

研究集会「異常気象と気候システム変動のメカニズムと 予測可能性」の報告

榎本 剛*1・水田 亮*2・森 正人*3・宮坂 貴文*4
遠藤 洋和*5・松枝 未遠*6

標記研究集会は、2013年10月21～22日に開催された。この研究集会は、毎年宇治で開催されてきた「異常気象研究会」の第10回目、前年度に引き続きTHORPEX 研究連絡会研究集会との共催とした。2013年も猛暑や台風に見舞われ、天候が社会に大きな影響を与えた。天候の中期予測やその将来変化は、国民の重要な関心事のひとつとなっている。本研究集会は、その基礎となる気候システム変動のメカニズムの理解を深め、予測技術の向上に活かすことを目的として開催され、70名超の全国の大学・研究機関や気象庁、民間気象会社等に所属する関係者が研究発表と活発な討論を行った。

研究発表に先だて、立花義裕教授（三重大生物資源）が研究集会の趣旨を説明した。その中で、本研究集会が立花教授を研究代表者として、京都大学防災研究所の一般共同研究集会に応募したが不採択であったという経緯を説明するとともに、不採択にも関わらず、多くの参加者を集めたことは、参加者の異常気象のメカニズムと予測可能性研究を進展させようという熱意の強さを示すものと述べ、最新の研究内容とそれについての活発な討論への期待を表明した。

以下5つのセッションの座長がセッションの概要を報告する。
(榎本 剛)

1. セッション1「成層圏」

野口峻佑（京大防災研）は、2009年1月の波数2型の成層圏突然昇温についてのアンサンブル予報実験についての結果を発表した。予報開始日を1日ずつずらした予報実験を行い、予報成績が急激に変化した前後の循環場の様子から予測可能性に影響を及ぼす要因を調べた。これまで調べられてきた波数1型昇温ではブロッキングの持続が決定的な要因であったが、この突然昇温については、対流圏から伝播してきた波が成層圏で吸収されるか反射されるかということも重要ではないかと指摘した。

江口菜穂（九大応力研）は、突然昇温時の熱帯対流圏界面遷移層（TTL）内部の様子を非静力学全球モデルで調べた結果を紹介した。突然昇温に伴って熱帯下部成層圏で上昇流が強まると、それと相関して南半球の積雲対流の活発化が見られた。上昇流はTTL上部では気温の低下とバランスしながら徐々に下方伝播するが、TTL下部に達すると非断熱加熱を含んだより対流圏的な熱力学バランスに変わっていた。

大羽田剛史（九大理）は、高さ90 kmまで観測可能な衛星 Aura EOS/MLS の温度データから風の場を求め、上部成層圏から中間圏の半年振動（SAO）を解析した結果を報告した。成層圏界面付近のSAOと中部中間圏のSAOは北半球で逆位相になっているが、成層圏突然昇温が起こった年にはそれが両方の振幅を強める方向に働くことを示した。

小寺邦彦（名大太陽地球環境研）は、2012年12月の

*1 (連絡責任著者) Takeshi ENOMOTO, 京都大学防災研究所. eno@dpac.dpri.kyoto-u.ac.jp

*2 Ryo MIZUTA, 気象庁気象研究所.

*3 Masato MORI, 東京大学大気海洋研究所.

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

*5 Hirokazu ENDO, 気象庁気象研究所.

*6 Mio MATSUEDA, 英国・オックスフォード大学.

