

A-10 衛星観測データを利用した極域オゾン層破壊の機構解明に関する研究
 (3) ILAS/ILAS-II 等衛星データを用いた極域オゾン破壊機構解明に関する研究

奈良女子大学理学部	林田佐智子
独立行政法人国立環境研究所	
大気圏環境研究領域	中島英彰
京都大学生存圏研究所	塩谷雅人
東京大学理学部	佐藤薫
＜研究協力者＞ ユタ州立大学	江尻省
東京大学気候システム研究センター	齋藤尚子
東北大学大学院	佐伯浩介
独立行政法人国立環境研究所	杉田考史

平成16～18年度合計予算額	69,310千円
(うち、平成18年度予算額)	26,000千円)

〔要旨〕 ILASおよびILAS-IIデータから、各々、1997年の北極および2003年の南極におけるオゾン層破壊過程とそれに関連する化学・力学過程の定量解析を行った。ILASについては、サブテーマ1で開発・改良された気体・エアロゾル同時推定法に基づくバージョン7を用いた北極塩素化合物の時間発展について世界で初めてその詳細な連続測定結果を示した。ILAS-IIについてはまず、測定データの信頼性を確認するための検証解析を行い、個々の化学種の信頼性を客観的に評価した。データの信頼性をふまえた上で、南極極渦内での低温下において、高頻度の極成層圏雲(PSC)の発生と、引き続く、硝酸の除去過程(脱窒もしくは脱硝)、そしてそれらを引き金とした、大規模なオゾン破壊が起こっていたことを明らかにした。これら個々の化学過程を定量的に把握することに成功したことは特筆に値する。さらに、大気トレーサの測定から、極域成層圏における大気の下降速度を定量的に見積もった。

〔キーワード〕 成層圏オゾン、ILAS、ILAS-II、極成層圏雲、子午面循環

1. はじめに

成層圏オゾン層監視とオゾン破壊過程解明のため、衛星からのオゾン層観測は国際的に重点的取り組みがなされてきた。環境省では、極域オゾンとオゾン破壊関連微量成分の観測を目的として改良型大気周縁赤外分光計、ILASおよびILAS-IIの開発と観測を行ってきた。1996年8月には地球観測衛星ADEOS(和名みどり)衛星にILASが、2002年12月にはADEOS-II(みどり2号)衛星にILAS-IIがそれぞれ搭載されて打ち上げられ、観測に成功した。衛星の故障による観測中止があり、共に観測期間は約8ヶ月と短命ではあったが、他に類を見ない多様な化学種の同時観測に成功し、我が国独自のデータから極域成層圏オゾンの研究成果が数多く報告された実績は特筆に値する。

本サブテーマでは、ILAS/ILAS-IIのデータを科学的に活用し、極域成層圏オゾン破壊過程についての新たな知見を集積することを目標としている。

初年度である平成16年度(2004年度)においては、ILAS-IIで観測されたデータを科学的利用に供するために、多角的な解析によってデータ質の検証を行い、多くの化学種の信頼性を確認することができた。2年目ではこのようにしてデータ質の確立されたバージョン1.4データを用いて、2003年南極における様々な成層圏化学・力学過程の定量解析を実施した。引き続き、3年目でもそれら定量解析を実施した。また、サブテーマ1で開発・改良してきたILASバージョン7データを利用して、1997年北極において塩素化合物の連続的な時間発展を、世界で初めて明らかにした。

これらの成果の一部は国際的認知度の高い学術雑誌J. Geophys. Res. (JGR)の特集号としても公表された。

2. 研究目的

南極オゾンホールで知られるように、極域成層圏では冬期間の低温化と極渦の発達→極成層圏雲(PSC)の発生→PSC表面上での不均一反応による塩素化合物の活性化とPSCの重力落下による硝酸の除去(脱窒・脱硝)→太陽光が得られる春季に大規模なオゾン破壊、といった一連の化学・力学過程が生じると考えられている。このような過程については、航空機・気球観測による直接測定や、衛星・地上からのリモートセンシングによって、過去十数年の間に飛躍的に理解が進んだが、それにも関わらず、依然として化学的オゾン破壊の定量的な理解には問題が残っている。例えば、ラグランジュ的手法による解析結果で得られたオゾン破壊量の、モデルの計算結果との不一致が指摘されており¹⁾、多くのモデルでは活性塩素の量が過小評価になっていることが知られている²⁾。最近では、モデルに利用されている臭素の量が少ないために、オゾン破壊量を過小評価しているのではないか、ということも議論され始め、寿命の非常に短い臭素化合物の成層圏への侵入の重要性も指摘され始めている³⁾。さらに、そのような臭素化合物の発生量の変化は、地球温暖化・気候変動と関連し得る可能性についても指摘されている。いずれにせよ、未だ我々の成層圏化学に対する理解が不十分であることを示している。

さらにもう一つの大きな問題は成層圏の大気循環に対する理解の不足である。これまで中層大気における子午面循環は、直接的な観測が困難なため、精密な放射計算にもとづく熱収支あるいは大気波動にともなう運動量収支から間接的に求められてきた。これに対し、衛星観測にもとづく寿命の長い大気微量成分の分布から鉛直流の見積もりは、直接的な情報をもたらす^{4), 5)}。

本サブテーマでは、高緯度域の連続的な観測に成功したILAS/ILAS-IIの最新バージョンのデータを用いて、オゾン破壊の定量化およびその破壊過程に関わる化学・力学過程の定量解析を実施し、オゾン破壊に関する理解を深めるための新たな知見の集積を目的とする。

3. 研究方法

基本的に衛星観測データを利用する場合、そのデータ質の定量的評価は避けて通れない。前A-10推進費課題において、ILASのバージョン5.2から6.1までのデータ質評価を終え、それらは国際的認知度の高い学術雑誌に掲載済みのところである。また、ILAS-IIのバージョン1.4についても、主要ないくつかの化学種について、データ質の評価がこの課題の前半で実施され、それらは先述のJGR特集号の一部として公表されたところである。さらに、サブテーマ1の結果をふまえ、更な

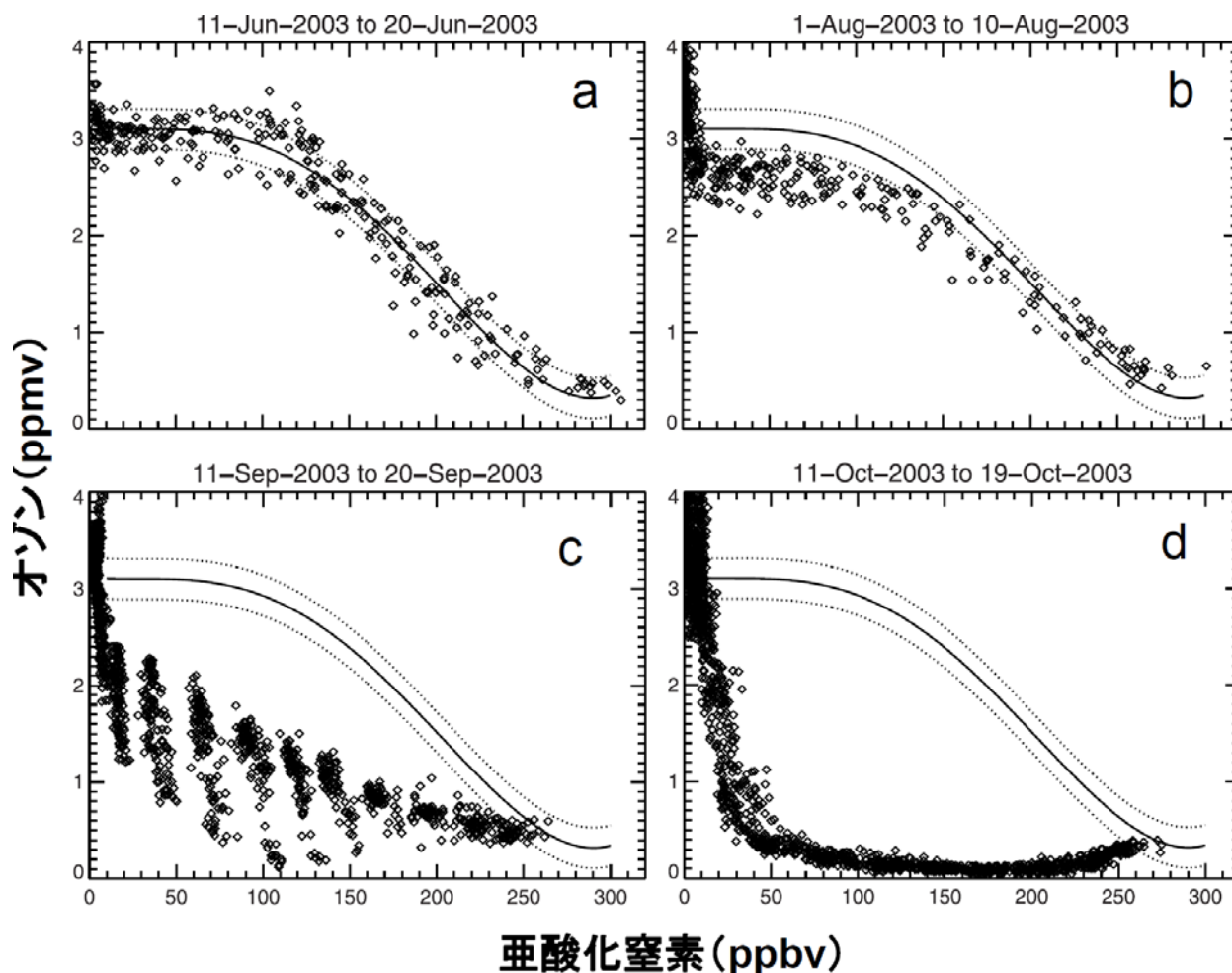


図1 2003年南極極渦内におけるオゾンと亜酸化窒素の相関関係。a) 6月11日から20日、b) 8月1日から10日、c) 9月11日から20日、d) 10月11日から19日。図中の曲線（実線）は、期間aにおける4次の多項式フィッティングを示す。点線は、その不確定領域を示す。

る進化を遂げたILASのバージョン7を一部の解析では利用している。以下、多くの研究成果(8. 誌上発表参照)の中から、5つの定量解析結果についてその方法、結果、考察を述べる。なお、ILAS-IIバージョン1.4データ質評価についての報告は紙面の制約から平成16年度の報告書に譲ることとする。

なお、ILAS-IIは、南北両半球の高緯度成層圏(北緯53.9-71.1度、南緯63.6-88.0度)において、微量気体およびエアロゾルを、南北両半球それぞれ1日14回の頻度で2003年4月から10月まで連続的に観測した。以下の科学解析で利用するデータはオゾン、硝酸、亜酸化窒素、メタン、そして波長780 nmでのエアロゾル消散係数である。一方、ILASは同じ緯度範囲を1996年11月から1997年6月まで連続観測した。主要な塩素化合物の一つである硝酸塩素(ClONO_2)のデータについては、ILAS-IIでは未だ未検証であるため、データ質検証を終えたILASデータについてのみ利用した。

