

令和 2 年 4 月 7 日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18801

研究課題名（和文）ひまわり8/9号による短寿命気候汚染物質オゾン濃度の高精度導出

研究課題名（英文）Development of algorithm for retrieving SLCPs O3 concentrations from Himawari-8 and 9

研究代表者

齋藤 尚子（Saitoh, Naoko）

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・准教授

研究者番号：50391107

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：ひまわり8号のデータを用いた雲判定アルゴリズムを開発し、晴天域において同期するひまわり8号とGOSAT/TANSO-FTSの観測視野を抽出した。GOSATの晴天観測シーンの9.6 $\mu\text{m}$ 帯の輝度スペクトルから非線形最大事後確率推定法を用いてオゾンの鉛直濃度分布を導出するアルゴリズムを開発し、東アジア域で導出した鉛直分布データとオゾンゾンデ等の他データと比較したところ、両者は概ね良い一致を示すことがわかった。ひまわり8号の輝度データ単独では地表オゾンの情報を得ることは難しいが、地上観測ネットワークの地表オゾンデータとの比較から、GOSATからは地表オゾンの濃度分布の特徴の抽出は可能であると示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

対流圏オゾンはオゾン総量のわずか10%以下であるが、短寿命気候汚染物質であり、極めて有毒な大気汚染物質である。全球での対流圏オゾンのモニタリングには、衛星搭載センサーによる観測が有効であるが、対流圏オゾンの濃度の情報のみを宇宙から精度よく観測することは原理的に大変難しい。本研究によって、静止気象衛星の低波長分解能センサーのバンドデータ単独では地表オゾンの情報を得ることは難しいものの、高頻度観測が可能な下方視型センサーの高波長分解能データからは地表オゾンの濃度分布の特徴の抽出は可能であることが示され、今後の衛星による地表オゾン・対流圏オゾンの長期モニタリングの可能性に道筋をつけられたと考える。

研究成果の概要（英文）：This study has developed an algorithm to detect clouds using Himawari-8 data and selected coincident Himawari-8 and GOSAT/TANSO-FTS observations under clear-sky conditions. This study has also developed an algorithm on the basis of non-linear maximum a posteriori method for retrieving vertical ozone profiles from 9.6  $\mu\text{m}$  radiance spectra of GOSAT/TANSO-FTS and compared ozone profiles in East Asia retrieved by using the developed algorithm with ozone profiles observed with ozonesonde. The comparison results showed that retrieved GOSAT ozone profiles and coincident ozonesonde profiles agreed well to each other. This study demonstrates that GOSAT can capture characteristics of surface ozone distributions judging from comparisons with ozone data from surface ozone observation networks, although it is rather difficult to derive information on surface ozone distributions only from Himawari-8 radiance data.

研究分野：大気科学、リモートセンシング

キーワード：短寿命気候汚染物質 オゾン 人工衛星 雲判定 リトリーバルアルゴリズム開発

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

対流圏に存在するオゾン総量は総量のわずか10%以下であるが、対流圏オゾンは短寿命気候汚染物質（Short-Lived Climate Pollutants; SLCPs）であり、かつ極めて有毒な大気汚染物質であるため、地球の気候および大気質に深刻な影響を与える。全球での対流圏オゾンのモニタリングには、人工衛星搭載センサーによる観測が有効であるが、わずか10%以下の対流圏オゾンの濃度の情報のみを宇宙から精度よく観測することは原理的に大変難しい。しかしながら、国内においては、一次汚染物質である窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）等の大気中の濃度は減少傾向にあるものの、一次汚染物質の光化学反応で生成される二次汚染物質であるオゾン（光化学オキシダント）の濃度は増加する傾向にあり、アジア大陸からの「越境汚染」の影響が指摘されていることから、アジア域全体で衛星による対流圏オゾン高精度モニタリングが急務である。さらに、一次汚染物質の排出源が集中している北半球においては、対流圏オゾンの温暖化への寄与は二酸化炭素、メタンに次ぐ大きさであり、アジア域を含む北半球全域で地表オゾン・対流圏オゾンの長期モニタリングは今後ますます重要になると言える。