韓国や東欧での寒波と成層圏の関連性について調べた結果を紹介した。西太平洋のブロッキングからプラネタリー波が上方に伝播し、成層圏で反射してその後のロシアでのブロッキングの形成につながっている様子を示した。(水田 亮)

2. セッション2「気候システム」

このセッションでは、近年発生した異常気象のメカニズムやそれに対する地球温暖化の寄与、気候形成における海洋前線帯の役割に関する研究など5件が報告された。

成層圏突然昇温による極渦弱化的シグナルが対流圏まで伝わり、対流圏では負の北極振動(AO)が持続する現象が近年注目を集めているが、今田由紀子(東大大気海洋研)は、エルニーニョが発生していた2010年の1月に生じたイベントについて大気大循環モデル(AGCM)を用いた再現実験を多数のアンサンブルメンバーで行い、突然昇温に引き続く負のAOの発現を何が左右しているのかを調べた。その結果、対流圏で波数1の波が卓越する場合には、成層圏での極渦弱化的シグナルが、対流圏へ伝わる傾向があることを示した。また、温暖化の影響を境界条件から除いた実験との比較から、地球温暖化がこの時の負のAOの発生確率の増加に寄与していた可能性も示された。

熱帯の海面水温(SST)偏差が中高緯度大気の変動の大きな強制源になっているのに対し、中高緯度のSST偏差はむしろ大気によって強制される傾向にあることが知られているが、岡島 悟(東大先端研)は、2011年の夏から秋に太平洋中緯度域で顕著であった暖水偏差に注目し、AGCMを用いてこのSST偏差に対する大気応答の季節性を調べた。その結果、10月においてモデルは観測によく似た応答を示し、海面熱フラックス偏差とSST偏差から、大気が暖水偏差によって強制されていることを示した。

小川史明(東大先端研)は、成層圏オゾン減少に伴う南半球対流圏の西風トレンド(南半球環状モードの正位相に射影)に対する中緯度海洋前線帯の役割を、AGCMの水惑星実験を用いて調べた。海洋前線帯が有る場合とそれを平滑化した場合の2種類のSSTに対して、それぞれ成層圏オゾン濃度が高い場合と低い場合の2通りの実験を行うことで、オゾン減少に対する対流圏の応答を海洋前線帯の有無と比較した。その結果、海洋前線帯が有ると、オゾン減少に対する成層圏極渦強化の応答が地表まで及び、対流圏でそれは環状

モードの正位相に射影することが示された(海洋前線帯を平滑化した場合にはそのような応答は現れない)。その理由として、対流圏での擾乱(前線帯が有ると活発化)による西風加速の違いなどを挙げ、20世紀終盤に観測された成層圏オゾンと関連した気候トレンドが中緯度海洋前線帯によって強化されていた可能性を指摘した。

西井和晃(東大先端研)は、CMIP3及びCMIP5の気候モデルによる20世紀再現実験の結果を用いて、南半球夏季の気候平均場ならびにトレンドに対する中緯度海洋前線帯の影響を調べた。その結果、海洋前線の緯度が高いモデルほど、西風、降水、ストームトラック活動の極大緯度が高い傾向にあることを示した。また、成層圏気温低下トレンドが有意でかつ海洋前線の強さが十分大きなモデルにおいて、西風トレンドの最大緯度は海洋前線の緯度と相関を持つことを示し、(直前の小川の発表を受けて)水惑星モデルだけでなく気候モデルにおいても、気候平均場やトレンドの形成に対して海洋前線帯が重要だと指摘した。

ERA-Interimの解析に用いられているSSTが2002年以降、高解像度化したことを踏まえ、升永竜介(東大先端研)は、冬季の黒潮親潮続流域におけるSSTのメソ構造が境界層の鉛直構造や雲量、降水にどのような影響を与えるかを2002年以前と以降の平均場を比較することで調べた。SSTの高解像度期にはSSTのメソ構造に応じた仮温位、雲量、降水のメソ構造が見られるが、低解像度期にはそのような構造が見られないことから、SSTのメソ構造が雲量や降水などに影響を与えていることを指摘した。

近年観測された異常天候や、データの蓄積から明らかになってきた気候トレンドの理解は、科学的な興味はもちろん、一般社会からの疑問に答えるという意味でも重要であろう。今後のさらなる発展に期待したいと感じた。(森 正人)

3. セッション3「冬季循環」

このセッションでは7件の講演が行われ、2012/2013年の寒冬の解析、地球温暖化に伴う日本付近の循環場変化予測、寒気流出および寒気質量の気候学、NAOとENSOの関連などについての報告がなされた。

