

研究集会「異常気象の発現メカニズムと 大規模大気海洋変動の複合過程」の報告

小坂 優^{*1}・山田 賢^{*2}・小林 ちあき^{*3}・竹村 和人^{*4}
吉田 康平^{*5}・千葉 丈太郎^{*6}・榎本 剛^{*7}

標記研究集会は、京都大学防災研究所一般研究集会 2019K-06 (研究代表者 小坂 優) として、2019年11月14~15日に京都大学宇治キャンパス防災研究所連携研究棟3F大セミナー室で開催された。通称「異常気象研究会」の第15回目で、第6回観測システム・予測可能性研究連絡会との共催である。

近年相次いで発生している熱波や寒波、豪雨・豪雪などの異常気象の背景には大気と海洋の大規模な変動があるとの認識の下、季節内から数十年までに渡る多様な気候変動現象や百年規模の地球温暖化による異常気象発現への影響に加え、それらの現象の相互作用を伴う複合過程やそれに基づく長期予測の可能性について、最新の研究を共有し議論することを目的とした。今回は、研究集会のタイトルに含まれている「大規模大気海洋変動」及び「異常気象の発現メカニズム」並びに「成層圏と気候」のセッションに分けて編成した。以下、セッションの概要を報告する。(榎本 剛)

1. 大規模大気海洋変動

前半は中緯度海面水温前線における大気海洋相互作用

に関する研究が2件、地球温暖化に伴う局地的な気候変化に関する研究1件が発表された。

藤原圭太(九大院理)は、温帯低気圧化するハリケーン Sandy によってもたらされた北米東岸での極端な降水とメキシコ湾流との関係について、雲解像モデルを用いた解析結果を報告した。降水をもたらした空気塊について後方流跡線解析を実施し、空気塊が Sandy の北東側から屈曲して流入する気流構造であったことを示した。また、変質過程における特徴から、この気流構造がメキシコ湾流の海面蒸発を強め、Sandy 西縁域への水蒸気輸送を増大させることで、極端降水の増幅に影響している可能性を示した。

中山盛雄(東大先端研)は、中緯度海洋前線帯が南半球対流圏で卓越する傾圧環状モード(BAM)に与える影響について、水惑星実験による解析結果を報告した。中緯度海洋前線帯あり・なしの2種類の実験の結果を比較した上で、中緯度海洋前線帯がBAMを強化し、その緯度を海洋前線帯付近に固定することを示した。また、擾乱成分を移動性擾乱と準停滞性擾乱に分けて解析を行い、移動性擾乱の寄与を通して、BAMが南半球環状モード(SAM)を強化する関係性を示した。

山田 賢は、RCP2.6シナリオを用いた日本付近における21世紀末の気候変化の将来予測について、非静力学領域気候モデルによる予測結果を報告した。RCP2.6をRCP8.5の予測結果と比較したところ、ほとんどの要素では温暖化に伴う変化が小さい予測であったのに対し、沖縄・奄美の降水要素では異なる傾向となることを示した。また、非静力学領域気候モデルと全球大気モデルの予測結果を比較し、沖縄・奄美で見られた降水要素の特徴の要因について議論した。

(山田 賢)

*1 Yu KOSAKA, 東京大学先端科学技術研究センター。

*2 Ken YAMADA, 気象庁気候情報課。

*3 Chiaki KOBAYASHI, 気象研究所。

*4 Kazuto TAKEMURA, 気象庁気候情報課/京都大学大学院理学研究科。

*5 Kohei YOSHIDA, 気象研究所。

*6 Jotaro CHIBA, 気象庁気候情報課。

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

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

© 2020 日本気象学会

(小坂 優)

後半は熱帯域での大気や海洋の経年変動に伴う北半球中高緯度への遠隔影響に関して3件の発表があった。中西友恵(三重大院生物資源)は、サヘルにおける夏季(雨季にあたる)対流活動の経年変動に伴う北東大西洋〜ユーラシア大陸上の大気循環変動パターンについて講演した。特に9月において、サヘル域対流活動偏差に対する対流圏上層高度場の回帰偏差は、ヨーロッパ沿岸からシベリア沿岸を通過して極東域まで連なる波列を示す。正の非断熱加熱偏差が上空に作り出す発散偏差が波源としてロスビー波を駆動する可能性が考えられ、実際に線形傾圧モデルにおいて、西サヘルに与えた非断熱加熱強制に対し波列状の応答パターンが得られた。

