

成層圏オゾン層変動のモニタリングと 機構解明プロジェクト

(終了報告)

Ozone Layer Research Project

平成13～17年度

FY 2001～2005

国立環境研究所特別研究報告

Report of Special Research from the National Institute for Environmental Studies, Japan

SR - 70 - 2006

成層圏オゾン層変動のモニタリングと 機構解明プロジェクト

(終了報告)

Ozone Layer Research Project

平成13～17年度

FY 2001～2005

独立行政法人 国立環境研究所
NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

重点特別研究プロジェクト「成層圏オゾン層変動のモニタリングと機構解明」
(期間 平成13～17年度)

プロジェクト責任者：今村隆史
プロジェクト幹事：今村隆史
報告書編集担当：今村隆史

序

本報告書は、平成13～17年度の5年間に実施された重点特別研究プロジェクト『成層圏オゾン層変動のモニタリングと機構解明』の研究成果を取りまとめたものです。

成層圏オゾン層破壊の問題は、現象の理論的予言 現象の発見 科学的知見とそのリスク評価に基づいた国際的な枠組みでの政策（規制）決定、と言ったシステムが初めて機能した地球環境問題です。国際的なオゾン層保護対策の実施は、対流圏では1990年代半ばからはオゾン層破壊物質（フロンなど）濃度の低下という形で、またオゾン層が存在する成層圏では1990年代後半から塩素濃度の低下という形で、その効果が表れ始めています。しかしながら、オゾンホールをはじめとしたオゾン層破壊現象が沈静化に向かい始めたことを明確に示す観測結果は得られていません。また、フロン・ハロンなどのハロゲン化合物以外の大気組成に目を向けると、例えば温室効果気体である二酸化炭素の増加などオゾンホール出現以前の大気組成とは既に大きく異なっている点についても注意を払う必要があります。フロンなどの濃度が低下ステージに入った現在でもオゾン層破壊は深刻化しているのか、温室効果気体などの大気組成の変化が今後のオゾン層の回復に影響を及ぼすのか、の疑問に答えることが求められています。

本プロジェクト実施期間中には、地球環境観測技術衛星「みどりII」に搭載されたオゾン層監視センサ「改良型大気周縁赤外分光計II型（ILAS-II）」による、南北両半球極域を中心とした成層圏オゾン層の観測が実施されました。また、オゾンレーザーレーダーやミリ波オゾン分光計による日本上空のオゾン層のモニタリングが継続されました。

本重点特別研究プロジェクトでは、オゾン層変動観測の実施と信頼性の高い観測データの国内外研究者への提供、オゾン層変動機構の解明のための科学的知見の蓄積、将来のオゾン層変動の予測とその検証、に貢献することを目的として研究が進められました。その結果、ILASおよびILAS-IIセンサによる観測データや地上リモートセンシング手法を用いたオゾン層モニタリングデータの信頼性の検証がなされ、検証済みデータとして国内外の研究者に提供されました。また、観測データを利用したオゾン層破壊機構の解明や成層圏化学モデルの構築と将来変動予測実験の実施など、個々の目標を達成する成果が得られています。研究成果がWMO/UNEPのオゾン科学アセスメントパネルの報告書に引用されるなど、成果の社会への還元が実りつつあります。

本重点特別研究プロジェクトは第一期中期計画期間（平成13～17年度）をもって終了いたしますが、成層圏オゾン層変動に関する研究は今後さらに発展させる必要があります。重点特別研究プロジェクトとして5年間にわたって行ってきた研究の成果を公表することで、各方面より今後の研究を展開するための貴重なご意見をいただけることを期待しています。

平成 18 年12月

独立行政法人 国立環境研究所
理事長 大塚 柳太郎

目 次

1 研究の目的と経緯	1
2 研究の成果	2
2.1 オゾン層の監視	2
2.1.1 ILASおよびILAS-IIの概要	2
2.1.2 衛星データ処理運用システムとデータ提供	3
2.1.3 検証解析	3
2.1.4 ILASおよびILAS-IIデータの新たな解析手法の開発	8
2.1.5 地上観測	10
2.2 極域でのオゾン層破壊	11
2.2.1 北半球極域でのオゾン層破壊	12
2.2.2 南極オゾンホール	17
2.2.3 極渦活動度の長期変動の解析	23
2.3 中緯度オゾンの変動	24
2.3.1 夏期の北半球中高緯度オゾン，亜酸化窒素の挙動	24
2.3.2 化学輸送モデルを用いた極渦崩壊後の N_2O の混合過程の研究	25
2.3.3 化学輸送モデルとILASデータを用いた北極夏季のオゾン変動	27
2.3.4 極域オゾン層破壊が中緯度オゾン量に及ぼす影響の評価	28
2.3.5 中緯度中間圏オゾンの変動観測	30
2.3.6 成層圏オゾン短期変動解析	31
2.4 オゾン層のモデリング	32
2.4.1 モデルの概要	32
2.4.2 CCSR/NIESナッジング化学輸送モデルの開発	33
2.4.3 化学輸送モデルによるオゾン変動解析	33
2.4.4 化学気候モデル	36
2.5 まとめ	40
2.5.1 オゾン層の監視	40
2.5.2 オゾン層破壊の機構解明	41
2.5.3 オゾン層のモデリングと将来変化の予測	41
2.6 おわりに	41
引用文献	42
[資 料]	
研究の組織と研究課題の構成	47
1 研究の組織	47
2 研究課題と担当者	47
研究成果発表一覧	48
1 誌上発表	48
2 口頭発表	64

1 研究の目的と経緯

成層圏オゾン層の保護対策として、モントリオール議定書などに基づいた有機塩素・臭素化合物（フロン・ハロン類など）の規制が既に行われている。その結果、成層圏においてもハロゲン濃度がピークに達し、緩やかな減少ステージに入ったことを示す観測事実が報告され始めた。この様にフロン・ハロン規制は大気中のハロゲン濃度を減少させることに順調に機能している。

一方で、フロン・ハロンなどのハロゲン化合物以外の大気組成がオゾンホール出現以前とは既に大きく異なっている点は注意が必要である。例えば、温室効果気体であるCO₂は、対流圏では1980年から2000年の間に約30ppmv程度（年平均0.4～0.5%程度）増加しており、成層圏でもそれに対応する増加が認められている。CO₂は成層圏においては長波を宇宙に向けて放射する冷却効果気体として働くため、CO₂の増大は成層圏の寒冷化をもたらす。CO₂の増加は極域などの一層の寒冷化をもたらし、極成層圏雲の増大、極渦の強化、不均一反応の増加を招く事でオゾン層破壊を深刻化する方向に働く、と言う定性的な仮説もある。

CO₂以外にもメタンや亜酸化窒素などの温室効果気体濃度も増加傾向にある。このような微量気体濃度の変動がオゾン層の回復を遅らせるなどの影響を及ぼす可能性も否定できない。しかしながら、オゾン分解を引き起こす化学過程は成層圏での力学過程や放射過程と強く相互作用しているので、実際はCO₂の定性的仮説の様に単純に考えることはできない。

いずれにせよ、ハロゲン濃度が減少ステージに入った現在でもオゾン層破壊は深刻化しているのか、温室効果気体などの大気組成の変化が今後のオゾン層の回復に影響を及ぼすのか、の疑問に答えることが重要である。

本重点特別研究プロジェクトでは、オゾン層変動の監視、オゾン層変動機構の解明に資するデータの国内外への提供と機構解明に係わる科学的知見の蓄積、将来のオゾン層変動の予測とその検証、に貢献することを中期計画の中で目的として掲げた。そして以下の目標の達成を目指した。

1. オゾン層の監視

- 衛星からの極域オゾン層の監視：

オゾン層の破壊が最も顕著なのは、南極オゾンホールで代表される極域成層圏である。極域オゾン層の破壊は同時に、極域の空気と中緯度域の空気との混合過程を通

して、中緯度成層圏のオゾン濃度にも影響を与える。その極域でのオゾン層破壊の機構解明には、高頻度で詳細な観測とその観測データに基づく解析が必要である。高頻度で詳細な観測として、国立環境研究所は環境省（環境庁時代も含む）が開発を担当したILAS / ILAS-IIセンサーによって取得される極域オゾン層の高頻度観測データの処理、検証、提供とデータ利用研究部分を担った。よって、本重点特別研究プロジェクトの最大の目標は、ILAS/ILAS-IIデータを高品質で高い信頼性を有するデータとして世界に提供することである。

- 日本上空オゾン層の監視：

オゾン層破壊は極域のみの問題ではない。日本などの中緯度上空でもオゾン層破壊は認められている。中緯度成層圏のオゾン量は、その領域内での化学的なオゾン分解以外に、極域や低緯度からのオゾン濃度の低い空気塊の輸送も影響するため、地域的な変動や短期的な変動が激しい。それ故、長期変動を理解するためには注意深い観察・解析が必要である。国立環境研究所が担っているオゾン層地上モニタリングは、観測が手薄なアジア地域での観測データの提供の役割を担っている。そこで国際的な観測ネットワークとの協力のもとに、高品質な地上モニタリングデータの提供することを目標に掲げた。

2. オゾン層破壊の機構解明：

本プロジェクトでは、オゾン層監視データを活用したオゾン層破壊の機構解明への貢献を目標とした。すなわち、既存の観測データや気象データに加え、ILAS/ILAS-IIによって取得した極域オゾン層に関する高頻度観測データや地上モニタリングデータを活用して、極域オゾン層破壊の進行の有無の検出や提唱されている破壊機構の検証を行う。

3. オゾン層のモデリングと将来変化の予測：

本重点特別研究プロジェクトでは、温室効果気体の長期変動の効果を定量化するために、成層圏数値モデルの開発と数値モデル実験を通したオゾン層の長期変動予測を行う事を目標とした。成層圏数値モデルとしては、現在および過去のオゾン層変動を理解する上で有力な化学輸送モデルならびに、化学 - 放射 - 力学プロセスの結合を陽に含んだ化学気候モデルの開発・改良に取り組む。同時に、数値実験を通したオゾン層変動の再現と変動予測を行う。

2 研究の成果

2.1 オゾン層の監視

本重点特別研究プロジェクトではオゾン層の監視として、衛星からの観測（ILASおよびILAS-II観測）ならびに地上からの観測を行った。本節では、まず衛星観測として、ILASおよびILAS-IIの概要とデータ処理運用システム、さらには検証解析研究や新たなデータ解析手法の開発に係る成果を紹介する。その後、地上リモートセンシング手法によるオゾンモニタリングの成果を述べる。

2.1.1 ILASおよびILAS-IIの概要

改良型大気周縁赤外分光計（Improved Limb Atmospheric Spectrometer; ILAS）は、「みどり」（ADEOS: Advanced Earth Observing Satellite）衛星に搭載された太陽掩蔽法のセンサで、1996年11月から1997年6月までの約8ヵ月間にわたり、両半球極域（北緯57.1～72.7度、南緯64.3～88.2度）において、成層圏のオゾンおよびオゾン破壊反応に関連する大気微量物質（オゾン、硝酸、水蒸気等の成層圏大気微量成分およびエアロゾル）の高度分布を観測した。

ILAS-IIはILASの後継機として環境省が1995年から開発を行ったオゾン層観測センサである。ILAS-IIは2002年12月に打ち上げられた「みどりII」衛星に搭載され、ILASと同様に南北両半球高緯度におけるオゾン層破壊の実態を観測した。観測期間は2003年1月～10月（定常運用は4～10月）であった。

ILASおよびILAS-IIのセンサとしての特徴は以下の通りである。

(i) オゾン、硝酸、二酸化窒素、一酸化二窒素、メタン、水蒸気、硝酸塩素、エアロゾル等のオゾン層の破壊や回復に関連する多種類の物質の高度分布を同時に測定することが可能である。ILAS-IIではILASの観測波長以外に新たに3～5.7 mmの波長帯をカバーするチャンネルと、硝酸塩素を対象としたチャンネルを加えている。この改良は、赤外スペクトルから極成層圏雲（オゾン層の破壊のメカニズムに重要なPSCと呼ばれる氷の粒）の組成を推定する際にも重要な情報を与える。

(ii) オゾン層の破壊が特に著しい北極・南極域を重点的に、高頻度（1日14～15回）、気体の高度分布（高度10～60 kmの範囲を1 kmごと）を高精度に観測することが

可能である。瞬時視野の高度分解能は、ILASでは2 km、ILAS-IIではさらに改善を加えて1 kmであり、大気構造の検出が可能である。

2.1.2 衛星データ処理運用システムとデータ提供

ILASおよびILAS-IIのデータ処理運用システムは基本的には同じコンセプトで構築されていることから、ここでは、ILAS-IIデータ処理運用システムについてのみ、その概要を述べる。

ILAS-IIデータ処理運用システムは、ILAS-IIの観測ミッションの運用計画の作成や機器の状態の監視機能を有すると共に、ILAS-IIによって観測されたデータを定期的に処理・解析・保存し、その結果をユーザの要求に応じて検索・配布・提供するためのシステムである。システムの機能概要を図1に示す。各サブシステムの概要は次の通りである。

- (1) データ入出力サブシステム：本システムとNASDA/EOCや他関係機関とのデータ授受を行うソフトウェア
- (2) データ管理サブシステム：本システムにおけるデータの保存、管理を行うソフトウェア
- (3) データ処理サブシステム：リトリーバルアルゴリズムソフトウェアを利用し、レベル0データを解析に適した形式のデータに処理するソフトウェア
- (4) 評価・解析サブシステム：ILAS-IIの各レベルのデータをグラフやイメージで可視化して、データの妥当性や異変を評価解析するソフトウェア
- (5) 運用管理サブシステム：本システムを正常に運用させるべく本システムの各機能を統括、実行制御するソフトウェア
- (6) 設備運用支援サブシステム：オペレータによる日報、設備情報等の監視など日々の作業を支援するソフトウェア
- (7) 情報提供サブシステム：ユーザからのインベントリ検索・配布および各種情報の作成支援および提供を行うソフトウェア
- (8) ミッション管理サブシステム：ILAS-II運用計画立案から運用状況の表示等を作成、管理するソフトウェア
- (9) アルゴリズム管理サブシステム：各機能のソース、

モジュールの一括管理を行うソフトウェア。特にアルゴリズムについては、データバージョン、処理環境等も含めた管理を提供する。

(10) 機器管理サブシステム：HKデータ、ミッションデータを用いてセンサの状態を把握、状況表示を行うソフトウェア

気体濃度の導出には、データにエアロゾル散乱の影響が避けられないため、その推定精度が気体導出精度に直接影響する。そこで3~12μmの波長域において連続分光したデータが取得可能である特徴を生かし、気体の吸収の少ない「大気の窓領域」に対応する波長の複数の素子情報からエアロゾルのスペクトル構造を折れ線による内挿近似で推定し、その寄与分をデータから差し引く方法で気体の吸収量を求めている。

2.1.3 検証解析

ILAS/ILAS-II取得データから様々な大気成分の情報を抽出するために開発されたデータ処理アルゴリズムの妥当性の検証は、ILAS/ILAS-II観測と時間的・空間的一致基準（例えば、300 km、12時間以内）を満たした観測

データ（検証データ）とILAS/ILAS-IIデータを比較し、矛盾が生じていないかを確認することによって行われた。検証データとしては、コア検証実験データや協力実験データあるいは公にデータ取得が可能なデータベースを利用した。

ここで相対値差（以後RDと略す）は次の様に定義する（下記の式はILAS O₃に対し、検証データとして他の衛星データであるHALOEデータを用いた検証比較の場合を例に示している）。

$$RD(\%) = 100 \times \{O_3(ILAS) - O_3(HALOE)\} / \{[O_3(ILAS) + O_3(HALOE)] / 2\} \quad (1)$$

ここで、O₃(x)はx (=ILAS or HALOE) の観測によって求められたオゾン混合比を表す。他の検証解析についても同様である。

(1) ILASの検証解析

本中期計画以前に既にバージョン4.2（1999年7月）が一般に提供されていた。しかし、バージョン4.2で処理されたオゾンなどの高度分布は、季節によって、検証データとの一致度合いが変化していることが見いだされ

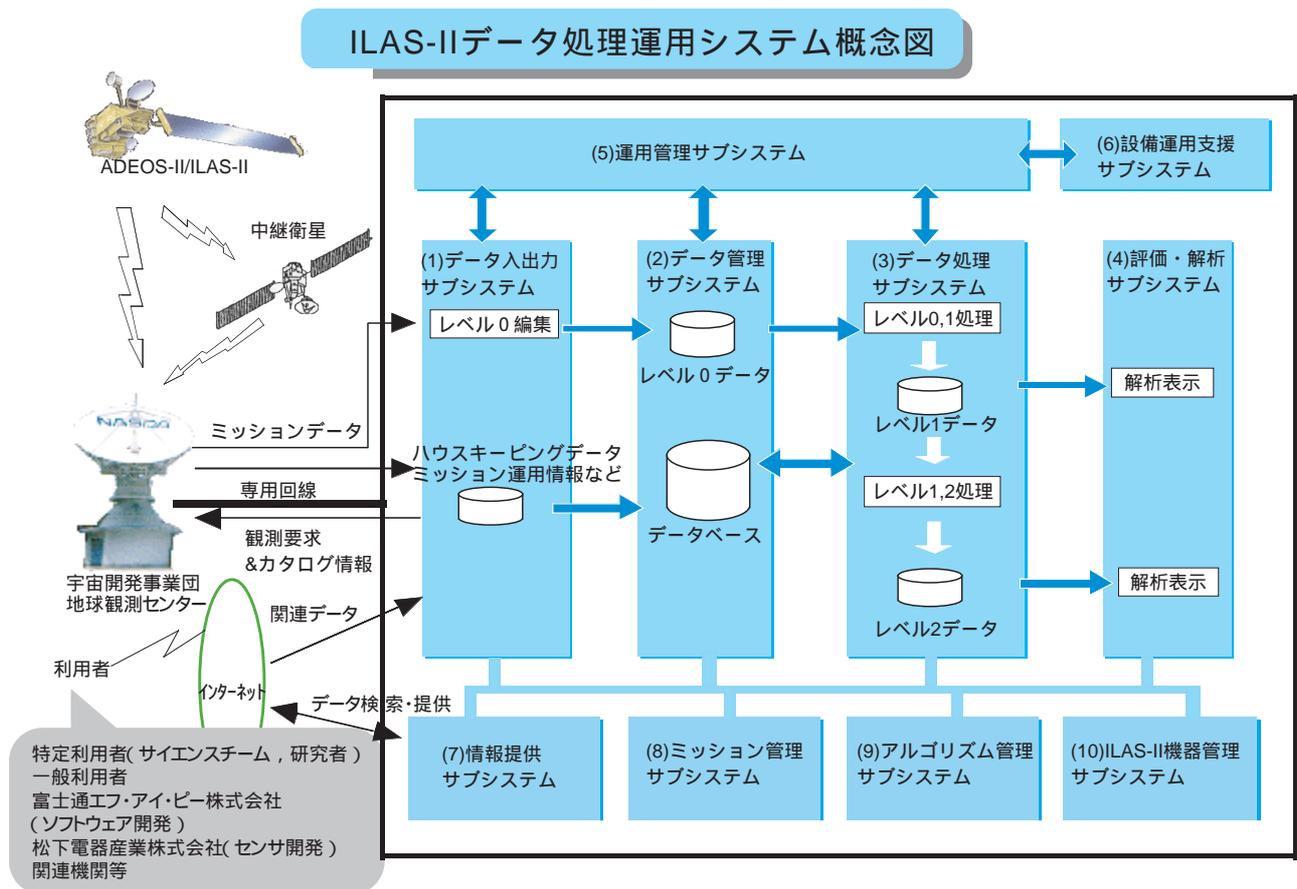


図1 ILAS-IIデータ処理運用システムの機能概要

ており、これを解消すべく、新しいバージョンでは接線高度決めに工夫を加えてバージョン5.2として2002年1月に一般研究者にデータ提供を開始した。提供したデータは、オゾン (O_3), 硝酸 (HNO_3), 可視波長でのエアロゾル消散係数に加えて、二酸化窒素 (NO_2), 亜酸化窒素 (N_2O), メタン (CH_4), 水蒸気 (H_2O) の7化学種である。さらに2003年3月には、接線高度決めの修正や放射伝達計算フォワードモデルに利用している気温・気圧プロファイルの高高度領域の改訂などを盛り込んだバージョン6.0を提供した。このバージョンでは、硝酸塩素 ($ClONO_2$), 五酸化二窒素 (N_2O_5), CFC12 (CF_2Cl_2) を新たに提供している。具体的なILAS導出アルゴリズムや高度決めの方法論は省略し、ここではILASデータの検証解析結果についてのみ述べる。

1) バージョン5.2オゾン

Ver.5.20のILAS導出アルゴリズムによって得られたオゾンデータは、HALOE (Halogen Occultation Experiment) Ver.19, SAGE II (Stratospheric Aerosol and Gas Experiment II) Ver.6 及び POAM II (Polar Ozone and Aerosol Measurement II) Ver.6の各導出アルゴリズムによって得られた他の衛星データならびにオゾンゾンデ、気球あるいは航空機搭載機器および地上設置機器によって得られたデータと比較された。なおILASおよび検証実験の時間および水平方向の一致基準としては、衛星データに関しては ± 12 時間、300 kmを、オゾンゾンデとの比較では ± 12 時間、500 kmを、また気球や航空機搭載機器ならびに地上設置機器との比較の場合は、 ± 12 時間、1000 kmとした。また高度方向の比較では、1 kmごとの比較を基本とした。さらにUKMO (英国気象局) 提供の全球成層圏同化データをもとに、各高度、時間での渦位を求め渦位の差が15%以内であることを追加条件とした。これは、極渦が発達している時期においては、観測地点が極渦内か外か、あるいは極渦の縁に近い部分かによってオゾン濃度が大きく異なるためである。

比較を行った11~70 kmの高度領域においてオゾン混合比の絶対値でILASデータとHALOEデータとの比較からは、ILASバージョン5.2データには南半球50 km付近で正のバイアスが存在する可能性が示唆されたことや0.4 ppmvを下回るようなオゾン混合比の小さい領域を除くと、高度11~64 kmの領域において検証データと $\pm 10\%$ 以内で一致していることが分かった。ほぼ同様の結果は

他の衛星観測であるSAGE IIやPOAM IIのデータとの比較でも認められた。

下部成層圏でのオゾンの観測において最も信頼性の高いと考えられているオゾンゾンデデータの比較を行った結果、比較した9~30 kmの高度領域で南北両半球における相対値差RDがILASおよびオゾンゾンデそれぞれの誤差から推定される誤差 (RSS) の範囲内に収まっていることが分かった。ILAS-HALOEの比較の中でも認められた、高度が低くなるに従いILASがやや大きめのオゾン混合比を与える特徴は、ILAS-オゾンゾンデの比較でも認められたが、ILAS-HALOEの時と同様、その程度は小さい。同様にILASデータは気球や航空機搭載機器ならびに地上設置機器との比較も行われた、ILAS-オゾンゾンデの比較とほぼ同じ傾向であることが確認された。

2) バージョン5.2硝酸

バージョン5.2の硝酸データの比較検証は、ILAS検証の気球キャンペーンの観測データを用いて行われた。

気球キャンペーンはスウェーデンのKirunaおよびアラスカのFairbanksで1997年2月から5月にかけて実施された。検証実験には赤外発光分光計、赤外太陽掩蔽FTIR分光計、周縁発光検出計、化学発光法を用いた NO_y 計が用いられた。ILASと検証実験の時間的・空間的な差はそれぞれ15時間以内、680 km以内であった。図2に気球

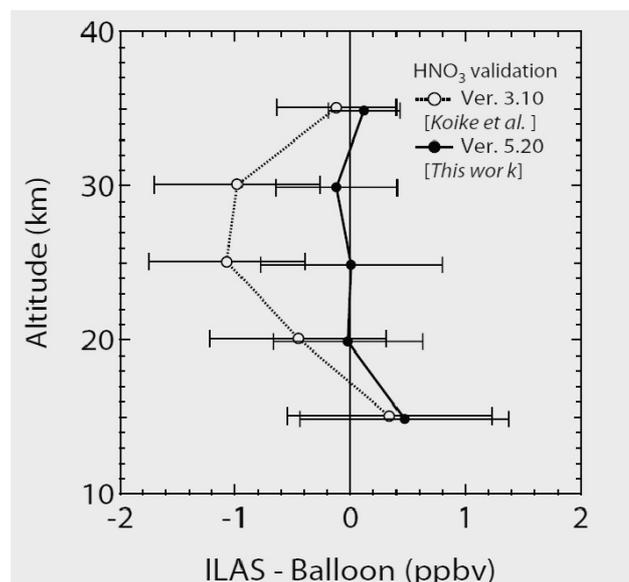


図2 ILAS Ver. 5.20 硝酸データと検証データ (気球搭載計測器による観測データ) との比較 (および実線) 参考のため、Ver. 3.10 硝酸データと検証データとの比較も示す (および点線)。

観測結果とILASデータとの比較を示す。参考のためにバージョン3.1 ILASデータでの比較結果も合わせて図に示した。バージョン3.1で認められた高度20～30km領域に見られた過小評価が、高度決定法が改善されたバージョン5.2では解消されていることが分かる。

ILASバージョン5.2硝酸データの検証結果は、高度15～35 kmの全ての高度範囲において0.5ppm以内で検証データと一致しており、個々の検証データとの比較においても、10%の誤差範囲内で一致していることが分かった。

3) バージョン5.2エアロゾル消散係数

バージョン5.2の可視波長(780 nm)でのエアロゾル消散係数の比較検証は、衛星センサSAGE IIのVer. 6.0データを利用した。検証データ抽出の一致基準はお互いの観測が300 km以内、2時間以内であり、1996年11月と1997年2月および5月から各々38, 20, 11のマッチングペアが選ばれた。それらの比較結果から、ILASの消散係数データは、消散係数値が $1 \times 10^{-5} \text{ km}^{-1}$ よりも大きい高度領域(およそ20～25 km以下)において、10～20%以内でSAGE IIデータと一致していることが確かめられた。

4) バージョン5.2のその他の微量気体

上記のオゾン、硝酸、エアロゾル消散係数の検証と同様にVer.5.20のILAS導出アルゴリズムによって得られた様々な微量気体の検証比較を行った。ここでは、個々の微量成分ごとの検証研究の詳細は省略し、その検証研究の結果について要点のみを記す。

(i) N_2O : 検証気球キャンペーンデータ、飛行観測キャンペーンデータ、地上分光観測および航空機によるリモートセンシングデータ、UARS (Upper Atmosphere Research Satellite) 参照大気データ、と検証比較を行った。その結果、ILASの N_2O の不確かさは、高度10～30 kmでは10%未満、高度40～50 kmでは50%より大きい。これはILAS測定において予想された全誤差に匹敵する値である。

(ii) CH_4 : 検証気球キャンペーンデータ、飛行観測キャンペーンデータ、衛星センサ(HALOE)データとの検証比較を行った。その結果、ILASの CH_4 の不確かさは、正のバイアスが20%を越える冬季の高度15～30 kmを除けば高度10～50 kmで10%未満、高度50～60 kmでは20%より大きい。これはILAS測定において予想された全誤

差より小さいか、あるいは匹敵する値である。

(iii) NO_2 : 気球観測キャンペーンデータ、衛星センサ(HALOE, POAM II)データと比較した。その結果、高度25～35 kmにおいて、10～30%で一致した。高度20 kmや45 kmでは、 NO_2 の絶対値自身が低濃度となるため、相対値差は大きくなる傾向が見られた。

(iv) H_2O : Lyman- 発光水蒸気計、露点水蒸気計、太陽遮蔽FTIR分光計、周縁発光検出計の4種類の水蒸気センサを用いた検証気球キャンペーンデータと比較ならびに他の衛星観測との比較を行った。その結果、高度15～60 kmでほとんどのケースが10%以内で一致し、さらに、特殊な例外を除けば全ての比較において20%以内で一致することが確かめられた。

5) バージョン6.0硝酸塩素

2003年3月に新しいバージョン6.0導出アルゴリズムに基づくILASデータの提供が開始された。バージョン6.0では、最新の気体分光パラメータであるHITRAN 2000を利用したデータ処理に関する改良がなされ、硝酸塩素(ClONO_2)、五酸化二窒素(N_2O_5)、 CFC12 (CF_2Cl_2) データを新たに提供することが可能となった。ここでは新たにデータ提供される3つの微量成分の中でも、塩素のリザーバー分子であり、PSC上での不均一反応による活性化に重要である ClONO_2 について記載する。

ClONO_2 は780～781 cm^{-1} の波数領域に特徴的な吸収帯を有しているが、バージョン5.2までは使用していたラインパラメータが不完全なものであった。バージョン6.0では、NASA/JPL編纂の ClONO_2 の擬似ラインパラメータを利用し、 ClONO_2 データの導出に成功した。導出された ClONO_2 データの検証データとしては、ILASが観測を行った期間に北極域で行われた ClONO_2 の気球観測(MIPAS-B2, FIRS-2, MkIV)データを利用し、同じ日の800 km以内の条件を満たすデータと比較した。その結果、高度15～30 kmのILAS ClONO_2 データは気球データよりも系統的に20～40%小さいことがわかった。なおILAS観測の精度に関しては、1997年3月に南極点上空を繰り返し測定したILAS観測の ClONO_2 データから、高度15～30 kmにおけるILASの ClONO_2 観測の繰り返し精度は10～40%と決定された。この値はILASのデータ処理アルゴリズムから出てくるエラーバーの値よりも、若干小さなものであった。このことは、ILASのエラーバーの評価が実際のエラーより過大であった可能性を示唆している。こ

のように、系統的な誤差は残るものの、ILASの観測したClONO₂データは、成層圏大気化学で予測される季節変化を良く表しており、十分科学的解析に耐えうるものであるということがわかった。

(2) ILAS-IIの検証解析

本中期計画期間の後半期の観測で取得されたILAS-IIデータはバージョン1.4として2006年2月に一般研究者への提供を始めた。提供したデータは、オゾン(O₃)、硝酸(HNO₃)、可視波長でのエアロゾル消散係数に加えて、亜酸化窒素(N₂O)、メタン(CH₄)の5化学種である。具体的なILAS-II導出アルゴリズムの方法論は省略し、ここではILAS-IIデータの検証解析結果についてのみ述べる。

1) バージョン1.4オゾン

ILAS-IIバージョン1.4導出アルゴリズムによって得られたオゾンデータは、HALOE (Halogen Occultation Experiment) Ver.19, SAGE II (Stratospheric Aerosol and Gas Experiment II) Ver.6.2, SAGE III Ver.3, 及びPOAM III (Polar Ozone and Aerosol Measurement III) Ver.4の各導出アルゴリズムによって得られた他の衛星データならびにオゾンゾンデによって得られたデータと比較された。なおILAS-IIおよび検証実験の時間および水平方向の一致基準としては、衛星データに関しては±12時間、300 km (POAM IIIとの比較の場合のみは±12時間、500km) を、オゾンゾンデとの比較では±12時間、500 kmを基準とした。また高度方向の比較では、1 kmごとの比較を基本とし、異なる高度分解能を有するデータに関しては検証データを1 kmの分解能に変換した後検証解析を行った。

観測された空気塊の相互間の一貫性を維持するために、Eretlの渦位(PV)を用いてデータの選別を行い、PVの差異が±15%を上回った場合、そのような高度におけるデータは、妥当性評価解析から除外した。

図3 aおよび図3 bの左のパネルには、それぞれ北半球(NH)および南半球(SH)におけるILAS-IIおよびPOAM IIIによって測定されたオゾンの平均プロファイルを示した。また真ん中と右の各パネルには、ILAS-IIとPOAM IIIとの間の絶対誤差ADと相対誤差RDの中央値を示している。なおADの定義は次の通りである。

$$AD \text{ (ppmv)} = O_3(\text{ILAS-II}) - O_3(\text{val}) \quad (2)$$

NHの比較(図3 a)では、同時測定ペアの数Nに対するRDの中央値(右のパネル)は45 km以下において±10%の範囲内であるが、45 km以上に高度が上昇すると、ILAS-IIオゾンはPOAM IIIに比べ低い混合比を与える。同時測定ペアの数Nに対する二乗平均平方根(r.m.s.)誤差は、ほぼ中央値の絶対値に比例している。

同時測定ペアの数Nに対するADの中央値(真ん中のパネル)は、25 km以上で約-0.4/-0.5 ppmvである。25 km以下では、導出された値が小さいために、中央値はほぼゼロである(左のパネル)。SHの比較(図3 b)では、RDの中央値は、全高度に関してほぼ-10%であった。ADの中央値は、ほぼゼロから-0.2 ppmvの範囲内にある。

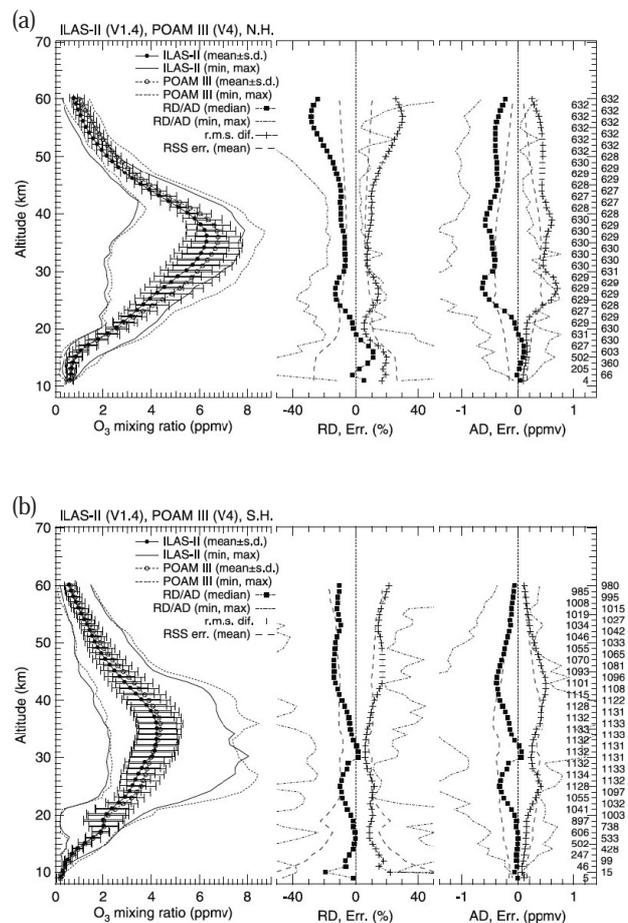


図3 (a)北半球においてILAS-IIおよびPOAM IIIによって導出されたオゾン体積混合比(VMRs)の平均プロファイル(左のパネル)

明確を期すために、ILASデータを0.2 kmずらしてプロットしている。個々の相対誤差(RD)および絶対誤差(AD)の中央値プロファイルは、真ん中と右のパネルに示す。ゼロラインを中心とした対称破線は、ILAS-IIおよびPOAM III測定において、RSS誤差。各高度における同時測定の数Nは図の右側に示す。

(b)図3aと同様、ただし、南半球を対象とする。なおデータの最大値および最小値に対応する量は短鎖線で、二乗平均平方根(r.m.s.)誤差は+で示した。

POAM IIIとの比較では、半球別の月ごとの比較によって、全高度にわたるRD値に、それほど大きな季節的依存性が認められないことがわかった。

その他、オゾンゾンデや他の衛星センサデータとの検証解析も含めて、北半球の高度11 kmから40 kmの範囲では、ILAS-II のオゾンに関するデータは、誤差 $\pm 10\%$ の範囲内（平均値で除算した絶対誤差の観点から）で他のデータと一致する。高度41 km以上では、他のデータと比較すると、高度が上がるにつれて値が小さくなり、最大偏差は高度61 km から65 kmの範囲では-30%であった。南半球では、高度11 kmから70 kmの範囲ではILAS-IIオゾンデータは $\pm 10\%$ 前後の誤差で他のデータと一致することがわかった。

2) バージョン1.4硝酸

ILAS-II (Version1.4) により観測された硝酸 (HNO_3) 濃度の成層圏鉛直プロファイルを2003年3月および4月に気球に搭載した測定器 (MIPAS-B2 および MkIV) による同期観測の硝酸データを用いて検証した。

気球搭載測定器との検証は北半球のみであることから、南半球データの検証としては、下部成層圏での硝酸 - オゾン相関を利用した手法を採用した。すなわち1997年のILASデータが高い相関関係を示した特定ポテンシャル渦度に基づく同等緯度および季節に関する、ILAS-IIおよびILAS (ILAS-IIの前身) によって得られた下部成層圏の硝酸 - オゾンの相関関係を気象学的に比較する方法である。

以下に検証結果を述べる。

図4 aおよび図4 bには、ILAS-IIによって得られた硝酸 - オゾン間相関関係が、6月の等価緯度 (EL) 北緯 75 ± 5 度 (4a) および4月のEL南緯 60 ± 5 度 (4b) に対し塗りつぶした丸印で示されている。比較としてILASによるデータ (白抜き丸印) も一緒にプロットされている。この図から容易にわかるように、ILAS-IIによって測定された硝酸 - オゾン間相関関係は、ILASによって測定されたデータと同様に、緊密であった。しかしながら、ILAS-IIによる相関関係は、特に、4月のEL南緯 60 ± 5 度においては高度が増すにつれて、ILASによる相関関係から次第に乖離してくる (図4 b)。ILASで得られた硝酸 - オゾン相関関係を用いてILAS-IIのオゾン値から得た参照硝酸値近辺のILAS-IIの硝酸値の散乱分布の減少から、ILAS-IIの硝酸データの精度は 15 km, 20

km, 25 kmの高度でそれぞれ13~14%, 5%, 1%以下と見積もられた。

本研究で行ったこれらの比較をすべて統合した結果、ILAS-II の高度15~25 kmにおける硝酸プロファイルの確度について-13%/+26%より優れていると推定した。

3) バージョン1.4エアロゾル消散係数

北半球 (NH) の高度20 km以下での、ILAS-IIエアロゾル消散係数 (AEC) データは、三種類の衛星搭載センサ (SAGE II, SAGE III, POAM III) との比較によって検証解析を行った。その結果、SAGE II, SAGE IIIによる消散係数データとは $\pm 10\%$ 以内、POAM IIIによる消散係数データとは $\pm 15\%$ 以内で合致した。高度20 kmないし26 kmでは、ILAS-II AECデータは上記3種のセンサによるデータよりも小さく、ILAS-IIデータとSAGE IIデータは、10% (NHの高度20 km地点) から34% (同26 km地点) の相違をみせた。

南半球 (SH) のデータに関しても、SAGE IIおよびPOAM IIIの消散係数データとの比較により検証を行った。SHの高度20 kmないし25 kmでの2月のILAS-II AECデータは、SAGE IIによる消散係数データを12%ないし66%下回るものであった。この相違は観測高度が高くなるに従い大きくなることが認められた。SHでの1月ないし5月 (「PSC非出現期」) のILAS-IIデータとPOAM IIIデータとを比較すると数値的には近い。6月ないし10月 (「PSC出現期」) については、高度17 km以上の地点ではILAS-IIデータはPOAM IIIデータよりも小さいが、高度12 kmないし17 kmの地点においては、両者の値は $\pm 15\%$ 以

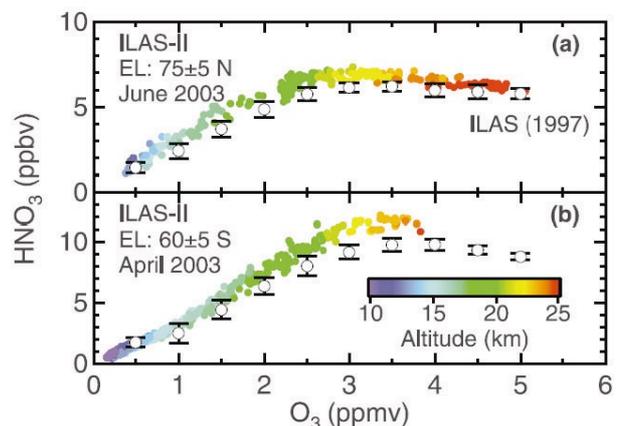


図4 ILAS-IIにより得られた硝酸 - オゾン間相関関係 (a) EL北緯 75 ± 5 度, (b) EL南緯 60 ± 5 度での測定結果塗りつぶした丸印の色は測定高度に対応。比較のために白抜きの丸印で、1997年と同じ等価緯度 (EL) および同じ季節においてILASによって得られた相関関係を示す。

内で合致する。

以上のデータを比較すると、南北両半球におけるILAS-IIのバージョン1.4 AECデータは、20 km以下の高度領域では他の3種のデータと同等であると結論できる。一方、高度20 km以上ではILAS-IIの消散係数データは他の検証データに比べ全体的に小さい値を示す傾向があることが認められたが、PSC非出現期間平均に関してはその差は $\sim 2 \times 10^{-5} \text{ km}^{-1}$ と小さいことがわかった。

4) バージョン1.4メタン、亜酸化窒素

ILASと同様ILAS-IIにおいても、大気運動のトレーサー物質として活用可能なメタン (CH_4) および亜酸化窒素 (N_2O) を観測した。Version1.4メタンおよび亜酸化窒素の混合比の鉛直プロファイルについても、他の衛星搭載センサのデータや気球搭載計測器データとの比較から検証解析が行われた。

検証データとの比較からILAS-II バージョン 1.4 の N_2O および CH_4 のデータの特徴および確度には、南北両半球の間に差異があることが明らかになった。 N_2O では混合比が50 ppbv より小さい場合、ILAS-IIデータは北半球 (NH) では著しい過小評価を示すものの、南半球 (SH) では他の衛星搭載センサのデータと誤差の範囲内で一致することが判明した。ILAS-II N_2O の確度は、NH では $\sim 10\%$ (50 ~ 250 ppbv), SH には $20 \sim 30\%$ (30 ~ 250 ppbv) であった。また両半球においても、ILAS-IIの N_2O

混合比が250 ppbv より大きい場合には $\pm 20\%$ の範囲内で検証データと一致することが見いだされた。ILAS-II CH_4 においても1 ppmv より小さい領域で著しい過小評価を示すことが認められたものの、1 ppmv を越える場合には、検証データと $\pm 5\%$ の範囲内で一致することが判明した。またSH においては、ILAS-II CH_4 の確度は $\sim 9\%$ であった。

2.1.4 ILASおよびILAS-IIデータの新たな解析手法の開発

ILAS/ILAS-IIの赤外領域 (6 ~ 12 μm) の観測スペクトルデータはガス成分の吸収とエアロゾル粒子 (全球的に偏在する成層圏エアロゾルやごく限られた期間や場所で存在しうる極成層圏雲 (PSC)) の吸収により、特徴的なスペクトルを形成している。これを従来法では、ガス成分の吸収が比較的小さい4つのスペクトル素子 (全部で44スペクトル素子) において予めガス吸収分を推定し、その後、他の波長領域におけるガス吸収分を線形補間により推定した。これにより簡易的にガス・エアロゾルの分離を行う。また平行して、ガス濃度プロファイルの導出と、4つの素子でのエアロゾル濃度 (消散係数) の導出を実施している。しかしながら、実際エアロゾル粒子の吸収スペクトルは線形補間で与えるようには表現できないため、線形からの逸脱度に応じてガス吸収分が不正確に推定されることになる (概念として図5を参照)。

