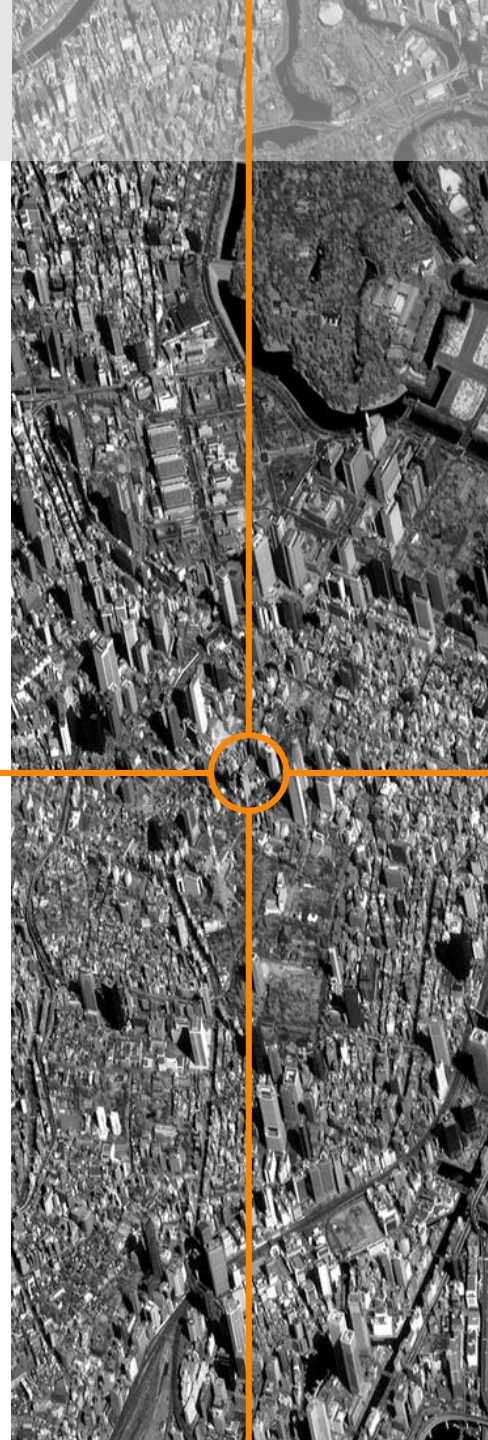


## 大気観測衛星による温室効果ガス等の モニタリング技術

つくば事業所 地球環境系解析研究グループ  
片岡 文恵

[kataoka.fumie@restec.or.jp](mailto:kataoka.fumie@restec.or.jp)



# 衛星による大気観測

## ●天気予報

- 水蒸気量 (輝度温度データ)
- 降水量, 降雪量

## ●大気汚染監視・予測

- NO<sub>2</sub>, CO, 対流圏オゾン, SO<sub>2</sub>
- エアロゾル, PM<sub>2.5</sub>

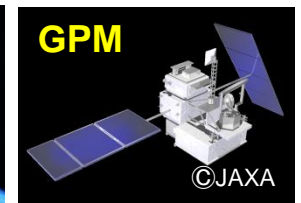
## ●気候変動監視・予測

- 温室効果ガス : GHG (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>等)
- 雲・エアロゾル
- 成層圏オゾン

### 静止軌道衛星



### 極軌道衛星



# 目次

## 1. ひまわり8号データを用いた大気微量成分の導出

RESTEC独自のアルゴリズム開発



## 2. 温室効果ガス観測衛星GOSAT・GOSAT2に関する取組み

主にJAXA殿からの受託業務

GOSAT打上げ前から、約10年業務を実施



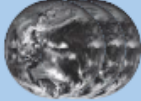
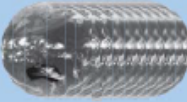
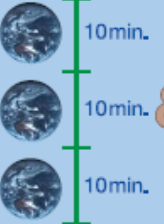


# ひまわり8号データを用いた大気微量成分の導出

ひまわり8号 : 2014年10月7日 打上げ  
 ひまわり9号 : 2016年11月2日 打上げ

AHI(Advanced Himawari Imager)  
 AHI(Advanced Himawari Imager)

## ひまわり8号・9号の観測機能 Functions of Himawari-8/9

水平分解能 Spatial resolution	バンド(波長帯)数 Spectral bands
可視 (VIS) 0.5 – 1 km 近赤外・赤外 (NIR/IR) 1 – 2 km 	可視 (VIS)  3バンド(3 bands) 合成カラー画像 (True-color composite) 近赤外 (NIR)  3バンド(3 bands) 赤外 (IR)  10バンド(10 bands) 計16バンド (total 16 bands)
観測時間・観測領域 Observational intervals and areas	
 10min. 10min. 10min.	日本付近を常時2.5分毎 Every 2.5 minutes around Japan

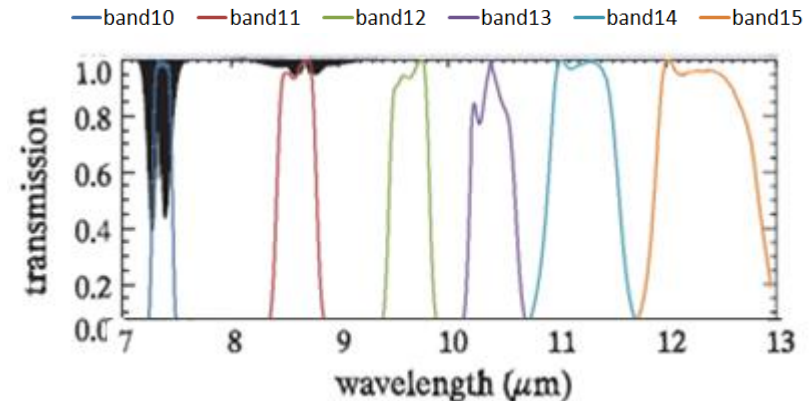
バンド Band	波長 Wavelength (μm)
1	0.46
2	0.51
3	0.64
4	0.86
5	1.6
6	2.3
7	3.9
8	6.2
9	7.0
10	7.3
11	8.6
12	9.6
13	10.4
14	11.2
15	12.3
16	13.3

## 【測定物理量】

雲、水蒸気量  
 植生、海面温度  
 エアロゾル、オゾン、SO<sub>2</sub>

### 火山性ガスSO<sub>2</sub>

SO<sub>2</sub>吸収チャンネル (バンド10,11) と大気の窓・水蒸気チャンネル (バンド14,15) を用いて、2016年の阿蘇山噴火時のSO<sub>2</sub>を導出



