

「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を開発することを目的とする。

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、2000年10月に200GHz帯での大気CIOスペクトルの検出に成功した。同検出は、中緯度帯の成層圏高度40km付近のCIOスペクトルを検出したものとしては世界初である。また、他研究機関のこれまでの測定では、CIOスペクトルを検出するためには24時間以上の積分が必要であったが、我々のシステムでは数時間の積分で有意な検出ができ、昼夜間のCIOの時間変動の測定が世界で初めて可能となった。

さらにオゾン破壊に重要なエアロゾル(極域成層雲を含む)の動向についてはライダーによる研究を進める。

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

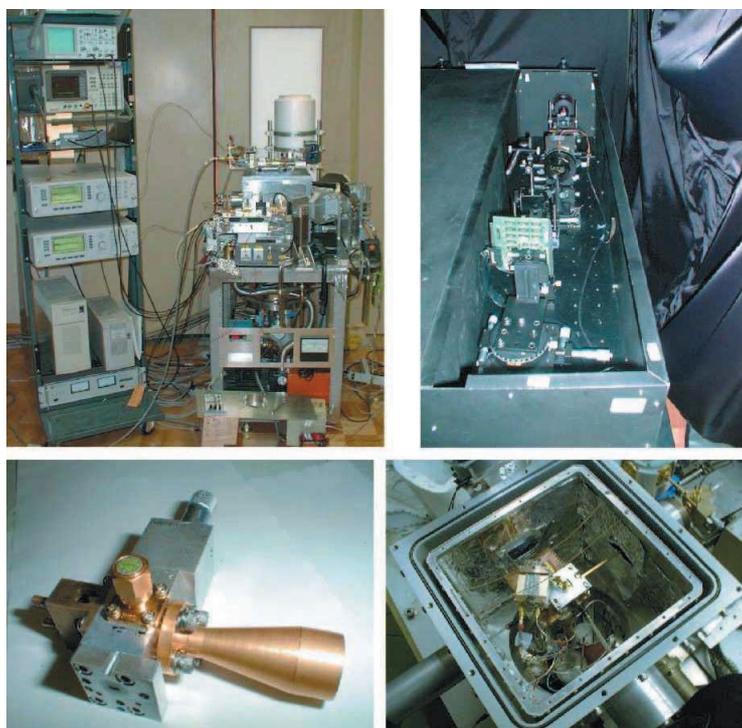
大気微量分子高度分布測定システムの開発グループ

我々は今期、帯域幅500MHzの音響光学型分光計の設置とエレベーションスイッチ法による観測のためのビーム伝送光学系の改造を行った。

分光計の開発では、使用する音響光学型分光素子の特性を調べ、信号入力レベルが2mWを超えるとベースラインに±100mK以上のうねりが生ずることが判明したため、適性な信号入力レベルで十分な強度の回折光出力が得られるように分光計光学系の変更を行った。また、装置の非線形性の影響を低減するために、バランス観測法、エレベーションスイッチ観測法等の観測手法の改善に取り組んだ。エレベ-

ションスイッチ観測法は天頂近くと仰角 20° 付近の視野を交互に観測し、その出力の差を取るにより、CIOスペクトルを検出する方法である。出力差を取り出す際に背景の大気雑音レベルを補正するため、天頂近くを測定する光路中に誘電体プレートを挿入する必要がある、そのためにビーム伝送光学系の大幅な改造と観測室の観測窓を広げる工事を行った。上記の開発・改良の結果、両観測法ともに全帯域でベースラインのうねりを $\pm 50\text{mK}$ 以下にすることが出来た。特にエレベーションスイッチ観測法では、帯域 200MHz 以上でうねりが $\pm 20\text{mK}$ 以下を達成した(図 - 1)。

上記の機器開発と前年度までに開発したパスレングス・モジュレータにより、観

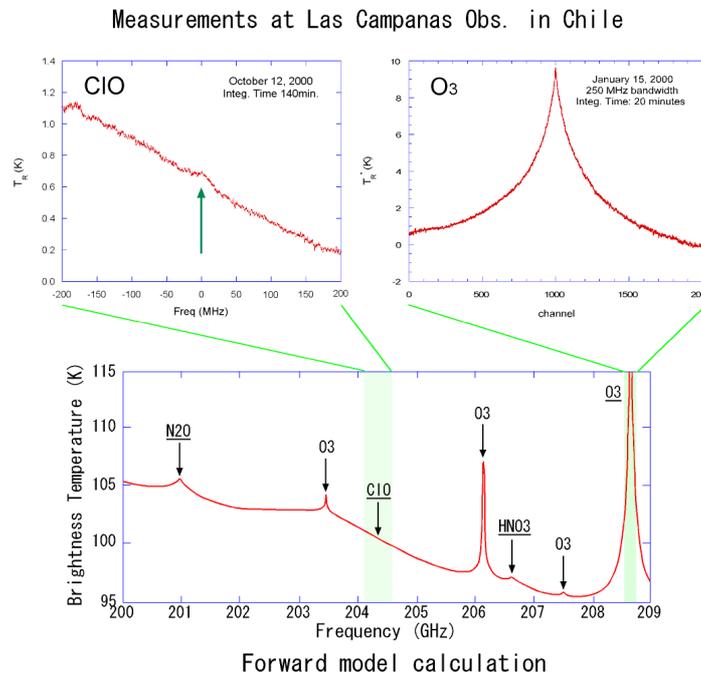


(図 - 1) 200GHz 帯大気微量分子超伝導観測システム(左上)と帯域 500MHz の音響光学型分光計(右上)。音響光学型分光計は別室の暗室の中に設置されている。

