

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25340010

研究課題名(和文)成層圏南北循環を介した成層圏対流圏結合過程の解明

研究課題名(英文) Analysis of Stratosphere-Troposphere interaction through the stratospheric general circulation

研究代表者

江口 菜穂 (Eguchi, Nawo)

九州大学・応用力学研究所・助教

研究者番号：50378907

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：積雲対流の発達是对流圏中下層の気温、湿度場に強く依存していると考えられているが、本課題で成層圏の力学場も寄与していることを衛星観測および数値実験から明らかにした。成層圏突然昇温時に成層圏の南北循環の強化(低緯度が上昇)によって、熱帯対流圏界面領域が断熱的に冷やされた結果、鉛直方向の安定度が減り、積雲対流がより上方に卓越した [Eguchi et al., ACP, 2015; Kodera et al., ACP, 2015]。また卓越した積雲対流によって対流圏下層の空気塊(短寿命成分含む)が短期間で成層圏に輸送されることを示した [Eguchi et al., SOLA, 2016]。

研究成果の概要(英文)：This study showed that the stratosphere plays an important role on the generation and development of tropical convection through analyzing the observational satellite data and the simulated data of a global non-hydrostatic model (NICAM) that does not use cumulus parameterization during the sudden stratospheric warming event [Eguchi et al., 2015; Kodera et al., 2015]. The results showed that the increased stratospheric upwelling associated with Sudden Stratospheric Warming event causes to decrease the stability in the Tropical Transition Layer and then that induces to enhance the convective activity which transport the short-lived species to the lower stratosphere shortly (within a few days) [Eguchi et al., 2016].

研究分野：大気科学(特に熱帯対流圏面遷移層での力学過程)

キーワード：成層圏対流圏間力学結合 熱帯対流圏界面遷移層 成層圏突然昇温 積雲対流 中間圏

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

熱帯対流圏界面は対流圏から成層圏への物質の主要な「入り口」として知られ、そこから流入した人為起源物質や水蒸気が、成層圏オゾンの消滅や放射収支を支配しており、成層圏の循環場や力学・放射・化学過程を介して対流圏の気象、気候に影響を与えている。2000年代初頭、注目する物質によって対流圏界面が異なることから対流圏的な性質から成層圏的な性質へと遷移する熱帯対流圏界面遷移層 (Tropical Tropopause Layer (以後 TTL) が提唱された。TTL は地上からも宇宙からも観測が難しく、解析に有効なデータが不足している。また先行研究ではこれまで、水蒸気の季節変化と長期変動に関する議論が多く、季節内変動に着目した研究はほとんどなされていなかった。申請者らはそれまで、TTL 内の成層圏-対流圏交換

(Stratosphere-Troposphere Exchange ; 以後 STE) 過程を理解する一つの手掛かりとして、短期間 (数日スケール) の成層圏内の力学場の急激な変化現象 (成層圏突然昇温, Sudden Stratospheric Warming; 以後 SSW) に着目した TTL 内の力学 (水蒸気輸送等)、熱力学 (相変化にともなう潜熱解放等) 過程を議論することで、成層圏と対流圏間の結合関係を徐々に明らかにしつつあった [Eguchi and Kodera, SOLA, 2010; 科研費若手(B), 課題番号 23710025]。

### 2. 研究の目的

成層圏と対流圏間の力学的結合過程は、水蒸気やオゾンなどの物質循環に寄与し、気候の形成と変動に影響を及ぼす。申請者らの成層圏循環場の急激な変化現象 SSW に着目した、衛星観測データと一般的な数値実験データの解析から、成層圏の力学場が対流圏の熱帯や中緯度の気象場に影響を与えていることが示されている。しかし、既存データの期間や精度、解像度では調べられる限界があった。本研究では、日変化の解析が可能な最新の衛星観測データと、積雲対流と成層圏循環場の再現性の高い超高解像度数値実験データを用いることにより、熱帯の成層圏と対流圏間の循環場の力学的結合過程 (物質交換過程) と対流圏内の気象場および気候へ及ぼす影響を定量的に明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) 複数の SSW 現象に対して、季節・経年変化 (エルニーニョ現象等) 時の背景場の大気状態を考慮した解析を行うことで、成層圏循環場が対流圏循環場や気候変動へ与える影響を明らかにする。

