

「いぶき GW」(GOSAT-GW) 搭載温室効果ガス観測センサ 3 型 (TANSO-3) データ (精密観測モード) の初解析結果

環境省

国立研究開発法人国立環境研究所

1. 概要

環境省は、国立研究開発法人国立環境研究所（NIES）および国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）とともに、気候変動に関する科学の発展、気候変動政策・取組評価への貢献を目的に、温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT）シリーズを活用し、大気中の二酸化炭素（CO₂）及びメタン（CH₄）等を観測しています。

環境省、NIES 及び JAXA が共同で開発してきた温室効果ガス・水循環観測技術衛星「いぶき GW」(GOSAT-GW) は、2025 年 6 月 29 日 1 時 33 分（日本標準時）に打ち上げられました。その後 GOSAT-GW は初期機能確認運用^{※4}を終了し、2025 年 10 月 9 日より定常運用を行っています。

同衛星に搭載されている「温室効果ガス観測センサ 3 型 (TANSO-3)」は、広域観測モード（全球を 900 km 以上の幅、10 km の空間分解能で面的に観測）と精密観測モード（都市域などを 90 km 以上の幅、1~3 km の空間分解能で面的に観測）の 2 つの観測モードを有していますが、このたび精密観測モードによる観測データの初解析を行い、大都市圏における CO₂・CH₄・二酸化窒素（NO₂）の濃度分布を求めました（図 1）。これらのガスの濃度分布を、衛星観測により同時に、かつ同一の広い視野で面として捉えたのは世界で初めてです。本解析結果は国連気候変動枠組条約第 30 回締約国会議（UNFCCC COP30、2025 年 11 月、ブラジル・ベレン）において発表されました。

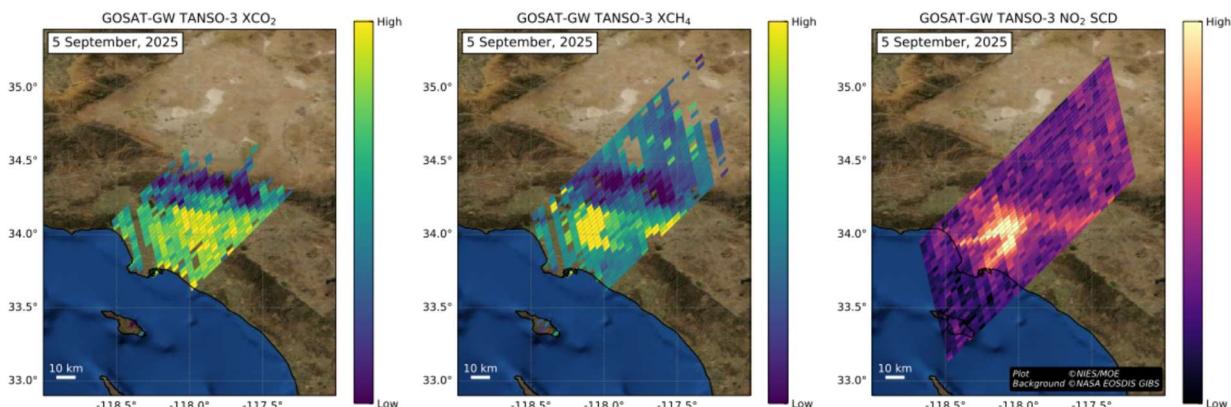


図 1 2025 年 9 月 5 日に米国ロサンゼルス周辺で取得された TANSO-3 データ（精密観測モード）の解析結果。（左）CO₂ のカラム平均濃度^{※5} (XCO₂)、（中）CH₄ のカラム平均濃度 (XCH₄)、（右）NO₂ の傾斜カラム量^{※6} (SCD)。

2. 背景と目的

GOSAT-GW は、宇宙から CO₂ や CH₄ などの温室効果ガスを観測する一連の衛星である GOSAT シリーズの 3 番目の衛星で、2009 年に打ち上げられた温室効果ガス観測技術衛星（Greenhouse gases Observing

