

成層圏-対流圏結合系における極端気象変動の現在・過去・未来

Extreme Weather Variations in the Stratosphere

-Troposphere Coupled System: Past, Present and Future

課題番号：24224011

余田 成男 (YODEN SHIGEO)

京都大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要

成層圏突然昇温現象に代表される成層圏-対流圏結合系の極端気象を研究対象とし、現象の記述と力学過程の理解から最先端モデルによる予測まで総合的に研究を推進し、内部変動と外部変化に対する応答の力学的関連性を総合的に理解することを研究目的とする。現在および古気候の再現実験に基づくモデル検証・改良を踏まえて、未来気候予測に対する影響評価を行う。

研究分野：地球惑星科学

キーワード：気象、気候

1. 研究開始当初の背景

冬季周極渦が数日以内に大きく変形し崩壊に至る成層圏突然昇温現象は、典型的な成層圏-対流圏結合系の極端気象である。基本的に地球規模の自然内部変動であるが、強非線型な力学的現象なので、その出現予測と影響評価は依然として難問である。太陽活動変動や火山噴火といった自然起源、および温室効果気体やオゾン破壊物質の増加という人為起源の各外部強制の変動・変化に対して、このような極端気象はどう応答し、出現頻度がどう変化するか、よく分かっていない。

2. 研究の目的

本研究では、成層圏-対流圏結合系のこれら内部変動・外部強制応答の力学的関連性を総合的に理解することを目的とする。そして、極端気象変動の予測能力の向上に資することを目指す。現在気候の観測および予報データの解析による結合系変動の現状把握と、過去気候の再現実験および感度解析によるモデル検証・改良を踏まえて、予測の不確実性を押さえて未来気候の結合系変動に対する影響評価を行う。

3. 研究の方法

研究体制は、研究手法をもとに、1) データ解析班、2) メカニスティックモデル・統計理論班、3) 大気大循環モデル・数値予報モデル班、4) 気象研究所気候モデル班、からなる4班体制とし、中層大気気候変動力学分野における我が国の第一線研究者および海外共同研究者で構成する。

4. これまでの成果

研究手法をもとに構築した4つの班からなる研究体制のもとで、多重の時間空間スケールで変動・変化する成層圏-対流圏結合系での極端気象について、現象の記述と力学過程の理解から最先端モデルによる予測まで総合的に研究を推進してきた。各班の研究進捗状況・目的達成状況は以下の通りである

1) データ解析班

再解析データを用いて北半球冬季成層圏の年々変動の詳細解析を行って、冬季平均した極渦状態に加えて、成層圏の極端気象である成層圏突然昇温現象 (SSW) の出現頻度がエルニーニョ・南方振動 (ENSO) と赤道域準二年周期振動 (QBO) に非線型に依存していることを初めて明らかにした (Taguchi 2015)。この結果は、世界気候研究計画のSPARC再解析相互比較プロジェクト等でアピールできるものであり、順調に研究が進展し所期の目標を達した研究成果の一つといえる。

また、第5期結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP5) において、最終氷期最大期、完新世中期、産業革命前 (コントロール)、二酸化炭素4倍急増の4実験を実施した7モデルについて、極端気象変動の観点から極夜ジェット振動 (PJO) の変調に関する統計解析を実施し、過去・現在・未来を通しての変動特性および各モデルの再現特性を評価した。

2) メカニスティックモデル・統計理論班

成層圏-対流圏結合系における変動について、その統計的性質を理論的に明らかにする

ためには、大量の数値実験を効率的に行う必要がある。そこで、高速に動作する大気大循環力学モデルの構築を目指して、基盤となる数値ライブラリ（球面調和関数変換ライブラリなど）の整備から行った。このライブラリの高速度と精度の検証も兼ねて、成層圏に見られるような帯状流の非線形安定性に関する研究を実施した。

また、本研究の開始後に興味対象を熱帯域の成層圏-対流圏力学結合に広げ、赤道大気を理想化した2次元領域気象モデルを用いて放射-湿潤対流平衡状態を長時間積分により求めて、QBO的な振動がロバストに存在することを明らかにした（Yoden et al. 2014）。ここでは成層圏QBOが対流圏の湿潤対流の組織化と降水パターンの変調に影響を与えており、熱帯域の湿潤対流の組織化に関して新たな数値実験の枠組みを提示するものである。

