



宇宙からの温室効果ガス観測

-GOSATシリーズによる、2009年からの長期衛星観測とその将来-

2023年12月

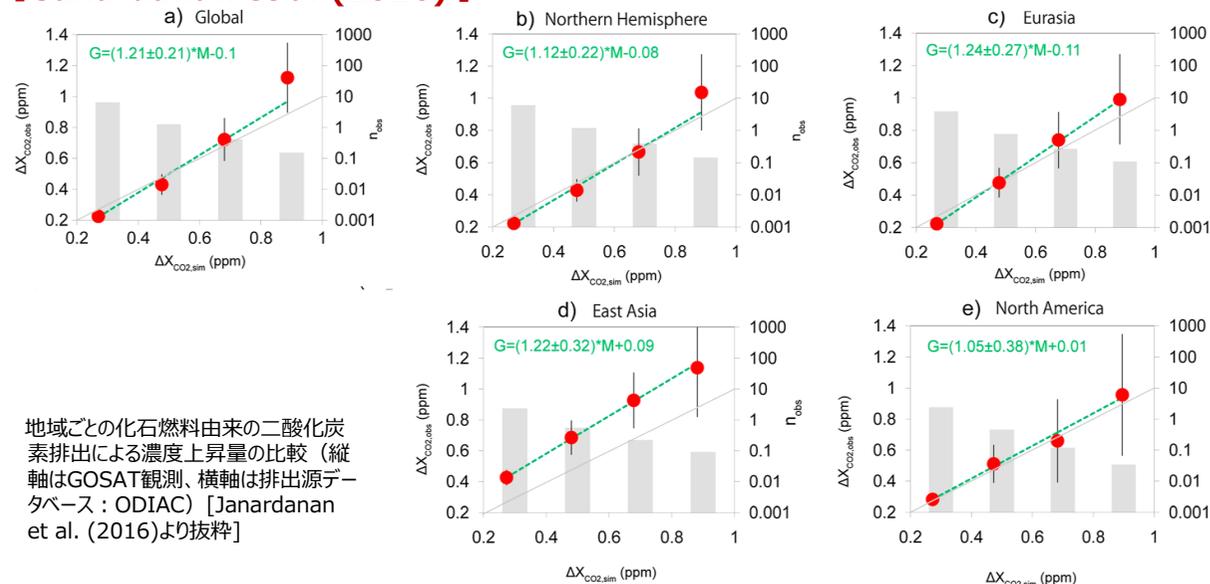
日本国環境省 気候変動観測研究戦略室



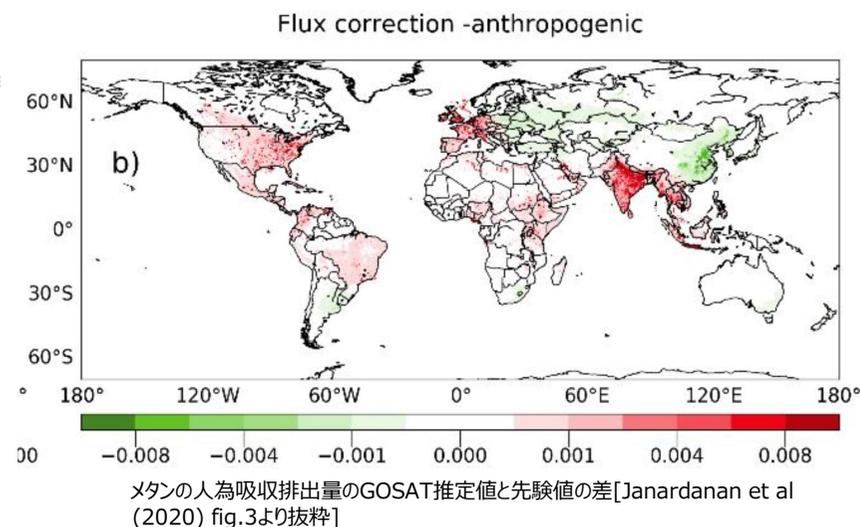
これまでのGOSATシリーズによる主な成果

- GOSATシリーズは、**2009年1月の初号機打上げから約15年間にわたり、CO₂、メタン等のデータを無償提供してきた**。その研究成果は**IPCC報告書(24本のGOSAT関係論文が掲載)**をはじめ、世界中で気候変動研究・政策に活用されている。
- これまでの研究成果として、例えば、GOSATによる実測値から推計した温室効果ガスの人為排出量と、化石燃料使用量の公式統計やUNFCCCに各国が提出した報告書等から推定される排出量について、**東アジア等一部の地域で、差が見られる**ことが明らかになっている。
- あらゆる国が**排出量報告の正確性と透明性を高め、Best Available Scienceに基づく実効的な対策**を講じていくことが重要。今後、都市や個別施設からの排出、天然ガスの使用に伴う大気への漏洩等、より詳細な/非意図的な排出源の監視や管理も重要性を増す。**環境省は、2024年度に号機を打ち上げ予定のGOSAT-GWも活用して、世界の排出報告の透明性向上等に貢献していく。**

【Janardanan et al.(2016)】



【Janardanan et al.(2020)】



GOSATシリーズの観測精度向上に向けて

