

わが国の今後の衛星観測計画について

笹 野 泰 弘^{*1,10}・祖父江 真 一^{*2}・江 淵 直 人^{*3,10}
 岡 本 幸 三^{*4,10}・佐 藤 正 樹^{*5,10}・沢 田 治 雄^{*6,10}
 中 村 健 治^{*7,10}・早 坂 忠 裕^{*8,10}・本 多 嘉 明^{*9,10}

1. はじめに

日本気象学会のもとに2008年7月に設置された学術委員会は、気象学会を取り巻く状況の変化の中で、気象学・大気科学の現状をレビューすると共に、明確な将来ビジョンを持って将来構想を策定することを目的としている。さらに、気象学における衛星観測の重要性の観点から議論を深めるために、学術委員会の部会のひとつとして、地球観測衛星部会（部会長:笹野泰弘）が2011年5月に設置された。本部会は（1）地球観測衛星計画の学会員への紹介、（2）準備段階あるいは計画中の地球観測衛星計画に関する学会としての見解案の取りまとめ、（3）地球観測衛星に対する学会員の要望の調査および要望案の取りまとめ、の3つの任務を帯びている。

気象学や環境科学分野の研究、気象業務や環境行政等の推進において大きな役割を果たすと考えられる衛

星観測について、種々の計画の現状を学会員に広く周知させることにより、今後、学会の中で議論を深め、将来計画に学会としての要望を反映させていくための基礎情報を提供することが必要と考えており、本解説記事ではわが国における地球観測衛星に関する計画の現状を、これまでの経緯とともに紹介することを主たる目的としている。したがって、個々の衛星観測プロジェクト等の科学的な成果の紹介は本稿では割愛する。また、本稿執筆時点以降、衛星観測をめぐる宇宙政策の状況の変化は早く、必ずしも最新の情報を反映できていない部分が生じる可能性があることをご承知頂きたい。

なお、本文中に記載される英語略称については、末尾に一覧として示した。

2. わが国の地球観測衛星の経緯

気象学に関する広い意味での地球観測衛星としては、気象庁の静止気象衛星「ひまわり」シリーズ（GMS, MTSAT）がある。1970年代に世界気象機関（WMO）と国際学術連合会議（ICSU）によって進められた地球大気開発計画（GARP）に関連して1977年7月にGMS-1が米国フロリダ州ケープカナヴェラル基地から打ち上げられ、「ひまわり1号」として運用を開始した。「ひまわり1号」から1995年に3月に種子島宇宙センターから打ち上げられた「ひまわり5号」（GMS-5）まではスピン安定方式で走査型可視・赤外放射計が搭載された。その後、2005年2月に打ち上げられた「ひまわり6号」（MTSAT-1R）からは姿勢制御が3軸制御方式になり、搭載放射計も可視1チャンネル、赤外4チャンネルとなった。現在、「ひまわり7号」（MTSAT-2）が運用中である。

*1 (連絡責任著者) 国立環境研究所地球環境研究センター (現: 一般社団法人国際環境研究協会, 〒110-0005 東京都台東区上野1-4-4), sasano@airies.or.jp

*2 宇宙航空研究開発機構。

*3 北海道大学低温科学研究所。

*4 気象研究所。

*5 東京大学大気海洋研究所。

*6 東京大学生産技術研究所。

*7 名古屋大学地球水循環研究センター。

*8 東北大学大学院理学研究科。

*9 千葉大学環境リモートセンシング研究センター。

*10 日本気象学会学術委員会地球観測衛星部会メンバー。
 —2012年12月12日受領—
 —2013年3月18日受理—

それに加えて、わが国の衛星による地球観測は、科学技術庁資源調査会第28号勧告「地球資源隔測の推進構想とその実施のための体制に関する勧告」(1973年)がトリガーとなり始まったとみなせる(福田 2011; 五十嵐 2012)。この勧告に応える形で1978年には宇宙開発事業団(NASDA)に地球観測センターが設置され、Landsat-2, 3号の受信が1979年1月に始まった。その後、1978年に制定された宇宙開発政策大綱を受けて具体的な地球観測システムの実現方法を検討する科学技術庁のリモートセンシング推進会議が設置された。この会議では、海洋観測衛星(MOS-1, 2, 3a, 3b)、陸域観測衛星(LOS-1, 2a, 2b)および磁力・重力観測衛星(MAGRAS)を報告書において提案した。本報告書を受ける形で、1978年度から海洋観測衛星(MOS-1, もも1号)の開発研究、開発の予算が認められ、1987年にわが国初の地球観測衛星であるMOS-1が打ち上げられた。MOS-1には可視熱赤外放射計 VTIR, 高分解能可視近赤外放射計 MESSR, そしてマイクロ波放射計 MSR が搭載された。MOS シリーズは、その後、MOS-1のプロトタイプモデルをフライトモデル化した形で1990年に MOS-1b が打ち上げられた。他方、陸域観測衛星については、1980年の通商産業省の「資源探査データの利用技術調査」もあり、NASDA と通産省の共同プロジェクトである JERS-1 (地球資源衛星 1 号, ふよう 1 号) が1984年度から予算化され1992年に打ち上げられた。JERS-1 は、光学に加えて、L-band の合成開口レーダ(SAR)を搭載していた。この JERS-1 への L-band の搭載は、その後のわが国における L-band SAR の継続的な全球観測の先鞭となった。

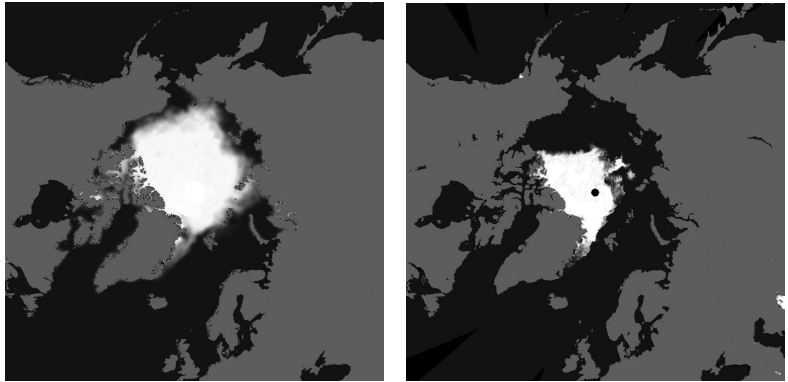
MOS-1, 1b, JERS-1 の次に開発されたのは、国際的な宇宙ステーション(ISS)開発の動きと連動した ISS 参加国による EO-ICWG (地球観測国際調整作業部会) における、国際極軌道プラットフォーム(IPOP)による協力・同時観測の思想のもとでの ADEOS (地球観測プラットフォーム技術衛星, みどり) である。ADEOS (JPOP と呼ばれた) とともに、米国は NASA の EOS シリーズ, 欧州は欧州宇宙機関(ESA)の Envisat が IPOP の一部として位置づけられた。ADEOS は、プラットフォーム構想の実現という技術開発を目指すとともに、MOS, JERS から始まった海洋、陸域観測を、MOS, JERS のような技術開発というレベルではなく、実用に使える世界レベルの地球観測システムの構築を目指したミッシ

