

鉛直過冷却雲風洞による雪結晶の雲粒捕捉実験 (その1)

高橋 庸哉 (北海道教育大学附属教育実践研究指導センター)

遠藤 辰雄 (北海道大学低温科学研究所)

1. はじめに

雪結晶の雲粒捕捉過程は天然の降水機構の中で極めて重要な役割を果たしている。天然雲内での雪結晶の雲粒捕捉特性を明らかにするために多くの観測がなされてきたが、定量的な議論を行うためには十分制御された条件下での実験が不可欠である。

本論文では、雪結晶の雲粒捕捉実験、その第1報として、天然で最も一般的な樹枝状結晶の場合について報告する。

2. 実験

実験装置はTakahashi et al. (1991)と同様である。この装置の特長は雪結晶の落下速度に等しい上昇気流を与えて、雪結晶を浮遊成長させ得る点で、天然の降雪粒子形成過程に極めて近い状態を再現できる。

実験は樹枝状結晶が成長する -15°C 付近で行った。降雪粒子を採取した直後にインパクターを用いて採取した雲粒の質量は $5.4 \times 10^{-10} \text{ g}$ (平均粒径 $10.1 \mu\text{m}$)であった。雲粒を蒸発させて、露点計で連続的に測定された全水分量から実験温度での飽和水蒸気量を引いて、雲水量を求めた。各実験中の雲水量は実験開始後3分ではほぼ一定となった。雲水量 $1.5 \sim 2.1 \text{ g/m}^3$ で実験を行った。

また、超音波式噴霧器で発生させた雲粒の電荷を交流電場を用いたWells and Gerk e'sの実験で求めたところ、 10^{-7} esu 程度であった。Schlamp et al. (1976)の数値と近い。

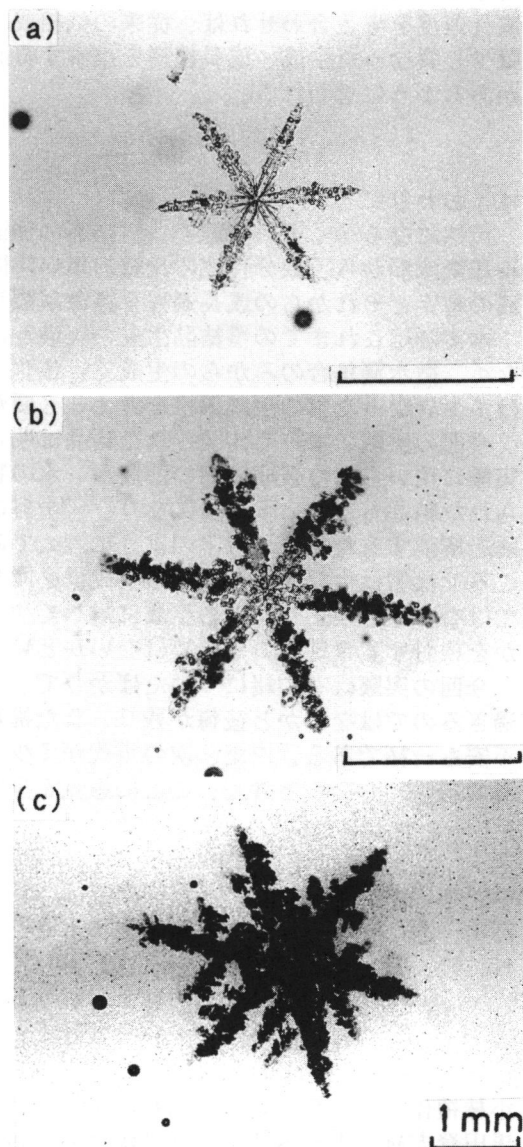


図1 得られた雲粒付雪結晶の例： (a) 成長時間8分，雲水量 1.9 g/m^3 ； (b)15分， 1.6 g/m^3 ； (c)25分， 1.6 g/m^3 。

シオン結果から類推するこの電荷の影響は小さいと考えられる。

3. 結果と考察

3-1 雲粒捕捉の特徴

図1は得られた結晶の例である。初期にはほとんど雲粒の捕捉が見られないが、次第に雲粒が捕捉され、結晶全面を被った。(b)にみられるように、中心付近直径0.4mmほどにはほとんど雲粒が捕捉されていなかった。雪の周辺部に雲粒が多く捕捉されやすいという天然雪に関する観測結果に一致した。

図2は得られた雪結晶及び1本の枝(採取後に折れたもの)を横から見たものである。雲粒は結晶の下面(風上側)に捕捉され、上面にはほとんど回り込んでいなかった。また、捕捉された雲粒は糸状に伸びており、風のshearの中で分裂しやすい構造になっていた。この分裂が天然雲内で起きると、'雲粒付雪粒-Rimed particle-' (Magono and Leeの分類)を生じると考えられる。この雪粒があられのembryoとなり、さらに雲粒を捕捉していくことも起こり得る。Takahashi and Fukuta (1988)は天然雪を注意深く顕微鏡下でくさき、多くの場合明かなembryoが見いだされないことを見いだしている。

3-2 落下速度・質量

図3は図1(c)に示された結晶の雲粒捕捉に伴う落下速度増加を示したものである。実験開始から6分までは気相成長の結果(Takahashi, 1991)と一致し、この間には雲粒が捕捉されず、水蒸気の昇華凝結のみで成長していることを表している。成長時間6分からは気相成長の場合より速くなり、16分過ぎから急激に増加していることがわか

(a)