地上観測機、船舶、航空機による観測データを活用し、解析・校正を実施。また、米国（NASA）及び欧州（ESA）等の宇宙機関と連携した観測協力を実施。



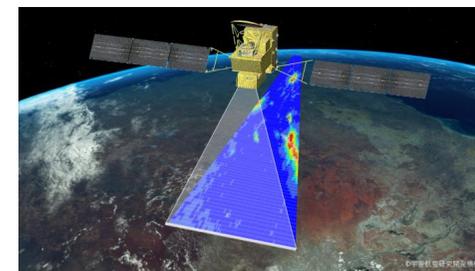
米国ネバダ州でのNASA、ESA及びJAXAによる合同観測の様子（JAXAウェブサイトより）

今後の課題や取組の方針

GOSATシリーズ3号機となるGOSAT-GWは、2024年度に打上げ予定。

2030年代を見据え、後継機の検討を進めている。

GOSATのスペースデブリ化防止にも率先的な取組を進めている。



GOSAT-GW TANSO-3（広域観測モード）の観測イメージ

これまでのGOSATシリーズによる主な成果：全球レベル

- GOSATシリーズは、**2009年から全球規模で観測を継続している。**
- 関連する論文数は**600本以上**発行され、**IPCC AR6のWG1報告書**においても**24本**の論文が引用されている。
- 2023年9月に、GOSATとGOSAT-2における測定¹の連続性の検証が完了。GOSATシリーズとして**一貫性のある長期・全球の温室効果ガスデータを世界に無償で提供**している。

衛星による長期・全球観測の意義

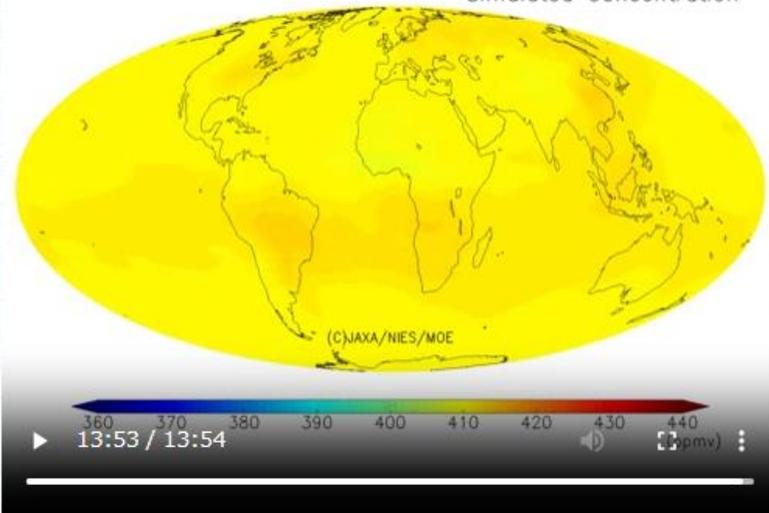
- 比較的短期間（5～10年間）で検出可能な影響が現れる大気中濃度の観測は、**影響予測や対策の進捗評価に有効。**
- 全球の平均的な温室効果ガスを測定するためには、
 - ・ **多数のサンプリング地点を設ける必要がある**
 - ・ **地上のみならず上空の濃度も含めて測定する必要がある**



