

宇宙システムの環境課題への貢献

迎 久幸* 小畑俊裕**
野口龍宏**
辻 雅生**

Contribution of Space Systems to Environmental Affairs

Hisayuki Mukae, Tatsuhiro Noguchi, Masao Tsuji, Toshihiro Obata

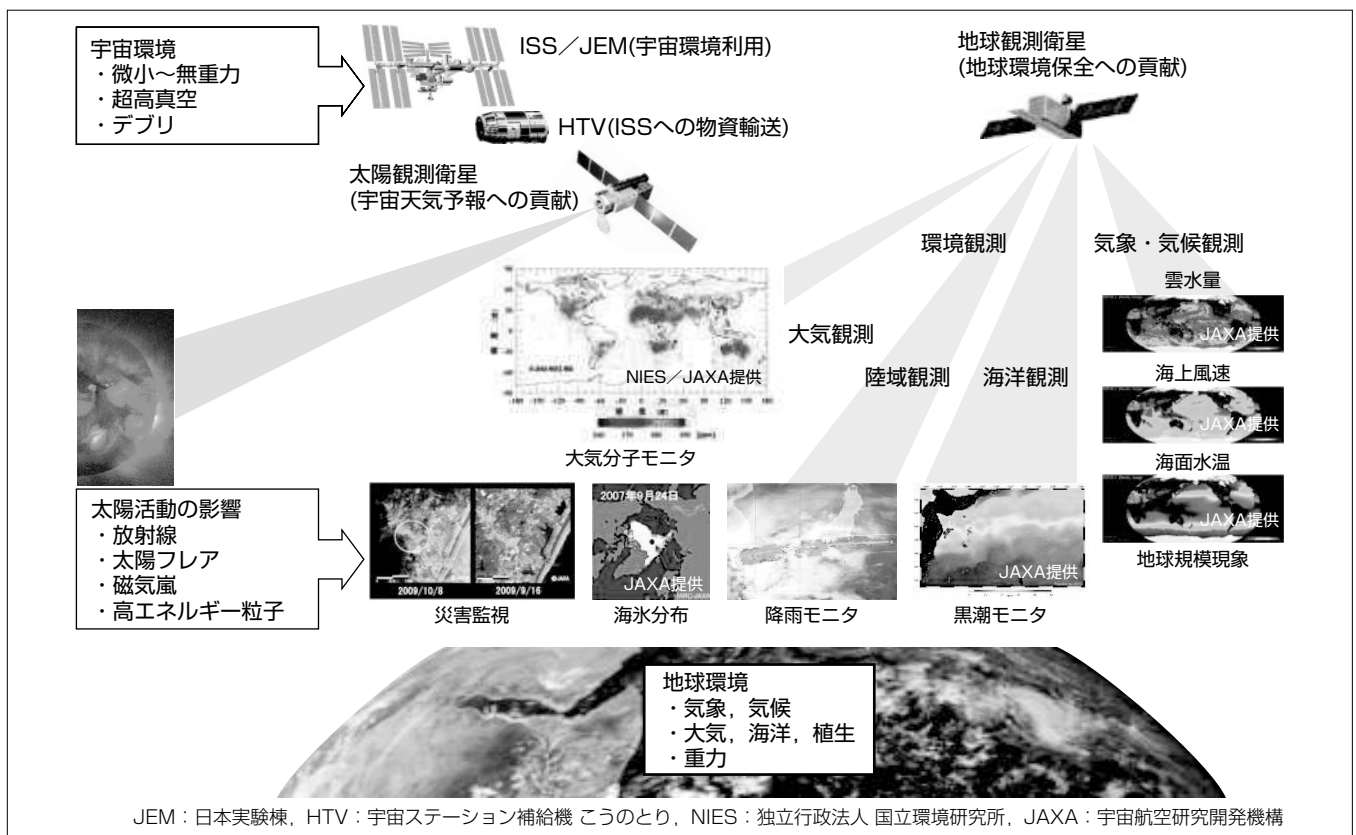
要旨

三菱電機が取り組む宇宙システム事業は、人工衛星による地球環境の観測と、宇宙環境の利用と保全という2つの側面で“環境”の課題に貢献している。

地球環境の観測としては、人工衛星による広域観測能力と継続性の特徴を生かして、気象・気候、大気、海洋、陸域など、各種の地球環境観測に活用されている。気象衛星ひまわりシリーズは静止軌道上から常時気象情報を配信している一方で、低軌道周回衛星による水循環変動観測衛星“しずく(GCOM-W)”に搭載したマイクロ波放射計(AMSR2)では気候・気象にかかわる水蒸気や海象データを配信している。また温室効果ガス観測技術衛星“いぶき(GOSAT)”は温室効果ガスの地球規模の分布把握に貢献している。