### 2. 研究の目的

対流圏オゾンなどの短寿命気候汚染物質（SLCPs）による温暖化は、今後の約20年間においては人為起源の二酸化炭素による温暖化と同程度の寄与があり、近い将来については、二酸化炭素の排出抑制を実施するより SLCPs の排出抑制を実施した方が地球規模の温暖化抑制効果が大幅に大きいことがわかっている [UNEP/WMO, 2011]。本研究では、主要な SLCPs である中・上部対流圏オゾンの濃度分布、濃度変動を、静止気象衛星ひまわり 8/9 号の赤外バンド（9.6 μm）のデータから導出することができるかを明らかにすることを目的とする。この目的のために、ひまわり 8/9 号と同期する温室効果ガス観測衛星 GOSAT/GOSAT-2 の観測シーンを抽出し、高波長分解能を有する GOSAT/GOSAT-2 の 9.6 μm 帯の輝度スペクトルからオゾン濃度の高度分布を導出する。その上で、低波長分解能のひまわり 8/9 号の 9.6 μm バンドの輝度データからオゾン濃度の高度情報を導出するアルゴリズムを開発し、オゾン濃度の高度分布の導出可能性を検討する。

### 3. 研究の方法

(1) 同期する GOSAT/TANSO-FTS の観測視野とひまわり 8 号の観測視野を抽出する作業を行った。TANSO-FTS の空間分解能が約 10.5 km であるのに対し、ひまわり 8 号の空間分解能はバンドによって異なるが 0.5 km から 2 km であるため、ひまわり 8 号の観測データの中心が TANSO-FTS の観測視野内にあり、かつ、ひまわり 8 号の観測開始時刻の前後 1 分以内に取得された TANSO-FTS の観測データを同期データとして抽出した。その際、センサーの観測角に依存する視野の歪みも考慮して視野合わせを行った。

(2) 非線形最大事後確率推定法を用いて、GOSAT/TANSO-FTS の 9.6 μm 帯の輝度スペクトルからオゾンの鉛直濃度分布を導出するアルゴリズムを開発し、日本を含む東アジア域でオゾンの鉛直濃度分布を導出した。導出した東アジア域のオゾン濃度の鉛直分布データを、オゾンゾンデおよび Scisat-1/ACE-FTS のオゾン濃度の鉛直分布データと比較し、東アジア域でのオゾン濃度のデータ質の検証を行った。

(3) 同期するひまわり 8 号と GOSAT/TANSO-FTS の観測シーンのうち、輝度データに雲によるコンタミがない晴天観測シーンのみを抽出するために、ひまわり 8 号の反射率データおよび輝度温度データを用いた独自の雲判定アルゴリズムの開発・改良を行った。雲判定アルゴリズムおよび雲判定テストの閾値を、昼と夜、海上と陸上に分けて検討し、それぞれに適切な手法および閾値を採用した。

(4) GOSAT/TANSO-FTS の 9.6 μm 帯の輝度スペクトルから地表付近のオゾン濃度のみを導出し、日本各地に展開している地上観測ネットワークの地表オゾンの観測データに基づいた濃度分布の特徴と同様の特徴が見られるかどうかを確認した。その上で、ひまわり 8/9 号の 9.6 μm バンドの輝度データから日本および日本周辺の対流圏オゾンの濃度導出が可能かどうか検討を行った。

### 4. 研究成果

(1) 同期する GOSAT/TANSO-FTS の観測視野とひまわり 8 号の観測視野を抽出するにあたり、TANSO-FTS の視線ベクトルに対して  $7.9 \times 10^{-3}$  ラジアン の角度をなす円錐状のベクトル群を作り、円錐と地表面との交線として求められる TANSO-FTS の観測視野範囲の境界を 36 点で表したデータを TANSO-FTS 観測視野範囲として使用し、その TANSO-FTS 観測視野範囲内に存在するひまわり 8 号の観測点のデータを抽出した。その結果、例えば、昼間の海上の非サンダルト域では一か月でおおよそ 1600 シーン、サンダルト域では一か月でおおよそ 6500 シーンの同期観測シーンを抽出することができた。

