全球降水観測計画を支えるGPM/DPRミッション運用系システム

GPM/DPR Mission Operation System to Support Global Precipitation Measurement

● 堤　純平　● 大堤新吾　● 押山知之　● 田島実香

あらまし

全球降水観測計画(GPM：Global Precipitation Measurement)は，十数機の人工衛星によって地球全体の降水を高精度・高頻度で観測する国際協力プロジェクトである。観測で得られたデータは，気象予報，防災，農業，水資源管理，教育などにおいて幅広く活用されている。富士通は，GPMの観測データの加工・配信・保管などを担うGPM/DPR(Dual-frequency Precipitation Radar)ミッション運用系システムを構築した。このシステムに対しては，プロダクト(観測データを加工して作成されたデータ)提供の即時性，可用性，加工処理制御の柔軟性の三つの面で高いレベルの要求があった。富士通は，これまで数多くの地球観測衛星の地上システムを構築してきた。これらの経験から得たノウハウを駆使して，システムインフラと業務アプリケーションの両面で施策を講じ，要求を実現した。

本稿では，GPM/DPRミッション運用系システムの特徴について述べる。

Abstract

Global Precipitation Measurement (GPM) is an international collaborative project for measuring the global precipitation through frequent high-precision monitoring involving more than ten satellites. The data thus obtained are put to a wide range of uses for the purposes of weather forecasting, natural disaster prevention, agriculture, water resource management, education, and so on. Fujitsu has developed a system to support the GPM/DPR (Dual-frequency Precipitation Radar) mission operations. This system processes, transmits and archives the GPM data. The system had three high-level requirements: speedy provision of the product (data generated through processing the observational data), availability, and flexibility in data processing control. Fujitsu has rich expertise in building ground systems for Earth observation satellites. Leveraging such expertise and know-how, Fujitsu developed measures in both system infrastructure and operational applications, and successfully met all the requirements. This paper explains the notable features of this GPM/DPR Mission Operations System.

ま え が き

全球降水観測計画（GPM：Global Precipitation Measurement）は，人工衛星によって地球全体の降水を高精度・高頻度で観測するプロジェクトである。日本，米国，フランス，インドなどが参加し，国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）と米国航空宇宙局（NASA）が中心となって推進している。GPMの中核となる人工衛星(主衛星)が，2014年2月28日に種子島宇宙センターから打ち上げられた。主衛星のほか，7機関が開発した15機の人工衛星が副衛星としてGPMに参加し,[1] 観測頻度の向上を図っている。

主衛星には，二周波降水レーダ（DPR：Dual-frequency Precipitation Radar）とGPMマイクロ波放射計（GMI：GPM Microwave Imager）の二つの降水観測センサーが搭載されている。JAXAと国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）が共同で開発したDPRは，豪雨，しとしと雨，雪などの多様な降水の3次元強度分布を観測できる。これは，ひまわりなどほかの気象衛星にはない特長である。NASAが開発したGMIは，一度に広い範囲を観測できることが特長である。DPRとGMIは，GPMにおける主要な観測データを取得する。更に，副衛星のセンサーに対する校正器の役割も果たす。主衛星で得られた高精度な観測データを用いて，副衛星に搭載されたGMIと同じ仕組みのセンサー（マイクロ波放射計）の誤差を是正するのである。

GPMで得られた観測データは，既に幅広く活用されている。[2] 例えば，気象庁の数値予報システムに入力され，予測精度の向上に役立っている。[3] 地上の観測網が行き届いていない発展途上国においては，洪水予報・警報システムの貴重な入力情報となっている。ほかにも，農業，水資源管理，教育などの分野で利用が拡大している。

富士通は，GPMの観測データ利用の中核を担う二つのシステムの構築・運用を担当している。地球観測衛星データ提供システム（G-Portal）とGPM/DPRミッション運用系システム（以下，ミッション運用系システム）[4],[5] である。G-Portalは，GPMをはじめとする地球観測衛星で得られたデータを一般の利用者に提供するシステムである。ミッション運用系システムは，GPM主衛星・副衛星による観測データの加工・配信・保管などを行う。

