



資料14-4

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
(第14回) H26. 2. 24

宇宙開発利用部会(第14回)

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)の 定常運用段階の成果について

平成26年2月24日

宇宙航空研究開発機構
国立環境研究所
環境省





目 次

1. はじめに
2. 衛星運用状況
3. GOSATの成果
 - 3.1 主要な成果
 - 3.1.1 濃度観測
 - 3.1.2 二酸化炭素吸収排出量(フラックス)推定結果
 - 3.1.3 GOSATの観測結果がもたらしたもの
 - 3.2 その他の成果
 - 3.3 サクセスクライテリアと達成状況
4. GOSATの後期利用運用計画
5. GOSAT-2に向けて
 - 5.1 GOSAT-2の目的
 - 5.2 GOSAT-2における観測仕様



1. はじめに : 宇宙からの温室効果ガス観測 (「いぶき」シリーズによる観測)の意義

[背景]

- ・ 京都議定書により各国が排出量削減義務を負い、また排出量や森林吸収量等について報告することとなっている。

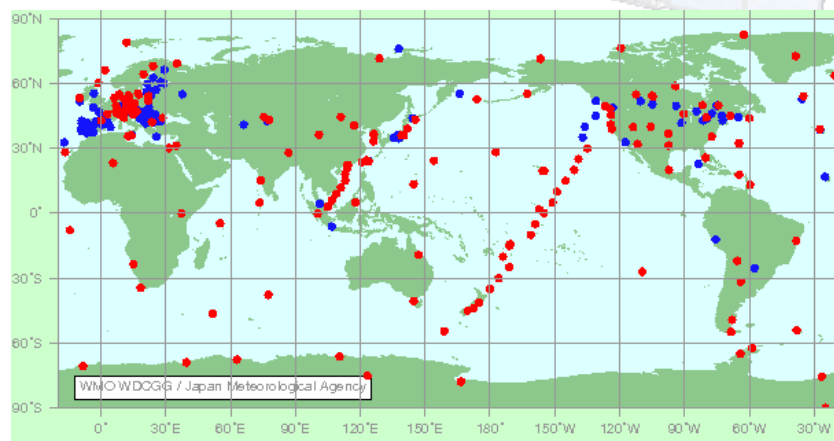
→ 排出量の変化を知り、評価できる仕組みが求められている。
(国別の排出量、削減努力を公平な方法により検証する手段が必要。)

→ 温暖化予測を高精度化し、適切な排出削減目標を設定することが求められている。

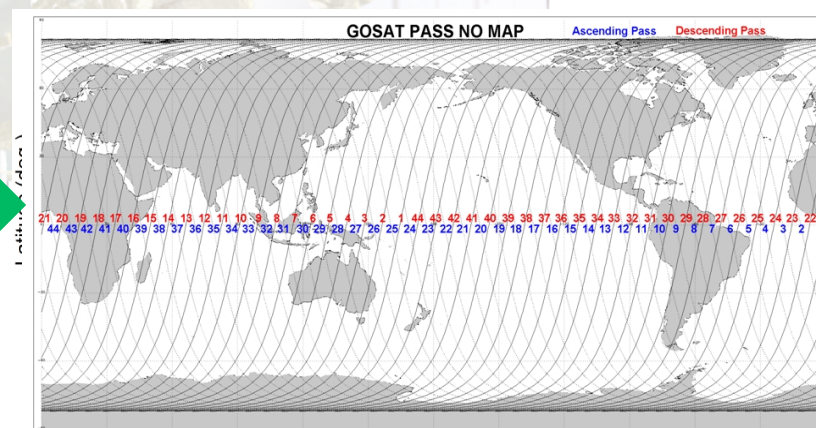
[現状の評価手段]

- ・ 従来より、地上に設置された機器や航空機、船舶に搭載された機器により温室効果ガス量は測定されてきた。しかし、数が少なく地域的な偏りがあり、観測点の全くない地域が多く存在している。

→ 衛星観測を行うことで、観測点数の増加並びに地域的な偏りを解消することが可能。



温室効果ガス世界資料センター(WDCGG) webサイトより地上観測点の分布
(“■” はデータが 365 日以内に更新された地点)

