



多重階層結合系における対流圏大気現象の過去・現在・未来/
日本周辺の海流の力学過程およびその影響の理解

総論：
**多重階層結合系における
対流圏大気現象の過去・
現在・未来 /
日本周辺の海流の力学過
程およびその影響の理解**

山 崎 哲¹⁾

西 川 はつみ²⁾

田 中 潔²⁾

**Review of the Otsuchi symposium 2022: Past,
present, and future of tropospheric
phenomena in a multi-scale, multi-coupled
system/Understanding the dynamics of ocean
currents around Japan and their effects**

**Akira Yamazaki, Hatsumi Nishikawa,
Kiyoshi Tanaka**

1) 海洋研究開発機構

2) 東京大学大気海洋研究所

2022年8月24日から26日にかけて開催された東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会（通称「大槌シンポジウム」）の趣旨と概要を報告する。

1. はじめに

大槌シンポジウムは、大気と海洋の研究を行う研究者等が一同に会し、大気・海洋現象、大気海洋相互作用のメカニズム・予測可能性・将来予測についての最新知見を参加者で共有すると共に、それらの現象についてどのようにアプローチするかを様々な視点から議論することを目的としている。このシンポジウムの特徴は、長期にわたって継続して開催されていることと、気象・気候学について（大気パート）と海洋物理学についての研究発表会（海洋パート）が連続して開催されていることが挙げられる。今回、50名以上もの多くの方のご参加、大気パート31件、海洋パート11件でのご講演をいただき、大変盛況な集会となった。中締めでは新野宏先生より大槌シンポジウムの本来の開催意義の説明、後半には轡田邦夫先生より大槌シンポジウムの歴史や開催初期の様子について概説いただいた。大気パートと海洋パートでの有機的な議論や、学生とプロの研究者が混ざっての研究発表の意義などを改めて認識することができた。今回、参加の判断が難しい状況で参加いただき、聴講や講演していただいた皆様、また直前まで現地参加を検討して下さった参加希望者の皆様へ感謝申し上げます。

大槌シンポジウムは昭和56年（1981年）からはじまり、2011年に発生した東日本大震災の後も大槌町の多大な協力を得て大槌町中央公民館において途切れることなく開催され、2020年・2021年は新型コロナウイルスのためにオンライン（一部ハイブリッド）の形にはなったものの、毎年継続されてきた。そして今回、コロナ禍以降3年ぶりの現地開催を行うことができた。過去の開催困難な状況を乗り越えて開催継続にご尽力いただいた歴代コンピーナーの皆様にも感謝申し上げます。

2. 大気分野のシンポジウム（大気パート）

2022年度の大気パートは24日から25日にかけて開催され、6つの口頭セッションとポスターセッションで活発な議論が行われた。口頭セッションでは川瀬宏明氏による招待講演、佐藤正樹氏・小川史明氏・山田洋平氏・山下陽介氏による特別講演を含めて計31件の講演が行われた。以下に、セッションごとの講演者とその要旨を紹介する。

2.1 セッション1（座長：平田英隆）

川瀬宏明（気象研究所、招待講演）：地球温暖化が近年の極端気象に及ぼす影響

極端気象の発生に対して温暖化がどの程度寄与しているのかモデルを使って評価する手法に「イベント・アトリビューション（EA）」がある。温室効果ガスや海面水温を温暖化あり・なしで分けて大規模アンサンブル実験を行うことで、実際に起こった極端気象事例について適用が可能な手法である。「d4PDF」(Database for Policy Decision-Making for Future Climate Change)という大規模アンサンブル実験データセットを使って最近日本で起きた猛暑・豪雨・大雪といった極端気象の発生に対する温暖化の寄与についての調査をレビューした。d4PDFとEAによって、これらの極端気象の発生に対する温暖化の影響を確率・量的に評価できるようになった。今では、EAの準リアルタイム化（速報EA）が進んでいて、利用価値がさらに広がることが期待される。

坂崎貴俊（京都大学）：地上観測データに基づく高周波自由振動モードの更なる証左

Sakazaki and Hamilton (2020) ではERA5再解析の地上気圧データの時空間スペクトル解析により、自由振動モード群に相当するスペクトルピークを多数検出した。ただし、特に高周期モードについては、現実大気モデルの内部で励起されたものを見ている（つまり、現実の変動とは独立）という可能性も捨てきれない。そこで本研究では、主に東西波数<5のモードを対象として、全球

地上気圧データ (ISD) を用いて生の観測データから自由振動シグナルを抽出することを試みた。ERA5 の自由振動を参照時系列として、ISD データを回帰させることにより、振幅が小さいモードも“炙り出す”ことができる。これらのシグナルの全球構造は理論解とも整合的であり、ERA5 に見られたスペクトルピークに相当する変動の多くは現実大気にも存在することを裏付けていると言える。

小野佳祐 (東北大学) : 2013 年 8 月 9 日に北東北で発生した線状降水帯の数値シミュレーション

2013 年 8 月 9 日の早朝から昼過ぎにかけて秋田県及び岩手県に発生した 2 つの線状降水帯について、気象庁非静力学モデル JMA-NHM を用いた再現実験により調査した。本研究では、2 つの線状降水帯をその位置と降水量ともに高い精度で再現していた。線状降水帯はいずれも複数の降水系から構成され、対流セルの移動方向や下層収束との関係からバックアンドサイドビルディング型の構造を有していることが示された。また、線状降水帯の形成に重要である下層収束の維持過程を調べるために、雨水の蒸発過程を含まない感度実験を行った。この実験でも線状降水帯は形成され、本事例において雨水の蒸発による cold pool は下層収束の維持に必ずしも重要ではないと言える。

遠藤洋和 (気象研究所) : 東アジアの夏季降水量の将来変化における初夏と晩夏の違い

東アジアの夏季降水量および関連する大気循環場の将来変化について、60 km 格子の気象研究所大気大循環モデル (MRI-AGCM) によるアンサンブル予測実験に基づいて調べた。夏季降水量は概して増加傾向だが季節内かつ地域的な変動が大きい。具体的には、6 月は梅雨・メイユ降水帯が強化して東側部分 (梅雨降水帯) がやや南下、7 月と 8 月は東アジアの大陸北部とその近海で降水量が増加する傾向はメンバー間で一致していた。一方で、7 月は梅雨・メイユ降水帯の予測ばらつきが大きかった。MRI-AGCM を用いて将来変化の要因分析実験を行った。初夏の降水量変化では、海面水温 (SST) 一様昇温および熱帯 SST パターン