ンであった。ADEOS には、AVNIR (可視・近赤外観測), OCTS (海色・海面水温観測) の観測センサが開発された。その一方で、IPOP 構想のもと、大型になった衛星の利点を生かし、公募により国内外から観測センサを募集した。上記の 2 センサの他、ADEOS に搭載したセンサは、米国 NASA/JPL の NSCAT (マイクロ波散乱計), NASA/GSFC の TOMS (オゾン観測装置), CNES の POLDER (偏光観測), 通産省の IMG (大気微量気体観測), 環境庁の ILAS および RIS (大気微量成分観測) などである。ADEOS で特筆すべきことは、データ中継用の送受信アンテナを保有し、受信局による直接受信以外のデータ入手手法を試みたこととともに、観測センサからの地球物理量の導出とその品質保証のために研究者との協働の重要性が大きく認識された点である。これを達成するために、ADEOS プロジェクトからは、研究者がプロジェクトサイエンティストとして配置されることになった。また、米国の衛星 EOS TERRA および AQUA にそれぞれ通産省の ASTER (資源探査), NASDA の AMSR-E (マイクロ波放射計) などが搭載された。ADEOS は1996年, EOS TERRA は1999年, EOS AQUA は2002年にそれぞれ打ち上げられた。さらに、これらに加えて、日米合同ミッションとして、TRMM (熱帯降雨観測衛星) がわが国からのアクティブセンサである降雨レーダ(PR)を搭載し、1997年に種子島から H-II で打ち上げられた。TRMM には、PR 以外に降雨を測る可視赤外放射計 VIRS, マイクロ波放射計 TMI などが搭載されており、単独の観測センサではなく、複数のセンサを使った成果物作成・品質保証という新たな分野を拓いた。

ADEOS に続くミッションとして、ADEOS-II (環境観測技術衛星, みどり 2 号) を2002年12月に打ち上げた。ADEOS-II は、AMSR とともに、NASA/JPL の SeaWINDS, CNES の POLDER, 環境庁の ILAS-II を搭載した。ADEOS-II のミッション要求とりまとめにおいては、1995年に NASDA に設置された衛星データの校正・検証, アルゴリズム開発などを行う研究組織としての地球観測データ利用研究センター(EORC)と、外部委員会としての「地球環境観測委員会(委員長: 坂田俊文)」が大きな役割を果たした。この委員会は、その後も地球観測衛星システムの研究・開発に関する国内のコミュニティの意見の集約の場としての役割を担った。

なお、ADEOS は電源系の不具合のため、衛星打ち

上げ後10か月ほどで運用が停止した。また、ADEOS-IIも、ADEOSの事故調査結果を踏まえた設計変更、打上時期の見直しなどを行ったものの、再び電源系の不具合のため10か月ほどの運用で停止した。この他、2度にわたるH-IIロケットの打ち上げ失敗があり、NASDAにおいて衛星計画の全てについて見直しが行われた。この結果、地球環境観測関連では、MDS（ミッション実証衛



第1図 北極の9月の海水分布（左図：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）、右図：2012年9月16日「しずく」/AMSR2）（出典：JAXA）。

星）の2号機として研究が進行していたELISE（ミー散乱ライダー）について、計画そのものが中止となった。当初計画通りに2003年春に打ち上げられていれば、世界初のライダー衛星がわが国発として誕生していたことになったはずであった。

陸域観測に関するわが国の衛星としてはJERS-1以降、間が空いたものの2006年にALOS（陸域観測技術衛星、だいち）が打ち上げられた。この衛星には、JERS-1の観測センサを世界レベルに高機能化した光学センサ（AVNIR-2）とマイクロ波センサSAR（PALSAR）とともに、2万5千分の1の地図を3方向立体視観測で作成するPRISMが搭載された。またデータ中継衛星であるDRTSを活用することにより、ALOSでは、全球の地表面を高分解能で効率的かつ迅速に観測することが可能となった。この観測データは1日1テラバイトにもおよび、地域毎のデータ処理・配布や準リアルタイム利用のための直接受信をアメリカ大気海洋庁NOAA/アラスカ大学、ESA、オーストラリア（GA）、タイ宇宙機関（GISTDA）と協力して実施し、これまでにないわが国の衛星データの国際的な学術、実利用の推進が行われていった。また、経済産業省の開発したASTERは、JERS-1/OPSを継承・発展させ、可視から熱赤外にわたる14バンドの観測波長を持ったセンサ（<http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/J/>、2013年2月24日閲覧）であり、NASA EOS/TERRA衛星に搭載された。ASTERは、鉱物に関する特徴的なスペクトルを捉えるのに適した波長を持っており、ASTERデータを用いた全球3次元地形データの作成、公開な

どにより資源探査、国土管理や地球環境問題などに活用されている。

大気科学分野のADEOS（ILAS）、ADEOS-II（ILAS-II）の後継については、当初、環境省、国立環境研究所、JAXAの3者協力のもとでSOFIS（傾斜軌道衛星搭載太陽掩蔽法フーリエ変換分光器）の開発を進めつつあったが、2002年頃に地球温暖化問題に対するより直接的な貢献を目指す方向に舵を切ることとなり、温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT、いぶき）として搭載センサを開発することとなった。GOSATは、2009年1月23日に打ち上げられた。GOSATでは、地球温暖化の原因物質である二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスの濃度分布を観測する。また、ADEOS-II後継を中型機で実現するためにGCOMシリーズが提案され、GCOM-W（水循環）シリーズ、GCOM-C（気候変動）シリーズとして取り組んでいくことになった。このGCOM-Wの初号機であるGCOM-W1（第1期水循環変動観測ミッション、しずく）が、2012年5月18日を打ち上げられた。GCOM-W1では水循環に関わる降水、土壌水分、海水分布などの観測を行っている。なお、GCOM-W1データは観測史上最少記録を更新した北極の海水分布（第1図）や輝度温度データをインターネットで提供しており、物理量データをこれから公開する予定である。

