

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740327

研究課題名(和文) 衛星観測データを統合した大気汚染物質の濃度・排出量分布の長期再解析

研究課題名(英文) Simultaneous assimilation of satellite NO₂, O₃, CO, and HNO₃ data for the analysis of tropospheric chemical composition and emissions

研究代表者

宮崎 和幸 (MIYAZAKI, Kazuyuki)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球表層物質循環研究分野・主任研究員

研究者番号：30435838

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：先駆的なデータ同化手法を用いて、衛星観測と数値モデルによる情報を統合し、大気汚染を引き起こす化学物質の大気中濃度と排出量を同時に推定する再解析システムを構築した。衛星観測情報を適切に反映するために、観測原理に基づく観測演算子を作成しデータ同化に利用した。過去8年間について、対流圏の各種物質の分布変動を再現する再解析計算を実施した。再解析データの品質を検証し、大気汚染物質の長期的な変動の様子を調査した。見積もられた排出量の時空間変動についても詳しく調査し、各種統計情報に基づき作成された従来のエミッションインベントリの問題点を指摘した。

研究成果の概要(英文)：We have developed an advanced chemical data assimilation system to combine observations of chemical compounds from multiple satellites. NO₂, O₃, CO, and HNO₃ measurements from the OMI, TES, MOPITT, and MLS satellite instruments are assimilated into the global chemical transport model. The data assimilation simultaneously optimizes the chemical species, as well as the emissions of O₃ precursors, while taking their chemical feedbacks into account. Comparisons against independent satellite, aircraft, and ozonesonde data show that the data assimilation results in substantial improvements for various chemical compounds. The simultaneous adjustment of the emissions and concentrations is a powerful approach to correcting the tropospheric ozone budget and profile analyses.

研究分野：大気科学

キーワード：大気汚染 データ同化 衛星観測 オゾン 窒素酸化物

1. 研究開始当初の背景

衛星搭載センサによる観測技術とその情報処理技術は近年著しい発展を遂げており、大気微量成分濃度分布に関する詳細な観測情報が蓄積されている。地上観測データに加えて衛星観測データを用いた研究からは、主に人為起源物質の排出と関連する大気微量成分濃度の変動とその大気環境および気候への影響が指摘されている。大気微量成分のなかでも、オゾン(O₃)、窒素酸化物(NO_x)、一酸化炭素(CO)の濃度・排出量変動に関する情報は、大気化学・気候システムの理解に重要であるのみならず、大気汚染に関する警報の発令や紫外線予報にも利用されており、科学的・社会的に役立っている。しかしながら、測定原理およびリトリバル手法の違いに起因して、複数のデータセットを統合することは容易ではない。

一方、大気汚染を引き起こすプロセスの解明とその実況監視のために、化学輸送モデル(CTM)が開発されているが、大気微量成分濃度の再現性には依然として問題を多く抱える。特に、各種大気汚染物質の排出量分布とその季節・年々変動には大きな不確定性が存在しており、CTMによる再現性を著しく低下させていることが指摘されていた。このような状況のなか、時空間に不均一・不均質な観測データから均一で整合性を持つ解析場を得るために、データ同化技術を用いてモデルと観測による情報を統合し大気微量成分の濃度と排出量の長期間にわたる県道を推定する高度な再解析システムの開発が望まれていた。

2. 研究の目的

上記のような現状認識のもと、本研究課題では、先駆的なデータ手法のひとつであるアンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)を採用した大気微量成分に関する高度なデータ同化システムを開発し、長期再解析計算を実現する。具体的には次の事項を明らかにすることを目的とした。

(1) EnKFをCTMに適用し、大気汚染と関連する化学物質について、大気中濃度のみならず地表面および大気中における排出・生成量を同時に推定する高度なデータ同化システムを構築する。同化に利用する観測について、リトリバル原理にもとづく観測演算子を作成し、観測情報を適切に統合した長期解析を可能とする。

(2) 過去5年間程度の再解析計算を実施する。複数の衛星観測情報を統合した、大気環境に関する高品質な全球解析データセットを作成する。作成したデータセットを用いた解析から、人間活動や生物燃焼に起因する化学物質の濃度・排出量の季節・経年変動要因を明

