

2.2 ラジオメトリック性能

ひまわり 8 号／9 号搭載の可視赤外放射計の観測性能を評価する指標の一つとして S/N (信号対雑音比) があり、S/N を向上させるために冷凍機による検出器の冷却が必要で、可視バンドは 170K、赤外バンドは 60K で安定して維持されている (温度安定度は $\pm 0.5\text{K}$ 以内)。また、検出器は素子ごとに複数の冗長素子を持っており、最も性能が良い素子を選定できるように設計されている。月 2 回各バンドの S/N を算出し、観測性能が維持されていることを確認して、S/N 算出では、可視バンドは太陽光観測データ／深宇宙観測データを、赤外バンドは内部黒体観測データ／深宇宙観測データを使用している。図 3 の S/N 算出結果が示すとおり、各バンドとも余裕を持って仕様値を満足している。特定のバンドに対しては画像内に発生する電源干渉ノイズの補正処理を適用して S/N の改善を図っている。この補正処理の適用前後の実測値を図 3 の中で対比させてお

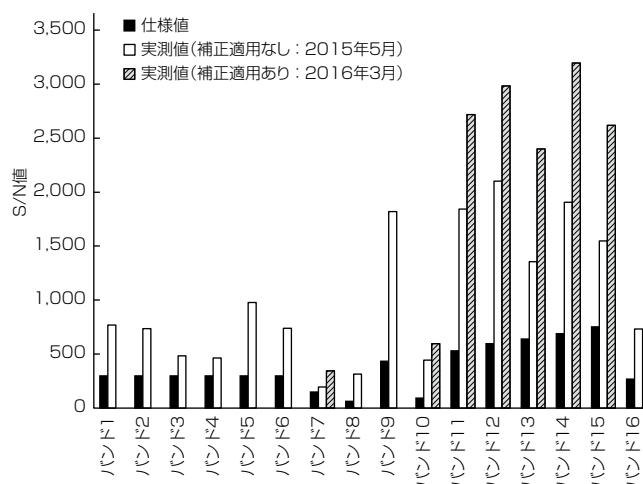


図 3. ひまわり 8 号可視赤外放射計の S/N

り、補正前でも仕様値を満足しているが、補正後は更なる向上が確認されている。図 4 にはひまわり 8 号の運用を開始した 2015 年 7 月からの評価結果の推移を示す。データの配信運用開始から S/N の劣化傾向はなく、観測性能が安定的に維持されていることを確認できる。図 4 で 2016 年 2 月に見られる上昇は、この処理の向上効果を示すものである。

2.3 ジオメトリック性能

(1) 高精度化の手法

気象状況の正確な把握と予測には、2.2 節のラジオメトリック精度とともにジオメトリック (幾何) 精度の向上が重要である。図 5 はひまわり 8 号／9 号の高精度ジオメトリック校正処理のブロック図を示す。観測画像と地形標本とのマッチング処理によって画像のバイアス校正を実施し、変動分に関しては恒星センサ・低／高周波レートセンサ・加速度計データを最適なフュージョンフィルタで処理