3. 今後の地球観測衛星にかかる計画の現状

近年、EO-ICWGやCEOS（地球観測衛星委員会）などの宇宙機関主導の技術開発中心の地球観測から、

第1表 わが国の計画中の主な地球観測衛星。

衛星／センサ	打上予定 (年度)	開発・運用 機関	方式	主たる観測目的	出典
ASNARO	2012	経済産業省	小型衛星(500 kg級)による光学観測	陸域観測	1)
ALOS-2	2013	JAXA	中型衛星(2トン級)によるL-band SAR観測	陸域観測	2)
ひまわり8号	2014	気象庁	静止気象衛星による光学観測	気象観測	3)
ASNARO-2	2014	経済産業省	小型衛星によるX-band-SAR観測	陸域観測	1)
GPM/DPR	2014	JAXA/NASA	中型衛星によるマイクロ波観測	降雨・降雪観測	2)
EarthCARE	2015	JAXA/ESA	中型衛星によるマイクロ波観測	雲・エアロゾル観測	2)
GCOM-C	2015以降	JAXA	中型衛星による光学観測	気候変動	2)
ALOS-3	2015以降	JAXA	中型衛星による光学観測	陸域3次元観測	2)
ひまわり9号	2016	気象庁	静止気象衛星による光学観測	気象観測	3)
GOSAT-2	2017	JAXA/ NIES/ 環境省	中型衛星による光学観測	全球温室効果ガス観測	2)

1) 小川 (2011), 2) 五十嵐 (2012), 3) 佐々木・操野 (2011)

IGOS (統合地球観測システム) パートナーシップの試行がなされ、世界的に衛星を含めたトータルシステムでの社会経済分野での利用、ミッション重視の流れができてきた。その中で、世界の地球観測システムを有機的に連携させて活用する GEOSS (全球地球観測システム) が、小泉純一郎首相 (当時) によりワシントン DC の第1回地球観測サミット (2003年7月) で提案され、2004年4月の東京での第2回地球観測サミットで GEOSS 実施計画の枠組みが制定された。そして2005年2月ブリュッセルの第3回地球観測サミットで10年間の実施計画が了承された。また、この枠組みを推進するために「地球観測に関する政府間会合 (GEO)」が設置され、事務局がジュネーブにおかれた。わが国においては、GEOSS で定義された9つの社会便益分野の中で、気象、災害、気候変動、水に対応する地球観測ミッションを進めていくこととなった。

この流れとあわせてわが国でも、2004年12月に「地球観測の推進戦略」が総合科学技術会議において制定され、また2004年11月に宇宙開発委員会 (SAC) に地球観測特別部会が設置され、利用ニーズに対応した地球観測衛星の開発・利用の今後の在り方がまとめられた。さらには、2008年5月に宇宙基本法が議員立法により制定され、これに基づき2008年8月に宇宙開発

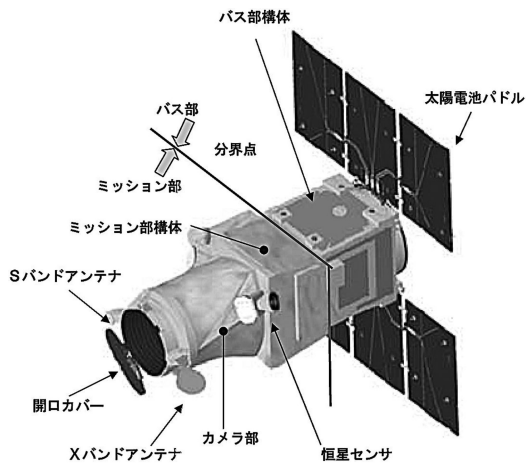
戦略本部が設置され、2009年6月には宇宙基本計画が制定された。この宇宙基本計画では、アジア等に貢献する陸域・海洋観測衛星システムとして ALOS シリーズ、ASNARO シリーズ、ASTER、地球環境観測・気象衛星システムとして GCOM-W、GCOM-C、GPM、EarthCARE、GOSAT シリーズ、MTSAT などが位置づけられた。

その後、2013年に宇宙基本計画の改訂がなされ、また宇宙開発戦略本部のもとにある宇宙政策委員会が、わが国の宇宙政策のあり方に対する見直しに基づき、宇宙関係事業の重点化に関する提言を行った。宇宙利用政策に関し、急激な変化が起きつつあると言える。

本章では、わが国における地球観測衛星に関する個々の計画の研究や開発の現状を述べることとする。各論に入る前に第1表に、それぞれの衛星/センサの概要一覧を示す。

3.1 ASNARO/ASNARO-2

ASNARO (第2図) は経済産業省による小型の地球観測衛星であり、将来2機目、3機目を世界各国に輸出することを目標に、さまざまな最新技術を導入して小型化・標準化を実現し、市場競争力の高い小型・高性能・低価格な衛星を開発することを目的としたものである。2012年10月現在、2012年度中の打ち上げを



第2図 ASNARO 外観 (小川 2011)。

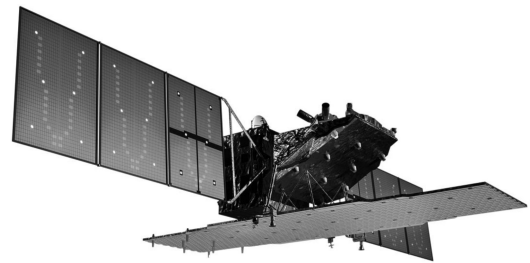
目指した光学センサを搭載した ASNARO と2014年度の打ち上げを目標とした X-band SAR を搭載する ASNARO-2が開発されている (小川 2011)。また、ベトナム政府からの資金協力要請を受けて、ASNARO-2ベースの小型リモートセンシング衛星 (レーダ衛星) 2機と宇宙センターの整備が円借款の供与の対象となり、両政府間の交換公文を2011年10月に締結した (2017年に1号機、2020年に2号機の打ち上げを予定)。

3.2 ALOS-2/ALOS-3

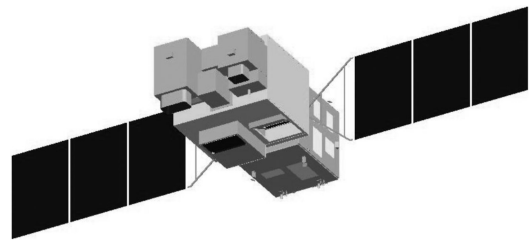
ALOS-2/3は当初、ALOS を継承・発展させ、主として災害観測を行うミッションとして検討されていたが、ALOS の成果や利用機関の多様なニーズを踏まえて、陸域全般に関する観測ミッションとして開発研究されることとなった。このため、さらに時間的・空間的な観測性能を向上させている。

