21世紀の地球観測と資源情報*

坂田 俊文¹ 須藤 昇²

Earth Observation for Resource Management in the 21st Century

by Toshibumi SAKATA¹ and Noboru SUDO²

1. Prof., Dr., Tokai University, Tokai University Research and Information Center, Tomigaya, Shibuya-ku, Tokyo 153
2. Research Associate, Tokai University, Tokai University Research and Information Center

1. はじめに

最初の人工衛星スプートニクが打ち上げられたのは1957年であった。そして、本格的な地球観測を行うための人工衛星の登場は1972年のLANDSATまで待たなければならなかった。現地調査が主であった資源探査の世界において、上空約900 kmの高度より、広範囲を瞬時に観測できる衛星リモートセンシング技術の出現によりその探査方法は大きく変化した。衛星センサの特性を生かした解析法は特に資源探査における事前調査において成果を挙げたのである。そこで、衛星リモートセンシングの歴史を振り返り、21世紀に向けた衛星開発・センサについて話を進めたい。そして、21世紀における地球環境や資源に関する期待を述べたい。

2. 衛星リモートセンシング

2・1 衛星リモートセンシングの歴史

まず、人工衛星によるリモートセンシングの歴史を振り返ってみよう。

スプートニク以来、世界各国での宇宙開発競争が始まり、次々とロケットを打ち上げ、惑星探査機や人工衛星を宇宙に送り出してきた。初期には失敗が続いたが、徐々にその技術は向上され、安定して人工衛星を軌道にのせることができたのが60年代の前半である。この頃になると米国とソ連（ロシア）が宇宙開発で主導権を握り、次々と気象観測衛星を打ち上げ、宇宙からの気象データを得るようになった。

この初期の気象観測衛星シリーズはTIROSで、続いてESSA、そしてNOAA (ITOS)と1970年代の終わり頃まで続いた。そして、TIROS-Nとして新シリーズのNOAAが次々と打ち上げられ、現在も引き続きミッションが行われデータが送られている。1960年代の後半になると多目的の気象衛星としてNIMBUSが打ち上げられ、オゾン、紫外線、海温分布、太陽エネルギーなどのさまざまな項目の観測機材が搭載されるようになった。NIMBUSは7号まで打ち上げられ、特に極地方におけるオゾンに関

する貴重なデータを送り続けた。

国際的な共同の地球観測は全地球の気象観測である。これは赤道上空36,000 kmの軌道に配置された静止軌道衛星によるものである。この軌道上において秒速3 kmで周回すると地球上から静止しているように見える。そのため、静止軌道と呼ばれるのである。1974年に打ち上げられた米国のGOES、次に日本のGMS（ひまわり）、ESA（欧州宇宙機構）の担当するMETEOSAT、最後にインドが担当するINSATである。計、GOES・EASTとWESTを加えて5機の衛星で地球全球を観測している。

2・2 衛星地球観測の始まり

1972年にNASAが初めての気象観測衛星以外の地球観測衛星を打ち上げた。LANDSAT (Land Satellite) である。極方向へ地球を縦に周回し観測する極軌道で、太陽同期準回帰軌道をとっている。特別な衛星を除いて地球観測衛星はほとんどこの軌道をとっている。太陽同期軌道では、同一緯度の場所では毎日同一の地方時に同一方向に衛星が通過する。このため、太陽光の入射角をほぼ一定にできることから、太陽の反射光を利用する受動型センサでは、観測条件を一定にできるという利点がある。しかし、回帰軌道では地球全体をカバーすることができず、通常の地球観測衛星はN日ごとに同一地点を通過する準回帰軌道を使用している。

