

次世代リモートセンシングデータの利用 —ASTER プロジェクト—

佐藤 功¹⁾

1. はじめに

第236回地質調査所研究発表会(1995年4月)において、表題の「次世代リモートセンシングデータの利用 —ASTER プロジェクト—」というテーマで通商産業省の宇宙開発プロジェクトの一つであるASTER プロジェクトに関する研究発表が行われた。本文は、その研究発表での内容をシリーズで紹介しようとする企画の一環で、ASTER センサの開発と利用に関するプロジェクト(ASTER プロジェクトと呼んでいる)の概要を紹介する。

近年、地球の温暖化、オゾン層の破壊、砂漠化の進行、酸性雨などの地球環境問題が国際的に活発に議論されるようになり、国際的な地球環境観測協力の必要性が高まるとともに、我が国の衛星計画も国際社会への積極的な貢献が求められている。衛星による宇宙からの観測は、このような地球規模の変動現象を調べる有力な手段と認知されている。しかし、衛星開発は多額の費用を伴うこと、地球環境観測では継続的な観測が必要であるにもかかわらず観測衛星の寿命(5年程度の設計寿命が一般的)が未だ限られていること、また地球環境を理解するには多種多様な観測項目を必要とすることなどから、国際的な観測協力は必須と言えよう。しかも、地球環境観測は単に衛星に搭載したセンサによって種々の観測をすれば済むものではなく、その観測データの解析と評価が重要な目的である。そのため、多数の研究者の協力を得つつ実施すべきであることは言うまでもない。ASTER プロジェクトについても同様で、日米のみならず国際的な観測協力の一翼を担うものである。なお、ASTER というセンサ名は、Advanced Spaceborne Thermal Emission and

Reflection Radiometer の略であるが、「星」をイメージするアスタリスク(asterisk)と、ひな菊の花の名称であるアスター(aster)とを関係づけたものである。

2. 地質調査所でのリモートセンシング研究の流れ

地質調査所では、米国が1972年に地球資源技術衛星 ERTS(のちに、LANDSAT と改名)を打ち上げた頃から衛星映像の地質分野における利用研究を開始した。この初期の頃は世界的に見て、写真地質判読の黎明期であり、「衛星映像から何がわかるか」ということを研究する段階で、衛星写真からの判読要素やその記載方法などの確立が研究の主眼であった。つまり写真地質学の要素研究による学問としての体系作りが主として行われた。その後、衛星写真からの写真地質判読によるリニアメント記載などによる地質構造図等の作成を主とする研究が行われるようになった。

航空機による合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar: SAR)が利用可能となり、我が国でも1980年にサンシャイン計画での「全国地熱資源調査」の一環で全国規模の航空機 SAR 画像取得が初めて新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)により行われ、全国の断裂系が解析された。地質調査所は積極的にこの研究事業に取り組んだ。

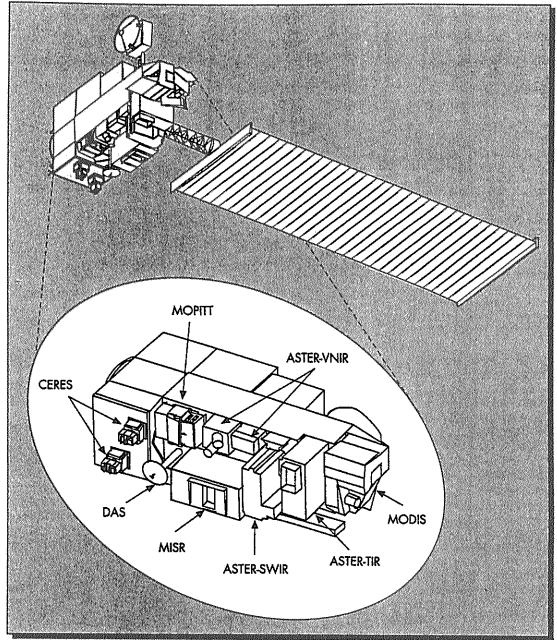
さて、地質調査所のリモートセンシング研究における大きな転機となったのは、通商産業省が宇宙開発事業団と分担して地球資源衛星(JERS-1)の開発プロジェクトを1984年に開始したことであった。すなわち、通商産業省が開発を担当した2つのセ

