

研究集会「災害をもたらす極端気象の発現にかかわる 総観場・循環場の特徴と大気海洋過程」の報告

本田 明治^{*1}・立花 義裕^{*2}・榎本 剛^{*3}
直江 寛明^{*4}・植田 宏昭^{*5}

標記研究集会は、京都大学防災研究所一般研究集会 2019K-09 (研究代表者 本田明治) として、2020年12月3日に開催された。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16回目で、第8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」A02-3「東アジア縁辺海と大気の連鎖的双方作用とモンスーン変調」との共催である。

豪雨・豪雪や竜巻・突風現象など災害をもたらすような極端気象発現の背景には、移動性高低気圧・前線などの総観規模現象、偏西風蛇行などの大気循環場変動、複雑な大気海洋過程など一連の時空間的階層構造が深く関わっている。本研究集会では災害をもたらす極端気象について大気・海洋、グローバル・ローカル双方の視点から、その発現過程、総観場・循環場特性、大気海洋過程、予測可能性に関する最新の研究を共有し議論を行った。今回は、2020年度秋季大会にならい、講演資料の事前閲覧期間を設け、当日の講演は質疑込

み持ち時間10分間とした。セッションは「成層圏と台風」、「豪雨の発生環境場」、「夏季異常天候と将来変化」、「循環異常の予測と診断」、「暖冬・寒冬の力学と予測」の5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. 成層圏と台風

気象学会の全国大会では、成層圏セッションと台風セッションは異なる会場にてパラレルで実施されることが多い。本セッションではそのような既成の枠を外した。互いの専門分野間の相互乗り入れによる連携から新たな研究の萌芽への発展の期待が込められている。そもそも成層圏の極渦も台風の渦も、サイズの差こそあれどちらも渦現象である。渦に魅せられた人には打ってつけのセッションであろう。このセッションで発表された6件の発表内容を、関連したストーリーに意識的に焼き直しつつ、その概要を発表の順に記載する。

2019年秋(9月)に、南半球成層圏突然昇温(SSW)が発生した。このSSWは大昇温の基準は満たさなかったが、南半球では17年ぶりであった。小林ちあき(気象研)は、このSSWに引き続く対流圏の南極振動の負のフェイズの持続へのSSWの寄与を示した。また季節予報において負の南極振動の持続の予測ができたことも示した。インド洋の海面水温はこの持続にはほとんど効いていないことも示した。

一方、2019/20年冬の北半球は南半球とは反対に成層圏の極渦がぎわめて強い冬であった。松山裕矢(九

*1 Meiji HONDA, 新潟大学.

*2 Yoshihiro TACHIBANA, 三重大学.

*3 (連絡責任著者) Takeshi ENOMOTO, 京都大学防災研究所.

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

*4 Hiroaki NAOE, 気象庁気象研究所.

*5 Hiroaki UEDA, 筑波大学.

© 2021 日本気象学会

州大学)は、この北半球成層圏の極渦強化の原因を調査した。この年の極渦の強さは歴史的にみて最大級の現象であった。強い極渦が継続された理由として成層圏に進入する波が不活発であったこと、波が上部成層圏まで達しにくかったことと、成層圏内で波が発生したことを示した。

2019年秋は台風が多数発生し、日本にも大きな災害が発生した。丁度この時期に小林ちあきが解析した南半球SSWが発生した。これは偶然に起こった同時現象だったのだろうか？ 江口菜穂(九州大学)は、この2019年南半球SSWが台風活動に影響を及ぼした可能性について全球雲解像モデル実験を用いて解析を行った。SSWに伴うBD循環の変化によるTTLの低温化によって、熱帯の積雲対流活動に差がみられたことから、台風に影響を及ぼした可能性を示唆した。

