

第3表 IMG のデータ

レベル0	生データ (測定日時場所データ付)
レベル1	校正済み放射輝度スペクトル (測定日時場所データ付)
レベル2	気温・水蒸気高度分布, (海面温度), CO ₂ , CH ₄ , CO, N ₂ O の混合比 (高度層別), オゾンおよび硝酸の大気コラム全量

体 (CO, SO₂, COS, その他未知種) と微粒子を検出する。これは、人跡まれな地域における異常発生源の発見と気体発生量の推定に役立てることができる。

IMG のデータの形態は第3表のようになるであろう。現在、測定放射輝度スペクトルから気温と微量成分混合比(あるいは全量)を同時に求めるインバージョン方式を研究開発中である。IMG のデータは多種にわたる利用の仕方が考えられ、データ解析方法の開発には多くの研究課題があるので、研究開発チームへの研究者の参加を勧奨している。またデータは広く公開し、多くの研究者・一般利用者の要求に応じるべくサービステ体制を検討している。

コメント

今 須 良 一 (資環研)

IMG は大気中の気体濃度の測定と同時に、気温や海面水温 (SST) などの測定を高精度で行うことができる。このうち、気温測定については、鉛直分解能 1~2

km, 測定精度 1°C程度, SST については0.1°C程度の精度が期待できる。これらは、現在運用されている気象衛星 NOAA 搭載の TOVS や AVHRR などによる測定と比べて、数倍以上良い値である。ただし、IMG データは、軌道に沿った約 100 km おきのポイントデータとなるため、広範囲の領域を同時に測定することはできない。その点については TOVS などの画像データの方が優れている。したがって、数値予報の初期データとして要求されるような、高い精度の広域気象データを得るためには、高精度なポイントデータ (IMG) と、広範囲をカバーする画像データ (TOVS 等) とを、組み合わせて用いていくことが最も有効と考えられる。さらに、IMG により得られる放射スペクトルは 3.3~14 μm と、大気の窓領域を含む広い波長領域をカバーすることから、大気の赤外放射特性の把握や、これまでのセンサーでは検出が難しかった巻雲などの光学的に薄い雲の物理量の測定も可能と考えられる。雲物理や大気放射など、幅広い研究分野での利用が期待される。

201; 5013 (ADEOS; 衛星観測; オゾン層; 大気微量成分)

9. ADEOS 衛星を利用する大気微量成分観測のための ILAS/RIS プロジェクト*

笹野泰弘**

1. はじめに

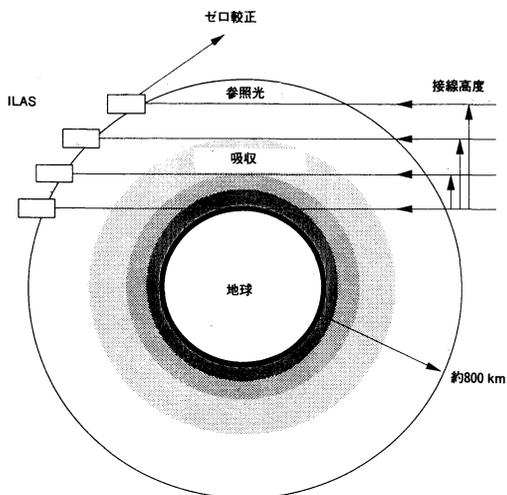
環境庁は、1995年度冬期に打ち上げが予定されている地球観測プラットフォーム技術衛星 (ADEOS) に高層大気の微量化学成分の観測を目的とした2つの観

測機器 (改良型大気周縁赤外分光計: ILAS, レーザ光反射用リトロリフレクター: RIS) の搭載を決め、現在、その機器整備、解析アルゴリズム研究、データ処理・運用システムの開発、並びに検証実験等の計画の策定に取り組んでいる (Sasano *et al.*, 1991)。これは通産省が開発を進めている温室効果気体センサー (IMG) とともに、わが国で初めて本格的に取り組む衛星搭載大気センサーによる地球大気観測計画である。

