

解 説

静止気象衛星ひまわり 8 号・9 号の概要

観測部気象衛星課

要 旨

静止気象衛星ひまわり 8 号・9 号の整備事業は、2017 年 3 月 10 日の 9 号待機運用開始により、2009 年 7 月 17 日の製造契約締結から考えると 7 年 8 か月、仕様検討から考えると 10 年を超えるプロジェクトに区切りをつけることができた。また、気象庁単独での衛星の整備は今回が初めてであった。

本稿では、ひまわり 8 号・9 号の事業計画を含むプロジェクトの全体像について概括し、観測データを利用する上での参考情報及び後継衛星の検討資料となることを目的に整備計画、システム全般及び利用者への配信並びにデータ活用について解説する。

1. はじめに

我が国の静止気象衛星（GMS : Geostationary Meteorological Satellite）の初号機は、1977 年 7 月に米国ケネディ宇宙センターから打ち上げられた。この時、常に地球を見つめていること、打上げが 7 月であったことなどから、天気と関係の深い太陽を連想させる夏の花にちなんで「ひまわり」と名づけられた。その後、GMS シリーズとしては、4 機が打ち上げられた。1999 年、GMS-5 の後継機として、国土交通省航空局と気象庁が共同で航空ミッションと気象ミッション機能をあわせ持つ運輸多目的衛星（MTSAT : Multifunctional Transport SATellite）を打ち上げたが失敗した。このため、米国の静止気象衛星（GOES-9 : Geostationary Operational Environmental Satellite-9）によるバックアップ運用が 2003 年から 2005 年まで行われた。2005 年、MTSAT の代替機である

MTSAT-1R（R は、Replacement の頭文字、ひまわり 6 号）が打ち上げられ、2006 年には MTSAT-2（ひまわり 7 号）が打ち上げられた（歴代の静止気象衛星については、気象庁ホームページ「日本の静止気象衛星のあゆみ」¹を参照）。

初号機が運用を開始してから 40 年、「ひまわり」の愛称で親しまれている静止気象衛星は、現在、ひまわり 8 号・9 号が世界最先端の観測性能を有する可視赤外イメージャ（AHI : Advanced Himawari Imager）を搭載し、天気予報を始め、台風、集中豪雨、気候変動などの監視・予測を目的に、直接観測を行うことが困難な海洋や砂漠・山岳地帯を含む広い地域の雲や水蒸気の分布、上空の風、火山灰の分布、海面の温度などを観測している。また、船舶・離島などで観測された気象データ、海洋・地震などの観測データを気象庁へ中継している。

（平成 30 年 11 月 7 日発行）

¹ 日本の静止気象衛星のあゆみ

<https://www.jma-net.go.jp/sat/himawari/enkaku.html>

衛星管制²は、GMS シリーズでは宇宙開発事業団（現在の国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA : Japan Aerospace Exploration Agency））が行い、MTSAT シリーズでは国土交通省航空局（航空衛星センター）が主として行っていた。ひまわり 8 号・9 号の衛星管制は、公共施設の整備・維持管理・運用を目的に、民間のノウハウと能力を最大限に活用する PFI（Private Finance Initiative）の導入により、「気象衛星ひまわり運用事業株式会社（HOPE : Himawari Operation Enterprise corporation）」が行っている。宇宙分野に PFI を導入したのは、我が国ではひまわり 8 号・9 号が初めてであり、他省庁等の先駆けとなった。

HOPE は、衛星管制に加え、ひまわり 8 号・9 号による観測データの受信、一次処理及び気象衛星センターへの伝送も行っている。伝送された観測データは、気象衛星センターで衛星画像に加工され、利用者に配信されている。利用者への配信については、新たにインターネットによる静止気象衛星画像データ配信サービス（HimawariCloud）を構築した。国内の大学・研究機関及び国外の気象水文機関へは、このサービスを通じて観測データが配信されている。また、アジア・太平洋地域の山間僻地、島嶼国など地上系通信インフラが脆弱な地域へは、通信衛星による静止気象衛星画像データ配信サービス（HimawariCast）を導入し、観測データを配信している。

データ利用では、気象衛星センター、本庁各部、気象研究所、大学等研究機関からなる開発体制・利用体制を構築し、さらなる利用技術の開発を推進している。また、気象業務以外の分野での利用の可能性も見込まれることから、データ利用技術を広く普及させることを目指し、気象ビジネス推進コンソーシアムと共催でシンポジウム（2017 年 7 月 22 日）や国際ワークショップのオープンセッション（2017 年 11 月 9 日）などを開催している。

本稿では、ひまわり 8 号・9 号の全体の事業計

画及びその実施状況、衛星の基本的な機能・性能、PFI を導入した衛星運用等事業及び観測データの処理概要並びに得られた観測データの国内外での利用状況・国際協力について紹介する。

なお、本稿で解説するシステム構成は 2018 年 3 月時点のものである。

2. 整備事業

本章では、ひまわり 8 号・9 号の整備工程、運用計画、システム全体構成等のプロジェクトの全体像に加え、ひまわり 8 号・9 号の運用開始までの経緯について説明する。

2.1 プロジェクトの全体計画

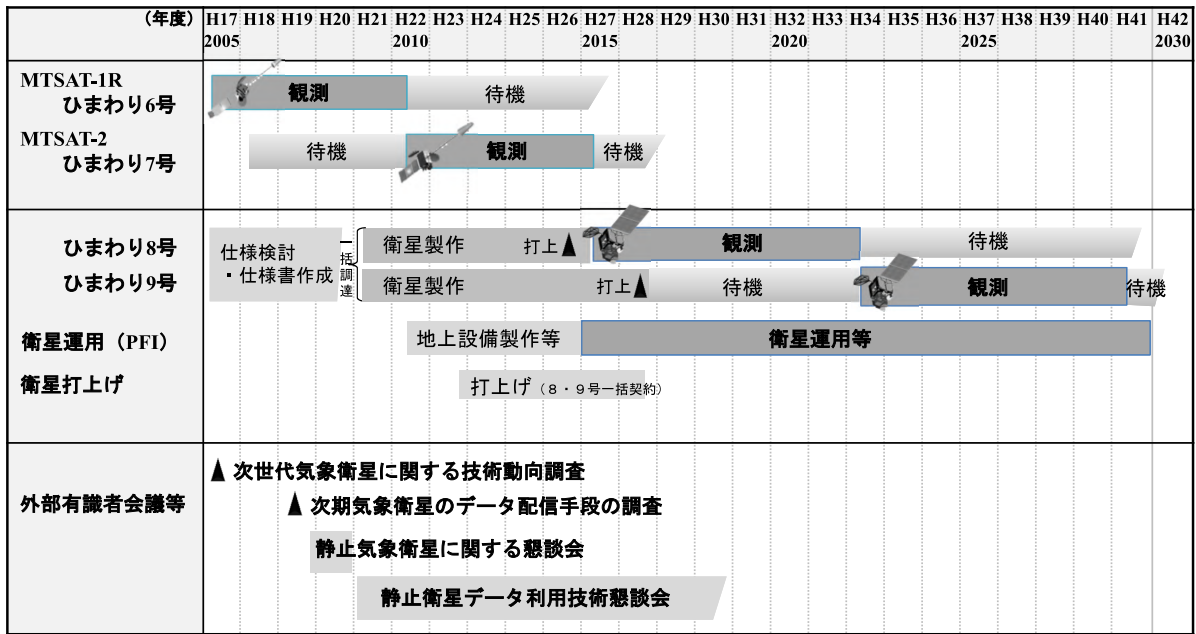
ひまわり 8 号・9 号の整備は、2005 年度の仕様検討開始から 2029 年度のひまわり 9 号運用終了（計画）まで約 25 年間にわたるプロジェクトである。プロジェクトの全体計画を第 2.1.1 図に示す。

2005 年度から 2008 年度にかけて、仕様の検討及び調達のあり方の検討を行った。これらの検討にあたっては、世界気象機関（WMO : World Meteorological Organization）が制定した「VISION FOR THE GOS IN 2025」（次世代静止気象衛星の観測センサの将来提案）及び「次世代気象衛星に関する技術動向調査（2005 年度）」並びに 2007 年度から 2008 年度にかけて開催した「静止気象衛星に関する懇談会」での外部有識者からの提言を参考にした（詳細を第 2.3 節に記述）。

検討の結果、気象庁単独で整備すること、衛星管制や衛星との通信に係る衛星運用等に PFI 手法を導入することなどの方針を決定した。また、MTSAT-2 までは、観測データの直接配信を行っていたが、「次期気象衛星のデータ配信手段の調査（2007 年度）」等を踏まえ、ひまわり 8 号・9 号ではインターネット及び通信衛星による配信サービスを導入することとした。

2014 年度から 2016 年度にかけて、ひまわり 8 号・9 号は、ほぼ計画通りに打ち上げられ、観測運用を開始した。2 機合わせて 15 年間にわたっ

² 衛星管制とは、衛星の軌道・姿勢保持、衛星に搭載されている各種機器の動作状態を監視及び機器の動作指令を行う運用の総称。



第 2.1.1 図 プロジェクトの全体計画

て運用を行う計画である。運用期間の前半は、ひまわり 8 号が観測（ひまわり 9 号は待機運用）を行い、2022 年度にその役割を交代して、運用期間の後半はひまわり 9 号が観測（ひまわり 8 号は待機運用）を行う。この交代は、AHI の設計寿命（軌道上試験期間等を含む）が 8 年であることによる。

2.2 システム全体構成

ひまわり 8 号・9 号のシステム全体構成とデータの流れの模式図を第 2.2.1 図に示す。

ひまわり 8 号・9 号の衛星管制及び衛星からの観測データの受信は、HOPE が行っている。HOPE で受信された AHI データは、気象庁（気象衛星センター及び大阪管区气象台）に伝送され、品質管理を行い様々な画像形式やプロダクトに加工され利用者に配信されている。データは、一般財団法人気象業務支援センターを通じて報道機関や民間気象会社などの利用者にリアルタイムで配信されるほか、インターネットクラウドを利用したデータ配信（HimawariCloud）及び通信衛星を利用したデータ配信（HimawariCast）など複数の手段により、観測領域内の 34 の国及び地域の気象水文機関等に配信されている（2018 年 3 月時点）。また、ひまわりは、地上及び観測船に設置

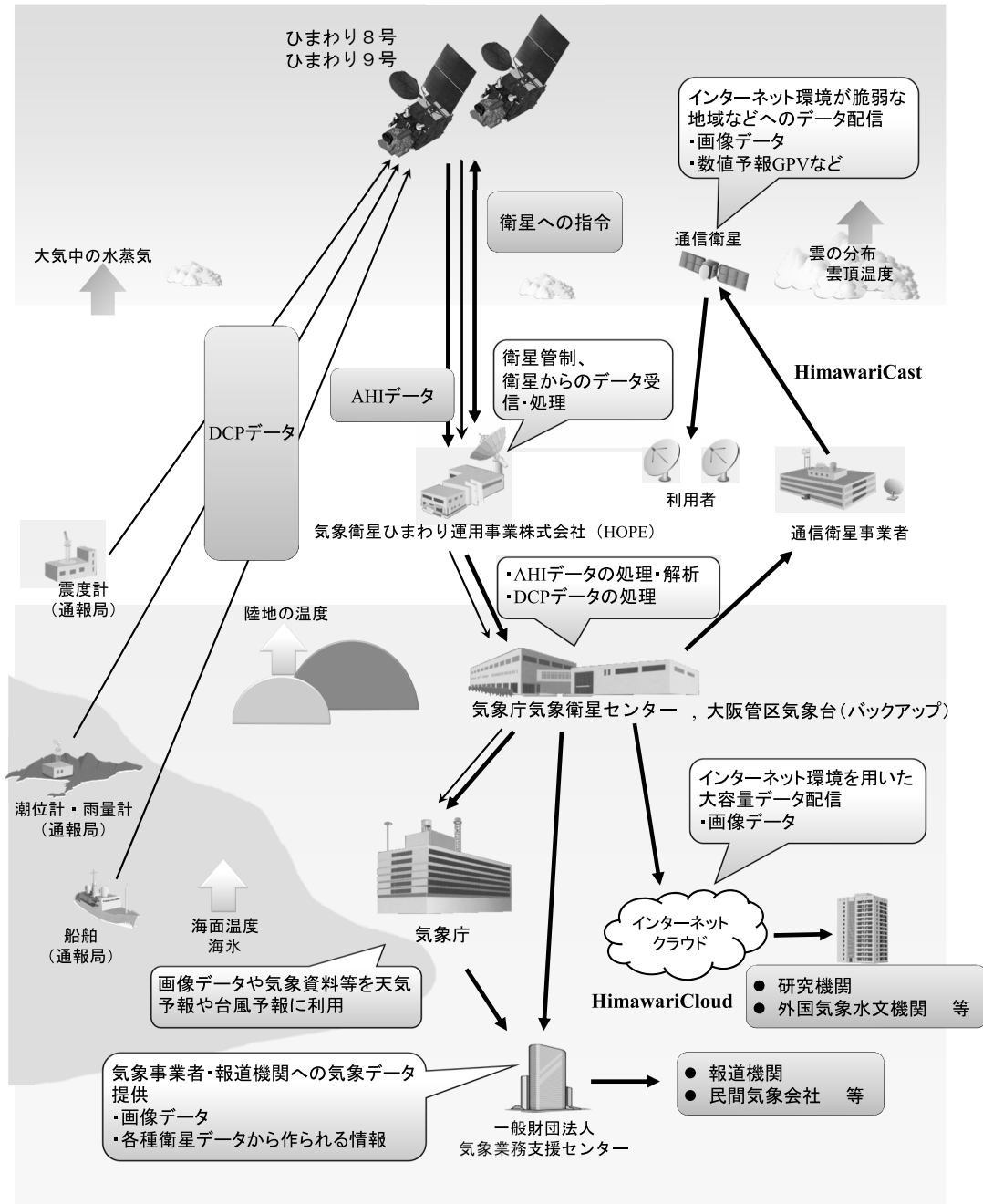
された通報局（DCP：Data Collection Platform）から送信されたデータ（以下、「DCP データ」）の中継も行っている。DCP データは、HOPE 地上局で受信され、気象庁を通じて関係機関に配信されている。

2.3 ひまわり 8 号・9 号に係る仕様検討から運用開始までの経緯

本節では、ひまわり 8 号・9 号の仕様、PFI による衛星運用等事業（PFI による衛星管制等）導入の決定及び利用者への配信手段の変更並びに運用開始までの経緯について説明する。

2.3.1 衛星仕様及び PFI 導入の決定

ひまわり 8 号・9 号の仕様及び PFI による衛星管制等の導入については、庁内に設置した次期気象衛星を含む衛星データの有効かつ効率的な利用を検討する「衛星データ活用プロジェクトチーム」及び衛星調達の枠組みを整理し課題を検討する「次期静止気象衛星調達に関する検討プロジェクトチーム」における事前検討に加え、以下の検討・助言を踏まえ庁議を経て決定した。なお、ひまわり 8 号・9 号の運用等事業に PFI 方式を導入した経緯の詳細は、赤石（2012）を参照願いたい。



第 2.2.1 図 ひまわり観測データの流れ

(1) 次世代静止気象衛星に係る WMO 提案

検討開始当時 (2005 年度) の WMO 衛星計画の提言案 (「VISION FOR THE GOS IN 2025」(次世代静止気象衛星の観測センサの将来提案) では、将来の静止気象衛星に期待される観測性能として、「可視赤外イメージャ」は高分解能・多バンドが推奨されており、米国と欧州は、それぞれ高分解能 (可視: 0.5 ~ 1km, 赤外: 2km) で多

バンド (16 バンド) の可視赤外イメージャを搭載した静止気象衛星の新シリーズを 2015 年頃から打ち上げる計画であった。これら新シリーズは、20 年程度運用される予定であり、欧米と協調し気象衛星観測網の維持・発展に貢献するため、ひまわり 8 号・9 号の観測性能は欧米と同水準をベースとした。

なお、WMO では上記の可視赤外イメージャの

他に、鉛直方向の気温、水蒸気量の分布が判る「ハイパースペクトル赤外サウンダ」及び雷光を検出する「雷光センサ」も搭載を推奨していたが、新規開発であり実用化の目処も明確でなかったため最終的に搭載を見送った。

(2) 次世代気象衛星に関する技術動向調査

MTSAT の後継機となる次世代気象衛星（ひまわり 8 号・9 号）の機能・性能を具体的に把握するための技術動向調査を 2005 年度に実施した。具体的には、8～10 年後に静止気象衛星に搭載可能な観測センサの仕様、それを搭載可能な衛星本体の要件及び観測データを伝送するために必要な衛星－地上局間の通信手段並びにデータを処理するために必要な地上システムについて調査を行った。

本調査により、WMO 提案に沿った高分解能・多バンドの可視赤外イメージャが、打ち上げまでに複数のメーカーから調達可能であることが明らかとなった。調査結果は、ひまわり 8 号・9 号に搭載する可視赤外イメージャ、通信性能及び衛星本体／地上処理などの具体的な仕様の作成にあたり、基礎資料として活用した。

(3) 静止気象衛星に関する懇談会

2007 年度、静止気象衛星の整備・運用のあり方について、庁外の学識経験者等、広い知見を有する有識者から幅広く意見を得るため、「静止気象衛星に関する懇談会」を設置し議論を行った。具体的には、通信衛星等の衛星との相乗りの可能性、衛星観測データの有料化の可能性及び衛星管制への民間活力の活用の可能性について検討した。

・相乗りの検討

関係省庁、宇宙開発機関及び民間通信衛星事業者に対してヒアリングを行った。その結果、運輸多目的衛星としての航空ミッションとの相乗りの継続については、製造期間や次期システムの検討時期の違いから成立せず、また関係省庁や JAXA、民間通信衛星についても、衛星の静止軌道位置（GMS 以来の観測位置の継続の観点から、

東経 140 度付近が望ましいことを懇談会では提言）や打上げ時期などの条件に合致する具体的な衛星ミッションはなく、相乗りは見送った。

・有料化の検討

民間気象事業者や衛星画像販売事業者に対するヒアリングを行った。静止気象衛星は、我が国の基幹をなす社会インフラであり、その観測データは国民の安全・安心に関わる重要な情報であること、また国際的にも観測データは無償で交換される情報であること、無料の気象衛星データによりさまざまな分野でのビジネス創出の機会が生まれることなどから、今後とも広く国内外で利用されるよう無償で提供されるべき情報であると整理された。

・民間活力の活用の可能性

衛星の軌道制御や姿勢制御などの衛星管制に関しては、民間の衛星事業者において運用の経験が積み上げられていることから、わが国の主要な民間通信衛星事業者に対してヒアリングを実施した。その結果、いずれも既に相当機数の衛星を運用しており、次期静止気象衛星の運用に関して、効率的かつ信頼性の高いサービスの提供が可能であり、その意欲もあるとの見解であった。これにより、民間の衛星事業者が保有する軌道制御や姿勢制御などの衛星管制のノウハウや人的リソースあるいは設備のリソースを有効に活用することにより、国のコスト低減が期待されるとして、衛星管制を PFI 方式で実施するという当時としては我が国で前例のない提案がなされた。

(4) 衛星仕様及び衛星運用等事業

上記の議論を踏まえ、衛星の具体的な仕様及び PFI による衛星運用等事業は、以下のとおりとした。

ア. 衛星仕様

・観測センサ（AHI）

庁内の利用者からの要望なども踏まえ、ひまわり 8 号・9 号の観測センサには、高分解能かつ多バンドの観測性能を持つ可視赤外イメージャを導

入することとした。観測センサの可視バンドは、欧米の動向を注視しつつ、エーロゾル・黄砂等の監視、火山噴煙や森林火災による煙などの検出精度の向上を目的として R (赤)・G (緑)・B (青) の三原色によるカラー画像の取得が可能な波長を選択した。新たに追加した近赤外域には、 $0.86\ \mu\text{m}$ を植生監視と陸上での晴天判別に、 $1.6\ \mu\text{m}$ を氷・水雲の判別、雪氷・海水域の検出に、 $2.3\ \mu\text{m}$ を雲粒径との関係により反射率が異なることを利用して積乱雲の発達速度の推定に利用するために選択した。赤外域では、これまで1バンドであった水蒸気吸収帯に新たに2バンドを追加し、3つのバンドで上層から中層の水蒸気分布を観測することを目指すこととした。

さらに、小領域の連続観測に機動性を持たせ、フルディスク観測と並行してこれを実施できる性能を有することとした。MTSAT-1R、MTSAT-2では、フルディスク観測と領域観測は同時に行えないため、待機衛星を使った限定的な領域観測にとどまっていたが、ひまわり8号・9号では、フルディスク観測をしながら小領域の観測も行えるだけでなく、観測開始3分前までは観測対象となる領域を変更できる機動性を有することとした。この機動性を使って、集中豪雨などの気象現象が予測される地域を2～3分の間隔で観測し、発達初期の積乱雲を検出することで、気象現象の予報精度向上に寄与し、また台風も高頻度で観測することにより、進路予想の向上に寄与することを目指した。なお、AHIの詳細については、第3.1.2項に記述する。