続く2件の講演はいずれも、エルニーニョ・南方振動(ENSO)がもたらす東アジアへの遠隔気候影響に関するものだった。塩崎公大(京大院理)はエルニーニョ現象に伴う東アジアの暖冬・非暖冬を分けるメカニズムについて講演した。エルニーニョ現象時には太平洋-北米(PNA)パターンや西太平洋(WP)パターンが現れやすいが、東アジアでの暖冬時に着目するとWPパターンが顕著であった。これはフィリピン海海面水温負偏差やインド洋海盆昇温、及び西太平洋における局所ハドレー循環偏差と付随する過度源を伴っている。これに対し非暖冬時にはPNAパターンが顕著で、熱帯からの遠隔影響は西太平洋にははっきりせず、また一方で中緯度には大陸からの東西遠隔影響も見られることを報告した。

門 大貴(東大先端研)はENSOが極大に達した後の北半球夏季に東アジア・北西太平洋域にもたらす遠隔影響について、ENSOの持続性に対する違いを議論した。エルニーニョあるいはラニーニャが北半球冬季に極大に達したのち夏までに終息する事例と、最初の極大のあとに再び同符号で発達する事例に分けると、最初の極大後の夏季において東アジア・北西太平洋の海面気圧・降水・陸上気温偏差に顕著な違いが見られた。先行するENSOがインド洋キャパシター効果を通じてもたらす影響は単年・複数年事例に共通と考えられるが、これに赤道太平洋域における海面水温偏差からの影響が異符号で重なることで、非対称な偏差が生じるという仮説を論じた。

3件の講演はいずれも日本を含む東アジアの天候変動をもたらす遠隔影響に関するものであった。それらを診断的理解のレベルから予測的理解へと深化させ、異常気象予測の向上に資することを期待する。

2. 異常気象の発現メカニズム

このセッション前半では4件の講演が行われ、異常気象に関連したテレコネクションパターンについての解析と気象庁で行われている積雪深解析の技術開発についての報告があった。

直江寛明(気象研)は、夏季亜寒帯ジェット上のロスビー波伝播について報告した。日本付近の夏季の異常気象の要因として、亜熱帯ジェット上の波束伝播は「シルクロードパターン」として指摘されるが、これとは別に、北回りでシベリアから日本付近への波束伝播がしばしば観測されている。ユーラシア大陸上で対流圏上層の南北風のEOF解析をすると、第一モードで亜熱帯ジェットに沿った波列パターンが見られるが、第2モードでは亜寒帯ジェットに沿った波列パターンを検出することができ、この第2モードを気温場等に回帰し、200hPa付近の圏界面を境に符号を逆にした波列パターンとなること等を示した。

中村 尚(東大先端研)は、北大西洋振動(NAO)の偏差場の維持過程と長期変動について報告した。従来から、NAOは等価傾圧構造をしており、準停滞性波動の砕波の特徴の違いでその極性が維持されていると考えられてきた。しかし、詳細にみるとやや西に傾いた構造が存在し、傾圧性の特徴がみられ、NAOの年々変動に傾圧性擾乱がどのような役割を果たしているのか、エネルギー変換の解析から調べた。その結果、冬季のNAOパターンの維持には傾圧有効位置エネルギー変換が支配的で、プラネタリー波に関連した温度勾配上の東西風偏差によって維持されることを示した。

立花義裕(三重大)は、2017/18年冬の西日本での寒波について、北極海アラスカ沖に空いた海水の巨大な穴(warm hole)に原因があったと報告した。2017/18年の冬季は、北極振動指数は負を示し、日本は寒波の影響を受けた。この原因として北西太平洋からの大量の水蒸気の流入にともなう暖気の流入により北極海アラスカ沖の海水が減少し、この穴の開いた海水の上空で暖気が維持され、北極上空を覆う寒気が中緯度域に押し出され、東アジア域は寒波の影響を受けた、という新しい説を提案した。

宮岡健吾(気象庁数値予報課)は、全球積雪深解析の改善による全球数値予報へのインパクトについて報告した。気象庁の現行の全球積雪深解析は、積雪深気候値と現地観測データに基づき作成されており、現地

観測データがまばらな領域では積雪域を想定より広めに解析したり、定期的に現地観測データが得られない場合に気候値が解析結果となってしまったりする、などの問題点があった。新しい積雪深解析システムでは、マイクロ波による衛星観測データから作成した積雪域データと気象庁全球モデルの積雪深予報値を利用するといった改良をした。改良システムでの解析結果では、これらの問題点が改善していることを示した。