(1) 南極オゾンホール(オゾン破壊量)の高度毎の定量化

オゾン破壊がまだ進行する前の冬の始まりの期間において、オゾンと大気力学トレーサーである亜酸化窒素との相関をとる。一般にこのような相関は考えている数ヶ月間の間ではほぼ不変であるため、見たい化学種(この場合オゾン)に化学的な変化が生じた場合には、相関関係からの逸

脱として定量化出来る。これを、トレーサー相関関係法と呼ぶ。図 1 aは、2003年6月11日から20日にかけての、南極極渦内でのオゾンと亜酸化窒素の相関関係を示す。この時期では、極渦域に太陽光は殆ど当たらないため、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、以下の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。

$$[O_3] = 1.81 \times 10^{-9} \times [N_2O]^4 - 8.4 \times 10^{-7} \times [N_2O]^3 + 6.43 \times 10^{-5} \times [N_2O]^2 - 1.72 \times [N_2O] + 3.12$$

ここで、 $[O_3]$ 、 $[N_2O]$ は各々オゾンと亜酸化窒素の混合比を示す。単位は各々ppmvとppbvである。この基準曲線は、図 1 bからdにも示されている。各亜酸化窒素濃度において、基準曲線から求められるオゾン濃度が、化学破壊を受けていないオゾン濃度を与える。詳細は次節以降で述べるが、この基準オゾン濃度と実際のオゾン濃度との差が求めたいオゾン破壊濃度に相当する。これを、6月の中旬から、10月の中旬まで、10日毎に、相関関係の変化を解析した。代表として、図 1 bは8月1日から10日、1 cは9月11日から20日、そして1 dは10月11日から19日の相関関係を示す。

次に、高度毎のオゾン破壊量の定量化について説明する。亜酸化窒素の高度分布は、高度とともに濃度が減少するので、図 1 の横軸は、高さの関数として見る事も可能である。つまり、より濃度が低い方が、より高い高度に相当する。おおよそ、150 ppbvが高度15-17 kmに相当し、25 ppbvが高度21-22 kmに相当する。それら2つの高度に焦点を当てて、6月から10月までのオゾン濃度の変化を解析した。さらに、オゾン濃度の変化を一日平均し、前日との差分を取ることで、1日当たりのオゾン変化率を算出した。

(2) 南極成層圏雲(PSC)の発生頻度

観測された波長780 nmでのエアロゾル消散係数はPSC総量の良い指標である。また、同時観測された硝酸と水蒸気データを使用することで、PSC発生時の周囲の大気の熱力学的環境を推定できる。この解析では、南極で得られた合計2643個のプロファイルを使用した。ILAS-IIの観測地点におけるPSC出現頻度を求め、硝酸三水合物(Nitric Acid Trihydrate; NAT)の存在温度(以後「 T_{NAT} 」と表す)との間の関係を定量的に評価した。なお、気象データにはILAS-IIリトリバルでも使用されている英国気象局の成層圏解析データを使用した。

PSC判定の手法は以下の通りである。まず、2003年4月から10月までの消散係数データのうち、気温が200 K以上のデータについて、10日間毎に観測高度別の平均値と標準偏差値を算出した。次に、平均値に標準偏差を5倍して加算し、その値を各期間の各高度におけるPSC判定の閾値とした。用いたデータは極渦内のデータのみである。次にILAS-IIの観測地点における T_{NAT} を、Hanson and Mauersberger⁶⁾の実験式を用いて算出した。

PSC発生の解析にあたり、下記のように3種類の確率を定めた。まず、PSCの観測確率 $P_{PSC}(\%)$ は次式のように定義した。

$$P_{PSC}(\%) = \frac{N_{PSC}}{N_{Obs}} \times 100$$

ここで、 N_{Obs} はILAS-IIによる全観測データ数、 N_{PSC} はPSCと判定したデータ数である。次に、 $P_{PSC}(\%)$

と同様に、ILAS-II観測地点での気温が T_{NAT} よりも低くなる確率 $P_{T(\text{NAT})}$ (%)を、 T_{NAT} よりも大気温度が低い観測データ数($N_{T(\text{NAT})}$)を全観測データ数で除した値($\times 100$)と定義した。これらの値を極渦内の全ILAS-II観測地点において、10日間単位で観測高度別に算出した。

(3) 南極成層圏の硝酸とエアロゾル消散係数の短時間変動

極渦内での気相硝酸は、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がある。ここでは前者をテンポラル脱室、後者をパーマネント脱室と呼ぶ。パーマネント脱室により、その大気中から硝酸が失われる場合、直接オゾン破壊に関わる一酸化塩素(ClO)の不活性化過程を弱めることになる。この不活性化過程とは、硝酸の光解離により生じる二酸化窒素(NO_2)が ClO と反応して、オゾンを破壊しない準安定な硝酸塩素(ClONO_2)に変換される作用のことである。従って、大規模なパーマネント脱室がほぼ毎年見られる南極では、より大規模なオゾン破壊を長期化させるものと考えられている。

しかしながら、どの様な時期に如何なる機構でパーマネント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。北極での航空機観測からは、直径が10から20ミクロンにも及ぶ粒子が存在していたという観測的事実がある⁷⁾。南極においても、大粒子の直接観測があるが⁸⁾、ごく限られた観測ゆえ、広く認知されるには至っていない。いずれにせよ、このようなパーマネント脱室を引き起こす巨大粒子は、硝酸三水和物(Nitric Acid Trihydrate; NAT)であると考えられているが、その生成メカニズムについては、多くのディベートが残されたままである⁹⁾。

本研究ではILAS-IIのバージョン1.4データを利用して、気相硝酸とエアロゾル消散係数の数日以内の時間スケールでの変化を調べた。これにより、どのような組成、粒径のPSCが存在しているのかを明らかにすることが出来ると期待される。

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(これを測定1とする)から順方向に他のILAS-IIの観測位置(これを測定2とする)を探す、いわゆるマッチ手法を利用して測定ペアを抽出した。用いた気象データは、ヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)のオペレーショナル解析データである(緯度・経度間隔は各々2.5度)。次に、測定2から今度は逆方向に流跡線解析を実施し、確実に測定1へ戻ったもののみを解析に利用した。これによって、マッチペアの信頼性を高めることが出来る。これらのマッチペアの始点および終点での硝酸およびエアロゾル消散係数の各々の差分(終点での硝酸濃度 - 始点での硝酸濃度)および比(終点でのエアロゾル消散係数/始点でのエアロゾル消散係数)を計算した。

(4) 北極成層圏の塩素化合物の時間発展

化学的オゾン破壊に対する定量的理解のためには、オゾンを破壊する活性塩素の発生・消滅過程の理解が不可欠である。そのために無機塩素化学種の分配、活性化、不活性化に対する総合的な観測が望まれている。中でも塩酸(HCl)と共に重要な塩素リザボアの一つである硝酸塩素(クロリンナイトレイト: ClONO_2)は観測例が少なく、その挙動はまだ不明な点が多い。ILASのアルゴリズム開発グループは、バージョン6.1で赤外スペクトルから ClONO_2 の導出に成功し、さらにPSCとの同時導出にも成功し気体微量成分の観測精度が大幅に向上した。本研究ではPSCイベントの抽出をHayashida et al.¹⁰⁾の方法で行った。また、ILASは N_2O を観測しているので、Woodbridge et

al.¹¹⁾で求められた $\text{N}_2\text{O}-\text{Cl}_y$ の関係式を用い、全塩素量の増加率を年2.8%と仮定して1997年の無機塩素量(Cl_y)を推定し、 $\text{ClONO}_2/\text{Cl}_y$ の分配比を求めた。このようにしてPSCや N_2O , HNO_3 , NO_2 と ClONO_2 の同時観測データを複合的に利用して、 $\text{ClONO}_2/\text{Cl}_y$ の変動要因を解析した。さらに、ILASの観測時間との差が12時間以内に観測地点300 km以内で観測されたHALOEの HCl 観測データを抽出し、 ClONO_2 との比較を行った。

(5) 南半球高緯度域の中層大気子午面循環

子午面循環による輸送過程、中でも鉛直流にともなう輸送過程は、孤立性が高く水平の混合が抑制されていると考えられている極渦内において重要であり、オゾンホール形成・消滅過程にも大きな影響を及ぼしている。ところが、子午面循環は直接的な観測が困難なため、精密な放射計算にもとづく熱収支あるいは大気波動にともなう運動量収支から間接的に求められてきた。ここではSchoeberl et al.⁴⁾やKawamoto and Shiotani⁵⁾らが用いたような、寿命の長い大気微量成分の分布から鉛直流を直接的に見積もる方法をILAS, ILAS-IIのメタンデータに適用して、1年を通してみた鉛直流変動の動態について調べた。

ILAS, ILAS-IIのデータは観測された年が異なるものの、観測時期(季節)が相補的であるので、これら2つのデータを組み合わせることにより、ほぼ1年のサイクルを通してその特長を調べることが可能である。ILAS, ILAS-IIの観測緯度は少しずつ変化するが、おおよそ極域の状況を代表していると考えてよい。また子午面断面の分布を見るため、補助的にUARS/HALOEのメタンデータも用いた。ILASデータが時間的に連続に存在する特徴を生かして、すでにKawamoto et al.¹²⁾は南半球冬季の10日程度の時間スケールを持った変動が同じ周期性を持った大気波動活動性と密接に関連していることを明らかにしている。ここではさらに、ILAS, ILAS-IIデータを組み合わせて使うことで、南半球冬季を中心としたメタン分布をより長い時間スケールで把握することを試みた。

さらに、特に化学過程の影響について評価するため、米国大気科学研究所(NCAR)が提供するWhole- Atmosphere Community Climate Model (WACCM)のシミュレーション結果を解析した。このモデルは、地表から熱圏高度までを含むもので、力学場だけでなく、大気微量成分の時間空間分布も計算されている。ここでは、<http://waccm.acd.ucar.edu/> から公開されている月平均データにもとづき、メタン分布に関連していると考えられる大気微量成分に関わる解析をおこなった。