全球で、地表から大気上端までの平均濃度を測定できる衛星観測は、有用な手段となる

長期・全球の濃度観測

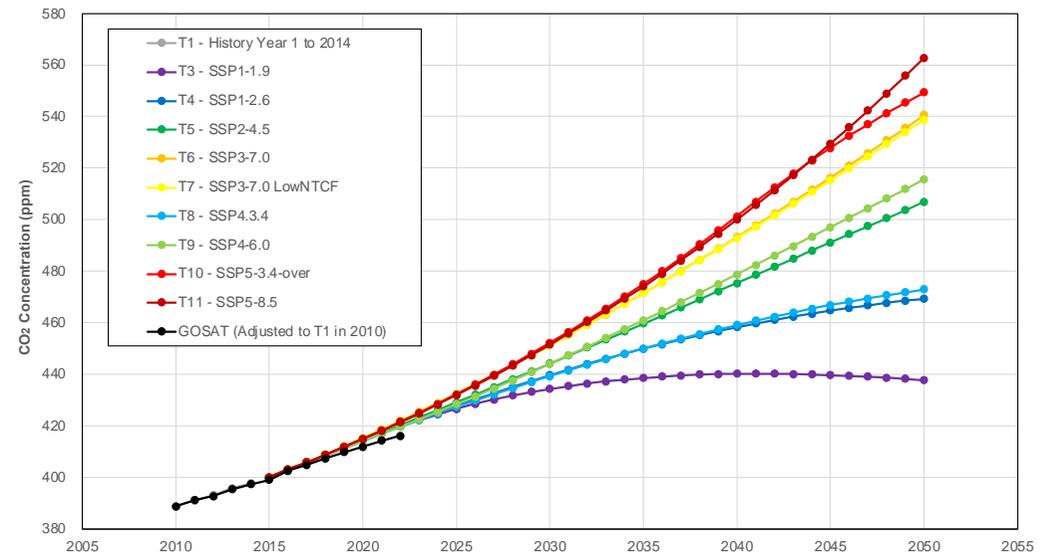
GOSAT L4B V02.08 CO₂ (2020/10/26) Column Average Simulated Concentration



Copyright(C) National Institute for Environmental Studies. All Rights Reserved.

世界の進捗評価に活用

GOSAT Whole-atmosphere annual mean CO₂ concentration vs "World" data in Meinshausen et al. (2020)



[国立環境研究所提供]

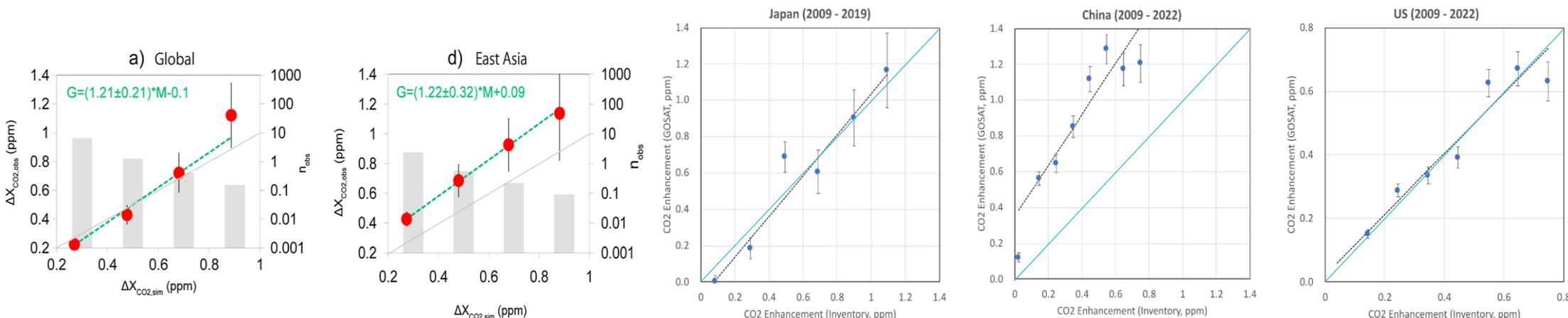
GOSATシリーズは、今後も長期・全球観測データを世界に提供する

■ GOSATシリーズの観測データと、統計等から予測される二酸化炭素及びメタンの排出量や、各国がUNFCCCに提出している排出量を比較する研究を推進。各国からUNFCCCへの報告の透明性向上に貢献。