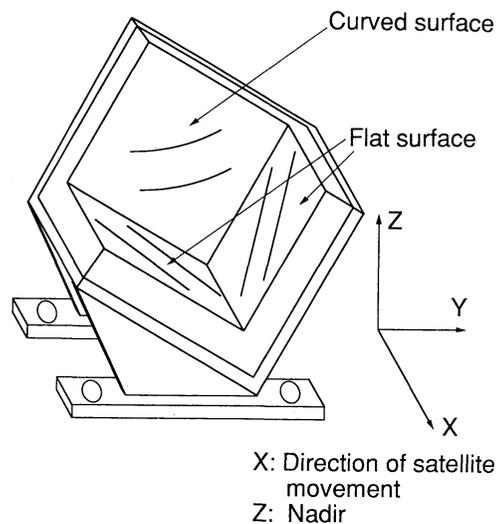
ここでは、ILAS 及び RIS の概要を報告する。

* ILAS/RIS Projects for observing atmospheric trace gas profiles utilizing the ADEOS satellite.

** Yasuhiro Sasano 国立環境研究所地球環境研究グループ衛星観測研究チーム。



第1図 ILAS の測定原理 (太陽掩蔽法)



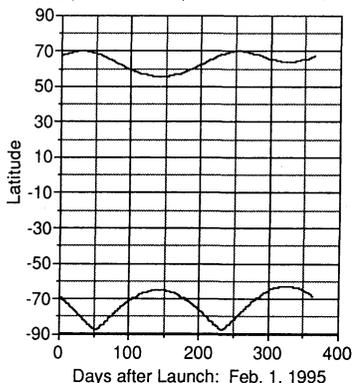
第3図 RIS の構造

2. 改良型大気周縁赤外分光計 (ILAS)

環境庁が開発している観測機器のひとつは、改良型大気周縁赤外分光計 (ILAS) と呼ばれるもので、太陽光を光源とし太陽光が地球縁辺の大気層を通過するときに受ける吸収の大きさを測定することによりオゾンを始めとするオゾン層化学に関係する微量成分濃度の高度分布を求めるものである (第1図)。

ILAS は赤外及び可視分光光度計を主たる構成要素とし、大気成分、気象要素 (気温、気圧) の高度分布を測定する。ADEOS 衛星は軌道傾斜角98.6度の極軌道を描き、太陽同期準回帰軌道をとる。したがって、

北半球, アラスカ, ノルウェー等に相当



南半球, 南極大陸内部

第2図 ILAS の観測する緯度範囲

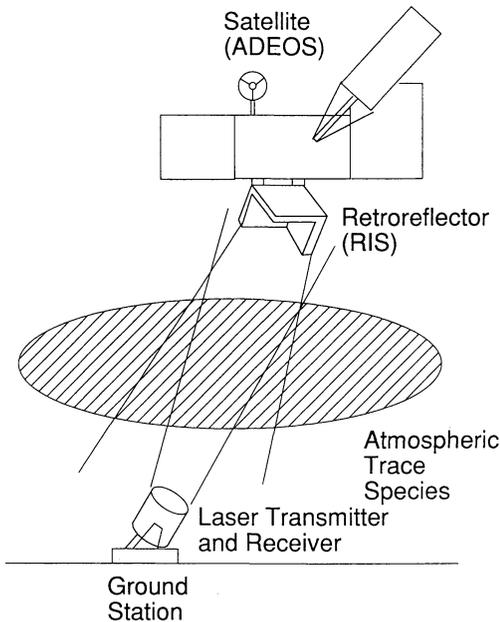
ILAS の測定対象領域は季節 (太陽赤緯) によって変化し、およそ北緯57~70度、南緯60~90度の範囲の高緯度地域となる (第2図)。また、1日に地球を14周するので、南北両半球のある緯度帯に沿って1日に14プロファイルが得られる。

微量成分の高度分布を求めるために ILAS では、太陽掩蔽法と呼ばれる手法を用いる (第1図)。すなわち、衛星から見た太陽が日の出、あるいは日の入りの状態にある時に太陽を追って、大気層で吸収を受けた太陽光強度を測定する。そのときセンサーに入る太陽光線の光路は、太陽、衛星、地球の位置関係で決まる。さまざまな接線高度 (地球中心から各光路に下ろした垂線から定義される高度) での測定データには、それぞれ異なる高度層の情報が含まれているので、これを数学的に解析して高度毎の情報を取り出すことになる。