4. 結果・考察

(1) 南極オゾンホール(オゾン破壊量)の高度毎の定量化

初めに、オゾンホールの季節進行について大雑把にその特徴を述べる。図1 aは6月11日から20日、1 bは8月1日から10日、1 cは9月11日から20日、1 dは10月11日から19日の期間である。6月では、極渦内に殆ど太陽光が当たらない極夜の時期であるため、そこでのオゾンと亜酸化窒素の相関を、オゾン破壊を受ける前の基準相関としている。図中の点線の不確定領域から分かるように、非常にコンパクトな関係を持つことが分かる。亜酸化窒素が100 ppb以下の領域でオゾンはおよそ3 ppmvとなっている。オゾンの破壊は8月から見られはじめており、この時期では、多少の太陽光が得られる時期に相当する。破壊の規模はおおよそ0.5 ppmv程度に留まっている。また、9月では極渦内のかなりの地域で太陽光が得られるようになり、破壊規模もかなり進行しているのが分かる。

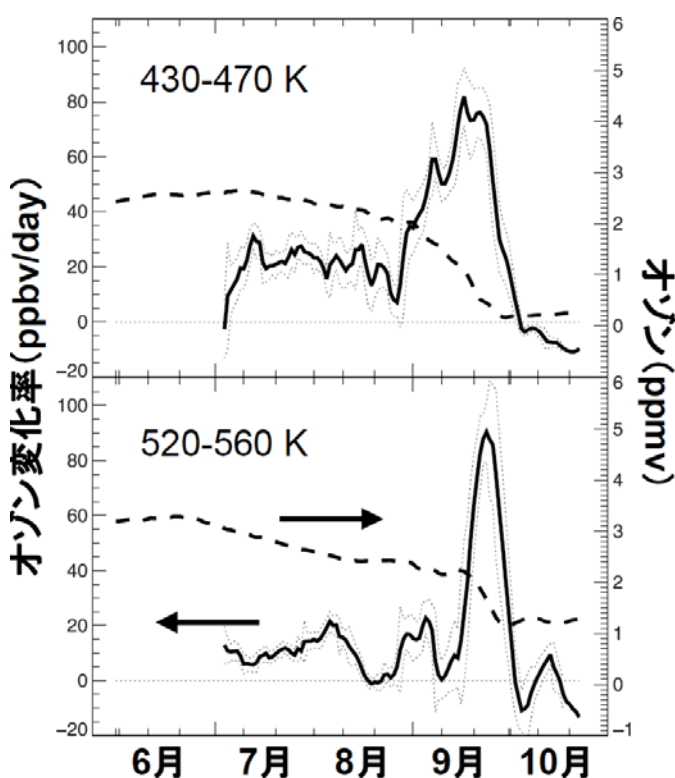


図2 2003年6月から10月にかけての極渦内日平均オゾンの変化(点線、右軸)とその日平均オゾンの先日との差分から見積もった1日当たりのオゾン変化率(実線、左軸)。上が温位430-470 K(高度15-17 kmに相当)、下が温位520-560 K(高度21-22 kmに相当)。

2の上パネルに見られるように、高度15-17 kmでは、9月の終わりにほぼオゾン破壊が完了し、それ以降も観測が不慮の衛星事故で停止する10月後半まで、0.3 ppmv程度の低濃度が維持され続けているのが分かる。一方、下パネルの高度21-22 kmでは、オゾン濃度自体は10月でも1 ppmv程度残っているが、9月後半のオゾン変化率(破壊速度)は、最大で1日当たり90 ppbvつまり0.1 ppmvに迫る値に達した。これは過去に報告された値とも概ねよい一致を示しており、この位の破壊速度が観測的にも最大値であると考えられる。

ここで特徴的なのは、このような破壊規模に非一様性が見られることである。図に示していないが、これについてさらに解析を進めたところ、各空気塊の日照履歴とオゾン破壊には非常により関係があり、より光を受けた空気塊で、破壊が大きくなっていることを確認した。最後に10月では、特に亜酸化窒素が150 ppbv付近で、オゾンはほぼゼロとなっています。また、亜酸化窒素が50から250 ppbvの広い濃度範囲(高度にして、およそ15-20 km)でオゾンが0.3 ppmv程度以下になっている。これは、ほぼ3 ppmvのオゾンが破壊されたことに相当する。

次に、研究方法で述べた2つの高度範囲における、オゾン濃度自体の変化と1日当たりのオゾン変化率の時間変化について詳しく見てゆく。先述の通り、亜酸化窒素は高さとともに濃度が低くなることから、150 ppbvがおよそ15-17 km(温位430-470 K)に相当する。一方、20-30 ppbvでおよそ21-22 km(温位520-560 K)に相当する。図

(2) 南極成層圏雲(PSC)の発生頻度

2003年の南極成層圏において、PSCは5月30日に高度23 km付近で初めて観測され、その後衛星

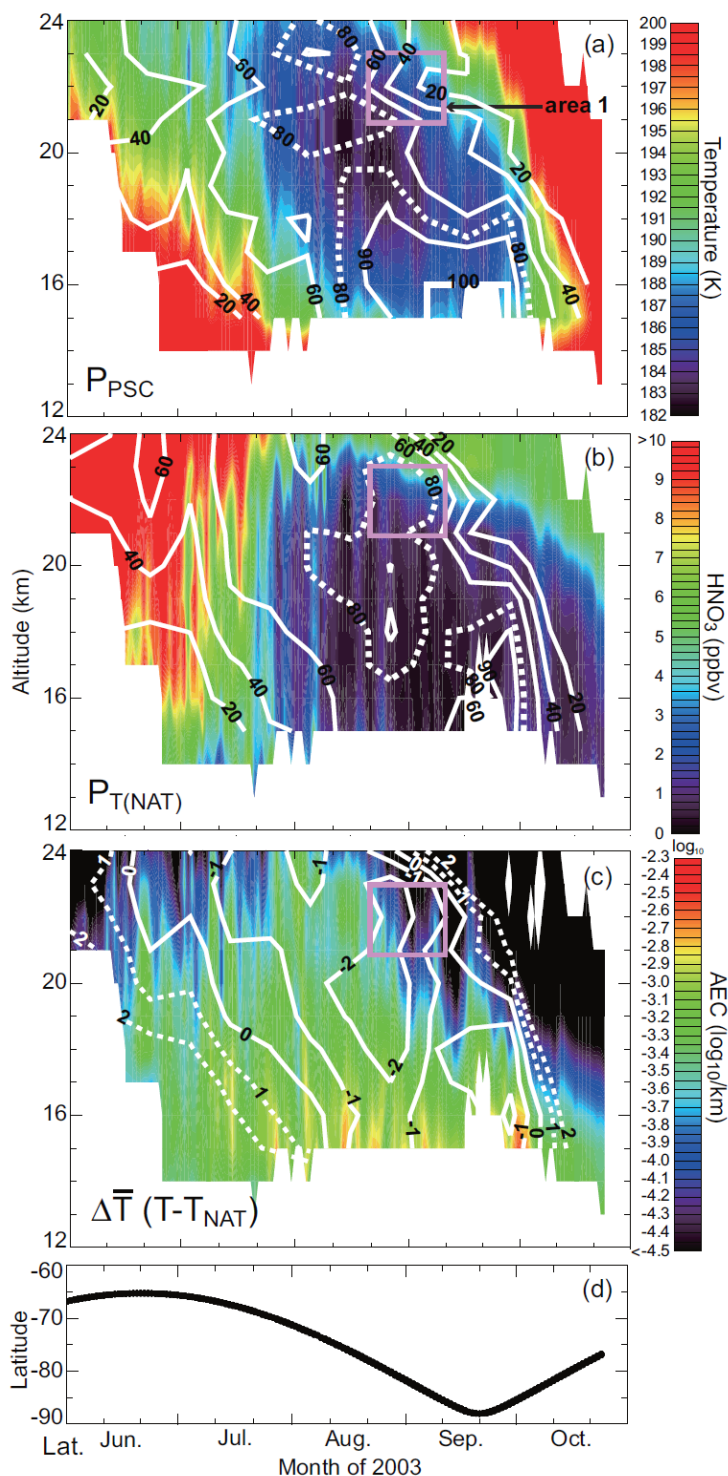


図3 a) ILAS-II観測地点における、英国気象局データの日平均気温および P_{PSC} の時間-高度断面図、b) ILAS-IIデータの日平均硝酸濃度および $P_{T(NAT)}$ の時間-高度断面図、c) ILAS-IIデータの日平均消散係数値および $T-T(NAT)$ の時間-高度断面図、d) 南半球におけるILAS-II観測地点の緯度。a, bについては80%等値線を、cについては1 K以上を破線で示した。

の運用が停止した10月24日まで連続的に観測された。図3(d)に示すように、ILAS-IIの観測地点は6月から9月にかけて、南緯65.3から88.0度の範囲であり、緯度で23度極側へ移動する。以下に述べる時系列データには、季節変動だけでなく緯度変化も反映されていることに注意されたい。図3(a)の P_{PSC} を見ると、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、以下に述べるように、気温は依然として低いものの P_{PSC} はあまり高くない場合がある。気温は6月から8月にかけて、季節進行とともに下降しており、それに対応して P_{PSC} は上昇し、8月上旬には約80%にまでなっている。しかし9月には、気温は180–190 Kで依然としてPSCの発生が十分期待される低温であるにもかかわらず、 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。

PSCの発生を左右する他の大きな要因は硝酸濃度である。図3(b)の $P_{T(NAT)}$ を見ると、硝酸濃度は高度20 kmでは7月前半には5.5から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から1.5 ppbvまで低くなっていた。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、9月後半における高度15-17 km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20 km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。高度22 kmにおける8月下旬から9月初旬にかけて $P_{T(NAT)}$ 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3ではarea 1として示している。図3(c)に示したように、area 1におけるエアロゾル消散係数は、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大気トレーサーである亜酸化窒素の等値面に対して解析したところ、やはり顕著な消散係数の減少が示された。このように、高々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」がひとたび起こると、高々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。

(3) 南極成層圏の硝酸とエアロゾル消散係数の短時間変動

観測空気塊の流跡線解析により、ラグランジュ的な物質濃度の変化を捕らえた解析結果の例として、温位490 Kでの6月(上のパネル、南緯65度付近、高度20 km付近)と8月(下のパネル、南緯71-88度、高度21 km付近)の結果を図4に示す。また、左のパネルには、硝酸濃度差が、始点での硝酸濃度に対してプロットされている。一方、右のパネルでは、同じく硝酸濃度差が、エアロゾル消散係数比に対してプロットされている。