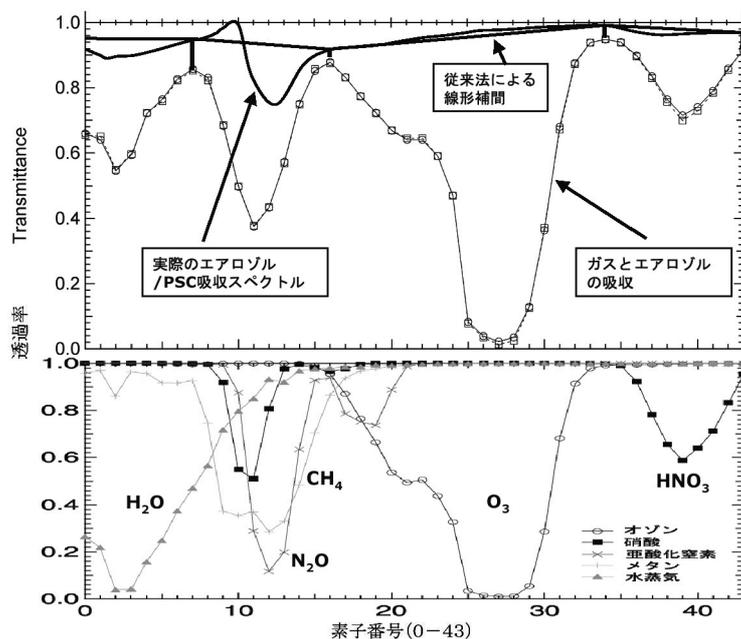


図5 (上のパネル) ガス・エアロゾル成分同時推定の必要性を示した概念図
(下のパネル) 各ガス成分の吸収位置を示したもの

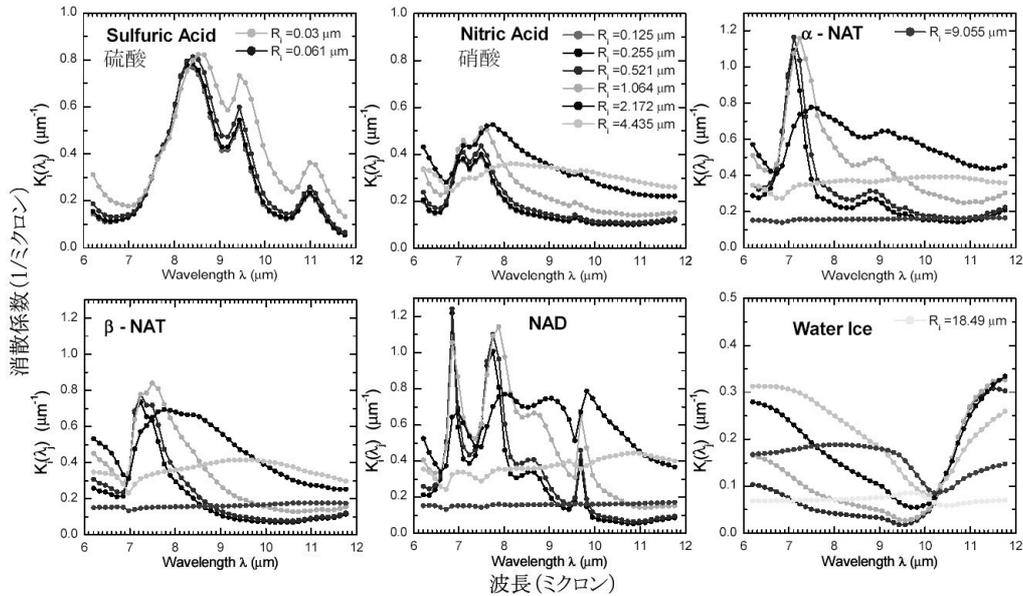


図6 エアロゾルの組成ごとに6つの粒径分布を仮定した時に計算されるエアロゾル吸収スペクトル(単位は1ミクロン当りの消散係数)
6つのスペクトルは、硫酸、硝酸、硝酸三水和物(NAT、但し結晶構造の違いからとが存在)、硝酸二水和物(NAD)、氷に対して、それらの複素屈折率データをもとにした計算によって得られたもの。

例えば、PSCの一つである硝酸三水和物(NAT)のスペクトルは7μm付近に特徴的な強い吸収構造を持つために、線形補間で正確なベース曲線を再現することが不可能である。従って、実際に観測大気にNAT粒子が存在する場合には、ガス濃度の導出が不正確となる。このような欠点を克服すべく、ガス成分とともにベース曲線を形成するエアロゾル成分の同時推定手法の開発を行った。

具体的には、室内実験により得られたいくつかのタイプのエアロゾル組成の複素屈折率データをもとに、過去の気球観測等による粒径分布の観測例から、妥当と思われる粒径ピンを設定し、そのピンごとの吸収スペクトルを計算した(図6)。スペクトルは、6つの組成ごとに6つの粒径ピンを仮定したため、全部で36となる。これらスペクトルを線形結合することで、ベース曲線となるべきエアロゾルの吸収スペクトルをガス濃度と同時に解く。

ガス-エアロゾル同時推定手法を取り入れたILASバージョン7アルゴリズムでリトリバルしたオゾン、硝酸、水蒸気、メタンについての結果を図7aから図7dに示す。図の横軸には、バージョン7と従来の線形保管法に基づく結果(バージョン6)の混合比の差をとっている。

図5からも分かるように、オゾン(図7a)と硝酸(図7b)はエアロゾル/PSCによる吸収スペクトルの影響

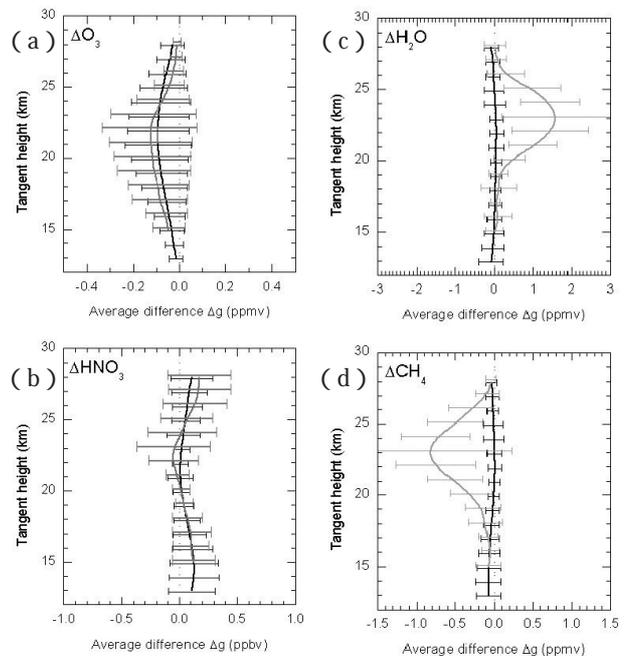


図7 ガス-エアロゾル同時推定による結果(バージョン7)と従来の線形補間法に基づく結果(バージョン6)の混合比差

黒線はILASの全シーンの差の平均値とその1標準偏差をパーで示す。グレーのプロファイルは、780nmでの消散係数が(a)オゾン、(b)硝酸の場合、0.0005 km⁻¹よりも大きい場合、(c)水蒸気、(d)メタンでは、それが0.001 km⁻¹よりも大きい場合のみを取り出したものである。

を受けにくい。消散係数がある程度大きな場合でも、ガスプロファイルは変化しないことがわかる。図7aと図7bのグレーのプロファイルは、消散係数 > 0.0005 km⁻¹

1の場合を取り出して見たものである。その値よりも小さい時は、バックグラウンド状態（硫酸エアロゾル）と考えられる。図7cと図7dのグレーのプロファイルは明らかにPSCが発生していると考えられる場合（消散係数 $> 0.001 \text{ km}^{-1}$ ）を取り出して見たものである。なお、黒、グレーいずれのプロファイルでも、エラーバーは1標準偏差を示す。図7c、図7dからも分かるように、PSCが発生している状況下では、バージョン6の水蒸気には負のバイアスが、メタンには正のバイアスが存在していることが分かる。これに対しバージョン7アルゴリズムを用いることでバージョン6に比べ、水蒸気の値は大きく、またメタンの値は小さくなる方向に変化し、バージョン6データ存在していたバイアス問題を解消する方向に働いていることが分かる。このように特徴的なガス濃度への影響を生み出すベース曲線は、硝酸三水和物（NAT）が存在する場合であった。

2.1.5 地上観測

地上からのオゾン層の監視として、つくば（国立環境研究所内）において1988年よりオゾンライダーによる観測ならびに1996年よりミリ波オゾン分光計による観測を行っている。また北海道陸別町においてもミリ波オゾン分光計による観測を1999年12月より継続している。地上観測は国際的な観測ネットワークであるNDSC（Network for the Detection of Stratospheric Change）へのデータの提供を目標にした。具体的には、オゾンライダーデータの再解析とデータの検証を進めた。またミリ波オゾン分光計については、観測データの検証と平行して成層圏から中間圏に渡るオゾンの安定したモニタリング手法の確立に向けた分光計の改良を進めた。なお本プロジェクトの地上観測は、地球環境研究センター（CGER）との連携のもとに進めた。

モニタリングデータの提供に関しては、オゾンレーザーライダーの再解析データを2003年に、また陸別でのミリ波オゾン分光計によるオゾンのモニタリングデータを2006年に、それぞれNDSCの成層圏モニタリングデータベースに登録した。

以下に、オゾンライダーおよびミリ波オゾン分光計によるオゾンモニタリングに関する進展を記す。

（1）オゾンライダーデータの再解析

既にNDSCへ提供しているライダーデータをバージョ

ン2アルゴリズムで再解析を行い、オゾン、気温ならびにエアロゾルの高度分布を再決定した。再解析では非常に大きなダイナミックレンジを要するライダー信号の処理の際に生じる系統誤差の除去にポイントが置かれた。

バージョン2アルゴリズムでは、ライダー信号によって誘起されるノイズ（SIN）およびバックグラウンド信号（BS）の除去、下部大気からの強いライダー信号によって検出系の応答の非直線性（DT）の補正、の点で工夫が加えられた。再解析では、通常ライダーでは観測できない高高度に相当する信号の解析から、SIN + BSの寄与を推定した。また各レーザー波長ごとに感度の異なる2つの検出器を用い、広い信号強度の範囲で信号強度の変化を矛盾無く検出できるように補正パラメータを決定することで、DTの問題の解決を図った。

上記のSIN+BSの補正は高高度でのライダーデータの質の向上に、またDTの補正は低高度でのデータ質の向上に主に寄与した。

信号の質の向上に加え、エアロゾルによるレーザー光の散乱と減衰の効果の補正がオゾンの鉛直分布を高精度で求める上で必要である。エアロゾルの補正はピナツポ火山噴火後のエアロゾル濃度の高い期間（1991年後半～1995年頃まで）については特に重要である。エアロゾルの影響の補正は、次の2つの点に注意を払って行った。まず気象データ（NCEP）と一次元モデルデータ（CIRA-86）から得られた気温の鉛直分布とレーザーライダー信号の解析から計算される気温鉛直分布の比較から成層圏下部でのエアロゾル濃度を決定した。次に、米国のSAGE IIデータをもとに、減衰/後方散乱比とエアロゾル高度分布の同時算出を行った。

補正されたオゾン高度分布は、ピナツポ火山噴火後の成層圏エアロゾル濃度が高い時期においてさえも、オゾンゾンデやSAGE IIによって得られたものと良く一致した。また季節変化や年々変動に関しても良い一致が得られた。

新たなアルゴリズムで再解析がなされ、検証解析が行われたオゾンライダー観測データ（オゾン鉛直分布）はデータセット化し、NDSCに登録された。

（2）ミリ波オゾン分光計

1995年に導入されたつくばのミリ波オゾン分光計は、60MHzの分光帯域でオゾンスペクトルを取得し、高度38 kmから76 kmのオゾン濃度鉛直分布を24時間連続して観

測を行ってきた。2002年には高度15 km付近までのオゾンの観測が行えるよう、つくばミリ波分光計の広帯域化を行った。

分光計の広帯域化では、広い分光帯域（帯域1 GHz）の音響光学型分光計を導入すると共に、帯域全体でスペクトルベースラインのうねりを平坦化する装置および観測手法の開発を行った（図8）。また中間周波増幅系にも改良を加えた。さらに広帯域でのスペクトルのベースライン平坦化のために、光路長変調器及びエレベーションスイッチ方式の観測に対応した光学系を追加した。光路長変調器は、2組の山型ミラーの間隔を短時間に1/4波長変化させることにより、光学系で発生する定在波を打ち消し、スペクトルベースラインを平坦化させた。エレベーションスイッチ方式は、2つの異なる高度角を短時間で切り替えながら観測する方法で、これにより不要な雑音成分をスペクトルから正確に取り除くことができる。その結果、エレベーションスイッチ法で取得したデータの方が、裾部分が滑らかに減少した質の良いスペクトルが得られることがわかった。また、スペクトルの正確な強度校正のために、常温および冷却黒体を光学系に設置し、観測の前後でこれらの放射強度を計測するように改善を行った。改良を施したミリ波オゾン計の概念図を図8に示す。

その結果、図9に示す通り、高高度測定用の狭帯域分光計によって測定されたスペクトル信号（図9左上）から得られる38～76kmのオゾン分布と広帯域分光計によ

って測定されたスペクトル信号（図9左下）から得られる16～60kmのオゾン分布はお互いに矛盾のない高度分布（図9右）を与えていることがわかる。完成されたミリ波オゾン分光計によって、下部成層圏から上部中間圏に渡る高度領域での切れ目のないオゾン鉛直分布のモニタリングが可能となった。

陸別に設置されたミリ波オゾン分光計では、1999年12月より定常的なモニタリング（24時間連続観測）を続けてきた。ミリ波分光計では10分ごとの連続的データの取得が可能であり、2001年2月には北海道上空で極渦到来時のオゾン減少をとらえることができた。さらなる速やかなデータの利用を目指し、リアルタイムでのオゾン測定結果の閲覧を可能とするように、データシステムの改良も行った。陸別でのミリ波オゾン分光計によるオゾン鉛直分布のデータは検証解析を行った後、2006年にNDSCに登録された。

2.2 極域でのオゾン層破壊

南極オゾンホールで代表される大規模な極域オゾン破壊は1990年代以降、（年々変動は大きいものの）北極地域でも観測されている。冬季から春季の極域でのオゾン層破壊には、極渦の存在（極渦内外の空気の混合の抑制）、極成層圏雲（Polar Stratospheric Cloud; PSC）の生成とPSC上での不均一化学過程、独特の大気組成のもとでの光化学反応によるオゾン分解、などが重要と考えられている。

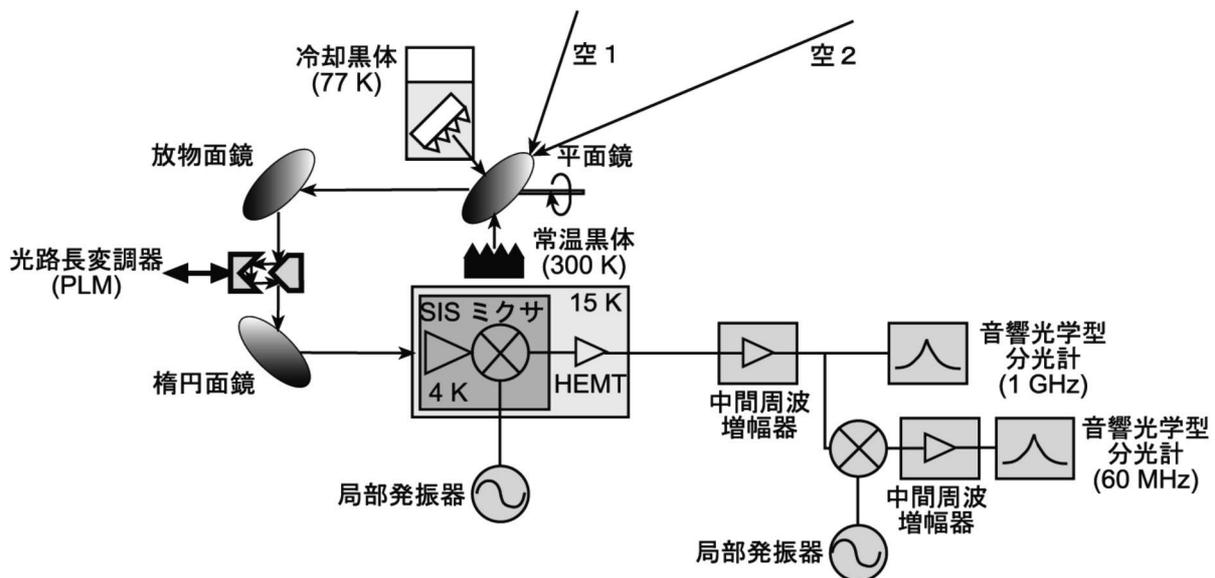


図8 帯域1 GHzの音響光学分光計を導入して広帯域化を図ったつくばのミリ波オゾン分光計のブロック図
スペクトルの強度校正のために、常温黒体および冷却黒体を光学系に設置、観測前後で放射強度の校正を可能にしている。

一方、北極域と南極域では地理的な違いによって成層圏の気象条件が大きく違うため、南北両半球で同じオゾン破壊機構が働いているか、それぞれのプロセスがオゾン分解に及ぼす影響の程度が同じか、といった問題には観測データをもとに詳しく調べる必要がある。

この節ではILASデータを活用した主として北半球極域でのオゾン層破壊に関連する現象の解明ならびにILAS-IIデータを活用した南極オゾンホールに関連する現象の解明を中心に、極域成層圏の物理・化学過程に係わる研究成果の一部を紹介する。

2.2.1 北半球極域でのオゾン層破壊

(1) PSCの同定および組成の推定

極域成層圏雲（PSC）は、極域下部成層圏における大規模なオゾン破壊現象において重要な役割を果たしており、PSCの化学組成を知ることは、オゾン減少率を正確に評価し、冬季・春季極域におけるオゾン破壊メカニズムの詳細を知る上で非常に重要である。そこでILASの0.78 μm のエアロゾル消散係数データの解析から、冬季北極におけるPSCイベントを同定し、その時空間分布を明

らかにし、観測されたPSCの化学組成を推論した。

1) 1997年冬季/春季の北極成層圏におけるPSCの空間分布

まずILASの0.78 μm エアロゾル消散係数データのうち、PSC形成の閾値より十分に高い気温（およそ200 K）条件下でのデータを用いて、対象となる高度ごとに10日ごと平均値と標準偏差を計算した（PSC非存在状態）。次にPSCが存在していない状態で求めた値を用いて（平均値）+ 5 ×（標準偏差）を閾値として設定し0.78 μm 消散係数が閾値を越えているか否かを基準にPSCの発生を判定した。この様にしてILASデータをもとに1997年1～3月に北極域でPSCの発生が確認された高度と時間を各観測高度での最低気温の変化と合わせて図10に示す。特徴的な点は、PSCの発生が確認された時間と場所は最低気温が195 K以下の領域と一致していることとPSCが3月に入っても観測されたことである。前者は熱力学的に見て妥当なことで、今回の解析方法がPSCの発生を問題なくとらえている証拠でもある。後者の特徴は、ILASが観測した1996/1997年が特異的な年に相当していることを意味している。

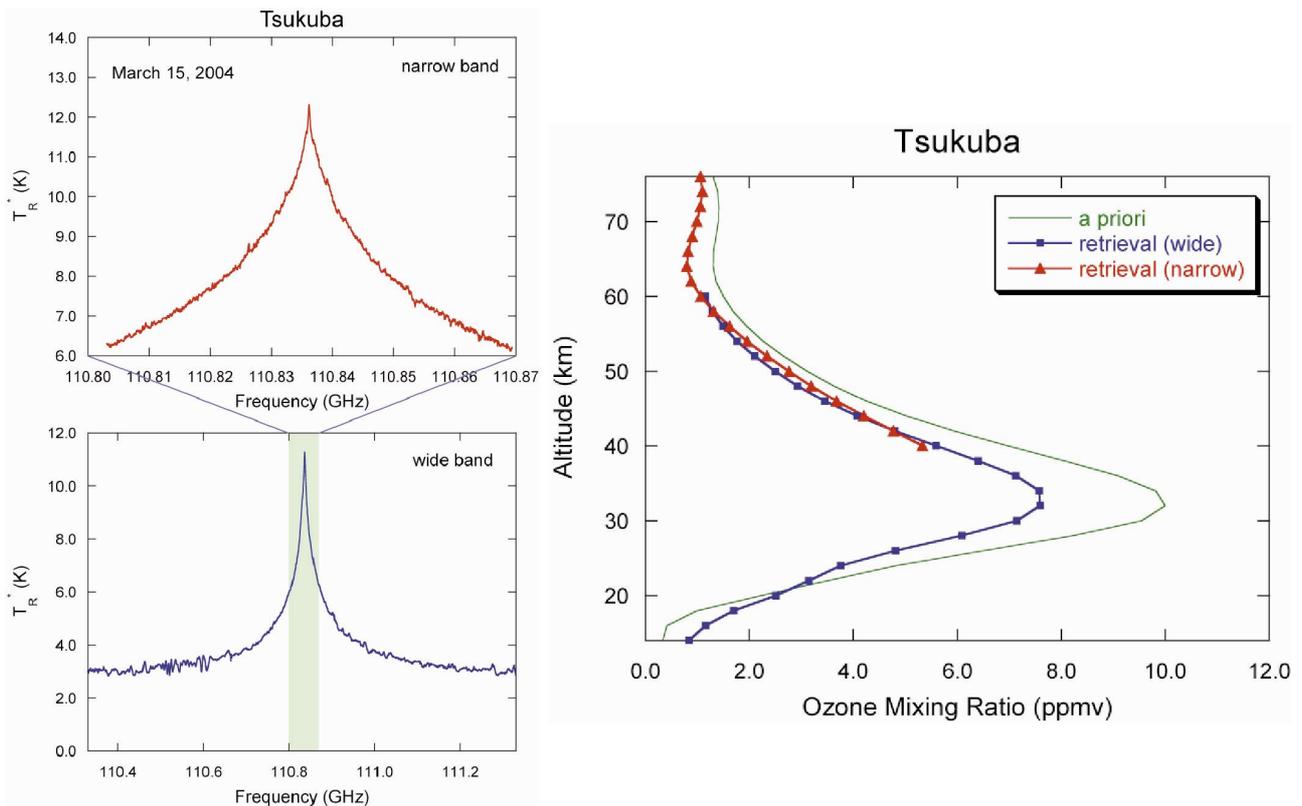


図9 広帯域オゾンスペクトル（左上）、狭帯域オゾンスペクトル（左下）、改訂されたデータ処理によって得られたオゾン鉛直分布（右）

高高度と低高度のオゾンプロファイルが40km付近で良く一致し、高度16～76kmのオゾン高度分布が得られている。

2) PSC理論値の計算とPSCの組成

消散係数の観測値とPSCの組成を仮定して見積もった消散係数の理論値とを比較することで、観測されたPSCの化学組成の推定を行った。本研究では、PSCの組成として液相粒子であるSTS (supercooled ternary solution) ならびに固相粒子であるNAD (nitric acid dihydrate) と NAT (nitric acid trihydrate) を考慮した。STS粒子形成を仮定したときに理論的に期待できる粒子体積および粒子に取り込まれた後に気相中に残存する硝酸量は、ILASデータから見積もられたバックグラウンド硝酸量、水蒸気量、硫酸量を用いて、熱力学モデルに基づいた理論式を援用して計算した。NADやNAT粒子と平衡状態となる硝酸蒸気圧は室内実験データに基づいて計算された。その計算に基づき、粒子の密度 1.62 g/cm^3 を用いて、理論粒子体積を求めた。理論体積とILASのエアロゾル消散係数データとを比較するために、粒径分布を仮定し、複素屈折率を与え、Mie散乱理論をあてはめて、体積を $0.78 \mu\text{m}$ 消散係数に変換した。

1996年11月から1997年6月までの期間の北極成層圏におけるILASデータから65個のPSCを含む高度分布を特定した。その結果、以下のことを見いだした。このうち、1997年1月と3月のPSCイベントを代表としてその特徴を述べる。

1997年1月のPSCイベント

1997年1月中旬の消散係数データと HNO_3 データはSTSの理論値と最も良く一致し、STSへの HNO_3 の取り込みが示唆された。

1月中旬に観測された特徴的なPSCイベントはスカンジナビア山脈の風下側で観測されたものが多く、観測時に山岳波による局所的冷却の影響を受けていた可能性がある。

T_{ice} 付近で観測されている幾つかのPSCイベントでは観

測値とSTS理論値との間に大きな隔たりがある。さらに同時観測された水蒸気においても著しい減少が認められたことから、観測されてPSCイベントは山岳波による急激な気温降下によりiceとSTSが混合していた状態のPSCが生成したものと考えられる。

1997年3月のPSCイベント

3月のILASデータから判定されたPSCはNADかNATであったと考えられる。

3月初旬にNADやNATが観測された空気は、NATの飽和温度以下の低温を数日以上経験しているものの、山岳波が発生しやすい領域は通っていない。したがって、観測されたNADやNATの生成は総観規模の温度で説明できることが分かった。

NADやNATが観測された空気は、NADやNATの飽和温度以下の低温を長時間経験しており、STSの凍結によって形成したことを示唆する。

(2) 反応性窒素酸化物の分布に影響を与える極域成層圏雲の形成過程の解明

1) はじめに

低温の成層圏で発生する極域成層圏雲 (PSC) は極域オゾン層破壊において次の役割を果たしている：(1) 不活性な塩素化合物 (HCl , ClONO_2) の活性化、(2) 反応性窒素酸化物 (NO_y) の主成分である硝酸の取り込みと、PSCの重力落下 (脱室)。塩素の活性化はオゾン分解に係わる活性塩素 (Cl , ClO) の生成速度の増大をもたらす、 NO_y の除去は活性塩素の消失速度を低下させる。その結果、活性塩素が春先まで高濃度を維持してオゾン破壊が拡大する。本研究では、このような重要性を持つ脱室現象を引き起こすPSCの形成過程の解明を目的とする。

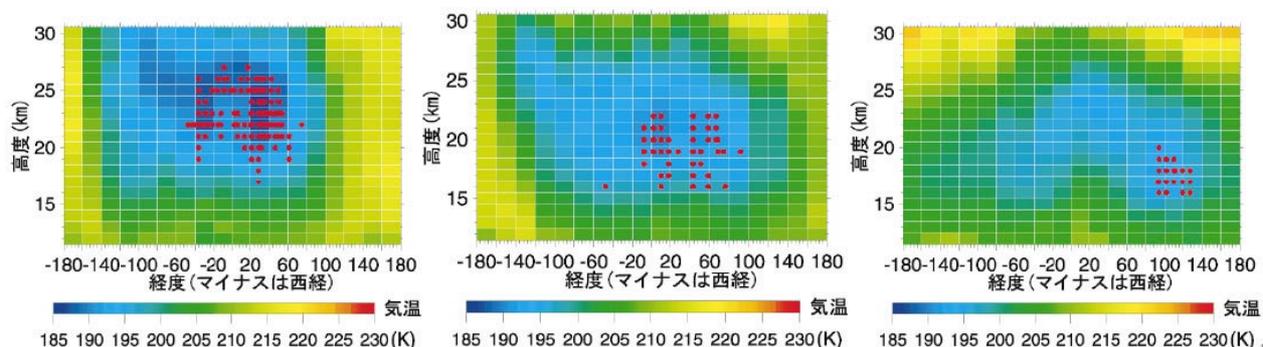


図10 1997年1月、2月、3月に観測されたPSCsイベント (赤丸) の高度 - 経度断面色は各月の最低気温を示す。

2) ILAS データ

脱室されたデータを選ぶために、PSCの生成が無視できる $T_{NAT} + 5 \text{ K}$ (およそ200 K) よりも高い気温で得られた $0.78\mu\text{m}$ の消散係数データを10日間ごとに平均し、平均値 (m) と標準偏差 () を計算した。消散係数が $m+1$ よりも小さい時 (PSCが存在していないと思われる時) には、脱室の影響によってのみ HNO_3 濃度が低下したとみなすことができるため、本研究ではそれらのデータを用いた。

3) 結果

脱室の定量化

脱室によって失われた反応性窒素酸化物 (NO_y) の濃度を見積もるために、 $\text{NO}_y\text{-N}_2\text{O}$ 相関関係が有効であることが良く知られている。冬季の極域では光が当たらないため、 HNO_3 は NO_y の主成分 (80%以上) になっている。したがって、 $\text{NO}_y\text{-N}_2\text{O}$ 相関関係の代わりに $\text{HNO}_3\text{-N}_2\text{O}$ 相関関係を用いて脱室を定量化することができる (1月から2月上旬)。

北極域にも太陽光が当たりはじめる2月以降は HNO_3 の光解離の影響を考慮する必要があり、Atmospheric and Environment Research, Inc. (AER) の光化学ボックスモデルを用いて HNO_3^* の補正を行った。ここで HNO_3^* は2月上旬に得られた各高度の $\text{HNO}_3\text{-N}_2\text{O}$ 相関関係から得られる基準となる HNO_3 濃度を表す。光解離による HNO_3 の減少速度は高度1 kmごとにAER光化学ボックスモデルを適用して見積もった。高度17 km以下では HNO_3 の光解離は無視できるほど小さかったため HNO_3^* の補正を行わなかった。

高度12~15 kmではILASの N_2O の観測精度が不適当なため、 $\text{HNO}_3\text{-N}_2\text{O}$ 相関関係の代わりに $\text{HNO}_3\text{-O}_3$ の相関関係を用いた。

その結果、1997年2月から3月までに高度18~20 kmでは、190 ppbv以下の N_2O 濃度範囲で HNO_3 濃度の顕著な減少が認められた。これに対し高度12~15 kmでは、2月上旬の $\text{HNO}_3\text{-O}_3$ 相関関係に比べて HNO_3 が増加したことが分かった。高高度から重力落下してきたPSCが蒸発して、 HNO_3 が増加 (硝化) したと考えられる。

脱室の時空間分布

図11では HNO_3 が等価緯度 (equivalent latitude) に対してプロットされている。等価緯度が北緯62~68度の領

域は極渦の境界域であり、それよりも高緯度は極渦の内部を意味する。1996/1997年では、脱室によって失われた HNO_3 量は極渦の中心で最大であった。脱室の緯度分布と整合的に、極渦の中心は最も低温であった。3月上旬に北緯75, 80, 85度のそれぞれで、脱室によって HNO_3 は18, 36, 43%まで失われた。50%以上の脱室が春季のオゾンの回復に影響を与えることが数値モデルによって示されている。このモデル計算を考慮すると、脱室は極渦の中心付近でのみ、オゾン破壊を拡大させたと考えられる。

図12は極渦内で再分配された HNO_3 量の鉛直分布を示す。各高度に分配された HNO_3 量は、(HNO_3 と等価緯度の関係に基づいて、ある緯度範囲が囲む面積の重みを考慮して計算された。図12には、2月10日から25日までに T_{ICE} や T_{NAT} まで冷却された領域の平均面積も示されている。

脱室は高度17~21 kmでのみ観測され、北極の最低気温が T_{ICE} まで低下した高度と一致した (図12)。この結果は、空気が T_{ICE} 付近まで冷却されることが脱室される必要条件であることを支持する。 T_{ICE} まで冷却された領域の面積が最大であった高度18~19 kmで、最大の脱室が起きていたことも脱室の必要条件の結果と整合的である。一方、12~14 kmの高度で硝化が起き、そこでの気温は一般に T_{NAT} よりも高かった。重力落下したNAT粒子がこれらの高度で蒸発して HNO_3 濃度を増加させたと考えられる。

脱室と硝化の高度領域で(HNO_3 をそれぞれ積分し、

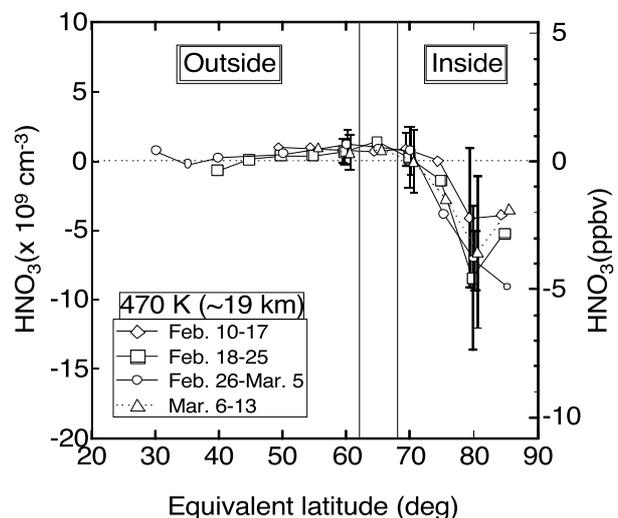


図11 温位面470 K (~19 km) の HNO_3 と等価緯度のプロット
2本の縦線は極渦の境界を示す。

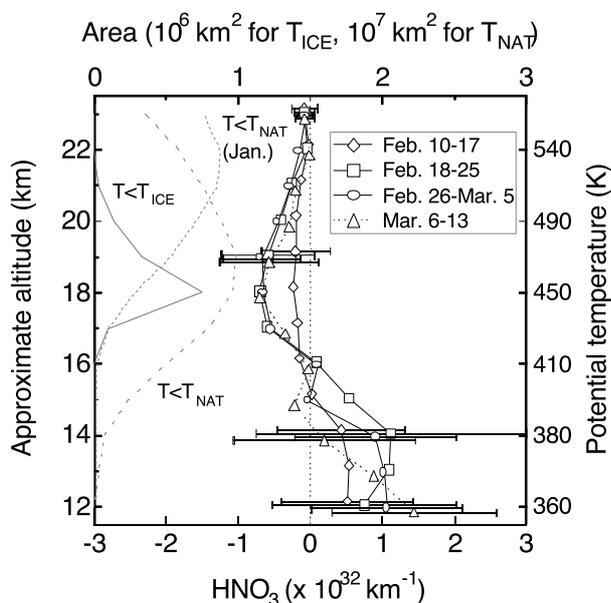


図12 極渦内で再分配されたHNO₃の鉛直分布
T_{ICE}やT_{NAT}まで冷却された面積の2月10～25日の平均値も示す。点線はT_{NAT}まで冷却された面積の1月10～25日の平均値を示す。

HNO₃全量の正味の変化量を計算した(表1)。この計算によって、2月10～25日に脱室と硝化が進行したことが分かった。2月26日から3月上旬にかけて、北極の最低気温はT_{ICE}よりも高く、脱室や硝化はほとんど進行しなかった。このように、脱室と硝化の時間発展からもT_{ICE}付近への冷却が脱室過程にとって重要であることを示すことができた。また、高度17～21 kmの2月下旬と3月上旬の全HNO₃濃度の減少量は、高度12～15 kmの増加量と25%以内で一致したことがわかった。これにより、下部成層圏においてHNO₃の質量保存が示され、HNO₃を含んだPSCの落下と蒸発が起きていたことを定量的に確認した。

表1 2月上旬からの下部成層圏の全HNO₃の減少量と増加量

Period	Denitrification	Nitrification	Diff. (%)
Feb. 10-17	1.1 ± 3.1	1.3 ± 2.9	+10
Feb. 18-25	2.6 ± 3.9	3.2 ± 6.0	+22
Feb.26-Mar.5	2.7 ± 3.5	2.5 ± 4.3	-7
Mar. 6-13	2.4 ± 5.4	1.8 ± 3.0	-25

単位は、10³² molecules。差 (Diff.) は (Nitrification - Denitrification) / Denitrification である。

4) まとめ

北極の極渦内の最低気温が氷点 (T_{ICE}) まで低下した

直後に、脱室と硝化がほぼ同時に観測され始めた。最低気温がT_{ICE}以下に低下した2月10～25日に、主な脱室と硝化が起きた。トラジェクトリー解析の結果、(1) 187 K (T_{ICE} - 1 K) と191 K (T_{ICE} + 3 K) の間の臨界温度まで一度冷却された後、(2) 4日間以上連続してT_{NAT}まで冷却されることが脱室が起きる必要条件であることが示された。他のILASデータの解析結果も総合すると、ILASで観測された脱室過程として、NATの核形成がT_{ICE}付近で起きて4日間のあいだに成長・落下するという機構が提案された。

脱室の高度は17～21 kmに限られ、北極の最低気温がT_{ICE}に低下した高度と一致した。この一致もT_{ICE}付近の気温が脱室の温度条件であることの証拠である。北極全域におけるHNO₃濃度の変化の見積もりから、最大の脱室の高度は18～19 kmであった。T_{ICE}以下に低下した領域の面積はこの高度で最大であり、温度条件の結果と整合的であった。硝化は高度12～14 kmで観測され、その高度の気温は一般にT_{NAT}以上であった。脱室を引き起こした粒子はNAT粒子であることを強く支持する。2月下旬から3月上旬における、高度16～23 kmのHNO₃全量の減少量は12～15 kmの増加量と25%以内で一致した。これにより、HNO₃を含んだPSCの落下と蒸発の過程を通じたHNO₃の質量保存が初めて実証された。

(3) オゾン破壊速度

1) はじめに

極域成層圏のオゾン破壊量の評価に不可欠な化学過程と輸送過程の分離を行うため、Rex *et al.*²⁾、von der Gathen *et al.*³⁾等はMatch Techniqueを考案し、日射時間とオゾン破壊の関係や化学的オゾン減少率の時間的変化を見ることに成功した。ここでMatch Techniqueとは、あるオゾンゾンデ観測された空気塊が流跡線によって計算された軌跡で移動したと仮定し、数日後の別の観測地点に十分近付いたとき、これらの2つの観測は同一気塊を捕らえた (Matchした) と解釈し、このオゾン濃度の差が力学的影響を除去した化学的な変化を与えるものである。

ここではILASデータにMatch Techniqueを応用した極域オゾン破壊量の定量化手法と関連して、Double-sounded air parcel解析の解析手法とILASデータから求めた1997年冬期北極におけるオゾン減少量について報告する。

2) 解析データと手法

オゾンの混合比と $0.78\mu\text{m}$ 可視エアロゾル消散係数データは ILAS バージョン5.20 を用いた。流跡線解析等に使う気象要素データは UKMO 全球同化データ ($2.5\text{度} \times 3.75\text{度}$, 12 UT) を用いた。

北半球における1997年1月から3月の全 ILAS 観測地点から、10日先までの流跡線を UKMO 流跡線解析プログラムを用いて、375 K から600 K の計9等温位面上で計算した。ILASで観測された空気塊を流跡線解析で追跡し、数日後別の時間・位置で再びILASが観測するような空気塊 (double-sounded air parcel) を探す。なお double-sounded air parcelの決定では、複数の流跡線解析を行い、厳密な空気塊の決定条件を設定することで、流跡線が時間と共に大きく拡散するようなケースを解析から除外できる様に工夫した。

Double-sounded air parcelの条件は、(1) 2つ目の ILAS 観測地点と1つ目のILAS観測地点から前方流跡線で計算された位置との距離の差が500 km 以内、(2) 1つ目のILAS観測地点の周り4点から計算した前方流跡線間の距離が1600km以内、(3) 1, 2の条件を、後方流跡線でも満たす、(4) 1の前方流跡線に沿ったポテンシャル渦度 (24時間の移動平均) の最大値と最小値の差の平均に対する割合が15%以内、であることとした。

オゾン減少率の計算の際には、極渦内の個々の double-sounded air parcelに対して、非断熱冷却/加熱 ()

による空気塊の下降/上昇を考慮してオゾン混合比の変化を計算する。 により、観測ペアの始点と終点のオゾン濃度は異なる温位面上で求めることになる。非断熱加熱率は Knudsen *et al.*³⁾ を利用した。次に、ある日に対して前7日以内に出発して後7日以内に到着する様な double-sounded air parcelを選び出し、データのセットを作る。そして、オゾン変化は時間に対して線形であると仮定し、最小二乗法でオゾン変化と時間の回帰係数を求め、それをオゾン変化率と定義した。

3) 結果と考察

まず、極渦内で得られた double-sounded air parcel を用いて、極渦内平均オゾン変化率を算出した。図13aに、一日あたりのオゾン変化率 (ppbv/day) の高度時間断面図を示す。これは、1時間太陽光があたった時のオゾン変化量 (ppbv/sunlit hour) に、流跡線上に太陽光があたった時間の日平均値を掛けることにより算出された。ほとんどの領域でオゾンは有意に減少していて、わずかに見られるオゾンの増加域は統計的有意性が無い。オゾン減少率は2月下旬から3月上旬の450~500 K面で最大50~80 ppbv/dayに達した。

非断熱下降する空気塊に沿って積算したオゾン減少量 (図13b) は、1月30日 (529 K) から3月31日 (475 K) で最大2.0 ppmvを記録した。1月30日の529 Kにおける極渦内平均オゾン混合比は3.6 ppmvであることから、この

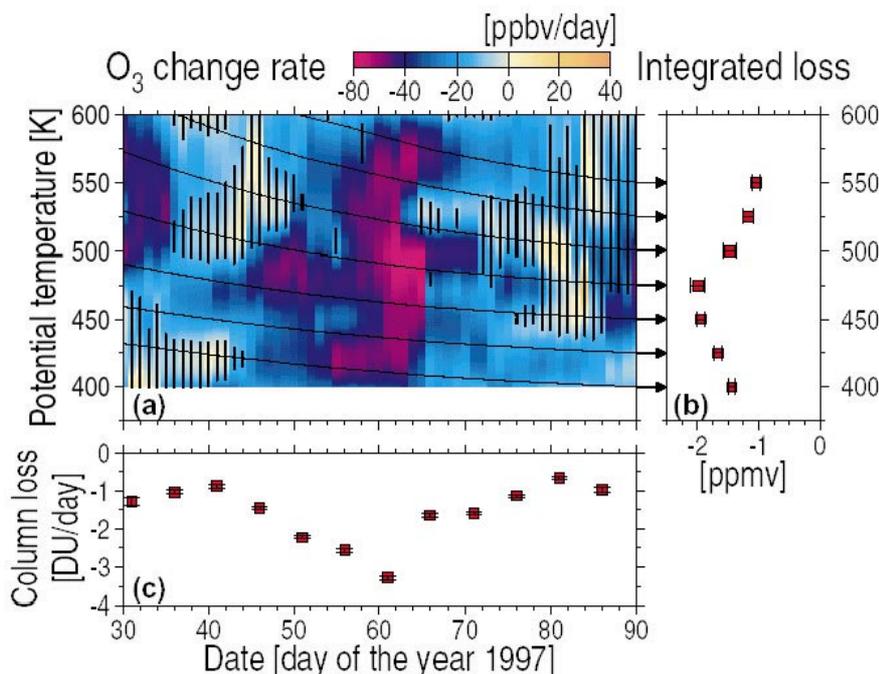


図13 (a) 極渦内平均オゾン変化率 (ppbv/day) の高度時間断面図
縦線は統計的に有意でない領域 (有意水準 99%) を、ゆるやかな曲線は空気塊の非断熱下降運動に伴う温位変化を示す。データは鉛直方向に1 K間隔でスプライン補間した。
(b) 空気塊の下降に沿った積算オゾン変化量 (ppmv) エラーバーは1シグマ。
(c) 400 Kから600 Kで積算したオゾンカラム変化量 (DU/day)

2ヵ月間で約55%のオゾンが化学的に減少したことが示された。また、オゾン変化率を混合比から数密度に変換して単位気柱におけるオゾン減少量を計算した結果(図13c)、1月30日から3月31日の400 Kから600 Kにおけるオゾンカラム減少量は96 DUであった。

(4) 北極における水蒸気の不可逆的除去(脱水過程)

水蒸気の不可逆的な除去(脱水過程)は脱室過程と同様に、巨大なPSC粒子の重力落下により引き起こされると考えられている。しかしながら、この極域成層圏に特有の現象は、これまで南極においては、航空機観測、衛星観測などにより多くの報告があるものの、北極においては、ごく数例の気球観測などの直接測定によってしか報告されていない。その主な理由は、北極は南極ほど気温が低下しないからであると考えられている。どのような条件の下でどの程度の脱水が生じ得るのかを調べることは、PSCの生成メカニズムを明らかにする上で重要である。また、脱水が一度生じた空気塊では、水蒸気濃度が少ないために、次にPSCが生成するためには、より低い気温が必要となるなどオゾン破壊メカニズムを考える上でも重要である。

まず脱水の影響を受けたイベントを検出するために、脱室現象の際に利用した HNO_3 と N_2O の相関(2.2.1項の(2)を参照)と同じ考えで、 H_2O と N_2O の相関関係を利用した。抽出されたこれらの脱水イベントが、その場での氷粒子の存在によって減少しているか否かを判断する

