
衛星「いぶき」による宇宙からの温室効果ガスの見える化

富士通エフ・アイ・ピー（株）

■ 執筆者Profile ■



1993年 富士通エフ・アイ・ピー（株）入社
科学技術システム業務担当
2005年 GOSAT アルゴリズム開発業務担当
2009年 現在 環境システム部所属
国立環境研究所にて GOSAT データ
処理運用システム業務担当

石原 博成

■ 論文要旨 ■

温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT; 愛称「いぶき」)は、温室効果ガスを宇宙から観測する世界初の衛星で、地球温暖化の現象解明やその対策を決定する上で非常に重要な基礎情報を提供することを目的としている。富士通エフ・アイ・ピーは、国立環境研究所でのデータの high 次処理、保存管理及び配布を目的として、GOSAT データ処理運用システムの開発とデータ処理アルゴリズムの開発を実施してきた。本システムには、これまでの他の衛星データ処理システムに比べ次のような特長を備えている。

- ・ 2 つのセンサーの情報を複合利用し、センサーデータ以外にも入力データが必要な非常に複雑なデータ処理システムである。
- ・ 外部の計算機資源と連携させて処理を行っている。

GOSAT の観測開始以降、本システムによって全球の濃度分布が算出された。今後算出されたデータの検証を行い、アルゴリズムの改善を継続的に実施し、データの品質の向上を図る予定である。

■ 論文目次 ■

1. はじめに	《 5》
1. 1 衛星「いぶき」について	
1. 2 富士通エフ・アイ・ピーの役割	
2. 「いぶき」の概要	《 6》
2. 1 GOSAT プロジェクトが指すもの	
2. 2 「いぶき」のセンサーと観測方法	
3. 国立環境研究所における GOSAT データ処理運用システム	《 8》
3. 1 GOSAT データ処理運用システムへの要求事項	
3. 2 GOSAT データ処理運用システムの機能	
4. 「いぶき」の初期成果と観測の効果	《 14》
4. 1 「いぶき」の初期成果	
4. 2 「いぶき」観測の効果	
5. 今後の展開	《 17》

■ 図表一覧 ■

図 1	大気中の主要な温室効果ガス濃度の変化(IPCC第4次報告書より) ……	《 5》
図 2	GOSATの外観……………	《 6》
図 3	FTSの観測模式図……………	《 7》
図 4	GOSATデータ処理運用システムの機能構成概要……………	《 9》
図 5	GOSATデータ全体の処理イメージ……………	《 10》
図 6	データ高次処理のフロー……………	《 11》
図 7	GOSAT DHFのハードウェア構成……………	《 14》
図 8	CAI L3全球輝度(全量)プロダクトの例(2009年6月25日から27日までの3日分の観測結果, バンド1, 2, 3をB, R, Gの各色に割り当てた合成画像) ……	《 15》
図 9	CAI L3全球反射率(雲なし)プロダクトの例(2009年4月23日から5月22日までの1か月分の観測データからなるべく雲の無い観測値を合わせた結果, バンド1, 2, 3をB, R, Gの各色に割り当てた合成画像) ……	《 15》
図 10	FTS L2 CO2カラム量(SWIR)プロダクトの例(2009年4月20日から28日の陸上の晴天観測点における二酸化炭素のカラム平均濃度) ……	《 16》
図 11	FTS L2 CH4カラム量(SWIR)プロダクトの例(2009年4月20日から28日の陸上の晴天観測点におけるメタンのカラム平均濃度) ……	《 16》
表 1	GOSATプロジェクトにおける三者の役割分担……………	《 4》
表 2	GOSATの主要諸元……………	《 6》
表 3	TANSO-FTS各バンドの主要パラメータ……………	《 7》
表 4	TANSO-CAIの主要パラメータ……………	《 7》
表 5	GOSAT標準プロダクト一覧……………	《 12》

1. はじめに

1. 1 衛星「いぶき」について

温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT; Greenhouse gases Observing SATellite、愛称「いぶき」）は、主要な温室効果ガスである二酸化炭素、メタンの濃度を宇宙から観測する世界初の衛星である。「いぶき」の観測データを解析することにより、これら温室効果ガス濃度の全球分布とその時間変動を知ることができる。さらに、地球上の各地域での炭素の排出・吸収量の推定精度を高めることにより全球の炭素循環メカニズムとその気候変化への影響などに関する新たな科学的知見の集積が図られ、気候変化予測および影響の評価に役立てることが期待されている。

「いぶき」は 2009 年 1 月 23 日宇宙航空開発研究機構種子島宇宙センターより打ち上げられた。現在、試験期間である初期校正検証運用を終え、通常運用に入り順調に観測を続けている。

GOSAT の全体プロジェクトは、宇宙航空開発研究機構（JAXA）、国立環境研究所（NIES）、環境省(MOE)の三者が共同して推進している。三者の役割は表 1の通りである。

表 1 GOSAT プロジェクトにおける三者の役割分担

機関	役割
宇宙航空開発研究機構	<ul style="list-style-type: none">・センサーの開発(環境省と共同)、・衛星の開発・打ち上げ・運用・衛星観測データの取得（データの受信・記録含む）・データの一次処理・データの校正・環境省／国立環境研究所が行う事業への協力
国立環境研究所	<ul style="list-style-type: none">・温室効果ガス濃度の導出手法開発・改良・データの高次処理・プロダクトの検証・外部へのデータの提供・モデルによる吸収・排出量の推定・JAXA が行う事業に対する協力
環境省	<ul style="list-style-type: none">・センサーの開発（JAXA と共同）・プロダクトの検証・GOSAT の観測データの科学的利用による国際的な炭素排出削減施策への貢献

1. 2 富士通エフ・アイ・ピーの役割

富士通エフ・アイ・ピー（以下「当社」）は、NIES のプロジェクトに参画し、NIES の役割である「温室効果ガス濃度の導出手法開発・改良」、「データの高次処理」、「外部へのデータの提供」、「プロダクトの検証」の実施及び支援のために「GOSAT データ処理運用システム」（以下「本システム」）の開発と、温室効果ガス濃度算出の手法開発を担当してきた。富士通グループは、当社以外にも JAXA においては、富士通が GOSAT の軌道制御や地上処理システムの制御などの分野で参画しており、様々な面からこのプロジェクトに貢献している。

