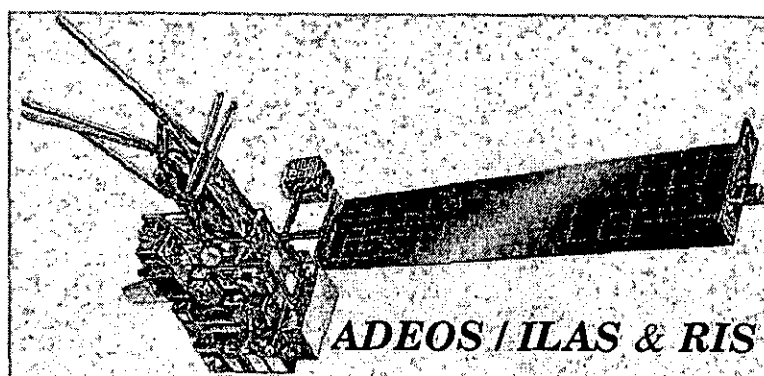


平成 8 年度
ILAS ・ RIS プロジェクト報告

ILAS & RIS Project Report
FY1996



衛星観測プロジェクト
笹野泰弘 ・ 杉本伸夫編

Edited by Y. Sasano and N. Sugimoto
ILAS & RIS Project

平成 9 年 7 月
July 1997

国立環境研究所
NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

はじめに

環境庁は、成層圏オゾン層の変動機構の解明とその長期変化の監視を目的として、衛星搭載用の改良型大気周縁赤外分光計 (ILAS: Improved Limb Atmospheric Spectrometer) を開発した。これは、平成8年8月17日に打ち上げられた地球観測プラットフォーム技術衛星 (ADEOS: Advanced Earth Observing Satellite) に搭載されており (ADEOSは打ち上げ後、「みどり」と命名された。)、同11月末より本格運用を開始した。また、大気微量成分の測定を目的とした地上衛星間レーザ長光路吸収測定用リトロリフレクタ (RIS: Retroreflector In-Space) を開発し、同様に ADEOS 衛星に搭載した。さらに、RIS を用いた測定のための地上レーザー送受信設備を開発した。国立環境研究所では、これらの測定で得られるデータの処理・解析のための ILAS・RIS 衛星データ処理運用設備を整備し、運用を行っている。

ILAS はオゾン層破壊関連物質の大気成分等の高度分布を計測するもので、定常運用開始以来取得された ILAS データには、南半球春季のオゾンホール現象を捉えたデータや、オゾンホール崩壊から静穏期に向かう夏季のデータ、さらに北半球春季のオゾン破壊の進んだとされる時期のデータ等、非常に興味深い時期のデータが含まれており、プロセス研究、事例研究などの面において、今後の研究の進展が期待出来る。また、良質のデータを研究者コミュニティに提供していくために、データ処理アルゴリズムの改訂、検証等の作業を継続的に実施していくこととしている。

一方、RIS については、地上衛星間レーザ長光路吸収測定は全く新しい計測技術であり、技術的な困難をひとつずつ克服しながら、測定システムの整備を続け、試験観測を行ってきた。

本報告書は、ADEOS 衛星打ち上げ後に、ILAS 及び RIS で取得されたデータ及び検証実験データについて、データ利用者へのデータ提供の基礎情報とすることを目的に取りまとめたものである。本書の執筆に当たり、北海道大学の塩谷雅人助教授、国立環境研究所の中根英昭総合研究官に多くのご助言と資料提供を頂いた。ここに記して、謝意を表す。

編集作業の多くは、(財)日本気象協会の松川宗夫氏の手を煩わせた。しかし、内容について不備があるとすれば、すべて編者の責任である。読者の皆様の忌憚のないご意見、ご批判を賜れば幸いである。また、本書が ILAS・RIS プロジェクト関係者のみならず、データ利用に関心をお持ちの多くの皆様にとっても有用であることを願うものである。

衛星観測プロジェクト
笹野泰弘・杉本伸夫

(追記) 本報告書の最終的な編集作業を行っていた最中の平成9年6月30日、ADEOS 衛星は電源系の不具合により運用を停止し、その後の運用を断念するという極めて残念な事態となった。ILAS 及び RIS を用いた観測は、観測開始以来約8ヶ月で終了した。しかしながら、この間、非常に貴重な観測データ、実験データを収集しており、今後の解析に活用していく。なお、本書は平成8年度分の報告として、平成9年3月末時点で取りまとめたものであり、ADEOS の運用停止を反映した記述にはなっていないこととお断りしておく。

目 次

第1章 データの観測及び処理・提供の概要	1
1.1 観測の概要	1
1.1.1 ADEOS	1
(1)ADEOS本体	1
(2)ADEOSの軌道	2
1.1.2 ILAS	3
(1)観測原理	3
(2)観測範囲	4
(3)観測項目	6
(4)センサの動作原理	7
1.1.3 RIS	8
(1)観測原理	8
(2)観測範囲	9
(3)観測項目	10
(4)観測方法	12
1.2 データ処理・提供の概要	13
1.2.1 ILAS・RIS衛星データ処理施設	13
1.2.2 観測データの処理	15
(1)ILASデータ	15
(2)RISデータ	16
(3)データプロダクト	17
1.2.3 ILAS及びRISデータの提供	18
1.3 検証実験データ	19
1.3.1 検証実験の目的	19
1.3.2 ILAS・RIS検証実験の区分	19
1.3.3 ILASの検証実験	20
1.3.4 RISの検証実験	22
1.4 その他各種参照データ	22
第2章 1996年9月以降の成層圏の状況	23
2.1 南極域の状況	23
2.1.1 気象の状況	23
2.1.2 オゾン層の状況	27
2.2 北極域の状況	30
2.2.1 気象の状況	30
2.2.2 オゾン層の状況	34

第3章	I L A S ・ R I S データの観測及び処理に関する中間結果	39
3.1	I L A S データ	39
3.1.1	データ取得・処理状況	39
	(1)データ取得状況	39
	(2)データ処理状況	39
3.1.2	観測状況	41
	(1)月別平均値	41
	(2)観測事例	57
3.2	R I S データ	68
3.2.1	データ取得・処理状況	68
3.2.2	観測状況	68
	(1)初期チェックアウト	68
	(2)分光観測	70
	(3)レーザー測距	71
第4章	検証実験結果	72
4.1	I L A S 検証実験	72
	(1)検証事例	72
	(2)検証結果	74
4.2	R I S 検証実験	87
	(1)検証事例	87
	(2)検証結果	87
	参考文献	88

第1章 データの観測及び処理・提供の概要

1.1 観測の概要

1.1.1 ADEOS

(1) ADEOS 本体

ILAS、RISが搭載されているADEOS本体の内容は「地球観測プラットフォーム技術衛星“ADEOS”搭載大気環境観測センサILAS&RIS」(環境庁, 1996)、宇宙開発事業団(NASDA)のホームページ(<http://www.nasda.go.jp>)等に詳述されているため、ここでは概要を示す。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に対応した全地球規模の観測データを取得し、国際協力による地球環境監視に役立てるとともに、次世代地球観測システムに必要なプラットフォーム・バス技術等の開発をおこなうことを目的とした衛星である。ADEOSは、衛星本体が約4×4×5mの大型衛星であり、前方の観測機器を搭載したミッションモジュールと後方の衛星の基本機器を搭載したバスモジュールから構成される。ミッションモジュールの先端には散乱計アンテナおよびアンテナタワーが設置され、地球指向面にはILASをはじめ観測機器の各ユニットが搭載されている(図1.1参照)。

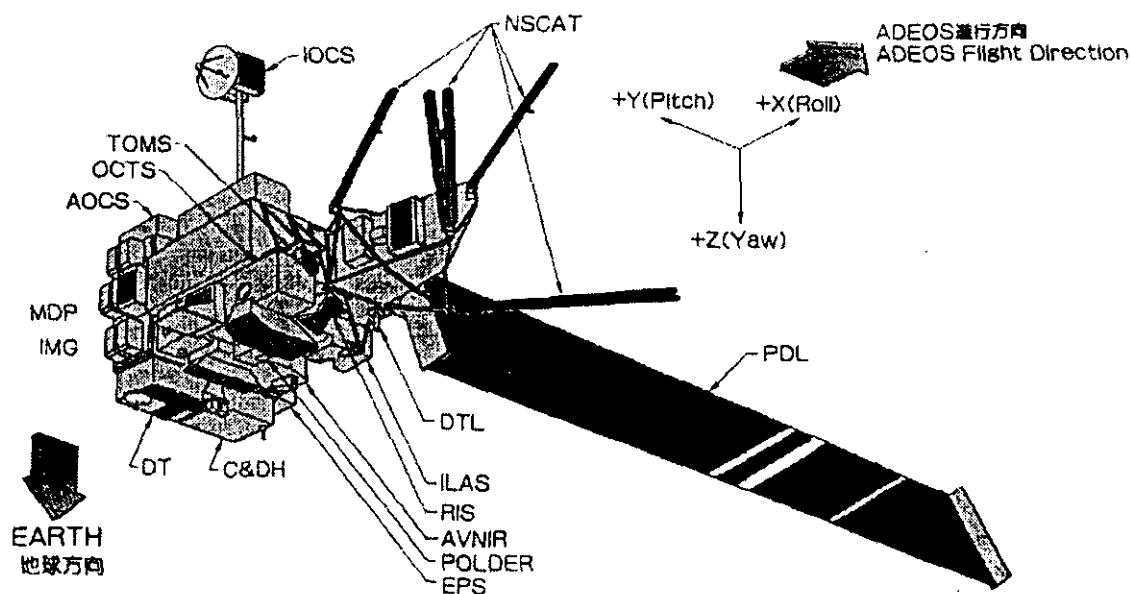


図1.1 ADEOS 外観図 (ADEOSパンフレット、宇宙開発事業団より)

(2) ADEOSの軌道

ADEOSは1996年8月17日10時53分、宇宙開発事業団種子島宇宙センターから打ち上げられた。ADEOSは、打ち上げ前の計画(表1.1)にほぼ則った軌道(傾斜角 98.6° 、高度約800kmで、約101分かけて地球を一周する太陽同期準回帰軌道)に投入された。

表1.1 ADEOS主要諸元(打ち上げ前の計画による)

形 状	一翼式太陽電池パドルを有するモジュール方式 本体 約 $4 \times 4 \times 5$ (m) (ミッション、バスモジュール) 太陽電池パドル 約 3×26 (m)	
重 量	打ち上げ時 約3.5トン	
姿勢安定方式	ゼロモーメント三軸制御ストラップダウン方式	
設計寿命	3年	
打ち上げロケット	H-IIロケット(5m ϕ フェアリング)	
打ち上げ場所	種子島宇宙センター	
打ち上げ日時	1996年8月17日10時30分	
軌 道	種 類	太陽同期準回帰軌道(東方移動) (周回数: $14 + 11/41$ 周/日)
	高 度	796.75km
	傾斜角	98.59度
	周 期	100.92分
	回帰日数	41日
	周回数/回帰	585周回
	最小軌道間距離	68.5km(赤道上)
	降交点通過地方時	午前10時30分 \pm 15分

1.1.2 ILAS

(1)観測原理

ILASによる測定には、太陽掩蔽法を採用している。太陽掩蔽法は、周縁吸収測定法の一つで、太陽光が大気を通過する際に受ける吸収量をスペクトル分解して測定するものであり、輝度の高い太陽を光源としているため、一般に極めて高い精度の測定が可能となる。

ADEOSから見た日の出、日の入り時には、太陽からの光は大気層を通過してADEOSに届く。この時、ADEOSの進行に連れて、太陽光が通過する大気層の高度（範囲）が変化する。そこで、ILASにおいては、日の出、日の入り時に、太陽を追尾しながら連続的に測定を行うことにより、異なる大気層による太陽光の吸収量を測定することができ、吸収をもたらす物質の高度分布に関する情報を得ることができる。

太陽掩蔽法では、観測位置の決定精度が、大気成分の高度分布の最終的な測定精度に大きく影響する。ADEOSの位置については、週3回の軌道決定により3軸方向（地球方向、進行方向、水平方向）とも150m（3シグマ；標準偏差の3倍）の精度で決定され、時刻についても17ミリ秒という極めて高い精度で求められる。さらに、ILASには、瞬時視野の位置を太陽上端からの角度で精度よく（約8"）決定する太陽輪郭（エッジ）センサを搭載しているため、観測位置を高い精度で決定することができる。なお、地球中心から各光路に下ろした垂線で定義される海拔高度を接線高度と呼ぶ。ILASの移動に伴って接線高度は変化し、異なる大気層を通過する太陽光線が観測される。

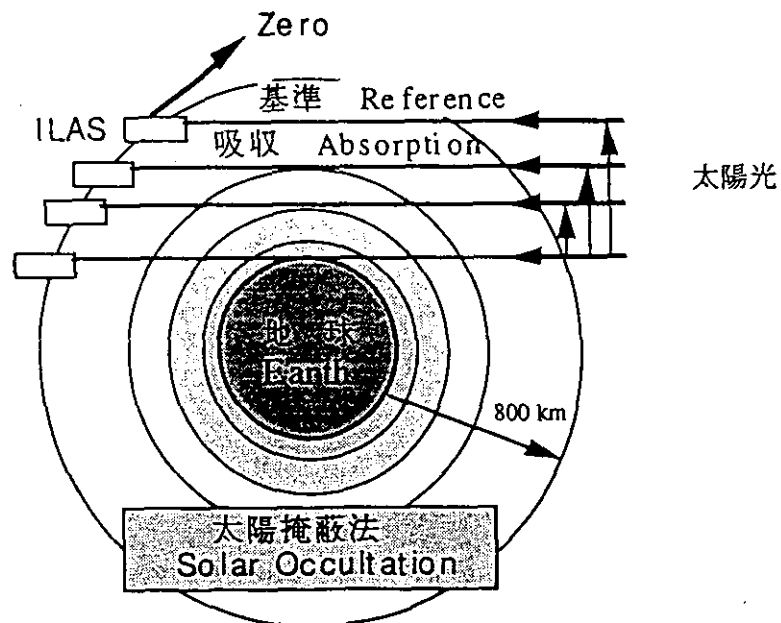


図1.2 ILAS観測原理図

太陽光が、地球縁辺の大気を通してセンサに捉えられる。衛星の進行に伴って、異なる高度の大気層を通過する太陽光が測定される。大気中に含まれる気体によって、太陽光は特有の波長で減衰を受けることから、気体成分濃度が高度別に求められる。

(2) 観測範囲

ADEOSは太陽同期の極軌道衛星（軌道傾斜角 98° ）であり、ILASが太陽を光源とすることから、ILASによる観測は、南北両半球の高緯度地域の上空でおこなわれることになる。

ADEOSは1日に地球の周りをほぼ14周（ $14+11/41$ 周）するため、ILASによる測定は南北両半球でそれぞれ1日にほぼ14回おこなわれることになる。1日の測定点は、同一の緯度帯の円周上に14地点あり、一回の測定位置は、西へ約 25° ずつ経度がずれる。

たとえば、1996年（平成8年）の10月の南半球における測定は、南緯 85° 付近から始まり、月末には南緯 75° 付近となる。つまり、10月1日には南緯 85° 付近の円周上の14点で測定をおこない、徐々に低緯度側に移動しながら測定をおこない、10月31日には南緯 75° 付近の円周上の14点で測定をおこなうことになる。11月には、さらに低緯度側に測定点が移動し、12月の終わりには南緯 60° 付近に達する。その後、測定点は再び高緯度側に向かって移動する。

このように、ILASは、狭い緯度範囲を繰り返し測定することから、特定の領域（緯度範囲）の大気環境の変化を時間を追って詳細に捉えることができ、経度一高度断面の大気成分の詳細な時間変化を知ることができる。これは、オゾンホールなどの諸現象の解明において重要な化学環境の時間的変化をみるうえで、非常にユニークな観測データを提供できることを意味している。

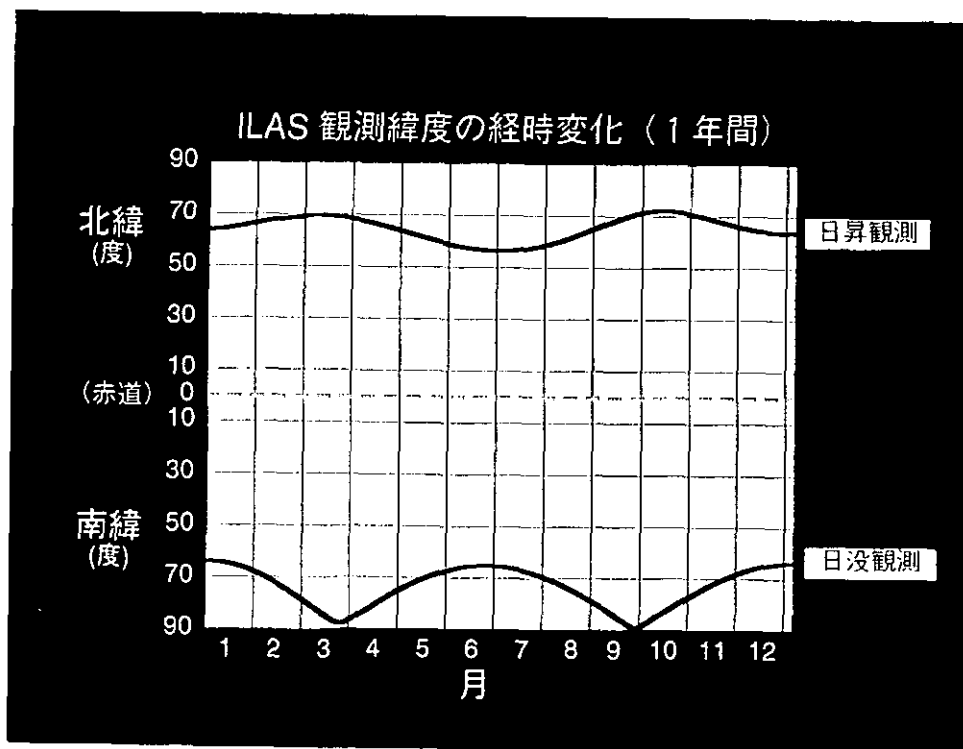


図1.3 ILASの観測位置（緯度）の経時変化（概算値）

太陽を光源とした掩蔽法を原理として、太陽同期の極軌道衛星から測定するので、測定位置は南北両半球の高緯度地方に限られる。太陽赤緯によって、測定緯度が季節変化する。

南極（南緯60°～90°） 1996年11月10日

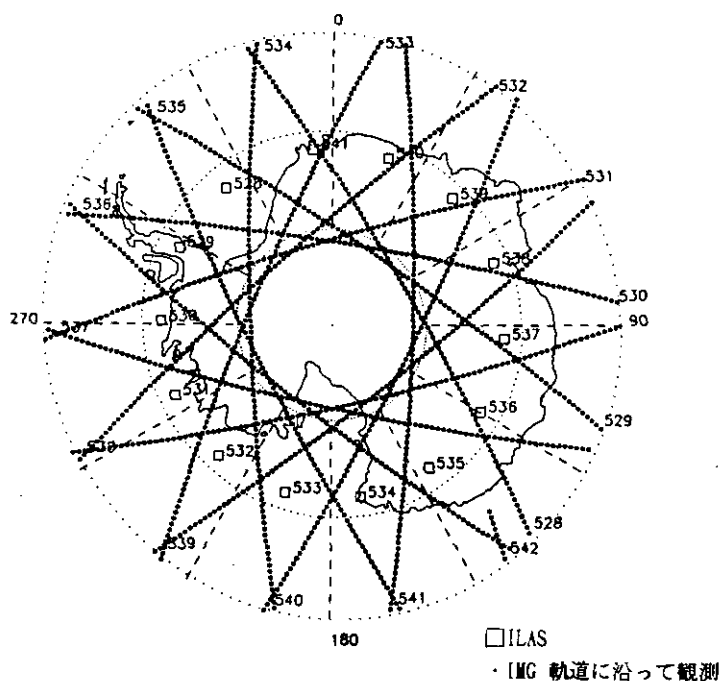


図1.4(1) I L A Sの測定地点（概算値）(1)

1996年11月10日の南極におけるI L A Sの測定点を示した。1日に約14地点(図中の□印)で測定がなされる。測定点は、ほぼ同一の緯度帯の円周上の14地点で西へ約25°ずつ経度位置がずれる。オゾン等を計測するA D E O S搭載のI M Gの測定点を合わせて描いている(図法は平射図法)。

南極（南緯50°～90°） 1996年11月

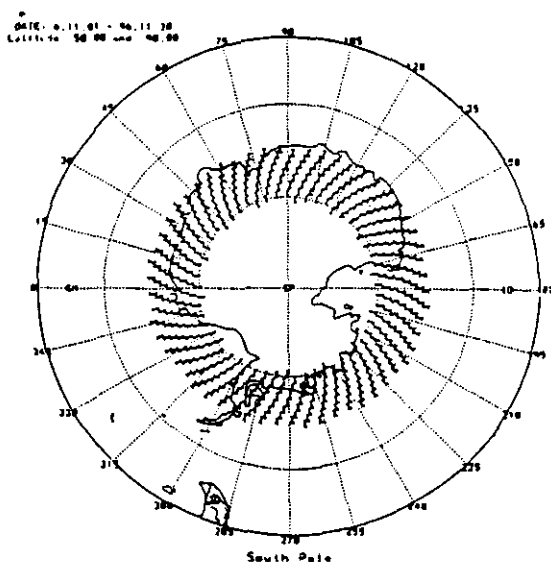


図1.4(2) I L A Sの測定地点（概算値）(2)

1996年11月の南極におけるI L A Sの測定点を示した。測定点は、ほぼ同一の緯度帯の円周上の14地点で西へ約25°ずつ経度位置がずれる(図法は平射図法)。

(3)観測項目

I L A Sによる太陽光の測定においては、赤外波長では $6.211\mu\text{m}\sim 11.76\mu\text{m}$ の波長（波数では $1,610\text{cm}^{-1}\sim 850\text{cm}^{-1}$ ）における吸収量を、可視波長では $0.753\mu\text{m}\sim 0.784\mu\text{m}$ の波長（ $13,280\text{cm}^{-1}\sim 12,755\text{cm}^{-1}$ ）における吸収量を測定する。

赤外波長の吸収量からは、オゾン（ O_3 ）、一酸化二窒素（ N_2O ）、硝酸（ HNO_3 ）、二酸化窒素（ NO_2 ）、メタン（ CH_4 ）、水蒸気（ H_2O ）、クロロフルオロカーボン（ CFC11 、 CFC12 ）、五酸化二窒素（ N_2O_5 ）などの高度分布や、赤外波長におけるエアロゾル消散係数、などの高度分布が測定される（ただし、 CFC11 、 CFC12 および N_2O_5 については高度分解能や精度が劣る）。可視波長の吸収量からは、酸素分子による吸収に着目することにより、気温、気圧の高度分布が測定され、また、エアロゾル消散係数の高度分布も測定される。

実際には、検出素子の幅に対応して、有限の波長幅での分光強度が測定される。各々の素子からの出力には、対応する波長幅内の吸収線構造（気体吸収特性）と視野内のガス成分濃度の高度分布が複合されて反映されている。そのため、対象とする物質の濃度の高度分布を知るためには、観測データを数学的に解析する必要がある。

なお、I L A Sによる測定の対象となる高度は約 $10\text{km}\sim 60\text{km}$ の範囲であり、高度分解能（瞬時視野の高度方向の幅）は 2km である。

表1.2 I L A Sの観測スペクトル領域の主な測定対象項目

観測スペクトル	測定対象項目	測定対象高度範囲	高度分解能 ¹
赤外波長 $6.211\sim 11.765\mu\text{m}$	オゾン（ O_3 ） 一酸化二窒素（ N_2O ） 硝酸（ HNO_3 ） 二酸化窒素（ NO_2 ） メタン（ CH_4 ） 水蒸気（ H_2O ） エアロゾル消散係数 （ $7.12, 8.27, 10.6, 11.76\mu\text{m}$ ） クロロフルオロカーボン ^{1,2} （ CFC11 、 CFC12 ） 五酸化二窒素（ N_2O_5 ） ^{1,2}	約 $10\sim 60\text{km}$	2km
可視波長 $0.753\sim 0.784\mu\text{m}$	気温 気圧 エアロゾル消散係数（ $0.780\mu\text{m}$ ）		

注)*1高度分解能：瞬時視野の高度方向の幅

*2高度分解能や精度は、他の測定項目より劣る。

(4) センサの動作原理

I L A Sに入射した太陽光は、2軸制御のジンバルミラー（太陽追尾ミラー）により、望遠鏡光軸に導かれ、観測瞬時視野に相当する視野スリット上に集光される。集光された光は、赤外光と可視光とに分離され、赤外光は赤外分光器で分光され、そのスペクトル集光位置に設置された焦電型リニアアレイ検出器により検出される。可視光も同様に、リニアイメージセンサ（フォトダイオードアレイ）により検出される。

物質はそれぞれ固有の吸収波長をもち、分光波長位置と検出器の各素子の位置が対応しているため、特定ガスの吸収の情報は、吸収波長に対応する素子の出力を観測すれば得られる。

実際には、観測対象となった大気層に含まれる様々な物質による全体の吸収量が測定されるが、個々の物質により吸収の消長特性が異なるため、信号の解析をおこなうことによって各々の気体の濃度を導出することができる。

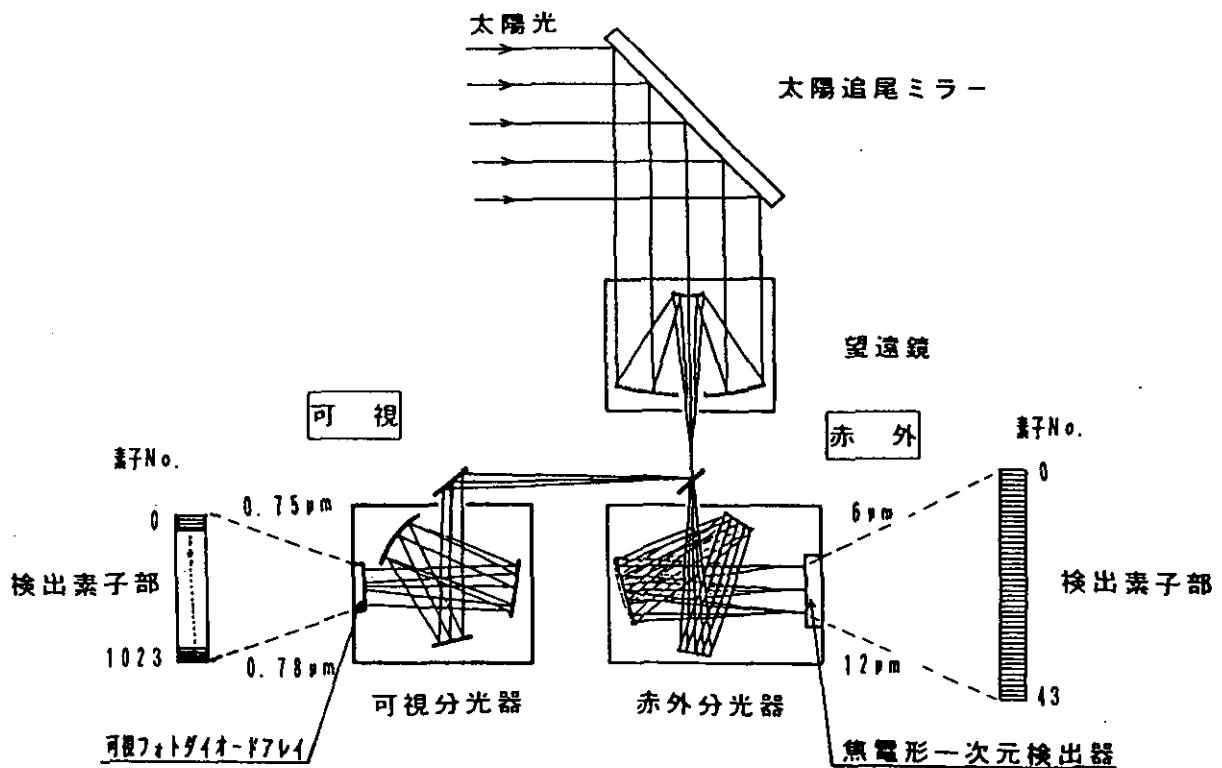


図1.5 I L A Sによる測定概念図

太陽追尾ミラーで受光望遠鏡に導入された太陽光は、ビームスプリッターによって赤外分光器と可視分光器に送られ、それぞれ分光された光が検出素子部で検出される。

1.1.3 R I S

(1)観測原理

R I Sによる測定の方法は、地球と衛星との間の「長光路吸収」法であり、レーザー光を用いた高分解能の吸収分光法が用いられる。この測定方法では、地上局から発射されたレーザー光をA D E O Sに搭載した反射鏡（R I S）により反射させ、その反射光を再び地上局で受信する。これによって、地上局とA D E O Sの間の大気による光の吸収量を測定することにより、気体の濃度（カラム量および高度分布）を算出するものである。

採用している分光測定手法の最も大きな特徴は、波長掃引にドップラーシフトを利用する点にある。すなわち、地上局に対して相対的に高速で運動しているR I Sによる反射光の波長は、ドップラーシフトによって短波長側に変化するが、この時、地上局に対するR I Sの相対的な移動速度は、A D E O Sが天頂に近づくにつれて時間とともに遅くなるため、ドップラーシフトによる反射光の波長の変化量も時間とともに小さくなることになる。したがって、測定用レーザーの発振線が単波長であっても、一定領域内の吸収スペクトルを測定することができる。

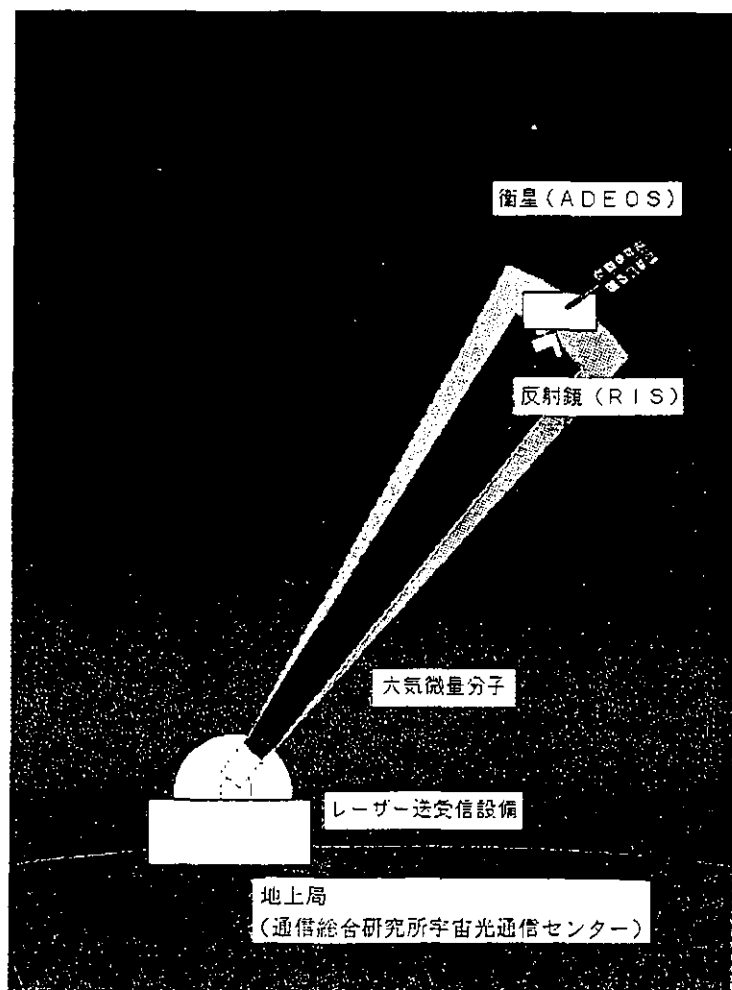


図1.6 R I Sによる観測の概念図

地上局から発射されたレーザー光がR I Sによって反射され、地上局で再び受信される。レーザー光が往復する間に大気中の気体成分による吸収を受ける。

(2)観測範囲

R I Sは、光軸の回りの約30度（全角約60度）以内からレーザー光が入射する場合にリフレクタとして機能するように設計されている。また、R I Sは、光軸の方向余弦がA D E O Sの座標系で(0.508, 0.279, 0.815)となるように、A D E O Sの前方部分に取り付けられる。これを角度で表すと、Y軸方向からみると光軸とZ軸（地球方向）とのなす角はX軸方向（A D E O Sの進行方向）に約30度、X軸方向からみると光軸とZ軸とのなす角がY軸方向に約-20度となる。A D E O Sの高度は796.75kmであるため、R I Sによる測定が可能な範囲は、南下するパスにおいては地上局から北に約1,400km、西に約1,000kmの領域、北上するパスにおいては南に約1,400km、東に約1,000kmの領域となる。ただし、測定対象としている大気は高度数十km程度までであるため、地上局のほぼ上空の大気を観測していると考えることができる。

なお、観測中に、R I Sが移動する間に、観測される（レーザー光が通過する）大気の種類も変化する。しかし、変化する範囲は、高度50kmを観測対象と考えた場合でも100km以内と小さいため、この範囲の高層の大気は一様であると仮定することができる。

また、A D E O Sは、太陽同期準回帰軌道衛星（軌道傾斜角98.6度、回帰日数41日、降交点通過時刻午前10時15分～10時45分（地方時））であり、東京都小金井市にある地上局（通信総合研究所宇宙光通信センター）から測定をおこなう場合、昼夜あわせると平均しておよそ1日に1回の頻度で観測の機会があることになる。

< Y軸方向からみた場合 >

< X軸方向からみた場合 >

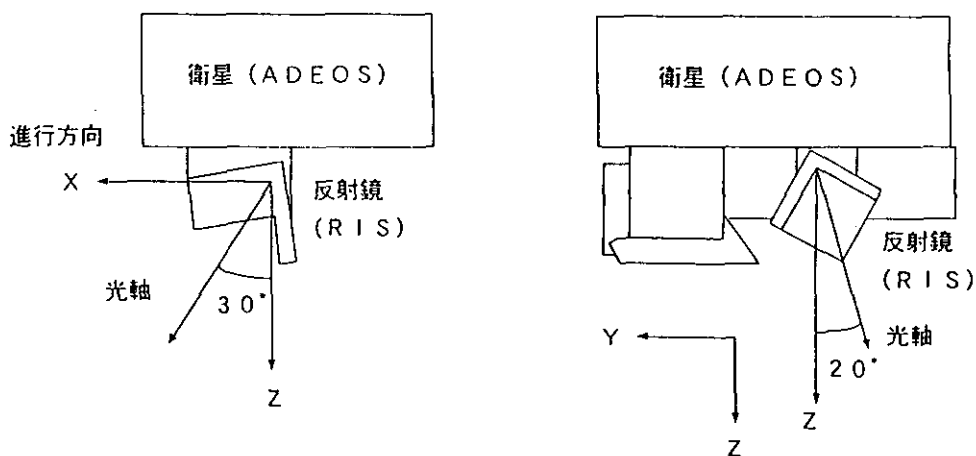
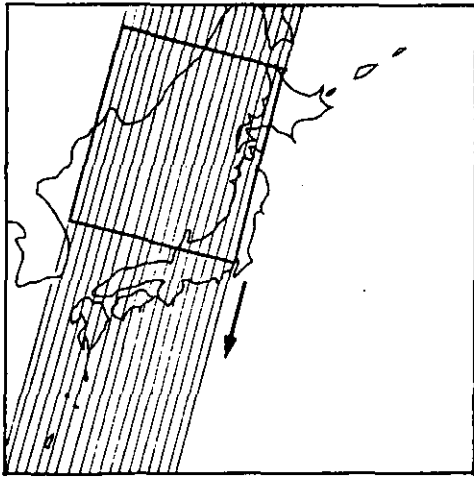
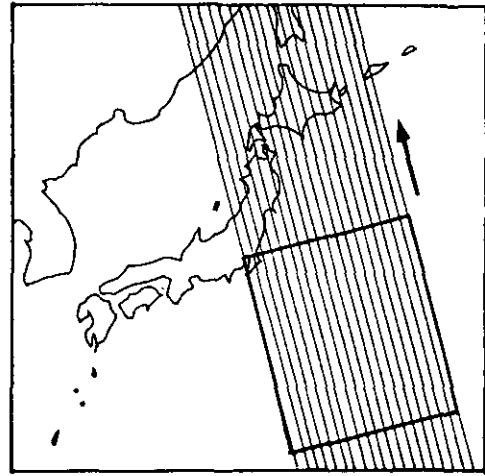


図1.7 R I Sの光軸の向き（A D E O Sへの取り付け状態）

R I SはA D E O Sの進行方向へ傾けて取り付けられている。



午前に ADEOS が通過するときの
捕捉可能範囲



午後に ADEOS が通過するときの
捕捉可能範囲

図1.8 東京の地上局から観測が可能な ADEOS の位置

(3) 観測項目

RISによる測定にあたっては、衛星の進行に伴う反射光のドップラーシフトを利用する。すなわち、高速で運動している（地上局に近づいてくる）RISによる反射光の波長は、ドップラーシフトによって短波長側に変化する。この時、地上局からみたRISの相対的な移動速度が時間とともに遅くなるため、ドップラーシフトによる反射光の波長の変化量も時間とともに小さくなることになる。したがって、測定用レーザーの発振線の波長を、測定対象とする物質の吸収量の波長の近傍に設定することによって、一定領域内の吸収スペクトルを測定することができる。たとえば、レーザー波長を $10\mu\text{m}$ とした場合で、地上局とRISの東西距離が 0km （地上局の真上をRISが通過する）の場合には、波長シフトの量は、南北距離 $1,400\text{km}$ の地点では約 0.04cm^{-1} 、 600km の地点では約 0.03cm^{-1} 、 350km の地点では約 0.02cm^{-1} となり、 0km （地上局の真上）の地点ではシフトの値は 0 となる。

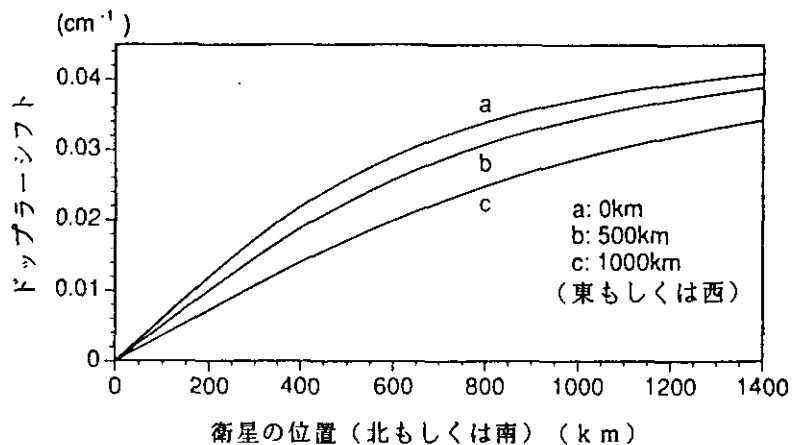


図1.9 RISの地上局からの位置とドップラーシフトとの関係
（レーザー波長： $10\mu\text{m}$ の場合）

衛星が高速度で進行しているので、反射レーザー光はドップラーシフトを受けてその波長（波数）がずれる。ドップラーシフトの大きさは、衛星速度の地上局方向成分の大きさで決まる。

測定に用いる発振線としては、同位体炭酸ガス ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$ 、 $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$) レーザー (レーザー波数の範囲: $907.0528\text{cm}^{-1} \sim 1002.4778\text{cm}^{-1}$) とその第二、第三高調波を用いることとしており、これにより、オゾン、二酸化炭素、硝酸、メタン等の多種類の気体分子を測定することができる。

オゾン、メタンなど比較的吸収の大きな分子については、吸収線幅が気圧すなわち高度に依存することを利用して、吸収線のスペクトル形状から反転法により高度分布を求めることができる。このためには、吸収線のピークから裾までできるだけ広い範囲のスペクトルの情報を得ることが望ましい。たとえば、オゾンについては、 CO_2 レーザーの P(18) と P(20) とを交互に切り替えて発振することにより、オゾンの吸収スペクトルの異なる領域のスペクトルを 1 回の観測機会の内に同時に測定する方法が有効である。微量な HNO_3 、 CO 、 N_2O などの分子については、カラム濃度を測定することができる。

一方、 CFC12 は、吸収線が密集しており、連続帯として観測されるため、レーザー発振線を切り替えることによる波長スキャンにより、カラム濃度の測定が可能である。

なお、1 回の測定について、1 ~ 2 種類の分子を対象として測定を実施することとしている。

表 1.3 同位体炭酸ガスレーザーの発振線の種類と観測項目等

測定対象	発振線の種類			観測量
	発振線	CO_2 同位体	波数 (cm^{-1})	
O_3	P(18)	$^{13}\text{C}^{16}\text{C}_2$	1002.4778	高度分布
	P(20)	$^{13}\text{C}^{16}\text{C}_2$	1000.6473	
CO_2	P(26)	$^{12}\text{C}^{16}\text{C}_2$	938.6883	カラム濃度
	R(36)	$^{13}\text{C}^{16}\text{C}_2$	938.7776	
HNO_3	P(8)	$^{13}\text{C}^{16}\text{C}_2$	907.0528	カラム濃度
CFC12	R(6)-R(12)	$^{13}\text{C}^{16}\text{C}_2$	918.74~923.11	カラム濃度
CO	R(10)SH	$^{12}\text{C}^{16}\text{C}_2$	2111.25	カラム濃度
N_2O	R(38)SH	$^{12}\text{C}^{16}\text{C}_2$	2178.002	カラム濃度
CH_4	R(14)TH	$^{13}\text{C}^{16}\text{C}_2$	2915.79	高度分布
	R(16)TH	$^{12}\text{C}^{16}\text{C}_2$	2919.89	
参照光	R(34)	$^{13}\text{C}^{16}\text{C}_2$	937.5844	-
	R(10)SH	$^{12}\text{C}^{16}\text{C}_2$	2140.925	
	R(26)TH	$^{12}\text{C}^{16}\text{C}_2$	2939.12	

注) SH...第二高調波 TH...第三高調波
P, R...吸収ブランチを示す。

(4)観測方法

RISを用いた分光測定方法としては、光源とするレーザーの種類に応じていろいろな方法が考えられるが、RISプロジェクトでは、2台のパルス炭酸ガスレーザーを用いた分光測定方法を採用している。2台のレーザーのうち1台は、発振線を大気による吸収が小さくスペクトルがなだらかな波長に固定し、大気の透過率の変化やRISの反射率の変化などの影響を取り除くための参照用として用いる。もう1台のレーザーの波長は、測定対象とする物質の吸収領域の近傍に設定し、吸収スペクトルを測定する。2波長の測定の間の大気の変動による影響を受けないようにするため、2台のレーザーからのレーザーパルスは1ms以下の時間間隔で発射する。測定にあたっては、発射した2波長のレーザーパルスのエネルギーと、RISにより反射され受光された2波長のパルスエネルギーが、パルスペアごとに、トランジェントデジタイザにより収集・記録される。光検出は、光起電力型の検出器を用いた直接検波方式でおこなわれる。

RISによる測定においては、RISの位置の高精度の追尾が不可欠である。そのため、光学追尾には、東京都小金井市にある通信総合研究所（宇宙光通信センター）の口径1.5mの望遠鏡を使用して、ADEOSの軌道予報値に基づくプログラム追尾とともに、追尾用のレーザー光のRISによる反射を画像としてとらえて追尾をおこなう能動的な手法も併用している。追尾用のレーザーとしては、Nd:YAGレーザー（第二高調波：波長523nm）を用いている。追尾システムでとらえたRISの画像は、イメージ・インテンシファイア付きCCDカメラによりリアルタイムで見ることができ、その画像を見ながら分光測定用のレーザーの発射方向の微調整をおこなう。

