

## 4. 衛星センサーILAS による北極成層圏の観測

神 沢 博\*

### 1. はじめに

成層圏のオゾンおよびその他の大気微量成分の観測データは、地上、気球、航空機、および衛星からの測定によってこれまで得られ、オゾンホール等の現象発見、および、発見された現象の機構解明に資されてきている。衛星観測は空間的に均質な観測が可能なることに特徴がある。1996年8月17日に打ち上げられたNASDA (宇宙開業事業団) の人工衛星ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite: 打ち上げ後「みどり」と命名) に搭載されたILAS (Improved Limb Atmospheric Spectrometer: 改良型大気周縁赤外分光計) は、南北高緯度成層圏のオゾンおよびオゾンに関連する大気微量成分の鉛直分布を観測することを目的としている。ILAS は、「みどり」の打ち上げ後の初期運用チェックアウト期間を経て、1996年11月初旬から定常的測定を開始し、太陽電池パネルの不具合から「みどり」の運用が停止された1997年6月下旬まで、約8か月間、良質の測定データをもたらした。したがって、ILAS は、北極域については、秋から初夏にかけてのデータをもたらしたことになる。1996/1997年北半球冬においては、極渦が非常に安定で長期間持続し、そのことと関連し、北極のオゾン量が異常に低かった。そのような特徴的な期間のデータをILAS は取得したことになる。

ADEOS には、TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) も搭載されている。大気微量成分観測衛星としては、1991年9月に打ち上げられた米国NASA (National Aeronautics and Space Administration) の衛星UARS (Upper Atmosphere Research Satellite) の後を継いだ形になっている。

ILAS は、環境庁が開発したセンサーである。ILAS プロジェクトは、国立環境研究所の笹野泰弘氏をプロジェクトリーダーとして、進められており、私もその一端を担っている。ILAS プロジェクトとしては、衛星によるILAS 観測ばかりでなく、ILAS 観測に関連して、ILAS 検証のための気球キャンペーン観測を実施し、さらに、地上観測、航空機観測等を行っている世界中の研究者と共同研究を進めている。この意味で、日本としては初の本格的な大気微量成分観測プロジェクトを衛星観測をコアとして実施しているといえる。綿密な研究の組織化を実施していることから、このプロジェクトから大きな成果が生まれてくることが期待できる。

なお、ILAS プロジェクトの詳細は、インターネット上のILAS プロジェクトホームページ

(<http://www-ilas.nies.go.jp/>)

に記載されている。

### 2. ILAS 観測概要

ILAS の観測の概要は以下の通りである。

項目:  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $HNO_3$ ,  $N_2O$ ,  $CH_4$ ,  $H_2O$ , CFC-11 ( $CFCl_3$ ), エアロゾル, 温度, 気圧, (可能性あるもの: CFC-12 ( $CF_2Cl_2$ ),  $N_2O_5$ )

原理: 太陽掩蔽法 (赤外および可視分光)

期間: 1996年10月-1997年6月(ミッション期間: ~8か月)

衛星打ち上げ: 1996年8月17日

緯度範囲: 北緯~57-73度; 南緯~64-88度

高度範囲: ~10-60km (測定項目に依存)

空間分解能 (1太陽掩蔽測定あたり): ~2km (鉛直);

~13\*km x ~300km (水平) (\*~2km: エアロゾル,

温度, 気圧について)

経度分解能: ~25度 (1日あたり~14太陽掩蔽測定; 北

\* 国立環境研究所。

© 1998 日本気象学会

極および南極のある緯度円に対して)

