

第一期水循環変動観測衛星 「しずく」の定常観測

川口 正芳 吉田 達哉

要 旨

第一期水循環変動観測衛星「しずく」は、大気、海洋、陸、雪氷といった地球全体を長期間（10～15 年）観測することによって、水循環、気候変動メカニズムを解明することを目的に計画された「地球環境変動観測ミッション（GCOM）」を構成する2つのシリーズ衛星のうち、主に水循環メカニズムに関する観測を行う衛星シリーズの第一期衛星です。「しずく」は2012年5月18日に種子島宇宙センターから打ち上げられました。本稿では「しずく」の概要と、取得した観測データがどのような分野で利用され、どのように役立つかについて紹介します。



第一期水循環変動観測衛星／国際共同観測／高性能マイクロ波放射計2／地球観測標準バス／A-Train／GCOM

1. まえがき

近年、地球環境問題が深刻となり、その解決に向けた取り組みに対する関心が世界的に高まっています。地球環境問題の解決のためには、その原因を明らかにすることが重要であり、人工衛星による全地球規模の長期間観測はその解明のために非常に有効なデータを提供してくれます。宇宙航空研究開発機構（JAXA）殿では、水循環メカニズムや気候変動を解明することを目的に「地球環境変動観測ミッション（GCOM）」を推進しており、第一期水循環変動観測衛星「しずく」はその観測を行う衛星シリーズの第一期衛星です。「しずく」は NEC が主契約者として開発を行い、2012年5月18日に種子島宇宙センターから H-II A ロケットで打ち上げられました。軌道上での初期機能確認を経て、2013年1月から輝度温度プロダクトを、2013年5月からは物理量プロダクトの提供を開始しています。

2. 「しずく」の概要

2.1 衛星飛翔外観図、主要諸元

「しずく」の飛翔外観を図1に、主要諸元を表に示します。

2.2 高性能マイクロ波放射計2（AMSR2）

高性能マイクロ波放射計2（AMSR2）は、「みどり2」に搭載された高性能マイクロ波放射計（AMSR）と「Aqua」に搭載された改良型高性能マイクロ波放射計（AMSR-E）の後継機です。AMSR2は、地表や海面、大気などから自然に放射されるマイクロ波帯の微弱な電波を地表から700kmの宇宙空間で受信し、そのマイクロ波の強さを非常に高い精度で測定することができます¹⁾。

地上からのマイクロ波を受信する AMSR2 のアンテナ部分は、1.5秒間に1回転のペースで地表面を円弧状に走査し、1回の走査で約1,450kmもの幅を観測します。この走査方法によって、AMSR2はわずか2日間で地球上の99%以上の場所を昼夜1回ずつ観測することが可能です²⁾。

2.3 中型観測衛星標準バス

人工衛星は一般的に、観測機器などを搭載するミッション部と衛星全体の電力管理、姿勢制御、観測データの伝送を行うためのバス部から構成されています。

バス部については衛星ごとに可能な限り共通化を図ることにより、低価格、短納期、高品質の製品をお客様に提供することが求められています。「しずく」の開発においては、これまで弊社が担当して設計製造を行った衛星開発の成果を

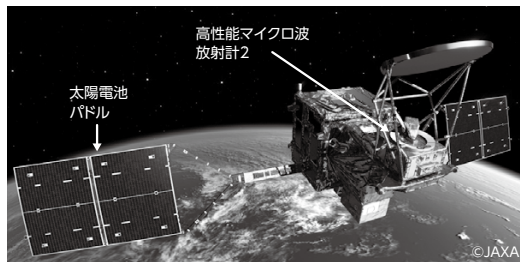


図1 「しずく」の軌道上外観図

表 主要諸元

運用軌道	
軌道種類	太陽同期準回帰軌道
高度(赤道上)	699.6km
軌道傾斜角	98.186°
昇交点通過地方太陽時	13時30分±15分
信頼性・寿命	
設計寿命	打ち上げ後 5年以上
信頼度	衛星バス部：0.8以上(5年後)
打ち上げ	
打ち上げ日	2012年5月18日
打ち上げロケット	H-IIA ロケット
衛星質量	
打上時質量	約2t(推葉含む)
電力	
パドル方式	2翼パドル方式
発生電力	3,880W以上(EOL最悪時)
バッテリー容量	200AH

