

新しい静止気象衛星ひまわり 8号及び9号*

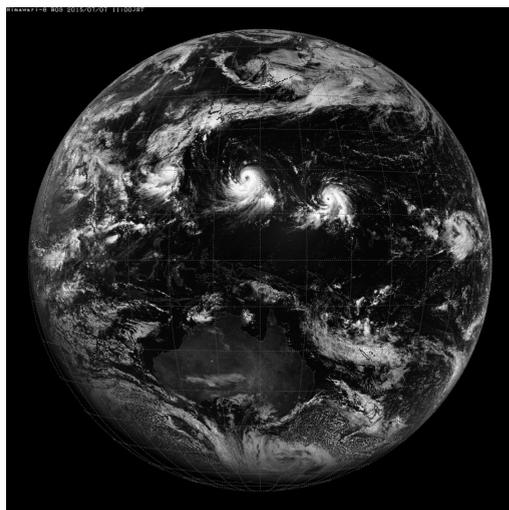
別 所 康太郎**

1. はじめに

テレビの気象情報などでもおなじみの静止気象衛星「ひまわり」は、1977年に初号機が打ち上げられて以来、衛星本体の交代を重ねながら、40年近くにわたって運用され、貴重な観測データを届けている。気象衛星の観測データは、気象業務に不可欠な情報として活用されるだけでなく、気象・気候の調査・研究にも利用されてきた。2014年10月7日に打ち上げられたひまわり8号は、これまで運用されてきた運輸多目的衛星ひまわり7号の後継衛星として、軌道上での機能確認試験を実施後、2015年7月7日から運用を開始した。第1図はひまわり8号の運用開始時の観測画像である。また、2016年11月2日に打ち上げられたひまわり9号は、2022年まで軌道上で待機する計画になっている。その後は、8号と9号で役割を交代し、2029年まで両機による観測体制を維持することとなっている。ひまわり8号及び9号の観測センサーは、最先端の観測技術を有する可視赤外放射計(AHI)であり、米国や欧州などの他の新世代静止気象衛星に先駆けてその運用を開始したことから、国際的にも注目を集めている。本稿では、ひまわり8号及び9号の概要について紹介するとともに、その観測データの利用についても述べる。なお、より詳しい解説については、Bescho *et al.* (2016) を参照いただきたい。

2. ひまわりによる観測

ひまわり8号及び9号の外観図を第2図に、主要諸元を第1表に示す。ひまわり8号及び9号は、ひまわり6号や7号と同じ3軸姿勢制御方式の衛星である。衛星本体の運用及び、観測データと通報局(DCP)データの受信については、気象衛星ひまわり運用事業株式会社(HOPE)が行い、HOPEから送られてきた観測データ及びDCPデータの処理を気象庁が実施している。運用に必要なテレメトリデータやコマンド信号の送受信にはKuバンド、AHIの観測データ伝送にKaバンド、DCPデータの収集にUHFバンドを使用する。Kaバンドのデータ伝送には、降雨減衰により電波の伝搬障害が発生することが想定される。



第1図 静止気象衛星ひまわり8号のBand3の画像(2015年7月7日11時00分(日本時間))。

* New Geostationary Meteorological Satellites of Himawari-8/9

** Kotaro BESSHO, 気象庁予報部(前 気象庁気象衛星センター)。

kbessho@met.kishou.go.jp

© 2016 日本気象学会



第2図 ひまわり8号及び9号の外観。

このため、観測データ及びDCPデータを受信するアンテナサイトについては、地理的に約800 km離れた埼玉県鳩山町と北海道江別市の2カ所に分けて設置

第1表 ひまわり8号及び9号の主要諸元。

衛星の形式	3軸姿勢制御（バイアスモーメント方式）の静止軌道衛星
衛星の位置	静止位置は赤道上約36,000 km 東経140.7度（軌道保持範囲：南北・東西±0.1度） ひまわり8号及び9号とも同じ軌道（0.05度経度分離）
全長・重量	衛星本体：約2.2 m×2.1 m×2.9 m 軌道上：約5.1 m×8.0 m×5.3 m 総重量：約3,450 kg（打上げ時）、 衛星本体：約1,290 kg（ドライ時）、推薬：約2,160 kg
衛星寿命	ミッション機器：7年（軌道上試験、待機観測等を含め8年） 衛星バス機器：15年
打上げ	2014年10月7日：ひまわり8号 2016年11月2日：ひまわり9号
運用開始	2015年7月7日（ひまわり8号）
可視赤外放射計	気象観測用イメージャAHI（米国Harris社製）、重量：338 kg 可視：3バンド（分解能：0.5 km, 1 km） 近赤外：3バンド（分解能：1 km, 2 km） 赤外：10バンド（分解能：2 km） フルディスク観測：10分+同時領域観測機能あり
通信系	DCPデータの収集：400 MHz帯（UHF） テレメトリ信号の送信・コマンド信号の受信・レンジング信号の中継：12-14 GHz（Ku） AHI・DCPデータの伝送：18 GHz帯（Ka）
衛星バス	DS2000

