報 文

雪の顕微鏡観察と人工雪生成実験

香川喜一郎¹⁾, 伊藤文雄¹⁾, 諏訪裕子¹⁾, 佐々木恭介¹⁾

要 旨

これまで、教育現場で扱われることのなかった雪を、積極的に教材として利用することの意義を主張し、その実践例を、雪の顕微鏡観察と人工雪について紹介した。冬季の気温が比較的高い地方でも顕微鏡観察ができるよう部分冷却法を採用し、雪を顕微鏡下で -15°C 近くの温度に冷凍保存した。これに関して、冷媒にドライアイスを用いる場合と、氷と塩を用いる場合について、それぞれ具体的方法について詳しく解説した。また、これら冷却材を用いて、比較的簡単にできる人工雪の生成法、およびその結晶の特徴などについても述べた。

キーワード：雪の顕微鏡観察，部分冷却法，ブライン，人工雪

Key words: microscopic observation of snow crystals, partial cooling, brine, artificial snow crystals

1. はじめに

近年、子供たちの理科に対する関心が薄れ、日本の科学技術の将来が危ぶまれている。この現状を打開するには、目で見えて美しく、子供たちの興味・関心を引きつける自然現象を、積極的に教材として取り入れることが重要であると考え、雪の結晶は自然の美の象徴であるにも拘わらず、これまで小・中・高校を通じて、雪が教科書に登場することはほとんど無かった。その大きな理由の一つは、北海道や標高の高い場所は別として、降った雪がすぐに融けてしまい、観察の対象になり得なかったことである。北海道においてさえ、雪の顕微鏡写真を撮るには、雪洞を作り、 -15°C 以下の気温で行うことが必要であるとされていた。我々は、ドライアイスを用いる部分冷却法を提案し、どこでも雪の顕微鏡観察ができることを実証した (Kagawa *et al.*, 1999a)。また、ドライアイスは都市部では簡単に購入できるものの、山間部では入手するのが困難であることから、ドライアイスに代わって塩と氷を用いる方法も検討した。この報文では、雪の顕微鏡観察が広く普及することを願い、我々がこれまで行った実験方法を

紹介する。さらに、簡単な方法でできる人工雪の生成法についても述べる。

2. 雪の顕微鏡観察

2.1 ドライアイスを用いる方法

2.1.1 部分冷却装置

以前に報告した部分冷却法による雪の顕微鏡観察 (Kagawa *et al.*, 1999 a) では、小さな缶の下にドライアイスの塊を置いて缶の中の温度を下げ、雪の結晶を缶の中で凍結保存して観察するものであった。しかし、この方法は缶の外から入ってくる水蒸気によって結晶が汚れることや、照明の光が缶によって遮られ視野が暗くなるなどの問題があった。そこで半透明なプラスチック容器を用いて、図1のような観察装置を作った。容器の大きさは $130\text{ mm} \times 130\text{ mm} \times 65\text{ mm}$ で、蓋の中央には穴をあけ、ガラスシャーレを逆さまにして観察用窓として使用する。容器の底に厚さ 20 mm 程度のドライアイスの塊を入れる。ドライアイスの上に黒のフェルトを敷き、その上に直径 60 mm のガラスシャーレを置く。シャーレの中に黒の亚克力板 (厚さ $2 \sim 3\text{ mm}$)、または黒いビロードの布を入れ、その上に雪の結晶をのせる。プラスチック容器の内部は、ドライアイスか

1) 福井大学教育地域科学部理数講座物理教室
〒910-8507 福井市文京3-9-1

図1 実体顕微鏡を用いる雪結晶観察のための部分冷却装置。

ら気化した炭酸ガスによって満たされており、結晶に霜が付着することはない。結晶をのせる基板の温度が低すぎると、容器内にわずかに存在する水蒸気や、結晶から昇華した水蒸気が基板に付着する。それが結晶写真の背景を汚すので注意が必要である。基板の温度は -20°C から -15°C 程度が適当である。この装置によって容器内の雪は30分以上ほとんど形を変えずに冷凍保存される。その間にゆっくり顕微鏡写真をとることができる。これまで、雪結晶の顕微鏡写真は野外で撮るのが常識であったが、我々はこの装置を用い、顕微鏡観察を 10°C 付近の室内で行っている。シャーレ内には適当な間隔をおいて10個程度の結晶を一度に入れ、顕微鏡下でこの装置を移動しながら、一つずつ顕微鏡写真をとっていく。雪をのせる基板が汚れてきたら取り出してアルコールで拭くか、予備のものと交換する。図2は顕微鏡を含めた観察装置全体を示す。顕微鏡は三眼実体顕微鏡 (Kenis DAW-TL) を用いた。結晶の大きさに応じて倍率を $\times 20$ と $\times 40$ に切り替えて使用する。明るい蛍光灯スタンドを斜め側方より照らし写真撮影用の照明とする。フィルムは白黒、またはカラーのISO400を用い、シャッタースピード2～4秒で撮影している。