CO₂排出量

【Janardanan et al.(2016)】

- GOSAT観測値と、化石燃料使用量や発電所所在地等の統計データから予測された先験値の地図上の分布を比較
- 「全球」「北半球」「ユーラシア」「北米」の各地域における解析結果では、誤差の範囲で一致。他方、東アジアでは、各点が傾き1の直線よりも上方に離れており、**縦軸(GOSAT観測) > 横軸(統計値)**となっている。(左の2つのグラフ)



地域ごとの化石燃料由来の二酸化炭素排出による濃度上昇量の比較（縦軸はGOSAT観測、横軸は排出源データベース：ODIAC）[Janardanan et al. (2016)より抜粋]

Janardanan et al. (2016)の方法に基づくCO₂の人為起源排出に関する衛星観測（GOSAT）とODIACによる統計値の比較（日本、中国、米国）

（注）中央のグラフは、GOSAT観測値によって得られた人為起源二酸化炭素の濃度増加分の方が、統計から得られた人為起源二酸化炭素濃度増加分より、1.5倍程度から3倍程度大きい。ただし、今回解析に含めたのは、データ数が多く確保できた比較的低濃度の領域(0.2ppm-1.0ppm)のみであり、これら低濃度領域のデータは、観測データの補正や統計処理の手法の差により生じ易い縦軸方向への一律のシフト（切片の変化）の影響を比較的強く受けるため、大きな切片（縦軸との交点の値）を持つ今回のデータから、国全体の排出量について議論することはできない。

【東アジアの差の原因】

Guan et al. (2012), Liu et al.(2015)等の研究に加え、Zhong et al.(2023)等、最近の地上観測を用いた研究でも、**中国において観測値が統計値よりも大きくなる傾向がある**ことが示唆されている。

【追加解析】【Janardanan et al.(2016)の手法で今回追加解析】

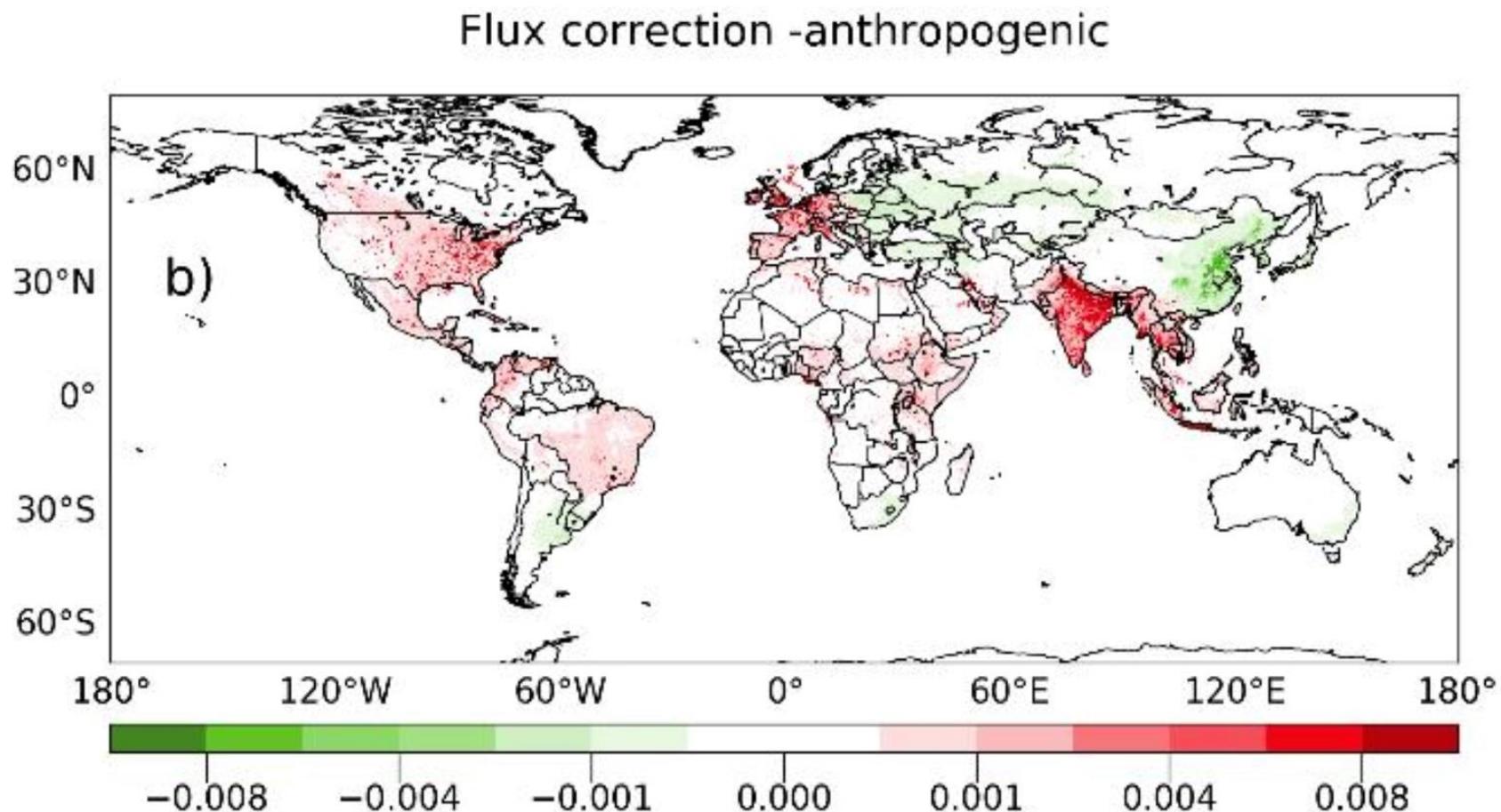
日本、中国、米国において、GOSAT観測結果と統計値を解析。**中国については上記の多数の論文と同様に、統計値が過少になっている可能性が示唆**された。(右の3つのグラフ) **本データの解釈については、右上中央のグラフの注記を参照。**