このセッションは前田修平(気象庁気候情報課)の「地球温暖化による海洋大陸での上昇流弱化的日本付近の循環場への影響(冬)」についての講演から始

まった。CMIPモデルの結果と線形傾圧モデル(LBM)による実験に基づき、地球温暖化に伴う対流活動の変化と大気成層の変化を比較すると、後者の寄与が勝ることによって日本付近のトラフが弱化する予測となることを示した。安定度の将来変化とウォーカー循環の将来変化は関連してCMIPモデル内では起きているのに対し、LBMでは安定度だけを変えるなど切り分けた実験を行ったりしている点について会場から質問があり、それに対してより進んだ実験設定を示唆する回答があり、非常に興味をかき立てられるものであった。

続いて2012/2013年の寒冬に関する発表が3件続いた。吉田健二(気象庁気候情報課)が「2012/2013年冬の気候循環場の特徴」について講演し、この年の冬に負のAOと成層圏突然昇温が起きたこと、そして対流圏から成層圏への東西波数1および2のプラネタリー波の上方伝播がそれぞれ12月の後半と1月に卓越し、後者の波束は負のAOの維持に寄与していた可能性に言及した。安藤裕太(三重大生物資源)は「2012/13年の寒冬とAO・WPパターン・日本周辺の海面水温との関係」について講演し、AOおよびWPインデックスが負であったにもかかわらず日本がそれほど寒くなかったのは、日本周辺の海面水温偏差の影響であることを重回帰解析に基づき論じた。日本海における10月前半の暖水偏差、12月前半の冷水偏差がそれぞれの期間の日本の気温偏差に寄与していたとする発表に対し、会場から10月の暖水偏差に対する9月の異常高温の寄与についてコメントがなされた。気象庁・気候情報課の南 敦氏は「負のAO時における予測精度」について過去30年の気象庁1か月アンサンブル予報システムおよび同じモデルによるハインドキャストデータに基づいて調査し、AO指数をもとにAO負位相、正位相、平常と区分して予報精度を比較した場合にはAO負位相の事例で特に予報精度が高いと報告した。AOが負であった2013年3月の事例解析では、周期10日以下の擾乱による渦度フラックスの予測精度が良いことがAO予報精度が良かった要因の一つであると論じた。正位相と負位相で予測精度が変わる点や予測初期値段階でのAO指数の依存性などについて会場から質問がなされ、今後の発展に注目したい研究である。

中村 哲(極地研/北大地球環境)による「CMIP3マルチモデル・アンサンブルで再現されたNAOとENSO/WPの関係性および、ユーラシア大

陸の積雪偏差がモデルの再現性に与える影響」の講演ではENSOの次の冬にNAOが現れ、その後ENSOが現れる関係についてCMIP3モデルおよびLBMに基づく結果が紹介された。NAO時に見られるヨーロッパ域の積雪偏差が観測に似ているモデルほどNAO-ENSOの関係性が観測に近く、NAOの後にENSOとなることが示された。ヨーロッパ域に低温強制を与えたLBMにおいて観測に似たプラネタリー波が再現され、東南アジアの寒気移流の強化および赤道での西風偏差がもたらされることを示し、NAOからENSOへの影響について考察した。

このセッションの最後2件は寒気流出および寒気質量に関する発表であった。庄司貴成(東北大理)は「温位座標を用いた冬季東アジアにおける寒気流出過程の時間発展」について、個々の寒気流出イベントをとらえるために日平均データに基づく解析を行い、東西平均した寒気の南下のうち約60%が東アジア域で起こっていること、寒気流出は10日程度の時間スケールの現象であることを紹介した。菅野湧貴(東北大理)は「特定温位面以下の寒気質量の南北半球間の比較」について東西平均寒気の描像を明らかにし、寒気質量は北半球が南半球の1.5倍あること、それをもたらすのは寒気の消滅時間ではなく滞留時間の違いであることを示した。滞留時間の違いは、南半球では生成域のすぐ極側に消滅域があるのに対し、北半球では大陸上が生成域で山岳が障壁となっている点にあると考察したが、そうした解釈がプラネタリー波に起因する寒気フラックスを想定したものであると会場からコメントがなされた。移動性擾乱による寒気質量フラックスの寄与を評価した続報を聞けることを期待したい。