・通信機能

ひまわり8号・9号では、観測データ量が大幅に増えるため、これまで利用してきた周波数帯(L帯)では観測データを地上局へ伝送することが出来ないことが分かり、新たな周波数帯(Ka帯)を選択することとした(詳細を第3.2.1項に記述)。伝送方式では、より多くのデータが伝送できる変調方式(四位相偏移変調)及び電波伝搬路上でのバーストエラーやランダムエラーによるデータ欠損の対応として誤り訂正符号化技術を採用した。なお、天候等によらず安定的に衛星からデータを

受信できるよう地上局への伝送は、2か所へ同時に送信できることとした。

DCPデータの中継は、引き続き継続することとし、衛星交代による地上の通報局側の改修は不要とした。

・軌道位置

我が国の静止気象衛星は、GMS初号機からMTSAT-1Rまでは東京のほぼ真南の赤道上空の東経140度で、MTSAT-2は東経145度で気象観測を行っていた。ひまわり8号・9号についても、気象衛星業務の継続性からも、東経140度近傍(140度～145度)を衛星が静止する位置として選定し、他の衛星通信網との周波数調整を踏まえ静止軌道位置を決定した(周波数調整については、第3.2.2項に記述)。

・2機体制

ひまわり8号の打上げ時には、打上げ失敗に備えて2機目(ひまわり9号)の製造が完成間近まで進んでいることも重要である。これにより万が一、ひまわり8号の打上げが失敗した場合には、直ちにひまわり9号を完成させるとともに、打上げロケットの繰上げ調達を行い、ひまわり9号を早期に打ち上げることが出来る。

軌道上では、太陽活動に起因する高エネルギー粒子等による部品損傷に関して完全に知見が得られているわけではなく、また確率は低いとはいえ、デブリと呼ばれる宇宙ごみとの衝突による衛星損傷や損失も想定しておかねばならない。このため、衛星内部に冗長系を備えるだけでなく、予備衛星を軌道上に配置することが必要で、欧米ではこうした計画で整備を行っている。

近年の技術進歩に伴い静止衛星の設計寿命は、15年程度にまで延びている。しかし、静止気象衛星の場合は画像を取得する観測センサが精密かつ敏感な部品を多く使っていることから、設計寿命は8年前後である。

これらを総合して、基本計画として軌道上に2機を配置し、15年間の観測運用を行うために、軌道上試験及び運用交代時の2機同時観測を含めて、衛星本体の寿命は15年、観測センサは8年

とした。また、同じ軌道位置にひまわり 8 号と 9 号を配置し、衝突しないように衛星の軌道を制御する新たな運用方法を導入した。これにより、2 つの衛星は同じ軌道位置から地球を観測できるので、データ利用者はあたかも 1 つの衛星が長期間にわたって地球を観測しているように、観測データを扱うことができる。

なお、PFI による業務の詳細は、第 4 章に記述する。

イ. 衛星運用等事業

静止衛星に関する懇談会で示された方向性に従って、衛星管制等は PFI 方式で調達することとした。PFI 方式で調達する範囲には、衛星管制、観測データの受信に必要な地上設備の整備及び 2029 年度までの運用業務（衛星管制、観測データの受信及び気象庁への伝送）並びに運用終了作業が含まれる。

なお、衛星仕様、衛星運用等事業、配信計画（整備計画策定時は地上回線に完全移行することを想定）も含めた次期静止気象衛星の整備計画については、2008 年 12 月に開催された庁議で了承された。

2.3.2 利用者への配信手段

GMS 初号機から MTSAT-2 までは、観測したデータを衛星の通信機能を用いて国内外の利用者に直接配信していた。一方で、ひまわり 8 号・9 号は、観測センサの性能が飛躍的に向上し、従来と比較してデータ量が非常に大きくなることから、利用者向けデータ配信手段について見直しを行うこととした。このため、地上系通信インフラ（インターネット）や通信衛星が、ひまわり 8 号・9 号で観測された大容量のデータをアジア太平洋地域へ配信する手段と成り得るかの検討を行った。

・次期気象衛星のデータ配信手段の調査

2007 年度に実施した本調査では、配信手段の判断に資する情報を得るため、アジア太平洋地域をサービス範囲としている通信衛星の現状を、運用事業者の基本情報及び衛星の運用状況から把握

し、またインターネット普及率及び国際回線容量、海底ケーブル整備状況から同地域におけるインターネットの現状と将来計画を把握した。

このような調査を踏まえ、ひまわり 8 号・9 号の観測データの配信手段としての可能性を評価した。この結果、大容量の観測データの利用が想定される国々については、従来の衛星配信からインターネット配信に移行しても問題ないことが明らかとなった。これにより、観測データの利用者への主な配信サービスは、地上のインターネット回線によるものへ移行し、気象衛星本体には配信機能を搭載しないこととした。

ただし上記検討を進める中で、島嶼国では海底ケーブル等の情報通信インフラの整備が遅れており、インターネット自体も通信衛星に依存しているため、大容量の観測データを受信する者にとって通信料の負担が重くなる場合があることが判った。このため島嶼国等の地上系通信インフラの脆弱な地域では、地上回線に完全に移行することが困難であり、衛星回線によるサービスを引き続き実施することの必要性が指摘された（第 15 回 WMO 第 V 地区総会）。

そこで、2011 年度にアジア太平洋地域の気象水文機関におけるひまわりの利用状況及び次期気象衛星データの配信に関する要望等の調査を行った。また、次期気象衛星データの配信・受信に必要な要件等の検討を行った。

その後、2012 年度から 2013 年度にかけて、通信衛星を利用したデータ配信を検討するため、フィジー気象局及びミャンマー気象水文局の協力を得て通信衛星を用いた伝送試験を行い、良好な結果を得た。また、受信設備を安価なものとするための伝送方式として、衛星通信で一般的に利用され、かつ欧州や米国の気象データの衛星配信で利用が進みつつあった DVB-S2 (Digital Video Broadcast – Satellite 2) を採用することを検討した。

2013 年度には、庁内に「気象衛星ひまわり 8 号・9 号の衛星画像その他気象データの通信衛星からの配信に係る検討会」を立ち上げた。この検討会の中で、衛星画像自体の利用価値を高めるため、配信するデータは衛星画像だけでなく、数値予報 GPV (Grid Point Value)、地上実況／高層実

況／海上実況及び衛星海上風を含めることが提案された。加えて、気象庁がこれまで実施してきた開発途上国への技術協力の成果（当庁が開発した衛星画像解析ソフトウェア（SATAID：SATellite Animation and Interactive Diagnosis））の活用が提案された。

これらの検討結果を踏まえ、地上のインターネット回線を主な配信サービス（HimawariCloud）の手段として採用すること、一方で、アジア・太平洋地域の気象水文機関の要望を考慮し、通信衛星による配信サービス（HimawariCast）を行うことを2014年度に気象庁として最終決定した（HimawariCloud/Castの詳細は、第5.3節に記述）。

2.3.3 調達作業

調達に先立ち行った調査及び懇談の検討結果を踏まえて、衛星仕様や調達方法について最終決定し調達作業を進めた。ひまわり8号・9号では、大きく3つの事項（衛星製造、ロケット打上げ輸送サービス、衛星運用等事業）に分けて調達を行

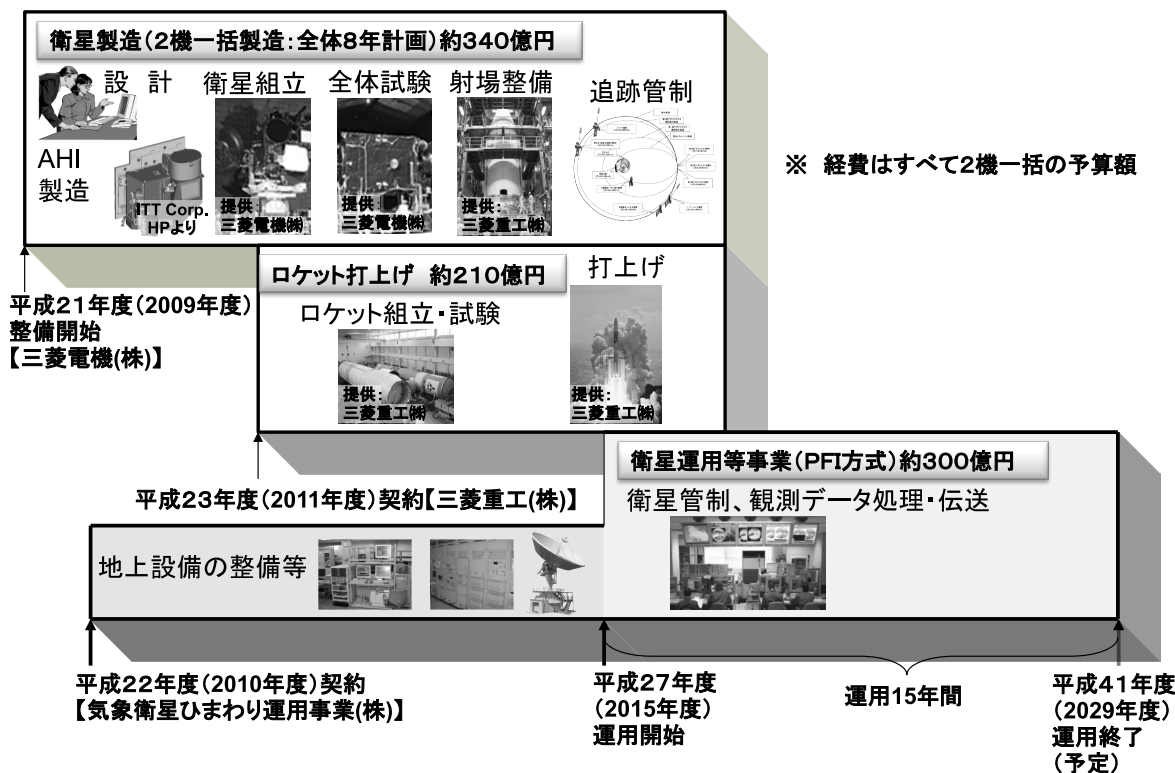
った（第2.3.3.1図）。

(1) 衛星製造

衛星製造は、衛星本体及び可視赤外イメージャーの設計、製作・組立・試験、輸送、種子島宇宙センターでの射場整備（ロケットとの結合、衛星燃料の充填等）及び打上げ（ロケット分離後）から静止軌道投入までの追跡管制並びにその後の軌道上試験が含まれる。

なお、衛星製造は、2機一括で調達し2009年度から2016年度までの8年間で整備を行い、この間の予算額は約340億円である。衛星製造は、非研究開発衛星の調達手続に則って国際競争入札により調達した。

製造に際し、衛星バス系³は、軌道上での運用実績もある三菱電機株式会社製の標準衛星プラットフォーム（DS2000）を、可視赤外イメージャーは米国の静止気象衛星GOES-R（GOES-16）用に開発していたABI（Advanced Baseline Imager）をベースにひまわり8号・9号の仕様に適応するよ



第2.3.3.1図 ひまわりの整備・打上げ・運用に係る調達の内訳

³ 衛星バス系とは、人工衛星として必要な電力、通信、姿勢・軌道制御、熱制御、主構造などの基本的な機能の総称。

う変更を加えた AHI を採用した。実際の製造は、基本設計審査会・詳細設計審査会で承認された設計を基に、AHI を米国で製造・試験し、衛星本体を製造している三菱電機鎌倉製作所に輸送後、最終組立・試験を行った。また、AHI の機能、伝送フォーマット等に合わせた AHI 観測データの地上処理を行う放射計データ処理ソフトウェア (RDACS : Radiometer Data Acquisition and Control Software) も衛星製造 (契約) の中で製作及び試験が行われ、HOPE の地上システムに実装された。

(2) ロケット打上げ輸送サービス

打上げ輸送サービスには、ひまわり 8 号・9 号の H-IIA ロケットによる打上げ及び打上げに関わる安全監理業務が含まれる。2011 年度から 2016 年度までの 6 年間の契約となり、この間の予算額は約 210 億円である。

なお、ロケットは、宇宙開発戦略本部の方針 (政府機関が衛星を打上げる場合は原則として国の基幹ロケットを使用する) に沿って、H-IIA とした。

(3) 衛星運用等事業

PFI 方式による衛星運用等事業は、2010 年度から地上設備の整備を開始し、2015 年度からひまわり 8 号の衛星運用を開始した (ひまわり 9 号は 2016 年度)。予算額は全体で約 300 億円である。

2.3.4 ひまわり 8 号・9 号の運用開始

2.3.4.1 ひまわり 8 号の観測運用開始

ひまわり 8 号は、2014 年 10 月 7 日 14 時 16 分 00 秒 (JST) に、種子島宇宙センターから H-II A ロケット 25 号機により打ち上げられた (写真 2.3.4.1, 写真 2.3.4.2)。

ロケットは、計画通り飛行し、打上げから約 27 分 57 秒後の 14 時 43 分 57 秒にひまわり 8 号を正常に分離した。10 月 16 日 19 時 00 分には、所定の静止軌道 (東経 140.7 度の赤道上空) に投入された。その後、軌道上での機能・性能確認試験を経て、12 月 18 日 11 時 40 分に初画像⁴を取得した。

ひまわり 8 号は、100 日間の連続観測運用試験

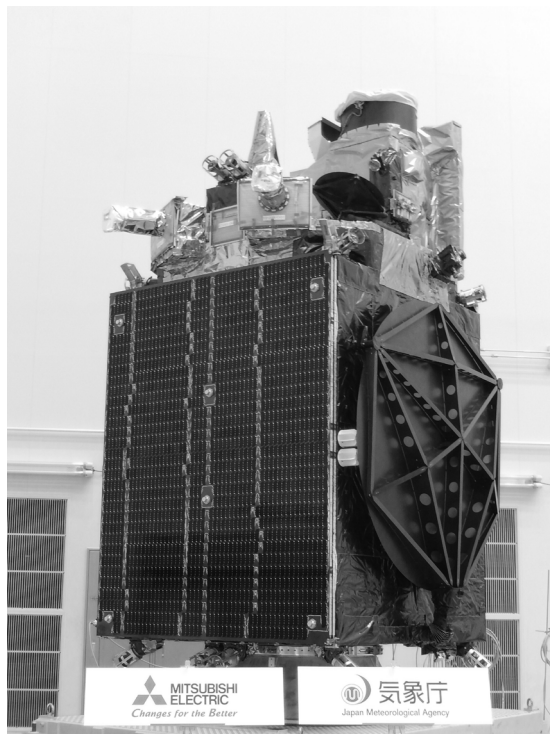


写真 2.3.4.1 ひまわり 8 号報道公開写真 (三菱電機撮影) : クレジット : 三菱電機

⁴ 気象庁ホームページ : ひまわり 8 号による初画像。

https://www.jma-net.go.jp/sat/himawari/first_image_h8.html

等を経て、2015年7月7日11時00分から正式に観測運用を開始した。MTSAT-2から8号への切り替え当日には、気象庁本庁でひまわり8号運用開始式を開催した。北川イッセイ国土交通副大臣(当時)が運用切り替えのスイッチ操作を行い、西出則武気象庁長官(当時)とともに運用開始を

宣言した(写真2.3.4.3, 写真2.3.4.4)。

ひまわり8号の運用開始は、新しい時代を切り拓くものとして国民からも注目を集め、運用開始式には多数のメディアが取材に集まった。

気象庁ホームページでは、同時刻からひまわり8号の可視3バンドを合成して作成した可視カラ



写真 2.3.4.2 ひまわり8号打上げの様子：クレジット：三菱重工

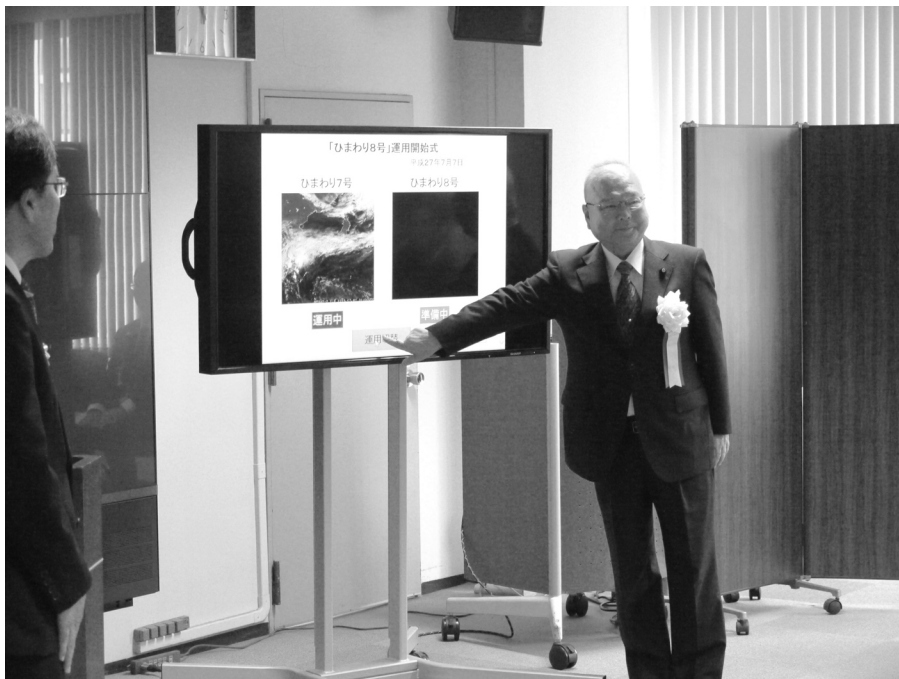


写真 2.3.4.3 ひまわり8号運用開始式の様子①

一合成画像が閲覧できるようになった。また、気象業務支援センターを通じて、一般の利用者向けにも、ひまわり8号による観測データの配信を開始した。

2.3.4.2 ひまわり9号の待機運用開始

ひまわり9号は、2016年11月2日15時20分00秒に種子島宇宙センターからH-IIAロケット31号機により打ち上げられた(写真2.3.4.5, 写真2.3.4.6)。



写真 2.3.4.4 ひまわり8号運用開始式の様子②

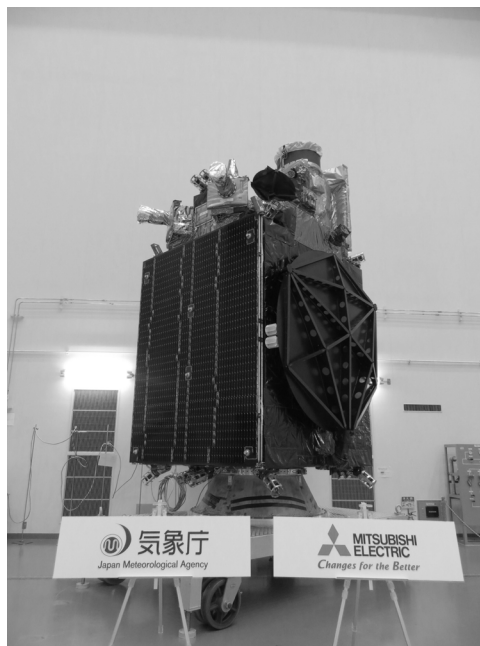


写真 2.3.4.5 ひまわり9号報道公開写真(三菱電機撮影):クレジット:三菱電機



写真 2.3.4.6 ひまわり9号打上げの様子：クレジット：三菱重工

ロケットは、計画通り飛行し、打上げから約27分51秒後の15時47分51秒にひまわり9号を正常に分離した。11月11日9時00分には、所定の静止軌道（ひまわり8号と同じ軌道位置）に投入された。その後、軌道上での機能・性能確認試験を経て、2017年1月24日11時40分に初画像⁵を取得した。

ひまわり9号は、2017年3月10日9時00分から待機運用を開始した。これにより、世界最先端の観測性能を有するひまわり8号・9号の2機体制を確立した。

ひまわり8号のバックアップとしてMTSAT-2は、待機運用を継続していたが、2017年3月10日のひまわり9号の待機運用開始をもって気象ミッションの運用を終了した。これをもって、MTSATシリーズの気象ミッションは全て終了した。