国立環境研究所の衛星観測プロジェクトに、当社は GOSAT プロジェクト以前にも衛星

搭載オゾン層観測センサー(ILAS, ILAS-II)のプロジェクトに 90 年代から参画してきた。その後、オゾン層破壊の問題から地球温暖化の問題が世の中でクローズアップされるのに伴って、GOSAT プロジェクトが計画された。衛星から温室効果ガス濃度を観測することは、世界で初めてであり、観測されたデータから温室効果ガス濃度を算出するシステムの開発は非常にチャレンジングな試みである。本システムは、ILAS, ILAS-II で蓄積した経験や独自技術に基づいて、世界初の試みに挑戦し、同時に地球の今を知ることで地球環境の保全に貢献するシステムを目指している。

2. 「いぶき」の概要

2. 1 GOSAT プロジェクトが目指すもの

人類の産業活動の拡大に伴う化石燃料の大量消費によって、二酸化炭素の排出量がこの 100 年間に急激に増え、大気中の濃度が急速に増加している(図 1)。気温の上昇をもたらす温室効果ガスとして京都議定書の規制対象となっているのは、二酸化炭素のほかに、メタン、亜酸化窒素、ハロカーボン類などがあるが、二酸化炭素とメタンがこれらのガスによる温室効果の約 8 割を占めている。温室効果ガスの増加は、単に地球上の平均気温の上昇をもたらすだけでなく、現在雨量の少ない地域では干ばつが、雨量の多い地域では洪水が頻発するなどの多くの被害が引き起こされることが懸念されている。

このため、国際社会は温室効果ガスの排出量を削減する方向に動き始め、気候変動枠組み条約のもとで、1997 年の京都議定書で先進国の削減目標が合意され、2002 年 2 月に発効した。世界各国が温室効果ガス排出量の削減対策を進めるには、将来の気候変動とその影響の正確な予測に基づく合理的な削減目標を設定すると同時に、国別の排出量を正しく知り、各種施策の排出量削減効果を評価することが重要である。

GOSAT プロジェクトの第一の目的は、温室効果ガスの亜大陸規模(数千 km 四方)での吸収・排出状況の把握や森林炭素収支の評価などの環境行政に貢献することである。更に、GOSAT データの利用研究を通して、温室効果ガスの全球分布とその時間変動や、全球炭素循環メカニズムとの気候変化影響などに関する新たな科学的な知見の集積が図られ、気候変化予測及び影響の評価に役立てられることである。第二の目的は、これまでの地球観測技術を継承・発展させ、温室効果ガスの測定技術を開発するとともに、将来の地球観測衛星に必要な技術開発を行うことである。

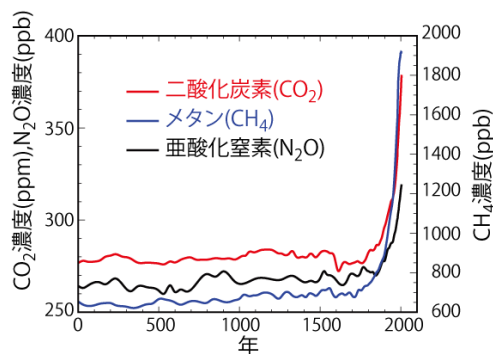


図 1 大気中の主要な温室効果ガス濃度の変化(IPCC 第 4 次報告書より)

2. 2 「いぶき」のセンサーと観測方法

GOSAT は地上約 666km の高度を飛行し、約 100 分で地球を一周し、3 日間で同じ軌道に戻る。GOSAT の外観と主要諸元を、図 2 及び表 2 に示す。



©JAXA

図 2 GOSAT の外観

表 2 GOSAT の主要諸元

項目	諸元
サイズ	本体：高 3.7m×幅 1.8m×奥行 2.0m（突起物除く） パドル翼端間：13.7m
質量	1750 kg
発生電力	3.8 kw (EOL)
設計寿命	5 年
打上げ	2009 年 1 月 23 日

GOSAT は、TANSO-FTS（Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation, Fourier Transform Spectrometer; 以下 FTS）、TANSO-CAI（Cloud and Aerosol Imager; 以下 CAI）という 2 つのセンサーを搭載している。FTS は、観測視野内の地表面からの反射される太陽光または大気からの熱放射を分光して観測するフーリエ分光計である。太陽・地球・センサーを結ぶ光路内にある二酸化炭素（CO₂）やメタン（CH₄）による吸収または放射の輝度スペクトルを観測し、それから、CO₂ や CH₄ のカラム量を算出する（図 3 参照）。FTS の主要パラメータを表 3 に示す。FTS には 4 つのバンドがある。バンド 1,2,3 は、昼間に近赤外から短波長赤外の範囲の波長帯の太陽の反射光を測定するが、バンド 4 は地表と大気からの熱赤外の放射光を測定し、昼夜とも観測が可能である。CAI は、FTS での測定にとって障害になる雲とエアロゾルの状況や量を測る画像センサーで、紫外から短波長赤外にわたる 4 つのバンドを持ち、FTS の観測地点をカバーしている。CAI の主要パラメータを表 4 に示す。FTS の視野が、直径約 10km の円であるのに対し、CAI のバンド 1,2,3 の空間分解能は 500m、バンド 4 のそれは 1500m である。

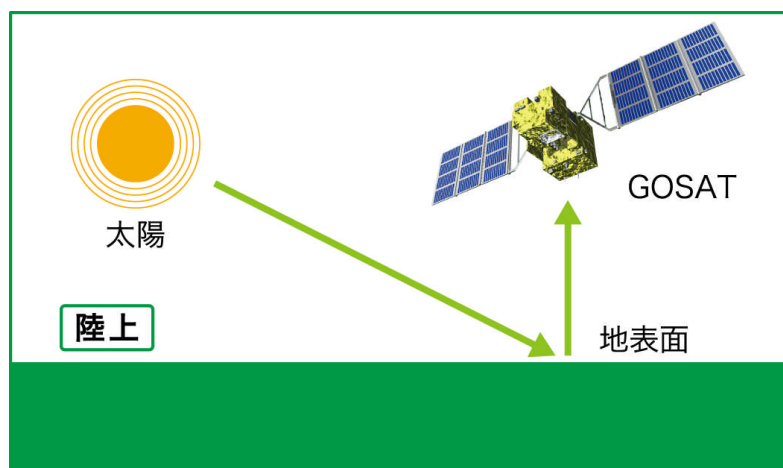


図 3 FTS の観測模式図

表 3 TANSO-FTS 各バンドの主要パラメータ

バンド	B1	B2	B3	B4
偏光観測	有	有	有	無
波長範囲 [μm]	0.75-0.78	1.56-1.73	1.92-2.09	5.5-14.3
ターゲット	O ₂	CO ₂ , CH ₄	CO ₂ , CH ₄	CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O 他
分光分解能 [cm^{-1}]	0.5	0.27	0.27	0.27
SNR	> 300	> 300	> 300	> 300
時間分解能	1.1, 2, 4 秒/インターフェログラム			
観測視野	地表面投影時直径約 10 km (直下観測時)			