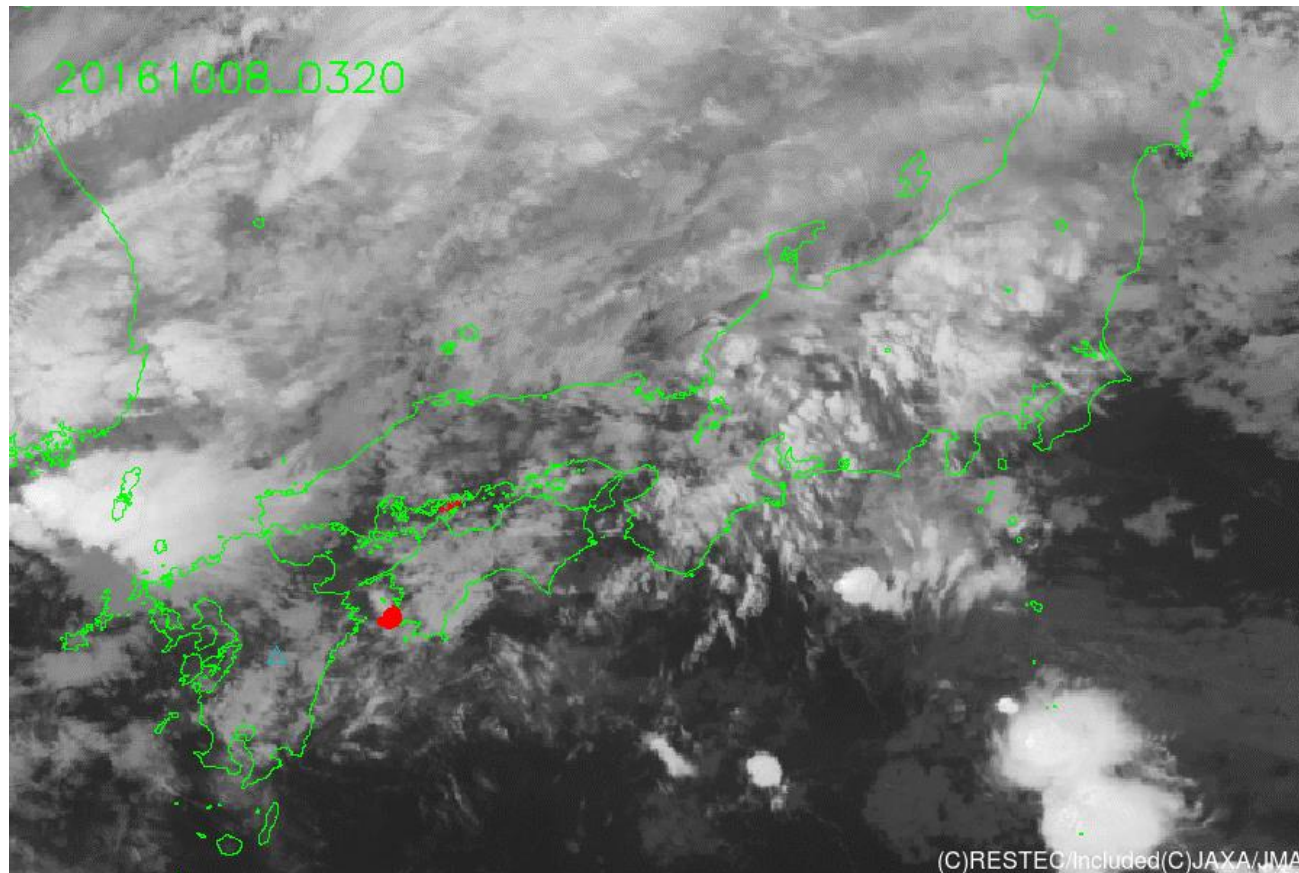
(参照) リーフレット「新しい静止気象衛星－ひまわり8号・9号－」



# ひまわり8号データを用いた大気微量成分の導出

2016年10月8日午前1時46分 (JST)

阿蘇山中岳第一火口で、1980年1月26日以来の爆発的噴火が発生

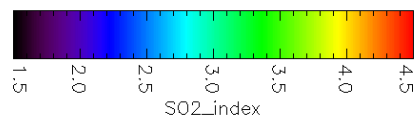
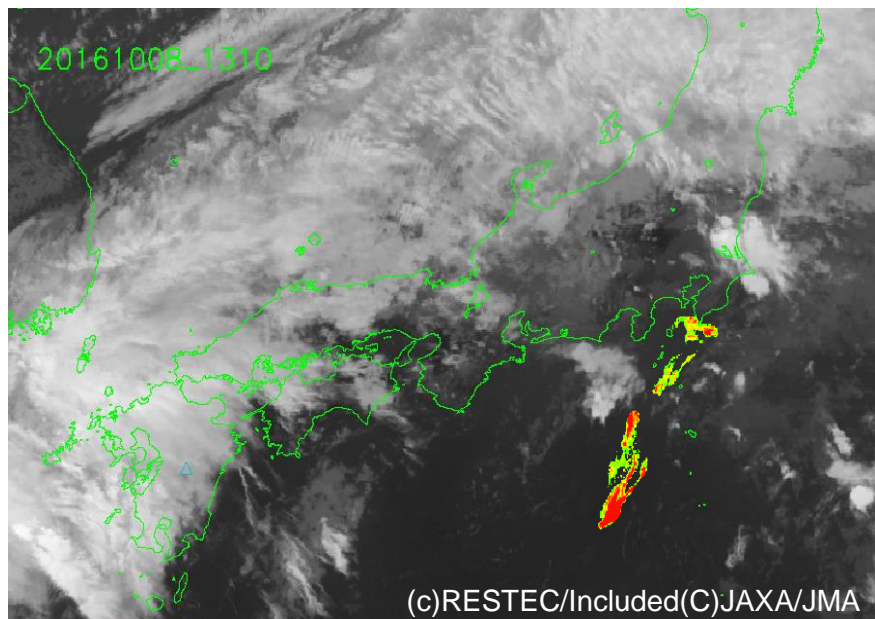


