

まえがきにかえて

※ 村井 昭夫

本書では「石川の自然」地学編でこれまで扱っていない気象分野に焦点を当てている。気象や天気は身近でありながら、なかなかそのしくみや魅力を児童生徒に伝えることが難しい。そこで本書が気象について考え、見直す材料になればと思ったからである。

本書は、扱う題材別に内容を3つの章に分け、構成している。

1章は天気や気象の観測のための資料となるよう、石川県で見える雲や大気中の水分などにより起こっている現象に焦点を当て解説した。さらに、雲を教材を作成するための1つの方法、学校で気象観測をする際の視点について紹介・考察した。

2章では本県出身であり、雪の研究者として知られる中谷宇吉郎博士の人工雪を現在の材料で再現する試みから、雪を教材としてとらえるための方法を考えた。日本海側は季節風と海流、日本列島の地形の影響で、世界でも最も降雪量の多い地域のひとつとなっている。そこに位置する石川県において、雪を科学的に見る姿勢が教師にもあれば良いのではないかと思う。

3章では気象衛星「ひまわり」などの画像を簡単にアニメーション教材化するためのプログラムを紹介した。インターネット環境の発達により、ネット上には多くの画像や情報がデータベースとして保存され利用可能になっている。

この膨大な素材を教材として生かす方法は、これからも研究され改善されていく必要がある。

地球温暖化、オゾン層の破壊そして異常気象等、地球規模の現象が話題になることが多いが、私たちはいつも身近な毎日の気象現象に目を向ける姿勢を失わずにいたいものである。



尾流雲を伴う高積雲 2003.10

平成16年3月

1章 雲を見る・石川の空を知る

はじめに

雲は空気が冷えることによって、空気中の水蒸気が水滴や氷の粒となることでできる。雲が白く見えるのは、この水滴（氷）が太陽の光を散乱（ミ一散乱）するからである。

雲にもいろいろな種類があり、高さ、形などで大きく分けて10種類に分類（10種雲形）されている。しかし、いつ見ても全く同じ形の雲は存在せず、その日、私たちを取り巻く高気圧、低気圧、大気の流れ、温度、地上の状態などによっていろいろな表情を見せる。逆に言えば、雲の観察が、私たちを取り巻いている大気の状態を知る手がかりになり、それにより、これから起こる天気を知ることにもつながる。

加賀市出身の雪の研究で有名な中谷宇吉郎は、降ってくる雪の形によって、上空の気象条件を知ることができることから「雪は天からの手紙である」という有名な言葉を残したが、直接見て知ることができるという点では、雲は天を写す鏡とも言える。

学校の理科では観察実験が重視されている反面、児童生徒や私たちにとって身近な自然がどんどん失われており、自然と接する機会も減りつつある。そんな中で、雲や天気は気づきにくいが、最も身近で、毎日の生活にも結びつく教材となり得る。

ここでは雲を観察するポイント、それによって石川県の気象を知る手がかりをいくつか述べていきたい。

I. 雲を知ろう

雲を分類する場合の基準にまず高さがある。雲のできる高さから分類すると3層に分けられ、さらにそれぞれの高さの雲を

【上層雲】5,000m～13,000m

卷雲　巻層雲　巻積雲

【中層雲】2,000m～7,000m

高層雲　高積雲　乱層雲

【低層雲】数百m～2,000m

層積雲　層雲　積雲

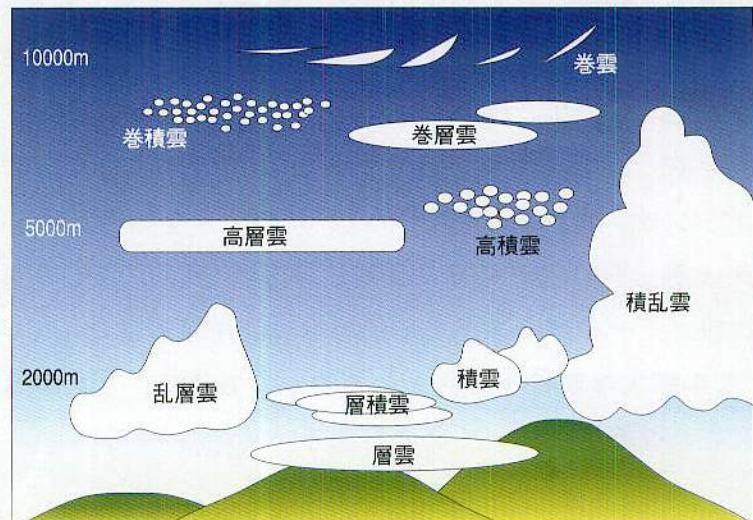
に分類している。この中で、乱層雲は雲底は低いが、雲が厚く雲頂が高いので中層雲に分類される。

また、積雲、積乱雲は対流雲として別に分類されることがある。

上層雲（巻雲　巻層雲　巻積雲）は、氷晶（氷の粒）からできた雲であり、中層雲・低層雲は主に水滴からできた雲である。（中層雲の雲頂付近は氷晶のことが多い）

この10種の他、これらをさらに見た目の形状や雲片の配列などによって種・変種・複変種などに細分化して分類している。例えば、巻雲はカギ状雲、毛状雲、濃密雲などの種に、そしてつれ雲、肋骨雲、放射状雲などの変種に分けられる。

ここではまず、分類された10種雲形の代表的な雲の特徴や成因などを見ていく。



10種の雲のできる高さ

①巻雲

雲の中で最も高いところにできる雲で、低温のため、氷晶からできている。刷毛ではいたような、纖維状の組織が見られ、「すじ雲」と呼ばれる雲。

この雲は主に10,000m以上の高さにできるため、上空高くの気流の状態を知ることができる。

一般に温暖前線の前面300km以上の場所にもできるので、この雲が見えると、「温暖前線が近づいている」 = 「天候が悪くなる前兆」ともいえ

るが、高気圧の前面にも「晴れシーラス（巻雲）」と呼ばれる巻雲が現れるため、巻雲の変化に注目する必要がある。また、カギ状の巻雲（P4資料1）は上空の風が非常に強いことを示している。一般に、夏季、上空の偏西風が弱いときはベール状の巻雲（P4資料2）が見られやすく、秋季ころ偏西風の強まりとともに、纖維状の美しい巻雲になる。

また、高度が高いため、全天を覆うと、一点から放射状に広がっているように見えることもある（P4 資料3）。多くのバリエーションを持った雲であり、繊細な美しさがある。



③巻積雲

白い小さな固まりの雲が小石を並べたように、集まっている雲。その形から「うろこ雲」、「さば雲」などと呼ばれる。氷晶からできており、巻雲、巻層雲につづいて現れると前線の接近を暗示しており、天候は悪化する。



毛状の巻雲

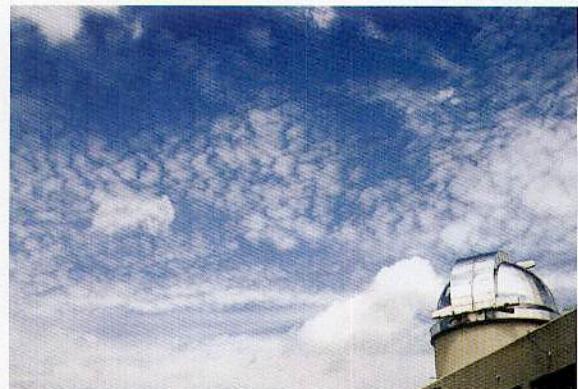
2003. 2

②巻層雲

霞雲と呼ばれる氷晶からできた雲。空を薄いベールで覆うように広がる。この雲によって太陽や月の周りに「かさ」ができることが特徴。ことわざに「太陽が傘（笠）をかぶると雨」というものがあるが、これは温暖前線の前面にこの雲ができることが多いからで、その的中率はおよそ70%といわれている。

この雲が次第に厚くなるときは温暖前線が接近、天気は悪くなる。

巻層雲によってできたかさ 2003. 5



粒の大きな巻積雲

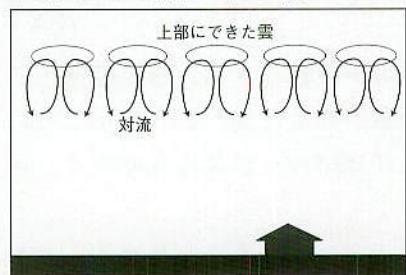
2002. 8

④高層雲

おぼろ雲とも呼ばれる、全天を覆うような幕状の雲。この雲を通して太陽や月がぼんやりと見える。巻層雲と見分けにくいが、巻層雲は太陽の輪郭がはっきりし、太陽で影ができるが、高層雲では影ができず太陽・月がぼやけて見えるので判断できる。

⑤高積雲

羊の毛の群れのような固まり状の雲が集まっていることから、一般に「羊雲」と呼ばれる雲で、高さおよそ5,000~10,000mの高さにできる。大変美しい雲で、いろいろな形のバリエーションがあり（P5 資料4~5）、見ても楽しむことができる。この雲は巻積雲と見分けにくいが、一つの雲の見かけの大きさが1°（手をいっぱいに伸ばして指一本の幅）よりも大きく、また雲



ベナール対流

がやや厚いことから、雲下面に影を持つことで判断できる。

動きが遅く、石を敷き詰めたような高積雲（P5 資料4）では、ベナール対流という流体での対流現象が起こっており、雲の隙間では下降流、雲がある所には上昇流ができている（図）。上空の風が比較的強い時には波状の高積雲（P5 資料5）になる。



全天を覆う高積雲（魚眼レンズで撮影） 2003. 4

⑥層積雲

高さ500~2,000mと低い場所にできる雲で、その形から「うね雲」などと呼ばれる。ロール状、固まり状の雲が広く層状に連なってできているように見え、ひとつひとつの構成要素は大変大きい。曇の日によく見られることから「くもり雲」と呼ばれることがある。くもりの日に、何の雲かわからない時はだいたいこの雲が空を覆っていると判断して良い。色は白色または薄灰色。積雲より上昇気流の弱い場合にできるため、夕方、積雲が平たく変化してできることもあり、「夕暮れ層積雲」と呼ばれる。



夕暮れ層積雲 2002. 10



平野部にできた平べったい積雲

2002. 8

⑦積雲

「綿雲」と呼ばれる、空気の対流ができる形のはっきりした、ショートクリーム状の雲。各要素が同じ高さに並び、雲底高度は同一で、ほぼ水平面に並ぶ。雲頂より上では大気は安定であり、大気が不安定になったり、強い上昇流が起こると雲頂は発達し、雲は高さを増す（P5 資料7）。

夏季、地表面が日射により温度上昇、地面近くの空気がそれにより暖められ、上昇流が発生してできることが多い。地表面が日射により高温になる熱帯地方では、大気が著しく不安定になり、積雲が発達、背の高い塔状の積雲が多く見られる（P5 資料9）。日本海側では冬、シベリアからの季節風が日本海で暖められこの雲が発達、雪を降らせる原因となる。積雲が発達すると雄大積雲と呼ばれる大きな積雲（P5 資料8）や、後の雨や雷を伴う積乱雲になる。加賀の海と山に挟ま

れた平野部では、海からの風と山からの風がぶつかり、平野部にこの雲が並ぶことがある。

⑧積乱雲

強い上昇気流でできる巨大な雲で、雲頂は12,000m、厚さは10,000mに達することもある。厚さのため、雲の下は暗く（P5 資料10）、降水や雷を伴う。雲頂付近には「ずきん雲」や「ベール雲」と呼ばれる薄いベール状の雲（写真中央上部）が見られることがある。また、圈界面に達するとジェット気流に流され、纖維状の雲になったり、「かなとこ雲」を形成することもある。石川県ではこの雲により11月終わりから12月にかけて雷を伴った霰が降り、本格的な冬の到来を告げる。



ずきん雲を持つ積乱雲 2002.8



どんより暗い乱層雲の雲底

2002.10

⑨乱層雲

雨を降らせる、どんよりとした暗い雲。温帯前線が通過する際に空を覆う。雲底は数百mのこともあり、雲も厚く、日中でも暗くなる。温帯前線が通過する際には、この雲とともに雨が降り、比較的長い時間にわたって雨が続く。一般に「あま雲」と呼ばれる。



⑩層雲

霧と同じように、地面が冷えたときに発生しやすい雲で、数十mから数百mの大変低いところにできるが、地面とは接しない。「霧雲」とも呼ばれる。日差しが強くなると、たちまち消える。

晴天の朝の層雲

2003.2

【資料写真】いろいろな形状の雲の例



1. かぎ状の巻雲

2002.10



2. 夏にできやすいベール状の巻雲

2002.8



3. 放射状の巻雲

2003.6



4. 小石を敷き詰めたような高積雲

2002. 9



5. 波状の高積雲

2003. 10



6. 隙間のある層積雲

2002. 10



7. 密集して比較的上方に発達した積雲

2003. 9



8. 夏の日、積雲が発達してできた雄大積雲 2003. 8



9. 热帯の強い上昇流によってできる背の高い積雲
(シンガポール)



