

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成30年 6月15日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05296

研究課題名(和文) マルチモデルアプローチによる大気組成データ同化研究

研究課題名(英文) Atmospheric composition data assimilation using multiple chemical transport models

研究代表者

宮崎 和幸 (MIYAZAKI, Kazuyuki)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境観測研究開発センター・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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：データ同化による大気組成濃度・排出量の推定精度に対しては、同化手法・衛星データの選択・取り扱いのみならず、予報モデルの性能が影響を及ぼす。しかし、技術的な制約により、これまでの研究ではその影響は明らかにされていなかった。本研究では、異なるモデルに実装可能な最先端のデータ同化スキームを3つの化学輸送モデルに適用した。衛星観測データを同化し得られた解析結果を比較し、予報モデル性能が大気組成データ同化解析に及ぼす影響を明らかにした。今後必要となる観測網についてもデータ同化計算から考察し、異なる予報モデルを用いて整合する結論が得られるかを検証した。

研究成果の概要(英文)：We conducted tropospheric chemistry reanalysis calculations by assimilating multiple data sets from multiple satellite sensors. The reanalysis calculations were conducted using three different global chemical transport model and an ensemble Kalman filter technique that simultaneously optimises the chemical concentrations of various species and emissions of several precursors. The optimisation of both the concentration and the emission fields is an efficient method to correct the entire tropospheric profile and its year-to-year variations, and to adjust various tracers chemically linked to the species assimilated. Using the multiple chemical transport models, we demonstrated the importance of forecast model performance on tropospheric chemistry data assimilation.

研究分野：大気科学

キーワード：データ同化 オゾン 窒素酸化物 大気汚染 対流圏 大気化学

## 1. 研究開始当初の背景

衛星観測の充実と観測情報処理技術の発展に伴い、大気組成データ同化研究は近年発展を遂げている。これまでの研究から、データ同化に利用する予報モデルの性能が解析の品質に及ぼす影響が多岐であることが見出されていた。

予報モデルとして利用する CTM は大気汚染の実態調査や予測に利用されるが、取り扱う化学種・化学反応・大気輸送はモデルにより大きく異なる。この相違はモデルによる現実大気の再現性を左右するのみならず、データ同化解析にも影響する。これまで同化手法として変分法が主に利用されているが、複雑な CTM に対して随伴モデルを開発することが極めて困難であるため、複数のモデルに同一で高度なデータ同化フレームワークを適用することはほぼ不可能であった。モデル性能の影響を明らかにするために新たな枠組みが必要であった。

また、今後の観測のあり方について、モデルと観測に携わる研究者が協力し一体的に議論を進めることも必要であった。最新の観測データや、近年に実施が計画されている次世代衛星観測による情報を有効利用し、高精度な解析場を作成するために、予報モデル性能の影響を軽減した解析が望まれていた。データ同化を用いた感度計算から今後必要な観測網について考察する取り組みも実施されていたが、予報モデル性能の影響が不明な状況下では効果的な観測提言に繋がっていなかった。

## 2. 研究の目的

データ同化による大気組成の濃度・排出量分布の推定精度に対して、同化手法・衛星データの取り扱いだけでなく、予報モデルの性能が及ぼす影響が大きい。本研究では、異なるモデルに簡便に適用可能な最先端のデータ同化スキームを3つの化学輸送モデルに適用し、衛星観測データを同化し得られた解析結果を比較することで、予報モデル性能が大気組成データ同化解析に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

さらに、既存の観測を利用するだけでなく、今後必要となる観測網についてもデータ同化計算から考察し、異なる予報モデルを用いて整合する結論が得られるかを検証した。これら取り組みから、今後の大気組成データ同化研究に対する提言を与え、モデル改良、観測立案へと繋げることを目指した。