ALOS-2 (第3図) のミッションは、1) 公共安全の確保、2) 国土保全管理、3) 食料供給の円滑化、4) 資源・エネルギー供給の円滑化、5) 地球規模の環境問題解決、6) 技術実証を目的としている。ALOS-2の打ち上げは2013年度を予定している。また、ALOS-2に搭載される SAR は、ALOS/PALSAR を高分解能・高機能化させたもので、また観測頻度も ALOS に比べて大幅に改善される。また、ALOS-2には、小型赤外カメラである CIRC や AIS (自動船舶識別装置) も搭載される。

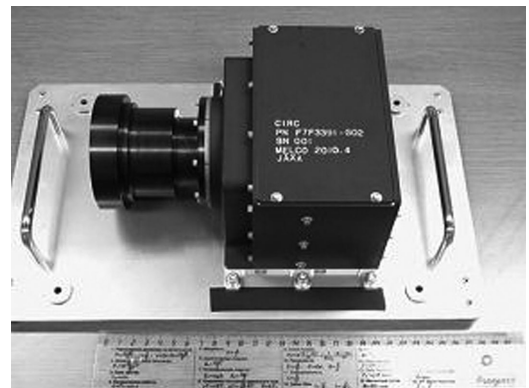
他方、ALOS-3 (第4図) は、ALOS の光学ミッションを継承・発展させるミッションであり、1) 災



第3図 ALOS-2外観 (出典：JAXA)。



第4図 ALOS-3外観 (出典：JAXA)。



第5図 CIRC 外観 (出典：JAXA)。

害観測、2) 陸域観測、3) 農業・沿岸漁業観測、4) 資源探査、5) 地球環境観測などを目的としている。ALOS-3に搭載される PRISM-2は、50 km の広域を 0.8 m の高分解能でステレオ観測する。PRISM-2以外には、経済産業省が研究している高波長分解能を有し、対象物の性質・物性を示す反射率を広範囲の波長帯を連続的に観測することが可能なマルチ・ハイパー光学センサである HISUI の搭載を想定している。

なお、第5図に示す非冷却小型赤外カメラ (CIRC) は、小型、軽量、低消費電力で、これまでよりも格段

に大画素の大フォーマット検出器を有しており、森林火災の検知、火山活動観測により防災に貢献することを目標としている。特に小型軽量であることのメリットを活かして、ALOS-2やISS JEM 曝露部の実験装置への搭載など複数のプラットフォームへの搭載により高頻度観測が実現可能である。

3.3 ひまわり 8号/9号

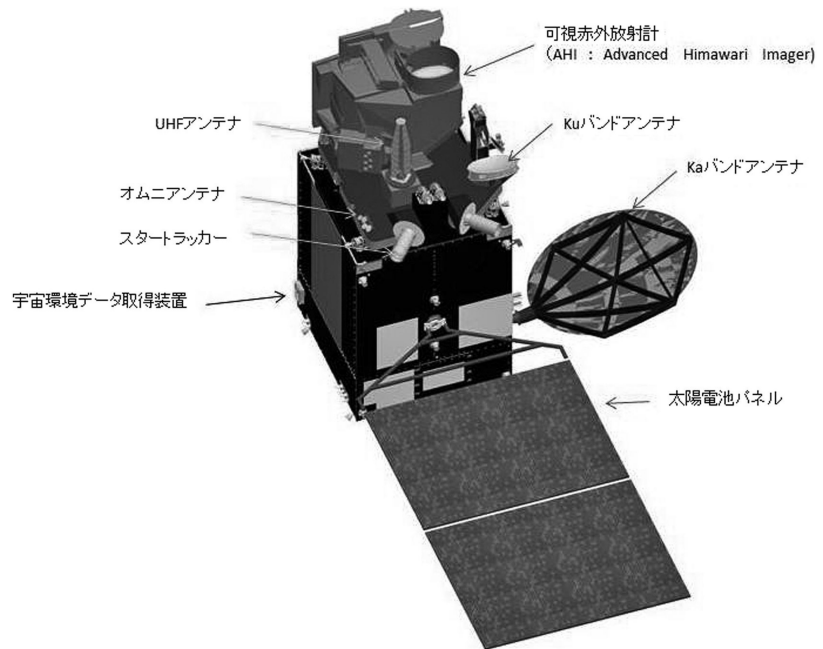
現在運用されている「ひまわり 7号」(MTSAT-2)の後継機として、「ひまわり 8号」及び「ひまわり 9号」(第6図)がそれぞれ2014年及び2016年に打ち上げが計画されている。これまでの防災機能に加え、

地球環境観測機能を大幅に強化した「静止地球環境観測衛星」として整備される予定である。1基あたりの観測は7年で運用し、互いにバックアップするので待機期間を合わせると2基で合計14年となり、現在のMTSATシリーズの2基で10年(運用、待機ともに5年)より長寿命化がなされる。また解像度や観測頻度、チャンネル数(第2表)が増加した次期イメージャ(可視赤外放射計: AHI)のデータ量は現在の50倍以上となる見込みである。

具体的には、水平解像度が倍増(可視: 現行の1 kmから0.5 kmへ、赤外: 現行の4 kmから2 kmへ)、観測頻度は、10分間隔での全球観測、2.5分間隔での日本域(北日本域及び南日本域それぞれ東西2000 km×南北1000 km)、台風域(東西1000 km×南北1000 km)、30秒間隔での東西1000 km×南北500 km領域の観測が可能となる。これらにより、従来からの雲観測という気象分野での利用に限らず、火山灰、黄砂、植生およびオゾン全量などの気候変動や地球環境分野、工学・エネルギー分野での活用が期待されている(佐々木・操野 2011)。

3.4 GPM/DPR

全球降水観測計画(GPM)は、日米によるGPM主衛星を中心に、仏、インドなどの他機関のマイクロ



第6図 ひまわり 8・9号機の外観(出典: 気象庁)。

第2表 可視赤外放射計(AHI)の諸元(出典: 気象庁)。

バンド	観測波長域 (μm)	空間分解能 (衛星直下)
1	0.43-0.46	1 km
2	0.50-0.52	1 km
3	0.63-0.66	0.5 km
4	0.85-0.87	1 km
5	1.60-1.62	2 km
6	2.25-2.27	2 km
7	3.74-3.96	2 km
8	6.60-6.43	2 km
9	6.89-7.01	2 km
10	7.26-7.43	2 km
11	8.44-8.76	2 km
12	9.64-9.72	2 km
13	10.3-10.6	2 km
14	11.1-11.3	2 km
15	12.2-12.5	2 km
16	13.2-13.4	2 km