10. 暗い積乱雲の雲底

2002. 11

II. 雲を見る・石川の空を知る

1. 寒冷前線の通過

日本は北方の寒気と南方の暖気が接する寒帶前線に近く、世界でも最も温帯低気圧が発生しやすい地域のひとつである。石川県でもめまぐるしい天気の変化は、日本を通り過ぎる高気圧とこの温帯低気圧によって支配されているといつても良い。

温帯低気圧は温暖前線と寒冷前線を伴う。これらの前線が自分の住んでいる地域を通過する際には、それぞれ特色ある天候の変化をもたらす。これらの前線は西から東へと移動するため、注意してみれば前線の接近がはっきりとわかる。



特に寒冷前線は劇的な天候の変化をもたらす。写真ではア. 晴れの日の午後、西から積乱雲が近づき、イ. 前線に伴う雲が西から東へ向けて頭上を通過し、ウ. 前線によってできた積乱雲による、強い下降気流の吹き出しによる雲の壁（アーチ雲と呼ばれる）が押し寄せてくるのがはっきりとわかる。

この境界雲が通過すると同時に強い西風が吹き気温は下がり、雨が降り始めた。



レンズ状の笠雲 2003. 8 い。

2. 地形と上空の風によってできるレンズ雲

高さによる風向きがそろっており、比較的風が強く、水分を多く含むとき、空気が山を越えることによって冷えて写真のようなレンズ状の雲ができることがある。風上では次々に新しい雲粒ができ、風下では消滅しているため、全体としては見かけの形はほとんど変わらない。

写真は金沢市南東部の比較的孤立に近い医王山を含む山系によってできたものと考えられ、気流がこれを乗り越える際にできたと思われる。この日南東に現れたこの雲は、昼過ぎから8時間以上見え続け、夕暮れの暗闇に消えた。（右は写真と同日午前9時の天気図）



3. 蜂の巣状の巻積雲

名前の通り、蜂の巣状に穴の空いた巻積雲。雲が消えるのは、そこに下降気流があるからで、この雲が見えるときも下降気流の存在があり、翌日にかけてよい天候が続くことが多いと言われる。

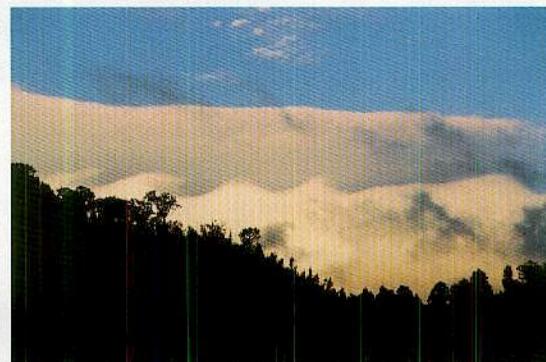
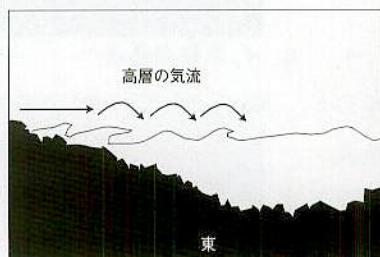


4. 上空の風による雲の波

雲の様子で上空の風の強さや、向きを知ることができる。写真は、上層の強い北風（写真左から右方向）と比較的流れの遅い中・低層の雲の間でできた現象。下層の雲の雲頂が波立っているように見える。

これは上層の気流が波打って進み、下降気流になる部分で下層の雲が押さえられることにより、下層の雲が波立って見えてることでできる。その意味では、次項の肋骨状の雲と同じ原因でできると言える。下層にある雲の波頭にあたる部分は強い風に引っ張られ波立っているのがわかる。

高度による気象条件の違いを「シア」と呼び、この場合は風の垂直シアによる現象と言い換えることができる。



波立つ雲

2003. 7

5. 肋骨状（波状）の雲

温度や湿度、風向きなど性質が大きく異なっている空気の層の境界では、目には見えないが空気が波打っていることがある。そこに雲ができると、気流がみだれて波状の雲になる。空気が波立ち、細かな上昇気流と下降気流ができると、上昇した部分では気温が下がり、水蒸気が凝結し雲ができ、逆に空気が下降する地点では、水滴が消える（図）。その結果、写真のように波状の雲ができることになる。

上空の風の向きや速さの違いが、このような形の雲を作る。見えない空気の流れが雲によって視覚化され、見ることができるように变成了ものである。

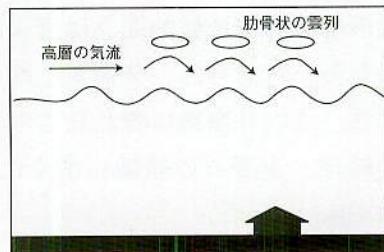


波状の巻雲

2003. 2

波状の高積雲

2003. 3



6. 彩雲

名前のように、雲が七色に色づいて見える現象。雲粒による太陽光の回折現象によっておこる。雲粒の大きさが氷晶とは違って規則性がないため、不規則な模様になって色づく。

太陽付近のちぎれ雲が七色に色づいて見えることも多い。



大きく広がった彩雲

2003.2

7. 飛行機雲と飛行機雲から発達する雲

航空機は普通10,000mを越える高度を飛行する。これは空気抵抗を減らし、燃料効率を良くするためにある。

燃料は燃焼することで、水蒸気を大量に放出する。一方、高層の空気は水蒸気を含んでいても、凝結せず（水滴にならず）、過冷却状態（過飽和）になっていることが多い。このとき、航空機が通過すると、放出された水蒸気によって飛行機雲ができる。飛行機雲ができると、上空に水蒸気を含んだ空気が流入していることがわかる。

さらに、このとき空気に大量の水蒸気が含まれていると、たくさんの水滴が発生し、過飽和状態の水蒸気は凝結し続け、飛行機雲は巻積雲や高積雲へと発達する（写真）。つまり、飛行機雲が大きく発達するときには、空気中に水分を多く含んでおり、天候が悪化していくと判断できる。



大きく発達して高積雲になった飛行機雲 2003.4

8. 地形によってできる雲

写真では、積雲が海岸線と同じ形に広がっている。まるで、陸地の形を雲が写し取っているように見える。

これは夏、地面が日射によって暖められ、上升気流によってできた雲である。能登の海岸は平野が狭く、地形的に陸と海がはっきりしており、また海岸線が入りこんでいるため、はっきりとこのような雲を見ることができる。



陸地を型取ったような積雲群（輪島）

2003.8

9. 台風による雲

熱帯で発生した台風は低緯度では西進するが、緯度が高くなると転進しジェット気流に押されるように北東へ進む。盛夏は太平洋気団が広く日本を覆うため、これを避けるように進むが、勢力が衰える頃日本を横切るようになる。

台風は大きなエネルギーを持ち、その中心に大量の空気を吹き込むため、それに流されて雲も激しい変化をする。特に大気下層の積雲は台風による風に流され、激しい動きを見ることができる。右下の写真では200~300mの高さの積雲が大変な速度で流れいく様子がわかる。

同時に日本海側では、吹き寄せる南風が日本の山脈を越えフェーン現象を起こすことも多い。



右上 2003. 5. 31 宇和島に台風4号上陸。金沢では最高気温30.8°C。川のように流れる不気味な高積雲

左下 2003. 8. 8 台風10号高知県に上陸。厚い高層雲と、下層のちぎれ雲のような積雲

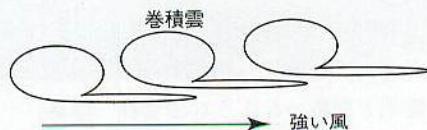
右下 2003. 9. 13 台風14号によるフェーン現象で最高気温が36.1°C。地上数百mを激しく動く積雲

下はそれぞれの日の天気図



10. 高積雲から筋状にのびる巻雲

高積雲から直角に筋状の巻雲が多数伸びている雲。7,000mあたりにできた高層雲の下部の強い風により、下部が氷晶となり流されている。上空の風の様子がわかる雲の一つである。



11. 霧

霧はその成因により放射霧、移流霧、混合霧などに分けられる。雲と同様に空気が冷やされることで、含まれる水滴となったもので、雲と違って地上に接しており、視程1km未満のものをいう。

雲のように断熱上昇によって冷やされる以外に、地面や海面に接しているため、空気がそれらによって冷やされたり、異なった性質の空気が混合してできるなど、直接冷やされることによってできことが多い。



金沢を包む視程100mの霧

2003.4



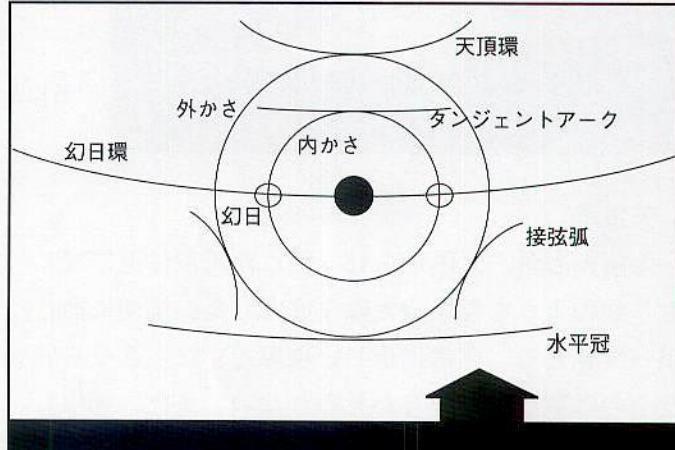
金沢の犀川などでは、春先、雪解けの低温の流れに湿った空気が流れ込むことで霧ができる。また、同じ頃、水田にはった水によって霧ができることもある。海岸線では、春先に海でできた霧が陸地に流れてきて霧に覆われることもある。また邑知潟では盆地地形のため、寒冷な空気がたまりやすく、霧ができる原因となる。

写真の前日より北陸地方には停滞前線があり、そこから南西の弱い風が入り込んだ。そのため霧が発生しやすい状態になって、この日、金沢市は広い範囲で霧におおわられた。

III. 光と空気中の水滴・氷による現象

【かさ現象】

巻層雲、巻積雲など薄い雲を作っている氷晶は六方晶系である。これを太陽や月に光が通過する際に回折がおこり、巻層雲でできる量のほか、光冠、タンジェントアーク、幻日、水平環などの現象を起こす。(右図) これらをまとめて「かさ現象」と呼ぶ。



いろいろなかさ現象

1. 光冠

高積雲や巻積雲などを通して太陽や月を見たとき、その周りが光に包まれているようになっている現象で、視半径はおよそ太陽・月の直径の5~6倍。雲の様子によってはきれいな円型の時もあれば、写真のように奇妙な形の時もある。



月による不気味な色の光冠 2002.9

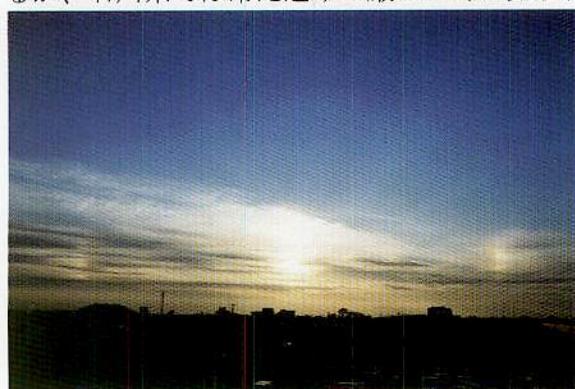
2. タンジェントアーク

水晶によって起こる現象のひとつ。写真では、内暈の上部に、地面にほぼ水平に光のすじが見える。これはタンジェントアークまたは上端接弧と呼ばれている。月・太陽が比較的低いときにでき、高度が低いときには「V字型」、高くなるにつれて月によってできたタンジェントアーク 2003.10 「水平」から「逆V字型」に変化し、内暈と合体、32度より高度が上がると消滅する。



3. 幻日

太陽の両側にできる明るい光のかたまりで、これも比較的太陽の高度が低い時にできる、水晶による現象のひとつ。大気中に多数の水晶ができやすい高緯度地方では、大変明るい幻日ができるが、石川県では冷え込みの厳しい時に見られることがある。



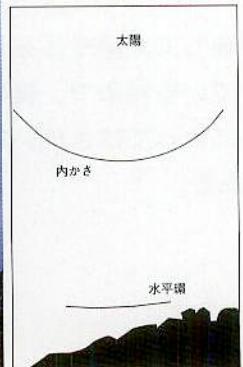
石川県で見られた幻日 2003.2 (左)
とアラスカの明るい幻日 (右)

4. 天頂環

太陽の方角、太陽から 46° 離れた天頂付近にできる虹のような現象。太陽を底としたお椀型に曲がって見える。非常に珍しい現象で、はつきりしたもののは数年に一度しか見られない。また、天頂