## 3. 研究の方法

これまでに、精度・計算効率の高いアンサンブルカルマンフィルタ手法をベースにして、大気組成に特化したデータ同化スキームを独自に開発してきた。本研究ではこのスキ

ームの更なる高度化を図った。具体的な方法は以下の通りである。

- (1) 高度な観測演算子を開発し、下部対流圏濃度に強い感度を持つ革新的な衛星観測データによる最新の情報を適切に同化可能とする。これにより、大気汚染と関連する下部対流圏濃度と排出量の推定を改善する。
- (2) これまでの研究では、オゾン、窒素酸化物、一酸化炭素濃度を同化変数に、モデルで扱う全ての化学種の濃度と窒素酸化物および一酸化炭素の排出量を解析対象にしていた。本研究では、同化・解析対象をさらに拡張する。
- (3) 日米で開発された3つのCTMに、高度化したデータ同化スキームを適用する。モデルの分解能や排出量データなどの設定を全てのモデルで同一にし、公平な比較をする。
- (4) NASA, ESA などの機関が提供し品質がよく調査されている衛星観測データを同化し、過去10年間の長期計算を実施する。計算結果は、衛星・航空機・ゾンデ・地上観測と比較する。排出量の推定値は、先行研究による値と比較し、本研究による変更点を明らかにする。
- (5) モデル性能の相違を招く支配的なプロセスを特定する。特定されたプロセスと関連するパラメータをデータ同化により修正することが可能であるかを検証する。これらにより、データ同化解析におけるモデル性能依存性を軽減できるかを調査し、大気組成解析の高精度化を促す。解析結果はモデル開発者に提供し、モデル改良に繋げる。

## 4. 研究成果

- (1) データ同化スキームの高度化：高精度なデータ同化解析のためにはデータ同化の基本的技術の改良が重要である。これまでに大気組成に特化したデータ同化スキームを独自に開発してきたが、更なるスキームの高度化を図った。具体的には、リトリーバル原理に基づく高度な観測演算子を開発し、最新の衛星観測情報を適切に同化可能とした。また、観測データの品質管理手法についても見直した。
- (2) 解析化学種の拡張：これまでの研究では、オゾン・窒素酸化物・一酸化炭素を主な解析対象としてきた。本研究では、それらに加えてホルムアルデヒド観測情報を同化対象にできるかについて検討を行った。
- (3) 複数の化学輸送モデルに同一のデータ同化スキームを導入した。CHASER、MIROC-Chem、GEOS-Chem に対して導入を完了した。将来、4次元変分法によるデータ同化結果との比較を可能とするため

に、最新のアジョイントモデルベースのモデルバージョンを予報モデルとして採用し、空間分解能 4x5 度で、データ同化を行わないモデル予報結果、データ同化を行なった解析値についてオゾンの 3 次元分布を独立観測データを用いて検証した。

- (4) 3 つの異なる化学輸送モデルに適用して構築したデータ同化システムを用いて、対流圏大気物質の再解析計算を実施した。各システムの性能を詳しく検証しデータ同化解析におけるモデル性能の重要性を調査した。その結果、特に上部対流圏・下部成層圏のオゾンについては再現性のモデル間の差異が大きいが、衛星によるプロファイル観測情報を同化することでモデル性能に依存しない解析場を整合的に作成可能であることが明らかとなった。一酸化炭素についても、排出量をデータ同化で修正することでモデルに依存せずに、観測とよく一致しシステム間で整合する解析場を作成可能であった。
- (5) 対流圏化学で中心的な役割を果たす OH ラジカルについては、モデル間での差異が大きく、複数化学種のデータ同化後においても違いが多く残った。OH ラジカルは各種物質の大気中での寿命に作用するため、推定される物質の排出量は OH ラジカルの違いに応じて大きなものとなった。システムに依存しない排出量情報を提供する上で、OH ラジカルの整合的な解析が重要であり、今後のシステム開発に対する重要な示唆を得た。
- (6) 3 つの異なるモデルを用いて観測システムシミュレーション実験 (OSSE) を実施する枠組みを考察し、衛星観測および OSSE 実施の中心機関である NASA および ESA との連携を強化することができた。日本国内における今後の衛星計画の推進に役立てるべく、JAXA との情報交換も進めた。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