➡ 赤色で示す箇所では、二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>) 濃度が高い

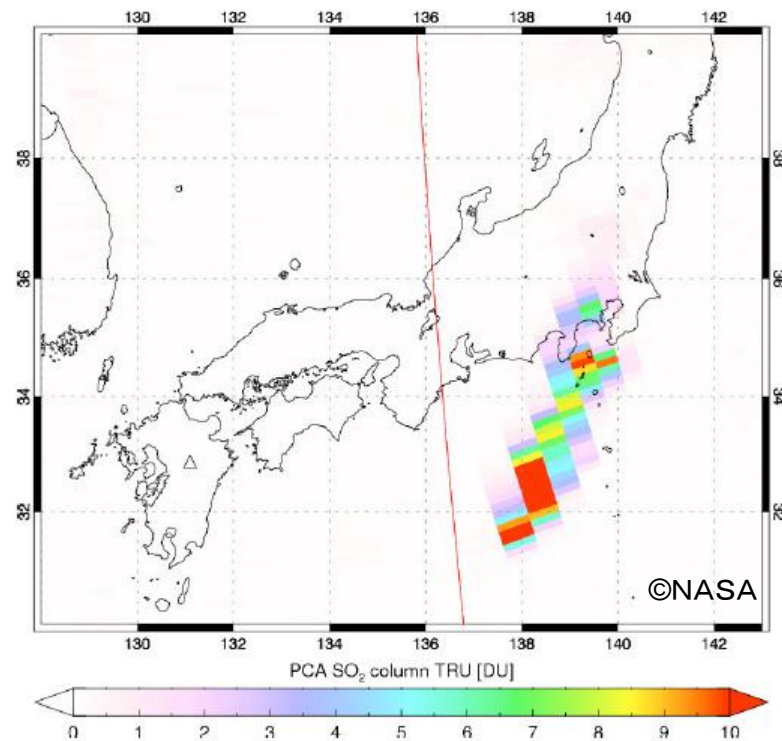
2016年10月20日 日刊工業新聞に記事掲載

# ひまわり8号データ用いた大気微量成分の導出

ひまわり8号  
2016年10月8日13:10 JST



Aura/OMI (NASA)  
2016年10月8日12:35~14:17 JST



Aura/OMIとひまわりのSO<sub>2</sub>濃度分布がよく一致  
静止軌道衛星では、時系列でSO<sub>2</sub>の動き・広がりを確認できる

# ひまわり8号データを用いた大気微量成分の導出

## まとめと今後の課題

### 1. ひまわり8号データを用いた大気微量成分の導出

- 2016年の阿蘇山噴火の事例において、火山性ガスSO<sub>2</sub>を時系列で導出
  - ✓ 今後、解析事例を増やして導出精度を向上
  - ✓ 大気輸送シミュレーション（WRF, WRF-chem）と併せた解析  
事後解析のみではなく、予測を見据えた解析手法を確立
  - ✓ サービスの開拓

# 目次

## 1. ひまわり8号データを用いた大気微量成分の導出

RESTEC独自のアルゴリズム開発



## 2. 温室効果ガス観測衛星GOSAT・GOSAT2に関わる取組み

主にJAXA殿からの受託業務

GOSAT打上げ前から、約10年業務を実施





# GOSAT概要

## GOSAT (Green-house gas Observing Satellite) : いぶき

温室効果ガスである二酸化炭素とメタンの濃度を宇宙から観測することを主目的とした世界初の衛星



GOSAT プロジェクトは、**環境省 (MOE)**、**国立環境研究所 (NIES)**、**宇宙航空研究開発機構 (JAXA)** が共同で推進

### GOSAT運用イベント

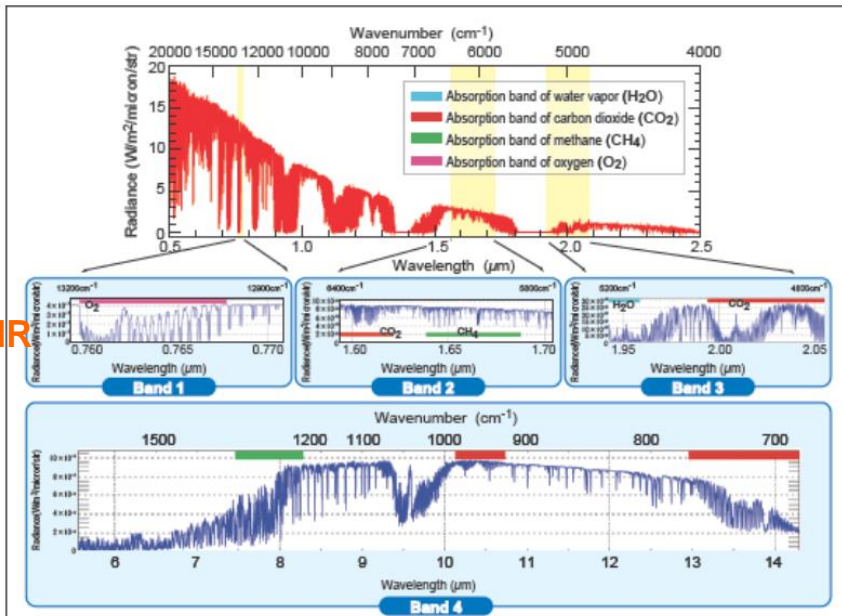
- 2009年1月23日：打上げ
- ～2014年1月23日：定常運用期間
- 2014年1月24日～：後期利用運用

**8年以上に渡り、全球の温室効果ガスを観測を継続**



(c)JAXA

### TANSO-FTS



### ➤ TANSO-FTS (Fourier Transform Spectrometer)

- 近赤外3バンド、熱赤外1バンド
- スペクトル分解能: 0.2 [cm<sup>-1</sup>]
- 空間分解能: 10.5 [km]



CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>  
カラム平均濃度、鉛直分布

### ➤ TANSO-CAI (Cloud Aerosol Imager)

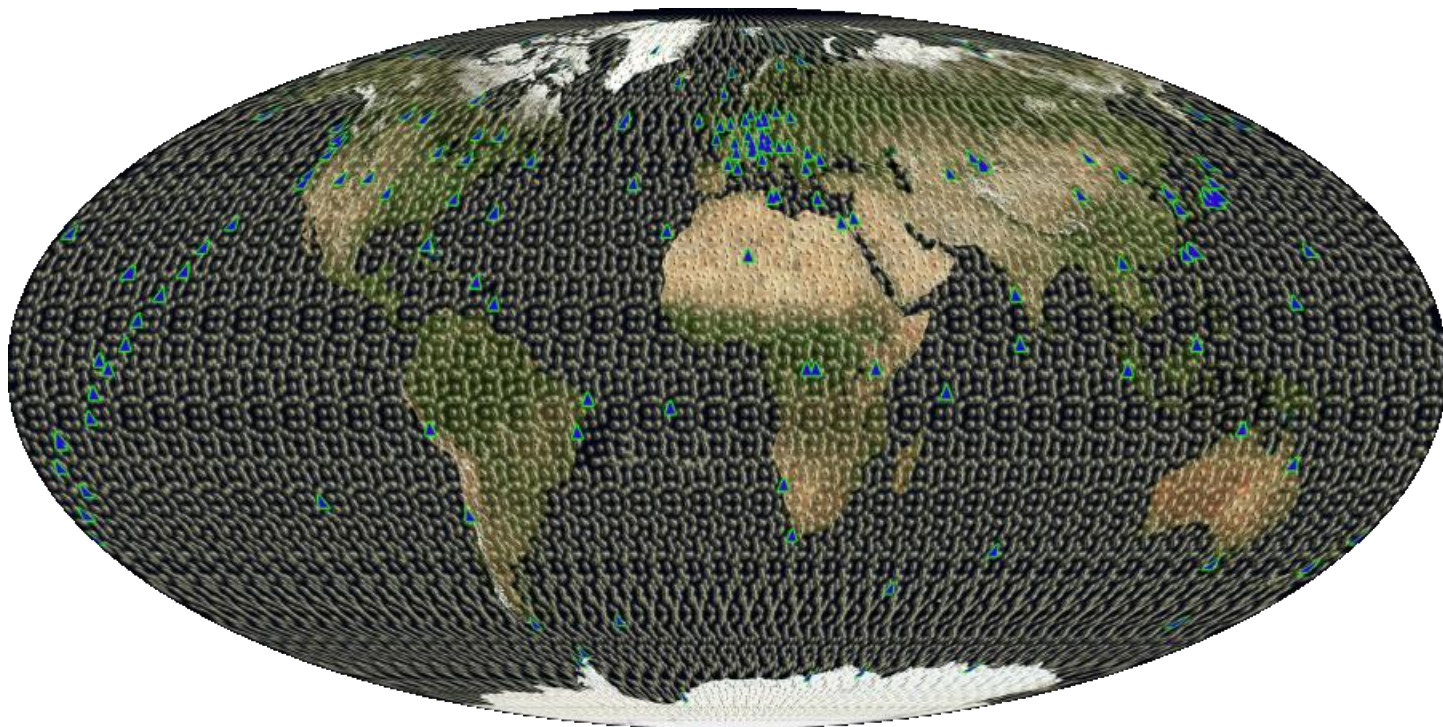
- 紫外・可視・近赤外 4バンド
- 空間分解能: 0.5 - 1.5 [km]



雲・エアロソル

# GOSAT概要

## CO<sub>2</sub>:地上観測点と衛星観測点の違い

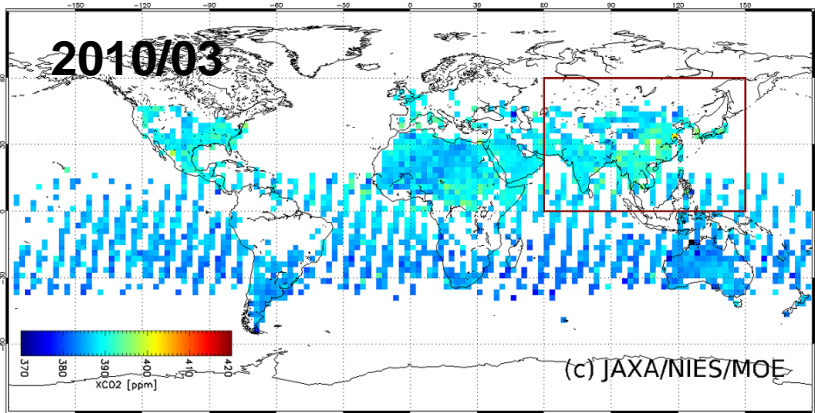


2017年5月現在：CO<sub>2</sub>の地上観測点（航空機・船舶含む）は、約200点  
衛星(GOSAT)では、3日で地球全体を約58,000点の観測が可能  
（※基本的に、雲りのデータは、GHG導出には使用できない）

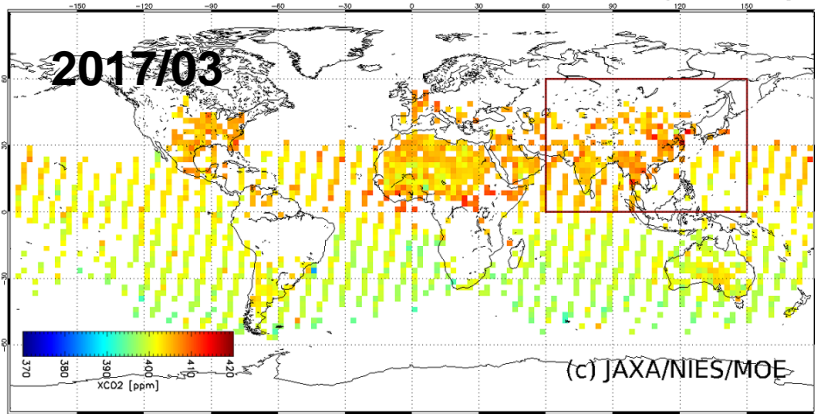
# GOSATによる全球二酸化炭素の観測

## GOSAT/CO<sub>2</sub>観測

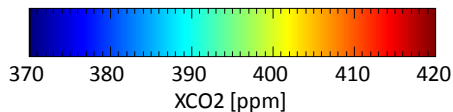
GOSAT Level 2 XCO<sub>2</sub> (V02.21) Mar-12, 2010 (past 30days)