最近の小・中学校には実体顕微鏡が配備されているが、その台数は多くない。そこで、一般に使われている生物顕微鏡を用いても雪の顕微鏡観察が可能となるよう工夫した。このタイプの顕微鏡は実体顕微鏡と異なり、観察物体とレンズの先端との距離（作動距離）は短い。そこで結晶を入れる容器に薄いシャーレを用いた。図3に示すよう

図2 実体顕微鏡を用いる雪の顕微鏡観察装置。

図3 生物顕微鏡を用いる雪結晶観察のための部分冷却装置。

に、プラスチックシャーレ（直径88 mm）の底に薄い銅版を敷き、中央はプラスチックの円筒状パイプで仕切る。ドライアイスはパイプの外側に入れる。内側には、厚さ2～3 mmの黒いアクリル板を入れる。厚紙に黒の下敷きを貼ったものでもよい。このアクリル板の上に結晶をのせて観察する。通常このタイプの顕微鏡は透過法で照明されるが、ここでは斜め上から結晶を照明する。こうすると、黒を背景に結晶の凹凸が鮮明に浮き上

がって観察できる。シャーレの蓋はドライアイスのため強く冷やされ、すぐに霜が付着する。これを防ぐためシャーレの蓋にアルコールの液を張り、この膜を通して顕微鏡観察する。通常の顕微鏡の最低倍率は40倍であり、この倍率では、サイズの大きな結晶は顕微鏡の視野からはみ出してしまう。しかし、3 mm 程度までの結晶ならば十分観察できる。図4はこの装置の全体の様子を示す。顕微鏡写真をとるためのアタッチメントはとくに必要なく、写真で示すように、一眼レフカメラを直接顕微鏡の接眼レンズに近づけるのみで顕微鏡写真が撮れる。このとき、カメラは無限遠にピントが合うように調整しておく。また、カメラのレンズの前に黒い紙で作った直径20 mm 程度の絞りを設け、顕微鏡を通った光のみがカメラのレンズに入るようにする。まず、直接目で顕微鏡の接眼レンズを通して雪の結晶を確認したのち、三脚に取り付けたカメラをセットする。一眼レフカメラのファインダーから覗き、雪の結晶が鮮明に見えるよう、顕微鏡のピントを再度合わせる。

図4 生物顕微鏡を用いる雪の顕微鏡観察装置。

直接目で接眼レンズを覗く場合に比べ、視野が暗いので慎重にピントを合わせる必要がある。

2.1.2 雪採集保存装置

雪の顕微鏡観察を行う場合、まず、降ってくる雪を捕獲し、その中から適当な結晶を選択する必要がある。北陸のような気候では、雪が降っていても、外気温が -5°C 以下になることはめずらしく、大抵は 0°C 前後の気温で雪が降ることが多い。したがって降って来る雪を黒い布でそのまま受けたのでは、結晶を選択する前に結晶は融けてしまう。この問題は顕微鏡観察で使用したのと同じ方法で解決できる。すなわち、ドライアイスで雪を受け取るフェルトを十分冷やし、かつ炭酸ガスの雰囲気中でフェルト全体を包む方式である。ドライアイスが十分ある場合には発泡スチロールでできた保冷ボックスの底に板状の大きなドライアイスを入れ、その上に適当なスペーサーをはさんで黒いフェルト（またはビロードの布）をのせる。プラスチック容器を用いて、より小型の雪採集保存装置を簡単に作ることもできる。それを図5に示す。プラスチックの容器に適当な厚さの発泡スチロールを敷き、その4隅を切り取り、そこにドライアイスの塊を入れる。発泡スチロールの上にフェルトをのせ、その上に結晶を捕獲する。この容器の蓋には透明なアクリルの板が貼ってあり、雪を捕獲したのち、蓋を閉めたまま結晶の観察ができる。この容器を用いれば必要なドライアイスの量も少なくてもすむ。保存装置に捕らえた結晶は30分近く安定に保存できる。

