

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

(2) 地上・気球・他衛星データ等を利用した衛星データ検証に関する研究

独立行政法人情報通信研究機構 第3研究部門 電磁波計測研究センター

環境情報センシングネットワークグループ	村山泰啓
京都大学生存圏研究所	津田敏隆
東北大学大学院環境科学研究科	村田功
福岡大学地球圏科学科	林政彦(平成16, 17年度)

〈研究協力者〉	国立極地研究所	青山雄一
	情報通信研究機構	笠井康子
	都留文科大学	山森美穂
	富士通エフ・アイ・ピー	香川晶子

平成16～18年度合計予算額 29,890千円
(うち、平成18年度予算額 7,000千円)

[要旨] 本サブテーマでは、南北両半球高緯度における地上・気球・航空機・衛星観測データ等を用い、ILAS-IIデータの検証解析に資することを目的とする。データ処理アルゴリズムを高度化して国際的に高水準な品質とするためには、他観測データを用いた検証は必要不可欠である。ここではILAS-IIとの同期観測、および直接比較が適当でないものは検証に寄与する観測・データ解析を含めて「検証解析」を行う。本研究では以下の成果を得た。1) アラスカ(65.1N, 147.5W)のフーリエ変換赤外分光器 (FTIR) 観測 (2003年春季) からILAS-II v1.4データと比較検証したところ、オゾンでは気柱全量および各高度での混合比とも20%以内、硝酸では高度17km以上で10%以内の差で一致した。FTIRデータの誤差解析を行ったところ誤差は20%以内であり、ILAS-II観測との差は誤差の範囲であった。また統計的な誤差を評価するため、時系列 (季節変動・年々変動) を導いた。2) FTIR観測においては分光計の装置関数が大気微量成分の高度分布推定に大きく影響するため、つくばのFTIRを用いて装置関数の測定および光軸調整による装置関数改善を行った。観測結果された経年変動から塩化水素、フッ化水素全量にフロン規制の効果が見え始めていることがわかった。3) CHAMP衛星(独)によるGPS掩蔽データを用いて、気温導出上限高度の向上および結果の検証、ならびに極域成層圏気温擾乱の気候学的特性を研究した。GPS掩蔽ではラジオゾンデと同等の精度でかつ優れた高度分解能で高度約35kmまで気温が得られることを利用し、大気重力波のエネルギーについて南北極域での水平 (緯度・経度) 分布および季節変動を求め、背景風および惑星波との関係を明らかにした。4) 南北極域における極成層圏雲・エアロゾルの気球・ライダー観測、ILAS・ILAS-II消散係数の検証などを行った結果、半径0.056ミクロン程度まで小さい粒径分布が重要であること、成層圏エアロゾル量の変動は粒径分布の変動極渦の崩壊に伴う極渦外からのエアロゾル流入が100mスケールの層でおきている領域があること、ピナツボ火山噴火の影響が噴火後10年近く継続していたことなどがわかった。

[キーワード] 成層圏、衛星検証、FTIR、GPS掩蔽、極成層圏雲

1. はじめに

環境省では、「オゾン層保護法」などにうたわれた国際的なオゾン層の監視の重要性を受けて、ILAS/ILAS-II等の衛星搭載大気観測センサーの開発を行ってきた。国立環境研究所では、ILAS観測データを国内外の科学者へのデータの配信を行って、このデータを用いたさまざまな国内外の研究を推進し成果をあげてきている。

一方ILAS-IIデータに関しては、史上最大規模の2003年南極オゾンホールが発生～消滅過程の観測に成功したものの、データを用いた研究は始まったばかりである。とくに、アルゴリズム高度化とデータ質評価は今後の緊喫の課題と言える。アルゴリズムについては、より詳細な高度決定・信号補正、温度導出、エアロゾルとガスの同時算出手法などについて今後の調査・改良は、国際的に十分信用される品質でデータを提供するために不可欠である。この高いデータ質を達成するためには他観測データとの比較検証は必要不可欠であり、検証があつてはじめてアルゴリズムの高度化と高品質データが実現する。

本サブテーマでは、南北両半球高緯度における地上・気球・航空機・衛星観測データ等を用い、ILAS-IIデータの検証解析に資することを目的とする。とくに、ILAS-II観測と同期した他観測データと比較解析を行った検証はもとより、直接比較の容易でないもの、直接比較がかならずしも適当でないものについては、ILAS-II検証がより妥当となるための情報を集め解析すること(本サブテーマ内では、これらも「検証解析」と呼んでいる)も本サブテーマの対象としている。また「検証解析」の結果は、サブテーマ(1)アルゴリズム高度化にもフィードバックしていく。

2. 研究目的

本課題ではILAS-II検証に必要な以下の研究を行う。

(1) 地上FTIR観測を用いた大気微量成分の比較・検証、および解析手法の高度化

地上設置型フーリエ変換赤外分光器(FTIR)実験データの成層圏組成について、データチェック・解析の高度化を行うとともに、より現実的な測定誤差・解析誤差などの見積りを行うとともに、衛星やアラスカでの検証キャンペーンデータによる比較検証や科学解析を高精度化し、ILAS-IIとの比較検証研究等を行う。

(2) 地上FTIR観測の装置誤差調査および改善手法の研究

地上FTIR観測を用いた大気微量成分の解析手法の高度化のため、誤差の要因となる分光器の装置関数を測定し、装置誤差の要因について知見を深めるとともにその改善手法を確立する。また、いくつかの成分の全量解析からその経年変動を調べる。

(3) 衛星データ検証のためのGPS掩蔽衛星観測による気温観測

GPS掩蔽観測で得られる高品質の成層圏気温データをILAS-II気温プロファイルの検証に用いるため、CHAMP衛星によるGPS掩蔽データの蓄積と整理、気温データの品質チェックなどを行いILAS-II検証に資する。従来の処理法では高度35 km以上で温度推定に誤差が含まれるため、新たな解析法を開発し、他の観測結果との比較・検証を行うとともに、そのGPS掩蔽データから大気波動特性や大規模な温度構造などを解析し、大気科学的な検証に資する。

(4) 極域成層圏エアロゾル・極成層圏雲の粒径分布変動の気球観測

エアロゾル・雲粒子(含:極成層圏雲(PSC))はILAS-II微量ガス解析の誤差要因であるが

同時にオゾン層破壊過程の研究において重要な意味を持つ大気情報である。ILAS-IIデータの検証や解析高度化に資するため極域のエアロゾル・雲粒子の粒径分布、時空間分布等を気球観測から調査する。またこれまで南北両半球の「高緯度で得られたエアロゾル粒径観測データを用いて、極域成層圏エアロゾル・雲粒子の粒径分布とその長期・短期変動に関する知見を得、ILAS、ILAS-II消散係数の検証、そのデータ解釈に資する必要な情報を整理する。

またこれらの研究の過程で明らかとなる、成層圏温度構造や大気重力波、極渦やプラネタリ波、極成層圏やエアロゾル分布に関する様々な空間・時間スケールに関する統計解析も、本サブテーマの研究目標の視野に入っている。

3. 研究方法

(1) 地上FTIR観測を用いた大気微量成分の比較・検証、および解析手法の高度化

情報通信研究機構が推進するアラスカプロジェクトの一環として、フーリエ変換型赤外分光計(FTIR)が米国アラスカ州ポーカーフラット(65.1N, 147.5W)で運用されている。2003年4-5月のILAS-IIによる65N付近の観測結果をFTIRによるオゾン・硝酸データと比較した。

アラスカFTIR (Bruker120HR) の観測周波数範囲は $750.0 \sim 4200.0 \text{ cm}^{-1}$ ($2.5 \mu\text{m} \sim 13.5 \mu\text{m}$)である。周波数分解能は 0.0019 cm^{-1} であるが、太陽天頂角変化量を最小限に抑えるため 0.0035 cm^{-1} で観測を行った。年間観測日数はオゾン ($2425 \sim 3060 \text{ cm}^{-1}$) の場合2001、2002、2003年でそれぞれ107、101、93日間であった。

スペクトル反転解析にはロジャーズ最適法アルゴリズムを用いた。また、非線形問題にはニュートン法で繰り返し計算をすることにより対応した。これら一連の作業はSFIT2 (version3.7) ソフトウェアを使用した^{1)・2)}。誤差分散行列 S_{ϵ} は観測スペクトルのノイズから推定し、先験値はオゾン、塩化水素、フッ化水素についてはUARS/HALOE(ver.19)の月平均データから、硝酸は1996年のMLS(ver.5)データから作成した。Saは衛星データの分散から得た。気温・圧力は30km以下はゾンデ、30~50kmはUKMO、50~100kmはCIRA86データを用いた。分光パラメータはHITRAN 2004 データベースを用いた。装置ILS関数はHBrセル測定値を用いた。

(2) 地上FTIR観測の装置誤差調査および改善手法の研究

装置関数の測定では、まずHBrや N_2O のガスセルを分光器内にセットし、これらのガスの吸収線を測定する。ガスセル測定結果からの装置関数の決定には、ドイツのHaseらによるプログラムLINEFITの改良版であるLINEFIT9を使用する。光軸の調整はfringeを用いた方法と焦点調整、望遠鏡を用いた調整などを行い、そのたびに装置関数を測定して結果を確認した。

