

地球観測衛星データ処理における JAXAスパコン活用の効果検証

齋藤紀男*1、上田陽子*1、田中誠*1、中西功*1、仁尾友美*1、
小西利幸*1、井口茂*2、早坂英俊*3、井上淳一*4、鳥居雅也*4

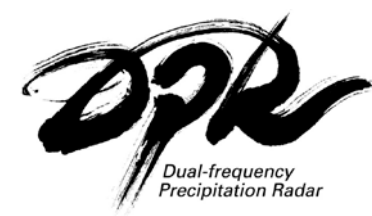
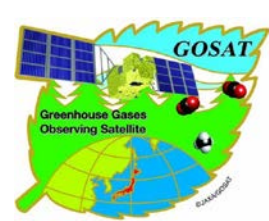
*1 宇宙航空研究開発機構 第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター

*2 日本電気株式会社

*3 日本電気航空宇宙システム株式会社

*4 富士通株式会社

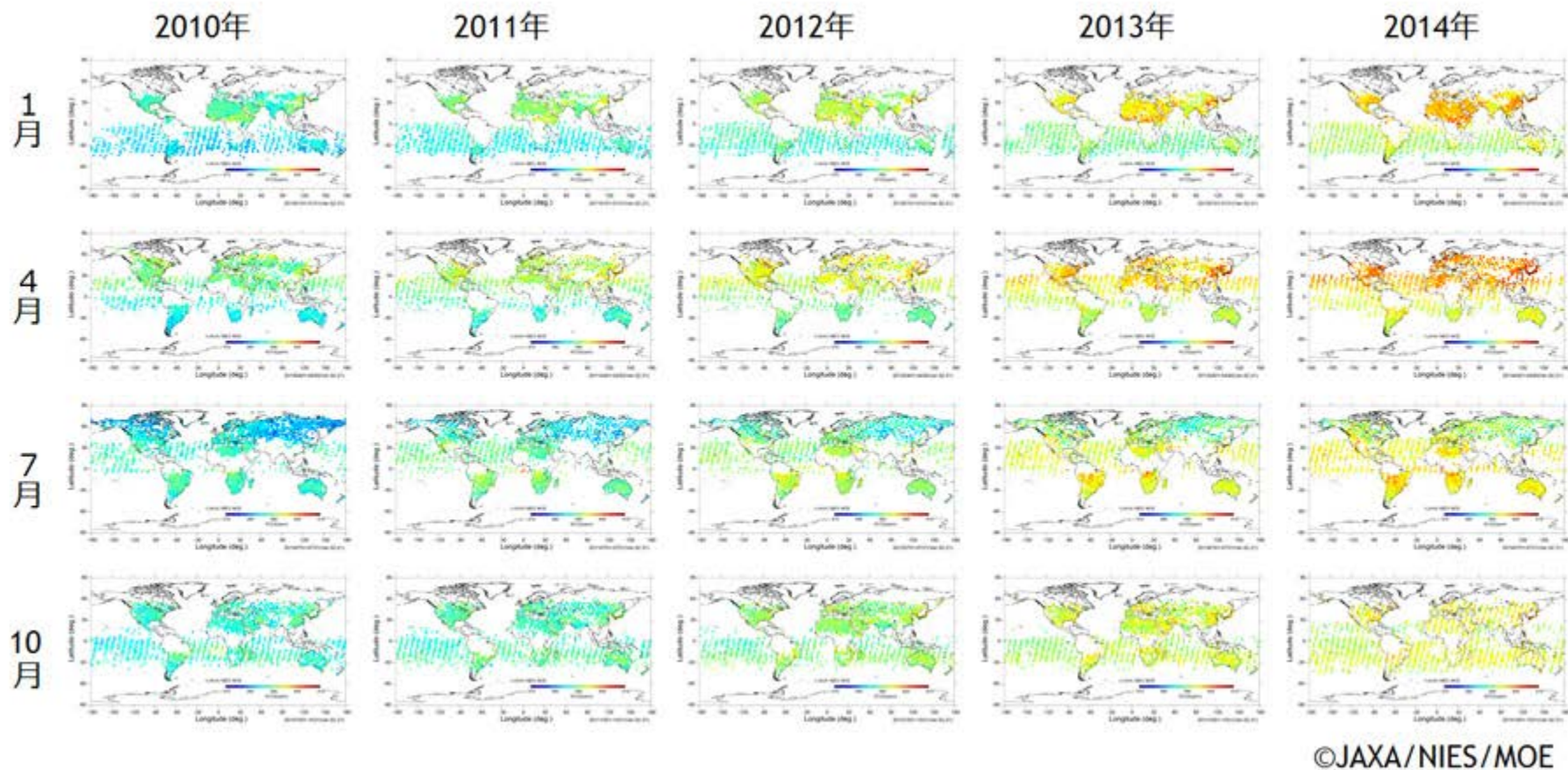
2016年2月12日



目次

1. ゴールと背景
 - 地球観測衛星データの再処理
 - 目的とゴール