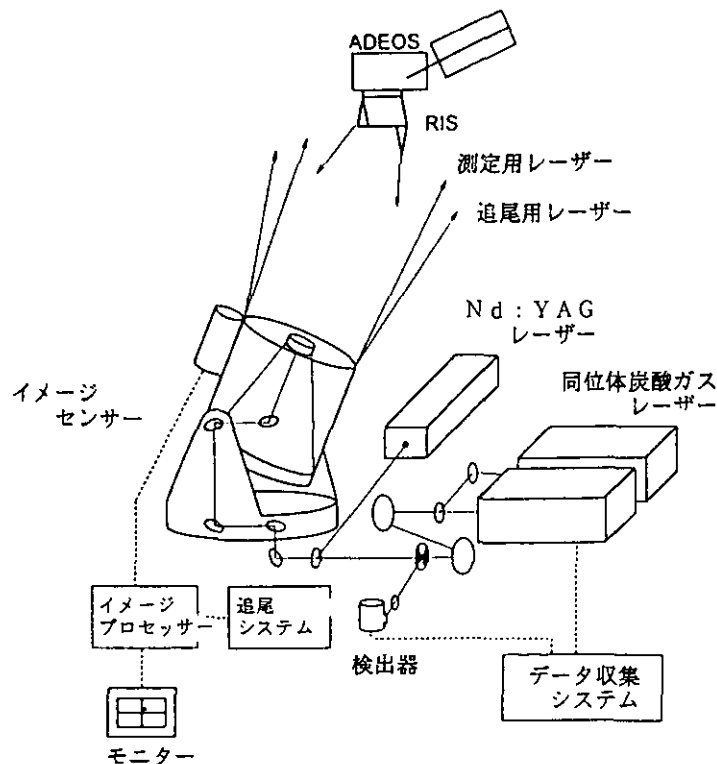


図1.10 RISを用いた測定のための地上システムの概念図
衛星追尾システムと、吸収計測システムとから構成される。

1.2 データ処理・提供の概要

宇宙開発事業団地球観測センターで受信された I L A S の測定データおよび通信総合研究所宇宙光通信センターにおける R I S の測定データは、国立環境研究所内に設置されている「I L A S ・ R I S 衛星データ処理運用施設」(I L A S & R I S D H F) に転送され、処理・解析がなされた後、プロジェクト関連研究を始め、その他の一般ユーザ等に提供される。本章では、国立環境研究所で開発されてきた、I L A S ・ R I S に係るデータ処理運用のための施設 (I L A S ・ R I S 衛星データ処理運用施設) の概要について述べる。

1.2.1 I L A S ・ R I S 衛星データ処理施設

I L A S & R I S D H F (以後、D H F とする) は、I L A S および R I S の測定データの処理、評価・解析、I L A S のミッション管理、データ提供等を行う施設である。D H F は、国立環境研究所研究本館 III 棟に設置されており、高速デジタル専用回線によって宇宙開発事業団地球観測センターと結ばれている他、デジタル通信網によって、衛星搭載機器の開発業者である松下技研、D H F システムのソフトウェアの開発業者である富士通 F I P と接続されている。さらに、研究所外の研究機関、研究者等とは、インターネットを介して結ばれている。インターネットを経由して、英国気象局から成層圏気象データ、通信総合研究所や米国の天文台等から太陽画像データの定期的な入手をおこなう。また、サイエンスチームメンバー、検証実験チームメンバー、公募研究者等、事前に登録された研究者は、データ提供等の D H F の各種サービスにアクセスできる。また、WWW (World Wide Web) サーバーを設置し、1996年 (平成 8 年) から I L A S プロジェクトホームページ (<http://www-ilas.nies.go.jp/>) 、R I S プロジェクトホームページ (<http://www-ris.nies.go.jp/>) 、I L A S ・ R I S の共通のホームページ (<http://www-ilas.nies.go.jp/ilasrisidx.html>) をそれぞれ開設した。これらのホームページを通して、I L A S ・ R I S プロジェクトの概要、I L A S 、R I S 観測の現況、データ処理状況等を、タイムリーに提供している。

D H F のソフトウェアシステムは機能的に、以下の 9 つのサブシステムから構成されている。

- ① システム運用管理サブシステム
- ② データ管理サブシステム
- ③ ミッション管理サブシステム
- ④ I L A S 機器管理サブシステム
- ⑤ データ受信 / 受け入れサブシステム
- ⑥ I L A S データ処理サブシステム
- ⑦ R I S データ処理サブシステム
- ⑧ データ評価 / 解析サブシステム
- ⑨ データ提供サブシステム

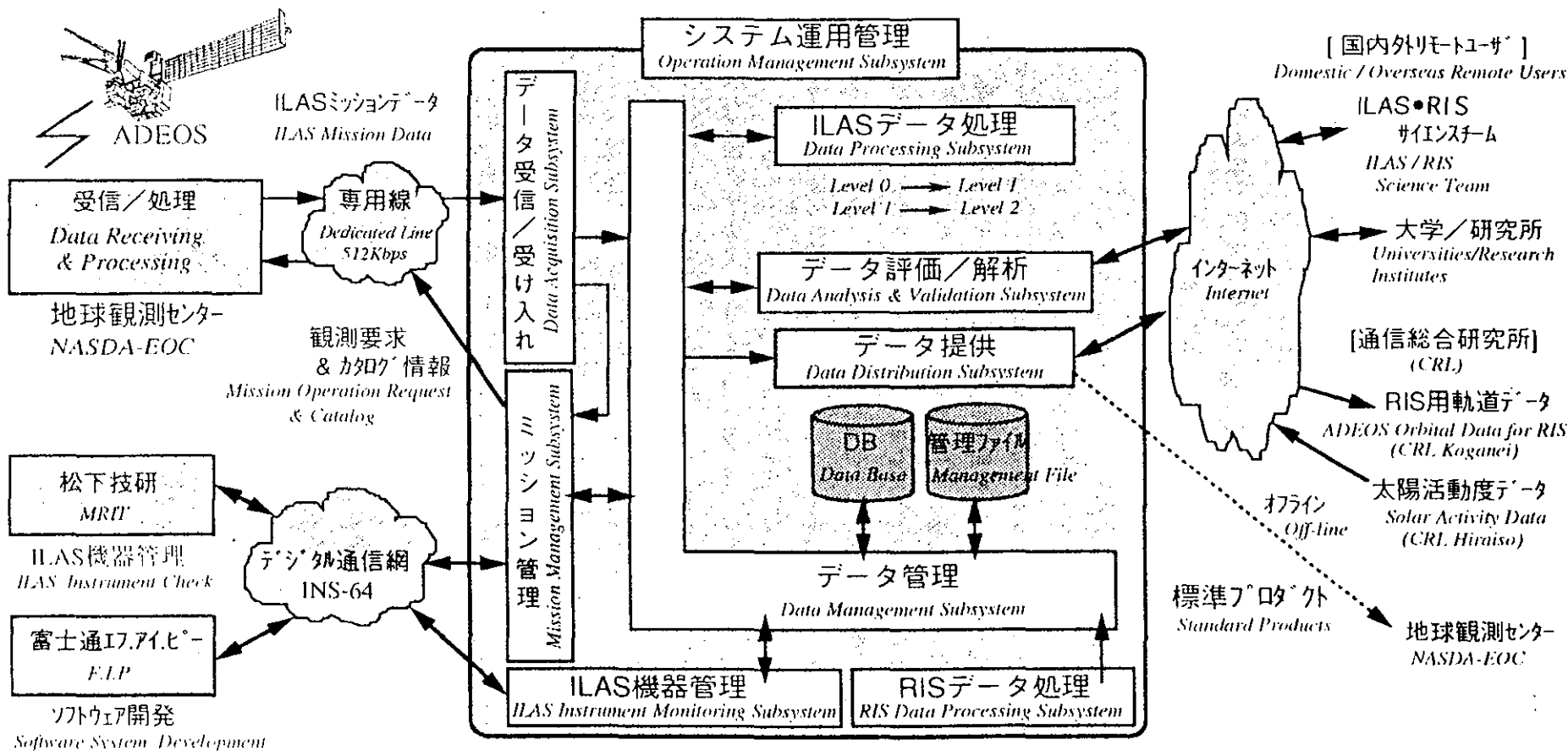


図1.11 ILAS・RIS衛星データ処理運用施設の機能

観測要求ファイルの生成から、観測データの受信/受け入れ機能、データ提供機能における検索・配布サービス、データ管理機能におけるデータベース管理、ILAS機器管理機能における機器診断、データ評価/解析機能における研究支援解析まで、多様な機能を持っている。

1.2.2 観測データの処理

(1) I L A S データ

N A S D A の地球観測センターから送信されてくる I L A S ミッションデータ（レベル0）は、D H F のデータ処理サブシステムにおいて処理される。データ処理の過程は、事前処理、レベル0→1処理、レベル1→2処理及び後処理の4段階に大別される。

事前処理は、P-Tテーブル、装置特性テーブル、太陽光源テーブル等の計算、作成およびミッションデータ処理の計算に必要な計算条件等の設定をおこなう処理であり、初期設定時および変更が必要な時にのみ行われる。

レベル0→1処理の段階では、観測データの有効部分の抽出、スパイクノイズの除去等の異常値・欠測値の処理、相対輝度電圧補正、観測時刻および衛星位置データからの観測位置決定をおこなう。

レベル1→2処理の段階では、気温・気圧、エアロゾル消散係数、ガス成分濃度等の算出をおこなう。後処理は、必要に応じてログ情報の抽出・編集およびログ情報リストの出力等をおこなう。

表1.4 I L A S データ処理の概要

区 分	概 要
事前処理	P-Tテーブルの計算・編集 装置特性テーブルの計算 太陽光源テーブル作成 計算条件の設定
レベル0→1処理	有効部分の抽出 異常値・欠測値の抽出および処理 相対輝度電圧補正 観測位置の計算
レベル1→2処理	気温・気圧の算出 エアロゾル消散係数の算出 ガス成分濃度の算出
後処理	ログ情報の編集

(2) R I S データ

通信総合研究所から光磁気ディスクで送られてくるデータについては、基本的には通信総合研究所におけるクイックルック処理と同様の処理がなされる。ただし、R I S 位置データとしてはN A S D A による軌道決定値を、気象データとしては観測地点近傍の実測値を用いる。

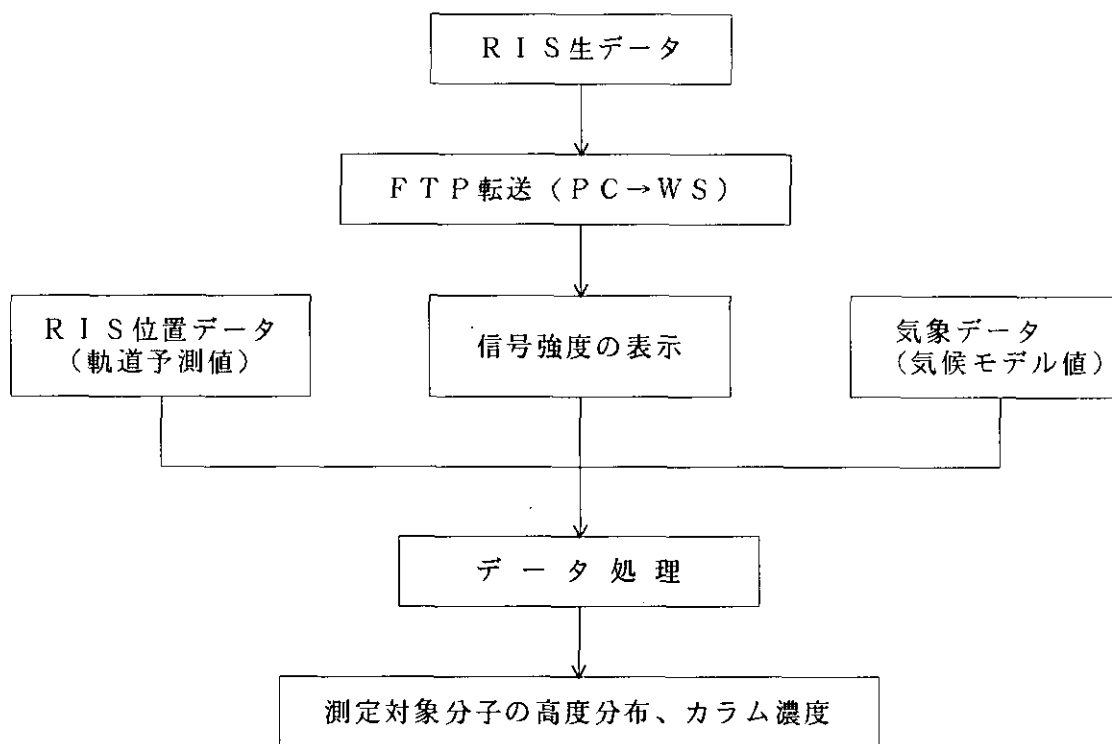


図1.12 R I S 測定データのクイックルック処理の手順

R I S 測定信号データは、計測システムのパーソナルコンピュータからワークステーションに転送され、予測軌道データ、気温高度分布の気候値を用いて、クイックルック処理される。

(3) データプロダクト

観測データ（レベル0）は、DHFに転送された後処理されるが、処理されたデータは、その処理される段階によって、レベル0、レベル0a、レベル0b、レベル1およびレベル2に区分される。また、ILAS観測データにおいては、軌道データを予測値で示しているレベル0' データもDHFに転送される。これは、軌道予測値を用いて予備的に処理されるもので、データ質等を迅速に把握することを目的としている。なお、利用者が多いレベル2データのデータ量は、ILASデータでは1日分で2MB程度（1年で700MB程度）であり、RISデータでは1観測分で2KB程度（1年分で200KB程度）である。

表1.5 ILASのデータレベルとその内容

レベル	内 容
レベル0	地球観測センターから提供されるILAS観測データ（軌道：決定値）
レベル0'	地球観測センターから提供されるILAS観測データ（軌道：予測値）
レベル0a	0%、100%、有効部観測データの抽出済みデータ（軌道：決定値）
レベル0a	0%、100%、有効部観測データの抽出済みデータ（軌道：予測値）
レベル0b	異常値/欠測値処理済みデータ（軌道：決定値）
レベル0b	異常値/欠測値処理済みデータ（軌道：予測値）
レベル1	相対輝度電圧値補正済みデータ（軌道：決定値）
レベル1'	相対輝度電圧値補正済みデータ（軌道：予測値）
レベル2	リトリバーブル処理結果データ（各観測地点毎の大気微量成分濃度、物理量と、その測定誤差の鉛直分布データ）（軌道：決定値）
レベル2'	リトリバーブル処理結果データ（各観測地点毎の大気微量成分濃度、気象量と、その測定誤差の鉛直分布データ）（軌道：予測値）

表1.6 RISのデータレベルとその内容

レベル	内 容
レベル0	RIS生データ
レベル0a	キャリブレーションデータ
レベル1	異常値処理済みデータ
レベル2	リトリバーブル処理結果データ （地上局上空の大気微量成分濃度とその測定誤差の鉛直分布データ または大気微量成分のカラム量とその測定誤差データ）

1.2.3 I L A S及びR I Sデータの提供

D H Fにおいて処理されたデータが研究者等に提供されるまでには、データ質評価、検証解析、機器トレンド評価等の作業がおこなわれる。このため、データ利用目的、研究者登録区分によって、データの提供に際しての条件が異なる。

定常的なデータ質の評価は、測定対象パラメータ（例えば、オゾン等の高度分布）の平均的な値（I L A Sデータ質評価用参照大気モデルデータと呼ばれる）と予想される変動幅についてあらかじめデータセットを用意しておき、処理された個々のデータが、その変動幅の中に入っているかどうかを自動的に判定することでおこなわれる。仮に、自動判定で、警告が出された場合には、データ質評価の担当者が、その原因を調査し、自然現象であるか、機器の異常によるものであるか等の検討をおこなう。

検証解析は、第4章で述べた検証実験等で取得されたデータを用いておこなわれる。I L A Sに関する第一次のコア検証実験の完了が、衛星打ち上げの約8ヶ月後であること、検証データそのものの解析に6ヶ月程度の時間がかかること、その後検証解析を実施すること等から、衛星打ち上げ後、I L A Sデータの検証解析が完了するまでに約21ヶ月程度を見込んでいる。さらに、機器自身の劣化等の影響を調べるために、12ヶ月程度の期間のデータを時系列的に評価する（機器トレンド評価）。従って、未検証データは衛星打ち上げ後3ヶ月目から、検証済データは21ヶ月目から、機器トレンド評価を終えた確定データは同じく21ヶ月目から、提供が可能になる。ただし、確定データは、提供時点の12ヶ月以前までのデータが提供対象となる。R I Sデータについては、提供時期はそれぞれ打ち上げ後3ヶ月、15ヶ月、15ヶ月を経てからとなる見込みである。

データ利用の目的は、大きくは、アルゴリズム研究、検証実験・解析、データ利用解析研究に分けられる。研究者は、プロジェクトスタッフ（国立環境研究所）、プロジェクト検討委員会委員を含むサイエンスチーム、公募研究者、検証実験チーム、その他一般研究者に区分される。あらかじめ登録された研究者に対するデータ検索、取得要求、提供配布は、オンライン、オフラインのいずれでも可能である。また、一般の研究者等についてもオフラインだけでなく、CEOS-IDN、WWWのI L A S・R I Sホームページ等を通して、オンラインでのデータ検索、取得要求が可能である。データ提供条件に係る詳細は、国立環境研究所I L A S・R I Sプロジェクトオフィスから入手することができる。また、データフォーマット等の詳細については、「I L A Sユーザーズハンドブック 第1.0版」および「R I Sユーザーズハンドブック 第1.0版」に記載されている。表1.7にI L A SおよびR I Sデータの提供媒体、要領、フォーマット等を示す。

表1.7 I L A SおよびR I Sデータの提供媒体、容量、フォーマット等

媒 体	容 量	フォーマット等
3.5インチフロッピーディスク	2HD:1.44MB, 1.2MB 2DD:720KB, 640KB	MS-DOS (PC-98フォーマットオプション)、Macintoshフォーマット
3.5インチ光時磁気ディスク	約128MB	I S O 準拠
1/4インチ磁気テープ	QIC・150 約150MB	tar, ddコマンド Q I C -120, 150, 525, 1000対応
8 mm磁気テープ	約 5 GB	tar, ddコマンド I S O 準拠、5 GB及び2 GB対応
4 mm D A T	約 2 GB	tar, ddコマンド A N S I D D S フォーマット
C D - R O M (検討中)	約650MB	I S O, H F S, ハイブリッド

1.3 検証実験データ

1.3.1 検証実験の目的

検証実験は、衛星搭載センサによる遠隔測定データの信頼性を確認することを目的としておこなわれるものであり、通常、機器検証と物理量検証とに区分される。

機器検証とは、衛星に搭載したセンサの性能に係る項目（たとえば、S N比、ダイナミックレンジ、解像度、雑音レベルなどの項目）について、衛星打ち上げ後の性能が設計仕様どおりとなっているかどうかの検証のことをいう。また、物理量検証とは、測定データから得られる各種物理量（たとえば、吸収スペクトル、温度、大気微量成分濃度）の精度の検証をいう。

検証は、検証対象とする衛星センサによる測定と同時に同位置で、地上等からの測定をおこない、両者のデータを比較検討することによりおこなわれる。検証実験はN A S A等の衛星観測においても非常に重要視されており、組織的な同時共同観測プログラムが遂行されている。

I L A S・R I Sプロジェクトにおいても、その測定データを科学的に意義のあるものとするために、国内外の研究機関の協力を得て、検証実験を計画し、遂行する。なお、同プロジェクトにおいては、物理量検証をおこなう。

1.3.2 I L A S・R I S検証実験の区分

I L A S・R I S検証実験は、同時観測を実施する機関等の観点から、環境庁（国立環境研究所が助言）の実施するコア検証実験観測、国内外の研究機関の実施する協力観測、気象観測機関が実施している定常気象観測の3つに区分される。

表1.8 I L A S ・ R I S 検証実験の区分

区 分	観測主体	摘 要
コア検証実験観測	環境庁	環境庁の予算により、環境庁が独自に実施するもので、国内外の研究機関や観測機関への委託による観測も含んでいる。
協力観測	国内外の研究機関	国内外の研究機関、観測機関の独自の予算によって実施される観測である。 原則としてI L A SおよびR I S測定データと協力観測者の測定データとの交換をおこなうものである。
定常気象観測	気象観測機関	一般に気象観測機関が実施している国際的かつ定常的な観測で、データが公開されるものをさす。 主に、WMOのルーチン観測網による観測がこれにあたる。日本では、気象庁から気象業務支援センターを介してデータを入手することができる。

1.3.3 I L A S の検証実験

南極域における1996年度のI L A S検証実験計画の概要を表1.9に示し、同様に北極域におけるI L A S検証実験計画の概要を表1.10に示す。

表1.9 I L A S 検証実験計画の概要（南極域）

観測地点名	観測位置	観測方法	観測機器
Macquarie Island	55S, 159E	Ground based	UV-visible
Mirny	66S, 93E	Ground based	Photometer ABAS
Dumont d'Urville	67S, 140E	Ground based	SAOZ(UV-visible)
		Ground based	Ozone lidar
		Ground based	Rayleigh/Mie lidar
		Small balloon	Ozonesonde
Syowa	69S, 40E	Ground based	UV-visible
		Ground based	Photometer EKO 120
		Ground based	Photometer SP-1A
		Small balloon	Ozonesonde
		Balloon	FUBUKI(Cryogenic sampler)
Zhongshan	69S, 77E	Ground based	Brewer and UV-spectrometer
		Ground based	Mie ruby lidar
		Small balloon	Ozonesonde
Neumayer	71S, 8W	Ground based	Photometer SP-2H
		Small balloon	ECC ozonesonde
		Small balloon	Radiosonde
Arrival Heights	78S, 167E	Ground based	UV-visible
		Ground based	Dobson spectrophotometer
		Ground based	FTS
McMurdo	78S, 166E	Balloon	Aersol counter
		Small balloon	Ozonesonde

注) 太字はコア検証実験を示し、細字は協力観測を示す。

表1.10 I L A S 検証実験計画の概要 (北極域)

観測地点名	観測位置	観測方法	観測機器
Scoresbysund, Greenland	71N, 27W	Ground based	SAOZ(UV-visible)
ALOMAR, Norway	69N, 16E	Ground based	Rayleigh/Mie/Raman lidar
Kiruna, Sweden	68N, 21E	Balloon	CLD (Chemiluminescence Detector)
		Balloon	ECC ozonesonde
		Balloon	Aerosol counter
		Balloon	CAESR (IR radiometer)
		Balloon	ASTRID (Grab sampler)
		Balloon	BONBON (Cryogenic sampler)
		Balloon	SAKURA (Cryogenic sampler)
		Balloon	LPMA (FTS)
		Balloon	DOAS (Optical absorption spectroscopy)
		Balloon	SAOZ (UV-visible solar occultation)
		Balloon	ELHYSA (Hygrometer, Aerosol counter)
		Balloon	RADIBAL/BALLAD/BOCCAD
		Balloon	AMON (Star occultation)
		Balloon	MIPAS-B (FTS)
		Balloon	FISH (Hygrometer)
		Balloon	BROCOLI (ClO/BrO monitor)
		Balloon	DESCARTES (Grab sampler)
		Small balloon	Frost point hygrometer
		Small balloon	ECC ozonesonde
		Ground based	FTS
		Ground based	UV-visible
		Ground based	Rayleigh/Mie/Raman lidar
		Ground based	University of Bonn lidar
Aircraft	Sub-millimeter wave sensors		
Aircraft	NOx/NOy/O ₃ -Measuring System		
Aircraft	HAAMAS(Mass Spectrometer)		
Aircraft	TRISTAR(Infrared Absorption spectroscopy)		
Aircraft	FISH(Lyman-alpha photofragment fluorescence)		
Sodankyla, Finland	67N, 26E	Ground based	SAOZ(UV-visible)
Zhigansk, Russia	67N, 127E	Ground based	SAOZ(UV-visible)
Fairbanks, USA	65N, 148W	Ground based	TDLHS (Laser heterodyne spectrometer)
		Ground based	Rayleigh/Mie lidar
		Ground based	FTS
		Balloon	SAO FIRS-2 Interferometer
		Balloon	JPL Mk IV Interferometer
		Balloon	JPL ozone photometer
		Balloon	JPL SLS spectrometer
		Balloon	DÜ CAESR spectrometer
		Balloon	Aerosol sampler
		Small balloon	ECC ozonesonde
		Aircraft	Chemiluminescence/ER-2
		Aircraft	UV ozone photometer/ER-2
		Aircraft	Lyman-alpha hygrometer/ER-2
Yakutsk, Russia	62N, 130E	Ground based	TDLHS (Laser heterodyne spectrometer)
		Ground based	Brewer spectrophotometer
		Small balloon	Ozonesonde, Optical hygrometer, Backscattersonde(with Ozone, Radiosonde)

注) 太字はコア検証実験を示し、細字は協力観測を示す。

1.3.4 R I Sの検証実験

1996年度のR I S検証実験計画の概要を表1.11に示す。

表1.11 R I S検証実験概要

観測機器	観測地点	観測要素
(コア検証実験)		
Laser Heterodyne Spectrometer (TDLHS)	Koganei(CRL)	O ₃ , N ₂ O, CH ₄ (profile) O ₃ , N ₂ O(column amount)
Ozonesonde	Tsukuba(JMA)	O ₃ (profile)
(協力観測)		
Tunable Etalon Remote Sounder for the Earth(TERSE)	Tsukuba(MRI/JMA) or Koganei(CRL)	H ₂ O, CO ₂ , CH ₄ (profile) H ₂ O, CO ₂ , CH ₄ (column amount)
Ozone Lidar	Tsukuba(NIES)	O ₃ (profile)
Balloon-borne Cryogenic Sampler	San-riku(ISAS)	CO ₂ , CO, CH ₄ , CHF ₃ (profile)
FTS	Toyokawa(STEL)	HNO ₃ , CH ₄ , N ₂ O, CO, CO ₂ (profile) HNO ₃ , CH ₄ , N ₂ O, CO, CO ₂ (column)
Millimeterwave Spectrometer	Koganei(CRL)	O ₃ , N ₂ O, Cl _x [*] , NO _x [*] , HO _x [*] , H ₂ O [*] (profile)

注) *付きの要素はRISの観測項目ではないものを示す。

1.4 その他各種参照データ

DHFで利用できる各種参照データ(検証実験データを含む)の概要を表1.12に示す(詳細は「ILAS・RIS衛星データ処理運用施設利用の手引き 第1版」を参照)。

表1.12 DHFで利用できる各種参照データの概要

参照データの種類	参照データの内容
UKMO全球気象データ	UKMO提供の全球の3次元グリッドにおける気象データ(気温、気圧、風向・風速データ等)
既存の衛星データセット (ILAS&RIS DHF 統一フォーマット)	NASAの衛星観測による大気微量成分ガス濃度やエアロゾル消散係数等の鉛直分布データ ・UARSレベル3 ATデータ (HALOE, CLAES, ISAMS, MLSの各センサーで観測されたデータ) ・SAGE-I, SAGE-II, SAM-IIデータ
ILASプロジェクト大気 モデルデータセット	上記の既存の衛星データセットをもとに、ILASの測定対象パラメータ毎に緯度帯別及び期間別に平均、標準偏差等の統計値を算出した鉛直分布データ
ILASデータ質評価用参照 大気モデルデータ	ILASプロジェクト大気モデルデータセットをもとにしてILASのデータ質評価用に作成した大気モデルデータ
検証実験データベース(CMDB)	ILAS検証実験データを収集・保存したデータ
太陽像データ	太陽観測拠点(郵政省通信総合研究所(CRL)平磯支所及びBig Bear Solar Observatory)にて観測された太陽画像データ
TOMSデータ	ADEOS搭載のTOMSセンサーで観測されたデータ ・TOMS L2データ ・TOMS L3データ ・TOMS L2データ(TBD) ・TOMS L3データ(TBD)

第2章 1996年9月以降の成層圏の状況

2.1 南極域の状況

2.1.1 気象の状況

ここでは、英国気象局(UKMO)より提供されている全球同化データ(以下 UKMO データという)にもとづき、1996年9月から1997年3月までの7ヵ月間について、主として下部成層圏における力学場の状況を概観する。

UKMO データは、初期に(1991年-)米国の上層大気観測衛星(UARS)プロジェクトを支援するために作成された全球同化データで、温度場、ジオポテンシャル高度場、3次元風速場(u , v , w)が、地表付近(1000 hPa)から高度 0.32 hPa(下部中間圏)まで提供されている。鉛直グリッドは UARS の標準指定気圧面に準じ、 $1000 \times 10^{-(i-1)/21}$ ($i=0, 1, 2, \dots, 21$)で与えられる。対流圏から下部成層圏にかけては主として気象ゾンデデータを、成層圏領域については NOAA 衛星によって観測された温度データを基礎データとしている。したがって成層圏領域では、上記したような高い鉛直分解能を実質的に持っているわけではないこと、風速場は直接観測によるものではなくモデルによって計算された場であることに注意して利用する必要がある。

まず、帯状平均した下部成層圏(68.1 hPa)の温度場について、1996年9月から1997年3月まで7ヵ月間の季節進行の様子を見る(図2.1)。南半球においては、9月から11月頃の春から夏に向かう季節でも、極域の低温状態が維持されており、たとえば帯状平均で195 Kを下回るような低温域も10月中旬まで観測される。

いっぽう、南緯40-50度の緯度帯では温度が相対的に高くなっている。これは図2.2あるいは図2.4で見ると高緯度中部成層圏に存在する西風ジェットと関連している。この低温域が消滅するのは12月上旬から中旬にかけてで、このとき極域の温度は急速に上昇し夏型循環となる。1994、1995年と比べると、1996年の夏型循環への移行時期はやや遅かった(1994、1995年は11月下旬)ようである。

次に、帯状平均した東西風の季節進行を見てみよう(図2.2)。下部成層圏極域の低温に対応して、成層圏中部の南緯60度付近に西風の極大が存在する。南半球では、よく知られているように冬から春にかけて、中緯度成層圏界面付近にあった西風ジェットが、高緯度中部成層圏にシフトダウンする。このシフトダウンした西風ジェットは夏の東風にとってかわられるまで存在する。これはすなわち、南半球における極渦が非常に強く晩春まで強固に維持されていることをあらわしている。

今度は、ILAS がカバーする高緯度域(南緯70度)に注目し、帯状平均した温度場(図2.3)と東西風(図2.4)を時間-高度断面で見る。この緯度でも200 Kを下回るような低温域が10月はじめまで下部成層圏で見られる。この低温域はゆっくりと成層圏下端まで下降してくるような特徴を示す。そしてこれに対応して西風の極大域も下降してくる。

最後に、下部成層圏における温度場とポテンシャル渦度および風速場の空間分布について簡単に述べる(図2.5)。これまで見てきたように、南半球下部成層圏では非常に冷たくて強い極渦が冬から晩春にかけて存在する。ただ、その空間構造は必ずしも帯状一様ではなく、東西波数1成分が卓越している。温度場で見ると中緯度

の高温域がちょうど馬蹄型のような形をしており、時間的にこの位相が変動する。

図2.5には 9、10、11月のそれぞれある1日の空間分布を示しているが、低温域の張り出している経度帯は少しずつ異なる。しかし、時間平均してもこの低温部の張り出しは南アメリカ方面に残ることから、このパターンが一定速度で回転しているというよりは、定在的な成分を持っていることが知られている。ポテンシャル渦度の図からも、極渦は非常にはっきりとした輪郭を持ちながら、それぞれの日について見ると必ずしも同心円的な構造をしているわけではないことがわかる。

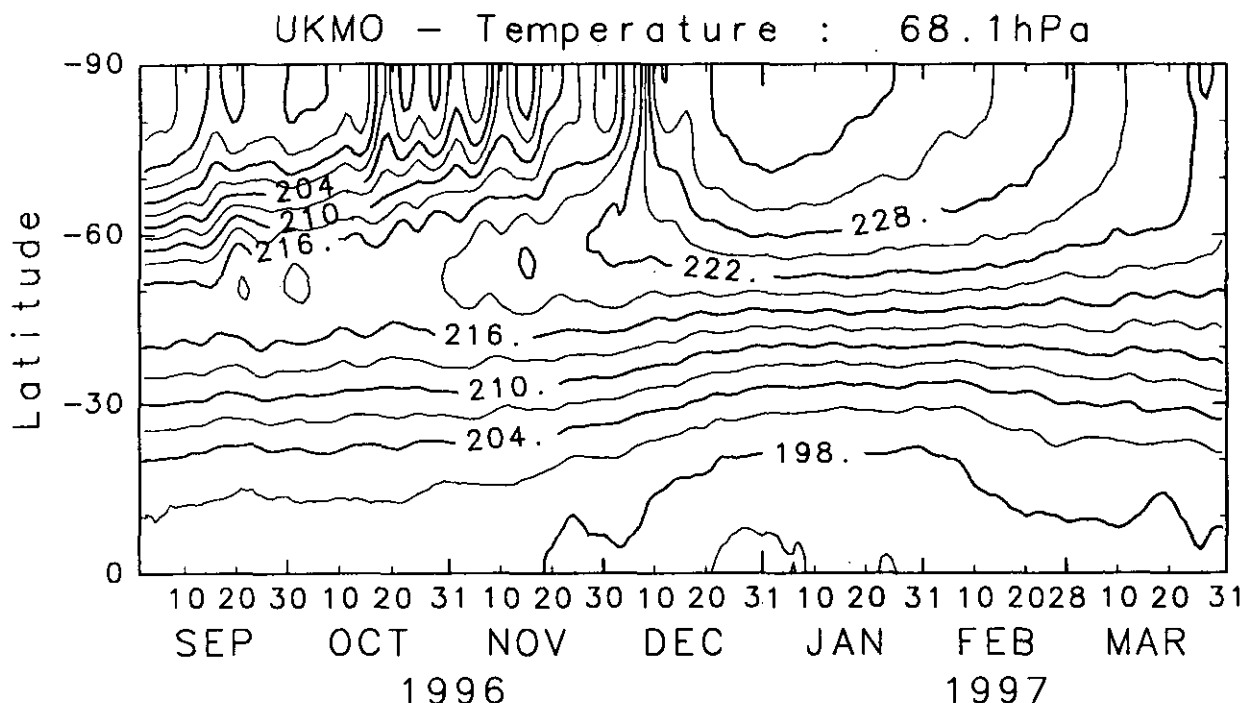


図2.1 南半球 68.1 hPa における帯状平均温度の時間・緯度断面図
(コンター間隔は 3 K)

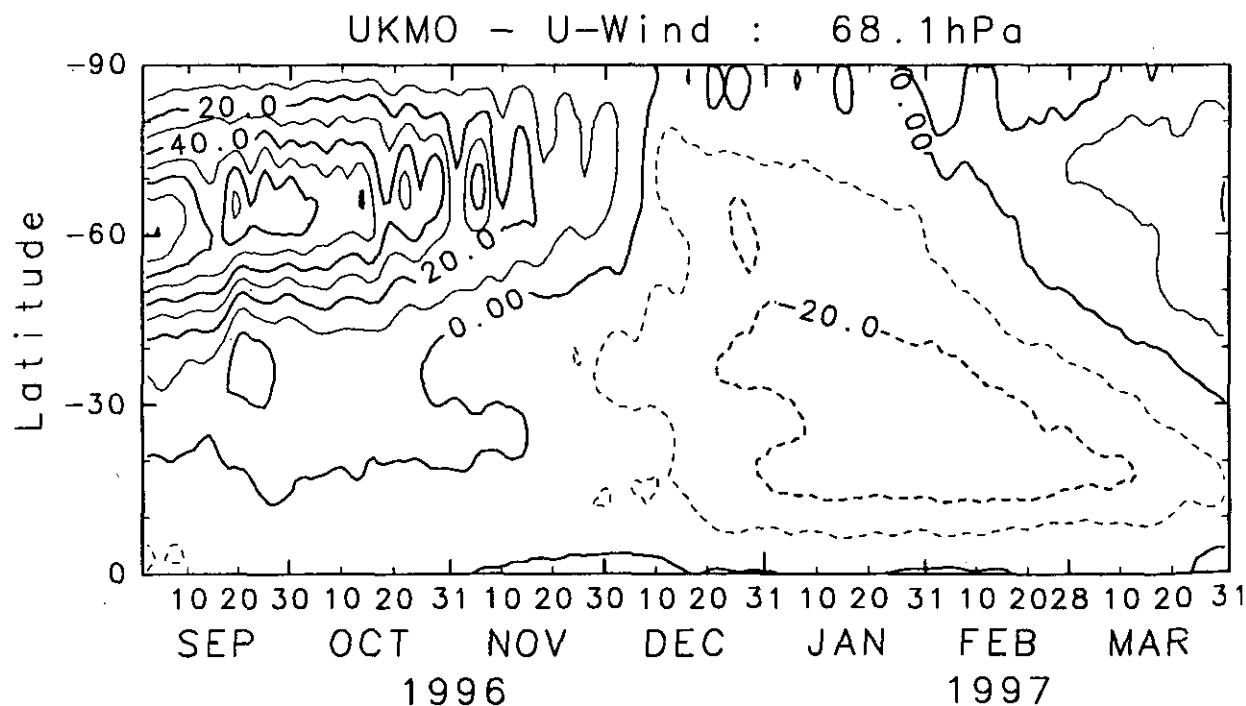


図2.2 南半球 68.1 hPa における帯状平均東西風の時間・緯度断面図
(コンター間隔は 10 m/s)

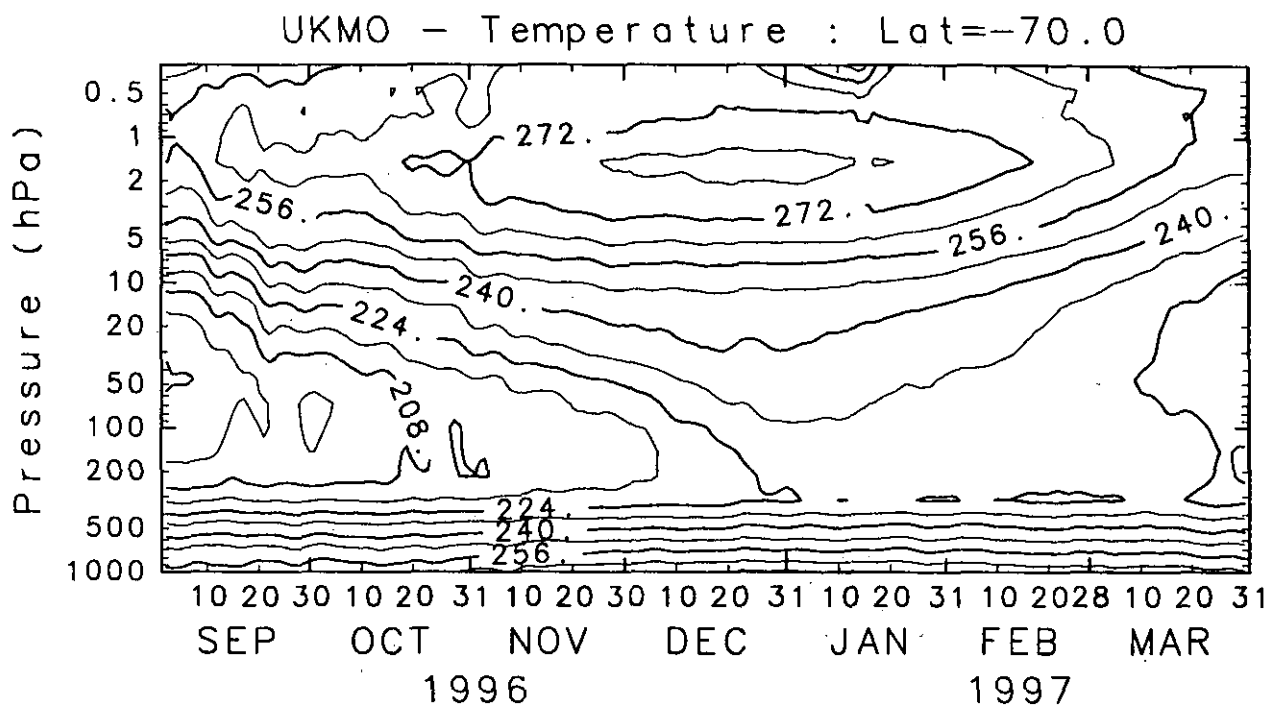


図2.3 南緯70度における帯状平均温度の時間・高度断面図
 (コンター間隔は 8 K)

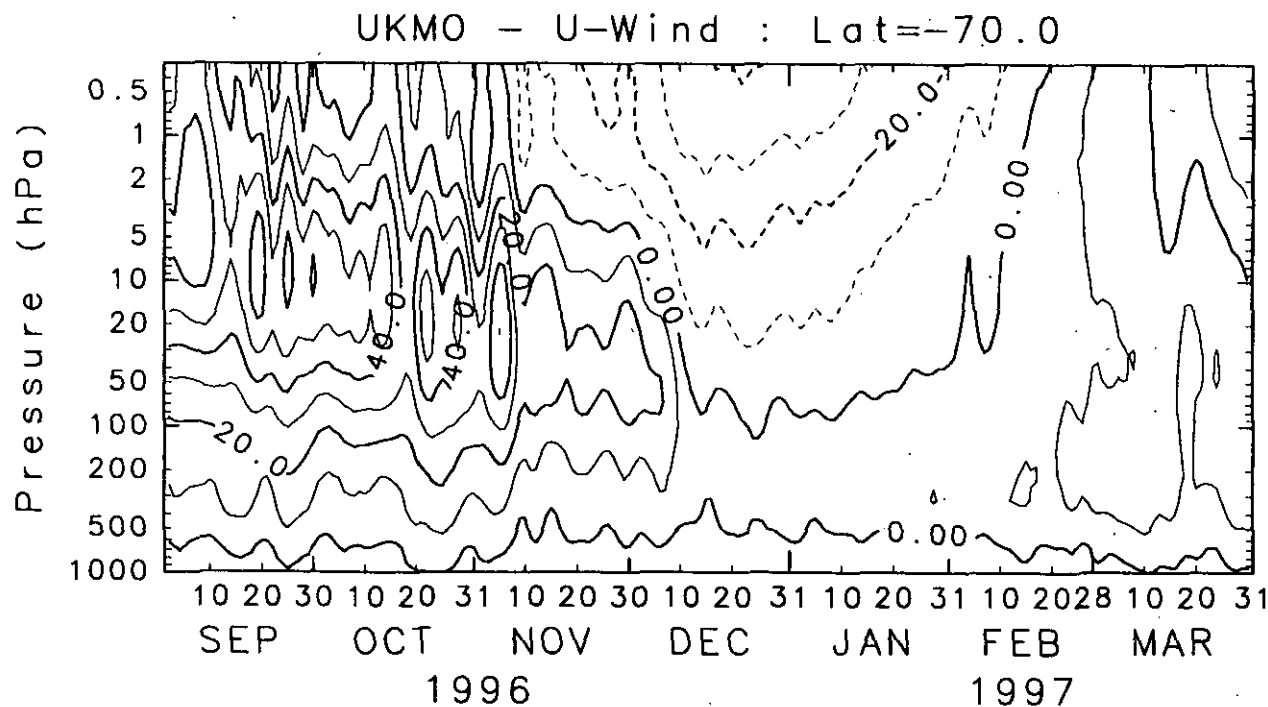
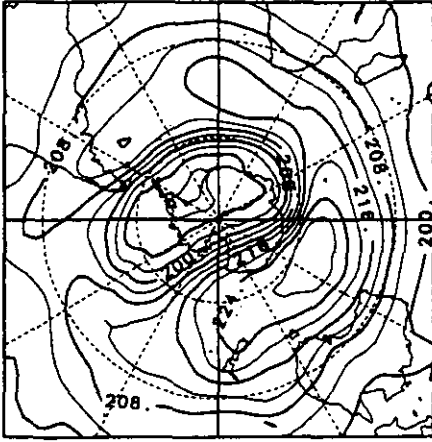


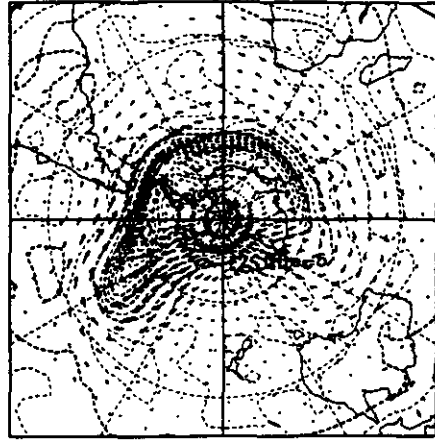
図2.4 南緯70度における帯状平均東西風の時間・高度断面図
 (コンター間隔は 10 m/s)

