

研究集会「東アジア域における大気循環の季節内変動に 関する研究集会」の報告

西 憲 敬*¹・高 谷 祐 平*²・原 田 やよい*³・時 長 宏 樹*⁴
竹 村 和 人*⁵・宮 坂 貴 文*⁶・榎 本 剛*⁷

標記研究集会は、木々が日に日に色づきを増す中、2016年11月8日～9日に京都大学宇治キャンパスで京都大学防災研究所一般研究集会28K-08（研究代表者西 憲敬）と観測システム・予測可能性研究連絡会との共催で開催された。全国の大学・研究機関や気象庁、民間気象会社等から50名超の関係者が参加した。

この研究集会は、近年の衛星計測による新しい観測データや、大規模数値計算などから得られた最新の研究成果に基づき、東アジア域における季節内変動の実態と、気候変動に伴う変調について議論することを目的として企画された。例年通称「異常気象研究会」として開催されているこの研究集会では、このテーマに直接関係する研究だけでなく、異常気象に関連した様々な研究成果について、活発な討論が行われた。

研究集会は「台風」、「季節内変動・予測」、「中高緯度」、「熱帯・モンスーン」、「長期変動・力学」の5つのセッションで構成され、26件の講演があった。以下それぞれの座長がセッションの概要を報告する。なお、講演要旨は<https://u.kyoto-u.jp/de1f5>に掲載されている。（西 憲敬・榎本 剛）

1. セッション1「台風」

榎本 剛（京大防災研）は、2013年の台風第3号 Yagi の台風予測実験についての結果を発表した。複数のモデル（AFES, JMA-GSM, NCEP GFS, ECMWF OpenIFS, NICAM）と初期値を組み合わせた予測実験（たすき掛け実験）を行い、台風予測の初期値依存性及びモデル依存性を調べた。Yagi の予測事例では、ECMWF の初期値を用いることで台風経路の予測が改善したことから、経路予測に対しては初期値依存性が大きいこと、また、台風強度（示度）についてはモデルに依存することが示された。さらに、OpenIFS の水平解像度を約125 km から約40 km にすると日本南岸の前線の再現性が向上し、これが進路に影響していたことを示唆した。

高谷祐平（気象研気候）は、夏季前半の台風活動に対するエルニーニョ現象の遅れ影響についての数値実験の結果を発表した。2016年4月を初期月とする気象庁の季節予報システム（結合モデル）を用いた予測実験によると、2016年5～7月のインド洋-北西太平洋域の不活発な対流活動、対流圏下層の高気圧性循環偏差、少ない台風発生数を予測できた。インド洋の海面水温（SST）をモデル気候値にナッジングした感度実験では、こうした循環場偏差が弱まり、台風発生数も平年程度となったことから、2016年の夏季前半の不活発な台風活動にはインド洋のSSTが寄与していたことが示された。

前田修平（気象研気候）は、台風が1951年以降で初めて北日本に4個上陸した2016年8月の循環場の特徴と形成機構について、データ解析と気象庁1か月予報モデル等を用いた数値実験に基づいて発表した。同月は、北海道の東海上の高気圧、日本の南海上の低気

*¹ Noriyuki NISHI, 福岡大学理学部。

*² Yuhei TAKAYA, 気象庁気象研究所。

*³ Yayoi HARADA, 気象庁気象研究所。

*⁴ Hiroki TOKINAGA, 京都大学防災研究所。

*⁵ Kazuto TAKEMURA, 気象庁気候情報課。

*⁶ Takafumi MIYASAKA, 東京大学先端科学技術研究センター。

*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

庄, および日本の南東海上の対流活動がともに1979年以降で最も強かった。その形成機構には, シベリア西部のブロッキングを起源とする上層中心のロスビー波束と対流活動を起源とする下層中心のロスビー波束との傾圧的な相互作用による北海道東海上の上層のリッジと地上高気圧の増幅が寄与していることを示した。出自の異なる二つのロスビー波束の傾圧的な相互作用による増幅が, 異常な循環場の形成をもたらしたことは, 興味深い。

