

令和元年6月21日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00535

研究課題名（和文）オゾンゾンデと化学輸送モデルの統合による東南アジアオゾン増大現象の解明

研究課題名（英文）Understanding the ozone enhancement over southeast Asia by integrating ozonesonde observations and a chemical transport model

研究代表者

荻野 慎也（Ogino, Shin-Ya）

国立研究開発法人海洋研究開発機構・大気海洋相互作用研究分野・主任研究員

研究者番号：80324937

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：対流圏オゾンは主要な温暖化物質の一つとして地球環境変動の理解と予測のために重要であるが、観測的な制約からその動態は十分に理解されていない。本研究ではハノイ上空に見出された春季オゾン増大現象を化学輸送モデルで再現し、その原因をインドシナ半島北部の焼畑であると特定した。ハノイ上空のオゾン増大は、発生したオゾンが春季特有の対流混合とモンスーン循環により東方に輸送された結果として理解できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、東南アジア域で発生したオゾンの輸送メカニズムを解明するとともに、さらに東方へ全球的に輸送されることをも示した。このことは、今後の予測される全球的なオゾン変動の解釈に役立つものと考えられる。また、モデルで再現されたオゾン濃度は観測されるものと比べて低いものであった。今後、これらの点に関する再現性向上を図り、地球環境変動と強く関係するオゾン濃度変動の理解と予測に貢献できる可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：Tropospheric ozone is important for understanding and predicting global environmental change as one of the significant greenhouse gasses. Its three-dimensional distribution and dynamics are still unknown due to observational constraints. In this study, we reproduced the springtime ozone enhancement that has found in Hanoi, Vietnam using a chemical transport model. The model showed that the ozone was generated over the northern Indochina Peninsula due to biomass burning. We further showed that the generated ozone was transported upward and eastward by the convective mixing near the surface and the monsoonal westerly flow to cause the ozone enhancement at about 3 km height in Hanoi.

研究分野：気象学、大気科学

キーワード：オゾン オゾンゾンデ 大気汚染 インドシナ半島 化学輸送モデル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

対流圏オゾンは主要な温暖化物質の一つであり地球環境変動の理解と予測のためにはその3次元分布の把握と変動特性の理解が必要である。しかし、観測的な制約からそれらは十分に達成されていない。オゾンゾンデは鉛直分解能に優れるが、水平方向に展開することが難しい。一方、衛星からのオゾン観測を全球的な化学モデルに同化することで3次元なオゾン分布を推定する手法では、対流圏オゾンを細かく解像する実測データを用いていないため、得られる解析値の鉛直プロファイルはモデル計算値に強く依存し、信頼性の確保が難しい。

2. 研究の目的

本研究では、オゾンゾンデ観測による1点でのオゾン鉛直分布と、化学輸送モデルを活用して得られた水平分布とを組み合わせることで、東南アジアにおける春季のオゾン増大現象の3次元構造および生成メカニズムを解明することを目的とする。さらに、ゾンデ・モデルの比較を通して化学輸送モデルの精度向上を図り、地球環境変動の理解と予測に貢献することを目指す。

3. 研究の方法

本研究ではオゾンゾンデ観測と化学輸送モデルを組み合わせることで、東南アジアにおけるオゾン増大現象の3次元構造および生成メカニズムを解明する。そのため、化学輸送モデル実験を実施し、得られたデータを用いた解析を行う。まず、モデルデータとオゾンゾンデ観測データとを比較し、モデルデータのパフォーマンスを評価する。次いで、オゾン増大現象の水平スケールと3次元構造を記述するとともに、オゾン増大をもたらす排出源や輸送メカニズムを明らかにする。またモデルと観測との差異の原因を特定することで、モデルのパフォーマンスを改善することにも貢献する。これらを通して対流圏オゾンの振舞に関する知見を深化させるとともに、地球環境変動の理解に貢献する。

