

# Observation of near-surface CO<sub>2</sub> using synergy of TIR and SWIR spectra measured by GOSAT sensor

Mar. 2018 Numerical Modeling for Global Environment Issues 47166609 Qi Cheng

Supervisor: Prof. Ryoichi Imasu

Keywords: GOSAT, temperature profile, planetary boundary layer height, lower tropospheric CO<sub>2</sub>

## 1. Introduction

In order to identify the sources and sinks of greenhouse gases and reduce the emissions, Greenhouse Gases Observing Satellite (GOSAT) was launched on 23 January 2009, which is dedicated to greenhouse gases monitoring globally. The sensor on GOSAT detects shortwave infrared radiation (SWIR) and thermal infrared radiation (TIR) at the same time with a high resolution. Column-averaged dry-air mole fraction of CO<sub>2</sub> (XCO<sub>2</sub>) is retrieved from SWIR as a standard product. Although XCO<sub>2</sub> data has been used to estimate CO<sub>2</sub> sources and sinks recently, actual variations of CO<sub>2</sub> in the atmosphere are mainly driven by local surface fluxes. So, it is significant to observe lower tropospheric (LT) CO<sub>2</sub> concentrations. TIR observations provide more accurate retrieval results of CO<sub>2</sub> concentrations in middle- and upper-troposphere, whereas SWIR observations are sensitive to gas abundances in almost all the heights. The combination of TIR and SWIR observations shows a possibility in estimating LT CO<sub>2</sub> fluxes. Christi (2004) did a preliminary study in retrieving CO<sub>2</sub> concentration profile in the synergy of TIR and SWIR, but lacked accuracy in LT CO<sub>2</sub> concentration. Various properties in the planetary boundary layer (PBL) turn to be mixed uniformly, the determination method of which was studied by a limited number of previous studies (e.g., Han et al., 2013). Based on the characteristic of PBL, this study provides a new method aiming at estimating CO<sub>2</sub> concentration in PBL by a synergetic usage of GOSAT TIR and SWIR.

## 2. Methodology

In our method, I try to estimate the LT CO<sub>2</sub> concentration by subtracting the upper-air CO<sub>2</sub> concentration above the PBL from XCO<sub>2</sub> data retrieved from GOSAT SWIR, which represents the averaged column concentration. I first retrieved the temperature profile over Kanto area from 2010 to 2016 with GOSAT observation and then determine the PBL height (PBLH) from retrieved temperature profile choosing the altitudes of maximum vertical gradient of potential temperature. The upper-air CO<sub>2</sub> concentration has two possible sources: output from numerical simulation and GOSAT TIR L2 product. Because of the low setting of growth rate of CO<sub>2</sub> in the simulation, two approaches are applied to modify the output CO<sub>2</sub> profile for the former source: (1) modify the CO<sub>2</sub> profile above PBLH according to the time difference since launch of GOSAT; (2) modify the CO<sub>2</sub> profile above PBLH by making the column concentration of CO<sub>2</sub> profile equal to the value of SWIR XCO<sub>2</sub>. After estimating the LT CO<sub>2</sub> concentration, ground-based observation data of CO<sub>2</sub> from meteorological tower and in situ measurement are used to verify the accuracy.

## 3. Results and discussion

The accuracy of retrieved temperature profiles is verified with radiosonde measurements obtained in Tsukuba. The mean difference between retrieved temperature profiles and radiosonde observation is less than 2K and the standard deviation (STD) of the difference is  $\pm 2$ K. The maximum value exists in the lower troposphere, which partially attributes to the 4 hours difference between GOSAT and radiosonde observation. The variation of retrieved surface skin temperature shows an obvious variation during a year i.e. high in summer and low in winter and also an apparent difference could be observed between the urban and rural area. After processing temperature profile, the PBLH is estimated from the retrieved temperature profile. The result shows a reasonable correlation with PBLH estimated from radiosonde measurements.

