

GOSAT1号機の活用状況及び 主なステークホルダー

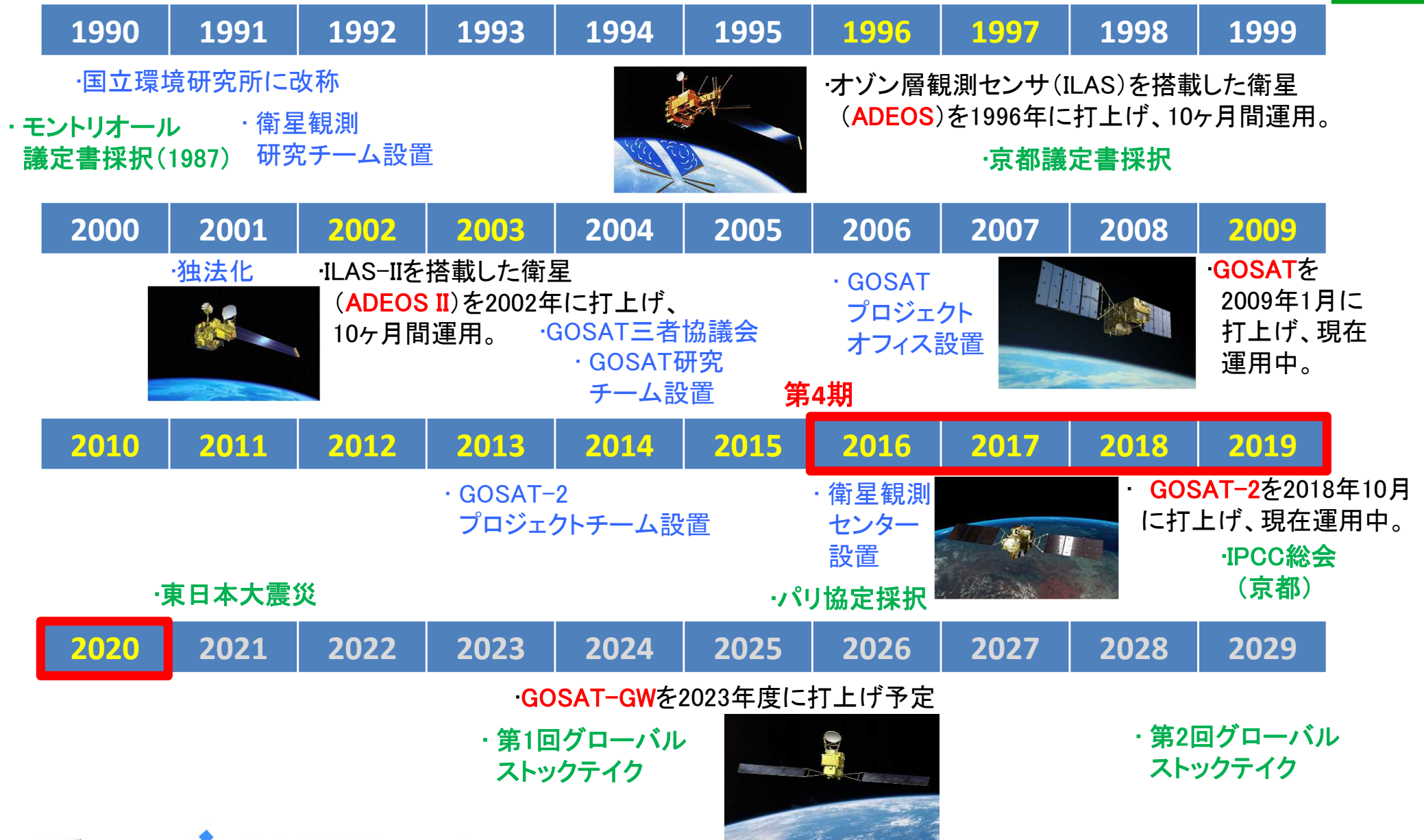


地球環境研究センター 衛星観測研究室長
衛星観測センター 観測センター長
松永恒雄

環境省、国立環境研究所と衛星プロジェクト

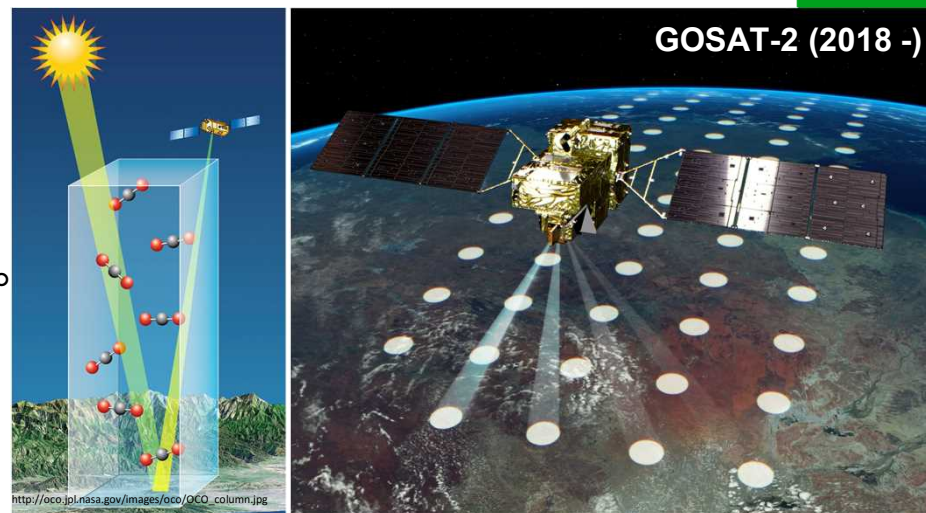
(ADEOS、ADEOS II、GOSAT、GOSAT-2、GOSAT-GW)

(年度)



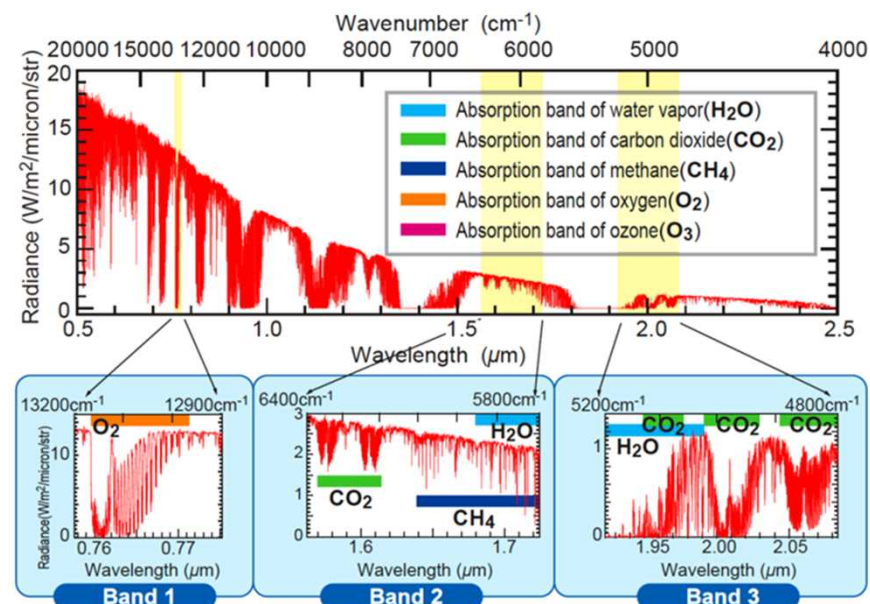
温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) シリーズとは？

