

令和 2 年 5 月 31 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K16116

研究課題名(和文) 化学輸送・気象カップルモデル開発とオゾン・PM<sub>2.5</sub>生成への影響評価と実態解明研究課題名(英文) The development of two-way coupled meteorology and air quality model and Investigation of O<sub>3</sub> and PM<sub>2.5</sub> over East Asia

研究代表者

原 由香里 (Hara, Yukari)

九州大学・応用力学研究所・助教

研究者番号：30462493

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：次世代領域化学輸送・気象カップルモデルの開発を行い、光化学オゾン及びPM<sub>2.5</sub>を含むエアロゾル予測の高度化を行うため、領域化学輸送モデル(CMAQ)にダストモジュールの追加を行った。2015年東アジア域を対象とした数値実験を行い、領域化学輸送モデルから予測されるダストを含むエアロゾル成分と、福岡におけるエアロゾル地上観測値(硫酸塩、硝酸塩、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>)、地上ライダーデータなどとの比較を行った。観測と数値モデルとの統合的な解析から、中国大陸の風下域にあたる福岡ではエアロゾルの内部混合が重要な微物理過程であり、モデルの再現精度に大きな影響を与えることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東アジア域は様々な自然起源・人為起源のエアロゾルの発生源が混在し、その輸送構造や混合状態が非常に複雑である。そのため、エアロゾルやオゾンについて数値モデルによって精度良く再現することは非常に難しいが、本研究で観測と数値モデルの解析を統合的に行った結果、特に風下域である日本で内部混合というエアロゾル間の反応が重要であることが明らかとなり、今後の数値モデルの開発への一助となると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Atmospheric environment in East Asia was investigated with the Community Multiscale Air Quality Modeling System (CMAQ). The dust module was added in CMAQ to reproduce Asian dust storm in springtime. Comprehensive analysis based on observations and numerical model clarified that the heterogeneous reactions on the aerosols (dust-nitrate, dust-sulfate, and black carbon-water soluble components) were significant microphysical mechanism for the accurate aerosol-gas simulation.

研究分野：大気環境

キーワード：エアロゾル 内部混合 統合的解析

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東アジア域は 2000 年以降、大気汚染物質の排出量が経済発展に伴い増加の一途をたどり、世界で最も大気汚染が深刻な地域となった。特に、中国からの NO<sub>x</sub> 排出量は増加し続けており、日本において度々深刻な光化学スモッグが起こる。NO<sub>x</sub> から光化学生成されるオゾンの日本での環境基準達成率は 0% と大変深刻である。東アジア域には人為起源の排出源の他に、標高 1500m 以上の大陸上に広大な黄砂の発生源が存在する。砂塵嵐によって舞い上がる黄砂は、PM<sub>2.5</sub> に大きく寄与し、光学的に厚く日射を遮蔽し、さらに氷晶核・雲核として作用するため雲による間接的な日射遮蔽も引き起こす。その結果、地上の気温低下や混合層厚さの低下が起こり大気環境への影響が非常に大きいエアロゾルである。衛星ライダーによりタクラマカン砂漠では一年中黄砂が発生していることが確認されている。また、高度 3km 以上に黄砂層/大気境界層内に大気汚染層といった大気汚染の多層構造も地上/衛星ライダーから観測され、世界的にみてもアジア域は大気汚染物質の分布および混合状態が非常に複雑な地域である。オゾンや PM<sub>2.5</sub> の健康影響や地球温暖化研究の観点から、大気汚染物質の動態を捉える化学輸送モデルの高精度化が強く望まれている。化学輸送モデルは 1990 年代から開発されてきたが、今だ汚染ガス・エアロゾルの 3 次元分布や定量的な再現精度には問題が多い。例えば、化学モデル CMAQ と地上/衛星ライダーを用いた研究から、モデルは夏季に大気汚染層の鉛直厚さを過大評価(つまり混合層を過大評価)することが明らかとなっている。更に、夏季のオゾン濃度の過大評価が特に大きな問題となっている。これらのモデル誤差の原因は、発生量の誤差に起因する問題と、モデル内部の化学・物理プロセスの誤差に起因する問題が複合的に絡んでいるが、後者の誤差に関連する要因の一つとして、現在の化学モデルが化学反応に重要なエアロゾルによる日射の減衰や雲物理の変化などの放射フィードバック効果を表現していないことが挙げられる。現実の大気では、(1)エアロゾルによる日射の散乱・吸収・氷晶核・雲核としての作用が→(2)地上日射の減少や雲物理特製の変化および気温の低下、混合層の変化など気象場の変化を引き起こし→(3)日射の減少や気温低下に応じオゾン-NO<sub>x</sub> を含む光化学反応サイクルが変化し→エアロゾル場の変化に伴い再び(1)の過程が気象場に影響を与える、というように相互作用が起こり、現実の大気環境とオフラインモデル結果の乖離が必然的に起こると考えられる。(1)(2)(3)の相互フィードバック効果は、最終的に(4)アジア域における物質・放射収支の変化をもたらす。

