

気象衛星ひまわりによる 自然災害への備え

西山 宏*
Hiroshi Nishiyama
赤木茂樹*
Shigeki Akagi

Preparation for Natural Disaster by Meteorological Satellite Himawari

要 旨

気象衛星“ひまわり8号”は、2014年10月、種子島宇宙センターから打ち上げられた。東経140.7度の静止軌道上で約半年間の点検及び画像調整を経て2015年7月から気象庁による画像提供サービスが開始された。また、同型機の“ひまわり9号”は、2016年11月に打ち上げられ、点検及び画像調整を経て2017年3月から待機衛星としての運用が開始された。以降2機体制で約5年間にわたって、気象観測だけでなく、災害予測及び災害規模・詳細監視等の幅広い用途で使用されてきた。前号機“ひまわり7号”(運輸多目的衛星新2号:MTSAT-2)に比べて、性能が飛躍

的に向上したため、海外からも撮像の依頼が多く、アジア・太平洋地域でも画像を提供することで貢献している。

ひまわり8・9号は、2009年に気象庁による国際公開入札が実施され、欧米を含めて数社が応札する中、三菱電機が受注し、衛星本体及び地上の画像データ処理ソフトウェアを開発した。

ひまわり8・9号は、台風の進路予想の精度向上、積乱雲など局所気象変動の予測、火山噴火、黄砂の監視など、自然災害への対応で大きく貢献している。



ひまわり8・9号の軌道上想定図とひまわり8号の工場出荷前写真

当社標準衛星バスDS2000に可視赤外放射計を搭載した三軸姿勢制御方式のひまわり8・9号は、それぞれ2014年10月及び2016年11月に打ち上げられて、東経140.7度の静止軌道上で運用されている。2015年7月からひまわり8号による気象衛星画像が配信されており、2022年からはひまわり9号からの配信に切り替わる予定である。

1. ま え が き

ひまわり8・9号は、ひまわり7号の実績と経験を踏まえて、静止気象衛星搭載用の新型光学センサ“可視赤外放射計”(以下“放射計”という。)の運用に最適な設計を行ったものである。ひまわり7号に搭載されたイメージャと比べて画像の解像度は約2倍の高精細になり、また、衛星から見える地球全体(フルディスク)の観測にかかる時間が約1/3に短縮され、日本域などの小領域を高頻度に観測することが可能である。

一方、放射計の観測精度実現のためには、放射計を搭載する衛星バスシステムも、従来に比べて高い性能を要求された。そのため、低熱歪(ひずみ)の光学ベンチの採用、高精度姿勢制御系システム、低擾乱(じょうらん)アクチュエータの採用による擾乱低減を図るとともに、地上処理での画像補正のために、高精度・広帯域に光学ベンチの姿勢を計測・決定する機能を持つ。

打ち上げ時に折り畳んでいたソーラーパネルとKaバンドアンテナは、軌道上で展開して図1に示すような外観になる。三軸姿勢制御方式の衛星であり、東経140.7度の赤道上空の高度約35,800kmに静止している。

衛星バスは、DS2000という、当社が開発し、ひまわり7号や各種通信衛星に採用してきた実績ある基本バスシステムを採用している。エネルギー源は、片翼2枚のソーラーパネルである。ソーラーパネルにはGaAs(ガリウムヒ素)系化合物半導体を材料にした太陽電池が貼り付けてあり、打ち上げ直後は約2.6kW(15年後には放射線劣化によって約2.2kW)の電力を衛星に供給する能力がある。また、食期間中でも電力を安定供給するため、国産の大型リチウムイオンバッテリーセルを当社で組んで電池にして、衛星バッテリーパネルに搭載している。

