

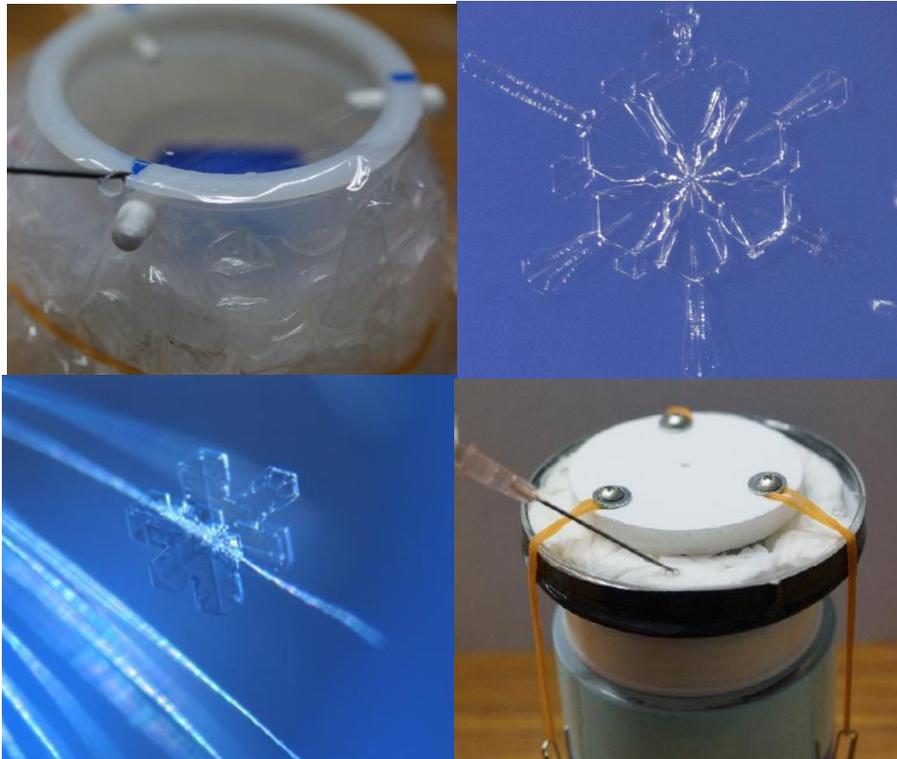
## 平成27年度第2回科学実験教室

平成28年 1月 30日(土) 10:00~15:00

場所：アオッサ706・707(7階) (福井市)

### 「雪の結晶、大実験」

福井県社会福祉協議会福井県まごころ基金助成事業



ヨーグルトの容器を用い、プラスチックの表面に作る人工雪(上)  
魔法瓶の中に氷と塩を入れ、タンポポの綿毛に作る人工雪(下)

<協力>：科学映像館を支える会

後援：福井新聞社、NHK 福井放送局

講師：香川喜一郎(ふくい科学学園理事長)、横井貞弘(ふくい科学学園副理事長)

実験補助：伊藤文雄、仲野利昭、村田武夫、中村英一

田仲志保、下家佐知子、森川けい子、香川弘子

なまえ  
名前

<映画：「雪にいどむ」> (映像提供：NPO 科学映像館を支える会)

制作：日映科学映画製作所 (1961年製作、カラー30分、内20分上映)

企画：日本国有鉄道(現在のJR)

- ・山陰地方や北陸地方などの日本海側では冬に大雪が降(ふ)っていました。国鉄(JR)の安全運転のために、除雪や雪崩(なだれ)の対策(たいさく)の方法が研究され、現場に取り入れられました。この映画が製作された55年前、国鉄を走る機関車の大部分は蒸気機関車でした。年配の大人にとっては大変なつかしい映像です。



雪対策は国鉄の重要課題



シベリア大陸から寒気がおしよせる



雲が山にあたり上昇し冷えて雪ができる



なだれは時に列車を転覆(てんぷく)させた



積(つ)もった雪の性質が研究された



いろいろなタイプの除雪車がある

## 1. 中谷博士の人工雪の実験

- 雪の結晶は自然の美の象徴（しょうちょう）です。雪を人工的に作ることは 1936 年北海道大学の中谷宇吉郎博士によって世界で初めて行われました。その実験は、 $-30^{\circ}\text{C}$  近くの低温室内に、長さ 1m ほどのガラスの 2 重管（にじゅうかん）を置き、ガラス管の下方から対流（たいりゅう）を用いて水蒸気を上方に送り、ガラス管の上部につるしたウサギの毛に人工雪を作るものでした。つまり、自然界をまねた条件で実験が行われました。
- この人工雪の研究により、雪の結晶の形が、温度や湿度（しつど）によってきまることなどが明らかになりました（中谷ダイアグラム）。
- 石川県、片山津温泉にある、「雪の科学館」では、中谷博士の雪の研究を紹介（しょうかい）しています。館内には、最近開発された電子冷却方式（でんしれいきゃくほうしき）を使った人工雪生成装置（じんこうゆきせいせいそうち）（村井式）も展示（てんじ）してあり、館内で実際に人工雪生成を実演（じつえん）しています。
- これまで、教育現場（きょういくげんば）で使用できるような簡単な人工雪生成装置はありませんでした。我々は 18 年ぐらい前から、塩と氷を用いる簡単な装置（そうち）で人工雪ができることを見出し、これを教材として利用することを試みています。