変化の影響が支配的で、これに伴う水蒸気増加および上層偏西風の強化・南下が重要な役割を果たしていた。一方で晩夏になると、陸面昇温および中高緯度 SST の大きな昇温の影響が重要になり、初夏の要因影響を打ち消していた。これら相反する要因の結果として、7 月の梅雨・メイユ降水帯の温暖化応答は 6 月よりも小さく、7 月の変化傾向はシミュレーション間ではばらつきやすいと考えられる。

2.2 セッション 2 (座長: 木下武也)

木下武也 (JAMSTEC) : 海洋地球研究船「みらい」で観測した高度 30 km 以上の大気波動

現在、一般のラジオゾンデ観測におけるゴム気球の到達高度はおよそ中部成層圏に限られており、過去に実施されていたロケットゾンデ観測が終了して以降、定常的な成層圏上層の風速・風向の直接観測は行われていない。そこで成層圏上層の定常かつ直接観測を目指して 2019 年 11 月に大型ゴム気球を用いた高高度ラジオゾンデ観測を試験的に実施した。その結果、高度 40 km を超える風速と温度データの取得に成功した (Kinoshita *et al.* 2022)。本発表では試験観測で得られた知見をもとに、2021 年 5 月から 7 月にかけて海洋地球研究船「みらい」の航路上で実施した高高度ラジオゾンデ観測の初期結果を紹介した。

松田佳奈 (三重大学) : 近接する台風と高・低気圧の統計的特徴

台風の強度変化は SST などの海洋場以外に大気場からも影響を受けることが知られているが、台風の多様性から事例解析が多く普遍的な理解は得られていない。本研究では台風から低気圧に与える影響に関する一般性の発見を目的として、2016 年から 2021 年に発生した台風を対象に低気圧との距離が 1000 km 以内の事例の抽出を行った。また、台風から低気圧に与える影響の検証には領域気象モデル WRF を用いて、台風の除去後に積分をした結果と除去を行わずに積分した結果の比較を行った。その結果、中型・小型で並の強さの台風が多く抽出され、数値実験からは台風を除去

することによって低気圧が発達した事例と衰弱した事例が確認された。

山本健太 (新潟大学) : 日本の突風発生事例における総観場の特徴

日本付近で発生する規模の大きい突風の多くは、発生の直前から96時間前にわたって上空に寒冷渦を伴うことが先行研究によって示された。本研究では、先行研究で用いられた藤田スケール3およびスーパーセルに伴う突風合わせて24事例を対象として、寒冷渦指標 (Kasuga *et al.* 2021) を用いて期間内の対流圏中層の寒冷渦/トラフを調査した。その結果、24事例のうち17事例に関しては寒冷渦の影響が認められ、そのうち10事例は96時間前の時点で存在していた。また、突風発生の42時間前以降では平均的に寒冷渦強度 S_0 は増加傾向が見られ、寒冷渦が強まりながら日本付近に接近していたことが明らかとなった。

佐藤正樹 (東京大学 AORI, 特別講演) : 全球ラージエディシミュレーションへの挑戦

スーパーコンピューター「富岳」を用いた「全球大気ラージエディシミュレーション (LES)」課題での取り組みを紹介した。今までのスーパーコンピュータ「京」を使った NICAM (Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model, 非静力学正20面体格子大気モデル) での全球高解像度シミュレーションは水平解像度 870 m までの実績がある (Miyamoto *et al.* 2013)。しかしながら、O (km) の解像度では個々の積雲に伴う鉛直流を解像するにはまだ不十分であり、深い積雲に伴う鉛直流を適切に表現するには水平解像度 O (100) m にまで高める必要がある。この目標のために、「富岳」を用いて全球モデル NICAM での水平解像度 220 m という実験に取り組んでいる。この解像度は、深い対流を解像可能であり、世界初の「全球 LES」シミュレーションといえる。全球 LES に向けた乱流スキームの検討、Smagorinsky スキームおよびグレーゾーンスキームの導入、微物理過程の評価改良、衛星観測や地上リモセンデータとの比較などの開発を勢力的に進めている。本講演の内容は佐藤・松岸 (2023) に記事が

掲載されている。

2.3 セッション3 (座長: 岡島悟)

廣瀬大河 (東北大学) : 領域再解析アンサンブルによる2019年台風第19号による東北地方の大雨の検証

「日本域領域再解析」という東北大学と気象研で実施している再解析システムを用いて、2019年10月に、東日本各地に大雨被害をもたらした台風第19号 (Hagibis) について、東北地方 (発表は岩手県沿岸の豪雨) の大雨を調査した。今回は領域再解析のデータを用いるのではなく、システム内のアンサンブル予報を活用し、JMA-NHM を用い解像度 5 km、予報時間 24 時間、30 メンバーのアンサンブル予報実験を行った。実験結果から、岩手県沿岸での降水は、相対的に沿岸部から離れた (南側) 位置を北東進したメンバーほど強雨域は沿岸南部のみに分布する一方、相対的に沿岸部付近を北東進したメンバーは北上山地による北東方向からの寒気の滞留 (Cold Air Damming) の効果もあり、沿岸部に沿うように沿岸北部まで強雨域が形成された。実際の Hagibis も岩手県沿岸部付近を北東進し、沿岸北部まで豪雨となったことから、岩手県沿岸部での降水は Hagibis の経路 (位置) も大きく影響していたと考えられる。

萱原風子 (筑波大学) : 寒冷渦が台風に与える影響についての統計学的研究

北西太平洋域で台風と寒冷渦が接近した事例を抽出し、寒冷渦が台風に与える影響を統計学的に調査した。寒冷渦の抽出には、JRA-55 のジオポテンシャル高度を用い、寒冷渦指標 (Kasuga *et al.* 2021) で判別を行った。弱い渦 (最適傾き $S_0 < 10$ gpm/100 km) は解析から取り除いた。台風の情報 は RSMC Tokyo のベストトラックデータを用いた。台風は Tropical Storm の強度に達していると記録された全ての熱帯低気圧を対象とし、寒冷渦から24時間連続で半径 500 km 以内に存在した台風を寒冷渦事例とする。また、調査対象領域は東経 120–160 度、北緯 20–45 度とし、調査期間は 1958 年から 2020 年の 63 年間とした。発生して