江口菜穂の研究を受け、小林健太(九州大学)は、対流圏界面付近の気温が低温の場合には、台風が強化されるかについて理想化した“軸対称モデルの”数値実験を行った。その結果、気温を下げると熱帯低気圧の風速と中心気圧が共に強化されることを示した。また、直下の海洋と結合させた実験と非結合実験では非結合の方が台風はより強化された。

熱帯低気圧近傍の海洋はその温帯低気圧化にも影響する。藤原圭太(九州大学)はハリケーンSandy(2012)の温帯低気圧化に伴う降水強化におけるメキシコ湾流の熱力学的役割について調査した。SST変化実験から当時の湾流の高温偏差は北米東岸の降水を約27%増加させていることを示し、Sandy東方から流入する多くの空気塊が高温域を通過したため湾流の影響が増幅されたと結論付けた。

上述のように2019年は多数の台風に見舞われた年であったが、最も大きな被害をもたらしたのは東京湾を直撃するコースを取った台風第19号であった。中下早織(京都大学)は、世界の主要予報センター毎の経路予測の精度を解析した。気象庁は4日以前の段階での上陸位置予測がベストトラックにきわめて近かった。しかしその後予測時間が短くなるにつれ精度が悪化した。台風南南東の弱いリッジの挙動の再現性が進路誤差に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

(立花義裕)

2. 豪雨の発生環境場

このセッションでは令和2年7月豪雨の発生環境場の解明を目指す研究を中心に6件の発表が行われた。

原田やよい(気象研)は、台風を除く6~9月の3日積算降水量の上位5パーセントを豪雨事例として抽出し合成図解析を行った。降水量第1位の1995年7月の事例と2020年7月の事例は対流圏上層で朝鮮半島に谷、その東に尾根が位置し、九州北部に水蒸気が力学的に収束しているという類似性を見出した。

小寺邦彦(気象研)は、アラビア海の対流活動が活発でアジア・ジェットが南下したため、山岳との相互作用に生じた黄海付近の谷に沿って水蒸気輸送が強化されていたことを指摘した。

辻 宏樹(東大気海洋研)は、九州の豪雨に関して合成図解析を行い、自由対流圏の水蒸気は対流活動の結果ではなく水蒸気フラックス収束のピークに先行することを発見した。

澁谷亮輔(東大気海洋研)は西日本の各地で発生する極端降水に先行して、大陸上の波束の伝播に伴いアルタイ山塊下流での低気圧発生や小笠原高気圧の発達により梅雨前線の傾圧性が強化され、中国東部から湿潤ロスビー波に類似したふるまいの低気圧が東進することが重要であると指摘した。

栃本英伍(防災科研)は2020年6~7月にメソ α 擾乱が頻繁に九州付近を通過することにより豪雨発生に好都合な環境場が長期間維持されたことを示した。

堀之内 武(北大)は異常気象分析検討会が取りまとめた令和2年7月の記録的大雨の要因について紹介した。可降水量自体は典型的な値であったが、下層ジェットの位置や強度が持続したために期間平均の九州への水蒸気フラックスやその収束が最大級となったと述べた。

アラビア海の対流活動などの循環異常により2020年7月は梅雨前線の北上が遅れ、日本の西に位置する気圧の谷が形成され、梅雨前線上の低気圧が次々と通過したことが例年のない水蒸気収束につながり、令和2年7月豪雨の発生環境場が形成されていたことが明らかになった。また、関連する現象の相互の関連が本セッションを通じて明確になった。

(榎本 剛)

3. 夏季異常天候と将来変化

このセッションでは夏季異常天候と将来予測の研究を中心に5件の発表が行われた。竹村和人(京大・気象庁)は、簡易予報感度解析により2016年8月後半に日本の南海上において発達した下層低気圧の予測可能性を評価し、ロスビー波の碎波域付近とジェットの出

