

## 研究集会「変容する気候系における気象・気候災害の 予測とその発現過程の理解」の報告

山崎 哲<sup>\*1</sup>・直江 寛明<sup>\*2</sup>・菅野 湧貴<sup>\*3</sup>・榎本 剛<sup>\*4</sup>

標記研究集会は、京都大学防災研究所一般研究集会 2021K-05 (研究代表者 山崎 哲) として、2021年11月25日に開催された。2020年度と同様、著者ら座長は京都大学防災研究所国際交流室に集まり、それ以外の講演者、参加者はウェブ会議システムを利用して接続した。通称「異常気象研究会」の第17回目で、第9回観測システム・予測可能性研究連絡会、気候形成・変動機構研究連絡会、新学術領域研究「変わりゆく気候系における中緯度大気海洋相互作用 hotspot」との共催である。

多階層的な大気海洋のスケール間相互作用によって豪雨・豪雪や暖冬・冷夏などの気象・気候災害が発現している。その予測可能性とその発現過程について、この研究集会での成果発表や討論を通じて、包括的な理解を目指した。さらに、温暖化が進行する気候系において、それらの災害の予測精度や過程・頻度などがどのように変化し得るのかについて、大気海洋相互作用の観点と、数値予報モデルを使ったアプローチからの研究を総括することを目的とした。2020年度は約100名の参加登録があったが、今回は約5割増の150名余りの登録があった。数日間の事前閲覧の後、質疑込み持ち時間15分間の講演を行った。セッションは「夏

季の循環変動」, 「冬季の循環変動」, 「成層圏変動とその影響」, 「同化・力学・予測可能性」の4つに分けて編成した。以下、セッションの概要を報告する。

(榎本 剛)

### 1. 夏季の循環変動

このセッションでは夏季の循環変動の研究を中心に7件の発表が行われた。佐藤 均 (気象庁) は、2021年夏の気候循環場と日本の天候について調べ、北日本では7月中～下旬に記録的な高温、西～東日本では8月に記録的な大雨になった循環場の特徴を概説した。竹村和人 (大阪管区気象台) は、2021年の西日本での記録的に早い梅雨入りと関連する気候循環場の特徴について調査し、季節内振動に伴うインド洋西部での活発な対流活動及びロシア西部でのプロッキング高気圧が、偏西風の蛇行を通してかなり早い梅雨入りをもたらした可能性を示した。植田宏昭 (筑波大) は、2021年8月の記録的大雨をもたらした要因は、バイカル湖とアリューシャン起源の寒冷渦と熱帯からのテレコネクションが結合したことが重要であることを示した。山田将喜 (筑波大) は、台風の遠隔影響について、夏季に日本を通過する大気の川やそれに伴う豪雨にどの程度影響しているか、事例発生時の環境場に注目しながら多角的に評価した。天野未空 (三重大) は、災害級の冷夏が近年発生していない理由の解明に向け、過去の冷夏年に共通する大気海洋場の特徴を調べたところ、日本付近が低気圧・低水温偏差であり、かつ日本の南海上へ太平洋高気圧が張り出しているという特徴がみられた。直江寛明 (気象研) は、北半球の夏季に

\*1 Akira YAMAZAKI, 海洋研究開発機構。

\*2 Hiroaki NAOE, 気象庁気象研究所。

\*3 Yuki KANNO, 電力中央研究所。

\*4 (連絡責任著者) Takeshi ENOMOTO, 京都大学防災研究所。

enomoto.takeshi.3n@kyoto-u.ac.jp

© 2022 日本気象学会

ユーラシア大陸上で発達するダブルジェットについて南北風に対する EOF 解析に基づいて分類し、時空間スペクトルで夏季北半球の特徴を調べた。茂木厚志(東大)は、夏季極前線ジェット上の準定常ロスビー波の抽出とメカニズムを調査し、極前線ジェット上の準定常ロスビー波は極前線ジェット帯の傾圧性を解消するように働くことを示した。