ために、観測空気塊の観測時の気温と観測されるまでの過去10日間の気温履歴中の最低気温を調べた。多くのイベントは熱力学的な予測通りに T_{ICE} 以下の温度で H_2O 濃度の減少が始まっているのが分かる。一方 T_{ICE} より3~4 K高い気温においてもさえも、いくつかのイベントでは有意な大きさの H_2O 濃度の減少が認められた。気塊の気温履歴の解析の結果、これらイベントは観測されるまでの間に一度は T_{ICE} 付近の気温を経験していたことが判明した。

上記の判定基準をもとに観測データを精査した結果、ILASの観測から1997年1月の北極極渦内において、最大で 1.8 ± 0.32 ppmvの水蒸気の除去(脱水現象の発生)が、衛星観測としては世界で初めて観測されたと結論した。

2.2.2 南極オゾンホール

(1) 南半球高緯度域の中層大気子午面循環

大規模なオゾン層破壊が起こる冬半球極域への成層圏内での物質輸送には、(1)総観規模擾乱(数千kmスケールの大気の擾乱)やプラネタリー波(主に大陸と海洋の表面温度の違いから強制的に作られる大気波動)の砕波によって駆動される物質循環に乗った極域への輸送、(2)中間圏での大気重力波(重力を主な復元力とする大気波動)の砕波によって駆動される、夏極から冬極への大規模な物質循環と冬極側での下降流による成層圏への輸送、があると考えられている。

図14は、ILAS, ILAS-II観測にもとづく南半球極域の

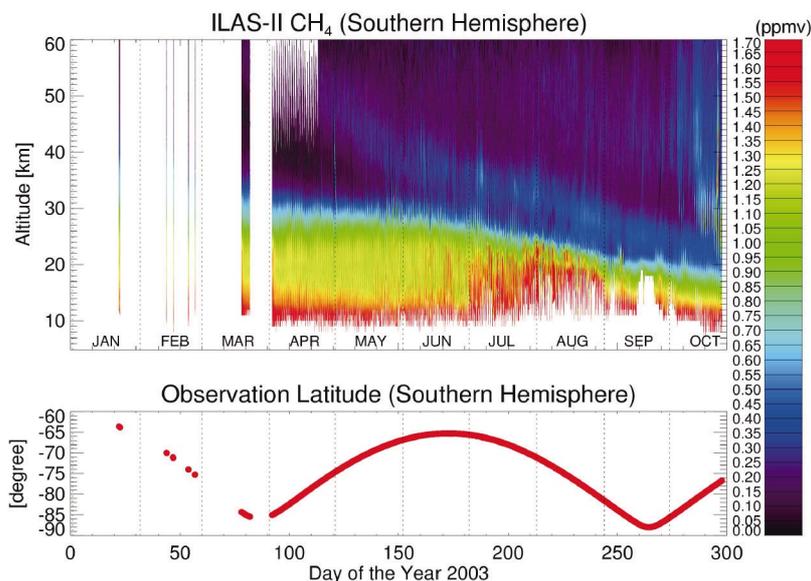


図14 南半球極域のILAS-IIメタンの時間・高度断面

メタンの時間・高度断面である。南半球の夏から春の時期にかけて、たとえば0.6ppmの等値線に注目すると、それが1月には高度36km付近から、10月には23km付近まで連続的に下降してきている様子がわかる。ここで求める平均的な下降速度(1.4km/month)は、HALOEのデータから複数年について求められた南半球冬季の平均的な下降速度の値の範囲にある。

さらに、これまで指摘のなかった特徴として、4月ごろからさらに高高度(約50km)よりメタンの極大域が速く下降してきている様子を見て取ることができる。高度が高くなるとともに大気密度は減少するので、このより高高度からの下降速度はそれよりも低高度の下降速度より速いことは整合的である。

ILAS-IIで観測された上部成層圏領域のメタンの極大については、HALOEの観測でも認められている。1997年2~3月のHALOEのメタンの帯状平均値を緯度・高度断面を解析したところ、メタンの極大が低緯度域から伸びた構造を持ち、高度60km付近に極大値を持っていることがわかった。高緯度におけるHALOEの観測はこれ以降9月まで得られないため確定的な判断はできないが、おそらくこの低緯度域から伸びてきている極大領域が時間とともに下降しているものと予想される。

ILAS-IIデータに見られる上部成層圏におけるメタンの極大値領域の下降から、高高度からの下降速度として、8 km/month(4月中旬の50kmから6月上旬の40kmまでの下降)から4 km/month(6月下旬の35kmから9月中旬の25kmまでの下降)の値が得られた。

(2) 南極におけるPSC出現頻度と気温との相関

極域でのオゾン破壊過程に影響を及ぼす極成層圏雲(PSC)の発生には、極域オゾン層の最低気温がPSC生成の閾温度以下の低温に達することが不可欠である。よって、PSC生成の閾温度以下になる気温条件の発生頻度とPSC出現頻度に一定の相関があると予想される。一方南半球では、PSC出現期間後半になると気温との相関から予想されるよりもPSC出現頻度が低くなることが指摘されている。しかしながら、南極成層圏のエアロゾル、硝酸、水蒸気に関する詳細な観測結果に基づいた、PSC出現頻度と気温との間の関係からの議論は不十分である。

そこで、ILAS-IIの硝酸データおよび水蒸気データから算出した、 P_{PSC} および $P_{T(NAT)}$ (周囲温度が T_{NAT} よりも低くなった頻度) を活用して、PSCの発生頻度と気温の変

化との相関を調べた。ここで P_{PSC} および $P_{T(NAT)}$ は以下のように定義された量である。

$$P_{PSC}(\%) = (N_{PSC} / N_{Obs}) \times 100 \quad (2)$$

$$P_{T(NAT)}(\%) = (N_{T(NAT)} / N_{Obs}) \times 100 \quad (3)$$

すなわち、 P_{PSC} は着目した時間・空間でILAS-IIの観測が行われた総数 (N_{Obs}) の内で、PSCが発生していると見なせる観測点数 (N_{PSC}) の比であり、PSC発生頻度に対応している。一方、 $P_{T(NAT)}$ はILAS-IIの全ての観測 N_{Obs} の内で、気温が T_{NAT} 温度以下になっていた観測点数 ($N_{T(NAT)}$) の比で与えられ、気温からPSCが発生しても良いと思われる頻度に相当している。

2003年の南極成層圏において、5月30日に高度23 km付近で初めてPSCの発生が観測され、その後衛星の運用が中断された10月24日まで連続的に観測された。図15aは10日間単位で算出した P_{PSC} を、白色の等高線で示している。背景に気温がカラースケールで示されている。PSCの出現頻度は下部成層圏全体をみると8月から9月に最も高く、その時期気温は非常に低温であった(185 K以下)。全体としては低温と P_{PSC} の高い時期・高度はおおよそ対応しているように見える。しかし高度20 km付近のデータに着目してみると、周囲の温度は依然として低いものの P_{PSC} はあまり高くない。図16aに、高度20 kmにおける日平均気温(青色)と P_{PSC} (黒色:破線)の時系列データを示した。気温は6月から8月にかけて、季節進行と共に下降しており、それに対応して P_{PSC} は上昇し、8月上旬には約80%にまでになっている。9月には、気温は180~190 Kで依然としてPSCの発生が十分予測される低温であるにも関わらず、 P_{PSC} は急速に低下し9月下旬には21%にまでなっている。このようにPSCの出現頻度の変化は気温だけでは説明できない。

気温以外にPSCの発生を左右する他の大きな因子は硝酸の蒸気圧である。図15bは10日間ごとに算出した $P_{T(NAT)}$ (白色:等高線)を示している。背景にガス状硝酸の混合比がカラースケールで示されている。図16aに赤色の実線で示しているように、硝酸濃度は高度20 kmでは7月前半には5.5~9.3 ppbvと高かったが季節進行とともに低下し、9月中旬には0.7~1.5 ppbvであった。同じ気圧条件下では、硝酸濃度が低くなれば T_{NAT} も低くなるため $P_{T(NAT)}$ もまた低くなることが予想される。しかし、図15bに示すように、9月後半における高度15~17kmでの $P_{T(NAT)}$ は80~90%にまで上昇している。その理由は、硝酸濃度が低かったにもかかわらず、周囲温度も非常に低

く、 T_{NAT} を下回っていたからである。 P_{PSC} は、高度20km以下では、期待される通り $P_{T(NAT)}$ と良好な相関関係を示している。

しかしこれとは対照的に、高度21~23 kmにおいては P_{PSC} と $P_{T(NAT)}$ の相関は弱くなる。図16bに示すように、高度22 kmにおける8月下旬から九月初旬にかけて $P_{T(NAT)}$ (緑色：破線) は87~89%と高い値であったが、対応する

P_{PSC} は15~40%という低い値であった。この時期・高度を図15ではarea 1として示している。図15cにカラースケールで示したように、area 1における780-nm消散係数の値は、8月中旬以降に急激に減少している。このことは、PSC粒子の核になるエアロゾル数が低下したことを示唆している。ただし極渦内に沈降が起こっている場合には、ある高度で見かけ上消散係数が減少して見える場合がある。そこで沈降の影響を除くために消散係数の時間変化を、等 N_2O 面に対して解析したところ(図17)やはり顕著な消散係数の減少が示された。このように、高高度では過去に生じたPSC粒子の重力落下により、「クレンジング効果」が引き起こされ、大気中のPSC粒子の核が減少したことがわかる。「クレンジング効果」がひ

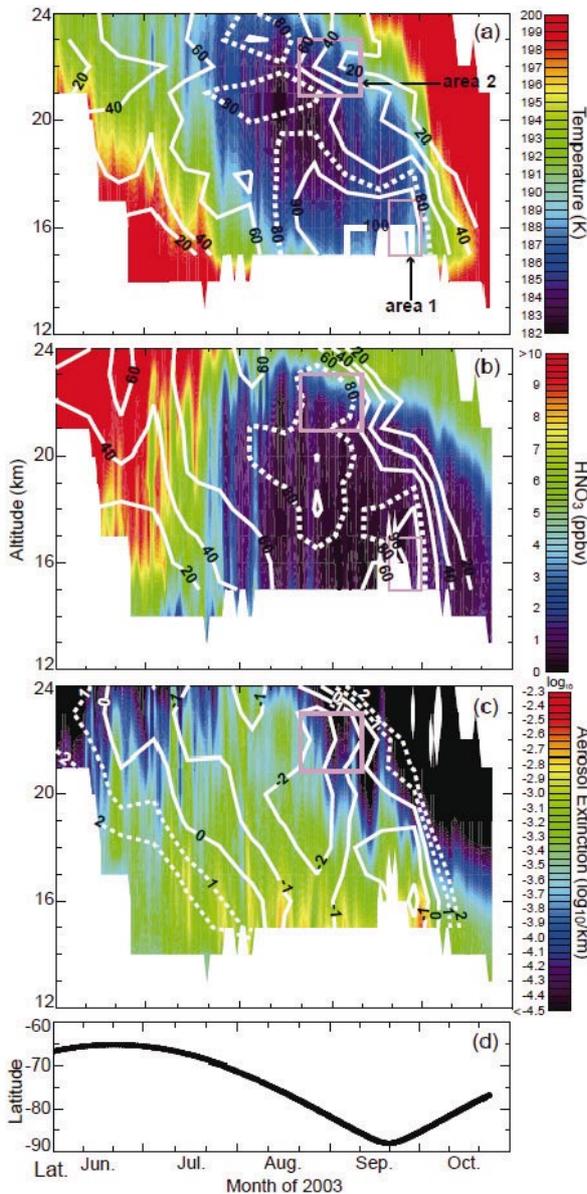


図15 (a) ILAS-II観測地点における、英国気象庁データの
日次平均温度(カラー)および P_{PSC} (白色)の時間-高度断面図
(b) ILAS-IIデータの日次平均硝酸濃度(カラー)および $P_{T(NAT)}$ (白色)の時間-高度断面図
(c) ILAS-IIデータの日次平均AE値(カラー)および気象データの気温と T_{NAT} の差(白色)の時間-高度断面図
(d) SHにおけるILAS-II観測地点の緯度
(a)~(c)については80%等値線を破線で示した。

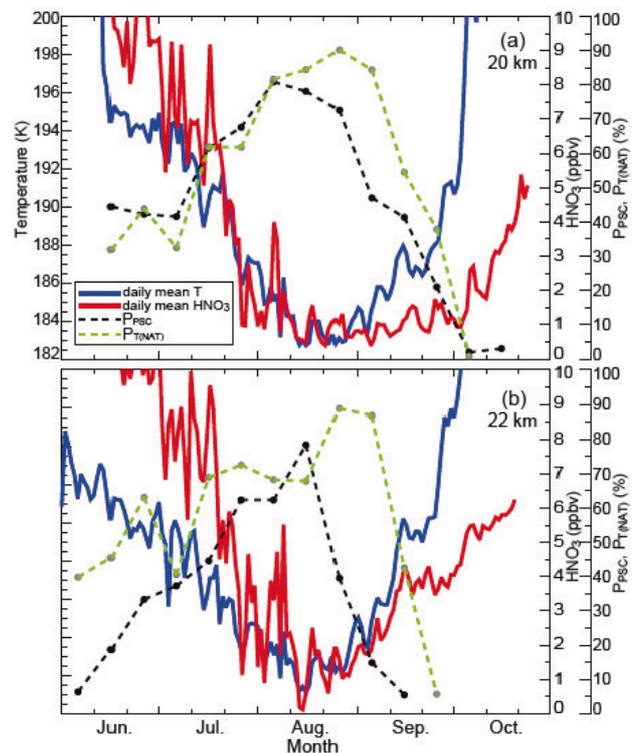


図16 日平均温度(青実線)および日平均硝酸濃度(赤実線)の
時系列変化
 P_{PSC} および $P_{T(NAT)}$ をそれぞれ黒色破線、緑色破線で示した。(a) 高度20 km (b) 高度22 km

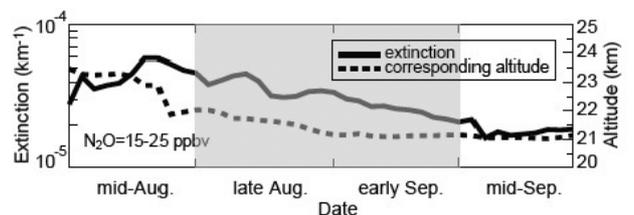


図17 15~25ppbvの等 N_2O 濃度レベルでの南極極渦内のILAS-II
消散係数(AEC)の日平均値(実線)と対応する高度(破線)の時系列変化

とたび起こると、高高度における大気中のエアロゾル濃度は、極渦の消滅に伴って起こる低空からのエアロゾル流入が無ければ増加しえない。冬季後半では、このように大気中のPSC粒子の核が不足したため、周囲温度が T_{NAT} よりもかなり低い場合でもPSC粒子の形成が抑制されたと考えられる。

ILAS-IIで実際に観測された硝酸データおよび水蒸気データに基づいて T_{NAT} を評価したところ、 P_{PSC} （PSC発生頻度）および $P_{T(NAT)}$ （周囲温度が T_{NAT} よりも低くなった頻度）は、高度20 kmより低高度では良好な相関関係を示した。しかし、高度20 km以上においては、8月後半から9月前半にかけての $P_{T(NAT)}$ が高かったのにも関わらず、 P_{PSC} は低い値を示した。これは「クレンジング効果」によって、高高度の大気中におけるPSC粒子の核となるエアロゾル数が減少し、PSCの形成が抑制されたからであると考えられる。

これまでオゾン破壊の将来予測には T_{NAT} 以下の気温になる面積などが安易に指標として使用されてきたが、 T_{NAT} だけでPSCの発生を評価することには問題があることが明らかになった。

(3) 南極成層圏の硝酸とエアロゾル硝酸係数の短時間変動

極域オゾン層における気相からの NO_y の消失には、PSCへの取り込みによる可逆的・一時的な消失とPSCの重力落下を伴う不可逆的な消失（脱室）がある。しかしながら、どのような時期にいかなる機構で脱室を引き起こすような巨大な粒子が生成されるか、など基本的な問題に関しても不明な点が多い。

本研究では衛星観測センサILAS-IIのデータを利用してPSC組成の時間発展を調べた。特にこれまでほとんど研究報告例のない数日以内のスケールでのガス状の硝酸(HNO_3)とエアロゾル濃度の指標となるエアロゾル硝酸係数(AEC)の変化を調べた。

手法としては、まず空気塊の流跡線解析を用いてILAS-IIの各高度の観測位置から順方向に他のILAS-IIの観測位置を探し、2.2.1項の(3)で述べたMatch手法を利用して測定ペアを抽出した。これらのペアの初期位置および終端位置での HNO_3 とAECの各々の差分や比を計算した。得られた HNO_3 およびAECのペア間の差分や比を解析してPSC生成とガス状の HNO_3 の可逆的および不可逆的な消失を求めた。

解析結果の例として、7月（南緯 $66^\circ \sim 71^\circ$ ）での結果を図18に示す。図の横軸は観測ペアの初期位置での HNO_3 濃度 ($[HNO_3]_{init}$) である。図の縦軸は、観測ペアの終端位置での HNO_3 濃度 ($[HNO_3]_{final}$) と $[HNO_3]_{init}$ の差 ($\Delta HNO_3(final - init) = [HNO_3]_{final} - [HNO_3]_{init}$) である。また図のプロットのカラーバーは初期位置と終端位置でのAECの比 ($\log [AEC(final) / AEC(init)]$) を示している。例えば $[HNO_3]_{init} = 5$ ppbv, $\Delta HNO_3 = +5$ ppbvでプロットが暖色系の場合を考えると、まず $\Delta HNO_3 > 0$ であることから、注目している空気塊の中のガス状 HNO_3 は2つの観測位置の間で5-10 ppbvに増加したことに対応する。さらにプロットが暖色系であることから、消散係数が小さくなった（エアロゾル体積の減少に対応）ことに対応する。よって、初期位置から終端位置に空気塊が移動することにより、空気塊の中のエアロゾル体積が減少し、それに対応してガス状 HNO_3 濃度が増大した、と解釈できる。

図18にもどって、7月のオゾンホール内のガス状 HNO_3 およびエアロゾル消散係数の変化を眺めると次のことがわかる。

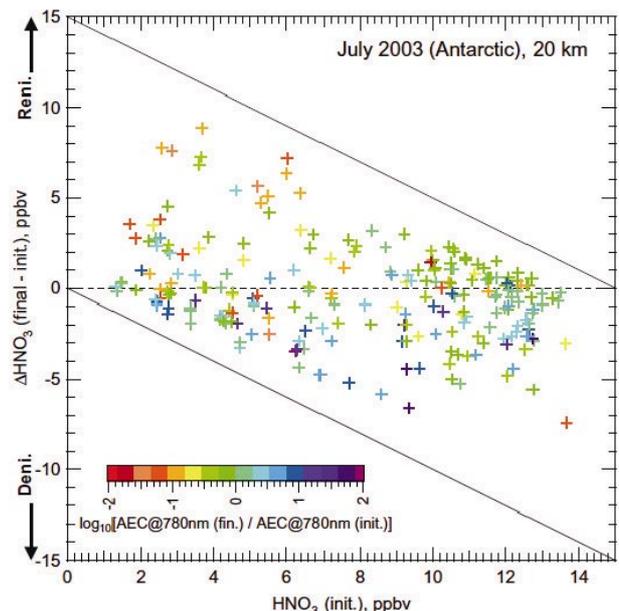


図18 2003年7月の南極極渦内でのILAS-IIバージョン1.4硝酸データを基に作成した硝酸濃度の変化
図の横軸は観測ペアの初期位置での HNO_3 濃度 ($[HNO_3]_{init}$) である。図の縦軸は、観測ペアの終端位置での HNO_3 濃度 ($[HNO_3]_{final}$) と $[HNO_3]_{init}$ の差 ($\Delta HNO_3(final - init) = [HNO_3]_{final} - [HNO_3]_{init}$)。カラーバーは初期位置と終端位置でのAECの比 ($\log [AEC(final) / AEC(init)]$)。

- (i) 多くの空気塊では、エアロゾル体積変化は顕著ではなく（緑色）、またガス状硝酸濃度も10~13ppbvで一定である。
- (ii) HNO_3 が大きな正の値（ $\geq 5\text{ppbv}$ ）を示すケースでは、初期の HNO_3 濃度は低く（ $\leq 6\text{ppbv}$ ）、また計算される $[\text{HNO}_3]_{\text{final}}$ の値はほぼ10~13 ppbvの範囲にある。さらに多くの場合、消散係数の減少が認められた。
- (iii) 一方、(ii) のケースの逆として、 HNO_3 が大きな負の値（ $> -5\text{ppbv}$ ）を示すケースでは、初期の HNO_3 濃度は比較的高く（ $> 6\text{ppbv}$ ）、消散係数の増加が認められ、マッチの間に HNO_3 の吸収とそれに伴うPSCの発生が認められる。
- (iv) 最後に特徴的なケースとして、大きな HNO_3 の減少と、それにもなう大きな消散係数の減少が見られる。これは、マッチの間にPSCの発生と引き続き脱室が生じていたことを強く示唆する。

(4) 南極オゾンホールでのオゾン破壊量と脱室規模の定量

先に述べたオゾン破壊速度の定量化の他にも、いくつかの手法によってオゾン破壊や脱室の定量化が可能であ

る。ここでは、考えている時間スケールにおいて化学的に不活性な大気力学トレーサー成分と、求めたい化学変化成分（オゾンや硝酸）との相関関係を利用した定量手法について述べる。

1) 相関プロット手法

大気力学トレーサーとしては亜酸化窒素 (N_2O) を利用する。冬の始まりでは、オゾンや硝酸の化学変化はまだ生じていないため、その時期に得られた N_2O とオゾン（あるいは硝酸）の相関関係を確立し、それを基準とする。オゾンや硝酸は、化学的な変化を受けなければ、冬季間の下部成層圏では十分に寿命が長いので、その相関関係が維持され得る。しかしながら、塩素・臭素反応によるオゾン破壊や脱室が生じた場合、その相関関係からの逸脱が見られる。従って、 N_2O とオゾン（硝酸）の相関関係の時間発展を見ることで、時間積分値としてのオゾン破壊量や脱室規模の定量化が可能となる。この場合、空気塊同士の混合過程が生じた場合には、その定量値に不確かさが伴う可能性がある。混合の影響を考慮に入れた新たな手法が開発されつつあるが、ここではそれについては触れない。

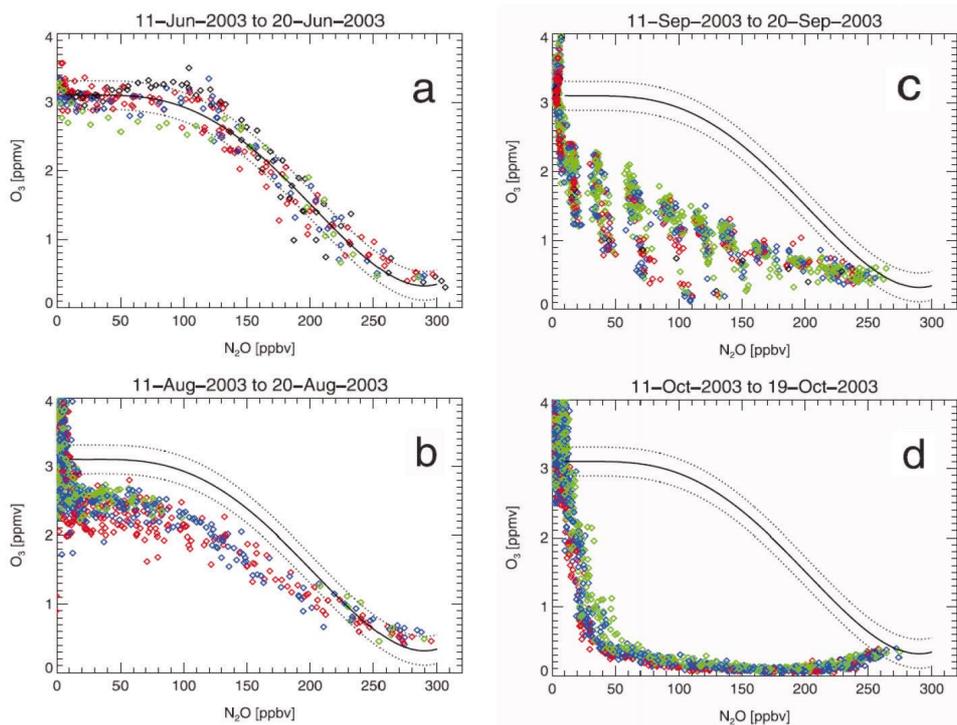


図19 2003年6~10月、南極極渦内のILAS-IIデータを基に作成された O_3 と N_2O の相関関係
 黒線は2003年6月11~20日の観測から導出した初冬参照値 (a), 点線は不確定領域を示す。それぞれの色は等価緯度 - 南緯65~70度(黒), 70~75度(赤), 75~80度(青), 80~90度(緑) - に対応する。

2) オゾン破壊量

図19は、南極極渦内での N_2O とオゾンの相関関係の時間発展を示す。6月の中旬(図19a)では、化学的なオゾン破壊がまだ進む前の状態であり、この時期の相関関係を定量的ための基準とした。図中には、4次の多項式でフィッティングした曲線が示されている。また、プロットシンボルは、極域の力学的中心からの距離の関数として色分けされている。

オゾンの破壊は8月から見られはじめており(図19b)、9月の中旬(図19c)では、局所的にほぼゼロ付近にまでオゾン濃度が減少しているのがわかる。最後の10月中旬のパネル(図19d)では、50から250ppbvの広い N_2O 濃度範囲(高度にして、およそ15~20km)でオゾンが0.3ppmv程度以下になっている。これは、ほぼ3ppmvのオゾンが破壊されたことに相当する。

3) 脱窒規模

図20は、オゾンと同様に極渦内での N_2O と硝酸の相関関係の時間発展を示す(左上から2003年5月から右下10月まで)。ただし、プロットシンボルは、高度ごとに色分けされている。脱窒はオゾン破壊のように徐々に進行するものではなく、先に述べたように、非常に短い時間スケールでも進行し得る。また、南極では、すでに5月後半において、PSCが発生する低温となるために、基準となる N_2O と硝酸の相関関係(図中実線で示されたカーブ)を5月上旬の値とした。大規模な脱窒は既に6月にも見られており(図20上段中央)、9月ではほぼ全ての N_2O 濃度範囲で、硝酸は2ppbv以下の低濃度となっているのがわかる(図20下段中央)。これは、最大で10ppbv以上の脱窒規模に相当する。また、最後の10月(図20下段右)では後半に極渦が崩壊し始めたために、極渦外の空気が進入してきた結果として、硝酸濃度の高い空気が見られている。

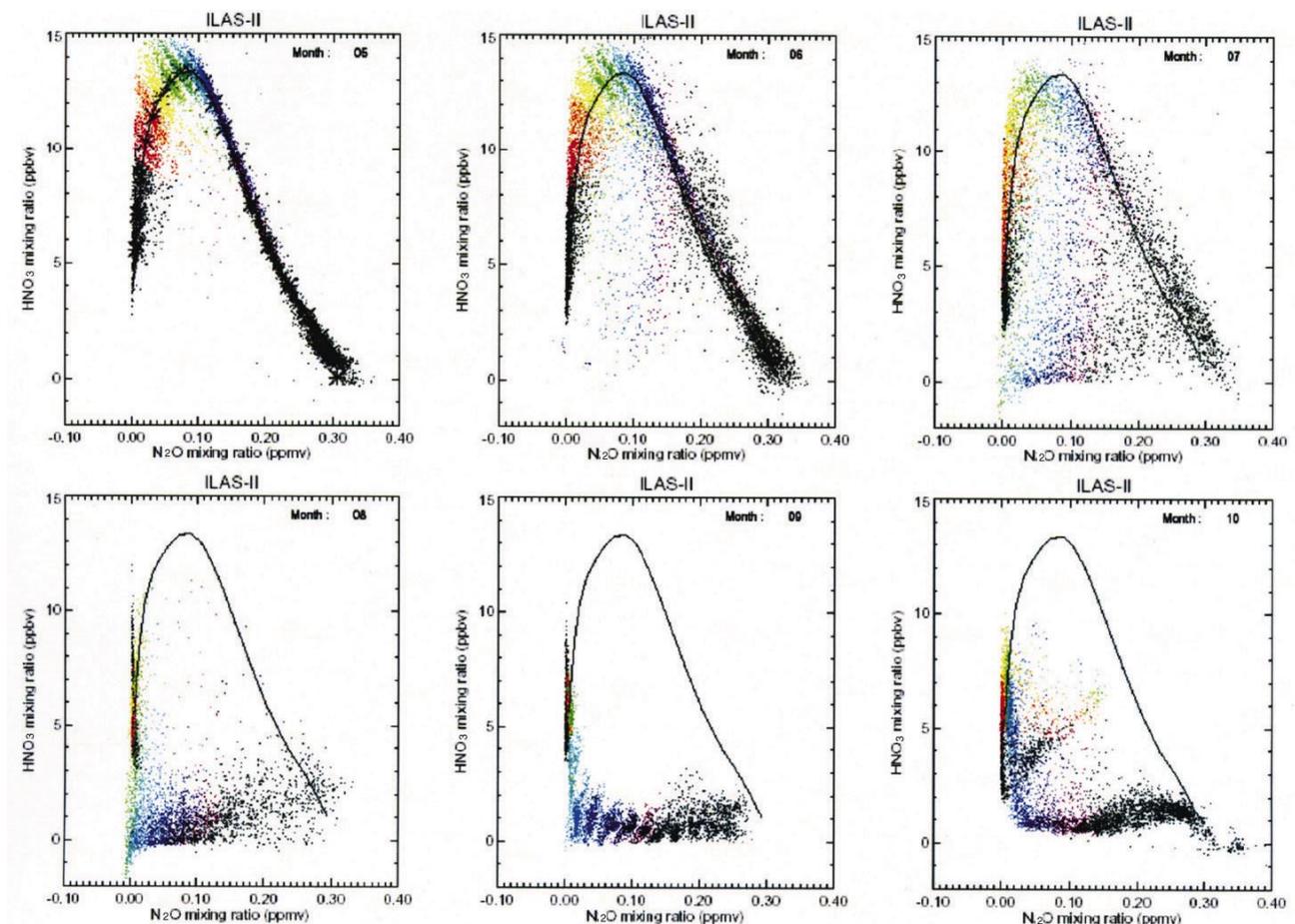


図20 ILAS-IIバージョン1.4データを基に作成した、2003年の南極成層圏での30km以下の高度域における、5月から10月までの HNO_3 と N_2O の相関(高度1kmごとに色を分けて表示) 実線は5月1~10日の高度1kmごとの濃度平均値から算出したリファレンスカーブ。

2.2.3 極渦活動度の長期変動の解析

(1) 規格化した渦位傾度 (NGPV) を用いた極渦変動図の作成

欧州中期気予報センター (ECMWF) や米国環境予測センター / 米国大気研究センター (NCEP/NCAR), 気象庁 (JMA) 等によって作成される天気予報用の三次元気象データ (客観解析データ) を用いて, 渦位と呼ばれる物理量 (等温位面上では保存量なので, 一種のトレーサーとして扱える) の分布を求め, 極渦の可視化を行うことができることを, これまでの研究で明らかにしてきた。本研究では, 最近公開された1958年から約40年間のNCEP/NCAR再解析データについて同一の手法を適用して可視化し, さらに極渦の特性を表すパラメータを抽出して, そのトレンド及び長期・短期変動について解析した。

極渦内外の境界には, 極渦内外の輸送の壁が存在するため渦位の勾配が大きい。従って, 渦位を等価緯度で微分し, 渦位によって規格化した量 (normalized gradient of potential vorticity; NGPV), $s(\varphi)$,

$$s(\varphi) = (dQ/d\varphi)/Q \quad (4)$$

によって, その時刻の極渦の境界の位置 (等価緯度) および輸送の壁の強さがわかる。NGPVの値は平均すると

90分の1 (0.011) となるが, その約3倍の値0.03以上のところが極渦の縁にあたる。NGPVのピークは北極でも0.06以上, 南極では0.07以上になっていることが多い。そして, $s(\varphi)$ のピークの位置 φ^{\max} が極渦の境界の位置であり, $(90 - \varphi^{\max})$ が緯度で表した極渦半径となる。また, $s(\varphi^{\max})$ がその時刻の極渦強度である。 $s(\varphi)$ の時間変化を秋から初夏まで図示すると, その冬 (ここでは, 晩秋から晩春までの極渦のある期間を「冬」で代表する) の極渦の強さ, 大きさ, 継続期間, 安定性が一目で分かる。これを「極渦変動図」と称した。

(2) 北半球及び南半球の極渦変動

北半球の1959年から2000年までの42年間の極渦変動図を図21に示す。なお, ここでは, 1958年の秋から1959年の初夏までの期間を「1959年 (の冬)」で代表する。高緯度側と低緯度側が $s(\varphi)$ の高い部分によって分離され, それが明瞭になる11月終わりから12月の始め頃が極渦の生成時期である。この後極渦が成長し半径20~30度の極渦ができ, 3~5月のある時期に $s(\varphi)$ の高い部分が消失する。これが最終昇温による極渦の崩壊にあたる。ところが突然昇温のために, 1月や2月に $s(\varphi)$ の高い部分が突然消えて極渦が無くなること, 小さくなることが

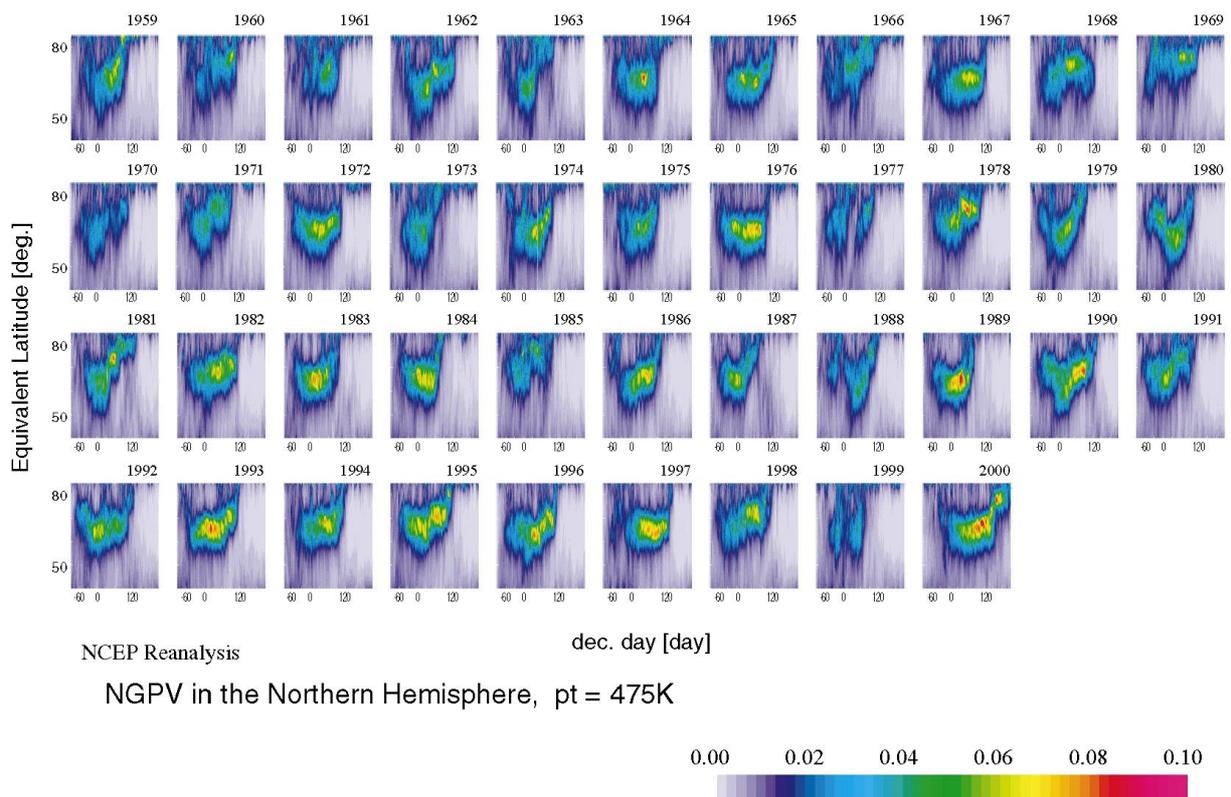


図21 1959~2000年の北半球極渦変動図
規格化渦位傾度の時間 - 等価緯度面上マップ。

ある。1963年2月初旬や1973年2月、1977年1月、1985年1月に明瞭に見られる。また、1967年、1972年、1976年、1993年、1997年などの年には極渦が強くて安定していたことが分かる。1995年2月初旬にも小さいがはっきりした昇温があったが、その後極渦は再び安定化した。1999年には極渦はきわめて弱かった。2000年の極渦は2月から3月始めにかけて非常に強かった。また、3月中頃の極渦の分裂後も小さな極渦が4月後半まで残ったことが分かる。また、1959年から2000年までの42年間の北半球の極渦変動図を眺めると、1997年までは極渦が徐々に強くなっていること、安定化していることが定性的に分かる。

北半球での極渦強度は、少なくとも太陽活動が活発な期間においては高度17～22 kmで、高度が高くなる程強くなる傾向（年率約1%）にあることが見いだされた。一方極渦半径は17～22kmの高度範囲ではほとんど同程度であり、また40年間に3～4度大きくなる傾向がはじめて見いだされた。

南半球では極渦の強度、半径、持続期間、安定性のいずれもが北半球より大きく、特に極渦強度は大きくなってきていることが分かった。一方極渦の半径は1960年代と比較しても増加しておらず、極渦生成から極渦消滅までの間の極渦半径の変化も、1960年代ではほぼ一定の半径を有していたのに対し、1990年代には極渦生成時には半径が小さく、7月頃に最大になり、その後縮小する特徴を有していることがわかった。

2.3 中緯度オゾンの変動

冬から春にかけて形成される極渦の内部において引き起こされる極域のオゾン破壊は2.2章で述べたように、オゾン破壊の規模が大きく、その変動は特徴的である。それに対して、中緯度のオゾン変動を把握することは以下の理由から非常に難しい。すなわち(i)春から初夏にかけての極渦起源の空気塊の輸送の影響、(ii)亜熱帯域からの空気塊の輸送の影響、(iii)光化学的オゾン生成領域からの輸送の影響、(iv)中緯度その場での光化学的オゾン破壊の影響、(v)対流圏界面位置の変動、(vi)対流圏上部・成層圏下部での物理・化学過程の影響、などが非常に複雑に絡んでいるためである。

本プロジェクトでは、気象パラメータの解析、光化学的寿命が長く力学的な輸送の影響を調べる上でトレーサーとなる物質(N_2O , CH_4 , O_3 など)の挙動、オゾンその

もの変動などを、ILASデータやミリ波オゾン分光計データの解析、さらには化学輸送モデルによる数値シミュレーションなどを通して調べた。特に中緯度オゾンと極域オゾンの相互作用の解明を中心に、中緯度オゾンの変動要因を明らかにすることを目指した。

2.3.1 夏期の北半球中高緯度オゾン、亜酸化窒素の挙動

(1) はじめに

北極域の周極渦崩壊後の、春から夏にかけての下部・中部成層圏における光化学過程と力学過程を研究することは、対象となる領域の特殊性(全日照等)の考慮を必要とする意味でも興味深い。ここでは、極渦崩壊後の1997年4月から6月にかけてILASで測定されたオゾン、 N_2O の中高緯度の高度23～25 km付近における挙動について議論する。

(2) ILASの観測結果

図22は、Day number 91(4月1日)から180(6月30日)までの温位600 Kレベル(高度23～25 km付近)におけるオゾン混合比の時間-経度断面を示す。この図の特徴は、Day 130以降でオゾン濃度の低い領域が西進しており(図中で、寒色系の縞が左上から右下に向けて連続的に続いている)、西進は少なくともILASの観測終了となったDay 180まで持続している点である。そこでこの低オゾン濃度域の西進について、期間を二つに分けて考察する。まずDay 150までの期間について調べてみると、低濃度のオゾンと低濃度の N_2O の領域とは良く一致しており、周極渦内のオゾン、 N_2O ともに低濃度の空気塊が極渦崩壊後に西進していったものと考えられる。一方Day 150以降では、UKMOの等圧面高度場の解析から、オゾン等で見られた波動構造(東西波数2, 周期約半月)とほぼ同様な波動の存在が確認できた。このことから、この期間のオゾン等に見られる西進構造は、波動活動にともなう移流によって作られたものと示唆される。また、Day 150以降、低濃度のオゾンに対応して高濃度の NO_2 が観測された。

次に図22に示されている温位600 Kに相当する高度域での低濃度あるいは高濃度のオゾンがどこから運ばれてきたかを調べるために、各観測ポイントから10日間の後方流跡線解析を行った。用いた気象データはUKMOデータである。流跡線解析結果から、過去10日間の空気塊の

平均滞在緯度（ALと略す）を計算した。その結果，ポテンシャル渦度の値（PVU）が高い（ $PVU > 70 \sim 80$ ）空気塊は主として $AL > 65^\circ$ の領域にあり，その空気塊内の N_2O 濃度も低い。一方， $70PVU$ 以下の空気塊では， N_2O 濃度はALに依存せずほぼ一定（ 170 ± 20 ppbv）であり，オゾン混合比はALと明瞭な逆相関関係を示す特徴を有することがわかった。

（3）まとめ

オゾン濃度の低い空気塊がどこから輸送されてきたかを系統的に調べるために，10日間の後方流跡線解析を観測されたすべての空気塊について行った。この10日間の平均滞在緯度（AL）の関数としてオゾン濃度と亜酸化窒素濃度を比較した。その結果，5月以降の極渦起源の空気塊を以外に着目すると， N_2O の場合はAL値に依存せず，ほぼ一定の濃度となっているのに対して，オゾンの場合はより大きなAL値ほどオゾン濃度が小さくなっていることが明らかになった。このことから，この時期の600 Kの高度領域ではオゾンの光化学的破壊がより高緯度側ほど大きいと考えられる。

2.3.2 化学輸送モデルを用いた極渦崩壊後の N_2O の混合過程の研究

（1）背景

ILAS観測では，ポテンシャル渦度の値（PVU）の大

きかつ N_2O 濃度の低いと言った極渦内空気の特徴を有する空気塊を，AL（過去10日間の空気塊の平均滞在緯度）の小さい領域においても捕らえている。このような現象はHessらによる，極渦内にあった空気が極渦崩壊とともに一旦はちぎれてバラバラになるが，そのちぎれてできた極渦内起源の小空気塊がその後数ヶ月の間は，周りの空気と容易に混合されず夏の成層圏に“frozen in（凍結）”される，という仮説（Hess *et al.*^{4）}，Hess^{5）, 6）}）が成り立っていることを示唆している。そこでILASによる高緯度の微量成分の観測が行われた1997年について，極渦内起源の空気塊が夏の成層圏でどのように“frozen in”されているのかを，ILASのVersion 5.20 N_2O データとナッキング化学 - 輸送モデル（CTM）による N_2O の分布のシミュレーション計算によって調べた。

（2）化学輸送モデル

化学輸送モデルについての詳細は，後に2.4.1節で述べるが，東京大学気候システム研究センターと国立環境研究所で共同開発を行った大気大循環モデルに，国立環境研究所で開発した大気微量成分の濃度計算モジュールを結合し，さらに気温と風速のデータをこのモデルに入力して同化させ，毎日の大気微量成分の濃度分布を計算できるようにしたものである。モデルではSchumann-Runge帯における放射の計算にMinschwaner *et al.*^{7）}のパラメタリゼーションを用い，Schumann-Runge帯による

