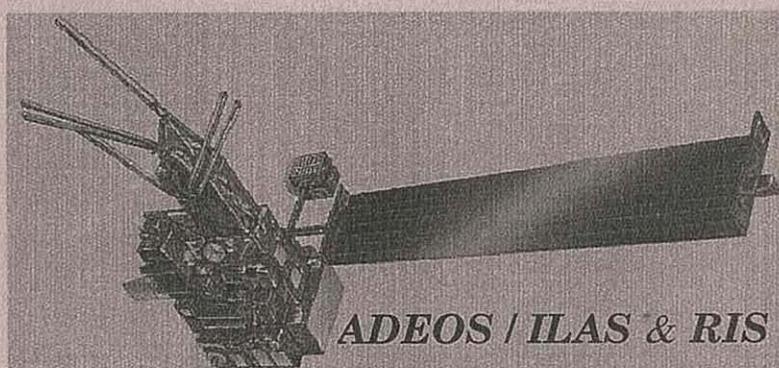


平成9年度
ILAS・RISプロジェクト報告

ILAS & RIS Project Report
FY1997



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10年8月
August 1998

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、同年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施設を整備し、運用を行って来た。

不幸にして、平成9年6月30日、太陽電池パネルの事故により ADEOS 衛星は運用を停止した。これにより、ILAS、RIS ともにデータの取得が出来なくなり、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、実験データを収集することが出来た。

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、定常運用期間中に取得された ILAS データには、南半球春期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期のデータ、さらに北半球春期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いる。これらについて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きた。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。ADEOS 運用停止後は、地上のターゲットを用いた試験観測を続け、計測技術としての評価を行った。

本報告書は、主として平成9年度に行った ILAS 及び RIS データの解析、及び検証・比較の結果について、データ利用者への基礎情報をする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上席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)日本気象協会の工藤泰子氏の手を煩わせた。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、あるいは衛星観測関連の研究者・行政担当者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

目 次

はじめに

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
1.1.2 ILAS	3
1.1.3 RIS	5
1.2 データ処理・提供の概要	8
1.2.1 ILAS及びRISデータの処理	8
1.2.2 ILAS及びRISデータの提供	11
1.3 検証実験データ	13
1.3.1 検証実験の目的と区分	13
1.3.2 ILASの検証実験	14
1.3.3 RISの検証実験	16
1.4 その他各種参照データ	16
第2章 1996年5月～1997年11月の成層圏の状況	17
2.1 南極域の状況	17
2.1.1 気象の状況	17
2.1.2 オゾン層の状況	22
2.2 北極域の状況	28
2.2.1 気象の状況	28
2.2.2 オゾン層の状況	31
第3章 ILASプロジェクト	33
3.1 データ取得・処理・配信状況	33
3.1.1 データ取得・処理状況	33
3.1.2 データ配信状況	34
3.2 Correlative Measurement Data Base (CMDB)	36
3.2.1 CMDBの構築	36
3.2.2 CMDBの現況	37
3.2.3 ILASプロジェクト大気モデル(参照大気)データベース	39
3.3 観測結果	40
3.3.1 Weekly Plot の概要	40
3.3.2 南半球	42
3.3.3 北半球	43
3.4 統計結果	96
3.4.1 月別緯度帯別プロファイル	96
3.4.2 季節平均・年平均プロファイル	128

3.5	ILASデータの検証	135
3.5.1	解析ソフトのバージョン間比較	135
3.5.2	オゾンゾンデとの比較	143
3.5.3	他の衛星データとの比較	148
3.5.4	その他の検証データとの比較	161
第4章	RISプロジェクト	171
4.1	観測状況	171
4.2	観測結果	172
4.2.1	オゾンの測定	172
4.2.2	レーザーヘテロダイン分光計による検証実験	172
4.2.3	誤差の解析と送信系の改良	175
4.2.4	データ処理手法の改良	176
4.2.5	RISのレーザー測距によるADEOSの軌道決定	178
4.3	今後の課題	178

参考文献

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 (Advanced Earth Observing Satellite) 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)。

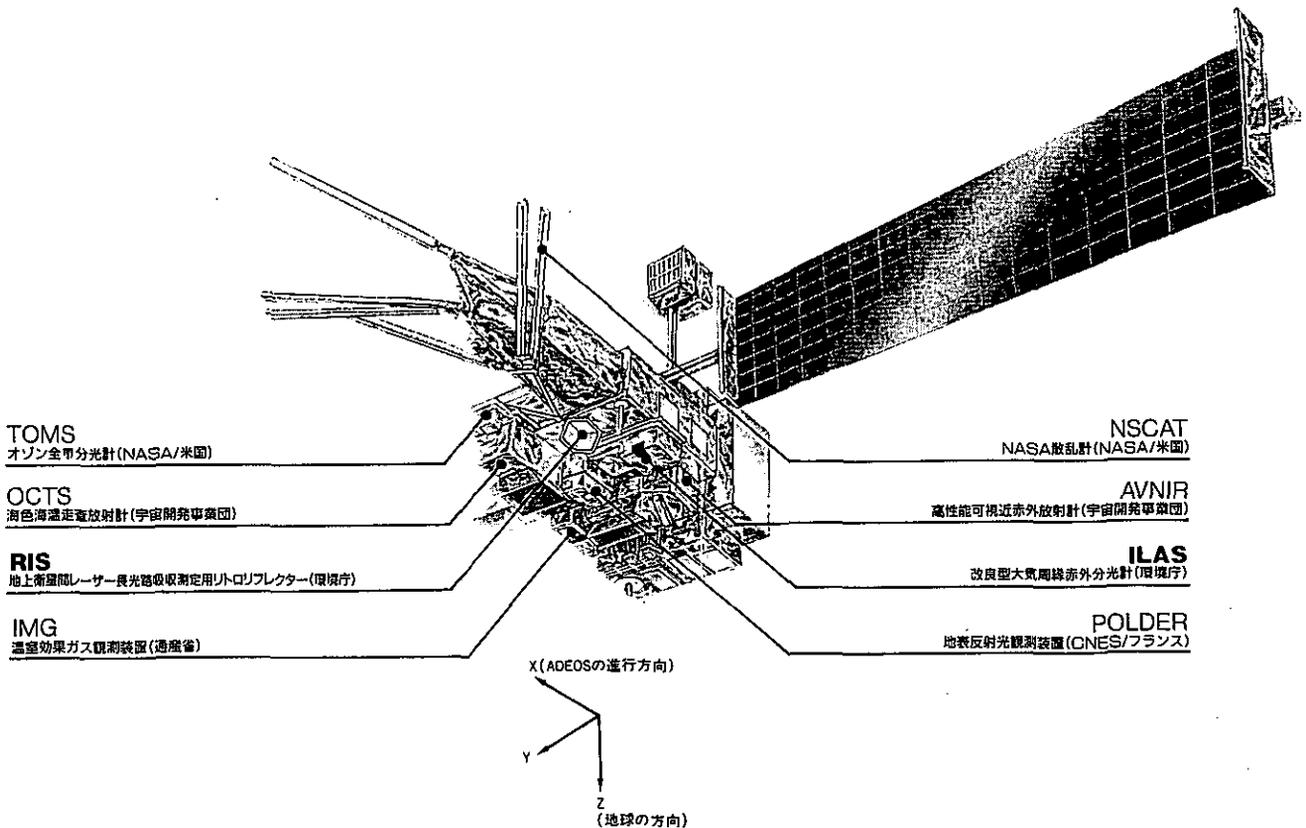


図 1.1 ADEOS 外観図 (ILAS/RISパンフレット、国立環境研究所より)

(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4×4×5(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 (5mφ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±15分

(3) ADEOSの運用

ADEOSは1996年8月に打ち上げられて以来正常に稼働していたが、1997年6月30日、電源系統に異常が発生し、データの送信が途絶した。現状ではADEOSの状態が回復する可能性は極めて低いと判断され、その後の運用を断念せざるを得ない事態となった。そのため、ILAS及びRISを用いた観測も、観測開始以来約8ヶ月で終了した。

1.1.2 I L A S

(1) 観測原理

I L A S (Improved Limb Atmospheric Spectrometer ; 改良型大気周縁赤外分光計) は、対流圏上部から成層圏全体にわたるオゾン濃度やそれに関係する窒素酸化物、水酸化物などの微量成分、エアロゾルの濃度、気温・気圧などの高度分布を求めることを目的として、環境庁により開発された。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。

A D E O S 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 A D E O S に届く。この時、A D E O S 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、I L A S 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。A D E O S 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、I L A S 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。I L A S 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。

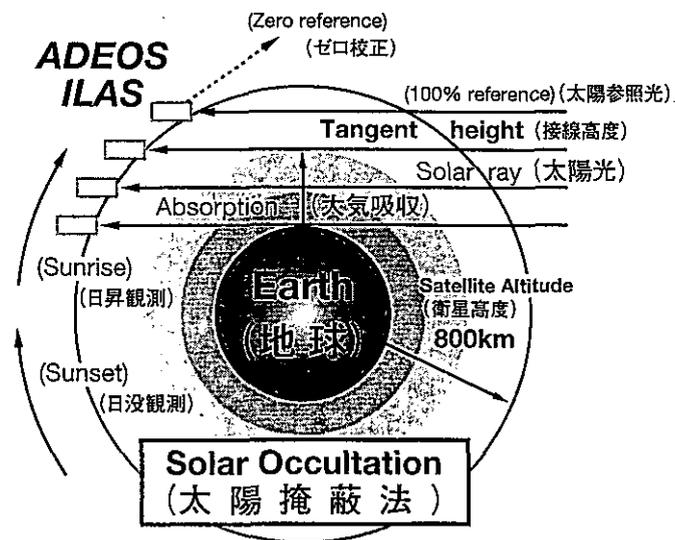


図 1.2 I L A S 観測原理図 (I L A S / R I S パンフレット、国立環境研究所より)
太陽光が、地球縁辺の大気を通してセンサに捉えられる。衛星の進行に伴って、異なる高度の大気層を通過する太陽光が測定される。大気に含まれる気体によって、太陽光は特有の波長で減衰を受けることから、気体成分濃度が高度別に求められる。

(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 (CFC 11、CFC 12)、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、CFC 11、CFC 12 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 2 km 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*2 (CFC 11、CFC 12) 五酸化二窒素 (N_2O_5) *2	約 $10 \sim 60\text{km}$	2 km
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。

1.13 R I S

(1) 観測原理

R I S (Retroreflector In-Space)による測定の原理は、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ADEOS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光する(図 1.3)。これによって、地上局とADEOS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、ADEOSが天頂に近づくと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。

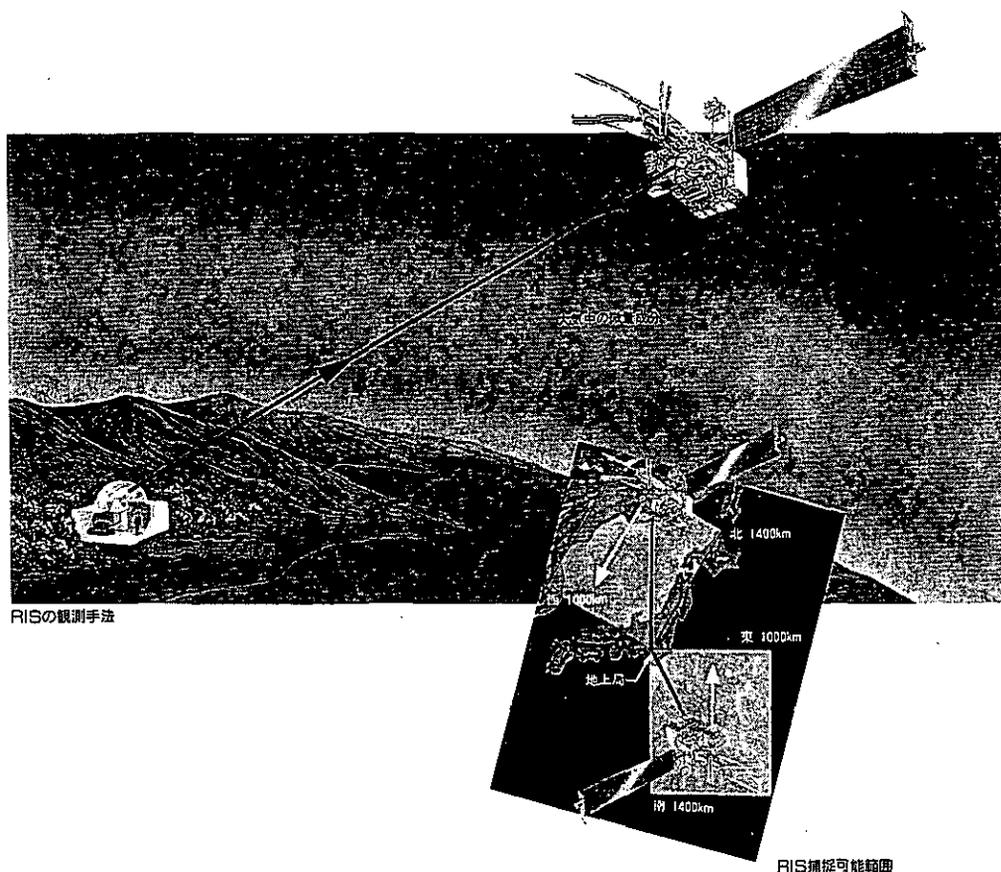


図 1.3 R I Sによる観測の概念図 (ILAS/RISパンフレット、国立環境研究所より)

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) 観測項目

R I S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）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。この時、地上局からみたR I S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R I Sの東西距離が 0 km （地上局の真上をR I S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、 0 km （地上局の真上）の地点ではシフトの値は 0 となる。

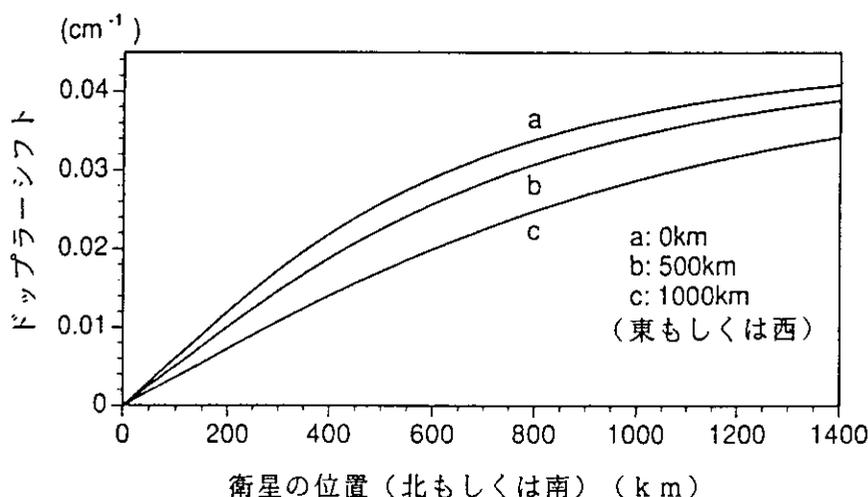


図 1.4 R I Sの地上局からの位置とドップラーシフトとの関係
(レーザー波長： $10 \mu\text{m}$ の場合)

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、 CFC 12 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)	$^{13}\text{C}^{16}\text{C}_2$	1002.477	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
CFC 12	R (6)-R (12)	$^{13}\text{C}^{16}\text{C}_2$	918.74 ~ 923.11	カラム濃度
CO	R (10) S H	$^{12}\text{C}^{16}\text{C}_2$	2111.25	カラム濃度
N_2O	R (38) S H	$^{12}\text{C}^{16}\text{C}_2$	2178.002	カラム濃度
CH_4	R (14) T H	$^{13}\text{C}^{16}\text{C}_2$	2915.79	高度分布
	R (16) T H	$^{12}\text{C}^{16}\text{C}_2$	2919.89	
参照光	R (34)	$^{13}\text{C}^{16}\text{C}_2$	937.5844	-
	R (10) S H	$^{12}\text{C}^{16}\text{C}_2$	2140.925	
	R (26) T H	$^{12}\text{C}^{16}\text{C}_2$	2939.12	

注) S H…第二高調波 T H…第三高調波
P, R…吸収ブランチを示す。

R I S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。そのうち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R I S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1 ms以下の時間間隔で発射する。

測定に当たっては、発射した2波長のレーザーパルスのエネルギーと、R I S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行われる。

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 (Data Handling Facility)) (図 1.5 参照) 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。

以下に、I L A S ・ R I S データの処理ならびに提供の概要を述べる。

1.2.1 I L A S 及び R I S 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

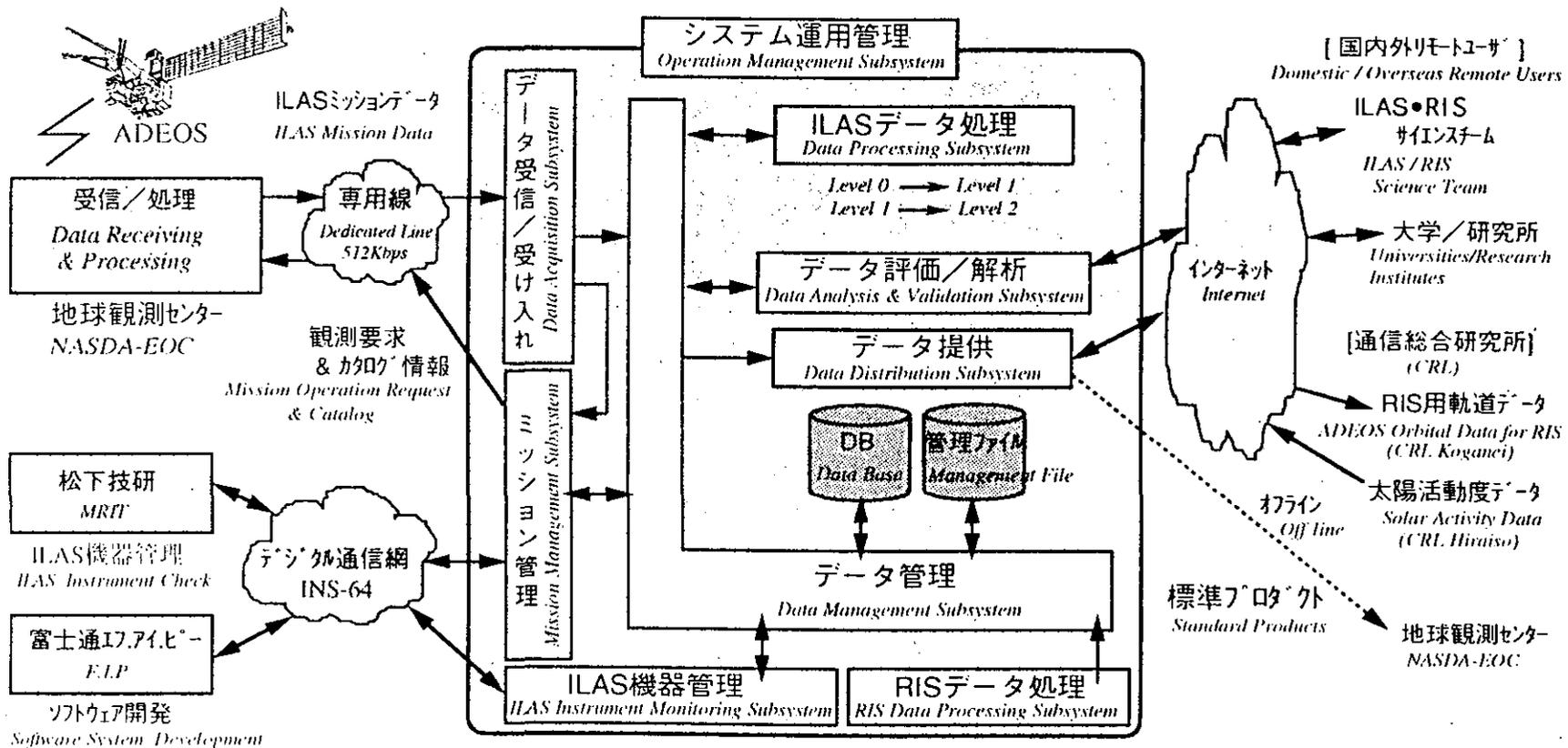


図 1.5 I L A S ・ R I S 衛星データ処理運用施設の機能

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、多様な機能をもっている。

(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NASDA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。

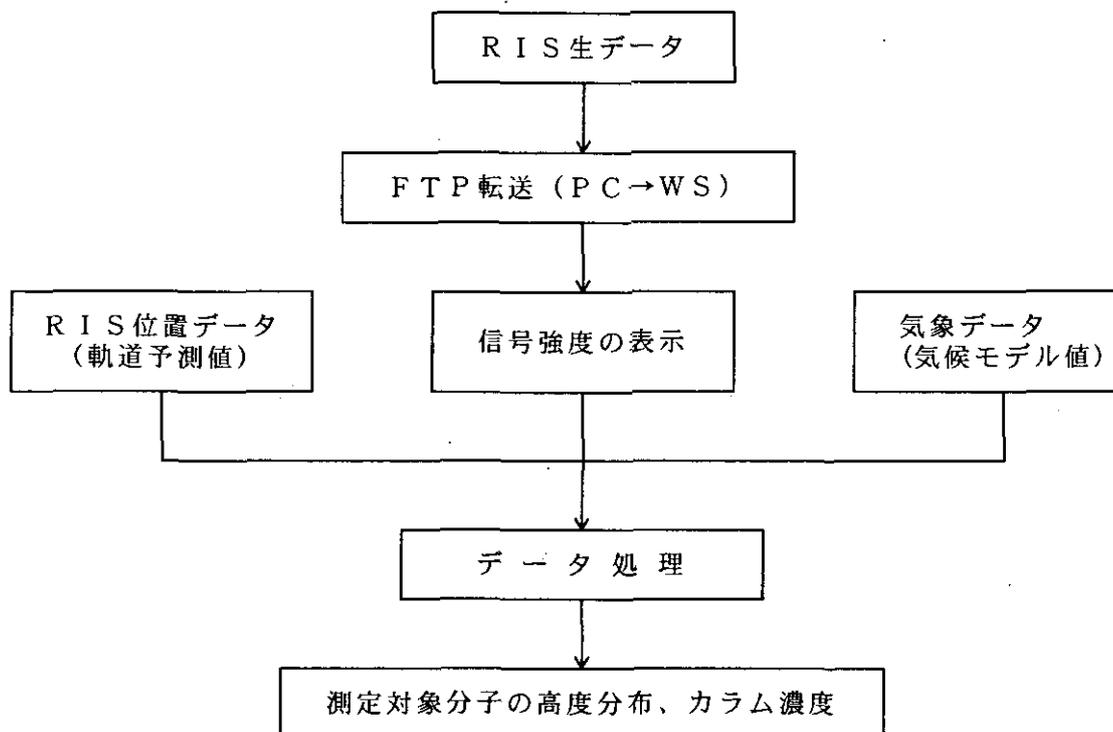


図 1.12 R I S 測定データのクイックルック処理の手順

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0 a、レベル0 b、レベル1およびレベル2に区分される。また、I L A S 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、I L A S データでは1日分で2 MB 程度（1年で700MB程度）であり、R I S データでは1観測分で2 KB 程度（1年分で200KB程度）である。

表 1.5 I L A S 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 I L A S 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 I L A S 観測データ (軌道: 予測値)
レベル 0 a	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 0 a'	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 0 b	異常値/欠測値処理済みデータ (軌道: 決定値)
レベル 0 b'	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	リトリバーバル処理結果データ (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'	リトリバーバル処理結果データ (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 R I S のデータレベルとその内容

レ ベ ル	内 容
レベル 0	R I S 生データ
レベル 0 a	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	リトリバーバル処理結果データ (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)

1.2.2 I L A S 及び R I S データの提供

DHF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、次節（1.3）で述べる検証実験等で取得されたデータを用いておこなわれる。ILAS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、その後に検証解析を実施すること等から、衛星打ち上げ後、ILAS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。RIS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ILAS・RIS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ILAS・RIS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、「ILASユーザーズハンドブック第1.0版」および「RIS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ILASおよびRISデータの提供媒体、要領、フォーマット等を示す。

表 1.7 ILASおよびRIS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インチ光磁気ディスク	約 128MB	ISO 準拠
1/4インチ磁気テープ	QIC-150 約 150MB	tar,dd コマンド QIC-120,150,525,1000 対応
8 mm 磁気テープ	約 5 GB	tar,dd コマンド ISO 準拠、5 GB 及び 2 GB 対応
4 mm DAT	約 2 GB	tar,dd コマンド ANSI DDS フォーマット
CD-ROM (検討中)	約 650MB	ISO,HFS,ハイブリッド

1.3 検証実験データ

1.3.1 検証実験の目的と区分

(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、SN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NASA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。

ILAS・RIS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。

(2) ILAS・RIS検証実験の区分

ILAS・RIS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 ILAS・RIS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ILASおよびRIS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。

1.3.2 I L A S の検証実験

南極域における 1996 年度～ 1997 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。

検証実験は、得られるデータのタイプから鉛直プロファイルの測定、およびカラム全量の測定の 2 種類に大別できる。

①鉛直プロファイルの測定

Kiruna-Esrange (68N, 21E)における気球キャンペーンでは、ILAS が測定する全ガスと気象要素についての鉛直プロファイル測定、Showa (69S, 40E)では極低温サンブラーを搭載した気球による CFC11 等の測定、その他数地点でのオゾンゾンデ、エアロゾルゾンデによる測定、ライダーによるオゾン・エアロゾル・気温・水蒸気の鉛直プロファイル測定を行う。

②カラム全量の測定

F T S、U V 可視分光計、レーザーヘテロダイン分光計、ドブソン分光計などによる地上からの測定を行う。

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。

* FTS は Fourier Transform Infrared Spectrometer (フーリエ変換型赤外分光計)

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	DU 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
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。

1.3.3 R I S の検証実験

1996年度～1997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-11* (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R I S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3ATデータ (HALOE, CLAES, ISAMS, MLSの各センサ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5月～1997年11月の成層圏の状況

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）から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5月から1997年11月までの19ヵ月間について、主として中部成層圏から下部成層圏における力学場の状況を概観する。成層圏の気象場は、夏季においてその変動度が時間的にも空間的にも小さく、また年ごとの差も小さいので、ここでは冬季を中心とした7ヵ月（北半球については1996年11月から1997年5月の一冬、南半球については1996年5月から11月と1997年5月から11月の二冬）の特徴を示す。冬季には東西非一様性が大きくなるが、ここではおもに帯状平均した場について見る。東西非一様な場についての記述は、平成8年度の「ILAS・RISプロジェクト報告書」（以下ではH8報告書）を参照されたい。

また、UKMOデータに関してもH8報告書を参照されたい。なお、H8報告書では、1997年9月から1997年3月までの力学場について述べており、今回の報告と内容的に一部重複するところがあることをお断りしておく。

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5月から1996年11月、および1997年5月から11月までそれぞれ7ヵ月間の季節進行の様子を見る（図 2.1、図 2.2）。南半球では、北半球と比べて年ごとの変動度が小さく、図 2.1、図 2.2 を見比べても（図 2.3、図 2.4 などでも同じ）基本的な季節進行の様子に大きな差はない。つまり南半球においては、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、極域の温度が急速に上昇し夏型循環に向かういわゆる最終昇温は、11月下旬から12月上旬に観測される。1996年はこの最終昇温が12月上旬から中旬にかけて起こっている（H8報告書参照）；一方、1997年は11月の下旬に起こっている。高緯度の低温域に注目すると、たとえば帯状平均で195Kを下回るような領域が10月中旬まで観測される。8月を中心として現れる最低気温を見ると、1996年の方がいくぶん寒かったといえる。ただし、たとえば192Kのコンターを見てわかるように、低温傾向は1997年の方がやや長期間続いている。

次に、帯状平均した東西風の季節進行を見てみよう（図 2.3、図 2.4）。下部成層圏極域が低温になっていることと対応して、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し、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。西風が最大になる時期から、この西風ジェットのシフトダウンは1997年の方がいくぶん遅かったようである。

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 2.5、図 2.6）と東西風（図 2.7、図 2.8）を時間-高度断面で見る。この緯度でも、200Kを下回るような低温域が10月初めまで下部成層圏で見られ、この低温域はゆっくりと成層圏下端まで下降してくる。そして、これに対応して西風の極大域も下降する。こういった断面で見ても、北半球と違ってそれほど大きな年々変動は見られない。

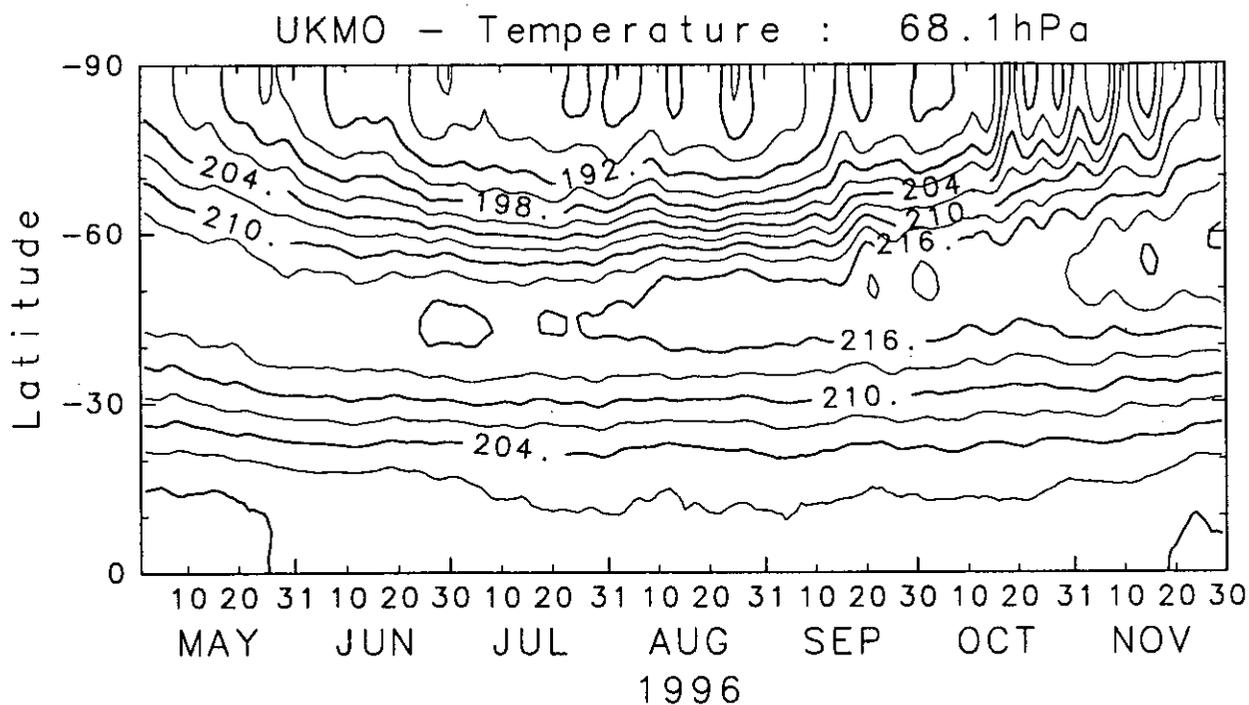


図 2.1 1996 年 5 月から 11 月にかけての、南半球 68.1 hPa における帯状平均温度の時間・緯度断面図. コンター間隔は 3 K.

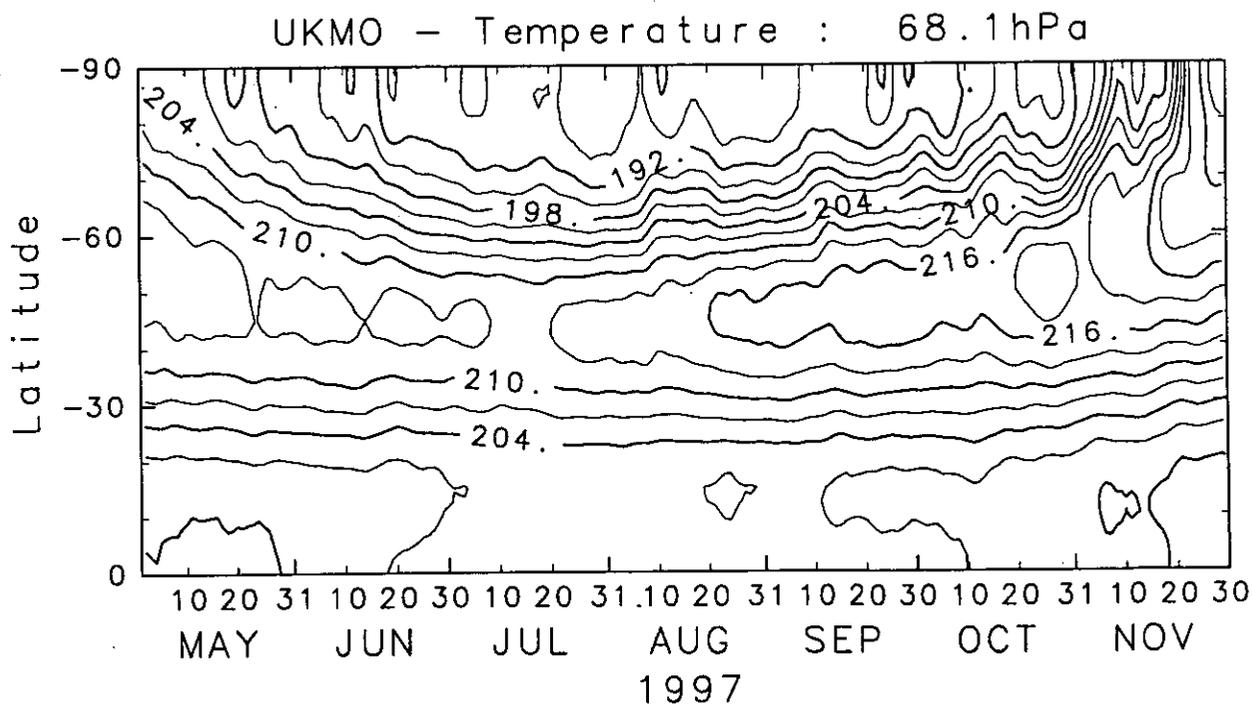


図 2.2 1997 年 5 月から 11 月にかけての、南半球 68.1 hPa における帯状平均温度の時間・緯度断面図. コンター間隔は 3 K.

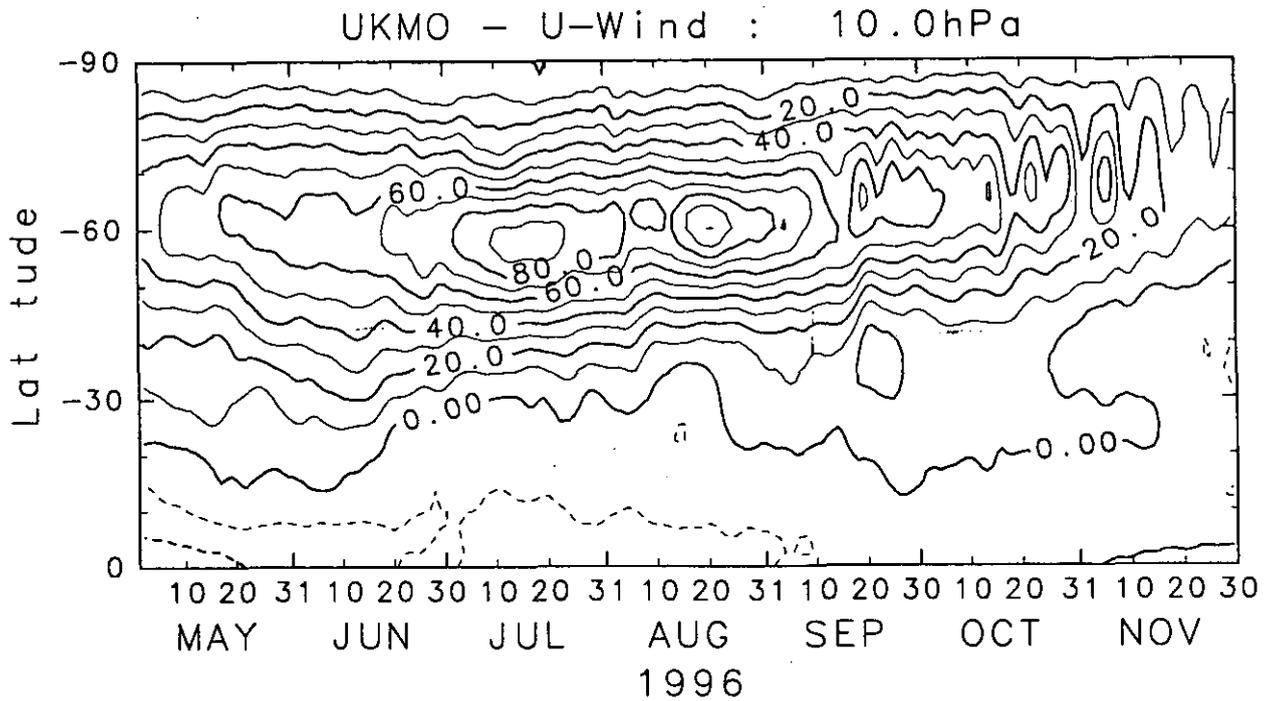


図 2.3 1996 年 5 月から 11 月にかけての、南半球 10.0 hPa における帯状平均東西風の時間・緯度断面図. コンター間隔は 10 m/s.

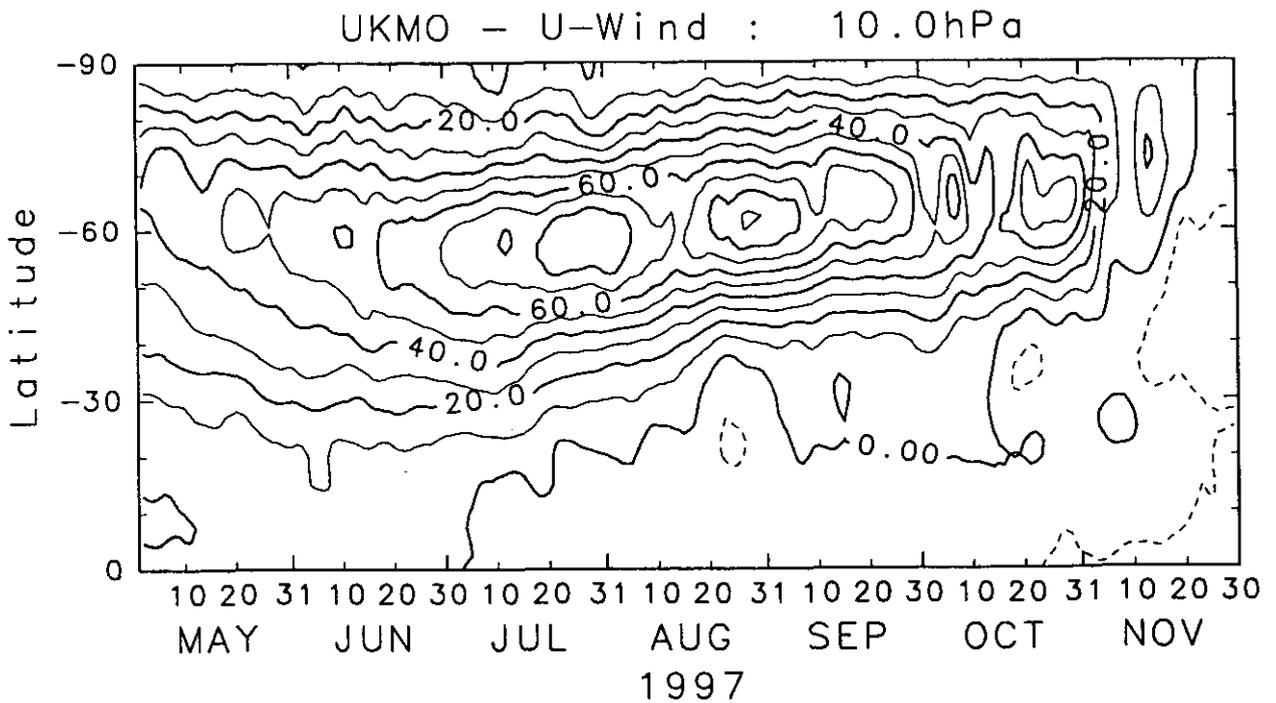


図 2.4 1997 年 5 月から 11 月にかけての、南半球 10.0 hPa における帯状平均東西風の時間・緯度断面図. コンター間隔は 10 m/s.

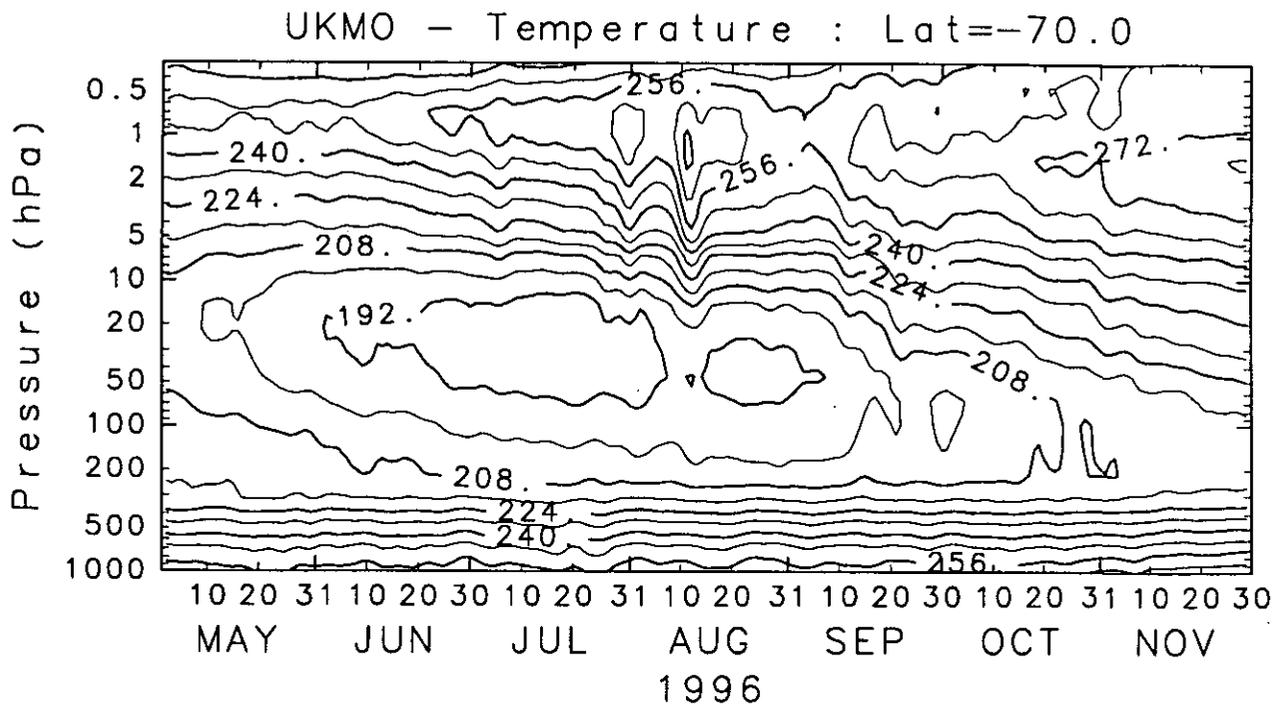


図 2.5 1996年5月から11月にかけての、南緯70度における帯状平均温度の時間・高度断面図。コンター間隔は8 K.

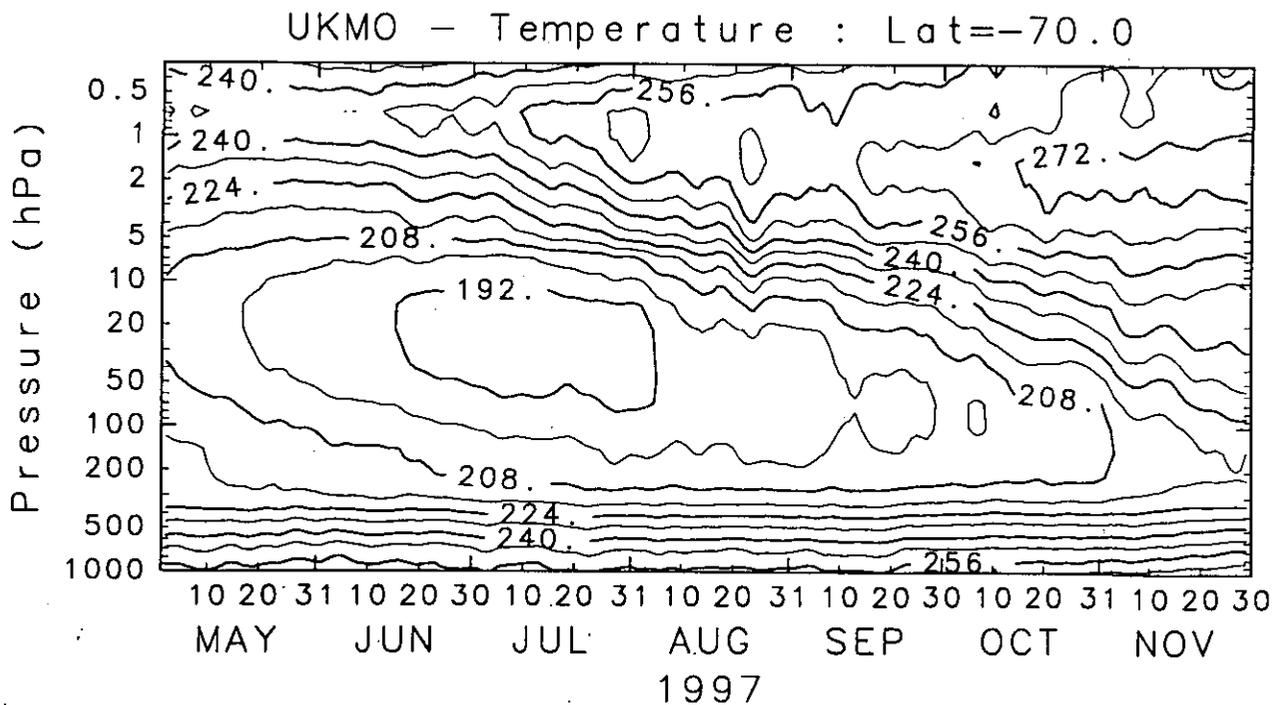


図 2.6 1997年5月から11月にかけての、南緯70度における帯状平均温度の時間・高度断面図。コンター間隔は8 K.

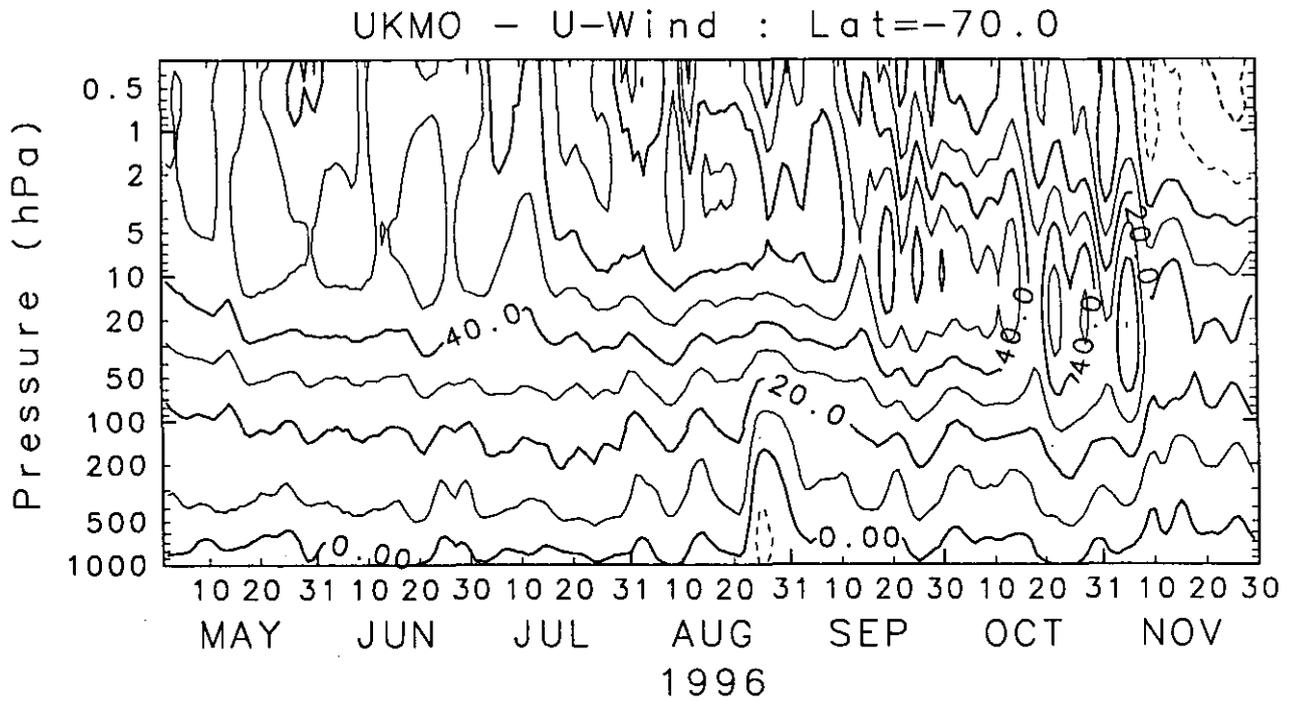


図 2.7 1996 年 5 月から 11 月にかけての、南緯 70 度における帯状平均東西風の時間・高度断面図. コンター間隔は 10 m/s.

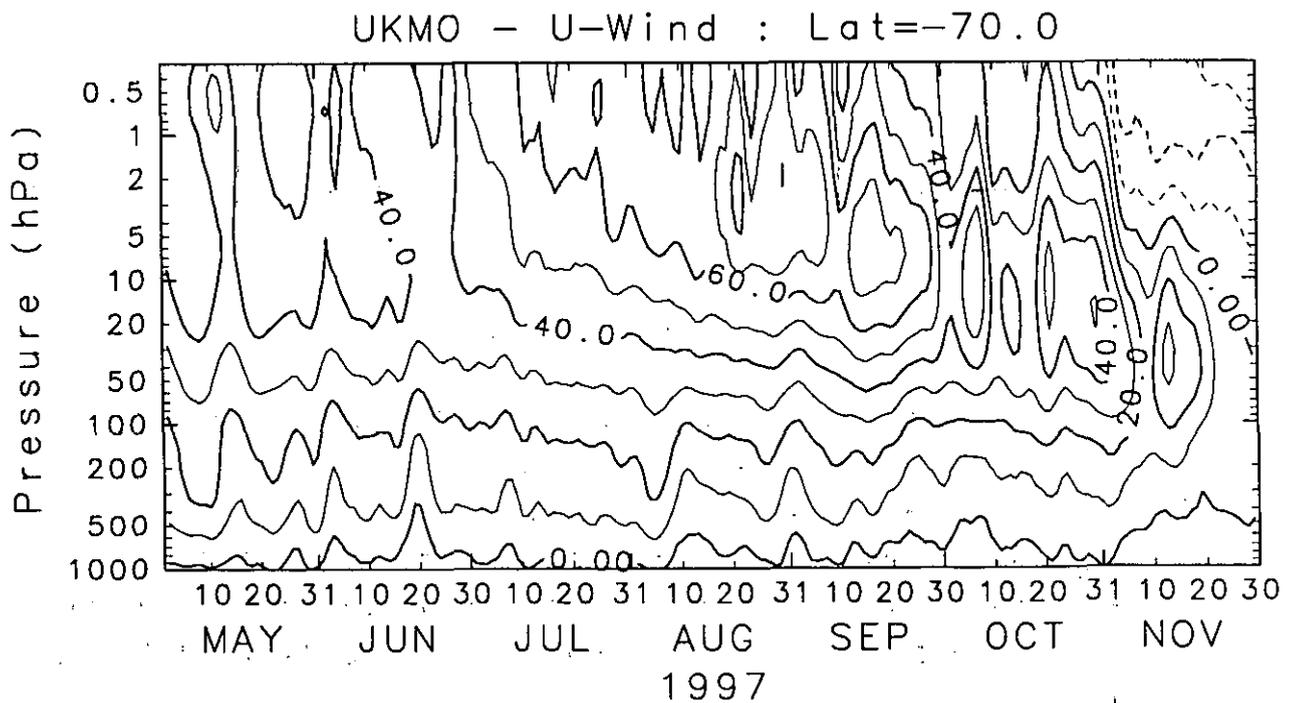


図 2.8 1997 年 5 月から 11 月にかけての、南緯 70 度における帯状平均東西風の時間・高度断面図. コンター間隔は 10 m/s.

2.1.2 オゾン層の状況

(1) 1996～1997年の状況

図 2.9 は、昭和基地における 1996 年 6 月～1997 年 11 月の各月の月平均オゾン分圧の鉛直分布を平年値とともに示したものである。オゾン分圧のピークは、高度 17～24km の範囲に見られ、冬季は低く、夏季は高い。オゾンが最も減少する 10 月のプロファイルは両年よく似通っており、高度 17km 付近を中心に高度 15～25km のオゾン分圧が大きく平年値を下回っている。しかし、その前後をみると、オゾンの減少、回復の仕方は各年で異なっており、1996 年は 9 月からこの層に大きなオゾンの負偏差が見られ 11 月まで続くが、1997 年の場合、同様の負偏差は 10 月にしか見られず、オゾンは急激に減少し、急激に回復している。

図 2.10 に、昭和基地においてこれまでに観測されたオゾン全量の日別値（8 月～12 月）の変化を示す。1996 年、1997 年のオゾン全量の変動のパターンは、冬から春にかけて減少し、夏に向かって回復するという点で大局的には類似している。また、日々の変動に注目すると、両年とも 9 月はオゾンホール¹⁾の目安である 220 m atm-cm を上下して大きく変動した。これは、南極上空の極渦の変化により、昭和基地の上空が極渦の内側に入ったり、外側に出たりしたことによるらしい。10 月になると、昭和基地は継続してオゾンホールの中にあっただと思われ、日々の変動は小さく、オゾン全量が極めて少ない状態が続く。その後、1996 年は 10 月末から、1997 年は 11 月半ばにオゾン全量が急激に増加し、それ以降数度にわたって急減したものの、12 月には 300m atm-cm 前後の状態が続くようになった。

図 2.11 に、TOMS によるオゾンデータをもとに作成された南半球の 10 月の月平均オゾン全量分布を 1996 年、1997 年について示す。両年の分布は類似しており、月平均でもオゾン全量 220m atm-cm 以下の領域が南極大陸の大部分を覆っているのがわかる。図には示さないが、オゾンホール盛衰の推移を各年について概観すると、1996 年は 7 月下旬から 220m atm-cm 以下の領域が出現し、8 月上旬に発達して一時縮小の方向に向かったあと、9 月上旬にかけ急速に拡がり、9 月 7 日に過去最大（南極大陸の面積の 1.9 倍）を記録した。その後、次第に縮小していったが、12 月上旬までオゾンホールが残った。1997 年も 7 月下旬から 220m atm-cm 以下の領域が継続して観測されはじめた後、面積を増していったが 9 月 27 日に南極大陸の約 1.7 倍（過去 5 番目に大きい）に達した。その後は縮小し続け、11 月に入ると面積は急激に小さくなり 11 月 29 日に消滅した。図 2.12（右）でこの年のオゾンホールの規模²⁾を見ると、9 月の初めに急激にオゾンホールが拡大し、その後 9 月末にオゾンホールの面積、最低オゾン全量、オゾン破壊量ともにピークに達している。このとき、最低オゾン量は過去 4 番目に小さい値（104m atm-cm）、オゾン破壊量は約 7900 万トンと過去 2 番目に多い値を記録した。1979 年以降のオゾンホールの規模の年々変化をみると（図 2.12（右））、1992 年に最大規模に達して以来 1997 年にいたるまで、同程度の規模が維持されている。

(2)過去のトレンド

図 2.13 は、過去 10 年間（1988 ～ 1997 年）のオゾン分圧のトレンドの鉛直分布である。全年では、高度 15km 付近のおよそ -40% / 10 年の減少をピークとして、高度 10 ～ 20km では -20% / 10 年程度の減少が見られる。春季（9 ～ 11 月）は減少傾向がより顕著で、特に高度 15 ～ 20km 付近は $-40 \sim -50\%$ / 10 年になっている。図 2.14 も同様に過去 30 年間（1968 ～ 1997 年）のオゾン分圧と気温の月別変化傾向を鉛直断面でみたものである。オゾン分圧の減少のピークは 10 ～ 11 月の 80hPa（高度 16km）付近に現れており、 $-60 \mu \text{ mb}$ / 10 年の減少となっている。ピークの出現する高度は季節の進行とともに次第に低くなり、2 月には 150hPa（高度 13km）付近にピークが見られる。気温の低下トレンドはオゾンにやや遅れるが、ほぼ一致し、 $-6 \text{ }^\circ\text{C}$ / 10 年以上の気温低下のピークは、11 月の 100hPa 付近に出現し、その後ピークの高度はオゾンと同様、季節の進行とともにわずかに下がっている。以上のことから、紫外線を吸収し、大気を加熱するオゾンが減少したことにより、気温も低下したものと考えられる。

(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 220 m atm-cm 以下の領域の面積 (km^2 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 300 m 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の目安を与える量。

(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 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 、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。ドブソンユニット (D.U.) と表すこともある。

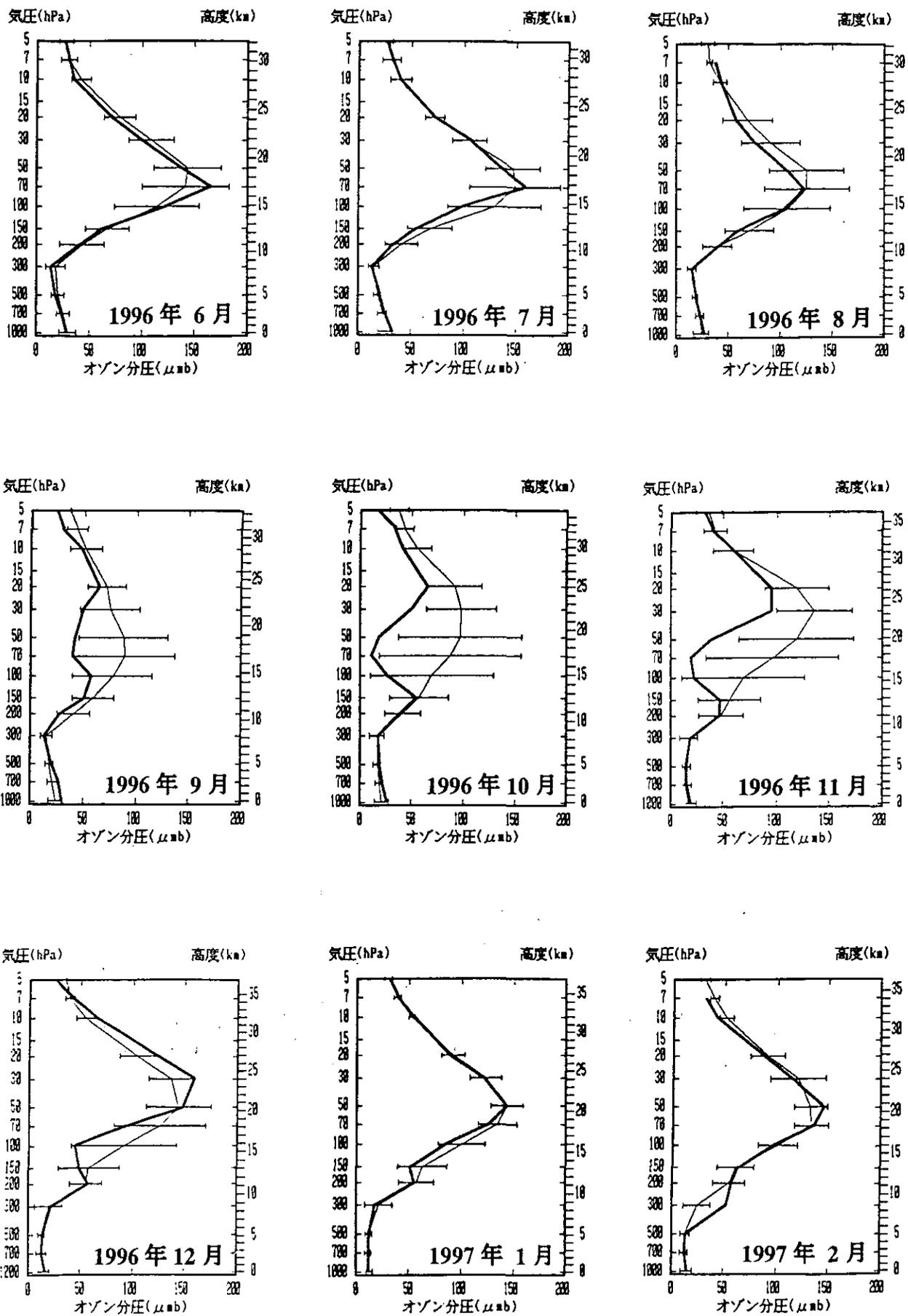


図 2.9(1) 昭和基地におけるオゾン分圧の垂直分布 (オゾン層観測速報、気象庁より)

太実線は当該月平均値、細実線は当該月平年値、横細実線は標準偏差を示す。

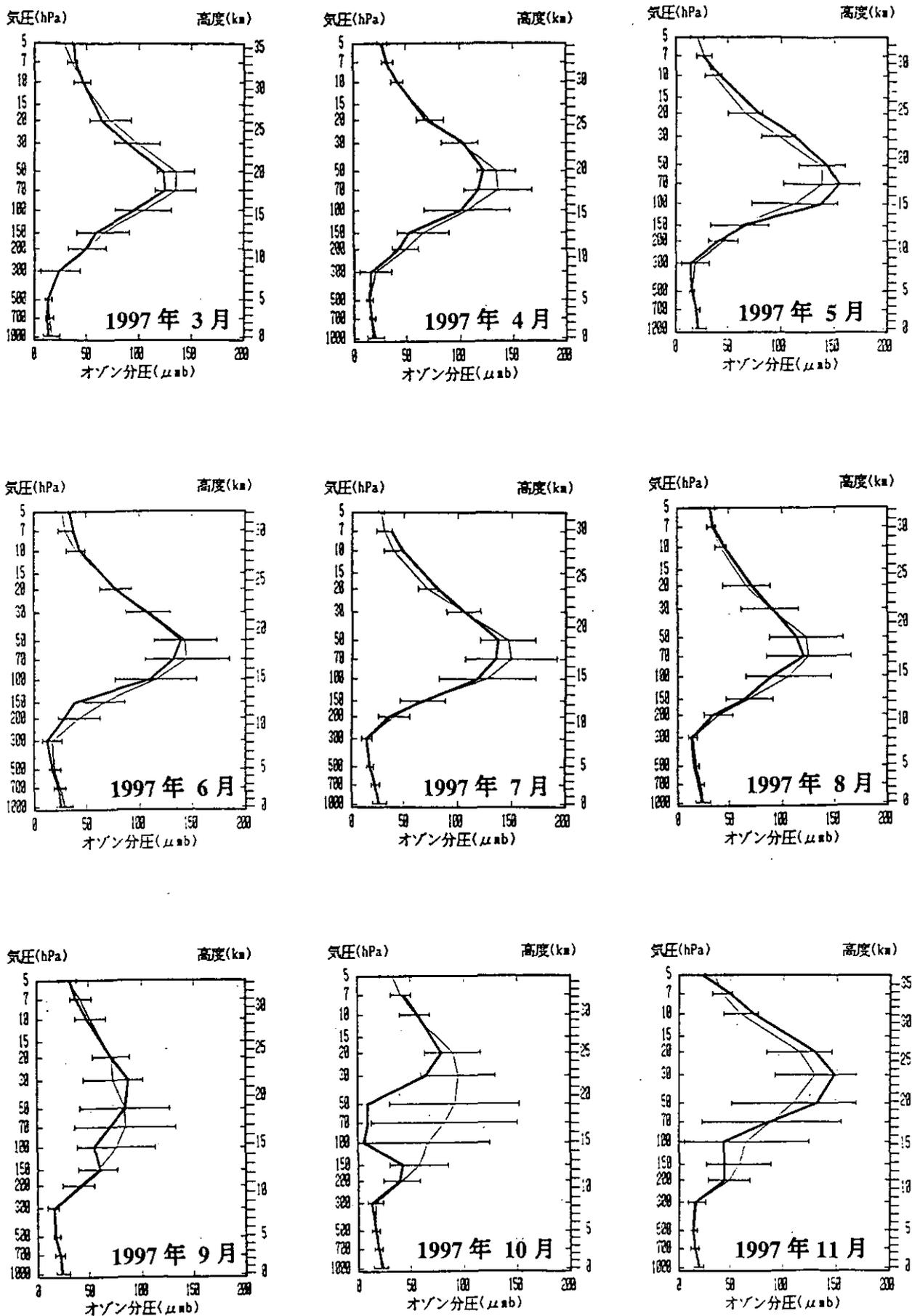


図 2.9(2) 昭和基地におけるオゾン分圧の垂直分布 (オゾン層観測速報、気象庁より)

太実線は当該月平均値、細実線は当該月年平均値、横細実線は標準偏差を示す。

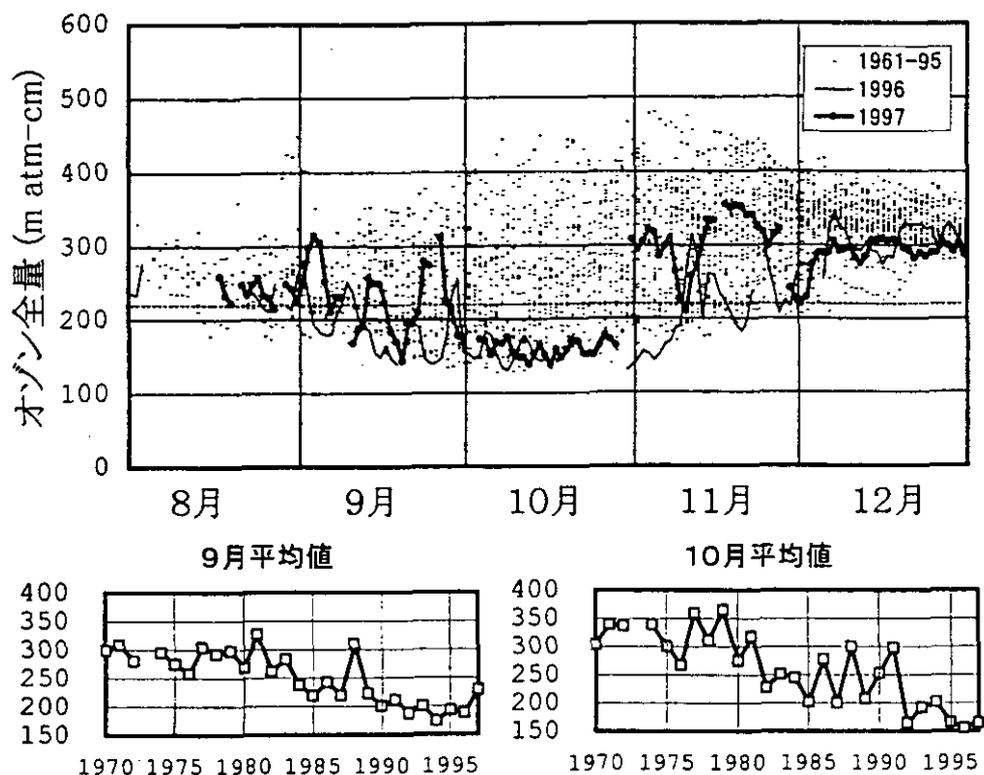


図 2.10 昭和基地におけるオゾン全量 (オゾン層観測報告:1997、気象庁より)

上段の図中の細かい点は観測開始 (1961 年) 以来のオゾン全量観測値 (日別値)。細い折れ線は 1996 年、太い折れ線は 1997 年の観測値。図中の点線はオゾンホールを目安である 220m atm-cm を示す。下段の図はそれぞれ 9 月と 10 月の月平均オゾン全量の経年変化。

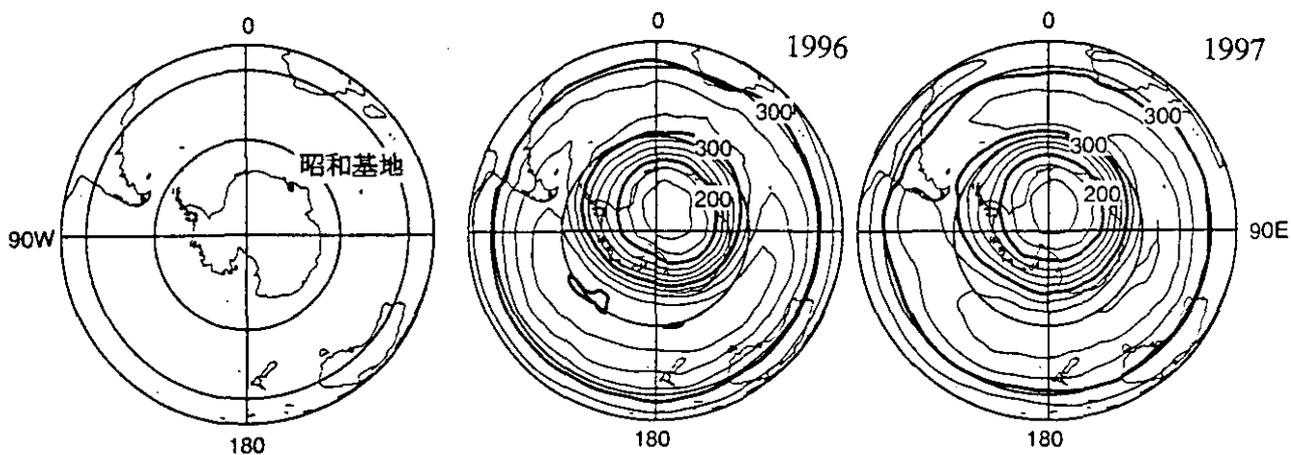


図 2.11 10 月の月平均オゾン全量の南半球分布図 (1996 年、1997 年) (オゾン層観測報告:1997、気象庁より)

等値線は 25m atm-cm 毎。NASA の TOMS データ (Ver.7) をドブソン計による観測値と比較検討の上作成。

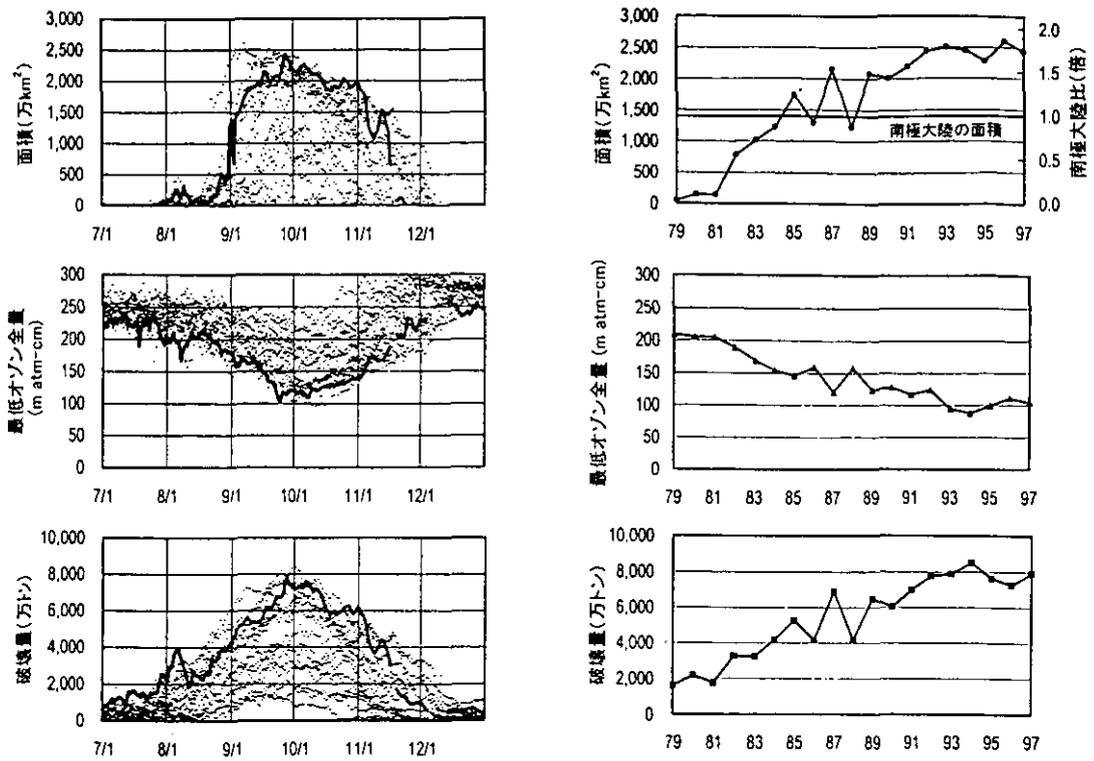


図 2.12 オゾンホール規模の変化 (オゾン層観測報告: 1997, 気象庁より)
 上段からオゾンホールの面積、最低オゾン全量、オゾン破壊量を示す。(右) TOMS の日別値による。太線は 1997 年の値、各点は 1979 ~ 1996 年までの値を示す。(左) 年間極値の経年変化を示す。NASA 提供の TOMS データをドブソン計による観測値と比較検討の上作成。1993 年については一部 TOMS Ver.6 のデータを、1995 年については TOVS の高分解能赤外放射計のデータを基に求めた。

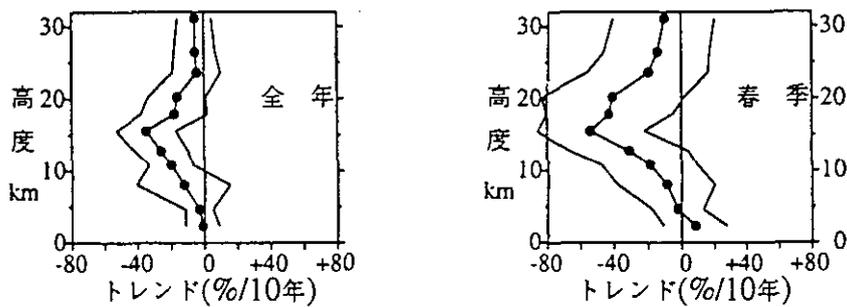


図 2.13 昭和基地におけるオゾン分圧のトレンドの垂直分布 (オゾン層観測報告: 1997, 気象庁より)
 オゾンゾンデ観測による月平均オゾン分圧を基に評価した過去 10 年間 (1988 ~ 1997 年) の高度別オゾントレンド (%/10 年) (●印) と自己回帰を考慮した 95 % 信頼限界 (細い折線)。左が全年、右が春季 (9 ~ 11 月)。

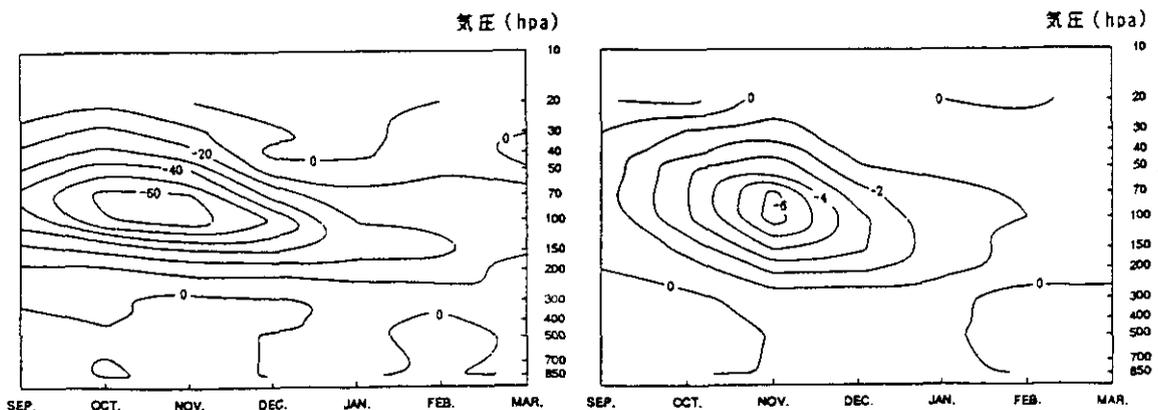


図 2.14 オゾンおよび気温の月別変化傾向の鉛直分布 (オゾン層観測報告: 1997, 気象庁より)
 過去 30 年間 (1968 ~ 1997 年) のオゾン分圧の月別変化傾向 (左、 $\mu\text{mb}/10\text{年}$) と気温の月別変化傾向 (右、 $^{\circ}\text{C}/10\text{年}$)

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(1996年11月から1997年5月)を見ていく。まず、下部成層圏の帯状平均温度場(図2.15)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。一般に、北半球では南半球ほど低温域が晩春まで続かない(北半球ではだいたい3月下旬から4月には夏型循環へ移行する;ちなみに1997/98の冬については3月下旬に夏型循環へ移行している)。1996/97の冬は、北半球冬季に特徴的な成層圏突然昇温も起こっておらず、特に3、4月についていうと、高緯度域では記録的な低温となった。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く必要がある。

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2.16)。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、大昇温現象にもなって起こる西風から東風への反転は観測されない。記録的な低温とあいまって、この冬は非常に穏やかな(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。しかし、南半球と比べると、夏型循環への移行は1ヵ月ほど早い。1996/97の北半球成層圏循環の特徴、およびそれにもなう北極域オゾンホール形成については、*Geophysical Research Letters* 1997, November 15 issue にいくつか関連した論文があるので参照されたい。

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、それでもこの緯度帯で200K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2.17)。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2.18)。

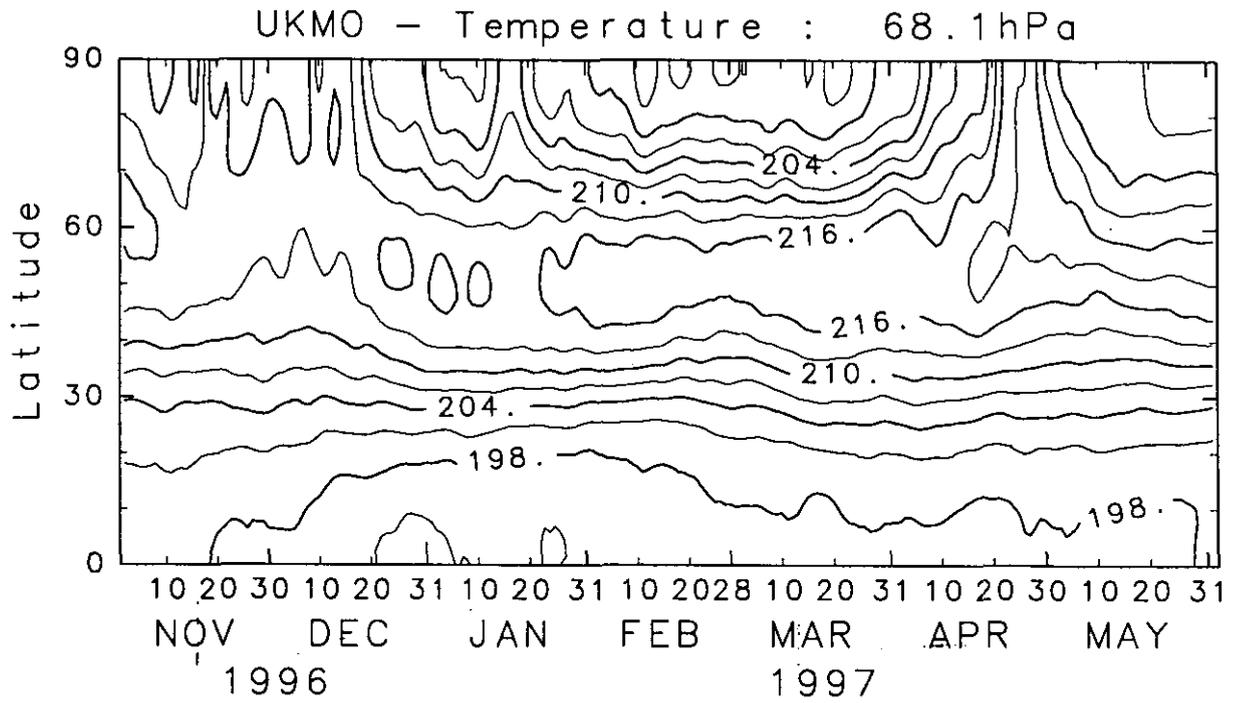


図 2.15 図 2.1 と同じ. ただし 1996 年 11 月から 1997 年 5 月の北半球における図.

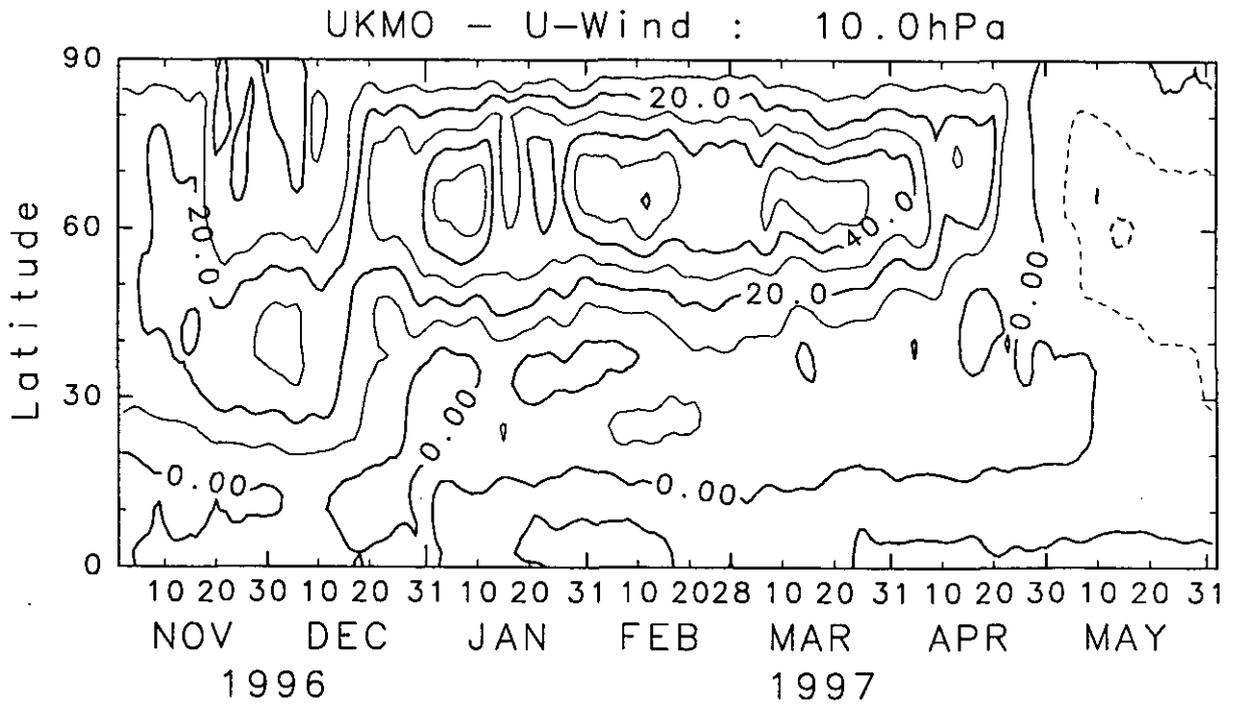


図 2.16 図 2.3 と同じ. ただし 1996 年 11 月から 1997 年 5 月の北半球における図.

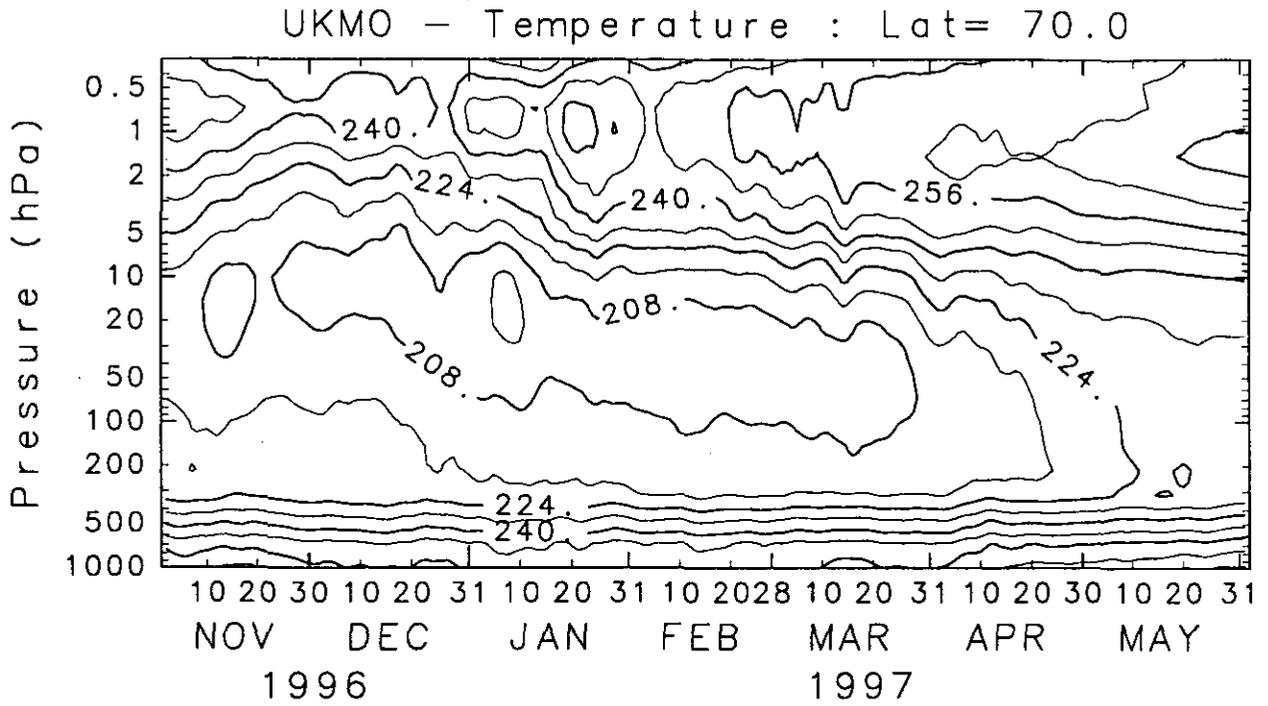


図 2.17 図 2.5 と同じ. ただし 1996 年 11 月から 1997 年 5 月の北緯 70 度における図.

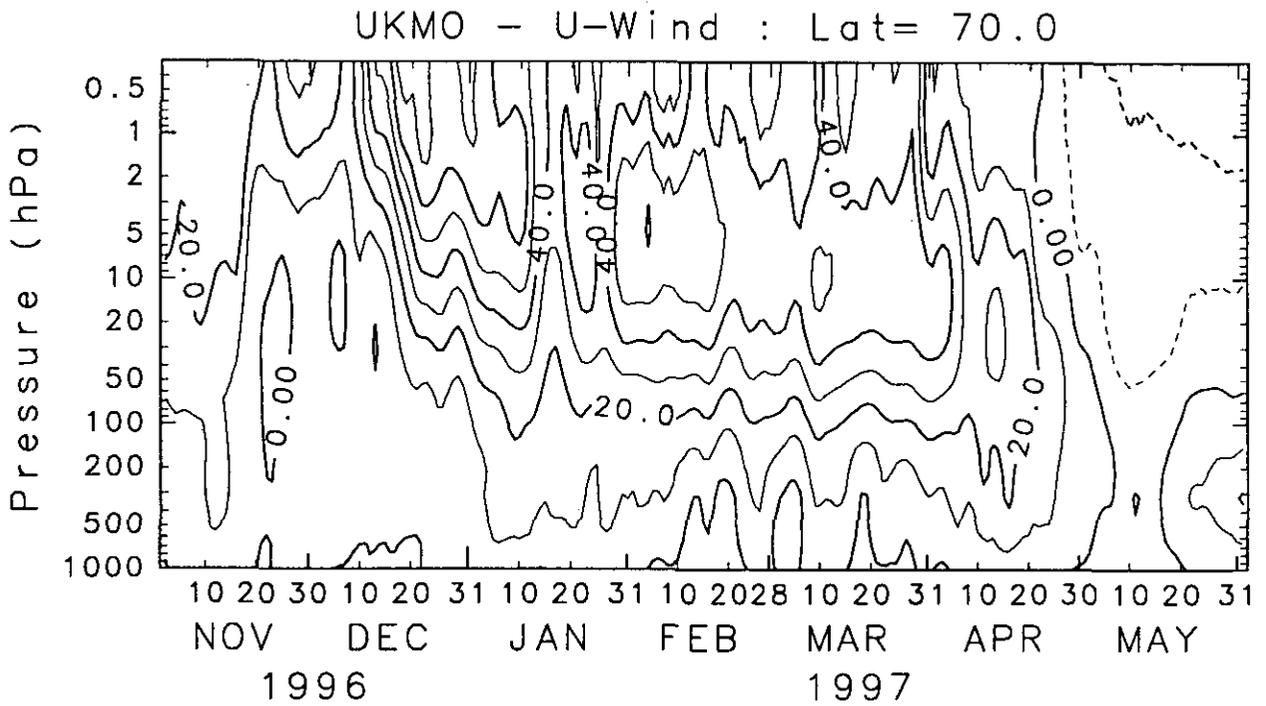


図 2.18 図 2.7 と同じ. ただし 1996 年 11 月から 1997 年 5 月の北緯 70 度における図.

2.2.2 オゾン層の状況

1997/1998 年の冬季～春季の北半球のオゾン層の状況は、以前の 3 年間と大きく異なっていた。1994/1995 年、1995/1996 年、1996/1997 年の 3 年間は、極渦が安定して存在し、気温が極域成層圏雲の閾値より低い状態が 2 カ月以上続いた。それに対して、1997/1998 年には、極渦が不安定で気温も高かった。図 2.18 に 1994/1995 年以降 4 年間の冬季～春季の北半球の最低気温の推移を示す。他の年には約 2.5 カ月にわたって極域成層圏雲が出来ていたと見られるのに対し、1997/1998 年には極域成層圏雲が出来る気温にはなるものの長続きしなかった。しかし、12 月 2 日から 23 日の間、30hPa の最低気温は 190K 以下であり、12 月 16 日には最低気温は 183K に達した。最低気温の位置は極渦のエッジ付近であることが多かった。しかし、下部成層圏では極渦は十分に発達せず、高度 18km 付近では最低気温が 195K 以下に達したのは数日に過ぎなかった。

全体に気温が高いことを反映して、1997/1998 年の冬季には北半球高緯度のオゾン全量は高かった。オゾン全量の最高値は 1998 年 1 月 4 日までに 500DU に達し、4 月の終わりまで 500DU 以下になることはなかった。4 月 4 日までの間、北緯 45° 以北の 3 分の 2 でオゾン全量が 400DU を越え、9 分の 2 で 500DU を越えていた。極渦内外のオゾン全量は気候値に近かった。しかしながら、オゾンゾンデとトラジェクトリーを用いたオゾン破壊量の評価 (MATCH) の予備的な結果 (von der Garten, AWI, Germany) によると、極渦内の高度 18 ~ 20km で 20 ~ 30% のオゾン破壊があったとされている。また、可視分光計 SAOZ の結果 (Goutail, CNRS-SA, France) によると、極渦内部のオゾン全量は 20 % 減少したとのことである。輸送の効果によってオゾン全量が平年値より高くなっていたため、オゾン全量が平年値程度になったと考えられる。

昨年と比較すると、極渦の安定性、オゾン破壊量共に大きく異なる。オゾン層の将来予測を確度の高いものにするためには、極渦の安定性や持続期間、極渦内の気温が異なった条件における大気微量成分の高度分布を観測し、モデル計算結果と比較することが必要である。ILAS II の観測結果が期待される。

Minimum Temperature at 50 hPa in '94-'98 winter (> 50N)

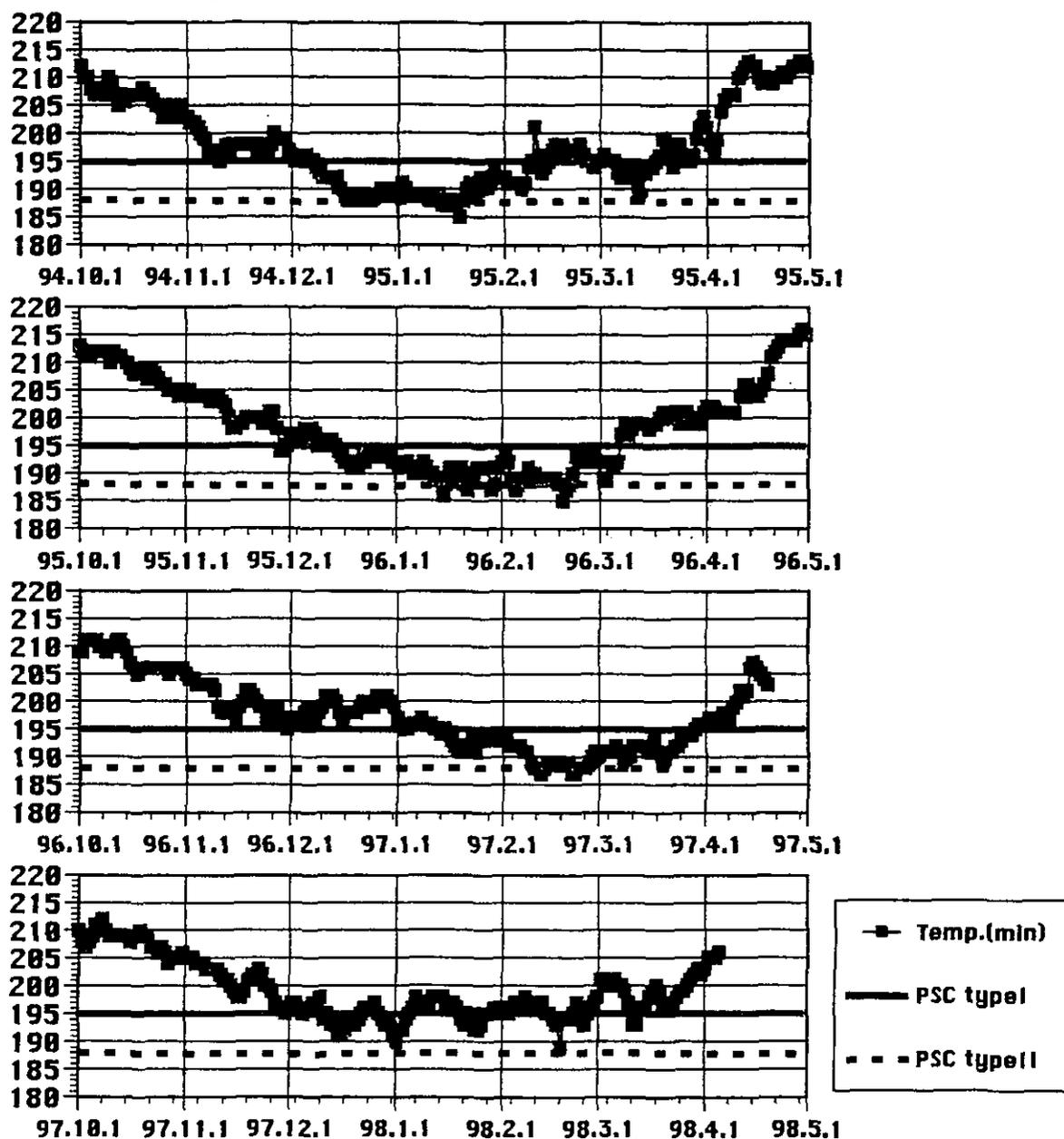


図2.18 北半球 50hPa 気圧面（高度約 20km に相当）の北緯 50 度以北の最低気温の推移。
 上から、1994/1995 年、1995/1996 年、1996/1997 年、1997/1998 年。195K 以下の気温では P S C
 タイプ I（硝酸三水和物を成分とする極成層圏雲）が生成し、188K 以下では P S C タイプ II
 （氷を成分とする極成層圏雲）が生成する。

第3章 I L A Sプロジェクト

3.1 データ取得・処理・配信状況

3.1.1 データ取得・処理状況

I L A Sが観測を開始し、1997年10月末にデータ処理が本稼働に入ってから1998年5月22日までの期間におけるレベル0データの取得状況およびバージョン3.00のレベル2データの処理状況を表3.1(1)に、1998年7月8日現在のバージョン3.10のレベル2データの処理状況を表3.1(2)に示す。

表3.1(1) 月別データ取得・処理状況 バージョン3.00 (1998年5月22日現在)

年月	NASDAQ 運用 計画	NASDAQ 観測 実績	取得イベント数		レベル0 処理率 (%) (b/a)	正常処理イベント数と (%)			
			DHF受信 (a)	処理完了 (b)		レベル1処理 (c) (c/b)		レベル2処理 (d) (d/b)	
1996.10	67	67	64	64	100.0	41	(64.1)	41	(64.1)
1996.11	835	835	816	816	100.0	668	(81.9)	667	(81.7)
1996.12	875	875	826	826	100.0	712	(86.2)	712	(86.2)
1997.01	878	878	859	859	100.0	662	(77.1)	653	(76.0)
1997.02	793	793	779	779	100.0	672	(86.3)	671	(86.1)
1997.03	881	881	871	871	100.0	765	(87.8)	765	(87.8)
1997.04	855	855	850	850	100.0	721	(84.8)	721	(84.8)
1997.05	881	881	854	854	100.0	742	(86.9)	742	(86.9)
1997.06	827	826	807	807	100.0	672	(83.3)	670	(83.0)
合計	6,892	6,891	6,726	6,726	100.0	5,655	(84.1)	5,642	(83.9)

表3.1(2) 月別データ取得・処理状況 バージョン3.10 (1998年7月8日現在)

年月	処理対象シーン数(a)		処理済みシーン数 (b)	処理率 (%) (b/a)
	NASDAQ再編集データを含む			
1996.10	北半球	34	34	100.0
	南半球	30		
	合計	64		
1996.11	北半球	414	414	100.0
	南半球	402		
	合計	816		
1996.12	北半球	419	419	100.0
	南半球	414		
	合計	833		
1997.01	北半球	435	435	100.0
	南半球	429		
	合計	864		
1997.02	北半球	392	392	100.0
	南半球	388		
	合計	780		
1997.03	北半球	438	438	100.0
	南半球	434		
	合計	872		
1997.04	北半球	425	425	100.0
	南半球	426		
	合計	851		
1997.05	北半球	430	430	100.0
	南半球	426		
	合計	856		
1997.06	北半球	404	404	100.0
	南半球	403		
	合計	807		
合計	北半球	3,391	3,391	100.0
	南半球	3,352		
	合計	6,743		

(1) データ取得状況

NASDAの地球観測センターから送信され、DHFが受信したILASミッションデータ（レベル0）は、NASDAの運用計画による予定イベント数の約97.5%に達しており、そのレベル0処理もほぼ100%完了した。

(2) 解析ソフトウェアのバージョン変更と処理状況

ILASデータ処理・解析のソフトウェアは、1997年8月18日にバージョン2.00からバージョン3.00へと改良され、さらに、同年11月26日にバージョン3.00からバージョン3.10へと改良された。以下にそれぞれの改良点の概要を述べる。

① バージョン3.00の主な改良点

- 1) 可視域信号、赤外域信号のどちらについてもスペクトルデータのデータベースとして、HITRAN 92の代わりにHITRAN 96を用いた。
- 2) 赤外域信号から得られたプロファイルは事前に平滑化を行わずに、リトリーバルプロファイルに適用した。
- 3) バージョン2.00では同位体ガスの寄与が過小評価されていたが、同位体を扱う時に生じるエラーが補正された。

② バージョン3.10の主な改良点

- 1) 接線高度は、酸素分子Aバンドによる吸収スペクトルにおける平均透過率の理論値を観測値と比較することによって得られるが、今回、吸収スペクトルはRブランチの代わりに、よりスペクトルフィッティングが良いPブランチを用いた。
- 2) 手法が初歩的であるため注意を要するが、ガス成分の鉛直分布のリトリーバルにエアロゾルの補正を加えた。
- 3) 可視光の消散係数の計算には、これまでは波長780nmの1要素のみが用いられていたが、波長780nm付近の12要素からなる平均透過率データを用いた。
- 4) 赤外の窓領域のチャンネルから得られるエアロゾル消散係数のリトリーバルについては、高度の上限を30kmにした。

1998年7月8日現在のレベル2データのバージョン別処理状況は表3.1に示すとおり、バージョン3.00については処理不可のデータを除いて作業は終了し、バージョン3.10についてもNASDAの再編集データを含む処理対象シーンすべての処理を終えた。このうち、正常に処理を終了したものはバージョン3.00で83.9%、バージョン3.10で85.6%である。

3.1.2 データ配信状況

1998年7月2日現在、ILASプロジェクトメンバーを対象としたレベル2データの配信状況を、転送方式別（表3.2）、利用者ドメイン別（表3.3）にまとめ、転送方式別ドメイン別利用者数を表3.4に示した。

転送方式にはFTP、WWWによるものがあるが、1998年5月までは、どちらもデータ提供利用を申請し、ID、パスワードの発行を受けた特定ユーザーのみの利用に限られていた。転送方式別のデータ配信状況をみると、FTPによるものは、

1997年10～12月にかけてファイル数、データ量ともに大きかったが12月にピークに達した後は急激に減少し、1998年3月以降はアクセスが1件もない月が見られる。一方、WWWによるものは1997年11月27日に、バージョン3.10のデータがweb上で提供開始されて以来急増した。さらに、1998年6月からILASプロジェクトホームページ上でバージョン3.10で処理されたデータの一般ユーザーに対する提供が開始されたため、6月の配信が非常に多くなっている。

ドメイン別に配信状況を見ると、FTPによるリクエスト数は日本が約4分の3を占め、データ量では日本が4割強、フランスが3割弱を占めている。利用者数は少なく、日本が6名、アメリカ4名、その他の国は1名ずつで、合計14名である。

WWWによるものは、利用者の国籍とアクセスした場所は必ずしも一致しないので注意が必要だが、日本がリクエスト数、データ量ともに大部分を占め、次いでフランス、アメリカ政府機関の利用が多い。利用者数は、日本が19名、ドイツとアメリカが8名ずつ、フランス5名など合計44名であった。配信されたファイルの内訳はバージョン2.00データが21件、バージョン3.00データが525件、バージョン3.10データが236件と、現時点ではバージョン3.00データのリクエストが多い。また、バージョン3.10で処理された気体や気象要素毎のファイルは、それぞれ10～60件のリクエストがあり、582ファイルが配信された。

表3.2 FTP、WWWによる月別データ配信状況

年 月	FTP		WWW		合 計	
	ファイル (%)	データ量(KB) (%)	ファイル (%)	データ量(KB) (%)	ファイル (%)	データ量(KB) (%)
1997年 9月	0 (0.0)	0 (0.0)	177 (12.7)	488 (0.1)	177 (7.0)	488 (0.0)
1997年10月	60 (10.5)	168,909 (11.8)	52 (3.7)	175 (0.0)	112 (4.4)	169,084 (5.2)
1997年11月	180 (31.4)	337,947 (23.6)	63 (4.5)	1,361 (0.3)	243 (9.6)	339,308 (10.3)
1997年12月	219 (38.2)	574,579 (40.1)	164 (11.8)	11,178 (2.7)	383 (15.1)	585,757 (17.9)
1998年 1月	60 (10.5)	95,487 (6.7)	388 (27.9)	16,592 (4.0)	448 (17.7)	112,079 (3.4)
1998年 2月	26 (4.5)	33,651 (2.4)	88 (6.3)	20,800 (5.0)	114 (4.5)	54,451 (1.7)
1998年 3月	0 (0.0)	0 (0.0)	245 (17.6)	71,686 (17.1)	245 (9.7)	71,686 (2.2)
1998年 4月	28 (4.9)	221,013 (15.4)	93 (6.7)	76,565 (18.3)	112 (4.8)	297,579 (9.1)
1998年 5月	0 (0.0)	0 (0.0)	39 (2.8)	42,560 (10.2)	621 (24.1)	1,474,146 (44.9)
1998年 6月	0 (0.0)	0 (0.0)	82 (5.9)	76,642 (42.3)	82 (3.2)	176,642 (5.4)
合 計	573 (100.0)	1,431,587 (100.0)	1,391 (100.0)	418,047 (100.0)	2,537 (100.0)	3,281,220 (100.0)

表3.3 利用者のドメイン別データ配信状況

ドメイン	FTP		WWW		合計	
	ファイル (%)	データ量 (KB) (%)	ファイル (%)	データ量 (KB) (%)	ファイル (%)	データ量 (KB) (%)
Germany	3 (0.5)	1,660 (0.1)	185 (15.7)	3,580 (0.9)	188 (9.6)	5,241 (0.3)
France	33 (5.8)	388,917 (27.2)	116 (8.2)	55,976 (13.4)	149 (7.6)	444,893 (24.1)
Japan	446 (77.8)	605,408 (42.3)	801 (56.2)	224,199 (53.6)	1,247 (63.5)	829,607 (44.9)
South Korea	20 (3.5)	178,652 (12.5)	25 (0.3)	52,084 (12.5)	45 (2.3)	230,737 (12.5)
New Zealand			2 (0.2)	6 (0.0)	2 (0.1)	6 (0.0)
Sweden			9 (0.8)	23 (0.0)	9 (0.5)	23 (0.0)
United Kingdom			45 (2.9)	33,848 (8.1)	45 (2.3)	33,848 (1.8)
US Educational	25 (4.4)	390 (0.0)	56 (4.5)	17,977 (4.3)	81 (4.1)	18,367 (1.0)
US Government	35 (6.1)	256,028 (17.9)	84 (6.3)	29,975 (7.2)	119 (6.1)	286,003 (15.5)
Russian Federation	6 (1.0)	300 (0.0)			6 (0.3)	300 (0.0)
Unresolved	5 (0.9)	230 (0.0)	68 (5.1)	379 (0.1)	73 (3.7)	610 (0.0)
合計	573 (100.0)	1,431,586 (100.0)	1,391 (100.0)	418,047 (100.0)	1,964 (100.0)	1,849,634 (100.0)

表3.4 転送方式別ドメイン別利用者数

ドメイン	FTP	WWW
Germany	1	8
France	1	5
Japan	6	19
South Korea	1	1
US Educational	1	4
US Government	3	4
New Zealand		1
Sweden		1
Russian Federation	1	
Unresolved		2
合計	14	44

3.2 Correlative Measurement Data Base (CMD B)

3.2.1 CMD Bの構築

CMD Bは、I L A S 検証実験データを収集・保存したデータベースで、I L A S 研究者を対象に、研究用としての検証実験データおよびその他の相関観測データを提供するために構築されたもので、1997年9月に発足した。このデータベースの

基本的なコンセプトは、各研究グループの代表とプロジェクトリーダーの間で取り交わされたMOU (Memorandum of Understanding for Participating in the ILAS Project) に記載されている。CMDDBの管理はプロジェクトリーダーが指名したILASデータマネージャーが行い、提供されたデータは、データ評価委員会によってデータファイルの形式的な面を中心に点検・評価された後、データマネージャーによってCMDDBへの登録を決定される。CMDDBの利用資格は、ILAS MOUの定めるところにより、データを提供した検証実験チームメンバー、検証解析チーフ、およびプロジェクトのスタッフサイエンティストの3カテゴリーに限られていたが、1997年12月からILASサイエンスチームメンバーにも拡大され、さらに1998年4月には、ILAS公募研究(JRA: Joint Research Announcement)のPI (Principal Investigator) に利用資格枠が拡大された。ただし、ILASデータ検証解析以外の科学的検証に使用し、これを公表する際には、当該データ提供者の書面による了解が必要である。

3.2.2 CMDDBの現況

CMDとして登録されているデータは、①コア検証実験データ、②協力実験データである。最新のCMD保管情報は、ILASホームページのCMDDBページ中にCMDDB Archiving Informationとして掲載されている。1998年7月14日現在のデータ登録状況は、表3.5の通りである。また、1998年7月14日現在、CMDDBにアクセスできるメンバーのカテゴリー別人数を表3.6に示す。

表3.5 CMDDBデータの登録件数
(1998年7月14日現在)

	1997年				1998年							登録	
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	計	予定数
コア検証実験	2	5	1	5	3	1	0	1	0	0	1	19	22
協力実験	0	2	1	2	1	0	3	0	0	0	0	9	19
合計	2	7	2	7	4	1	3	1	0	0	1	28	41

表3.6 CMDDBにアクセスできるメンバーのカテゴリー別人数*

プロジェクトリーダー	1
検証実験チームメンバー	19
検証解析チーフ	5
スタッフサイエンティスト	3
サイエンスチームメンバー	8
JRA-PI	13
共同研究者 (Co-IまたはCo-PI)	8
合計	57

*メンバーのカテゴリーが重複している場合は、プロジェクトリーダー、スタッフサイエンティスト、検証解析チーフ、検証実験チームメンバー、サイエンスチームメンバーの順に優先してカウントした。

1996~1997年度に実施した I L A S 検証実験のうち、1998年7月14日までに C M D B に登録されたコア検証実験の一覧（観測地点、P I、観測機器、観測要素）を表3.7に、協力実験の一覧を表3.8に示す。

表3.7 C M D B に登録されている I L A S コア検証実験データの一覧
(1998年7月14日現在)

登録日	P I	観測機器	観測点	観測項目
【南極域】				
97/12/18	Wood	Interferometer	Arrival Heights	Column HNO ₃ , HCl
97/12/18	Wood	UV/Vis Spectrometer	Arrival Heights	NO ₂ column densities and vertical column densities
【北極域】				
97/09/12	Deshler	Ozonsonde & UW-optical counter	Andoya & Kiruna	O ₃ , Aerosols, etc
97/09/12	Kanzawa	Ozonsonde	Kiruna	O ₃ , T, etc
97/10/07	Ovarlez	ELHYSA	Kiruna	Aerosols size distribution
97/10/07	Ovarlez	Frostpoint Hygrometer	Kiruna	H ₂ O, T
97/10/21	Brognez	RADIBAL	Kiruna	Aerosols
97/10/21	Schiller	FISH	Kiruna	H ₂ O
97/10/24	Renard	AMON Spectrometer	Kiruna	O ₃ , NO ₂ , Aerosols
97/12/04	Engel	Whole air samplers	Kiruna	N ₂ O, CFC11, CFC12, T, etc
97/12/04	Pommereau	SAOZ	Kiruna	O ₃ , NO ₂ , P, T, etc
97/12/18	Kondo	Chemiluminescence detectetr	Kiruna	O ₃ , NO _y , Aerosols, T
98/01/09	Camy-Peyret	LPMA	Kiruna	O ₃ , CH ₄ , H ₂ O, NO ₂ , N ₂ O, etc
*98/01/09	Oelhaf	MIPAS	Kiruna	CH ₄ , H ₂ O, HNO ₃ , NO ₂ , N ₂ O
98/01/23	Nakazawa	Cryogenic sampler	Kiruna	CH ₄ , N ₂ O, CFC11, CFC12
**98/01/23	Iwasaka	Aerosol lidar	Pokerflat	Aerosols
98/04/07	Pfeilsticker	DOAS	Kiruna	O ₃ , NO ₂
98/07/14	Fukunishi	TDLHS	Pokerflat	O ₃ , N ₂ O

