究協力者　　金谷 有剛（海洋研究開発機構・センター長）
研究協力者　　碓氷 典久（気象研究所・主任研究官）
研究協力者　　西井 和晃（三重大学・准教授）
研究協力者　　佐々木 克徳（北海道大学・准教授）
研究協力者　　山崎 哲（海洋研究開発機構・研究員）

### A01-1 班：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

研究代表者　　川村 隆一 （九州大学・理学研究院・教授）
研究分担者　　柳瀬 亘 （気象庁気象研究所・台風・災害気象研究部・主任研究官）
研究分担者　　森本 昭彦 （愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・教授）
研究分担者　　山本 勝 （九州大学・応用力学研究所・准教授）
研究分担者　　宮本 佳明 （慶応義塾大学・環境情報学部・准教授）
研究分担者　　富田 裕之（北海道大学・地球環境科学研究院・准教授）
研究分担者　　金田 幸恵（名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任助教）
研究分担者　　那須野 智江 （海洋研究開発機構・地球環境部門・グループリーダー）
PD 研究員　　李 肖陽 （九州大学・助教）
研究協力者　　相木 秀則（A02-3 分担）
研究協力者　　川合 義美 （A02-5 分担）
研究協力者　　飯塚 聡 （A01-2 代表）
研究協力者　　杉本 周作 （A03-9 分担）
研究協力者　　吉田 聡 （京都大学・准教授）（2019 年度は A01-1 班研究分担者）
研究協力者　　和田 章義 （気象庁気象研究所・室長）
研究協力者　　伊藤 耕介 （琉球大学・准教授）

研究協力者　　川野 哲也 （九州大学・助教）
研究協力者　　趙 寧 （海洋研究開発機構・研究員）
研究協力者　　筆保 弘徳 （横浜国立大学・教授）（2019-2021 年度は A01-1 班研究分担者）
研究協力者　　藤原 圭太 （京都大学・特任助教）
研究協力者　　平田 英隆 （立正大学・専任講師）

**A01-2 班：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**

研究代表者　　飯塚 聡 （防災科学技術研究所・水・土砂防災研究部門・上席研究員）
研究分担者　　万田 敦昌 （三重大学・生物資源学研究科・准教授）
研究分担者　　安永 数明 （富山大学・学術研究部都市デザイン学系・教授）
研究分担者　　佐藤 友徳 （北海道大学・地球環境科学研究院・准教授）
研究分担者　　川瀬 宏明 （気象研究所・応用気象研究部・主任研究官）
研究分担者　　美山 透 （海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門・主任研究員）
PD 研究員　　松村 伸治 （防災科学技術研究所・特別研究員）
研究協力者　　碓氷 典久 （A02-6 分担）
研究協力者　　高薮 縁 （A02-7 分担）
研究協力者　　中村 尚 （A02-7 代表）
研究協力者　　冨田 智彦 （熊本大学・准教授）
研究協力者　　芳村 圭 （東京大学・准教授）
研究協力者　　村田 昭彦（気象庁気象研究所・室長）
研究協力者　　野坂 真也（気象庁気象研究所・研究官）
研究協力者　　仲江川 敏之（気象庁気象研究所・室長）
研究協力者　　村崎 万代（気象庁気象研究所・主任研究官）
研究協力者　　佐々木 秀孝（気象庁気象研究所・研究官）

**A02-3 班：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**

研究代表者　　立花 義裕（三重大学・生物資源学研究科・教授）
研究分担者　　木田 新一郎（九州大学・応用力学研究所・准教授）
研究分担者　　加古 真一郎（鹿児島大学・理工学域工学系・教授）
研究分担者　　滝川 哲太郎（長崎大学・水産・環境科学総合研究科・准教授）
研究分担者　　相木 秀則（名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授）
研究分担者　　本田 明治（新潟大学・自然科学系・教授）
研究分担者　　榎本 剛（京都大学・防災研究所・教授）
研究分担者　　柏野 祐二（水産研究・教育機構・水産大学校・教授）
研究協力者　　磯辺 篤彦（九州大学・教授）
研究協力者　　万田 敦昌（A01-2 分担）
研究協力者　　西井 和晃（A02-7 分担）
研究協力者　　安永 数明（A01-2 分担）
研究協力者　　佐藤 友徳（A01-2 分担）
研究協力者　　山本 勝（A01-1 分担）
研究協力者　　川瀬 宏明（A01-2 分担）
研究協力者　　中村 啓彦（鹿児島大学・教授）