1) 地質調査所 地殻物理学部

キーワード: ASTER, リモートセンシング, EOS 計画, 地球観測

ンサ(1つは、L-バンド合成開口レーダ SAR であり、もう1つは光学センサ OPS である。)のユーザ要求仕様の検討等に地質調査所が参画することとなった。これは、宇宙用センサ開発に地質調査所が研究参画した最初である。OPS は空間分解能も極めて高いが、その最大の特徴は短波長赤外域に複数の観測バンドがあることと、立体視機能を有することである。そのため、地質調査用センサと言える。地質調査所では、岩石などのスペクトルに関する基礎データが極めて不足していたため、岩石や鉱物等の可視—短波長赤外域での反射スペクトルデータの測定や短波長赤外域でのデータ利用方法の研究を開始した。これらの成果として岩石等のスペクトルデータベースの構築や野外調査用放射計の開発を行うとともに、衛星データの利用面では定量的な地表物質のスペクトル解析に重点を置いてきた。世界的にもイメージング・スペクトロスコピー技術が注目を浴び、航空機搭載の高スペクトル分解能センサが開発され、脚光を浴びるようになっていたことも背景にあった。例えば、米国のジェット推進研究所(JPL)の開発した AIS (Airborne Imaging Sensor) というセンサでは可視—短波長赤外域で64バンドの観測が可能なるものであり、航空機から物質の反射スペクトルを識別することが現実的になってきていた。そして、反射スペクトルデータによる岩石等の分類技術に関する研究が本格的に試みられるようになった。

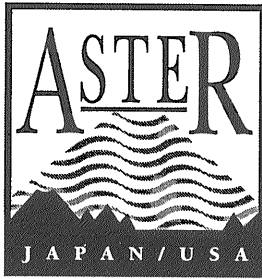
さらに JERS-1 に引き続いて、衛星搭載のセンサ技術でも熱赤外センサ開発に期待が寄せられるようになり、利用面では可視—近赤外での酸化鉄物(赤鉄鉱など)の識別技術、短波長赤外での粘土鉱物(モンモリロナイトや明パン石)や炭酸塩岩(石灰岩やドロマイト)の識別技術の要が明らかにされつつあったこともあり、熱赤外での火成岩の識別技術および火山研究での高精度な地表温度の計測技術へと研究課題も変化し、ASTER センサの開発に積極的に参画するようになった。現在は熱赤外域のスペクトルデータの計測を柱とし、計測データとしてのリモートセンシングデータ利用手法等の研究が続いている。



第1図 EOS-AM1 衛星と ASTER センサなどの概観図。ASTER：改良型衛星搭載熱輻射・反射放射計，ASTER-VNIR：可視—近赤外放射計，ASTER-SWIR：短波長赤外放射計，ASTER-TIR：熱赤外放射計，MISR：多重角度イメージング分光放射計，CERS：雲及び地球放射エネルギーシステム，MOPITT：対流圏汚染測定装置，MODIS：中解像度イメージング分光放射計

3. ASTER プロジェクトと EOS 計画

ASTER は、1992年1月に打ち上げられた地球資源衛星1号(JERS-1)「芙蓉」に搭載された OPS (Optical Sensor：光学センサ)の後継センサとして位置づけられている。すなわち、OPS での観測バンドを拡充するとともに、立体視機能等を高度化している。また、ASTER センサはユーザ指向を徹底したセンサであり、利用者を代表するサイエンスチームが開発プロジェクトの中で明確な役割を担いつつ、かつ国際協力の枠組みの中で開発が進められている。ASTER は米国が国際公募した際に日本から提案し採用されたセンサであり、米国 NASA (航空宇宙局)が米国の国家プロジェクトとして推進している EOS (Earth Observing System：地球観測システム)計画の一翼を担っている。ASTER センサは1998年6月に打ち上げ予定の衛星(EOS-AM1)に搭載されることになっている。EOS-AM1 衛星には ASTER センサ以外にも色々