観測スペクトルから大気微量成分の全量を求めるプログラムは、スペクトルフィッティングプログラム<SFIT>を用いている。ただし、フィッティング残差を最小にするように初期高度分布を上下方向にシフトさせながらフィッティングを繰り返すことで精度を向上させている。観測では1日に数個のスペクトルを取得するが、ここではそれぞれから求めた全量を日平均している。解析に用いたデータは1998年12月 - 2005年6月の6年半のもので、観測日数はHC1が451日、HFが421日、 O_3 が428日、 HNO_3 が417日、 N_2O が427日、COが437日である。経年変動を見るために季節変化と経年変動はサインカーブ+2次曲線によってフィッティングしている。

(3) 衛星データ検証のためのGPS掩蔽衛星観測による気温観測

GPS掩蔽は測位電波が大気中を伝播する際の遅延特性から屈折率の高度プロファイルを求め、さらに気温(対流圏下部では湿度、電離層では電子密度)を得る斬新な衛星観測手法である。世界

初のGPS掩蔽実験は1995年に開始されたGPS/METであるが、小型衛星で実現できること、また secondary payload として搭載しやすいことから、その後多くの衛星ミッションが行われている（最近では、2006年4月に6台の小型LEO衛星によるFORMOSAT-3/COSMICがGPS掩蔽観測を開始した）。この研究では、2001年にドイツが打ち上げたCHAMP衛星によるGPS掩蔽観測で得られたデータを用いた。

（4）極域成層圏エアロゾル・極成層圏雲の粒径分布変動の気球観測

冬季にスピッツベルゲン諸島 Ny-Aalesund (79N, 129W) において、2002/03の冬季から2005/06の冬季にかけて4回の冬季および2005年の秋季の観測を行った。気球搭載式粒子計数装置として、2種類の光散乱式粒子計数装置を用いている。半径0.15mm以上の粒径の観測には、半導体レーザーを光源としたOPCを、半径0.15mm以下の粒径に関しては、外部ミラー型He-Neレーザーを光源としたLPC（数居半径：0.056、0.075、0.1、0.125、0.15・ μm ）を用いた。同時に、ライダーによる後方散乱係数(532nm、1064nm)、偏光解消度(at 532nm)の bulk特性観測を実施した。

これらの気球による粒径分布の直接観測データとライダーによる遠隔観測データ、ILAS、ILAS-II観測データを比較解析する。さらに、昭和基地において1997年より継続的に通年実施されているOPCゾンデ観測データの解析により、ILAS、ILAS-IIが観測を実施した時期の成層圏エアロゾルの長期変動について、特に1991年ピナツボ火山の成層圏エアロゾル擾乱の減衰に着目した解析を行う。

表1 ニーオーレスンにおける気球観測

年	季節	使用機器	状況
2002/03	Winter	旧OPC、LPC	PSCsの観測できず（出現せず）
2003/04	Winter	新OPC、LPC	PSCsの観測できず（出現せず）
2004/05	Winter	旧OPC	PSCsを含む観測
2005	Autumn	旧OPC、LPC	夏季の状態
2005/06	Winter	新OPC	PSCsの観測できず（出現せず）

4. 結果・考察

（1）FTIRによる大気微量成分観測

ILAS-II v1.4衛星データと地上設置型FTIRの比較検証は2003年4月期のデータの中からコインシデンスの良いものを選別して行った。また、2003年8月期においてはキャンペーン観測を行い、ILAS-II v1.4衛星データに対してオゾンゾンデデータ（オゾン）との比較とレイリーライダーデータ（温度）の比較を行った。

比較の一例を図に示す。ILAS-II v1.4データとFTIRデータは17-35kmの領域において良い一致を示しているが、ILAS-IIデータはFTSよりも10%低い値を示していることが分かる。ECCオゾンゾンデと比較を行ったところ、ILAS-IIとゾンデの値はILAS-IIの誤差範囲で良い一致を示した。

ILAS-IIに提供したFTIRデータの精度と確度を確認するために、FTIR観測とその解析における誤差解析を詳細に行い、評価を行った。誤差解析はRodgers. (2000)³⁾の方法に基づいて行い、オゾン・硝酸・塩化水素・フッ化水素について、全量と部分カラム量の確度と精度を求めた。オゾンに対する誤差解析の結果を表1に示す。全体としてオゾン・硝酸・塩化水素・フッ化水素の全量に対する誤差は5.9%以下であり、部分カラム量に対するエラーは11.5%以下であった。誤差全体に

においてランダム誤差の中の気温がリトリバル結果に及ぼす誤差は小さな値を示した。また、ランダム誤差よりも系統誤差の方が大きな値を示した。系統誤差の中でもスペクトル線強度と圧力幅係数の不確実性がリトリバル結果に与える誤差が大きかったことから、分光データベースの誤差は直接リトリバル結果に大きな影響を与える事が分かった。これらの誤差解析の結果を、Barret et al. (2002, 2003, 2005)^{4, 5)}, Rinsland et al. (2000)⁶⁾, Schneider et al. (2005a; 2005b)^{7, 8)}, Wood et al. (2004)⁹⁾ 等の他のNDACC サイトからの同様の誤差解析の報告と比較するとほぼ一致した。このことから、これらの微量成分のリトリバルが妥当な誤差範囲内で行われたことがわかった。また、本FTSデータと他のセンサからのデータ(オゾンゾンデ・TOMS・HALOE)との比較を行った結果、誤差範囲内ではほぼ一致したことは、本観測が妥当に行われた事を示した。

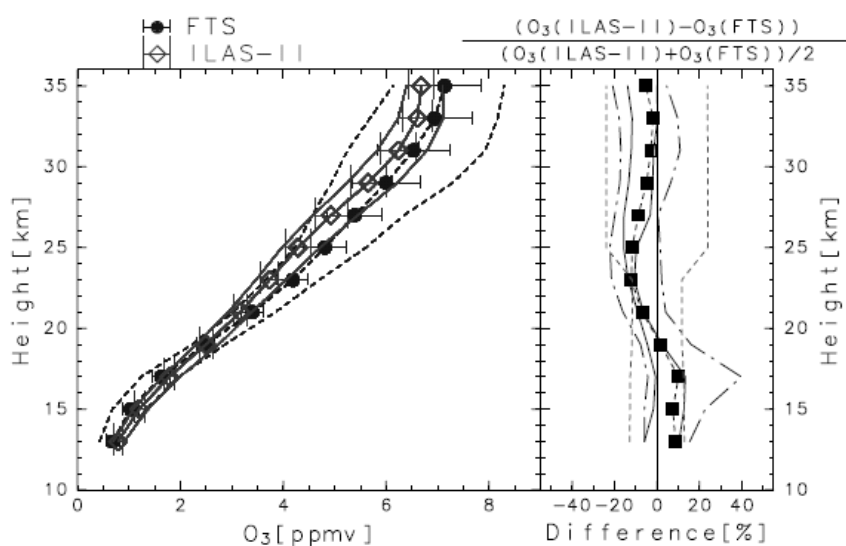


図1 ILAS-IIとFTIRオゾン観測リトリバル結果の比較。ILAS-IIのオゾン存在量はFTIRのそれよりも低い。また、差には高度依存性がある。

表2 オゾン全量と部分カラム量に対する誤差。誤差はカラム量に対するパーセンテージで示す。観測スペクトルからの情報量の指標であるDegree of Freedom for Signal(DOFS)の値も同時に示す。

Altitude [km]	0-12		12-18		18-24		24-40		Total			
Temperature Uncertainty	0.8	0.9*	0.9	1.3*	1.2	0.7*	1.0	4.4*	0.3	0.1 [†]	0.7 [‡]	3.0*
Measurement Error	4.2	1.5*	3.1	1.2*	2.4	1.0*	1.2	0.6*	0.6	1.3 [†]	1.2 [‡]	0.3*
Smoothing Error	5.2	15.3*	5.8	14.2*	5.2	6.0*	2.6	2.6*	0.4	1.5 [†]	1.5 [‡]	0.8*
Total Random Error	6.7	15.4*	6.6	14.3*	5.9	6.1*	3.0	5.1*	0.8	2.0[†]	2.6[‡]	3.1*
O ₃ Air Broadening Coeff. Uncertainty	6.7	3.0*	6.7	2.6*	0.7	-1.4*	-9.0	-2.9*	-0.8	< 0.03 [†]	0.1 [‡]	-0.3*
O ₃ Line Intensity Uncertainty	-3.9	-3.4*	-4.5	-2.4*	-4.5	-2.8*	-5.2	-5.2*	-4.6	1.8 [†]	1.8 [‡]	-3.6*
EAP Uncertainty	-0.1	1.8*	-1.0	2.5*	-3.0	8.3*	3.7	-4.8*	0.2	< 0.01 [†]	0.1 [‡]	1.8*
Total Systematic Error	2.7		1.2		-6.8		-10.5		-5.2			4.0*
Total Errors	7.2		6.7		9.0		10.9		5.3			
DOFS	0.5		0.6		0.7		1.2		3.2			

A 5% larger line intensity and 10% smaller air-broadening coefficient than those of HITRAN 2004 are assumed for the spectroscopic error.

