

## 第1回地球観測衛星研究連絡会の報告

## 1. はじめに

早坂忠裕 (総合地球環境学研究所)

地球観測衛星研究連絡会は2003年度に新たに立ち上げられた研究連絡会で、衛星観測に関連する気象・気候研究の推進、衛星観測に基づく気象・気候研究計画や地球観測衛星計画そのものへの提言を行うことなどが主な目的である。現在、塩谷雅人(京都大学)、高橋暢宏(情報通信研究機構)、中島 孝(宇宙航空研究開発機構、現在・東海大学)、日暮明子(国立環境研究所)、早坂忠裕(総合地球環境学研究所)が幹事を務めている。

本研究連絡会の第1回会合が、2004年度日本気象学会秋季大会初日(10月6日)の夕方にアクロス福岡において参加者約70名を得て開かれた。今回は最初の会合ということもあり、地球観測衛星データを用いた研究の現状について中島映至(東京大学)、林田佐智子(奈良女子大学)の両氏の報告があり、その後、木村俊義氏(宇宙航空開発研究機構)からわが国の地球観測衛星の運用の現状および将来計画等について紹介があった。

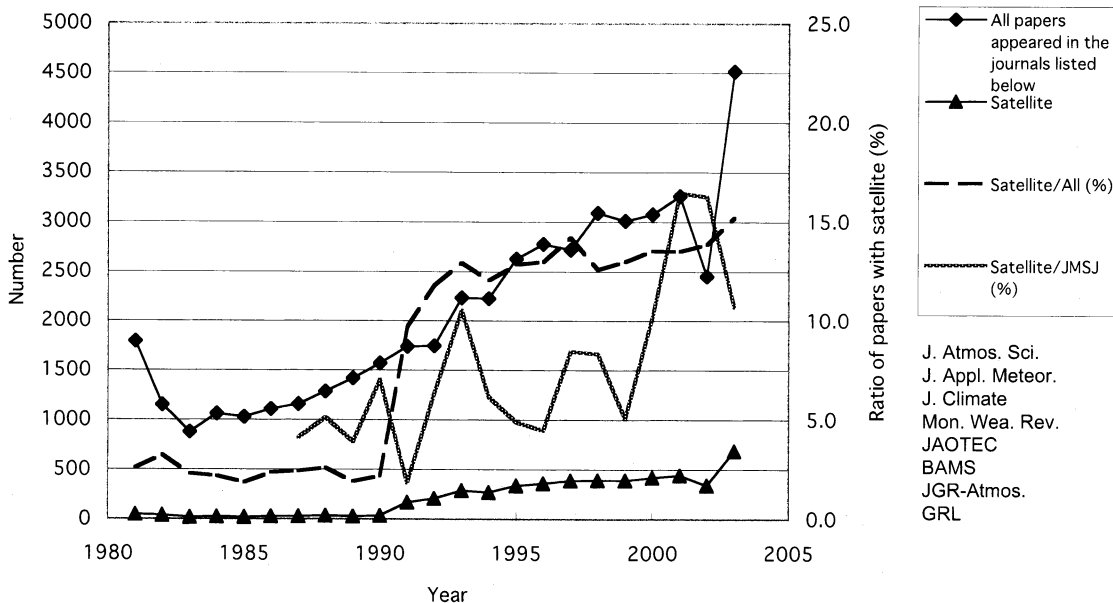
以下に各氏の講演の概要を記すが、その前に衛星データを用いた気象・気候研究(ここでは大気化学等の学際的分野も含む)がどの程度行われているのかということ把握するために、主な学術雑誌に掲載された論文数に占める衛星関連研究の割合を見てみよう。

第1図は1981~2003年の間に刊行された米国気象学会の雑誌を中心に、Journal of the Atmospheric Sciences(J. Atmos. Sci.), Journal of Applied Meteorology (J. Appl. Meteor.), Journal of Climate (J. Climate), Monthly Weather Review (Mon. Wea. Rev.), Journal of Atmospheric and Oceanic Technology (JAOTEC), Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS), Journal of Geophysical Research-Atmosphere (JGR-Atmos.), Geophysical Research Letters (GRL)に掲載された論文数の推移と衛星関連の論文数、およびその割合を示している。

