

「地球変動のメカニズム」  
平成9年度採択研究代表者

福井 康雄

(名古屋大学大学院理学研究科 教授)

## 「超伝導受信器を用いたオゾン等の大気微量分子の 高度分布測定装置の開発」

### 1. 研究実施の概要

この研究はオゾン及びオゾンの破壊物質である一酸化塩素(CIO)の高度別時間変動を高精度で測定するために低雑音超伝導受信器システムの開発を目的とする。今までに200GHz帯超伝導ミクサー、局部発振電力供給システム、ベースラインの平坦化システム、小型4Kクライオスタット、小型音響光学型分光計等の開発を行ってきた。我々は1999年12月、これらのシステムを南米チリのラスカンパナス天文台に設置した。この装置で200GHz帯大気オゾンスペクトルの観測に成功した。さらに他の分子(CIO等)についても観測を進める予定である。

また、国内設置されている既存のオゾン観測用ミリ波分光計によって得られたオゾン鉛直分布データの変動について解析を行うと共に、CIO高度分布の変動を記述することのできるモデルの開発を行う。

### 2. 研究実施内容

#### 大気微量分子高度分布測定システムの開発グループ

我々はこれまで、200GHz から240GHzの周波数帯域でSIS ミクサの開発を行い、50K (DSB) の雑音温度を達成している。このミクサマウント内にはLO導波管が組み込まれており、LO パワーはSIS素子基板上的RFフィルターを通してSIS 素子に供給される。我々はこのミクサをLO Path Built-in Mixer (LPB ミクサ)と名づけた。LPB ミクサの導入により、従来の方向性結合器やビームスプリッターを用いる方式に比べ、これらの影響による入力信号の挿入損がなく、よりコンパクトな設計と、SIS ミクサへの安定したLO パワーの供給が可能となった。

LO 系の構成は、W-band (86-115GHz) のGunn発振器の出力を2 逓倍する方式をとった。逓倍器は、70GHzの3 逓倍器の導波管をスケールダウンし、チョークを新たに設計して、名古屋大学の装置開発室で製作した。この逓倍器は、バラクタダイオードにウィスカリングをするタイプのものであり、入出力側の導波管にはそれぞれバックショートがついている。実際にLPB ミクサと組み合わせて実験したところ、SIS素子に十分なLO パワーが供給されていることが分かった。さ

らに、サブバックショートをチューニングすることで、サイドバンド比を最高で10dB以上とれることがcomb-generatorを用いた測定で確認された。また、アラン分散最下点までの到達時間はビームスプリッター方式の時よりも2倍以上長く、とても安定したシステムであると言える。これらのシステムを1999年12月、チリのラスカンパナス天文台に移設し、2000年始めより観測を開始した(写真参照)。南米チリは、夏という悪い観測環境であったが、209GHz帯オゾンスペクトルの観測に成功した(図1参照)。強度の弱いCIO等の分子は大気吸収が大きく、今回は観測できなかった。今後、冬期に観測を再開し、再挑戦する予定である。