本稿では，ミッション運用系システムの特徴について述べる。

ミッション運用系システムの概要

GPMの観測データの流れ（**図-1**）の中で，ミッション運用系システムが担う役割を紹介する。

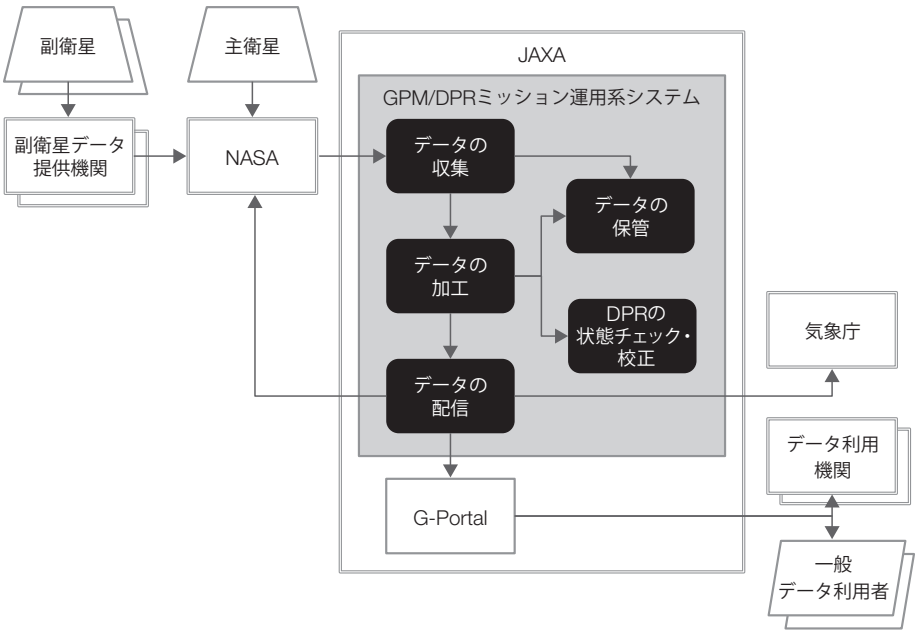


図-1　ミッション運用系システムの役割とGPM観測データ/プロダクトの流れ

（1）データの収集

NASAやJAXA内の他システムから，観測データやDPR状態データなどを取得する。

（2）データの加工

DPRの観測データから降水に関する情報を抽出する。またGPMの観測データに，雨量計による測定結果や気象庁から提供される数値予報値などを組み合わせて，全球降水マップ（GSMaP：Global Satellite Mapping of Precipitation）を作成する。

（3）データの配信

データの加工によって作成されたデータをNASAや気象庁などに配信する。なお，外部機関や一般の利用者に提供されるデータは，プロダクトと呼ばれる。

（4）データの保管

収集・加工したデータを長期間保管する。

（5）DPRの状態チェック・校正

DPRから出力されるデータを基に，DPRの状態をチェックする。また，DPRの校正に必要な情報を抽出する。

ミッション運用系システムは，専用に開発した業務アプリケーションと以下の富士通製品などで構成される。

・SPARC Enterprise（UNIXサーバ）
・FUJITSU Server PRIMERGY（PCサーバ）
・FUJITSU Storage ETERNUS（ストレージ）
・FUJITSU Software Symfoware（データベース）
・FUJITSU Software Interstage Application Server（アプリケーションサーバ）
・FUJITSU Software PRIMECLUSTER（高信頼基盤ソフトウェア）
・FUJITSU Software Systemwalker Centric Manager（システム運用とICT資産の統合管理）

ミッション運用系システムに対しては，以下の三つの面で非常に高いレベルの要求があった。

・プロダクト提供の即時性
・可用性
・加工処理制御の柔軟性

富士通は，これまで数多くの地球観測衛星の地上システムを構築してきた。これらの経験から得たノウハウやICTの総合力を駆使して，システム基盤と業務アプリケーションの両面で施策を立案した。要求の実現に当たってどのような課題があり，それをどのように解決したかについて，次章以降で述べる。

プロダクト提供の即時性

プロダクトの中には「準リアルタイムプロダクト」と呼ばれ，高い即時性を要求されるものがある。ここで言う即時性とは，人工衛星によって観測されてから，プロダクトとして提供されるまでのリードタイムの短さのことである。例えば，ある準リアルタイムプロダクトについては，ミッション運用系システム分のリードタイム割り当て（入力データの収集開始からプロダクトの配信終了まで）を13分とすることが，JAXAとNASAの間で取り決められている。

その一方で，ミッション運用系システムでは，大量のデータを取り扱う。ほかの機関やシステムと送受信するデータは，多いときで1日あたり延べ5万5,000ファイル，4 Tバイトに上る。