これらのデータは各雑誌のキーワード検索によって得られたものである。これらの中で、GRLには気象・気候関係の論文だけではなく他の地球物理の分野も含まれている。また、キーワードも単にsatelliteだけではなく、Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)やGeostationary Meteorological Satellite (GMS)等、具体的なセンサーや衛星の名前も使用しており、その選択は十分客観的とは言えないかも知れない。しかしながら、それでも過去20年余りの傾向はおおよそ知ることができると思われる。図中には同時に気象集誌 Journal of the Meteorological Society of Japan (JMSJ)に掲載された論文数のうち衛星関連の論文数の割合も示されている。気象集誌についてはキーワード検索が行える年数は限られているので、筆者が論文タイトルと要旨から判断した。ちなみに気象集誌に掲載されている論文数は年間60~70編程度である。

この図を見ると、まず論文総数が1980年代の中頃と比べて最近では3倍以上に増加しており、衛星関連の論文が占める割合も2~3パーセント程度で推移していたものが1990年頃から衛星観測関連の論文数の割合が急激に増加していることがわかる。割合にして13パーセント程度という値であるが、論文の数そのものは700編を超えている。その内訳を具体的に見ると、Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES), METEOSAT, GMS等の静止気象衛星、AVHRR, Total Ozone Mapping Sensor (TOMS), Special Sensor for Microwave/Imager (SSM/I)のデータ解析に係るものが主で、2000年からはTropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)関係の論文が急激に増加している。1990年頃からの衛星関連論文数の急激な増加の要因としては、各種観測衛星のハードウェアの進展もさることながら、大気中の放射伝達に関する研究が進み、コンピューターの発展ともリンクして、衛星データの定量的な解析が格段に進んだことが挙げられる。一方、気象集誌の場合は、

Papers with satellite (1981-2003)



第1図 1981~2003年の間に J. Atmos. Sci., J. Appl. Meteor., J. Climate, Mon. Wea. Rev., JAOTEC, BAMS, JGR-Atmos., GRL に掲載された論文数の推移と衛星関連の論文数, およびその割合を示す。また, 気象集誌の論文数に占める衛星関連の論文の割合も示す。

2001年と2002年に増加しているが, これは TRMM 関連の論文によるところが大きい。

衛星データを利用して気象学, 大気科学の研究を行う人は今後も増加するものと思われる。本研究連絡会では, 学会における衛星データを用いた研究に関する意見交換の場を設けて研究の推進を図るべく活動して行く予定である。

## 2. 衛星による大気観測の将来について

中島映至 (東京大学気候システム研究センター)

### 2.1 衛星による大気観測

衛星によってさまざまな大気パラメーターが得られるようになってきた。温度, 水蒸気量, 風向, 風速などの基本気象要素については, イメージングによる2次元分布やサウンディングによる各層のプロファイルが得られるが, 雲域や陸域での検知能力の向上が課題になっている。そのために赤外放射計やマイクロ放射計の高度化と多波長化が進んでいる。また, ヨーロッパ宇宙機関 (ESA) の Earth Explorer 2 に搭載される ADM-Aeolus ドップラーライダーなどの新しい手法も登場しつつある。大気下端の情報として, 海面風速も大気物理量として重要であり, そのために散乱計や

放射計による様々な手法が工夫されつつある。このような基本気象要素に加えて, 大気環境や物理化学過程の研究のために, さまざまなパラメーターが観測されている。これらには各種微量気体濃度, エアロゾルや雲の光学的厚さ, 層厚, 物質体積, 有効粒子径, 粒子形状等があり, アメリカ航空宇宙局 (NASA) の Earth Observing System (EOS) 等の地球観測ミッションが実施された1990年代から急速にその技術が発達してきた。すなわち, この時期から36チャンネルの Advanced Earth Observing Satellite-II/Global Imager (ADEOS-II/GLI) や EOS/Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) などの高感度・多波長イメージャーが登場し, エアロゾルと雲の微物理パラメーター等がそれまでの AVHRR 等の気象センサーよりも格段に精度良く導出できるようになってきた。また, 偏光観測による陸域エアロゾルや青色チャンネルを利用したエアロゾル型分類が可能になった。また, ADEOS/Interferometric Monitor for Greenhouse Gases (IMG), EOS/Tropospheric Emission Spectrometer (TES), Environment Satellite/Michaelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding (ENVISAT/MIPAS) 等の波長分解能の良

い分光放射計が登場してきて、様々な気体濃度の精度の高い導出が可能になってきた。このような個々のセンサー利用とともに、これらを組み合わせた複数のセンサーを使ったアルゴリズムも登場している。例えば、TRMM 搭載の可視・赤外イメージャー Visible Infrared Scanner (VIRS) とマイクロ波放射計 TRMM Microwave Imager (TMI) を同時使用すると、雲粒径の鉛直分布がある程度推定できる。その結果、雲粒径の鉛直分布がエアロゾル量と成層安定度によってきれいに分類できるようになった。

