

研究会「長期予報と大気大循環」の報告

成層圏-対流圏-雪氷の相互作用と予測可能性

2016年12月9日に、長期予報研究連絡会が主催する研究会「長期予報と大気大循環」を気象庁にて開催した。今回は、“成層圏-対流圏-雪氷の相互作用と予測可能性”というテーマで、11題の研究結果が発表された。本文では各発表の概略を紹介する。なお、発表要旨は後ろに付ける。

研究会の前半は、成層圏と対流圏の相互作用と予測可能性に関する6題の発表が行われた。

はじめに、向川氏は、2007年3月に生じた下層成層圏における惑星規模波の下方伝播の力学と予測可能性を明らかにするため、大気大循環モデルを用いたアンサンブル予報実験結果のラグ相関解析及び、非発散順圧過度方程式を用いた力学的安定性解析を実施した。その結果、上部成層圏極渦の順圧不安定が惑星規模波の下方伝播を誘起し、その予測可能性を制限したことを指摘した。

続いて、小寺氏は、2012年12月のユーラシア大陸の寒波について解析し、顕著な低温を引き起こしたブロッキングの発生には成層圏からのプラネタリー波の反射（あるいは下方伝播）が関連していたことを指摘した。

野口氏は、極夜ジェット振動 (Polar-night Jet Oscillation : PJO) の予測可能性と対流圏への下方影響について議論した。アンサンブル予報データを用いた調査によると、成層圏突然昇温または極渦強化により PJO が卓越したときは、対流圏循環の予報誤差の成長が抑制されることを指摘した。

竹村氏は、エルニーニョ現象発生年での合成図解析から、エルニーニョ現象時の寒候期後半には、対流圏上層から成層圏へのプラネタリー波の鉛直伝播により成層圏で負の北半球環状モード (Northern Annular Mode : NAM) が誘起され、地衡流調節に伴う対流圏界面高度の下降及び対流圏における渦管の圧縮を通して、負の北極振動 (Arctic Oscillation : AO) に寄

与する統計的関係が見られることを指摘した。

齊藤氏は、気象庁季節予測システムにおける北大西洋振動 (North Atlantic Oscillation : NAO) の予測精度と潜在的予測可能性に関する調査から、冬後半から春先にかけて成層圏に予測可能性の高い領域が存在し、同時期に対流圏でも予測可能性が高くなることを指摘した。

前半の最後に田口氏は、気象庁季節予報ハインドキャスト実験データにおける北半球冬季成層圏の予報の特徴と対流圏との関連を検討した。成層圏極渦が弱化する場合に成層圏の予測スキルが上がるとともに、対流圏 NAM 指数の予報も良い傾向になることを指摘した。

後半には、北極域の海水減少が対流圏及び成層圏の大気循環に及ぼす影響や、成層圏と熱帯の対流活動との相互作用に関わる研究が5題発表された。

はじめに、森氏は、大気大循環モデルを用いた大規模アンサンブル実験を用いて、北極海の海水減少と北極域で高温、ユーラシア大陸から東アジアで低温となる偏差パターン (Warm Arctic and Cold Eurasia : WACE) の統計関係を示した。影響の大きさに関しては、大気の内変動成分が強いことから大きくないものの、モデルの不完全性による過小評価の可能性もあると考察され、影響評価については課題があることも指摘した。

続いて、中村氏は、北極域の海水減少による乱流熱フラックス増加により生じた気候学的惑星波変調が成層圏の極渦を弱め、対流圏で負の AO 的な偏差パターンをもたらすことを示した。このときモデルの成層圏力学を人為的に弱めた場合に、対流圏の負の AO 的な応答が弱くなったことから、成層圏の力学過程が対流圏の循環にとって重要であることを指摘した。

猪上氏は、2017年から2年計画で始まる極域予測年 (Year Of Polar Prediction : YOPP) について、特に、船舶および地上観測の実施、並びに極端気象予測や海水予測における観測データの影響評価等、極域予