- (1) Cady-Pereira, K. E., Payne, V. H., Neu, J. L., Bowman, K. W., Miyazaki, K., Marais, E. A., Kulawik, S., Tzompa-Sosa, Z. A., and Hegarty, J. D.: Seasonal and spatial changes in trace gases over megacities from Aura TES observations: two case studies, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 9379-9398, 2017  
doi: 10.5194/acp-17-9379-2017.  
査読あり
- (2) Ding, J., Miyazaki, K., van der A, R. J., Mijling, B., Kurokawa, J.-I., Cho, S., Janssens-Maenhout, G., Zhang, Q.,

Liu, F., and Levelt, P. F.: Intercomparison of NO<sub>x</sub> emission inventories over East Asia, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 10125-10141, 2017.  
doi:10.5194/acp-17-10125-2017.

査読あり

- (3) Miyazaki, K., Eskes, H., Sudo, K., Boersma, K. F., Bowman, K., and Kanaya, Y.: Decadal changes in global surface NO<sub>x</sub> emissions from multi-constituent satellite data assimilation, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 807-837, 2017.  
doi:10.5194/acp-17-807-2017  
査読あり
- (4) Miyazaki, K. and Bowman, K.: Evaluation of ACCMIP ozone simulations and ozonesonde sampling biases using a satellite-based multi-constituent chemical reanalysis, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 8285-8312, 2017.  
doi:10.5194/acp-17-8285-2017  
査読あり
- (5) Yumimoto, K., Tanaka, T. Y., Oshima, N., and Maki, T.: JRAero: the Japanese Reanalysis for Aerosol v1.0, *Geosci. Model Dev.*, 10, 3225-3253, 2017.  
doi:10.5194/gmd-10-3225-2017  
査読あり
- (6) Yumimoto, K., Morino, Y., Ohara, T., Oura, Y., Ebihara, M., Tsuruta, H., and Nakajima, T.: Inverse modeling of the 137Cs source term of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident constrained by a deposition map monitored by aircraft, *J. Environ. Radioactiv.*, 164, 1-12, 2016.  
doi:10.1016/j.envrad.2016.06.018  
査読あり
- (7) Yumimoto, K., Murakami, H., Tanaka, T.Y., Sekiyama, T.T., Ogi, A., Maki, T.: Forecasting of Asian dust storm that occurred on May 10 - 13, 2011, using an ensemble-based data assimilation system, *Particuology*, 28, 121-130, 2016  
doi:10.1016/j.partic.2015.09.0001  
査読あり
- (8) 弓本桂也, 鶴野伊津志, 板橋秀一, 栗林正俊, 宮崎和幸, 逆推計手法を利用した NO<sub>x</sub> 排出量インベントリの速報アップデート, *大気環境学会誌*, 50, 199-206, 2015.  
査読あり

〔学会発表〕(計 34 件)

- (1) Miyazaki, K., T. Sekiya, D. Fu, K. W. Bowman, T. Walker, S. S. Kulawik, K. Sudo, Y. Kanaya, M. Takigawa, K.