SATellite: GOSAT、「いぶき」) と 2018 年に打ち上げられた 2 号機 (GOSAT-2、「いぶき 2 号」) の後継機です。

2021 年 8 月に気候変動に関する政府間パネル (IPCC) が公表した第 6 次評価報告書 (第 1 作業部会) は、「人間の影響が大気、海洋および陸域を温暖化させてきたことは疑う余地がない」、「人為的な地球温暖化を特定のレベルに制限するには、二酸化炭素の累積排出量を制限し、少なくとも二酸化炭素の正味排出量ゼロを達成することが必要である」と記しています。また、パリ協定はすべての締約国に対し炭素排出量削減への取り組みとして国別約束を作成し、その約束を着実に達成することを求めていました。こうした中、衛星による大気中の温室効果ガスの観測は、パリ協定の批准国が提出する排出量報告書の透明性の向上に寄与するものと期待されています。GOSAT-GW は、二つのミッション機器、すなわち温室効果ガス観測センサ 3 型 (Total Anthropogenic and Natural emissions mapping Spectrometer-3: TANSO-3) および高性能マイクロ波放射計 3 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 3: AMSR3) を搭載しています。TANSO-3 とその地上システムの開発は、環境省と NIES が共同で行っており、JAXA も環境省との契約に基づき TANSO-3 の開発と運用に携わっています。また、NIES は、TANSO-3 の観測データを基にした CO_2 や CH_4 、 NO_2 の濃度等の推定と、プロダクトの作成、検証、公開、保存を担当しています。

3. 温室効果ガスに関する処理とその結果

2025 年 9 月 5 日にロサンゼルス付近で精密観測モード (3 km 分解能) により観測された校正前スペクトル (分光データ) (L1B V001.001) に対して CO_2 、 CH_4 のカラム平均濃度 (XCO_2 、 XCH_4) の推定(リトリーバル)処理を行いました。この処理では TANSO-3 が有する 3 つのバンド (観測波長帯) のうち、 CO_2 と CH_4 の吸収帯を含む波長域を観測するバンド 3 で観測された 1.6 μm 付近のスペクトルについて、 CO_2 と CH_4 の波長帯を分割し、それぞれの波長帯を用いて Maximum a posteriori 法^{※7} と呼ばれる手法によるスペクトルフィッティングを行うことで他のパラメーターと同時に XCO_2 、 XCH_4 を推定しています。図 1 の XCO_2 (左)、 XCH_4 (中) ではスペクトル品質やスペクトルフィッティング精度によりスクリーニングを行っています。 XCO_2 、 XCH_4 ともに都市部付近で高い値が見られ、人為起源からの排出による濃度上昇を捉えている可能性があります。ただし、この結果は校正前スペクトルに対するエアロゾルなどを考慮しない簡易的なリトリーバルによるものであり、地表面状態やその他の影響を大きく受けている可能性があることに注意が必要です。

4. NO_2 に関する処理とその結果

図 1 (右) に示す NO_2 の傾斜カラム量 (SCD) は、2025 年 9 月 5 日に TANSO-3 により観測されたロサンゼルス付近での放射輝度スペクトル及び太陽光強度スペクトルを用いて、差分吸収分光法 (DOAS 法) により推定されました。DOAS 法は、推定対象である NO_2 の他、オゾンや水蒸気など、TANSO-3 のバンド 1 の観測範囲である可視域の光を吸収するガス種の吸収断面積^{※8} データを使用して、ランベルト・ペールの法則^{※9} に基づいて、光学的厚さ^{※9} の差分スペクトルに対してフィッティングを行う手法であり、衛星観測による NO_2 リトリーバルで使用される一般的な手法です。図 1 (右) で示すとおり、ロサンゼルス付近において NO_2 の SCD が高い観測点を確認でき、沿岸の排出源によるものと思われる NO_2 の増加と、排出された気塊 (プルーム)^{※10} の流れを定性的に捉えることに成功しました。このような NO_2 の情報により、化石燃料の燃焼により NO_2 と同時に排出される CO_2 の排出源の特定や、その排出量推定の精度向上等、科学だけでなく社会への貢献が期待されます。