*98/04/30、98/05/13 更新
**98/04/28 更新

表3.8 C M D B に登録されている I L A S 協力実験データの一覧
(1998年7月14日現在)

登録日	P I	観測機器	観測点	観測項目
【南極域】				
97/12/10	Gernandt	Ozonsensor Radiosonde	Neumayer	O ₃ , H ₂ O, T, etc
97/12/24	Godin	Lidar	Dumontd'Urville	O ₃ , T, P
98/01/22	Goutail	Ozonsonde	Dumontd'Urville	O ₃ , T
【北極域】				
*98/10/07	Traub	FIRS-2	NW of Fairbanks	O ₃ , H ₂ O, N ₂ O, etc
97/10/21	Toon	MkIV Interferometer	Fairbanks	O ₃ , CH ₄ , H ₂ O, HNO ₃ , NO ₂ , N ₂ O
97/11/12	Margitan	UV Photometer	Fairbanks	O ₃ , P
98/02/10	Thomas	FTIR	Kiruna	Total column O ₃ , HNO ₃ , NO ₂
98/03/13	Hauchecorne	R/M Raman Lidar	ALOMAR	T
98/03/13	Schlager	Chemiluminescene UV detector	Kiruna	O ₃ , NO ₂
93/03/20	Kuellmann	Airborne Submillimeter radiometer	Kiruna	O ₃ , N ₂ O

*98/02/10更新

表3.7、表3.8に記載されている観測機器の略称の内容は以下の通りである。

CLD	Chemiluminescence Detector
CAESR	IR radiometer
ASTRID	Grab Sampler
BONBON, SAKURA	Cryogenic sampler
LPMA, MIPAS-B	FTS
DOAS	Optical absorption spectroscopy
SAOZ	UV-visible solar occultation
ELHYSA	Hygrometer, Aerosol counter
AMON	Star occultation
FISH	Hygrometer
ECC ozonesonde	Small balloon
TDLHS	Tunable Diode Laser Heterodyne Spectrometer

3.2.3 I L A Sプロジェクト大気モデル（参照大気）データベース

このデータベースはCMDBに含まれるものではないが、I L A S観測値の評価に用いられるので、ここでその内容について紹介しておく。

(1)大気モデル（参照大気）作成の目的と内容

I L A Sプロジェクト大気モデル（リアルタイム参照大気）は、処理システム中で自動的に行われるI L A Sデータのデータ質評価のために作成されたものである。また、作成の過程で得られた統計結果などは、科学的研究の支援情報として活用される予定である。このモデルは次の2グループからなる：

- (A) リアルタイムデータ質評価用（リトリバルソフト初期値用）モデル
- (B) 科学目的用モデル（サイエンス参照大気）

また、このモデルは、I L A Sの測定値からリトリバルが計画されているパラメータのうち、次に示す13の項目の気候値から構成され、高度範囲は地表～100km程度までを目指している。

温度、圧力、幾何学的高度、オゾン、水蒸気、メタン、硝酸、二酸化窒素、一酸化二窒素、五酸化二窒素、CFC-11、CFC-12、780nmの可視エアロゾル消散係数

(2)参照大気データベースの構成

①原データファイル

N A S Aの高層大気観測衛星（U A R S ; Upper Atmosphere Research Satellite）の大気微量成分観測センサーであるC L A E S、I S A M S、M L Sのレベル3データ、およびH A L O Eのデータから、I L A Sの測定により抽出しようとしているパラメータを選別し、計算処理用に作成したデータファイル。

②統計値ファイル

センサー別・項目別・緯度帯別の各統計時間幅の中心時点における値（統計値）の時系列ファイル。統計は、各期間、各地域、各高度について行われ、平均値、標準偏差、メディアン、10-、25-、75-、90-%タイル値、最大値、最小値、データ数が求められた。

③各年各月ファイル

UARSの各パラメータは反転周期毎の値（中央の時点の値）なので、これを内挿して求めた各年各月の各統計量高度プロファイルの時系列ファイル。

④リアルタイムデータ質評価用参照値ファイル

ILASの測定項目のデータ質評価に必要な項目（前出13項目）の各月の参照値ファイル。すべての項目が揃う1992年の値を用いているが、ピナツボ山噴火の翌年にあたることから、項目によってはその影響が現れているものがあるため、このファイルの内容はその後の検討結果によっては部分的に入れ替えられることもある。

3.3 観測結果

3.3.1 Weekly Plotの概要

ILASの観測値が得られたほぼ全期間（1996年11月1日～1997年6月30日）について、バージョン3.10で処理した観測データの高度-時間断面（Weekly Plot）を、図3.2（南半球）、図3.3（北半球）に示す。これらはグレースケールで表されているが、DHFではカラー表示で出力することもできる。（例：図3.4）。

Weekly Plotは3週間毎に、ILASの測定位置、英国気象局（UKMO）全球気象データによる気温・渦位、NASAのTOMSによるオゾン全量とともに、ILASの観測によるオゾン（ O_3 ）と硝酸（ HNO_3 ）の濃度、および可視域（780nm）のエアロゾル消散係数の変化を示している。

横軸は時間軸で1月1日からの日数が表示されており、ILASデータが測定された順に並んでいる。ADEOSの周回とともにILASの測定位置は地球の自転と反対向きに移動するので太陽に対しては同じ位置が保たれており、ILASから見ると南半球では常に日の入、北半球では常に日の出の状態での測定になる。ADEOSは1日に地球の周りをほぼ14周するため、1日の測定点は、南北両半球の同一緯度帯の円周上に各14地点あり、測定位置はADEOSが地球を一周するごとに約 25° ずつ西へずれる。したがって、Weekly Plotに見られるほぼ1日を周期とした変化は測定位置の経度に伴う変化を意味する。一方、測定緯度は図3.1に示すように太陽の赤緯によってゆるやかに年変化する。南北両半球とも春分、秋分の頃に観測位置が最も高緯度側になるが、南半球の方がより極に近い部分を観測できる。ADEOS位置図では、菱形のマークがILASの測定位置の経度の変化、直線が緯度の変化を示している。菱形のマークがないところでは正常なデータが得られていないため、各項目の時系列ではそれに対応する部分が縦線として白く抜けている。

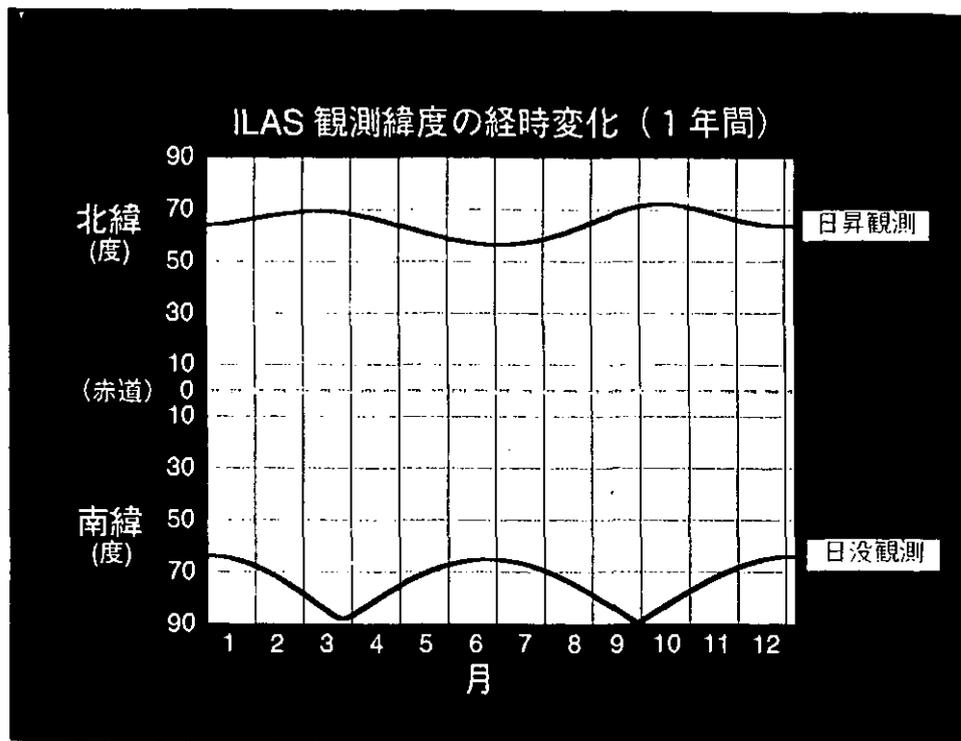


図3.1 ILASの観測位置（緯度）の経時変化（概算値）

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。

気温はUKMOのデータを用いており、高温側を濃く、低温側を薄く示してある。この図では、高温側の気温変化がわかりにくくなっているが、これはオゾンホール形成にかかわる極成層圏雲（PSCs）が195Kを下回る低温時に形成されることを考慮し、低温時の変化を優先した色調配分をしたことによる。

Modified PV (potential vorticity) もUKMOのデータを用いて算出されたもので、極渦の強さを示す指標である。ただし、高度-時間断面での渦位の変化を見るのに適するように通常の渦位に多少の変形を施してある。これは、Lait (1993) が提案したもので、渦位と同様の保存特性は残しながらも、高度に対する依存性が除去されるようにくふうされている。通常の渦位は絶対渦度に温位の気圧による変化率が乗じられているが、成層圏が安定な成層をしていることもあり、この変化率が高度とともに指数関数的に変化するため、渦位も高度に強く依存してしまう。このような性質は、鉛直断面図の考察や異なる温位面間の比較には不都合である。そこで、この問題を解決するために、通常の渦位に $(\theta/\theta_0)^{-3/2}$ (ここでは、 $\theta_0 = 250\text{K}$) という簡単な無次元のスケールリングファクターを乗じたものがModified PVである。

TOMS Dataは、ADEOSに搭載されたNASAのTOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer、図1.1参照)により測定されたオゾン全量の値で、DU (ドブソン単位) で示されている。

オゾン、硝酸、エアロゾル消散係数は、それぞれILASによって測定されたものである。エアロゾル消散係数は赤外域と可視域のものがあるが、ここでは可視域 (波長780nm) の消散係数を示した。消散係数は、光が大気層を1km進む間にエアロゾルの主にミー散乱によって減衰する度合いを表し、値が1のとき、当初の光の強度が $1/e$ に減衰することを意味する。

3.3.2 南半球

前述したように、横軸は測定位置の経度変化を表しているので、各図に見られるほぼ1日周期の変化は、測定時刻によるいわゆる「日変化」ではなく、測定位置の経度変化によるものである。経度方向にこのような規則的な変化が生じるのは、極渦が南極点を中心とする同心円にはなっておらず、位置的に偏っていることに起因する (図2.11参照)。

ILASによる観測期間は南半球では、オゾンホールが出現する春から、夏を経て真冬にいたるまでの季節に対応する。

10月末から12月上旬にかけては、成層圏下部では200Kを下回る低温、Modified PVも高度20km付近を中心に大きな値を示しており、極渦が発達している。また、気温、Modified PVともに日周期の変化が大きく、極渦の輪郭がはっきりしていることが推測される。オゾン全量も日周期の振幅が大きく、極小値 (150~200DU) を示しているのが極渦内、極大値 (300~400DU) を示しているのが極渦外と考えられ、はっきりとしたオゾンホールが出現していることがうかがわれる。オゾンの濃度分布は気温や Modified PVとちょうど逆位相になっており、極渦内外の差は高度25km付近で大きい。濃度のピークは高度30kmを中心に高度20~40kmに見られ、一方、成層圏下部の高度15~20kmでは極めてオゾン濃度が小さい。硝酸の濃度分布はオゾンにかなり良く対応し、オゾンの少ないところでは硝酸も少ない。また、可視のエアロゾル消散係数は、高度15~20kmの下層で値が大きく、200K以下の気温の低い部分に対応していることから、この付近でPSCsが形成されていると考えられる。このような特徴は、季節の進行とともに次第に失われていく。気温の上昇とModified PVの低下が極渦の衰退を示唆し、それとともにオゾン全量は300DU前後で安定して、測定位置による差はほとんど見られなくなる。オゾン濃度は、成層圏下部で次第に濃度が高くなっていく一方で、高度30km付近を中心に見られた顕著なピークは濃度を低下させながら高度40km付近まで移動している。また、硝酸は、高度20~25kmにピークを持ちながら徐々に濃度が回復する傾向にあり、エアロゾル消散係数は、成層圏下部で大きい状態が維持されているが、PSCsは消滅している時期であるから、硫酸の液滴によるものと考えられる。このような状況は、3月末に下部成層圏で気温低下が始まるまで続いた。4月以降は高度20~30kmでの気温低下とともに、高度30km付近を中心とした Modified PVの増大が見られ、次第に極渦が

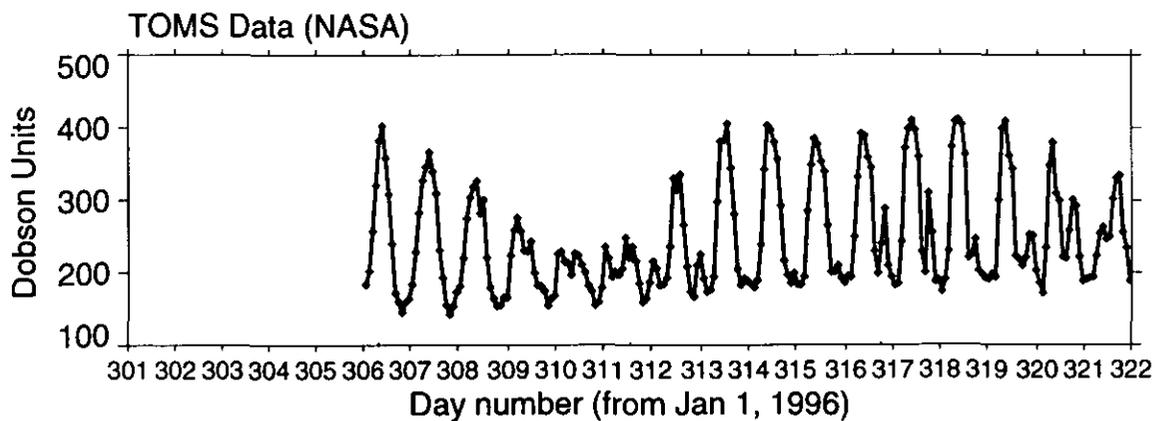
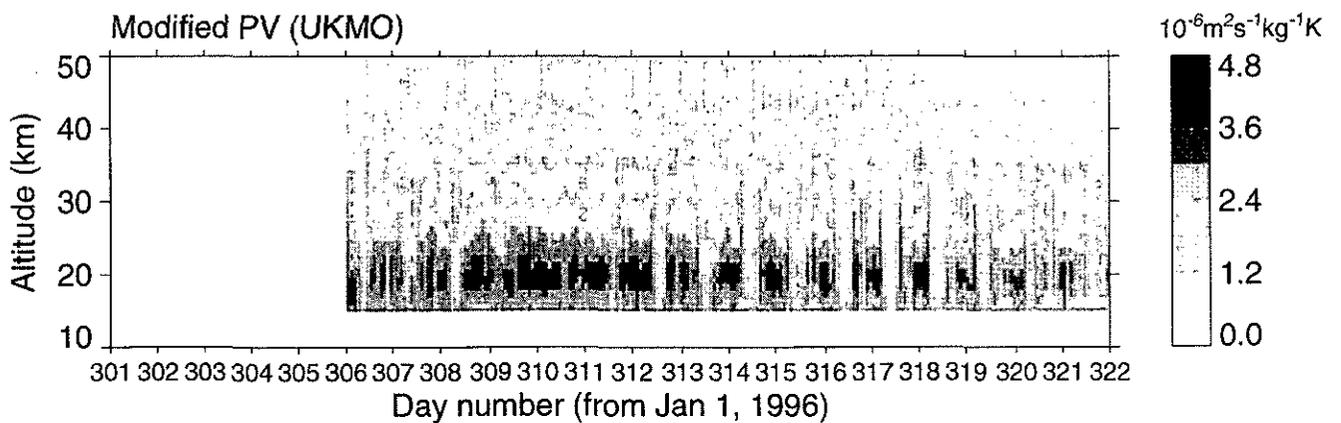
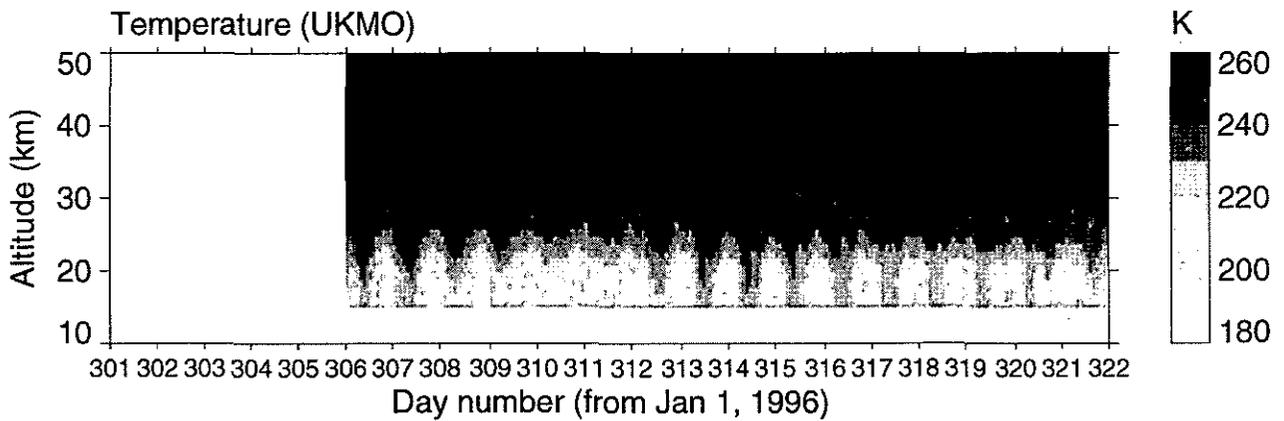
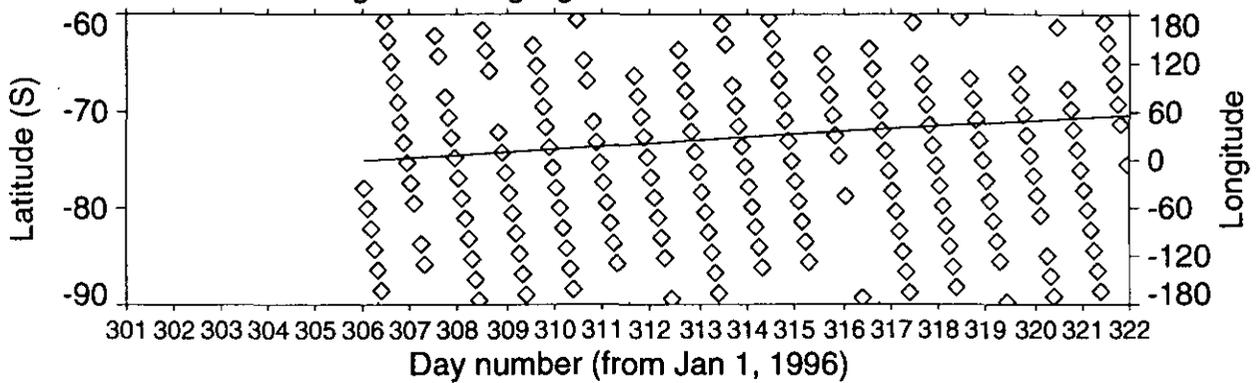
発達していることがわかる。オゾン濃度は、4月下旬に成層圏中層で一時的にかなり増加しているが、その後は鉛直分布のピークもはっきりせず、全体的に濃度が小さい状態が続いた。硝酸濃度は、高度20~25kmを中心に次第に大きくなり、そのまま維持された。エアロゾル消散係数は、成層圏下部で値が大きい状態が続いていたが、5月末ごろから、気温が190Kを下回っている高度20~30km付近に大きな値が見られ、PSCsの形成を示しているものと考えられる。また、エアロゾル消散係数の大きいところは、硝酸濃度が小さい傾向にある。

3.3.3 北半球

ILASによる観測期間は北半球では、極渦が発達する秋から冬、オゾン減少が著しくなる春を経て初夏に至るまでの季節に対応する。

秋から真冬にかけては気温が低く、Modified PVも大きい状態が続く。南半球の同じ季節と比較すると、気温がさほど低くならず、Modified PVも大きくなること、経度による気温・Modified PVの差異が非常に大きく、変化のしかたも南半球に比べると複雑であるという特徴が見られる。オゾン全量(1月末~)は、おおよそ300~450DUと比較的多く、経度方向に変化するが振幅はさほど大きくはない。オゾン、硝酸濃度についても南半球の秋~冬と比較すると、経度方向の変化が著しいが、オゾンは高度20~40kmでかなり濃度が高く、硝酸は同程度である。エアロゾル消散係数は、1月中旬から下旬にかけて高度20~30kmでも大きな値が所により見られ、その高度でModified PVが大きく、気温が190K以下に低下していた時期と一致することから、この時期にPSCsが形成されていたことが示唆される。春分以降は、徐々に気温が上昇していくとともにModified PVも小さくなり、測定位置による差異もなくなっていく。南半球であればオゾンホールが形成される季節であるが、北半球ではオゾン全量、オゾン濃度とも南半球に比較してかなり大きい。ただし、オゾン全量の経度方向の振幅は4月に最も大きく、300~500DUの間を変動しており、輸送によるオゾン量の増加がある一方で、極渦内でのオゾン破壊も進行していることが考えられる。硝酸濃度、エアロゾル消散係数はともに、南半球に比べて大きい傾向にある。

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1996/10/27 - 1996/11/16
 Latitude and longitude along flight track

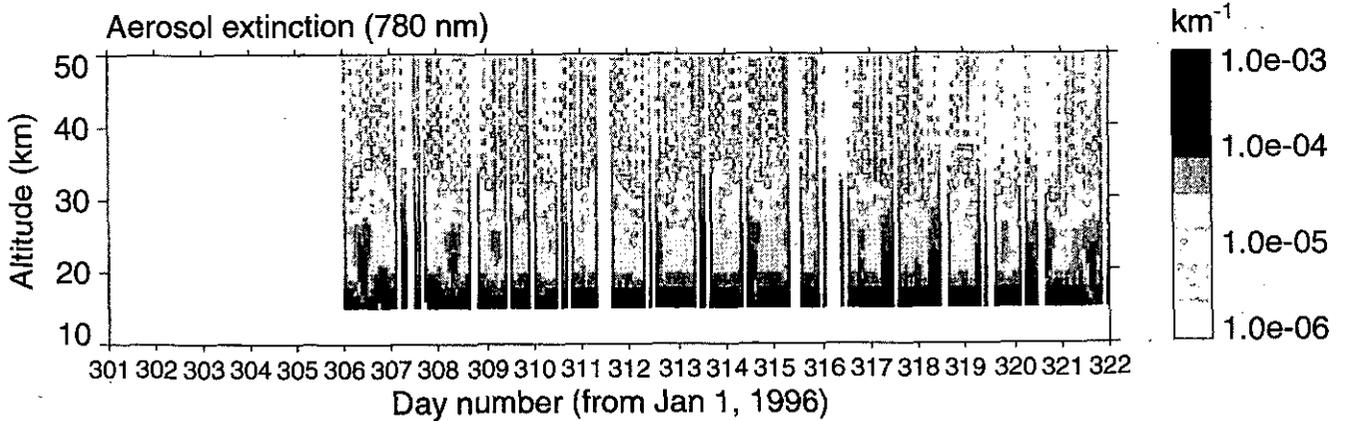
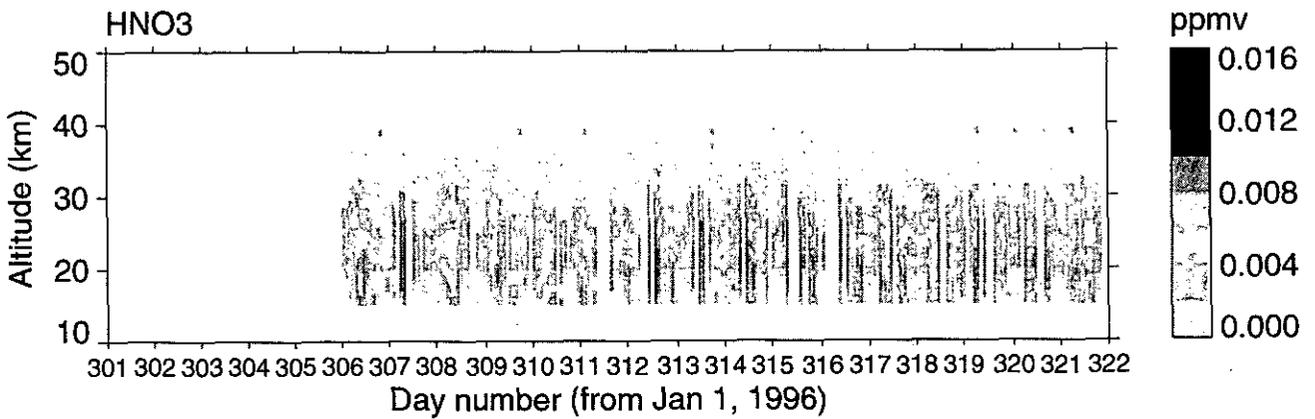
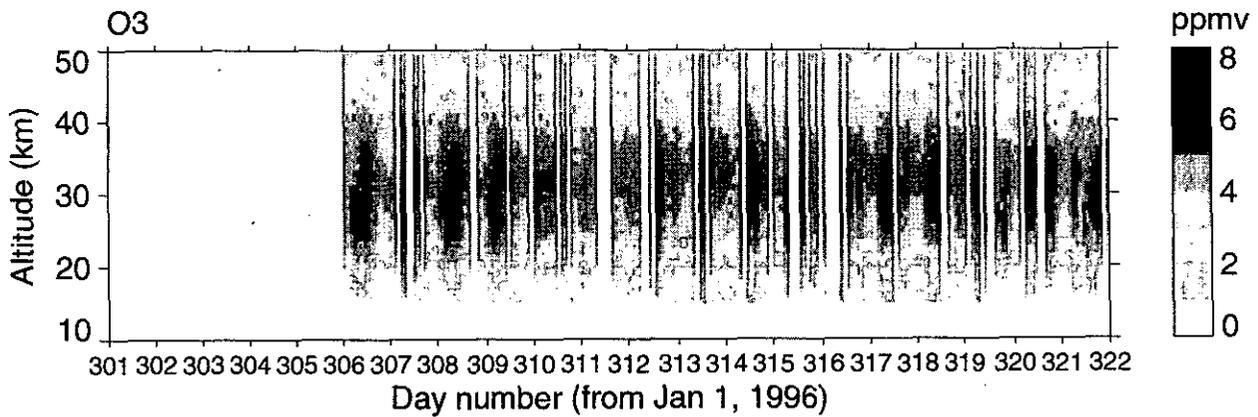
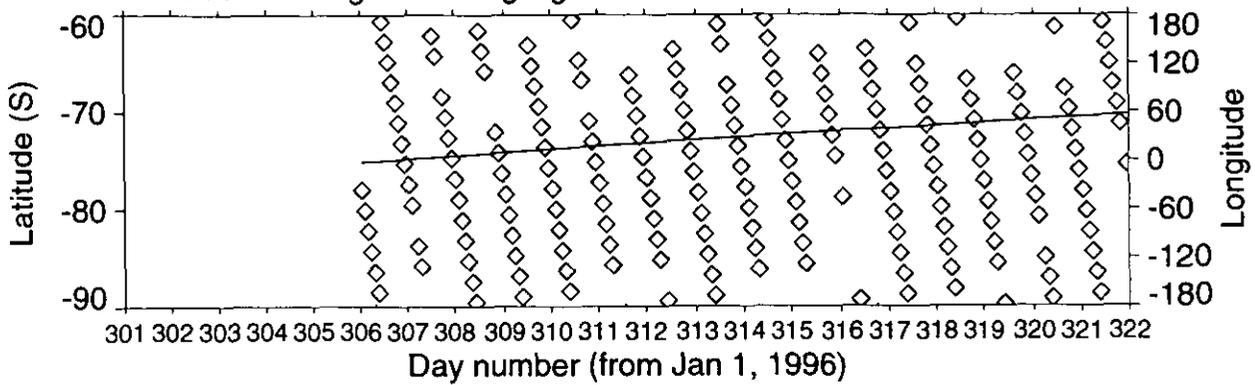


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.2(1a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1996/10/27 - 1996/11/16
 Latitude and longitude along flight track

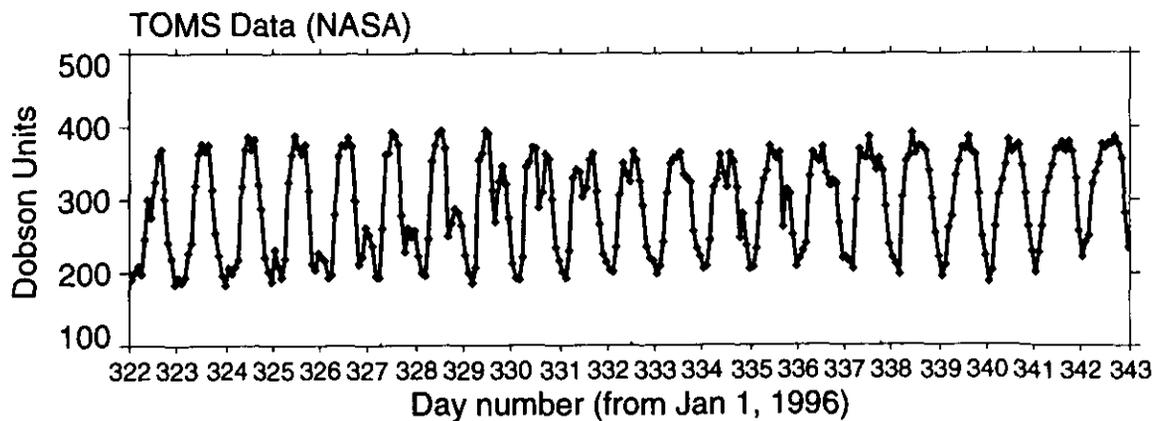
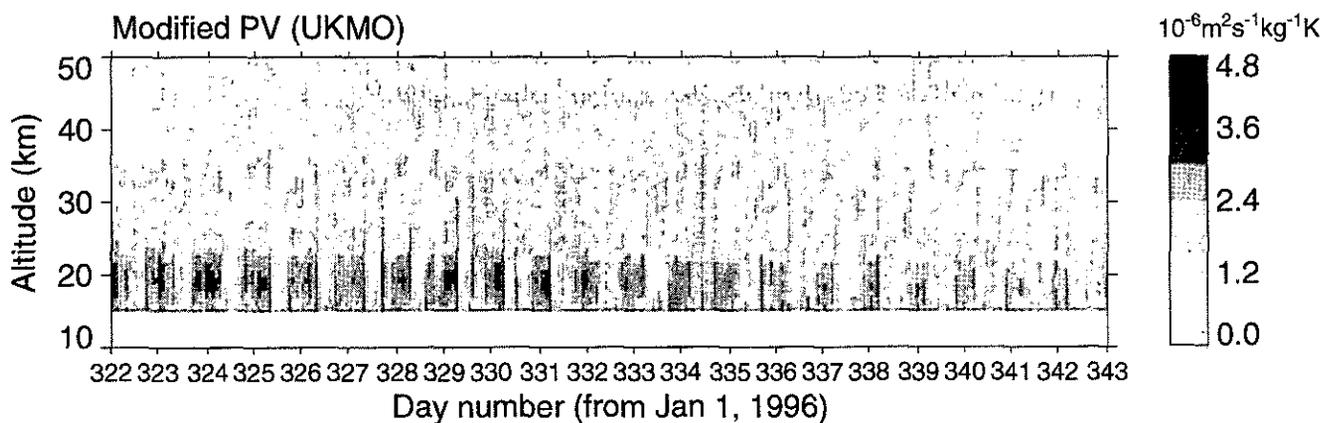
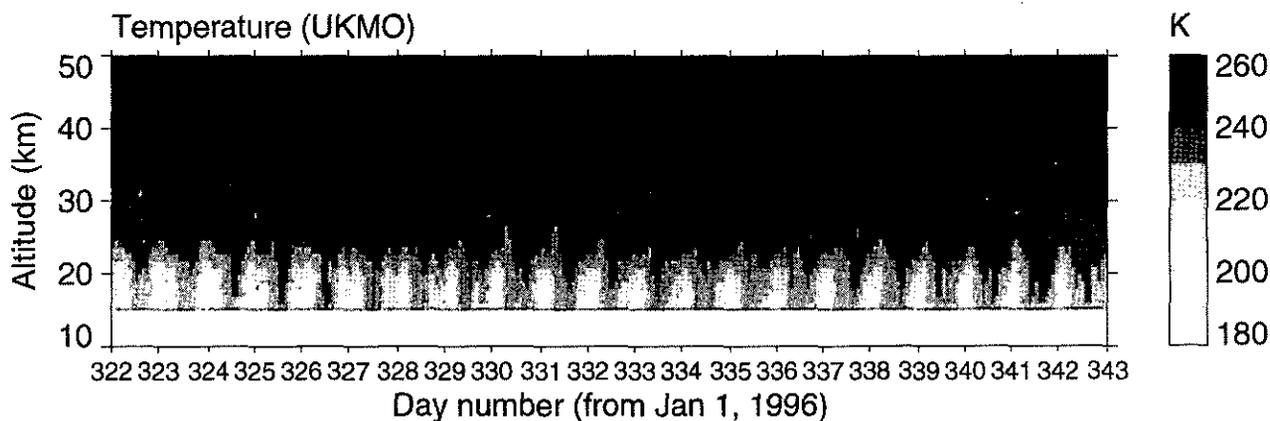
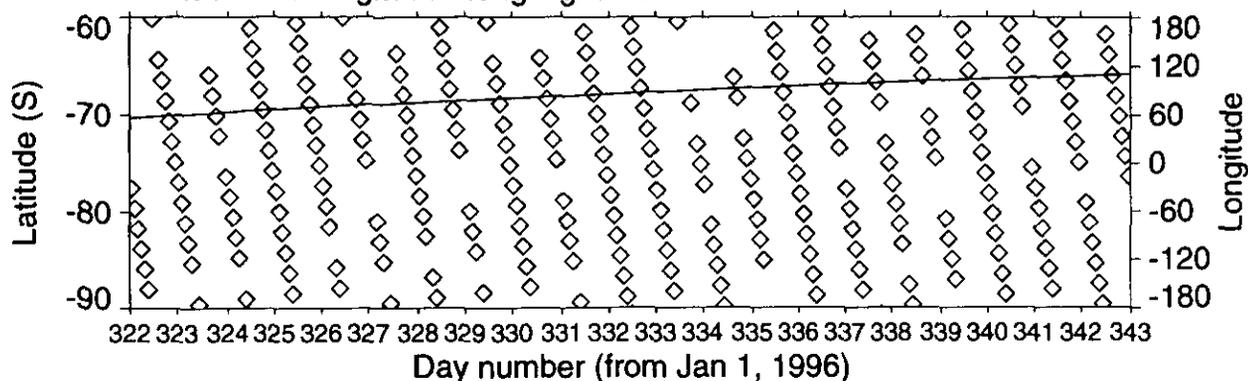


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.2(1b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1996/11/17 - 1996/12/07
 Latitude and longitude along flight track



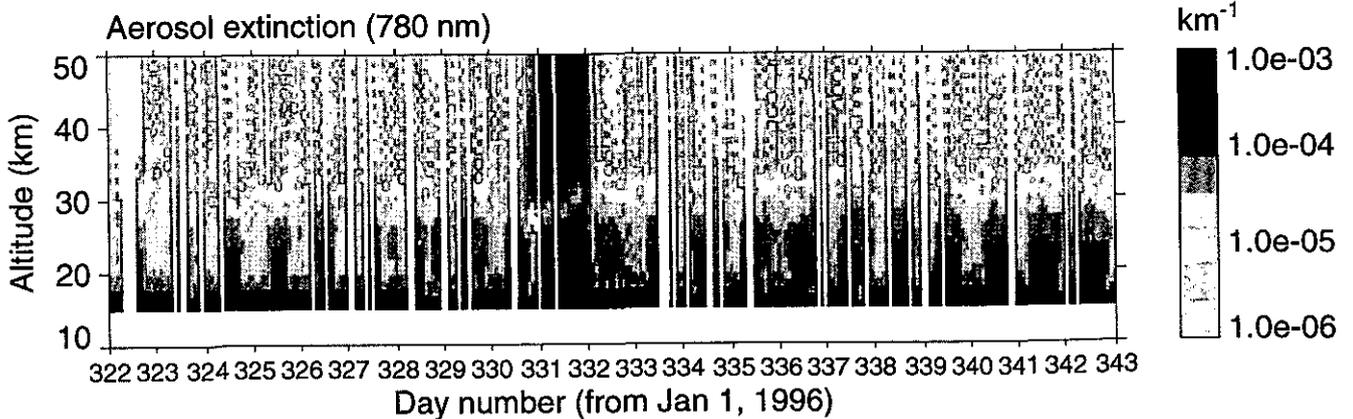
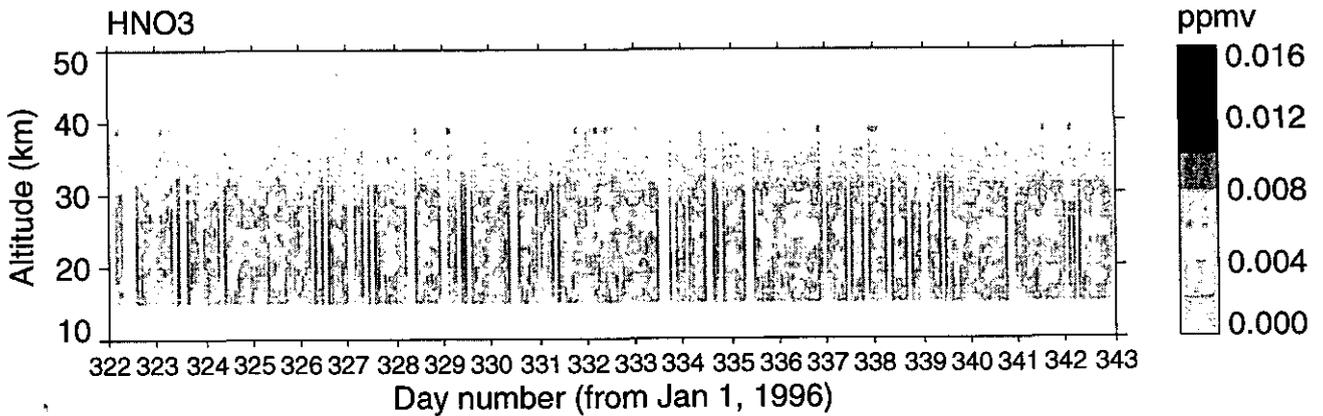
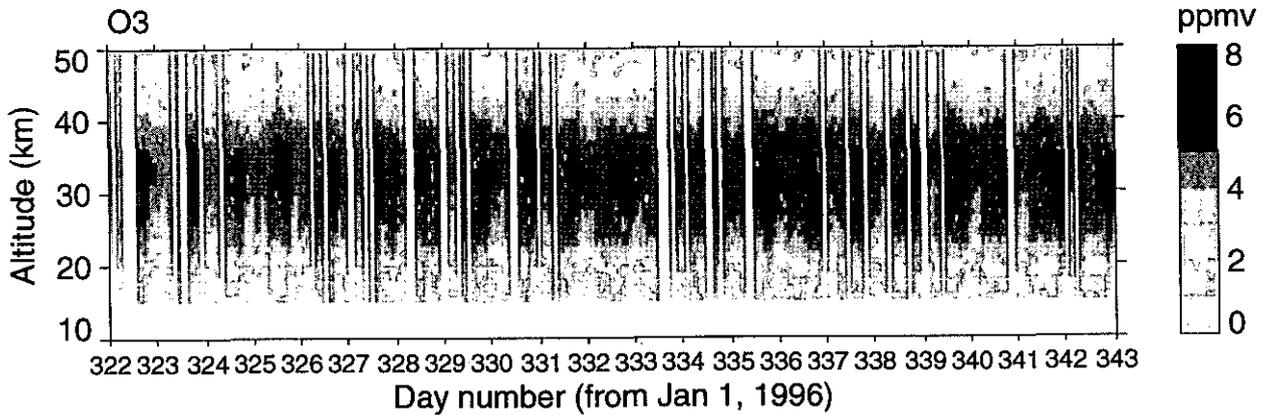
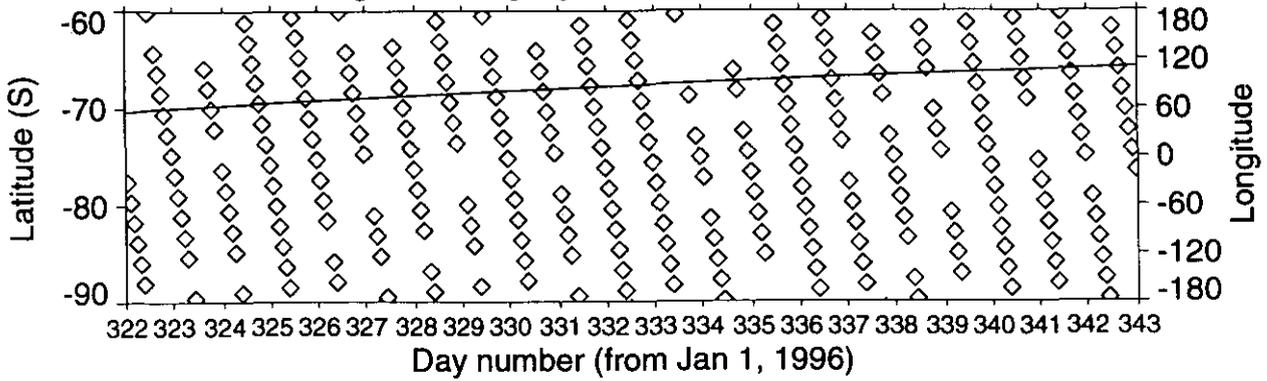
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.2(2a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1996/11/17 - 1996/12/07

Latitude and longitude along flight track

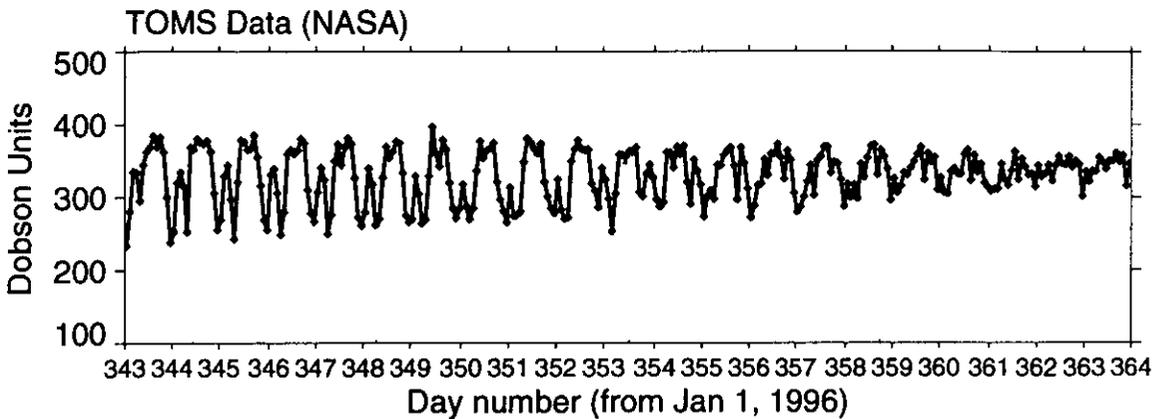
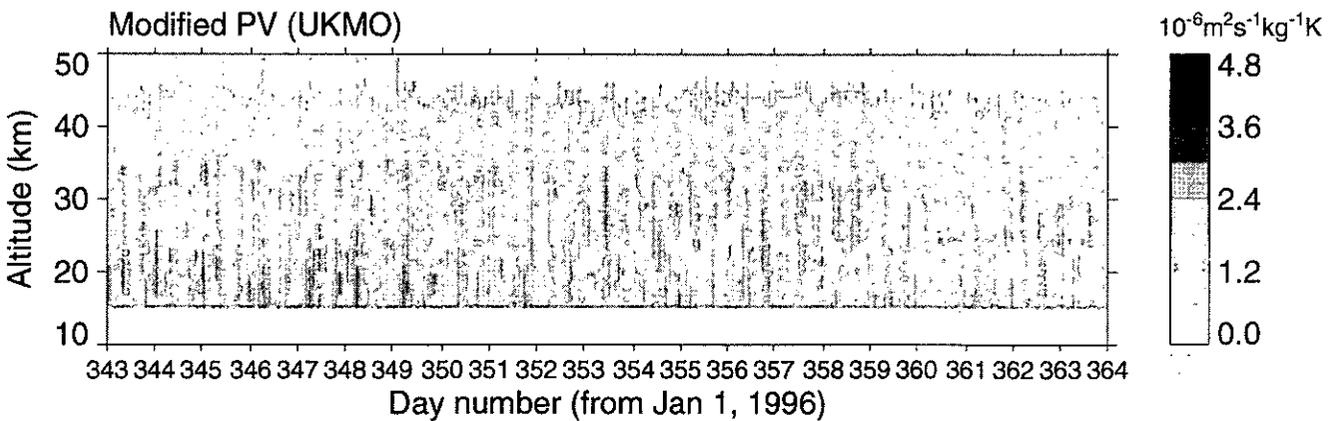
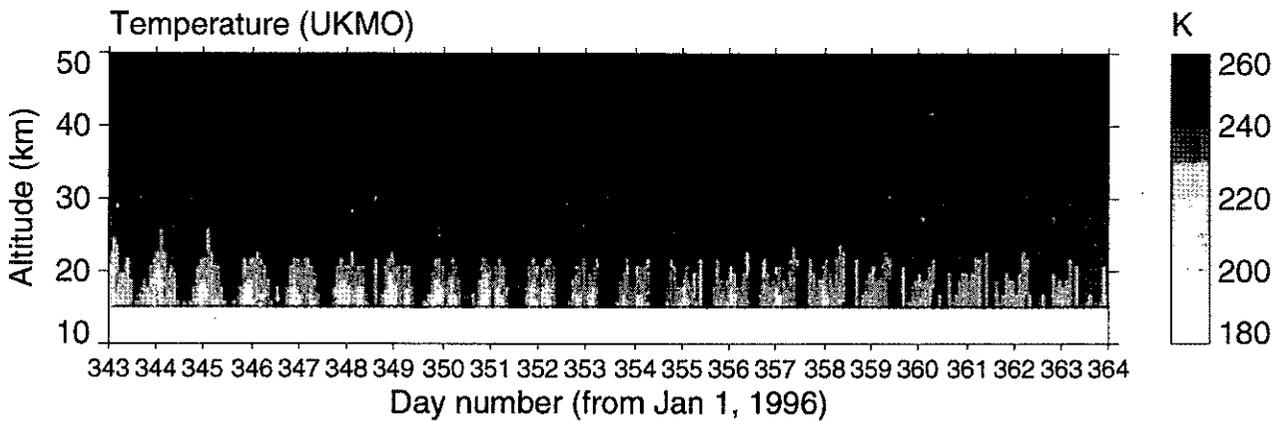
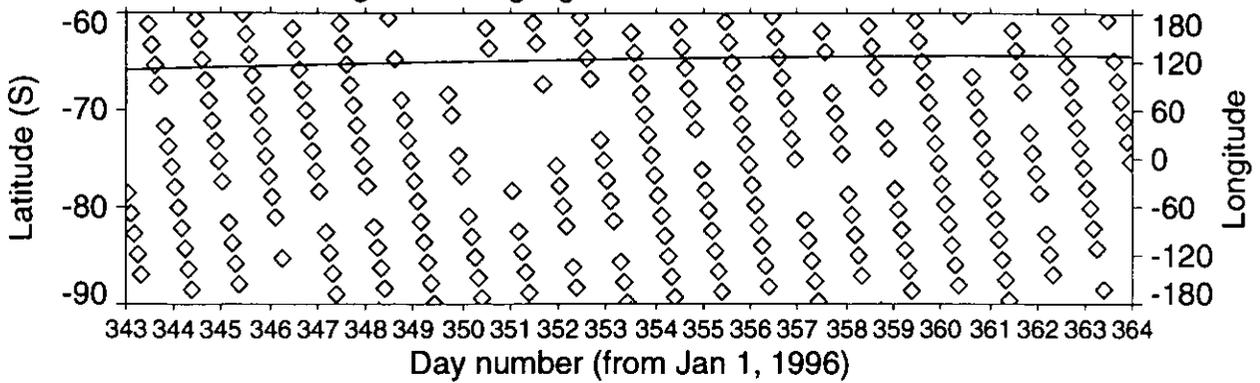


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.2 (2b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1996/12/08 - 1996/12/28
 Latitude and longitude along flight track

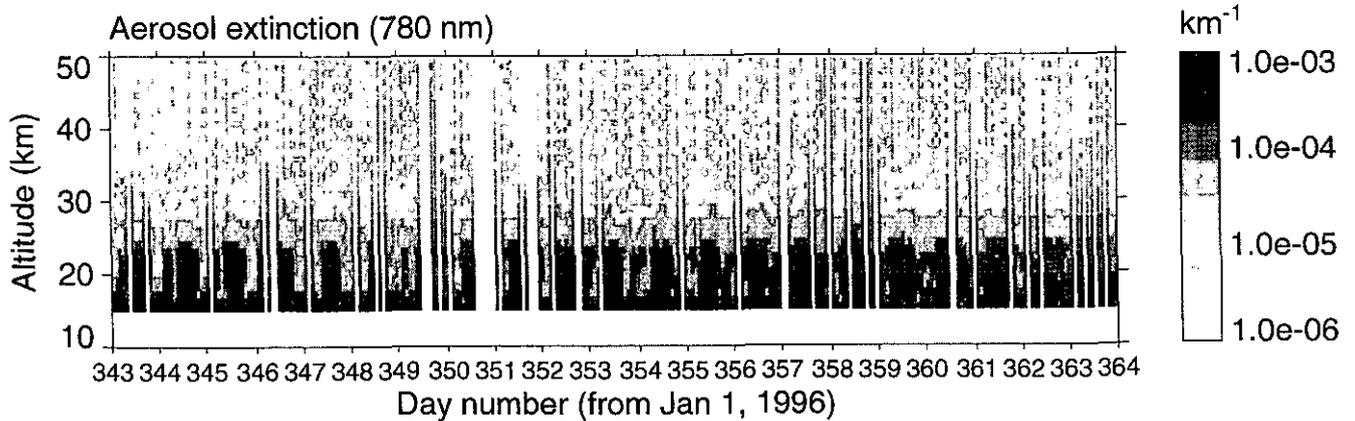
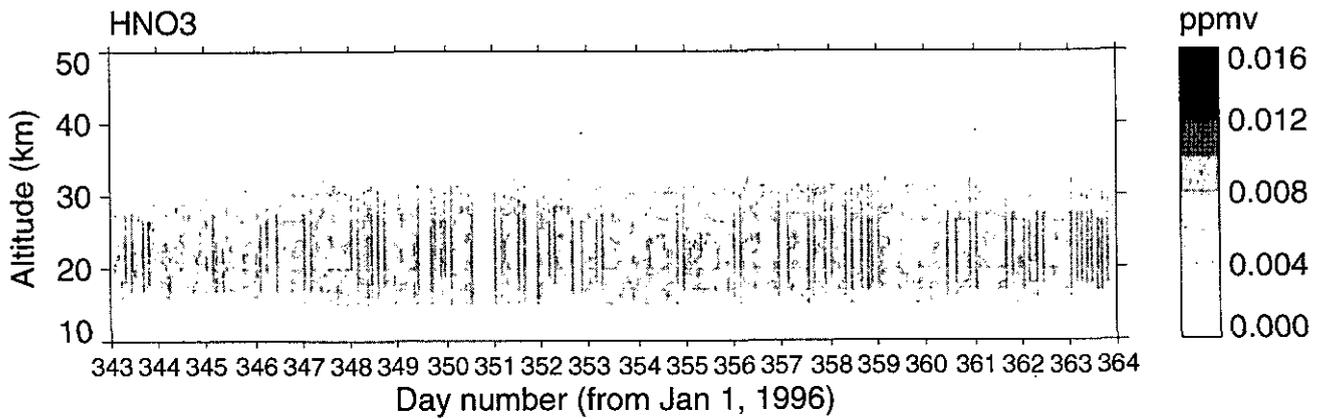
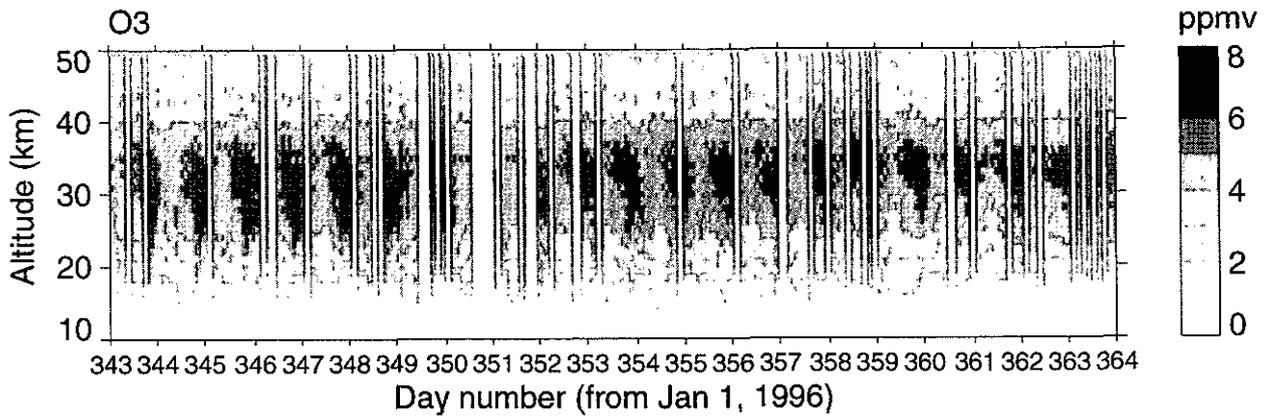
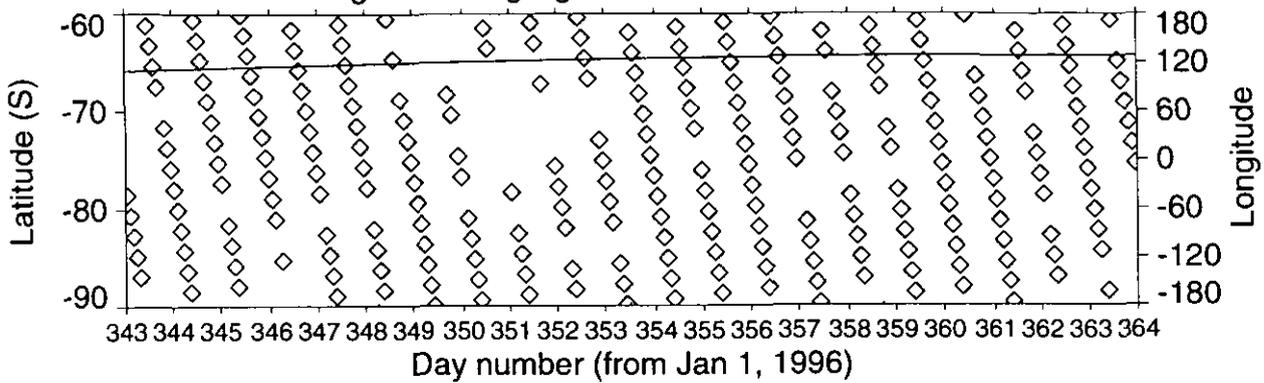


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.2(3a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1996/12/08 - 1996/12/28
 Latitude and longitude along flight track

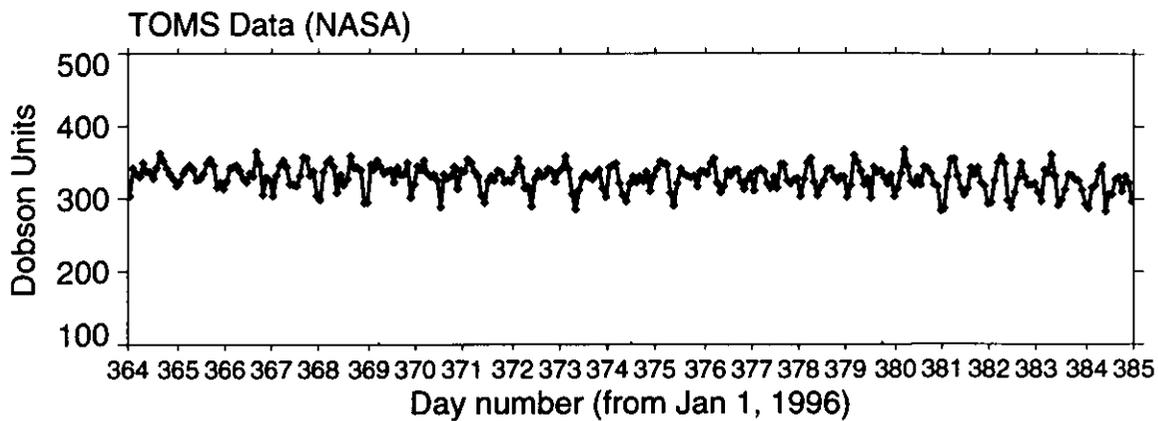
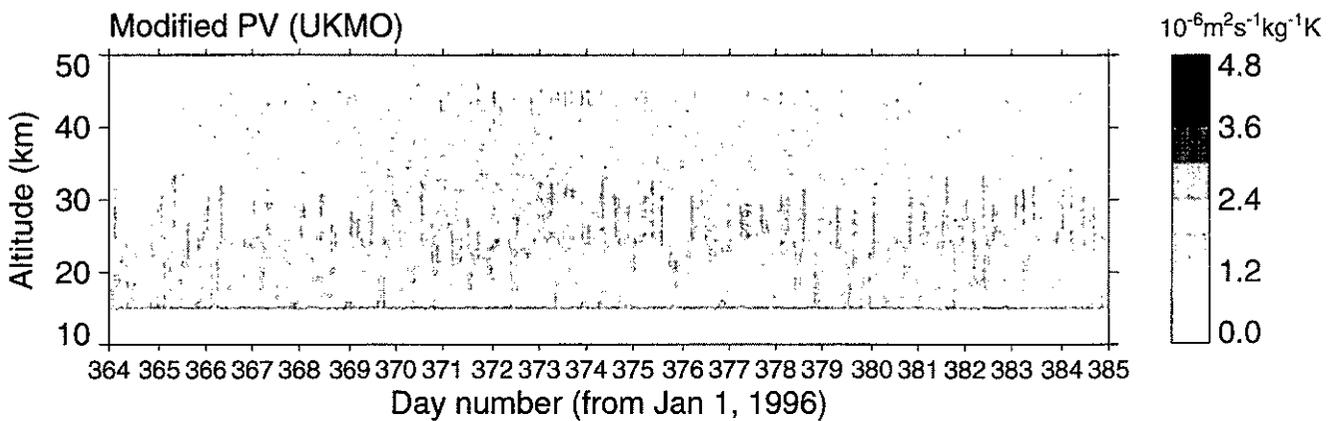
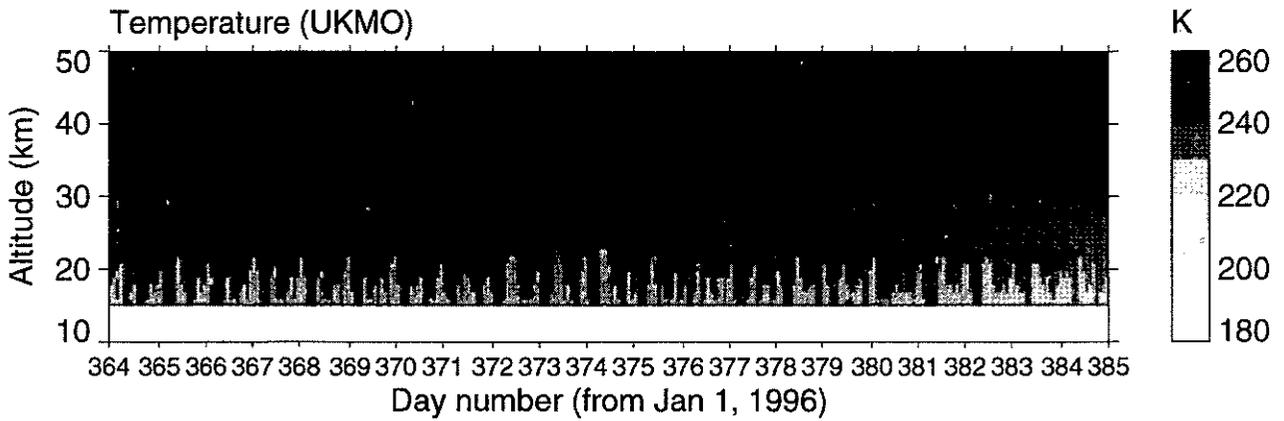
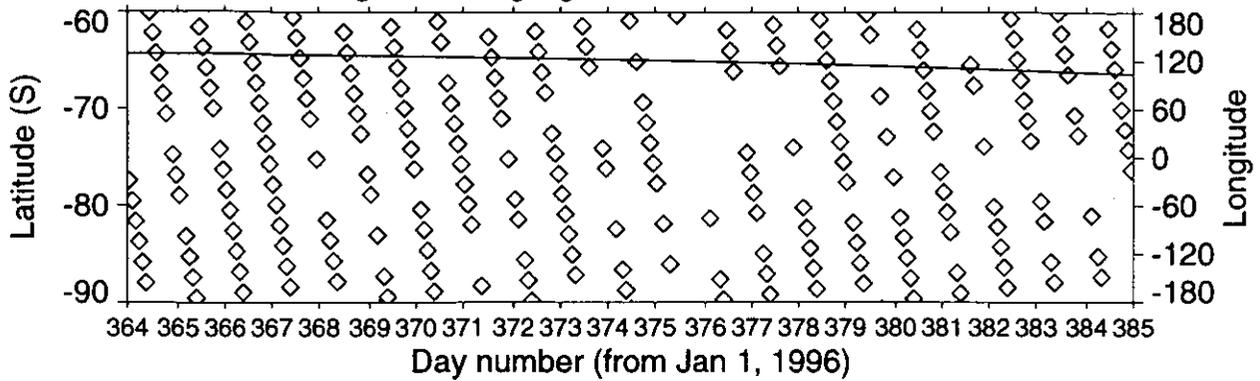


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.2(3b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1996/12/29 - 1997/01/18
 Latitude and longitude along flight track

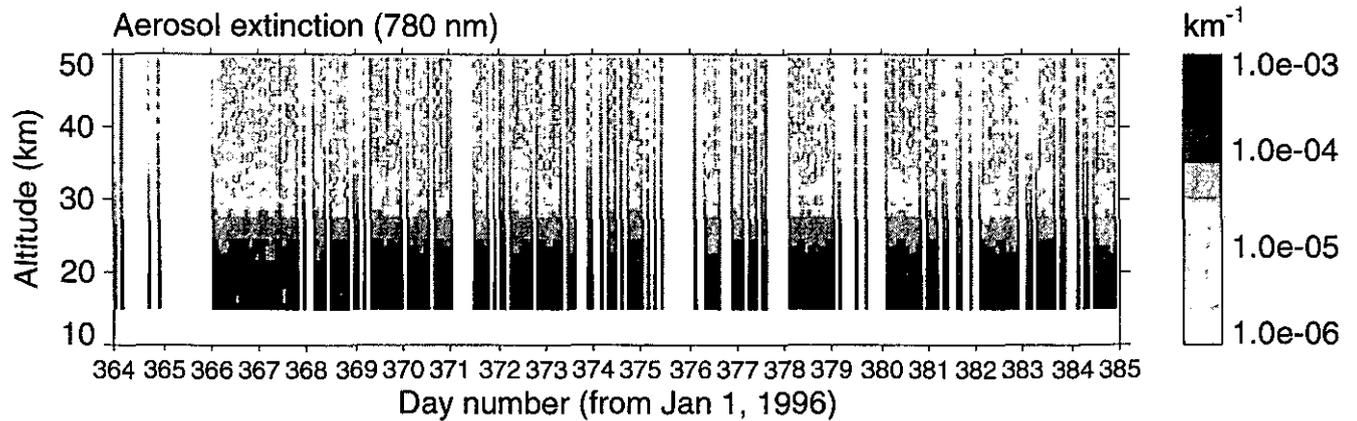
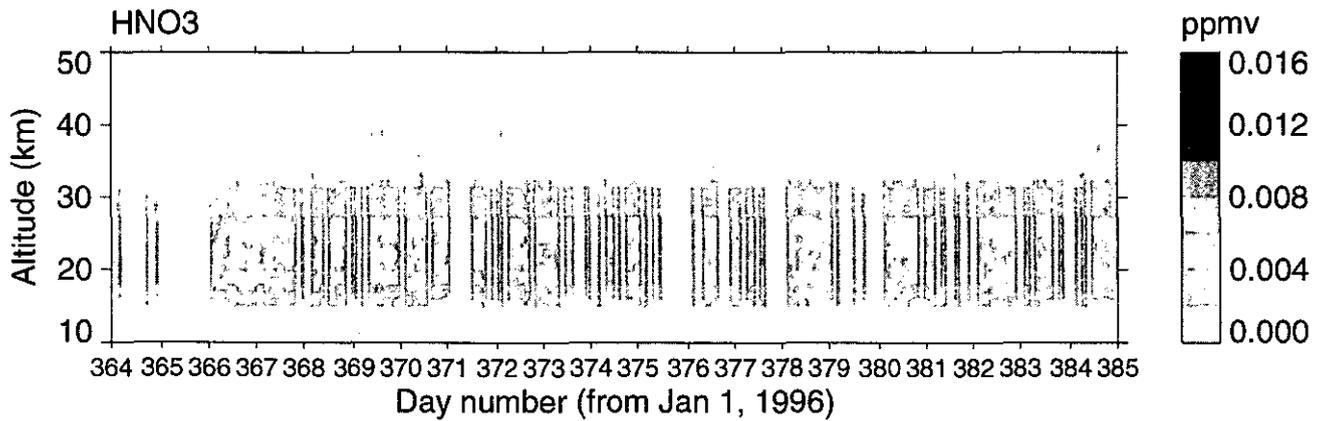
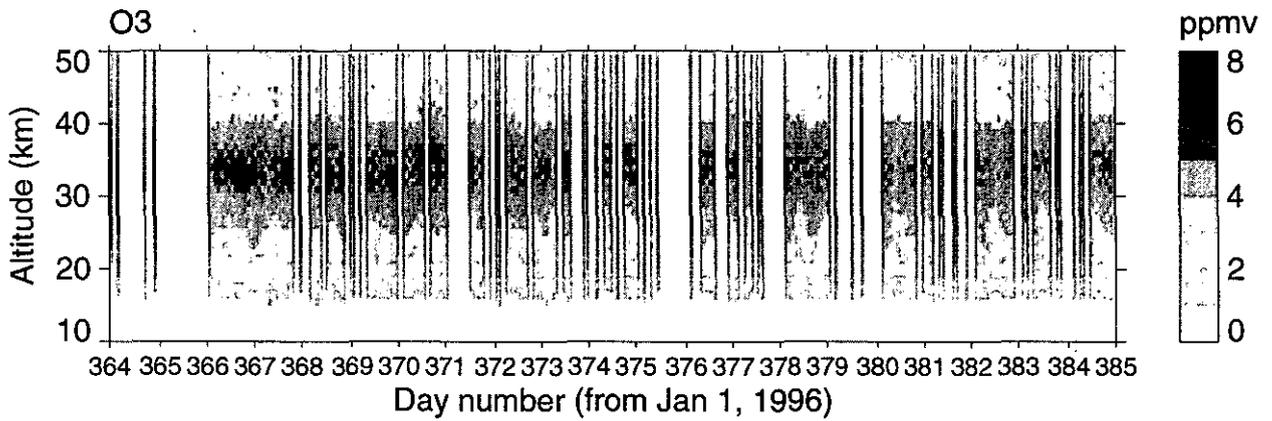
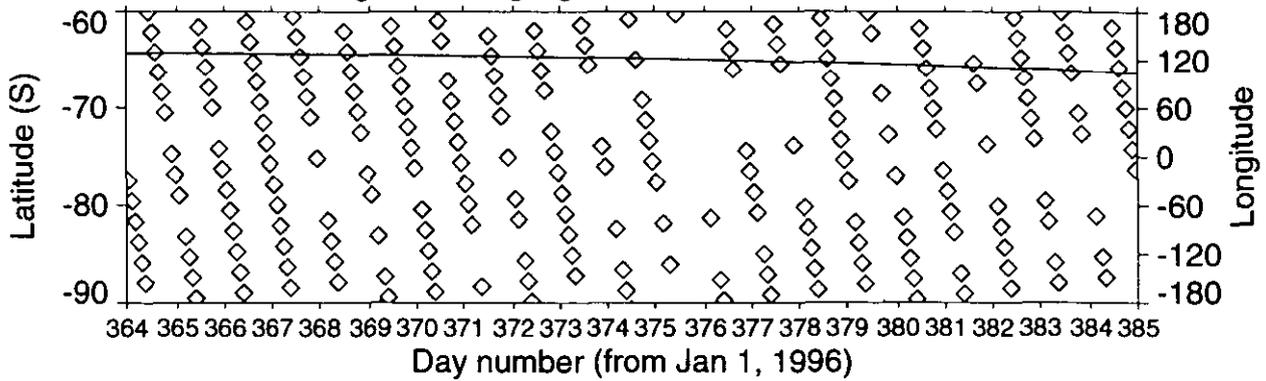


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.2(4a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1996/12/29 - 1997/01/18
 Latitude and longitude along flight track

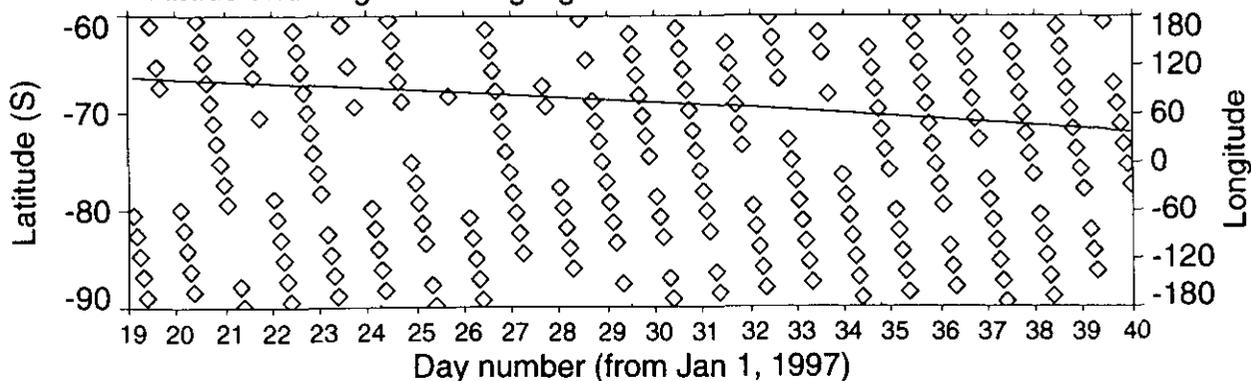


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

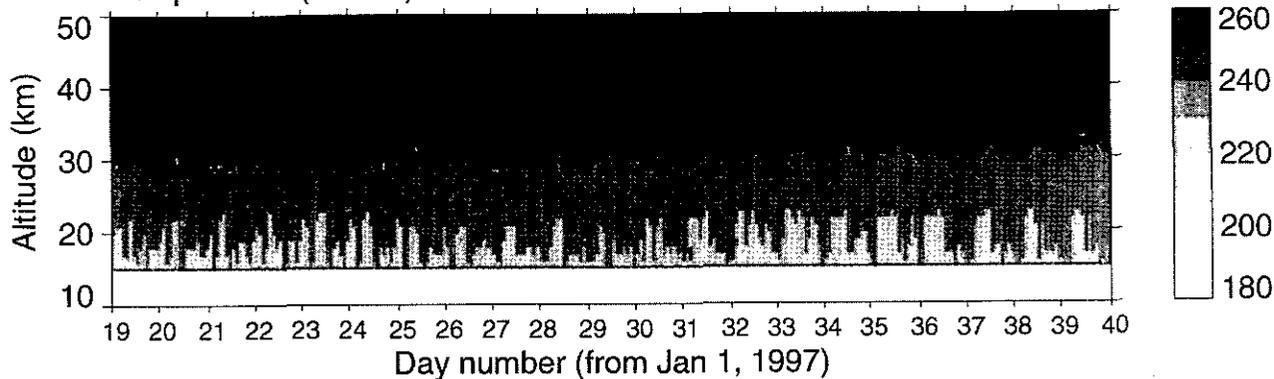
ILAS DHF

☒ 3.2(4b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

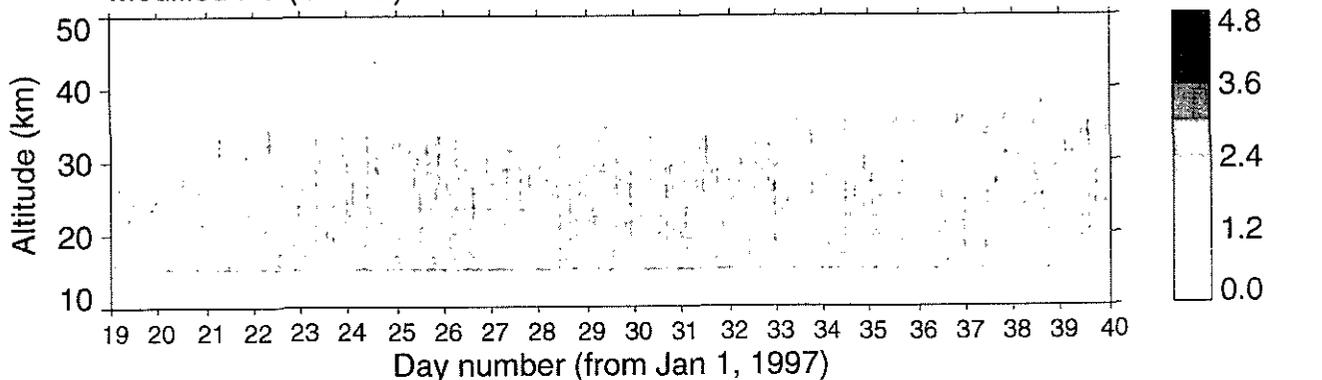
ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/01/19 - 1997/02/08
 Latitude and longitude along flight track



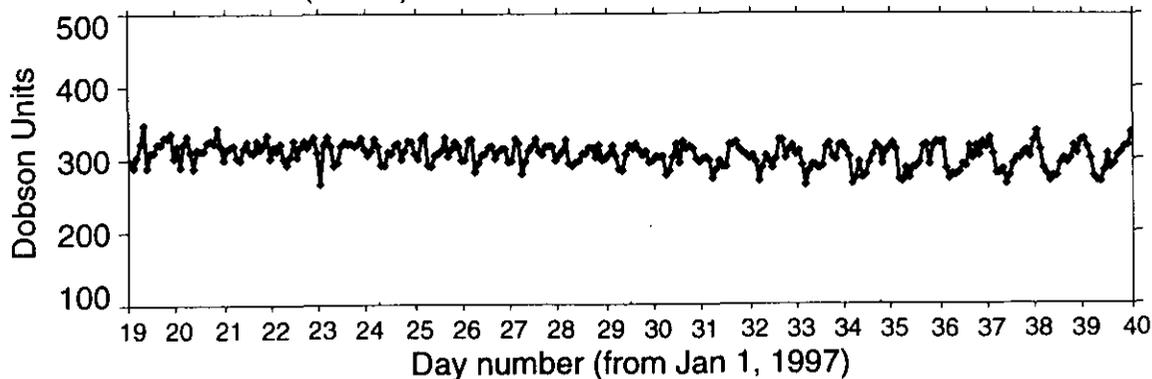
Temperature (UKMO)



Modified PV (UKMO)



TOMS Data (NASA)

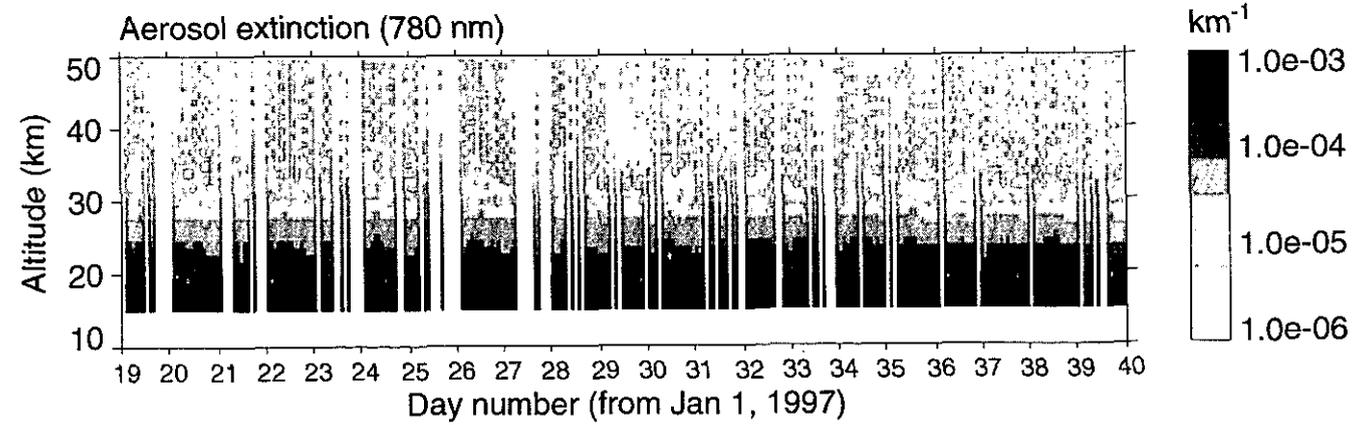
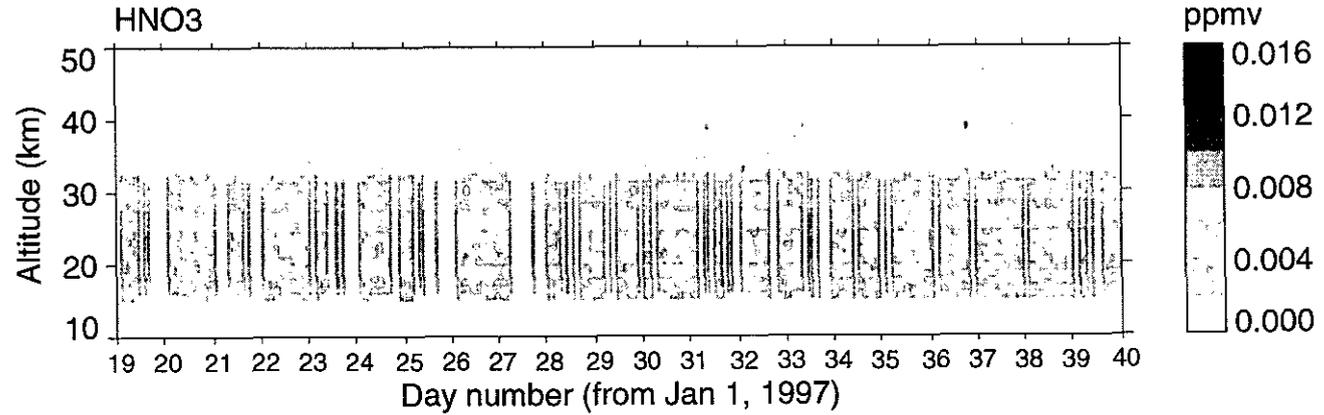
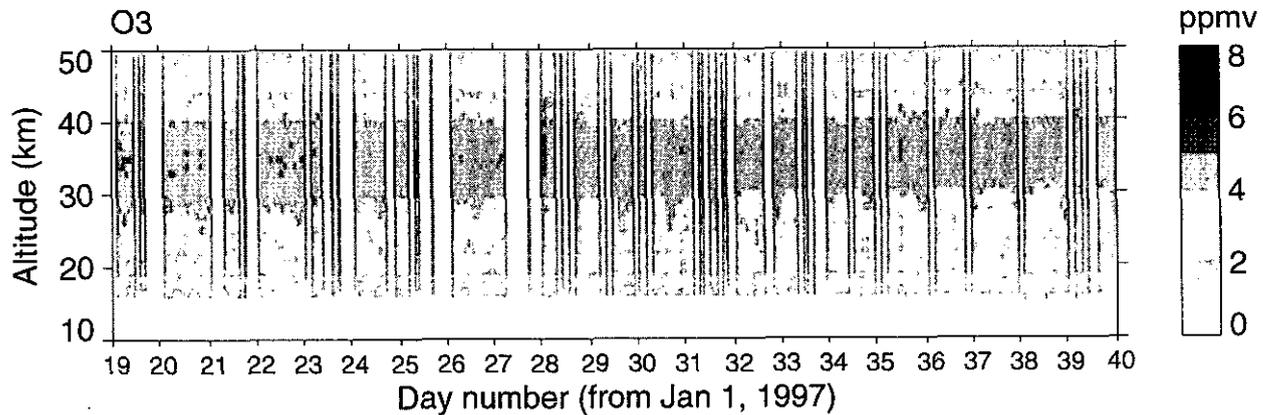
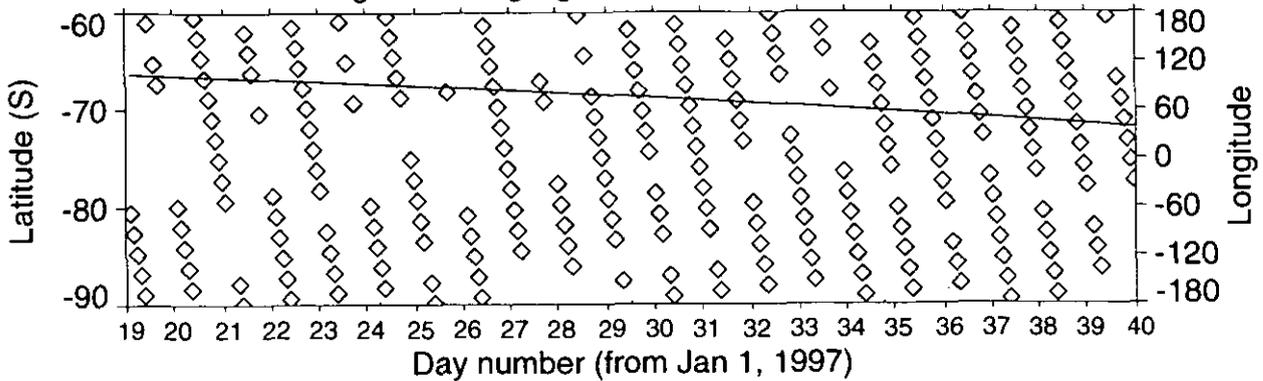


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.2(5a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/01/19 - 1997/02/08
 Latitude and longitude along flight track

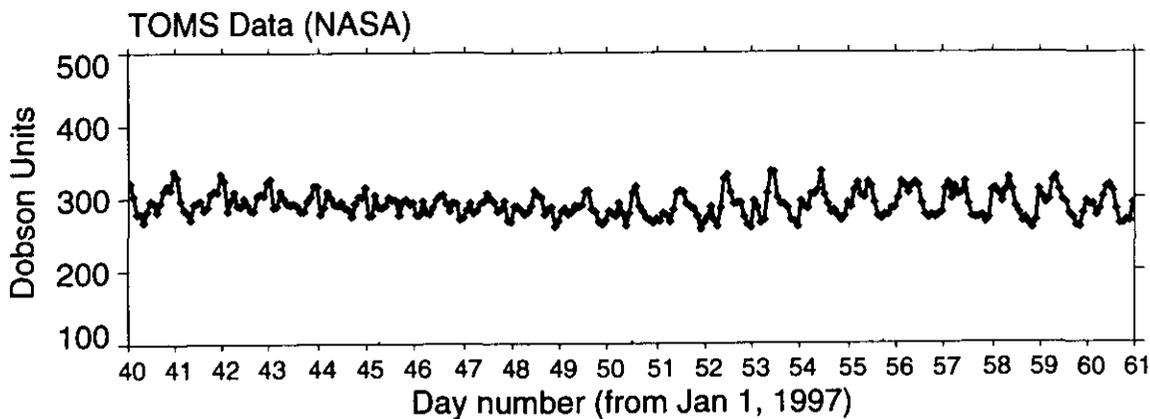
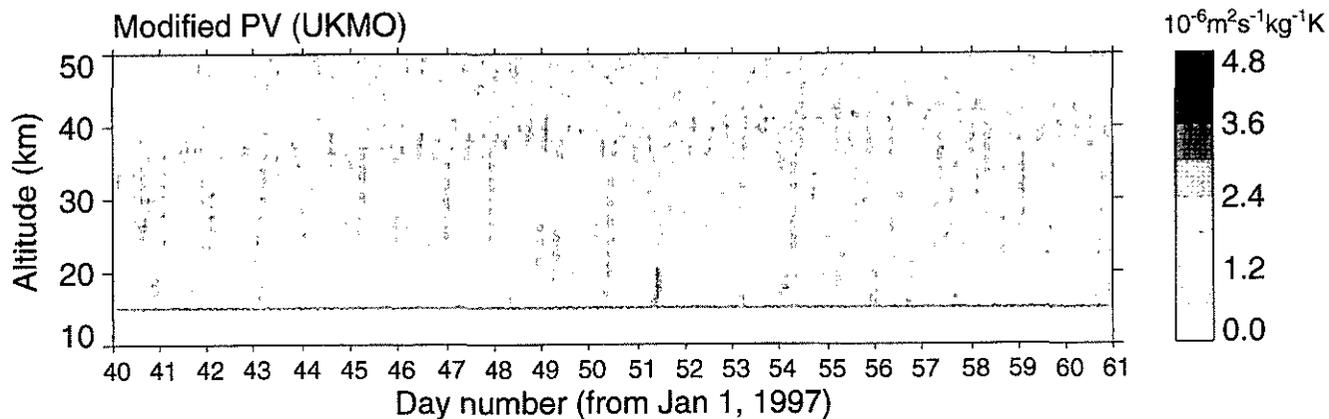
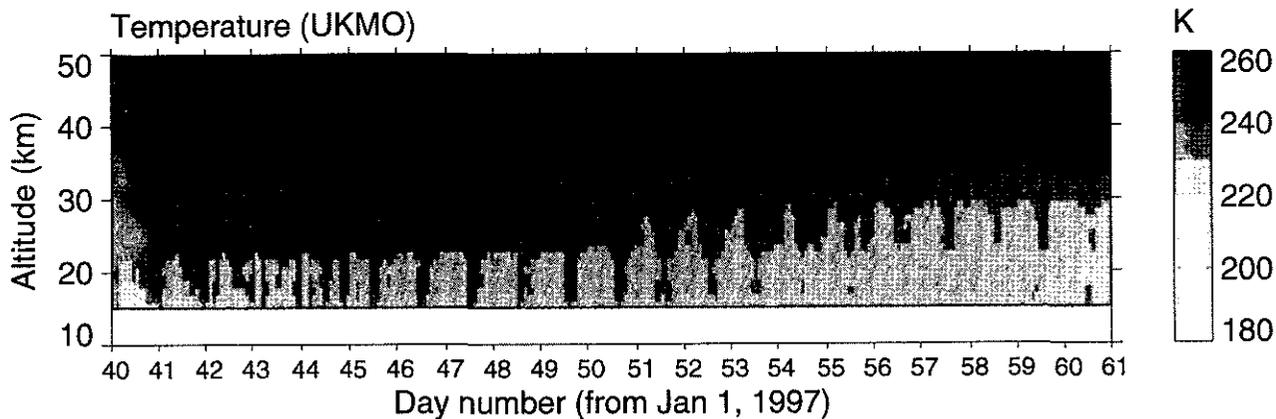
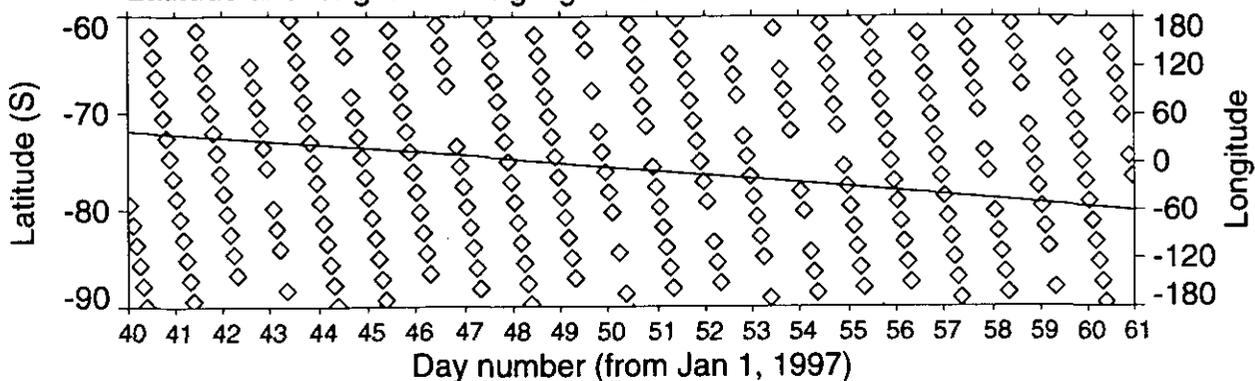


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.2(5b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/02/09 - 1997/03/01
 Latitude and longitude along flight track

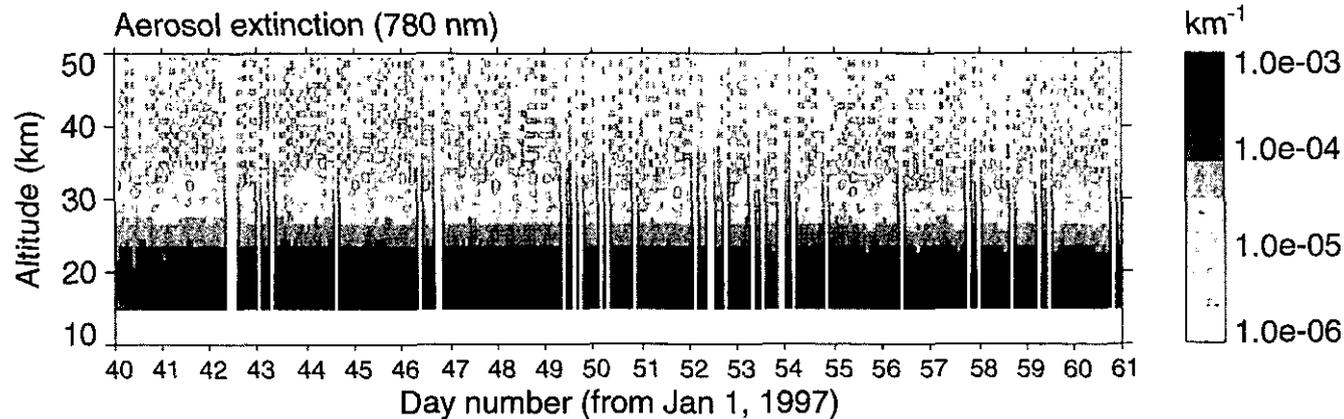
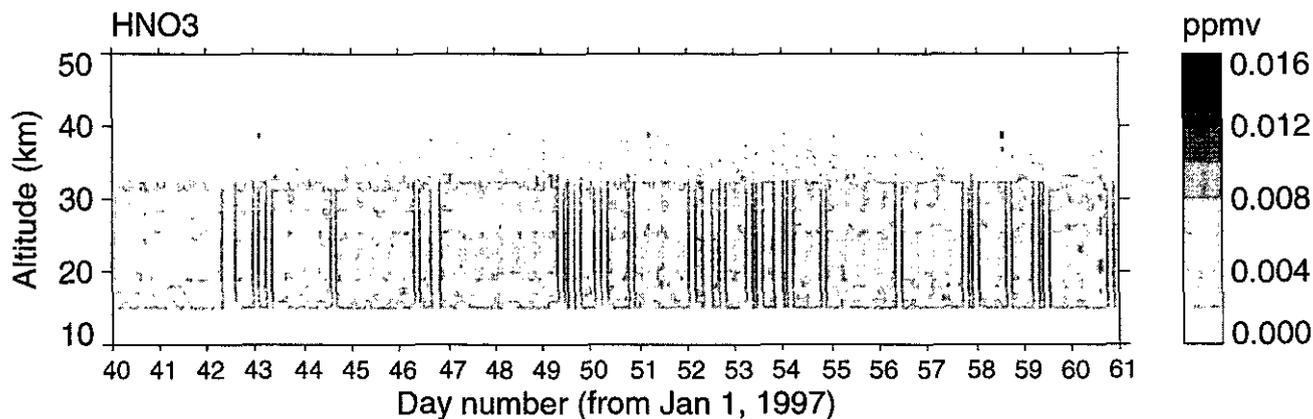
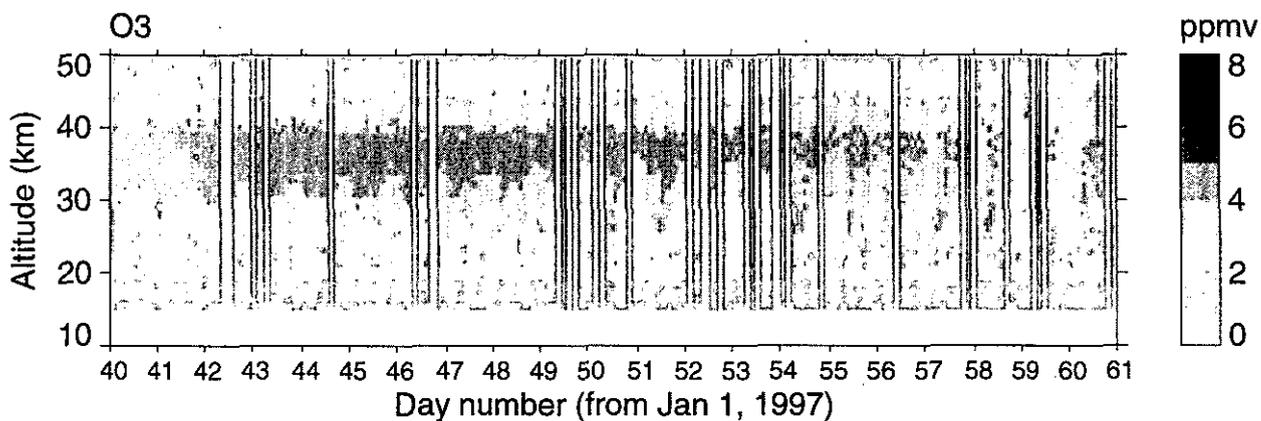
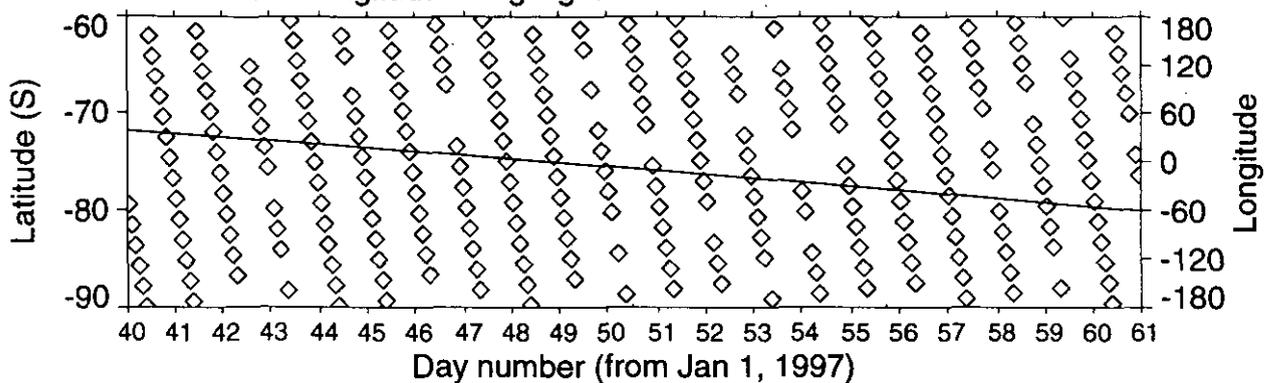


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.2(6a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/02/09 - 1997/03/01
 Latitude and longitude along flight track



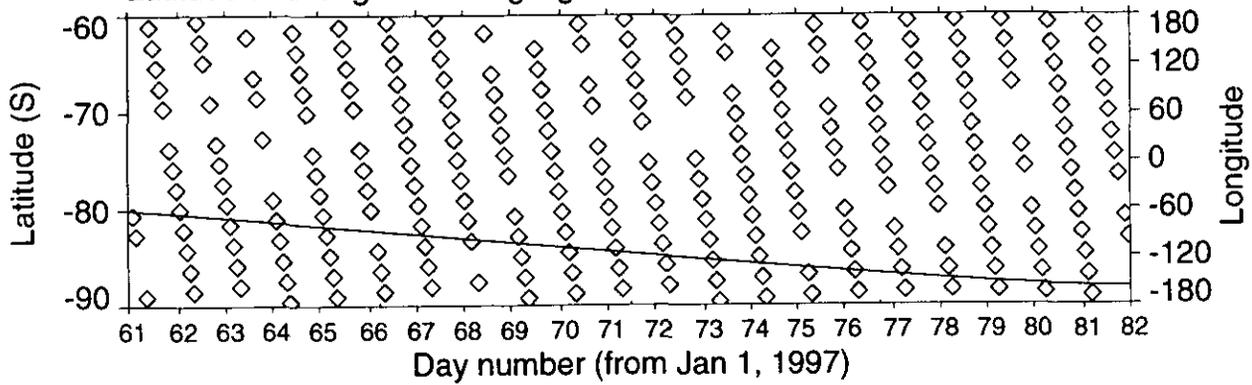
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

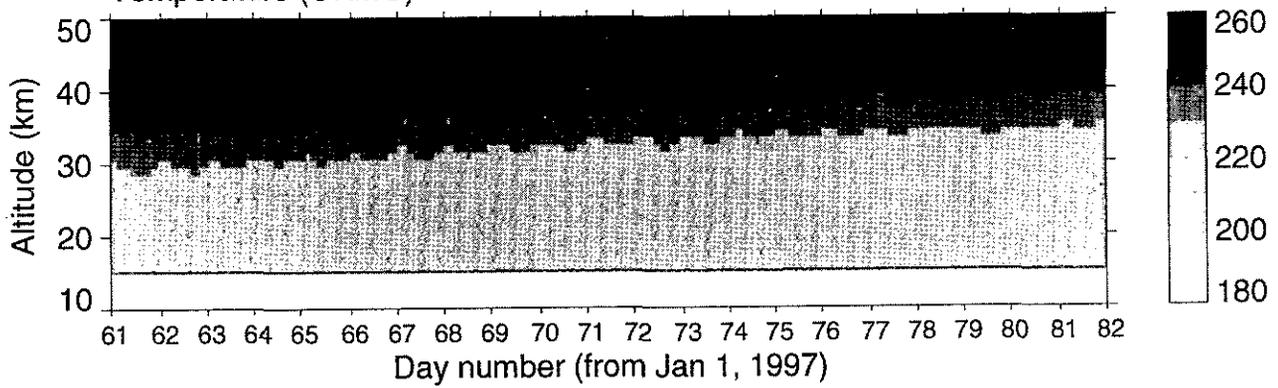
☒ 3.2(6b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/03/02 - 1997/03/22

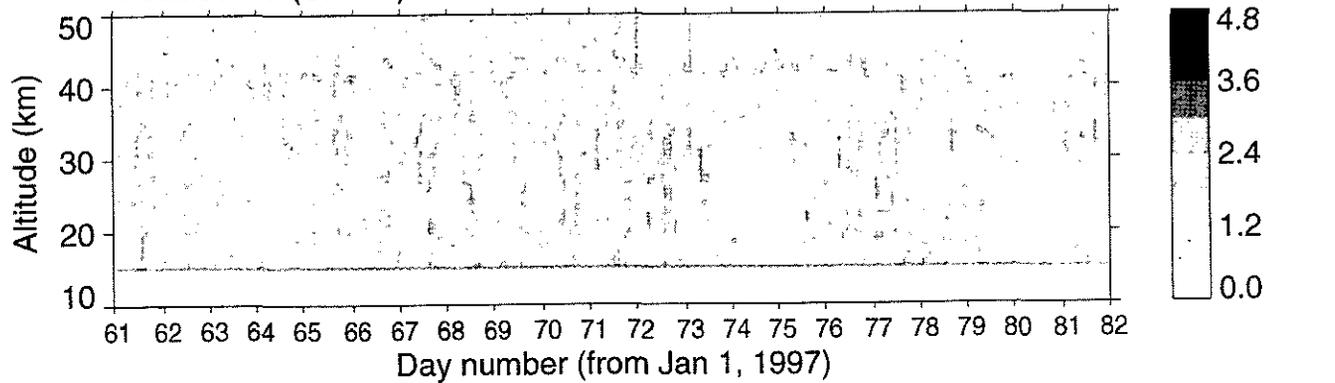
Latitude and longitude along flight track



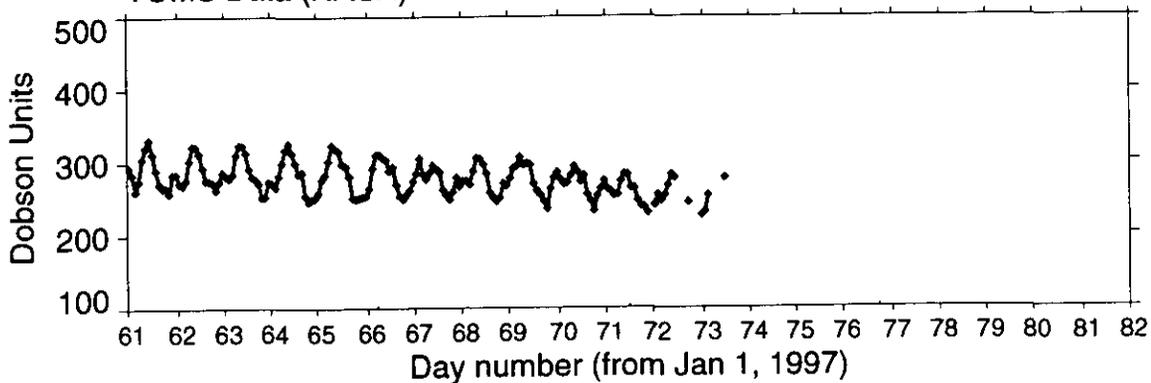
Temperature (UKMO)



Modified PV (UKMO)



TOMS Data (NASA)

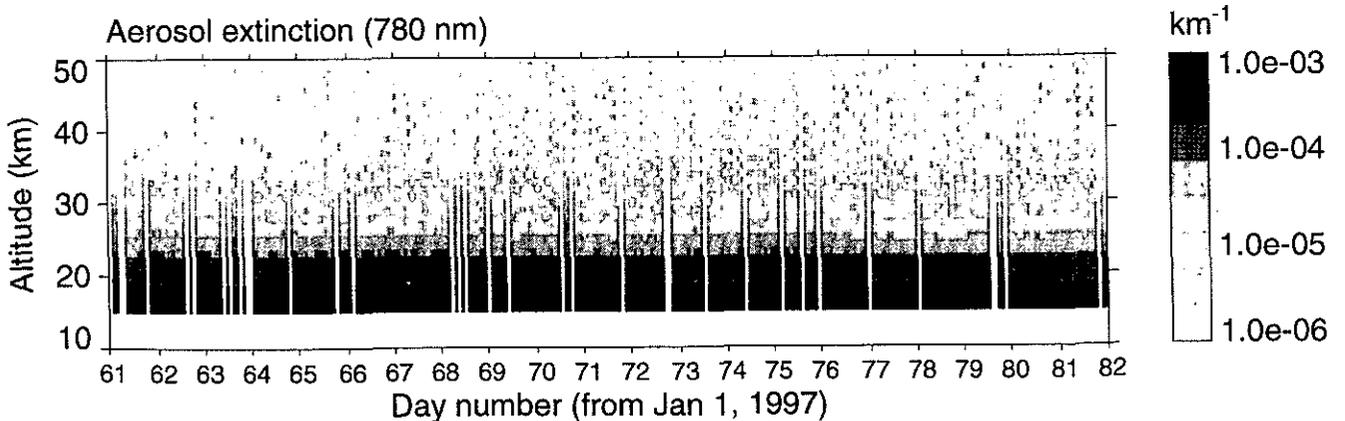
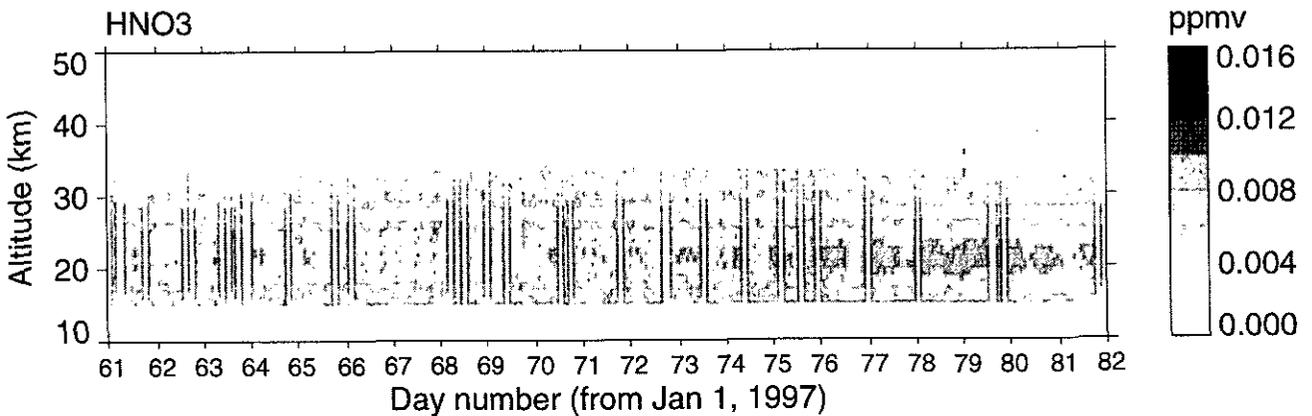
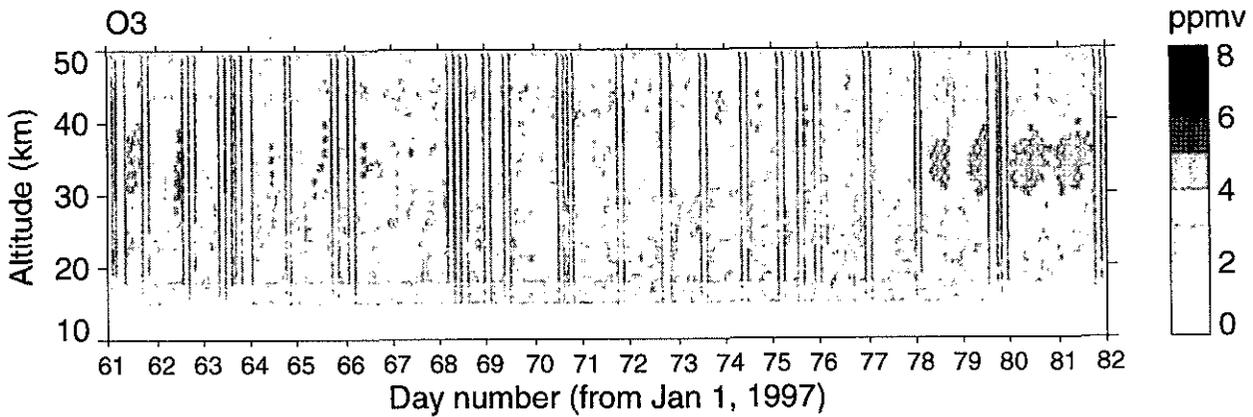
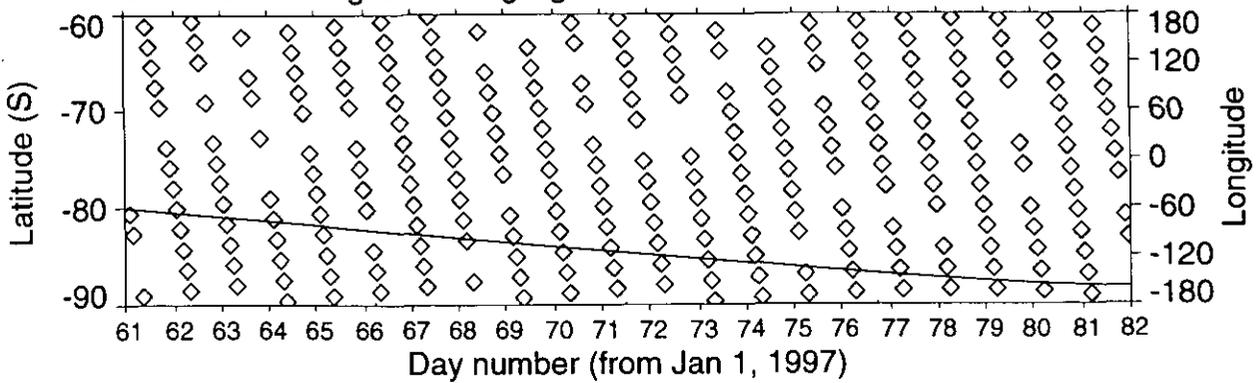


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.2(7a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/03/02 - 1997/03/22
 Latitude and longitude along flight track