2. JSS2利用の方法(1): 処理アルゴリズムの移植と検証
 - GOSAT(いぶき)
 - GPM(全球降水観測ミッション主衛星)の相違点
3. JSS2利用の方法(2): 性能測定と運用性検証
 - GOSAT
 - GPMの相違点
4. GOSAT再処理運用の成果
5. 考察
6. 結論
7. 今後の課題と展望

地球観測データ画像例 (GOSAT)



GOSAT(いぶき)が観測した二酸化炭素濃度(抜粋)

「いぶき」が2010年から2014年にかけて宇宙から観測した全球の二酸化炭素濃度です。GOSATの観測データを利用し、国立環境研究所にて作成。

濃度が低いほど青色に、高いほど赤色になっています。同じ月でも、年が経過するごとに濃度が高くなっていることが顕著に分かります。

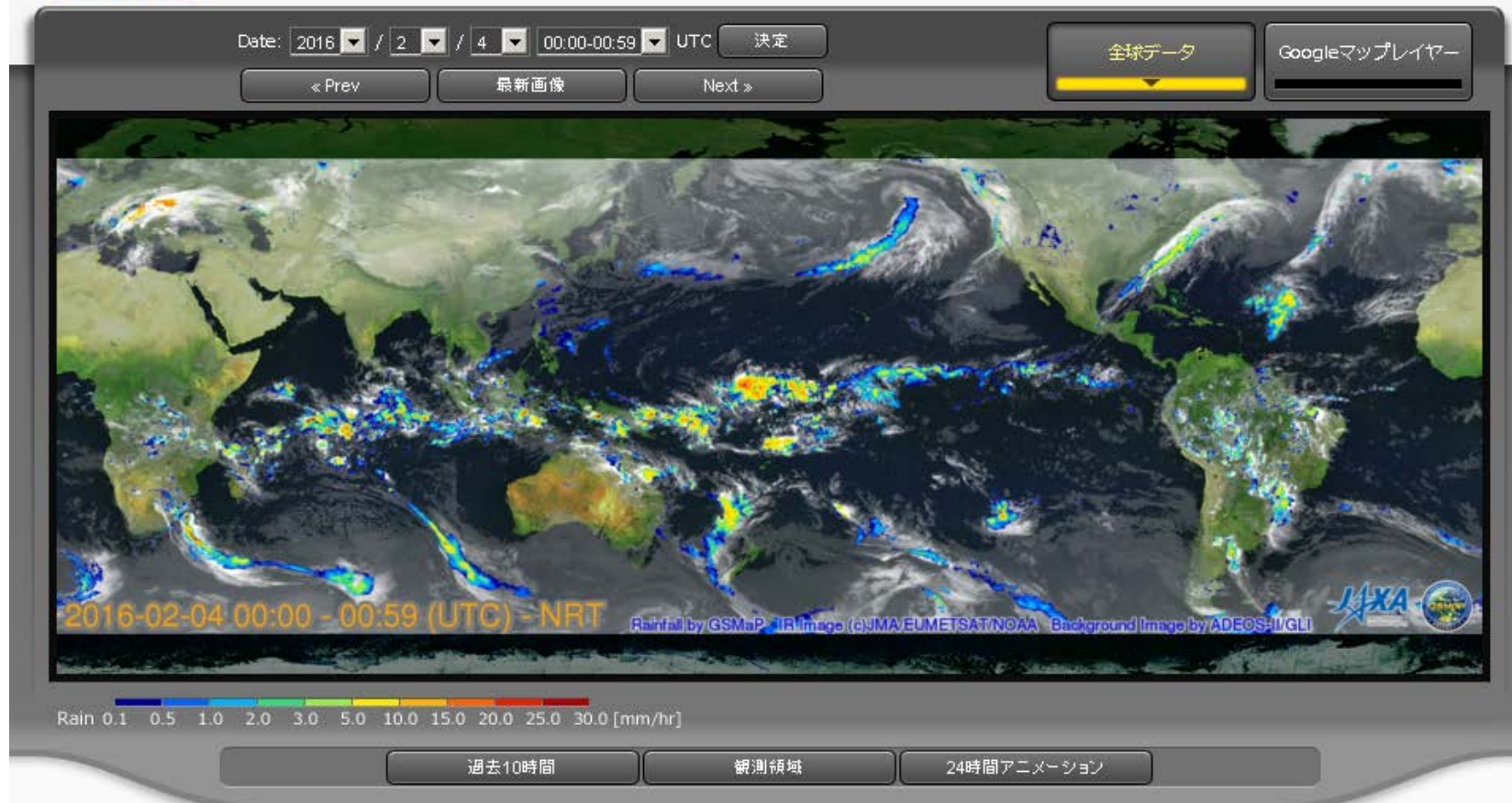
地球観測データ画像例 (GSMP)

