

# 宇宙線と雲核生成及び地球環境との 関連性についての研究

名古屋大学大学院

理学研究科

素粒子宇宙物理学専攻

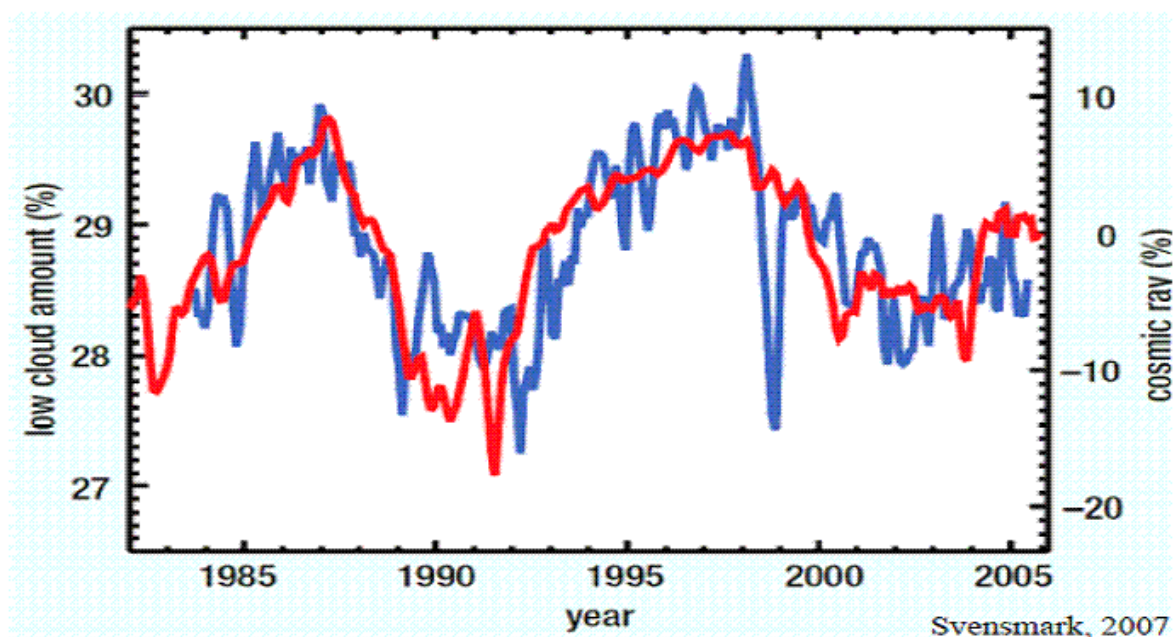
太陽地球環境研究所

宇宙線研究室

修士1年 伊澤雄貴

## 1. モチベーション

太陽活動の変化が地球の気候に影響を与えているという研究は以前から数多く行われてきたが、最近の研究によって地球の下層大気 (<3.2km) の雲量と宇宙線強度の増減に強い相関があることが判明した (Svenhmark and Friis-Christensen et al ; 1997)。



**青: 下層雲量**      **赤: 宇宙線**  
(<3.2km)

図 1.1 下層雲量と宇宙線の相関図

この相関を説明する有力な仮説として、宇宙線の電離作用によってできたイオンを介してエアロゾルが生成され、そのエアロゾルが雲凝結核 (CCN; cloud condensation nuclei) に成長して雲の種になるというものがある。しかし、定量的にはいまだわかっていないことが多く、この物理過程の一部を再現するための実験として SKY 実験が行われ (Svenhmark et al; 2007)、またさらに大きな規模の CLOUD 実験も現在運転中である。