[†] Error for total column by Schneider et al. (2005b)

[‡] Error for total column by Schneider et al. (2005a)

* Total and partial column errors for narrow window by Barret et al. (2002;2003)

(2) 地上FTIR観測の装置誤差調査および改善手法の研究

装置関数の改善に関しては、2004年5月にまずドイツ本社の技術者による調整を行った。これにより分解能は若干よくなったが、このときに波長較正用のレーザーの安定性が劣化していることがわかったため、10月に交換したところ、また若干よくなった。しかしまだ以前よりも悪い状態であった。これでは改善はされたとは言えず、またスペクトルには非対称性も見られた。そこで11月に赤外分光研究者のワークショップがニュージーランドで開かれた際に現地の研究所でレーザー光のフリンジを利用して光軸を調整する方法を伝授してもらった。帰国後12月にこの方法で調整を試してみたところ、非対称性はほぼなくなった。ただし、このときには焦点距離の調整までは行っていないので、分解能がまた悪くなった。その後、2005年度にフリンジによる調整と焦点調整を何度か繰り返したが、双方を同時に向上させることはできなかった。

その理由として1st Apertureの位置が最適でないことが考えられた。この部分の調整は非常に難しくここまでは全く触っていない部分である。そこで2006年度にドイツ本国から技術者に本格的な調整を依頼した。1st Apertureは光軸の中心かつ前後の放物面鏡の焦点に位置する必要があるが、この調整には無限遠に焦点を合わせた望遠鏡などが必要となる。これらを用意した上でドイツ技術者に調整ポイントを教わりながら4日ほどかけて調整を行い、最終的には今までにないほどの分解能を達成し、対称性もかなり良くすることができた。図1はこの調整を行う前後での装置関数の測定結果である。光学系の調整が完全な場合は、Modulation curve (波数分解能の補正項)が全ての光路差(OPD)に渡って1.0、Phase curve (非対称の補正項)が全ての光路差に渡って0.0となる。調整前の2005年11月9日にはModulation curveが0.7以下になっている部分がありPhase curveも0から大きく外れているところがあるが、調整後の2006年7月1日のものはModulation curveは全ての光路差に渡って0.95以上となり、Phase curveもかなり0に近づいていることがわかる。また、図2のスペクトルをみても調整後の方が吸収線が細くなっていることから分解能が向上していることがわかる。

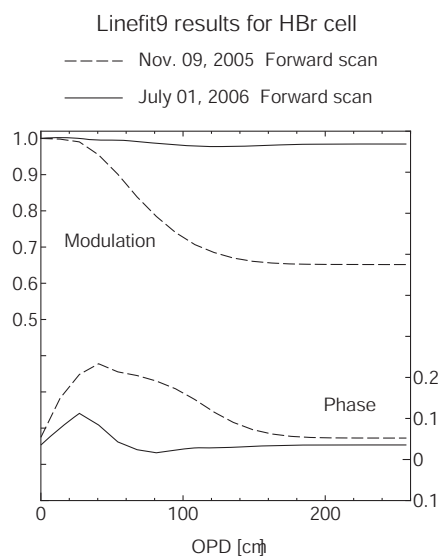


図2 調整前後での装置関数の変化

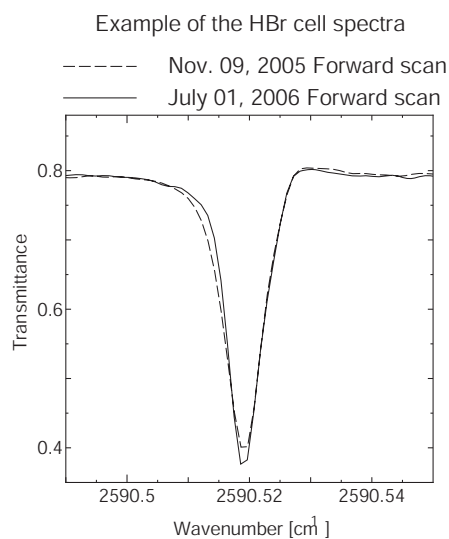


図3 調整前後でのスペクトルの変化

図3と4に調整前後の観測スペクトルからオゾンの高度分布を導出した結果を示す。調整前では高度30km付近に不自然なへこみがみられるが調整後にはそれがなくなっている。オゾンゾンデなどとの比較により検証する必要があるが、高度分布の精度がよくなっていると考えられる。

Tsukuba Ozone retrieval June. 1, 2006

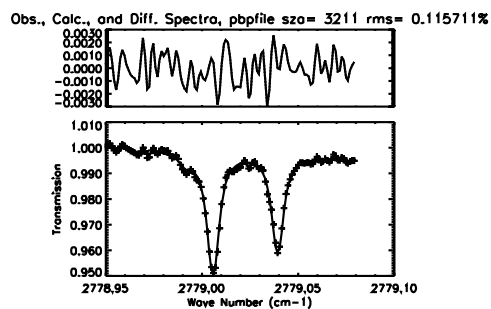


図4 調整前の観測スペクトルからのオゾン高度分布導出結果

Tsukuba Ozone retrieval Oct. 10, 2006

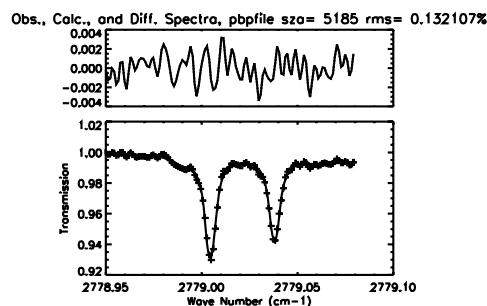


図5 調整後の観測スペクトルからのオゾン高度分布導出結果

次に、全量解析の結果を述べる。図6にHCl全量の経年変動を示す。HClは平均値が約 3.7×10^{15} [cm^{-2}]で、グラフを見ると季節変動の振幅がその25%程度ある。経年変動としては、1999年から2001年にかけてはやや増加しているように見えるが、2003年以降は減少しているようである。フィッティングの結果も、2001年半ば辺りをピークに増加から減少に転じている。スイス・ユングフラウなどの観測でもHClは近年減少はじめており、フロン撤廃による塩素量の減少の現れと考えられる。図6にHF全量の変動を示す。HFは平均値が約 1.1×10^{15} [cm^{-2}]で季節変動の振幅がやはりその25%程度ある。1999年から2002年にかけてはやや増加しているように見え、2003年以降ようやく増加が止まったように見える。フッ素は代替フロンにも含まれるため、HClより減少に転じるのは遅れるのではないかと考えている。実際、HALOEなど他の観測でもHFはまだ減少には転じていないようである。

O_3 全量、 HNO_3 全量には経年変動はほとんど見られなかった。全球的に O_3 は減少傾向にあるが中緯度では $-0.1 \sim -0.7\%/yr$ 程度であり、さらに近年はその減少傾向に歯止めがかかったと言われはじめており、“Ozone Recovery”として注目されつつある。しかし、太陽活動度の影響などオゾンの変動要因は多く、これらを見極めて本当にフロン規制の効果による“Ozone Recovery”が始まったかどうかを確認するには、少なくともあと数年の観測が必要だと言われている。我々も、HClの減少傾向とともにオゾンの変動を継続して注意深く見ていく必要がある。 HNO_3 の経年変動はあまり報告されていないが、ピナツボ噴火等の影響による年々変動はあるものの大きなトレンドはないようである。今回の結果でも増加や減少の傾向は見られず、成層圏における窒素酸化物の

量には大きな変動がないといえる。

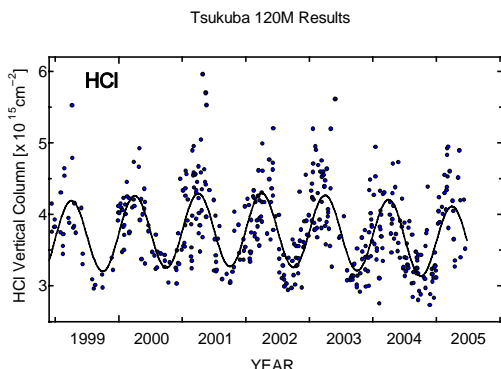


図6 HCl全量の経年変動

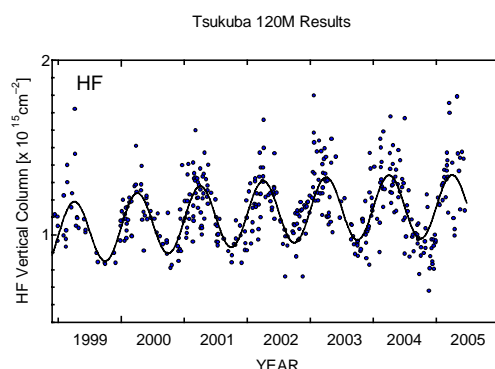


図7 HF全量の経年変動

N_2O , COは主に対流圏に分布し N_2O は温室効果気体、COは燃焼起源やメタン等の酸化により発生し、いずれも人為的発生源の寄与が大きい。図8に N_2O 全量の経年変動を示す。0.86%/year程度の増加が見られるが、これは地上の濃度に換算すると2.8ppb/year程度となり過去の1980年代や1990年代の観測に比べて3倍程度大きい。2000年代に入って増加速度が上がったとの報告もないので、解析上の問題か他の要因か確認する必要がある。図9にCO全量の経年変動を示す。1.0%/year程度の増加が見られるが、日々の変動が大きいのではっきりしたことは言えない。COは寿命が数ヶ月以内と短く、局所的な影響も大きい。経年変化も、1980年代までは増加していたがその後減少に転じたなど、時間や地域によって異なった報告例がある。近年減少に転じた理由としては内燃機関の燃焼効率の変化や熱帯域のバイオマス燃焼の減少、OHの増加などが上げられているが、つくばでの増加傾向が本物であれば近年再び増加傾向にある都市大気汚染やシベリアでの森林火災増加などと関連があるのか調べる必要がある。