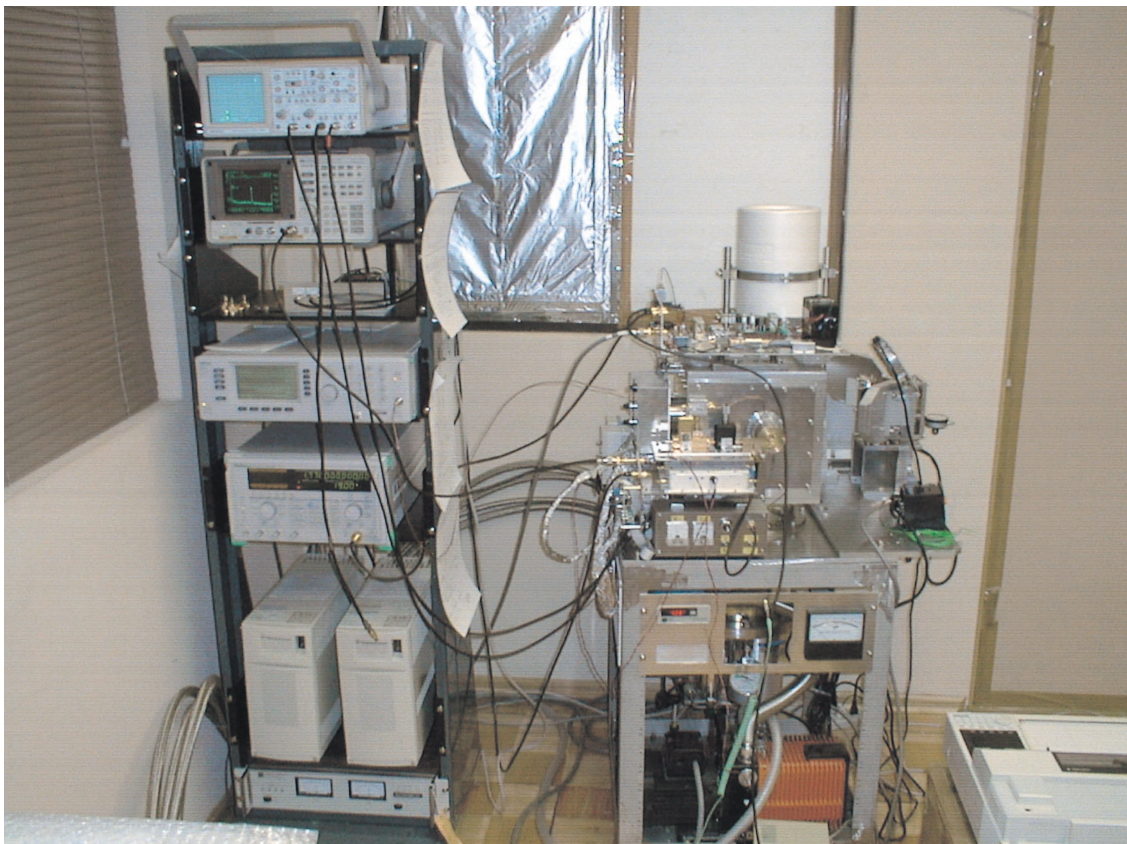


写真 チリラスカンパナス天文台に設置された超伝導受信器を用いたオゾン等の大気微量分子の高度分布測定装置(右側; 本体、左側; 基準信号発生装置等)

03 band spectrum in chile  
 Frequency:208.64GHz  
 BW :250MHz  
 $\tau$  :0.21  
 Int time :20min.  
 DATA :20000115

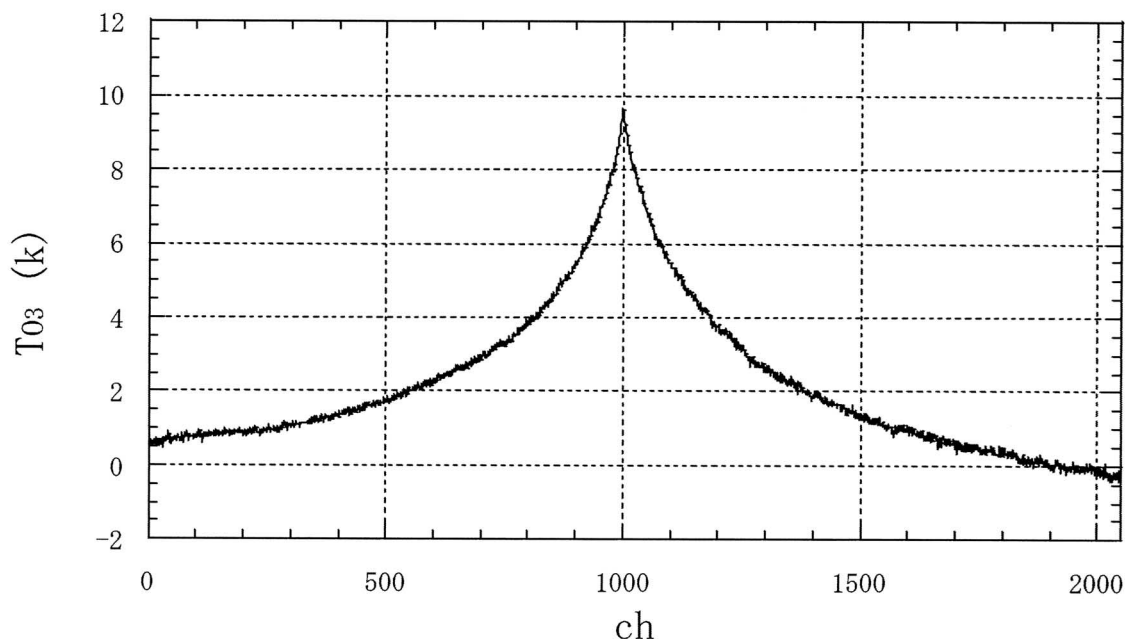


図1 チリラスカンパナス天文台で観測された大気オゾンのミリ波スペクトル  
 オゾンの周波数は 208.64GHz  
 横軸 周波数 (0ch...208.765GHz、1000ch...208.640GHz、2000ch...208.515GHz)  
 縦軸 温度に換算したオゾンスペクトル強度