測可能性研究の現状と展望を紹介し、予報インパクト実験のほか極域の様々な現象のプロセス解明が進むことへの期待が示された。

原田氏は、北半球夏季季節内振動 (Boreal Summer IntraSeasonal Oscillation: BSISO) 卓越時に見られる対流圏から成層圏にかけての大気大循環場について調査し、BSISOの振幅が顕著な時には、BSISOの特定の位相において成層圏や対流圏に特徴的な循環場偏差が現れることや、成層圏準二年周期振動 (Quasi-Biennial Oscillation: QBO) の特定の位相において、BSISOの顕著な振幅の出現頻度が非常に大きくなることを指摘した。

最後に西本氏が、南半球夏季 (DJF) におけるマッデン・ジュリアン振動 (Madden Julian Oscillation: MJO) の活動度とQBOとの間には有意な相関関係があり、QBOの位相によってMJOの予測精度が異なることを指摘した先行研究を紹介した。さらに、DJFに50 hPaで東風位相のときには、より活発な積雲活動が起こりやすく、このとき、積雲直上の気温は低く、より背の高い対流が発生しやすい状態となっていることを詳細なデータ解析により示した。

会場となった気象庁3023会議室には、大学や研究機関の研究者や学生、気象予報士及び気象庁関係者など約60名が集まり、盛会のうちに今回の研究会を終えることができ、発表者および参加者の方々には深く感謝する。今回の会合では成層圏-対流圏-雪氷の相互作用という近年急速に研究が進展している分野をテーマにしたため、興味深い多くの話題提供と活発な議論が行われ、大変充実した研究会となった。今後の数値予報モデルの更なる高度化、大気・海洋の長期間にわたるデータセットの整備や、観測強化プロジェクトの推進により、ますます複数のシステム間の相互作用に関する研究が進み、ひいては予測精度の向上につながることを期待したい。

なお、今回の講演の拡張要旨については、本会のホームページ (<http://www.metsoc.jp/about/research-groups/longforc>) に掲載する予定なので、合わせてご覧いただければ幸いである。

(事務局担当 平井雅之, 萱場互起, 後藤敦史:
気象庁気候情報課)

【発表題目および事前提出された概要】

1. 成層圏循環の力学的安定性と予測可能性変動 ～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事例解析～

向川 均 (京都大学防災研究所)
野口峻佑 (気象研究所気候研究部)
黒田友二 (気象研究所気候研究部)
水田 亮 (気象研究所気候研究部)

小寺邦彦 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

2007年3月に生じた下層成層圏における惑星規模波の下方伝播イベントの予測可能性と力学を大気大循環モデルを用いたアンサンブル予報実験、および、非発散順圧渦度方程式に基づく力学的安定性解析により吟味した。まず、アンサンブル予報実験結果の解析から、下方伝播の予測可能期間は7日程度で、上部成層圏極域に存在する定在的な惑星規模擾乱が下方伝播と有意に関連することが示された。また、この擾乱は上部成層圏高度場のアンサンブルスプレッド第1 EOFに相当し、そのスプレッド成長率は下方伝播直前に最大となる。次に、非発散順圧渦度方程式を用いてアンサンブル平均予測場の力学的安定性を解析した結果、得られた第1不安定モードは、上記の擾乱と良く似た水平構造を持ち、その成長率は、スプレッド成長率と同じく、下方伝播直前に0.8 (1/day) と非常に大きな値を持つことが示された。以上より、2007年3月に生じた惑星規模波下方伝播は、その直前の変形した上部成層圏極渦の順圧不安定により誘起されたと解釈できる。

2. 2012年12月のユーラシアの寒波と成層圏プラネタリー波の下方伝播

小寺邦彦 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)
向川 均 (京都大学防災研究所)

2012年12月のユーラシア各地域は、前年の冬に引き続き、ブロッキング現象にともなう寒波の吹き出しにみまわれた。このブロッキングの発生には成層圏からのプラネタリー波の反射、ならびに下方伝播が関連していた。また、興味深いことに、対流圏から成層圏へ上方伝播したプラネタリー波の主成分は波数2であるが、引き続き対流圏への下方伝播では波数1が卓越した。従って、この下方伝播は、単なる波の反射ではなく、上部成層圏での非線形効果の介在によって生じたことが示唆される。

3. 極夜ジェット振動の予測可能性と対流圏への下方影響

野口峻佑 (気象研究所気候研究部)

