

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25340019

研究課題名(和文) 衛星を用いた都市域におけるPM2.5濃度の広域分布推定

研究課題名(英文) Estimation of PM2.5 distribution over mega city based on satellite measurements

研究代表者

佐野 到 (SANO, Itaru)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：10247950

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：衛星データに基づくPM2.5濃度分布推定に関する研究を実施した。PM2.5濃度推定のためには衛星観測値より推定するエアロゾルの光学的厚さ(AOT)情報が必要となるが、都市部のAOT推定は難しい。本研究では、温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)搭載CAIセンサによる反射率を用いて、大阪上空のAOT分布を導出した。NASA/AERONET DRAGON-Japan集中観測において取得した地上からのAOT計測値と比較した結果、良好な精度(RMS値)を得た。このAOT分布情報に基づくPM2.5濃度を推定した結果と線式PM2.5計測値との比較結果より、RMSが約6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：This work intends to develop a procedure to estimate PM2.5 concentration over mega city in Japan. The procedure is composed of two parts as: 1. Aerosol retrieval from satellite reflectance measurements. 2. Conversion into PM2.5 concentration from retrieved aerosol optical thickness (AOT). The comparison of retrieved AOT from GOSAT/CAI with NASA/AERONET AOT measurements is performed in Osaka region. As results, a root mean square error value of AOT (RMSE-AOT) is around 0.09 in all retrieved wavelengths and the RMSE-AOT at a wavelength of 670 nm over Osaka region is around 0.07. Finally, satellite retrieved PM2.5 concentration also coincides with in situ PM2.5 measurements, RMSE-PM2.5 is around 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

研究分野：環境動態解析

キーワード：PM2.5 Aerosol DRAGON

1. 研究開始当初の背景

日本における $PM_{2.5}$ の環境基準値は 2009 年に設定されたこともあり、2010 年代初頭は大気中の $PM_{2.5}$ 濃度計測機器の設置は遅れていた。中国都市部における高濃度の大气汚染およびその越境汚染を発端として、 $PM_{2.5}$ という言葉が広く社会に認知され、 $PM_{2.5}$ 計測データは格段に増えた。しかし、地方においては今だ計測情報が不足しているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では $PM_{2.5}$ の広域情報を衛星計測に基づき取得することを目的とする。この目的を達成するために本研究では、□衛星からの $PM_{2.5}$ 推定において都市域上空エアロゾルの導出（エアロゾルの光学的厚さ）及び推定精度向上、□エアロゾル濃度に関する高度分布の把握、□衛星から導出される大気エアロゾルの光学的厚さの $PM_{2.5}$ 濃度への変換、□衛星から導出される $PM_{2.5}$ 濃度と地上計測値の比較検証を目的として研究を行う。

3. 研究の方法

3.1 衛星データ

$PM_{2.5}$ データ取得のための衛星観測値は限られる。本研究では日本が運用する温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(Greenhouse gasses observation satellite; GOSAT) に搭載される雲・エアロゾルイメージャ (Clouds aerosol imager; CAI) により取得されるデータを用いて $PM_{2.5}$ 推定を行う。CAI データは、は、都市部を表現可能なように、国立環境研究所が提供するレベル 1B データを用いる。本レベルの衛星直下視におけるピクセル解像度は 500 m である。CAI の計測波長は 380, 670, 870, 1600 nm 帯で実施される。しかしながら、1600 nm 帯は微小粒子計測には向かないため、380~870 nm の 3 波長のみを用いる。

3.2 陸面モデル

陸域における衛星計測データの解析において、地球大気 - 陸面モデルが必要となる。都市域上空の $PM_{2.5}$ 濃度分布推定においても特に陸面モデルが重要となる。そこで、CAI 衛星の 3 日帰軌道の特性を活かし、3 日毎

に得られる同一軌道毎にデータを用い軌道毎に異なる陸面モデルを採用する。この方法を用いることで、陸面の二方向反射特性を陸面モデルに組み込むことと同等となる。また、その際ピクセル毎の反射率を得るため、AERONET 放射計により計測された大気エアロゾル情報を用いて大気補正処理を実施することで、陸面モデルを得ることが出来る。