当初、LANDSATはERTSという名称で呼ばれており、その略称は、Earth Resource Technical Satelliteからきている。そのまま訳すと地球資源（探査）技術衛星という名前である。当時はスパイ衛星という言葉が世の中に登場してきた時代であり、この名称から地球上の資源情報をアメリカがすべて取ってしまうのではないかという誤解が生じ、そのために名称が変更になったという経緯があった。初期のLANDSATは外見上においてはNIMBUSと同じであるが、センサを地球観測のための画像撮影用に変え、多波長のスキャンニングセンサ（MSS）とリターンビーム・ビジコン・カメラ（RBV）の2種類が搭載された。このシリーズは1号から3号まで続いた。4号から設計が大幅に変わり、MSSに加えてセマティック・マップパー（TM）が搭載された。

MSSは空間分解能約80 mであり、TMは空間分解能30 mである。高度約712 kmの軌道上から、飛行方向に対して左右にスキャンニングするシステムで地表185 kmの幅を観測している。1シーンの画像は185 kmの幅に対して軌道方向へ同じく185

* 1997年6月16日受付 8月20日受理

1. 工博 東海大学教授 東海大学技術センター・宇宙情報センター所長

2. 東海大学助手 総合科学技術研究所 東海大学情報技術センター研究員

〔著者連絡先〕 FAX 03-3481-0610 (東海大学情報技術センター)

キーワード：人工衛星、センサ、地球観測、災害監視、資源探査

km の正方形の大きさを持ち、約 25 s で撮影する。画像センサは CCD でスペクトルの幅は可視、近赤外域をカバーしている。センサの捉えるスペクトルすなわち見える色の範囲は、人間の目の感じる領域から近赤外、熱赤外のように目に感じることでできない温度の領域まで広げてある。MSS センサでは 4 バンド、TM センサでは 7 バンドに分けて観測し、それぞれを信号に変換し地上の受信局に送信してくるのである。ランドサットは TM センサの搭載により、地球観測と同時に、資源探査への道が広がったといえる。

人工衛星による地球資源探査について簡単に述べてみよう。人工衛星のデータは広範囲を撮影できる。そのデータより、地形の様子を観測できる。資源の種類によっては、特徴的な地質構造を持つ場合があるため、地質構造の判読によって資源探査を行うことも可能である。それに加えて、人工衛星のセンサにはスペクトル情報を持つものがある。物体はそれぞれ固有の電磁波に対する特性を持つので、あらかじめ探査対象の母岩等のスペクトル特性を調べておけば、衛星データより判読が可能な場合がある。LANDSAT の TM センサにおいて、短波長赤外域にある 2 バンドによって、変質帯の識別や、炭化水素鉱床の貯留層としての重要な石灰岩などの識別、マッピングを行った例が知られている。

フランス初の衛星は SPOT (Satellite Probatoire d'Observation de la Terre) と呼ばれ、1986 年に 1 号機、1990 年に 2 号機、1993 年に 3 号機が高度約 832 km の軌道の上に打ち上げられた。この衛星は高解像度の HRV (High Resolution Visible Imaging System) と呼ばれる CCD センサを 2 台搭載している。HRV は可視から近赤外の範囲を 3 バンドで 20 m の地表分解能を持つマルチスペクトル (XS) モードと、1 バンドで 10m の空間分解能を持つパンクロマチック (PA) モードがあり、インドの IRS、日本の ADEOS が登場するまでは、商業衛星の中ではもっとも高解像度の衛星であった。SPOT はいまままでの衛星にはなかったセンサの方向を変化させることが可能であり、衛星直下の画像だけではなく斜め方向の観測も可能である (ポイティングと呼ばれる)。これにより、特定の地域の連続観測周期を 4~5 日間に短縮することができるようになった。またステレオペアの画像を撮影できるように、標高データの作成が可能になった。