もうひとつの重要な観測項目として、放射エネルギー量そのものがある。もともと、リモートセンシング観測は電磁波によって行われるために、すべてのリモートセンシングは放射エネルギー量の観測であると言えるが、決められた波長域の放射エネルギーを  $1\text{W}/\text{m}^2$  以下の精度で観測するためには特別にデザインされた放射計が必要である。地球・大気系のエネルギー収支の研究のためには、大気上下端での放射エネルギー量を決定するミッションが Earth Radiation Budget Experiment (ERBE) や EOS/Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) 等によって行われてきたが、最近では、アクティブセンシング法によって各層での放射エネルギー収支を正確に求めるミッションも提案され始めた。また、METEOSAT Second Generation (MSG) の METEOSAT-8 には Geostationary Earth Radiation Budget Experiment (GERB) と呼ばれる放射収支計が積まれており、地球ディスクの放射収支を一度に測定できるようになった。

このように近年の衛星リモートセンシングは、様々な手法の開発、多波長化、広波長域化、高空間分解能化の方向に進んでいる。それによって近紫外、可視、赤外、マイクロ波をカバーする高機能システムが気象業務のような現業に供される現業衛星にも搭載される可能性が出てきた。また、実用に耐えられるアクティブセンサーが登場してきた。例えば、長寿命の降雨レーダー (TRMM, Global Precipitation Mission (GPM)), ライダー (ICESat/GLAS, CALIPSO), 雲レーダー (CLOUDSAT) などが開発されている。さらに EarthExplorer3/EarthCARE ではドップラー型雲レーダーが搭載される計画がある。この中で、可視・近赤外イメージャーやレーダー技術については、我が国は世界と競争できる技術力を持っている。今後、衛星センサーはまだ大きく進歩する余地があり、我が国でも世界的リーダーを育成してゆく必要がある。

## 2.2 重要な大気観測ミッション

近年の大気観測ミッションは、前節で概観したような大気パラメータの測定を最適に組み合わせてデザインされるが、ミッションの目的の観点からは次のようなものが挙げられる。まず古くから、気象予報業務と気象データ解析にとって役立つ現業の気象観測ミッションが気象機関によって維持されてきた。この目的のためには、短い観測時間間隔 (1 時間以下)、全天候型、夜間観測が可能なが重要であり、全球静止気象衛星システムが Coordination Group for Meteorological Satellites (CGMS) などの気象機関の連携によって実現されている。将来は、例えば METEOSAT Third Generation (MTG) 静止衛星の High Resolution Fast Imagery (HRFI) 等によって  $1\text{ km}$  視野、5 分程度の間隔で地球ディスクを走査することが可能になる。また TRMM 衛星の成功によって、気象レーダーを利用した GPM 衛星群による全球降水モニタリングシステムも可能になり始めた。

また最近では、気象観測に近いがより即応性の高い観測システムによる災害監視、環境監視に役立つミッションが各国で注目を浴びている。その対象には集中豪雨、豪雪、濃霧、火災、道路凍結、航空管制等の様々な応用が考えられ、我が国でも、文部科学省の「安全・安心な社会の構築に関する科学技術政策」等のかけ声に呼応して衛星観測計画が議論されている。このような目的のためには、常時観測と高分解能観測が必要で、準天頂衛星群や合成開口レーダー衛星群による日本付近の高頻度観測網も議論されている。しかし、災害監視・環境監視については我が国だけでなく、例えば、アジア全域の重要な問題でもあるので、高頻度観測とカバーできる領域についてのトレードオフを良く検討する必要があるだろう。

これらの短期現象を観測するミッションのほかに、気候研究とそれに基づく再現、予報技術の改善に貢献できる長期観測ミッションも、近年、地球温暖化研究等のためにその重要性を増している。このような研究のためには、様々なデータを長期間、均質に供給する必要がある。従って、このようなミッションのためには、長寿命で安定な衛星システムの開発と、また、様々な衛星観測データを長期的にアーカイブするようなシステムを構築する必要がある。アーカイブすべき長期データとしては、基本気象要素や海面温度のほか、雲量等の雲パラメータが気候モデリング研究の観点から重要である。すなわち、雲は温暖化シミュレーショ