By synergetic usage of SWIR XCO<sub>2</sub> and upper-air CO<sub>2</sub> profile, LT CO<sub>2</sub> concentration in PBL is estimated. The CO<sub>2</sub> profile outputted from the numerical simulation is used firstly. Compared to SWIR XCO<sub>2</sub>, the estimated LT CO<sub>2</sub> concentration from those two methods both show better agreement with the ground-based observation, even when PBLH is assumed to be a fixed value, 850hPa (shown in Figure 1). The mean value of difference between estimated LT CO<sub>2</sub> and ground-based observation is lower than 2 ppmv for both methods, and the LT CO<sub>2</sub> concentration from the second method has a lower STD compared to that from the first method. Then the two approaches are applied to the realistic condition that PBLH is determined from retrieved temperature profiles. The estimated LT CO<sub>2</sub> concentration from the second method still shows a lower mean value of difference. Also, when applied to the realistic condition, the STD of the estimated LT CO<sub>2</sub> of the second method are smaller, changing from 3.964 to 2.902 (ppmv), which illustrates a good practicability and a superiority of the second method presented here. As the final approach, the CO<sub>2</sub> profile from GOSAT TIR L2 standard product is used instead of simulated values for estimating LT CO<sub>2</sub> concentration. The comparison result with ground-based observations is quite scattered compared with the approaches using simulated upper-air concentration of CO<sub>2</sub>.

As a consequent of this study, it can be said that LT CO<sub>2</sub> concentration estimated by use of PBLH retrieved from temperature profile and modification of CO<sub>2</sub> concentration profile above PBL agree well with ground-based observation, which contributes to providing more accurate information on surface fluxes for the determination of carbon sources and sinks.

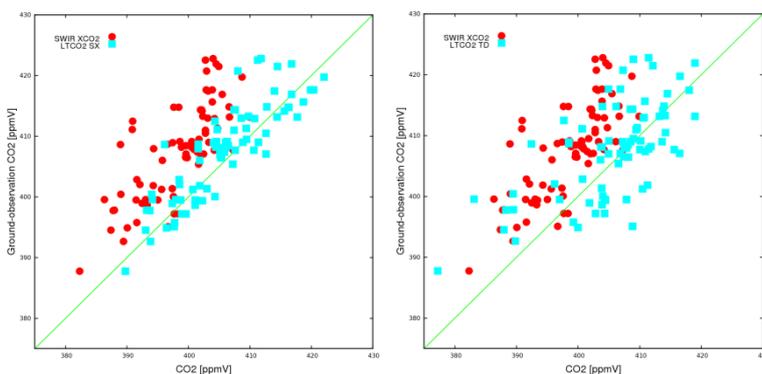


Figure 1. Comparison between LT CO<sub>2</sub> concentration estimated by the new method proposed in this study and ground-based observation in Tsukuba, when assuming PBLH to be 850hPa. Upper-air CO<sub>2</sub> profile is modified in two different methods: the left is modified according to time difference since launch of GOSAT; the right is modified by equating the column concentration of CO<sub>2</sub> profile to SWIR XCO<sub>2</sub>.

## Reference

- Christi, M. J., & Stephens, G. L. (2004). Retrieving profiles of atmospheric CO<sub>2</sub> in clear sky and in the presence of thin cloud using spectroscopy from the near and thermal infrared: A preliminary case study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D4).
- Han, Y., Revercomb, H., Cromp, M., Gu, D., Johnson, D., Mooney, D., ... & Chen, Y. (2013). Suomi NPP CrIS measurements, sensor data record algorithm, calibration and validation activities, and record data quality. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(22).