5. 今後

TANSO-3 のプロダクトには、放射輝度スペクトルデータを含むレベル 1B プロダクトと、今回解析を行った XCO_2 、 XCH_4 、 NO_2 の SCD を含むレベル 2 プロダクトとがあります。後述する「校正」と「検証」を経て十分な品質となった、レベル 1B プロダクトの一般公開開始は 2026 年春、レベル 2 プロダクトの一般公開開始は 2027 年春を予定しています。

現在は、定常運用において TANSO-3 の「校正^{※11}」に重点を置いた観測が行われており、JAXA が校正を実施中です。NIES は JAXA より提供された初期的な放射輝度スペクトルデータを用いて初期解析を進め、得られた知見を JAXA と共有することで校正の精緻化を目指しています。また、ある程度の校正が進んだあとは、レベル 2 プロダクトとして提供する情報の正確さと精度を他の観測を用いて評価する「検証」の準備も進めています。これらの校正、高次処理、検証は、NIES、JAXA、環境省が主体的に行いつつ、国内外の研究機関、大学と協力連携しながら、精力的に進めて行きます。

TANSO-3 を用いた観測に基づくミッションとして、 CO_2 の全大気月別平均濃度の監視、国別人為起源温室効果ガス排出量の検証、温室効果ガスの大規模排出源（都市圏、発電所、永久凍土など）のモニタリングを掲げています。これらのミッションの達成をとおして、GOSAT および GOSAT-2 とともに、地球大気中の温室効果ガス濃度の上昇がもたらす気候変動の緩和に貢献することを目指します。

6. 謝辞

TANSO-3 データの初解析にあたり、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構および三菱電機株式会社の皆様にご協力いただきました。 NO_2 観測に関するアルゴリズム開発、検証観測・解析、応用研究については、NIES と国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）及び国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）との三者共同研究契約の下に進めています。また DOAS 法の計算ではコミュニティフリーソフトである QDOAS (<https://uv-vis.aeronomie.be/software/QDOAS/> (外部サイトに接続します)) を使用しました。

7. 注釈

4. 初期機能確認運用

センサを含む衛星が所定の機能性能を軌道上で有していることを確認する運用。

5. カラム平均濃度

乾燥空気のカラム量（気体の総量を単位面積当たりの地上から大気上端までの柱（カラム）の中にある気体分子の数で表した値）に含まれる温室効果ガスのカラム量の割合。

6. 傾斜カラム量

地表面に垂直なカラムではなく、太陽から発せられた光が地球大気を通過し衛星に到達するまでの経路（光路）で表される、傾いたカラム内に存在する気体分子の数。

7. Maximum a posteriori 法

スペクトルセンサーによる温室効果ガスなどの大気リモートセンシングに広く用いられている推定手法で、理論計算値と観測値の差と推定変数の先駆値からのずれを観測値と先駆値の誤差分布を考慮してコスト関数とし、これを反復計算により最小化させることにより最も確からしい推定変数を得るもの。

Rodgers, C. D.: Inverse methods for atmospheric sounding: theory and practice, World scientific, 2000.

8. 吸収断面積

ある物質（ガス）が、ある波長の光を吸収する効率を表す物理量。

9. ランベルト・ベールの法則と光学的厚さ

ランベルト・ベールの法則は光がある物質（ガス）を透過する際の光の吸収量と、その物質の濃度の関係を表す物理法則のこと。地球外における太陽光の強度と、太陽光が大気中で吸収・散乱され宇宙に返る光の強度を比較することで、大気による吸収の程度（光学的厚さ）を定量し、さらにそこから物質（ガス）の濃度を定量することができる。

10. 気塊（プルーム）

排出源から排出された大気汚染物質や温室効果ガスを含む空気の塊のこと。

11. 校正

主に輝度、分光、幾何の観点から、放射輝度スペクトルの正確さと精度を評価する作業。打上げ前には、積分球やレーザーなどの実験装置を用いて輝度、分光の観点から TANSO-3 の校正を行った。打上げ後には、衛星に搭載した太陽光拡散板による反射光を用いた校正、月面で反射された太陽光を用いた校正、地上に設置した校正ターゲットを用いた校正などの複数の手法により TANSO-3 の校正を実施している。