口付近の初期摂動が、下層低気圧の予測に大きな影響を及ぼすことを示した。直江寛明（気象研）は、北半球の夏季にユーラシア大陸上で発達するダブルジェットについて高度場のEOF解析（北半球夏のNAM解析）を行い、指数による分類比較から北側の寒帯前線ジェットについて運動量収支解析を行った。立花義裕（三重大）は、モデルのコントロール実験と、オホーツク海を仮想的に陸地化した感度実験の解析から、冷たいオホーツク海は、太平洋高気圧を強化し、梅雨も強めていることを示した。楠 昌司（気象研）は、高解像度全球大気モデルによる大規模アンサンブル実験で予測された東アジアの雨期の将来変化を解析し、西日本で梅雨期間が短くなることを示した。林 未知也（国環研）は、2020年8月の北西太平洋における記録的な高海面水温に対する人為的地球温暖化の寄与を定量化し、地球温暖化進行度に伴う、北西太平洋海面水温の長期変化と将来予測を調べた。

（直江寛明）

4. 循環異常の予測と診断

本セッション前半では、テレコネクションに関する診断的・統計的研究が3件報告された。後半では偏西風力学に関わる理論的な研究成果が2件報告された。

植田宏昭（筑波大）は、熱帯と中高緯度の相互作用によって対流圏上層に高気圧循環が出現していることを渦度収支解析によって示した。北半球の夏（6～8月）に見られるチベット高気圧（南アジア高気圧）は、南アジアにおける降水に伴う非断熱加熱による松野・ギル型の熱源応答によって生成され、スベルドラップ・バランスと温度風の関係を通して対流活発域の西側に暖気核が維持されていることを示した。12月から2月に見られる亜熱帯の高気圧については、熱帯における活発な積雲対流によって生成された高気圧性渦度の発散風による移流と、高緯度からのプラネタリー波の伝播の組み合わせで作られて出されている可能性を論じた。

中西友恵（三重大）は、サヘル対流変動が北半球中高緯度におけるテレコネクションを駆動していることを、主に線形回帰分析によって示唆した。9月において最もシグナルが顕著であり、ユーラシアを横断し北極域や東アジアまで及ぶロスビー波東伝播が示された。力学過程については、非断熱加熱による松野・ギル応答、及び発散風による中緯度側への負の渦度移流の両面から考察した。線形傾圧モデル実験による検証結果も示され、サヘル対流に伴う熱源がテレコネク

ション形成のトリガーとなりうることを確認された。

加藤 茜（三重大）は、世界各国のGDPとテレコネクション指数についての講演を行った。まず、PDO（太平洋十年振動）指数もしくはSOI（南方振動指数）と各国のGDP成長率の相関をとった。PDO指数の場合、負相関になる国が多かった。このことから、PDO指数が正のときGDP成長率が下がる傾向にある国が多いと考えられる。一方、SOIの場合は、正相関となる国が多く、すなわち、SOIが正のときGDP成長率が上がる傾向にある国が多い。また、各国のGDP成長率をEOF解析した。その結果、PDO指数が正のとき、主にアフリカや東南アジアでGDP成長率が上がることで、SOIが正のとき主に先進国でGDP成長率が上がることが示唆された。以上のことから、PDOとSOIは全球規模で経済に影響する可能性と、ある気象現象が起きた際、先進国と発展途上国では異なる応答を示す可能性が示唆された。

小笠原宏司（京大理）は動径基底関数を用いた浅水波モデルに必要な線形連立方程式解及び行列・ベクトルの積に並列反復解法をモデルに適用した。定常解を求めるテストケースを行い検証したところ、逐次プログラムと同等の精度が得られたが高速化には課題があることが分かった。

高谷康太郎（京産大）は、位相依存性のないエネルギー変換の定式化についての提案に関する講演を行った。先行研究でよく使用されているエネルギー変換の表式は、擾乱の2次の項を含むために、擾乱の位相に依存してしまう。移動性擾乱に関しては時間平均が位相平均に対応し物理的に意味のある解析を行うことが出来るが、停滞性擾乱に対してはそうではない。その問題を解決するための新たな定式化の提案を行った。そこでは、速度の2乗に比例するエネルギーに加え、渦度によるエネルギーの定義式を合わせて考えることにより、位相依存性のないエネルギー変換の定式化が可能であることを示した。