付近にできるため、気が付かないことが多い。



5. 水平環

4. 天頂環とは逆に、内かさの地平線側にほぼ地面に平行になるよう広がる。大変淡いため、見えにくく写真にも写りにくい。太陽高度が 58° 以上の時にできる、珍しい現象。

これら、「かさ現象」にはこのほか、接弦弧や幻日環と呼ばれるものがあるが、出現頻度が低く滅多に見られない。また、出現していても注意してみないと気が付かないことが多い。普段から空を注意して見ていると、これらの現象に出会う機会もできるだろう。

6. 虹

大気中の水滴や、降水によって起こるおなじみの現象。太陽とは反対方向にできる。雲間から太陽がでているのに雨が降るとき、太陽と反対側を見ると、案外頻繁に見ることができる。注意してみれば2つの虹がペアになってできていることがわかる。虹には外側にもう一つの虹があり、これを副虹と呼ぶ。副虹は7色の配置が主虹とは逆になっており赤が内側、紫が外側になる。



雨上がりの虹と副虹（右）

2003.12

7. 光柱

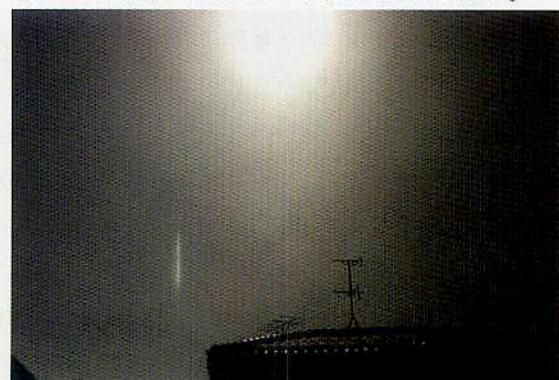
大気中の水晶によって起こる現象のひとつで、高度の比較的低い太陽や月などの光が水晶の底面に反射してできる。地面に垂直に光の筋が立っているように見えるため、光柱とよばれる。光柱の中でも、光源が太陽のものを「太陽柱」あるいはサンビラー、月が光源のものを「月柱」またはムーンビラーと呼ぶ。中能登では冬季になると漁船の照明による光柱がよく見られる。

左の写真は空に10本以上の光柱が現れたもので、漁船の漁り火によるものではないか、と考えられている。また、右の写真は、月の下側にできたもので、翌日の新聞にも取り上げられた。



漁り火による光柱

2002.5.6



月による光柱

2000.1.22

(両方とも野々市町 長兼広氏撮影)

この章で見てきたように、石川の空にもいろいろな雲が現れ、また空にはたくさんの現象が起こっている。どれもが上空の大気の状態、地上、海面からの影響を表している大変貴重な自然現象である。しかし、植物や動物、そしていろいろな自然現象が、理科の目、科学する心を持っていなければ見えない、気が付かないのと同様、これら石川の気象現象を知るために大切なのは「なぜだろう」と常に考える姿勢である。冒頭に述べたように、天気・気象現象は私たちにとって最も身近で生活に結び付く自然である。児童や生徒たちに毎日自然を感じ、考えるための素材として、雲や気象現象を体験させ、自然の偉大さと自分たちの生活との関わりを考えさせることができますます必要になってくるのではないだろうか。

この項の天気図は『気象人』<http://www.weathermap.co.jp/kishojin/>からの使用許可を経て掲載されています。

IV. 雲を立体構造物としてとらえる一方法

雲はいろいろな高さにでき、それぞれが立体的な構造を持つ。しかし輪郭がはっきりせず、コントラストも低く、雲間での距離が遠く、周囲に距離を比較するための対象物がないため、雲を見たとき距離感がつかみにくく、生徒にとって雲を立体としてとらえることがなかなかできない。たとえば、高積雲の上に巻雲があっても、実感として高さの違いを感じることはできない。しかし、雲の高さがある意味では雲の性質や、その後の天候を知るための手がかりになる。

ここでは一つの方法として、立体写真を使って雲の高さや構造の違いを簡単に見る方法を考察する。なお、立体視の方法については裸眼で立体視する方法が最も簡便であるが、多少慣れが必要であるため、理科教材を扱う販売会社から簡易ビュワーが「ステレオルーペ」という名称で販売されているで利用すればよい。(中村理科扱420円)

1. 立体写真とは

物が立体的に見えるのは、人間は間隔の離れた右目と左目で物体を見るため、脳が右目で見る像と左目で見る像のズレを合成し立体的な像として認識するからである。右目の位置で撮った写真と左目の位置で撮った写真を使えば立体の像が見えることになる。さらにいえば、基本的にはある間隔を置いた、左目用と右目用の写真を撮り、それぞれの写真を左目、右目で見ると立体に見えることになる。これが立体写真と呼ばれるものである。

ステレオ写真、つまり立体写真は、前後関係 相対関係が知りたい時に有効であり、戦前より航空写真などで利用され、現在でも同様に地図作成の際、高度情報を取得するために使われている。またX線写真で立体視診断や、昆虫標本の選別など医学・生物分野に利用する場合もある。今回はこの原理を利用してことで雲の立体的な構造を知る方法を考察する。

2. 雲の立体写真の原理

人間の目の間隔は、およそ6cm～7cmであり、立体感を得るのに最適なのは距離1m～4m程度の範囲といわれる。この間隔と距離の関係は、およそ1:15～1:65となる。たとえば、高さ2,000m、水平距離2,000mの積雲を考えてみると。この積雲までの直線距離は2,830mであるから、これを上記1:15～1:65に当てはめると、間隔は188～43mとなる。

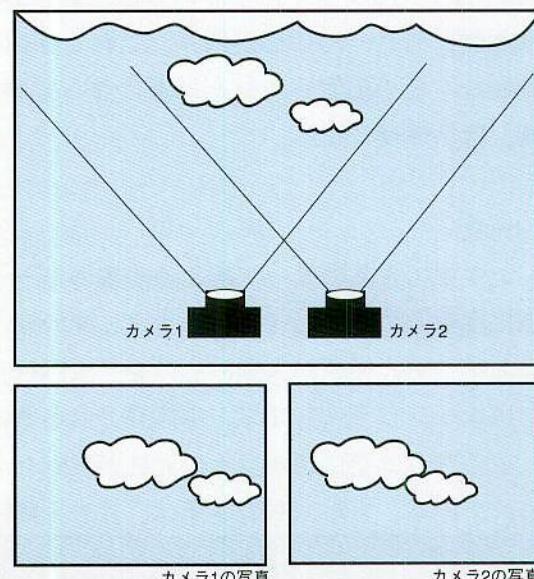
つまり、おおざっぱにいえば、上空の積雲を立体としてとらえるには100m程度の間隔をあけて、右目用・左目用の2枚の写真を撮れば良いということになる。

3. 撮影方法

今回、撮影方法を開発するにあたって、3つの方法を考えた。

- ①距離の離れた2地点にカメラを設置・撮影する。
- ②雲と平行に移動して撮影する。
- ③低層雲と高層雲の動きを利用する。

①は2台のカメラを間隔の適当な2地点に設置し、写野（方向・角度）をあわせ、撮影はインターバルタイマーを使用し、一定間隔で行う方法である。が、設置場所や撮影のタイミングなど



困難な点もいくつかあるため、今回は②③について紹介する。

②雲と平行に移動して撮影する方法

雲にほぼ並行に走行する車から、間隔を置いて同写野を撮影する。時速40kmの車は1秒間に11m走行するため、およそ4~8秒程度間隔をあけて、2枚の写真を撮影する。この際、カメラの向き（傾き）が変わらないようにしっかりと固定しておく。また、撮影レンズは広角（24~28mm程度）があればなお良い。また、航空機を利用した際に、同様に撮影する事もできる。航空機は安定しており、また、雲の構造を別の視点から、広い範囲にわたって見ることができるので、よい教材となる。

③低層雲と高層雲の見かけ上の動きを利用する方法

低層の雲（数百から2,000m）は、地表に近いため、見かけ上の動きが大変大きい。一方、高層にある雲は低層の雲より時には10数倍遠いこともあり、見かけ上の動きは小さい。これを利用して、見かけの視差を利用して撮影する方法。積雲と巻雲などの高さの大きく異なる雲を見る際に有効であり、移動や場所を考える必要もなく、簡便で良い結果を得られる。撮影には三脚が必要であり、また、形の変化の激しい雲の場合は注意が必要となる。

4. 作例から

写真1は上記②の方法で撮影した低層の積雲と高積雲である。中央の大きな積雲の塊が一番近く、その下にくっついている小さな積雲はその手前下にあり、日陰になっていることがわかる。また、左下の積雲の列は奥行きを持って並んでおり、下のものほど遠くにある。高層雲は全く違った平面上にあることもわかる。

写真1

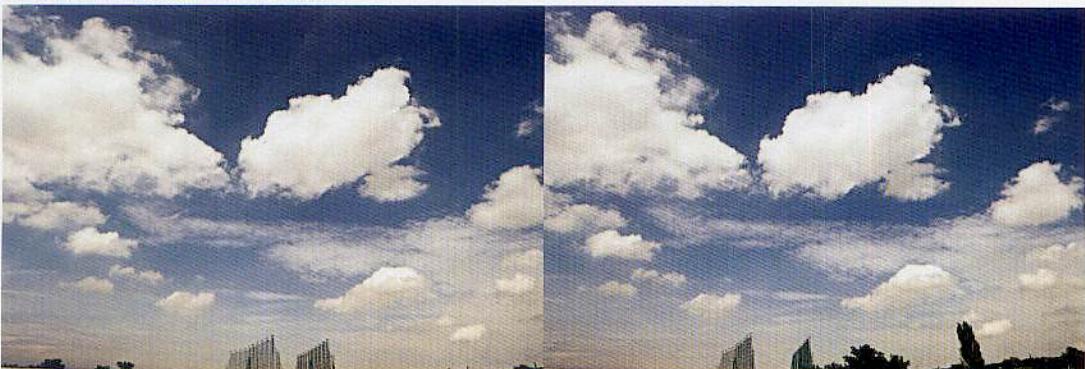


写真2は③の方法で撮影し積雲のちぎれ雲と上層の巻積雲である。立体視すると、まず巻積雲が積雲よりはるかに高い場所にあることがわかる。さらに、右端アの積雲は、ほかものよりもかなり手前にあり、それぞれの積雲塊は立体構造を持った微少なちぎれ雲を伴っていることもわかる。特に中央の小さな積雲群は、奥行きを持った構造をしている。

写真2

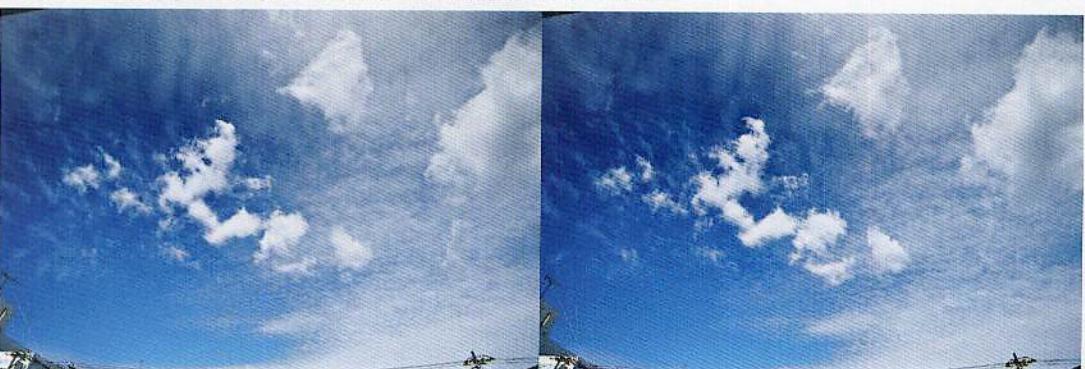


写真3は②の方法で、航空機から撮影した、寒冷前線による盛り上がった積雲列の様子である。

この日、日本には台風が接近しており、奥に向かって続いている積雲列の雲頂近くからは、これによる影響からか、いくつものちぎれ雲が、写真向かって左に流れている。写真の右半分と左半分の大気の状態が全く違っていることもわかる。