消滅するまでの台風を1と数えたとき、対象期間に発生した台風は全部で1669個であった。その内、寒冷渦事例は112個であり、全体の6.7%であった。寒冷渦事例は7月から10月の4ヶ月間のみ存在し、特に8月は56事例と他の月と比べて顕著に多くの事例が確認できた。

王睿敏 (筑波大学) : ENSO によって励起される PNA パターンの温暖化による変化

In order to clarify changes in the ENSO (El Niño-Southern Oscillation)-induced Pacific-North America (PNA) pattern under global warming, I analyzed the changes of PNA pattern in normal year, El Niño, and La Niña (winter). For historical climate simulation and +4K future climate simulation, I used “Database for Policy Decision Making for Future Climate Change” (d4PDF), which is made by the Meteorological Research Institute AGCM version 3.2 (MRI-AGCM3.2). According to the results of +4K future climate simulation, when Δ SST of MRI-CGCM3 was selected in d4PDF, the subtropical jet stream in mean state is faster and the tropical convection in El Niño is also stronger. Besides, in El Niño, PNA pattern is stronger and stronger anomalous Aleutian Low brings more precipitation to the western coast of North America. (ENSO が誘起する PNA パターンの温暖化後の変化を明らかにするため、エルニーニョ年、ラニーニャ年、平常年 (冬季) に分けて PNA パターンの温暖化変化を分析した。過去実験と4度上昇実験について、気象研大循環モデル MRI-AGCM3.2 で作られた d4PDF データセットを用いた。4度上昇実験のうち MRI-CGCM3 の SST 昇温シナリオを用いたものの結果に基づくと、気候学的亜熱帯ジェットがより強くなり、エルニーニョ年での熱帯対流活動も強かった。さらに、エルニーニョ年には PNA パターンとアリューシャン低気圧が強化され、後者は北米西岸により多くの降水をもたらした。)

2.4 セッション 4 (座長: 坂崎貴俊)

小川史明 (北海道大学, 特別講演) : CMIP モデルにおける南半球中緯度偏西風の緯度の将来変化について

CMIP5 (CMIP: Coupled Model Intercomparison Project) における東西平均した南半球対流圏中緯度ジェットの緯度について将来変化を評価すると、冬季 (JJA) に現在気候で低緯度側にジェットが位置するモデルほど将来大きく高緯度側にシフトする傾向があり、それぞれを軸に取ったモデル間散布図で強い相関が現れる (“Emergent Constraint”)。しかし、それに対する東西平均の枠組みによる解釈が得られていない。さらに、冬季における南半球中緯度ジェットの緯度には無視できない東西非一様性が存在するため、そもそも東西平均場に対する Emergent Constraint が別々の経度帯において異なる気候変化の実態を反映しない可能性がある。そこで本研究では CMIP5 モデルの出力を用いて、南半球冬季の中緯度ジェットの Emergent Constraint について海盆ごとに分けて考察した。その結果、南太平洋域では、現在気候において中緯度ジェットの再現性が著しく低いモデルを選択的に取り除いた結果 Emergent Constraint が消失するだけでなく、将来中緯度ジェットが低緯度側にシフトすることが示され、それは熱帯海洋水温の温暖化の東西非一様性に伴う定常 Rossby 波の伝播に起因していた。

岡島悟 (東京大学先端研) : 中緯度海洋前線帯が大気に与える影響における高低気圧性渦の寄与

中緯度海洋前線帯が大気に大きな影響を与え得るという証拠が近年の研究で多く得られ、大気海洋相互作用における高周波擾乱成分の重要性が指摘されている。海洋前線帯で大気へ供給される熱や水蒸気はブロッキングや極域への水蒸気貫入に寄与するが、この供給に関連する具体的な総観規模擾乱に関する理解は未だ十分でない。本研究では大気大循環モデルにより海洋前線平滑化実験の結果に曲率に基づく高低気圧渦分離手法を適用する事で、海洋前線帯が大気に与える影響を大気擾

乱の極性毎に評価した。海洋前線帯によるジェット気流への影響には高気圧性渦に伴う擾乱のフィードバック強制が大きく寄与していた。海洋前線帯の存在に伴い、降水は主に低気圧性渦内で強化される一方、熱・水蒸気放出は主に高気圧性渦内で強化されており、それと整合的に高気圧性渦から低気圧性渦への水蒸気輸送も強化されていた。

佐藤瞭（東京大学先端研）：冬季北太平洋域における南北テレコネクションのエネルギー論

冬季北太平洋域の卓越テレコネクションパターンとして、太平洋-北アメリカ（PNA）パターンや西太平洋（WP）パターンが挙げられ、南北双極子構造の気圧偏差場で特徴づけられる。これらのテレコネクションパターンの維持メカニズムについて、東西非対称なジェットからの運動エネルギー変換や、変調された移動性擾乱からのフィードバックが議論されてきたが、近年は背景場からの有効位置エネルギー変換の重要性も指摘されている。この文脈のなか、本研究は北太平洋域のあらゆる地点にできる南北テレコネクションに対して、有効位置エネルギー変換過程を含むエネルギー収支解析を行い、卓越テレコネクションパターンがなぜその位置に現れるのかについてエネルギー的洞察を得た。あらゆる地点の500 hPa東西風偏差に対して回帰した季節内変動場の中で、ジェットの出口領域の東西風偏差に回帰したパターンのエネルギー変換効率が最も高く、これはPNAパターンが大気内部過程によって最も効率よく維持されやすいパターンであることを示唆する。その維持には、傾圧エネルギー変換が最も高効率で寄与していた。

山田洋平（JAMSTEC 特別講演）：高解像度・大アンサンブル実験を用いた熱帯低気圧発生数と発生ポテンシャルの比較

環境場は熱帯低気圧の発生に影響することが知られており、環境場を組み合わせることで発生ポテンシャルを表す指標が考案されている。発生ポテンシャルは熱帯低気圧の発生予測への応用が期待されるが、発生数の経年変動の再現性は悪いと指摘されている。一方で熱帯低気圧の発生数は大気の