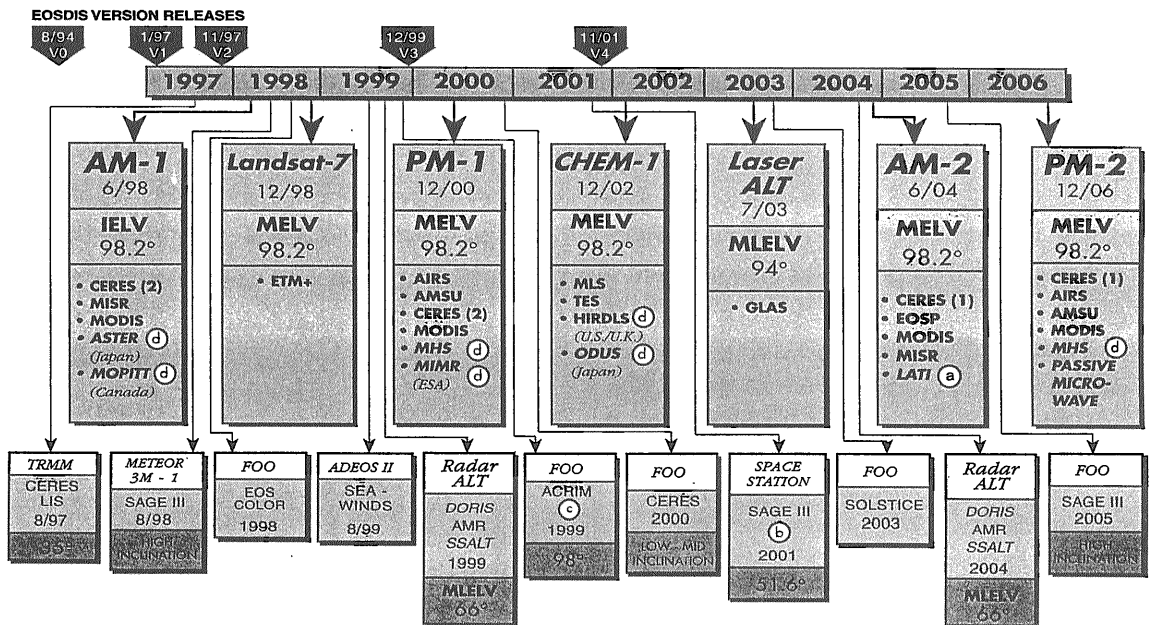


第2図
ASTERの日米協力を
表すロゴマーク

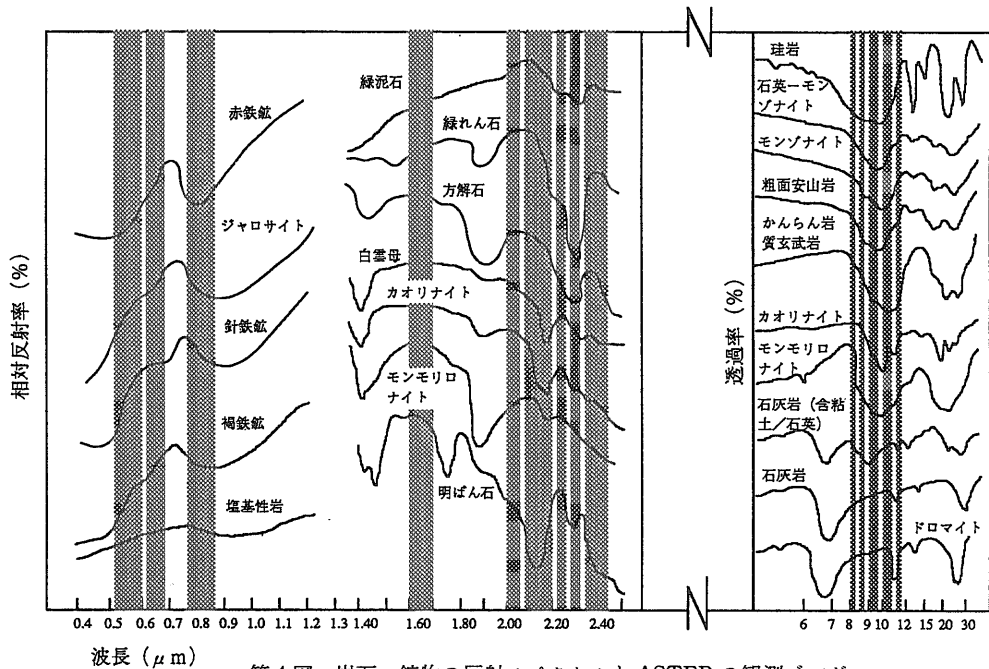
なセンサ(CERES, MODIS, MISR, MOPITT など)が同時に搭載される(第1図)。ASTER センサの開発は日本側で行われ、センサを搭載するための衛星本体は米国 NASA が開発する。そして、ASTERの開発及び利用については、センサチームおよびサイエンスチームが組織されている。このうち、ASTER サイエンスチームは主に日本及び米国の研究者によって構成されている。第2図はASTERのロゴマークであり、この協力関係を物語るものである。