本セッション発表は、2021年夏の異常気象や夏季の日本に異常気象をもたらす大気海洋の循環場についてであり、偏西風の蛇行、太平洋高気圧の変動、熱帯からのテレコネクションが異常気象の重要な役割を果たしているなど、要因分析に繋がる興味深い研究で大変活発な議論が行われた。研究内容の論文化を期待したい。

(直江寛明)

## 2. 冬季の循環変動

倉持将也(筑波大)は、2020/21年冬季の前半と後半の東アジアの気温場の違いに着目し、それぞれ異なるテレコネクションパターンが寄与していたことを示した。12月上旬から1月中旬までの低温期には南シナ海の対流活動偏差に対する熱源応答として現れる Southeast Asia-Japan パターンが卓越しており、一方、1月中旬から2月後半の高温期にはフィリピン海の対流活動偏差に伴う Western-Pacific like パターンが卓越していたことを明らかにした。

塩崎公大(九大応力研)は、El Niño 発生時に極東域が暖冬となる事例と寒冬となる事例の気象場について d4PDF の過去実験を用いたコンポジット解析の結果を紹介した。大気再解析データに基づく先行研究(Shiozaki *et al.* 2021)と同様の中緯度の気象場パターンが、サンプル数が増えたことにより統計的に有意に見られるようになった。加えて、暖冬事例では東太平洋と西インド洋が顕著に高温になっていることを示した。

谷田貝亜紀代(弘前大理工)は、2020年と2021年冬季の弘前における雪と水蒸気の同位体比の観測結果を紹介した。期間中に日本各地で豪雪が見られた4事例について、水の安定同位体比から定義される d-excess ( $=\delta^2\text{H}-8\times\delta^{18}\text{O}$ )が高く、北西季節風が強いため海面での激しい蒸発が起こっていたことを示した。また、IsoRSMを用いたシミュレーションでも同位体比の変動をよく表現できていたことを示した。

富田涼介(京大理)は2020/21年冬季における爆弾低気圧と降雪量の関係を紹介した。この冬は12月中旬か

ら1月上旬にかけて日本海側で降雪量が平年よりも多く、また、この冬の爆弾低気圧の発生数も特に日本海を通過するものが平年よりも多かった。2021年1月上旬の事例について気象庁 GSM データを用いた予測可能性の検討から、爆弾低気圧の発生を再現できない初期値からの予測では、降雪量が少なくなることが明らかになった。

平田英隆(立正大データサイエンス)は黒潮流路の変動に対する爆弾低気圧の応答プロセスについて、CRESSを用いた海面水温の感度実験の結果を紹介した。黒潮大蛇行域を通過した2つの低気圧の解析から、低気圧の中心付近に降水がある場合には非断熱過程を通じて、降水がない場合には傾圧過程を通じて海面水温偏差が低気圧の発達に影響を与えることを明らかにし、海面水温偏差に対する低気圧の応答は低気圧の構造によって異なることを示した。

春日 悟(三重大)は、最近開発された寒冷渦を抽出・追跡する新しい指標を紹介した。この新指標では、スナップショットのジオポテンシャル高度場から寒冷渦の位置・強度・大きさ・背景場を取得することができる。JRA-55再解析データに基づく11年の解析から日本域に到達する寒冷渦の起源を調査し、強い寒冷渦は季節を問わず北西から到来するが、夏と秋には弱い寒冷渦が南東から到達することを明らかにした。

土井威志(JAMSTEC)は、SINTEX-F 季節予測システムを用いた日本の2ヶ月先の月平均気温の予測可能性について報告した。12のアンサンブルメンバーを平均した日本の気温予測は、冬季を対象とした予測の精度は他の季節に比べて低いが、ENSO モドキ的な構造や西インド洋において海面水温偏差が大きい場合には、冬季日本の予測のシグナル・ノイズ比が高くなるために予測が当たりやすいことを示した。

(菅野湧貴)