左下は超伝導受信器本体で、右下はそれを真空冷却容器に搭載したところ。真空冷却容器内で受信器は約 $4\text{K}(-269)$ まで冷却される。

測システムのスペクトル・ベースラインの安定性が格段に向上した。同システムにより2000年10月にCIOスペクトルの受信に成功した。スペクトルの線幅より、検出されたのは高度 40km 付近のCIOと考えられる。中緯度地域において、数時間程度の観測時間で、高度 40km 付近のCIOをとらえたのは世界初であり、同装置がかつてない感度と安定性を有していることを証明した。特に、それまで1日以上積分を要

したClOの検出を数時間で実現させたことは、1日の内でのClO量の時間変動モニタの実現可能性を初めて実証したものとして、ClOによるオゾン破壊メカニズムの解明に新たな局面を切り開く特筆すべき成果である(図-2)。



(図-2) 観測されたClO及びオゾンスペクトル(上)と仰角15°でのスペクトルの計算値(下)。

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)の開発を行い、それ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域成層圏雲(PSC)に成長するなど)を明らかにし、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。

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の観測を昨年度に引き続いて行った。またこれまでの観測結果の詳細な吟味も昨年度に引き続いて行われてきた。昨年度の観測で指摘された液体状のPSCの発生(従来の考えに従えば、硝酸の水和物もしくは水の氷を主体と

する結晶状態のPSCの発生が予想される)機構については未だ決定的にこれと言うプロセスが出てきていない。しかし、当研究で見出されたタイプのPSCの存在が、「きわめてありきたりのものであり、決して珍しいものではない」事に関する認識は、広く世界に受け入れられつつある状況になった。この種のPSCの形成メカニズムあるいはオゾン破壊反応に与える影響評価については問題点を整理するにとどまった。

ドイツのアルフレッドウェーゲナー研究所と共同でスピッツベルゲン上空において航空機とライダー、気球によるPSCおよびその原因物質に関する共同観測が実施され、現在資料取りまとめ段階にある。

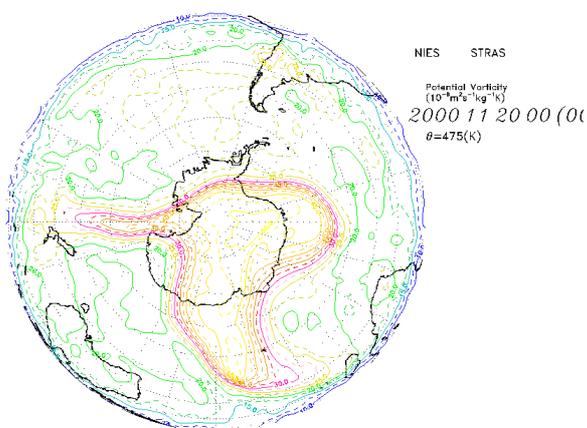
オゾン・CIO変動の解析とモデル化グループ

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(トラジェクトリーボックスモデル)の高度化を進めた。今年度は、モデルに非断熱効果を取り入れることで極渦内を下降する気塊の運動を精確に記述できるようにした。また、観測を支援するために、NCEP予報データを用いて極渦の位置や分裂状況の予報を自動作成する渦位分布予報システムをつくり、観測チームへ自動配信を行えるようにした。

(1)南北極渦の変動と中緯度への影響

①極渦及び極渦変動の可視化

極渦を可視化する手段として、等温位面上の渦位が用いられる(図-3)。渦位の高い部分が極渦内であり、極渦の縁で渦位の傾度が最大となる。極渦が強い程渦位傾度が大きい。そこで、渦位経度の時間変化を等価緯度(等渦位線が囲む面積に対応した緯度)に対してプロットして一冬の極渦の変動を可視化することが可能である。また、中緯度への影響についても定性的に把握することができる。



(図-3) 2000年11月20日の南半球渦位分布(475K; 高度約19km)。極渦がニュージーランドやアフリカの方向に伸びている。

②極渦の長期変動、年々変動

1959年～1997年の極渦の渦位傾度の変化より、北極及び南極の極渦は強くなる長期傾向があることが明らかになった。

(2)極渦内オゾン破壊に関するトラジェクトリー光化学モデル

極渦中のオゾン層破壊とその中緯度への影響をモデル化するために、極渦内を始点とする数多くのトラジェクトリー上で光化学モデルを走らせオゾンゾンデ観測結果と比較して良好な結果が得られた。また、中緯度への影響の可能性を示す結果が得られた。

3 . 主な研究成果の発表 (論文発表)

Fukui, Y., Ogawa, H., Xiao, K. C., Iwasaka, Y., Nakane, H. and Nagahama, T., "Ground-based millimeterwave instrument for measurement of stratospheric ClO using a superconductive (SIS) receiver", *Advances in Space Research*, 26, 975-978, 2000.

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

Nagahama, T., Nakane, H., Ninomiya, M., Ogawa, H. and Fukui, Y., "Ground-based millimeter-wave observations of ozone in the upper stratosphere and mesosphere at Tsukuba and Nagoya", *Advances in Space Research*, 26, 1017-1020, 2000.

Nakane, H., "Long and short term variability in the dynamical attributes of the Arctic polar vortex and its effect on ozone", *SPARC newsletter*, 15, 2000.

Xiao, K. C., Ogawa, H., Mizuno, A. & Fukui, Y., "An experimental study of subharmonic SIS mixing", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Special Issue at December 2000.