メタン排出量

【Janardanan et al.(2020)】

- GOSATデータから推定した人為的排出量と、統計データ等に基づく排出量の先験値の差をマッピング（緑：観測値が先験値よりも小さい地域／赤：観測値が先験値よりも大きい地域）（下図）
- ただし、国レベルの詳細な解析等により、これらは、**全て測定誤差の範囲内**であることを確認

今後、GOSAT-GWの追加データも含めた、より精度の高い解析を実施する



メタンの人為吸収排出量のGOSAT推定値と先験値の差 [Janardanan et al (2020) fig.3より、一部抜粋]

- 日本政府は、自国の温室効果ガス排出の透明性向上に意欲を持つ途上国に対し、**詳細な情報や地上観測・ゾンデ観測等により温室効果ガス排出量を把握して、GOSATシリーズのデータと比較**する取組を支援している。
- モンゴル国政府は、2023年11月に、自国のBUR2の中で、**GOSATによる排出量推定値と、自国の排出量推計とが素晴らしく一致(an excellent agreement)**する旨をUNFCCCに報告。
- 世界の温室効果ガス排出量の約70%と世界のエネルギー消費量の3分の2を占める**都市において排出量推計を推進**したり、特定の地域からのメタン排出量を観測・推計する取組でも、GOSATシリーズが貢献している。

モンゴル国における取組

【Watanabe et al.(2023)】

モンゴル国のエネルギーセクターにおいて、GOSAT衛星データを活用し、CO₂排出量を算定

- GOSATによる排出量推定値と、モンゴル政府が第二回BUR提出予定であった2018年の排出量推計値が1.5%の差で一致。
- 「The Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)」との比較では、4.2%低い結果に