UKMO - TEMPERATURE
15-SEP-1996 : 68.1 hPa



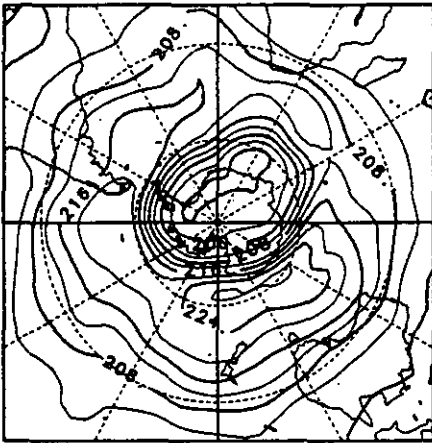
CONTOUR INTERVAL = 4.000E+00

UKMO - POT. VORTICITY
15-SEP-1996 : 460 K



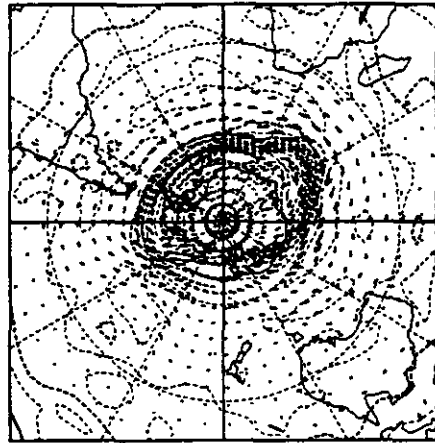
CONTOUR INTERVAL = 5.000E-06

UKMO - TEMPERATURE
15-OCT-1996 : 68.1 hPa



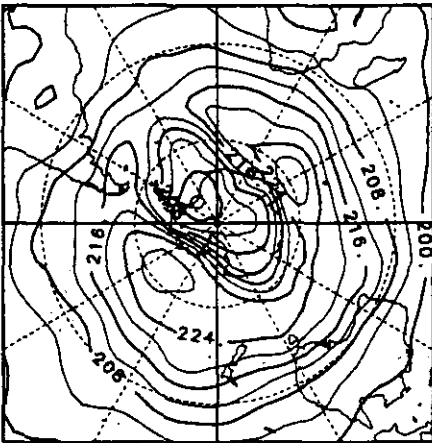
CONTOUR INTERVAL = 4.000E+00

UKMO - POT. VORTICITY
15-OCT-1996 : 460 K



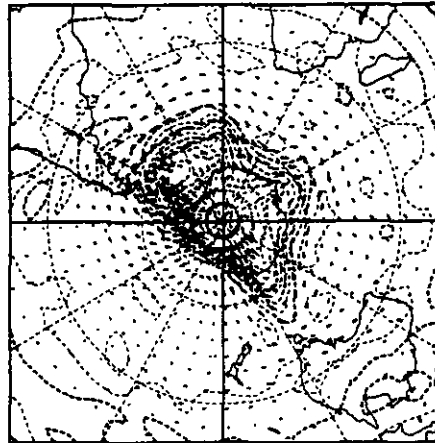
CONTOUR INTERVAL = 5.000E-06

UKMO - TEMPERATURE
14-NOV-1996 : 68.1 hPa



CONTOUR INTERVAL = 4.000E+00

UKMO - POT. VORTICITY
14-NOV-1996 : 460 K



CONTOUR INTERVAL = 5.000E-06

図2.5 南半球 68.1 hPa における温度分布図(左)と 460 K (68.1 hPa に近い等温位面)におけるポテンシャル渦度および風速場(右)

(上から順に 1996年9月15日, 10月15日, 11月14日。温度のコンター間隔は 4 K, ポテンシャル渦度のコンター間隔は $5 \times 10^{-6} \text{ K kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。ポーラーステレオ図法を用いており, 緯度・経度線の間隔は30度)

2.1.2 オゾン層の状況

気象庁オゾン層情報センターの南極のオゾンホール*¹に関する速報によると、今年度、南極大陸上空に発生したオゾンホールは9月下旬から10月上旬に最盛期を迎え、12月上旬に消滅した。その規模*²は、過去最大であった過去4年と同程度であった。またオゾンホールの消滅時期が遅くなる傾向が見られた。以下に本年度のオゾンホールの状況を述べる。

第37次南極地域観測隊（藤井理行越冬隊長）から報告されたオゾン観測の結果によると、昭和基地上空の日別オゾン全量は、9月から11月上旬まで低い水準で推移し、中旬以降は大きな変動を繰り返しながら12月7日には346m atm-cmまで回復し、その後は300m atm-cm前後で推移している（図2.6参照）。

昨年引き続きオゾンホールの消滅は遅く、オゾンホールの消滅時期が遅くなる傾向がある（図2.7参照）。

オゾンホールの面積は9月7日に過去最大の2,600万km²を記録した。最低オゾン全量、オゾン破壊量の値からも過去4年と同程度に最大規模のオゾンホールであった（図2.8参照）。

昭和基地では10月から11月上旬にかけて継続してオゾンホールに覆われ、10月、11月の月平均オゾン量は、それぞれの月の過去最低値（10月：156m atm-cm、11月：215m atm-cm）を記録した（図2.9参照）。

（注）*1：1970年代終わり頃から、9月から11月にかけて南極上空のオゾン全量が著しく少なくなる現象が現れるようになった。この現象をオゾンホールという。

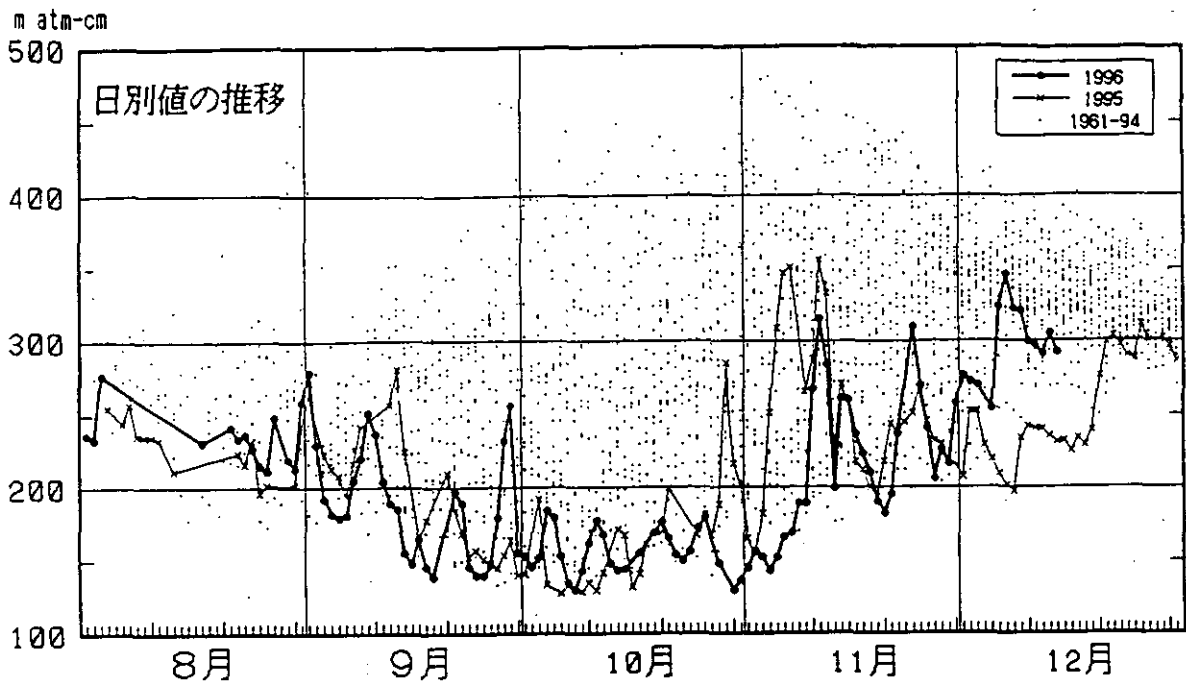
*2：オゾンホールの強さまたは規模を定量的に表現するための世界的に統一した尺度はない。気象庁では解説の便を考慮して、45° S以南におけるオゾンホールの状況を表す次の3つの要素を定義して、人工衛星による観測資料を用いてオゾンホールの規模を評価し、公表している。

①オゾンホールの面積：オゾン全量がオゾンホール発生以前には観測されなかったとされる220m atm-cm以下の領域の面積(km²単位)。オゾンホールの広がりを目安を与える量。

②最低オゾン全量：オゾンホール内におけるオゾン全量の最低値(m atm-cm単位)。

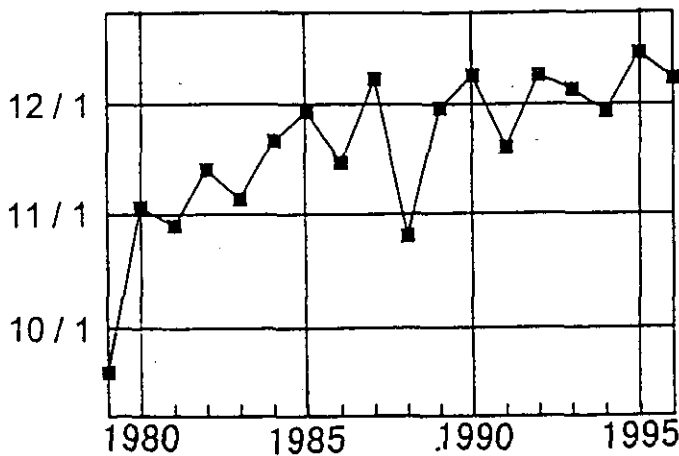
③オゾン破壊量：オゾンホール内のオゾン全量を300m atm-cm(オゾン全量の全球平均値)に回復させるために必要なオゾンの質量(万トン単位)。オゾンホール内で破壊されたオゾンの総量を目安を与える量。

（参考）オゾン全量の単位(m atm-cm単位)：オゾンはオゾン層を中心に大気のあるあらゆる高度に存在しているが、観測地点の大気の上端から下端までの全層に存在するオゾンを集めて0°C、1気圧としたときの厚さによってオゾンの全量を表す。cmで表した数値を1000倍してm atm-cm(ミリメートル)の単位で表示する。D.U.と表すこともある。



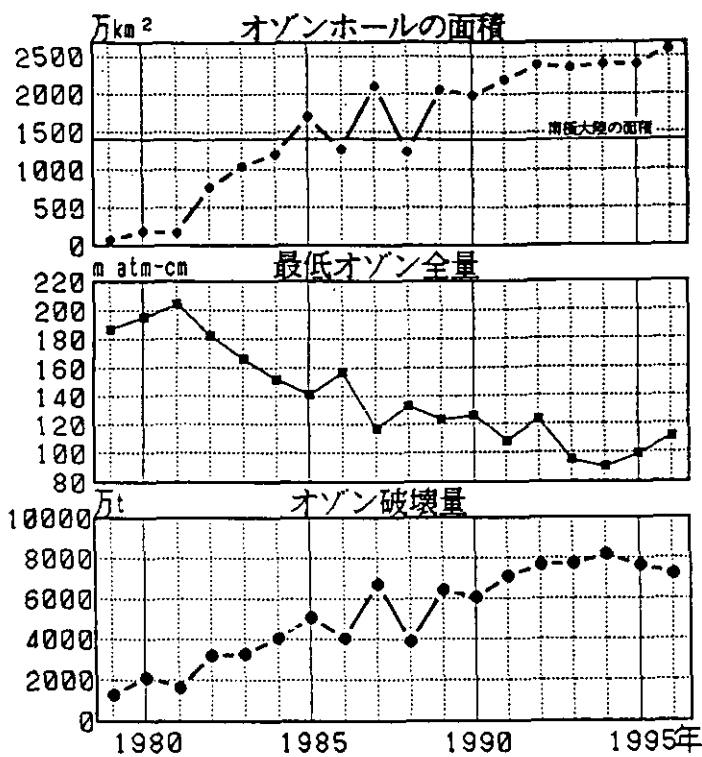
上図の小さな点は、南極昭和基地における観測開始以来1994年までの日別のオゾン全量観測値を示す。1995年の値は×印で示し細線で結んである。1996年の値は●印で示し太線で結んである。本年は過去の記録の中でも低い水準で推移しており、10月8日と30日には過去3番目に低い130m atm-cmを記録した（これまでの最低値は1995年10月6日の128m atm-cm）。

図2.6 昭和基地における日別オゾン全量の変化（南極オゾンホールに関する速報(1996年)、気象庁）



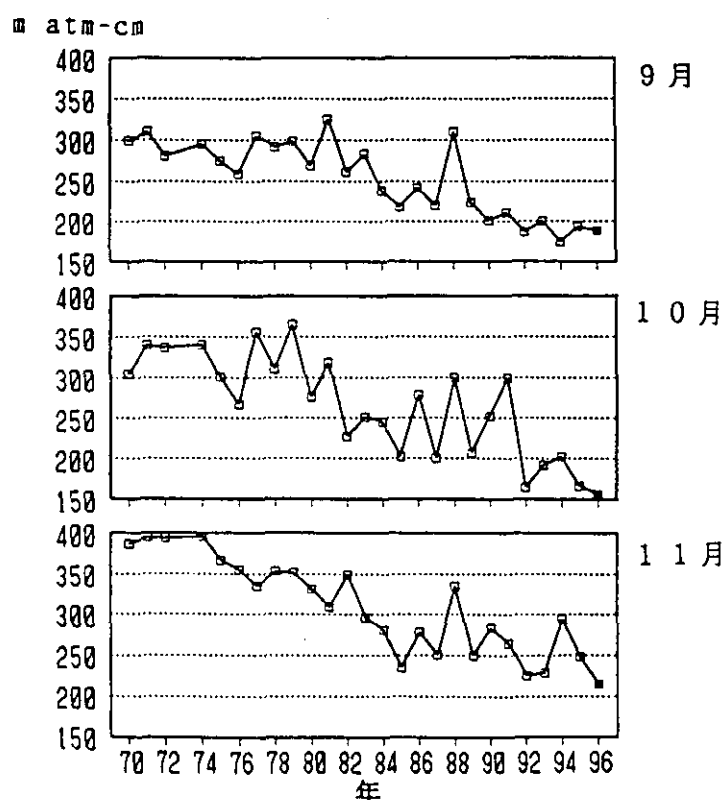
1979～1996年のオゾンホールが消滅した時期の推移を示す。米国航空宇宙局(NASA)及び米国海洋大気庁(NOAA)提供の衛星データをドブソン計による観測値と比較検討の上作成。なお1995年は衛星の観測方法が異なり若干の誤差を含む可能性がある。

図2.7 オゾンホールの消滅時期の推移（南極オゾンホールに関する速報(1996年)、気象庁）



1979～1996年のオゾンホールの面積、最低オゾン全量、オゾン破壊量極値の推移を示す。米国航空宇宙局(NASA)及び米国海洋大気庁(NOAA)提供の衛星データをドブソン計による観測値と比較検討の上作成。なお1995年は衛星の観測方法が異なり若干の誤差を含む可能性がある。

図2.8 オゾンホールの規模の経年変化(南極オゾンホールに関する速報(1996年)、気象庁)



南極昭和基地における9月、10月、11月の月平均オゾン全量値の経年変化を1970年から示す。本年9月の月平均値の188m atm-cmは、過去3番目に低い値であった。また10月の月平均値の156m atm-cmおよび11月の月平均値の215m atm-cmは、それぞれの月の過去最低値である。

図2.9 昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化(南極オゾンホールに関する速報(1996年)、気象庁)

2.2 北極域の状況

2.2.1 気象の状況

2.1.1において南半球で見たのと同じ断面で、北半球の秋から春の時期を見ていく。まず、下部成層圏の帯状平均温度場(図2.10)については、対応する季節の南半球とよく似た季節進行をとるが、特に冬から春の時期について見ると極域の温度が南半球ほどは低くないことがわかる。またここまでのデータからはわからないが、一般に、南半球ほど低温域が晩春まで続かない(だいたい4月には夏型循環へ移行する)。北半球冬季に特徴的な成層圏突然昇温がこの冬起こったのかどうかという点については、ほかのレベル(あるいは図2.11)を見てもわかるが、そのように大規模な昇温現象は起こっていないことが見てとれる。1990年代に入ってから北半球の冬季に成層圏突然昇温の観測される頻度は減少してきており、今後もこの観点から北半球の成層圏循環の季節進行についてモニタリングを続けている必要がある。

温度場で見た特徴(低温域の持続)とも対応して、この冬は帯状平均東西風も比較的強い西風を維持しているのがわかる(図2.11)。11月下旬から12月上旬にかけ、高緯度域で弱い東風となる以外は、大昇温現象にともなって起こる西風から東風への反転は観測されない。ちなみにこの期間、赤道域下部成層圏における準2年周期振動の風系は東風である。一般に、準2年周期振動の風系が東風であるとき、中高緯度におけるプラネタリー波動の活動性が大きくなって成層圏突然昇温を引き起こしやすいといわれているが、この冬は逆にどちらかというとなめやかな(そして冷たく強い極渦が形成されている)冬であるといえる。

高緯度域における季節進行については、時間-高度断面でもこれまで見てきたような特徴が確認できる。いつもの北半球冬季に比べると冷たい冬であったといえるが、この緯度帯で200 Kを下回るのは1月上旬の数日間で、南半球に比べると暖かい(図2.12)。また、帯状平均した東西風も南半球と比べるとやや弱い(図2.13)。

最後に、南半球のときと同様に、下部成層圏における温度場とポテンシャル渦度および風速場の空間分布について調べる(図2.14)。ここでは、特にスウェーデンのキルナでおこなわれた ILAS 検証実験の時期に注目する。これまでも指摘してきたように、この冬は比較的冷たくて強い極渦が持続的に存在していた。

2月から3月にかけての温度場の分布は、南半球のそれとよく似て中緯度帯に馬蹄形をした高温部が存在している。ポテンシャル渦度で見ると、これと呼応して縁の存在が明瞭な極渦が観測される。実験計画の第1段階の時期(2月10日)には、キルナは極渦の縁に存在している。いっぽう第2段階の時期(2月25日)には、極渦の中にあることがわかる。

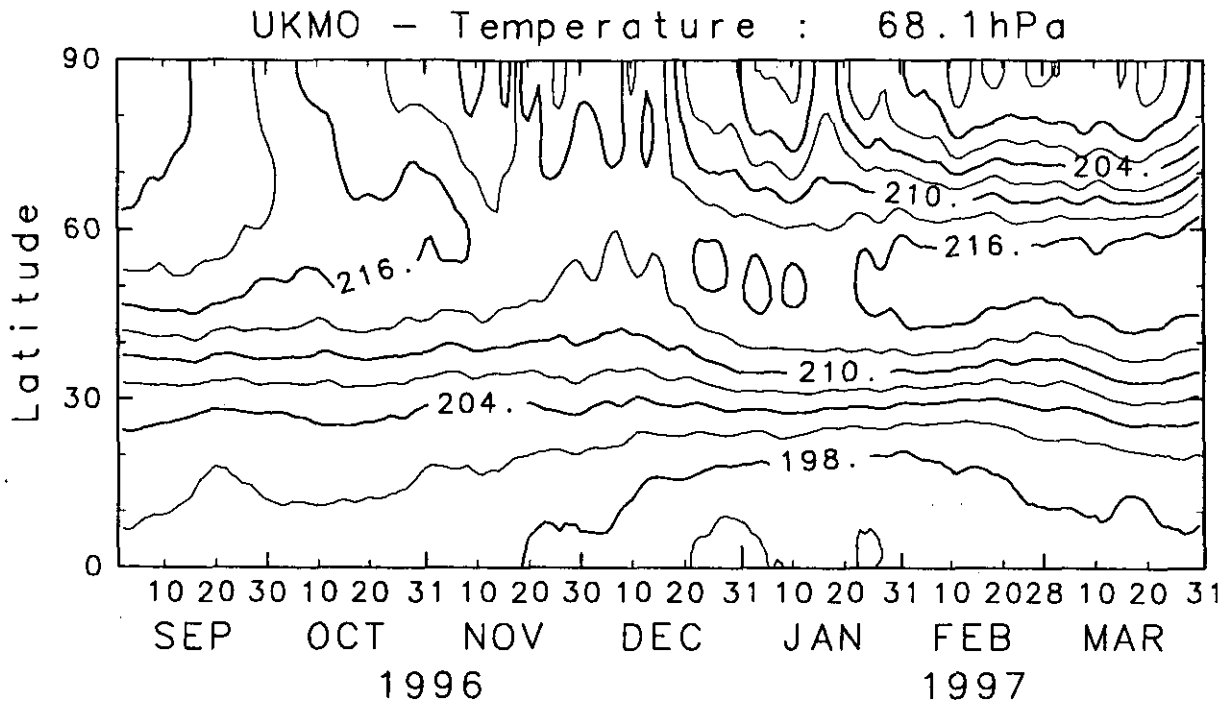


図2.10 北半球 68.1 hPa における帯状平均温度の時間・緯度断面図
 (コンター間隔は 3 K)

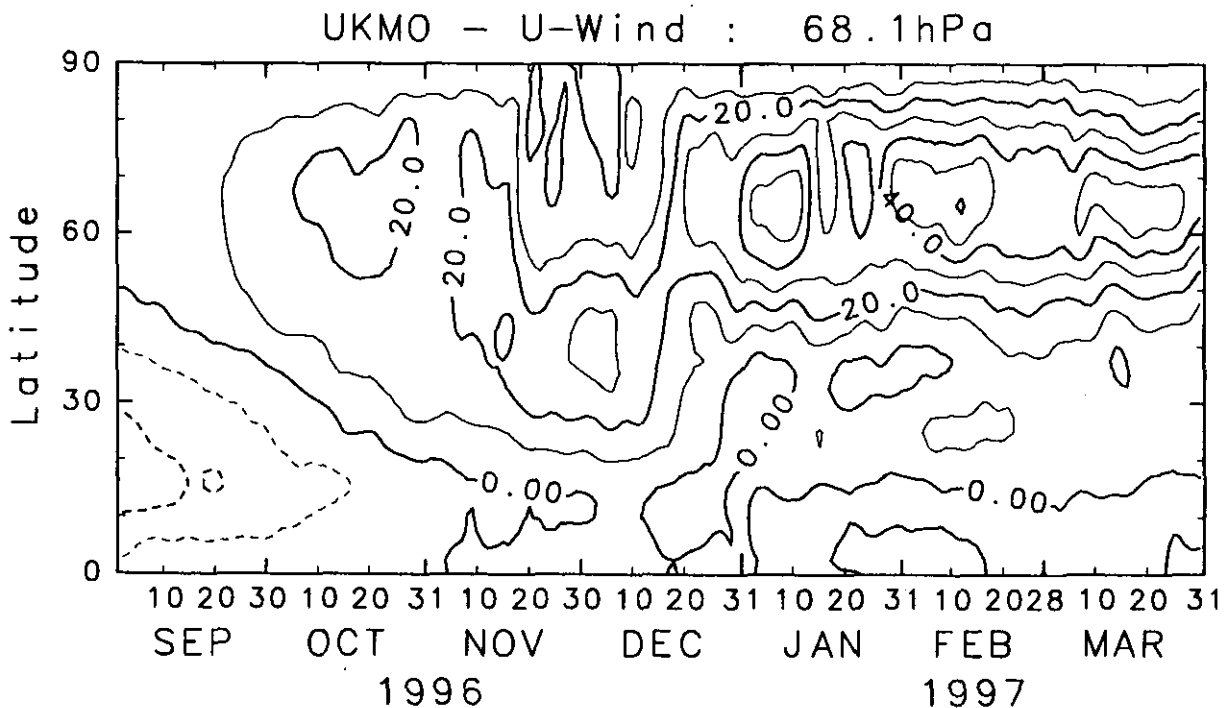


図2.11 北半球 68.1 hPa における帯状平均東西風の時間・緯度断面図
 (コンター間隔は 10 m/s)

UKMO - Temperature : Lat= 70.0

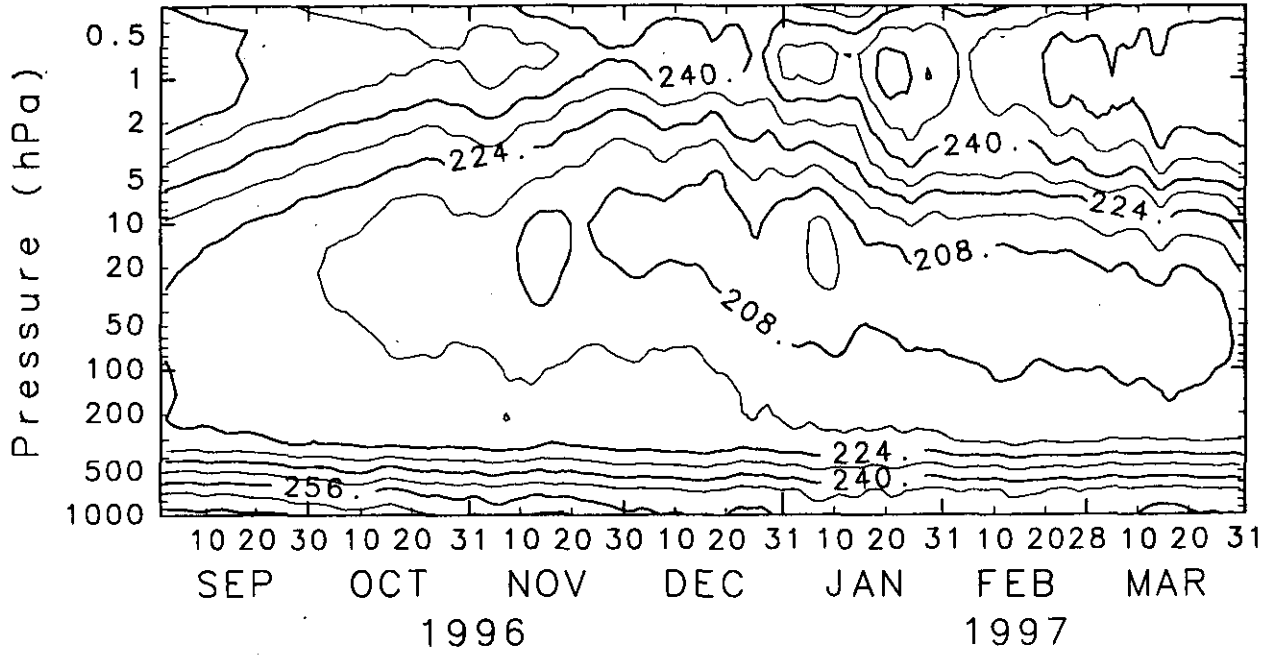


図2.12 北緯70度における帯状平均温度の時間・高度断面図
(コンター間隔は8 K)

UKMO - U-Wind : Lat= 70.0

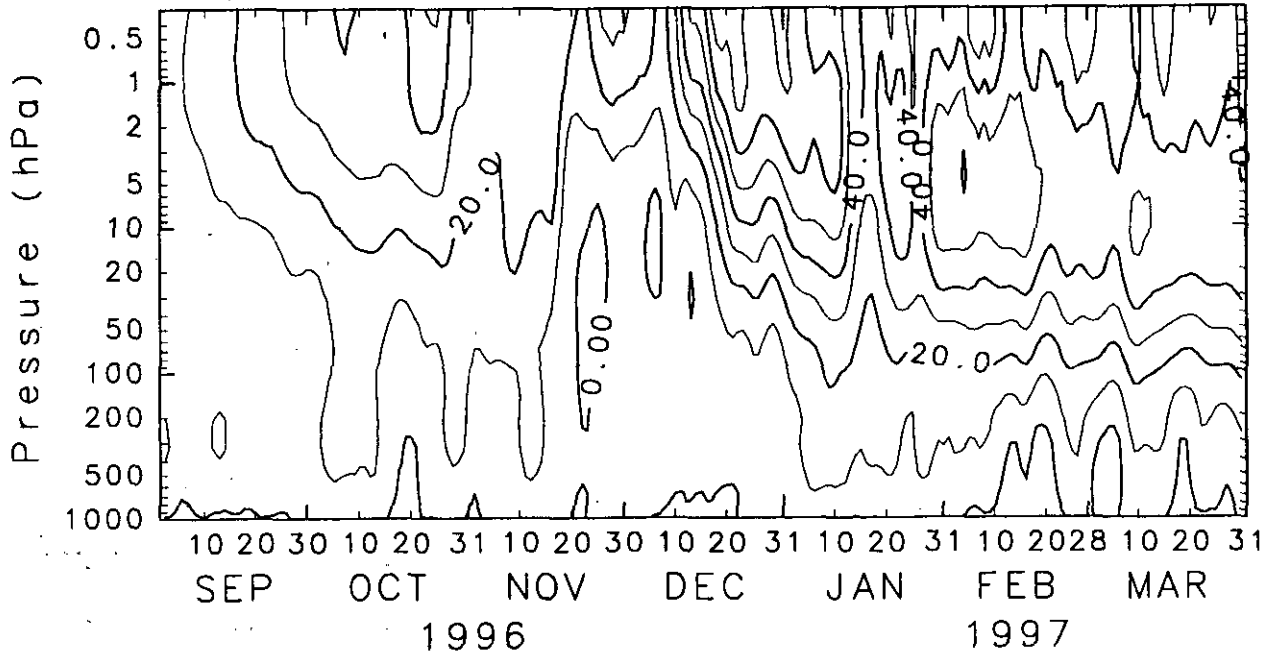
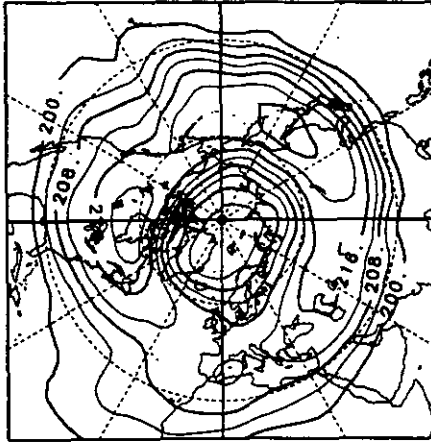


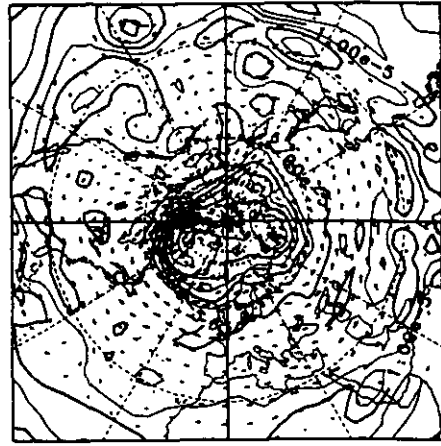
図2.13 北緯70度における帯状平均東西風の時間・高度断面図
(コンター間隔は10 m/s)

UKMO - TEMPERATURE
10-FEB-1997 : 68.1 hPa



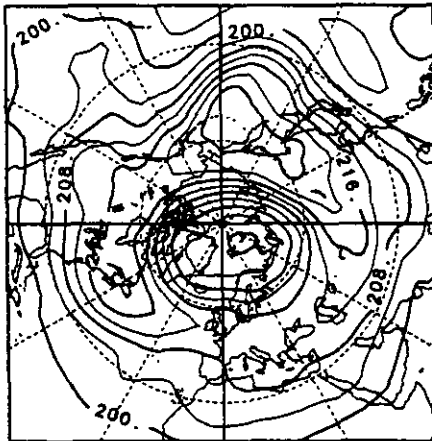
CONTOUR INTERVAL = 4.000E+00

UKMO - POT. VORTICITY
10-FEB-1997 : 460 K



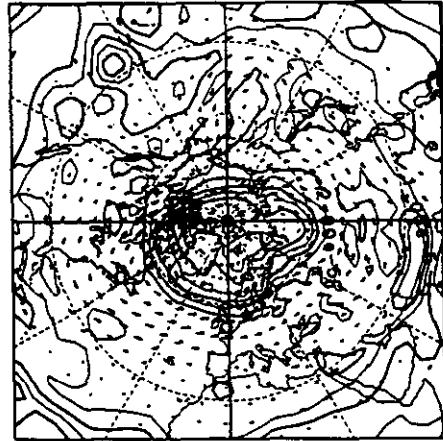
CONTOUR INTERVAL = 5.000E-06

UKMO - TEMPERATURE
25-FEB-1997 : 68.1 hPa



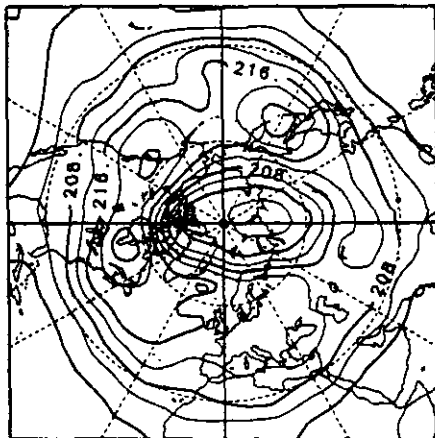
CONTOUR INTERVAL = 4.000E+00

UKMO - POT. VORTICITY
25-FEB-1997 : 460 K



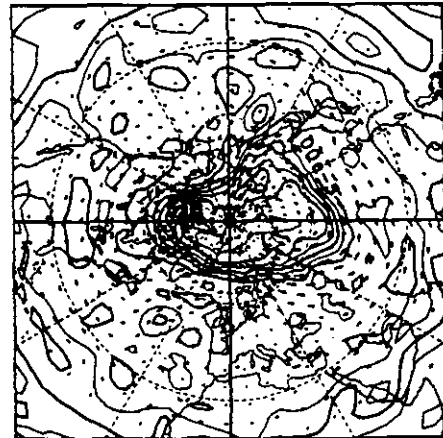
CONTOUR INTERVAL = 5.000E-06

UKMO - TEMPERATURE
12-MAR-1997 : 68.1 hPa



CONTOUR INTERVAL = 4.000E+00

UKMO - POT. VORTICITY
12-MAR-1997 : 460 K



CONTOUR INTERVAL = 5.000E-06

図2.14 北半球 68.1 hPa における温度分布図(左)と 460 K (68.1 hPa に近い等温位面) におけるポテンシャル渦度および風速場(右)

(上から順に1997年2月10日、2月25日、3月12日 における図。温度のコンター間隔は 4 K, ポテンシャル渦度のコンター 間隔は $5 \times 10^{-6} \text{ Kkg}^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, ポーラステレオ図法を用いており、緯度・経度線の間隔は30度)

2.2.2 オゾン層の状況

オゾンホール型のオゾン層破壊には気温の閾値がある。50hPa（高度約20km）では、水蒸気の混合比を5ppmvと仮定すると、195K以下に下がると極成層圏雲が生成し、急激にオゾンが破壊される条件ができる。1990年以降北半球の低温傾向が続いているが、特にこの3年間の低温化傾向は著しい。この3年間について、北緯50度以北の50hPa（高度約20km）の最低気温を図2.15に示した。どの年も、約2.5カ月にわたって極成層圏雲が出来ていたと見られることが分かる。1995年には極渦が4月前半まで崩壊しなかったことと、日照時間が長い3月に極成層圏雲が現れたことによって、オゾン全量で30%以上のオゾン破壊が観測された。1996年には、1月～2月にかけて記録的な低温が続いたが、3月始めには極成層圏雲は消えたと見られる。しかし、極渦の崩壊は4月中旬以降となった。

1997年は、気温の低下が遅れたものの、195K以下の気温が3月終わりまで続いたこと、極渦の崩壊が5月に入ってからになると予想されることから、記録的な北極域オゾン層破壊が起こっていると考えられる。本年の特徴は、北極域の日照時間が増加する3月に極渦が安定でありえたこと、極渦の中心が北極点付近にあり、極渦の形も円形に近かったことである（図2.16参照）。つまり、プラネタリー波が極めて弱いため、若干小型ではあるが南極のオゾンホールに近い特徴を備えていたと言える。

図2.17に、1997年3月31日のADEOS/TOMSのオゾン全量分布と1980年3月31日のそれを比較した。北極付近のオゾン全量は、1980年には約475DUだったのに対して1997年には約275DUであり、40%以上オゾン全量が低下している。1980年の場合には極渦が崩壊していると思われることから、オゾン減少量の全てが極成層圏雲上の不均一反応に起因するとは断言できないが、オゾン全量が大幅に低下していることに変わりはない。また、1997年3月31日のオゾン減少部分は形態的にも南極オゾンホールに似ている。

どの高度のオゾンが減少しているかを示す一例として、3月6日に東シベリアのヤクーツクで得られたオゾンゾンデのデータを図2.18に示す。この日はヤクーツク上空まで極渦が張り出していた。高度15kmから20kmにかけてオゾン分圧が低くなっているが、特に、気温が高度と共に上昇している高度20km付近でのオゾンの減少が顕著である。3月後半には、オゾン破壊は更に進んでいたと見られる。

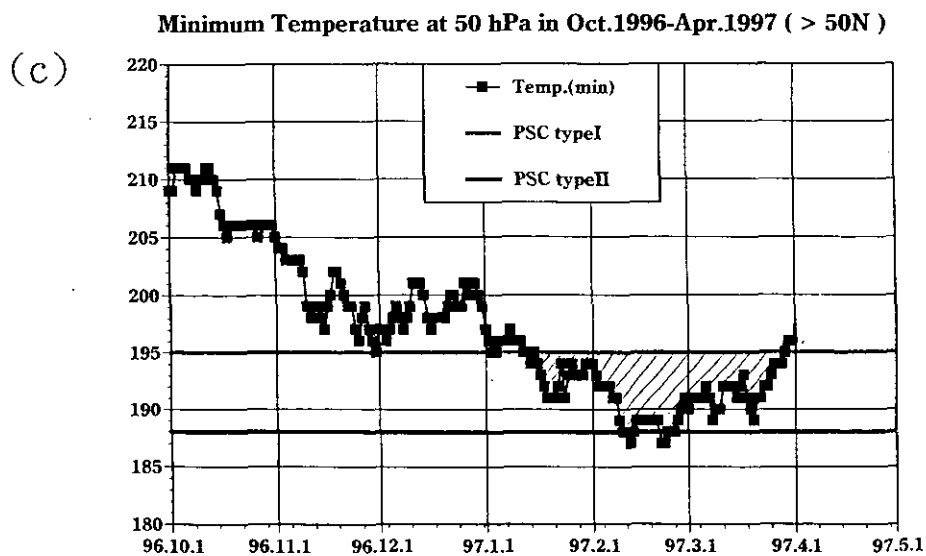
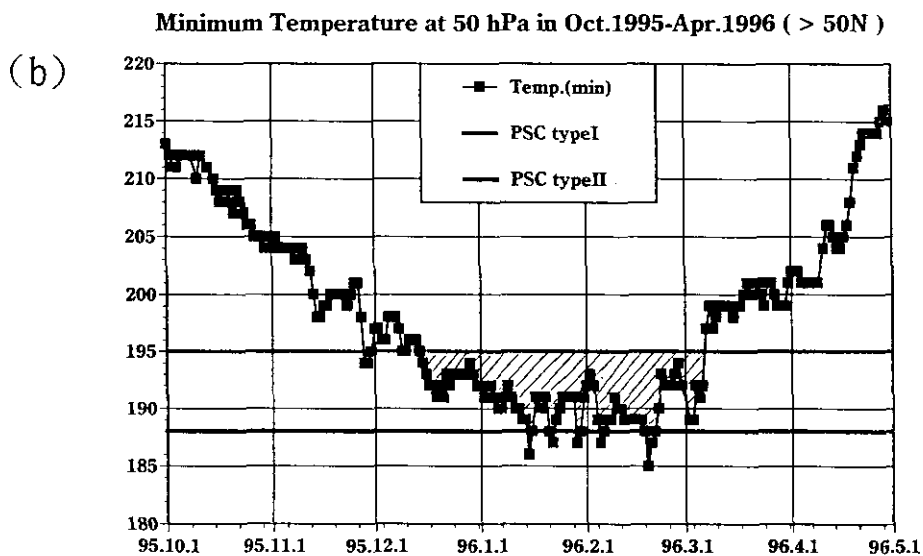
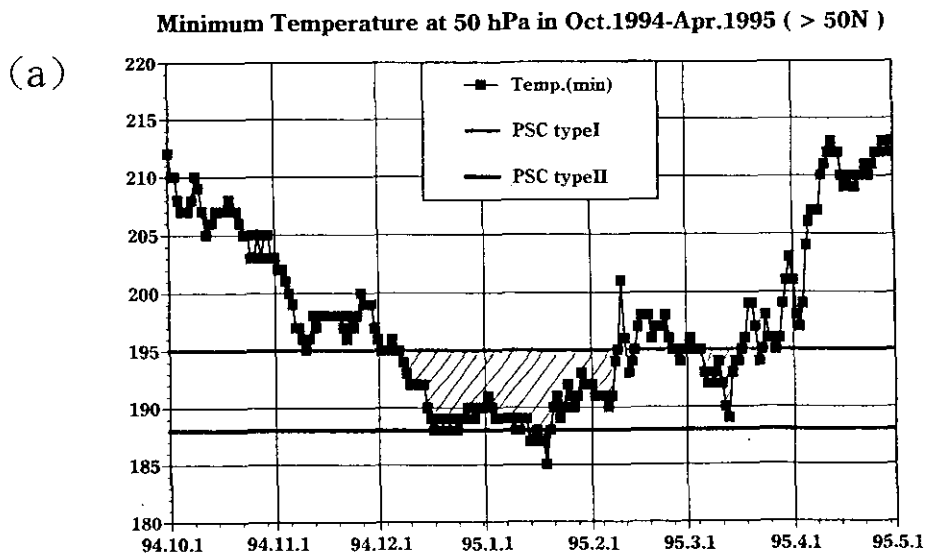
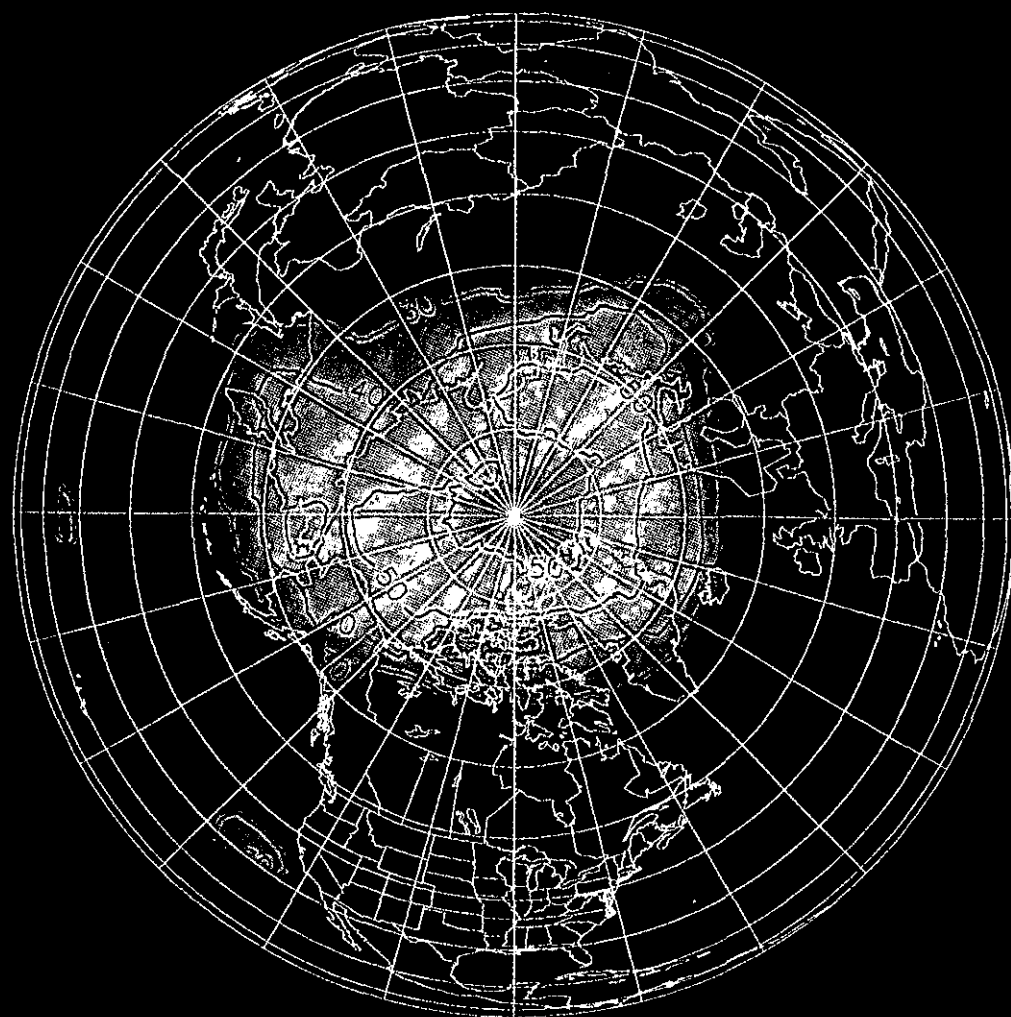


図2.15 北半球50hPa気圧面（高度約20kmに相当）の北緯50度以北の最低気温の推移
 (a)1994/1995年、(b)1995/1996年、(c)1996/1997年
 195K以下の気温ではPSCタイプI（硝酸三水和物を成分とする極成層圏雲）が生成し、
 188K以下ではPSCタイプII（氷を成分とする極成層圏雲）が生成する。