日本初の地球観測衛星は、MOS-1 (Marine Observation Satellite-1) である。MOS-1 は 1987 年、そして後継機の MOS-1b は 1990 年に種子島宇宙センターから打ち上げられた。設計寿命を数年ずつオーバーして活躍し、多くのデータを地上に送り続け、1996 年に衛星ミッション機器の寿命が付き、観測を停止した。可視近赤外放射計 (Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer: MESSR) を中心とする 3 つのセンサを搭載し観測を行った。MESSR は観測幅 100 km、可視域 2 バンド、近赤外 2 バンド、地表分解能は 50 m であり、本来の目的であった海域の観測より、陸域でのデータの利用が多く、大規模災害等の監視等に利用され、海外での利用も多い衛星であった。

次にあげる 2 つの衛星は略称が同じであり、合成開口レーダ (SAR) というマイクロ波を利用したアクティブセンサを搭載しているという点でも似ているが、その観測目的はかなり違う。打ち上げ国の状況を反映していて興味深い。

ヨーロッパのリモートセンシング衛星第 1 号 ERS-1 (European Remote-Sensing Satellite) は欧州宇宙機関 (ESA) で 1991 年に打ち上げられた衛星である。搭載センサは C バンドの SAR のほかに測風マイクロ波散乱計 (SCAT)、レーダ高度計 (RA) などが搭載されている。海洋、海水分布、海上風、海洋循環等の観測に主点を置いている。

日本の資源探査衛星である J-ERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite-1) は資源探査を主目的に国土調査、農林漁業、環境保全、防災、沿岸監視等の観測を行う地球観測衛星で 1992 年に打ち上げられた。搭載センサは L バンドの SAR の他に光学センサ (OPS) があり、可視域から短波長赤外までの 7 つのバンドに分けて持ち、4 バンドの短波長赤外では岩石や鉱物の識別が可能である。地表分解能は 18 m × 24 m で観測幅は 75 km である。可視・近赤外バンドに前方立体視センサを積んでおり、精度の高い立体視 (同一時期による) を可能としている。

この、ほぼ同時期に打ち上げられた 2 つの衛星を比較してみると、ヨーロッパの経済において北大西洋、北極海の環境変動監視がいかに重要であるかが分かり、日本においては陸域の資源開発が重要であるということが分かる。

1996 年 8 月に打ち上げられた日本の最新の地球観測プラットフォーム技術衛星 ADEOS (ADvanced Earth Observing Satellite) は日本のロケットである H-II によって打ち上げられた衛星であり、プラットフォーム上には公募したセンサを含めて 8 センサを搭載した新しいタイプの国際的な衛星である。

ADEOS は地球温暖化、オゾン層の破壊、熱帯雨林の減少、異常気象の発生等の環境変化を全地球レベルで観測データを取得すると同時に、次世代地球観測衛星開発のための技術開発を目的とした衛星である。高性能可視近赤外放射計 (AVNIR) および海色海温走査放射計 (OCTS) の 2 センサを中心に、米国、フランス、日本の通産省・環境庁等の公募センサが搭載されている。地球温暖化ガス、オゾン量の測定をするセンサが搭載され、世論の地球環境監視に対する関心の高さを反映している。しかし、1997 年 6 月 30 日に太陽パネルの故障により、永久機能停止した。わずか 10 カ月の寿命であった。

2・3 光学センサの空間分解能とスペクトル分解能

空間分解能というのは識別可能な地表の大きさと考えればよい。図 1 に挙げたが、近年センサの高解像度化が進んでいるのが分かる。高解像度化によって、より詳しく地表面の状況が観測できるようになった。しかし、スペクトル分解能を考えると長波長側においてはセンサの地表分解能を上げるのは技術的に困難な点も多い。また、高空間分解能センサでは、当然、そのデータ量は莫大なものとなる。衛星から地上局へデータを転送する場合、データ転送能力の制約等を受け、送れるデータ量も決まってくる。そのため、観測幅が狭くなり、バンド数も限られているのが現状である。

