

1-1 衛星データ処理システム 1-1 Satellite Data Processing System

今村 哲生*¹ 中山 隆一郎*² 高田 左知男*³
Tetsuo Imamura Ryuichirou Nakayama Sachio Takata

Abstract

The Japan Meteorological Agency (JMA) began operating the Numerical Analysis and Prediction System 9 (NAPS9)—its new supercomputer system—in June 2012. Accordingly, the Meteorological Satellite Center (MSC) improved the Satellite Data Processing System in response to an increase in data to be processed at the center. This chapter describes general information on the Satellite Data Processing System.

要 旨

気象庁 (JMA) は 2012 年 6 月より新規スパコンシステム NAPS9 を稼働開始した。これに合わせ気象衛星センター (MSC) では、センター内で行うデータ処理の増加に合わせ、衛星データ処理システムの改良を行った。
この章では衛星データ処理システム全般について記述する。

1. システム構成

気象庁予報部と気象衛星センターが共同使用しているスーパーコンピュータシステムの内、衛星データ処理に関連する部分のことを「衛星データ処理システム」と称する。

衛星データ処理システムは、静止気象衛星をはじめとする衛星観測データや数値予報データ、ADESS 電文データなどを収集し、それらを加工してプロダクトを作成し、ユーザーに送信することを主な目的とする。さらに、参照資料やより高度な解析の研究材料とするために、収集したデータやプロダクトデータを保存する機能も備える。

データの収集から衛星プロダクトの作成と配信は逐次的に行われる必要があり、それを満たすデータ処理能力がシステムに求められる。加えて衛星観測データは天気予報・防災情報に必要不可欠であり、業務は遺漏なく進まなければならない。それゆえ、システムには障害への耐性も十分に検討されている。

衛星データ処理システムは、サーバ群と、ネットワーク上での共有利用や過去の衛星観測データやプロダクトなど大容量のデータを蓄積するためのストレージ、それらの装置を有機的かつ高速接続するネットワーク群で構成されている。これらの機器の多

くは、インターフェースも含めて冗長化ないしは二重化されており、単一障害に強い構成となっている。衛星データ処理システムの主要な機器は、他のスーパーコンピュータ機器と共に、清瀬市にある気象衛星センター第三庁舎に設置されている。

サーバに導入されているオペレーティングシステム (以下「OS」とする) は UNIX で、外国衛星のデータを管理する等の都合で Linux を導入しているサーバもある。開発言語は、以前のシステムから引き続き C と FORTRAN90 が導入されている。ミドルウェアソフト群の導入により、衛星ルーチン業務処理の実行制御や衛星データ処理システムを構成する機器の監視を支援している。

本章では衛星データ処理システムに導入したこれらハードウェアとソフトウェアを紹介する。

2. ハードウェア

スーパーコンピュータシステムにおける、衛星データ処理システムのハードウェア機器の構成を示したものが図 1 である。この内、色付き且つ名称が太字となっている機器が、衛星データ処理システムに属する機器である。

¹気象衛星センターデータ処理部システム管理課 (現 データ処理課)

²気象衛星センターデータ処理部システム管理課 (現 気象庁観測部気象衛星課)

³気象衛星センターデータ処理部システム管理課
(2013年1月25日受領、2013年5月16日受理)