3 衛星システム

本章では、AHIを含む衛星の概要及び利用周波

数について説明する。

3.1 衛星概要

3.1.1 衛星システム全般

ひまわり8号・9号は、国産の衛星バスに気象ミッション機器（AHI、DCPデータ中継）を搭載した三軸姿勢制御方式の静止気象衛星である。

通信周波数は、AHI観測データの伝送にKa帯、テレメトリ／コマンド（衛星管制）にKu帯、DCPデータの中継にUHF及びKa帯を使用している。

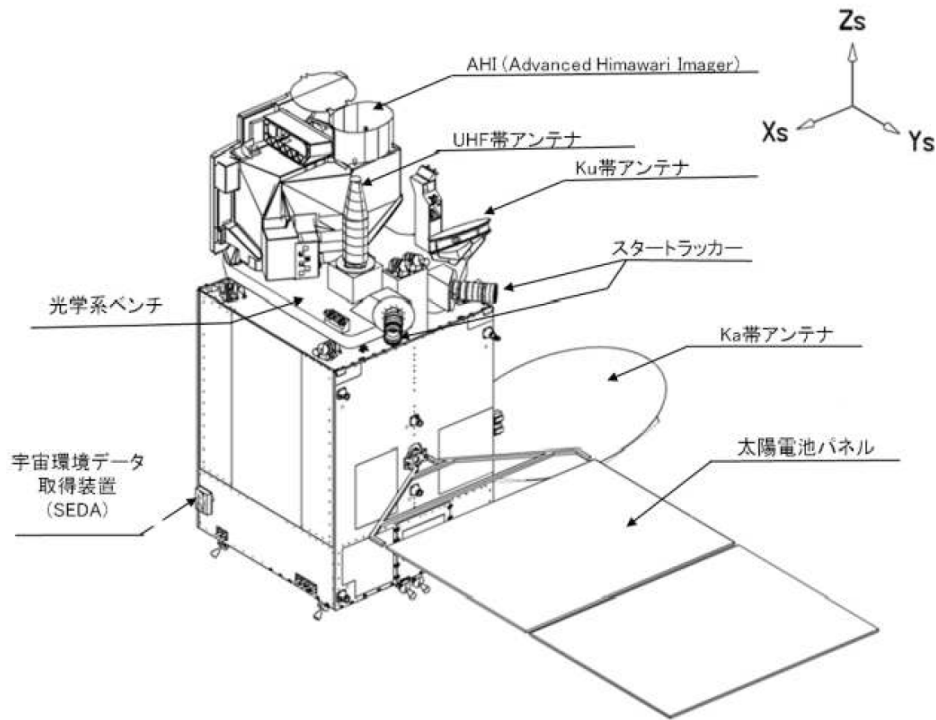
ひまわり8号・9号の外観を第3.1.1図に、主要諸元を第3.1.1表に示す。なお、ひまわり8号・9号の詳細は、尾関・佐々木（2016）を参照願いたい。

3.1.2 AHIの概要

ひまわり8号・9号のAHIは、観測バンド数（第3.1.2表を参照）が可視域から赤外域にわたる16バンドに、空間分解能がこれまでの2倍に、衛星

⁵ 気象庁ホームページ：ひまわり9号による初画像。

https://www.jma-net.go.jp/sat/himawari/first_image_h9.html



第 3.1.1 図 衛星の外観

第 3.1.1 表 衛星の主要諸元

姿勢制御方式	三軸姿勢制御方式 (進行方向 (ロール軸), 地軸方向 (ピッチ軸), 地心方向 (ヨー軸) それぞれをスラスタ, リアクションホイールで制御する方式)
位 置	東経 140.7 度 (軌道保持範囲: 南北・東西±0.1 度) (ひまわり 8 号 (東経 140.65 度), 9 号 (東経 140.75 度) で経度分離)
全長・質量	衛星本体: 約 2.2m×2.1m×2.9m 軌道上: 約 5.1m×8.0m×5.3m 総質量: 約 3,450kg (打上げ時), 衛星本体: 約 1,300kg , 推薬: 約 2,200kg
可視赤外放射計	AHI (米国・現 Harris 社製), 質量: 約 340kg 可視 3 バンド (分解能: 0.5km, 1km), 近赤外 3 バンド (1km, 2km), 赤外 10 バンド (2km) フルディスク観測 (10 分毎) 領域観測 (2.5 分毎×3 領域, 0.5 分毎×2 領域)
通信系	DCP: 402MHz 帯 (UHF) テレメトリ・コマンド及びレンジング: 12-14GHz 帯 (Ku) AHI・DCP: 18GHz 帯 (Ka)
設計寿命	衛星本体 (バス): 15 年以上 AHI: 8 年以上 (運用 7 年+並行観測 1 年)

から見える地球の全ての範囲のフルディスク観測に要する時間がこれまでの30分から10分になり、空間的・時間的によりきめ細かい観測が可能となった。加えて、フルディスク観測を実施しながら5種類の小領域の観測を行う機能も有している。

フルディスク観測は、走査鏡を西から東へ、北から南に向かって23回走査することで行うが、1回の走査で得られるのは地球の一部を帯状に撮

影したものであり、これを「スワス」と呼ぶ。

AHIの観測パターンは、フルディスク観測と領域観測を含む10分間の観測タイムラインを基本としている(10分間で観測する種別を第3.1.3表に示す)。領域観測では、定点の日本域観測(領域観測1と2を合わせたもの)と台風や火山等の観測に利用する機動観測(領域観測3)を約2.5分ごとに実施する。画像の位置合わせ処理に利用

第 3.1.2 表 観測バンドの波長、空間分解能、観測データの用途

ひまわり7号の5バンド (中心波長μm)		ひまわり8号及び9号のAHI観測バンド			
		バンド	中心波長(μm)	解像度 衛星直下点(km)	想定される用途
可視(0.68)	1	可視	0.47	1	植生、エアロゾル、カラー合成画像
	2		0.51		植生、エアロゾル、カラー合成画像
	3	0.64	0.5	植生、下層雲・霧、カラー合成画像	
赤外4(3.7) 赤外3(6.8)	4	近赤外	0.86	1	植生、エアロゾル
	5		1.6	2	雲相判別
	6	2.3	雲粒有効半径		
赤外1(10.8) 赤外2(12.0)	7	赤外	3.9	2	下層雲・霧、自然火災
	8		6.2		上層水蒸気
	9		6.9		上中層水蒸気
	10		7.3		中層水蒸気
	11		8.6		雲相判別、二酸化硫黄
	12		9.6		オゾン
	13		10.4		雲画像、雲頂情報
	14		11.2		雲画像、海面水温
	15		12.4		雲画像、海面水温
	16		13.3		雲頂高度

第 3.1.3 表 10分間で観測する種別

種 別	観測領域	およその大きさ	観測間隔	備 考
フルディスク観測	ひまわりから見える範囲の全て		10分	
日本域観測 (領域観測1, 2)	北東日本 (固定)	東西 2000km× 南北 1000km	約 2.5分	北東日本と南西日本を合成して「日本域」とする
	南西日本 (固定)	東西 2000km× 南北 1000km	約 2.5分	
機動観測 (領域観測3)	可 変	東西 1000km× 南北 1000km	約 2.5分	台風や火山等を観測する
ランドマーク観測① (領域観測4)	可 変	東西 1000km× 南北 500km	約 30秒	
ランドマーク観測② (領域観測5)	可 変	東西 1000km× 南北 500km	約 30秒	

するランドマーク観測（領域観測 4 と 5）は、約 30 秒ごとに実施する。機動観測とランドマーク観測は観測ごとに対象領域の変更が可能である。1 日で考えると、フルディスク観測は 142 回（フルディスク観測は最大で 144 回実施可能であるが、1 日 2 回、フルディスク観測を休止して衛星姿勢保持に必要な運用にあてている）、日本域観

測と機動観測はそれぞれ 576 回観測を行っている。なお、衛星の軌道保持制御時は、フルディスク観測を休止している。

AHI の外観を写真 3.1.2 に、フルディスク観測と領域観測（1 から 5）の観測領域の大きさを第 3.1.2 図に示す。

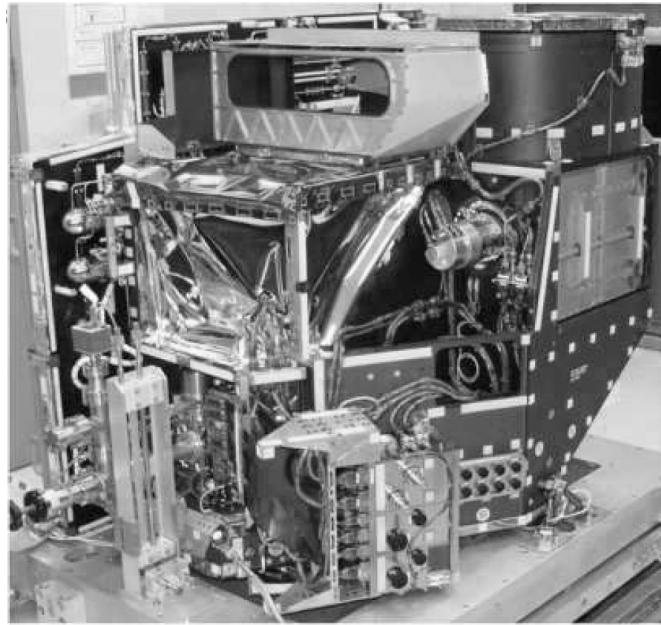
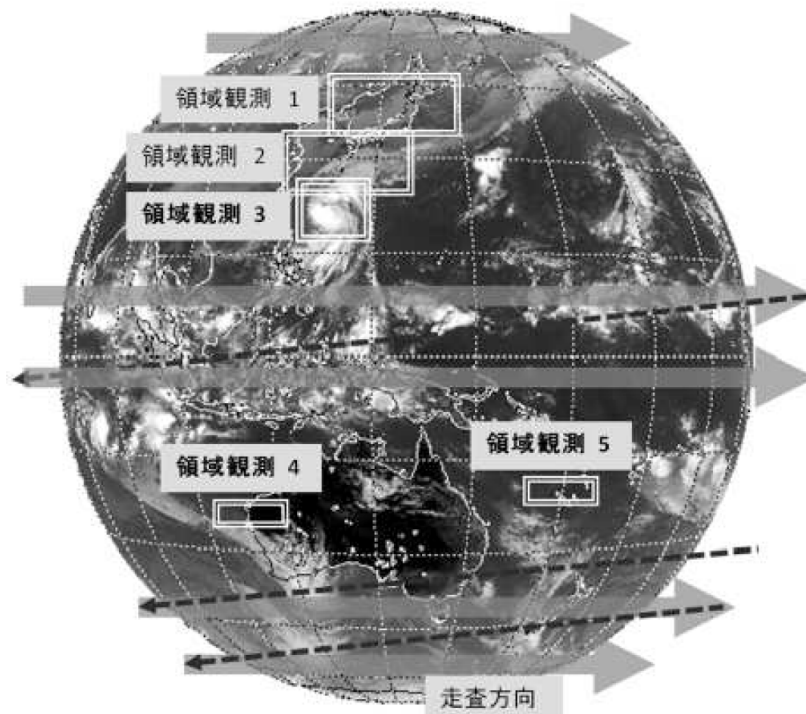


写真 3.1.2 AHI の外観



第 3.1.2 図 各観測領域の大きさ

3.2 利用周波数

3.2.1 周波数の選択

ひまわり 8 号・9 号では、観測センサの高機能化によりデータの容量が大幅に増加するため、GMS 及び MTSAT シリーズで利用してきた L 帯 (1.6GHz 帯) では帯域が不足し観測データを地上局へ伝送できない。このため、観測データの地上局への伝送に利用する無線周波数の検討が必要となった。

時を同じくして、気象衛星運用機関や宇宙機関で構成される「気象衛星調整グループ (CGMS : Coordination Group for Meteorological Satellites)」においても、高機能化されていく観測センサから得られるデータを地上局に伝送するための無線周波数と伝送帯域の確保に向けた議論がされていた。CGMS メンバーである世界気象機関 (WMO : World Meteorological Organization) を通じて国際電気通信機関 (ITU : International Telecommunication Union) へ周波数配分の働きかけを行った結果、2007 年に開催された世界無

線通信会議 (WRC : World Radiocommunication Conference) において、静止気象衛星業務への Ka 帯周波数の分配拡張 (18.1 - 18.4GHz) が承認された。

ひまわり 8 号・9 号の観測データについては、このような国際的な議論の結果も踏まえて、必要な帯域が確保できる Ka 帯 (18GHz 帯) を利用することにした。また、衛星管制業務については、民間企業の資金、経営能力及び技術力を活用することを想定し、既に民間の衛星通信事業者が運用実績を持っていた Ku 帯 (12-14GHz) を利用することにした (詳細を第 4.2 節に記述)。DCP データについては、従来どおり、UHF 帯で地上の DCP から衛星に送信し、Ka 帯に変換して地上局 (HOPE) へ伝送している (第 3.2.1 表を参照)。

なお、Ka、Ku 帯には、降雨により電波が減衰する特徴がある。この現象を「降雨減衰」と呼ぶ。降雨減衰に対しては、距離を離れた地上局を複数配置 (地域冗長化) することで影響を最小化した。

第 3.2.1 表 周波数の遷り変わり

ひまわり7号までの利用周波数帯

回線名(総称)	周波数帯		備 考
	地球→宇宙	宇宙→地球	
画像観測データ	-	L	人工衛星局→地球局(気象庁)
利用者向け直接配信	S	L	地球局→衛星→利用局(受信)
通報局(DCP)データの中継	UHF	L	通報局→人工衛星局→地球局
テレメトリコマンド(TTC)	S/USB	L/USB	地球局⇔人工衛星局

ひまわり8、9号からの利用周波数帯

回線名(総称)	周波数帯		備 考
	地球→宇宙	宇宙→地球	
画像観測データ	-	Ka	人工衛星局 →地球局(HOPE主,副局)
通報局(DCP)データの中継	UHF	Ka	通報局→人工衛星局→地球局
テレメトリコマンド(TTC)	Ku	Ku	地球局⇔人工衛星局

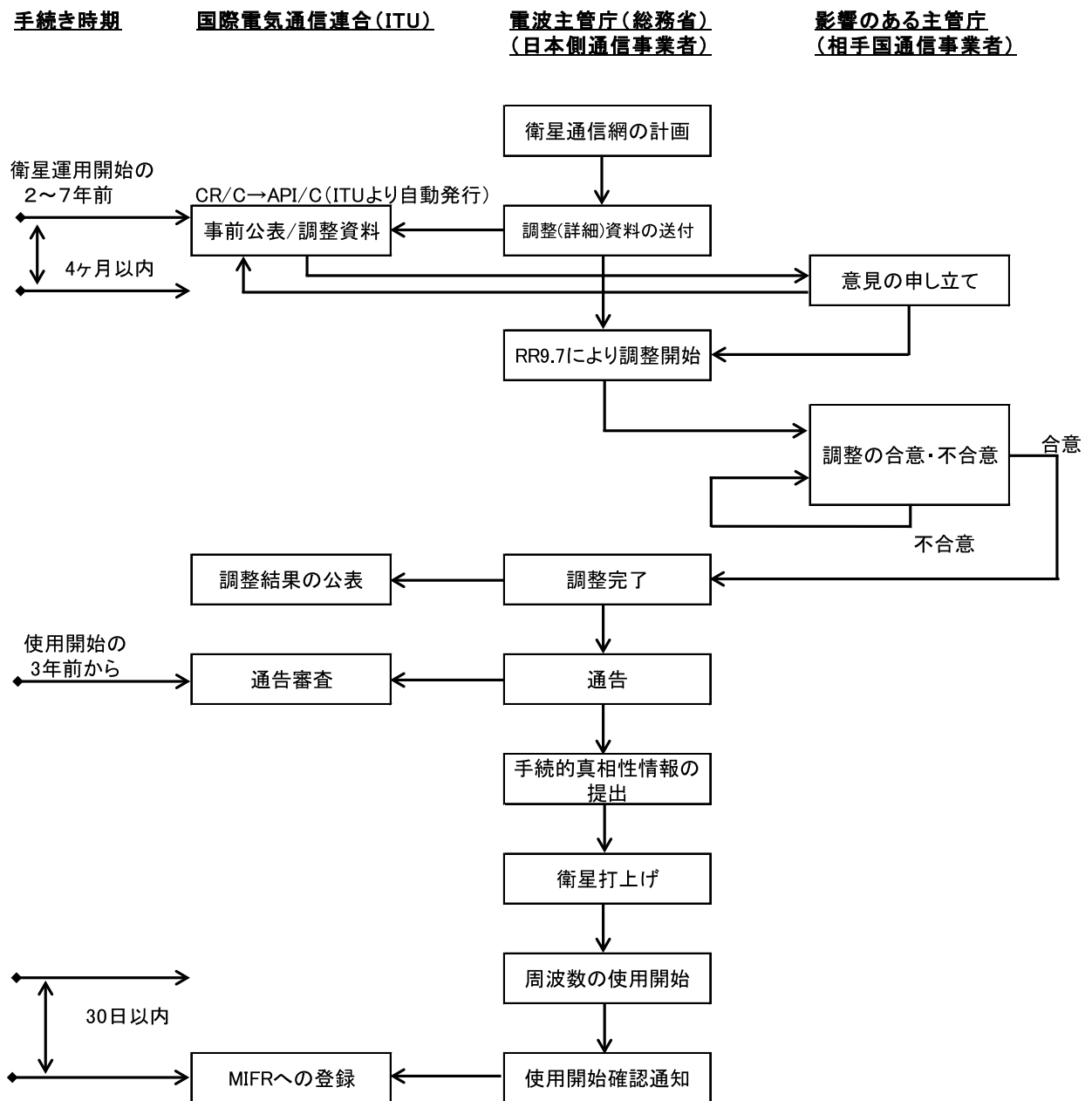
3.2.2 周波数調整

人工衛星と地上局との無線通信では、使用する電波が広範囲に伝搬するため、国内外における電波混信が問題であり、人工衛星が無線局として電波を利用するためには、他の無線局に混信を与えない配慮が必要となる。このため、衛星の打上げを計画する際には、事前に混信を生じる可能性のある衛星通信網との間で、ITU が定める無線通信規則（RR：Radio communication Regulation）の規定に基づき、国際周波数調整を行う必要がある。

原則として、ITU へ申請・受領された順番で調整時の優劣が決まる（先着優先の原則）。ただし、RR 上で保護されている放送衛星については、先着順の原則は適用されない。

ITU は、国際周波数調整の合意結果をもとに審査を行い、問題がないと判断された場合、国際周波数登録原簿（MIFR：Master International Frequency Register）に新たな衛星通信網として登録する（第 3.2.2 図を参照）。

利用する周波数を Ka, Ku 帯に変更したことに



第 3.2.2 図 国際周波数調整の流れ

に伴い、この周波数帯で既存の衛星通信網との混信が避けられる東経 140.7 度を、ひまわり 8 号・9 号の軌道位置とした。

ひまわり 8 号・9 号では、2009 年から 2017 年までの 9 年間に 21 カ国と周波数調整を行った。これらの調整の結果、ひまわり 8 号・9 号の運用に必要な無線周波数が利用可能となった。

4. PFI で整備した地上システムとその運用

ひまわり 8 号・9 号の運用は、MTSAT-2 までとは異なり、民間企業の資金、経営能力及び技術力を活かして公共施設等の整備、維持管理、運用等を行う PFI と呼ばれる手法を用いることになった。このため、整備した地上システムは、民間企業のノウハウを反映したものになっている。

本章では、PFI 手法を導入したひまわり 8 号・9 号の運用等事業の概要及び整備された地上システム並びにその運用について説明する。

4.1 ひまわり運用等事業

4.1.1 PFI について

PFI とは、受注者である民間企業がサービス提供を行い、発注者である国や地方自治体等がその監視を行い、提供されたサービスに対して対価を支払うというスキームである。

発注者が制定した仕様に適合した施設の整備（例えば、ごみ焼却場の整備）などに対して対価を支払う従来の公共事業とは異なり、PFI では受注者によって提供されるサービス（例えば、一定量以上のごみ焼却）が発注者の定める水準に達していれば対価を支払うものである。このサービス提供に必要な設備の整備やその運用についても受注者の提案に基づき実施させるものである。このように、要求水準の達成手段に自由度を持たせることにより、民間企業の持つ各種のノウハウを活かした効率的なサービスの提供を受けることができる。

この手法は、公共事業に民間の活力を導入する手法の一つとして 1990 年代に英国で導入され、

その後、欧州から世界に広まった。我が国でも、1999 年の関連法整備を皮切りに PFI による公共事業が行われるようになった。その多くは、ごみ焼却場や港湾施設等の公共施設の整備とその運用に関する事業である。

一般に、PFI 事業では、設備の設計・整備から運用、資金調達及び各種管理業務など、実施する業務が多岐に亘っているため、複数企業が出資して事業母体である特別目的会社（SPC：Special Purpose Company）を設立する。SPC は、金融機関の融資を受け、維持管理業務や運用業務などの業務を個別に委託する形で事業を運営する。また、発注者と金融機関の間で、SPC が破綻しサービス提供が中断された場合の対応等を謳った協定を締結する。