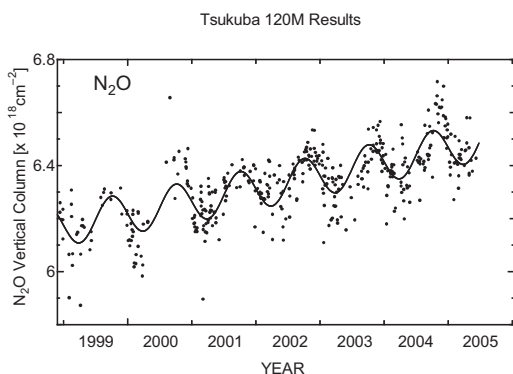


図8 N_2O の経年変化

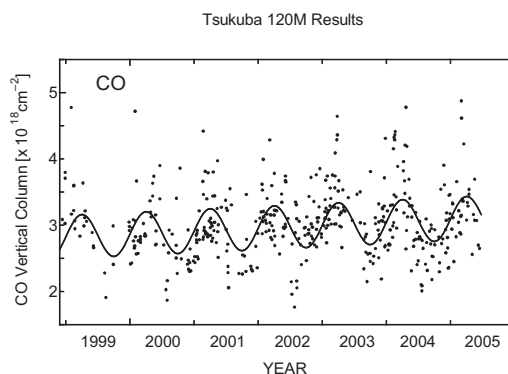


図9 COの経年変化

(3) 衛星データ検証のためのGPS掩蔽衛星観測による気温観測

GPS電波の位相・振幅などの基礎データを入手し、温度プロファイルの最高高度を延長すべく改良した解析アルゴリズムを用いて気温プロファイルを求めた。従来の定常解析では35kmであった上限高度を約50-60kmまで延長した。この解析結果を、NICTがアラスカ大と共同で運用しているPoker Flatのレイラーライダー、およびインドの宇宙機関ISRO・NARLがGadanki MSTレーダー観測所(13.5N, 79.2E)で運用しているレイラーライダーなどによる気温測定などと比較した。成

層圏上部（高度30-50km）において、大気波動に伴うと思われる振動的な温度変動による差異が認められるものの、全体的なバイアスは比較的小さく（約5K以下）、気温導出の上限高度を50kmまで拡大できることが分かった（Aoyama et al., 2007）¹⁰⁾。なお、50-55kmでは偏差が10K以上になる場合があるが、この高度で卓越する電離層遅延の補正が不十分で大気遅延を導出できないからで、GPS掩蔽による気温導出の高度限界を示唆している。

CHAMP衛星のGPS掩蔽データ数は、初期(2001年12月まで)は約2,500/月だったが、2002年以降は約4,000-4,500/月のデータが安定して取得されている。我々は、2001年5月以降の全データを入手し、対流圏・成層圏の平均温度構造、波動による温度擾乱(赤道ケルビン波、プラネタリ波、大気重力波など)、対流圏界面の変動などの特性を科学的に解釈する研究を進めた。GPS掩蔽の大きな特徴である優れた高度分解能を活用して、低緯度域の対流圏界面の微細構造を解析した。例えば、Cold Point Tropopause の高度が赤道上で必ずしも最高にならず、中緯度(約30度)に向けてわずかに高くなる場合があることを発見した(Ratnam et al., 2005)¹²⁾。

CHAMP衛星が準極軌道(87.3度)であるため、高緯度域でデータ密度が高いという利点を活かして、極域において、大気重力波に起因する中規模温度変動の特性を研究した。まず、2002年9-10月に南極周辺で起こった大規模な突然昇温に伴う大気重力波のエネルギー分布の事例解析を行った(Ratnam et al., 2004)¹³⁾。さらに、この研究を発展させて、極域における大気重力波の活動度の気候学的特性を研究した。なお、極域における大気重力波の研究はラジオゾンデ観測データを用いて行われたが、観測点が限定されているため、特に空間分布特性は未解明な部分が多い。GPS掩蔽データは高度分解能がよく、大気重力波エネルギー(potential energy: E_p)を知るのに適している。

この研究では、一定の経度・緯度範囲($20^\circ \times 10^\circ$)で得られたGPS掩蔽データを用いて平均気温プロファイルを定義し、それを個々の掩蔽プロファイルから差し引いて気温変動成分(T')を抽出した。ただし、この段階ではプラネタリ波などによる鉛直方向に比較的長い特性波長を持った気温変動も含みうる中小規模の温度変動を取り出すため、気温変動分を高度方向にフーリエ変換し、波長7km以下の成分のみ抽出して逆変換したものを T' とした。この気温変動分(T')について成層圏下部の高度12-19km、19-26km、26-33kmにおいて二乗平均値(分散)を計算し、最終的に $E_p = 1/2(g/N^2)^2(T')^2$ を大気波動によるエネルギーとして求めた(ここで、 g [m/s²]は重力加速度、 N [rad/s]はブラントヴァイサラ振動数である)。2001年5月から2005年12月について、1ヶ月毎に E_p を平均し、その E_p の年周変化を調べた(Hei et al., 2007)¹³⁾。

北極域における大気重力波の活動度の気候学的特性を調べるために、図10に2001年5月-2005年12月について E_p の月変化を関係する他のパラメータと比較して示している。一般に冬季に E_p が最大となる明確な年周変化があり、背景風、プラネタリ波の活動などと相関が認められる。とりわけ、EPフラックスとは同時性および強弱関係も含めて良い相関がある。

一方、南極域における同様の比較を図 1 1 に示す。やはり冬季にEpが大きくなるものの、Epの最大は春季に起こっている。つまり、背景風（極夜ジェット）が急速に減衰する9-10月にEpが急増しており、南北極で大気重力波の振舞いが異なっている。なお、南極域における気球観測による解析では10月にEpが大きくなるのが既に報告されており (Yoshiki and Sato, 2000)¹⁴⁾、この傾向が衛星による広域観測でも検証された。一方、ケーススタディとして既に報告したように

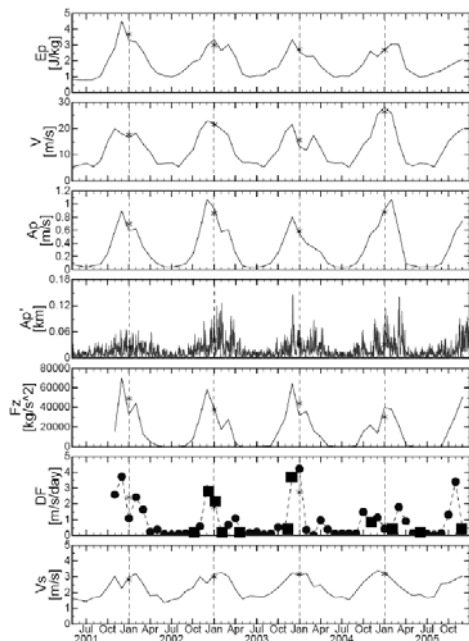


図 1 0 2001年5月-2005年12月の北極域の帯状平均した各種パラメータの月変化。上から順に、緯度50-80Nで高度12-33kmのEp、緯度50-80Nで250-7 hPa における東西平均風、50-60Nで10hPaでのプラネタリ波の振幅、同じくその変動分 A_p' 、50-80 Nで10hPaでのE-Pフラックス F_z 、およびそのdivergence ΔF 。hPa (●が負、■が正の値)、さらに50-80Nでの地表風速。アスタリスクは冬季(12, 1, 2月)の平均値を示す。

(Ratnam et al., 2004)¹²⁾、2002年9-10月には南極域で成層圏の突然昇温に伴う温度擾乱が起こったが、この現象を平年の傾向と比較すると、Epの増大が平年の傾向よりは1ヶ月早く、かつより大きなエネルギーを示していたことが分かる。

