

地球観測衛星データの保存・配布システム

Earth Remote Sensing Data Archive and Distribution System

あらまし

地球環境問題に貢献するために米国NASAが提唱した国際共同プロジェクトにEOS (Earth Observing System) 計画がある。我が国も経済産業省主導のもと、ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) プロジェクトとして、地球観測センサASTERの開発、ASTER地上データシステムの開発、およびデータ処理アルゴリズムの開発の形でEOS計画に参画している。富士通は、センサ開発、地上システムの開発、処理アルゴリズムの開発のいずれにおいても、その一翼を担ってきた。

本稿では、ASTER地上データシステムの1サブシステムとして、富士通が開発したデータ保存・配布設備 (DADS: Data Archive and Distribution Subsystem) の概要と構成を紹介するとともに、開発の過程で直面した問題と解決に至った技術的アプローチについて紹介する。

Abstract

The Earth Observing System (EOS) program is an international cooperation project initiated by NASA to help solve global environmental problems. Japan's Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) participated in the project and developed an earth-observing sensor called the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), the ASTER Ground Data System, and various ASTER processing algorithms. Fujitsu contributed to each of these ASTER developments.

In this paper, we introduce the Data Archive and Distribution Subsystem (DADS), which is a subsystem that Fujitsu developed for the ASTER Ground Data System. This introduction includes a description of the subsystem's architecture. We also describe how we resolved the system performance problems that we encountered during the subsystem's development.



佐藤弥之助 (さとう やのすけ)
科学システム統括部宇宙システム部
所属
現在、気象衛星データ処理システム、
リモートセンシングデータ地上シス
テムの開発に従事。



有山俊朗 (ありやま としあき)
科学システム統括部地球科学システ
ム部 所属
現在、リモートセンシング地上デー
タシステムの開発に従事。

まえがき

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) プロジェクトは、日本の経済産業省と米国NASAとの共同プロジェクトである。ASTERは、経済産業省が開発した地球観測センサであり、NASAの人工衛星Terraに搭載されている。Terraは、地球環境問題の探求のためにNASAが推進するEOS (Earth Observing System) 計画の主要な人工衛星であり、1999年12月に米国で打ち上げられ、ASTERセンサを含めて順調に稼働を続けている。

ASTERセンサの運用はセンサ開発国である日本が担当し、観測データについても日本においてデータ処理、保存、管理を行う。さらに、処理されたデータ（プロダクトと呼ばれる）は、利用者の要求に基づいて配布される。この一連の役割を担うのがASTER地上データシステム（ASTER Ground Data System, 以下ASTER GDS）であり、財団法人 資源・環境観測解析センター（Earth Remote Sensing Data Analysis Center, 以下ERSDAC）により開発された。

ASTER GDSの役割と、日本側ERSDACと米国側NASAとの協力関係を図-1に示す。ASTERにより観測されたデータは、Terraから地上にデータ転送される。データ受信は、米国NASAで行われ、テープ媒体に格納

表-1 ASTER標準・準標準プロダクト⁽¹⁾

プロダクト種別	説明	地上分解能	
レベル1A	補正情報が付加された画像	VNIR : 15 m SWIR : 30 m TIR : 90 m	
レベル1B	放射量補正/幾何補正が行われた画像	VNIR : 15 m SWIR : 30 m TIR : 90 m	
高次プロダクト	色強調した無相関ストレッチ画像	相対放射率TIR	90 m
		相対放射率VNIR	15 m
		相対放射率SWIR	30 m
	大気補正された地表放射輝度画像 (大気の影響を除去した地表の状態が分かる。)	地表放射輝度VNIR	15 m
		地表放射輝度SWIR	30 m
		地表放射輝度TIR	90 m
	地表温度	地表温度TIR	90 m
	地表放射率	地表放射率TIR	90 m
	地表反射率	地表反射率VNIR	15 m
		地表反射率SWIR	30 m
正射影画像 (地形図と対応可)	地形補正画像	-	
デジタル標高データ	相対DEM XYZ	30 m	
	相対DEM Z	30 m	