3) 大気大循環モデル・数値予報モデル班

SSWの直後の複数の事例について長期再解析データの力学解析を行い、成層圏で反射して下方伝播する惑星規模波が北太平洋域でのブロッキング形成を促進する傾向があることを初めて明らかにした（Kodera et al. 2013）。これは従来考えられてきた対流圏ブロッキング形成過程のいずれにも相当せず、新たな力学メカニズムの発見・提案となっている。

また、気象庁の現業1ヶ月アンサンブル予報アーカイブデータを解析し、北半球成層圏周極渦の予測可能性の冬季における季節内変動を詳細に記述し、バイアスをもたらす原因を追究した。これは長期数値天気予報モデルの改善に資する研究成果であり、1ヶ月アンサンブル予報の高度利用に結びつく応用的な波及効果がある。

4) 気象研究所気候モデル班

気象研究所地球システムモデルを用いて、成層圏-対流圏結合系を含んだ過去の気候形成過程やその力学過程を解析した。西暦850年から1850年までの過去千年実験と以降の西暦2000年までの追加実験を行い、モデルの振舞いや再現性について調べプロキシデータとの比較検討を行った。

また、同モデルを用いた完新世中期（6千年前）の古気候再現実験では、成層圏大気化学過程（特に成層圏オゾンの季節変化に関連する過程）のインパクト評価を行い、成層圏オゾンの増加が南極域の地表気候に有意な影響を与え、近年発現した成層圏オゾンホール地表影響力学過程と同様で逆符号の結合過程であることを明らかにした。この発見は、古気候のモデル計算で高緯度の気候復元の精度を上げるには当時の日射分布に整合的なオゾン分布を用いるべきことを示唆するものであり、今後の古気候再現実験の実験設定協議にインパクトを与えるものである。

5. 今後の計画

これまでの4班研究体制を堅持し、多重の時間空間スケールで変動・変化する成層圏-対流圏結合系において、複雑に関連しあって生起する極端気象の現象記述、メカニズム理解、およびモデル予測と影響評価を研究の柱として、それぞれの階層間の連結力学過程に焦点をあてて総合的な研究をさらに展開していく。各班において現在・過去・未来に関わる研究目的を再確認し、多重時間空間変動像と極端気象に関する新たな研究のアイデアを共有しつつ、定期的な情報交換に基づいて全参加者が協調して残り期間の研究を推進する。そして、成層圏-対流圏結合系の気候形成過程とその気候変化における極端気象過程の有り様を統一した視点で明らかにする。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

Hitchcock, P., T. G. Shepherd, M. Taguchi, S. Yoden, and S. Noguchi, 2013: Lower-stratospheric radiative damping and polar-night jet oscillation events. *J. Atmos. Sci.*, **70-5**, 391-1408.

Kodera, K., H. Mukougawa, and A. Fujii, 2013: Influence of the vertical and zonal propagation of stratospheric planetary waves on tropospheric blockings. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **118**, 8333-8345.

Taguchi, M., 2015: Changes in frequency of major stratospheric sudden warmings with ENSO and QBO. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 印刷中

Yoden, S., H. Bui, and E. Nishimoto, 2014: A minimal model of QBO-Like oscillation in a stratosphere-troposphere coupled system under a radiative-moist convective quasi-equilibrium state. *SOLA*, **10**, 112-116.

Yoden, S., K. Ishioka, D. Durran, T. Enomoto, Y.-Y. Hayashi, and M. Yamada, 2014: Theoretical aspects of variability and predictability in weather and climate systems. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **95**, 1101-1104.

2013年度日本気象学会賞 黒田友二・向川 均
「成層圏-対流圏結合系の変動と予測可能性に関する研究」

2012年気象集誌論文賞 日比野研志・石川裕彦・石岡圭一 “Effect of a capping inversion on the stability of an Ekman boundary layer”

2013年気象集誌論文賞 山本博基・余田成男
“Theoretical estimation of the super-rotation strength in an idealized quasi-axisymmetric model of planetary atmospheres”

ホームページ等

<http://www-mete.kugi.kyoto-u.ac.jp/kakenhi2012/index.html>