



地球観測連携拠点(温暖化分野)平成27年度ワークショップ 平成27年11月19日

## 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」の観測の 現状と今後(GOSAT及びGOSAT-2)

Greenhouse gases Observing SA Tellite (GOSAT)





国立研究開発法人 国立環境研究所 地球環境研究センター



・データ処理手法の開発(研究)、・データの科学利用研究
 ・JAXAからの一次処理データを受けて二次処理(濃度等の算出)及び
 高次処理(二酸化炭素収支の導出等)、・データ質の検証作業
 ・処理結果の提供(研究者及び一般登録ユーザに)、・データ利用推進









- 宇宙から温室効果ガスの濃度を精密に測定 する技術は最先端の技術です。
- 2000年代に入ってようやく
   実現した技術です。

≻ハードウェア技術

≻短波長赤外フーリエ変換分光器

> 衛星の安定した運用機構と冗長系

>ソフトウェア(情報処理)技術

▶目標精度の達成、誤差要因との戦い【処理アルゴリズム】
▶非線形システムの精密高速計算【計算処理技術】

データ処理技術の研究開発は、国内の大学との連携によりなされ、海外でも進められています。



## 《特徴4》今でも稼働中!(長生き) 衛星運用の現状



クリティカル運用 (2日間)		—( <b>5 年間</b> )————————————————————————————————————	1.23	(現時点)						
初期運用	初期校正 検証運用	定常運用	後	期利用運用						
▲ 【 打上げ(L) L+3 H21.1.23	・ 3ヶ月 L+6	<b>ヶ月</b> 2014年5月25日に太陽電池パドル 2015年1月26日にFTSポインティ 2015年8月 2日にFTS TIR検出	5年後 レの片翼が ング系の切 器の冷凍器	<ul> <li>(約22ヶ月)</li> <li>停止 → 問題なし</li> <li>」り替え → 順調</li> <li>が停止 → 回復</li> </ul>						
クリティカル運用 初期運用	太陽電池ハ 打上げ直後 衛星各部の	セパドルの展開や標準姿勢制御モードへの移行など、 重後の衛星を安定した状態に移行させるための運用 部の初期機能の確認を行う期間								
初期校正検証運用	観測センサ	サや観測データの校正や検証を行う期間								
定常運用	定常的に観	定常的に観測を継続する期間								
後期利用運用	設計寿命を	<b>超えて観測を継続する期間</b> JAXA・GOSAT定常運用終	了審査資	2料を改変) 4						

サイズ	衛星本体	3.7 m x 1.8 m x 2.0 m (パドル翼端間13.7m)
質量	合計	1750kg
発生電力	合計	3.8 KW
設計寿命		5年
軌道		太陽同期軌道
	地方時	13:00+/-0:15
	高度	666km
	傾斜角	98度
	回帰日数	3 =
打ち上げ	ロケット	H-IIAロケット 15号機
	打上日時	2009年1月23日12:54

「温室効果ガス観測 センサ」TANSO-FTS (Fourier Transform Spectrometer)

FTS 「フーリエ変換分光器」 衛星GOSATと搭載センサ

TANSO(炭素)=Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation

> 「雲・エアロソルセンサ」 TANSO-CAI (Cloud and Aerosol Imager)

CAI

5

(JAXA提供)



CAIは一義的にはFTSの補助センサ:

- FTS視野内の雲検出
  - → 更に、雲パラメータの抽出(研究)
- FTS視野内のエアロソル特性の検出
  - → 温室効果ガス導出時に情報を利用したい



バン ドNo.	波長帯(nm)	中央波長 (nm)	空間分解能 (IFOV) (km)	幅(km)	ピクセル数 (cross track)
1	372 - 387	380	0.5	1000	2000
2	667 - 680	678	0.5	1000	2000
3	866 - 877	870	0.5	1000	2000
4	1560 - 1640	1620	1.5	750	500



## 「いぶき」(TANSO-FTS)による2種類の赤外線の観測

### 主に国立環境研究所が担当

短波是苏

地球の大気

### →処理アルゴリズム開発は JAXAが中心に、東京大学AORI (かつ後に千葉大)と連携

(JAXA提供)













年/月









### GOSAT検証に利用する 世界の地上高分解能FTS観測地点





:GOSATの検証に 利用するサイト

TCCON=Total Carbon Column Observing Network (http://tccon.ornl.gov/)



### TCCON サイトとの比較



### 航空機観測データとの比較: CONTRAIL, NOAA, DOE, NIES, HIPPO 及び NIES-JAXA



CONTRAIL: 連続測定器 Inoue et a NOAA, DOE, NIES, NIES-JAXA: フラスコサンプリング

検証に用いた観測サイト



CO<sub>2</sub> (47サイト)

CO<sub>2</sub>の観測の不確実性~0.2 ppm XCO<sub>2</sub>への換算時の不確実性~1 ppm

航空機観測データからカラム量への換算: Araki et al. (2010, ACP) Miyamoto et al. (2013, ACP)