初めに図の左パネルの実線について説明する。先述のとおり、硝酸は気温によって相変化をするため、トータル硝酸(気相+エアロゾル粒子中)の概念を用いることは相応しい。気温の高い冬の初期状態(5月上旬)で観測された気相硝酸は、トータル硝酸に一致しているため、その時期の硝酸と亜酸化窒素の相関関係を基準にすることで、他の時期での亜酸化窒素濃度から、期待されるトータル硝酸を求めることができる。6月ではどのマッチペアでも期待されるトータル硝酸はおおよそ13 ppbvであった。それをもとに、図4に、 $y = 13 - x$ の実線を示す。これは、仮に終点での硝酸濃度(気相)が13 ppbvであるなら、 y は図の縦軸の硝酸濃度差(終点 - 始点)に相当する。その場合、この差分値はエアロゾル/PSC粒子中に取り込まれた硝酸濃度に相当すると考えてよい。つまり、図4の実線は、始点においてエアロゾル粒子中に取り込まれていた硝酸濃度を与えるガイドラインを意味する。実線を挟んだ2つの点線は、 ± 0.5 ppbvの不確定領域を示す。このような理想的振る舞いを提示しているのが、ほぼそのガイドラインにプロットされているA1とA2のケースである。それらマッチペアの基礎情報を表1に示す。

表 1：図 4 に示された 5 つのマッチペアの始点での日時、始点から終点までのマッチ時間(MT)、始点・終点での硝酸濃度、エアロゾル消散係数(AEC)、気温、そしてマッチの間での最低気温。AECのa(b)は $a \times 10^b$ のように読む。

Case	Date	MT (時間)	始点硝酸 (ppbv)	終点硝酸 (ppbv)	始点AEC (km^{-1})	終点AEC (km^{-1})	始点気温 (K)	終点気温 (K)	最低気温 (K)
A1	6月25日	39	10.0	14.1	$3.1(-4)$	$6.4(-5)$	192	200	192
A2	6月25日	57	10.5	13.6	$3.6(-4)$	$1.1(-4)$	190	193	190
A3	6月23日	59	2.6	9.4	$1.2(-3)$	$5.9(-5)$	191	194	190
B1	6月24日	79	12.9	6.4	$7.2(-5)$	$7.5(-4)$	198	190	190
B2	6月22日	118	9.0	1.9	$4.5(-5)$	$6.0(-4)$	199	191	187

A1, A2ともに、終点におけるエアロゾル消散係数は、 $1 \times 10^{-4} \text{ km}^{-1}$ 程度かそれ以下と、バックグラウンド状態での消散係数を示している。また、気温も T_{NAT} の存在温度(T_{NAT})付近か、それ以上である。一方、始点では、気温が T_{NAT} 以下となり、消散係数も $3.1\text{--}3.6 \times 10^{-4} \text{ km}^{-1}$ と終点濃度よりも高くなっている。以上のことから、始点でのトータル硝酸濃度はバックグラウンドレベルであったが、エアロゾル粒子中へのテンポラル脱室により気相硝酸濃度は10.0–10.5 ppbvまで低くなっていたことが分かる。ECMWF気温が仮に正しいとした場合、このようなテンポラル脱室量

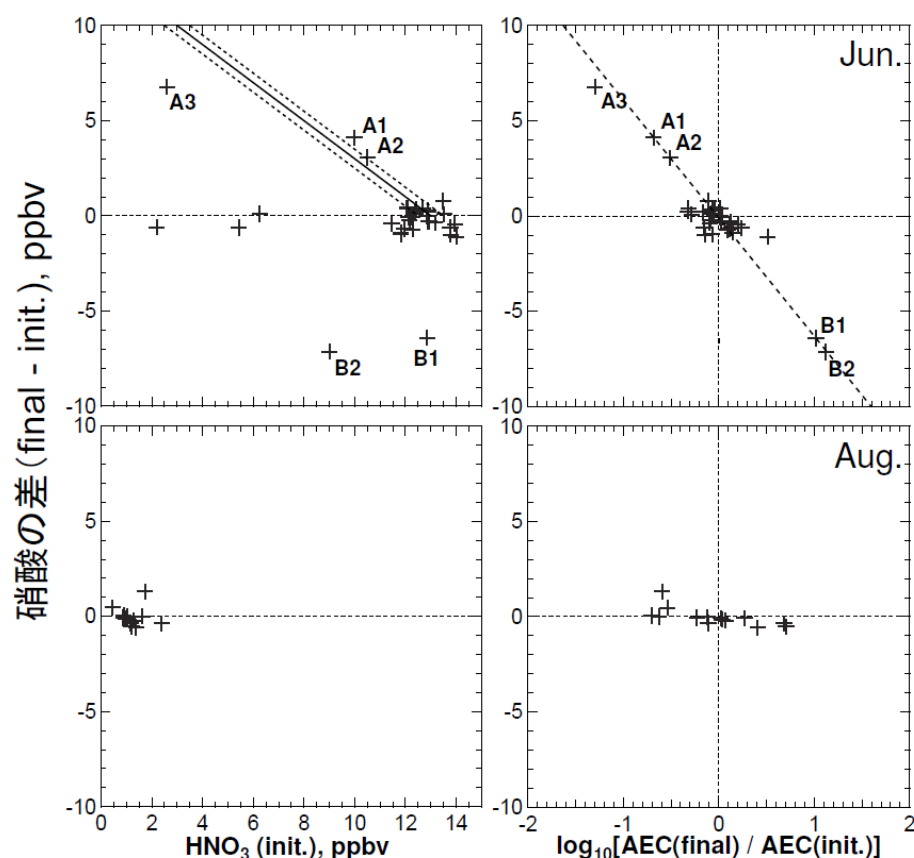


図 4 2003年 6 月(上パネル)と 8 月(下パネル)の高度 20 km(温位 490 K 相当)におけるラグランジュ的な硝酸濃度とエアロゾル消散係数の短時間(数日以内)の変化。縦軸は、同一空気塊の流跡線上の終点における硝酸濃度と始点における硝酸濃度の差を示す。左パネルの横軸は、始点での硝酸濃度、右パネルは、終点でのエアロゾル消散係数と始点でのエアロゾル消散係数の比の自然対数を取った値を示す。左パネルの実線について 4 節を参照。左パネルの点線は、A1, A2, B1 に対する一次近似直線を示す。

($3.1\text{--}4.1 \text{ ppbv}$)を生じるためには、その場の気温において気相–液相平衡で決まる過冷却三成分液滴(Super-cooled Ternary Solution; STS)では殆ど粒子中に硝酸を取り込むことが出来ないため説明不可である。従って、始点での気温が T_{NAT} 以下であることを考えると、NAT粒子が卓越した結果としてテンポラル脱室を引き起こしていたのではないかと推測される。次に、始点よりも終点での硝酸濃度が低い領域(図の下半分)でのB1ケースについて考察する。始点では、気温が高く(198 K)、消散係数が低く、かつ硝酸濃度はバックグラウンドレベル

の12.9 ppbvであることから、観測された気相硝酸はトータル硝酸に一致していると言える。一方、終点では、気温の低下にともない、硝酸が6.4 ppbvまで減少し、かつ消散係数は逆に $7.5 \times 10^{-4} \text{ km}^{-1}$ まで増加している。この変化について考えられることは、A1、A2同様に、テンポラル脱室のみによって終点での硝酸が6.4 ppbvまで減少したのか、あるいは、その内の一部は、パーマネント脱室によるものなのか、ということである。もし、パーマネント脱室がマッチの間(79時間)に生じていたとすると、1 km/day以上の落下速度を持つ粒径(半径5-6ミクロン以上)の粒子が存在していなければならない。また、エアロゾルとして得られる硝酸濃度は限定されているため、粒子の数は極めて少なくなる必要がある。その場合、消散係数としては、バックグラウンドレベル程度かそれ以下の極めて薄いものとなる。従って、そのような消散係数レベルの粒子が重力落下で除去されても、B1終点で見られている高い消散係数の一部を減少させるに過ぎないため、パーマネント脱室のマッチ間での有無を言及することは非常に困難である。一方、B1終点の状況をテンポラル脱室のみで説明しようとする、巨大粒子のみの存在では、硝酸の減少は期待できても、消散係数の増加は先に述べたように、説明がつかない。また、A1、A2同様に、STSでは硝酸の減少が説明つかない。考えられるのは、やはり重力落下しない程度の粒径を持つNAT粒子の卓越であろう。

A1、A2、B1の3ケースについて、右パネルのエアロゾル消散係数比に対してプロットした図を見ると、驚くほど良く消散係数の相対変化と、硝酸濃度の絶対値の変化がある関係を持つことが分かる。これら3点に対する一次近似直線は、硝酸濃度差(ppbv) = $-6.2 \times [\log(\text{消散係数比})] - 0.1$ で現される。ここで、粒子体積から780 nmでの消散係数への変換を考えると、同じ粒子体積であっても、それを再現する粒径分布が一山型なのか二山型なのかで消散係数が大きく異なる。従って、図4の6月の右パネルで見られるように、硝酸濃度の変化をある一定の消散係数比で再現できるということは、似たような粒径分布のエアロゾル/PSCが存在していたのではないかと推測される。また、A3とB2のケースもこの直線関係に非常に近いことから、この時期の気相硝酸の変化は、主にNAT粒子によるテンポラル脱室の結果として生じていると示唆される。

最後に8月の結果について、簡単に考察する。8月では6月と違い、硝酸もエアロゾル消散係数もマッチの間での変動が小さい場合が殆どで、始点および終点での消散係数は(表に示していないが)、 $5 \times 10^{-5} \text{ km}^{-1}$ 程度のものが多く、かつ硝酸も2 ppbv程度に小さい。冬の初期状態(5月上旬)での硝酸と亜酸化窒素の相関関係から、この8月で期待される硝酸濃度はおよそ12 ppbvである。ということは、10 ppbvが粒子中に取り込まれているか、またはパーマネント脱室によって、既に減少していたと言える。前者の場合、 $5 \times 10^{-5} \text{ km}^{-1}$ 程度の消散係数で、10 ppbvの硝酸を取り込む粒径分布は、数密度が非常に小さくなる必要があるため、平均半径が7ミクロン程度の大きさになる必要がある。そのような粒子が存在していた場合は、いずれにせよ、数日後には大規模なパーマネント脱室を引き起こす。以上のことから、8月の観測からは、既に始点の時点で大きな(10 ppbv程度)パーマネント脱室が生じていたか、もしくはその程度の規模の脱室を生じ得る可能性があることを強く示唆する。

(4) 北極成層圏の塩素化合物の時間発展

図5は475 K, 550 K, 625 K温位レベルにおける $\text{ClONO}_2/\text{Cl}_y$ の観測結果である。データは極渦内(●)・境界(△)・極渦外(灰色)と分類して示している。475 K、550 Kにおいては極渦内の ClONO_2 混合比の値は広い範囲にわたって分布していることがわかる。625 Kでは ClONO_2 は1.2 ppbv以上に集中している。極渦内・境界における値の変動をより詳しく調べるために、期間を通算日15-41(1/15-2/10)、42-69(2/11-3/10)、70-120(3/11-4/30)の3つの期間(I, II, IIIとして図中に示した)に分け、特徴を述べる。第Iの期間では、475 Kでは ClONO_2 は極渦内で極渦外より低い値が多く、PSCによる活性化によって ClONO_2 は減少していた空気塊が多いことがわかる。これに対し、550 K, 625 Kではすでに不活性化による ClONO_2 の増加が顕著に進行している。第II期(2/11-3/10)の期間では、どの高度でも ClONO_2 は極渦内のほうが極渦外より顕著に高い傾向があり、活性塩素が