内部変動の影響を受けると指摘されている。例えば全球大気モデルを用いて同一の海面水温を境界条件としたアンサンブル実験を実施した場合、発生数のメンバー間の変動は経年変動と匹敵することが報告されている。本研究では内部変動の影響を除去した時に、発生ポテンシャルと熱帯低気圧の発生数の関係性を評価した。内部変動の影響を除去するために、全球非静力学モデルNICAMを利用して2009年から2019年の夏季を対象とした64メンバーアンサンブル実験を実施した。アンサンブル実験の結果を利用した場合、発生ポテンシャルと熱帯低気圧発生数の経年変動の関係性は改善があり、特に北東太平洋では最大で相関係数は0.9を超えた。本結果から発生ポテンシャルは熱帯低気圧の発生可能性をよく予測できるが、実際の発生数は確率的であり、内部変動の理解が必要であると考えられる。

2.5 セッション5（座長：宮本歩）

本田明治（新潟大学）：寒冷渦指標でみるさまざまな顕著大気現象

災害もたらす豪雨・豪雪や竜巻・突風などの極端現象にしばしば伴う対流圏上層の寒冷低気圧（寒冷渦）は、偏西風の蛇行に伴って低緯度側に侵入する極域起源の対流圏上空の寒気で1週間程度の寿命を持つ。寒気を伴う極端現象発現予測のリードタイム向上に資する予測可能性の評価を進める目的で進めてきた、寒冷渦の強度、影響半径、トラッキングに関して客観的な指標化（寒冷渦指標）に成功した。新潟大学で公開している「顕著大気現象追跡監視表示システム」に、寒冷渦指標の分布図をCOL（Cutoff Low）マップとして実装し、大気再解析データから自動的に計算準リアルタイムで表示するシステムの運用を2021年9月より開始した。また、指標を用いた客観的なトラッキングシステムの構築を通じて、顕著大気現象の発現予測指標化を進めている。尚、寒冷渦指標を計算・解析するのに必要なツールの整備及び公開準備を進めており、希望者には試験運用版を配付している。

宮本歩（東京大学先端研）：南インド洋亜熱帯高気圧の維持メカニズム

南インド洋の亜熱帯高気圧(マスカリン高気圧)は特徴的な季節性を示す。夏は、他の海盆同様、海盆東部に中心を持つセル状の高気圧が形成される一方、冬になると、他の海盆の高気圧は勢力を弱めるのに対して、マスカリン高気圧は、中心を西へ移しながら勢力の極大を迎える。この顕著な季節性にもかかわらず、冬季マスカリン高気圧の維持メカニズムは未解明だった。本研究は、惑星波としてのマスカリン高気圧に着目し、大気線形傾圧モデルを用いてその維持メカニズムを調査した。本実験から、冬季マスカリン高気圧の極側部分は、アガラス水温前線に維持された活発なストームトラック活動からの強制により維持されている事が分かった。一方、高気圧の赤道側部分は夏季アジアモンスーンからの遠隔影響によって維持されている事が分かった。夏季アジアモンスーンに伴う非断熱加熱は、南インド洋中西部には、下降流と赤道向きの海上風を誘起する。この循環偏差が、深い対流を抑制する一方下層雲の形成を促進し、それに伴う非断熱冷却偏差が南インド洋亜熱帯域の赤道側部分を維持していた。

栃本英伍（気象研究所）：スプリット前線を伴う温帯低気圧の構造と環境場

スプリット前線を伴う温帯低気圧の構造と環境場の特徴を、JRA-55を用いて調べた。まず、JRA-55からスプリット前線を客観的に抽出し、その気候学的特徴分布を調べたところ、スプリット前線は春、もしくは秋に出現頻度が高いことがわかった。また、温帯低気圧に伴うスプリット前線は、低気圧中心の東および南東で出現頻度が高かった。続いて、特に顕著なスプリット前線を伴う低気圧と伴わない低気圧の構造や環境場を比較した。顕著なスプリット前線を伴う低気圧は高緯度を通る場合、上層トラフに伴う低気圧後面の低相当温位の南西への侵入がスプリット前線の形成・発達に重要であった。一方、低気圧が低緯度を通る場合は、上層トラフだけでなく暖域における高相当温位の北への侵入が重要であることがわ

かった。

山下陽介（国立環境研究所、特別講演）：発達した低気圧による北極域へのブラックカーボン輸送の解析

ベーリング海付近を通過する発達した温帯低気圧に伴う北極域へのブラックカーボン輸送について、全球大気モデルNICAMにエアロゾル輸送モデルSPRINTARSを結合したNICAM-SPRINTARSを使いシミュレーションした。2016年9月にベーリング海を航海していた「みらい」でのエアロゾル直接観測と比較し、シベリアの森林火災を放出源とする大気中のブラックカーボン濃度を概ね再現することに成功した。さらに、モデルでの水平解像度依存性を56 kmと220 kmのシミュレーションで比較した。その結果、より高解像度の方が、温帯低気圧や前線システムの3次元構造を詳細に再現できるようになるため、それに伴う物質輸送の再現性が向上したことがわかった。

2.6 セッション6（座長：春日悟）

山本諒（三重大学）：豪雪地帯と非豪雪地帯における降雪量の風向依存性の違い

本研究では、日平均降雪量の上位5地点を豪雪地帯と定義し、それ以外の地点を非豪雪地帯と定義した。これら豪雪地帯と非豪雪地帯において気候学的な風向と最も雪が降りやすい風向を比較した。その結果、豪雪地帯では最も雪が降りやすい風向が一部の地点を除いて気候学的な風向と一致した。一方、非豪雪地帯では、気候学的な風向と最も雪が降りやすい風向が一致する地点は少なかった。これらの結果は、豪雪地帯と非豪雪地帯において降雪量の風向依存性に差があることを示唆している。

山中晴名（三重大学）：初の洋上直接観測で視えた石狩湾小低気圧の発達に関する仮説

自身らが2022年1月24日に北海道西岸沖で遭遇した石狩湾小低気圧について、初の大気海洋同期観測データを用いて実態を調査した。ラジオゾンデの観測から、とくに下層での風の収束が顕著であること、雲底付近が最も湿っていることが