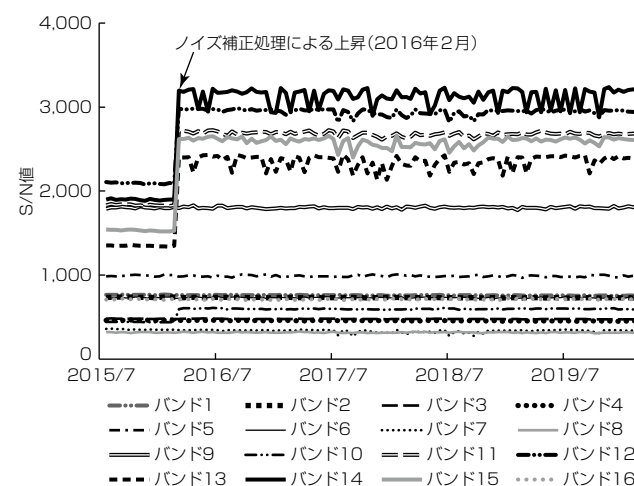


図 4. ひまわり 8 号可視赤外放射計 S/N の推移

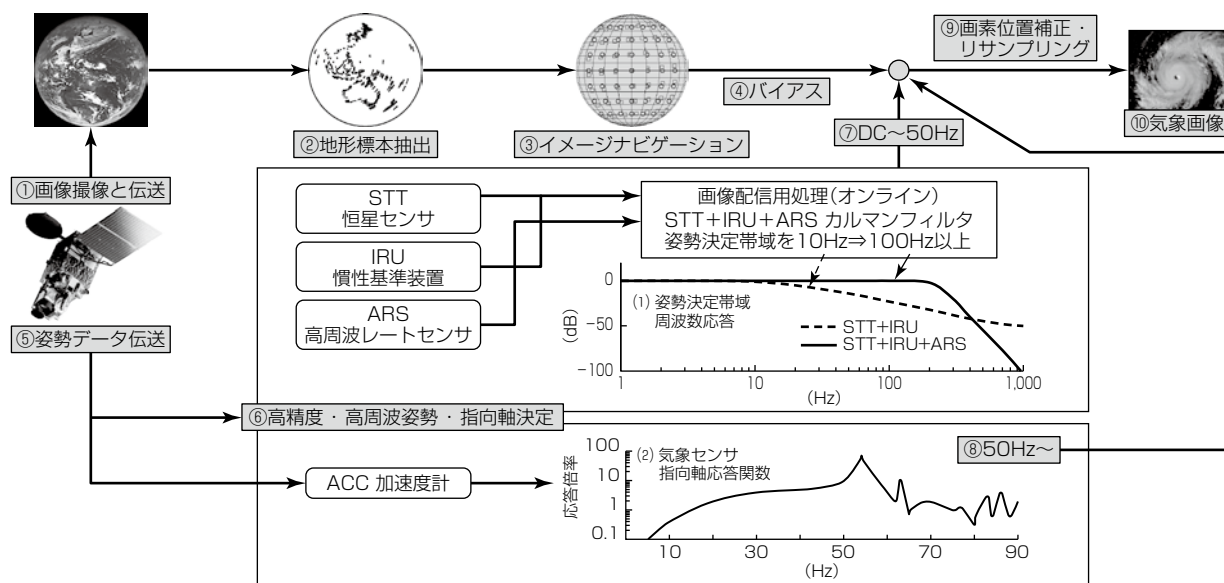


図 5. 高精度ジオメトリック校正処理のブロック図

し、姿勢又は指向軸を高精度・高周波に推定している。図6に示すとおり、走査鏡の走査に伴う数 μrad の軌道上姿勢変動も推定できており、その結果10分間の姿勢安定度(表1)及び擾乱(じょうらん)(表2)も非常に安定している。

(2) 画素位置精度

先に述べた方式でバイアスから高周波までの姿勢・指向軸推定をオンライン処理で行っており、図7の赤外チャネル13の例で示すとおり、1画素以下の精度を実現している⁽²⁾。

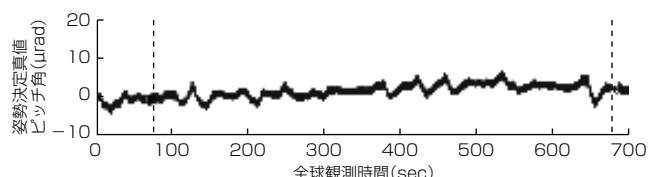


図6. オフラインによる姿勢決定真値(ピッチ角)
(2019年12月実測値)

表1. 姿勢決定値の安定度(推定誤差の一時回帰直線)
(2019年12月実測値)

定義	軸	ロール安定度	ピッチ安定度	ヨー安定度
性能仕様(600秒間)		14 μrad (p-p)以下		
軌道上評価結果(600秒間)		5.8 μrad	11.1 μrad	2.6 μrad

表2. 姿勢決定一次回帰直線(表1)からの擾乱
(2019年12月実測値)

定義	軸	ロール安定度	ピッチ安定度	ヨー安定度
性能仕様(各時間)		4.0 μrad 以下		
軌道上評価結果	30 秒間	0.1 μrad	0.1 μrad	0.1 μrad
	150 秒間	0.2 μrad	0.3 μrad	0.2 μrad
	600 秒間	0.3 μrad	0.5 μrad	0.2 μrad