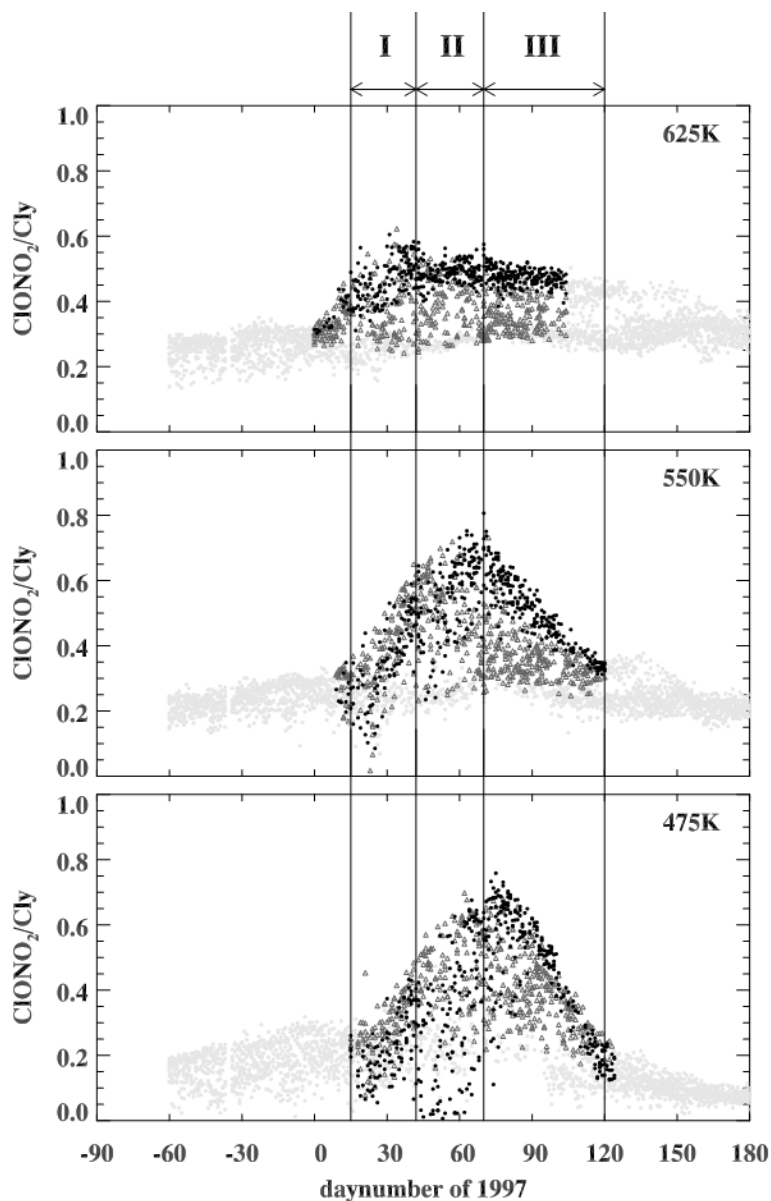


図5 ILAS観測の1996年11月から1997年6月にかけての温位625 K(上パネル)、550 K(中パネル)、475 K(下パネル)における $\text{ClONO}_2/\text{Cl}_y$ 比の変化。

ClONO_2 に不活性化されたことが示されている。しかし、475 K、550 Kでは、低濃度の ClONO_2 もまた多くあり、高濃度・低濃度の空気塊が混在していたことがわかる。また、第III期(70-120日)では、極渦境界の ClONO_2 混合比の値が極渦内より顕著に低くなっており、極渦境界で極渦内より早く ClONO_2 の減少が進行していることがわかる。

N_2O と ClONO_2 の相関を解析した結果、 ClONO_2 の大きな変動は力学要因ではなく、化学過程が ClONO_2 の濃度を決定していることが明らかになった。変動の要因としては気温、エアロゾル表面積、日照時間、 NO_2 の混合比、が考えられる。

気温との関係を調べたところ、極渦内では、約195 Kを境に低温で ClONO_2 が顕著に減少しており、PSCの発生によって、 ClONO_2 が不均一反応による化学過程の影響を受けたことが明瞭であった。PSCと同時に観測された ClONO_2 が1.5 ppbv近くもある場合もあるが、同時期の周囲の空気塊では2 ppbv以上もの高濃度になっており、周囲の空気塊よりは低濃度になっていた。このことは、活性塩素の不活性化が進

んで蓄積された ClONO_2 が、再びPSC上での不均一反応によって再活性化されて減少したことを示している。PSCの表面積を代表する指標として780-nm消散係数を取り、相関を調べたが、定量的な関係は見いだせなかった。3月後半になって光化学反応が活発になるにしたがって、 ClONO_2 の減少が顕著に観測された。日照時間と ClONO_2 との対応は明瞭ではなかったが、弱い相関が見られた。

また ClONO_2 と NO_2 の相関を世界で初めて継続観測から明らかにし、極渦内における春(3-4月)の ClONO_2 の減少と NO_2 の増加がほぼ等量関係にあること定量的に示した。今後の発展として NO_y の分配比の時間変化を解析することも可能であろう。

(5) 南半球高緯度域の中層大気子午面循環

図6は、ILAS、ILAS-II観測にもとづく南半球極域のメタンの時間・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0.6 ppmv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。Kawamoto and Shiotani⁵⁾では、HALOEのデータから南半球冬季の平均的な下降速度を0.6 ppmvの値に注目して求めている。ここで求まる平均的な下降速度(1.4km/month)は、Kawamoto and Shiotani⁵⁾が複数年について求めた値の範囲にある。

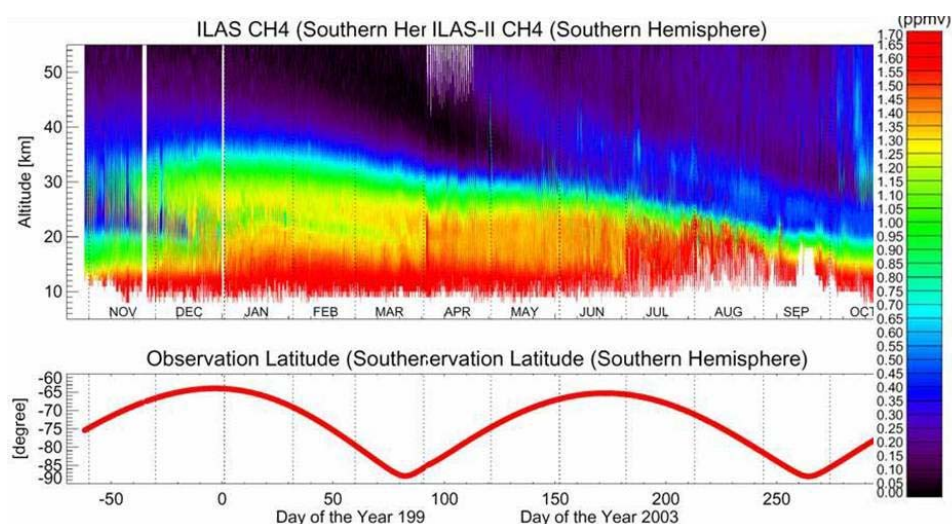


図6 ILAS、ILAS-IIによって観測された南半球高緯度域の帯状平均したメタンの時間・高度断面図

これに加えてこれまで指摘のなかった特徴として、4月ごろからより高高度(約50km)の領域からメタンの極大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早い下降はそれよりも低高度のゆっくりとした下降と整合的である。いっぽうで、なぜこの上部成層圏領域にメタンの極大が出現するのか興味深い問題である。

このメタン極大の出現について詳しく調べるために、HALOEの観測にもとづく1997年2-3月のメタンの帯状平均値を緯度・高度断面を見た。その結果、ILASと観測された年は異なるが、確かにこの時期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。この極大域の形成が重要であるともいえるが、いっぽうでは成層圏界面付近の極小域の形成が重要であるとも見える。

そこで、メタン分布に関連していると考えられる大気微量成分の相互関係を調べるため WACCM のデータ解析をおこなった。数値シミュレーションのため、特に現実の固定された年・月の結果ではないが、HALOEとほぼ同時期の2月についてメタンの緯度・高度断面を見ると、熱帯域を中心に盛り上がったHALOEのデータと同様な等値線分布をしていることがわかった。さらに中部中間圏に低緯度側から南半球高緯度側に高濃度域が延びているような分布、あるいは南半球高緯度成層圏界面付近に低濃度域が存在している特長がよく表現されており、HALOEでも見た分布は南半球のこの時期に特徴的であるといえる。

さらに、このとき成層圏界面付近でのメタンの光化学的な寿命は、最も短いところで約2ヶ月なっており、この領域でのメタンの光解離が重要になってきていることを示唆している。水素総量の指標としてしばしば利用される $\text{CH}_4 + 2 + \text{H}_2\text{O}$ についても見ると、夏季成層圏から中間圏にかけてこの混合比の和がほぼ一定になっており、 CH_4 が光化学的に壊れたあと H_2O がさらに破壊されたり除去されたりすることがないことも示唆された。また同時に、励起酸素原子 ($\text{O}(1\text{D})$)、水酸基ラジカル (OH)、塩素ラジカル (Cl) 濃度も夏季上部成層圏 1 hPa 付近で極大となり CH_4 の光化学的寿命へ影響を及ぼしていることがわかった。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

1) 2003年の南極について (ILAS-IIデータから)

ILAS-IIが観測した2003年の南極冬期は、成層圏塩素量が最大レベルの時期としては、成層圏気温が非常に低く、2000年と同規模のトータルオゾン量の減少が見られた年であった。このように、大規模なオゾンホールでの各種化学・力学プロセスを研究するには非常に良いタイミングであった。ILAS-IIは高度毎のオゾン濃度など、オゾン破壊関連物質濃度を高精度 (10-20%)・高高度分解能 (1-2 km) の下に測定できることにその利点がある。極域成層圏では冬期間の低温化と極渦の発達に端を発し、極成層圏雲 (PSC) が発生する。そのPSC表面上での不均一反応による塩素化合物の活性化とPSCの重力落下による硝酸の除去 (脱室・脱硝) が冬期間中に生じ、その後、太陽光が得られる春季に大規模なオゾン破壊が生じることは定性的に理解されている。この課題では、定量的にPSCの発生頻度を求めることに成功した。その結果、8月上旬の高度20 kmでは80%もの発生頻度に達することが分かり、塩素の活性化に寄与していることが裏付けられた。一方、硝酸とエアロゾル消散係数の変動からは、6月では気温の変化に応じて硝酸が相変化していることが明らかになり、気相硝酸はエアロゾル消散係数の相対変化と極めて良く相関することが分かった。また、8月では気相硝酸殆ど無く (2 ppbv以下)、10 ppbv程度の大規模な脱室が生じていたことが分かった。このように、大規模なオゾンホールを引き起こすに十分な環境が整っていたことと整合する形で、大きなオゾン破壊とその速度が確認できた。特に、9月下旬の高度21 kmではオゾン濃度は、冬の初めの3 ppmvからほぼゼロとなっていた。また、その時期のオゾン破壊速度も、過去に記録された値と同程度の、1日当たり80-90 ppbvという極めて高い数値であることが明らかになった。