わかった。また、北海道西岸沖からオホーツク海の海水近傍にかけて行った XCTD (eXpendable Conductivity, Temperature and Depth) 観測から、当日はオホーツク海起源のあまくつめたい水が宗谷海峡から利尻島沖まで沁み出していたことがわかった。しかしこの沁み出しは、衛星観測をもとにした海面水温プロダクト (気象庁の現業メソ予報の解析値 MSM の SST 値である HIMSS) では表現されていなかった。よって今後は、この海面水温の急勾配が石狩湾小低気圧の予測にどの程度影響を与えるのか、数値実験を用いて調査する。

2.7 ポスターセッション

杉本憲彦 (慶應大学) : 金星大気における熱潮汐波からの自発的な重力波放射

地球シミュレータ向けに最適化された大気大循環モデル AFES を基に金星化した大気大循環モデル (AFES-Venus) を用いて、世界最高解像度 (T639L260; 1920×960×260 格子点) の数値実験を行った。水平に約 20 km、鉛直に約 0.25 km の格子間隔となり、金星大気における自発的な重力波放射を表現できる。熱潮汐波を on/off した数値実験により、熱潮汐波からの自発的な重力波放射を初めて再現した。また地球と同様に、ジェットのエッジで重力波が自発的に放射されるメカニズムが適用可能なことが示された。放射された重力波はその角運動量輸送を通して、金星のスーパーローテーションの維持や構造に大きなインパクトを持つことがわかった (Sugimoto *et al.* 2021)。

杉本憲彦 (慶應大学) : あかつき UVI 風速同化実験における熱潮汐波

我々のグループでは、地球シミュレータ向けに最適化された大気大循環モデル AFES を基に金星大気大循環モデル (AFES-Venus) を開発してきた。さらに金星探査機「あかつき」の観測データを同化すべく、局所アンサンブル変換カルマンフィルター (LETKF) を用いた金星大気データ同化システム (ALEDAS-V) の開発にも成功してきた。本発表では、「あかつき」の紫外線画像 (UVI) によって導出された雲追跡風を ALEDAS-V を用いて同

化し、金星大気初となる客観解析データを作成する試みについて紹介した。特に熱潮汐波の位相構造が「あかつき」や「Venus Express」の電波掩蔽観測と整合的に改善され、全球的な風速場も大きく修正されることがわかった (Fujisawa *et al.* 2022)。

阿部未来 (横浜国立大学) : 気象制御実験における ELSI 課題

日本では毎年数回、深刻な被害を及ぼす気象事例が起きている。地球温暖化によって、現在よりも台風の強風域が広がり、台風に伴う降水量は増加すると予測されている。ムーンショット型研究開発事業目標 8 においては、「2050 年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現」することが掲げられ、気象を人工的に制御する仕組みの研究が期待されている。気象制御研究は、19 世紀中頃の人工降雨研究に始まるとされており、その後も、太陽放射改変や雲の白色化などについても研究が進められている。実際に、小規模な雲を対象とした屋外での制御実験はこれまでに実施されてきた。当該、気象制御のような新規科学技術の研究開発とその社会実装においては、同時に、その倫理的・法的・社会的課題 (Ethical, Legal and Social Issues: ELSI) についても検討し、解決のための道筋を示すことが求められる。本研究は、過去の人工降雨実験や台風制御の調査結果などを振り返り、事例ごとに生じていた ELSI の内容とその対策について検討するものである。

菱沼美咲 (横浜国立大学) : 回転水槽を用いた台風内部構造の模擬実験

台風の壁雲付近で発生している波動は、場が複雑であることや台風自身の回転の影響から実際にどのような伝播方向になっているかが観測できていない。そこで本研究では台風の温度差と渦度差を回転水槽で模擬して場を単純化することで、波動の観測・解析が行なうことが可能になると仮説をたてた。渦度差の条件のもと、フラット・壁雲内側・壁雲外側実験に分け合計 144 回の実験を行った。その結果、理論通りの渦ロスビー波の

波動伝播が存在することを確認できた。

西井和晃（三重大学）：高解像度海面水温データの 大気再解析への影響 ～冬季日本海上の例～

同じデータ同化システムを使いながら、与える海面水温データのみが異なる2つの大気再解析データ（JRA55-CHSとJRA-55C）を比較し、冬季日本海において、海面水温が大気下層へ与える影響について考察を行った。特に北緯40度付近の海面水温前線の強化に伴い、大気下層での発散が強化していた。これには運動量の鉛直混合メカニズムの強化が寄与していたことが示唆された。また南の暖水上での風速強化に伴い、そのさらに下流川である日本の沿岸において収束が強化し、降水量が増大することも示された。これには暖水上での海面蒸発の強化による大気中の水蒸気量増加も寄与していた。

恒川知也（三重大学）：フィリピンにおける地形性 降雨の空間的特徴

フィリピンにおける降水への地形的な影響を明らかにするため、海陸の降水推定の違いが少ない衛星搭載降水レーダを用いて、フィリピンにおける降水状況の正確な把握と3次元的な降水構造の解析を行った。その結果、降水の高さを表す降水頂のデータから、フィリピン北部ルソン島の東海岸において周囲よりも降水頂が極端に低くなっていることがわかった。また、ルソン島の東海岸の海岸線に沿った山岳域で冬に降水が卓越しているような特徴が見られた。

加藤実紗（三重大学）：黒潮大蛇行が及ぼす海上の 落雷分布の変化

黒潮大蛇行に伴う海面水温の変動が大気に影響を及ぼすことが多くの研究で指摘されている。本研究では黒潮が大蛇行する時、しない時で変数を比較することで、黒潮大蛇行が暖水塊、冷水塊の落雷数をそれぞれ増加、減少させる可能性を示した。その原因は以下のように考察できる。暖水塊では海面水温、地上気温が上昇し風速が大きくなることにより海から大気への熱、水蒸気輸送が活発となる。この結果上昇気流が強化され、落雷が発生しやすい環境場になったと考えられる。冷水