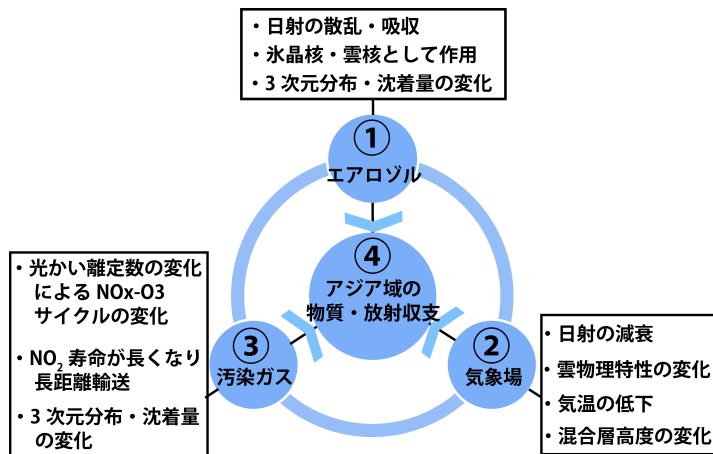


図 1 エアロゾル-気象-汚染ガスフィードバック効果の概念図

2. 研究の目的

以上の背景をもとに、本研究では数時間から数日の「短い」時間スケールの相互フィードバック効果のシミュレートが可能な化学輸送・気象カップルモデルの開発を行う。更に、中国の風下域となる福岡におけるエアロゾルの連続的地上観測と突き合わせた大気汚染状況の実態解明を行う。

3. 研究の方法

東アジアにおける黄砂-気象場-オゾンの相互作用の実態を解明し、化学モデルを高度化するため、気象モデルとして WRF (Weather Research and Forecasting model) を、化学モデルとして CMAQ (Community Multiscale Air Quality modeling system) をベースとなるモデルとして使用し、大気汚染・気象カップルモデルを開発する。黄砂の発生量の不確定性は非常に大きいためアジア域に特化した黄砂パラメータの導入を第一に行い、CMAQ のエアロゾルモデルにエアロゾルの粒径に依存した光学特性の計算を行うモジュールを追加し、気象モデル WRF の放射コードにつなぎ気象場の計算を行うカップルモデルを開発する。発生量データをコンパイルし、アジア域を対象としたオンラインカップルモデルによる大気環境の通年再現実験を行い、気象場の基礎的精度検証および観測から得られる黄砂・オゾン(前駆気体である NO<sub>2</sub>)の連続的な 3 次元再現性の検証を行う。最終的に観測データとモデル結果に基づき実態解明を行う。

4. 研究成果

数時間から数日の短い時間スケールの気象-大気汚染物質の相互フィードバック効果の再現が可能な次世代領域化学輸送・気象カップルモデルの開発を行い、光化学オゾン及び PM<sub>2.5</sub> を含むエアロゾル予測の高度化を行うため、領域化学輸送モデル(CMAQ)にダストモジュールの追加