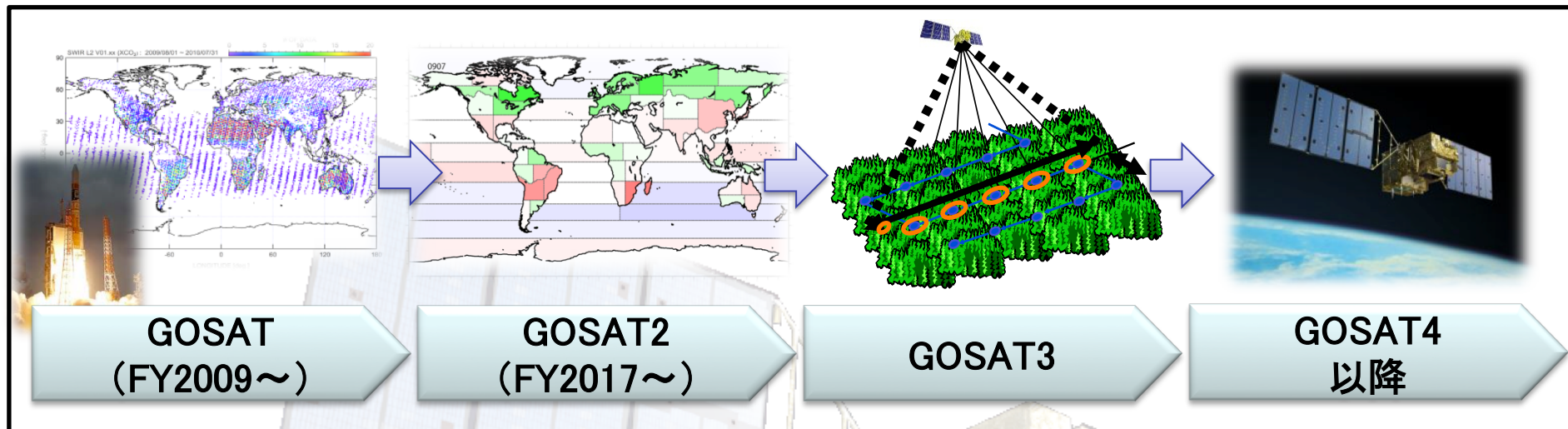


GOSATの観測軌道(3日間)





「いぶき」シリーズの目指すもの



● 第1世代: 衛星観測の有用性の確認

- ・観測空白域の大幅な削減
- ・吸収排出量推定誤差の低減への寄与
- ・観測方式(基本機能)の評価・確立/ハードウェアに関するステップアップ個所の評価

● 第2世代: 実用精度までの向上(実用精度確認)

- ・濃度分布
- ・正味吸収排出量(フラックス)
- ・温暖化対策(排出量把握)に向けての新規知見の習得
- ・新規追加機能の確認・評価

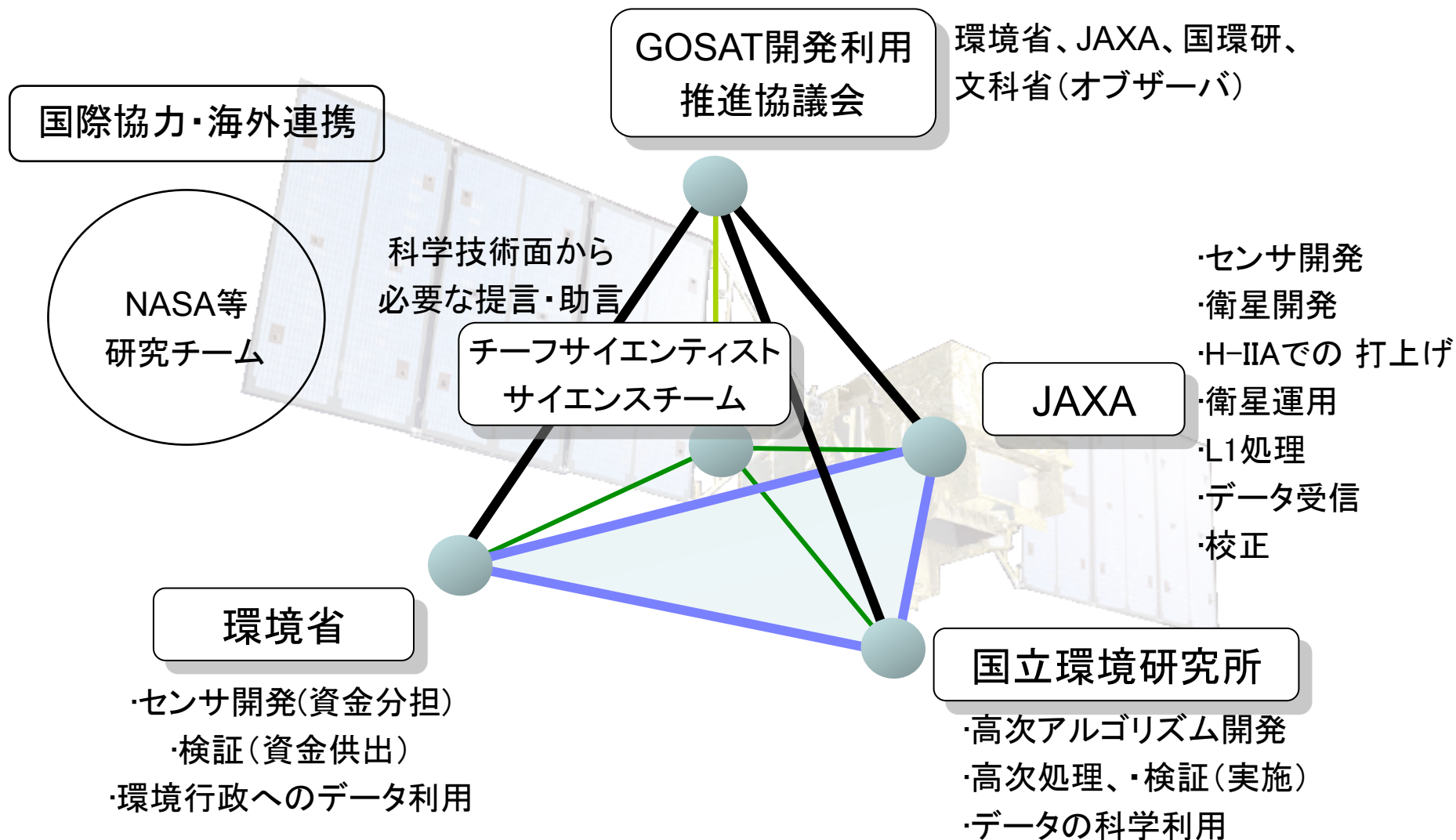
● 第3世代: 実利用仕様の設定・確認(ハードウェア開発の完了)