ILAS は宇宙科学研究所がかつて開発した LAS と呼ばれるセンサー (Matsuzaki *et al.*, 1990) を基本モデルとした赤外領域の分光器と、気温、空気分子密度、エアロゾル高度分布測定用として可視波長領域 (波長753~784 nm) における酸素の回転吸収スペクトルの測定の機能を付加したものである (Matsuzaki *et al.*, 1984)。ILAS の測定対象は主としてオゾンと、NO₂、HNO₃、N₂O 等のN化学種、CH₄、H₂O 等のH化学種、CFC11 等の鉛直分布である。さらにエアロゾル、気温、気圧の鉛直分布が測定される (鈴木ら, 1991)。

3. レーザー光反射用リトロリフレクター (RIS)

開発を進めている他のひとつの機器はレーザー光反



第4図 RIS を用いた大気微量成分測定概念

射用リトロフレクター (RIS) と呼ばれ、厳密には観測センサーではない。これは、地上から発射されるレーザー光を効率よく地上局に向けて反射させるための、互いに直角になるように貼り合わせられた3枚の鏡からなるリトロフレクターである (Minato *et al.*, 1992) (第3図)。観測は、地上局から測定用の赤外レーザー光を衛星に向けて発射し、反射された光を再び地上局で受信し、往復光路中での光の吸収量を測定してオゾン、メタン等の微量成分の気柱量及び鉛直分布を求めるものである (第4図)。

微量成分濃度測定には、微量成分による光の吸収スペクトルを計測する。そのため地上施設として、波長同調可能なレーザーと参照用のレーザーが用意される。ADEOS 衛星は約 800 km の高度をおよそ 7 km/秒の速度で飛行するので、地上局から衛星を追尾できる時間は1回の飛来あたり約200秒である。この間に測定しようとしている対象物質の吸収スペクトルを計測する。計測用のレーザーとしては CO₂ レーザー (波長 10ミクロン帯とその第2高調波、第3高調波) を使用する。

送信レーザー光は RIS で反射されて地上に戻って来る際、衛星の進行によるドップラーシフトの影響を受けて波長が変わる。波長の変化量は衛星の対地速度に依存するので、衛星を低高度角で捕捉しその後天頂付近まで追尾しつつ反射レーザー光を受信すれば、受

第1表 検証実験に必要とされる地上観測機器

- ・オゾンゾンデによるオゾン濃度高度分布の測定
- ・大気球による微量成分の直接サンプリング測定
- ・レーザーレーダーによるオゾン・エアロゾル・気温高度分布の測定
- ・マイクロ波センサーによるオゾン等微量成分濃度高度分布の測定
- ・ドブソン計によるオゾン全量、鉛直分布の観測
- ・各種分光計 (可視・紫外、赤外) による微量成分の測定

信波長は連続的に変化する。この効果を利用して RIS 測定では、対象微量成分の吸収スペクトル形状の測定を行う (湊ほか, 1991)。

こうして吸収の大きさから地上一衛星間の微量成分全量が算出される。また、オゾン等のように高精度でスペクトル形状の測定が期待できるものに関しては、スペクトル幅が気圧の関数であることを利用してスペクトル形状から濃度の高度分布を抽出することが出来る。すなわち、吸収線の圧力幅を利用したインバージョン法が適用できる分子については高度分布が求められる。炭酸ガスレーザーの基本波でオゾン、フロンガス、水蒸気、CO₂ など、第2高調波で CO、N₂O など、第3高調波で CH₄ などの測定が可能である。

RIS 測定に当たっては衛星の捕捉、追尾が極めて重要である。これまで、地上衛星間の光通信技術の開発などで研究実績のある通信総合研究所が RIS 測定のための衛星追尾に関する研究開発を実施している。また、測定用レーザー送受信システムの製作を平成4年度から開始している。

4. データ処理・運用システム

ILAS/RIS で取得されたデータを処理し、オゾンその他の微量成分量を算出することがデータ処理・運用システムの目的であるが、特に ILAS/RIS プロジェクトではルーチン運用を想定しているため、観測データのインプットから処理結果の出力、データベース化、データ配布サービス、データ利用研究支援機能までを含めたトータルシステムとして考える必要がある。現在、データシステムの基本設計がほぼ完了した段階にある。