(2) 非線形最大事後確率推定法を用いて、GOSAT/TANSO-FTS の  $9.6\ \mu\text{m}$  帯の輝度スペクトルからオゾンの鉛直濃度分布を導出するにあたり、まず、オゾンによる吸収が強く、他の大気分子による吸収の影響が少ない、オゾン濃度の導出に最適な波数チャンネルの選択を行った。

図1の透過率に基づいた検討から、 $1035\text{--}1140\ \text{cm}^{-1}$  付近の波数チャンネルがオゾン濃度の導出に適当な「micro window」とであると判断した。非線形最大事後確率推定法[Rodgers, 2000]に基づいて、選定した「micro

window」に対応する GOSAT/TANSO-FTS の輝度スペクトルデータから日本を含む東アジア域でオゾンの鉛直濃度プロファイルを導出した。その上で、導出したオゾン鉛直濃度分布データとオゾンゾンデデータのオゾン鉛直濃度分布データを比較し、TANSO-FTS のオゾンデータのデータ質の

検証を行った。オゾンゾンデの観測地点（つくば（館野）・札幌・那覇）を含む緯度・経度  $5^\circ$  のグリッドの TANSO-FTS データとオゾンゾンデデータを比較した。オゾンゾンデは地上から上空約 25 km のオゾン濃度を直接観測しているため、成層圏と対流圏の両方において TANSO-FTS のオゾンデータと比較を行った。

図2に、同日の同一観測

時刻帯での TANSO-FTS データとつくば（館野）のオゾンゾンデデータのオゾン濃度の鉛直プロファイルの比較結果（夏季および秋季）を示す。夏季については、TANSO-FTS データは、150 hPa 付近と 800 hPa 付近でオゾンゾンデデータよりオゾン濃度が高くなっている。しかし、夏季以外（秋季）については、TANSO-FTS データのオゾン濃度は、差分の標準偏差を考慮するとオゾンゾンデデータのオゾン濃度と概ねよい一致を示しており、対流圏については、TANSO-FTS データはつくば（館野）のオゾンゾンデデータに対して明瞭なバイアスを持っていないことがわかった。