- ・MRV(測定報告検証)への適用確認

継続観測と本格的な行政利用

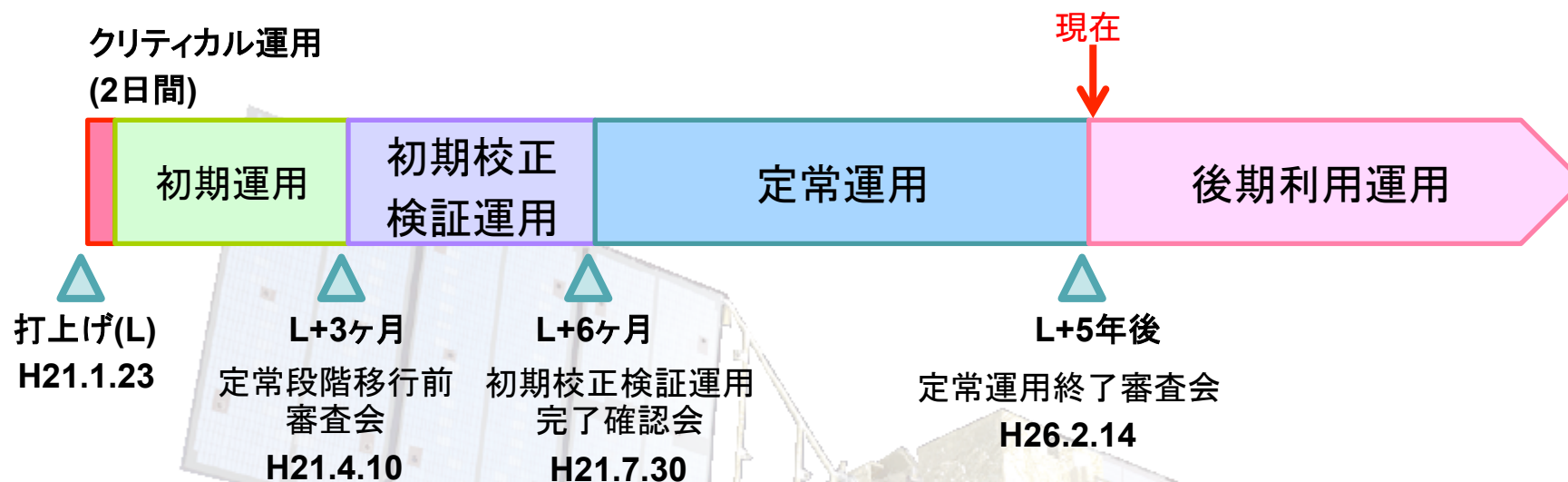


体制と作業分担





2. 衛星運用状況

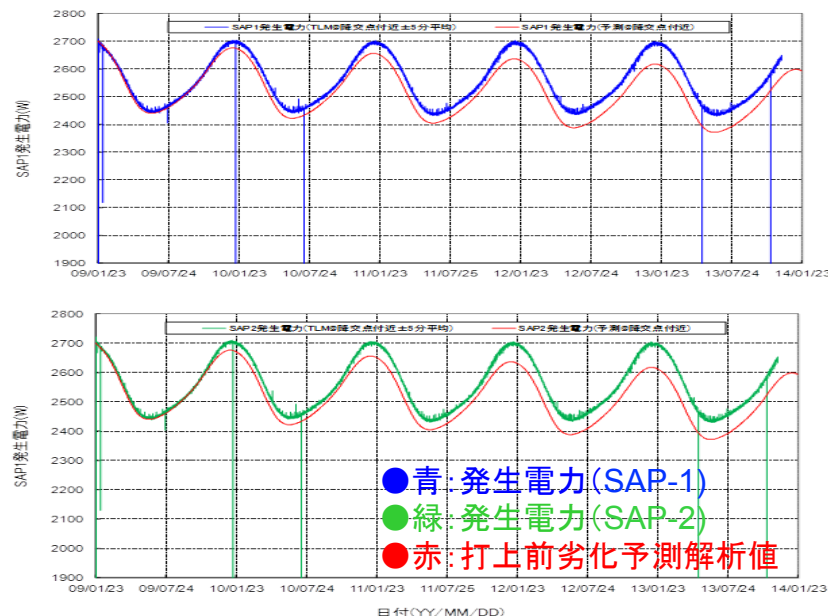


クリティカル運用	太陽電池パドルの展開や標準姿勢制御モードへの移行など、打上げ直後の衛星を安定した状態に移行させるための運用
初期運用	衛星各部の初期機能の確認を行う期間
初期校正検証運用	観測センサや観測データの校正や検証を行う期間
定常運用	定常的に観測を継続する期間 国内外の利用者・研究者に観測データを定常的に提供
後期利用運用	設計寿命を超えて観測を継続する期間