力学過程については、大気トレーサーであるメタンデータにもとづいて南半球高緯度域の夏から冬にかけて、中間圏から成層圏への下降流の存在が示唆された。一方、光化学モデルによると、成層圏界面付近のメタンの極小は、水酸基ラジカル (OH) や励起状態の酸素原子などの酸化によって作られていることが示唆される。ここでのメタンの光化学的寿命は短いところで2ヶ月、平均

的に見て3-4ヶ月程度であり、輸送効果と光化学効果の比重が問題となってくる。

2) 1997年の北極について(ILASデータから)

極域成層圏の塩素化合物の中で主要な役割を果たす硝酸塩素(ClONO_2)のデータ(ILAS-IIでは、未だ未検証)を利用した塩素分配の時間変化に関する研究を実施した。硝酸塩素は、基本的には準安定な物質であるが、PSCの発生に伴い、その粒子表面上での不均一反応の結果として大きく減少する。この反応により、オゾンを直接破壊する塩素ラジカルが生成する。硝酸塩素はその後、塩素ラジカルと二酸化窒素(NO_2)との反応により数週間の時間スケールで回復すると考えられている。このような振る舞いを世界で初めて連続的に観測することに成功した。特に、温位475 K(高度19 km付近)の2月の中旬から3月頭にかけて、PSCの発生時期と同期して局所的に硝酸塩素がほぼゼロになっていることを明らかにした。また、3月半ばに一度2 ppbv近くまで回復した硝酸塩素が、その後4月終わりの0.5 ppbv程度まで、その時々々の光化学平衡に従い減少してゆく様子を把握した。同時に二酸化窒素はより活性化する光化学条件のもと3月半ばの0.5 ppbvから4月終わりの1.5 ppbvまで増加した。このような硝酸塩素と二酸化窒素の春先の連続測定はこれまで報告例が無く、成層圏光化学過程の理解に資する重要な観測結果である。

(2) 地球環境政策への貢献

この研究で得られた成層圏プロセス研究の一部は、環境政策決定者向けの国際共同報告書である世界気象機構(WMO)のオゾン破壊に関する科学的評価報告書(2007年出版)⁹⁾の第4章「極域オゾン：過去と現在」において掲載された。また、世界気候研究計画(WCRP)傘下の成層圏プロセスとその気候における役割研究計画(SPARC)の極成層圏雲評価報告書(2007-2008年頃出版予定)にも本研究の内容の一部が掲載予定。

6. 引用文献

- 1) Rex, M. et al., On the unexplained stratospheric ozone losses during cold Arctic Januaries, *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1008, doi:10.1029/2002GL016008, 2003.
- 2) van den Broek, M.M.P. et al., Model study of stratospheric chlorine activation and ozone loss during the 1996/1997 winter, *J. Geophys. Res.*, 105(D23), 28,961-28,978, 10.1029/2000JD900294, 2000.
- 3) Salawitch, R.J., Atmospheric chemistry - Biogenic bromine, *Nature*, 439(7074), 275-277, 2006.
- 4) Schoeberl, M. R., M. Luo, and J. E. Rosenfield, An analysis of the Antarctic Halogen Occultation Experiment trace gas observations, *J. Geophys. Res.*, 100, 5159-5172, 1995.
- 5) Kawamoto, N., and M. Shiotani, Interannual variability of the vertical descent rate in the Antarctic polar vortex, *J. Geophys. Res.*, 105, 11,935-11,946, 2000.
- 6) Hanson, D., and K. Mauersberger, Laboratory studies of nitric acid trihydrate: Implications for the south polar stratosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 15, 855-858, 1988.
- 7) Fahey, D.W., et al., The Detection of Large HN_3 -Containing Particles in the Winter Arctic Stratosphere, *Science*, 291, 1026, 2001.
- 8) Goodman, J., et al., New evidence of size and composition of polar stratospheric cloud

- particles, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 615-618, 1997.
- 9) World Meteorological Organization (WMO), Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006, Global Ozone Research and Monitoring Project, Rep. No. 50, Geneva, Switzerland, 2007.
 - 10) Hayashida, S., et al., Arctic polar stratospheric clouds observed with the Improved Limb Atmospheric Spectrometer during winter 1996/97, *J. Geophys. Res.*, 105(D20), 24715-24730, doi:10.1029/2000JD900228, 2000.
 - 11) Woodbridge, E. L., et al., Estimates of total organic and inorganic chlorine in the lower stratosphere from in situ and flask measurements during AASE II, *J. Geophys. Res.*, 100(D2), 3057-3064, doi:10.1029/94JD02744, 1995.
 - 12) Kawamoto, N., H. Kanzawa, and M. Shiotani, Time variations of descent in the Antarctic vortex during the early winter of 1997, *J. Geophys. Res.*, 109, doi:10.1029/2004JD004650, 2004.

7. 国際共同研究等の状況

本研究で行っている ILAS/ILAS-II プロジェクトは、国内大学等研究機関の他に、カナダ・ウォータールー大学、韓国・ソウル国立大学、キョンポク国立大学、ドイツ・気象気候研究所、アルフレッド・ウェーグナー極域海洋研究所、ユーリッヒ研究所、ニュージーランド・国立水圏大気研究所、フランス・国立科学研究センター、米国・ジョージア大学、カリフォルニア大学、ハーバード・スミソニアン天文台、デンバー大学、国立大気研究センター、コロラド大学、NASAゴダード宇宙飛行センター、NASAラングレー研究センター、カリフォルニア工科大学・ジェット推進研究所、ワイオミング大学、スウェーデン・チャルマース工科大学、ロシア・中央高層気象台の各研究機関が参加する国際プロジェクトである。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) H. Nakajima, T. Sugita, T. Yokota, and Y. Sasano : *Proc. SPIE*, 5234, 36-45 (2004)
"Current status and early result of the ILAS-II onboard the ADEOS-II satellite"
- 2) F. Khosrawi, R. Muller, H. Irie, A. Engel, G. C. Toon, B. Sen, S. Aoki, T. Nakazawa, W. A. Traub, K. W. Jucks, D. G. Johnson, H. Oelhaf, G. Wetzels, T. Sugita, H. Kanzawa, T. Yokota, H. Nakajima, and Y. Sasano : *J. Geophys. Res.*, 109, 10.1029/2003JD004325 (2004)
"Validation of CFC-12 measurements from the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) with version 6.0 retrieval algorithm"
- 3) F. Khosrawi, R. Muller, M. H. Proffitt, and H. Nakajima : *J. Geophys. Res.*, 109, 10.1029/2003JD004365 (2004)
"Monthly averaged ozone and nitrous oxide from the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) in the Northern and Southern Hemisphere polar regions"
- 4) H. Irie, K. L. Pagan, A. Tabazadeh, and T. Sugita : *Geophys. Res. Lett.*, 31,

- 10.1029/2004GL020246 (2004)
 "Investigation of polar stratospheric cloud solid particle formation mechanisms using ILAS and AVHRR observations in the Arctic"
- 5) H. Akiyoshi, T. Sugita, H. Kanzawa, and N. Kawamoto : J. Geophys. Res., 109, 10.1029/2003JD003632 (2004)
 "Ozone perturbations in the Arctic summer lower stratosphere as a reflection of NO_x chemistry and planetary scale wave activity"
- 6) N. Kawamoto, H. Kanzawa, and M. Shiotani : J. Geophys. Res., 109, 10.1029/2004JD004650 (2004)
 "Time variations of descent in the Antarctic vortex during the early winter of 1997"
- 7) H. Nakajima, T. Sugita, T. Yokota, and Y. Sasano : Proc. of SPIE, 5571, 293-300 10.1117/12.568048 (2004)
 "Atmospheric environment monitoring by the ILAS-II onboard the ADEOS-II satellite"
- 8) J. Urban, N. Lautie, E. Le Flochmoen, C. Jimenez, P. Eriksson, J. de La Noe, E. Dupuy, L. El Amraoui, U. Frisk, F. Jegou, D. Murtagh, M. Olberg, P. Ricaud, C. Camy-Peyret, G. Dufour, S. Payan, N. Huret, M. Pirre, A. D. Robinson, N. R. P. Harris, H. Bremer, A. Kleinbohl, K. Kunzi, H. Kullmann, J. Kuttippurath, M. Ejiri, H. Nakajima, T. Sugita, T. Yokota, Y. Sasano, C. Piccolo, P. Raspollini, and M. Ridolfi : J. Geophys. Res., 110, D09301, doi:10.1029/2004JD005394(2005)
 "Odin/SMR limb observations of stratospheric trace gases: Validation of N₂O"
- 9) N. Saitoh, S. Hayashida, T. Sugita, H. Nakajima, T. Yokota, and Y. Sasano : SOLA, 2, 72-75, doi:10.2151/sola.2006- 019(2006)
 "Variation in PSC occurrence observed with ILAS-II over the Antarctic in 2003"
- 10) I. Stajner, K. Wargan, L. -P. Chang, H. Hayashi, S. Pawson, and H. Nakajima : J. Geophys. Res., 111, D11S14, doi:10.1029/2005JD006448(2006)
 "Assimilation of ozone profiles from the Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II: study of Antarctic ozone"
- 11) F. Khosrawi, R. Müller, M. H. Proffitt, and H. Nakajima : J. Geophys. Res., 111, D11S11, doi:10.1029/2005JD006384(2006)
 "Northern and Southern hemispheric monthly averages of nitrous oxide and ozone: A "one-year climatology" derived from ILAS/ILAS-II observations"
- 12) Y. Kim, W. Choi, K. - M. Lee, J. H. Park, S. T. Massie, Y. Sasano, H. Nakajima, and T. Yokota : J. Geophys. Res., 111, D11S10, doi:10.1029/2005JD006445(2006)
 "PSCs observed by the ILAS-II in the Antarctic Region: Dual compositions and validation of compositions during June-August of 2003"
- 13) N. Saitoh, S. Hayashida, T. Sugita, H. Nakajima, T. Yokota, M. Hayashi, K. Shiraishi, H. Kanzawa, M. K. Ejiri, H. Irie, T. Tanaka, Y. Terao, R. M. Bevilacqua, C. E. Randall, L. W. Thomason, G. Taha, H. Kobayashi, and Y. Sasano : J. Geophys. Res., 111, D11S05, doi:10.1029/2005JD006315(2006)