資源探査等の利用においては広範囲なスペクトルに対し高いスペクトル分解能 (バンド数) が重要なポイントとなり、高空間分解能を持ち、スペクトル分解能も高いセンサの出現が待たれている。1998 年に米国で打ち上げ予定の EOS-AM-1 衛星に搭載される ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) は可視・近赤外・熱赤外の間 15 バンドを持ち、地表分解能もそれぞれ 15 m・30 m・90 m であり、地球環境問題等に対する利用に期待がもてる。

2・4 マイクロ波センサ

光学センサは受動的に太陽光による物質の反射吸収を測定している。それに対し、合成開口レーダ SAR はアクティブなセンサであり、センサがマイクロ波を送信し、その広報散乱を測定している。光よりもはるかに長い波長域で観測しているため、雲、雨、一部の植生等を通過して、直接地表面の情報を得られるという利点がある。

SAR (Synthetic Aperture Radar) が初めて非軍事衛星に搭載されたのは米国の SEASAT であり、1978 年のことである。周波数は L バンドであり、空間分解能は 25 m であった。その後

図1 Spectral Band-Resolution of Sensor.

NASA は、スペースシャトルから SIR-A (1981), SIR-B (1984) による観測を行っている。そして、1990 年代に入ると、ESA の ERS-1 や日本の J-ERS-1 が打ち上げられ、一番新しい SAR 搭載衛星はカナダの RADARSAT (1996) である。まさに、SAR によるリモート・センシングの本格化する時代が到来したといえる。マイクロ波リモート・センシングは人間の視覚とは大きく異なった波長帯の電磁波の相互作用に依存しており、その特性の研究が進められている。

SAR はサイドスキャン方式のレーダの一種である。その動作原理について簡単に説明する。

レーダは高度一定の線上を直線的に進行しながら右側方向斜め下方に、マイクロ波パルスを送信し、地表面からの反射パルスを受信していく。図2にレーダと地表面との空間的關係を示す。進行方向に対して直角な方向(レンジ方向)に対しては、パルスの往復に要する時間が地上のレンジ方向の位置と1対1に対応する。したがって、アンテナビーム幅(図の θ)が十分に小さければ、レーダの進行とともに2次元的な走査ができることになる。これが実開口レーダに相当する。レーダのアンテナが大きいほど地上分解能が良くなる。しかし、人工衛星に搭載できるアンテナの大きさは必然的に定まってくる。そこで、短いアンテナでも地上分解能を高める方法が考え出された。それが、合成開口レーダである。SAR では、レーダが次々と異なった位置をとりながらパルスを送信・受信していくことを利用して、実効的に長いアンテナを合成する。それによって、アジマス方向(レーダの進行方向に平行な方向)のビーム幅を実効的に狭める。地上のある一点はレーダが図の L_{sa} (実アンテナによる地上のアジマス方向のビーム幅)の距離を移動する間、観測され続けるので、合成可能な最大アンテナ長は L_{sa} に等しい。このとき、アジマス方向の空間分解能がアンテナの実際の長さ D の2分の1に等しくなることが示される。 L_{sa} は合成開口長とよばれる。衛星搭載 SAR の場合、 L_{sa} と D の比は数1,000に達する。

レーダが地表面上の幅 L_{sa} からの反射波を同時に受信しながら、その信号をアジマス方向に関して細かく区分できる理由を、ドップラーシフトを用いて説明することもできる。すなわち、進行方向に関して前方からの反射波は高い周波数に、後方からの反射は

図2 SAR 概念図

低い周波数にドップラーシフトする。真横から反射波は周波数に変化しない。周波数とアジマス方向の位置は1対1に対応しており、もしも狭い帯域のバンドパスフィルターを多数並べて信号を取り出せば、アジマス方向の位置に応じた信号が得られることになる。レンジ方向の空間分解能はSAR、実開口レーダとも、パルス幅と光速の積の2分の1に等しい。多くの場合、空間分解能を高めるためにパルス圧縮という技術が使われている。