雪採集保存ボックスを屋外に持ち出し、容器の蓋を数秒から、数十秒間開けて、降って来る雪を捕獲する。これを室温が $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ の室内に運ぶ。先端のよく尖ったピンセットを用いて雪を選択

図5 ドライアイスを用いる雪採集保存装置。

し、観察装置に移す。ピンセットは、先をドライアイスに接触させよく冷やすことが必要である。そうすると、ピンセットが雪の結晶に触れるだけで、雪がピンセットについてくる。雪をすばやく観察装置に移動し、基板の上でそっと結晶を降ろしてやる。

この雪採集保存ボックスの中から結晶を選択し、拾い上げる作業は、慣れるまでかなり時間がかかる。学校などで子供たちが簡単に顕微鏡観察できる方法として、図6に示すような装置の使用を勧める。すなわち、観察装置の上の蓋を、透明なプラスチックの筒（薄いプラスチック製のコップを適当に切って作る。）を中央に貼り付けたものと取り替える。上から降ってくる雪を、そのまま筒内を落下させ、ビロードの布の上に導く方法である。横風がなく、降ってくる雪の量がある程度多いときは、この図6で示す方法が採用できる。この方法で雪を捕獲したあと、冷やしたピンセットを用いて適当に雪を引き離して観察しやすくする。

図6 ドライアイスを用いる雪採集兼観察装置。

2.1.3 北陸の雪の結晶

これまで、北陸地方で雪の顕微鏡写真がとられたことはほとんどなかった。しかし、ここで述べた方法を用いて簡単にできるようになった。観測は、主に、福井市内と奥越の山間部〔海拔450 m〕とでおこなっている。北海道などに比べ、条件はかなり悪いが、それでも、気温が -2°C 以下で湿度が50%以下の風のないとき降る雪は、雲粒もほとんど付いてなく、美しい六華の結晶が見られる。図7は比較的形の整った結晶の例である。雪

の結晶の分類によれば(a)は角板、(b)は広幅六花である(小林1970, 小林1983)。これは、図2の装置で撮影したものである。通常の顕微鏡を用いた場合もほとんど同様の顕微鏡写真が得られる。図8は図3の装置で撮った樹枝状結晶の顕微鏡写真である。風があるときの雪は対称性が悪く、また、雲粒がついて汚れている。図9はそのような結晶の例である。福井市内では気温が高く、ボタン雪となることが多い。しかし、ボタン雪もピ

図7 福井県奥越地方で採集した雪の結晶。図1の装置と実体顕微鏡を使用。

図8 福井県奥越地方で採集した雪の結晶。図3の装置と生物顕微鏡を使用。

図9 雲粒のついた雪の結晶。図1の装置と実体顕微鏡を使用。

図10 ボタン雪の中に存在する比較的形の整った雪の結晶。図1の装置と実体顕微鏡を使用。

ンセットを用いて分解してみると、その中に意外に形の整った結晶が観察されるときがある。図10は福井市内で降ったボタン雪から採集した結晶の例である。

2.2 塩と氷を用いる方法

ドライアイスを用いる方法の欠点は、山間部でドライアイスの入手が困難であること、長時間保存することはできないこと、また、購入に費用がかかること、さらに子どもが扱うには凍傷になる危険性があることなどである。そこで我々は、氷に塩を寒剤として加え低温を作り、比較的簡単に雪の顕微鏡観察を可能にする方法を考案した。ドライアイスの温度は -77°C と非常に低温なので、雪を冷凍保存するのに必要な -15°C の温度を容易に得ることができる。しかし氷と塩を用いる方法の場合は -20°C 程度の温度しか得られない。したがって、結晶を冷凍保存するためには断熱性の良い容器を用いたり、結晶と冷却剤の間の熱伝導性を良くしたりするなどの工夫が必要となる。