世界の雨分布速報 JAXA GLOBAL RAINFALL WATCH



衛星全球降水マップ
GSMP
GLOBAL SATELLITE MAPPING OF PRECIPITATION

▶ ENGLISH 最終更新: 2016年02月04日 13時53分37秒(JST) (2016/02/04 04:53:37 UTC)



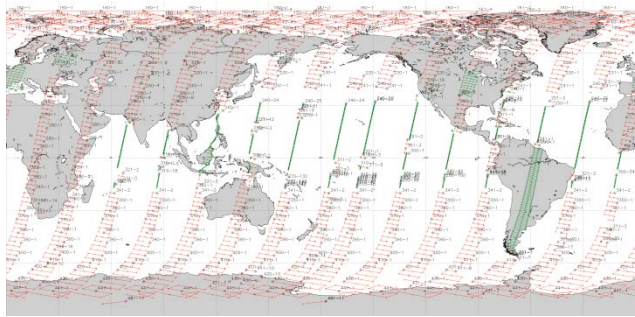
- 世界の雨分布速報では、世界の雨分布を準リアルタイム(観測から約4時間遅れ)で1時間ごとに複数の衛星(GPM-Core GMI, TRMM TMI, GCOM-W AMSR2, DMSPシリーズ SSMIS, NOAAシリーズ AMSU, MetOpシリーズ AMSU, 静止気象衛星 IR)を利用して提供しています。なお、背景の雲画像には、海洋大気庁(NOAA)気候予測センター(CPC)の作成による全球雲データを利用しています。このデータは、気象庁の静止気象衛星ひまわり(MTSAT)、米国海洋大気庁(NOAA)の静止気象衛星GOES、欧州気象衛星機関EUMETSATの静止気象衛星MeteosatのIR情報を利用しています。

地球観測データの処理について(1/2)

GOSAT(温室効果ガス観測技術衛星:いぶき)の例

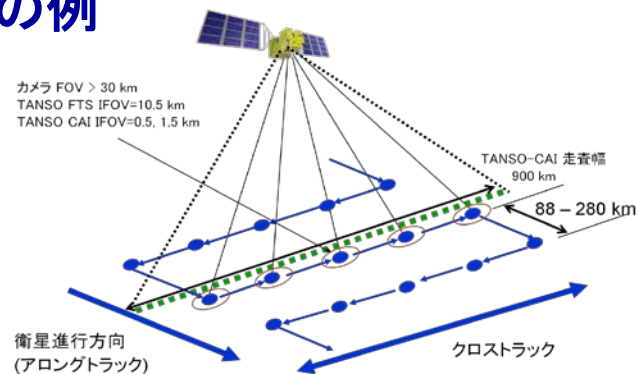
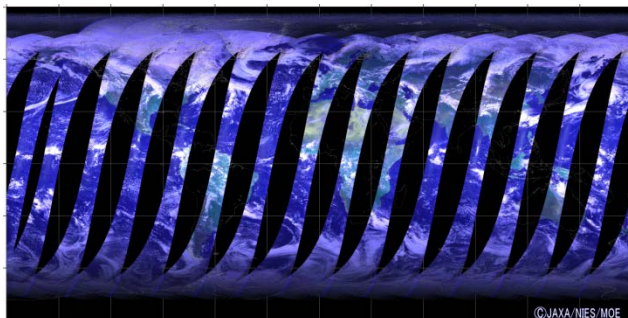
GOSAT
TANSO-FTS