藤原圭太(九大理)は, 雲解像モデル CReSS を用いたインド洋・南シナ海の SST 改変実験を実施し, 水蒸気コンベアベルトと台風の発達を結びつけるプロセスについて発表した。2007年台風第4号 (Man-ya) の事例についてインド洋・南シナ海の SST を仮想的に昇温・降温した数値実験を行い, 流跡線解析を行った。インド洋・南シナ海から水蒸気コンベアベルトを通り台風へ流入するパーセルは, 台風システム内へ多量の水蒸気を輸送している。このような水蒸気輸送は, 遠隔海域から台風システム内へのパーセルの流入量の増加に加え, 水蒸気コンベアベルト直下の海洋からの水蒸気供給により, 顕著になることを指摘した。台風システム内に到達した湿潤なパーセルは, インフローに捕獲され台風中心部へ運ばれ, 壁雲の上昇流において強い潜熱加熱を誘起することで台風の発達に影響を与えることを示唆した。

吉岡大秋(京大院理)は, 弱コリオリパラメータ下でのハリケーンのアンサンブル予報実験を行い, ハリケーンの発達に対するコリオリ力の影響を解析した結果について発表した。Gray (1968) の台風発生環境場の条件の一つに惑星渦度(コリオリ力)が大きいことが挙げられているように, 緯度5度以内の領域でクラス3の台風が発達することは稀であることが知られているが, 実際にはそのような事例もある。2016年1月に北緯4.4度で発生したハリケーン Pali を対象として, 大気モデル WRF を用いて, コリオリ力を現実の値, 20度北, 10度北, 10度南の値にしたアンサンブルダウンスケール実験を行った。10度南の値にした実験以外はほぼ同じ緯度帯の経路を取り, 擾乱の発達とともに CAPE が減少するのが見られた。また, 20度北, 10度北の値にした実験を比較した結果, 擾乱の強度は必ずしもコリオリ力に比例しないという結果を得た。(高谷祐平)

2. セッション2「季節内変動・予測」

本セッションでは以下の5件の研究が報告された。

原田やよい(気象研気候)は, 北半球夏季季節内振動(BSISO)と大気大気循環変動との関係について解析を行った結果, 対流活動活発域の北進が見られた後には, 対流圏のハドレー循環は南半球側のセルのみが強化されることや, 熱帯域の東西風の西風加速の出現・加速域の極向きへのシフトが両半球対称かつ明瞭であること, 成層圏準2年周期振動との関連については20 hPa 付近の東西風が強い東風偏差時に振幅の大きなBSISOの出現頻度が大きくなる傾向があることを示した。

佐藤令於奈(福岡大理)は, 季節内変動スケールでの冬季中緯度における気圧偏差と雲の関係を調査した結果, 日本付近においては両者が東進しており, かつこの東進性が強い緯度依存性を持つことを示した。また, 日本付近で両者が東進する要因としてロスビー波が偏西風成分によって流されていると考察した。500 hPa 高度と雲量の空間的位相関係を調べたところ, 日本付近では有意にトラフの東側で雲が多いことを示した。

堀田大介(気象庁数値予報課)は, 気象庁全球アンサンブル予報システムへ海面水温(SST)摂動を導入することにより, 確率予報成績が若干向上する他, 気候値分布のランダムサンプリングによって生成したSST摂動が, 赤道東部太平洋域の西進ロスビー波や中緯度海洋前線帯の中規模渦等, 海洋の力学を反映したパターンを持つことを示した。またSST摂動に対する大気の応答は, 中高緯度では対流圏下層と圏界面付近に極大を持ち, 熱帯では特定の高度で応答が出ることが多いことから, 前者では移動性擾乱, 後者では物理過程におけるパラタリゼーションを通じた応答である可能性を示唆した。