表 4 TANSO-CAI の主要パラメータ

バンド	B1	B2	B3	B4
中心波長 [μm]	0.38	0.67	0.87	1.6
バンド幅 [nm]	20	20	20	90
瞬間視野 [km]	0.5	0.5	0.5	1.5
素子数	2000	2000	2000	500
刈り幅 [km]	1000	1000	1000	750
SNR	>200	>200	>200	>200

3. 国立環境研究所における GOSAT データ処理運用システム

3. 1 GOSAT データ処理運用システムへの要求事項

本システムには、従来の衛星データ処理システムには無い以下の要求があった。

(1) 複雑なデータ処理

本システムは温室効果ガス濃度を算出するために、以下の理由から非常に複雑なデータ処理を行う必要がある。

- ・ FTS, CAI という 2 つのセンサーからの情報を複合利用する必要があること。

・データ処理の入力として、センサーデータ以外にも、気象データや他衛星が観測したデータあるいはシミュレーション計算の結果など様々なデータが必要であること。

これらについては、3. 2. 3項で述べる。

(2) 外部計算機との連携

自前の計算機資源以外にも外部の計算機資源を利用して、それらを連携させて処理を行う。

自前の計算機資源を削減することにより、計算機導入および維持管理のコストを削減することが可能なためである。また、処理プログラムによっては以前から計算機固有のチューニングがなされてきたものがあり、それらのプログラムを別の計算機に移植することなく利用することを可能とするためである。これらについては、3. 2. 6項で述べる。

(3) データ処理の手法（アルゴリズム）の継続的改善

衛星からの温室効果ガス観測は世界初であり、確立されたデータ処理の手法（アルゴリズム）が存在するわけではなく、算出されるデータの品質を向上させるために衛星打ち上げ後も継続的にデータ処理アルゴリズムを改善してゆく必要がある。これらについては、5章で述べる。

3. 2 GOSAT データ処理運用システムの機能

3. 1に述べた要求を満たし、GOSATに搭載された2つのセンサーFTSとCAIの観測データの高次処理を行うために以下の機能を有する本システムを構築してきた。

- 1) JAXA 連携（観測要求の作成、レベル1データの受信）
- 2) 参照データの取得
- 3) データ処理（高次処理）及びその制御
- 4) データの保存・管理
- 5) プロダクトの提供

その他、データ処理の定常運用を遂行するために必要な、計算機室の温度監視、サーバ稼働監視、ストレージ監視、運用アプリケーションのエラー監視などの運用管理機能を有する。機能概要図を図4に示す。

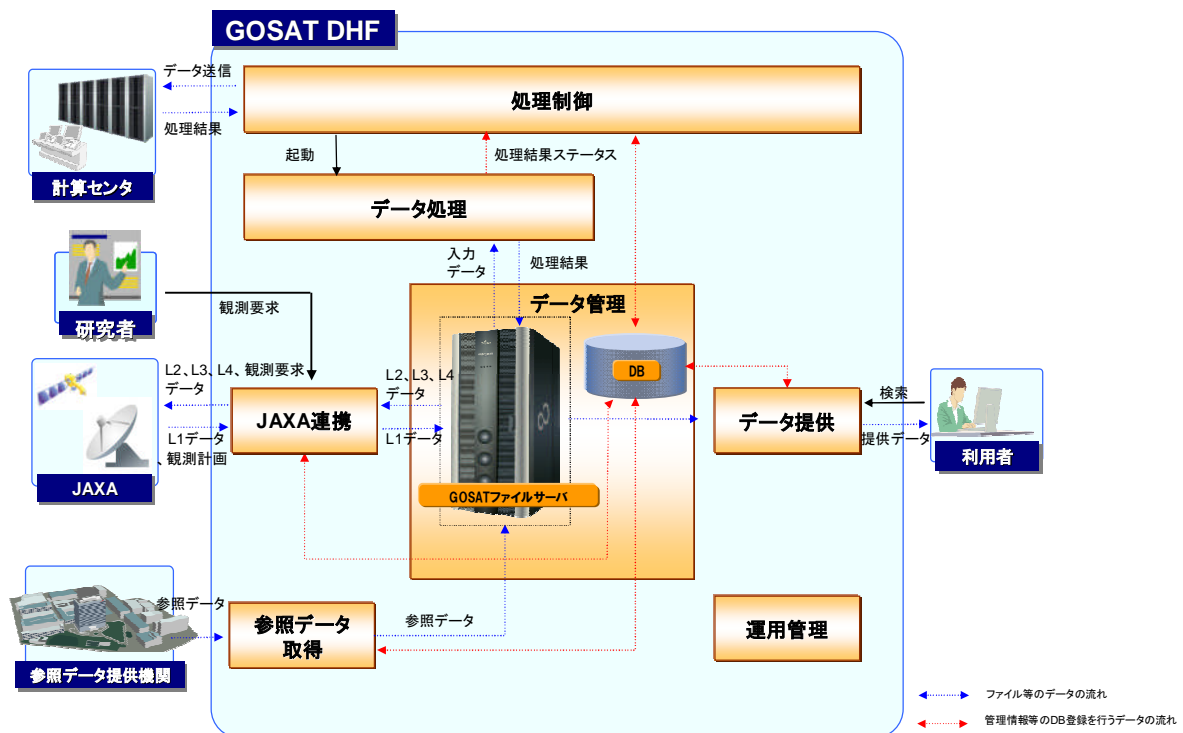


図 4 GOSAT データ処理運用システムの機能構成概要

3. 2. 1 JAXA 連携機能

(1) 観測要求作成機能

本システムは、研究公募（Research Announcement）などを通して承認された特定ユーザーから Web を介して特定点観測の要求（以下、観測要求と呼ぶ）を受け付ける機能、及び特定ユーザーからの受付けた観測要求を調整し、GOSAT の運用計画を立案し、JAXA に送付するための機能を提供する。JAXA に対する観測要求は、原則として月 1 回の頻度で行なうが、緊急時には観測日の約 1 週間前まで随時行なうことができる。その他、JAXA から観測計画を受信し NIES が送付した観測要求が受け付けられたかどうかを確認する機能を有する。

(2) レベル 1 データ受信機能

本システムでは、JAXA 地球観測研究センター（EORC）からのレベル 1 プロダクトの受信のために、スターリングコム社製の Connect:Direct を JAXA 提供の Java アプリケーションを介して利用している。レベル 1 プロダクトには、L1A データ（FTS L1A, CAI L1A）および L1B データ（FTS L1B, CAI L1B, CAI L1B+）の 2 種類に大別される。このうち L1A データは JAXA/EORC の地上システムにおける標準処理によって工学値変換や校正に必要なデータが付加されたデータプロダクトである（図 5 参照）。