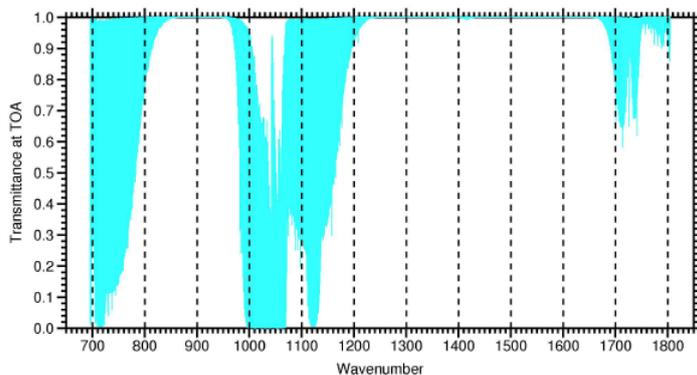


図1. GOSAT/TANSO-FTS のバンド4（熱赤外バンド）の観測波長においてオゾンによる吸収のみを考慮して計算した透過率のスペクトル。

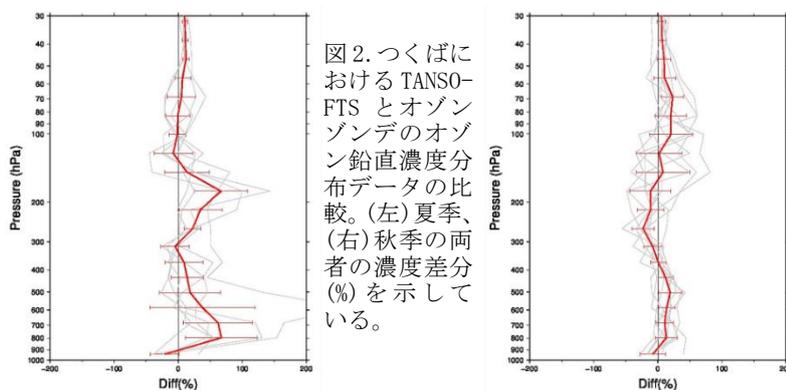


図2. つくばにおける TANSO-FTS とオゾンゾンデのオゾン鉛直濃度分布データの比較。(左)夏季、(右)秋季の両者の濃度差分(%)を示している。

(3) ひまわり 8 号の反射率データおよび輝度温度データを用いた独自の雲判定アルゴリズムを、Ackerman et al. [1998]および MODIS の雲判定テスト[MODIS MOD35 ATBD, 2010]等の手法をベースにして開発した。雲判定は昼間については反射率データおよび輝度温度データの両方を、夜間については輝度温度データを使用した複数のテストを設定し、雲の有無の判定を行う際、地表面を海上と陸上、観測時間を昼間と夜間に分けて適切な雲判定テストを選択した。図3の左図に昼間の海上のひまわり 8 号による雲判定結果、右図に同時刻のひまわり 8 号の反射率データから作成された RGB 合成画像を示す。これらの図の比較から、RGB 合成画像で白くなっている反射率の高い観測地点で「曇り」と判定されていることがわかる。また、低緯度帯では反射率があまり高くない地点（右図の暗色の地点）を「曇り」と判定している傾向も見られる。しかしながら、図3の結果などから、本研究で開発・改良した雲判定アルゴリズムは概ね正しく晴天域を抽出できていることを確認することができた。

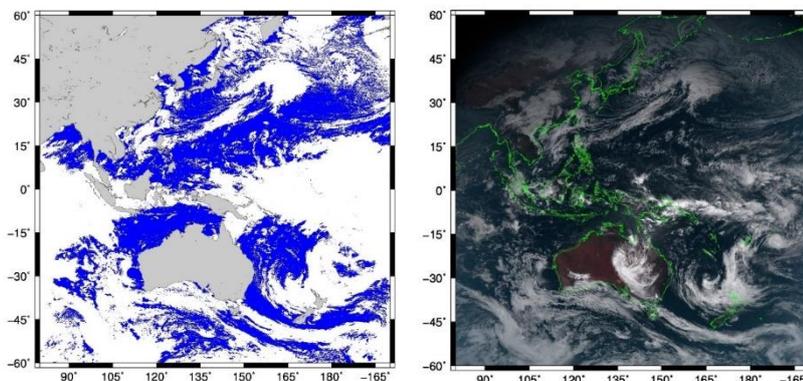


図3. 昼間の海上のひまわり 8 号による雲判定結果（左図）とひまわり 8 号のバンド 1、2、3 の RGB 合成画像（右図）。左図の雲判定結果は青が晴れ、白が曇り、グレーが陸上を表す。右図の RGB 合成画像は、緑線が海岸線を表す。

(4) GOSAT/TANSO-FTS の  $9.6\ \mu\text{m}$  帯の輝度スペクトルから、地表付近 (860 hPa より下層の大気) のオゾン濃度の導出を試みた。図 4 に日本を含む東アジア域で地表付近のオゾン濃度を季節ごとに導出した結果を示す。TANSO-FTS のオゾン濃度の導出処理においては、McPeters et al. [2007] の季節ごと・緯度帯ごとのオゾン濃度データを先験値データとして用いているため、先験値のオゾン濃度は経度方向には同じ値を与えている。一方、TANSO-FTS の地表面付近のオゾン濃度には、特に 4 月と 7 月で、中国大陸で高濃度のオゾンが見られ、東に行くにつれてオゾン濃度が低くなっており、大陸から日本に向けて対流圏オゾンが流入していると思われる特徴が見られる。このことから、下方視型の衛星である GOSAT に搭載された TANSO-FTS の観測でも、地表付近のオゾンの濃度の特徴を捉えられる可能性があることがわかり、TANSO-FTS のオゾン濃度データを用いて近年問題になっている大陸からの越境汚染に関する解析が行える可能性が示された。