4.1.2 PFI 導入の経緯

GMS 初号機から 5 号までの衛星管制は、宇宙開発事業団（現在の JAXA）が実施していた。また、MTSAT-1R 及び MTSAT-2 は、国土交通省航空局の航空ミッションと相乗りで、衛星管制は主に航空局が実施していた。このように、これまで気象庁は衛星管制を主体的に実施したことがなかった。そこで、気象庁は、前述の検討を踏まえ、衛星管制等の運用事業に PFI を導入することとし、事業者選定にあたって公平性と透明性を確保するため、「静止地球環境観測衛星の運用等事業有識者等委員会」を設置した。また、この事業が我が国初の宇宙分野への PFI 導入事例であることを考えると、事業者の提案が発注者の期待する水準に達しないことや落札後に問題が発生することなどが懸念された。そこで、気象庁は、事業者選定までに事業者への説明会（技術説明会、入札説明会及び現地説明会）や対話（競争的対話）の機会を設定した。これは、業務要求水準書⁶（発注者が SPC に要求する最小限の業務水準を記述した文書）や事業契約書等の案の内容について、事業者・発注者の認識を合わせるなどして、両者の間の行き違いを避けることを目的としたものであ

⁶ 気象庁ホームページで公開。

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/pfi/satope/doc/220129_04_requi.pdf

る。

例えば、業務要求水準書に「国は、放射計データ処理ソフトウェアについて、SPC が整備する放射計データに係る設備上での動作確認終了後に貸与する」（第 1 部 第 4 イ）とあり、これに関して事業者から、貸与は無償か、貸与後のソフトウェアの管理の主体は誰か等の具体的な事項についての質問が出された。このような具体的な事項は、事業者の提案や受注者に求められる業務水準に影響を与えることがある。このため、説明会や対話を通じて気象庁の意図を事業者に伝え、事業者と意思疎通を図った。これにより、事業者と気象庁の認識の差を埋めることができ、この事業の運営に十分な提案を入札者から受けることができた。

4.1.3 PFI による施設整備・維持管理・運用

入札の結果、事業者に選定されたグループは、代表企業の三菱 UFJ リース株式会社、新日鉄ソリューションズ株式会社（現在の新日鉄住金ソリューションズ株式会社）及び宇宙技術開発株式会社からなる。なお、後に、物品調達業務を担当する三菱電機株式会社が出資企業に加わっている。

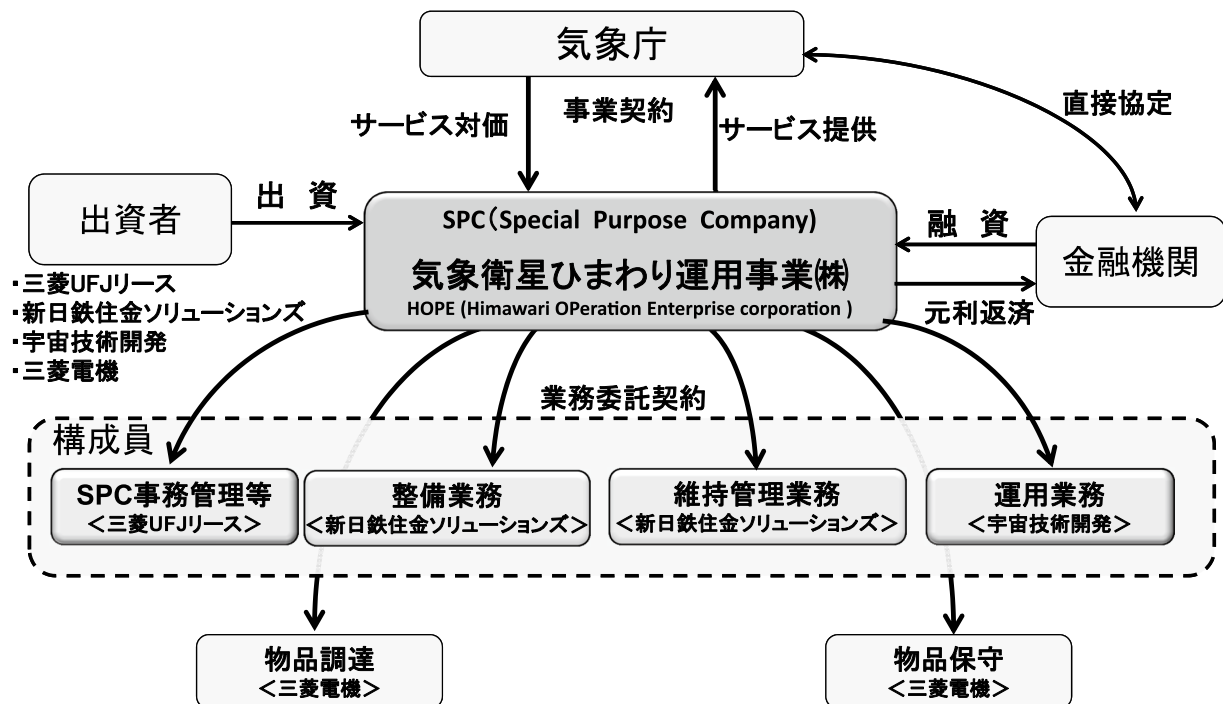
落札グループは、本運用事業を実施するために気象衛星ひまわり運用事業株式会社（HOPE）という SPC を設立した。事業体制を第 4.1.3.1 図に示す。

HOPE は、事務管理業務やファイナンスアドバイザー業務を三菱 UFJ リース株式会社に、地上設備の整備・維持管理業務を新日鉄住金ソリューションズ株式会社に、衛星の運用業務を宇宙技術開発株式会社に、物品調達・保守を三菱電機株式会社にそれぞれ委託している。

HOPE の運用等事業は、必要な地上施設・設備を整備・維持し、ひまわり 8 号・9 号を用いて 15 年間に亘り、24 時間 365 日中断することなく衛星を運用するものである。

4.2 HOPE 地上システム概要

本節では、HOPE の地上システム（以下、「HOPE システム」）の概要等について説明する。このシステムは、気象庁が業務要求水準書に記載した要求要件を満たすよう HOPE が独自に設計、構築したものである。なお、HOPE 地上システムの詳細は、佐々木（2016）を参照願いたい。



第 4.1.3.1 図 HOPE の事業体制

4.2.1 HOPE が行う業務

HOPE は、ひまわり 8 号・9 号の衛星管制、観測データの受信、処理及び気象庁への伝送を担っている（第 4.2.1 図参照）。

4.2.1.1 衛星管制業務

(1) 衛星の監視・制御

衛星搭載機器の状態や動作状況の把握は、衛星から送られてくるテレメトリデータ⁷を常時監視することで行っている。また、HOPE は、気象庁からの観測指示に従って、AHI に指令（コマンド）する。

衛星搭載機器の異常等を発見した場合は、決められた手順に従い、速やかにコマンド発信による対処を行う。

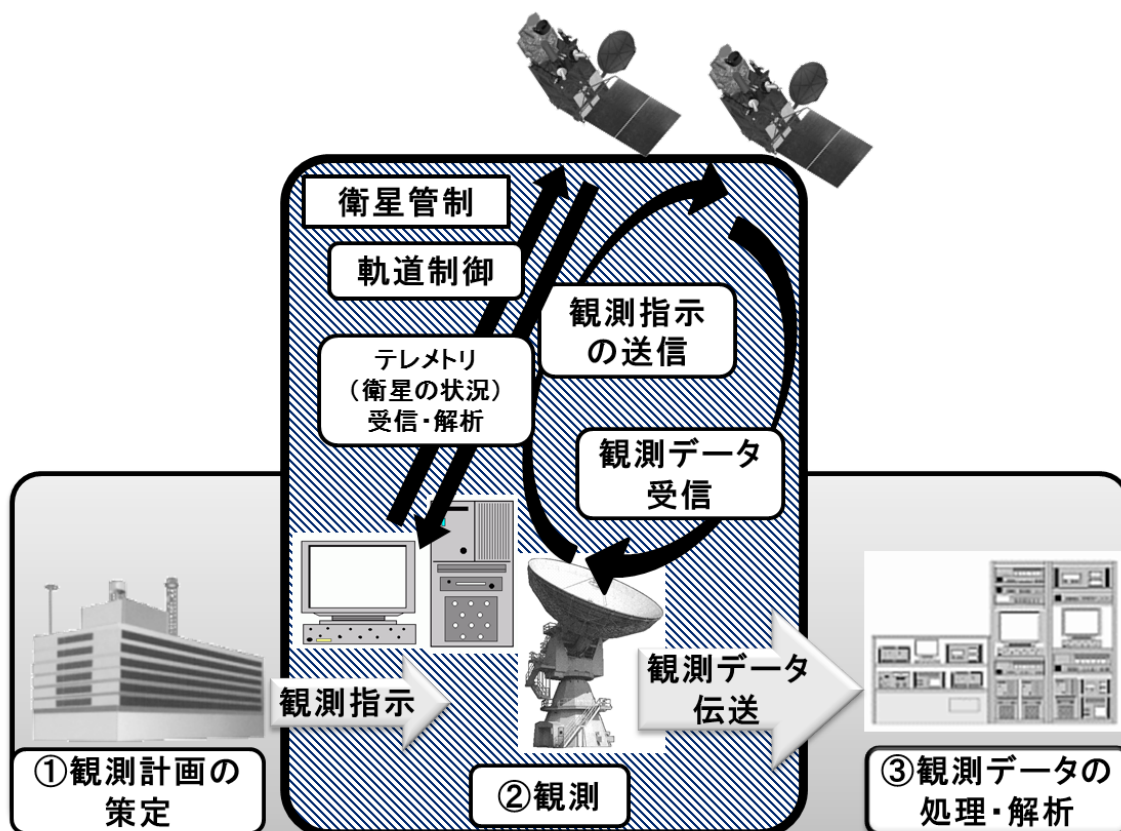
(2) 衛星軌道保持制御

衛星の軌道は、地球が完全な球対称でないこと

や太陽や月の重力の影響などにより次第にずれていく。衛星を運用するために必要な総務省が発行する無線局免許には、衛星の静止位置（ひまわり 8 号・9 号は、静止位置：東経 140.7 度、軌道保持範囲：± 0.1 度（南北・東西方向））が記載されており、この静止位置を外れてはならない。このため、定期的に衛星軌道を保持するための制御が必要となる。

この軌道制御には、南北方向と東西方向の 2 種類があり、HOPE では、ひとつの衛星につき、2 週間ごとにそれぞれの制御を行い、ひまわり 8 号・9 号の軌道を保持している。

制御は、衛星に搭載しているスラスタと呼ばれる噴射器から推進剤を噴射することにより行われる。この推進剤は、運用終了後の軌道離脱にも必要であることから、計画的に使用する必要がある、その残量は衛星運用の寿命を決定する要因のひとつとなる。



第 4.2.1 図 HOPE の事業実施範囲（網掛け部分）

⁷ ひまわり 8 号・9 号に搭載されている各機器の動作状態や電力等を指すデータ。

なお、衛星軌道位置は、定期的に地上局と衛星との距離を計測することで算出している。

4.2.1.2 観測データ処理業務

(1) AHI 観測データ処理

AHI による観測は、HOPE が気象庁からの観測場所の指定に従い、ひまわり 8 号・9 号に観測指令（コマンド）を送信することで行われている。AHI による観測は、フルディスク観測が 10 分ごと、日本域観測と台風などを追跡する機動観測が 2.5 分ごとに行われる。機動観測の位置は、随時、気象衛星センターから指示している（第 5.4 節及び第 7.2.4 項を参照）。

なお、AHI 観測データの処理については、第 5 章「気象衛星観測データの流れ」で、HOPE 及び気象庁での処理を合わせて説明する。

(2) DCP データの中継

ひまわり 8 号・9 号には、DCP が観測したデータを中継する機能がある。DCP は、地上及び海上等の実況、潮位、計測震度データ等の観測とそのデータの衛星への送信を自動で行う装置で、各国の気象水文機関等により設置されている。

HOPE は、ひまわり 8 号・9 号のうち、いずれかの衛星で中継された DCP データを受信・処理し、気象衛星センター及び大阪管区気象台に伝送する。この DCP データは、気象衛星センター及び大阪管区気象台のいずれかから全球通信システム（GTS：Global Telecommunication System）やインターネットを通じて利用者に提供される。

4.2.2 地上システム

4.2.2.1 設計の基本方針

HOPE は、地上局の機能喪失時や機器障害の発生時など、いかなる状況下でも国（気象庁）に対する観測データの提供を継続することを基本指針とし、これを実現するために以下を踏まえたシステム設計をしている。

(1) 冗長化

システム障害や災害等による業務影響を最小限に抑えるため、地上局を主局・副局の地域冗長と

し、さらに各設備や装置も冗長化している。

これにより、災害による主・副局の同時機能喪失を防ぎ、また運用系の設備や機器に障害が発生した場合でも、冗長系に切り替えることで、ひまわり 8 号・9 号の衛星管制や観測データの受信・伝送を継続することができる。

さらに、速やかな障害機器の復旧のために予備機器あるいは部品を計画的に調達し、保持している。

(2) 同時並行処理

地上システム障害による影響を最小限に抑えるため、通常、AHI 観測データに係る処理は、主局及び副局の主・従系装置で常に同時並行処理を行っている。

これにより、一方の装置に不具合が発生した場合でも、気象庁への観測データの伝送ができる。

4.2.2.2 設備構成

HOPE システムは、主・副の 2 局で構成される。主局は東京都板橋区にデータセンター、埼玉県鳩山町にアンテナサイトがそれぞれ設置され、副局は北海道江別市にデータセンターとアンテナサイトが併設されている。両局は、同時の降雨減衰、地震や火山噴火等による機能喪失を防ぐために約 800km 離されている。

データセンターは、衛星管制に必要な装置、AHI 観測データを処理する放射計データ処理装置及び DCP データを処理する装置などから構成される。アンテナサイトは、アンテナ及び無線設備等から構成される（第 4.2.2 図参照）。

通常、主局データセンターが両局のシステムを制御し、ひまわり 8 号・9 号を運用しているが、主局が機能を喪失した場合には、副局のみでひまわり 8 号・9 号を運用できるようになっている。このため、副局は、主局と同じ機器構成としている。また、HOPE システムは、主局及び副局の双方から気象衛星センターに、また副局からのみ大阪管区気象台に AHI 観測データ及び DCP データを伝送している。これにより、関東での災害の発生などにより、気象衛星センター及び主局の双方ともに機能を喪失した場合でも、副局からの大阪

管区气象台へのデータ伝送は継続されるため、大阪管区气象台から利用者への画像及びDCPデータの配信が可能である。

4.3 運用の概要

4.3.1 運用体制

衛星の観測運用において、ひまわり8号・9号のうち、定常的に観測を行う衛星を「正衛星」、正衛星に不具合が発生した場合の代替として待機している衛星を「副衛星」と呼んでいる。

気象庁は、業務要求水準でこの正・副衛星を同時に、かつ安全に運用することを求めており、HOPEは、この要求を満たすために、衛星の運用、地上機器の運用及び地上機器の維持管理の各担当から成る24時間の現業体制を組んでいる。

運用体制を以下に述べる。

- ・運用全体の管理責任者として管理統括責任者を置き、各業務の管理を行っている。
- ・管理統括責任者の下に、現業の統括として現業業務の管理を行う統括責任者を配置している。

・統括責任者の配下には現業が位置し、主局には正衛星の運用担当者、副衛星の運用担当者、主局地上システムの設備管理担当者を、副局には副局地上システムの設備管理担当者（日勤のみ）をそれぞれ配置している。

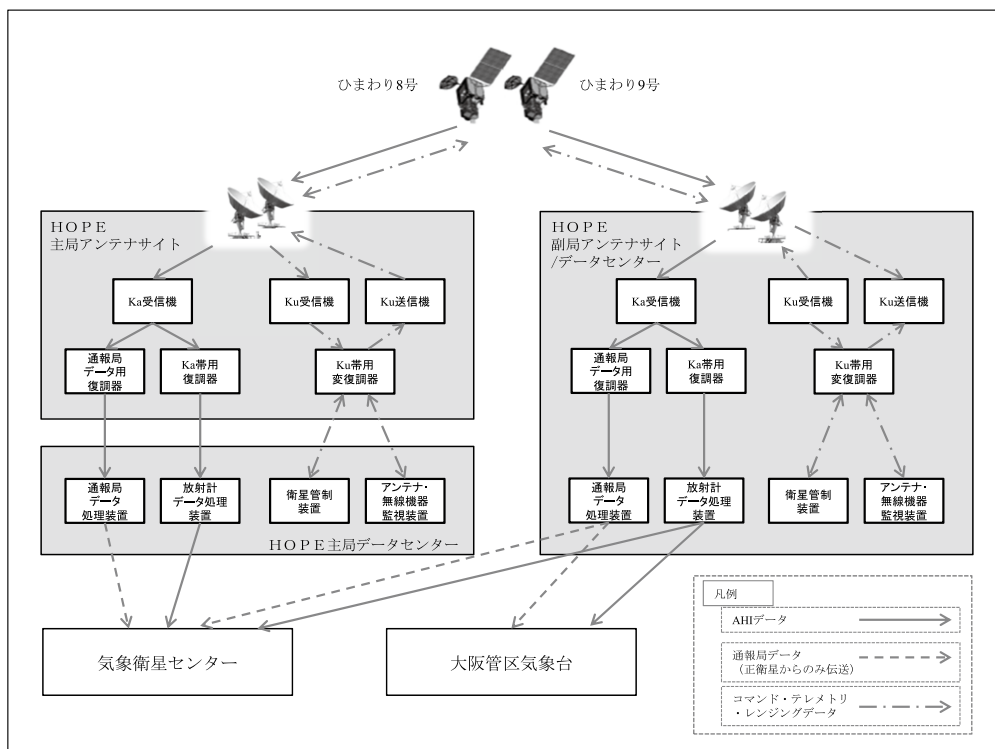
・現業とは別に、HOPEシステム全体の設備の保守や管理を行う維持管理担当者を主局に置いている。

・障害対応の連絡体制も明確に規定されており、障害発生時には速やかに障害の状況について、またその後の復旧状況について、あらかじめ登録している気象庁担当者に連絡が入る。

4.3.2 運用手法

HOPEは、正・副衛星の運用計画とHOPEシステムの保守等について、気象庁の運用要求（例えば、正衛星保守時の副衛星への観測切替）を踏まえ、年間計画、翌月の予定を示す月間計画及び翌週の運用計画を示す週間計画を立案する。

この計画は、気象庁の承認を得て実施することになっており、変更が必要となった場合もその都



第 4.2.2 図 HOPE システムの概念図

度気象庁の承認を得て実施する。ただし、緊急を要する障害対応のみは、事後承認としている。

なお、ひまわり 8 号・9 号の定常的な衛星管制、観測手順及び異常発生時の対処手順は、すべて衛星メーカーから提供されている。HOPE は、この手順に従いひまわり 8 号・9 号の運用を行っている。一方、HOPE システムは、HOPE が自ら設計、構築したものであり、その設備運用や保守等の作業はすべて HOPE が検討し、決定した手順に従って行っている。ただし、衛星の障害対応は衛星の安全に関わるため、重要な判断や作業について、気象庁から HOPE に指示することがある。

4.3.3 設備の維持管理

HOPE システムの維持管理は、あらかじめ HOPE によって、ひまわり 8 号・9 号の運用開始から終了までの約 15 年間の計画が立てられている。計画では、日常的な点検を始め、経年劣化が予想される部品の交換時期、その部品の調達計画及び重要機器の換装計画等、すべての設備の維持管理にかかる保守作業が盛り込まれている。また、重要機器については、不具合が発生した場合にすぐに交換できるよう、予め予備品を調達し、現場に備えている。

5. 気象衛星観測データの処理の流れ

本章では、観測データを処理するシステム全体について説明する。

ひまわり 8 号・9 号の AHI 観測データは、まず初めに HOPE データセンター（板橋局と江別局）に設置してある放射計データ処理装置に実装された RDACS において一次処理が行われ、その処理結果として「放射計ファイル」が作成され、気象衛星センター及び大阪管区气象台に伝送される。気象衛星センター及び大阪管区气象台に設置されたシステムでは、放射計ファイルを基にひまわり標準データ及び netCDF、PNG 画像ファイルなど

の各種の画像プロダクトを作成し、それらを気象庁内の各システムや海外及び国内の利用者に配信している。また、RDACS は、気象衛星センターから送信された機動観測位置の情報をもとに位置指定のコマンドパラメータを生成する機能も有している。

なお、生成されたコマンドパラメータは、衛星管制装置を経由して衛星に送信される。

5.1 HOPE での処理

HOPE に設置してある放射計データ処理装置に実装された RDACS は、以下の処理を行う。

(1) 放射計ファイルの作成

RDACS は、AHI による地球を走査した観測データとともに、深宇宙観測⁸、黒体観測⁹及び太陽光観測¹⁰のデータから得られる校正情報、衛星搭載の姿勢センサから得られる姿勢情報及び衛星と地上間の距離を測定（レンジング）することによって得られる軌道情報¹¹並びに AHI の走査鏡角度情報等を加えて、放射計ファイルを作成する。ファイルはバンドごとに 1 スワス単位で作成される。

(2) 位置合わせ処理

位置合わせ処理とは、AHI の走査鏡の動き、衛星の姿勢とその変動及び衛星の軌道位置から、AHI が観測したデータの画素位置と地表面上の緯度・経度を対応させるものである。