FTS L1B データは、フーリエ変換分光計で取得されたインターフェログラムをスペクトルに変換したものであり、L1A データと同じく JAXA/EORC で作成される。

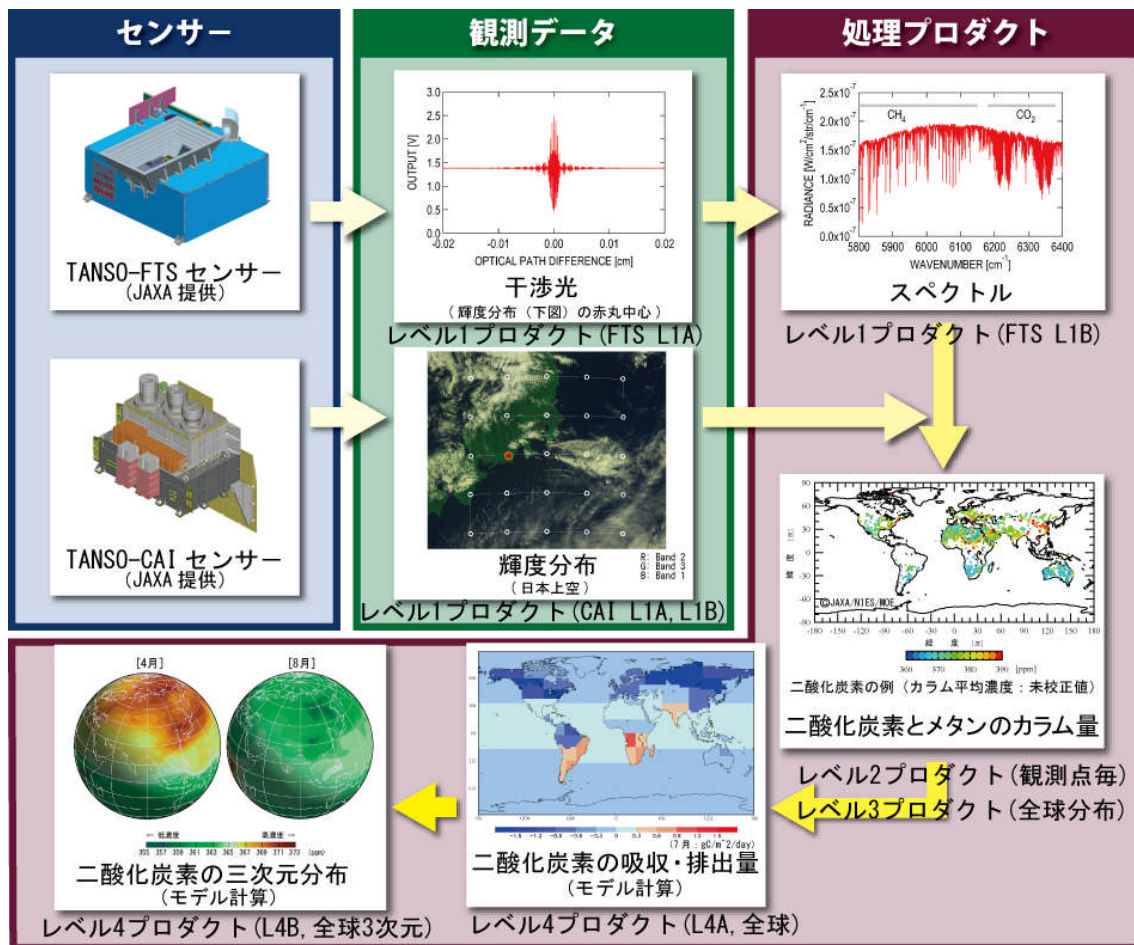


図 5 GOSAT データ全体の処理イメージ

3. 2. 2 参照データ取得機能

JAXA 以外の機関から取得する高次処理に必要なデータを参照データと呼んでいる。参照データには、不定期に取得するものと、インターネット経由で定期的に自動取得するものがある。後者の例としては、気象庁から取得する GPV データがある。GPV データは、全球の客観解析気象データのことで、主に FTS のレベル 1B データからレベル 2 データを作成するとき利用される。GPV データは、1 日 4 回 6 時間おきに作成され、基準時刻から 4 時間後には気象庁側のサーバにアップされ、本システム側で sftp プロトコルを利用して取得している。

3. 2. 3 データ処理機能

NIES で行うデータ処理は、レベル 1B 処理からレベル 4 処理の 4 つの処理レベルに大別される。データ処理のフローを図 6 に示す。

CAI レベル 1B 処理はレベル 2 処理以上の高次処理に先立って輝度補正、バンド間の補正、幾何補正など各種補正を含む処理を実施して作成する。CAI L1B データと CAI L1B+ データはいずれも CAI の放射輝度のプロダクトであるが、両者の相違は L1B データがレベル 2 処理の入力データ (位置補間なし) であることに対し、L1B+ データは位置で補間し地図投影される点にある。