米国の EOS 計画は、人間活動による地球規模での変化(Global Change)を理解することを目的とする研究プロジェクトである。つまり、地球がどのように1つのシステムとして機能しているかを詳細に調べようとする研究である。地球は地圏、水圏、気圏、氷圏、そして生物圏(この中に人間活動が含まれる)から成り、それらの間の複雑な相互作用の

結果として今現在の地球の姿がある。このような最近話題にされてきている「地球システム」をまず理解するために EOS 計画は立案された。そのため、EOS 計画は、(1)宇宙からの観測システム(センサや衛星など)、(2)データ及び情報システム、そして(3)科学的研究プログラムの3つの柱から構成されている。このようなプロジェクトの構成は非常に合理的で誰もが異論のないものであるが、当然のことに巨大なプロジェクトになっている。そして、このEOS 計画は、20年以上ものかなり息の長い研究プロジェクトであり、宇宙システムについても各々の観測ミッションを実現するために必要な様々なセンサを搭載する複数の衛星を打ち上げることが計画されている(第3図)。しかし、最近では米国の財政事情の悪化によって、当初の計画立案時から次第にEOS 計画も変化してきている状況にある。例えば、この計画に投入する資金的な面は言うに及ばず、観測の主な目標も「全地球規模の変化」から「気候の変化(Climate Change)」へと焦点が変化している。これは、当初には大型プラットフォーム衛星が想定されていたが、その衛星の大きさも縮小され、同時に搭載されるセンサも厳選されたことや打ち上げロケットも安上がりなものへと変更されたりして、コスト削減が厳しく行われた結果である。もともと、計画の初期段階でサイエンス分野におけるプライオ



第3図 EOS 計画での衛星打ち上げスケジュール



第4図 岩石・鉱物の反射スペクトルとASTERの観測バンド

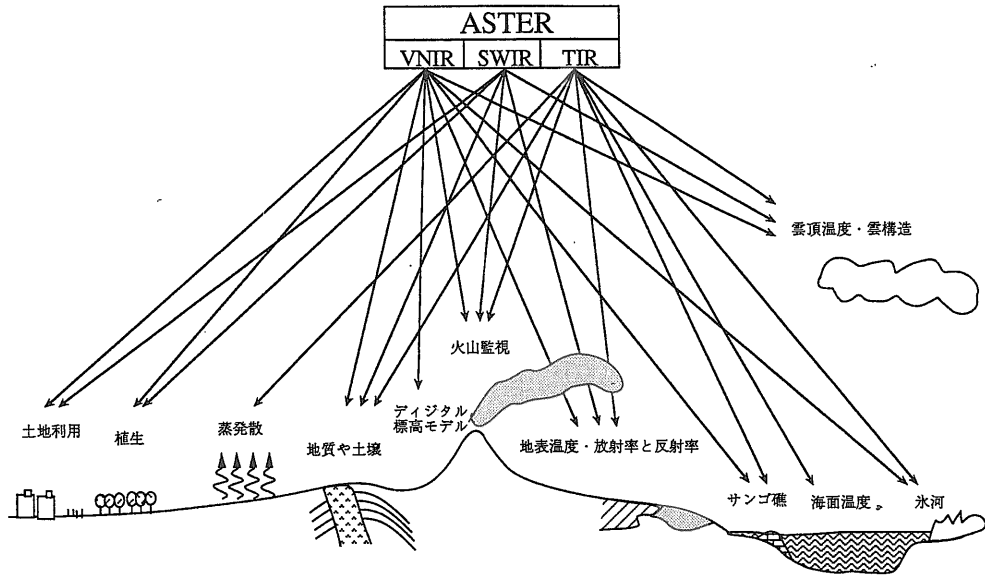
リティ付けが検討されていたので、プライオリティの低いものから徐々に削られて、プライオリティが高かった気候や大気関係の観測に絞られたためである。