AHI の観測したデータには、常時、走査鏡の動作による変動誤差、AHI の取り付け位置の熱変動誤差及び衛星の姿勢誤差並びに姿勢制御ホイール（リアクションホイール）の振動などによる AHI 視線方向のずれが生ずる。また、衛星の軌道位置も刻々と変わるため、その位置を正確に把握する必要がある。

姿勢の変動は、衛星に搭載されているスタート

⁸ 可視、近赤外及び赤外データの校正の基準となる宇宙空間を観測すること。

⁹ 赤外データの校正に必要な高温側の基準である AHI 内部にある校正源を観測すること。

¹⁰ 可視・近赤外データの校正の基準となる太陽光を観測すること。

¹¹ 衛星の軌道上の位置を表す。

ラッカー¹² (恒星追跡器) や慣性基準装置, 加速度計, 角加速度計から算出し, 高精度の姿勢情報として把握することができる。また, 衛星の軌道位置は, 1 時間に 1 回 (24 回/1 日), レンジングすることで把握できる。こうして得られた姿勢情報及び軌道情報は, AHI の視線方向の走査鏡角度情報とともに, 放射計ファイルに格納される。

なお, 位置合わせ処理は, HOPE (RDACS) での位置合わせを行うための情報作成と気象庁でその情報を使用して行う最終的な画素位置と地表面上の緯度・経度との対応処理の 2 つの処理を合わせたものである。

(3) 校正処理

AHI は, 雲及び地表面によって反射された太陽光, 雲及び地表面並びに大気から放射される赤外線を検出している。検出された放射は, その放射輝度に比例する電気信号のデジタルカウント値として出力される。このカウント値は, 物理量として利用できる放射輝度に変換する必要がある。

校正処理には, カウント値を放射輝度へ変換するための校正係数を算出する処理が必要である。

校正係数の算出には, 赤外域バンド (バンド 7 から 16) では高温側の校正源として黒体を使用し, 低温側の校正源に深宇宙観測を用いる。可視・近赤外域バンド (バンド 1 から 6) では, 校正源として太陽光観測と深宇宙観測を用いる。赤外域バンドの校正は, 観測タイムラインごとに AHI 内部にある温度制御されている黒体を観測して, そのカウント値を取得する。この深宇宙観測と黒体観測のカウント値を使用して校正係数 (切片と傾き) を算出する。可視・近赤外域バンドの校正は, 太陽光を校正源として AHI 内部にある太陽光拡散板¹³ で反射した光を観測して, そのカウント値を取得し校正係数を算出する。太陽光による校正は, 実施可能時刻やフルディスク観測を休止する必要があるなどの制約があるため, 月 2 回行っている。得られた校正係数は, 放射計ファイルに格納される。

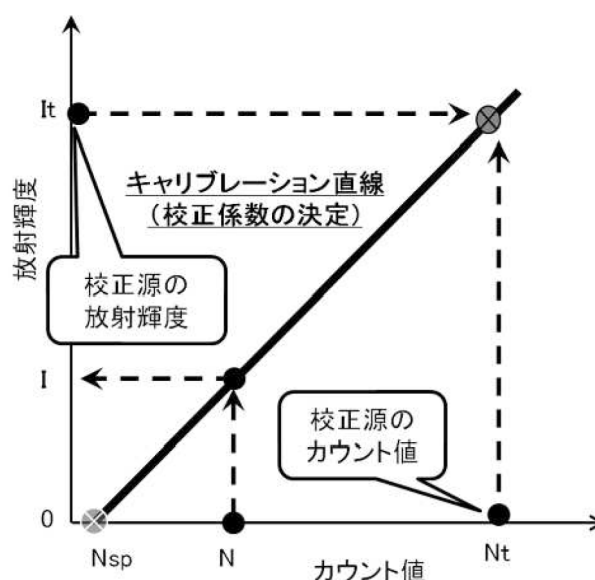
校正処理の方法を第 5.1 図に示す。放射輝度とカウント値との関係を示す校正係数の決定は, 既知の放射輝度を持つ校正源 (カウント値 N_t) と 0 点に相当する宇宙空間 (カウント値 N_{sp}) を利用した 2 点から求められる。この直線の係数を利用することによって, 観測したカウント値 (N) から放射輝度 (I) を求めることができる。

校正処理は, RDACS で校正係数を算出する処理と, 気象庁でその情報を使用して最終的な観測データのカウント値を放射輝度に変換する処理を合わせたものである。

なお, RDACS に組み込まれている位置合わせ処理及び校正処理ソフトウェアは, 気象庁が自主開発したものである。

5.2 気象庁での処理

気象庁では, HOPE から伝送された放射計ファイル进行处理するための静止気象衛星画像作成システム (GSS : Geostationary meteorological Satellite image data reception and processing Ground System) 及び衛星画像を利用したプロダクトを作成するスーパーコンピュータシステム (SS : Super computer System) を整備している。概要について



第 5.1 図 校正処理の方法

¹² 恒星の方向を測る光学装置。衛星の姿勢を知ることができる。

¹³ AHI で太陽を直接観測すると故障の原因となるため, 間接的に観測することを目的に設置されたもの。

以下に示す。

(1) GSS での処理

GSS は、「衛星データ受信部」で HOPE から伝送される放射計ファイルを受信し、「衛星画像作成部」でひまわり標準データ及び各種の画像プロダクトを作成する。「衛星画像配信部」は、作成したプロダクト等を決められた配信先に配信する。第 5.2.1 図に GSS の全体構成を示す。また、GSS は、広域災害等においても機能を停止しないように地域冗長を採用し、気象衛星センター (GSS 東局：清瀬システム) 及び大阪管区気象台 (GSS 西局：大阪システム) に設置した。更に、GSS のシステム障害により観測データの提供に欠落が発生することを最小限に抑え、連続運用中もプログラムの変更を容易に行うことができるように、GSS 東局では 2 式の衛星画像作成部による同時並行処理を行う構成とした。

なお、GSS の詳細については、濱田ほか (2016) を参照願いたい。

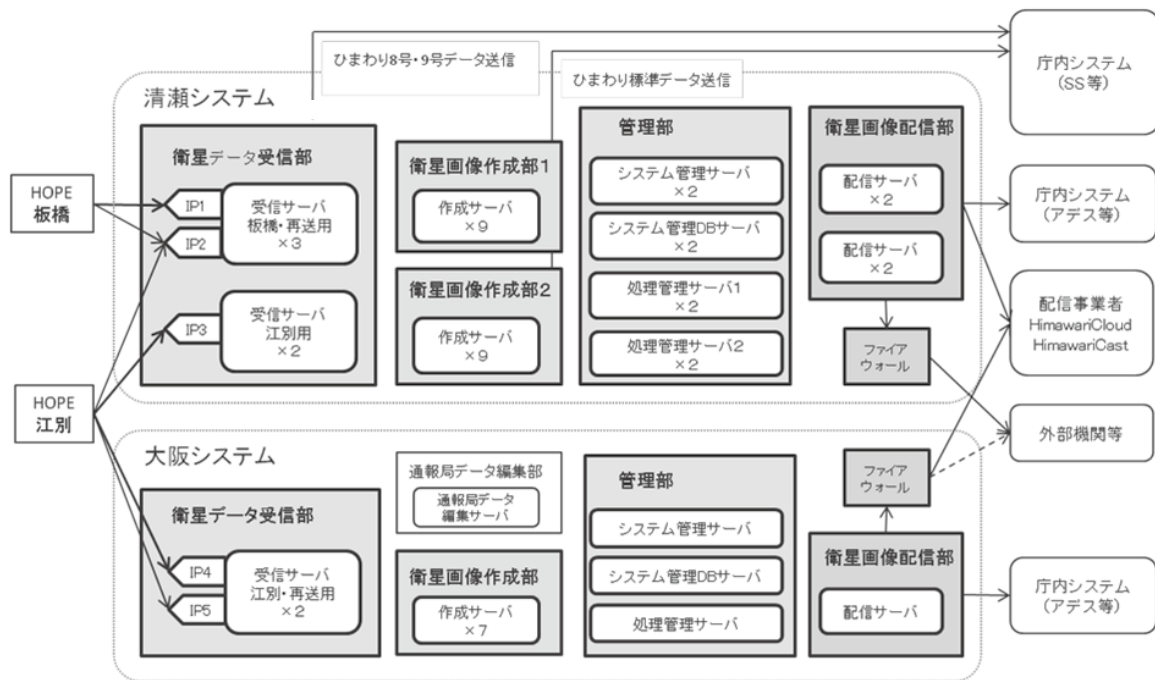
・衛星データ受信部

衛星データ受信部は、HOPE から FTP により

伝送されるファイルを受信し、圧縮されている放射計ファイルを伸張し、衛星画像作成部へ出力する。また、10 分間に 2786 ファイル (HOPE 板橋局、HOPE 江別局の合計) と膨大な放射計ファイルの受信状況を確認し、未受信の放射計ファイルの情報を再送要求のため HOPE へ送信する。GSS 東局では、受信した放射計データファイルを SS に転送する。なお、転送された放射計ファイルは、SS において永久保存される。

・衛星画像作成部

衛星画像作成部は、HOPE 板橋局及び江別局から受信した放射計ファイルを合成 (清瀬の GSS 東局のみ実行) し、その後、最終的な位置合わせ処理及び校正処理を行い、全てのプロダクトの基となる「ひまわり標準データ」を作成する。GSS 東局では、板橋局あるいは江別局のデータの一部に異常があっても、両局からのデータをマージすることで画像欠損を防いでいる (大阪の GSS 西局には江別局からのみの伝送のため、放射計ファイルをマージできない)。その後、作成されたひまわり標準データを基に、各種の衛星画像を作成する。



第 5.2.1 図 GSS の全体構成図

・衛星画像配信部

衛星画像配信部は、衛星画像作成部が作成した各種画像をあらかじめ指定された配信先へ配信する。配信先との接続に異常があった場合、一定期間ファイルを保持し、復帰後、自動的に再配信する。

(2) スーパーコンピュータシステム (SS) での処理

GSS 東局から転送されたひまわり標準データを基に SS では、衛星画像そのものではなく、雲プロダクト、大気追跡風、晴天輝度温度などの衛星データを利用したプロダクトを作成する。各プロダクトの詳細については、第 7.1 節を参照願いたい。

5.3 利用者へのデータ配信

本節では、気象衛星センターから利用者へのデータ配信について説明する。第 5.3.1 図に利用者への配信概要図を示す。

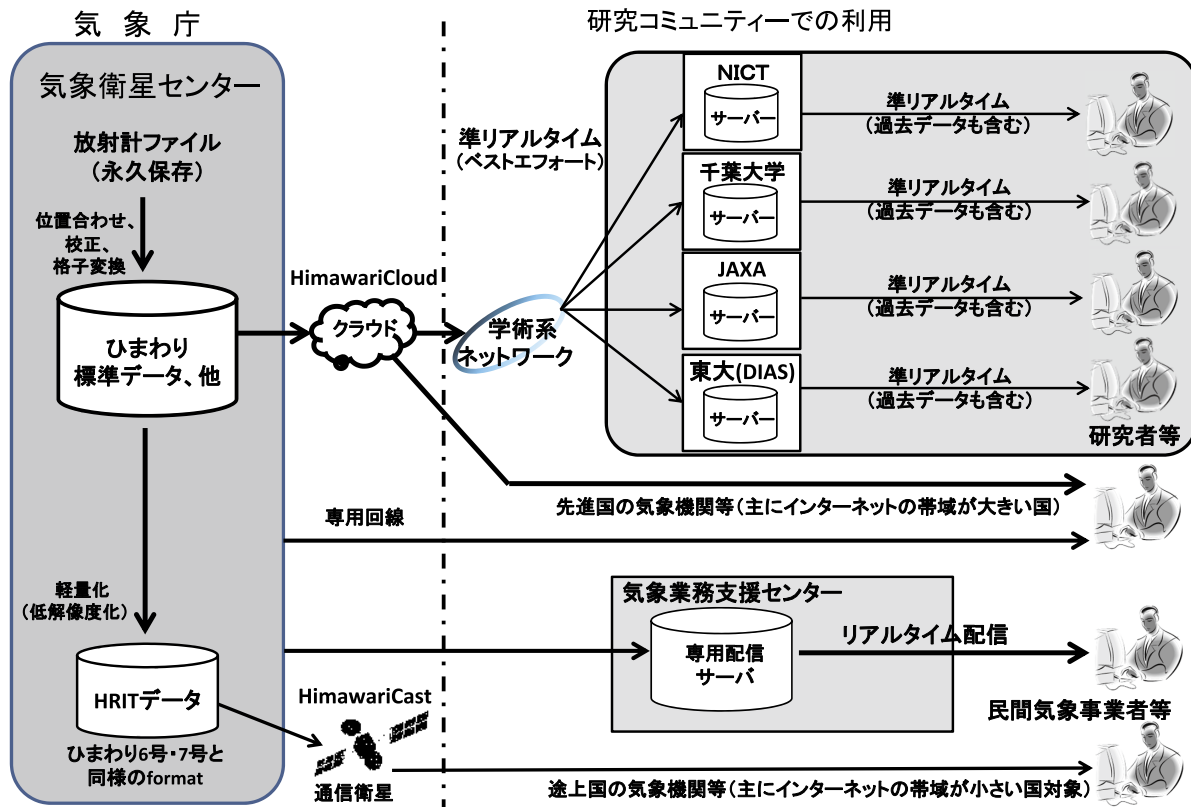
5.3.1 地上回線を利用した配信サービス (HimawariCloud)

本項では、インターネットによる地上配信サービス (HimawariCloud) の概要について説明する。なお、HimawariCloud のシステム構成やサービスの詳細については、石上ほか (2016) を参照願いたい。

・サービスの概要

HimawariCloud は、海外の気象水文機関及び国内の研究機関に大容量の観測データを地上回線経由で配信するサービスであり、Web コンテンツをインターネット経由で配信するために最適化されたネットワークであるコンテンツデリバリーネットワーク (CDN) を利用している。利用者が最適なキャッシュサーバにアクセスすることでデータ配信の高速化が実現される。また、気象庁が準備する配信サーバ (オリジンサーバ) の規模を小さくすることができる。

HimawariCloud は、2015 年 7 月のひまわり 8 号



第 5.3.1 図 利用者へのデータ配信の概要図

の運用開始に先立ち、同年4月に運用を開始し、ひまわり8号による試験中の観測データの配信を開始した。利用者数は、海外の23の気象水文機関と日本国内の4つの研究機関（情報通信研究機構、千葉大学（環境リモートセンシング研究センター）、東京大学（地球観測データ統融合連携研究機構）、宇宙航空研究開発機構）である。なお、この4機関の協力により、国内外の多くの研究者（2018年2月時点で約1570名）にひまわりの観測データが提供されている。

観測や数値予報 GPV データを重ねて表示することができる。

HimawariCast のシステム全体構成を第 5.3.2.1 図に示す。HimawariCast は、気象庁ではデータ配信のための機器や運用のための人員などのリソースを持たずに、通信衛星事業者が提供するサービスを利用することでデータ配信を実現している。

5.3.2 通信衛星を利用した配信サービス (HimawariCast)

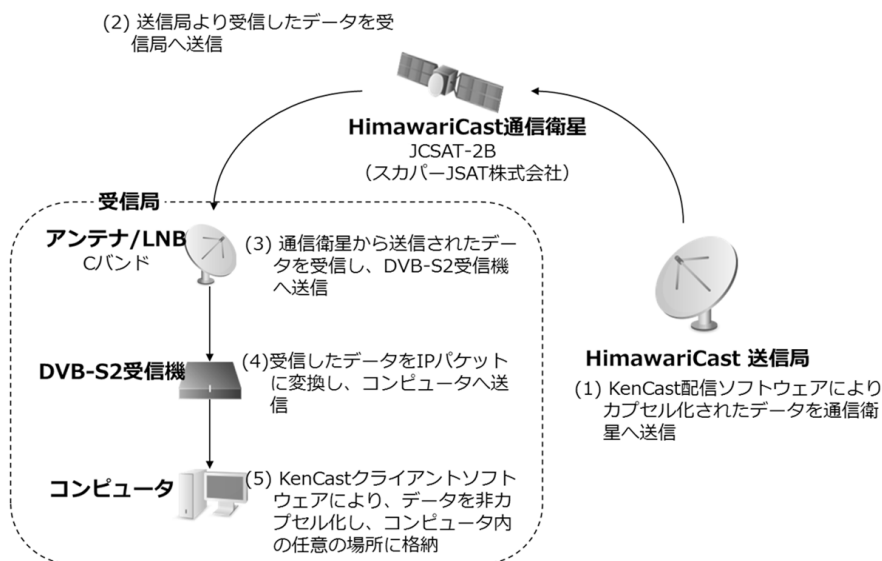
本項では、通信衛星を利用した配信サービス (HimawariCast) の概要について説明する。なお、HimawariCast のサービスの詳細については石上ほか (2016) を参照願いたい。

・サービス概要

HimawariCast では、受信設備等の利用者負担等を考慮して、第 5.3.2 表に示すように配信するバンド数を間引きし、かつ低解像度化したデータを配信している。また、衛星観測データに加えて、利用者の利便性向上を図るため、SATAID 形式の数値予報 GPV や地上観測等のデータも配信している。SATAID では、ひまわりの衛星画像に地上

第 5.3.2 表 HimawariCast での配信バンド

バンド番号	中心波長	空間解像度
3	0.64	1.0 km
4	0.86	4.0 km
5	1.6	4.0 km
6	2.3	4.0 km
7	3.9	4.0 km / 2.0 km
8	6.2	4.0 km
9	6.9	4.0 km
10	7.3	4.0 km
11	8.6	4.0 km
12	9.6	4.0 km
13	10.4	4.0 km
14	11.2	4.0 km
15	12.4	4.0 km
16	13.3	4.0 km



第 5.3.2.1 図 HimawariCast 全体構成図

利用している通信衛星は、運用開始時は JCSAT-2A（東経 154 度）であったが、2016 年 7 月に JCSAT-2B（東経 154 度）へ移行した。受信に必要なアンテナ径（回線稼働率 99.5% 以上）を第 5.3.2.2 図に示す。点線の範囲内では、直径 2.4m のアンテナで受信可能である。

第 7.2 節の第 7.2.1 図に、HimawariCloud と HimawariCast の利用国・地域を示す。

・ AHI による観測から配信までの時間

第 5.3.2.3 図に AHI による観測から HOPE システムでの処理及び気象庁システムでの処理を経て、HimawariCloud で利用者が観測データを取得可能となる時刻、HimawariCast で観測データが配信される時刻を示す。

HimawariCloud 利用者は、10 分ごとの観測開始から約 7 分後から 12 分後に、HimawariCloud から観測データを取得可能となる。また、HimawariCast 利用者は、10 分ごとの観測開始から約 6 分後から 13 分後に、通信衛星経由で観測データが受信できる。

5.3.3 その他の配信

気象庁では、HimawariCloud 及び HimawariCast 以外にも、複数の配信手段を利用してひまわりの衛星画像の提供を行っている。

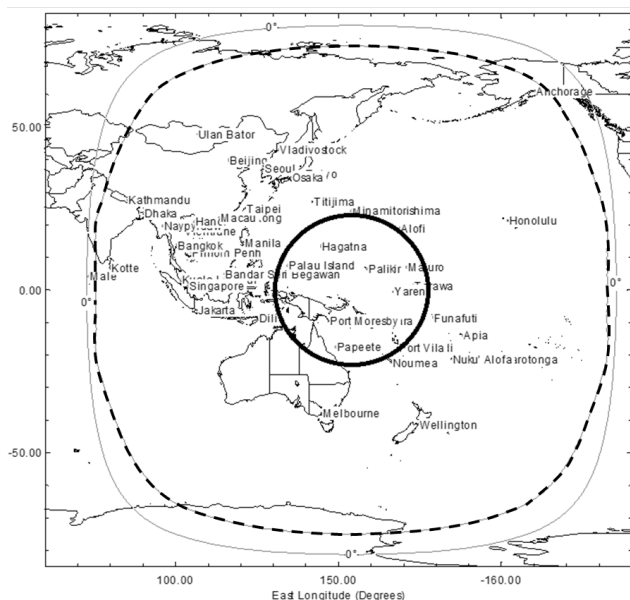
(1) ホームページによる画像提供

気象衛星センターのホームページ¹⁴において、海外の気象水文機関向けに衛星画像を提供するサービスを行っている。このサービスは、インターネット回線の速度が遅くとも取得できるように、アジア・太平洋地域の気象水文機関の要望に基づき、必要とする小領域を切り出し軽量な衛星画像 (JPEG 形式) で提供している。なお、2018 年 1 月時点では、43 地域の衛星画像を提供している。

(2) 気象庁データ提供システム及び WMO 情報システム

気象庁では、主に海外の気象水文機関向けに気象庁データ提供システム (JDDS : JMA Data Distribution System) 及び WMO 情報システム