- 大気中の温室効果ガス濃度の観測を目的とする我が国の地球観測衛星シリーズ
 - GOSAT (温室効果ガス観測技術衛星)
2009年1月打上げの**世界初の温室効果ガス観測専用衛星**。二酸化炭素とメタンを観測する。現在も運用中。**11年以上**のデータ蓄積。
 - GOSAT-2
2018年10月打上げの**GOSATの後継機**。二酸化炭素、メタン、**一酸化炭素**を観測する。
 - GOSAT-GW (温室効果ガス・水循環観測技術衛星)
2023年度打上げ予定。AMSR3と相乗り。



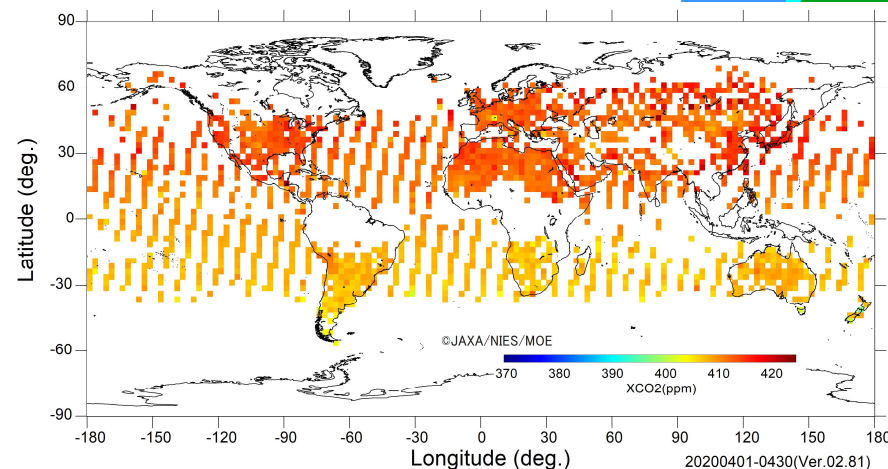
■ 体制等

- **環境省、国環研、JAXAの共同事業**
- **国環研は衛星データからCO2やメタンの濃度や吸収排出量を推定する部分等を担当**
- **国内の研究者によるサイエンスチーム**
- **欧米の宇宙機関との協力協定**
- **研究公募による海外研究者の参加**
- **データはNIESホームページより無償公開**



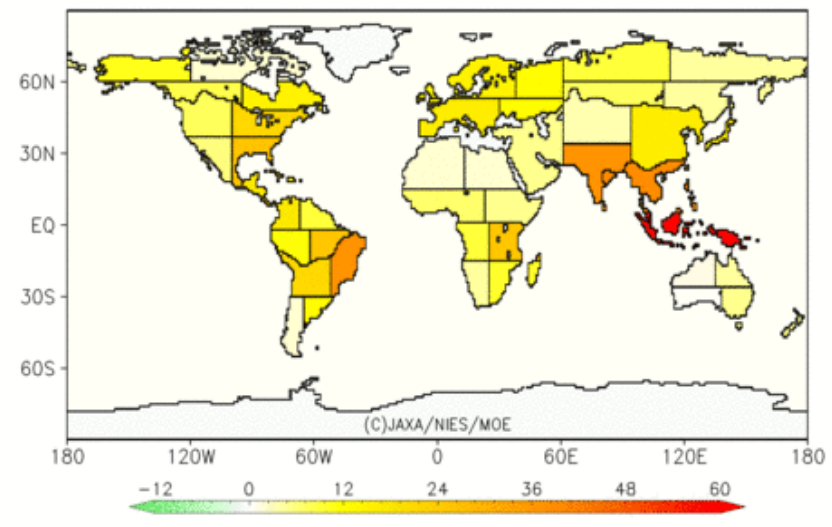
いぶき (GOSAT) シリーズの主な成果

- ① 宇宙から二酸化炭素のカラム平均濃度を高い空間分解能 (10 km) と高い精度 (2 ppm、0.5%) で測定できることを世界で初めて実証した。
- ② 宇宙からの観測に基づき、全球の二酸化炭素およびメタンの吸収排出量分布を求めた。
- ③ 二酸化炭素とメタンの人為起源排出量について、衛星観測とインベントリの比較を行った。
- ④ 宇宙からの温室効果ガス観測に関して、様々な国際的な枠組みを構築した。
- ⑤ 世界各国／民間企業が温室効果ガス観測衛星の開発／運用／利用を競って行う国際的な潮流を作り出した。



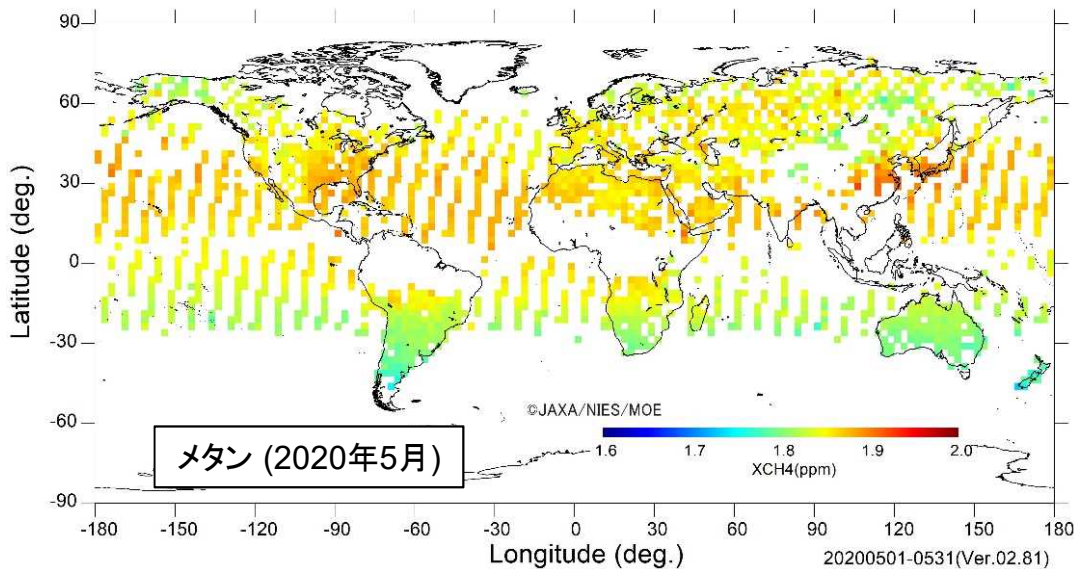
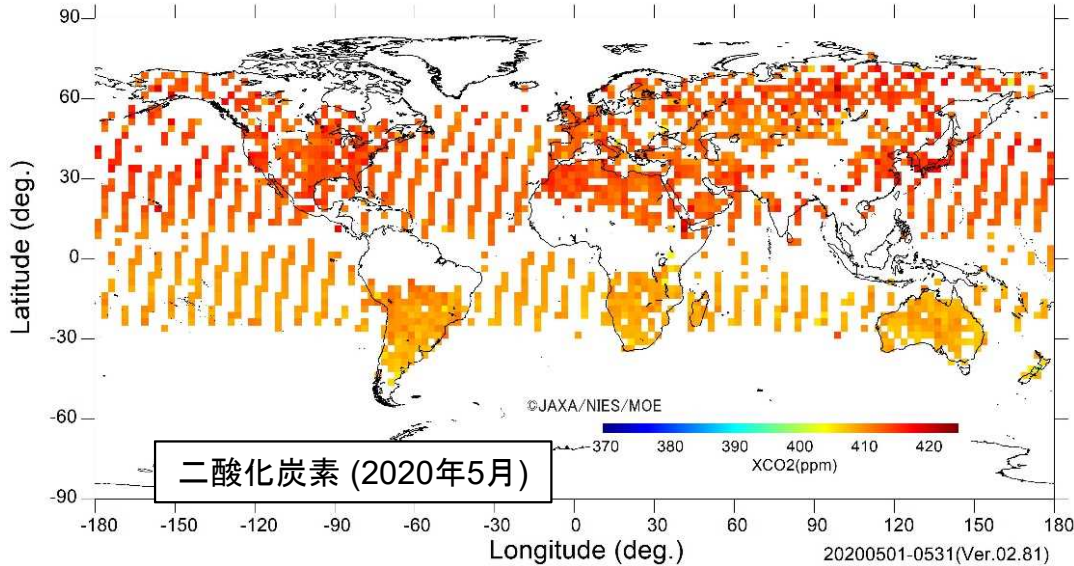
GOSAT CO₂濃度 (2019年8月)