# GOSAT 短波長赤外・熱赤外センサーの統合解析による地表 CO<sub>2</sub>濃度の観測

2018年3月 地球環境モデリング学分野 47166609 承啓

指導教員 教授 今須 良一

キーワード: GOSAT、温度プロファイル、惑星境界層高度、地表 CO<sub>2</sub>濃度

## 1. 背景

温室効果ガスの発生源と消失源を特定し、排出量を削減するために、温室効果ガス観測技術衛星 (Greenhouse Gases Observing Satellite: GOSAT) が 2009 年 1 月 23 日に打ち上げられた。GOSAT の搭載センサーは、短波赤外線 (Shortwave infrared radiation: SWIR) と熱赤外線 (Thermal infrared radiation: TIR) を高分解能で同時に検出する。二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の気柱平均の乾燥空気モル比 (以降、XCO<sub>2</sub> と記す) は、SWIR から導出され、標準プロダクトとして提供される。近年 XCO<sub>2</sub> データを用いた CO<sub>2</sub> の発生源と消失源を推定した結果が報告されているが、XCO<sub>2</sub> 濃度の変動に影響するのは地域的な地表フラックスの一部分にすぎない。したがって、地表面付近の CO<sub>2</sub> (Lower tropospheric CO<sub>2</sub>: LT CO<sub>2</sub>) 濃度を観測することが重要である。TIR 観測では、対流圏中高層の CO<sub>2</sub> 濃度について正確な結果が得られるが、SWIR 観測はほぼすべての高さに感度がある。そのため、TIR と SWIR 観測を組み合わせることで、LT CO<sub>2</sub> フラックスを推定できる可能性がある。Christi(2004) は、TIR と SWIR の統合解析で CO<sub>2</sub> 濃度の鉛直分布を求める研究をしたが、LT CO<sub>2</sub> 濃度の精度は十分ではなかった。惑星境界層 (Planetary boundary layer: PBL) 内では、CO<sub>2</sub> を含む様々な物質が均一に混合される。その決定方法は一部の先行研究 (Han et al., 2013) によって研究されたが、限定的なものであった。本研究では、PBL の特徴に基づいて LT CO<sub>2</sub> 濃度を推定するため、GOSAT TIR と SWIR を統合的に解析する方法を提案した。

## 2. 研究手法

本研究では、GOSAT SWIR XCO<sub>2</sub> データから PBL より上空の大気 CO<sub>2</sub> 濃度を差し引いて LT CO<sub>2</sub> 濃度を推定することを試みた。まず、2010 年から 2016 年にかけて GOSAT センサーで観測されたスペクトルから関東地域の温度プロファイルをリトリーブし、計算した温度プロファイルから温位の垂直勾配が最大となる高度を選んで PBL の高さ (PBLH) を決定した。PBLH より上空の CO<sub>2</sub> 濃度には、数値シミュレーションからの出力結果と GOSAT TIR L2 標準プロダクトの 2 つのソースを試した。シミュレーションでの CO<sub>2</sub> の増加率の設定値は実際より低く設定されていたため、出力した CO<sub>2</sub> のプロファイルを修正するために 2 つのアプローチを適用した: (1) GOSAT の打ち上げからの時間差に応じて、PBLH より上空の CO<sub>2</sub> プロファイルを修正する; (2) CO<sub>2</sub> プロファイルのカラム濃度を SWIR XCO<sub>2</sub> の値と等しくすることにより、PBLH より上空の CO<sub>2</sub> プロファイルを修正する。これにより、LT CO<sub>2</sub> 濃度を推定し、最後に気象タワーと現場観測からの CO<sub>2</sub> データを利用して推定精度を検証した。

## 3. 結果と考察

リトリーブした温度プロファイルの精度を、つくばで得られたラジオゾンデの測定値によって検証した。リトリーブした温度プロファイルとラジオゾンデの観測値の平均バイアスは 2K 以内であり、差の標準偏差は ±2K である。最大値は対流圏下層に存在したが、この原因は GOSAT とラジオゾンデ観測とで観測時間に四時間の差があるためであると考えられる。リトリーブした地表面温度は、夏に高く、冬に低いという変動を示し、また、都市と郊外の違いも明確であった。その後、リトリーブした温度プロファイルから PBLH を推定し、その結果はラジオゾンデ観測値から推定された PBLH と妥当な相関性を示した。