ILAS/RIS で得られたデータは公開し、広くユーザーの利用に無償で提供することを原則としており、従って検索、複製、配布等の機能を重視している。

5. 地上検証実験

衛星データの検証には地上からの同時観測などによる検証実験が不可欠である。検証実験としては(1)環境庁予算による独自の観測実験、(2)データ交換原則に基づく他機関による観測実験データの入手、(3)気象機関等による定常観測データの入手の3つの可能性がある。(1)の場合においても内外研究機関等の支援を得ることは必須であり、今後あらゆる可能性の検討を進めていく。

検証実験観測には第1表に示すような測定機器の利用が考えられる。ILAS に関しては測定対象領域が高緯度地方(外国)になるため、上記の(1)(2)の場合においては国際協力を進める必要がある。

検証実験はさらに総合的な観測キャンペーンと連動させて実施することにより、オゾン層変動の現象解明・機構解明のための総合的観測とすることが出来る。

6. おわりに

ILAS 及び RIS の両プロジェクトは、いずれも国立環境研究所の研究者を中心としたサイエンスチーム体制によって実施されている。サイエンスチームには国内外の大学・研究機関の研究者が加わっており、機器開発、データ処理アルゴリズム研究、機器試験支援、データシステム設計、検証実験計画策定、データ利用研究計画策定等に当たっている。サイエンスチームメンバーの各位に感謝するとともに、さらに ILAS/RIS プロジェクトを実りあるものにするために、多くの皆様のご支援をお願いする決意である。

参考文献

- Matsuzaki, A., 1984 : Rocket observation of the rotational profile of the A-band absorption spectrum of atmospheric oxygen molecules, *Ann. Geophys.*, 2, 475-480.
- Matsuzaki, A., 1990 : An overview of LAS/ILAS, Technical digest of Topical Meeting on Optical Remote Sensing of the Atmosphere, 355-358, Nevada February, 1990.
- 湊 淳, 杉本伸夫, 笹野泰弘, 1991 : 衛星搭載リトロリフレクター (RIS) を用いた大気微量分子の分光測定

法, レーザー研究, 19, 1153-1163.

- Minato, A., N. Sugimoto and Y. Sasano, 1992 : Optical design of cube-corner retroreflectors having curved mirror surfaces, *Appl. Opt.*, 31, 6015-6020.
- Sasano, Y., K. Asada, N. Sugimoto, T. Yokota, M. Suzuki, A. Minato, A. Matsuzaki and H. Akimoto, 1991 : Improved Limb atmospheric Spectrometer (ILAS) and Retroreflector In-Space (RIS) for ADEOS, *SPIE 1490, Future European and Japanese Remote-Sensing Sensors and Programs*, 233-242.
- 鈴木 睦, 松崎章好, 横田達也, 笹野泰弘, 石垣武夫, 木村教夫, 荒木信博, 1991 : オゾン層観測センサ「ILAS」, *日本赤外線学会誌*, 1, 42-50.

コメント

神沢 博(極地研)

私は ILAS サイエンスチームの一員であり、主にデータ利用という立場で参加している。以下の二つの理由でこのプロジェクトに参加することにした：ILAS は私が強い関心を持っている中層大気(主に成層圏)の物質循環というテーマを追及するのに適ったセンサーであること；対象が極域であり、私の属している研究所の観測と関連が深いこと。

以下の二つの点を中心に仕事する予定である：極域での検証実験観測(やはりサイエンスチームの一員である名大 STE 研の近藤豊さんが中心になってまとめている)を有効に進めること；ILAS データと極域観測(検証実験を含む)を組み合わせて、研究に有効なデータセットを作成すること。

衛星打ち上げの遙か以前から(ADEOS 衛星打ち上げは1996年2月の予定)、データ利用までを見通して大気成分の衛星観測を行うというのは、今回が日本としては初めての経験である。このような最初の機会に遭遇した我々の世代の役割を認識し、その役割を達成すべく努力したい。具体的には、データ利用を希望する方々と連絡をとりながら、科学的成果が上がるのに最適なデータ利用システムを構築することに貢献したい。