可能な限り活用して、これを実現しています。

「しずく」のバス部については、大部分の設計を同じGCOMシリーズの衛星であるGCOM-C1の開発に活用しています。

2.4 高信頼性実現への取り組み

「しずく」は、長期間にわたり途切れることなく観測を継続するために、高い信頼性を確保することが求められており、この目的を達成するために、開発においてさまざまな取り組みを行っています。

その1つがシステムエンジニアリング手法の採用です。人工衛星のシステムは非常に大規模なシステムであり、衛星システムに求められている機能/性能が確実に実装されていることを確認するためには、システムエンジニアリング手法を導入することは非常に有効であると考えています。

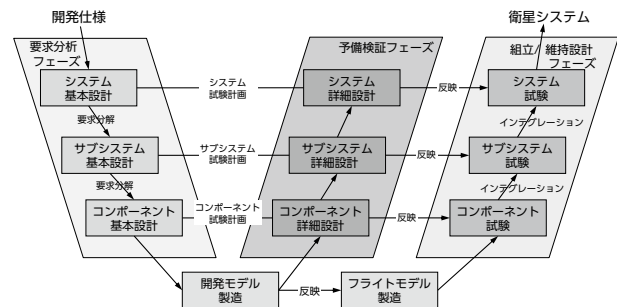


図2 「しずく」開発のVカーブ

システムエンジニアリングにおける重要な考え方の1つとして、Vカーブの開発手法があり、「しずく」の開発ではこの手法を積極的に導入しています。図2に「しずく」の開発で適用したVカーブを示します。

「しずく」の開発では基本設計フェーズを要求分析フェーズとしてVカーブの左側とし、維持設計フェーズをVカーブの右側とした考え方で開発を実施しています。また、詳細設計フェーズは、設計解析や開発試験によって設計と検証の妥当性を確認する予備検証フェーズと位置付けることにより、検証作業の確実性を高める工夫をしています。

もう1つの取り組みは、製造試験フェーズにおける設計仕様書と試験計画のトレーサビリティと試験検証方法の妥当性の確保です。試験については、要求された設計仕様に対して1対1で実施することが必ずしもできないため、検証要求に対する網羅性を十分に考慮する必要があります。「しずく」の開発においては検証計画の立案段階で十分な検討を行うことにより、高い信頼性を確保しています。

2.5 A-Trainへの参加による国際共同観測

「A-Train」は、高度約700kmを約10分の間に同一地点を観測できるように隊列をなして飛行する、NASA主導の地球観測衛星群（コンステレーション）です（図3）。この衛星群は、赤道上空を通過する時刻が必ず13時30分頃となる軌道であることから、頭文字にafternoonの“A”を付けてA-Trainと呼ばれています。このコンステレーションによって、複数の衛星に搭載された異なる種類のセンサによるほぼ同じ時刻の多種多様な観測データが獲得できるため、1機での観測よりも多くの知見が得られることが期待されています。現在、A-Trainに参加している衛星はAqua（米NASA）、CloudSat（米NASA）、CALIPSO（米NASA/仏

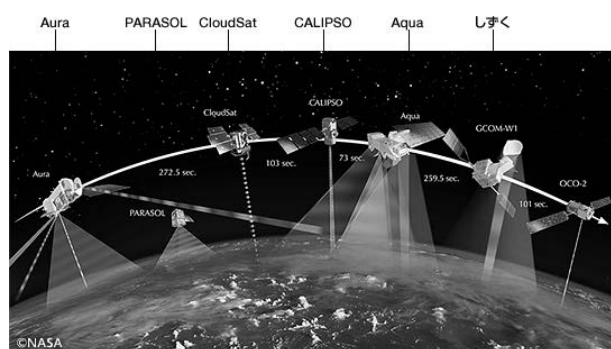


図3 A-Train衛星群のイメージ

CNES)、Aura（米NASA）であり、日本からの参加は「しずく」が初めてとなります。

3. 観測データの利用

「しずく」に搭載されている高性能マイクロ波放射計2（AMSR2）は、「みどり2」に搭載された高性能マイクロ波放射計（AMSR）、「Aqua」に搭載された改良型高性能マイクロ波放射計（AMSR-E）の後継センサであり、AMSR、AMSR-Eの観測を引き継ぎ、更に利用価値の高いデータを提供し続けることが期待されています。

「しずく」は降水量、積算水蒸気量、海面水温、土壌水分など8つの地球物理量の観測が可能であり、気象・農業・漁業などさまざまな分野での利用が始まっています。

3.1 気象分野での利用

天気予報は、各地の気象台や気象レーダーなどの地上における観測データに加えて、「ひまわり」に代表される人工衛星からのデータにより行われています。しかしながら、それぞれの観測方法には一長一短があります。