久保勇太郎(気象庁気候情報課)は, 気象庁現業1か月アンサンブル予報システム(1か月EPS)と季節アンサンブル予報システム(季節EPS)におけるマッデン・ジュリアン振動(MJO)の予測精度の検証を行った。その結果, 予報初期のMJOの位相速度は, 1か月EPSでは解析よりも早く, 季節EPSでは解析よりもやや遅い傾向があること, 予報初期から予測1か月目までのMJOの振幅は, 1か月EPSでは過小であるが, 季節EPSでは解析と同程度であることを示した。また, MJOの位相別に予測2週目の合成平均解析を行った結果, 双方のシステムは共に解析

にみられるような中・高緯度の循環場の特徴を概ね再現できていることを示した。

松枝未遠（筑波大計算科学研究センター/オクスフォード大学）は、冬季東アジア域において卓越しやすい持続パターンを5つ抽出し、それらの持続パターンが東西（南北）タイプの冬型の気圧配置、移動性高気圧（低気圧）通過卓越、暖気流入卓越という順に出現するサイクルが見られること、そのうち南北タイプの冬型の気圧配置（WPパターン）の予測精度が高いこと、MJOが活発な位相の時（特に位相3～5の時）には予測精度が良くなる傾向があることを示した。

東アジア域に見られる季節内変動が、MJOやBSISOなど熱帯の季節内振動と関連することが示され、東アジア域の季節内変動の予報精度を向上させるためには予報モデルにおける季節内振動の表現性能向上が重要な課題であると感じられた。気象庁の現業1か月EPSや季節EPSでのMJOの予測精度が予測2週目程度までであれば高いことも示されており、今後この東アジア域で見られる季節内変動のメカニズムの解明とそれに伴う予測精度の更なる改善を期待したい。（原田やよい）

3. セッション3「中高緯度」

本セッションでは、中高緯度対流圏・成層圏における大気変動に関する計6件の研究が報告された。

坂 泰志（三重大）は、2016年1月に観測された北極振動の極性反転について事例解析の結果を報告した。JRA-55再解析データと海水データの解析により、2016年1月の事例では、バレンツ・カラ海の海水融解に伴う大気への熱供給がブロッキング高気圧の形成とジェット蛇行を引き起こすことによって、北極振動を正から負へ極性反転させた可能性を指摘した。

森 正人（東大先端研）は、MIROC AGCMの40メンバーアンサンブル実験により北極海の海水変動に対する中高緯度大気への応答と内部変動の効果について講演を行った。北半球中高緯度の地上気温に対するEOF第2モードは北極域で高温偏差、中緯度ユーラシアで低温偏差となる特徴を持ち、このパターン自体は大気の内部変動として現れること、さらにバレンツ・カラ海の海水変動がこのパターンの変動を効率的に強制していることを示した。

時長宏樹（京大防災研）は、20世紀前半の北極圏温暖化についてデータ解析とAGCMを用いた数値実験の結果を報告した。20世紀前半に観測された北極圏温

暖化は人為起源及び自然起源の放射強制力だけでは十分に説明できず、太平洋・大西洋における数十年規模変動が大気循環の変調を介して重要な役割を果たしていた可能性を指摘した。

安藤雄太（三重大）は、JRA-55再解析データと線形傾圧モデルを用いて、初冬の極夜ジェットの季節進行の停滞とシベリアの寒冷化について講演を行った。極夜ジェットの停滞には、11月下旬頃に最大となる海陸熱コントラストが東シベリアのトラフを強化し、シベリア域でのロスビー波の上方伝播を急増させることが主要因であることを示した。

向川 均（京大防災研）は、2007年3月に生じた成層圏惑星規模波下方伝播イベントの予測可能性と生起要因について講演した。まず、MRI-AGCM高頻度アンサンブル予報実験結果の解析により、このイベントの予測可能期間は7日程度であり、惑星規模波の下方伝播は上部成層圏で成長する東西波数2の順圧的な定在性擾乱に起因することを明らかにした。また、順圧非発散渦度方程式を用いた線型安定性解析より、この擾乱は上部成層圏の極度に変形した極渦に伴う不安定モードとして解釈できることを報告した。