VNIR, SWIR, TIRはASTERの3タイプのセンサを表し、各々異なる波長帯域の電磁波を観測する。
DEM : Digital Elevation Model
VNIR : Visible and Near-infrared Radiometer
SWIR : Short Wave Infrared Radiometer
TIR : Thermal Infrared Radiometer

されたレベル0データ^(注1)として日本に空輸される。ASTER GDSでは、レベル0データを受領し、保存・管理する。このレベル0データをもとに、表-1に示す各種プロダクトを作成し、保存・管理する。作成されたプロ

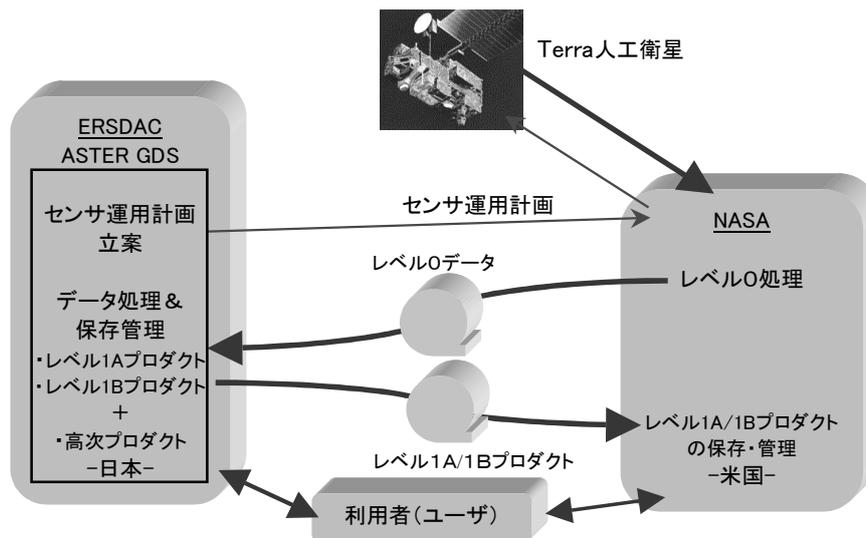


図-1 ASTER地上データシステムの役割とNASAとERSDACとの連携⁽¹⁾
Fig.1-Collaboration of NASA and ERSDAC and role of ASTER Ground Data System.

(注1) レベル0データとは、衛星から受信した観測データを時系列にまとめ直したものである。

ダクトは利用者に提供される。基本的な補正処理が施されたレベル1Aプロダクト、レベル1Bプロダクトは、NASAに送付され、日米双方で管理される。

富士通は1994年から、ASTER GDSの開発に従事し、データ保存・配布設備（DADS：Data Archive and Distribution Subsystem）を2000年に完成させた。

本稿では、DADSの概要と特徴を中心に紹介を行う。さらに、システムの性能改善のために適用した技術手法についても紹介する。

ASTER地上データシステムの構成

ASTER GDSは、図-2に示すとおり、大きく三つの設備から構成され、さらに各設備は複数のサブシステムに分かれている。

(1) ASTER 運用セグメント（AOS：ASTER Operation Segment）

ASTERセンサによる地球観測運用を担うとともに、ASTERセンサの稼働状態を監視する。

(2) サイエンスデータ処理セグメント（SDPS：Science Data Processing Segment）

つぎに挙げる各種機能を有する。

- ・利用者からの観測要求，プロダクト要求を受け付ける。
- ・NASAより受領するレベル0データをもとにして，表-1に示した各レベルのプロダクトの生産計画を立案し，データ処理を行う。
- ・作成されたプロダクトを保存・管理する。
- ・プロダクトを各種メディア（CD-ROM，8mmテー

プ，DVDなど）に媒体変換し利用者に配布する。

(3) 通信・システム管理セグメント（CSMS：Communication and System Management Segment）

ASTER GDSの各設備間をネットワークでつなぎ、各設備、サブシステムの状態監視を行う。

富士通が開発したデータ保存・配布設備（DADS）は、SDPSに属するサブシステムである。

SDPSは四つのサブシステムから構成される。

- ・IMS（Information Management Subsystem）：利用者からの窓口となるサブシステムであり、データ観測要求とプロダクト要求の受付を行う。
- ・DADS：NASAからのレベル0データ，プロダクトとそのほか関連情報（サイエンسالゴリズムのドキュメントやプログラムなど）を保存・管理するとともに、利用者からの要求に応じてデータ提供を行う。
- ・PGS（Product Generation Subsystem）：観測データを処理し、ASTERプロダクトを作成する。その画像品質についてもチェックを行う。
- ・SISS（Software Implementation Support Subsystem）：研究者がデータ処理アルゴリズムを開発する設備である。