3. 地球観測と次世代センサ

3・1 地球環境モニタリング

地球環境問題は現在の人類に与えられた大きな問題である。大気圏、水圏、地圏そして生物圏とさまざまな領域で起きている複雑な現象や変動は、早急な観測や解析が望まれている。そのため環境観測や環境モニタリングがさまざまな方法で行われている。ここでは、先に述べてあるような人工衛星を利用する地球全体の環境を監視する手段としての環境モニタリングを中心にして述べることにする。

地球が太陽から受けるエネルギーは膨大で、特に光エネルギーは生物の存在にかかわるものとして重要なものである。地球に照射される広範な電磁波エネルギーのうち可視および赤外、特に赤外から熱赤外エネルギーによって地球環境を支配するようになって

ている。これらの光エネルギーは大気、海洋、地表の温度を上昇させ、地球全体に温度分布の異なる環境を出現させる。水循環は蒸発から雲を生成させ、降雨降雪によって地球全域に水分を分配させる。また、極地方や高山地帯を雪水で覆い、堆積した雪氷は氷河となってゆっくりと移動して行く。光と水は生物を地球上に登場させ、植物と動物が生存するようになる。こうして地球誕生以来、46億年の時間はさまざまな環境を作り上げながら自然のリズムを繰り返してきた。地球の現在における環境の状況を観測するためには、地球創世以来の変動歴史と自然という複雑な構造を十分に把握しなければならない。また、刻々と変わる状況の変化をも捉えて行かなければならない。このように地球観測はさまざまな複雑な観測をすべき項目があり、従来にない新しいモニタリングが必要である。グローバルな観測としては地球観測衛星が最適なのである。

3・2 観測する対象について

地球規模での観測対象は現時点での現状の把握と現象の解明であり、個々の現象や変化の状態の物理的又は化学的計測である。現状の把握においては広域を周期的に短時間で観測できる機能が必要である。そして、これら対象地域の変化や状況の分類や計測ができ、局部的変化や経年変化などを知ることができる。これらの計測の結果で地球の温暖化や気候変動に基づく放射やエネルギーの収支現象を解明しなければならない。そのためにはエネルギーの循環を始め大気中の水分、雲、降水量、土壌の水分、海水の蒸発散などの水循環、化石燃料、森林や農地等に関連した炭素循環・窒素循環などを計測し研究しなければならない。そこで対象とする分野は以下の通りである。

- ・大気化学：温室効果ガス、オゾン等、エアロゾルなど
- ・大気ダイナミクス/水・エネルギー循環：大気温度、風、水蒸気、降水量など
- ・海洋ダイナミクス：海面温度、ジオイド、塩分など
- ・海洋生物：海色、海洋生物など
- ・雪氷：積雪水量、氷床分布、氷床高度、海水分布など
- ・陸域：地質、地形、土地被覆、植生、水分など

以上のような代表的な観測対象を人工衛星に搭載したセンサから観測する。高度数100 kmの上空から遠隔に観測するための高度の技術が必要とする。特に対象とする地表から大気圏上層までの層状の分布を圧縮して観測することもありさまざまな技術的な開発が伴う。したがって衛星に搭載するセンサのデータと地上の対象物や地域での検証をする陸上のグラントゥールスや海上のシートゥールスが重要である。

これからの地球観測の中で問題になるのは災害への対応である。人工衛星によるグローバルな観測は大規模災害の把握に最適である。衛星は周期的に観測や監視ができるため、災害の前後データを正確に得ることができる。そのデータを基に災害の発生予測も可能になっている。災害監視も地球観測の重要なポイントである。地球観測の役割を図3に示す。

3・3 これからの観測センサ

人工衛星に搭載する観測センサは主として2次元平面に広がるデータを観測する。このセンサの研究、開発および選択に当たっては観測対象とその領域を十分検討しなければならない。また、センサを搭載する衛星やプラットフォームの軌道、傾斜角、周期、高度、観測幅などが問題となる。これらを前述の領域別にみると、