し、地域冗長を図っている。さらに大規模災害による被害を想定し、東京都清瀬市にある気象衛星センターの他に大阪管区気象台でもデータの処理が行えるようにしている。

ひまわり8号及び9号のAHIでは、従来は可視で1 km、赤外で4 kmだった分解能が、可視で0.5 km、赤外で2 kmと細かくなっている。これにより、雲などのより細かい構造を捉えられるようになった。また、ひまわり8号及び9号では、従来は約30分を要していたフルディスク（全球）観測を10分間で行うことができる。さらに、このフルディスク観測を行いながら、特定の領域を高頻度に観測することが可能になった。例えば、日本周辺については2.5分毎の観測を実施している。また、台風や火山噴火などに対応して、領域を機動的に変更しつつ2.5分毎に観測を実施する機能も備えている。AHIには、可視域3バンド（Band 1-3）、近赤外域3バンド（Band 4-6）、赤外域10バンド（Band 7-16）の計16バンドの観測波長がある（第2表）。ひまわり6号及び7号は可視1バンド、赤外4バンドの計5バンドであったので、3倍強のバンド数となっている。これらの観測性能の向上により、大気現象や黄砂・火山灰等の監視能力の強化

が図られただけでなく、より定量的な物理プロダクトの作成が可能になった。また、ひまわり8号及び9号の観測データを解析することにより、これまでの観測では見いだすことが難しかった現象が捉えられることが期待される。これにより、気象学をはじめとする様々な研究分野への貢献も見込まれる。

ひまわり8号及び9号本体の詳しい諸元や地上システムの詳細については、気象衛星センター（2016）も参照いただきたい。

3. 観測データの品質管理

衛星観測データの高度な利用には、その位置合わせ

(ナビゲーション) や校正 (キャリブレーション) 処理といった品質管理にも相応の精度が求められる。本章では、ひまわり 8号及び9号における位置合わせ及び校正処理の概要を紹介する。

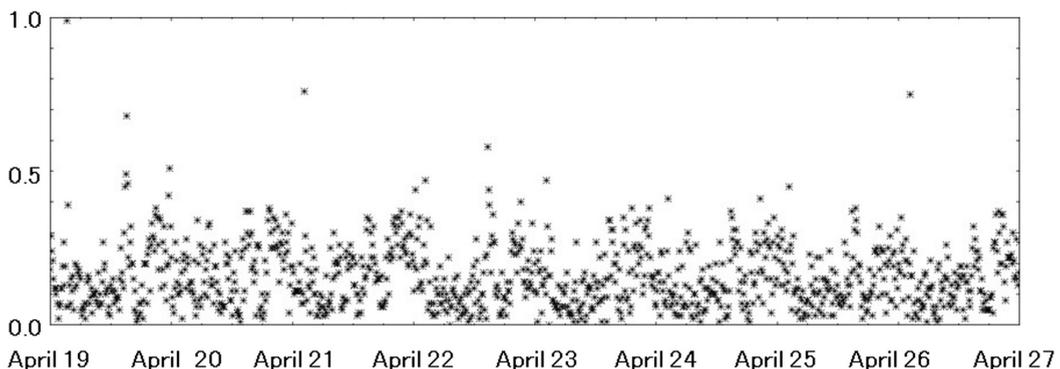
AHI の観測では地上局と衛星間の距離を計測すること (レンジング) により求めた軌道情報と、スタートラッカー (星追跡センサー)、慣性基準装置、高周波レイトセンサー、加速度計のデータから算出した姿勢情報をもとに、位置合わせ処理を行う。また、全球観測の画像についてパターンマッチングを応用したランドマーク処理を行うことで姿勢角のバイアスを推定し、姿勢情報を補正する。姿勢角を補正した後、修正した姿勢角を用いてもう一度ランドマーク処理を行い、画像とランドマークとの残差を求める。この残差は姿勢角誤差以外の画像歪み成分によるものであり、この残差を評価することで位置合わせ処理の精度が確認できる。位置合わせ処理では、観測毎にランドマーク誤差データを蓄積し、必要に応じて画像ごとに歪み補正係数を算出することも可能である。位置合わせ処理後のデータについて行った、ずれ量の残差評価の一