ンにおける大きな不確定要因のひとつであり、例えば東大気候システム研究センター(CCSR)と気象研究所の大循環モデルが示す大きな気候感度の違いは、主に計算された雲分布の違いに起因する。従って、現在の気候モデリングでは雲が温暖化を加速するか減速するか問いに確実に答えることはできない。このために、国際衛星雲気候計画(ISCCP)などによって長期にアーカイブされた雲量、光学的厚さ、雲頂温度がモデルの検証作業によく行われている。しかし、雲は鉛直方向に複雑な構造をしており、イメージャーなどの受動型センサーではその詳細な観測が困難である。そのために、NASAのA-Train計画によってイメージャー、ライダー、雲レーダーによる雲の3次元観測計画が進んでいる。また、ESA・宇宙航空研究開発機構(JAXA)・情報通信研究機構(NICT)によって共同開発中のEarthCARE衛星には、ライダー(ATLID)、ブロードバンド放射計(BBR)、ドップラー雲レーダー(CPR)、イメージャー(MSI)が搭載され、それが実現されればエアロゾル・雲・放射収支の間の相互依存性を詳細に観測できるようになる。

さらに最近では、分光器型放射計から得られる微量気体濃度やイメージャーからのエアロゾルパラメーターと言った大気化学過程に関係するパラメーターを長期間、アーカイブすることも可能になり始めた。また、京都議定書の実施にあわせて、これまで検知が困難であった二酸化炭素濃度分布の衛星観測研究も盛んになり始めている。現行衛星による研究のみならず、環境省の温室効果ガス技術衛星(GOSAT)やNASA/Earth System Science Pathfinder(ESSP)/Orbiting Carbon Observatory(OCO)などの新しい衛星ミッションも立ち上がり始めた。これに対応して、ヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)等の気象現業機関でも気象データのみならず、微量気体濃度やエアロゾルパラメーターをアシミレーションする計画が生まれ始めた。

### 2.3 ミッションの進化の方向

このように個々の衛星ミッションを見てくると、衛星観測の進化の方向が見えてくる。まず、ミッションは多目的になっており、1つの目的と分類することは難しくなっている。むしろ、複数の目的で衛星を利用する関係者が詳細な議論をもとに衛星計画を作る。このようなミッションの多目的化の一方で、衛星装備の観点からは単センサー衛星化の方向も生まれている。すなわち、ADEOS、ADEOS-II衛星の事故で明らか

ように、多数のセンサーを同時搭載するのでは、事故時の被害が膨大になり、かつそれを補足するミッションを早く立ち上げることが難しい。そのために、NASAのA-Train構想のように単機能の衛星を同一軌道に打ち上げて、システムとして多目的ミッションに対応するような構想が出てくる。これにより、ひとつのセンサーがダウンしても、代替センサーを緊急に打ち上げ易くなる。また、様々な応用目的の追加が可能である。このような新しい衛星観測システムが可能になって来たのは、衛星管制技術の進歩とともに、気候・環境モデルの進歩によって任意の時空間点で様々な大気パラメーターを精度良く算定できるようになって来たことにも依っている。今後はモデルのさらなる発達によって、A-Trainのみならず、複数衛星を一体として衛星観測システムと見なす考え方が一般的になって行くだらう。例えば、GPM衛星ミッション計画でも1台の降雨レーダーを搭載する母船とマイクロ波放射計を搭載する衛星群を組み合わせた降雨観測システムになっている。また、JAXA/Global Change Observing Mission(GCOM)シリーズでは、センサー群による観測の同時性を犠牲にして、複数衛星に分割搭載することによって長期ミッションを安定的に行う計画に方針転換した。

もうひとつの特徴は、現業ミッションと研究ミッションの連携である。すなわち、米国では、EOS/MODISなどのNASAの研究目的ミッションで得た経験を生かすために、NOAAの現業ミッションであるNational Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System(NPOESS)に移行する前に、NPOESS Preparatory Project(NPP)ミッションが実施される。さらにNPOESSは、米軍のDefense Meteorological Satellite Program(DMSP)衛星からの資産も受け継ぐように計画されている。また、ヨーロッパでは、2005年打ち上げ予定の現業気象極軌道衛星METOP-1に、研究ミッションであるESA/ENVISATの経験が生かされている。これらの連携は、1990年代の米国のEOS計画、ヨーロッパのENVISAT計画が着実に実を結び、その経験に基づいて宇宙機関が気象現業機関の衛星システム構築に協力すると言う長期計画が実りつつあることを象徴的に表している。さらにこのような連携の姿勢は、欧米の協力の形に発展している。例えば、米国の極軌道衛星による地球観測計画では、2008年までには2機のNPOESS極軌道衛星と1機のヨーロッパ気象衛星機