日照域の観測点
1日分の例

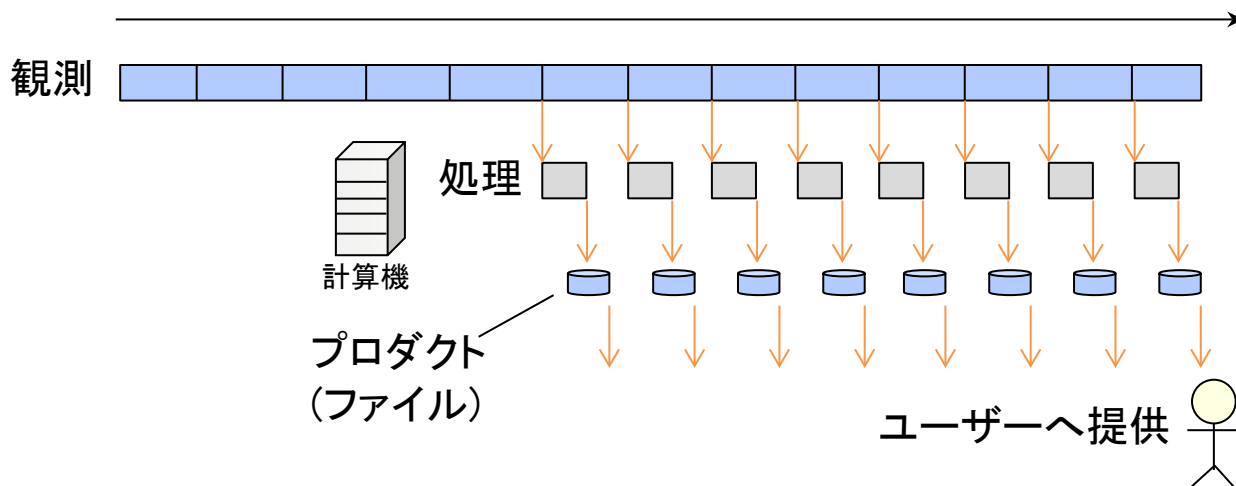


GOSAT
TANSO-CAI

日照域の観測
1日分の例

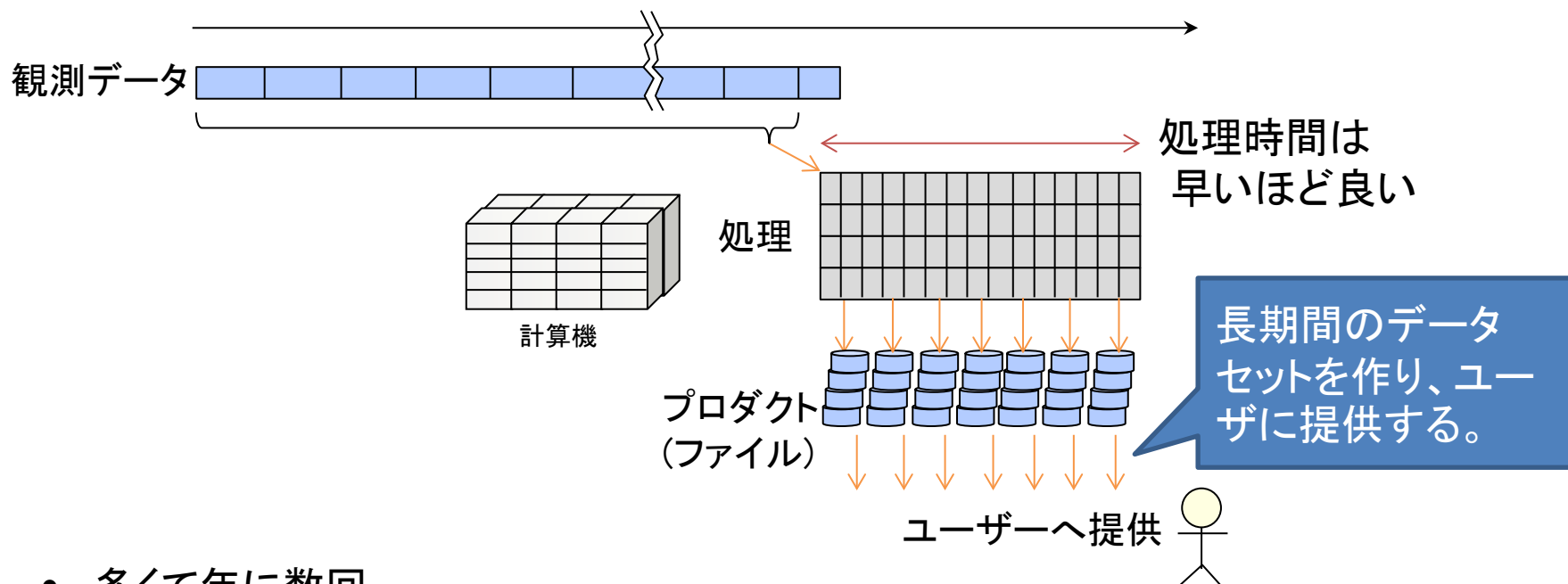


- 地球上を帯状に連続観測(CAI)、または飛び飛びに複数点観測(FTS)
- 分割して定常的に処理
- 処理結果(プロダクト)ファイルユーザーへ提供
- プロダクトは**JAXAが品質保証**



地球観測データの処理について(2/2)

再処理が必要: 過去に観測した全てのデータを処理し直す
—校正係数の変更、アルゴリズムの改訂、等による—



- 多くて年に数回
- 観測が長期化するとデータ量も膨大に
- 定常処理との計算資源の競合を避けるため、同時期に同構成の計算機をプラス α して調達し、維持する必要がある
- 計算機の換装時には構成を変更せざるを得ず、品質保証の観点から、**プロダクトの同一性が検証必須**

1. ゴールと背景

- 目的

- 再処理のスループットを大幅に向上させ、再処理データ(プロダクト)のユーザー提供を迅速化する.
- その手段としてJAXAスーパーコンピュータシステム(JSS2)を有効に活用する仕組みを作る.

- ゴール

- 従来は年単位の時間を費やした再処理を数日～十数日間に短縮する.
- これにより、防災・減災などの社会利用、地球環境変動の研究利用などに大きく貢献することが目標

1. ゴールと背景

- 背景

- 処理アルゴリズムがバージョンアップされる見込みの地球観測衛星データが大量にある。再処理後に出力されるデータ量は
 - TRMM: 148TB (17年分)、AMSR-E: 7~12TB (10年分)、GOSAT: 55TB以上 (6.5年分以上)、GPM: 360TB以上 (7年分以上)
- 従来は再処理に年単位の膨大な時間を要していた。しかも衛星の運用期間が延びると、それに比例してデータ量が増え、再処理時間も伸びるという特性がある。
- 従来はミッション毎に再処理設備を整備し、5年毎に換装してきたが、利用頻度が少ないことを考慮すると、JAXAの共通設備であるスーパーコンピュータを利用する方が、総費用を抑えられる見込みが出てきた。