波放射計搭載衛星群により、全球降水分布を高精度・高頻度で観測するものである。GPM計画の先駆けとなる衛星による全球降雨図(GSMaP)を、TRMM

や DMSP 搭載のマイクロ波放射計データおよび静止気象衛星のデータを用いて JAXA において観測後 4 時間以内に毎時提供している。このような全球降雨・降水の情報は、気象・気候、水資源管理、水災害管理などの分野で使われており、精度の向上によるますますの貢献が期待されている。なお、GSMaP は、JST/CREST の研究としてはじめられ、その後も TRMM・GPM (RMM) 研究公募などを通じて改良が続けられている。

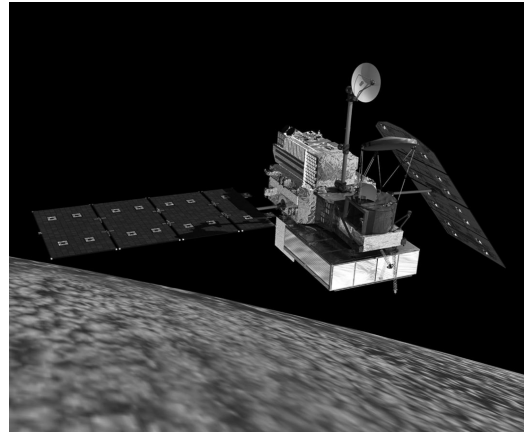
GPM 主衛星 (第 7 図) には、二周波降水レーダ (DPR) とマイクロ波放射計 (GMI) が搭載される。このうち DPR は、降水量観測感度を、TRMM 降雨レーダ (TRMM/PR) の 0.7 mm/hr から 0.2 mm/hr に大幅に改善するとともに、雨と雪の識別をすることが可能である。DPR は、JAXA と NICT により開発されている。なお、GPM コア衛星は傾斜角 65 度の太陽非同期軌道に H-IIA ロケットによる 2013 年度の打ち上げを予定しており、TRMM からの継続観測が期待されている。

GPM においては、TRMM と同様にミッション要求定義、アルゴリズム研究・開発、地上データを用いた校正・検証について、日米のサイエンスチームが、プロジェクトと協力し、作業を行っている。

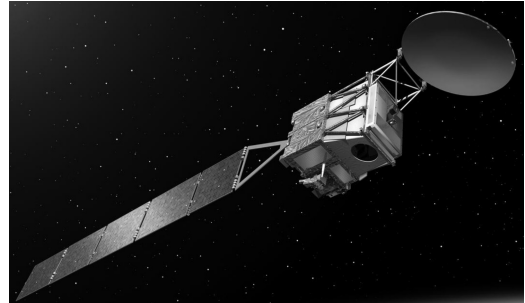
3.5 EarthCARE/CPR

雲エアロゾル放射ミッション (EarthCARE) は、気候変動において現在もっとも不確実性が高いとされる雲とエアロゾルの放射強制力の評価、及び雲とエアロゾルの相互作用の解明に基づき、気候変動予測モデルの向上を目指す日欧の初めての共同地球観測プロジェクトである。EarthCARE (第 8 図) にはわが国からの雲プロファイリングレーダ (CPR)、欧州からの大気ライダー (ATLID)、多波長イメージャ (MSI)、広帯域放射計 (BBR) が搭載される。このうち、CPR は 94GHz 帯のドップラレーダであり、CloudSAT の雲観測レーダに対して、ドップラ観測を追加することにより雲の上下運動の把握が可能となるものである。この CPR は、JAXA と NICT の共同により開発されている。

EarthCARE は、気候変動予測モデルの向上という地球科学研究に主眼がおかれているため、GPM における日米のサイエンスチームと同様に、日欧のサイエンスチームがプロジェクトと協力し、ミッション要求定義、アルゴリズム研究・開発、地上データを用いた校正・検証についての作業を行っている。また、モデ



第 7 図 GPM 主衛星の外観 (出典: JAXA/NASA/NICT)。

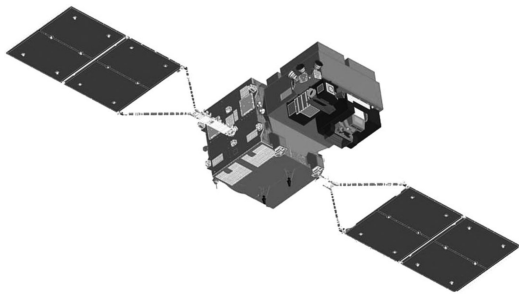


第 8 図 EarthCARE 衛星の外観 (出典: JAXA/ESA)。

ル研究者による衛星データの積極的な活用を推進するための衛星シミュレータ (Joint Simulator) も EarthCARE プロジェクトの研究の一環として開発され、このシミュレータを検証する衛星データセットの整備が JAXA、大学、研究機関の協力のもとで進められている。加えて、EarthCARE では、JAXA は CPR の処理のみならず、他のセンサ、複数センサのデータ処理などを ESA と並行して実施する予定である。

3.6 GCOM-C1

気候変動観測衛星 (GCOM-C) シリーズの第 1 期衛星である GCOM-C1 (第 9 図) は、GCOM-W1 との統合利用により気候変動を中心にした GEOSS の 9 つの社会便益分野への貢献が想定されるミッションである。GCOM シリーズについては、JAXA 内部に「GCOM サイエンスに関する委員会 (委員長: 下田陽久)」を設置し、サイエンスミッション、データ解析・



第9図 GCOM-C1 外観（出典：JAXA）。

処理・校正・検証などについての討議を行っている。GCOM-C1は、ADEOS-IIのGLIを高性能化した多波長光学放射計であるSGLIを搭載する（第3表）。SGLIは、250 m分解能での植生、植物プランクトン、流水観測、多方向観測による植生バイオマス、土地被覆、偏光観測による陸上を含めたエアロゾルなどの陸海空の物理量を網羅的、長期間・高頻度で観測することが可能であることが大きな特徴である。SGLIを用いて、気象、風水害、大気汚染、沿岸環境、海水、農林水産資源、森林火災、土地利用などを定常的にモニタリングすることにより、さまざまな省庁・機関と連携した気候変動研究および社会経済活動へ貢献すると考えられる。なお、GCOM-C1は、現在世界で広く活用されている米国のTerra衛星搭載のMODISによる地方時が午前になる観測を引き継ぐミッションであり、MODISの後継としての期待が大きい。