GOSAT L4A V01.04 CH₄ Fluxes (2015/09)

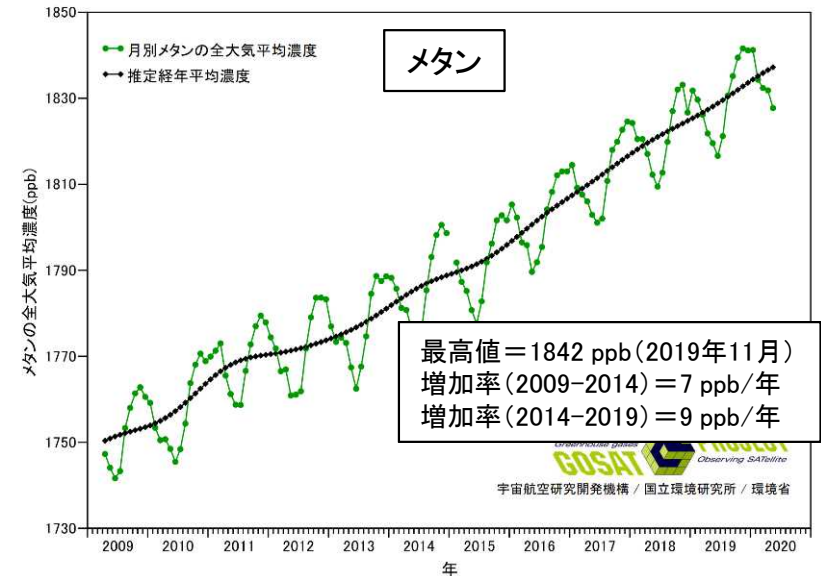
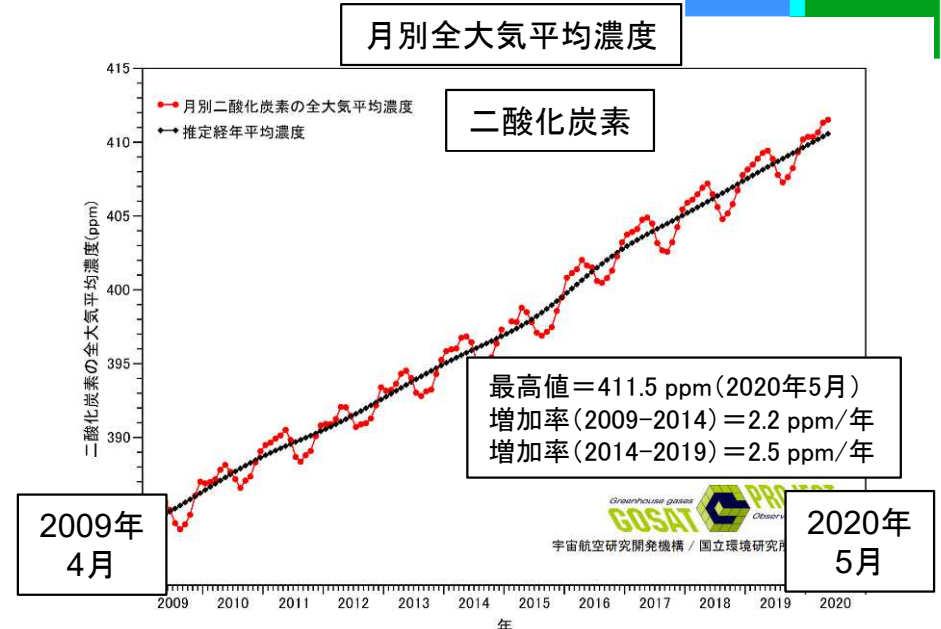


メタンの排出量分布 (2015年9月)