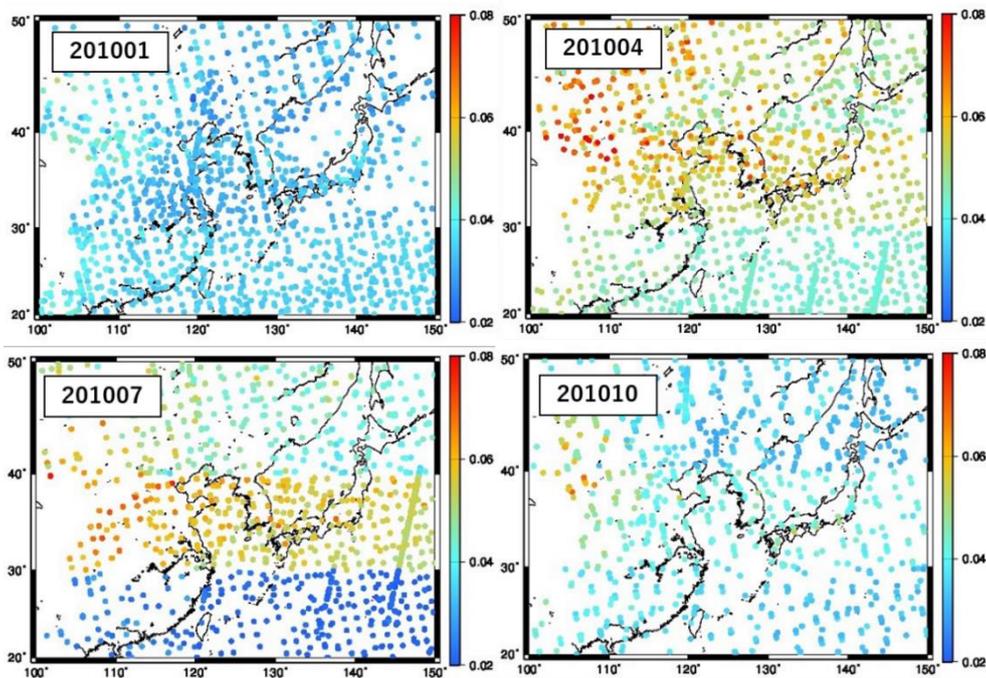


図 4. GOSAT/TANSO-FTS の  $9.6\ \mu\text{m}$  帯の輝度スペクトルから開発した非線形最大事後確率推定法に基づくリトリーバルアルゴリズムで導出した地表付近 (860 hPa-地上) の季節ごとの濃度分布。

次に、全国の大気環境常時監視測定局の地表オゾン (光化学オキシダント) の観測データを収集し、日本の地表オゾンの濃度分布に見られる特徴について解析した結果を示す (図 5)。