3.7 GOSAT-2

GOSAT-2は、現行のGOSATの観測を高精度・高機能化するミッションであり、環境省、JAXA、NIESが協力して検討を進めている。GOSAT-2ではGOSATの観測を、データ数を飛躍的に増やしつつ継続するとともに、気候変動と人為的要因等が炭素循環に与える影響を観測することにより、全球の炭素循環をより精緻に理解し、気候科学及び気候変動政策に貢献することを目的としている。

現在検討中のGOSAT-2の計測精度目標の概要は次の通りである。なお、比較のため（ ）内にGOSATの目標を示している。大気中CO₂カラム濃度については、陸上では500 km 四方相当、海上では2000 km 四方相当の範囲の1 か月平均値の精度として0.5 ppm（1000 km メッシュ、3 か月平均値の精度として4 ppm）とする。大気中CH₄カラム濃度については、陸上では500 km 四方相当、海上では2000 km 四方相

第3表 GCOM-C1 SGLI 諸元（出典：JAXA）。

チャンネル	λ	$\Delta\lambda$	L_{std}	L_{max}	IFOV
	VN, P, SW : nm T : μm		VN, P, SW : $\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$ T : Kelvin		m
VN1	380	10	60	210	250
VN2	412	10	75	250	250
VN3	443	10	64	400	250
VN4	490	10	53	120	250
VN5	530	20	41	350	250
VN6	565	20	33	90	250
VN7	670	10	23	62	250
VN8	670	20	25	210	250
VN9	763	8	40	350	1000
VN10	865	20	8	30	250
VN11	865	20	30	300	250
P1	670	20	25	250	1000
P2	865	20	30	300	1000
SW1	1050	20	57	248	1000
SW2	1380	20	8	103	1000
SW3	1640	200	3	50	250
SW4	2210	50	1.9	20	1000
T1	10.8	0.7	300	340	500
T2	12.0	0.7	300	340	500

λ ：中心波長、 $\Delta\lambda$ ：波長幅

L_{std} ：観測対象物の標準的な輝度

L_{max} ：センサの観測最大輝度（センサが飽和する輝度）

IFOV：センサが瞬間的に見ることができる視野（分解能）

VN1～VN11：可視・近赤外観測チャンネル

P1, 2：偏光観測チャンネル

SW1～SW4：短波長赤外観測チャンネル

T1, 2：熱赤外観測チャンネル

当の範囲の1 か月平均値の精度として5 ppb（1000 km メッシュ、3 か月平均値の精度として34 ppb）とする。さらに、インバース解析によるCO₂フラックス推定に関し、陸上では500 km 四方相当、海上では2000 km 四方相当の範囲の推定誤差をさらに減少させ±100%とする（亜大陸レベルでのネット吸収排出量の算出誤差を地上観測データのみの場合と比較して半減する）。

4. JAXA における将来ミッション研究

JAXA においては、既存のALOS, GCOM, GOSAT, TRMM/GPM, EarthCARE などの地球観測衛星シリーズ以外に新規の観測センサの研究、海

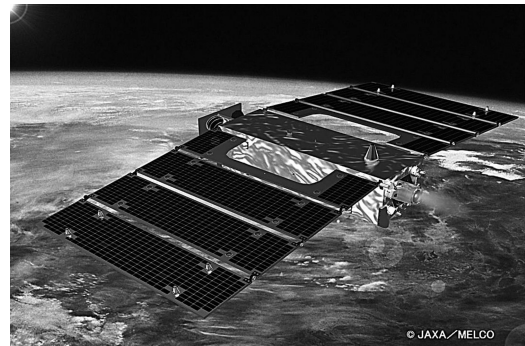
洋、食料などの特定の分野における新規ミッションの創出、および JAXA 理事長の諮問機関としての有識者からなる「地球圏診断委員会（委員長：安岡善文）」とその分科会において新規ミッション創出検討などが実施されている。この検討状況は、日本地球惑星科学連合（JpGU）大会やさまざまなワークショップなどを通じて、逐次、公開されている。2017年度以降の具体的なミッションとしては、ISS JEM 曝露部搭載を目指したミッションとしての植生ライダー、静止衛星大気・気象ミッション、干渉 SAR を用いた海面高度計、サブミリ波ミッション、食料安全保障ミッションなどの検討が進められている。

植生ライダーは、将来の衛星搭載・高性能ライダー開発の長期宇宙技術実証、および地球観測ミッションとしてバイオマス推定のための樹高の高精度観測が期待されている。また、静止衛星大気・気象ミッションでは、イメージングフーリエ分光計（I-FTS）により、アジアの広域大気汚染物質の分布・動向を常時観測する観測視野内の“波長別画像情報”と“位置別分光情報”を同時に取得するための技術および解析手法の実証を目指す。I-FTS では、時々刻々変動する大気動態を把握し、天気予報・大気汚染監視への応用を図ることを目指し、それぞれの研究コミュニティにおける科学的な検討、ならびに JAXA、関係機関と連携した技術検討が進められている。

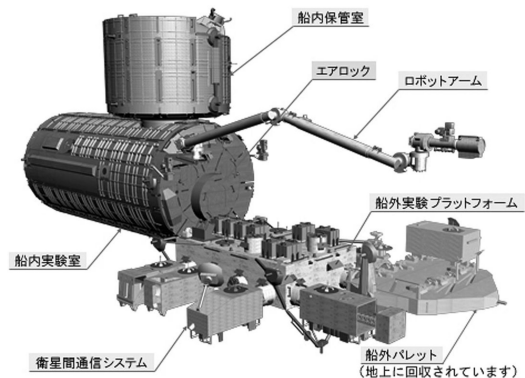
海洋分野においては、産学官の有識者から構成され JAXA が事務局をつとめる「海洋・宇宙連携委員会（委員長：山形俊男）」において、海洋に関するさまざまな分野での宇宙技術利用が議論されている。その中で、海面高度の分布を計測し、データ同化技術を適用することにより、沿岸・沖合域の海流予測精度向上に貢献できると期待される衛星高度計ミッションが提案されている。沿岸・沖合域の海流予測は、漂流ゴミ・放射性廃棄物等の漂流予測、船舶航行に伴う燃料消費削減等、海洋における様々な社会的課題解決に必要である。このため、これまでの欧米が運用している直下型の海面高度計とは異なる SAR を用いた干渉型高度計を JAXA では検討している。この干渉型高度計は面的計測を行うことから、サンプリング数が劇的に向上するとともに、空間分解能も向上するため、これまで衛星海面高度計データを利用できなかった日本周辺海域を含む沿岸域から沖合域、緑辺海の観測が可能になり、海流予測の精度を飛躍的に向上させることが期待できる。

