

高校地学 **アイスクリームストッカーを利用した気象教材の
開発と雪の教材としての多面性について**

大阪教育大学教育学部附属高等学校
大阪教育大学
大阪教育大学

浅野 浅春*
山下 晃**
大野 隆行***

目 的

1. 市販のアイスクリーム・ストッカー（冷凍庫）に手を加えて雲箱（Cloud chamber）をつくり、その内部でできる安定空気層を気象教材に利用する。

- (1) 雲箱内の過冷却水滴（雲）に種まきすることで氷晶をつくり、それが成長する様子とその環境を観察する。
- (2) 雲箱の内壁や、雲中に垂した細糸から成長する人工雪を観察する。
- (3) 上記の現象を多数の人が同時に観察できるようにする。

概 要

1. アイスクリーム・ストッカーの改良

市販のアイスクリーム・ストッカーに以下のように手を加える（写真1）。

(1) ストッカーの底から機器内に入っているサーモスタットを引き出し、ストッカーの置かれている室の空気に常時触れるようにする。こうすることでストッカーが長時間連続運転になり、ストッカー内には安定な空気層ができる。

(2) ストッカーの底には排水口がある。冷凍庫として使用するときにはそこにキャップをはめてあるが、それを外し別の穴のあけたコルク栓をつめることができるようにする。つめたコルク栓の穴の直径の大小によってストッカー内の過冷却水滴の存在する鉛直分布（高さや厚さ）を変えることができる。

(3) 既製の不透明断熱の蓋をとり、代りに透明なアクリル板をのせておく。アクリル板には空気が入りやすいように数個の穴をあけておく。庫内の状態が直視できる。

上の(1)、(2)の操作によってストッカー内で冷やされた空気は下に溜まり安定な空気層をつくるが、ゆっくりと排水口から流出（直径17mmの穴の場合数ℓ/分）する。そのことは等量の空気が凝

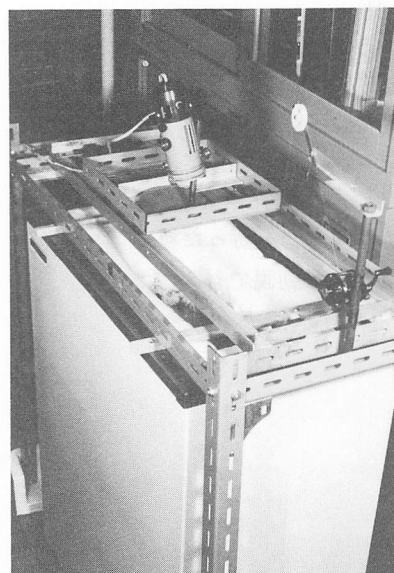


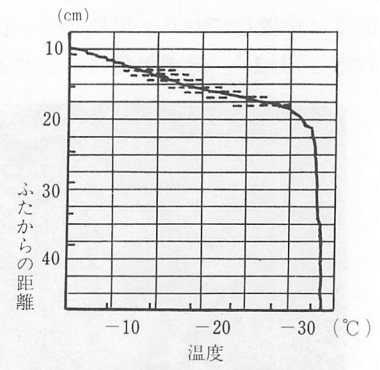
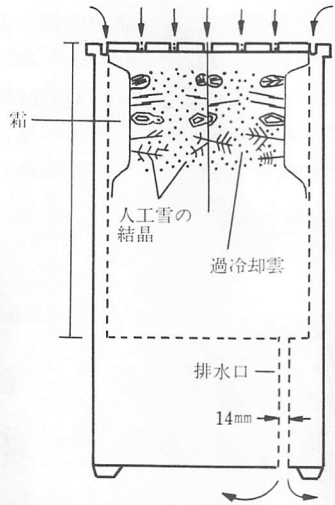
写真1 アイスクリーム・ストッカーとL金具を組んでつくった枠に実験器材を取りつけ、あるいはのせている。

* 大阪教育大学教育学部附属高等学校 教諭
〒543 大阪府大阪市天王寺区南河堀町4-88
TEL (06)771-5151

** 大阪教育大学 教授
〒543 大阪府大阪市天王寺区南河堀町4-88
TEL (06)771-8131

*** 大阪教育大学 大学院生
同上

結核(チリ等)、水蒸気を含んで上部から入ることになり、露点以下まで冷やされて雲が生じ、 0°C 以下の雲は過冷却状態になる(図1の左)。排水口の穴を閉じなければ、この過冷却水滴を全て氷晶に変えて落下させても次々と過冷却水滴が供給されることになる。なお、ストッカー内部の鉛直温度分布(図1の右)は室温の日変化にはほとんど影響を受けないが、四季の変化に伴って起こる室温の変化には影響される。ストッカーを雲箱として利用するときには直射日光に当てたり、室内に乱流や速い気流を起こすことは避けなければならない。