UKMO PV at 475K



0.0

27.4
PV ($10^{-6} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{kg}^{-1} \text{K}$)

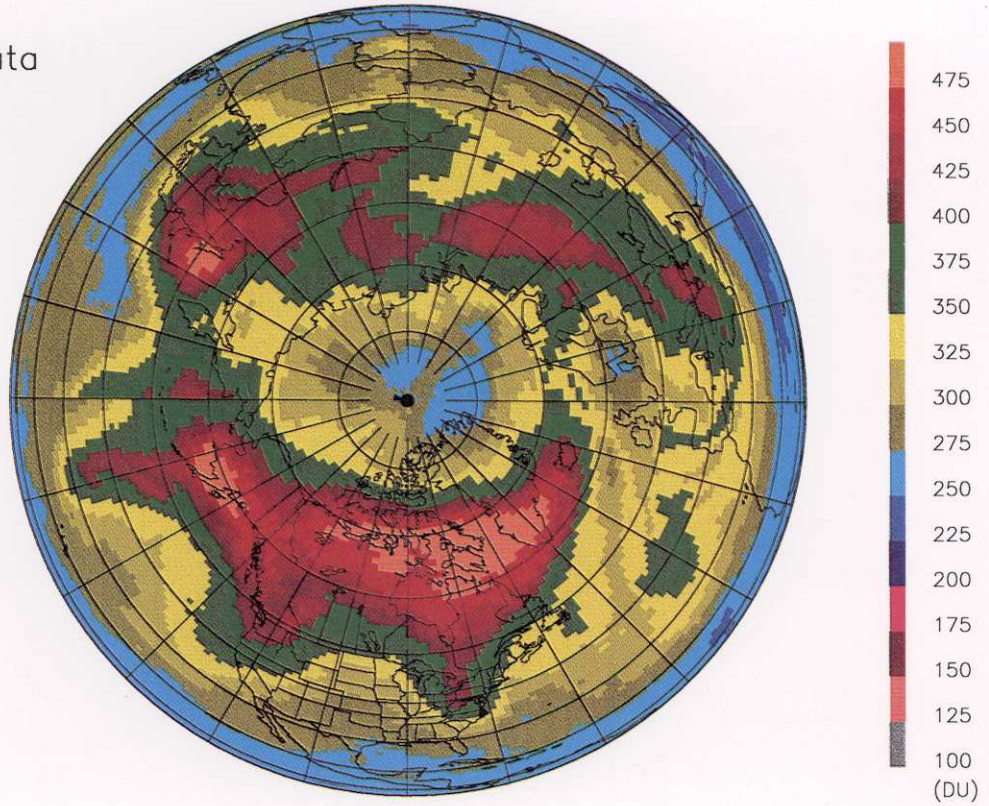
54.8

Date: 1997/3/31 12:00

図2.16 1997年3月31日の極渦の形
UKMOデータに基づいて計算した渦位の分布によって可視化した（図法は正射図法）。

(a)

TOMS ozone data
North
MAR 31, 1997



(b)

TOMS ozone data
North
MAR 31, 1980

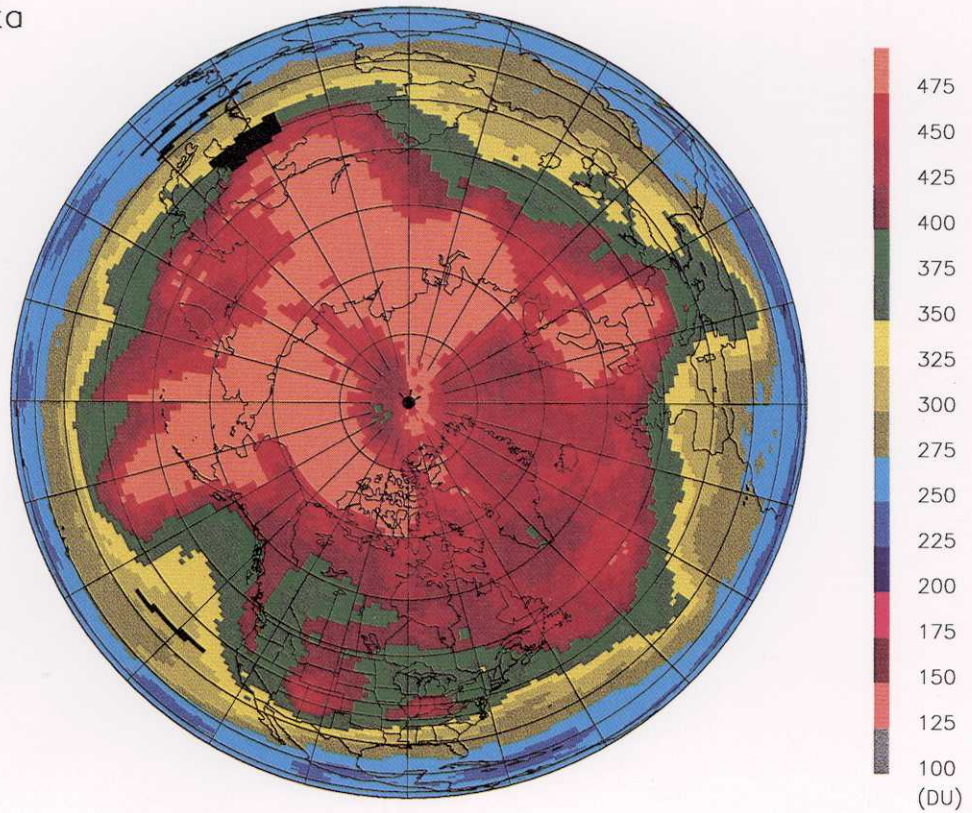


図2.17 1997年3月31日のオゾン全量(a)と1980年のオゾン全量(b)の比較
米国NASAのデータに基づいて国立環境研究所において作成した(図法は正射図法)。

Station : Yakutsk (6 Mar. '97)

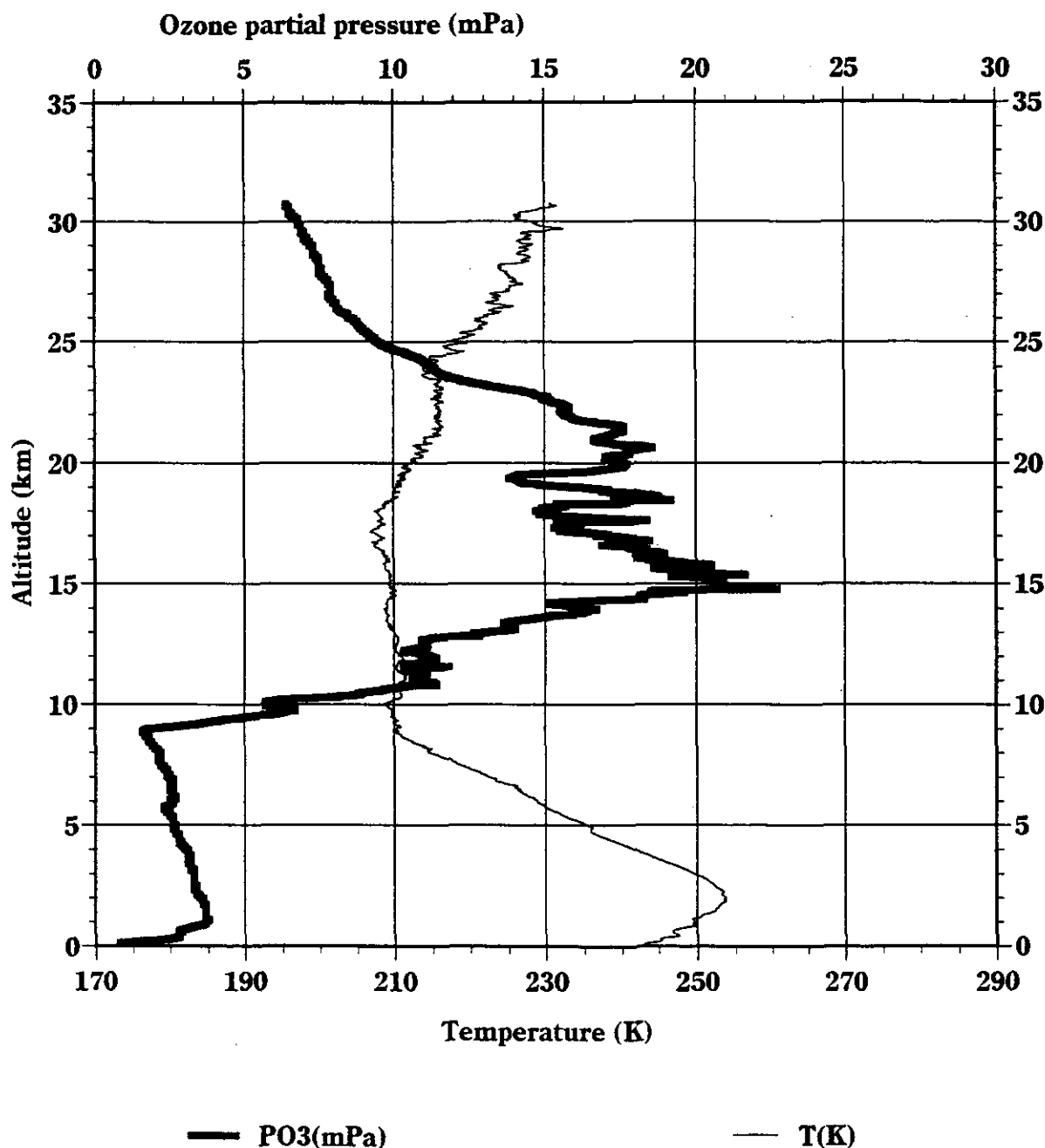


図2.18 東シベリアヤクーツクにおいて、1997年3月6日のオゾンゾンデ観測によって得られたオゾン濃度（オゾン分圧）の鉛直分布

第3章 ILAS・RISデータの観測及び処理に関する中間結果

3.1 ILASデータ

3.1.1 データ取得・処理状況

(1) データ取得状況

1997年3月末現在のレベル0データの取得状況を表3.1に示し、レベル0データの取得状況を表3.2に示す。

表3.1 データ取得状況（レベル0データ）

観測日	取得イベント数		取得日	分析欠損イベント数		処理状況 (レベル完了分)
	予定 ^{*1}	実績 ^{*2}		予定 ^{*1}	実績 ^{*3}	
96.10.30 ^{*4}	27	25	96.11.27	未調査	未処理	0
96.10.31~11.03 ^{*4}	113	112	96.11.29	未調査	未処理	0
96.11.04~11.06	84	80	96.12.03	5	22	57
96.11.07~11.10	113	105	97.01.08	7	16	88
96.11.11~11.13	82	79	97.01.09	6	18	59
96.11.14~11.17	111	105	97.01.13	6	21	84
96.11.18~11.20	83	83	97.01.13	6	1	13(未処理70)
96.11.21~11.24	109	108	97.02.19	6	未処理	未処理
96.11.25~11.27	84	85	97.02.20	5	18	66
96.11.28~12.01	110	107	97.02.21	8	26	79
96.12.02~12.04	86	82	97.02.25	1	未処理	未処理
96.12.05~12.08	114	112	97.03.18	1	23	88
96.12.09~12.11	86	85	97.02.25	3	未処理	未処理
96.12.12~12.15	109	87	97.02.27	6	24	62
96.12.16~12.18	85	70	97.02.27	2	未処理	未処理
96.12.19~12.22	114	111	97.02.27	4	5	22(未処理82)
96.12.23~12.25	84	84	97.03.03	4	未処理	未処理
96.12.26~12.29	112	111(観測エラー)	97.03.04	2	未処理	未処理
96.12.30~97.01.01	85	85	97.03.19	0	未処理	未処理
97.01.02~01.05	115	未取得	—	0	未処理	未処理
97.01.06~01.08	82	82	97.03.04	4	6	22(未処理54)
97.01.09~01.12	112	110	97.03.12	5	38	71
97.01.13~01.15	85	86	97.03.06	1	未処理	未処理
97.01.16~01.19	114	110	97.03.19	2	24	83
97.01.20~01.26	199	未取得	—	1	未処理	未処理
合計	2,498	1,993		85	242	794

(注) *1: OPL1による予定イベント数

*2: 斜体は、媒体で取得済だが、フォーマットチェック等は未確認の数値

*3: データの分析、欠損により、データ処理不可のイベント数

*4: 96.11.3までは、ILASセンサーが熱的な定常には達していなかったため、現段階では処理を行っていない。

(2) データ処理状況

ILAS測定データの処理方法は「ILASユーザズハンドブック 第1.0版」に詳述されているため、ここでは省略する。

データ処理・解析のソフトウェアは、1997年3月4日に Version 1.00 から Version 2.00 へと改良された。以下に改良点の概要を述べる。

表3.2 データ取得状況（レベル0 データ）

観測日	取得イベント数		分断欠損イベント数		処理状況 (レベル2完了分)
	予定 ^{*1}	実績	予定 ^{*1}	実績 ^{*2}	
96. 9. 18 ^{*3}	12	12	未調査	未調査	6
96. 10. 14~10. 18 ^{*4}	12	9	未調査	未調査	3
96. 10. 30~11. 05 ^{*5}	30	29	14	13	12
96. 11. 06~11. 12	28	26	15	17	10
96. 11. 13~11. 19	24	23	10	10	13
96. 11. 20~11. 26	24	24	9	10	14
96. 11. 27~12. 03	26	24	10	10	13
96. 12. 04~12. 10	32	32	9	9	18
96. 12. 11~12. 17	25	25	8	9	14
96. 12. 18~12. 24	31	31	8	10	13
96. 12. 25~12. 31	28	23	8	9	12
97. 01. 01~01. 07	32	31	9	9	14
97. 01. 08~01. 14	27	26	9	9	17
97. 01. 15~01. 21	32	32	9	9	23
97. 01. 22~01. 28	27	25	12	14	9
97. 01. 29~02. 04	30	28	8	8	19
97. 02. 05~02. 11	27	27	8	8	17
97. 02. 12~02. 18	26	24	7	5	17
97. 02. 19~02. 25	29	27	15	13	14
97. 02. 26~03. 04	29	27	13	8	11
97. 03. 05~03. 11	30	26	15	15	7
97. 03. 12~03. 18	31	31	14	5	14
97. 03. 19~03. 25	33	25	18	15	10
97. 03. 26~03. 31	28	28	15	15	13
合計	653	615	243	230	313

(注) *1: OPL1による予定イベント数

*2: データの分析、欠損により、データ処理不可のイベント数

*3: 個別チェックアウト(96.9.7にも行われたが、センサ基本機能確認用データのため省略)

*4: 総合運用試験1

*5: 総合運用試験2

●処理・解析ソフトウェアの改良点

6 μ mの近傍の波長域におけるO₂連続吸収帯の効果を、解析用ソフトに組み込んだ結果、赤外域における全ての気体の提供が可能になった。Version 1.00 で既に提供されていたオゾン、硝酸、可視エアロゾル消散係数はO₂連続吸収帯の影響をほとんど受けないので、Version 1.00 と Version 2.00 のソフトウェアの違いによってこれら3要素の鉛直分布は変化しない。

Version 1.00 による処理状況を表3.3に示し、Version 2.00 による処理状況を表3.4に示す。但し、どちらも1997年3月31日現在の処理状況である。

表3.3 データ処理状況(Version 1.00)

データ種類	処理期間	データ数
レベル2	11/4~11/7	288
レベル2'	11/4~2/27	174

表3.4 データ処理状況(Version 2.00)

データ種類	処理期間	データ数
レベル2	11/15* 11/18~12/19	180
レベル2'	11/5 ~ 2/26 2/28 ~ 3/27	38 41

注)*:検証実験データと近い日時、場所のデータを優先処理した。

3.1.2 観測状況

(1)月別平均値

I L A Sで観測したオゾン、硝酸、エアロゾル消散係数(可視波長)のレベル2'データを用いて月別、緯度帯別に計算した平均鉛直分布をそれぞれ図3.5~図3.9に示す。図において実線が平均値で点線の右端は全データの90パーセント点*¹、左端は全データの10パーセント点*²、を示す。なお、この3要素は、処理ソフトウェアの違いによって、結果に違いは生じないので、処理に用いたソフトウェアは、Version 1.00 と Version 2.00 が混在している。

平均値を計算するために用いた月別・緯度帯のデータ数を表3.5に示す。なお、データ数は高度によって異なるが、各高度の中で最大のデータ数を示す。

表3.5 計算に用いたデータ数

緯度帯	月	オゾン (O ₃)	硝酸 (NNO ₃)	エアロゾル 消散係数
82.5S-77.5S	2	7	7	7
82.5S-77.5S	3	8	8	8
77.5S-72.5S	2	21	21	21
77.5S-72.5S	11	13	13	13
72.5S-67.5S	1	11	10	10
72.5S-67.5S	2	17	17	17
72.5S-67.5S	11	33	33	31
67.5S-62.5S	1	42	41	41
67.5S-62.5S	11	4	4	4
67.5S-62.5S	12	42	42	44
62.5N-67.5N	1	26	26	23
62.5N-67.5N	2	2	2	2
62.5N-67.5N	12	22	23	22
67.5N-72.5N	2	18	18	18
67.5N-72.5N	3	7	7	7
67.5N-72.5N	11	6	6	7

注) 統計に用いたデータはレベル2'
エアロゾル消散係数は可視波長

注) *1データを値の小さなものから順に並べたとき、ちょうど90%目の値。
*2データを値の小さなものから順に並べたとき、ちょうど10%目の値。

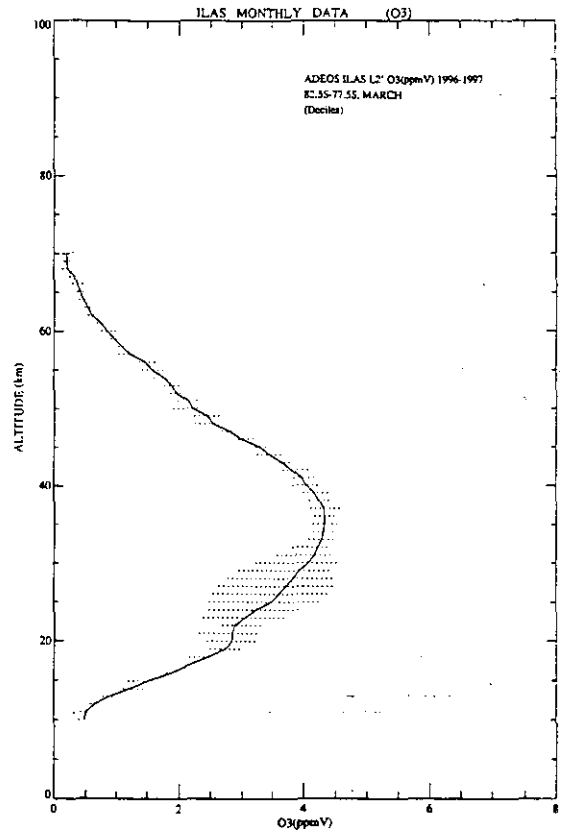
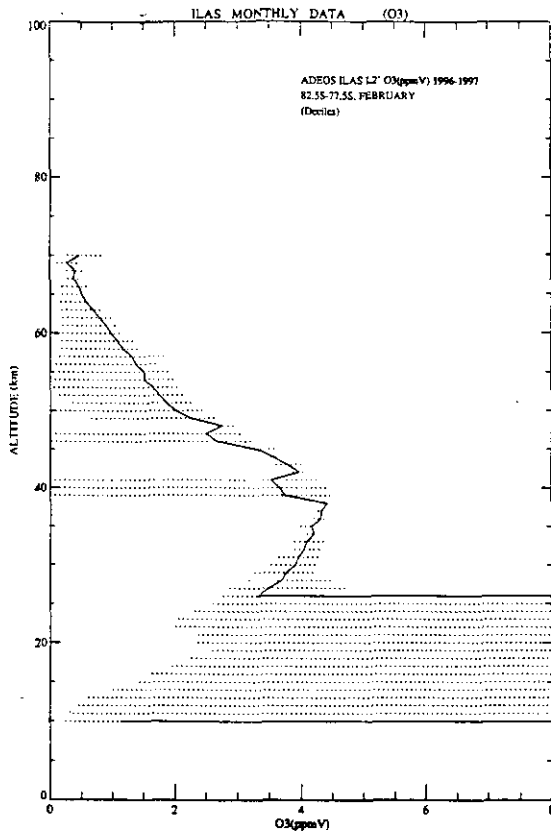


図3.5(1) オゾン(O₃)の月別・緯度帯別平均鉛直分布 (緯度帯 : 82.5S-77.5S)

左図は2月、右図は3月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

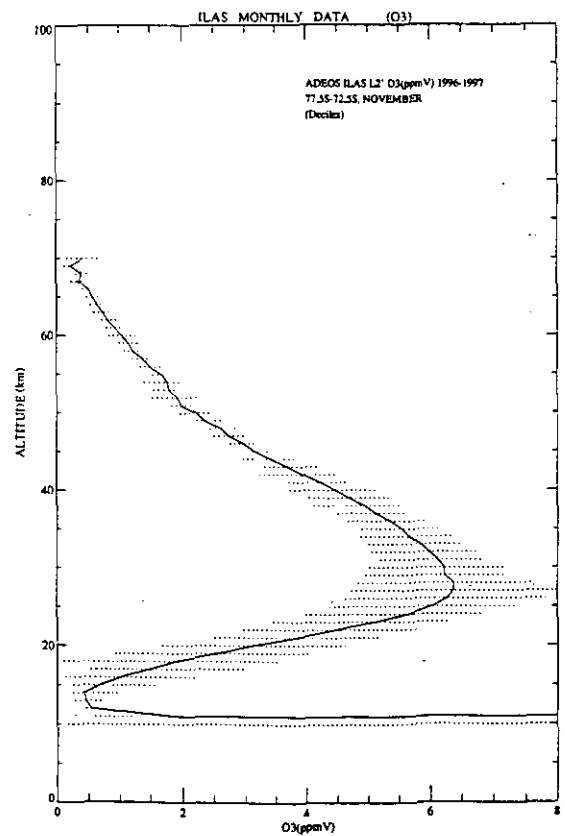
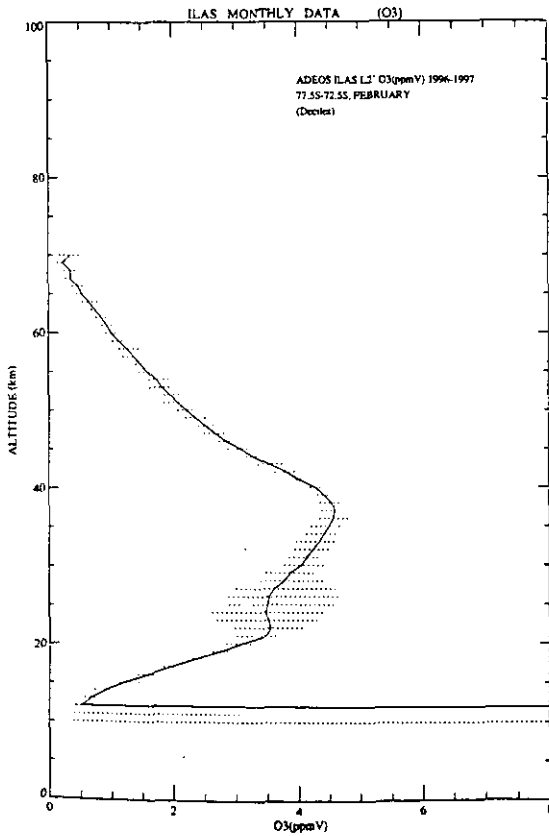


図3.5(2) オゾン(O₃)の月別・緯度帯別平均鉛直分布 (緯度帯 : 77.5S-72.5S)

左図は2月、右図は11月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

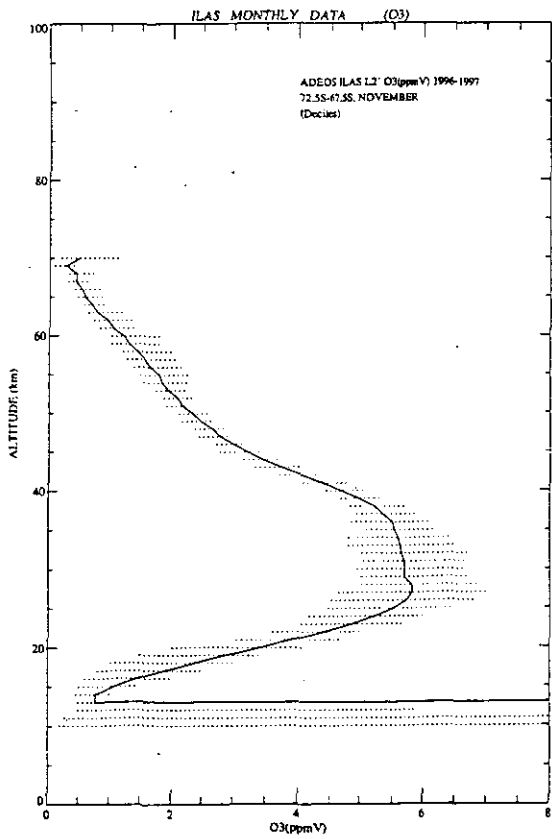
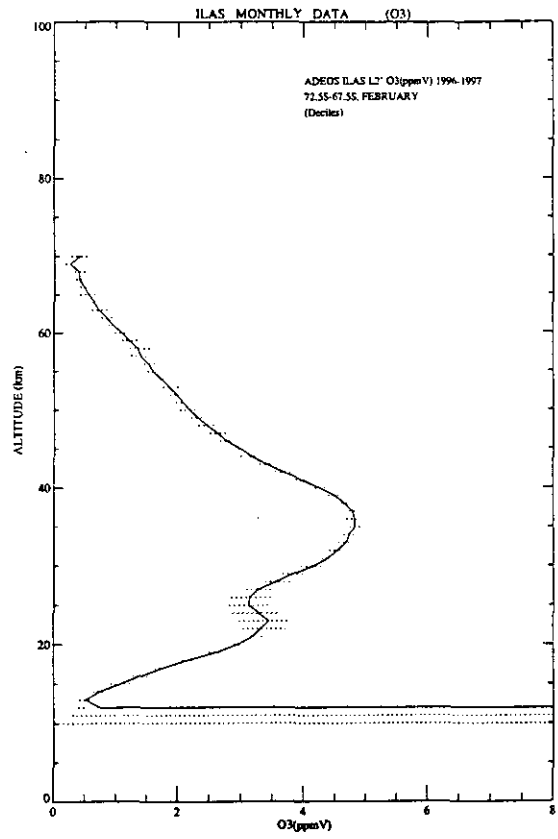
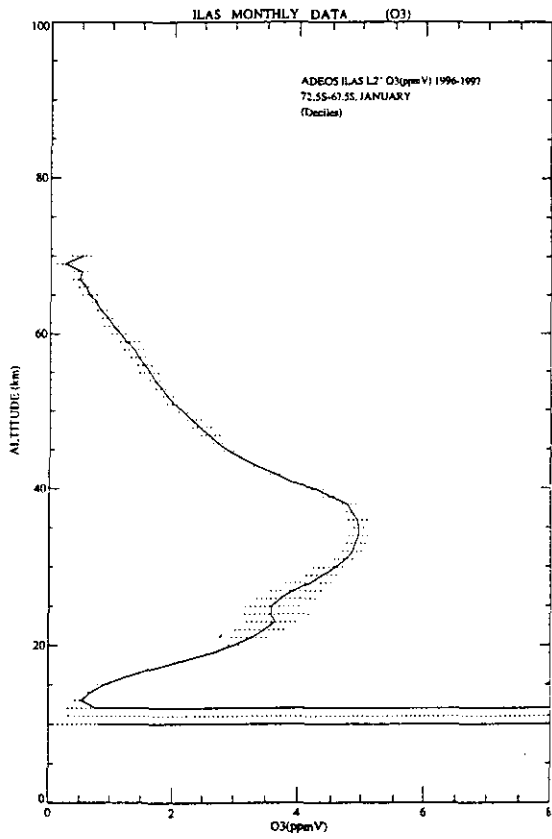


図3.5(3) オゾン(O₃)の月別・緯度帯別平均鉛直分布 (緯度帯 : 72.5S-67.5S)

上段左図は1月、上段右図は2月、下段は11月の平均値を示す。
実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

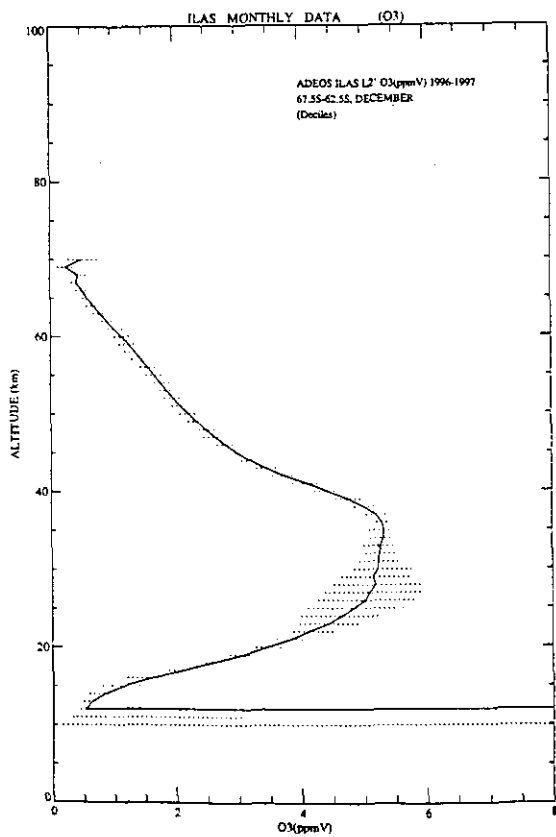
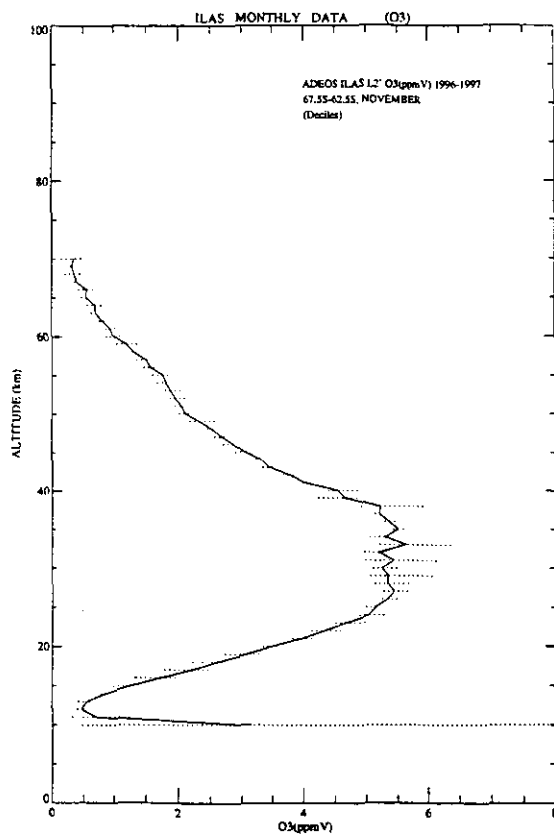
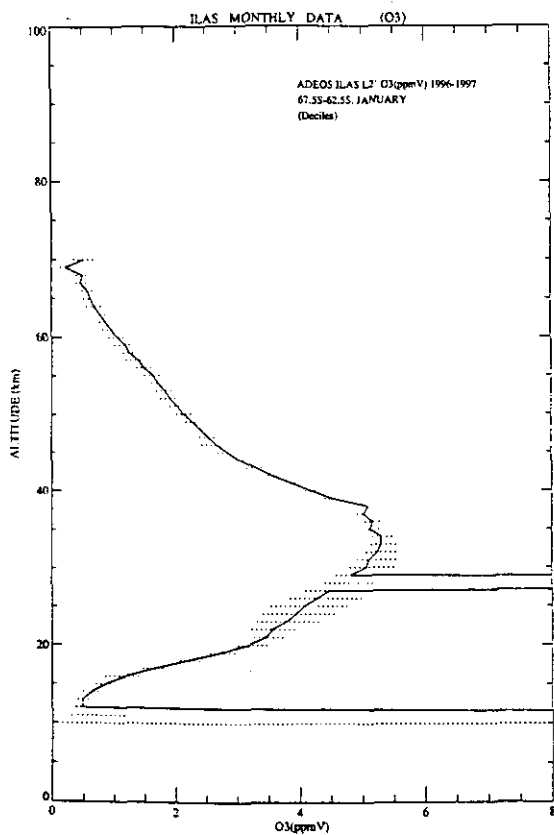


図3.5(4) オゾン(O₃)の月別・緯度帯別平均鉛直分布 (緯度帯: 67.5S-62.5S)

上段左図は1月、上段右図は11月、下段は12月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

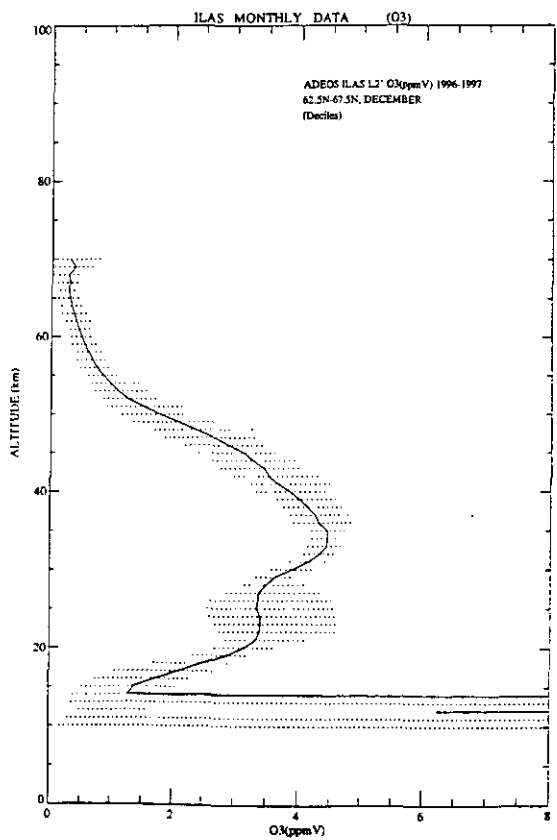
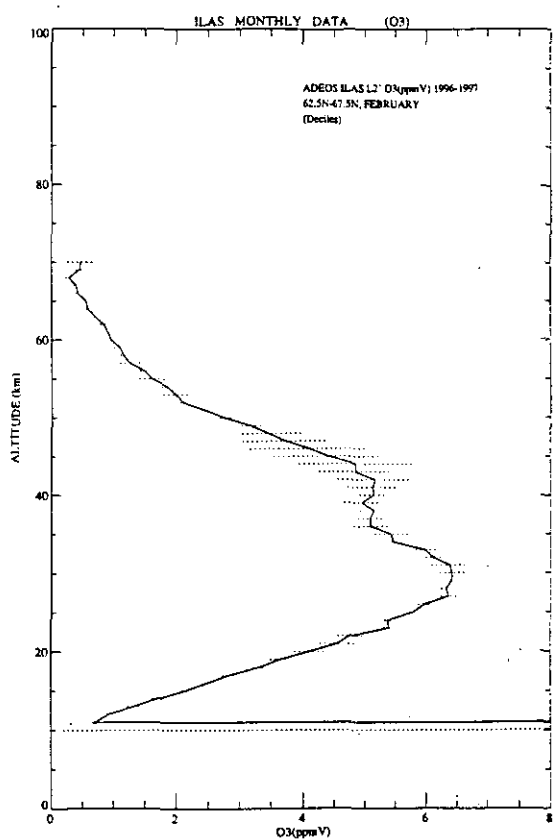
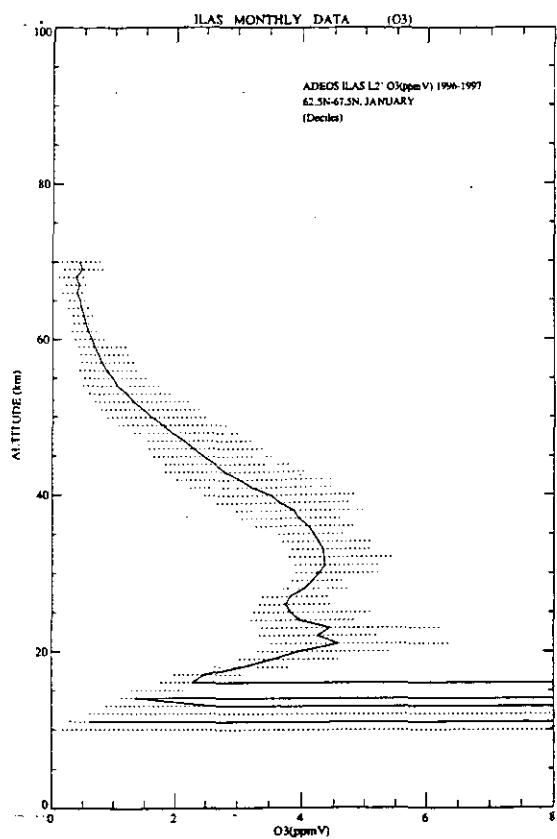


図3.5(5) オゾン(O₃)の月別・緯度帯別平均鉛直分布(緯度帯: 62.5N-67.5N)

上段左図は1月、上段右図は2月、下段は12月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

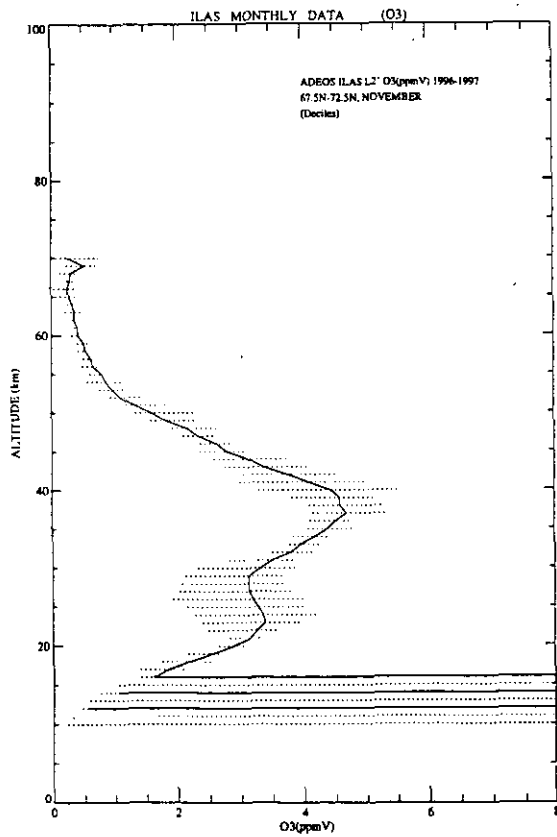
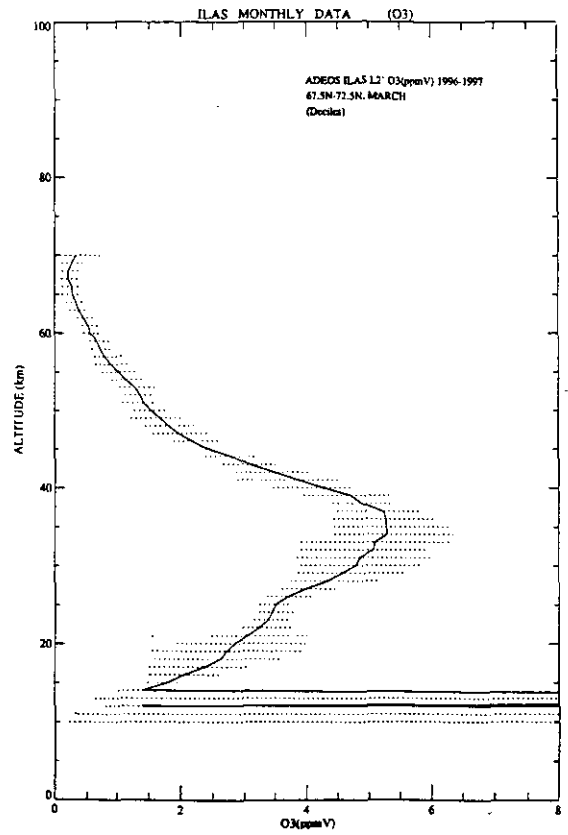
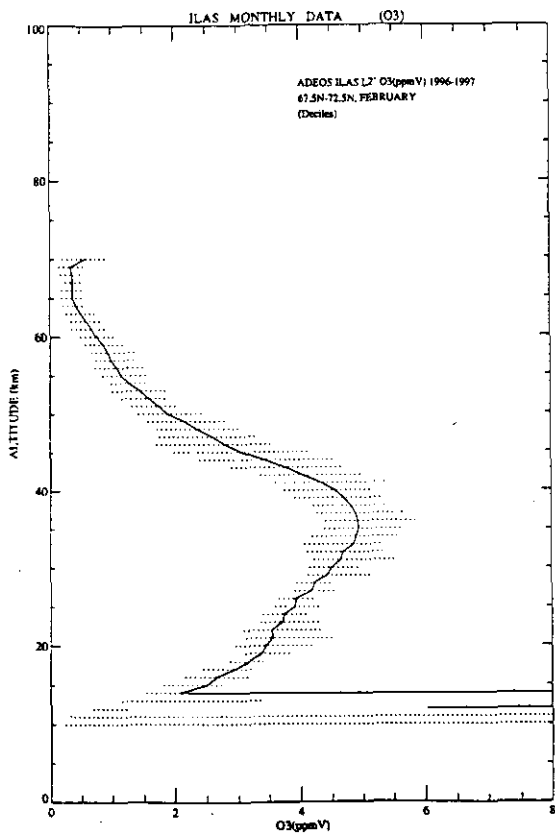


図3.5(6) オゾン(O₃)の月別・緯度帯別平均鉛直分布 (緯度帯: 67.5N-72.5N)

上段左図は2月、上段右図は3月、下段は11月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

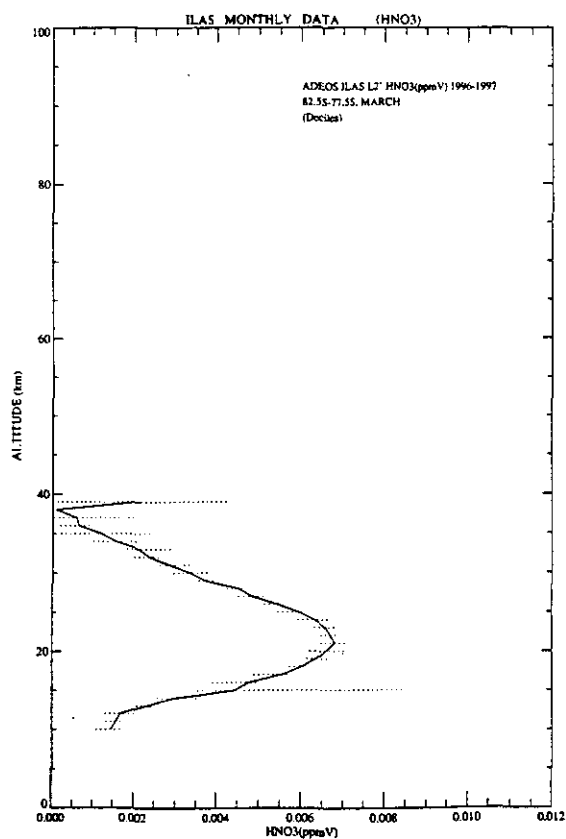
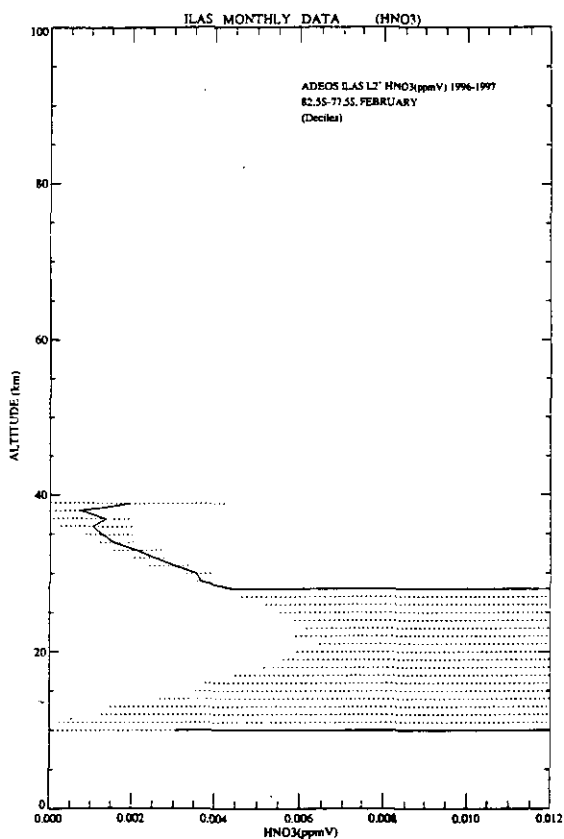


図3.6(1) 硝酸(HNO_3)の月別・緯度帯別平均鉛直分布(緯度帯: 82.5S-77.5S)