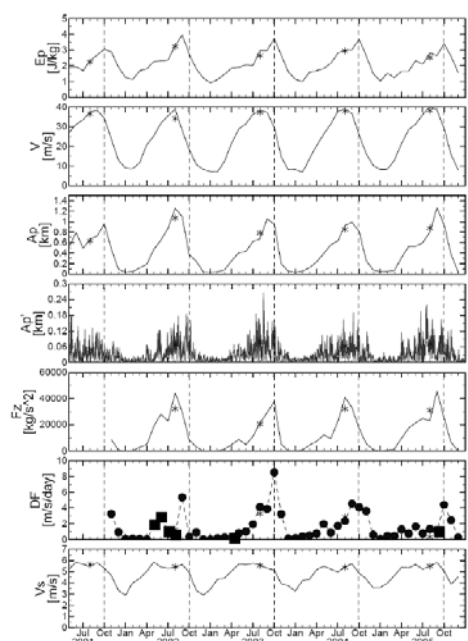


図 1 1 南極域における解析結果。図示したパラメータは図 1 0 と同じ。ただし、アスタリスクは7-9月の平均値

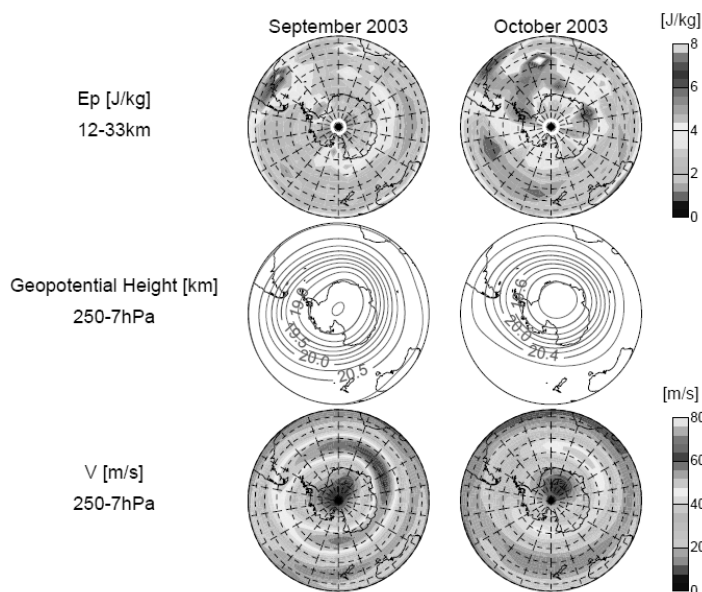


図1.2 2003年9月(左)と10月(右)における、高度12-33kmでのEp(上)、geopotential height(中)、250-7hPaの背景風(下)を示す。

図1.2に南極周辺におけるEpの水平分布を2003年の9、10月について、背景場と比較して示している。極渦の水平構造とEpの分布に明らかな相関がある。

この研究により、極域成層圏における温度擾乱の気候学的特性を明らかにすることができ、極域の重力波は地衡風調節、プラネタリー波の砕波、および極渦の崩壊と関連することが分かった。さらに、北極と南極では波動エネルギーの季節変化に相違が認められ、その卓越する生成機構も異なることが示唆された。

(4) 極域成層圏エアロゾル・極成層圏雲の粒径分布変動の気球観測

1) 2002/03、2003/04、2005年秋季の比較：安定したバックグランドエアロゾル層と光学特性

この2シーズンは、微小粒形の粒径分布を計測できるLPCによる観測を実施し、後方散乱特性と直接観測による粒径分布観測結果の詳細な比較をおこなった(図1.3)。OPCに加えてLPCによる観測を実施することで、特に18km以上の高度域でライダーの観測結果との整合性が向上している。微小粒形の粒子の散乱が全体の散乱特性に対して支配的になっていることを示唆している。

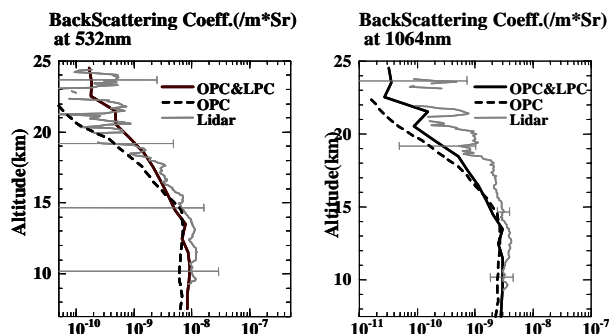


図1.3 2003年1月18、19日のOPC/LPC観測結果による粒径分布から得た後方散乱係数とライダーによる後方散乱係数の比較

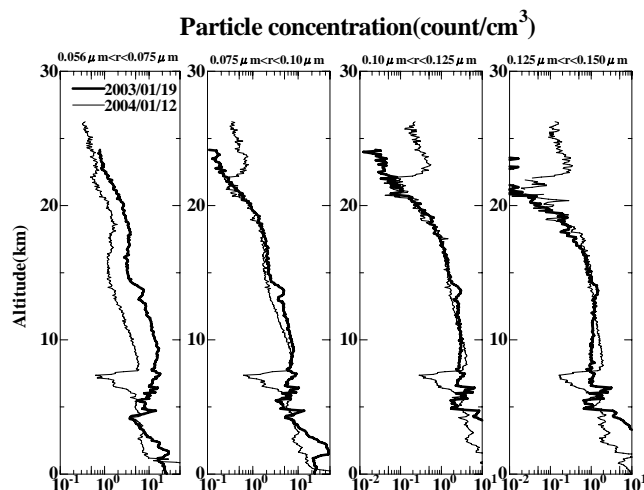


図 1 4 LPCによる0.056～0.15 μ mの粒径領域の粒子数濃度の比較。0.056～0.075 μ mの区分における不一致は、2004年の観測装置の敷居電圧設定における誤差と整合性がある。

2003年1月19日および2004年1月12日に実施したLPC観測結果の粒径毎の粒子濃度の鉛直分布を図14に示す。2回の観測において粒径分布、濃度が15～22kmの高度域でほぼ一致している。

15km以下の領域は、比較的空間変動の大きい領域であることがわかっている。また、22km以上の領域の不一致については、2003年は極渦内の領域を観測していたが、温度等の比較により2004年は極渦外部の空気の流入が起きていたことによるものと考えられる。以上の結果により、極渦内部では15～22kmの領域の粒径分布、濃度は経年的に安定した状態にあったと考えられる。

2) 2003/04 : 成因不明の下部成層圏エアロゾル層の出現

2003年には、ライダーによる観測で高度30kmより高い領域に散乱比・偏光解消度の増大層が見られた。この領域の気温はPSCsの形成を示唆するほど低下しておらず、PSCs以外の幾何学的な厚みが数km程度の非球形粒子を含むエアロゾル層が形成されることがあることを示している。

3) 2004/05のPSCs : OPC観測とライダー観測の光学特性の不一致

2004/05冬季の観測においては、PSCsの0.15mm以上の粒径分布とライダーによる広報散乱特性の観測を観測に成功した。高度18km以下のバックランドエアロゾル層においては、前年までの観測同様、両者はよく一致したが、PSCsが出現している19～23kmの領域においては、大きく異なっている。この原因としては、a)時空間的に変動が大きい、b)屈折率・形状を仮定した計測、後方散乱係数計算に不合理な点がある、c)微小粒径の推定誤差が大きい、等の原因が考えられる。しかし、ライダー観測結果による

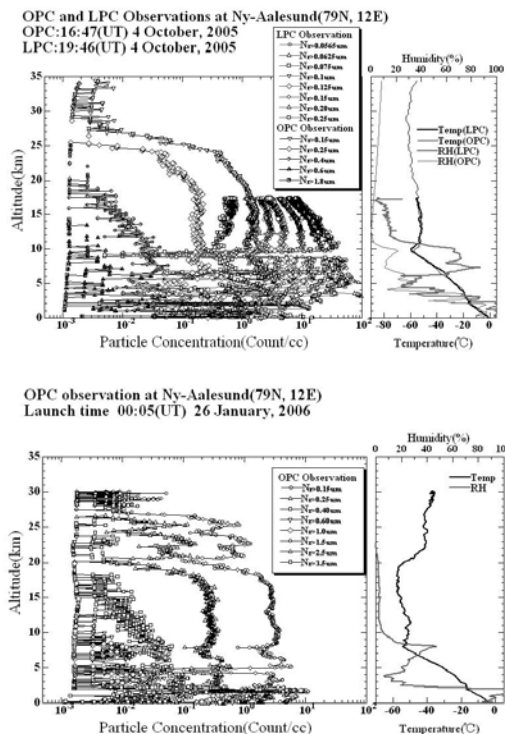


図 1 5 ニーオーレスン上空の2005/10/4および2006/1/26のエアロゾル鉛直分布

PSCsの時空間的な変動は、観測結果の違いほど大きくはない。また、解析的に球形粒子と非球形粒子の後方散乱係数の分離をしたところ、球形粒子の後方散乱成分においてOPCの結果と大きな違いが見られたが、屈折率等の違いでは説明ができなかった。今後、微小粒径の粒子濃度の影響を検討するために、2005/06冬季にOPC/LPC/ライダーの同時観測を実施することを計画している。

4) 秋季・冬季比較観測 (2005年10月4日、2006年1月26日)

極渦が形成され、成層圏の気温が低下を始める初期の頃に相当する10月にLPCおよびOPCによる観測を実施した。LPCは高度17kmで気球バーストにより観測が中断されたが、OPCは高度30kmまでの観測に成功した。この結果、秋季の高度17kmまでの0.056~3.6 μ mの粒径分布の鉛直構造を得ることができた(図15上)。