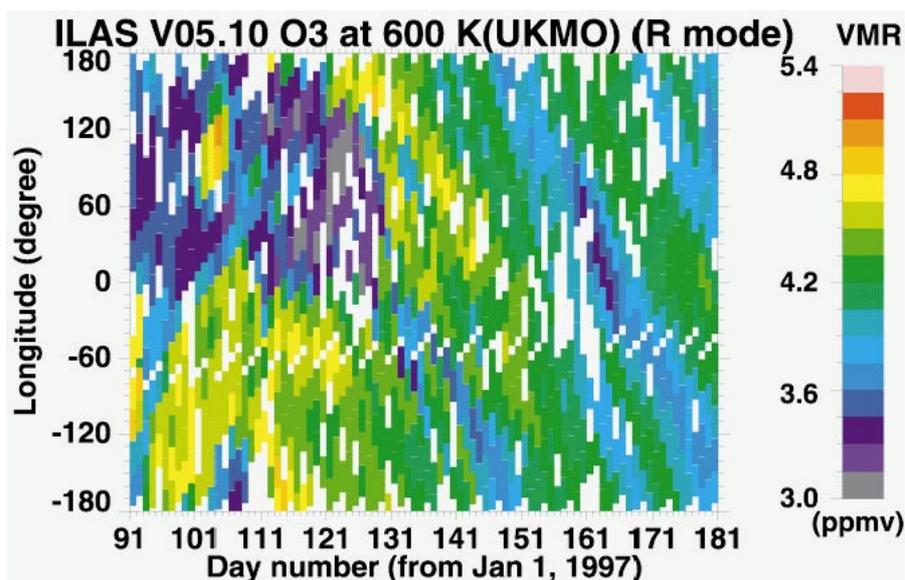


図22 ILASにより測定されたオゾン混合比の時間 - 経度断面図
観測緯度帯は，北緯55～65度。

N_2O 、フロン・ハロン類の光解離の導入により、紫外域での光解離効果が強化され、対流圏上部から成層圏にかけて、これらの気体の濃度が上層へ向かって急激に減少し始める高度がより低くなり、鉛直分布が観測値とよく合うようになった。このモデルの水平分解能はT42 ($2.8^\circ \times 2.8^\circ$)である。

(3) ILASと化学輸送モデルの N_2O 濃度分布の比較

図23に、ILASと化学輸送モデルの、600 K (高度22~24 km)の等温位面上における N_2O の混合比の時間 - 経度断面を示す。1997年4月1日からILAS観測が中止されるまでの6月30日までの期間について示されている。ILASの観測緯度は、一番上のパネルで示されている。CTMの出力は、ILASの観測緯度・経度・時間に関して

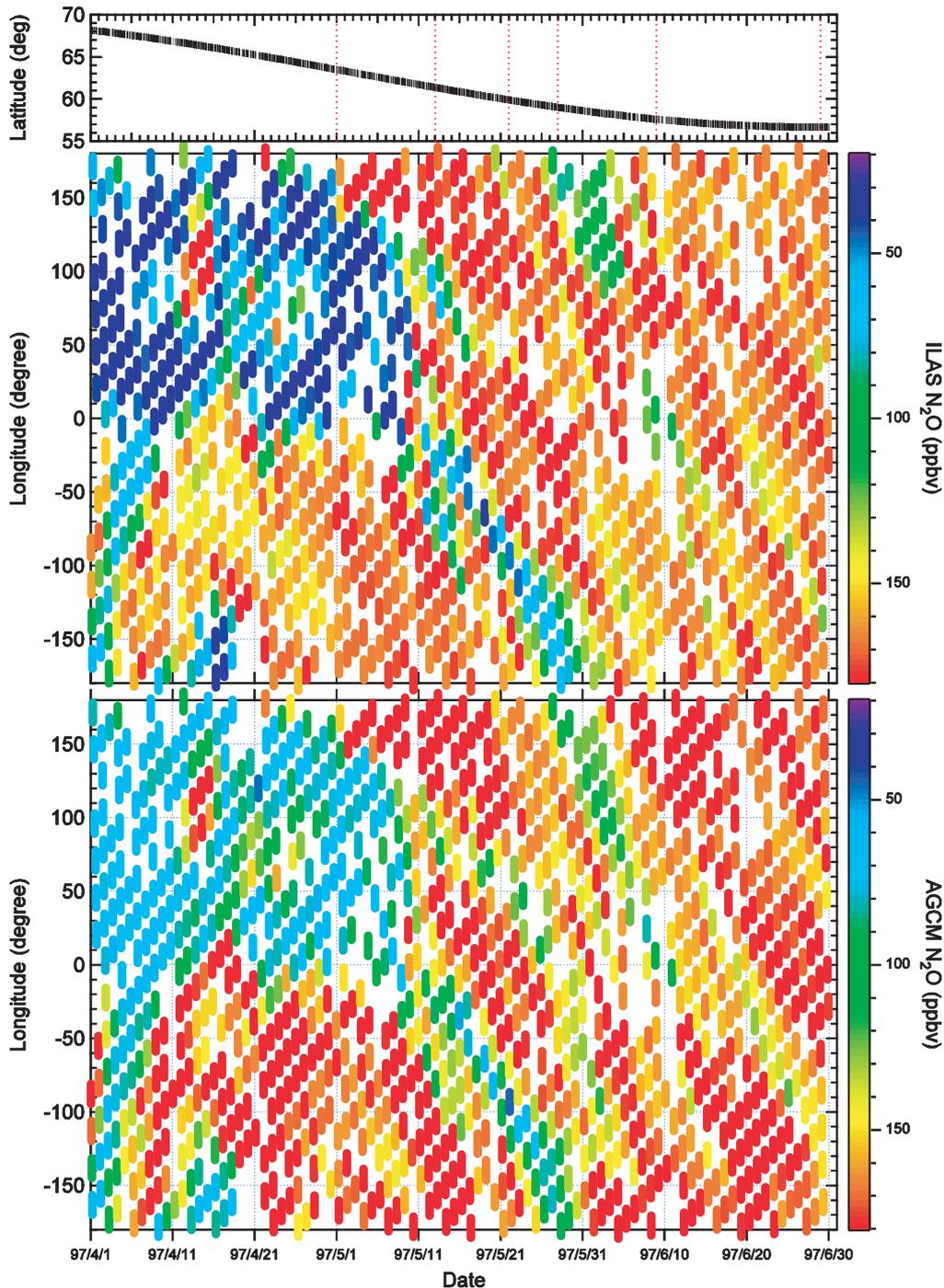


図23 600 K等温位面上の N_2O 体積混合比の時間 - 経度断面
97年4月1日から6月30日のデータおよび計算結果。ILASによる観測値(上)と化学輸送モデルによる計算値(下)。ILASの観測緯度を一番上の小パネルで示す。

線形補間されている。CTMはN₂O混合比の値が小さいところでILASに比べて若干大きい混合比を与えるものの、図に示された1997年の北極渦崩壊時期（1997年5月10日あたり）前後では、観測とモデルのN₂Oの変動・分布にはかなりよい一致が見られている。ここでは、ILASデータと化学輸送モデルの計算値の一致が特によい600Kの温位面上でのN₂O分布に対する数値モデル計算結果を述べる。なお、図23において、極渦崩壊後、低濃度N₂O空気塊を示す筋がとぎれている部分があるが（6月5日あたり）、これは、この気塊がILASの観測緯度をはずれて南へ一時的に移動したためである。

（4）化学輸送モデルによって計算された極渦崩壊後の低濃度N₂O空気塊の混合過程

化学輸送モデルによって計算されたN₂Oの600 Kの等温位面上の分布から、5月下旬までには極渦内起源の空気塊の渦位は、周囲の空気の渦位と大差なくなりそのコントラストが失われているのに対して、N₂O濃度はコントラストが保たれていることがわかった。これは、下部成層圏では渦位のタイムスケールが1～3週間なのに対して、N₂Oの光化学タイムスケールが数年であるということに起因する。この低濃度N₂O空気塊は北極渦崩壊後の5月中旬から7月15日まで北極の周りを時計回りに約2周回って北極の中心に近づき、動きが止まるまでの間、数回“stretching”を経験し、その度に周囲との濃度コントラストを弱めていくことが示された。低濃度N₂Oを含んだ空気塊がstretchingを経験する時のこの濃度コントラストが弱まる原因の一つは、温位面に水平な、等温位面上での混合が起こるためと考えられる。また、化学輸送モデルの中でも水平方向の混合と共に鉛直方向の混合が起こり、低濃度N₂O空気塊の濃度コントラストが弱められていったと解釈される結果が得られた。

（5）下部成層圏渦拡散係数の推定

ILASで観測された北極渦崩壊後の0.0E起源の低濃度N₂O空気塊は、CTM計算によって、初期の段階では、その形が丸くてきれいな形をしていたことがわかった。また、この気塊のその後の挙動も追跡できた。そこで、拡散方程式を使って、この空気塊の空間スケールと存続時間から、この気塊のプラネタリースケールでの渦拡散係数を見積もった。600 K上での初期の低濃度N₂O空気塊の半径 $x = 1000 \sim 1500$ km、寿命 $t = 2.5$ カ月（7月下旬

まで識別可能だという計算結果）より、 $1/2 (x)^2 / t$ により渦拡散係数の値を計算すると、 $0.8 \sim 1.7 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ という値を得た。550 K上では、 $t = 1.5$ カ月（6月下旬まで識別可能だという計算結果）により、 $1.3 \sim 3.0 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ となった。これらの値は、極渦崩壊後の下部成層圏の、プラネタリースケールでの渦拡散係数の値として、他の方法で見積もられた値と同程度の値である（例えば、Newman *et al.*⁸⁾、Plumb and Mahlman⁹⁾、Haynes and Shuckburgh¹⁰⁾。

2.3.3 化学輸送モデルとILASデータを用いた北極夏季のオゾン変動

ILASデータの解析からPVUが小さく（< 70 PVU）、N₂O濃度がAL（過去10日間の空気塊の平均滞在緯度）に依存せずに 170 ± 20 ppbvとほぼ一定である夏の北極成層圏オゾン層では、O₃濃度とALとの間に明瞭な逆相関があることを2.3.1項で述べた。このことは、より高緯度域でオゾンの光化学的破壊反応が進行していることを示唆している。そこで、化学輸送モデルを用いて夏の北極域でのオゾン分布がいかなる要因で引き起こされているかを調べた。

化学輸送モデル（CCSR/NIES ナッジングCTM）は北極渦崩壊後のO₃濃度の擾乱およびこのO₃濃度とN₂O濃度との関係でみられた6月上旬における変化をよく再現した。例えば6月4日頃から急速に高緯度で東西波数2の構造が発達し始め、北極域を中心に発達した低濃度O₃域がILASの観測地点（60°N付近の丸印）に到達していることなどが示された。

オゾン濃度の空間分布の変動を調べるため、6月1日以降O₃をトレーサーとして扱って（O₃に関わる光化学反応をOFFにして）計算したオゾン分布は光化学反応を含めた場合の低オゾン域の同心円上からの変化をよく再現したことから、この変化は主として大気の力学的変動によって引き起こされたことが分かる。一方で、光化学反応をOFFした場合の計算はILASオゾンに比べてオゾン濃度を過大評価しており、オゾン破壊反応の寄与を示唆する結果となっている。

CTMによる計算結果の解析を行ったところ、高緯度の650 Kでは、NO_xによるオゾン破壊が、他のO_x、HO_x、ClO_x、BrO_xによるオゾン破壊に比べて圧倒的に大きく、その影響が4月から5月上旬にかけて急増していることがわかった。5月上旬以降のこの高度におけるNO_xによ

る O_3 破壊率は、70 ppbv/day程度であり、かなり大きい値である。 O_3 濃度は5 ppmv程度なので、そのタイムスケールは約70日ということになる。一方、6月上旬に起きた東西波数2の発達には約10日程度の間起こったことであり、6月以降のオゾン濃度の変動は、 NO_x のオゾン破壊サイクルによって北極を中心に比較的ゆっくりと発達した同心円上のオゾン減少域が、夏の下部成層圏におけるプラネタリースケールの波動の影響を受けて中緯度方面へ比較的速く張り出したものと解釈できる。

2.3.4 極域オゾン層破壊が中緯度オゾン量に及ぼす影響の評価

極域成層圏では極渦が形成され、それによって極域の大気は中緯度の大気との混合が妨げられ、一種の孤立状態が作り出される。この孤立した大気中での極域特有の化学反応によって大規模なオゾン破壊が起こる。本研究では、化学過程によって引き起こされる極域のオゾン濃度の低下が、極渦の外からの空気の進入によってどの程度緩和されるか、極渦内の特有な化学反応によってオゾン破壊された空気が極渦の外に運ばれ、極渦の外側の大気のオゾン濃度に対してどの程度の影響を及ぼすのか、を理解することを目的とした。定量的な議論を目指して、手法としては時間閾値解析法および化学輸送モデルを用いた。

化学輸送モデルに関しては2.4章で述べるためここでは説明を省略し、時間閾値解析法についてのみ記す。時間閾値解析法は、空気粒子のトラジェクトリーを解析し、トラジェクトリーが境界（本研究では北極渦の境界）を横切る粒子の数を勘定するものである。ただし、すべての時間スケールの粒子の境界超えを数えることはせず、ある閾値以上の時間スケールの粒子の境界超えのみを勘定する。本研究では閾値を3日、7日、15日に設定した。例えば、閾値3日の場合は、極渦の内側に3日以上滞在した粒子が極渦の境界を越え、極渦の外側に3日以上滞在したとき、極渦の内側から外側へ粒子が通過したとみなす。

空気粒子のトラジェクトリーの計算は、ECMWF operational気象データ（ $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 、1000~10 hPaの14層、6時間ごと）の東西風速、南北風速、鉛直等圧面速度を直接使って計算したものと、ECMWF気象データを用いた化学輸送モデルのこれらの量のアウトプットを使って計算したものと、2種類の場合で行った。

(1) 極渦境界の時間変動

まず3つの極渦境界（内側境界、中間境界、外側境界）を、ECMWF気象データを用いて計算した。その結果、解析の対象とした1997年は、北極渦中間境界が1月から4月まで一定の等価緯度（ $65^\circ N$ ）付近に存在した北極域では極めて希な年で、北極渦は南極渦に近い状態であったことがわかる。

(2) 異なる極渦境界で見た極渦の内側から外側への流出イベント

まず北極側から赤道側へ南向きに流出するフラックスを1月1日から4月30日までの期間、時間閾値解析法を用いて計算した。その結果1997年の2月中旬から4月中旬にかけては、北極渦の内側から外側への空気の流出フラックスは比較的小さく、この期間の北極渦が安定していた事実と一致する。一方で、北極渦が過去に例のないほど安定していたこの期間中でも、極渦はある程度乱され、450Kの高度域では極渦内空気の極渦外への比較的大きな流出イベントが少なくとも4回は存在していたことが判明した。南極の場合、極渦が安定する6月から10月の期間には、流出イベントらしきものは見あたらないことから、安定している1997年の北極渦においても、その安定性は南極渦に比べて低いことがわかった。

次に化学輸送モデルの亜酸化窒素（ N_2O ）の分布から求めた極渦境界でのフラックスを解析すると、下部成層圏における N_2O 濃度は、低緯度で高く極渦に向かって単調に濃度が低くなる分布を示す。渦位とは N_2O 緯度勾配が逆になるが、渦位と同様、 N_2O 濃度によって等価緯度を定義することが可能である。 N_2O 濃度の緯度勾配によって定義された中間境界（濃度勾配が最大の N_2O 濃度等価緯度）は、 $68^\circ N$ であり、この境界において4つの大きな流出イベントは検出された。また流出イベントは450Kより少し上の500Kにおいても明瞭に認められた。

(3) 化学輸送モデルによる極渦内光化学の極渦外への影響の評価

1996年11月21日から1997年6月1日までの期間について、北極渦の境界の位置を判定しそのデータを使って次の3つの数値実験を行った。

実験1：化学輸送モデルの化学過程を全領域でON。

実験2：上部対流圏から下部成層圏にあたる高度220~8.6 hPaの間の極渦の内側でのみ化学過程

ON, 外側では化学反応をOFFにしてオゾン
をトレーサーとして計算。

実験3：高度220～8.6 hPaの間の化学輸送モデルの全

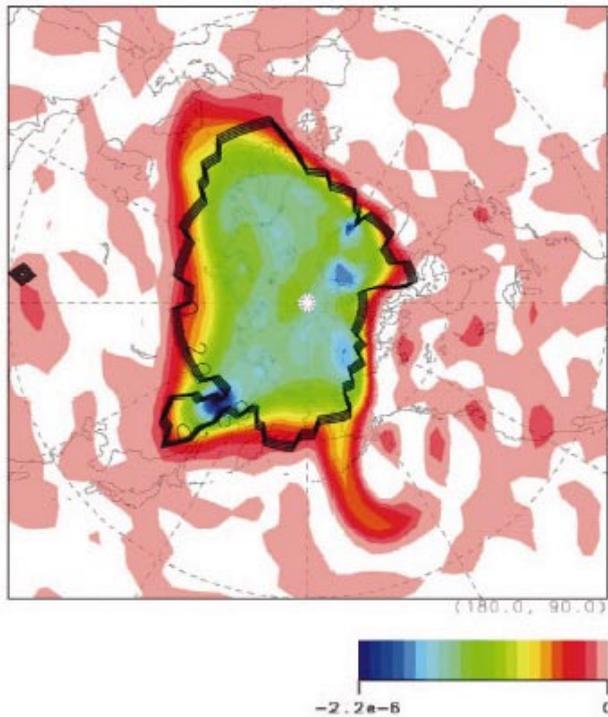


図24 450K, 1997年4月10日00UTのオゾン体積混合比の
(実験2 - 実験3)の値の分布
太い黒線は北極渦の境界を表す。図の上が標準子午線,
下が東経180度。

領域で化学反応をOFF。オゾントレーサー
として計算する。

計算は、1996年11月21日から始め12月1日以降、それ
ぞれの実験の設定が働くようにした。したがって、(実
験1 - 実験3),あるいは、(実験2 - 実験3)で示され
る化学オゾン破壊量は、1996年12月1日からの積算値と
考えてよい。これらの数値実験結果のうち、1997年4月
10日の温位面450 Kの高度におけるオゾン体積混合比の
(実験2 - 実験3)の値の分布を図24に示す。黒い太線
は極渦の境界を示し、極渦内で化学反応によってオゾン
が減少している。さらに日本の東の太平洋上空(図下方
のひげの見える部分)で、オゾン減少を起こした空
気塊が極渦外へ輸送されていることがわかる。

図24に示した4月10日の流出イベントに続いて、極渦
内空気の極渦外への流出に対応する、より大きなイベン
トが認められた4月17日の分布図を図25に示す。合わ
せて、時間閾値解析法によって極渦の内側から外側に出
たと判定された粒子の分布も図に示した。両方の図から、
極渦の内側の光化学の影響が現れている場所と、時間閾
値解析法によって極渦の外側に出たと判定された粒子が
多数分布する場所が一致していることがわかる。

次に数値実験結果を極渦の構造に沿った等価緯度に対
して解析した。その結果、温位450 Kの高度における極

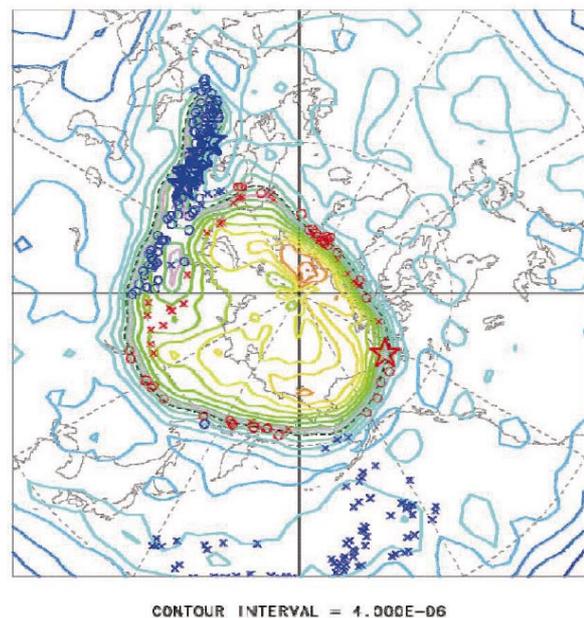
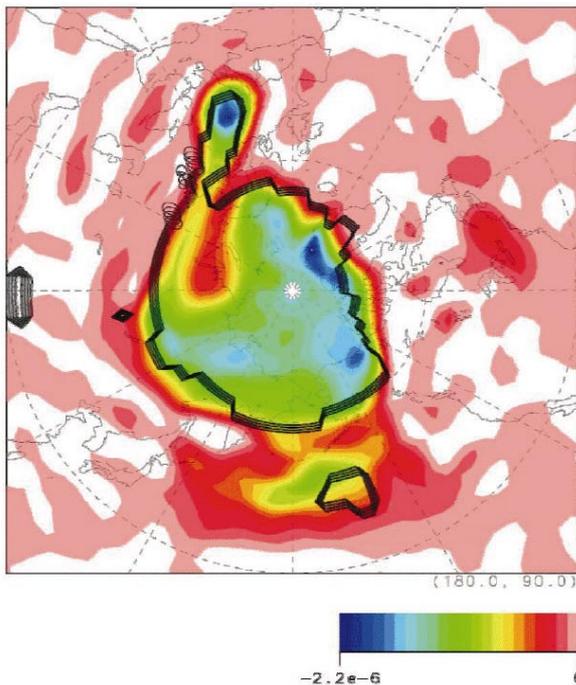


図25 450K, 1997年4月17日12UTのオゾン体積混合比の(実験2 - 実験3)の値の分布(左図)
太い黒線は極渦の境界を表す。
時間閾値解析法によって極渦の内側から外側へ出たと判定された粒子の分布(青色の×印で表されている。右図)
上が標準子午線, 下が東経180度。左右の図の縮尺が若干異なることに注意。

渦内でのオゾン破壊が極渦外のオゾン濃度に及ぼす影響は、等価緯度55~65°Nでは20~25%であり、365~525Kの下部成層圏では、12~15DUの影響があることが分かった(オゾン全量の3~4%に達する)。一方、等価緯度30~60°N平均では、その影響は3月末までに2DU、4月末までに4DU程度となった。以上の結果から、1997年の北極オゾン層破壊によるオゾン濃度の減少が中緯度オゾンに及ぼす影響は、極渦の外側約10°の緯度帯のオゾン量に対しては大きいですが、中緯度全体のオゾン量に対する影響は小さいことがわかった。さらに、中低緯度では極渦外のオゾン光化学の影響が強くなるので、極渦内オゾン破壊の影響は、(実験2 - 実験3)で求められた値(どちらも極渦外では、オゾンはトレーサーに設定されている)よりもさらに小さくなる可能性が示された。

2.3.5 中緯度中間圏オゾンの変動観測

つくばミリ波分光計で1996年10月から2000年3月の期間に測定された夜間ミリ波スペクトルデータの解析を行い、高度38~76kmのオゾン濃度鉛直分布の時間変動を求めた。この内、特徴的なオゾン濃度の季節変動を図26に示す。中間圏オゾンの頻度の高い長期連続観測はこれまでに例が無く、その時間変動についての知見は十分ではなかった。解析の結果、観測された高度範囲では高度によって3つに分けられるオゾンの季節変動を明瞭に検出した。

高度38~56kmまでの上部成層圏・下部中間圏では年周期のオゾン変動が顕著である(図26下段の50kmの図を参照)。観測されたオゾン濃度は12月に最大、6月に最小となり、これらは他の観測結果と良く一致している。

中間圏の高度56~68kmおよび68~76kmでは、それぞれで互いに位相の反転した半年周期変動が観測された。このうち68km以下のオゾン半年周期変動(図26中段の60kmの図を参照)については、世界で初めて明瞭に示したものである。68km以下の中部中間圏のオゾン濃度は1月および7月に最大となり、ほぼ単一のsinカーブで表される。振幅は高度60kmにおいては年平均値に対して13%であり、これは高度76km(図26上段)での値(28%)の半分程度と小さい。

中間圏のオゾン濃度は基本的には光化学反応によって決まることから、オゾン半年周期変動の原因としては気温変動の影響が考えられる。これまでに、気温以外のプ

ロセスが無視できる程度の短時間の観測から、オゾンと気温に明瞭な逆相関があることが見だされている。中間圏の気温については、高度60kmでは6K程度の振幅の半年周期変動が知られている。また、その位相は我々の観測したオゾン半年周期変動のそれとほぼ逆転している。そこで、高度60kmにおけるオゾン濃度と気温との逆相関の関係式を用いると、6Kの気温変動によってオゾン濃度は年平均値に対して12%変動することがわかった。これは観測された値(13%)にほぼ一致する。このことから、中間圏オゾンの半年周期変動は気温変動の影響を強く受けている可能性が高いと考えられる。一方で、気温とオゾンの半年変動の位相は完全には一致していない。それ故、オゾン半年周期変動には気温変動以外のプロセスが影響を及ぼしている可能性も考えられる。中でも水蒸気は、中間圏における主要なオゾン破壊過程に関連するHO_xの生成源であり、かつ中間圏において寿命が長い輸送による季節変動を示すことが知られており、その寄与については今後の検討が必要である。

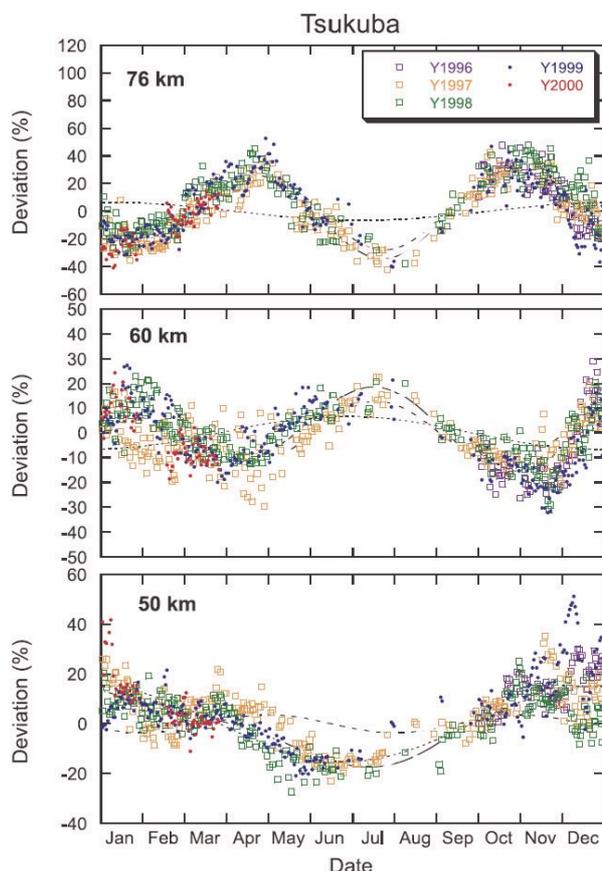


図26 1996~2000年の期間につくば上空の高度50, 60, 76kmで観測されたオゾン混合比の季節変動。観測された季節変動は一年周期(短い破線)および半年周期(点線)の変動の重ね合わせ(長い破線)として解析。

高度68 ~ 76 kmの上部中間圏では、68 km以下と比べて振幅が大きく、かつ位相が逆転したオゾン半年周期変動（図26上段の76kmの図を参照）が見られる。この変動は半年周期の単一sinカーブで良く表すことができる。これまでSME（Solar Mesosphere Explorer）衛星から、オゾンの光解離によって生成する励起状態の酸素分子の測定によって上部中間圏のオゾン変動を抽出した例はある。SME観測から抽出されたオゾンの季節変動は年変動と半年変動の組み合わせた形で表されており、ミリ波オゾン計での観測結果とは違いがある。SMEによる観測とは異なり、ミリ波観測はオゾンを直接測定していることから、少なくともミリ波分光計による観測では、オゾン以外の季節変動の影響はほとんど受けていないと考えられる。

この高度領域でのオゾン半年周期変動のメカニズムについては、これまでにモデルによる研究から重力波砕波の活動性の季節変動との関連が示唆されている。しかしながら現時点では、このモデル計算によっては観測されたオゾンの時間変動を定性的にも説明できていない。このことは中間圏上部におけるオゾン変動に関する化学・輸送・波動プロセスについては理解が十分ではないことを物語っている。中間圏でのオゾン変動は成層圏オゾン変動を理解する上でも不可欠であり、観測データの充実とモデルの面からの研究を今後も進めていく。

2.3.6 成層圏オゾンの短期変動解析

成層圏のオゾントレンドはフロンなどオゾン破壊物質

の長期変化に起因する化学的なオゾン破壊量の変化のほかに、（オゾンの輸送に係わる）力学的な変動にも影響を受けるものと考えられている。特にオゾンカラムの短期変動に関しては、空気塊の垂直移流と水平移流の変動が強く係わっているとの指摘もある。しかしカラム（気柱全量）の変動は高度によって異なる力学過程の重ね合わせとして表されることから、その要因分析では高度別の解析が必要である。

本研究では、高度別にオゾンの短期変動に対し力学的過程がどの様に影響しているかを調べる目的で、北海道陸別に設置されたミリ波オゾン分光計で測定されたオゾン高度分布データの解析を行った。

解析では、1999年11月から2004年12月までの約5年間のデータを用いた。また気象場の変動は気象データ（NCEP Reanalysis Data）を用いて調べた。

高度20kmでのオゾンの混合比と気象パラメータとの相関を調べた結果を図27に示す。図27（右）はオゾンの混合比を温位の関数として、また図27（左）ではオゾン混合比を渦位の関数としてプロットしている。

ある高度における温位の変動は断熱変化による空気塊の鉛直方向の変動（上昇、下降）を意味する。一方、渦位は温位面上で保存されることから水平輸送による変動（空気塊が水平移流されたこと）を意味する。図27を見ると、オゾン混合比は渦位との相関は明確ではないが、温位とは相関が認められる。他の高度領域（20 ~ 30km）についても同様の解析を行った結果、オゾン混合比は20 ~ 22kmでは垂直移流との相関が強く、26kmでは水平移

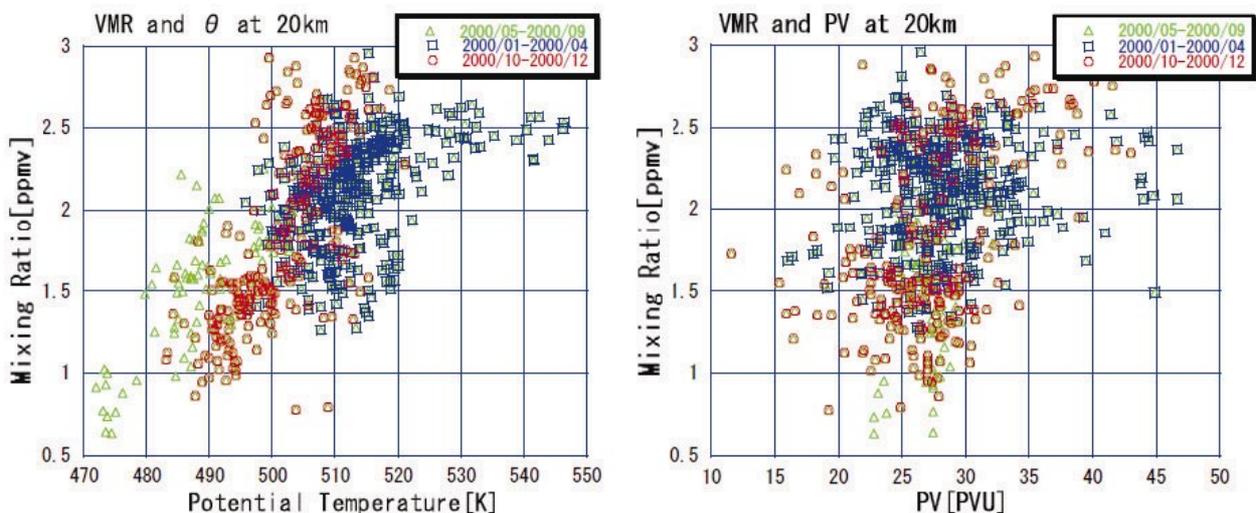


図27 （左）高度20kmでのオゾン混合比と温位の相関（右）高度20kmでのオゾン混合比と渦位の相関

流との相関が顕著であった。また得られた特徴は、20kmと26kmにおける温位に対するオゾン濃度の鉛直勾配と渦位に対するオゾン濃度の水平勾配の違いも一員と考えられる。このことから、オゾンの短期変動に力学過程が係わっており、また高度によってその機構が異なっていることが示唆された。

2.4 オゾン層のモデリング

2.2章と2.3章ではオゾン層の観測結果とその定量的解釈を述べてきた。この章では、東京大学・気候システム研究センターと国立環境研究所が共同で開発してきたCCSR/NIES大気大循環モデル (CCSR/NIES AGCM) に成層圏プロセスを組み込んだ成層圏化学数値モデルの開発と数値モデルを活用した研究成果を報告する。

2.4.1 モデルの概要

オゾン層破壊に関連した大気微量成分濃度の3次元分

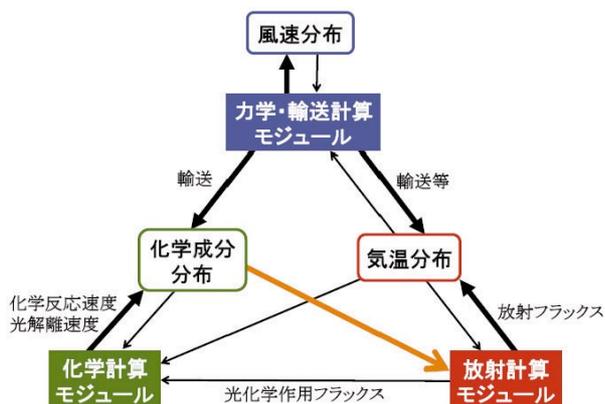


図28 成層圏化学モデルの概念図

布や変動の化学的及び力学的要因を調べるため、化学輸送モデルを用いた研究が行われてきた。化学輸送モデルは気温と風速の客観解析データを用いて化学物質の生成・消滅と輸送を計算する、いわゆるoff-line計算モデルである。このようなoff-lineとよばれるモデルにおいてさえも、例えばオゾン量変化の大気放射過程へのフィードバックは、現在の大気を示す標準的なオゾン分布に対しての補正という形で取り入れられている。しかしながら、将来大気におけるオゾン層の変動などを議論するような場合は、必ずしも現在の大気と微量成分の分布が同じとは限らないような状況における問題を考察することになり、微量成分の放射過程へのフィードバックを陽に考慮した3次元モデル、その結果として、微量成分分布と放射過程と力学過程間の結合過程をフルに考慮したモデル (化学気候モデル) を構築する必要がある。

オゾン層破壊を扱う成層圏モデルは次の概念図 (図28) で示す様な構成・考え方に基づいて作られている。本プロジェクトで開発・改良を行ってきた成層圏モデルは、化学気候モデル (Chemistry Climate Model: CCM) と化学輸送モデル (Chemical Transport Model: CTM) であり、それぞれの特徴は次の通りである。

化学気候モデル：

化学成分の分布、気温分布、風速分布をモデル内で直接計算 (図29, 左) することで、例えば化学成分の量が変化、放射フラックスの変化、気温分布の変化、化学成分の生成量・消失量の変化、といった様なフィードバックを扱うことが可能である。

例えばCO₂の増加に伴うオゾン層の応答などを議論

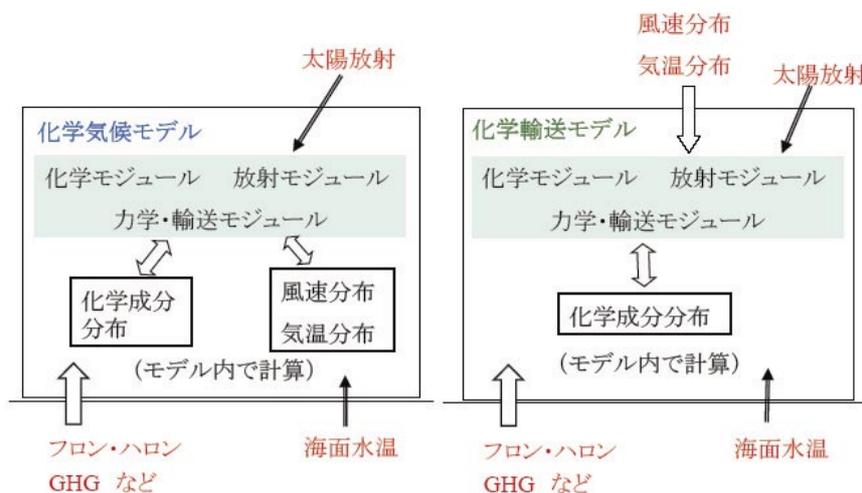


図29 化学気候モデル (左) と化学輸送モデル (右) の入力変数と予報変数の違い
赤字で示した部分が入力変数、四角で囲った変数が予報変数。

する際に有効。

化学輸送モデル：

物質輸送に係わる風速分布や気温分布を、気象観測値や客観解析データなどを利用して外部変数として与えて、化学成分分布などを計算（図29，右）する。

例えばオゾンの生成・消滅に係わる化学プロセスを含む場合と含まない場合（トレーサー実験）との差から、化学プロセスによるオゾンの生成量・破壊量を議論する際に有効。

2.4.2 CCSR/NIESナッジング化学輸送モデルの開発

CCSR/NIES成層圏大気大循環化学モデルはCCSR/NIES AGCM (Numaguchi *et al.*¹¹⁾) をベースに、水平分解能T21 (5.6° × 5.6°)，地表から約70kmの高度までを考慮した鉛直34層の分解能を有し、O_x、HO_x、NO_x、ClO_xオゾン分解サイクル計算を行うための光化学反応コードが導入されている。化学成分の計算にはファミリー法が用いられた。さらに極域におけるオゾン破壊の計算を可能にするために、モデルにはNAT (Nitric Acid Trihydrate：硝酸三水和物) と氷粒子の生成 / 消滅およびその表面上での不均一反応過程を計算するためのコードが導入された。

化学輸送モデルにおいては、モデルの大気微量成分分布の計算結果が日々の微量成分観測結果と3次元的に合致することが要求されるので、より高い空間分解能、より詳しい光化学反応を導入することが望ましい。そこで、水平分解能がT21 (5.6° × 5.6°) のモデルの他に、高空間分解能のT42 (2.8° × 2.8°) モデルを開発した。この高空間分解能モデルによって、極渦周辺の複雑な物質輸送のシミュレーションが可能になった。また臭素系物質を含む気相光化学反応スキーム、及びケンブリッジ大学において開発された不均一反応スキーム (Sessler *et al.*¹²⁾) を導入した。不均一反応は全部で13種類考慮されているが、そのうち、N₂O + H₂O, ClONO₂ + H₂O, ClONO₂ + HCl, HOCl + HCl, BrONO₂ + H₂O, HOBr + HClが重要な反応である。不均一反応の場となるPSCs (Polar Stratospheric Clouds：極成層圏雲) は、STS (Supercooled Ternary Solution：H₂SO₄/HNO₃/H₂Oからなる液滴のPSCs), NAT, および氷を考えた。

また、化学輸送モデルでは、N₂Oやフロン、ハロンなどの200nm以下の波長でのSchumann-Runge帯による光解離の効果を考慮に入れた。その結果、紫外域での光解離

効果が強化され、対流圏上部から成層圏にかけて、これらの気体の濃度が上層へ向かって急激に減少し始める高度がより低くなり、鉛直分布が観測値とよく合うようになった。

大循環化学モデルを実際の気象データを用いて走らせる化学輸送モデルにするために、大循環化学モデルに気象データの同化を行うためのモジュールを結合させた。気象データの同化はナッジングという簡便法を用いて、気象データ (NCEP/NCAR再解析データやECMWF再解析データ) の値に緩和時間1日 (= 1 day) で近づくようにした。すなわち、

$$dx/dt = - (x - x_{obs}) / \tau \quad (5)$$

を満足する形で、計算されるモデルの値 (x) を気象データの値 (x_{obs}) に近づけた。なお対象としている気象パラメータxとしては、x = 東西風速u, 南北風速v, 気温Tである。ナッジングは6時間ごとの再解析データをモデルのタイムステップに時間に関して線形内挿し、その内挿された値について行った。

2.4.3 化学輸送モデルによるオゾン変動解析

(1) 亜熱帯域のオゾン変動

1) 背景

中緯度のオゾン変動は、中緯度での光化学反応によるオゾン破壊の他に、極域でオゾン破壊を生じた空気の中緯度への輸送および混合や、熱帯域、亜熱帯域からの空気の混合の影響も受ける。極域オゾン層破壊が中緯度オゾンに及ぼす影響に関する研究例は既に2.3章で述べた。ここでは、数値モデルを用いた亜熱帯域でのオゾン変動に関する研究例を示す。

熱帯域のオゾン変動では季節変動成分が卓越しており、オゾン全量の最大は9月に起こり、最小は1月に起こることがわかっている。QBO成分、ENSO成分も年々変動に及ぼす影響が大きいことがわかっている。これに対して、熱帯と中緯度帯の境目に位置する亜熱帯域のオゾン変動に関する研究は少ない。亜熱帯域のオゾン変動に関しては、熱帯のオゾン変動にほぼ連動するであろうとも思われるが、一方で、この領域はオゾン全量の緯度勾配が急な領域であり、ほんの少しのオゾン全量の空間パターンの移動が、ある地点の大きなオゾン変動になり得る。したがって、大気の大循環や波動などのわずかな変化の影響を受けやすい領域と言える。

2) 化学輸送モデルによるオゾン分布の計算

亜熱帯域のオゾンがどのようなメカニズムで年々変動するのかを調べるため、まずナッジング化学輸送モデルとECMWFデータを用いた1996年と1997年のオゾンのグローバル分布の計算を行った。その結果、どちらの年も化学輸送モデルがEP-TOMSの観測結果を良く再現することが確かめられた。特に、亜熱帯西太平洋域のオゾン全量極小域が、1996年は台湾から日本の南部にかけて位置しているのに対して、1997年は赤道東太平洋に移動している特徴についても、化学輸送モデルは良く再現した。モデル計算結果の解析から、1996/1997年の2年間の亜熱帯西太平洋域の冬季のオゾン全量の変動は、亜熱帯オゾン極小域の位置の違いが引き起こしているものと考えられる。またこのようなオゾン極小位置の年々変動はQBOやENSOの影響を受けているものと推測できる。

そこで解析期間をさらに拡大して、1996年から2002年までのEP-TOMSによるオゾン全量の観測データを使い、亜熱帯西太平洋域(15~25°N, 120~150°E)での観測値を面積の重みをつけて平均し、この領域平均に関してZiemkeの方法(Ziemke *et al.*¹³⁾)で時系列解析を行った。この時系列解析では、季節変動、太陽活動の11年周期、QBO、El Nino、対流圏上部-成層圏下部気温(対流圏界面高度などに対応)の影響を調べることができる。その結果、振幅の大きい季節変動成分を除いた残りの年々変動成分について、この期間中オゾン全量の特に少なかった1996/1997年、1998/1999年、2001/2002年の冬季は、QBOの成分が大きいことがわかった。また、これらの年

にはこの領域がQBOによって駆動される大気循環の上昇域に入るために、オゾン全量が少なくなっていることがわかった。

ECMWF気象データを用い、不均一反応過程を除外したCCSR/NIESナッジング化学輸送モデルによる計算も行い、このモデルがこの領域のオゾン全量の年々変動をよく再現していることを確認し、それによってこの領域のオゾンの長期変動が、オゾンの輸送の長期変動によってほぼ決まっていることが明らかとなった(図30)。さらに、1979~1992年までのNimbus7-TOMSによるオゾン全量の観測データを用いて同様な時系列解析を行ったところ、QBOと対流圏上部-成層圏下部気温の影響が大きく、どちらもオゾン全量に関して5~10ドブソンユニットの寄与をもっていることがわかった。El Ninoの影響は、全般に小さいが、特定の年に限っては大きかった(例えば1983年など、約8ドブソンユニットの寄与)。

以上の結果から、1996年から2002年のEP-TOMSの観測データに見られる最近の亜熱帯西太平洋域のオゾン極小は、QBOが特定の位相になったときに発生しており、QBOによるオゾンの輸送効果が主な原因であることがわかった。値としては少し小さいが、他に圏界面高度の影響や、El Ninoの影響も受けていることもわかった。不均一反応を除外した化学輸送モデルで、観測されたこの領域のオゾンの年々変動はほぼ再現できたが、一部観測値とモデルの計算値の一致がよくない部分も見られ、その原因の一つとして、圏界面付近で発生する氷晶などの表面で起こる不均一反応による、オゾン破壊反応の影響