研究協力者　　近藤 文義（海上保安大学校・准教授）
研究協力者　　菅野 湧貴（電力中央研究所・主任研究員）
研究協力者　　大石 俊（理化学研究所・特別研究員）

### A02-4 班：雲・エアロゾルを介した中緯度大気海洋相互作用

研究代表者　　小池 真（東京大学・大学院理学系研究科・准教授）
研究分担者　　茂木 信宏（東京大学・大学院理学系研究科・助教）
研究分担者　　鈴木 健太郎（東京大学・大気海洋研究所・教授）
研究分担者　　岩渕 弘信（東北大学・理学研究科・准教授）
研究分担者　　松井 仁志（名古屋大学・環境学研究科・准教授）
研究分担者　　川合 秀明（気象研究所・気象予報研究部・主任研究官）
研究分担者　　金谷 有剛（海洋研究開発機構・地球環境部門・センター長）
研究分担者　　當房 豊（国立極地研究所・先端研究推進系・准教授）
研究協力者　　中村 尚（A02-7 代表）
研究協力者　　谷本 陽一（A02-7 分担）
研究協力者　　川合 義美（A02-5 分担）
研究協力者　　宮﨑 雄三（北海道大学・助教）
研究協力者　　村山 利幸（東京海洋大学・教授）
研究協力者　　岡本 創（九州大学・教授）
研究協力者　　佐藤 可織（九州大学・助教）
研究協力者　　大島 長（気象庁気象研究所・主任研究官）
研究協力者　　宮川 拓真（海洋研究開発機構・研究員）
研究協力者　　持田 陸宏（名古屋大学・教授）
研究協力者　　大畑 祥（名古屋大学・助教）
研究協力者　　森 樹大（東京理科大学・助教）
研究協力者　　北 和之（茨城大学・教授）
研究協力者　　足立 光司（気象庁気象研究所・主任研究官）
研究協力者　　相澤 拓郎（気象庁気象研究所・リサーチアソシエイト）
研究協力者　　千葉 丈太郎（気象庁・技官）
研究協力者　　河合 慶（名古屋大学・特任研究員）
研究協力者　　吉田 淳（東京大学・特任研究員）
研究協力者　　王 家端（東京大学・特任研究員）
研究協力者　　神代 剛（気象庁気象研究所・研究官）
研究協力者　　梶野 瑞王（気象庁気象研究所・主任研究官）
研究協力者　　高橋 直也（ハワイ大学・PD 研究員）

### A02-5 班：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

研究代表者　　岡 英太郎（東京大学・大気海洋研究所・准教授）
研究分担者　　須賀 利雄（東北大学・理学研究科・教授）
研究分担者　　細田 滋毅（海洋研究開発機構・地球環境部門・グループリーダー）
研究分担者　　川合 義美（海洋研究開発機構・地球環境部門・グループリーダー代理）
研究分担者　　小橋 史明（東京海洋大学・学術研究院・教授）