ミッション毎のJSS2での再処理予定時期と必要なリソース

		FY27(FY2015)				FY28(FY2016)	FY29(FY2017)	FY30(FY2018)
	JSS2での再処理時期と利用サブシステム	Q#1	Q#2	Q#3	Q#4	地球観測データ高速処理は重点利用テーマに選ばれ、GPM, TRMM, AMSR-E, GOSAT, GOSAT-2が含まれる。		JSS3部分運用開始△
AMSR-E	2015年8月(PP) 2016年以降(PP)	レベル1処理(旧ver.) 入力: 2TB(済) ?ノード 出力: 7TB (10年分) 準備				レベル1処理(新ver. 修正版) 入力: 2TB(済) ?ノード 出力: 12TB (10年分) 準備		
						レベル2・3処理 入力: 12TB ?ノード 出力: 6TB (10年分)		
GOSAT	2015年10~11月(PP) FY2016	試験処理、精度比較、FTSレベル1再処理 入力: 45TB (6月までに済) 30ノード 出力: 45TB (6.5年分)				CAI再処理検証(TBD) ->->		
GOSAT-2						GOSAT-2打上げ EndtoEnd試験 ↑		
TRMM/PR	FY2017後半、FY2019後半(TBD)(PP or MA) FY2018前半(TBD)(PP or MA)	準備				TRMM(V8)再処理 入力: 13TB 20ノード 出力: 396+?TB (17年分) SAOC: 148TB EORC: 248+?TB		
						GSMaP & GSMaP CLIM再処理 入力: 14TB (5年分) 20ノード 出力: 30+?TB (5年分) SAOC: 1TB EORC: 29+?TB		
GPM/DPR	FY2016 (PPorMA) FY2017前半~(PPorMA)					GPM(V5)長期試験処理 入力: 4TB (3年分) 20ノード 出力: 140+?TB (3年分) SAOC: 57TB EORC: 80+?TB		
						GPM(V6)再処理 入力: 7TB (5年分) 20ノード 出力: 228+?TB (5年分) SAOC: 95TB EORC: 133+?TB		

