

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Study on microphysical properties of midlatitude cirrus
clouds observed by hydrometeor videosonde

氏 名 折 笠 成 宏

論 文 内 容 の 要 旨

巻雲は地球規模で最も多く出現する雲のタイプの一つであり、地球表面の約 2 割を覆う。巻雲は地球の放射収支に強いインパクトを持つが、雲の放射強制力は正にも負にもなり得る。巻雲の放射特性を理解するためには、雲の微物理特性（氷晶の数濃度・形状・粒径分布、氷水量）を正確に把握することが必須である。しかし、特に 100 μm 以下の氷晶を精度良く直接測定する装置は、ほとんど実現されていないのが現状である。

低濃度の氷晶から構成される巻雲を測定するために、新型の雲粒子ゾンデ（HYVIS）を開発した。従来の HYVIS では、サンプリング体積が小さいため、雲粒子の数濃度が低い雲の粒径分布を精度良く評価できなかった。この点を克服するために、吸引用の小型ファンを付加することにより十分なサンプリング体積を確保した。捕捉率の理論的計算から、10 μm 以上の粒子が全て捕捉されることが推定された。実際の捕捉率を見積もるために、他の航空機用測器との室内比較実験を行った結果、10-30 μm ではファクター 2~3 以内の不確定性を持つことが示唆された。但し、測定値の信頼性については、観測された粒径分布やパーセルモデルで計算された氷晶数濃度から支持される値であり、10 μm 以上の氷晶の粒径分布を高度 250m 間隔で精度良く決定できることが分かった。

1994-2007 年の観測期間につくばから HYVIS を飛揚して、37 事例のデータセットを取得した。観測された巻雲は概して、総観規模の低気圧に伴う温暖前線や停滞前線と関連した事例である。氷晶の鉛直分布は、雲頂温度-33~-72°C、雲底温度-3~-49°C に及ぶ範囲の雲から得られた。

氷晶数濃度の値は 10^{-1} ~ 10^2 個/L のオーダーに分布した。数濃度の中央値は温度や鉛直位置に因らず、典型的には数十個/L 程度であった。雲頂付近で数濃度が最大となる事例は時々あったが、雲底付近で最大となる事例もあった。雲底付近は昇華蒸発域に通常あたるので、昇華過程による氷晶の断片化によって数濃度が増加する可能性があることが

示唆される。均質核形成による巻雲発生初期の数値シミュレーションから得られた氷晶数濃度と、本研究で測定された数濃度を比較した結果、大きい差が認められた。ただし測定された数濃度には、二次氷晶、重力沈降、乱流混合のような一次氷晶以外の物理過程の影響が含まれている。また、比較的暖かい温度域（ -25°C 以上）での不均質核形成による先行研究の式のような強い温度依存性は、本研究で測定された数濃度ではどの温度域にも見当たらなかった。均質核形成及び不均質核形成のどちらが卓越していたかを決定することは困難であるが、少なくとも観測された粒径分布を説明するためには、不均質核形成が効いていることを先行研究との比較から議論した。

100 μm 以下の小さい氷晶がトータルの質量や面積に対する寄与を調べた。比較的大きい質量や面積では 100 μm 以上の氷晶の寄与が大きくなり、100-200 μm の粒径範囲の寄与が最も大きくなった。概して平均的には、小さい氷晶の寄与は先行研究の結果と比較して小さい値となった。

観測された氷晶タイプの出現頻度の温度特性を調べた結果、 -60°C ～ -20°C の温度範囲では単一砲弾の結晶、 -20°C 以上の温度では角板型、 -60°C 以下の温度では角柱または砲弾集合の結晶が卓越した。低温下での正確な湿度データが不足しているため湿度依存性まで詳細に議論できないが、最近の室内実験や野外観測の結果と整合的な氷晶タイプの分布が得られた。

角柱と砲弾タイプの結晶の軸比の分布は、氷晶の大きさにつれて減少するという粒径依存性があったものの、角柱タイプの結晶の軸比には、明らかな温度依存性は見出されなかった。氷晶の面積比は識別された6つの氷晶タイプにおいて、先行研究結果と同程度の値であった。粒径が大きくなるにつれ、面積比が減少するという事実は、全ての氷晶タイプで明らかであった。観測された氷晶タイプ別に、面積比と最大径の測定データに対する曲線近似を行ったところ、先行研究とは異なるパターンを示した。投影断面積と粒径とのべき乗型の従来の関係式を先行研究より引用し、HYVIS データセットへ適用したところ、雲底と雲頂の間を鉛直方向に積分した投影断面積は、10-80%も過大評価することがあり得ることが分かった。

100 μm 以下の巻雲内の氷晶を精度良く測定したデータは、測器が限定されるため、世界的にみてまとまったデータセットはこれまでほとんどなく、総観スケールで生成された中緯度域巻雲を対象として今回得られた HYVIS 観測によるデータセットは、数濃度や粒径分布、氷晶タイプの側面から特異であると言える。HYVIS は巻雲観測に最も有力な測器の一つであり、ここで測定された雲微物理特性は、巻雲の放射特性を精度良く見積もるためには必須の情報である。