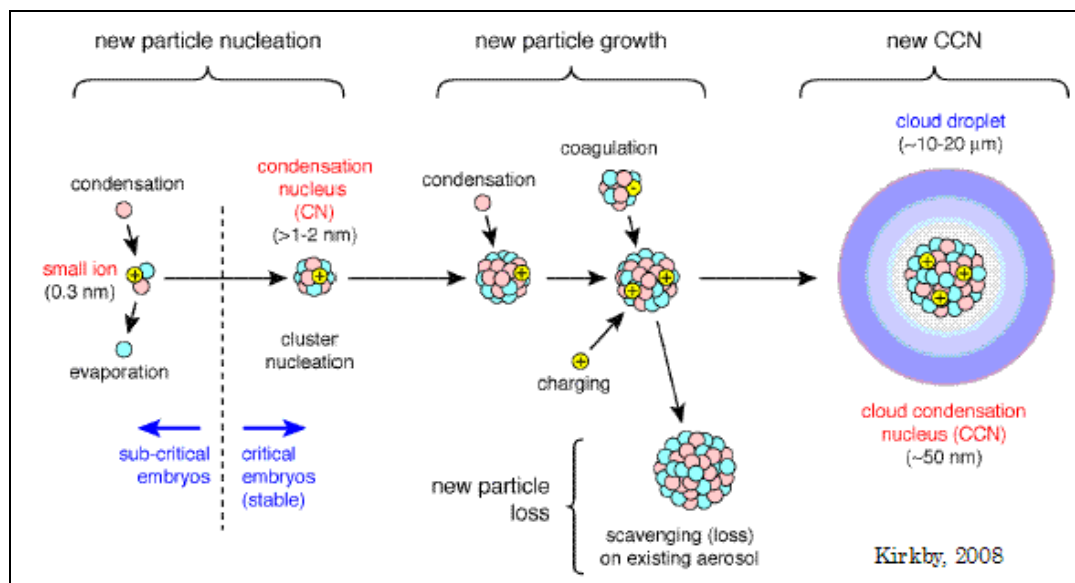


図 1.2 宇宙線の電離作用によって生じるイオンによる雲核の生成過程

SKY 実験とは、下層大気を再現するようなガスをチェンバー内に送り、宇宙線に見立てた $\gamma$ 線源と、253.7[nm]の波長の紫外線を照射して、下層大気において発生していると考えられる反応を再現する実験である。結果としては、イオン存在下で $\text{SO}_2$ 、オゾン、 $\text{H}_2\text{O}$  から3[nm]以上のエアロゾルが作られること、イオン密度が高いと生成されるエアロゾル数密度が高いことがわかった。

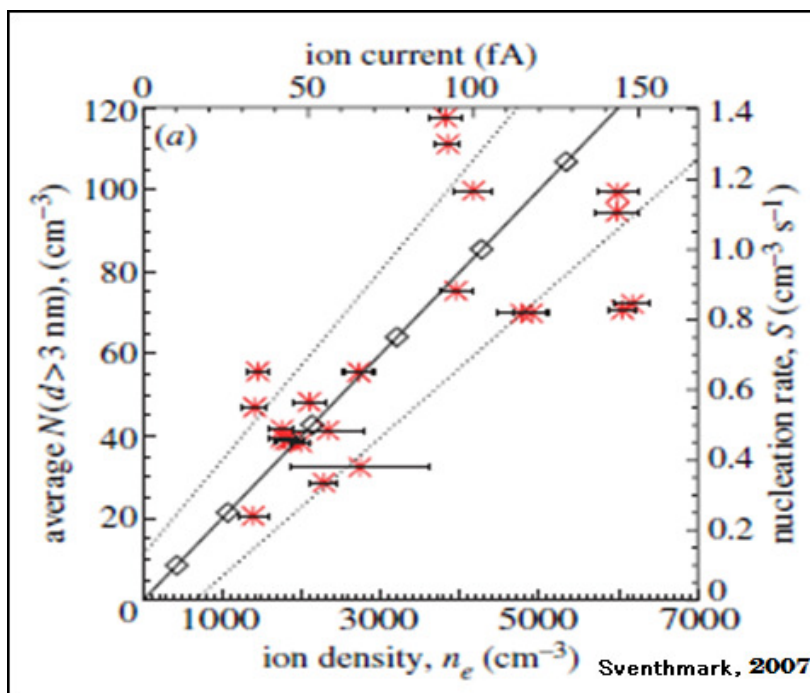


図 1.3 イオン密度とエアロゾル密度の関係

しかし、SKY 実験ではイオンのソース源として $\gamma$ 線以外のものを使用したときどうなるのか、ガス濃度を变化させたときイオンとエアロゾルの生成率の関係はどうなるのか、イオン密度とエアロゾル数密度は正の相関ではあるが比例関係であるとは断言できない、など不明瞭な点がいくつかある。

これらの疑問を検証し、宇宙線と雲核生成との相関関係を結びつける決定的なメカニズムを解明するために、下層大気組成を再現するためのガス供給システム、ガスを反応させるためのチェンバー、チェンバー内のイオン密度の検出装置であるイオンディテクターを実際に製作し、そのチェンバーに宇宙線の代わりとして $\beta$ 線源を、また太陽光の紫外線の代わりとして253.7[nm]の波長のオゾン分解ランプを照射する実験を行った。

## 2. 実験内容

各種ガス供給ライン、チェンバー、SO<sub>2</sub>計、オゾン計、エアロゾルカウンター、微差圧計、温湿度計、イオンディテクター、フローコントローラー、フローメーターを図 2.1 のように配置した。またオゾン分解ランプ、 $\beta$ 線源(<sup>90</sup>Sr)はチェンバー上部に設置した。