これらに加えて JAXA においては、220 GHz、640 GHz のサブミリ波放射計などの研究が進められている。サブミリ波放射計は、厚い対流雲や上層雲に含まれる氷の量に関する 2 次元分布が高精度に観測できることから、気候変動予測モデルの改良に貢献するものと期待されている。また、産学官の有識者による衛星を用いた食料安全保障に関する研究会を JAXA が事務局をつとめて開催しており、研究コミュニティと連携し、農業ミッションに必要と見込まれる静止光学衛星の高空間分解能化や大型アンテナによるマイクロ波放射計の高空間分解能化などの研究を進めている。

他方、観測技術の研究・検討のみでなく、静止衛星あるいは数百 km の軌道高度での大中小の各クラスの適正な衛星プラットフォームを使った地球観測衛星群の構築の検討や、新たなプラットフォームとしての ISS JEM 曝露部（第10図）利用ならびに超低高度衛星の検討が進められている（http://www.eorc.jaxa.jp/ggdc/workshop/20110524/mt110524_01.pdf, 2013年2月24日閲覧）。超低高度衛星技術試験機



第10図 ISS JEM 曝露部（出典：JAXA）。



第11図 SLATS 外観図（出典：JAXA）。

第4表 JEM曝露部とSLATS（実用機）の諸元
（出典：JAXA）.

プラットフォーム	JEM 曝露部	SLATS（実用機）
軌道高度	330 km～440 km	180 km～250 km
センサ質量 （衛星全体）	200 kg 程度 (500 kg)	300 kg 程度 (1000 kg)
電力	3000 W	300 W
ミッション期間	指定なし	1.5年
特徴	- 電力等のサービスにより、センサの大型化が容易である。 - 宇宙飛行士による操作、交換、修理が行える。 - 他の機器との視野、通信について干渉の可能性がある。	- 低軌道であるため高分解能、低消費電力を実現（分解能$\propto$高度低下）。 - 原子状酸素の濃度が高く、観測機器の劣化が大きいことからミッション期間に制限あり。

SLATS（第11図）は、宇宙環境（軌道上）においてのみ確認可能な項目に限って実証実験を実施することとしており、実用段階では、災害監視、地球環境観測の他、学術面での新たなニーズに応えることが期待されている（第4表）。

5. おわりに

本稿では、主として地球観測衛星分野における、これまでのわが国の歩みと今後の計画について解説した。気象学や環境科学の分野において、衛星観測は重要なデータを提供するツールであり、とりわけ継続的な開発・運用が必須と考えられる。しかし、昨今、科学研究の分野においても、社会ニーズへの対応、行政貢献が予算要求や査定時の重要な指標とされ、特に大型の予算が必要となる衛星観測プロジェクトでは、科学的な重要性や研究上の必要性の主張だけではプロジェクトの実現は難しい状況となっている。

国の発展と国民の福祉に寄与するよう、限られた国家予算が適切に配分されることに関しては異論のないところであろう。科学技術の発展は国の発展と国民の福祉に大いに寄与するところであり、衛星観測に基づく気象学についてもまったく同様である。気象学や環境科学に携わる研究者・技術者からの適切な知見・情報の提供や、科学的な洞察に基づく本質的な提案が期待されることである、また十分な説明力を持つことが求められることになろう。本稿がそのような方向に

向かう上での参考となることを願うものである。

なお、本部会での今後の検討の材料とするため、ご意見等があれば、「日本気象学会学術委員会地球観測衛星部会」宛てに電子メールでお寄せ頂きたい（送付先：jmet soc@blue.ocn.ne.jp、件名を「地球観測衛星部会宛てコメント」として下さい。）。

略語一覧

ADEOS : Advanced Earth Observing Satellite
 AHI : Airborne Hyperspectral Imager
 AIS : Automatic Identification System
 ALOS : Advanced Land Observing Satellite
 AMSR : Advanced Microwave Scanning Radiometer
 ASNARO : Advanced Satellite with New System Architecture for Observation
 ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
 ATLID : Atmospheric Lidar
 AVNIR : Advanced Visible and Near Infrared Radiometer
 BBR : Broadband Radiometer
 CEOS : Committee of Earth Observation Satellites
 CIRC : Compact Infrared Camera
 CNES : Centre National d'Etudes Spatiales
 CPR : Cloud Profiling Radar
 CREST : Core Research for Evolutional Science and Technology
 DMSP : Defense Meteorological Satellite Program
 DPR : Dual-frequency Precipitation Radar
 DRTS : Data Relay Test Satellite
 ELISE : Experimental Lidar In Space Environment
 Envisat : Environmental Satellite
 EO-ICWG : Earth Observations International Coordination Working Group
 EORC : Earth Observation Research Center
 EOS : Earth Observing System
 ESA : European Space Agency
 GA : Geoscience Australia
 GARP : Global Atmospheric Research Program
 GCOM : Global Change Observation Mission
 GEO : Group on Earth Observation
 GEOSS : Global Earth Observation System of Systems
 GISTDA : Geo-Informatics and Space Technology Development Agency
 GMI : GPM Microwave Imager
 GMS : Geostationary Meteorological Satellite
 GOSAT : Greenhouse Gases Observing Satellite
 GPM : Global Precipitation Measurement