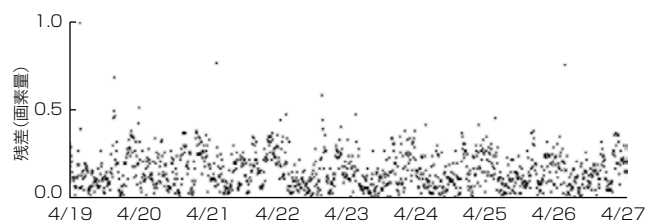


図7. 位置合わせの処理後のデータについて行ったずれ量の
残差評価の一例(2015年4月19～27日, 赤外チャネル13)⁽²⁾

表3. 観測周波数と物理量プロダクト⁽³⁾

	中心周波数(GHz)	偏波	帯域幅(公称)(MHz)	温度分解能(150K観測時)	ビーム幅(地表分解能)(公称)
土壌水分 海面水温	6.925	H/V	350	<0.34K	1.80° (34km×58km)
	7.30				
	10.65				
海水観測 気象利用	10.25	H/V	500	<0.34K	1.20° (22km×39km)
	18.70	H/V	200	<0.70K	0.65° (12km×21km)
	23.80	H/V	400	<0.60K	0.75° (14km×24km)
	36.50	H/V	1000	<0.70K	0.35° (7km×11km)
水蒸気 鉛直分布 降水量	89.00 A/B ^(注2)	H/V	3000	<1.20K	0.15° (3km×5km)
	165.50	V	4000	<1.50K	0.30° (6km×10km)
	183.31±7	V	2000×2	<1.50K	0.28° (5km×9km)
	183.31±3	V	2000×2	<1.50K	0.28° (5km×9km)

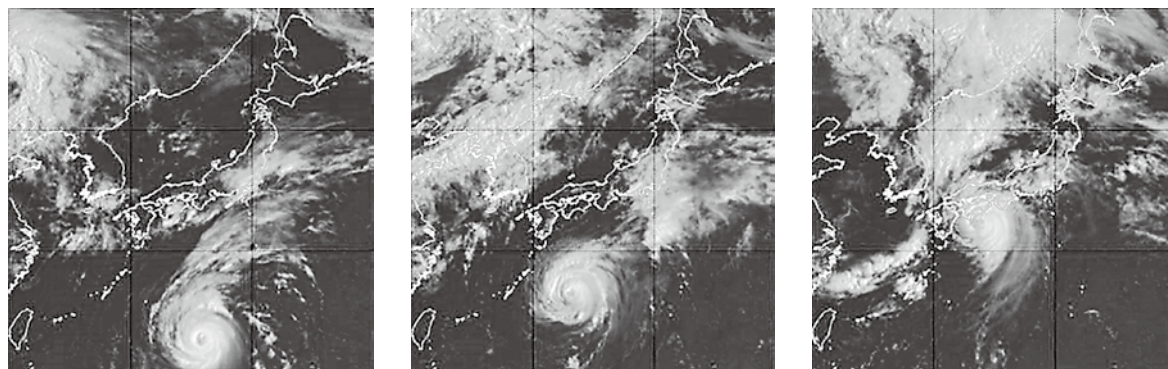
網掛け部分はAMSR2からの追加チャネル

(注2) 89GHz帯はビーム方向の異なるA系、B系の独立した2系統で走査間のアンダーラップを生じない構成としている。

3. マイクロ波放射計の観測性能

マイクロ波放射計(AMSR)は水循環に関連する全球的な水蒸気量・降水量・海面水温等を観測する受動型の電波センサであり、地球規模の水循環のモニタリングとモデリングに全世界で有効利用されている。AMSR、AMSR-E及びAMSR2のAMSRシリーズセンサによって、2002年から2020年現在まで18年以上にわたって観測データを継続して取得中である。運用中のAMSR2は、2012年5月の打上げから現在に至る8年以上の期間、安定した観測データを提供し続けている。前号機のAMSR-Eでは打上げ後、約5年経過時に回転モータのトルク変動の兆候が見られ始め、約9年半後に回転停止に至ったが、AMSR2は8年以上経過した現在も回転トルクが安定しており、AMSR-E以上の長寿命で観測データを提供することが期待される。AMSR2までは6.9～89GHzの多周波、多偏波輝度温度観測によって海面水温・土壌水分・海水等の観測を実施してきた。現在開発中の後継機AMSR3では、166/183GHz帯の追加搭載による全球の降水(降雨+降雪)分布の観測、及び10GHz帯のチャネル追加による海面水温プロダクトの高精度化(分解能50km→20km)が計画されている(表3)。