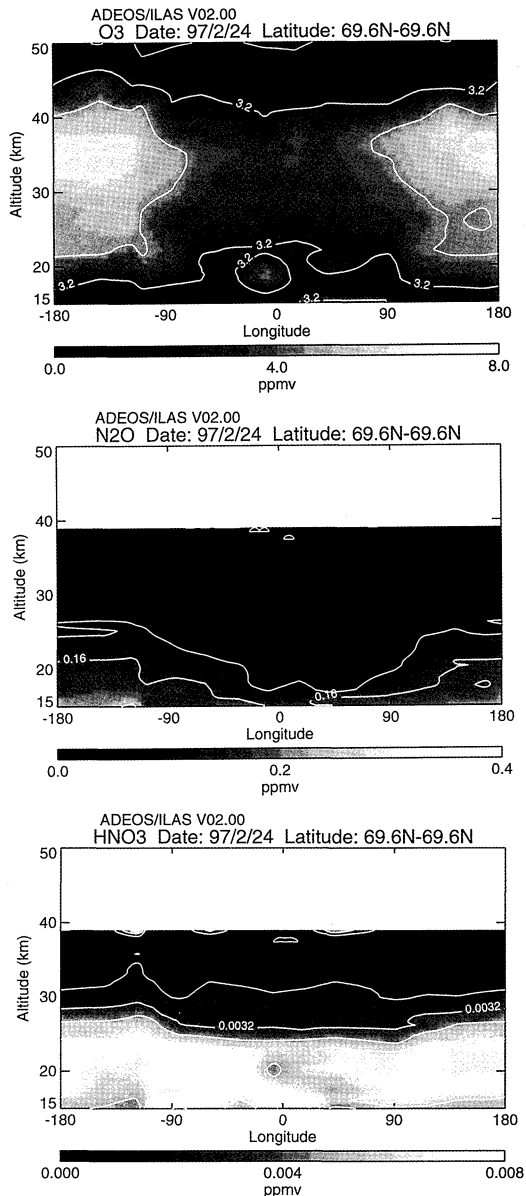
ILAS 観測の特徴としては、以下の 2 点があげられる。

- 1) 太陽掩蔽法 (solar occultation) を利用することから、測定精度が高く (信号が強く、self-calibration が可能故)、高度分解能が細かいこと。
- 2) ADEOS 衛星が太陽同期極軌道 (sun-synchronous polar orbit) をとることから、極域での観測頻度が高いこと (欠点としては、中緯度・赤道域の測定ができないこと)。

ILAS は、極域のさまざまな大気微量成分の鉛直分布を約 1 km の高度分解能で測定する。ILAS 測定で得られた観測データのイメージとしては、1 日あたり、北半球の等緯度線に沿って約 14 地点、南半球の等緯度線に沿って約 14 地点、計約 28 地点で、大気球観測を行い、その観測を 8 か月間続けて得られるであろうデータを思い描いていただきたい。

### 3. ILAS 観測データ例

第 1 図に、ILAS から得られた北極域真冬のオゾン ( $O_3$ )、亜酸化窒素 ( $N_2O$ )、硝酸 ( $HNO_3$ ) の経度-高度断面図を示す。ILAS 観測の特徴の 1 つは、1 日当り、各測定気体につき、この図のような経度-高度断面図を、南北両極のある緯度につき各 1 枚描くことができることである。オゾンを見ると、図の中央、高度で約 20 km 弱から約 40 km 強において、経度で 90 W から 90 E (カナダ北部からグリーンランド、スカンジナビア半島を経てシベリア北部にかけて) の領域では、他の経度に比べてオゾンが少ない (約 4 ppmv 以下)。この経度域でオゾンが少ないという特徴は、同じく「みどり」搭載の TOMS によるオゾン全量の観測データと整合的である (第 1 図と同じく ILAS プロジェクトホームページに掲載)。オゾンの少ない領域では極渦が発達していることが示唆され、UKMO (United Kingdom Meteorological Office) 気象グリッドデータから得られた渦位分布図と整合的である。亜酸化窒素 ( $N_2O$ ) は、地表面に起源を持ち、対流圏では鉛直方向によく混合され、成層圏において高度が上がるにつれて混合比が減少するという特徴を持ち、かつ、長寿命の気体であることから、メタン、フロンガス等とともに、空気粒子の移動、物質輸送や拡散といった力学的課題にとってかけがいのないトレーサーとなる。その亜酸化窒素の図をみると、高度 30 km 弱以下の高度では、約 0.1 ppmv (100 ppbv) 以下の部分に着目すると、低



第 1 図 ILAS 観測によるオゾン ( $O_3$ )、亜酸化窒素 ( $N_2O$ )、硝酸 ( $HNO_3$ ) の混合比の経度-高度断面図 (データ処理 Version 2.00)。1997 年 2 月 24 日。緯度 69.6 N。ILAS プロジェクトホームページの ILAS Data Gallery より転載 (<http://www-ilas.nies.go.jp/ilasstatus/datadem/>)。