DADSは、SDPSの各サブシステムで処理されるデータの流れの中心に位置している。

データ保存・配布設備（DADS）の概要

DADSは次に示す主要機能を有する。

- (1) NASAからレベル0データを受領する。レベル0

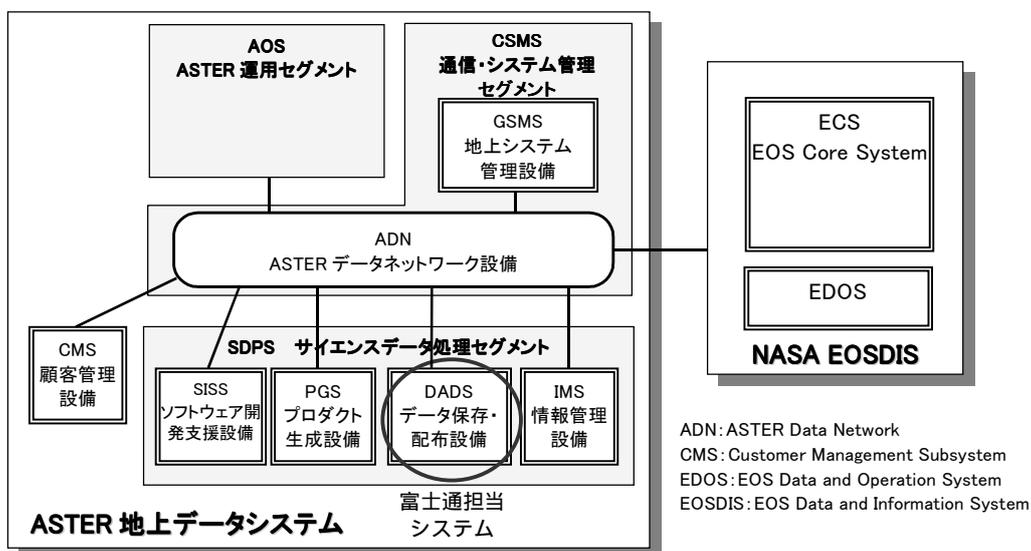


図-2 ASTER地上データシステムのシステム構成⁽¹⁾
Fig.2-Diagram of ASTER GDS structure.

データには2タイプあり、一つはPDS (Production Data Set) と呼ばれ、大容量磁気テープ媒体で米国より送付される。もう一つはEDS (Expedited Data Set) と呼ばれ、日米間のネットワーク回線経由で転送される。DADSはこの両タイプのレベル0 データを受付け、データをテープライブラリ装置に保存し、データ管理情報をデータベースに格納する。

- (2) レベル0 データからレベル1Aプロダクトを生産する計画、レベル1Aプロダクトからレベル1Bプロダクトを生産する計画を立案し、PGSにおけるプロダクト生産を制御する。
- (3) PGSで生産されたレベル1Aプロダクト、レベル1Bプロダクトをテープ媒体に格納し、NASAへ送付する。
- (4) IMS経由で受信する利用者からのプロダクト要求に基づき、レベル1Bプロダクト、高次プロダクトの生産計画を立案し、PGSにおけるプロダクト生産を制御する。
- (5) IMS経由で受信する利用者からのプロダクト要求に基づき、CD-ROM、8mmテープ、DVDなどの各種メディアにプロダクトを格納し、利用者に配布する。
- (6) ASTERプロダクトと関連データを20年間にわたり保存・管理する。

データ保存・配布設備 (DADS) のシステム構成

図-3に示すとおり、DADSは五つのサブシステムから構成した。

(1) システム管理サブシステム

DADSは13台のUNIX計算機と1台のパーソナルコンピュータから構成される分散処理システムである。本サブシステムは、この中の基盤として位置付けられる。システム管理サブシステムの提供する機能により、運用者は簡単な操作によりDADS全体の運用管理ができる。また、各計算機の稼働状況や発生したアラーム情報を収集

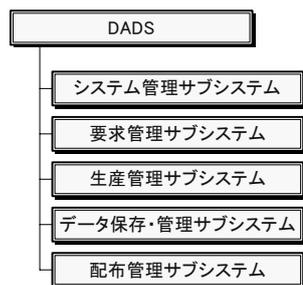


図-3 DADSのサブシステム構成
Fig.3-DADS subsystem architecture.