(2) 衛星観測データでは観測が難しい上昇流や潜熱加熱量等を高解像度数値モデル計算より取得し、TTL 数 km 内の鉛直方向に微細な力学、熱力学場の変化及び STE 過程を明らかにする。

### 4. 研究成果

(1) 北半球冬季において成層圏の風系 (準 2 年周期振動の東西風位相) と対流圏内の ENSO (エルニーニョ・南方振動) といった背景場が異なる 2009 年、2010 年の SSW 現象に着目し、熱帯域での積雲対流活動の変化を調べた。両年とも、SSW 発生後に南半球熱帯域で積雲対流活動が経度一様に卓越し(台風も多く発生)、熱帯で特徴的な季節内変動 (Madden-Julian Oscillation; MJO) が、SSW 後にそれぞれ発生もしくは停滞することが明らかとなった。本結果を投稿論文としてまとめた [Kodera et al., 2015]。

(2) 積雲パラメタリゼーションを用いていない非静力学全球モデル (NICAM) を用いて、2010 年の SSW 現象時の熱帯対流圏の応答を調べた。観測データでは得られない、鉛直流と非断熱加熱量の TTL 内での詳細な解析の結果、SSW によって強化された熱帯下部成層圏の上昇流が (気温の鉛直勾配が負で示される) 大気不安定領域とともに SSW 最盛期に TTL 内を下降し、最終的に上部対流圏の積雲対流域上端に到達後、積雲対流活動が活発化したことが示された。本結果を投稿論文としてまとめた [Eguchi et al., 2015]。

(3) 上述の研究成果から、成層圏の鉛直流は経度一様に現れるが、海洋上よりも特に大陸上の積雲対流がより高高度まで発達することが明らかとなった。そのため、衛星観測データを用いて、対流圏表層に起源をもつ微量気体成分 (一酸化炭素, CO) が、アフリカ上空で数日間のうちに下部成層圏に注入され、成層圏の CO 濃度を上昇させたことを明らかにした。この結果は、SSW 現象時にオゾンを破壊する短寿命の化学種が短期間で直接成層圏に運ばれるという点で重要な輸送過程を明らかにした。本結果を投稿論文としてまとめた [Eguchi et al., 2016]。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文) (計 5 件)

1. Kodera, K. N. Eguchi, H. Mukougawa, T. Nasuno and T. Hirooka, Stratospheric tropical warming event and its impact on the polar and tropical troposphere, *Atmos. Chem. Phys.*, 査読有, Vol.17, 2017, p.615-625, doi:10.5194/acp-17-615-2017.
2. Eguchi, N., K. Kodera, B. Funatsu, H. Takashima and R. Ueyama, Rapid convective transport of tropospheric air into the tropical lower stratosphere during the 2010 sudden stratospheric warming, *SOLA*, 査読有, Vol.12A, 2016, p.13-17, <http://doi.org/10.2151/sola.12A-003>.

3. Kodera, K., B. M. Funatsu, C. Claud and **N. Eguchi**, The role of convective overshooting clouds in tropical stratosphere-troposphere dynamical coupling, *Atmos. Chem. Phys.*, 査読有, Vol.15, 2015, p.6767-6774, doi:10.5194/acp-15-6767-2015.
4. **Eguchi, N.**, K. Kodera and T. Nasuno, A global non-hydrostatic model study of a downward coupling through the tropical tropopause layer during a stratospheric sudden warming, *Atmos. Chem. Phys.*, 査読有, Vol.15, 2015, p.297-304, doi:10.5194/acp-15-297-2015.
5. Iida, C., T. Hirooka and **N. Eguchi**, Circulation changes in the stratosphere and mesosphere during the stratospheric sudden warming event in January 2009, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 査読有, Vol.119, 2014, p.7104-7115, doi:10.1002/2013JD021252.