CH<sub>4</sub> (28サイト)

CH<sub>4</sub>の観測の不確実性~2 ppb XCH<sub>4</sub>への換算時の不確実性~15 ppb



CONTRAIL (JAL project) 17





### 炭素収支推定へのGOSATの貢献





**上段:** 吸収排出量推定の入力値データ: 四角はGOSATの XCO<sub>2</sub> (5 °×5 °メッシュの月平均値), はGLOBALVIEWデータ, **中段:** 43r地域におけるメタ64収排出量の推定値 (GOSAT Level 4A CO<sub>2</sub>, V02.03), **下段:**各地域の吸収排出量の不確実性 月別吸収排出量の推定結果に基づく二酸化 炭素濃度の年度間比較(レベル4B V02.03)



◆ モデルシミュレーションによる二酸化炭素濃度の6時間平均値 緯度経度2.5度間隔,高度約800m(2010年,2011年,2012年の比較)

GOSAT L4B Data Product

(高度は 0.925 sigma-level,)

360

2010 01 01 00

月	日	時
01	01	00



380

©JAXA/NIES/MOE

370

390

400

410 ppm



**上段:** GOSATの XCH<sub>4</sub> (2.5 °×2.5 °メッシュの月平均値), 中段: 43r地域におけるメタン吸収 放出量の推定値 (GOSAT Level 4A CH<sub>4</sub>, V01.02), 下段: 各地域の吸収放出量の不確実性









GOSATデータ提供Web(GUIG)への登録一般ユーザ数:**605**名 過去2年以内にアクセスのあるユーザ数(平成27年10月16日現在)

## GOSAT研究公募(Research Announcement, RA)と採択課題数



#### RA研究分野別採択者数

研究分野	第1回 <b>2008</b>	第2回 <b>2009</b>	第3回 <b>2010</b>	第4回 <b>2012</b>	第5回 <b>2013</b>	第6回 <b>2013</b>	第7回 <b>2014</b>	第8回 <b>2014</b>	合計
校正(Ca)	4								4
データ処理アルゴリズ ム(AI)	11	7	2	1					21
<b>検</b> 証(Va)	15	7	1	2	2	1		1	29
炭素収支推定、大気 輸送モデル(Mo)	6	8	3						17
データ利用研究(Ap)	16	14	9	2	3	2	1	1	48
複合分野 (Ap / Va)			2						2
複合分野 (Mo / Ap)			1						1
採択者合計	52	36	18	5	5	3	1	2	122

## GOSAT研究公募(Research Announcement, RA)と採択課題数



RA国別採択者数											
Country	第1回 2008	第2回 2009	第3回 2010	第4回 2012	第5回 2013	第6回 2013	第7回 2014	第8回 2014	Total		
Japan	23	8	1	1	1			1	35		
USA	7	8	3	1		3			22		
Germany	6	2		1	1				10		
China	1		2	1	2				6		
Canada	3		2						5		
France	2	2	1						5		
Netherlands	3	1	1						5		
UK	2	3							5		
Russia	4								4		
Finland		2	1		1				4		
Australia			2					1	3		
India		1	1						2		
Italy		2							2		
Korea		1	1						2		
Spain		1	1						2		
Indonesia			1				1		2		
Belgium		1							1		
Brazil		1							1		
Czech		1							1		
NewZealand	1								1		
Norway		1							1		
Singapore		1							1		
Taiwan, ROC			1						1		
Malaysia				1					1		
Total	52	36	18	5	5	3	1	2	122		

## GOSAT公募研究活動 研究課題代表者(PI)会議の開催



1st RA PI Meeting @ Tokyo, Japan, November6-7, 2008



2nd RA PI Meeting @ Kyoto, Japan, January 28-29, 2010





3rd RA PI Meeting @ Edinburgh, UK, May 19-20, 2011







#### 欧州宇宙機関(ESA)の研究者グループと の協力:GHG-CCI (SCIAMACHY + GOSAT) (Greenhouse Gas Climate Change Initiative) esa climate change initiative European Space Agency ESA CCI aerosol cloud cmug fire ghg glaciers land cover ocean col, ozone sea ice sea level soil moi. sst ice sheets ghg User login GHG-CCI Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>) are the two most important Username: \* anthropogenic greenhouse gases (GHGs). Satellite observations combined with modelling helps to improve our knowledge on CO2 and CH4 sources Password: \* and sinks as required for better climate prediction. GHG-CCI aims at delivering the high quality satellite retrievals needed for this application. GHG-CCI CRDP#1 Carbon Dioxide (CO.) - NH (0°-60°N) Log in Request new password SCIAMACHY/ENVISAT: WFMD(WFM-DOAS) BESD 400 TANSO/GOSAT: SRFP(RemoTeC) OCFP(UoL-FP Search Navigation 395 Search this site: MM XCO<sub>2</sub> [ppm] · Overview 390 Search · Project Team Product Description 385 Round Robin CRDP (Data) 380 Validation Publications 375 Contact Documents 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 Image Gallery Year Carbon Dioxide · Methane 30 Press releases (latest news: 5 Jan 2015): Click here to read & see more !