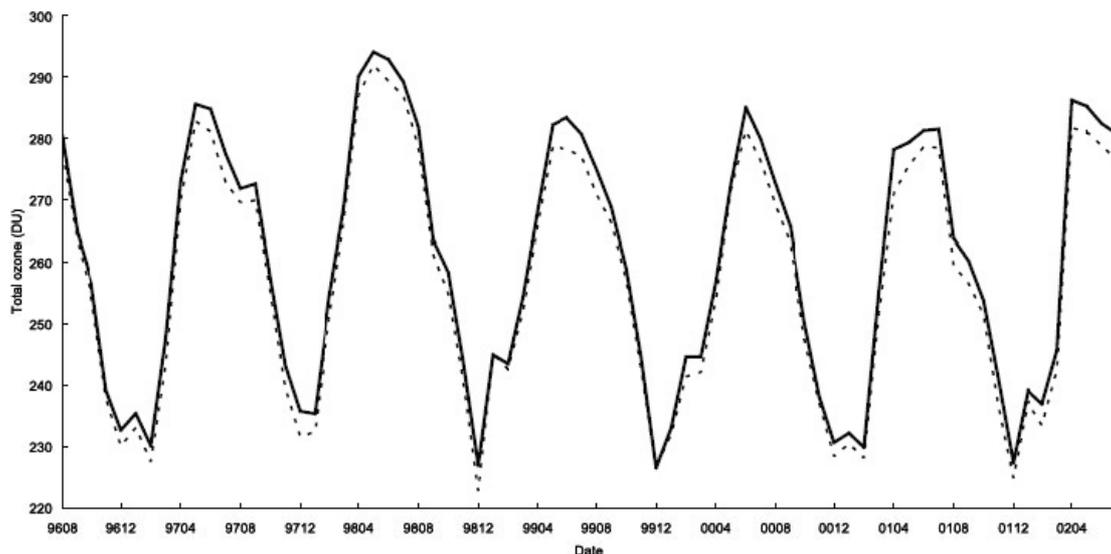


図30 亜熱帯西太平洋域のオゾン全量の年々変動(1996~2002年分)の数値実験結果
点線と実線はそれぞれ不均一反応を考慮したモデルおよび不均一反応の寄与を無視したモデルによる実験結果。

が考えられる。

(2) 臭素化合物のオゾン破壊に及ぼす影響

フロンの規制によって、成層圏においても Cl_y （主として $\text{HCl} + \text{ClONO}_2$ ）の量は減少傾向に転じたと考えられる。一方、臭素のソースガスであるハロンの中には、現在まだ放出量が増加しているものがあり、成層圏の臭素量は、今後もうしばらくの間は増加する可能性も残されている。臭素は、下部成層圏では塩素に比べてより活性化形をとって存在しており、例えば、塩素化合物では HCl がその大部分を占めるのに対し、 BrO と BrONO_2 が下部成層圏における臭素化合物の大部分を占める。

本プロジェクトでは、化学気候モデルへの臭素化学反応系の導入も視野に入れながら、化学輸送モデルへの臭素化学反応系の導入を進めた。本研究では、化学輸送モデルを用いた数値実験によって、臭素のオゾン破壊の特性を北極域でのオゾン破壊を中心に検討した。

1) 化学輸送モデルへのBr反応系の導入がモデルオゾン分布に及ぼす影響

CCSR/NIES化学輸送モデルを使って、1997年の気象条件の下で、臭素化合物の濃度を強制的にゼロとおいた計算結果と現実の臭素化合物濃度を与えた際の計算結果との差から臭素化合物のオゾン量に対する影響を見積もった。まず、不均一反応過程を除外した場合、その影響は熱帯域で10 D.U.以下、中高緯度では10～20 D.U.であった。次に、不均一反応過程を導入した場合、熱帯域と中緯度

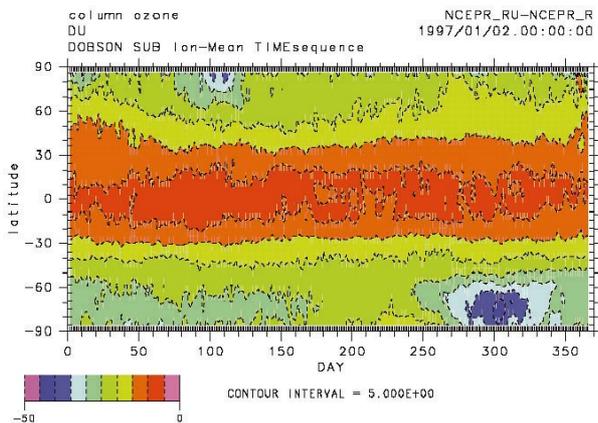


図31 臭素化学反応系を考慮したナudging化学輸送モデルを用いた、1997年の気象条件でのオゾン濃度の時空間分布に対する臭素反応系の影響
図は現実の臭素化合物濃度を与えて計算されたオゾン分布と臭素化合物濃度を強制的にゼロにして計算されたオゾン分布の差を表している。

でも若干影響が増えるが、特に両極域においては30～40 D.U.程度の明瞭なオゾン破壊の増加が見られた（図31）。この極域の冬から春にかけての臭素化合物の影響は、この時期の全オゾン破壊量の30～40%に達する。南北両半球高緯度で臭素化合物のオゾン量への影響を比較すると、その影響は南極と北極で10 D.U.程度しか変わらないのが特徴である。

2) BrClの効果

不均一反応によって極域で多量に生成されるBrClのオゾン破壊への影響を、不均一反応を考慮する場合と全く考慮しない場合の数値実験結果を比較することで評価した。不均一反応を考慮せず気相反応のみを考慮すると、冬の下部成層圏では、臭素化合物の大部分は BrONO_2 となってしまうが、不均一反応が介在することによって、 BrONO_2 からBrClへの急速な変換が起こる。BrClは BrONO_2 より光解離しやすいために、春先のより早い時期に光解離して、より反応活性のあるBrOの急増を引き起こす。こうして春のより早い時期に増加するBrOと同時期の極域において高濃度で存在している場合の多いClOとの間で、オゾン破壊触媒反応が促進される。

次に、臭素化合物の濃度をゼロにした数値実験結果との比較を行った。その結果、臭素化合物が存在する状態ではBrClの生成によって塩素化合物も活性化され、ClO-ClOオゾン破壊触媒サイクルが強化されることがわかった。

3) 極渦内と極渦外

極渦内では、BrCl/BrOが大きく、極渦外では、この比が小さいことがわかった。つまり、極渦内では、不均一反応によりBrClが生成され、極渦の外では中緯度と同様、臭素化合物が活性化された状態にある。ただし、BrOは極渦内でも春季に急増し、このときの濃度は極渦外の濃度よりも大きくなる。

4) 北緯82.3°の緯度帯

極渦内では、春季に高濃度のBrClが光解離してBrOの急増が起こる。特に1997年は、北極渦が北極を中心に同心円に近い形で存在し、安定して5月初旬まで存在したので、この年の3月と4月の高緯度の極渦内では、他の年に比べて比較的高濃度のClOが存在しているところへBrOの急増が起こり、ClO-BrOオゾン破壊サイクルが有

効に働いてオゾン破壊が起こったものと考えられる。

5) 北緯 65.6°の緯度帯

この緯度帯は、等価緯度で見たときほぼ北極渦の境界にあたる。従って、この緯度帯は極渦の内側と外側がほぼ半々に存在しているような場所である。まず、極渦内のオゾン破壊に関して1994/1995年の冬を調べた。この年は極渦の形成が他の年に比べて早く、12～1月にかけて極渦が強まった。ただし、極渦の中心は北極から大きくずれて、波数1構造を示していた。このような状況では、中緯度側に張り出した極渦の内部に太陽光が当たり、真冬のこの時期としては他の年に比べて大きなオゾン破壊が起こっていたことが確かめられた。

次に、極渦外のオゾン破壊に関して特徴的であった2000年について考察する。2000年のオゾン層破壊に対する数値実験の結果、一般に極渦外ではオゾン破壊は小さいが2000年に関しては、一時的ではあるものの、かなり大きなオゾン破壊を示すことがわかった。さらに、極渦の外側ではClO-BrOサイクルに比べClO-ClOオゾン破壊サイクルの寄与は小さいのが一般的だが、2000年のオゾン破壊が強まった時には、両者は同程度の値を示すことがあることもわかった。これは、2000年の北極渦が低温でありながら、3月中旬に分裂を起こすなどしてかなり構造的に不安定であったために、極渦内外間の物質輸送が活発となり、極渦の外側のClO濃度が一時的に高くなったためだと考えられる。

2.4.4 化学気候モデル

2.4.1でも述べたように、将来大気におけるオゾン層の変動などを議論するような場合は、気象条件や大気組成が必ずしも現在の大気と同じとは限らないので、微量成分分布と放射過程と力学過程間の結合過程をフルに考慮したモデル(化学気候モデル)を構築する必要がある。本プロジェクトでは、東京大学気候システムセンターと共同で化学気候モデルの開発・改良に取り組んできた。その概略は、CCSR/NIES大気大循環モデル(CCSR/NIES AGCM)を基本モデルとしており、これに成層圏化学過程の計算モジュールを組み込んだものである。オゾン層の将来予測実験に用いたバージョンに採用されている化学反応は、 O_x , HO_x , NO_x , ClO_x 系の気相化学反応・光解離反応・不均一反応(PSCs及び硫酸エアロゾル上)で、33種類の化学成分の3次元分布を計算することがで

きる。また、PSCs量はモデル中で計算された気温、水蒸気量、硝酸蒸気量を用いて計算される。ただし、成層圏の過乾燥を防ぐため、モデル中の成層圏水蒸気量は、UARS(Upper Atmosphere Research Satellite)の観測値に同化させている。水平分解能はT21(経度×緯度 $5.6^\circ \times 5.6^\circ$)であり、鉛直方向の領域は地表面から約80kmで、その領域を34層に分割して計算を行った。

(1) ClO_x サイクルを考慮したオゾンホール長期変動数値実験

東京大学気候システム研究センターと国立環境研究所で共同開発した成層圏化学気候モデル(CCSR/NIES CCM)を用いて行った南極オゾンホールの推移に関する数値実験の結果について述べる。数値実験はフロンなどをソースとするCl原子が関与する ClO_x オゾン分解サイクルまでを考慮したバージョンのモデルを用いた(BrO_x サイクルは含んでいない)。

図32aは、CCSR/NIES CCMで大規模なオゾン破壊が現れる10月20日～11月10日の期間における75°S以南のオゾン全量の平均値の時系列を示した図である。図中、赤の細い実線はハロゲン化合物、 N_2O , CH_4 の濃度変化に加

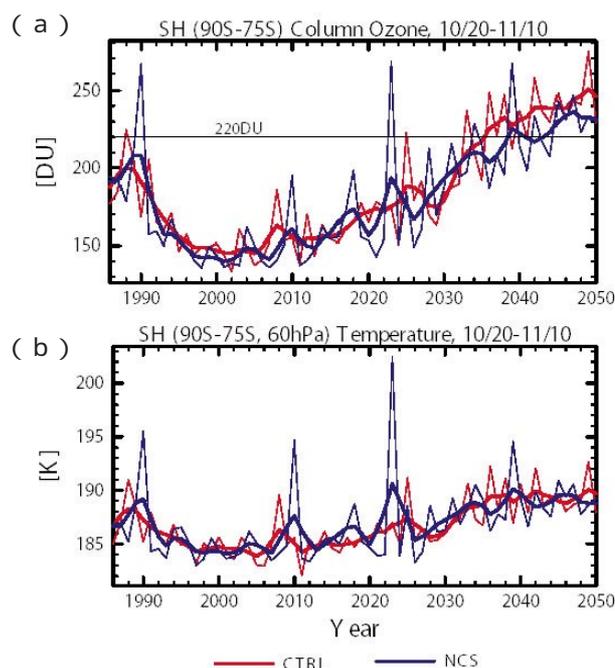


図32 南緯75度以南の10月20日～11月10日で平均した(a)オゾン全量および(b)60hPaでの気温の経年変化。細線は各年の値、太線は5年の移動平均を取ったもの。赤線はハロゲン濃度、 CO_2 濃度、海面水温の全てを変化させたもの。青線はハロゲン濃度の変化のみ考慮した場合の数値実験結果。

え、CO₂濃度の増加やSSTの変化も含めてモデル計算を行った結果である。一方、青の細い実線は、比較のためCO₂濃度および海面水温（SST）を固定した条件下でハロゲン化合物、N₂O、CH₄の濃度変化のみを考慮してモデル計算を行った結果である。また赤および青の太い実線はそれぞれ5年の移動平均を取ったものである。

赤の実線で示した南極オゾンホールが起こる典型的な期間でのオゾン全量の計算結果は、1986年から2000年にかけて、年々の変動はあるものの全体としては減少傾向を示しており、この期間の実測のオゾン全量の推移とほぼ対応するものとなっている。また2000年以降のオゾン全量の推移に関しては、モデル計算されたオゾン全量はそれまでの減少傾向が止まり、2000年から2015年頃まではむしろ一定状況で推移しており、さらにその後はほぼ単調な回復傾向になることを示している。またオゾンホールの目安である220D.U.以上にまで回復する時期は、年々変動を別にすれば、2030年代半ばと予想される。

一方、青の実線で示したCO₂の増加やSSTの変化を考慮せずに行った数値実験でのオゾン全量の変化の様子は、CO₂やSSTの変化を考慮した赤線で示した結果と基本的にはほぼ同じ振る舞いをしている。このことは、図32bに示した75°S以南で平均した60hPaの気温の時系列からも分かる様に、CO₂の増加やSSTの変化を考慮に入れた数値実験（赤線）と考慮に入れない場合（青線）との間で気温変動傾向に関してほとんど違いが認められないことに対応している。

（2）化学気候モデルの改良

（1）で述べたオゾンホールの推移に関する数値実験に用いた化学気候モデル（CCM）には次の問題点があった。すなわち、（1）モデル大気中の南極域でオゾン破壊の可能な期間が実際に比べて持続し過ぎること、（2）南極オゾンホール形成初期（8月、9月）におけるオゾン破壊率が実際に比べて小さいことである。（1）に関しては、多くの中層大気モデルに共通な問題である、持続し過ぎる極渦の影響を受けており（Pawson *et al.*¹⁴）、水平高分解能化や非地形性重力波抵抗のパラメタリゼーションを導入する等の解決策が提案されている（McLandress¹⁵）。（2）に関しては、モデル中の光解離率の計算において大気の球面効果を考慮していないために、特に9月の南極域などの薄暮時において計算される光解離率が過小評価されてしまうことが原因の一つと考

えられる。

1）非地形性重力波抵抗パラメタリゼーションの導入
非地形性の重力波抵抗パラメタリゼーションを化学気候モデルに導入した。非地形性重力波抵抗パラメタリゼーションとしては、Hines¹⁷により提唱された方法を用いた。

非地形性重力波抵抗パラメタリゼーションの各種パラメータ（重力波の打上高度、打上高度における風速摂動の二乗平均速度、重力波の水平波数、重力波の鉛直波数最小値）の調整実験を行った。その結果、打上高度を成層圏中にとると重力波抵抗が非常に小さくなること、東西風にかかる重力波抵抗の大きさは、水平波数、風速摂動の二乗平均速度に比例すること、鉛直波数の最小値を小さくすると重力波抵抗が大きくなること、といった非地形性重力波抵抗パラメタリゼーションの特性が分かった。

そこで、化学計算を含まないAGCMでパラメータ値の調整を行い、次いで、化学気候モデルに非地形性重力波抵抗パラメタリゼーションを導入し、5モデル年の計算を行った。その結果、南極におけるオゾン全量の季節進行は、年間最小値を記録する時期が20日ほど早くなり、ほぼ観測されるような季節進行が計算された。さらに、標準実験に見られるような、初夏の時期にまで及ぶオゾンホール影響の持続（2月中旬まで低オゾンレベルが持続）が、この実験では完全に修正されている。ただし、南極で計算されるオゾン全量の最小値は、観測値に比べ大幅に過大評価となった。

2）大気球面形状を考慮した光解離速度計算の導入

当初の化学気候モデルで採用されている大気放射過程の計算手法では、大気を平行平板と仮定した幾つかの層

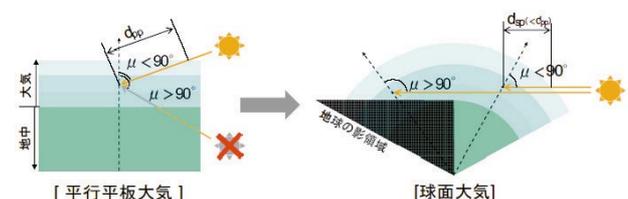


図33 大気の形状の違いによる、到達する直達太陽光の違い（左）平行平板大気（右）大気の球面形状を考慮した場合

右図の中心線より左側の領域では、球面形状を考慮した場合に下層から直達光が入ってくる（ $\mu > 90^\circ$ ）。また、同じ太陽天頂角を持つ直達光が通過する大気層の距離（ d_{pp} 、 d_{sp} ）は、球面形状を考慮した場合の方が短くなる。

に分割して、放射伝達の計算を解いていた。大気中の化学物質の光解離率の計算も、こうした平行平板大気を仮定した放射計算に組み込む形で導入されており、従って図33(左)に示すように、例えばある大気層の下方からやってくる太陽直達光とそれによる光解離に関しては全く考慮されていなかった。しかしながら、図33(右)に示すように、現実の大気に即して大気の球面形状を考慮すると、大気層の下方より進入してくる太陽直達光は存在することが可能で、しかもそうした太陽光の到達する領域は、ちょうどオゾンの破壊が最も活発と思われるながらモデル中では光解離率が過小評価されている、初春の極域成層圏領域に合致することが分かる。また、同じ太陽天頂角を持つ直達光が通過する大気層の距離(光路長)は、大気の球面形状を考慮した場合の方が短くなる

こと($d_{pp} > d_{sp}$)が分かるが、これは平行平板大気の方が大気による直達光の減衰が大きいことを示しており、この効果によっても平行平板大気の場合の光解離率過小評価が多少は説明できると思われる。そこで大気の球面形状を考慮した光解離速度の計算が可能となるようにモデルを改良した。その結果、人工衛星の観測と比較してほぼ1ヵ月の遅れがあった、オゾン全量の最小値が記録される時期に関して、大気の球面形状を考慮した計算の場合約半月遅れが減少し、10月の中旬には最小値が計算されている。

(3) 光解離定数計算への大気球面形状効果の導入の効果

2.4.4項の(2)2)で述べた通り、新たな成層圏化学

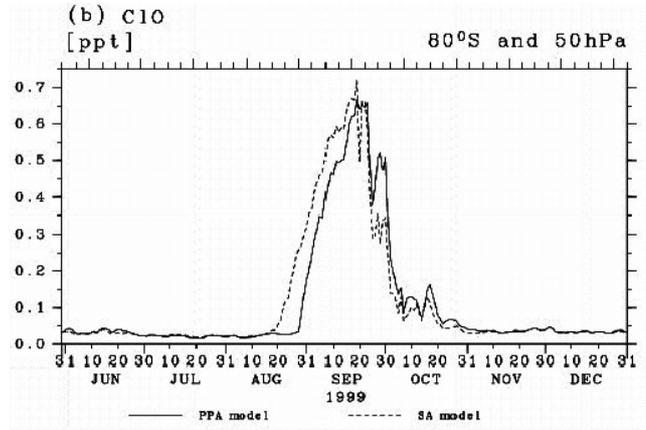
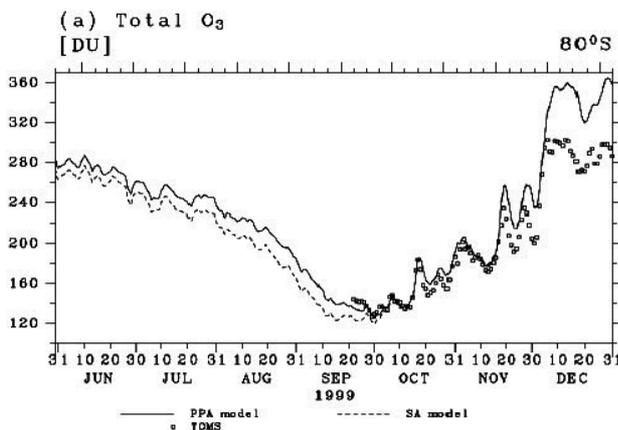


図34 大気球面形状がオゾンホールに与える影響

1999年の気象条件の下でのナッジング化学輸送モデルによる結果

(a) 80°Sで平均したオゾン全量の時系列。(b) 同緯度で平均した50hPaのClO濃度の時系列。直線は並行平板大気を仮定したモデルの、破線は球面大気を仮定したモデルの計算結果。(a)の○はTOMS観測値。

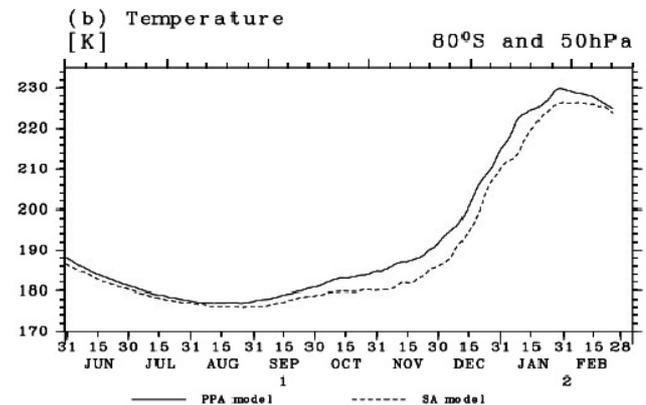
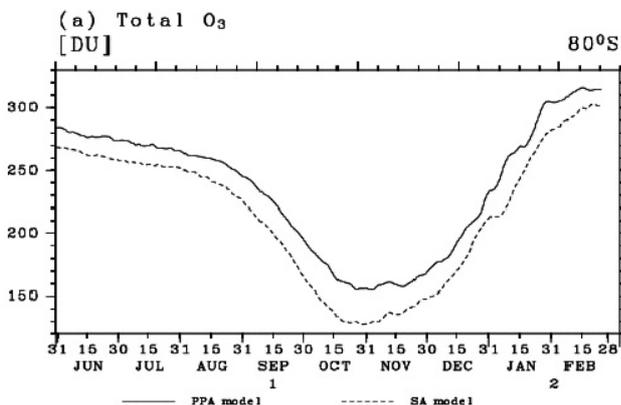


図35 大気球面形状がオゾンホールに与える影響

化学気候モデルによる結果

(a) 80°Sで平均したオゾン全量の時系列。(b) 同緯度で平均した50hPaの気温の時系列。直線は並行平板大気を仮定したモデルの、破線は球面大気を仮定したモデルの計算結果。

モデルでは、大気球面形状を考慮した光解離速度計算のためのコードが導入されている。ここで導入した大気球面形状の効果とは、

太陽直達光が大気を通過する光路長に関する効果

太陽直達光が大気下方から入射する効果

である。前者は、平行平板大気で過大評価される減衰率の補正を行うことを意味する。後者は、平行平板大気では表現不可能な効果であり、特に、極夜明けオゾン破壊反応開始時期への影響が大きいと考えられる。これらの効果のモデルへの導入にあたっては、太陽直達光が放射フラックスを計算するグリッドに到達するまでの光路長計算には大気球面形状の効果を考え、太陽直達光がグリッドに到達した後の1次散乱光の計算は、基本的にこれまでの平行平板近似のスキームを生かす、という方針に従って導入した。

本研究では、大気の球面形状を考慮した光解離定数計算スキームを導入した、CCSR/NIES成層圏ナッジング化学輸送モデル及び化学気候モデルと、対応するモデルの平行平板大気バージョンを用いて、大気球面形状の考慮が南極オゾンホールに与える影響の、化学 - 放射 - 力学相互作用について考察した。

ナッジング化学輸送モデルおよび化学気候モデルを用いて行った平行平板大気 (PPA) バージョンと球面大気 (SA) バージョンでの数値実験結果をそれぞれ図34 (CTMの結果) および図35 (CCMの結果) に示す。

オゾン破壊時期においては、ClO濃度立ち上がり時期の早期化 (図34b) に対応してオゾン破壊反応開始が早まり、総破壊量も増加することが確認された。これは、ナッジング化学輸送モデル (図34a)、化学気候モデル (図35a) についてほぼ同様であった。

対照的に、オゾン回復時期においては、ナッジング化学輸送モデルでは、PPA、SA両バージョンでオゾン全量は即座にほぼ同値となった (図34a) のに対し、化学気候モデルでは、極小時の差異がオゾン回復時期においても継続されていた (図35a)。これは、ナッジング化学輸送モデルではPPA、SAバージョンで気象場が基本的に同一なのに対し、化学気候モデルのSAバージョンでは、オゾン破壊量の増加によるオゾン紫外線吸収量の減少によって気温が低下 (図35b) し、それに伴う極渦の強化によって極渦崩壊の時期が遅れ、その結果、低緯度側の高オゾン濃度気塊の極向き輸送が遅れたことに起因している。

以上により、オゾン破壊時期では光化学過程が、オゾン回復時期では放射・力学過程が南極オゾンホール時系列変動に対して支配的となっていることがわかった。また、本研究で使用した化学気候モデルでは、対流圏からの波動フラックスがオゾン回復開始のタイミングに不確実性を与えていることもわかった。

(4) 新たな化学気候モデルと観測値との比較

2.4.4項の(2)で説明したとおり、新バージョンモデルでは、化学スキームに臭素によるオゾン分解反応系 (BrOx) が導入された。さらに不均一反応の取り扱いとして、NAT、ICE上での不均一反応に加えてSTS (成層圏の硫酸 - 硝酸 - 水3成分系の液滴) 上での不均一反応も含まれた。NATとICEについては、旧バージョンでは粒径を仮定して取り扱っていたが、新バージョンでは粒径分布はモデル内で計算することとし、粒径分布に応じて重力落下速度が計算できるように改良した。また微量成分のSchuman-Runge帯光解離過程も導入された。空間分解能の点では、水平解像度がT21 (5.6° × 5.6°) からT42 (2.8° × 2.8°) へと上げられ、高分解能化が図られた。さらに大気球面効果や非地形性重力波抵抗パラメタリゼーションも導入された。

1990年代のオゾン全量の緯度・季節断面に関して、旧バージョン (T21) による計算結果 (図36b) と実測 (TOMS) との比較を行った (図36a)。旧バージョンモデルによるオゾンの分布は実測の分布を定性的には再現しているものの、オゾンホール内のオゾン全量の最低値を与えるのは11月と、実測に比べて遅れが認められた。またオゾンホール持続期間も実測に比べ長いほか、南半球中緯度でのオゾン全量の過大評価も認められる。

一方、新バージョン (T42) のモデルでは、TOMS観測と同様、10月にオゾン全量の最低値が起こるようになった (図36c)。また、以前のモデルでは、南極渦の崩壊が12月～翌年の1月に起こっていたが、改良後のモデルでは、1980年頃のオゾンホールが出現する前の状態で、極渦崩壊時期が11月下旬に起こるようになり、ECMWFデータなどによる観測事実をよく再現できるようになった。さらに、2000年頃のモデル大気の塩素負荷を調べてみると、以前のT21モデルでは、10月の80°S、50 hPaのCly濃度は1.9～2 ppbvであったが、今回のモデルでは2.6～2.7 ppbvに上昇し、より観測値 (2.5～3.5ppbv) に近くなることが確かめられた。

(5) CCMValシナリオに基づくオゾン層将来変動予測
 WMOのオゾン科学アセスメント2006でのオゾン層の将来変動予測に関しては、国際プログラム(CCMVal)で定められたシナリオを用いた数値実験を行うことが求められた。CCMValでは4つの計算シナリオを推奨している。CCSR/NIESグループでは、そのうち最も基本的な次の2つのシナリオに沿って計算をすることにした。

REF1シナリオ(1980~2004年の再現実験) :

温室効果気体とハロゲンガスの地表面濃度、火山性エアロゾル量、太陽11年周期、QBOによる経年変動を与える。海水面温度は、UK Met. Office ハドレーセンターのHadISST1データを使う。

REF2シナリオ(オゾン層の将来予測実験) :

1980年から2025年、あるいは2050年までの計算を行う。この実験では、温室効果気体、ハロゲンガ

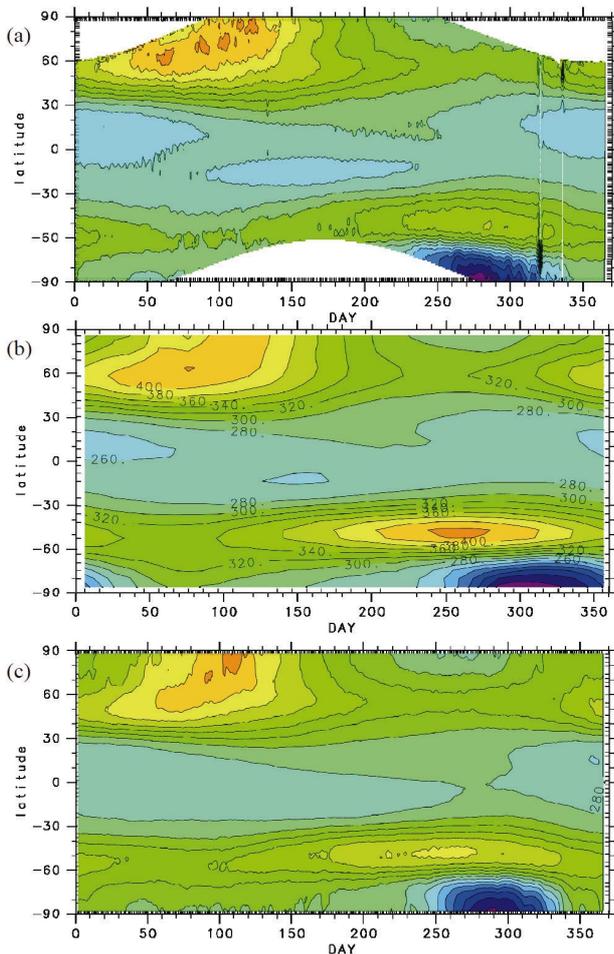


図36 経度平均オゾン全量の時間 - 緯度断面
 (a) TOMSによる1990年代の平均値(1990, 91, 92, 97, 98, 99年のデータを平均)。TOMSの極夜域は空白になっている。(b) 旧バージョンの化学気候モデル(T21)を用いた計算値。(c) 新バージョンの化学気候モデル(T42)を用いた計算値。

スの地表面濃度の経年変動のみ与える。他のファクターはバックグラウンド値として固定する。例えば、火山性エアロゾル量は1999年の値に固定してすべての年にわたりこの値を使う。太陽強度は11年周期の平均値を使う。本研究では海水面温度にCCSE/NIES/FRCGCの大気海洋結合モデルのアウトプット(Shiogama *et al.*¹⁸⁾)を用いた。

REF1, REF2シナリオ共に、オゾン層破壊物質の経年変動についてはWMO¹⁹⁾のAbシナリオを、温室効果気体の経年変動についてはIPCC²⁰⁾のA1Bシナリオを使った。現在、上記のシナリオに基づき、長期間の数値積分を実施している。

図37は、南極域におけるオゾン全量経年変化の特徴的な年代における、オゾン全量の水平面図である。1998~2002年の平均図では、南極上空で220D.U.を下回るようなオゾン濃度が顕著に低い領域が計算されている。これに対し2040~2044年の平均図では、220D.U.を下回る領域はかなり縮小されていることがわかる。南極上空のオゾンホールが消滅するのは、T21バージョンでは2040年ごろとの結果であったが、最新のバージョンの化学気候モデルでは2060年ごろと20年前後遅くなる結果となった。なお回復の遅れが温室効果気体の増加によるものかは今後の詳細な解析を待つ必要がある。

2.5 まとめ

本重点特別研究プロジェクトでは、オゾン層変動観測の実施と信頼性のある観測データの国内外研究者への提供、オゾン層変動機構の解明のための科学的知見の蓄積、将来のオゾン層変動の予測とその検証、に貢献することを目的として研究を進めた。以下に述べるように、プロジェクトの実施は、個々の目標を達成しただけでなく、オゾン層の監視 - オゾン層破壊機構の解明 - オゾン層モデリングのサブグループ間での有機的な連携を可能にした点で有意義なものであったと考える。

2.5.1 オゾン層の監視

(1) 衛星からの極域オゾン層の監視

本プロジェクトの最大の目標はILASデータの検証と提供ならびにプロジェクト期間中に実施されるILAS-II観測の取得データの処理・検証・提供である。その結果は、ILASバージョン5.2およびILAS-IIバージョン1.4プロダクトの検証結果が共にアメリカ地球物理学会誌(J.

Geophys. Res.) に特集として掲載され、またプロジェクト期間中に国内外の一般研究者へのデータ提供をスタートさせることができた。

(2) 日本上空オゾン層の監視

オゾンライダーならびにミリ波オゾン分光計による日本上空オゾン層の監視 (@つくば, 陸別) は地球環境研究センター (CGER) の事業の一環として実施されたが、研究的側面から本プロジェクトの一部に位置づけた。オゾンライダーに関しては新たなデータ解析アルゴリズムを確立し、ピナツボ火山噴火後の時期も含めて、信頼性の評価が行われ、NDSCデータベースを通じたデータの提供が可能となった。

ミリ波観測については、下部成層圏から中間圏に渡る中層大気全体のオゾン変動のモニタリング手法の確立にまでこぎつけた。また、陸別での観測データはNDSCデータベースを通じたデータ提供を始めた。

2.5.2 オゾン層破壊の機構解明

ILAS/ILAS-II観測データの活用を中心に、極域オゾン層破壊についての理解が進んだ。特に、大規模なオゾン層破壊が起こった1996/1997年春季の北極オゾン層破壊において、南極オゾンホールで提唱されている「極渦の強化 PSC生成 PSC上での不均一反応による塩素の活性化と脱窒・脱水 大きなオゾン分解速度」の機構が働

いていることを実証した。

南極オゾンホール内への上層大気からの物質輸送、オゾンホール内での脱窒速度やオゾン分解速度など、オゾンホール内での現象の定量的解明が進んだ。

2.5.3 オゾン層のモデリングと将来変化の予測

本プロジェクトにおける大きな進展の一つとして、成層圏での化学モデルを確立できた点がある。観測された気象場を利用し、力学プロセスと化学プロセスを分離した議論を可能にした化学輸送モデルにより、極域オゾン層破壊と中緯度オゾン変動の関連などが明らかになった。また、成層圏での化学 - 放射 力学過程間の相互作用を取り込んだ化学気候モデルの開発・改良は、オゾン層の将来変動予測に向けた長期発展実験の実施を可能にした。数値実験の結果は、オゾン科学アセスメントにおいて引用された。

2.6 おわりに

ILAS/ILAS-IIプロジェクトでは、本プロジェクト開始以前から当時の環境庁や宇宙開発事業団 (NASDA) を含めた国家プロジェクトの一翼を担った形であり、重点特別研究プロジェクト期間も環境省や宇宙航空研究開発機構 (JAXA) との連携の下に進められた。また検証実験・検証解析では、国内外の研究者・研究組織との協力の下にサイエンスチームが構成され、研究が進められた。

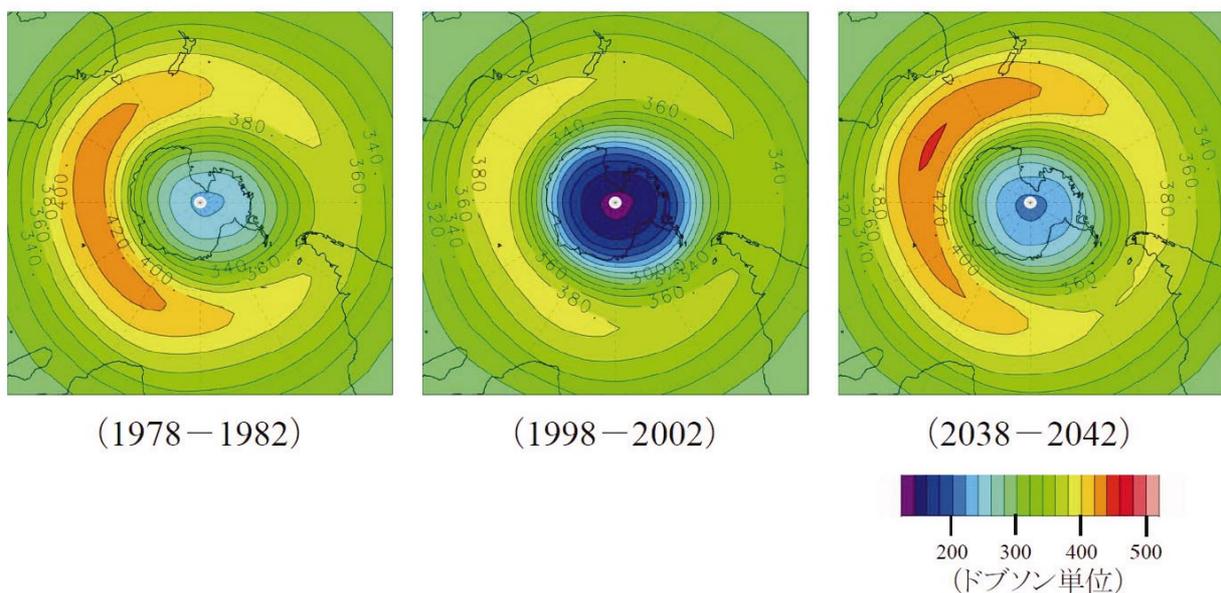


図37 新バージョンの化学輸送モデルを用いて行われた時間発展実験結果の該当する5年間についてそれぞれ年の10月の平均した南半球オゾン全量水平面図

また多くの民間企業の方々からの支援に支えられて研究・事業が進められた。

ILAS/ILAS-II観測研究以外の本重点特別研究プロジェクトで行われた研究でも，国内外の多くの研究者・研究機関や民間企業の方々からの支援を得られたことが，本報告書で述べた成果を得る上で多くの力となった。ここに心より感謝の意を表します。

重点特別研究プロジェクトとしてのオゾン層破壊に係わる研究は，第一期中期計画期間（平成13～17年度）をもって終了するが，研究自体は今後さらなる発展が期待できる。

ILAS/ILAS-IIによる観測データの多くは，プロセス研究への応用が待たれており，また2.1.4節で述べた新たなアルゴリズムによるデータ解析は，これまでブラックボックスとして扱ってきたPSCの生成やPSC存在下での化学・物理プロセスの現場に関する直接的な情報を提供してくれるものと考えている。

オゾンライダー観測は海外の衛星観測プロジェクトなどにおいて重要な検証データの提供の役割を担っていくであろう。またミリ波オゾン計によるオゾンモニタリングは中層大気における未知の季節変動機構の解明など中層大気の化学と大気循環に関する研究に貢献できるものである。

オゾン層モデリングでは，現在の数値モデルのもつ不確実性の評価が国際的にも今後早急に取り組むべき課題である。またオゾン層の変動と下層大気での気候変動や大気質変動との相互作用の解明は，気候モデル・大気質モデル・成層圏化学モデルの統合と言う世界的流れの中で，研究の進展におおいに貢献が期待される分野になると考えている。

引用文献

- 1) von der Gathen P., *et al.* (1995) Observational evidence for chemical ozone depletion over the Arctic in the winter 1991-92, *Nature*, 375, 131-134.
- 2) Rex M., *et al.* (1999) Chemical ozone loss in the arctic winter 1994/95 as determined by the Match technique, *J. Atmos. Chem.*, 32, 35-59.
- 3) Knudsen B.M., *et al.* (1998) Ozone depletion in and below the Arctic vortex for 1997, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 627-630.
- 4) Hess P.G., Holton J.R. (1985) The origin of temporal variance in long-lived trace constituents in the summer stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, 42, 1455-1463.
- 5) Hess P.G. (1990) Variance in trace constituents following the final stratospheric warming, *J. Geophys. Res.*, 95, 13765-13779.
- 6) Hess P.G. (1991) Mixing processes following the final stratospheric warming, *J. Atmos. Sci.*, 48, 1625-1641.
- 7) Minschwaner K., Salawitch R.J., McElroy M.B. (1993) *J. Geophys. Res.*, 98, 10543-10561.
- 8) Newman P.A., Schoeberl M.R., Plumb R.A. (1986) Horizontal mixing coefficients for two-dimensional chemical models calculated from National Meteorological Center Data, *J. Geophys. Res.*, 91, 7919-7924.
- 9) Plumb R.A., Mahlman J.D. (1987) The zonally averaged transport characteristics of the GFDL General Circulation/Transport Model, *J. Atmos. Sci.*, 44, 298-326.
- 10) Haynes P., Shuckburgh E. (2000) Effective diffusivity as a diagnostic of atmospheric transport 1. Stratosphere, *J. Geophys. Res.*, 105, 22777-22794.
- 11) Numaguti A., Takahashi M., Nakajima T., Sumi A. (1995) Development of an atmospheric general circulation model, in *Climate system dynamics and modeling*, Matsuno T. ed., Report of A New Program for Creative Basic Research Studies: Studies of Global Environmental Change with special reference to Asia and Pacific Regions, vol I-3, 1-27, Center for Climate System Research, Univ. Tokyo.
- 12) Sessler J., Good P., MacKenzie A.R., Pyle J.A. (1996) What role do type I polar stratospheric cloud and aerosol parameterizations play in modelled lower stratospheric chlorine activation and ozone loss?, *J. Geophys. Res.*, 101, 28817-28835.
- 13) Ziemke J.R., *et al.* (1997) Dynamical proxies of column ozone with applications to global trend models, *J. Geophys. Res.*, 102, 6117-6129.
- 14) Powson S., Kodera K., Hamilton K., *et al.* (2000) The GCM-reality intercomparison project for SPARC (GRIPS): Scientific issues and initial results, *Bull. Amer. Met. Soc.*, 81, 781-796.
- 15) McLandress C. (1998) On the importance of gravity waves in the middle atmosphere and their parameteriza-

- tion in general circulation models, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 60, 1357-1383.
- 16) Hines C.O. (1997a) Doppler-spread parameterization of gravity-wave momentum deposition in the middle atmosphere. Part2: Basic formulation, *J. Atmos. Solar-Terres. Phys.*, 59, 371-386.
- 17) Hines C.O. (1997b) Doppler-spread parameterization of gravity-wave momentum deposition in the middle atmosphere. Part2: Broad and quasi monochromatic spectra, and implementation, *J. Atmos. Solar-Terres. Phys.*, 59, 387-400.
- 18) Shiogama H., Watanabe M., Kimoto M., Nozawa T. (2005) Anthropogenic and natural forcing impacts on ENSO-like decadal variability during the second half of the 20th century, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L21714, doi:10.1029/2005GL023871.
- 19) WMO (World Meteorological Organization) (2003) Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No.47, 498., Geneva.
- 20) IPCC (2001) Climate Change 2001: The Science of Climate Change, Houghton J.T., *et al. eds.*, 944 ., Cambridge Univ. Press, New York.