装置内には上から空気が流入し、冷えて過冷却雲をつくり、重い空気は底の穴から流出する。

左の装置内の空気の鉛直温度分布を示す。グラフ中に水平破線で印をつけた高さ(温度勾配の大きいところ)に過冷却雲が漂う。

図1

2. この装置を用いてできる実験・観察例

(1) 過冷却水滴(雲粒)の観察

雲粒(直径 $5\sim 10\mu$)は装置内に平行光線を当てることによって肉眼でも見ることができ、実体顕微鏡やビデオカメラを通して見ればより鮮明に観察できる(写真2)。

(2) 氷晶の観察

氷晶核を含む空気が -25°C 以下にまで冷えれば氷晶が生まれる。上記の過冷却雲中に種まきをすることで氷晶をつくることことができる。生まれた氷晶は成長して重くなり落下してゆく。これに光を当てると結晶面で反射、屈折してキラキラ光り大変美しい(写真3)。

種まきの方法—沃化銀の煙など氷晶核を供給する方法と雲中に局部的に、しかも瞬間的に低温度(-40°C 以下)を作る方法とがある。後者の方が手軽である。すなわち、クッキーなどの缶の内部にクッションとして使われる包装材料のポリエチレン製のエアパック(空気を含んだ小さな袋)の一つをつぶして内部から空気を放つとその空気は断熱膨張して冷却し、10億個ほどの氷晶が生じる。

(3) 人工雪の結晶成長の観察

この装置を運転しつづけると装置内の壁面には霜がついてくる。過冷却雲が分布する高さでは特に厚くつく。雪はその霜から装置内の中央側の空間に向かって成長する(写真4)。また、上部から



写真2 白い煙のように見えるのは微氷晶で、薄く白く見えるのが過冷却の雲。装置内をビデオカメラでマクロ撮影してブラウン管に写したもの。

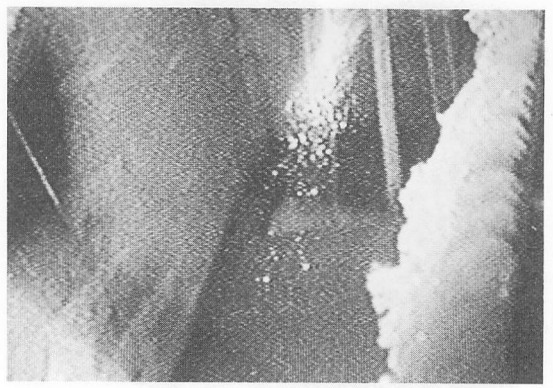


写真3 氷晶は成長して重くなると装置内を落下してゆく。ビデオカメラでブラウン管に写したもの。

鉛直に細糸を垂らしておくと、その糸から高さに応じて、結晶が成長する(写真5)。すなわち、鉛直糸の各部分は室温及び装置内の $0^{\circ}\text{C}\sim-30^{\circ}\text{C}$ の温度に位置しており、温度の違いは高さの違いに対応し(図1)、その温度に応じて晶癖の異なる結

晶が成長する。写真6~9に示すように、 -5°C 付近の糸からは針状、 $-7\sim-8^{\circ}\text{C}$ では柱状、 $-12\sim-13^{\circ}\text{C}$ では角板のシダ状、 -15°C 付近では樹枝状の結晶が見られる。

鉛直に垂らした糸を上下させることができるよ

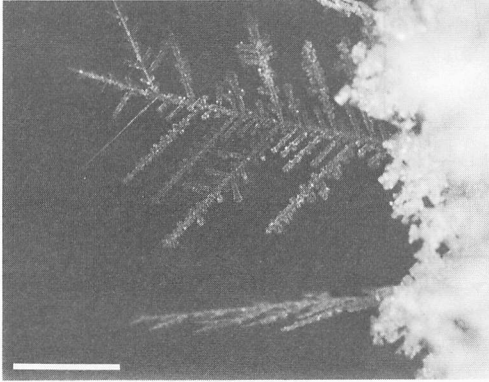


写真4 右側の白いところが装置(雲箱)内壁についた霜。霜から -15°C の高さで成長した人工雪が成長している。(スケールは5mm)