これらの観測結果からライダー、人工衛星等によって観測される後方散乱係数、消散係数は、OPCで観測される粒径分布から推定されるものと概ね一致することが示された。

5) 極渦内外のエアロゾル交換

2005/06年冬季の観測は、06年1月の極渦が不安定化する時期に実施された(図15下)。下層には極渦内のPSCsを経験した空気層、上層には極渦外部の空気の流入に伴うエアロゾル層がみられた。上層のエアロゾル層は、2km程度のsub-layerからなる24km付近を中心とした20kmから26kmに渡る層であった。この構造は、2004年1月13日のLPC観測において見られた、30kmより高高度から層形成が見られ、境界部に数100mの微細層が形成されている層とは大きく異なっていた。

6) エアロゾル量の経年変動

南極昭和基地では1997年から2005年にかけて放球された48発のOPCゾンデデータからは、1991年のピナツボ火山噴火の成層圏エアロゾル濃度に対する影響は、0.15 μ m程度の微小粒子濃度では、1997年には定常状態に復帰していたが、0.4 μ m程度の粒子濃度では2000年頃まで擾乱が残存しており、2000年以降はバックグラウンド的な成層圏の状態にあることを示した。

一方、Ny-Aalesundにおける観測では、2003年からのエアロゾル粒径分布の変動からは、概ね大きな変動は見られないものの、2005年10月のLPC観測において、0.1 μ m程度の粒子濃度が2003年、2004年の観測結果より数10%大きくなっていることが示された。この変動は、可視領域の消散係数変動にも見られる可能性があるとともに、新粒子形成の可能性を示すものであり、その濃度増大の原因が成層圏エアロゾル循環の視点からは、興味を持たれる現象である。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

1) 地上FTIR観測を用いた大気微量成分の比較・検証、および解析手法の高度化

近年、オゾン層破壊現象や温暖化現象などの人為的起源の物質が地球大気に及ぼす影響が深刻な問題となっている。これらの問題においては今後の将来予測とその精度が常に議論となる。特に予測精度は、政策上、非常に重要なことである。本研究はそれに対して、オゾン、温度など基本的な大気物理量に対し、観測精度を明らかにしたものである。観測「精度」を正しく理解することにより、将来予測精度への貢献が期待できる。

2) 地上FTIR観測の装置誤差調査および改善手法の研究

大気微量成分の高度分布導出に重要な分光器の光軸調整を行い、装置関数を大幅に改善できたこと、およびこれにより高度分布導出精度が向上したことを解析結果から確認した。また、つく

ばの観測結果からHCl, HF, O₃, HNO₃, N₂O, CO全量の過去6年半の変動を調べた。これよりフロン撤廃の効果がHCl, HF全量に見え始めたことが示された。

3) 衛星データ検証のためのGPS掩蔽衛星観測による気温観測

GPS掩蔽観測で得られる高品質の成層圏気温データをILAS-II気温プロファイルの検証に用いるため、CHAMP衛星によるGPS掩蔽データの蓄積と整理、気温データ検証解析などを行った。従来の処理法では高度35 km以上で温度推定に誤差が含まれるため、新たな解析法を開発し、他の観測結果との比較・検証を行った。またこの研究により、極域成層圏における温度擾乱の気候学的特性を明らかにすることができ、極域の重力波は地衡風調節、プラネタリー波の砕波、および極渦の崩壊と関連することが分かった。さらに、北極と南極では波動エネルギーの季節変化に相違が認められ、その卓越する生成機構も異なることが示唆された。

4) 極域成層圏エアロゾル・極成層圏雲の粒径分布変動の気球観測

気球搭載粒子計数装置とライダーによる光学特性の比較結果は、ILASおよびILAS-IIのエアロゾルの基本情報として利用されている可視領域の光学特性の評価のためには、バックグラウンドエアロゾルの可視領域の光学特性の評価には、半径0.056・μmからの粒径領域の粒径分布を正確に把握することが必要であること、また、この粒径領域の濃度、粒径分布は、2003年以降経年的に安定していることを示した。また、極成層圏雲の光学特性の評価にも、同様の微小粒子にいたる粒径領域までの光学特性の把握が必要である可能性を示した。これらの結果は、ILAS等の可視域衛星データの解釈にあたっては、0.15・μm以下の粒径領域のエアロゾル変動を考慮する必要性を示しており、経年変動を含む衛星によるエアロゾル観測結果のデータ検討に資するものである。

一方で、検討すべき粒径領域と考えられる0.056μmまでの粒径領域の濃度、粒径分布が長期的には安定しているものの季節的あるいはエピソード的に新粒子形成に伴う変動があること、極渦の崩壊に伴うエアロゾル交換現象にいくつかのパターンがあること、大規模火山噴火の影響は、10年近くも成層圏エアロゾル粒径分布に残存することなどが示唆されており、ILAS、ILAS-II等のエアロゾル観測結果の経年的、季節的なデータ比較に資するものであると考えられる。

(2) 地球環境政策への貢献

HCl、HFの観測結果からフロン撤廃の効果が成層圏大気中に現れ始めたことが示唆された。これはこれまでのオゾン破壊対策がよい方向に進んでいることを示すが、同時に今後このまま減少しつづけるのか、また実際にオゾンも回復に向かうのかを今後よりいっそう監視する必要があることを示している。

エアロゾルの気球観測については、今後、学会発表、研究会発表等を通じ、本研究で得られている粒径領域のエアロゾル観測の重要性についての知見の普及に努め、該当粒径の計測装置開発の促進、気象庁等の観測における採用等の働きかけに努めていく。

6. 引用文献

- 1) Pougatchev, N. S., B. J. Conner, N. B. Jones, and C. R. Rinsland (1996), Validation of ozone profile retrievals from infrared ground-based solar spectra, *Geophys. Res. Lett.*, 23(13), 1637-1640.
- 2) Rinsland, C. R., A. Goldman, B. J. Conner, T. M. Stephen, N. B. Jones, S. W. Wood, F.

- J. Murcray, S. J. David, R. D. Blatherwick, R. Zander, E. Mahieu, and P. Demoulin (2000), Correlation relationship of stratospheric molecular constituents from high spectral resolution, ground-based infrared solar absorption spectra, *J. Geophys. Res.*, *105*(D11), 14637-14652.
- 3) Rodgers, C. O. (2000), *Inverse methods for atmospheric sounding: Theory and practice*, World Scientific.
 - 4) Barret, B., M. D. Mazie`re, and P. Demoulin (2002), Retrieval and characterization of ozone profiles from solar infrared spectra at the Jungfrauoch, *J. Geophys. Res.*, *107*(D24), 4788, doi: 10.1029/2001JD001298.
 - 5) Barret, B., M. D. Mazie`re, and P. Demoulin (2003), Correction to "Retrieval and characterization of ozone profiles from solar infrared spectra at the Jungfrauoch", *J. Geophys. Res.*, *108*(D12), 4372, doi: 10.1029/2003JD003809.
 - 6) Rinsland, C. R., A. Goldman, B. J. Conner, T. M. Stephen, N. B. Jones, S. W. Wood, F. J. Murcray, S. J. David, R. D. Blatherwick, R. Zander, E. Mahieu, and P. Demoulin (2000), Correlation relationship of stratospheric molecular constituents from high spectral resolution, ground-based infrared solar absorption spectra, *J. Geophys. Res.*, *105*(D11), 14637-14652.
 - 7) Schneider, M., Blumenstock, T., Chipperfield, M. P., Hase, F., Kouker, W., Reddmann, T., Ruhnke, R., Cuevas, E., and Fisher, H.: Subtropical trace gas profiles determined by ground-based FTIR spectroscopy at Izana (28N, 16W): Five-year record, error analysis, and comparison with 3-D CTMs, *Atmos. Chem. Phys.*, *5*, 153-167, 2005
 - 8) Schneider, M., Blumenstock, T., Hase, F., Hopfner, M., Cuevas, E., Redondas, A., and Sancho, J. M.: Ozone profiles and total column amounts derived at Izana, Tenerife Island, from FTIR solar absorption spectra, and its validation by an inter-comparison to ECC-sonde and Brewer spectrometer measurements, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, *91*, 245-274, 2005
 - 9) Wood, S. W., Batchelor, R. L., Goldman, A., Rinsland, C. R., Connor, B. J., Murcray, F. J., Stephen, T. M., and Heuff, D. N.: Ground-based nitric acid measurements at Arrival Height, Antarctica, using solar and lunar Fourier transform infrared observations, *J. Geophys. Res.*, *109* (D18307), doi:10.1029/2004JD004665, 2004
 - 10) Y. Aoyama, A. Minamikawa, T. Tsuda, K. Sakanoi, Y. Murayama, K. Mizutani, and R. L. Collins, Comparison in temperature profiles between Rayleigh lidar and CHAMP-GPS, occultation around Alaska, submitted to *Annales Geophysicae*, 2007.
 - 11) M. Venkat Ratnam, T. Tsuda, M. Shiotani, and M. Fujiwara, New Characteristics of the Tropical Tropopause Revealed by CHAMP/GPS Measurements, *SOLA*, **2005**, Vol. 1, 185-188, doi: 10.2151/sola. 2005-048.
 - 12) M. V. Ratnam, T. Tsuda, C. Jacobi, and Y. Aoyama: *Geophys. Res. Lett.*, *31*, doi:10.1029/2004GL019789 (2004), "Enhancement of gravity wave activity observed during a major Southern Hemisphere stratospheric warming by CHAMP/GPS measurements"