を行い、ダストの飛散に重要となる地表面データ(積雪データ, 土地利用データ)及び気象モデルから得られる土壌水分データの読み込みモジュールを追加した. 大気汚染物質の排出量として, 月変動を考慮したエミッションインベントリ (REAS2)をコンパイルし, 2015 年東アジア域を対象とした数値実験を行い, 領域化学輸送モデルから予測されるダストを含むエアロゾル成分と, 福岡におけるエアロゾル地上観測値(硫酸塩, 硝酸塩,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ), 国立環境研究所が展開する地上ライダーデータなどとの比較を行った. 長期的なシミュレーションから, ダストの定量的な再現性の問題が確認され, ダストモジュールの改良が必要であることが明らかとなった. 一方, 本研究課題で開発中の次世代領域化学輸送・気象カップルモデルの検証のため, 散乱性エアロゾル・煤・黄砂・海塩粒子の4タイプを識別できる多波長ミー・ラマン散乱ライダーの長期観測結果を使用し, 福岡におけるエアロゾル種の混合状態と鉛直プロファイルの季節毎の実態把握を行った. その結果, 福岡におけるエアロゾルの季節変動には自然起源エアロゾルによる内部混合と, 親水性エアロゾルの吸湿成長が重要な微物理過程であることが明らかとなった. 具体的に煤については, 煤と親水性エアロゾルの内部混合状態を表す Core-Gray-Shell Model を使用しなければ, この地域の煤の光学特性が表現されないことが明らかとなり, 相対湿度の再現性も Core-Gray-Shell Model を使用する上で非常に重要である事が明らかとなった. また, 黄砂と親水性エアロゾルの内部混合も観測され, そのような混合状態のエアロゾルの表現が排出源の風下域では重要となっている事が明らかとなった. 図2に福岡における多波長ミー・ラマン散乱ライダーから得られたエアロゾル種毎の鉛直プロファイルの季節・長期変動を示す. 本課題期間中, 産休・育休に伴う研究中断が度重なりオンラインカップルモデルの開発およびカップルモデルの影響評価が完了しなかったため, 今後継続・遂行予定である.