らかにする。

3. 研究の方法

(1) これまでに構築してきた大気微量成分のデータ同化システム(Miyazaki et al., 2012a)を改良し、O₃、NO_x、CO、HNO₃などの大気汚染と関連する複数の化学物質の大気中濃度と排出量を同時に推定する再解析システムを構築する。予報モデルには詳細な輸送・化学過程を含むCTMであるCHASER(Sudo et al., 2002)を利用する。データ同化の解析変数には、各CTMで予報する化学物質の濃度に加えてNO_x、COの地表面排出量と大気中における雷NO_x生成量を含む。これら変数の最適値の推定には、アンサンブルモデルシミュレーションにより取得される背景誤差共分散情報を用いる。

(2) データ同化およびその検証に利用する衛星観測データを整備し、鉛直感度、観測誤差、品質に関する情報を解析する。衛星観測情報が多く利用可能な過去5年間を対象とし、OMI、SCIAMACHY GOME-2によるNO₂データ(KNMIが作成)、TESによるO₃、COデータ(NASA)、MLSによるO₃、HNO₃データ(NASA)、MOPIITによるCOデータ(NASA)などを扱う。

(3) 構築した再解析システムおよび整備した衛星観測データを用いて、対流圏における大気微量成分の過去5年間の再解析計算を実施する。長期間におよぶ膨大な本計算には海洋研究開発機構に設置されている大型計算機を利用する。計算結果はデータ同化に利用していない各種観測データと比較し、再解析データの品質を検証する。地球上の各領域、対流圏各高度における再現性を検証するとともに、データ品質の季節・年依存を明らかにする。

(4) 作成した再解析データを解析し、大気汚染と関連する化学物質の大気中濃度および排出量の空間分布および季節・経年変動について要因を調査する。地表面排出量の推定値は、既存のボトムアップ計算や先行研究によるトップダウン推定値と比較する。それぞれの特性と本研究による変更点を明らかにする。雷NO_x生成量の推定値は雷発生頻度や雲分布に関する観測情報と併せて解析する。NO_x生成過程とそのオゾンなど化学場への影響、CTMパラメタリゼーションの問題点を調査する。

4. 研究成果

(1) 最新のEnKFスキームを用いてこれまでに構築した大気微量成分のデータ同化システムを利用して、大気汚染を引き起こす化学物質の大気中濃度と排出量を同時に推定する再解析システムを構築した。データ同化の

状態変数には予報化学物質の大気中濃度に加えて NO_x および CO の地表排出量と雷による NO_x 生成量を含んだ(図 1)。いくつかの感度実験を実施し、対流圏化学システムに特化した最適化を施した。例えば、背景誤差共分散での変数間の局所性を考慮し、化学的な結びつきが弱い化学物質間では相関を考慮せずにサンプリングエラーの影響を回避すること可能とした(Miyazaki et al., 2013, 2014)。

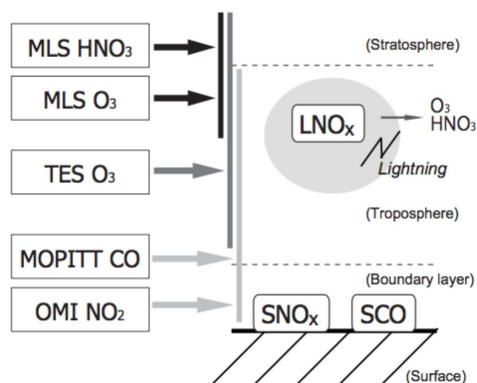


図 1: 複数の衛星観測情報を利用した地表排出量および雷による NO_x 生成量の推定手法に関する概念図(Miyazaki et al., 2012)。

(2) リトリーバル原理に基づく観測演算子を作成した。データ同化には、OMI, TES, MLS, MOPITT による NO₂, O₃, HNO₃, CO の観測データを利用した。データ同化結果の検証のためには、SCIAMACHY, GOMES-2, オゾンゾンデ、航空機観測データを整備し、観測特性と時空間代表性を考慮した比較検討を可能とした(Miyazaki et al., 2012)。