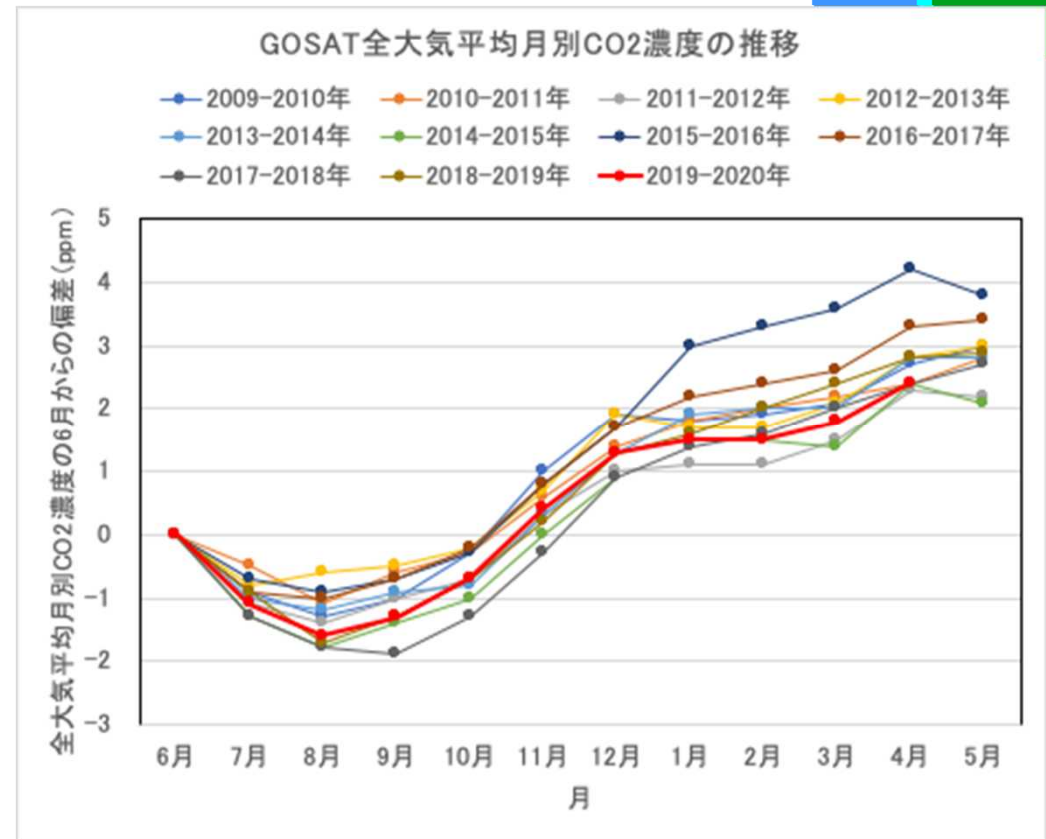
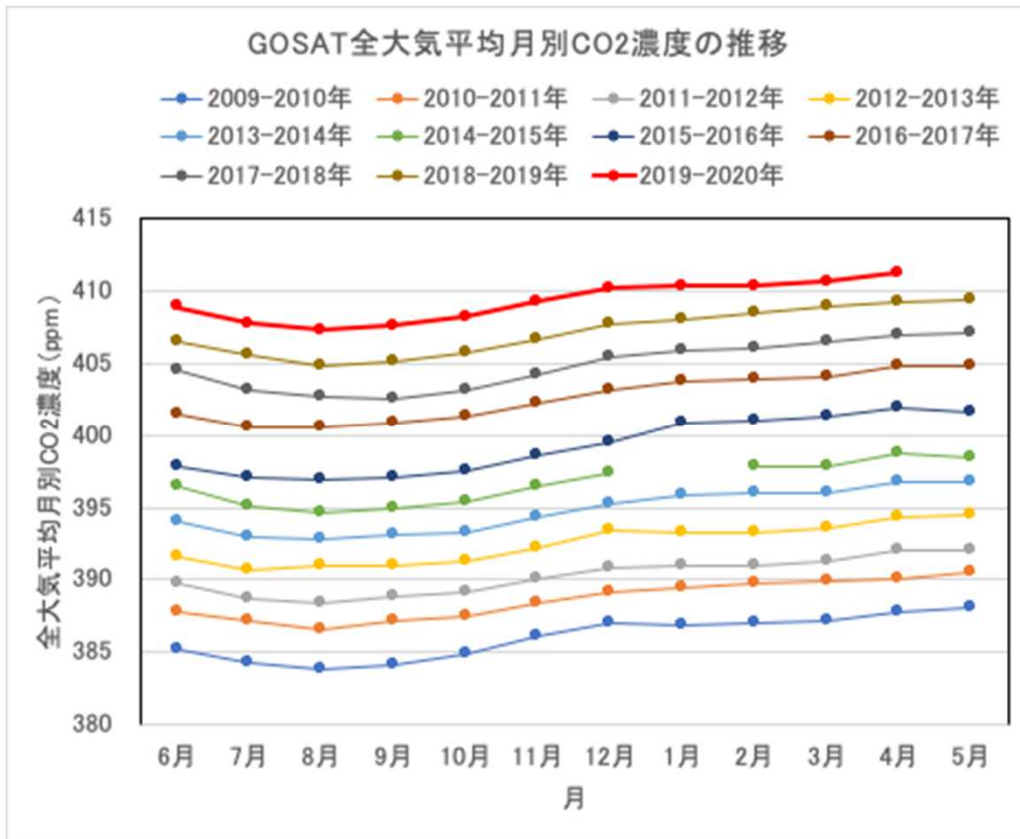
いぶき (GOSAT) の最新データ: CO₂ / メタンの2020年5月の全球濃度分布と長期傾向



TCCON validation (± 0.2 deg, ± 30 min)
 $\Delta XCO_2 = 0.2 \pm 1.8$ ppm (N = 2025)
 $\Delta XCH_4 = -0.2 \pm 9.5$ ppb (N = 2026)

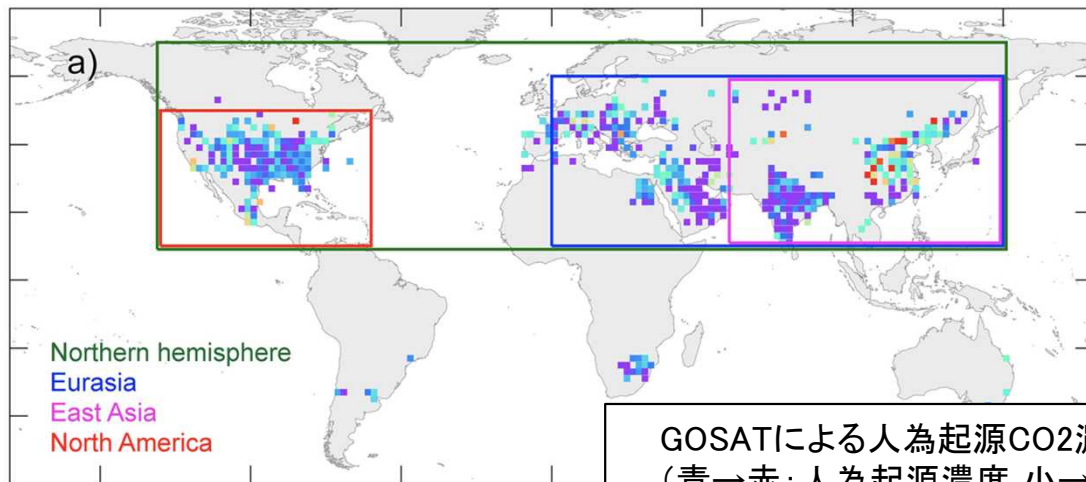


COVID-19の影響： GOSATによる全大気平均月別CO₂濃度（2020年4月まで）



- (年変化) GOSATによる全大気平均月別CO₂濃度は、2009年以降2~3 ppm/年のペースで増加中。
- (季節変化) 例年、最低値となる8~9月から最高値となる4~5月にかけて、CO₂濃度は単調増加する。
- 2019年12月→2020年4月のCO₂濃度増加は**1.1 ppm**である。
これは**過去7年間(平均1.6±0.4 ppm)**では**最低**、**過去11年間(平均1.4±0.5 ppm)**では**4番目に低い**。
- 現時点では「**過去11年間に観測された自然変動の範囲内**」と考えている。
- 2020年4月までのデータは<http://www.gosat.nies.go.jp/recent-global-co2.html>にて公開中。
- 2020年5月の結果は6/8の週に公開予定。