3.3 放射伝達計算

大気情報抽出のための大気物理モデルとして放射伝達計算を行う必要があるが、ここでは様々なエアロゾル種に対応するため、エアロゾル量、サイズ、吸収特性変化を考慮したモデルを作成する。このモデルに基づき、CAI の 3 計測波長における放射伝達計算を実施し、計算結果のテーブル化を行う。このテーブル化を行うことで、PM 解析時における放射伝達計算の実行時間を削減することができる。

3.4 エアロゾル導出

CAI による計測データ、陸面モデル、放射伝達計算結果を用いてエアロゾル導出を実施する。導出するエアロゾルパラメータは、光学的厚さ、粒径、吸収特性（一次散乱アルベド）とする。これらのパラメータを CAI の 3 波長計測データから推定するが、その際、非線形最適化手法を用いる。

3.5 エアロゾル高度の考慮と $PM_{2.5}$ 濃度推定

$PM_{2.5}$ 濃度の推定において、エアロゾル濃度の高度分布が重要なため、LIDAR データを活用する。LIDAR より得られるエアロゾル濃度の高度分布を用いて、地表付近のエアロゾル濃度が得られる。大気上端までの積分量として得られる衛星導出エアロゾル光学的厚さを地表付近の有効値(有効 AOT)へ変換する。こうして算出した有効 AOT と $PM_{2.5}$ の関係性を利用することで、最終的に $PM_{2.5}$ 濃度へ変換する。

4. 研究成果

詳細な結果は、発表論文などに記した書籍、論文、学会発表などで公表を行っているが、研究成果をまとめると、以下の通りである。

都市域上空のエアロゾルの光学的厚さ推

定において、AERONET 放射計との比較を行った結果、全波長の 2 乗平均誤差(rms)は 0.09 であった。また、PM_{2.5} 濃度推定に用いる波長 670 nm 帯における rms 値は 0.07 が得られた。

LIDAR データを併用した PM_{2.5} 濃度推定において、線方式の PM_{2.5} 自動計測器の計測誤差とほぼ同等の約 6 μg/m³ の rms 値が得られた。

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 10 件)

1. Mukai, S., I. Sano, M. Nakata, and M. Yasumoto, Detection of severe air pollution from multidirectional perspectives, Proc. SPIE, 査読無, 9640, 964013, DOI: 10.1117/12.2194677, 2015.
2. Sano, I., S. Mukai, and M. Nakata, Retrieval for PM_{2.5} distribution from space, Proc. IEEE IGARSS 2015, 査読無, 2206 - 2209, DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326243, 2015.
3. Mukai, S., I. Sano, and M. Nakata, Detection and/or distinction between haze and/or cloud, Proc. IEEE IGARSS 2015, 査読無, 2210 - 2213, DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326244, 2015.
4. Nakata, M., I. Sano, and S. Mukai, Relation between aerosol characteristics and impact factor on climate and environment, Proc. IEEE IGARSS 2015, 査読無, 2342-2345, DOI:10.1109/IGARSS.2015.7326278, 2015.
5. Mukai, S., M. Nakata, M. Yasumoto, I. Sano, and A. Kokhanovsky, A study of aerosol pollution episode due to agriculture biomass burning in the east-central China using satellite data, Front. Environ. Sci., 査読有, DOI:10.3389/fenvs.2015.00057, 2015.
6. Kokhanovsky, A.A., A. B. Davis, B. Cairns, O. Dubovik, O. Hasekamp, I. Sano, S. Mukai, V. Rozanov, P. Litvinov, T. Lapyonok, I. S. Kolomiets, Y. A. Oberemok, S. Savenkov, A. di Noia, F. Xu, M. Duan, D. Diner, and R. Munro, Space-Based Remote Sensing of Atmospheric Aerosols: The Multi-Angle Spectro-Polarimetric Frontier, Earth Science Reviews, 査読有, 145, 85-116, DOI:10.1016/j.earscirev.2015.01.012, 2015.
7. Nakata, M., I. Sano and S. Mukai, Air Pollutants in Osaka, Front. Environ. Sci., 査読有, 3:18. DOI: 10.3389/fenvs.2015.00018, 2015.
8. 向井 苑生, 佐野 到, 中田 真木子, 中口 謙, 井口 信和, 保本 正芳, B. Holben, 衛星及び地上データの統合解析による北京上