研究分担者　遠山 勝也（気象庁気象研究所・気候・環境研究部・主任研究官）
PD 研究員　西川 はつみ（東京大学・特任研究員）
研究協力者　杉本 周作（A03-9 分担）
研究協力者　石井 雅男（気象庁気象研究所・主任研究官）
研究協力者　伊藤 大樹（水産研究・教育機構・研究員）
研究協力者　井上 龍一郎（海洋研究開発機構・主任研究員）
研究協力者　内田 裕（海洋研究開発機構・主任技術研究員）
研究協力者　纐纈 慎也（海洋研究開発機構・センター長）
研究協力者　小嶋 惇（気象庁・技術専門官）
研究協力者　笹野 大輔（気象庁・気候リスク対策官）
研究協力者　佐藤 佳奈子（海洋研究開発機構・技術主任）
研究協力者　中野 俊也（NPO 法人 長崎海洋産業クラスター形成推進協議会・所長）
研究協力者　本多 牧生（海洋研究開発機構・上席研究員）
研究協力者　桂 将太（東京大学・特任研究員）
研究協力者　鋤柄 千穂（海洋研究開発機構・特任准研究員）
研究協力者　小杉 如央（気象庁気象研究所・主任研究官）
研究協力者　小野 恒（気象庁・技術専門官）
研究協力者　熊本 雄一郎（海洋研究開発機構・主任研究員）
研究協力者　王 童（東北大学・特任研究員）

**A02-6 班：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**

研究代表者　野中 正見（海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門・グループリーダー）
研究分担者　碓氷 典久（気象庁気象研究所・主任研究官）
研究分担者　田口 文明（富山大学・学術研究部都市デザイン学系・教授）
研究分担者　東塚 知己（東京大学・大学院理学系研究科・准教授）
研究分担者　笹井 義一（海洋研究開発機構・地球環境部門・主任研究員）
研究分担者　三寺 史夫（北海道大学・低温科学研究所・教授）
研究分担者　小守 信正（慶應義塾大学・自然科学研究教育センター・研究員）
研究分担者　佐々木 英治（海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門・主任研究員（シニア））
研究分担者　木戸 晶一郎（海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門・研究員）
研究協力者　細田 滋毅（A02-5 分担）
研究協力者　美山 透（A01-2 分担）
研究協力者　辻野 博之（気象庁気象研究所・室長）
研究協力者　中野 英之（気象庁気象研究所・室長）
研究協力者　川上 雄真（気象庁気象研究所・研究官）
研究協力者　濱田 篤（富山大学・准教授）

**A02-7 班：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**

研究代表者　中村 尚（東京大学・先端科学技術研究センター・教授）
研究分担者　西井 和晃（三重大学・生物資源学研究科・准教授）
研究分担者　高薮 縁（東京大学・大気海洋研究所・教授）
研究分担者　谷本 陽一（北海道大学・地球環境科学研究院・教授）

研究分担者　河谷 芳雄（北海道大学・地球環境科学研究院・准教授）
研究分担者　山崎 哲（海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門・研究員）
研究分担者　Patrick Martineau（海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門・研究員）
研究協力者　吉田 聡（A01-1 協力）
研究協力者　田口 文明（A02-6 分担）
研究協力者　小守 信正（A02-6 分担）
研究協力者　小坂 優（A03-8 分担）
研究協力者　森 正人（A03-8 分担）
研究協力者　水田 亮（気象庁気象研究所・主任研究官）
研究協力者　野坂 真也（気象庁気象研究所・研究官）
研究協力者　高谷 康太郎（京都産業大学・教授）
研究協力者　伊藤 明（気象庁気候情報課・予報官）
研究協力者　隈 健一(東京大学・シニアプログラムアドバイザー)
研究協力者　岡島 悟（東京大学・特任助教）
研究協力者　関澤 偲温（気象庁気象研究所・研究官）
研究協力者　宮本 歩（カリフォルニア大学スクリプス海洋研究所・Postdoctoral Scholar）