しており、運用者はDADSの状態を一元的に管理することができる。

(2) 要求管理サブシステム

このサブシステムはASTER GDSの他設備からの処理要求を解析し、DADS内の各サブシステムに処理を依頼する。通信は本サブシステムで管理され、通信ログを収集している。また、DADS外部の各種インタフェース仕様の違いを吸収することにより、DADS内部のインタフェース仕様を統一する役割を担っている。

(3) 生産管理サブシステム

PGSの生産処理枠と処理優先度を考慮したプロダクト生産計画を立案する。立案した計画をPGSに送付し生産を制御する。PGSにおける生産状況を監視し、生産結果を次サイクルのプロダクト生産計画にフィードバックする機能を有する。

(4) データ保存・管理サブシステム

レベル0 データや、ASTERプロダクトのメタデータ (観測日時、観測地点、品質情報などの管理情報) をデータベースで管理する。データ本体を大容量テープライブラリ装置に保存し、その管理情報をデータベースに格納することを「データ登録」処理と呼ぶ。このデータ登録は、他設備からの要求により処理される。6年間の運用期間中に登録されるプロダクトと関連情報は、500万件以上に達する膨大な量となる。このデータを保存するため、大容量ストレージシステムであるテープライブラリ装置を使用している。これは、一つのライブラリ装置にテープ媒体を約6,000巻格納することができるものである。テープ媒体としては、50 Gバイト/巻と25 Gバイト/巻の2タイプを利用し、プロダクトデータサイズなどの特性に応じて使い分けをしている。

(5) 配布管理サブシステム

ASTERプロダクトを各種物理媒体 (CD-ROM、8mmテープ、4mmDAT、1/4インチテープ、5インチMO、DVD-RAM) に格納し、利用者に配布する。

DADSと他設備との連携、およびDADS内サブシステム関連の連携を図-4に示す。同図に示すとおり、各サブシステム間で連携しながら、NASAとのデータ授受、ユーザ要求対応、プロダクト生産制御といった一連の機能を実現している。