JCSAT-2B

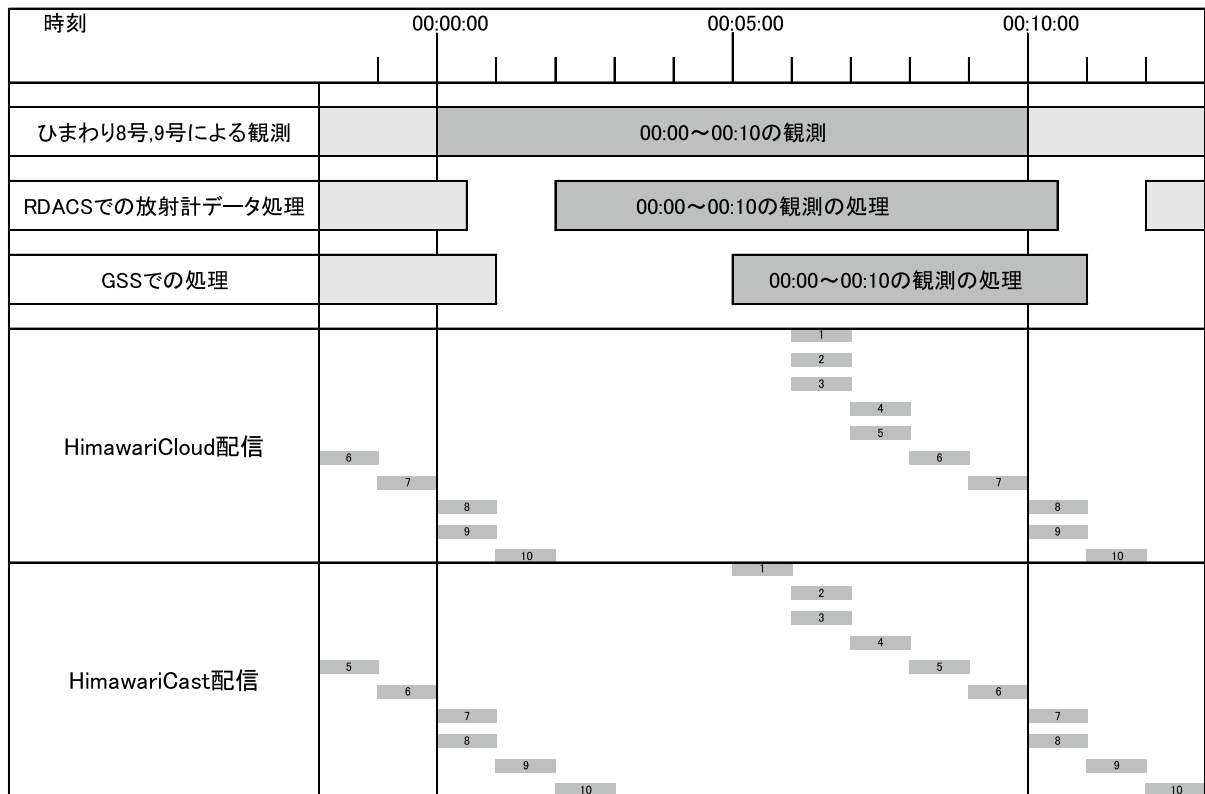


○ 所要アンテナ径 ; 1.8 mφ (16.5 dB/K)
 □ 所要アンテナ径 ; 2.4 mφ (19.6 dB/K)

第 5.3.2.2 図 HimawariCast 受信に必要なアンテナ直径

¹⁴ 気象衛星センターホームページで提供.

<https://www.data.jma.go.jp/mscweb/data/himawari/index.html>



※フルディスク観測の観測データは、10分割のセグメントデータとして配信を行っている。
1 から 10 は、各セグメントの配信時刻を示す。

第 5.3.2.3 図 観測から配信までの時間

(WIS : WMO Information System) において、ひまわりの観測データの提供を MTSAT-2 以前から行っている。ひまわり 8 号のデータについても、JDDS 及び WIS ユーザー向け¹⁵に提供を継続している。

(3) その他

オーストラリア気象局 (AuBoM : Australian Bureau of Meteorology) に対しては、HimawariCloud だけでなく、GSS 東局から専用回線による配信も行っている。また、太平洋地域の国々の利便性の向上のため、ひまわり 8 号のフルディスク観測データのうちの 4 バンドに

ついては、米国海洋大気庁／環境衛星・データ情報局 (NOAA/NESDIS : National Oceanic and Atmospheric Administration/National Environmental Satellite, Data, and Information Service) が、毎時、米国の静止気象衛星を中継して配信している。

5.3.4 円滑な移行のための並行観測・並行配信

気象庁は、ひまわり 8 号・9 号観測データの利用及び円滑な移行にあたって、十分な準備期間を確保することが必要と判断し、MTSAT-2 とひまわり 8 号による並行観測及びその観測データの並行配信を実施した。

¹⁵ HimawariCloud との違い。

HimawariCloud は、ひまわり観測範囲の国・地域の気象水文機関を対象としたサービスである。一方、JDDS 及び WIS は、観測範囲外の国・地域を含む気象水文機関を対象に衛星画像及び大気追跡風、晴天輝度温度、高分解能雲情報等のプロダクトを提供している。

(1) 並行観測

第 5.3.4.1 表に MTSAT-2 及びひまわり 8 号の並行観測の状況を示す。

ひまわり 8 号は、運用開始の 2015 年 7 月 7 日以前である 2015 年 4 月以降、試験を行う一部の期間を除き、通常観測と同様の観測を行った。一方、MTSAT-2 は、ひまわり 8 号の本運用開始後も、2016 年 3 月 24 日まで観測を継続した。

(2) 観測データの並行配信

第 5.3.4.2 表に配信手段別の並行配信の状況を示す。

利用者が早期に衛星データを利用可能となるように、HimawariCloud によるひまわり 8 号の観測データの配信は、試験運用期間の 2015 年 4 月 8 日に開始した。

HimawariCast は、2015 年 1 月 29 日に運用を開始した。HimawariCast の運用開始時には

MTSAT-2 の観測データの配信であったが、同年 7 月 3 日には、ひまわり 8 号の運用開始に先立ち、配信データをひまわり 8 号の観測データに切り替えた。一方、MTSAT-1R を経由した MTSAT-2 の観測データの直接配信は、2015 年 12 月 4 日まで継続した。利用者の円滑な移行を支援するために、直接配信と HimawariCast の 2 つの衛星経由の配信を約 1 年間にわたって行った。

JDDS によるひまわり 8 号の観測データの配信は、2015 年 6 月 17 日に開始した。また、MTSAT-2 の観測データの配信は、2016 年 3 月まで継続した。JDDS においても並行配信を約 10 か月行うことで、利用者の円滑な移行を支援した。

気象衛星センターのホームページによる観測画像の提供についても、並行配信を行った。ひまわり 8 号による観測画像の提供は 2015 年 7 月 3 日に開始した。一方、MTSAT-2 による観測画像は、2016 年 3 月 24 日まで継続した。

第 5.3.4.1 表 MTSAT-2 とひまわり 8 号の並行観測期間

	2015年4月	2015年7月	2016年3月
ひまわり7号	観測運用(本運用)		待機運用
ひまわり8号	試験観測(*2)	試験観測(*3)	観測運用(本運用)

*1 MTSAT-2による並行観測(気象衛星による直接配信, JDDSによる配信)

*2 100日間連続観測運用試験

*3 本運用開始前の試験観測(HimawariCloudによる配信)

第 5.3.4.2 表 MTSAT-2 とひまわり 8 号の並行配信期間

配信手段	並行配信の状況		
HimawariCloud		2015/4 ひまわり8号	
HimawariCast	2015/1 ひまわり7号	2015/7 ひまわり8号	
気象衛星による直接配信	ひまわり7号	2015/12終了	
JDDS	ひまわり7号	2016/3終了	
		2015/7 ひまわり8号	
WIS	ひまわり7号	2015/7 ひまわり8号	
気象衛星センター ホームページ	ひまわり7号	2016/3終了	
		2015/7 ひまわり8号	

なお、ひまわり 8 号の正式運用開始後も、MTSAT-2 を 2016 年 3 月までの 9 か月間に渡って並行観測及び並行配信したことは、海外の気象水文機関が円滑に新衛星を利用した業務に移行することに多大な効果があり、多くの謝意が寄せられた。

5.4 機動観測等の観測位置指定

ひまわり 8 号・9 号の特徴のひとつは、10 分ごとのフルディスク観測を実施中に定常的に任意の領域を高頻度に観測する機能を持つことであり、機動観測等の観測位置を柔軟に指定することができる点である。

本節では、機動観測等の目的と柔軟に観測位置を指定することを可能としている領域予約システム等について説明する。なお、領域予約システムの詳細については、濱田ほか (2016) を参照願いたい。

(1) 領域観測の利用

領域観測には、2.5 分ごとの観測である日本域観測と機動観測、30 秒間隔の観測であるランドマーク観測がある。これらのうち、日本域観測は、日本とその周辺地域を観測し、日本国内の急速に発達する積乱雲や火山の噴火の監視を担う。一方、日本から離れた地域の台風や火山は、日本域観測では観測することができないため、機動観測がこれらの現象の観測を担う。

30 秒間隔の観測であるランドマーク観測（領域観測 4、領域観測 5）は、画像の位置合わせに利用する。領域観測 4 及び 5 は、それぞれ 10 分間に 20 回の観測が可能である。また、領域観測 5 では、観測データの校正精度の維持・向上のために地球外となる深宇宙や月を観測対象とすることもある。

(2) 観測位置の指示

機動観測及びランドマーク観測は、任意の観測位置を指定することができる。第 5.4.1 図に領域観測位置指定の概要を示す。

はじめに、領域観測予約システムにおいて、観測位置を指定する「気象庁入力ファイル」が作成

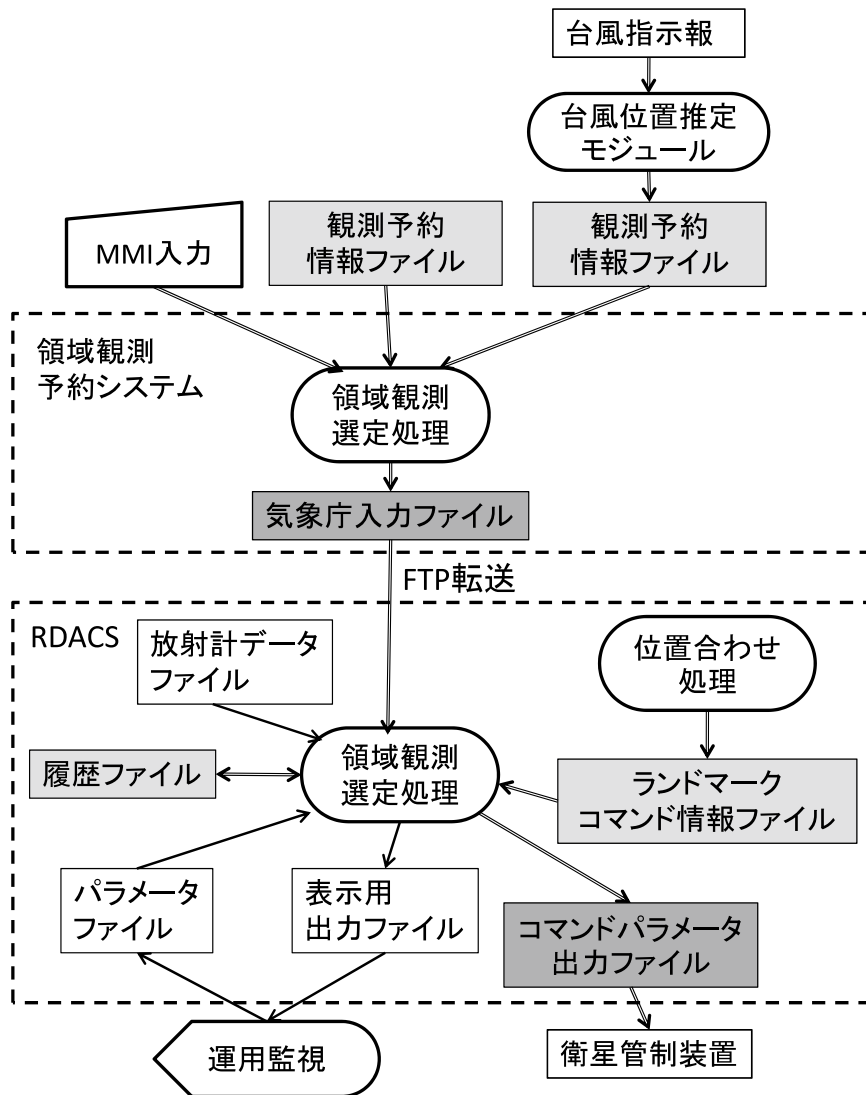
される。このシステムでは、複数のユーザーが観測位置の要望（予約）を行うことができ、複数のユーザーの予約が競合した場合は、業務の優先度に応じて決められたユーザーごとの優先度に従って気象庁入力ファイルを作成し観測指示として HOPE に送信する。

次に RDACS において、領域観測選定処理が行われる。この処理では、RDACS の位置合わせ処理から出力される「ランドマークコマンド情報ファイル」と気象庁が作成する「気象庁入力ファイル」が入力される。ランドマークコマンド情報ファイルは、30 秒間隔で行う領域観測 4 及び領域観測 5 の観測位置を指定するもので、位置合わせ処理に利用されるランドマークの取得に適した観測位置（晴天であり、海岸線が判別しやすい観測位置）の情報が記述されている。気象庁入力ファイルは、領域予約システムが作成し、RDACS に送信したファイルである。領域選定処理では、この 2 つのファイルの情報を決められた優先順位によって統合・編集して、実際の領域観測の位置が指定されたコマンドパラメータ（ファイル）を作成する。作成されたコマンドパラメータ出力ファイルは、領域観測コマンドとして、衛星管制装置によりひまわり 8 号又は 9 号に送信され領域観測が行われる。

(3) 台風追跡の手法

機動観測の主な観測対象である台風又は 24 時間以内に台風になると予想される熱帯低気圧（以下、単に台風とする。）は、時々刻々と移動するため観測位置を変える必要がある。一方、領域予約システムによる観測位置の指定は、観測位置と時刻を指定することで行われ、台風を自動で追跡する機能を持っていない。台風の位置を推定するのは、気象庁が自主開発した台風位置推定モジュールにより行っている。

台風位置の推定には、予報部が作成する「台風指示報」に基づいて台風の位置の推定を行う。台風指示報には、現在の台風位置及び台風の予報位置が記述されているが、この情報から 10 分ごとの台風位置を内挿法により推定し、10 分ごとの台風推定位置に対応した「観測予約情報ファイル」



MMI : Man-Machine Interface(手入力)

第 5.4.1 図 領域観測位置指定の概念図

を作成する。領域予約システムは、観測予約情報ファイルを取り込み、気象庁入力ファイルを更新する。台風の位置推定は、台風指示報の更新とともに実行されるため、常に最新の台風指示報に基づいて台風位置の推定が行われる。

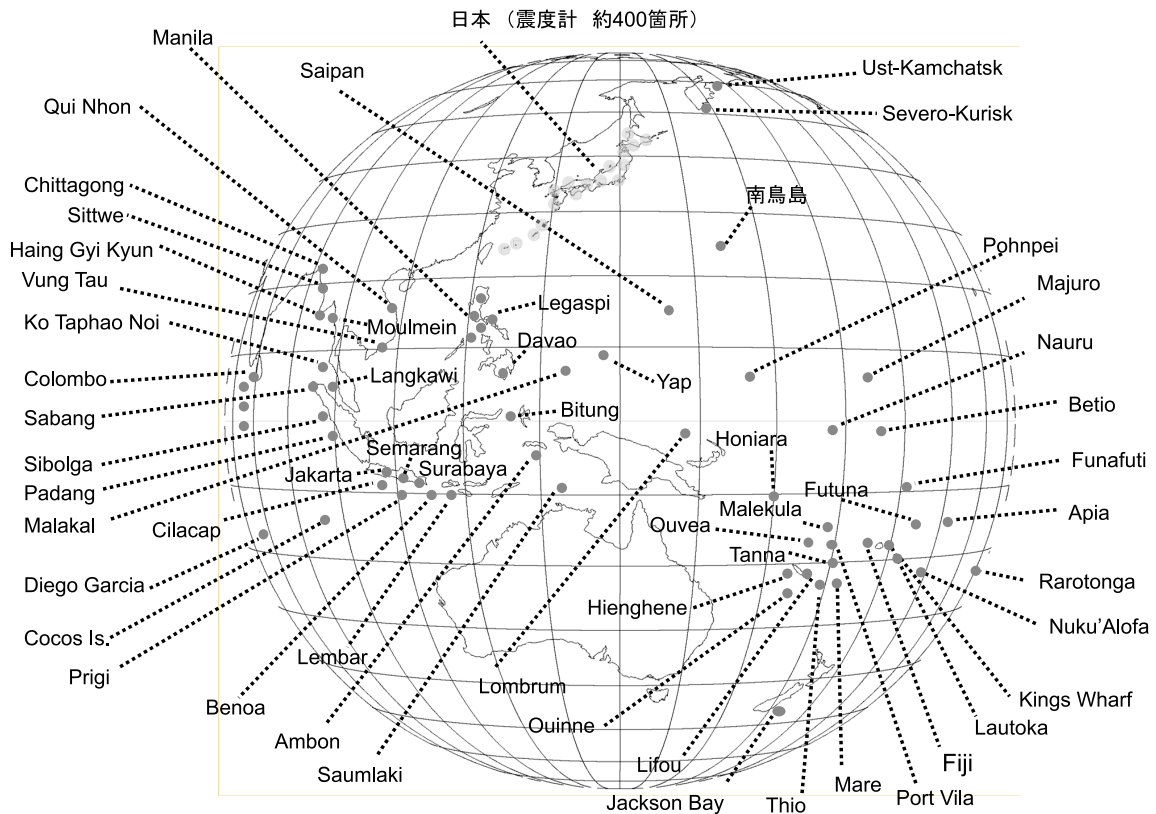
6. 通報局 (DCP) データの編集・配信

DCP データは、HOPE 局で受信・復調されたのち、気象衛星センター及び大阪管区气象台に伝送される。HOPE から伝送された DCP データは、各種気象通報式に変換し、気象情報伝送処理

システム (アデス) を経由して庁内システム及び国外の気象水文機関等へ GTS を介して配信する。また、GTS に接続していない利用者のために、JDDS 経由で DCP データを公開している。なお、DCP の利用者が運用衛星が切り替わったことを意識することのないよう継続した運用が行われる。第 6.1 図にひまわり 8 号・9 号が中継している DCP を示す。

7. 観測データの利活用

本章では、ひまわり 8 号・9 号の観測データを



第 6.1 図 主な DCP の配置図

利用したプロダクト開発及び国内外での利活用状況並びに衛星を用いた国際協力について説明する。

7.1 プロダクト開発とその利活用

7.1.1 開発体制

ひまわり 8 号・9 号の高頻度・高分解能・多バンドの観測データを利用したプロダクト開発に取り組むため、気象衛星センター、本庁各部、気象研究所、さらに大学やその他の研究機関を含めた開発体制・利用体制が構築されている。具体的には、気象庁技術開発推進本部、外部有識者による静止衛星データ利用技術懇談会、気象研究所—気象衛星センター連絡会及び気象衛星センターと他機関との共同研究（京都大学、名古屋大学、理化学研究所、JAXA）などである。

「静止衛星データ利用技術懇談会（座長：中島映至 JAXA 地球観測研究センター参与、特任教授、東京大学名誉教授）」は、2009 年以降、ひまわり 8 号・9 号の観測機能を最大限に活用して、局地

的な大雨などの顕著現象の実況監視能力の向上、数値予報モデルの予測精度の向上、さらに、これまでの静止気象衛星観測データと組み合わせた気候変動の監視やメカニズム解明など、自然災害の軽減や地球環境問題への対応などにひまわりデータを大きく貢献させることを目指し、定期的に開催（年 2 回程度）して、外部有識者との懇談を行っている。懇談会では、国内外の衛星データ利用者のニーズ及び研究・開発の動向を踏まえた新たな調査・研究課題等について、長期的な視点からの助言を得るとともに意見交換を行っている。さらに、欧米の気象衛星運用機関（欧州気象衛星開発機構（EUMETSAT：European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites）及び NOAA/NESDIS）の専門家の招聘や当庁職員の派遣など、先進的な技術及び知見の導入に努めている。

本節では、このような体制の下で開発された主なプロダクトについて紹介する。

7.1.2 雲プロダクト

(1) 基本雲プロダクト

ひまわり 8 号・9 号の観測データや数値予報データから、雲の有無、雲頂高度、雲タイプ（不透明、透明、断片雲）、雲相（水雲、氷雲）を画素単位で、毎時、基本雲プロダクトとして算出している。第 7.1.1 図に雲頂高度、雲タイプ及び雲相を示す。