構/極軌道実用気象衛星 (EUMESAT/METOP) に集約することが考えられている。このように欧米の地球観測計画は、長期的な世界戦略の観点に立って組み立てられていると言える。こうした姿勢は個々の衛星やセンサー開発にも言えて、例えば、NPP 搭載センサーの仕様は日本の専門家を含めて世界の多くの意見を聴取しながら決められている。

一方、我が国に目を移してみると、ADEOS、ADEOS-II の衛星事故による JAXA の地球観測に関するイニシアチブと求心力の低下が起こっている。本来、輸送系を利用して地球観測が実現されることによって、はじめて国民に利益が還元されるべきであるのに、輸送系の健全化ばかりで、地球観測予算は大きく削られている。また、地球観測衛星の開発に関しても、JAXA による研究開発的なセンサーの成果を気象現業センサーに反映させるような JAXA と気象庁の間の関係も無い。防衛衛星も大きな災害時にはデータを提供することによって、このような連携に参加しても良いのではないだろうか。連携を困難にする体質は、衛星データのダウンリンク手法にも現れている。ADEOS と ADEOS-II の頃には、データを宇宙から不特定多数にブロードキャストिंगするという発想は、ユーザーの希望にもかかわらず技術上の問題と通信法の制限もあり実現しなかった。しかし、EOS/MODIS ミッションではブロードキャストシステムが実現され、たくさんの MODIS 受信器が企業によって販売され、ビジネス創設と多くのユーザーへのサービスが可能になった。

このような困難な状況にあって、それでも国際的な連携の新しい芽がいくつか見られるようになってきた。すなわち、GPM ミッションが日米協力で、Earth Explorer3/EarthCARE ミッションが日欧共同で立ち上がりつつある。筆者は Earth Explorer ミッションの提案に深く関わったが、採択過程では多国籍の研究者による厳しいレビューがあり、それによってサイエンスチームは非常に鍛えられたことを目の当たりにしている。連携とは、その裏面に競争と言う側面がついて回るのであるが、そのような連携と競争こそ、我が国の衛星観測コミュニティを強くするものだと思う。

#### 2.4 結論

以上、衛星による大気観測の現状と計画を見てくると、衛星観測の大きな可能性と同時に問題点も見えてくる。欧米の長期的な計画と機関間の連携に立った着実な成果の結実に比べて、我が国では不運な事故、長

期計画の紆余曲折、機関間の連携不足によって、大きな困難に直面してきた。われわれが元気になるためには、個別の努力と同時に、これらの「不運」に共通した構造上の問題を改善する必要がある。まず、長期的なシナリオの検討が常に必要である。特に研究衛星から現業衛星へと経験を継承する道筋を作ることが必要である。少なくとも気象庁と JAXA の間でこのような議論を開始することが必要である。また、現在の文部科学省による衛星ミッションの決定システムも検討すべきだと思う。Phase-A から順次、レビューと競争淘汰を繰り返しながら、序々に予算を使いながらミッションを立ち上げるべきである。

次に国内外の組織間やコミュニティ間の連携強化が必要であると思う。それによる予算確保と、このような他流試合で生まれる互いの知恵の交換を行う必要がある。国際的な連携のなかで揉まれれば、自ずと世界標準とは何かと言う良い感覚を養われる。すなわち、さまざまな目的を持って衛星計画に参加する複数が互いに協力することによって、観測システムの「独自性」と「標準化」を同時に生み出してゆく必要がある。それによって、より多くのアプリケーションとユーザー確保を行うことができるだろう。ADEOS 衛星のダウンリンクの例でもわかるように、今後の連携強化とビジネス創出のためには法整備も重要である。また、様々な機関やコミュニティが予算を出し合うことができる柔軟な予算システムもできるとありがたい。よく衛星開発関係者から「研究コミュニティはユーザーでは無い」と言う表現が聞かれる。応用ミッションのユーザーは開発予算を出せる大きな研究機関や省庁であるという意味あいだが、このような大口ユーザーによって予算を確保し、限られた関係者のみで衛星ミッションを開発しようとする動きがある。しかし、やはりユーザーには広汎な個々の研究者が含まれており、それらの不特定多数が大きな成果を生み出していることは、過去の衛星観測に関する論文数を見れば明らかである。従って、「大口ユーザー」とともに、個々の研究者が参加できる「透明」な開発プロセスを導入する方が結局、よく練れたミッションが実現できると思う。「大口ユーザー」である大きな研究機関や省庁も、ミッションを立ち上げる場合は公募でアイデアとチームを募る方が、結局、良い人材と良いアイデアが集まると思う。