システムインテグレーションの問題と解決

データ登録処理の性能改善

システム開発の過程で、前述のデータ登録処理におけ

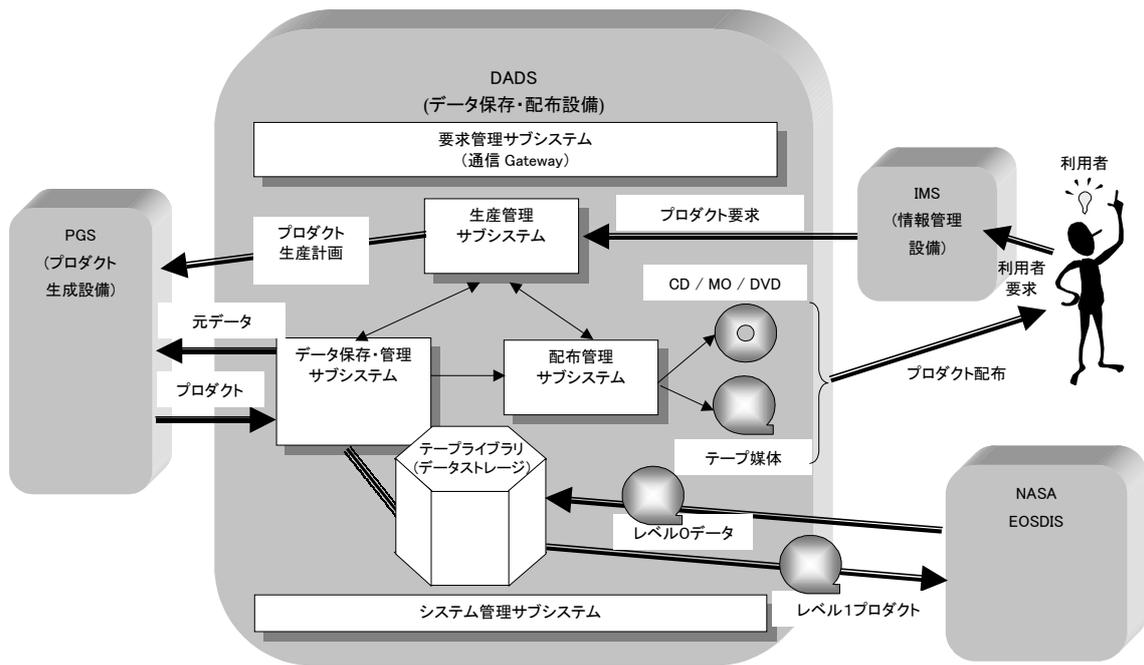


図-4 DADSシステム構成とサブシステム間連携
Fig.4-Schematic view of DADS architecture and subsystems collaboration.

る性能検証を行った。通常運用においては、1日あたり1,400シーン（約140 Gバイト）に及ぶ大量のプロダクトデータと関連のブラウザデータがPGSからDADSに対して登録される。ブラウザデータは、プロダクト画像1シーンについて一つ作成される簡略画像である。

開発工程後半のシステム試験において、通常運用を想定したPGSとDADSを含む結合試験が実施されたが、1日分の登録処理を24時間以内に完了することが困難であることが判明した。

データ登録処理は3ステップから成り、第1ステップ

はPGSからDADSにプロダクトを転送する処理である。第2ステップは、転送したプロダクトデータをテープライブラリ装置に保存する処理である。第3ステップは、プロダクト情報をデータベースに格納する処理である。このデータ登録処理は、PGSからの要求をトリガとして起動される。要求の発生はPGSにおける処理状況に依存する。すなわち、PGS、DADSはイベントドリブン型のシステムであり、バッチ処理的なシステムとは異なる設計で開発されている。

イベントドリブン型のシステムで、イベント発生のパ

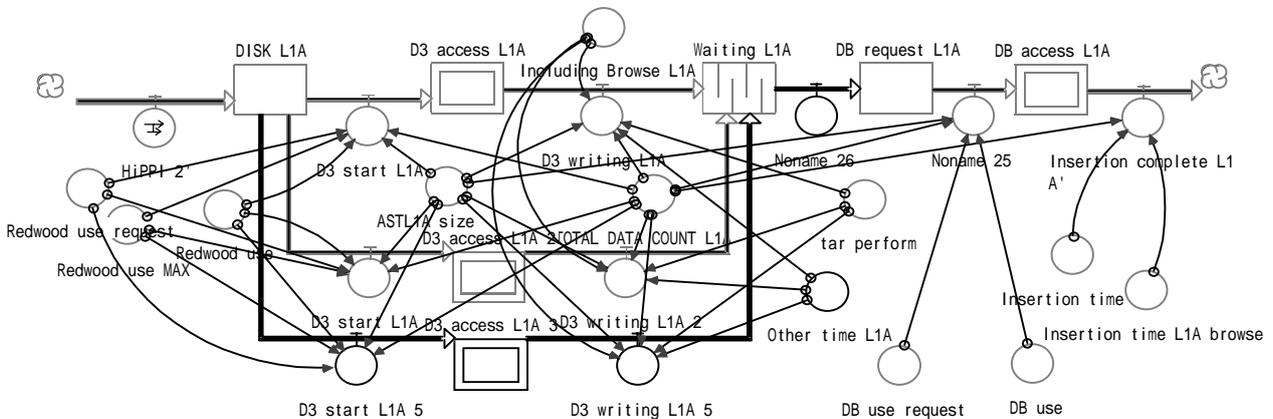


図-5 シミュレーション用データフローモデル例
Fig.5-Example of model structure extracted from total simulation data flow model.