[資 料]

研究の組織と研究課題の構成

1 研究の組織（当時）

[A 研究担当者]

成層圏オゾン層変動研究プロジェクトグループ		
プロジェクトグループリーダー（平成13～15年度）	笹野泰弘	
	（平成16～17年度）今村隆史	
衛星観測研究チーム	中島英彰	
	杉田考史	
	神沢 博（併）	
	横田達也（併）	
NIESポスドクフェロー	林 寛生	（平成13年度）
	入江仁士	（平成14～15年度）
	江尻 省	（平成14～17年度）
	寺尾有希夫	（平成15年度）
	斎藤尚子	（平成15～16年度）
NIESフェロー	Sergey Oshchepkov	（平成16～17年度）
科学技術特別研究員	佐藤佳宏	（平成13～14年度）
	田中章弘	（平成15～17年度）
EFフェロー	Emmanuel Riviere	（平成13年度）
	Alexandra Griesfeller	（平成16～17年度）
JSPSフェロー	Farahnaz Khosrawi	（平成14年度）
地上リモートセンシング研究チーム	中根英昭（併）	
NIESポスドクフェロー	長濱智生	（平成13～15年度）
オゾン層モデリング研究チーム	今村隆史（併）	
	秋吉英治	
NIESポスドクフェロー	吉識宗佳	（平成16～17年度）
JSPSフェロー / EFフェロー	Zhou Libo	（平成14～15, 17年度）
大気圏環境研究領域		
上席研究官	中根英昭	
NIESポスドクフェロー	朴 賛鳳	（平成14～17年度）
大気物理研究室	神沢 博	（平成13～15年度）
	永島達也	
社会環境システム研究領域		
情報解析研究室	横田達也	

[B 客員研究官]

小林博和 ((財)電力中央研究所狛江研究所) (平成14～15年度)

2 研究課題と担当者（*客員研究官）

特に明確に研究課題を区分していないので、研究テーマと担当者を明記する。

(1) オゾン層の監視

笹野泰弘・中島英彰・杉田考史・神沢 博・横田達也・林 寛生・入江仁士・江尻 省・寺尾有希夫・斎藤尚子・Sergey Oshchepkov・佐藤佳宏・田中章弘・Emmanuel Riviere・Alexandra Griesfeller・Farahnaz Khosrawi・小林博和・中根英昭・長濱智生・朴 賛鳳

(2) オゾン層破壊の機構解明

笹野泰弘・中島英彰・杉田考史・神沢 博・横田達也・林 寛生・入江仁士・江尻 省・寺尾有希夫・斎藤尚子・佐藤佳宏・田中章弘・Emmanuel Riviere・Farahnaz Khosrawi・Alexandra Griesfeller・小林博和・中根英昭・長濱智生・今村隆史・秋吉英治

(3) オゾン層のモデリング

中島英彰・杉田考史・神沢 博・中根英昭・今村隆史・秋吉英治・Zhou Libo・吉識宗佳・永島達也

研究成果発表一覧

1 誌上发表

(査読あり)

発表者・題目・掲載誌・巻(号)・頁・刊年

Takigawa M., Takahashi M., Akiyoshi H. : Simulation of stratospheric sulfuric acid aerosol using a Center for Climate System Research / National Institute for Environmental Studies atmospheric GCM with coupled chemistry : Part I, nonvolcanic simulation, *J. Geophys. Res.*, 107 (D22) : 4610, doi:10.1029/2001JD001007, 2002

Akiyoshi H., Sugata S., Sugita T., Nakajima H., Hayashi H., Kurokawa J., Takahashi M. : Low-N₂O air masses after the breakdown of the Arctic polar vortex in 1997 simulated by the CCSR/NIES nudging CTM, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 80 (3) : 451-463, 2002

Akiyoshi H. : Chemistry and temperature perturbations calculated by a chemical-radiative coupled 1-D model due to Pinatubo aerosols, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 80(3) : 361-385, 2002

Akiyoshi H., Sugita T., Kanzawa H., Kawamoto N. : Ozone perturbations in the Arctic summer lower stratosphere as a reflection of NO_x chemistry and planetary scale wave activity, *J. Geophys. Res.*, 109 : 2004

Kurokawa J., Akiyoshi H., Nagashima T., Nakane H., Masunaga H., Nakajima T., Takahashi M. : Effects of atmospheric sphericity on the stratospheric chemistry and dynamics over Antarctica, *J. Geophys. Res.*, 110 (D21) : D21305, doi:10.1029/2005JD005798, 2005

Akiyoshi H., Sugata S., Yoshiki M., Sugita T. : Ozone decrease outside Arctic polar vortex due to polar vortex processing in 1997, *J. Geophys. Res.*, 2005JD005798RR, 2006, (in press)

Inomata S., Bridier I., Furubayashi M., Imamura T., Inoue G., Yamaguchi M., Washida N. : Laser-induced Fluorescence of the CHClCHO radical and reaction of oxygen atoms with halogenated ethylenes, *J. Phys. Chem. A*, 105 : 7559-7568, 2001

Iida Y., Obi K., Imamura T. : Rate constant for the reaction of OH radicals with isoprene at 298 ± 2 K", *Chem. Lett.*, 792-793, 2002

Imamura T., Chono H., Shibuya K., Washida N. : Rate constant for the reaction of CCl₃ radicals with ozone, *Int. J. Chem. Kinet.*, 35 : 310-316, 2003

Imamura T., Iida Y., Obi K., Nagatani I., Nakagawa K., Patroescu-Klotz I., Hatakeyama S. : Rate constants for the gas-phase reactions of methyl-buten-ol's with OH radicals at 298 K, *Int. J. Chem. Kinet.*, 36 : 379-385, 2004

Imamura T., Zhang W., Horiuchi H., Hiratsuka H., Kudo T., Obi K. : Laser-induced fluorescence of cyclohexadienyl (*c*-C₆H₇) radical in the gas phase, *J. Chem. Phys.*, 121 : 6861-6867, 2004

Irie H., Koike M., Kondo Y., Bodeker G.E., Danilin M.Y., Sasano Y. : Redistribution of nitric acid in the Arctic lower stratosphere during the winter of 1996-1997, *J. Geophys. Res.*, 106 : 23139-23150, 2001

Irie H., Kondo Y., Koike M., Danilin M.Y., Camy-Peyret C., Payan S., Pommereau J.P., Goutail F., Oelhaf H., Wetzel G., Toon G.C., Sen B., Bevilacqua R.M., Russell III J.M., Renard J.B., Kanzawa H., Nakajima H., Yokota T., Sugita T., Sasano Y. : Validation of NO₂ and HNO₃ measurements from the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) with the version 5.20 retrieval algorithm, *J. Geophys. Res.*, 107 : 8206, 2002

Zhao Y., Strong K., Kondo Y., Koike M., Matsumi Y., Irie H., Rinsland C.P., Jones J.B., Suzuki K., Nakajima H., Nakane H., Murata I. : Spectroscopic measurements of tropospheric CO, C₂H₆, C₂H₂, and HCN in northern Japan, *J. Geophys. Res.*, 107 : 4343, 2002

- Irie H., Kondo Y. : Evidence for the nucleation of polar stratospheric clouds inside liquid particles, *Geophys. Res. Lett.*, **30** : 1189, 2003
- Kondo Y., Toon O.B., Irie H., Gamblin B., Koike M., Takegawa N., Tolbert M.A., Hudson P.K., Viggiano A.A., Avallone L.M., Hallar A.G., Anderson B.E., Sachse G.W., Vay S.A., Hunton D.E., Ballenthin J.O., Miller T.M. : Uptake of reactive nitrogen on cirrus cloud particles in upper troposphere and lowermost stratosphere, *Geophys. Res. Lett.*, **30** : 1154, 2003
- Khosrawi F., Müller R., Irie H., Engel A., Toon G.C., Sen B., Aoki S., Nakazawa T., Traub W.A., Jucks K.W., Johnson D.G., Oelhaf H., Wetzel G., Sugita T., Kanzawa H., Yokota T., Nakajima H., Sasano Y. : Validation of CFC-12 measurements from the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) with version 6.0 retrieval algorithm, *J. Geophys. Res.*, **109** : 2004
- Irie H., Pagan K.L., Tabazadeh A., Sugita T. : Investigation of polar stratospheric cloud solid particle formation mechanisms using ILAS and AVHRR observations in the Arctic, *Geophys. Res. Lett.*, **31** : 2004
- Irie H., Kondo Y., Koike M., Takegawa N., Tabazadeh A., Reeves J.M., Sachse G.W., Vay S.A., Anderson B.E., Mahoney M.J. : Liquid ternary aerosols of $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}$ in the Arctic tropopause region, *Geophys. Res. Lett.*, **31** : 2004
- Irie H., Sugita T., Nakajima H., Yokota T., Oelhaf H., Wetzel G., Toon G.C., Sen B., Santee M.L., Terao Y., Saitoh N., Ejiri M.K., Tanaka T., Kondo Y., Kanzawa H., Kobayashi H., Sasano Y. : Validation of stratospheric nitric acid profiles observed by Improved Limb Atmospheric spectrometer (ILAS)-II, *J. Geophys. Res.*, **111** : D11S03, doi:10.1029/2005JD006115, 2006
- Shiokawa K., Ejiri M.K., Ogawa T., Yamada Y., Fukunishi H., Igarashi K., Nakamura T. : A localized structure in OH airglow images near the mesopause region, *J. Geophys. Res.*, **108** : 2003
- Ejiri M.K., Shiokawa K., Ogawa T., Igarashi K., Nakamura T., Tsuda T. : Statistical study of short-period gravity waves in OH and OI nightglow images at two separated sites, *J. Geophys. Res.*, **108** : 2003
- Pan L.L., Randel W.J., Massie S.T., Kanzawa H., Sasano Y., Nakajima H., Yokota T., Sugita T. : Variability of polar stratospheric water vapor observed by ILAS, *J. Geophys. Res.*, **107** : 8214, 2002
- Kanzawa H., Schiller C., Ovarlez J., Camy-Peyret C., Payan S., Jeseck P., Oelhaf H., Stowasser M., Traub W.A., Jucks K.W., Johnson D.G., Toon G.C., Sen B., Blavier J.-F., Park J.H., Bodeker G.E., Pan L.L., Sugita T., Nakajima H., Yokota T., Suzuki M., Shiotani M., Sasano Y. : Validation and data characteristics of water vapor profiles observed by the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) and processed with the version 5.20 algorithm, *J. Geophys. Res.*, **107** : 8217, 2002
- Kanzawa H., Sugita T., Nakajima H., Bodeker G.E., Oelhaf H., Stowasser M., Wetzel G., Engel A., Schmidt U., Levin I., Toon G.C., Sen B., Blavier J.-F., Aoki S., Nakazawa T., Jucks K.W., Johnson D.G., Traub W.A., Camy-Peyret C., Payan S., Jeseck P., Murata I., Fukunishi H., von König M., Bremer H., Küllmann H., Park J.H., Pan L.L., Yokota T., Suzuki M., Shiotani M., Sasano Y. : Validation and data characteristics of nitrous oxide and methane profiles observed by the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) and processed with the Version 5.20 algorithm, *J. Geophys. Res.*, **108** : 8003, 2003
- Kanzawa H., Schiller C., Ovarlez J., Camy-Peyret C., Payan S., Jeseck P., Oelhaf H., Stowasser M., Traub W.A., Jucks K.W., Johnson D.G., Toon G.C., Sen B., Blavier J.-F., Park J.H., Bodeker G.E., Pan L.L., Sugita T., Nakajima H., Yokota T., Suzuki M., Shiotani M., Sasano Y. : Correction to "Validation and data characteristics of water vapor profiles observed by the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) and processed with the version 5.20 algorithm", *J. Geophys. Res.*, **108** : 8218, 2003
- Kawamoto N., Kanzawa H., Shiotani M. : Time variations of descent in the Antarctic vortex during the early winter of 1997, *J. Geophys. Res.*, **109** : 2004
-

- Saitoh N., Hayashida S., Sugita T., Nakajima H., Yokota T., Sasano Y. : Variation in PSC Occurrence Observed with ILAS-II over the Antarctic in 2003, SOLA, 2 : 072-075, doi:10.2151/sola.2006-019, 2006
- Saitoh N., Hayashida S., Sugita T., Nakajima H., Yokota T., Hayashi M., Shiraishi K., Kanzawa H., Ejiri M.K., Irie H., Tanaka T., Terao Y., Bevilacqua R.M., Randall C.E., Thomason L.W., Taha G., Kobayashi H., Sasano Y. : Intercomparison of ILAS-II version 1.4 aerosol extinction coefficient at 780 nm with SAGE II, SAGE III, and POAM III, J. Geophys. Res., 111 : D11S05, doi:10.1029/2005JD006315, 2006
- Oshchepkov S., Sasano Y., Yokota T. : New method for simultaneous gas and aerosol retrievals from space limb-scanning spectral observation of the atmosphere, Applied Optics, 41 (21) : 4234-4244, 2002
- Danilin M.Y., Ko M.K.W., Froidevaux L., Santee M.L., Lyjak L.V., Bevilacqua R.M., Zawodny J.M., Sasano Y., Irie H., Kondo Y., Russell III J.M., Scott C.J., Read W.G. : Trajectory hunting as an effective technique to validate multiplatform measurements: Analysis of the MLS, HALOE, SAGE-II, ILAS, and POAM-II data in October-November 1996, J. Geophys. Res., 107 : 4420, 2002
- McKenna D.S., Grooß J.-U., Günther G., Konopka P., Müller R., Carver G., Sasano Y. : A new Chemical Lagrangian Model of the Stratosphere (CLaMS) 2. Formulation of chemistry scheme and initialization, J. Geophys. Res., 107 : 2002
- Sasano Y. : Preface, J. Geophys. Res., 107 : 8204, 2002
- Saitoh N., Hayashida S., Sasano Y., Pan L.L. : Characteristics of Arctic polar stratospheric clouds in the winter of 1996/1997 inferred from ILAS measurements, J. Geophys. Res., 107 : 8205, 2002
- Jucks K.W., Johnson D.G., Chance K.V., Traub W.A., Margitan J.M., Stachnik R., Sasano Y., Yokota T., Kanzawa H., Shibasaki K., Suzuki M., Ogawa T. : Validation of ILAS v5.2 data with FIRS-2 balloon observations, J. Geophys. Res., 107 : 8207, 2002
- Choi W., Kim S., Grant W.B., Shiotani M., Sasano Y., Schoeberl M.R. : Transport of methane in the stratosphere associated with the breakdown of the Antarctic polar vortex, J. Geophys. Res., 107 : 8209, 2002
- Toon G.C., Sen B., Blavier J.F., Sasano Y., Yokota T., Kanzawa H., Ogawa T., Suzuki M., Shibasaki K. : Comparison of ILAS and MkIV profiles of atmospheric trace gases measured above Alaska in May 1997, J. Geophys. Res., 107 : 8211, 2002
- Tilmes S., Müller R., Grooß J.-U., McKenna D.S., Russell III J.M., Sasano Y. : Calculation of chemical ozone loss in the Arctic winter 1996-1997 using ozone-tracer correlations: Comparison of Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) and Halogen Occultation Experiment (HALOE) results, J. Geophys. Res., 108 : 4045, 2003
- Lee K.-M., Park J.H., Kim Y., Choi W., Cho H.-K., Massie S.T., Sasano Y., Yokota T. : Properties of polar stratospheric clouds observed by ILAS in early 1997, J. Geophys. Res., 108 : 4228, 2003
- Patra P.K., Maksyutov S., Sasano Y., Nakajima H., Inoue G., Nakazawa T. : An evaluation of CO₂ observations with Solar Occultation FTS for Inclined-Orbit Satellite sensor for surface source inversion, J. Geophys. Res., 108 : 4759, 2003
- Sasano Y., Oshchepkov S., Yokota T., Nakajima H. : Characterization of stratospheric liquid ternary solution aerosol from broadband infrared extinction measurements, J. Geophys. Res., 110, 2005
- 笹野泰弘 : 衛星による成層圏オゾン層観測(ILAS)プロジェクト 2004年度藤原賞記念講演 , 天気 , 52(5) : 5-10 , 2005
- Davies S., Mann G.W., Carslaw K.S., Chipperfield M.P., Kettleborough J.A., Santee M.L., Oelhaf H., Wetzel G., Sasano Y., Sugita T. : 3-D microphysical model studies of Arctic denitrification: comparison with observations, Atmos. Chem. Phys., 5 : 3093-3109, 2005
-

- Kim Y., Choi W., Lee K.-M., Park J.H., Massie S.T., Sasano Y., Nakajima H., Yokota T. : Polar stratospheric clouds observed by the ILAS-II in the Antarctic region: Dual compositions and variation of compositions during June to August of 2003, *J. Geophys. Res.*, **111** : D13S90, doi:10.1029/2005JD006445, 2006
- Takahashi K., Taniguchi N., Sato Y., Matsumi Y. : Non-thermal steady-state translational energy distributions of O (1D) atoms in the stratosphere, *J. Geophys. Res.*, **107** : 2002
- Zhou L.B., Zou H., Ji C., Wang W., Jian Y. : The Scandinavia ozone loss and surface heating, *Adv. Atmos. Sci.*, **18** (3) : 454-466, 2001
- Zhou L.B., Akiyoshi H., Kawahira K.: Analysis of year-to-year ozone variation over the subtropical western Pacific region using EP_TOMS data and CCSR/NIES nudging CTM, *J. Geophys. Res.*, **108** (D20) : 4627, doi:10.1029/2003JD003412, 2003
- Zou H., Zhou L.B., Yongqi G., Xiaowei C., Peng L., Chongping J., Shupo M., Dengyi G. : Total ozone variation between 50o and 60oN, *Geophys. Res. Lett.*, **32** : L23812, doi:10.1029/2005GL024012, 2005
- Sugita T., Yokota T., Nakajima H., Kanzawa H., Nakane H., Gernandt H., Yushkov V., Shibasaki K., Deshler T., Kondo Y., Godin S., Goutail F., Pommereau J.-P., Camy-Peyret C., Payan S., Jeseck P., Renard J.-B., Bösch H., Fitzenberger R., Pfeilsticker K., von König M., Bremer H., Küllmann H., Schlager H., Margitan J.J., Stachnik B., Toon G.C., Jucks K., Traub W.A., Johnson D.G., Murata I., Fukunishi H., Sasano Y. : Validation of ozone measurements from the Improved Limb Atmospheric Spectrometer, *J. Geophys. Res.*, **107** : 8212, 2002
- Sugita T., Yokota T., Nakajima H., Kanzawa H., Nakane H., Gernandt H., Yushkov V., Shibasaki K., Deshler T., Kondo Y., *et al.* : Validation of ozone measurements from the Improved Limb Atmospheric Spectrometer, *J. Geophys. Res.*, **107** (D24) : ILS9-1 - ILS9-22, 2002
- Sugita T., Nakajima H., Yokota T., Kanzawa H., Gernandt H., Herber A., von der Gathen P., König-Langlo G., Sato K., Dorokhov V., Yushkov V.A., Murayama Y., Yamamori M., Godin-Beekmann S., Goutail F., Roscoe H.K., Deshler T., Yela M., Taalas P., Kyrö E., Oltmans S.J., Johnson B.J., Allaart M., Litynska Z., Klekociuk A., Andersen S.B., Braathen G.O., De Backer H., Randall C.E., Bevilacqua R.M., Taha G., Thomason L.W., Irie H., Ejiri M.K., Saitoh N., Tanaka T., Terao Y., Kobayashi H., Sasano Y. : Ozone profiles in the high-latitude stratosphere and lower mesosphere measured by the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS)-II: Comparison with other satellite sensors and ozonesondes, *J. Geophys. Res.*, **111** : D11S02, doi:10.1029/2005JD006439, 2006
- Tilmes S., Müller R., Grooß J.-U., Reinhold S., Sugita T., Nakajima H., Sasano Y. : Chemical ozone loss and related processes in the Antarctic winter 2003 based on Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS)-II observations, *J. Geophys. Res.*, **111** : D11S12, doi:10.1029/2005JD006260, 2006
- Yamamori M., Kagawa A., Kasai Y., Mizutani K., Murayama Y., Sugita T., Irie H., Nakajima H. : Validation of ILAS-II version 1.4 O₃, HNO₃, and temperature data through comparison with ozonesonde, ground-based FTS, and lidar measurements in Alaska, *J. Geophys. Res.*, **111** : D11S08, doi:10.1029/2005JD006438, 2006
- Tanaka T., Fukabori M., Sugita T., Nakajima H., Yokota T., Watanabe T., Sasano Y. : Spectral line parameters for CO₂ bands in the 4.8- to 5.3- μ m region, *J. Mol. Spectrosc.*, **239** : 1-10, 2006
- Oshchepkov S., Sasano Y., Yokota T., Uemura N., Matsuda H., Itou Y., Nakajima H. : Simultaneous stratospheric gas and aerosol retrievals from broadband infrared occultation measurements, *Appl. Opt.*, **44** (22) : 4775-4784, 2005

- Oshchepkov S., Sasano Y., Yokota T., Nakajima H., Uemura N., Saitoh N., Sugita T., Matsuda H. : ILAS data processing for stratospheric gas and aerosol retrievals with aerosol physical modeling: Methodology and validation of gas retrievals, *J. Geophys. Res.*, **111** : D02307, doi:10.1029/2005JD006543, 2006
- Terao Y., Sasano Y., Nakajima H., Tanaka H.L., Yasunari T. : Stratospheric ozone loss in the 1996/1997 Arctic winter: Evaluation based on multiple trajectory analysis for double-sounded air parcels by ILAS, *J. Geophys. Res.*, **107** : 8210, 2002
- Rivière E.D., Terao Y., Nakajima H. : A Lagrangian method to study stratospheric nitric acid variations in the polar regions as measured by the Improved Limb Atmospheric Spectrometer, *J. Geophys. Res.*, **108** : 2003
- Pan L.L., Randel W.J., Nakajima H., Massie S.T., Kanzawa H., Sasano Y., Yokota T., Sugita T., Hayashida S., Oshchepkov S. : Satellite observation of dehydration in the Arctic polar stratosphere, *Geophys. Res. Lett.*, **29** (8) : 2002
- Wood S.W., Bodeker G.E., Boyd I.S., Jones N.B., Connor B.J., Johnson P.V., Matthews W.A., Nichol S.E., Murcray F.J., Nakajima H., Sasano Y. : Validation of version 5.20 ILAS HNO₃, CH₄, N₂O, O₃, and NO₂ using ground-based measurements at Arrival Heights and Kiruna, *J. Geophys. Res.*, **107** : 8208, 2002
- Nakajima H., Suzuki M., Matsuzaki A., Ishigaki T., Waragai K., Mogi Y., Kimura N., Araki N., Yokota T., Kanzawa H., Sugita T., Sasano Y. : Characteristics and performance of the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) in orbit, *J. Geophys. Res.*, **107** : 8213, 2002
- Nakajima H., Suzuki M., Yokota T., Sugita T., Itou Y., Kaji M., Araki N., Waragai K., Yamashita H., Kanzawa H., Sasano Y. : Tangent height registration for the solar occultation satellite sensor ILAS: A new technique for version 5.20 products, *J. Geophys. Res.*, **107** : 8215, 2002
- 中島英彰 : 宇宙からの地球大気環境観測 , *日本赤外線学会誌* , **13** (1) : 44-49 , 2003
- Khosrawi F., M ller R., Proffitt M.H., Nakajima H. : Monthly averaged ozone and nitrous oxide from the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) in the Northern and Southern Hemisphere polar regions, *J. Geophys. Res.*, **109** : 2004
- Tanaka T., Nakajima H., Yokota T., Sasano Y., Fukabori M., Aoki T., Watanabe T. : Absorption line parameter measurements of N₂O band near 8 micron, *J. Mol. Spectrosc.*, **228** : 213-215, 2004
- Wetzel G., Oelhaf H., Friedl-Vallon F., Kleinert A., Lengel A., Maucher G., Nordmeyer H., Ruhnke R., Nakajima H., Sasano Y., Sugita T., Yokota T. : Intercomparison and validation of ILAS-II version 1.4 target parameters with MIPAS-B measurements, *J. Geophys. Res.*, **111** : D11S06, doi:10.1029/2005JD006287, 2006
- Nakajima H., Sugita T., Irie H., Saitoh N., Kanzawa H., Oelhaf H., Wetzel G., Toon G.C., Sen B., Blavier J.-F., Traub W.A., Jucks K., Johnson D.G., Yokota T., Sasano Y. : Measurements of ClONO₂ by the improved limb atmospheric spectrometer (ILAS) in high-latitude stratosphere: New products using version 6.1 data processing algorithm, *J. Geophys. Res.*, **111** : D11S09, doi:10.1029/2005JD006441, 2006
- Griesfeller A., Griesfeller J., Hase F., Kramer I., Lo s P., Mikuteit S., Raffalski U., Blumenstock T., Nakajima H. : Comparison of ILAS-II and ground-based FTIR measurements of O₃, HNO₃, N₂O, and CH₄ over Kiruna, Sweden, *J. Geophys. Res.*, **111** : D11S07, doi:10.1029/2005JD006451, 2006
- Nakajima H., Sugita T., Yokota T., Ishigaki T., Mogi Y., Kuze A., Tani J., Kawasaki H., Horikawa M., Togami T., Uemura N., Kobayashi H., Sasano Y. : Characteristics and performance of the Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II (ILAS-II) on board the ADEOS-II satellite, *J. Geophys. Res.*, **111** : D11S01, doi:10.1029/2005JD006334, 2006
-

Khosrawi F., Müller R., Proffitt M.H., Nakajima H. : Monthly averages of nitrous oxide and ozone for the Northern and Southern Hemisphere high latitudes: A "1-year climatology" derived from ILAS/ILAS-II observations, *J. Geophys. Res.*, **111** : D11S11, doi:10.1029/2005JD006384, 2006

Nagashima T., Takahashi M., Takigawa M., Akiyoshi H. : Future development of the ozone layer calculated by a general circulation model with fully interactive chemistry, *Geophys. Res. Lett.*, **29** (8) : doi:10.1029/2001GL014026, 2002

Labitzke K., Austin J., Butchart N., Knight J., Takahashi M., Nakamoto M., Nagashima T., Haigh J., Williams V. : The global signal of the 11-year solar cycle in the stratosphere: observations and models, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, **64** : 203-210, 2002

永島達也, 高橋正明 : 成層圏オゾン層の将来見通し - 化学気候モデルを用いた評価, *天気*, **49** : 67-74, 2002

Austin J., Shindell D., Beagley S.R., Bruhl C., Dameris M., Manzini E., Nagashima T., Newman P., Pawson S., Pitari G., Rozanov E., Schnadt C., Shepherd T.G. : Uncertainties and assessments of chemistry-climate models of the stratosphere, *Atmos. Chem. Phys.*, **3** : 1-27, 2003

Shine K.P., Bourqui M.S., De F. Forster P.M., Hare S.H.E., Langematz U., Braesicke P., Grewe V., Ponater M., Schnadt C., Smith C.A., Haigh J.D., Austin J., Butchart N., Shindell D.T., Randel W.J., Nagashima T., Portmann R.W., Solomon S., Seidel D.J., Lanzante J., Klein S., Ramaswamy V., Schwarzkopf M.D. : A comparison of model-simulated trends in stratospheric temperatures, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **129** : 1565-1588, 2003

Eyring V., Harris N.R.P., Rex M., Shepherd T.G., Fahey D.W., Amanatidis G.T., Austin J., Chipperfield M.P., Dameris M., De F. Forster P.M., Gettelman A., Graf H.F., Nagashima T., Newman P.A., Pawson S., Prather M.J., Pyle J.A., Salawitch R.J., Santer B.D., Waugh D.W. : A strategy for process-oriented validation of coupled chemistry-climate models, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **86** : 1117-1133, 2005

Andersen S.B., Weatherhead E.C., Stevermer A., Austin J., Bruhl C., Fleming E.L., de Grandpré J., Grewe V., Isaksen I., Pitari G., Portmann R.W., Rognerud B., Rosenfield J.E., Smyshlayev S., Nagashima T., Velders G.J.M., Weisenstein D.K., Xia J. : Comparison of recent modeled and observed trends in total column ozone, *J. Geophys. Res.*, **111** : D02303, doi:10.1029/2005JD006091, 2005

Watanabe S., Nagashima T., Emori S. : Impact of global warming on gravity wave momentum flux in the lower stratosphere, *SOLA*, Vol. 1 : 189-192, 2005

中根英昭 : 環境問題における大気化学, *天気*, **49**(1) : 23-28, 2001

Suortti T., Karhu J., Kivi R., Kyrö E., Rosen J., Kjome N., Larsen N., Neuber R., Khattatov V., Nakane H., *et al* : Evolution of the arctic stratospheric aerosol mixing ratio measured with balloon-borne aerosol backscatter sondes for years 1988-2000, *J. Geophys. Res.*, **106** (D18) : 20759 - 20766, 2001

Schulz A., Rex M., Harris N.R.P., Braathen G.O., Reimer E., Alfier R., Kilbane-Dawe I., Eckermann S., Allaart M., Alpers M., Bojkov B., Cisneros J., Claude H., Cuevas E., Davies J., De Backer H., Dier H., Dorokhov V., Litynska Z., Mikkelsen I.S., Molyneux M.J., Murphy G., Nagai T., Nakane H., O'Connor F., Parrondo C., Schmidlin F.J., Skrivankova P., Varotsos C., Vialle C., Viatte P., Yushkov V., Zerefos C., von der Gathen P. : Arctic ozone loss in threshold conditions: Match observations in 1997/1998 and 1998/1999, *J. Geophys. Res.*, **106** (D7) : 7495-7503, 2001

Rex M., Salawitch R.J., Harris N.R.P., Gathen P., Braathen G.O., Schulz A., Deckelmann H., Chipperfield M., Sinnhuber R.M., Nakane H., *et al* : Chemical depletion of Arctic ozone in winter 1999/2000, *J. Geophys. Res.*, **107** (D20) : 18-1 - 18-14, 2002

中根英昭：「オゾン層等の監視結果に関する年次報告書」について，大気環境学会誌，38(5)：A63-A72，2003

Lukyanov A.N., Nakane H., Yushkov V.A. : Lagrangian estimations of ozone loss in the core and edge region of the Arctic polar vortex 1995/1996-model results and observations, *J. Atmos. Chem.*, 44 : 191-210, 2003

Nakane H. : State of Japanese research on the ozone layer, *Sci. Technol. Trends Q. Rev.*, (15) : 66-79, 2005

Park C.B., Nakane H., Sugimoto N., Matsui I., Sasano Y., Fujinuma Y., Ikeuchi I., Kurokawa J., Furuhashi N. : Algorithm improvement and validation of National Institute for Environmental Studies ozone differential Absorption lidar at the Tsukuba Network for Detection of Stratospheric Change complementary station, *Appl. Opt.*, 45 (15) : 1-17, 2006

Brinksma E.J., Bracher A., Lolkema D.E., Segers A.J., Boyd I.S., Bramstedt K., Claude H., Godin-Beekmann S., Hansen G., Kopp G., Leblanc T., McDermid I.S., Meijer Y.J., Nakane H., Parrish A., von Savigny C., Stebel K., Swart D.P.J., Taha G., Piters A.J.M. : Geophysical validation of SCIAMACHY Limb Ozone Profiles, *Atmos. Chem. Phys.*, 6 : 197-209, 2006

Mizuno A., Nagahama T., Morihira A., Ogawa H., Mizuno N., Yonekura Y., Yamamoto H., Nakane H., Fukui Y. : Millimeter-wave radiometer for the measurement of stratospheric ClO using a superconductive (SIS) receiver installed in the southern hemisphere, *Int. J. Infrared Millimeter Waves*, 23 (7) : 981-995, 2002

Nagahama T., Nakane H., Fujinuma Y., Ogawa H., Mizuno A., Fukui Y. : A semiannual variation of ozone in the middle mesosphere observed with the millimeter-wave radiometer at Tsukuba, Japan, *J. Geophys. Res.*, 108 (D21) : 12-1 - 12-6, 2003

Stajner I., Wargan K., Chang L.P., Hayashi H., Pawson S., Nakajima H. : Assimilation of ozone profiles from the Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II: Study of Antarctic ozone, *J. Geophys. Res.*, 111 : D11S14, doi:10.1029/2005JD006448, 2006

Kagawa A., Hayashida S. : Analysis of ozone loss in the Arctic stratosphere during the late winter and spring of 1997 using the Chemical Species Mapping on Trajectories (CSMT) technique, *J. Geophys. Res.*, 108 : 2003

Yokota T., Nakajima H., Sugita T., Tsubaki H., Itou Y., Kaji M., Suzuki M., Kanzawa H., Park J.H., Sasano Y. : Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) data retrieval algorithm for Version 5.20 gas profile products, *J. Geophys. Res.*, 107 : 8216, 2002

Uemura N., Kuriki S., Nobuta K., Yokota T., Nakajima H., Sugita T., Sasano Y. : Retrieval of trace gases from aerosol-influenced infrared transmission spectra observed by low-spectral-resolution Fourier-transform spectrometers, *Appl. Opt.*, 44 (3) : 455-466, 2005

Yoshiki M., Kizu N., Sato K. : Energy enhancements of gravity waves in the Antarctic lower stratosphere associated with variations in the polar vortex and tropospheric disturbances, *J. Geophys. Res.*, 109 : D23104, doi:10.1029/2004JD004870, 2004

Taha G., Thomason L.W., Burton S.P. : Comparison of Stratospheric Aerosol and Gas Experiment (SAGE) II version 6.2 water vapor with balloon-borne and space-based instruments, *J. Geophys. Res.*, 109 : 2004

Harvey V.L., Pierce R.B., Hitchman M.H., Randall C.E., Fairlie T.D. : On the distribution of ozone in stratospheric anticyclones, *J. Geophys. Res.*, 109, 2004

Zasetsky A.Y., Sloan J.J. : Monte Carlo approach to identification of the composition of stratospheric aerosols from infrared solar occultation measurements, *Appl. Opt.*, 44 (22) : 4785-4790, 2005

Müller R., Tilmes S., Konopka P., Groöß J.-U., Jost H.-J. : Impact of mixing and chemical change on ozone-tracer relations in the polar vortex, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 5 : 5841-5874, 2005

Müller R., Tilmes S., Konopka P., Grooß J.-U., Jost H.-J. : Impact of mixing and chemical change on ozone-tracer relations in the polar vortex, *Atmos. Chem. Phys.*, 5 : 3139-3151, 2005

Wang X., Michelangeli D.V. : Comparison of microphysical modeling of polar stratospheric clouds against balloon-borne and Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) satellite observations, *J. Geophys. Res.*, 111 : D10201, doi:10.1029/2005JD006222, 2006

(査読なし)

Akiyoshi H., Nagashima T., Takigawa M., Sugata S., Takahashi M. : CGER's Supercomputer Activity Report Vol.8-1999, Development of CCSR/NIES 3-D chemical models and study of ozone distribution and variation, CGER-I043-2000 : 3-8, 2001

秋吉英治, 黒川純一, 菅田誠治, 滝川雅之, 永島達也, 高橋正明, 中根英昭 : CCSR/NIESナudgingCTMによる1997年の大気微量成分分布の計算 - PSC依存性、ナudging緩和時間依存性、気象データ依存性、及び臭素物質依存性, 特定領域研究B成層圏力学過程とオゾンの変動およびその気候への影響平成12年度公開シンポジウムプロシーディング, 25-30, 2001

秋吉英治, 黒川純一, 菅田誠治, 滝川雅之, 永島達也, 高橋正明, 中根英昭 : CCSR/NIESナudgingCTMによる1997年の大気微量成分分布の計算 - 北極渦周辺の物質分布、臭素系物質によるオゾン破壊, ATOMOS-C1 Workshop 2001報告書, 9-16, 2001

秋吉英治, 黒川純一, 菅田誠治, 滝川雅之, 永島達也, 高橋正明, 中根英昭 : CCSR/NIESナudgingCTMによる1997年の化学微量成分分布のシミュレーション, 第11回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 57-60, 2001

Akiyoshi H., Takigawa M., Nagashima T., Kurokawa J., Sugata S., Takahashi M., Nakane H. : Dvelopment of CCSR/NIES nudging CTM and ozone simulation, Present & Future of Modeling Global Environmental change : Toward Integrated Modeling (Matsuno T., Kida H. eds., TERRAPUB, 458p.), 383-390, 2001

秋吉英治, 黒川純一, 菅田誠治, 杉田考史, 中島英彰, 林 寛生, 高橋正明 : CCSR/NIESナudging化学 - 輸送モデルによってシミュレートされた1997年北極渦崩壊後の低濃度N₂O空気塊の挙動, 第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 26-29, 2002

秋吉英治, 菅田誠治, 杉田考史, 中島英彰, 黒川純一, 林 寛生, 高橋正明 : CCSR/NIESナudging化学輸送モデルでシミュレートされた1997年北極渦崩壊後の低濃度N₂O空気塊, 特定領域研究B成層圏力学過程とオゾンの変動およびその気候への影響平成13年度公開シンポジウムプロシーディング, (3) : 68-73, 2002

Akiyoshi H., Sugata S., Sugita T., Nakajima H., Hayashi H., Kanzawa H., Kurokawa J., Kawamoto N., Takahashi M. : A study on transport and chemistry in the summer lower stratosphere using the CCSR/NIES nudging CTM and the ILAS observation, *Proc. Int. Symp. Stratos. Var. Climate*, 167-170, 2002

Akiyoshi H., Nagashima T., Kurokawa J., Sugata S., Takigawa M., Takahashi M. : CGER's Supercomputer Activity Report Vol.9-2000, A study of future ozone trend and N₂O distribution in the high latitudes by CCSR/NIES 3-D chemical models, CGER-I050-2002 : 3-10, 2002

Akiyoshi H., Takigawa M., Kurokawa J., Sugita T., Kanzawa H., Takahashi M. : CGER's Supercomputer Activity Report Vol.10-2001, Study on ozone layer variation using the CCSR/NIES AGCM with coupled chemistry and the CCSR/NIES nudging CTM, CGER-I054-2002 : 3-11, 2003

秋吉英治, 杉田考史, 神沢 博, 河本 望: ナudgingCTMとILASデータを用いた夏の下部成層圏のオゾン変動に関する研究 - N₂Oの変動との比較, 第13回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 72-75, 2003

秋吉英治, 菅田誠治, 吉識宗佳, 杉田考史: 化学輸送モデルと時間閾値解析法を用いた北極渦内オゾン破壊の極渦外への影響の解析, 第15回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 101-104, 2004

秋吉英治, 今村隆史, 菅田誠治, 中根英昭, 黒川純一, 滝川雅之: 臭素化合物のオゾン破壊に及ぼす影響と北極渦の状態, 第14回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 116-119, 2004

秋吉英治, 関山 剛: 第23回国際測地学・地球物理学連合総会 (IUGG2003・札幌) の報告 (1) 16.大気及び海洋過程のデータ同化 (3)大気化学に関するデータ同化, 天気, 51(3) : 32-33, 2004

秋吉英治: 第23回国際測地学・地球物理学連合総会 (IUGG2003・札幌) の報告 (2) 6.火山活動と地球大気, 天気, 51(4) : 24-25, 2004

Akiyoshi H., Imamura T., Kurokawa J., Takigawa M., Sugata S., Nakane H., Takahashi M. : CGER's Supercomputer Activity Report Vol.11-2002, A study on polar ozone destruction due to bromine species, CGER- I058-2004 : 3-10, 2004

黒川純一, 秋吉英治, 永島達也, 中根英昭, 増永浩彦, 中島映至, 高橋正明: 大気球面形状の考慮がオゾンホールに与える影響の化学 - 放射 - 力学相互作用, 第15回大気化学シンポジウム研究集会講演集 (大気化学シンポジウム, 豊川, 2005年1月5~7日), 97-100, 2005

Akiyoshi H., Zhou L.B., Takahashi M. : CGER's Supercomputer Activity Report Vol.12-2003, Year-to-year variation in total ozone minimum over the subtropical western Pacific region, CGER-I061-2005 : 3-11, 2005

秋吉英治, 吉識宗佳, 永島達也, 今村隆史, Zhou L.B., 高橋正明, 黒川純一, 滝川雅之: 化学気候モデルパリアレーション (CCMVal) シナリオに基づいたオゾン層変動の数値実験, 第16回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 64-67, 2006

菅田誠治, 秋吉英治, 神沢 博: 時間閾値解析法 (TTD) を用いた成層圏極渦の孤立性と鉛直流の解析, 第16回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 2006

Akiyoshi H., Zhou L.B., Takahashi M. : CGER's Supercomputer Activity Report Vol.13-2004, Northern hemisphere lower stratospheric N₂O distributions in the early and late polar vortex breakup years, CGER-I064-2006 : 3-13, 2006

今村隆史: 硫酸エアロゾルへのギ酸の取り込み過程, 第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 103-105, 2002

今村隆史: 成層圏化学のフィルターを通して見た対流圏プロセス, 第14回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 78-80, 2004

Noguchi K., Imamura T., Oyama K.-I., Murata I., Tomikawa Y., Sato K., Nakane H., Bodeker G. : Climatology and origin of small-scale vertical structures in stratospheric ozone, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 412-413, 2004

入江仁士, 小池 真, 近藤 豊, Bodeker G.E., Danilin M.Y., 笹野泰弘: 1996-1997年冬季の北極下部成層圏における硝酸の再分配, 特定領域研究B成層圏力学過程とオゾンの変動およびその気候への影響平成12年度公開シンポジウム, 8-13, 2001

入江仁士, 近藤 豊, 中島英彰: 1997年初冬における南極成層圏の脱窒, 第13回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 80-83, 2003

Irie H., Kondo Y., Koike M., Nakajima H., Sasano Y.: Relationship between denitrification and hydrate saturations: A comparison of ILAS observations with nucleation models, Proc. SPIE, 4891: 300-307, 2003

Irie H., Kondo Y., Koike M., Nakajima H., Sasano Y.: An evidence for the nucleation of polar stratospheric clouds from liquid particles, Proc. Eur. symp., 30, 2003

Kanzawa H., Camy-Peyret C., Nakajima H., Sasano Y.: A plan for ILAS-II correlative measurements with emphasis on a validation balloon campaign at Kiruna-ESRANGE, Proc. 15th ESA Symp. Eur. Rocket and Balloon Programmes and Related Res., ESA SP-471 (August 2001): 305-308, 2001

神沢 博: 成層圏水蒸気の分布と長期変動, 第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 3-5, 2002

河本 望, 神沢 博, 塩谷雅人: ILAS データにもとづく下降速度の見積もり, 第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 22-25, 2002

Kanzawa H., Sugita T., Nakajima H.: A plan for ILAS-II correlative measurements, Proc. 16th ESA Symp. Eur. Rocket Balloon Programmes Related Res., 493-498, 2003

Kobayashi H., Sugita T., Terao Y.: Start of ILAS-II Operation for the Observation of Stratospheric Constituents, SPARC Newsletter 21 - July 2003, 25-27, 2003

Hayashida S., Saitoh N., Horikawa M., Amemiya Y., Brogniez C., Deshler T., Sasano Y.: Stratospheric background aerosols and polar stratospheric clouds observed with satellite sensors -inference of particle composition and sulfate amount-, Proc. SPIE, 4150: 76-86, 2001

雨宮百合子, 齋藤尚子, 林田佐智子, 林 政彦, 白石浩一, 柴田 隆, 岩坂泰信, 山内 恭, 平沢尚彦, 笹野泰弘: ILAS及びライダーデータを用いた極域成層圏雲の解析, 第11回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 33-36, 2001

齋藤尚子, 林田佐智子, 笹野泰弘: ILASデータによるPSCsの化学組成推定 - 粒子の流跡線を考慮して -, 特定領域研究B 成層圏化学過程とオゾンの変動およびその気候への影響平成12年度公開シンポジウム, 19-24, 2001

齋藤尚子, 林田佐智子, 笹野泰弘: 衛星データを用いた北極および南極初期PSCsの形成過程とその組成について, 第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 47-50, 2002

齋藤尚子, 中島英彰, 横田達也, 杉田考史, 笹野泰弘, 小林博和, 林田佐智子: ILAS-II可視消散係数データ質評価と2003年冬季南極のPSCs発生状況について, 第14回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 227-230, 2004

Saitoh N., Nakajima H., Yokota T., Sugita T., Sasano Y., Hayashida S., Hayashi M., Shiraishi K., Kanzawa H.: Validation of ILAS-II aerosol extinction coefficient data and the observed PSCs over the Antarctica in 2003, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 601-602, 2004

Sasano Y., Yokota T., Nakajima H., Sugita T., Kanzawa H.: ILAS-II instrument and data processing system for stratospheric ozone layer monitoring, Proc. SPIE, 4150: 106-114, 2001

笹野泰弘: 2.ILASによる極域成層圏衛星観測プロジェクトの10年, 天気, 48(7): 12-20, 2001

濱村 翠, 香川晶子, 林田佐智子, 笹野泰弘: 衛星データを用いた極域成層圏のOHの見積もり, 第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 253-256, 2002