図11 塩と氷を用いる雪採集兼観察装置。

2.2.1 雪結晶観察装置

(a) 一眼式解剖顕微鏡を使用する方法

本装置は、小学校高学年の授業に使用できることを目標とし、身の周りにあるありふれたもので、しかも安価なものを材料とし、さらに小学生でも比較的短時間で簡単に作成できることを考慮して考案したものである。その装置の概要を図11に示す。容器には断熱性の良いスチロール容器（カップラーメンのミニサイズの容器、265 cc）を用いる。容器の内側に小さなビニールの袋（350 mm × 250 mm）を敷き、その中に細かく砕いた氷に塩を 7 : 3 の重量比で混ぜたもの（以下ブラインと表記する）を約 150 g 入れる。そこに飽和食塩水約 30 g を入れる。その上に、雪を捕獲して観察する保持台としての青色工作用紙をのせる。この上に、透明樹脂フィルムを置いて蓋とする。これは書類を保管するために使う透明なクリアホルダー（厚さ 0.25 mm）を適当な大きさ（120 mm × 120 mm）に切ったものである。5分程度待つと、青色工作用紙の表面は雪の冷凍保存に必要な -15°C まで下がるので、その後装置を外に持ち出し降ってくる雪を青色工作用紙の上に捕獲し、透明樹脂フィルムで蓋をする。そして装置を屋内へ持ち込み、顕微鏡下で観察する。

カップラーメンに使われるスチロール容器は、一般には高温保持のために使われているが、今回のように、外部からの熱の流入を防ぐためにも非常に効果的である。スチロール容器を用いたことで低温を長時間保持できることだけでなく、内部の温度が -20°C という低温でも容器の外側は

5°C程度までしか下がらないので子供たちが素手で持っても安全である。もちろん通常の大きさのカップラーメン容器も使用できるが、今回あえてミニサイズを使用した理由は、氷と塩が比較的少量ですみ、また小学生が片手で持てて扱いやすい大きさであるからである。氷は製氷室で作った氷、または市販のロックアイスを布の袋の中に入れ、金槌で平均粒径2~3mm程度に砕いて用いる。屋外に積雪があるときは、雪をそのまま用いればよい。

前述したように、雪の結晶観察のためには-15°Cの低温が必要である。これより温度が高いと結晶の昇華が早まり観察中に雪は変形してしまう。今回の方法は氷を砕くことに加え、ブラインの中に最初から飽和食塩水を入れるということが重要なポイントとなっている。図12は、飽和食塩水を加えた場合と、加えない場合について青色工作用紙表面の温度の時間変化を比較したものである。曲線Aで示す飽和食塩水を入れない場合は、最初はブラインと青色工作用紙の熱伝導が悪く、温度は-7°C~-9°Cぐらいまでしか下がらない。時間とともに氷が融け、食塩水が上部まで達するとブラインと青色工作用紙との熱接触が良くなり急激に温度が下がる。しかしその低温は

長くは続かない。最初から飽和食塩水を加えた場合の曲線Bは開始からわずか4分で-15°Cまで下がっており、この状態を約50分間持続できる。この50分間という時間は、子ども達が雪を採集して観察するのに十分な時間である。この実験の工作用紙表面の温度測定には、放射温度計(OPTEX THERMO-HUNTER, model PT-3S)を用いた。

この装置は主に小学生を対象に考えている。一般の小学校には単レンズ式の解剖顕微鏡(図13)が配備されており、その倍率10倍のレンズを今回の観察に用いた。この場合、レンズの先端と雪との間隔は約25mmである。時間とともに氷が

図13 小学校で使われる一眼式解剖顕微鏡。

図12 飽和食塩水がある場合とない場合の工作用紙表面の温度。

融け、結晶をのせる青色工作用紙の面が下がる。この顕微鏡のレンズは上下方向の調整はできるものの、ある程度まで下がると、それ以上の調整はできなくなり、ピントが合わなくなる。この問題を解決するために、この装置では、スチロール容器の内側にビニール袋を敷いている。すなわち、液面がさがると、容器の側面に出ているビニールを下方方向に引き、ブラインを持ち上げ、青色工作用紙が作動距離内に収まるよう調整する。ビニールの位置は輪ゴムで固定する。これによって、この装置を1時間近く連続して使用することができる。結晶をのせる台として青色工作用紙を用いたのは、コントラストがはっきりする上に、背景が美しく感じられるからである。工作用紙の代わりに、フェルトを使用してみたが熱伝導が悪く十分な低温を得ることはできなかった。