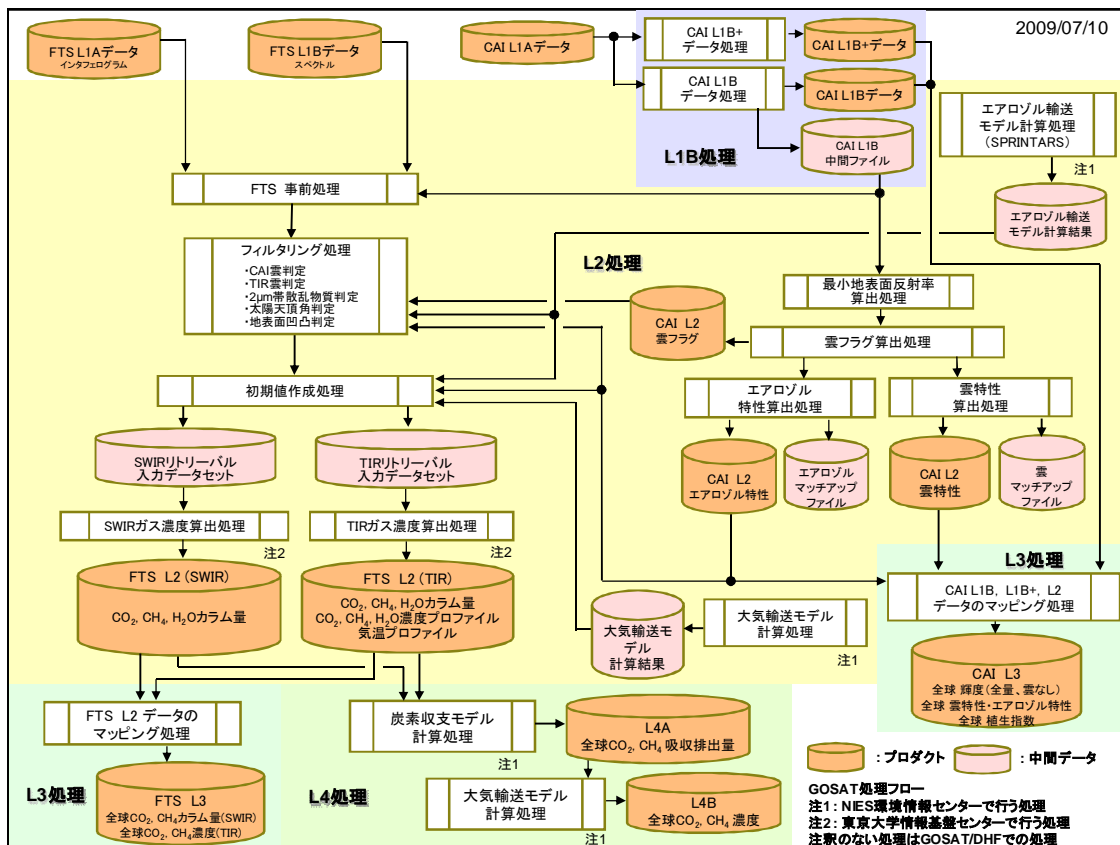


図 6 データ高次処理のフロー

レベル 2 処理はセンサーの観測点に対応した物理量（例： FTS の視野位置に対応する二酸化炭素やメタンのカラム量、CAI の画素毎の雲の有無、エアロゾルまたは雲の微物理パラメータなど）の推定値導出を行なう。

FTS の視野内に雲がある場合は、ガス濃度を正確に算出することができない。そこで、CAI の画素毎の雲の有無の情報（CAI L2 雲フラグ）から FTS の視野毎にその後のガス濃度算出処理を行うかどうかの判定、すなわち CAI 雲判定を行う。CAI 雲判定を含むフィルタリング処理によって、ガス濃度算出可能と判断された FTS L1B データのみに、その後の SWIR ガス濃度算出処理及び TIR ガス濃度算出処理を適用する。両処理が実施される割合は、FTS L1B データ全体の 10-20%程度である。さらに SWIR ガス濃度算出処理及び TIR ガス濃度算出処理を行う際の補正データとして、CAI から求められた CAI L2 エアロゾル特性が入力データとなる。このように、FTS, CAI の両データを複合利用して最終的にガス濃度を算出することは処理のフローを非常に複雑にしている。

SWIR ガス濃度算出処理及び TIR ガス濃度算出処理はガス濃度算出という意味で、レベル 2 処理の中核をなし、高次処理の中で計算リソースの大半を占める。これらの処理は、3. 2. 6 で述べる東京大学情報基盤センターのオープンスーパーコンピュータを利用して処理を行う。

レベル 3 処理は 3 日～3 ヶ月の観測期間に含まれる複数の観測点に対応するレベル 1,2 プロダクトを統計的に処理して全球データ（格子点データ）を作成する。

レベル 4 処理は GOSAT のデータと大気輸送モデル計算を組み合わせることで亜大陸規模の温

室効果ガスの吸収・排出量フラックスの推定とそれに基づく温室効果ガスの全球三次元分布の計算を行なう。

3. 2. 4 データ管理機能

データ処理の結果として出力されたファイルは、後述する「ディスク装置」に保存される。また、観測時刻や観測位置など高速な検索が必要なデータは、リレーショナルデータベース（MySQL）を利用して保存・管理されている。データベースはレプリケーション技術を適用して高可用性を実現している。

3. 2. 5 プロダクト提供機能

表 5 GOSAT 標準プロダクト一覧

プロダクトレベル	センサー/バンド	プロダクト名	プロダクトの内容	プロダクト単位	提供形式
L1B	FTS	FTS L1Bデータ	干渉光データをフーリエ変換して得られる輝度スペクトルデータ	FTSシーン	
	CAI	CAI L1Bデータ	バンド間補正、幾何補正のパラメータを含む輝度データ(地図マッピングは未適用)	CAIフレーム	
L1B+	CAI	CAI L1B+データ	バンド間補正、幾何補正、地図マッピングを行った輝度データ		
L2	FTS SWIR	L2 CO2カラム量 (SWIR)	SWIRの輝度スペクトルデータから求められた二酸化炭素カラム量データ	任意 (オンデマンド)	HDF5
		L2 CH4カラム量 (SWIR)	SWIRの輝度スペクトルデータから求められたメタンカラム量データ		
	FTS TIR	L2 CO2濃度プロファイル (TIR)	TIRの輝度スペクトルデータから求められた二酸化炭素濃度プロファイルデータ		
		L2 CH4濃度プロファイル (TIR)	TIRの輝度スペクトルデータから求められたメタン濃度プロファイルデータ		
	CAI	L2 雲フラグ	雲判別結果のデータ	CAIフレーム	
L3	FTS SWIR	L3 全球CO2カラム平均濃度 (SWIR)	二酸化炭素カラム平均濃度から作成した全球濃度分布データ	全球 (月平均)	
		L3 全球CH4カラム平均濃度 (SWIR)	メタンカラム平均濃度から作成した全球濃度分布データ		
	FTS TIR	L3 全球CO2濃度 (TIR)	高度毎に作成した二酸化炭素の全球濃度分布データ		
		L3 全球CH4濃度 (TIR)	高度毎に作成したメタンの全球濃度分布データ		
	CAI	L3 全球輝度 (全量)	3日分の全球輝度分布データ(雲を含む)	全球(3日毎)	
		L3 全球反射率 (雲なし)	1か月分の観測のうち各地点の最も低い反射率を抽出した全球の反射率分布データ		
		L3 全球植生指数	全球の植生指数データ(雲を除く)	緯度30度×経度60度(15日毎)	
L4A	-	L4A 全球CO2吸収排出量	全球を64程度に分割した地域別の二酸化炭素の月平均毎の吸収・排出量データ	全球(年毎)	テキスト
L4B	-	L4B 全球CO2濃度	二酸化炭素の全球三次元濃度分布(6時間毎、2.5度メッシュ)のデータ	全球(月毎)	NetCDF