Zhou L.B., Akiyoshi H., Kawahira K. : Analysis of year-to-year ozone variation over the subtropical western Pacific region using ozone observation data and CCSR/NIES nudging CTM, Proc. 13th Atmos. Chem. Symp. , 76-79, 2003

Zhou L.B. , Akiyoshi H. : N₂O distributions in the early and late breakup years, Proc. 14th Atmos. Chem.Symp. , 112-115 , 2004

Zhou L.B. , Akiyoshi H. : Mid- and high- latitude N₂O distributions in Northern Hemisphere in early and late vortex breakup years , Proc. 16th Atmos. Chem. Symp. , 236-238 , 2006

Sugita T., Yokota T., Nakajima T., Nakajima H., Waragai K., Suzuki M., Matsuzaki A., Itou Y., Saeki H., Sasano Y. : Temperature and pressure retrievals from O₂ A-band absorption measurements made by ILAS : Retrieval algorithm and error analyses, Proc. SPIE, 4150 : 94-105, 2001

杉田考史, 秋吉英治, 中島英彰, 林 寛生 : ILASで観測された初夏の北半球中高緯度成層圏におけるオゾンの挙動 , 第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集 , 30-32 , 2002

杉田考史, 中島英彰, 横田達也, 入江仁士, 神沢 博, 小林博和, 笹野泰弘 : ILAS最新バージョン6.0のデータ質 , 第13回大気化学シンポジウム研究集会講演集 , 45-47 , 2003

Sugita T., Nakajima H., Hayashi H., Sasano Y. : The effect of stratospheric denitrification on ozone loss as observed by ILAS in the 1997 Arctic polar vortex, Air pollut. Res. Rep., 79 : 446-449, 2003

杉田考史, 齋藤尚子, 寺尾有希夫, 神沢 博, 中島英彰, 横田達也, 小林博和, 笹野泰弘 : ILAS-IIから導出された成層圏オゾン・水蒸気のデータ質評価 , 第14回大気化学シンポジウム研究集会講演集 , 223-226 , 2004

Sugita T., Kanzawa H., Nakajima H., Yokota T., Gernandt H., Herber A., von der Gathen P., König-Langlo G., Murayama Y., Yamamori M., Sato K., Yushkov V.A., Dorokhov V., Allaart M., Litynska Z., Braathen G.O., Kyrö E., De Backer H., Yela M., Klekociuk A., Goutail F., Godin-Beekmann S., Taalas P., Deshler T., Roscoe H.K., Oltmans S.J., Johnson B., Kobayashi H., Sasano Y. : Assessment of the version 1.3 ILAS-II ozone data quality in the high latitude lower stratosphere, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 614-615, 2004

杉田考史, 入江仁士, 中島英彰, 横田達也, 神沢 博, 小林博和, 笹野泰弘 : ILAS-II バージョン1.4のオゾン・硝酸データ質評価 , 第15回大気化学シンポジウム研究集会講演集 , 300-303 , 2004

戸田庸子, 林田佐智子, 杉田考史, 入江仁士 : 1997年冬季北極における Reference Tracer Method を用いた脱室の推定 , 第16回大気化学シンポジウム研究集会講演集 , 72-75 , 2006

Terao Y., Tanaka H.L., Yasunari T., Sasano Y. : Analysis of chemical perturbation of stratospheric air parcel along the trajectory during the Arctic winter of 1996/1997 using ILAS data, Proc. SPIE, 4150 : 31-41, 2001

寺尾有希夫, 笹野泰弘 : 1996-1997年冬期北極域における成層圏オゾン減少の定量化 : ILASデータと多重流跡線解析に基づくSatellite-Match解析 , 特定領域研究B成層圏力学過程とオゾンの変動およびその気候への影響平成12年度公開シンポジウム , 14-18 , 2001

小川利紘, 小池 真, 榎原徹也, 渡辺真吾, 河本 望, 松川茂久, 宮崎雄三, 寺尾有希夫, 笠井康子, 長濱智生, 杉田考史, 須藤健吾, 香川晶子, 滝川雅之, 永島達也, 宮内正厚, 中島英彰, 入江仁士, 白井知子, 藤原正智, 柴崎和夫 : 国際オゾンシンポジウム - Sapporo 2000 - 報告 , 天気 , 48(8) : 561-576 , 2001

Terao Y. : Arctic ozone loss for the winters from 1994 to 2000 evaluated by the Satellite-Match analysis, Proc. 16th Eur. Symp. Stratos. Ozone, Air Pollut. Res. Rep., 79 : 454-457, 2003

Nakajima H., Kuze A., Sugita T., Yokota T., Sasano Y. : Solar-Occultation FTS for Inclined-orbit Satellite (SOFIS) : Scientific requirements and current status of development, Proc. SPIE, 4150 : 165-173, 2001

中島英彰, 笹野泰弘 : 環境省の衛星利用大気観測の現状と将来計画, ATMOS-C1 Workshop 2001 報告書, 75-79, 2001

中島英彰, 入江仁士, 池田 響 : SOLVE/THESEO 2000 Science Team Meeting 参加報告, 天気, 48(5) : 33-36, 2001

中島英彰, 河本 望, 神沢 博, 笹野泰弘 : ILASデータで見た極渦崩壊時の微量気体成分の子午面輸送について, 特定領域研究B成層圏力学過程とオゾンの変動およびその気候への影響平成12年度公開シンポジウム, 43-48, 2001

河本 望, 中島英彰, 笹野泰弘 : 極渦崩壊時における力学場について - 1996年南半球冬と1996/97年北半球冬の極渦崩壊 -, 特定領域研究B成層圏力学過程とオゾンの変動およびその気候への影響平成12年度公開シンポジウム, 49-52, 2001

Kuze A., Nakajima H., Suzuki M., Sasano Y. : Measurement of greenhouse gases from space with a SWIR FTS, Proc. SPIE, 4485 : 69-80, 2002

Kuze A., Nakajima H., Tanii J., Sasano Y. : Instrumentation and laboratory model test result of Solar Occultation FTS for Inclined-orbit Satellite (SOFIS) on GCOM-A1, Proc. SPIE, 4486 : 356-365, 2002

林 寛生, 中島英彰, 神沢 博, 杉田考史, 笹野泰弘 : ILASによって観測された南半球極渦内の下降流について, 特定領域研究B成層圏力学過程とオゾンの変動およびその気候への影響平成13年度公開シンポジウムプロシーディング, 62-67, 2002

Lefèvre F., Nakajima H. : CGER's Supercomputer Activity Report Vol.10-2001, Stratospheric denitrification and composition of Polar Stratospheric Clouds inferred from 3D simulations and ILAS data, CGER-I054-2002 : 47-54, 2003

林田佐智子, 池田奈生, 戸田庸子, 中島英彰 : ILASで観測されたClONO₂に基づくNO_y, Cly分配推定, 第14回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 103-105, 2004

戸田庸子, 池田奈生, 林田佐智子, 中島英彰 : ILASで得られたClONO₂とHALOEで得られたHClの比率 - オゾン、メタンとの関係 -, 第14回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 231-234, 2004

Nakajima H., Sugita T., Yokota T., Sasano Y. : Current status and early result of the ILAS-II onboard the ADEOS-II satellite, Proc. SPIE, 5234 : 36-45, 2004

中島英彰, 杉田考史, 横田達也, 入江仁士, 江尻 省, 寺尾有希夫, 齋藤尚子, 笹野泰弘 : ADEOS-II搭載ILAS-II による解析結果, 第18回大気圏シンポジウム, 9-11, 2004

Nakajima H., Saitoh N., Sugita T., Yokota T., Sasano Y., Terao Y., Irie H. : Observation of ozone depletion and related minor species from the ILAS-II onboard the ADEOS-II satellite, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 145-146, 2004

Wetzel G., Oelhaf H., Friedl-Vallon F., Kleinert A., Lengel A., Maucher G., Ruhnke R., Nakajima H. : Inter-comparison and validation of ILAS-II target species with MIPAS-B measurements, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 639-640, 2004

中島英彰 : ADEOS搭載ILAS-IIの検証と初期結果, 電子情報通信学会技術研究報告 [宇宙・航空エレクトロニクス] (IEICE Technical Report), 104(137) : 25-28, 2004

Tanaka T., Fukabori M., Nakajima H., Yokota T., Watanabe T. : Measurements of the line parameters in the v4 band of CH₄ and v1 band of N₂O, Int. Workshop Crit. Eval. mm-/submm-wave Spectrosc. Data Atmos. Obs., 100-103, 2004

Nakajima H. : Ozone Layer Monitoring by ILAS-II, Proc. 5th Int. Workshop Global Change: Connection Arctic (GCAA5), 62-65, 2004

Nakajima H., Sugita T., Yokota T., Sasano Y. : Atmospheric environment monitoring by the ILAS-II onboard the ADEOS-II satellite, Proc. SPIE, 5571 : 293-300, 2004

村田 功, 中島英彰, 中根英昭, 福西 浩 : FTIR観測によるつくばでのオゾンおよび関連成分の変動, 第15回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 308, 2004

Nakajima H., Sonnenfroh D.M., Galica G.E., Nakamura T., Green B.D. : Conceptual Study of Satellite Lidar System for Greenhouse Gas Measurements, 13th Coherent Laser Radar Conf. Proc., 114-117, 2005

村田 功, 中島英彰, 福西 浩 : 地上分光観測からの高度分布導出のための光学系の調整と装置関数の決定, 第16回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 251-254, 2006

佐藤 薫, 富川喜弘, 橋田 元, 門倉 昭, 並木道義, 松坂幸彦, 山上隆正, 村田 功, 中島英彰, 杉田考史, 麻生武彦, 山内 恭 : 気球および衛星観測に基づく南極オゾン層回復過程三次元構造の研究, 第16回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 68-71, 2006

Nagashima T., Takahashi M., Takigawa M., Akiyoshi H. : An estimation of the future development of the ozone layer by a coupled chemistry-climate model, Proc. Int. Symp. Stratos. Var. Climate, 151-154, 2002

Nagashima T., Takahashi M., Takigawa M., Akiyoshi H. : CGER's Supercomputer Activity Report Vol.10-2001, An estimation of the future development of the ozone layer by a coupled chemistry-climate model, CGER- I054-2002 : 23-29, 2003

永島達也 : 数値モデルにおける気候と大気化学の相互作用, 第15回大気化学シンポジウム講演集, 24-27, 2005

池内和泉, 古橋規尊, 中根英昭, 向井人史, 勝本正之, 藤沼康実 : トラジェクトリ解析における三次元型モデル導入の検討, 第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 299-203, 2001

シンジャワ, 巻出義紘, 中根英昭, 青木周司, 中澤高清, 神沢 博, 笹野泰弘 : 1997年5月三陸大気球およびILASによって観測された極渦由来気塊の渦位 / トラジェクトリー解析, 第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 14-17, 2001

山崎郁夫, 中川和道, 中根英昭, Yushkov V. : 後方流跡線と渦位解析を組み合わせた手法による成層圏オゾンの変動, 第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 10-13, 2001

村田 功, 小林展隆, 福西 浩, 中根英昭 : FT-IR観測によるつくば上空大気微量成分の変動, 第11回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 48-51, 2001

小林展隆, 村田 功, 福西 浩, 中根英昭 : 赤外分光観測による大気微量成分の全量導出精度に及ぼす初期高度の影響, 第11回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 44-47, 2001

Yushkov V., Dorokov V., Lukyanov A., Nakane H., Akiyoshi H., Sasano Y., Ogawa T., Hayashi M. : Balloon-borne regular and correlative measurements of ozone, water vapor, aerosol and ground-based reference total ozone observation at Yakutsk (62N, 130E) station, Summ. Rep. ADEOS PI Sci. Achiev., 33-44, 2001

村田 功, 小林展隆, 福西 浩, 中根英昭, 中島英彰 : SFIT2を用いた地上赤外分光観測からの大気微量成分高度分布の導出, 第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 55-56, 2002

- 村田 功, 小林展隆, 福西 浩, 中根英昭, 中島英彰: フーリエ分光計を用いた赤外分光観測による大気微量成分高度分布観測, 特定領域研究B成層圏力学過程とオゾンの変動およびその気候への影響平成13年度公開シンポジウムプロシーディング, 74-75, 2002
- 小林展隆, 村田 功, 福西 浩, 中根英昭: 赤外分光観測による大気微量成分全量導出の高精度化, 第16回大気圏シンポジウム, 107-110, 2002
- 升井幸男, 小池 真, 近藤 豊, 松見 豊, Jones N.B., Palmer P.I., Jacob D.J., 中根英昭, 村田 功, 梶井克純, 他: FTIRによって観測された対流圏一酸化炭素の季節変化 - 母子里・陸別における観測と3次元化学モデルとの比較 -, 第13回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 140-143, 2003
- 村田 功, 福西 浩, 中根英昭, 中島英彰: 地上赤外分光観測より導出したオゾン高度分布の精度, 第13回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 41, 2003
- 水野 亮, 福井康雄, 大西利和, 水野範和, 浅山信一郎, 小川英夫, 米倉覚則, 中根英昭, 長浜智生, 森平淳史: ミリ波スペクトル多周波同時観測装置の開発と水蒸気同位体分子の長期モニター観測, 第13回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 37-40, 2003
- 中根英昭: 成層圏大気微量成分の分光観測, カストレポート, 14(2): 24-29, 2003
- Murata I., Nakane H., Nakajima H., Fukunishi H.: Validation of the ozone profile derived from ground-based infrared spectra with SFIT2 by comparing with ozonesonde measurements, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 585-586, 2004
- 中根英昭: オゾン層の現状とオゾン層研究, 科学技術動向, (43): 21-31, 2004
- Tsvetkova N., Nakane H., Yushkov V., Lukyanov A., Dorokhov V.: Column ozone losses in the Arctic vortex derived from balloon sounding at Salekhard during winters 1999/2000 and 2002/2003, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 445, 2004
- Yahagi T., Nakane H., Murata I., Fukunishi H., Ikeuchi I.: 3-D trajectory analysis for wintertime wind and circulation in the polar stratosphere on the 'Equivalent Latitude-potential temperature' coordinate, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 805, 2004
- Streibel M., von der Gathen P., Rex M., Deckelmann H., Harris N.R.P., Braathen G.O., Chipperfield M.P., Reimer E., Alfier R., Nakane H., *et al*: Ozone loss rates over the Arctic 2002/03 and Antarctic 2003 measured with the Match approach, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 55, 2004
- Nakane H., Park C.B., Sugimoto N., Matsui I., Nagahama T., Mizuno A., Fukui Y., Morihira A., Fujinuma Y.: Lidar and millimeter-wave observation of vertical profiles of ozone at Tsukuba (36(0)N, 140(0)E) and seasonal variations, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 47-48, 2004
- Wild J.D., Miller A.J., Nagatani R.N., Flynn L., McCormick M.P., Froidevaux L., De la Noë J., Godin-Beekman S., Kampfer N., Nakane H., *et al*: A combined time series of ozone profiles from SBUV and SBUV/2, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 2: 641-642, 2004
- 中根英昭: オゾンホールと成層圏化学研究の進展, パリティ, 20(11): 6-8, 2005
- 中根英昭: 陸別総合観測所におけるミリ波オゾン観測, 平成16年度共同研究・研究集会成果報告書集(名古屋大STE研共同利用委員会編, 名古屋大STE研, 182p.), 1, 2005
- 森平淳志, 福井康雄, 長浜智生, 小川英夫, 中根英昭: 南米チリにおける200GHz帯ClOミリ波受信器の開発, 第11回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 73-74, 2001
-

長浜智生, 福井康雄, 小川英夫, 中根英昭, 森平淳志: 南米チリにおけるCIOのミリ波観測, 第11回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 27-29, 2001

Mizuno A., Nagahama T., Maezawa H., Fukui Y., Mizuno N., Nakane H., Ogawa H., Yonekura Y., Asayama S., Morihira A. : Measurements of stratospheric water vapor isotopomers by using a millimeter-wave radiometer with a superconductive receiver, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 583-584, 2004

Nagahama T., Nakane H., Fujinuma Y., Morihira A., Ogawa H., Mizuno A., Fukui Y. : Short-term variations of the stratospheric ozone measured with the ground-based millimeter-wave radiometer at Rikubetsu, Japan, Proc. 20th Quadrenn. Ozone Symp., 408-409, 2004

Uemura N., Yokota T., Nakajima H., Sasano Y., Yoshigahara C., Uehara Y. : A preliminary study on data processing algorithms for SOFIS, Proc. SPIE, 4150 : 174-187, 2001

横田達也編(2001) ILAS-IIプロジェクトレファレンスブック. 国立環境研究所研究報告, 第163号, 174p.

田中智章, 横田達也, 中島英彰, 笹野泰弘, 深堀正志, 青木忠生, 渡邊 猛: N₂O及びCH₄の吸収線パラメータの精密測定 - ILAS-II ch.1に存在する吸収帯について -, 第14回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 235-237, 2004

横田達也: ILAS / ILAS-IIによるオゾンホールの定量観測, 計測と制御, 43(11) : 879-883, 2004

Yokota T., Oguma H., Morino I., Inoue G. : A nadir looking "SWIR" sensor to monitor CO₂ column density for Japanese "GOSAT" project, Proc. 24th Int. Symp. Space Technol. & Sci. (Selected Papers), 887-889, 2004

横田達也: リモートセンシングによる地球規模大気のマニタリング, 環境システム計測制御学会誌, 10(1) : 20-26, 2004

吉識宗佳, 秋吉英治: 北半球夏季のオゾン場に見られる西進波について, 第15回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 93-96, 2005

吉識宗佳, 木津暢彦, 佐藤 薫: 昭和基地連結飛揚観測に基づくラジオゾンデデータ品質比較, 天気, 53 (2) : 124-133, 2006

書籍リスト

発表者・題目・掲載誌・巻(号)・頁・刊年

秋吉英治：オゾンホールを予測する手立て，第18回「大学と科学」公開シンポジウム講演集録集 - オゾンのゆくえ - 気候変動とのかかわりをさぐる，宮原三郎編集，クバプロ，ISBN4-87805-049-7，152-159，2004

秋吉英治：オゾン層 2 「20年で進んだ破壊」，常陽新聞掲載コラム記事，ふしぎを追って - 研究室の扉を開く - ，2005

今村隆史：5.1 オゾン層破壊の機構，「衛星からの大気環境監視」5章 成層圏オゾンのトレンド（宇宙開発事業団 衛星総合システム本部 地球観測利用研究センター監修，280p.），120-131，2003

今村隆史：5.2 オゾン層保護対策，「衛星からの大気環境監視」5章 成層圏オゾンのトレンド（宇宙開発事業団 衛星総合システム本部 地球観測利用研究センター監修，280p.），132-138，2003

今村隆史：5.3 オゾン層破壊物質のトレンド，「衛星からの大気環境監視」5章 成層圏オゾンのトレンド（宇宙開発事業団 衛星総合システム本部 地球観測利用研究センター監修，280p.），139-152，2003

今村隆史：成層圏の光化学，大気・水圏の地球化学，地球化学講座6（河村公隆，野崎義行共著，培風館，319p.），ISBN4-563-04906-9，2005

中島英彰：衛星センサーによるオゾン層破壊関連分子の観測（調査事例），地球環境調査計測辞典，第1巻（陸域編1）：431-434，2003

永島達也：5.7 オゾン層将来予測，「衛星からの大気環境監視」5章 成層圏オゾンのトレンド（宇宙開発事業団 衛星総合システム本部 地球観測利用研究センター監修，280p.），176-187，2003

永島達也：オゾンホールは何時消滅するか，第18回「大学と科学」公開シンポジウム講演集録集 - オゾンのゆくえ - 気候変動とのかかわりをさぐる，宮原三郎編集，クバプロ，ISBN4-87805-049-7，160-168，2004

中根英昭：成層圏オゾン層の将来予測，地球環境ハンドブック 第2版（不破敬一郎，森田昌敏編著，朝倉書店，1129p.）：273-280，2002

中根英昭：オゾン層破壊のメカニズム，地球環境ハンドブック 第2版（不破敬一郎，森田昌敏編著，朝倉書店，1129p.）：264-273，2002

中根英昭：成層圏オゾン層とその現状，地球環境ハンドブック 第2版（不破敬一郎，森田昌敏編著，朝倉書店，1129p.）：255-263，2002

中根英昭：オゾン層モニタリング，地球環境ハンドブック 第2版（不破敬一郎，森田昌敏編著，朝倉書店，1129p.）：1003-1008，2002

原沢英夫，中根英昭：1章 大気環境 1.2 成層圏オゾンの変化，理科年表 環境編（大島康幸他編著，丸善，314p.）：15-22，2003

2 口頭発表

発表者・題目・学会等名称・開催都市名・年月

秋吉英治, 黒川純一, 菅田誠治, 中根英昭, 滝川雅之, 永島達也, 高橋正明: CCSR/NIES nudging CTM による1997年の大気微量成分分布の計算 - 臭素系物質によるオゾン破壊と北極渦周辺の物質分布, 日本気象学会2001年春季大会, 東京, 2001.5

Akiyoshi H., Sugata S., Nakane H., Kurokawa J., Takigawa M., Nagashima T., Takahashi M.: Ozone destruction by bromine species and transport of Arctic polar air mass to the midlatitudes calculated by the CCSR/NIES nudging CTM, 8th Sci. Assem. IAMAS, Innsbruck, 2001.7

秋吉英治, 黒川純一, 菅田誠治, 杉田考史, 中島英彰, 林寛生, 高橋正明: CCSR/NIES ナッジング化学 - 輸送モデルによってシミュレートされた1997年北極渦崩壊後の低濃度 N_2O 空気塊の挙動, 第12回大気化学シンポジウム, 豊橋, 2001.12

秋吉英治, 菅田誠治, 杉田考史, 中島英彰, 黒川純一, 林 寛生, 高橋正明: CCSR/NIES ナッジング化学輸送モデルでシミュレートされた1997年北極渦崩壊後の低濃度 N_2O 空気塊, 特定領域研究B 成層圏力学過程とオゾンの変動およびその気候への影響平成13年度公開シンポジウム, 国立極地研究所, 2002.2

秋吉英治, 今村隆史, 黒川純一, 中根英昭, 高橋正明: 臭素系物質による北極域オゾン破壊の極渦崩壊時期による影響, 日本気象学会2002年度春季大会, さいたま, 2002.5

黒川純一, 秋吉英治, 永島達也, 中根英昭, 増永浩彦, 中島映至, 高橋正明: CCSR/NIES成層圏ナッジング化学輸送モデル及び光化学結合モデルへの大気球面効果の導入, 日本気象学会2002年度春季大会, さいたま, 2002.5

秋吉英治, 杉田考史, 神沢 博, 河本 望: NO_x サイクルとプラネタリー波による夏の高緯度下部成層圏の低オゾン域, 日本気象学会2002年度秋季大会, 札幌, 2002.10

秋吉英治, 周 立波, 川平浩二: 台湾近辺の12月と1月のオゾン全量の年々変動, 日本気象学会2002年度秋季大会, 札幌, 2002.10

Akiyoshi H., Sugata S., Sugita T., Nakajima H., Hayashi H., Kanzawa H., Kurokawa J., Kawamoto N., Takahashi M.: A study on transport and chemistry in the summer lower stratosphere using the CCSR/NIES nudging CTM and the ILAS observation, Int. Symp. Stratos. Var. Climate, Fukuoka, 2002.11

Takigawa M., Takahashi M., Akiyoshi H.: Simulation of stratospheric sulfuric acid aerosol using CCSR/NIES AGCM with coupled chemistry: The impact of Pinatubo aerosol on climate, Int. Symp. Stratos. Var. Climate, Fukuoka, 2002.11

秋吉英治, 杉田考史, 神沢 博, 河本 望: ナッジングCTMとILASデータを用いた夏の下部成層圏のオゾン変動に関する研究 - N_2O の変動との比較, 第13回大気化学シンポジウム, 豊川, 2003.1

秋吉英治, 今村隆史, 黒川純一, 中根英昭, 高橋正明: 臭素系不均一反応の北極域オゾン破壊への影響と極渦崩壊時期との関連, 日本気象学会2003年度春季大会, つくば, 2003.5

Akiyoshi H., Sugata S., Sugita T., Nakajima H., Hayashi H., Kurokawa J., Takahashi M.: Variation and diffusion of low- N_2O air masses after the breakdown of the Arctic polar vortex in 1997 simulated by CCSR/NIES nudging CTM, IUGG2003, Sapporo, 2003.7

Akiyoshi H., Sugita T., Kanzawa H., Kawamoto N.: Ozone perturbations in the Arctic summer lower stratosphere as a reflection of NO_x chemistry and planetary-scale wave activity, IUGG2003, Sapporo, 2003.7

Akiyoshi H. : Chemistry and temperature perturbations due to Pinatubo aerosols calculated by a chemical-radiative coupled 1-D model, IUGG2003, Sapporo, 2003.7

Takigawa M., Takahashi M., Akiyoshi H. : Simulation of Pinatubo aerosols by using a CCSR/NIES AGCM, IUGG2003, Sapporo, 2003.7

Zhou L.B., Akiyoshi H., Kawahira K. : Analysis of year-to-year ozone variation over the subtropical western Pacific region using EP_TOMS data and CCSR/NIES nudging CTM, IUGG2003, Sapporo, 2003.7

秋吉英治, 杉田考史, 河本 望, 神沢 博, 菅田誠治, 周 立波, 中島英彰, 黒川純一, 滝川雅之, 永島達也, 高橋 正明, 中根英昭, 今村隆史 : ILASとCCSR/NIESナudgingCTMを用いた1997年の北極域成層圏に関する研究, 日本気象学会2003年度秋季大会, 仙台, 2003.10

黒川純一, 秋吉英治, 永島達也, 中根英昭, 増永浩彦, 中島映至, 高橋正明 : 大気球面状の考慮が南極域成層圏化学過程及び気象場に与える影響 - ナudging化学輸送モデル及び化学気候モデルを用いた考察 -, 日本気象学会2003年度秋季大会, 仙台, 2003.10

秋吉英治 : オゾンホールを予測する手立て, 第18回「大学と科学」公開シンポジウム『オゾンのゆくえ 気候変動とのかかわりをさぐる 』, 一橋記念講堂, 東京, 2003.12

秋吉英治, 今村隆史, 菅田誠治, 中根英昭, 黒川純一, 滝川雅之 : 臭素化合物のオゾン破壊に及ぼす影響と北極渦の状態, 第14回大気化学シンポジウム, 豊川, 2004.1

秋吉英治, Zhou L.B. : 北半球中高緯度下部成層圏におけるN₂O濃度分布の年々変動と、北極渦崩壊時期、子午面循環、水平渦拡散係数との関係, 日本気象学会2004年春季大会, 東京, 2004.5

Akiyoshi H., Imamura T., Kurokawa J., Takigawa M., Sugata S., Nakane H. : A CTM study of lower stratospheric ozone destruction due to bromine species inside/outside the Arctic polar vortex, 3rd SPARC General Assem., Victoria, Canada, 2004.8

秋吉英治, Zhou L.B., 黒川純一, 菅田誠治, 今村隆史, 滝川雅之, 川平浩二, 中根英昭 : 極成層圏雲と硫酸エアロゾルを介した臭素のオゾン層への影響 - ライダー観測に望むこと -, 第23回レーザーセンシングシンポジウム, つくば, 2004.9

秋吉英治, 菅田誠治, 吉識宗佳, 杉田考史 : 北極渦内オゾン破壊の極渦外への影響について, 日本気象学会2004年度秋季大会, 福岡, 2004.10

黒川純一, 秋吉英治, 永島達也, 中根英昭, 増永浩彦, 中島映至, 高橋正明 : 大気球面形状の考慮がオゾンホールに与える影響の化学 - 放射 - 力学相互作用, 第15回大気化学シンポジウム, 豊川, 2005.1

秋吉英治 : 3次元モデルを用いたオゾン層破壊のシミュレーションと不均一反応, 分子化学研究所研究会, 大気科学における不均質系の分子化学, 岡崎, 2005.1

秋吉英治, 菅田誠治, 黒川純一, 滝川雅之, 今村隆史, 中根英昭 : 化学輸送モデルを用いた94/95 95/96 96/97年冬の北半球中高緯度域オゾン破壊の緯度別解析, 日本気象学会2005年度春季大会, 東京, 2005.5

庭野将徳, 古屋 望, 秋吉英治, 林田佐智子 : SAGE IIデータを用いた成層圏エアロゾルの解析 ~ 季節変動および準2年周期振動 ~ 日本気象学会春季大会, 日本気象学会2005年度春季大会, 東京, 2005.5

Akiyoshi H., Yoshiki M., Nagashima T., Kurokawa J., Takahashi M., Takigawa M., Imamura T. : Calculation of ozone variation using CCSR/NIES CCMwith T42 horizontal resolution and bromine chemistry, CCMVal wrokshop 2005, Boulder, USA, 2005.10

Yoshiki M., Akiyoshi H. : Interannual variations in ozone perturbations in the Arctic summer lower stratosphere, CCMVal wrokshop 2005, Boulder, USA, 2005.10

秋吉英治, 菅田誠治, 吉識宗佳, 杉田考史 : 1997年北極渦のPolar Processor効果, 日本気象学会2005年度秋季大会, 神戸, 2005.11

菅田誠治, 秋吉英治, 神沢 博 : Time threshold diagnostics (TTD)を用いた成層圏極渦内の下降流の解析, 日本気象学会2005年度秋季大会, 神戸, 2005.11

秋吉英治, 吉識宗佳, 永島達也, 今村隆史, Zhou L.B., 高橋正明, 黒川純一, 滝川雅之 : 化学気候モデルバリデーション(CCMVal)シナリオに基づいたオゾン層変動の数値実験, 第16回大気化学シンポジウム研究集会, 豊川, 2006.1

菅田誠治, 秋吉英治, 神沢 博 : 時間閾値解析法(TTD)を用いた成層圏極渦の孤立性と鉛直流の解析, 第16回大気化学シンポジウム研究集会, 豊川, 2006.1

入江仁士, 近藤 豊, 小池 真, 中島英彰, 笹野泰弘 : 冬季の極域成層圏における固体粒子の核形成メカニズム, 第8回大気化学討論会, 虻田 (北海道), 2002.6

Irie H., Kondo Y., Koike M., Nakajima H., Sasano Y. : An evidence for the nucleation of polar stratospheric clouds from liquid particles, 6th Eur. Symp. Stratos. Ozone, Göteborg, Sweden, 2002.9

入江仁士, 近藤 豊, 小池 真, 中島英彰, 笹野泰弘 : 冬季の極域成層圏における固体粒子の核形成メカニズム, 日本気象学会2002年度秋季大会, 札幌, 2002.10

Irie H., Kondo Y., Koike M., Nakajima H., Sasano Y. : Relationship between denitrification and hydrate saturations, Remote Sensing Atmos., Ocean, Environ., Space, Hangzhou, China, 2002.10

Kondo Y., Irie H., Koike M. : Denitrification in the Arctic stratosphere - Observations and suggested mechanism-, Int. Symp. Stratos. Var. Climate, Fukuoka, 2002.11

Irie H., Kondo Y., Koike M., Nakajima H., Sasano Y. : Denitrification in the Antarctic stratosphere in early winter, Int. Symp. Stratos. Var. Climate, Fukuoka, 2002.11

入江仁士, 近藤 豊, 中島英彰 : 1997年初冬における南極成層圏の脱窒, 第13回大気化学シンポジウム, 豊川, 2003.1

入江仁士, 杉田考史, 中島英彰 : 極域成層圏における水蒸気増加が窒素酸化物の除去過程に与える影響評価 - 人工衛星観測の役割 -, 日本気象学会2003年度秋季大会, 仙台, 2003.10

Irie H., Kondo Y., Sugita T., Nakajima H. : Impact of Increased Stratospheric Water Vapor on Denitrification in the Polar Ozone Layer, 2003 AGU Fall Meet., San Francisco, 2003.11

Irie H. : Impact of Increased Stratospheric Water Vapor on Denitrification in the Polar Ozone Layer, AGU 2003 Fall Meet., San Francisco, 2003.12

入江仁士, Pagan K.L., Tabazadeh A., Legg M.J. : 北極成層圏の脱窒を引き起こす微物理過程液滴表面で起きる核形成の役割, 第14回大気化学シンポジウム, 豊川, 2004.1

入江仁士, 近藤 豊, 駒崎雄一, 竹川暢之, 北 和之, 宮崎雄三, 森野 悠 : エアロゾル熱力学平衡モデルARIES (AeRosols In an Equilibrium State) の構築, 第14回大気化学シンポジウム, 豊川, 2004.1

- 林田佐智子, 池田奈生, 戸田庸子, 入江仁士, 中島英彰: CIONO₂/ILASとHCl/HALOEの解析に基づく極域成層圏における塩素化学種分配とCly推定, 日本気象学会2004年秋季大会, 福岡, 2004.10
- 江尻 省, 中島英彰, Meier A., Blumenstock T.: キルナFTIRスペクトルのSFIT2による解析とILASから得た大気微量成分の高度分布の比較, 日本気象学会2002年度秋季大会, 札幌, 2002.10
- 江尻 省, 中島英彰, Meier A., Blumenstock T.: キルナFTIRスペクトルのSFIT2による解析とILASから得た大気微量成分の高度分布の比較, 第112回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 東京, 2002.11
- 江尻 省, 中島英彰, Jones N., Blumenstock T.: キルナFTIRスペクトルのSFIT2による解析とILASから得た大気微量成分の高度分布の比較2, 日本気象学会2003年度春季大会, つくば, 2003.5
- 江尻 省, 中島英彰, Jones N., Blumenstock T.: キルナFTIR とILAS から得られた成層圏メタンの高度分布の比較, 地球惑星科学関連学会2003年合同大会, 千葉, 2003.5
- Ejiri M.K., Jones N.: Sa matrix for retrieval of N₂O, NDSC/IRWG Workshop, Bremen, Germany, 2003.6
- Ejiri M.K., Nakajima H., Jones N.B., Meier A., Blumenstock T.: The validation of profiles of minor species derived from the Kiruna FTIR spectra using SFIT2 by comparison with ILAS profiles, IUGG2003, Sapporo, 2003.7
- 江尻 省, Khosrawi F., 入江仁士, 中島英彰: ILAS, ILAS-IIで観測されたCFC-12, 日本気象学会2003年度秋季大会, 仙台, 2003.10
- Ejiri M.K.: The validation of profiles of minor species derived from the Kiruna FTIR spectra using SFIT2 by comparison with satellite measurements, AGU 2003 Fall Meet., San Francisco, 2003.12
- Ejiri M.K., Nakajima H., Jones N.B., Blumenstock T.: The validation of profiles of minor species derived from the Kiruna FTIR spectra using SFIT2 by comparison with satellite measurements, 2003 AGU Fall Meet., San Francisco, 2003.12
- 江尻 省, 中島英彰, Jones N., Blumenstock T.: SFIT2を用いてキルナFTIRスペクトルから導出したHNO₃とN₂Oの高度分布と衛星データ(ILAS)の比較, 日本気象学会2004年春季大会, 東京, 2004.5
- 江尻 省, 寺尾有希夫, 杉田考史, 中島英彰, 横田達也, 笹野泰弘, 神沢 博, 塩谷雅人: ILAS-II観測によるN₂OとCH₄のV1.4データの検証, 日本気象学会2004年度秋季大会, 福岡, 2004.10
- Ejiri M.K., Terao Y., Sugita T., Nakajima H., Shiotani M., Kanzawa H., Sasano Y.: Validation of ILAS-II Version 1.4 N₂O and CH₄ Profiles, 2004 AGU Fall Meet., San Francisco, 2004.12
- 江尻 省, 寺尾有希夫, 杉田考史, 中島英彰, 横田達也, 笹野泰弘, 神沢 博, 塩谷雅人: ILAS-II観測によるN₂OとCH₄のデータ質検証, 日本気象学会2005年度春季大会, 東京, 2005.5
- Griesfeller A., Ejiri M., Blumenstock T., Hase F., Jones N. B., Kondo Y., Kramer I., Nakajima H., Raffalski U.: Validation of ILAS-II data by ground-based FTIR-measurements of HNO₃ and N₂O at Kiruna, 2005 Spring Meet. Meteorol. Soc. Jpn., 東京, 2005.5
- 神沢 博: 衛星プロジェクトにおける検証実験の役割と実施: ILASの経験から考える, 京都SMILESミーティング, 京都, 2001.2
- Kanzawa H., Shiotani M., Suzuki M., Yokota T., Sasano Y.: Structure of the polar vortex of the Arctic winter of 1996/1997 as analyzed from long-lived tracer data of ILAS and meteorological data, Jpn.-U.S. Semin. Coupling troposphere & stratos. dyn., radiative & chem. processes, Kyoto, 2001.3
-

- Kanzawa H., Nakajima H., Sugata S., Shiotani M., Kawamoto N., Suzuki M., Sugita T., Yokota T., Sasano Y. : Structure of the polar vortex in 1996/1997 Arctic winter as revealed by ILAS observation of minor-constituents and meteorological data, Jpn.-U.S. Semin. Coupling troposphere & stratos. dyn., radiative & chem. processes, Kyoto, 2001.3
- Kanzawa H., Camy-Peyret C., Nakajima H., Sasano Y. : A plan for ILAS-II correlative measurements with emphasis on a validation balloon campaign at Kiruna-ESRANGE, 15th ESA Symp. Eur. Rocket and Balloon Programmes and Related Res., Biarritz, France, 2001.5
- 神沢 博 : ILAS-II 関連ゾンデ観測, 南極大気・物質循環観測に関する研究小集会, 東京, 2001.9
- 神沢 博 : 衛星センサーILASによる極域成層圏の観測結果とILAS-IIによる観測計画, 南極大型レーダー計画との接点に着目して, 南極大型レーダー計画 北極EISCATレーダーおよびグローバルレーダー網との連携による極域大気環境の総合観測に関する研究小集会, 東京, 2001.9
- 河本 望, 神沢 博, 塩谷雅人 : ILASデータにもとづく下降速度の見積もり, 第12回大気化学シンポジウム, 豊橋, 2001.12
- 神沢 博 : 成層圏水蒸気の分布と長期変動, 第12回大気化学シンポジウム, 豊橋, 2001.12
- 神沢 博 : 陸域生態系による二酸化炭素の吸収量排出量の評価, 大気組成モニタリングへの衛星観測の貢献シンポジウム, 東京, 2002.3
- Kanzawa H., Nakajima H., Sasano Y. : Present status of ILAS-II validation plan, 4th ILAS-II Sci. Team Meet., Osaka, 2002.3
- Kawamoto N., Kanzawa H., Shiotani M. : Descent rate in the Antarctic vortex and its relation to dynamical fields, 4th ILAS-II Sci. Team Meet., Osaka, 2002.3
- 河本 望, 神沢 博, 塩谷雅人 : ILASにもとづく下降速度の見積もり, 日本気象学会2002年度秋季大会, 札幌, 2002.10
- Kawamoto N., Kanzawa H., Shiotani M. : Descent rate in the Antarctic vortex estimated by ADEOS/ILAS trace gases and its relation to dynamical fields, 12th Conf. Middle Atmos. (American Meteorol. Soc.), San Antonio, TX, USA, 2002.11
- Kawamoto N., Kanzawa H., Shiotani M. : Time variations of the descent rate in the Antarctic vortex during the early winter of 1997, Int. Symp. Stratos. Var. Climate, Fukuoka, 2002.11
- Kanzawa H., Sugita T., Nakajima H. : A plan for ILAS-II correlative measurements, 16th ESA Symp. Eur. Rocket Balloon Programmes Related Res., St. Gallen, Switzerland, 2003.6
- Kanzawa H. : Structure of the polar vortex as revealed by ILAS observations of minor-constituents and meteorological data, IUGG2003, Sapporo, 2003.7
- Griesfeller J., Griesfeller A., Hase F., Jones N.B., Blumenstock T., Nakajima H. : Comparison of retrieval code results of ground-based FTIR measurements at Kiruna, Sweden, 2005 Annu. Meet. Autumn Meteorol. Soc. Jpn., Kobe, 2005.11
- Griesfeller A., Griesfeller J., Hase F., Blumenstock T., Nakajima H. : Comparison of ILAS-II data with ground-based FTIR measurements of O₃, HNO₃, N₂O, and CH₄ over Kiruna, Sweden, 2005 Annu. Meet. Autumn Meteorol. Soc. Jpn., Kobe, 2005.11
- Griesfeller A., Griesfeller J., Hase F., Blumenstock T., Nakajima H. : Comparison of ILAS-II Data With Ground-based FTIR Measurements of O₃, HNO₃, N₂O. and CH₄ Over Kiruna, Sweden, AGU 2005 Fall Meet., San Francisco, 2005.12
-

小林博和, 中島英彰, 横田達也, 石垣武夫, 茂木勇治, 伊藤康裕, 戸上武雄, 市岡直司, 宇佐見昌俊: ILAS-II センサとその太陽追尾システム, 電子情報通信学会(宇宙・航行エレクトロニクス研究会), つくば, 2003.6

齋藤尚子, 林田佐智子, 笹野泰弘: 流跡線解析を用いた極成層圏雲の化学組成の考察, 日本気象学会2001年秋季大会, 岐阜, 2001.10

齋藤尚子, 林田佐智子, 笹野泰弘: 97年冬季南極で観測された極成層圏雲の特徴について, 日本気象学会2002年度秋季大会, 札幌, 2002.10

齋藤尚子, 林田佐智子, 中島英彰, 横田達也, 杉田考史, 小林博和, 笹野泰弘: ILASによる極成層圏雲の解析およびILAS-II初期観測結果について, 第9回大気化学討論会, 伊香保, 2003.5

Saitoh N., Hayashida S.: An effective way to classify observed PSCs based on composition using satellite-based data, IUGG2003, Sapporo, 2003.7

齋藤尚子, 中島英彰, 横田達也, 杉田考史: 衛星による極成層圏雲PSCsの観測 - SAM IIからILAS-II観測まで -, 日本気象学会2003年度秋季大会, 仙台, 2003.10

Saitoh N.: Polar Stratospheric Clouds Observed With ILAS-II Over Antarctica in 2003, AGU 2003 Fall Meet., San Francisco, 2003.12

齋藤尚子, 中島英彰, 横田達也, 杉田考史, 小林博和: ILAS-II可視消散係数データ質評価と2003冬季南極のPSCs発生状況について, 第14回大気化学シンポジウム, 豊川, 2004.1

齋藤尚子, 中島英彰, 横田達也, 杉田考史, 林田佐智子: ILAS-IIエアロゾル消散係数データ質評価, 日本気象学会2004年春季大会, 東京, 2004.5

Saitoh N., Nakajima H., Yokota T., Sugita T., Sasano Y., Hayashida S., Hayashi M., Shiraiishi K., Kanzawa H.: Validation of ILAS-II aerosol extinction coefficient data and the observed PSCs over the Antarctica in 2003, 20th Quadrenn. Ozone Symp., Kos, Greece, 2004.6

齋藤尚子, 杉田考史, 中島英彰, 横田達也, 笹野泰弘, 林田佐智子, 林政彦, 白石浩一, 神沢博: ILAS-IIエアロゾル消散係数V1.4データ質評価, 日本気象学会2004年度秋季大会, 福岡, 2004.10

Saitoh N., Hayashida S., Sugita T., Nakajima H., Yokota T., Hyashi M., Shiraiishi K., Kanzawa H., Sasano Y.: Validation of ILAS-II Aerosol Extinction Coefficients at 780 nm: Comparison with SAGE II, SAGE III, POAM III, and OPC/LPC measurements, 2004 AGU Fall Meet., San Francisco, 2004.12

Kawashima T., Kuze A., Mori S., Tanii J., Sasano Y., Nakajima H., Yokota T., Sugita T., Waragai K.: Introduction of SOFIS / FTS calibration system, 6th Workshop Infrared Emiss. Meas. FT-IR, Quebec, 2002.2