この雪採集兼観察装置を用いて、小学5年生、30名のクラスを対象に実践授業を行い、良い成果を得た(諏訪ら, 2000)。図14はこの装置を使って小学生が顕微鏡観察を行っているところである。図15はこの雪の採集及び観察装置を用いて撮影した雪の顕微鏡写真である。解剖顕微鏡のレンズの中心部のみを使用するように、黒い紙に直径5mm穴をあけてそれをレンズの上に置き、絞りとする。そこに一眼レフのカメラ($f=70\text{ mm}$)の先端がくるようにセットした。実体顕微鏡が使える場合は、上記の装置をそのまま顕微鏡下に置き観察すればよい。実体顕微鏡の機種によっては、スチロール容器を切断して高さを調整する必要がある。その場合はブラインの量をできるだけ多くするために、ミニサイズでなく、通常またはピッ

グサイズのスチロール容器を用いるとよい。

良く知られているように、雪の形は気象条件によって様々に変化する。このような点から気象と結晶形の関係を調べることは意義がある。図16は一眼レフカメラを用いて直接青色工作用紙の上の雪を接写撮影したものである。この写真の横の長さは25mmに相当する。このような写真から雪の結晶形状の分布を統計的に調べることもできる。この目的にも、本装置は適している。

(b) 生物顕微鏡を使用する方法

ドライアイスに替えて冷却材にブラインを用い

図15 一眼式解剖顕微鏡で撮影した自然雪。

図14 雪の顕微鏡観察をしているところ。

図16 接写撮影による自然雪。

る場合はブラインの量をある程度多くしなければ温度が下がらない. そのためカップラーメンのビッグサイズのを切断して容器とした. 図17に示すように, この容器の中央に円柱状の真鍮のブロックを置き, その周りにブラインをいれる. 真鍮ブロックの上に青色工作用紙を置き, この上に採集した結晶をのせる. こうすれば, 氷が融けても観察する試料の高さは変動しない. この装置を気温5°C程度の所に置けば, 結晶をのせる青色工作用紙の温度は-15°C程度になり, 顕微鏡撮影する間, 結晶を十分凍結保存できる.

2.2.2 ブラインを用いた雪採集方法

ブラインを用いて雪採集装置を作ると, ドライアイスを用いる場合ほど雪の長時間保存はできない. しかし, 結晶を採集し, 観察・選択する程度の時間であれば十分目的を達成できる. 図18はそのための装置の断面図である. ビッグサイズのインスタント焼きそばや, インスタントスパゲティーに使われるスチロール容器を利用し, 中に450 g程度のブラインを入れる. 適当な大きさの缶の蓋を逆さにしてブラインの上にのせ, 少し沈ませる. 缶の蓋の底に, 薄い黒の布(折りたたみ

図17 ブラインを用いる場合の部分冷却装置.

図18 ブラインを用いる場合の雪採集保存装置.

傘などの布地)を敷く. 気温が0°C付近であれば, 布の表面は-15°C程度まで下がる. 雪を採集してすぐに薄い透明シートで蓋をし, 上から眺めてよい結晶を探す. その結晶を取り出して観察装置に移す.

3. 人工雪の生成

中谷の人工雪生成装置は雪の生成条件を知る上で非常に有効であった (Nakaya *et al.* 1936, Nakaya *et al.*, 1936). しかし, この装置は低温室が必要であり, かなり大掛かりな装置である. 小中学校などの教育現場で利用できるように簡単な人工雪生成装置の開発が望まれている.

3.1 ドライアイスを用いる方法

ドライアイスを用いて簡単に人工雪を作る方法としては, 平松方式が知られている (平松, 1998). 我々もこの方法にしたがって結晶を作った. その結晶はシダ状となるが, その結晶を取り出し, 我々の観察装置に移して顕微鏡観察を行った. しかし, この結晶の枝は細く, 天然の雪の結晶で見られるような枝の軸に沿った2本の溝は見られない. この方式によると, 始めペットボトルの中に過剰の水蒸気を含ませ, それをドライアイスで冷却するため, 水蒸気の過飽和度が著しく大きく, 結晶は急激に成長する. そのような条件で本当に単結晶ができるかどうか疑問である. 今後, 過飽和度を下げて実験する必要がある.