(D. Crisp 氏の第6回GOSAT公募研究代表者会議 2014 の資料より)

相互校正

#### 導出アルゴリズム開発

#### 検証とデータ質評価









Global average carbon dioxide concentrations as seen by NASA's Orbiting Carbon Observatory-2 mission, June 1-15, 2015. OCO-2 measures carbon dioxide from the top of Earth's atmosphere to its surface. Higher carbon dioxide concentrations are in red, with lower concentrations in yellows and greens. Credit: NASA/JPL-Caltech Full image and caption





「いぶき」による人為起源CO2濃度との関係 34









## GOSAT-2プロジェクト

平成29年度(2017年度)後半に打ち上げ予定

# GOSATとGOSAT-2の主要諸元の比較

	GOSAT	GOSAT-2
打ち上げ年と寿命	2009年1月, 5年	2017年度, 5年
衛星の諸元(本体の大きさ、重量、 発電電力)	3.7 x 1.8 x 2.0 m, 1750kg, 3.8KW (5年後)	5.3 x 2.0 x 2.8 m, <2000kg, 5.0KW
衛星の軌道(種類、高度、回帰日 数、赤道通過時刻)	太陽同期軌道, 666 km, 3日, 13:00	太陽同期軌道, <mark>613 km, 6日</mark> , 13:00 ± 15 min
観測対象気体	二酸化炭素、メタン、酸素、水蒸 気	二酸化炭素、メタン、酸素、オゾン、 水蒸気、 <b>一酸化炭素</b>
フーリエ変換分光計 (波長範囲及び瞬時視野)	Band 1 : 0.76 – 0.78 µm Band 2 : 1.56 – 1.72 µm Band 3 : 1.92 – 2.08 µm Band 4 : 5.6 – 14.3 µm 瞬時視野= 10.5 kmf	Band 1 : 0.75 – 0.77 µm Band 2 : 1.56 – 1.69 µm Band 3 : 1.92 – <mark>2.33</mark> µm Band 4 : 5.5 – 8.4 µm Band 5 : 8.4 – 14.3 µm 瞬時視野= 9.7 kmf
雲・エアロソルセンサ (観測方向、 各バンドの中心波長、 空間分解能、 刈り幅)	直下視のみ B1 = 380 nm B2 = 674 nm B3 = 870 nm B4 = 1600 nm B1-B3 = 500 m / 1000 km, B4 = 1.5 km / 750 km	B1-5: 前方視, B6-10:後方視B1 = 343 nmB2 = 443 nmB3 = 674 nmB3 = 674 nmB4 = 869 nmB5 = 1630 nmB1-B4, B6-B9=460 m/920 kmB5, B10 = 0.92km / 920 km
GOSAT-2 FTS-2における改良点	・インテリジェントポインティング , AT	角の拡張 , SN比の向上

### 世界の温室効果ガス観測衛星計画 (2015年11月時点)

ミッション	運用期間 (年月~年月)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024 (西周	2025 <u>替)</u>
ESA ENVISAT SCIAMACHY	2002/3 - 2012/4		S	CIA	M	AC:	-IY						0	00	esa	a				緑 <del>苗</del> 色	l	計画	画運月 夏運月	日期間		
日本 GOSAT	2009/1 +5年間										GC	DSA								ピン	ク	ミッ	ション	ノ終了	7年	
米国・NASA OCO-2	2014/7 + 2 年間														0	CO	-2									
中国 TanSat	2015/6 + 3 年間																	ans	at	*	** *					
米国・NASA OCO-3(ISS)	2017 Fall + 3 年間																			<mark>0-3</mark>						
<b>日本</b> GOSAT-2	2018/1 +5年間																			GC	SA	T-2				
仏・CNES MicroCarb	2018 + 3 年間																		Mic	roC	arb					
欧州・ESA CarbonSat	2020 +5年間												2	2015	年11	月						Carl	bor	Sat		







仏 CNES MicroCarb (2018~)









温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」の観測の現状と今後

- ◆ 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)は、5年間の定常運用の後、何回か装置にトラブルは生じたものの、全て克服して7年目の運用に入った現在も観測を続けている。
- ◆装置のトラブルによってデータの特性に若干の変化が生じたが、貴重なデータは科学利用されている。
- ◆2017年度末にはGOSATの性能を向上したGOSAT-2の打ち上げが予定されており、それに向けて三者はそれぞれの準備を進めている。また、GOSAT-2サイエンスチームも活動を始めている。
- ◆ 温室効果ガスの衛星観測の世界の状況は、GOSAT →
   OCO-2 (米国二酸化炭素観測衛星) → (TanSat (中国二酸化炭素観測衛星)) → GOSAT-2 と進むことになる。