本セッション前半では、最近の顕著な異常気象に関連したテレコネクションの変動に関する最新の解析結果と、気象庁で行われている現業予測システムに関する技術開発の紹介があり、活発な議論が行われた。ここでの議論が異常気象の要因分析や季節予測研究のさらなる展開に繋がることを期待したい。

(小林ちあき)

このセッション後半では4件の講演が行われ、主に日本の夏の天候に大きな影響をもたらす大気循環場や海況の特徴に関して、報告が行われた。

小林ちあきは、2018年夏に日本に猛暑をもたらした要因のひとつである、北半球中緯度における顕著な高温偏差と関連する海況や大気循環場の特徴について、気象庁長期再解析(JRA-55)や再予報実験による解析結果を報告した。気象庁の現業季節予報モデルを用いた海面水温の感度実験より、北半球中緯度対流圏の気温が6か月以上高い状態で推移したことには、太平洋熱帯域における南北非対称な構造をもつ海面水温偏差の分布が寄与したことを示した。さらに、太平洋熱帯域の海面水温偏差に伴う北半球中緯度の顕著な高温偏差の形成には、北緯10~20度帯における活発な対流活動が重要な役割を果たした可能性を示した。

原田やよい(気象研)は、西日本で大雨となった過去の事例における大気循環場の特徴について、JRA-55を用いた解析結果を報告した。西日本における降水量の上位10事例を対象とした合成図解析より、西日本で大雨となる場合には、対流圏上層における寒帯前線ジェット気流に沿う準定常ロスビー波東伝播と関連した西谷、およびそれに伴う対流圏中層における上昇流偏差、日本の南東海上の対流圏下層における高気圧偏差の傾向がみられることを示した。また、これらの統計解析の結果を踏まえた平成30年7月豪雨時の大気循環場の特徴を報告し、朝鮮半島付近のトラフには8日以下、東シナ海~西日本付近の低気圧偏差には8~25日、日本の南東海上の高気圧偏差には25~90日の周期

をもつ変動が、それぞれ最も寄与したことを示した。

南 敦(気象庁気候情報課)は、2019年夏の天候の特徴について、主にJRA-55や線型傾圧モデルを用いた解析結果を報告した。日本付近におけるジェット気流は、アジアモンスーンの活動が不活発であったことと関連して南偏しやすく、盛夏期に向かう季節進行が遅かったことの要因のひとつであることを示した。また、近畿地方~九州北部地方において梅雨入りが遅れたことの要因として、6月中・下旬における寒帯前線・亜熱帯ジェット気流沿いの準定常ロスビー波の位相の固定や、それに伴う日本付近におけるジェット気流の南への蛇行を挙げた。さらに、亜熱帯ジェット気流に沿うロスビー波の位相の固定には、インド洋の高い海面水温や、それに関連したインド付近における不活発な対流活動が寄与した可能性を示した。

竹村和人は、盛夏期におけるアジアジェットに沿う準定常ロスビー波東伝播とPJパターンの力学的関連性とそのメカニズムについて、JRA-55を用いた統計解析により示した。砕波の事例に基づくラグ合成図解析より、約1週間の時間スケールにおいて、アジアジェットに沿う波東伝播が、日本付近~その東海上における砕波および亜熱帯域への高渦位大気の侵入に伴う積雲対流活動の活発化を通して、PJパターンの発現に寄与することを示した。さらに偏相関解析より、亜熱帯域における対流活動の強化には、海面水温偏差による寄与と比較して、砕波に伴う高渦位大気の侵入による寄与が大きいことを示した。

本セッション後半における発表は、いずれも夏の異常気象の発現メカニズムのさらなる理解につながる興味深い内容であり、大変活発な議論が行われた。本セッションにおける議論が、異常気象の要因分析のさらなる高度化や情報発信の充実化に繋がることを期待したい。

(竹村和人)

3. 成層圏と気候

本セッション前半では、近年、季節予報においてもその影響が認識され注目が集まっている成層圏の対流圏気候への影響に関して、以下3件の発表が行われた。

小寺邦彦(気象研)は2019年に発生した南半球における成層圏突然昇温(SSW)が熱帯対流圏に与える影響に関して、JRA-55や衛星データ等を用いて調べた。2019年6-9月は南半球惑星波の発達に伴い、非常に顕著な南半球突然昇温が発生し、南半球中心の子午面循環強化や熱帯成層圏気温の低下とともに様々な変化