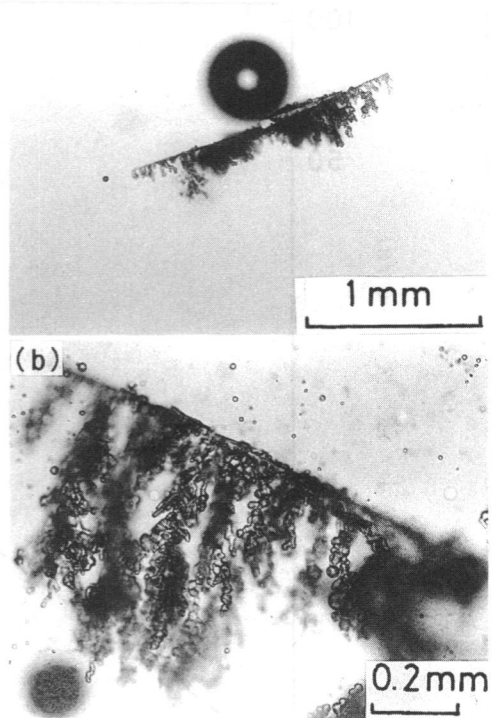


図2 雲粒捕捉の様子： (a)結晶を横から見たもの； (b)採取後に折れた枝を横から見たもの。雲粒を捕捉しているのが落下の前面。

る。それぞれ雲粒捕捉の開始及び雲粒捕捉の卓越に対応していると考えられる。開始の大きさをTakahashi et al. (1991)によって得られた実験式から見積もると0.8mmで、Harimaya(1975)の観測結果とほぼ一致した。

質量の増加は時間のべき乗で表現され、気相成長に比べて、成長時間15分で約2.5倍、25分で約6倍の質量となった。

3-3 雲粒の捕捉率

雲粒捕捉率は雲の水収支や降水効率などを評価する上で基礎的な値となる。雲粒捕捉率(E)は次の式で求めた：

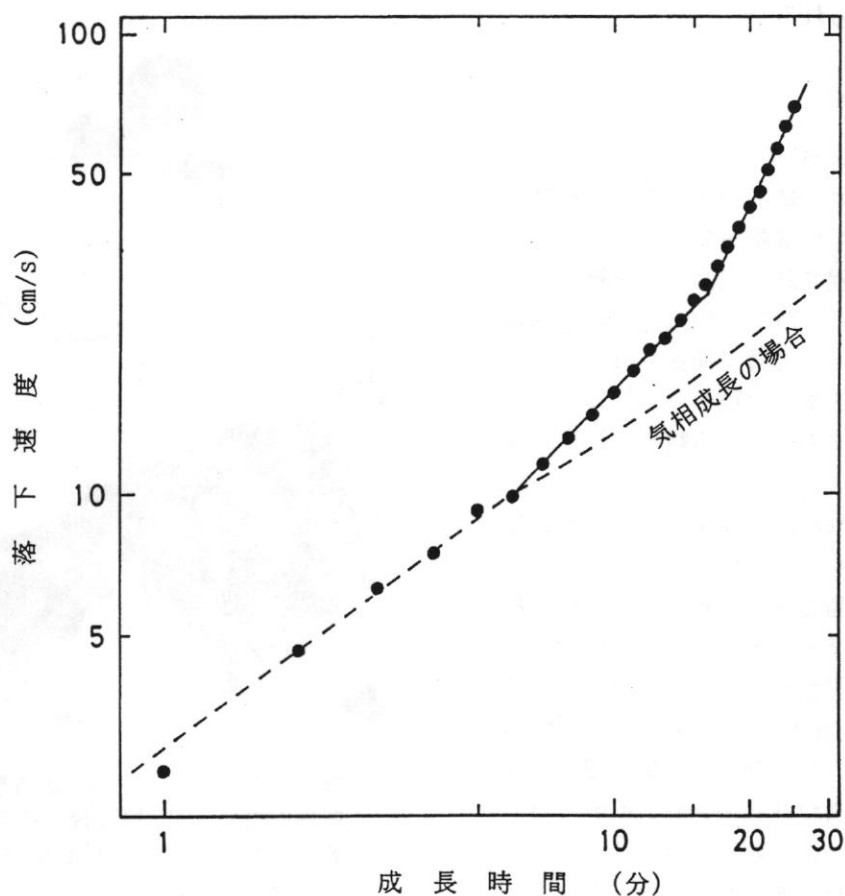


図3 落下速度の時間増加。記録紙から1分置きに読み取ったもの。
点線はTakahashi et al. (1991)による気相成長の場合。

$$E = \frac{(dm/dt)_{EXP} - (dm/dt)_{VG}}{w_L S V}$$

ここで、 $(dm/dt)_{EXP}$ は実験から求められた質量増加率、 $(dm/dt)_{VG}$ は水飽和での気相成長の質量増加率、 w_L は雲水量及び $S \cdot V$ は結晶のbasal面の面積・落下速度である。

ストークス数0.15~0.4の範囲内で雲粒捕捉率はほぼ一定で、0.15~0.2であった。

Reference

- Harimaya, T., 1975: The riming properties of snow crystals. *J. Meteor. Soc. Japan*, 53, 384-392.
- Schlamp et al., 1976: A numerical investigation of the effect of electric charges and external electric fields on the collision efficiency of cloud drops. *J. Atmos. Sci.*, 33, 1747-1755.
- Takahashi, T. et al., 1991: Vapor diffusional growth of free-falling snow crystals between -3 and -23°C. *J. Meteor. Soc. Japan*, 69, 15-30.
- Takahashi, T. and N. Fukuta, 1988: Observations of the embryos of graupel. *J. Atmos. Sci.*, 45, 3288-3297.