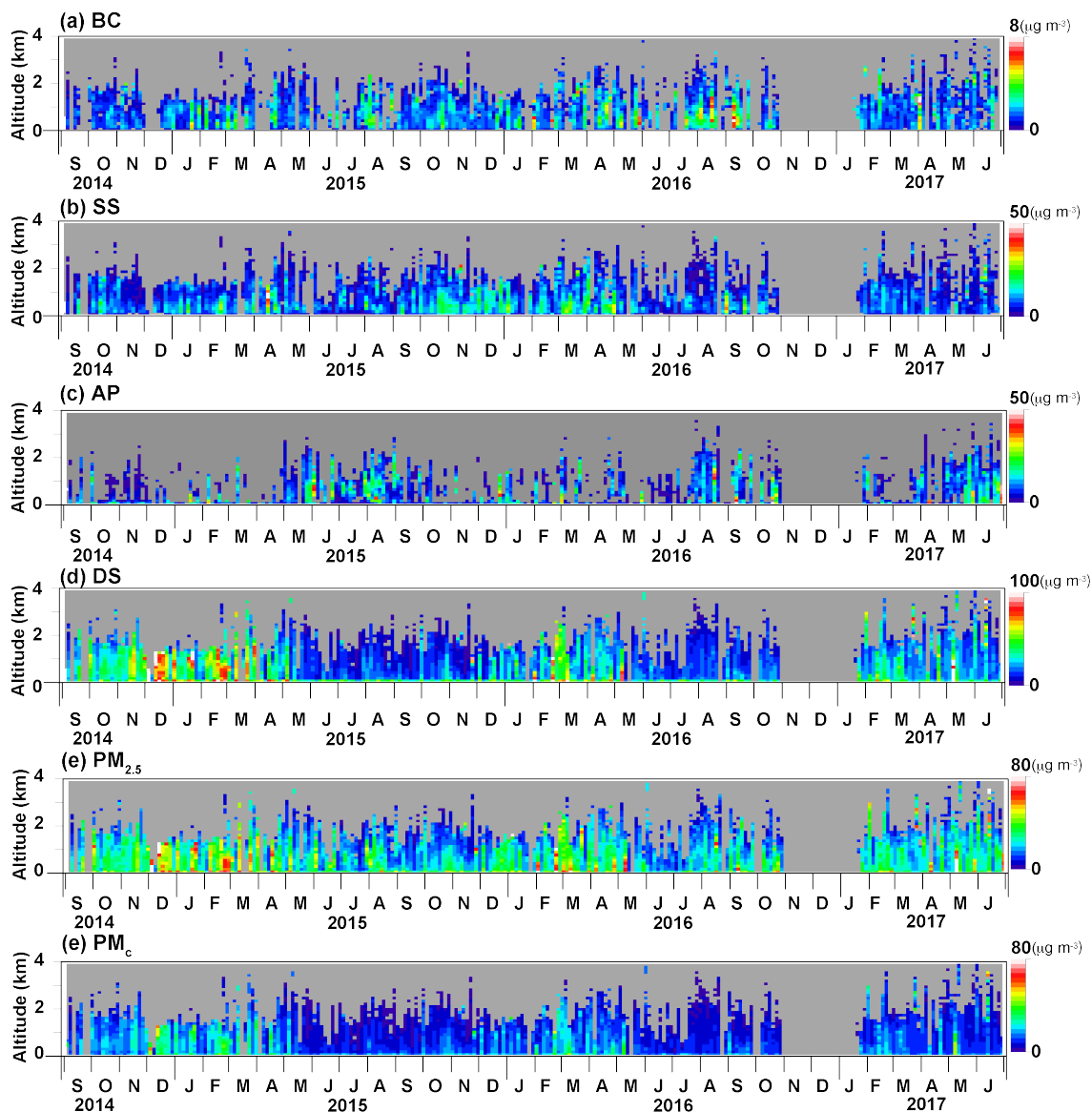


図2 福岡における多波長ミー・ラマンライダーから得られた(a)黒色炭素, (b)海塩粒子, (c)散乱性エアロゾル, (d)黄砂, (e)  $PM_{2.5}$ , (f)  $PM_c$  の鉛直プロファイル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yukari Hara, Tomoaki Nishizawa, Nobuo Sugimoto, Kazuo Osada, Keiya Yumimoto, Itsushi Uno, Rei Kudo, and Hiroshi Ishimoto	4. 巻 10
2. 論文標題 Retrieval of Aerosol Components Using Multi-Wavelength Mie-Raman Lidar and Comparison with Ground Aerosol Sampling	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Remoto sensing	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.3390/rs10060937">https://doi.org/10.3390/rs10060937</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hara, Y., Nishizawa, T., Sugimoto, N., Matsui, I., Pan, X.L., Kobayashi, H., Osada, K. and I.Uno	4. 巻 188
2. 論文標題 Optical properties of mixed aerosol layers over Japan derived with multi-wavelength Mie Raman lidar system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer	6. 最初と最後の頁 20-27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="http://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2016.06.038">http://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2016.06.038</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 原 由香里, 西澤智明, 弓本桂也, 鶴野 伊津志, 入江仁士, 杉本伸夫
2. 発表標題 多波長ラマンライダーによる九州北部域の越境PM 汚染期間におけるエアロゾルの光学特性
3. 学会等名 大気環境学会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 原 由香里, 西澤智明, 弓本桂也, 鶴野 伊津志, 入江仁士, 小林拓, 杉本伸夫
2. 発表標題 多波長ミー・ラマンライダーから得られたエアロゾル光学特性の検証
3. 学会等名 日本気象学会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 原由香里, 西澤智明, 弓本桂也, 鶴野伊津志, 長田和雄, 小林拓, 杉本伸夫
2. 発表標題 多波長ミー・ラマンライダーから得られたエアロゾル光学特性と混合状態
3. 学会等名 日本気象学会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考