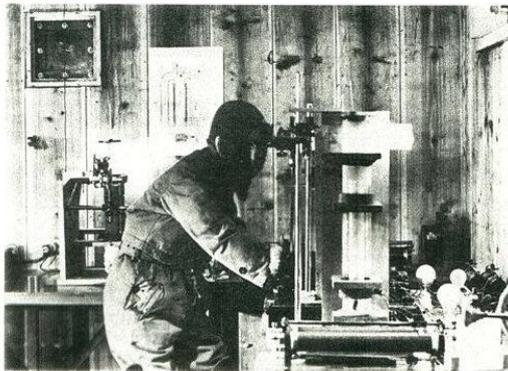
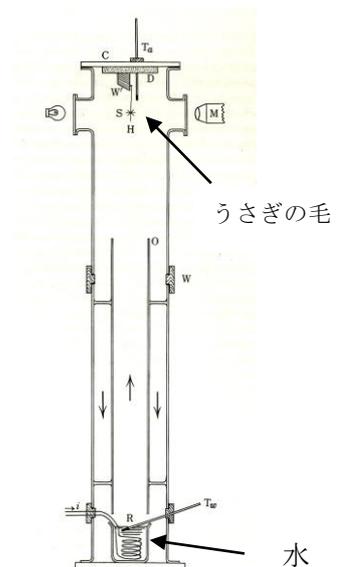


Fig. 267. The author and the snow-manufacturing apparatus in the cold chamber.

低温室で人工雪を作っているところ

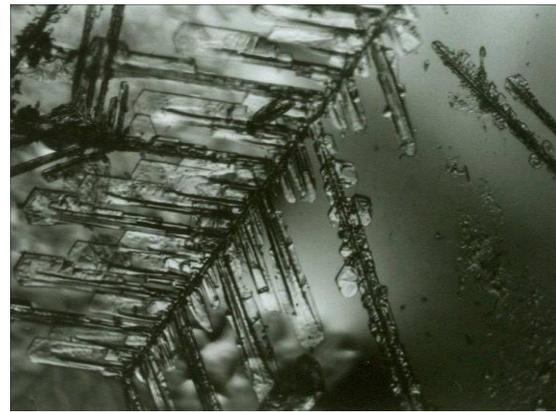
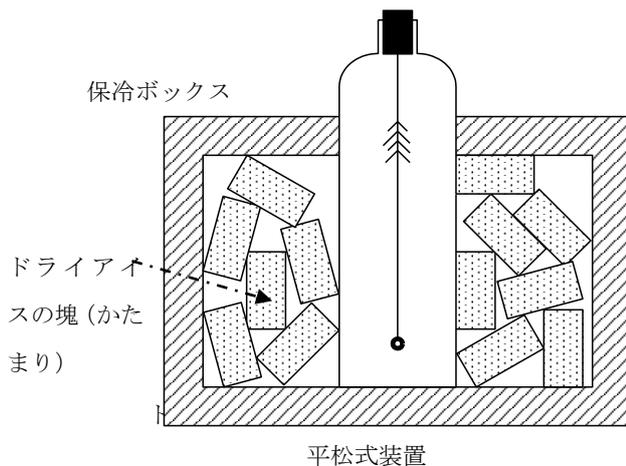
Snow Crystals, U. Nakaya, Harvard Univ. Press. より



中谷博士らが用いた人工雪を作る装置 (Snow Crystals, ハーバード大学出版、1954 年) より

## 2. 人工霜 (しも) の生成

- ・人工雪の実験を行う前に、人工霜の実験を行うのは教育的に意味があります。
- ・元旭川西高等学校の平松先生が20年前に開発した装置は、暖 (あたたかい) 部屋の中でも簡単に人工雪ができるといわれ、発表当時話題となりました。この方法は、ペットボトルを使うことからペットボトル方式とも呼ばれています。