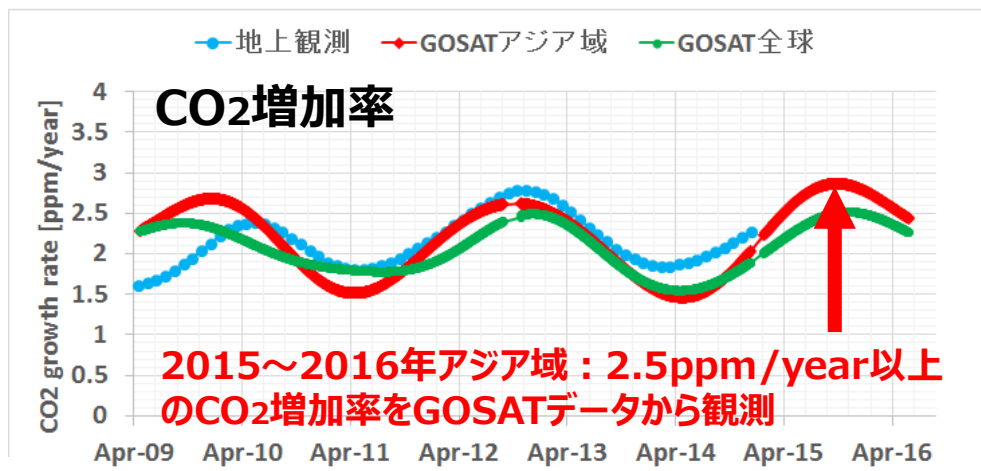
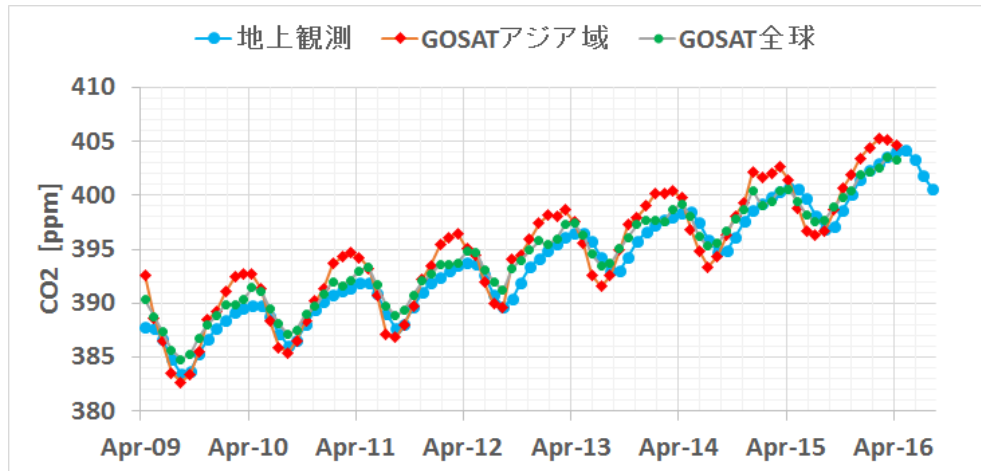
GOSAT Level 2 XCO<sub>2</sub> (V02.60) Mar-12, 2017 (past 30days)



**GOSAT観測精度:**  
**約0.5% (±2ppm)**



## CO<sub>2</sub>濃度経年変動：地上観測と衛星観測

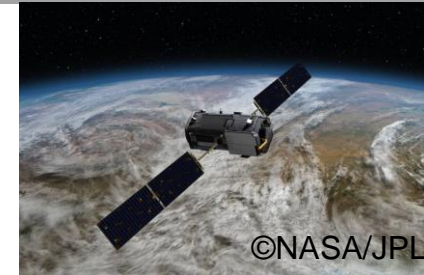




# OCO2概要

## OCO2 (Orbiting Carbon Observatory 2)

NASA初の二酸化炭素観測を目的とした衛星



- 2009年2月にOCOを打上げたが、フェアリングが開かず失敗以降、**Atmospheric CO2 Observations from Space (ACOS)** チームとして、**GOSATチームと校正検証やアルゴリズム開発を協力して実施**

- 2014年7月にOCO2を打上げ

### ➤ Grating spectrometer

- 近赤外 3バンド
- 空間分解能:  $2.25 \times 1.29$  [km] (nadir)
- イメージングでのCO<sub>2</sub>の観測が可能

➔ CO<sub>2</sub>カラム平均濃度

引き続き、GOSATチームと協力し、プロジェクトを推進

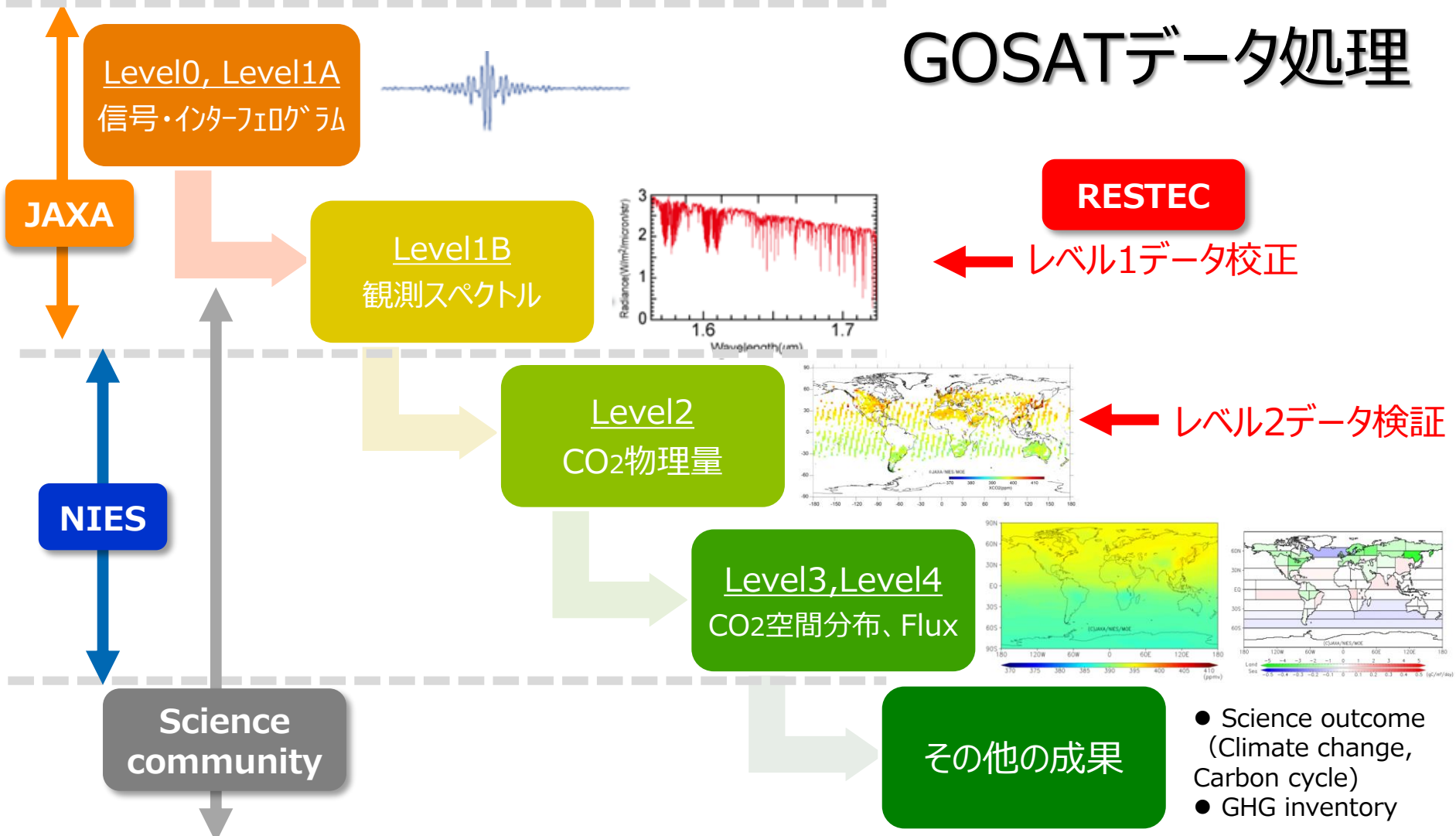
	GOAST	OCO2
センサ	フーリエ変換型分光計	回折格子型分光計
回帰日数	3日	16日 (A-train)
空間分解能 (nadir)	10.5km	$2.25 \times 1.29$ [km]