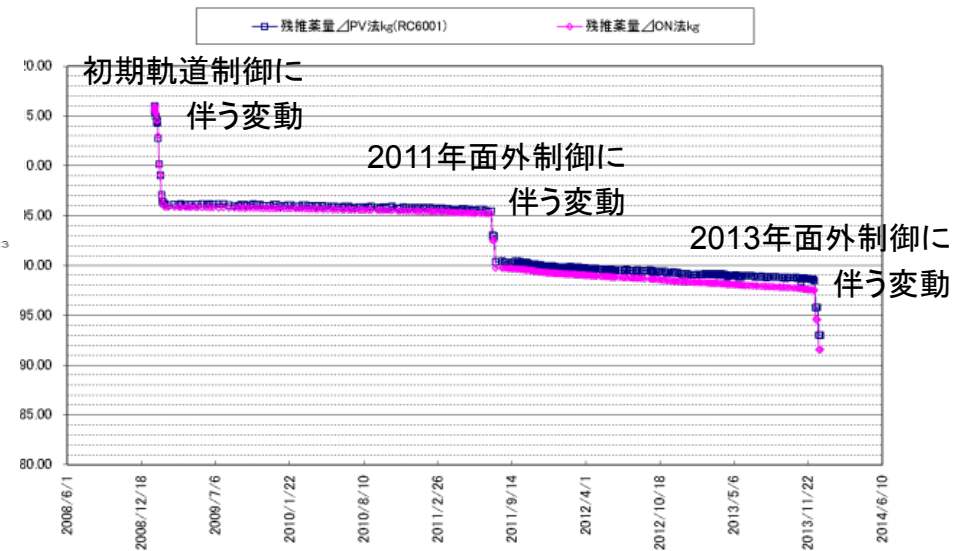


2. 衛星運用状況

- 現在打上げ後5年を経過し、正常に運用を継続中。
 - 発生電力： 運用に必要な電力に対し、十分なマージンを維持
 - 残推薬： 現時点で約90kg(今後約14年程度は運用可能な残量に相当)
- 運用期間中の主たる不具合
 - 太陽電池パドルNo.2(SAP-2)の駆動制御部で使用しているハイブリッドICの出力異常により、SAP-2の回転が停止。
 - 偶発的に発生した部品故障が原因と判断し、パドル駆動系を冗長系に切り替えて継続運用中。



SAP-1と2の発生電力遷移状況



残推薬量の推移



3 GOSATの成果

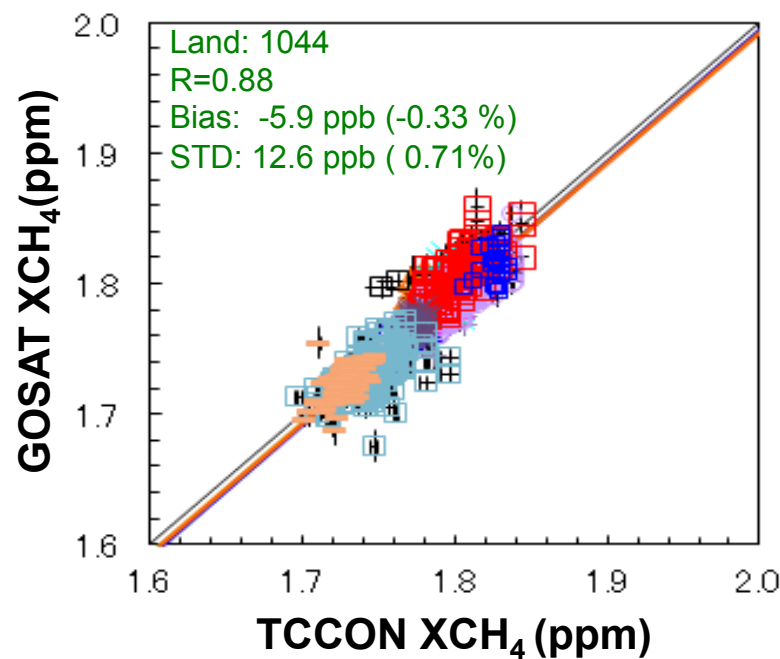
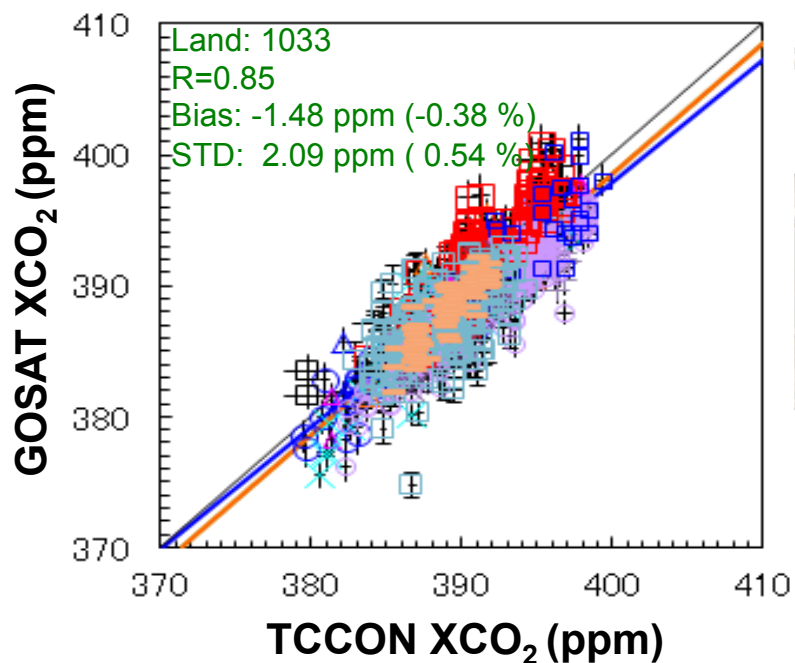
3.1 主要な成果