写真3

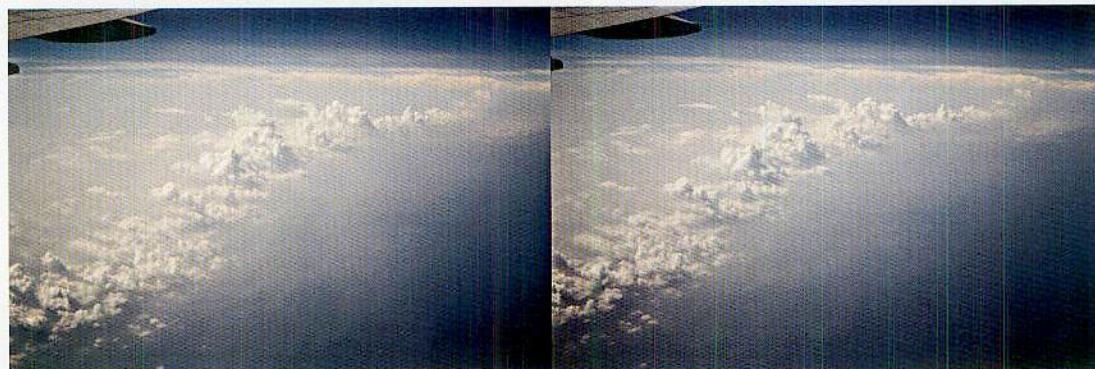


写真4は海面から強い上昇気流によって上昇してできた、塔状の積雲と上層の高層雲である。まず積雲と高層雲が全く違う平面上にあることがわかる。特に小さな積雲は非常に低く、海面に浮かぶ小島のように見える。その低い場所から、写真下の塔状積雲がほぼ垂直にビルのように立ち上がって、雲頂は高層雲の高さを越えている。また雲頂ではその一部が高層の気流に流され、写真右方向へ薄いベール状の雲をたなびかせている。

写真4

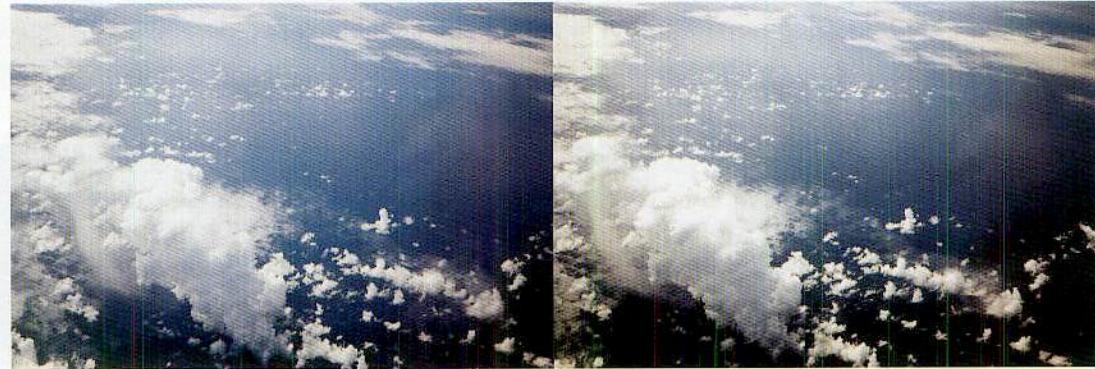


写真5は低空から立ち上がる、高さ10,000m近い積乱雲である。時計方向にねじれるような構造を持っているように見え、中層の雲越え上昇している。しかし、さらに上層には巻雲が存在していることがわかる。

写真5



以上のように、立体写真を使うことにより、肉眼や写真だけではとらえきれない雲の奥行き、構造などをとらえ、実感することが可能になる。中学校で学習する雲の高さについてもはっきりと体感することができる。

教材の作成についてもこの章で述べた②や③の方法であれば簡単に撮影が可能であり、さらに選択授業や部活動では生徒自身で教材を作ることもできる。驚きと喜びを与えることができれば、雲、大気現象への興味や関心が高められ、理解も深まる。

V. 学校における生活に密着した気象の観測への一考察

観察実験が重視される理科においては、気象の観察についても中学校の指導要領で「校庭などで気象観測を行い、観測方法記録のしかたを身につけ、その観測記録などに基づいて・・・後略」と記述されている。また、選択授業や部活動、自由研究などにおいても気象の観測は生活との関わりを考える教材として有効であり、自然の事象をとらえることは生徒の科学的資質の向上に役立つはずである。

ところが、気象観測といえば単に観測機器を使用することを目的とした観測や、気象台と同様の機械的な観測になりがちである。これでは長続きしないばかりか、興味もなくし、目的も失ってしまうことになる。毎日の生活と深く関わっているにも関わらず、気象観測が教材として有効に利用されていないのには、上記のような理由も一因なのではないだろうか。

気象の観測を有意義なものにするためには、目的をはっきりさせ、観測機器や手法にこだわらず、児童生徒の生活に密着した視点や方法を持つ必要がある。特に小学校では具体的な事象について目的を持った観測をすることによって、生活の中で空を見上げ、気象の変化に興味を持ち続け前向きに学習や研究に取り組むことができるようになる。

ここでは、観測機器を使わないで気象の観測を行うための視点をいくつか取り上げたい。

1. 雲や大気中の現象を観察するための視点

雲は上層の大気の様子を反映していることは、Iに述べたとおりである。雲を観察することによって、天気を予測することもできる。このとき、観点を持って雲を観察する事によって、視点が定まり、興味をさらに生む。ただ学習のために何雲かと名前を考えるだけではなく、その雲がそこに現れるのはなぜか、どういう現象が起こっているのか、上空の空気の状態を考えながら観察し、さらにその後どうなると予想できるのかも、考えさせたい。

【観測の視点】	雲の形	種類	雲の濃さ	雲の構造と模様	形の変化	雲量
	一つ一つの大きさ	雲の高さ	雲の色	雲の移動する方向・速さ		

例えばIで述べたように、波状の雲ができれば上空では上層と下層と速度が違う風の境界があり、前線が近づいている可能性がある。また夏、纖維状のはっきりと輝くカギ状巻雲が見られれば、上空は安定し水蒸気が少ないことがわかる。観測機器だけではなく、児童生徒が見て感じることで、観測はでき、さらに関心を持って取り組める。

2. 生物を観察する気象観測（生物季節観測）

気象台では季節観測の一つの方法として動植物を観測しており、これを生物季節観測と呼んでいる。1953年以降、全国102の気象官署で継続的な観測が行われており、花の開花した日、満開になった日、紅葉した日、動物の姿を初めて見た日、最後に見た日、動物の鳴き声を初めて聞いた日のような、動植物の状態が季節によって変化する現象について行う観測である。生物に及ぼす気象の影響を知るとともに、結果から季節の遅れ進みや気候の違いなど気象状況の推移を知ることを目的としている。判断の材料となる植物標本については気象台の構内の標本木の観測で行われているが、新聞（次ページ）にも取り上げられたように、特に動物については都市化の影響もあり、観測が徐々に困難になりつつある。

その点、学校にはたくさんの生徒があり、校区も広がりがある。学校教育の中で生物季節の観

測を取り入れると、多くの目によって広がりを持って継続して観測ができるため、大変意味のある活動ができる。それだけではなく、児童生徒にとって大変身近で、具体的な対象の観測であることで、児童生徒が身の回りの自然に目を向けるきっかけにもなり、さらには学習意欲の向上も期待できるのではないだろうか。

現在金沢地方気象台では次表の動植物について観測を行っているが、これに加えて、校地内、あるいは地域の動植物などを加えて、学校独自の生物季節観測を行うこともおもしろい。継続した観測ができれば、環境の移り変わりなども知ることができる。

生物季節観測資料（金沢地方気象台提供）

植物		現象	平年	動物		現象	平年
規定種目	ウメ	開花	3.05	ヒバリ	初鳴	3.20	
	ツバキ	開花	3.06	ウグイス	初鳴	3.24	
	タンポポ	開花	4.04	ツバメ	初見	3.30	
	ソメイヨシノ	開花	4.06	モンシロチョウ	初見	4.07	
		満開	4.11	キアゲハ	初見	4.29	
	ヤマツツジ	開花	4.27	トノサマガエル	初見	4.18	
	ノダフジ	開花	4.29	シオカラトンボ	初見	6.06	
	ヤマハギ	開花	8.09	ホタル	初見	6.17	
	アジサイ	開花	6.19	アブラゼミ	初鳴	7.17	
	サルスベリ	開花	8.03	ヒグラシ	初鳴	7.18	
	ススキ	開花	8.14	モズ	初鳴	10.03	
	イチョウ	発芽	4.12	ニホンアマガエル	初鳴	4.12	
		黄葉	11.12	アキアカネ	初見	9.16	
		落葉	11.25	ハルゼミ	初鳴	5.19	
	選択種選目	イロハカエデ	紅葉	11.15	エンマコオロギ	初鳴	8.14
		落葉	12.03	ツクツクホウシ	初鳴	8.10	
スイセン		開花	3.07	ミンミンゼミ	初鳴	8.03	
シバ		発芽	4.15				
シロツメクサ		開花	5.02				
シダレヤナギ		発芽	3.27				
ヤマブキ		開花	4.18				
リンゴ		開花	4.25				
カキ		開花	5.31				
ナシ		開花	4.16				
モモ		開花	4.11				
キキョウ		開花	7.06				
ヒガンバナ		開花	9.20				
サザンカ		開花	10.22				

カエルは環境の指標とされ、周辺環境の悪化を指摘する関係者も。生態系への影響を懸念する声も出ている。

金沢地方気象台の生物季節観測は、職員が毎年、施設がある金沢市西念地区で行っている。トノサマガエルはその年に初めて見つけた日を「初見日」として記録しており、一九七一（昭和四十六年）から三十年間の平均では四月十八日となっている。しかし、一九九八（平成十）年以降、姿は見られず、昨年まで「欠測」が続いている。

【北國新聞 2003.3.20 朝刊より】

◎春駆け足、ツクシ顔出す 生物観測も「やや早め」 金沢地方気象台 金沢市磯部町の浅野川沿いでツクシが顔をのぞかせ、春の気配を漂わせている。金沢地方気象台が行っている生物季節観測でも、今年は梅やスイセンの開花、ヒバリの初鳴などが平年より早め。金沢に間もなく爛漫（らんまん）の春が訪れる。

同気象台の生物季節観測は植物二十四種、動物十七種が対象。植物の開花では今年、梅が二月十日（平年三月五日）、ツバキ二月十七日（同三月六日）、スイセン二月二十七日（同三月七日）に確認された。ヒバリの初鳴も平年より六日早い今月十四日に観測された。

これからはタンポポが咲き、ウグイスがさえずる季節。同気象台は平年より早く観測できそうと予想している。

これら、生物季節観測に使われる動植物は、どれも身近で目にすることも多い。教材として利

用すれば、上にも述べたように自然に目を向け探求する心をはぐくむことができる。また、自然現象に目を留める姿勢があれば、2月頃の強い風（春一番）は春の兆しであることや、春先の黄砂は暖かい風とともに中国からやってくることなど、生物観測以外にも季節の観測の材料がたくさんあることに、児童生徒たちは気づくだろう。

さらに、生物を観測することで、具体的な気温などを知る手がかりにもなる。例えばソメイヨシノは平均気温が10°Cで開花するし、紅葉の始まりは最低気温が7°Cの地域で始まる。生物の生活と気温などの関係を調べてみるのもおもしろい。

3. 生徒の生活体験と気象観測

中学校指導要領では観測機器を用いた気象観測をすることと定められている。その中で気温、気圧、湿度、風速の測定を行う。しかし、例えば風速「15m」と測定したとしても、15mという数字だけでは、生徒にとっては実感が伴わず測定自体が単なる測定のための測定に終わってしまう。体験に基づいた感覚的な基準もまた生徒にとっては大切である。

例えば気温が30°Cであるといえば、生徒はそれが「暑い日だ」と感覚的にとらえることができる。しかし、50°Fであるといい変えるだけで、それは単なる数値的な意味しか持たなくなってしまう。生活の体験と数値が結びついていないことが原因である。湿度や風速などでも同様なことが言える。

生徒にとっては「電線がびゅーっとなるような時は風速10m」というように普段の生活体験から感覚的に感じ、わかることがまず大切であり、科学的な興味や関心はそこからスタートする。

風の強さと身近な様子（ビューフォート風力階級をわかりやすく表記）

風速	陸上 の 様 子	海・湖沼などの水面の様子
1m以下	煙が真っ直ぐ上がる	鏡のようにしづか水面
1m	煙がややたなびく	水面にさざ波がたつ
2m	顔に風を感じる 木の葉が動く	波頭が白いさざ波がたつ
5m	木の葉や小枝が絶えず動く	さざ波の波頭が碎ける
7m	砂ぼこりがたつ 落葉や紙片が道路を舞う	小波がたって時々白波が飛ぶ
10m	低木が揺れる	全体に波たって一面の白波となる
13m	木枝が動く 傘がさしにくく	大波に泡が飛び、白波が飛ぶ
15m	樹木全体が揺れる 風上に歩きにくい	碎けた波がしぶきを飛ばす
20m	木枝が折れて飛ぶ 風上に歩けない	波頭が碎け、水煙になる
25m	屋根瓦が飛んでいく	高波の白泡がすじを引くようになる
28m	樹木が根こそぎ倒れる	倒れかかるような高波が激しく崩れる。 白泡が吹き飛ぶように飛んでいく
30m	まれな強度の暴風 大変大きな被害ができる	大波がおこる 海面は白い泡に覆われ水煙で視界が悪い
33m以上	まれにおこる巨大な台風	海面は白くなり、視界がなくなる