塊ではその逆のプロセスをたどる。つまり、黒潮大蛇行により落雷数の分布が変化することを意味する。黒潮大蛇行は数年スケールで続くことが多いため、今まで例のなかった落雷数の長期予報が可能となることが考えられる。落雷数の月推移においても大蛇行時と非大蛇行時では変化があった。また、暖水塊と冷水塊では大蛇行と非大蛇行の比が落雷数と降水量×CAPEで一致しないことにより、海上の落雷の発生原理を理解する重要性を示した。

平田英隆（立正大学）：日本東方の SST 偏差が 2021年2月に急速に発達した温帯低気圧へ与えた 影響

2021年2月15日に、黒潮続流域付近を通過しながら温帯低気圧が急発達した。このとき、関東沖では黒潮続流が北に蛇行しており、正の海面水温（SST）偏差が明瞭であった。また、同海域において、過去36年間の線形回帰トレンドは、顕著な昇温トレンドを示す。本研究では、領域雲解像モデルCReSSを用いて、正のSST偏差および昇温トレンドに対する低気圧の応答を調査した。その結果は、正のSST偏差、昇温トレンドは、中心気圧に対して-5.5 hPa、-2.3 hPa、10 m高度の最大風速に対して5.1 m/s、2.1 m/s、影響を与えたことを示した。さらに、正のSST偏差および昇温トレンドは低気圧中心付近の海面熱フラックスの増加へ寄与することがわかった。これらの結果は、正のSST偏差、昇温トレンドが海面熱フラックスの増加を通じて、低気圧の発達を促進したことを示唆する。

春日悟（三重大学）：冬季日本海上を移動する 小低気圧に関する調査

2018年2月初旬、JPCZ（Japan-sea Polar airmass Convergence Zone）の停滞により北陸地方の沿岸部で集中的な降雪により大規模車両滞留など多くの被害がもたらされた。JPCZの発現の数日前より北海道西岸の日本海海上へ小低気圧が停滞していたことから、JPCZとの関係を調査するためこの小低気圧の移動の力学的要因を調査した。結果、傾圧帯で日本海中央を東進する小低気圧の

北側に太平洋の温帯低気圧の北を回り込む東風より暖湿気が日本海北部へ供給され、北海道西岸の対馬暖流上で対流活発、非断熱加熱の効果により小低気圧は南進、傾圧帯を脱出し北海道西岸で停滞した示唆を得た。

山崎哲 (JAMSTEC) : AMSU-A 放射輝度観測インパクトの蓄積効果

全球大気データ同化システム ALEDAS に同化される AMSU-A (Advanced Microwave Sounder Unit A) 放射輝度観測のインパクトが、システムの中でどのように蓄積するのかを調査した。蓄積した観測インパクトは観測システム実験 (OSE) で見積もることができるが、それが FSO と呼ばれる簡易な予報感度解析手法で推定できるのかは自明ではない。今回、AMSU-A 観測についての OSE 実験を行った結果、(i) 観測インパクトの蓄積はデータ同化サイクルを安定化させること、(ii) FSO は蓄積した観測インパクトがどこに影響を与えるのかの空間分布を推定できることがわかった。

3. 海洋分野のシンポジウム

8月25日から26日には、海洋パート『日本周辺の海流の力学過程およびその影響の理解』を開催し、野中正見氏による招待講演を含む計11件の口頭発表が行われた。その概要を紹介する。本研究集会では、日本周辺の海流をキーワードに、その力学過程だけでなく気象・海洋生態系への影響などに関する研究成果について、多様な研究環境・手法を用いる研究者が一同に会し、様々な観点から最新の知見を共有し、今後の研究の発展に資する場を提供することを目的とした。例年に比べると参加者は25名程度と少なめではあったが、大学・官庁・国立研究開発法人など多様な組織から参加者が集い、各々の研究成果に対し活発な議論が行われた。講演題目・講演者は、表1の講演プログラムを参照されたい。

本年度の最初の講演は、海洋研究開発機構の野中氏による招待講演で、野中氏が領域代表を務める新学術領域研究「変わりゆく気候系における中規模大気海洋相互作用 hotspot」(通称：「気候系の

Hotspot2」)の目標や構成についての紹介とともに、その一部分となる黒潮統流の予測可能性に関する研究についての話題提供があった。渦解像海洋大循環モデルの結果から、黒潮統流の流速の経年変動の半分弱は予測不可能な成分である一方、北太平洋中央部で大気変動によって励起された変動が Rossby 波として西方へ伝播し、西岸付近の黒潮統流の流速を変化させる過程は予測の可能性をもたらすことが示唆された。実際に、北太平洋中央部の海面高度偏差が3年先の黒潮統流の流軸流速の経年変動と0.68の相関を持つことも示されている。現在、渦解像海洋大循環モデルを用いた予測システムの開発とそれを用いた予測研究が進められており、今後の海洋変動予測研究への貢献が期待される。

Session 1 では招待講演に続き、黒潮域での台風への影響をターゲットとした2件の発表が行われた。まずは、太平洋十年規模振動ならびに黒潮流路変動に伴う亜熱帯モード水 (STMW) の変動が海洋上層の水温変動を通じて台風に与える影響についての研究紹介があった [岡]。日本の南の STMW は、厚いほど STMW 以浅の等密度面を持ち上げて低温偏差をもたらすという「持ち上げ効果」(Kobashi *et al.* 2021)により水温構造をコントロールしており、その効果は特に暖候期に強い。日本の南の STMW 厚の十年規模変動は、STMW 以浅の水温を約 1°C の幅で変化させており、暖候期に日本の南を北上する台風の影響が期待される。実際に、観測データと数値シミュレーションの結果は、台風の発達率が STMW の厚い(薄い)年に有意に弱く(強く)なることを示していた。続いて、台風と黒潮域の海面水温 (SST) との相互作用に関する研究が報告された [川上]。一般に台風は経路に沿って SST を低下させるが、黒潮域では台風通過時の SST 低下は他の海域に比べて小さく、こうした特徴的な海洋応答は黒潮域の水温構造に由来することが示された。さらに、台風が連続して通過する事例での海洋から台風への影響についても調査され、先行台風が作った低 SST 域では後続台風への熱や水蒸気の供給が減ることが

表1 シンポジウム「日本周辺の海流の力学過程およびその影響の理解」講演内容.