大量のデータを取り扱いながら，即時性の要求をいかに確実に満足するかが課題であった。この課題を解決するために講じた施策を以下に記す。

（1）専用インフラの設置

ネットワークや計算機を2系統設け，一方を準リアルタイムプロダクトに関係する処理（入力データの収集，加工処理，プロダクトの送信）の専用とした。これによって，準リアルタイムプロダクトに関係する処理が，そのほかの大量の処理の影響を受けて遅滞する可能性を排除した。

（2）データ転送回数の削減

ミッション運用系システムは，20台程度の計算機で構成されている。一つの準リアルタイムプロダクトに着目すると，入力データの収集からプロダクトの配信までの様々な処理が，5 ～ 6台の計算機で実行される。SAN（Storage Attached Network）によってこれらの計算機間でデータを共有し，時間を要するEthernet経由のデータ転送の回数を削減した。

（3）強制実行の導入

一定時間待ち合わせても入力データの一部が未到着であった場合に，代替のデータを入力として加工処理を実行する強制実行の仕組みを設けた。この仕組みは，例えば気象観測データが未到着の場合に，過去の観測に基づくデータを入力とする，

といったように使われる。強制実行までの待ち合わせ時間（タイムアウト時間）は容易に変更できるようにした。設計，試験，初期運用の各段階で，リードタイムの要求を達成できるようにタイムアウト時間のチューニングを実施した。

以上の施策により，天気予報や防災などに活用する上で必要不可欠なプロダクト提供の即時性を実現した。

可　用　性

99.8％以上の準リアルタイムプロダクトがリードタイム目標をクリアする必要がある。これは，1年半の間に1日分程度の取りこぼししか許されない，高いレベルの目標である。

一方で，準リアルタイムプロダクトに関係しない業務については，可用性要求が98％に緩和されている。これは，1か月半の間に1日程度の停止を許容するレベルである。

このような2段階の可用性要求を，費用対効果を最適化しつつ実現することが課題であった。例えば，99.8％の可用性要求に合わせて，前章で述べた2系統のネットワークと計算機をそれぞれ二重化すると過剰投資になる。

この課題を解決するため，不完全・非対称の冗長構成とした。データ送受信に関係する計算機を例として，構成の概念を紹介する（**図-2**）。図の（c），（d）のように「データ送受信用」計算機のうちの1機が故障などによって使えなくなった場合には，もう1機が準リアルタイムプロダクト提供に必要な処理のみを実施する。この場合，準リアルタイムプロダクトに関係しないデータ送受信は停止する。なお，図中の「データ送受信制御用」計算機については，通常のアクティブ・スタンバイ構成としている｛図の（a），（b）｝。これは，計算機負荷の観点から，準リアルタイムプロダクト提供に関係する処理だけに専用の計算機を割り当てる必要がないためである。また，データ送受信の制御・管理を一元化するためにも適した構成である。

この対策により，計算機の台数を抑えつつ，準リアルタイムプロダクトの安定的な配信を実現した。このことも助けとなって，準リアルタイムプロダクトは，気象予報など継続的かつ即時的なデータ供給が必要な分野で本格利用されるに至っている。