例を第3図に示す。この図は2015年4月19日～27日のBand13についてである。ずれの大きさはおおむね0.5画素以下となっていることがわかる。

ひまわり 8号及び9号の観測データについては、基準とするバンドと、対象とするバンドの画像について、パターンマッチングを用いてバンド間の相対的な観測位置合わせ (コレジストレーション処理) も実施している。2016年3月9日には、赤外バンド (Band 7-16) を対象に、地上システムの画像処理の高度化を行い、バンド間の相対的な観測位置の差も低減し

第2表 ひまわり8号とひまわり7号の観測バンド比較。

ひまわり 8号			ひまわり 7号			想定される用途の一例
バンド	波長 (μm)	解像度 (km)	バンド	波長 (μm)	解像度 (km)	
1	0.47	1				植生, エーロゾル, カラー合成画像
2	0.51	1				植生, エーロゾル, カラー合成画像
3	0.64	0.5	VIS	0.68	1	植生, 下層雲・霧, カラー合成画像
4	0.86	1				植生, エーロゾル
5	1.6	2				雲相判別
6	2.3	2				雲粒有効半径
7	3.9	2	IR4	3.7	4	下層雲・霧, 自然災害
8	6.2	2	IR3	6.8	4	上・中層水蒸気量
9	6.9	2				中層水蒸気量
10	7.3	2				中層水蒸気量
11	8.6	2				雲相判別, SO ₂
12	9.6	2				オゾン全量
13	10.4	2	IR1	10.8	4	雲画像, 雲頂情報
14	11.2	2				雲画像, 海面水温
15	12.4	2	IR2	12.0	4	雲画像, 海面水温
16	13.3	2				雲頂高度



第3図 位置合わせ処理後のデータについて行った、ずれ量の残差評価の一例。2015年4月19日～27日のBand13について、縦軸は残差 (画素量)、横軸は日時。

た。第4図は、Band13の画像を基準に、Band11との観測位置の差を示した改善例である。改善前の両バンドの差は、約0.27画素分（衛星直下点で540 m）であったが、改善後は約0.01画素分（同20 m）に低減している。

ひまわり 8号及び9号の観測センサーである AHI の検出器が出力する信号を物理量である放射輝度に変換するためには、放射量校正と呼ばれる処理が必要である。AHI では、衛星上の校正源として太陽光拡散板と黒体を有している。前者は可視・近赤外バンド、後者は赤外バンドの校正に利用され、これらと深宇宙観測とを併用することで、各バンドの校正係数が得られる。放射量校正処理を経て得られた放射輝度は、他の衛星の放射輝度と相互に比較したり、特定の観測目標における放射輝度を、数値予報データを用いたシミュレーション等で得られた代替値と比較したりする代替校正により、その品質を評価している。

厳しい宇宙環境で観測を行う衛星のセンサーは、一般に時間が経過するにつれてその感度が劣化していく。一方、気象衛星による観測データには、物理量プロダクトの算出や数値予報での利用のみならず、気候変動の監視にも資する校正精度が求められる。このため気象庁では、世界気象機関の下に設置された全球衛星搭載センサー相互校正システム (GSICS) の枠組みや国内研究機関との協力に基づき、代替校正技術の研究開発にも注力している。

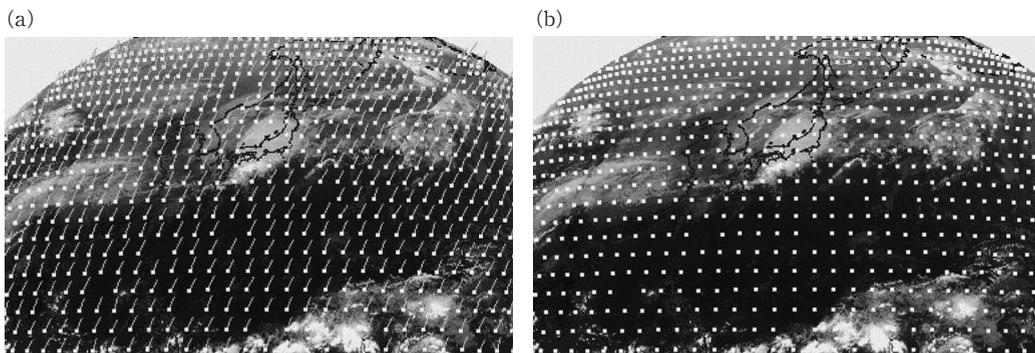
太陽光拡散板を用いた可視・近赤外バンドの太陽光観測は、約2週間に1回の頻度で実施されている。当該バンドは当初、地上試験に基づく校正係数を用いてきたが、試験観測期間の太陽光観測結果を解析し、