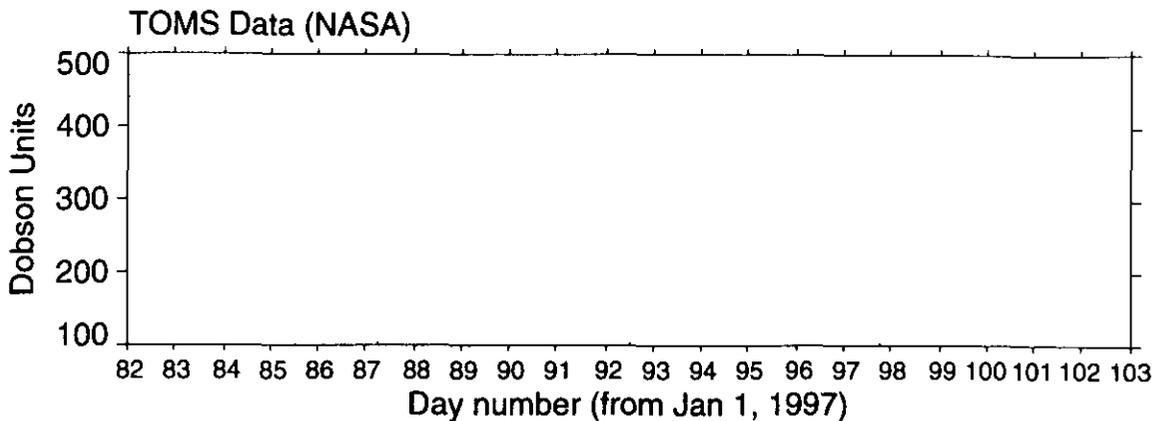
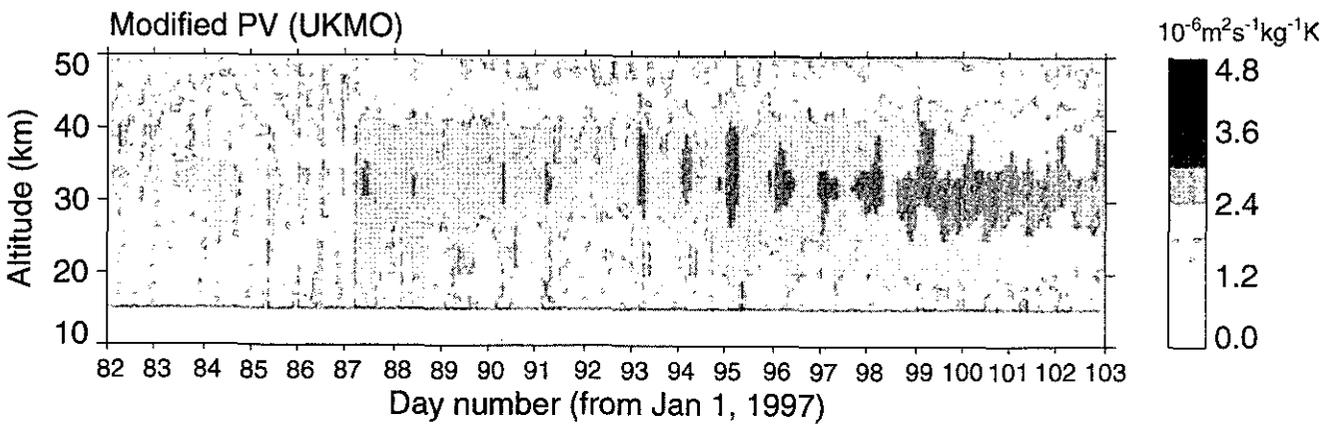
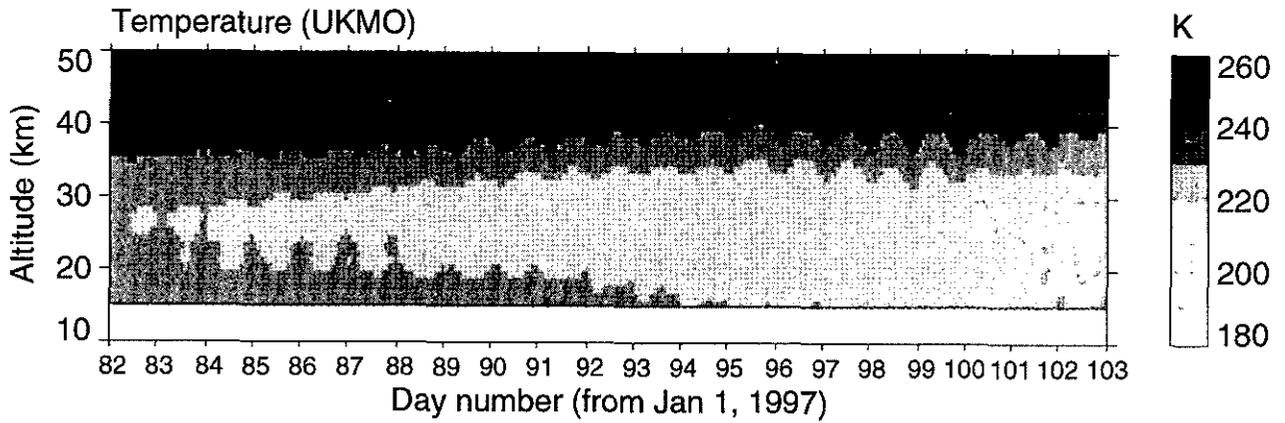
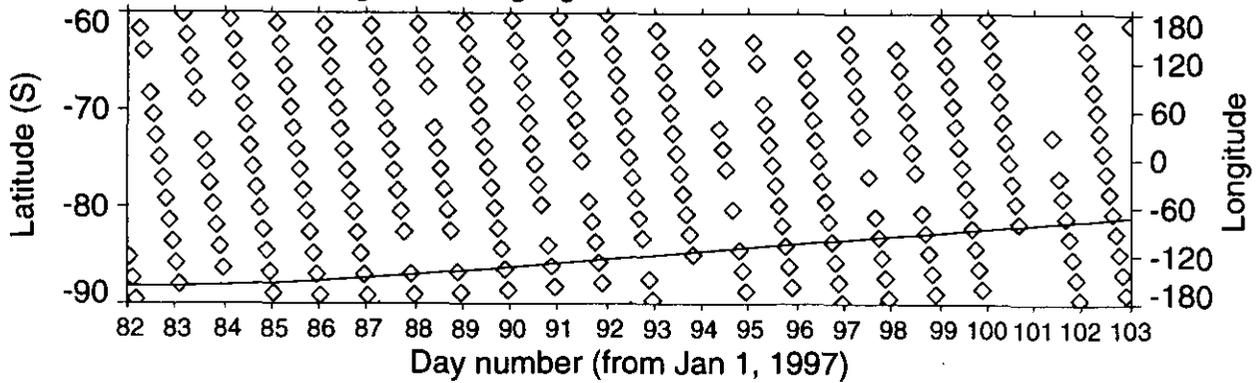


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.2(7b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/03/23 - 1997/04/12
 Latitude and longitude along flight track



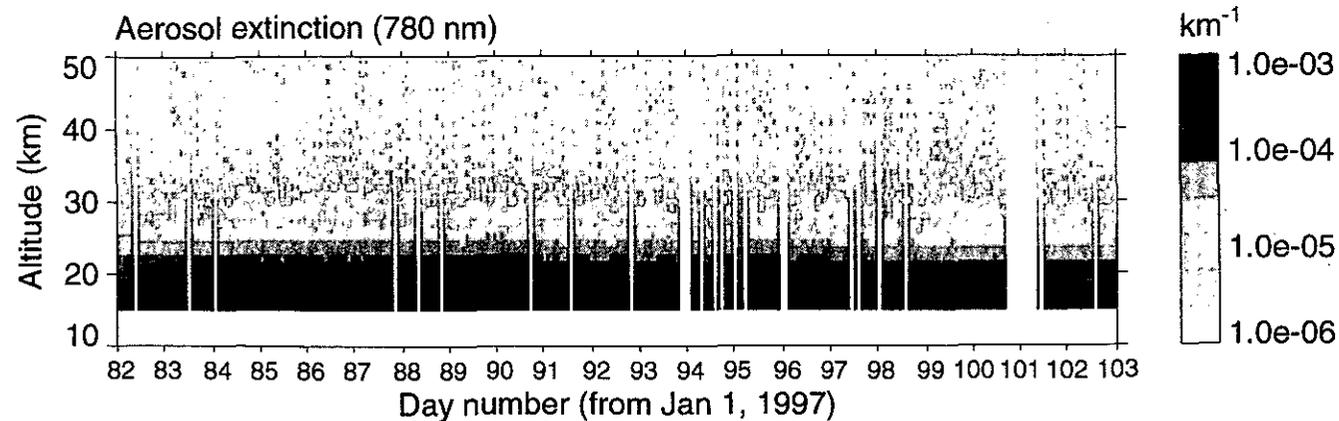
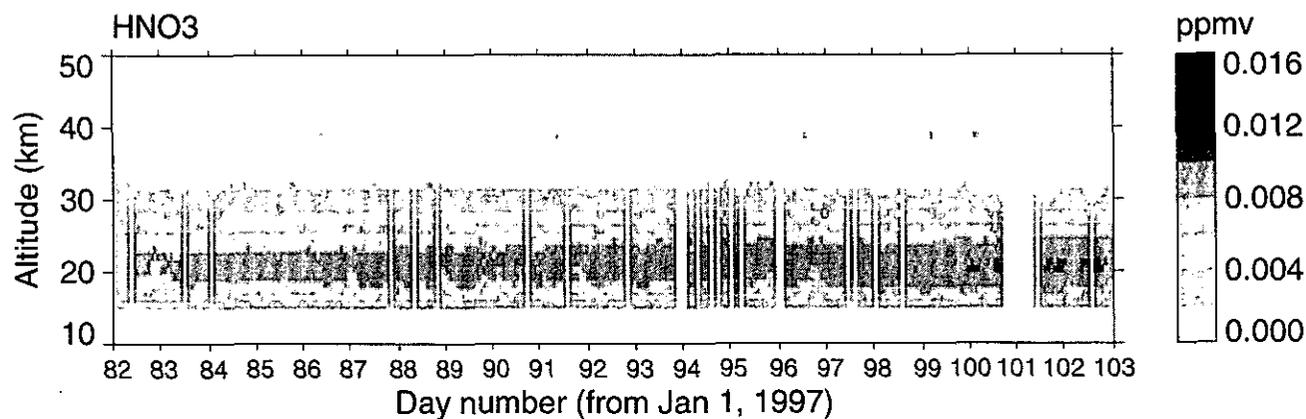
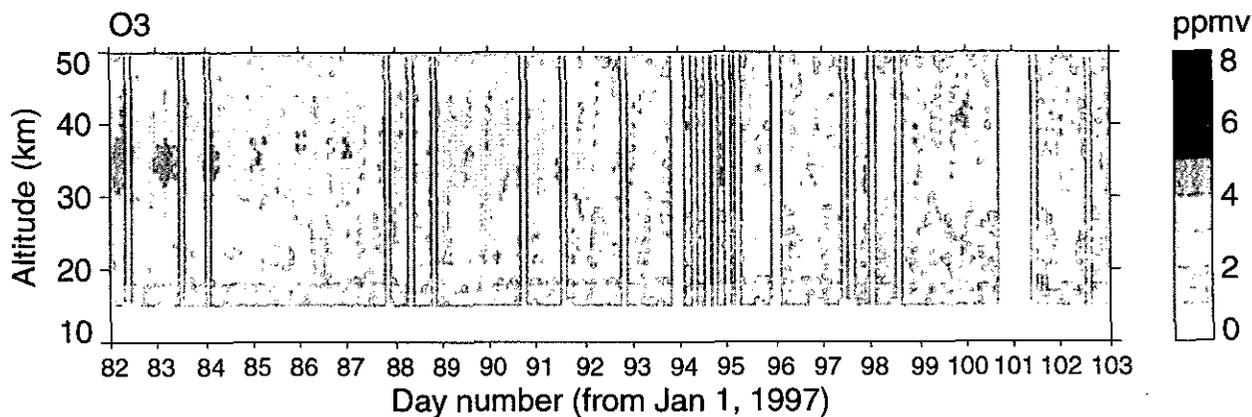
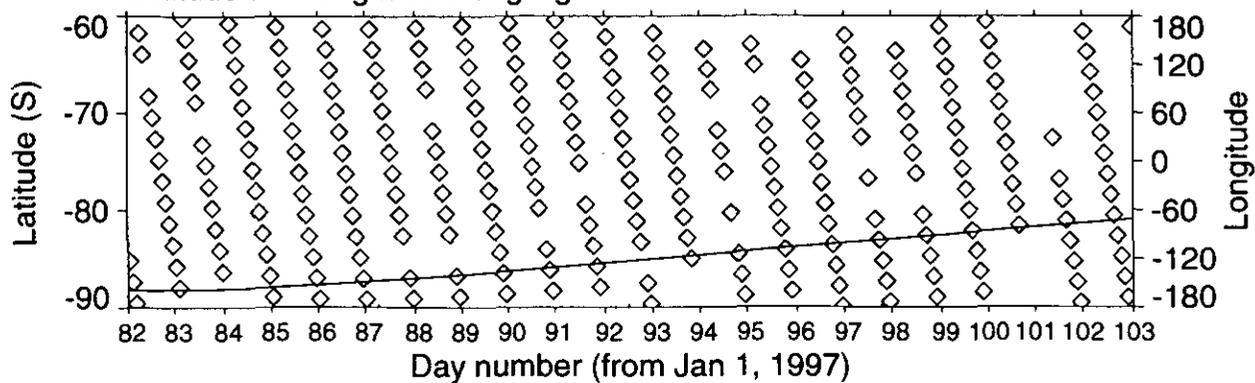
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.2(8a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/03/23 - 1997/04/12

Latitude and longitude along flight track

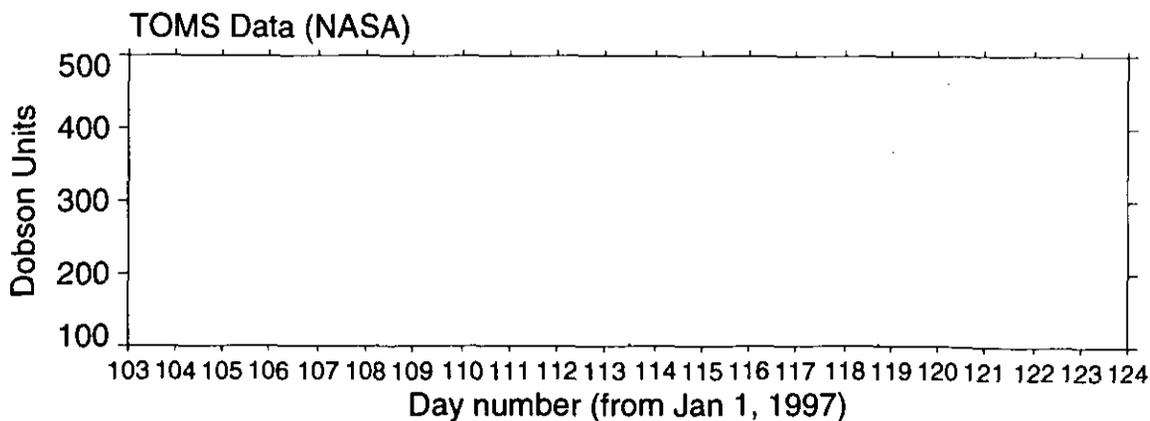
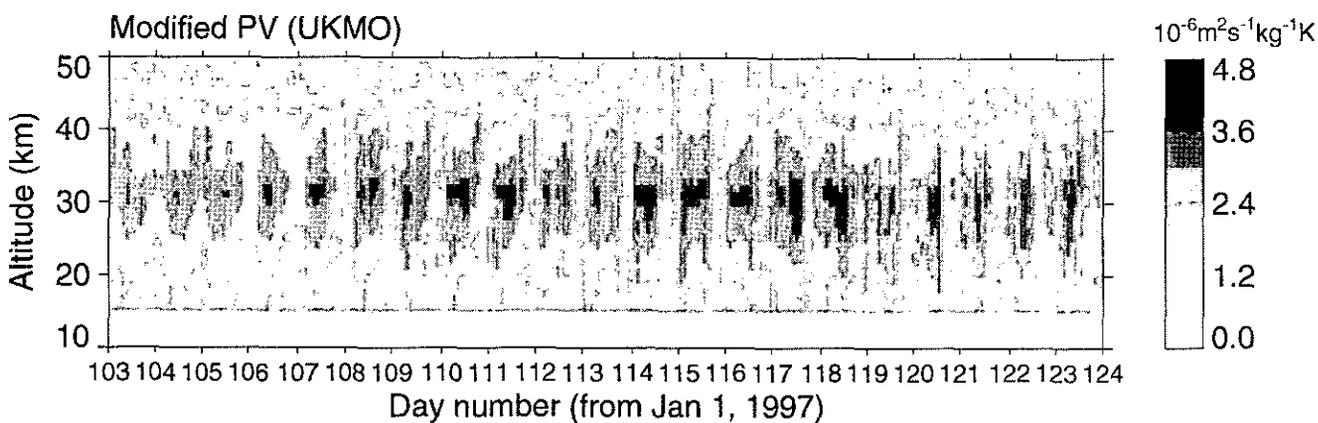
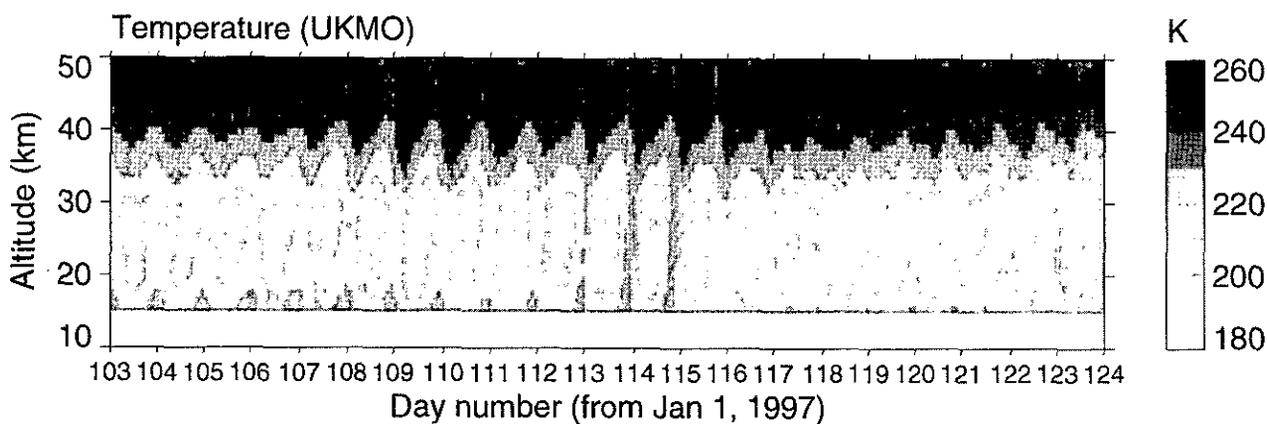
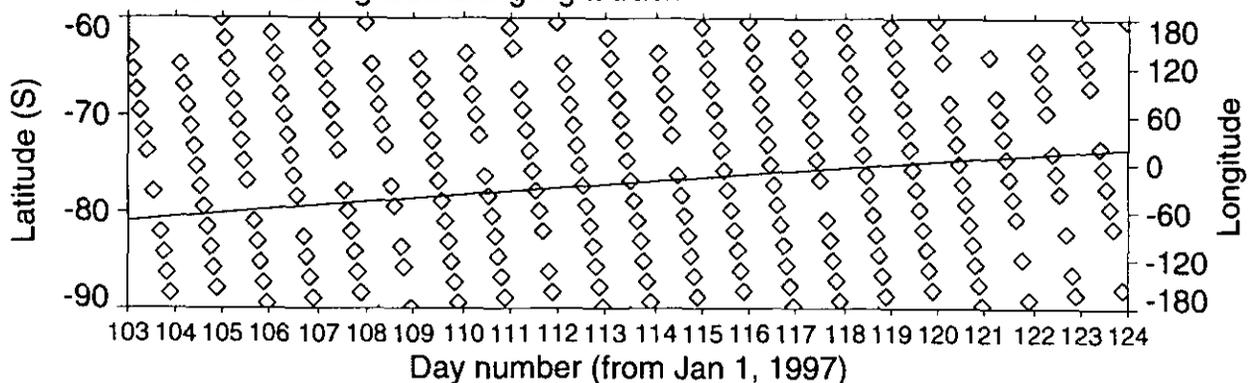


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.2(8b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/04/13 - 1997/05/03
 Latitude and longitude along flight track

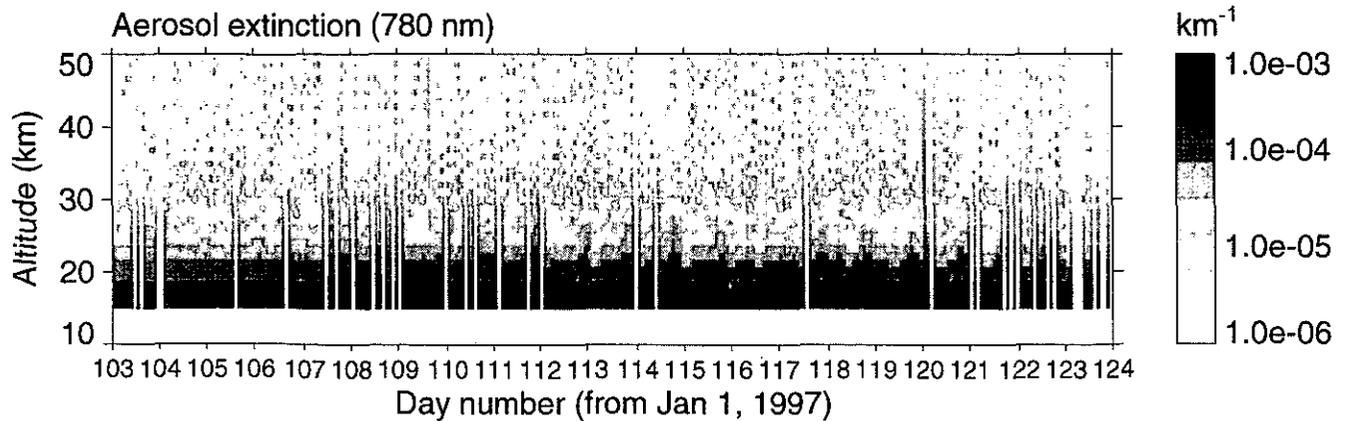
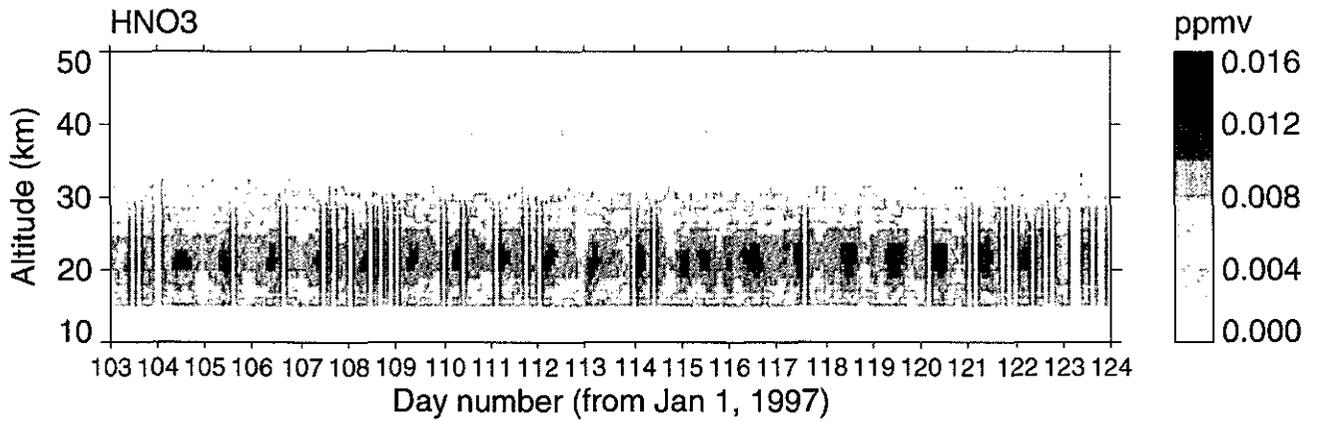
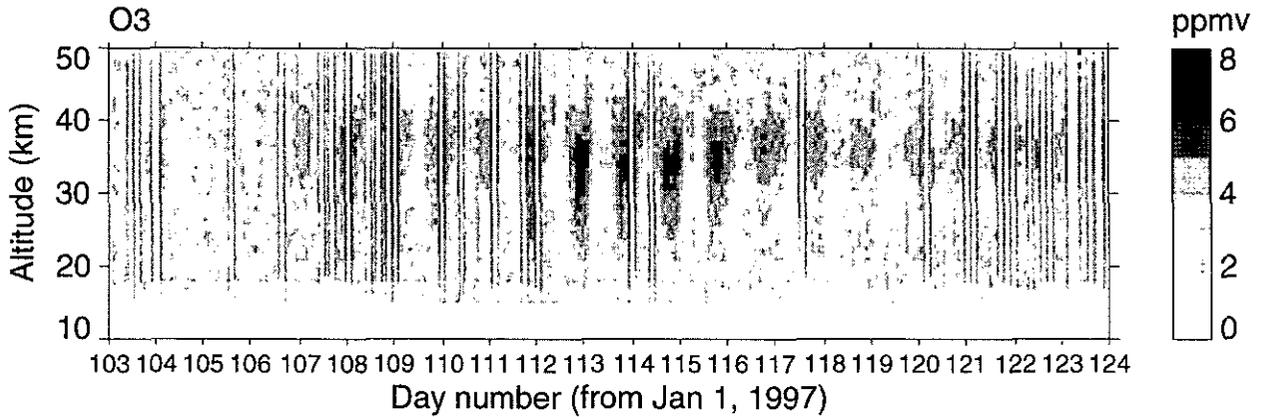
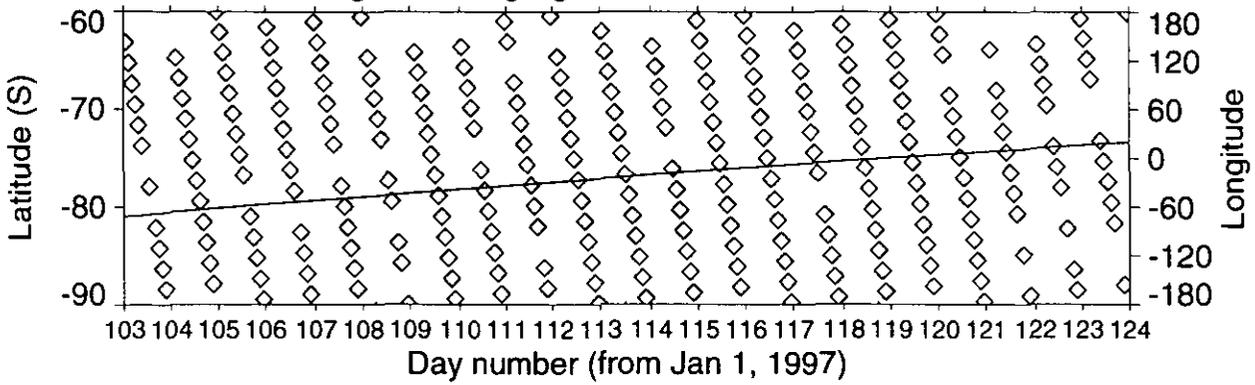


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.2(9a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/04/13 - 1997/05/03
 Latitude and longitude along flight track

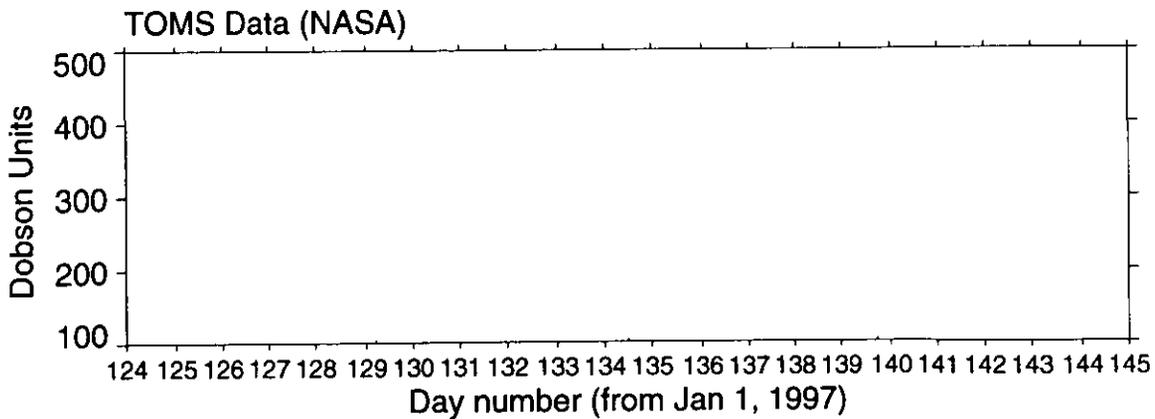
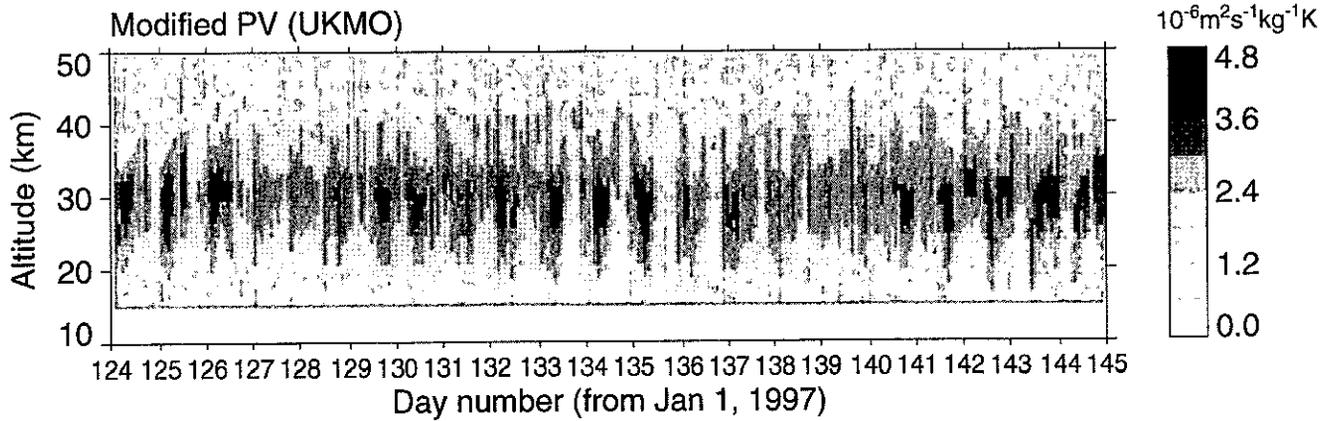
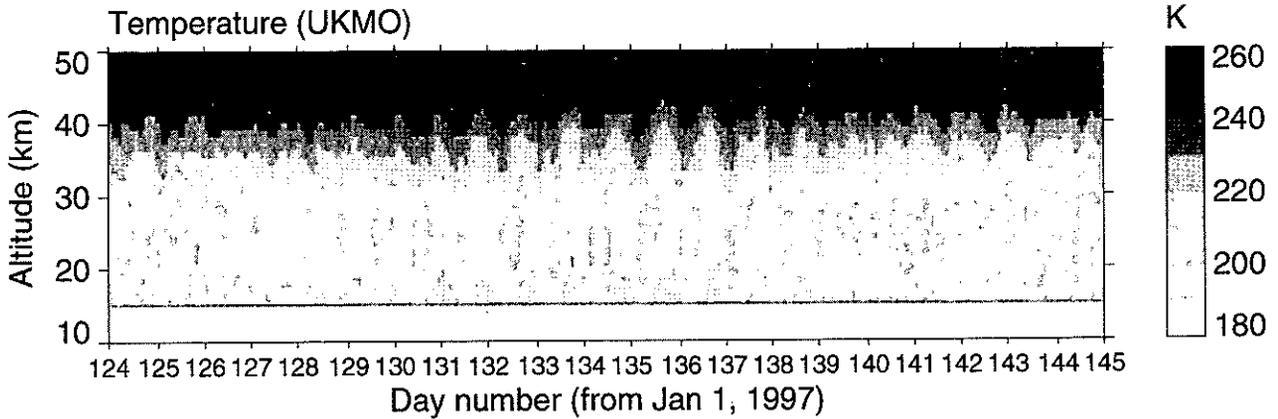
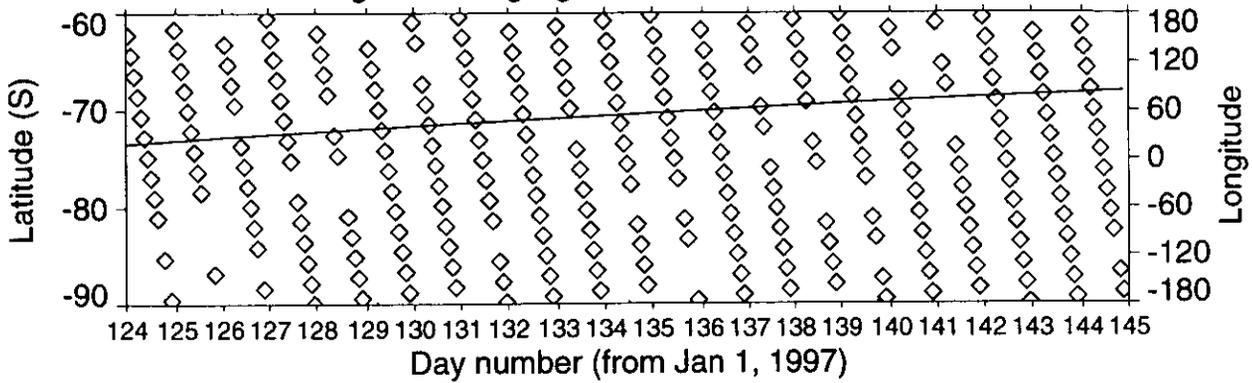


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.2(9b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/05/04 - 1997/05/24
 Latitude and longitude along flight track



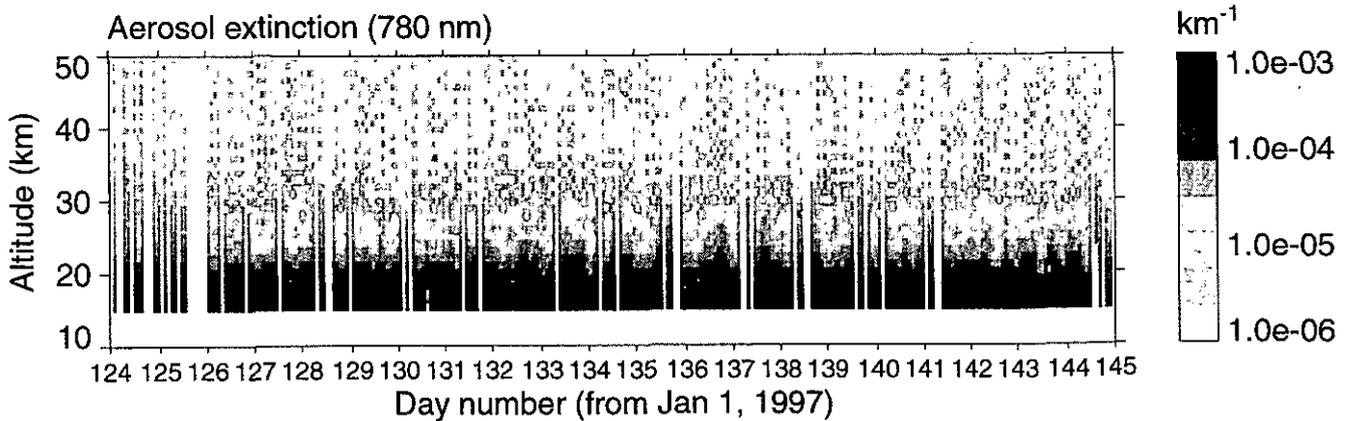
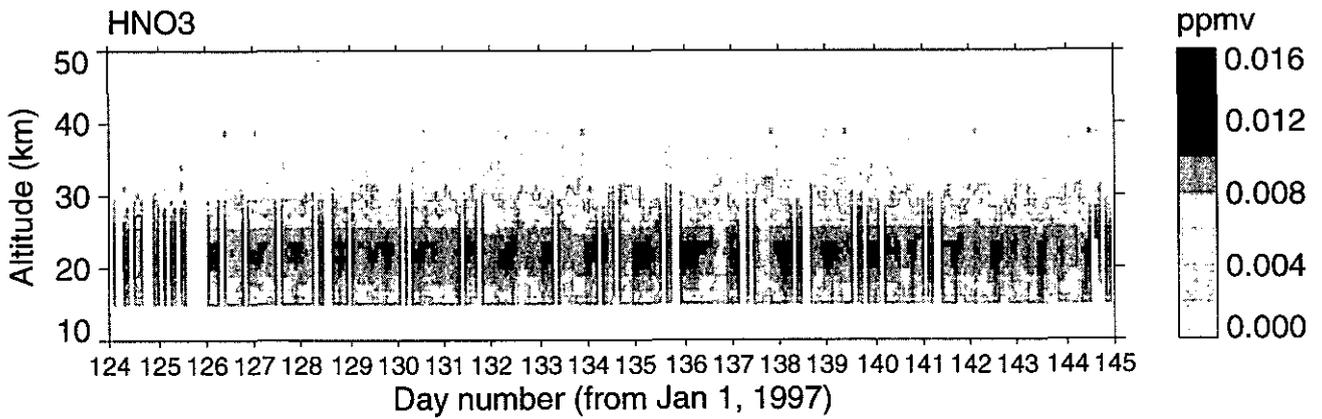
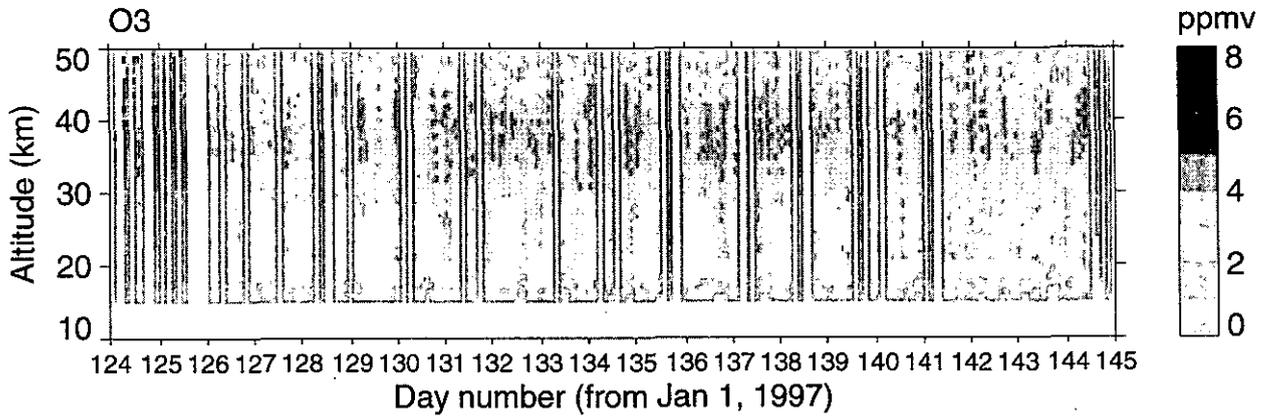
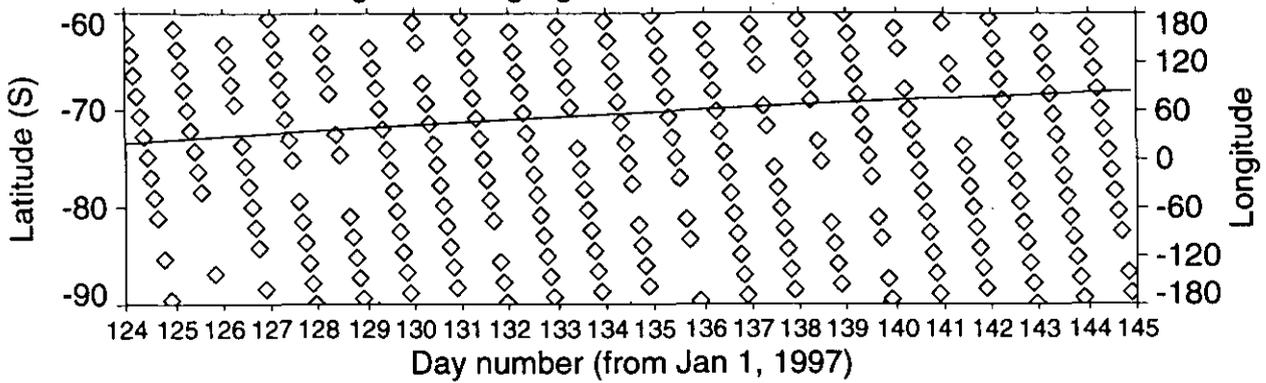
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.2(10a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/05/04 - 1997/05/24

Latitude and longitude along flight track

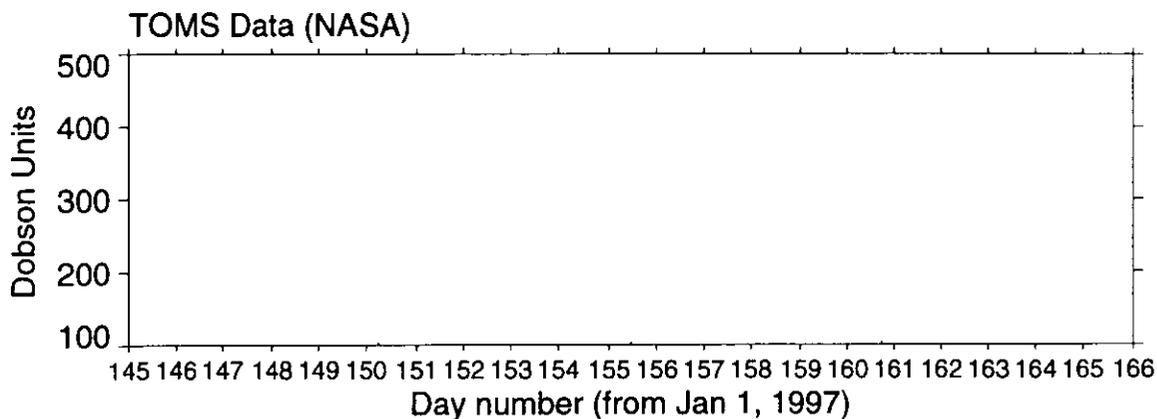
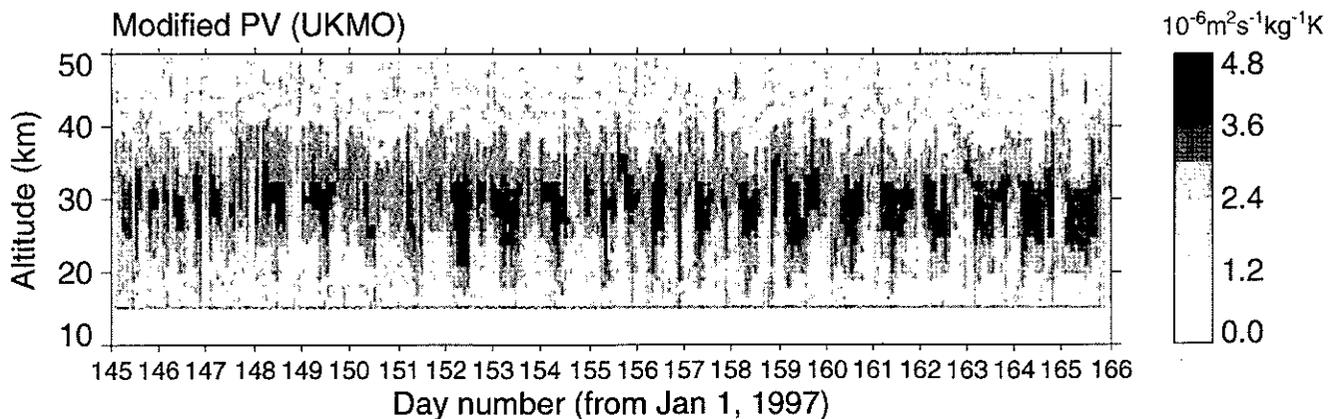
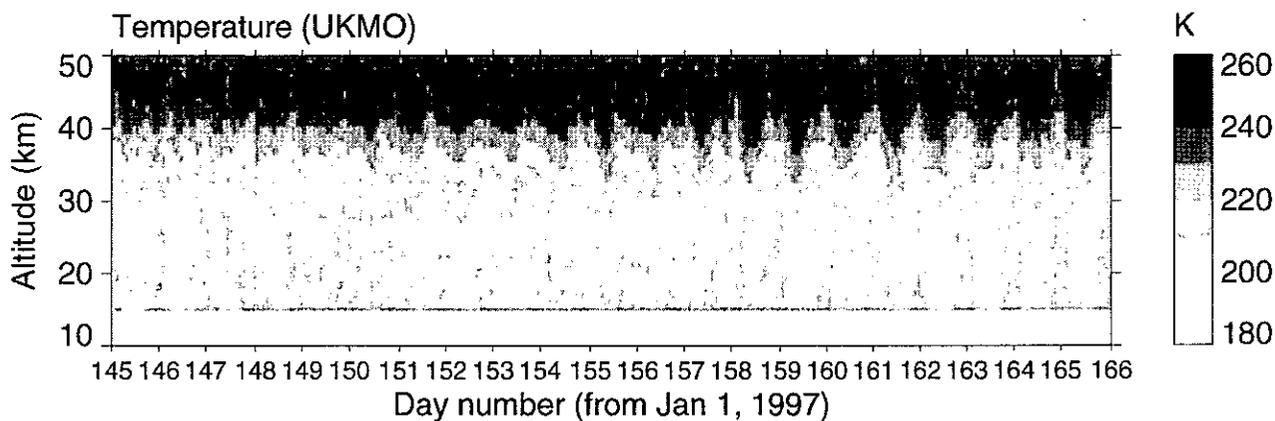
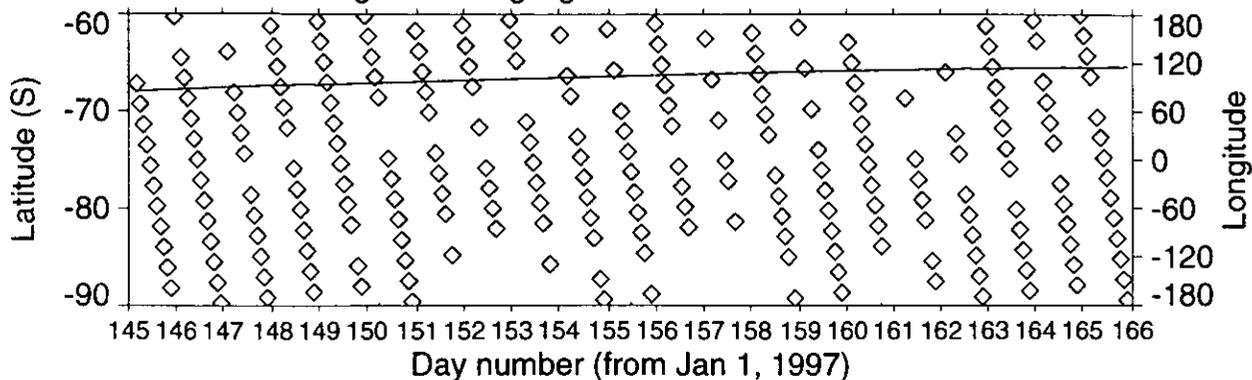


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.2(10b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/05/25 - 1997/06/14
 Latitude and longitude along flight track



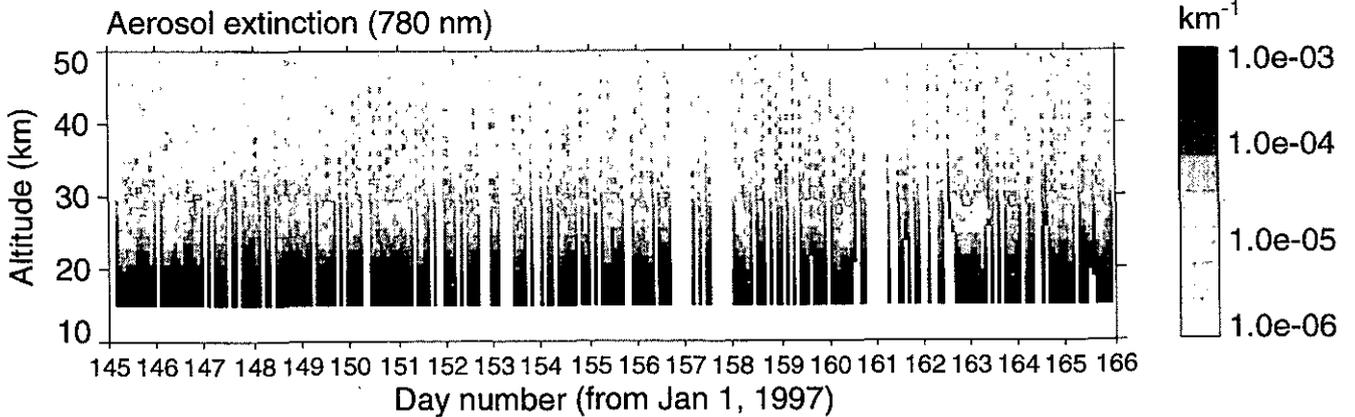
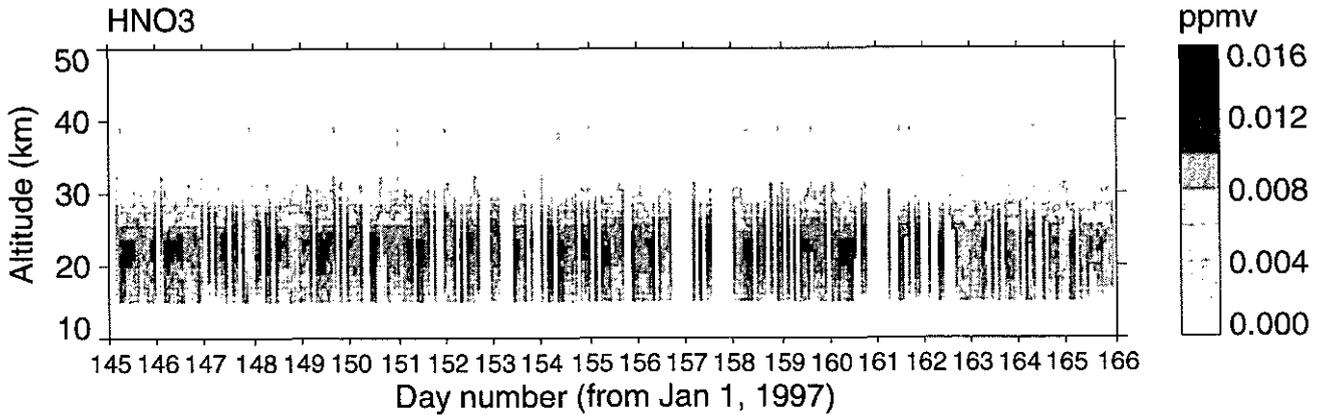
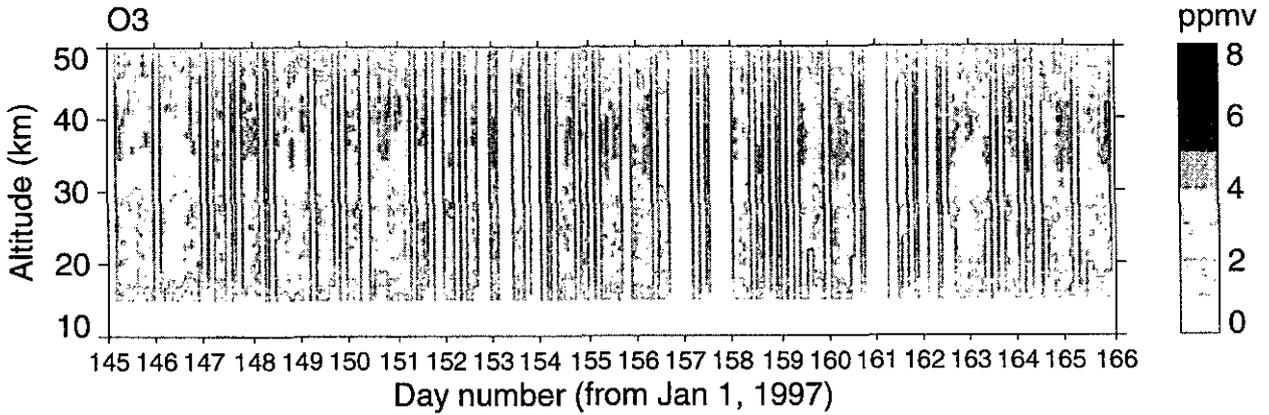
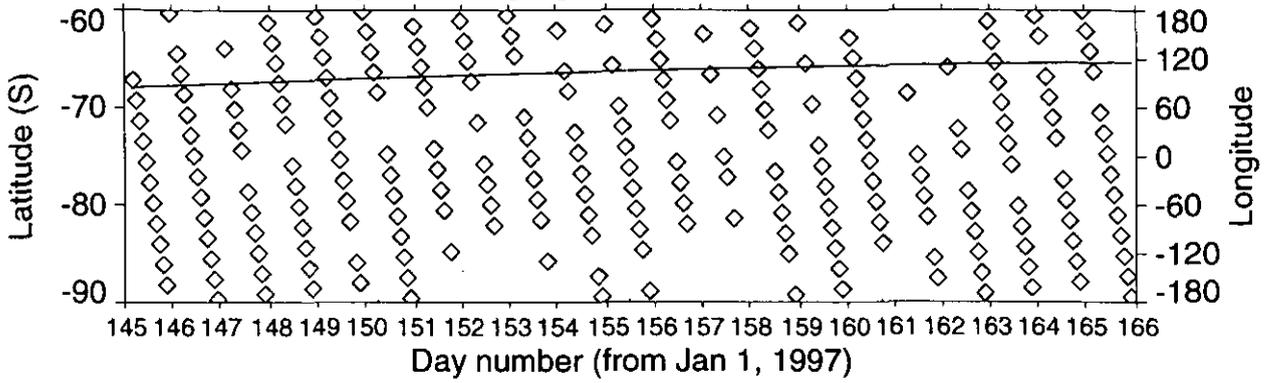
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.2(11a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/05/25 - 1997/06/14

Latitude and longitude along flight track

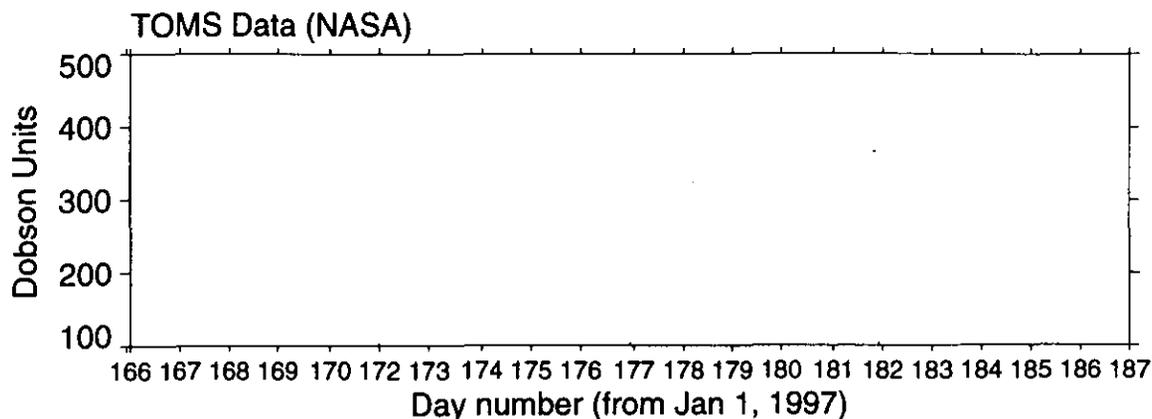
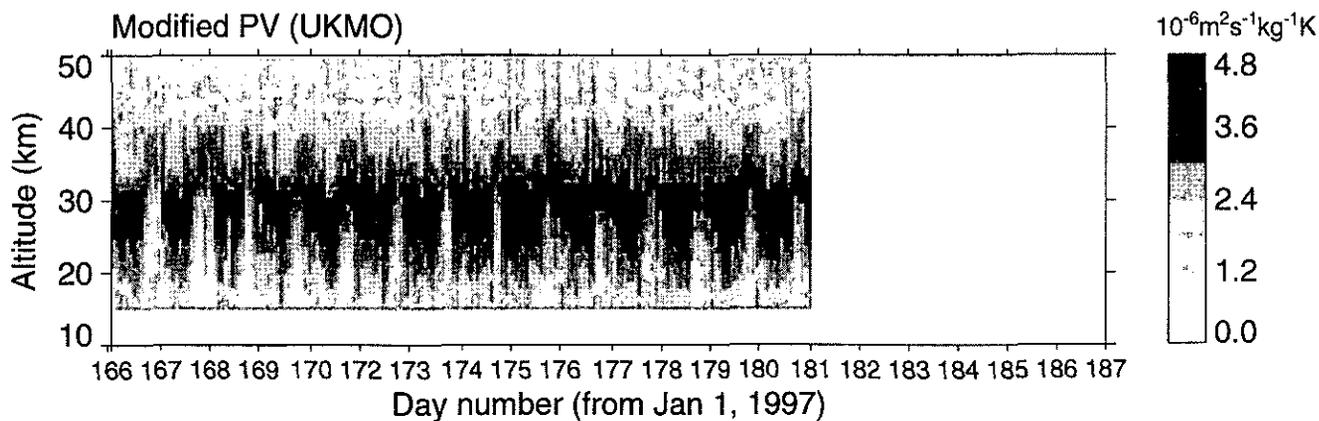
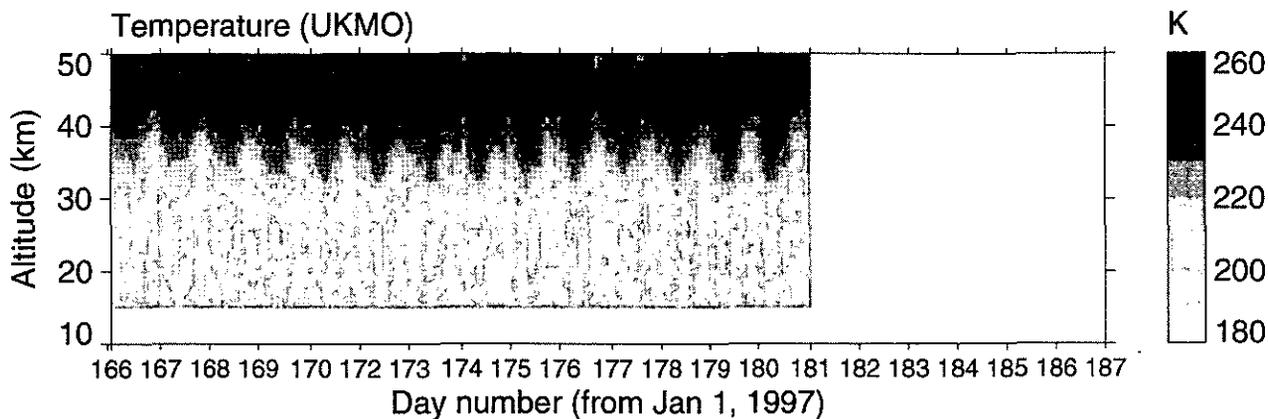
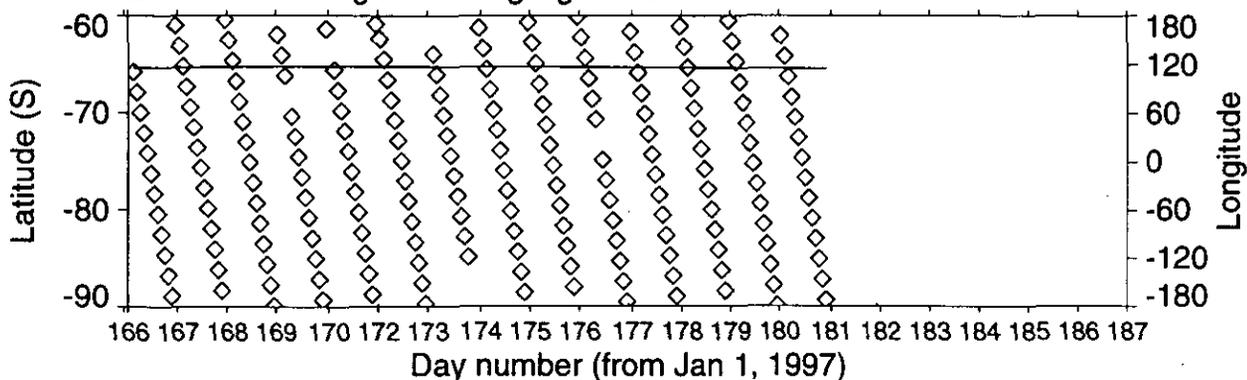


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.2(11b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/06/15 - 1997/07/05
 Latitude and longitude along flight track



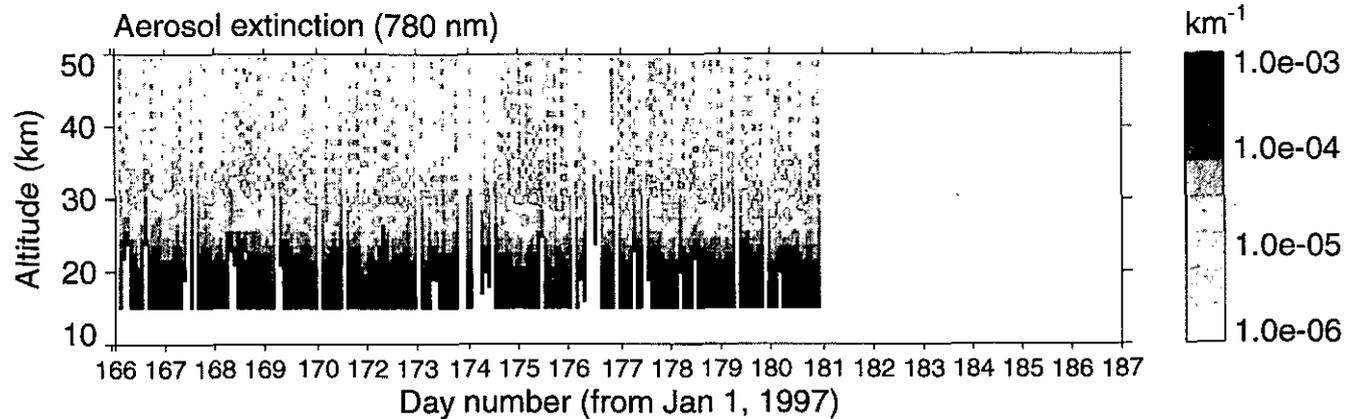
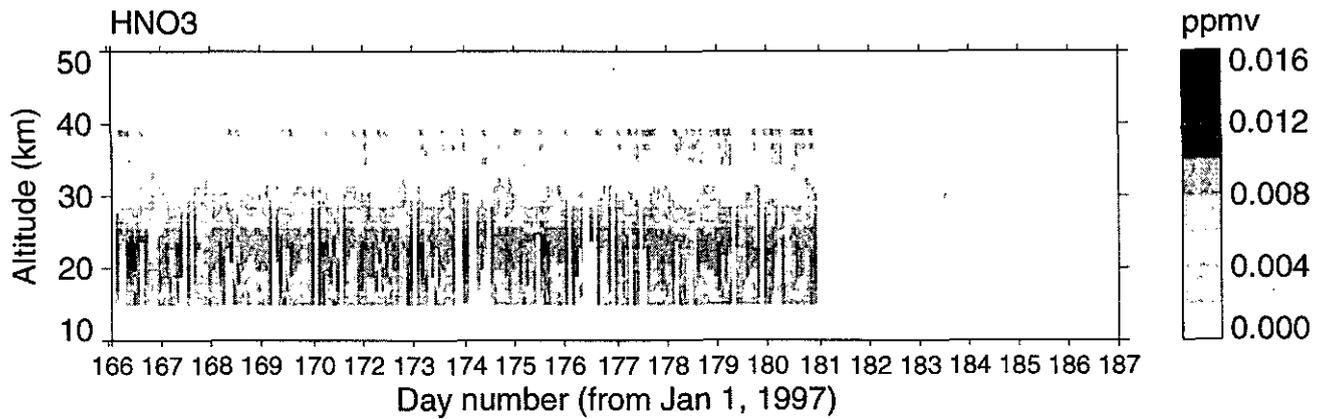
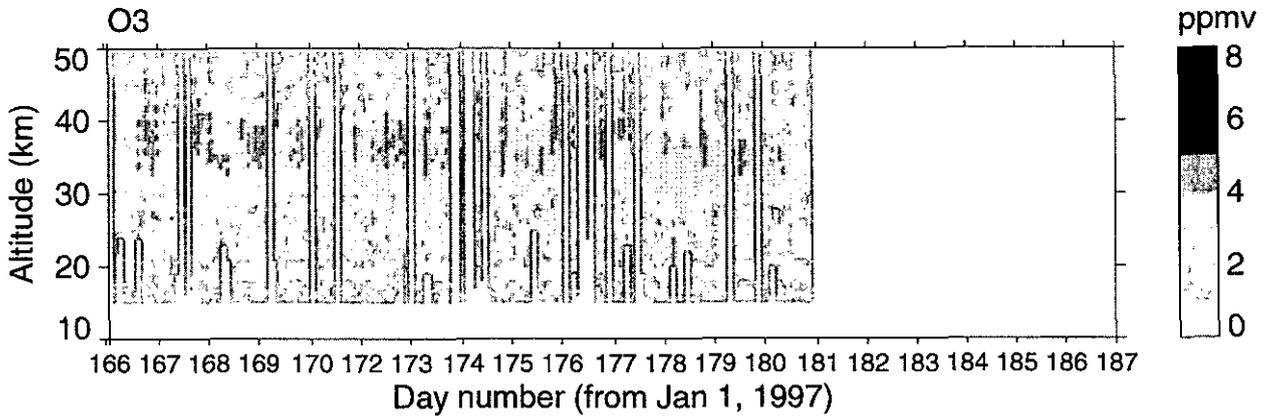
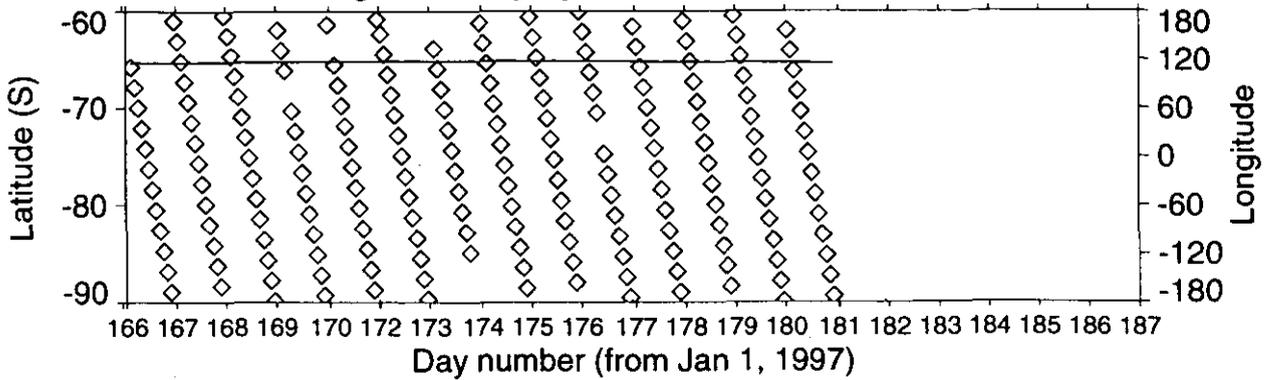
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.2(12a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/06/15 - 1997/07/05

Latitude and longitude along flight track

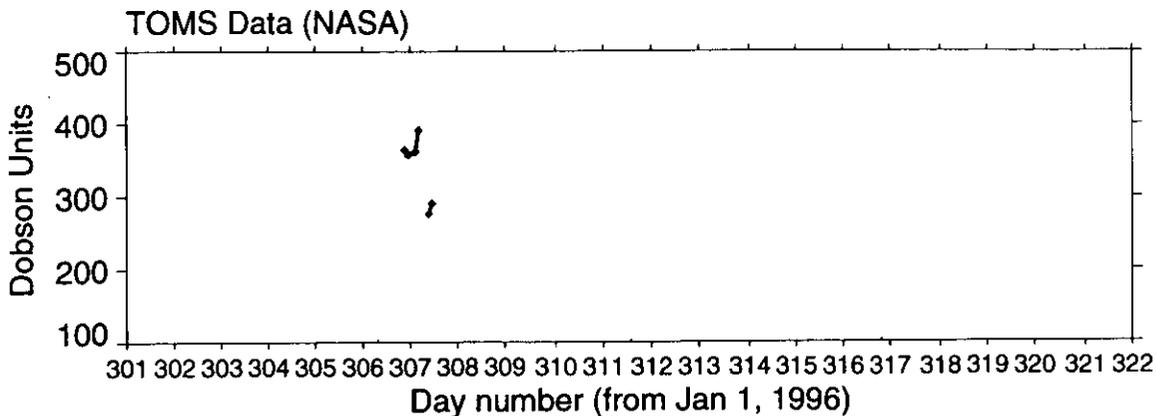
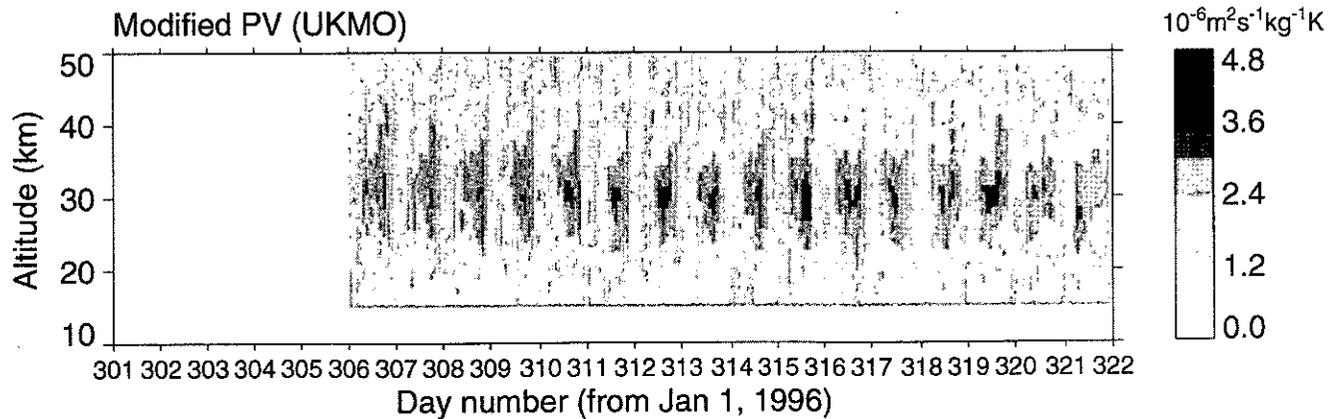
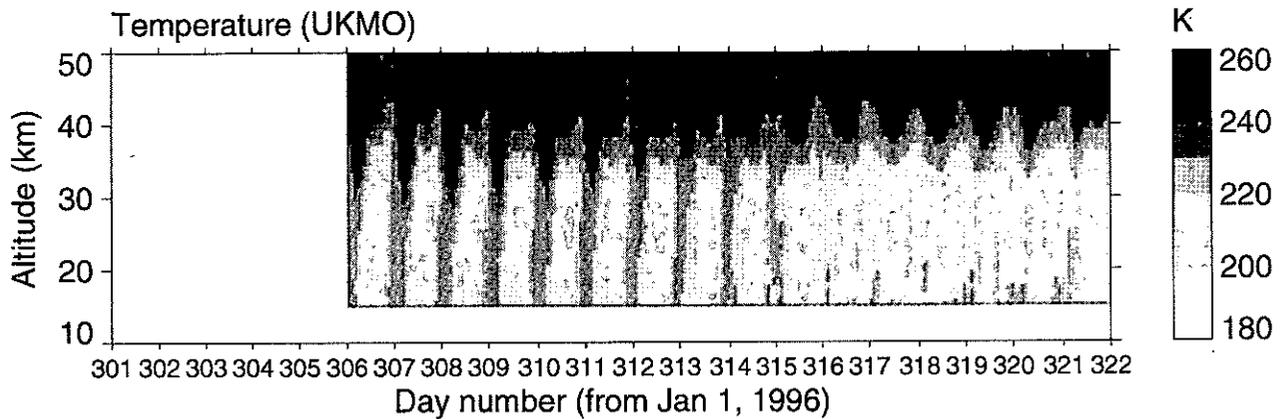
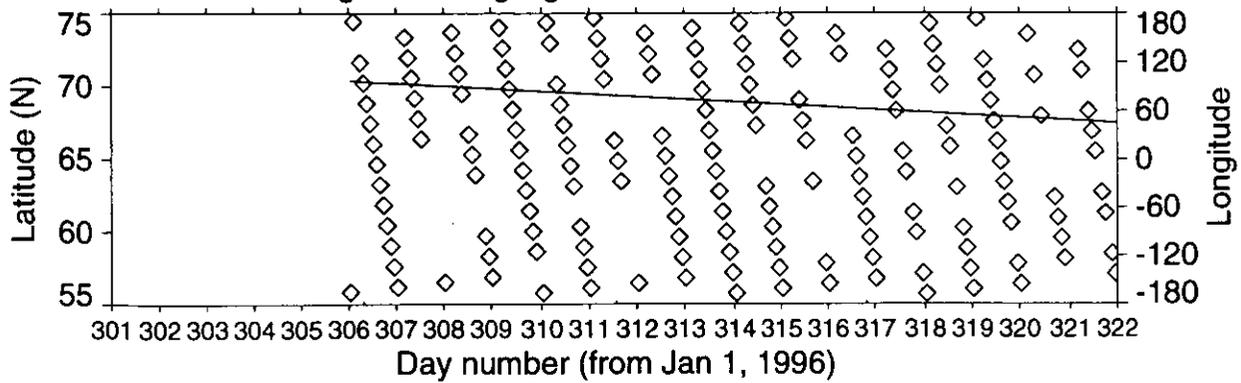


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.2(12b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1996/10/27 - 1996/11/16
 Latitude and longitude along flight track

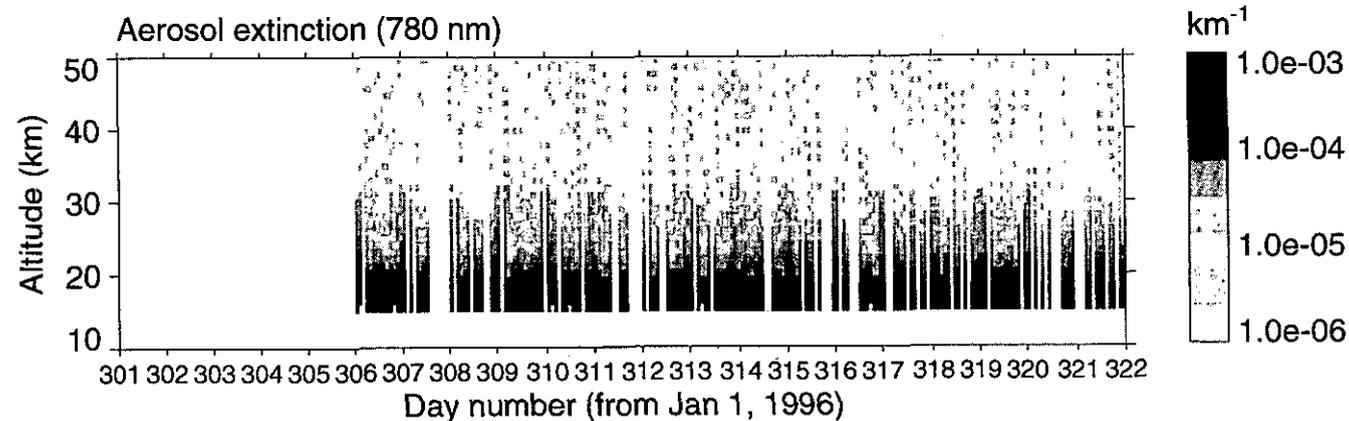
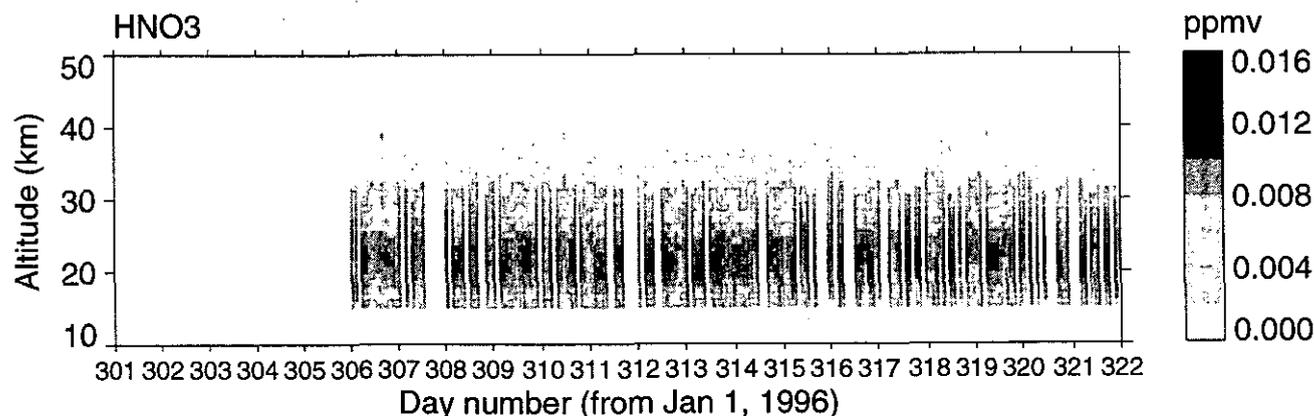
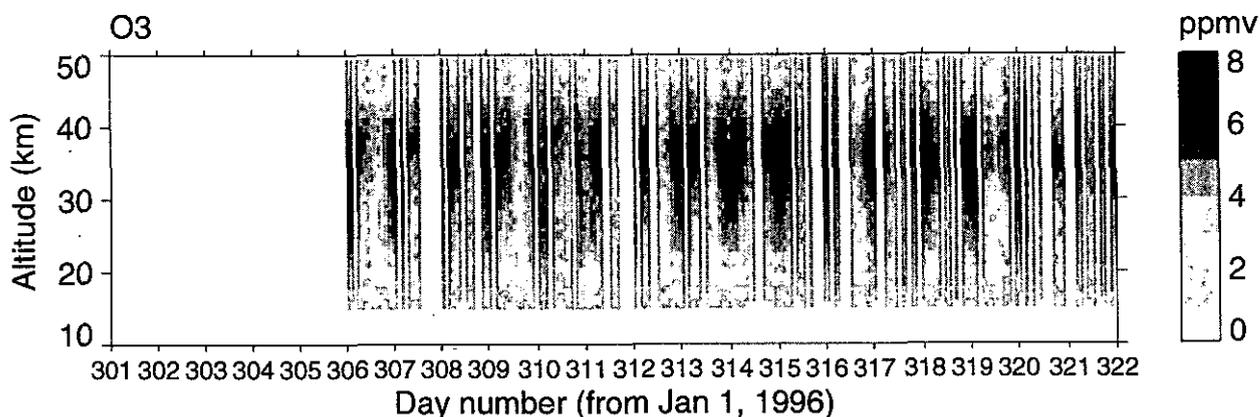
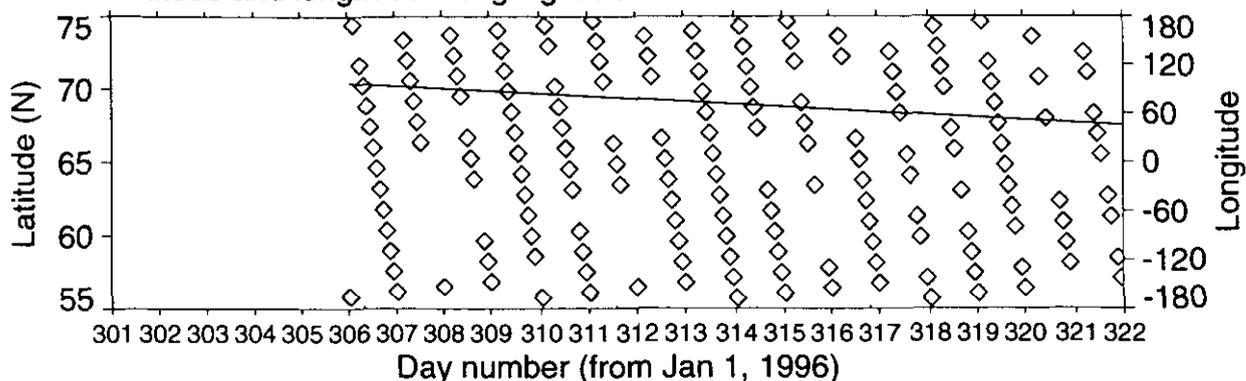


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.3(1a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1996/10/27 - 1996/11/16
 Latitude and longitude along flight track

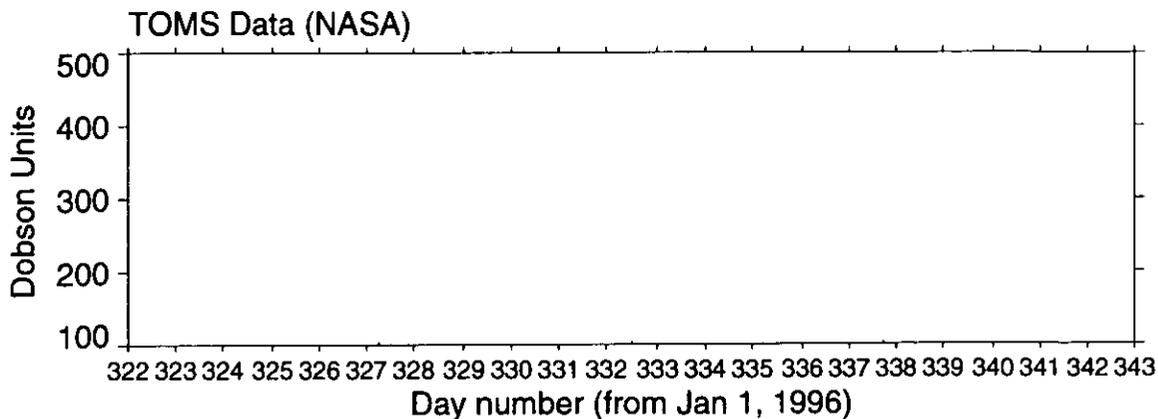
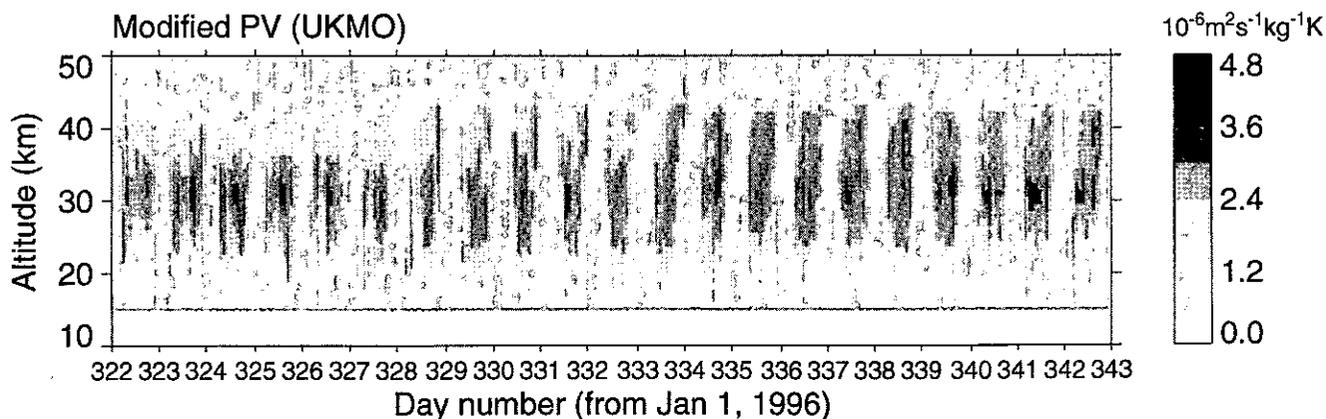
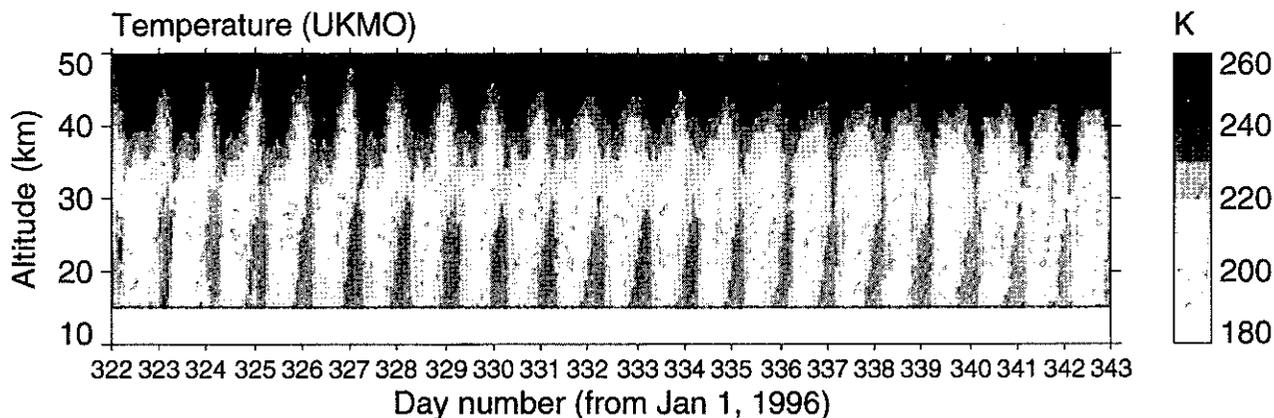
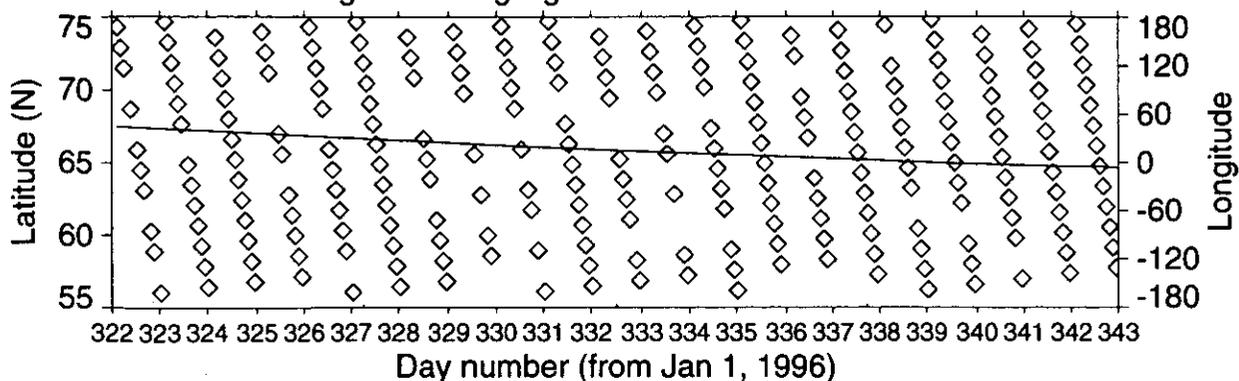


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.3 (1b) Weekly Plot (バージョン 3.10, 北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1996/11/17 - 1996/12/07
 Latitude and longitude along flight track



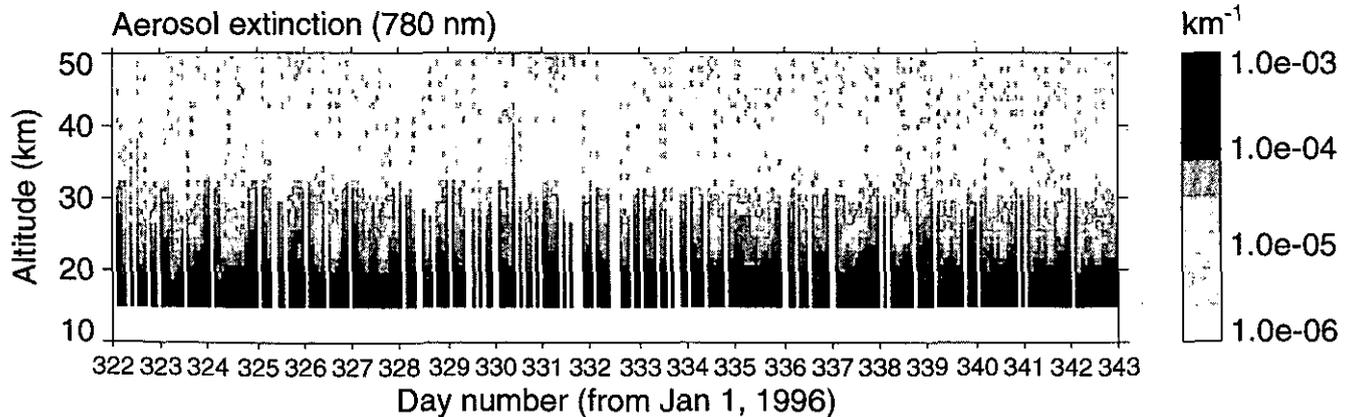
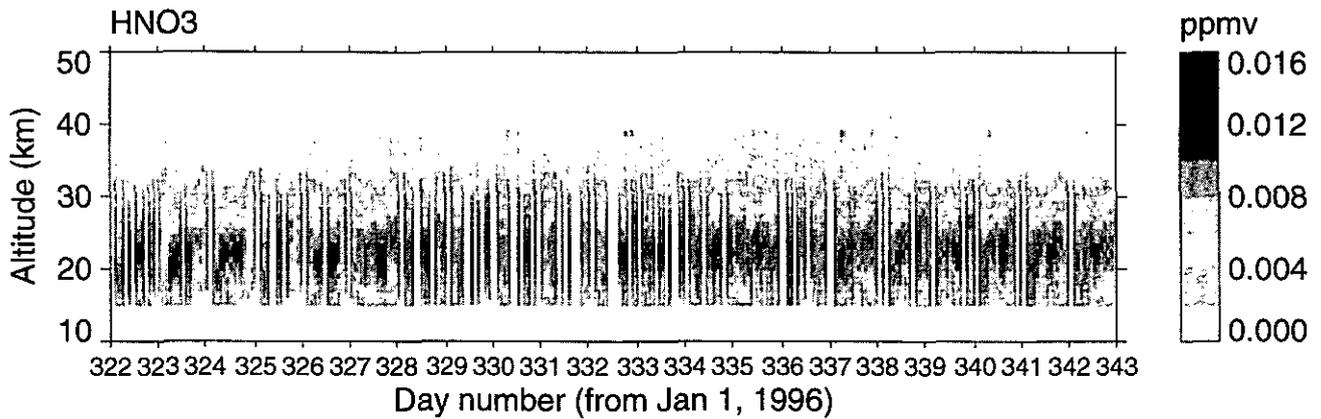
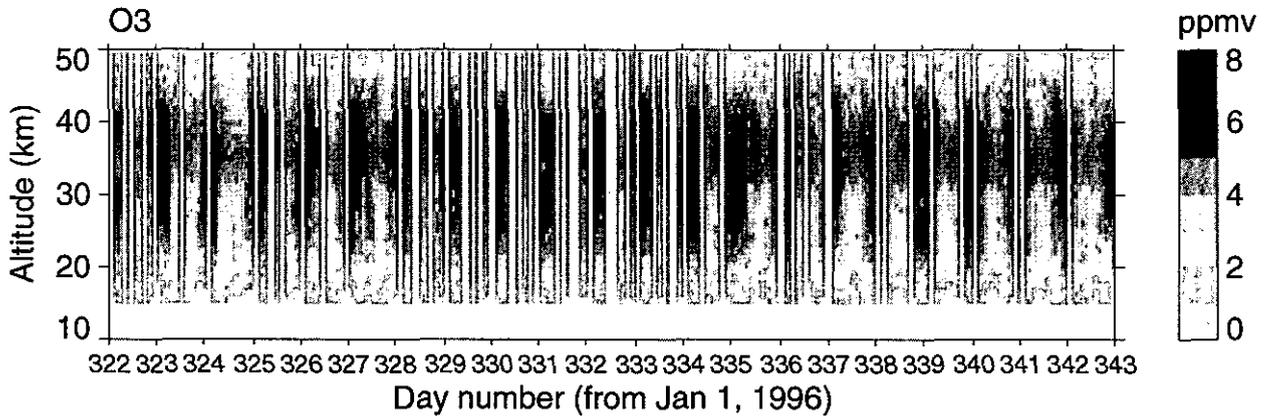
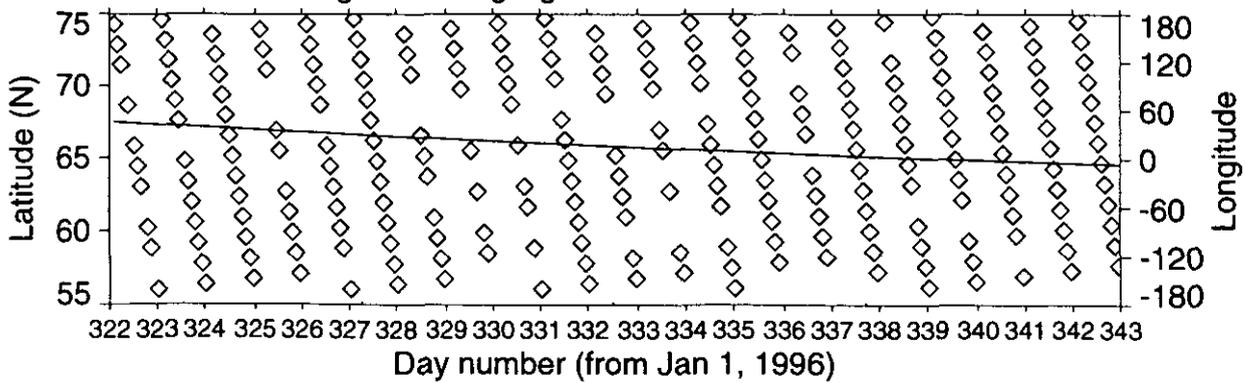
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.3(2a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1996/11/17 - 1996/12/07

Latitude and longitude along flight track

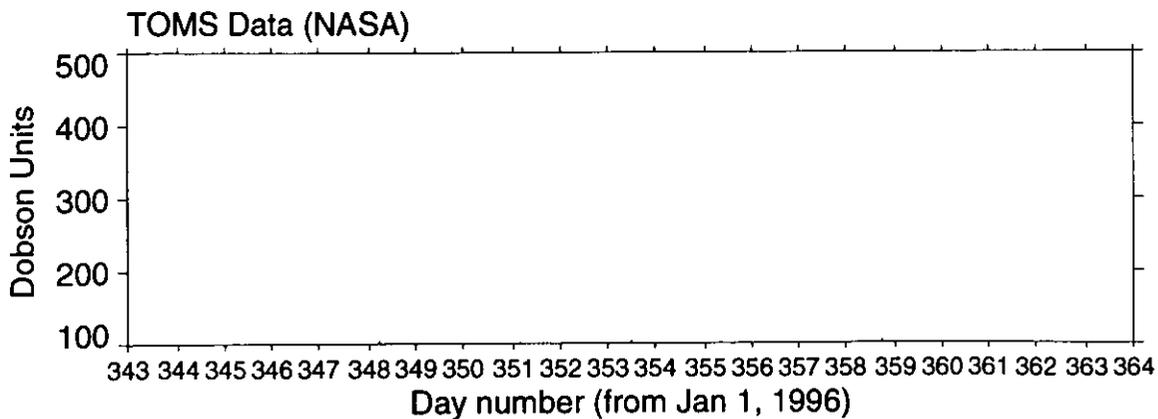
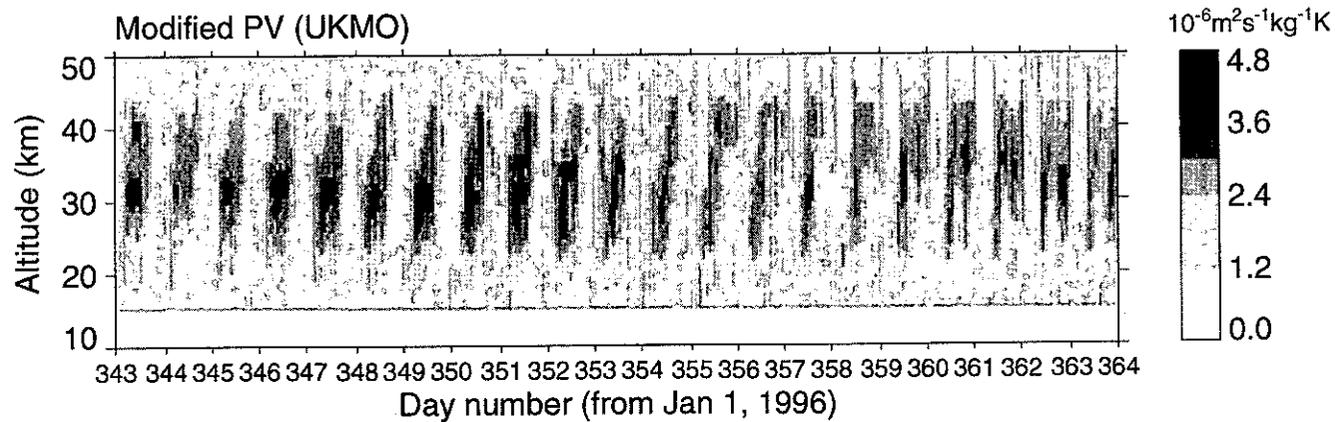
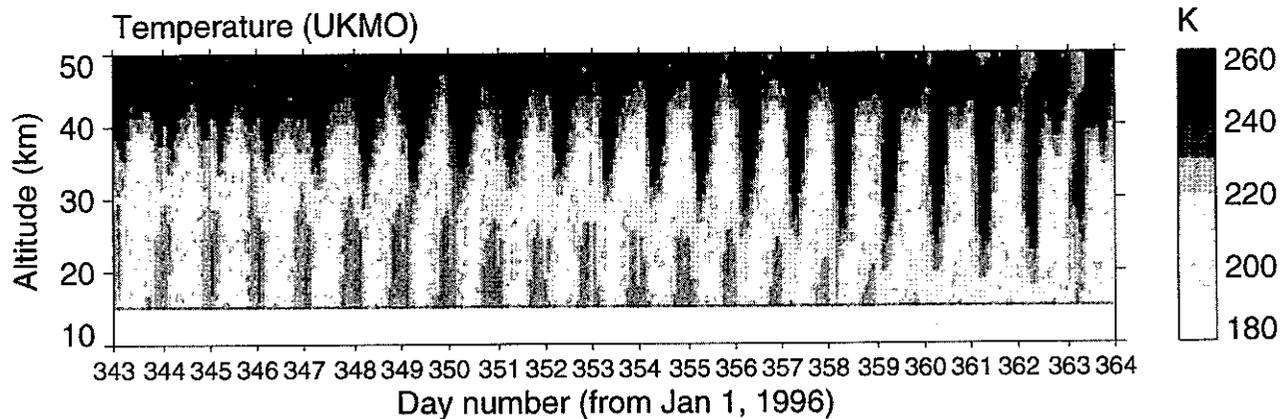
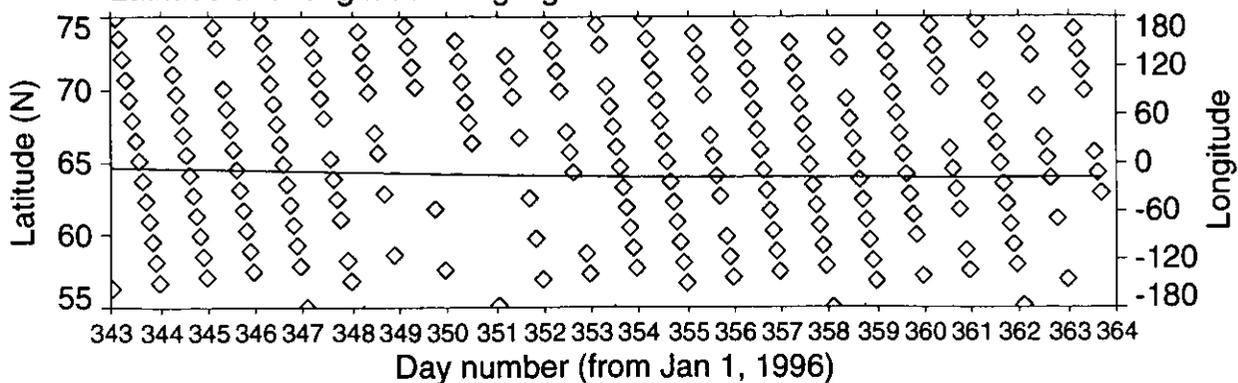


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.3(2b) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1996/12/08 - 1996/12/28
 Latitude and longitude along flight track

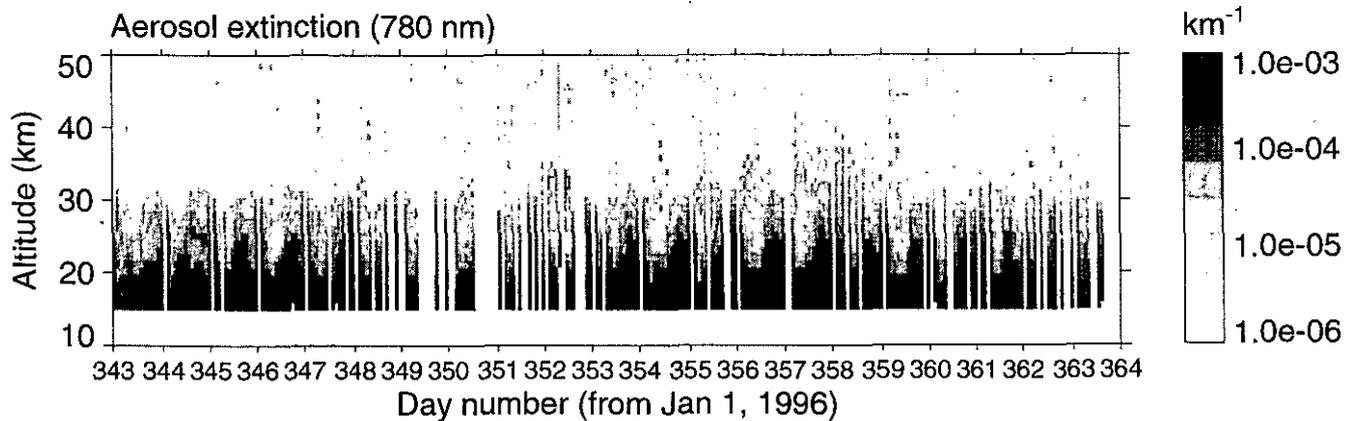
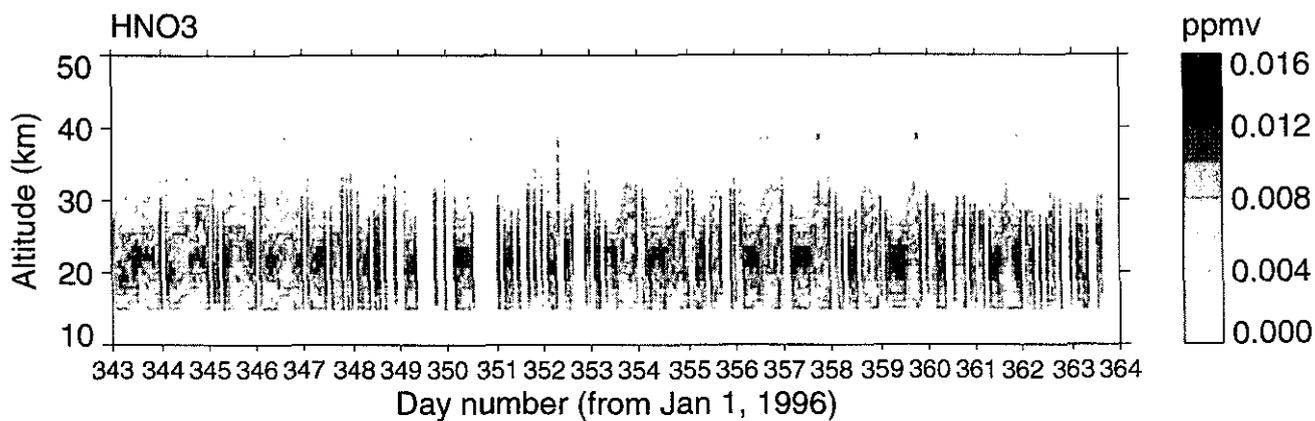
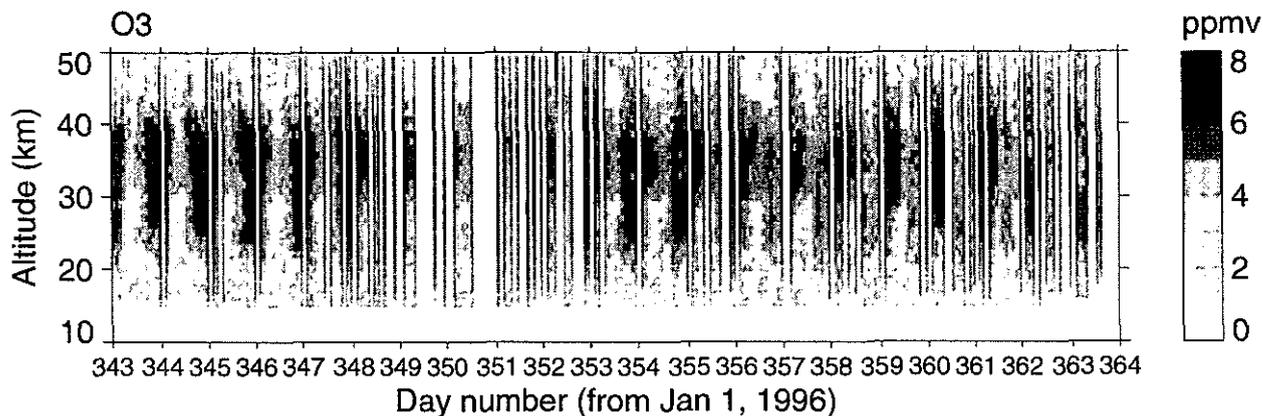
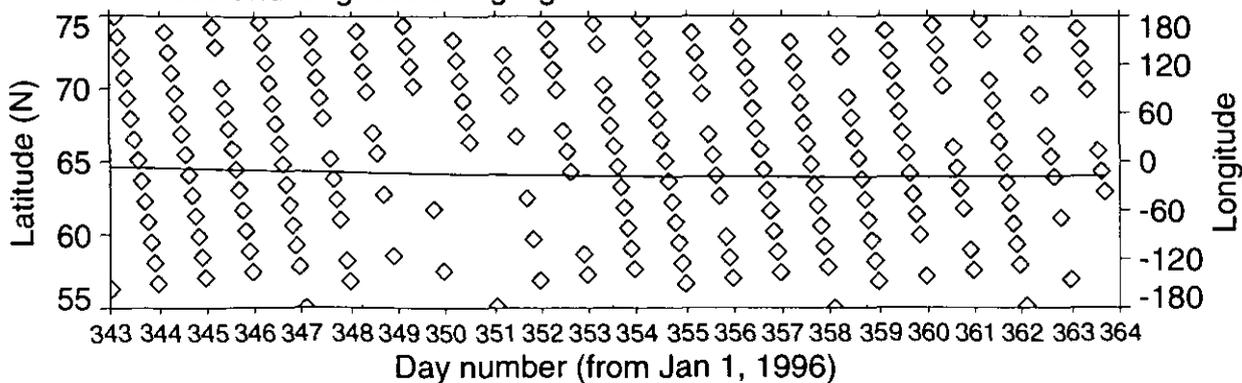


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.3(3a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1996/12/08 - 1996/12/28
 Latitude and longitude along flight track

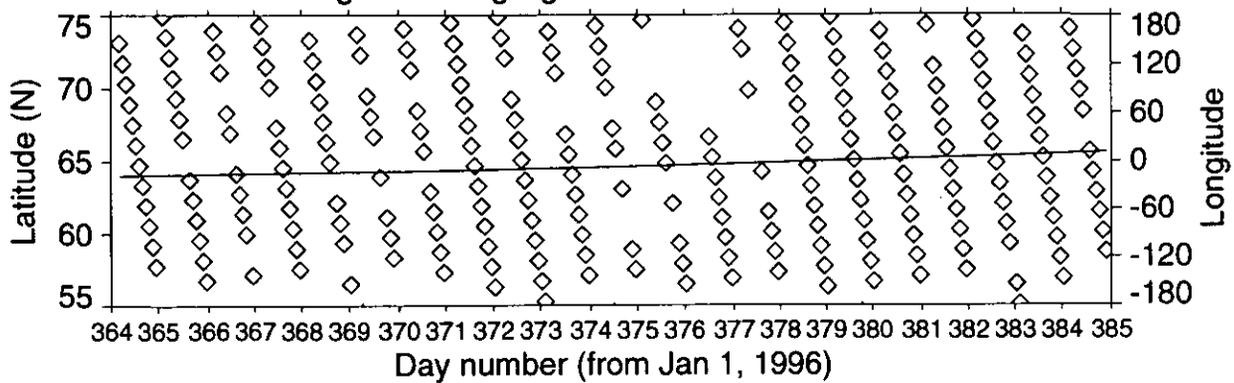


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

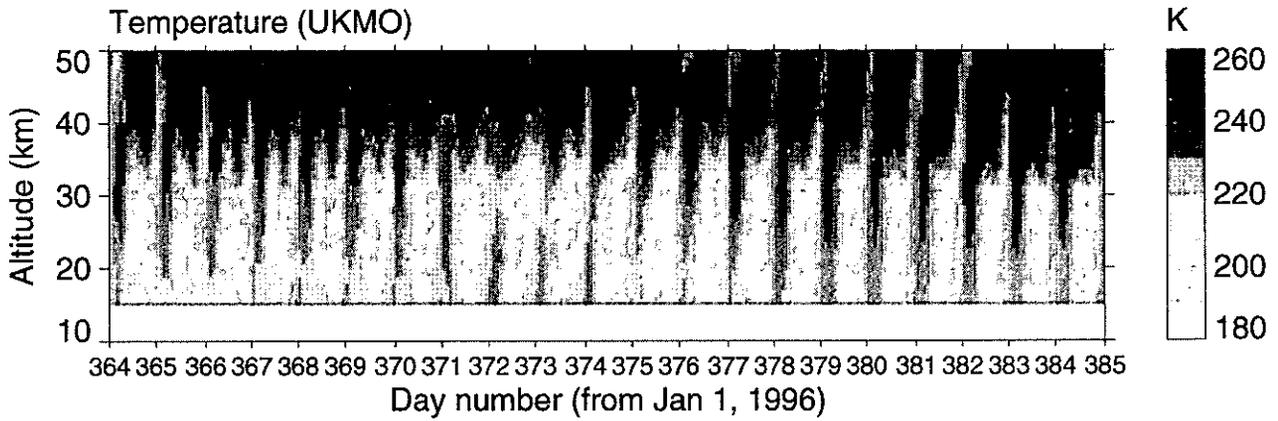
ILAS DHF

☒ 3.3 (3b) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

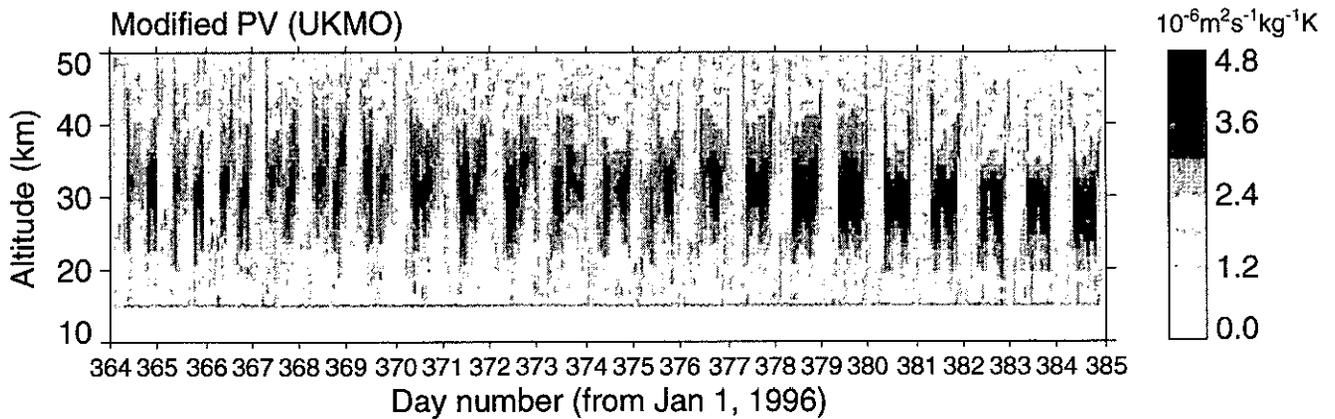
ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1996/12/29 - 1997/01/18
 Latitude and longitude along flight track