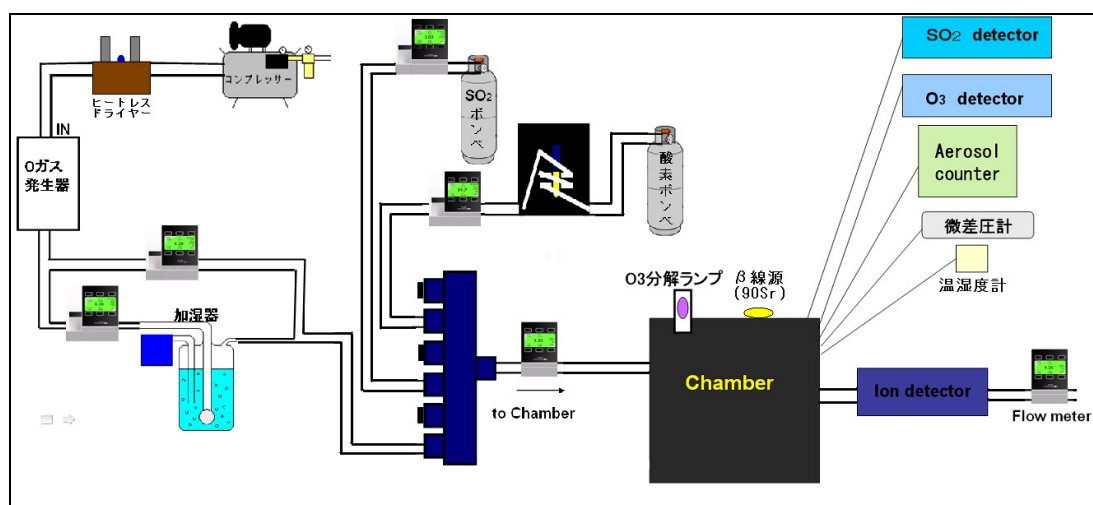


図 2.1 実験装置全体概略図

### ・チェンバー

図 2.2 は今回の実験で使用したチェンバーの写真である。チェンバーはアルミのフレームによって一辺 40(cm)の立方体に組み立てられており、内部は中の空気が余分な反応を起こさないように吸着の少ない PET フィルムを張っている。同様の理由によりフィルムは接着剤などを用いず、熱による接着とクランプを用いて固定を行っている。この PET フィルムはオゾン分解ランプの光をほとんど透過しないため、PET フィルム上面の一部はテフロンフィルムに変更している。実験の際はオゾン分解ランプ以外の光が当たらないようチェンバーを