- "Intercomparison of ILAS-II Version 1.4 aerosol extinction coefficient at 780 nm with SAGE II, SAGE III, and POAM III"
- 14) H. Nakajima, T. Sugita, T. Yokota, T. Ishigaki, Y. Mogi, N. Araki, K. Waragai, N. Kimura, T. Iwazawa, A. Kuze, J. Tanii, H. Kawasaki, M. Horikawa, T. Togami, N. Uemura, H. Kobayashi, and Y. Sasano : J. Geophys. Res., 111, D11S01, doi:10.1029/2005JD006334(2006)
 "Characteristics and performance of the Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II (ILAS-II) on board the ADEOS-II satellite"
 - 15) A. Griesfeller, F. Hase, I. Kramer, P. Loës, S. Mikuteit, U. Raffalski, T. Blumenstock, and H. Nakajima : J. Geophys. Res., 111, D11S07, doi:10.1029/2005JD006451(2006)
 "Comparison of ILAS-II and ground-based FTIR measurements of O₃, HNO₃, N₂O, and CH₄ over Kiruna, Sweden"
 - 16) H. Nakajima, T. Sugita, H. Irie, N. Saitoh, H. Kanzawa, H. Oelhaf, G. Wetzels, G. C. Toon, B. Sen, J.-F. Blavier, W. A. Traub, K. Jucks, D. G. Johnson, T. Yokota, and Y. Sasano : J. Geophys. Res., 111, D11S09, doi:10.1029/2005JD006441(2006)
 "Measurements of ClONO₂ by the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) in high-latitude stratosphere: New products using Version 6.1 data processing algorithm"
 - 17) G. Wetzels, H. Oelhaf, F. Friedl-Vallon, A. Kleinert, A. Lengel, G. Maucher, H. Nordmeyer, R. Ruhnke, H. Nakajima, Y. Sasano, T. Sugita, and T. Yokota : J. Geophys. Res., 111, D11S06, doi:10.1029/2005JD006287(2006)
 "Inter-comparison and validation of ILAS-II Version 1.4 target parameters with MIPAS-B measurements"
 - 18) H. Irie, T. Sugita, H. Nakajima, T. Yokota, H. Oelhaf, G. Wetzels, G. C. Toon, B. Sen, M. L. Santee, Y. Terao, N. Saitoh, M. K. Ejiri, T. Tanaka, Y. Kondo, H. Kanzawa, H. Kobayashi, and Y. Sasano : J. Geophys. Res., 111, D11S03, doi:10.1029/2005JD006115(2006)
 "Validation of stratospheric nitric acid concentration profiles observed by ILAS-II"
 - 19) T. Sugita, H. Nakajima, T. Yokota, H. Kanzawa, H. Gernandt, A. Herber, P. von der Gathen, G. König-Langlo, K. Sato, V. Dorokhov, V. A. Yushkov, Y. Murayama, M. Yamamori, S. Godin-Beekmann, F. Goutail, H. K. Roscoe, T. Deshler, M. Yela, P. Taalas, E. Kyrö, S. J. Oltmans, B. J. Johnson, M. Allaart, Z. Litynska, A. Klekociuk, S. B. Andersen, G. O. Braathen, H. De Backer, C. E. Randall, L. W. Thomason, H. Irie, M. K. Ejiri, N. Saitoh, T. Tanaka, Y. Terao, H. Kobayashi, and Y. Sasano : J. Geophys. Res., 111, D11S02, doi:10.1029/2005JD006439(2006)
 "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"
 - 20) S. Tilmes, R. Müller, J.-U. Grooß, R. Spang, T. Sugita, H. Nakajima and Y. Sasano : J. Geophys. Res., 111, D11S12, doi:10.1029/2005JD006260(2006)

"Chemical ozone loss and related processes in the Antarctic winter 2003 based on ILAS-II observations"

- 21) M. K. Ejiri, Y. Terao, T. Sugita, H. Nakajima, T. Yokota, G. C. Toon, B. Sen, G. Wetzel, H. Oelhaf, J. Urban, D. Murtagh, H. Irie, N. Saitoh, T. Tanaka, H. Kanzawa, M. Shiotani, S. Aoki, G. Hashida, T. Machida, T. Nakazawa, H. Kobayashi, and Y. Sasano : J. Geophys. Res., 111, D22S90, doi:10.1029/2005JD006449(2006)

"Validation of the Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II (ILAS-II) Version 1.4 nitrous oxide and methane profiles"

- 22) H. Nakajima : J. Geophys. Res., 111, D20S90, doi:10.1029/2006JD007412(2006)

"Preface to special section on ILAS-II: The Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II"

- 23) S. Tilmes, R. Mueller, J.-U. Grooss, H. Nakajima, and Y. Sasano : J. Geophys. Res., 111, D24S90, doi:10.1029/2005JD006726(2006)

"Development of tracer relations and chemical ozone loss during the setup phase of the polar vortex"

- 24) D. Y. Wang, M. Hoepfner, G. Mengistu Tsidu, G. P. Stiller, T. von Clarmann, H. Fischer, T. Blumenstock, N. Glatthor, U. Grabowski, F. Hase, S. Kellmann, A. Linden, M. Milz, H. Oelhaf, M. Schneider, T. Steck, G. Wetzel, M. Lopez-Puertas, B. Funke, M. E. Koukouli, H. Nakajima, T. Sugita, H. Irie, J. Urban, D. Murtagh, M. L. Santee, G. Toon, M. R. Gunson, F. W. Irion, C. D. Boone, K. Walker, and P. F. Bernath : Atmos. Chem. Phys., 7, 721-738(2007)

"Validation of nitric acid retrieved by the IMK-IAA processor from MIPAS/ENVISAT measurements"

- 25) S. Hayashida, T. Sugita, N. Ikeda, Y. Toda, and H. Irie : J. Geophys. Res., in press.

"The temporal evolution of ClONO₂ observed with Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) during Arctic late winter and early spring in 1997"

- 26) 池田奈生, 芦田尚美, 林田佐智子 : 情報処理学会論文誌:数理モデル化と応用, 印刷中
「Support Vector Machine を用いた極成層圏雲表面積の推定」

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 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 : 第14回大気化学シンポジウム研究集会講演集、223-226(2004)

「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」

- 2) 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 : 第14回大気化学シンポジウム研究集会講演集、227-230(2004)

「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」

- 3) 戸田庸子、池田奈生、林田佐智子、中島英彰 : 第14回大気化学シンポジウム研究集会講演集、231-234(2004)

「ILASで得られたClONO₂ とHALOEで得られたHClの比率」

- 4) 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 : 第18回大気圏シンポジウム、9-11(2004)
「ADEOS-II搭載ILAS-II による解析結果」
- 5) H. Nakajima, N. Saitoh, T. Sugita, T. Yokota, Y. Sasano, Y. Terao, and H. Irie :
Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium, 145-146(2004)
"Observation of ozone depletion and related minor species from the ILAS-II onboard the ADEOS-II satellite"
- 6) N. Saitoh, H. Nakajima, T. Yokota, T. Sugita, Y. Sasano, S. Hayashida, M. Hayashi, K. Shiraishi, and H. Kanzawa : Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium, 601-602(2004)
"Validation of ILAS-II aerosol extinction coefficient data and the observed PSCs over the Antarctica in 2003"
- 7) T. Sugita, H. Kanzawa, H. Nakajima, T. Yokota, H. Gernandt, A. Herber, P. Gathen, G. Koenig-Langlo, Y. Murayama, M. Yamamori, K. Sato, V. A. Yushkov, V. Dorokhov, M. Allaart, Z. Litynska, G. O. Braathen, E. Kyro, H. De Backer, M. Yela, A. Klekociuk, F. Goutail, S. Godin-Beekmann, P. Taalas, T. Deshler, H. K. Roscoe, S. J. Oltmans, B. Johnson, H. Kobayashi, and Y. Sasano : Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium, 614-615(2004)
"Assessment of the version 1.3 ILAS-II ozone data quality in the high latitude lower stratosphere"
- 8) G. Wetzal, H. Oelhaf, F. Friedl-Vallon, A. Kleinert, A. Lengel, G. Maucher, R. Ruhnke, and H. Nakajima : Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium, 639-640(2004)
"Inter-comparison and validation of ILAS-II target species with MIPAS-B measurements"
- 9) S. Hayashida, N. Ikeda, Y. Toda, and H. Nakajima : Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium, 722-723(2004)
"Inter-hemispheric contrast of ClONO_2 during recovery from polar ozone depletions"
- 10) 中島英彰 : 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)
「ADEOS搭載ILAS-IIの検証と初期結果」
- 11) H. Nakajima : Proceedings of the 5th International Workshop on Global Change: Connection to the Arctic (GCAA5), 62-65(2004)
"Ozone Layer Monitoring by ILAS-II"
- 12) 横田達也 : 計測と制御、43, 11, 879 - 883(2004)
「ILAS/ILAS-IIによるオゾンホールの定量観測」
- 13) 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 : 第15回大気化学シンポジウム研究集会講演集、300-303(2004)
「ILAS-II バージョン1.4のオゾン・硝酸データ質評価」

(2) 口頭発表 (学会)