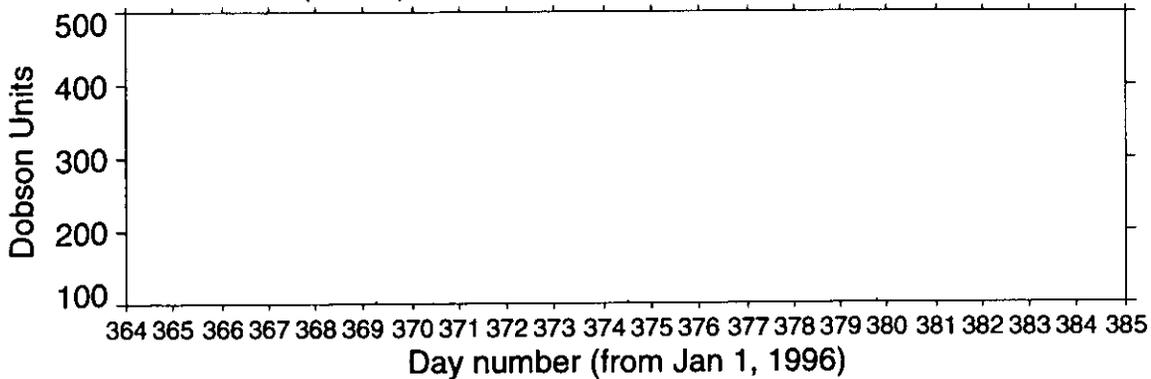
Temperature (UKMO)



Modified PV (UKMO)



TOMS Data (NASA)

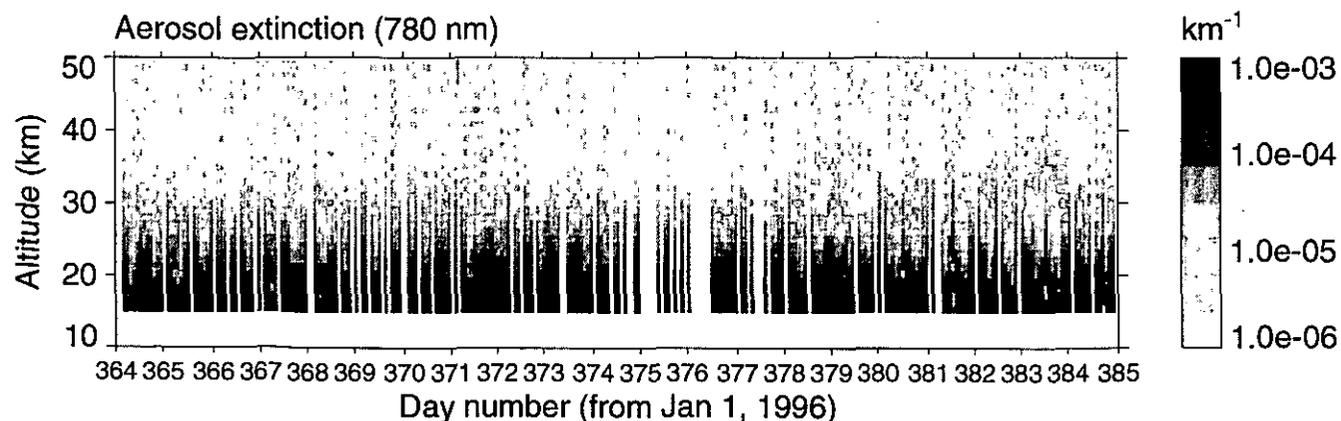
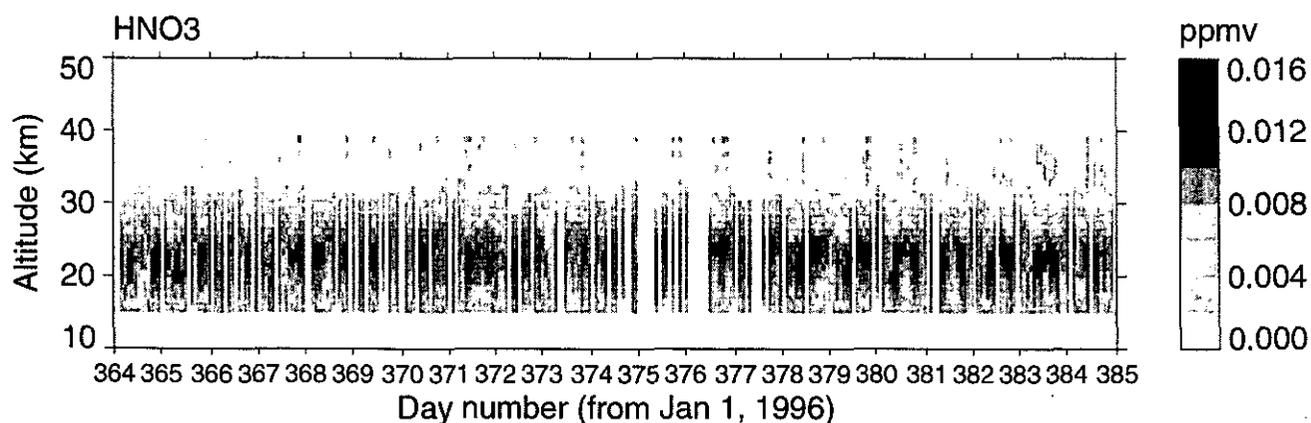
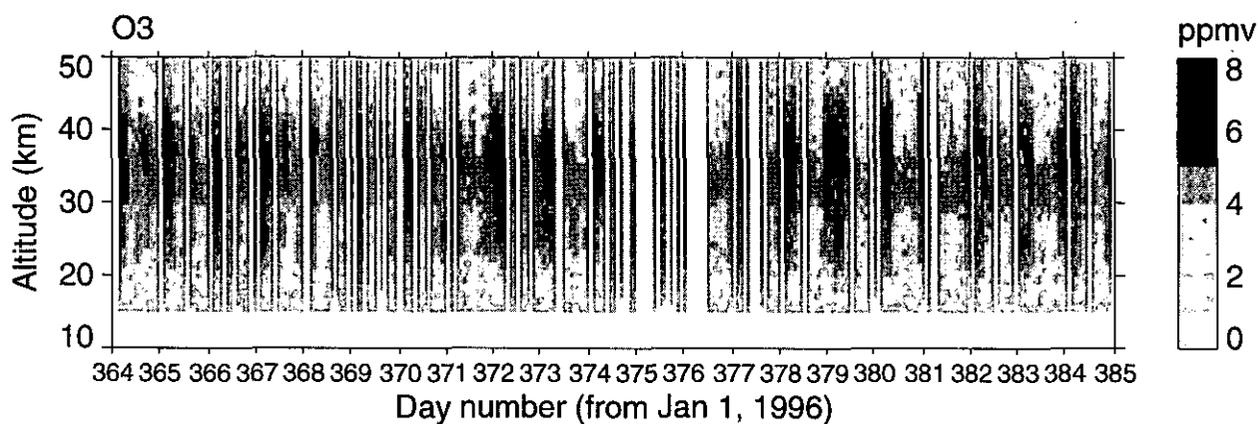
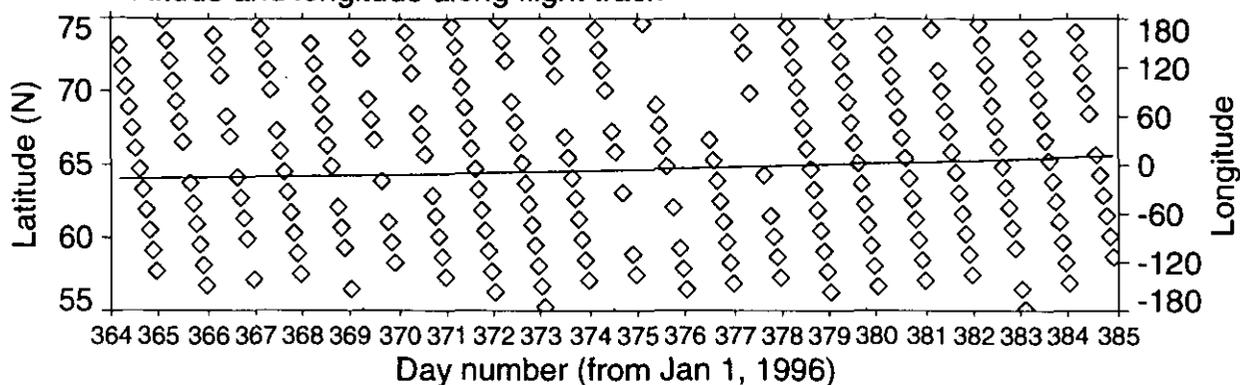


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.3(4a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1996/12/29 - 1997/01/18
 Latitude and longitude along flight track

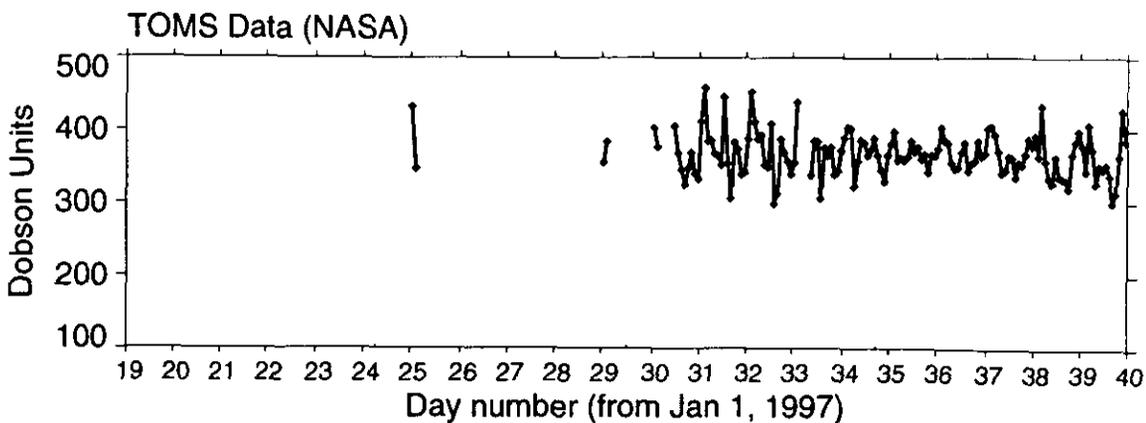
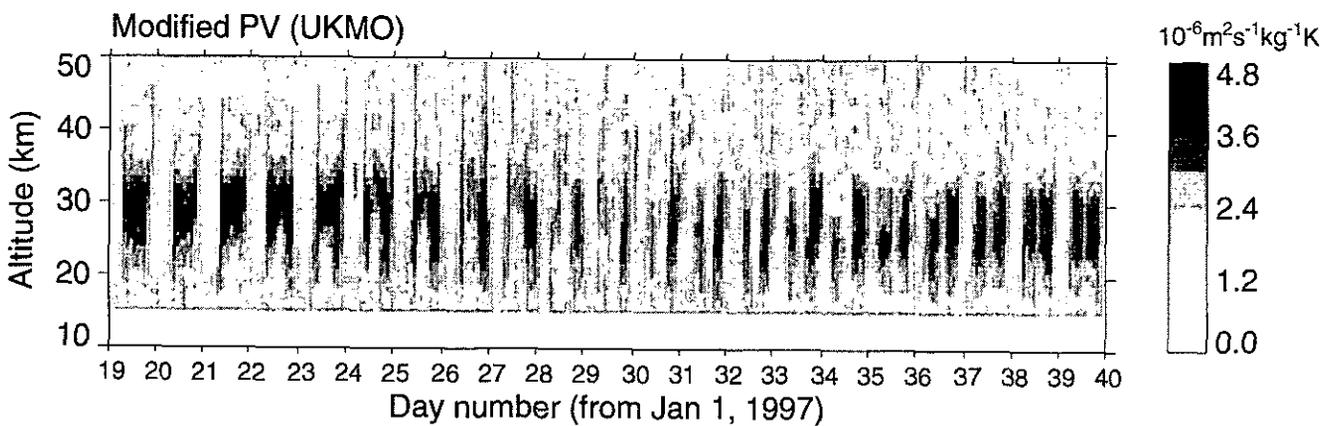
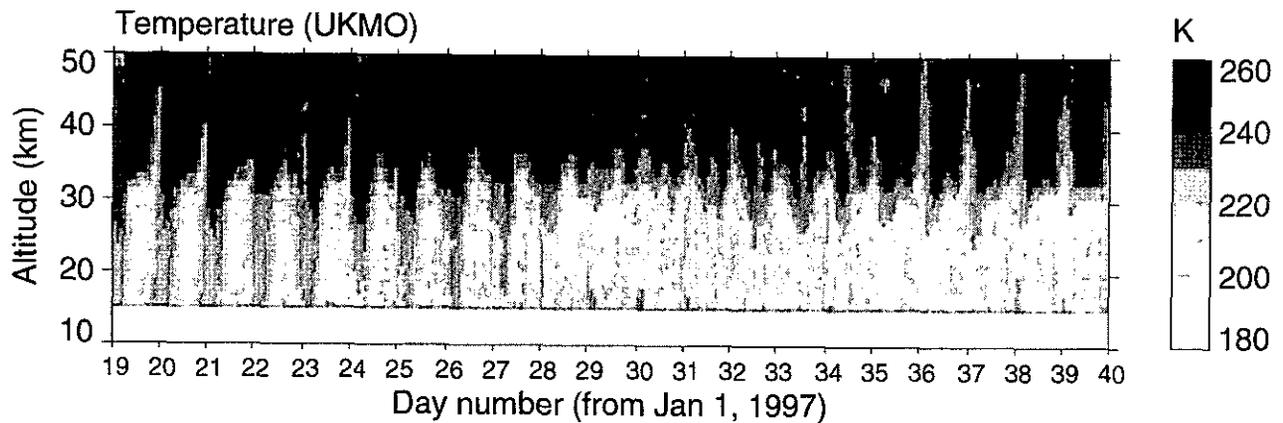
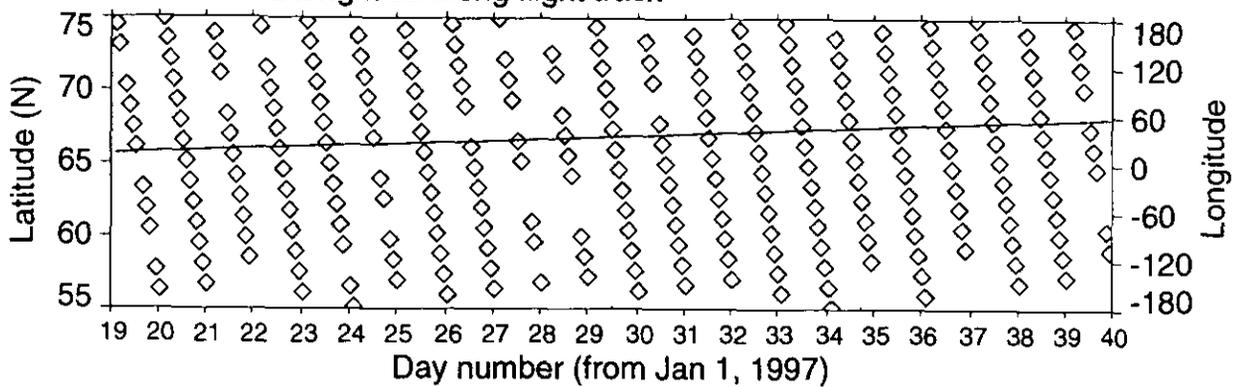


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.3(4b) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/01/19 - 1997/02/08
 Latitude and longitude along flight track

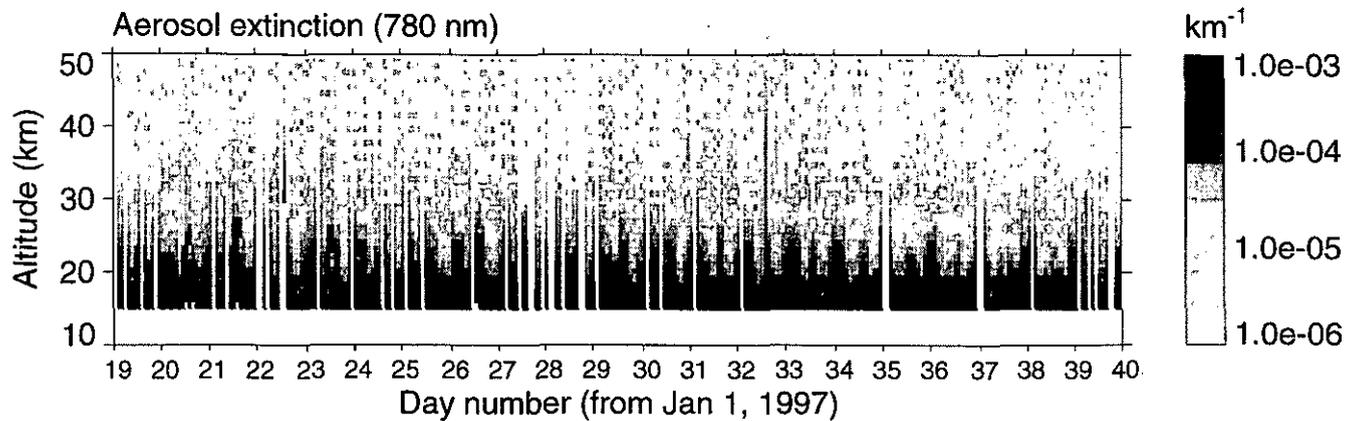
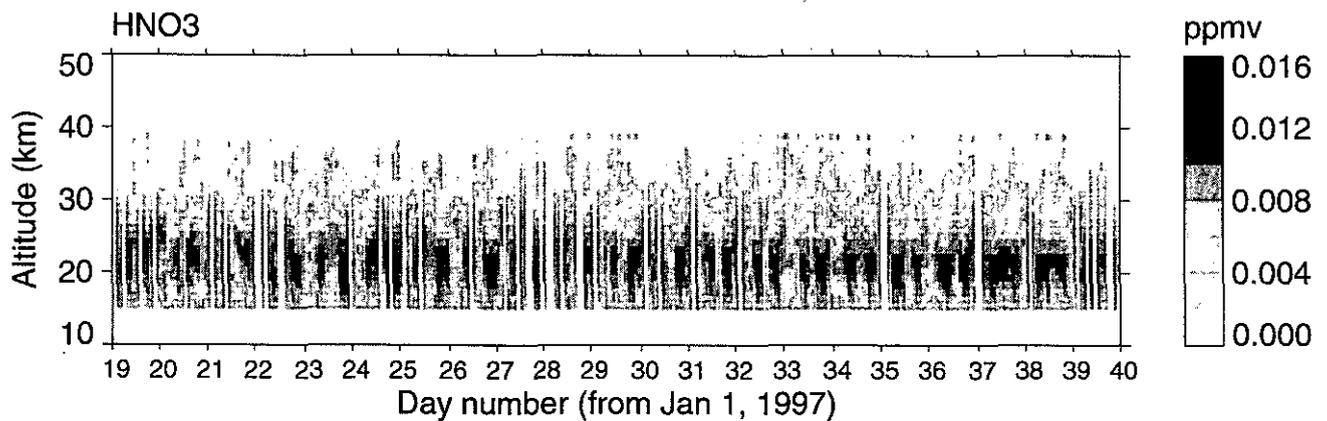
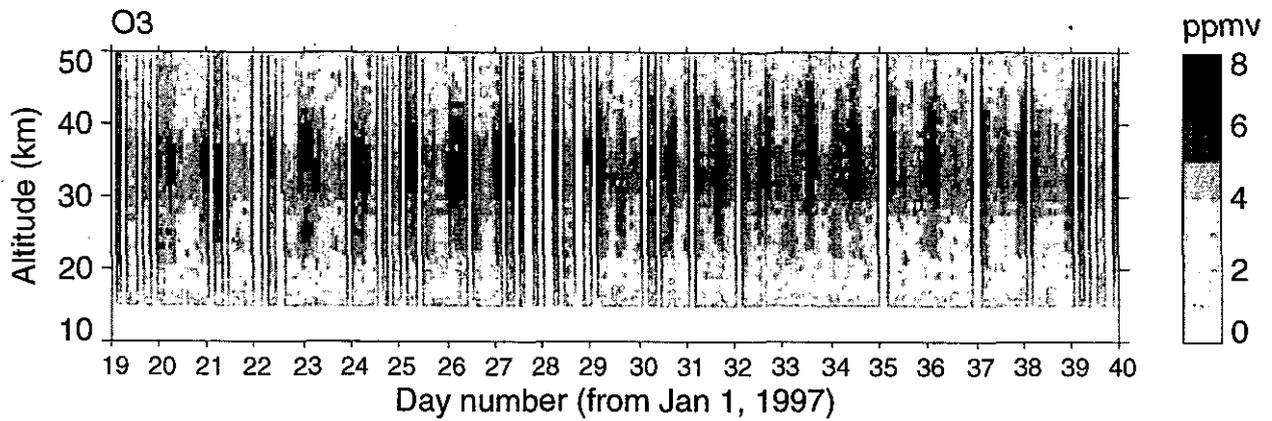
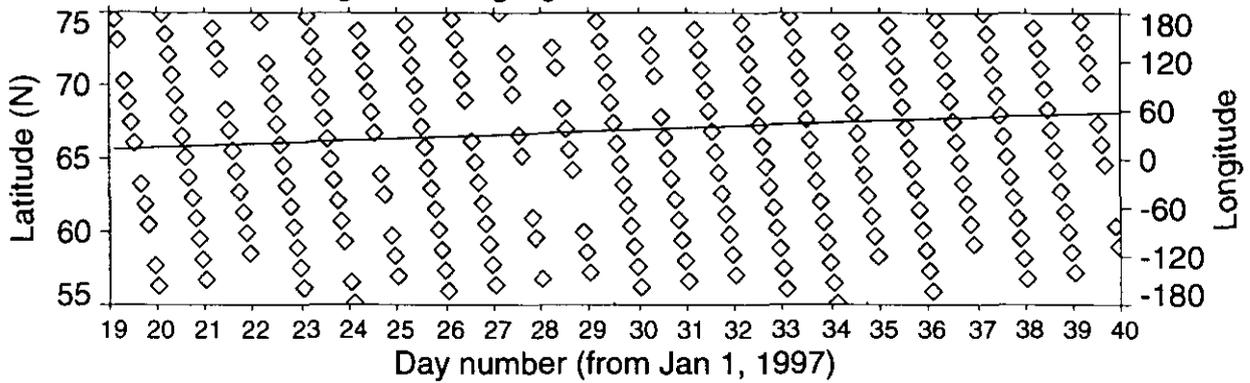


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.3(5a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/01/19 - 1997/02/08
 Latitude and longitude along flight track

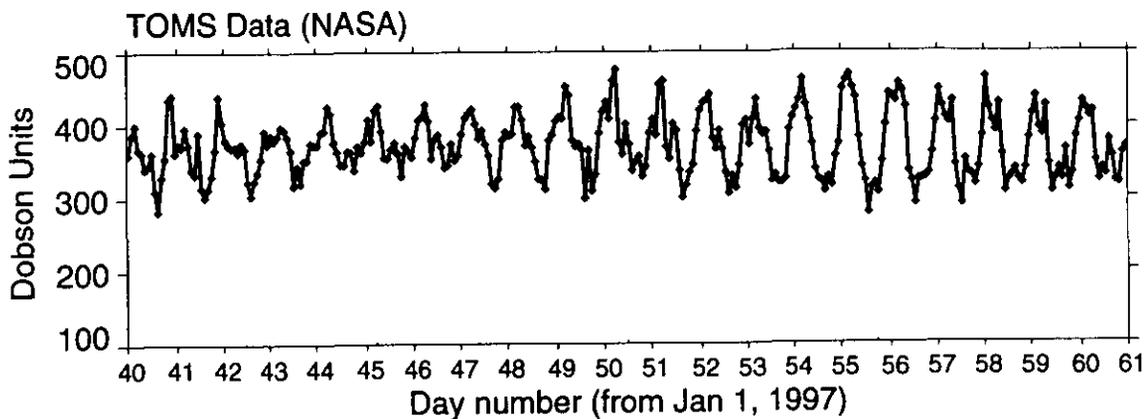
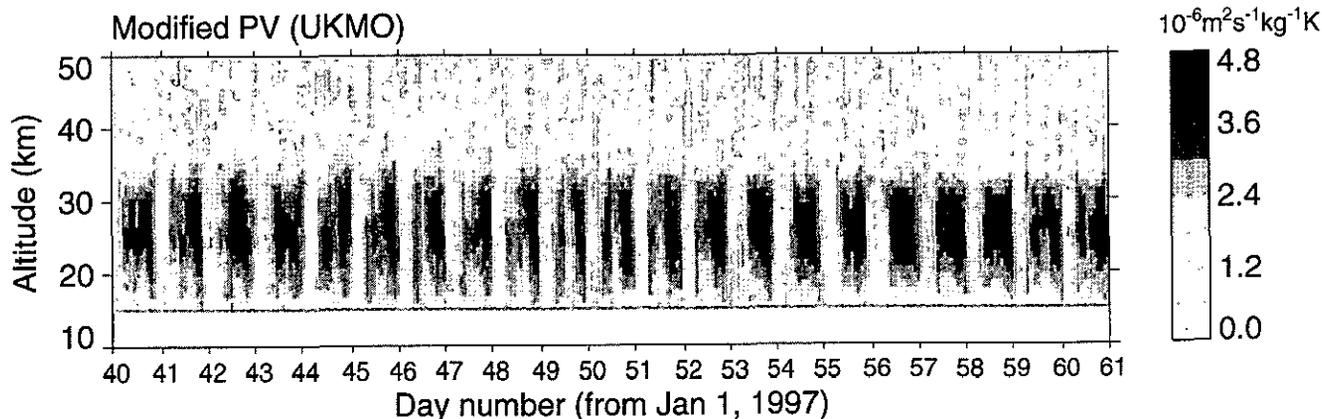
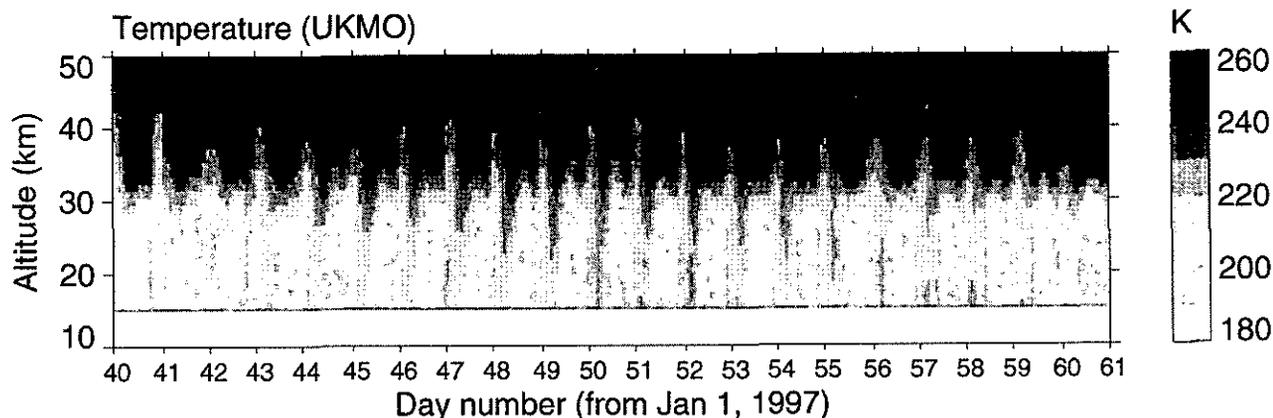
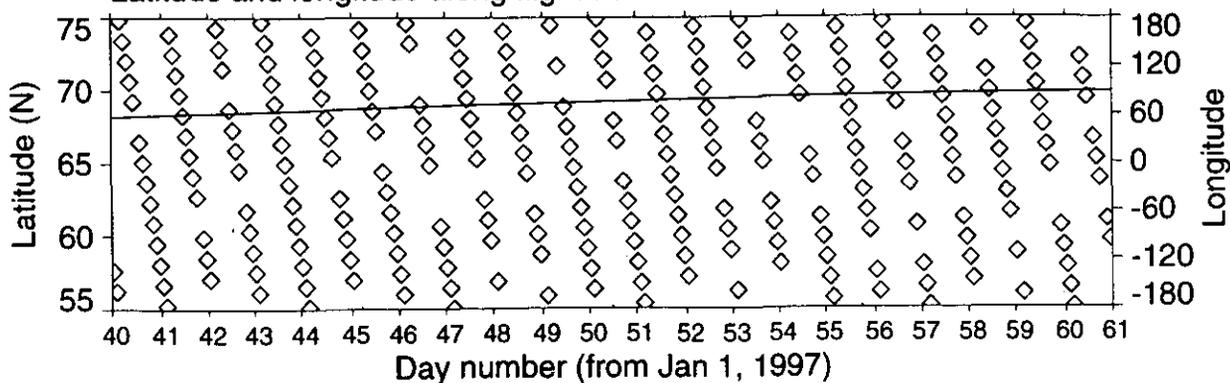


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.3 (5b) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/02/09 - 1997/03/01
 Latitude and longitude along flight track

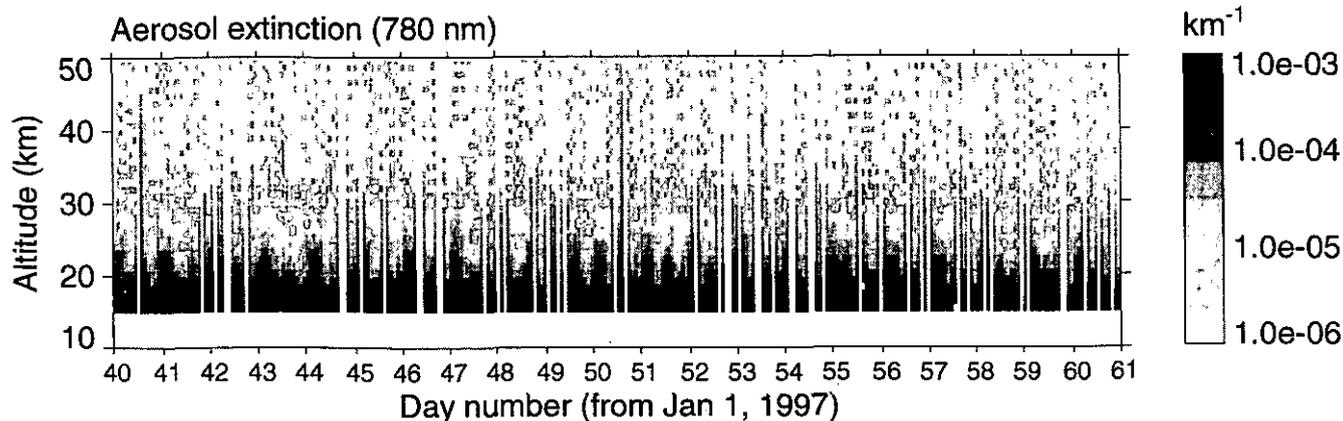
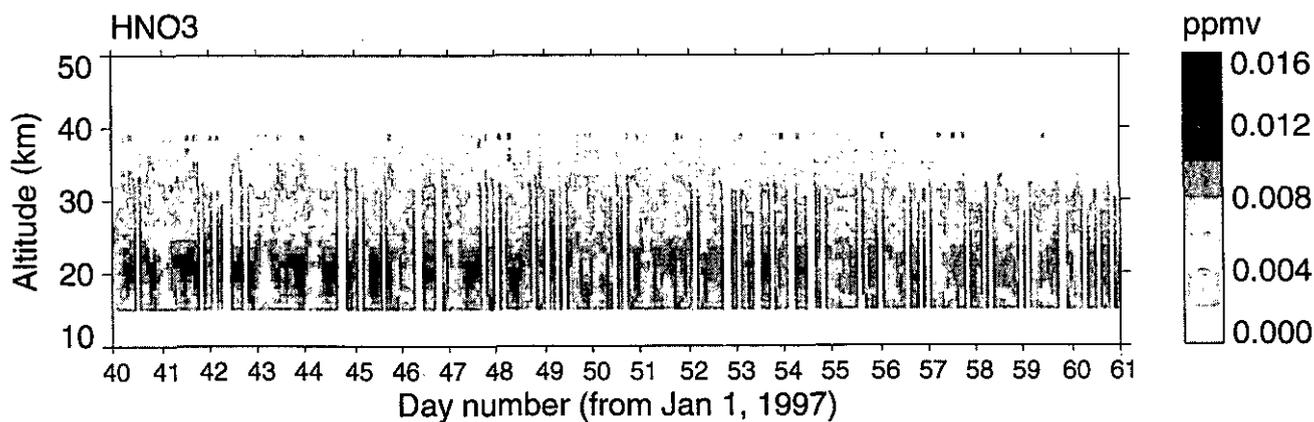
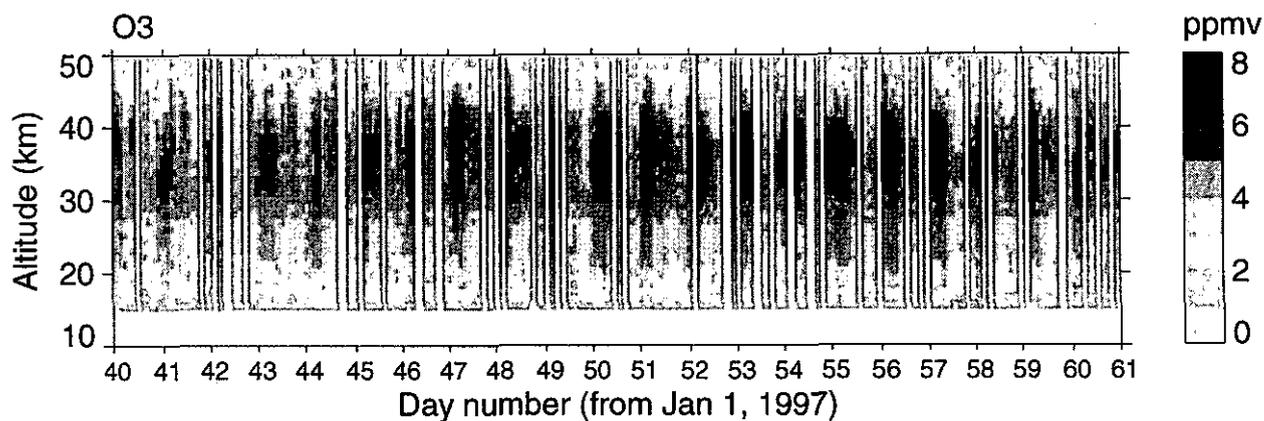
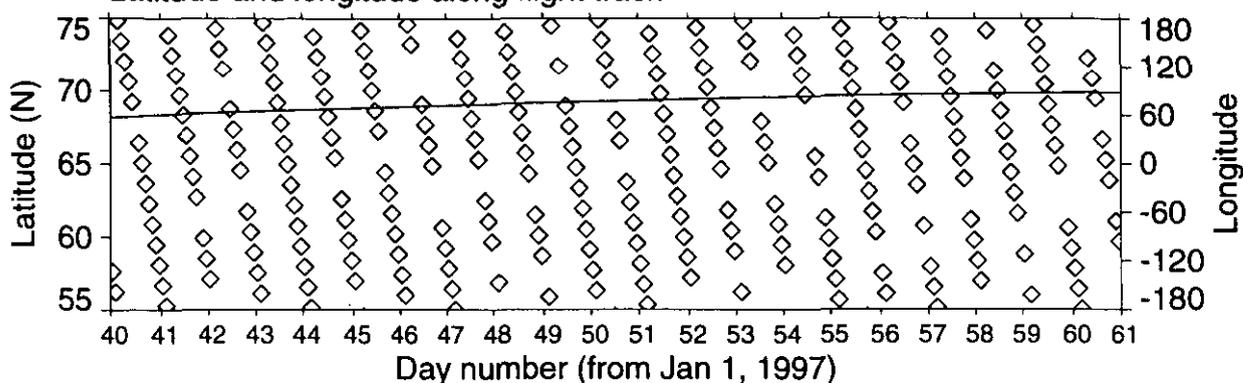


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.3 (6a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/02/09 - 1997/03/01
 Latitude and longitude along flight track



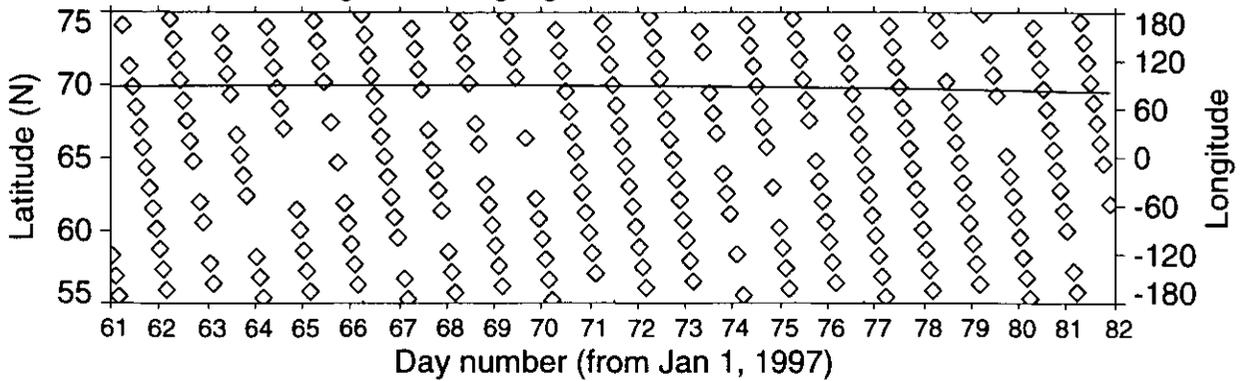
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

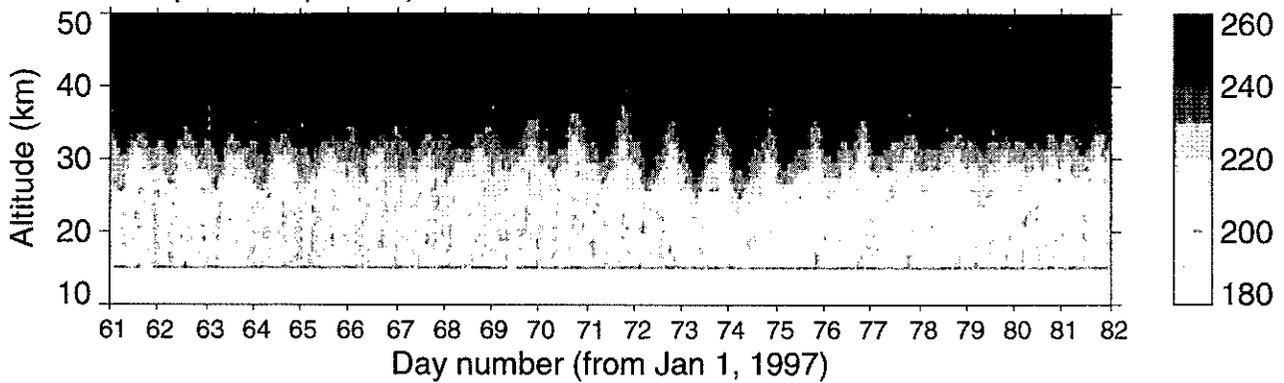
☒ 3.3 (6b) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/03/02 - 1997/03/22

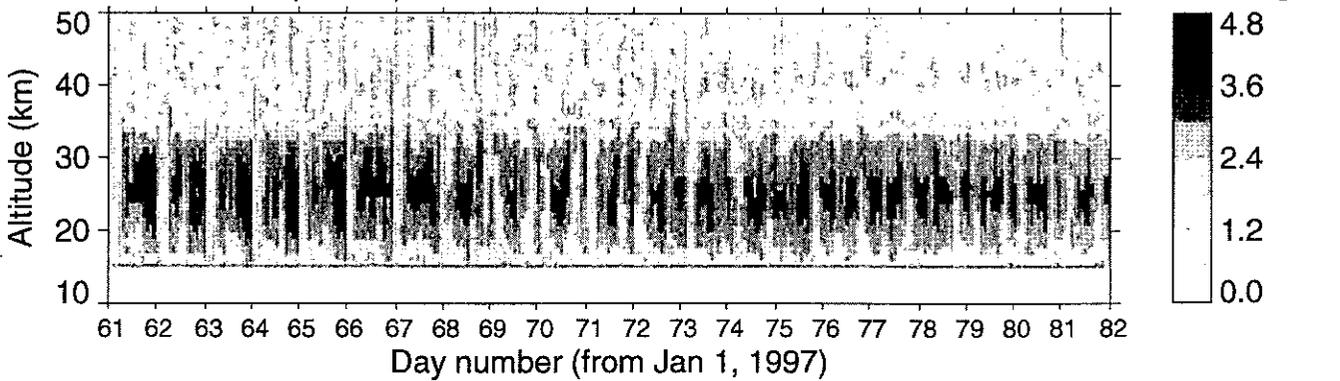
Latitude and longitude along flight track



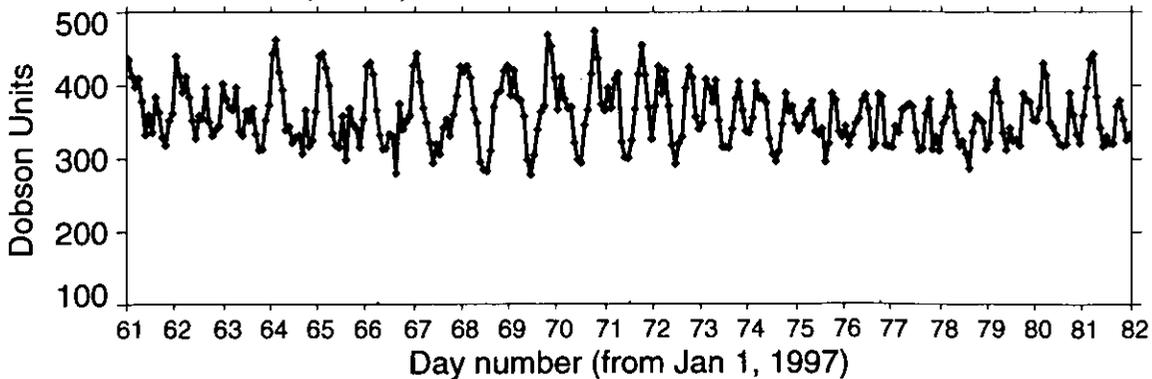
Temperature (UKMO)



Modified PV (UKMO)



TOMS Data (NASA)

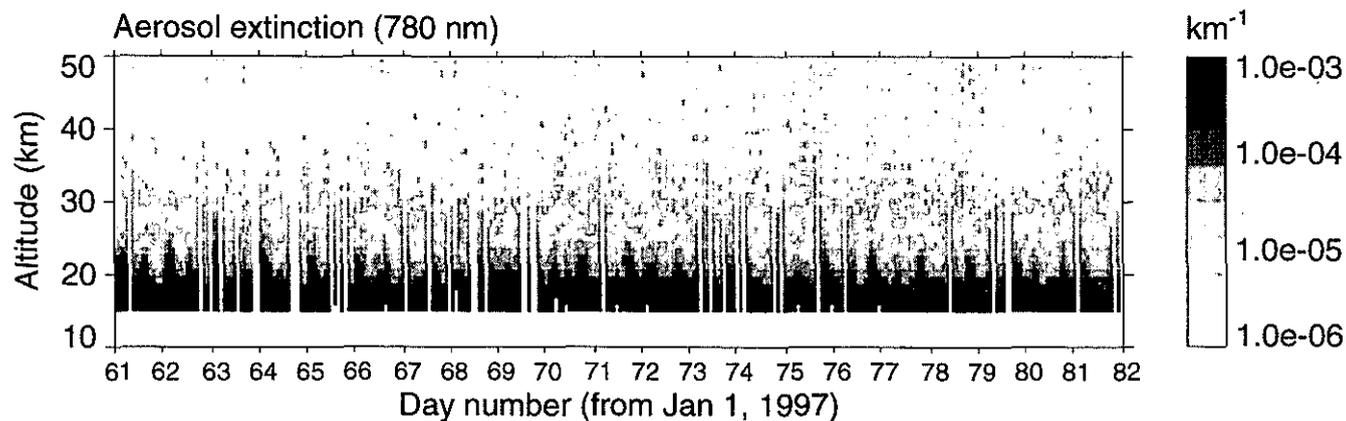
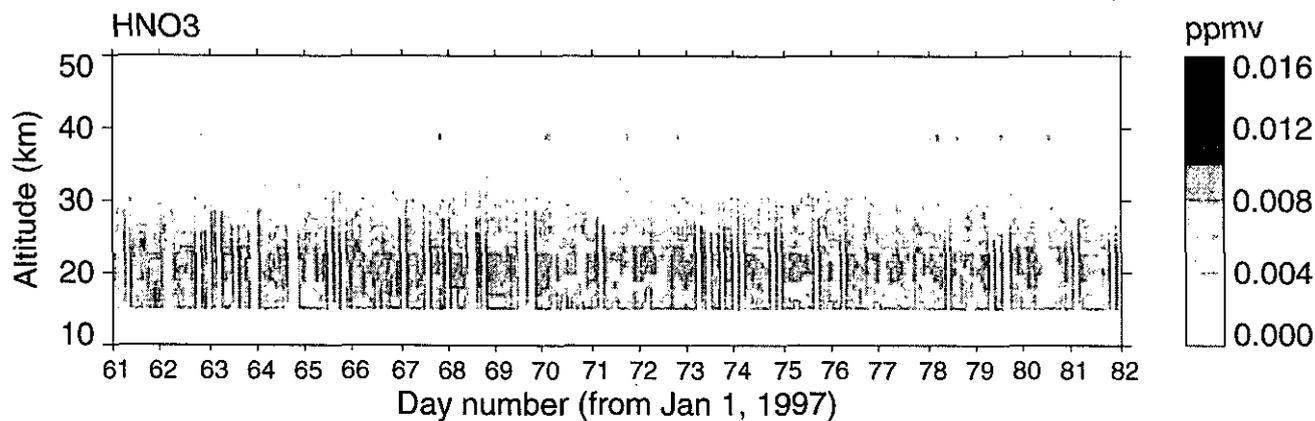
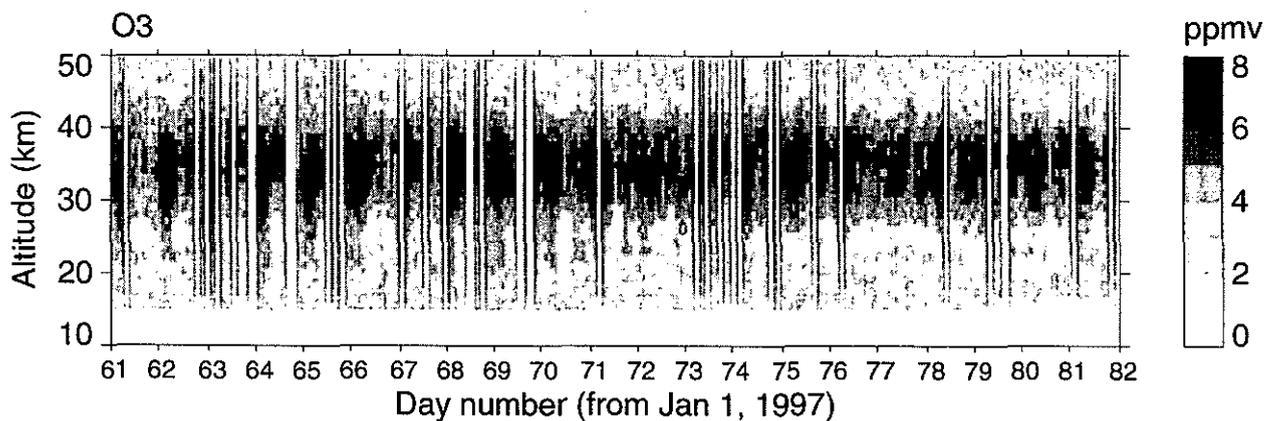
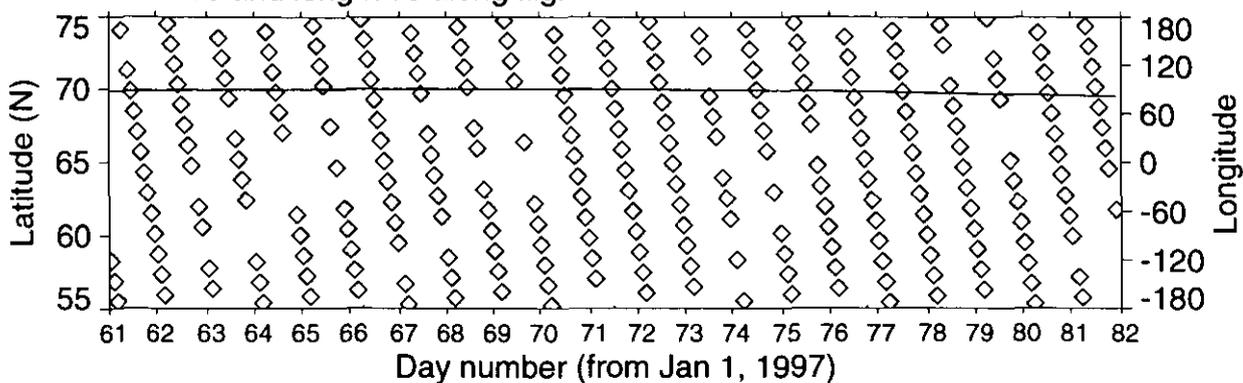


White < Minimum value in color scale
Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.3 (7a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/03/02 - 1997/03/22
 Latitude and longitude along flight track

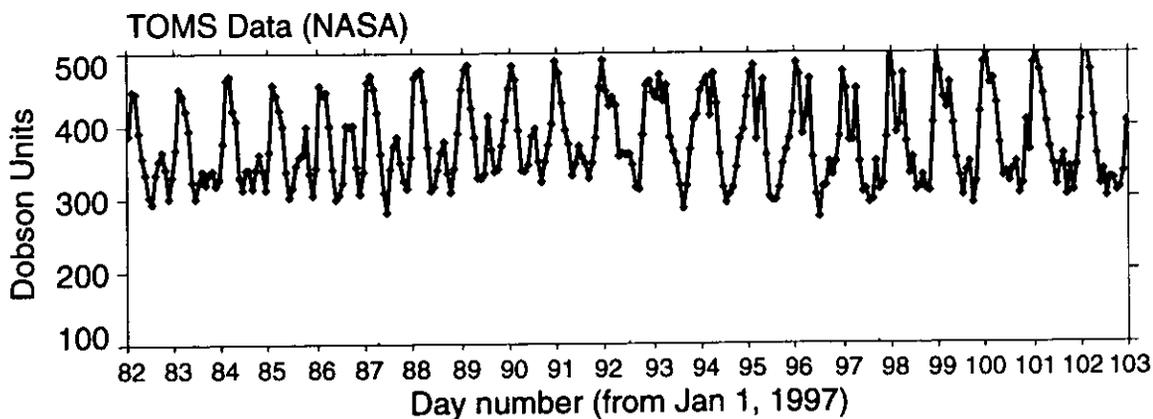
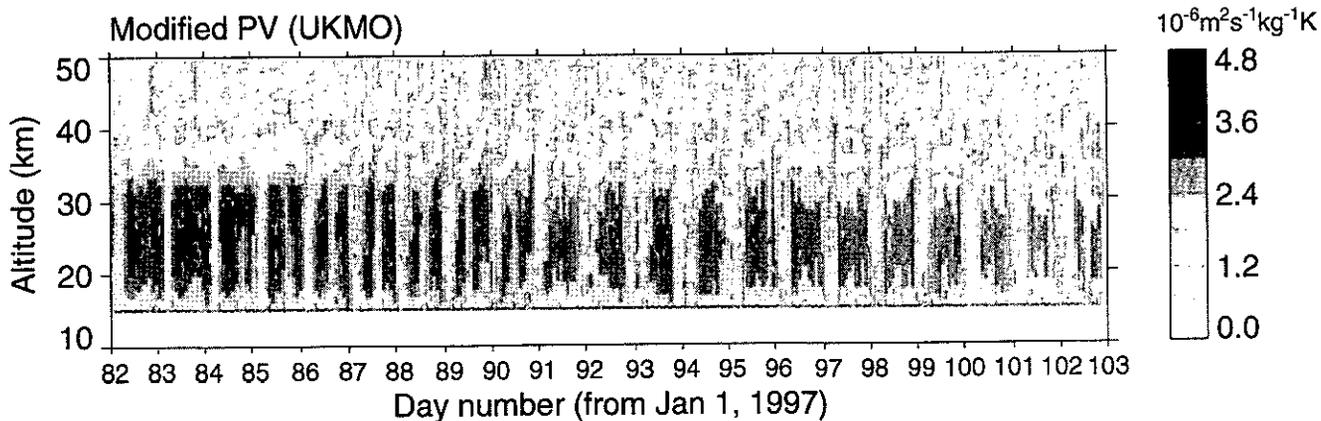
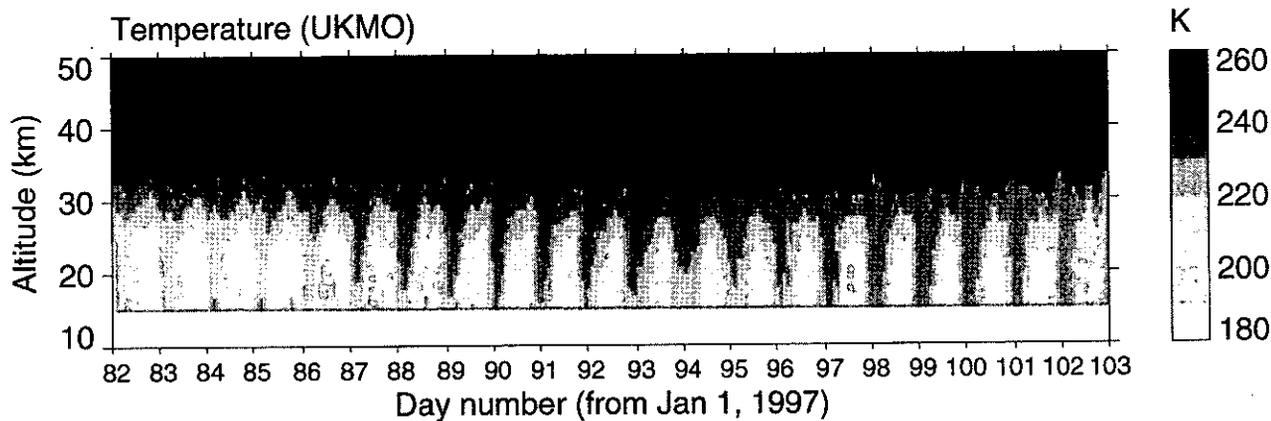
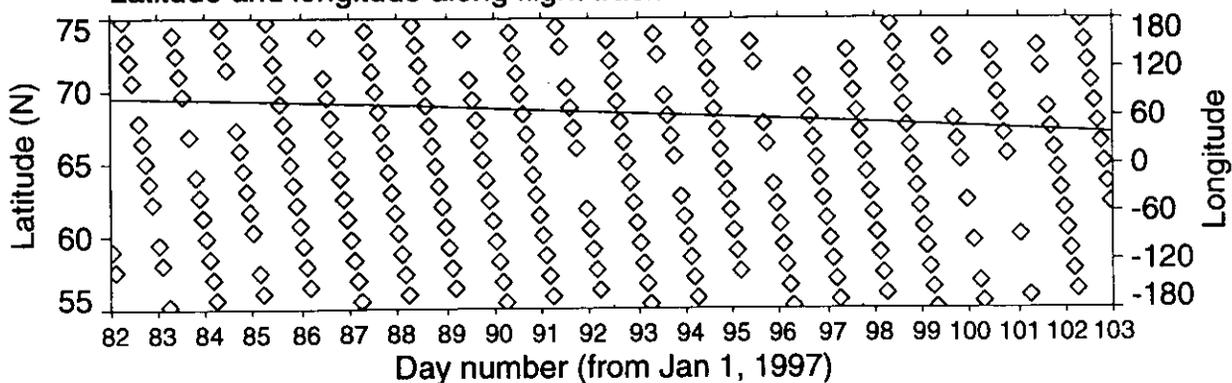


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.3 (7b) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/03/23 - 1997/04/12
 Latitude and longitude along flight track

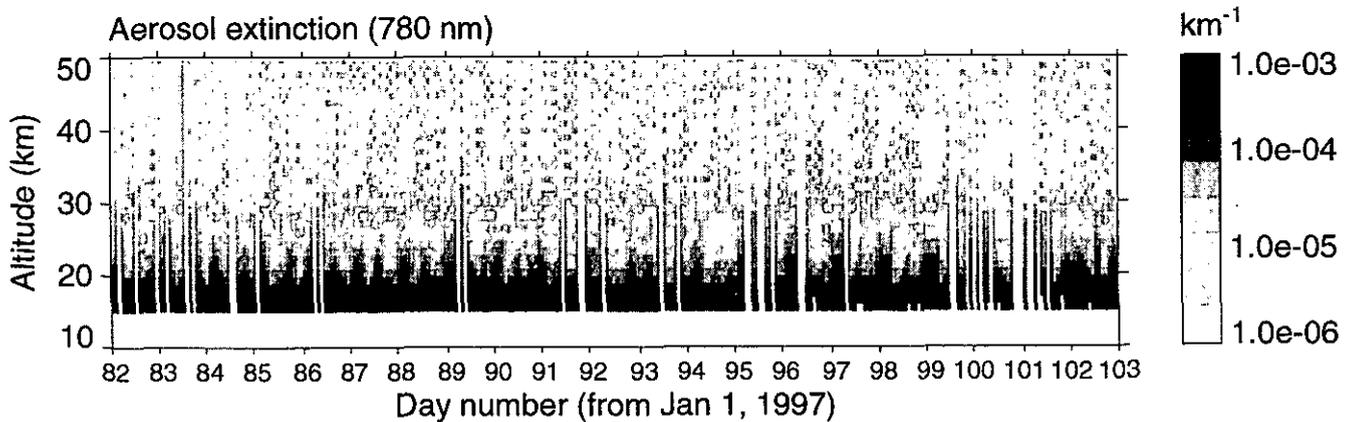
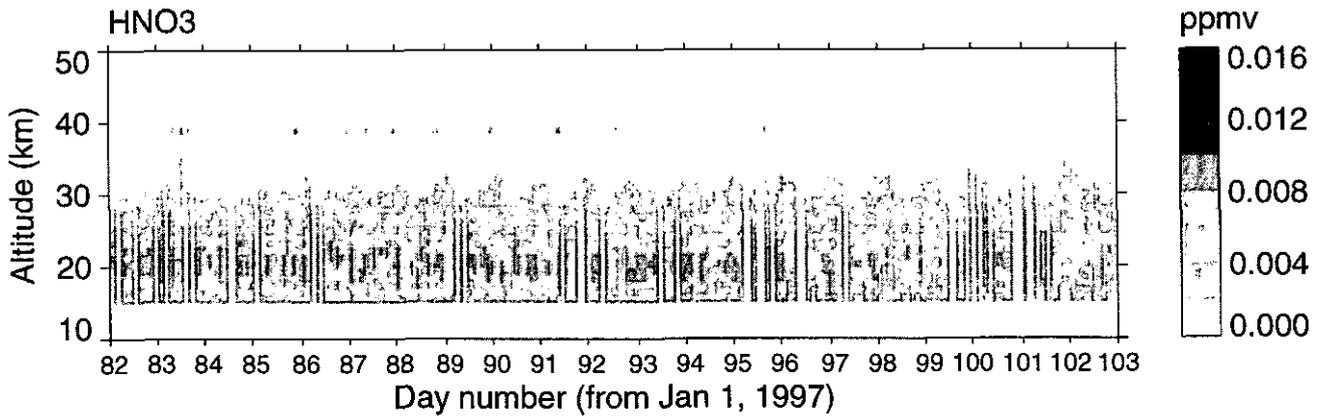
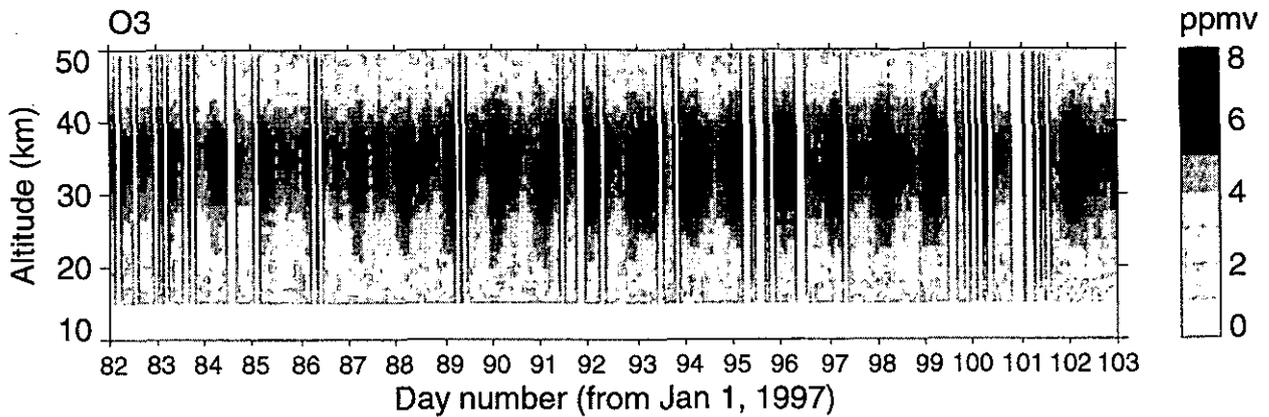
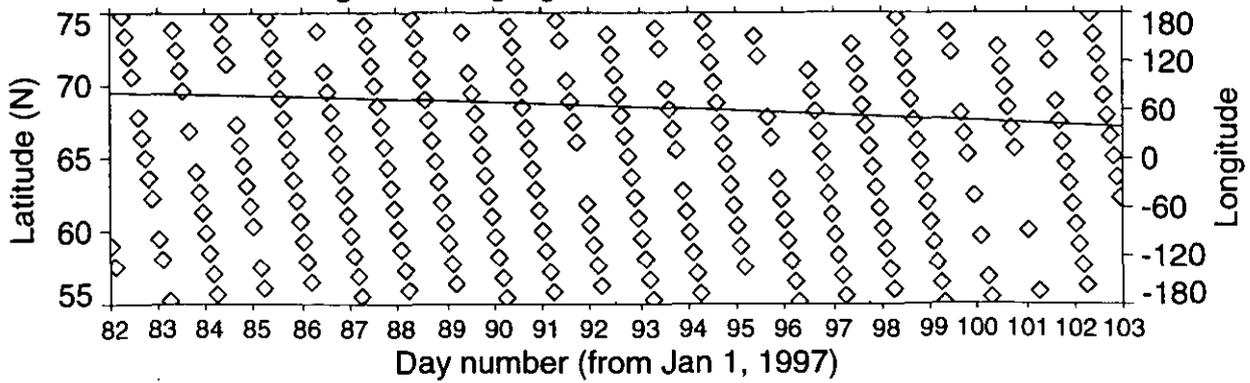


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

☒ 3.3(8a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ILAS DHF

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/03/23 - 1997/04/12
 Latitude and longitude along flight track

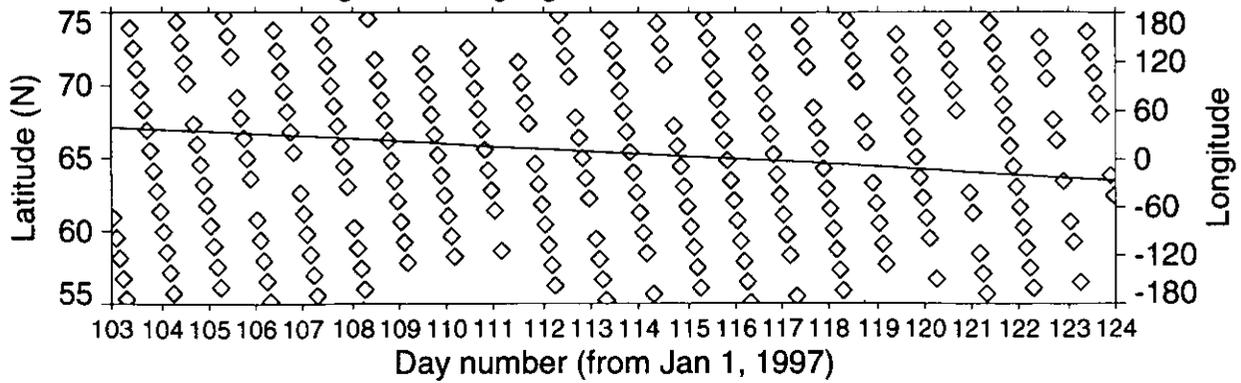


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

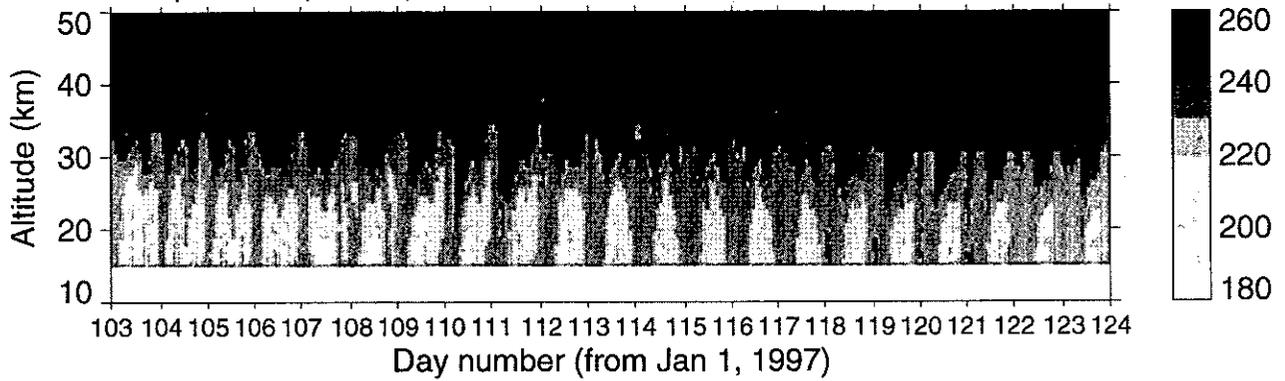
☒ 3.3(8b) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ILAS DHF

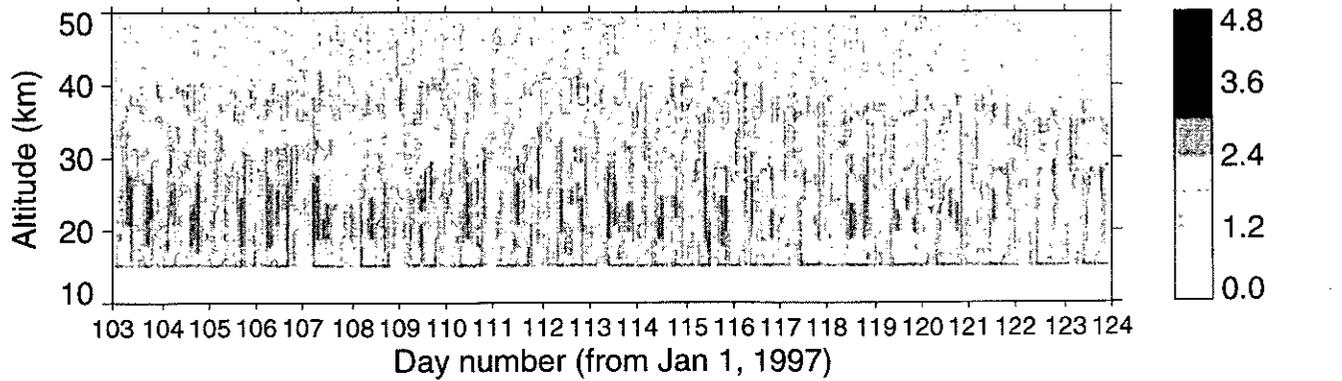
ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/04/13 - 1997/05/03
 Latitude and longitude along flight track



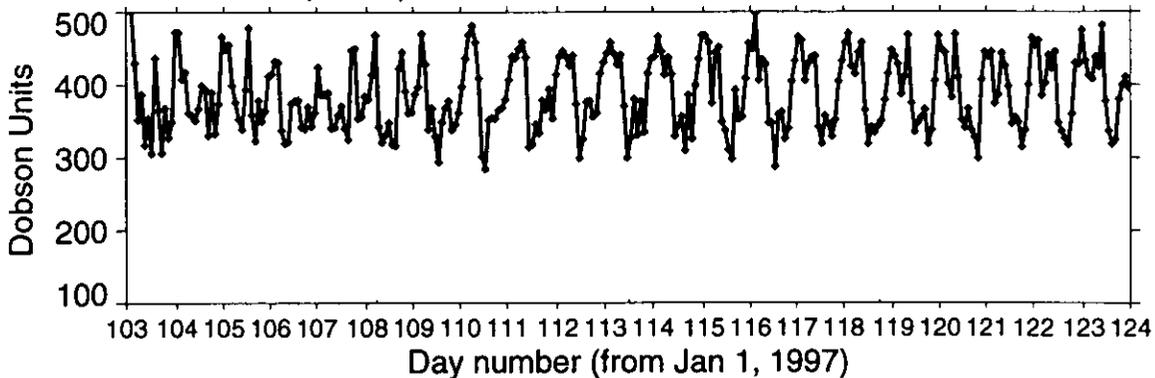
Temperature (UKMO)



Modified PV (UKMO)



TOMS Data (NASA)



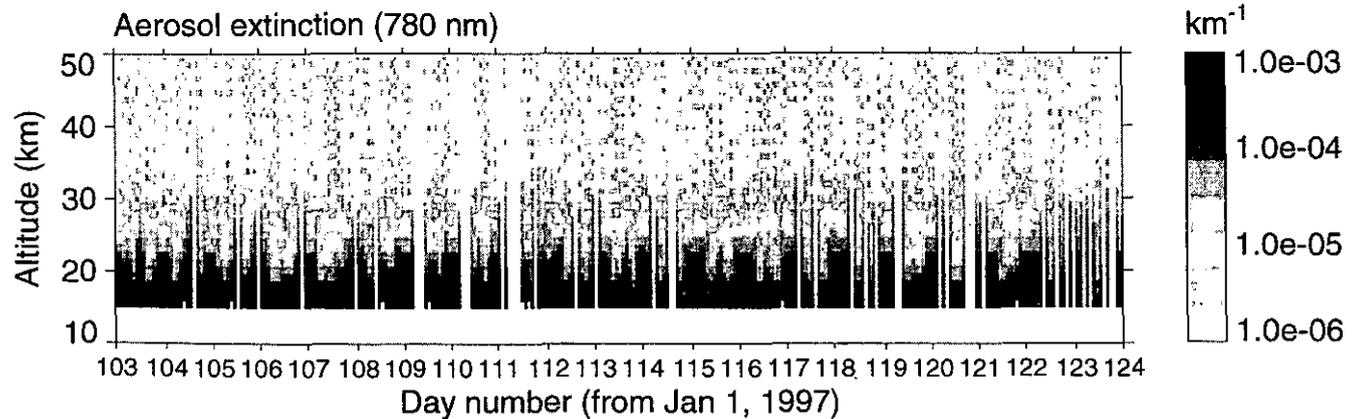
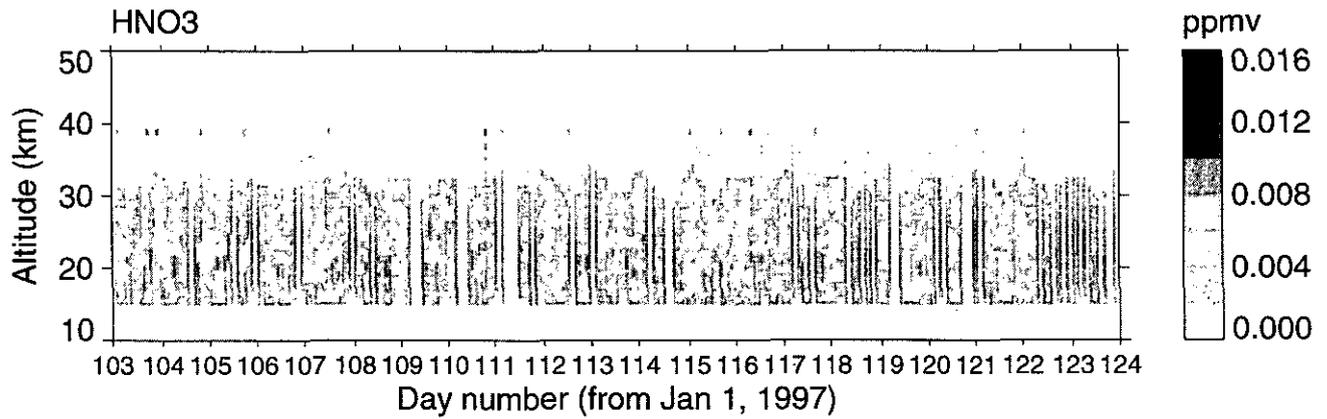
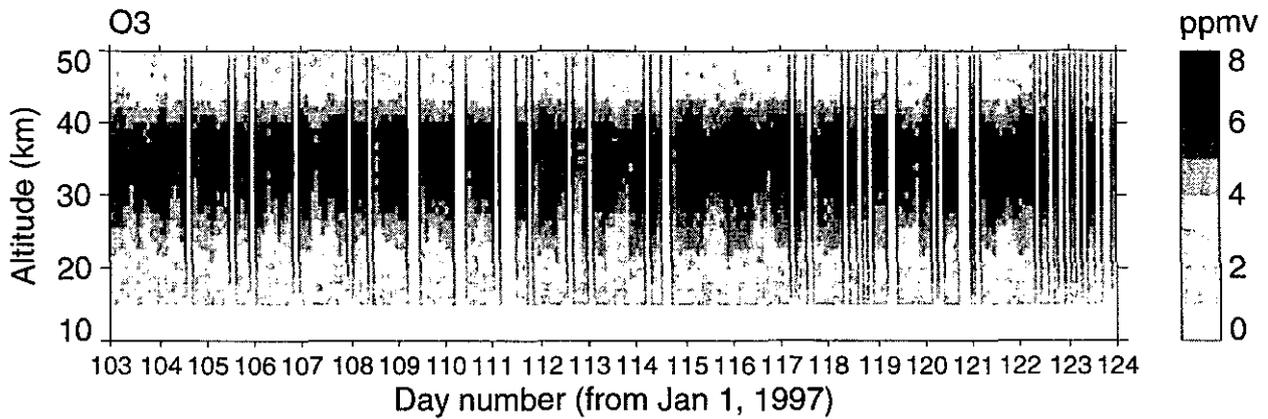
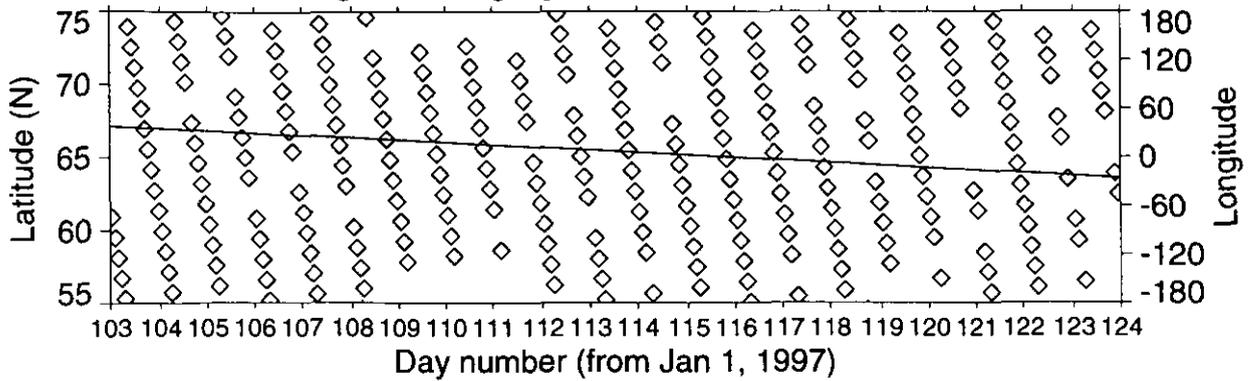
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.3(9a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/04/13 - 1997/05/03

Latitude and longitude along flight track

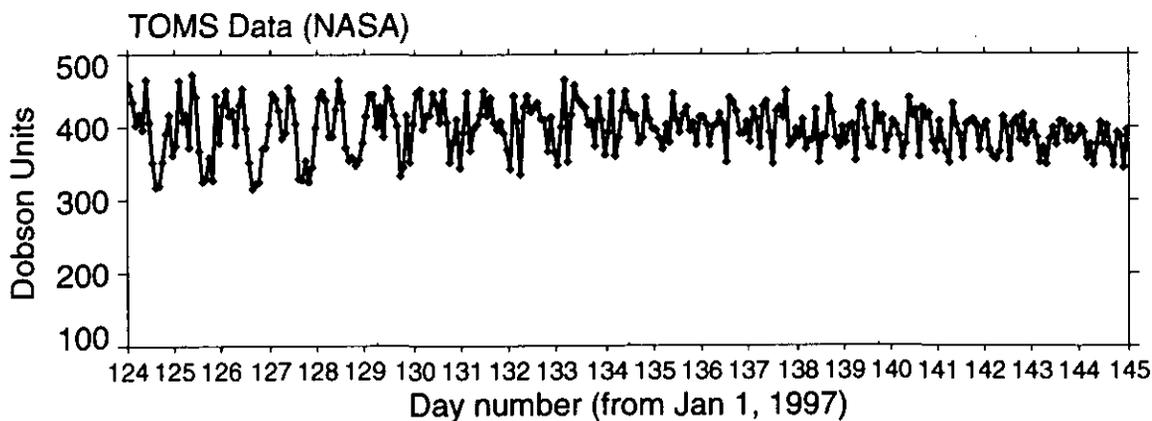
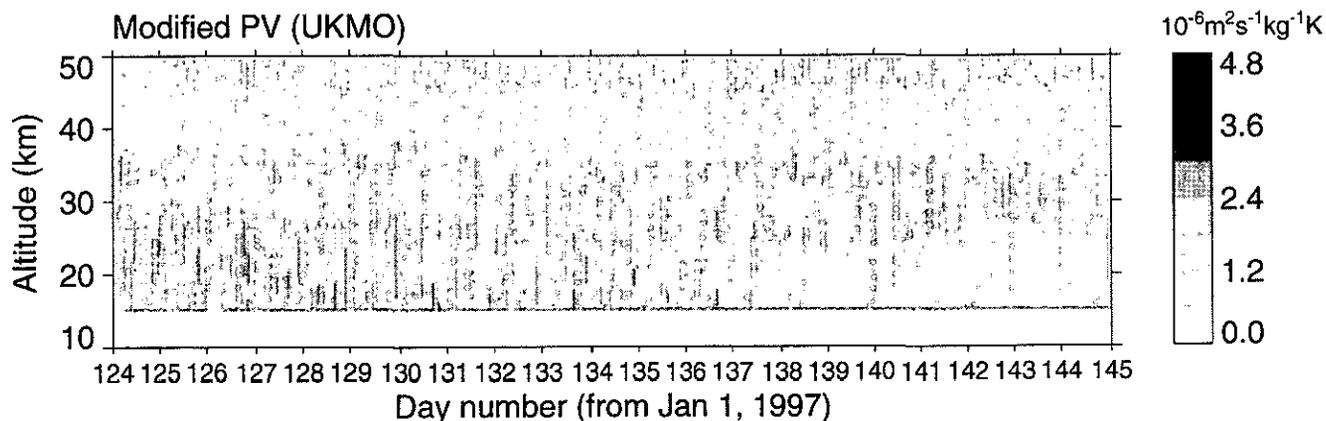
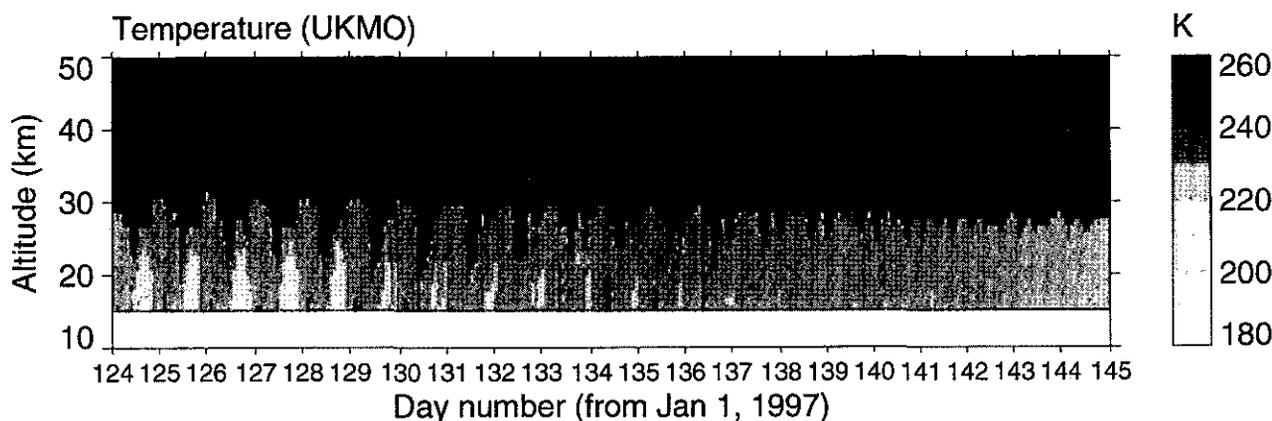
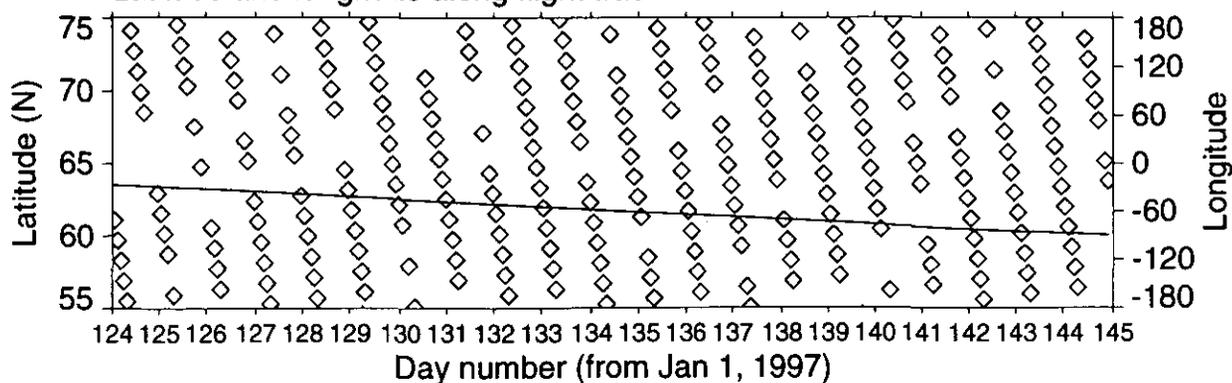


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.3(9b) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/05/04 - 1997/05/24
 Latitude and longitude along flight track



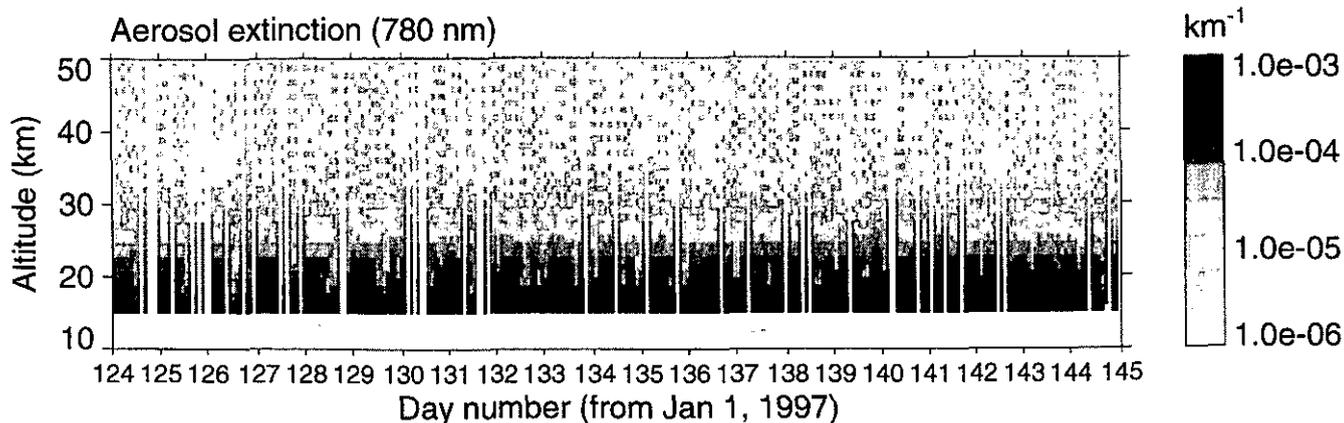
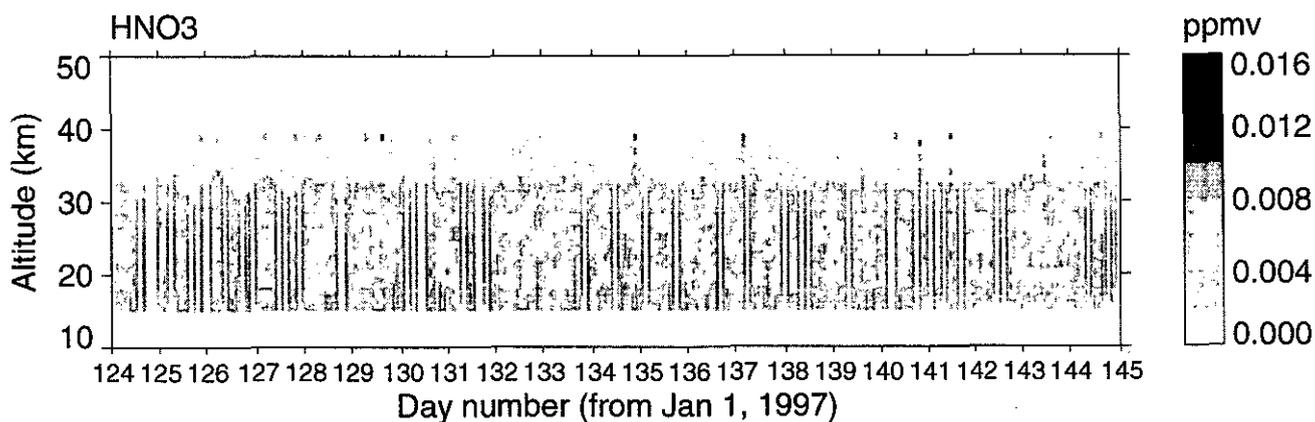
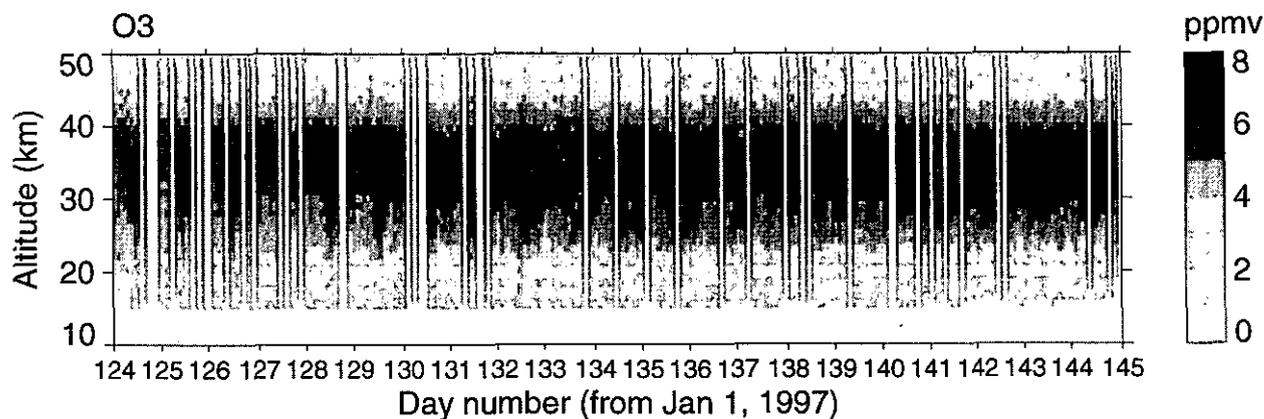
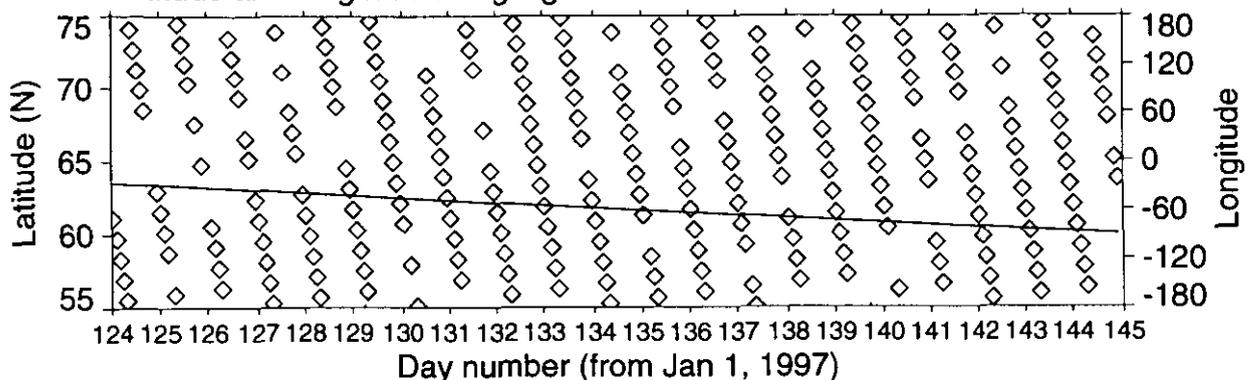
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.3(10a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/05/04 - 1997/05/24

Latitude and longitude along flight track

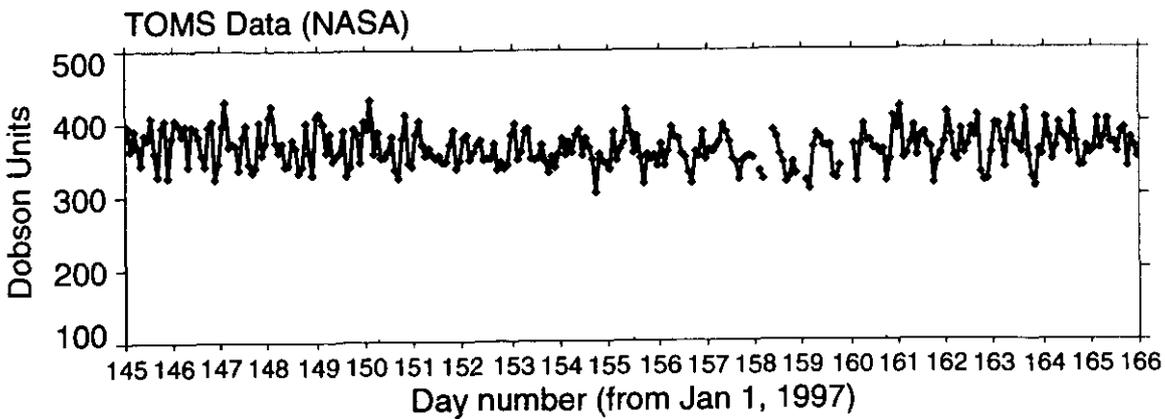
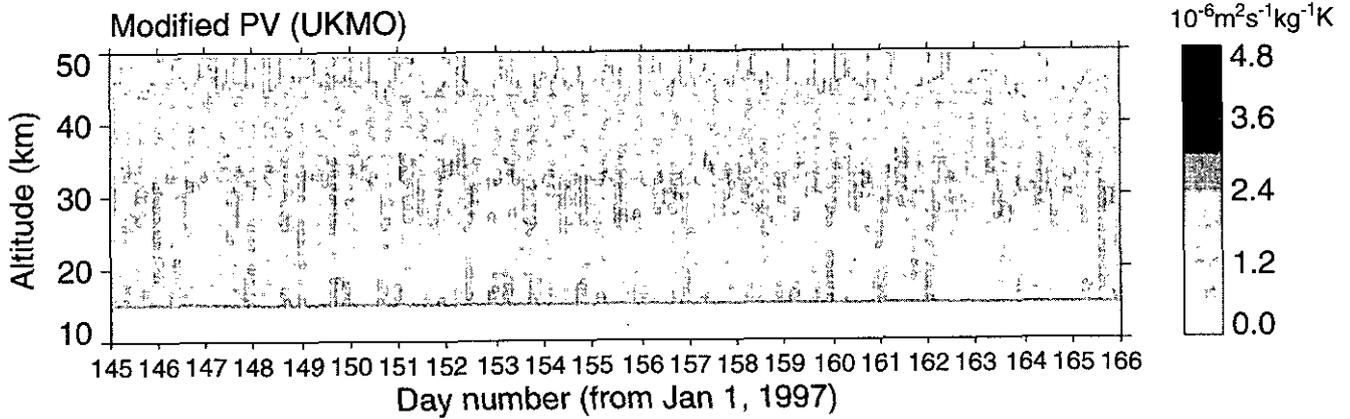
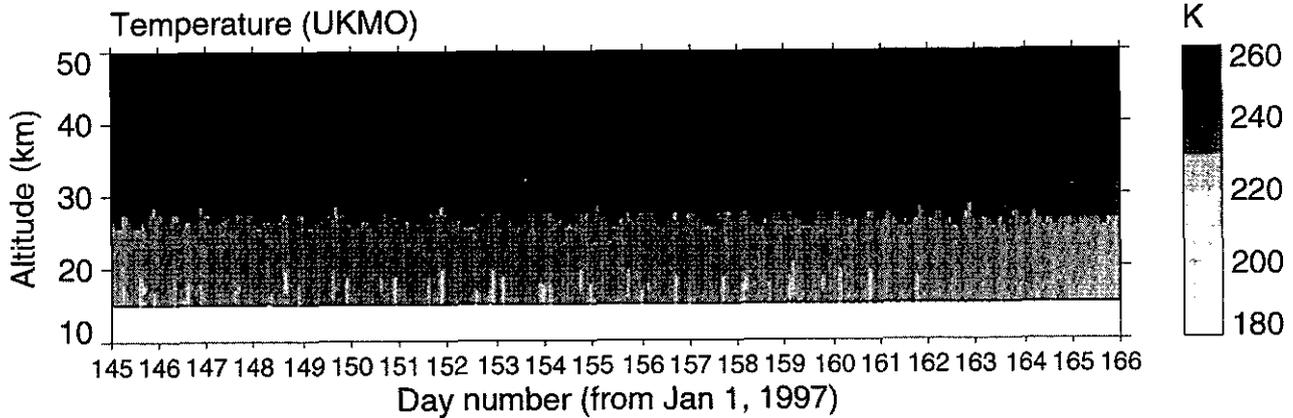
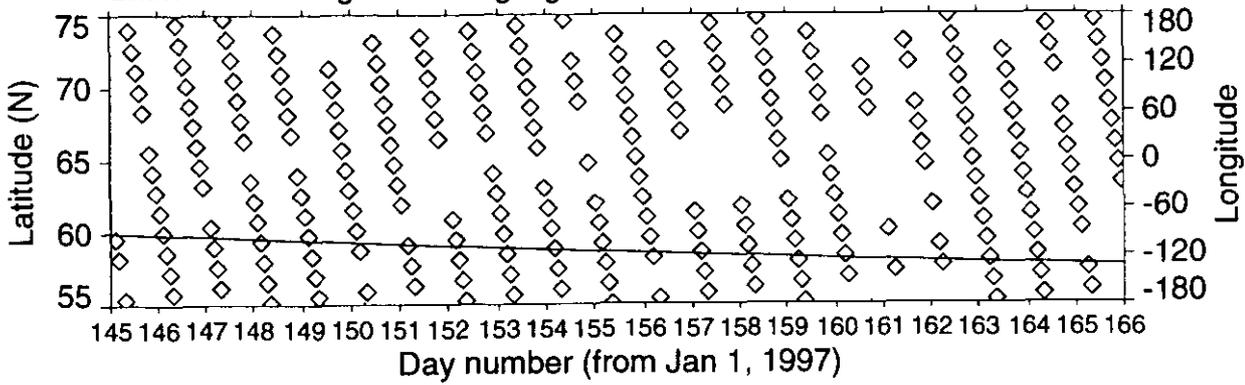


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.3(10b) Weekly Plot (バージョン 3.10, 北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/05/25 - 1997/06/14
 Latitude and longitude along flight track



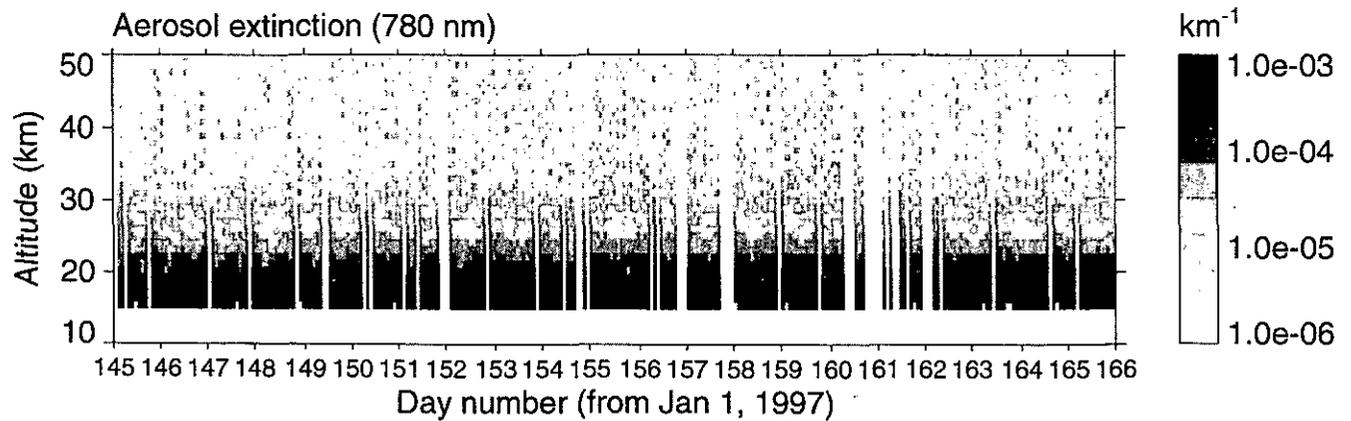
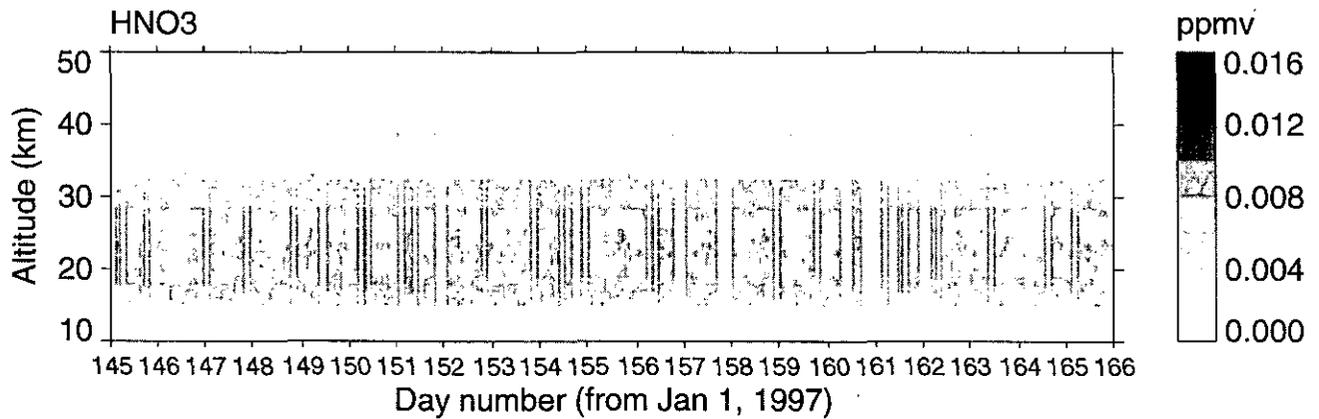
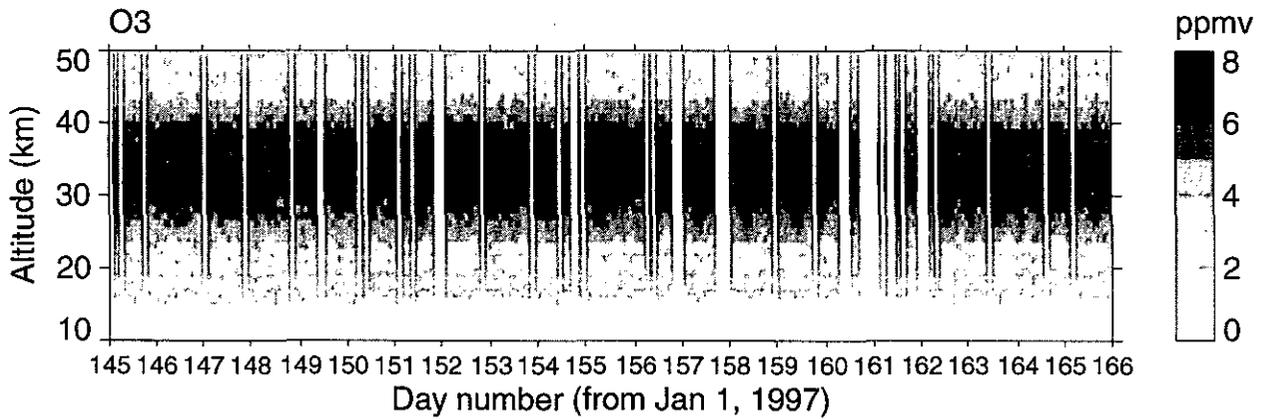
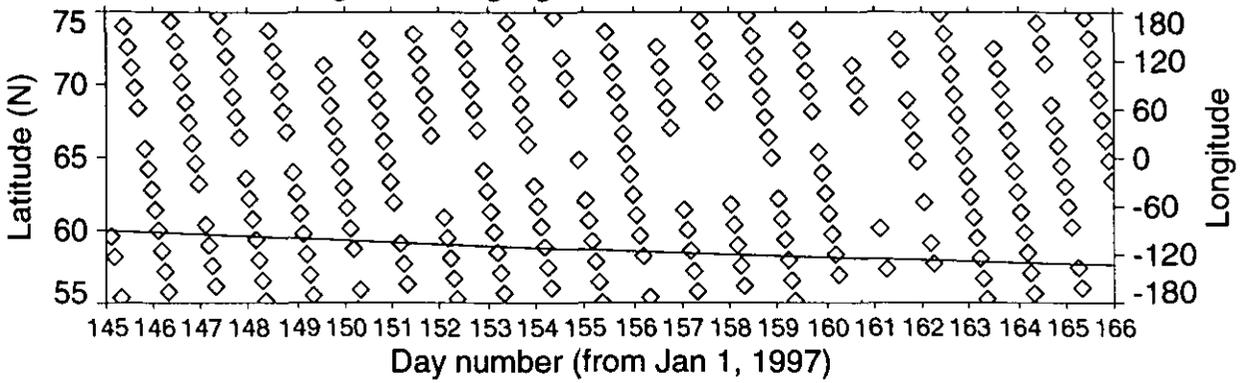
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

☒ 3.3(11a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ILAS DHF

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/05/25 - 1997/06/14

Latitude and longitude along flight track

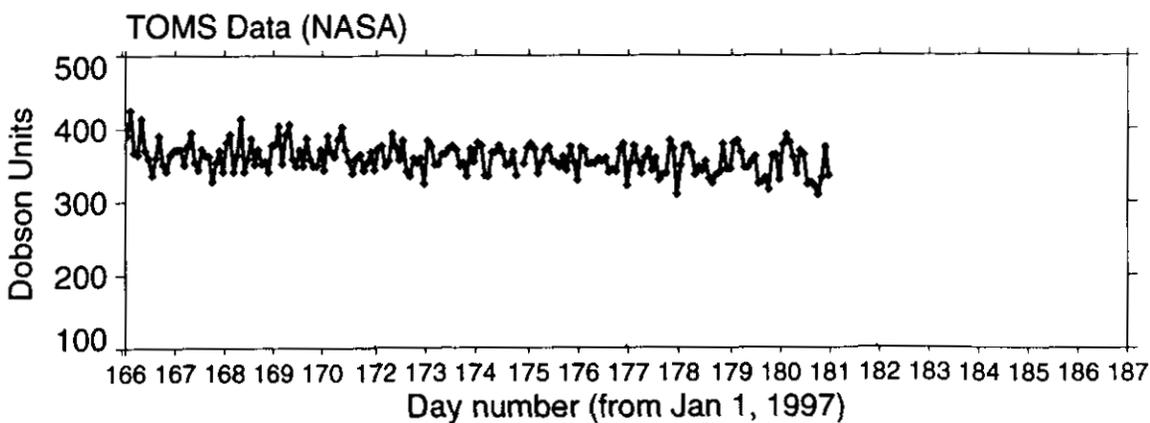
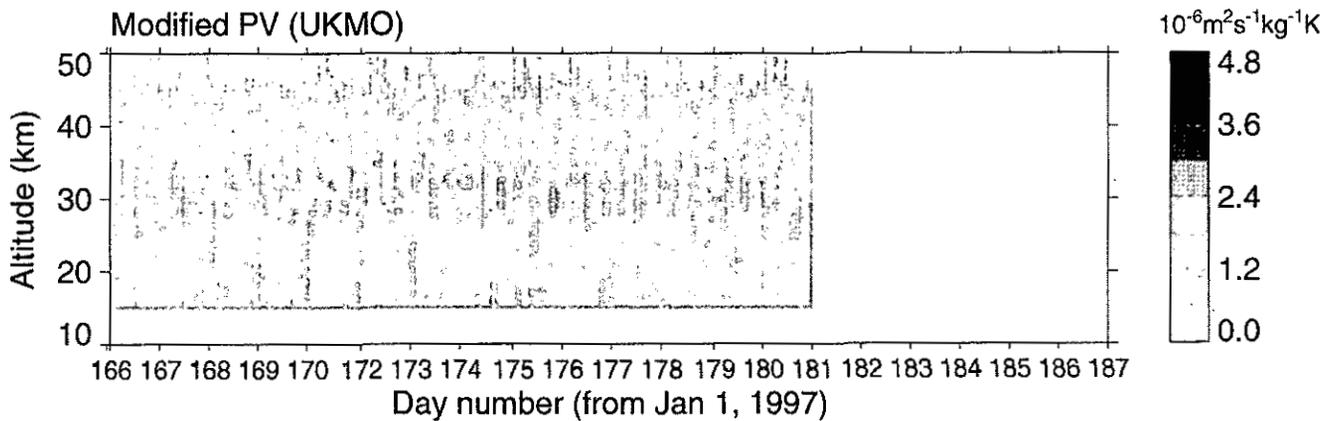
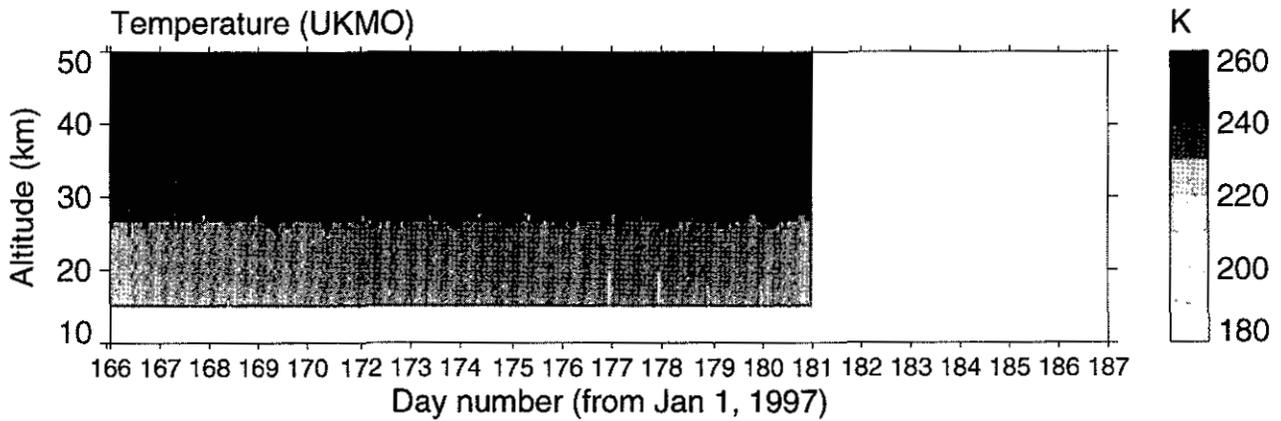
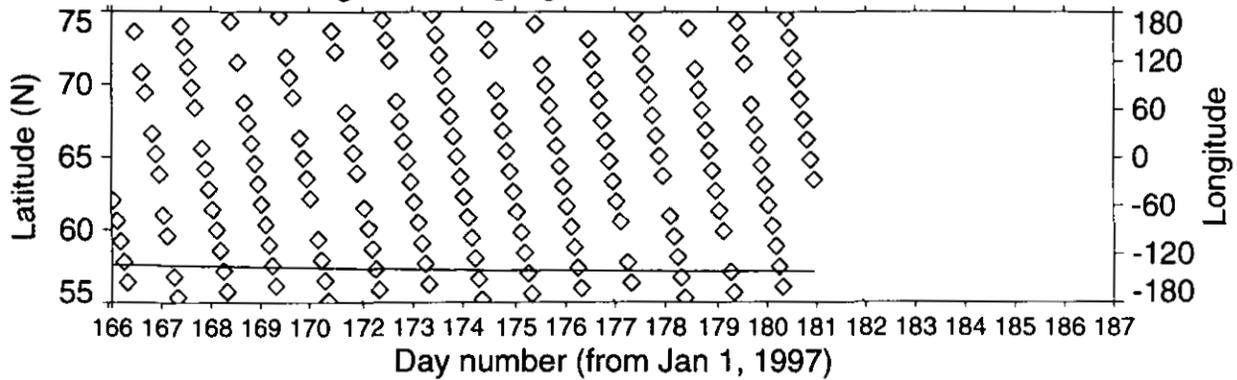