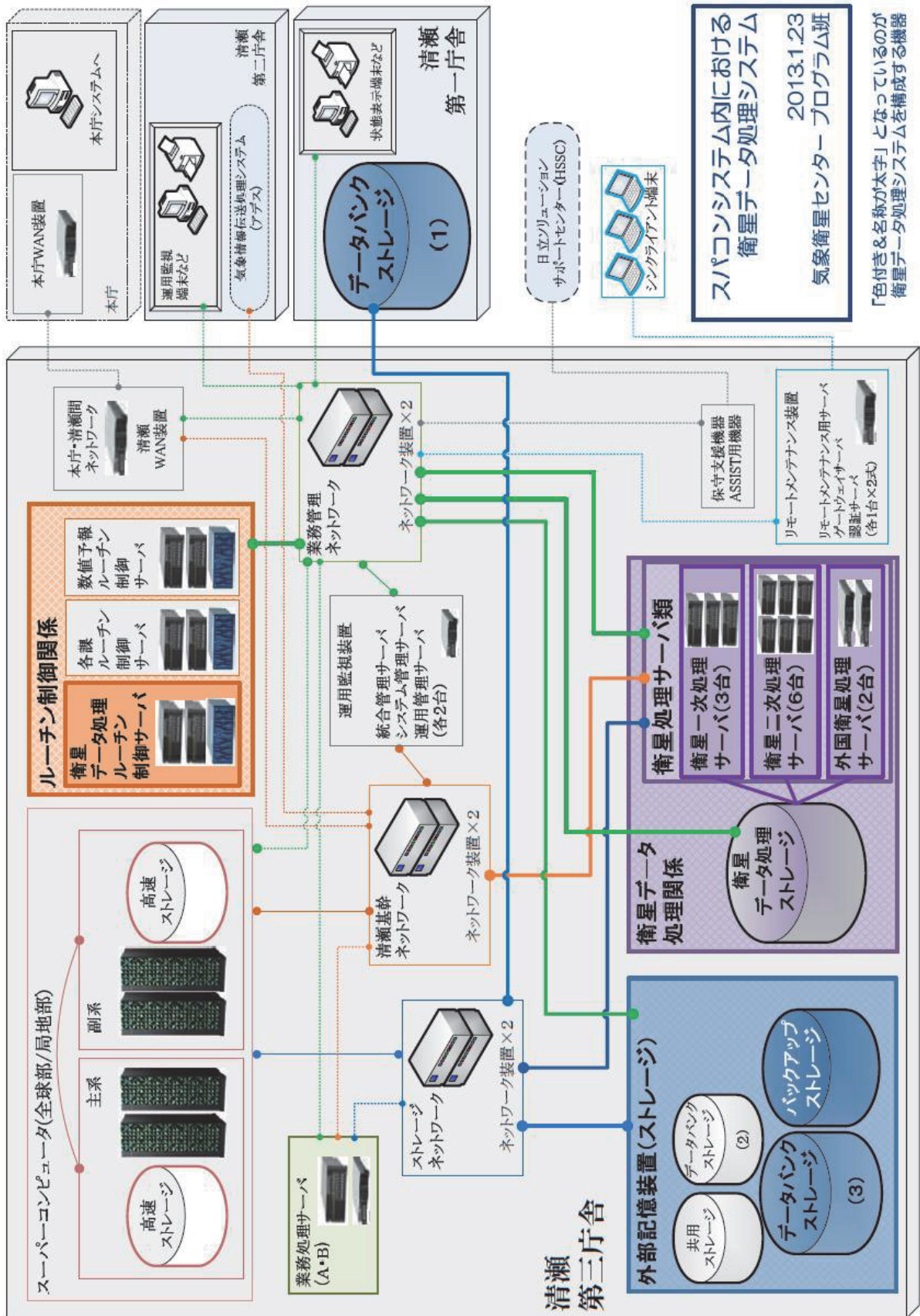


図1 スパコンシステム内における衛星データ処理システムの機器構成概要図(平成24年6月時点)
色付き&名称が太字となっている機器が衛星データ処理システムに属する機器。

これらの機器は、ネットワーク、サーバ、データ処理用ストレージ、運用監視装置、リモートメンテナンス装置、その他の機器に分類される。

2.1 ネットワーク

衛星データ処理システムは、主にサーバやストレージで構成しており、これらを接続するネットワークの内、データ処理に関わる業務では「清瀬基幹ネットワーク」「業務管理ネットワーク」「ストレージネットワーク」の3つが基本ネットワークとなる。

衛星データ処理システムのネットワークは、大量のデータを利用する上で重要な役割を果たす。

(1) 清瀬基幹ネットワーク

清瀬基幹ネットワークは、アデスや地震火山部、外国気象機関などの他システムからのデータ取り込みや、本システムの作成プロダクトを他システムへ提供するために、装置間を接続し他システムと通信することを目的としたネットワークである。また、本庁・清瀬間 WAN (Wide Area Network) もこのネットワークに接続され、本庁機器へのデータ転送にも利用される。

清瀬基幹ネットワークとしては、L3 スイッチ AX6608S が2台清瀬第三庁舎に導入されている。各機器とスイッチとの接続は 1000BASE-T による高速接続で、必ず2つのスイッチへの冗長接続となっている。これにより、一つのスイッチやインターフェース、ケーブルに障害が発生しても、ネットワーク経路が切れなくなっている。

(2) 業務管理ネットワーク

業務管理ネットワークは、サーバの制御・管理・監視およびジョブフロー制御の通信を目的としたネットワークである。これらの制御・管理・監視には主に日立の統合システム運用管理ツールである JP1 シリーズを使用している。