[学会発表] (計 50 件)

1. Kodera, K., **N. Eguchi** and R. Ueyama, Role of Stratospheric Cooling on the Tropical Troposphere and the Ocean, *AGU Fall Meeting*, December 12, 2016, San Francisco (USA).
2. **Eguchi, N.**, Y. Yoshida, Y. Someya, R. Imasu, A. Hamada and T. Inoue, Cirrus cloud characteristics derived from GOSAT TANSO-FTS spectra: Comparing with CALIOP and MODIS observations, *AGU Fall Meeting*, December 12, 2016, San Francisco (USA).
3. **江口菜穂** 吉田幸生、染谷有、今須良一、濱田篤、井上豊志郎: GOSAT TANSO-FTSスペクトルから導出された巻雲の特徴について, *日本気象学会秋季大会*, 2016年10月26日, 名古屋大学(名古屋市).
4. **江口菜穂** 小寺邦彦、廣岡俊彦: 2011年北半球初冬の間層圏・成層圏のジェットの変化について, *日本気象学会秋季大会*, 2016年10月26日, 名古屋大学(名古屋市).
5. 小寺邦彦, **江口菜穂**, 上山令: Role of Stratospheric Cooling on the Tropical Troposphere and the Ocean, *第8回熱帯気象研究会*, 2016年9月30日, 京都大学 (宇治市).
6. Hirooka, T., T. Ohata and **N. Eguchi**, Modulation of the Semiannual Oscillation Induced by Sudden Stratospheric Warming Events, *International Symposium on the Whole Atmosphere (ISWA)*, September 14, 2016 The University of Tokyo (Tokyo).
7. **Eguchi, N.**, K. Kodera and T. Hirooka, Sudden tropical stratospheric warming by subtropical jet variation in the middle atmosphere, *International Symposium on the Whole Atmosphere (ISWA)*, September 15, 2016, The University of Tokyo (Tokyo).
8. Hirooka, T., R. Kato, E. Ishida, Y. Harada and **N. Eguchi**, Dynamical features and the relation to the polar stratospheric cloud formation in the winter 2015/2016, *Quadrennial Ozone Symposium 2016 of the International Ozone Commission*, September 5, 2016, Edinburgh (UK).
9. **Eguchi, N.**, Y. Yoshida, A. Hamada and T. Inoue, Development of cirrus cloud detection method from TANSO-FTS spectra: Comparing with CALIOP and MODIS observations Part2, *The 8th GOSAT RA PI Meeting*, June 6, 2016, Kyoto University (Kyoto).
10. 小寺邦彦, **江口菜穂**: 2007年ジャワ島洪水における大循環変動の役割, *日本気象学会春季大会*, 2016年5月20日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都渋谷区).
11. Hirooka, T., T. Ohata, G. Liu and **N. Eguchi**, Interannual changes of stratospheric ozone and their relationship to dynamical processes, *SPARC Workshop "Stratospheric Change and its Role for Climate Prediction (SHARP)"*, February 17, 2016, Berlin (Germany).
12. **Eguchi, N.**, K. Kodera, R. Ueyama, **H. Takashima** and M. Deushi, Rapid Transport of Carbon Monoxide and Water Vapor from Troposphere to Stratosphere via Tropical Convection During Stratospheric Sudden Warming, *AGU Fall*