White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.3(11b) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/06/15 - 1997/07/05
 Latitude and longitude along flight track



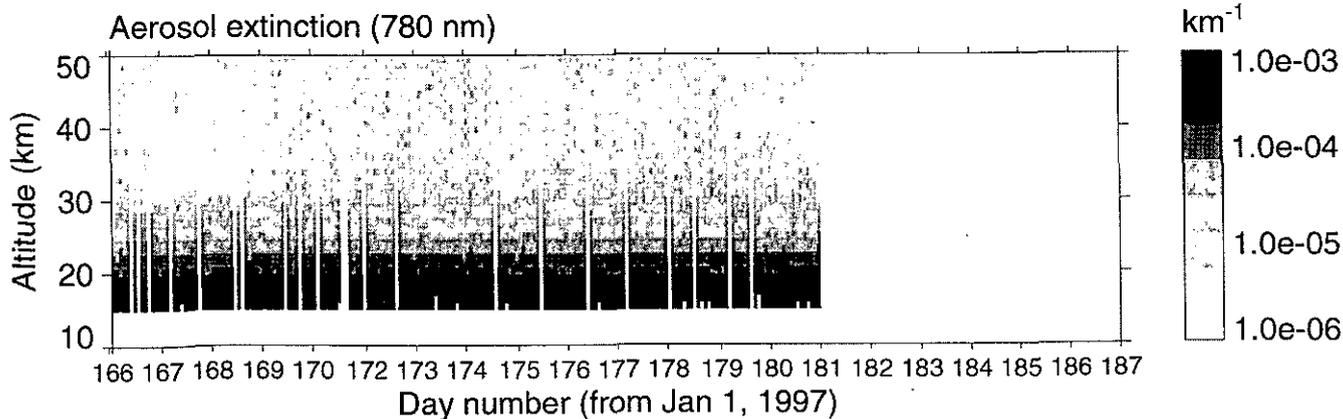
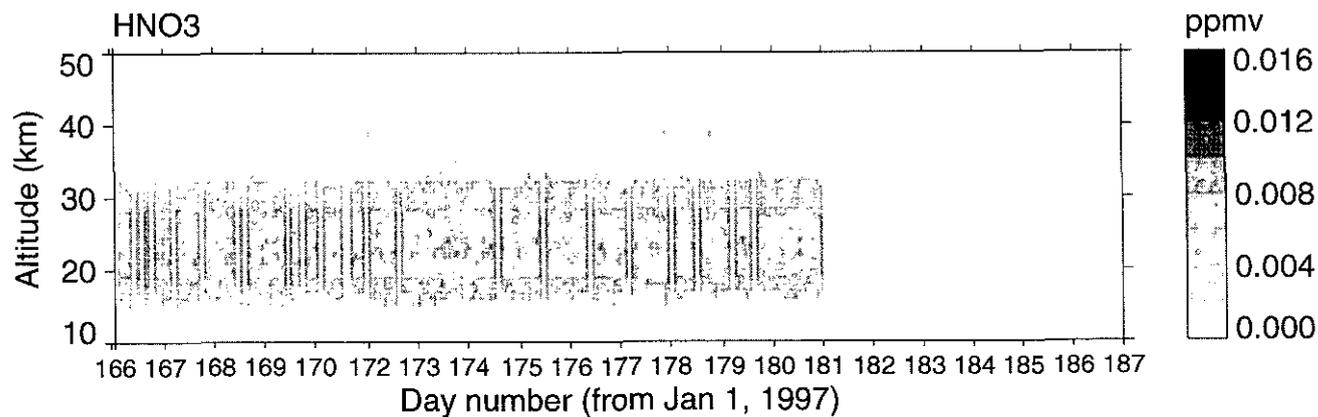
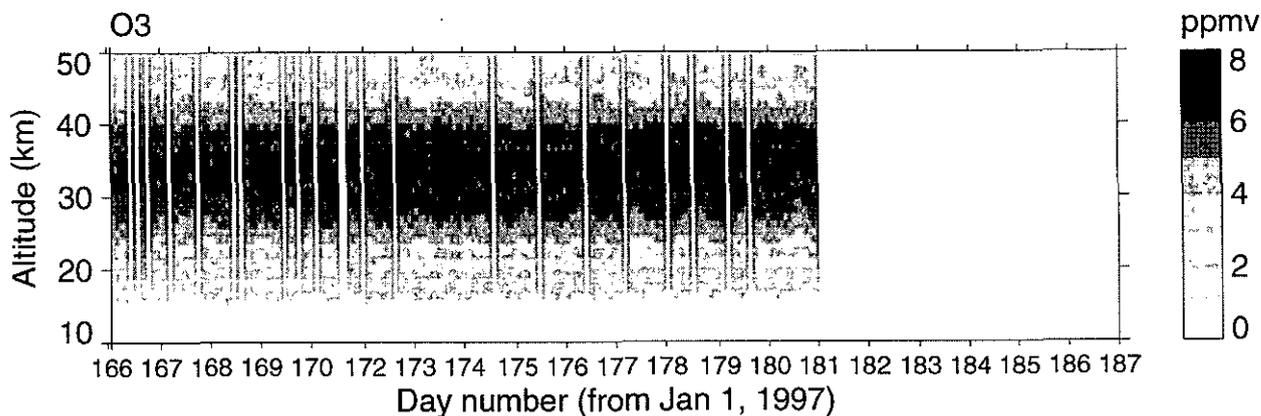
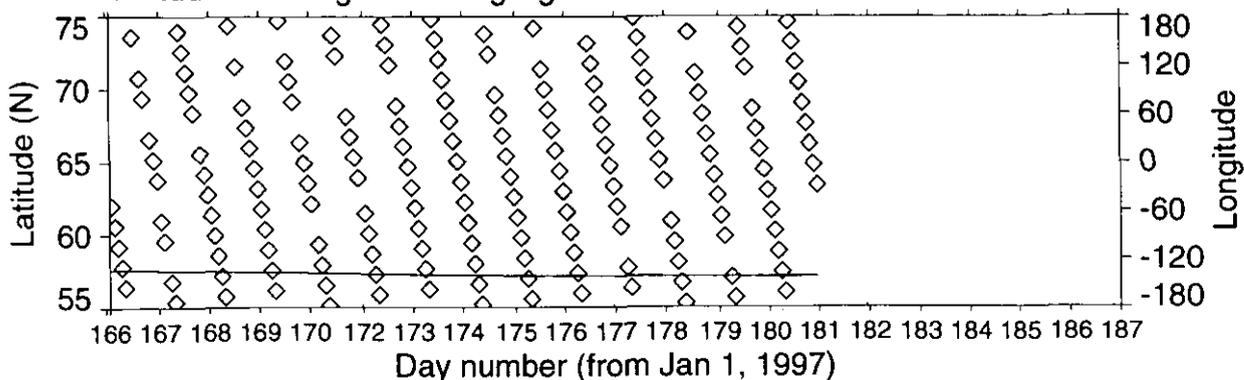
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.3 (12a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/06/15 - 1997/07/05

Latitude and longitude along flight track



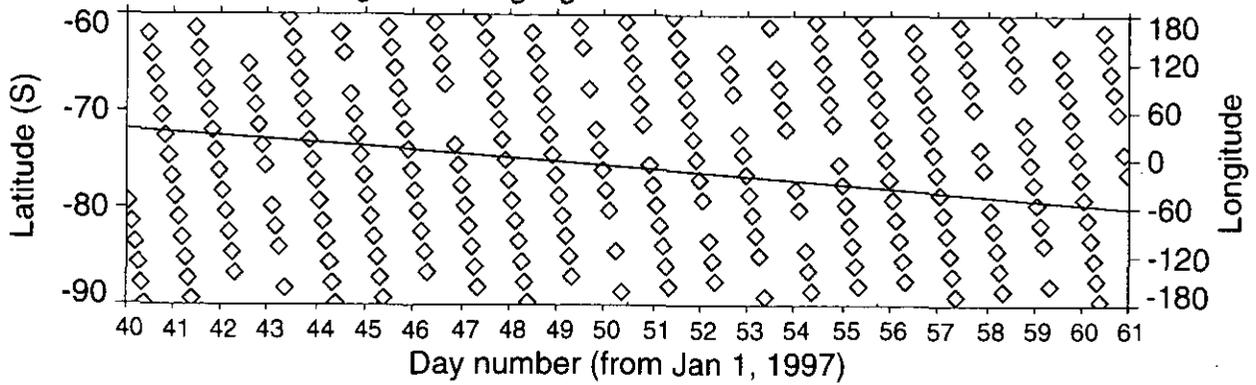
White < Minimum value in color scale
 Black > Maximum value in color scale

ILAS DHF

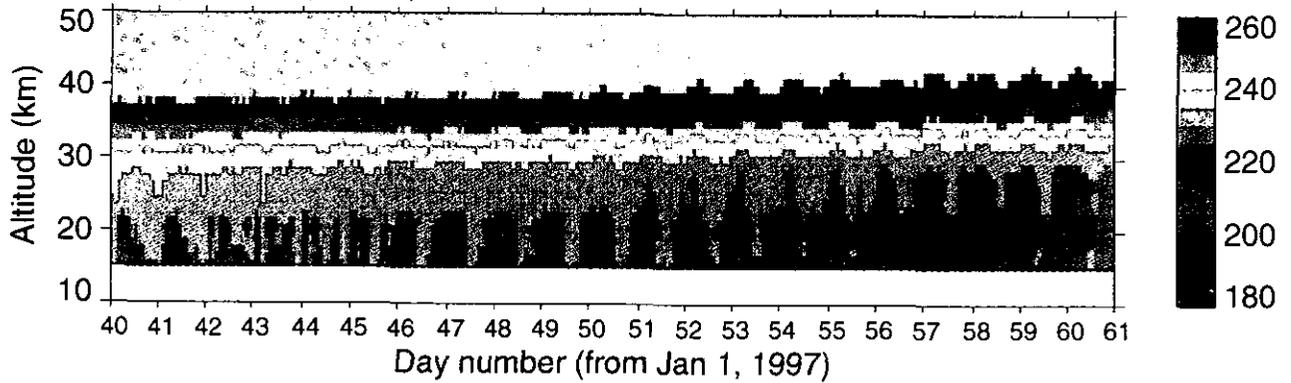
☒ 3.3 (12b) Weekly Plot (バージョン 3.10, 北半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/02/09 - 1997/03/01

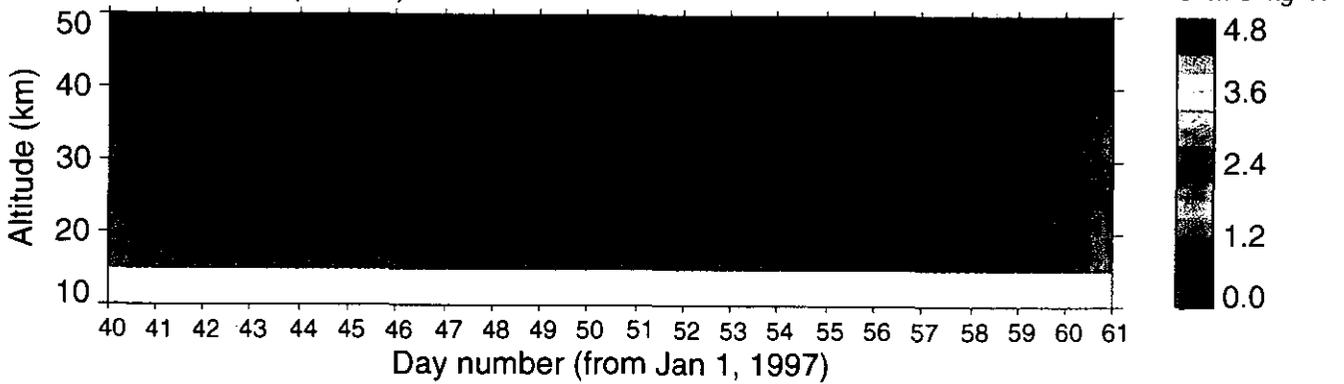
Latitude and longitude along flight track



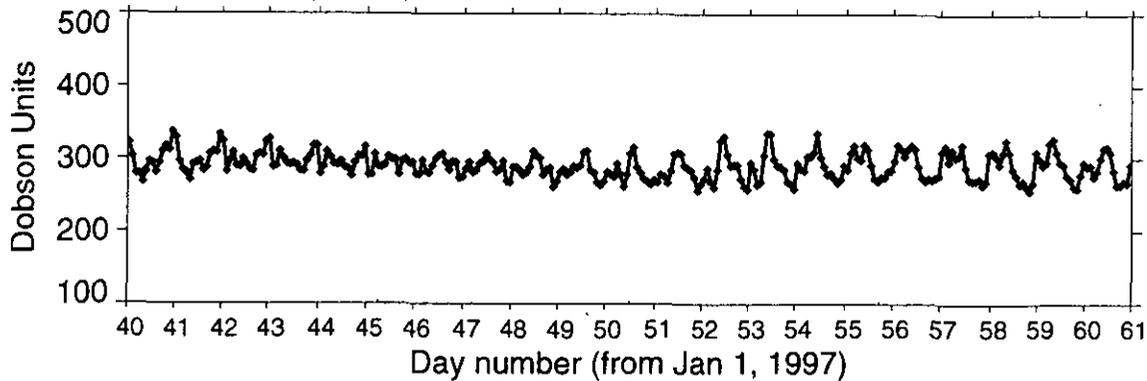
Temperature (UKMO)



Modified PV (UKMO)



TOMS Data (NASA)

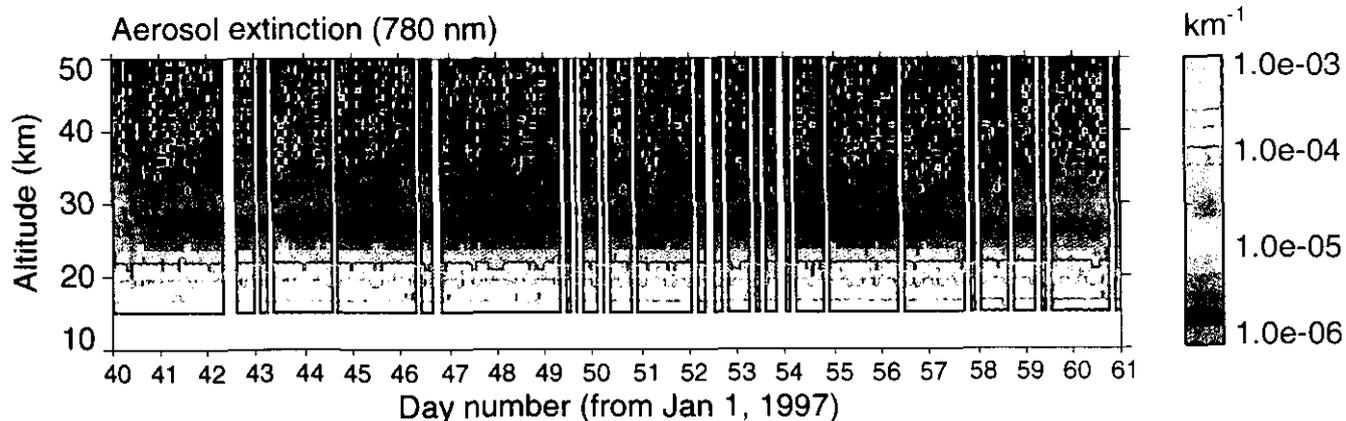
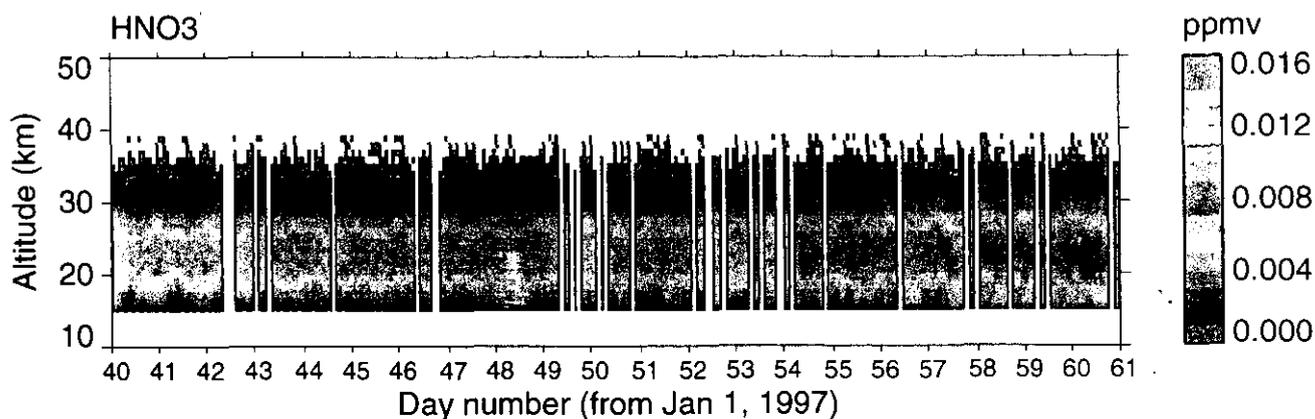
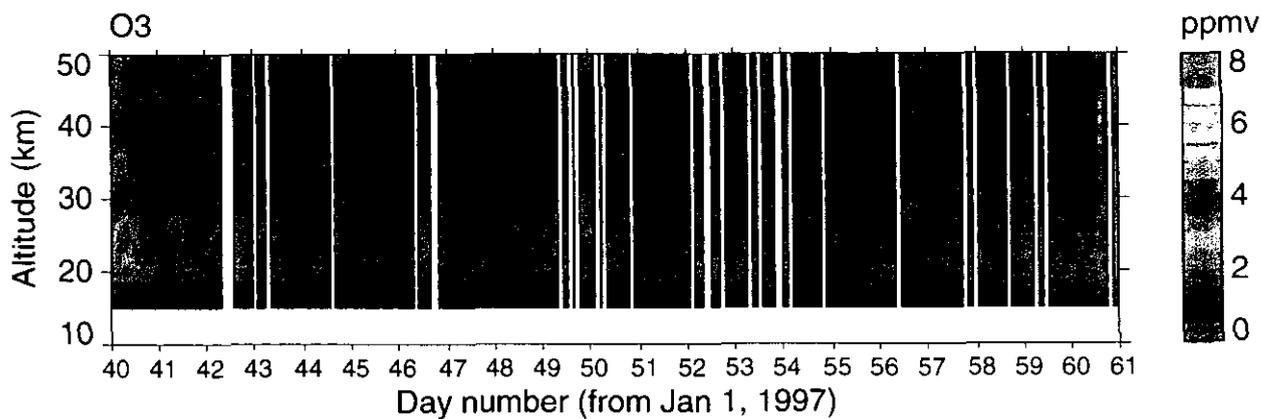
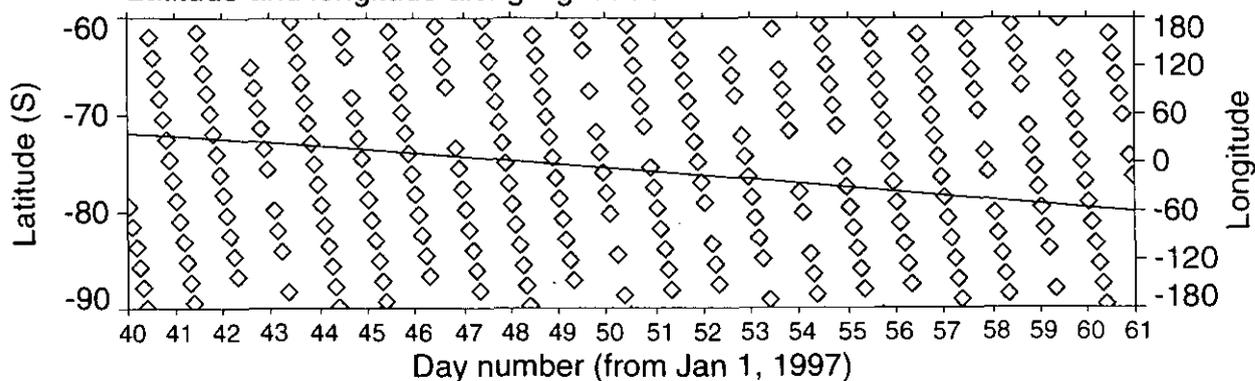


Dark Gray < Minimum value in color scale
Pink > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.4(1a) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, S.H., 1997/02/09 - 1997/03/01
 Latitude and longitude along flight track

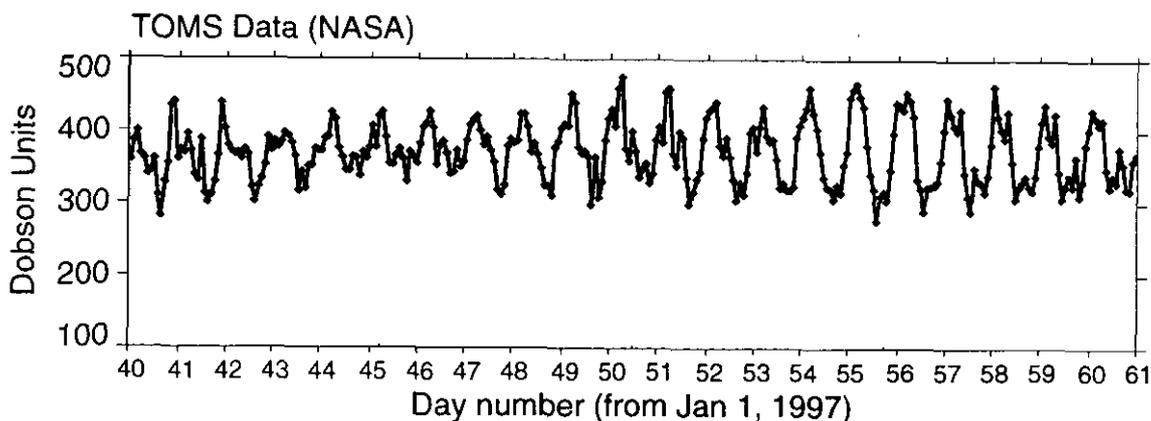
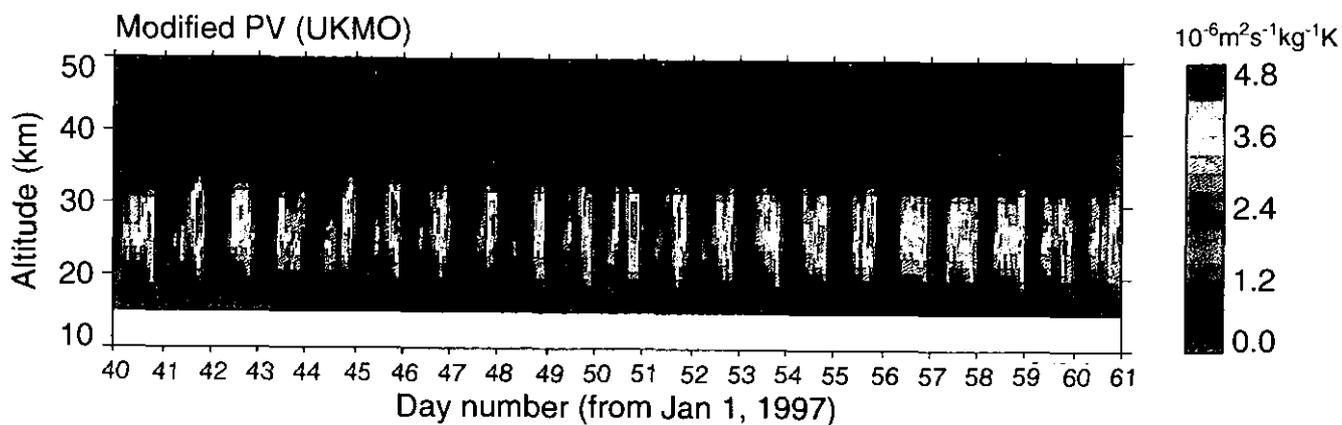
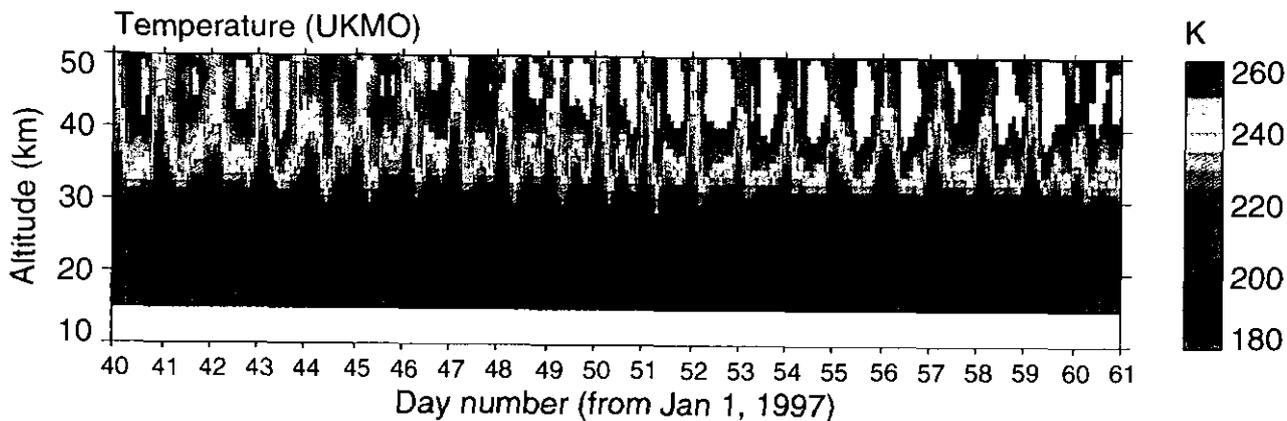
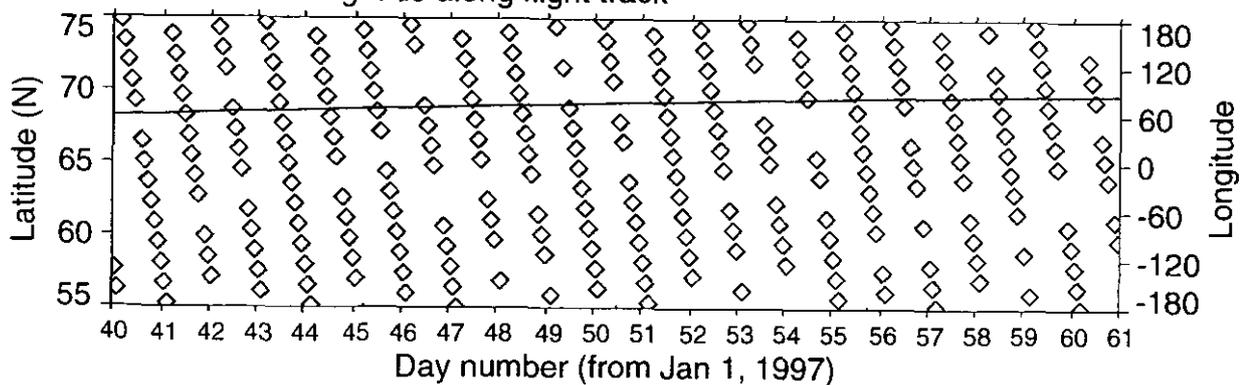


Dark Gray < Minimum value in color scale
 Pink > Maximum value in color scale

ILAS DHF

図 3.4(1b) Weekly Plot (バージョン 3.10、南半球)

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/02/09 - 1997/03/01
 Latitude and longitude along flight track

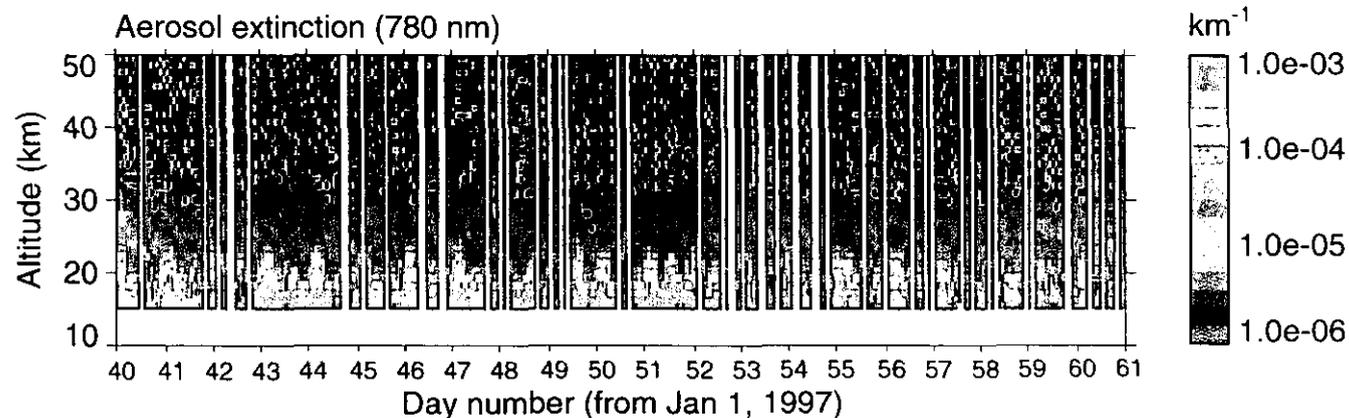
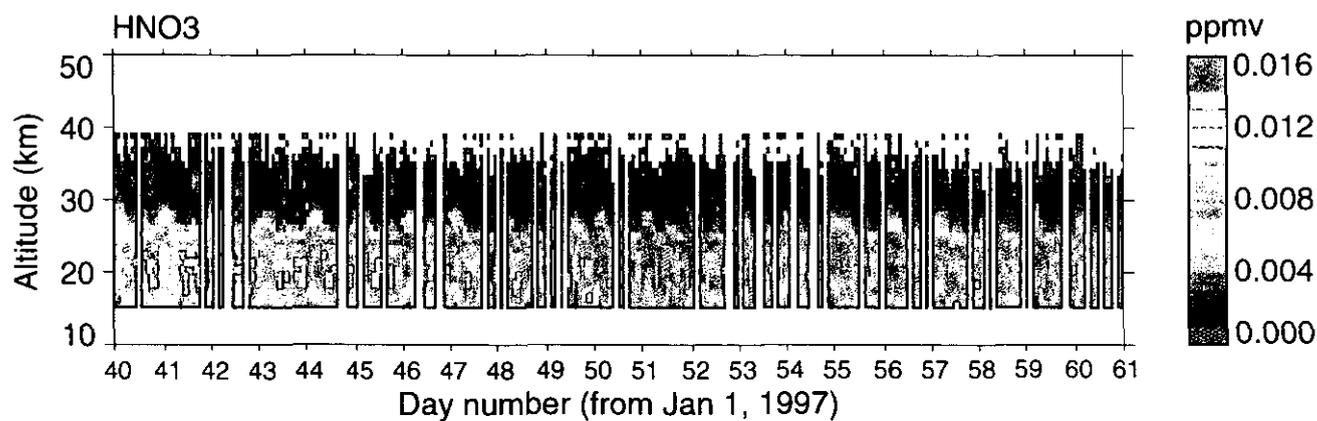
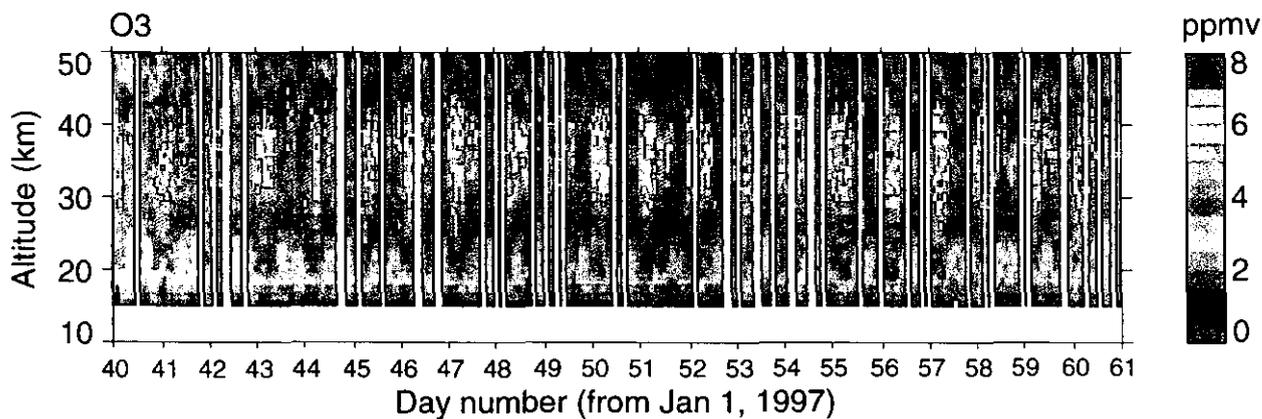
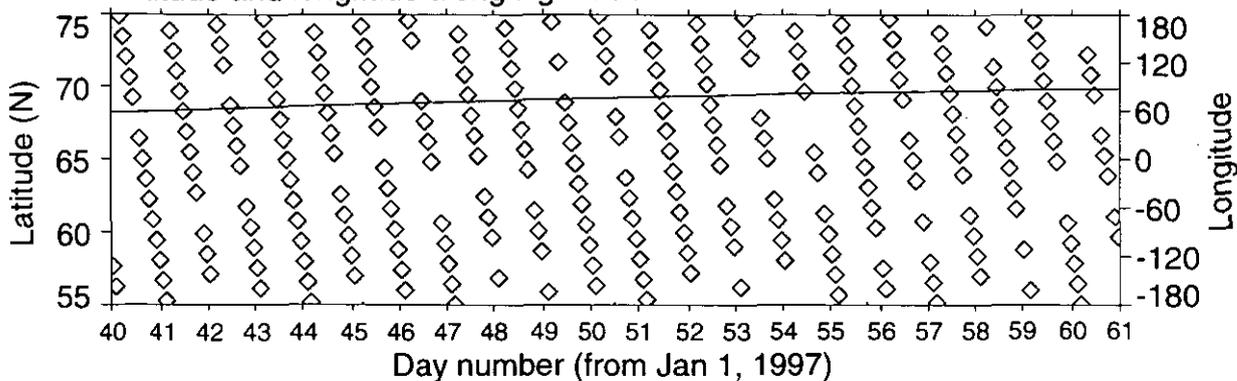


Dark Gray < Minimum value in color scale
 Pink > Maximum value in color scale

☒ 3.4(2a) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

ILAS DHF

ADEOS/ILAS Level 2 (Ver. 03.10) Product, N.H., 1997/02/09 - 1997/03/01
 Latitude and longitude along flight track



Dark Gray < Minimum value in color scale
 Pink > Maximum value in color scale

ILAS DHF

☒ 3.4(2b) Weekly Plot (バージョン 3.10、北半球)

3.4 統計結果

3.4.1 月別緯度帯別プロファイル

I L A Sで観測した大気微量成分ガス（オゾン、硝酸、エアロゾル、二酸化窒素、一酸化二窒素、メタン、水蒸気）についてバージョン3.10データを用いて月別、緯度帯別に平均プロファイル（1996～1997年）を求めた。I L A Sが測定を行う緯度帯は、その時点の太陽の赤緯によって図3.5のように変化する。この図は、図3.1をより詳細に表した図で、I L A S稼働期間中について計算したI L A S測定位置の緯度（太線）と地方時での測定時刻（細線）の経時変化を表している。I L A Sが稼働していた期間（1996年11月～1997年6月）の測定位置は、南半球では極近傍（春分の頃）から南緯65度付近（冬至、夏至の頃）の間を変化する。一方、北半球の測定位置の緯度変化は南半球に比べると小さく、より低緯度側で、11～4月は北緯65～70度付近、5～6月は北緯57～65度付近である。また、I L A Sの地方時での測定時刻は、北半球では日没時にあたり、冬至付近の14時頃から夏至付近の21時頃まで変化する。南半球では春分付近を境に、それ以前は日没時（22時半～21時頃）、それ以後は日の出時（10時半頃）の観測になる。

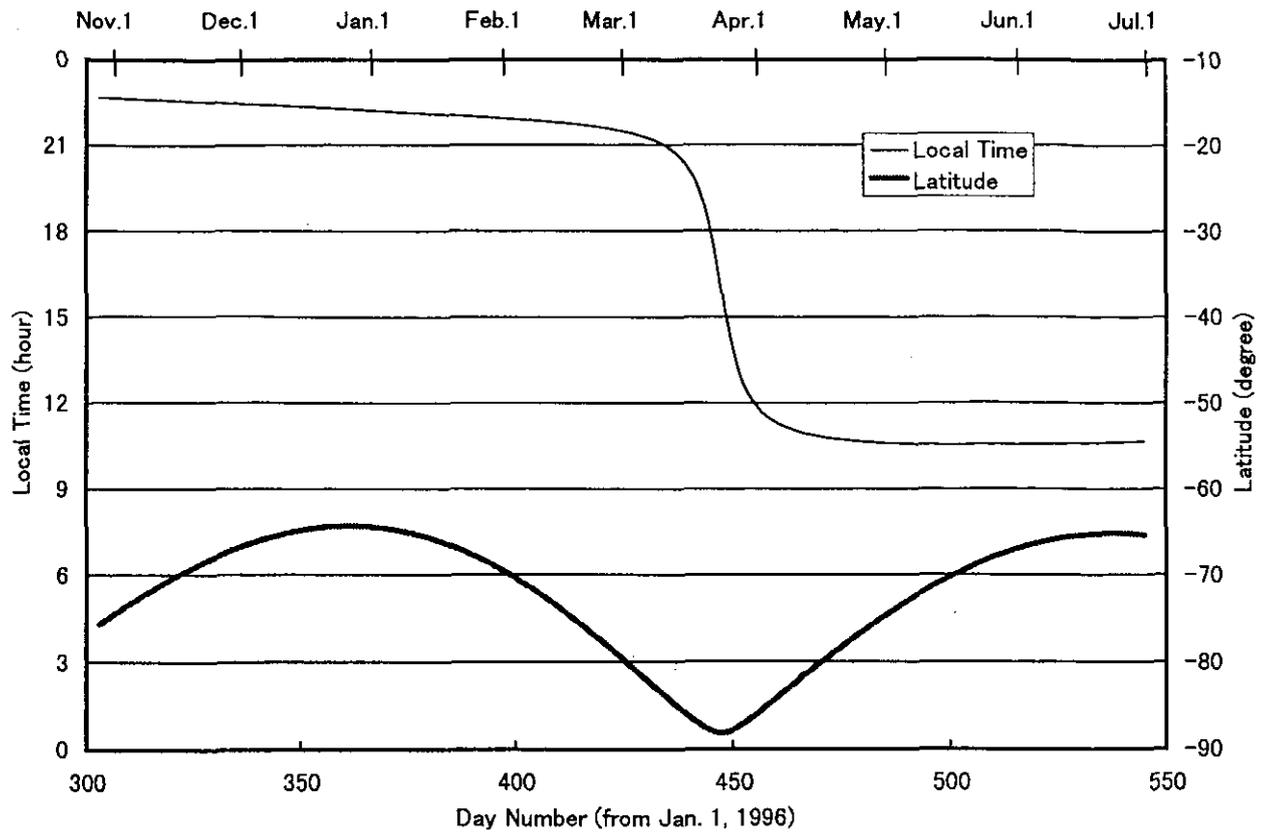
平均値を計算するために用いた月別のデータ数と測定が行われた緯度帯を表3.5に示す。なお、個々のデータにおける極端な値はこの統計から除いてある。

表3.9 各月の測定が行われた緯度帯と計算に用いたデータ数

年月	緯度帯	オゾン (O ₃)	硝酸 (HNO ₃)	エアロ ゾル (780nm)	二酸化 窒素 (NO ₂)	一酸化 二窒素 (N ₂ O)	メタン (CH ₄)	水蒸気 (H ₂ O)
【南半球】								
1996.11	72.5S-67.5S	217	217	217	217	217	217	217
1996.12	67.5S-62.5S	352	361	371	365	362	365	356
1997.01	67.5S-62.5S	228	228	232	228	229	225	224
1997.02	77.5S-72.5S	155	155	155	155	155	155	155
1997.03	82.5S-77.5S	78	78	78	78	78	78	78
1997.04	77.5S-72.5S	123	123	123	123	123	123	123
1997.05	72.5S-67.5S	256	256	256	256	256	256	256
1997.06	67.5S-62.5S	322	322	322	321	322	322	322
【北半球】								
1996.11	67.5N-72.5N	159	159	154	159	159	159	159
1996.12	62.5N-67.5N	325	325	322	325	325	325	325
1997.01	62.5N-67.5N	325	325	321	324	324	325	323
1997.02	67.5N-72.5N	295	295	291	293	295	295	295
1997.03	67.5N-72.5N	371	371	368	371	371	371	371
1997.04	62.5N-67.5N	238	238	238	238	238	238	238
1997.05	57.5N-62.5N	256	256	256	256	256	256	256
1997.06	57.5N-62.5N	164	164	164	164	164	164	164

上の表に示された月、緯度帯について求めた各ガスの平均プロファイルを図3.6に示す。図において実線は平均値で横線の右端は全データの90パーセント点*、左端は10パーセント点*を示す。すなわち、横線はデータの変動幅（ばらつき）を示（126ページへつづく）

ILAS Measurement Location and Local Time (Southern Hemisphere)



ILAS Measurement Location and Local Time (Northern Hemisphere)

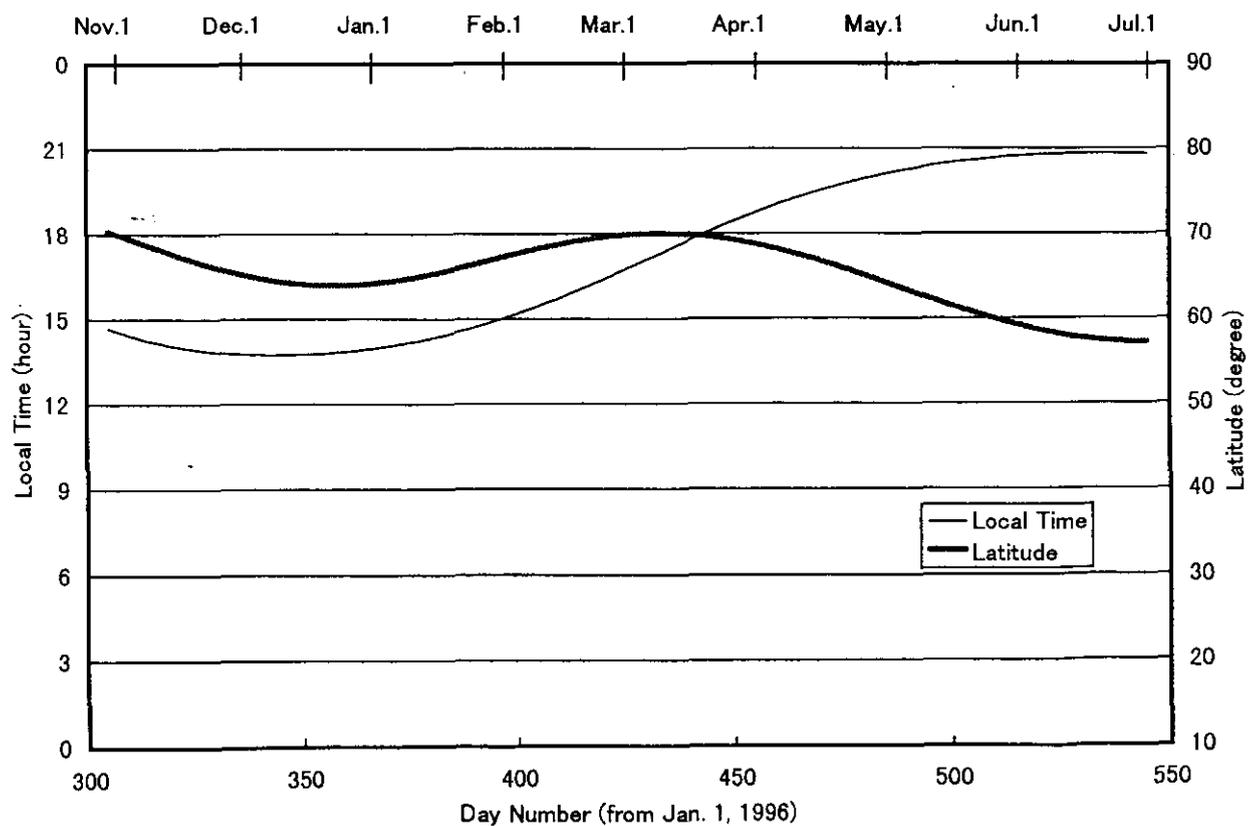


図 3.5 I L A S測定位置の緯度（太線）と地方時での測定時刻（細線）
(1996年11月～1997年6月)

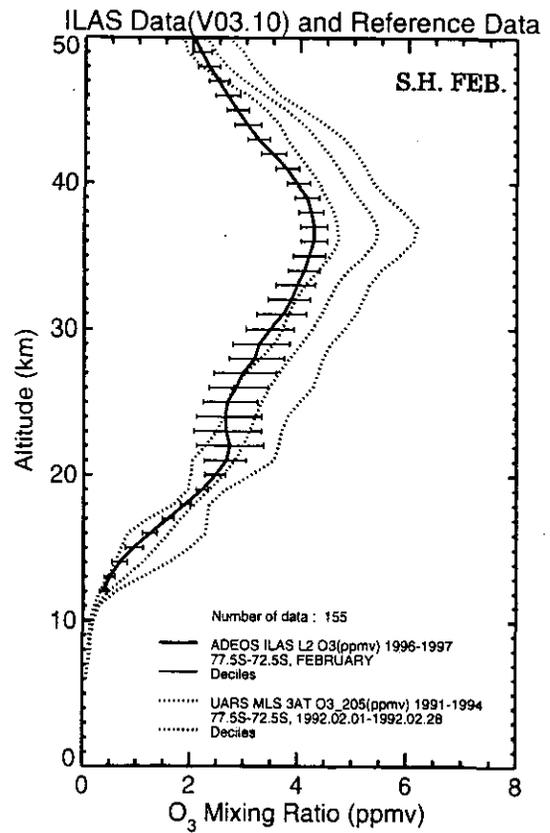
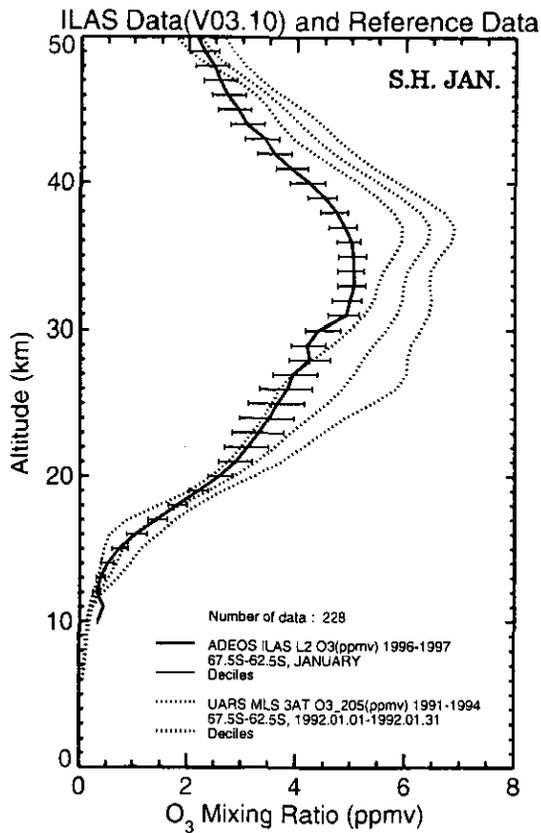
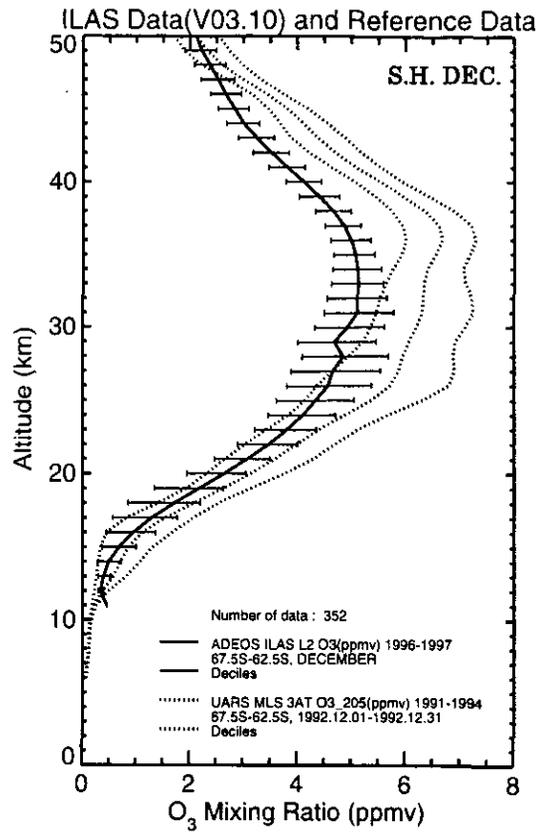
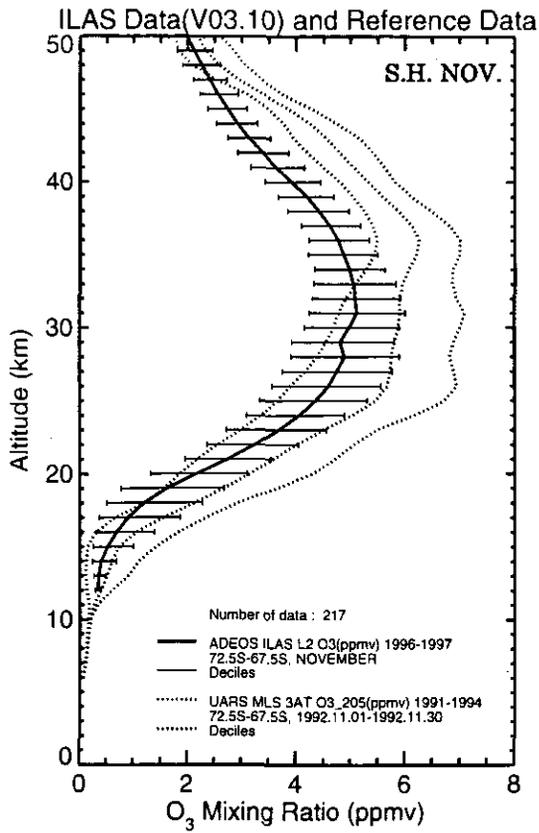


図 3.6(1) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(オゾン ; 南半球、1996年11月～1997年2月)

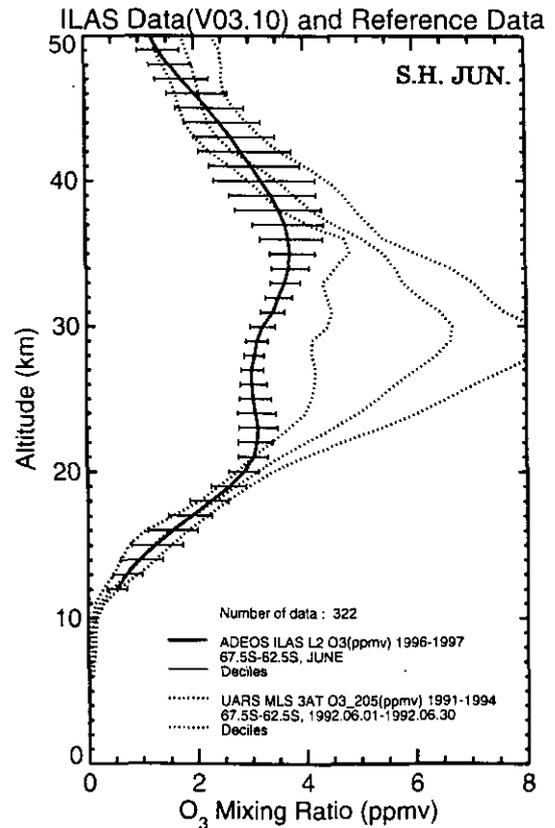
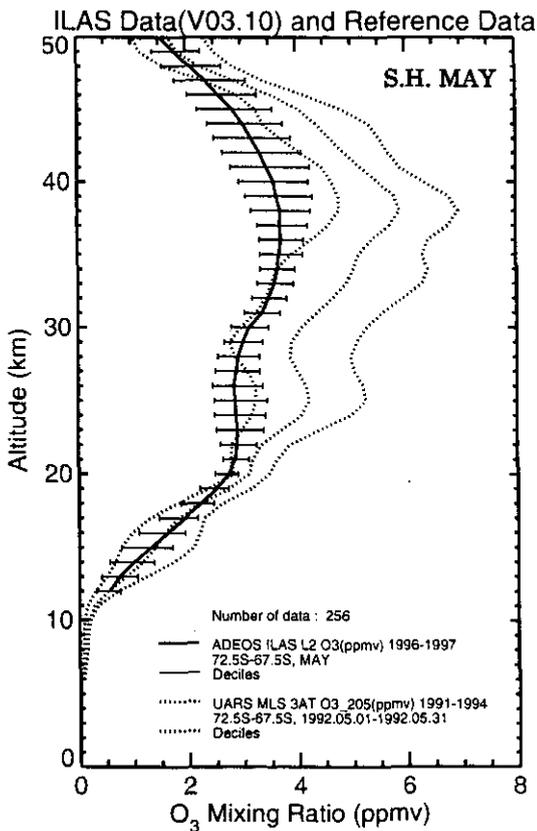
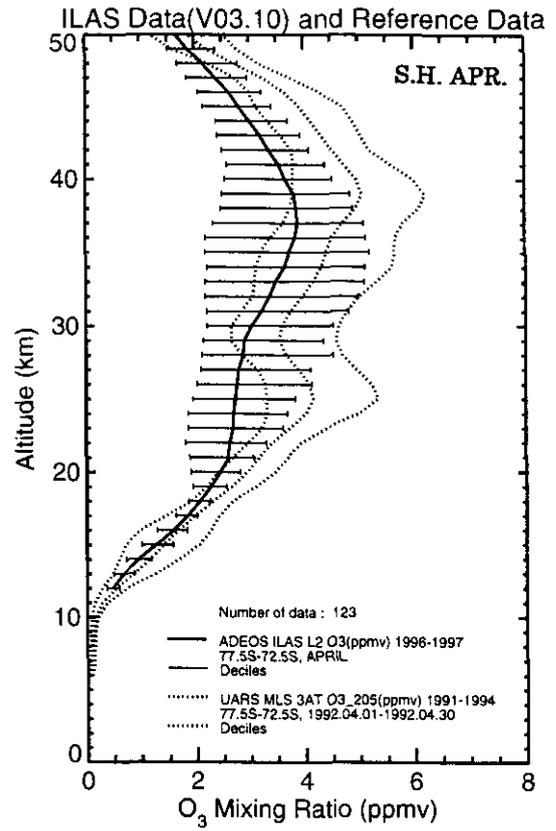
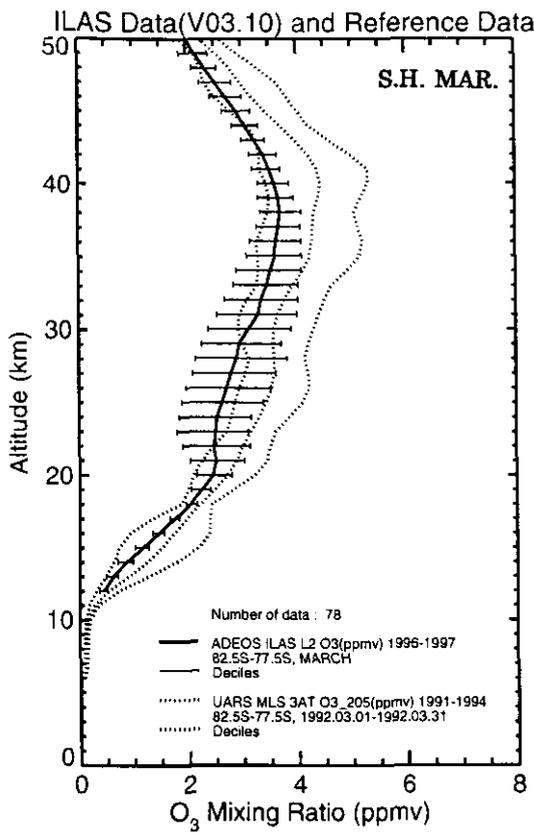


図 3.6(2) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロフィール
(オゾン; 南半球、1997年3月～1997年6月)

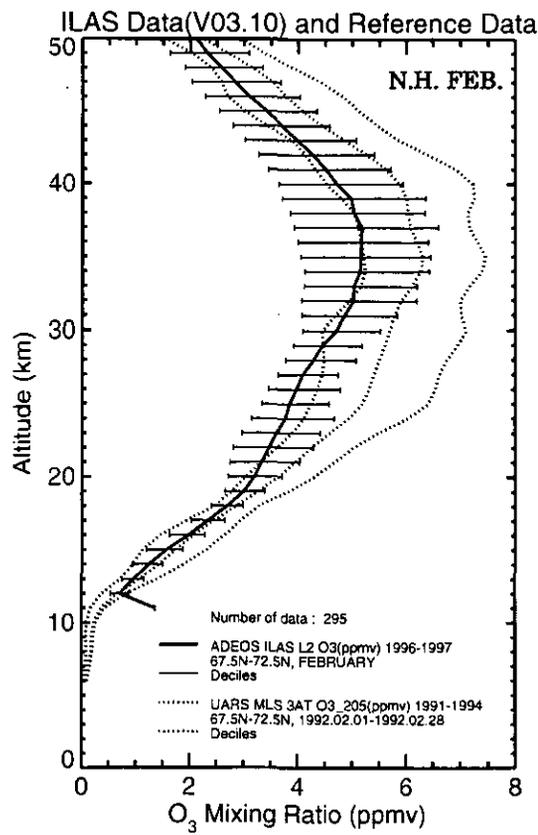
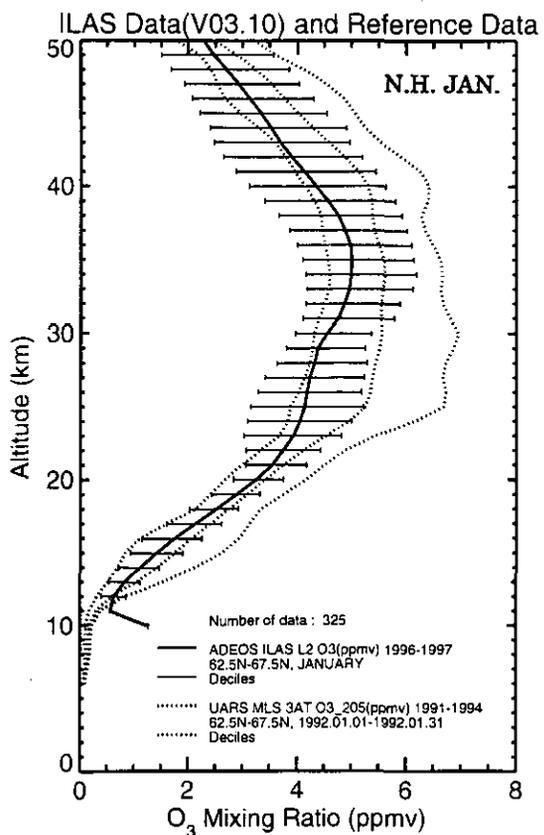
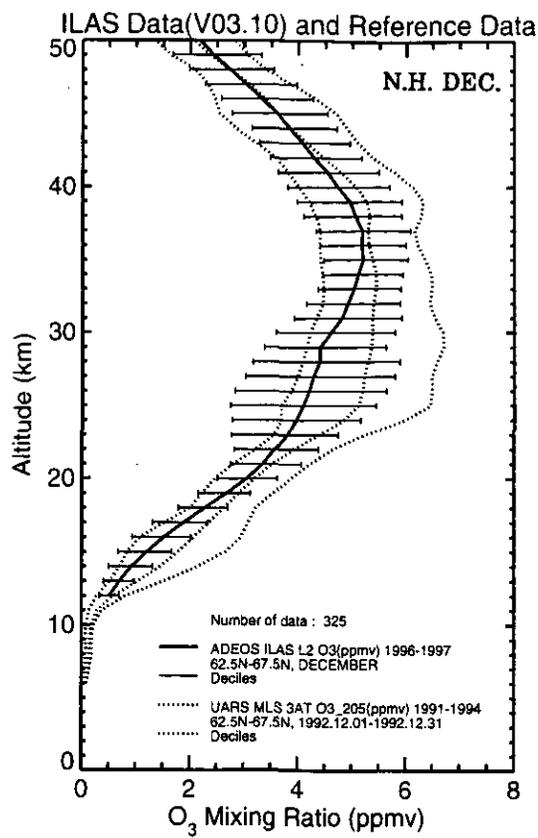
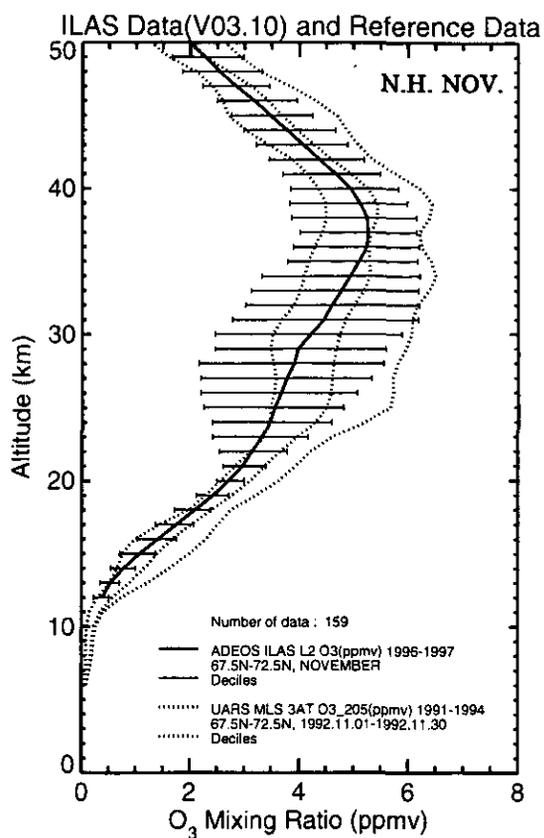


図 3.6(3) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(オゾン; 北半球、1996年11月～1997年2月)

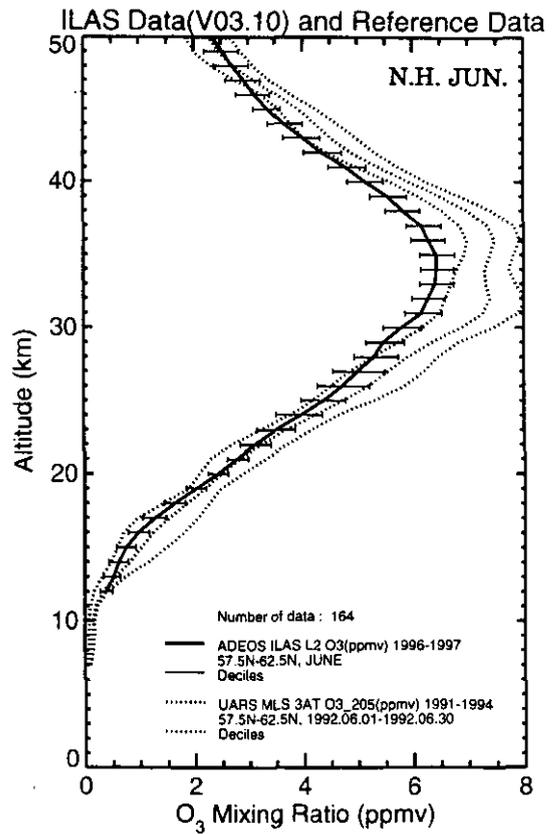
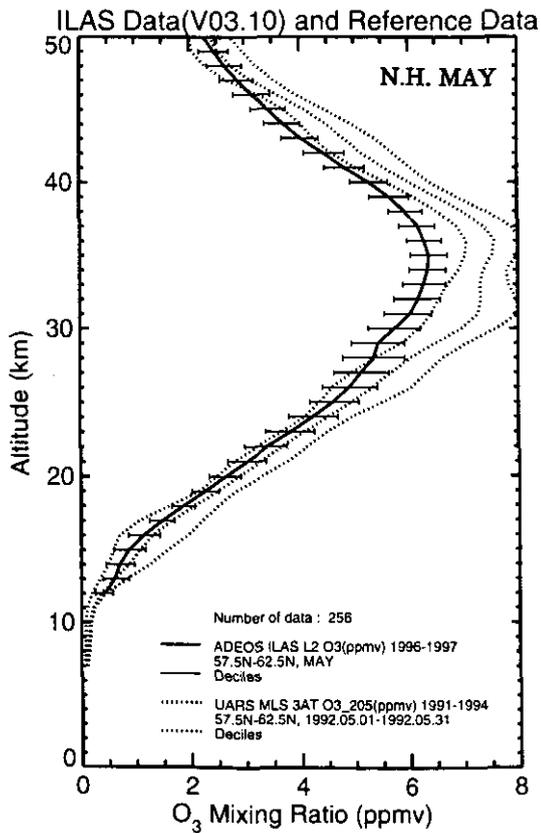
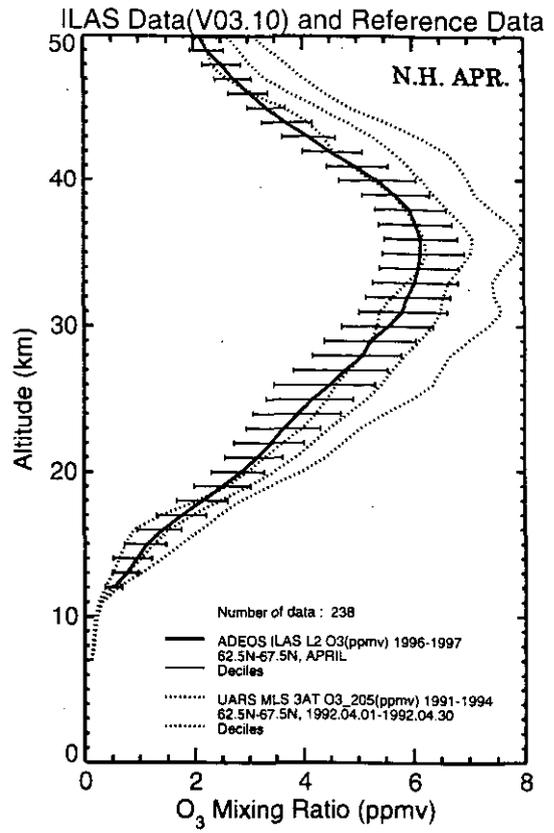
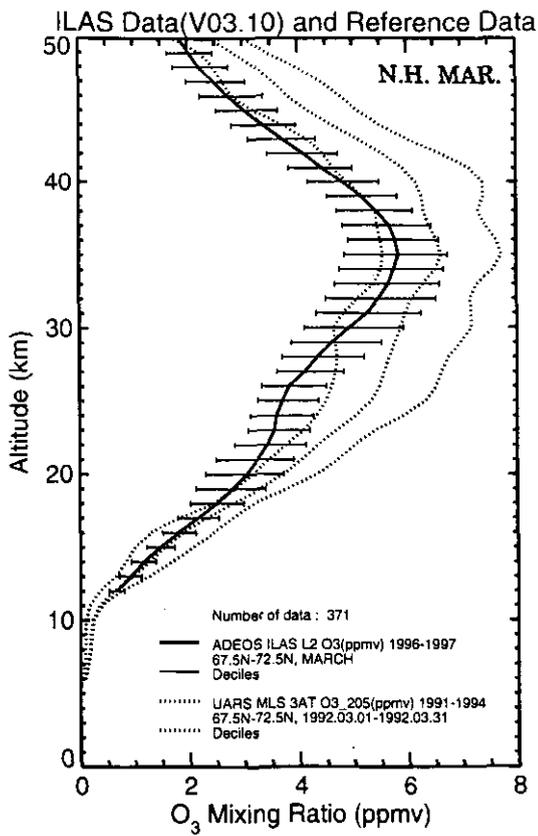


図 3.6(4) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(オゾン; 北半球、1997年3月～1997年6月)

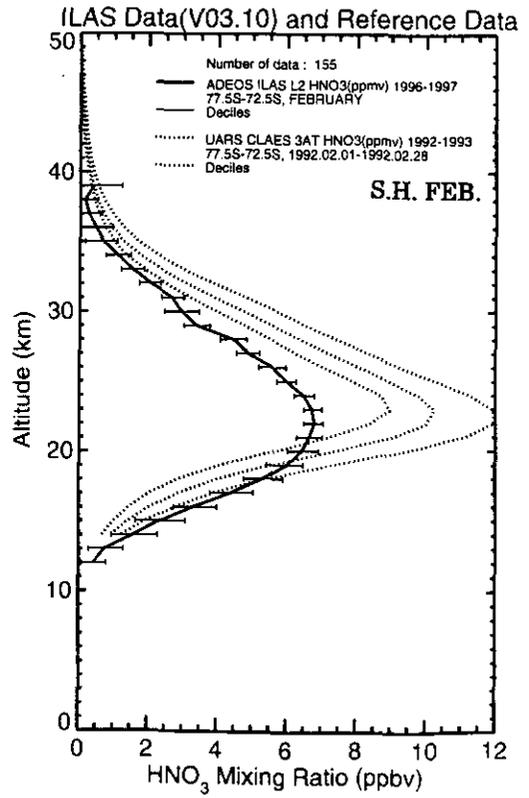
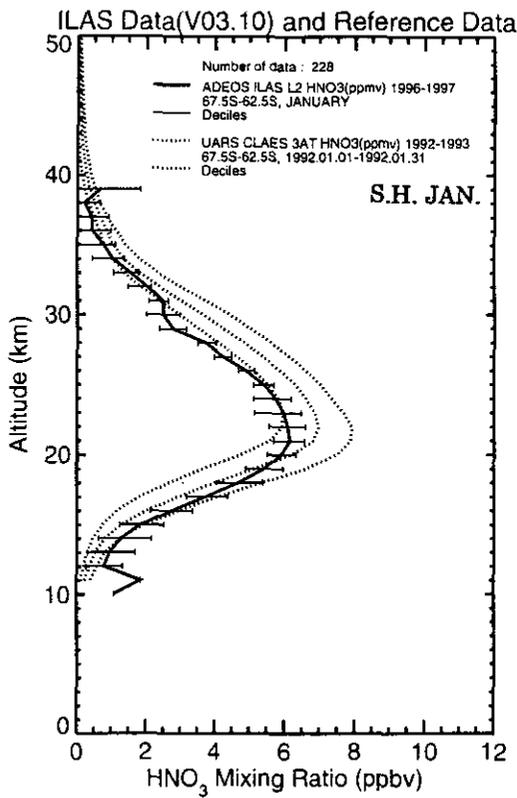
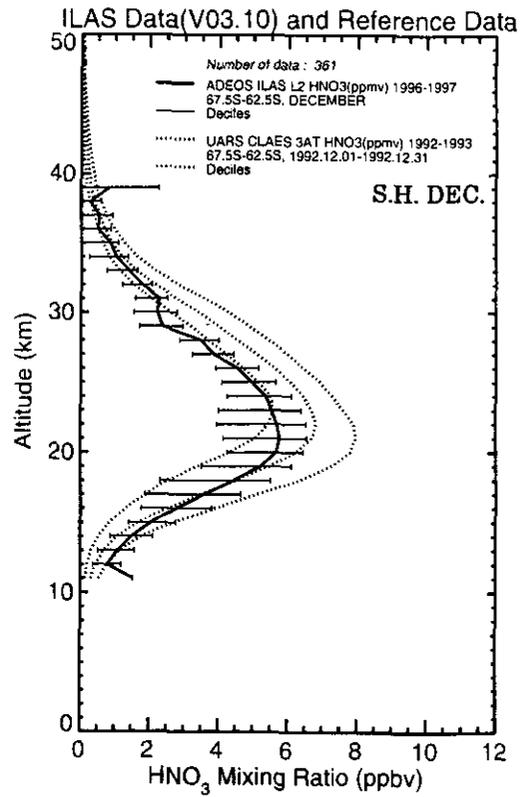
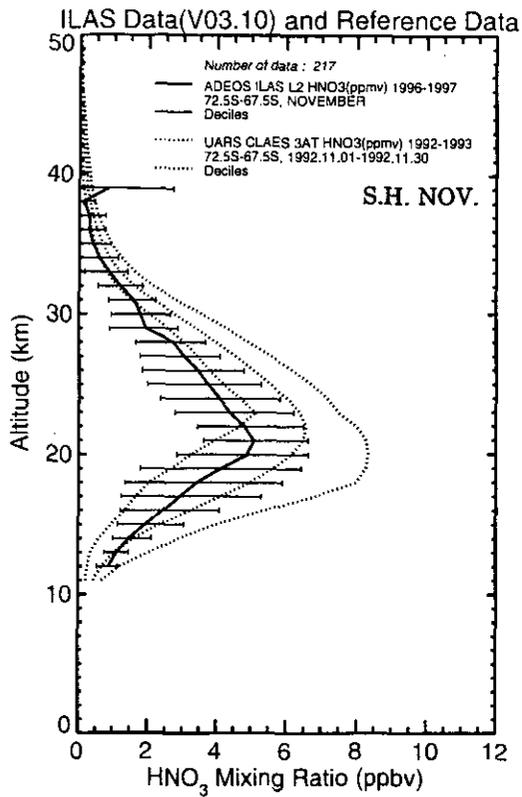


図 3.6(5) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(硝酸; 南半球、1996年11月~1997年2月)

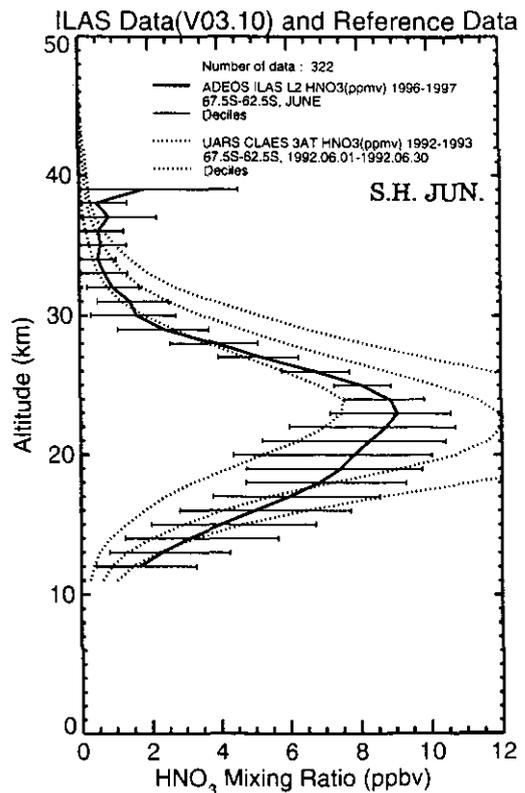
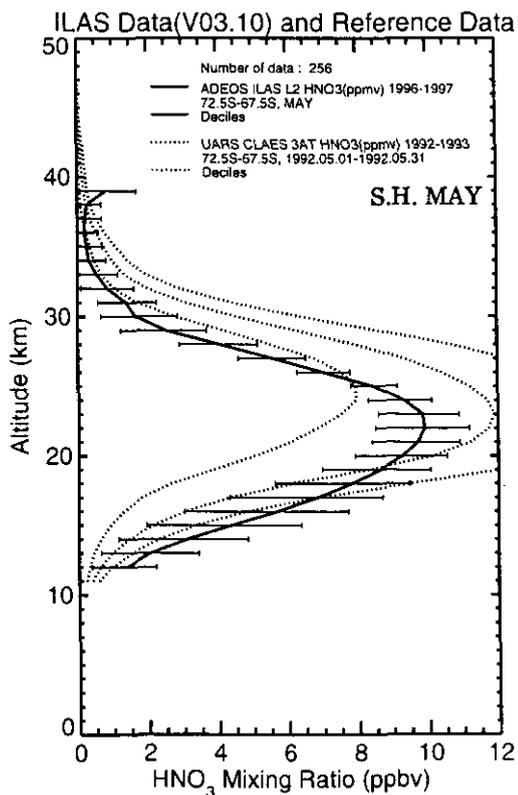
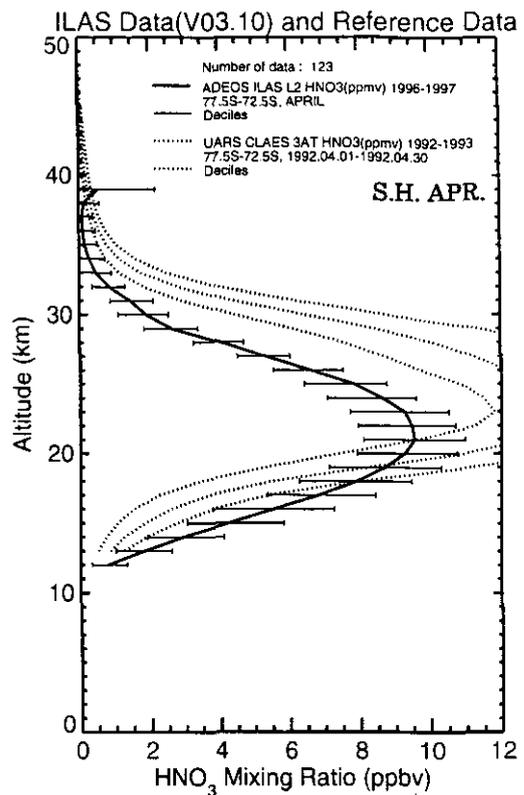
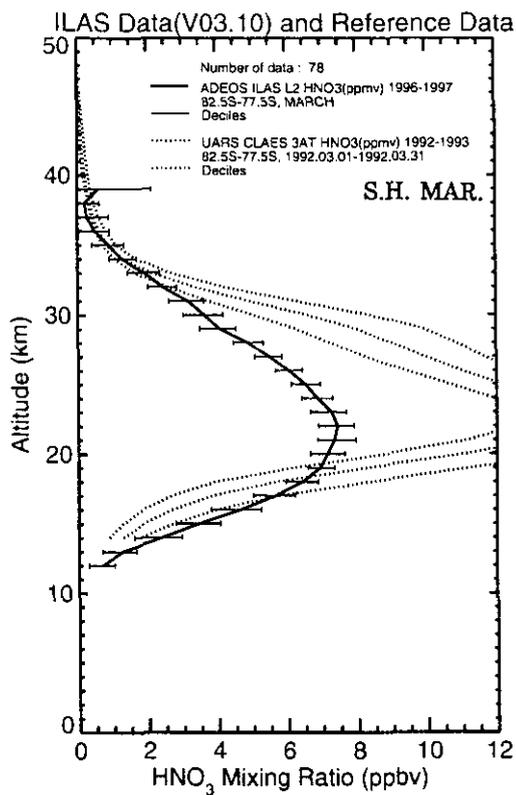


図 3.6(6) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(硝酸；南半球、1997年3月～1997年6月)

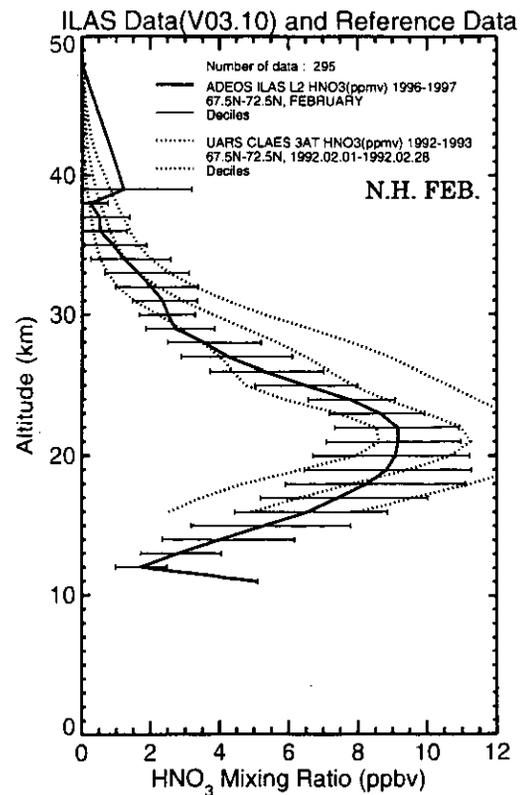
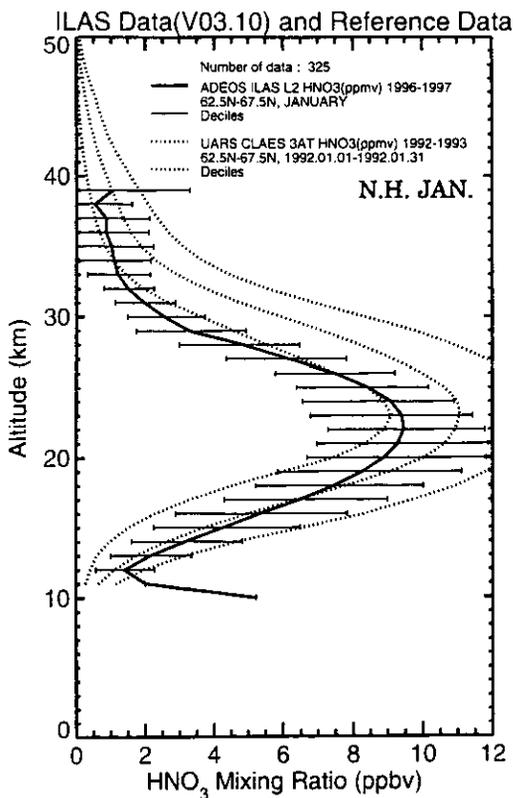
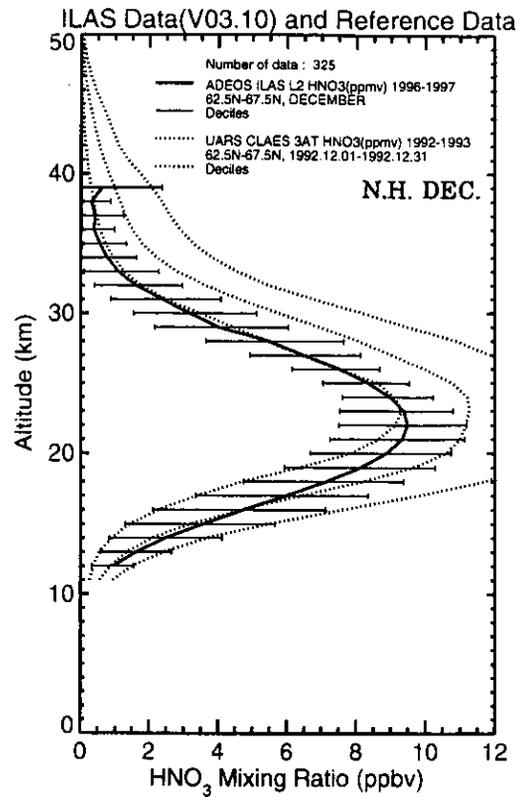
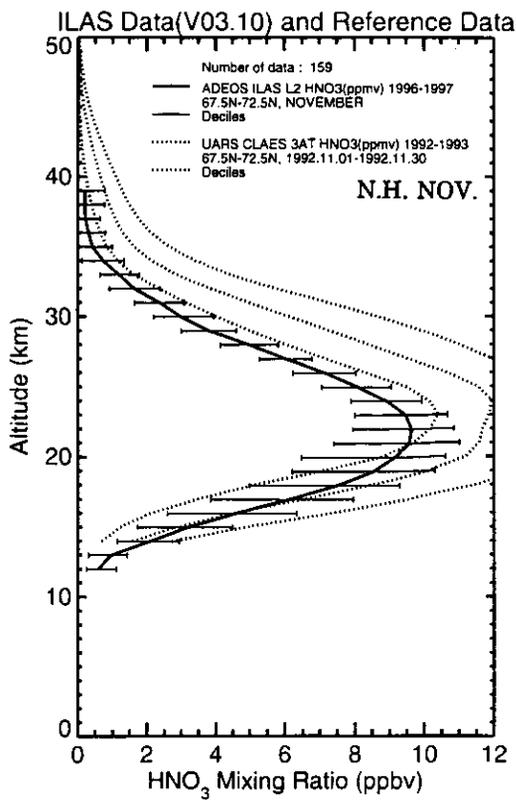


図 3.6(7) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(硝酸；北半球、1996年11月～1997年2月)

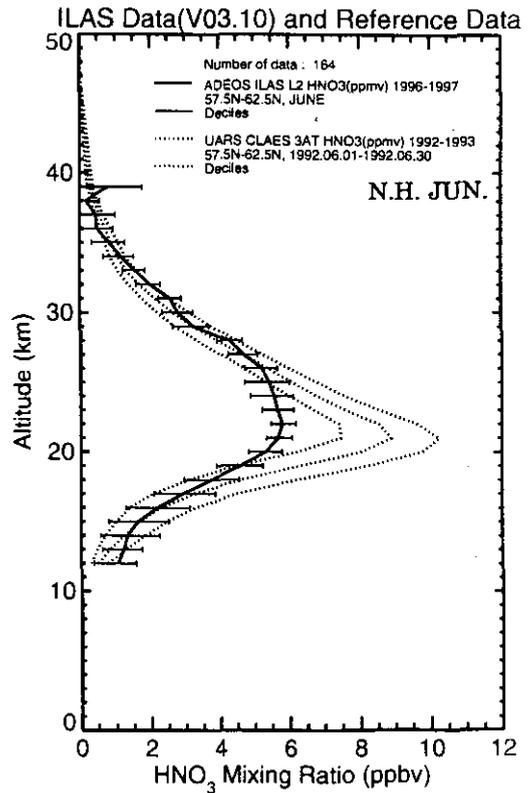
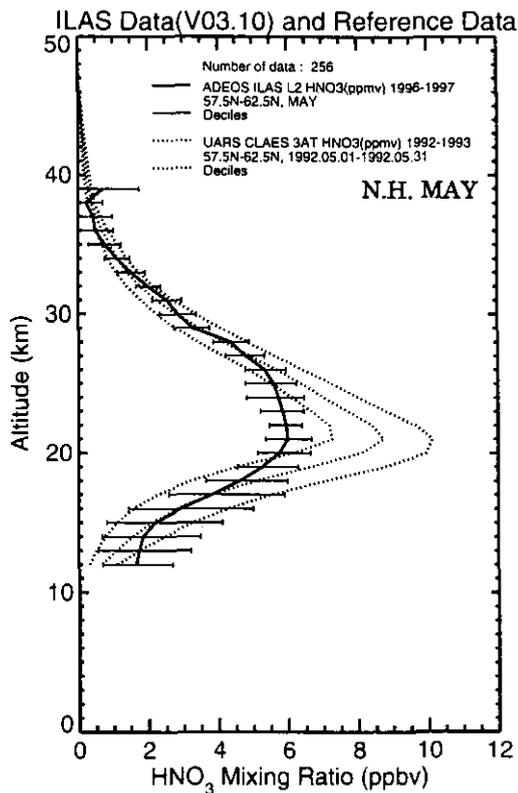
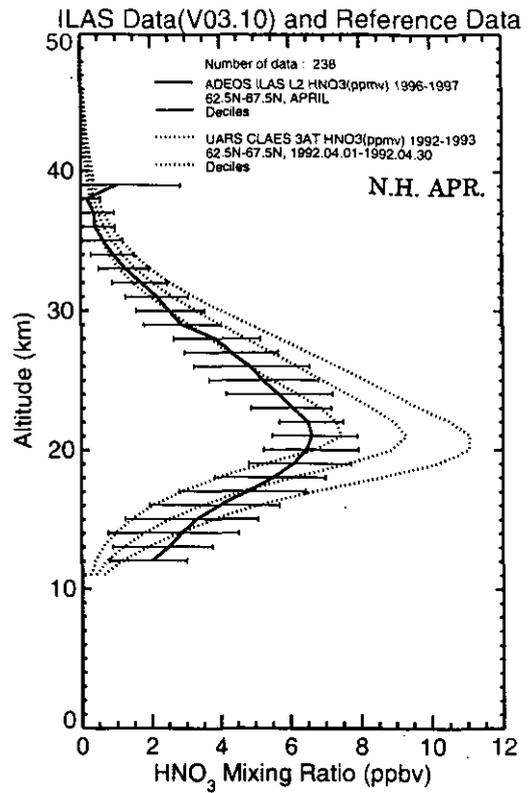
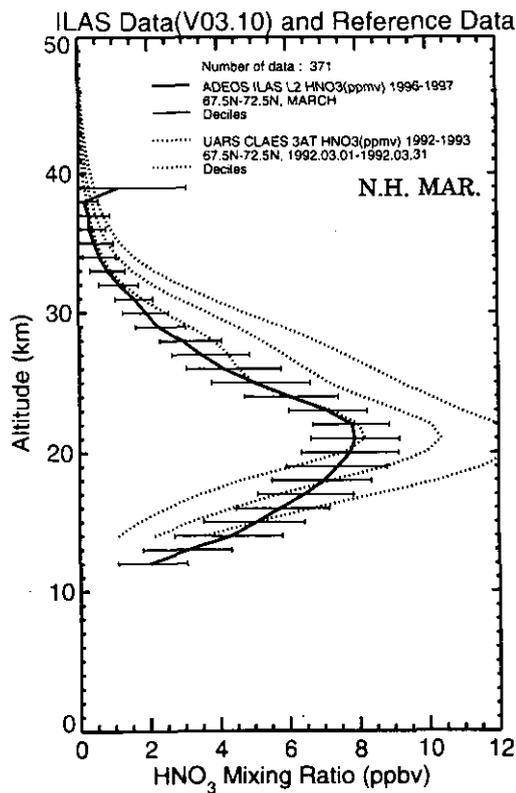


図 3.6(8) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(硝酸；北半球、1997年3月～1997年6月)

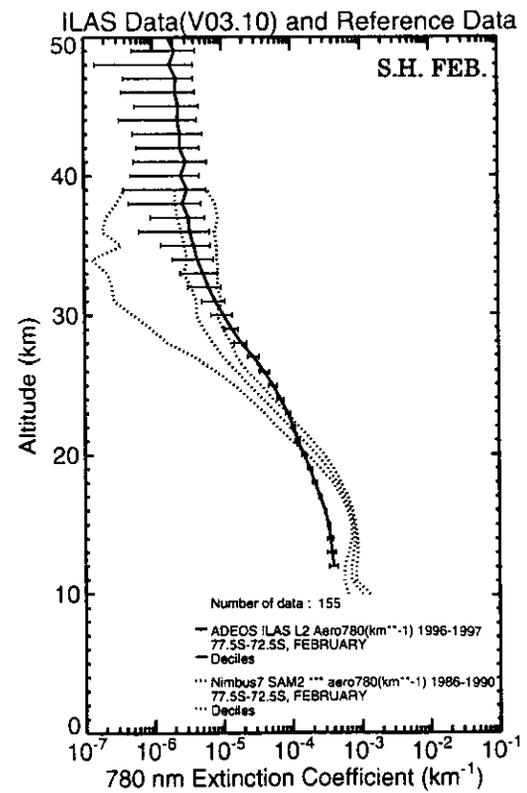
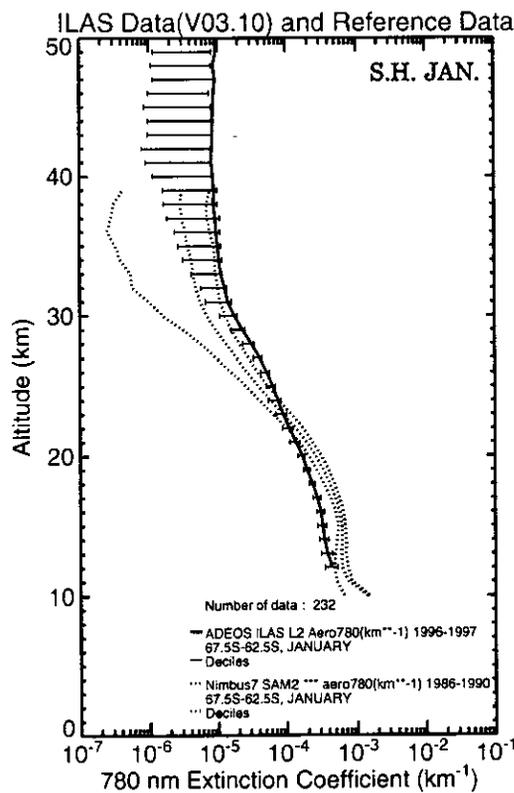
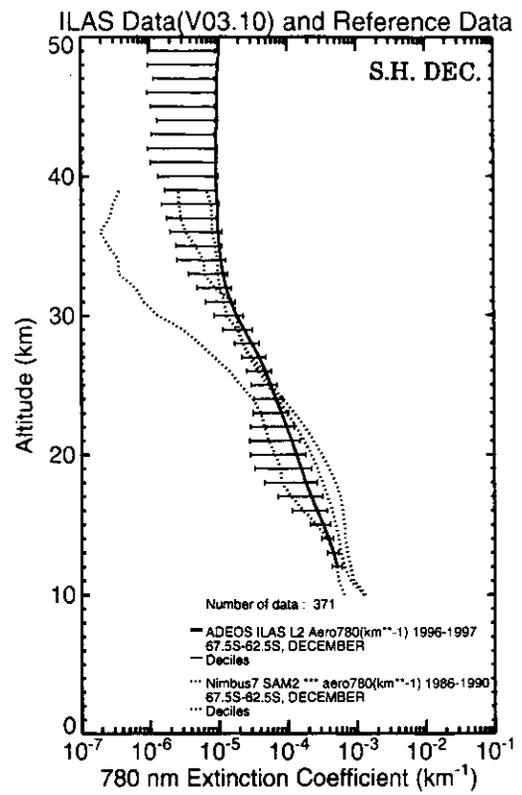
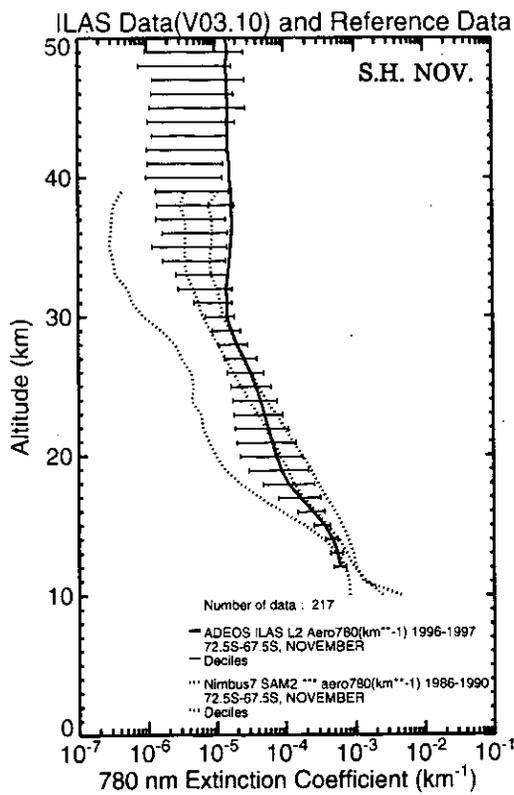


図 3.6(9) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(エアロゾル消散係数(780nm) ; 南半球、1996年11月～1997年2月)

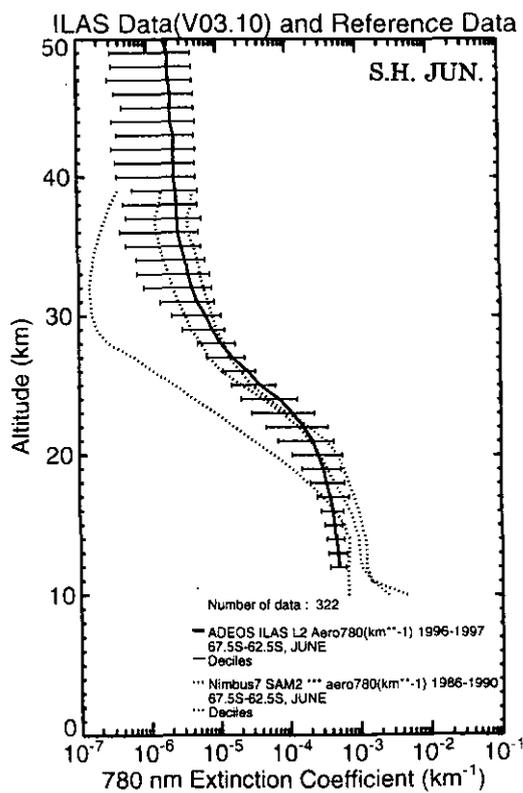
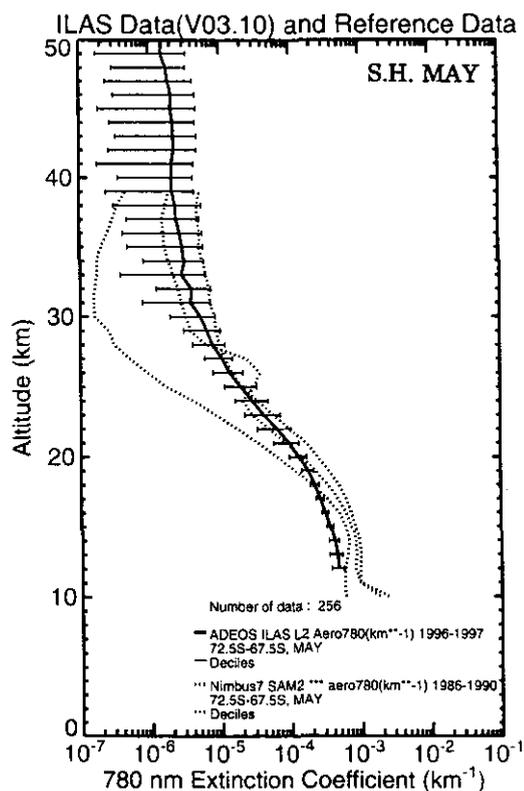
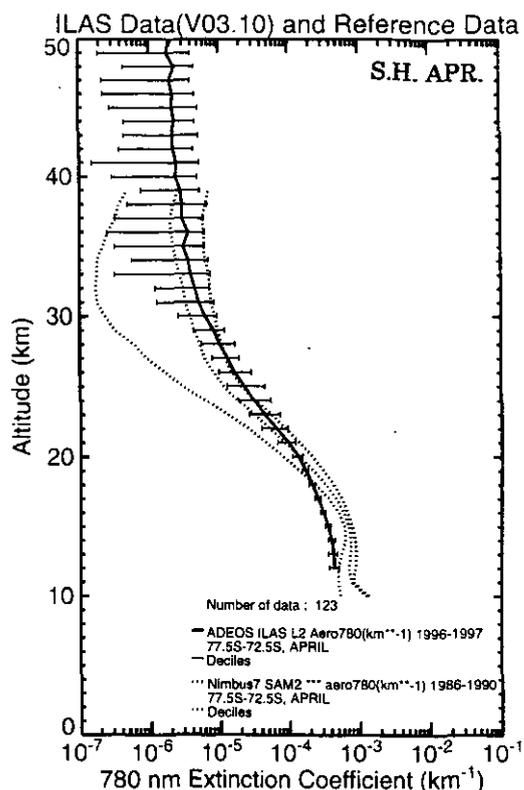
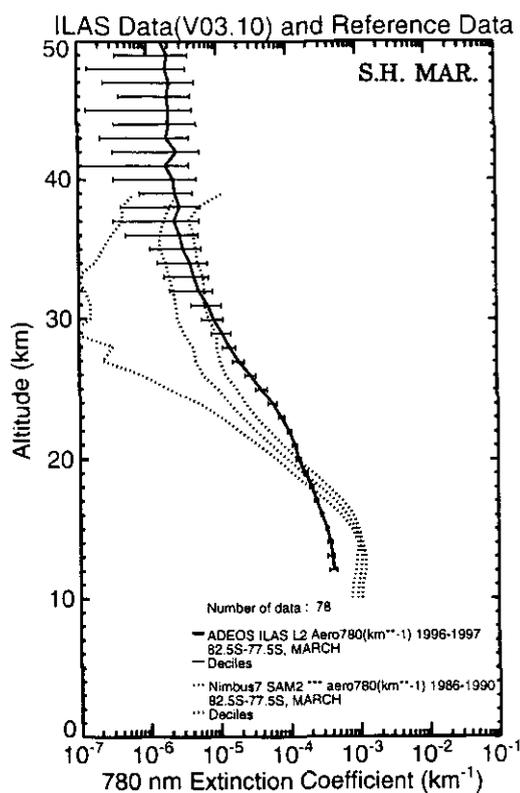


図 3.6(10) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(エアロゾル消散係数(780nm)；南半球、1997年3月～1997年6月)

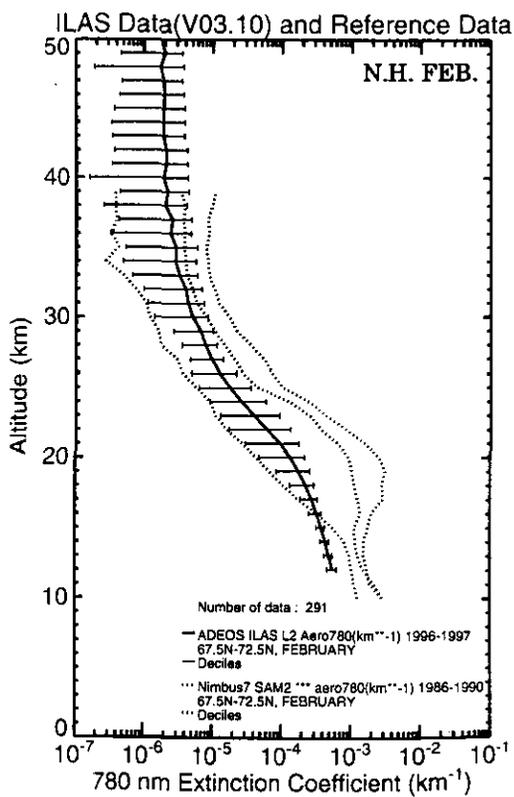
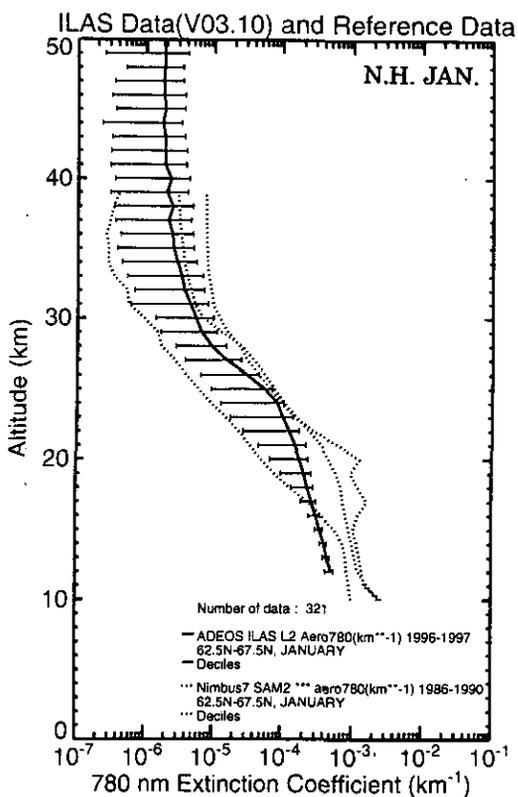
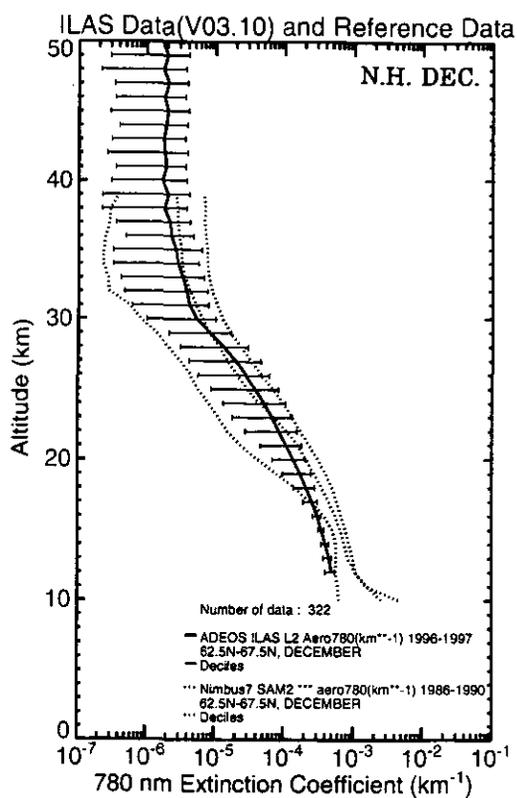
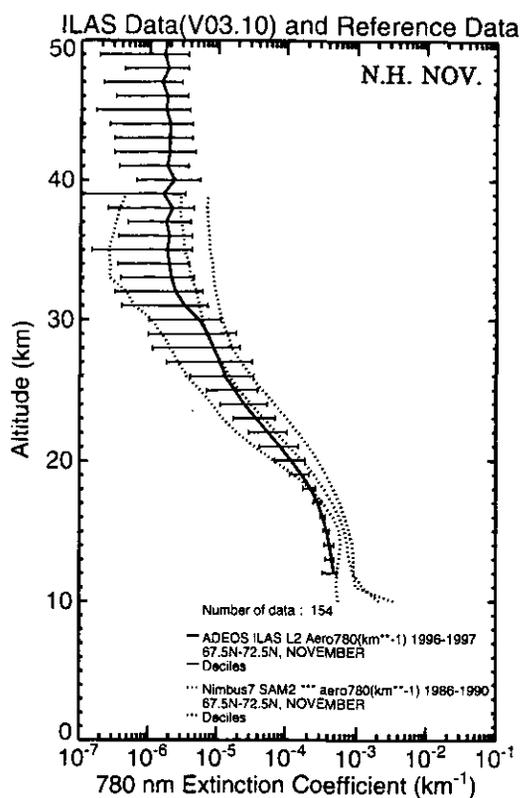


図 3.6(11) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(エアロゾル消散係数(780nm) ; 北半球、1996年11月～1997年2月)

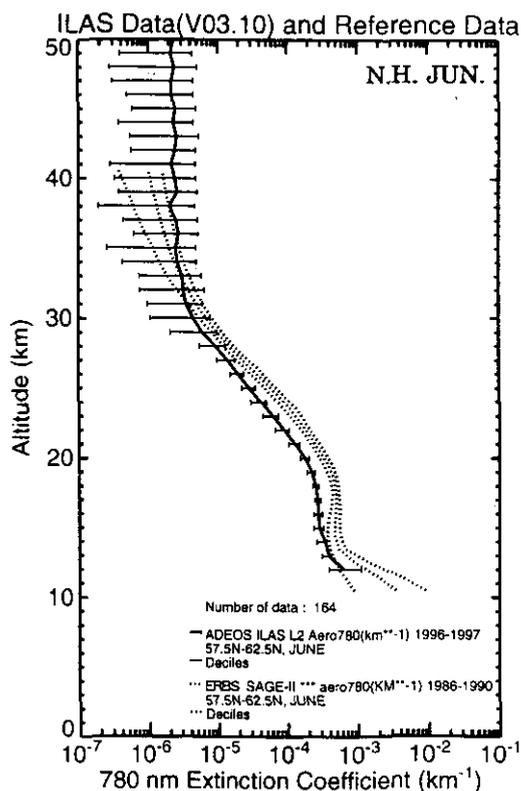
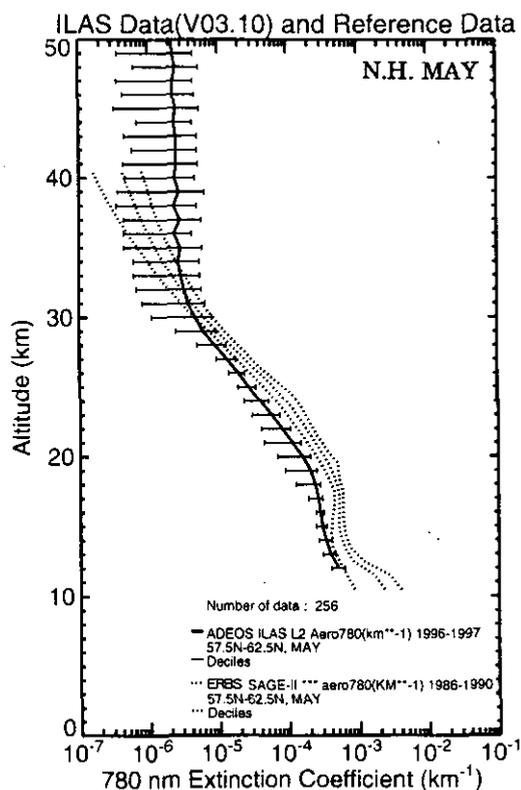
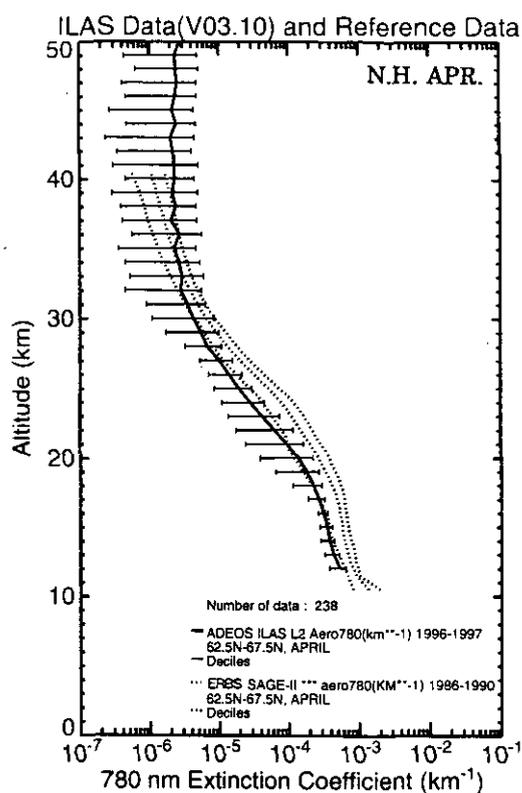
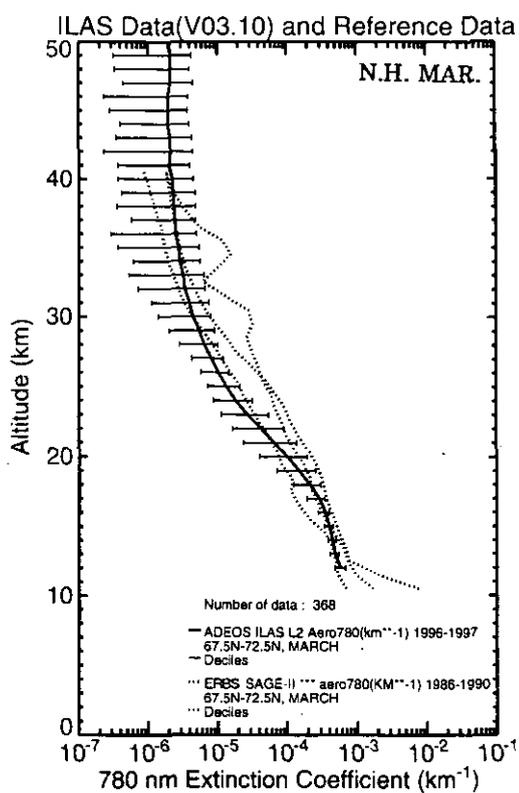


