

MRI 雲生成チェンバー実験に用いる粒子計測センサについて

Laser - based particle measuring probes for the MRI dynamic cloud chamber experiments

○田尻拓也、山下克也、永井智広、酒井 哲、石元裕史、村上正隆

○Takuya Tajiri, Katsuya Yamashita, Tomohiro Nagai, Tetsu Sakai, Hiroshi Ishimoto, Masataka Murakami

気象研究所

Meteorological Research Institute

Abstract: MRI dynamic cloud chamber facility was set up to investigate the details of the fundamental processes of cloud formation. Both temperature and pressure are automatically controlled to simulate an adiabatic expansion under a wide range of atmospheric conditions. It is equipped with laser imaging and scattering devices for sensing cloud droplet and ice crystal formation and measuring size distributions, shapes, and asphericity of aerosol and cloud particles from sub- μm to a few mm in size. We focus this report on laser-based microphysical probes, especially laser scattering and depolarization detection system, which measures an ensemble of particles in the centre of the chamber by a couple of two independent photomultipliers. By measuring the depolarization ratio of back-scattered laser radiation, ice particles coexisting with supercooled droplets were detectable.

1. はじめに

MRI 雲生成チェンバーは、容積 1.4m^3 の試験槽を有し、槽内気圧と壁面温度を同期制御することにより断熱膨張過程を実現できる装置である。気温および気圧の制御範囲は、 $30\sim 100^\circ\text{C}$ 、 $1,050\sim 30\text{hPa}$ 、実験時制御精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 、 $\pm 0.5\text{hPa}$ 以内、相当する上昇速度 $0\sim 30\text{m/s}$ と天然における多様な雲の発生環境を精度良く模擬できる。種々の粒子計測センサによる実験モニタリングからチェンバー内に導入したエアロゾルの粒径分布、雲粒・氷晶発生のタイミング、サイズや数濃度の経過推移、粒子形状・晶癖などの情報を取得し、解析に用いる。現在、大気エアロゾルの物理化学特性と雲核・氷晶核としての活性化特性の関係解明を進めるため、外気や特定エアロゾル粒子（吸湿性粒子、ダストなど）を導入した雲生成実験を行っている。

本稿では、主として偏光レーザーセンサの装置概要および実験計測結果を紹介し、その役割と有用性を示す。

2. 実験装置

偏光レーザーセンサは、直線偏光水平照射レーザー（波長 532nm ）と4つのPMTからなる装置（筐体2つ）であり、試験槽中心付近に存在する粒子によるレーザー散乱光強度の偏光・非偏光成分を前方（ 4deg ）・後方（ 176deg ）側で検知するためチェンバー中段フランジに正対して設置している（Fig. 1）。照射側には、3次元可動光学ステージによる光軸調整、偏光子および波長板による偏光面調整機構を持つ。受光側には、アライメントレーザー用リセットプレート、ピンホール、偏光解消板マウントがある。計測は1秒サンプリングで行い、偏光解消度を算出し

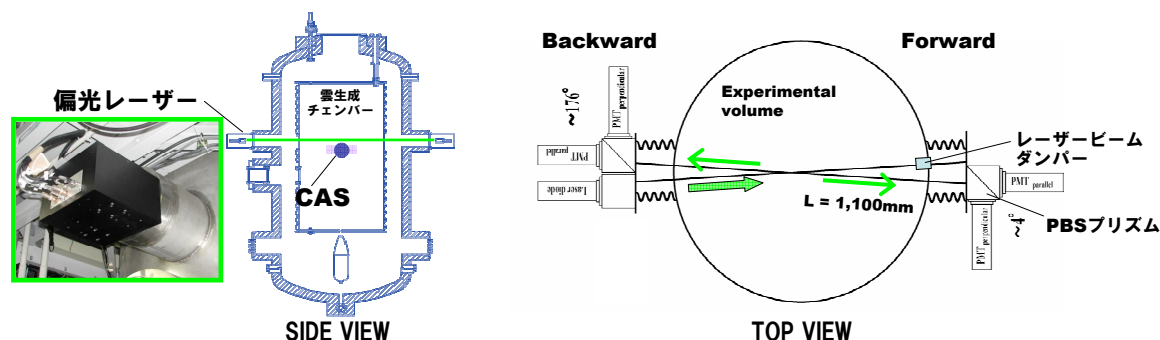


Figure 1: Schematic cross sections of the MRI cloud chamber and the laser sensor diagram.

