

鏡面冷却式露点計を用いた低温下での湿度測定と人工雪結晶生成条件の解明 —対流型装置を用いた-4℃から-40℃の雪結晶生成実験結果—

システム工学専攻・金沢市立内川中学校 村井昭夫

1. はじめに

人工雪結晶生成装置を使った雪結晶の形態の研究はこれまで Nakaya(1954)、Hallet&Mason(1958)など多くの研究者によって行われてきた。雪結晶生成実験では湿度が重要な要素となるが、低温下での湿度測定は技術的に難しく、様々な試みがなされてきた。しかし精度面などにいくつかの課題も残されていた。

本研究は自動制御系を組み込んだセンサタイプの光学式鏡面冷却式露点計((株)山武製 FINEDEW™(特殊仕様))のセンサ部を改良し精密な校正を実施して、約 200 回の人工雪生成実験での湿度測定を行った。今回その結果をこれまでの研究と比較し考察する。

2. 実験概要

人工雪結晶生成装置はペルチェ素子を使用した対流型装置(村井, 2005)を使用し, FINEDEW のセンサ部を結晶生成点から約 1.5cm の位置に鏡面が鉛直になるように挿入・設置した。測定した結晶生成点の露点・霜点 (T_d)、同時に測定した結晶生成点温度(T_a)はデータロガーによって記録(図 1)、鏡面状態と生成した結晶は拡大光学系を通してデジタルカメラで撮影・記録した(図 2)。FINEDEW は安定した低温高湿度の測定のためにセンサ部を改良、JCSS 校正事業者である((株)山武によって-20℃までの 14 点で校正を行い、これから求められた補正式によって 0℃～-40℃の範囲で 0.18℃の精度(拡張不確かさ)で露点を計測可能とした。

3. 実験結果と考察

図 3 は測定結果 (T_a -RH と結晶形の関係)である。

1) FINEDEW による湿度測定の優位性

改良、校正した FINEDEW での湿度測定は、0℃から-40℃までの領域までの広い範囲で±0.18℃(-20℃の湿度で±1.7%)の精度で、安定した測定が可能であり、さらに結晶生成点近傍での直接かつリアルタイムの測定が可能であるなど、従来の湿度測定方法にはない優位な点がある。

2) 温度、湿度条件と結晶の形状

結晶生成時にはまず温度条件が結晶形状に大きく影響する。湿度条件に着目すると、比較的低湿度条件においては 0℃～-40℃までの広い温度域で角柱結晶あるいは厚い角板結晶が生成し、湿度が高くなると、その温度特有の結晶形が現れることが確かめられ、この点でこれまでの研究と一致した。さらに、特に-35℃以下では高湿度のもとで多結晶を含む多様な結晶が生成することがわかった。

3) 水飽和を超える条件での結晶生成

結晶はおおむね水飽和から水飽和の間で生成し、Nakaya(1954)などに見られるような水飽和を大きく超える成長条件はない。結果からこれまで議論のあった対流型装置による水過飽和湿度条件下の結晶生成について、微小水滴の存在によるものであることを実験的に明らかにすることができた。

4) 氷未飽和での結晶生成

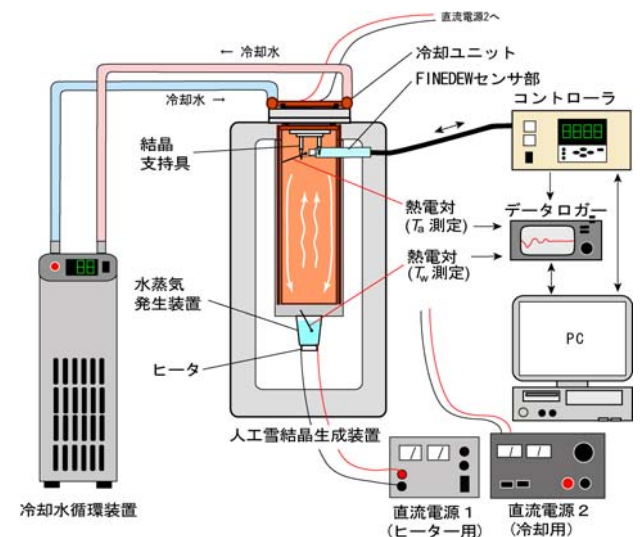


図1 実験装置の構成図

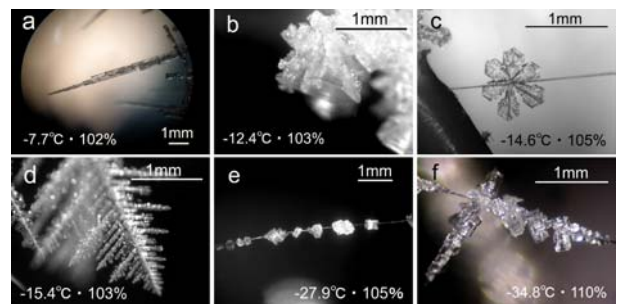


図2 生成した結晶とその湿度測定例

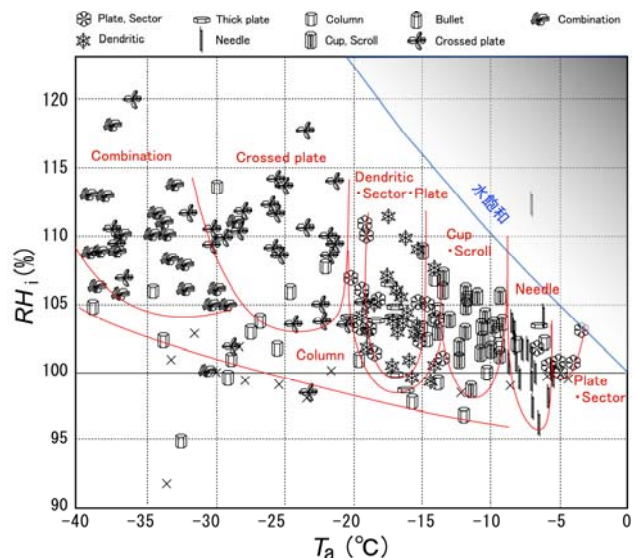


図3 成長条件(T_a -RH_i)と結晶形の関係

氷飽和を下回る条件でも結晶が生成する場合がある。原因として浮遊している多くの微小水滴の温度や曲率の効果等によって結晶の表面付近では過飽和となって気相成長している可能性や、微小水滴が結晶に直接付着することによる成長など、微小水滴の存在が結晶成長に寄与していることが考えられる。

5) 結晶の成長速度

針状結晶、樹枝状結晶、及び-30℃以上での交差角板結晶では成長速度は湿度にほぼ比例して大きくなる。しかし扇形結晶・角板結晶や-30℃以下での交差角板結晶では湿度によらずほぼ一定となる傾向を示す。