人工衛星が飛翔(ひしょう)する宇宙空間は、微小重力、真空など地球上とは異なる特徴があり、国際宇宙ステーション(ISS)では積極的に宇宙環境を利用する研究がなされる一方で、宇宙飛翔物体の増加が宇宙ごみ(デブリ)として問題視され、宇宙環境保全のための宇宙監視(Space Situational Awareness: SSA)への取組みが始まっている。

また太陽活動の影響に伴う磁気嵐などの宇宙環境変化に起因して人工衛星が故障する場合や、衛星による通信・放送に影響を及ぼす可能性があることから、宇宙天気情報センターが設立され、宇宙天気予報が公表されている。太陽観測衛星“ひので(SOLAR-B)”は太陽活動の観測によって宇宙天気予報に貢献している。



宇宙システムと各種環境の相関

当社が取り組む宇宙システム事業は、人工衛星による地球環境の観測と、宇宙環境の利用と保全という2つの側面で“環境”の課題に貢献している。気象・気候、大気、海洋、陸域など各種の地球環境観測に人工衛星が活用されている。一方、宇宙環境を利用する手段として国際宇宙ステーション(ISS)が活躍し、さらに太陽活動の影響に伴う宇宙環境変化を宇宙天気予報として公表する上で、太陽観測衛星が活躍している。

1. ま え が き

当社が取り組む宇宙システム事業は、人工衛星による地球環境の観測と、宇宙環境の利用と保全という2つの側面で“環境”の課題に貢献している。

地球環境の観測としては、人工衛星による広域観測能力、及びその継続性の特徴を生かして、気象衛星や、陸域、海洋、大気など、各種の地球環境観測に活用されている。

人工衛星が飛翔する宇宙空間は、無重力、真空など地球上とは異なる特徴があり、国際宇宙ステーション(ISS)では積極的に宇宙環境を利用する研究がなされる一方で、宇宙飛翔物体の増加が宇宙ごみ(デブリ)として問題視され、SSAへの取組みが始まっている。また太陽活動の影響に伴う磁気嵐などの宇宙環境変化に起因して人工衛星が故障する場合や、衛星による通信・放送に影響を及ぼす可能性があることから、宇宙天気情報センターが設立され、宇宙天気予報が公表されている。

本稿では2章で地球環境の観測について、3章で宇宙環境の利用と保全について、それぞれ当社の取組み状況を述べる。

2. 地球環境の観測

2.1 地球環境保全での宇宙システムの貢献

この章では衛星による地球環境モニタ、及び環境保全に資する活動の事例として、マイクロ波放射計(AMSR2)による気象観測、及び炭酸ガスセンサ(TANSO-2)による温室効果ガスモニタリング、Lバンド合成開口レーダ(PALSAR-2)による植生状況把握の事例について述べる。

2.2 気象観測

宇宙からの気象観測として、静止気象衛星ひまわりは日常生活に定着しており、現在運用中のひまわり7号の後継機として、ひまわり8号が2014年10月に打ち上げられ、さらに9号を気象庁が整備を進めており、当社が衛星システムプライムを担当している。

これに加えてローカル気象を精密に把握するという観点では、周回気象衛星に搭載したAMSR2も気象観測に有効なセンサである。AMSR2は、水循環に関連するグローバルな水蒸気量、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。図1にAMSR2を搭載した第1期水循環変動観測衛星“しずく(GCOM-W)”の外観を、表1に観測周波数と観測対象を示す。

AMSR2からの観測データに関しては、2013年5月17日から降水量、海面水温等の物理プロダクトの提供が開始され、同年6月13日からJAXA地球観測研究センター(EORC)でAMSR2による台風速報等のアプリケーション(図2)が開始された⁽¹⁾。ユーザーである気象庁でも、同年5月27日から海面温度の解析システムへ上記AMSR2の海面水温

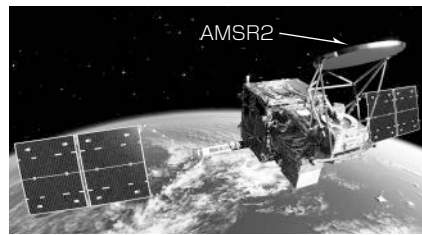
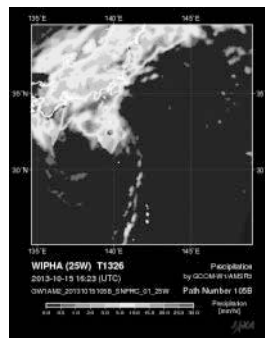