4. ASTER センサの特徴と目的

ASTER センサは、OPS と同様に高空間分解能の多波長光学イメージャで、地球表面の陸域を主たる観測対象にしている。OPS の観測波長帯は可視から短波長赤外の領域で、主に地球による太陽エネルギーの反射光の観測を目的とするが、ASTER では、OPS の観測波長帯に加え、さらに地球からの熱放射も観測できるように熱赤外域に5つの観測バンドがある。熱赤外バンドの観測運用では、地表の温度を反映した放射エネルギーが計測対象であることから、昼夜の区別なくデータ取得が可能である。OPS では7つの観測バンドがあるが、ASTER では短波長赤外域のバンドも OPS よりも増え、合計で14の観測バンドを有する。

ASTER センサは、その観測波長帯がかなり広いことから、ハードウェア上は3つのセンササブシステムから構成されている。すなわち、可視—近赤

外域観測用の VNIR(可視—近赤外放射計)、短波長赤外域用の SWIR(短波長赤外放射計)、そして熱赤外域用の TIR(熱赤外放射計)サブシステムである。これらは各観測波長帯毎に検出素子が違うこと等からそれぞれに最適なセンサ設計を行うために分離されている。VNIR, SWIR, そして TIR の空間分解能はそれぞれ15 m, 30 m, 90 m で、観測バンド数はそれぞれ4(後述する立体視バンドを含む)、6, そして5バンドである(第4図)。地球表面の観測刈り幅は60 km である。空間分解能が高いために、観測幅がやや狭くなっている。そのため、EOS-AM1 衛星の隣接する軌道距離間隔(172 km)を1回の衛星パスではカバーできないので、センサの観測方向を変えることができるように側方へのポインティング機構が用意されている。このポインティングにより、通常の衛星の回帰周期は16日であるにもかかわらず、サイエンス研究面からは火山噴火等のモニタリングのために数日に1度のように高頻度で観測したいという要求にも応えられるようになっている。また、DEM (Digital Elevation Model; デジタル標高モデル)が作成可能なように、OPS と同様に VNIR には軌道方向での立体視機能も有する。なお、立体視機能については、フラ



第5図 ASTERの利用研究分野の概要

ンスが打ち上げた SPOT 衛星のような側方立体視と OPS で採用した軌道内立体視(前方視と後方視とがある)とがある。ASTER では、光学センサの最大の欠点でもある雲に覆われた地域を観測できないという点を考慮して、立体視観測データのペアがほぼ同じ雲被覆確率となるように軌道内立体視を採用している。そして、衛星の軌道が太陽同期であり、日中に北極方向から赤道へ下がってくる(Desending)ことを考慮し、直下視画像と立体視画像とで実体視が比較的容易となるように太陽照射されている地形起伏面を観測するよう直下視一後方視方式を採用した。さらに目視で実体視した時の起伏の誇張率が OPS より高くなるように B/H 比を 0.6(OPS では 0.3)にしている。ASTER を搭載する大型プラットフォーム衛星 EOS-AM1 は高度約 708 km の極軌道へ投入されることになる。

