

GOSAT 衛星の熱赤外バンドスペクトルを用いた 地表面パラメータ推定手法の検討

久世・齋藤研究室
16YM1361 板津 智之
指導教員 齋藤 尚子

1. 背景・目的

現在、地球温暖化は人類全体にとって大きな環境問題となっている。地球温暖化対策の政策への貢献を目的として、主要な温室効果ガスである二酸化炭素とメタンの濃度を宇宙から観測することを主目的とした世界初の衛星である温室効果ガス観測技術衛星 Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT) が、2009年1月23日に打ち上げられ、現在も順調に観測を続けている。

GOSAT に搭載されている Thermal And Near-infrared Sensor for carbon Observation-Fourier Transform Spectrometer (TANSO-FTS) の熱赤外 (TIR) バンドは、地表面及び地球大気から放出される熱赤外放射光を観測することで、温室効果ガスの鉛直濃度分布の情報を得ている。その際、観測地点の地表面の射出率及び温度に誤差があると導出される温室効果ガスの濃度に誤差が生じる[Saitoh et al., 2009]。そこで本研究では、TANSO-FTS の TIR バンドのスペクトルデータを用いて、観測地点の地表面射出率及び地表面温度等の地表面パラメータの高精度推定を試みた。

2. 手法

松井・森山[2008]では、「地表構成物の射出率スペクトルの波長方向への変化は、大気分子の吸収線スペクトルの変化に比べて非常に滑らかである」というスペクトル形状の違いを利用し、AIRS (Atmospheric Infrared Sounder) の TIR バンドの高波長分解能のスペクトルから地表面パラメータの同時推定を試みた。本研究では、松井・森山[2008]の手法に倣って、AIRS よりさらに高波長分解能である TANSO-FTS の TIR バンドのスペクトルから地表面パラメータを推定する手法の検討

及び開発を行った。

まず、大気分子による吸収が強くスペクトルにスパイク状の構造が現れる波数チャンネルを「スパイクパート」、後者の分子による吸収が弱くスペクトルが波長方向に滑らかなチャンネルを「スムーズパート」と定義し、 800 cm^{-1} から 1000 cm^{-1} のTIRバンドのスペクトルについて「スムーズパート」と「スパイクパート」を設定する。検討の結果、大気分子による連続吸収を考慮しない場合の大気の透過率が0.99以上の波数チャンネルを「スムーズパート」、透過率が0.05以上かつ0.99未満の波数チャンネルを「スパイクパート」とした。

次に、「スムーズパート」で、以下の式を用いて、任意の地表面温度 T_s に対する地表面射出率 E_{scal} を計算する。以下、 I_{obs} は TIR バンドの観測スペクトル、 T_i 、 T_{i+1} は各大気層の気温、 τ_i 、 τ_{i+1} は大気の透過率を表している。ここでは、地表面温度 T_s を 280 K から 330 K まで 0.1 K 刻みで変えて、対応する地表面射出率 E_{scal} を計算した。

$$E_{scal} = \frac{I_{obs} - \sum_{i=1}^{n-1} B(T_{i+1,i}) (\tau_{i+1} - \tau_i) - \tau_{total}^2 \sum_{i=1}^{n-1} B(T_{i+1,i}) \frac{\tau_{i+1} - \tau_i}{\tau_{i+1}\tau_i}}{\tau_{total}(B(T_s) - \tau_{total} \sum_{i=1}^{n-1} B(T_{i+1,i}) \frac{\tau_{i+1} - \tau_i}{\tau_{i+1}\tau_i})}$$

さらに、「スムーズパート」で計算した地表面射出率 E_{scal} を任意の関数で近似し、「スパイクパート」での地表面射出率の近似値を算出する。 280 K から 330 K の地表面温度と対応する地表面射出率の近似値を用いて、「スパイクパート」で理論スペクトルを計算し、観測スペクトル I_{obs} との差が最小になるときの地表面温度及び地表面射出率を最適解とみなして、地表面パラメータの同時推定を行った。

3. 結果・考察

まず、開発した手法を、2013年1月1日から3日の海上(北緯 10° -南緯 20° 、西経 170° - 180°)のTANSO-FTSのTIRバンドの観測スペクトルに適用した。

Fig. 1 に、海上の 21 地点で取得された TANSO-FTS の TIR バンドの観測スペクトル、Fig. 2 及び Fig. 3 に、開発した方法で推定した地表面温度と地表面射出率を示す。ここでは、「スムーズパート」で計算した地表面射出率から 2 次関数を用いて「スパイクパート」の地表面射出率を近似した。Fig. 2 に示されているように、開発した手法で推定した地表面温度は、TANSO-FTS の観測地点近傍の MODIS (MODerate resolution Imaging Spectro-radiometer) の SST (海面温度) データよりも低くなり、また Fig. 3 より、推定した地表面射出率は ASTER spectral library [Baldrige et al., 2009] の海水の射出率よりも高く、1 を越えていた。