暗幕で覆って実験を行った。

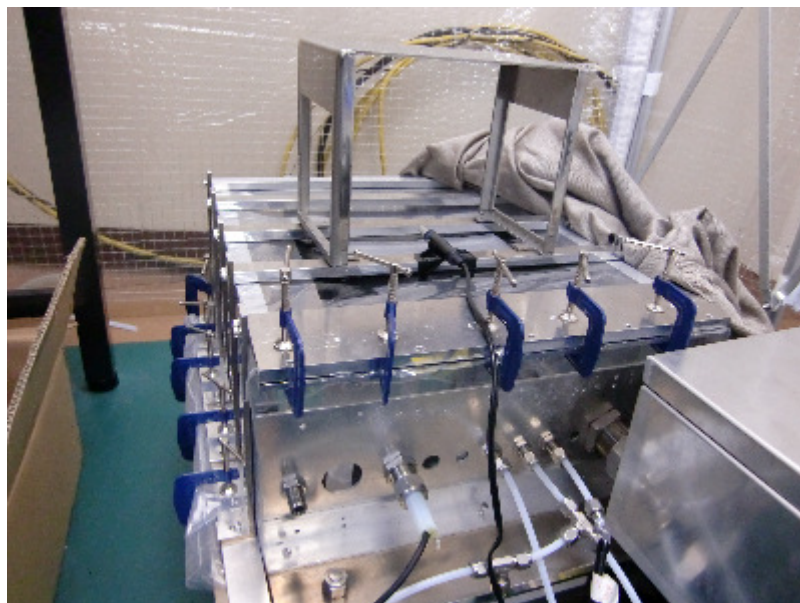


図 2.2 チェンバー全体図

・イオンディテクター

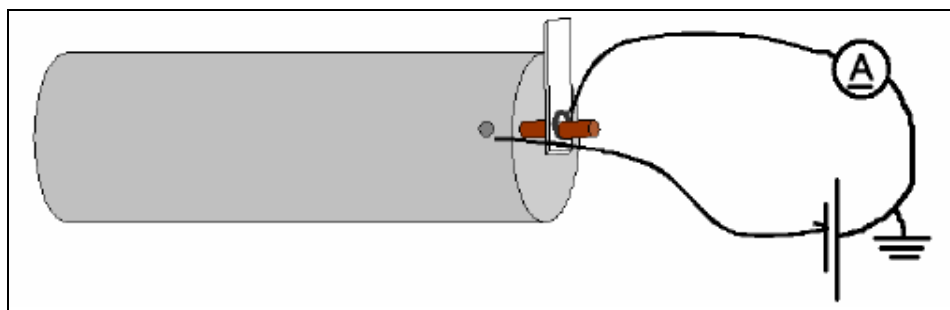


図 2.3 イオンディテクターの概略図

イオンディテクターの構造は図 2.3 のようになっている。この図の円筒の部分に電圧がかかっており、その中に気体を通して計測を行う。電圧は外側に $-15(V)$ 、内側に $+15(V)$  かかっている。なお、イオンディテクターの出口側には流量計が設置してある。図中の円筒は内径  $28(mm)$ 、長さ  $300(mm)$  のアルミで、その中の軸は直径  $3.0(mm)$ 、長さ  $360(mm)$  の銅で出来ている。円筒中心の軸はテフロン板とナイロン紐によって軸を挟んで逆側になる位置から固定している。この電極部は絶縁性のアクリル樹脂によって固定されている。また、電流計には keithley model 6514 を、電源には kenwood PW18-3AC を使用している。装置は外部の電場の影響を受けないようステンレス製の箱の中に入っている。装置全体の写真は図 2.4 のようになる。図 2.4 の左側が電流計、右側が電源、下側が電極部である。

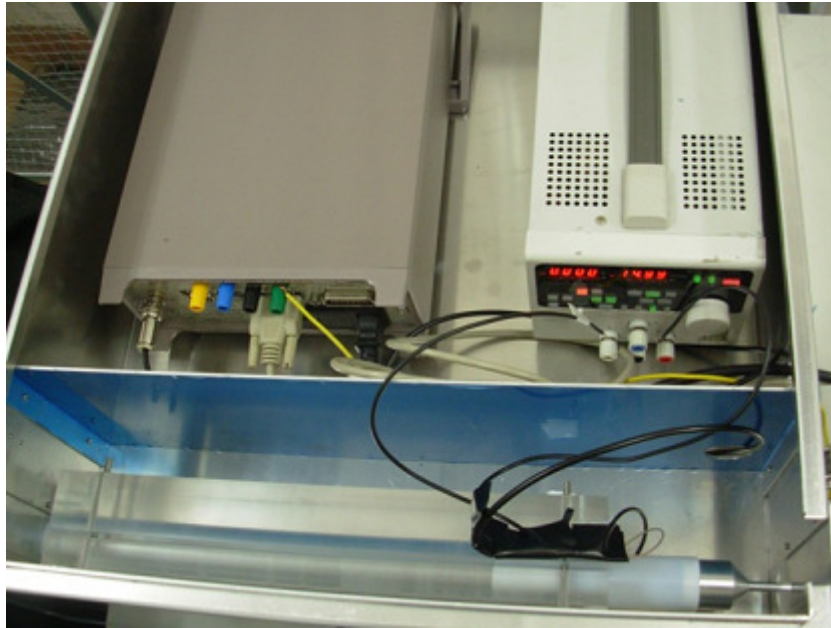


図 2.4 イオンディテクターの全体図

円筒の電極部にサンプルとなる気体を流すと、電源によってこの円筒側が低電位に、内軸側が高電位になるよう電圧がかかっているため外側にプラスイオンが、内側にマイナスイオンがそれぞれ引き寄せられる。その結果、イオンと電極の間で電荷の授受が発生し、電流計が電流を感知することになる。また、電流計と外極の間にグラウンドがあるため内極から発生した電流、すなわちマイナスイオンのみを測定することが出来る。この電流値、及び出口のフローメーターで計測される流量によってイオン密度は計算することができ、イオン密度を  $n$ 、流量を  $F$ 、電流値を  $I$ 、イオンの持つ電荷を  $e$  (1 価のイオンならば素電荷) とすると、 $n = I/eF$  となる。

各種ガス供給ラインに設置されているフローコントローラーの値を操作することによりチェンバー内のガス成分を変化させ、それぞれのガスに対して  $\beta$  線源、オゾン分解ランプ、またはその両方を照射して、そのときの  $\text{SO}_2$  濃度、オゾン濃度、エアロゾル密度、温湿度、電流値を測定した。

実験するガスについては以下の様な組み合わせ、条件で行った。

1)  $\text{H}_2\text{O}$  が有りまたは無し、オゾンが有りまたは無し、 $\text{SO}_2$  が有りまたは無しの組み合わせの全 8 パターンの状況に対して、 $\beta$  線源のみ、オゾン分解ランプのみ、 $\beta$  線源とオゾン分解ランプの両方をそれぞれ照射して、どのような条件のときにエアロゾル密度が増加するか調べた。