主な研究成果(1/2): 人為起源CO2濃度のGOSAT/インベントリ比較



GOSATによる人為起源CO2濃度
(青→赤:人為起源濃度 小→大)

GOSATによる人為起源CO₂濃度を、CO₂排出インベントリから算出したCO₂濃度と比較した。



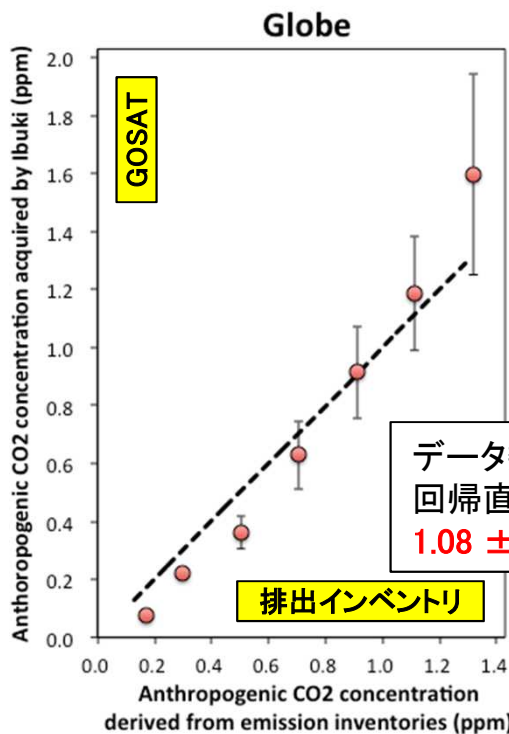
GOSAT観測とインベントリが整合していれば1:1ラインに乗る。



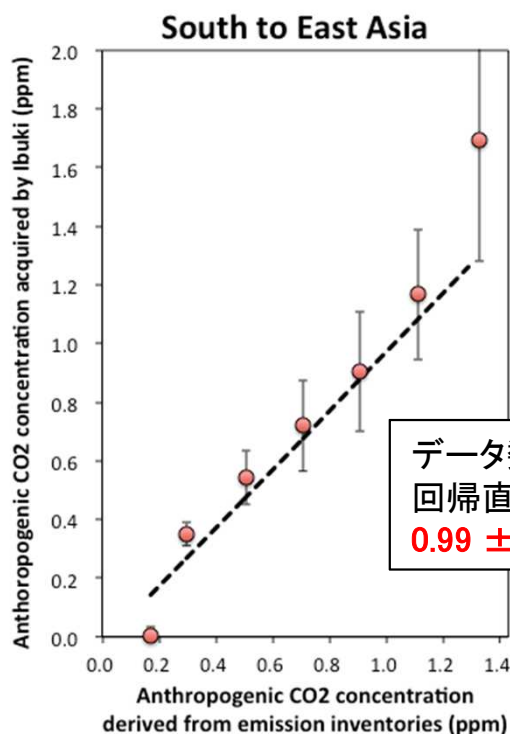
全球で±13%、アジアでは±17%の範囲でGOSATとインベントリは一致している。



GOSAT、GOSAT-2を活用し、各国がパリ協定に基づき国連に提出する温室効果ガス排出インベントリの検証へ。



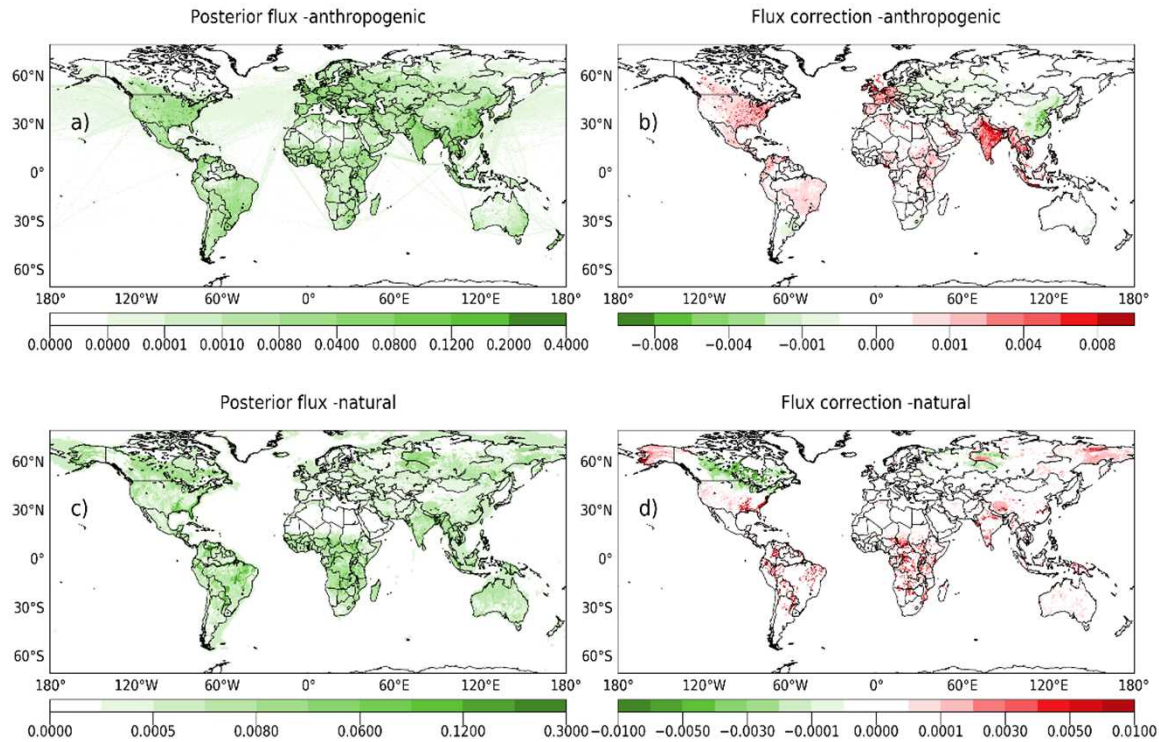
データ数 = 13616
回帰直線の傾き
1.08 ± 0.13



データ数 = 5589
回帰直線の傾き
0.99 ± 0.17

Janardanan et al., GRL, 2016

主な研究成果(2/2): メタンの国別排出量の推定



逆推定モデル(濃度から排出量を推定する)

- NIES-TM-FLEXPART-VAR(NTFVAR)
- 0.1度(≒10km)間隔、2週間ごとの推定
- GOSATのメタンデータを利用

左側: 推定されたメタン排出量分布
右側: 先験値(インベントリ)との差
上側: 人為起源排出量
下側: 自然起源排出量

Country	total prior	total posterior	Percentage difference	natural prior	natural posterior	Percentage difference	Anthro-pogenic prior	Anthro-pogenic posterior	Percentage difference	Uncertainty (Tg)
中国	60.1	52.0	-13.5	5.8	6.3	7.7	54.3	45.7	-15.8	8.6
米国	51.6	55.7	7.9	23.8	25.9	8.8	27.8	29.8	7.2	7.8
ロシア	47.8	45.2	-5.5	13.6	13.2	-2.7	34.2	31.9	-6.6	7.8
ブラジル	45.6	56.2	23.3	29.2	39.8	36.1	16.4	16.5	0.6	10.0
インド	29.9	36.5	21.9	9.9	12.3	25.2	20.1	24.2	20.4	5.3
...
ウクライナ	2.8	2.4	-14.5	0.2	0.2	-4.4	2.6	2.2	-15.8	0.4
フィリピン	2.8	2.8	1.5	0.2	0.2	4.6	2.5	2.6	1.2	0.4
ポーランド	2.7	2.5	-5.3	0.0	0.0	0.0	2.6	2.5	-5.3	0.4
アンゴラ	2.7	3.1	12.9	2.1	2.5	16.0	0.6	0.6	1.7	0.3
フランス	2.5	2.8	11.2	0.1	0.1	0.0	2.4	2.7	11.2	0.4
合計	551.7	573.4	3.9	209.2	232.5	11.2	342.6	340.9	-0.5	22.6