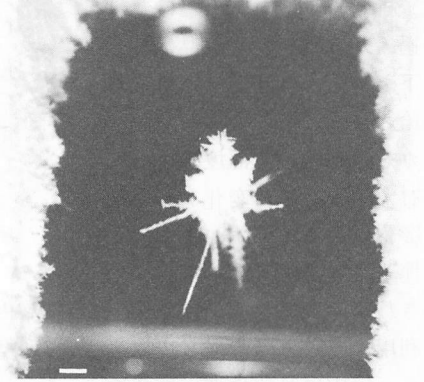


写真5 垂れた糸にいろいろな雪結晶が成長する。(スケールは1cm)

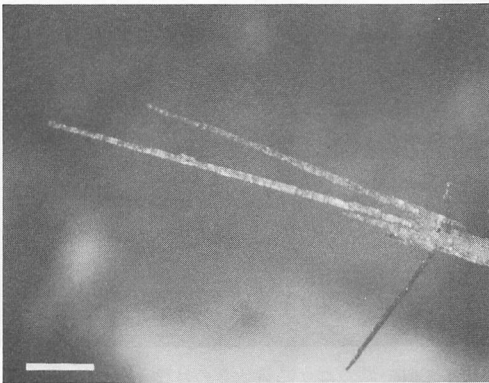


写真6 -5°C で成長する針状結晶(スケールは5mm)

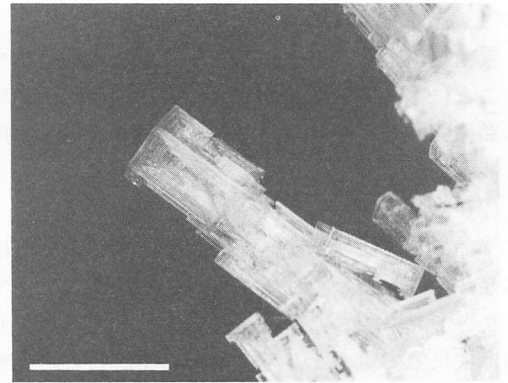


写真7 $-7\sim-8^{\circ}\text{C}$ で成長する六角柱状結晶。この結晶は内部に空間をもつ骸晶である。(スケールは5mm)

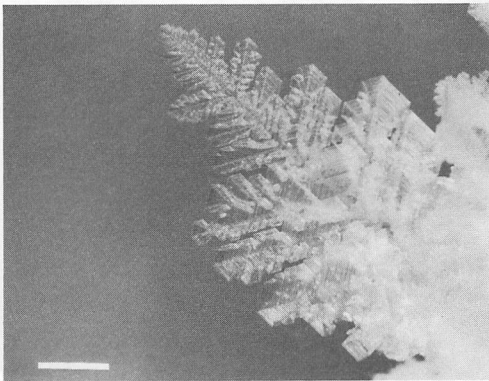


写真8 $-12\sim-13^{\circ}\text{C}$ で成長する少し厚みのある板の広幅シダ状結晶(スケールは5mm)

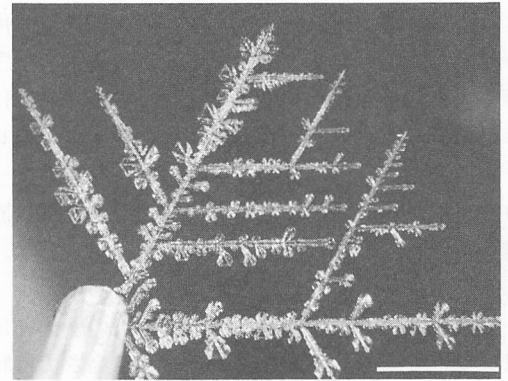


写真9 -15°C 付近で成長する厚さのうすい樹枝状結晶(スケールは5mm)

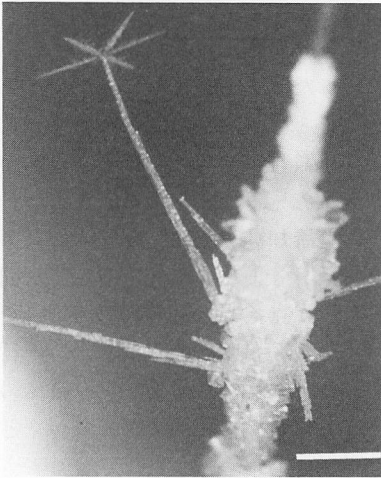


写真10 -5°C 付近で成長した針状結晶を移動してその先端を -15°C 付近におくと針状結晶の先端から樹枝状結晶が成長する。(スケールは5 mm)