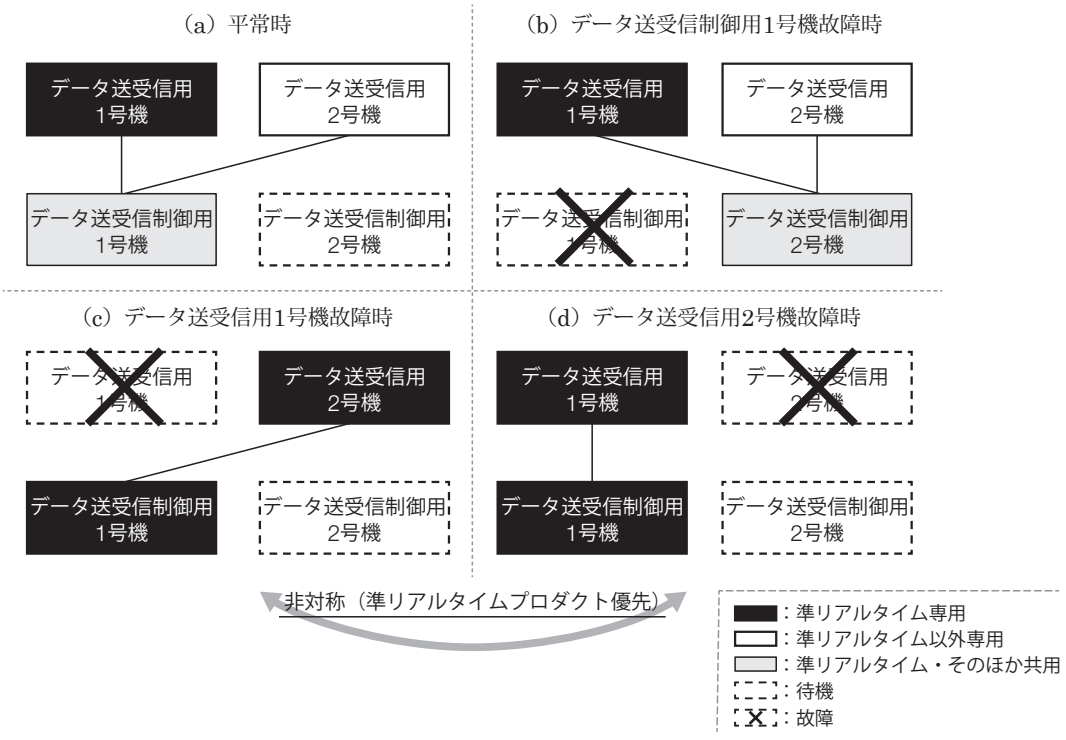


図-2　冗長構成の概念

加工処理制御の柔軟性

ミッション運用系システムは，多種多様なデータと加工処理を柔軟にコントロールすることが求められる。このような要求は，以下に示すようにGPMの特徴に基づくものである。

(1) 多数の人工衛星の観測データを入力

従来の多くのシステムでは，一つの人工衛星のデータのみを取り扱っていた。GPMでは，多数の人工衛星（主衛星，副衛星）の観測データを加工処理の入力データとして取り扱う必要がある。人工衛星で観測されたデータは，時間方向に適当な長さで区切られて，この単位で一つのファイルに格納される。この区切りの時刻は，人工衛星によってまちまちである。更に，同じ時刻に観測している場所もファイルが提供されるタイミングも，人工衛星によって異なっている。このためGPMでは，適切な入力データを特定したり，入力データの到着を待ち合わせたりする際のアルゴリズムが複雑になる。

(2) 多様な加工処理

加工処理は60種類以上ある。これは，ほかの地球観測衛星プロジェクトに比べて格段に多い。一般に人工衛星で観測されたデータは，目的とする情報を引き出すまでに数種類の加工が施される。GPMでは，主として二つの目的から，加工処理の数が多くなっている。一つ目は，人工衛星の観測データのほか，雨量計，数値計算などから得られる多様なデータを最適に組み合わせて情報を最大限に引き出すためである。二つ目は，データの即時性や精度に関する利用者からの多様なニーズに応えるためである。加工処理を実行するトリガも多様である（特定のデータの受信，前段階の加工処理の完了，特定の時刻の到来など）。また，精度向上，情報付加などのために，過去に遡って全ての加工処理をやり直すこともある（再処理）。

(3) 副衛星の増減に対する拡張性

システムの稼働開始後に副衛星が増減し，加工処理の入出力データの変更や，新しい加工処理の追加が発生することがある。

以上のような柔軟なコントロールを，加工処理制御ソフトウェアが過度に複雑になることなく実現することが課題であった。

この課題を解決するため，加工処理制御のテンプレート化，パターン化，およびパラメーター化を行った。この施策の概念を**図-3**に示す。一連の制御手順を加工処理立案，入力データ待ち合わせ，加工処理起動，加工処理監視などのタスクに分割した（テンプレート化）。更に，要件が多様な加工処理立案と入力データ待ち合わせについて，要件を分析してパターンを抽出した（パターン化）。加工処理立案は11種，入力データ待ち合わせは18種