向川 均 (京都大学防災研究所)

冬季成層圏循環の予測可能性の概観とその対流圏への下方影響を、極夜ジェット振動 (PJO) として知られる長周期変動の観点から記述することを試みた。講演では、気象庁の1か月アンサンブル予報データを用いて、成層圏における極端変動 (成層圏突然昇温、極渦強化) 時の予報のばらつきや偏差の対流圏への伝播が、どのように表現されるのかを紹介する。特に、PJO 卓越時における対流圏循環の予報誤差の成長抑制を強調する。また、近年利用可能になってきた大規模アンサンブルデータを用いることで、このような観点に基づく先見情報を、どの程度精緻化できるのかについて議論したい。

4. 寒候期後半におけるエルニーニョ現象に伴う東西波数1成分の卓越と負の北極振動

竹村和人 (気象庁気候情報課)

前田修平 (気象研究所気候研究部)

晩冬～早春の期間におけるエルニーニョ現象の発生と負の北極振動 (AO) の統計的關係について、成層圏-対流圏相互作用に着目した解析を行った。エルニーニョ現象発生年での合成図解析より、対流圏上層の中緯度域では東西波数1のパターンが卓越しやすく、成層圏高緯度域へのプラネタリー波の鉛直伝播が強まる傾向がみられた。さらに、これと関連した成層圏における負の北半球環状モード (NAM) は、地衡流調節に伴う対流圏界面高度の下降および対流圏における渦管の圧縮を通して、負の AO に寄与する傾向がみられた。合成図にみられた成層圏から対流圏への下方影響は、Ambaum and Hoskins (2002) の理論に基づいた定量的な見積もりとオーダー的に一致していた。

5. 気象庁季節予測システムにおける NAO の予測可能性

齊藤直彬 (気象研究所気候研究部)

前田修平 (気象研究所気候研究部)

仲江川敏之 (気象研究所気候研究部)

高谷祐平 (気象研究所気候研究部)

今田由紀子 (気象研究所気候研究部)

松川知紘 (気象庁気候情報課)

気象庁季節予測システムにおける北大西洋振動 (NAO) の予測可能性について、成層圏との関連に注目して解析を行った。まず、NAO Index の潜在的予測可能性の指標 R の平方根 \sqrt{R} と予報成績であるアノマリー相関係数 (Anomaly Correlation Coefficient: ACC) は、ともに冬後半から春先にかけて高くなることが分かった。次にこの NAO の予測可能性の季節依存性について、帯状平均場の予測可能性の観点から調べた。等圧面高度 Z の帯状平均場の \sqrt{R} と ACC の時間-鉛直構造から、冬後半から春先にかけて成層圏に予測可能性の高い領域が存在し、同時期に対流圏にも予測可能な領域が存在することが分かった。さらに、他の物理量の帯状平均場についても同様の解析を行い、予測可能なシグナルが成層圏から対流圏に降下する過程について、Ambaum and Hoskins (2002) の理論に基づく定量的な評価を試みた。

6. 気象庁季節予報ハインドキャスト実験における北半球冬季成層圏予報と対流圏への影響

田口正和 (愛知教育大学地学領域)

本研究では、気象庁季節予報ハインドキャスト実験データにおける北半球冬季成層圏の予報の特徴と対流圏との関連を検討する。冬季 (DJF) 平均の北半球環状モード (NAM) 指数を用いた検証は、特に極渦が弱化する場合に関連して、成層圏で有意な予報スキルを示す。このスキルは、冬季の惑星波強制的強弱とともに、晩秋における成層圏循環の前駆シグナルに関連する可能性がある。さらに、成層圏極渦弱体化がよく予報されるときは、対流圏 NAM 指数の予報も良い傾向にある。

7. 北極海の水氷減少が冬季中緯度大気循環へ与える影響

森 正人 (東京大学先端科学技術研究センター)

渡部雅浩 (東京大学大気海洋研究所)

中村 尚 (東京大学先端科学技術研究センター)

木本昌秀 (東京大学大気海洋研究所)