神代 剛（気象研気候）は、北太平洋夏季層状性下層雲量の経年変動について講演した。船舶からの目視観測による雲タイプ・雲量データを用いた解析により、北太平洋南東部での層積雲量の変動は700～925 hPaの温度逆転強度と有意な相関があること、およびENSOに伴う海面水温偏差との正のフィードバックが重要であることを示した。さらに北太平洋西北部での霧の雲量変動は海面から925 hPaまでの温度逆転強度と有意な相関があり、海面気圧偏差による温度移流変化が主要因であることを指摘した。

本セッションでは、北極域における海水融解の影響や対流圏・成層圏結合過程など、世界的に注目を集めている様々な中高緯度大気現象について活発な議論が行われた。近年、地球温暖化に伴う海水融解とその気候へ影響に関心が高まっている中、大気・海洋・海水変動における内部変動の重要性を改めて認識させられるセッションであった。今後更なるメカニズムの解明と予測可能性向上に関する研究に期待したい。

（時長宏樹）

4. セッション4「熱帯・モンスーン」

このセッションでは5件の講演が行われ、エルニーニョ・南方振動（ENSO）と大気循環場や日本の天候

との関連、季節内変動、北半球冬季のテレコネクションパターンの特徴などについての報告が行われた。

塩崎公大(京大院理)は、ENSOに伴う日本の冬季の天候への影響に関して、エルニーニョ現象発生時の暖冬及びラニーニャ現象発生時の寒冬からなる典型的影響と、エルニーニョ現象発生時の寒冬及びラニーニャ現象発生時の暖冬からなる非典型的な影響に分類し、合成図解析を行った結果を報告した。合成図の比較より、典型的な影響として日本付近とその北での高度偏差の南北双極子パターンが、非典型的な影響としてPNA・EUパターンがそれぞれ現れやすいことを示した。さらに、両影響下における海面水温偏差の特徴の違いとして、東部太平洋赤道域における分布や、西部太平洋における東西コントラストを挙げ、大気循環場への影響について議論した。

竹村和人(気象庁気候情報課)は、2015/2016年冬季に東アジアに寒波をもたらした大気循環場の特徴として、PNAパターンとEUパターンの統計的関係性や両者の力学的結合に関する解析結果を報告した。月別のPNA・EU指数には正の有意な相関がみられることを示した上で、ラグ合成図解析より正のPNAパターンから正のEUパターンが励起される時間発展を示した。また、このパターンの形成や維持には、準定常ロスビー波の伝播、高周波擾乱によるフィードバック効果のほか、基本場からの傾圧エネルギー変換過程が関連している可能性を示した。

小林ちあき(気象研気候)は、エルニーニョ現象の最盛期における帯状平均偏差場の特徴とその形成メカニズムについて、等温位面における質量重み付き帯状平均(MIM)に基づく循環場データを用いた解析結果を報告した。1~3月平均場での合成図解析より、エルニーニョ現象時にはハドレー循環が強まり、その南北幅が狭まる傾向を示したほか、中高緯度子午面循環の強まる傾向を傾圧不安定に伴うEliassen-Palmフラックスの収束・発散で説明できる可能性を示した。さらに、MIM系でのエネルギー収支解析より、エルニーニョ現象時には帯状平均した有効位置エネルギーと運動エネルギーは増加するものの、そこから変換される渦のエネルギーは正味で減少することを示した。

釜江陽一(筑波大生命環境)は、北西太平洋におけるAtmospheric Rivers (ARs)の気候学的特徴やその年々変動の特徴に関する解析結果を報告した。d4 PDFの実験結果、JRA-55再解析データを用いた気候平均場の解析より、ARsの頻度分布でみた中心域は、