# GOSATに関するRESTECの仕事



## GOSATデータ処理





# GOSATに関するRESTECの仕事

## GOSAT

- レベル1データ（スペクトル・幾何）の校正
- レベル2データ（物理量）の検証
- GOSAT校正検証観測実験
- 広報活動支援
- GOSAT長期データを用いた解析

- 高精度のCO<sub>2</sub>,CH<sub>4</sub>導出にはレベル1のスペクトル精度が重要
- 長期運用に伴うセンサ劣化状態を評価

- 絶対精度の保証
- 複数センサ間の等質のデータ提供

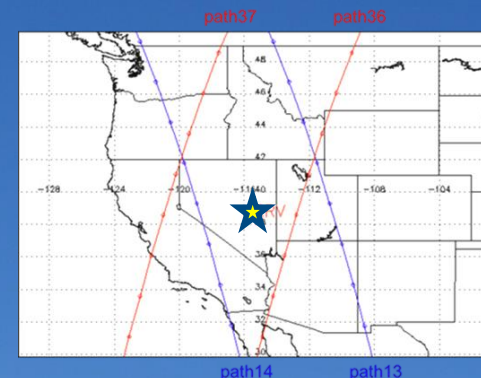
## GOSAT-2

- レベル1データフォーマット、読出しツール、模擬データ作成
- GOSAT-2最適観測点の検討
- GOSAT-2校正・検証準備

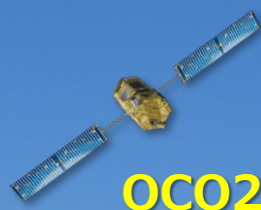
# GOSAT-OCO2 Cross Calibration and validation Campaign

Railroad Valley ,Nevada, USA.

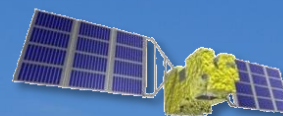
- Dry lake , Alt.1435m
- Summer Solstice
- Collaborate from 2009.



Airborne-based FTS



OCO2



GOSAT



Vertical  
CO<sub>2</sub> CH<sub>4</sub> O<sub>3</sub>



Aerosol  
Optical  
Thickness



Column  
CO<sub>2</sub> CH<sub>4</sub> O<sub>3</sub>



BRDF



Surface  
Reflectance



Solar  
radiance

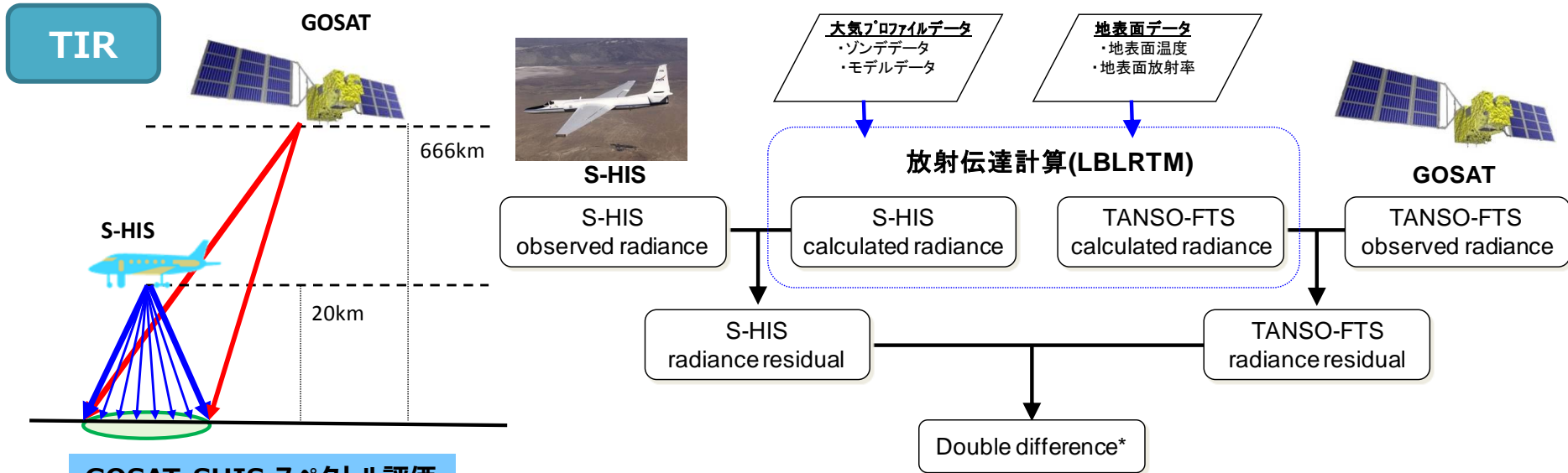


Surface and Profile  
of Pres, Temp, RH.