3.1.1 濃度観測

初号機として温室効果ガス観測の基本となるCO₂及びメタン濃度を下記精度で実現。

CO₂濃度 : 目標 4 ppm(大気中濃度約380 ppmの1%、1000 kmメッシュ3か月平均)
実績 2 ppm(同0.5%)を達成

メタン濃度 : 目標 36 ppb(大気中濃度約1800 ppbの2%、1000 kmメッシュ3か月平均)
実績 13 ppb(同0.71%)を達成



Yoshida et al., Atmos. Meas. Tech., 6, 1533-1547, 2013.

TCCON: Total Carbon Column Observing Network
(地上設置のフーリエ変換分光計を用いてカーボン気柱量を測定している観測網)





3.1 主要な成果

3.1.2 二酸化炭素吸収排出量(フラックス)推定結果

CO₂吸収排出量の算出および推定誤差の低減

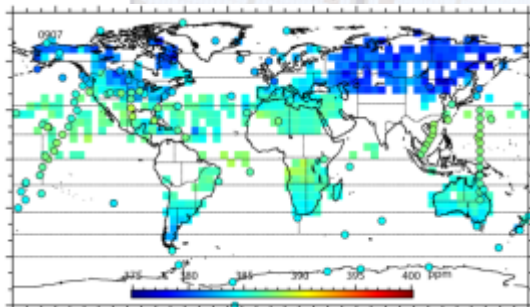
目標： 月別のCO₂ネット吸収排出量を算出し、亜大陸レベル(約7000kmメッシュ)の推定誤差を半減

実績： 衛星データを用いた月別吸収排出量を世界で初めて算出
世界を64分割した区域(陸域約3000kmメッシュ)の推定誤差半減以上を達成(次ページ参照)

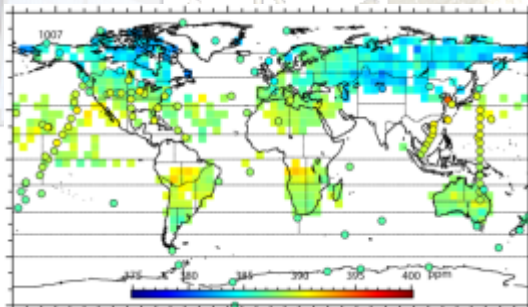
月平均CO₂濃度
5度格子平均
GOSATと地上観測点

領域別フラックス
推定値(gC m⁻² day⁻¹)

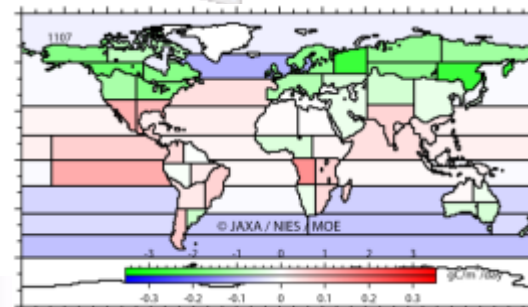
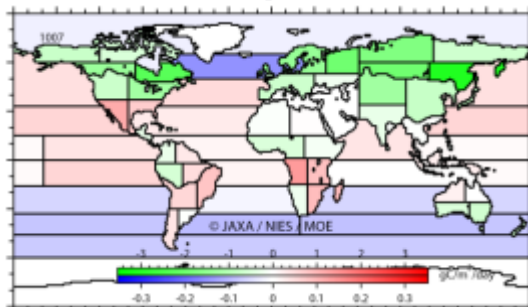
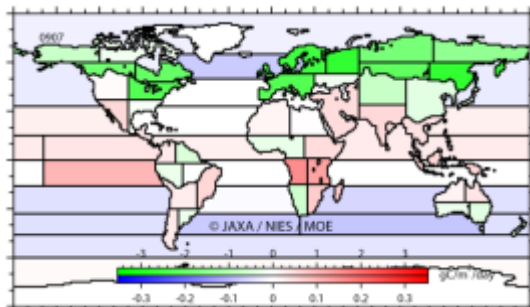
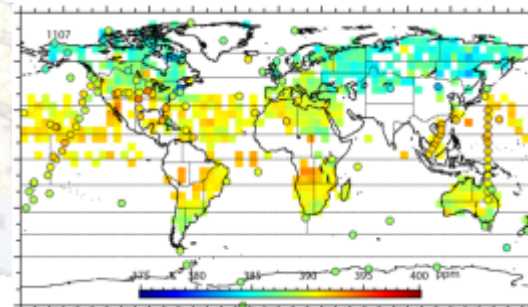
2009年7月