左図は2月、右図は3月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

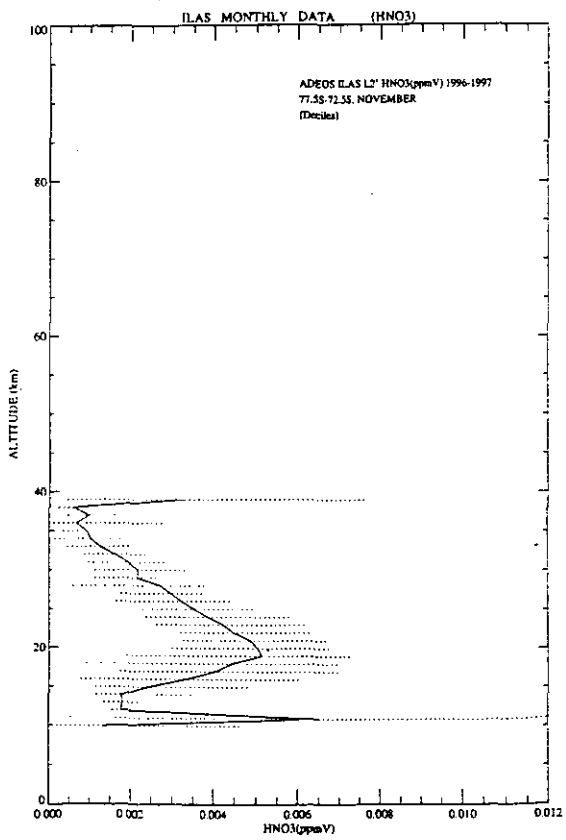
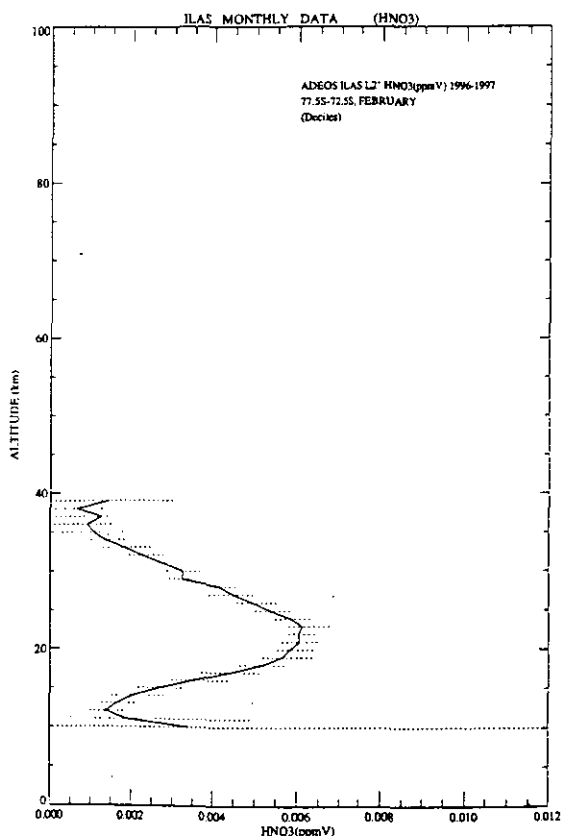


図3.6(2) 硝酸(HNO_3)の月別・緯度帯別平均鉛直分布(緯度帯: 77.5S-72.5S)

左図は2月、右図は11月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

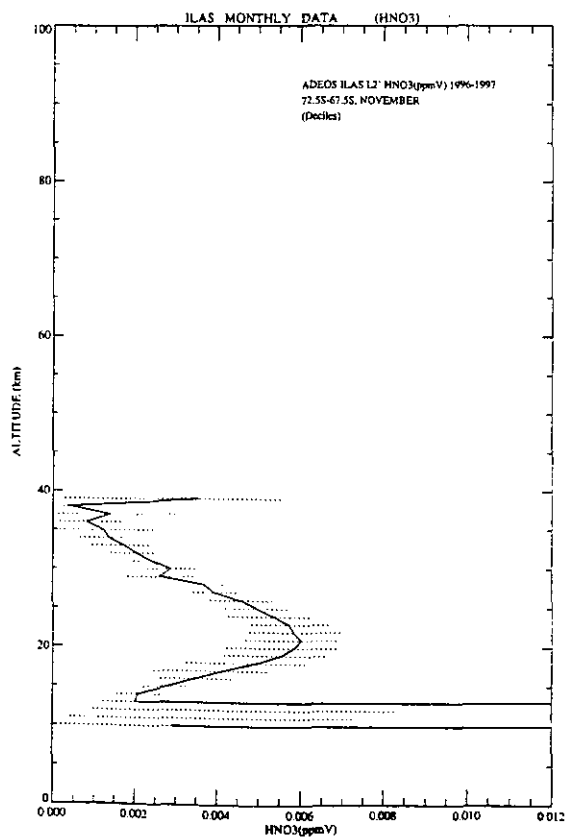
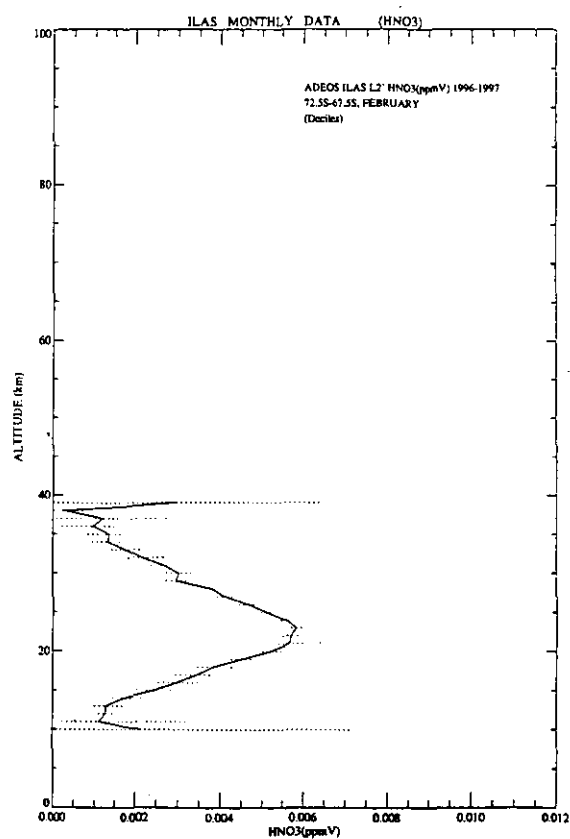
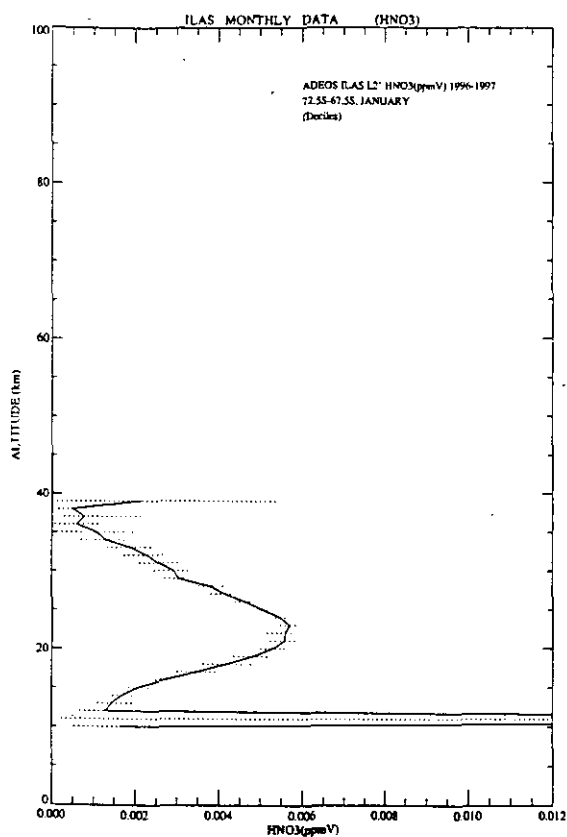


図3.6(3) 硝酸(HNO₃)の月別・緯度帯別平均鉛直分布 (緯度帯: 72.5S-67.5S)

上段左図は1月、上段右図は2月、下段は11月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

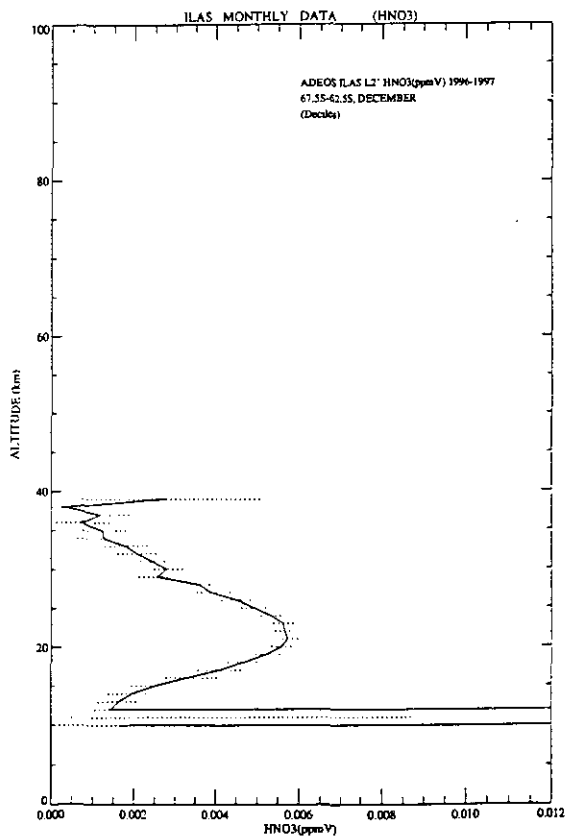
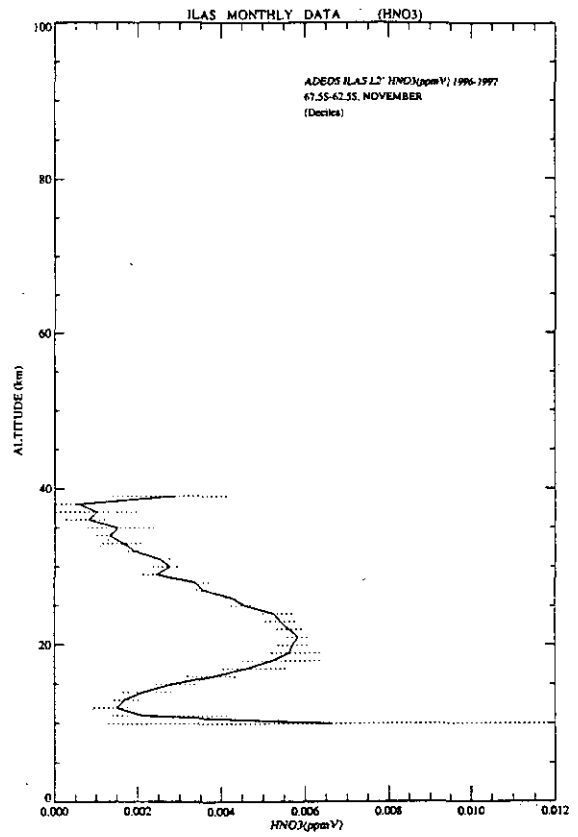
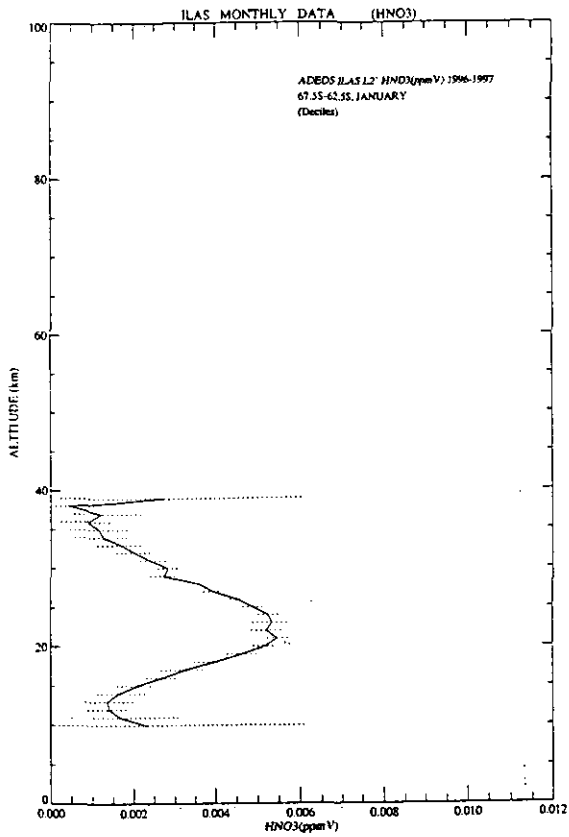


図3.6(4) 硝酸(HNO_3)の月別・緯度帯別平均鉛直分布 (緯度帯: 67.5S-62.5S)

上段左図は1月、上段右図は11月、下段は12月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

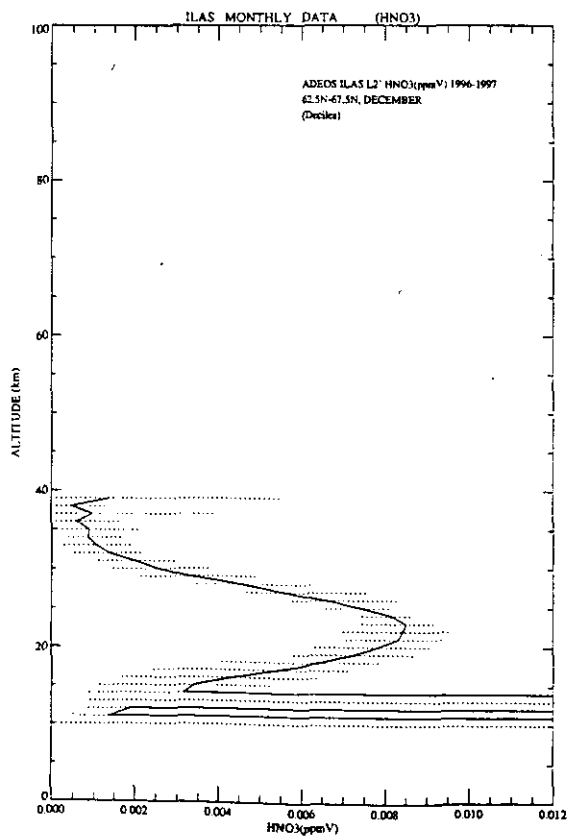
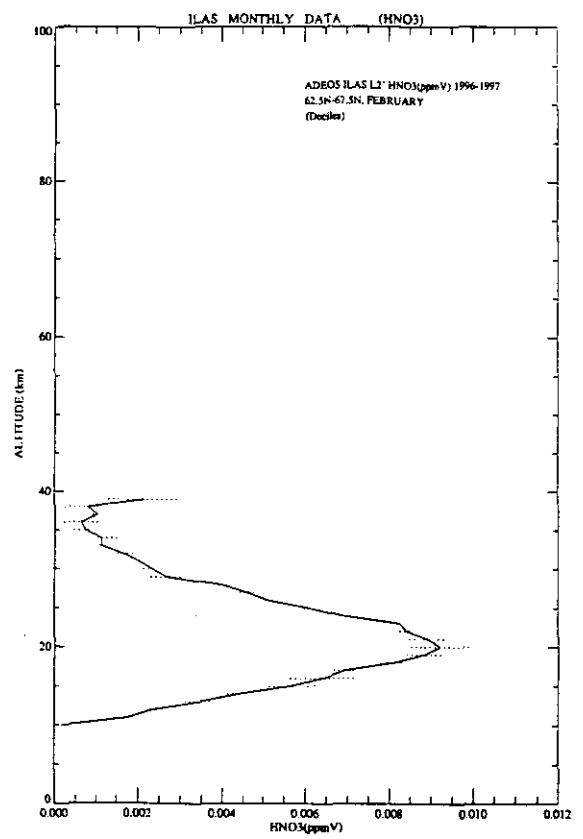
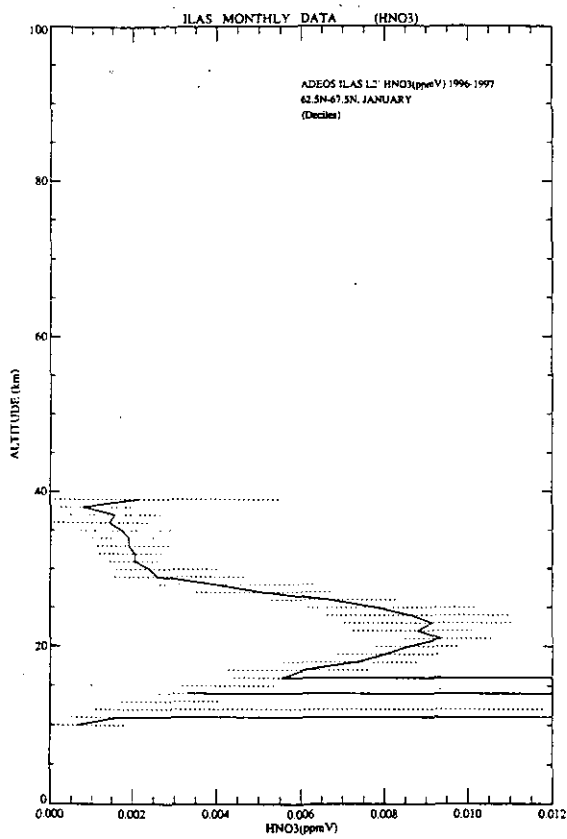


図3.6(5) 硝酸(HNO₃)の月別・緯度帯別平均鉛直分布 (緯度帯: 62.5N-67.5N)

上段左図は1月、上段右図は2月、下段は12月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

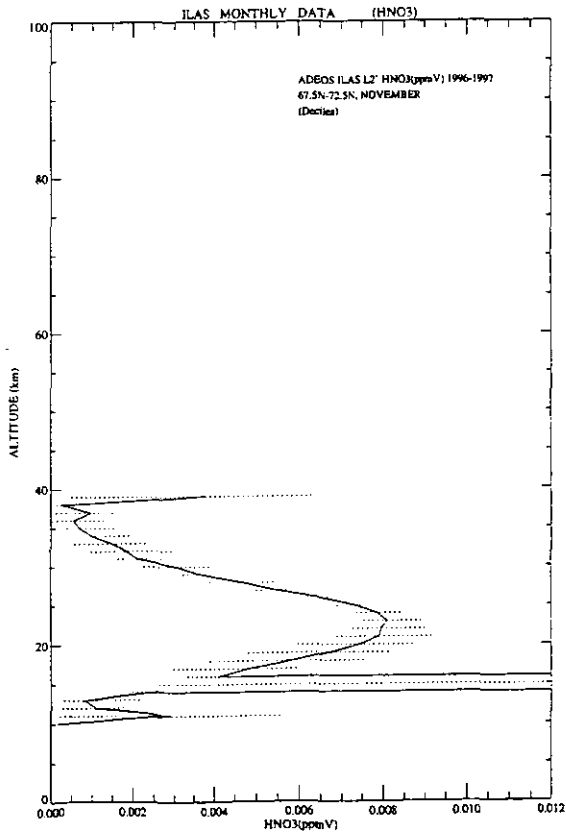
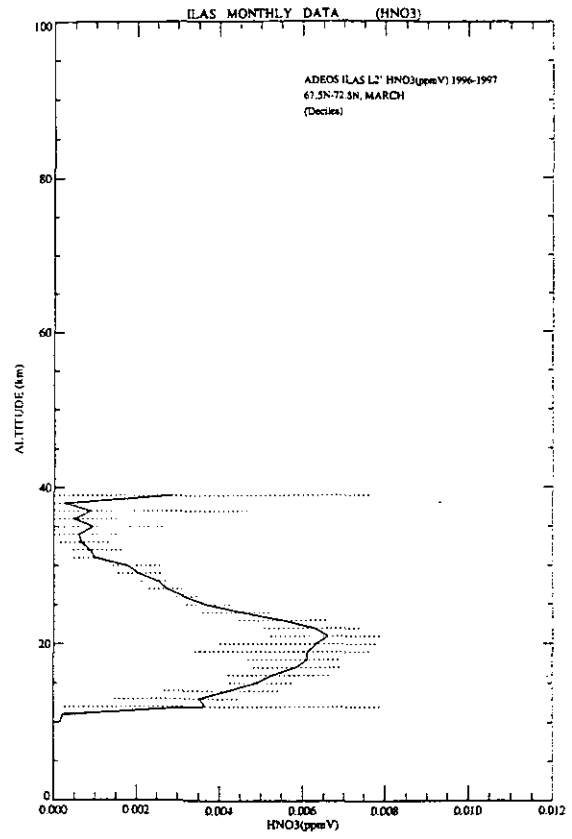
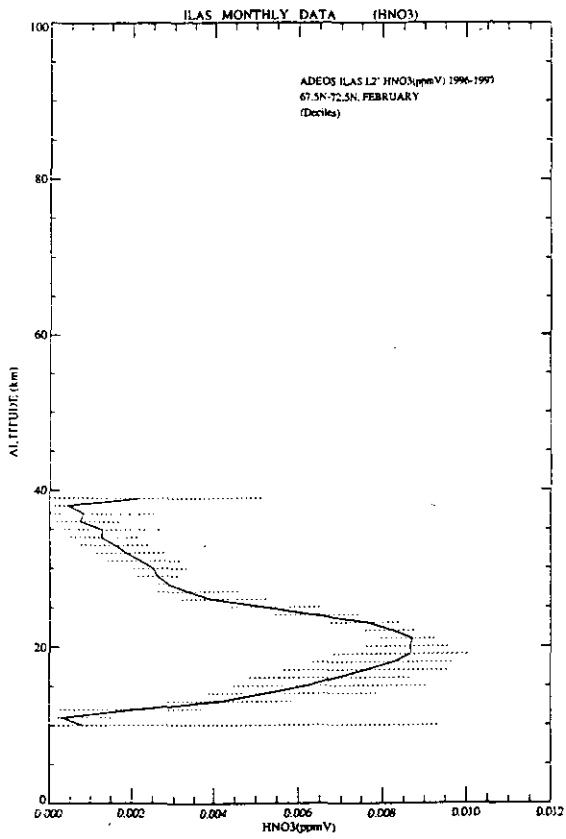


図3.6(6) 硝酸(HNO₃)の月別・緯度帯別平均鉛直分布(緯度帯:67.5N-72.5N)

上段左図は2月、上段右図は3月、下段は11月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

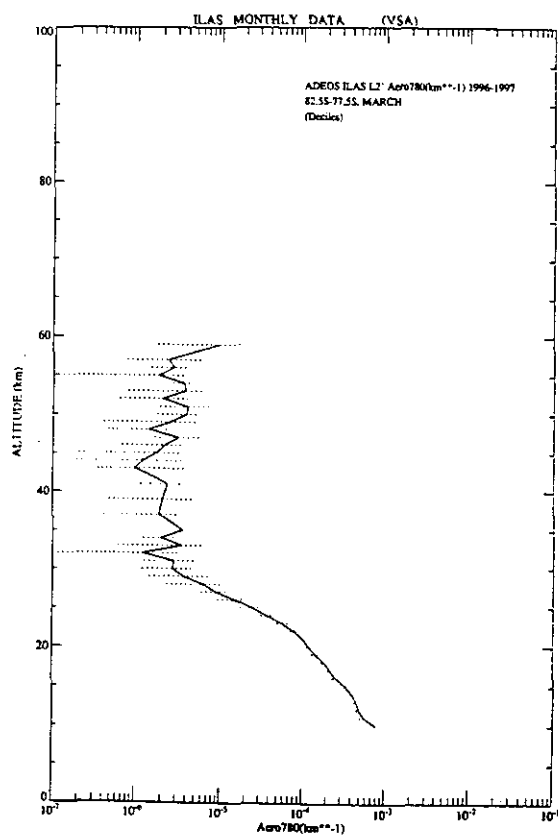
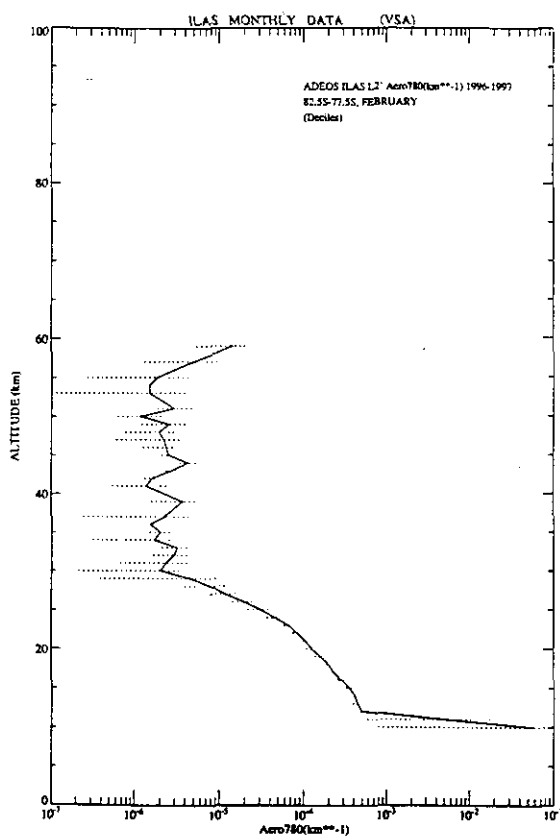


図3.7(1) イロゾル消散係数(可視波長:780nm)の月別・緯度帯別平均鉛直分布(緯度帯:82.5S-77.5S)
 左図は2月、右図は3月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

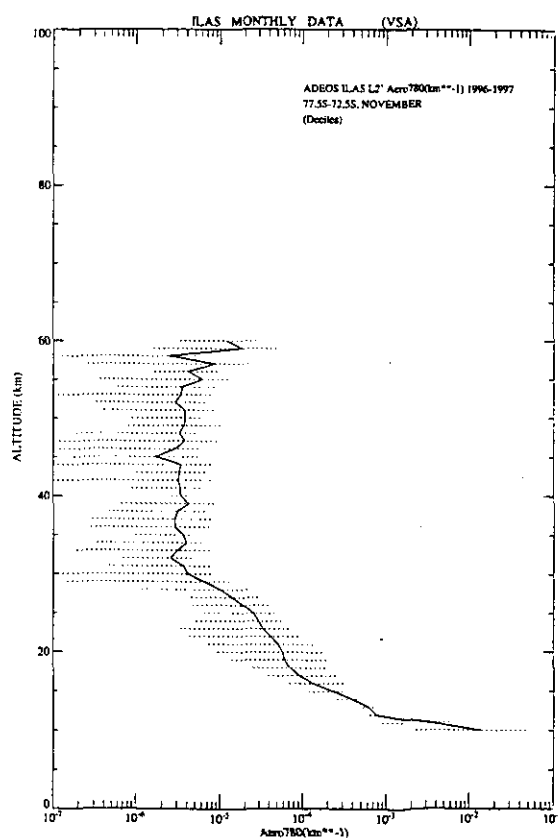
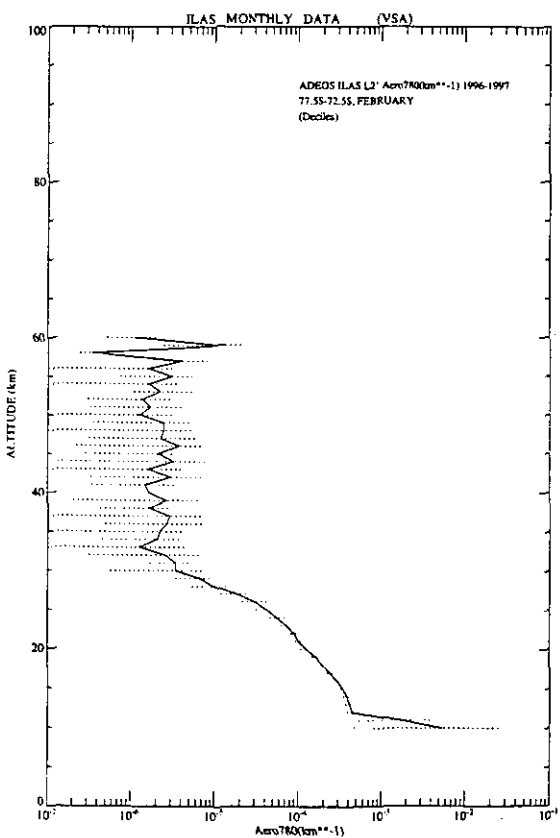


図3.7(2) イロゾル消散係数(可視波長:780nm)の月別・緯度帯別平均鉛直分布(緯度帯:77.5S-72.5S)
 左図は2月、右図は11月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

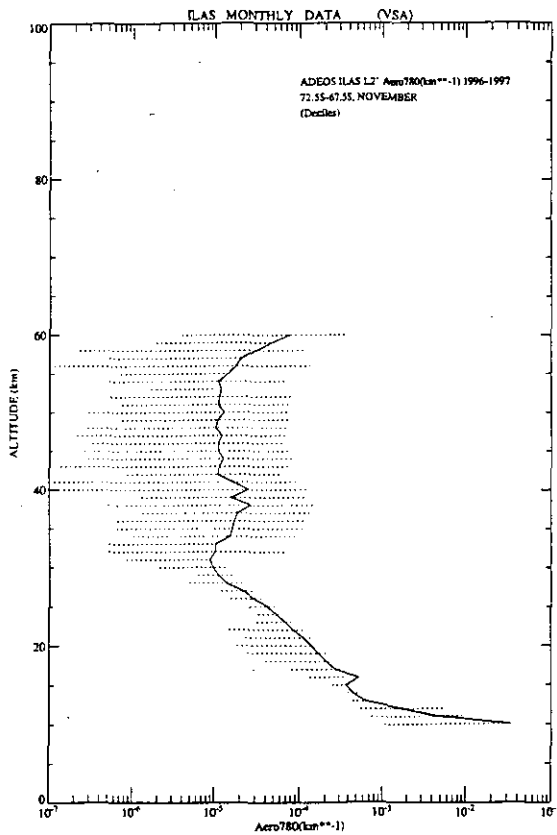
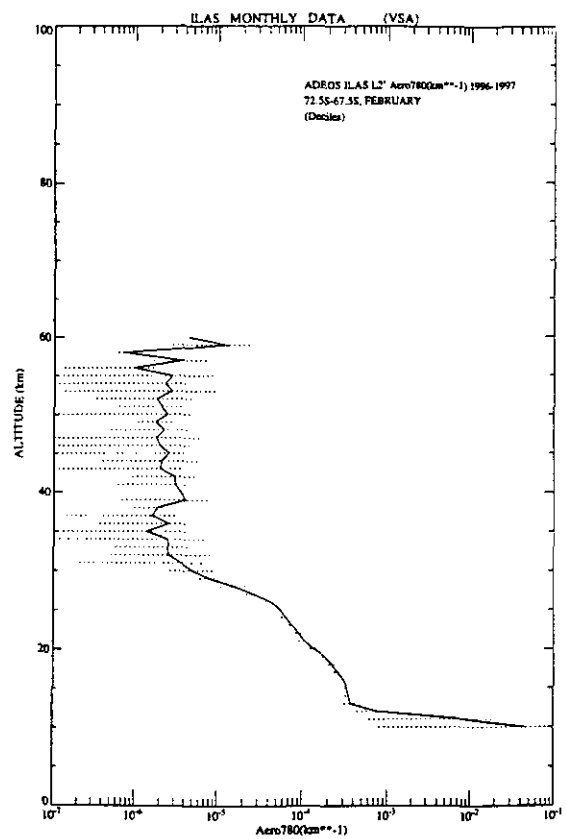
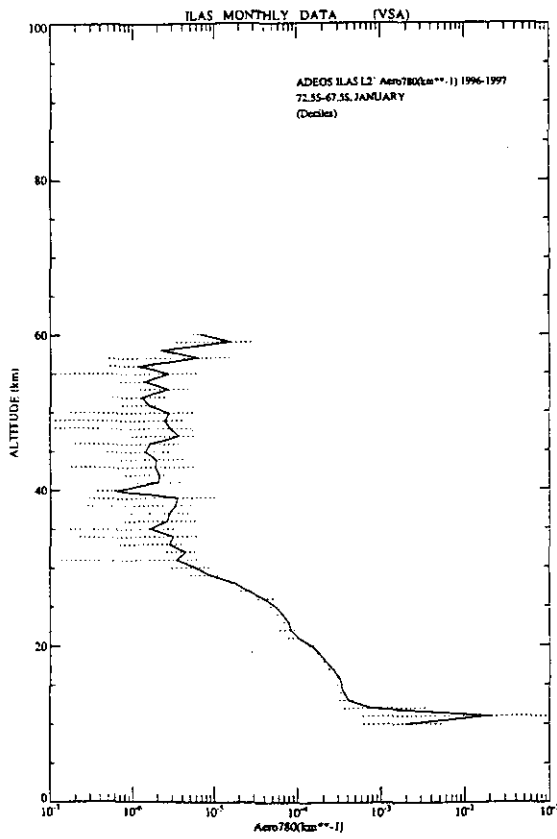


図3.7(3) イロツル消散係数(可視波長; 780nm)の月別・緯度帯別平均鉛直分布(緯度帯: 72.5S-67.5S)
 上段左図は1月、上段右図は2月、下段は11月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

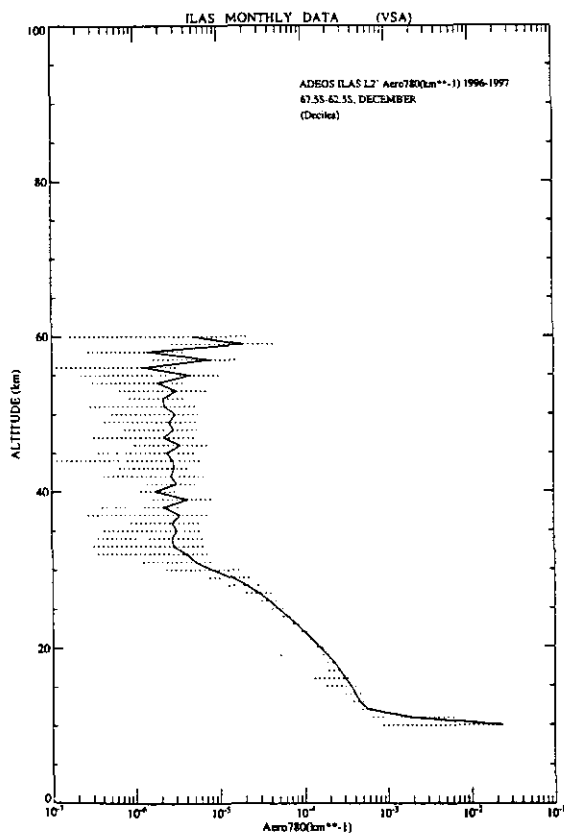
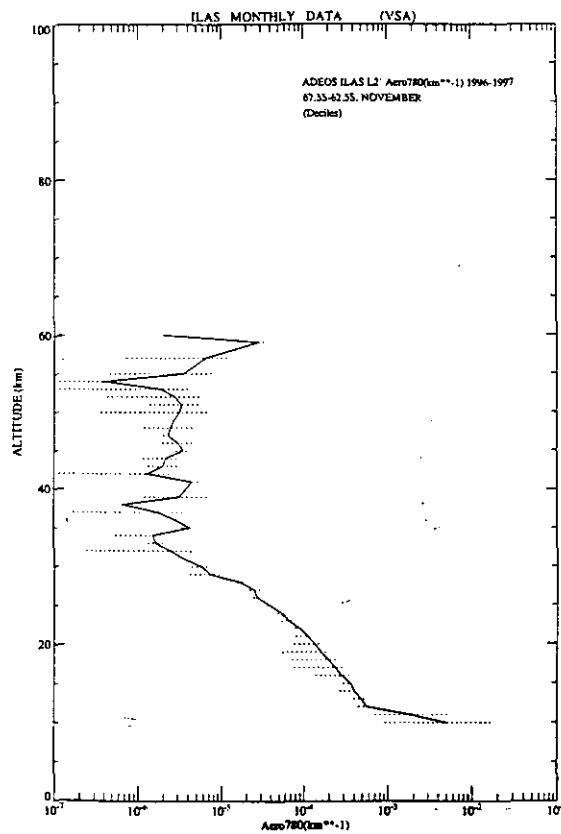
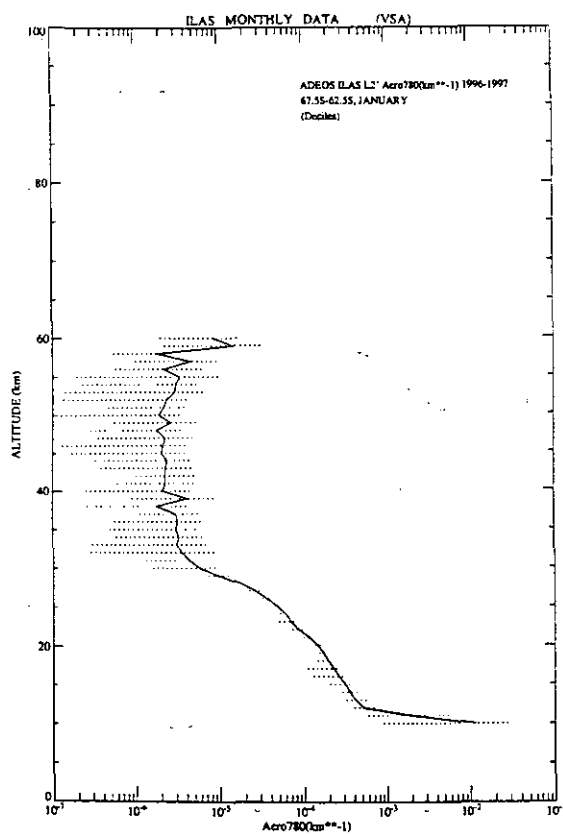


図3.7(4) エロゾル消散係数(可視波長; 780nm)の月別・緯度帯別平均鉛直分布(緯度帯: 67.5S-62.5S)

上段左図は1月、上段右図は11月、下段は12月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

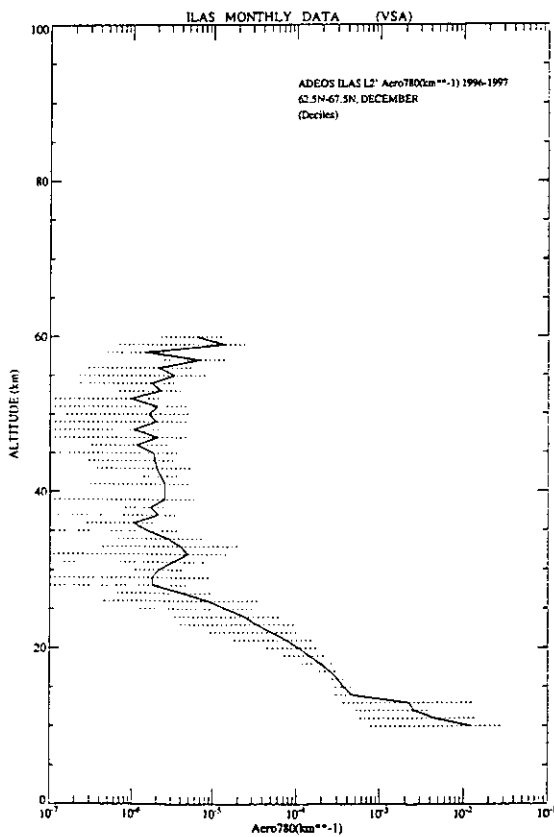
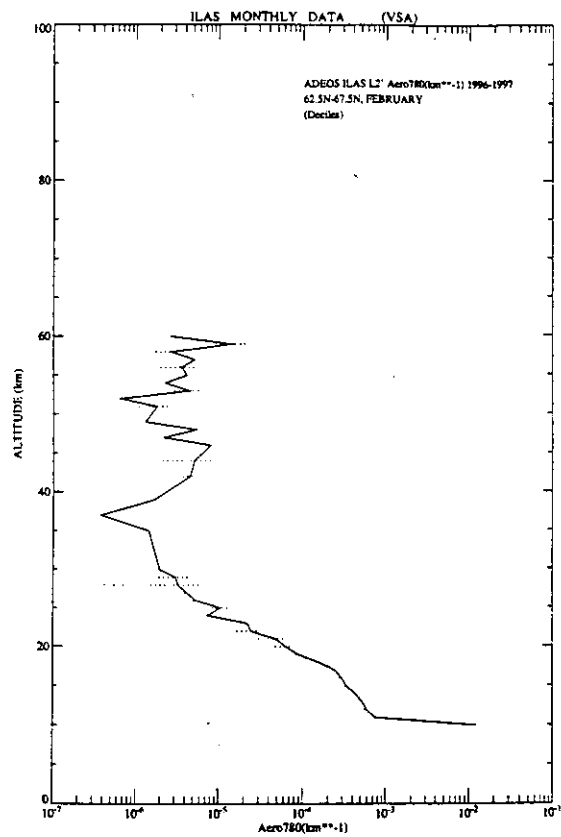
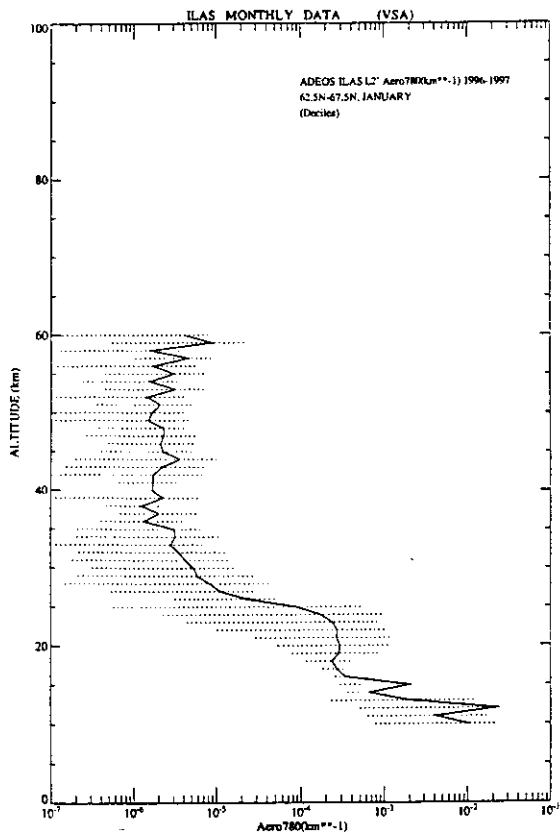


図3.7(5) エアロゾル消散係数(可視波長; 780nm)の月別・緯度帯別平均鉛直分布(緯度帯: 62.5N-67.5N)
 上段左図は1月、上段右図は2月、下段は12月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

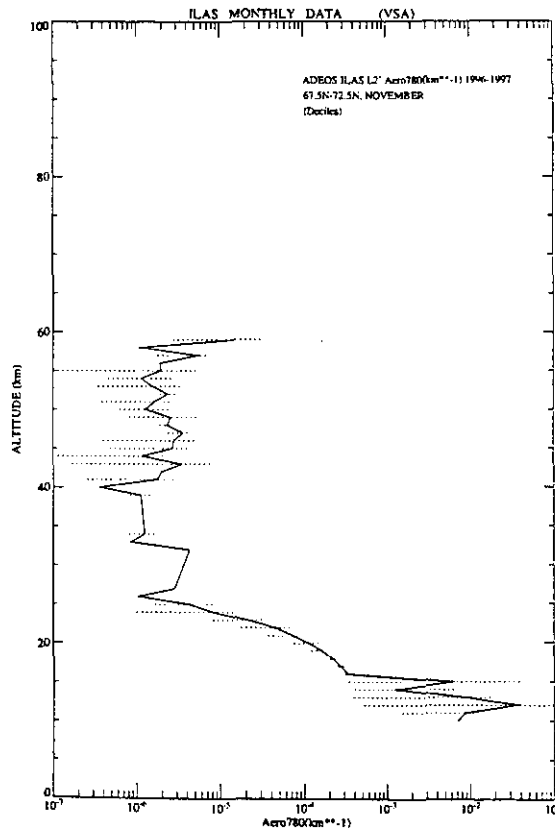
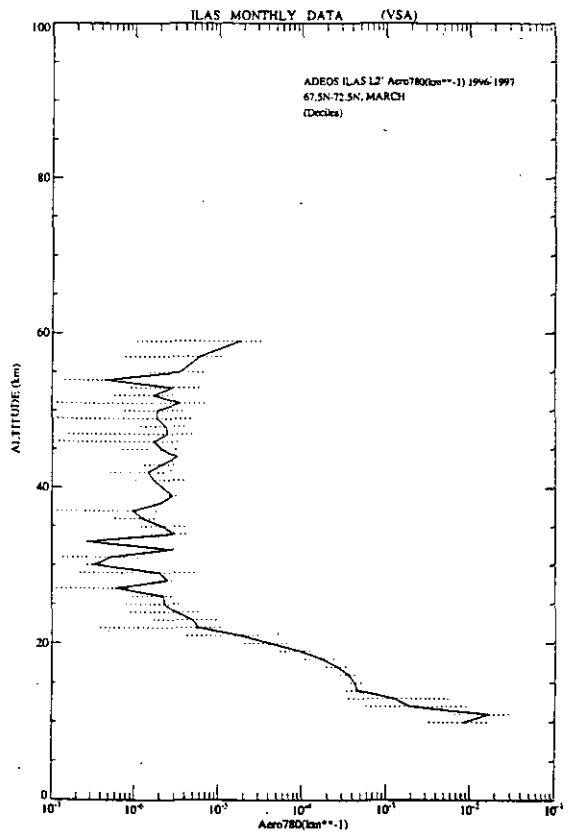
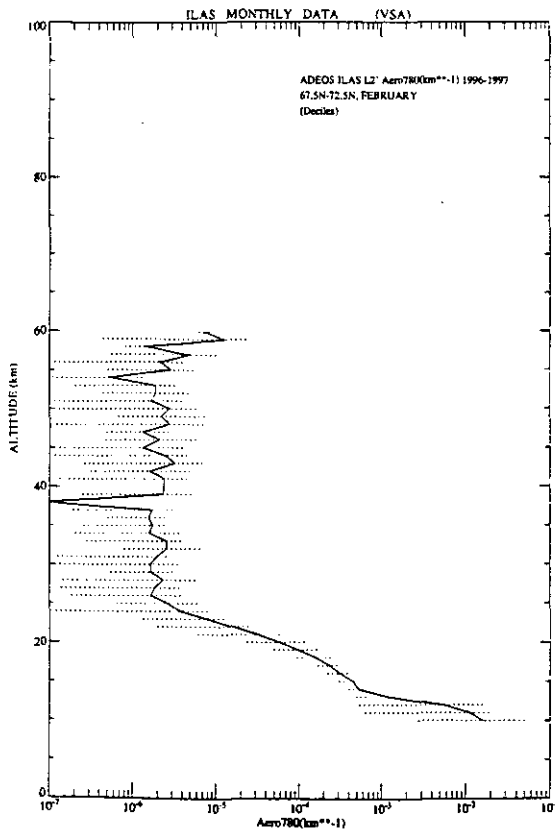