# GOSATに関するRESTECの仕事

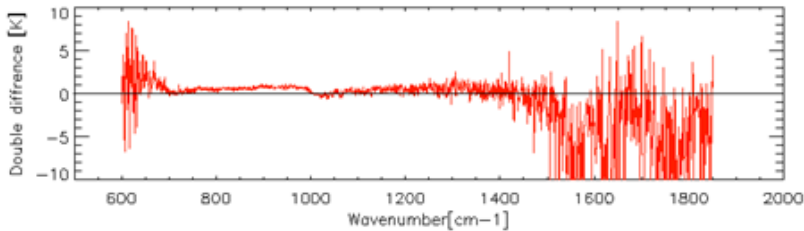
## ● レベル1データ (スペクトル) の校正

米国ウィスコンシン大学所有の航空機搭載FTS (Scanning High-resolution Interferometer Sounder (S-HIS)を用いた、GOSAT/TIRバンドスペクトルを評価



GOSAT-SHIS スペクトル評価

— Double Difference



現地観測データを用いて、各センサ (FTS, S-HIS) のシミュレーションスペクトルを計算し、両センサの差分スペクトルで評価

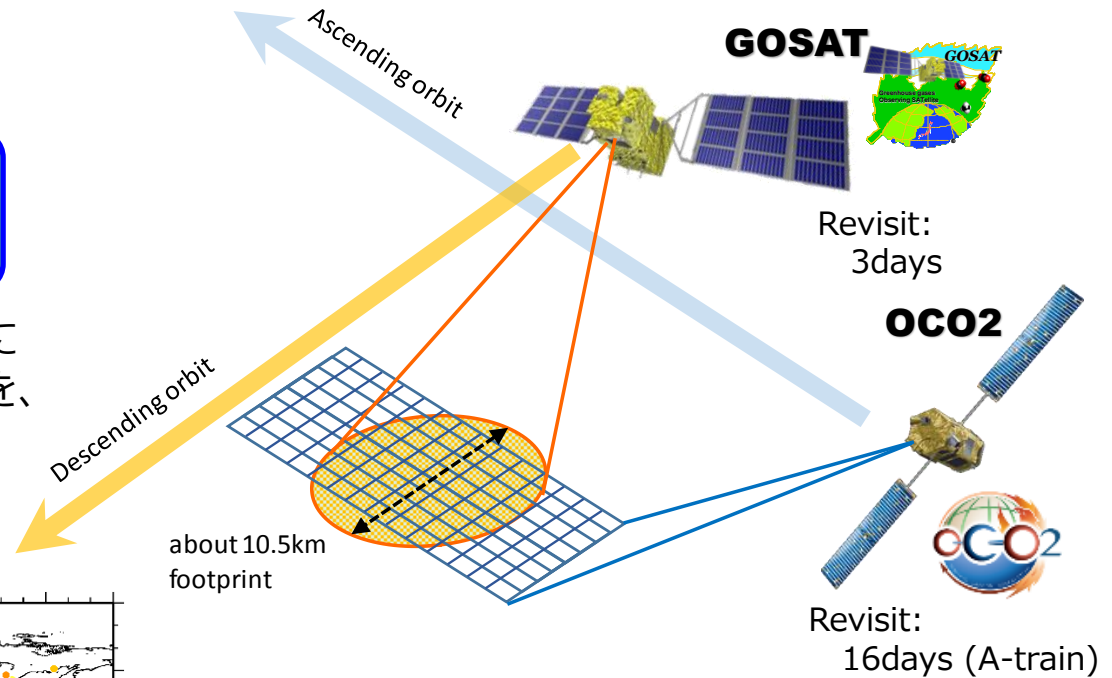
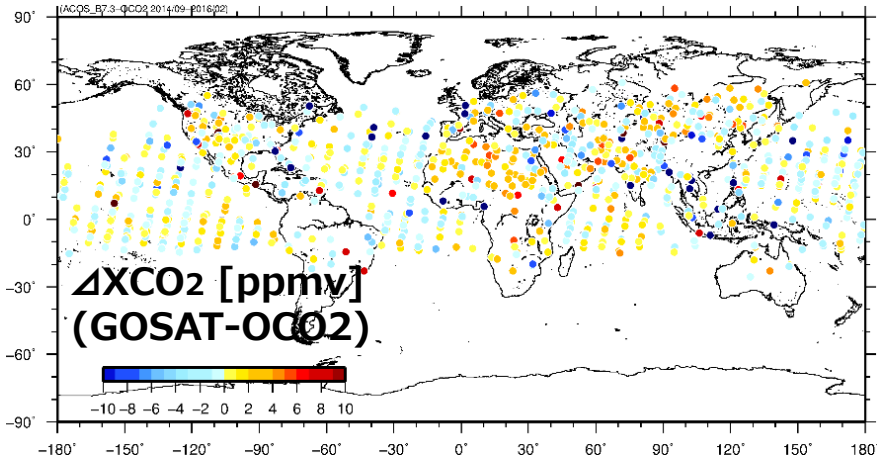
➡ TIRスペクトルの補正式やL1処理の係数反映  
L2アルゴリズム開発者との相互フィードバック

# GOSATに関するRESTECの仕事

## ● レベル2データの検証

- 絶対精度の保証
- 複数センサ間の等質のデータ提供

GOSATとOCO2の時空間マッチアップ点において、両センサのCO<sub>2</sub>導出結果の違いを、定量的に評価



**➡ CO<sub>2</sub>導出結果の違いは、±4ppm (約1%)  
現在、時間的な変化なし  
結果を、OCO2チームにもフィードバック**

[プロダクト]

- GOSAT/ACOS FTS L2 B7.3 Lite
- OCO2 L2 standard v7r

# GHG衛星のこれから —技術研究から現業利用へ—

## パリ協定

- 京都議定書に代わる新しい気候変動抑制に関する多国間の国際的な協定
- 世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃を十分に下回る水準に抑制し、1.5℃以内に抑えるよう努力する
- パリ協定の目標の達成に向けた全体的な進捗を評価するために、**各国の取り組み実施状況について定期的に確認する（グローバル・ストックテイク）**



### GHGインベントリの提出

(温室効果ガスの排出量および吸収量の実績を、排出・吸収源ごとに積み上げた統計量)



### IPCC(気候変動に関する政府間パネル) のガイドラインが2019年に改訂予定

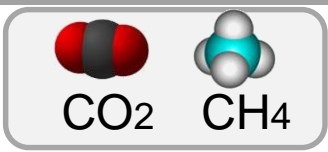
→ **衛星データを用いたGHGインベントリの検証**を明文化すると共に、**具体的な手順を示す（ガイドブック作成）**ことを目指す