- Oguchi, B. Gaubert, J. Barre, L. Emmons, Application of multi-constituent satellite data assimilation for KORUS-AQ, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, 11 December 2017.
- (2) Miyazaki, K., T. Sekiya, H. Eskes, F. Boersma, D. Fu, K. Bowman, Susan S. Kulawik, T. Walker, K. Sudo, Y. Kanaya, M. Takigawa, K. Oguchi, 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, Deagu, Republic of Korea, 10 November, 2017. (Invited)
- (3) Miyazaki, K., H. Eskes, F. Boersma, K. Bowman, Y. Kanaya, T. Sekiya, Decadal changes in global surface NO<sub>x</sub> emissions from multi-constituent satellite data assimilation, 18th GEIA Conference, Hamburg, Germany, 14 September, 2017.
- (4) Yumimoto K., Aerosol Data Assimilation with Lidar Observations, 28th International Laser Radar Conference, 2017年. (招待講演)
- (5) 弓本桂也, 田中泰宙, 大島長, 眞木貴史, 大気化学再解析とその気候研究への利用:(2)エアロゾル, 日本気象学会 2017年度秋季大会, 2017.
- (6) Miyazaki, K., T. Sekiya, D. Fu, K. W. Bowman, S. S. Kulawik, K. Sudo, Y. Kanaya, M. Takigawa, K. Oguchi, 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, SUNTEC Singapore, Singapore, 12 August, 2017.
- (7) Miyazaki, K., K. Bowman, Evaluation of ACCMIP and CCM1 ozone simulations using a multi-constituent chemical reanalysis, Chemistry-Climate Model Initiative Science Workshop, Météo-France, Toulouse, France, 15 June, 2017.
- (8) 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, Harvard University, Cambridge, USA, 2 May, 2017.
- (9) 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 Pasadena Convention Center Pasadena, California, USA, 21 April, 2017.
- (10) Miyazaki, K., D. Fu, K. Bowman, S. Kulawik, T. Sekiya, Y. Kanaya, K. Sudo, H. Worden, B. Gaubert, J. Barre, L. Emmons, Air quality monitoring over East Asia based on multiple-species satellite data assimilation, The 1st KORUS-AQ Science Team Meeting, Jeju, South Korea, 27 February, 2017.
- (11) Yumimoto, K., Introduction to Aerosol Modeling and Data Assimilation in Japan, International Workshop on Aerosol Modeling: Lidar observation Technique and Data Assimilation, 2017.
- (12) Yumimoto, K., Aerosol modeling and Data Assimilation in Japan, Itinerary of Workshop on Aerosol Model and Data Assimilation, 2017
- (13) 弓本桂也, ひまわり8号で見るエアロゾルの分布と飛来予測, 第21回日本気象学会中部支部公開気象講座, 2017
- (14) 弓本桂也, エアロゾル版再解析データの開発, 第58回大気環境学会年会, 2017
- (15) Miyazaki, K., H. Eskes, K. Sudo, K. F. Boersma, K. W. Bowman, Y. Kanaya, Decadal changes in global surface NO<sub>x</sub> emissions from multi-constituent satellite data assimilation, AGU Fall Meeting 2016, San Francisco, USA, 16 December 2016.
- (16) Yumimoto K. and Maki T. Development of an aerosol assimilation/forecasting system with Himawari-8 aerosol products, 2016 AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, USA
- (17) Miyazaki, K. and K. Bowman, Application of tropospheric chemistry reanalysis to chemical OSSE studies, Second Workshop on Atmospheric Composition Observation System Simulation Experiments (OSSEs), Reading, UK, 11 November, 2016.
- (18) Miyazaki, K., A tropospheric chemistry reanalysis based on multi-constituent satellite data assimilation, University of Toronto Noble seminar series, Toronto, Canada, 3 October 2016. (Invited)
- (19) Yumimoto K., Operational and Research Activities for Asian Dust at Japan Meteorological Agency, Third Seminar of JSPS Core-to-Core Program -