図 3.6(12) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(エアロゾル消散係数(780nm) ; 北半球、1997年3月～1997年6月)

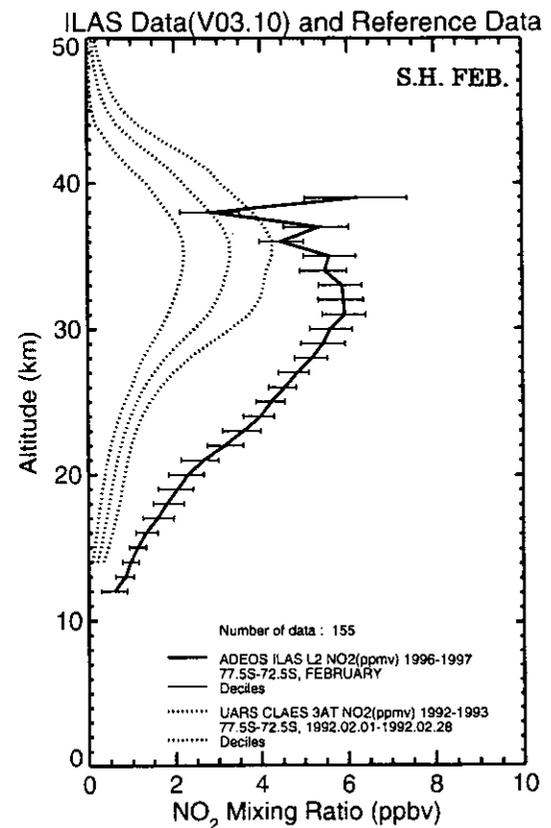
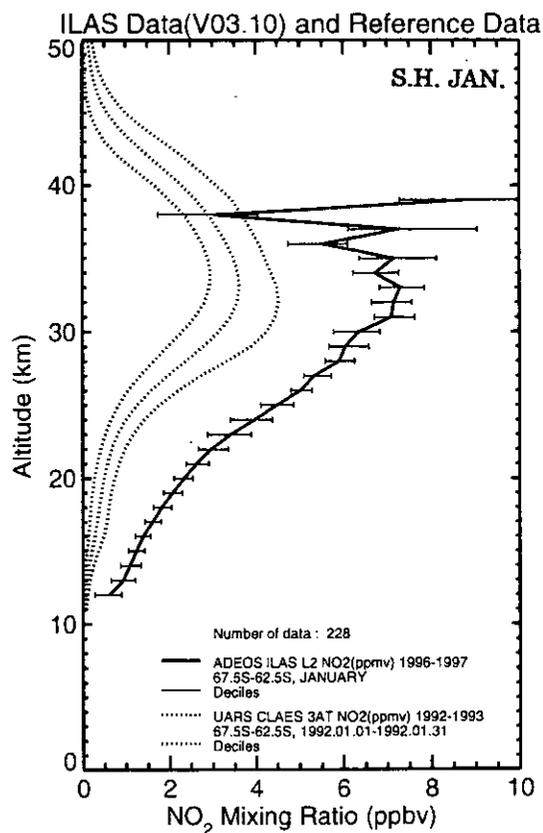
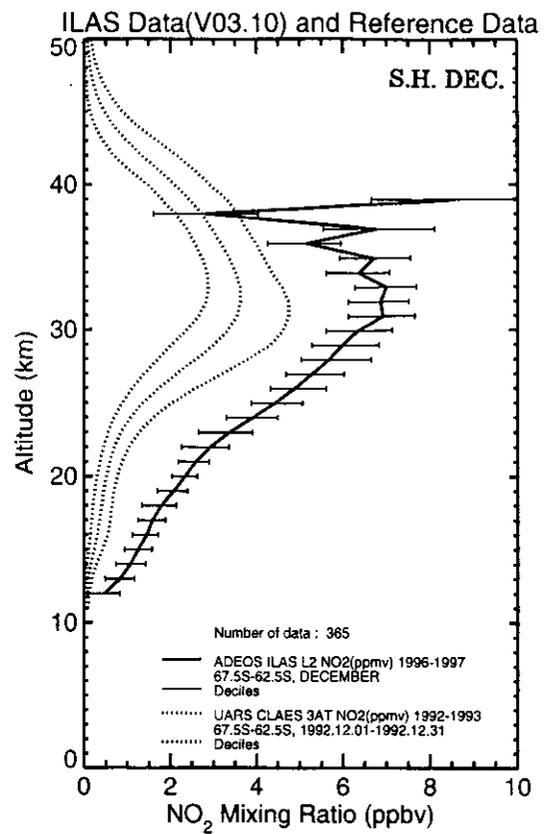
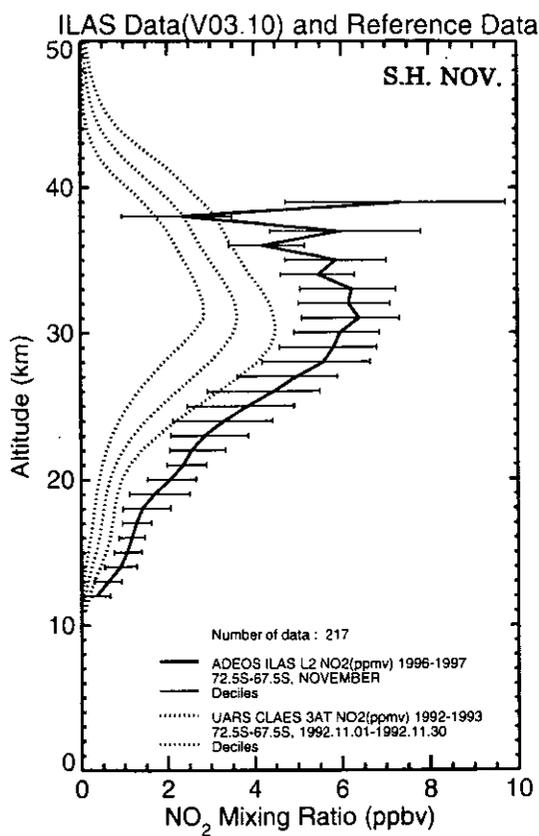


図 3.6(13) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(二酸化窒素；南半球、1996年11月～1997年2月)

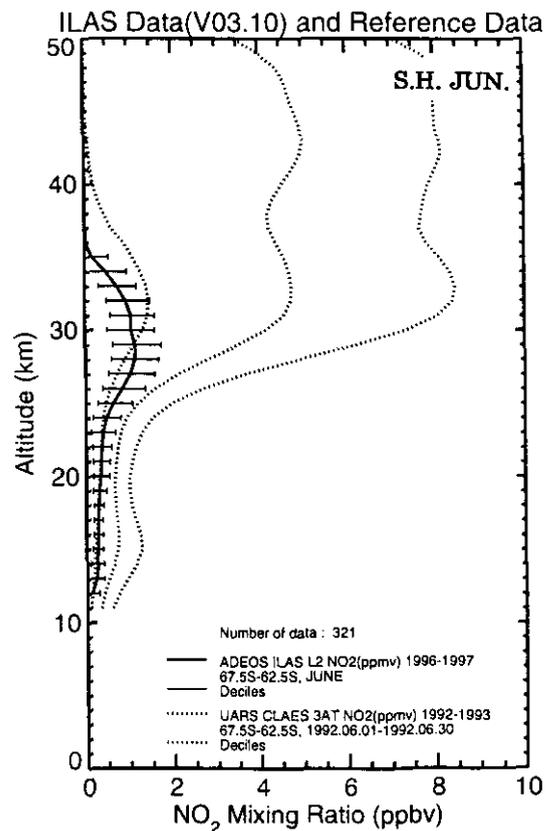
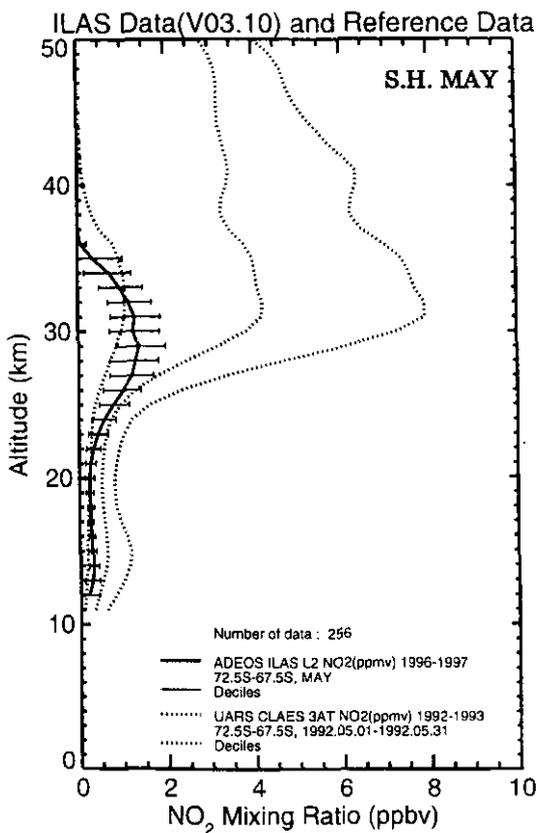
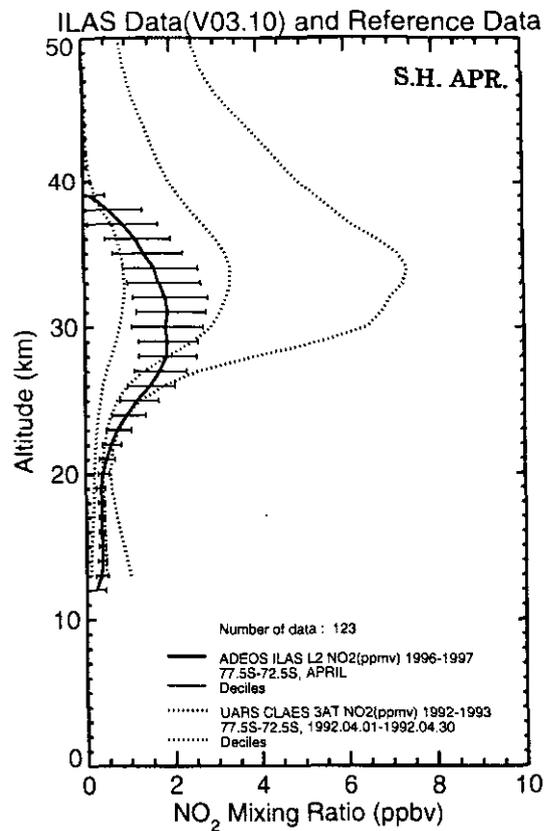
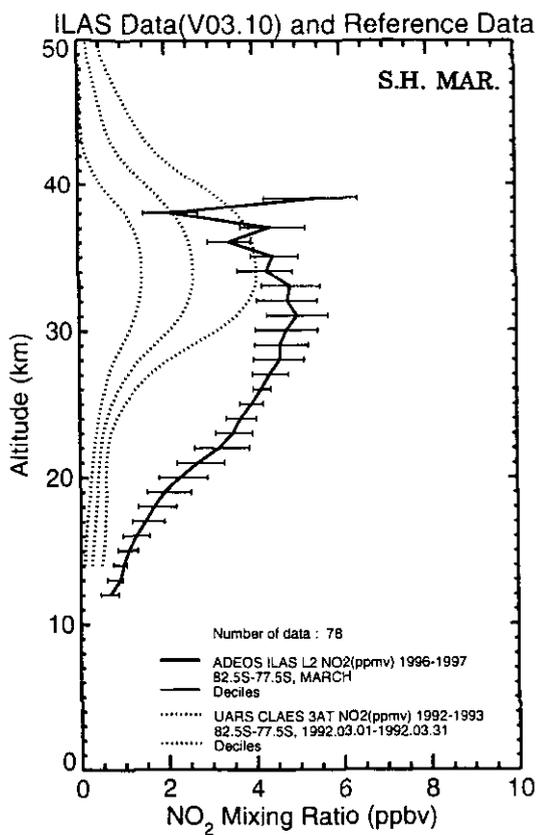


図 3.6(14) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(二酸化窒素；南半球、1997年3月～1997年6月)

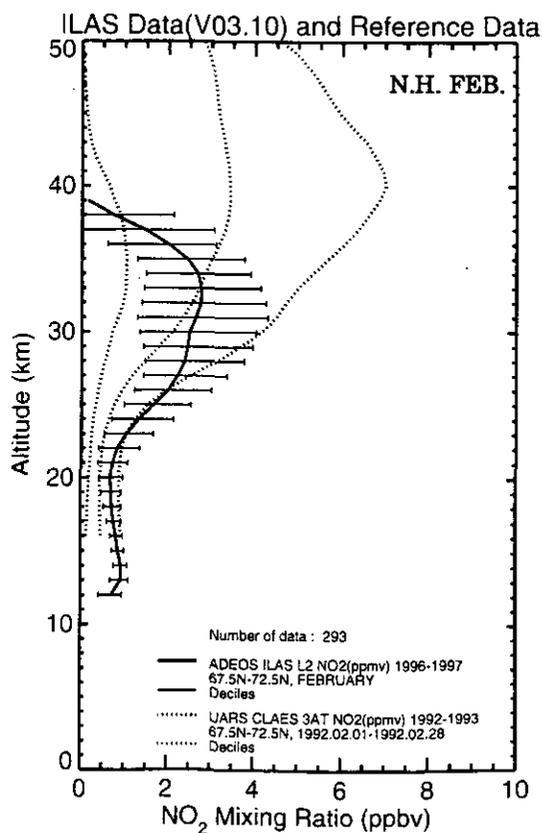
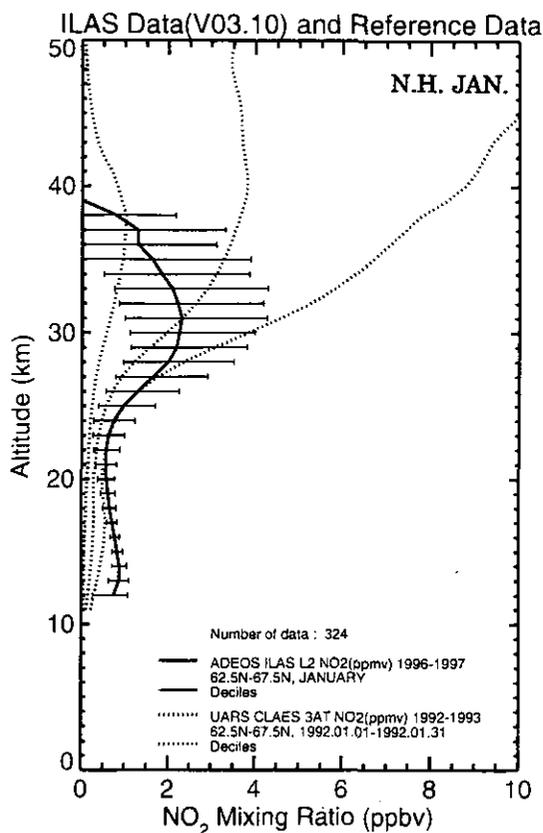
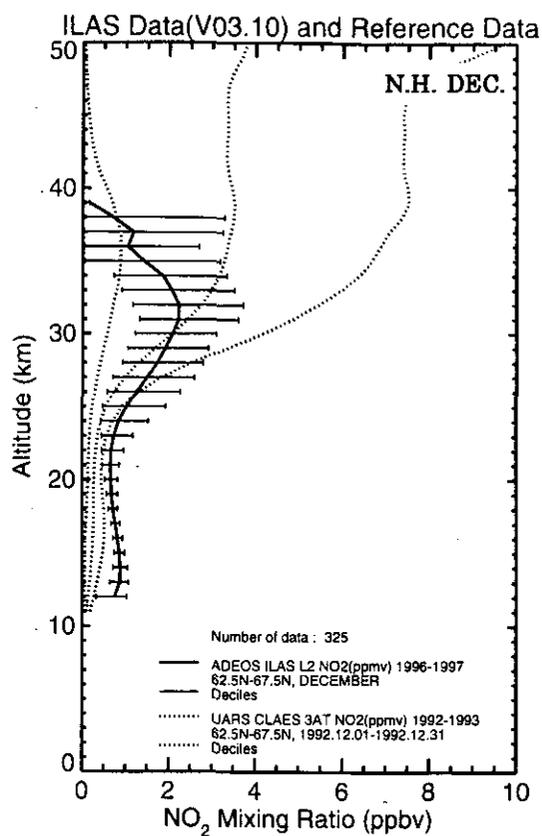
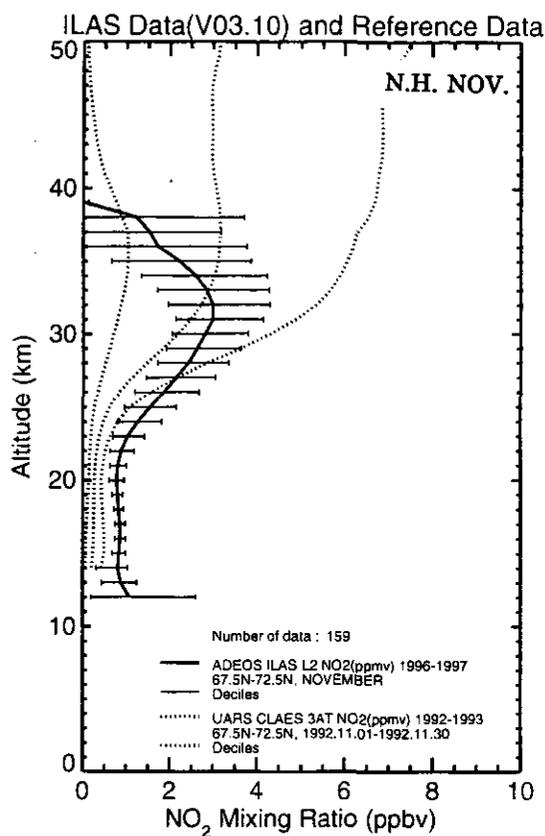


図 3.6(15) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(二酸化窒素；北半球、1996年11月～1997年2月)

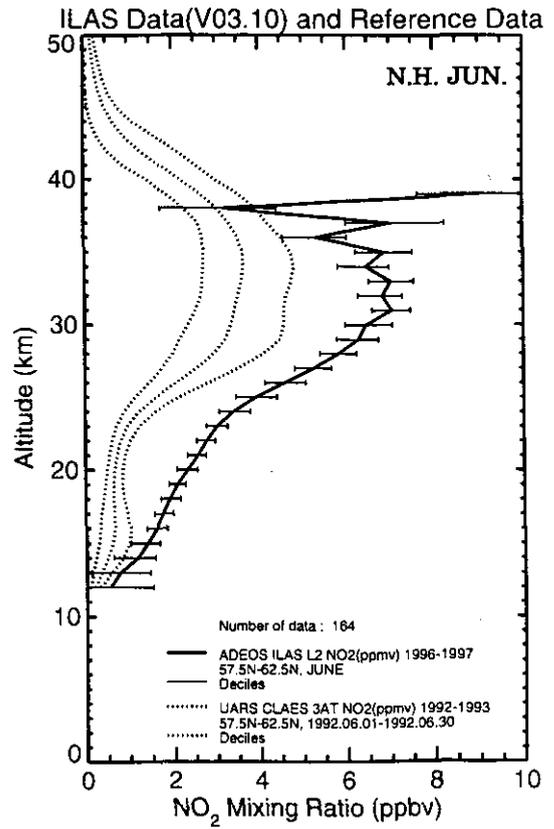
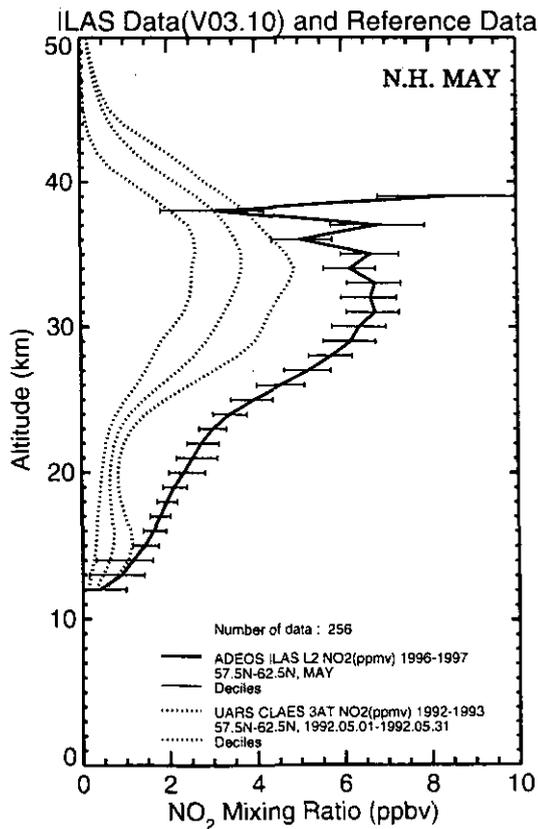
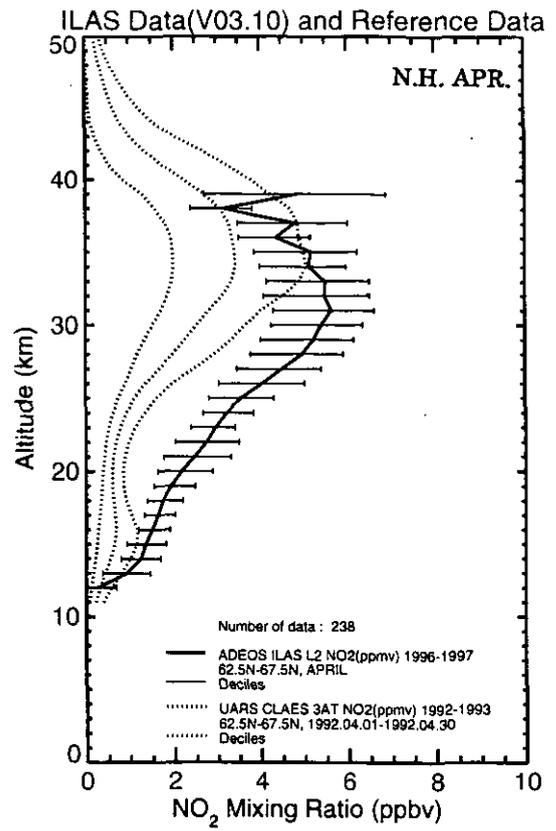
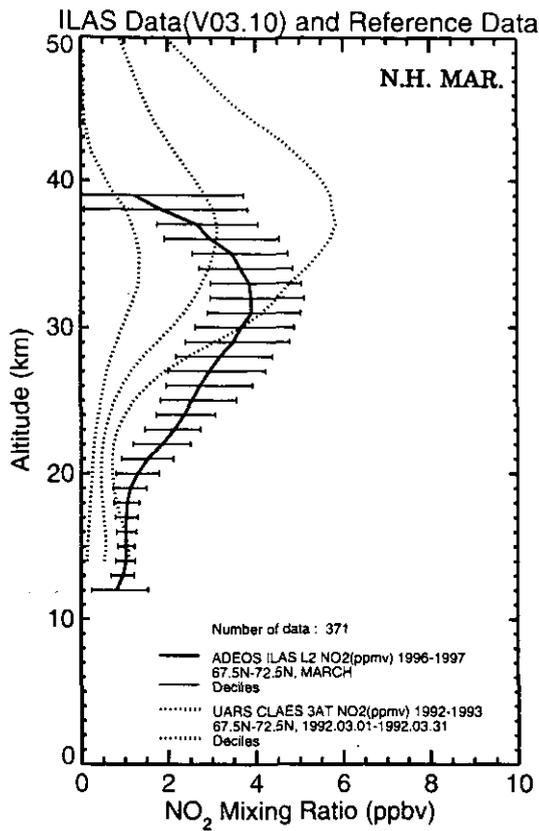


図 3.6 (16) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(二酸化窒素) ; 北半球、1997年3月～1997年6月)

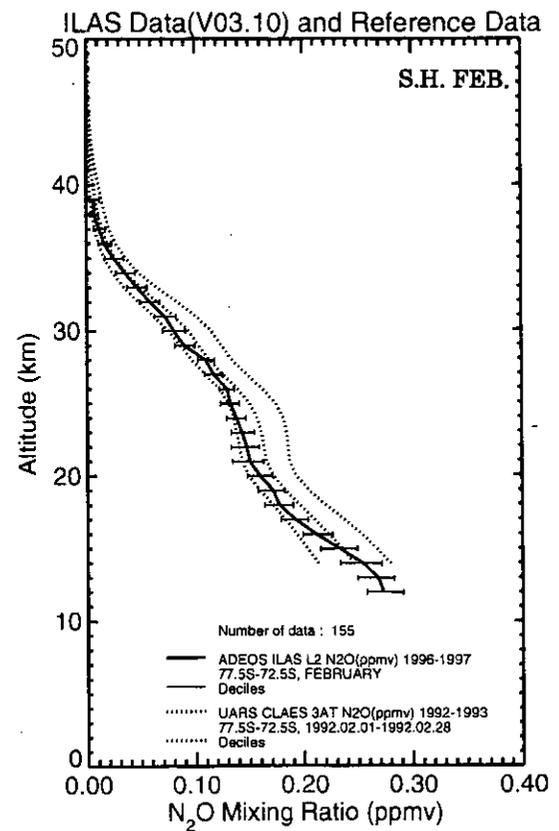
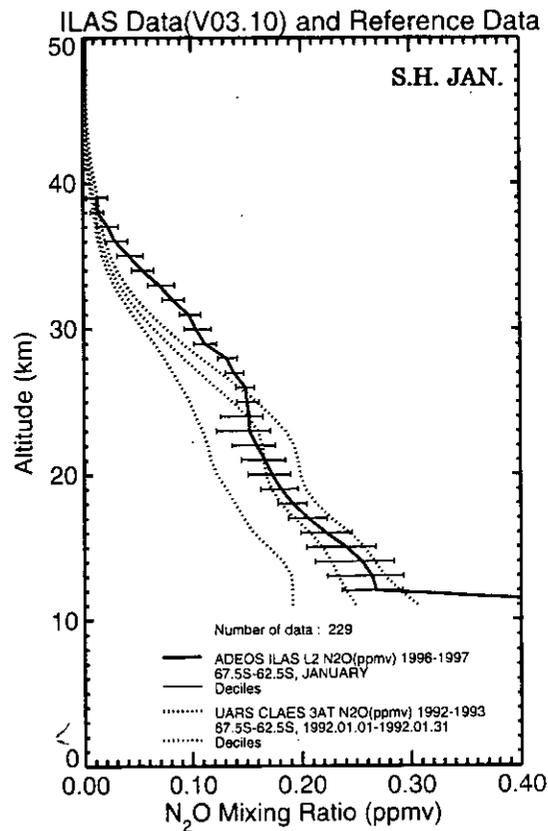
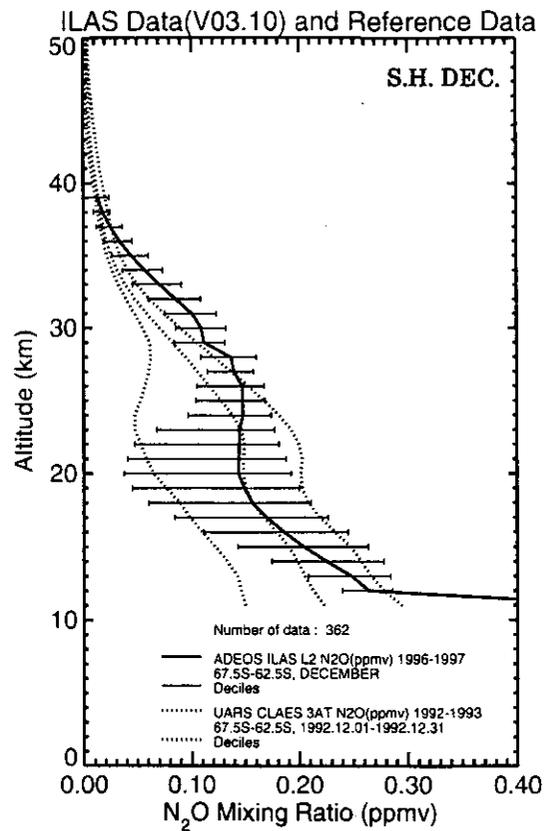
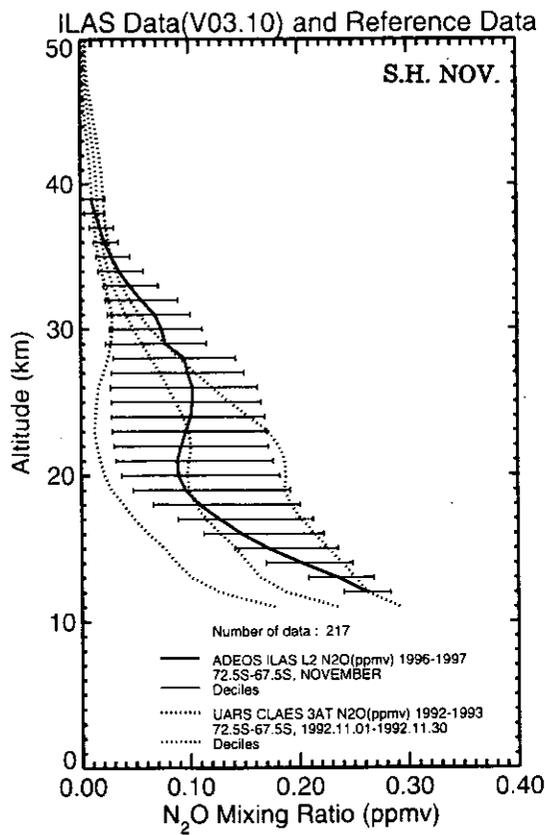


図 3.6(17) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(一酸化二窒素；南半球、1996年11月～1997年2月)

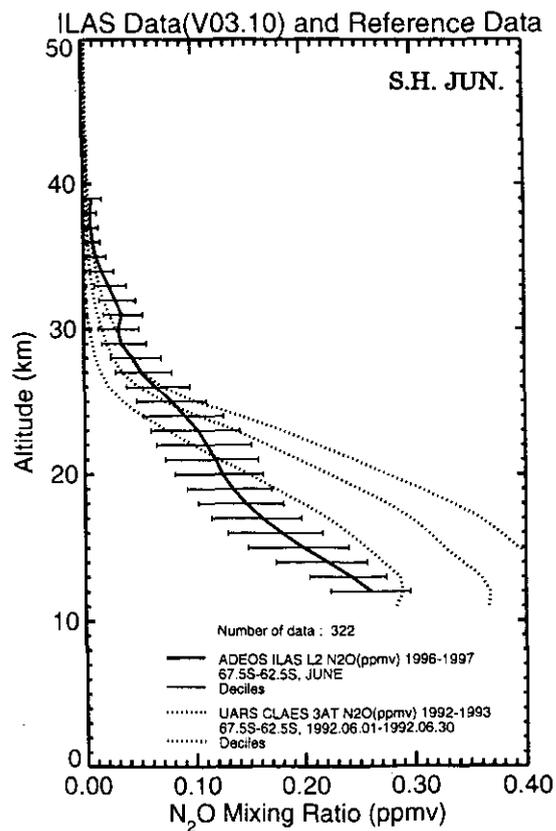
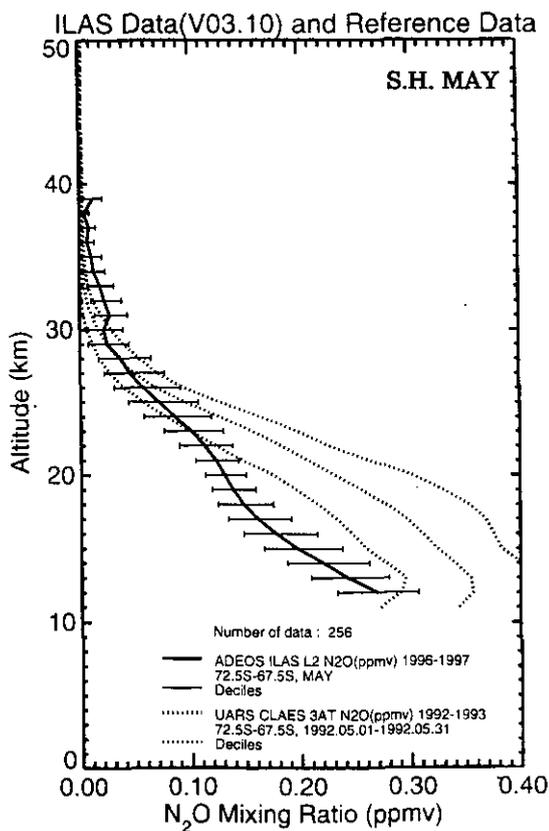
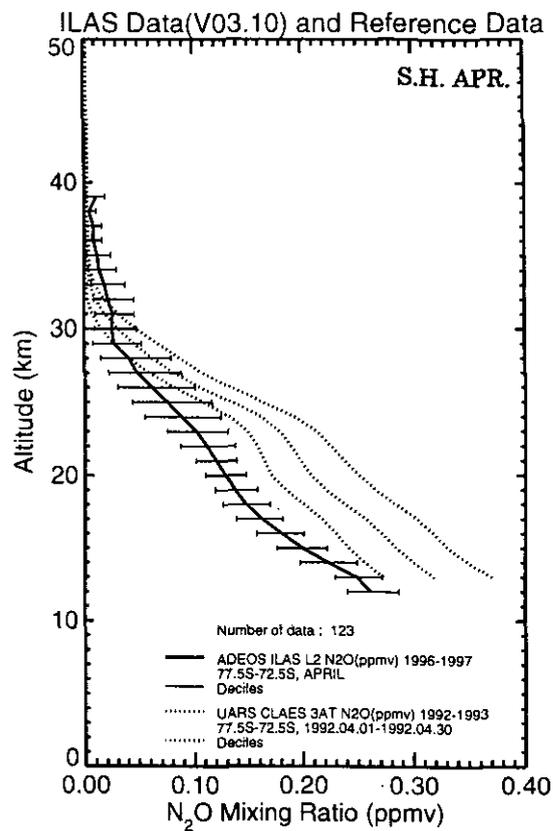
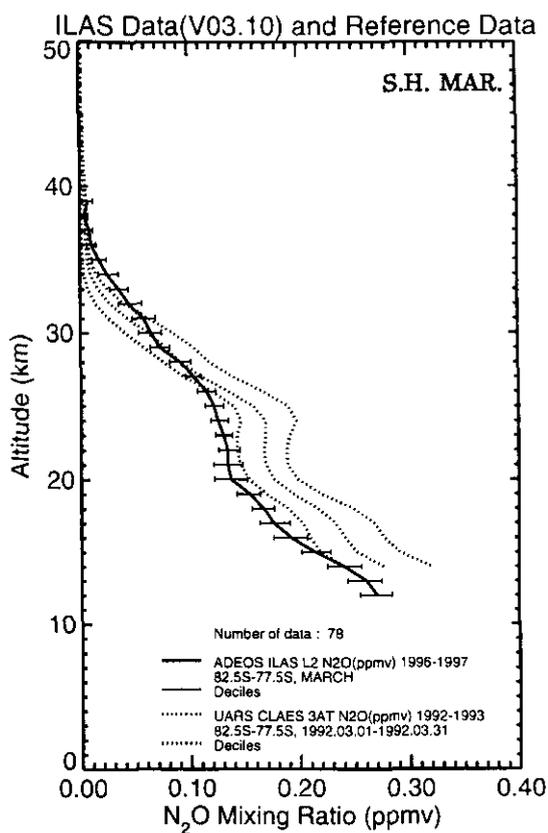


図 3.6(18) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロフィール
 (一酸化二窒素；南半球、1997年3月～1997年6月)

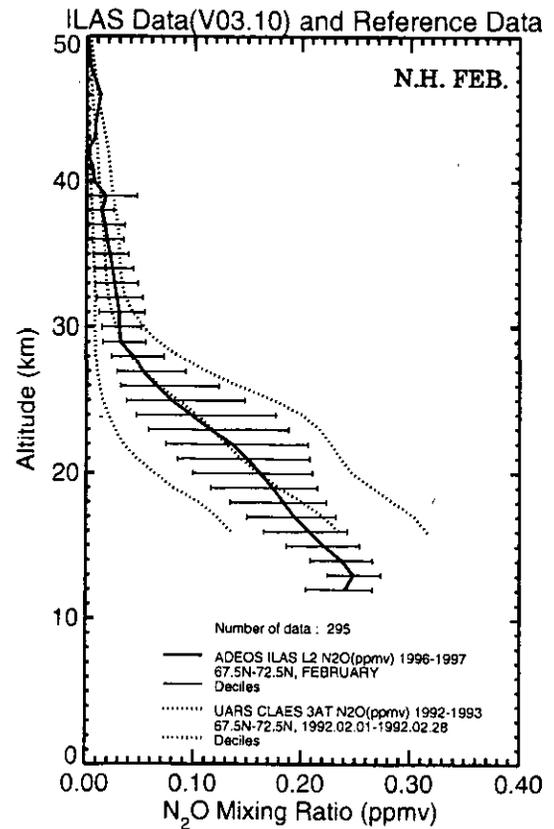
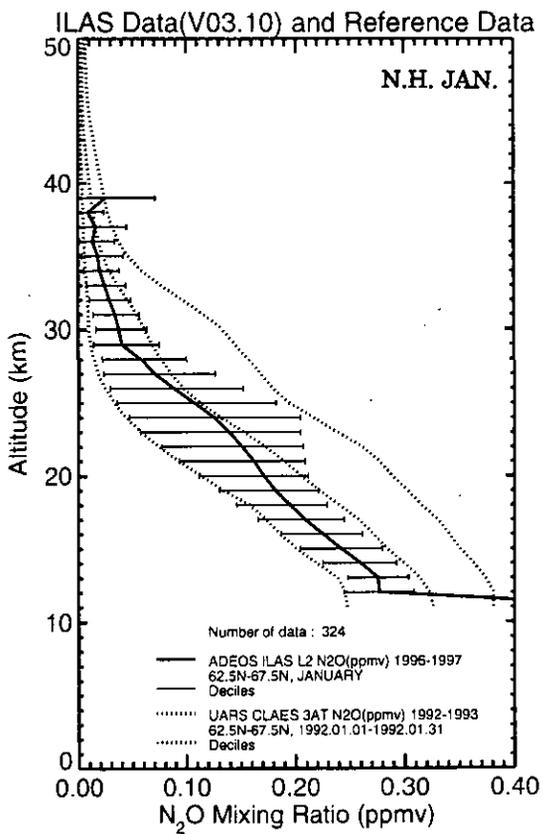
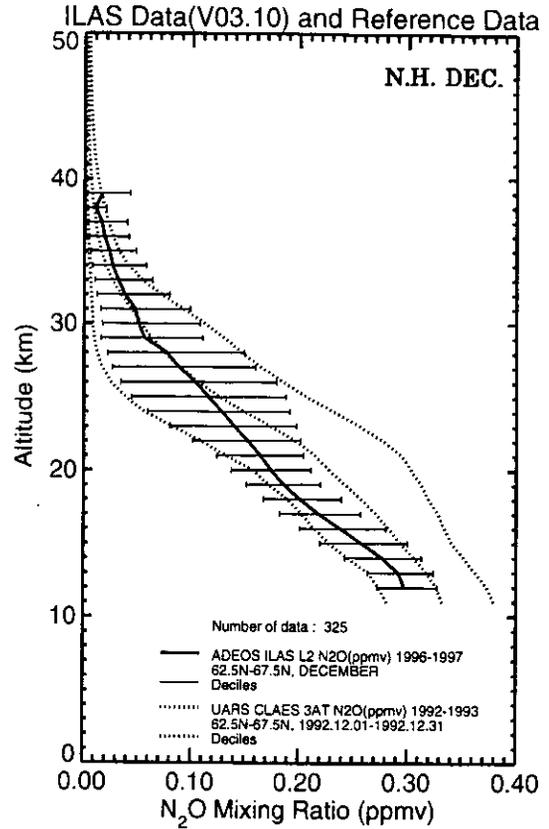
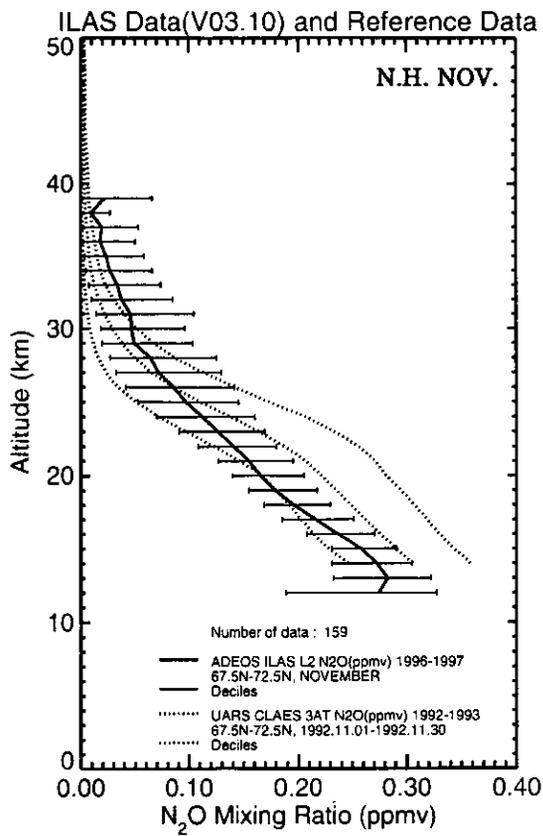


図 3.6(19) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロフィール
(一酸化二窒素；北半球、1996年11月～1997年2月)

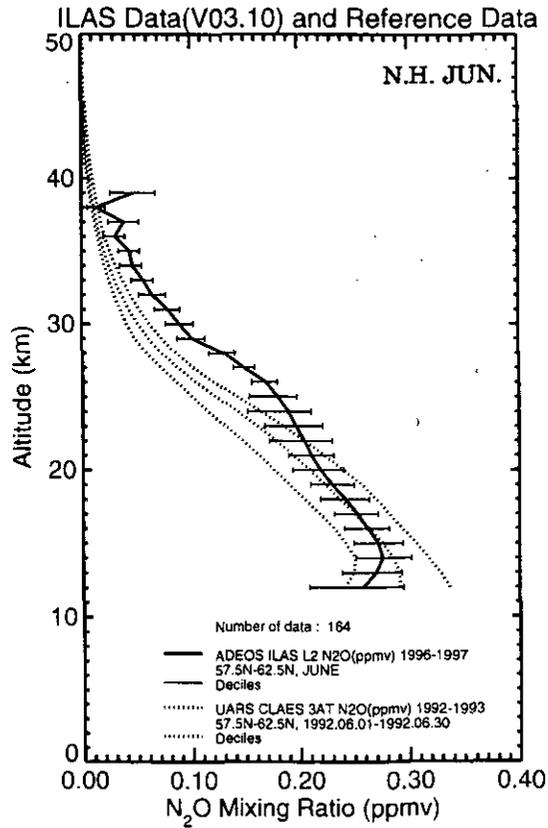
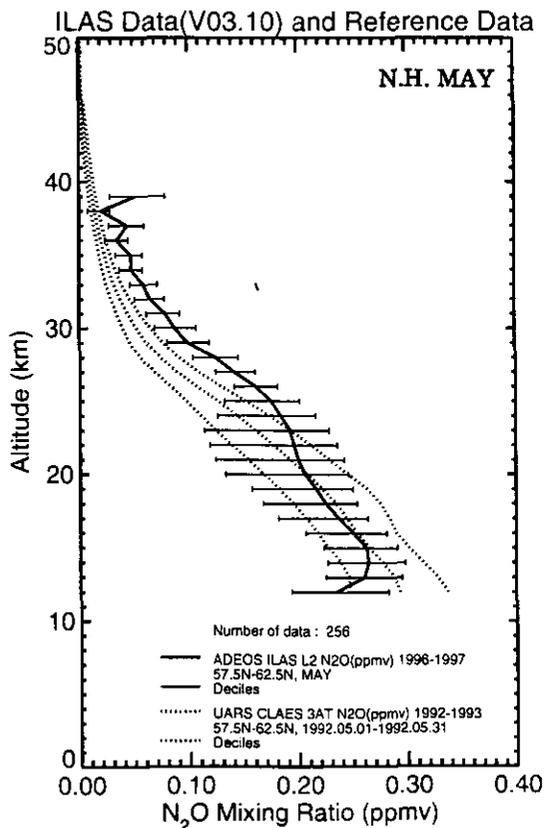
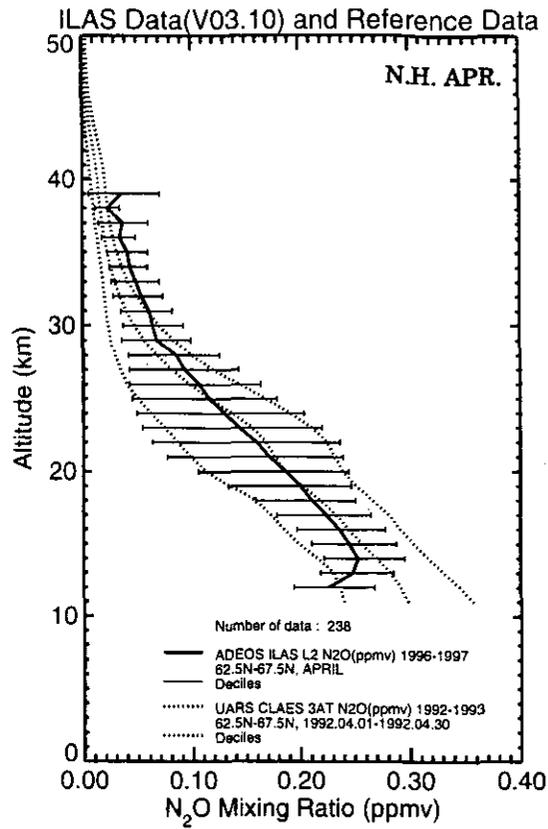
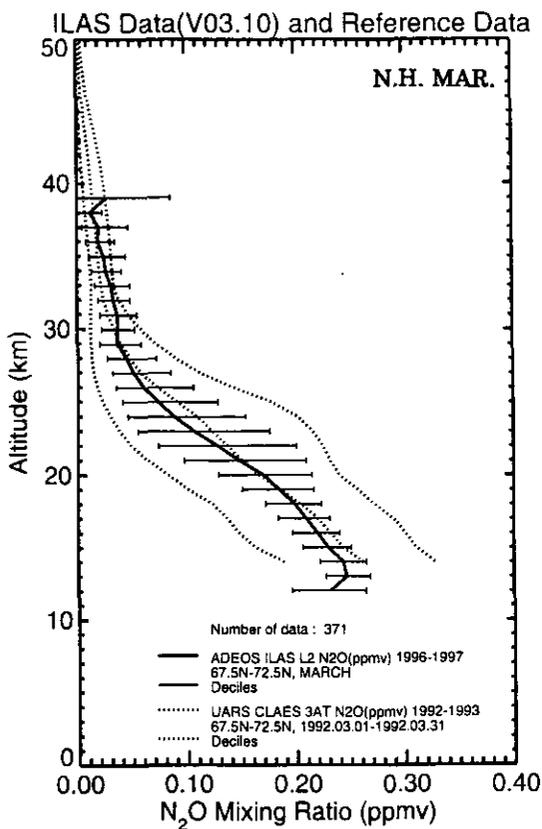


図 3.6 (20) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(一酸化二窒素) ; 北半球、1997年3月～1997年6月)

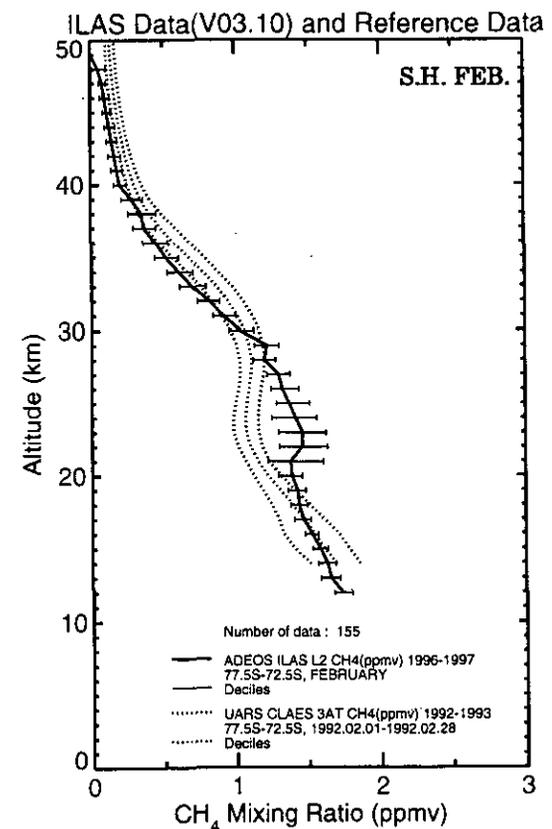
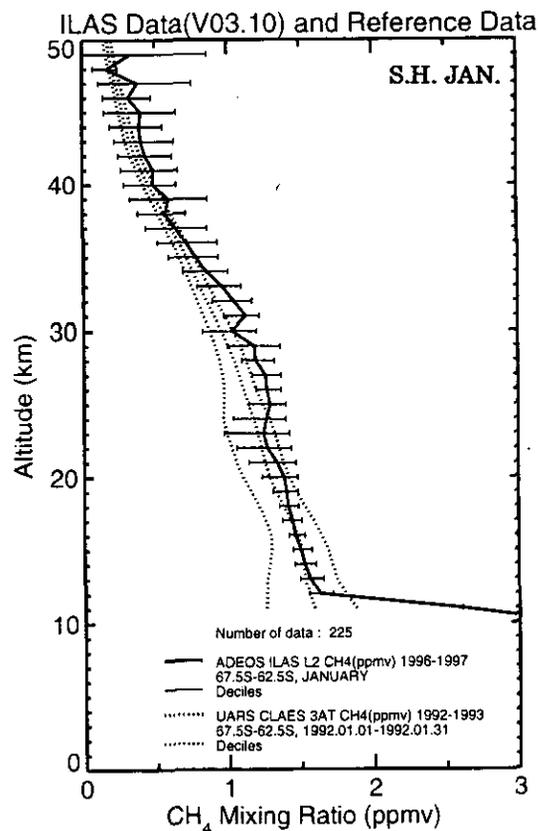
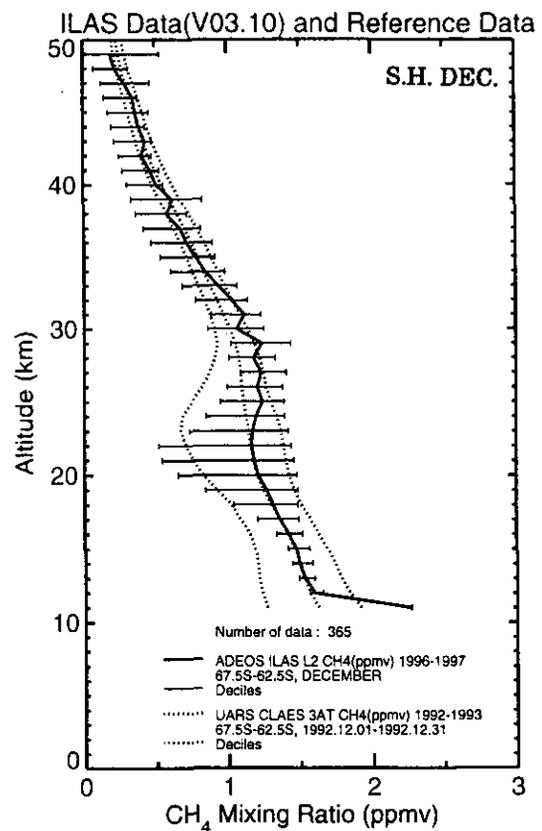
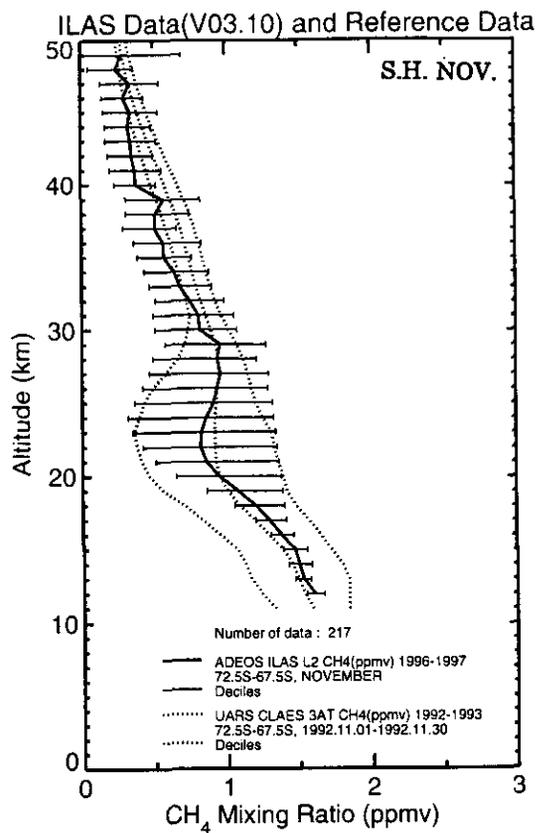


図 3.6(21) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(メタン；南半球、1996年11月～1997年2月)

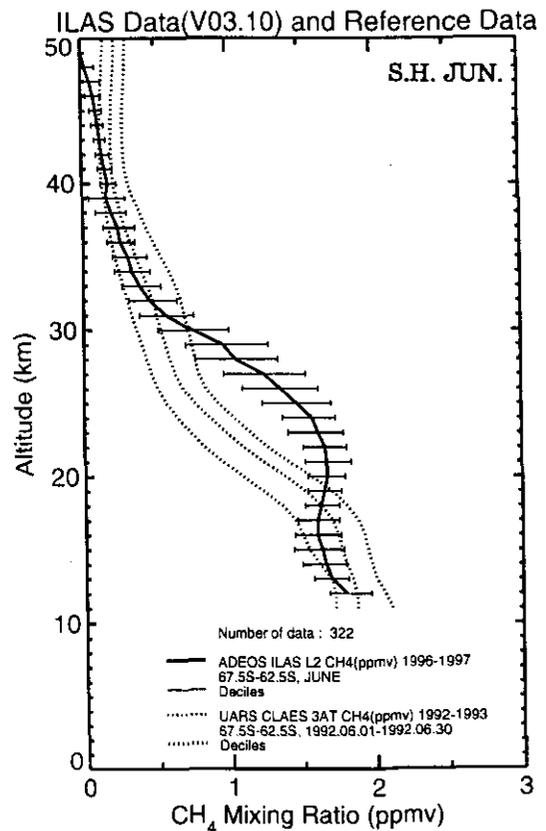
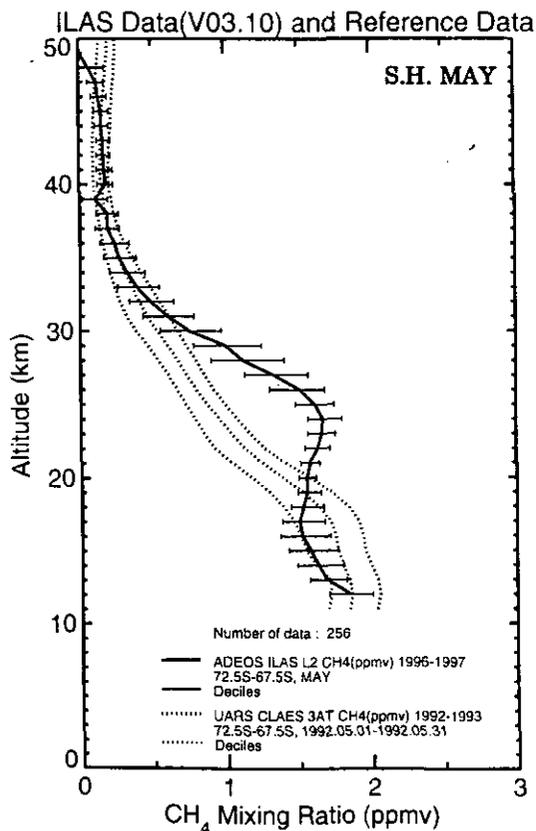
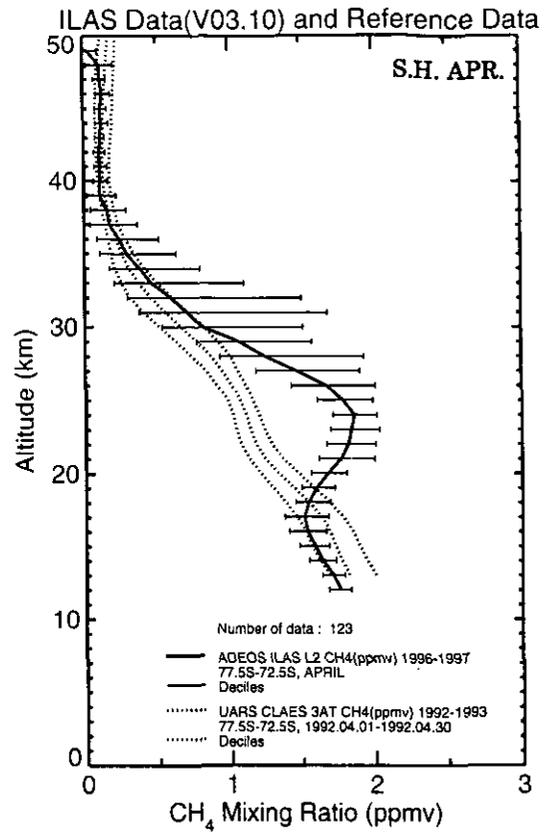
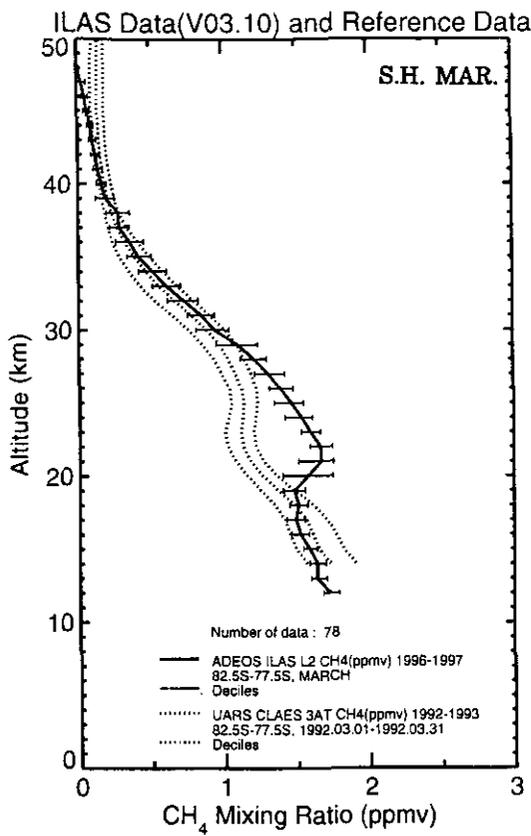


図 3.6(22) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(メタン；南半球、1997年3月～1997年6月)

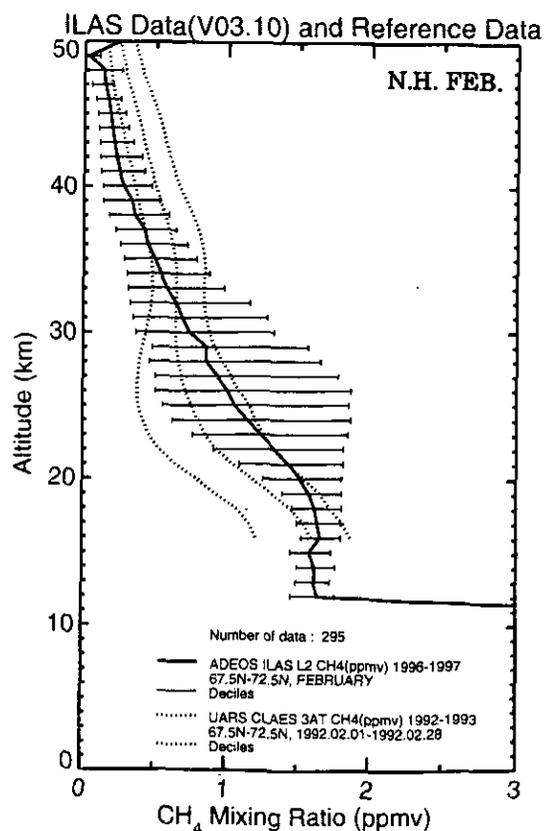
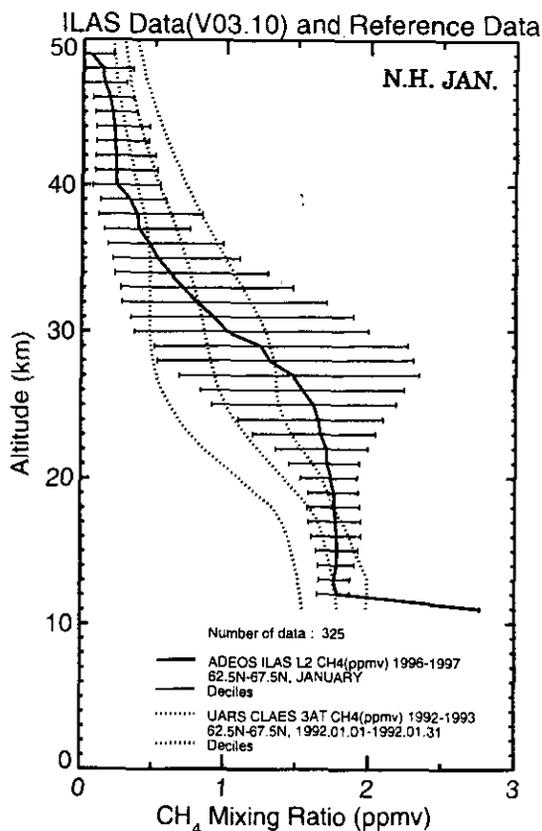
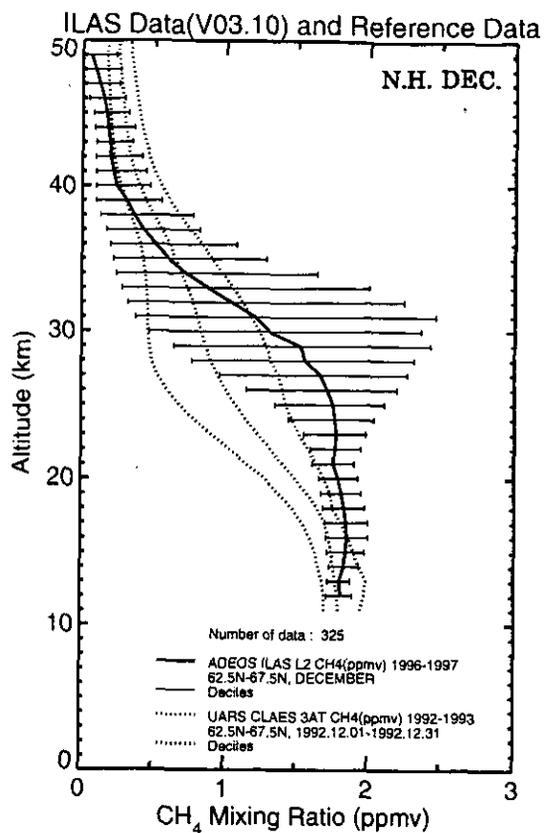
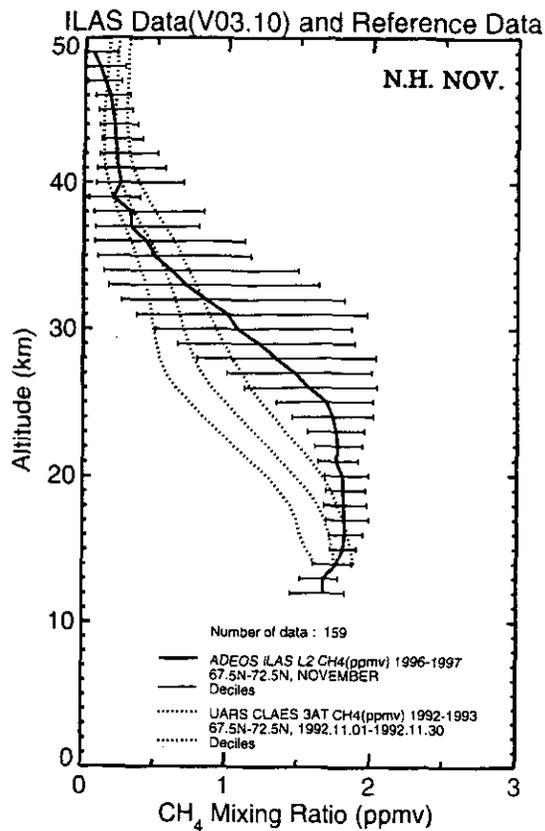


図 3.6(23) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(メタン；北半球、1996年11月～1997年2月)

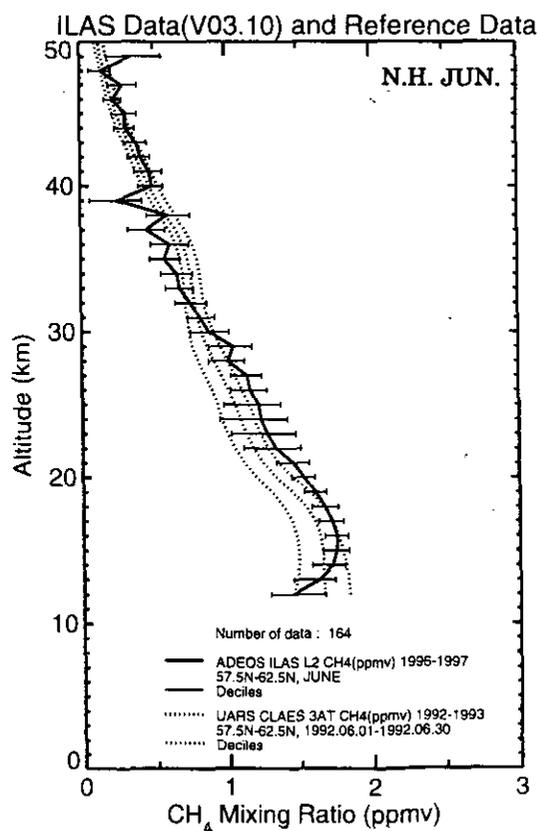
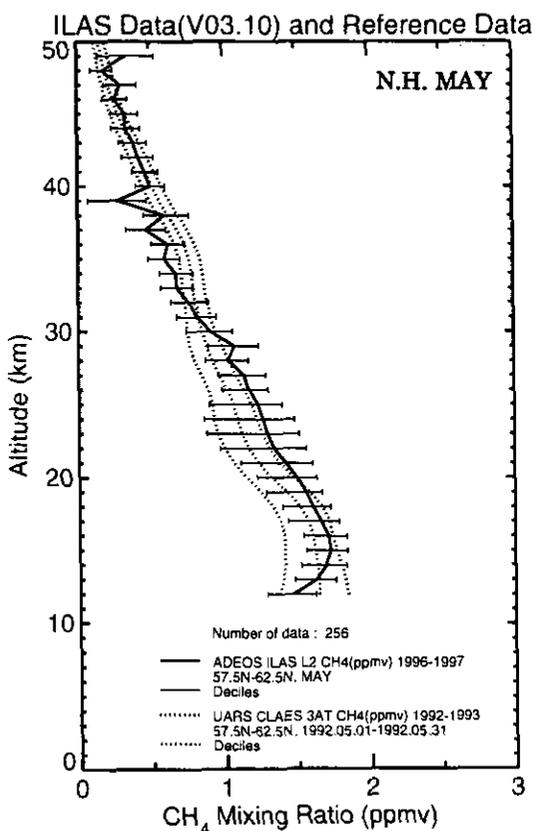
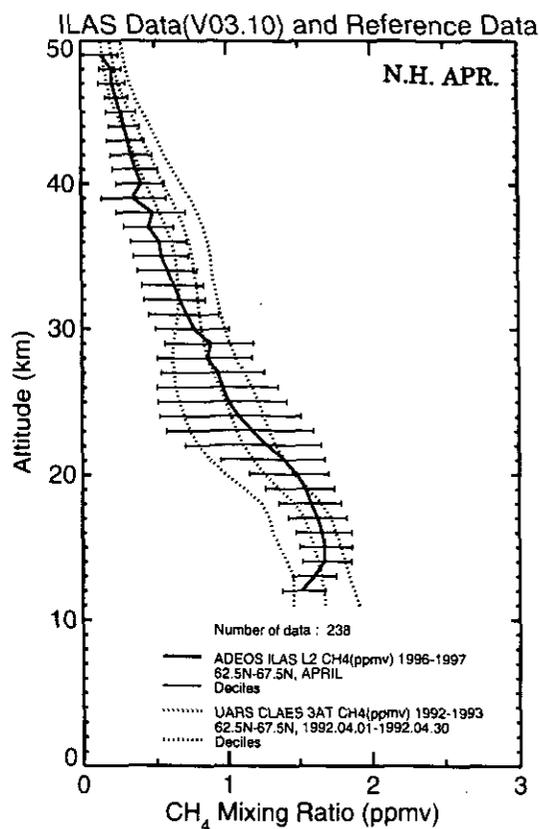
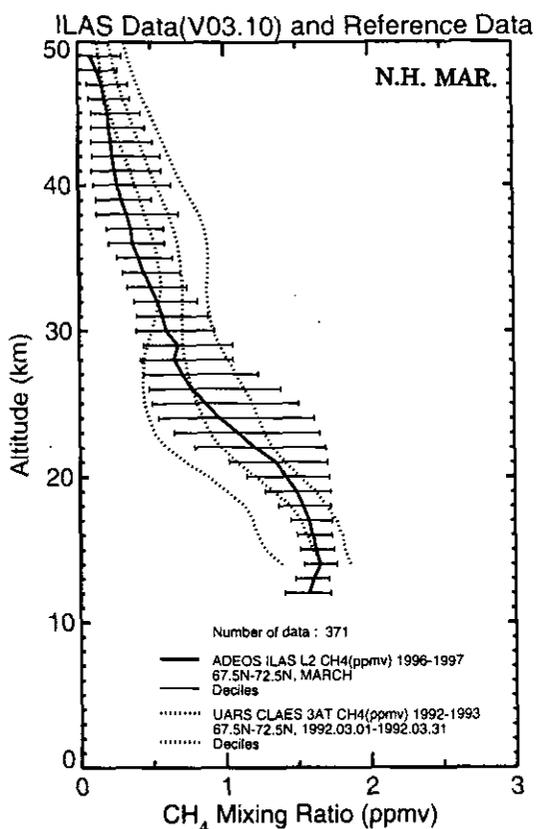


図 3.6(24) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(メタン) ; 北半球、1997年3月～1997年6月)

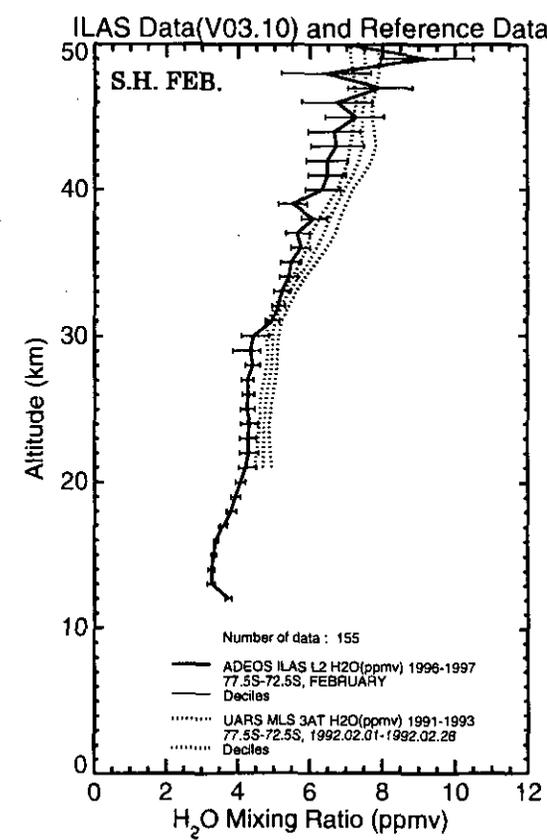
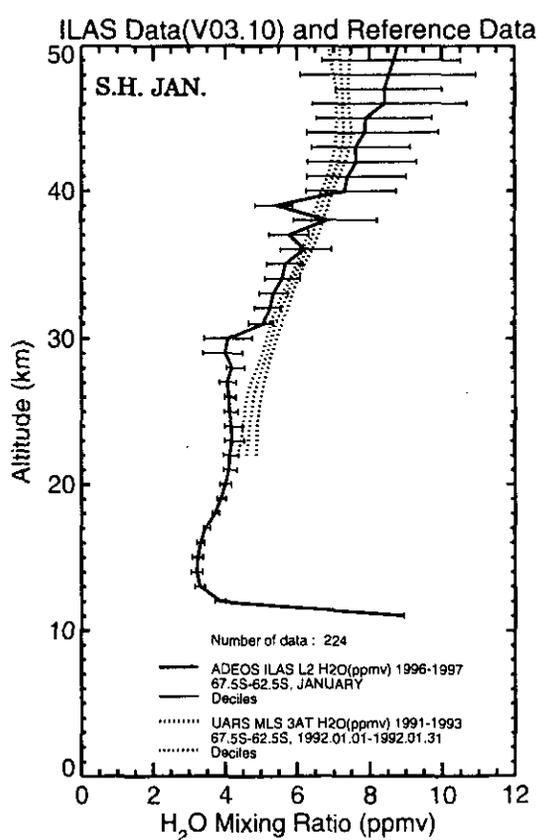
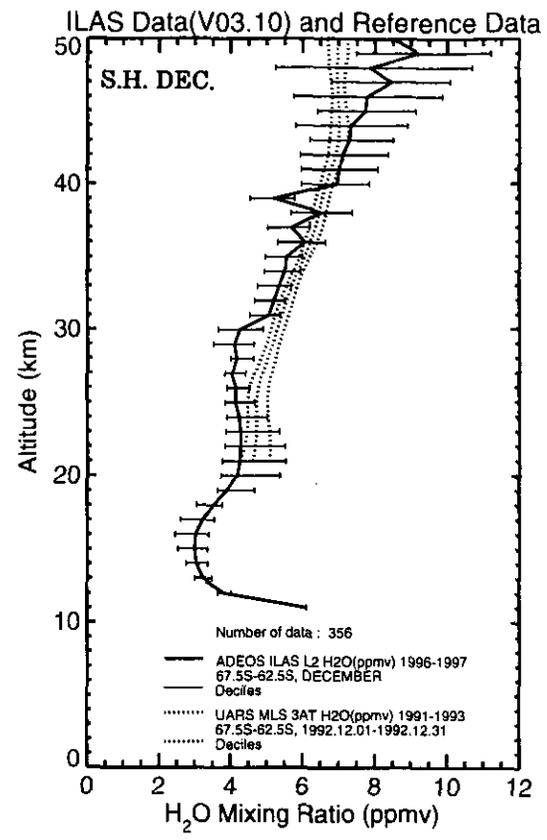
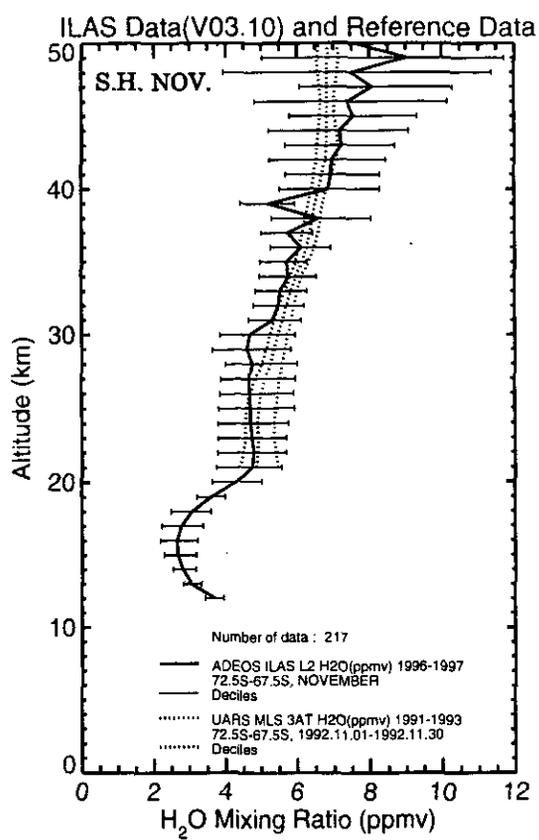


図 3.6(25) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(水蒸気; 南半球, 1996年11月~1997年2月)

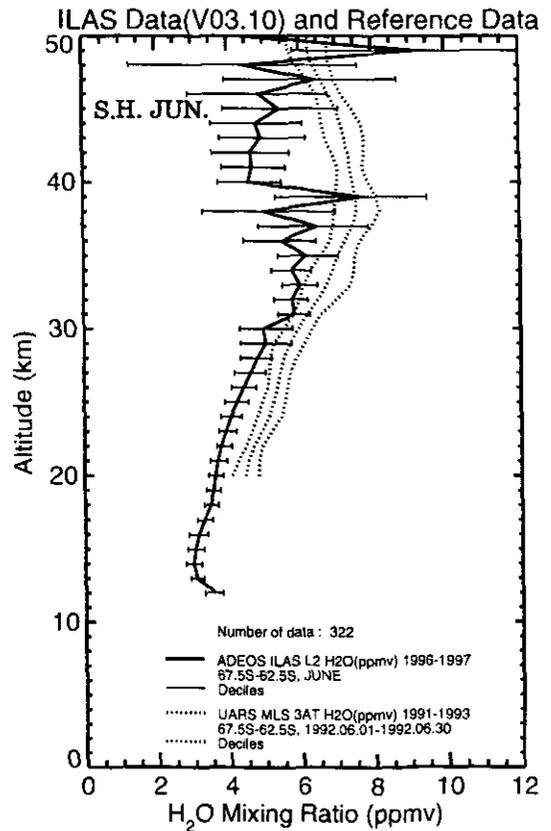
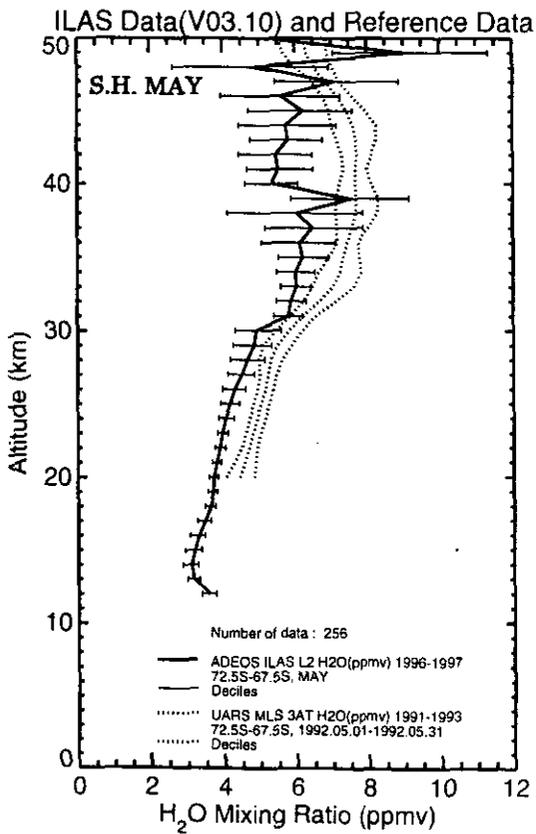
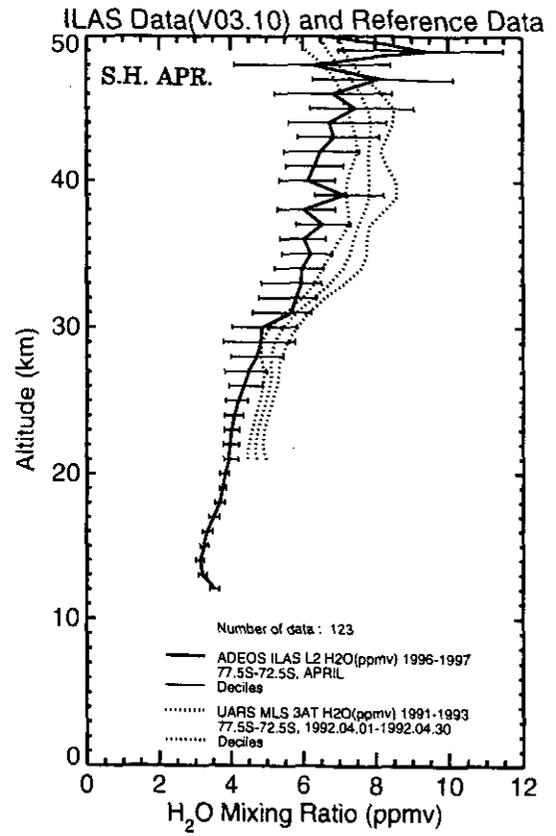
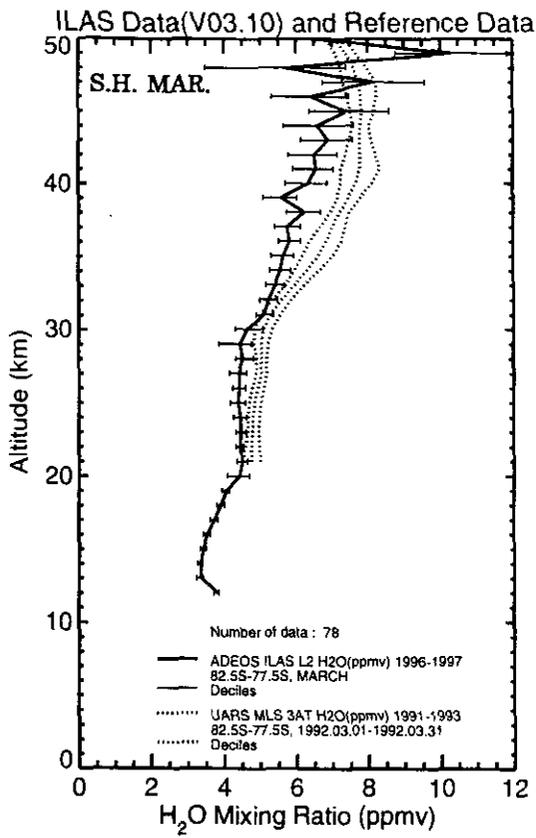


図 3.6(26) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(水蒸気; 南半球、1997年3月～1997年6月)

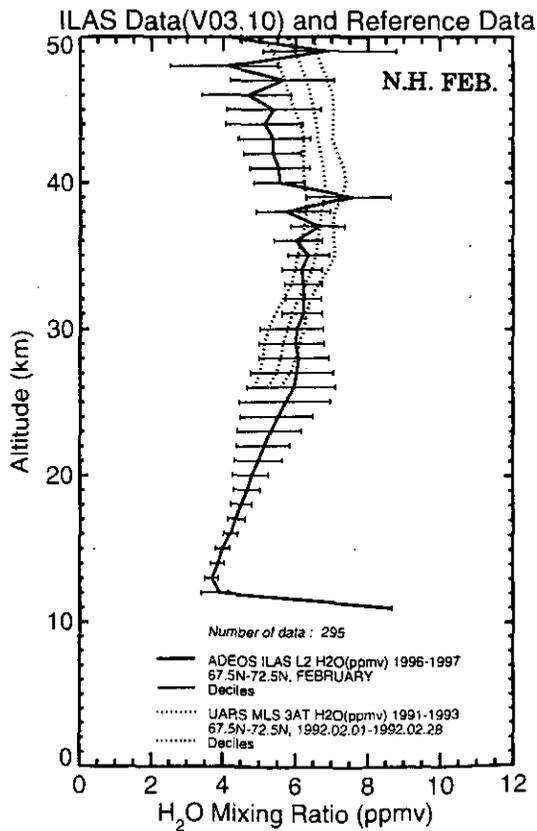
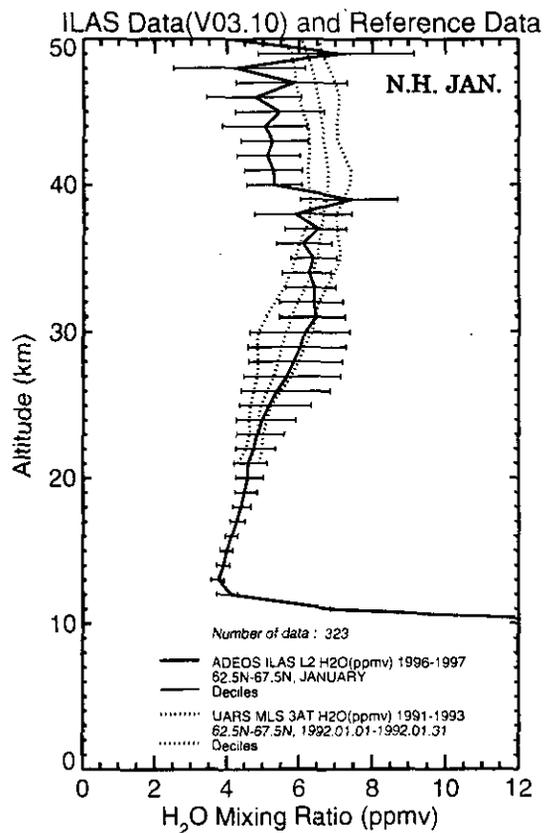
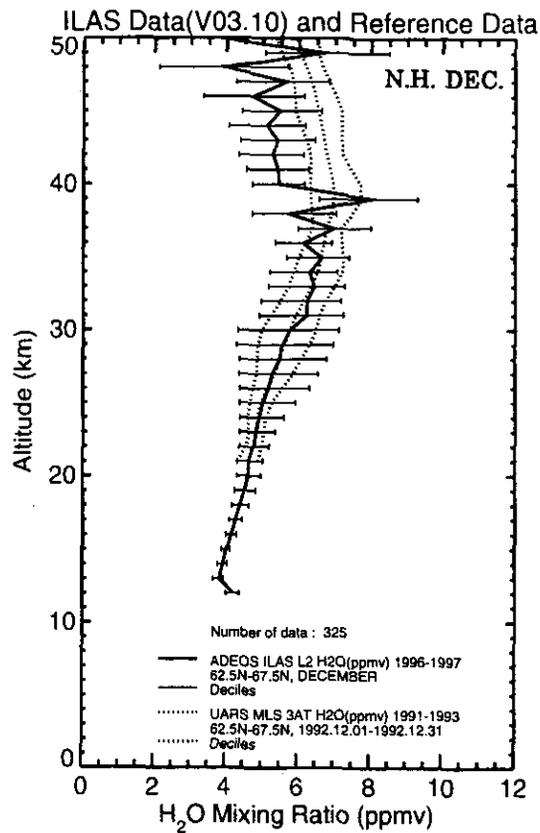
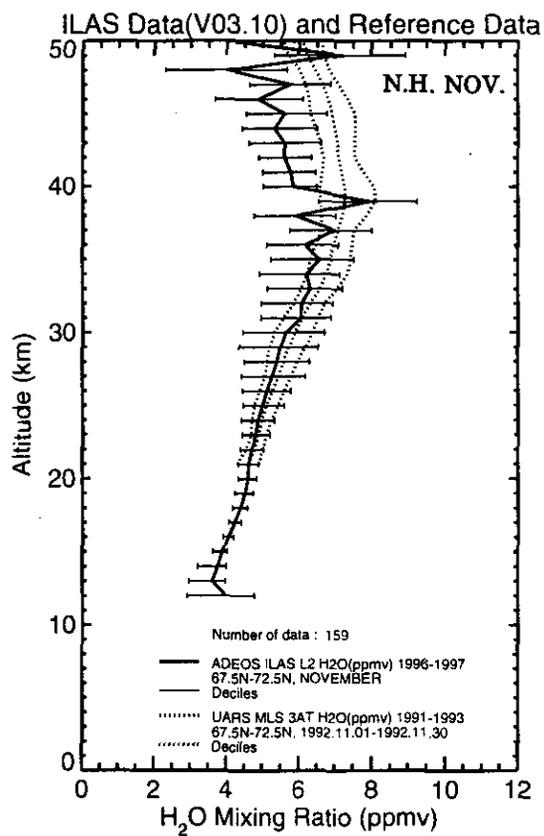


図 3.6 (27) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(水蒸気；北半球、1996年11月～1997年2月)

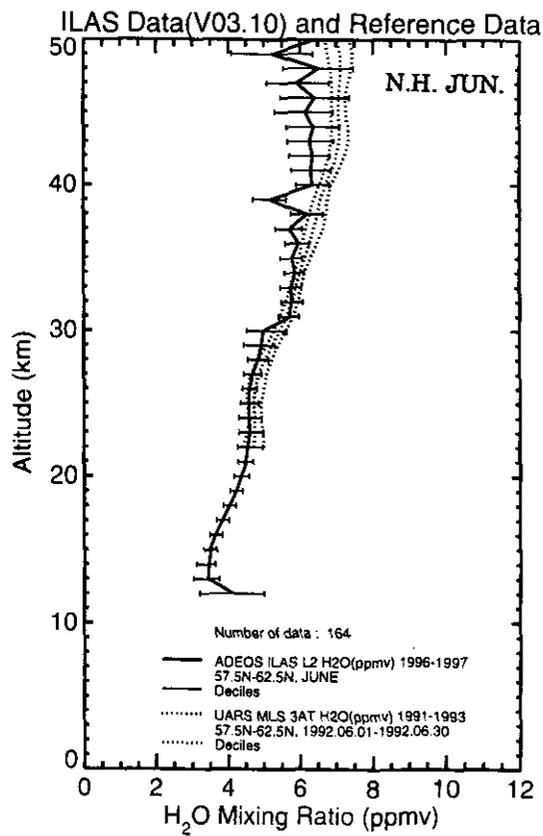
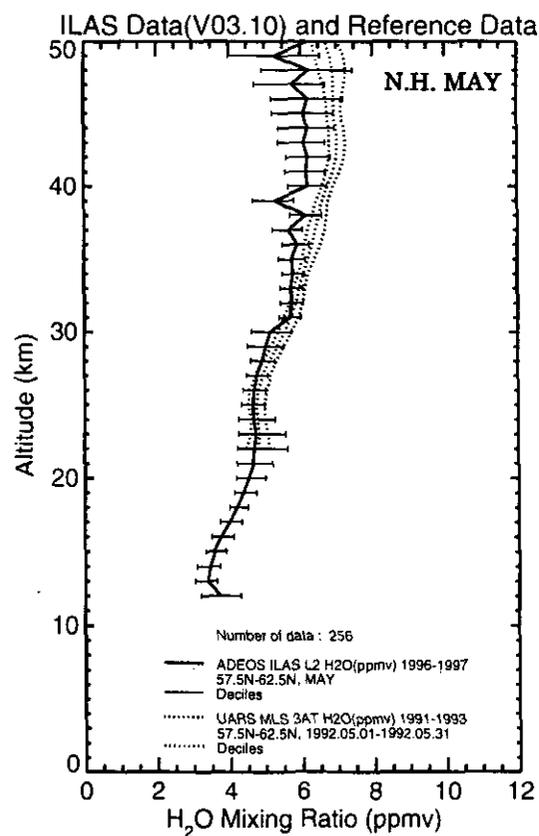
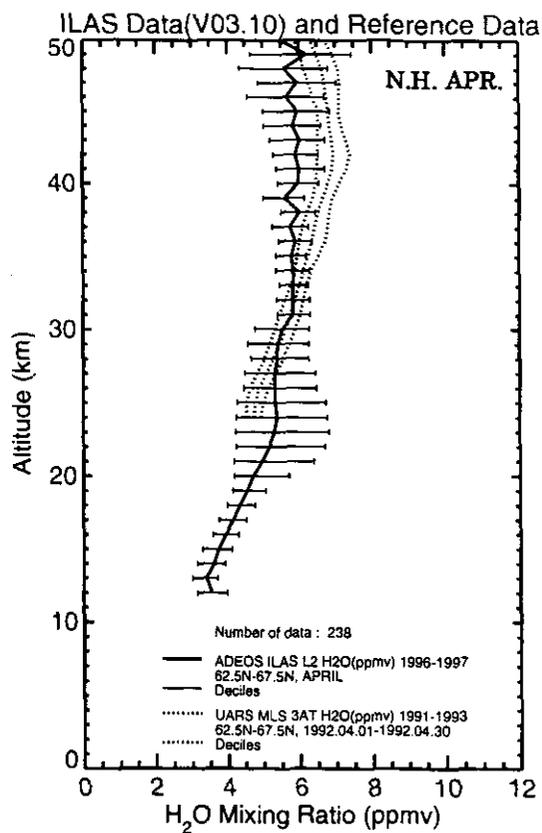
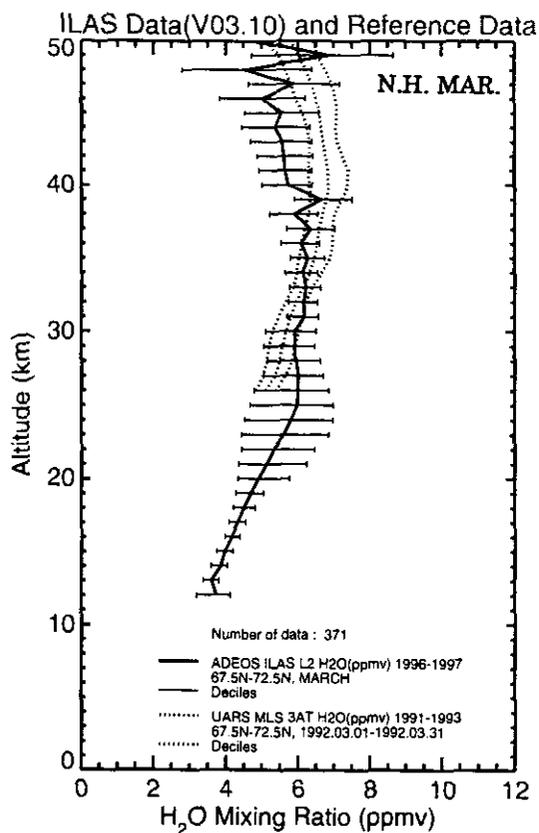


図 3.6(28) 大気微量成分ガス濃度の月別緯度帯別プロファイル
(水蒸気) ; 北半球、1997年3月～1997年6月)

すとともに、この横線の外側の領域にも全体の20%のデータが存在することに注意を要する。比較のため、同じ月、同じ緯度帯での参照大気データによる平均鉛直分布も加えた。用いたデータは、オゾンと水蒸気がUARS MLS 3AT、硝酸、二酸化窒素、一酸化二窒素、メタンがUARS CLAES 3AT（いずれも周縁放射観測法）のそれぞれ1992年の値、可視のエアロゾル消散係数（780nm）は、Nimbus 7 SAM IIの1986～1990年の値である。ただし、北半球の3～6月はNimbus 7 SAM IIに該当する緯度帯のデータがないため、ERBS SAGE IIの1986～1990年の値を用いている。これらのセンサーはいずれもILASと同じく太陽掩蔽法を採用している。1992年のデータはピナツポ火山噴火の影響を受けているため、比較に際しては注意が必要である。参照大気の鉛直分布は点線で示されており、中央が平均値、左側が10パーセント点、右側が90パーセント点を示している。

*これらは順序統計量といい、90パーセント点（90パーセンタイル）は、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、10パーセント点（10パーセンタイル）はちょうど10%目の値。

(1) オゾン

南半球のオゾン濃度は、測定緯度帯が変化することを考慮にいれなければならないが、夏に高く、秋に低い。11～1月は、濃度のピークは高度30～35km付近にあって濃度も比較的高い。その後高度20～40kmの濃度が次第に減少していき、3月以降は濃度の高い層が欠けたような状態になっている。測定値の変動幅は、4月に大きく、1月に小さい。測定が行われた緯度帯からみて、4月は極渦の境界付近、1月は極渦の外のプロファイルを示していると考えられる。参照大気と比較すると、全体的にILASの観測値の方が濃度が低く、特に6月に顕著である。

北半球では、南半球に比較してプロファイルの月ごとの変化は小さい。濃度のピークは高度35km前後にあって、参照大気との対応も良い。変動幅は冬に大きいが、春に向かって次第に小さくなり5月以降はかなり小さくなる。参照大気との差は南半球ほど大きくはないが、1月以降はILASの濃度の方がやや小さい傾向が見られ、特に2月は顕著である。

(2) 硝酸

硝酸の濃度は両半球とも秋～冬に高く、春～夏に低いのが全体的な特徴である。

南半球の硝酸の濃度は、高度22km付近にピークを持ち、ILAS観測期間中では、11月に最も小さく、3月を過ぎると急激に増加してピークの濃度は11月の2倍ほどになる。変動幅は1～3月には非常に小さいが、濃度の増加とともに変動も大きくなり、6月の下層で特に大きい。参照大気と比較すると、全体としてピークの高度がILASではやや低く、ピークの濃度も小さい傾向が見られる。11～1月はILASの方が濃度が低い傾向はあるものの比較的良く一致している。その後、2～3月は参照大気のピーク付近の濃度が急増するのがILASより2ヶ月早いため、ピーク付近での差が大きい。4月以降は高度20km以上でILASの値が小さい。

北半球のプロファイルも南半球とほぼ同じ高度にピークを持つ。ピーク付近の濃度に着目すると、2月までは高い濃度が保たれているが、3月以降濃度が減少し、濃度の低い状態が続く。変動幅は、12～2月に大きく、5～6月に小さい。参照データと比較すると、全体的に I L A S の方が濃度が低く、特に3月以降ピーク付近の濃度差が大きいのが注目される。

(3) エアロゾル消散係数 (780nm)

エアロゾル消散係数のプロファイルは高度30km付近までは、高度とともに次第に減少し、それより上層ではほぼ一定の値になるのが全体的な特徴である。

南半球では、目立った季節変化は見られないが、11～1月は上層で平均値が大きく、90パーセント値とほぼ重なっている。これは、上層で数は少ないがかなり値の大きいデータがあることを示している。変動幅は各月とも下層で小さく上層で大きい。参照大気と比較すると、高度20kmより上層で I L A S の値方がやや大きく、変動幅はより小さい傾向が見られる。北半球でも、ほとんど季節変化は見られず各月のプロファイルはよく類似している。変動幅も、南半球と同様、上層で大きく、下層で小さい。参照大気と比較すると、南半球の場合より両者はかなり良く合っている。ただし、1月と2月の高度15～23km付近では、I L A S の値が小さく差がやや大きい。

(4) 二酸化窒素

二酸化窒素の濃度は、下部成層圏では高度とともに上昇し高度30数kmでピークを持つのが全体的な特徴である。

南半球の11月～3月は濃度が高く、ピークとなる高度32km付近では6 ppb前後になるが、4月以降は激減し、ピークでも2 ppbに及ばなくなる。全体的に変動幅は小さいが、高度35kmより上層では値の振動が激しくなる。参照大気と比較すると11～3月はプロファイル全体で I L A S の方がかなり値が大きく、濃度が激減する4月以降は逆に C L A E S の方が上層で大きな値を示している。

北半球でも、濃度のピークは各月とも高度32km付近に見られる。11～2月は全体的に濃度が低い、次第に増加し5月以降はピークでの値が6 ppbを上回る。変動幅は濃度の低い時期に大きく、高い時期に小さい傾向にあるが、上層での値の振動が大きくなるのは濃度の高い時期である。参照大気と比較すると、全体的に I L A S の方がピークの高度が低い傾向がある。11～3月はピーク高度より下層で I L A S の値がやや大きく、4月以降は I L A S の値の方がかなり大きくなっている。

(5) 一酸化二窒素

一酸化二窒素は地上起源であるため、対流圏界面付近で約0.25ppm前後で成層圏では高度とともに濃度が減少しているのが全体的な特徴である。

南半球では、11月と12月に高度20km付近の濃度が減少しているのが特徴的である。この減少は1月には回復し、その後のプロファイルはあまり変わらないまま経過する。変動幅は11月と12月に大きい、それ以降は小さい。参照大気との対応は11～2月は比較的良いが、3月以降は特に下層で I L A S の方がかなり小さい。

北半球では、月による差異はあまり見られない。変動幅は6月に小さいが、他の月では大きな差はない。参照大気との対応は良いが、I L A Sの値の値は参照大気に比べて11～1月は下層でやや小さく、5～6月は上層でやや大きい。

(6)メタン

メタンも対流圏界面付近で1.5ppm前後で、成層圏では高度とともに減少する傾向にある。

南半球では、11月に高度20km付近を中心に濃度が減少している層が見られ、その後回復し、3月以降は逆に高度20～30kmに濃度の極大層が見られる。変動幅は全体に小さいが、11～12月、4月はやや大きい。参照大気との対応は良いが、上記の濃度極大層の部分はI L A Sの値がかなり大きい。

北半球では、11～1月に高度20～30kmに濃度の高い層が存在し、その後次第に解消する。変動幅は11～1月の高度30km付近で非常に大きい。参照大気との対応は良いが、南半球と同様、11～1月の濃度の極大層ではI L A Sの値がかなり大きくなっている。

(7)水蒸気

成層圏ではメタンが水蒸気の重要な発生源になっているため、水蒸気のプロファイルはメタンと逆に高度とともに濃度が増加する。

南半球では、月によるプロファイル変化はあまり見られないが、5～6月の高度40～50kmで濃度が低い。変動幅は下層で非常に小さいが上層に行くほど大きくなり、平均値自身も振動が大きくなる。参照大気との対応は比較的良く、ややI L A Sの方が小さめである。

北半球でも、月によるプロファイルの変化はあまりない。ただし、11～2月の高度40～50kmでは濃度の減少が見られ、その後次第に解消している。変動幅は下層で小さく、中・上層でやや大きい。参照大気との対応は、濃度極小の層以外は比較的良い。

3.4.2 季節平均・年平均プロファイル

図3.7にI L A Sで観測したオゾン、硝酸、エアロゾルについてバージョン3.00データを用いて求めた季節平均、年平均の鉛直分布(1996～1997年)を示す。本来、季節平均は3ヶ月毎(12～2月、3～5月、6～8月、9～11月)、年平均は12ヶ月のデータを用いるべきであるが、I L A Sによる観測が8ヶ月間であったため、ここでは、季節平均を12月～2月(南半球で夏、北半球で冬)に11月を加え、3月～5月(南半球で秋、北半球で春)に6月を加えた4ヶ月平均とし、年平均は11月～6月の8ヶ月平均とした。したがって、それぞれの平均期間は表3.10に示す季節に対応するが、ここでは便宜的に11～2月は南半球で夏、北半球で冬、3～6月は南半球で秋、北半球で春と呼ぶことにする。また、これらは緯度帯別に統計されたものではないので、幅を持った緯度帯での平均であることに注意が必要である。およその測定緯度は、11～2月は南緯65～88度、北緯64～70度、3～6月は南緯65～88度、北緯57～70度の範囲である。

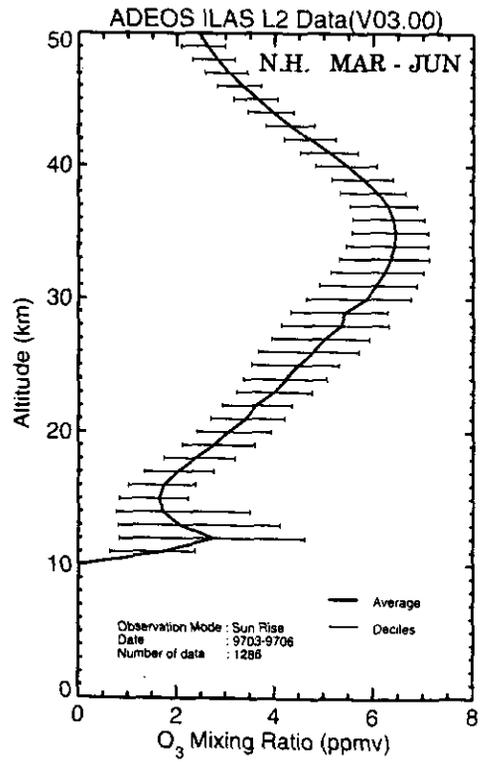
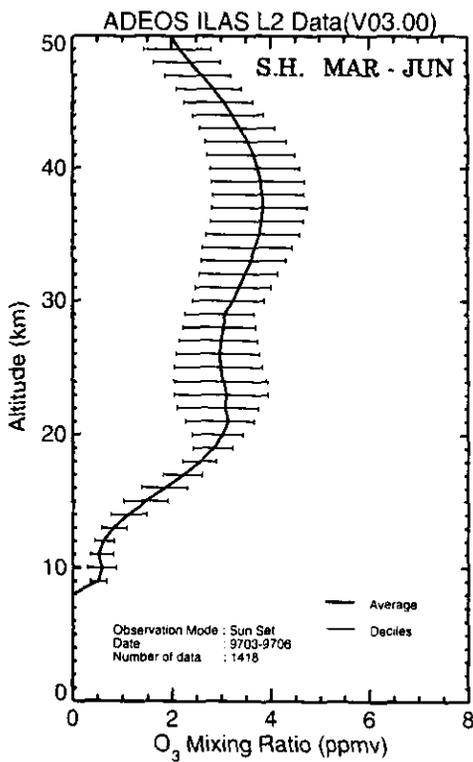
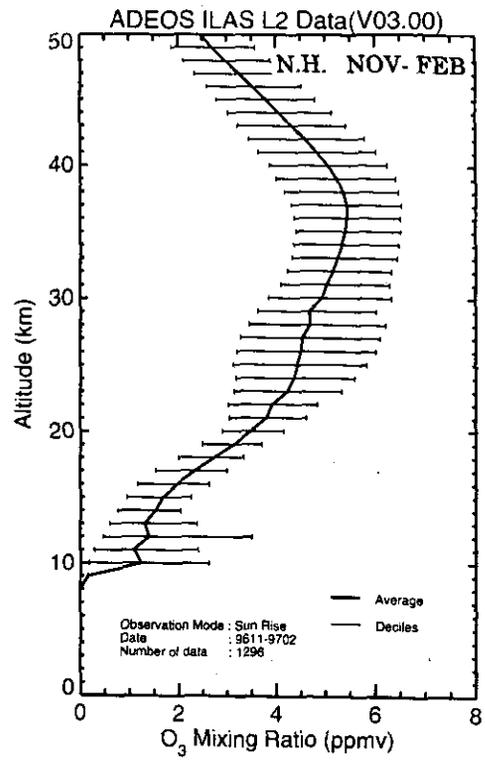
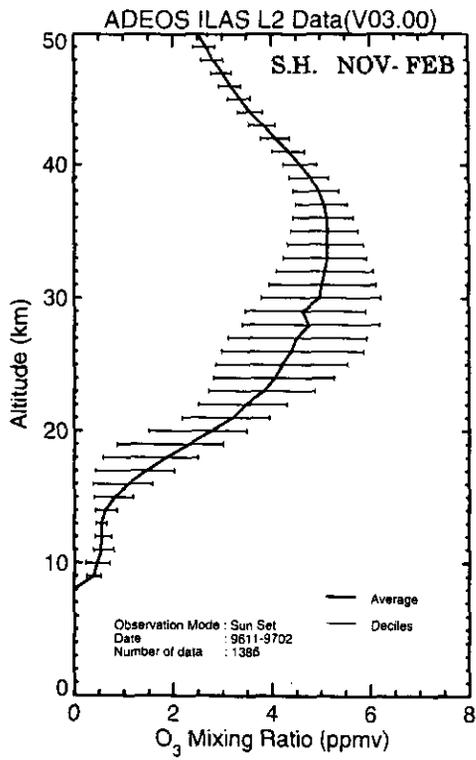


図 3.7(1) 大気微量成分ガス濃度の季節平均プロファイル
(4ヶ月; 11~2月、3~6月)(オゾン)