2) それぞれのガス濃度は下層大気に近いオゾン濃度 100(ppb)、 $\text{SO}_2$  濃度 0.2(ppb)、 $\text{H}_2\text{O}$  30(%) 前後に設定した。

### 3. 実験結果

エアロゾル密度がどのような条件のときに増加するのかを調べた結果、以下の表のようになった。

	なし	H <sub>2</sub> O	オゾン	SO <sub>2</sub>	オゾン + H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	オゾン + SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O + オゾン + SO <sub>2</sub>
β線源	×	×	×	×	×	×	×	×
オゾン 分解 ランプ	×	×	×	×	○	×	×	○
β線源 + オゾン 分解 ランプ	×	×	×	×	○	×	×	○

表1 エアロゾル密度が増加する条件

エアロゾル密度の増加が見られたのは、H<sub>2</sub>O とオゾンをチェンバー内に供給した状況でオゾン分解ランプのみを照射した場合、β線源とオゾン分解ランプの両方を照射した場合、また H<sub>2</sub>O とオゾンと SO<sub>2</sub> をチェンバー内に供給した状況でオゾン分解ランプのみを照射した場合、β線源とオゾン分解ランプの両方を照射した場合の4通りであった。

- ・ H<sub>2</sub>O、オゾン、SO<sub>2</sub> をチェンバー内に供給した場合

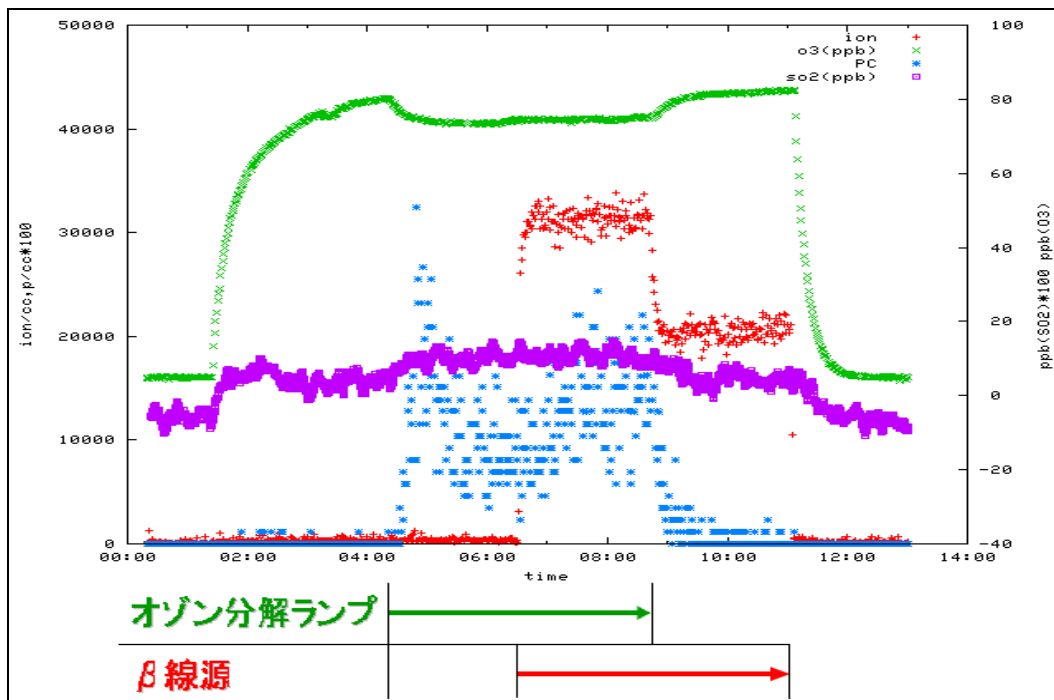


図 3.1 H<sub>2</sub>O、オゾン、SO<sub>2</sub>を供給した場合

H<sub>2</sub>O、オゾン、SO<sub>2</sub>をチェンバー内に供給し始めてから約3時間経過したのちに、オゾン分解ランプの電源を入れて、オゾン分解ランプのみを約2時間照射した。次に、β線源を追加して約2時間照射した後にオゾン分解ランプの電源を切って、β線源のみの状況で約2時間照射を続けた。

オゾン分解ランプを照射し始めたとき、一時的にエアロゾル密度が大幅に増加し、その後時間の経過とともにエアロゾル密度が減少した。次に、β線源を追加したときには時間経過とともにエアロゾル密度の増加が見られた。最後に、オゾン分解ランプの電源を切ってから急激にエアロゾル密度は減少した。