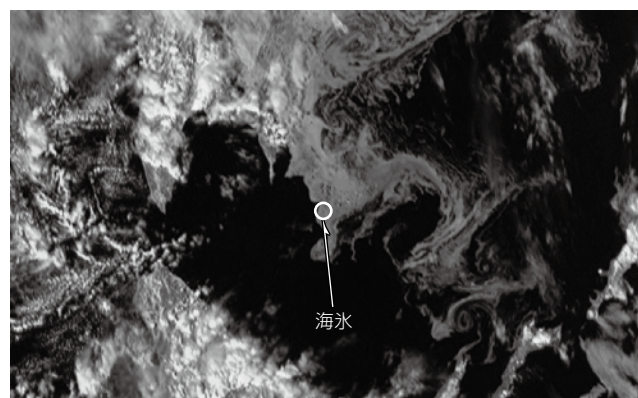
AMSRシリーズのデータは、気象予報・防災分野での現業利用の継続と高度化、全球水循環変動・気候変動の予測精度向上、水資源管理、洪水・旱魃(かんばつ)予測、農業への応用、沿岸域への漁場予測の拡張等、様々な分野への利用が期待され、実現されている。既にAMSRは世界的に極軌道の気象衛星の位置付けで利用されており、これらのサービスを継続して観測精度を上げていく上でも、今後も複数のセンサによる長期的な観測を継続することが期待されている。

図8. 2018年台風21号の監視⁽¹⁾

4. 観測データ利用

ひまわりの観測データは、“衛星画像”として台風や低気圧の動きを把握するといった利用が行われるほか、計算機で処理することで、上空の風・雲の高度や種類、海面水温などの様々な情報を算出するために利用されている。日本のはるか南の海洋上で発生する台風の場合、海上には観測点が少ないため、台風の監視に“ひまわり”が大きな役割を發揮する。ひまわり8号から“領域観測機能”による台風の追跡観測が可能になり、台風の発生、移動、強さなどを把握するために活用されている(図8)。また、雲と水で反射する光の強さが波長によって異なるという性質を利用し、ひまわりの観測データから海水を判別もできる(図9)。海水は海水と大気を遮断することで、両者の熱や水蒸気の交換に大きな影響を与えるほか、海面に比べて太陽光の反射率が高く日射によって得られる熱量も大きく減少させるため、気象や気候の実態把握や予測には海水の状況の正確な把握が欠かせない。

このように、衛星観測によって、海上及び陸上の区別なく、台風や低気圧に伴う雲域の移動など気象の変化を観測できる。観測した画像は、気象実況に関する有益な情報として、防災や気象予報の現場で幅広く活用されている。ひまわりは、1978年の初号機の運用開始以来40年以上にわたって観測を継続していて、長期にわたって安定した観測を継続することによって、国民の安全安心の確保や、アジア・太平洋地域の防災力の向上、気候変動の監視などに貢献している。さらに、JAXA(宇宙航空研究開発機構)/EORC(JAXA地球観測研究センター)では、ひまわり8号のデータと電波センサを搭載する複数の衛星からの観測

図9. オホーツク海の海氷を捉えた画像⁽⁴⁾

データを組み合わせて世界の雨分布を準リアルタイムで配信するGSMaP(Global Satellite Mapping of Precipitation)⁽⁵⁾サービスを提供している。この情報をベースにしたアジアの降水予報アプリケーションのサービスも開始されており、GSMaPのデータを利用する登録ユーザーは世界117か国に広がっている。

参考文献

- (1) 気象庁：気象業務はいま2019／第1部 国民の安全・安心を支える気象業務
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/hakusho/2019/index3.html#toc-113>
- (2) 別所康太郎：新しい静止気象衛星ひまわり8号及び9号，日本気象学会機関誌「天気」，63，No.12，1015～1023(2016)
- (3) JAXA：温室効果ガス・水循環観測技術衛星GOSAT-GWプロジェクト移行審査の結果について，科学技術・学術審議会，研究計画・評価分科会，宇宙開発利用部会，資料52-1(2019)
<https://www.mext.go.jp/kaigisiryu/content/000020148.pdf>
- (4) 気象庁：気象衛星による気象監視
<http://www.jma-net.go.jp/sat/himawari/kanshi.html#ice>
- (5) JAXA：衛星全球降水マップ(GSMaP)の活用に向けた気象庁と宇宙航空研究開発機構の技術開発連携について
https://www.jaxa.jp/press/2019/03/20190328b_j.html