2010年7月



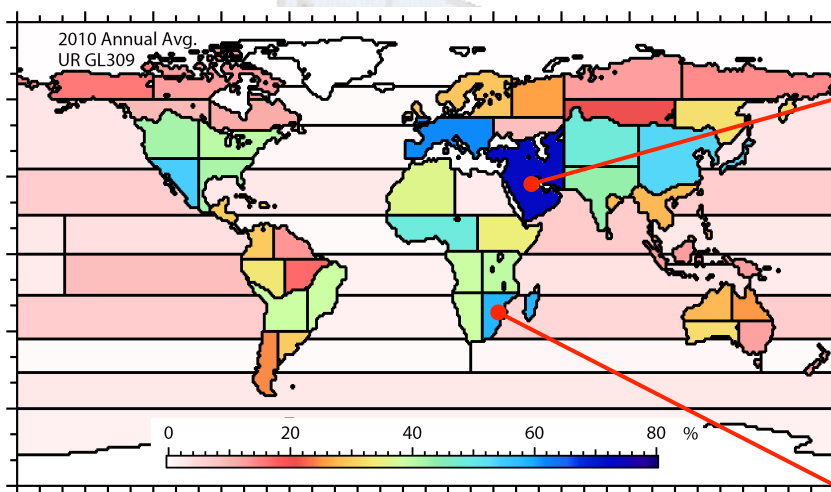
2011年7月





3.1.2 二酸化炭素吸収排出量(フラックス)推定結果(続き)

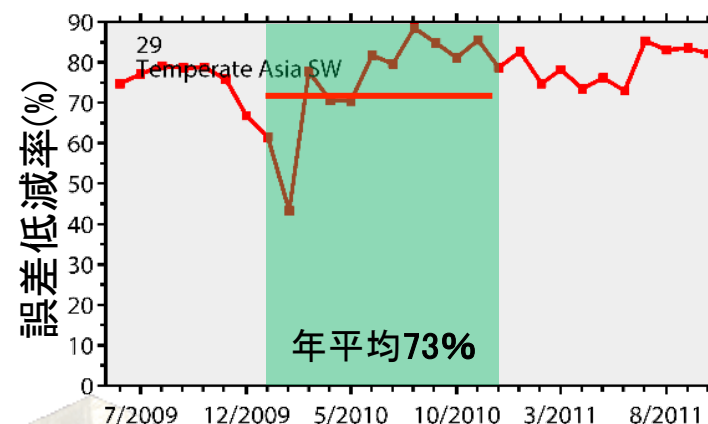
CO₂吸収排出量推定誤差の低減結果
(2010年の計算結果)



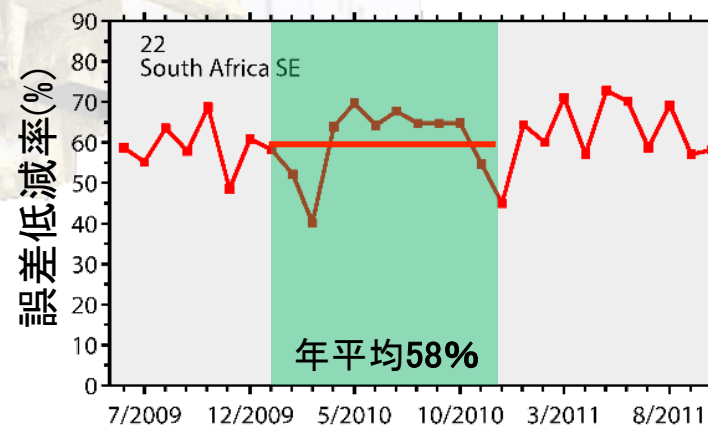
3000kmメッシュ年平均推定誤差低減率(%)

【計算条件】成功基準設定当時(2003年)の地上ネットワーク(サイト数76)のみに基づいた場合の推定誤差に対して、さらにGOSATのデータを加えることによる推定誤差の減少量を計算し、地上データのみからの推定誤差に対する比率を算出。なお、GOSATのCO₂データを加える際に各最小の不確実性を0.5ppmと設定した。

アジア中緯度域 南西部(中東)



南アフリカ 南東部



2010年





3.1 主要な成果

3.1.3 GOSATの観測結果がもたらしたもの

京都議定書により各国が排出量削減義務を負うとともに排出量や森林吸収量等について報告することとなっており、以下が求められている。

- ・排出量の変化を知り、評価できる仕組み
(国別の排出量、削減努力を公平な方法により検証する手段)
- ・温暖化予測の高精度化による適切な排出削減目標の設定

GOSATの観測により、

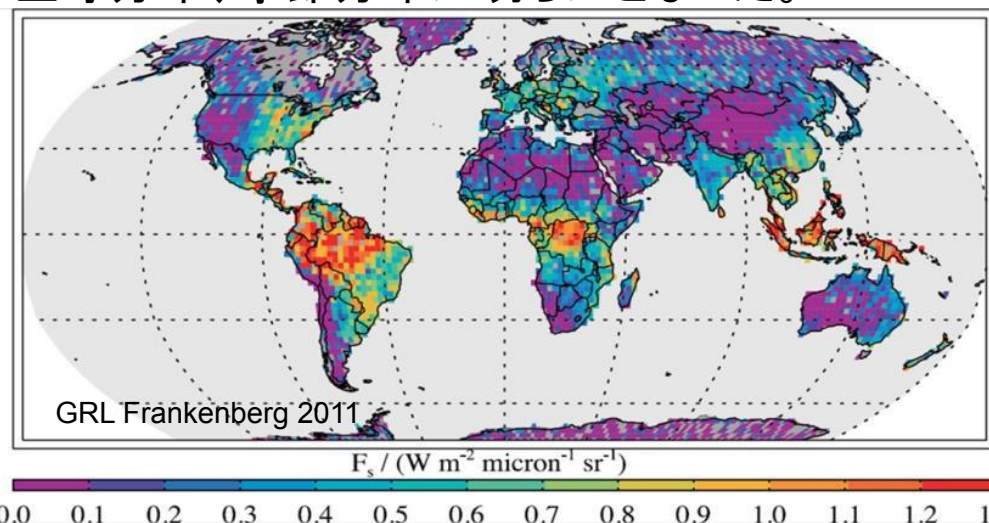
- ・GOSATにより、従来の地上観測では困難であった全球の均一な観測を実現
- ・GOSAT観測データを取り込むことで、推定誤差を最大で50%以上低減