図1. しずく(JAXA提供)

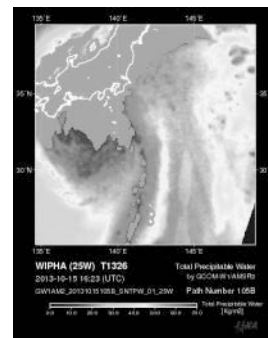
表1. AMSR2の観測周波数と観測対象

周波数	7 GHz帯	10GHz帯	18GHz帯	23GHz帯	36GHz帯	89GHz帯
観測対象						
積算水蒸気量			○	◎	○	
積算雲水量			○	○	◎	
降水量		○	◎	○	○	◎
海上風速	○	○		○	◎	
海面水温	◎	○		○	○	
海水氷接度	○		◎	○	◎	◎
積雪水量		○	◎	○	◎	○
土壌水分	◎	◎	○	○	○	○

◎：最重要周波数

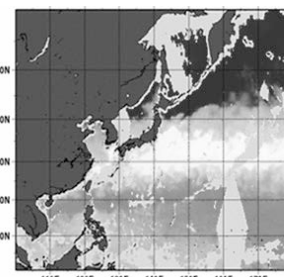


(a) 降水量

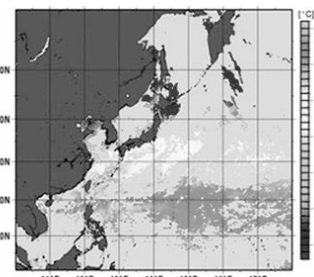


(b) 水蒸気画像

図2. AMSR2データによる台風26号情報(JAXA提供)



(a) しずく搭載のAMSR2



(b) NOAA衛星19号搭載のAVHRR

図3. 海面水温の分布(AMSR2と海外センサの比較)(JAXA/気象庁提供)

プロダクトの利用を開始し(図3)、同年9月12日からは天気予報の数値予報システムにAMSR2プロダクトの利用を開始する等、予測/予報精度の向上に貢献している。

またNASA(National Aeronautics and Space Administration)の衛星Aquaに搭載されたAMSR-E及びAMSR2のデータによって北極圏の海水分布の状況が観測・解析され、2012年の北極海の海水は観測史上最も小さい面積を記録したことが確認されており、地球環境モニタリングの手段として貢献している⁽²⁾。なお、環境モニタの経済的な効果として、一般社団法人 漁業情報サービスセンター(JAFIC)

ではAMSR-Eからの海面水温情報を利用した漁場推定と漁船の燃料消費量約250億円分の削減、それに伴うCO₂排出量の削減効果が得られたことから、AMSR2も漁業管理の定常インフラとして組み込まれている。

さらに、JAXA/EORCでは、同種の電波センサを搭載する複数の衛星からの観測データを用いて世界の雨分布を準リアルタイムで配信するGSMaPサービス(図4)を提供しており、この情報をベースとしたアジアの洪水予報アプリケーションのサービスも開始されている。またNOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)でも定常的な気象予報での利用が開始され³⁾、既にAMSRは世界的には極軌道の気象衛星の位置付けで利用されている。これらのサービスを継続して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。

2.3 温室効果ガスモニタリング

温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化は地球環境保全の重要課題の1つであり、CO₂、NO_x等温室効果ガスの分布や濃度に関する地球規模のモニタリング手法確立は世界中の研究者のテーマともなっている。日本ではJAXA/環境省/国立環境研究所が開発して当社が衛星プライムを担当した温室効果ガス観測技術衛星“いぶき(GOSAT)”が2009年に打ち上げられ、世界に先駆けて地球規模の計測に成功した。現在後継機GOSAT-2の整備を進めている。図5にGOSAT-2の外観を示す。

GOSATシリーズでは現状で亜大陸レベルのモニタリングを継続しつつ、将来的にはCO₂吸排出権取引のエビデンスとして衛星データが活用される可能性も視野に研究開発を進めている。一方で、当該データの空間分解能と精度の向上は、単に衛星システム及び搭載センサシステムの性能向上のみならず、地球上の全生態系のモデリングの空間分解能と精度向上を同時に進める必要があり、また衛星からの温室効果ガス観測が、エアロソルモニタリング等地上観測評価システムとの連携なしには成立しないことから、将来の期待を含めたミッション目的実現を目指す上で、長期に及ぶ継続観測のロードマップの中で、衛星システム、地上モデル、地上検証システムの空間分解能と精度向上を進めていくべきものと考えられている。GOSAT-2では、まずGOSATの研究開発成果と知見に立脚して、雲・エアロソ