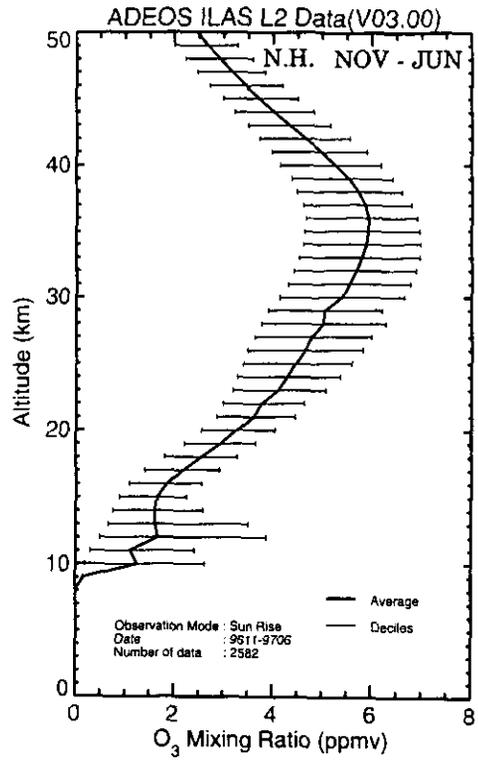
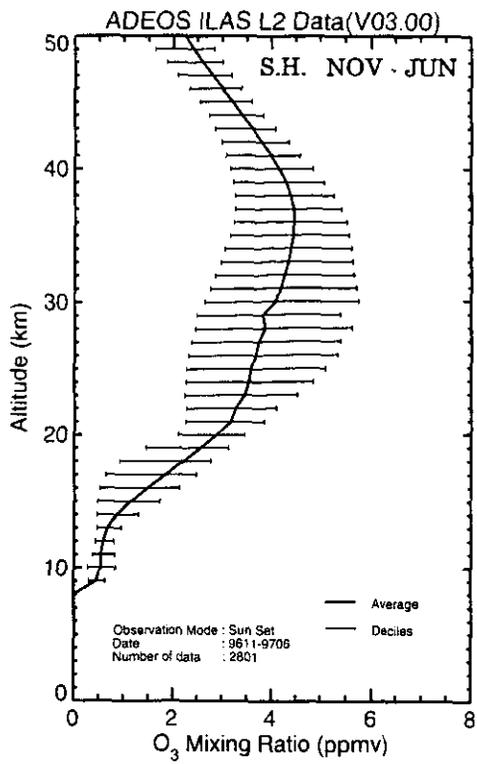


図 3.7(2) 大気微量成分ガス濃度の年平均プロファイル
(8ヶ月; 11~6月) (オゾン)

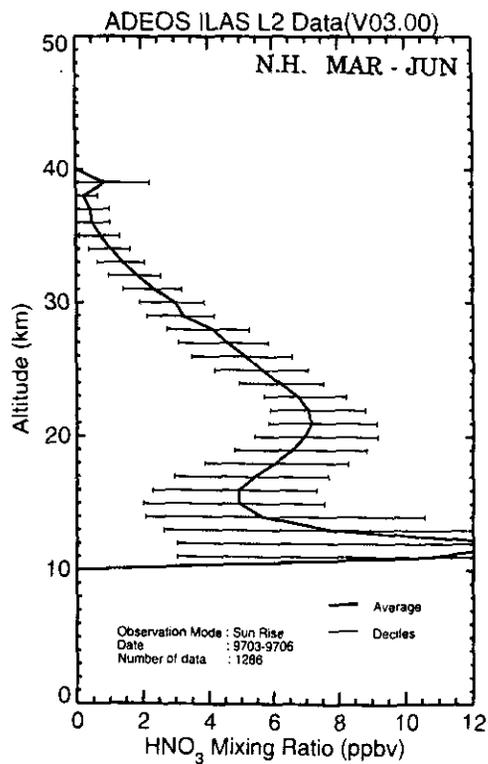
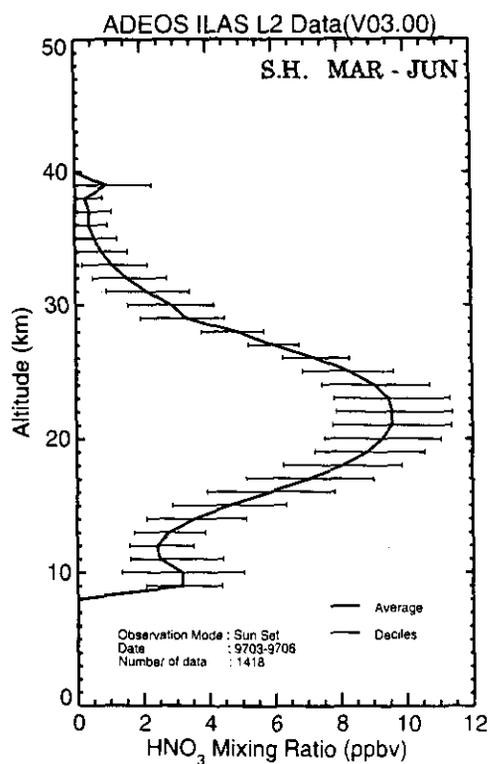
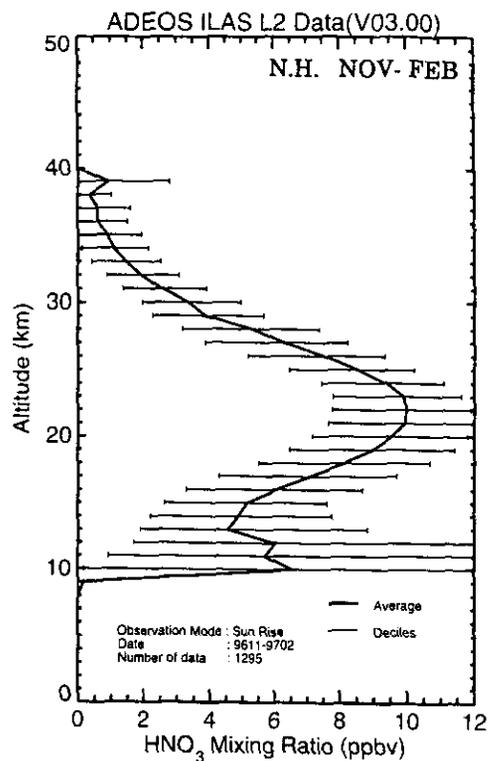
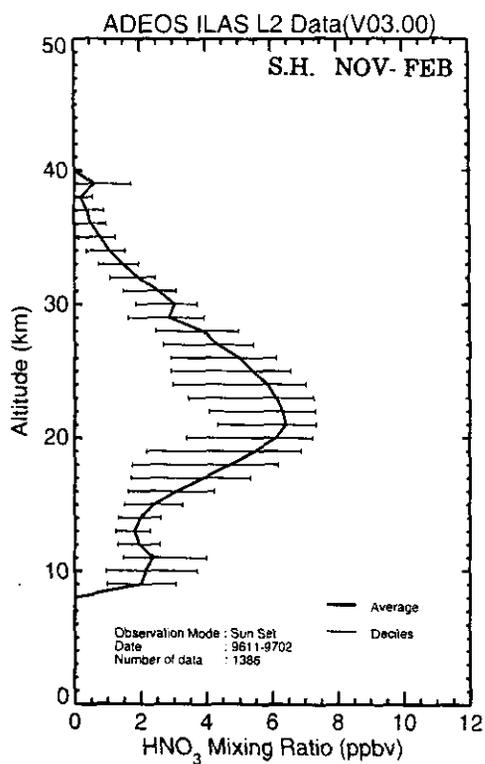


図 3.7(3) 大気微量成分ガス濃度の季節平均プロファイル
(4ヶ月: 11~2月、3~6月) (硝酸)

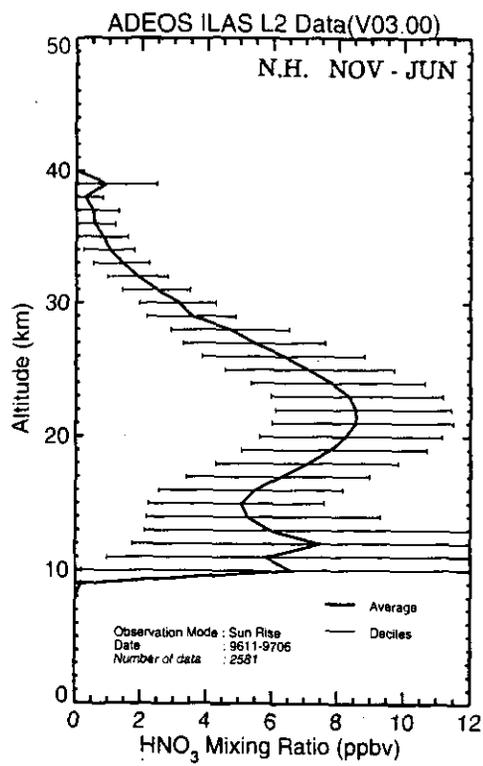
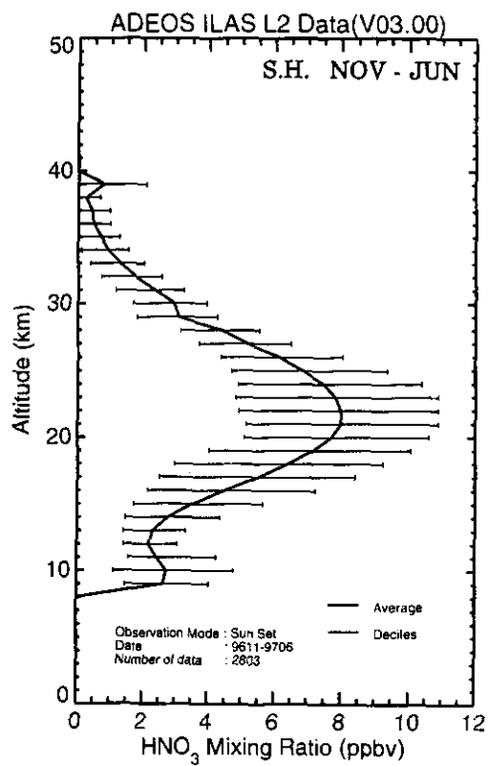


図 3.7(4) 大気微量成分ガス濃度の年平均プロファイル
(8ヶ月; 11~6月)(硝酸)

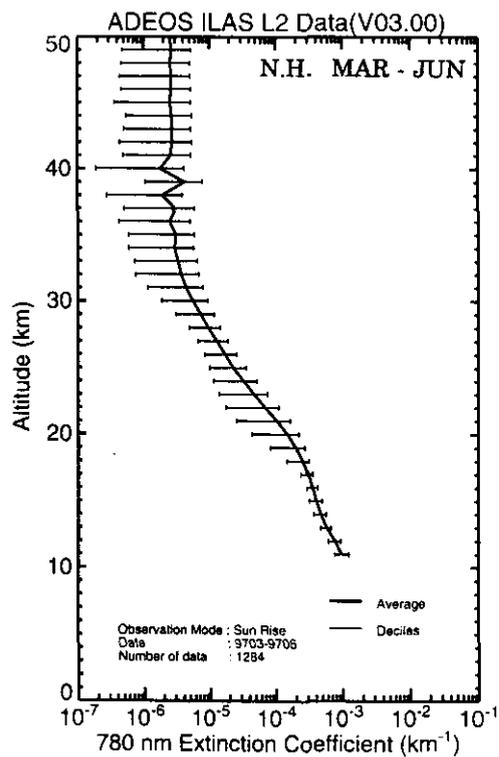
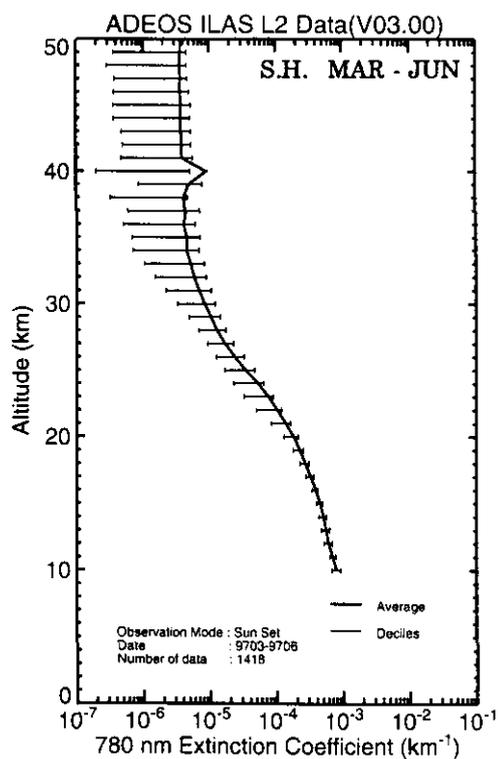
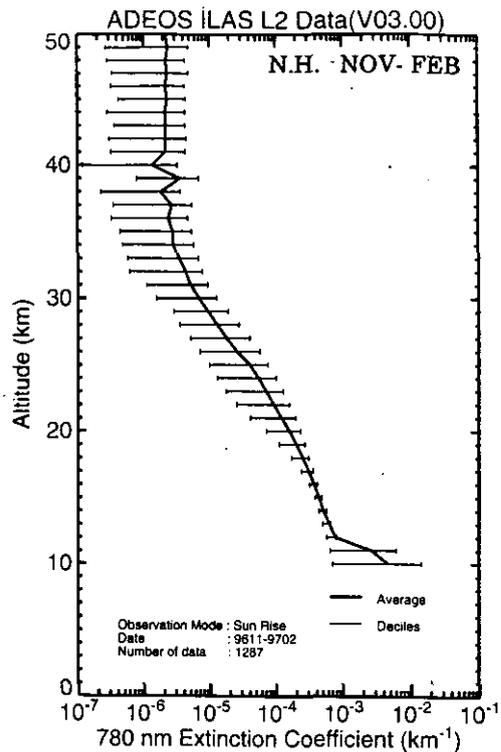
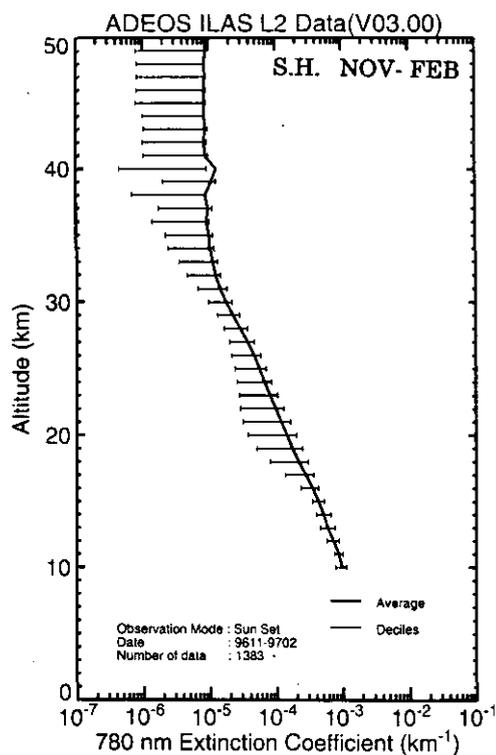


図 3.7(5) 大気微量成分ガス濃度の季節平均プロファイル
(4ヶ月: 11~2月、3~6月) (エアロゾル消散係数)

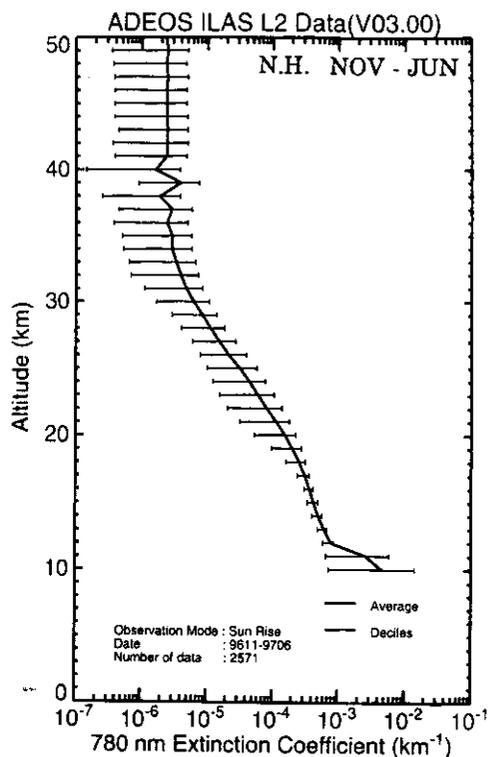
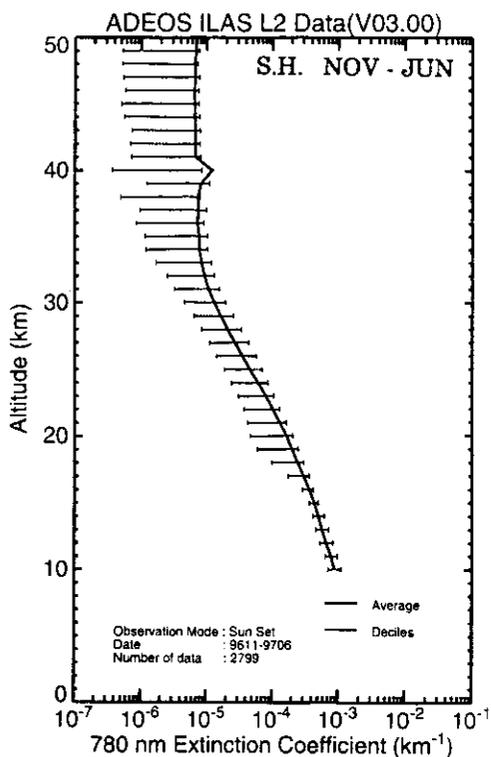


図 3.7(6) 大気微量成分ガス濃度の年平均プロフィール
(8ヶ月; 11~6月) (エアロゾル消散係数)

表3.10 4ヶ月平均、8ヶ月平均の期間の季節、測定緯度帯との対応

	南半球	北半球
11～2月 (4ヶ月)	晩春～夏 65～88 S	晩秋～冬 64～70 N
3～6月 (4ヶ月)	秋～初冬 65～88 S	春～初夏 57～70 N
11～6月 (8ヶ月)	晩春～初冬 65～88 S	晩秋～初夏 57～70 N

(1) オゾン

南半球の夏と秋を比較すると、夏に高度30～35km付近を濃度のピークとするオゾン層が見られるのに対し、秋には高度20km以上でオゾン濃度が減少しており、特に夏にピークが見られた高度での減少が著しい。北半球では、冬、春ともに高度30～40kmの間にオゾン濃度のピークが見られ、特に I L A S 測定位置が低緯度側による春の濃度が大きい。8ヶ月平均は、これらの差異が平均されたプロファイルになっている。南北両半球を比較すると、どちらも濃度のピークは高度30～40kmの間にあるが、北半球の方が高度20kmより上空で濃度が高い。

(2) 硝酸

南半球の夏、秋ともに高度22km付近に濃度のピークがあるが、秋の方がかなり濃度が高い。北半球でも大体同じ高度にピークが見られ、春より冬に濃度が高い。なお、北半球の最下層に見られる高濃度は処理上の原因による。硝酸の8ヶ月平均のプロファイルは、オゾンほど南北半球の間に差はなく、ピークの値はやや北半球の方が大きい。

(3) エアロゾル消散係数 (780nm)

エアロゾル消散係数の4ヶ月平均プロファイルは、南北半球、季節による大きな差異を示さないが、南半球の夏の図は、高度20数km付近より上空で他に比べて大きな値を示す。また、南半球の図は平均値と90%値がほとんど重なっていることから、数は少ないがかなり大きな値が存在することを示唆している。8ヶ月平均では、やはり高度20数kmより上空で、南半球の値が北半球を上回る。

3.5 I L A S データの検証

3.5.1 解析ソフトのバージョン間比較

1997年度において解析ソフトウエアを2度変更した(3.1.2参照)。この解析ソフトのバージョンの違いによる精度の違いを解析するために、参照大気データ(UARSデータの各年各月の各統計量鉛直プロファイル)との比較を行った。検証に用いた I L A S 観測事例を表3.11に示す。

表3.11 大気微量成分ガス濃度のバージョン間比較事例

I L A S 観測				参照大気データ (UARS各年各月ファイル)			
観測日時	観測位置		観測項目	衛星データ	期間	図番号	
96.11.24 2:31	68.51S	59.88W	O ₃	UARS MLS 72.5S - 67.5S	1992.11	図 3.8(1)	
96.12.14 1:55	65.06S	53.23W	O ₃	UARS MLS 67.5S - 62.5S	1992.12	図 3.8(1)	
97.03.26 21:55	69.22N	51.96W	O ₃	UARS MLS 67.5N - 72.5N	1992.03	図 3.8(1)	
97.03.28 9:14	69.08N	139.60 E	O ₃	UARS MLS 67.5N - 72.5N	1992.03	図 3.8(1)	
96.11.24 2:31	68.51S	59.88W	HNO ₃	UARS CLAES 72.5S - 67.5S	1992.11	図 3.8(2)	
96.12.14 1:55	65.06S	53.23W	HNO ₃	UARS CLAES 67.5S - 62.5S	1992.12	図 3.8(2)	
97.03.26 21:55	69.22N	51.96W	HNO ₃	UARS CLAES 67.5N - 72.5N	1992.03	図 3.8(2)	
97.03.28 9:14	69.08N	139.60 E	HNO ₃	UARS CLAES 67.5N - 72.5N	1992.03	図 3.8(2)	
96.11.24 9:15	68.44S	160.84W	NO ₂	UARS CLAES 72.5S - 67.5S	1992.11	図 3.8(3)	
97.02.19 13:40	75.74S	120.51 E	NO ₂	UARS CLAES 77.5S - 72.5S	1992.02	図 3.8(3)	
97.03.27 2:58	69.19N	127.44W	NO ₂	UARS CLAES 67.5N - 72.5N	1992.03	図 3.8(3)	
97.03.30 1:36	68.92N	104.36W	NO ₂	UARS CLAES 67.5N - 72.5N	1992.03	図 3.8(3)	
96.11.24 2:31	68.51S	59.88W	N ₂ O	UARS CLAES 72.5S - 67.5S	1992.11	図 3.8(4)	
96.12.14 1:55	65.06S	53.23W	N ₂ O	UARS CLAES 67.5S - 62.5S	1992.12	図 3.8(4)	
97.03.26 21:55	69.22N	51.96W	N ₂ O	UARS CLAES 67.5N - 72.5N	1992.03	図 3.8(4)	
97.03.28 9:14	69.08N	139.60 E	N ₂ O	UARS CLAES 67.5N - 72.5N	1992.03	図 3.8(4)	
96.12.13 22:33	65.08S	2.75W	CH ₄	UARS CLAES 67.5S - 62.5S	1992.12	図 3.8(5)	
96.12.14 5:17	65.05S	103.71W	CH ₄	UARS CLAES 67.5S - 62.5S	1992.12	図 3.8(5)	
97.03.27 2:58	69.19N	127.44W	CH ₄	UARS CLAES 67.5N - 72.5N	1992.03	図 3.8(5)	
97.03.28 10:55	69.08N	114.44 E	CH ₄	UARS CLAES 67.5N - 72.5N	1992.03	図 3.8(5)	
96.11.24 4:12	68.49S	85.12W	H ₂ O	UARS MLS 72.5S - 67.5S	1992.11	図 3.8(6)	
96.12.13 22:33	65.08S	2.75W	H ₂ O	UARS MLS 67.5S - 62.5S	1992.12	図 3.8(6)	
97.03.27 2:58	69.19N	127.44W	H ₂ O	UARS MLS 67.5N - 72.5N	1992.03	図 3.8(6)	
97.03.28 10:55	69.08N	114.44 E	H ₂ O	UARS MLS 67.5N - 72.5N	1992.03	図 3.8(6)	

図3.8は、上記の事例についての I L A S バージョン3.00、3.10データによる各成分ガス濃度の鉛直プロファイルである。ともに示した参照大気データは月平均値で、全データの10%点から90%点までの範囲を点線で示している。このデータは、主にピナツポ火山噴火の影響を大きく受けた1991~1993年のデータをもとに作成されているので、I L A S データとの比較に当たって注意が必要である。また、バージョン3.10データにはエラーバーを付した。

バージョン間で比較すると、各ガスともバージョン3.00で成層圏最下層に大きな値が出てしまう点がバージョン3.10では改善された。一方、バージョン3.10ではどのスにもプロファイル全体でバージョン3.00よりも濃度の値が小さい傾向があり、特に二酸化窒素、メタン、水蒸気については濃度のピーク付近で両者の差が大きくなっている。また、バージョン3.10のプロファイルにエラーバーで示されている誤差範囲は、オゾンでは全層で非常に小さく、その他のガスでは概して上層で大きくなる傾向が見られる。

I L A S データと参照大気データを比較しながら各濃度プロファイルの特徴を概観する。オゾン、硝酸、一酸化二窒素については、最下層を除いてバージョン3.00

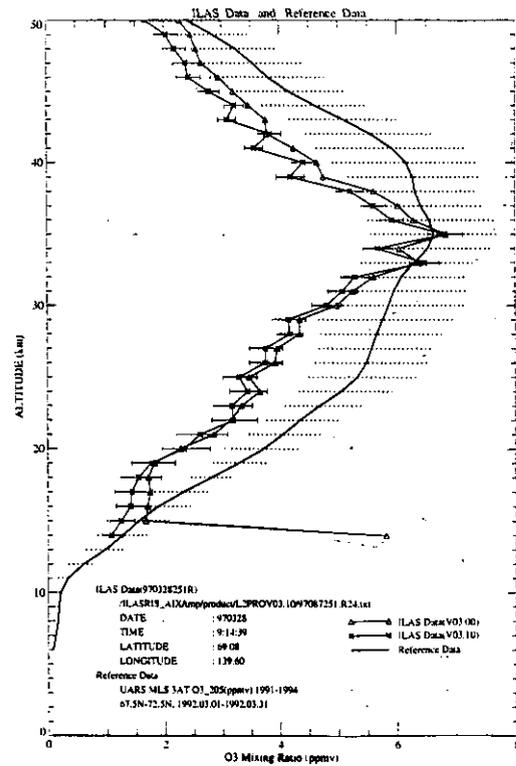
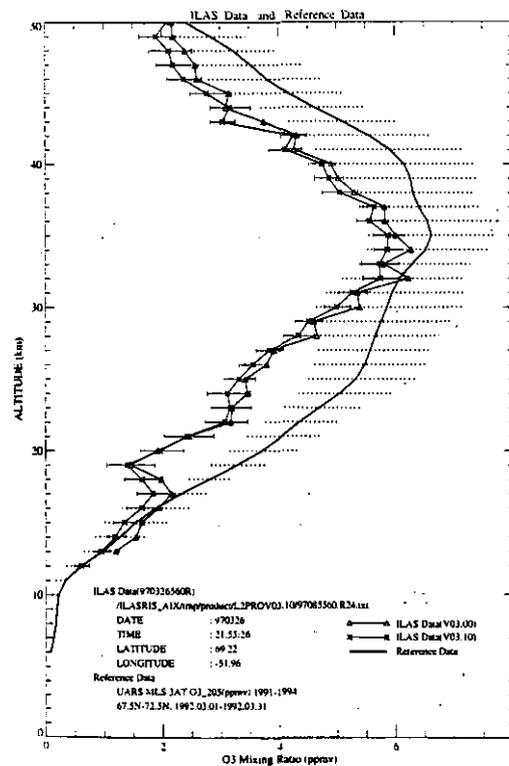
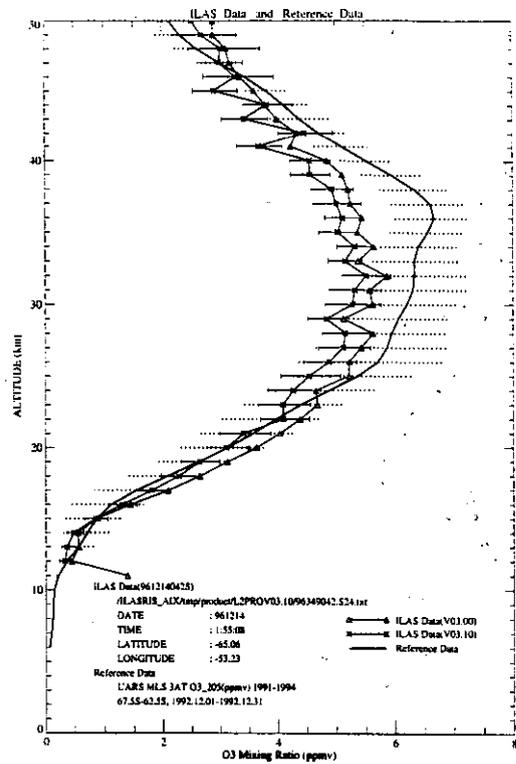
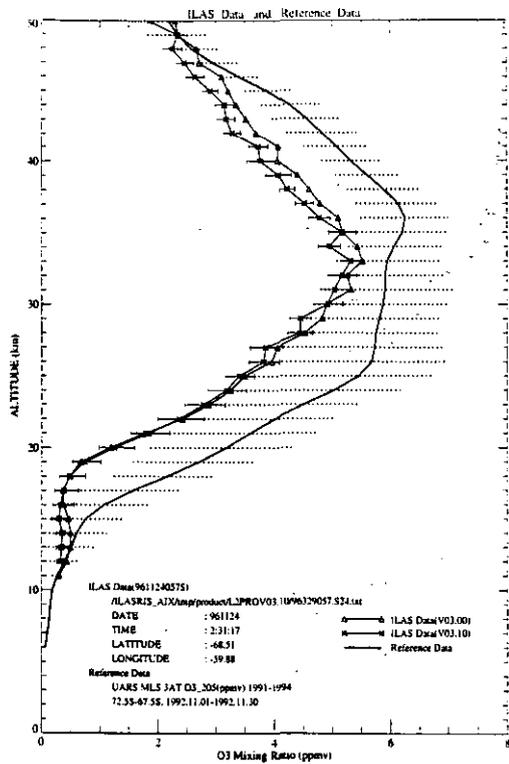


図 3.8(1) 大気微量成分ガス濃度の解析ソフトウェアバージョン間比較 (オゾン)

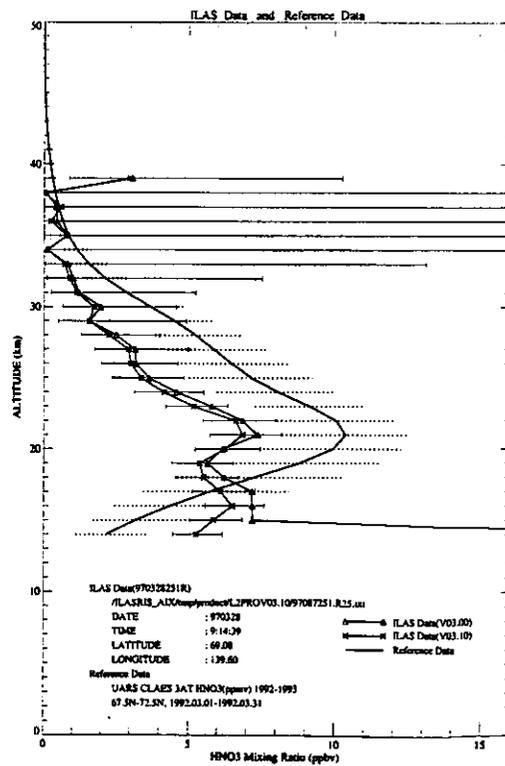
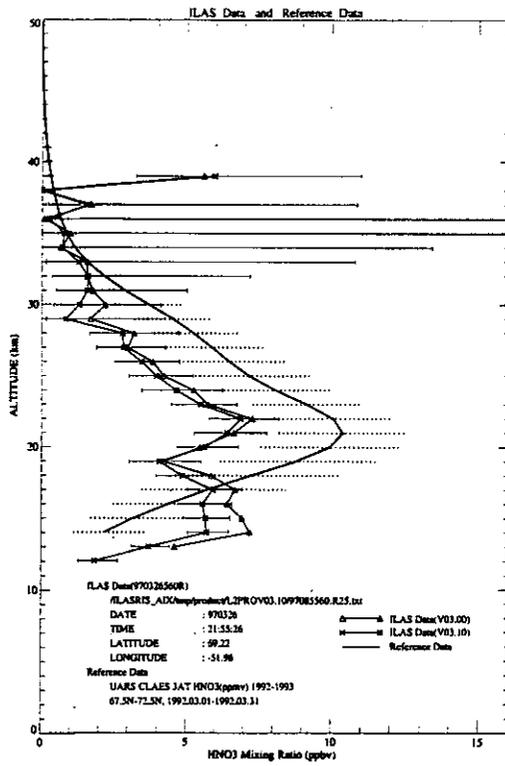
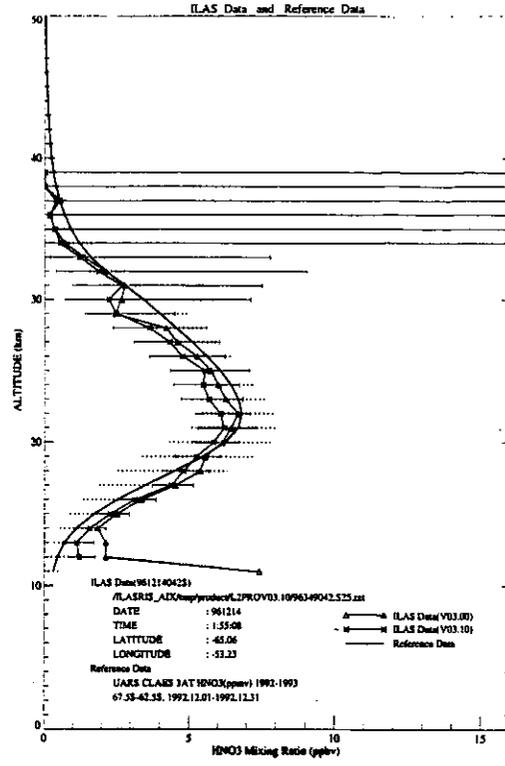
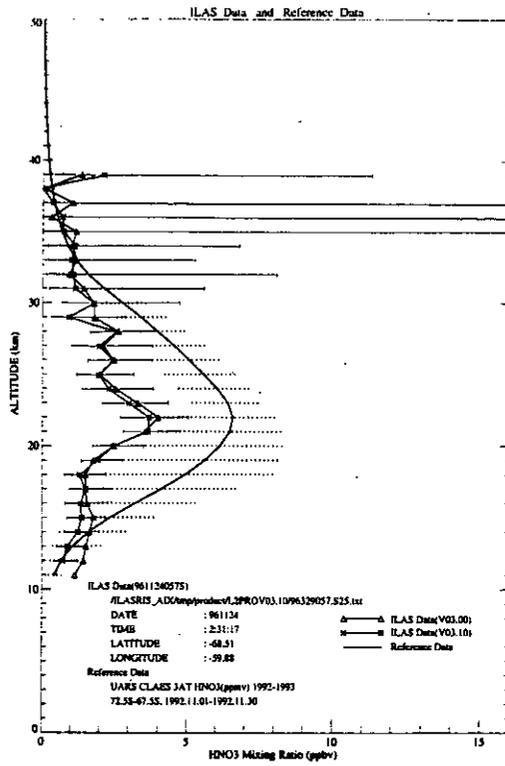


図 3.8(2) 大気微量成分ガス濃度の解析ソフトバージョン間比較 (硝酸)

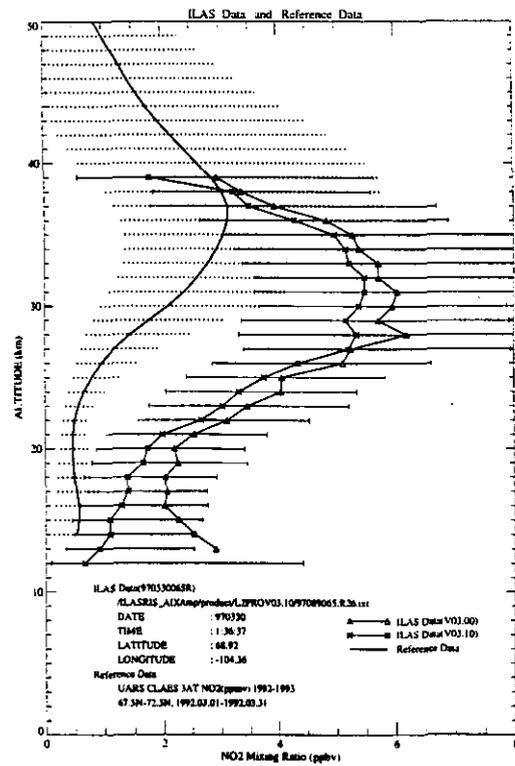
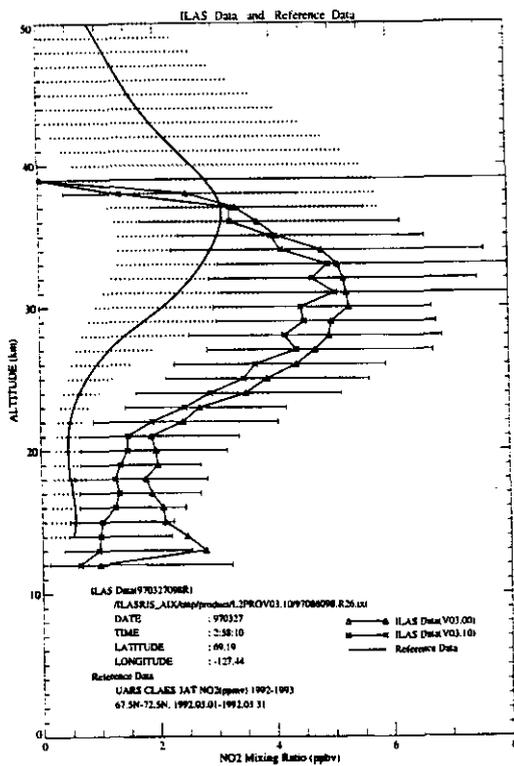
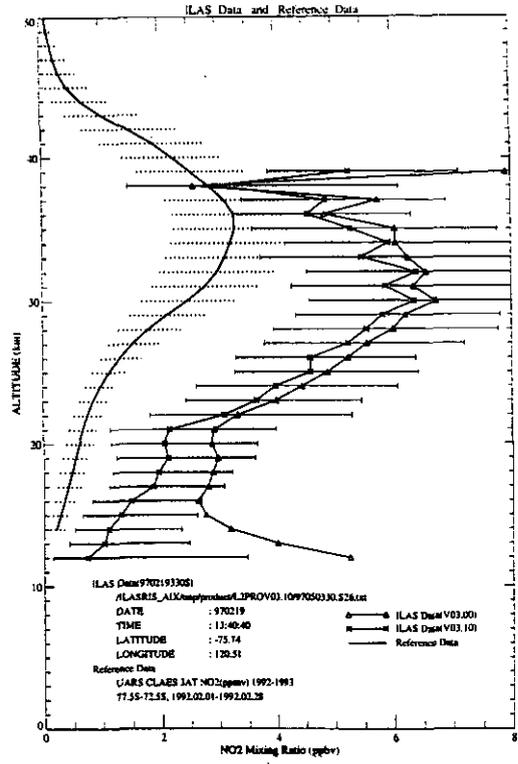
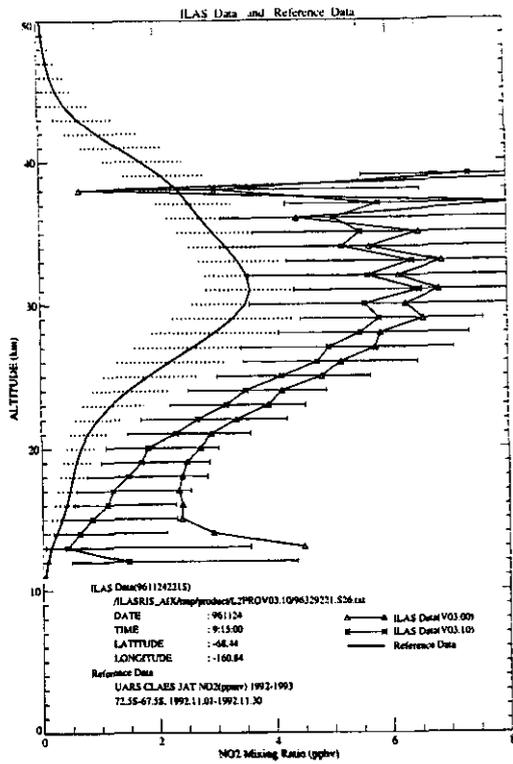


図 3.8(3) 大気微量成分ガス濃度の解析ソフトバージョン間比較 (二酸化窒素)

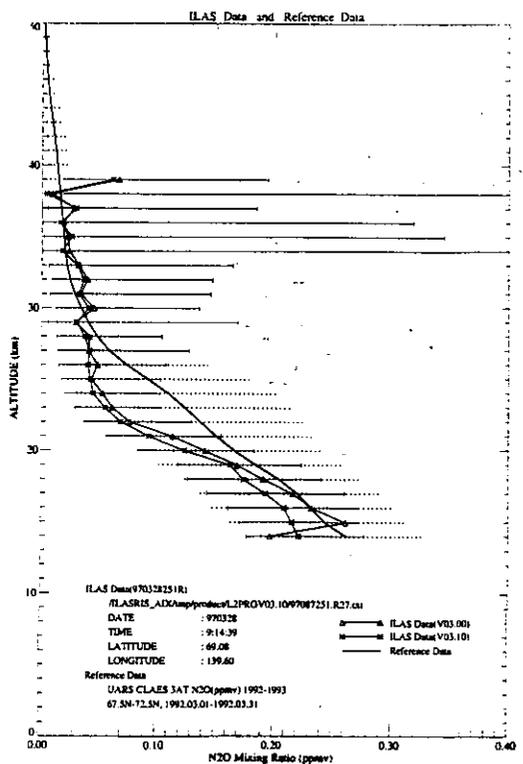
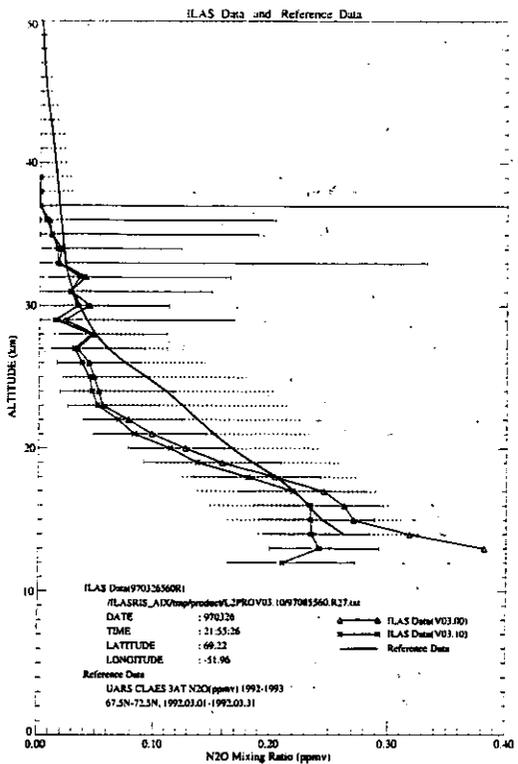
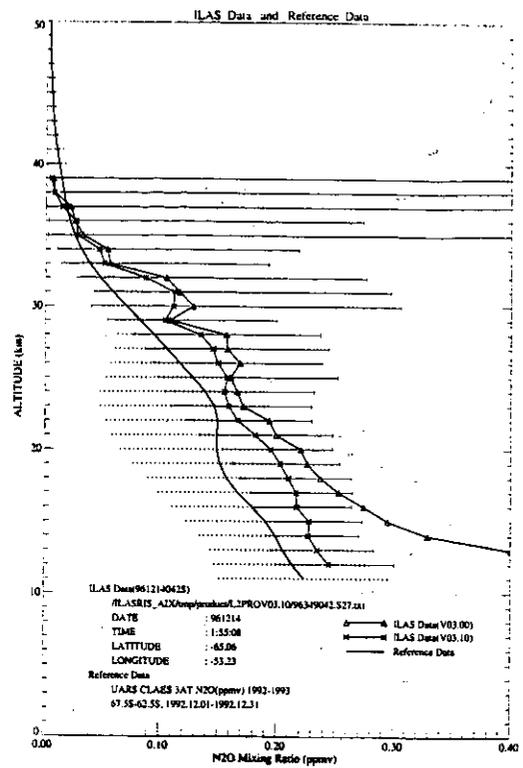
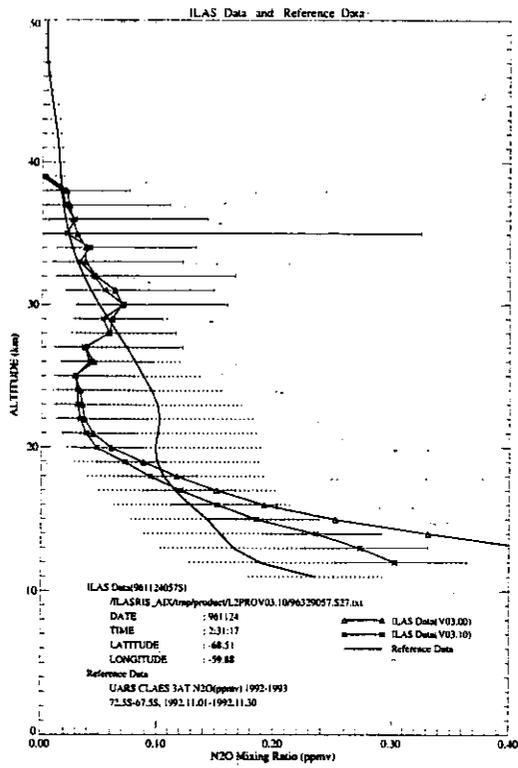


図 3.8(4) 大気微量成分ガス濃度の解析ソフトウェア間比較 (一酸化二窒素)

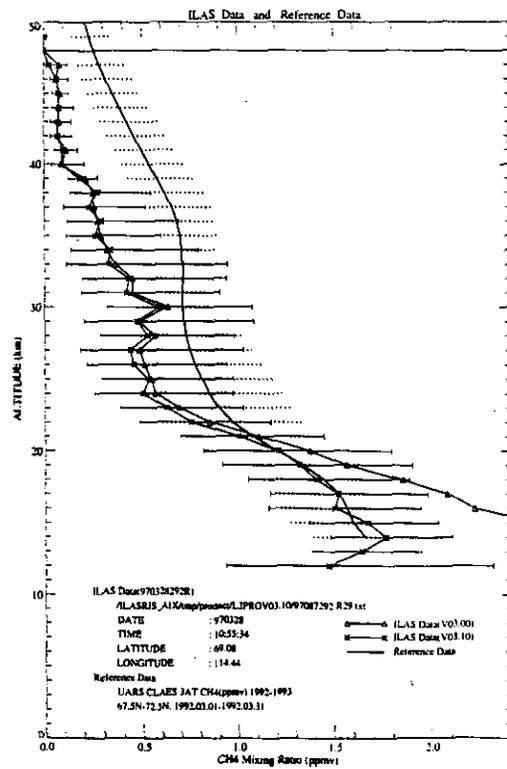
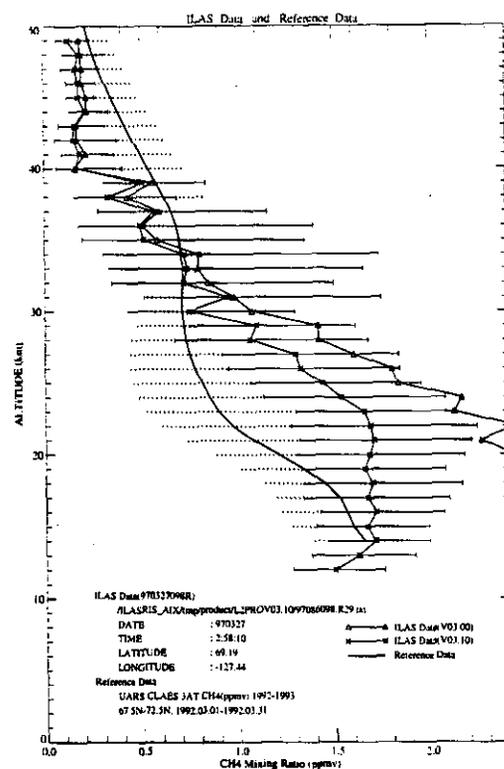
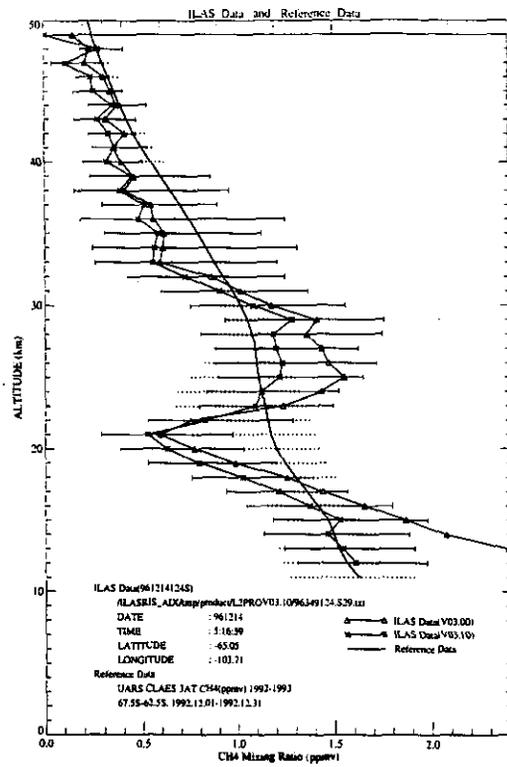
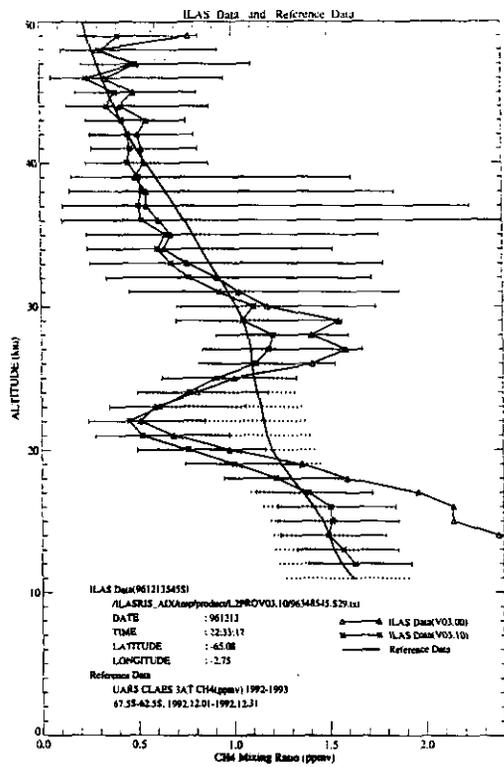


図 3.8 (5) 大気微量成分ガス濃度の解析ソフトバージョン間比較 (メタン)

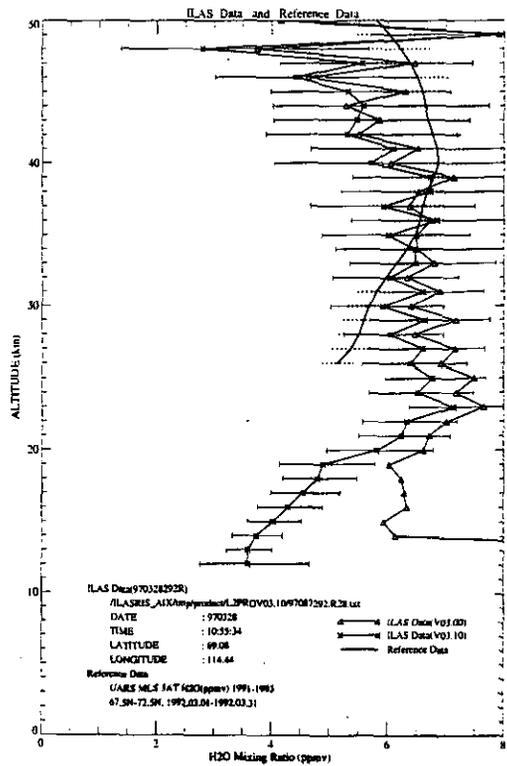
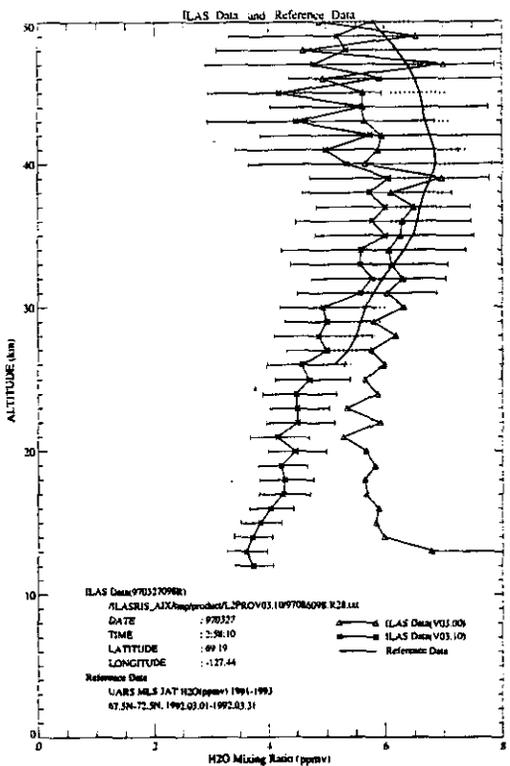
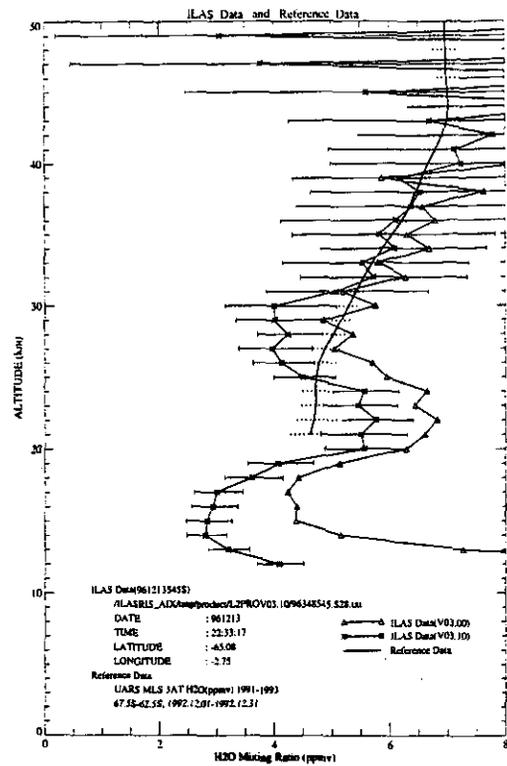
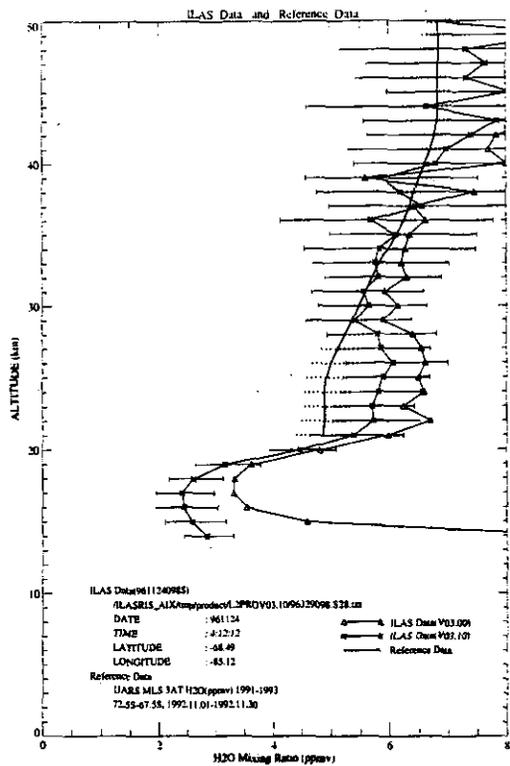


図 3.8(6) 大気微量成分ガス濃度の解析ソフトバージョン間比較 (水蒸気)

と3.10の間に大きな差異はない。参照大気と比較すると全体的に値が小さいが、ピークの高度はおおよそ一致している。二酸化窒素、メタン、水蒸気では、バージョン3.00でかなり大きな値を示していた主に高度20km以下の層が、バージョン3.10で大きく改善されている。参照大気と比較すると、二酸化窒素の濃度のピークは5kmほど低い高度に見られ、絶対値も合わない。メタンと水蒸気については事例によって変動が大きいため一概に言えないが、おおよその傾向としてはそれほど大きく違ってない。

3.5.2 オゾンゾンデとの比較

1996年度～1997年度に実施したコア検証実験並びに協力実験の内、1998年6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データの比較検証を行った。ここで検証に用いたオゾンゾンデデータは、北半球はキルナ、南半球は昭和基地のもので、ILAS測定点との距離が500km以内、測定時刻の差が3時間以内という条件で検索したもの（キルナ；37例、昭和基地；29例）である。オゾンゾンデ観測事例と対応するILAS観測事例のリストを表3.11に、これらの中から選択したいくつかの事例についてオゾンゾンデデータとILASのバージョン3.00、3.10データのプロファイルと比較したものを図3.9に示す。なお、バージョン3.10のプロファイルにはエラーバーを付した。

表3.11 オゾンゾンデによるオゾン鉛直分布との比較検証事例

ILAS観測			オゾンゾンデ観測				
観測日時	観測位置		観測時間差	観測緯度経度差(度)		距離(km)	図番号
【 Kiruna (67.89N, 21.10E)】							
97.02.01	13:58	67.30N 15.77E	-1h 28m	+0.59	+5.33	234.57	図 3.9(1)
97.02.02	13:31	67.43N 23.30E	-1h 30m	+0.46	-2.20	106.28	
97.02.03	13:04	67.55N 30.85E	-1h 24m	+0.34	-9.75	411.63	図 3.9(1)
97.02.05	13:51	67.79N 20.81E	-1h 22m	+0.10	+0.29	16.05	
97.02.06	13:24	67.91N 28.40E	-1h 28m	-0.02	-7.30	304.52	図 3.9(1)
97.02.07	14:37	68.04N 10.83E	-2h 41m	-0.15	+10.27	427.57	
97.02.08	14:10	68.15N 18.45E	-1h 29m	-0.26	+ 2.65	113.82	図 3.9(1)
97.02.09	13:43	68.26N 26.08E	-0h 21m	-0.37	-4.98	210.43	
97.02.12	14:02	68.59N 23.87E	-1h 21m	-0.70	-2.77	138.31	図 3.9(1)
97.02.13	13:35	68.70N 31.55E	-1h 12m	-0.81	-10.45	437.54	
97.02.15	14:22	68.90N 21.78E	-0h 26m	-1.01	-0.68	115.71	図 3.9(1)
97.02.16	13:55	68.99N 29.49E	-1h 23m	-1.10	-8.39	363.79	
97.02.17	15:08	69.09N 12.06E	-0h 58m	-1.20	+9.04	390.89	図 3.9(1)
97.02.18	14:41	69.18N 19.78E	-1h 40m	-1.29	+1.32	152.44	
97.02.19	14:14	69.26N 27.53E	-1h 19m	-1.37	-6.43	301.65	図 3.9(1)
97.02.21	15:01	69.42N 17.88E	-1h 19m	-1.53	+3.22	213.85	
97.02.22	14:33	69.49N 25.65E	-2h 18m	-1.60	-4.55	255.37	図 3.9(1)
97.02.24	15:20	69.62N 16.06E	-1h 22m	-1.73	+4.94	279.43	
97.02.26	14:26	69.74N 31.64E	+0h13m	-1.85	-10.54	469.06	図 3.9(2)
97.02.27	15:39	69.79N 14.28E	-1h 23m	-1.90	+6.82	344.74	
97.02.28	15:12	69.83N 22.10E	-1h 08m	-1.94	-1.00	219.50	図 3.9(2)
97.03.01	14:45	69.87N 29.91E	-1h 27m	-1.98	-8.81	414.77	

表3.11 オゾンゾンデによるオゾン鉛直分布との比較検証事例(続き)

ILAS観測				オゾンゾンデ観測				
観測日時	観測位置		観測時間差	観測緯度経度差(度)		距離(km)	図番号	
【 Kiruna (67.89N, 21.10E)】								
97.03.02	15:59	69.91N	12.56E	-1h 25m	-2.02	+8.54	407.69	
97.03.03	15:32	69.94N	20.39E	-1h 31m	-2.05	+0.71	229.40	
97.03.04	15:04	69.97N	28.21E	-1h 36m	-2.08	-7.11	365.05	
97.03.07	15:24	70.01N	26.53E	-1h 28m	-2.12	-5.43	319.62	
97.03.10	15:43	70.01N	24.84E	-1h 20m	-2.12	-3.74	278.72	
97.03.12	16:30	69.99N	15.34E	-1h 28m	-2.10	+5.76	326.80	
97.03.13	16:02	69.97N	23.14E	-1h 29m	-2.08	-2.04	244.30	
97.03.14	15:35	69.94N	30.95E	-1h 02m	-2.05	-9.85	453.72	
97.03.15	16:49	69.91N	13.61E	-2h 00m	-2.02	+7.49	373.39	
97.03.17	15:55	69.83N	29.20E	-1h 13m	-1.94	-8.10	388.82	
97.03.19	16:41	69.73N	19.62E	-1h 20m	-1.84	+1.48	212.73	図 3.9(2)
97.03.21	17:28	69.61N	10.00E	-2h 31m	-1.72	+11.10	484.88	
97.03.22	17:01	69.55N	17.75E	-0h 28m	-1.66	+3.35	227.94	
97.03.23	16:33	69.48N	25.50E	-1h 11m	-1.59	-4.40	250.02	
97.03.25	17:20	69.32N	15.81E	-1h 26m	-1.43	+5.29	266.09	図 3.9(2)
【 Syowa (69.00S, 39.58E)】								
96.11.15	20:02	70.62S	38.35E	+2h59m	-1.62	+1.23	185.99	
96.11.16	19:35	70.35S	45.00E	+2h46m	-1.35	-5.42	256.92	
96.11.18	20:22	69.81S	33.07E	+2h56m	-0.81	+6.51	269.46	
96.11.19	19:55	69.55S	39.72E	+2h38m	-0.55	-0.14	61.81	
96.11.20	19:28	69.30S	46.36E	+2h49m	-0.30	-6.78	269.95	
96.11.26	20:07	67.89S	35.77E	+2h57m	+1.11	+3.81	198.09	
96.11.27	19:40	67.68S	42.41E	+2h44m	+1.32	-2.83	187.13	
96.11.30	20:00	67.07S	37.10E	+3h00m	+1.93	+2.48	238.08	
96.12.01	19:33	66.88S	43.74E	+2h45m	+2.12	-4.16	292.67	
96.12.08	19:46	65.71S	39.76E	+2h42m	+3.29	-0.18	364.76	
97.01.15	19:25	65.78S	39.90E	+2h53m	+3.22	-0.32	358.01	
97.01.18	19:45	66.28S	34.63E	+2h40m	+2.72	+4.95	366.76	
97.01.19	19:19	66.47S	41.28E	+2h59m	+2.53	-1.70	289.99	
97.01.22	19:38	67.07S	36.00E	+2h51m	+1.93	+3.58	260.31	
97.01.23	19:11	67.29S	42.65E	+2h53m	+1.71	-3.07	228.61	
97.01.26	19:30	67.99S	37.37E	+2h48m	+1.01	+2.21	143.72	
97.01.27	19:02	68.23S	44.02E	+2h58m	+0.77	-4.44	198.81	
97.01.29	19:49	68.76S	32.08E	+2h41m	+0.24	+7.50	300.98	
97.02.06	19:34	71.13S	34.73E	+2h50m	-2.13	+4.85	299.29	
97.02.07	19:07	71.45S	41.35E	+3h00m	-2.45	-1.77	279.70	
97.05.10	07:42	71.49S	42.67E	+1h25m	-2.49	-3.09	299.52	
97.05.14	07:34	70.41S	44.47E	+1h41m	-1.41	-4.89	244.40	図 3.9(3)
97.05.16	08:21	69.89S	32.77E	+1h46m	-0.89	+6.81	282.76	図 3.9(3)
97.05.17	07:54	69.65S	39.55E	+1h34m	-0.65	+0.03	71.85	図 3.9(3)
97.05.22	07:19	68.52S	48.23E	+2h04m	+0.48	-8.65	351.72	
97.05.24	08:06	68.10S	36.59E	+1h08m	+0.90	+2.99	157.05	図 3.9(3)
97.05.25	07:38	68.91S	43.39E	+2h24m	+1.09	-3.81	196.83	
97.05.28	07:58	67.36S	38.56E	+2h15m	+1.64	+1.02	187.27	
97.06.01	07:50	66.72S	40.56E	+1h38m	+2.28	-0.98	256.56	

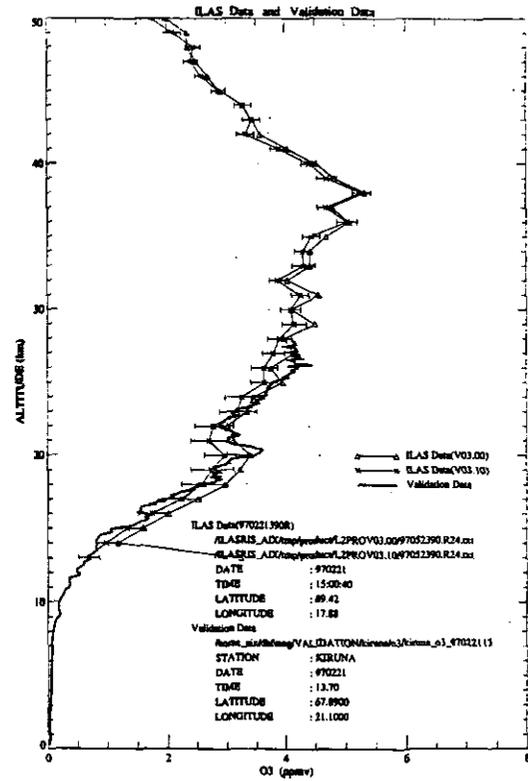
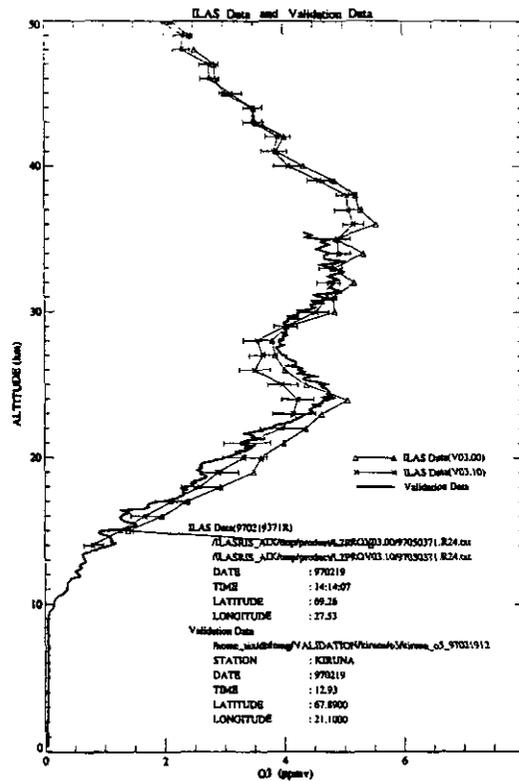
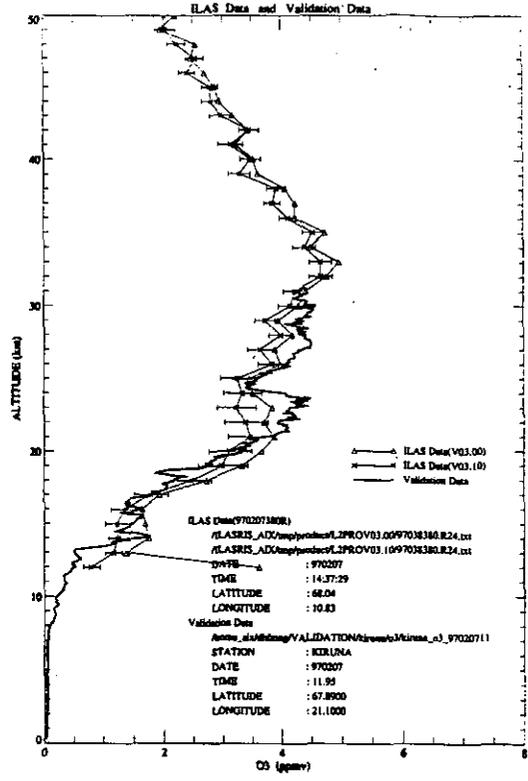
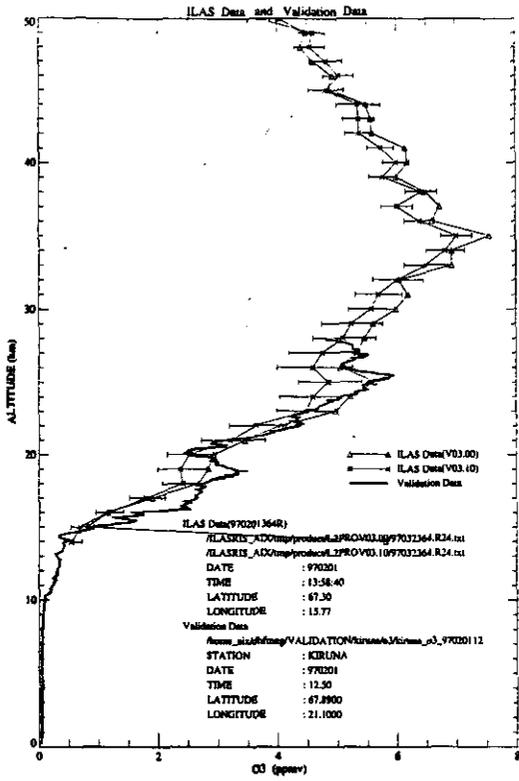


図 3.9(i) ILAS、オゾンゾンデによるオゾン濃度プロファイルの比較 (キルナ)

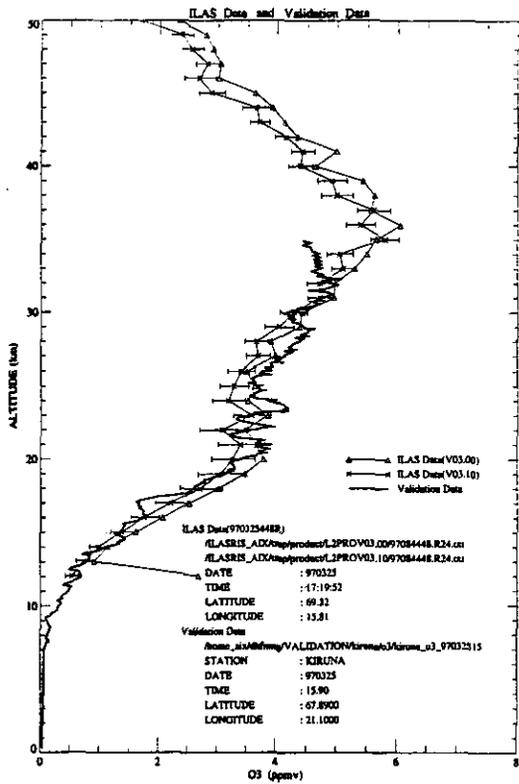
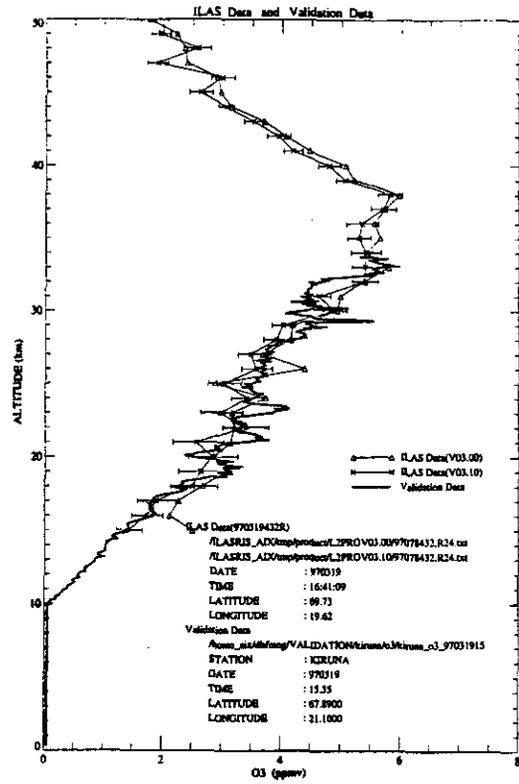
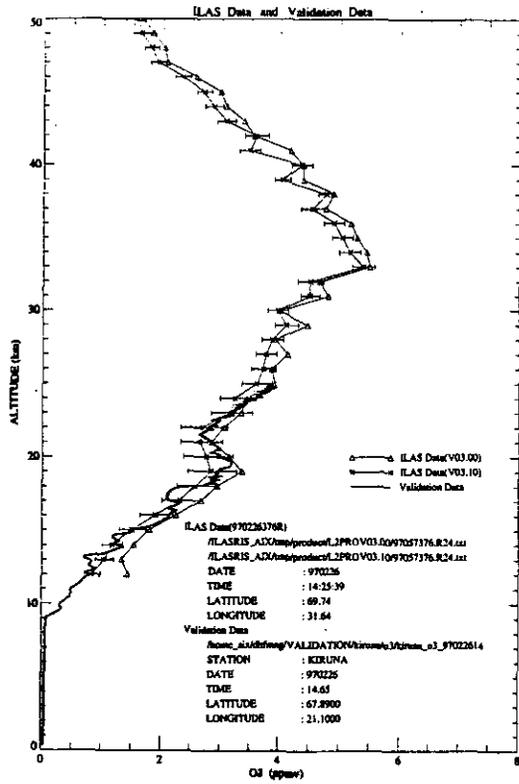


図 3.9(2) ILAS、オゾンゾンデによるオゾン濃度プロファイルの比較 (キルナ)

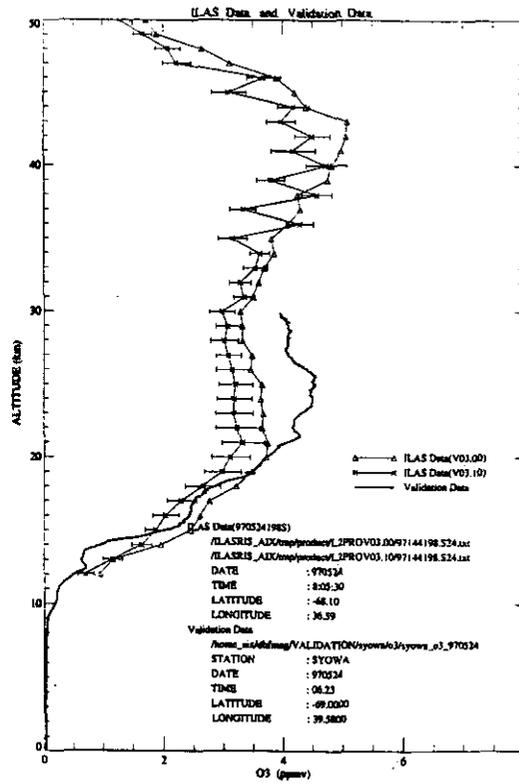
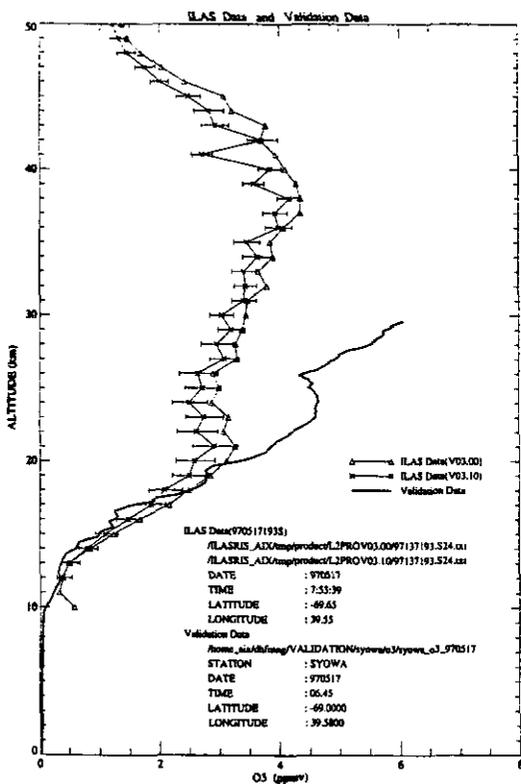
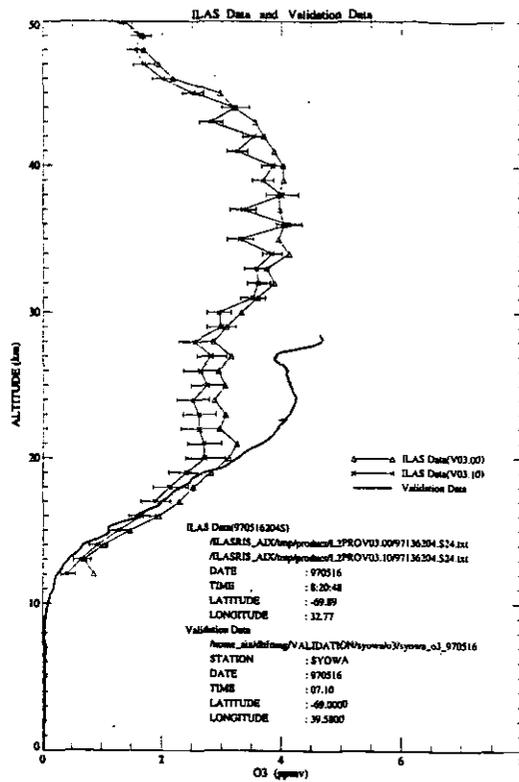
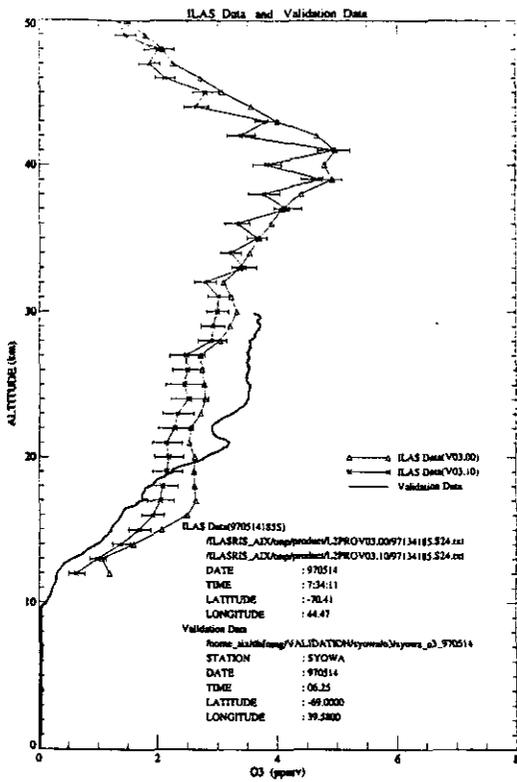


図 3.9(3) ILAS、オゾンゾンデによるオゾン濃度プロファイルの比較 (昭和基地)

(1) キルナ (北緯67.89°、東経15.77°)

I L A S とオゾンゾンデによるプロファイルは、どのケースにおいても概して良く合っているが、細かい構造を見ると、濃度のピークが出る高度が I L A S の方が下方に 1 km 程度ずれる傾向がある。ただし、この比較に際しては、層状に分布するとされるオゾン濃度の変化をオゾンゾンデが忠実に捕らえているらしいのに対して、I L A S の高度分解能が 2 km であること、測定の原理上、空間的に平均された値であることを考慮する必要がある。また、バージョン間でプロファイルと比較すると、バージョン 3.10 では、最下層での大きな値のずれが改善されたが、全体的に値が小さめに出る傾向があり、特に濃度のピークにおいてオゾンゾンデと比較したときにバージョン 3.00 より乖離が大きくなっているように見える。これは、バージョン 3.10 で I L A S の接線高度を決める時に用いる酸素分子 A バンドの吸収帯が R ブランチから P ブランチに変更されたことの影響であると考えられている。この高度決めの方法は過渡的なものであり、近い将来サンエッジセンサーによる、より高い精度の接線高度が得られれば、上記の問題点の改善が期待できる。

(2) 昭和基地 (南緯69.00°、東経39.58°)

I L A S とオゾンゾンデによるプロファイルは、高度 20 km 付近より下層では大体良く合っている。しかし、それより上層の高度 20~30 km では、オゾンゾンデのデータが高度とともに濃度を増しているのに対して、I L A S のオゾン濃度ほとんど一定の値になっており、両者のずれが大きい。バージョン間では、キルナの場合と同様、バージョン 3.00 に比べてバージョン 3.10 は全体的に値が小さく出る傾向がある。

(3) I L A S のオゾンゾンデに対する平均相対残差

図 3.10 に表 3.11 の事例について作成した I L A S のオゾンゾンデ (キルナ、昭和基地) に対する平均相対残差 ($((I L A S - \text{オゾンゾンデ}) / \text{オゾンゾンデ})$ の平均 (%)) の鉛直分布を、バージョン 3.00、3.10 についてそれぞれ示す。図中に点線で示されているバーは標準偏差を表している。両地点とも、高度 20 km より下層では I L A S の方が過大評価、高度 20~30 km では I L A S の方がやや過小評価となっている。ただし、バージョン 3.10 では、バージョン 3.00 で大きかった下層の乖離がかなり緩和されている。

3.5.3 他の衛星データとの比較

I L A S の観測結果と他の衛星データを比較した。用いたデータは、NASA の U A R S レベル 3 A T データ (H A L O E)、および S A G E II のデータである。H A L O E、S A G E II とともに、I L A S と同じく太陽掩蔽法で観測を行う大気微量成分観測センサーで、それぞれの搭載衛星は U A R S、E R B S である。ここで検証に用いたのは各々の測定項目のうち、H A L O E が、 O_3 、 NO_2 、 CH_4 、 H_2O 、S A G E II が O_3 と可視のエアロゾル消散係数である。比較に用いる事例の抽出は、I L A S 測定地点と他衛星測定地点との距離、および測定時刻の差を基準とし、

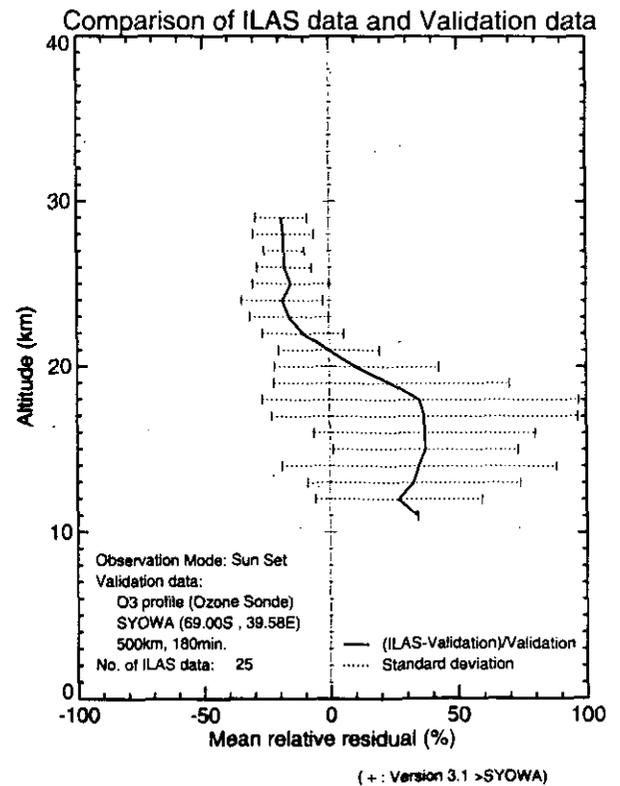
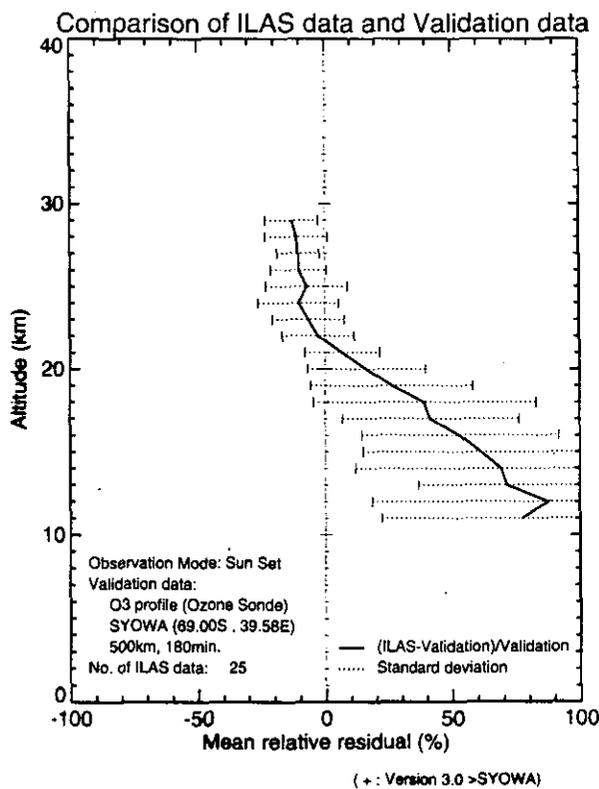
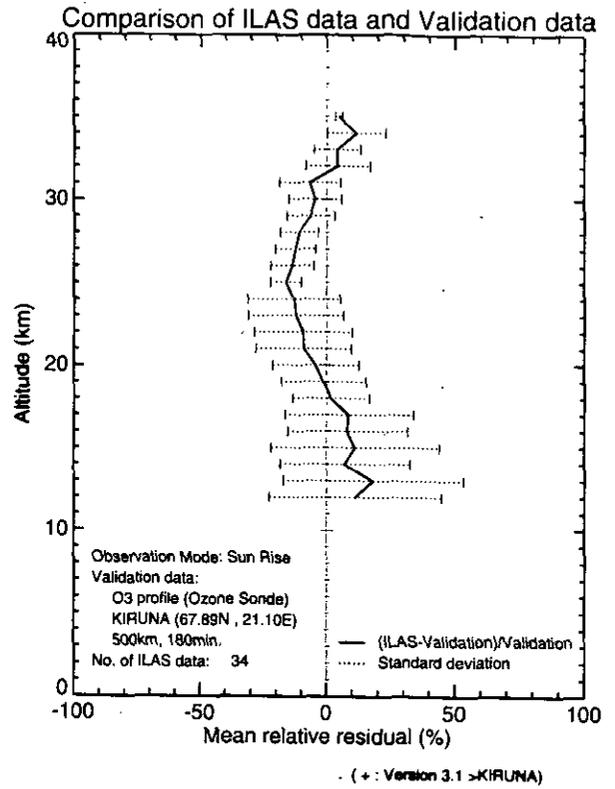
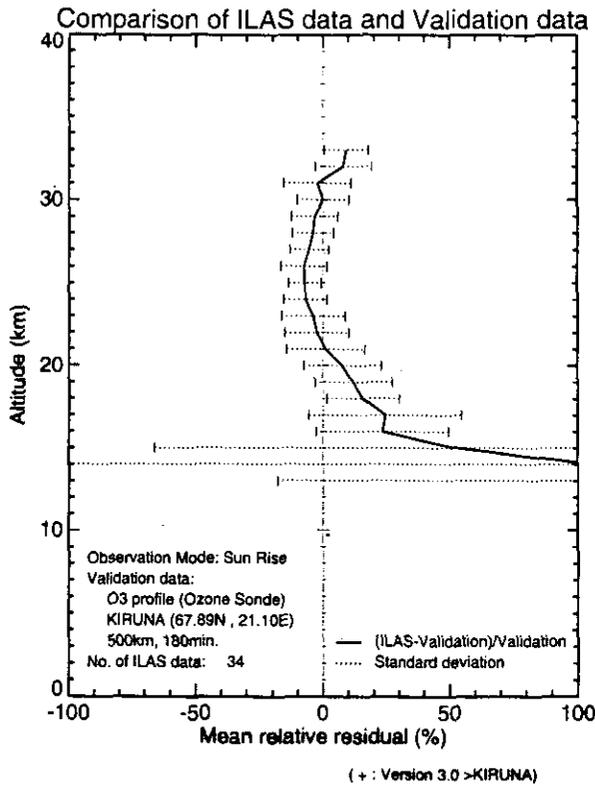


図 3.10 オゾンゾンデに対する I L A S データの平均相対残差プロファイル
(上段 ; キルナ、下段 ; 昭和基地)

HALOEについては距離が150km以内、測定時刻の差が1時間以内を抽出条件とした。一方、SAGEIIの場合はこれと同じ条件では、北半球で適合するケースが非常に少ないため、北半球については、距離が300km以内、測定時刻の差が2時間以内のもの、南半球についてはHALOEと同じ条件を満たすものを選び出した。表3.12、表3.13はそれぞれ、HALOEとSAGEIIについて検索された事例のリストである。この中からさらにいくつかの事例を選び出し、それぞれについてILASのバージョン3.00、3.10と各衛星データのプロファイルと比較した。

表3.12他の衛星データ (HALOE) を用いた大気微量成分ガス濃度の比較検証事例

ILAS観測			HALOE観測				種類	図番号	
観測日時	観測位置		時間差	緯度経度差(度)		距離(km)			
【南半球】(距離150km以内、時間差1時間以内の事例)									
96.11.24	2:31	68.51S	59.88W	+4m	+0.27	-3.53	147.20	O ₃	図 3.11(1)
96.11.24	4:12	68.49S	85.12W	-1m	+0.39	-3.24	139.77	H ₂ O	図 3.11(4)
96.11.24	5:53	68.48S	110.36W	-6m	+0.52	-2.95	134.25		
96.11.24	9:15	68.44S	160.84W	-16m	+0.79	-2.36	131.66	NO ₂	図 3.11(2)
96.11.24	10:56	68.43S	173.93E	-19m	+0.94	-2.06	134.64		
96.12.13	22:33	65.08S	2.75W	+29m	-0.84	-2.07	133.71	CH ₄ ,H ₂ O	図 3.11(3)(4)
96.12.14	1:55	65.06S	53.23W	+19m	-0.72	-0.75	86.67	O ₃	図 3.11(1)
96.12.14	3:36	65.05S	78.47W	+14m	-0.65	-0.08	71.80		
96.12.14	5:17	65.05S	103.71W	+10m	-0.58	+0.58	69.71	CH ₄ ,H ₂ O	図 3.11(3)(4)
96.12.14	10:20	65.03S	179.42W	-4m	-0.37	+2.63	129.20		
97.02.19	5:16	75.60S	113.27W	+2m	+0.45	-5.01	148.97		
97.02.19	8:37	75.66S	163.76W	-7m	+0.69	-3.69	129.11		
97.02.19	10:19	75.69S	171.00E	-11m	+0.87	-3.26	133.14		
97.02.19	12:00	75.72S	145.75E	-16m	+0.93	-2.32	121.89		
97.02.19	13:41	75.74S	120.51E	-21m	+1.10	-1.87	132.99	NO ₂	図 3.11(2)
97.02.19	15:22	75.77S	95.25E	-26m	+1.16	-0.93	130.97		
97.02.19	17:03	75.79S	70.00E	-31m	+1.34	-0.44	149.59		
【北半球】(距離150km以内、時間差1時間以内の事例)									
97.03.26	21:55	69.22N	51.96W	+11m	-0.56	-2.36	112.54	O ₃	図 3.11(1)
97.03.27	1:17	69.20N	102.28W	+2m	-0.54	-0.03	60.22		
97.03.27	2:58	69.19N	127.44W	-3m	-0.43	+1.15	66.40	CH ₄ ,H ₂ O	図 3.11(3)(4)
97.03.27	4:39	69.19N	152.61W	-8m	-0.49	+2.31	106.98		
97.03.28	7:34	69.09N	164.77E	+15m	-0.26	-2.99	122.65		
97.03.28	9:14	69.08N	139.60E	+10m	-0.28	-1.83	79.59	O ₃	図 3.11(1)
97.03.28	10:55	69.08N	114.44E	+5m	-0.26	-0.66	38.61	CH ₄ ,H ₂ O,NO ₂	図 3.11(2,3,4)
97.03.28	12:36	69.07N	89.28E	+0m	-0.30	+0.49	38.35		
97.03.28	14:17	69.06N	64.11E	-4m	-0.27	+1.67	73.08		
97.03.28	15:58	69.05N	38.95E	-9m	-0.31	+2.81	117.52		
97.03.29	18:53	68.94N	3.70W	+13m	-0.63	-2.69	129.72		
97.03.29	20:34	68.94N	28.86W	+8m	-0.73	-1.57	102.70		
97.03.29	22:15	68.93N	54.03W	+3m	-0.71	-0.40	80.39		
97.03.29	23:56	68.92N	79.19W	-1m	-0.79	+0.73	92.64		
97.03.30	1:37	68.92N	104.36W	-6m	-0.77	+1.90	114.71	NO ₂	図 3.11(2)

表3.13他の衛星データ (SAGE II) を用いた大気微量成分ガス濃度の比較検証事例

I L A S観測				S A G E II観測				種類	図番号
観測日時	観測位置		時間差	緯度経度差(度)		距離(km)			
【南半球】(距離150km以内、時間差1時間以内の事例)									
97.02.03	14:12	70.12S	115.79E	+34m	-0.93	-2.35	134.96		
97.02.03	15:53	70.14S	90.54E	+29m	-0.84	-1.75	113.25	O ₃ ,aerosol	図 3.13(1)(3)
97.02.03	17:34	70.16S	65.30E	+25m	-0.74	-1.16	92.29		
97.02.03	19:15	70.18S	40.06E	+20m	-0.64	-0.55	73.97	O ₃	図 3.13(1)
97.02.03	20:56	70.20S	14.82E	+15m	-0.54	+0.05	59.42	aerosol	図 3.13(3)
97.02.03	22:36	70.23S	10.41W	+10m	-0.43	+0.64	53.14		
97.02.04	1:58	70.27S	60.90W	+1m	-0.22	+1.90	74.98	O ₃ ,aerosol	図 3.13(1)(3)
97.02.04	5:20	70.31S	111.38W	-8m	-0.01	+3.17	118.54	O ₃	図 3.13(1)
97.02.04	7:01	70.34S	136.62W	-13m	+0.11	+3.81	143.09	aerosol	図 3.13(3)
【北半球】(距離300km以内、時間差2時間以内の事例)									
97.05.28	15:16	59.48N	81.52E	+31m	+1.93	-1.38	227.07		
97.05.28	16:57	59.47N	56.31E	+26m	+1.80	-0.55	202.78	aerosol	図 3.13(4)
97.05.28	18:38	59.46N	31.09E	+21m	+1.68	+0.28	187.33		
97.05.28	22:00	59.44N	19.35W	+13m	+1.43	+1.96	192.61	O ₃ ,aerosol	図 3.13(2)(4)
97.05.29	1:22	59.42N	69.78W	+4m	+1.19	+3.65	241.66	O ₃	図 3.13(2)
97.05.29	3:03	59.41N	95.00W	-1m	+1.06	+4.50	276.46		
97.05.30	11:00	59.23N	145.85E	+7m	-1.64	-3.39	268.27	aerosol	図 3.13(4)
97.05.30	12:41	59.22N	120.63E	+4m	-1.78	-2.51	245.57	aerosol	図 3.13(4)
97.05.30	14:22	59.21N	95.41E	-1m	-1.92	-1.21	233.40		
97.05.30	16:03	59.20N	70.19E	-6m	-2.06	-0.73	233.19	O ₃	図 3.13(2)
97.05.30	17:44	59.19N	44.97E	-10m	-2.21	+0.16	245.94	O ₃	図 3.13(2)
97.05.30	19:25	59.18N	19.75E	-15m	-2.36	+1.04	269.00		

(1)HALOEとの比較

各事例について、I L A SとHALOEを比較したプロファイルを図3.11に示す。

①オゾン

HALOEとI L A Sのプロファイルは、かなり良く対応している。ただし、I L A Sのオゾンのピーク濃度はHALOEに比べて若干小さい傾向があり、特にバージョン3.10で処理されたデータで顕著である。I L A Sで測定された濃度のピーク値が小さいという特徴はオゾンゾンデとの比較においても同様に見られたことで、原因も高度決めの手法にあると考えられる。

②二酸化窒素

I L A SのプロファイルはHALOEに比べ、下層で過大評価、上層で過小評価の傾向にある。高度20km以下でのI L A Sの二酸化窒素データは精度が悪いとされているが、バージョン3.10ではかなり改善されている。上層の過小評価は、オゾンの場合と同じ理由によると考えられ、やはりバージョン3.10でより乖離が大きい。また、I L A Sの値が上層で激しく振動するケースが見られるが、これは上層では分子の数密度がかなり小さく、吸収の絶対量が小さくなるため、オニオンピーリングの手法で値を求める際にS/N比が悪化することに起因すると考えられる。

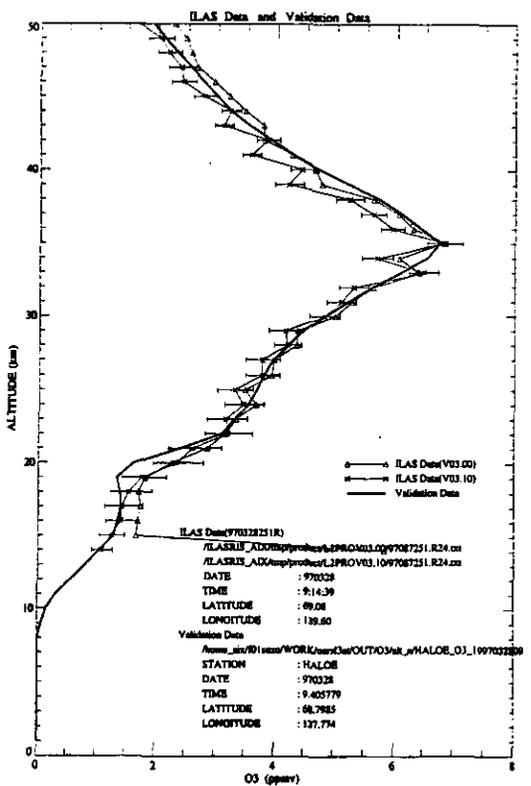
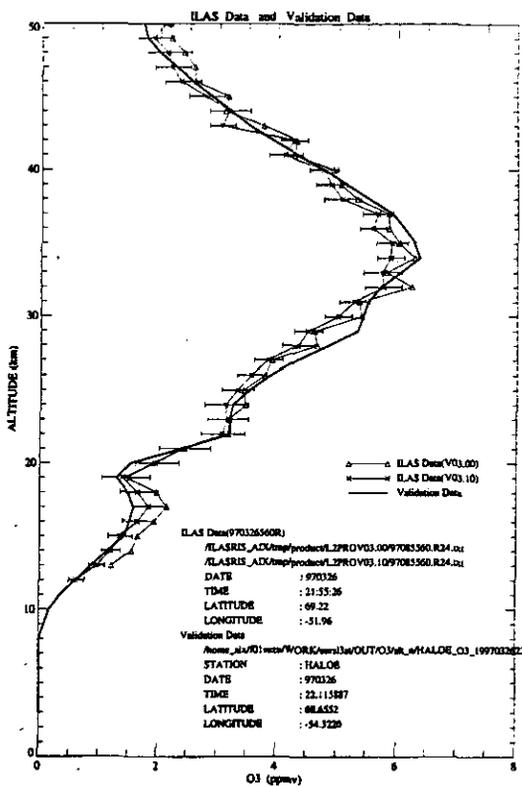
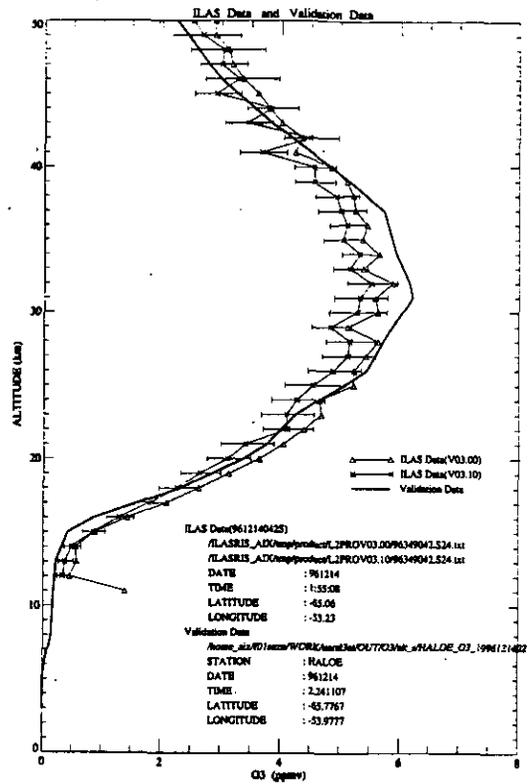
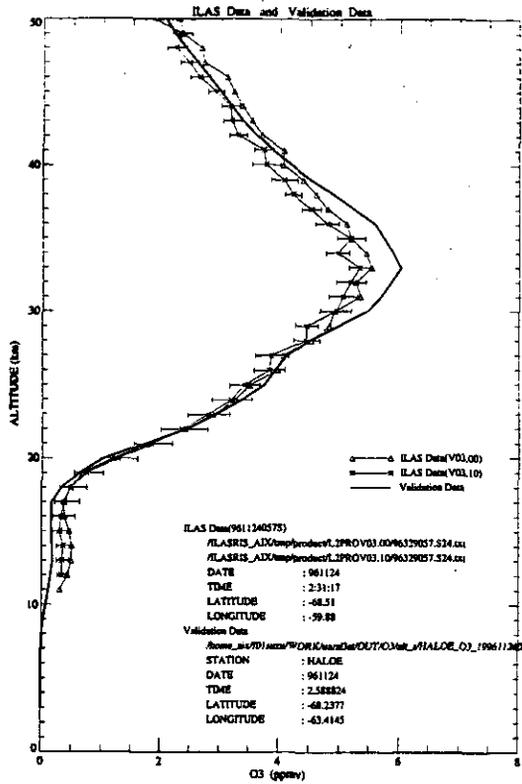


図 3.11(i) ILAS、HALOEによる大気微量成分ガス濃度プロファイルの比較 (オゾン)

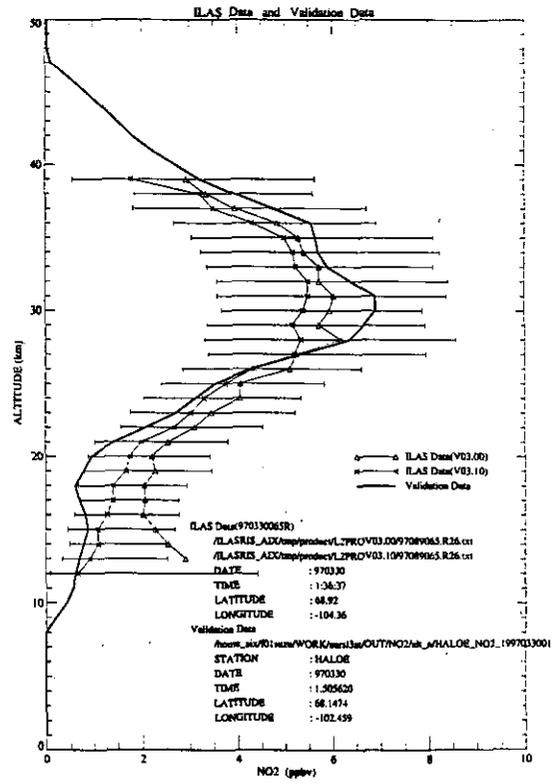
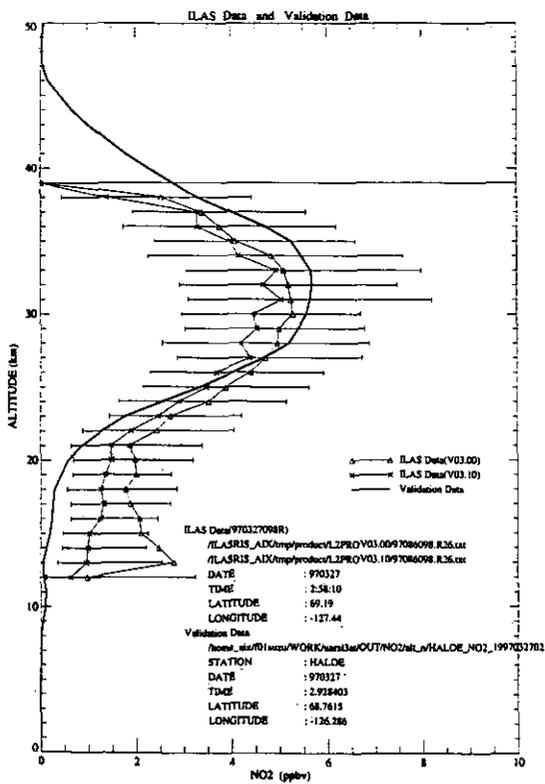
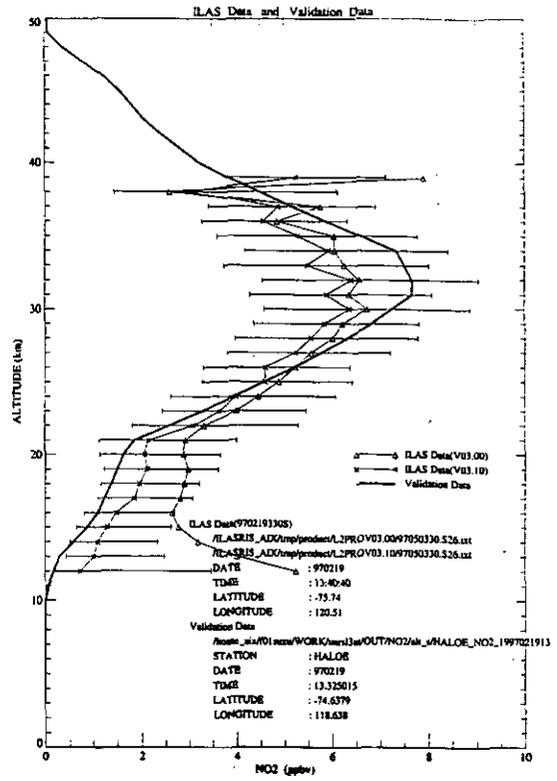
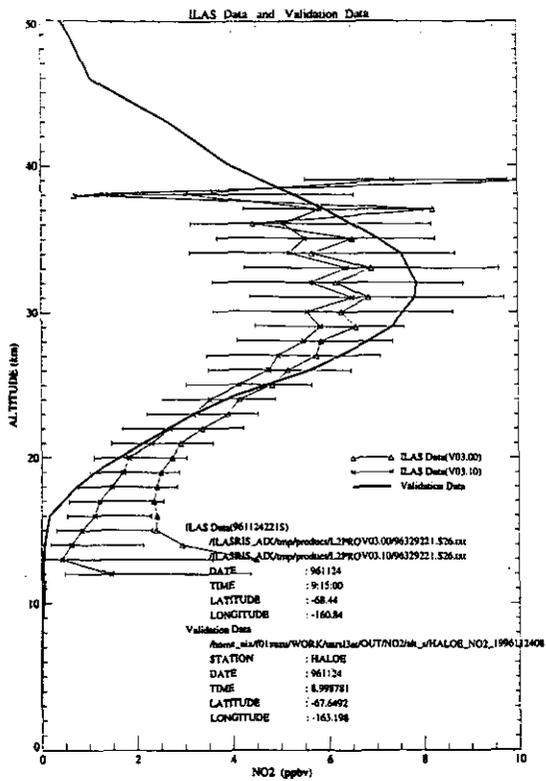


図 3.11(2) ILAS、HALOEによる大気微量成分ガス濃度プロファイルの比較
(二酸化窒素)

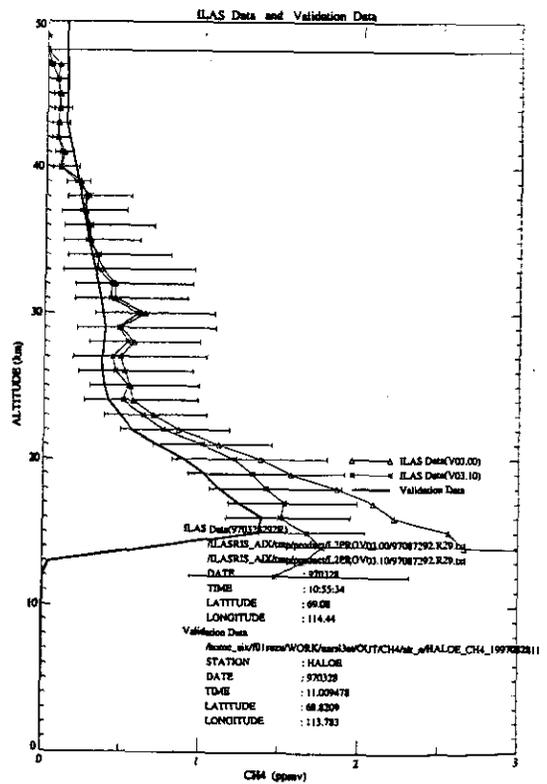
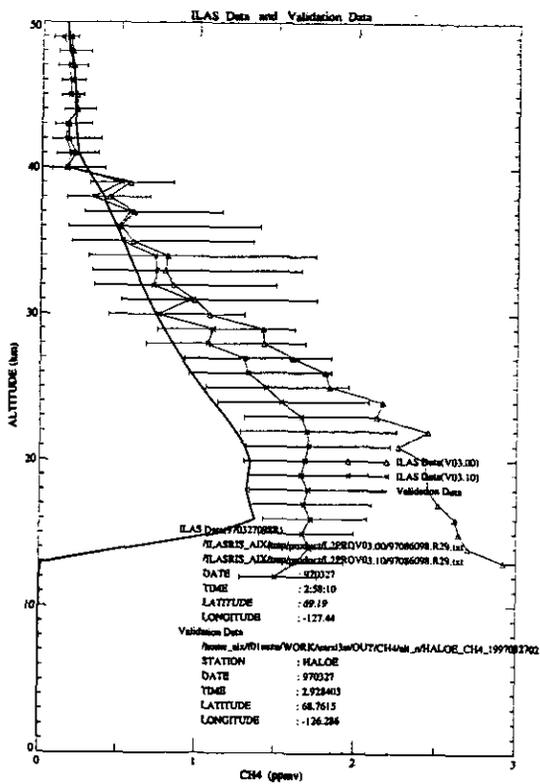
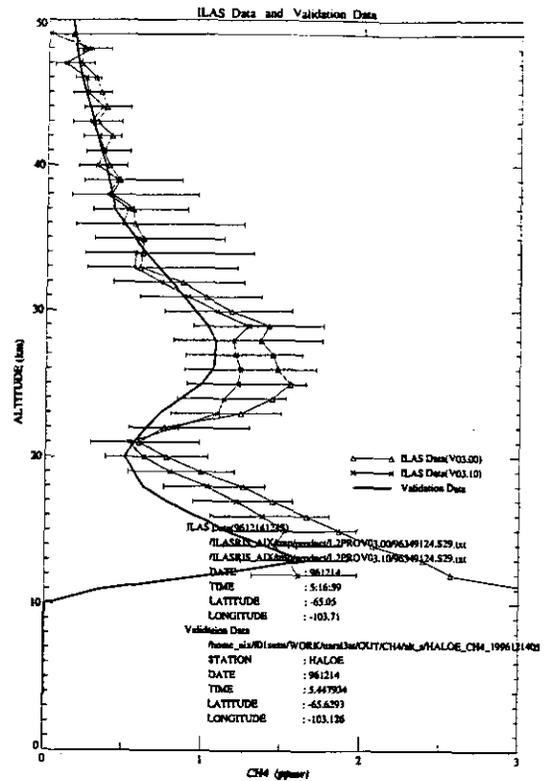
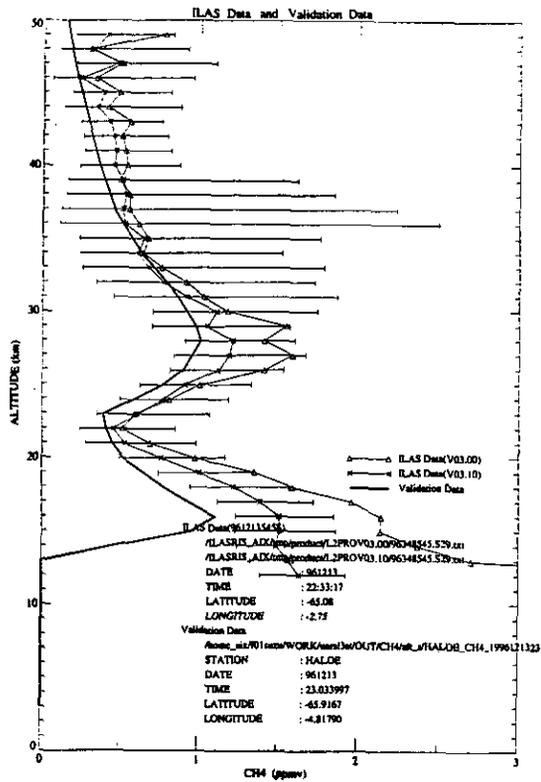