2. JSS2利用の方法(1):処理アルゴリズムの移植と検証(1/4)

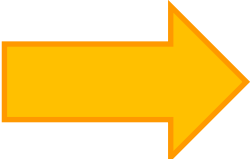
- GOSAT処理アルゴリズムの移植と検証
 - 第一宇宙技術部門が主体となって、JAXAスーパーコンピュータ活用課の協力を得て、日本電気株式会社に作業を委託し、L1処理アルゴリズムの移植を実施した。
 - 移植したソフトウェアによって作成されたデータに標準品との差異がある場合、アルゴリズム開発を総括するJAXA/EORC(地球観測研究センター)の助言を受けながら精度検証を進めた。
- プログラミング／実行環境

区分	JSS2	GOSAT運用環境
CPU アーキテクチャ	Intel Xeon E5-2643 v2	Intel Xeon E5640
ソフトウェア (OSとコンパイラ)	RHEL 6.4 gcc4.4.7	RHEL 5.5 gcc4.1.2

日本電気株式会社, 「温室効果ガス観測センサ(FTS)処理固有部ソフトウェアの移植」(JX-PSPC-421815)成果報告書(GOSAT-H27移植-提005)

2. JSS2利用の方法(1):処理アルゴリズムの移植と検証(2/4)

- GOSAT処理アルゴリズムの動作確認
 - 運用システムの環境とJSS2のシステム環境との違いによるMakefileの修正, 各種PATHの設定などの修正を要した.
 - アルゴリズムに係わるプログラムの改変は無し. C言語規約の厳密化に伴う変更などあり.
- GOSAT処理アルゴリズムの精度検証の結果
 - L1プロダクトの数値の差異については, 許容範囲であると判断された.
 - 6.5年分のデータのうち、2カ月分(2013年4月, 2015年4月)のデータを使用.
 - JSS2で行ったL1処理の結果、得られたプロダクトと、筑波宇宙センターにて作成したプロダクトとを比較.
 - 誤差の発生要因としてはコンパイラバージョンの差異、三角関数やフーリエ変換のライブラリの仕様の違いなどが考えられる.



EORCと共に移植に伴うデータ品質の問題はないと判断した.

性能の検証結果(後述)により, 再処理にJSS2を活用することを決定した.

2. JSS2利用の方法(1):処理アルゴリズムの移植と検証(3/4)

- GPM/GSMaP処理アルゴリズムの移植と検証
 - 富士通株式会社に作業を委託し、DPRのL1, L2, L3処理アルゴリズム, 及び, GSMaP処理アルゴリズムの移植を実施した。
 - GOSAT処理アルゴリズムのケースと同様に, アルゴリズム開発を総括するJAXA/EORC(地球観測研究センター)の助言を受けながら精度検証を進めた。
- プログラミング／実行環境

区分	JSS	GPM運用環境
CPU アーキテクチャ	Intel Xeon E5-2643 v2	Intel Xeon E5640
ソフトウェア (OSとコンパイラ)	RHEL 6.4 インテル・コンパイラ (Intel Cluster Studio XE 2013)	RHEL 6.3 インテル・コンパイラ (Intel Cluster Studio XE 2013)

富士通株式会社, 「全球降水観測計画(GPM)プロダクト再処理時のJAXA SupercomputerSystem 2 (JSS2) 利用検討(その2)」(JX-PSPC-410301) 成果報告書 (FJ-GPM-JSS2利用検討-14-020)

2. JSS2利用の方法(1):処理アルゴリズムの移植と検証(4/4)

- GPM/GSMaP処理アルゴリズムのSORA-PP (JSS2のIntel CPUによるPCクラスタ) への移植
 - GOSATのケースと同様, 運用システムの環境とJSS2のシステム環境との違いによるMakefileの修正, 各種PATHの設定などの修正を要した.
 - プログラムの改変は不要であった.
 - 全種類のプロダクトについてデータの完全一致を確認した. プログラミング環境が一致しているためである.
- 同アルゴリズムのSORA-MA (JSS2のメインシステム, SPARC64XIfxプロセッサ使用) への移植
 - バイトオーダーの差異
 - コンパイラ, ライブラリの差異によるデータ差異
 - GPM処理ソフトウェアの一部をSORA-MA環境に移植することで、エンディアンの違いやコンパイラ変更に伴う修正など、移植のノウハウを取得.