DS2000は、静止軌道上で15年間以上安定動作し、放射計はこの15年間のうち任意の8年間動作するよう設計されている。

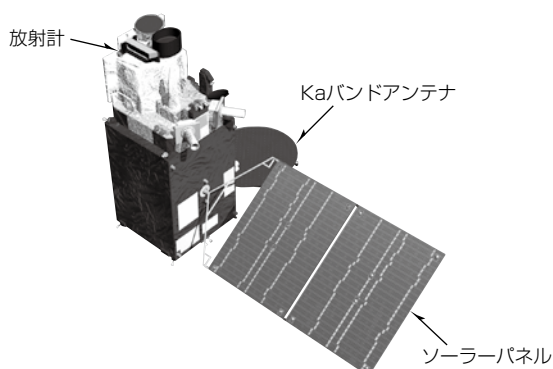


図1. ひまわり8号の軌道上外観図

撮像画像の伝送では、画像データを圧縮し、Kaバンドのマイクロ波で伝送する。データ伝送レートは衛星の各種技術情報(テレメトリ)を含めて、60Mbps程度である。CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)製の直径約2.2mのアンテナを具備し、日本国内の2か所の地上局(埼玉県鳩山町と北海道江別市)に効率的に電波放射できるような設計にしている。

放射計を含む衛星全体の質量は、約1,300kgであり、打ち上げ時はこれにヒドラジン系の推進剤と酸化剤を充填して、約3,500kgになる。

本稿では当社が製造したひまわり8・9号の衛星の性能について解説しながら、自然災害へ活用されているひまわり8・9号の画像についても述べる。

2. 放 射 計⁽²⁾

地球を撮像する放射計は、米国NASA(National Aeronautics and Space Administration)などが中心になって開発されたものである。気象衛星観測の新世代を担う最先端の性能を持ち、ひまわり8・9号ではこれをいち早く導入するとともに日本独自の仕様を追加したものである。開発当時米国では打ち上げた実績がなく、日本が世界で初めて運用を開始した。次に放射計の性能進化について述べる。

2.1 観測バンド(波長帯)数の増加

放射計の観測帯域(バンド)をひまわり7号のイメージャと比較して表1に示す。

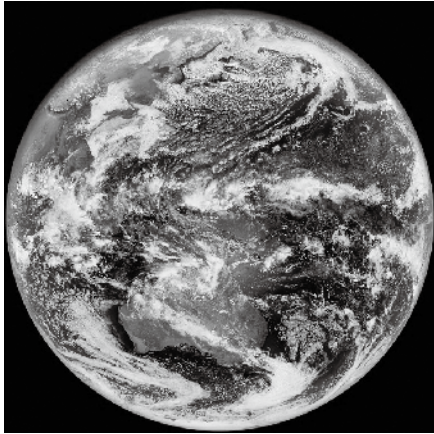
可視帯域のバンドを光の三原色としており、気象庁の二次処理ソフトウェアによって、地上で重ね合わせて処理することで、カラー合成画像を得ることができる。これによって、黄砂、火山噴煙を観測でき、また増加した赤外バンドも組み合わせることで、流水・雪氷を識別したり、海面温度を計測したりするなど様々な情報が得られるようになった。図2にフルディスク観測の画像例を示す。

2.2 分解能の向上

放射計の受光素子密度が高くなり、デジタル処理技術の進歩と相まって、表2に示すように分解能が向上した。これによって高解像度な画像が取得できるようになった。

表1. ひまわり7号から8・9号への放射計の進化

	ひまわり7号	ひまわり8・9号
可視観測	1バンド(白黒)	青、緑、赤の3バンド (地上で合成処理してカラー画像になる)
近赤外観測	なし	3バンド
赤外観測	4バンド	10バンド
合計	5バンド	16バンド



出典：気象庁ホームページ
(https://www.data.jma.go.jp/sat_info/himawari/first_image_h9.html)

図2. フルディスク観測の画像(ひまわり9号による初画像)

表2. ひまわり7号から8・9号への分解能向上

	ひまわり7号	ひまわり8・9号
可視観測	1	0.5~1
近赤外・赤外観測	4	1~2

単位：km

表3. ひまわり7号から8・9号への撮像間隔短縮

	ひまわり7号	ひまわり8・9号
フルディスク観測	30分	10分
日本領域観測	-	2.5分
局所領域観測	-	30秒

2.3 撮像時間・間隔の短縮

走査幅を広くするとともに、放射計が小刻みに動けるよう、8号から2枚の反射鏡(走査ミラー)を導入し、南北・東西にそれぞれ個別に動くことで複雑で高速度な観測が可能になった。これによって表3に示すように観測に要する時間が短縮したことで、フルディスクの観測を行いながら、日本領域や台風周辺を2.5分間隔で、積乱雲などの局所的な領域を30秒間隔で観測できる機動観測が可能になった。