## 3. 成層圏変動とその影響

木下武也(JAMSTEC)は、高度約30km(中部成層圏)以高を観測可能なラジオゾンデの開発について報告した。30km 以高では再解析データ間でもばらつきが大きくなっており(Kawatani *et al.* 2020)、正確な観測データの取得が重要視されている。本発表では、ラジオゾンデの大きさと浮力をコントロールしたつづばでの実験の観測結果について紹介し、大きさと浮力のバランスで、ゾンデがどの高度まで到達できるかを示した。またどのゾンデでも意味のある大気波動を観測

できていることを示した。最後に、得られた結果に基づいた今後期待されるゾンデの観測についての計画を紹介した。

河谷芳雄 (JAMSTEC) は CMIP5 モデルを用いて、温暖化に伴う上部対流圏及び成層圏の変化が日本周辺の下部対流圏に影響を及ぼすかどうか、ストーリーライン手法 (Zappa and Shepherd 2017) を用いて報告した。リモートドライバとして熱帯上部対流圏気温及び成層圏極渦の変化を指標に取り分析したところ、温暖化に伴う冬季日本域降水変化は、特に北日本において上空大気を指標に取ったストーリーに強く依存していることが判明した。

野口峻佑 (JAMSTEC) は、成層圏循環が対流圏や海洋に与える影響について、気象研究所地球システムモデルを用いて調査した結果を紹介した。再解析データへのナッジングにより成層圏循環だけを現実場に拘束した実験を実施し、2019/20年冬季に北極成層圏で発生した極渦強化イベントの影響を評価した。結果、成層圏からの影響が、対流圏・地表のみならず中緯度大気海洋相互作用にまで及び、北大西洋における水温偏差の再出現過程を介して翌冬以降にもシグナルを残すことが示された。

佐竹 陸 (九大理) は、2020年に南半球で発生した広く長期間続いたオゾンホールについて、その成因を力学的に分析した。要因として、極渦での西風が9～11月に例年に比べて強かったことと、同時期での対流圏からの上向き Eliassen-Palm フラックスと、成層圏での収束が弱くなっていたことを見出した。2020年は対流圏からのプラネタリー波の流入が例年より弱い状態が長く継続したことがオゾンホールの拡大と長期化の要因であると結論付けた。

中村東奈 (九大理・富士通 Japan) は、2009年11月のアルゼンチンでのオゾン全量低下イベントについて予測可能性の観点から分析を行った。LETKFとMIROC3.2CCMを使って同化・予測実験を行った。同化実験では、力学場に加えてオゾン観測値を同化することでオゾン場の再現性が向上することを見出した。さらに予測実験の結果から、低下イベントの発生時での予測可能性が低くなることと、それが極渦での波数1, 2構造の増幅に関係していることを示した。

本セッションでは、成層圏循環の伝統的なテーマであるオゾンホールや対流圏・成層圏結合過程から、ストーリーライン手法や最先端の観測機器といった新しい方法や、データ同化や大気海洋結合などの分野と結

びついた研究発表がなされた。成層圏研究の更なる盛り上がりを感じた。

(山崎 哲)

#### 4. 同化・力学・予測可能性

中下早織 (京大理) は、気象庁による令和元年東日本台風 (2019年台風第19号) の上陸位置の誤差が初期時刻10月9日12UTCからの予測においてそれまでの初期時刻からの予測よりも増加したことに着目し、その要因としてアンサンブル感度解析により台風の南東に位置していた気圧の峰の表現にあることを同定した。気象庁全球モデル GSM を用いて、感度解析により得られた摂動を加えた初期条件から実験を行ったところ、追加した高気圧性擾乱が西進しながら台風接近して台風を北東に流したことが確認された。

本田 匠 (理研) は、雷観測のデータ同化に関し全アンサンブルメンバーに雷が再現していない場合に雷ありの観測が同化されない問題に取り組んだ。気象レーダー観測の同化へ向けて提案された、観測空間の摂動をモデル変数と観測相当量との間の回帰から得る手法を適用することで、雷観測が同化され解析と降水予報の精度が向上することを観測システムシミュレーション実験 (シミュレーションを仮想の観測として用いた実験) で示した。