業務管理ネットワーク装置としては、L3 スイッチ AX6608S2 台が清瀬第三庁舎に導入されている。

(3) ストレージネットワーク

ストレージネットワークは、衛星データ処理を行うサーバ等がデータを共用するために、共用ストレージやデータバンクストレージなどのストレージ群と接続するためのネットワーク装置である。

このネットワークは、ストレージとの入出力データの送受信を担当するが、前述の清瀬基幹・業務管理両ネットワークには干渉しない。

また、ストレージネットワーク装置同士の間は

10GBASE-SR による超高速接続である。

(4) その他 (WAN 装置)

本庁～清瀬間を接続する WAN 装置は、同一地点間の通信について優先トラフィックを検出し転送を実施する (ポリシールーティング)。WAN 装置はルータと帯域制御装置を一組とし2組で構成され、2つの異なる通信事業者から提供を受け、マルチリンク化している。

2.2 サーバ

衛星データ処理システムを管理するサーバは、気象衛星からの観測データ収集を担当する「衛星一次処理サーバ」、衛星プロダクトの作成を担当する「衛星二次処理サーバ」、極軌道気象衛星等の観測データ取得とプロダクト作成を行う「外国衛星処理サーバ」がある。外国衛星処理サーバは、ORS-LRS、AAPP など部外機関提供ソフトウェアを用いたデータ校正も行う。

(1) 衛星一次処理サーバ

衛星一次処理サーバは、観測データ量が飛躍的に増加する次期静止気象衛星のデータ収集・校正・画素位置合わせなどを主に担当する。

本サーバは日立エンタープライズサーバ EP8000 が導入され、演算装置は IBM 社製の CPU である POWER7 (3.0GHz) による 16way 構成となっている。OS は IBM 社製 UNIX OS の AIX V6.1 が搭載されている。主記憶メモリは1コアあたり 8Gbytes である。インターフェースは 1000BASE-T であり、清瀬基幹ネットワーク装置と業務管理ネットワーク装置にそれぞれ冗長接続されている。この高速なデータ処理能力とネットワークにより、ピーク状態で 10 分毎に 2GB 超のデータ収集・処理を行う性能を有する。

サーバ構成は、同一サーバ 3 台を一式とし、2 台を運用系として二重処理、1 台を予備系としている。いずれのサーバもジョブフローソフトウェアを搭載し、独立してジョブの投入・管理を行うことができる。

また、運用管理機能によりログのリアルタイム監視を行い、サーバの異常時には 60 秒以内にその異常を検知することが可能である。

(2) 衛星二次処理サーバ

衛星二次処理サーバは、一次処理で作成されたデータや他の地球観測衛星等から得られたデータ等を源泉とし、各種プロダクト作成処理を行う。

本サーバは EP8000 が導入され、演算装置は

POWER7(3.0GHz)による16way構成となっている。OSはAIX V6.1、主記憶メモリは1コアあたり8Gbytesであり、1000BASE-Tで、清瀬基幹ネットワーク装置と業務管理ネットワーク装置に冗長接続される。

本サーバでは、1観測毎に複数のプロダクト作成処理や観測チャンネル毎のデータ処理を同時に実行するため、中間処理も含めた多数のプロセスを一定時間内に完了する能力が求められる。そのため、サーバは6台あり、そのうち5台を運用サーバとして業務内容を分担し定常運用を行う。6台目は待機サーバとなるが、プログラムの開発環境としても利用される。

サーバの障害監視と切り替えは、日立製作所製のHAモニタと呼ばれる機構が使われている。HAモニタは、サーバ間を結ぶ専用回線を介してハートビート信号をやり取りすることで相互監視を行い、待機サーバが運用サーバの障害を発見した場合に、待機サーバを運用サーバに切り替える。衛星二次処理サーバの場合は、待機サーバが5台の運用サーバを常時監視している。

この切り替えは運用サーバに割り振られる仮想IPアドレスと仮想サーバ名を引き継ぐ形をとるため、障害時は約60秒以内の高速切り替えを実現している。他機器からのftp,sftp,rcp,telnetなどによる本サーバへのアクセスは、接続先として仮想IPアドレス・仮想サーバ名を指定するので、1台ないし複数のサーバが障害となってもその業務処理を待機サーバが全て引き継ぐことが可能である。ただし、複数サーバを引き継いだ場合は演算能力不足が見込まれるため、業務処理に遅延が発生する可能性がある。