メタンの排出量(インベントリ)が2.5Tgより多い39カ国の一覧表の抜粋(上位5カ国、下位5カ国、合計)

Janardanan et al.,
Remote Sensing, 2020

IPCC第49回総会(2019年5月、京都)と インベントリガイドラインの改定

6.10.2.5 USE OF COMPLIMENTARY OBSERVATIONS AND MODELLING PRODUCTS

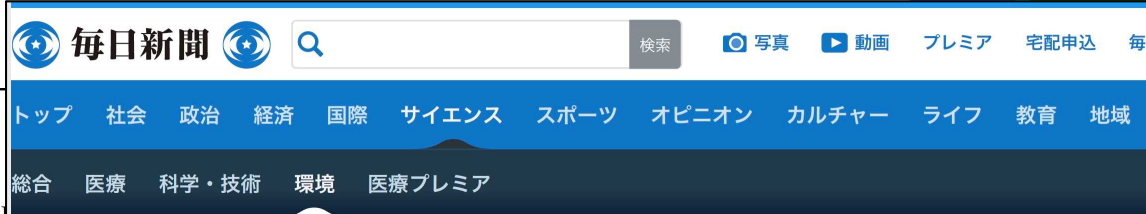
COMPARING NATIONAL INVENTORY TO THE GLOBAL INVENTORY PRODUCTS

For many countries where the national observing networks or national scale inverse models are not available, optionally, national scale emission estimates can still be derived from regional modelling results. Regional methane emission assessments have been made by several groups in Asia, and North America (Miller *et al.* 2013; Thompson *et al.* 2015; Bergamaschi *et al.* 2016). Requested from the authors and national estimates can be extracted from those inverse modelling products and publicly available inverse model estimates for CH₄ and N₂O emissions are provided. Global and regional inverse modelling products, such as Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CA-MIP) CH₄ (Segers & Houweling 2017) and N₂O (Thompson 2017), NOAA Carbontracker-CH₄ (Bruhwieler *et al.* 2017). The work towards estimating anthropogenic CO₂ emissions is recognized as important (GEOSS initiative, (Ciais *et al.* 2014), and is being addressed by a number of national and international initiatives as the Copernicus initiative for CO₂ observing systems (Pinty *et al.* 2017). The Global Carbon Project (GCP-methane) compares and makes available multiple global inverse model estimates (Saito *et al.* 2016). Several institutions, such as LSCE, MPI BGC, and Wageningen University also make regular emission estimates at the global scale and make their gridded flux data available upon request. Instructions for using global products for comparison to national inventory are provided in Table 6.10.2.5.

SATELLITE OBSERVATIONS

In regions with sparse ground-based observational coverage, emission estimates by global models have larger biases and uncertainties. This issue is being addressed by expansion of ground-based networks and satellite observations of atmospheric GHGs. Satellite observations by GOSAT were used to compare scale methane emission estimates with regional inverse models by (Ganesan *et al.* 2017) for India and (Miller *et al.* 2015) for the US. Currently several global inverse modelling products by the Copernicus Atmosphere Monitoring Service (Segers & Houweling 2017), the GOSAT Level 4 product (Saito *et al.* 2016) and several other products use satellite observations of methane in addition to the ground-based observations. Emission estimates by global models utilizing satellite data are included in the GCP-methane assessment. Use of satellite observations by SCIAMACHY, OCO-2) in inverse modelling for anthropogenic emission estimates is still in the early stages, due to multiple technical challenges of producing the high-quality concentration retrievals from the observed spectra. On the other hand, currently available products are checked for consistency by comparing estimates made with the use of ground-based observations, and generally do not produce significant differences (Bruhwieler *et al.* 2017).

In addition to emission estimates made using inverse methods, several studies have shown the sensitivity of satellite sensors to concentration enhancements around emission hot spots, as summarized in the (Matsunaga & Maksyutov 2018). A common technique applied in several estimates of anthropogenic



日本の衛星が「見張り役」 温室効果ガス全世界くまなく観測

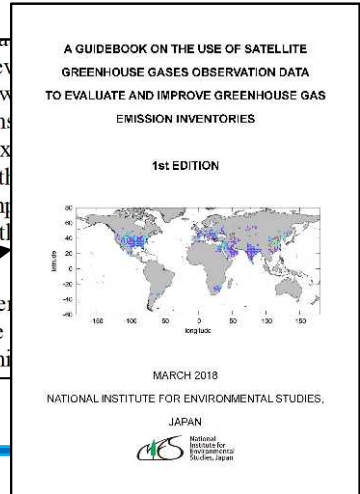
会員限定有料記事 毎日新聞 2019年5月8日 20時53分 (最終更新 5月8日 22時32分)

東京都 > 速報 > 社会 > 環境 > サイエンス > 政治プレミアタイムライン >



温室効果ガス観測技術衛星「いぶき2号」のイラスト＝JAXA提供

8日、開幕した国連の「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」の第49回総会。温室効果ガス排出量の算出方法の改定では、統計に基づいた算出の精度検証の手段として、初めて人工衛星の活用が盛り込まれる見通し。2009年に打ち上げられた世界初の温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」や昨年打ち上げられた「いぶき2号」といった日本の衛星の活用が期待されている。



「GOSATをガイドライン改定に含める」ための活動(ガイドブック作成)は2016年4月に開始された。

GOSATシリーズに関する国際的な枠組み

① 各国の宇宙機関、研究機関との協力協定
米国NASA、欧州ESA、フランスCNES、ドイツDLR等

② 研究公募による共同研究契約
旧公募(2008~2018) 25カ国/128件
新公募(2019~) 12カ国/37件

③ 国際研究集会(IWGGMS)



④ 国連を通じた活動/ IPCCインベントリガイドライン2019年改良における記載/ アジア諸国へのアプローチ



表 5. 国別の研究課題採択数

国	2008	2009	2010	2011-16	合計
日本	23	8	1	4	36
アメリカ	7	8	3	4	22
ドイツ	6	2		2	10
中国	1		2	3	6
カナダ	3		2		5
フランス	2	2	1		5
オランダ	3	1	1		5
イギリス	2	3			5
ロシア	4				4
フィンランド		2	1	1	4
オーストラリア			2	1	3
インド		1	1		2
イタリア		2			2
韓国		1	1		2
スペイン		1	1		2
インドネシア			1	1	2
ベルギー		1			1
ブラジル		1			1
チェコ		1			1
ニュージーランド	1				1
ノルウェー		1		1	2
シンガポール		1			1
マレーシア					1
台湾					1
ベトナム					1
合計	52	36	18	20	126