富士通株式会社, 「全球降水観測計画(GPM)プロダクト再処理時のJAXA Supercomputer System 2 (JSS2) 利用検討(その2)」(JX-PSPC-410301) 成果報告書 (FJ-GPM-JSS2利用検討-14-0020)

3. JSS2利用の方法(2):性能測定と運用性検証(1/2)

- GOSAT処理(JSS2上)の単体性能の測定
- 再処理用の実行スクリプトの作成と効果
 - JSS2の特徴に合わせたスクリプトをFY26に作成
 - 効率的な処理シーケンスを実現
 - 処理期間を引数で指定できる等の利便性を考慮
 - 「校正とL1を処理」「校正のみ処理」「L1のみ処理」を指定可能
 - 「FTSのみ」「CAIのみ」「FTSとCAI」を選択可能
 - 全ての校正処理→観測処理の順で処理
 - FY27に以下の点を改良
 - 再処理結果を容易に認識できるようにする。
 - 進捗を容易に認識できるようにする。
 - エラーログを容易に識別・確認することができる。
 - エラーとなった処理を容易に識別し、再投入できるようにする。
 - 正常終了した処理の中間ファイル(ログ以外)を自動的に削除。

日本電気株式会社, 「温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)温室効果ガス観測センサ及び雲・エアロゾルセンサ(TANSO)レベル1プロダクト再処理時のJAXAスーパーコンピュータシステム2(JSS2)利用検討」(JX-PSPC-406216) 成果報告書(GOSAT-H26検討-提005)

日本電気株式会社, 「温室効果ガス観測センサ(FTS)処理固有部ソフトウェアの移植」(JX-PSPC-421815) 成果報告書(GOSAT-H27移植-提005)

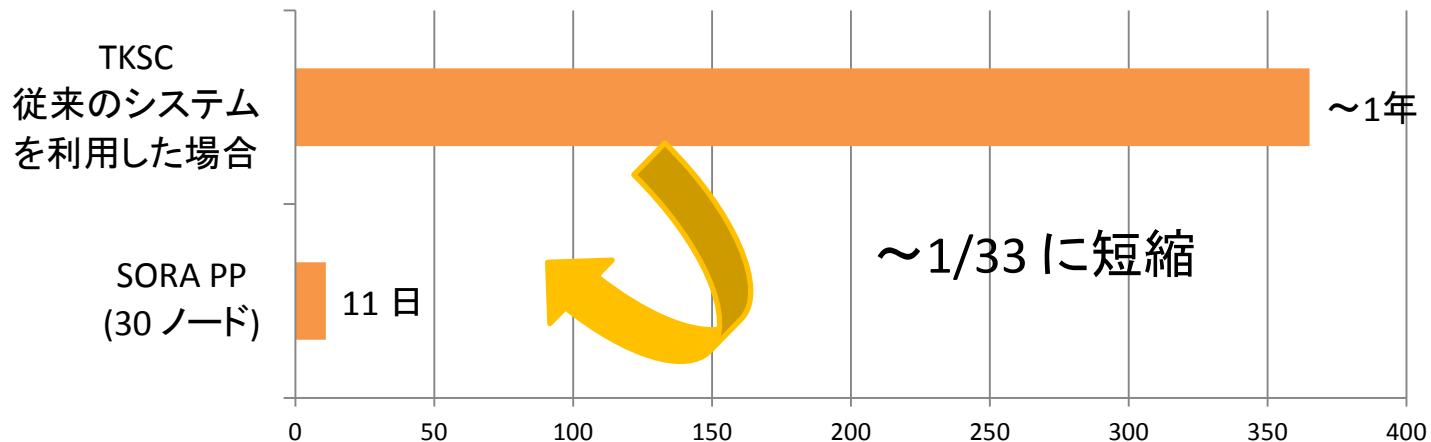
3. JSS2利用の方法(2):性能測定と運用性検証 (2/2)

- GPM/DPR処理(JSS2上)の単体性能の測定
- GSMaP処理(JSS2上)の単体性能の測定
 - 一部のアルゴリズムが、その特性上、並行実行できず、観測時間に沿って過去から未来へ逐次的に処理しなければならない。スループットの制約となる。
- 並行処理の効率化
 - MPIライブラリを活用し、複数のジョブを同時実行する機能を作りこんだ(処理投入MPI機能と呼んでいる)。これを用いた並列ジョブ実行によるスループットの大幅向上の見通しを得た。
- H28年度、試験的な再処理を行う予定。ここでスループットの実力値(目標13倍)を評価する。

富士通株式会社,「全球降水観測計画(GPM)プロダクト再処理時のJAXA Supercomputer System 2(JSS2)利用検討(その2)」(JX-PSPC-410301)成果報告書(FJ-GPM-JSS2利用検討-14-0020)を基に作成

4. GOSAT再処理運用の成果

- 2015年11月に6.5年分の観測データの再処理 (V201) を実施, 完了した.
 - 従来の運用システム (TKSC) を用いた場合, 約1年間を要すると見積もられた再処理を11日間で完了した.