人工霜結晶の顕微鏡写真

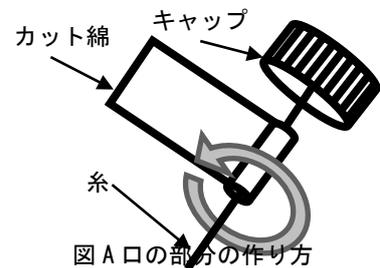
- ・発砲 (はっぼう) スチロールの箱のふたに穴をあけ、500ml のペットボトルの上部が首を出すようにセットします。セットする前に、ペットボトルに息を吹 (ふき) こんで、多量の水蒸気を入れておきます。また、ペットボトルの中に黒い糸たらししておきます。ペットボトルの周囲にドライアイスを入れて冷却 (れいきゃく) し、結晶のできる様子を、斜 (ななめ) 上方から観察 (かんさつ) します。
- ・我々は、この装置で結晶を成長させた後、装置を低温室に移動させて結晶を取り出し、顕微鏡 (けんびきょう) で観察を行いました。黒い糸の1~2cmの長さにわたって結晶の芽が密集 (みっしゅう) し、魚の骨のような細い結晶からなることがわかりました。
- ・中谷博士らの研究によると、雪の結晶には、結晶の枝 (えだ) の軸方向 (じくほうこう) に2本の溝 (みぞ) があることが分かっています。しかし、このペットボトル方式でできた結晶にはその溝が見られません。したがって、これは雪ではなく、霜 (しも) です。
- ・この装置で雪の結晶ができない理由として、ひやされたペットボトル内部の水蒸気の量が

著（いちじる）しく高くなっていることがあげられます。また、結晶の成長速度も非常に速く、このような条件下では雪の結晶はできません。

### 実験1：＜ヨーグルトの容器を使う小型人工霜生成装置＞

・平松方式では、ドライアイスが1～2kgととてもたくさん必要です。ここでは少量のドライアイスで人工霜を作る方法を紹介します。

・まず、ヨーグルト容器のキャップに穴を開け、糸を通し、クリップを用いて糸がふたから落ちないように固定します。糸はボトル内でピンと張る（は）るように、糸の先に重（おも）をつけます。



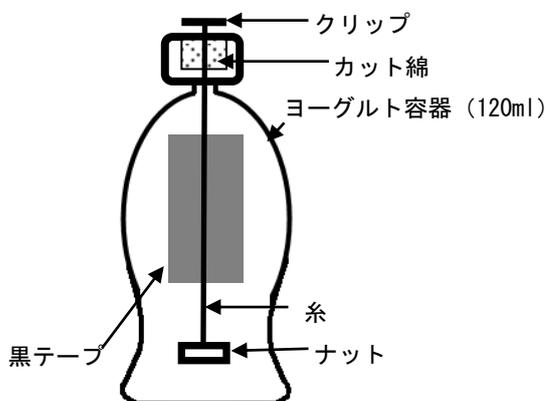
・カット綿を図Aのように糸に巻きつけるように取り付けます。カット綿を巻き終わったら、飲み口に押しこんでキャップをしめます(図B)。 **今回はすでに作ってあります**

・上部を切り取ったカップラーメンの容器に、ペットボトルを入れ、まわりをドライアイスの粉で満たします。ドライアイスを粉状（こなじょう）にするのが重要なポイントです。

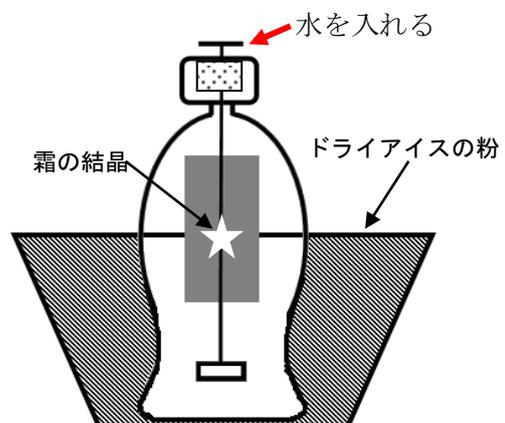
・ドライアイスの塊（かたまり）（約150グラム）は袋（ふくろ）に入れて、金槌（かなづち）でたたき、粉々（こなごな）にします。

粉状ドライアイスをヨーグルト容器のまわりに入れた後、ティッシュで上をおおいます。

・キャップ上部に穴があるので、スポイトを使ってその穴に垂直に（すいちょく）にあて、少しずつ水を入れ、カット綿に十分水（約1CC）を送ります。



図B ヨーグルト容器の断面図



図C ヨーグルト容器を用いての人工霜生成装置

- ・10分くらいするとすぐに分かるほどの大きさの霜の結晶が見えます。結晶が見えやすいように、ヨーグルト容器のうしろに黒テープ（または青テープ）をはっています。写真Dは、人工霜生成装置で、写真Eは、ヨーグルト容器内にできた霜の結晶です。



写真D 人工霜生成装置



写真E 霜の結晶

- ・10分、20分、30分ごとに形を虫メガネで観察しましょう。

注意：人工霜生成装置を大きく動かすと、霜はすぐに落ちるので注意してください。

- ・容器の中にできた結晶を顕微鏡で観察して、霜と雪の違いを明確にします。

そのために、粉状にしたドライアイス（約100グラムを別のスチロール（上部の一部が切ってある）の容器に入れ、下の写真のようにヨーグルト容器を斜（なな）めにして、黒い糸のまわりにできている霜結晶を顕微鏡で観察します。