旧研究公募による共同研究の状況

GOSATシリーズに関する誌上(査読付国際誌)／口頭発表等

2019年度

誌上発表		書籍
査読無し	査読有り	
7	36	0

口頭発表			特許等
国内	国外	招待	
42	26	8	0

衛星事業の成果として登録された、衛星観測Cメンバーが著者となっている論文や発表。

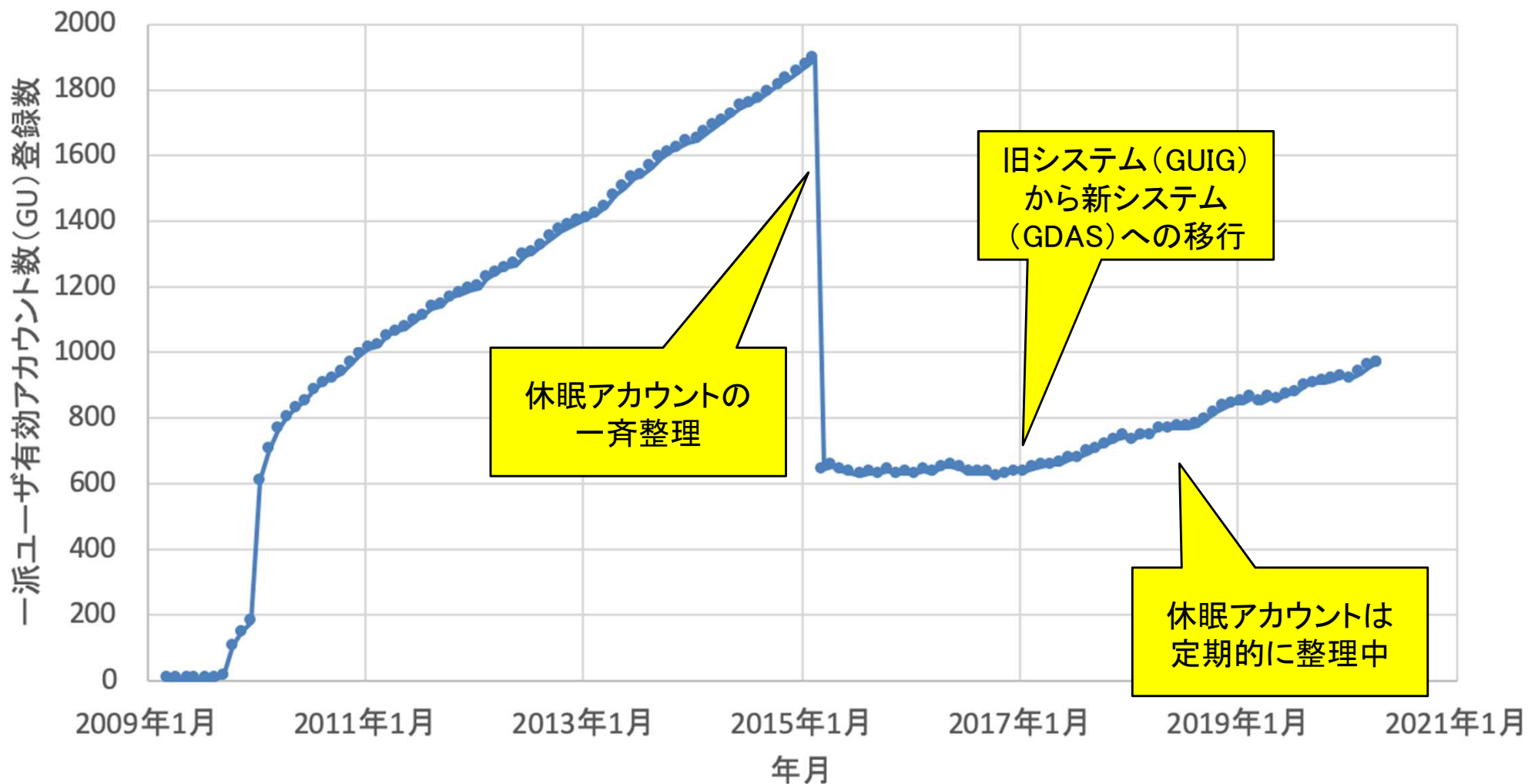
著者の所属を問わずGOSATに関する論文等を検索した。
 Web of Science検索条件 (TS=GOSAT OR TI=GOSAT) AND LANGUAGE: (English) AND DOCUMENT TYPES: (Article)
 (2020/6/3調べ)

※WoSの2007～2016の合計=297であり、従来法より1%多い。

年	発行された査読付き論文またはArticle数			
	GOSATデータ 利用有り	GOSATデータ 利用無し	合計	WoS 検索
2020				16
2019				45
2018				61
2017				65
2016	48	3	51	71
2015	45	1	46	47
2014	45	3	48	43
2013	50	4	54	51
2012	25	8	33	30
2011	16	6	22	20
2010	4	15	19	18
2009	1	12	13	11
2008		5	5	6
2007		2	2	
合計	234	59	293	484

GOSATプロダクトをダウンロードできる 一般ユーザ(GU) 数の推移

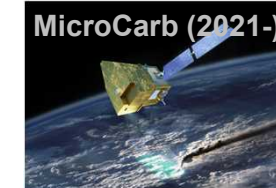
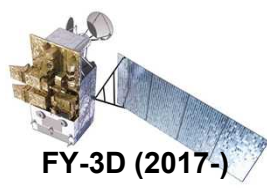
GOSATデータ配布サイト(2016年までGUIG、2017年からGDAS)
一般ユーザ(GU)有効アカウント数の推移