図3.7(6) エロゾル消散係数(可視波長:780nm)の月別・緯度帯別平均鉛直分布(緯度帯:67.5N-72.5N)
 上段左図は2月、上段右図は3月、下段は11月の平均値を示す。
 実線は平均値で、点線の右端は90%値、左端は10%値を示す。

(2) 観測事例

① 観測対象日

第2章で述べたとおり、南極オゾンホールは9月下旬から10月上旬に最盛期を迎え12月上旬に消滅した。ここでは、南極でオゾンホールが生じている期間内から、次の日を対象に観測結果を示す。対象日のオゾン全量の分布を図3.8示す(ADEOS搭載のTOMSによる)。

● 観測事例：1996年11月17日

② 観測地点

観測対象日のILASによる全観測地点を図3.9に示す。

③ 観測結果

ILASによる南極域の観測点を図3.10に示し、ソフトウェア(Version 2.00)を用いて処理したオゾン、一酸化二窒素、硝酸、二酸化窒素、メタン、水蒸気の高度経度断面図を、それぞれ図3.11～図3.16に示す。

また、北極域の観測点を図3.17に示し、ソフトウェア(Version 2.00)を用いて処理したオゾン、一酸化二窒素、硝酸、二酸化窒素、メタン、水蒸気の高度経度断面図を、それぞれ図3.18～図3.23に示す。

ADEOS/TOMS Near Realtime OZONE for Nov 17, 1996

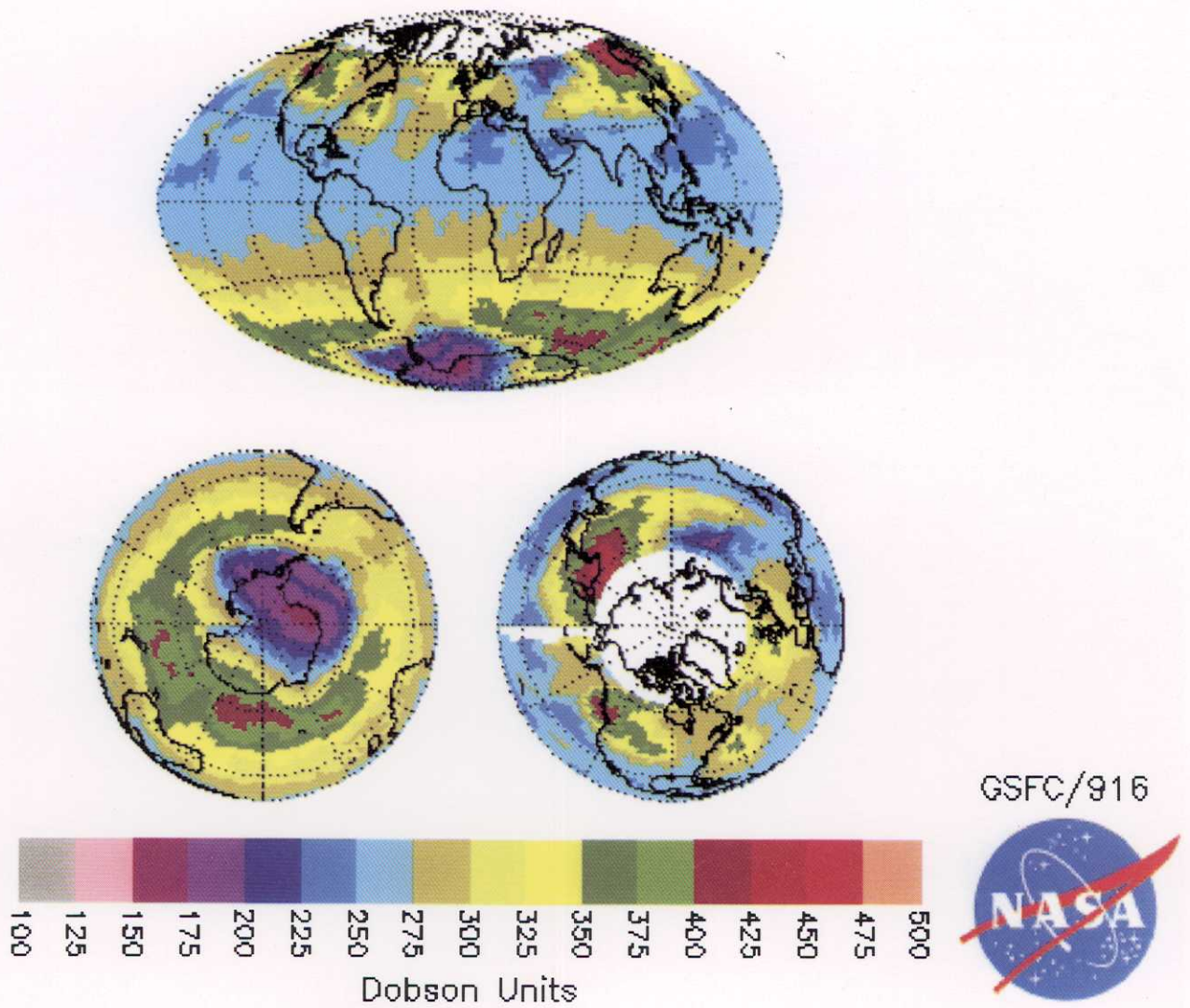


図3.8 オゾン全量分布図（1996年11月17日）

ILAS Observation Day: 96/11/17

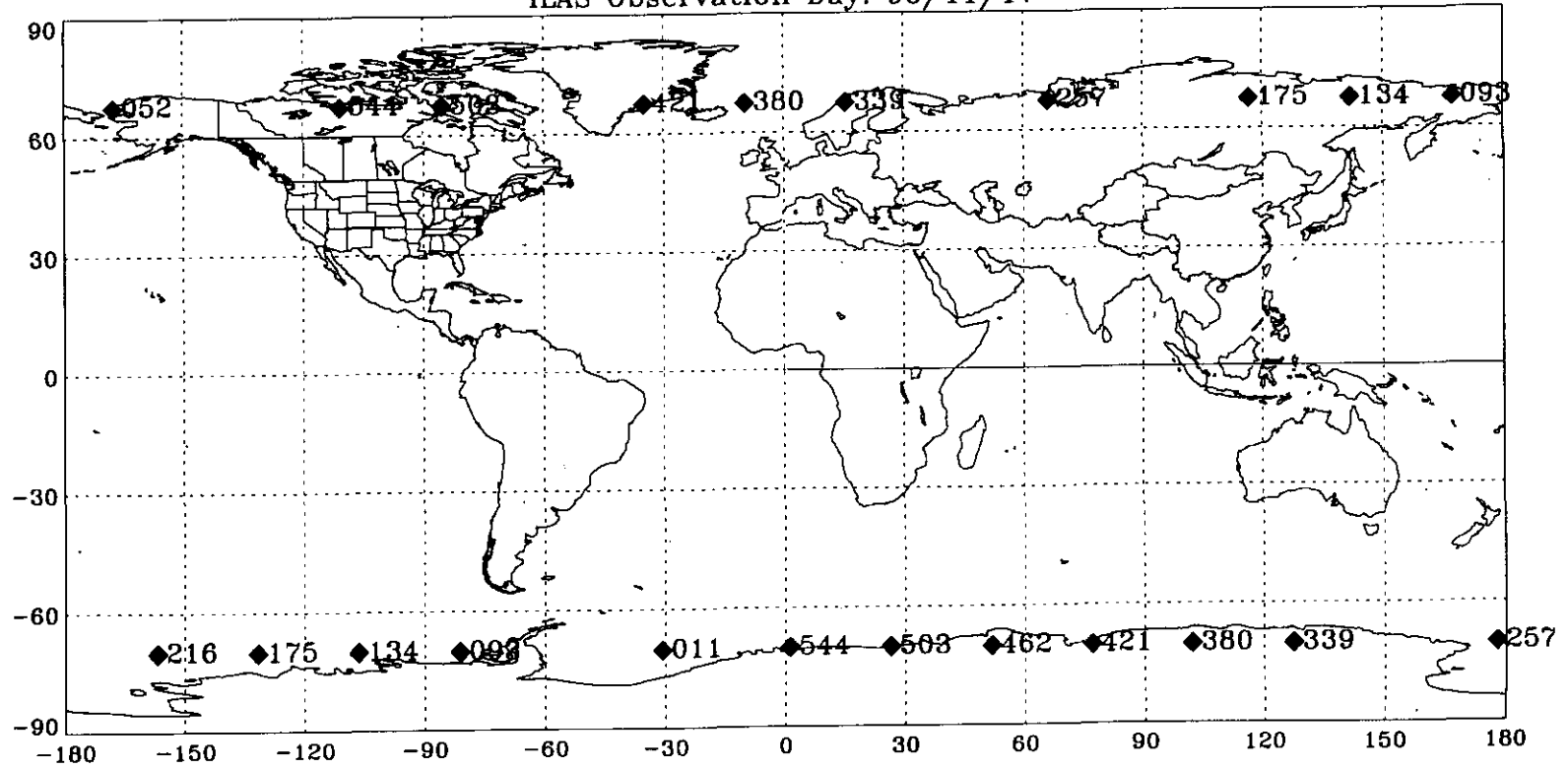


図3.9 ILASの全観測地点（1996年11月17日）

3桁の数字は観測が行われた時の衛星のパス番号を示す。図法は正距円筒図法。

ILAS (South Pole) Observation Day: 96/11/17

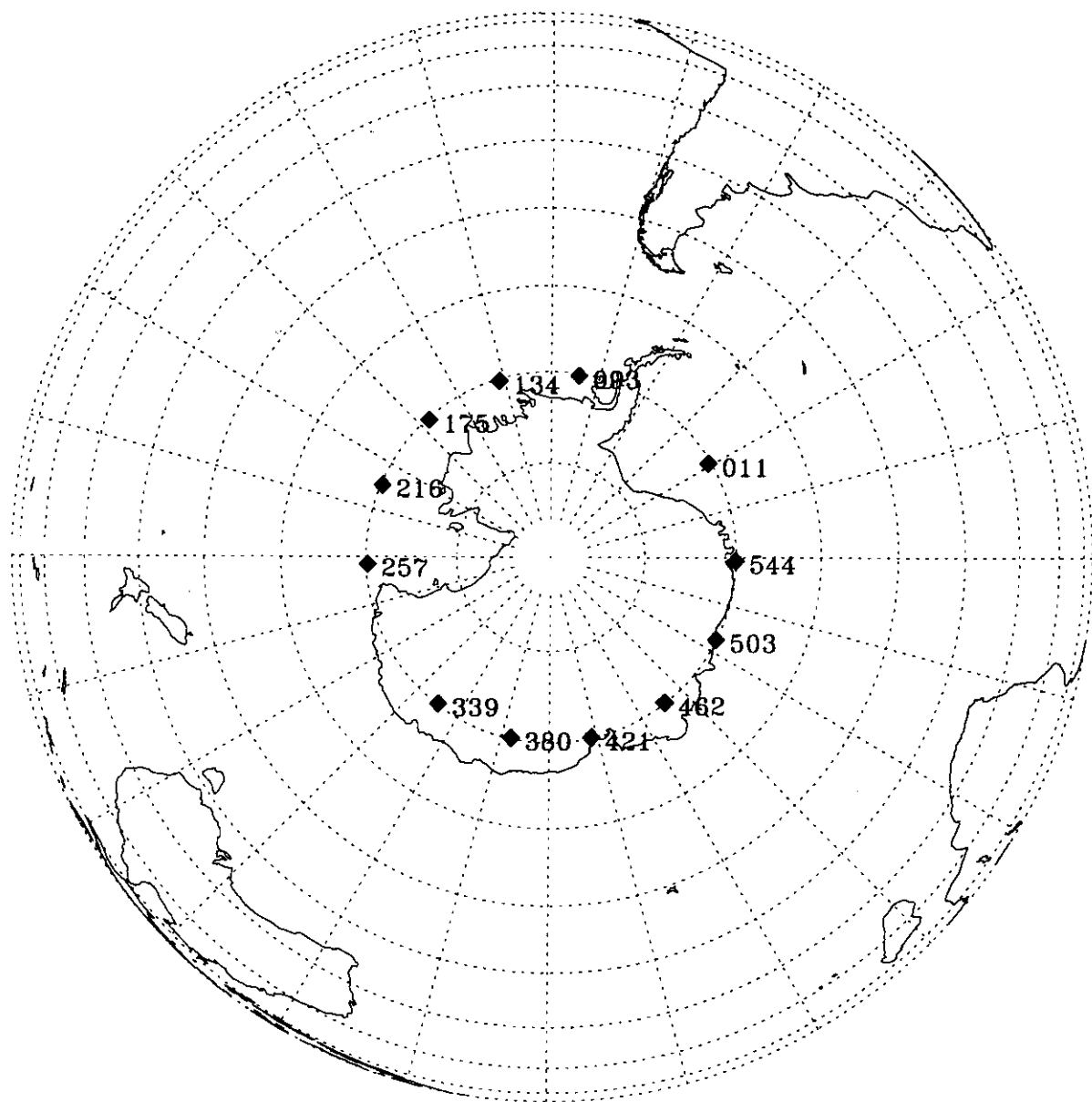


図3.10 ILASの観測地点（南極域、1996年11月17日）

3桁の数字は観測が行われた時の衛星のパス番号を示す。図法は正射図法。

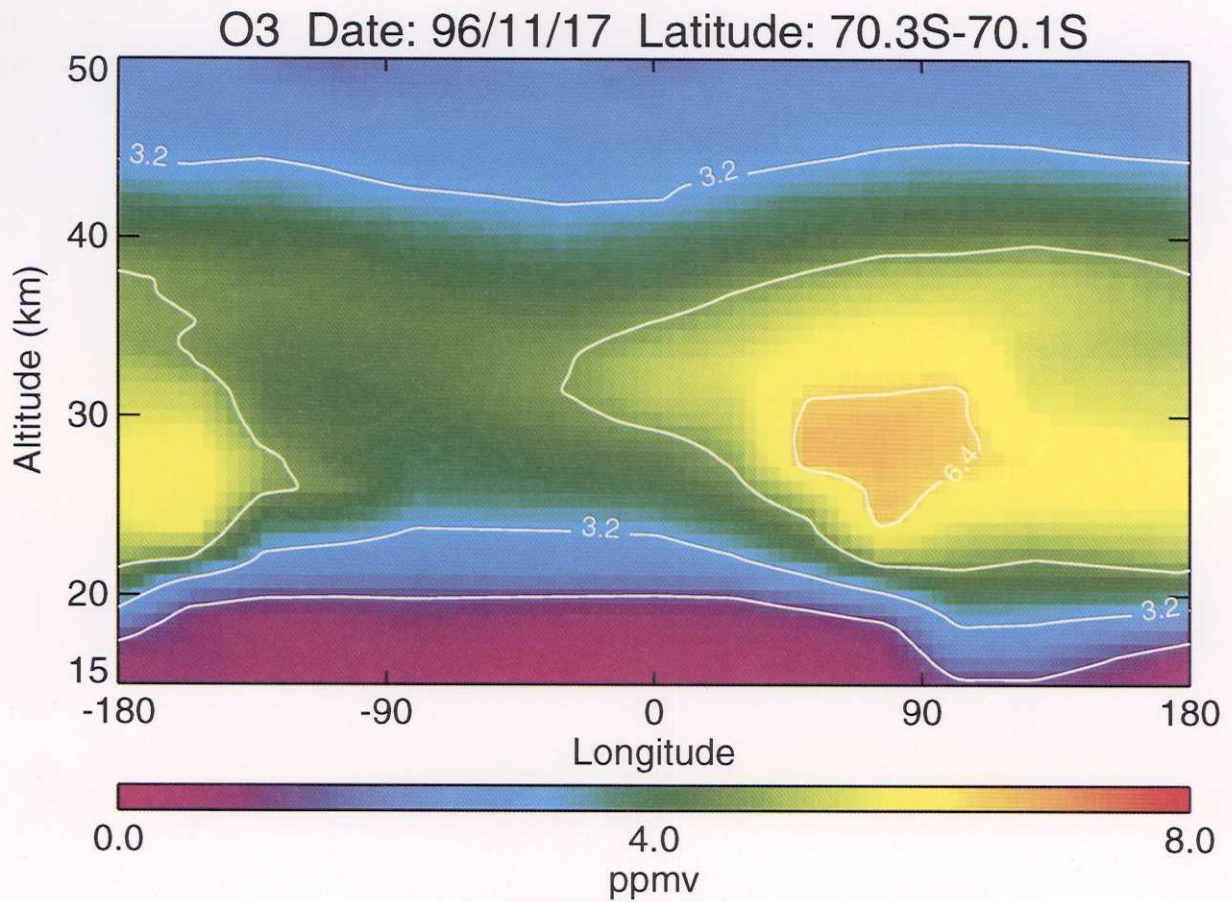


図3.11 オゾンの高度経度断面図（南極域、1996年11月17日）
データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

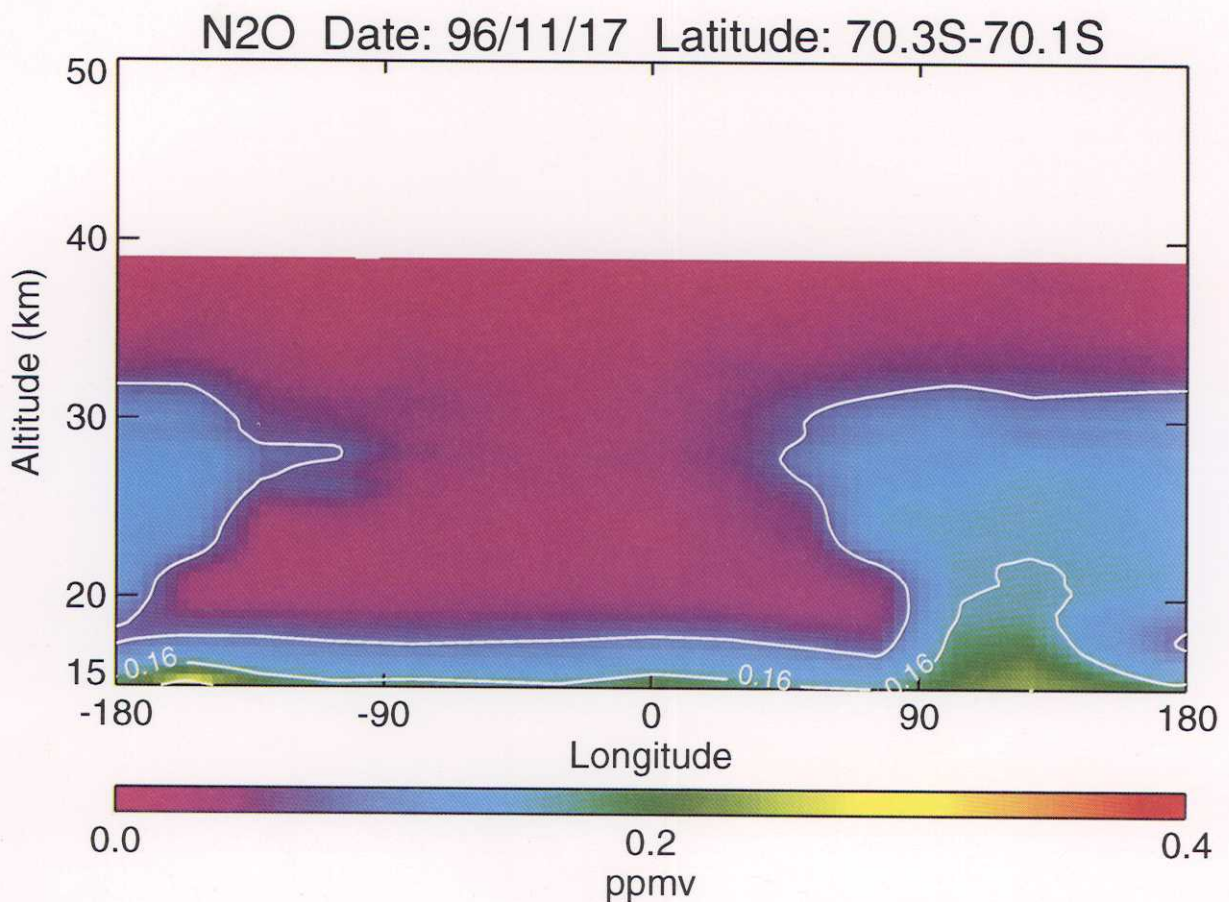


図3.12 一酸化二窒素の高度経度断面図（南極域、1996年11月17日）
データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

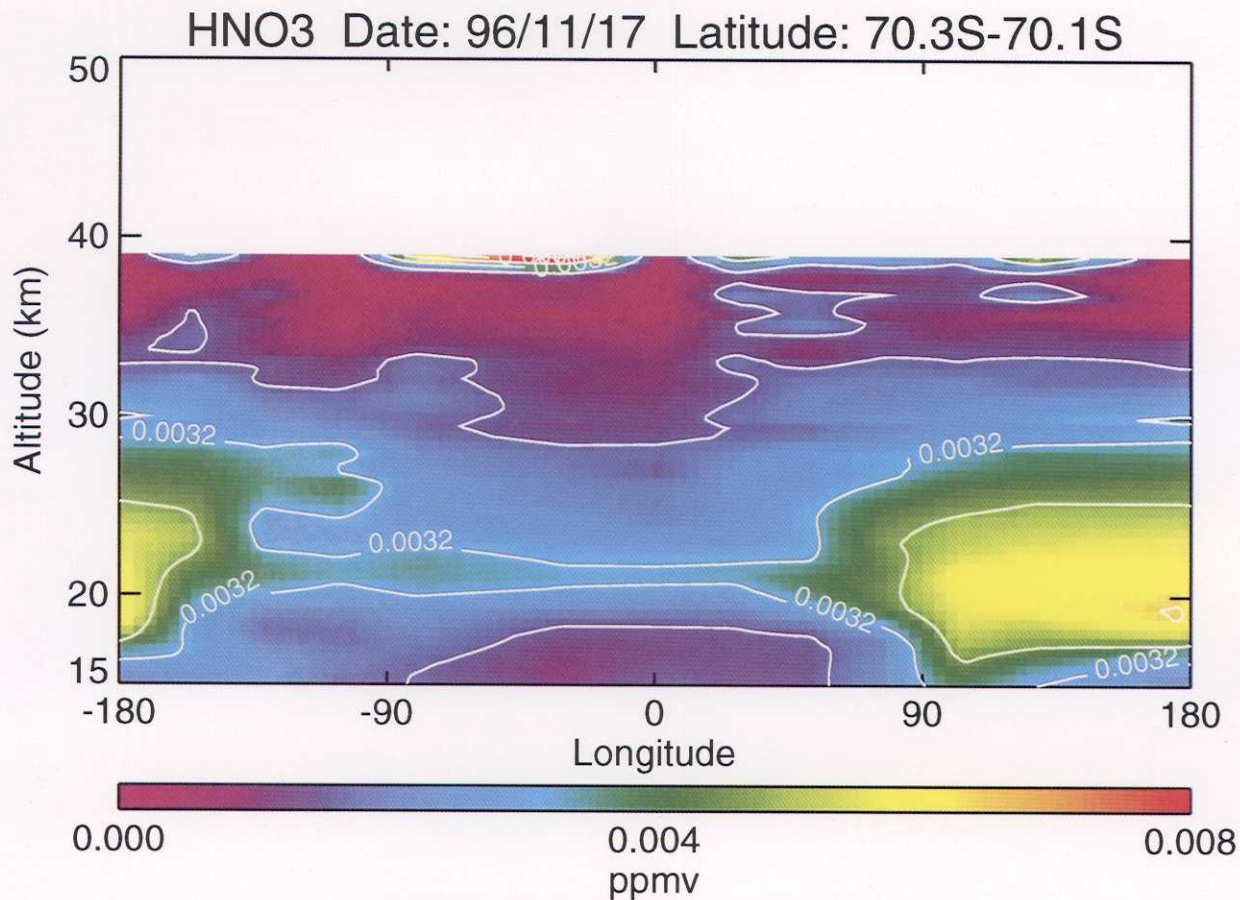


図3.13 硝酸の高度経度断面図（南極域、1996年11月17日）
データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

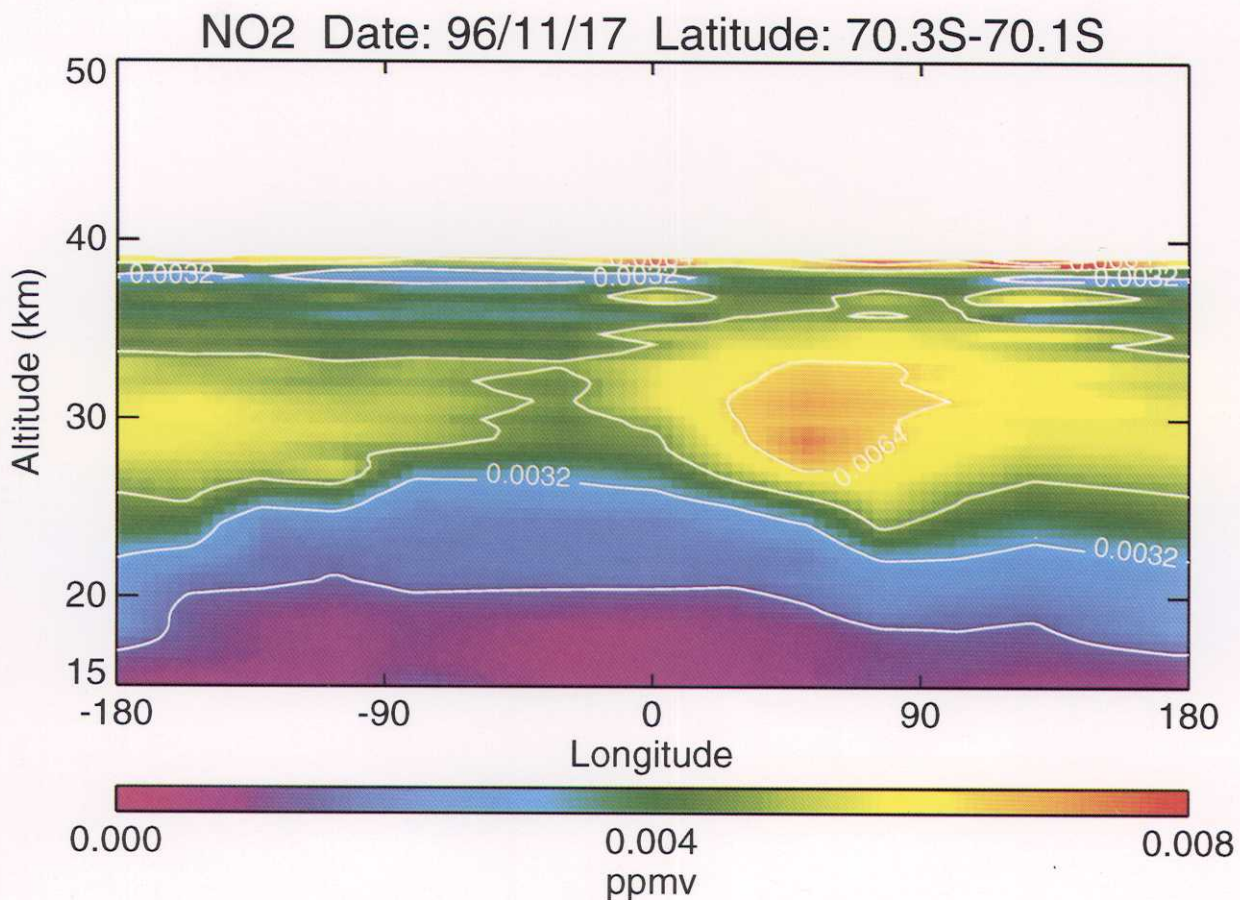


図3.14 二酸化窒素の高度経度断面図（南極域、1996年11月17日）
データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

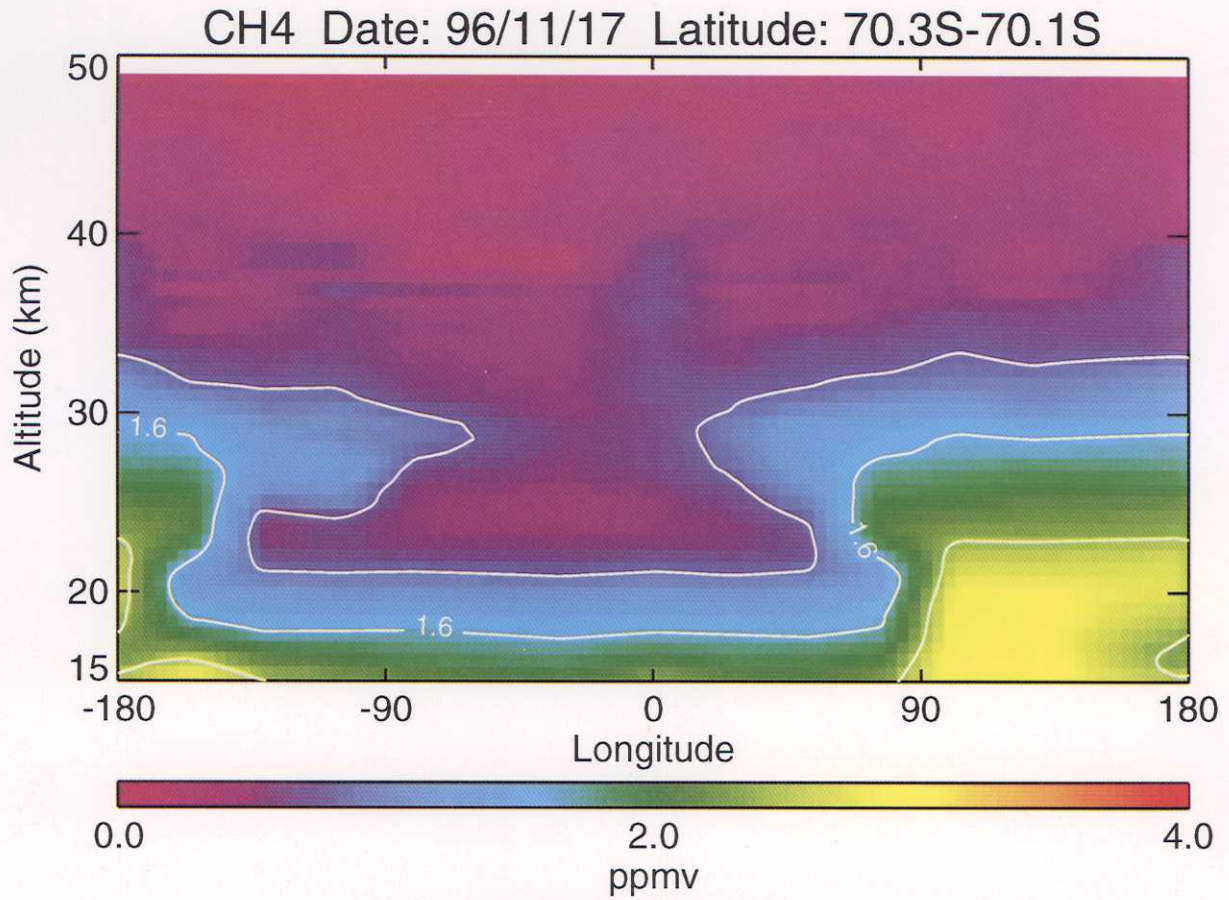


図3.15 メタンの高度経度断面図（南極域、1996年11月17日）
データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

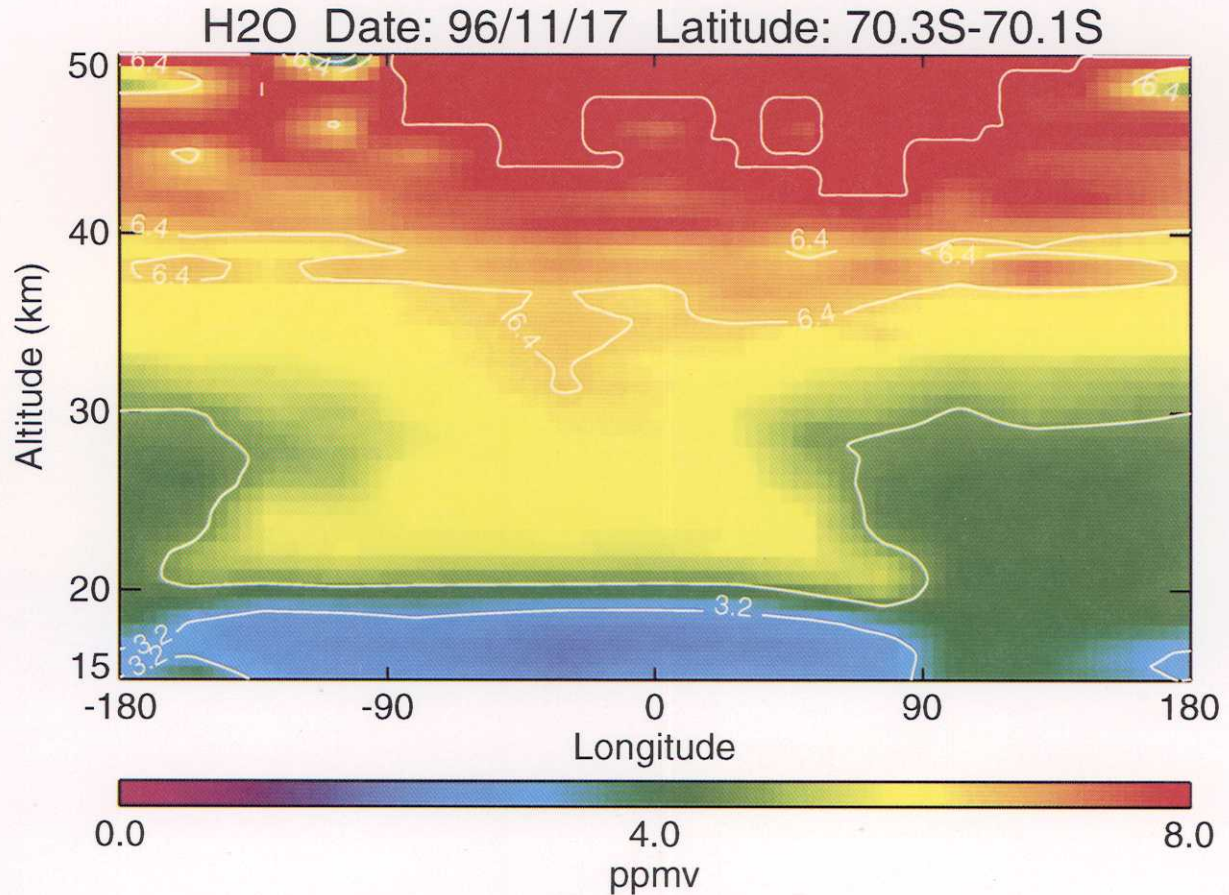


図3.16 水蒸気の高度経度断面図（南極域、1996年11月17日）
データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

ILAS (North Pole) Observation Day: 96/11/17

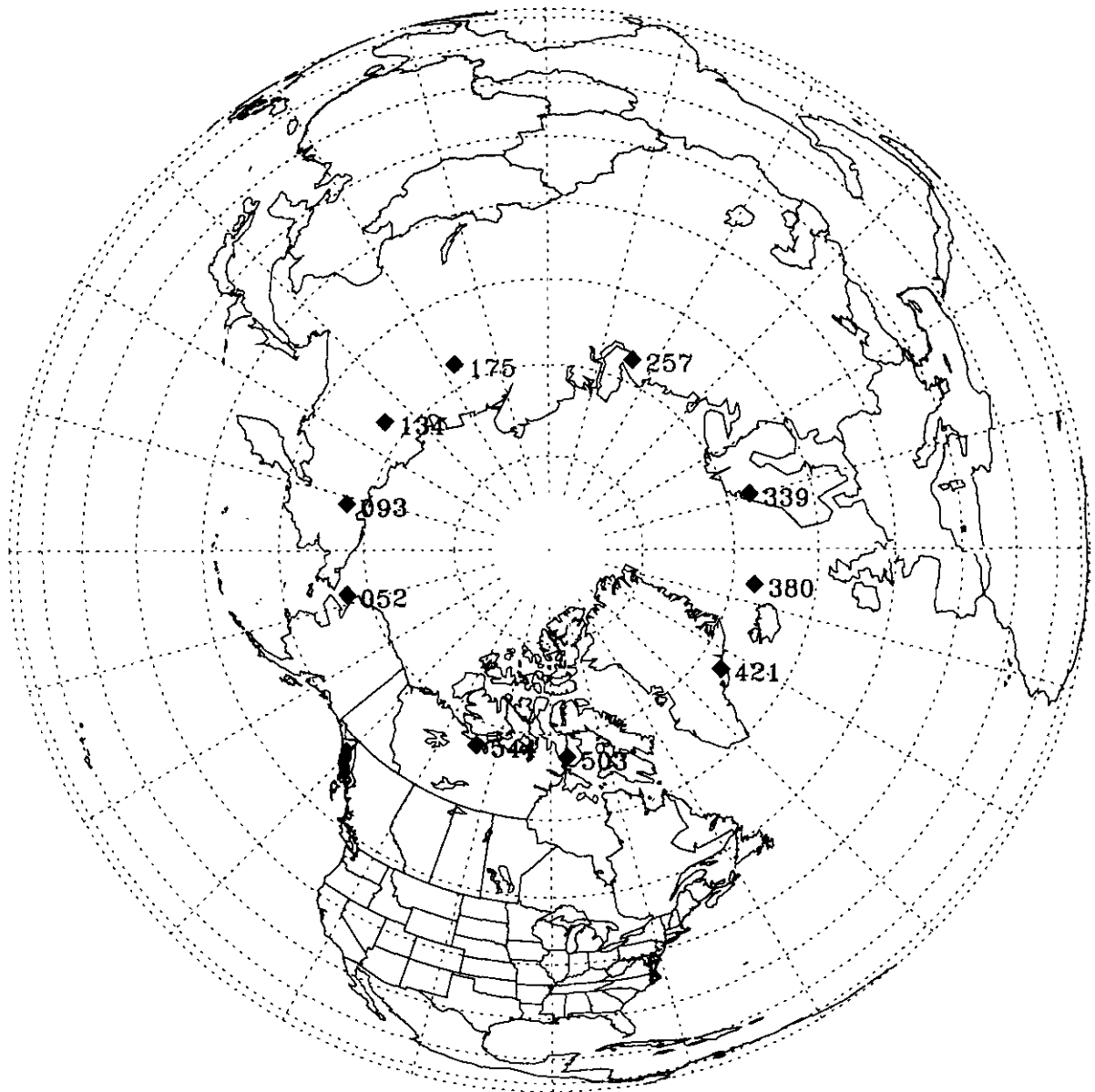


図3.17 ILASの観測地点（北極域、1996年11月17日）
3桁の数字は観測が行われた時の衛星のパス番号を示す。図法は正射図法。

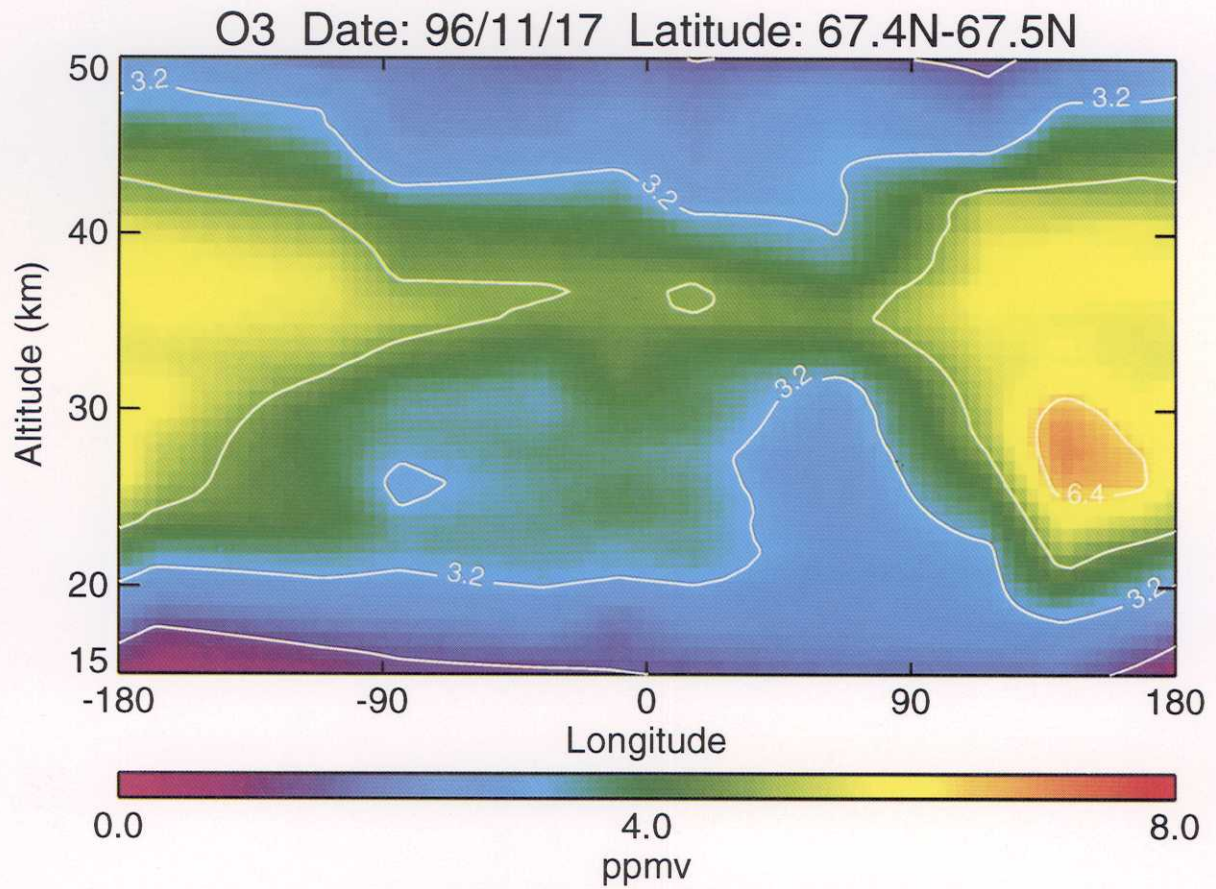


図3.18 オゾンの高度経度断面図（北極域、1996年11月17日）
データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