上に挙げたのは風力階級の基準として広く受け入れられている「ビューフォートの風力階級」を簡略化したものである。これは、観測される風力とそのとき起こる現象をわかりやすくまとめたもので、「風速〇〇mではこのような現象が起こる」という見方とともに「〇〇なことが起こっているときには、風速〇〇mくらいだ」という見方にも利用できる。つまり、生活の体験と数字を結びつける役割を果たす。上に挙げたほかにも、生活の中から風の強さを判断する方法はある。また、気温であれば、例えば氷が張れば0°Cであるし、半袖の人が30%を越えると最高気温が25°Cであるというふうにいわれる。

選択授業や発展的な学習などで調べてみることもおもしろい。

4. ことわざと気象の観測

観天望氣という言葉がある。雲や空、星などの見え方を利用して天気を予想する、平たくいえば「天気ことわざ」である。天気予報などない時代からのものが多く、いわゆる経験則によって生まれた天気予報である。しかし、これらには科学的・気象学的に根拠の見つけられるものも多く、具体的で児童生徒にとっても気象事象を身近にとらえる材料になる。

また、これらは気象観測の基本的な手法を簡単に表しているため、気象観測のひとつの手段として使うことも有意義である。雲に関することわざをいくつか挙げる。

「巻雲が見えると明日は雨」「巻雲ができると晴れが続く」

巻雲は温暖前線の前面500km～1,000kmあたりの場所にできるため、巻雲は悪天の前触れとなる場合がある。前線はおよそ50km/hの速度で北東に移動する。そのため巻雲が見えてから半日から1日後に温暖前線が通過し、雨が降ることになる。

しかし、逆に巻雲が晴れの予想につながる場合もある。巻雲は空気中に水蒸気が少ない時にもよく現れ、このときの巻雲は前述の「晴れシーラス」と呼ばれ、好天の兆しとなる。青空に纖維状に美しく輝き、カギ状になることが多く、夏にはっきりと纖維状の雲が見られるときは、高気圧の前面の雲で、晴れることが多い。

「うろこ雲が見えると晴れ」

「うろこ雲は3日のうちに雨」「うろこ雲が西からだと雨」「いわし雲ができると雨」

巻積雲は温暖前線の前面や温帯低気圧の北側にできる。そのため、低気圧が自分の住んでいるところが低気圧の北側であると雨が降らずに雲は消え「晴れ」、上空を温暖前線が通過する位置の場合は「雨」ということになる。

「羊雲は雨の兆し」「羊雲が広がってきたら雨」

高積雲は巻積雲が厚く、低くなってきたもので、前線が接近し天気がくずれる兆しとなる。波模様に雲ができると天気はくずれる。

さらに、上空の風がやや強く、風の向きなどが上層・下層で異なるとき高積雲は波状雲となることから、天気がくずれる兆しと判断することができる。

「飛行機雲がまっすぐに消えると晴れ」「飛行機雲が広がると雨」

飛行機雲のできるのは、空気中に水蒸気が多く含まれているためである。そこで、飛行機雲ができるときや、できてもすぐ消えるときは空気は乾燥していると判断できる。逆に飛行機雲ができるのに残るときは上層の空気に水蒸気が多く含まれており、さらにそれが横に大きく広がるようなときは、水蒸気を多く含んだ空気が上空に流入しているため、雨になる。

「ちぎれ雲は雨」

積雲が風によって小さくちぎれて形がくずれたものを「ちぎれ雲」と呼ぶが、これが見えるときは、比較的低空に強い風があることで低気圧が接近していることが多い。特に、乱層雲の下にちぎれ雲が見えたときは天気はますます悪化する。

そのほかにも雲や気象現象に関わる「ことわざは」は数多くあり、これを調べ、実際に観測してみることで、観測の目標が定まり、天気に対しての興味や関心を持たせることができる。

さらには、ことわざにはその地域特有の特色あるものや、その地域の生活に密着したものがあり、先人の知恵を知ることで総合的な学習の時間の地域の学習などにも結びつけることもできる。ただ、中には科学的な根拠のないものもあるので、気をつけながら気象について考えさせたい。

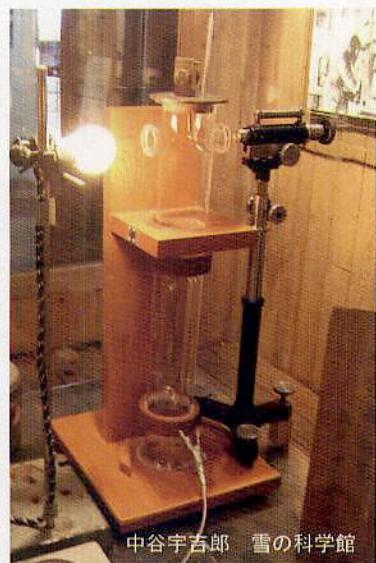
2章 ペルチェ素子を使用した人工雪発生装置の制作

-中谷宇吉郎の人工雪発生装置を現代の材料で再現する-

はじめに

石川県加賀市出身であり、雪の研究者として世界的に有名な中谷宇吉郎（1900～1962）は、彼の残した「雪は天からの手紙である」という言葉で広く知られ、親しまれている。また、一般には世界で初めて人工雪を作ったことでも知られている。

中谷は1932年に北海道大学で雪の研究を始め、大雪山で多くの雪結晶を調べ、雪結晶の分類表を作った。また、人工雪発生装置（右図、左下写真）を作り、試行錯誤の上、1936年には低温室の中で世界で初めて人工雪を作ることに成功した。中谷は雪結晶の形状は水蒸気の過飽和度と温度によって決まるところを突き止め、その結果をまとめて有名な中谷ダイヤグラムを作った。彼の出身地、加賀市には中谷宇吉郎 雪の科学館も開設されており、多くの人々に利用されている。



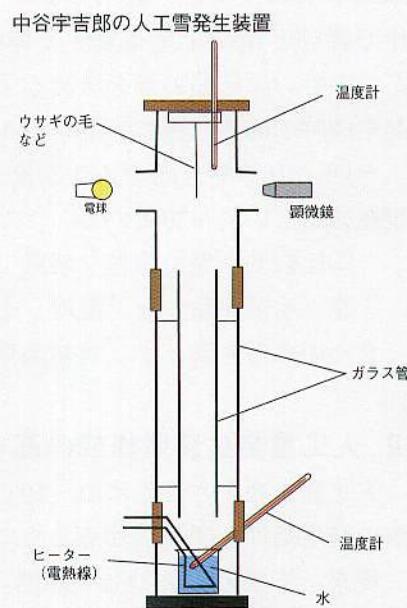
中谷宇吉郎 雪の科学館

石川県は季節風により冬期間の降水量が多い。金沢地方気象台の記録によれば、金沢での降雪の深さ（注）の平年値は1月145cm、2月は102cmとなっており、この2ヶ月間でだけで、のべ247cmもの雪が降る。石川県の人々にとって雪は生活に密着した身近なものであり、雪と関係が深い地域であることはいうまでもない。しかし、学校の理科の授業内容では雪に関する記述はきわめて少なく、また実生活においては、雪害という言葉に代表されるように、雪は迷惑なものとしてとらえられることが多く、雪に関する興味、あるいは科学的な見方ができる場面はほとんどない。学校でも、もう少し雪を自然現象としてとらえ、また教材として利用する方法はないのだろうか。（注）「降雪の深さ」ある時間内（普通は1日）に降った雪の深さ。1月の降雪の深さとは1ヶ月間に合計してどれだけの雪が降ってきたかという意味になる

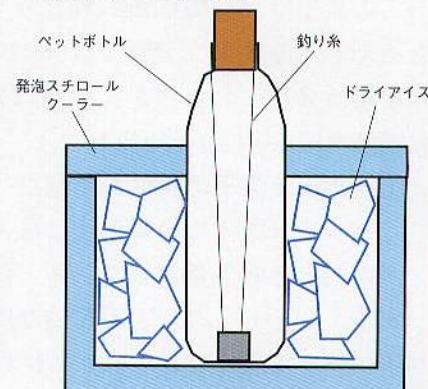
I. 人工雪発生装置制作について

中谷が人工雪発生装置を作り、研究したことは上にも述べたが、その他にも雲箱を使った人工雪発生装置がある。

また2000年には旭川西高等学校の平松和彦氏により、教材として、ペットボトルとドライアイスを使って室温で簡単に雪結晶を作ることのできる、人工雪発生装置（次ページ図）が開発された。この装置は2002年度日本雪氷学会技術賞、日本気象学会奨励賞などの賞を受賞しており、現在でも教材として、学校や地域活動などいろいろな場面で幅広く使われている。



平松式人工雪発生装置



中谷の人工雪装置や雲箱は低温室など大がかりな装置が必要であり、一般の人間が同様な人工の雪結晶を見る、あるいは作ることは困難である。また、平松式人工雪発生装置は簡単に制作でき、費用もかからず誰にでも結晶を作れ、作る喜びと結晶を見る驚きを体験できる優れた教材であるが、中谷の雪結晶の形を決める条件である、「水蒸気量」「結晶生成時の温度」をコントロールする事ができない。

今回、中谷宇吉郎の人工雪発生装置の原理を元にして、現在の新しい材料を用いて

- ①比較的小型で簡単な装置で、室温で雪結晶を作る
 - ②「水蒸気量」と「温度」をコントロールし、雪結晶の形を自由に変えることができる
- 2つの条件を満たす、雪結晶発生装置を作成することを考えた。



II. 人工雪発生装置作成の基本的な考え方

人工雪を発生させるには -10°C 以下の低温が必要である。さらに、温度をコントロールして、雪の発生条件を変化させるためには -25°C 程度までの冷却能力が必要だと考えた。

従来、学校の実験でも「加熱」は比較的容易であるが、「冷却」の手段は氷とドライアイスのみであった。今回、新しい冷却の手段として「ベルチエ素子」に注目し、これを使用できないかと考えた。

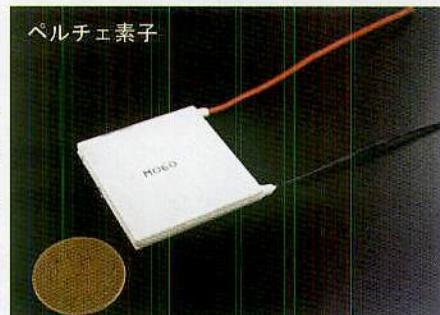
また、水蒸気を発生させるために中学校の授業でも使われる「固体抵抗」を使い水温を変化させることにより、水蒸気量をコントロールすることにした。

1. ベルチエ素子について

半導体素子によって組み立てられたもので、直流電流を流すことによって、一方の面から他方の面に熱が移動する原理を利用した素子である。電流を流すとモジュールの一方の面は冷却され反対の面は加熱される。また、電源の極性を逆にすると熱の移動方向も逆になるので加熱・冷却を完全に逆転することができる。

従来一般に使用している冷却装置は、フロンを使用しているが、近年、更に環境問題が表面化しているなかで、フロンを使用しないで冷却できるベルチエ素子の特性が注目されつつある。

この素子は除湿機に使われたりしているほか、一部ではこの素子を使ってコンピュータのCPUを冷却したり、天文分野ではCCDのノイズをおさえるためにこの素子が使われている。大きさなど規格は多種にわたるが、今回は大きさ $39.6 \times 39.6 \times 3.94\text{mm}$ 、最大電圧 17.5V 、最大電流 8.5A 最大吸熱量 85W のものを使用した。



①ベルチエ素子の特性と問題点

ベルチエ素子の冷却温度は最大温度差 70°C とうたわれているが、これは最大電圧、電流をかけたとき吸熱量が 0 であると仮定した理論値であり、実際には両面の温度差は 35°C 程度である。しかし、これも理想的な廃熱をした場合であり、実際に能力を発揮させるためには、以下に述べるようにいくつかの問題点がある。

i. 廃熱と冷却

ペルチェ素子の吸熱能力がほぼ電圧に比例しているのに対して、発熱は電圧の2乗に比例することがあげられる。そのため、高い電圧をかけた方が大きな温度差を生むが、高い電圧をかけると膨大な熱量が放出され、廃熱能力をペルチェ素子の発熱が上回ってしまう。

その結果、素子自体が熱を持ち、その熱が冷却面へ流出し冷却できなくなってしまう現象が起こる。そのため、廃熱対策をしっかりとすると同時に、電圧を上げずに冷却能力を引き出す工夫が必要になる。

ii. 冷却温度

たとえ理想的な条件でペルチェ素子を動作させても、得られる放熱面と冷却面の温度差35°Cでは必要な温度に到達できない。目的の-25°C以下の低温を獲得するためには、さらなる工夫が必要になる。