東京大学大気海洋研究所 (国際沿岸海洋研究センター) 研究集会 代表者: 西川 はつみ, 田中 潔 (東京大学大気海洋研究所) 日時: 令和4年8月25日 (木) 14:30 ~ 8月26日 (金) 15:00 / 場所: 国際沿岸海洋研究センター	
プログラム (*: 招待講演) 8月25日 趣旨説明・事務連絡 (西川 はつみ: 東京大学大気海洋研究所)	<Session3 >----- 座長: 木戸晶一郎 (海洋研究開発機構) 豊田隆寛 (気象研究所) 気象研海洋モデルにおける海水熱力学過程の改良について
<Session1 >----- 座長: 山田 広大 (気象庁) 野中正見* (海洋研究開発機構) 黒潮続流流速の経年変動の予測可能性 岡英太郎 (東京大学大気海洋研究所) 台風強度をコントロールする日本の南の亜熱帯モード水 川上雄真 (気象研究所) 黒潮域における台風通過時の水温変化	西川はつみ (東京大学大気海洋研究所) 2022年日本周辺海域の大気海洋観測の紹介
参加者自己紹介 ※大槌シンポジウムの歴史 (轡田邦夫: 東海大学)	<Session4 >----- 座長: 座長: 西川 はつみ (東京大学大気海洋研究所) 杉本憲彦 (慶應義塾大学) 自発的な重力波放射: 大気から海洋、地球から金星へ 春日 悟 (三重大学) 東シナ海の黒潮上で銀測された梅雨前線の内部構造との前線様構造 山崎 哲 (海洋研究開発機構) アンサンブル領域再解析システムを使ったJPCZ (日本気団収束帯) の研究
8月26日 <Session2 >----- 座長: 川上雄真 (気象研究所) 矢部いつか (東京大学大気海洋研究所) 磯ロケットへの栄養塩供給を伴う混合過程について 山田広大 (気象庁) 日本海における海面水温の冬季十年規模変動 木戸晶一郎 (海洋研究開発機構) 準全球渦解像海洋予測システムを用いた黒潮・メキシコ湾流の予測可能性の検証	総合討論

確認された。しかし、台風通過後も SST が高く維持される黒潮域では後続台風にも多量の熱や水蒸気が供給されていた。黒潮域における STMW や SST が台風へ与える影響の新たな知見は、台風予測精度の向上に繋がるだろう。1日目の最後には、聴講のみの参加者を含めた自己紹介の時間を設け、交流を図った。その際、東海大学の轡田氏にはこれまでの大槌シンポジウムの歴史や沿岸センターに設置されている観測測器で得られたデータについての紹介をいただいた。

2日目の Session 2 ではまず、黒潮水と親潮水の混合水域での栄養塩供給過程についての報告があった [矢部]。黒潮からの分岐流である磯口ジェット (Isoguchi *et al.* 2006) は、温暖な黒潮水を亜寒帯域に輸送するとともに隣接する寒冷で栄養塩豊富な親潮水と混ざることによって、混合水域における水塊混合の一端を担っている。その詳細な混合プロセスを調査するために行われた 2017 年の新青丸 KS-17-9 航海の海洋観測結果は、磯口ジェットと親潮の接近域で最大 40 m/day 程度の

上昇流が存在しており、栄養塩豊富な中層水を有光層に湧昇させることで、海洋表層への栄養塩供給に寄与していることを示唆した。続いて、日本海の SST の冬季十年規模変動についての報告があった [山田]。日本海 SST の冬季十年規模変動は、大気循環場の変動に伴う大気・海洋間の熱交換の変動によって直接的に生じるというよりも、極前線の南北移動に起因することが示された。この極前線の南北移動には、アリューシャン低気圧の南北移動に伴う極前線付近の風応力カールの変動が影響していることも示唆された。Session 2 の最後には、新たに開発された準全球海洋再解析/力学予測システム JCOPE-FGO を用いた、黒潮・メキシコ湾流の流軸の緯度および流速の変動の予測可能性についての検証が紹介された [木戸]。経年変動する外力、および気候値の外力の 2 種類を用いて海洋モデルを積分したところ、流速については黒潮・メキシコ湾流双方ともに 1-2 年先でもアノマリー相関係数 0.5 以上と、持続予報を大きく上回る高いスキルを有していることが明らかになった。

Session 3 では、はじめに、気象研究所で行われている海水塩分の可変化とメルトポンドスキームを導入した海洋モデル開発についての紹介があった [豊田]。新しいスキームを用いた感度実験から、過去の観測的知見におおよそ整合する海水塩分・メルトポンド分布が得られ、また、海水厚や海洋表層の塩分など、新スキームの導入前後の海洋基本場への影響も評価された。この新たな取り組みを通じて、現業の全球や日本沿岸の予測・モニタリングシステム、国際的な気候変動予測への貢献が期待される。続く発表では、「気候系の Hotspot2」の中で 2022 年に行われた観測概要とその成果についての紹介をした [西川]。Hotspot2 では日本周辺海域での大気海洋観測が集中的に行われており、2022 年 1 月は日本に大雪をもたらす日本海寒帯気団収束帯 (JPCZ) をターゲットとした日本海域の観測 (Tachibana *et al.* 2022)、6 月下旬～7 月上旬には東シナ海で梅雨期の線状降水帯をターゲットとした集中観測、7 月下旬には北海道

釧路沖の下層雲をターゲットとした航空機との同時観測が行われた (観測紹介 HP : https://www.jamstec.go.jp/apl/hotspot2/observation_v01.html)。