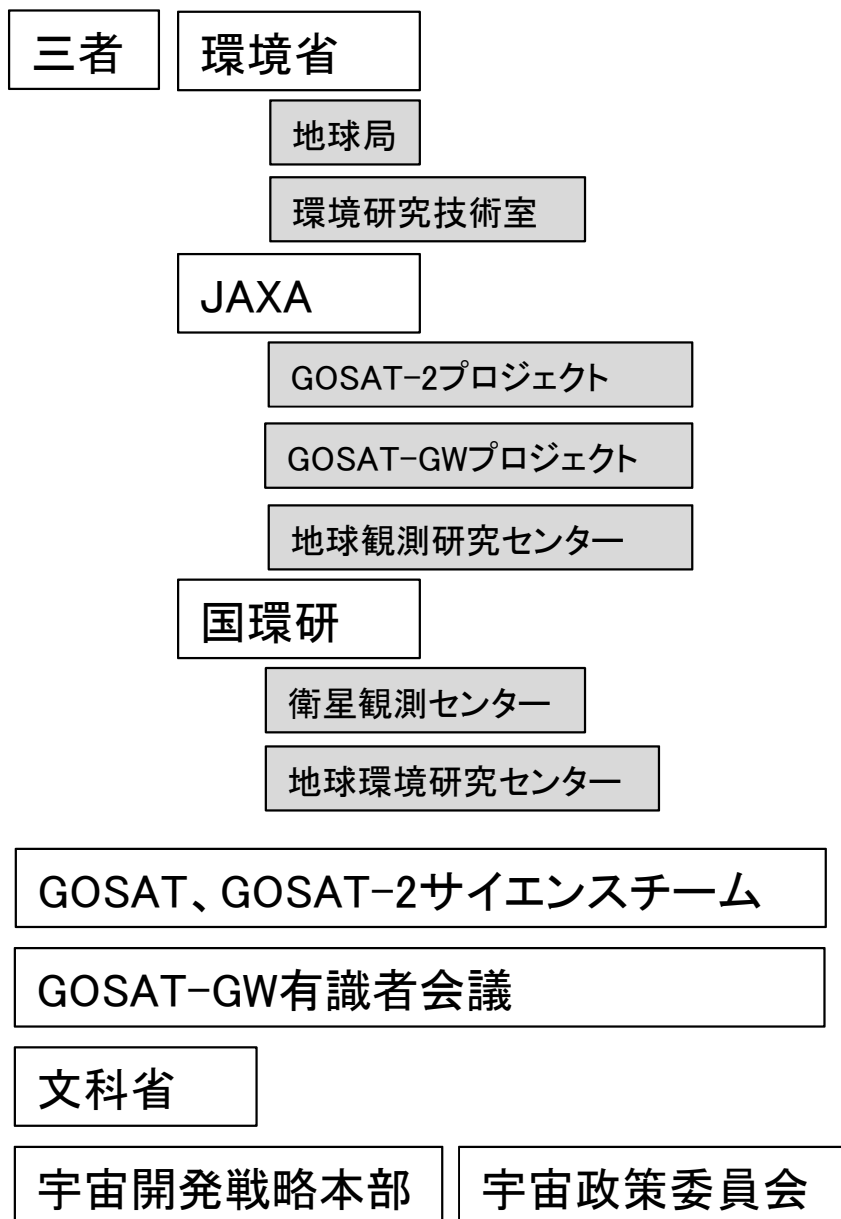
温室効果ガス観測を行う主な衛星 (対流圏下部までの鉛直平均濃度観測を行う衛星のみ)

Mission	Country / Organization	Period	GHGs	Comments
ENVISAT / SCIAMACHY	ESA	2002 -2012	CO ₂ , CH ₄	
GOSAT	Japan	2009 -	CO₂, CH₄	FTS
OCO-2	US	2014 -	CO₂	Grating
GHGSat-D/CLAIRE	GHGSat (Canada)	2016 -	CO₂, CH₄	Fabry-Pérot
TanSat	China	2016 - 2018	CO ₂	Grating
Sentinel-5p / TROPOMI	EC	2017 -	CH₄	
FY-3D / GAS	China	2017 -	CO₂, CH₄	
GF-5 / GMI	China	2018 -	CO₂, CH₄	Spatial Heterodyne
GOSAT-2	Japan	2018 -	CO₂, CH₄	FTS
ISS / OCO-3	US	2019 -	CO₂,	Grating
GHGSat-C	GHGSat (Canada)	2020 -	CO ₂ , CH ₄	Fabry-Pérot
MicroCarb	France	2021 -	CO ₂	
MethaneSAT	EDF (NPO in US)	2021-	CH ₄	
GeoCARB	US	2023-	CO ₂ , CH ₄	Geostationary, Grating
GOSAT-GW	Japan	FY2023-	CO ₂ , CH ₄	Grating
MERLIN	France/ Germany	2024 -	CH ₄	Laser
CO2M	EC	2025 -	CO ₂ , CH ₄	Constellation

赤字は
現在
観測中
の衛星



GOSATに関するステークホルダー



三者と協定を締結した組織



GOSAT研究公募による共同研究実施者
(2020年5月時点で日本を含めて12カ国、35件)

検証用地上観測協力機関(NDAAC/TCCONという
ボランティアな国際組織にまとまっている)

他国や民間のGHG衛星プロジェクト(別添のミッ
ション一覧表を参照)

国際機関(UNFCCC、IPCC、WMO、GEO、CEOS
など)

国内学会(日本地球惑星科学連合、日本気象学
会、日本リモートセンシング学会、日本大気科学
会など)

今後の宇宙開発体制のあり方に関するタスク
フォース会合 リモートセンシング分科会

(日本リモートセンシング学会誌より)

- ① 熱帯降雨観測衛星(TRMM)は、1997年11月28日午前6時27分(日本時間)に、技術試験衛星VII型(ETS-VII)と共に日本のH-IIロケット6号機によって種子島宇宙センターから打ち上げられた。
- ② NASAは、2000年ごろからTRMMのcontrolled re-entry(制御再突入)の検討を始めていた。
- ③ 2002年にNASAのOffice of Safety and Mission Assuranceは、TRMMについての制御再突入の公式な検討を終了し、『運用を継続することによって得られるストーム予測や気象業務改善の利益と引き換えに制御再突入しない場合に発生するリスクを受け入れることの決定は妥当であり、地球科学コミュニティとNASA長官の裁量権の範囲内にある』と結論した。
- ④ NASAの地球観測担当部門は、制御再突入の時期が近づいた2003年10月にJAXAに対して、TRMMの運用経費が年間約7億円かかること、GPM(全球降水観測計画)衛星を早期に立ち上げたい等の理由でTRMMの運用を早期に停止し制御再突入したいと申し入れた。
- ⑤ しかし、2004年9-10月ごろにはTRMMの残燃料が138kgになる見通しがあったため、NASA地球観測担当部門は2004年6月にcontrolled re-entryを決定し、JAXAに通告し、7月にJAXAはこれを受け入れた。
- ⑥ これに対して日本気象学会、日本海洋学会を初め、国内外の約20の機関や学会等からTRMM運用継続を望む要望書がNASA、JAXAに提出された。
- ⑦ また国内のTRMMサイエンスチームメンバー有志によって開始されたメールによるTRMM運用継続請願への賛同は2004年7月末に約1,000名に達した。
- ⑧ JAXAは宇宙開発委員会にNASAの申し入れに同意することを報告した。／JAXAは最終的には2004年7月にNASA提案のTRMM運用終了に同意する旨NASAに回答し(後略)
- ⑨ 米国内では、研究者はNASAの決定に激しく反発して、議会を巻き込んだ反対運動となった。ハリケーンの予警報にTRMMが役立つことからNOAAが2004年のハリケーンシーズン終了までTRMMの運用継続を要望した(後略)
- ⑩ 2005年4月にNASAの新長官になった宇宙工学の専門家であるGriffin博士は、比較的わずかな予算で、TRMMの運用を継続することによって、科学的な知見がさらに増大することはもとより、ハリケーンの進路予測などの実用面において人類に恩恵をもたらす衛星であることを理由にTRMMの運用継続を承認した。
- ⑪ TRMMは、2015年6月16日午後0時55分(日本時間)に、南インド洋上空で大気圏に再突入して、その寿命を終了した。