(宮坂貴文)

4. セッション4「夏季循環」

このセッションでは、2013年猛暑の事例解析や日本周辺の気象現象および気候変動など7件の研究が発表された。

釜江洋一(環境研)は、夏季東アジアにおける海陸熱的コントラストと大気循環の将来変化について発表した。観測とCMIP5の温暖化実験はともに、夏季東アジアの海陸熱的コントラストが増加するトレンドを示す。これに伴い、ユーラシア大陸では低気圧偏差、北太平洋では高気圧偏差が対流圏全体で卓越し、北日本では北東風偏差となる。大気モデルによる海面水温効果とCO₂効果を分離した実験から、CO₂効果がこの

海陸熱コントラスト形成に重要であることを示した。

大野浩史（気象庁気候情報課）は、2013年夏の日本の極端な天候に関する大気循環場の特徴について発表した。8月の顕著な高温時は、チベット高気圧と太平洋高気圧の日本付近への張り出しが強かったこと、太平洋高気圧に沿って大陸から暖気が流入したこと、北寄りの風が卓越したため太平洋側では海風が入りにくかったこと、等の要因が重なり気温が上昇したことを示した。また、東北地方と日本海側の大雨の要因として、日本付近の海面気圧の南北傾度が大きく暖湿気が流入しやすい環境場であったことを指摘した。

齋藤仁美（気象庁気候情報課）は、2013年夏のアジアモンスーン活動と大気循環場の特徴について報告した。チベット高気圧と太平洋高気圧が強化された要因として、対流活動が海洋大陸付近およびインド亜大陸～南シナ海付近で平年よりかなり活発だったことを挙げた。海洋大陸付近の対流活動はラニーニャ的な海面水温分布、インド亜大陸～南シナ海付近の対流活動は北インド洋～ユーラシア大陸間の大きな熱的コントラストに影響された可能性を指摘した。

平田英隆（九大理）は、台風の遠隔影響と北半球夏季の熱帯季節内変動との関係について発表した。7月の統計解析によれば、台風の遠隔影響が梅雨前線の活動へ与える影響は台風の経路によって異なる。すなわち、海南島付近を通過する経路（海南コース）では、中部日本の日本海側への水蒸気流入が強まる。沖縄付近を通過する経路（沖縄コース）では、西日本への水蒸気流入が強まる。これら台風経路の違いには、熱帯季節内変動の位相が大きく寄与することを示した。

工藤督右（九大理）は、台風のロスビー波応答による水蒸気の長距離輸送について、水平2次元同位体循環モデルを用いた調査結果を報告した。沖縄コースの場合、気候平均場と台風熱源のロスビー波応答が重なることにより、インド洋や南シナ海など遠方の水蒸気が台風近傍へ流入して台風の維持に寄与することを示した。

堀之内 武（北大地球環境）は、夏季東アジア・太平洋域のロスビー砕波と水蒸気輸送・降水について発表した。再解析データの解析によれば、夏季東アジア・太平洋の対流圏上層の非定常なロスビー波は下層の風を誘起する。これにより水蒸気が輸送され、2次元循環が引き起こされて降水が強化されることを示した。

山崎 哲（海洋研究開発機構地球シミュレータセンター）は、2010年7月のロシアブロッキングにおける

高周波擾乱の寄与について発表した。再解析データの等温位面の流跡線解析から、彼らがこれまで提唱してきた移動性高気圧の選択的吸収メカニズム（SAM）がこの事例についても適用可能であることを示した。大気モデルによるアンサンブル予報実験の解析から、ブロッキング持続に対して移動性擾乱が1/2～1/3程度寄与したことを示した。