3. 放射計の性能を最大限引き出すための衛星システム設計⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

2章で述べたとおり、放射計にはこれまでにない高い機能が盛り込まれている。この機能を最大限に活用するために、衛星・地上全体システム設計の最適化を行った結果、高精細な画像を配信するシステムを構築できた。具体的には、衛星の地球を向くパネル面に低熱歪のもう一枚のパネルを載せて、このパネル上に放射計を搭載した。さらにこのパネル上に、放射計の視線を高精度・広帯域に決定するために、スタートラッカー(STT)、慣性基準装置(IRU)等を搭載する構成にした。主な要点を次に示す。

(1) 放射計の熱歪を最小化

衛星構体は軌道上の周期的な温度変動で歪を生じる。特

に表面には+100~-170℃の温度変化に晒(さら)される部分がある。このため、放射計を衛星から極力熱的に分離し、衛星の熱歪が放射計の光学系を歪(ゆが)める悪影響を最小化した。

(2) 機械的な擾乱の最小化

衛星に搭載するリアクションホイールなどから出る微小振動が、衛星構体を伝わり、放射計を揺らすという擾乱現象がある。これを最小限にするために、衛星構造を強化して剛性を最適化した搭載方法を採用した。

(3) 高精度の姿勢制御方式

STTによって姿勢を高精度に同定するとともに、IRUによって姿勢の変化を検知し、衛星搭載コンピュータのソフトウェアで姿勢を制御するという、DS2000として蓄積してきた技術を用いて、定常観測時には1/100°の精度での姿勢制御を実現した。

(4) 高精度の画像位置ずれ補正技術

ひまわり8・9号では、放射計の視線方向を東西方向に高速走査することによって、フルディスクを10分ごと、日本領域を2.5分ごとに観測するが、この走査によって発生する微小振動を衛星に搭載した各種センサで計測し、視線方向の振動を高周波微小成分も含めて高精度に推定する技術を地上ソフトウェアで実現した。地上局では受信した視線方向推定用データ(姿勢角、角速度、加速度)を演算処理することによって、視線方向の振動成分を高精度に推定し、観測画像の位置ずれを補正する仕組み(手振れ防止機能)を具備した。この高精度姿勢決定機能と、気象庁が独自に開発した画像位置合わせ機能を融合させることで、高分解能で視線方向のぶれが極めて少ない画像の配信を実現している。

(5) 地上処理

ひまわり8・9号の画像データを地上局で一次処理するための放射計データ処理システム(RDACS)を衛星とともに開発した。このシステムは、地上で受信したデータを復調した後のデータ処理を担い、次の機能を持つ。

- ①放射計データファイル作成
- ②位置精度・校正処理
- ③領域観測選定処理
- ④画像診断・監視

このRDACSで出力されたデータは、衛星運用事業者(HOPE)の地上局を経由して気象庁の気象衛星センターに送られ、画像化・二次加工処理され、その画像がユーザーに配信される。RDACSは災害防止に必要な情報を途切れさせないという観点で、サービスの継続性・連続性を重視した設計になっており、さらに地上局の構成機器として高い機動性のある観測運用を可能にするため、衛星運用との連動性も重視した設計になっている。

4. 自然災害への活用

このように放射計の観測機能の向上と関連システムの整備によって、短い時間間隔で高分解能な画像を多くのバンドで取得できるようになった。そのため、積乱雲や台風の動きをより早期に緻密に追跡することが可能になって森林火災や火山噴火などの現象も把握しやすくなることで気象災害の防止・軽減に大きく寄与する画像が配信されている。

一例として、図3に台風の領域観測画像を示す。解像度や観測頻度が向上したことで、台風の日や細かな雲の動きが広範囲にわたって精細に観測できるようになり、台風の発生、移動、強さ、強風域などの監視に貢献している。

図4にトンガ周辺の海底火山噴火の様態を示す。噴煙が急激に広がっていく様子が克明に確認できる。ひまわり8・9号は広く東アジア・太平洋域の火山を観測しており、これらの火山観測では、火山灰の検知だけでなく、地表面温度の監視や噴煙高度の情報なども取得し、航空船舶の運航などにも役立っている。

図5は沖縄地方で発生した記録的な大雨での線状降水帯の発達の様態を示したものである。画像中、雲頂高度が高い積乱雲が強調表示されている。多バンド化された赤外バンドを活用することで雲頂高度が推定できるようになった。