4. 研究成果

- (1) 輸送モデル実験の実施: 化学輸送モデル CHASER による輸送実験をハノイにおけるオゾンゾンデ観測期間と同じ2004年から現在まで行った。得られた結果から10年平均の気候学的な季節変化を解析したところ、オゾンゾンデと同様の3月の高度3km付近にオゾン濃度の極大が存在していた。これらから、化学輸送モデルがオゾンゾンデ観測で捉えられた現象を概ねうまく再現していることを確認した。さらに、全ての排出源データを使用したコントロール実験に加えて、インド、インドシナ北部および南中国の3つの領域においてそれぞれ窒素酸化物の排出量をゼロとした排出源切り分け実験を行った。
- (2) オゾンの発生源: ハノイにおける3月の平均的なオゾン濃度の鉛直分布が、どの領域で排出されたオゾン前駆物質により主に形成されているかを、排出源切り分け実験の結果を解析することにより調べた。コントロール実験で得られた増大イベント時のオゾン鉛直分布と、ある領域からの排出をゼロとした場合の結果を比較し、オゾン濃度の減少分をその領域からの排出の寄与と考えた。そして、インド、インドシナ半島北部、中国南部からの排出の、ハノイのオゾン濃度に対するそれぞれの寄与率を求めた。それにより、ハノイの春季オゾン増大に最も寄与する前駆物質の排出源はインドシナ半島北部であることがわかった。この季節にこの地域で活発な焼畑の影響が大きいものと考えられる。
- (3) 水平スケールと輸送過程: オゾン増大現象の水平構造を記述し、3次元なオゾン増大の広がりを調べたところ、増大現象はおよそ1,000km程度の水平スケールを持ってインドシナ半島北部域に広がっており、ハノイはその南端に位置していることがわかった。また、モデルにより再現されたオゾン分布と大気循環の解析から、インドシナ半島北部で発生したオゾンが春季に特有の活発な対流混合層により上層に運ばれ、さらに西風により輸送されてハノイにまで到達することがわかった。
- (4) モデル改善への提案: モデルでの再現されたオゾン変動は概ね観測と一致するが、本研究の対象である春季のオゾン増大の濃度はオゾンゾンデによる観測と比べて20%程度低いものであった。この差の原因を解明し、モデルを改良することが今後期待される。

以上のように、本研究ではハノイ上空に見出された春季オゾン増大現象を化学輸送モデルで再現し、その原因をインドシナ半島北部の焼畑であると特定した。ハノイ上空のオゾン増大は、発生したオゾンが春季特有の対流混合とモンスーン循環により東方に輸送された結果として理解できる。またモデル改善を通して、地球環境変動の理解と予測に貢献できる可能性を示した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

Miyazaki K., Sekiya T., Fu D., Bowman K. W., Kulawik S. S., Sudo K., Walker T., Kanaya Y., Takigawa M., Ogochi K., Eskes H., Boersma K. F., Thompson A. M., Gaubert B., Barre J., Emmons L. K., Balance of Emission and Dynamical Controls on Ozone During the Korea-United States Air Quality Campaign From Multiconstituent Satellite Data Assimilation, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124, 2019, 387-413, 10.1029/2018JD028912, 査読有り.

Thompson, A.M., H.G. Smit, J.C. Witte, R.M. Stauffer, B.J. Johnson, G. Morris, P. von der Gathen, R. Van Malderen, J. Davies, A. Piters, M. Allaart, F. Posny, R. Kivi, P. Cullis, N.T. Hoang Anh, E. Corrales, T. Machinini, F.R. da Silva, G. Paiman, K. Thiong'o, Z. Zainal, G.B. Brothers, K.R. Wolff, T. Nakano, R. Stubi, G. Romanens, G.J. Coetzee, J.A. Diaz, S. Mitro, M. Mohamad, and S.-Y. Ogino, Ozonesonde Quality Assurance: The JOSIE-SHADOZ (2017) Experience, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100, 2019, 155-171, 10.1175/BAMS-D-17-0311.1, 査読有り.

Nodzu Masato I., Ogino Shin-Ya, Matsumoto Jun, Development and Decay Processes of Dual Inversion Layers in Winter over the Northwest Coast of the South China Sea, *Journal of Climate*, 31, 2018, 1245-1266, 10.1175/JCLI-D-16-0907.1, 査読有り.

Miyazaki Kazuyuki, Bowman Kevin, Evaluation of ACCMIP ozone simulations and ozonesonde sampling biases using a satellite-based multi-constituent chemical reanalysis, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, 2017, 8285-8312, 10.5194/acp-17-8285-2017, 査読有り.