- 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 : 日本気象学会2004年春季大会、東京、日本 (2004)
「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」
- 2) 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 : 日本気象学会2004年春季大会、東京、日本 (2004)
「ILAS-IIによる2003年南極オゾンホールの観測」
- 3) 齋藤尚子、中島英彰、横田達也、杉田考史、林田佐智子: 日本気象学会2004年春季大会、東京、日本 (2004)
「ILAS-IIエアロゾル消散係数データ質評価」
- 4) 中島英彰、横田達也、杉田考史、齋藤尚子、江尻省、笹野泰弘 : 第10回大気化学討論会、東京、日本 (2004)
「ILAS-IIによる成層圏オゾン層観測初期結果」
- 5) H. Nakajima, Y. Sasano, T. Yokota, T. Sugita, and N. Saitoh : International Radiation Symposium 2004, Busan, Korea (2004)
"Scientific results from ILAS-II onboard the ADEOS-II satellite"
- 6) T. Sugita, T. Yokota, H. Nakajima, H. Kobayashi, and Y. Sasano : International Radiation Symposium 2004, Busan, Korea (2004)
"Vertical profiles of temperature and pressure retrieved by the ILAS-II at the high latitudes in the stratosphere and lower mesosphere"
- 7) 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 : 日本気象学会2004年秋季大会、福岡、日本 (2004)
「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」
- 8) 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 : 日本気象学会2004年度秋季大会、福岡、日本 (2004)
「ILAS-IIエアロゾル消散係数V1.4データ質評価」
- 9) 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 : 日本気象学会2004年度秋季大会、福岡、日本 (2004)
「ILAS-II観測によるN₂OとCH₄のV1.4データの検証」
- 10) 笹野泰弘 : 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、日本 (2004)
「我が国の人工衛星センサー I L A S による成層圏オゾン層研究」
- 11) H. Nakajima, T. Sugita, M. Ejiri, N. Saitoh, T. Tanaka, T. Yokota, Y. Sasano, H. Irie, and H. Kanzawa : 2004 AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, USA (2004)
"Validation Summary and Scientific Results for ILAS-II Onboard the ADEOS-II Satellite"
- 12) M. Ejiri, Y. Terao, T. Sugita, H. Nakajima, M. Shiotani, H. Kanzawa, and Y. Sasano : 2004 AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, USA (2004)
"Validation of ILAS-II Version 1.4 N₂O and CH₄ Profiles"
- 13) N. Saitoh, S. Hayashida, T. Sugita, H. Nakajima, T. Yokota, M. Hyashi, K. Shiraishi, H. Kanzawa, and Y. Sasano : 2004 AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, USA (2004)

- "Validation of ILAS-II Aerosol Extinction Coefficients at 780 nm: Comparison with SAGE II, SAGE III, POAM III, and OPC/LPC measurements"
- 14) S. Hayashida, N. Ikeda, Y. Toda, and H. Nakajima : 2004 AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, USA (2004)
 "Chlorine Reservoir Partitioning in the Polar Stratosphere Revealed by ILAS and HALOE data"
 - 15) 戸田庸子、池田奈生、林田佐智子、中島英彰 : 第10 回大気化学討論会 東京大学(2004)
 「光化学分配に基づくOH 導出の試み」
 - 16) 池田奈生、戸田庸子、林田佐智子 : 第10 回大気化学討論会、東京大学(2004)
 「光化学ボックスモデルを用いた冬季北極極渦内でのNO_y, Cl_y 分配比率の推定」
 - 17) 林田佐智子、池田奈生、戸田庸子、入江仁士、中島英彰 : 日本気象学会秋季大会 福岡(2004)
 「ClONO₂/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Cl_y推定」
 - 18) S. Hayashida, N. Ikeda, Y. Toda, H. Nakajima : AGU fall meeting, San Francisco, 2004.
 "Chlorine Reservoir Partitioning in the Polar Stratosphere Revealed by ILAS and HALOE data"
 - 19) 林田佐智子、野口克行、Oshchepkov Sergey、笹野泰弘、杉田考史、中島英彰 : 地球惑星科学関連学会 2005年合同大会 幕張メッセ(2005) (アブストラクト提出済み)
 - 20) 林田 佐智子、池田 奈生、戸田 庸子、杉田 考史、中島 英彰、入江 仁士 : 地球惑星科学関連学会 2005年合同大会 幕張メッセ (2005)
 「ILASで観測されたクロリンナイトレイトの高緯度における挙動」 (アブストラクト提出済み)
 - 21) Nakajima, H. and ILAS-II Science Team : Alaska Project International Symposium, NICT, Koganei, Japan, March 16-17, 2006
 "ILAS-II observations and Poker Flat experiments"
 - 22) Nakajima, H. and K. Saeki : Future Ozone Prediction Workshop, Matsushima, Japan, February 22-23, 2006
 "Denitrification and ozone loss observed by ILAS-II onboard the ADEOS-II"
 - 23) Nakajima, H. : The 9th ILAS-II Science Team Meeting, Atami, Japan, 13-15 February 2006
 "Level-1 transmittance correction for Version 2.0 algorithm"
 - 24) Nakajima, H., K. Saeki, and T. Sugita : 2005 AGU Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., December 4-9, 2005
 " Analysis of Antarctic denitrification in 2003 winter observed by ILAS-II onboard the ADEOS-II satellite"
 - 25) Nakajima, H. : The International Workshop on Submillimeter Wave Earth Observation, Kyoto, November 14-15, 2005
 " ILAS-II validation with Odin/SMR"
 - 26) Nakajima, H., T. Sugita, T. Yokota, and Y. Sasano : IGARSS 2005, Seoul, Korea, July 25-29, 2005

” ILAS-II Scientific Results”

- 27) 中島英彰、佐伯浩介、齋藤尚子、杉田考史：地球惑星科学合同学会、幕張、2005
「ILAS-II観測による2003年南極におけるオゾンホールと脱室の観測」
- 28) 中島英彰、齋藤尚子、杉田考史、横田達也、笹野泰弘：気象学会2005年度春季大会、東大本郷、2005
「ADEOS-II搭載ILAS-IIによる2003年南極オゾンホールの解析」
- 29) 林田佐智子、池田奈生、戸田庸子、杉田考史、中島英彰、入江仁士：地球惑星科学関連学会2005年合同大会、幕張、2005
「ILASで観測されたクロリンナイトレイトの高緯度における挙動」
- 30) 林田佐智子、野口克行、Oshchepkov Sergey、笹野泰弘、杉田考史、中島英彰：地球惑星科学関連学会2005年合同大会、幕張、2005
「ILAS ver. 7を用いた極成層圏雲の組成解析」
- 31) Hayashida, S., N. Ikeda, Y. Toda, H. Irie, T. Sugita and H. Nakajima：第11回大気化学討論会、奈良、2005
「ILASで明らかにされた北極成層圏におけるClONO₂の挙動 -ClONO₂ のNO₂ 依存性-」
- 32) Hayashida, S., S. Oshchepkov*, Y. Sasano, T. Sugita, T. Yokota, H. Nakajima：IAMAS, Beijing, 2005
”Inference of PSC composition derived from the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) version 7 dataset - first challenge of simultaneous gas and aerosol retrieval -”
- 33) 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：日本気象学会秋季大会、神戸、2005
「ILASデータを用いたトレーサー解析- 脱室・脱水の推定-」
- 34) 池田奈生、戸田庸子、林田佐智子：日本気象学会秋季大会、神戸、2005
「光化学ボックスモデルによる1997年冬季北極圏でのClONO₂の再現実験」
- 35) Hayashida, S., S. Oshchepkov, Y. Sasano, T. Sugita, T. Yokota, H. Nakajima：AGU fall meeting, San Francisco, Dec. 5-10, 2005
”Satellite Observation of Polar Stratospheric Cloud Composition - Simultaneous Gas and Aerosol Retrieval -”
- 36) 戸田庸子、林田佐智子、杉田考史、入江仁士：第16回大気化学シンポジウム、豊川、2006
「1997年冬季北極におけるReference Tracer Methodを用いた脱室の推定」
- 37) Sato, K., Y. Tomikawa, G. Hashida, A. Kadokura, Y. Esaki, T. Yamanouchi, H. Nakajima and T. Sugita：IAGA, 2005「招待講演」
”Three dimensional structure of Antarctic ozone hole dissipation processes based on an intensive ozonesonde observation at Syowa Station in 2003”
- 38) 佐藤薫、富川喜弘、橋田元、門倉昭、中島英彰、杉田考史：日本気象学会2005年秋季大会、2005
「地上および衛星観測に基づく南極オゾン層回復過程の3次元構造の研究」
- 39) 佐藤薫、富川喜弘、橋田元、門倉昭、中島英彰、杉田考史：第16回大気化学シンポジウム、

2006

「地上および衛星観測に基づく南極オゾン層回復過程の3次元構造の研究」

- 40) 佐藤薫、富川喜弘、橋田元、門倉昭、中島英彰、杉田考史、村田功、並木道義、松坂幸彦、山上隆正、麻生武彦、山内恭：平成17年度大気球シンポジウム、2006

「地上および衛星観測に基づく南極オゾン層回復過程の3次元構造の研究」

- 41) Sato, K., Y. Tomikawa, G. Hashida, A. Kadokura, H. Nakajima, T. Sugita, I. Murata, M. Namiki, Y. Matsuzaka, T. Yamagami, T. Aso and T. Yamanouchi：ILAS-IIサイエンスチームミーティング、2006

"Dynamics of Antarctic ozone hole dissipation revealed by balloon and satellite observations"

- 42) Sato, K., Y. Tomikawa, G. Hashida, A. Kadokura, H. Nakajima, T. Sugita, I. Murata, M. Namiki, Y. Matsuzaka, T. Yamagami, T. Aso and T. Yamanouchi：Ozone Workshop in Matsushima, 2006「招待講演」

"Dynamics of Antarctic ozone hole dissipation revealed by balloon and satellite observations"

- 43) Shiotani, M., M. Ejiri, N. Kawamoto, H. Kanzawa, T. Sugita：9th ILAS science team meeting, Atami, Japan, February 2006

"Downward Motion from Mesosphere over the Antarctic Observed in ILAS-II CH4"

- 44) 池田奈生、芦田尚美、林田佐智子：第61回 数理モデル化と問題解決(MPS)研究会、大阪大学、2006

「Support Vector Machines を用いた極成層圏雲表面積の推定」

- 45) 林田佐智子、池田奈生、戸田庸子、杉田考史、中島英彰、入江仁士：地球惑星科学連合2006年大会、幕張、2006

「極域下部成層圏におけるクロリナイトレイトの不活性化と再活性化について」

- 46) 吉村奈津子、林田佐智子、野口克行、Oshchepkov Sergey、杉田考史、笹野泰弘：日本地球惑星科学連合2006年大会、幕張、2006

「南極成層圏で観測されたNAT粒子の気温履歴について」

- 47) 佐藤薫、富川喜弘、橋田元、門倉昭、中島英彰、杉田考史：日本地球惑星科学連合2006年大会、幕張、2006

「昭和基地オゾンゾンデ集中観測およびILAS-II 観測に基づく南極オゾンホール消滅過程力学の研究」

- 48) 佐伯浩介、中島英彰、杉田考史、伊藤真之：日本気象学会2006年度春季大会、つくば、2006
「ILAS-II 観測による2003 年冬季南極成層圏脱室メカニズムの解析(2)」

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催(主催のもの)

- 1) 第8回ILAS-IIサイエンスチームミーティング：2004年11月2-4日、Yonsei大学、ソウル、韓国

- 2) 第2回ILAS-IIデータ質評価・検証解析検討会：2005年3月10日、三菱総研研究所、東京
- 3) 第9回ILAS-IIサイエンスチームミーティング：2006年2月13-15日、KKR熱海、熱海

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 常陽新聞（2005年9月28日「街角の話題」ふしぎを追って「オゾン層3：人工衛星が捕らえた推移」）
- 2) 朝日新聞（2006年2月19日「今さら聞けない：オゾンホール」）