日本の気象衛星である「ひまわり」は、静止軌道から可視画像と赤外線画像で撮影が可能です。可視画像とは、文字通り人間の目で見ると同じ画像であり、赤外線画像は夜間などでも撮影できる画像です。これらは基本的に写真と同じであり、雲があればその下の地上や海上の観測はできません。また、「ひまわり」は静止軌道上にあるため、地球の半分を常時撮影することはできますが、観測範囲外である裏側の地域を撮影することはできません。

一方「しずく」は、海面や地表から放射されるマイクロ波

を捉えるセンサを搭載しているため、雲があっても雨や水蒸気の分布、地上や海上の状況を捉えることが可能です。そのため、「しずく」のセンサであれば、台風の上を雲が覆っていても台風の中心がどこにあるかをより正確に把握できるため、より正確な台風の規模や進路の情報を提供することが可能となります。例えば図4に示すように、「ひまわり」による雲の分布観測データと「しずく」による観測データを重ね合わせると、雲の分布だけでは正確に分らない台風の目の存在が、「しずく」搭載のマイクロ波放射計でははっきりと捉えられているのが分かります³⁾。

このように「しずく」による観測データは他の観測データと組み合わせることによって、天気予報の更なる精度向上や、自然災害に関する注意報／警報をより早く人々に届けることに貢献できると考えられています。

また、「しずく」は、2日間で地球表面の99パーセントを観測することができるため、日本から遠く離れた地域の情報も得ることができます。これにより地球規模のデータをほぼリアルタイムで取得することが可能となり、異常気象の原因解明にも役立つことが期待されています。

3.2 農業／漁業分野での利用

「しずく」は土壌水分量の観測も可能なので、干ばつや農作物の生育状況の予測にも役立つと考えられています。

また、「しずく」のデータは漁業分野でも利用価値が高いことが分かっています。漁業における効率的な操業には、海洋環境や魚群分布などの情報が重要です。魚は種類ごとに適した水温があり、魚種ごとの漁場を把握するためには、「しずく」が観測する広範囲かつリアルタイムの海面水温のデータが非常に有効です²⁾。

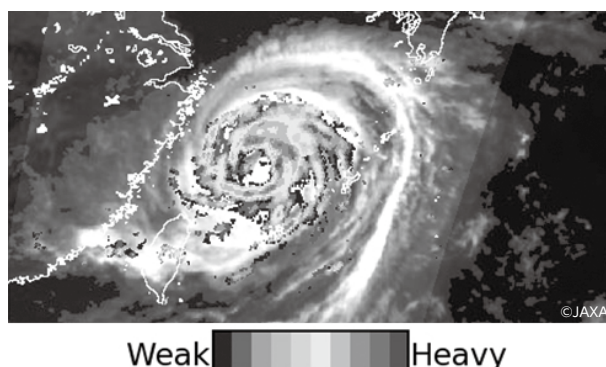


図4 台風の観測画像

これまで、日本の漁業者に対する海面温度などの情報提供は、NASAの衛星「Aqua」に搭載した「AMSR-E」の観測データが担ってきましたが、「AMSR-E」は2011年10月に観測を停止しました。そのため、その後継センサを搭載した「しずく」による情報提供に大きな期待が掛かっています。

3.3 地球規模の気候変動研究分野での利用

地球上の水は、太陽から放射されたエネルギーが再配分される過程で重要な役割を担っており、全地球規模の気候変動を解明するためには、この水の動きを広範囲かつ長期にわたり観測することが重要です。

「しずく」で観測が可能なさまざまな水に関連する物理量（積算水蒸気量、積算雲水量、海水密度、積雪深など）の変化は、気候変動の研究において重要な役割を果たしています。

例として図5に2012年9月に「しずく」が観測した北極海の海水面積と、1980年代9月にアメリカの衛星が観測した同じく北極海の海水面積を示します。北極海の海水の縮小は、1980年代以降増加傾向にある北半球の気温上昇に伴い、海水厚が徐々に薄くなり、大気場（気温や風）や海水温の影響を受けやすい状態となっていることが原因であると考えられています⁴⁾。

4. 今後のNECの取り組み

弊社は現在、「地球環境変動観測ミッション（GCOM）」のもう1つのシリーズ衛星であるGCOM-C1（図6）の主契約者として開発を行っています。

GCOM-C1は気候変動観測を担っており、搭載予定の多波長光学放射計を利用して、全地球規模での「放射・熱収支」と「植物生育状況」に関するパラメータの長期観測を行います。