- ・ H<sub>2</sub>O、オゾンをチェンバー内に供給した場合



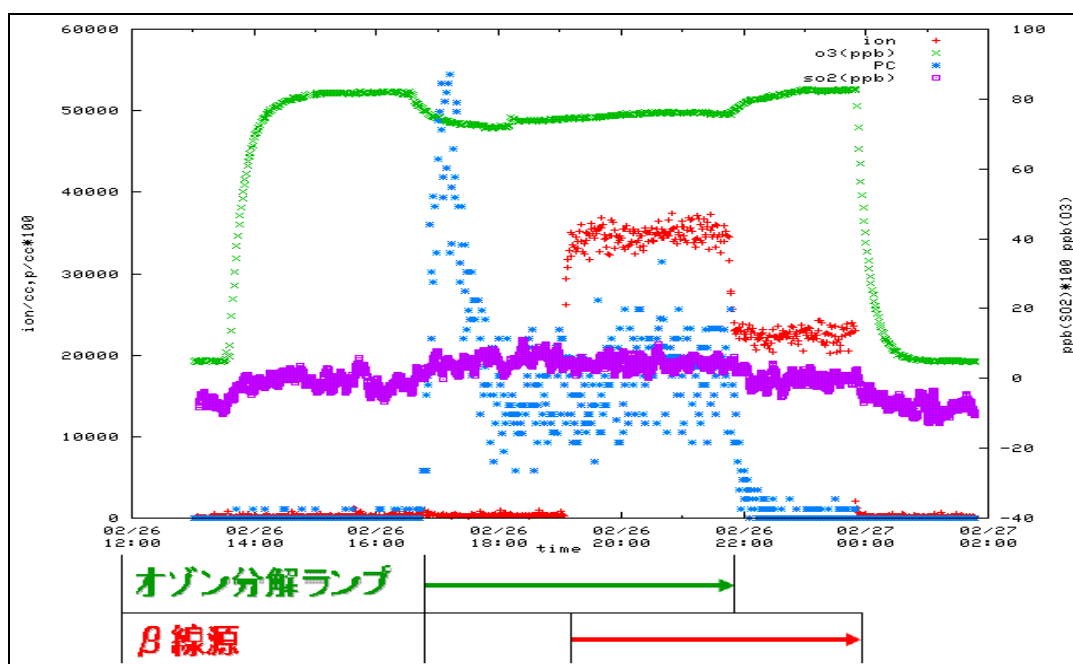


図 3.2 H<sub>2</sub>O、オゾンを供給した場合

H<sub>2</sub>O、オゾンをチェンバー内に供給し始めてから約3時間経過したのちに、オゾン分解ランプの電源を入れて、オゾン分解ランプのみを約2.5時間照射した。次に、β線源を追加して約2.5時間照射した後にオゾン分解ランプの電源を切って、β線源のみの状況で約2時間照射を続けた。

オゾン分解ランプを照射し始めたとき、一時的にエアロゾル密度が大幅に増加し、その後時間の経過とともにエアロゾル密度が減少した。次に、β線源を追加したときには時間経過とともに緩やかにエアロゾル密度の増加が見られた。最後に、オゾン分解ランプの電源を切ってから急激にエアロゾル密度は減少した。時間経過によるエアロゾル密度の変化については、H<sub>2</sub>OとオゾンとSO<sub>2</sub>をチェンバーに供給したときと同様の傾向が見られた。