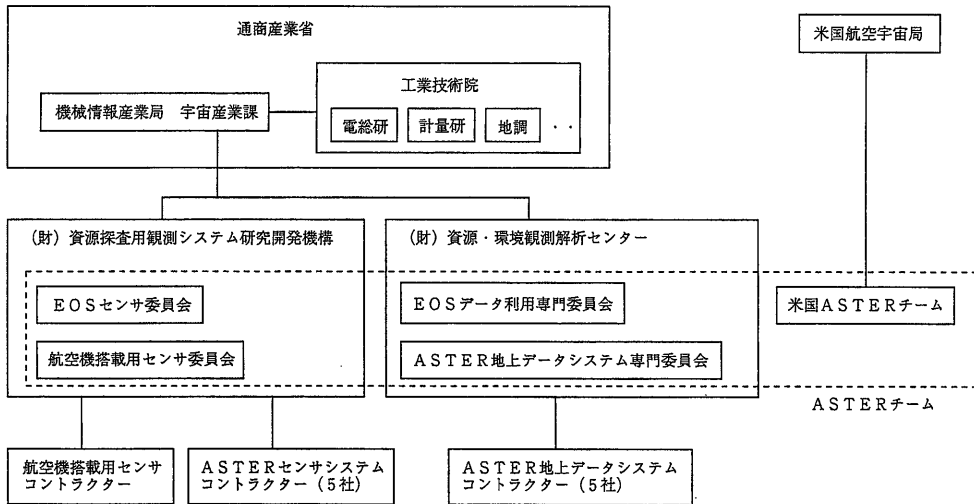
さて、第 5 図は ASTER のそれぞれのサブシステムごとの観測ターゲットを示したものである。3 つのサブシステムを組み合わせることで、その利用研究分野が、土地利用、植生、地質・土壌、火山噴火、氷河、雲、海洋などかなり広範になっていることがわかる。ASTER では、地表の地形や地質(土壌も)のマッピングにより表層地質現象などの研究に貢献すること、植生の分布状況とその変化を把握すること、地表温度分布の把握により地表と大気

の相互作用を理解すること、火山噴火のモニタリング等により火山ガスの大気への影響を調べること、雲のタイプ区分や大気中のエアロゾルの把握に貢献すること、珊瑚礁のタイプ区分や分布の把握により炭素循環における珊瑚礁の役割を理解することなどを目的としている。また ASTER では、定量的にスペクトルデータを取得することを念頭に、センサの校正にも重点を置いている。

ASTER による熱赤外域の複数バンドでの観測については我が国として研究利用の面でも未知な点が多いこともあり、センサ打ち上げ前に航空機搭載のセンサによるテストデータを取得し利用研究を推進する必要があった。このため、ASTER の航空機シミュレータ(ASTER Airborne Simulator: AAS)の開発もプロジェクトの中で行われている。AAS のような航空機センサでは、飛行の都度、地上でその校正ができること、そして事前に AAS データから ASTER センサで取得されるであろうデータを模擬できることなどにより、応用アルゴリズム開発が加速できると期待している。

5. ASTER プロジェクト体制とサイエンスチーム

ASTER プロジェクトは、日米協力体制が基本と



第6図 ASTER プロジェクトの実施体制

なっている。このセンサを搭載する衛星 EOS-AM1 の開発、衛星の打ち上げ、衛星とセンサの運用、観測データ受信は米国 NASA が分担し、ASTER センサの開発は通商産業省が分担している。観測データからデータプロダクトの作成・配布などの地上データシステムは日米が協力することになっている。サイエンスチームについては日米の混成チームであり、様々な研究分野で互いに協力している。

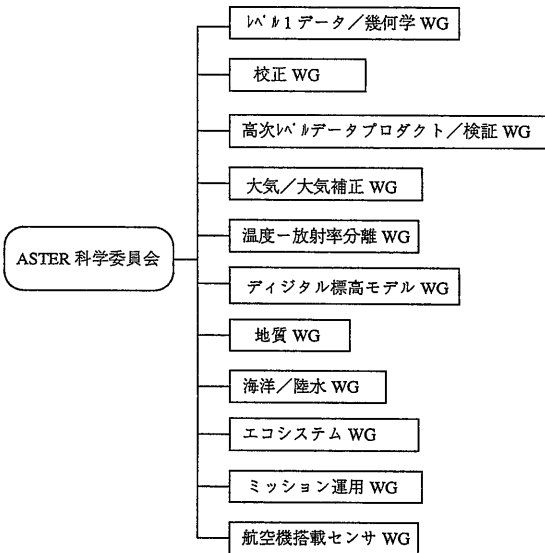
ASTER プロジェクトの実施体制(第6図)は、宇宙産業課が全体のプロジェクト管理を担い、工業技術院研究所(電子技術総合研究所, 地質調査所, 計量研究所)が必要な時には技術的なアドバイスを行う。