うにしておけば写真10に見られるような結晶をつくることもできる。その方法は、糸の約 -5°C の高さのところ針状結晶をつくったのち、この糸を静かに下げて針状結晶の先が -15°C 付近の高さに位置するようにする。その状態のままにしておくと、やがて針状結晶の先から樹枝状結晶が成長するのを観察することができる。このような針先にできる樹枝状結晶は天然の樹枝状結晶のように六方対称に成長することもある。

(4) 人工雪のレプリカ作成

上で述べた装置内でできる氷晶や人工雪をレプリカ(写真11)にすることで、結晶のもつ規則性や立体形態を時間をかけて観察することができる。レプリカ作成の方法

A. レプリカ溶液をつくる。フォルムバール(ポリビニル・フォルマル)と二塩化エチレンの中に入っている水をデシケーターを用い、五酸化リンで除去したのち二塩化エチレンを溶媒として濃度1~2%の溶液をつくる。

B. レプリカ液の入った点眼ビンと小さなシャーレあるいはスライドグラス、竹ヒゴ、手袋、マスク等を装置内の底を一部上げ底にして、そこに置いて冷やしておく。

C. レプリカとして残したい結晶ができれば冷やしておいたシャーレをその結晶の下にもっていき、竹ヒゴで結晶をシャーレの中に落として上からレプリカ液を1~2滴垂らす。手の温もりや口や鼻

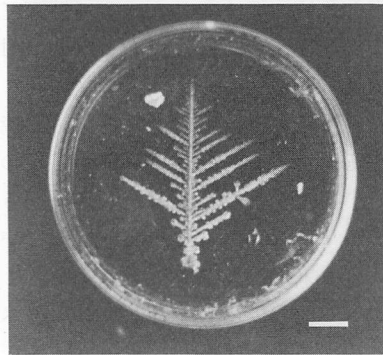


写真11 シャーレの中につくった人工雪のレプリカ(スケールは1 cm)

からの息がシャーレや結晶、ヒゴ先に伝わらないようにする。

D. 装置内で乾燥する(レプリカ溶液に被われた雪はその液膜を通して昇華していく)。

E. 数時間~半日で乾燥させて装置から取り出すとき、ポリ袋に入れて密閉しておけば、装置からとり出したとき水蒸気のレプリカへの凝結を防止することができる。

学習指導への応用例及びその効果

1. 温度測定: この装置の電源を入れる前と電源を入れたのちの装置内の鉛直温度分布を測定する。その結果を用いて、例えば次のような考察をすることができる。

(1) 空気の密度と温度の関係

(2) 家庭で使われている冷凍庫とこの装置のような上開きの冷凍庫との比較、下開きの熱気球の原理。

(3) 大気の安定度の問題、接地逆転層など。

2. 低温度での水の相変化の観察: ポリエチレンの袋を呼気で膨らまし装置内に投げ入れて袋内の変化を観察する。

3. 雲のできかたの考察: 装置内の安定空気層に細い平行光線を当てると、雲の分布する高さや厚さが鮮明に観察できる。一般に大気中を上昇する気塊は凝結高度に達して雲底をつくる。この雲底と装置内の雲の分布の上限とが対応する。装置内の雲は上空の層雲に相当する。

4. 雲の中で起こっている現象の理解: 装置内の過冷却水滴(雲)の中でつくられた氷晶が成長すると、氷晶のまわりの過冷却水滴の数密度が減る

ため、雲が急速に薄くなり、やがて消えていくのがわかる(写真12)。これは水滴と氷晶に対する飽和水蒸気量(圧)の値が、 0°C 以下の同じ温度のもとで異なることによる。すなわち、水滴と氷晶が混在していると、ある 0°C 以下の温度のもとで氷晶に対する飽和水蒸気量の値の方が小さいので、水滴のまわりの水蒸気量は未飽和であるが氷晶のまわりの水蒸気量は過飽和に達しているという状態が起こる。このようなとき、水蒸気は氷晶に昇華凝結して氷晶を成長させ、水蒸気密度が減少したところには、水滴が蒸発してできた水蒸気が供給されるため、成長する氷晶のまわりは水滴(雲)が消えて暗い隈ができることになる(写真12)。これは上空の -10°C 〜 -30°C の雲の中で起こっている現象に相当する。