(3) 当初計画したよりも長期の過去 8 年間について、対流圏微量成分を対象とした再解析計算を実施した。検証のためには、独立観測データとして、衛星観測のみならず、NASA および IAGOS が提供する航空機観測、WDCGG による地上観測、WOUDC および SHADOZ によるゾンデ観測を用い、詳細な鉛直プロファイルや地表における濃度の検証した。O₃, NO₂, HNO₃, CO などを対象とした詳細な検証から、作成した再解析データ品質の全球分布の季節・経年変動を明らかにした。さらに、データ同化時に取得される各種統計情報を調査することで、再解析品質の長期安定性を明らかにした(Miyazaki et al., 2015)。

(4) 作成した長期データセットを詳しく解析し、データの品質に加えてオゾンや二酸化窒素の長期的な変動を調査した。

推定された排出量の時空間変動を調査することで、各種統計情報に基づき作成されたエミッションインベントリの問題点を指摘した。従来の排出量推定研究では、単一の化学物質の観測データのみが利用されており、推定結果には大きな不確実性が存在するこ

とを指摘した。本研究では、複数化学物質データ(NO₂, O₃, HNO₃, CO)を同化し、モデルシステムに強い拘束を与えた上で NO_x 排出量を推定することで、排出量の全球分布と季節変動を改善できる可能性を明らかにした(Miyazaki et al. 2013)。

地上における排出量のみならず、雷による NO_x 生成量についても、従来のパラメタリゼーションに基づくボトムアップ推定に基づく時空間分布には大きな不確実性が存在する可能性を指摘した(図 2)。具体的には、(1) 雷強度は雲頂高度に基づき計算されるが、従来の海上における係数は過小評されている可能性がある、(2) 広く用いられている鉛直分布に関する仮定では生成量が最大となる高度を 1km 程度高く表現している可能性がある、(3) 陸上では生成量を上部対流圏で過小評価する傾向がある、これらを指摘した(Miyazaki et al., 2014)。

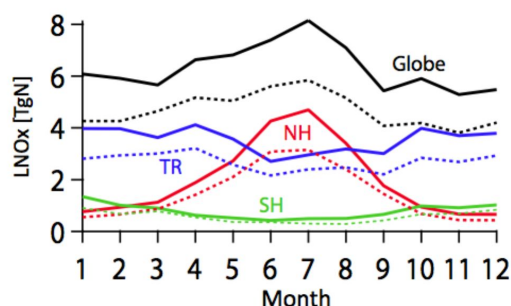


図 2: 雷による NO_x 生成量の季節変化(Miyazaki et al., 2012)。全球(黒)、北半球(赤)、熱帯域(青)、南半球(緑)について、パラメタリゼーションに基づく従来のボトムアップ推定(点線)とデータ同化によるトップダウン推定結果(実線)を示す。

データ同化に用いる化学輸送モデルの性能が、大気微量成分分布の再現性と排出量の推定結果に影響を及ぼす可能性が考えられる。モデルの設定を変更した実験を行い、化学反応係数、地表排出量の日変化、雷による窒素酸化物生成のパラメタリゼーションに変更を加えることで、再解析における濃度場には若干の違いが生じることを明らかにした(Miyazaki et al., 2015)。

<引用文献>

Sudo, K., M. Takahashi, J. Kurokawa, and H. Akimoto, CHASER: A global chemical model of the troposphere 1. Model description, *J. Geophys. Res.*, 107, doi:10.1029/2001JD001113, 2002.

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 4 件)

Miyazaki, K., Eskes, H. J., and Sudo, K.: A tropospheric chemistry reanalysis for the years 2005-2012 based on an assimilation of OMI, MLS, TES and MOPITT satellite data, Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, 15, 8687-8770, doi:10.5194/acpd-15-8687-2015, 2015. (査読有り)

Miyazaki, K., Eskes, H. J., Sudo, K., and Zhang, C.: Global lightning NO_x production estimated by an assimilation of multiple satellite data sets, Atmospheric Chemistry and Physics, 14, 3277-3305, doi:10.5194/acp-14-3277-2014, 2014. (査読有り)

Miyazaki, K., and H. Eskes, Constraints on surface NO_x emissions by assimilating satellite observations of multiple species, Geophysical Research Letter, 40, doi:10.1002/grl.50894, 2013. (査読有り)

Miyazaki, K., H. J. Eskes, K. Sudo, M. Takigawa, M. van Weele, and K. F. Boersma, Simultaneous assimilation of satellite NO₂, O₃, CO, and HNO₃ data for the analysis of tropospheric chemical composition and emissions, Atmospheric Chemistry and Physics, 12, 9545-9579, doi:10.5194/acp-12-9545-2012, 2012. (査読有り)