- Collaborative Research between Mongolia, China and Japan on Outbreaks of Asian Dust and Environmental Regime Shift, 2016年08月08日, Ulaanbaatar, Mongolia(招待講演)
- (20) Yumimoto K., JMA Assimilation Update, International Cooperative for Aerosol Prediction (ICAP) 8th working group meeting, 2016年07月12日, College Park, MD, USA
- (21) 弓本桂也, ひまわり8号観測を用いたエアロゾル同化予測システムの開発, 気象学会 2016年度秋季大会, 2016年10月26日, 名古屋大学, 愛知県名古屋市
- (22) Miyazaki, K., H. Eskes, and K. Sudo, A tropospheric chemistry reanalysis for the years 2005-2014 based on an assimilation of AURA OMI, MLS, TES and MOPITT satellite data, The Moscone Center, San Francisco, AGU fall meeting, 15 December 2015. (Invited)
- (23) Yumimoto K., Development of a Forecasting and Data Assimilation System for Asian Dust in the Japan Meteorological Agency (JMA), 2015 American Geophysical Union Fall Meeting, 2015年12月15日, San Francisco, CA, USA (招待講演)
- (24) Yumimoto K., Aerosol Data Assimilation with the Next Generation Meteorological Satellite (Himawari-8), 2015 American Geophysical Union Fall Meeting(国際学会), 2015年12月15日, San Francisco, CA, USA
- (25) Miyazaki, K., A tropospheric chemistry reanalysis for the years 2005-2014 based on an assimilation of AURA OMI, MLS, TES and MOPITT satellite data, UC Berkeley BASC Seminar, Berkeley, USA, 18 November 2015.
- (26) Yumimoto K. Application of Inversion Technique to Quick Update of Anthropogenic NO<sub>x</sub> Emission over East Asia with Satellite Observation, The 13th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality (ASSAAQ13), 2015年11月11日, Kobe International Conference Center, Kobe, Hyogo, Japan(国際学会)
- (27) Miyazaki, K., K. Bowman, and H. Eskes, Evaluation of CCMI and ACCMIP ensemble simulations using atmospheric chemical reanalysis, IGAC/SPARC CCMI workshop 2015, Rome, Italy, 8 October 2015.
- (28) 弓本桂也, ひまわり8号データを用いたエアロゾルデータ同化, 日本気象学会 2015年度秋季大会, 2015年10月28日, 京都テルサ(京都府京都市)
- (29) 弓本桂也, 物質輸送とデータ同化, 2015データ同化夏の学校, 2015年08月19日, JAMSTEC むつ研究所(青森県むつ市)
- (30) Miyazaki, K., and P. Patra, OH inter-hemispheric ratio and inter-annual variations in CCMs, IGAC/SPARC CCMI workshop 2015, Rome, Italy, 8 October 2015.
- (31) Miyazaki, K., A tropospheric chemistry reanalysis for the years 2005-2014 based on an assimilation of AURA OMI, MLS, TES and MOPITT satellite data, OMI Science Team Meeting nr. 19 (2015), KNMI, Utrecht, the Netherlands, 2 September 2015.
- (32) Miyazaki, K., A tropospheric chemistry reanalysis for the years 2005-2014 based on an assimilation of AURA OMI, MLS, TES and MOPITT satellite data, Wageningen University Meteorology and Air Quality Group seminar, Wageningen, the Netherlands, 10 September 2015. (Invited)
- (33) Yumimoto K. Long-term Inverse Modeling of Asian Dust, 2015 Asian Aerosol Conference (AAC2015 9th Asian Aerosol Conference (AAC2015)), 2015年06月24日, 金沢東急ホテル, Kanazawa, Ishikawa, Japan
- (34) Yumimoto K., An investigation of source-receptor relationships for air pollutants in East Asia, 7th International GEOS-Chem Meeting, 2015年05月04日, Harvard University, Cambridge, MA, USA
- 〔その他〕  
大気組成再解析公開ページ：  
<https://ebcrpa.jamstec.go.jp/~miyazaki/tcr/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
宮崎 和幸 (MIYAZAKI, Kazuyuki)  
国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境観測研究開発センター・主任研究員  
研究者番号：30435838
- (2) 研究分担者  
弓本 桂也 (YUMIMOTO, Keiya)  
九州大学・応用力学研究所・准教授  
研究者番号：50607786
- (3) 連携研究者  
渡邊 真吾 (WATANABE, Shingo)  
国立研究開発法人海洋研究開発機構・シームレス環境予測研究分野・分野長

研究者番号：50371745

金谷 有剛 (KANAYA, Yugo)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球  
環境観測研究開発センター・センター長代  
理

研究者番号：60344305

須藤 健悟 (SUDO, Kengo)

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：40371744