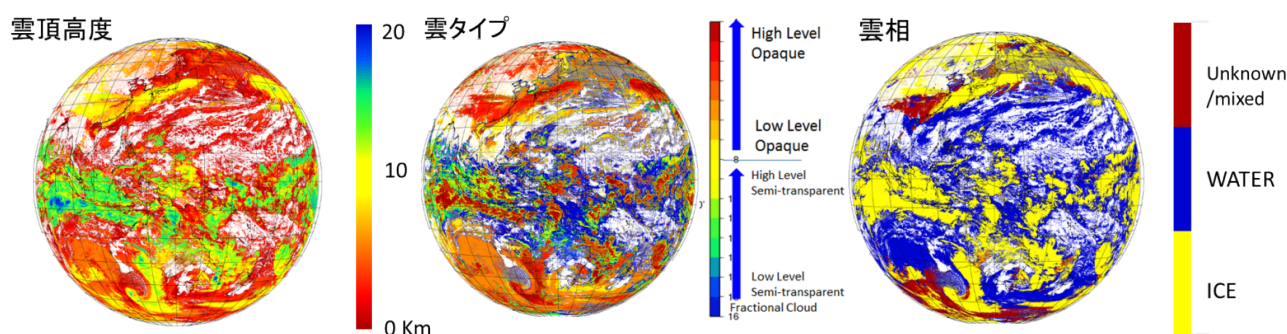
基本雲プロダクトは、他のプロダクトの元となるプロダクトである。従来の雲プロダクトでは、日本付近の限られた領域のみの算出であったが、ひまわり 8 号・9 号では算出範囲を拡大するとともに空間分解能の向上を行った。アルゴリズムも気象衛星センターが新たに開発した。雲頂高度については、NOAA の GOES-R シリーズ用のアルゴリズムを基にしているが、雲のモデルを 1 層から 2 層にするなど独自の改良を行っている。基本雲プロダクトの詳細は、Imai and Yoshida (2016) や Mouri *et al.* (2016) を参照願いたい。

(2) 高分解能雲情報

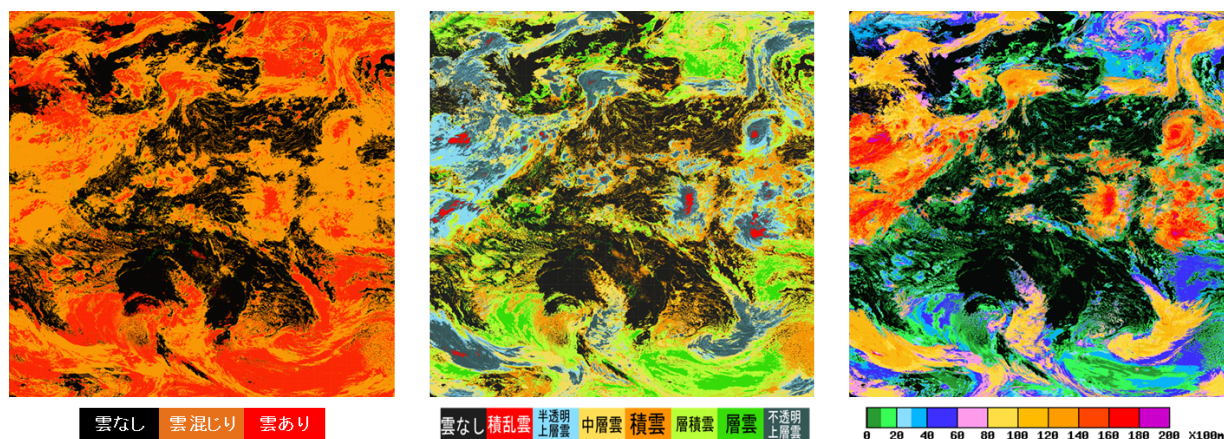
高分解能雲情報は、基本雲プロダクトから作成される新しいプロダクトで、雲・ダスト（黄砂、火山灰等）の有無、雪氷の有無、雲頂高度、雲型、品質情報を、北緯 60 度～南緯 60 度、東経 80 度～西経 160 度、0.02 度の緯度・経度格子で毎時作成し、気象業務支援センターや海外の気象水文機関に提供している。第 7.1.2 図に雲の有無、雲型及び雲頂高度を示す。高分解能雲情報の詳細は、Suzue *et al.* (2016) を参照願いたい。

7.1.3 高頻度衛星雲観測プロダクト

高頻度衛星雲観測プロダクトは、航空ユーザー向けに、日本域の可視（夜間は赤外）画像、可視・赤外合成カラー画像、雲頂高度の画像及び積乱雲情報の画像を 5 分ごとに作成・提供している。積乱雲情報では、積乱雲域、積雲急発達域を色別で表示している。第 7.1.3 図に積乱雲情報を示す。



第 7.1.1 図 雲頂高度、雲タイプ及び雲相（2016 年 2 月 8 日 00UTC）



第 7.1.2 図 （左図）雲の有無、（中図）雲型、（右図）雲頂高度（2015 年 9 月 1 日 00UTC）

高頻度衛星雲観測プロダクトは、待機衛星であった MTSAT-1R の高頻度観測データを利用して夏季日中のみで開始した (2011 年 6 月)。その後、ひまわり 8 号の日本域観測 (領域観測 1, 2) を利用して通年終日化した (2016 年 6 月)。高頻度衛星雲観測プロダクトの詳細は、隅田 (2015) を参照願いたい。

7.1.4 大気追跡風

ひまわりで観測した連続した時刻の画像から雲の動きを捉え、「大気追跡風」として風向・風速・高度を算出している。第 7.1.4 図に大気追跡風を示す。

特に、海洋上では他の観測値が少ないため、気象衛星から得られた大気追跡風は、世界中の数値予報センターで利用されている。現在、数値予報課で利用している大気追跡風は、フルディスク画像から作成した 1 時間ごとの大気追跡風である。気象衛星センターでは、ひまわり 8 号観測データの利用に向けて、新たに大気追跡風のアルゴリズムを開発した。雲移動量を推定するための新アルゴリズムにより風向・風速の推定精度が向上するとともに算出数が増加した。また、雲高度を推定するための新アルゴリズムにより高度の推定精度が向上した。ひまわり 8 号から算出した大気追跡風は、数値予報の初期値解析に利用され、その精度向上に貢献している。また、将来の数値予報での利用に向け、高頻度・高密度 (フルディスク

30 分ごと、日本域・機動観測域 10 分ごと) の大気追跡風を数値予報課へ提供し、試験を行っている。

数値予報以外の利用では、機動観測の画像から作成した下層の大気追跡風及び回帰式により推定した海上風が、台風の解析に利用されている。

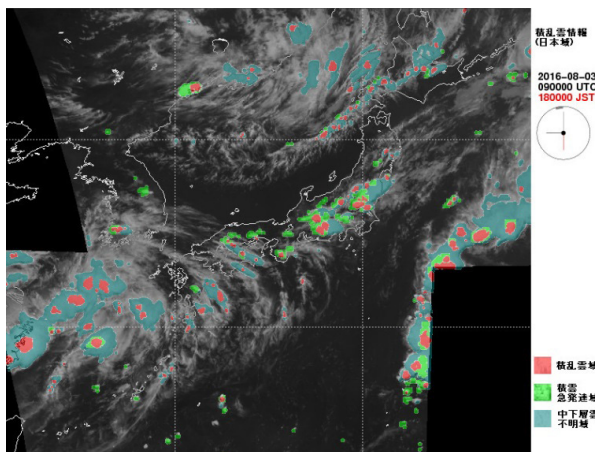
大気追跡風の詳細は、Shimoji (2017) を参照願いたい。

7.1.5 晴天輝度温度

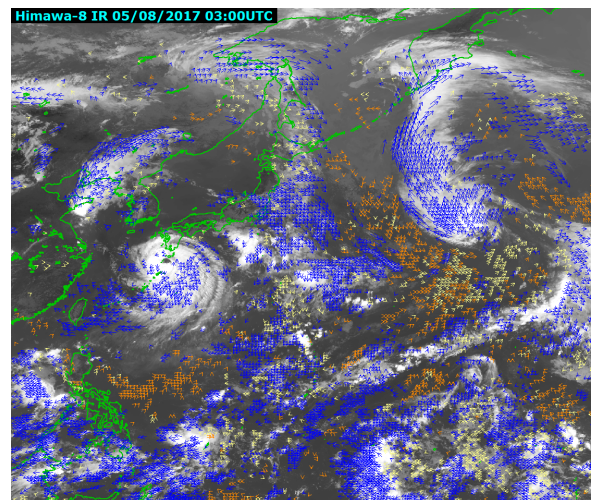
晴天輝度温度は、晴天画素の輝度温度の領域平均値 (16 画素×16 画素) を与えるプロダクトで、数値予報に利用され、主に上層水蒸気量の改善に貢献している。第 7.1.5 図に晴天輝度温度を示す。

現在、数値予報課で利用している晴天輝度温度は、フルディスク画像から作成した 1 時間ごとのものである。MTSAT-2 に比べ、空間分解能の向上 (赤外バンドの空間分解能が 4km から 2km へ)、バンド数の増加 (赤外 4 バンドから 10 バンドへ)、晴天判別の向上 (基本雲プロダクトの雲の有無を利用) が図られている。晴天輝度温度の詳細は、Imai and Uesawa (2016) を参照願いたい。

なお、将来の数値予報での利用に向け、メソ解析用として画素ごとの晴れ曇り判別情報と輝度温度を数値予報課へ提供している。



第 7.1.3 図 積乱雲情報 (2015 年 8 月 3 日 06UTC)



第 7.1.4 図 大気追跡風 (2017 年 8 月 5 日 03UTC, バンド 13)

青は上層 (<400hPa)、橙は中層 (400-700hPa)、黄色は下層 (>700hPa)。北半球を拡大。

7.1.6 海面水温

ひまわり 8 号では、空間分解能及び雲域判別処理が向上したことにより、高分解能・高精度の海面水温データの算出が可能となった。第 7.1.6 図に海面水温を示す。

この海面水温データを基にした海面水温画像が、気象庁ホームページ「海洋の健康診断表」で公開されている。また、ひまわり 8 号の海面水温データを利用することで、従来より詳細かつ正確な海面水温の分布図が作成されるようになった。海面水温の詳細は、Kurihara *et al.* (2016) を参照願いたい。

7.1.7 エーロゾル

7.1.7.1 火山灰

NOAA/NESDIS では、GOES-R シリーズの観測センサを利用した火山灰検出ツール (VOLCAT: VOLcanic Cloud Analysis Toolkit) を開発しており、気象衛星センターではその提供を受け、同センターの計算機に移植した。VOLCAT は、GOES-R に搭載されたセンサの特性に合わせたチューニングが施されているため、ひまわり 8 号・9 号に搭載されたセンサの特性に合わせた再チューニングが必要となる。気象衛星センターでは、ひまわり 8 号・9 号の観測範囲の火山特性 (火山灰の性質)

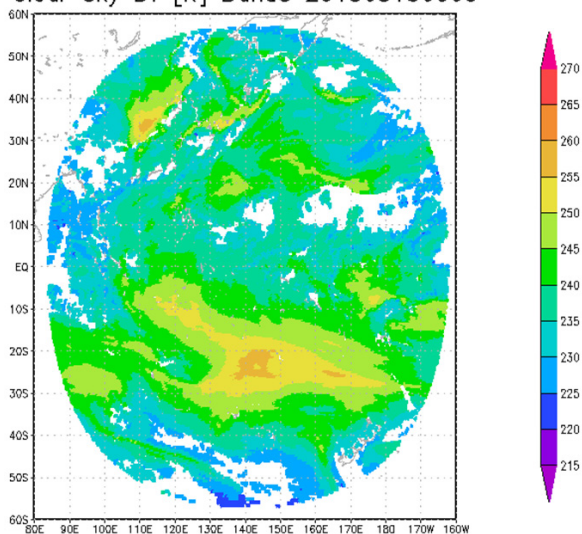
に適合させるためのチューニングや事例解析を、気象研究所と火山課の協力により行っている。第 7.1.7.1 図に VOLCAT により算出した火山灰雲頂高度を示す。

7.1.7.2 黄砂

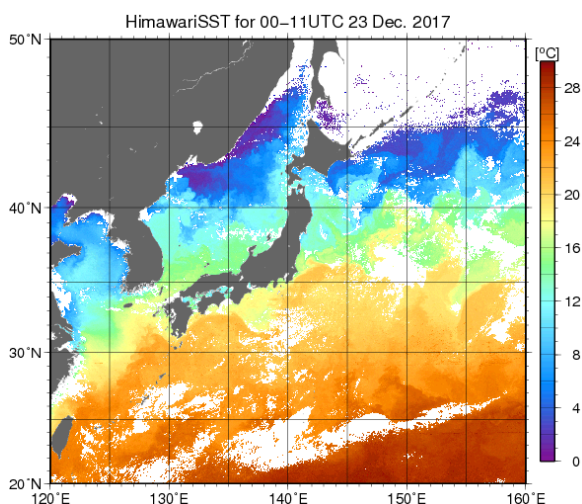
気象研究所が開発したアルゴリズムにより算出した黄砂 (可視・近赤外面像データを利用) プロダクトを環境気象管理官へ提供している。第 7.1.7.2 図に可視・近赤外データから算出した黄砂の光学的厚さを示す。詳細は、Uesawa (2016) を参照願いたい。

環境気象管理官が導入する予定である気象研

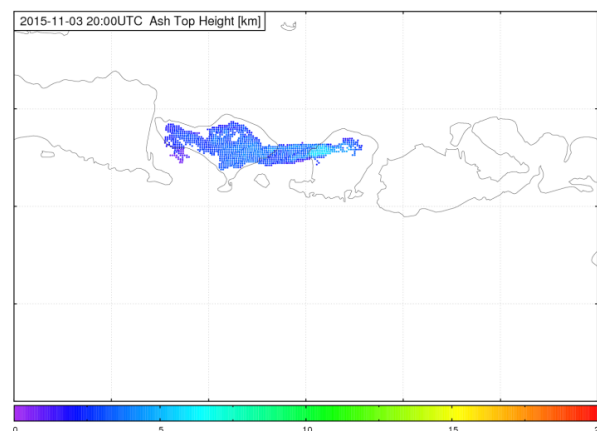
Clear Sky BT [K] Band8 201508150300



第 7.1.5 図 晴天輝度温度 (2015 年 8 月 15 日 03UTC, バンド 8)



第 7.1.6 図 海面水温 (2017 年 12 月 23 日 00-11UTC)



第 7.1.7.1 図 VOLCAT により算出した火山灰雲頂高度 (2015 年 11 月 3 日 20UTC) (インドネシア Rinjani 噴火事例)

研究所が開発している黄砂予測のデータ同化システムでは、JAXAが開発したアルゴリズムによって算出したエアロゾルの光学的厚さを用いることから、近くJAXAが開発したアルゴリズムに移行する予定である。また、赤外画像データから作成した黄砂（赤外）プロダクトも環境気象管理官へ提供している。これは、VOLCATの算出用係数テーブルを黄砂用に書き換えることで算出している。

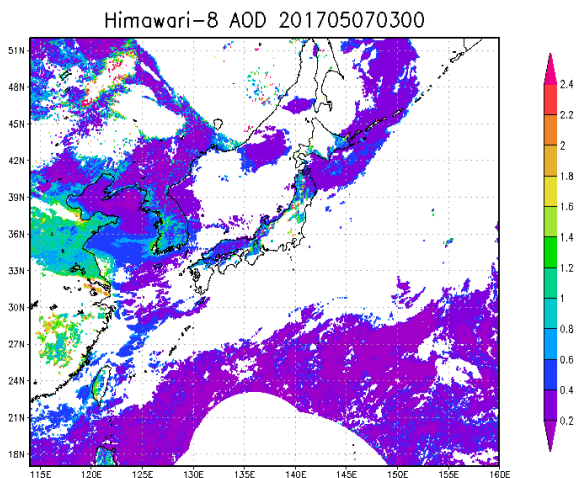
7.1.8 その他

観測システム運用室が開発した晴れ曇り判別にひまわり8号観測データを利用した「推計気象分布（天気）」の一般への提供を、2016年3月15日から開始した。

予報課は、ひまわり8号観測データを活用することで夏季日中の落雷の可能性を従来より早く検出できる雷ナウキャストの改善を、2017年7月19日に行った。さらに、霧RGBなど、有効性の確認されたRGB合成画像について、2017年4月から業務利用を開始した。

RGB合成画像は、EUMETSATで開発されたもので、数種類の観測画像を1つの擬似カラー画像にして表示する技術である。詳細は、寺坂（2016）を参照願いたい。

海洋気象情報室は、ひまわり8号の観測データを利用した海氷自動解析システムを開発し、2015



第 7.1.7.2 図 可視・近赤外データから算出した黄砂の光学的厚さ（2017年5月7日03UTC）

／2016年海氷シーズンから現業利用を開始した。詳細は、赤坂ほか（2017）を参照願いたい。

気象衛星センターでは、面的に高頻度・高密度に得られるひまわり8号観測データを用いた日照時間及び日射量の推定手法を開発中である。離散的な地上観測値の補完や新たな気象要素を提供することにより、産業分野などでの利用拡大を期待している。

7.1.9 今後の展望

ひまわり8号・9号の高頻度・高分解能・多バンドの観測データは、まだまだ利用し尽くしたと言える状況ではなく、特に高頻度の観測データの利用については、緒についたばかりである。2018年度には、衛星データを処理する計算機（スパコン）が更新される。

新計算機では、計算能力が向上するため、高頻度観測を生かしたプロダクトが作成可能となる。特に、基本雲プロダクト及び同プロダクトから作成する雲関連プロダクトの高頻度化（10分ごと）は、高頻度観測データの利用拡大の一助になりえると期待している。また、気象関連分野に留まらず、従来考えられなかった産業分野などでの利用拡大にも大きな期待を持っている。

7.2 国際協力

7.2.1 気象衛星運用機関や気象水文機関との連携

気象庁は、気象衛星による観測計画の国際的な調整、気象衛星データの品質向上、データの入手や利用に関する支援などのため、CGMSやWMOの専門家チームなどの枠組みに積極的に参画し、国際的な協力関係を構築している。

NOAA/NESDISと気象庁は、システム開発の促進やデータの利用性の向上を図るため、両機関の次世代静止気象衛星に関する情報交換等を行うことを2012年初めに確認し、可視赤外イメージャの観測データの校正と画像の位置補正に係る情報交換、プロダクトのアルゴリズム開発及び観測データの相互校正について協力を行っている。この協力関係のもと、NOAA/NESDISが開発したVOLCAT及び雲解析アルゴリズム（GOES-R用）

をひまわり 8 号に導入した。また、気象衛星センター職員が NOAA/NESDIS に長期滞在し、逆に NOAA/NESDIS の技術者がひまわり 8 号の観測データを利用したプロダクトの開発のため、気象衛星センターに長期滞在するなど、情報交換や技術交流を行っている。

EUMETSAT とは、気象衛星によるデータ・プロダクトの技術協力及び交換に関する協力計画を 2007 年に策定し、その一環として、気象衛星センター職員が EUMETSAT に長期滞在し、技術交流を行っている。主な開発課題を以下に記す。

- ・静止気象衛星に搭載された可視赤外イメージャの相互校正の技術開発
- ・最適な雲解析のアルゴリズム開発
- ・全球規模の気候変動監視に有用な衛星観測データの作成を目的とした、ひまわりシリーズの観測データを再校正する技術の開発

AuBoM とは、2006 年に気象衛星も含めた 5 分野（気象衛星、数値予報、WIS、気候、津波）について協力関係を構築している。それを踏まえ、2014 年にひまわり 8 号・9 号のデータ利用に向けた協力関係を構築し、次の 4 項目に関する協力を行っている。

- ・ひまわり 8 号・9 号の開発状況やデータ配信計画についての情報交換
- ・AHI から得られると期待されているプロダクトに係るアルゴリズム等に関する情報交換
- ・AuBoM による WMO 第 V 地区の国々の衛星データに関する要望の気象庁への提供及び AuBoM と気象庁の協力による第 V 地区でのひまわり 8 号・9 号データの利用支援
- ・アジア・オセアニア気象衛星会議のような共通に参加する会議での協力（専門家の派遣）

この協力の一環として、専用回線による AuBoM へのひまわり 8 号データの提供を行っている。また、外国気象機関からリクエストされた領域に対してひまわり 8 号・9 号による 2.5 分ごとの機動観測を行うサービス（HimawariRequest、

詳細を第 7.2.4 項に記述）の構築に向け、2016 年に AuBoM との間で実証実験を行った。なお、第 V 地区からのリクエストは、AuBoM が取りまとめることとして、同サービスを 2018 年に開始している。