**A03-8 班：中緯度域の気候変動のメカニズム解明と予測可能性**

研究代表者　望月 崇（九州大学・理学研究院・准教授）
研究分担者　小坂 優（東京大学・先端科学技術研究センター・准教授）
研究分担者　森 正人（九州大学・応用力学研究所・助教）
研究分担者　今田 由紀子（東京大学・大気海洋研究所・准教授）
研究分担者　宮川 知己（東京大学・大気海洋研究所・准教授）
PD 研究員　張 暁琳（九州大学・助教）
PD 研究員　安藤 雄太（九州大学・学術研究員）
研究協力者　谷本 陽一（A02-7 分担）
研究協力者　田口 文明（A02-6 分担）
研究協力者　中村 尚（A02-7 代表）
研究協力者　渡部 雅浩（東京大学・教授）
研究協力者　水田 亮（気象庁気象研究所・主任研究官）
研究協力者　行本 誠史（気象庁気象研究所・部長）
研究協力者　塩竈 秀夫（国立環境研究所・室長）
研究協力者　小玉 知央（海洋研究開発機構・研究員）
研究協力者　升永 竜介（海洋研究開発機構・研究員）
研究協力者　戸田 賢希（東京大学・特任研究員）
研究協力者　宮本 歩（カリフォルニア大学スクリプス海洋研究所・Postdoctoral Scholar）
研究協力者　高須賀 大輔（東京大学・特任助教）

**A03-9 班：中緯度域の気候変動と将来予測の不確実性**

研究代表者　見延 庄士郎（北海道大学・理学研究院・教授）
研究分担者　時長 宏樹（九州大学・応用力学研究所・教授）
研究分担者　佐々木 克徳（北海道大学・理学研究院・准教授）

研究分担者　　杉本 周作（東北大学・理学研究科・准教授）
研究分担者　　増永 浩彦（名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授）
研究分担者　　釜江 陽一（筑波大学・生命環境系・助教）
研究分担者　　山本 絢子（桜美林大学・リベラルアーツ学群・准教授）
PD 研究員　　Givo Alsepan（北海道大学・博士研究員）
研究協力者　　西井 和晃（A02-7 分担）
研究協力者　　吉田 聡（A01-1 協力）
研究協力者　　河谷 芳雄（A02-7 分担）
研究協力者　　山崎 哲（A02-7 分担）
研究協力者　　小川 史明（北海道大学・特任助教）

**第 1 期公募研究一覧（令和 2 年度～3 年度）**

研究代表者　　金田 幸恵（名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任助教）
研究代表者　　市川 香（九州大学・応用力学研究所・准教授）
研究代表者　　平田 英隆（立正大学・データサイエンス学部・専任講師）
研究代表者　　那須野 智江（海洋研究開発機構・地球環境部門・グループリーダー）
研究代表者　　菅野 湧貴（電力中央研究所・サステナブルシステム研究本部・主任研究員）
研究代表者　　中村 啓彦（鹿児島大学・農水産獣医学域水産学系・教授）
研究代表者　　直江 寛明（気象庁気象研究所・気候・環境研究部・室長）
研究代表者　　熊本 雄一郎（海洋研究開発機構・地球環境部門・主任研究員）
研究代表者　　中野 満寿男（海洋研究開発機構・地球環境部門・研究員）

**第 2 期公募研究一覧（令和 4 年度～5 年度）**

研究代表者　　山田 広幸（琉球大学・理学部・教授）
研究代表者　　平田 英隆（立正大学・データサイエンス学部・専任講師）
研究代表者　　辻野 智紀（気象庁気象研究所・台風・災害気象研究部・研究官）
研究代表者　　安田 一郎（東京大学・大気海洋研究所・教授）
研究代表者　　大畑 祥（名古屋大学・宇宙地球環境研究所・助教）
研究代表者　　中村 啓彦（鹿児島大学・農水産獣医学域水産学系・教授）
研究代表者　　直江 寛明（気象庁気象研究所・気候・環境研究部・室長）
研究代表者　　神山 翼（お茶の水女子大学・基幹研究院・講師）

## 【交付決定額(配分額)】

| 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 |

## 【研究発表】

発表論文総数は 540 篇(うち査読無し 46 篇)。学会発表総数は国際学会 586 件(うち基調・招待講演 95 件)、国内学会 808 件(うち基調・招待講演 81 件)。研究発表の詳細は、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
以下、原著論文は注釈無い限り査読有り。*は責任著者、二重下線は研究代表者、直線下線は研究分担者、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、波線下線は学生を示す。J.は Journal of の略、SOLA は Scientific Online Letters for the Atmosphere の略。