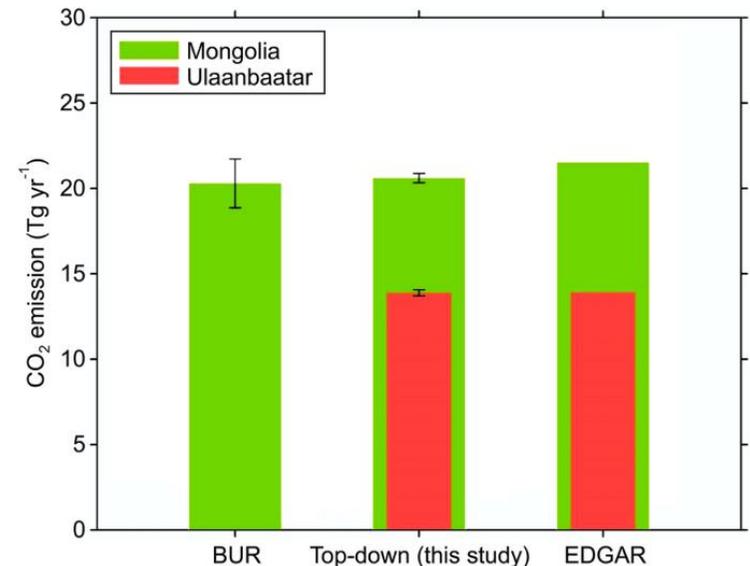
モンゴル国政府は、2023年11月に、自国のBUR2の中で、**GOSATによる排出量推定値と、自国の排出量推計とが素晴らしく一致(an excellent agreement)**する旨をUNFCCCに報告。

大都市におけるCO₂排出量推計

【Kuze et al.(2022)】

北京、ニューヨーク、東京等6つの大都市からのCO₂排出量をGOSATのデータを用いて推定、化石燃料消費量をもとに作られたインベントリと比較

- **大都市からの排出量推定に、GOSATデータを活用できる**ことを示唆
- 推定値のばらつきとバイアスを減らすには、晴天データ数を増やし、化石燃料の高温燃焼時に排出される二酸化窒素（NO₂）の同時観測によるバックグラウンドとの切分けなどが必要



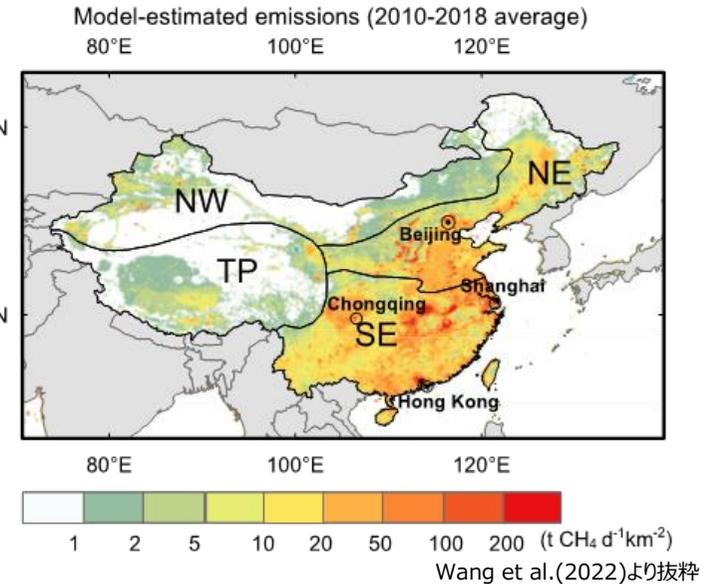
モンゴル国及び首都ウランバートルからの、BUR（左）、GOSAT（中）、公開統計等により算出されたデータベース(EDGAR)による二酸化炭素排出量推計値の比較 (Watanabe et al(2023)から一部抜粋。)

中国におけるメタン排出量推計

【Wang et al.(2022)】

GOSATデータと温室効果ガスの地上観測データを元に、2010年から2018年の中国の複数の地域からのメタン排出量を解析。

- 特に近年メタン排出量が増加傾向にある中国北東部（図の“NE”の領域）では、GOSATデータ等から導出したメタンの総排出量の年々変動の傾向と、同地域の天然ガス使用量・ガス販売量・購入量の差などの統計値等から推定される天然ガス由来の排出量とほぼ一致
- 天然ガスの生産／輸送／消費の各段階からの漏洩が懸念される