2015年6月8日に係数値を更新し、放射量校正処理に適用した。一方、可視・近赤外バンドの代替校正の参照値には、次に示す A) から D) のデータを利用している。

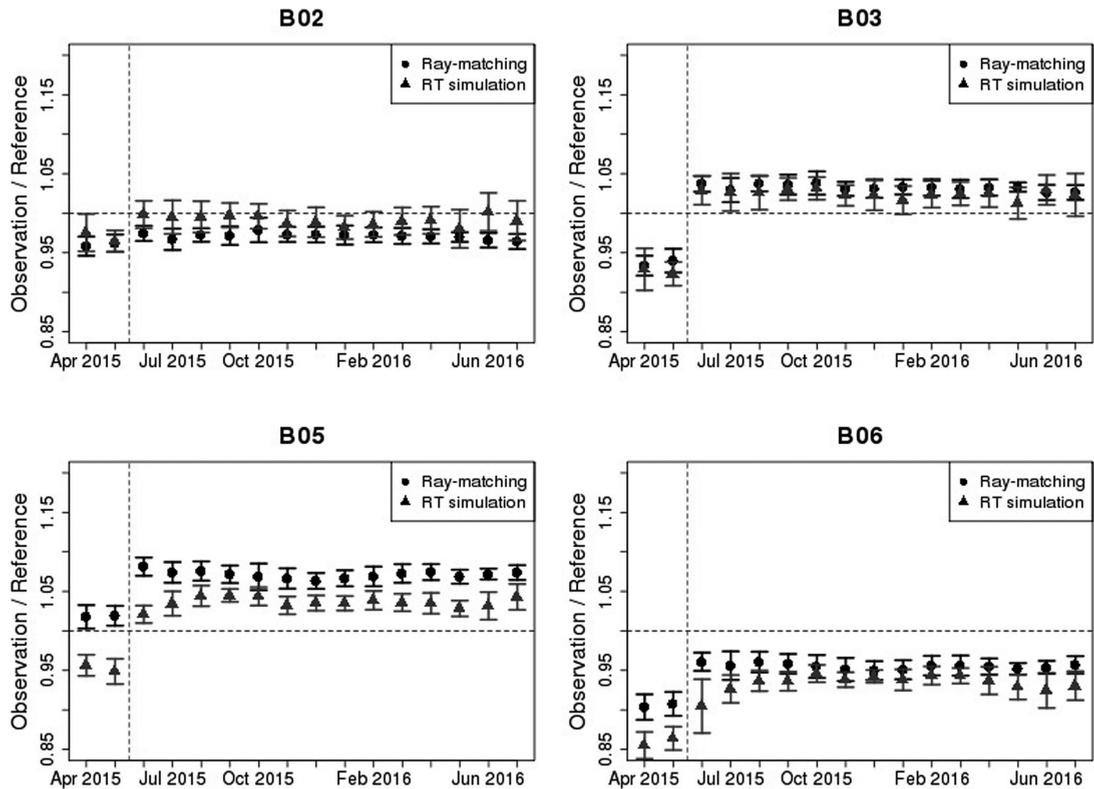
- A) 放射伝達計算 (RSTAR) によるシミュレーション値
- B) S-NPP/VIIRS 放射輝度観測値
- C) Aqua/MODIS による発達した対流雲観測値
- D) 月面放射照度シミュレーション値

A) 及び B) を用いた校正係数更新前後の評価結果を第5図に示す。両代替校正の結果は概ね整合的であり、校正係数の更新によって全バンドで基準値との差が小さくなったことがわかる。ただし、Band 5 及び 6 では 4-7% の差異が見られる。今後は、太陽光観測の評価解析を進めるとともに、GSICS の枠組みで共同開発を進めている C) や D) でも評価を行う予定である。

