

露点-70℃での微小氷晶形成実験 ～氷晶核の活性化条件と氷晶形態～

*清水俊成 1) now at 2), 林 政彦 1), 福島和人 1)

1) 福岡大学理学部, 2) 名古屋大学大学院環境学研究科

1, はじめに

氷晶は巻雲をはじめ対流圏に広範に存在するだけでなく、地表面近くのダイヤモンドダストや、成層圏雲、高度約80kmに存在する夜光雲などとしても存在し、物質循環、放射収支に寄与している。氷晶に関して様々な研究が行われてきたが、露点-40℃以下において氷晶核から1～10μm程度の氷晶形成初期形態の直接的観察は、技術的に困難なためあまり行われていなかった。近年、チャンパー圧を数100Paの状態電子顕微鏡観察ができる顕微鏡 (ESEM) が開発され、露点0～100℃でプレート上の氷晶核から氷晶への遷移・成長過程を数nmの空間分解能で観察できるようになり、林・福島(2009 春季大会)はESEMを用いて-80℃、100Paの環境下で氷晶形成実験を行い、二十面体のピラミッド型結晶が形成されることを示した。大気中でもピラミッド型結晶は、-40℃以下の条件の氷霧において観測されている。(Ohtake, 1970)。

そこで、本研究では、ESEMを用いて-70℃の露点環境の下で既知の粒子を昇華氷晶核として作用させ数μmの氷晶を生成させる実験を行い、氷晶の形態、活性化条件などについて検討した。

2, 実験の概要

ESEM (FEI 社 Quanta200 (フィールドエミッションタイプ)) のチャンパーに Dry Clean Air と水蒸気の混合気を導入し、全圧200Pa、露点-70℃に保った。氷晶核は、PSL (Polystyrene Latex)、AgI、CaCO₃、中国鳴沙山の砂丘砂の四種類をもちいた。いずれも清浄空气中に分散し、動力学径1～2μmの粒子をインパクターにより分級し、テフロンコーティングした銅板上に採取し、氷晶核とした。

氷晶核の冷却、温度コントロールには、ケンブリッジ社製の高真空 SEM 用冷却ステージ (最低温度-100℃) を用いた。この冷却ステージでは液体窒素を用いた冷却とヒーターの加熱によって温度調節を行う。設定温度精度は±0.5℃程度である。-65℃で1分間放置し、氷晶の形成の有無を確認し、以後、氷晶が形成されるまで1℃ずつステージ温度の降下と氷晶形成の確認を繰り返す。氷晶形成が確認された条件で温度を保ち、画像およびステージ温度を記録した。

3, 実験結果

氷晶形成時の相対湿度は、核により異なった。AgI が最も低く、AgI の氷晶核機能の高いことと整合的である。また、PSL の活性化相対湿度は他と比べて高かった。PSL には結晶構造がないことや表面が滑らかなことなどが影響していると考えられる。

次に、形成された氷晶の形態を(1) 六角柱型、(2) 六角柱と2つの六角錐台からなるピラミッド型 (20 面体)、(3) 複数のピラミッド型結晶から構成された多結晶型 I 型、(4) ピラミッド型ではない結晶から構成された多結晶型 II 型の4つに分類した (Fig. 1)。AgI では六角柱型が4割と最も多く形成されたが、他の核では、約8割がピラミッド型、もしくは、多結晶型 I 型で

あった。本実験の環境下において形成される初期の微小氷晶は主にピラミッド型であり、特に氷晶核機能の高い AgI を除くと氷晶核の種類に対する依存性は低かった。

本実験において、平均自由行程は20μm程度である。粒径は2μm程度であり、結晶面への水蒸気の輸送は分子運動論的であるため、水蒸気分子の衝突率は全ての面で等しい。従って、氷晶形態は最も表面エネルギーが低くなる平衡形をとると考えられる。本実験で最も多く形成されたピラミッド型結晶が平衡形である可能性が高い。観察されたピラミッド型の形態パラメータの平均をとり ($a/c=0.84$, $c'/c=0.71$)、これが平衡形と仮定して、同体積のピラミッド型氷晶の c'/c の変化に対する自由エネルギーの依存性を求めた (Fig. 2)。形態パラメータの変化に対して自由エネルギーの変化は余り大きくはなく、さまざまな形態パラメータ (その一つが六角柱型) をとりうることを示唆された。

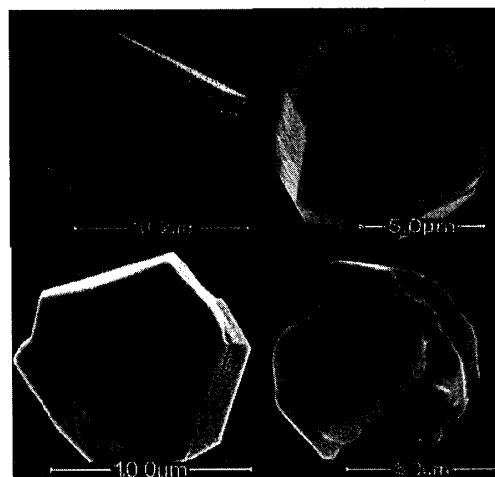


Fig. 1 氷晶の形態分類 (SEM 画像)

- (1): 六角柱型結晶 (2): ピラミッド型結晶 (二十面体)
(3): 多結晶型 I 型 (4): 多結晶型 II 型

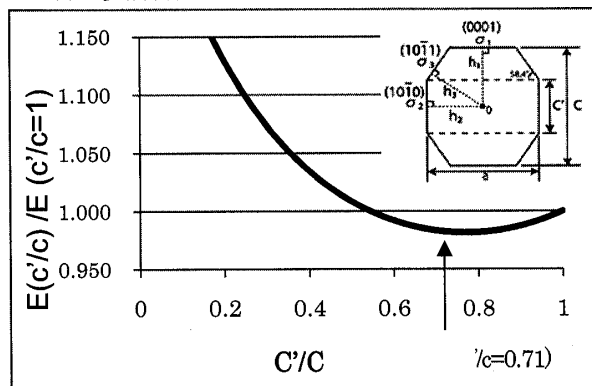


Fig.2 c'/c に対する表面エネルギー (体積一定)

参考文献

Ohtake, T (1970), J. Atmos. Sci. 27, 509–11.