笹野泰弘: 地球環境研究における衛星利用, 大気組成モニタリングへの衛星観測の貢献シンポジウム, 東京, 2002.3

Sasano Y., Yokota T., Nakajima H., Sugita T., Kanzawa H.: ILAS achievements and ILAS-II science plan, 2002 IEEE Int. Geosci. & Remote Sensing Symp., Toronto, Canada, 2002.6

Davies S., Mann G.W., Carslaw K.S., Chipperfield M.P., Kettleborough J., Fahey D.W., Northway M.J., Oelhaf H., Sasano Y., Santee M.L., Wetzel G.: Comparison of a 3-D microphysical denitrification model with in-situ and remote observations for the cold Arctic winters of the 1990, 6th Eur. Symp. Stratos. Ozone, Göteborg, Sweden, 2002.9

von der Gathen P., Halk C., Handorf D., Rex M., Lehmann R., Bevilacqua R., Sasano Y. : Connections between tropospheric climate and stratospheric ozone distributions, 6th Eur. Symp. Stratos. Ozone, Göteborg, Sweden, 2002.9

藁谷克則, 岩澤利幸, 荒木信博, 木村教夫, 仙福 明, 河内義和, 茂木勇治, 笹野泰弘, 小林博和, 中島英彰, 横田達也, 杉田考史, 伊藤康裕, 川崎裕之, 宇佐美昌俊: 衛星搭載用オゾン層観測センサILAS-IIの運用状況, 第29回リモートセンシングシンポジウム, つくば, 2003.11

笹野泰弘: 我が国の人工衛星センサーILASによる成層圏オゾン層研究, 計測自動制御学会第30回リモートセンシングシンポジウム, 東京, 2004.11

笹野泰弘: シンポジウム「大規模観測プロジェクトは気象学に何をもたらすか」基調講演「これからの地球観測」, 日本気象学会2005年度秋季大会, 神戸, 2005.11

佐藤佳宏, 中島英彰, 横田達也, 笹野泰弘: ILASにより観測された極域中間圏雲について, 第11回大気化学シンポジウム, 豊橋, 2001.1

佐藤佳宏, 中島英彰, 横田達也, 笹野泰弘: 氷の存在を示す極域中間圏雲のILAS赤外観測結果, 日本気象学会2001年春季大会, 東京, 2001.5

佐藤佳宏, 中島英彰, 横田達也, 笹野泰弘: ILASにより観測された極域中間圏雲の粒径推定, 日本気象学会2001年秋季大会, 岐阜, 2001.10

佐藤佳宏, 中島英彰, 横田達也, 笹野泰弘: ILASで観測された夏期の南半球の領域中間圏雲について, 地球電磁気・地球惑星圏学会第110回総会・講演会, 福岡, 2001.11

Sato Y., Nakajima H., Yokota T., Sasano Y. : Polar mesospheric clouds observed with the Improved Limb Atmospheric Spectrometer in the southern hemisphere, AGU 2001 Fall Meet., San Francisco, 2001.12

Sato Y., Nakajima H., Yokota T., Sasano Y. : Particle characteristics from the spectra PMCs, 4th ILAS-II Sci. Team Meet., Osaka, 2002.3

Zhou L.B., Akiyoshi H., Kawahira K. : A CTM simulation of year-to-year variation of total ozone over subtropical western Pacific, Int. Symp. Stratos. Var. Climate, Fukuoka, 2002.11

Zhou L.B., Akiyoshi H., Kawahira K.: Analysis of year-to-year ozone variation over the subtropical western Pacific region using ozone observation data and CCSR/NIES nudging CTM, 13th Atmos. Chem. Symp., Toyokawa, 2003.1

Zhou L.B., Akiyoshi H., Kawahira K. : Year-to-year variation in ozone minimum over the subtropical western Pacific region from 1996 to 2002, 2003 Spring Meet. Meteorol. Soc. Jpn., Tsukuba, 2003.5

Zhou L.B., Akiyoshi H. : Comparison of vortex remnant decay between the early and late Arctic vortex breakdown years obtained by potential vorticity and N₂O, 2003 Annu. Meet. Autumn. Meteorol. Soc. Jpn., Sendai, 2003.10

Zhou L.B., Akiyoshi H. : N₂O distributions in the early and late breakup years, 14th Atmos. Chem. Symp., Toyokawa, 2004.1

Zhou L. B., Akiyoshi H. : Lower stratospheric N₂O distributions in the early and late Arctic vortex breakup years, 3rd SPARC General Assem., Victoria, Canada, 2004.8

Zhou L.B., Akiyoshi H. : Mid- and high- latitude lower stratospheric N₂O distributions related to the Arctic vortex breakup, CCMVal wrokshop 2005, Boulder, USA, 2005.10

Zhou L.B., Akiyoshi H. : Mid- and high- latitude N₂O distributions in Northern Hemisphere in early and late vortex breakup years, 16th Atmos. Chem. Symp., Toyokawa, 2006.1

杉田考史, 河本 望, 中島英彰, 秋吉英治, 神沢 博, 横田達也, 笹野泰弘 : ILASで観測された北極極渦消滅後の微量成分分布, 第11回大気化学シンポジウム, 豊橋, 2001.1

Sugita T., Yokota T., Nakajima H., Sasano Y. : Temperature and pressure retrievals from O₂ A-band measurements, 18th ILAS Sci. Team Meet. / 2nd ILAS-II Sci. Team Meet., Tsukuba, 2001.3

Sugita T., Yokota T., Nakajima H., Kanzawa H., Nakane H., Sasano Y. : Validation of version 5.20 ozone data, 18th ILAS Sci. Team Meet. / 2nd ILAS-II Sci. Team Meet., Tsukuba, 2001.3

杉田考史, 中島英彰, 河本 望, 寺尾有希夫, 秋吉英治, 横田達也, 神沢 博, 笹野泰弘 : ILASにより測定された北半球春期 - 初夏にかけての高緯度成層圏におけるオゾン, 窒素酸化物およびレーザー物質の挙動 (2), 日本気象学会2001年春季大会, 東京, 2001.5

Sugita T., Yokota T., Nakajima H., Kanzawa H., Nakane H., Gernandt H., Yushkov V., Shibasaki K., Deshler T., Kondo Y., Godin S., Goutail F., Pommereau J.-P., Camy-Peyret C., Payan S., Jeseck P., Renard J.-B., Bösch H., Fitzenberger R., Pfeilsticher K., von König M., Bremer H., Küllmann H., Schlanger H., Margitan J.J., Stachnik B., Toon G.C., Jucks K., Traub W.A., Johnson D.G., Murata I., Fukunishi H., Sasano Y. : Validation of ozone measurements from the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS), Network for the Detection of Stratos. Change (NDSC) 2001 Symp., Arcachon, France, 2001.9

杉田考史, 秋吉英治, 中島英彰, 林 寛生 : ILASで観測された初夏の北半球中高緯度成層圏におけるオゾンの挙動, 第12回大気化学シンポジウム, 豊橋, 2001.12

Sugita T. : Temperature and pressure retrievals : toward ILAS-II, 4th ILAS-II Sci. Team Meet., Osaka, 2002.3

杉田考史 : 温室効果ガス・オゾン層大気微量成分の観測, 大気組成モニタリングへの衛星観測の貢献シンポジウム, 東京, 2002.3

杉田考史, 中島英彰, 林 寛生, 笹野泰弘 : 極域オゾン破壊に及ぼす成層圏脱硝過程の影響, 日本気象学会2002年度春季大会, さいたま, 2002.5

Sugita T., Nakajima H., Hayashi H., Sasano Y. : The effect of stratospheric denitrification on ozone loss observed by the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) in the 1997 Arctic polar vortex, 6th Eur. Symp. Stratos. Ozone, Göteborg, Sweden, 2002.9

杉田考史, 中島英彰, 林 寛生 : 極域オゾン破壊に及ぼす成層圏脱硝過程の影響 (2), 日本気象学会2002年度秋季大会, 札幌, 2002.10

Sugita T., Yokota T., Nakajima H., Sasano Y. : Progress in the temperature and pressure retrievals from ILAS, Remote Sensing Atmos., Ocean, Environ., Space, Hangzhou, China, 2002.10

Sugita T., Nakajima H., Hayashi H., Sasano Y. : The effect of stratospheric denitrification on ozone loss as observed by ILAS in the 1997 Arctic polar vortex, Int. Symp. Stratos. Var. Climate, Fukuoka, 2002.11

杉田考史, 横田達也, 中島英彰, 入江仁士, 神沢 博, 小林博和, 笹野泰弘 : ILAS最新バージョン6.0のデータ質, 第13回大気化学シンポジウム, 豊川, 2003.1

Sugita T., Yokota T., Nakajima H., Kanzawa H., Sasano Y. : Data quality of ILAS version 6 ozone profiles, EGS-AGU-EUG Jt. Assem., Nice, France, 2003.4

- 杉田考史, 中島英彰, 横田達也, 入江仁士, 神沢 博, 小林博和, 笹野泰弘: ILASバージョン6.0のデータ質評価, 日本気象学会2003年度春季大会, つくば, 2003.5
- 杉田考史, 中島英彰, 横田達也, 入江仁士, 齋藤尚子, 寺尾有希夫, 林 政彦, 白石浩一, 神沢 博: ILAS-IIデータの初期的評価, 日本気象学会2003年度秋季大会, 仙台, 2003.10
- 杉田考史, 神沢 博, 中島英彰, 佐藤 薫: オゾンゾンデによる観測と同期したILAS-IIデータとの比較, 第26回極域気水圏シンポジウム, 東京, 2003.11
- Sugita T., Kanzawa H., Nakajima H., Yokota T., Sasano Y.: ILAS-II measurements of O₃: comparison with ozonesondes, AGU 2003 Fall Meet., San Francisco, 2003.12
- 杉田考史, 齋藤尚子, 寺尾有希夫, 神沢 博, 中島英彰, 横田達也, 小林博和: ILAS-IIから導出された成層圏オゾン, 水蒸気のデータ質評価, 第14回大気化学シンポジウム, 豊川, 2004.1
- 杉田考史, 中島英彰, 横田達也, 小林博和, 笹野泰弘, 神沢 博, 佐藤 薫, 山森美穂, 村山泰啓: ILAS-IIバージョン1.3による下部成層圏オゾンデータ質の評価, 日本気象学会2004年春季大会, 東京, 2004.5
- Sugita T., Kanzawa H., Nakajima H., Yokota T., Gernandt H., Herber A., von der Gathen P., König-Langlo G., Murayama Y., Yamamori M., Sato K., Yushkov V.A., Dorokhov V., Allaart M., Litynska Z., Braathen G.O., Kyrö E., De Backer H., Yela M., Klekociuk A., Goutail F., Godin-Beekmann S., Taalas P., Deshler T., Roscoe H.K., Oltmans S.J., Johnson B., Kobayashi H., Sasano Y.: Assessment of the version 1.3 ILAS-II ozone data quality in the high latitude lower stratosphere, 20th Quadrenn. Ozone Symp., Kos, Greece, 2004.6
- Sugita T., Yokota T., Nakajima H., Kobayashi H., Sasano Y.: Vertical profiles of temperature and pressure retrieved by the ILAS-II at the high latitudes in the stratosphere and lower mesosphere, Int. Radiation Symp. 2004, Busan, Korea, 2004.8
- Sugita T., Nakajima H., Sugimoto N., Sonnenfroh D.M., Galica G.E., Nakamura T., Green B.D.: 温室効果ガス観測用衛星搭載ライダーの概念検討, 第23回レーザーセンシングシンポジウム, つくば, 2004.9
- 山森美穂, 香川晶子, 笠井康子, 村山泰啓, 杉田考史, 中島英彰: アラスカ・ポーカーフラットFTIRによるILAS-II Ver.1.4オゾンデータの検証, 日本気象学会2004年秋季大会, 福岡, 2004.10
- 杉田考史, 横田達也, 中島英彰, 笹野泰弘, 南川敦宣, 青山雄一, 津田敏隆, 小林博和: ILAS-IIによる成層圏気温・気圧の観測, 日本気象学会2004年度秋季大会, 福岡, 2004.10
- Sugita T., Yokota T., Nakajima H., Kobayashi H., Saitoh N., Sasano Y.: A comparative study of stratospheric temperatures between ILAS-II and other data, SPIE 4th Int. Asia-Pac. Environ. Remote Sensing Symp., Honolulu, Hawaii, USA, 2004.11
- 杉田考史, 入江仁士, 中島英彰, 横田達也, 神沢 博, 小林博和, 笹野泰弘: ILAS-IIバージョン1.4のオゾン・硝酸データ質評価, 第15回大気化学シンポジウム, 豊川, 2005.1
- 田中智章, 杉田考史, 横田達也, 中島英彰, 笹野泰弘: ILAS-IIにおける新しい接線高度決定法について, 日本気象学会2005年度春季大会, 東京, 2005.5
- 杉田考史, 齋藤尚子, 中島英彰, 横田達也, 今村隆史, 笹野泰弘: ILAS-IIによって観測された2003年南極成層圏の硝酸とエアロゾル消散係数の短時間変動, 第11回大気化学討論会, 奈良, 2005.6
- Sugita T., Saitoh N., Nakajima H., Yokota T., Sasano Y.: Short time variations in HNO₃ and aerosol extinction coefficient data as observed by ILAS-II in the 2003 Antarctic stratosphere, 2005 NASA SOSST Workshop, Columbia, 2005.6
-

Sugita T., Saitoh N., Nakajima H., Yokota T., Imamura T., Sasano Y. : Short time variations in HNO₃ and aerosol extinction coefficient data as observed by ILAS-II in the 2003 Antarctic stratosphere, SGPSS 118th, Kyoto, 2005.9

戸田庸子, 池田奈生, 林田佐智子, 杉田考史, 中島英彰, 入江仁士, 笹野泰弘 : ILASデータを用いたトレーサー解析 - 脱窒・脱水の推定 -, 日本気象学会2005年度秋季大会, 神戸, 2005.11

田中智章, 杉田考史, 横田達也, 中島英彰, 笹野泰弘, 深堀正志 : CO₂ v3帯におけるCO₂-N₂混合気体の吸収線形の隔壁について, 日本気象学会2005年度秋季大会, 神戸, 2005.11

Oshchepkov S., Sasano Y., Yokota T., Nakajima H. : Stratospheric aerosol and cloud characterization using visible and infrared gas window channels : Application to the ILAS satellite observations, 1st Int. UV/Vis Limb-Scattering Workshop, Bremen, Germany, 2003.4

Hayashida S., Oshchepkov S., Sasano Y., Sugita T., Yokota T., Nakajima H. : Satellite Observation Polar Stratospheric Cloud Composition-Simultaneous Gas and Aerosol Retrieval, AGU 2005 Fall Meet., San Francisco, 2005.12

田中智章, 横田達也, 中島英彰, 笹野泰弘, 深堀正志, 渡邊 猛 : CO₂ 4.8μm帯の吸収線パラメータ測定, 日本気象学会2004年度秋季大会, 福岡, 2004.10

Terao Y. : Quantification of ozone loss and chemical perturbations in the Arctic stratosphere by the Satellite-Match analysis, EGS-AGU-EUG Jt. Assem., Nice, France, 2003.4

寺尾有希夫, 笹野泰弘, 中島英彰 : 人工衛星観測データから得られた極域成層圏オゾン減少量, 日本気象学会2003年度秋季大会, 仙台, 2003.10

Terao Y., Saitoh N., Sugita T., Nakajima H., Yokota T., Kobayashi H., Sasano Y. : ILAS-II measurements of trace gases, temperature and pressure : Comparison with solar occultation sensors, AGU 2003 Fall Meet., San Francisco, 2003.12

Terao Y. : Arctic ozone loss rates from 1994 to 2000 derived from the Satellite-Match analysis using ILAS and POAM II/III, 6th Eur. Symp. Stratos. Ozone, Göteborg, Sweden, 2002.9

河本 望, 中島英彰, 笹野泰弘 : ILASが観測した極渦崩壊時における微量成分分布について (その2), 第11回大気化学シンポジウム, 豊橋, 2001.1

中島英彰, 神沢 博, 笹野泰弘, 河本 望 : ILASが観測した極渦崩壊時における微量成分分布について (その1), 第11回大気化学シンポジウム, 豊橋, 2001.1

中島英彰, 河本 望, 神沢 博, 笹野泰弘 : ILASデータで見た極渦崩壊時の微量気体成分の子午面輸送について, 特定領域研究B成層圏力学過程とオゾンの変動およびその気候への影響平成12年度公開シンポジウム, 京都, 2001.2

Nakajima H. : Validation of version 5.20 with POLARIS measurements, 18th ILAS Sci. Team Meet. / 2nd ILAS-II Sci. Team Meet., Tsukuba, 2001.3

Kawamoto N., Nakajima H., Shiotani M., Sasano Y. : Meridional mixing of minor species at the time of breakup of polar vortex by ILAS, 18th ILAS Sci. Team Meet. / 2nd ILAS-II Sci. Team Meet., Tsukuba, 2001.3

Lefèvre F., Nakajima H., Sasano Y. : 3D modelling of the 1996-1997 Arctic winter and comparison with ILAS data, 18th ILAS Sci. Team Meet. / 2nd ILAS-II Sci. Team Meet., Tsukuba, 2001.3

Nakajima H. : Current status of ILAS-II hardware development, 18th ILAS Sci. Team Meet. / 2nd ILAS-II Sci. Team Meet., Tsukuba, 2001.3

Gernandt H., Herber A., Nakajima H., von der Gathen P., Klein U. : Validation studies by balloon-borne observations in Antarctica and complementary ground-based studies in the Arctic, 18th ILAS Sci. Team Meet. / 2nd ILAS-II Sci. Team Meet., Tsukuba, 2001.3

Nakajima H., Kawamoto N., Kanzawa H., Sasano Y. : Meridional transport of minor species at the time of breakup of polar vortex observed by ILAS, Japan-U.S. Seminar, Kyoto, 2001.3

Nakajima H., Kawamoto N., Kanzawa H., Sasano Y. : Meridional mixing of minor species observed by satellite sensor ILAS, 8th Sci. Assem. IAMAS, Innsbruck, 2001.7

林 寛生, 中島英彰, 神沢 博, 杉田考史, 笹野泰弘 : ILASによる観測からみた南半球極域の下部成層圏における下降流について, 日本気象学会2001年秋季大会, 岐阜, 2001.10

Nakajima H. : Current status of the Solar-Occultation FTS for Inclined-orbit Satellite (SOFIS) hardware development, ASSFTS 10, Ventura, 2001.10

藁谷克則, 荒木信博, 山下 博, 中島英彰, 横田達也, 杉田考史, 笹野泰弘 : 衛星センサILAS-IIの赤外装置関数の最適化, 第27回リモートセンシングシンポジウム, 東京, 2001.10

渡辺 猛, 長澤佳克, 佐保良次, 森山正人, 森田 健, 樋渡史子, 松見 豊, 中島英彰, 横田達也 : ガス吸収パラメータ測定用低温多重反射セルの製作, 第12回大気化学シンポジウム, 豊橋, 2001.12

Nakajima H., Kawamoto N., Kanzawa H., Sasano Y. : Mixing of minor species across the polar vortex boundary at the time of polar vortex breakup observed by satellite sensor ILAS, AGU 2001 Fall Meet., San Francisco, 2001.12

Nakajima H., Sasano Y., Kuze A., Tanii J. : Current status of the Solar-Occultation FTS for Inclined-orbit Satellite (SOFIS) hardware development, 6th Workshop Infrared Emiss. Meas. FT-IR, Quebec, 2002.2

Uemura N., Nakajima H., Yokota T., Sugita T., Sasano Y. : Status of software development for SOFIS, 6th Workshop Infrared Emiss. Meas. FT-IR, Quebec, 2002.2

林 寛生, 中島英彰, 神沢 博, 杉田考史, 笹野泰弘 : ILASによって観測された南半球極渦内の下降流について, 「成層圏変動と気候」第3回シンポジウム, 東京, 2002.2

Nakajima H. : Hardware development status of the ILAS-II instrument, 4th ILAS-II Sci. Team Meet., Osaka, 2002.3

Nakajima H. : Assessment of uncertainties in trajectory calculations using different meteorological datasets and different analysis models, 4th ILAS-II Sci. Team Meet., Osaka, 2002.3

中島英彰, 杉田考史, 松園 正, 福田友紀子 : トラジェクトリー解析モデルの比較検証, 日本気象学会2002年度春季大会, さいたま, 2002.5

Rivière E.D., Terao Y., Nakajima H., Lefèvre F. : Lagrangian modeling of denitrification observed by ILAS over the Arctic and Antarctica, 6th Eur. Symp. Stratos. Ozone, Göteborg, Sweden, 2002.9

Nakajima H., Sugita T., Yokota T., Kobayashi H., Sasano Y. : Current status of Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II (ILAS-II) onboard the ADEOS-II satellite, 9th Int. Symp. Remote Sensing, Crete, Greece, 2002.9

- 中島英彰, 入江仁士, 杉田考史, 笹野泰弘: ILASによるClONO₂の観測, 日本気象学会2002年度秋季大会, 札幌, 2002.10
- 岩澤利幸, 藁谷克則, 木村教夫, 荒木信博, 仙福 明, 茂木勇治, 石垣武夫, 中島英彰, 杉田考史, 神沢 博, 横田達也, 小林博和, 笹野泰弘: 改良型大気周縁赤外分光計II型 (ILAS-II) の開発, 第46回宇宙科学技術連合講演会, 小金井, 2002.10
- 中島英彰, 入江仁士, 杉田考史, 横田達也, 笹野泰弘: ILAS Version 6.0によるClONO₂及びN₂O₅の観測, 第13回大気化学シンポジウム, 豊川, 2003.1
- 中島英彰, 杉田考史: ILAS-II/SOFIS, 第13回大気化学シンポジウム, 豊川, 2003.1
- Nakajima H., Sugita T., Yokota T., Kanzawa H., Kobayashi H., Sasano Y. : Current status and early result of the ILAS-II onboard the ADEOS-II satellite, EGS-AGU-EUG Jt. Assem., Nice, France, 2003.4
- Nakajima H. : GOSAT (Greenhouse-gas Observing Satellite) : Mission status, objectives, and science plan, 3rd SDMAG Meet., ESA/ESTEC, Noordwijk, Netherlands, 2003.4
- 中島英彰, 入江仁士, 杉田考史, 笹野泰弘: ILAS Version6.0によるClONO₂の観測, 日本気象学会2003年度春季大会, つくば, 2003.5
- Khosrawi F., Möller R., Proffitt M.H., Nakajima H., Sasano Y. : Northern and southern hemispheric monthly averaged ozone and nitrous oxide from the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS), IUGG2003, Sapporo, 2003.7
- Nakajima H. : ILAS-II balloon experiment, 4th Japan/France Space Cooperation Symposium, Kyoto, 2003.7
- Nakajima H., Sugita T., Yokota T., Sasano Y. : Current status and early result of the ILAS-II onboard the ADEOS-II Satellite, 10th Int. Symp. Remote Sensing, SPIE, Barcelona, 2003.9
- 中島英彰, 杉田考史, 笠井康子, 塩谷雅人, 鈴木 睦: 衛星からの大気観測 - 日本の貢献と将来展望 -, 日本気象学会2003年度秋季大会, 仙台, 2003.10
- 林田佐智子, 池田奈生, 戸田庸子, 中島英彰: 極域オゾン破壊におけるClONO₂の果たす役割, 日本気象学会2003年度秋季大会, 仙台, 2003.10
- 藁谷克則, 荒木信博, 岩澤利幸, 茂木勇治, 中島英彰, 横田達也, 杉田考史, 伊藤康裕: 改良型大気周縁赤外分光計II型 (ILAS-II) の初期運用状況, 第47回宇宙科学技術連合講演会, 新潟, 2003.11
- 中島英彰, 杉田考史, 神沢 博, 笹野泰弘, Wetzel G., Oelhaf H. : ADEOS-II搭載ILAS-IIによる2003年3~4月キルナにおけるILAS-II検証実験計画と2003年南極オゾンホール初期解析結果, 第26回極域気水圏シンポジウム, 東京, 2003.11
- Hayashida S., Ikeda N., Toda Y., Nakajima H. : Behavior of ClONO₂ at high latitudes observed with ILAS : inter-hemispheric contrast during the recovery phase of polar ozone depletion, Integration of Arctic Climate Research, 4th Int. Workshop Global Change : Connection to the Arctic 2003 (GCCA4) Collaboration with IARC, Toyokawa, 2003.11
- Nakajima H. : Measurements of ClONO₂ by Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) in the high latitude stratosphere, AGU 2003 Fall Meet., San Francisco, 2003.12
- 中島英彰, 杉田考史, 入江仁士, 寺尾有希夫, 齋藤尚子, 江尻 省, 田中智章, 横田達也, 笹野泰弘: ILAS-IIによる初期観測結果について, 第14回大気化学シンポジウム, 豊川, 2004.1
-

林田佐智子, 池田奈生, 戸田庸子, 中島英彰: ILASで観測されたClONO₂に基づくNO_y, Cly分配推定, 第14回大気化学シンポジウム, 豊川, 2004.1

戸田庸子, 池田奈生, 林田佐智子, 中島英彰: ILASで得られたClONO₂とHALOEで得られたHClとの比率 オゾン, メタンとの関係, 第14回大気化学シンポジウム, 豊川, 2004.1

Tanaka T., Fukabori M., Nakajima H., Yokota T., Watanabe T.: Measurements of the line parameters in the v₄ band of CH₄ and v₁ band of N₂O, Int. Workshop Crit. Eval. mm-/submm-wave Spectrosc. Data Atmos. Obs., Mito, 2004.1

中島英彰, 寺尾有希夫, 入江仁士, 杉田考史, 横田達也, 笹野泰弘: ILAS-IIによる2003年南極オゾンホールの観測, 日本気象学会2004年春季大会, 東京, 2004.5

Tanaka T., Fukabori M., Nakajima H., Yokota T., Watanabe T.: Spectral line parameters for CO₂ bands near 4.8 micrometer, 8th Int. HITRAN Conf., Boston, 2004.6

中島英彰, 横田達也, 杉田考史, 齋藤尚子, 江尻 省, 笹野泰弘: ILAS-IIIによる成層圏オゾン層観測初期結果, 第10回大気化学討論会, 東京, 2004.6

Nakajima H., Saitoh N., Sugita T., Yokota T., Sasano Y., Terao Y., Irie H.: Observation of ozone depletion and related minor species from the ILAS-II onboard the ADEOS-II satellite, 20th Quadrenn. Ozone Symp., Kos, Greece, 2004.6

Wetzel G., Oelhaf H., Friedl-Vallon F., Kleinert A., Lengel A., Maucher G., Ruhnke R., Nakajima H.: Inter-comparison and validation of ILAS-II target species with MIPAS-B measurements, 20th Quadrenn. Ozone Symp., Kos, Greece, 2004.6

Nakajima H., Sasano Y., Yokota T., Sugita T., Saitoh N.: Scientific results from ILAS-II onboard the ADEOS-II satellite, Int. Radiation Symp. 2004, Busan, Korea, 2004.8

中島英彰, 杉田考史, 入江仁士, 齋藤尚子, 江尻 省, 田中智章, 横田達也, 笹野泰弘: ILAS-II Ver.1.4データ質検証とそれを用いた2003年南極オゾンホールの解析, 日本気象学会2004年秋季大会, 福岡, 2004.10

Nakajima H., Sugita T., Ejiri M.K., Saitoh N., Tanaka T., Yokota T., Sasano Y., Irie H., Kanzawa H.: Validation Summary and Scientific Results for ILAS-II Onboard the ADEOS-II Satellite, 2004 AGU Fall Meet., San Francisco, 2004.12

Tanaka T., Fukabori M., Nakajima H., Yokota T., Watanabe T., Sasano Y.: Spectral line parameters for CO₂ bands near 4.8 micrometer, 2004 AGU Fall Meet., San Francisco, 2004.12

Hayashida S., Ikeda N., Toda Y., Nakajima H.: Chlorine Reservoir Partitioning in the Polar Stratosphere Revealed by ILAS and HALOE data, 2004 AGU Fall Meet., San Francisco, 2004.12

佐伯浩介, 中島英彰, 杉田考史, 伊藤真之: ILAS-II観測による2003年冬季南極成層圏脱窒メカニズムの解析, 日本気象学会2005年度春季大会, 東京, 2005.5

中島英彰, 齋藤尚子, 杉田考史, 横田達也, 笹野泰弘: ADEOS-II搭載ILAS-IIによる2003年南極オゾンホールの解析, 日本気象学会2005年度春季大会, 東京, 2005.5

佐伯浩介, 中島英彰, 杉田考史, 伊藤真之: ILAS-II観測による2003年冬季南極成層圏脱窒メカニズムの解析, 第11回大気化学討論会, 奈良, 2005.6

村田 功, 中島英彰, 中根英昭, 福西 浩: FTIR観測によるつくばでのHCl, HF, O₃, HNO₃全量の変動, 第11回大気化学討論会, 奈良, 2005.6

佐伯浩介, 中島英彰, 杉田考史, 伊藤真之: ILAS-II観測による2003年冬季南極成層圏脱窒メカニズムの解析, 日本気象学会2005年度秋季大会, 神戸, 2005.11

佐藤 薫, 富川喜弘, 橋田 元, 門倉 昭, 中島英彰, 杉田考史: 昭和基地オゾンゾンデ集中観測およびILAS-II観測に基づくオゾン層回復過程の3次元構造の研究, 日本気象学会2005年度秋季大会, 神戸, 2005.11

Khosrawi F., Müller R., Proffit M.H., Nakajima H.: Northern and Southern hemispheric monthly averages of nitrous oxide and ozone: A "one-year climatology" derived from ILAS/ILAS-II observations, AGU 2005 Fall Meet., San Francisco, 2005.12

Sonnenfroh D.M., Galica G.E., Nakamura T., Green B.D., Flint J., Moulton P., Nakajima H., Sugimoto N.: Satellite Lidar for Global Warming Gas Measurement, AGU 2005 Fall Meet., San Francisco, 2005.12

Nakajima H., Saeki K., Sugita T.: Analysis of Antarctic Denitrification in 2003 Winter observed by ILAS-II Onboard the ADEOS-II Satellite, AGU 2005 Fall Meet., San Francisco, 2005.12

Nagashima T., Takahashi M., Takigawa M., Akiyoshi H.: On the variabilities of lower stratosphere in a general circulation model with interactive chemistry, 8th Sci. Assem. IAMAS, Innsbruck, 2001.7

永島達也, 高橋正明, 滝川雅之, 秋吉英治: 北半球高緯度春季下部成層圏の低温下傾向について - 化学大循環モデル実験を通じた考察 -, 日本気象学会2001年秋季大会, 岐阜, 2001.10

Nagashima T.: Future ozone development calculated by a chemical GCM, 2002 GRIPS workshop, Tsukuba, Japan, 2002.3

永島達也, 高橋正明, 滝川雅之, 秋吉英治: 大循環化学結合モデルによって計算された将来の成層圏オゾン層, 日本気象学会2002年度春季大会, さいたま, 2002.5

永島達也: 成層圏オゾン層の将来予測実験と、その今後の課題, SMILESシンポジウム, 晴海アイランドトリトンスクエア, 東京, 2002.7

Nagashima T.: Stratospheric chemistry model, 1st Japan-UK workshop on climate models, Tokyo, Japan, 2002.9

Nagashima T., Takahashi M., Takigawa M., Akiyoshi H.: An estimation of the future development of the ozone layer by a coupled chemistry-climate model, Int. Symp. Stratos. Var. Climate, Fukuoka, 2002.11

Nagashima T.: Solar effects in the stratospheric ozone estimated by a chemistry-climate model, IUGG2003, Sapporo, 2003.7

永島達也: 太陽活動11年周期変動の成層圏への影響 ~ 化学気候モデルを用いた考察 ~ , 日本気象学会2003年度秋季大会, 仙台, 2003.10

永島達也: 太陽活動11年周期変動が中層大気に及ぼす影響 化学気候モデルを用いたアプローチ , 第4回宇宙天気/気候シンポジウム, 陸別, 2003.11

永島達也: オゾンホールは何時消滅するか, 第18回「大学と科学」公開シンポジウム『オゾンのゆくえ 気候変動とのかかわりをさぐる』, 一橋記念講堂, 東京, 2003.12

永島達也: 太陽の変動が大気に及ぼす影響: 数値モデルを用いた研究, 第7回SELIS横断セミナー, 名古屋大学, 名古屋, 2004.2

永島達也: 数値モデルにおける気候と大気化学の相互作用, 第15回大気化学シンポジウム, 豊川, 2005.1

シンジャワ, 巻出義紘, 中根英昭, 青木周司, 中澤高清, 神沢 博, 笹野泰弘: 1997年5月三陸大気球およびILASによって観測された極渦由来気塊の渦位/トラジェクトリー解析, 第12回大気化学シンポジウム, 豊橋, 2001.12

池内和泉, 古橋規尊, 福井康雄, 水野 亮, Lukyanov A., 中根英昭, 秋吉英治: 渦位予報システム及び一酸化塩素濃度予報システムの構築, 日本気象学会2002年度秋季大会, 札幌, 2002.10

村田 功, 福西 浩, 中根英昭, 中島英彰: 地上赤外分光観測より導出したオゾン高度分布の精度, 第13回大気化学シンポジウム, 豊川, 2003.1

村田 功, 中根英昭, 中島英彰, 福西 浩: FT-IRにおける大気微量成分高度分布観測における装置関数補正の効果, 第14回大気化学シンポジウム, 豊川, 2004.1

Murata I., Nakane H., Nakajima H., Fukunishi H.: Validation of the ozone profile derived from ground-based infrared spectra with SFIT2 by comparing with ozonesonde measurements, 20th Quadrenn. Ozone Symp., Kos, Greece, 2004.6

長浜智生, 中根英昭, 秋吉英治, 藤沼康実, 小川英夫, 福井康雄: つくばミリ波分光計による中間圏オゾンの季節変動の観測, 日本気象学会2001年春季大会, 東京, 2001.5

Hayashi H., Nakajima H., Kanzawa H., Sugita T., Sasano Y.: Downward motions in the Antarctic polar vortex as seen in the ILAS N₂O data, AGU 2001 Fall Meet., San Francisco, 2001.12

Hayashi H., Nakajima H., Kanzawa H., Sugita T., Sasano Y.: Downward motions in the southern polar vortex, 4th ILAS-II Sci. Team Meet., Osaka, 2002.3

横田達也, 笹野泰弘, 椿 広計, 杉田考史, 中島英彰: ADEOS衛星搭載センサーILASのデータ処理における誤差評価(その5), (社)日本リモートセンシング学会第30回学術講演会, 東京, 2001.5

Yokota T., Sugita T., Nakajima H., Sasano Y., Kaji M., Itou Y.: ILAS data retrieval status and radiative transfer calculation, 24th Annu. Rev. Conf. Atmos. Transm. Radiation Models, Boston, 2001.6

Uemura N., Yokota T., Nakajima H., Sugita T., Sasano Y.: Software development status for SOFIS, ASSFTS 10, Ventura, 2001.10

Yokota T.: ILAS/ILAS-II spectroscopic problems and measurement plan in 753-784 nanometer, 3.0-5.7 micrometer, and 6.2-11.8 micrometer, Workshop on Laboratory Spectroscopy Needs for Atmospheric Sensing, San Diego, 2001.10

Yokota T., Nakajima H., Sugita T., Sasano Y.: Updates of spectroscopic data used in the ILAS version 6 data retrieval algorithm, 7th HITRAN Database Conf., Cambridge, MA, USA, 2002.6

Yokota T., Nakajima H., Sugita T., Usami M., Kawasaki H., Sasano Y.: Data retrieval simulation of the Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II (ILAS-II) aboard the ADEOS-II satellite, Remote Sensing Atmos., Ocean, Environ., Space, Hangzhou, China, 2002.10

横田達也, 中島英彰, 杉田考史, 小林博和, 笹野泰弘: みどりII衛星搭載オゾン層観測センサILAS-IIの初期データ処理, (社)日本リモートセンシング学会第34回(平成15年度春季)学術講演会, 東京, 2003.5

Yokota T.: Status of the ILAS algorithm and data set, Solar Occultation Satellite Sci. Team Meet., Williamsburg, 2003.5

Yokota T., Nakajima H., Sugita T., Kobayashi H., Sasano Y.: Initial retrieved data status and the forward model of radiative transfer for ILAS-II aboard ADEOS-II, 26th Annu. Rev. Conf. Atmos. Transm. Radiance Models, Lexington, MA, USA, 2003.9

横田達也, 杉田考史, 中島英彰, 小林博和, 笹野泰弘, 神沢 博: 太陽掩蔽法衛星センサの現状と将来, 日本気象学会2003年度秋季大会, 仙台, 2003.10

今須良一，太田芳文，横田達也：衛星搭載熱赤外分光放射計によるCO₂濃度の測定，日本気象学会2003年度秋季大会，仙台，2003.10

田中智章，横田達也，中島英彰，笹野泰弘，深堀正志，青木忠生，渡邊 猛：8 μm付近に存在するN₂O 1並びに2 2バンドの高分解能吸収スペクトル測定，日本気象学会2003年度秋季大会，仙台，2003.10

Yokota T., Inoue G., Ogumam H., Nakane H. : Preliminary study on a nadir looking SWIR FTS of GOSAT project to monitor CO₂ column density from space, 11th Int. Workshop on Atmospheric Science from Space using Fourier Transform Spectrometry (ASS-FTS 11), Bad Wildbad, Germany, 2003.10

田中智章，横田達也，中島英彰，笹野泰弘，深堀正志，青木忠生，渡邊 猛：N₂O及びCH₄の吸収線パラメータの精密測定 ILAS-II ch.1に存在する吸収帯について，第14回大気化学シンポジウム，豊川，2004.1

Yokota T., Nakajima H., Sugita T., Kanzawa H., Kobayashi H., Sasano Y. : First Results of polar Stratospheric Measurements by ILAS-II abroad ADEOS-II, 2004 IECIE General Conf., Tokyo, 2004.3

田中智章，横田達也，中島英彰，笹野泰弘，深堀正志，青木忠生，渡邊 猛：ILAS-II ch.1の測定領域におけるCH₄ v4帯の高分解能吸収スペクトル測定，日本気象学会2004年春季大会，東京，2004.5

Yokota T., Nakajima H., Sugita T., Sasano Y. : Overview of the ILAS-II Data Products, 2nd Solar Occultation Satellite Sci. Team (SOSST) Meet., Boulder, CO, USA, 2004.6

Kim Y., Lee K.-M., Park J.H., Massie S.T., Yokota T., Nakajima H., Sasano Y. : Intra-seasonal variation of PSC compositions retrieved using ILAS-II data, Int. Radiation Symp. 2004, Busan, Korea, 2004.8

Yokota T., Higurashi A., Morino H., Oguma H., Inoue G. : Data retrieval strategy of a nadir-looking SWIR FTS aboard GOSAT to monitor CO₂ column density from space, Int. Radiation Symp. 2004, Busan, Korea, 2004.8

Yokota T. : Outline of the GOSAT project to monitor CO₂ column density from space, 26th Symp. Remote Sensing Environ. Sci. (RESES), Itoh, 2004.9

横田達也，井上 元，石原博成，信田浩司，植村暢之：GOSAT短波長赤外センサのCO₂カラム量導出処理精度検討（その1），計測自動制御学会第30回リモートセンシングシンポジウム，東京，2004.11

Yokota T., Oguma H., Morino I., Higurashi A., Inoue G. : Test measurements by a BBM of the nadir-looking SWIR FTS aboard GOSAT to monitor CO₂ column density from space, SPIE 4th Int. Asia-Pac. Environ. Remote Sensing Symp., Honolulu, Hawaii, USA, 2004.11

Yokota T., Yasuoka Y. : CO₂ column density measurement plan from space by GOSAT, Global Carbon Project workshop - Regional Carbon Budgets : from methodologies to quantification, Beijing, China, 2004.11

Yokota T., Higurashi A., Oguma H., Morino I., Aoki T., Inoue G. : Sensor Specification Demand of a Nadir Looking SWIR FTS Abroad GOSAT to Monitor CO₂ Column Density in the Clear Sky Condition, 2004 AGU Fall Meet., San Francisco, 2004.12

Ishihara H., Uemura N., Nobuta K., Yokota T., Higurashi A., Morino I., Oguma H., Aoki T., Inoue G. : Retrieval Precision Tests of CO₂ Column Amount from Simulated Data of the GOSAT SWIR FTS by Applying Rodgers-f Method, 2004 AGU Fall Meet., San Francisco, 2004.12

Inoue G., Yokota T., Oguma H., Higurashi A., Morino I., Aoki T. : Overview of Greenhouses Gases Observing Satellite (GOSAT) of Japan, 2004 AGU Fall Meet., San Francisco, 2004.12

吉田幸生, 横田達也, 井上 元: 巻雲存在下におけるCO₂気柱量推定アルゴリズムの検討 ~その1 放射伝達コードの改良, 及び巻雲物理量の推定~, 日本気象学会2005年度秋季大会, 神戸, 2005.11

江口菜穂, 横田達也, 井上 元: MODIS/Terraデータを用いた絹雲の季節・経年変動について, 日本気象学会2005年度秋季大会, 神戸, 2005.11

吉識宗佳, 木津暢彦, 佐藤 薫: 昭和基地ラジオゾンデデータ集中観測データに基づく南極域重力波の研究, 日本気象学会2004年春季大会, 東京, 2004.5

吉識宗佳, 秋吉英治: 北極域夏期におけるオゾン波状構造の年々変動, 日本気象学会2004年度秋季大会, 福岡, 2004.10

吉識宗佳, 秋吉英治: 北半球夏季のオゾン場に見られる西進波について, 第15回大気化学シンポジウム, 豊川, 2005.1

Pirre M., Berthet G., Lefèvre F., Rivière E.D., Renard J.B.: Simultaneous measurements of night-time OCIO and NO₂ above Kiruna, 6th Eur. Symp. Stratos. Ozone, Göteborg, Sweden, 2002.9

深堀正志, 青木忠生, 渡辺 猛: ILAS-IIのチャンネル2領域におけるN₂O及びCO₂の低温スペクトル測定, 第13回大気化学シンポジウム, 豊川, 2003.1

伊藤泰章, 大島道生, 田中洋成, 松崎章好: ILAS及びUKMOデータによるオゾン全量導出とTOMSデータとの比較, 第13回大気化学シンポジウム, 豊川, 2003.1

大島道生, 伊藤泰章, 田中洋成, 松崎章好: ILASデータを用いた極域成層圏におけるオゾン・水蒸気相互作用, 第13回大気化学シンポジウム, 豊川, 2003.1

白石浩一, 林 政彦, 佐藤 薫, 平沢尚彦, 山内 恭, 渡辺政春, 木津暢彦, 江崎雄治: 夏季南極上空でのOPCによる成層圏エアロゾル観測とILASによる780nm消散係数との比較, 第26回極域気水圏シンポジウム, 東京, 2003.11

Yamamori M., Murayama Y., Kasai Y., Mizutani K., Ochiai S., Shibasaki K., Murata I.: Observation of troposphere and stratosphere by ground-based instruments at Poker Flat, Alaska and intervalidation experiment with ILAS-II and ozonesonde, Integration of Arctic Climate Research, 4th Int. Workshop Global Change: Connection to the Arctic 2003 (GCCA4) Collaboration with IARC, Toyokawa, 2003.11

Ito Y., Matsuzaki A.: Water Vapor Measurement with Limb Atmospheric Infrared Spectrometer (LAS) and Improved Limb Atmospheric Infrared Spectrometer (ILAS) on Satellites, Int. workshop Crit. Eval. mm-/submm-wave Spectrosc. Data Atmos. Obs., Mito, 2004.1

REPORT OF SPECIAL RESEARCH FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN

国立環境研究所特別研究報告
SR - 70 - 2006

平成18年12月28日発行

編 集 国立環境研究所 編集委員会
発 行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2
電話 029-850-2343 (ダイヤルイン)

印 刷 朝日印刷株式会社
〒309-1117 茨城県筑西市向川澄82-1

Published by the National Institute for Environmental Studies

16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan

December 2006

無断転載を禁じます