赤外バンドでは、温度制御された黒体の観測値が放射量校正処理に利用されている。赤外バンドの代替校正では、極軌道衛星に搭載されたハイパースペクトル赤外サウンダの観測データから、対象センサーの観測値をシミュレートする手法が GSICS の標準相互校正手法に位置づけられている。第6図に、当手法による Band 9 及び13の輝度温度バイアス時系列を示す。図で省略したバンドを含めた全赤外バンドで、典型的な観測条件下におけるバイアスは0.2 K 以下と見積もられた。また、ひまわり 7号の春秋期観測で見られるような、バイアスの顕著な日変化も確認されていない。今後は、相互校正手法を用いて衛星上での校正精度の長期的変化を監視・解析するとともに、不確かさをよ



第4図 Band11と13の観測位置の差の改善例 (2015年11月17日21時10分 (日本時間))。格子状の各点から延びる線は、各点における Band11と13との位置の差を強調表示しており、(a)は改善前、(b)は改善後。



第5図 ひまわり8号可視近赤外バンド (Band 2, 3, 5, 6) の観測輝度値と参照値との比。各点は月別平均値, エラーバーは標準偏差を表す。三角点は手法 A), 丸点は手法 B) に基づく。縦軸の値が1より小さい場合, 観測値は参照値より小さいことを意味する。縦点線は2015年6月8日の校正係数変更のタイミングを示す。なお混乱を避けるため, 6月1日~8日のデータは統計に含めていない。

り小さくするため, 複数の基準センサーによる相互校正結果を統合的に解析していく。

気象庁ではこれらセンサーの位置合わせ処理や代替校正の結果について, 気象衛星センターの下記のホームページで公開し, ひまわり観測データの利用者の参考に供している。

<http://www.data.jma.go.jp/mscweb/data/monitoring/navigation.html>

http://www.data.jma.go.jp/mscweb/en/operation/calibration_portal.html

(両ページとも, 2016年8月24日閲覧)

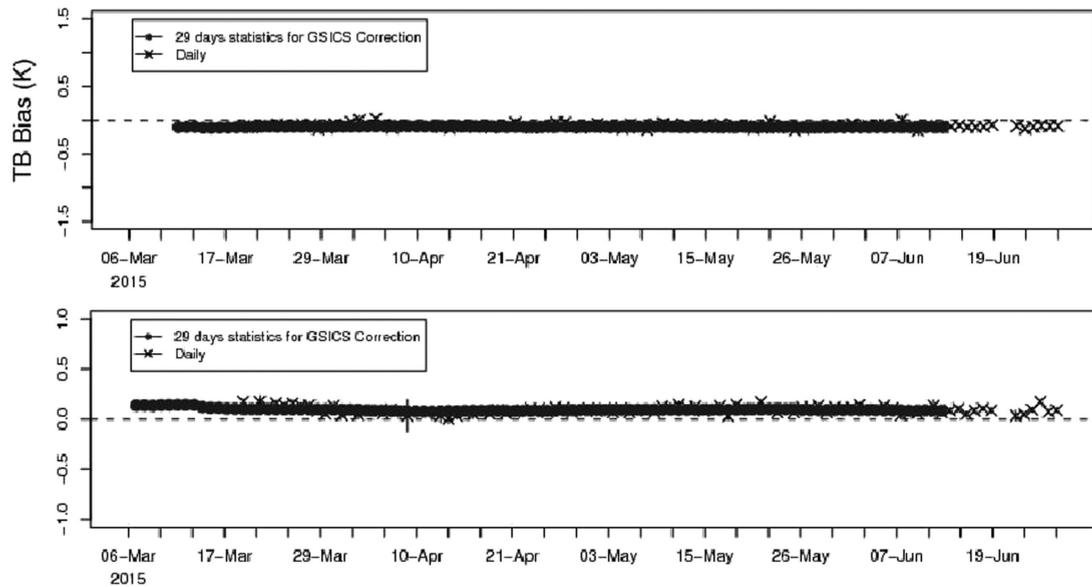
また, ひまわり8号の試験運用及び本運用開始以来, 観測データの品質向上を図るため, 地上システム処理の高度化等を逐次実施している。このように観測データの品質に影響のある処理や運用を実施した場合は, その内容を気象衛星センターのホームページで公開していくので, 利用者は必要に応じて参照願いたい。