季節進行に対応して南北にシフトすることを示した。さらに、ARsの頻度の年々変動は、北インド洋の海面水温や先行する冬のNINO3.4の海域における海面水温と相関がみられ、先行するエルニーニョ現象がインド洋キャパシター効果を通して北西太平洋のARsの頻度の増加に寄与する可能性を示した。

村田文絵(高知大理)は、100年間の雨量観測データやJRA-55再解析データを用いて、インド北東部における多雨期(以下、活発期)中の総観場の特徴についての解析結果を報告した。チェラプンジにおける降水活動の活発期を基準とした合成図解析より、対流圏下層における高気圧性循環偏差域が南シナ海付近から西に伝播し、ベンガル湾北部に達するタイミングで活発期となる傾向や、偏差の東西スケールが大きいほど大雨となりやすい傾向を示した。さらに、この循環偏差のさらなる西進は、インド中央部における対流活動にも影響を及ぼすことを示した。

2015/2016年冬季に最盛期を迎えたエルニーニョ現象をはじめ、ENSOに伴う大気循環場や天候への影響に対する社会的な関心は非常に高い。また、ENSOによる影響とそのメカニズムを理解することは、季節予報における予測精度の改善という点においても大変重要である。今後のさらなる調査研究の展開に期待したい。(竹村和人)

5. セッション5「長期変動・力学」

本セッションでは以下の5件の講演があった。

今田由紀子(気象研気候)は高解像度のMRI-AGCMを用いて温暖化が進行しなかった仮想の気候をシミュレートした実験結果を行い、過去再現実験の結果と比較することで既に進行している温暖化が過去に起こった異常気象にどの程度影響していたかを評価した。100アンサンブルメンバーの実験を解析することで、頻度の低い異常気象の変化を確率的に見積もることを可能にしている。その結果、地球温暖化は過去30年の日本の地上気温を季節によらず昇温させるように働くことを示し、一方で2000年代のラニーニャ傾向は夏~秋には日本の高温傾向を増加させるのに対し冬~春は低温傾向を増加させて夏季と冬季の季節差を拡大させるように働くことを示唆した。

岡田靖子(海洋研究開発機構)は日本での極端現象を検証するためのモデル開発とそれを用いた解析結果を紹介した。気象研領域気候モデルNHRCMを用いた過去再現実験と4℃昇温実験をそれぞれ50および90

アンサンブルメンバーを行うことで頻度分布の変化として地球温暖化の影響を評価することを可能にするとともに、バイアス補正を導入することで補正しない場合よりもモデルの気温の頻度分布の再現性を向上させることにより極端現象の検証を可能にした。その結果、4°C昇温した将来では、東京の8月の最高気温の平均は現在より5°C上昇し、40°C以上の日数は現在の猛暑日日数と同程度になることを示唆した。

安井壯一郎（気象庁気候情報課）は、これまで別々に作成されてきた海面水温と陸上気温の解析値を、同時に解析することで双方の解析値の精度を向上させる手法の開発について発表した。長期トレンド、年々変動成分、日々変動成分といった時間スケール毎に同時解析し、海面水温データの取り込みで陸上温度が影響を受け、日本で平均した陸上気温の誤差は単独での解析より同時解析の方が小さくなることを検証したのを始め、全体的な信頼性向上が見られることを示した。海面水温についても同時解析の結果の方が衛星観測に近づくなど、精度向上が見られることを示した。

吉田 聡（海洋研究開発機構）は北太平洋での低気圧活動の長期変動について再解析データに基づいて解析し、1月の爆弾低気圧活動が1987年以降急激に活発化したことを示した。そしてこの活発化が、熱帯インド洋から北西太平洋の海面水温上昇による相当温位上昇と相当温位勾配の北上によって、爆弾低気圧への水蒸気供給に有利に働いたことによりもたらされることを示唆した。これにより爆弾低気圧が非断熱加熱による急発達をしやすいようになったことを、地表気圧変化をもたらす要因に対する力学診断を行うことで示した。そして、それ以前は強い対流圏上層トラフの接近による急発達が起る傾向にあるという違いがあることも子合成図解析から示唆した。