- ・容器を斜めにして霜結晶を容器の側面にあてて観察します。
- ・容器の上部がくもってきたらティッシュにアルコールをつけてふいてください。

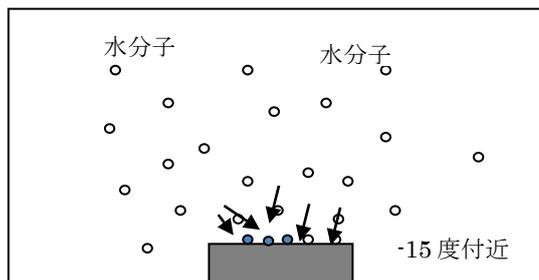
### 3. 氷と塩を混（ま）ぜてできる低温を使って人工雪を作る

- ・雪は空気中の水蒸気が $-15^{\circ}\text{C}$ 付近の温度で昇華凝結（しょうかぎょうけつ）（気体分子が集ま

って、液体ではなく直接固体になる) してできるものです。

- ・雪ができるためには、温度、湿度（水蒸気の量）、核（かく）（結晶の種）の3つの条件を整えれば、人工的に作ることができます。しかし、実際はとてもデリケートです。
- ・自然界で、雪がたくさんふるときでも、雪の形がよくないことがあります。

雪ができるための条件——>温度 ・ 水蒸気の量 ・ 核（結晶の種）



水蒸気は水分子からなる。

水分子が集まって雪の結晶となる。

（上空では空気中のごみなどを核にして水分子が集まり、雪結晶ができる）

- ・シャーベット状にくだいた氷（または積もった雪）と塩を、約7:3の割合で混ぜ冷却材（れいきやくざい）として用いると（これを**ブライン**と言う）、**-20℃近くの安定した低温**を作ることができ、それが人工雪生成に**適（てき）**しています。

## 実験2：ヨーグルトの容器の中で人工雪生成

### 容器の準備

室内の温度は20度以下にしてください！

- ・ここでは人工雪を作る容器として、ヨーグルト（十勝ヨーグルト[明治乳業株式会社]）の空き容器を利用して作ります。ヨーグルトの容器のまわりに、荷物のクッションに使う、プチプチをまきます。こうすることで、断熱（だんねつ）が良くなります。



必要な材料があるか点検します。



容器に両面テープをはりプチプチを巻く。



底にしいたプチプチはセロテープ  
で側面に固定する。



かどのはみ出たプチプチをはさみ  
で切ります。

今回は、時間の関係上、人工雪生成の容器をすでに作っておきました。  
この装置は各自お持ちかえりです！

### プラスチック板の準備

- ・今回の人工雪は、青のプラスチック板（笠井産業株式会社 カピロンプレート K5531, 1 mm厚, 約24mm角に切断）の上に作ります。
- ・購入したプラスチックの板には表面を保護する薄い紙がはってあります。これをはがすとプラスチック表面は強く帯電（電気をおびること）します。プラスチックの板は帯電した状態で基板の上に置きます。この静電気が雪の結晶の核を作りやすくします。
- ・青色のプラスチック板を検電器（けんでんき）の上に置いて、じっさい、紙をはがすと電気がおこることを合同実験で確かめます。電気があると検電器のハクが開きます。



紙をはがす前

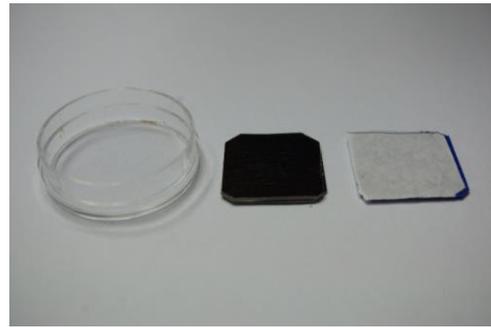


ピンセットで紙をはがした後

検電器を使うと、  
目に見えない電  
気が見えます

合同実験

- ・プラスチック板と小さいプラスチックシャーレの間にスペーサーとして、黒の工作画用紙を4枚はりあわせた物を入れます。これは熱の伝わり方をゆっくりさせるためです。



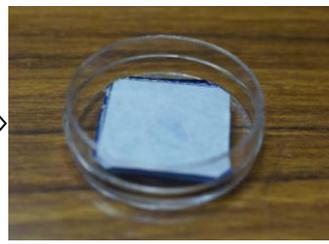
人工雪を作る基板の材料

- ・4枚はりあわせた黒の画用紙の一方の面にグリスをぬって、プラスチックシャーレにはりつけます。グリスをぬることで熱の伝わりが均一（きんいつ）になります（グリスがないときは両面テープではってください）。
- ・プラスチックシャーレに固定されている黒の工作画用紙にグリスをぬり（**グリスはつまようじでぬったあと、指でしっかりのぼして下さい**）、そこに青のプラスチック板の紙をはがした方をはりつけます。はったら指で下におしつけます。