4. 観測データの提供

ひまわり8号で観測されたデータは, 気象衛星センサーで処理され, 品質管理を行った後, ひまわり標準データや画像データなどの形式に変換される。ひまわり標準データは, 気象庁が提供する衛星観測データのうち最も源泉に近く, 情報量の多いデータであり, 気象庁で作成する衛星プロダクトはすべてこのデータを元に作成される。

このひまわり標準データのフォーマットは, ひまわり8号及び9号のために新たに作成したものである。フォーマットの詳細等を記した「ひまわり標準データ利用の手引き」や, サンプルデータ, 同データを読み込むサンプルプログラム及び他形式への変換プログラム等のソースコードについては, 下記の気象衛星センターホームページを参照いただきたい。

http://www.data.jma.go.jp/mscweb/en/himawari89/space_segment/spsg_sample.html (2016年



第6図 晴天夜間海面の天底観測条件 (Band 9 : 244K, Band13 : 286K) における, AH1 Band 9 (上) 及び 13 (下) の輝度温度バイアス (K) 時系列. ハイパースペクトル赤外サウンダ Metop-A/IASI を基準センサーとした場合の結果.

8月24日閲覧)

作成されたデータは, 気象衛星センターから複数の手段で庁外に提供されるが, 気象事業者や報道機関等の一般向けには気象業務支援センターを通じた提供が基本のルートとなる。さらに, ひまわり7号までは衛星自体に衛星画像を利用者に直接配信する機能があったが, ひまわり8号及び9号には直接配信を行う機能はないため, インターネットまたは商用通信衛星を利用して, 庁外の利用者に衛星画像を提供するシステムを整備した。最も情報量の大きいひまわり標準データについては, インターネット上のクラウドを利用して, 国外の気象機関や国内の研究機関に提供している。この配信は HimawariCloud と称されている。また, 低解像度のデータについては, 商用通信衛星 JCSAT -2B を用いた配信を実施している。この配信は HimawariCast と呼ばれており, 途上国の気象業務の支援を念頭に置いたものであるが, 受信機を用意すれば誰でも受信可能なサービスである。

これら HimawariCloud や HimawariCast といった配信システムにより, 東アジア・西太平洋域等の30以上の国や地域の気象機関に無料でひまわり8号及び9号の観測データを提供しており, 各国における天気予報はもとより, この地域の防災・減災に大きな貢献

を成すことが期待されている。特に HimawariCast では, ひまわりの観測データのほか, 数値予報データや他の観測データもあわせて配信している。これらのデータは, いずれも気象庁が提供する衛星画像表示・解析ソフトである SATAID での利用が可能である。HimawariCast を利用した気象防災能力のいっそうの向上を支援するため, 気象庁では, 気象庁職員をアジア・太平洋諸国に順次派遣し, 衛星観測データや数値予報データの活用を目的とした講義や研修を, 2015年より実施している。

また, ひまわり8号及び9号データの学術における広い範囲での最大限の利用を促進するため, 情報通信研究機構や千葉大学, 東京大学, 宇宙航空研究開発機構といったデータ配布に協力していただける研究機関に同データを HimawariCloud 経由で提供し, これらの協力機関が運営するアーカイブサーバから, 研究者が同データを取得できるようにする取り組みを始めている。この詳細については, 下記の気象衛星センターホームページを参照されたい。

<http://www.data.jma.go.jp/mscweb/ja/himawari89/archive/organizations.html> (2016年8月24日閲覧)

5. 観測データの利活用

気象庁では、ひまわり 8号及び9号で格段に向上した観測機能を最大限活用した防災情報の開発、及びその利用技術開発を推進することが非常に重要と考えており、この新しい観測データを気象の実況監視、数値予報、気候・環境監視等で利用するための技術開発に取り組んでいる。例えば、観測機能の大幅な強化により、台風や集中豪雨をもたらす雲の移動・発達をこれまで以上に詳細に把握したり、火山灰や黄砂、煙などのエアロゾルの分布も高精度に把握することができるようになった。また、ひまわり 8号で得られた観測データは、雲画像として利用されるだけでなく、大気追跡風など多くの物理量がこれまで以上にきめ細かく計算され、天気予報の基となる数値予報の初期値として入力できるようになった。これらにより、予報精度をさらに向上させるとともに、防災情報のタイムリーな発表につなげていくことができると期待している。