近年、北極海の水氷の減少が著しい。それと同期するように、ユーラシア大陸から東アジアにかけて寒冬が頻発しており、水氷減少に対する大気応答の影響が指摘されている。しかしながら、その影響の有無やメカニズムについて国際的に議論が続いている状況である。本発表では、大気大循環モデルを用いた大規模アンサンブル実験からこの問題にアプローチする。

8. 極海水減少に伴う極域温暖化増幅と成層圏過程の役割

中村 哲 (北海道大学地球環境科学研究科)

近年の北極域の温暖化加速 (極域増幅) とそれに伴う中緯度帯での寒冷な冬の増加に関して、北極海の海水面積減少の影響を調べた。再解析データ分析および大気大循環モデルによるシミュレーションから、北極海での乱流熱フラックス増加により生じた気候学的惑星波変調が成層圏の極渦を弱め、対流圏で負の北極振動的な偏差パターンをもたらす事がわかった。モデルの成層圏力学を人為的に弱めた結果、対流圏の北極振動的応答は非常に弱くなった。この事は中緯度の気象や気候の季節内から10年規模の時間スケールでの予測精度を向上させるためには北極域の境界条件と成層圏過程の現実的な表現が必須であることを意味している。

9. 極域予測年 (YOPP) における観測と予測可能性研究

猪上 淳

(国立極地研究所国際北極環境研究センター)

2017年から2年計画で始まる極域予測年 (YOPP) について、特に、船舶および地上観測の実施、並びに極端気象予測や海水予測における観測データの影響評価等、観測データを共通項とした日本の極域予測可能性研究の現状と展望を紹介する。

10. 北半球夏季季節内振動と大気大循環変動との関係

原田やよい (気象研究所気候研究部)

北半球夏季季節内振動 (BSISO) は、インド洋から西部太平洋にかけての広範囲にわたる対流活動活発域が30-90日の周期で北進する現象である。BSISO卓越時に見られる対流圏から成層圏にかけての大気大循環場との関係について、気象庁55年長期再解析 (JRA-55) を用いて統計調査を行い、いくつかの興味深い特徴が明らかになった。その概要について報告すると共に、成層圏-対流圏の相互作用について議論を行いたい。

11. 成層圏準二年周期振動が熱帯積雲におよぼす影響について

西本絵梨子 (京都大学大学院理学研究科)

余田成男 (京都大学大学院理学研究科)

南半球夏季におけるマッデン・ジュリアン振動 (MJO) の振幅と成層圏準二年周期振動 (QBO) との間に有意な相関関係があり (Yoo and Son 2016)、また、MJO の予測精度が QBO の位相によって異なる (Marshall *et al.* 2016) ことが近年示されている。本研究では、QBO と南半球夏季における熱帯積雲との関係について、様々な観測データ、再解析データを用いた詳細な解析を行なう。まず、MJO に着目した日平均合成解析により、50 hPa 東風位相のときには西風位相のときに比べて、MJO に伴う積雲活動の強さは統計的に有意に強くなり、東進速度も遅く、持続時間も長いことがわかった。この MJO 活動度の QBO 位相による統計的に有意な差は、対流圏における水平風の収束・発散、鉛直流、比湿、降水量においても確認できた。つぎに、熱帯域において一日で最も対流活動が強くなる場所に着目した合成解析を行なうと、対流活動活発域における対流圏界面付近の気温と安定度は、東風位相のときには西風位相のときよりも統計的に有意に低くなることがわかった。また、対流活動活発域を中心とした経度高度断面は、MJO とそれに伴う赤道波と類似した構造を示していた。このことから、成層圏 QBO の対流圏への下方影響において、湿潤対流のマルチ・スケール相互作用が重要であることが示唆される。

参考文献

- Ambaum, M. H. P. and B. J. Hoskins, 2002: The NAO troposphere-stratosphere connection. *J. Climate*, 15, 1969-1978.
- Marshall, A. G., H. H. Hendon, S.-W. Son and Y. Lim, 2016: Impact of the quasi-biennial oscillation on predictability of the Madden-Julian oscillation. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-016-3392-0.
- Yoo, C. and S.-W. Son, 2016: Modulation of the boreal wintertime Madden-Julian oscillation by the stratospheric quasi-biennial oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 43, 1392-1398, doi:10.1002/2016GL067762.