### ライダー観測グループ

大気中の粒子状物質（エアロゾル）の光散乱と水蒸気および酸素分子のラマン散乱を利用したライダー装置（ラマン散乱ライダーと呼ぶ）を開発すること、またそのライダーによってエアロゾルと湿度を同時観測しエアロゾルの温度特性およびエアロゾルの変質（例えば、硫酸エアロゾルが水蒸気を取り込んで極成層圏雲 PSC に成長するなど）明らかにし、成層圏オゾン層の破壊過程におけるエアロゾルの役割を明らかにすることを目標にしてきた。これまでに、ラマン散乱ライダーの開発は順調に進捗しており、名古屋大学太陽地球環境研究所キャンパス内においてラマン散乱ライダーを運用し、名古屋上空の対流圏中層部の土壌エアロゾルの観測に使用され、春においては中国大陸起源の土壌粒子の寄与が大きいことを明らかにした。

PSCの発生と極成層圏オゾン消失の間には深い関係がある。PSCの濃度、サイ

ズ、表面状態などはオゾン消失反応を規定する重要な要素といわれているがほとんど観測されていないのが現状である。ノルウェーのスピッツベルゲン島にライダーを設置し北極圏成層圏のオゾン消失過程に関わりの深いPSCの観測を行なった。北極におけるエアロゾルの観測結果を解析し、PSCの形成過程を吟味した。

レーザー光を大気中に射出すると、大気中の粒子状物質（エアロゾル）や分子によって散乱する。エアロゾルからの散乱はミー散乱と呼ばれ散乱光を計測することでエアロゾル濃度などを観測することが出来る。分子からのラマン散乱光を検出することが出来れば、分子を区別して観測することが出来る。ここでは、水蒸気および酸素分子（あるいは窒素分子）のラマン散乱を計測して、大気中の水分量（相対湿度）をリモートセンシングするライダー装置（ラマン散乱ライダーと呼ぶ）開発を試みた。

大気中のエアロゾルは相対湿度や気温の変化に応じてエアロゾルの化学的特性を変化させる。例えば、硫酸エアロゾルが水蒸気を取り込んで極成層圏雲に成長するなどは、オゾン層破壊プロセスを左右する大きな要素である。ここでは、このライダーによって対流圏中層部のエアロゾル観測に応用しエアロゾルと湿度の対応を観測した。アジア大陸方向からは常に西風が吹いており、名古屋上空ではアジア大陸起源の土壌粒子がたびたび検出されている。この研究ではエアロゾルの偏光解消とそのエアロゾルが観測された空気の湿度を対応させて、季節に応じて独特の変化があることを明らかにした。これらの資料は、今日多くの関心を持っているエアロゾルの放射強制力を評価する上で貴重な情報となる。

ノルウェーにおいて成層圏エアロゾルのライダー観測を実施し、PSCの特性解析を試みた。PSCは、フロンによるオゾン破壊反応を左右する要因としてひろく知られているが、その影響の強弱がPSCのどのような性質に寄っているのかは未だ明らかではなく種々の仮説が提案されている。北極におけるエアロゾルの観測結果を解析し、PSCが発生している時のPSC高度断面はPSCがいくつもの層によって構成されていることや、それらの層のなかでも液体状のサイズの大きい粒子でつくられている層が主要部を占めていること等が明らかにされ、従来のPSCの形成理論から予想されてなかったものが得られている。PSCのオゾン層破壊反応における影響を評価する上で、このような液体状のPSCが結晶状態のものに比べどのような違いを表面反応において示すのか系統的な検討が必要であろう。

#### オゾン・ClO変動の解析とモデル化グループ

- (1) 陸別宇宙地球科学館（銀河の森天文台）内に設けられた国立環境研究所陸別成層圏総合観測室に設置されたミリ波オゾン分光計によって得られたオゾン鉛直分布データについて解析を行った。特に、高度20 kmのオゾン混合比は、極渦が近づくと増大する変動を示したが、2000年3月25日には極渦が上空を通過