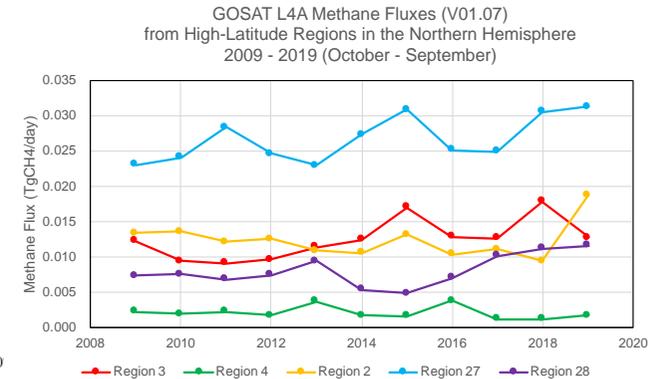
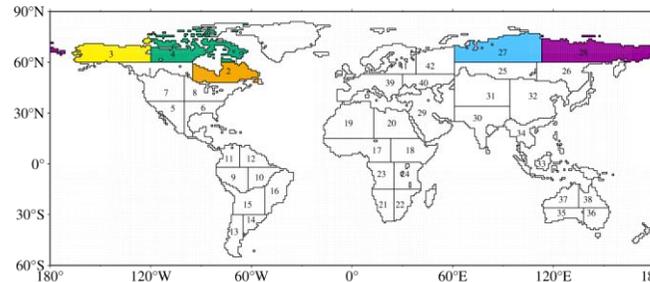


北半球高緯度地域からのメタン放出量の監視

【NIESウェブサイトにてデータ公開中】

永久凍土の融解に伴う不可逆的な炭素の放出や、湿地、永久凍土の融解、及び森林火災からのCO₂とメタンのフラックスなどが、これらの気体の大気中濃度を更に増加させることは確信度が高いとされる。（IPCC AR6 WG1報告書）

NIESのGOSATのL4プロダクトのギャラリーでは、永久凍土が存在する地域からのものも含めた世界の地域における、観測結果から推定したCO₂及びメタン排出量の時系列データを公開し、今後発生し得る放出量の変化等を監視している。



半球高緯度領域の年平均（10月～翌年9月）メタン放出量 [国立環境研究所提供]

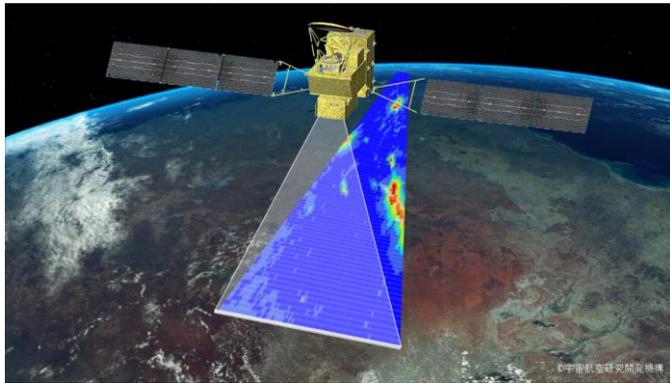
GOSATシリーズの観測精度向上に向けて

- 地上観測機、船舶、航空機による観測データを活用し、解析・校正を実施
- NASA及びESA等の宇宙機関と連携した観測協力を実施。
毎年、米国ネバダ州における合同フィールドキャンペーンで、同一時刻同一時点で、GOSATシリーズを含む5つの衛星により観測し、データを突き合わせることで精度の確認を行なっている。
- 欧州のTROPOMI衛星のデータは、GOSATを用いて補正されている。



米国ネバダ州でのNASA、ESA及びJAXAによる合同観測の様子（JAXAウェブサイトより）

- GOSATシリーズ3号機となる**GOSAT-GW**は、**2024年度に打上げ予定**。**2030年代を見据えて、後継機の検討も進める**
- GOSATシリーズの精度向上と共に、**NASA、ESA等**との共同観測、途上国での観測機の**設置充実・データ公開**を推進
- GOSAT観測地から国別排出量を推計する技術を、モンゴル・中央アジアから、**インド・ヒマラヤ地域、コーカサス地域、アジアへと拡大**
- 民間企業等に対してGOSATシリーズの観測データを提供し、**ビジネス利用を促進**



GOSAT-GW TANSO-3（広域観測モード）の観測イメージ

【GOSAT-GWの概要】

- 温室効果ガス観測センサ3型（TANSO-3）と高性能マイクロ波放射計3（AMSR3）が搭載され、**温室効果ガスを観測するとともに降水分布などの水循環も観測**
- 観測センサを変更することで、これまでの“点”的な観測ではなく**“面”的な観測**を実施
- **広域観測モード（範囲911km・解像度10km角）と精密観測モード（範囲90km・解像度3～1km角）**の2つのモードを用意
- **CO₂、メタンに加え、NO₂を観測可能**
- **GOSAT-2の100倍から1,000倍程度になるデータ数**を活かして、国別の排出量をより正確に把握できる見込み