### 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 Letters**, 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 in Japan: Importance of the moistening over the subtropical regions. **Geophysical Research Letters**, 48, e2020GL091441. 国際共著

《主な学会発表》

① Tomita, H. (2022): Progress in the satellite-based surface flux and air-sea interaction studies over the mid-latitude oceans, *Japan Geoscience Union Meeting 2022*. 招待講演

② Iizuka, S. (2021): Potential impact of marine heatwaves on Extreme Rainfall Events, *American Geophysical Union Fall Meeting 2021*. 招待講演

③ Kawase, H., Y. Imada, S. Watanabe, A. Murata (2021): Evaluation of historical warming on recent heavy rainfall and snowfall events in Japan, *The Fifth Convection-Permitting Modeling Workshop 2021*. 招待講演

④ Miyama, T., Y. Miyazawa, H. Hayashida, Y.-L. K. Chang, S. Varlamov, and R. Zhang (2023): Significant impact of ocean current variability on marine heatwaves: case studies in the Northwestern Pacific Ocean, *PICES-2023 Annual Meeting*. 招待講演

《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

《主な雑誌論文》

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**, 99, 899-912.
20. *Ichikawa, K., X.F. Wang, and H. Tamura (2020): Capability of Jason-2 subwaveform retrackers for significant wave height in the calm semi-enclosed Celebes Sea. **Remote Sensing**, 12, 3367.

《主な学会発表》

⑤ Hirata, H., K. Kawamura, and M. Nonaka (2021): Processes leading to the response of explosive cyclones to the Kuroshio Large Meander, *International workshop for mid-latitude air-sea interaction.* 招待講演

《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 conveyer 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**, 80, 291-307.
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, 8443–8459. 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 States 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. **Earozoru 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**, 77, 145-153.
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.

《主な学会発表》

⑥ 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, *American Geophysical Union Annual Meeting 2023*.

⑦ Kasuga, S., and Y. Tachibana (2023): Movement of polar meso cyclones coexisting with JPCZ over the Japan sea, *Japan Geoscience Union Meeting 2023*. 招待講演

⑧ Matsui, H. (2023) Quantifying the role of microphysical properties and processes on the global distribution and

radiative effects of black carbon, *American Geophysical Union Annual Meeting 2023*. 招待講演

⑨ Sambe, F. (2021): Spatiotemporal variability of vertical structures of temperature and salinity in the mid-latitude northwest Pacific Ocean based on unsupervised clustering, *International workshop for mid-latitude air-sea interaction*. 招待講演

⑩ Nonaka, M., H. Sasaki, B. Taguchi, and N. Schneider(2021): Potential predictability of meso-scale eddy activities in the Kuroshio Extension region in an ensemble integration of eddy-resolving OGCM, *Ocean Sciences Meeting 2022*. 招待講演, 国際共著

⑪ Okajima, S., H. Nakamura, and Y. Kaspi (2022): A new look at atmospheric energetics: cyclonic and anticyclonic contributions and their interactions with the jet stream, *American Geophysical Union Fall Meeting 2022*. 招待講演, 国際共著

⑫ Takayabu, Y. N. (2022): Warm Season Heavy Precipitation Observed from Satellite Earth Observations, The 7th WMO International Workshop on Monsoon. 招待講演

《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**

《主な雑誌論文》

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-insolubleaerosol 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.

《主な学会発表》

⑬ Ohata, S., N. Moteki, K. Adachi, Y. Tobo, H. Matsui, K. Kita, T. Mori, A. Yoshida, and M. Koike (2023): Aircraft-based observation of mineral dust particles over the Northwestern Pacific Ocean in the summer of 2022, *6th ISEE Symposium*.

⑭ Nakamura, H. (2023): A Review of the Studies on Atmosphere-ocean Interaction over the Kuroshio, *The first international scientific symposium of CSK-2*. 招待講演

《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-relatioships 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, 3589-3751. 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.