先に, 我々は身の周りにある海苔の缶を利用した「水平雪生成装置」を考案した (Kagawa *et al.*, 1999 b). これは水平に置いた海苔の缶の蓋をドライアイスで冷却し, 蓋の内側に取り付けた黒いフェルトや黒い紙の上に, 反対側から蒸発させた水蒸気を昇華凝結させる方法である. この方法でいくつかの六華の結晶を作った. しかし, その成長過程を観察することができなかった. そこで原理は同じであるが, よりコンパクト, かつ結晶の成長過程が観察できるような装置を考案した. それを図19に示す. 小さなサンプル管〔直径25 mm, 長さ60 mm〕を水平に置き, ダンボールの表面に紙に黒い紙を貼ったものをサンプル管の中に入れる. 管の口の付近に10 mm角程度の濾紙を入れ, それに注射器2滴程度の水を含ませ, 管の蓋をしてから, サンプル管をドライアイスの

図19 超小型人工雪生成装置。

上に置き、片側のみ冷却する。室内の温度に応じてサンプル管とドライアイスの間にティッシュペーパーなどを挟み冷却の程度を調整する。20分程度すると小さな結晶が見え始め、1時間で2 mm 程度まで成長する。図20はその成長過程を示す。この時の室温は15°Cである。この方法は確かに簡単ではあるが、実際は室温の変動を受け、実験条件を固定することが難しい。

3.2 塩と氷を用いる方法

図11の装置は雪の観察のために考案したものであったが、この装置を使って実験中、人工雪の生成にも利用できることに気づいた。すなわち、この装置で雪を採集することなく、しばらく放置しておくと、その青色工作用紙の上にピカピカ光るものが観察された。(図21)これを顕微鏡でみると6本の枝に分かれており、人工雪であることがわかった。この発見をきっかけとして、人工雪生成に適した装置に改良した。

図22はその装置の断面図を示す。カップラーメンのビッグサイズに使われるスチロールの容器[670 cc]を適当な高さ[約45 mm]に切断して、それをプラスチック容器[130×130×65 mm]の中に置く。スチロール容器の中にはブライン約100 gを入れる。氷は家庭用のかき氷を作る機械でシャーベット状にして用いる。スチロール容器のまわりを氷の塊で取り囲む。これは周辺からの熱の流れを抑えるためであり、これによって20°C近くの室内でもブラインは-20°Cの温度を約50分間維持できる。室内の温度が10°C以下であればスチロールの容器にそのまま蓋をして用いればよい。プラスチック容器の蓋の中央部に穴をくりぬき、代わりにガラスシャーレを逆さまに伏

図20 人工雪の成長過程；(a) 31分 (b) 38分 (c) 48分、白線の長さは2 mm。

図21 工作用紙の表面にできた人工雪の接写撮影。

せ、観察窓とする。シャーレとプラスチックが接触する場所にシリコングリースを塗り、気密性を良くしている。青色工作用紙の裏側にアルミ箔を

図 22 ブラインを用いる人工雪生成装置.

貼ったものを用意し、これをブラインの上にのせる。ブラインから水が出ていないときは飽和食塩水を少し加えて、先にのべたように青色工作用紙とブラインの熱接触を良くする。工作用紙をブラインの上に置き、容器の蓋をする。工作用紙表面の温度は $-12 \sim -16^{\circ}\text{C}$ の範囲に下がる。この温度範囲は人工雪生成に非常に適した温度である。この装置では、雪結晶に使われる水蒸気を特別供給していないが、装置の蓋をしたとき閉じ込められた空気中の水蒸気が青色工作用紙の表面で昇華して雪となる。したがって室内の湿度が結晶生成に大きく影響する。室温が 20°C 近くの場合は、 $60 \sim 70\%$ 近くの湿度が適当である。湿度が高すぎても、低すぎても雪の結晶はできない。室内の湿度が低すぎるときは、大きなビニール袋の中に水を入れ、湿度を適当に高め、その中にこの装置を入れて蓋をする。蓋をしてしまえば装置を外に出して顕微鏡観察ができる。青色工作用紙の裏にアルミ箔を貼ったのは、紙にブラインの水分が浸透してくるのを防ぐためである。紙が湿ってしまうと結晶は全くできない。

この装置では青色工作用紙をのせてから $1 \sim 2$ 分で結晶が見え始め、 10 分程度で結晶の成長は止まる。この間、結晶は $1 \sim 2\text{ mm}$ 程度の大きさまで成長する。図 23 はこの方式でできる人工雪の成長過程である。生成する結晶の大部分は図 23 に示す様な星状となる。他の形ができる確率は低い。しかし、まれに図 24 や図 25 のような結晶ができる。図 24 は 7 分後に見られた広幅六花であり、図 25 は樹枝状の結晶である。図 26 は黒のビニールテープを 0.2 mm 厚の銅版にはり、それをブラインの上に置いたときでできる結晶であ

図 23 ブラインを用いて作った人工雪の成長過程； (a) 3分 (b) 5分 (c) 7分、白線の長さは 1 mm 。

図 24 ブラインを用いて作った人工雪、白線の長さは 1 mm 。

図 25 ブラインを用いて作った人工雪、白線の長さは 2 mm.