したにも関わらず増大しなかった（図2,3参照）。これは極渦内において、南極オゾンホール内と同様の不均一反応によるオゾン破壊が進行していたことによると見られる。

(2) 三次元的に運動する気塊中の光化学反応を記述するモデル（トラジェクト

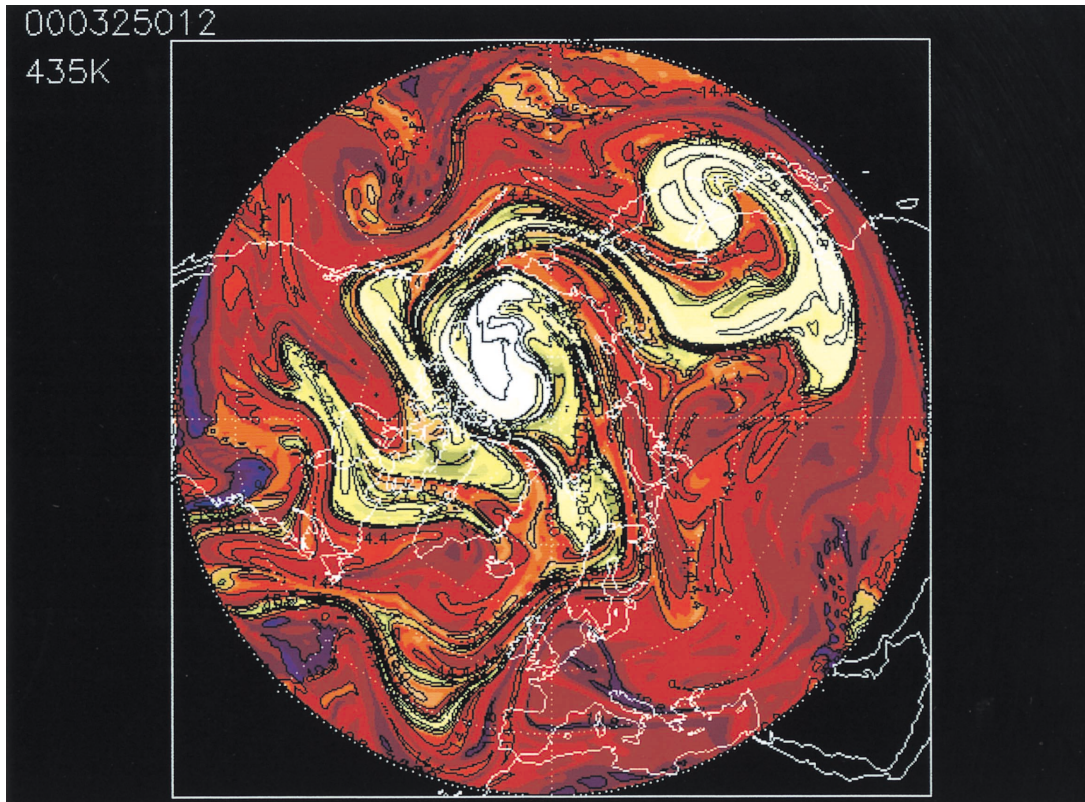


図2 2000年3月25日の渦位分布。渦位の高い部分が極渦内部。北海道上空を極渦が通過している。温位435 Kは高度17 - 18kmに対応。温位はある高度の空気塊を断熱的に地上まで移動したときの温度で、高度に相当する。（フランスCNRS作成）。