国際連携に関しては、特に、中国と韓国の衛星技術が成長してきた状況で、アジア域での連携がこれから必要だと思う。気象衛星のような現業衛星はアジア域

で協力して打ち上げる体制を作るのが、予算節約と国家間の相互理解の促進のために良いと思う。

今、我が国のイニシアチブによる地球観測サミットを受けて地球観測システム(GEOSS)の構築が進んでいるが、これは様々な観測システムを統合するシステムの構築であり、衛星観測も重要な役割を果たす。このような観測システムでも、現実的な観測と研究的な観測との連携や、様々な異質なデータを取り扱うシステム作りが課題になっており、本稿で述べてきた諸課題と共通するものが多い。従って、より良い衛星観測システムの確立への努力は、とりもなおさずGEOSSへの大きな貢献になるであろう。

### 3. 大気科学研究における衛星データ利用について ～大気微量成分観測～

林田佐智子(奈良女子大学)

地球観測衛星研究会での講演では、大気中微量成分観測の科学的背景を簡単に述べた後、観測原理毎に分類して様々なセンサーによる観測の実例を紹介した。本稿では観測結果の実例は誌面の都合上省略し、観測方法の説明とその特徴のみを述べる。

大気微量成分の観測では下記のようないくつかのタイプの観測方式が用いられる。

#### 3.1 直下視観測(後方散乱方式)

衛星直下方向からの、太陽放射の地表面反射と大気からの散乱を観測して、微量気体成分の気柱量を導出する方法である。太陽放射の大気への侵入高度が波長に依存することを利用して、観測する波長を複数組み合わせることで高度分布の導出も可能である(SBUVなど)。紫外域、可視、近赤外まで応用できる。センサーの多くは、基本的には差分吸収法の考えに基づいて吸収物質の気柱量を推定している。

この方式の主なセンサーには、成層圏オゾンの高度分布の長期モニタリングを行ってきたSBUV/SBUV-2(Solar Backscatter Ultraviolet)、南極オゾンホール観測でよく知られているTOMS(Total Ozone Mapping Spectrometer)、二酸化窒素などの対流圏微量成分観測を精力的に行っているGOME(Global Ozone Monitoring Experiment)などが挙げられる。

なお、直下視方向に放射観測を行うこともでき、熱赤外域を観測したIMG(Interferometric Monitor for Greenhouse Gases)のような実例があるが、講演では成層圏観測を中心に紹介したため省略した。

#### 3.2 太陽掩蔽観測(オカルテーション法)

太陽掩蔽観測は地球大気周縁を通して太陽光を観測し、光路中での吸収量を測定する方法で、衛星が地球を周回しながら見る日の出と日の入りに観測を行う。衛星と太陽、地球との位置関係によって、大気を通過する光路が異なることを利用して、吸収物質の鉛直分布観測を行うことができる。大気組成が高度のみに依存する(水平方向には一様)と仮定すると、衛星から周縁大気を通して観測した太陽放射は、接線高度以上の大気情報を含む。従って大気上端から順に透過率を解いて行くことによって透過率の鉛直分布を導出でき、組成の鉛直分布推定が可能になる。

太陽掩蔽観測では、放射強度の強い太陽を光源としているために測定精度がよく、また視野を絞られるために高度分解能がよい(通常1~2km)。また、衛星が大気圏外に来たときに太陽光源( $I_0$ )の測定を行い、 $I_0$ に対しての吸収量を自己検定(self-calibration)するので、機器の劣化による系統的な $I_0$ の観測誤差の影響を受けにくく、長期間安定した観測を行うことができる。このため、前節で述べたように地球大気の変動を長期に渡ってモニタリングすることでは有利である。

ただし、太陽掩蔽観測では衛星軌道と太陽の位置関係から観測場所が決まるため観測領域が限られる。特に極軌道衛星に搭載された場合は、観測地点が高緯度に制約されるという欠点がある。また鉛直分解能はよいのだが、視線方向(水平方向)の空間分解能は一般に大きい。さらに観測原理から明らかなように、日の出・日の入時にしか観測ができないので、日変化の大きい化学種(例えば $\text{NO}_2$ など)については、観測データの解釈が困難であることが多い。