宮坂貴文（東大先端研）は、中緯度海洋前線帯域の下部対流圏での鉛直流形成に対する非断熱加熱と乾燥力学の相対的な寄与を、準地衡オメガ方程式を用いた力学的診断により評価した。季節平均で見られる上昇流は非断熱加熱によって励起され、乾燥力学は熱的間接循環を通じて下降流を励起して上昇流を部分的に相殺するように働くことを示唆した。移動性擾乱に伴う変動成分については、移動性の低気圧の東側での上昇流を非断熱加熱、乾燥力学ともに形成しようとするが、非断熱加熱は狭い領域に非常に強い上昇流を短時間をもたらすのに対して乾燥力学は広範囲に強い上昇流を持続的にもたらすなど、特徴が異なることを示唆し

た。

本セッションでは、近年注目を集める大規模アンサンブルに基づくモデル研究、伝統的に行われてきた力学的診断に基づくデータ解析研究、そしてそれらの研究を支える歴史的観測データの精度向上研究について活発な議論が交わされた。多様な研究分野・手法が織り交ぜられたセッションであったことを反映して議論も幅広くなり、興味深いものとなった。（宮坂貴文）

略語一覧

- AFES : Atmospheric general circulation model For Earth Simulator 地球シミュレータ用大気大循環モデル
- AGCM : Atmospheric General Circulation Model 大気大循環モデル
- AO : Arctic Oscillation 北極振動
- AR : Atmospheric River 熱帯から中緯度に水蒸気を輸送する細長い領域
- BSISO : Boreal Summer Intra-Seasonal Oscillation 北半球夏季季節内振動
- CAPE : Convective Available Potential Energy 対流有効位置エネルギー
- CReSS : Cloud Resolving Storm Simulator 雲解像非静力学モデル
- d4PDF : Database for Probabilistic Description of 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
- ECMWF : European Centre for Medium-range Weather Forecasts 欧州中期予報センター
- ENSO : El Niño Southern Oscillation エルニーニョ・南方振動
- EOF : Empirical Orthogonal Function 経験的直交関数
- EPS : Ensemble Prediction System アンサンブル予報システム
- EU : Eurasia ユーラシア大陸上に現れるテレコネクションパターンの名称
- JMA-GSM : Japan Meteorological Agency-Global Spectral Model 気象庁全球大気モデル
- JRA-55 : Japanese 55-year Reanalysis 気象庁55年長期再解析
- MIM : Mass-weighted Isentropic zonal Mean 等温位面上の質量重み付き帯状平均
- MIROC : Model for Interdisciplinary Research on Climate 東京大学気候システム研究センター、国立環境研究所、海洋研究開発機構が開発を行っている気候モデル
- MJO : Madden Julian Oscillation マッデン・ジュリアン振動

- MRI-AGCM : Meteorological Research Institute
AGCM 気象研究所大気大循環モデル
- NCEP GFS : National Centers for Environmental Prediction
Global Forecast System 米国環境予測センターの現業全球大気予報モデル
- NHRCM : Nonhydrostatic Regional Climate Model
非静力学地域気候モデル
- NICAM : Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric
Model 非静力学正20面体格子大気モデル
- NINO3.4 : 北緯 5 度～南緯 5 度, 西経170度～120度の海
域でエルニーニョ監視海域の一つ
- OpenIFS : Open Integrated Forecasting System
ECMWF の現業全球大気予報モデルのコミュニティ版
- PNA : Pacific North-America 北太平洋上に現れるテ
レコネクションパターンの名称
- SST : Sea Surface Temperature 海面水温
- WP : Western Pacific 北西太平洋に現れるテレコネク
ションパターンの名称
- WRF : Weather Research and Forecasting Model 米国
を中心としたコミュニティで開発されている非静力学領
域大気モデル

参 考 文 献

- Gray, W. M., 1968 : Global view of the origin of tropical
disturbances and storms. Mon. Wea. Rev., 96, 669-700.