- Meeting, December 16, 2015, San Francisco (USA).
13. Eguchi, N., K. Kodera, R. Ueyama, H. Takashima and M. Deushi, Rapid Transport of CO from Troposphere to Stratosphere via Tropical Convection During Stratospheric Sudden Warming 2010, *The First Asian Conference on Meteorology*, October 27, 2015, Kyoto University (Kyoto).
  14. Hirooka, T., T. Ohata and N. Eguchi, Modulation of the semiannual oscillation associated with stratospheric sudden warming events, *15th European Meteorological Society Annual Meeting*, September 7, 2015, Sofia (Bulgaria).
  15. Hirooka, T., T. Ohata and N. Eguchi, Interannual Changes of Stratospheric Ozone as Revealed by Satellite Observations and Their Relation with Dynamical Fields, *AOGS 12th Annual Meeting*, August 6, 2015, Singapore (Singapore).
  16. Handa, T., G. Liu, T. Hirooka and N. Eguchi, Interannual changes of stratospheric ozone as revealed by satellite observations and their relation with dynamical fields, *AOGS 12th Annual Meeting*, August 6, 2015, Singapore (Singapore).
  17. Eguchi, N., K. Kodera, R. Ueyama, H. Takashima and M. Deushi, Rapid Transport of Carbon Monoxide from Troposphere to Stratosphere via Tropical Convection During Stratospheric Sudden Warming in January 2010, *Composition and Transport in the Tropical Troposphere and Lower Stratosphere Meeting*, July 22, 2015, Boulder (USA).
  18. Eguchi, N., K. Kodera, R. Ueyama and H. Takashima, Rapid increase of carbon monoxide concentration in the tropical lower stratosphere during stratospheric sudden warming in January 2010, *95th AMS Annual Meeting*, January 7, 2015, Phoenix (USA).
  19. Ohata, T., C. Iida, T. Hirooka and N. Eguchi, Equatorial Circulation Changes up to the Mesopause during Stratospheric Sudden Warming Events, *AGU Fall Meeting*, December 17, 2014, San Francisco (USA).
  20. 小寺邦彦, 江口菜穂: 成層圏突然昇温の熱帯低気圧に及ぼす影響, 平成 26 年度京都大学防災研究所一般研究集会「急発達する低気圧の実態・予測・災害軽減に関する研究集会」, 2014 年 11 月 19 日, 京都大学(宇治市).
  21. 大羽田剛史, 廣岡俊彦, 江口菜穂: 赤道域半年周期振動の年々変動と経度依存性について, 平成 26 年度京都大学防災研究所一般研究集会「急発達する低気圧の実態・予測・災害軽減に関する研究集会」, 2014 年 11 月 19 日, 京都大学(宇治市).
  22. 大羽田剛史, 飯田千尋, 廣岡俊彦, 江口菜穂: Aura EOS/MLS による熱帯域半年周期振動の変動について, 日本気象学会秋季大会, 2014 年 10 月 22 日, 福岡国際会議場(福岡市).
  23. 江口菜穂, 小寺邦彦, 上山令, Q. Li, 高島久洋: 2010 年 1~2 月の熱帯下部成層圏の急激な CO 濃度増加について, 日本気象学会秋季大会, 2014 年 10 月 21 日, 福岡国際会議場(福岡市).
  24. 江口菜穂, 井上豊志郎, 吉田幸生, 濱田篤: GOSAT TANSO-FTS スペクトルからの巻雲検出: CALIOP との比較, 日本気象学会秋季大会, 2014 年 10 月 21 日, 福岡国際会議場(福岡市).
  25. Eguchi, N., K. Kodera, R. Ueyama, Q. Li, H. Takashima and C. Kobayashi, Rapid Transport of CO and H<sub>2</sub>O from Troposphere to Stratosphere via Tropical Convection During Stratospheric Sudden Warming, *AOGS 11th Annual Meeting*, July 28, 2014, Royton Sapporo Hotel (Sapporo).
  26. Ohata, T., C. Iida, T. Hirooka and N. Eguchi, Interannual changes of the semiannual oscillation induced by stratospheric sudden warming events, *AOGS 11th Annual Meeting*, July 28, 2014, Royton Sapporo Hotel (Sapporo).
  27. 大羽田剛史, 飯田千尋, 廣岡俊彦, 江口菜穂: 成層圏突然昇温により引き起こされる半年周期振動の年々変動, 日本気