(3) 外国衛星処理サーバ

外国衛星処理サーバは、極軌道気象衛星の観測データのプロダクト作成に特化させたサーバである。

本サーバはHA8000が導入され、演算装置はIntel社製のCPUであるXeonのX5670モデル(2.93GHz)による6コア構成となっている。主記憶メモリは32Gbytesである。

OSは、RedHat社製のRed Hat Enterprise Linux 5である。

清瀬基幹ネットワーク装置と業務管理ネットワーク装置に1000BASE-Tで冗長接続される。

サーバ構成は2台で、それぞれ「主系(運用サーバ)」「副系(待機サーバ)」として定常運用を行う。衛星二次処理サーバと同様にHAモニタが使われており、待機サーバは運用サーバを常に監視し、運用サーバの障害発生時は待機サーバが業務処理を引き

継ぐ。

(4) 衛星データ処理ルーチン制御サーバ

衛星データ処理ルーチン制御サーバは、衛星データ処理におけるジョブの投入や管理を行い、ジョブフローを自動的に制御して、定常業務を行う。業務管理ネットワークにのみ冗長接続している。

本サーバはEP8000が導入され、POWER6+(4.7GHz)による2way構成となっている。主記憶メモリは1コアあたり16Gbytes。OSはAIX V7である。業務管理ネットワーク装置に1000BASE-Tで接続される。

サーバ構成は2台で、稼働系・待機系としており、稼働系サーバがジョブの制御を行う。また衛星二次処理サーバと同様にHAモニタが使われており、待機系は稼働系を常に監視し、稼働系の障害発生時は待機系が業務処理を引き継ぐ。

2.3 衛星データ処理ストレージ

衛星データ処理ストレージは、衛星データ処理システム専用の記憶装置で、基本的に衛星処理サーバのみに接続されている。

記憶装置は、処理サーバとネットワーク接続するNAS(Network Attached Storage)ユニットと、ストレージ本体であるSASインターフェースを用いた磁気ディスクによる磁気ディスクアレイ装置 Hitachi Adaptable Modular Storage2500(AMS)で構成されている。

NASユニットは、クラスタ構成で2台が共に稼働しており、通常時はActive-Activeで負荷を分散する。NASヘッド部1台あたりのシーケンシャルリード性能として約54MB/sを実現している。

ストレージ本体は、主系・副系で冗長性を持たせた構造を有する。副系のAMSは、ユーザーからは見えないように隠蔽されているが、ユーザーにより書きこまれたデータは主系・副系両方にはほぼ同時に記録される。ストレージ性能としては、容量20MBの160種類のファイルが60秒以内に全て読み込み・書き込みできるレベルのものとなっている。

2.4 運用監視装置

運用監視装置は、衛星データ処理ルーチンの運用監視と、システム構成機器の運用監視を一元的に行うことを目的としている。障害を感知した場合はオペレーターへの報知も行う。

本装置は、「統合管理サーバ」「システム管理サーバ」「運用管理サーバ」「状態表示端末」で構成され

ている。

a. 統合管理サーバ

統合管理サーバは、運用監視装置の中核をなし、衛星データ処理システムを含むスーパーコンピュータシステム全ての機器の状態を監視する。

サーバは HA8000/RS220AK で、サーバのどちらか 1 台が障害になっても業務が継続できるよう相互切り替えが可能な 2 台 1 組のクラスタ構造と、その 2 台で使用するストレージ 1 台（日立製作所製 BR-1600）で構成されている。

b. システム管理サーバ

システム管理サーバは、衛星データ処理システムを運用するにあたって必要なサービスや機能を提供する。

サーバは HA8000/RS220AK で、サーバのどちらか 1 台が障害になっても業務が継続できるよう相互切り替えが可能な 2 台 1 組のクラスタ構造と、その 2 台で使用するストレージ 1 台（日立製作所製 BR-1600）で構成されている。