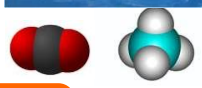
# 温室効果ガス観測衛星の動向

Ongoing mission →



2002

ENVISAT/  
SCIAMACHY ESA



2009

GOSAT/TANSO-FTS  
JAXA



2014

OCO-2  
NASA



2016

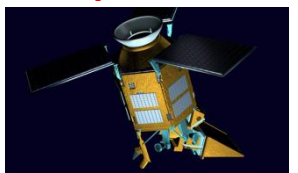
TanSat  
CAS



Future mission →

2017

Sentinel5p/  
Tropomi ESA



2018

GOSAT2/  
TANSO-FTS2/ JAXA



OCO-3  
NASA



2021

MERLIN  
CNES/DLR



2022

GEOCARB  
NASA



Geo-stationary

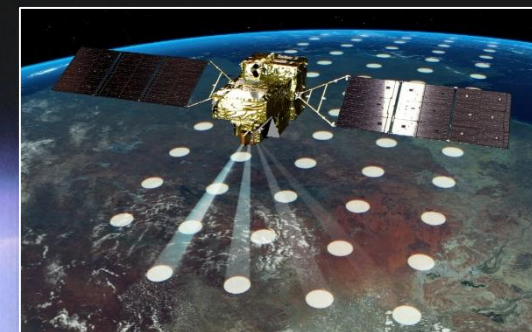
Lidar

# GOSAT-2ミッション概要

## 2018年度打上げ予定



Local time	13:00+/-0:15	13:00+/-0:15
Altitude	666km	613km
Repeat	3 days (44 revol.)	6 days (89 revol.)
FTS	SWIR, TIR 4band	SWIR, TIR 5band CO観測波長追加 インテリジェントポインティング 機能
CAI	UV, VIS, IR 4band 直下視観測	UV, VIS, IR 10band 340nm追加 前方視・後方視観測



### 観測データ取得率向上に向けて

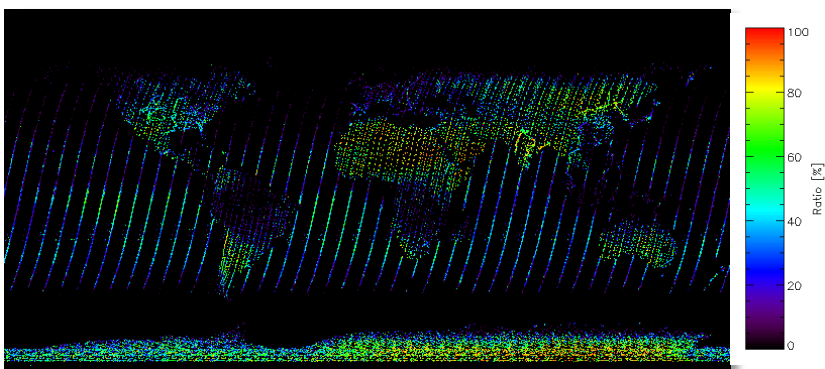
- 全観測点が特定点観測
- カメラ画像を用いてFTSの雲回避ポインティングを実施



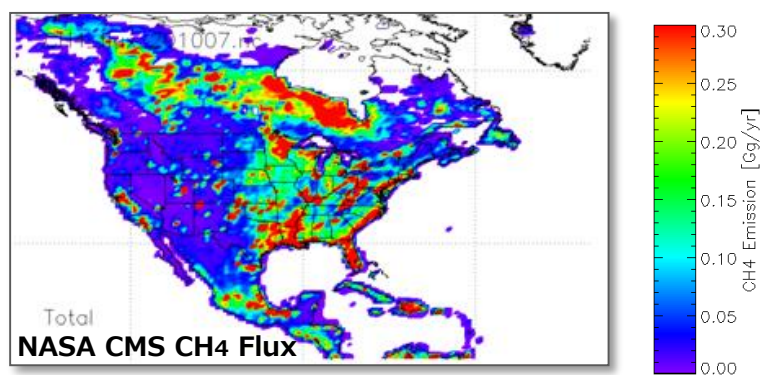
# GOSAT-2の最適観測点の選定

GOSAT-2で有効なデータ数を増やすため、GOSATの観測実績や、各種物理量（地表面反射率、エアロゾル）、地形（Flatness）、またGHGの排出源などを考慮し、**GOSAT2で観測すべきターゲットをスコア化**。GOSAT2の軌道（+FTSポインティング角度）を考慮し、基本観測計画を策定。

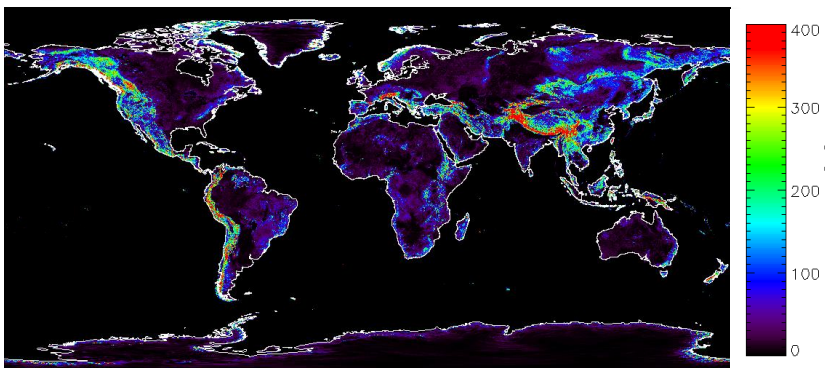
## GOSATの観測実績 (L2/L1)



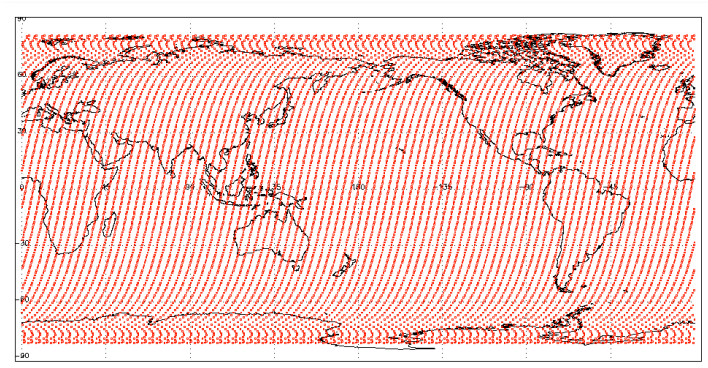
## CH4排出源



## 地形Flatness



## GOSAT2軌道



## 2. 温室効果ガス観測衛星GOSAT・GOSAT2に関わる取組み

- GOSATに関して、校正・検証を中心に10年以上の業務を実施
- GOSAT-2打上げ前における準備業務を実施
- ✓ 海外とも連携し、継続的なGHG衛星観測を行う
- ✓ データの利用普及（地上観測・複数衛星をあわせた等質なデータの提供）
- ✓ 衛星データを用いたGHGインベントリ検証の推進  
（具体的な検証手法の開発支援、ガイドブックを用いた検証方法普及のキャピタル事業等）



An aerial, grayscale photograph of a city, likely London, showing a dense urban landscape with a prominent river (the River Thames) winding through it. The image is used as a background for a promotional graphic.

Sense your Earth

---

***RESTEC***