図6はオーストラリア東部で発生した森林火災を観測した画像である。オーストラリア気象局からの要請に応じて、画像データがリアルタイムで提供された。高頻度な精細画像提供によって、噴煙の動きが詳細に把握できるようになり、火災の発生域の特定などに活用されている。

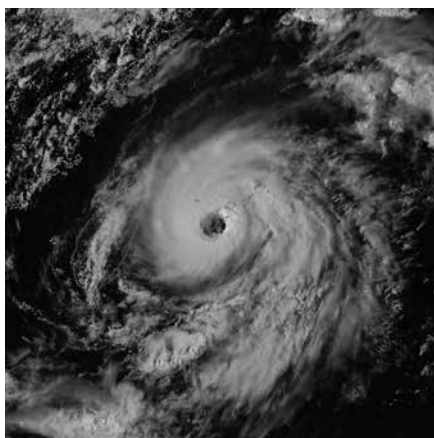
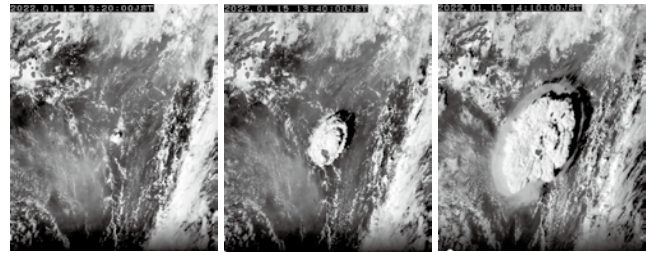
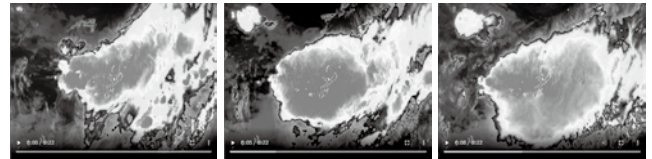


図3. 台風の画像例(2015年3月31日試験撮像, 気象庁提供)



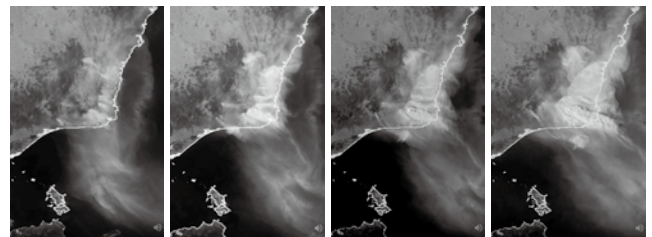
出典：気象庁ホームページ
(https://www.data.jma.go.jp/sat_info/himawari/image.html)

図4. トンガ周辺の海底火山噴火の様態の記録



出典：気象庁ホームページ
(https://www.data.jma.go.jp/sat_info/himawari/image.html)

図5. 線状降水帯の発達様態の記録



出典：気象庁ホームページ
(https://www.data.jma.go.jp/sat_info/himawari/image.html)

図6. オーストラリア森林火災の記録

5. むすび

ひまわり8号による画像配信が2015年7月から開始されており、気象庁で取得したデータの数値予報などに活用されている。さらに、気象予報会社や大学、研究機関でも、画像の活用、解析方法等の開発が進められている。その中でも、自然災害への備えとしての衛星画像の活用は大きく注目されてきており、今後に期待するとともに、その活用現場の生の声を聞いて次のひまわり衛星の開発に反映していくことが衛星システムメーカーとしての当社の責務と考えている。

参考文献

- (1) 横田寛伸, ほか: 静止地球環境観測衛星「ひまわり8号及び9号」の紹介, 気象衛星センター技術報告, No.58, 121~138 (2013)
- (2) 西山 宏, ほか: ひまわり8号打ち上げ成功と定常運用開始, 三菱電機技報, 90, No.2, 107~110 (2016)
- (3) 赤石一英: 次期ひまわりの地上システムについて, 気象衛星センター技術報告, No.58, 111~119 (2013)
- (4) 腕野一磨, ほか: 静止気象衛星ひまわり8号・9号の地上システム, 三菱電機技報, 89, No.3, 157~161 (2015)