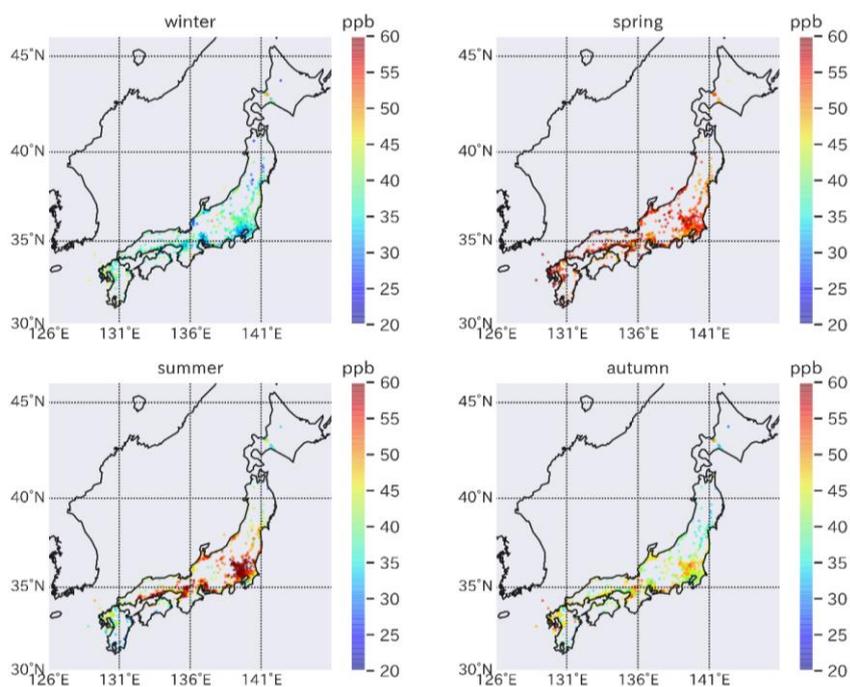


図 5. 大気環境常時監視測定局の地表オゾン (光化学オキシダント) の日中最大値の季節平均値。

図 5 に示す地上観測ネットワークの地表オゾンの観測データに見られる春季および夏季の高濃度のオゾン分布と同様の濃度分布の特徴が、図 4 の TANSO-FTS の春季および夏季の地表オゾンの濃度分布にも見られることがわかる。さらに、TANSO-FTS の輝度スペクトルから導出した春季の地表オゾンの詳細に解析したところ、春季は中国大陸に近い西日本で特に地表オゾン濃度が高くなっていることを確認することができた。

これらの結果を踏まえて、GOSAT/TANSO-FTS と同期しているひまわり 8 号の晴天域の観測シーンについても、オゾン濃度の導出を試みた。ひまわり 8 号の  $9.6 \mu\text{m}$  バンドのバンド内の観測感度の違いをもとにオゾン濃度の高度情報を抽出する手法を検討したが、ひまわり 8 号の輝度データ単独では地表オゾンの情報のみを得ることが難しいことがわかった。本研究の解析により、ひまわり 8 号の輝度データ単独では地表オゾンの情報を得ることは難しいものの、地上観測ネットワークの地表オゾンデータとの比較から、GOSAT のような高頻度観測が可能な下方視型センサーの高波長分解能データから地表オゾンの濃度分布の特徴の抽出が可能であることが示され、今後の衛星による地表オゾン・対流圏オゾンの長期モニタリングの可能性に道筋をつけることができた。

#### <引用文献>

- Ackerman, S. A., Strabala, K. I., Menzel, W. P., Frey, R. A., Moeller, C. C., and Gumley, L. E.: Discriminating clear sky from clouds with MODIS, *J. Geophys. Res.*, 103(D24), 32141-32157, 1998.
- Ackerman, S., Strabala, K., Menzel, P., Frey, R., Moeller, C., and Gumley, L.: Discriminating clear-sky from cloud with MODIS, Algorithm Theoretical Basis Document (MOD35), 2010.
- McPeters, R.D., Labow, G.J., and Logan, J.A.: Ozone climatological profiles for satellite retrieval algorithms, *J. Geophys. Res.*, 112, D05308, doi:10.1029/2005JD006823, 2007.
- Rodgers, C. D.: Inverse method for atmospheric sounding, World Scientific Publishing, 2000.
- UNEP/WMO: Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone, 2011.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Katsuki Kitamura and Naoko Saitoh
2. 発表標題 Validation of GOSAT cloud determination by Himawari - 8 data
3. 学会等名 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium and 15th IGAC Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤尚子、小坂真悟、小林陽菜子、白木雅人
2. 発表標題 87.GOSAT/TANSO-FTSの熱赤外バンドの観測から得られた科学的成果
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北村克樹、齋藤尚子
2. 発表標題 ひまわり8号データを用いたGOSAT衛星の雲判定精度の検証
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsuki Kitamura and Naoko Saitoh
2. 発表標題 Validation of cloud judgements in TANSO-FTS FOVs by using Himawari-8/AHI data
3. 学会等名 15th International Workshop on Greenhouse Gas Measurement from Space (IWGGMS) Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北村克樹、齋藤尚子
2. 発表標題 ひまわり8号データを用いたGOSAT衛星の雲判定制度の検証
3. 学会等名 第24回大気化学討論会
4. 発表年 2019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
--	---------------------------	-----------------------	----