オゾン、低温度、高渦位の部分に対応している。極渦内で  $N_2O$  が少ないのは、成層圏上部または中間圏の空気が極渦内を下降しているためであると解釈される。高度 30 km 弱以上の高度域で亜酸化窒素とオゾン

の分布パターンが異なっていることが、データ質の問題によるのか、あるいは、自然が実際にそうなっていることによるのかどうかについては、今後のデータ検証作業を待たねばならない。硝酸は、オゾン化学反応に与る気体である。図の硝酸を見ると、高度約 20 km、経度約 0 度付近で、0.006 ppmv (6 ppbv) 以下の領域が見られるが、これはオゾン破壊に寄与する PSCs (Polar Stratospheric Clouds) の脱窒作用による可能性がある。

以上、データの一例を示したが、ILAS データは、北極圏冬のオゾン層の実態をきちんと観測しており、これからのデータ解析によっておおいなる成果が期待される。

#### 4. データ処理ソフトウェアのバージョンアップ

第 1 図には、データ処理ソフトウェア Version 2.00 による結果を示した。この原稿を書いている現在(1997 年 9 月上旬)、Version 3.00 による処理を実行している最中である。さらに、より改良された Version 4.00 の検討実施中である。Version 3.00 までの段階においては、メタン ( $\text{CH}_4$ )、CFC-11 ( $\text{CFCl}_3$ )、CFC-12 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ )、二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ) の混合比の値が大きすぎるという問題を抱えているが、エアロゾルの効果等を考慮した Version 4.00 では大幅な改善が期待される。第 1 図に掲げたオゾン等の成分、Version 2.00 でも十分良い質であると判断される成分、も改善が期待される。現在、ILAS プロジェクト参加メンバーにより、検証実験データ等によるデータ質検証評価研究、良質の処理データを得るためのより良いソフトウェア (アルゴリズム) の開発研究が、進行中である。

#### 5. ILAS と成層圏大気科学

ILAS プロジェクトによってもたらされるであろう成層圏大気科学研究成果の例は、成層圏オゾン層の監視、極渦の鉛直構造の解明、極渦内の鉛直下降流の大きさの評価、極渦の孤立性の程度の評価、対流圏・成層圏交換過程の把握、窒素系化学反応過程の解明、PSC 上の不均一系反応過程の解明、脱窒過程・脱水過程の

把握、水素バジェットの把握、等である。ILAS プロジェクトは、笹野氏をプロジェクトリーダーとして、世界中の多数の研究者・技術者によって進められている。研究の最前線にいる研究者が多数このプロジェクトに参加しており、私が考え及ばない範囲でも多大な成果が得られるはずである。日本気象学会 1997 年度秋季大会の ILAS セッション(予稿集 D101-D115, P141)においても、その一部が発表された。

例えば、長寿命の気体のひとつでもあり、温室効果気体でもあり、オゾン層破壊関連気体でもある水蒸気 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) のデータについても、高度 10 km 近辺まで ILAS からの良質のデータが得られそうな曙光がみえつつあり、対流圏との交換過程を含めた水蒸気の北極圏での循環過程の理解にも、ILAS は寄与する可能性がある。すなわち、今回のシンポジウムのテーマ「北極圏の大気環境と物質循環」に深く関連している成果が得られるであろう。

#### 6. おわりに

これまで述べてきたように一部定量的には改善の余地があるが、定性的には非常に信頼性の高い観測データが得られつつある。データの質を高める努力と並行して、データの科学的解析を進めている。後者は前者にも寄与するであろう。近いうちにより信頼性の高い良質のデータがデータ利用科学コミュニティに公開される予定であり、大きな多様な成果が ILAS データから得られることを願っている。

なお、ILAS 後継機としての ILAS-II が、1999 年打ち上げ予定の ADEOS-II に搭載される。

#### 謝 辞

ILAS プロジェクトは、諸方面の方々の協力の上に成り立っている。

#### 参 考 文 献

ILAS プロジェクトホームページ  
(<http://www-ilas.nies.go.jp/>)