c. 運用管理サーバ

運用管理サーバは、「統合管理サーバ」「システム管理サーバ」に搭載できなかったその他の機能を搭載している。

サーバは HA8000/RS220AK で、2 台 1 組のクラスタ構造となっている。

d. 周辺機器

周辺機器としては、52 インチの液晶大型ディスプレイ、警告灯、卓上カラープリンタが設置されている。

警告灯「警子ちゃんⅡ」は、用途に応じて赤・黄・緑の点灯・点滅が可能であり、障害発生時等には統合管理サーバからの制御で点灯させることができる。

2.5 リモートメンテナンス装置

リモートメンテナンス装置は、衛星データ処理システムの障害発生時に、外部から電話回線を通じてシステムにログインし、障害情報の収集を支援することを目的とする。

本装置は、多重セキュリティ機能により外部からの衛星データ処理システムへの安全な接続を実現している。

2.6 状態表示端末

状態表示端末は、衛星ルーチンのジョブ登録作業

や稼働状況の確認、運用監視装置が集める各機器・ネットワークの情報表示を主目的とする端末である。

スーパーコンピュータシステム全体に 7 台を一式として 2 式提供されており、そのうち気象衛星センター第一庁舎に 9 台が割り当てられている。9 台のうち 7 台は、運用監視装置のユーザーインターフェースとして現業室に設置されており、加えてリモートデスクトップサーバ機能を搭載し、端末からジョブフロー制御ソフトウェア AJS を参照できるようになっている。

本端末は、日立製作所製の HF-W2000 モデル 20 で、OS は Microsoft 社の Windows 7 が搭載されている。また、ジョブフロー制御ソフトウェア JP1/AJS3-View が搭載されており、JP1/AJS3-Manager と連動しジョブの情報表示、投入操作等を行う（後述）。

3 ソフトウェア

3.1 オペレーティングシステム

衛星一次処理サーバ・衛星二次処理サーバの OS は、IBM 製の AIX Version6.1 が採用されている。

外国衛星処理サーバの OS は、RedHat 製の Red Hat Enterprise Linux 5.6 が採用されている。

運営監視端末と状態表示端末は MS-Windows 7 が搭載されている。

3.2 開発環境

(1) 言語処理系 (C, FORTRAN)

AIX OS を持つ衛星一次処理サーバ・衛星二次処理サーバの開発言語としては、日立製作所製の最適化 FORTRAN90 と IBM 製の IBM XL C/C++ V11 for AIX, が採用されている。なお、FORTRAN と C の関数やサブルーチンは互いに呼び出すことも可能である。

Linux OS を持つ外国衛星処理サーバについては、Intel 社製の Intel Fortran XE 12 と GNU の C コンパイラである GNU Computer Collection (ver4.4) を搭載されている。

(2) ライブラリ

上記開発言語に用いる数値計算用のライブラリとして、MATRIX/W と MSL2 が AIX サーバ・Linux サーバのいずれにも導入されている。MATRIX/W は、基本的な行列計算のほか、逆行列、固有値・固有ベクトル、連立一次方程式、高速フーリエ変換などのサブルーチンを提供する。MSL2 は、行列計算のほか、各種の統計計算プログラム、非線型方程式や最適化問題、微分方程式、数値積分、補間計算などの

サブルーチンを提供する。

3.3 業務処理ソフトウェア

(1) ジョブフロー制御ソフトウェア JP1/AJS3

ジョブフロー制御ソフトウェア JP1/AJS3 は、定型業務を自動化するためのソフトウェアである。毎日、事前に設定したスケジュール通りに行う必要がある衛星データ処理において有用である。

JP1/AJS3 では、業務を構成する一つ一つの作業を切り出し、業務処理の最小単位を「ジョブ」、複数のジョブをまとめて作業の実行順序を定義したものを「ジョブネット」、管理のために複数のネットをまとめたものを「ジョブグループ」として、登録情報を階層に分けて整理している。

また、業務を実行するために、ホストは業務を管理するホスト（マネージャホスト）と実際に業務を実行するホスト（エージェントホスト）で構成されている。1つのマネージャホストは複数のエージェントホストを集中管理することも可能である。

(2) JPP/JCL

JPP/JCL は、本庁数値予報課で開発されたシェルスクリプト記述言語で、数値用法ルーチンのルールにのっとったシェルスクリプト作成を支援する機能をもつツールである。

その使用方法は、前システムと特に変わっていないので（「AJS2」とある部分は「AJS3」と読み変える必要がある）、気象衛星センター技術報告特別号（2006）の章「1-2 衛星データ処理システム」における「1-2-2-2-8 JPP/JCL」の節を参考にしてほしい。