本セッションでは、日本の天候変動に密接に関わる現象を対象とした研究が多く見られた。温暖化の進行に伴い、特に夏季は猛暑や豪雨などの極端現象が毎年のように身近で起きつつあり、マスコミの取材・報道も増えている。これら現象の変動機構の理解の必要性は増すばかりである。今後のさらなる研究の進展を期待したい。（遠藤洋和）

5. セッション5「データ同化」

三好建正（理研計算機構）は、高精細シミュレーションと今後利用可能になる膨大な高精細観測データを利用した「ビックデータ同化」による、ゲリラ豪雨予測の構想（30秒ごとに更新される30分予報）について話した。この研究は、戦略的創造研究推進事業（CREST）のもと京コンピュータを用いて行われる予定であり、今後の展開が非常に楽しみである。

近藤圭一（筑波大博士課程）は、二重局所化（Dual-Localization）法を提案し、LETKFに適用した。Dual-Localization法では、高波数成分と低波数成分に分けて解析を行うため、少ないアンサンブル・メンバ数で、観測の影響範囲を広げつつ、格子点近傍の現象を詳細に捕捉することが可能となる。簡易大気モデル SPEEDY による実験では、全変数についてほぼすべての領域で大幅に解析誤差が改善された。ただし、通常の LETKF の3倍の計算コストが必要になる。

大塚成徳（理研計算機構）は、ベイズ推定を用いた動的マルチモデル EnKF 実験について話した。マルチモデル・アンサンブルにおける各モデルへの重みを、ベイズ推定と EnKF により動的に推定しようという試みで、Lorenz 96モデルを用いた実験により、従来の均一の重み付けよりも有効な方法であることを示した。

太田洋一郎（気象庁数値予報課）は、気象庁数値予報課で現在行われている4次元変分法と LETKF によるハイブリッドデータ全球同化システムの開発の状況について紹介した。ハイブリッドデータ同化システ

ムの導入により、南半球を中心に予報精度の改善が見られる一方、局所化の方法、計算コストとの精度の兼ね合い、背景誤差の重みの最適化等の課題もまだ残されている。

原田やよい（気象庁気候情報課）は、2013年10月に公開開始された気象庁55年長期再解析データ（JRA-55）の初期解析結果について紹介した。従来のJRA-25で見られた下部成層圏の低温バイアスが解消されるなど、JRA-25よりも品質の高いプロダクトであることが示された。また、2014年度に完成・公開予定である衛星データを全く使わずに作る再解析データJRA55-CやAMIP実験データJRA-55AMIPについても最後に簡単に紹介された。（松枝未遠）

略語一覧

AGCM：Atmospheric General Circulation Model 大気大循環モデル
 AMIP：Atmospheric Model Intercomparison Project 大気モデル相互比較プロジェクト
 AO：Arctic Oscillation 北極振動
 Aura EOS/MLS：Aura Earth Observing System/Microwave Limb Sounder Aura 地球観測システムマイクロ波縁辺サウンダ
 CMIP3, CMIP5：Coupled Model Intercomparison Proj-

ect phase 3, 5 第3, 5次結合モデル相互比較プロジェクト

ECMWF：European Centre for Medium-range Weather Forecasts 欧州中期予報センター

EnKF：Ensemble Kalman Filter アンサンブル・カルマンフィルタ

ENSO：El Niño-Southern Oscillation エルニーニョ・南方振動

ERA-Interim：ECWMF ReAnalysis ECMWF 暫定再解析

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

LBM：Linear Baroclinic Model 線型傾圧モデル

LETKF：Local Ensemble Transform Kalman Filter 局所アンサンブル変換カルマンフィルタ

NAO：North Atlantic Oscillation 北大西洋振動

PNA：Pacific-North America 太平洋-北米（パターン）

SAM：Selective Absorption Mechanism 選択的吸収メカニズム

SAO：Semi-Annual Oscillation 半年周期振動

SST：Sea-Surface Temperature 海面水温

TTL：Tropical Tropopause Layer 熱帯対流圏界面遷移層

WP：Western Pacific 西太平洋（パターン）