ルの影響を抑制し、有効観測データ量を増し、地球全域にわたる継続観測環境を構築することの要請に応えるため、観測センサシステムの高性能化、及びコマンド、テレメトリの高速化によって大容量の観測データを少ない可視でダウンロード可能とする。またGOSAT-2はGOSATとの継続性を担保するため、短期間で、高信頼性の衛星を製作する必要があり、フライト実績を持つバスシステムの流用設計によって、短期間で、信頼性の高いシステムを構築する。また新規開発する雲センサによって、将来につながるGOSATシリーズ衛星に必要な技術の取得を可能としている。

2.4 植生状況把握

先に述べた温室効果ガスとも関連して、アマゾンやブラジルの森林伐採状況など、植生状況の把握は環境保全上重要なファクタの1つである。衛星搭載合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar:SAR)によって継続してモニタすると、その差分評価によって森林伐採状況を地球規模で継続的にモニタリング可能となる。JAXAが開発してきた地球資源衛星“ふよう1号(JERS-1:1992年打上)”, 陸域観測技術衛星“だいち(ALOS:2006年打上)”, 同2号“だいち2号(ALOS-2:2014年打上)”にはそれぞれLバンドSARが搭載されており、ブラジル森林伐採の継続監視などに貢献している。SARでは利用目的に応じてCバンド、Xバンドなど各種の衛星搭載SARが世界的に実現されているが、植生状況把握の目的に優れるLバンドSARは日本が最先端を走り続けている。

“だいち2号”に搭載された合成開口レーダ(PALSAR-2)は、Lバンドの電波を送受信して、昼夜・天候を問わず、地表から約630kmの高度から、地表の状態を非常に高い分解能(最高で3m)で観測可能なセンサである。前号機の“だいち”に搭載されたPALSARの機能を継承しつつ、従来の性能(分解能10m)より、飛躍的に性能改善を図っている。図6にPALSAR-2の外観を、表2に、PALSAR-2の観測性能を示す。

PALSAR-2は、LバンドSARであり、雲の影響を受けない上に、植生を透過する特性を持っていることから、雲に覆われることが多い熱帯雨林の観測に非常に有効である。PALSAR-2が捉えたアマゾンの森林減少の例を図7に示す。観測範囲の広さと相まって、今後、森林伐採などの継続監視への貢献が期待されている。また、LバンドSARは、水面と植生のコントラストが非常に強く、水稻の作付面積を捉えることが可能である。そのため、PALSAR-2は、

広範囲な作付面積を把握することで、食糧安全保障上の基礎データとして使われることが期待されている。



図4. GSMapサービス画面(JAXA提供)

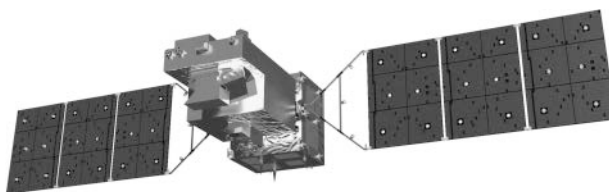


図5. GOSAT-2

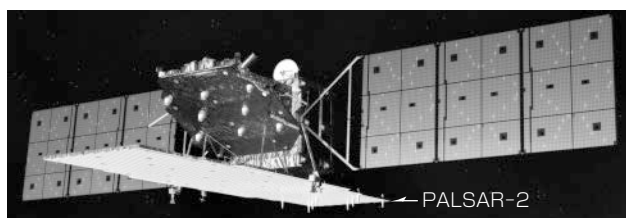


図6. “だいち2号”に搭載された PALSAR-2(JAXA提供)

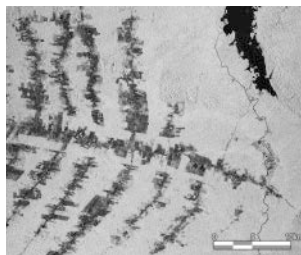


図7. PALSAR-2が捉えたアマゾンの森林減少 (JAXA提供)