空大気汚染粒子の解明, 29, エアロゾル研究, 査読有, 125-132, 2014.

9. Mukai, S., I. Sano and M. Nakata, Air pollutant retrieval in East Asia from space and ground, Proc of SPIE, 査読無, 2014-9242-42, DOI:10.1117/12.2067018, 2014.
10. Nakata, M., I. Sano, S. Mukai, and B. Holben, Spatial and temporal variation of atmospheric aerosol in Osaka, Atmosphere, 査読有, 4, 157-168, DOI: 10.3390/atmos4020157, 2013.

[学会発表](計 11 件)

1. Mukai, S., I. Sano, M. Nakata and A. Kokhanovsky, Detection of haze and/or cloud in the biomass burning episodes in East Asia, EGU meeting, Apr. 12-17th, 2015, Vienna (Austria).
2. Sano, I., et al., On relationship between aerosols and PM_{2.5}, EGU meeting, Apr. 12-17th, 2015, Vienna (Austria).
3. Sano, I., et al., Modeling of PM_{2.5} based on the ground measurements, AGU fall meeting, Dec. 15-19th, 2014, San Francisco (USA).
4. Sano, I., et al., Experimental work of aerosol retrieval for SGLI on board GCOM-C1, SPIE Euro remote sensing, Sep. 22-25th, 2014, Amsterdam (Netherland).
5. Sano, I., and S. Mukai, The S-GLI aerosol retrieval algorithm: update, ISSI aerosol retrieval workshop, Sep. 1-5th, 2014, Bern (Switzerland).
6. Sano, I., et al., Aerosol remote sensing based on SGLI on board GCOM-C1, AOGS, Jul. 28-Aug. 1, 2014, Royton Sapporo Hotel, (北海道・札幌市).
7. Sano, I., et al., Retrieval algorithm for aerosols based on GCOM-C1 / SGLI, JPGU, Apr. 28-May 2, 2014, Pacifico Yokohama, (神奈川県・横浜市).
8. Sano, I., et al., Regional and transported aerosols during DRAGON - Japan experiment, AGU fall meeting, Dec. 9-13th, 2013, San Francisco (USA).
9. Sano, I., et al., Development of aerosol algorithm for GCOM-C product, ICAP 5th meeting, Nov. 5-8th, 2013, (Tsukuba Int'l Congress Center, 茨城県・つくば市).
10. Sano, I., et al., aerosol information over Osaka during DRAGON Japan experiment, SPIE Euro Remote Sensing, Sep. 23-26th, 2013, Dresden (Germany).

11. Sano, I., et al., An algorithm to estimate optical properties of carbonaceous aerosols based on combined use of polarization and reflectance measurements, Electromagnetic Light Scattering-XIV, Jun. 17-21th, 2013, Lille (France).

〔図書〕(計1件)

1. Editors: C. Tomasi, S. Fuzzi, A. Kokhanovsky, Wiley-VCH, Atmospheric aerosol: life cycle and effects on air quality and climate, October 2016, 分担執筆(9章2.2担当),全714ページ, ISBN: 978-3-527-33645-6.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.kindai.ac.jp/rd/research/pm.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐野 到 (SANO, Itaru)
近畿大学・理工学部・教授
研究者番号：10247950

(2)連携研究者

向井 苑生 (MUKAI, Sonoyo)
京都情報大学院大学・教授
研究者番号：00097411

中田 真木子 (NAKATA, Makiko)
近畿大学・総合社会学部・准教授
研究者番号：80525791