科学界への貢献

- GOSAT観測データを活用し、世界的な温室効果ガス測定体制の充実に貢献
- IPCC第7次報告書策定へのプロセス等も見据え、科学への貢献を進める

行政への活用

- 来年度以降、パートナー国・機関との連携を強化しつつ、インド、ヒマラヤ地域、コーカサス地域、アジアへと拡大
- 各国からUNFCCCへの報告書にGOSATシリーズのデータを用いた検証を掲載することを支援し、途上国のインベントリの透明性向上に貢献

ビジネス利用

- GOSAT観測データを活用することで、ビジネス場面で使用される情報・データの信頼性を向上
- グリーンウォッシュの排除、GHG多量排出プロジェクトからのダイベストメント（投資の引き揚げ）を進め、真に削減効果のあるプロジェクトへの投資を促進

排出量を客観的に把握し、さらなる高みに向けて実施を進めるための科学的基盤を提供
2050年ネットゼロ社会に向けた、世界全体での排出削減・吸収量増加に貢献

- 近年スペースデブリが増加し、宇宙空間を継続的に安定利用する上での懸念事項となっている。
- 環境省は、GOSATシリーズ事業主体として、適切な運用と適切な処分を行う責任を持ち、スペースデブリ化防止に従来から取り組んでいる。2020年3月に省内チームを立ち上げ、対策を検討。**2020年10月に中間とりまとめを公表。**
- 現在GOSATは、順調に運用を継続しており機能面での問題はないが、突然のスペースデブリ化に備えた検討調整を進める。

「今後の環境省におけるスペースデブリ問題に関する取組について（中間とりまとめ）」（2020年10月）

- 既存衛星のスペースデブリ化防止対策は、国内外の法規制・ガイドラインにより自主的取組に委ねられている
- GOSATはこれらを準用し率先的に対応、検討手順を世界に先駆けて公表

- ① 衛星が設計寿命を超え利用可能な状態であっても、
- ② GOSAT-2へのミッション移行が確認された段階で、
- ③ 関係者や利用者の理解を得つつ、
- ④ 環境省・国環研・JAXAで協議の上、適切なタイミングで廃棄措置に移る



現在までの検討の進捗状況

①の現状

- **GOSAT1号機は現時点でも順調に運用を継続し**、データを地上に送信し続けている。
- 継続運用の前提となる衛星の健全性の評価については、ISO24113の2019年版の改定を反映した、スペースデブリ発生防止標準（JMR-003E）に基づいて、毎年JAXAが一年後時点も含めて評価。最新の評価（2023年3月末時点）では、廃棄措置に必要な機能の条件付き信頼度が0.9を切らないことなどを確認しており、**機能面での問題はない。**

②の現状

- 2023年9月に、GOSAT及びGOSAT-2において、衛星間のCO₂、メタン濃度データに存在する系統的な差異が、時間・空間的にどの程度変動するかを調べた結果、概ね1%以内で一致していることを明らかにした。（Yoshida, et al(2023)）
- このことから、**GOSAT-2による、GOSATの観測ミッション移行は、2023年9月時点で、完了したと評価できる。**

③の現状

- 科学論文への活用は、まだGOSATデータが多く、GOSAT-2に代替できているとは言えない状況。（2023年9月に、GOSATの有する2009年からの長期データとGOSAT-2のデータの連続性の保証がされたことで、今後GOSAT-2の活用が増える見込み）
- 気候政策においても、UNFCCCへのインベントリ報告書や国際的に用いられている排出量データベースとの比較において、GOSATデータの有用度は依然として高く、**GOSAT-2への代替が完了したと評価できる状況ではない。**

④の現状

- ①～③を勘案すると、廃棄措置について、**現時点で具体的な取組を進める段階にはない。**
- ただし、突然のスペースデブリ化のリスクに備えた、軌道離脱・停波運用に向けた**作業計画書作成の準備や環境省、NIES及びJAXAによる定期的な協議など**を通じて、**引き続き、検討・調整を進める**こととする。