いずれの観測も非常に貴重なデータが取得でき、観測データの解析結果はもちろん、数値モデルとの連携により、中緯度の大気海洋相互作用の新たな知見が得られるだろう。

最後の Session 4 では、まず、地球および金星における自発的な重力波放射過程についての研究紹介がされた [杉本]。地球大気を想定した浅水系での自発的放射の研究のレビューに続き、海洋のメソ渦からのエネルギーロスを実定して連続成層した系に拡張した研究 (Sugimoto and Plougonven 2016)、さらに、金星大気においても、高解像度の数値実験により熱潮汐波や傾圧波から自発的に重力波が放射されることが示された。地球と同様に、放射された重力波はその角運動量輸送を通して金星のスーパーローテーションの維持や構造に大きなインパクトを持つことが明らかとなった (Sugimoto *et al.* 2021)。続いて、2022 年 6 月 19-20 日に長崎大学、鹿児島大学、三重大大学の練習船 (長崎丸、かごしま丸、勢水丸) による 3 隻同期大気海洋観測で捉えられた、梅雨前線内部の非常に発達した降水イベントの観測報告があった [春日]。降水の前にはメソスケールの前線通過に伴う気温・風向の急変などや、黒潮上では海から大気への顕著な熱フラックス (約 300W) が観測された。直接観測が少ない梅雨前線の内部構造や大気海洋間の熱交換を観測できたことは非常に貴重である。最後に、2018 年 2 月 5 日から 7 日にかけて福井に記録的な豪雪をもたらした JPCZ と東アジアでの大気大循環場との関係についての研究が紹介された [山崎]。日本領域再解析データ (Fukui *et al.* 2018) を解析した結果、東シベリアに停滞する太平洋起源のブロッキング高気圧が、JPCZ の発生に起因する日本付近の大気循環場の形成に寄与したことが示唆された。

今回、日本周辺の海流の力学過程とその影響をテーマとして開催し、黒潮・親潮・対馬暖流などの日本周辺をとりまく海流に関連した海洋力学

過程だけではなく、大気場や海洋生態系などへの影響について、多岐にわたる話題が提供された。研究手法についても観測・データ解析・数値モデルとバラエティに富んでおり、本研究集会の目的でもある『様々な観点から最新の知見を共有すること』ができた。例年に比べ発表件数が少なかったことはやや残念ではあったが、講演時間や質疑応答の時間を十分に確保でき、参加者同士の議論が盛り上がった。さらに、3年ぶりの現地開催でお互いの顔を見ながら、大槌湾を眺めながらの議論は一段と盛況だったように感じている。今回の大槌シンポジウムでの議論や交流が、今後の研究発展に繋がることを期待したい。

4. おわりに

本集会は、東京大学大気海洋研究所大槌沿岸センター（地域連携研究部門大槌研究拠点）において開催した。開催に際しては、東京大学大気海洋研究所の国際共同研究チーム、大槌沿岸センターの職員のみならず、および大槌町の多くの方々に多大なご尽力をいただいた。特にコロナ禍での感染症対策を講じながらの開催で、例年以上にご配慮をいただき、心より厚く感謝の意を表したい。

来年度も大気パート・海洋パートともに開催が行われる予定である。今後も本研究集会在末長く継続し、幅広くさまざまな分野・組織・年代の研究者が集い、それぞれの研究活動の刺激になること、また、新たな研究テーマが生まれるような場になることを願う。

参考文献

- [1] Isoguchi, O., Kawamura, H., Oka, E., 2006: Quasi-stationary jets transporting surface warm waters across the transition zone between the subtropical and the subarctic gyres in the North Pacific. *J. Geophys. Res.*, 111, C10003, doi:10.1029/2005JC003402.
- [2] Kasuga, S., M. Honda, J. Ukita, S. Yamane, H. Kawase, and A. Yamazaki, 2021: Seamless detection of cutoff lows and preexisting troughs, *Mon. Wea. Rev.*, 149, 3119-3134, doi:10.1175/MWR-D-20-0255.1.
- [3] Kinoshita, T., S.-Y. Ogino, J. Suzuki, R. Shirooka, T. Sugidachi, K. Shimizu, M. H. Hitchman, 2022: Toward standard radiosonde observations of waves and the mean state in the 30–40-km altitude range using 3-kg balloons, *J. Atmos. Ocn. Tech.*, 39, 849-860, doi:10.1175/JTECH-D-21-0011.1.
- [4] Kobashi, F., T. Nakano, N. Iwasaka, T. Ogata, 2021: Decadal-scale variability of the North Pacific subtropical mode water and its influence on the pycnocline observed along 137°E. *J. Oceanogr.* 77, 487-505.
- [5] Fujisawa, Y., *et al.* 2022: The first assimilation of Akatsuki single-layer winds and its validation with Venusian atmospheric waves excited by solar heating, *Scientific Reports*, 12, 14577 (11pp), doi:10.1038/s41598-022-18634-6.
- [6] Fukui, S., T. Iwasaki, K. Saito, H. Seko, and M. Kunii, 2018: A feasibility study on the high-resolution regional reanalysis over Japan assimilating only conventional observations as an alternative to the dynamical downscaling, *J. Meteor. Soc. Japan*, 96, 565-585, doi:10.2151/jmsj.2018-056.
- [7] Miyamoto, Y., Y. Kajikawa, R. Yoshida, T. Yamaura, H. Yashiro, and H. Tomita, 2013: Deep moist atmospheric convection in a subkilometer global simulation, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 4922-4926, doi:10.1002/grl.50944.
- [8] 佐藤正樹, 松岸修平, 2023: 全球ラージエディシミュレーションへの挑戦. 月刊海洋, Vol. 55, No. 4, 172-179.
- [9] Sakazaki, T., and K. Hamilton, 2020: An array of ringing global free modes discovered in tropical surface pressure data, *J. Atmos. Sci.*, 77, 2519-2539, doi:10.1175/JAS-D-20-0053.1.
- [10] Sugimoto, N., Y. Fujisawa, H. Kashimura, K. Noguchi, T. Kuroda, M. Takagi, and Y.-Y. Hayashi, 2021: Generation of gravity waves from thermal tides in the Venus atmosphere, *Nature Communications*, 12, 3682, doi:10.1038/s41467-021-24002-1.
- [11] Sugimoto, N., and R. Plougonven, 2016: Generation and backreaction of spontaneously emitted inertia-gravity waves, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 3519-3525, doi:10.1002/2016GL068219.
- [12] Tachibana, Y., Honda, M., Nishikawa, H., Kawase, H., Yamanaka, H., Hata, D., and Kashino, Y., 2022: High moisture confluence in Japan Sea polar air mass convergence zone captured by hourly radiosonde launches from a ship. *Scientific Reports*, 12, 21674, doi:10.1038/s41598-022-23371-x.