ひまわり 8号及び9号の観測データについては、気象業務での利用だけでなく、気象学をはじめとした学術への貢献も想定される。これまで、多バンドの可視・赤外放射計を搭載した地球観測衛星や極軌道気象衛星の観測データを利用して、雲などの様々な物理量が算出されてきた。しかしながら、これらの衛星は静止衛星ではなく、同一地点の観測は日に最大2回程度であり、総観規模・メソスケールの現象を捉えることはできず、研究用途も気候の解析に限定されてきた。一方、ひまわり 7号までの静止気象衛星には可視・赤外合わせてせいぜい5バンド程度しか搭載されておらず、また観測時間間隔も30分程度であり、雲に関連する物理量を抽出したり、短時間で変化する様々な大気現象を捉えるには限界があった。

ひまわり 8号及び9号の AHI は、繰り返しにはなるが16バンド、全球で10分毎、日本域で2.5分毎の観測がそれまでの倍の空間解像度で可能となった。これらの観測データを利用すれば、気候の解析はもちろんのこと、総観規模・メソスケールの現象についても研究することが可能となる。例えば Nakajima *et al.* (2010a, b) によれば、AHI の Band 5-7 からの観測データを利用すれば、雲の生成・成長・衰弱について、10分もしくは2.5分毎の時間変化を記述することも可能となる見込みである。これまでのメソスケール気象学では、レーダーの観測データを利用した雨の時間変化を記述することが主であった。今後は、ひまわり 8号及び9号とレーダーの観測結果を組み合わせる

ことで、雲システムを構成する雲と雨のトータルの記述が可能となる。つまりメソスケール衛星気象学もしくはメソスケール雲気象学といった新しい学問分野が始まろうとしているのである。

ひまわり 8号及び9号からは、様々な画像プロダクトや物理プロダクトが作成される。ここでは、気象業務で利用が進んでいるプロダクトとして、RGB 画像と、高分解能雲情報及び大気追跡風を紹介する。

ひまわり 8号及び9号では、観測バンド数が従来の5から16へと増加した。これまでは5種類の画像をそれぞれ表示したり、2バンド間の差分画像を作成したりして、気象の実況監視等に利用していたが、新しい16バンドの画像を差分画像も含めて一度に監視するのは実用上困難が伴う。また、各バンドにはそれぞれ特徴があり、それらを組み合わせて表示することで、積乱雲や霧、雪氷など様々な大気現象をこれまでよりも明瞭に抽出できる可能性がある。そこで、差分画像を含む3種類の衛星画像に、光の三原色である赤 (R)、緑 (G)、青 (B) をそれぞれ割り当て、合成することで、抽出対象の各種現象を特定の色で表現する RGB 画像プロダクトが考案された。これにより3種類の衛星画像の特徴が、1つのカラー衛星画像として表現されるため、多忙な衛星画像の監視員や衛星画像の解析に不慣れな利用者でも、わかり易く、活用し易い画像となっている。

RGB 画像の詳しい解説については、寺坂 (2016) を参照するとともに、画像そのものを気象衛星センターの下記のホームページで公開しているので、ご利用いただきたい。

<http://www.data.jma.go.jp/mscweb/data/himawari/index.html> (2016年8月24日閲覧)

また RGB 画像は、上述の SATAID を利用すれば容易に作成できる。SATAID 自体は下記の本ホームページで公開されており、協力機関が運営するアーカイブサーバで配布されているひまわり標準データから SATAID のデータ形式への変換プログラムのソースコードも、4章で紹介した衛星センターホームページで公開されている。興味のある方はお試しいただきたい。

http://www.data.jma.go.jp/mscweb/ja/himawari89/himawari_cast/transition.html#software (2016年8月24日閲覧)

気象庁では、ひまわり 8号の観測データと数値予報データを組み合わせ、高分解能雲情報として、雲の

有無、雪氷の有無、雲頂高度、雲型、品質情報を算出している。これまでも雲に関連した衛星プロダクトを作成・利用していたが、ひまわり8号の分解能の向上や多バンド化により、より詳細な情報を作成できるようになった。この情報は気象庁内に1時間毎に配信され、気象の実況監視等に活用されている。高分解能雲情報の詳細については、Suzue *et al.* (2016) を参照して欲しい。