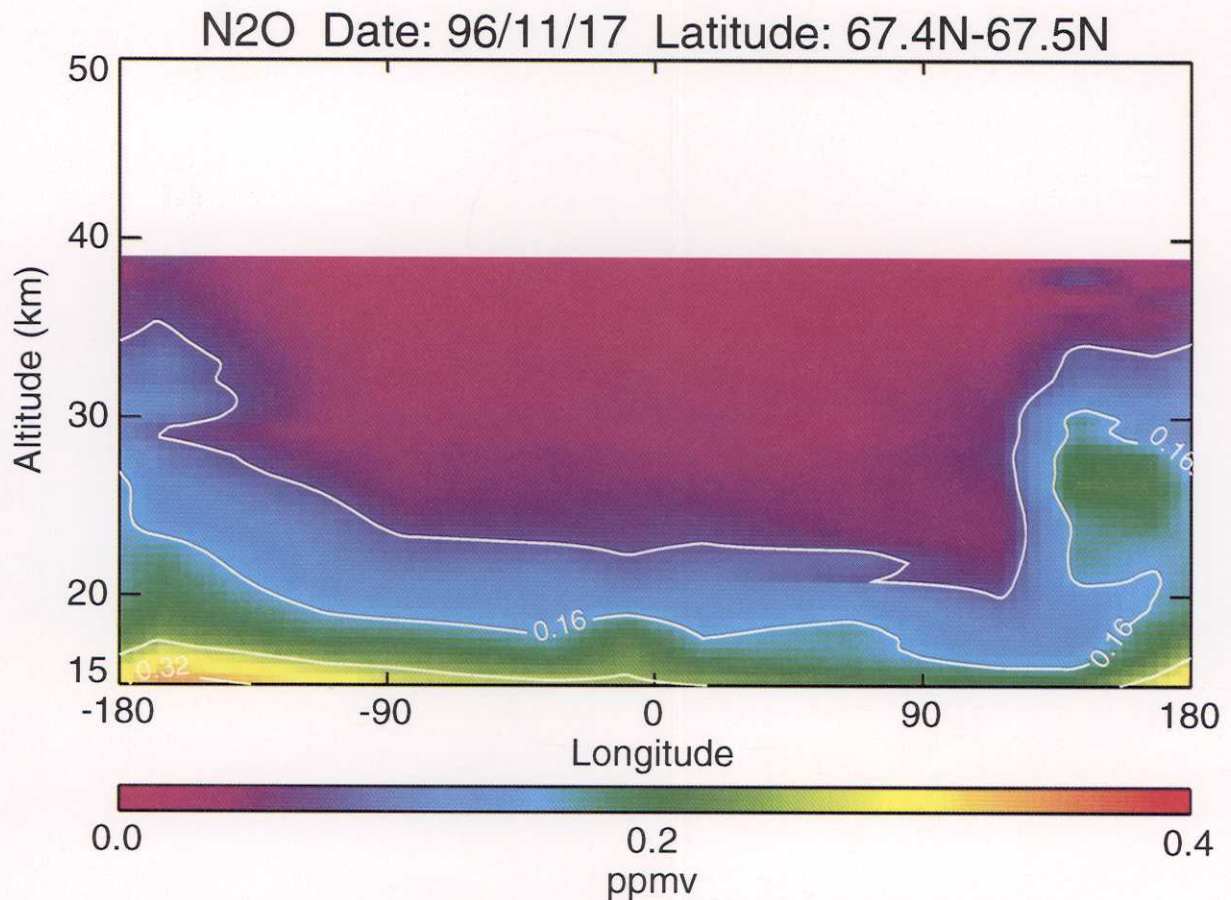


図3.19 一酸化二窒素の高度経度断面図（北極域、1996年11月17日）
データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

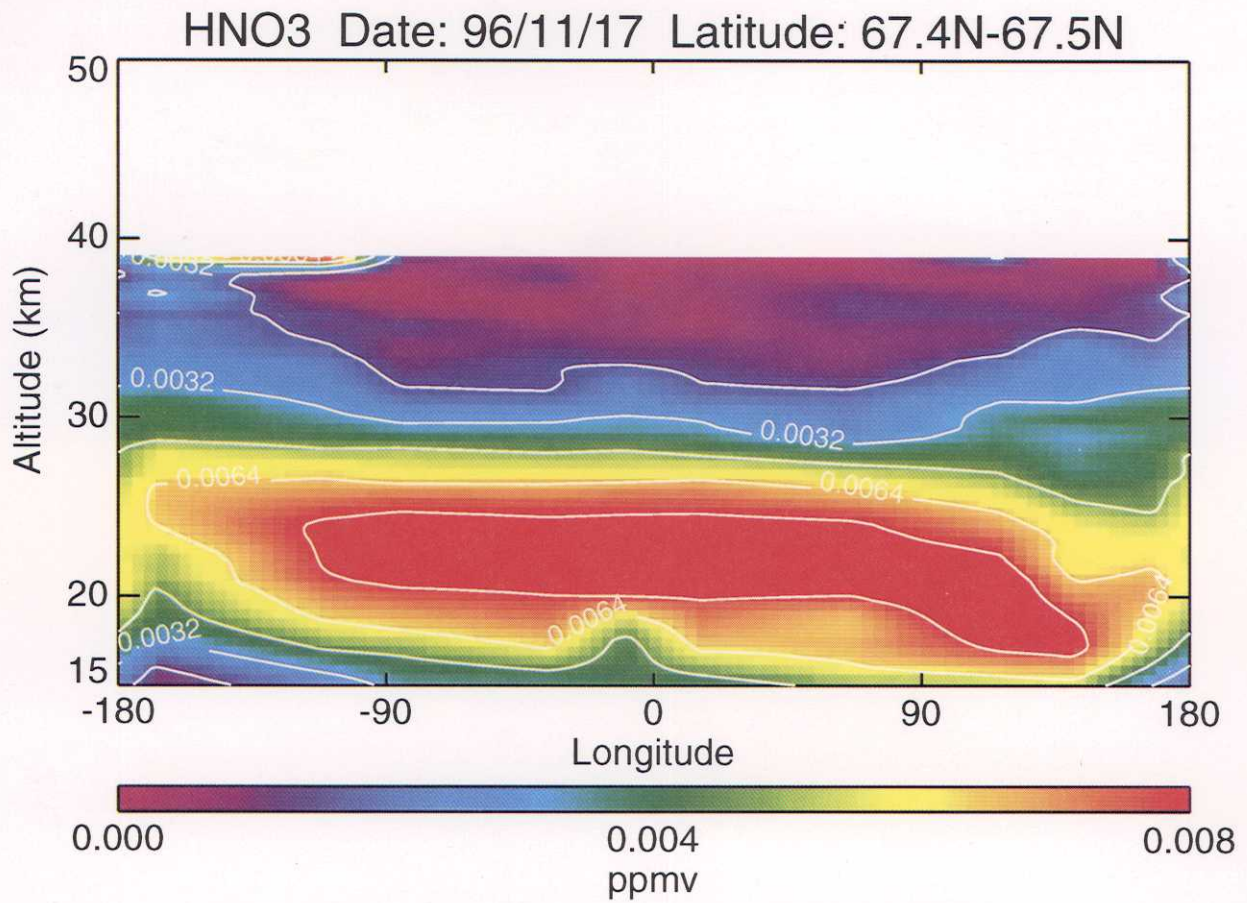


図3.20 硝酸の高度経度断面図（北極域、1996年11月17日）
データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

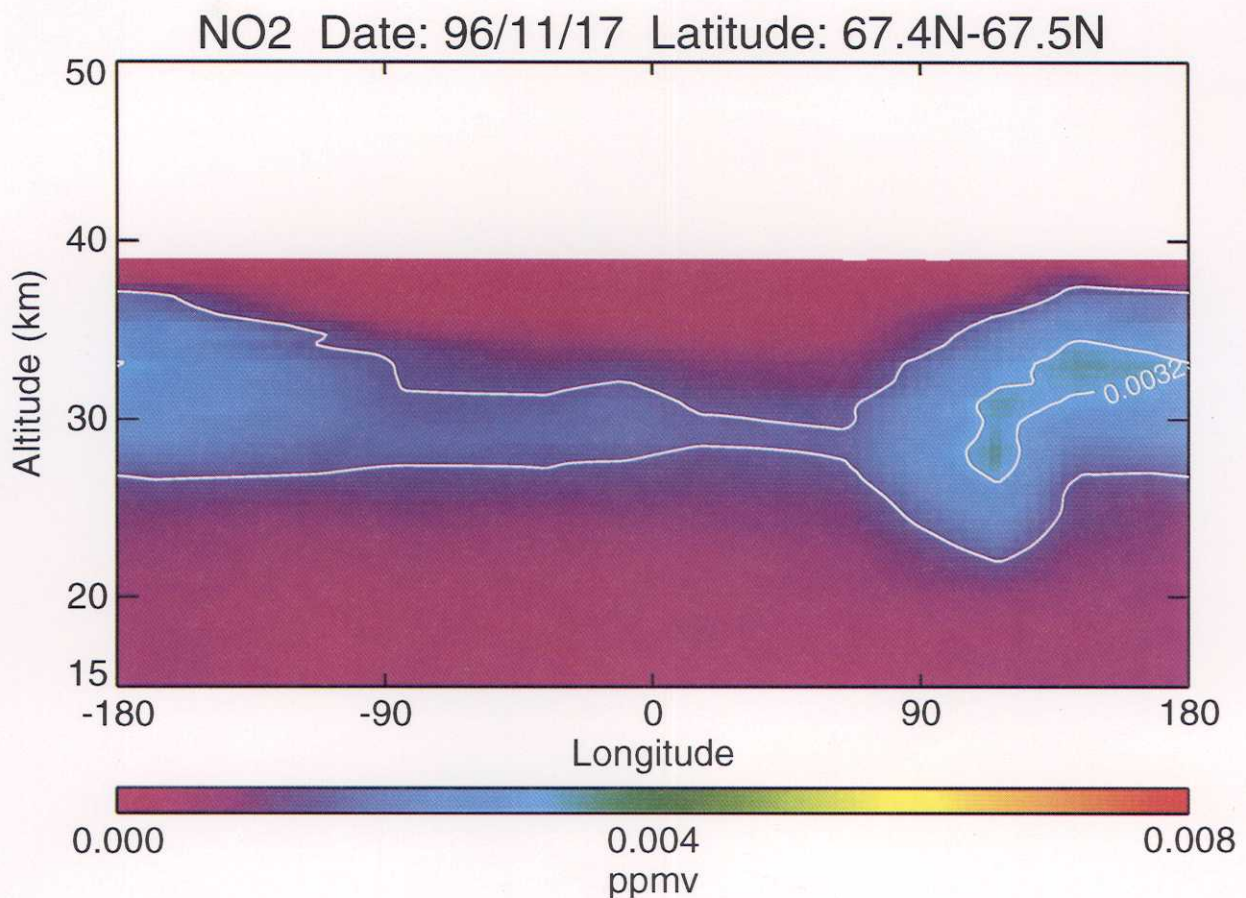


図3.21 二酸化窒素の高度経度断面図（北極域、1996年11月17日）
データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

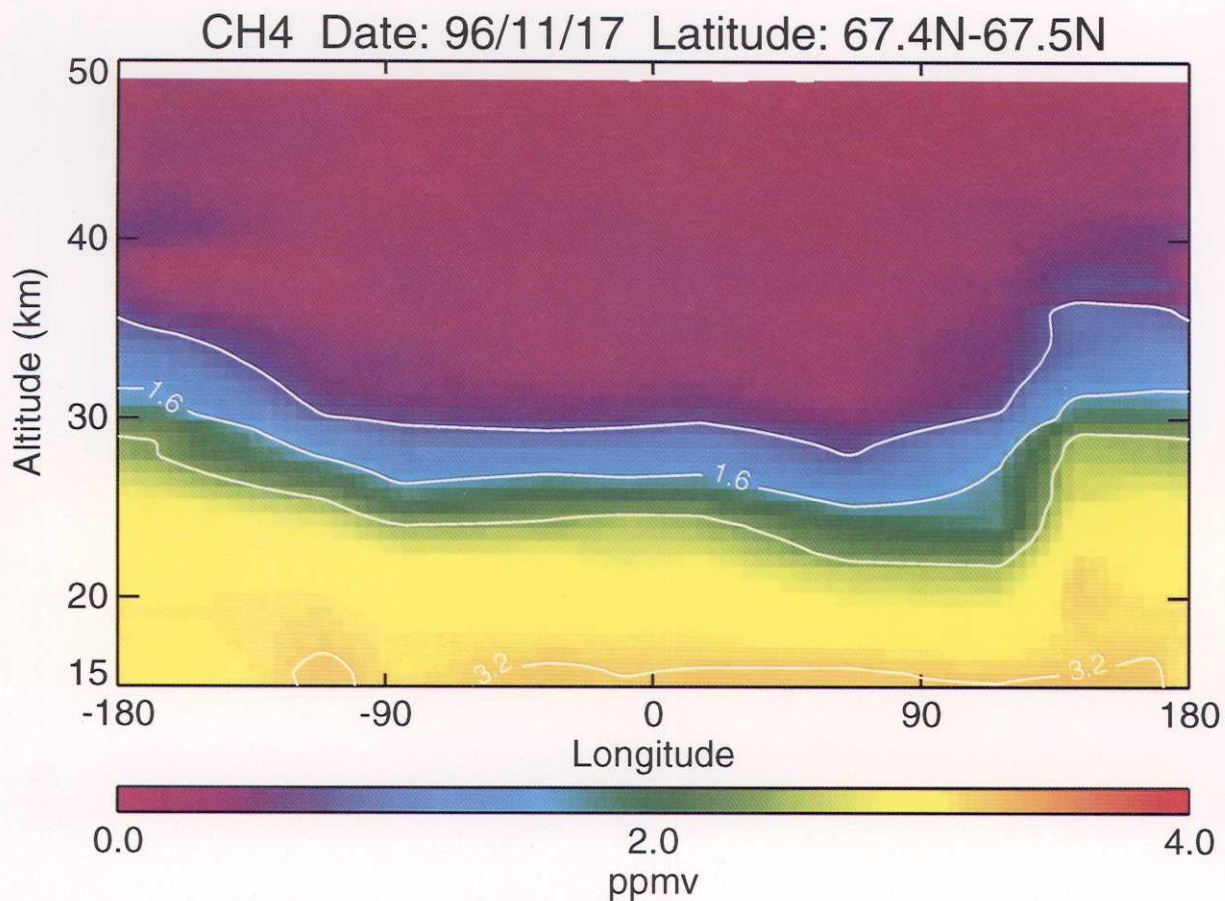


図3.22 メタンの高度経度断面図（北極域、1996年11月17日）
データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

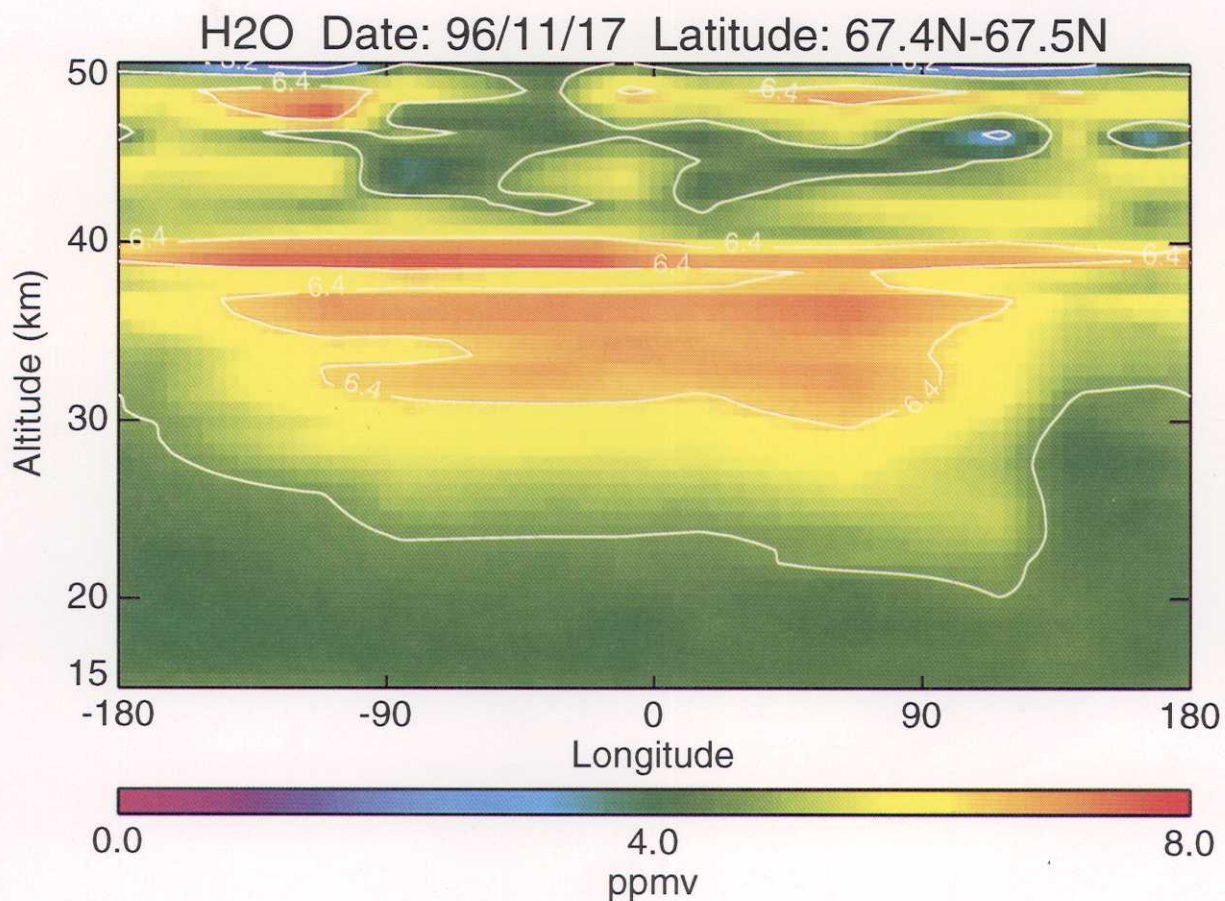


図3.23 水蒸気の高度経度断面図（北極域、1996年11月17日）
データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

3.2 R I S データ

3.2.1 データ取得・処理状況

A D E O S 衛星の打ち上げ後、R I S の初期チェックの実験が1996年9月22日と27日に実施された。この実験において、Y A G レーザの第二高波長を用いてR I S からの強い反射を得て、R I S が正常に機能していることが確認された。また、1996年10月には炭酸ガスレーザーの反射光が観測された。さらに、1997年2月に地上観測システムの改良が行なわれR I S 測定の実差が大幅に改善された後、気象条件を見ながら観測を実施しており、今後データ処理が行われる予定である。

3.2.2 観測状況

(1)初期チェックアウト

A D E O S のシステム試験期間中に測定されたR I S の反射効率を理論値と比較したものを図3.24に示す。図の上が測定値、下が対応する理論値でそれぞれ、パス毎に時間を横軸として、Y A G レーザの第二高波長の532nm反射率を表示している。

反射光の強度は追尾システムのガイド鏡に取り付けられているI C C D カメラの画像の強度(大きさ)から評価し、測地衛星アジサイ*の反射強度および恒星の明るさと比較することによって絶対値を求めた。測定値は、追尾誤差や雲などの影響を受けるが、各パスにおける反射効率の最大値を比較すると概ね理論値と一致している。

炭酸ガスレーザー(10ミクロン)の反射は、11月13日以降の実験で観測されている。図3.25に赤外の送信レーザーパルスとR I S による反射光の受信パルスの一例を示す。信号強度は、赤外検出器の感度、アンプの増幅率から見積もった値とほぼ一致している。

注) *アジサイは、H-I ロケット(2段式)試験機の性能を確認するとともに、国内測地三角網の整備、離島位置の決定(海洋測地網の整備)、日本測地原点の確立を図ることを目的として、1986年8月13日に打ち上げられた。

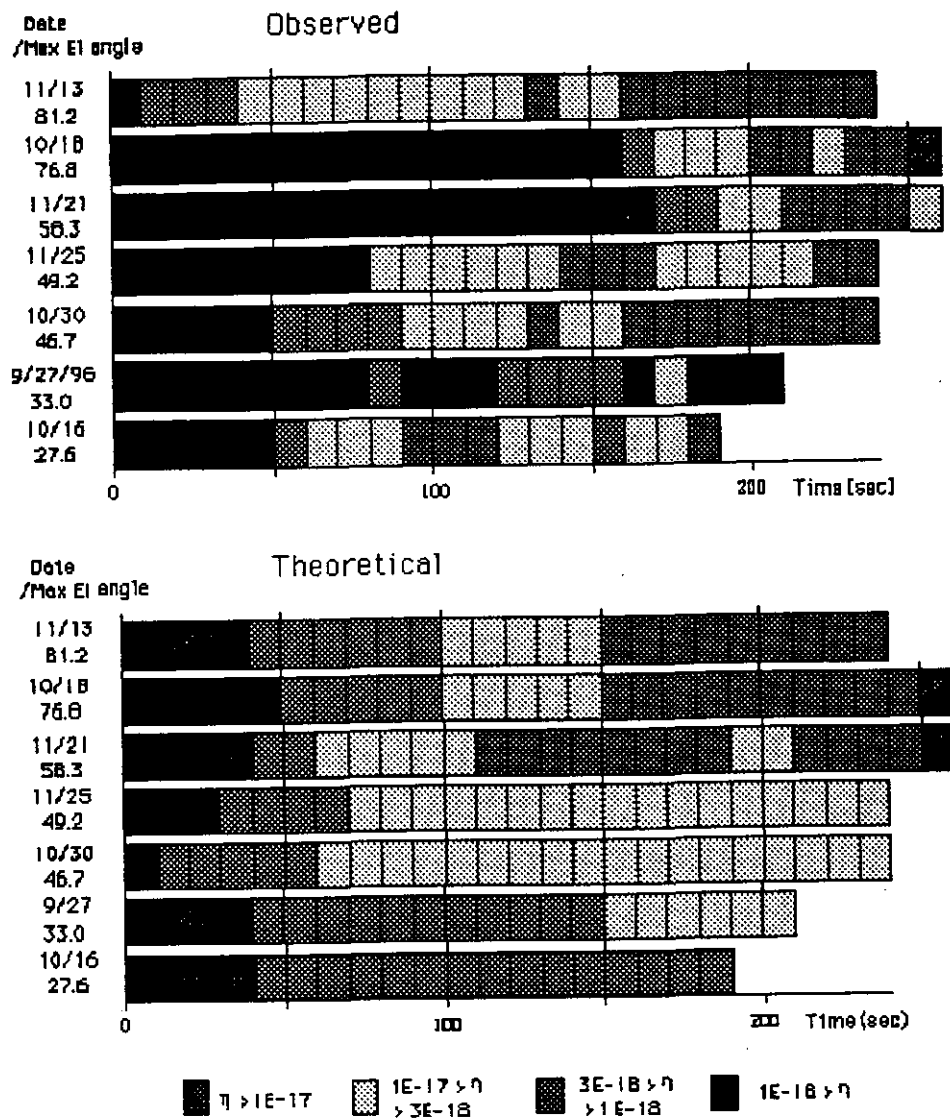


図3.24 R I Sの反射効率(η)の測定値(上)と理論値(下)の比較

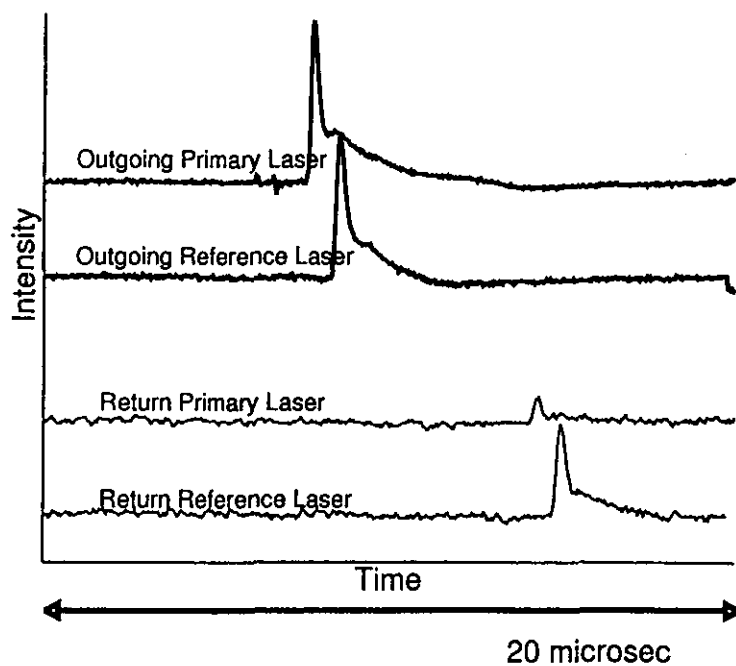


図3.25 炭酸ガスレーザー送受信パルスの一例

(2)分光観測

炭酸ガスレーザーを用いてR I Sによるオゾンの測定を行い、衛星の進行に伴う反射光のドップラーシフトを用いた地上衛星間レーザー長光路吸収による世界初のスペクトル測定が行われた。図3.26の上図は12月23日にA D E O S衛星の進行に伴うR I Sからの反射光のドップラーシフトを利用して測定したスペクトルである。

Primary、Referenceの2台の炭酸ガスレーザーはそれぞれ $^{12}\text{C}\text{O}_2$ の9P(24)と $^{13}\text{C}\text{O}_2$ の10R(24)を発信した結果である。図の縦軸は2つのレーザーラインにおける信号強度の比の対数を示す。図に見られる吸収は $^{12}\text{C}\text{O}_2$ が受けたオゾンの吸収である。

測定データはばらつきが大きい、これは衛星追尾の誤差と大気ゆらぎが原因と思われる。図3.26の下図は吸収線データベース(HITRAN)とU S標準大気のおゾンプロファイルを用いた計算機シミュレーションである。スペクトル形状は概ね計算機シミュレーションと一致しているが、測定されたスペクトルの方がやや広がりが大きい。

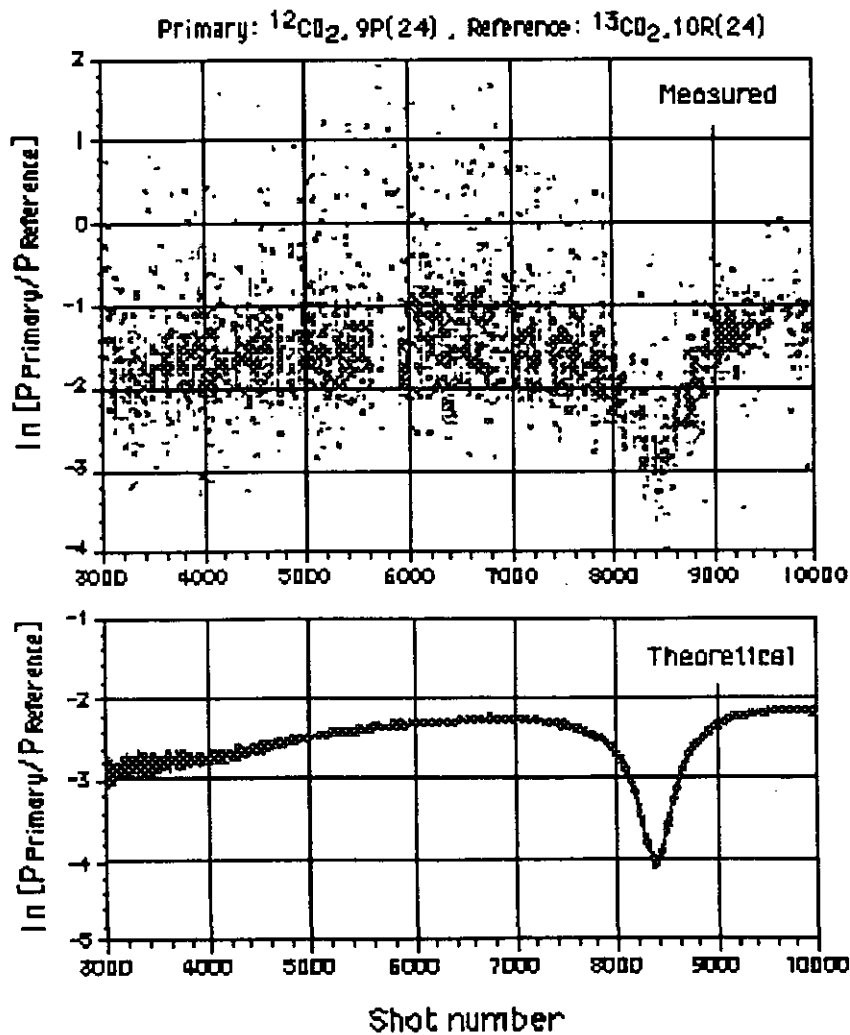


図3.26 ドップラーシフトを利用して測定した最初のスペクトル（上）と計算機シミュレーション（下）

(3) レーザー測距

R I S 地上施設（通信総合研究所宇宙光通信センター）の他に、世界の20以上の衛星レーザー測距局がA D E O S の精密軌道決定のためのレーザー測距支援観測に登録し、このうちの約7割が定常的に測距を実施している。表3.6に1996年3月末現在、A D E O S / R I S レーザー測距に登録している測距局を示す。

表3.6 A D E O S / R I S レーザー測距局

測距局名	場所あるいは別称
TOKYO	CRLAS, CRLTOKYO RIS-Tracking System
KSP-KOG	Koganei
KSP-KAS	Kashima
SIMOSATO	
ORRORAL	OLRS, NLRS
HERSTMONCEUX	RGO, NERC
WETZELL	
TLRS-2	Santiago
TLRS-3	Arequipa
MOBLAS-4	Monument Peak
MOBLAS-5	Yaragadee
MOBLAS-6	Greenbelt
MOBLAS-7	Greenbelt
NASA1.2m	NASA48"Telescope
MOBLAS-8	Quincy
MLRS	McDonald Observatory
HOLLAS	Haleakala, Hawaii LURE Observatory
KOMSOMOLSK	
Maidanak	Tower 1
MENDELEEVO	
ULISS	RIGA
Metsahovi	
Matera	
GRAZ	

第4章 検証実験結果

4.1 I L A S 検証実験

(1) 検証事例

1996年度に実施した I L A S 検証実験の内、コア検証実験の観測地点、観測日時、観測測器、観測要素を表4.1（次頁）に示し、同様に協力実験の観測地点等の一覧を表4.2に示す。但し、協力実験に関しては、1996年3月末現在で、D H F で入手済みのものだけを示す。

表4.2 I L A S 協力実験入手データ一覧（1996年3月末現在）

観測地点名	観測位置	観測日	観測方法	観測機器	観測項目
Neumayer	71S, 166E	1996.09.18	Small Balloon	Ozonesonde	profiles of O ₃
		1997.01.02			
		1997.01.05			
		1997.01.09			
		1997.01.11			
		1997.01.15			
		1997.01.18~20			
		1997.01.23~31			
		1997.02.01~10			
		Yakutsk, Russia			
1996.10.08					
1996.11.27					
1996.12.05					
1996.12.12					
1996.12.19					
1996.12.27					
1997.01.09					
1997.01.16					
1997.01.23					
1997.01.31					
1997.02.04					
1997.02.10					
1997.02.21					
1997.02.28					
1997.03.06					
1997.03.14					
1997.03.21					
1997.03.25					

表4.1 I L A S コア検証実験の一覧

観測地点名 (観測位置)	観測日	観測機器	観測項目
【南極域】			
Macquarie Island (55S, 159E)	1996. 4. 1~1997. 3. 31	UV-visible	total column of O ₃ , NO ₂
Syowa (69S, 40E)	1996. 4. 1~1997. 3. 31 1996. 11. 15~16, 11. 18~20, 11. 26, 1996. 11. 27, 11. 30~12. 1, 12. 8, 1997. 1. 15, 1. 18~19, 1. 22~23, 1997. 1. 25~27, 1. 29~31, 2. 6~7	UV-visible Ozonosonde	total column of O ₃ , NO ₂ profiles of O ₃
Arrival Heights (78S, 167E)	1996. 8. 1~1997. 3. 31 1996. 10. 1~1997. 3. 12 1996. 11. 25~12. 21	UV-visible Dobson spectrophotometer FTS	total column of O ₃ , NO ₂ total column of O ₃ total column of HNO ₃ , CH ₄ , N ₂ O, CFC-12
【北極域】			
Kiruna, Sweden (68N, 21E)	1997. 2. 10, 2. 25 1997. 2. 10, 2. 25 1997. 2. 10, 2. 11, 2. 23, 2. 25 1997. 2. 10, 2. 25, 2. 26, 3. 21 1997. 2. 10, 2. 25 1997. 2. 11 1997. 2. 22, 3. 18 1997. 2. 14, 2. 26, 3. 21 1997. 2. 14 1997. 2. 24, 2. 28, 3. 18, 3. 20 1997. 2. 14 1997. 2. 9 1997. 2. 26 1997. 2. 10, 3. 24 1997. 2. 11 1997. 2. 10, 2. 23, 2. 25 1997. 2. 1~3. 25 1997. 1. 19~1. 25, 1. 27~2. 3, 1997. 2. 5~2. 6, 2. 8~9, 2. 12, 1997. 2. 15~19, 2. 23~28, 1997. 3. 3~4, 3. 6 1996. 4. 1~1997. 3. 31	CLD(Chemiluminescence Detector) ECC ozonsonde Aerosol counter CAESR(IR radiometer) ASTRID(Grab sampler) BONBON(Cryogenic sampler) SAKURA(Cryogenic sampler) LPMA(FTS) DOAS(Optical absorption spectroscopy) SAOZ(UV-visible solar occultation) ELHYSA(Hygrometer, Aerosol counter) RADIBAL AMON(Star occultation) MIPAS-B(FTS) FISH(Hygrometer) Frost point hygrometer ECC ozonsonde(small balloon) FTS UV-visible	profiles of NO(NO ₂), NOy(HNO ₃) profiles of O ₃ profiles of Aerosol profiles of HNO ₃ , O ₃ , N ₂ O, CH ₄ , CFC-11, CFC-12, N ₂ O _s profiles of N ₂ O, CFC-11, CFC-12 profiles of N ₂ O, CH ₄ , CFC-11, CFC-12 profiles of N ₂ O, CH ₄ , CFC-11 profiles of O ₃ , CH ₄ , N ₂ O, NO ₂ , HNO ₃ , H ₂ O, CFC-12, (N ₂ O _s) profiles of O ₃ , NO ₂ profiles of O ₃ , NO ₂ , (Aerosol, PSC) profiles of H ₂ O, (Aerosol) profiles of Aerosol properties and size distribution, profiles of O ₃ , Aerosol, NO ₂ profiles of O ₃ , H ₂ O, CH ₄ , N ₂ O, NO ₂ , HNO ₃ , CFC-11, CFC-12, N ₂ O profiles of H ₂ O profiles of H ₂ O profiles of H ₂ O profiles of O ₃ profiles of CH ₄ , N ₂ O, O ₃ and total column of HNO ₃ , NO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, O ₃ , CFC-11 total column of NO ₂ , O ₃
Fairbanks, USA (65N, 148W)	1997. 3. 2~3. 6, 3. 8, 3. 10 1996. 12. 28, 1997. 1. 11, 1. 23, 1997. 2. 13	TDLHS(Tunable Diode Laser heterodyne spectrometer) Rayleigh/Mie lidar	profiles and total column of O ₃ , CH ₄ , N ₂ O profiles of aerosols and temperature

(2) 検証結果

1996年度に実施したコア検証実験並びに協力実験の内、1997年3月末現在、DHFで処理されたオゾンゾンデデータの一部の事例と、ILASデータ(バル2)の比較検証を行った。検証に用いたオゾンゾンデ観測事例と対応するILAS観測事例を表4.3に示し、比較検証結果を図4.1に示す。図において、ILASデータと検証データの他にILASデータに対応する参照値(Reference Data)として、UARS/MLSのオゾンデータを用いて、月別・緯度帯別に算出した平均値を実線で示した。平均値を挟んで破線の左端が10パーセント点、右端が90パーセント点を示す。

表4.3 オゾンゾンデデータを用いた比較検証事例

ILAS観測		オゾンゾンデ観測				
観測日時	観測位置	観測地点	観測時間差	観測緯度経度差(度)		図番号
96.11.15 20:01	67.66S 38.42E	Syowa	+2h 59m	+1.34	+1.16	図4.1(1)
96.11.16 19:34	70.63S 38.36E	Syowa	+2h 46m	-1.63	+1.22	図4.1(2)
96.11.18 20:21	70.35S 45.01E	Syowa	+2h 05m	-1.35	+5.43	図4.1(3)
96.11.19 19:54	69.81S 33.07E	Syowa	+2h 38m	+0.81	+6.51	図4.1(4)
96.11.20 19:27	69.56S 39.72E	Syowa	+2h 49m	-0.56	-0.14	図4.1(5)
96.11.26 20:03	67.89S 35.77E	Syowa	+3h 01m	+1.11	+3.81	図4.1(6)
96.11.27 19:36	67.68S 42.42E	Syowa	+2h 48m	+1.32	-2.84	図4.1(7)
96.11.30 20:00	67.07S 37.11E	Syowa	+3h 00m	+1.93	+2.47	図4.1(8)
96.12.01 22:30	66.88 43.75E	Syowa	+2h 57m	+2.12	-4.17	図4.1(9)
97.02.04 12:37	67.66N 38.42E	Kiruna	-1h 36m	+0.23	-17.32	図4.1(10)
97.02.07 12:56	68.03N 36.01E	Kiruna	-1h 23m	-0.14	-14.91	図4.1(11)
96.12.19 05:16	64.01N 127.22E	Yakutsk	+11h 29m	-1.98	+2.41	図4.1(12)

注) 上記事例は1997年3月末現在、DHFに転送され処理されたものの一部の事例。
Kirunaのオゾンゾンデの放球は、高度約20kmでILAS観測と時刻が一致するように、ILAS観測の約1時間30分前に行った。

ILAS Data and Validation Data

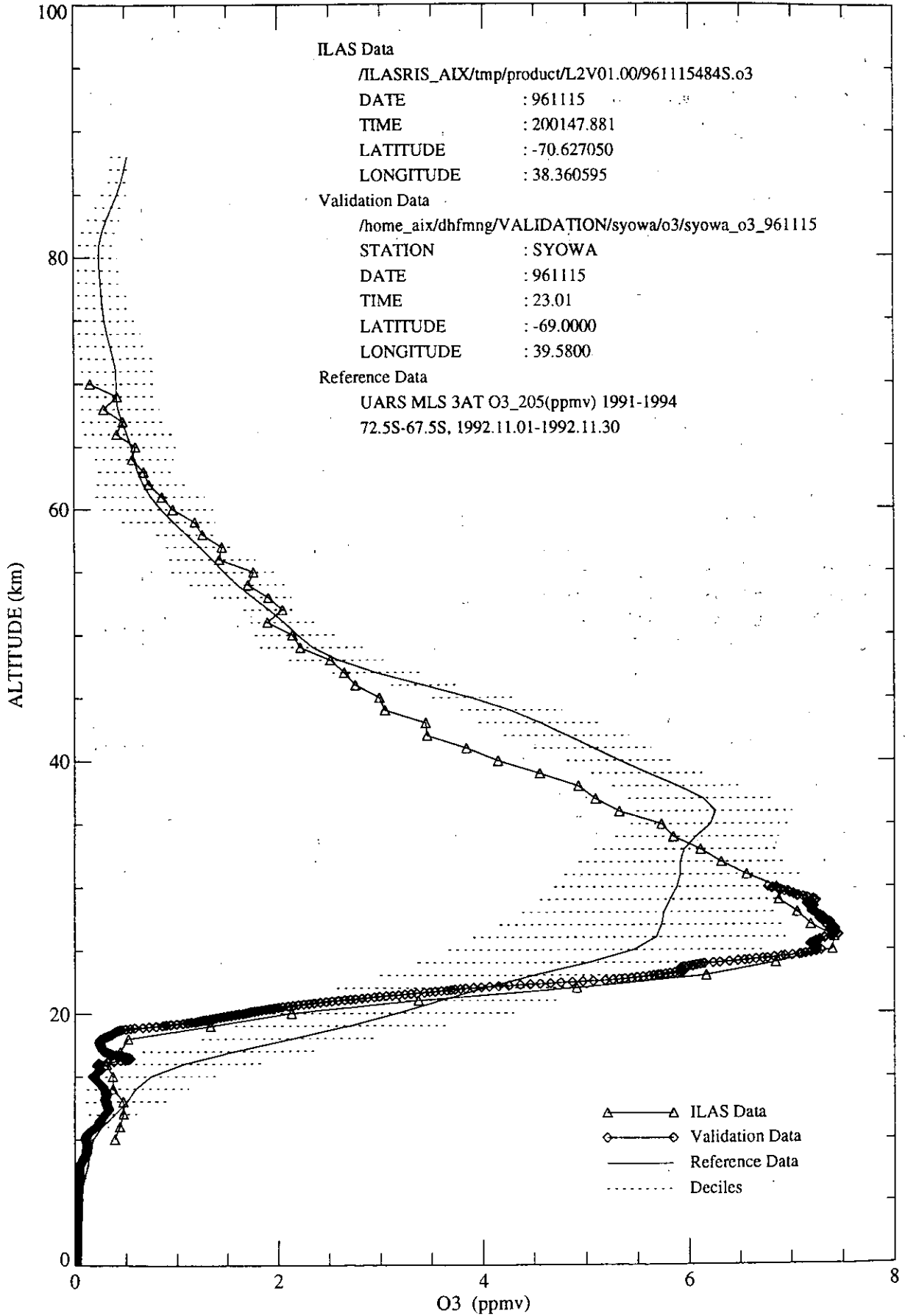


図4.1(1) ILASデータと検証データの比較結果 (オゾン、Syowa、1996年11月15日)
 ILASデータはレベル2で、データ処理はソフトウェア (Version 1.00) を使用

ILAS Data and Validation Data

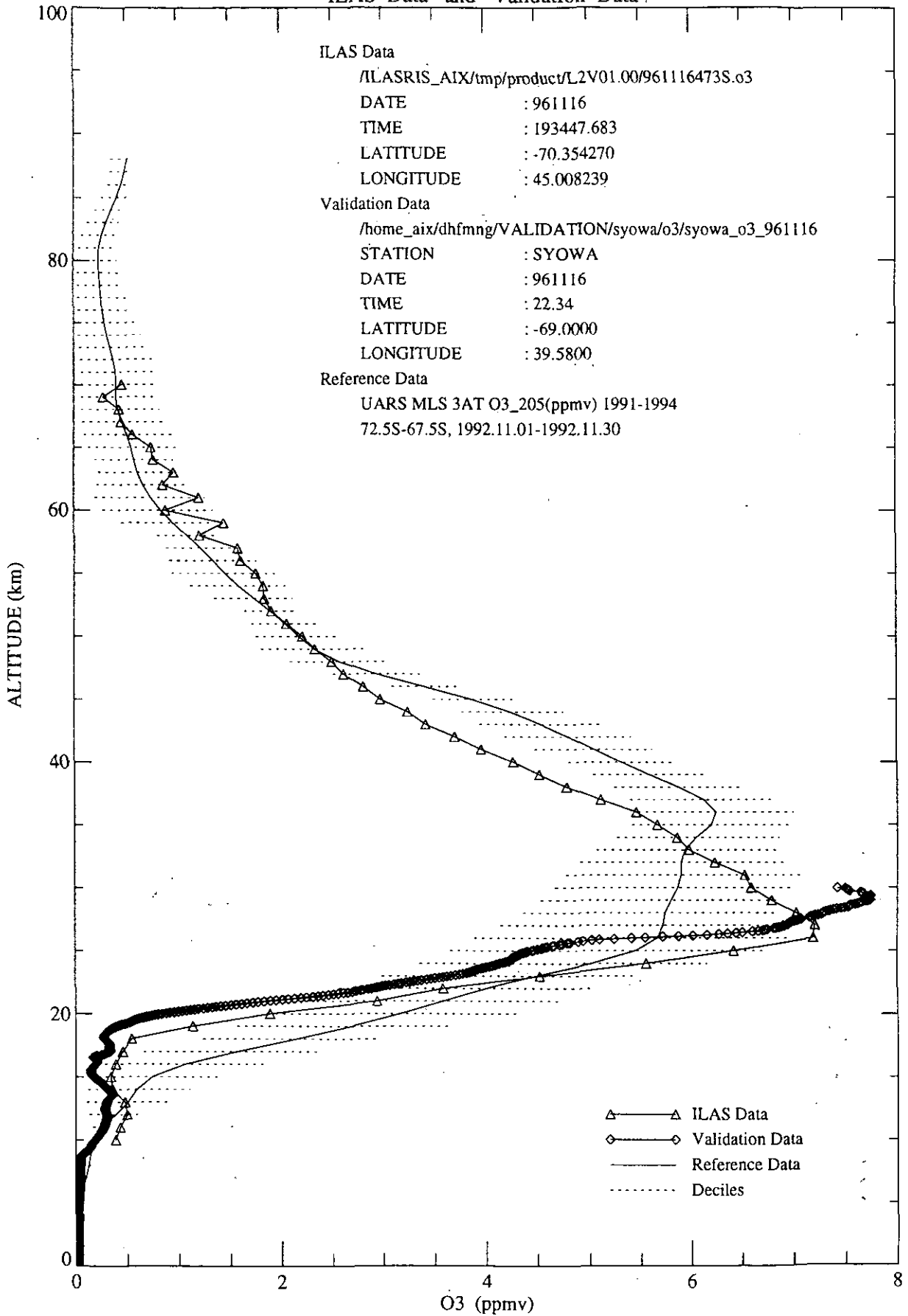


図4.1(2) I L A Sデータと検証データの比較結果 (オゾン、Syowa、1996年11月16日)