本セッション前半における発表は、異常気象時の診断解析技術の援用により、気候形成論の深化が促進されることを示唆するものであり、気候形成と気候変動研究との間での双方向の研究交流が期待される。本セッション後半の発表は、異常気象の要因分析のさらなる高度化に繋がる興味深い理論研究であり、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。

（植田宏昭）

5. 暖冬・寒冬の力学と予測

このセッションでは2017/18年の寒冬及び2019/20年の記録的暖冬についての研究を中心に5件の発表が行われた。

西井和晃（三重大生物資源）は、2017/18年と2019/20年の冬季に関する AGCM 実験において、前者では日本周辺での寒冬が再現されなかった一方、後者では暖冬が再現されたことを報告し、両者の再現性にとって、インド洋から海洋大陸にかけての対流活動の再現性が重要である可能性を示唆した。

倉持将也（筑波大生命地球）は、2019/20年の東アジアでの暖冬に対して、モデルを用いて熱帯の影響を評価した。熱帯域の西インド洋、海洋大陸、中央太平洋に対流活動偏差の3極子構造が現れており、これらの組み合わせによりアジア・ジェット上の波列と東アジアの高温傾向が再現された。さらに、この対流活動の3極子構造は同年に発生していたインド洋ダイポールとエルニーニョモドキ現象の海盆間の相互作用によって形成されていた可能性を示した。

土井威志（海洋研究開発機構）は、2019年から2020年にかけての日本の記録的な暖冬を数ヶ月前からコンピュータで予測可能だったのは、同年に発生した過去最強クラスの正のインド洋ダイポールモード現象による影響が大きかったことを示した。西インド洋熱帯域の温暖化の進行が顕著なことから、本研究で示されたように、極端に強いインド洋ダイポールモード現象の発生に伴って、日本で暖冬が引き起こされる事例が今後増えるかもしれない点も指摘した。

今田由紀子（気象研）は、同じく2019/20年の日本の記録的な暖冬を対象に、d4PDFを用いてイベント・アトリビューション（温暖化の寄与の定量的推定）を行った結果を紹介した。d4PDFの過去再現実験はこの事例を良く再現しており、地球温暖化によってこのよう

なイベントの発生確率が約10倍に増えていたことを示した。

本田明治（新潟大理）は、2018年1月11～12日に新潟市で24時間降雪量が80cmに達した事例の要因としてJPCZによる西方からの降雪雲に加え、北海道西岸に発生した小低気圧（PL）及びその南方の東北～北陸の日本海沿岸の高気圧性循環がもたらす北北東からの降雪雲の影響を指摘していたが、他の新潟県の日本海沿岸の集中降雪事例の合成図解析でも同様の傾向があることを確認した。

（本田明治）

略語一覧

AGCM：Atmospheric General Circulation Model 大気大循環モデル

BD：Brewer-Dobson 下部成層圏子午面循環の名称

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

EOF：Empirical Orthogonal Function 経験的直交関数（主成分分析）

GDP：Gross Domestic Product 国内総生産

JPCZ：Japan Sea Polar air mass Convergence Zone 日本海寒帯気団収束帯

JRA-55：Japanese 55-year Re-Analysis 気象庁55年長期再解析

NAM：Northern Hemisphere Annular Mode 北半球環状モード

PDO：Pacific Decadal Oscillation 太平洋10年規模振動

PL：Polar Low 極低気圧（ポーラーロウ）

SO：Southern Oscillation 南方振動

SOI：Southern Oscillation Index 南方振動指数

SST：Sea Surface Temperature 海面水温

SSW：Sudden Stratospheric Warming 成層圏突然昇温

TTL：Tropical Tropopause Layer 熱帯対流圏界面領域