次に、エアロゾル密度が増えた場合の実験について再現性があるかどうかを確かめるため、再度同じ条件で実験を行った。

- ・ H<sub>2</sub>O、オゾン、SO<sub>2</sub>をチェンバーに供給した場合の再現実験

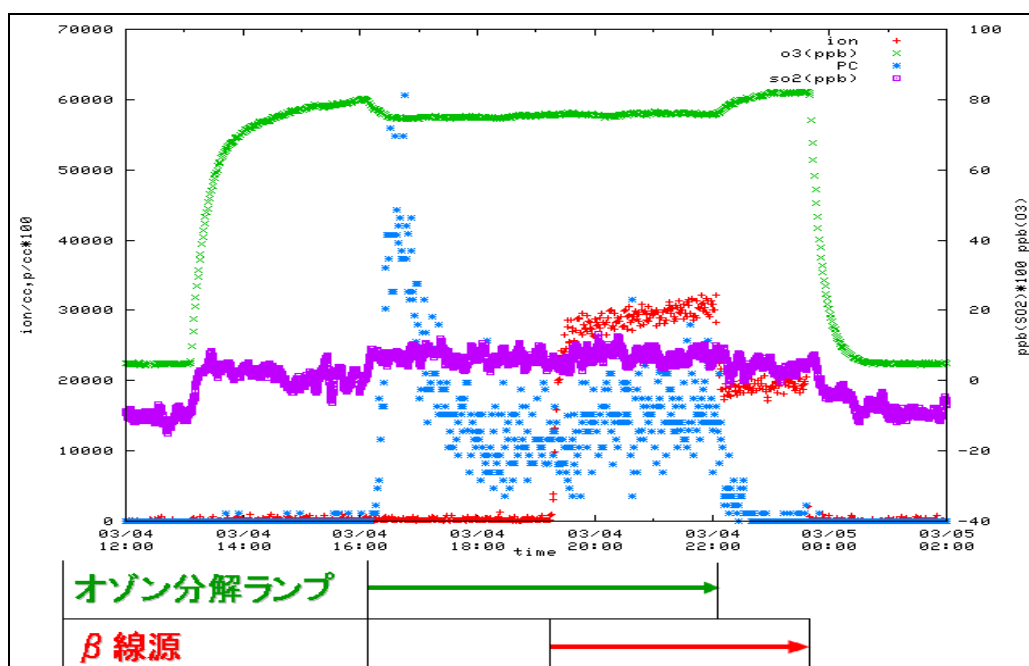


図 3.3 H<sub>2</sub>O、オゾン、SO<sub>2</sub>を供給した場合の再現実験

図 3.1 と同様に、H<sub>2</sub>O、オゾン、SO<sub>2</sub>をチェンバー内に供給し始めてから約 3 時間経過したのちに、オゾン分解ランプの電源を入れてオゾン分解ランプのみを約 3 時間照射した。次に、β線源を追加して約 3 時間照射した後にオゾン分解ランプの電源を切って、β線源のみの状況で約 1.5 時間照射を続けた。

オゾン分解ランプを照射し始めたとき、図 3.1 と同様に一時的にエアロゾル密度が大幅に増加した。その後の時間経過によるエアロゾル密度の変化は、図 3.1 と同様の傾向を示しており、エアロゾル密度の値もほとんど同じであった。図 3.1 と図 3.3 の結果において、時間経過によるエアロゾル密度の変化はオゾン分解ランプやβ線源の設置に対して同様の傾向を示しており、実験の再現性が確かめられた。

・ H<sub>2</sub>O、オゾンを供給した場合の再現実験

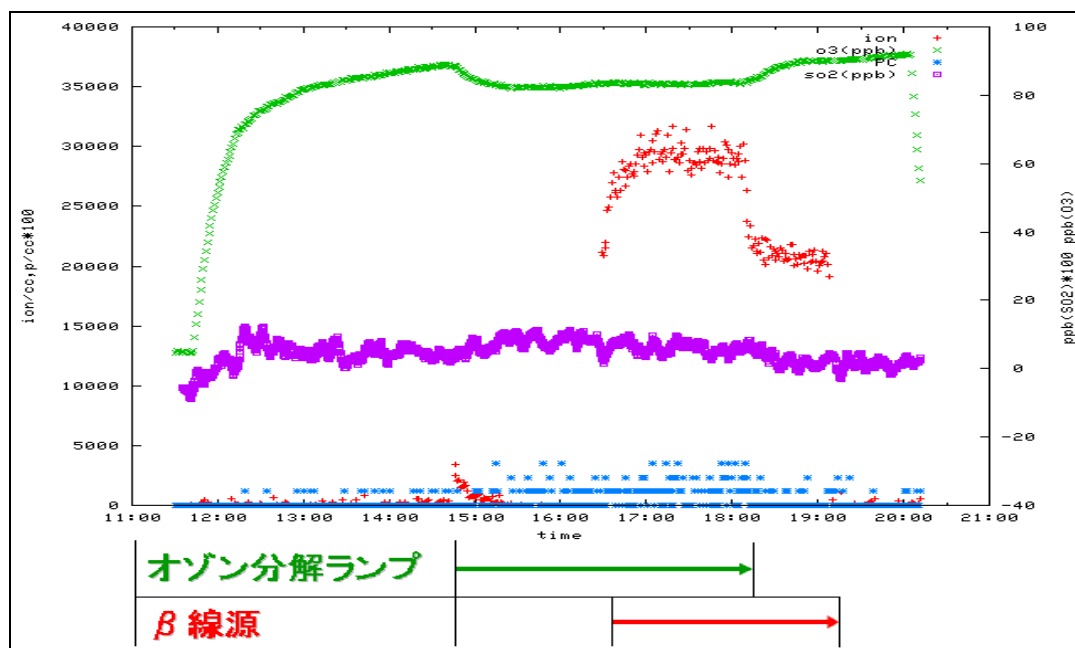


図 3.4 H<sub>2</sub>O、オゾンを供給した場合の再現実験

H<sub>2</sub>O、オゾンをチェンバー内に供給し始めてから約3時間経過したのちに、オゾン分解ランプの電源を入れて、オゾン分解ランプのみを約1.5時間照射した。次に、β線源を追加して約1.5時間照射した後にオゾン分解ランプの電源を切って、β線源のみの状況で約1時間照射を続けた。