GCOM-C1は2016年度の打ち上げに向けて開発を進めており、2013年3月に衛星製造開始を判断するための詳細設計審査を完了し、製造段階に移行しています。「しずく」で確立し



1980年代の9月最小時期の平均的分布
(米国衛星搭載マイクロ波センサの解析結果)

2012年9月16日「しずく」/
AMSR2(アムサー・ツー) [検証中]
(観測史上最小分布)

図5 北極海の海水面積の変化

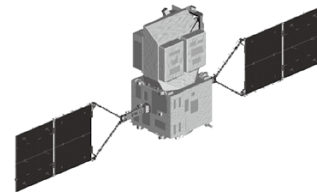


図6 GCOM-C1の外観図

た設計、製造、試験の手法を最大限に生かして、確実かつ信頼性の高い衛星を開発していく予定です。

5. むすび

「しずく」は打ち上げから約1年が経過していますが、現在衛星の状態は良好であり、貴重な観測データを地上に送り続けています。地球環境変動に関する観測データは、長期にわたり継続して取得し続けることが重要であり、JAXA殿はGCOMの2つの衛星シリーズを3期に分けて、合計6機を打ち上げることを計画しています。

「しずく」に代表されるこれらの地球観測衛星から得られるデータは、日本国内だけでなく世界中の多くの研究者及び研究機関に提供され、人々の暮らしを守ることに役立つと考えられており、NECの技術はこの分野において今後も大きな役割を果たすことを期待されています。

参考文献

- 1) 今岡啓治ほか：高性能マイクロ放射計（AMSR2）の校正検証の現状と期待される成果，第56回宇宙科学技術連合講演会，2012
- 2) 宇宙航空研究開発機構 GCOMプロジェクトチーム：第一期水循環変動観測衛星（概要説明書），2011.10
- 3) 宇宙航空研究開発機構 第一衛星利用ミッション本部：「しずく」がとらえた台風9号、10号、11号の様子，2012.8.10
http://www.satnavi.jaxa.jp/project/gcom_w1/news/2012/120810.html
- 4) 宇宙航空研究開発機構 第一衛星利用ミッション本部：北極海の海水面積 観測史上最小記録を更新，2012.9.20
http://www.satnavi.jaxa.jp/project/gcom_w1/news/2012/120920.html

執筆者プロフィール

川口 正芳

宇宙システム事業部
シニアエキスパート

吉田 達哉

宇宙システム事業部
マネージャー

NEC 技報のご案内

NEC 技報の論文をご覧くださいありがとうございます。
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご一読ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

Vol.66 No.1 社会的課題解決に貢献するNECの事業活動特集

社会的課題解決に貢献する NEC の事業活動特集によって
「社会価値創造型」企業への変革を目指して～事業活動をととした社会的課題解決への貢献～

◆ 特集論文

信頼性の高い情報通信インフラの構築

新東名高速道路での導入事例にみる次世代交通管制システムの特徴
国際通信を支える光海底ケーブルネットワークの大容量化及び高信頼化技術
基幹系ネットワークを支える要素技術とパケット光統合トランスポート装置
どこでも安定的な通信品質を実現するLTE フェムトセル基地局向け干渉制御技術の開発

気候変動（地球温暖化）への対応と環境保全

第一期水循環変動観測衛星「しずく」の定常観測
データセンターの省電力化へ貢献する「Express5800 シリーズ」「iStorage Mシリーズ」
新原理「スピンゼーベック効果」による熱電変換の可能性

安全・安心な社会づくり

CONNEXIVE 放射線測定ソリューション
市町村同報系防災行政無線システム～災害情報伝達の多様化に向けて～
消防救急無線通信システムのデジタル化推進
NECのBCソリューション～企業の事業継続を支えるiStorage HS～
水中からの脅威に対処する水中監視システム及びその関連技術
監視用小型無人機システムとその関連技術
クラウドを用いたプライバシー保護型データ処理技術
信頼できるクラウドストレージの実現に向けて

すべての人がデジタル社会の恩恵を享受

介護施設における安全確保のための「徘徊防止ソリューション」の実証実験
遠隔地からの聴覚障がい者向け要約筆記作業支援システム
対話のきっかけとなる話題提供によるコミュニケーション活性化技術

◆ NEC Information

社会貢献活動のご紹介

NECの社会貢献プログラムの基本方針と活動事例
ICTによる復興支援への取り組み



Vol.66 No.1
(2013年8月)

特集TOP