Thompson, Anne M., Jacquelyn C. Witte, Chance Sterling, Allen Jordan, Bryan J. Johnson, Samuel J. Oltmans, Masatomo Fujiwara, Holger Vömel, Marc Allaart, Ankie Piters, Gert J. R. Coetzee, Françoise Posny, Ernesto Corrales, Jorge Andres Diaz, Christian Felix, Ninong Komala, Nga Lai, H. T. Anh Nguyen, Matakite Maata, Francis Mani, Zamuna Zainal, Shin-Ya Ogino, Francisco Paredes, Tercio Luiz Bezerra Penha, Francisco Raimundo da Silva, Sukarni Sallons-Mitro, Henry B. Selkirk, F. J. Schmidlin, Rene Stubi, Kennedy Thiongo, First reprocessing of Southern Hemisphere Additional Ozonesondes (SHADOZ) ozone profiles (1998-2016): 2. Comparisons with satellites and ground-based instruments. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 2017, 13,000-13,025, <https://doi.org/10.1002/2017JD027406>, 査読有り.

Huang, G., Liu, X., Chance, K., Yang, K., Bhartia, P. K., Cai, Z., Allaart, M., Calpini, B., Coetzee, G. J. R., Cuevas-Agullo, E., Cupeiro, M., De Backer, H., Dubey, M. K., Fuelberg, H. E., Fujiwara, M., Godin-Beekmann, S., Hall, T. J., Johnson, B., Joseph, E., Kivi, R., Kois, B., Komala, N., König-Langlo, G., Laneve, G., Leblanc, T., Marchand, M., Minschwaner, K. R., Morris, G., Newchurch, M. J., Ogino, S.-Y., Ohkawara, N., Piters, A. J. M., Posny, F., Querel, R., Scheele, R., Schmidlin, F. J., Schnell, R. C., Schrems, O., Selkirk, H., Shiotani, M., Skrivankova, P., Stubi, R., Taha, G., Tarasick, D. W., Thompson, A. M., Thouret, V., Tully, M., van Malderen, R., Vaughan, G., Vömel, H., von der Gathen, P., Witte, J. C., and Yela, M., Validation of 10-year SAO OMI Ozone Profile (PROFOZ) Product Using Ozonesonde Observations, *Atmospheric Measurement Techniques*, 10, 2017, 2455-2475, doi:10.5194/amt-10-2455-2017, 査読有り.

Witte, J. C., A. M. Thompson, H. G. J. Smit and M. Fujiwara, F. Posny, G. J. R. Coetzee, E. T. Northam, B. J. Johnson, C. W. Sterling, M. Mohamad, S.-Y. Ogino, A. Jordan, and F. R. da Silva, First reprocessing of Southern Hemisphere ADDitional Ozonesondes (SHADOZ) profile records (1998-2015): 1. Methodology and evaluation, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122, 2017, 6611-6636, doi:10.1002/2016JD026403, 査読有り.

Zhang, Y., O. R. Cooper, A. Gaudel, A. M. Thompson, P. Nédélec, S.-Y. Ogino, and J. J. West, Tropospheric ozone change from 1980 to 2010 dominated by equatorward redistribution of emissions, *Nature Geoscience*, 9, 2016, 875-879, doi:10.1038/ngeo2827, 査読有り.

Miyazaki, K., Eskes, H., Sudo, K., Boersma, K. F., Bowman, K., and Kanaya, Y., Decadal changes in global surface NOx emissions from multi-constituent satellite data assimilation, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, 2017, 807-837, doi:10.5194/acp-17-807-2017, 査読有り.

[学会発表](計 14 件)

Shin-Ya Ogino, Masato Shiotani, M. Fujiwara, F. Hasebe, K. Miyazaki, Anne Thompson, Jacquelyn Witte, Nguyen Thi Tan Thanh, Hoang Gia Hiep, Nguyen Vinh Thu, Hoang Thuy Ha, Ngo Duc Thanh, Dinh Duc Tu, Nga Lai, Nguyen Hoang Anh, and colleagues, Observational results from ozone and water vapor soundings in Hanoi, Vietnam, 2nd Joint Meeting of Cryogenic Air Sampling Group and SOWER Group in 2018, 2019.

Jacquelyn C. Witte, Greenbelt, MD, A. M. Thompson, B. Johnson, G. J. R. Coetzee, F. Posny, H. Voemel, S.-Y. Ogino, M. Mohamad, R. Stubi, G. Romanens, F. R. da Silva, N. Komala, M. Fujiwara, A. PETERS, M. Maata, F. Mani, and H. B. Selkirk, The Value of Homogenized Ozonesonde Networks: Twenty Years in the SHADOZ, 99th American Meteorological Society Annual Meeting, 2019.