② 対策

i. 発熱側の廃熱

通常、CPUやCCD、あるいは発熱体を持つ家電などの廃熱にはヒートシンクが使われる。しかし、これでは十分な廃熱能力は得られず、ファンで強制冷却しても温度差はおよそ15~20°Cにとどまる（冷却面の温度で約10°C~5°C）。そこで、今回は理想的な廃熱をするために水冷式を考え、CPU冷却のための水冷装置を使うことを考えた。

ii. 目的温度までの冷却

先に述べたようにペルチェ素子の冷却能力では必要とする温度に到達できないので、ペルチェ素子を2段化することにした。

2. 人工雪発生装置の構造（実用新案登録出願済）

① 構造

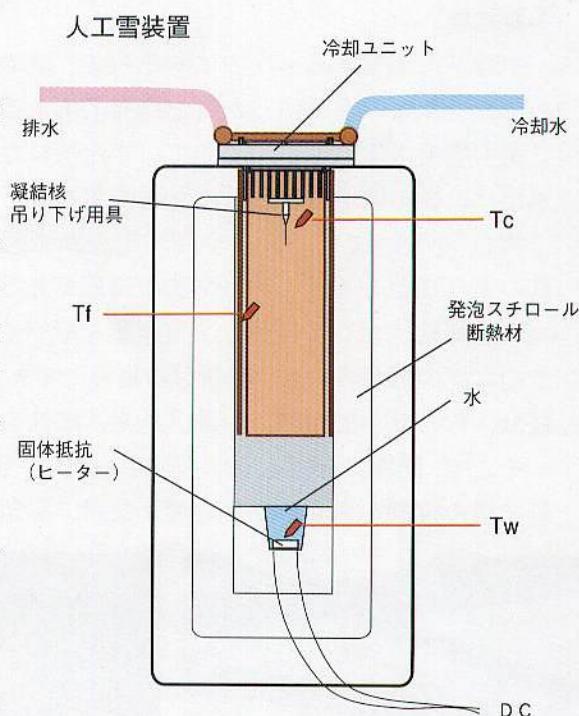
右図は装置の構造図である。装置は大きく分けて、冷却ユニット、筐体、水蒸気発生装置、温度モニタの4部分からなる。

【i. 冷却ユニット】

次ページ図のような構造で制作した。ペルチェ素子3枚を図のように2段に重ね、その間に9mmの銅板を挟み放熱バッファとし、上段の2枚の素子で下段の素子の放熱面を冷却する事により、1段では得ることができない低温を作る。

下段の素子には、筐体部の空間を効率よく冷却し、目的の温度を実現するために、アルミと銅で制作した冷却フィンを固定する。また、最上段の放熱には先に述べた水冷装置を固定する。さらに、各素子、水冷装置、フィン、銅バッファの接合面は熱伝導性グリスを塗布し密着させる。

この装置では室温22.5°C、水温20.8°C、流水量0.3リットル/minの条件において、冷却フィン下端から10cmで表面温度-27.8°Cを達成している。



【ii. 筐体】

筐体は発泡スチロールのクーラーボックスを利用する。室温での雪結晶づくりのためにさらに断熱性を確保し、雪結晶生成の空間を作るために加工を行う。また、断熱性を維持した状態で観察と写真撮影を行うために、二重窓をもうける。

【iii. 水蒸気発生装置】

温度管理が簡単にできるように、発熱体に教材としてよく使われる「固体抵抗」を使い、ここに可変電源をつないで水温は自由に調節し、水蒸気の発生量を変える。

【iv. 温度管理】

サーミスタを使い、水蒸気発生装置の水温（以下 T_w ）、結晶生成点（同 T_c ）、および冷却フィンの温度（同 T_f ）をモニタし、コントロールする。（図）

②水蒸気量と温度のコントロール

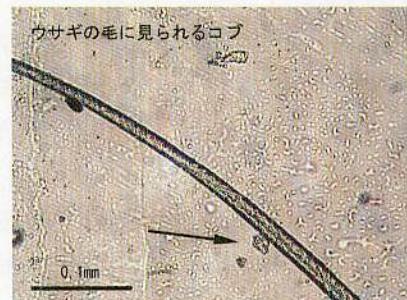
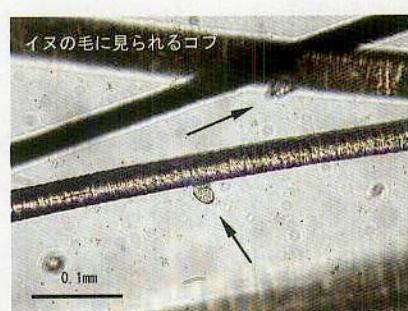
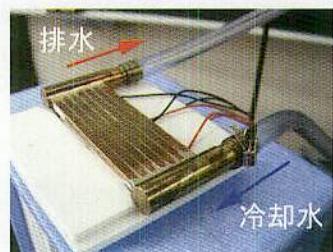
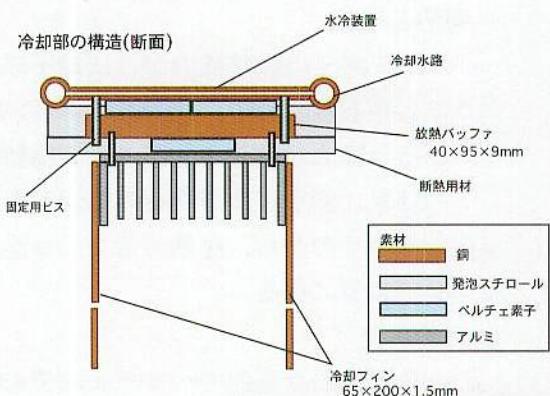
基本的に、①水蒸気量は水蒸気発生装置内の水温を調節することで、また②結晶生成点の温度はペルチェ素子の温度を調節することによって行うことができる。つまり、電源の電圧をコントロールするだけで、雪結晶の形を決める2つの条件を得ることができる。

しかし、①を調節することにより、②も変化するため両者を関連づけて調整することが必要となる。

③凝結核

中谷が人工雪結晶を作るにあたって、核の役割をさせるために、ウサギの毛を使ったことは有名である。これについて「兎の腹毛の瘤に氷が附着して、小氷塊になると・・・ある点だけに雪の核ができるものと説明できる」（中谷宇吉郎「雪」）と述べている。ウサギの毛を顕微鏡で見ると、右写真のようにところどころコブ状の突起がある。水蒸気はこのコブを凝結核として昇華し、雪結晶を形づくる。そのため、このコブの数が多いと、結晶が密集してでき、お互いが干渉しあうため、結晶が成長できない。彼は、そのほかにも絹、木綿、羊毛、蜘蛛の糸などを使っている。

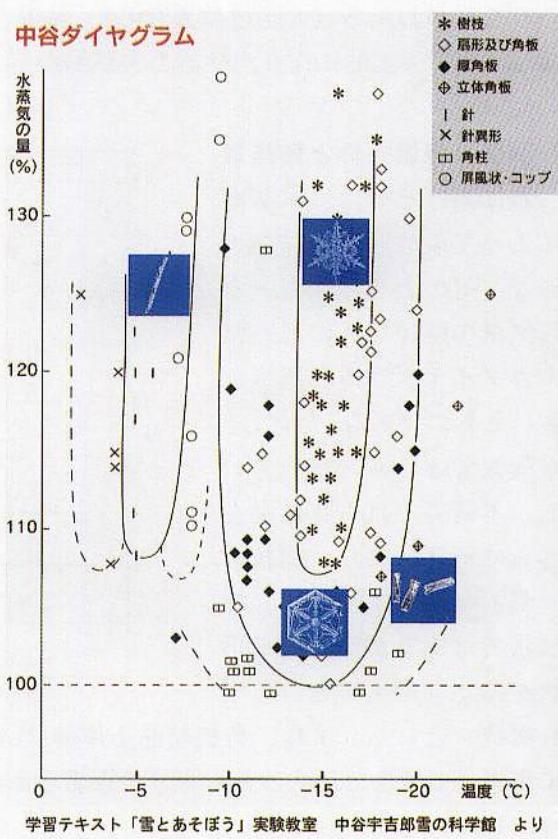
そこで、同様に今回もウサギの毛を使い、装置の上部からこれを吊り下げ用具を使って下げ、凝結核の役割をさせることを考えたが、小型犬の細い毛を顕微鏡で見ると、やはり上写真のようなコブが見られ、いずれの毛でもできる結晶に差異がないことがわかった。そのため、今回は多くの実験で、簡単に手に入るイヌの毛を用いて実験を進めた。写真右はイヌの毛にできた人工雪の様子である。



III. 人工結晶の生成の実際

前述のように雪結晶の形は水蒸気の過飽和度と結晶生成点の温度に依存する。たとえば中谷ダイヤグラム（右図）で表されるように、 -15°C 前後では水蒸気が少ないと角板状、多いと枝分かれが多くなり、樹枝状へと変化することになる。また、同時に結晶の成長速度も水蒸気量と関係があり、水蒸気量が大きいほど成長速度は大きくなる。

本装置ではペルチェ素子にかける電圧で結晶生成点の温度（以下 T_c ）、下部の水蒸気発生装置の固定抵抗にかける電圧で水温（以下 T_w ）をコントロールする。水蒸気発生装置付近では T_w での気温で水蒸気が飽和していると考えができる。この空気が対流によって結晶生成点へ運ばれ、温度が下がり過飽和となり、上で述べた凝結核を中心に結晶が形成されると考えられる。ただし、今回の装置では冷却フィンが金属であり、その周辺や装置の壁面に水蒸気が凝結するため、水蒸気発生装置で発生した水蒸気がすべて結晶生成点まで移動、結晶の成長に使われるわけではない。

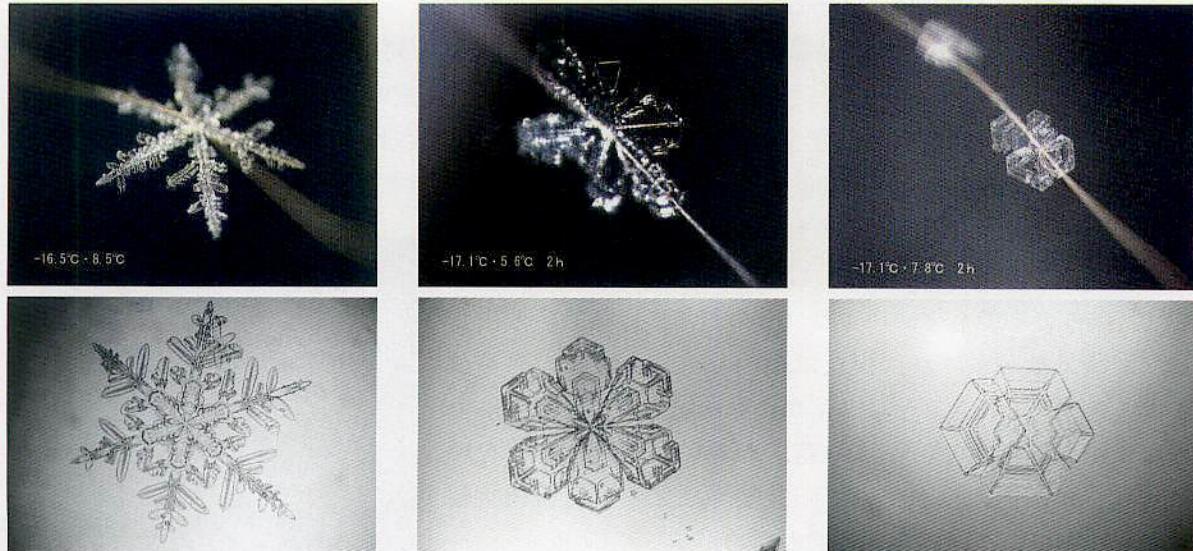


1. 人工結晶と自然の雪

これまで述べてきた人工雪発生装置によって実際に人工雪結晶を作り、できる結晶が自然にできる雪結晶と同様のものであることを確認するために人工雪結晶と自然の雪結晶を対比してみることにした。

下の写真上段は、ある条件の結晶生成点の気温と水蒸気量を設定し、本人工雪発生装置で作られた結晶であり（写真の縦×横=3.4mm×5.1mm。以下、人工結晶のスケールはすべて同じ）、下段の写真は筆者が長野県志賀高原で実際に撮影した自然の雪結晶である（以下、自然の雪結晶はすべて筆者による）。

人工雪発生装置による雪結晶（上）と自然の雪（下）の比較



左から樹枝状結晶、扇型結晶、角板結晶と呼ばれるものであるが、両者の形状がよく対応していることがわかる（大きさは異なる）。気温と水蒸気量の条件を変化させて、自然の雪結晶と同様な結晶を作り出せることがわかる。

2. 湿度・気温条件と結晶形

右にあげるのは、本装置によって生成した雪結晶の形と、そのときの気温・水蒸気量の関係を先に述べた中谷ダイヤグラムと同様に表したものである。ただし、水蒸気量は T_w で表している。本研究では六花結晶をさらに形状により「樹枝」「星」「広幅」さらに、樹枝状ではあるが決まった形状を持たないものを「くず

れ樹枝」とした。また、角板結晶を単純な「角板」、厚さの厚い「厚角板」、角板結晶が立体的に集まってできた形状のものを「角板組み合わせ」とし、それぞれの結晶の違いを表現できるようにした。