3.4 独自ツール（MSIAL）

MSIAL は、気象衛星画像アクセス共用ライブラリの略称であり、種々の気象衛星データへのアクセスや投影変換、地図描画等の機能をもつ汎用ライブラリである。

本ライブラリは、気象衛星センターで独自に開発されたもので、C 言語を用いて記述されており衛星固有のデータフォーマットを意識することなく、単一のインターフェースによりデータにアクセスできるようになっている。また、Fortran で記述されたインターフェースが実装され、Fortran で開発されたプログラムでも利用できるようになっている。

ユーザに提供される機能としては、以下に述べる衛星データアクセス、地形関連データアクセス、図形・画像描画、汎用ユーティリティーが挙げられ、ユーザはそれらの機能を組み合わせてプロダクト開

発等に応用することになる。

(1) 衛星データアクセス

衛星データアクセスは、様々な衛星データへのアクセスを行い、データを扱う上での様々な機能を提供し、衛星データのチャンネル・物理要素を指定して利用する仕様となっており、物理要素は、放射輝度・輝度温度・反射率・カウント値のいずれか、または複数の指定が可能である。

本機能は主に以下のような構成となっている。

1. チャンネル・物理要素の情報取得
2. 観測データの取得
3. ナビゲーション処理、付加情報取得
4. キャリブレーション情報の取得
5. ヒストグラム作成、及び統計処理

観測データの取得については、画素値の階調変換や対象領域に対する拡大・縮小等の加工の他、後述する座標変換・投影変換などを施した上での取得が可能である。この場合、これまでは対応する座標の最隣接にある画素を取得する実装だけであったが、その後、任意の手法により内挿した画素値の取得も可能となっている。

現在のバージョンでは、以下の衛星データが利用可能となっている。

- MTSAT-HRIT
- MTSAT-HIRID
- MTSAT-RAW
- 累積 VISSR
- S-VISSR
- GOES-GVAR
- HRPT (AVHRR のみ)
- NOAA-GAC
- FY-HIRID
- MTSAT-1R-DATATAP
- AAPP
- MSG (Native)
- MFG (OpenMTP)

(2) 地形関連データアクセス

衛星データだけではなく、さまざまな解像度を持つ地形関連データを内部にデータベースとして持っており、これらにアクセスすることも可能となっている。

現在使用できるデータは、以下の通りである。

1. 土地被覆データ

2. 海陸分布データ
3. 海岸線データ
4. 標高データ
5. MODIS 地球画像

これにより、緯度経度毎の土地被覆特性や海陸判定、標高値の取得などができ、衛星データと組み合わせることでプロダクト開発への応用が可能である。また、上に挙げたように海岸線データやMODIS 地球画像も含まれており、同様に組み合わせで描画することにより、さまざまな汎用画像の作成が可能である。

なお、現在、標高データについては、スペースシャトル地形データ (SRTM) を新たに導入し、最大 3 秒の細かな解像度の標高値が扱えるようになっている。

(3) 図形・画像描画

本ライブラリには汎用画像を作成するためのインターフェースがあり、画像サイズ (幅、高さ)、階調を指定した上で、描画対象を入力することでプログラム上から直接画像ファイルを作成することができる。

現在のバージョンで作成できる画像形式は、BMP、JPEG、PNG、PGM/PPM の 4 種類あり、それぞれについてインデックスカラー・24 ビット RGB の 2 パターンの画像をサポートしている。

また、本機能には作成する画像上に、点、直線、多角形などの図形や文字列を配置することが可能であり、「描画コンテキスト」と呼ばれるパラメータの設定により、線の太さや配置する座標などの描画要素が任意に指定できる。

(4) 汎用ユーティリティー

これまで挙げた以外にも、本ライブラリには、基本的なデータ操作や数値演算などの一般的な機能群が用意されている。現在、主にサポートされているものは以下の通りである。

1. ビット操作・エンディアン関連
2. レベル値操作
3. 日時の計算・天文計算
4. 算術演算・最適化処理
5. 各種投影変換

投影変換については、現在、以下の種別がサポートされており、取得した衛星データや海岸線データを入力することで、任意の投影を施した衛星画像や地図画像を作成することが可能である。

- 円形
- ポーラステレオ
- ランベルト正角円錐
- メルカトール
- 正方格子
- ランベルト正角円錐 (斜軸)

(5) その他

本ライブラリは、これまで Solaris や AIX 等の 32 ビット計算機上での利用がメインであったが、現在は改修が施され Linux を搭載した 64 ビット計算機などの様々なプラットフォーム上でも利用できるようになっている。