実験監視モニタ上にリアルタイム表示する。実験では、氷晶発生のタイミングを検知する役割を担っている。事前試験として、減圧時（20hPa 未満）、清浄（乾燥）空気環境下での背景光強度の測定およびエアロゾル導入時、偏光解消板を用いた PMT 感度調整を行った。

他の装置として、Cloud Aerosol Spectrometer (CAS、DMT 社製) がある。波長 680nm のレーザーを用いて 0.3~30 μm の粒子を計測、粒径分布だけでなく OPC ユニット内で粒子の前方・後方散乱光強度を同期計測するため、非球形粒子識別に有用性があるか調査中である。

3. 計測結果

雲生成実験には、RBG-1000 (Palas 社製) により発生させた粒径 0.05~3 μm の ATD (Arizona test dust) を用いた。エアロゾルバッファータンク経由で、雲生成チェンバーへ導入した ATD の数濃度は、CAS 計測 ($D>0.3\mu\text{m}$) から約 300#/cc であった (Fig. 2)。初期条件を気圧 999.7hPa、気温 14.5 $^{\circ}\text{C}$ 、露点 1.8 $^{\circ}\text{C}$ (相対湿度 42%) とし、上昇速度 5m/s に相当する減圧・冷却制御により断熱膨張実験を行った (Fig. 3)。なお、初期条件に対応する LCL の気温は、-0.9 $^{\circ}\text{C}$ である。

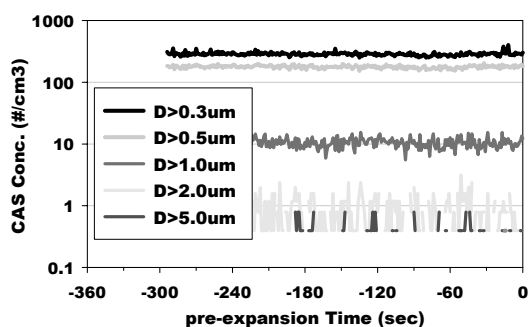


Figure 2: ATD concentrations during pre-expansion period.

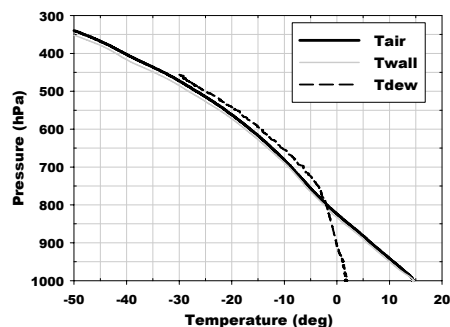


Figure 3: Ascent profiles (Pressure versus Temperature and Dewpoint).

LCL 到達後、雲粒発生を確認した。D>0.3 μm の ATD が速やかに 5 μm 以上に成長し、次第に 10 μm 以上の雲粒も検出された (Fig.4)。氷晶発生は、気温-19 $^{\circ}\text{C}$ 以下で目視確認できた。CAS により 20 μm 以上の粒子 (最大 10#/cc) が、D>10 μm の粒子画像を抽出する雲粒子イメージセンサーにより多数の氷晶を検出した。偏光レーザーは、これらの推移を良く捉えていた。雲粒発生に伴い鋭く散乱光強度が高まり、気温-18 $^{\circ}\text{C}$ 以下では後方側の偏光成分が増し、氷晶発生と初期成長過程を検知した (Fig. 5 上段)。実験前の試料空気 (ATD) の強度レベルと比較し、いずれも有意な値であり、気温-30 $^{\circ}\text{C}$ 以下でも時折、氷晶を検出した。偏光解消度については、氷晶発生~気温-28 $^{\circ}\text{C}$ 付近にかけて増加した後、雲粒発生前のレベルに戻った (Fig. 5 下段)。

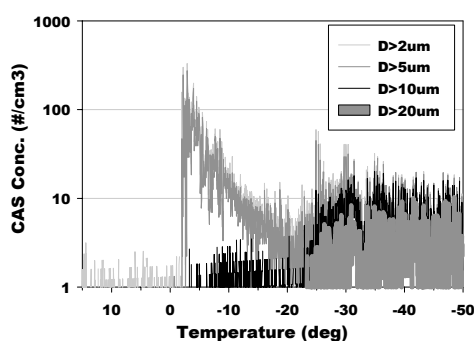


Figure 4: Cloud particle concentrations as a function of temperature (measured by CAS).

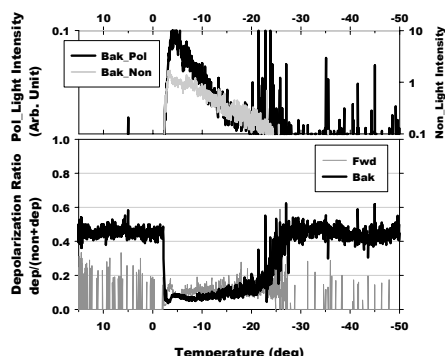


Figure 5: The Intensities (upper) and the depolarization ratio (lower) of back-scattered laser radiation

4. まとめ

偏光レーザーによるレーザー散乱光強度および偏光解消度の測定は、混合相雲における氷晶発生過程に関する実験に有用であることが示唆された。氷晶発生のメカニズムは多様であるため、断熱膨張過程で発生する異なるタイプの粒子をタイミング良く判別する必要がある。今後は、試料空気の種類や数濃度を変えた実験を行い、最小検出感度や検出性能を評価するとともに、背景エアロゾルと雲粒子を区別する解析方法を検討したい。