〔学会発表〕(計 16 件)

Miyazaki, K., A tropospheric chemistry reanalysis for the years 2005-2012 based on an assimilation of AURA OMI, MLS, TES and MOPITT satellite data, JPL seminar, Pasadena, USA, 30 March 2015. (招待講演)

Miyazaki, K., A tropospheric chemistry reanalysis for the years 2005-2012 based on an assimilation of AURA OMI, MLS, TES and MOPITT satellite data, NCAR formal seminar, Boulder, USA, 19 March 2015. (招待講演)

宮崎和幸, Henk Eskes, 須藤健悟, 衛星データ同化による対流圏大気環境統合

解析, 第20回大気化学討論会, 府中グリーンプラザ(東京都府中市), 2014年10月28日

宮崎和幸, Henk Eskes, 須藤健悟, Chunxi Zhang, 衛星観測データ同化による雷室素酸化物生成量の推定, 日本気象学会 2014 年度秋季大会, 福岡国際会議場(福岡県福岡市), 2014年10月22日

宮崎和幸, 大気組成データ同化システムの開発と長期再解析, 第7回気象庁数値モデル研究会・第4回データ同化ワークショップ, 気象庁(東京都千代田区), 2014年1月8日(招待講演)

Miyazaki, K., Simultaneous assimilation of multi-species data for the analysis of chemical composition, Univ. of Reading seminar, Reading, UK, 25 October 2013.

Miyazaki, K., Estimating surface NO_x and CO emissions and lightning NO_x sources by assimilating satellite observations of multiple chemical species, Workshop on parameter estimation and inverse modelling for atmospheric composition, European Center for Medium range Weather Forecasting, Reading, UK, 22 October 2013. (招待講演)

Miyazaki, K., Global lightning production of NO_x estimated by assimilation of multiple satellite datasets, KNMI seminar, Utrecht, The Netherlands, 18 October 2013.

Miyazaki, K., Global and Asian NO_x emission estimates derived from a combined assimilation of multiple satellite observations, International Workshop on "Inventory, Modeling and Climate Impacts of Greenhouse Gas emissions (GHG's) and Aerosols in the Asian Region, Tsukuba International Conference Center, Tsukuba, Ibaraki, 26 June 2013. (招待講演)

宮崎和幸, Henk Eskes, 複数化学種衛星観測情報を統合した窒素酸化物排出量の推定, 日本地球惑星科学連合2013年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉県千葉市), 2013年5月19日

Miyazaki, K., Simultaneous assimilation of multi-species data for the analysis of chemical

composition in the troposphere and stratosphere, WCRP Regional Workshop on Stratosphere-Troposphere Processes and their Role in Climate, Kyoto University, Kyoto, Kyoto, 1 April 2013. (招待講演)

Miyazaki, K., Satellite data assimilation of atmospheric composition, A U.S. - Japan Workshop on the Tropical Tropopause Layer, East-West Center Honolulu, East-west Center, Honolulu, USA, 15 October 2012.

宮崎和幸, 山本正野論文賞・受賞記念講演, 日本気象学会 2012 年秋季大会, 北海道大学 (北海道札幌市), 2012 年 10 月 4 日 (招待講演)

宮崎和幸, Henk Eskes, 須藤健悟, 衛星観測データを統合した対流圏化学場の統合解析, 日本気象学会 2012 年秋季大会, 北海道大学 (北海道札幌市), 2012 年 10 月 3 日

Miyazaki, K., and H. Eskes, Simultaneous assimilation of satellite NO₂, O₃, CO, HNO₃ data for the analysis of tropospheric chemical composition and emissions, ESA ATMOS2012, Oud sint-jan congress centre, Bruges, Belgium, 22 June 2012.

Miyazaki, K., H. Eskes, and K. Sudo, Simultaneous assimilation of satellite NO₂, O₃, CO, and HNO₃ data for the analysis of the tropospheric chemical composition, The EGU General Assembly 2012, Austria center vienna, Vienna, Austria, 24 April 2012.

[その他]

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/kazuyukimiyazaki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮崎 和幸 (MIYAZAKI, Kazuyuki)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球表層物質循環研究分野・主任研究員

研究者番号: 30435838