開発した地表面パラメータの推定手法では、観測地点の気温や大気分子濃度の鉛直プロファイルを仮定して理論スペクトルを計算する。そのため、これら大気プロファイルの仮定に誤差があると、推定される地表面パラメータに誤差が生じる。そこで、大気中で濃度変動が大きい水蒸気の鉛直プロファイルの各層の濃度を 20% 増加させ、同様に地表面温度 (Fig. 4) 及び地表面射出率 (Fig. 5) の推定を試みた。Fig. 2 と Fig. 4、Fig. 3 と Fig. 5 をそれぞれ比較すると、観測地点の水蒸気の濃度を多く見積もってしまうと、地表面温度の推定値は高く、地表面射出率の推定値は低くなることがわかった。また、TANSO-FTS の TIR バンドのスペクトルにはバイアスがあることがわかっており [Kataoka et al., 2014]、観測スペクトルのバイアスが地表面パラメータの誤差の原因となった可能性も考えられる。

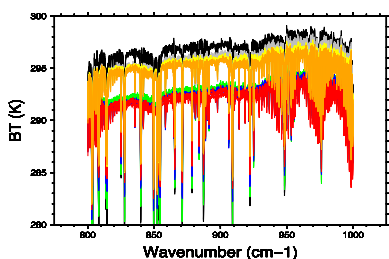


Fig. 1. 2013 年 1 月 1-3 日の海上の GOSAT/TANSO-FTS の TIR バンドのスペクトル (10°N-20°N、170°W-180°W)。黒線と灰線は昼間観測、それ以外は夜間観測を示す。

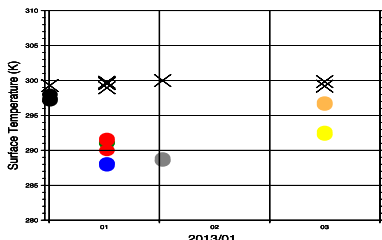


Fig. 2. Fig. 1 のそれぞれの観測スペクトルから推定された地表面温度、クロスは TANSO-FTS の観測地点近傍の MODIS の SST データを示す。

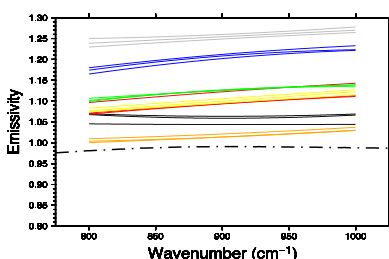


Fig. 3. Fig. 1 のそれぞれの観測スペクトルから推定された地表面射出率、黒一点鎖線は、Aster Spectral Library の海水の射出率を示す。

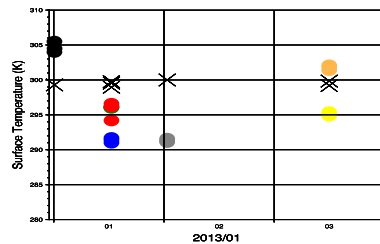


Fig. 4. Fig. 2 と同様、ただし水蒸気プロファイルの各層の濃度を 20% 増加させた大気プロファイルを仮定して推定した地表面温度。

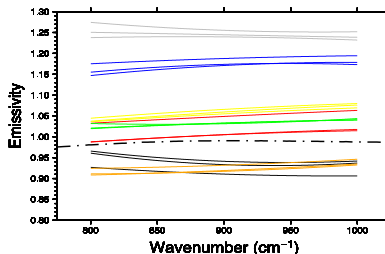


Fig. 5. Fig. 3 と同様、ただし水蒸気プロファイルの各層の濃度を 20% 増加させた大気プロファイルを仮定して推定した地表面射出率。

次に、開発した手法を、2011 年 6 月の米国レイルロードバレーにおいて GOSAT 校正検証キャンペーン期間に得られた TANSO-FTS の TIR バンドのスペクトルに適用した。ここでは、地表面射出率の近似関数として移動 3 次関数を用いた。Fig. 6 に示す通り、開発した手法で推定した地表面温度及び地表面射出率はともに、実測値とは大きく異なる値となった。しかし、地表面射出率の近似方法として移動 3 次関数近似を用いることにより、推定された地表面射出率の波長依存性は実測値に近く、乾燥地帯であるレイルロードバレーの地表面射出率の特徴を捉えることができた。

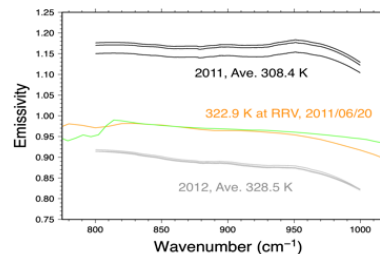


Fig. 6. 米国レイルロードバレーでの地表面パラメータの推定結果、黒線は 2011 年 6 月、灰線は 2012 年 6 月の推定結果、橙線及び青線は 2011 年 6 月 20 日のレイルロードバレーの現地測定結果を示す。

4. まとめ

本研究で TANSO-FTS の TIR バンドのスペクトル用に開発した地表面パラメータの推定手法では、観測地点の地表面状態によって地表面射出率の近似関数を変えることで、射出率の波長方向の構造を捉えることができることが示された。今後は、様々な地表面状態について地表面パラメータ推定が可能となるように、使用する波数チャンネルの再検討を行い、観測スペクトルに含まれるバイアス誤差の影響も考慮した上で、大気プロファイルの推定誤差の影響を低減するためのさらなる手法の改良が必要であると言える。