- 象学会春季大会, 2014年5月21日, 開港記念会館・情報文化センター(横浜市).
28. 小寺邦彦, B. M. Funatsu, C. Claud, **江口菜穂**: 熱帯成層圏-対流圏結合における対流雲貫入の役割: 2009年, 2010年成層圏突然昇温時の事例, *日本気象学会春季大会*, 2014年5月21日, 開港記念会館・情報文化センター(横浜市).
  29. **江口菜穂**: モンスーンと上部対流圏・下部成層圏の科学, *日本気象学会春季大会*, 2014年5月21日, 開港記念会館・情報文化センター(横浜市).
  30. **Eguchi, N.**, K. Kodera, R. Ueyama, **H. Takashima** and Q. Li, Rapid increases of CO and H<sub>2</sub>O in the tropical lower stratosphere during January 2010 stratospheric sudden warming event, *EGU 2014*, May 1, 2014, Vienna (Australia).
  31. 大羽田剛史, 飯田千尋, 廣岡俊彦, **江口菜穂**: 成層圏突然昇温により引き起こされる半年周期振動の年々変動, *日本地球惑星科学連合2014年大会*, 2014年4月30日, パシフィコ横浜(横浜市).
  32. Hirooka, T., T. Ohata, C. Iida and **N. Eguchi**, Observed General Circulation Changes up to the Mesopause Level Associated with Sudden Warming Events, *SPARC 2014 General Assembly*, January 16, 2014, Queenstown (New Zealand).
  33. **Eguchi, N.**, K. Kodera and T. Nasuno, Downward coupling process through TTL during a stratospheric sudden warming: a case study using a global non-hydrostatic model, *SPARC 2014 General Assembly*, January 16, 2014, Queenstown (New Zealand).
  34. Hirooka, T., T. Ohtaha, C. Iida and **N. Eguchi**, Observed Circulation Changes up to the Mesopause during Sudden Warming Events, *AGU Fall Meeting*, December 13, 2013, San Francisco (USA).
  35. Kodera, K., B. M. Funatsu, C. Claud and **N. Eguchi**, Role of convective overshooting clouds in the tropical stratosphere-troposphere coupling, *AGU Fall Meeting*, December 13, 2013, San Francisco (USA).
  36. **Eguchi, N.**, K. Kodera and T. Nasuno, Stratospheric dynamical signal propagating through TTL: a case study of SSW period using a global non-hydrostatic model, *AGU Fall Meeting*, December 11, 2013, San Francisco (USA).
  37. 大羽田剛史, 飯田千尋, 廣岡俊彦, **江口菜穂**: EOS/MLS データに基づく成層圏・中間圏における半年周期振動の解析, *日本気象学会秋季大会*, 2013年11月21日, 仙台国際センター(仙台市).
  38. 飯田千尋, 廣岡俊彦, 大羽田剛史, **江口菜穂**: 成層圏突然昇温前後の中間圏力学場の変動( ), *日本気象学会秋季大会*, 2013年11月19日, 仙台国際センター(仙台市).
  39. 大羽田剛史, 飯田千尋, 廣岡俊彦, **江口菜穂**: EOS/MLS データに基づく成層圏・中間圏における半年周期振動の解析, *平成25年度京都大学防災研究所一般研究集会「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」*, 2013年10月21日, 京都大学(宇治市).
  40. **江口菜穂**, 小寺邦彦, 那須野智江: 成層圏突然昇温時のTTL内の力学過程の変化について-全球非静力学モデルデータの解析-, *平成25年度京都大学防災研究所一般研究集会「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」*, 2013年10月21日, 京都大学(宇治市).
  41. Hirooka, T., C. Iida and **N. Eguchi**, Circulation changes in the mesosphere during sudden warming events. Session 2.5, *12th Scientific Assembly of IAGA*, August 26, 2013, Merida (Mexico).
  42. Kodera, K., **N. Eguchi**, T. Nasuno and R. Ueyama, Stratospheric impact on tropical convection, *Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly 2013*, July 8, 2013, Davos (Switzerland).
  43. 廣岡俊彦, 飯田千尋, **江口菜穂**: 成層圏突然昇温時における中間圏での大循環変動, *日本地球惑星科学連合2013年大会*, 2013年5月19日, 幕張メッセ(千葉市).
  44. Hirooka, T., C. Iida and **N. Eguchi**, General Circulation Changes up to the Mesopause

during Stratospheric Sudden Warming Events, *3rd SPARC / Dynamical Variability (DynVar) Workshop & 1st SPARC / Stratospheric Network for the Assessment of Predictability (SNAP) Workshop*, April 22, 2013, Reading (UK).

45. **Eguchi, N.**, K. Kodera and T. Nasuno, Downward coupling process through TTL during a stratospheric sudden warming: a case study using a global non-hydrostatic model, *WCRP Regional Workshop on Stratosphere-Troposphere Processes and their Role in Climate*, April 1, 2013, Kyoto University (Kyoto).
46. Hirooka, T., C. Iida and **N. Eguchi**, Circulation Changes up to the Mesopause during Stratospheric Sudden Warming Events, *WCRP Regional Workshop on Stratosphere-Troposphere Processes and their Role in Climate*, April 1, 2013, Kyoto University (Kyoto).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

江口 菜穂 (EGUCHI, Nawo)  
九州大学・応用力学研究所・助教  
研究者番号: 50378907

### (2) 研究分担者

高島 久洋 (TAKASHIMA, Hisahiro)  
福岡大学・理学部・講師  
研究者番号: 20469620

### (3) 研究協力者

小寺 邦彦 (KODERA, Kunihiko)  
那須野 智江 (NASUNO, Tomoe)