図 3.11(3) ILAS、HALOEによる大気微量成分ガス濃度プロファイルの比較 (メタン)

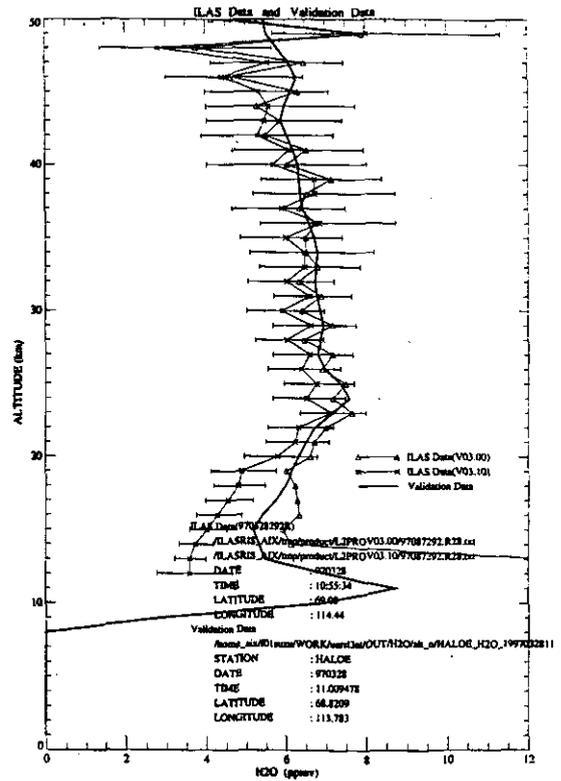
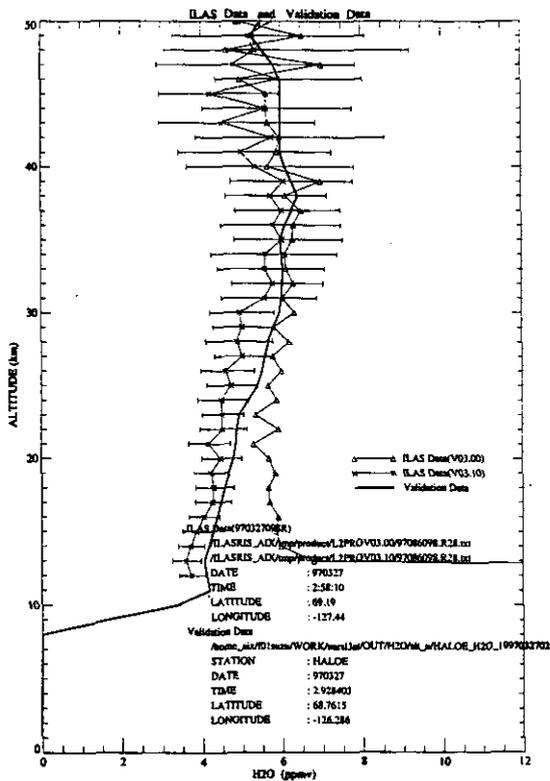
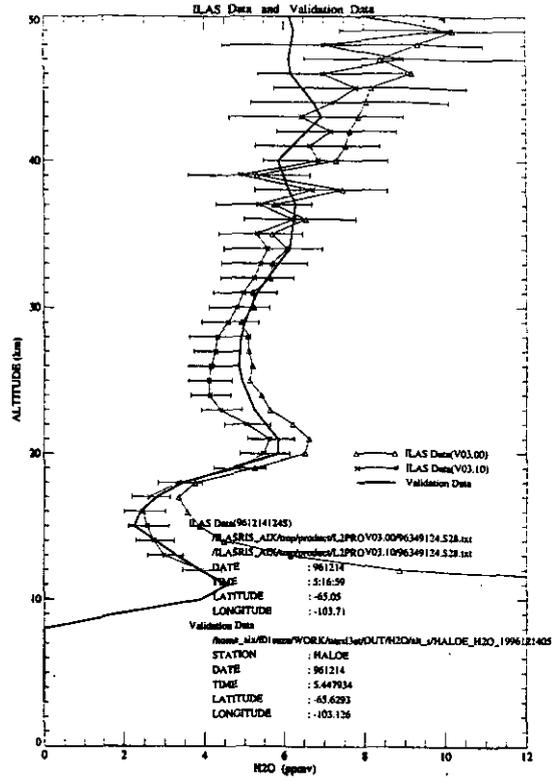
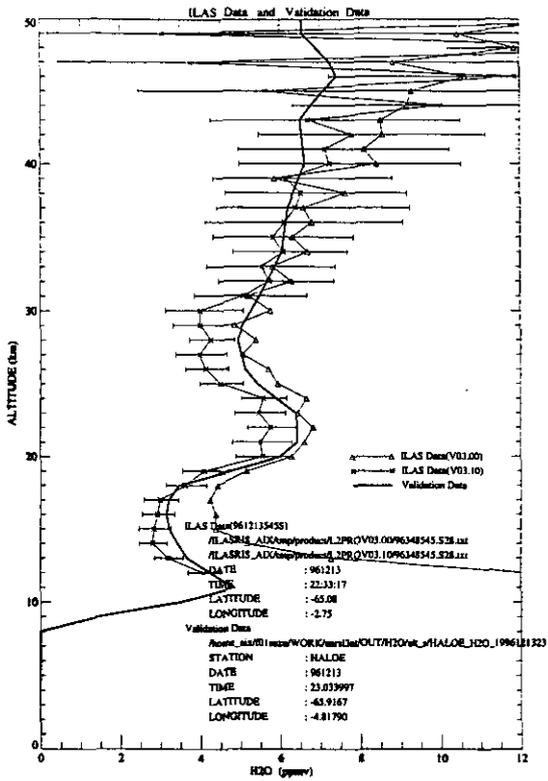


図 3.11(4) ILAS、HALOEによる大気微量成分ガス濃度プロファイルの比較
(水蒸気)

③メタン

成層圏のメタンは対流圏起源であり、対流圏での濃度が1.7ppmであるから、成層圏ではこれを下回る濃度でなければならない。ILASのバージョン3.00では下層でこれを大幅に上回っていたが、バージョン3.10でかなり改善された。ILASのプロファイルは、HALOEのプロファイルに対して相対的な対応はいいものの、全体に過大評価の傾向にあり、特にピークは大きく出ている。

④水蒸気

ILASのプロファイルは高高度で吸収の絶対量が小さくなるため振動があるが、全体としてはHALOEのプロファイルに良く合っている。また、他のガスと同様に、バージョン3.00の下層の大きな値もバージョン3.10では解決された。南半球の高度40kmより上層で、値が大きく振動も激しくなる現象が見られるが、この原因については現在調査中である。

成層圏の水蒸気のうち対流圏起源のものは、対流圏界面付近の低温域を通過するとき氷結が起こるために、飽和水蒸気圧に相当する量より多くの水蒸気は成層圏に入れない。その一方で、露点の低いメタンは氷結することなく成層圏に入り、紫外線による光解離および水酸基との反応により水蒸気を生成する。このため、メタンは成層圏においては水蒸気の重要な発生源になっている。以上のことを考慮し、水蒸気についての事例は、メタンと同じものを選んであるが、これらのプロファイルを比較すると互いに逆位相になっていることがわかる。

⑤ILASのHALOEに対する平均相対誤差

図3.12に、オゾン、二酸化窒素、メタン、水蒸気について、HALOEに対するILASデータ（バージョン3.00及び3.10）の平均相対残差（ $((ILAS - HALOE) / HALOE)$ の平均 (%)）の鉛直分布をの鉛直分布を南北半球別（南半球17例、北半球15例）に示す。なお、図中に点線で示されているバーは標準偏差を表している。

ILASのオゾン濃度は、HALOEに対して高度20km付近を境に下層は過大評価、上層はやや過小評価となっているが、バージョン3.10ではかなり改善されている。また、北半球では南半球に比較して誤差が小さい。

二酸化窒素の濃度の測定誤差が高度20kmより下層で非常に大きいことはある大気状態を仮定したシミュレーションによって予想されていたが、やはりHALOEに対する誤差は非常に大きい。高度20~35km付近は比較的誤差が小さいが、それより上層では値の大きな振動が見られ誤差も大きい。

メタンは全体的に過大評価であるが、バージョン3.00に比べるとバージョン3.10では平均相対残差がかなり小さくなっている。しかし、高度15km以下では大きな改善は見られない。

水蒸気はバージョン3.10で高度15km以下が改善され、それより上層ではHALOEに比較してやや過大評価であったのが、やや過小評価になった。しかし、いずれにしても他のガスに比べて良い対応を示している。

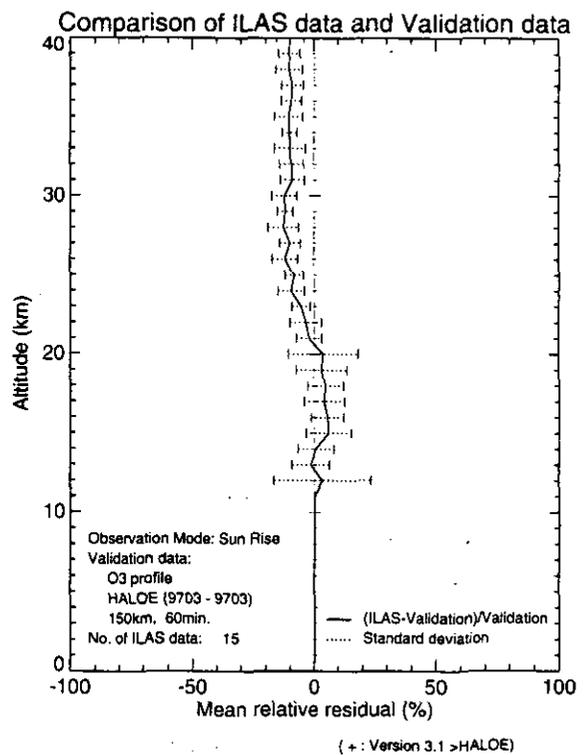
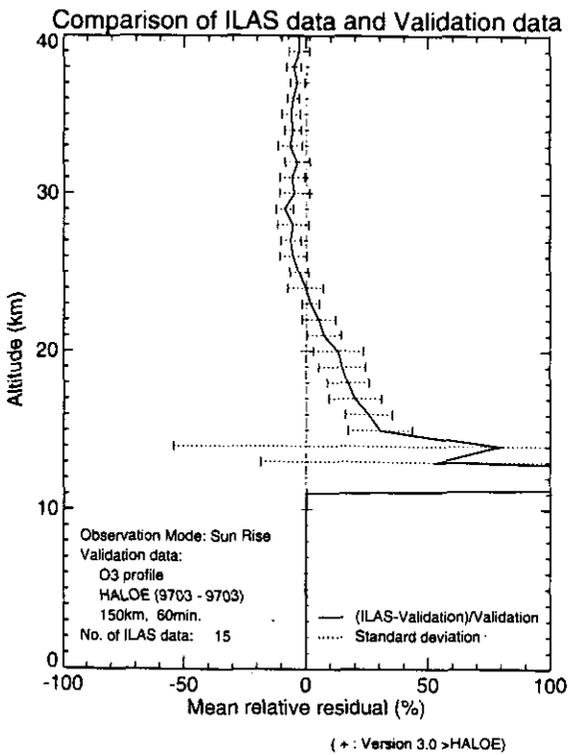
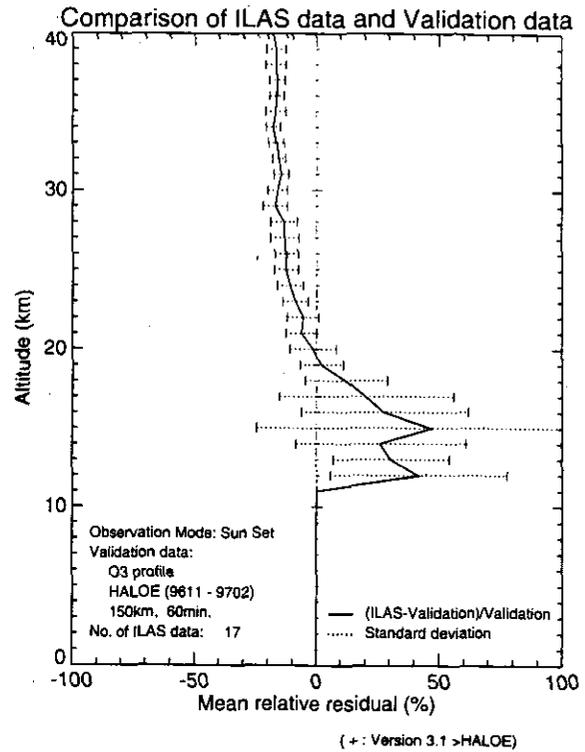
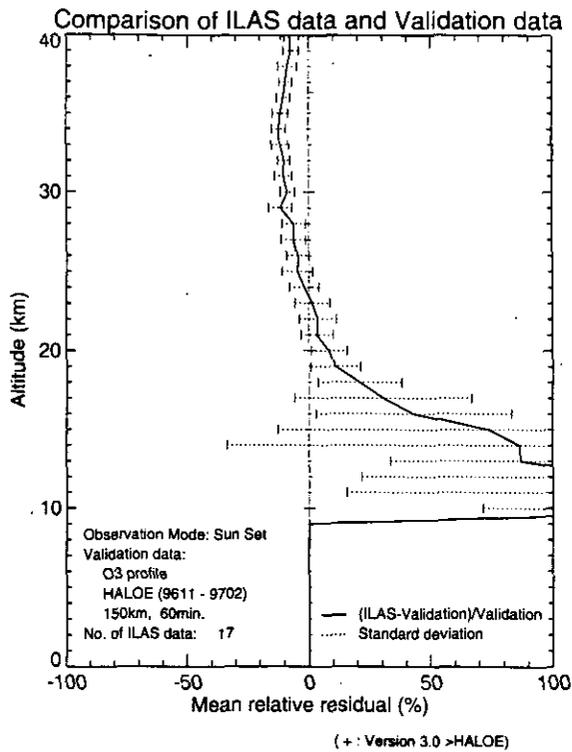


図 3.12(1) HALOE に対する ILAS データの平均相対残差プロファイル (オゾン)

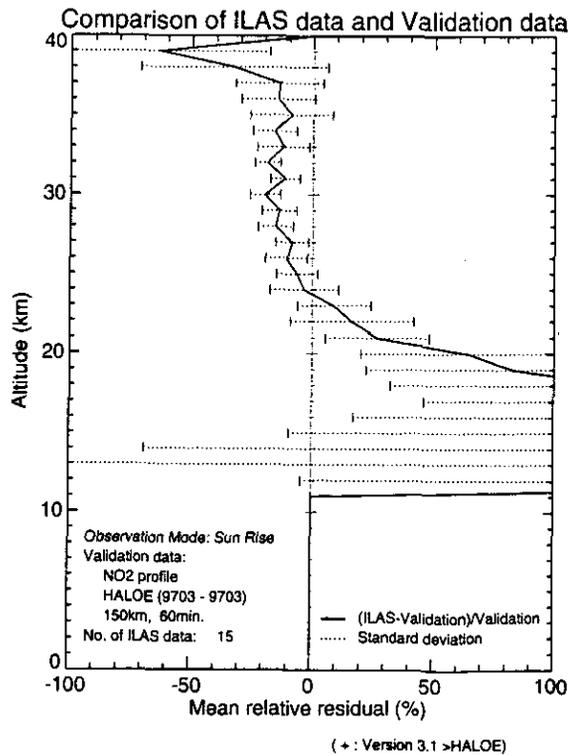
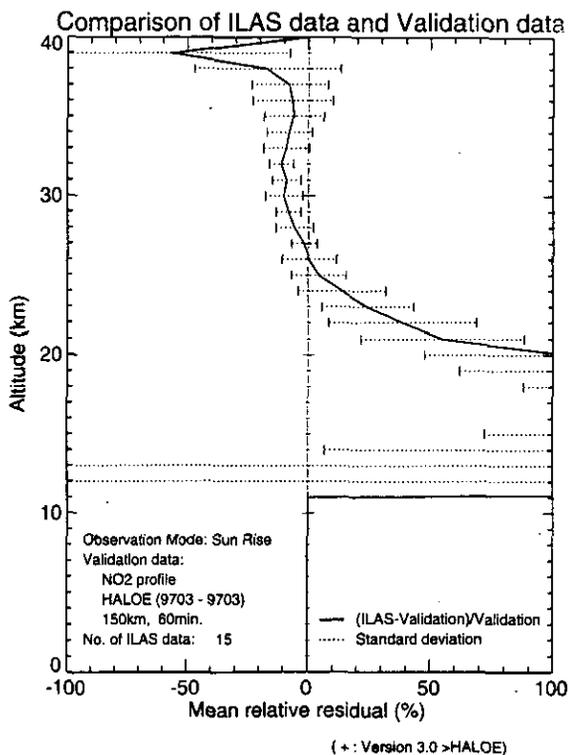
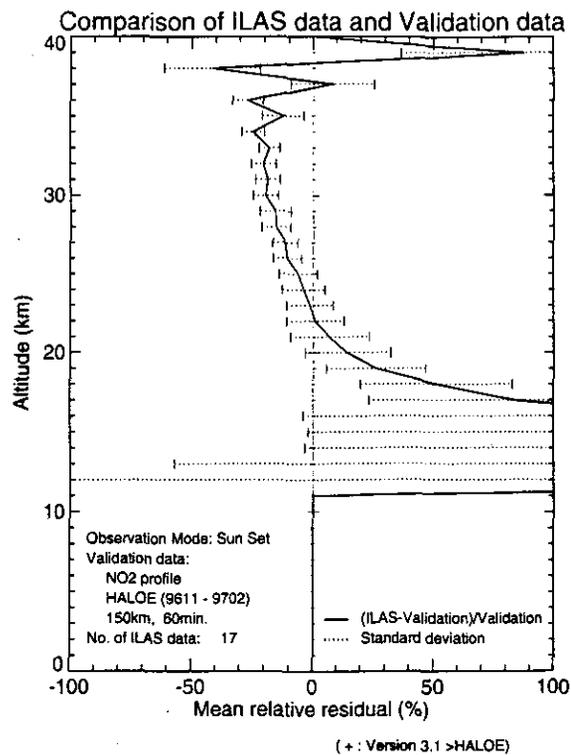
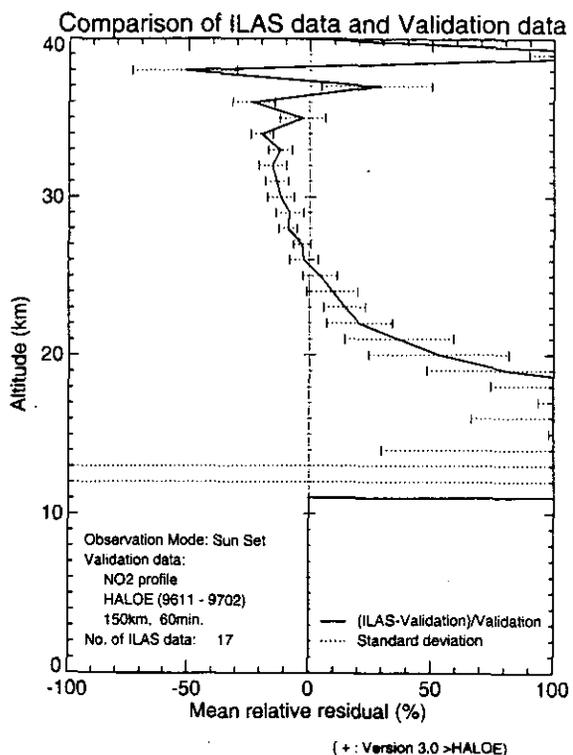


図 3.12(2) HALOE に対する ILAS データの平均相対残差プロファイル
(二酸化窒素)

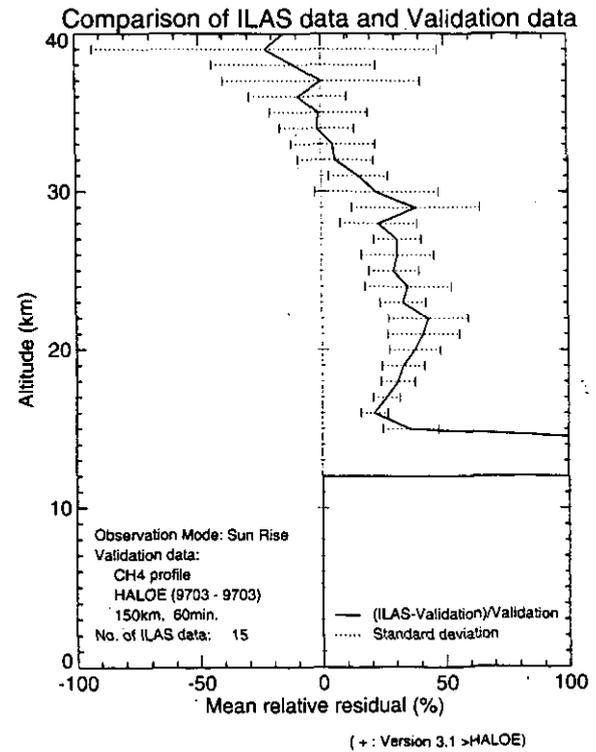
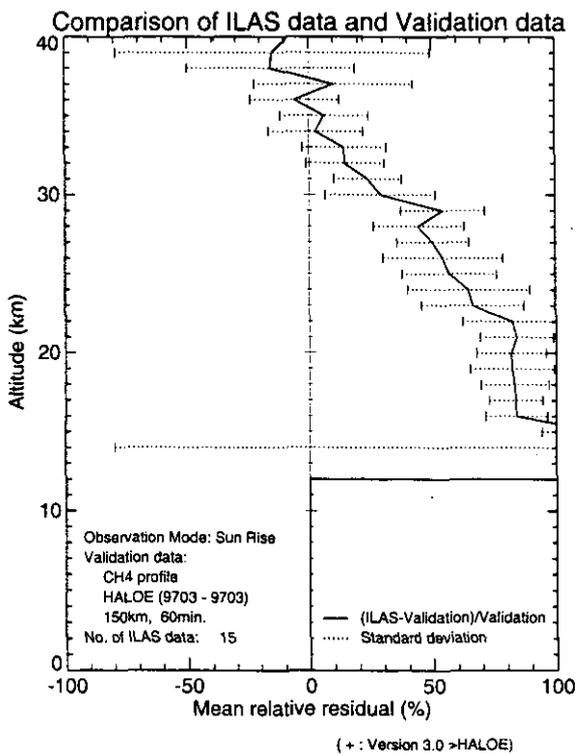
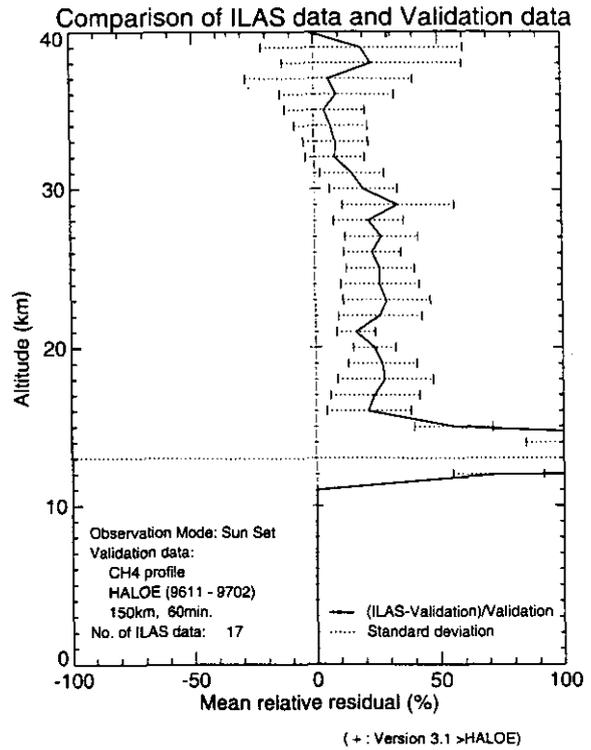
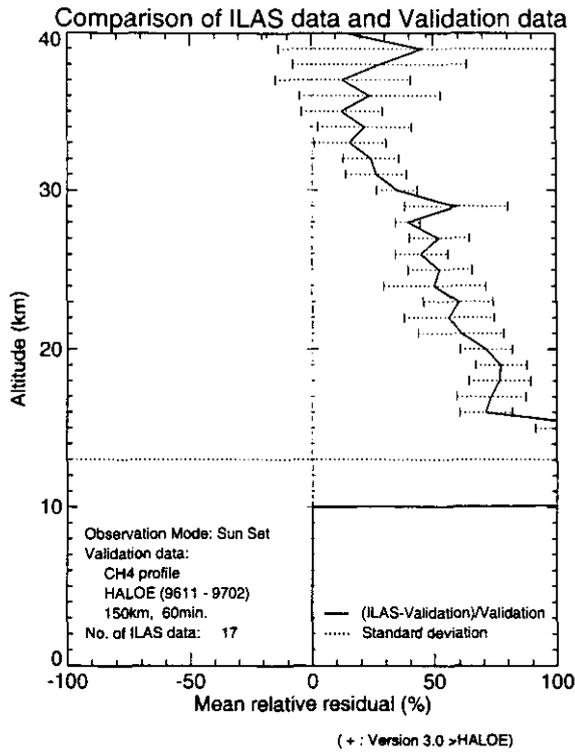


図 3.12(3) HALOE に対する ILAS データの平均相対残差プロファイル (メタン)

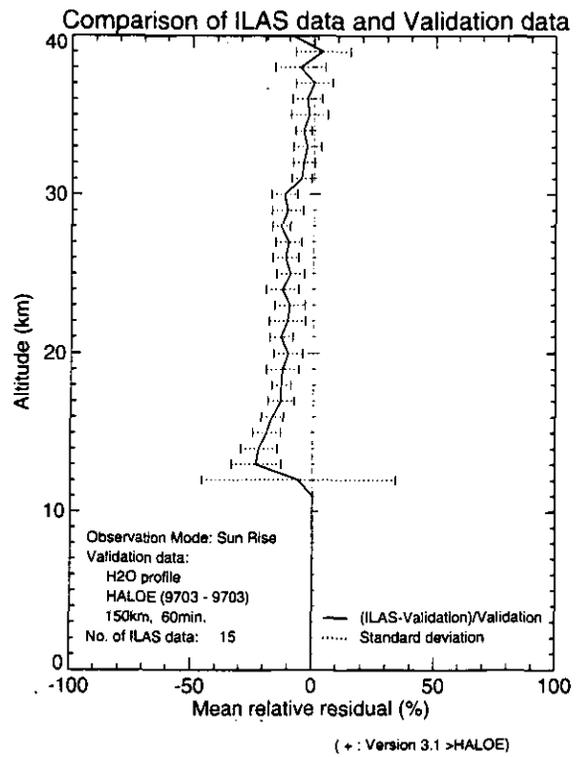
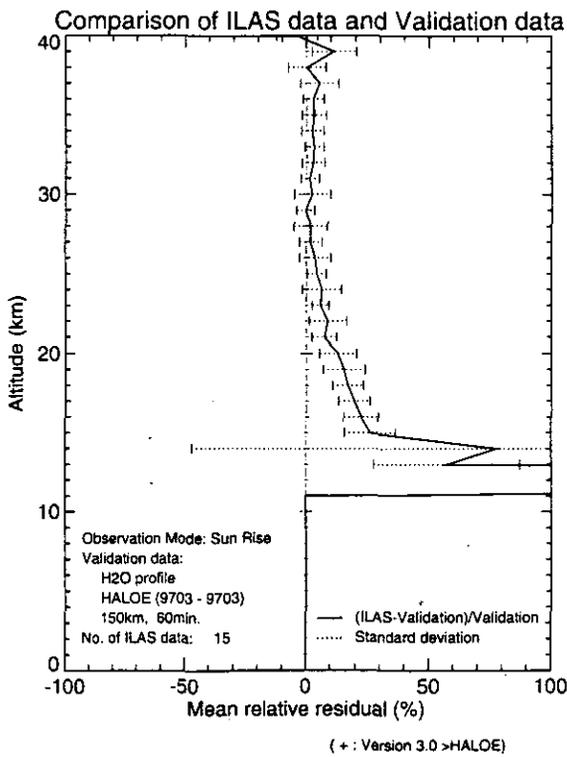
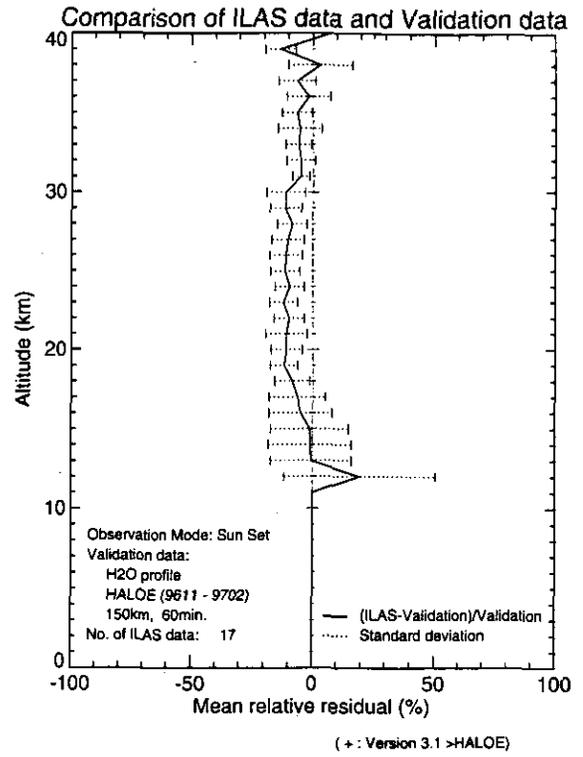
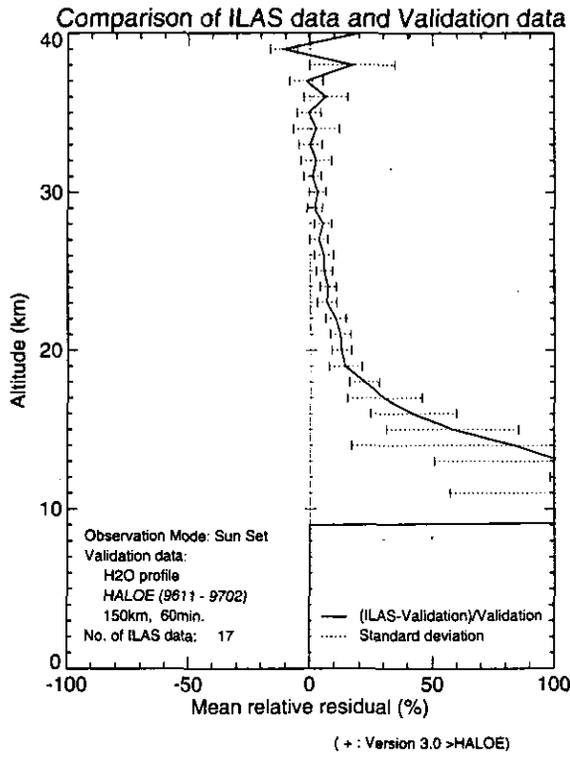


図 3.12(4) HALOE に対する ILAS データの平均相対残差プロファイル (水蒸気)

(2) SAGE IIとの比較

各事例について、ILASとSAGE IIを比較したプロファイルを図3.13に示す。

①オゾン

ILASとSAGE IIのオゾンプロファイルは概して良く合っている。ただし、南半球では、濃度のピークがある高度の周辺でILASの方が過小評価になっている。

②エアロゾル消散係数 (780nm)

ILASのプロファイルは、南北両半球ともおよそ高度30km以下ではSAGE IIと極めて良く一致する。それ以上の高度では、エアロゾルの濃度が非常に小さくなるため、ILASの値は振動が大きくなる。また、南半球の例ではややILASの方が過大評価になっている。

③ILASのSAGE IIに対する平均相対誤差

図3.14に、オゾン、可視のエアロゾル消散係数について、SAGE IIに対するILASデータ (バージョン3.00及び3.10) の平均相対残差 ($((ILAS - SAGE II) / SAGE II)$ の平均 (%)) の鉛直分布をの鉛直分布を南北半球別 (南半球9例、北半球12例) に示す。なお、図中に点線で示されているバーは標準偏差を表している。

ILASのオゾン濃度は、SAGE IIに対して高度16km以下で過大評価になっているが、それより上層では平均相対残差が小さく、良い対応を示している。また、下層の大きな残差もバージョン3.10ではかなり改善されている。

可視のエアロゾル消散係数は、高度30km以上で残差が非常に大きいだけでなく、その標準偏差も大きく、バージョン3.10でもあまり改善は見られない。しかし、それより下層では過大評価になってはいるが、バージョン3.10で残差はかなり縮小している。

3.5.4 その他の検証データとの比較

1996年度～1997年度に実施したコア検証実験並びに協力実験のうち、1998年6月末現在、CMDDBに登録されている検証データの一部の事例とILASデータの比較を行った。ここではPIの許可が得られていないため、図は示さず、検証に用いた観測データと対応するILAS観測事例のリストを表3.14に示すにとどめる。これらは、おもにコア検証実験の一環として、1997年2月～3月にスウェーデンのキルナ (67.9N、21.1E) において行われたILAS検証実験バルーンキャンペーンによって得られたものである。なお、表に示されている事例は特に断りのない限り、キルナにおける観測である。

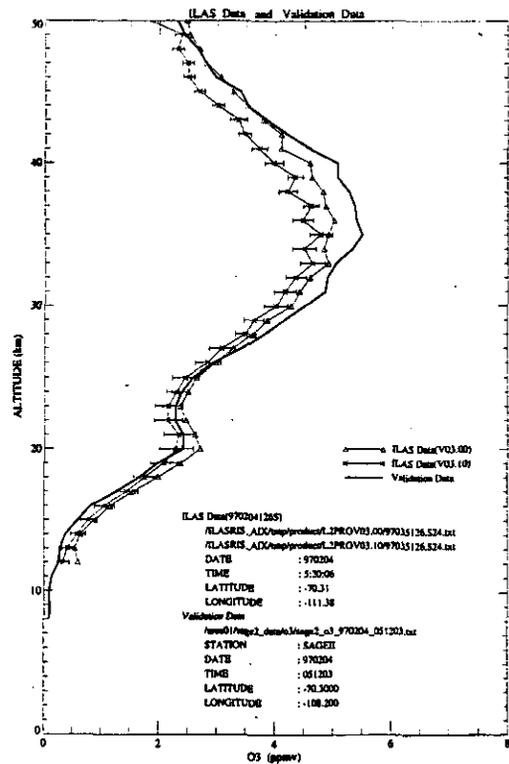
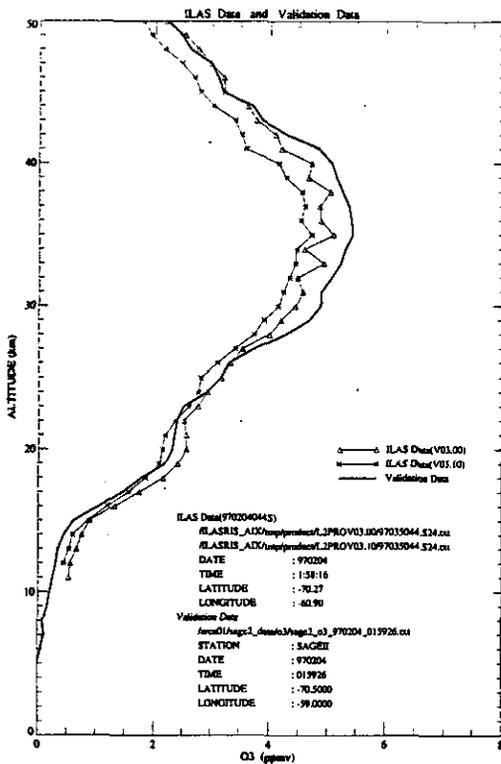
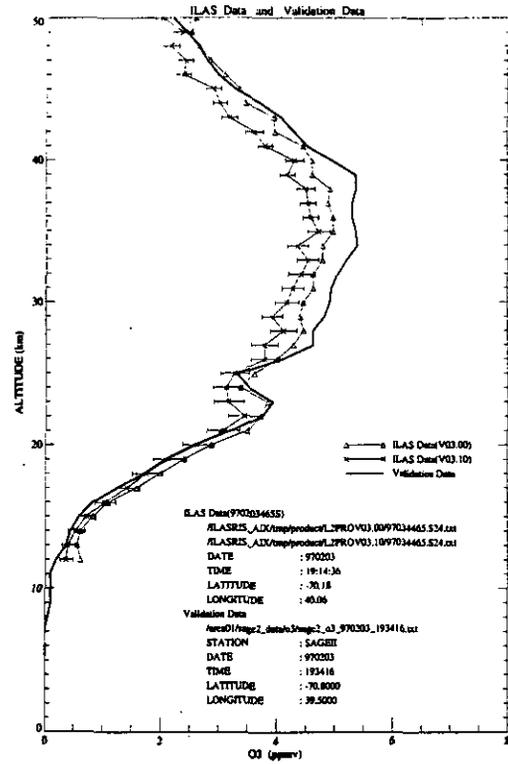
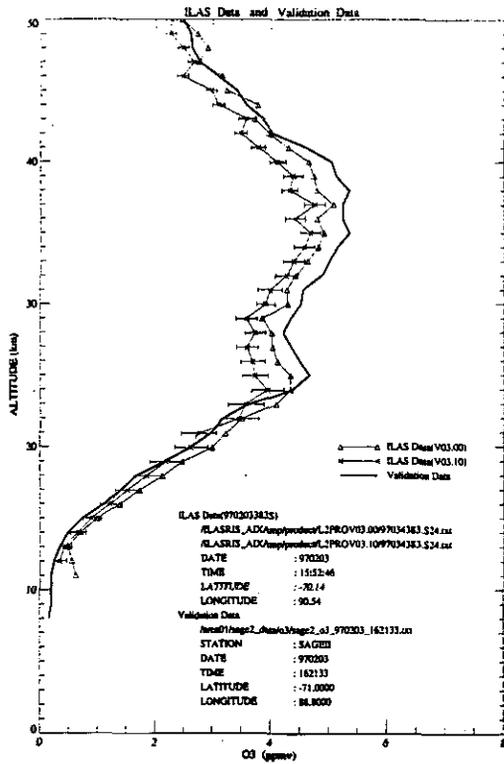


図 3.13(1) ILAS、SAGE IIによる大気微量成分ガス濃度プロファイルの比較 (オゾン)

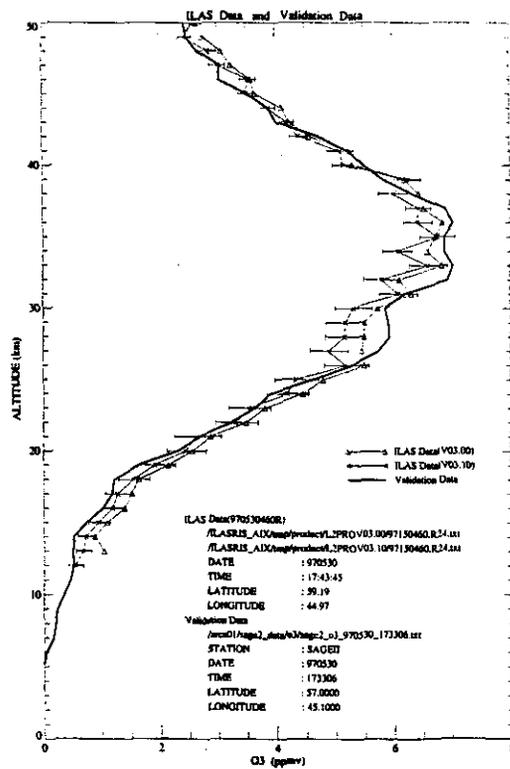
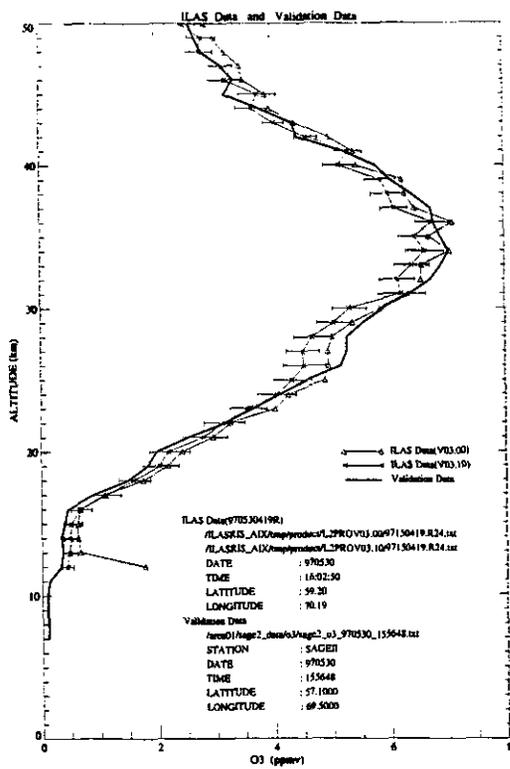
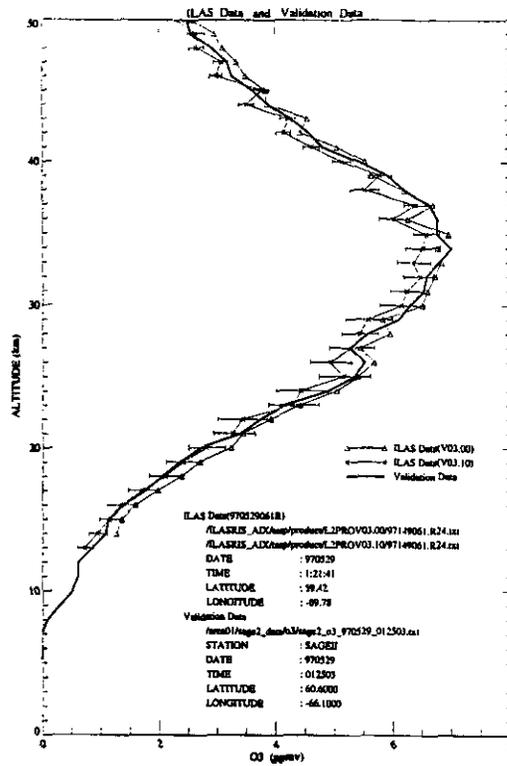
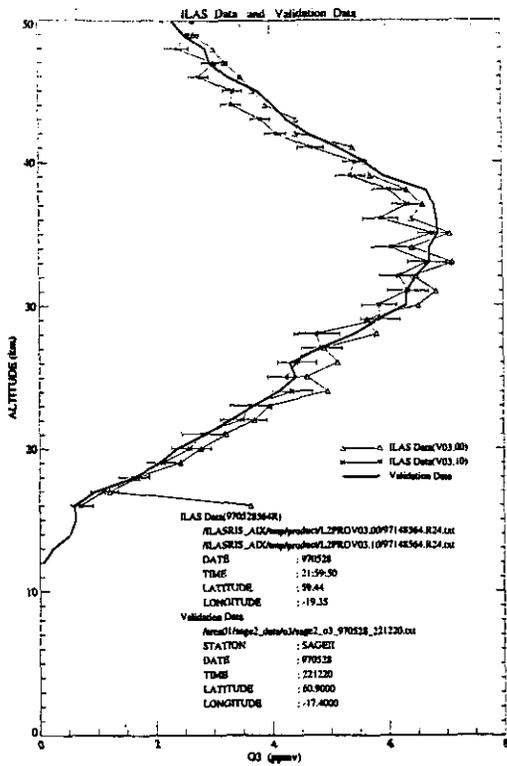


図 3.13(2) ILAS、SAGE II による大気微量成分ガス濃度プロファイルの比較 (オゾン)

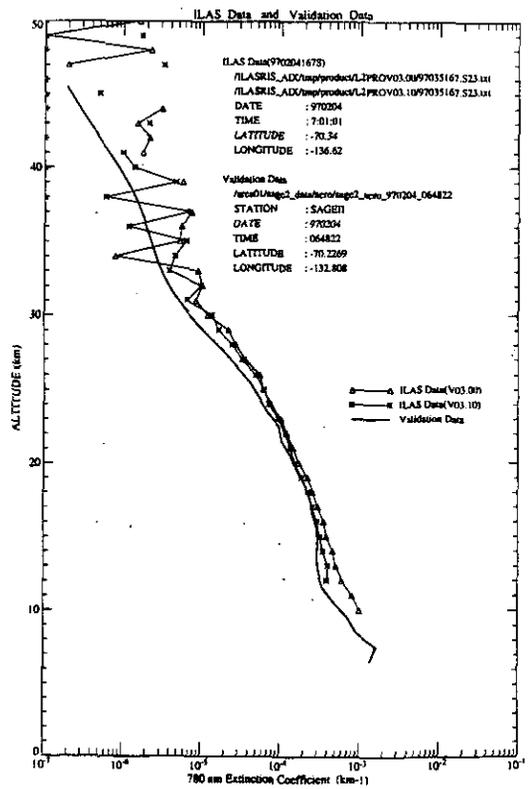
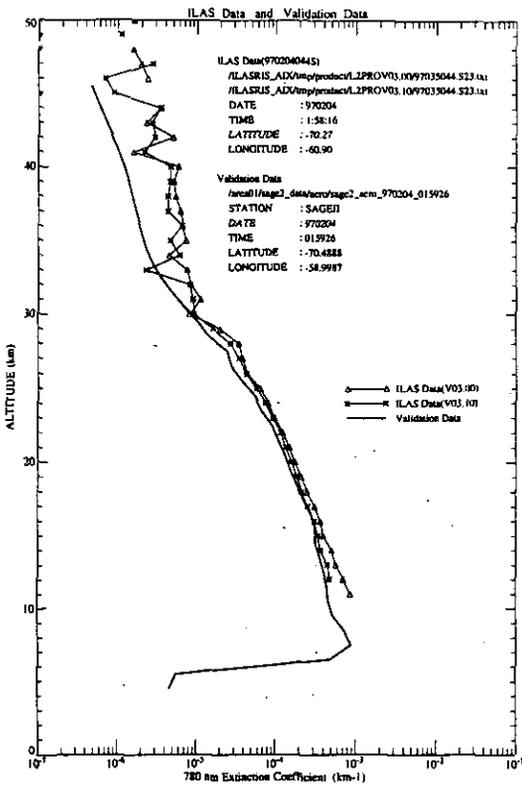
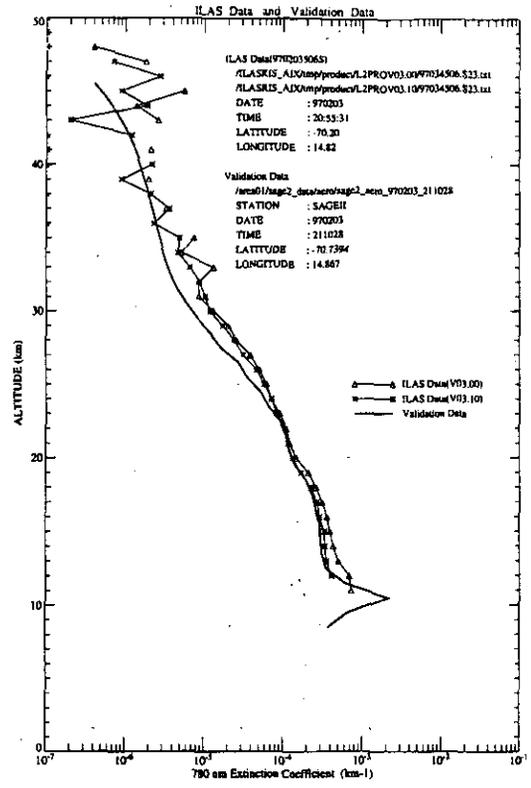
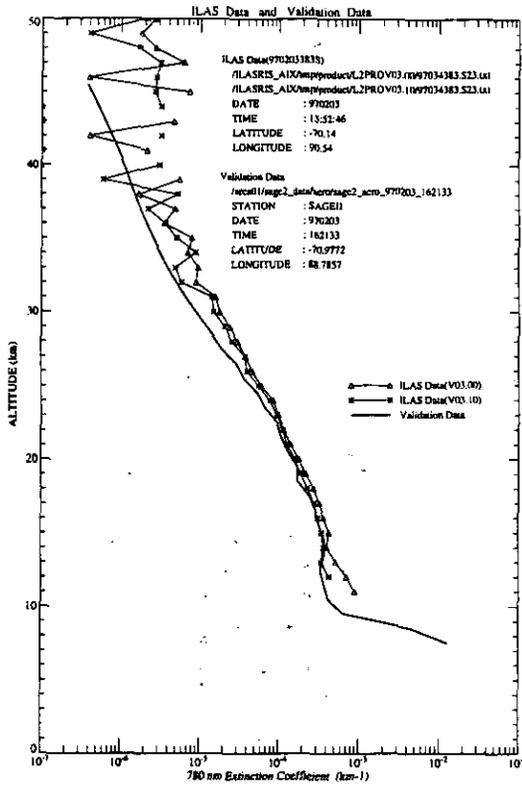


図 3.13(3) ILAS、SAGE IIによる大気微量成分ガス濃度プロファイルの比較
(エアロゾル(780nm))

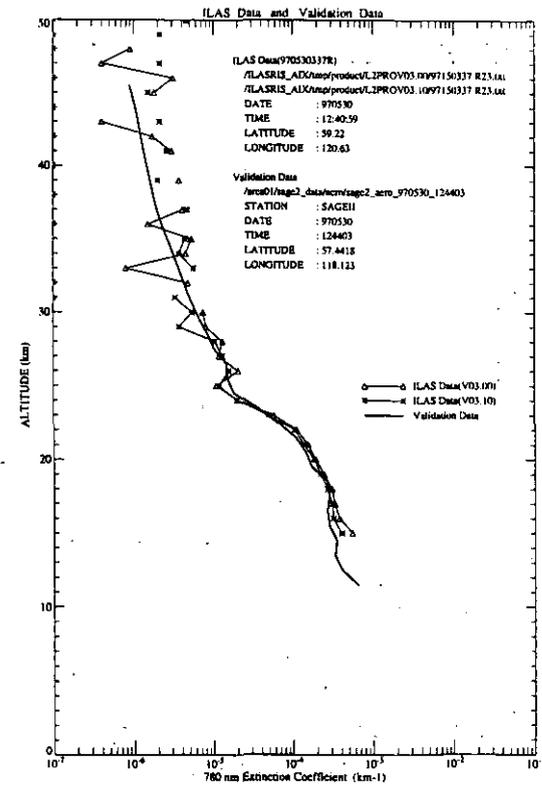
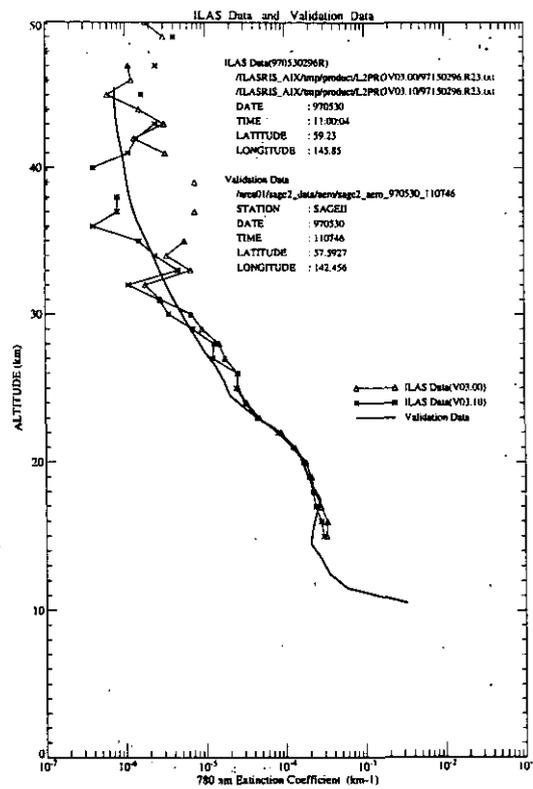
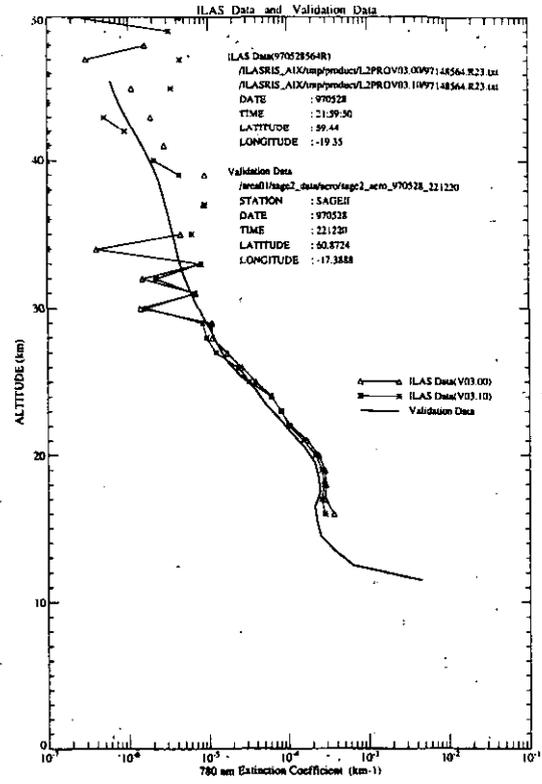
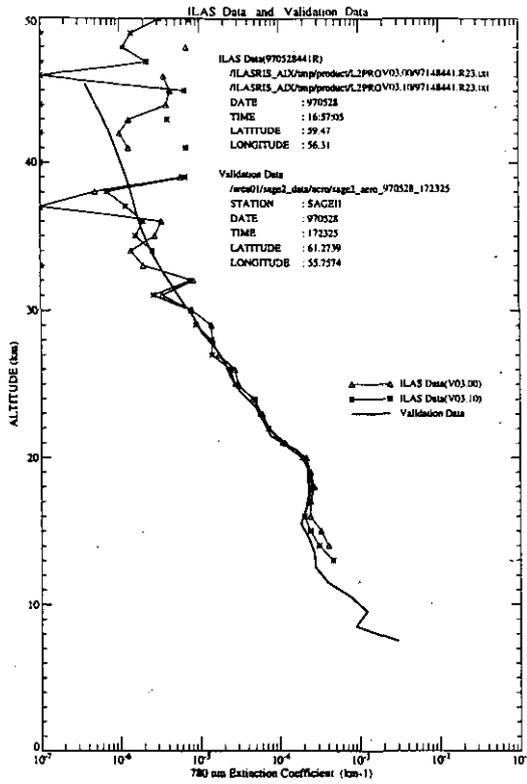


図 3.13(4) ILAS、SAGE IIによる大気微量成分ガス濃度プロファイルの比較
 (エアロゾル(780nm))

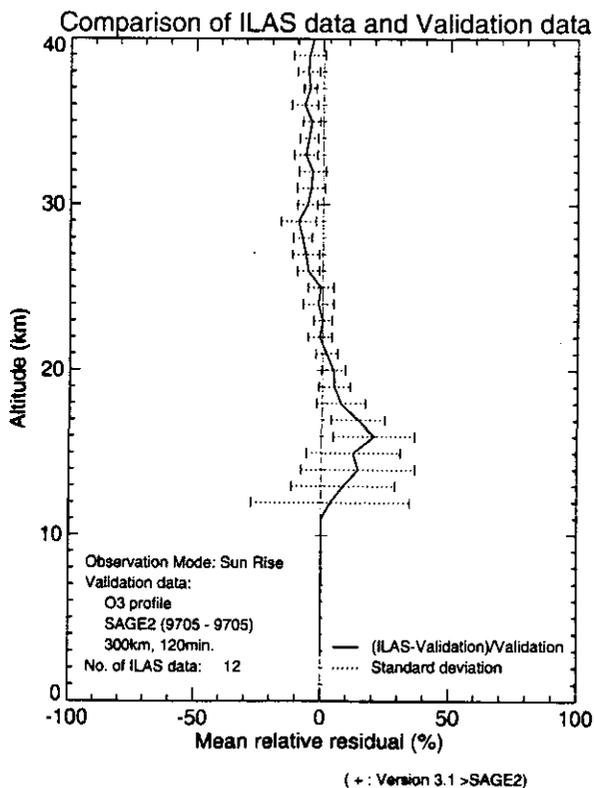
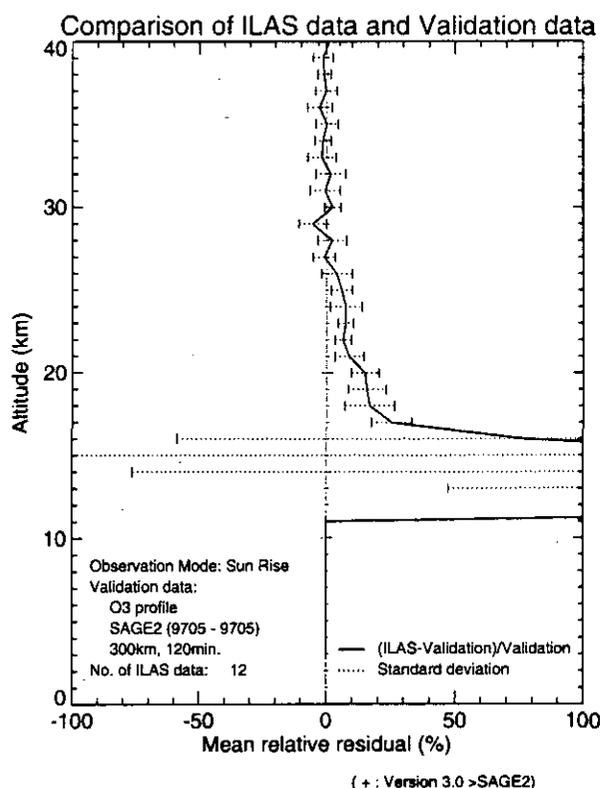
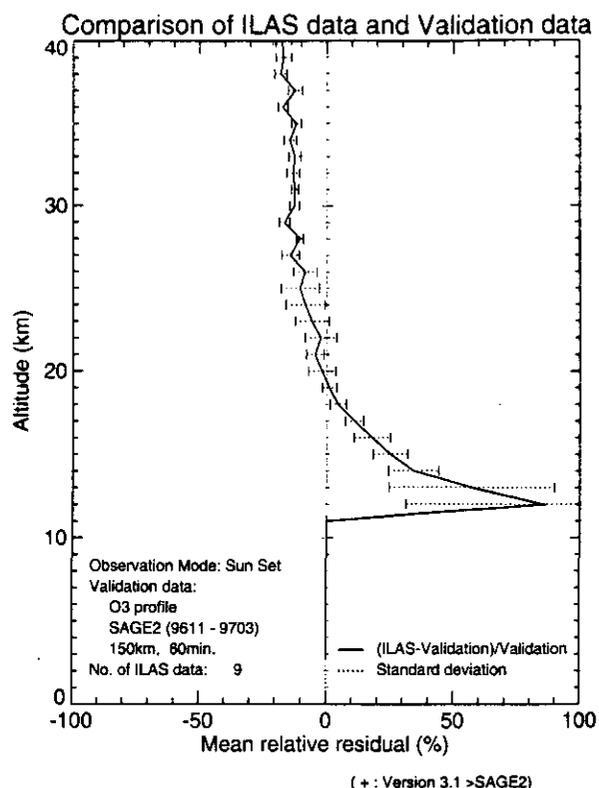
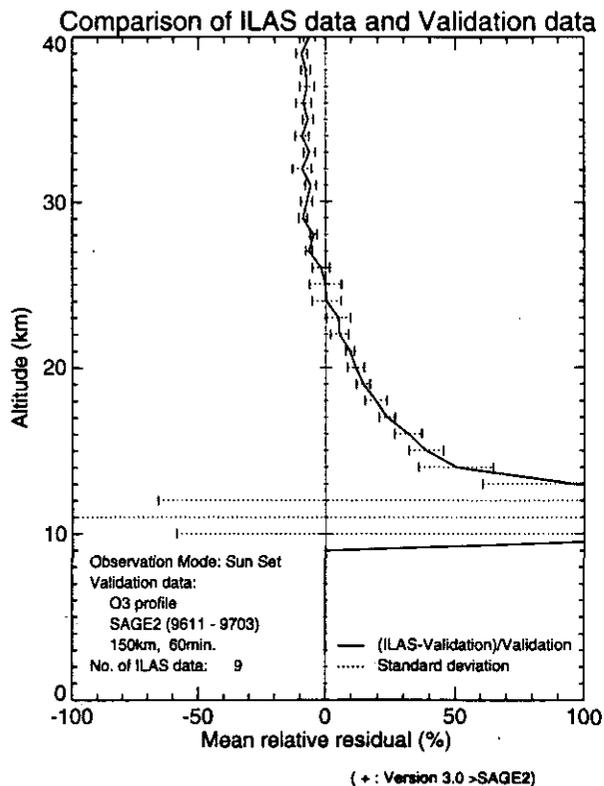


図 3.14(1) SAGE II に対する ILAS データの平均相対残差プロファイル (オゾン)

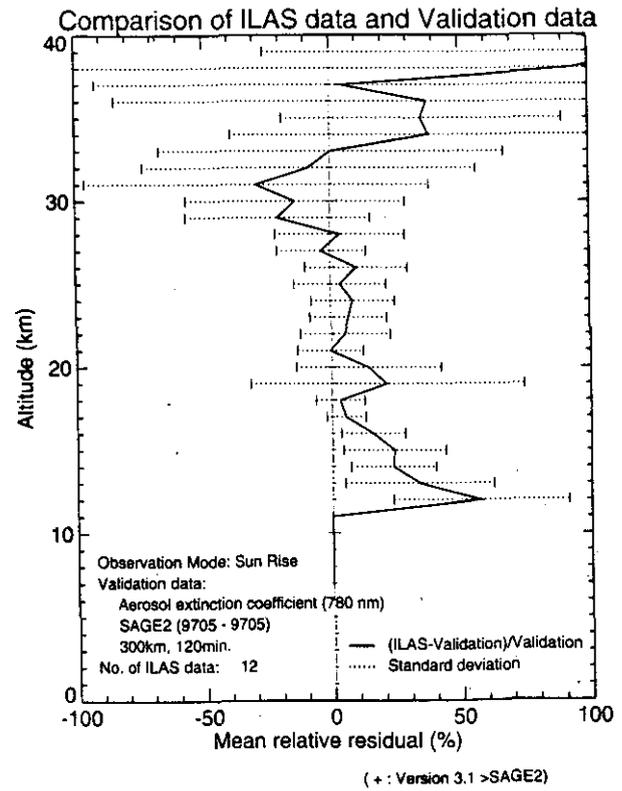
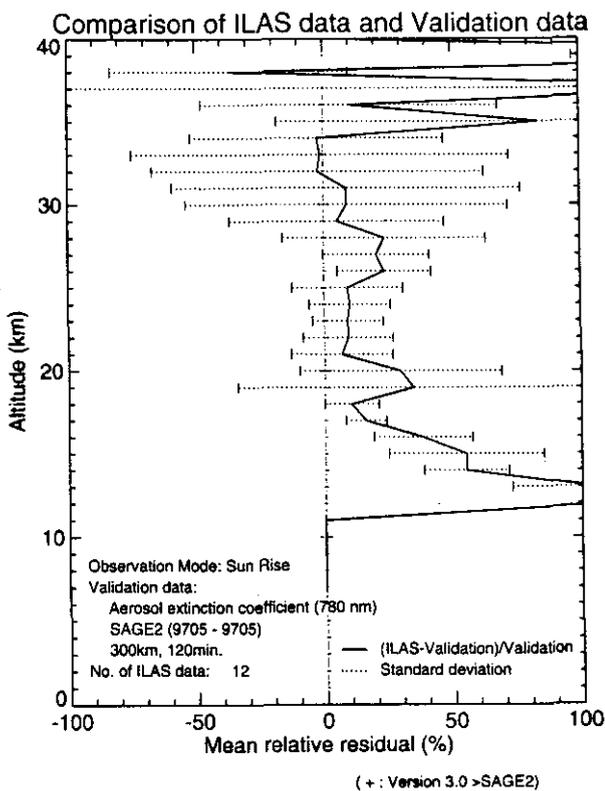
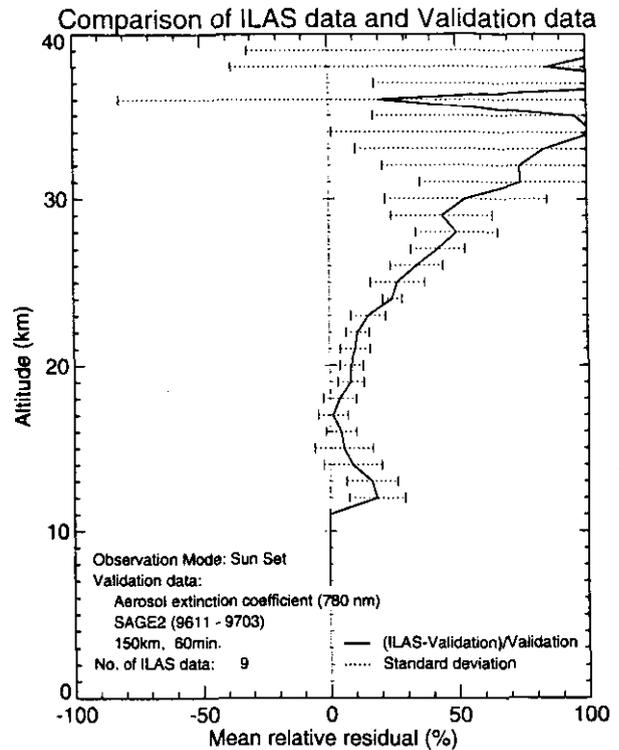
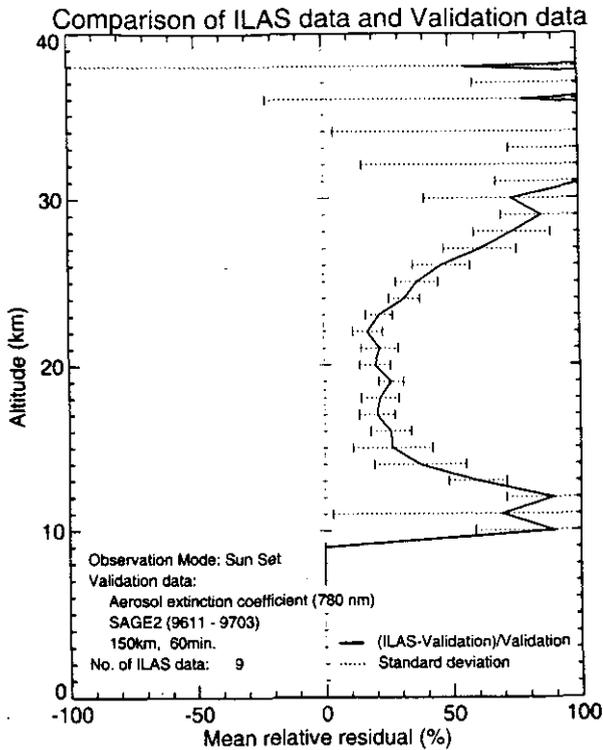


図 3.14(2) SAGE II に対する ILAS データの平均相対残差プロファイル
(エアロゾル(780nm))

表3.14 検証実験データとの比較事例

観測日時	P I	観測機器	時刻(時間差)	I L A S 観測 緯度・経度差	距離	図番号
【オゾン】						
02/14 13:30	Camy-Peyret	LPMA-1	13:08 (-0h22m)	+0.9 +18.1	748km	3.14(1)
02/26 12:50	Camy-Peyret	LPMA-2	14:26 (+1h36m)	+1.9 +10.5	469km	3.14(1)
02/10 09:11	Kondo	CLD-1	13:16 (+4h05m)	+0.5 +12.6	524km	3.14(1)
02/25 09:16	Kondo	CLD-2	14:53 (+5h37m)	+1.8 +2.8	227km	3.14(1)
01/29 12:42	Pommereau	SAOZ-1	13:39 (+0h57m)	-1.0 -2.7	157km	3.14(2)
02/24 14:30	Pommereau	SAOZ-2	14:30 (+0h50m)	+1.7 -5.0	279km	3.14(2)
02/28 14:42	Pommereau	SAOZ-3	15:12 (+0h30m)	+1.9 +1.0	219km	3.14(2)
03/18 15:42	Pommereau	SAOZ-5	17:08 (+1h26m)	+1.9 -9.3	426km	3.14(2)
02/26 18:58	Renard	AMON	14:26 (-4h32m)	+1.8 +10.5	469km	3.14(3)
01/30 21:56*	Gernandt	Ozonesonde	22:44 (+0h48m)	+1.5 -20.1	202km	3.14(3)
【硝酸】						
02/10 09:11	Kondo	CLD-1	13:16 (+4h05m)	+0.5 +12.6	524km	3.14(4)
02/25 09:16	Kondo	CLD-2	14:53 (+5h37m)	+1.8 +2.8	227km	3.14(4)
03/24 17:30	Oelhaf	MIPAS-2	16:06 (-1h24m)	+1.5 +12.1	518km	3.14(4)
【エアロゾル消散係数(780nm)】						
02/26 18:58	Renard	AMON	14:26 (-4h32m)	+1.8 +10.5	469km	3.14(5)
02/09 07:30	Brogniez	RADIBAL	13:43 (-6h13m)	+0.4 +5.0	211km	3.14(5)
01/19 15:45**	Deshler	Optical counter	13:08 (-2h37m)	-2.2 -1.2	431km	3.14(5)
02/10 09:13	Deshler	Optical counter	13:16 (+4h03m)	+0.5 +12.6	524km	3.14(5)
02/11 09:25	Deshler	Optical counter	14:30 (+5h05m)	+0.6 -4.9	213km	3.14(6)
02/23 19:49	Deshler	Optical counter	15:47 (-4h02m)	+1.7 -12.8	549km	3.14(6)
02/25 09:18	Deshler	Optical counter	14:53 (+5h35m)	+1.8 +2.8	227km	3.14(6)
【二酸化窒素】						
02/14 13:30	Camy-Peyret	LPMA-1	13:08 (-0h22m)	+0.9 +18.1	748km	3.14(7)
02/26 12:50	Camy-Peyret	LPMA-2	14:26 (+1h36m)	+1.9 +10.5	469km	3.14(7)
03/24 17:30	Oelhaf	MIPAS-2	16:06 (-1h24m)	+1.5 +12.1	518km	3.14(7)
02/26 18:58	Renard	AMON	14:26 (-4h32m)	+1.8 +10.5	469km	3.14(7)
01/29 12:42	Pommereau	SAOZ-1	13:39 (+0h57m)	-1.0 -2.7	157km	3.14(8)
02/24 14:30	Pommereau	SAOZ-2	14:30 (+0h50m)	+1.7 -5.0	279km	3.14(8)
02/28 14:42	Pommereau	SAOZ-3	15:12 (+0h30m)	+1.9 +1.0	219km	3.14(8)
03/18 15:42	Pommereau	SAOZ-5	17:08 (+1h26m)	+1.9 -9.3	426km	3.14(8)
【一酸化二窒素】						
02/14 13:30	Camy-Peyret	LPMA-1	13:08 (-0h22m)	+0.9 +18.1	748km	3.14(9)
02/26 12:50	Camy-Peyret	LPMA-2	14:26 (+1h36m)	+1.9 +10.5	469km	3.14(9)
02/22 09:03	Aoki	SAKURA-1	14:33 (+5h30m)	+1.6 +4.5	255km	3.14(9)
03/18 07:26	Aoki	SAKURA-2	17:08 (+9h42m)	+1.9 -9.3	426km	3.14(9)
02/10 09:11	Engel	ASTRID	13:16 (+4h05m)	+0.5 +12.6	524km	3.14(10)
02/25 09:16	Engel	ASTRID-2	14:53 (+5h37m)	+1.8 +2.8	227km	3.14(10)
02/11 09:25	Engel	BONBON	14:30 (+5h05m)	+0.6 -4.9	213km	3.14(10)
02/21 09:25	Engel	BONBON	14:30 (+5h05m)	+0.6 -4.9	213km	3.14(10)
03/24 17:30	Oelhaf	MIPAS-2	16:06 (-1h24m)	+1.5 +12.1	518km	3.14(10)
【メタン】						
02/14 13:30	Camy-Peyret	LPMA-1	13:08 (-0h22m)	+0.9 +18.1	748km	3.14(11)
02/26 12:50	Camy-Peyret	LPMA-2	14:26 (+1h36m)	+1.9 +10.5	469km	3.14(11)
02/22 09:03	Aoki	SAKURA-1	14:33 (+5h30m)	+1.6 +4.5	255km	3.14(11)
03/18 07:26	Aoki	SAKURA-2	17:08 (+9h42m)	+1.9 -9.3	426km	3.14(11)
02/11 09:25	Engel	BONBON	14:30 (+5h05m)	+0.6 -4.9	213km	3.14(12)
03/24 17:30	Oelhaf	MIPAS-2	16:06 (-1h24m)	+1.5 +12.1	518km	3.14(12)
【水蒸気】						
03/24 17:30	Oelhaf	MIPAS-2	16:06 (-1h24m)	+1.5 +12.1	518km	3.14(13)
02/14 19:40	Ovarlez	ELHYSA	13:08 (-6h32m)	+0.9 +17.1	748km	3.14(13)
02/11 09:25	Schiller	FISH	14:30 (+5h05m)	+0.6 -4.9	213km	3.14(13)
02/14 13:30	Camy-Peyret	LPMA-1	13:08 (-0h22m)	+0.9 +18.1	748km	3.14(14)
02/26 12:50	Camy-Peyret	LPMA-2	14:26 (+1h36m)	+1.9 +10.5	469km	3.14(14)
【フロン11】						
02/10 09:11	Engel	ASTRID	13:16 (+4h05m)	+0.5 +12.6	524km	3.14(15)
02/25 09:16	Engel	ASTRID-2	14:53 (+5h37m)	+1.8 +2.8	227km	3.14(15)
02/11 09:25	Engel	BONBON	14:30 (+5h05m)	+0.6 -4.9	213km	3.14(15)
02/22 09:03	Aoki	SAKURA-1	14:33 (+5h30m)	+1.6 +4.5	255km	3.14(16)
03/18 07:26	Aoki	SAKURA-2	17:08 (+9h42m)	+1.9 -9.3	426km	3.14(16)
【フロン12】						
02/10 09:11	Engel	ASTRID	13:16 (+4h05m)	+0.5 +12.6	524km	3.14(17)
02/25 09:16	Engel	ASTRID-2	14:53 (+5h37m)	+1.8 +2.8	227km	3.14(17)
02/11 09:25	Engel	BONBON	14:30 (+5h05m)	+0.6 -4.9	213km	3.14(17)
02/22 09:03	Aoki	SAKURA-1	14:33 (+5h30m)	+1.6 +4.5	255km	3.14(18)
03/18 07:26	Aoki	SAKURA-2	17:08 (+9h42m)	+1.9 -9.3	426km	3.14(18)

* Neumayer(70.6S, 8.4S)における観測。
** Andoya(69.3N, 16.0E)における観測。

I L A Sとの比較を行ったコア検証実験で用いられた観測機器の主な特徴は以下の通りである。

Optical counter

ワイオミング大学の気球搭載型エアロゾルカウンター。チャンバーを通過する個々の粒子による散乱光を測定して光学的に粒子をカウントする。凝結核の濃度も測定できる。粒径毎の濃度から粒径分布が推測できる。

E L H Y S A : Balloon borne hygrometer and aerosol counter

霜点湿度計とレーザーダイオードエアロゾルカウンター。湿度計は冷却した鏡面につく霜を光学的に検知することにより湿度を求める。エアロゾルカウンターは、レーザーを照射されている検知器の中を粒子が通過するときの前方散乱光の強度を測定してエアロゾル濃度を求める。粒径の範囲は、 $0.3\sim 3\ \mu\text{m}$ 、測定精度は粒径の決め方にもよるが、 $10^3\text{個}/\text{cm}^3$ のときは80%、 $1\text{個}/\text{cm}^3$ のときは20%である。

R A D I B A L : Photopolarimeter

偏光光度計。気球の上昇・下降時に、いろいろな散乱角での大気による散乱光の放射輝度と偏光比を測定する。 1650nm と 850nm の測定ダイアグラムからエアロゾルの屈折指数と粒径分布が求まる。

F I S H : Fast In-situ Stratospheric Hygrometer

高速応答型成層圏湿度計。ライマン-アルファ蛍光を利用した湿度計で、平均時間で 0.2ppmv の水蒸気量の変化を感知できる。

A M O N : Stellar occultation method (UV-visible spectrometer)

恒星（シリウス）を光源とした掩蔽法を利用する、紫外-可視分光計。反転法によって大気微量成分の鉛直プロファイルに必要な情報が抽出される。

S A O Z : UV-visible spectrometer using solar occultation

気球搭載型のダイオードアレイ分光計。分光分解能は 0.8nm 。太陽掩蔽法を採用しており、紫外域・可視域（ $290\sim 630\text{nm}$ ）を対象とする。

C L D : Chemiluminescence Detector

蛍光放射検出器。化学反応によって生じる化学蛍光（Chemiluminescence）の放射強度が、一酸化窒素の濃度に比例することを利用して濃度を測定する。検証実験で使用したのは気球搭載型。

L P M A : Limb Profile Monitor of the Atmosphere

気球搭載型赤外分光計（F T I R）で、分光計としてマイケルソン型干渉計を使用している。観測原理としては太陽掩蔽法を採用しており、太陽を光源として地球大気の赤外スペクトルを測定する。

M I P A S - B : Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding - Balloon experiment

センサーは気球搭載型低温フーリエ変換型赤外分光計（F T I R）。分光にはマイケルソン型干渉計が用いられている。周縁放射観測によって、大気微量成分の鉛直分布を得る。

SAKURA : Balloon-borne cryogenic sampler

極低温サンプラー。大気を直接採取する機器。気球を所定の高度まで浮揚させて試料を採取した後、ガスクロマトグラフで一酸化二窒素、メタン、フロン11、フロン12の濃度を求める。

BONBON : Whole air sampler (cryosampler)

低温サンプラー。1回のフライトで15~16の試料を採取し、ガスクロマトグラフで分析する。一酸化二窒素、メタン、フロン11、フロン12を含め、何種類もの微量ガスを分析することができる。

ASTRID : Whole air sampler (grabsampler)

Grabサンプラー。限られた種類のガス、たとえば一酸化二窒素、フロン11、フロン12などしか分析できない。

第4章 R I Sプロジェクト

4.1 観測状況

R I Sの観測は他のセンサーと異なり、地上局からレーザーを発射して行う。このため、観測は衛星パスと天候に依存する。打ち上げ後、まず、可視のレーザー（Nd：YAGレーザーの第二高調波、波長532nm）を用いて、軌道上のR I Sの光学特性の確認を行った。これによって、可視領域の反射効率と能動追尾手法を確認した後、赤外レーザー（炭酸ガスレーザー、波長10 μm）の反射の測定を行い、赤外の反射強度を評価した。その後、炭酸ガスレーザーをオゾン測定用波長に同調してオゾンの観測試験を行った。

初期チェックアウトから、運用停止までの全期間に試験および観測を行った衛星パスの総数は52である。そのうち、可視の反射効率の評価あるいは追尾系の試験に用いたパスが19、炭酸ガスレーザーとYAGレーザーの両方を送信したパスが33であった。このうちの13例で炭酸ガスレーザーの反射を記録した。観測回数とその内容を表4.1にまとめて掲げる。

表 4.1 観測状況の一覧

追尾パス総数		52
YAGレーザー（532nmのみを送信）		19
炭酸ガスレーザー（10 μm）とYAGの両方を送信		33
	炭酸ガスレーザー発振線	パス数
試験観測	10P24 (C12) *	16
	10P24 (C12),10P26 (C12)	1
オゾン観測	9P24 (C12),10R24 (C13)	16

*レーザー発振に伴うCO₂の遷移の下準位の回転状態を表す。
9または10は、9 μmバンド、10 μmバンドを表す。
(C12またはC13)はCO₂の同位体¹²CO₂または¹³CO₂を表す。

可視レーザーによる反射効率の評価ではR I Sからの反射光を高感度のICCDカメラで撮像し、星の明るさと比較して絶対値を求めた。この結果、0.3Wの可視レーザーを送信する場合の反射光の明るさは星の等級で2～3に相当し、設計値と良く一致することが確認された。

赤外領域の反射光強度は地上局から約4 km離れた鉄塔に設置した口径約3 cmのリフレクターからの反射光強度と比較し、光学系の効率、検出系の感度をスケールリングすることによって絶対値を評価した。この結果、赤外領域においても良い一致が得られた。

オゾンの測定は炭酸ガスレーザーをオゾンの吸収線のある9P24(C12)と参照波長10R24(C13)に同調して行った。これによって、オゾンの吸収スペクトルの測定に成功し、カラム濃度を求めることができた。しかし、スペクトルの測定誤差につい

ては当初の予想よりも大きく、この原因究明のための解析を行い、誤差の主要因が吸収測定用と参照用の2つのレーザービームのパターンの僅かな違いにあることをつきとめた。これに基づいて送信光学系に空間フィルターを追加する改良を加えた。これによって、誤差が大幅に改善されることを試験観測によって確認した。

6月30日のADEOSの運用停止は全く予期しないもので、また、観測システムの改良を優先して実施していたため、オゾン以外の測定対象については測定を実施することができなかった。

4.2 観測結果

4.2.1 オゾンの測定

オゾンのスペクトル測定の結果の例を図4.1に示す。横軸はレーザーのショットの番号、縦軸は2波長(13CO₂ 同位体の発振線 10R(24)と12CO₂ の9P(24))のレーザーパルスに対する規格化した信号(受信強度/送信強度)の比の対数である。図中に見られる吸収は9P24(C12)がオゾンによって受けた吸収である。観測では、2波長のレーザーパルスを200マイクロ秒の時間間隔で送信し、それぞれの反射パルスを受信し、送信パルス波形、受信パルス波形の4つの波形を記録した。これを毎秒50回繰り返す。2つのレーザーの波長は単一波長で発振線のゲインの中心で安定化されている。スペクトルの測定では反射光の波長が衛星の進行に伴うドップラーシフトによって、衛星の位置に依存して変化することを利用した。

反射光のドップラーシフトは近似的に、 $\Delta f = (2vf/c)\cos\theta$ で表される。ここに、 v は衛星の速度、 f はレーザーの周波数、 θ は地上局から見た衛星の仰角である。

ADEOSの速度は毎秒7 kmなので、ドップラーシフトの大きさは仰角に依存して、0~1.3 GHz (0~0.04 cm⁻¹)で変化する。図4.2に測定に用いた波長域の大気スペクトルとレーザーの波長、ドップラーシフトの範囲を示す。ドップラーシフトを利用した測定では反射レーザー光の波長と光路長の両方が同時に変化するため、観測されるスペクトルデータは複雑である。

図4.3はそれぞれのレーザーの信号光強度の計算機シミュレーション結果である。実際の測定では、それぞれのレーザーは大気の揺らぎを受けて変化するが、2つのレーザーの信号の比では揺らぎは打ち消され、測定対象の吸収スペクトルを抽出することができる。観測されたスペクトルの形状はシミュレーションとほぼ一致した。シミュレーション結果を最小2乗フィッティングすることによってカラム濃度を求めた。

4.2.2 レーザーヘテロダイン分光計による検証実験

RISによるオゾン測定を検証するために、東北大学との協力によりヘテロダイン分光計による検証観測を行った。検証観測は、1996年12月23日の午前のADEOSの通過に合わせて通信総合研究所において行った。レーザーヘテロダイン分光計では太陽光を光源として10 μm帯の吸収線(RISで用いるのと異なる吸収線)のスペクトルを測定し、高度分布、カラム濃度を求める。参考のために、

ヘテロダイン分光計で得られたカラム濃度、RISで得られたカラム濃度、また、ADEOS搭載TOMSによるカラム濃度を表4.2に示す。

表4.2 オゾンのカラム濃度の測定結果の比較

RIS	$8.61 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$
レーザーヘテロダイン分光計	$8.29 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$
TOMS	$8.63 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$

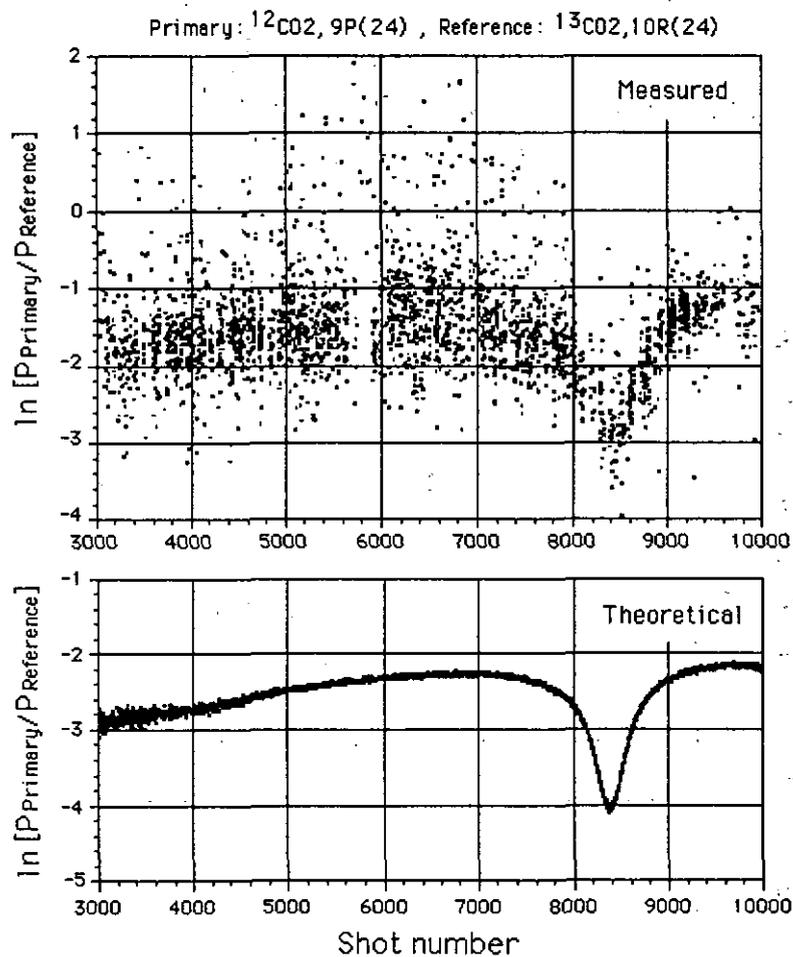


図4.1 オゾンのスペクトル測定結果の例

横軸：レーザーのショット番号

縦軸：2つの炭酸ガス同位体の発振線の波長のレーザーパルスに対する規格化した信号（受信強度/送信強度）の比の対数

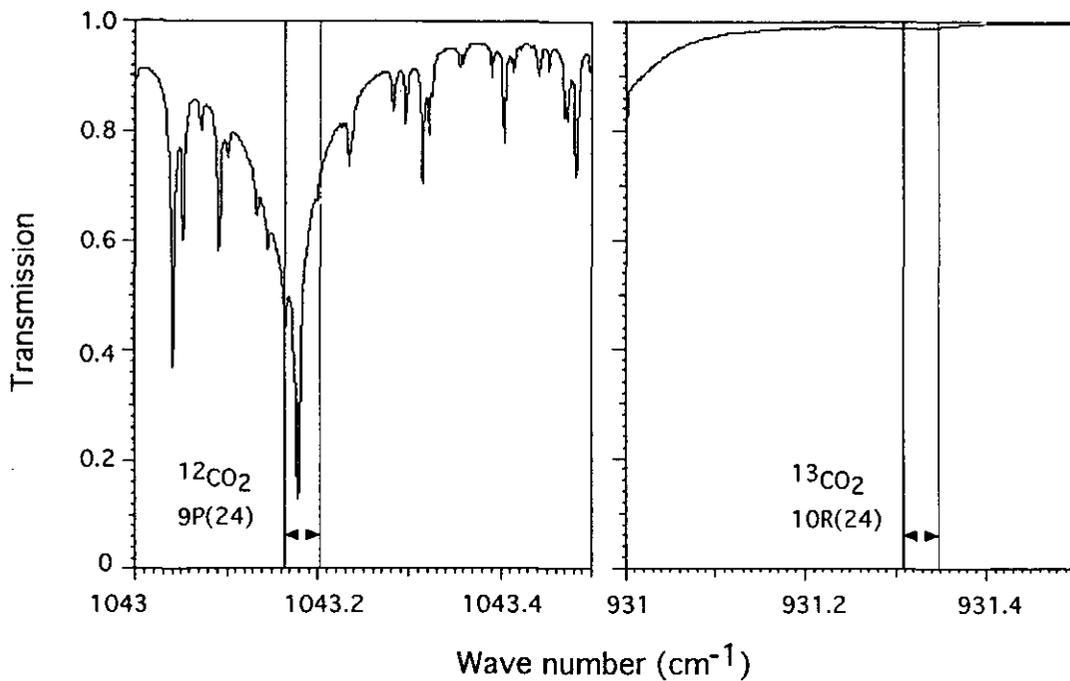


図 4.2 測定に用いた波長域の大気のスเปクトル
レーザーの波長、ドップラーシフトの範囲を矢印で示す。

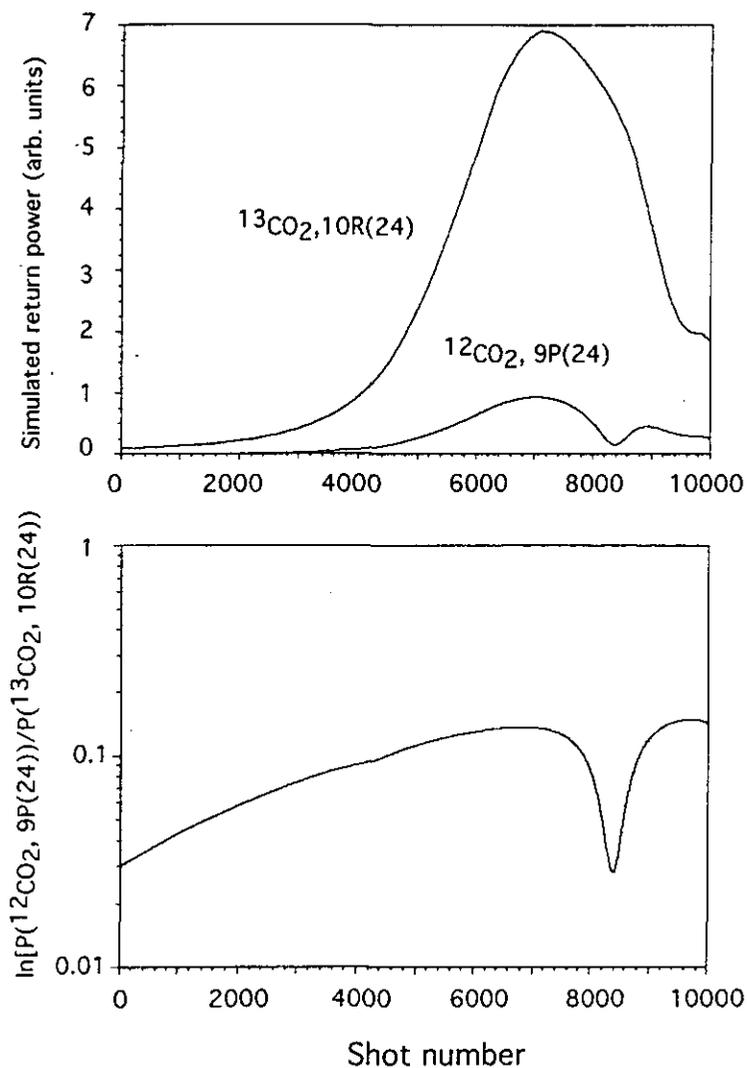


図 4.3 R I S からの信号光強度の計算機シミュレーション結果

4.2.3 誤差の解析と送信系の改良

R I Sによるスペクトル測定の誤差が予想よりも大きい問題を調べるために、測定データを用いて誤差要因の解析を行った。測定誤差要因として考えられるものは、検出器雑音、データ取得におけるAD変換器の量子化誤差、レーザービームパタンの変化、大気揺らぎなどがある。これらの誤差の大きさは受信信号強度に対して異なる依存性を持つ。検出器雑音と量子化誤差はその大きさが受信信号強度に依存しないが、ビームパタンの変化、大気揺らぎは受信信号強度に比例する。この性質を利用してそれぞれの誤差成分の大きさを評価した。

図 4.4 の(a)はスペクトルにおける誤差の大きさを、受信信号強度の逆数の2乗に対してプロットしたもので、これに一次式をフィッティングしたときの切片が信号強度に比例する誤差を、傾きが信号強度に依存しない誤差を表す。図 4.4 の(a)では、信号強度が十分に大きい場合も誤差が大きく、すなわち信号強度に比例する誤差が支配的であることがわかる。

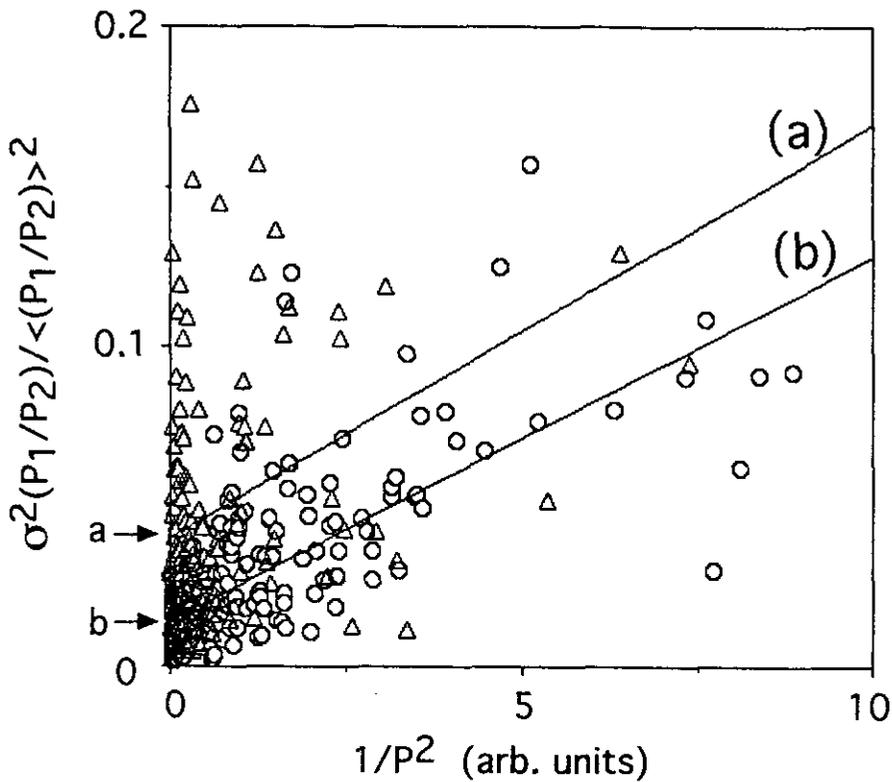


図 4.4 スペクトル測定における誤差の受信信号強度に対する依存性
(a) は空間フィルターを用いない場合、(b) は空間フィルター追加後。

信号強度に比例する誤差のうち、大気揺らぎは、ビームパターンが2つのレーザーで同じであれば受信強度を割り算することによって打ち消されるはずである。このことから誤差の主要因は2台のレーザーのビームパターンの違いによるものと推定された。

これを改良するためにレーザー送信系の出力部の2つのビームを結合した後に、空間フィルターを追加し、追尾光学系に送信光を導入する前にビームを整形した。空間フィルターは図 4.5 に示すように2つのレンズとピンホール、それに絞りから構成される。

空間フィルターを追加した後にR I Sの反射を用いた試験観測における誤差を図 4.4 の(b)に示す。信号強度に比例する誤差は約1/5に低減された。(図の傾き、すなわち信号強度に依存しない誤差の方は、横軸が絶対値ではないのでこの図からは評価できない。) この結果、受信信号の比のSN比として約10が得られた。

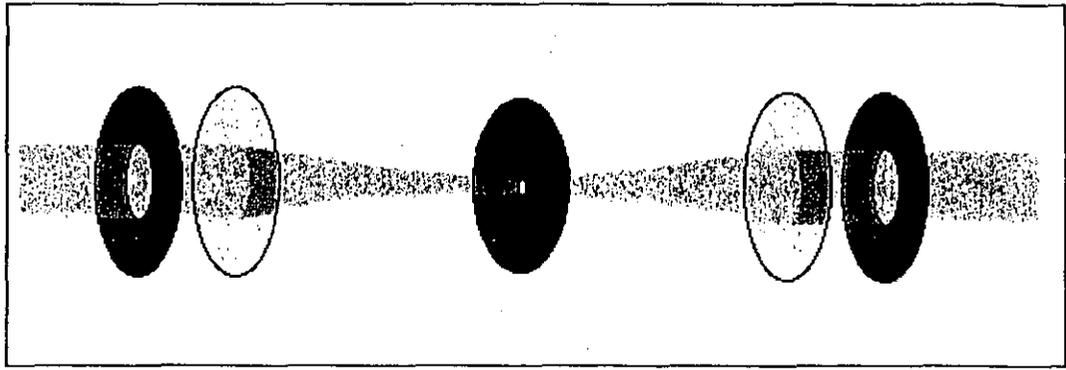
誤差が改善された結果、それまで雑音に埋もれていた別の誤差要因も明らかになった。割り算を取る前の1波長の受信信号の変化に、追尾の誤差と考えられる1ヘルツ程度の周期の変動が顕著に見られるようになった。雑音の周波数解析の結果を図 4.6 に示す。受信パルスに欠測があるためFFTではなく、Lomb法を用いた。図 4.6 (上) のaとbは空間フィルターを入れる前後の1波長の受信信号のパワースペクトル、図 4.6 (下) のaとbは空間フィルターを入れる前後の割り算後の信号のパワースペクトルである。割り算後のaとbを比較すると空間フィルターを入れた場合、追尾誤差が打ち消されているのに対して、空間フィルターを入れない場合は追尾誤差が割り算後も残っている。このことから、ビームパターンの違いが問題であったことがわかる。図 4.6 のcは、追尾系に改良を行った後のパワースペクトルで、割り算を取る前も追尾誤差が見られなくなった。

また、いずれの場合も周波数の高い反射強度の変化は見られず、R I Sが単一素子で素子間の干渉がないことの特長が表れている。これをさらに明確に示すために反射光強度の変化の統計的性質の解析を通信総合研究所が行っている。

4.2.4 データ処理手法の改良

R I Sで得られた観測データは4.1に報告した通りであるが、データ解析の手法については現在も再度検討を行っている。問題点は、受信信号から強度を求める方法、2波長のレーザーに対するR I Sの反射率の依存性の問題である。

データの解析では4つの波形データから送信光、受信光のそれぞれのエネルギーを求める。次に、受信光強度を送信光強度で割って、2波長における規格化した信号強度とする。さらに、2波長の信号を割り算して吸収スペクトル信号を求める。データ処理においては、記録された受信信号波形からパルスエネルギーを正確に求めることが重要である。受信信号強度は衛星の位置に依存して大きく変化する。また、大気揺らぎ等によって1ショット毎に変化する。観測に用いたデータ収集装置では8bitのAD変換器を用いているため、信号の弱い場合には量子化誤差が問題となる。また、信号の強い場合は飽和する場合もある。また、受信信号の記録されるタイミングも衛星の位置の変化に伴って変化する。当初は受信波形を積分、あ



Spatial Filter

図 4.5 空間フィルターの模式図

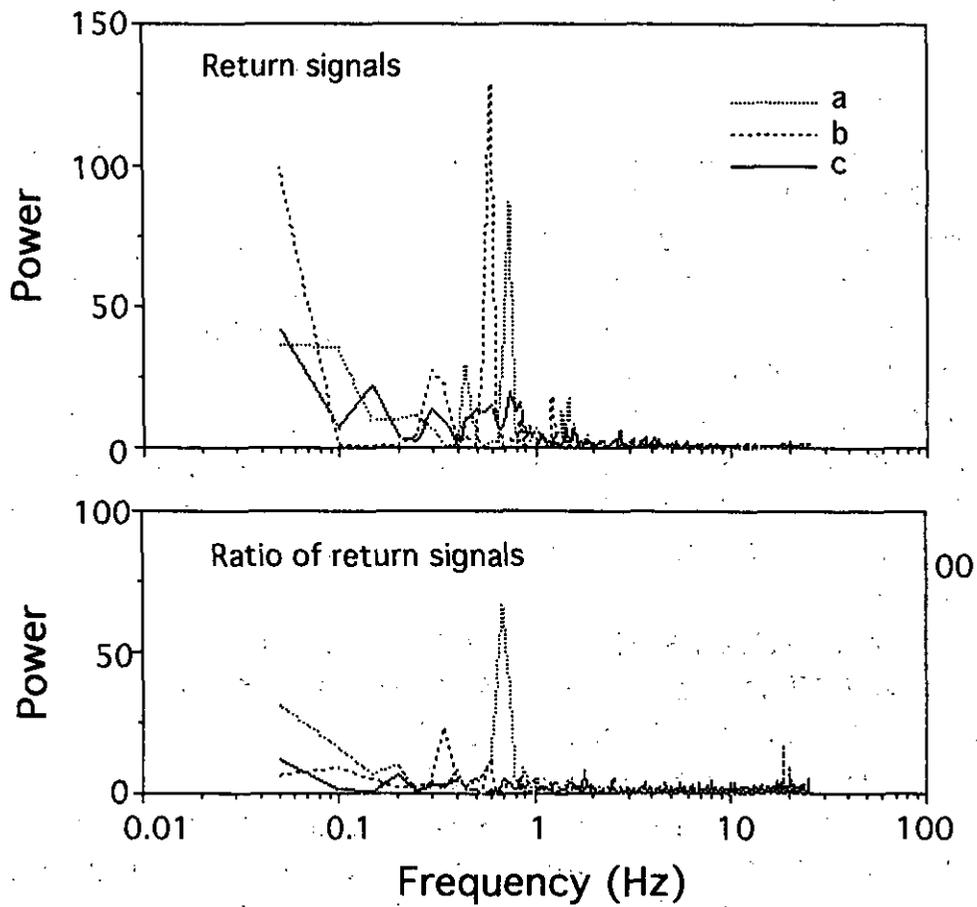


図 4.6 ショット毎の受信信号強度の変動の周波数解析の結果
 aは改良前、bは空間フィルター追加後、cはさらに追尾システムの改良後。

るいはガウス関数をフィッティングして強度を求めていた。

改良したアルゴリズムでは、受信パルスの波形が送信パルス波形と相似であると仮定して、受信パルスの受信されると推定される時間の前後で最も相関の高くなるように送信パルス波形をフィッティングしてその強度を求める。飽和している信号については飽和していない部分のみで波形をフィッティングした。さらに、極端に大きく飽和した信号、極端に小さい信号のデータを除去してデータ処理を行うようにデータ処理を改良した。

また、測定に用いた2波長におけるR I Sの反射率の変化が、R I Sの有効視野の端近くでは異なることの影響についても再検討を行っている。

4.2.5 R I Sのレーザー測距によるADEOSの軌道決定

レーザー測距によるADEOSの軌道決定、軌道予測に関する研究が宇宙開発事業団と通信総合研究所で行われた。レーザー測距データを得るため、世界の14の衛星レーザー測距局の協力を得た。この結果、従来の電波によるRAR R法に比べて一桁高い精度で軌道予測が行えることが実証された。

4.3 今後の課題

R I Sで得られた成果を以下にまとめる。

- (1) R I Sの反射光と恒星の明るさとの比較により、R I Sの反射率が設計値とよく一致することが確認された。これによって、球面を含むリトロリフレクターの設計が実証された。
- (2) R I Sの反射光を画像として捉えて能動的に追尾する技術を確認した。昼夜ともに追尾精度約30マイクロラジアンが得られた。
- (3) 世界の14のレーザー測距局でR I Sを用いたADEOSのレーザー測距が行われ、NASA/TCCにおいてレーザー測距データを用いた研究ベースの軌道予測が行われた。この結果、レーザー測距により従来の軌道決定精度に比べて一桁高い精度が得られることが示された。
- (4) 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に成功した。このスペクトルよりオゾンのカラム量が得られた。R I Sによる測定結果はヘテロダイン分光計を用いた検証実験の結果とよく一致した。
- (5) R I S測定の誤差の解析を行い、2台の炭酸ガスレーザーのビームパタンの違いなどの誤差要因を特定し、送信光学系の追加改良を行った。1ショットの測定について信号強度の比のS/N比10が達成された。
- (6) JRA (Joint Research Announcement)の課題として、NASA/GSFCにより2波長レーザー測距の実験が行われ、355nmと532nmで良好な反射波形が得られた。実験期間が短くレーザー測距のための大気モデルの改良への利用は困難であると思われるが、単一素子であるR I Sの利点を実証することができた。

今後、R I Sで得られたデータに含まれるスペクトルの情報についてさらに検討するとともに、タワーに設置したリトロリフレクターを用いた地上実験をH 10年度も継続し、第二高調波、第三高調波帯の利用を含めR I Sを用いて行う計画であった測定を補完する実験を可能な限り行う計画である。

大気微量分子を実大気中で遠隔操作する手法のなかで、レーザー長光路吸収法は、原理的に感度のもっとも高いものである。この手法は通常の衛星搭載センサーとは異なり、空間的に連続したグローバルな情報が得られる訳ではなく、むしろ地上観測の概念の延長にある観測手法である。しかし、この手法は他の手法で得られない高い感度が期待される点特徴がある。特に、地球温暖化や酸性雨などの対流圏の大気化学に関連する多くの微量分子については受動的な方式は必ずしも有効ではなく、地上衛星間レーザー長光路吸収分光法が期待される。

地上衛星間レーザー長光路吸収分光法には、A D E O S搭載R I Sのように、低軌道衛星に搭載したリフレクターを用いる方法と、衛星に検出器システムを搭載する方法がある。前者は搭載機器が簡単である利点があるが、反射光を地上で受信するための大口径の追尾望遠鏡が必要となる。これに対して、衛星に検出器を搭載する方法では、レーザー光を衛星上で受信し、データを電波で地上に伝送するため、地上局には口径の小さい送信システムのみで良く、静止軌道衛星を利用すれば衛星の追尾も簡単になる。また、レーザーパワーも小さくできる。これによって、地上のシステムは大幅に小型化される。将来、多数の地上レーザー局と静止軌道衛星から構成されたレーザー長光路吸収分光システムが、対流圏の定常的な大気微量分子監視システムとして重要なものとなる可能性を持っている。今後、R I Sで得た技術的データに基づいてこれらの手法の有効性を検討し具体的な提案をまとめたいと考えている。

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) 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
- 4) 笹野泰弘・杉本伸夫編(1997)：平成8年度 ILAS・RIS プロジェクト報告，国立環境研究所資料 F-107-'97/NIES
- 5) Kanzawa, H. Ed.(1997):ILAS Correlative Measurements Plan,National Institute for Environmental Studies,F-105-'97/NIES
- 6) 気象庁(1996)：南極オゾンホールに関する速報1996-7
- 7) 気象庁(1996)：南極オゾンホールに関する速報1996-8
- 8) 気象庁(1996)：南極オゾンホールに関する速報1996-9
- 9) 気象庁(1996)：南極オゾンホールに関する速報1996-10
- 10) 気象庁(1996)：南極オゾンホールに関する速報1996-11
- 11) 気象庁(1996)：南極オゾンホールに関する速報1996-12
- 12) 気象庁(1997)：南極オゾンホールに関する速報1997-1
- 13) 気象庁(1997)：南極オゾンホールに関する速報1997-2
- 14) 気象庁(1997)：南極オゾンホールに関する速報1997-3
- 15) 気象庁(1997)：南極オゾンホールに関する速報1997-4
- 16) 気象庁(1997)：南極オゾンホールに関する速報1997-5
- 17) 気象庁(1997)：南極オゾンホールに関する速報1997-6

- 1 8) 気象庁(1997) : 南極オゾンホールに関する速報 1 9 9 7 - 7
- 1 9) 気象庁(1997) : 南極オゾンホールに関する速報 1 9 9 7 - 8
- 2 0) 気象庁(1997) : 南極オゾンホールに関する速報 1 9 9 7 - 9
- 2 1) 気象庁(1997) : 南極オゾンホールに関する速報 1 9 9 7 - 1 0
- 2 2) 気象庁(1997) : 南極オゾンホールに関する速報 1 9 9 7 - 1 1
- 2 3) 気象庁(1997) : 南極オゾンホールに関する速報 1 9 9 7 - 1 2
- 2 4) 気象庁(1998) : オゾン層観測報告 : 1 9 9 7
- 2 5) Lait , L.R(1994) : An Alternative Form for Potential Vorticity. *J.Atmos.Sci.*,**51**,1754-1759

RESEARCH REPORT FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN
No. 140

国立環境研究所研究報告 第140号
(R-140-'98)

【平成10年 8月25日編集委員会受付】

【平成10年 9月28日編集委員会受理】

平成10年10月30日発行

発行 環境庁 国立環境研究所
〒305-0053 茨城県つくば市小野川16番2
電話 0298-50-2343(ダイヤルイン)

印刷 東日本印刷株式会社
茨城県つくば市上ノ室283-1

Published by the National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-0053 Japan
OCT 1998

本報告書は再生紙を使用しています。