これにより、「水蒸気量により、結晶形は大きく変化する。」こと、「気温によっても結晶形は変化する」という2点がはっきりとわかる。

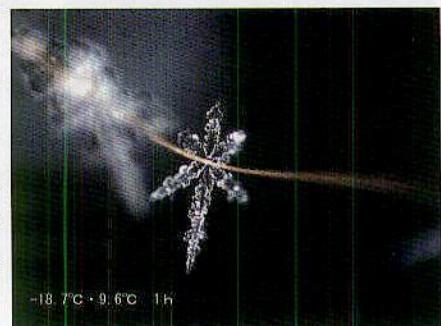
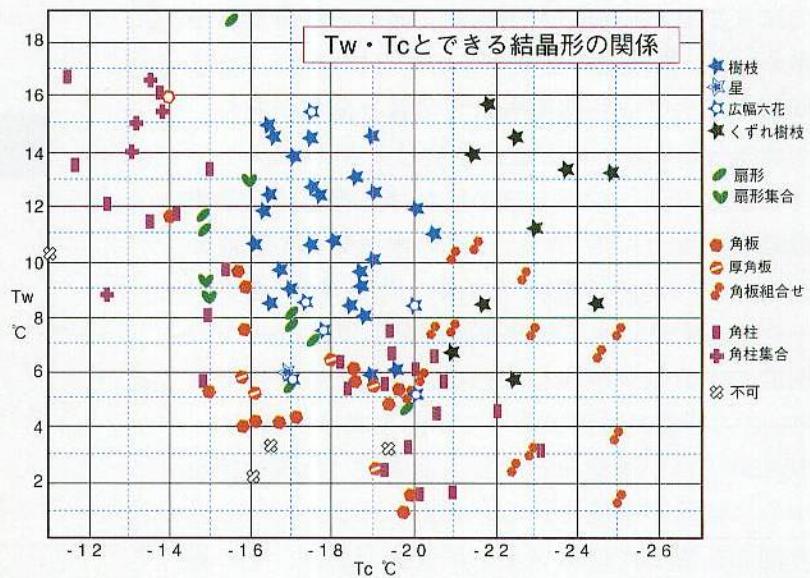
特に、前者については

- ① $T_w = 6^\circ\text{C}$ 以下の条件では樹枝状結晶ができず、角板結晶ができる。
- ② 樹枝状結晶ができる範囲条件は $T_w = 6^\circ\text{C} \sim 16^\circ\text{C}$ と大変広く、樹枝状結晶は水蒸気が多いとできやすい。

また後者については

- ③ 樹枝状結晶は T_c が -16.5°C から -20°C までのほんの限られた気温条件の時にできる。
- ④ $T_c = -20^\circ\text{C}$ より低くなると六角形の形状をとることがなくなり、不定形の樹枝状または、角板の組み合わせとなる。
- ⑤ $T_c = -15^\circ\text{C}$ 以上では結晶は板状の形状をとらなくなり、角柱あるいは塊状の結晶になる。という点がはっきりとわかる。さらに両者を併せた要因として次の2点もはっきりした。
- ⑥ 扇形結晶は温度・湿度とも非常に狭い条件の中で形成される。
- ⑦ $T_c = -14^\circ\text{C}$ 以上かつ $T_w = 10^\circ\text{C}$ 以下では結晶は形成されにくい。

①については、後述するように T_w が低ければ結晶の成長速度は小さくなり、結果としてこのようになる。②については、条件の中でも T_w により、その結晶形は微妙に変化する。水蒸気量が多ければ樹枝は細かく枝分かれし、複雑な形状に発達していき、逆に T_w が比較的低ければ、樹枝は単純な星形（写真）や、幅広六花、あるいは角板状の枝を持つ結晶（角板樹枝）ができる。自然界に見られる樹枝状結晶にも同様にいろいろなタイプのものがある。



普通、「雪の結晶」といえば樹枝状の結晶を思い起こすが、④でわかるように、樹枝状結晶ができる条件は大変限られており、この装置による実験では T_c が $-16.5^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ のわずか 3.5°C の間でできることがわかる。逆に、②でわかるように水蒸気量から見れば樹枝状結晶ができる条件の幅は広く、空気中にある条件以上の水蒸気を含めば、樹枝状ができることになる。

冬、日本にはシベリアの寒冷で乾燥した北西の季節風が吹き寄せる。このとき、シベリアからの季節風は比較的水温の高い日本海によって暖められ、大量の水蒸気をその中に含む。石川県を含む日本海側には、その水蒸気が多量に含まれる空気が流れ込み、雪を降らせる。つまり、水蒸気量の面では、樹枝状結晶ができやすい条件が整っていることになる。しかし、気温の面から考えれば自然界でもおそらく、樹枝状結晶ができる条件がそういうことはそう多くはないと考えられ、私たちが雪結晶の代表と考えている樹枝状結晶は、雪結晶自体を考えれば、決して典型的な姿ではないといえる。

⑦のように T_c が -14°C よりも高くなると結晶はできにくくなり、形成には大変時間がかかるようになる。と同時に、 T_w が 10°C 以下では結晶ができなくなる。つまり、気温が高い条件ではある程度の湿度がなければ雪結晶ができにくいことがわかる。また、できる結晶の形状は⑤で述べたように平板状ではなく、乾電池や鉛筆のような角柱状あるいはそれらが集まつた塊状になる（右写真）。



扇形結晶については、角板結晶と樹枝状結晶ができる中間の、ごく狭い条件の下でのみ形成される。本装置で扇形結晶を作成するためには、温度管理をしっかりとする必要がある。中谷ダイヤグラムでは角板結晶と扇形結晶をひとまとめとして扱っているが、当然両者の中間形の結晶もあるので、連続したひとつの結晶として扱うべきかも知れない。樹枝状結晶→幅広結晶→扇形結晶→角板結晶は条件により連続的に変化するため、扇形結晶はその中のひとつの形態であるということがいえる。

ここから、さらにそれぞれの条件で、どのように結晶が成長するのか確かめてみた。

① 水蒸気量と結晶形

気温が一定ならば、水蒸気量によって、できる結晶の形状が変わることは既に述べた。これを本人工雪発生装置で T_w を変化させることで確認した。

下の写真はいずれも $T_c = -18.5^{\circ}\text{C}$ 前後、 T_w をそれぞれ 4.9°C 、 14.6°C に設定しできたものである。 $T_w = 4.9^{\circ}\text{C}$ の左の結晶では厚い角板状である結晶が、 T_w を上げると、結晶の厚さが薄くなり、樹枝状になることがわかる。これは T_w が比較的高いとき、厚さ方向への成長に比べ、平面に沿った方向の成長が著しく速いためである。

また左の厚角板結晶は結晶生成開始から約 6 時間かかって形成されたものであるが、右は約 30 分で成長した結晶であり、結晶の成長速度が水蒸気量に左右されることがはっきりとわかる。中谷は著書の中で扇形および角板の成長速度は $0.66\text{mm}/\text{時}$ 、羊歯状結晶は $4.6\text{mm}/\text{時}$ であると述べているが、結晶ができるしくみを考えると、水蒸気量が多く成長速度が大きいために、結晶が結晶軸と垂直方向に激しく成長し、複雑に樹枝へと変化していくことになる。



右の樹枝状結晶の形を見ると、6本の枝のうち下方に伸びているものが長く、上方は短くなっている。これは結晶の吊り下げ用具が凝結核になる毛をほぼ水平に保持するため、対流で下方から運ばれてきた水蒸気が下方の枝を成長させるためである。

② 気温と結晶形

水蒸気量とともに結晶の形状を左右するのが気温である。下は T_w が11°C前後であるときの、各気温 (T_c) が左から-13.6°C、-14.8°C、-20.5°C、-23.1°Cにおける結晶である。（-13.6°Cのみ一部拡大）

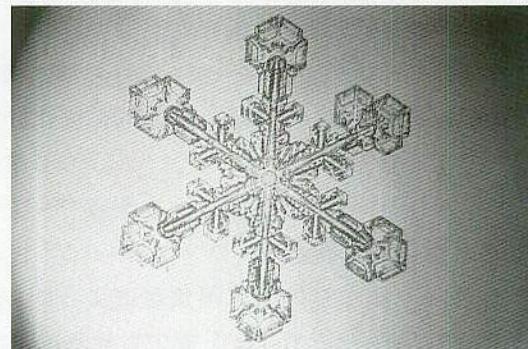


樹枝状結晶が-16.5°C～-20°Cのせまい範囲にできることは先に述べたが、この範囲外では、-13.6°Cでは角柱（あるいは角柱集合）であり、-14.8°Cでは扇形、-20.5°Cではからうじて樹枝状の六花、-23.1°Cでは不定形の結晶となる。単純にいえば、気温が高い時には角柱（または鉛筆状）の結晶ができ、扇形→樹枝→そして不定形の塊状の雪結晶ができるといえる。

3. 結晶成長過程での気象条件の変化と結晶形

大気の状態は時間とともに変化する。また、高さによっても変化する。そのため雪結晶が成長し、落下、地上に到達するまでの間に結晶のまわりの気象条件が変化していき、それをうけて雪結晶も複雑に成長していく。

例えば左の結晶は、角板付き樹枝と呼ばれる自然の結晶である。これは結晶初期の段階では水蒸気量の大きい状態であったため樹枝状に成長し、成長後期には水蒸気量の少ない空気層を通過することで、枝の先端に角板結晶が成長してきたのではないかと考えられる。このように、自然界で結晶ができる条件は一定ではなく常に変化しており、それに対応して結晶形も変化し成長する。雪結晶を見ると上空の大気の状態がわかるところから、中谷宇吉郎が「雪は天からの手紙である」と述べたのは、このように雪が複雑な自然の状態をその中に刻んで落ちてくるためである。また、大気の状態は時間・高さにより大きく変化するため、できる雪結晶の形状も大変バリエーションが多くなり、一説によればその種類は3000種ともいわれる。



ここではひとつの結晶の成長過程で T_w （つまり水蒸気量）を変化させた場合と T_c を連続的に変化させた場合について、結晶の形状の変化を確かめてみた。

① 結晶成長過程での水蒸気量の変化と結晶形

写真左は T_c
=-17.1°C・ T_w
=7.8°Cの条件
で作られた角
板結晶である。



ここから $T_w = 15.0^{\circ}\text{C}$ へ変化させて、水蒸気量を増加させると、角板の先端から枝が成長し始め（写真中）、約2時間後にはそれが樹枝状になって大きく成長していく。（写真右）その結果、中央に扇形や角板を持ち外側が複雑な樹枝状構造を持つ結晶ができる。

この人工結晶は自然状態では樹枝付き角板と呼ばれる結晶であり、右の写真のような結晶と対応する。上空の気象条件が複雑な日本ではふつうに見られる雪結晶である。人工雪発生装置の条件を制御することで上空の大気の状態を再現することもできる。

また、この項のはじめにある角板付き樹枝結晶ができるときの気象条件はどのようなものだったか検証してみる。下の写真左は $T_c = 17.3^{\circ}\text{C}$ $T_w = 9.2^{\circ}\text{C}$ においておよそ30分成長させた樹枝状結晶である。この後、 $T_w = 7.2^{\circ}\text{C}$ に変化すると樹枝状結晶の先端には角板結晶が成長し（写真右）、角板付き樹枝結晶が形成される。この角板の成長は緩やかで写真ではおよそ1時間要した。このように、自然界における雪結晶は、単一の条件の下で発生成長したものだけではなく、成長過程で気象条件が変化する中で落下、成長していくことが確かめられる。

同じように、水蒸気量が減少する場合でも、最初の樹枝状結晶のときに細かく枝分かれしている場合はまた異なった形状の結晶が形作られる。右の結晶は小さな枝をたくさん持った樹枝状結晶がその後水蒸気の少ない状態で成長したものである。この場合、すでにできている小さな枝ひとつひとつが角板状に発達していく。そのため、全体の形状は上の結晶とは全く違った結晶となる。このまま成長していくとやがて角板状の枝同士がくっついて、全体の形状は扇形結晶のようになると思われる。

② 気温の変化と結晶形

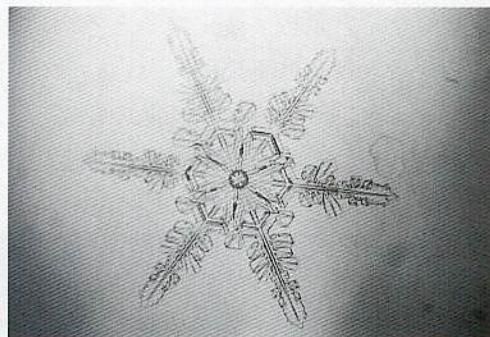
次に、 T_w は一定にして T_c のみを変化させてみる。自然状態では空気中の水蒸気量は変化せず、結晶のできる場所の気温が変化したことに相当する。