(a)

(b)

(c)

図 26 ブラインを用いてビニールテープの表面に作った人工雪の成長過程；(a) 6 分 (b) 7 分 (c) 9 分、白線の長さは 1 mm.

る、写真は、銅版をブラインの上にのせてから、6 分、7 分、9 分の時間経過を示している。これは自然の雪ではあまり見かけないタイプであるが、非常に美しい形をしている。

この方法でできる結晶では、何が核となっているか問題となるが、現段階ではよくわからない。紙の場合は表面に存在する細かい毛が核になっている可能性もある。しかし、ビニールテープの場合は核になり得るものはない。我々の最近の研究で、アクリル表面にも対称的な美しい雪の結晶ができることがわかり、この場合の核生成に、アクリルが持つ静電気が関与している可能性を指摘した (Suwa *et al.*, 2001)。今後さらに詳しい研究を行う予定である。

4. おわりに

今回の研究によって、身の周りのありふれた物を使って、雪の研究ができることを示した。氷に塩を混ぜて低温を得る方法は昔からよく知られた事であるにも拘わらず、これを用いて雪を冷凍保存して観察したり、人工雪を作ったりすることがこれまで行われなかったのは大変意外である。雪の結晶は単に形が美しいというだけでなく、二つとして同じ形のものはない。それゆえ、子供たちは、一種の発見の喜びを体験できる。実験を通じて自然の美に触れることのできる教材として、これ以上のものは多分ないであろう。今後、この雪の結晶の研究が学校現場のみならず、社会一般に広がっていくことを期待したい。今回の人工雪の研究によって、どこでも人工雪が簡単にできるようになった。南国の雪の降らない地方の子供たちに人工雪を見せることができれば、その教育的意義は大きい。

文 献

- 平松和彦, 1998: ペットボトルで雪の結晶を作ろう。子供の科学, **40** (8), 42-43.
- Kagawa, S., Kakehi, M., Itoh, F. and Kagawa, K., 1999a: Observation of snow crystals using a chamber by dry ice. *Physics Education*, **34**, 43-45.
- Kagawa, S., Itoh, F. and Kagawa, K., 1999b: Production of artificial snow crystals. *Physics Education*, **34**, 92-95.
- 小林禎作, 1970: 雪の結晶, 自然の芸術をさぐる。東京, 講談社, 304 pp.
- 小林禎作, 1983: 雪の結晶, 冬のエフェメラル。札幌, 北海道大学図書刊行会, 39 pp.

- Nakaya, U., Sato, I. And Sekido, Y., 1936a: Preliminary experiments on the artificial production of snow crystals. J. Fac. Sci., Hokkaido Imperial Univ., Ser. II **2**(1), 1-11.
- Nakaya, U., Yoda, Y. and Maruyama, S., 1936b: Further experiments on the artificial production of snow crystals. J. Fac. Sci., Hokkaido Imperial Univ., Ser. II **2**(1), 13-57.

諏訪裕子, 伊藤文雄, 香川喜一郎, 2000 : 雪を教材とする理科教育の提案. 福井大学地域環境研究教育センター研究紀要, **7**, 35-42.

Suwa, Y., Myint, H. H., Kurniawan, H., Itoh, F. and Kagawa, K., 2001: A new method for producing artificial snow crystals using a mixture of salt and ice. Physics Education, (in press).

Microscopic observation of snow crystals and production of artificial snow crystals

Kiichiro KAGAWA¹⁾, Fumio ITO¹⁾, Yuko SUWA¹⁾ and Kyousuke SASAKI¹⁾

*1) Department of Physics, Faculty of Education and Regional Studies,
The University of Fukui, Fukui 910-8507*

(2001年4月19日受付, 2001年6月6日改稿受付, 2001年6月11日受理, 討論期限2002年1月15日)