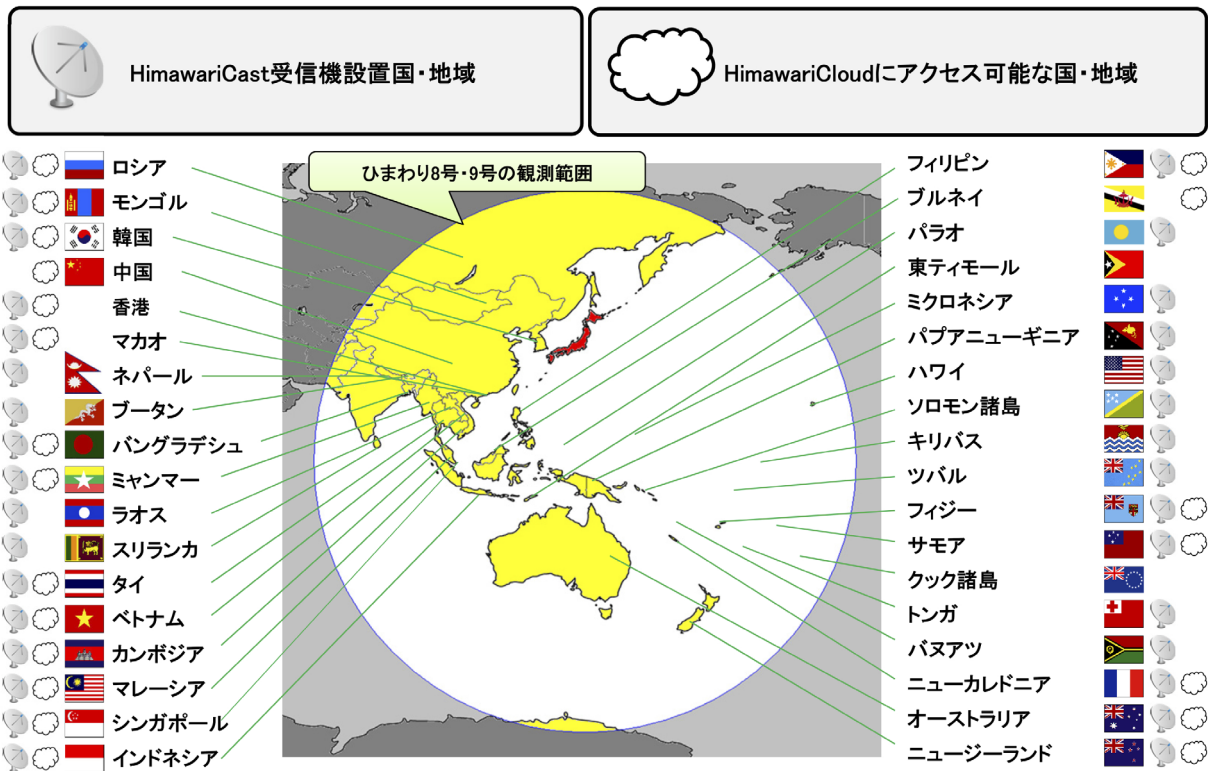
7.2.2 データの入手と利用に対する支援

国際協力機構（JICA : Japan International Cooperation Agency）及び WMO では、アジア、太平洋地域の国々に HimawariCast の受信設備を設置するための財政的な支援を行い、JICA の支援で 6 か国、WMO の支援で 14 か国に受信設備が設置された（自らの予算で受信設備を設置した国もある）。

気象庁では、受信設備の設置に合わせて、予報の専門家と気象衛星のデータ処理の専門家を現地派遣し、気象局の職員等に対して、ひまわりのデータ利用に関する研修を 2015 年から行っている。2018 年 3 月までの派遣先は 22 か国にのぼる。

なお、HimawariCloud 及び HimawariCast の利用国・地域（気象庁で把握しているもの）は第 7.2.1 図のとおりである。

この他、気象庁では様々な機会を捉えて衛星データの利用のための支援を行っている。例えば、WMO と CGMS が行っている気象衛星及び地球観測衛星のデータやプロダクトの利用促進のための取り組みである Virtual Laboratory と呼ばれる Web オンライン研修の枠組みがある。この枠組みでは、トレーニングセンター（CoE : Center of Excellence）を全世界で 13 箇所指定しており、各 CoE は衛星運用機関との密接な協力のもと、衛星データの利用に関する研修等の活動を行っている。CoE の一つを AuBoM が運用しているが、この CoE に対して、気象庁は、衛星運用機関としてデータ提供等を通じて協力している。また、アジア・オセアニア気象衛星利用者会議では、2012 年に開催した第 3 回会合から、会議に合わせて発展途上国での気象衛星データの利用促進を目的としたトレーニングを実施しており、気象庁からも講師として専門家を派遣している。特に、2015 年の気象庁（東京）で開催した第 6 回からは、気象庁が開発した衛星画像解析ソフトウェア



第 7.2.1 図 HimawariCloud と HimawariCast の利用国・地域

(SATAID) を利用したトレーニングを実施するなど、より実践的なトレーニングになるように工夫している。

7.2.3 利用技術の共同開発

気象庁は、ひまわりのデータ利用を推進するため、海外の気象水文機関での利用技術の開発に対する支援にも力を入れている。具体的には、海外の気象水文機関の職員が気象衛星センターに一定期間滞在し、ひまわりの観測データの取り扱いや、積雲急発達プロダクト、RGB 画像などの算出・調整について学び、帰国後に所属の気象水文機関での業務導入やプロダクトの調整を可能とすることを目標としている。

2016 年にはインドネシア気象局から 3 名、2017 年にはマレーシア気象局から 2 名が気象衛星センターに 2 週間滞在し、その後、それぞれの気象局で積雲急発達プロダクトの業務導入を目指している。

7.2.4 HimawariRequest

国際協力の一環として、外国気象機関からリクエストされた領域に対して、ひまわり 8 号・9 号による 2.5 分ごとの機動観測を行うサービス (HimawariRequest) を世界で初めて 2018 年 1 月 18 日から開始した。

ひまわり 8 号・9 号では、10 分ごとのフルディスク観測や 2.5 分ごとの日本域観測と並行して、観測場所が変更可能な機動観測を 2.5 分ごとに実施している。ひまわり 8 号の運用開始以降、この機動観測では、熱帯低気圧地区特別気象センター (RSMC Tokyo Typhoon Center) の責任範囲内の台風の観測と、航空路火山灰情報センター (Tokyo VAAC) の責任範囲内の火山の観測 (主にカムチャツカ半島の火山) を主に行ってきた。

この機動観測は、国際的にも注目され、2015 年 10 月に行われた「災害リスク軽減のための WMO 第 II・第 V 地区合同 WIGOS ワークショップ」で採択されたジャカルタ宣言において、「メンバー国からのリクエストに基づいた高頻度観測

を行うためのプロトコル（手順）を整備する」ことが提言された。

これを受け、「国家気象水文機関に対する衛星データ、プロダクト及び研修に係る支援推進のための第Ⅱ地区 WIGOS プロジェクト」の活動の一環として、ひまわりの観測範囲内の国々にある国家気象水文機関の要望に基づいて、各機関が指定した領域の観測を行うための手順の策定を進め、「HimawariRequest」としてサービスを開始した。

HimawariRequest の開始により、観測可能領域内にある諸外国において、通常提供している 10 分ごとのフルディスク観測に加えて、2.5 分ごとと短い時間間隔の画像が利用できるようになることから、例えば、火山噴火の早期検出や、噴火直後の噴煙や熱帯低気圧の構造変化の詳細監視など、ひまわりの観測データが火山噴火や熱帯低気圧等による災害リスク軽減により一層活用されると期待されている。

なお、この観測によって得られたデータは、HimawariCloud で配信すると共に、気象衛星センサーのホームページでも画像を公開し、インターネット環境が脆弱な地域でも利用できるようにしている。

8. まとめと今後の展望

本稿では、ひまわり 8 号・9 号に関して、整備計画、衛星／地上システムの概要及び利用者への配信手段並びにデータの利活用について紹介した。

静止気象衛星は、搭載される観測センサーの設計・製造・試験等に 3 年程度、さらに衛星本体との結合・総合試験に 2 年程度を要することから、完成までには 5 年以上を必要とする。このため、ひまわり 8 号・9 号の運用計画、次期気象衛星の整備期間及び打上げ後の軌道上試験並びに観測センサーと地上システム間の最終調整期間を考慮すると、遅くとも 2023 年度には次期気象衛星の製造を開始する必要がある。

一方で、世界の静止気象衛星計画と WMO の将来展望に目を向けると、静止気象衛星に期待される観測性能として、AHI のような「可視赤外イメージャ」に加え、気温・水蒸気等の鉛直分布を

観測できる「ハイパースペクトル赤外サウンダ」や、広範囲の雷活動の監視を可能とする「雷光センサー」などがあり、一部の衛星運用機関では、すでにそれらの観測性能を備えた衛星の計画が進められている（第 8.1 表、第 8.2 表）。

気象庁では、現行のひまわり 8 号・9 号の安定運用に努めつつ、AHI と同型の観測センサーの開発国である米国や気象衛星データ処理の最先端の研究を実施している欧州でのデータ利用技術の開発状況及び実際のデータ利活用状況、また国内での潜在的な利用ニーズや実際の利用状況を調査し、さらなる観測データの利活用促進を図っていく。その上で、次期気象衛星の検討にあたっては、最新の観測センサーの開発状況及びその利用ニーズを十分把握し、観測データの最大限の利活用を図る必要がある。

最後に、ひまわり 8 号・9 号の予算要求、整備及び PFI 事業の導入並びにデータ利活用推進について、多くの有識者から多大なご知見やアドバイス、力添えを頂いた。本誌面をお借りして、深く感謝申し上げますと共に、今後ともご支援をお願いしたい。

第 8.1 表 世界の新世代静止気象衛星一覧 (2018 年 7 月時点)

	日 本	米 国	欧 州	中 国	韓 国
衛星名 (打上日)	ひまわり8号 (2014年10月7日) ひまわり9号 (2016年11月2日)	GOES-16 (2016年11月19日) GOES-17 (2018年3月1日) GOES-T (2020年予定) GOES-U (2024年予定)	MTG-I1 (2021年10月～12月予定) MTG-S1 (2023年1月～3月予定) MTG-I2 (2025年7月～9月予定) MTG-I3 (2028年4月～6月予定) MTG-S2 (2030年10月～12月予定) MTG-I4 (2032年10月～12月予定)	FY-4A (試験衛星) (2016年12月11日) FY-4B (2019年予定) FY-4C (2021年予定) FY-4MW (2022年予定)	GEO-KOMPSAT-2A (GK-2A) (2018年11月予定) GEO-KOMPSAT-2B (GK-2B) (2019年10月予定) (2Bは海洋・大気化学に特化)
イメージャ名 バンド数 空間解像度	AHI 可視・近赤外 6 0.5～2km 赤外 10 2km	ABI 可視・近赤外 6 0.5～2km 赤外 10 2km	FCI 可視・近赤外 8 1km 赤外 8 2km	ARGI (FY-4A) 可視・近赤外 6 0.5～2km 赤外 8 2～4km	AMI (GK-2A) 可視・近赤外 6 0.5～2km 赤外 10 2km
イメージャの 観測頻度	フルディスク10分毎 + 日本域2.5分毎 + 機動観測域2.5分毎	フルディスク15分毎 + 米国本土域5分毎 + 機動観測域0.5分毎 1領域 or 1分毎2領域	フルディスク10分毎 or フルディスクの約1/4 の領域、2倍解像度 2.5分毎、4バンド 3機体制の運用計画 MSG-I フルディスク MSG-I 高頻度、高解像度 MSG-S サウンダ	フルディスク15分毎 3つの観測モード ・基本:フルディスク40回+ 北ハーフディスク56回/日 ・強化:フルディスク40回+ 北ハーフディスク112回/日 ・緊急:フルディスク24回+ 要求により2.5 or 5 or 7.5分 毎の領域観測 (領域観測の能力は、 1,000km x 1,000km /分)	フルディスク10分毎 + ELA 2分毎 (Extended Local Area) 3,800km x 2,400km + LA 2分毎 (Local Area) 1,000km x 1,000km
他の気象 観測センサ		雷光センサ (GLM)	[MTG-I1, I2, I3, I4] - 雷光センサ (LI) [MTG-S1, S2] - ハイパースペクトル赤 外サウンダ (IRS) - 紫外可視近赤サウンダ (UVN)	[FY-4A, 4B, 4C, 4D] - 雷光センサ (LMI) - ハイパースペクトル赤 外サウンダ (GIIRS) [FY-4MW] - マイクロ波サウンダ	[GK-2B] - 紫外可視サウンダ (GEMS)

第 8.2 表 2040 年代の静止気象衛星に期待される観測機能 (WMO によるとりまとめ)

観測センサ	用 途
高頻度観測機能を備えた 多波長の可視・赤外イメージャ	雲量, 雲タイプ, 雲頂高度/雲頂温度, 大気追跡風, 海面温度/地表面温度, 降水, エロゾル, 積雪, 植生, アルベド, 大気安定度, 野火, 火山灰, 砂塵嵐, 対流形成
ハイパースペクトル赤外サウンダ	大気温度, 湿度, 大気追跡風, 急速に発達するメソスケール現象, 海面温度/地表面温度, 雲量及び雲頂高度/雲頂温度, 大気組成(エロゾル, オゾン, 温室効果ガス, 微量気体)
雷光センサ	雷(特に雲間放電), 激しい対流の位置, 対流システムのライフサイクル
紫外・可視・近赤外サウンダ	オゾン, 微量気体, エロゾル, 湿度, 雲頂高度

参 考 文 献

- (1) 赤石一英 (2012) : ひまわり運用等事業について.
測候時報, 79. 1-2, 1-14.
- (2) 尾関一頼・佐々木幸男 (2016) : 静止気象衛星ひまわり 8 号及び 9 号の概要. 気象衛星センター技術報告, 特別号 (2016), 3-16.
- (3) 佐々木政幸 (2016) : HOPE 地上システム. 気象衛星センター技術報告 特別号 (2016), 17-24.
- (4) 濱田浩・柴卓・木村裕之 (2016) : 静止気象衛星画像作成システム. 気象衛星センター技術報告, 特別号 (2016), 25-35.
- (5) 石上泰行・松田謙・安達英俊・横川友和 (2016a) : インターネット等による静止気象衛星画像データ配信サービス (HimawariCloud) の概要. 気象衛星センター技術報告, 特別号 (2016), 45-53.
- (6) 石上泰行・松田謙・安達英俊・横川友和 (2016b) : 商用通信衛星による静止気象衛星画像データ配信サービス (HimawariCast) の概要. 気象衛星センター技術報告, 特別号 (2016), 55-62.
- (7) 濱田浩・田端将・守伸隆・佐々木政幸 (2016) : 領域観測予約システム. 気象衛星センター技術報告, 特別号 (2016), 37-45.
- (8) Imai, T, and R. Yoshida (2016) : Algorithm Theoretical Basis for Himawari-8 Cloud Mask Product. Meteorological Satellite Center Technical Note, No.61, 1-17.
- (9) Mouri, K, T. Izumi, H. Suzue, and R. Yoshida (2016) : Algorithm Theoretical Basis Document for Cloud Type/Phase Product. Meteorological Satellite Center Technical Note, No.61, 19-31.
- (10) Mouri, K, H. Suzue, R. Yoshida, and T. Izumi (2016) : Algorithm Theoretical Basis Document for Cloud Top Height Product. Meteorological Satellite Center Technical Note, No.61, 33-42.
- (11) Suzue, H, T. Imai, and K. Mouri (2016) : High-resolution Cloud Analysis Information derived from Himawari-8 data. Meteorological Satellite Center Technical Note, No.61, 43-51.
- (12) 隅田康彦 (2015) : ひまわり 6 号による高頻度衛星雲観測について. 航空気象ノート, 77, 70-81.

- (13) Shimoji. K (2017 : Introduction to the Himawari-8 Atmospheric Motion Vector Algorithm. Meteorological Satellite Center Technical Note, No.62, 73-77.
- (14) Imai. T, and D. Uesawa (2016) : Clear Sky Radiance (CSR) product derived from Himawari-8 data. Meteorological Satellite Center Technical Note, No.61, 53-58.
- (15) Kurihara. Y, H. Murakami, and M. Kachi (2016) : Sea surface temperature from the new Japanese geostationary meteorological himawari-8 satellite. Geophysical Research Letters, 2015GL067159, 1234-1240.
- (16) Uesawa. D (2016) : Aerosol Optical Depth product derived from Himawari-8 data for Asian dust monitoring. Meteorological Satellite Center Technical Note, 61, 59-63.
- (17) 寺坂義幸 (2016) : ひまわり 8 号 RGB 合成画像の基礎. 平成 27 年度予報技術研修テキスト, 21, 123-136.
- (18) 赤坂有史ほか (2017) : 海氷自動解析システムの開発について (第 2 部) ひまわり 8 号データを用いた海氷自動解析システムの開発. 測候時報, 84, 13-31.

参 考 U R L

- 静止気象衛星に関する懇談会 (2009) : 「静止気象衛星に関する懇談会」とりまとめ～次期静止気象衛星の整備・運用のあり方に関する提言～
<https://www.jma-net.go.jp/sat/satellite/kondan/torimatome.pdf>
- 気象庁 (2014) : H-II A ロケット 25 号機による「ひまわり 8 号」の打上げ結果について
https://www.jma.go.jp/jma/press/1410/07b/20141007_himawari8_launch_successful.html
- 気象庁 (2014) : 「ひまわり 8 号」の静止化の完了について
https://www.jma.go.jp/jma/press/1410/17a/20141017_himawari8_enters_geostationary_orbit.html
- 気象庁 (2014) : 「ひまわり 8 号」による初画像につい

て
https://www.jma.go.jp/jma/press/1412/18a/20141218_himawari8_first_images.html

気象庁 (2015) : 静止気象衛星「ひまわり 8 号」の運用開始日について
https://www.jma.go.jp/jma/press/1505/27a/20150527_himawari8_operation_schedule_press.html

気象衛星センター (2015) : 「ひまわり 6 号」からの衛星画像データ直接配信サービスの終了について
https://www.jma-net.go.jp/sat/satellite/news/hrit_lrit_end.pdf

気象庁 (2016) : きめ細かな気象状況がわかるようになります ～「推計気象分布」の提供開始～
<https://www.jma.go.jp/jma/press/1603/08c/suikei160308.html>

気象庁 (2016) : 気象の予測精度が向上します～数値予報の改良～
https://www.jma.go.jp/jma/press/1603/17a/20160317_nwp_himawari8.html

気象庁 (2016) : 静止気象衛星ひまわり 8 号による海面水温画像の公開について
https://www.jma.go.jp/jma/press/1605/24a/20160525_himawarisst.html

気象庁 (2016) : 台風進路予報の改善について
https://www.jma.go.jp/jma/press/1606/15a/20160615_typhoon_yohoen.html

気象庁 (2016) : H-II A ロケット 31 号機による「ひまわり 9 号」の打上げ延期について
https://www.jma.go.jp/jma/press/1610/30a/20161030_himawari9_launch_postponed.html

気象庁 (2016) : H-II A ロケット 31 号機による「ひまわり 9 号」の打上げ結果について
https://www.jma.go.jp/jma/press/1611/02b/20161102_himawari9_launch_successful.html

気象庁 (2016) : 「ひまわり 9 号」の静止化の完了について
https://www.jma.go.jp/jma/press/1611/11a/20161111_himawari9_enters_

[geostationary_orbit.html](https://www.jma.go.jp/jma/press/1611/14a/20161114himsst.html)

気象庁 (2016) : ひまわり 8号を用いて海面水温分布
図を高精度・高解像度化します

[https://www.jma.go.jp/jma/
press/1611/14a/20161114himsst.html](https://www.jma.go.jp/jma/press/1611/14a/20161114himsst.html)

気象庁 (2017) : 「ひまわり 9号」による初画像につい
て

[https://www.jma.go.jp/jma/
press/1701/24a/20170124_himawari9_first_images.
html](https://www.jma.go.jp/jma/press/1701/24a/20170124_himawari9_first_images.html)

気象庁 (2017) : 「ひまわり 9号」の待機運用の開始に
ついて

[https://www.jma.go.jp/jma/
press/1703/09b/20170309_himawari9_start_
operation.html](https://www.jma.go.jp/jma/press/1703/09b/20170309_himawari9_start_operation.html)

気象庁 (2017) : 「ひまわり 8号」の観測データを活用
した雷ナウキャストの改善について

[https://www.jma.go.jp/jma/
press/1707/12a/20170712_kmncst.html](https://www.jma.go.jp/jma/press/1707/12a/20170712_kmncst.html)

気象庁 (2018) : 外国気象機関からのリクエストに応
じた気象衛星観測の開始 ～ひまわりの機動観測
がアジア太平洋地域の災害リスク軽減に貢献し
ます～

[https://www.jma.go.jp/jma/press/1801/18a/180118_
HimawariRequest.html](https://www.jma.go.jp/jma/press/1801/18a/180118_HimawariRequest.html)

気象庁 (2018) : 「ひまわり 8号」の観測データ等を活
用した航空気象情報の改善について

[https://www.jma.go.jp/jma/press/1802/28a/180228_
kokuukaizen.html](https://www.jma.go.jp/jma/press/1802/28a/180228_kokuukaizen.html)