データ提供機能では、特定ユーザやそれ以外の一般ユーザに対して、Web を通じてプロダクトを提供している。リモートセンシングによる大気観測は、継続的かつ均一な全球観測を可能とする反面、異なる観測原理で取得された、より高精度の観測データとの比較による検証解析が必須である。そのため、プロダクトの提供範囲は、ユーザ区分毎に処理アルゴリズムの検証ステージに応じて制限される。一般ユーザに提供されるのは、検証ステージが「確定」となった「標準プロダクト」である。特定ユーザに対しては、検証中の

「標準プロダクト」や「研究プロダクト」も提供される。一般ユーザに提供される標準プロダクトを表 5に示す。

JAXA に対しては、別途 Connet:Direct を利用したプロダクトの提供を行なう。

3. 2. 6 ハードウェア構成

GOSAT DHF は図 7にあるようなインターネット環境を利用し、JAXA/EORC および参照データ提供機関よりデータ処理に関わるデータを送受信する。受信されたデータや高次処理のデータプロダクトは「ディスク装置」に保存される。5 年分のプロダクト及び内部データを保存、管理するために「ディスク装置」は合計 300TB の容量がある。データ処理などを実行するサーバ群から 4 Gbps のデータ転送速度を持つ FibreChannel (FC) プロトコルで接続され、ファイル共有システムにより一つのデータファイルを複数のサーバから同時に利用することが可能となっている。

図 7のアーカイブサーバにはバックアップシステムが導入され、FC で接続された「テープ装置」へ「ディスク装置」内のデータのコピーが保管される。このテープ装置は LTO Generation 4 規格のテープドライブを 3 台装備し、テープメディアを自動でテープドライブへ挿入・保管する機構を有している。

1 日分の観測データの処理が 8 時間以内に終了するような CPU リソースを確保している。これは、処理の遅延への対応や、アルゴリズムの改修による再処理に対応するためである。必要な CPU コア数およびメモリの必要数量については開発段階で検証し、算定した結果に基づいている。本システムでは、データ処理に必要な CPU リソースを本システム内部以外に外部の計算機センターに確保し、それらとネットワークを通じて連携している。ここで、外部の計算機センターとは、東京大学情報基盤センターのオープンスーパーコンピュータ及び NIES のスーパーコンピュータである。CPU リソースの大部分は、東京大学情報基盤センターのオープンスーパーコンピュータに依存している。

本システム内部で行なうデータ処理は図 7に示すサーバのうち、汎用 1、汎用 2、汎用 3 サーバにより実行される。これらのサーバ群は 64 ビット環境の PC アーキテクチャで構成され、OS として Linux を採用している。3 台のサーバに CPU コア数が 40 コア、288GB のメモリが実装されている。その他、プロダクトを研究者などへ提供する機能などのために、データ処理サーバ以外に複数のサーバを有している。

東京大学情報基盤センターのオープンスーパーコンピュータでは、1024 CPU コア（理論演算性能で 10TFlops）分の計算機資源を GOSAT 専用としている。同センターの計算機資源を利用することで、自前で計算機を導入・維持管理することに比べ大幅なコストの削減を図っている。

NIES のスーパーコンピュータは、ベクトル処理計算機で、図 6内の注 1 に示す 4 つの処理「エアロゾル輸送モデル計算処理」、「大気輸送モデル計算処理」（L2 処理、L4 処理の 2 か所）、「炭素収支モデル計算処理」が行われる。これらの処理は以前よりベクトル処理計算機上で開発されてきた。処理性能を上げるためにコーディング方法や数値計算ライブラリなどでベクトル処理計算機特有のチューニングがなされており、将来的にもベクトル処理計算機上でバージョンアップが行われる予定である。このため、運用システムとしてもプラットフォームの変更は行わないこととした。これにより、移植作業の工数を削減することが可能となった。

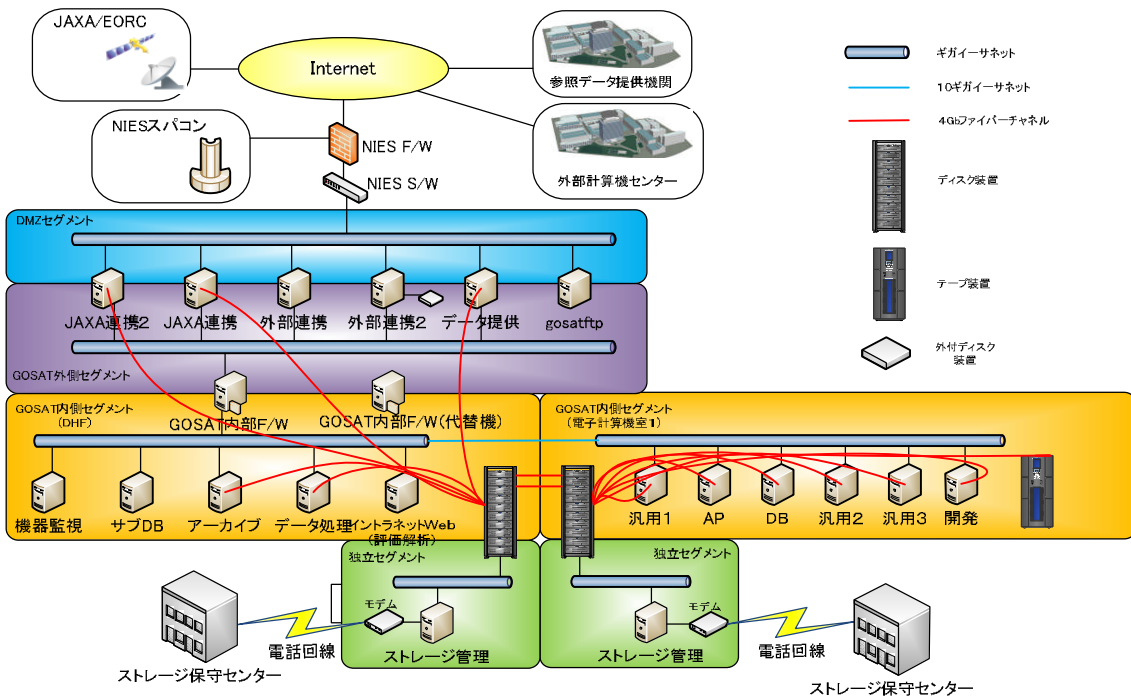


図 7 GOSAT DHF のハードウェア構成

4. 「いぶき」の初期成果と観測の効果

4. 1 「いぶき」の初期成果

「いぶき」は 4 月下旬から定常段階（初期校正検証運用期間）に入り、定常的な観測を開始した。これにともなって、本システムでも定常的な処理を開始し、プロダクトの算出を継続的に実施している。