大気圏化学の観測では成層圏での微量成分の観測と成層圏・対流圏の地球規模の観測に分けられる。軌道は主に極軌道で前者は太陽非同期軌道、後者は太陽同期軌道である。成層圏の微量気体、その気温、気圧また温室効果ガスの濃度分布などは赤外放射分光

図3 人工衛星による地球観測技術の役割

計が用いられ、エアロゾル・雲・水蒸気分布などはレーザ大気サウンダおよび高度計が使われる。成層圏・対流圏の地球規模の観測では、成層圏オゾンの濃度分布を紫外線撮像分光計で観測し、対流圏の温室効果気体濃度・分布や水蒸気の鉛直分布には Tunable Etalon リモート・サウンダを利用する。対流圏・成層圏微量気体の測定には Fabry-Perot 逆変換分光計が考えられる。

大気・海洋大循環の観測ではマイクロ波放射計のセンサが中心でレーザ大気風サウンダや多モードCバンド合成開口レーダなども用いられる。この領域の観測では極軌道と低傾斜軌道の衛星が用いられる。

極域・雪氷圏は高緯度地域を中心に主に極軌道の衛星に搭載されるセンサによって行われる。マイクロ波放射計やレーザ大気サウンダ等を中心に可視・熱赤外域のセンサで高頻度の観測が計画されている。特に天候に左右されない SAR データも有効である。