が現れた。熱帯低気圧や豪雨を含む非常に背の高い対流活動の活発化やハドレー循環の強化と北偏、北半球亜熱帯高気圧の強化、赤道越え気流とそれに伴う南半球側の SST の低下が帯状に見られ、これら海洋を含む一連の現象が SSW の影響である可能性を提示した。

江口菜穂（九大応力研）は SSW に伴う成層圏南北循環の強化の熱帯対流活動への影響について、対流パラメタリゼーションを用いない非静力学高解像度全球モデル NICAM による SSW 時のシミュレーション結果を用いて、南西インド洋上での積雲対流の急発達に着目し、そのメカニズムについて調べた。先行する SSW に伴う熱帯成層圏での上昇流は対流圏界面領域における気温低下と静的安定度の弱化をもたらし、それが原因と考えられるアフリカ大陸上での大規模対流が、大気波動（赤道ケルビン波）を励起し、低温域の東進とそれに伴う南緯10度付近での南西インド洋上での積雲対流域の延伸が熱帯低気圧の発生を促した。さらに南半球海洋大陸域の大規模積雲対流の活発化に寄与することを示唆した。

吉田康平は SSW が熱帯対流圏、特に対流活動に与える影響について、高解像度全球大気モデルによる大規模アンサンブルシミュレーションデータセット d4PDF を用いて調べた。SSW に伴い熱帯成層圏を中心に駆動される上昇流とともに熱帯成層圏における気温低下と安定度の弱化が現れ、同時に熱帯の外向き長波放射や降水など、対流に関連した指標にも有意な増加が見られた。加えて、熱帯低気圧活動に関連する指標にも、統計的に有意な増加が見られ、特に顕著な熱帯低気圧活動時の相対頻度が30%程度も上昇していることが示された。

本セッション前半では、近年注目されている成層圏の対流圏気候影響について、未解明の点が多いとされている SSW と熱帯の対流に焦点を当てた先進的な発表が行われ、活発な議論が行われた。今後のさらなる研究成果に期待したい。（吉田康平）

本セッション後半では、予測システムに関する講演2件のあと成層圏・対流圏結合に関する1件の講演が行われた。

千葉丈太郎は、次期季節アンサンブル予報システムに導入が予定されている非地形性重力波スキーム・境界層スキームの改良のインパクトについて、ハインドキャスト実験の結果を報告した。スキームの改良によ

り、成層圏準2年振動（QBO）の周期及び振幅が大きく改善し、熱帯成層圏における循環の予測精度が向上すること、さらに、QBO が西風位相の時に極夜ジェットが強まる傾向をモデルは再現していることを示した。

出牛 真（気象研）は、SSW 後の成層圏オゾンの分布が季節予測精度に与える影響について、北半球の SSW 事例に対する地球システムモデルによるハインドキャスト実験の結果を報告した。SSW によるオゾン濃度偏差は下部成層圏で数か月程度持続し、オゾン濃度の分布を気候値に固定した実験と比べ、熱帯及び北半球中・高緯度域の対流圏中層～下部成層圏の予測に良いインパクトがあることを示した。

松山裕矢（九大院理）は、成層圏から対流圏へのプラネタリー波の下方伝播と冬季シカゴにおける寒波との関係について、長期再解析データを用いた解析結果を報告した。下部成層圏で顕著なプラネタリー波の下方伝播を伴う事例について合成図解析を行い、成層圏からの下方伝播がシカゴの寒波を強化する可能性があることを示した。また、寒波発生時の合成図解析により、シカゴの寒波は上部対流圏に強い下方伝播を伴うことを示した。（千葉丈太郎）

略語一覧

BAM : Baroclinic Annular Mode 傾圧環状モード

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

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

NAO : North Atlantic Oscillation 北大西洋振動

NICAM : Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model 非静力学正20面体格子大気モデル

PJ : Pacific-Japan 太平洋-日本、テレコネクションパターンの名称

PNA : Pacific-North America 太平洋・北米、テレコネクションパターンの名称

QBO : Quasi-Biennial Oscillation 成層圏準2年振動

RCP : Representative Concentration Pathway 代表的濃度経路

SAM : Southern Annular Mode 南半球環状モード

SSW : Sudden Stratospheric Warming 成層圏突然昇温

WP : Western Pacific 西太平洋、テレコネクションパターンの名称