《主な学会発表》

⑮ Miyakawa, T. (2022) Global storm and ocean-eddy resolving earth system models, *3rd PAN-GASS meeting understanding and modeling atmospheric processes*. 招待講演

⑯ Mochizuki, T. (2021): Decadal modulation of the Pacific climate extremes and variability, *2020 Northeast Asian Symposium*. 招待講演

⑰ Minobe, S. (2020): Linkages among physical, biogeochemical and biological oceanography: some examples and strategies, *Workshop on "Building an International Transparent Ocean Community"*. 招待講演

⑱ Sasaki, Y. N., R. Washizu, S. Minobe, Z.-L. Liu, M. Terada, S. Tamura, T. Yasuda, and Y. Miura (2019): Sea level variability around Japan in the past and future, *"Sea Level Change in AISA" Workshop*. 招待講演

《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 Nino Southern Oscillation. **SOLA**, 18, 236–242.

《主な学会発表》

⑲ Kohyama, T. (2022): Synchronicity discovered in the Gulf Stream and Kuroshio: A path to understanding midlatitude extreme weather, *Asia Oceania Geoscience Society Annual Meeting 2022*. 招待講演

## 【研究成果】

### （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な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の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、「気候系の 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や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、
- 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、
- 亜熱帯モード水を始めとする西部北太平洋の表層・中層の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、
- 中緯度における大気と海洋の結合系のベースとなる強い海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、
- 中緯度の強い海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、

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の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、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(図 2)。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。また、(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な変動や変調、予測の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、上記の変動・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。長期的な変動としては、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な気象現象に対する大規模な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。

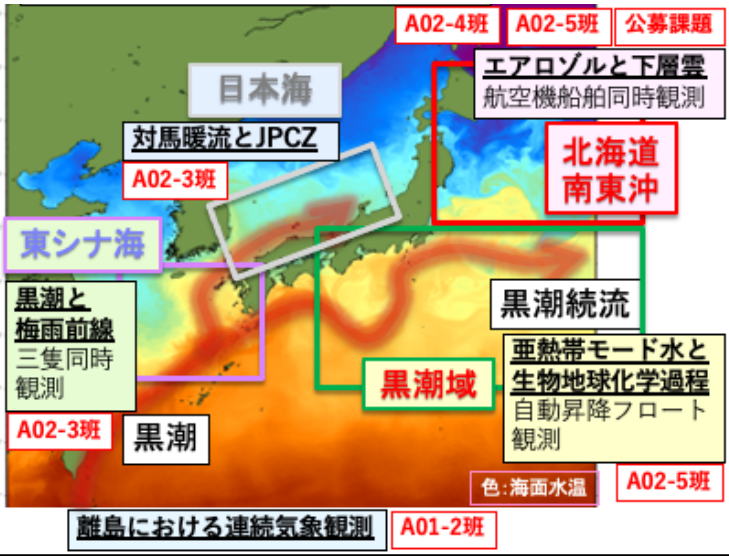


図 2. 本領域で行った現場観測

（２）本研究領域により得られた成果

【項目 A01】

A01 では、「気候系の hotspot」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（図 3）、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]（上付き#の後の数字は【研究発表】で示した論文番号）。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発化させている**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]。

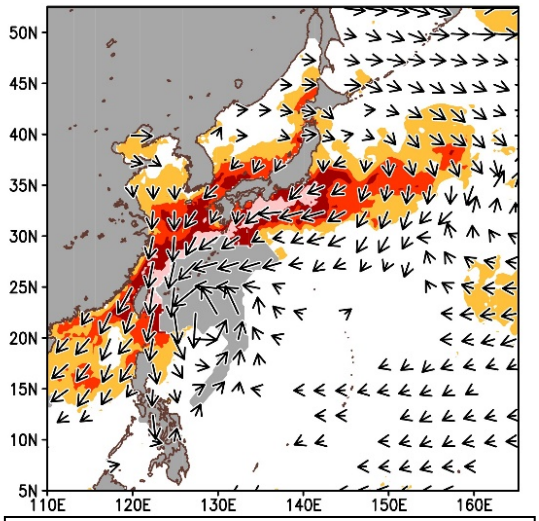

図 3. 台湾付近を北上する台風への日本南岸の黒潮域からの水蒸気の輸送。

A02・A03 とも連携し、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氷後退により、海からの冷却効果の弱化がより顕在化し、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、大気の総観場と同時に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の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、温暖化の環境下では、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うることが示された。