GOSAT SWIR から得られた XCO<sub>2</sub> データと大気 CO<sub>2</sub> プロファイルを統合的に解析することによって、PBL 内の LT CO<sub>2</sub> 濃度を推定した。推定には、数値シミュレーションからの出力 CO<sub>2</sub> プロファイルを使用した。まず PBLH が 850hPa と仮定した。SWIR XCO<sub>2</sub> と比較すると、2 つの方法で修正したシミュレーション出力を用いて推定した LT CO<sub>2</sub> 濃度は、ともに、SWIR XCO<sub>2</sub> を直接用いるよりも、地上観測データとより良い一致性を示した (図 1 参照)。地上観測データと推定された LT CO<sub>2</sub> の差の平

均値は 2ppmv 以下であり、さらに第 2 の修正方法での LT CO<sub>2</sub>濃度は、第 1 の修正方法での LT CO<sub>2</sub>と比べて、標準偏差の値が小さい。

次に、リトリーブした温度プロファイルから PBLH を決定した。この PBLH を用いる場合に対しても、先ほどの上空濃度に対する 2 つの修正方法を適用した。その結果、第 2 の方法によって推定した LT CO<sub>2</sub>濃度は、平均バイアスが小さいという利点を示した。また、第 2 の方法での LT CO<sub>2</sub>の標準偏差は、PBLH を 850 hPa と固定した場合と比べ、3.964 ppmv から 2.902 ppmv へと小さくなることが示された。以上の結果より、提示した第 2 の修正方法の実用性および優位性を実証した。

最後に、GOSAT TIR L2 標準プロダクトの CO<sub>2</sub>プロファイルを用いて LT CO<sub>2</sub>濃度を推定した。結果を地上観測と比較したところ、PBLH を決定する 2 つの方法のどちらにおいても、LT CO<sub>2</sub>濃度の推定値は非常に分散した結果を示した。

本研究の結論として、気温プロファイルから推定した PBLH と、上空濃度の修正により計算した LT CO<sub>2</sub>濃度の推定値は、地上ベースの観測と最良の一致性を示すと言える。これにより、炭素発生源と消失源の決定のためのより正確な情報の提供することができる。

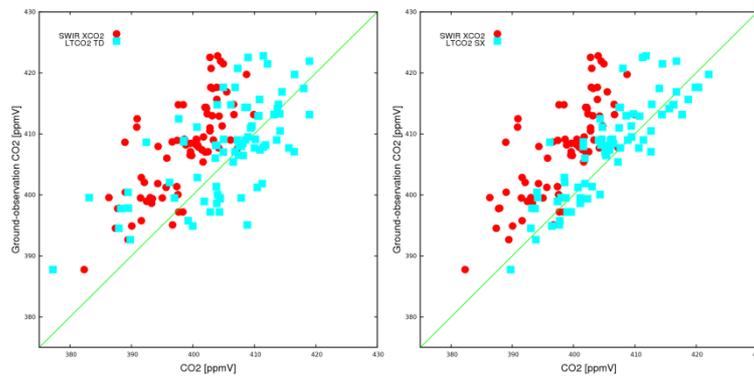


図 1. PBLH を 850hPa に仮定し、本研究で提案する新しい計算手法で求めた LT CO<sub>2</sub>濃度と、つくばにおける地上観測データとの比較。大気 CO<sub>2</sub>のプロファイルは 2 つの異なる方法で修正した。左は GOSAT の打ち上げからの時間差に応じて修正した結果；右は CO<sub>2</sub>プロファイルのカラム濃度を SWIR XCO<sub>2</sub>の値と等しくなるように修正した結果。

## 参考文献

- Christi, M. J., & Stephens, G. L. (2004). Retrieving profiles of atmospheric CO<sub>2</sub> in clear sky and in the presence of thin cloud using spectroscopy from the near and thermal infrared: A preliminary case study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D4).
- Han, Y., Revercomb, H., Crompton, M., Gu, D., Johnson, D., Mooney, D., ... & Chen, Y. (2013). Suomi NPP CrIS measurements, sensor data record algorithm, calibration and validation activities, and record data quality. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(22).