- 13) H. Hei, T. Tsuda and T. Hirooka, Characteristics of atmospheric gravity wave activity in the polar regions, submitted to *J. Geophys. Res.*, 2007.
- 14) M. Yoshiki and K. Sato, A Statistical study of gravity waves in the polar regions based on operational radiosonde data, *J. Geophys. Res.*, 105, 17995-18011, 2000

7. 国際共同研究等の状況

計画名：地球環境のための高度電磁は利用技術に関する国際共同研究（アラスカ大学等との北極域中層大気環境に関する国際共同研究；通称「アラスカ・プロジェクト」）

カウンターパート：Roger Smith、アラスカ大学地球物理研究所所長、他、7名（同大学内研究者）

参加・連携状況：情報通信研究機構からは10種類の成層圏・中間圏・熱圏・オーロラなどを観測する装置を開発し、アラスカ現地での実験運用、データのリアルタイム取得・公開を行っている (<http://salmon.nict.go.jp>)。本計画において共同研究を行ってきた主な機関は以下の通り：Univ. of Alaskaのほか、Univ. of Denver、Cornell Univ.、Univ. of Colorado (米)、Univ. of Adelaide、Univ. of Wollongong (豪)、国立極地研究所、東北大学大学院理学研究科・環境科学研究科、名古屋大学太陽地球環境研究所、東京大学気候システム研究センター（日）ほか。

（なお、総務省による本計画の開発予算は2005年度末をもって終了している。）

国際的位置付け：本計画は、日米科技協定にもとづき郵政省通信総合研究所(当時)とアラスカ大学間で開始された。国際的な学術委員会での了承は経ていないが、成層圏科学から超高層物理学まで広い研究領域で貴重な観測データを提供し多くの観測結果を生み出してきている。データの重要性は、NDS (Network for Detection of Stratospheric Change)、CEDAR (Coupling, Energetics, and Dynamics of Atmospheric Regions: <http://cedarweb.hao.ucar.edu>) など多くの研究コミュニティにおいて認められている。

計画名：カナダACE衛星検証実験計画

カウンターパート：Prof. Peter Bernath（ウオータールー大学・カナダ、ヨーク大学・イギリス）

参加連携状況：カナダのうちあげた大気化学観測衛星ACE (Atmospheric Chemistry Experiment, SCISAT-1)はACE-FTS (PI: Peter Bernath)、MAESTRO (Tom McElroy)、といった大気組成・エアロゾル観測装置が搭載されている。特にACE-FTSはFTIR分光器であるため、これの地上検証実験に、同種測器でありまたILAS-II検証での実績から、アラスカFTIRはその地上検証への寄与を期待されるものである。

計画名：北極エアロゾルと大気環境変動に関する共同研究

協力案件：ノルウェー領スピッツベルゲン諸島Ny-Aalesundにおけるライダーと気球搭載機器によるエアロゾル等の微量成分の観測

カウンターパート：アルフレッドウェーゲナー研究所（ドイツ）ローランド・ノイバー博士、国立極地研究所山内恭教授、名古屋大学大学院環境学研究科柴田隆助教授

連携状況：ライダー観測は、3機関でおこなっている。気球観測は、オゾンゾンデ観測をアルフレッドウェーゲナー研究所、エアロゾル観測を福岡大学が主に担当して共同観測を実施して

いる。特定の研究計画ではなく、長期にわたって文科省科学研究費補助金などによって継続してきた観測である。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり) >

- 1) T. Tsuda, K. Hocke, and H. Takahashi: Occultations for Probing Atmosphere and Climate, edited by G. Kirchengast, U. Foelsche and A. K. Steiner, 345-352, Springer, Germany (2004)
 “Utility of occultations for atmospheric wave activity studies: results of GPS/MET data analysis and future plan”
- 2) A. de la Torre, T. Tsuda, K. Hocke, and A. Giraldez: Occultations for Probing Atmosphere and Climate, edited by G. Kirchengast, U. Foelsche and A. K. Steiner, 353-364, Springer, Germany (2004)
 “Stratospheric gravity wave fluctuations and sporadic E at mid-latitudes with focus on possible effects of the Andes”
- 3) M. V. Ratnam, T. Tsuda, C. Jacobi, and Y. Aoyama: Geophys. Res. Lett., 31, doi:10.1029/2004GL019789 (2004)
 “Enhancement of gravity wave activity observed during a major Southern Hemisphere stratospheric warming by CHAMP/GPS measurements”
- 4) T. Tsuda, M. V. Ratnam, P. T. May, M. J. Alexander, R. A. Vincent, and A. MacKinnon: J. Geophys. Res., 109, doi:10.1029/2004JD004946 (2004)
 “Characteristics of Gravity Waves with Short Vertical Wavelengths Observed with Radiosonde and GPS Occultation during DAWEX (Darwin Area Wave Experiment)”
- 5) Y. Kasai, T. Koshiro, Y. Murayama, M. Endo, N. B. Jones, F. J. Murcray: *Adv. Space. Res.*, 35, pp.2024-2030 (2005)
 “Ground-based measurement of carbon monoxide in the upper stratosphere and mesosphere by FTIR at Poler Flat, Alaska”
- 6) M. Venkat Ratnam, T. Tsuda, M. Shiotani, and M. Fujiwara: *SOLA*, Vol. 1, 185-188, doi: 10.2151/sola. 2005-048 (2005)
 “New Characteristics of the Tropical Tropopause Revealed by CHAMP/GPS Measurements”
- 7) A. Kagawa, Y. Kasai, N. Jones, and Y. Murayama: *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion*, 6, 10299- 10339, (2006):
 “Characteristics and error estimations of stratospheric ozone and ozone-related species over Poker Flat (65N, 147W), Alaska observed by a ground-based FTIR spectrometer from 2001 to 2003”
- 8) Miho Yamamori, Akiko Kagawa, Yasuko Kasai, Kohei Mizutani, Yasuhiro Murayama, Takafumi Sugita, Hitoshi Irie, Hideaki Nakajima: J. Geophys. Res., Vol. 111, No. D11, D11S08 10.1029/2005JD006438 (2006)

“Validation of ILAS-II version 1.4 O₃, HNO₃, and temperature data through comparison with ozonesonde, ground-based FTS, and lidar measurements in Alaska”

- 9) Voltaire Velazco, Stephen W. Wood, Miriam Sinnhuber, Isabell Kramer, Nicholas B. Jones, Yasuko Kasai, Justus Notholt, Thorsten Warneke, Thomas Blumenstock, Frank Hase, Frank J. Murcray and Otto Schrems: Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, 7, 1-8, (2007)

” Annual variation and global distribution of strato-mesospheric carbon monoxide measured by ground-based Fourier transform infrared spectrometry”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) Murata, I., H. Nakane, H. Nakajima, and H. Fukunishi: Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium, 585-586 (2004)

“Validation of the ozone profile derived from ground-based infrared spectra with SFIT2 by comparing with ozonesonde measurements”

- 2) 村田 功、中島英彰、中根 英昭、福西 浩：第15回大気化学シンポジウム研究集会講演集、p308、名古屋大学太陽地球環境研究所（2005）

「FT-IR観測によるつくばでのオゾンおよび関連成分の変動」

- 3) Murata, I., H. Nakajima, H. Nakane, and H. Fukunishi: Proceedings of the 6th International Conference on Global Change: Connection to the Arctic, 59-62 (2005)

“Temporal variations of HCl, HF, O₃, and HNO₃ observed at Tsukuba with Fourier transform spectrometer”

- 4) 村田 功、中島英彰、福西 浩：第16回大気化学シンポジウム研究集会講演集、p251-254、名古屋大学太陽地球環境研究所（2006）

「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」

- 5) Murata, I., H. Nakajima, and H. Fukunishi: Proceedings of the 7th International Conference on Global Change: Connection to the Arctic, 308-310(2007)

“Adjustment of optics for the height retrieval from ground-based solar spectra”

- 6) 村田 功、中島 英彰、福西 浩：第17回大気化学シンポジウム研究集会講演集、50-51(2007)

「地上分光観測からの高度分布導出のための光学系の改善とその効果」

- 7) M. Hayashi: Fukuoka University Science Reports, 37, 1, 139-142(2007)

“Study of vertical structure of arctic aerosol and exchange between stratosphere and troposphere”

- 8) M. Hayashi, K. Shiraishi, M. Fujiwara and T. Shibata: Proceedings of the 7th International Conference on Global Change (2007)

“Balloon borne measurement” (in press)

(2) 口頭発表（学会）

- 1) Y. Kasai, A. Kagawa, Y. Murayama, F. Murcray: ADEOS-II PI workshop, Tokyo (2004)

“Stratospheric ozone and ozone-related species observed by FTIR spectrometer over