5. 雪の結晶の三次元的把握と結晶成長の異方性の考察

装置内で成長する雪の結晶を実体顕微鏡を通してその場観察して成長速度を測定したり、レプリカにして顕微鏡観察することによって立体的な形態の把握ができる。微小雪(氷の結晶)の基本形態は六角対称性をもつ六角柱であるが、 -15°C 付近では結晶の三本の α 軸方向への成長速度が著しく大きいため板状となり、 -5°C 付近では結晶のC軸方向への成長速度が著しく大きいため針状になる。

教具の製作と授業への利用

実体顕微鏡やビデオカメラを利用することで上記の現象をより明確に、しかも多人数が同時に観



写真12 氷晶は水蒸気の昇華凝結によって成長し、過冷却水滴は蒸発して水蒸気を補給する役目をする。成長する氷晶のまわりの水蒸気密度は小さいため氷晶のまわりに隈ができている。

察することができる。

1. 氷晶成長の詳細な観察

図2に示したようにスリットと凸レンズを通した平行光線をミラーで反射させ、過冷却雲中で成長する氷晶を照らし、それをビデオカメラを通してブラウン管で見ると、氷晶の成長につれて、そのまわりの過冷却雲が消えていくのが見事に観察できる(写真12)。また、それを多人数が同時に観察できるという点で非常に有効である。なお、ミラーは、図3や写真13に示したように平行光線をさまざまな角度に反射させ、ミラー自体の位置も変動させることができる工夫をしておくとう利である。

2. 結晶成長の観察

図4に示したように光源からの平行光線をミラーで反射させ、成長する雪結晶を下から照らすと光量も充分となり、実体顕微鏡を通して、雪結晶が成長する様子をその場観察できる。また、実体顕微鏡にビデオカメラをセットしてブラウン管に写し出すことで結晶成長を多人数が同時に観察できる。なお、図4中にある凹面鏡を図5で示したように反射光を観察しようとする結晶に当てることができやすいように工夫した装置をつくと便利である。