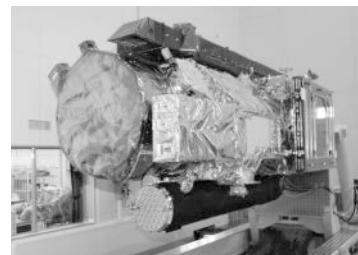


図8. ひので

表2. PALSAR-2の観測性能

	スポット ライト	Ultra Fine	High sensitive	Fine	ScanSAR nominal		ScanSAR wide
周波数帯域	84MHz	84MHz	42MHz	28MHz	14MHz	28MHz	14MHz
空間分解能	Rg×Az: 3×1m	3m	6m	10m	100m		60m
観測幅	Rg×Az: 25×25km	50km	50km	70km	350km 5scan		490km 7scan
偏波	SP	SP/DP	SP/DP/FP/CP	SP/DP	SP/DP		
NESZ	-24dB	-24dB	-28dB	-26dB	-26dB	-23dB	-23dB
S/A	Rg	25dB	23dB	25dB	25dB		20dB
	Az	20dB	25dB	20dB	20dB		20dB

NESZ : Noise Equivalent Sigma Zero

S/A : Signal to Ambiguity ratio

3. 宇宙環境の利用と保全

3.1 宇宙環境の利用

宇宙環境の微小重力、高真空、宇宙放射線、太陽などからの高エネルギー粒子といった、地球上とは異なる特徴を積極的に利用する活動として、国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟“きぼう”では化学、工学、医学、生物学、天文物理学のほか各種科学研究・実験が行われている。

当社では“きぼう”の電源系を担当したほか、宇宙ステーション補給機“こうのとり (HTV)”の開発に参画しており、既に4機のHTVの補給ミッションを成功裏に終え、現在5~7号機の開発を進めている。

3.2 宇宙環境の監視

人工衛星が飛翔する“宇宙環境”では、宇宙ごみとしてのデブリの増加が問題視されている。人類初の人工衛星打ち上げから半世紀以上経って、今や地球周辺の宇宙空間には人工衛星やロケットの破片などの残骸がデブリとなってあふれている。その数は観測できるものだけでも16,000個以上である。わずか1cmのデブリでも運用中の衛星にぶつかれば全機能を停止させる威力を持つ。デブリを出さないことはもちろん、既にあるデブリから運用中の衛星をどう守るか、早急に解決すべき大きな問題となっている。

近年SSAとして地上の光学望遠鏡やレーダによって宇宙を飛翔する物体を監視する活動を、諸外国と連携する構想の実現が始まっており、当社の高性能レーダや、すばる望遠鏡など高性能望遠鏡の開発で培った技術を適用したシステム構築が期待されている。

3.3 太陽活動と宇宙天気予報

太陽活動が活発になり、大規模なフレアなどの太陽面現象が発生すると、地上で通信障害や電力異常の原因となるほか、人工衛星の異常動作や宇宙飛行士の船外活動の制約になることが知られている。

そこで情報通信研究機構 (NICT) 傘下で1998年に設立された宇宙天気情報センター (SWC)⁽⁴⁾では、太陽活動に起因する太陽フレア、太陽プロトン現象、磁気嵐などの状況を観測・把握し、それに伴う影響を予測して地球上の天気予報と同様に宇宙天気予報としてWebで公表している。このための情報源の1つとして太陽望遠鏡衛星“ひので (SOLAR-B)” (図8) が活用されており、当社が開発を担当した口径50cmの可視光磁場望遠鏡 (SOT) が太陽面現象把握や太陽活動の継続的モニタリングに役立っている。

4. む す び

地球は世界中の人々の公共財であるとともに、子孫に健全な状態で渡していくべき人類共通の宝でもある。宇宙インフラや衛星に搭載されるセンサは地球全体を網羅的に監視できる稀有 (けう) の手段であり、また地球をとりまく宇宙環境との重要な接点でもある。地球環境を守り、保全していくために、これからも様々な宇宙事業を通じて貢献していきたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) JAXA/EORC台風速報データベース
http://sharaku.eorc.jaxa.jp/TYP_DB/index_j.shtml
- (2) 北極海海水の観測データ解析結果について
http://www.jaxa.jp/press/2012/08/20120825_arctic_sea_j.html
- (3) 水循環変動観測衛星「しずく」の米国海洋大気庁 (NOAA)での利用開始について
http://www.jaxa.jp/press/2014/09/20140905_shizuku_j.html
- (4) SWC宇宙天気情報センターのホームページ
<http://swc.nict.go.jp/forecast/>