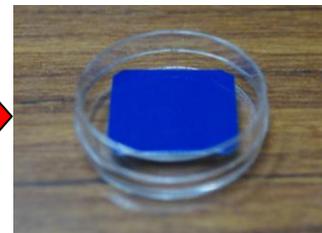
今回は、この作業はすませておきました



はりつけた黒の紙に、さらにグリスをぬる



黒の紙に、青プラスチック板をおしつける



青プラスチック板の紙をはがす

- ・青色プラスチック板の上の紙をピンセットではがし（**青色プラスチックの表面に指をふれてはいけません！！**）、プラスチックシャーレをひっくりかえしておいてください。次の準備をしている時間の中に、プラスチックの表面の電気は減（へ）り適当な強さになります。紙をはいですぐに実験に使用すると電気が強すぎて、結晶がたくさんでき過ぎます。

### 氷と塩をまぜ、ブラインを作る

2人、1組になってください！

- ・氷は通常（大気圧の中では）0℃ですが、塩と氷を混（ま）ぜるとマイナス20℃ちかくまで温度が下がります。氷と塩を混ぜたものを**ブライン**と言います。

- ・ **ブラインを作るために、氷(雪)と塩の重さの割合を約7対3にして混ぜます。**ここでは塩を60グラムはかり、氷(雪)を140グラはかります。それぞれ別のスチロール容器に入れます。これはヨーグルト容器2個分のブラインを作るのに必要な量です。



(注意：デジタルはかりは容器をのせたあと、ゼロをおすと容器の重さを差し引いた値を表示します)。

**つもったザラメ雪の場合は、雪を袋に入れてたたき、氷の粒(つぶ)をうんと小さくしてください!!**

- ・ 雪がない時は、“電動氷かき機”に氷を入れてシャーベット状に細かくします。電動かき氷機の上の容器に氷を入れて、ふたをかぶせた後、上から押し付けます。するとスイッチが入り、モーターが回転して氷が細かくシャーベット状にけずれて行きます。



電動かき氷機



手でおすとモーターが回転し氷がけずれる



雪があるときは、かき氷を作らなくても雪をかき氷としてそのまま使用できます。

- ・ ジャンボラーメンの容器に、けずった氷140グラム(または雪)と、塩60グラムを入れてスプーンでよくかきまぜます。



デジタル温度計で温度を調べる

- ・ ブラインに少し**飽和食塩水(ほうわしょくえんすい)**(**溶けきれないほど塩をふくむ水**)を約20cc(注射器は5CC))を加えて、ブラインをやわらかくします。これは、プラスチック板とブラインの間の**接触(せっしょく)**をよくするためです。

・ここで、ブラインの温度を、デジタル温度計を使ってはかってみましょう。

(注意：ブラインの温度が上がってきますので、すばやく温度をはかって下さい。)

Q：ブラインの温度は何度でしたか？

デジタル温度計＝

・できたブラインを、用意してあるヨーグルトの容器2個に分けて入れます。容器の上から約2cmの高さにブラインの表面がくるようにします(注意：中に黒の線が引いてあります)。



ヨーグルトの容器にブラインを入れる



上から2cmのところまでにブラインを入れる

注意：つぎの準備ができるまで、ヨーグルト容器の上にアルミホイルをかけて外から熱が入らないようにしておきます。

・少し前に、青色プラスチックをはりつけたプラスチックシャーレはひっくりかえしておきましたが、それを取り出します。

・ピンセットでプラスチックシャーレをつまみ、ブラインの上に乗せます。このとき、ブラインにシャーレが少しめり込むようにピンセットでおしつけます。

(注意：ブラインとプラスチックシャーレの間の熱接触(ねっせつしょく)が悪いと、板の温度が十分下がらないので結晶ができません)

・すぐにクッキングラップをかけ、乾燥(かんそう)した空気(またはチッソガス)を容



少しめり込むように上からおします。

器の中に流して、中のしめった空気を追い出します。

ガスをいきおいよく吹きつけるとブラインの水が飛び散るので注意！！



・クッキングラップを輪ゴムで固定します。

・ヨーグルトの容器の上部にある3個の穴（あな）を貫通（かんつう）させるように、クッキングラップの上から穴にクギをさしこみます。

その穴に綿棒（めんぼう）をしっかりとさしこみます

（注意：綿棒は太い方が外側）。

・アルミホイルでカバーして、熱が容器に入らないようにします。



3個の綿棒を差し込む



アルミホイルをかけて熱を防ぐ

・水蒸気を供給（きょうきゅう）するための水を用意します。紙コップに熱めのお湯を入れ、これと水を混（ま）ぜ合わせて約20℃の水を作っておきます。

・プラスチック板をブラインの上に置いてから約3分後、各綿棒に注射器を使って、水を0.5滴（てき）送ります。

・さらに10分後に注射器を使って各綿棒に、水1滴を送ります。



注射器で水1滴を綿棒に与える

あらかじめ注射器を使って水滴1滴、0.5滴などの量を確認しておきましょう！

## 結晶の顕微鏡観察

- ・ 2 回目の水を与えてから約 10 分後、容器を顕微鏡に移し、結晶の様子を観察します。
- ・ 再び、水を 1 滴ずつ与え、5 分間待ってその結晶がどのように成長したか観察します。