GSFC : Goddard Space Flight Center
 GSMap : Global Satellite Mapping of Precipitation
 HISUI : Hyper-spectral Imager Suite
 ICSU : International Council of Science Union
 I-FTS : Imaging Fourier Transform Spectrometer
 IGOS : Integrated Global Observation Strategy
 ILAS : Improved Limb Atmospheric Spectrometer
 IMG : Interferometric Monitor for Greenhouse Gases
 IPOP : International Polar Platform
 ISS : International Space Station
 JAXA : Japan Aerospace Exploration Agency
 JEM : Japanese Experimental Module
 JERS : Japanese Earth Resources Satellite
 JpGU : Japan Geoscience Union
 JPL : Jet Propulsion Laboratory
 JPOP : Japanese Polar Orbiting Platform
 JST : Japan Science and Technology Agency
 LOS : Land Observing Satellite
 MAGRAS : Magnetic & Gravity Satellite
 MDS : Mission Demonstration Satellite
 MESSR : Multispectral Electronic Self-scanning Radiometer
 MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
 MOS : Marine Observation Satellite
 MSI : Multi-Spectral Imager
 MSR : Microwave Scanning Radiometer
 MTSAT : Multi-functional Transport Satellite
 NASA : National Aeronautics and Space Administration
 NASDA : National Space Development Agency
 NICT : National Institute of Information and Communications Technology
 NIES : National Institute for Environmental Studies
 NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration
 NSCAT : NASA Scatterometer
 OCTS : Ocean Color and Temperature Scanner
 OPS : Optical Sensor
 PALSAR : Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
 PMM : Precipitation Measuring Missions
 POLDER : Polarization and Directionality of the Earth's Reflectance
 PR : Precipitation Radar
 PRISM : Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping
 RIS : Retroreflector In Space
 SAC : Space Activities Commission

SAR : Synthetic Aperture Radar
 SGLI : Second-generation Global Imager
 SLATS : Super Low Altitude Test Satellite
 SOFIS : Solar Occultation FTS for Inclined orbit Satellite
 TMI : TRMM Microwave Imager
 TOMS : Total Ozone Mapping Spectrometer
 TRMM : Tropical Rainfall Measuring Mission
 VIRS : Visible Infrared Scanner
 VTIR : Visible and Thermal Infrared Radiometer
 WMO : World Meteorological Organization

参 考 文 献

- 福田 徹, 2011: 日本の地球観測衛星計画30年. 日本リモートセンシング学会誌, **31**, 159-167.
 五十嵐 保, 2012: 次期地球観測衛星システムのJAXAにおける動向. 日本リモートセンシング学会誌, **32**, 88-96.
 小川俊明, 2011: 先進的宇宙システム「ASNARO」の開発. NEC 技報, **64**(1), 32-35.
 佐々木政幸, 操野年之, 2011: 静止地球環境観測衛星ひまわり 8号及び9号について. 日本リモートセンシング学会誌, **31**, 255-257.

補遺

参考文献以外で, 各種衛星・センサ, あるいはそれらの科学的成果の詳細について知る上で参考となる資料を以下に掲げる.

<ADEOS/ADEOS-II>

ADEOS Field Campaign off Sanriku / North Pacific, 1998: J. Oceanogr., **54**(5).

GLI・AMSR 特集号, 2009: 日本リモートセンシング学会誌, **29**(1).

Special Issue on ADEOS, 1999: IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., **37**(3), Part II.

Special Section on ADEOS-II Ocean, 2006: J. Oceanogr., **62**(3).

<ALOS>

ALOS 小特集号, 2007: 日本リモートセンシング学会誌, **27**(4).

Special Issue on Calibration and Validation of ALOS Sensors (PALSAR, AVNIR-2, and PRISM) and Their Use for Bio- and Geophysical Parameter Retrievals, 2009: IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., **47**(12).

<GCOM>

Imaoka, K., M. Kachi, H. Fujii, H. Murakami, M. Hori, A. Ono, T. Igarashi, K. Nakagawa, T. Oki, Y. Honda

- and H. Shimoda, 2010 : Global Change Observation Mission (GCOM) for monitoring carbon, water cycles, and climate change. *Proc. IEEE*, **98**, 717-734.
- <GOSAT>
- Kuze, A., H. Suto, M. Nakajima and T. Hamazaki, 2009: Thermal and near infrared sensor for carbon observation Fourier-transform spectrometer on the Greenhouse Gases Observing Satellite for greenhouse gases monitoring. *Appl. Opt.*, **48**, 6716-6733.
- 横田達也, 吉田幸生, 森野 勇, 内野 修, 松永恒雄, 渡辺 宏, S. Maksyutov, 2010 : 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」による地球環境計測. *日本赤外線学会誌*, **20**(1), 18-23.
- 横田達也, 吉田幸生, 森野 勇, 内野 修, 渡辺 宏, S. Maksyutov, 2012 : 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」の2011年度までの成果. *日本航空宇宙学会誌*, **60**, 338-344.
- <ILAS/ILAS-II>
- Nakajima, H., 2006: Preface to special section on ILAS-II: The Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II. *J. Geophys. Res.*, **111**, D20S90, DOI: 10.1029/2006JD007412.
- Sasano, Y., 2002: Preface to special section on Improved limb Atmospheric Spectrometer. *J. Geophys. Res.*, **107**, 8204, DOI:10.1029/2002JD002155.
- <PALSAR>
- Special Issue on the Kyoto and Carbon Initiative, 2010: *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, **3**(4).
- <SGLI>
- Honda, Y., H. Yamamoto, M. Hori, H. Murakami and N. Kikuchi, 2006: The possibility of SGLI/GCOM-C for global environment change monitoring. *Proc. SPIE6361, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites X*, 636106, doi:10.1117/12.689457.
- <TRMM>
- Special Issue on Precipitation Measurements from Space, 2009: *J. Meteor. Soc. Japan*, **87A**.
- The Joanne Simpson Special Issue on the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), 2000: *J. Appl. Meteor.*, **39**(12).
- TRMM Special Issue, 2000: *J. Climate*, **13**(23).

Overview of the Satellite Observation Plans in Japan

Yasuhiro SASANO^{*1,10}, Shinichi SOBUE^{*2}, Naoto EBUCHI^{*3,10},
Kozo OKAMOTO^{*4,10}, Masaki SATO^{*5,10}, Haruo SAWADA^{*6,10},
Kenji NAKAMURA^{*7,10}, Tadahiro HAYASAKA^{*8,10},
and Yoshiaki HONDA^{*9,10}

^{*1} (*Corresponding author*) *National Institute for Environmental Studies (Present affiliation: Association of International Research Initiatives for Environmental Studies).*

E-mail: sasano@airies.or.jp.

^{*2} *Japan Aerospace Exploration Agency.*

^{*3} *Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University.*

^{*4} *Meteorological Research Institute.*

^{*5} *Atmospheric and Ocean Research Institute, the University of Tokyo.*

^{*6} *Institute of Industrial Science, the University of Tokyo.*

^{*7} *Hydropheric Atmospheric Research Center, Nagoya University.*

^{*8} *Graduate School of Science, Tohoku University.*

^{*9} *Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University.*

^{*10} *Member of the Earth Observation Satellite Sub-committee, Meteorological Society of Japan.*

(Received 12 December 2012; Accepted 18 March 2013)