オゾン分解ランプを照射し始めたとき、今回の実験においては一時的なエアロゾル密度の増加は見られず、その後の時間経過によるエアロゾル密度の変化としてわずかに上昇しているように見えた。しかし、図 3.2 と図 3.4 の結果を比べると明らかにエアロゾル密度の変化の様子は異なっており、実験を再現することはできなかった。この理由として、前の実験を行ってから数時間乾燥空気を流した後に図 3.4 の実験を行ったが、それでもチェンバー内もしくは壁面に何らかの物質が残っており、それらが反応してエアロゾル密度として検出された可能性が考えられる。

今回の実験の結果として、少なくとも H<sub>2</sub>O、オゾン存在下でオゾン分解ランプを照射すればエアロゾル密度が増加することが確認された。さらにβ線源も照射してイオン密度が増えるとエアロゾル密度は増加する傾向にあると言えるが、これについてはβ線量を変化させてみるなど更なる実験が必要である。

また、実験装置についてPETフィルムのチェンバーでは発生したエアロゾルやSO<sub>2</sub>、オゾン等が表面に付着するため、実験の再現性について問題があると考えられる。

そこで、チェンバーの改良としてPETフィルムのチェンバーから金属チェンバーへ移行することになった。

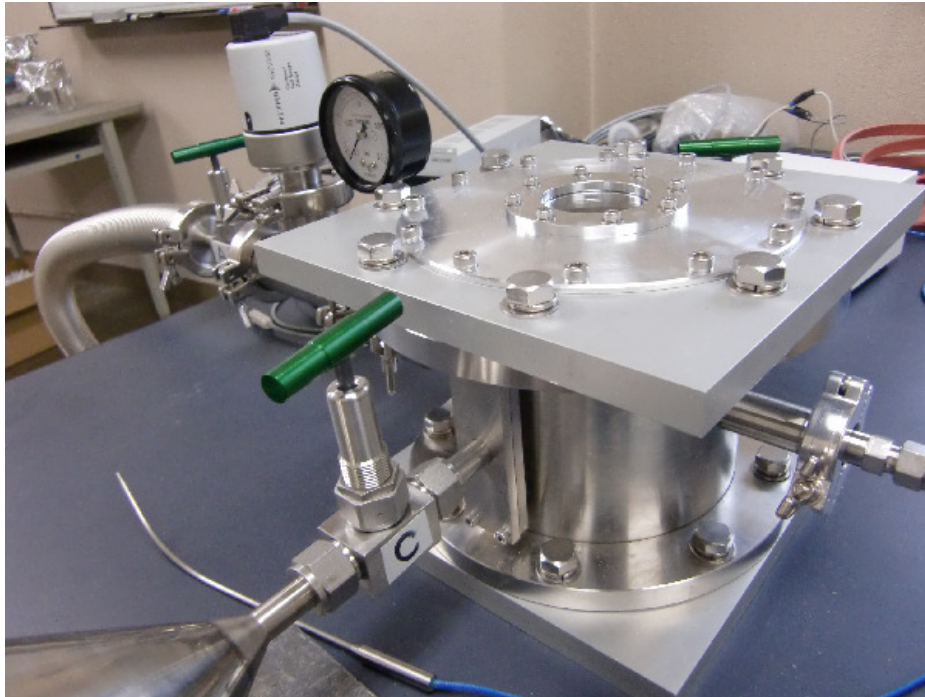


図 3.5 製作した金属チェンバー

ここで金属チェンバーを使用する利点として、

- 1)真空引きすることによって、チェンバー内部を清浄な状態にすることができる。
  - 2)金属チェンバー自体を加熱するベーキングによって、チェンバー内部壁面の生成物を取り除くことができる。
- という点が挙げられる。

#### 4. 今後の展望

今後の予定・展望として、まず改良した金属チェンバーを使用して同様の実験を行い、実験の再現性を確かめる。次に、ガス濃度・イオンのソース源を変化させた実験を行い、さらなるデータを収集する。また、下層大気の圧力に近い乗鞍等に装置を運んで同様の実験を行うことなどを考えている。

#### 参考文献

- [1] Kirkby, 2008 Cosmic Rays and Climate. Survey in Geophysics 28, 333 – 375
- [2] Svensmark, H. & Pedersen, J. O. P et al 2006 Experimental evidence for the role of ions in particle nucleation under atmospheric conditions. Proc. R. Soc. A

[3] Svensmark, H. 2007 Cosmoclimate : a new theory emerges *Astron. Geophys.*, 48, 18 –24.

[4] Aplin, K.L. & Harrison, R.G. 2000 A computer –controlled Gerdien atmospheric ion counter. *Rev. Sci. Inst* 71(8), 3037 –3041. 19