I L A Sデータはレベル2で、データ処理はソフトウェア (Version 1.00) を使用

ILAS Data and Validation Data

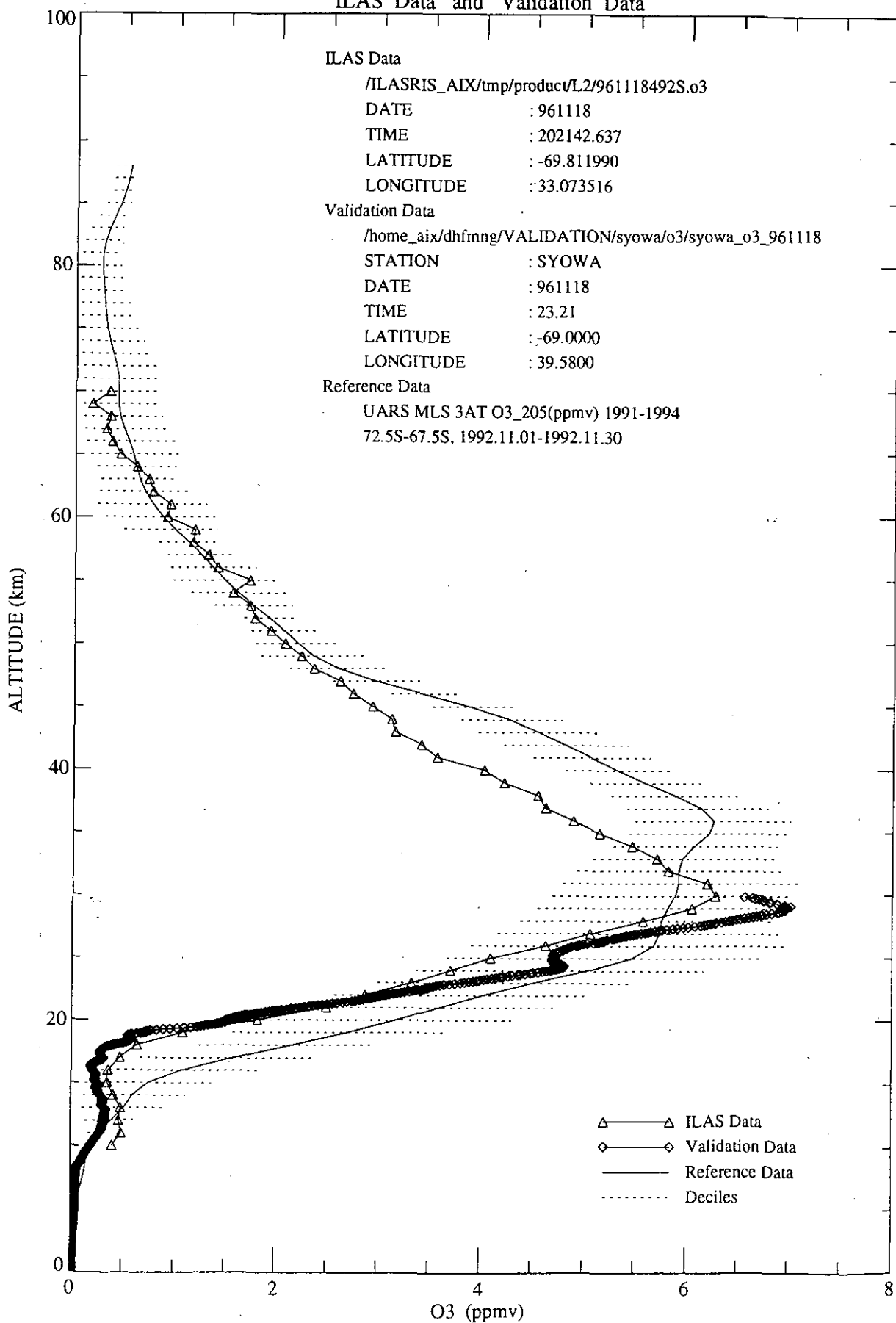


図4.1(3) ILASデータと検証データの比較結果 (オゾン、Syowa、1996年11月18日)

ILASデータはレベル2で、データ処理はソフトウェア (Version 2.00) を使用

ILAS Data and Validation Data

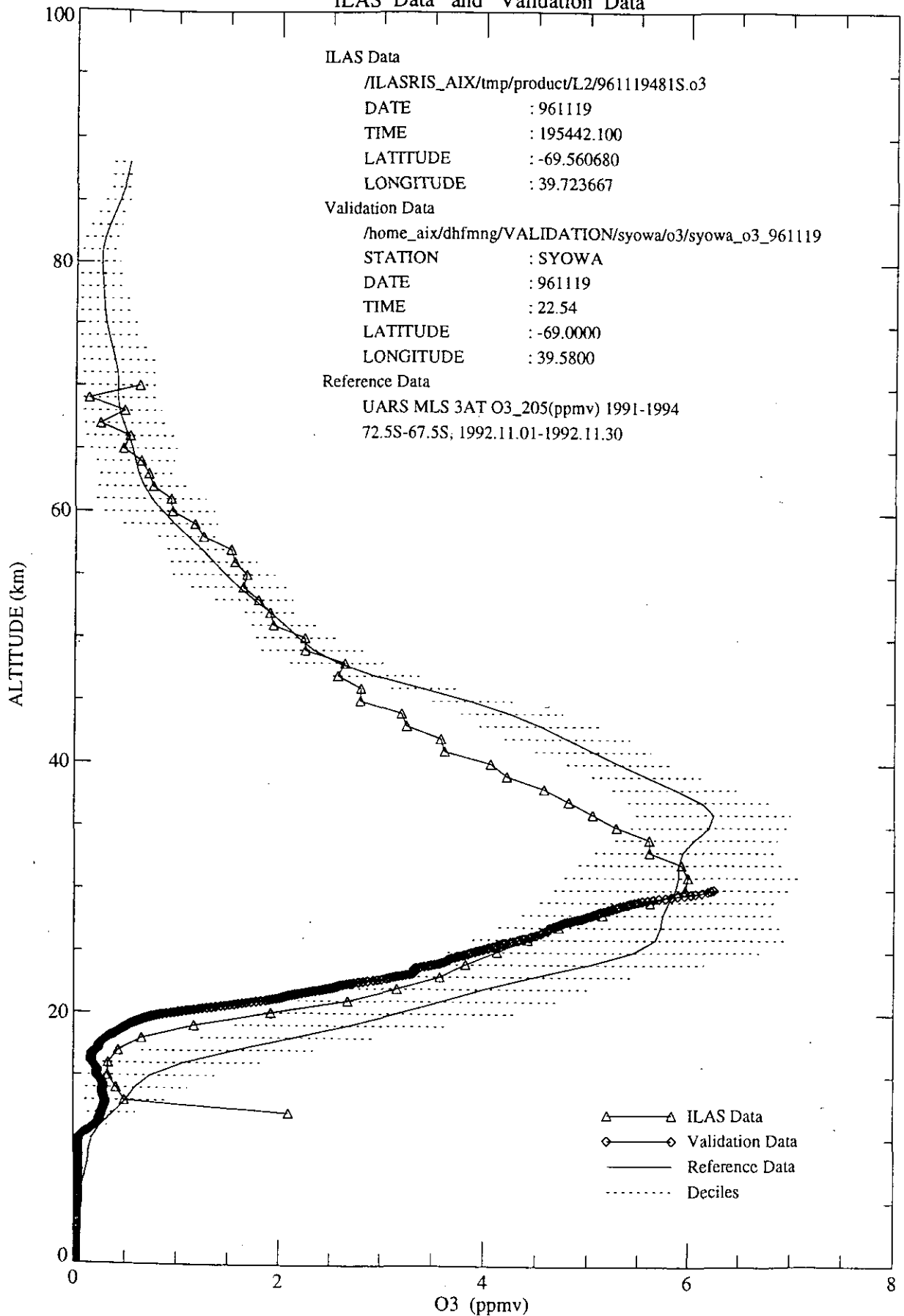


図4.1(4) ILASデータと検証データの比較結果（オゾン、Syowa、1996年11月19日）
 ILASデータはレベル2で、データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

ILAS Data and Validation Data

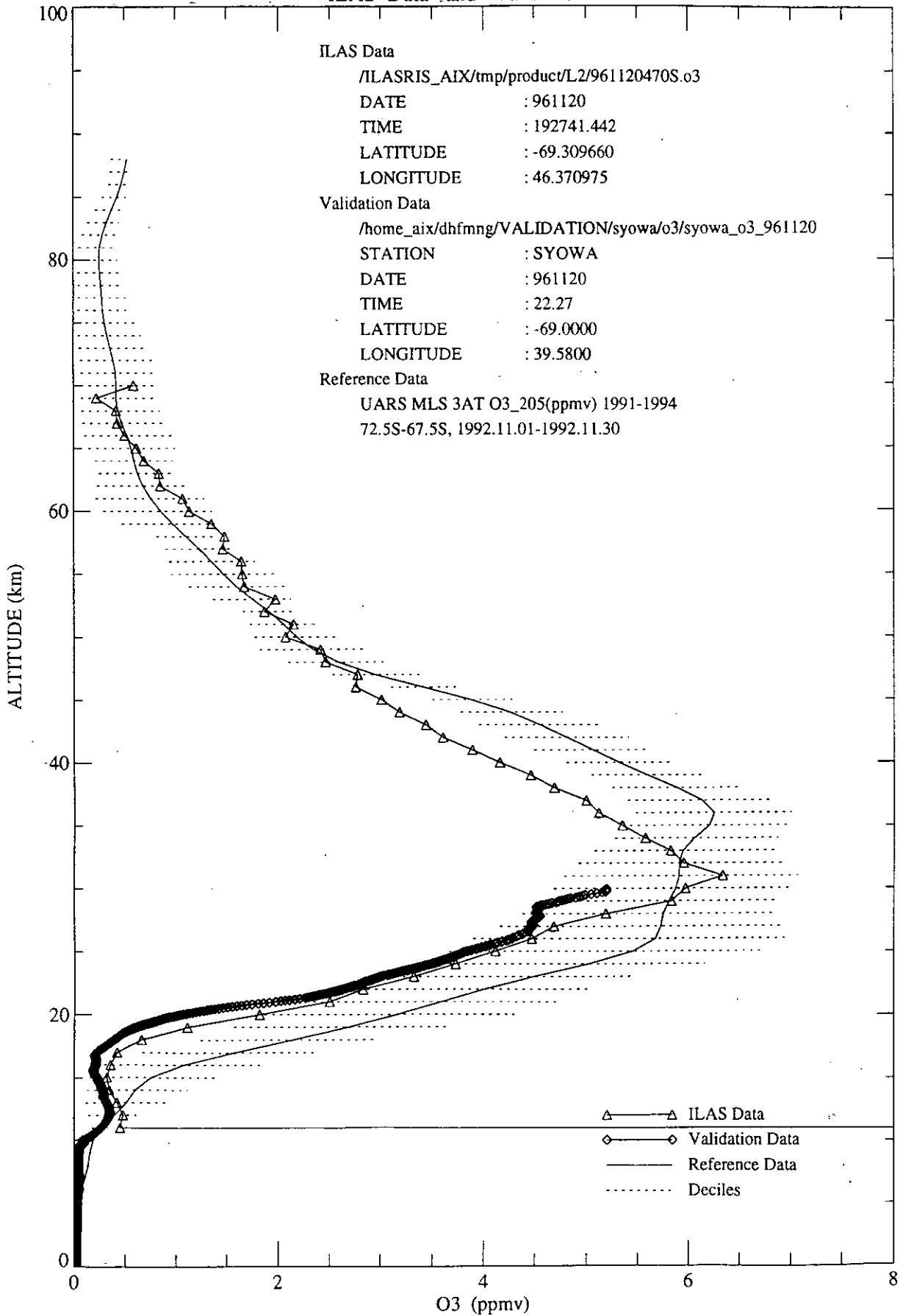


図4.1(5) ILASデータと検証データの比較結果 (オゾン、Syowa、1996年11月20日)

ILASデータはレベル2で、データ処理はソフトウェア (Version 2.00) を使用

ILAS Data and Validation Data

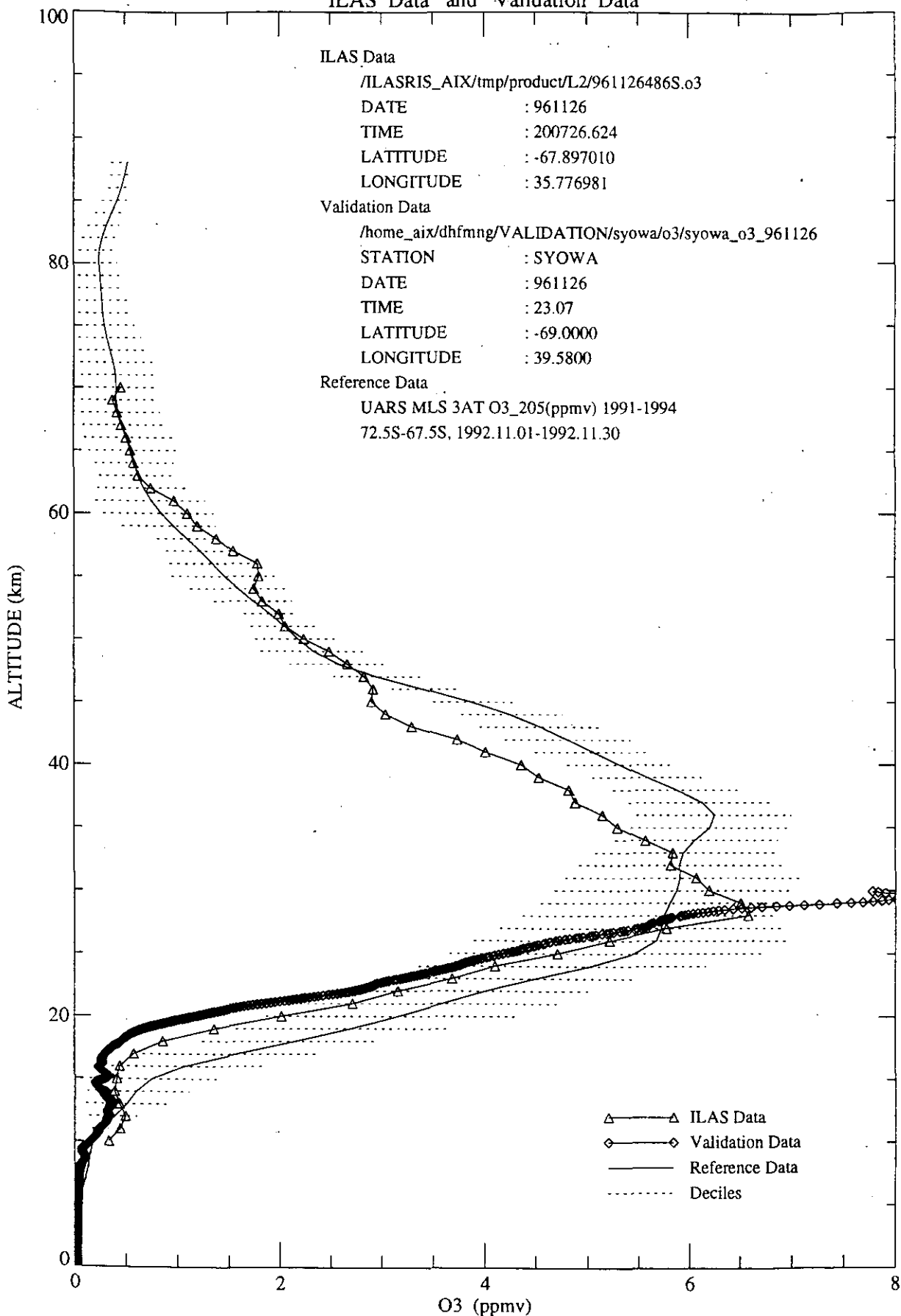


図4.1(6) ILASデータと検証データの比較結果 (オゾン、Syowa、1996年11月26日)

ILASデータはレベル2で、データ処理はソフトウェア (Version 2.00) を使用

ILAS Data and Validation Data

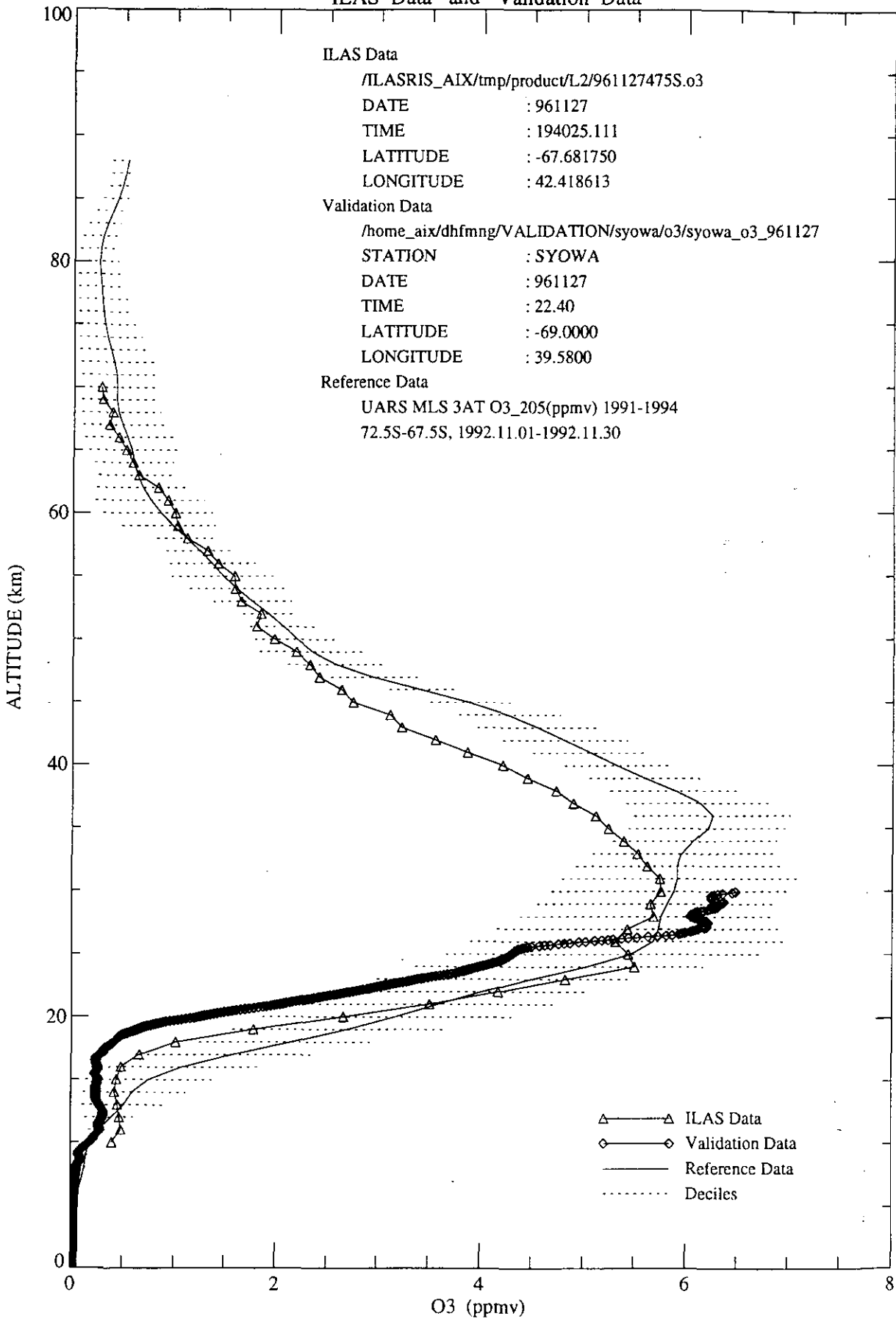


図4. I(7) ILASデータと検証データの比較結果(オゾン、Syowa、1996年11月27日)
 ILASデータはレベル2で、データ処理はソフトウェア(Version 2.00)を使用

ILAS Data and Validation Data

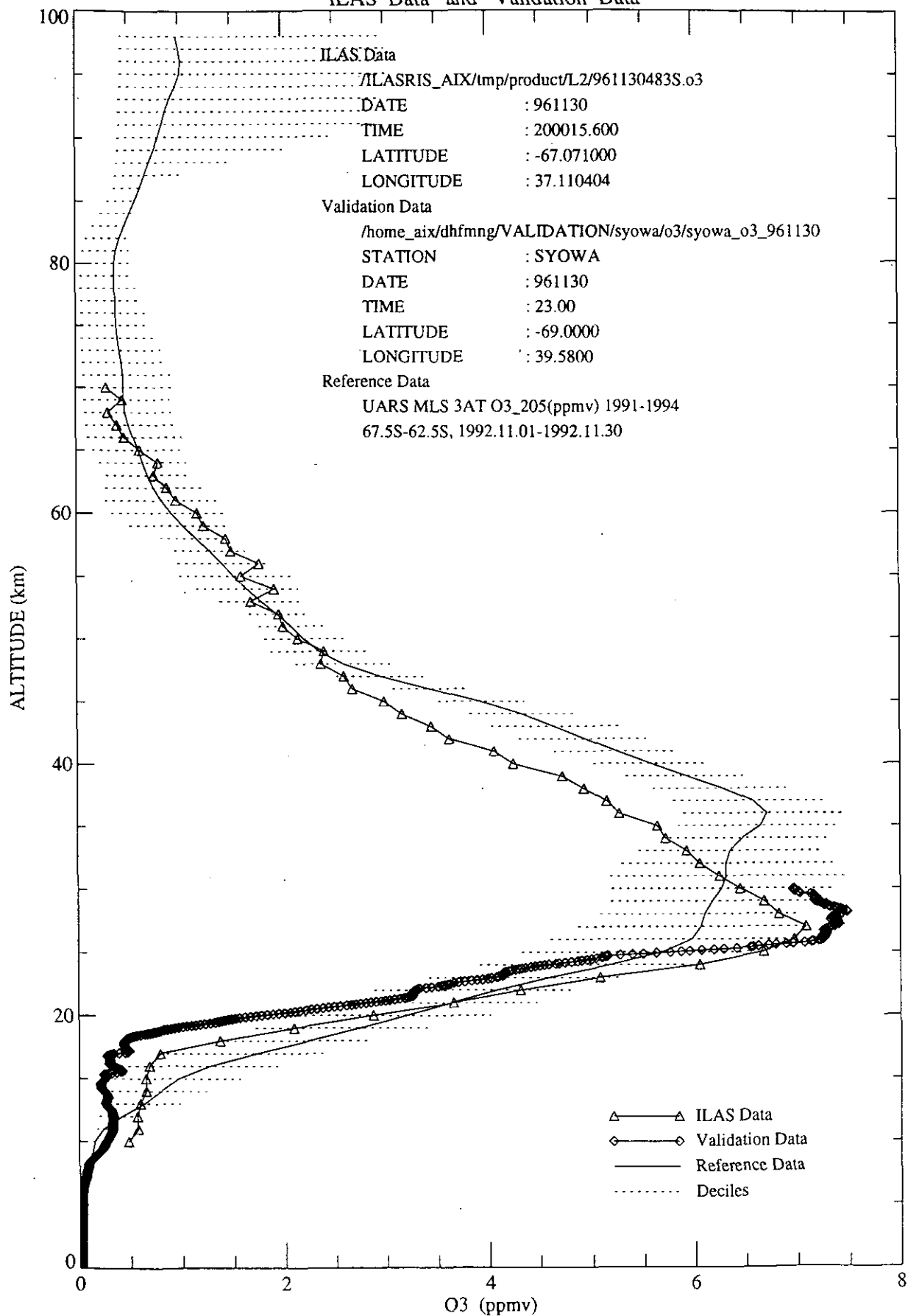


図4.1(8) ILASデータと検証データの比較結果 (オゾン、Syowa、1996年11月30日)

ILASデータはレベル2で、データ処理はソフトウェア (Version 2.00) を使用

ILAS Data and Validation Data

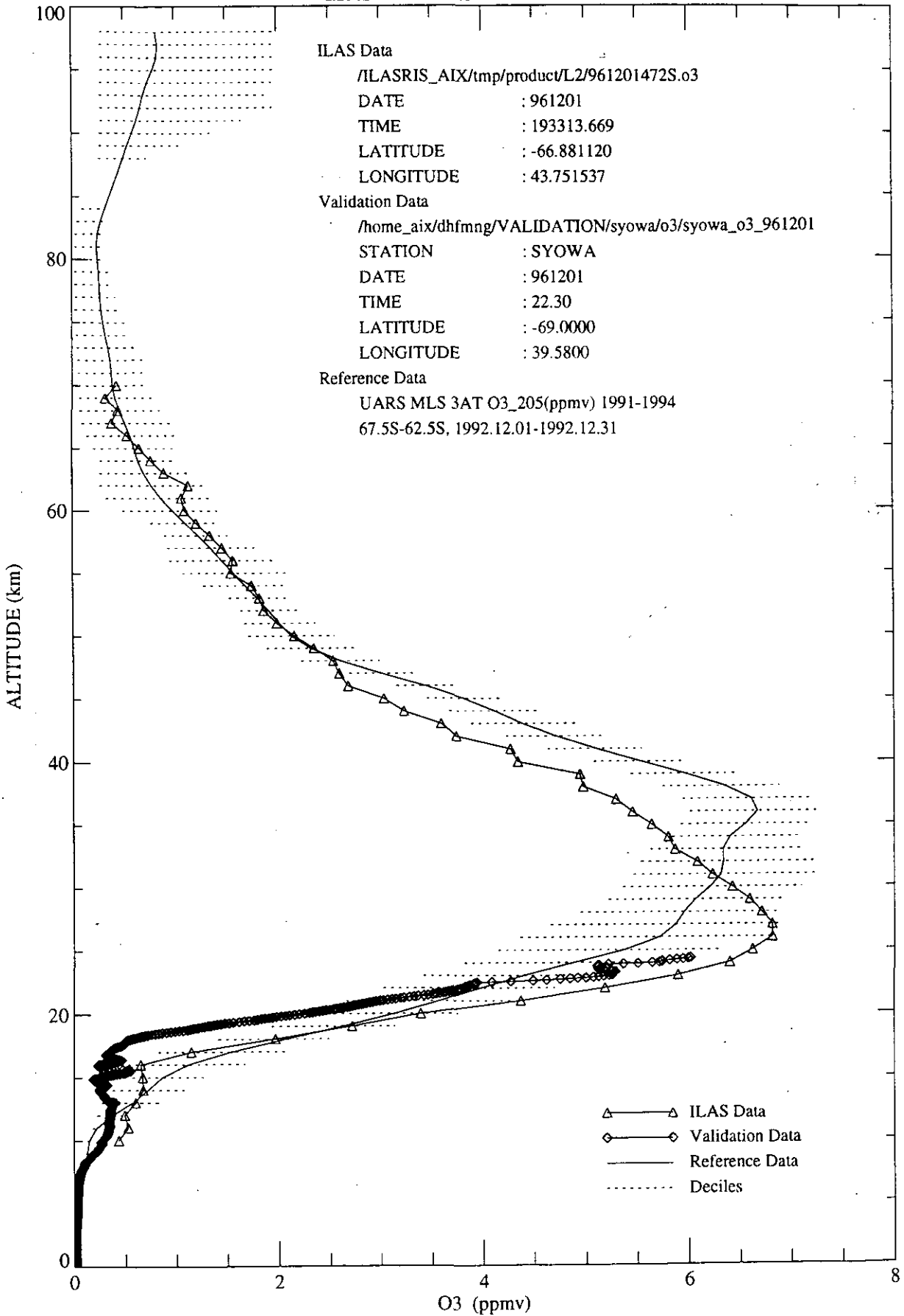


図4.1(9) ILASデータと検証データの比較結果（オゾン、Syowa、1996年12月1日）
 ILASデータはレベル2で、データ処理はソフトウェア（Version 2.00）を使用

ILAS Data and Validation Data

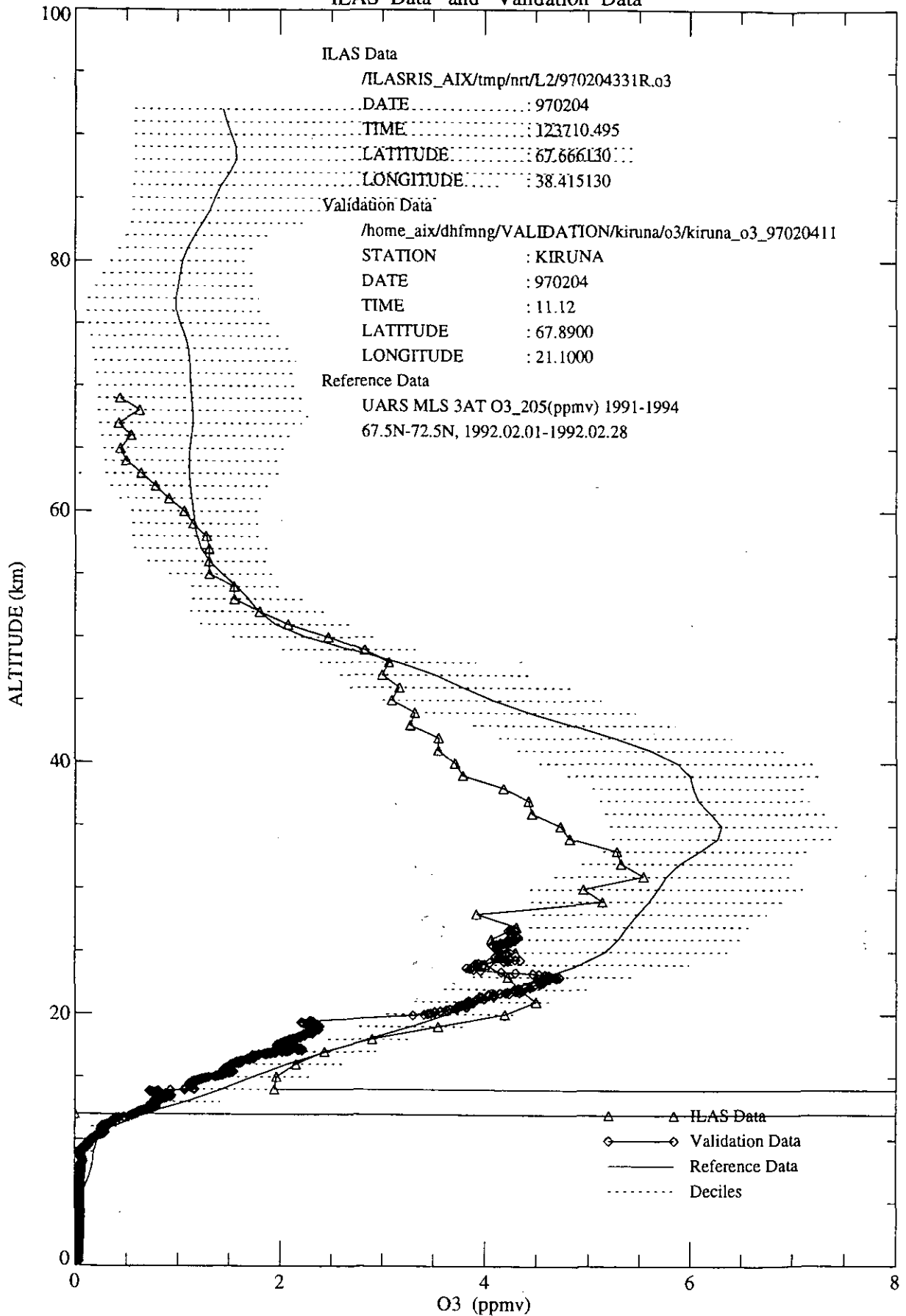


図4.1(10) I L A Sデータと検証データの比較結果 (オゾン、Kiruna、1997年2月4日)

I L A Sデータはレベル2で、データ処理はソフトウェア (Version 2.00) を使用

ILAS Data and Validation Data

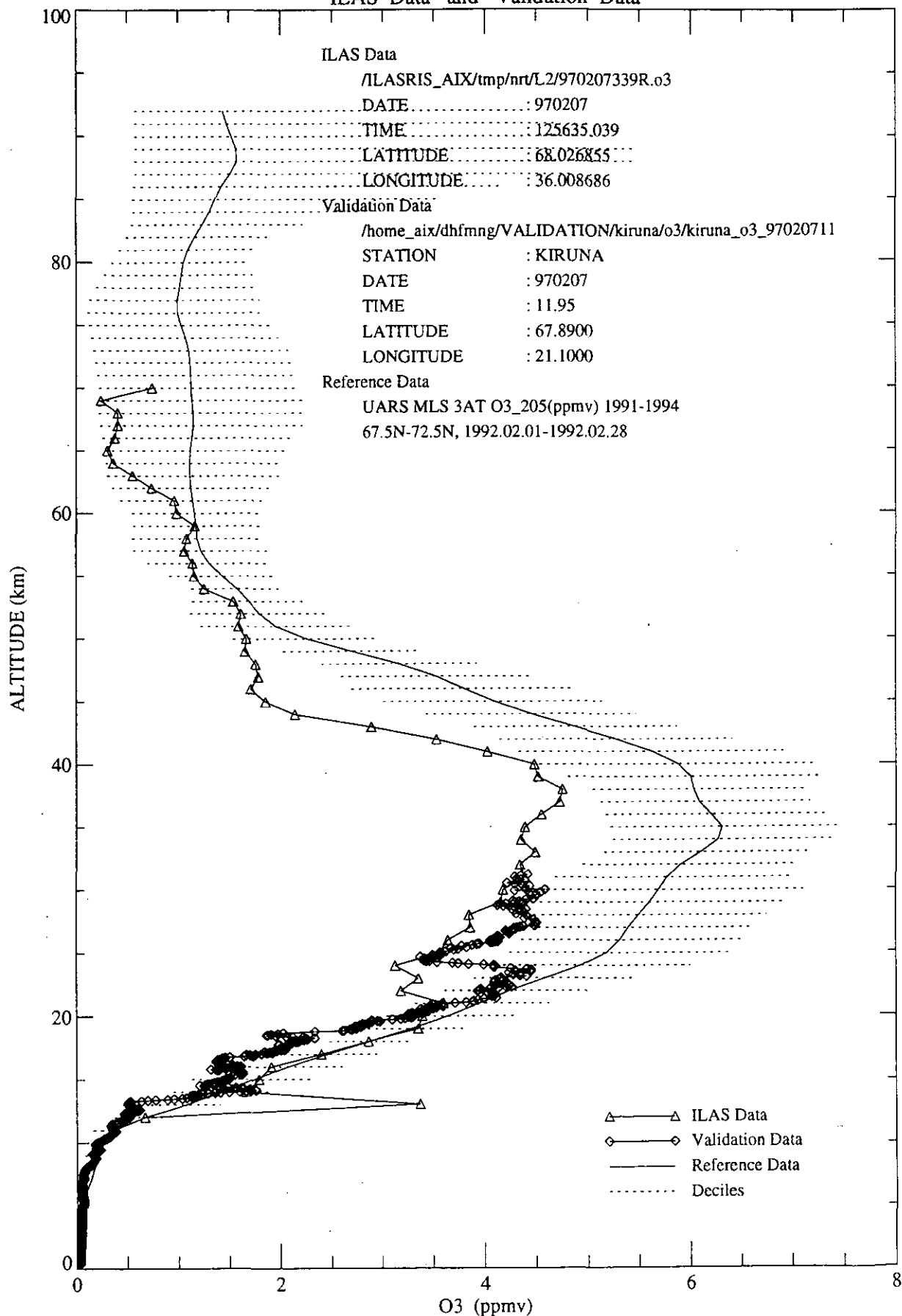


図4.1(11) ILASデータと検証データの比較結果（オゾン、kiruna、1997年2月7日）

ILASデータはレベル2で、データ処理はソフトウェア（Version 1.00）を使用

ILAS Data and Validation Data

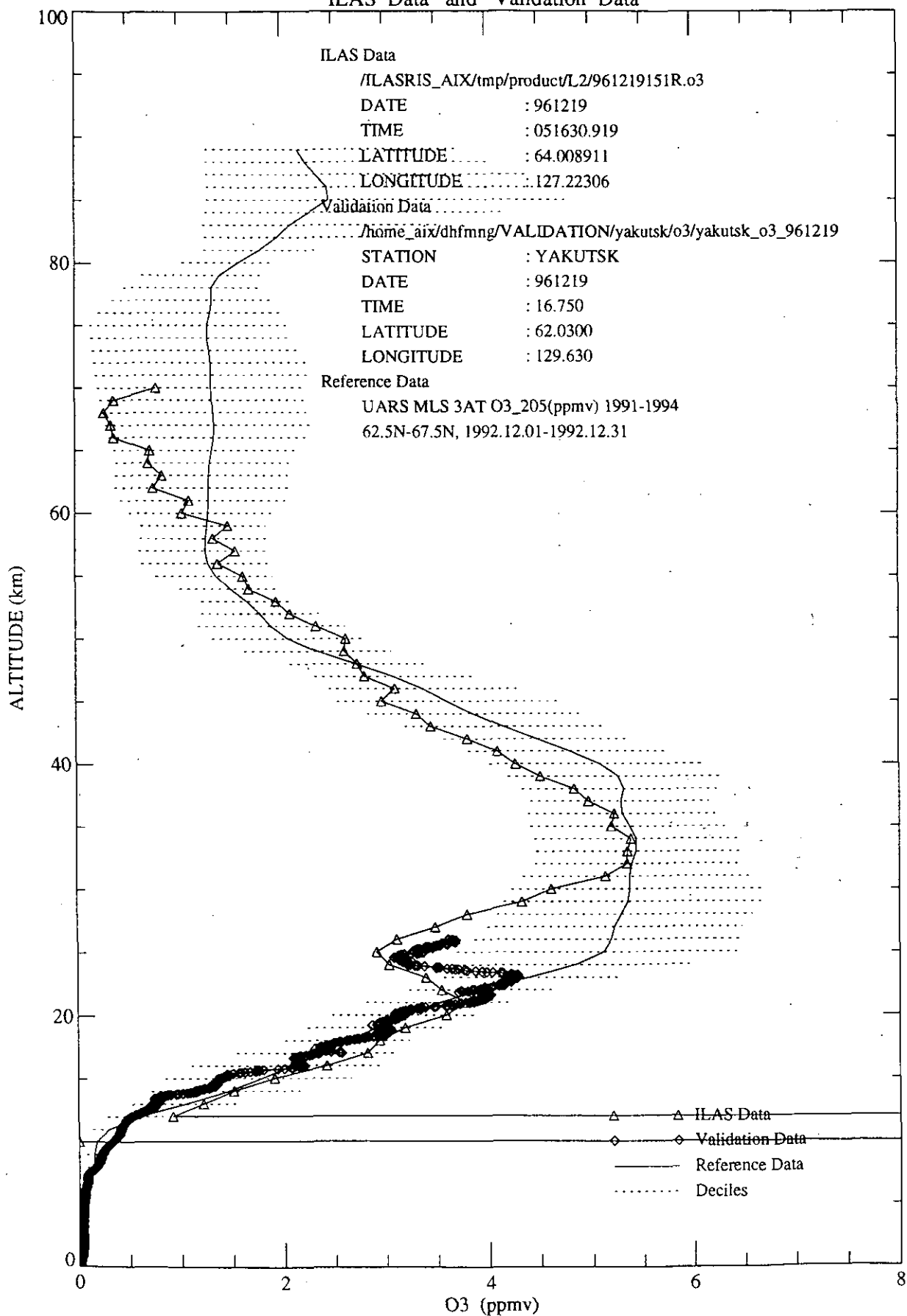


図4.1(12) ILASデータと検証データの比較結果 (オゾン、Yakutsk、1996年12月19日)

ILASデータはレベル2で、データ処理はソフトウェア (Version 2.00) を使用

4.2 R I S 検証実験

(1) 検証事例

R I S 地上施設（通信総合研究所宇宙光通信センター）において、レーザーヘテロダイン分光計を用いてR I S 測定と同時にオゾンの測定を行い、R I S で得られたスペクトルの検証を行った。検証に用いた観測事例を以下に示す。

● R I S 検証事例：1996年12月26日

(2) 検証結果

レーザーヘテロダイン分光計（TDLHS）で得られたオゾン高度分布を用いたシミュレーションスペクトルとR I S のスペクトルの形状を比較した結果を図4.3に示す。

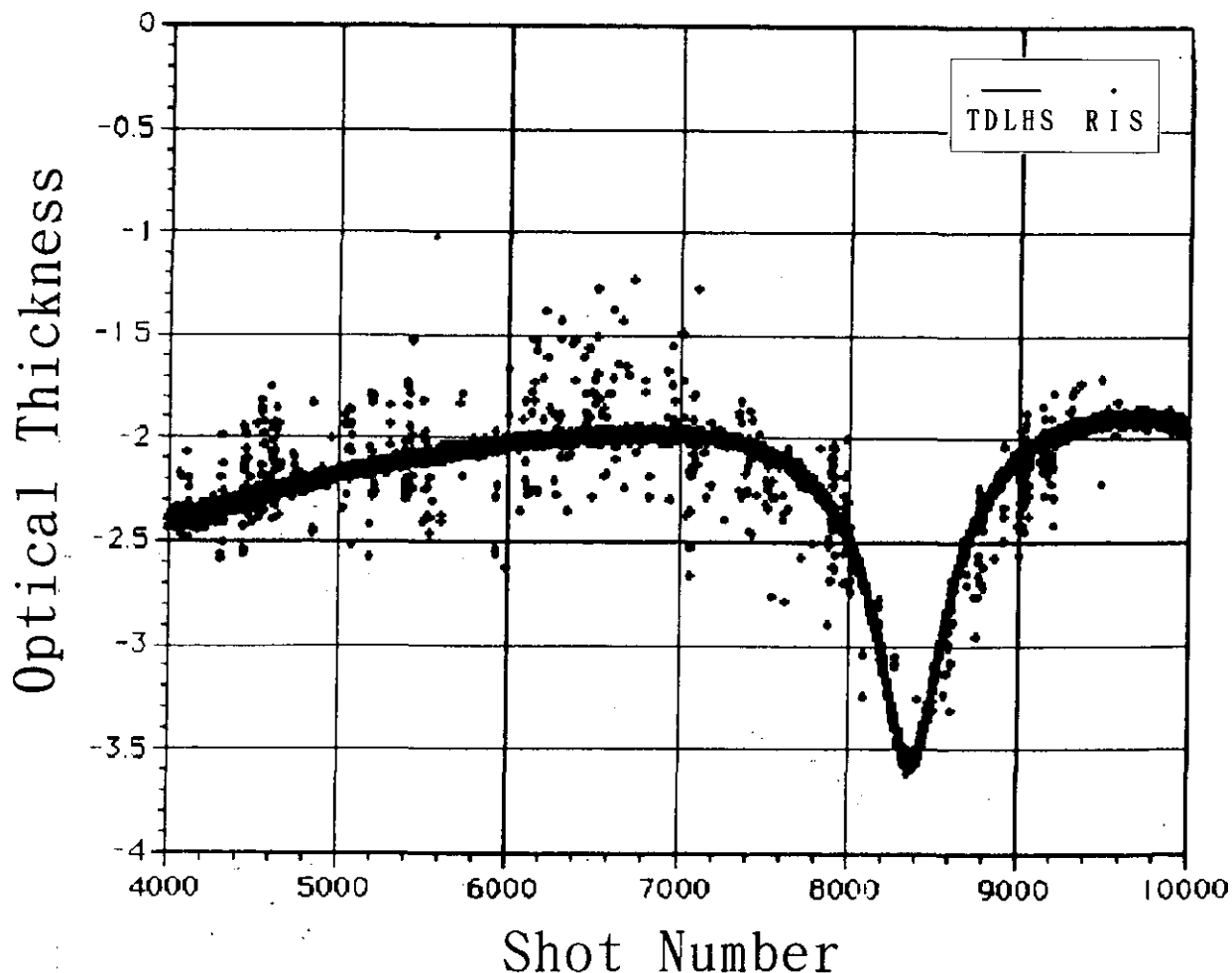


図4.3 R I S データと検証データ(レーザーヘテロダイン分光計)の比較結果

参考文献

- 1) 環境庁(1996): 地球観測プラットフォーム技術衛星“ADEOS”搭載大気環境観測
センサ ILAS & RIS
- 2) 宇宙開発事業団(1996): H-II ロケット 4号機の打ち上げ
- 3) 地球環境観測委員会(1996): 宇宙からの地球大気化学観測
- 4) 笹野泰弘編(1997): ILAS ユーザーズハンドブック 第1.0版, 国立環境研究所資料
F-101-'97/NIES
- 5) 神沢博編(1997): ILAS・RIS 衛星データ処理運用施設利用の手引き 第1版,
国立環境研究所資料 F-103-'97/NIES
- 6) Kanzawa, H. Ed.(1997): ILAS Correlative Measurements Plan, National Institute
for Environmental Studies, F-105-'97/NIES
- 7) 気象庁(1996): 南極オゾンホールに関する速報1996-1
- 8) 気象庁(1996): 南極オゾンホールに関する速報1996-2
- 9) 気象庁(1996): 南極オゾンホールに関する速報1996-3
- 10) 環境庁(1996): 平成7年度 オゾン層等の監視結果に関する年次報告書

【平成9年7月31日編集委員会受理】

【国立環境研究所資料 F-107-'97/NIES】

平成8年度 ILAS・RISプロジェクト報告

問い合わせ先：地球環境研究グループ 笹野泰弘
電話 0298-50-2444 (ダイヤルイン)

平成9年9月11日発行

発行 環境庁 国立環境研究所
〒305 茨城県つくば市小野川16番2

印刷 朝日印刷株式会社
住所 〒308 茨城県下館市中館186