ターンが多様かつ予測困難な場合は、実運用もしくはそれに近い運用を行うまでは、システムの動作や性能が推測しにくいことがある。今回のケースはまさにこれに該当した。

そこで、PGS、DADSが連携した際のシステムの動特性を把握し性能問題を解決するため、著者らはコン

ピュータシミュレーションによる解析手法を適用した。

シミュレーション手法による解決

シミュレーション用のツールとして、“ithink analyst software (High Performance Systems, Inc.)”^{(2),(3)}を利用した。

ithinkソフトウェアでPGSとDADSを含むASTER

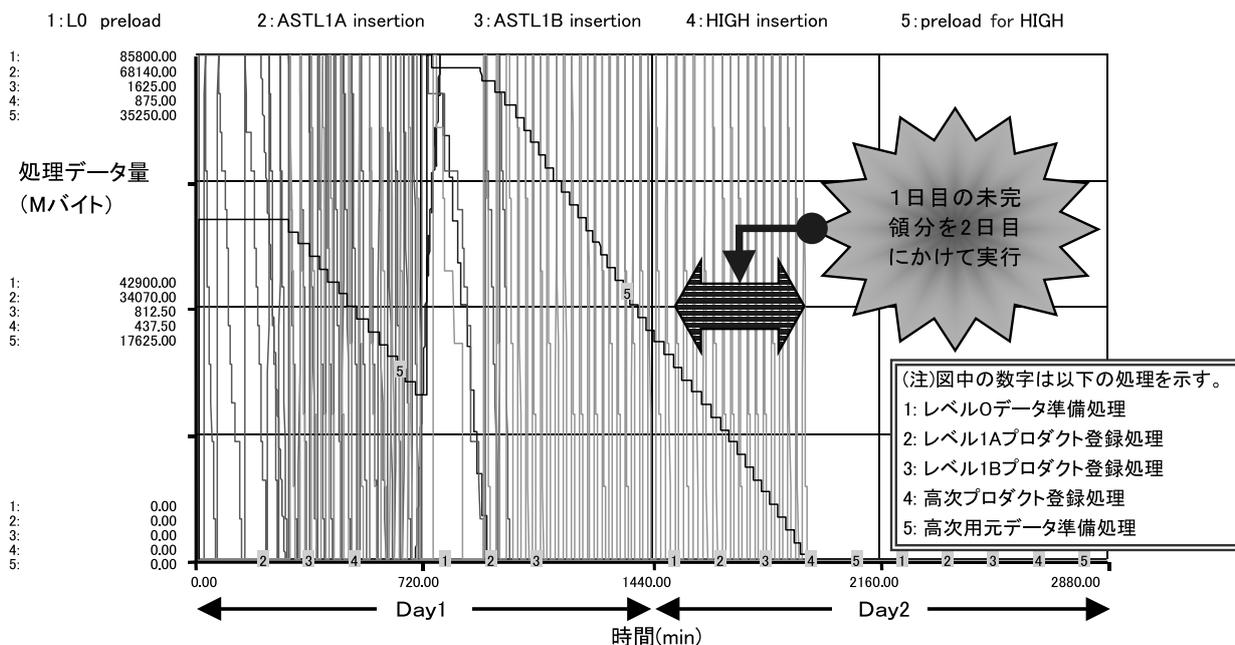


図-6 システム改善前のDADS挙動のシミュレーション
Fig.6-Simulated DADS dynamical behavior before improvement.