この方式のセンサーでは、成層圏エアロゾル・オゾンの観測で著名なSAGE-I/II/III(Stratospheric Aerosol and Gas Experiment)やHALOE(Halogen Occultation Experiment)、POAM-I/II(Polar Ozone and Aerosol Measurement)、日本の環境庁(現環境省)が開発をおこなったILAS-I/II(Improved Limb Atmospheric Spectrometer)がある。

#### 3.3 大気周縁放射観測

大気周縁放射観測では大気から射出される赤外線を観測するので、太陽との位置関係に関係なく観測でき、観測領域を広範囲にとれるという利点がある。最近ではサブミリ波分光の技術が進歩し、これまで観測できなかった成分も観測できるようになった。ただし、地球大気からの射出エネルギーは微弱であるため、視野

を絞ることができず、太陽掩蔽法に比べて一般に高度分解能は劣る。

この方式のセンサーには UARS 搭載の赤外放射計 CLAES (Cryogenic Limb Array Etalon Spectrometer), フーリエ分光器の MIPAS (Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding) の他、ミリ波サウンダー-MLS (Millimeter Limb Sounder) などがある。

### 3.4 大気周縁散乱観測

直下視観測では観測地点を多くとれる代わりに高度分解能に難点があり、太陽掩蔽法では高度分解能はよいが観測地点に制約がある。これに対し、大気周縁散乱方式は、観測方向は周縁放射観測と同様に任意の方向に向けられるが、太陽を光源として散乱光を観測するので、原理的には直下視観測(後方散乱方式)に近い。視線方向からの散乱強度は下層大気ほど大気密度が高いために大きい、同時に下層では減衰が大きくなるため、ある高度以下では散乱強度は強くならない。散乱光強度の高度分布は吸収物質と散乱体の高度分布に依存し、散乱と減衰との兼ねあいで波長毎に決まる。吸収物質の量は、後方散乱方式と同様に、基本的には差分吸収の原理に基づいて導出される。

この方式の最も古い観測例は SME (Solar Mesosphere Explorer) であろう。SME では紫外線の観測から中間圏のオゾン導出が行われた。最近、スペースシャトル搭載の SOLSE (Shuttle Ozone Limb Sounding Experiment) と LORE (Limb Ozone Retrieval Experiment) によって、可視域までを使った観測が行われ、下部成層圏・上部対流圏まで十分な精度の観測が行われることが示された。

最近では直下視観測と周縁観測を組み合わせた観測モードをもつセンサーも登場している。ENVISAT 衛星(2002~現在)搭載の SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric CHartography) は周縁散乱と直下視観測の両者の方式で紫外から近赤外までの観測を行って成果をあげている。筆者は個人的にはこの周縁散乱方式に特に興味を持っており、今後の SCIAMACHY の研究成果に注目している。

## 4. 我が国における地球観測衛星の開発 ～現状と将来～

木村俊義 (宇宙航空研究開発機構)

### 4.1 地球観測衛星の運用・開発の現状

現在、我が国の衛星地球観測として運用されているセンサーは、日米共同開発の TRMM 衛星に搭載の降雨レーダー-PR (Precipitation RADAR), および米国の EOS-Aqua 衛星に搭載のマイクロ波放射計 AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS) であり、両センサーとも順調に観測を続けている。また、2005年度には陸域観測を主とした衛星 ALOS (Advanced Land Observation Satellite) が打ち上げられ、2008年度には二酸化炭素濃度の全球分布を測る GOSAT (Greenhouse Gas Observation satellite) が打上げられる。更に、2009年度には TRMM の後継となる全球降雨観測衛星 GPM (Global Precipitation Measurement) が打ち上げられる予定である。

昨年惜しくも失われたみどり2 (ADEOS-II) 衛星に搭載されていた5つの観測センサーは、衛星バスに不具合が発生するまで順調に観測を継続しており、それぞれ7~10か月程度の観測データを残した。5つのセンサーとは AMSR, GLI: (Global Imager), 環境省のセンサーである ILAS-2 (Improved Limb Atmospheric Spectrometer-2), 仏宇宙機関 CNES のセンサーである POLDER (Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances), NASA-JPL が開発した海上風散乱計 SeaWinds である。これから多くの観測が本格的に行われる矢先の喪失は科学者のみならず、開発や利用計画に関わったすべての人間にとっての不幸であった。JAXA は原因究明結果を反映し、今後の計画についてシステム信頼性の設計思想を大きく変え、今後このような単一故障による衛星全損といった事が起こらないように開発方針を見直している所である。