【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。

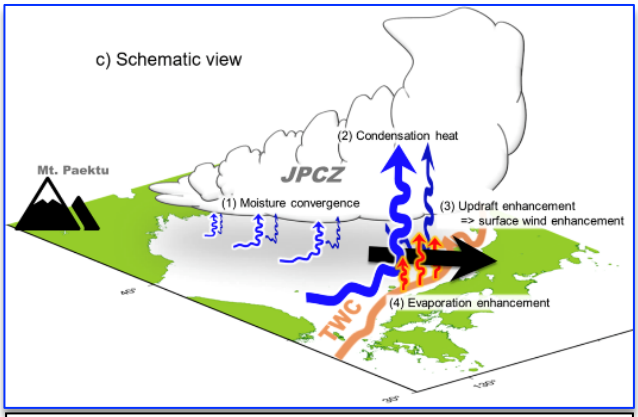

図 4. JPCZ と日本海、対馬暖流の間のフィードバックの模式図

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く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(図 2)。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、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を提示した(図 4)[#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、海洋と大気の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(図 2)。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(図 2)。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地球全域の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地球全域の下層雲について、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。これらの放射効果は地球全体の熱バランスを考える上で重要だが、気候モデルによる再現や予測が難しく、温暖化予測の不確実性の主要因となっている。これらの成果はその不確実性の低減に大きく寄与するものである。

更に、亜熱帯モード水を始めとする西部北太平洋の表層・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(図 2)。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 度線上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の厚さが十年規模で変動し、厚い時期には亜熱帯モード水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、亜熱帯モード水の「持ち上げ効果」を発見した[#59]。この「持ち上げ効果」は季節を問わず働き、100m の亜熱帯モード水の厚さ変動によって、暖候期の亜表層を中心に 1℃近い水温変動が生じる[#38](図 5)。更に、**A01・A03 と連携**して大気への影響にまで解析を広げ、海水温と台風の長期観測データから、**亜熱帯モード水が厚い**(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[#38]。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表層下の水塊もまた、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、幅広い波及効果が予期される。一方、温暖化に伴い亜熱帯モード水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。

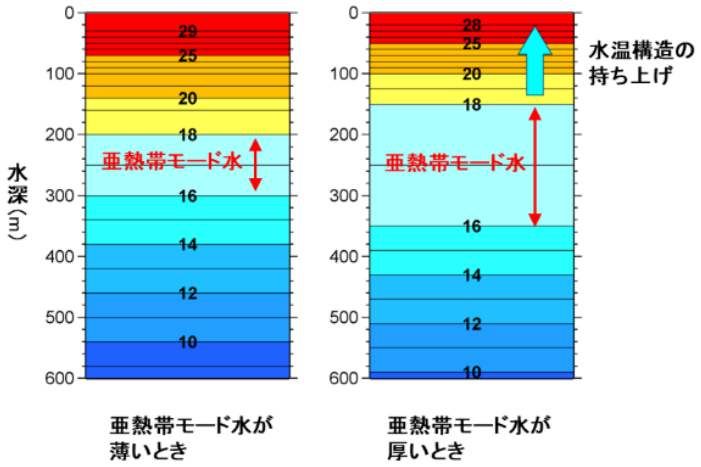


図 5. 亜熱帯モード水の厚さが水温(色で表示)に及ぼす影響の模式図

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双方向の影響を擬似的に表現し、2020 年の全台風を対象に予測実験を行った結果、この効果を取り入れることで 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、「気候系の hotspot」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、黒潮続流の緯度帯の北側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、中高緯度の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ことで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 6)、**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]。