氷床や海水の高度の測定ではレーダやマイクロ波による高度計が用いられる。

海洋生物過程の測定では、沿岸域の海水色を可視および熱赤外

表1 次世代観測センサ

AMSR	: 改良型マイクロ波放射計 (Advanced Microwave Scanning Radiometer)
地球環境のグローバルな水循環のメカニズムを解明するための水文要素(水蒸気量、雲水量、積雪水量等)を1.4~180Ghzのマイクロ波の放射測定により観測する。	
GLI	: グローバルイメジャー (Global Imager)
可視~熱赤外の領域で海洋の生物過程を中心とした炭素循環の解明、陸域の植生環境の変化、火山、洪水、海面水温などの高頻度のモニタリングを行う。	
LIDAR	: レーザ大気サウンダ及び高度計 (LIDAR)
差分吸収法ライダーによる全球の水蒸気・大気微量成分の鉛直分布観測及び高度計モードでの南極・グリーンランドの温室効果による氷床高度変化の測定、海面高度の測定を高精度で行う。	
TERSE	: チューナブルエタロン地球遠隔測定装置 (Tunable Etalon Remote Sounder of Earth)
近赤外太陽光の地球反射光をチューナブルエタロンで操作することによって、これまで測定できなかった対流圏微量気体(CH ₄ 、H ₂ O、N ₂ O、CO ₂)の高精度の鉛直分布を測定する。	
FPITS	: ファブリペロー逆変換分光計 (Fabry-Perot Inverse Transform Spectrometer)
ファブリ・ペロー干渉計のエタロン板を走査し、そのインターフェログラムの逆変換という新しい分光法によって地球大からの赤外放射のスペクトルを得て、対流圏及び成層圏の気微量気体(O ₃ , CFCs, HCl など)の鉛直分布を測定する。	
TOMUIS	: 3次元オゾン分布紫外撮像分光 (Three-dimensional Ozone Mapping with Ultraviolet Imaging Spectrometer)
太陽紫外光の地球大気後方散乱光の波長と空間強度分布を2次元的に同時に記録し、成層圏オゾン高度分布の精密測定を行う。	
SLIES	: 成層圏周縁大気赤外放射分光計 (Stratospheric Limb Emission Spectrometer)
マイケルソン干渉計により成層圏微量気体鉛直分布の多成分同時測定を行う。	
ISTG	: 改良型温室効果気体干渉分光計 (Interferometric Spectrometer)
マイケルソン干渉計により1~15μmの地球大気放射を0.025cm ⁻¹ の分解能で測定し、対流圏、成層圏中の微量気体成分及び気温の水平鉛直分布を得る。	
MILES	: 周縁大気ミリ波放射分光計 (Millimeter-wave Limb Emission Spectrometer)
60~640GHz帯の大気周縁方向の放射観測を行うことで、広範囲な大気オゾン、微量気体成分、気温、気圧、対流圏と成層圏の相互作用の観測を行う。	
SCAT	: マイクロ波散乱計 (SCATterometer)
海上風による海面のマイクロ波散乱断面積の変化を3本のアンテナによって異なる方向から観測して海上風ベクトルを測定する。	
HLAS	: 高分解能周縁大気赤外吸光分光計 (High resolution Limb Infrared)
エシェレ回折格子による2次元デバイス上に大気周縁方向の吸収スペクトル線のエシェログラムを結ぶことにより、多成分の微量成分ガスの同時測定を行う。	
DPR	: 2周波降水レーダ (Dual frequency Precipitation Radar)
14および35GHzで地球規模の大気大循環、水循環の主要な要素である降水量の3次元レーダ観測を行う。また海面からの散乱波を用いて海上風速の測定も可能と考えられる。	
ADALTR	: 改良型レーダ高度計 (Advanced radar ALTimeter)
海面高度の精密測定により海洋大循環、ジオイドなどの観測を行う他、海上風、波高の測定を行う。極域においては氷床高度の測定を行う。	
MCSR	: 多モードCバンド合成開口レーダ (Multimode C-band Synthetic Aperture Radar)
3方向にビームを照射することで、海上風、波浪スペクトル、海洋フロント、渦などの海洋エネルギー収支を支配する全ての要素の観測が行える。陸域のレーダ映像の取得も行う。	
LAWS	: レーザ大気風観測器 (Multi-frequency and Multi-polarization SAR)
2μm帯の短波長赤外線レーダを大気に向けコニカル状に射出することにより、対流圏エアロゾルの運動から風ベクトルを求める。	
M ² SAR	: 多周波・多偏波合成開口レーダ (Multimode -frequency and Multi -polarization SAR)
L,C,Xの3バンドでかつHH,HVの2偏波で陸域と大気との間の水収支、熱収支を規定する土壌水分量及び積雪水量を測定する。	
PART	: 粒子カウンタ (PARTicle counter)
地球へ飛来する微粒子(宇宙塵)の個数及び主要ガス成分を分析する。これにより地球の生産活動外の地球環境への寄与を調べる。	
SP	: スペクトロメータ (Spectrometer)
可視~赤外の領域を高波長分解能で放射測定を行うことにより主として陸域の植生環境の精密な測定を行う。	
COAST	: 沿岸域高分解能放射計 (COASTtal Spectrometer)
沿岸域の海水色を高分解能(30~60m)で取得する。また海面水温も90mの分解能で併せて取得し、陸と海岸との水を介する循環を調べる。	
IMB	: 高分解能植生観測センサ (Investigator of Micro-Biosphere)
植生環境の高分解能調査を行う。	

(参考資料：リモートセンシング推進会議第一次中間報告書)

域の高分解能放射計によって測定する。この領域の観測では海岸と沿岸域の関係から陸域と海域の観測センサを併用してデータ処理が行われるようになる。水文過程では全地球観測と1日単位の変化の観測が必要でマイクロ波放射計と降雨レーダによる観測、可視から熱赤外による植生の観測とレーザ大気サウンダおよび高度計による水蒸気鉛直分布の測定などの組み合わせによって行われる。