Shin-Ya Ogino, Masato Shiotani, M. Fujiwara, F. Hasebe, K. Miyazaki, Anne Thompson, Jacquelyn Witte, Ngyuen Thi Tan Thanh, Hoang Gia Hiep, Nguyen Vinh Thu, Hoang Thuy Ha, Ngo Duc Thanh, Dinh Duc Tu, Nga Lai, Nguyen Hoang Anh, and colleagues, Ozone transport over the southeast Asian region revealed by the ozonesonde observations in Hanoi, Vietnam, Mini-Workshop on Upper-Air Sounding and Air Quality, 2018.

Kazuyuki Miyazaki, Applications of satellite, ozonesonde, and aircraft measurements and chemical transport models on air quality research, Mini-Workshop on Upper-Air Sounding and Air Quality, 2018.

Witte Jacquelyn C, Thompson Anne M, Johnson Bryan J, Gert Coetzee, Francoise Posny, Holger Vomel, Ogino Shin-Ya, Maznorizan Mohamad, Rene Stubi, Gonzague Romanens, Francisco Raimundo, Ankie PETERS, Matakita Maata, Francis Mani, Henry Selkirk, Ninong Komala, Fujiwara Masatomo, Twenty years in the SHADOZ: Milestones in reprocessing and uncertainties, AGU Fall meeting 2018, 2018.

Miyazaki, K., T. Sekiya, D. Fu, K. W. Bowman, T. Walker, S. S. Kulawik, K. Sudo, Y. Kanaya, M. Takigawa, K. Ogochi, B. Gaubert, J. Barre, L. Emmons, Application of multi-constituent satellite data assimilation for KORUS-AQ, AGU Fall Meeting 2017, 2017

Miyazaki, K., T. Sekiya, H. Eskes, F. Boersma, D. Fu, K. Bowman, Susan S. Kulawik, T. Walker, K. Sudo, Y. Kanaya, M. Takigawa, K. Ogochi, B. Gaubert, J. Barre, L. Emmons, A tropospheric chemistry reanalysis based on multi-constituent satellite data assimilation and its application for KORUS-AQ, 2017 annual conference of Korean Society for Atmospheric Environment (Invited), 2017.

Miyazaki, K., H. Eskes, F. Boersma, K. Bowman, Y. Kanaya, T. Sekiya, Decadal changes in global surface NOx emissions from multi-constituent satellite data assimilation, 18th GEIA Conference, 2017.

Miyazaki, K., T. Sekiya, D. Fu, K. W. Bowman, S. S. Kulawik, K. Sudo, Y. Kanaya, M. Takigawa, K. Ogochi, B. Gaubert, J. Barre, L. Emmons, and KORUS-AQ team, Application of multiple-species satellite data assimilation for KORUS-AQ and air quality monitoring over East Asia, AOGS 14th Annual Meeting, 2017.

Miyazaki, K., K. Bowman, Evaluation of ACCMIP and CCMI ozone simulations using a multi-constituent chemical reanalysis, Chemistry-Climate Model Initiative Science Workshop, 2017.

Miyazaki, K., K. Bowman, K. Yumimoto, T. Walker, Development of a tropospheric chemistry data assimilation system: GEOS-Chem-EnKF, The 8th International GEOS-Chem Meeting, 2017.

Miyazaki, K., H. Eskes, K. Sudo, K. W. Bowman, F. Boersma, D. Fu, S. S. Kulawik, E. Wong, T. Sekiya, A tropospheric chemistry reanalysis based on an assimilation of the A-Train's multi-sensor system, 3rd International A-Train Symposium, 2017.

Miyazaki, K., A tropospheric chemistry reanalysis based on multi-constituent satellite data assimilation, University of Toronto Noble seminar series (Invited), 2016.

Miyazaki, K. and K. Bowman, Application of tropospheric chemistry reanalysis to chemical OSSE studies, Second Workshop on Atmospheric Composition Observation System Simulation Experiments (OSSEs) (Invited), 2016.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：宮崎 和幸

ローマ字氏名：MIYAZAKI, Kazuyuki

所属研究機関名：国立研究開発法人海洋研究開発機構

部局名：地球環境観測研究開発センター

職名：招聘主任研究員

研究者番号（8桁）：30435838

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。