を実現したことにより、将来のより効果的な地球温暖化政策の立案に資することが期待でき、環境省の重点政策の一つとして後継機であるGOSAT-2が計画された。



3.2 その他の成果

- (1) 世界で初めて衛星からクロロフィル蛍光の全球分布が観測され、植物からの蛍光の全球分布、季節分布が明らかとなった。

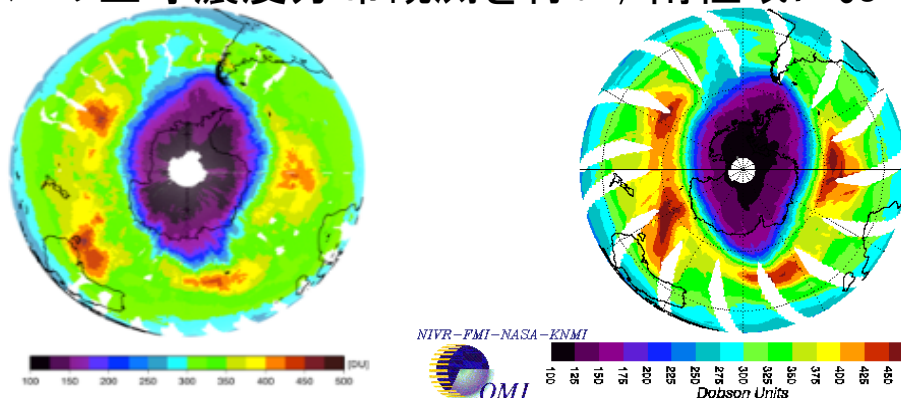


植物の光合成に起因するクロロフィル蛍光の衛星観測は、全球規模の光合成量を直接測定することにつながり、宇宙からの植生二酸化炭素吸収の定量的な評価、REDD+における検証及び測定への適用が期待できる。

*REDD+ (Reduced Emissions from Deforestation and forest Degradation) :

開発途上国における森林の破壊や劣化の回避、植林などを通じて二酸化炭素の排出を削減する活動。

- (2) オゾンの全球濃度分布観測を行い、南極域におけるオゾン濃度の低下を捉えた。



左: GOSAT観測データ
(2009/09/25)

右: 同日のNASA OMI (Aura衛星搭載)による観測データ

- (3) GOSAT等のデータをREDD+検証システムに使うべく環境省が開発を進めている = 行政利用の端緒



3.3 サクセスクライテリアと達成状況

・GOSATにおいて、以下の3つの観点からのミッションが設定され、達成レベルごとにクライテリアが設定されている。定常運用終了段階で、いずれもエクストラサクセスを達成。

	①温室効果ガスの全球濃度分布の測定(1000kmメッシュ, 3ヶ月平均相対精度1%)	②CO ₂ 吸収排出量の亜大陸規模(約7,000kmメッシュ)での推定誤差の半減	③温室効果ガス測定技術基盤の確立
1 ミニмум サクセス	雲・エアロゾルの影響のほとんどない条件において、SWIR(短波長赤外)で1,000kmメッシュ, 3ヶ月平均相対精度1%程度で、CO ₂ 気柱量の陸域測定ができる。 [達成] [判断時期: 打上げ1年半後]	CO ₂ 吸収排出量の亜大陸規模での年当りの推定誤差を低減できる。 [達成] [判断時期: 打上げ1年半後]	GOSATの技術を拡張することにより、国単位での吸収排出量の測定が可能であることが示せる。 [達成] [判断時期: 開発終了時]
2 フル サクセス	雲・エアロゾルの影響のほとんどない条件において、 (1)SWIR(短波長赤外)の1.6μm, 2.0μm帯で、SNRが300以上で観測できる。 [達成] (2)SWIRのサングリント観測またはTIR(熱赤外)の10または15μm帯で、SNRが300以上で海域を観測できる。 [達成] (3)そのデータからCO ₂ 気柱量を、1,000kmメッシュ, 3ヶ月平均相対精度1%以下で算出できる。また、CH ₄ 気柱量を1,000kmメッシュ, 3ヶ月平均相対精度2%以下で算出できる。 [達成] [判断時期: ミッション期間終了時]	CO ₂ 吸収排出量の亜大陸規模での年当りの推定誤差を半減できる。 [達成] [判断時期: ミッション期間終了時]	上記に加え、下記の要素技術の何れか一つを軌道上で実証できる。 (1)90~260kmメッシュ(中緯度域)での測定 [達成] (2)サングリント(海洋上の太陽光鏡面反射)観測 [達成] (3)広波長測定(SWIR(短波長赤外)とTIR(熱赤外)の同一地点・同時測定) [達成] [判断時期: 打上げ1年半後]
3 エクストラ サクセス	下記の <u>何れか</u> の成果が得られる。 [達成] (1)雲・エアロゾルの影響を補正し、SWIR(短波長赤外)でCO ₂ 気柱量を、1,000kmメッシュ, 3ヶ月平均相対精度1%以下で測定できる。 [達成] (2)TIR(熱赤外)でCO ₂ 気柱量を精度1%程度で算出できる。 [未達成] (3)TIRでCO ₂ 濃度の高度分布を精度1%程度で算出できる。 [未達成] (4)TIRでCH ₄ , H ₂ O, 気温, 長波長放射, O ₃ 等の物理量が測定できる。 [達成] [判断時期: ミッション期間終了時]	下記の <u>何れか</u> の成果が得られる。 [達成] (1)CO ₂ の吸収排出量の3,000kmメッシュ規模での年当りの推定誤差を半減できる。 [達成] (2)CO ₂ の季節ごとの吸収排出量の亜大陸規模での推定誤差を半減できる。 [達成] (3)CO ₂ の吸収排出量の亜大陸規模での年当りの推定誤差を大幅に低減できる。 [達成] [判断時期: ミッション期間終了時]	上記の要素技術を二つ以上、軌道上で実証できる。 [達成] [判断時期: 打上げ1年半後]