市販の実体顕微鏡は 20 倍 (x 2) と 40 倍 (x 4) の切りかえになっています

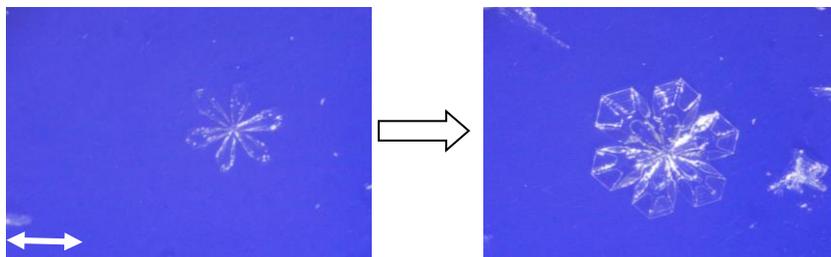


10 分後、基板の上に結晶がたくさんできている



10 ~ 15 倍のルーペでも見えます

- ・ 結晶がうまくできないときは、ふたをあけて、青プラスチック板の表面の温度を、非接触温度計で測定してみましょう。表面の温度がマイナス 12 度以下になっていないと、雪結晶は成長しません。
- ・ 人工雪は時間とともに大きくなっていきます。星状 (ほしじょう) 結晶から、時間がたつと扇形 (おおぎがた) 結晶に変わることもあります。



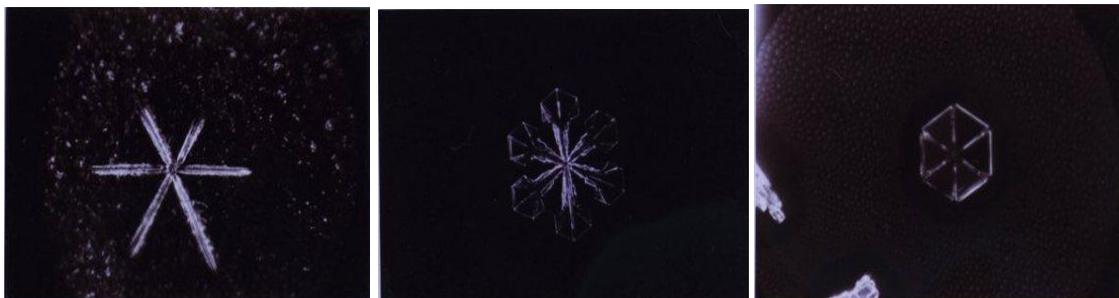
10 分後

30 分後

ブルーのプラスチック板に人工雪を作ると、目で見てより美しく感じられます。矢の長さは 1 mm

- ・ 青のプラスチック板の代わりに、黒いプラスチック板 (1 ~ 2 mm の厚さ) を用いても人

人工雪はできます。家で、自分でためてみましょう。



星状（ほしじょう）

扇形（おおぎがた）

角板（かくばん）

黒のプラスチック表面にできたいろいろな形の人工雪

- ・プラスチックの板のかわりに黒の紙を用いても人工雪ができます。しかし、毛が立っている紙の場合、人工雪はできにくいようです。この実験も自分でたしかめましょう！

顕微鏡がなくても、ルーペ（または虫メガネ）でも観察できます！！



黒の工作画用紙の表面にできた人工雪

### 実験 3：自然雪の観察の練習

- ・ブラインの氷がとけてくるとブラインの温度は上がってきます。人工雪ができることがわかったら、ここで基板表面の温度を非接触（ひせっしょく）温度計ではかりましょう。
- ・また、ブラインの温度をデジタル温度計ではかりましょう。



非接触温度計で表面温度をはかる

基板表面の温度＝  
ブライン温度＝

- ・ブラインの温度は十分低いので、その上に（底をアルミホイルでおおった）青色工作画用紙をのせて、降（ふ）ってくる雪をとらえ、自然の雪の観察をすることができます。家でルーペを使って自然の雪の結晶を観察してください。

#### 実験4：シャボン玉の膜（まく）に木の枝（えだ）の様な結晶を作る

実験3で用意した自然雪観察装置にシャボン玉の膜（まく）をいれて凍（こお）らせてみましょう。

- ・小さいシャボン玉を作って、プラスチックシャーレのふたにのせます。プラスチックシャーレのふたの端（はし）をピンセットで持って実験3で用意した自然雪観察装置の青い紙の上へのせます。

- ・プラスチックシャーレの中のシャボン玉の膜の温度はだんだん下がっていき、ついに急に膜の中の水成分が凍（こお）ります。そのとき上の写真に示す様に、木の枝のような結晶が見られます。