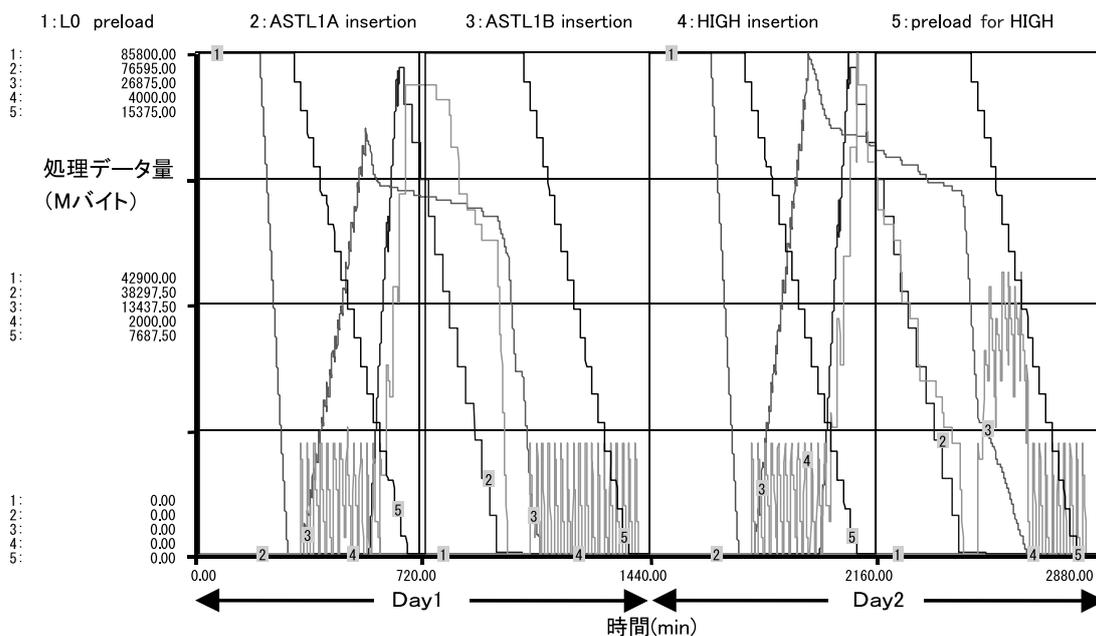


図-7 システム改善後のDADS挙動のシミュレーション
Fig.7-Simulated DADS dynamical behavior after improvement.

GDS SDPS設備のデータフローモデルを構築した。モデルを構成する要素として、動的に変化するPGS/DADS間のネットワーク転送性能、テープライブラリ装置のテープドライブ数とデータ入出力性能、データベースアクセス性能、PGSのCPU数などを設定した。作成したモデルの一部を図-5に示す。ツールを利用して時系列の差分方程式を解くことにより、システム挙動の可視化を行った。

様々な条件を与えたシミュレーションを実施し、DADSの動特性を中心に性能解析を行った。その結果、性能を阻害している要因を発見し、性能改善への解決方法を導くことに成功した。原因は大きく二つあり、

- (1) データ保存処理におけるテープマウント回数の増大が性能を劣化させていること
- (2) PGS, DADS連携において双方で処理待ち時間が発生していること

であった。

これら二つの要因を取り除くため、DADS, PGS双方でシステム改善を行った。具体的には、ブラウザデータ登録をプロダクト登録処理に含め一括処理することにより、テープマウント回数を減少させた{上記(1)への対応}。さらに、PGSからDADSへのデータ登録インタフェースの通信タイミングを双方で変更し、相手設備の処理待ちとなるアイドル時間の削減を図った{上記(2)への対応}。

シミュレーション結果を図-6, 図-7に示す。横軸は時間(2日間)である。縦軸は処理中のデータ量(Mバイト)であり、グラフ線が処理状況を表している。図-6は改善措置前のシステム挙動である。第1日目(Day 1)

の処理が第2日目(Day 2)まで伸びており、24時間で完了できていないことが分かる。一方、図-7は改善措置後のシミュレーション結果である。第1日, 第2日ともに24時間以内に処理が完了している。注目すべきは、図-7のシミュレーションにより、実際のシステムに手を加える前に、システム改修の効果を確認できる点である。

このようなシミュレーション手法により、ASTER GDSシステムの効率的な性能改善を達成した。

む す び

以上、ASTER GDSにおいて富士通が開発したシステムの紹介と、開発上の技術的課題とその解決について述べた。今後も、人工衛星による地球観測の重要性が高まることが予想され、観測データ利用の促進と、多様化する利用形態に対応したシステムの提供に、継続して貢献していきたい。

最後に、本論文で述べたシステムの開発に当たって、的確なご指導をいただいた(財)資源・環境観測解析センター殿、および関連機関の方々にこの場を借りて心からお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) (財)資源・環境観測解析センター：ASTER GDSホームページ
http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2000/index_j.html
- (2) High Performance Systems, Inc. : "An introduction to Systems thinking" itthink Analyst software V5.1.1 manual.
- (3) High Performance Systems, Inc. : "Technical Documentation" itthink Analyst software V5.1.1 manual.