陸域の中心は高分解能光学センサであり、SAR データも用いられている。地形、土地被覆等の分類精度を向上させるには地上分解能の高いセンサが望まれる(表1)。

4. 21 世紀の地球資源

鉱物資源の探査や地下に埋蔵される化石燃料等の資源の探査に人工衛星データが利用されるようになってから四分の一世紀が経った。20 世紀に培われてきた資源探査のノウハウに加え、物理探査技術の向上、そして、資源探査がより効率よく行える新センサの開発によって、21 世紀においては地球上の鉱物・エネルギー資源の把握がさらになされるだろう。しかし、21 世紀は新しい視点でもう一度地球に目を向ける 100 年と言わざるを得ない。地球上の資源は当然のことながら限りがある。化石燃料の枯渇が 20 世紀初頭で問題視され盛んに取りあげられてきた。しかし、21 世紀の地球にとって大きな問題となる資源、それは農林資源、水産資源なのである。なぜ、もっと地球に目を向けなければならないかというと、21 世紀の地球でのもっとも大きな問題、それは人口の増加である。産業革命以来、約 200 年で約 10 億であった世界の人口は今世紀末には 60 億人を超え、2050 年には 100 億人を超えるであろうと推定されている。そして、その膨大な人口を支えていくのに必要な資源は当然、化石燃料や鉱物資源、食糧資源や水資源であろう。人口増加に伴って、地球温暖化に始まる気象変動、熱帯雨林の減少で象徴される環境破壊等が加速的に進んでいくと考えられる。その中で、最も影響を受けるのは、農林資源、水産資源である。化石燃料や鉱物資源の生産量は地球環境の変化の影響を受けることは少ない。しかし、気象変動等の地球環境変化の影響を強く受ける食糧資源や水資源をどのようにして確保していくのか、それが問題である。農林水産資源すべてが、

地球規模のさまざまな変動の中でその生産量が左右されることは当然のことである。土壌劣化や海洋の汚染、異常気象の中でどのような生産計画を立てればよいのだろうか。そして、また、その鍵となるのが水循環である。地球上の川、湖、沼、海、大気、雲、雪、氷河、海水、地面、そして、植生の中に形を変えて存在する水、それらの水の動きが気象現象を左右し、かつ、それが食糧生産に直接結びつくのである。地球環境の厳重な監視の基に、地球上のエネルギー収支を解明し、重要な水循環のメカニズムを解明し、コントロールできるようになることが 21 世紀において重要な課題と思える。

5. 最 後 に

21 世紀の地球環境を解明するのはグローバルな地球観測によるデータの蓄積と解析が重要なポイントとなると考える。今後開発される次世代センサを搭載した衛星から多量な地球観測データが地球上に送られてくることになるであろう。そして、地球観測データを解析するための技術や地球観測ネットワークなどの整備も必要になる。21 世紀においては情報もまた資源となるのである。国境を超えた地球情報ネットワークの確立が急務である。

引 用 文 献

- 1) 坂田俊文：地球を観測する、NHK ブックス (1990)
- 2) 坂田俊文：「地球汚染」を解説する、情報センター出版局 (1991)
- 3) 坂田俊文：「太陽」を解説する、情報センター出版局 (1991)
- 4) 日本リモートセンシング研究会：図解リモートセンシング、(財)日本測量協会 (1992)
- 5) (財)資源観測解析センター編：資源探査のためのリモートセンシング実用シリーズ、①資源リモートセンシング ②宇宙からの地球観測システム ③合成開口レーダー (SAR) ④資源探査への応用(1) ⑤資源探査への応用(2)、(財)資源観測解析センター (1993)
- 6) [監修] 坂田俊文：地球環境セミナー①～⑦巻、オーム社 (1993)
- 7) 坂田俊文：ポピュラー・サイエンス 地球、丸善出版 (1993)

参 考 資 料

- 1) FY3 地球環境観測委員会報告書 (1991)
- 2) FY4 地球環境観測委員会報告書 (1992)
- 3) リモートセンシング推進会議第 1 次中間報告書 (1992)
- 4) リモートセンシング推進会議第 2 次中間報告書 (1993)
- 5) リモートセンシング推進会議第 3 次報告書 (1993)