### 4.2 将来計画

さて、次に我が国の地球観測の方向性と将来計画について説明する。地球観測についての方針は、内閣府の総合科学技術会議において国としての姿勢が議論され「地球観測の戦略」という文書として定まりつつある。また、2004年春に日本で開催された地球観測サミットの活動に伴い、今後10年の世界における具体的な衛星観測計画について国際調整が行われている状況にある。また日本としての具体的な計画については宇宙開発委員会内に特別部会が設けられようとしており、2005年春までの議論により、今後10年程度の活動が大凡定まる予定である。それらの委員会は地球観測を利用・研究する多方面からの委員で構成されるが気象学会員からも委員が多数指名され、活発な議論がなされてい

る。

特に総合科学技術会議においては、過去の衛星地球観測に対する構造的反省点と改善要望が指摘され、議論されている。中間報告によれば、第一に「利用ニーズ主導の統合された観測システムの構築」、次に「国際的な観測協力の構築と我が国の独自性確保とリーダーシップ発揮」、最後には「アジアオセアニア地域における連携の強化による観測体制の確立」の3点が強調されている。また、地球観測サミットにおける文部科学大臣演説においては、地球観測における総計9分野のうち、日本は特に「地球温暖化・炭素循環変動」「気候変動・水循環変動」「災害の防止・軽減」の3分野に貢献することを約束している。これを受け、この分野に関連する衛星観測についての役割を果たすため、JAXAでは将来計画として、すでに計画されているALOS(災害関連)、GOSAT(温暖化、炭素循環関連)、GPM/DPR(水循環)に加えて、失ったADEOS-IIによる気候変動分野についての観測能力を取り戻すべく、GCOM(Global Change Observation Mission)とEarthCARE(Earth Cloud, Aerosol and Radiation Explorer)という衛星計画を検討中である。GCOMはADEOS-IIに搭載されていたAMSRとGLIの後継センサを別々の中型衛星に搭載して打ち上げる計画、またEarthCAREは欧州と共同で雲・エアロゾルの3次元分布と放射収支を同時計測しようとするものであ

る。また、更に将来の検討については静止軌道を使用し、時間変化の早い大気汚染の状況や災害に役立つ観測の可能性について検討を行っている。

#### 4.3 今後の衛星地球観測と科学

最後にこうした昨今の状況を総括して、今後の衛星地球観測と科学の関係について述べたい。衛星地球観測は技術的に成熟しつつあり、近年までのように技術開発した衛星/センサを使って、衛星観測の可能性を科学により探求するという技術開発主目的の段階から離れつつある。衛星観測は社会利益への還元を求められつつあり、今後は、社会的要求に明確に応えられなければ巨大な資金を要する計画を実現させることは難しい。しかしながらそうした実用的な観測に対しても科学はそれを支えているという事実を認識すべきであり、地球科学の発展と広範で継続的な支持無くしてはそうしたシステムも成立しない。現在、衛星観測は世界的にも構造の転換を求められている時期にある。衛星観測システムを開発する宇宙機関、それを使って社会に利益をもたらす利用機関、そしてそうした観測を支え、また結果を利用し、研究を深めることで、更なる発展させていく研究コミュニティの間に緊密な関係を保ちつつ、日本が世界に対して貢献、あるいは先導していくことのできるような将来計画を議論していくことが、将来の社会と科学・技術の持続的発展に重要なことであると思う。



## 第8回大学婦人協会「守田科学研究奨励賞」受賞候補者募集

- 趣旨：本賞は、化学教育者・故守田純子氏から遺贈された資金をもとにして、自然科学を専門とする女性科学者の研究を奨励し、科学の発展に貢献する人材を育成することを目的として、1998年に設けられたものです。
- 対象：自然科学分野において、優れた研究成果をあげており、将来、科学の発展に貢献することが期待される40歳未満（応募締切日現在）の女性科学者を対象としています。
- 授賞件数：年2件以内。賞状及び副賞50万円を贈呈します。
- 提出書類：(1) 推薦状、(2) 履歴書、(3) 研究業績リスト、(4) 主要な論文別刷5編以内（各3部）、(5) 研究題目とその概要及び今後の展望と抱負を記したものを。
- 応募締切日：2005年11月30日（水）（必着）
- 書類送付先及び連絡先：社団法人 大学婦人協会  
〒160-0017 東京都新宿区左門町11番地6-101  
Tel；03-3358-2882, Fax；03-3358-2889  
URL；<http://www.jauw.org/>