4. GOSATの後期利用運用計画

1. データの補正精度向上に向けた取り組み
 - (1) 同一地点を複数の方向から観測することで、エアロソルの補正精度を高める。
 - (2) 任意点を観測できる機能を活用して、観測地点を陸域に集中させ有効データ数の向上を図る。
 - (3) 海洋上サングリント観測における観測緯度範囲の拡張。(最大 $\pm 20^\circ$ まで)
2. 2014年7月打上げ予定の米国NASA OCO-2 との相互校正・検証によるデータ精度向上のため、同期観測を実施
3. サクセスクライテリアにおいて未達成であった「熱赤外域での二酸化炭素気柱量の精度1%での導出(3.(2)項)」については、熱赤外域では短波長域よりも高精度での導出が見込めないこと、短波長赤外域にて既に導出していることから、断念する。
4. 一方、同様にサクセスクライテリアにおいて未達成であった「熱赤外域での二酸化炭素濃度高度分布の精度1%での導出(3.(3)項)」を進める。



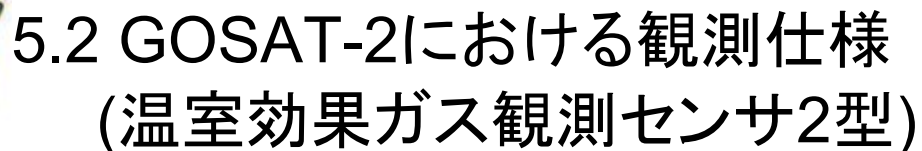
5. GOSAT-2に向けて

5.1 GOSAT-2の目的

主たる温室効果ガスの濃度分布、吸収排出量のより高い精度での算出・推定を行い、

- 気候変動予測精度の向上への寄与
- 地球システムの変化の早期検出への寄与
- 人為的な温室効果ガス排出の削減状況や自然吸収源の変動状況の把握への寄与により、環境行政に貢献する。

ミッション目的			
排出量削減目標に関する政策への貢献	全球炭素循環のより精緻な理解による将来予測の不確実性の低減		温室効果ガス濃度分布測定高精度化
排出量削減努力・気候変動適応に関する政策への貢献 (排出抑制努力, 森林保全, 泥炭火災消火/防止活動, REDD+の効果把握等)	温室効果ガス排出量の監視		温室効果ガス吸収排出量(フラックス)推定の高精度化
	亜大陸規模での地球システム変化の警報・検出		温室効果ガス人為排出量推定
	温暖化防止に関する国際的な取り組み(REDD+など)への貢献		温室効果ガス自然排出量推定の高精度化
	大規模排出源モニタ		発展途上国のうち森林率の高い国の森林域フラックス把握 (森林・泥炭火災の際のフラックス把握を含む)
			温室効果ガス大規模排出源モニタ
大気汚染監視に関する政策への貢献	・微小粒子状物質(PM2.5)の監視 ・大気中黒色炭素(ブラックカーボン)量の監視		エアロソル光学的厚さ測定高精度化





5.2 GOSAT-2における観測仕様 (雲・エアロソルセンサ2型)

項目	GOSAT-2			GOSAT
観測波長(nm)	前方視 band 1 : 330-350 band 2 : 660-680 band 3 : 860-880 band 4 : 1555-1645	直下視 band 9 : 425-445 band 10 : 540-560	後方視 band 5 : 370-390 band 6 : 660-680 band 7 : 860-880 band 8 : 1555-1645	直下視 band 1 : 370-390 band 2 : 664-684 band 3 : 860-880 band 4 : 1555-1645
空間分解能/ 観測幅	500m/1,000km (band 4 及び 8を除く) 1km/1,000km (band 4 及び 8)			Band 1-3: 500m/1,000km Band 4: 1,500m/750km