初期成果の例として、これまでに観測したデータから作成したプロダクトの例を図 8 から図 11 に示す。図 8 は 2009 年 6 月 25 日から 27 日までに CAI によって観測された全球画像（CAI L3 全球輝度（全量）に相当）の一例である。全球の雲の分布の様子がわかる。このようなデータ（CAI L1B から作成される CAI L2 雲フラグ）に基づいて同時に観測された FTS の視野範囲に雲が有るか無いかを判定し、雲が無いと判定されれば FTS L1B データより二酸化炭素やメタンのカラム量などを算出する。図 9 は CAI によって観測されたデータを 4 月 23 日から 5 月 22 日までの 1 カ月間のデータを蓄積し、各地点でなるべく雲の無い観測値を選んで合成した画像（CAI L3 全球反射率（雲なし）に相当）である。図 10 と図 11 は、4 月 20 日から 28 日の 9 日間の陸上の晴天観測点における未校正の FTS L1B データを用いて推定した二酸化炭素とメタンのそれぞれのカラム平均濃度を全球にプロットした図である。二酸化炭素、メタンともに 4 月下旬に北半球で濃度が高く南半球で低いという傾向は、おおむね従来の地上観測による結果と整合している。しかし、全体として明らかに低いカラム平均濃度となっていること、地域的に高濃度や低濃度のデータが存在することについて個別に信頼性の調査・検討を行い、今後定量的な議論を行うために

必要な処理アルゴリズムの改訂やプロダクトの検証作業を進める予定である。

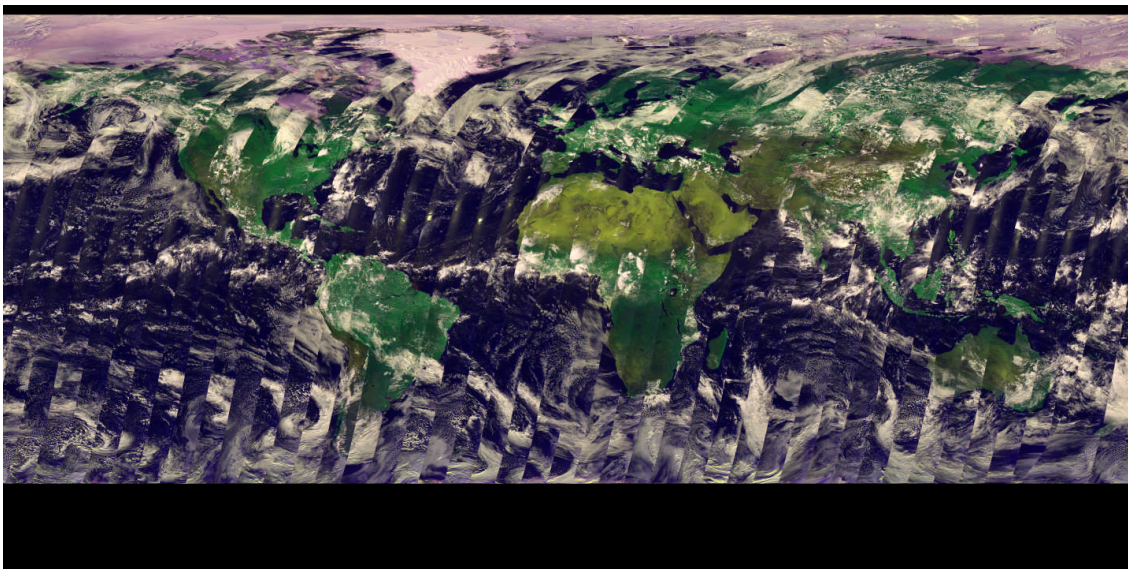


図 8 CAI L3 全球輝度 (全量) プロダクトの例 (2009 年 6 月 25 日から 27 日までの 3 日分の観測結果, バンド 1, 2, 3 を B, R, G の各色に割り当てた合成画像)