- Poker Flat (65° N, 147° W), Alaska”
- 2) A. Kagawa, Y. Kasai, Y. Murayama, F. J. Murcray: Quadrennial Ozone Symposium, Greece (2004)
 “Seasonal variations of stratospheric ozone and ozone-related species observed by ground-based infrared spectrometer over Poker Flat (65N, 147W)”
 - 3) M. Yamamori, A. Kagawa, Y. Kasai, Y. Murayama, T. Sugita, H. Irie, H. Nakajima: The 8th ILAS-II Science Team Meeting, Seoul (2004)
 ” Validation of ILAS-II measurements with coincident measurements by ground-based FTS observations on Poker Flat, Alaska”
 - 4) 村田 功、中根 英昭、福西 浩：第10回大気化学討論会、東京（2004）
 「フーリエ変換型分光計を用いた大気微量成分高度分布観測における装置関数補正」
 - 5) I. Murata and H. Nakajima, NDSC Infrared Working Group Meeting, Queenstown, New Zealand, November, (2004)
 Issues with the 120M ILS
 - 6) 津田敏隆：地球惑星科学関連学会合同大会（2004）
 「GPS掩蔽法を用いた地球大気圏観測」
 - 7) T. Tsuda: 2004 Joint AOGS 1st Annual Meeting & 2nd APHW conference, Singapore, Singapore (2004)
 “Peculiar behavior of tropopause observed in tropical and extra tropical latitudes with CHAMP/GPS radio occultation measurements”
 - 8) 南川敦宣、津田敏隆、青山雄一、村山泰啓：気象学会秋季大会（2004）
 「GPS掩蔽データ解析における偏角補正法の改良」
 - 9) 香川晶子、笠井康子、村山泰啓：地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会（2005）
 「アラスカ・ポーカーフラット上空で 2000 年から観測された成層圏オゾン他大気微量成分の季節変化」
 - 10) 村田 功、中島英彰、中根英昭、福西 浩：地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会（第 117 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会）、千葉（2005）
 「FTIR 観測によるつくばでの HCl, HF, O₃, HNO₃ の変動」
 - 11) 笠井康子、神代剛、村山泰啓：地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会（2005）
 「ポーカーフラット FTIR を用いた成層圏・中間圏 CO の検出」
 - 12) 山森美穂、香川晶子、笠井康子、村山泰啓、柴崎和夫、村田功、宮崎和幸、岩崎俊樹、柴田清孝：気象学会 2005 年度春季大会（2005）
 「夏季北米アラスカにおける対流圏界面直上域のオゾン変動」
 - 13) 山森美穂、香川晶子、笠井康子、村山泰啓、柴崎和夫、村田功、宮崎和幸、岩崎俊樹、柴田清孝：地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会（2005）
 「夏季北米アラスカにおける対流圏界面直上域のオゾン変動」
 - 14) 村田 功、中島英彰、中根英昭、福西 浩：第 11 回大気化学討論会、奈良（2005）
 「FTIR 観測によるつくばでの HCl, HF, O₃, HNO₃ 全量の変動」
 - 15) 村山泰啓、笠井康子、神代剛、ニコラス・ジョーンズ：第 29 回極域宙空圏シンポジウム、

2005年8月5日(2005)

「ポーカーフラットにおける中間圏・成層圏中の一酸化炭素濃度の赤外分光観測」

- 16) 青山雄一、南川敦宣、坂野井和代、津田敏隆、村山泰啓：第118回地球電磁気・地球惑星圏学会、2005年9月28日(2005)
「ライダー観測とGPS掩蔽観測によるアラスカ上空の温度プロファイルの比較」
- 17) 村山泰啓、石井守、久保田実、水谷耕平、笠井康子、アラスカプロジェクト実行グループ：第118回地球電磁気・地球惑星圏学会、2005年9月28日(2005)
「アラスカプロジェクト：これまでと今後」
- 18) 村田 功、中島 英彰、中根 英昭、福西 浩：地球惑星科学関連学会2005年合同大会(第117回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会)(2005)
「FTIR観測によるつくばでのHCl, HF, O₃, HNO₃の変動」
- 19) 村田 功、中島 英彰、中根 英昭、福西 浩：第11回大気化学討論会(2005)
「FTIR観測によるつくばでのHCl, HF, O₃, HNO₃全量の変動」
- 20) I. Murata, H. Nakajima, H. Nakane, and H. Fukunishi: 6th International Conference on Global Change: Connection to the Arctic, Tokyo, December (2005)
”Temporal variations of HCl, HF, O₃, and HNO₃ observed at Tsukuba with Fourier transform spectrometer”
- 21) 笠井康子、香川晶子、ニコラス・ジョーンズ、村山泰啓：第16回大気化学シンポジウム、豊川、2006年1月(2006)
「アラスカ域自由対流圏CO, HCNの季節変動とその要因—シベリア森林火災との相関—」
- 22) 比連崎路夫、須藤健悟、岩尾航希、高橋正明、笠井康子、香川晶子、村山泰啓：第16回大気化学シンポジウム、豊川、2006年1月(2006)
「大気化学モデル(CHASER)を用いたアラスカ上空対流圏COの季節変化の解析」
- 23) 村田 功、中島 英彰、福西 浩：第16回大気化学シンポジウム、豊川(2006)
「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」
- 29) A. Kagawa, Y. Kasai, N. B. Jones, F. Murcray, Y. Murayama: NDSC Infrared Working Group Meeting (2006)
“Error estimations of stratospheric species observed by Poker Flat FTS, NDACC”
- 30) 香川 晶子, 笠井 康子, 村山 泰啓: ACE science meeting (2006)
Comparison of observations from ACE and Poker Flat FTS”
- 31) 香川 晶子, 笠井 康子, N. B. Jones, F. Murcray, 村山 泰啓: NDSC赤外ワーキンググループ(2006)
“Seasonal variations of tropospheric CO, HCN, CH₄, C₂H₂, C₂H₆ over Poker Flat, NDACC”
- 32) 香川 晶子, 笠井 康子, 神代 剛, 村山 泰啓, N. B. Jones: 地球惑星連合大会(2006)
「ポーカーフラット上空における成層圏・中間圏COの検出」
- 33) 比連崎 路夫, 須藤 健悟, 岩尾 航希, 高橋 正明, 笠井 康子, 香川 晶子, 村山 泰啓: 日本気象学会2006年度秋季大会(2006)

- 「大気化学モデル (CHASER) を用いたシベリア森林火災とアラスカ上空対流圏COの増加イベントに関する研究」
- 34) 倉元 菜都子, 香川 晶子, 笠井 康子, 村山 泰啓: 日本気象学会2006年度秋季大会 (2006)
「アラスカ州・ポーカーフラットにおけるメタンの季節変動と年々変動」
- 35) 村田 功, 中島 英彰, 福西 浩: 第16回大気化学シンポジウム(2006)
「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」
- 36) 村田 功, 中根 英昭, 福西 浩: 第12回大気化学討論会(2006)
「FTIR観測によるつくばでのN₂O, CO全量の変動」
- 37) 村田 功, 中島 英彰, 福西 浩: 第120回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会(2006)
「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」
- 38) Y. Aoyama: International Workshop on GPS LEO Radio Occultation (RO) Missions, Uji, Kyoto University, Japan (2006)
“Advanced retrieval software for GPS RO measurements”
- 39) T. Tsuda, H. Hei, M.V. Ratnam, and Y. Aoyama: The Symposium of Arctic Atmosphere Observation 2006, Koganei, Japan (2006)
” Observations of atmospheric waves in the polar regions with GPS occultation”,
- 40) 幣隼人, 津田敏隆: 日本気象学会春季大会 (2006)
「GPS掩蔽データを用いた大気重力波のグローバル分布の研究」
- 41) 幣隼人, 津田敏隆: 日本気象学会秋季大会 (2006)
「GPS掩蔽データを用いた極域の大気重力波のエネルギー分布の研究」
- 42) H. Hei, T. Tsuda: Formosat-3/COSMIC Workshop 2006-Early Results and IOP Campaigns, Nov 28-Dec 1, 2006, Taipei, Taiwan (2006)
” Characteristics of Atmospheric Gravity Wave Activity in the Polar Region Revealed by GPS Occultation “
- 43) 村田 功, 中島 英彰, 福西 浩: 第17回大気化学シンポジウム(2007)
「地上分光観測からの高度分布導出のための光学系の改善とその効果」
- 44) I. Murata, H. Nakajima, and H. Fukunishi: 7th International Conference on Global Change: Connection to the Arctic (2007)
“Adjustment of optics for the height retrieval from ground-based solar spectra “
- 45) 香川 晶子, 笠井 康子, N. B. Jones, 山森 美穂, 村山 泰啓: 第17回大気化学シンポジウム(2007)
「ポーカーフラット上空で観測したO₃, HN₃, HCl, HFの季節変動と誤差評価」
- 46) 照沼 陽子, 香川 晶子, 笠井 康子, 北 和之, 水谷 耕平, 村山 泰啓: 第17回大気化学シンポジウム(2007)
「ポーカーフラットFTIRによる対流圏COの観測」
- 47) M. Hayashi, K. Shiraishi, M. Fujiwara and T. Shibata: The 7th International Conference on Global Change, Fairbanks, USA (2007)
“Balloon borne measurement”

(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）

なし。

(5) マスコミ等への公表・報道等

1) 朝日新聞（2006年3月16日、全国版、社会面）

(6) その他

なし。