あっという間に結晶ができるので、よく注意して見ましょう！



青い紙の上に自然雪をのせる

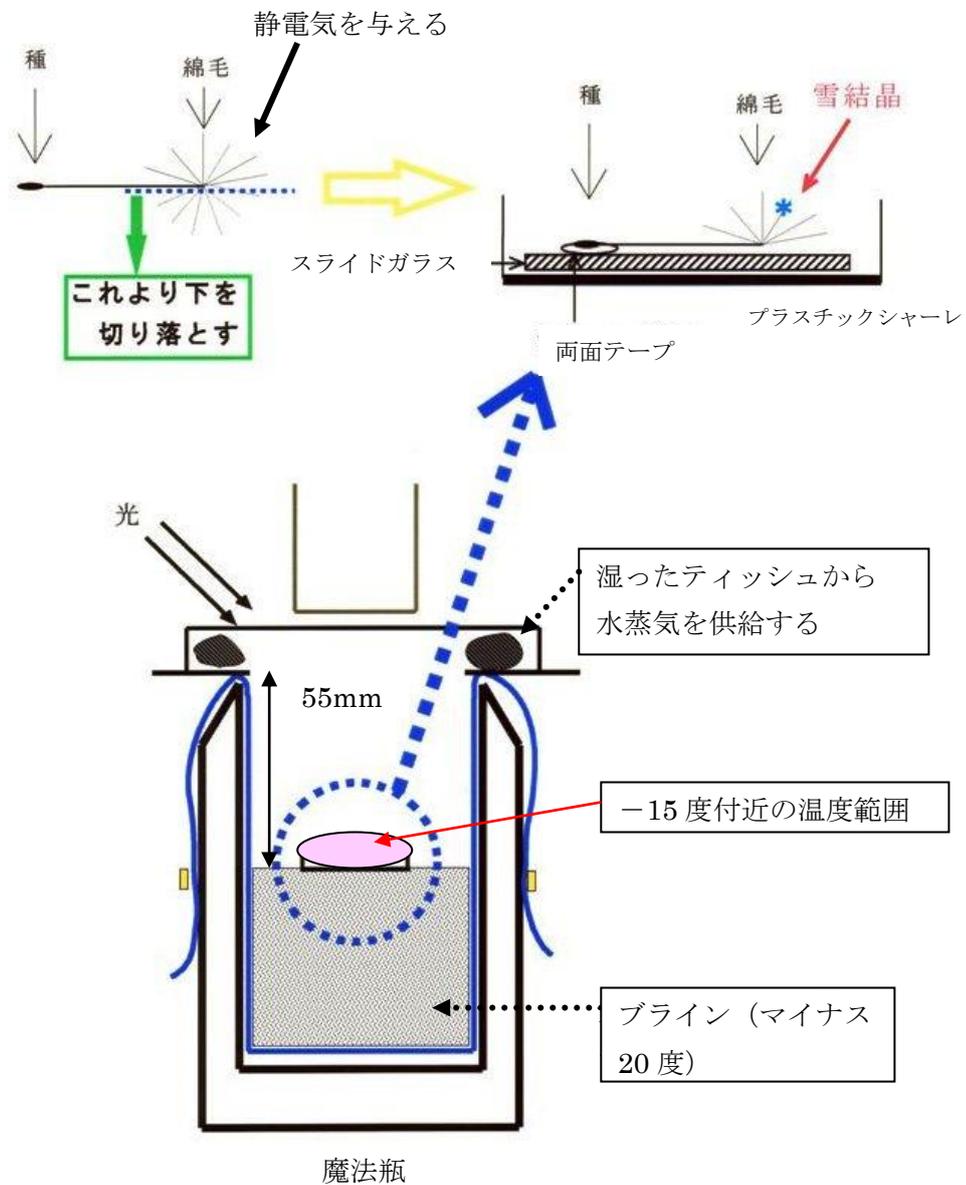


シャボン玉の膜に出来た木の枝のような結晶

#### 実験5：帯電したタンポポの毛に作る人工雪

- ・上で述べた基板の表面に作る人工雪生成は比較的簡単であり、教育現場で十分使用できるものです。しかし、結晶が基板表面に付着（ふちやく）しているため、自然の雪に比べると物足りなく感じます。これを改良するために、空気中に浮いたように伸びる細い毛に人工雪を作ることを試みました。実際にはタンポポの綿毛（わたげ）を使っています。プラスチック基板の場合、静電気が結晶の核の生成に重要でしたが、植物の毛に人工雪を

作るときも静電気がとても重要です。



### 魔法瓶 (まほうびん) とブラインの準備

- 基板 (きばん) 表面に人工雪を作るときは、基板表面が-15 度程度の温度であれば人工結晶が生成されます。しかし、基板表面から伸びた毛に人工雪を作る場合は、基板から約 1 c mにわたって温度を-15 度付近まで下げる必要があります。低い温度を作るために