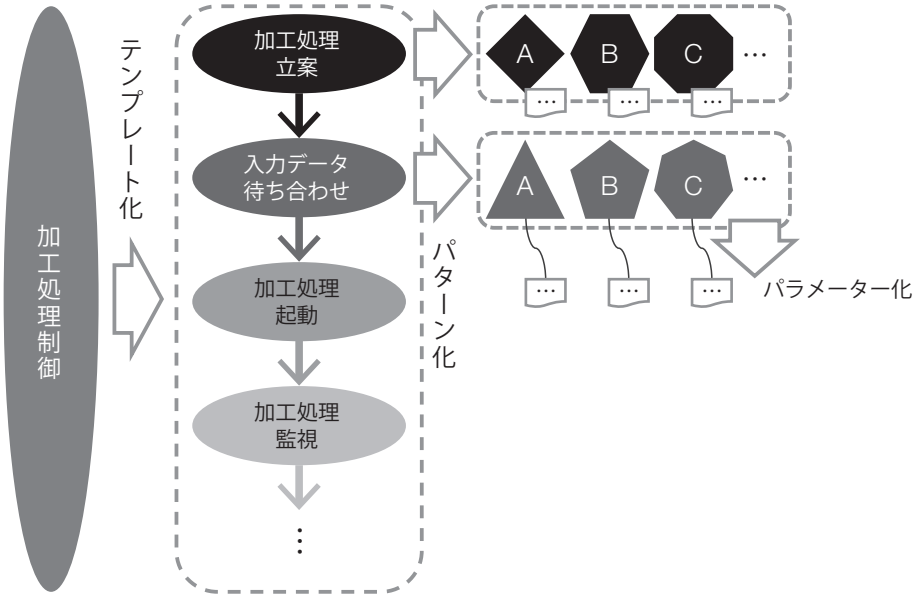


図-3　加工処理制御のテンプレート化・パターン化・パラメーター化

のパターンに整理した。同一パターン内で加工処理種別ごとに異なる部分は，パラメーターとして抽出し，容易に変更できるようにした（パラメーター化）。加工処理立案のトリガとなるファイル種別や，入力データ待ち合わせの時間などがパラメーターの例である。タスクごとにパターンを選択して組み合わせ，パラメーターを設定することで，様々な加工処理の制御を実現できるようになった。

む　す　び

本稿では，GPM/DPRミッション運用系システムに課された要求，および，それを実現するために講じた施策について述べた。

ミッション運用系システムから配信されるプロダクトは，気象予報，防災，農業，水資源管理，教育などにおいて，世界各地で幅広く活用されている。富士通は，今後もミッション運用系システムの維持・運用を通じて，GPMの観測データの活用を支え，豊かで安心できる世界の実現に貢献する所存である。

最後に，ミッション運用系システムの構築に当たってご指導いただいたJAXAの関係各位に，この場を借りて心からお礼を申し上げる。

参考文献

(1) 仁尾友美ほか：全球降水観測計画（GPM）の地上システムと初期成果（1）ミッション運用系システムとデータ提供システム．日本航空宇宙学会誌，Vol.63，No.7，p.236-240（2015）．

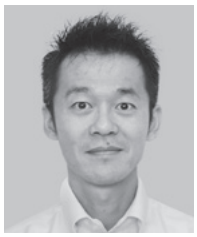
(2) 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構：雨のデータを使ってみませんか？ TRMM/GPM/GSMaPの利用事例集．
http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/documents/data_use/case_study/2015_jireishu.pdf

(3) 気象庁：全球降水観測計画（GPM）主衛星観測データの気象庁での利用について．
http://www.jma.go.jp/jma/press/1603/24a/20160324_nwp_gpm.html

(4) 富士通：JAXA様の全球降水観測計画での観測データ処理などを担う「GPM/DPRミッション運用系システム」を構築．
http://pr.fujitsu.com/jp/news/2014/09/2.html

(5) 富士通：JAXA・NASA共同の「全球降水観測計画」で観測データ処理を担う運用系システムを開発．富士通グループ環境報告書2014，p.10（2014）．
http://www.fujitsu.com/downloads/JP/archive/imgjp/jeco/report/2014/fujitsureport201401.pdf

著者紹介



堤　純平（つつみ　じゅんぺい）
テクニカルコンピューティング・ソリューション事業本部
科学システムソリューション統括部
地球観測衛星の地上システムの開発・保守に従事。

大堤新吾（おおつつみ　しんご）
テクニカルコンピューティング・ソリューション事業本部
科学システムソリューション統括部
地球観測衛星の地上システムの開発・保守に従事。

押山知之（おしやま　ともゆき）
テクニカルコンピューティング・ソリューション事業本部
科学システムソリューション統括部
地球観測衛星の地上システムの開発・保守に従事。

田島実香（たじま　みか）
テクニカルコンピューティング・ソリューション事業本部
科学システムソリューション統括部
地球観測衛星の地上システムの開発・保守に従事。