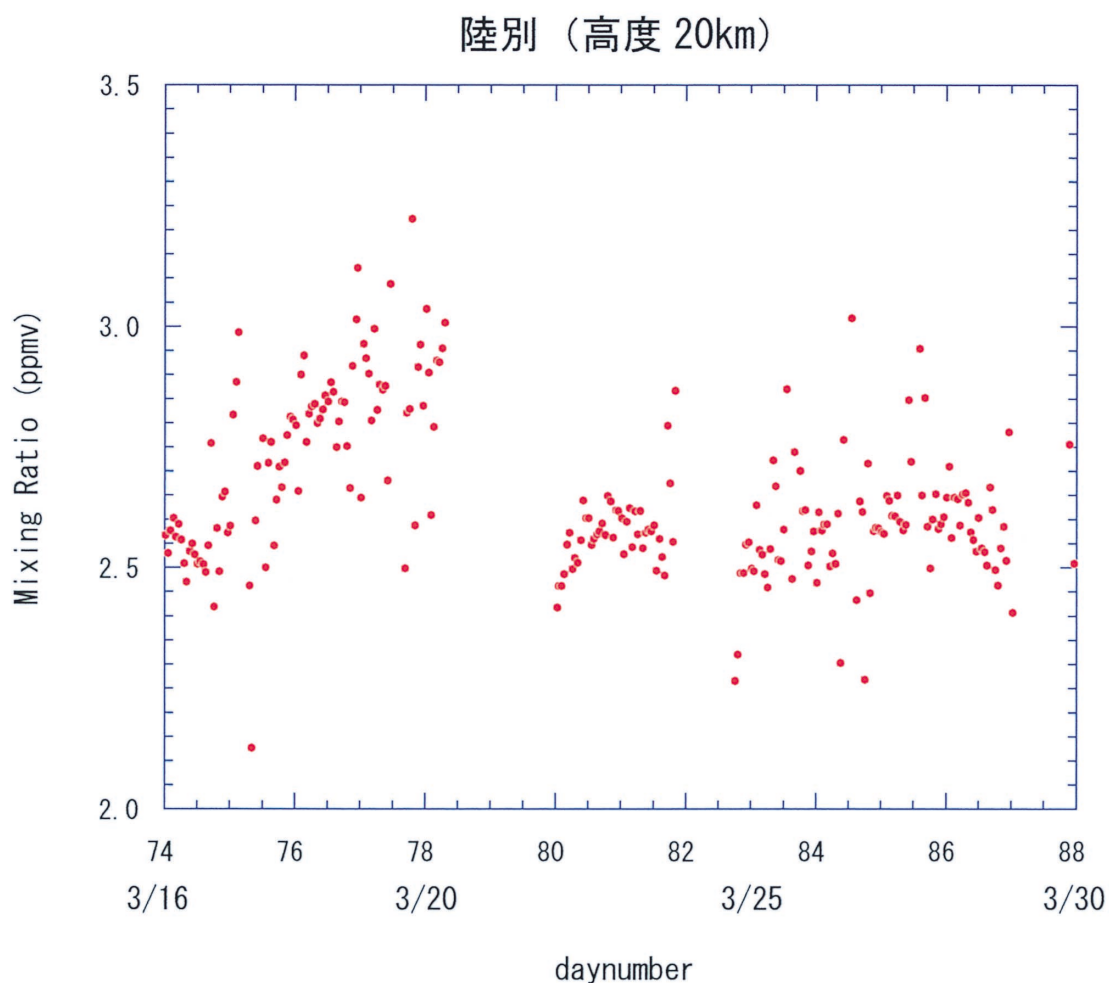


図3 陸別上空20kmのオゾン混合比。高度分解能10km。3月25日には極渦が通過したにも関わらずオゾン濃度が増大していない。

リーボックスモデル)の高度化を行った。改良した点は、

- ① 鉛直方向の運動を取り入れ、極渦内の沈降する気塊中の反応を記述できるようにしたこと、
- ② 渦位分布図上の等渦位線上に等間隔に初期トラジェクトリーを配置することを可能にしたこと、
- ③ 渦位分布のアニメーションを作成し、南極及び北極の極渦の運動及び中緯度との相互作用を可視化できるようにしたこと、