ASTER プロジェクトは、ASTER センサの開発と地上施設の開発、そしてサイエンス研究とに3分割される。センサの開発は(財)資源探査用観測システム開発機構が責任を持ち、センサチームが技術的な支援を行っている。地上施設の開発は、(財)資源・環境観測解析センターが責任を担い、地上データシステム委員会が支援している。一方、アルゴリズム開発等のサイエンス研究は ASTER サイエンスチームが責任を有している。このサイエンス研究を(財)資源・環境観測解析センターが支援する体制である。

サイエンスチームを統括しているサイエンスチームリーダーは(財)資源・環境観測解析センター(ERSD-

AC)の津氏であるが、特に米国側にも NASA の承認のもとに米国 ASTER サイエンスチームリーダーがいて、ジェット推進研究所(JPL)の A. B. Kahle 女史が米国チームリーダーを務めている。サイエンスチームにはいくつかのトピック毎に WG が作られていて、日米のチームメンバーが各 WG(第7図)に属して ASTER センサに密接な研究を進めている。このサイエンスチームの担う役割は、ASTER の運用や主要なデータプロダクト生成のためのアルゴリズム開発、センサ校正とデータプロダクト検証などをはじめ、そのプロダクト検証に必要な航空機センサシミュレータ(AAS)の運用調整にまで及んでいる。このサイエンスチームは一般の利用者を代表するとともに、利用者との橋渡しをも担っているので、事前の事例研究などを通して ASTER センサの有用な点などを PR する役割もある。現在の WG としては、レベル1 データプロダクト作成のサイエンスアルゴリズム作成を担う WG, ASTER センサの幾何学的な事項を検討する WG, 立体視機能によるデジタル地形モデル(DTM)を作成するアルゴリズム開発を担う WG, 地質応用を研究する WG, エコロジー応用を研究する WG, 海洋・沿岸域分野への応用を研究する WG, 大気研究や可視から熱赤外までの大気補正のアルゴリズム開発を担う WG, センサ校正を担う WG, 温度-放射率分離アルゴリズムを研究する WG, 高次データプロダクトをまとめる WG, そして AAS の運用調

ASTER 科学チームリーダー : 津 宏治
米国ASTER 科学チームリーダー: Anne. B. Kahle



第7図 ASTER サイエンスチームのWG構成

整と利用を研究するWGである。このようにセンサの開発過程においては、その具体的な利用までに解決しておく事柄が数多く存在する。それらの事前の研究が無ければセンサデータの有効な利用に結びつかない。そのため、サイエンスチームは2回/年の頻度で日米合同のチーム会合を行い、お互いの意見や研究成果を交換し、活動方針などを密接に調整する努力をしている。

6. むすび

ASTER プロジェクトについての概要をまとめた。ASTER プロジェクトは日米が協力して進めているもので、地球を理解するために様々な分野の第一線で活躍している多くの日米の研究者がサイエンスチームとして参画している。ASTERはこのような新たな開発体制のもとで、1998年6月にEOS-AM1衛星に搭載されて打ち上げられようとしている。この打ち上げまでの準備が日米両国で着々と進められており、撮像データの利用が楽しみである。ASTERを利用した研究の一層の推進のために広く研究者等に呼びかけることも計画されているので、多くの利用者の参画を望みたい。

文 献

Yamaguchi, Y., Tsu, H. and Fujisada, H. (1993): Scientific basis of ASTER instrument design. Proc. SPIE, Vol. 1939, pp. 150-160.

Fujisada, H. (1994): Overview of ASTER instrument on EOS-AM1 platform. Proc. SPIE, Vol. 2268, pp. 14-36.

Asrar, G. and Greenstone, R. (Editors) (1995): 1995 MTPE EOS REFERENCE HANDBOOK. p. 277.

津 宏治 and Kahle, A. B. (1995): ASTER プロジェクトの概要について。日本リモートセンシング学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 2-7.

財資源・環境観測解析センター(1995): 資源リモートセンシング概論: 資源探査のためのリモートセンシング実用シリーズ(1). p. 223.

SATO Isao (1996): Utilization of Advanced Remote Sensing Data — ASTER Project —.

〈受付: 1996年1月24日〉