3. 雪の教材としての多面性

雪は日本人の心に深く根ざしている。それは各

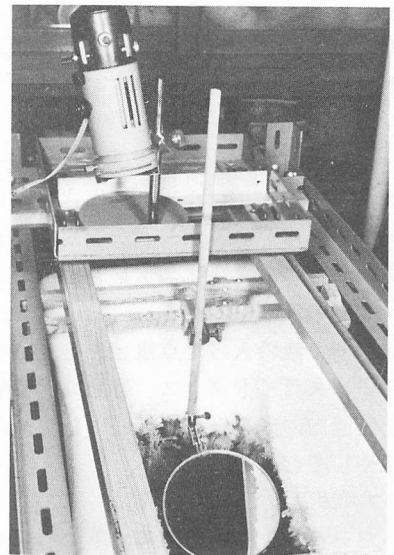


写真13 上からの平行光線をミラーで水平方向に反射させ、過冷却雲の中を通す。

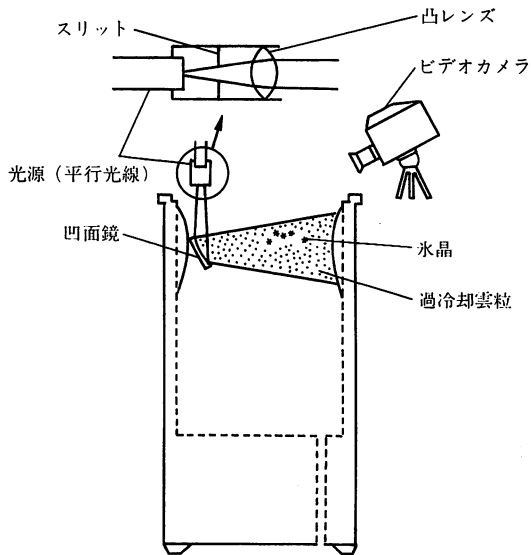


図2

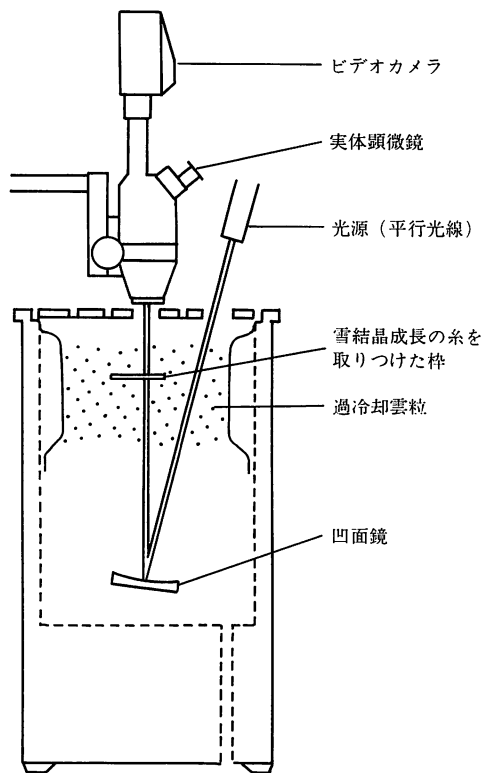


図4 人工雪を成長させるための糸を張った木棒の下部にミラーをつり下げ、上からの平行光線を反射して成長する雪結晶に当てる。

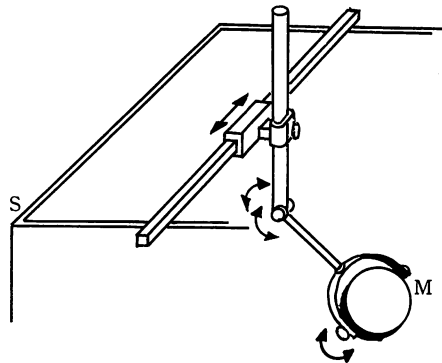


図3 図2に示した凹面鏡はその位置も反射光の角度も広範囲に変えることができる。Sは雲箱の上枠、Mは凹面鏡

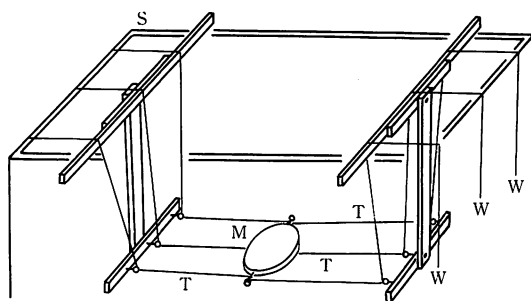


図5 雲箱の下部におかれた反射鏡は両側から三本の細糸で操られて角度を変えることができる。Sは雲箱の上枠、Tは操り糸、Wは糸を引張っているおもり、Mは反射鏡

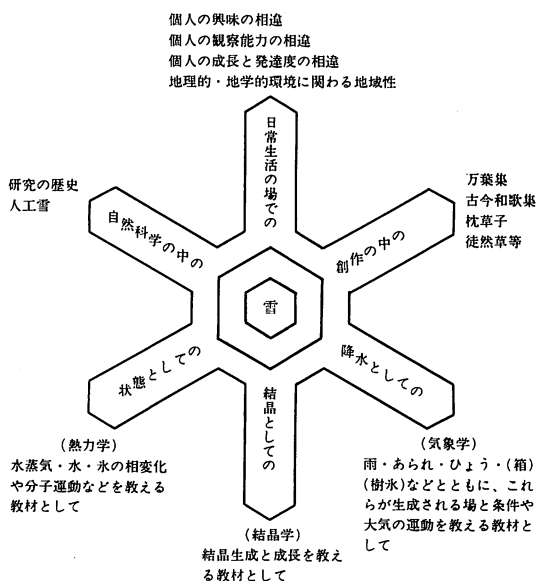


図6 雪は教材としてさまざまな方面から考察ができる。その多面性を示したものの。

人によって異なる。一般に日本列島の地理的・地学的な位置や構造が各々の地域に独得の風土をもたらし、そこに住む人々に独得の思いをもたらす。雪に対する思いもその代表的なものの一つである。したがって、この雪を教材にすることによって己が地域の風土の理解だけではなく他地域の風土、ひいては文化の理解に役立てることができる。図6は雪が教材として多方面に使えることを示している。

4. 人工雪について

1936年（昭和11年）北海道大学の中谷宇吉郎らが世界で初めて人工雪の作成に成功した。以来、いろいろな人によって、研究は引きつがれている。人工雪は自然と人間の関わりの中で、人間の知恵（科学する心、美を愛する心、遊び心など）から生まれたものであり、これを教材にすることで、自然・社会・文化の理解に役立てたい。