である。特に②と③を合わせることによって、極渦内外の気塊の混合過程が明瞭に把握できるようになった(図4参照)。

さらに、不均一反応について、ライダー観測グループの成果等による新しい

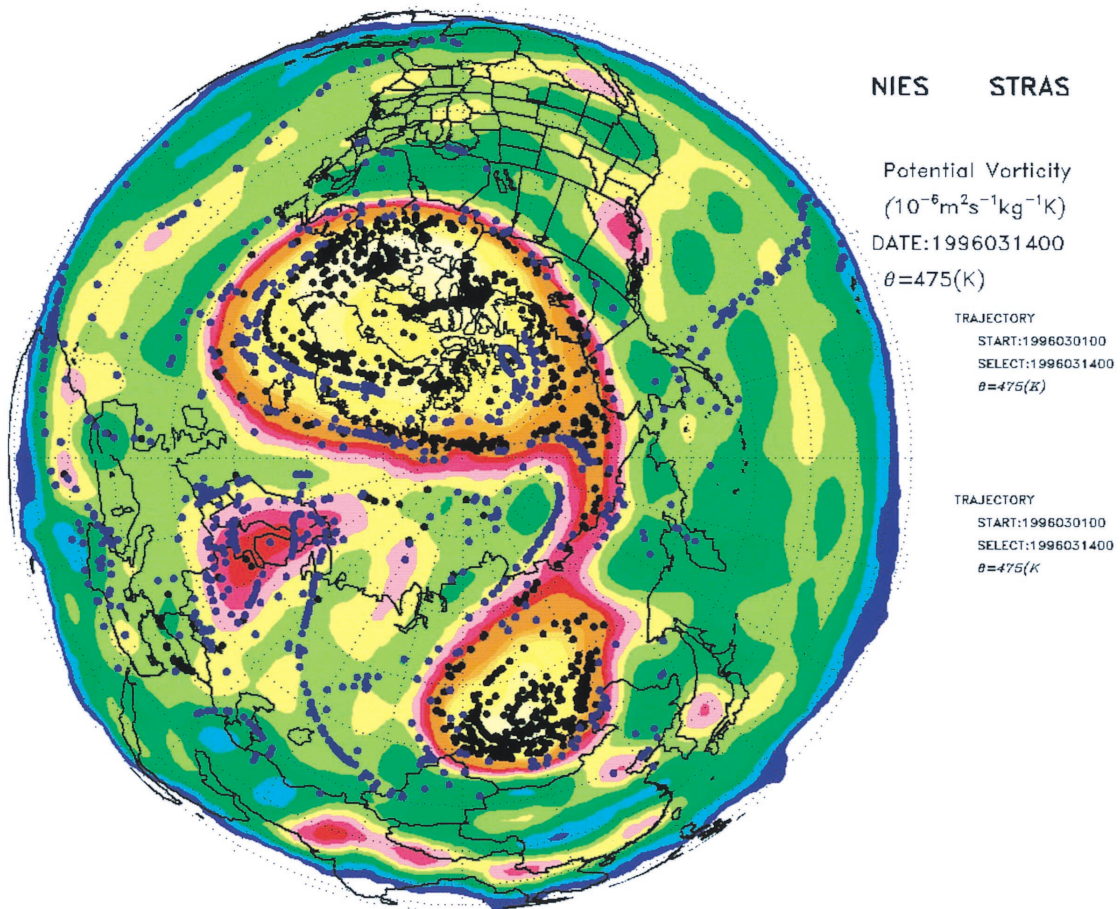


図4 1996年3月14日0時、475 K（高度19km）渦位分布図。青点は極渦の外縁，黒点は極渦内縁を3月1日0時に出発した気塊の位置を示す。

知見を導入し、気温の下降と上昇に伴うエアロゾルから極域成層圏雲の変化が、

- ① 硫酸エアロゾル・硝酸三水和物（NAT）・氷・NAT・硫酸エアロゾル、  
という過程を経るといモデルに加え、
- ② 硫酸エアロゾル・過冷却三成分液的（STS）・氷・STS・硫酸エアロゾル、
- ③ 硫酸エアロゾル・STS・氷・NAT・硫酸エアロゾル、  
という過程についてもモデルに取り込んだ。現在、比較検討を行っている。

### 3. 主な研究成果の発表（論文発表）

Nagahama, T., H. Nakane, Y. Fujinuma, M. Ninomiya, H. Ogawa and Y. Fukui, "Ground-based millimeter-wave observations of ozone in the upper stratosphere and mesosphere over Tsukuba", Earth, Planets and Space, 51, 1287-1296, 1999.

Shibata, T., K. Shiraiishi, H. Adachi, Y. Iwasaka, and M. Fujiwara, "On the lidar-observed sandwich structure of polar stratospheric clouds (PSCs) 1. Implications for the

mixing state of the PSC particles", J. Geophys. Res., 104, 21503-216111, 1999.

Sakai, T., T. Shibata, S. -A. Kwon, Y.-S. Kim, K. Tamura, and Y. Iwasak, "Free tropospheric aerosol backscatter, depolarization ratio, and relative humidity measured with a Raman lidar at Nagoya in 1994-1997: contributions of aerosols from the Asian continent and the Pacific Ocean", Atmos. Environ., 34, 431-442, 2000.