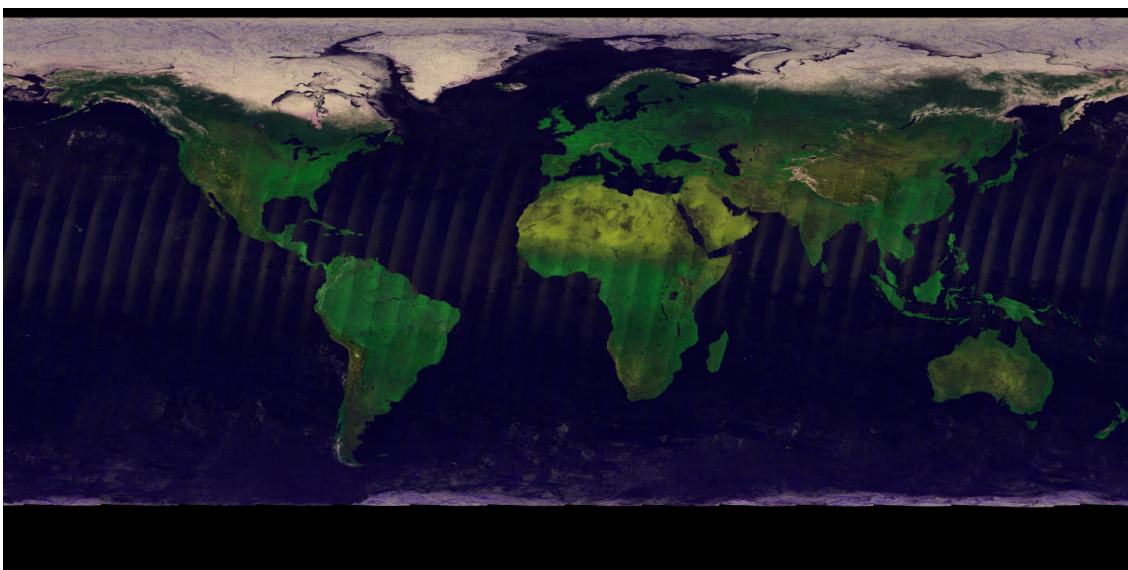
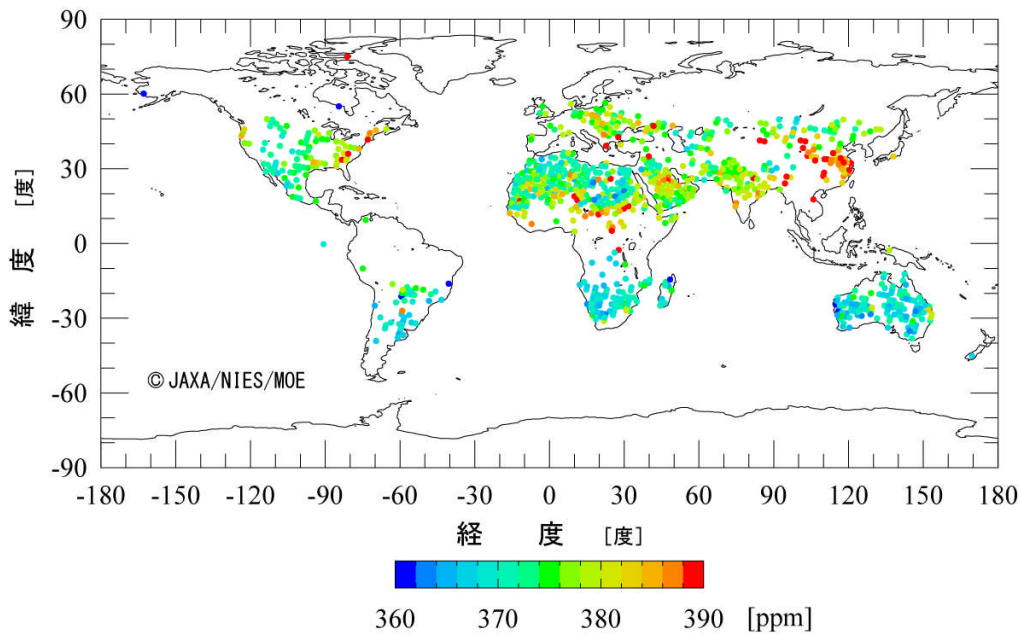
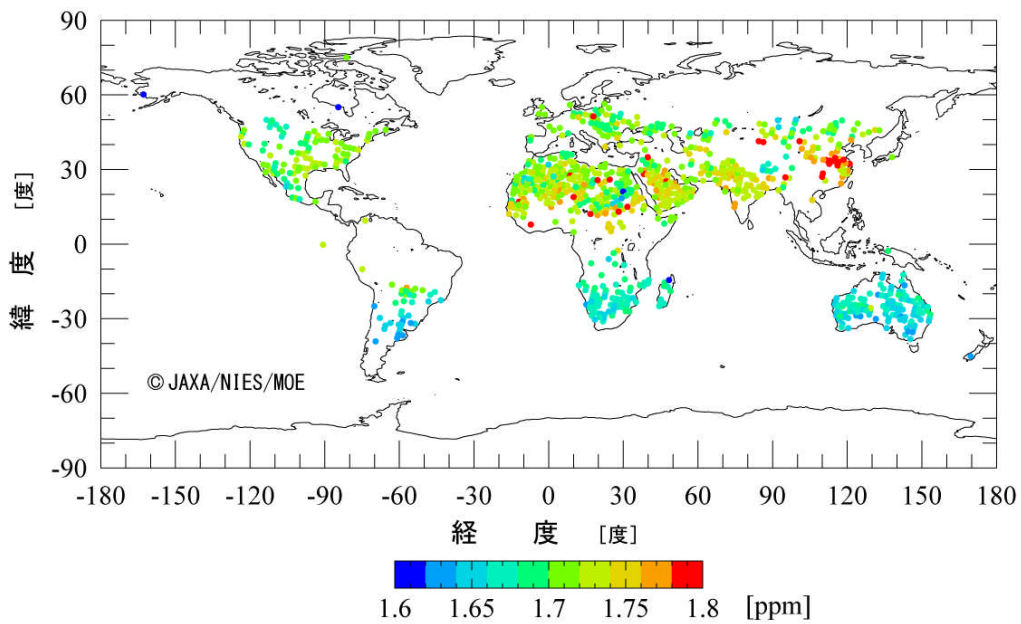


図 9 CAI L3 全球反射率 (雲なし) プロダクトの例 (2009 年 4 月 23 日から 5 月 22 日までの 1 カ月分の観測データからなるべく雲の無い観測値を合わせた結果, バンド 1, 2, 3 を B, R, G の各色に割り当てた合成画像)



二酸化炭素のカラム平均濃度 (未校正値)

図 10 FTS L2 CO₂カラム量(SWIR)プロダクトの例 (2009年4月20日から28日の陸上の晴天観測点における二酸化炭素のカラム平均濃度)



メタンのカラム平均濃度 (未校正値)

図 11 FTS L2 CH₄カラム量(SWIR)プロダクトの例 (2009年4月20日から28日の陸上の晴天観測点におけるメタンのカラム平均濃度)

4. 2 「いぶき」観測の効果

「いぶき」が観測し、本システムで算出されたデータに基づき温室効果ガスの全球分布やその時間変動を理解し、地球上のどの地域で排出や吸収がなされているかといった収支量の推定精度を高めることが可能となる。また、これらのデータは温暖化予測やその対策に関わる基礎的な情報、例えば将来の気候変動を予測するコンピュータシミュレーションの入力データとして、また炭素排出削減施策のための情報などとして活用される予定である。

5. 今後の展開

「いぶき」は現在も順調に観測を継続しており、観測されたデータを本システムで処理することで、温室効果ガス濃度の全球分布や時間変動の「見える化」が開始された。また、現在データはプロジェクト内部のスタッフや特定ユーザに提供されている。その意味で、NIES の役割である「データの hoch 処理」、「外部へのデータの提供」は本システムによって初期の目的を達成しつつある。

しかし、4. 1 節で述べたように算出されたデータには様々な問題点がある。これらの問題点を解決し、データの品質向上のためには、GOSAT とは別の方法によって観測されたデータとクロスチェックするなどの検証作業を実施し、さらに温室効果ガス濃度のデータ処理手法を改善し、システムのバージョンアップに反映してゆくことが今後の重要な作業となる。温室効果ガス濃度のデータ処理手法の改良は、いわゆる情報処理システム的な検討、設計だけでは解決しない。大気科学、放射伝達理論、観測装置の特性などサイエンスおよびエンジニアリング的な調査、研究や各種ケーススタディなどの試行錯誤的な作業を繰り返す必要である。この作業を NIES やプロジェクトに参画する大学や研究機関と当社が今後共同して継続的に実施することになっている。レベル 2 プロダクトは打ち上げ 1 年後の 2010 年 1 月に一般ユーザへの提供を予定しており、この時期を当面データ品質向上の目標期限としているが、その後も継続的にこの作業は実施される予定である。

本稿で紹介した本システムにより、「いぶき」で観測したデータを処理し、初期の成果を公開することができた。今後とも「いぶき」は観測を継続し、GOSAT データ処理運用システムが処理・提供するデータは、地球温暖化や気候変動の現象解明および対策の立案に役立つ重要なデータとして世界各国の研究者による調査・研究や地球環境に関する政策決定の重要な基礎情報として活用されるであろう。