小笠原宏司 (京大理) は、動径基底函数 (RBF) を内挿や微分方程式の解法として用いると、格子状でなく散在する節点で精度よく計算できるが、計算量が膨大になるという問題点を取り上げた。計算に用いる節点をそれぞれの節点付近の一定数に限定する先行研究の手法では、スペクトル精度 (節点数とともに誤差が指数函数的に減少する性質) が保たれない。そこで、ガウス型 RBF を用いて値が一定値を下回る要素を0と置いたところ、浅水波モデルの定常解の安定性に変化はなく、やや誤差は増大するもののスペクトル精度は保持されることを示した。

菅野湧貴 (電中研) は、温位面での質量加重付帯平均を用いた大気のエネギーサイクルでは、平均場の有効位置エネギー及び運動エネギー、波動エネギーの3つに整理され、エネギーの流れが一方向となる利点について述べ、CMIP5を用いた複数の気候モデルによる温暖化実験におけるエネギーサイクルの将来変化を比較・検討した。その結果平均場のエネギーは将来強まり、波動エネギーは北半球冬季に弱化し、南半球冬季に微増することがモデル間で整合

していることを明らかにした。

山崎 哲 (JAMSTEC) は、地球シミュレータ用大気大循環モデル AFES とアンサンブルデータ同化手法 LETKF を用いて作成された ALERA において、先行研究で指摘された解析アンサンブルスプレッドが成層圏突然昇温 (SSW) に先行して増大する現象の力学メカニズムについて調べた。事例解析や EOF 解析の結果、スプレッドの増大は先行研究で指摘されている順圧不安定による成長モードを反映したものであり、LETKF による解析が SSW 発生に有利な摂動を生成している可能性を指摘した。

大学でも数値予報モデルを用いた研究ができるようになり、データ同化や数値解法、力学的解析手法に関する成果が報告され、数値予報研究の進展を感じることができた。

(榎本 剛)

#### 略語一覧

- AFES : Atmospheric General Circulation Model for the Earth Simulator 地球シミュレータ用大気大循環モデル  
 ALERA : AFES-LETKF Experimental Reanalysis AFES-LETKF 実験的アンサンブル再解析  
 CCM : Chemical Climate Model 化学気候モデル  
 CMIP5 : Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 第5次結合モデル相互比較プロジェクト  
 CReSS : Cloud Resolving Storm Simulator 雲解像モデル  
 d4PDF : database for Policy Decision making for Future climate change 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース  
 ENSO : El Niño-Southern Oscillation エルニーニョ・南

#### 方振動

- EOF : Empirical Orthogonal Functions 経験的直交関数  
 GSM : Global Spectral Model 気象庁全球数値予報モデル  
 IsoRSM : Isotope Regional Spectral Model 同位体領域スペクトルモデル  
 JRA-55 : Japanese 55-year Reanalysis 気象庁55年長期再解析  
 LETKF : Local Ensemble Transform Kalman Filter 局所アンサンブル変換カルマンフィルタ  
 MIROC : The Model for Interdisciplinary Research on Climate 気候モデル  
 RBF : Radial Basis Functions 動径基底関数 節点からの距離のみに依存する関数.  
 SINTEX-F : Scale Interaction Experiment-Frontier Research Center for Global Change (FRCGC) model 大気海洋結合季節予測モデル  
 SSW : Sudden Stratospheric Warming 成層圏突然昇温

#### 参考文献

- Kawatani, Y., T. Hirooka, K. Hamilton, A. K. Smith and M. Fujiwara, 2020: Representation of the equatorial stratosphere semiannual oscillation in global atmospheric reanalyses. *Atmos. Chem. Phys.*, **20**, 9115-9133, doi:10.5194/acp-20-9115-2020.  
 Shiozaki, M., T. Enomoto and K. Takaya, 2021: Disparate midlatitude responses to the eastern Pacific El Niño. *J. Climate*, **34**, 773-786, 10.1175/JCLI-D-20-0246.1.  
 Zappa, G. and T. G. Shepherd, 2017: Storylines of atmospheric circulation change for European regional climate impact assessment. *J. Climate*, **30**, 6561-6577, doi:10.1175/JCLI-D-16-0807.1.