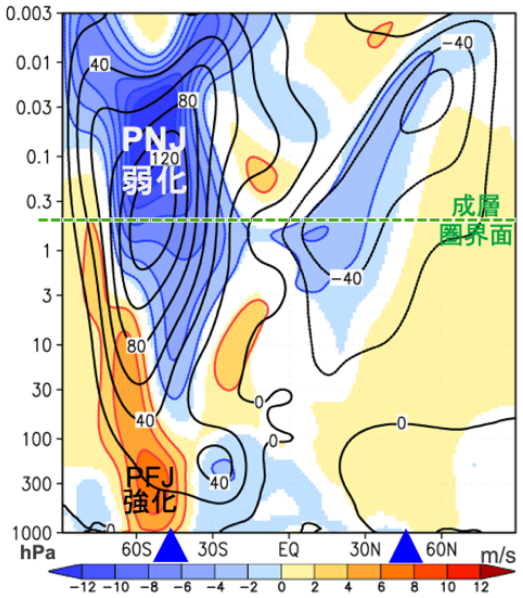


図 6. 海洋前線(青▲)の有無が大気モデルの東向き風に与える影響。青が西風弱化を示す。

【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(図 2)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 0.3-3mm)が 0.8cm$^{-3}$、−20℃における平均の氷晶核数濃度が 0.2L$^{-1}$ 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、中緯度海洋前線帯が冬季北大西洋の季節内予測に及ぼす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モデルの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、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、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 7)[#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]。

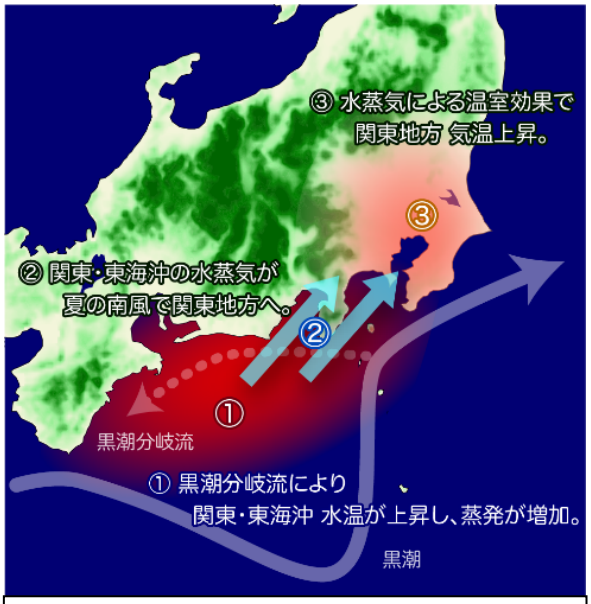

図 7. 黒潮大蛇行が関東地方の気温に及ぼす影響の概要図

【A03 公募研究】

数十年規模の変動に見られる黒潮続流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)。

**【採択時及び中間評価における所見に対応した研究】**

上記の当初計画に沿った研究に加え、採択時及び中間評価におけるコメントに基づき、領域内横断的に、予測の可能性の評価に注目した研究や、本領域の成果を異常気象・異常天候の予測にどのようにつなげていくかの検討を以下のように推進した。

**・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]。

**・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、予測に繋げ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り、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]。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ひいて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。

**【今後の研究の展開に関する計画等】**

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。

このようにプロジェクトを発展させて行く中で、我々が最も大事にしてきたのは若手育成である。総括班に「**若手研究者連絡会**」を設け、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、大学院生・学部生との交流も積極的に進めた。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（図 8）。本領域の前半には、相対的に年嵩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成長に繋がった。我々は 2 つの新学術領域研究を通じて気象学と海洋学に跨る新たな研究領域を確立してきたが、次代の研究者なしにはその継続・発展は困難である。活発な若手研究者のネットワークが構築されたことは、今後の研究の展開へ向けた最大の成果の一つである。

図 8. 北海道南東方沖船舶観測（R4 年 7–8 月）の参加者