氷と塩を混ぜたブラインを使う場合、ブラインを魔法瓶に閉（とじ）込（こ）めないとな  
のような低い温度範囲（おんどはんい）を作ることはできません。

- 市販（しはん）の小型の魔法瓶（口径50mm、深さ100mm、価格650円）使います。
- **塩70グラム、かき氷160グラムを容器に入れてブラインを作ります。**

- 飽和食塩水は約30ccを加えます。ブラインは水を十分含（ふく）み、ねっとりした感  
じとなります。これを、スプーンを使って魔法瓶の中に入れます。ブラインの表面の位  
置は魔法瓶の口から約55mmの深さとなります。長さ55mmを示す木がありますか  
らそれを使って距離を確かめてください。準備ができるまで、魔法瓶の口をアルミホイ  
ルでおおっておきます。

- 水蒸気を送るための水を用意します。紙コップに  
熱めのお湯を入れ、これとつめたい水を混ぜ合わせて約  
20℃の水を作ります。



静電気を持たせたプラスチックにタ  
ンポポの毛を接触させ帯電させる

- 上の図のように毛の半分を取り除いたタンポポの毛を  
静電気を持ったプラスチックの表面にあて、毛に  
静電気をおびさせます。プラスチック板に十分に静電  
気を発生させるために、電気が体ににげないように手袋  
（プラスチック製）をして化繊（かせん）をプラスチック  
板に強く押しつけてよくこすってください。



タンポポの毛をスライドガラスに  
固定する

- 右の写真のように、タンポポの毛を2-3本スライドガラス  
の上に固定します。そのためにスライドガラスのはしに  
両面テープを細く切ってはり、そこにタンポポの  
茎（くき）を固定します。

**タンポポはプラスチックのピンセットでつまみます！**

- 室内の空気は水蒸気をたくさんふくんでいるので、魔法の中の空気を一度追い出します。  
そのためにチッソガス（又は乾燥した空気）を流して魔法瓶の中の空気をおきかえます。

- ・タンポポを取りつけたプラスチックシャーレを長いピンセットを用いてつまみ、魔法瓶のブラインの上に置きます。
- ・魔法瓶の口の上に水蒸気供給装置（すいじょうききょうきゅうそうち）を取りつけます。これはプラスチックシャーレの中に乾燥（かんそう）したティッシュを入れたものです。後でプラスチックシャーレにあいている 4 つの穴を通してこのティッシュに水を送ります。水蒸気供給装置が動かないよう、ゴムバンド 3 本を取りつけた円板で上から押えます。



ピンセットでプラスチックシャーレの端（はし）をつまみ、魔法瓶の中のブラインにのせる

- ・結晶ができるのを待つ間、顕微鏡でタンポポの毛にトゲがあるのをよく観察しておきましょう！
- ・トゲが結晶の核になります。

### 水を送る手順（てじゅん）

- ・中谷宇吉郎博士らの実験では、下から上方に対流を使って水蒸気が送られました。これは自然界での雪の生成とよく似た条件になっています。
- ・魔法瓶の中で人工雪を作る場合、下側の温度が低いので、水蒸気は上から下に拡散（かくさん）によって運びます。即ち、魔法瓶の上側に取り付けたティッシュに水を与え、魔法瓶の中に水蒸気を供給（きょうきゅう）します。



穴の中に注射器の針を通し、ティッシュに水を送ります。

### 以下の手順にしたがって水を送って下さい

- ・あらかじめ針のついた注射器に水を入れ、水をおし出し、0.2CC、0.3CC などの感覚（かんかく）をつかんでおきましょう！
- ・温度 20 度の水を用意します。

- 1) 基板をブラインにのせてから 2-3 分後にプラスチックの 4 つの穴に注射器の針を入れて、それぞれ約 0.2 CC 程度の水(20 度)を送る。
- 2) さらに 5 分後、約 0.3 CC 程度の水(20 度)を 4 つの穴に送る(2 回目の水の供給)。
- 3) さらに 10 分後、同じく約 0.3 CC の水(20 度)を 4 つの穴に送る(3 回目の水の供給)。
- 4) さらに 10 分後、同じく約 0.3 CC の水(20 度)を 4 つの穴に送る(4 回目の水の供給)。

### 結晶観察の準備

- ・魔法瓶の中にできた雪結晶を顕微鏡で観察します。
- ・顕微鏡のレンズの部分を 180 度回転して、レンズの先端(せんたん)が魔法瓶の口から約 5 mm になるようにします。
- ・顕微鏡に付属(ふぞく)している照明光は魔法瓶の中に入らないので LED を手で持って魔法瓶の中をてらしてください。



LED ランプで照らしてタンポポの毛にできた人工雪を顕微鏡で観察する



魔法瓶の中のタンポポの毛にできた人工雪



タンポポの毛にできた美しい星状結晶



タンポポの毛のトゲが結晶の核となる(40 倍)