- 処理はSORA-PPの30ノード (60CPU, 360コア) を期間を定めて占有し, 最大限の実行効率を達成.
- 本年1月より機関ユーザーへのプロダクト提供を開始している.

5. 考察

- 同等のスループットを達成するためにかかる
計算機調達のコスト
- データ容量と計算量/データ転送帯域の増大
- JSS2重点課題となったことの効果
- NASAの事例
 - OCO2 Reprocessing Campaign (JPL, GSFC)

5. 考察：計算機調達のコスト

- 同等のスループットを達成するために要する計算機調達コストは、JSS2への移植，データ輸送のコスト等を考慮しても，10倍以上に達すると考えられる。

5. 考察：データ容量と計算量/データ転送帯域の増大

- 今後数年の再処理予定とデータ容量

	FY27	FY28	FY29	FY30
GOSAT	FTS Level 1: 45TB	CAI Level 1: ??TB		
TRMM/PR		V8(testing): 44TB	V8: 148TB	
GPM/DPR		V5(Testing) : 57TB		V6: 96TB

- JSS2-TKSC間のデータ転送に必要な帯域は1.6Gbps
 - 取り扱うデータ量が大きい最初の計画はFY29のTRMM(V8)再処理であり、再処理後、ユーザに提供すべきデータ量は148TB
 - TRMMはJAXAとNASAの共同プロジェクトなので、NASAでも同時に再処理・提供されるので、NASAに負けないように短時間で提供できるように1年分(148TB/17年=8.7TB/年)を2～3日以内に再処理・伝送できることが必要である。
 - このため、伝送に使える時間を12時間(半日)と考えると、必要な伝送速度は8.7TB/12時間=1.6Gbpsとなる。

5. 考察：JSS2重点課題となったことの効果

- 「地球観測データ高速処理」は重点利用の一つに選定（2015年10月より，JAXA内の情報化促進会議スーパーコンピュータ運用検討分科会にて決定）
 - 優先度が高く，通常の実行でもジョブが流れやすい。
 - 申請により，ノードを占有することが可能．GOSAT再処理で高い効果を達成。
 - 重点利用のテーマに選定されていなければ，混んでいるため，数日間の待ち時間が発生中。

5. 考察：NASAの事例 OCO2 Reprocessing Campaign (JPL, GSFC)

- Pleiades (Ames Research Center) 活用事例
 - OCO2の10か月分の観測データを処理(2015年). そのうち60%にNASAのスパコンPleiadesを活用
 - Haswell Nodes(2088ノード, 4176CPU)のうち, 500ノードを利用し, 140万CPU(コア)時間を使用.
 - 処理に当たって, データ転送ツール(JPL-Ames)を同時に開発したとのこと.
- OCO2(Orbiting Carbon Observatory-2): 大気中の二酸化炭素濃度を観測するNASAの衛星で2014年7月2日打上げ. OCOは2009年2月24日に打上げ失敗. grating spectrometerを搭載.

6. 結論

- JSS2利用効果
 - GOSAT/TANSO-FTSデータのL1再処理を従来の33倍の速度で実施できた.
- 他プロジェクトでの利用の拡大
 - GPM/DPR及びTRMM/PR処理: FY29の本格利用に向けて準備中. GPM/DPRで13倍に高速化できる見込み.
 - GSMaP処理: FY30頃の本格利用に向けて準備中.
 - AMSR2/AMSR-E処理: FY27にL1再処理の実績, FY28にL1再処理の計画あり.

7. 今後の課題と展望

- データ転送の高速化：JSS2-TKSCのオンライン化，運用の自動化
- エンドユーザーへの提供の効率化
 - 機関ユーザーへの提供：GOSAT方式（再処理済みの大容量データを直接，機関ユーザーに提供できる仕組み）を構築できることが望ましい
 - 一般ユーザーへの提供：G-Portal（筑波の地球観測データ用WEBサーバー）への高速データ格納