また、ひまわり8号で観測した連続した時刻の画像から雲や水蒸気の動きを捉え、大気追跡風として風向や風速を1時間毎に算出している。特に海洋上では他の観測値が少ないため、ひまわりで得られた大気追跡風は世界中の気象機関の数値予報で有効に利用されている。ひまわり8号の高頻度・高分解能・多バンドの画像を活用すると、ひまわり7号よりも大気追跡風を高い頻度、高い密度、多様な高度、高い精度で算出することができるようになった。ひまわり8号から算出した大気追跡風の活用により、数値予報の精度向上が期待される。大気追跡風の詳細については、Shimoji (2014) を参照して欲しい。

2015年3月19日に気象庁で開催された静止気象衛星利用技術に関する懇談会で、気象庁が業務で利用しているひまわり8号の観測データから作成された物理プロダクトについて、研究者にも公開していくことが提案された。これを受けて気象庁では、日本気象学会との共同研究契約に基づく気象研究コンソーシアムにおいて、ひまわり8号の観測データから作成した上述の1時間毎の高分解能雲情報と大気追跡風データの提供を2016年2月より開始した。すでに9件の研究課題から参加申請が寄せられ、これらのデータの研究利用が始まっている。気象研究コンソーシアムから提供される気象庁データは、気象学会員であれば、運営委員会の承認を経た上で誰でも利用できるため、ひまわり8号による物理プロダクトについても積極的に利用願いたい。

6. おわりに

気象庁では、衛星業務を着実に実施し、ひまわり8号及び9号の大幅に性能が向上したセンサーから得られた観測データが、気象業務や社会活動で十二分に活用されるよう努める。そのためには、まずはひまわり8号の安定運用を維持するとともに、2016年11月2日に打ち上げられたひまわり9号との二衛星によるバックアップ体制を確立し、途切れない観測データの

提供を目指す。

研究者へのひまわり8号及び9号の観測データの提供についても、関係協力機関と連携して、できる限り継続していくので、ひまわり8号及び9号の向上した機能を最大限に余すところなく利用すべく、日本気象学会員各位が先頭に立って、オールジャパンで取り組んでいただければと願っている。特に2029年以降には、ひまわり10号及び11号といった後継衛星が運用されることになると考えられるが、それらの衛星や観測センサーの性能・仕様については、ひまわり8号及び9号の気象庁における業務実績のみならず、それらの観測データを利用した研究成果が反映されることを熱望しつつ、筆をおくこととする。

略語一覧

AHI : Advanced Himawari Imager
 DCP : Data Collection Platform
 GSICS : Global Space-based Inter-Calibration System
 HOPE : Himawari OPeration Enterprise corporation
 IASI : Infrared Atmospheric Sounding Interferometer
 Metop-A : Meteorological operational satellite-A
 MODIS : MODerate resolution Imaging Spectro-radiometer
 RSTAR : System for Transfer of Atmospheric Radiation
 SATAID : SATellite Animation and Interactive Diagnosis
 S-NPP : Suomi National Polar-orbiting Partnership
 VIIRS : Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

参 考 文 献

- Bessho, K., K. Date, M. Hayashi, A. Ikeda, T. Imai, H. Inoue, Y. Kumagai, T. Miyakawa, H. Murata, T. Ohno, A. Okuyama, R. Oyama, Y. Sasaki, Y. Shimazu, K. Shimoji, Y. Sumida, M. Suzuki, H. Taniguchi, H. Tsuchiyama, D. Uesawa, H. Yokota and R. Yoshida, 2016: An introduction to Himawari-8/9—Japan's new-generation geostationary meteorological satellites. *J. Meteor. Soc. Japan*, **94**, 151-183.
- 気象衛星センター, 2016: ひまわり8号及び9号の地上システム総合報告. 気象衛星センター技術報告特別号, 62 pp.
- Nakajima, T. Y., K. Suzuki and G. L. Stephens, 2010a: Droplet growth in warm water clouds observed by the A-Train. Part I: Sensitivity analysis of the MODIS-derived cloud droplet sizes. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 1884-1896.

- Nakajima, T. Y., K. Suzuki and G. L. Stephens, 2010b: Droplet growth in warm water clouds observed by the A-Train. Part II: A multisensor view. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 1897-1907.
- Shimoji, K., 2014: Motion tracking and cloud height assignment methods for Himawari-8 AMV. Proc. 12th Int. Winds Workshop, University of Copenhagen, Danish Meteorological Institute, Copenhagen, Denmark, S2-07.
- Suzue, H., T. Imai and K. Mouri, 2016: High-resolution Cloud Analysis Information derived from Himawari-8 data. *Meteor. Satell. Cent. Tech. Note*, (61), 43-51.
- 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, 気象庁, 123-136.
-