写真左は $T_c \cdot T_w = -16.5^{\circ}\text{C} \cdot 8.5^{\circ}\text{C}$ で成長した典型的な樹枝状結晶である。このとき、 T_c を -22.3°C に変化させると、樹枝の先端が角張ってくると同時に、写真のように小さな粒状の結晶が結晶平面上に付き始める。写真の後、およそ1時間で結晶表面は覆いつくされ、塊状の結晶になっていく。

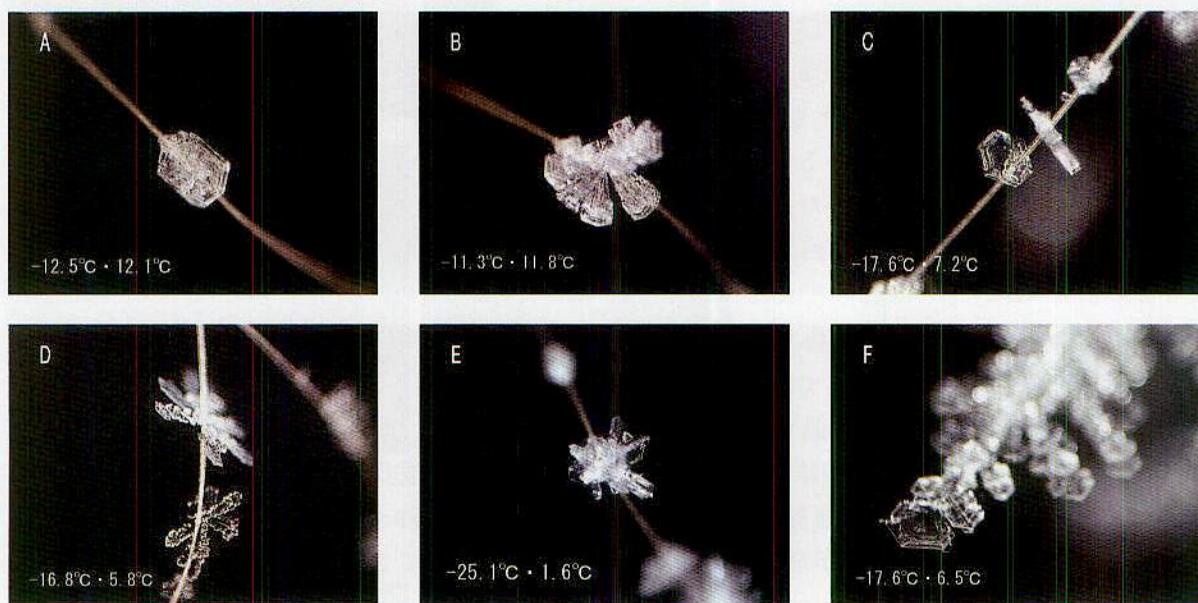


4. その他的人工雪結晶

ここまでに紹介した他にも、本装置で作成した人工雪の例を挙げる。（Aのみ1.3倍に拡大）Aは7時間あまりかかるで生成した角柱結晶であり、内部には規則的な骸晶構造が見られる。Bは円錐形の結晶が集まっており砲弾集合と呼ばれるものである。Cは厚角板状の結晶である。Dは広



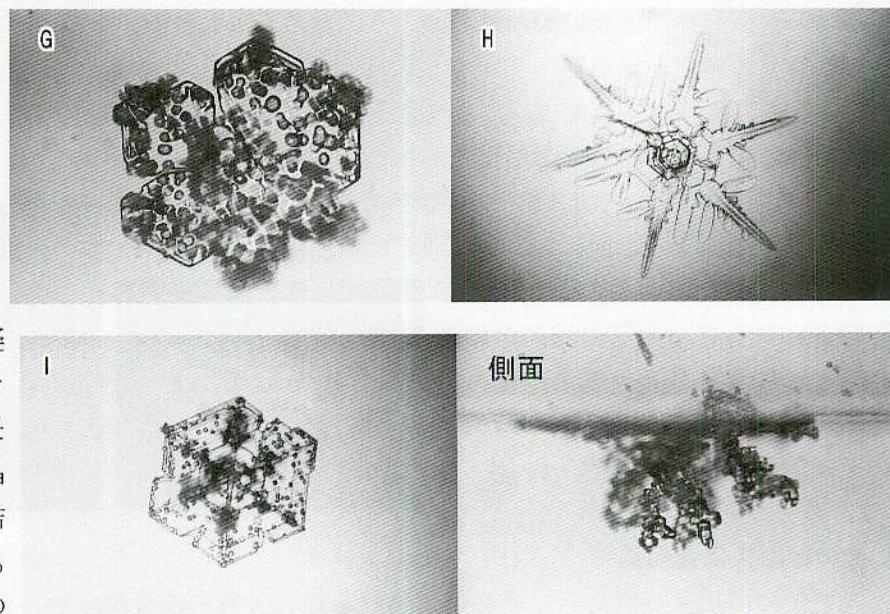
幅結晶と呼ばれるものであるが T_w が低い（水蒸気の比較的少ない）ときにでき、これより T_w が低くなると角板へ変化すると考えられる。Eは T_c が著しく (-21°C以下) 低く T_w も低い場合にできる平板角柱不規則組み合わせの結晶であり、 T_c が低いとき大変よく見られた。Fは大きさが1 cmを越える樹枝状結晶の先端部である。成長中に水蒸気量を減らしてできた、角板状の先端を持っている。先端の構造を見ると、2枚の角板が重なったような二重構造になっているのがわかる。中谷もこの先端の構造について、著書の中で言及している。



5. 考察と補足

ここまで見てきたように、本装置により、条件を変化させて結晶を成長させることにより、結晶がどのような条件でできたのかを確認することができる。しかし、自然界においては雪結晶の形に影響する気象条件は気温と水蒸気量だけではない。空気中の雲粒の存在や風や上昇気流の強さ、最近話題になる空気中の化学物質の存在など、結晶の形状を左右する要因は物理的にも化学的にも数多くあると考えられる。

例えば、雪結晶が落下途中で水滴を多く含む層を通過すれば、写真Gのように結晶表面に雲粒がつき、雲粒付きの結晶ができる。また、結晶が成長する過程で結晶表面に他の凝結核が付着すれば、そこからまた結晶が成長し、左右非対称の結晶ができる(H)。また、結晶は平面的な形状のものだけではなく、下の



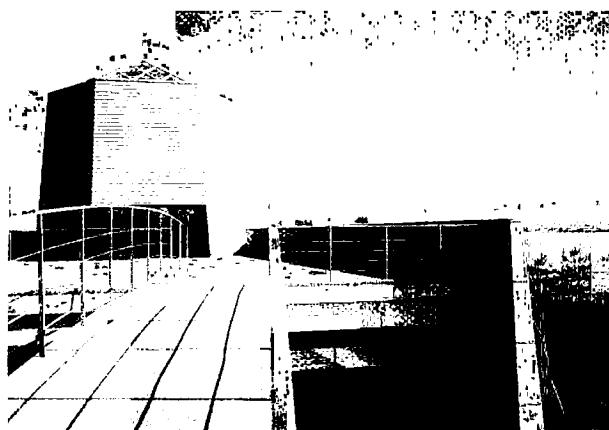
写真Iのように、平面から、立体的に樹枝が成長した結晶もある。雪結晶はまさにあらゆる気象条件の影響を受けて成長し千差万別な姿を私たちに見せる。

さらに、すべての結晶についていえることであるが、結晶の形は形成初期の結晶の形に大きく左右されるのではないかということである。たとえば、結晶初期に不規則な形状の氷晶であり、その後成長する場合、初期の結晶が不規則な形状である場合は対称形の結晶に成長しにくい。人工雪発生装置での実験でも、初期にできた結晶形の違いにより、同じ条件でもそれから成長する結晶の形が大きく異なることが多くあった。自然の作る複雑な条件を本装置が再現できるわけではない。

雪は決して形の整った美しい六花状のものだけではない。児童生徒に雪を見せる機会があれば、このように雪結晶の形とできる背景や条件、そして何より一般には六角対称形のものが普通と思われている雪結晶はあらゆる条件のうちの一部のものであり、自然はその力によって、あらゆる不思議な造形を作りだし私たちに見せてくれること、その偉大な創造性がこの小さな雪結晶の中に凝縮されていることを伝えたいものである。

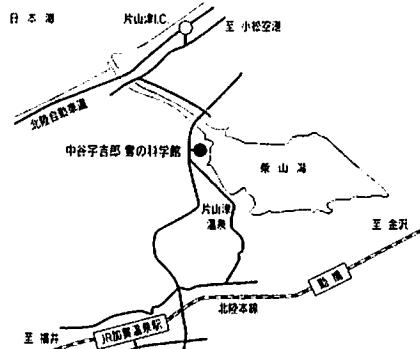
中谷宇吉郎は人工雪の研究を始める動機の1つに「このような美しいものが文字通り無数にあって、ほとんど誰の目にもとまらず消えていくのがもったいないと思うようになった」、そして「実験室で、いつでもこのような結晶ができたら - 中略 - ずいぶん楽しいことだろうと考えてみた」(雪を作る話 1936 東京朝日新聞)と述べている。身近な現象に素直に感動し、考え、実践していくというこの姿勢こそが、理科の教育者として私たちが大切にし、児童生徒に教えていきたい「科学する心」ではないだろうか。雪は雪国にむし私たちにとって、冬の生活に最も影響があり関心があるものである。しかし、冒頭に述べたように、児童生徒には雪を科学的に考える機会はほとんどない。自然を対象にする教科である理科でこそ、雪を教材としてとらえる試みも必要だと考える。

【MEMO】 加賀市 中谷宇吉郎 雪の科学館



雪の研究はもちろん、グリーンランドでの氷の研究など、中谷宇吉郎に関する多彩な資料を展示しております。人工雪発生装置を再現した部屋やチャンダル現象などを体験できる実験コーナーなどがあります。

雪の科学館と柴山潟、白山



- ・場 所 石川県加賀市潮津町イ-106
- ・電 話 0761-75-3323 FAX 0761-75-8088
- ・開館時間 午前 9:00 - 午後 5:00
- ・休 館 日 水曜日
- ・入 館 料 一般 500 円 団体 420 円
高校生以下 無料

IV. 補足 雪結晶の観察方法

石川県では、一般に雪といえば、結晶ではなく塊になった俗に言う「ぼたん雪」を連想する。しかし、雪は水の結晶であり、上空ではひとつひとつ独立した結晶として成長する。これが、落下する際に結晶同士が重なり、絡み合うことによってぼたん雪となる。

湿度が高く、比較的気温が高い石川県では雪結晶が絡み合いやすく、また落下する間に結晶は溶けて、元の繊細な形がなくなっていく。しかし、気温が低く乾燥している北海道や長野県などでは結晶そのものが一枚一枚落下し、昼間は太陽の光に照らされ、きらきら光りながら落ちてくることも多い。雪国である石川県でも、雪の観察を通して児童生徒に興味を持たせたいが、上に述べたように、石川県は観察に適しているとはいえない。しかし、気温の低い風の弱い日などは、注意してみればたくさんの六角形の結晶が落ちてくるのがわかる。そのようなときは観察のチャンスである。ここでは、雪の結晶を観察する方法を説明する。

1. 必要な条件や道具

①条件

天気が良く、風の弱い気温の低い日であることが必要になる。気温はできれば-5°Cより低いことが望ましいが、それ以上であっても手早く観察すればよい。ただし、0°Cを上回ると瞬間に解けてしまうので観察は難しい。また、観察はできれば太陽の当たらない夜の方がよい。

②服装

当然であるが屋外での観察なので、寒くない服装が必要である。しかし、ここでの服装は寒さをしのぐためだけではなく、体温を外に逃がさないで、雪結晶を溶かすことなく観察するための断熱剤としての服装である。手袋、帽子を着用する。また、息で結晶を溶かさないようにマスクは必須である。

③道具

虫眼鏡（ルーペ）、黒い布をはった板（厚紙・段ボールでも良い）、割り箸、スケッチブック、顕微鏡、スライドガラス

観察に使う道具類は、すべて数時間前に屋外に出して冷やしておく。特に、顕微鏡で観察する際にはスライドガラス、顕微鏡本体とも低温にしておかなければならない。

⑤観察場所

屋内でもよいが、その場合は窓を数時間開けて、室内を外気温と同じにしておく。できれば、屋根のある、車庫のような場所が望ましい。

2. 観察の手順

①ルーペで観察する場合

- i 落ちてくる雪を、黒い布をはった板で受ける
- ii 爪楊枝などできれいな結晶を取り出し、ルーペで観察する

②顕微鏡で観察する場合

- i あらかじめ顕微鏡の照明・ピントを合わせておき、照明は消しておく
- ii 落ちてくる雪を、黒い布をはった板で受ける
- iii 結晶を選ぶ
- iv 折った割り箸のささくれで、結晶をつり上げ、スライドガラスに乗せる
- v 照明のスイッチを入れ、素早く観察する

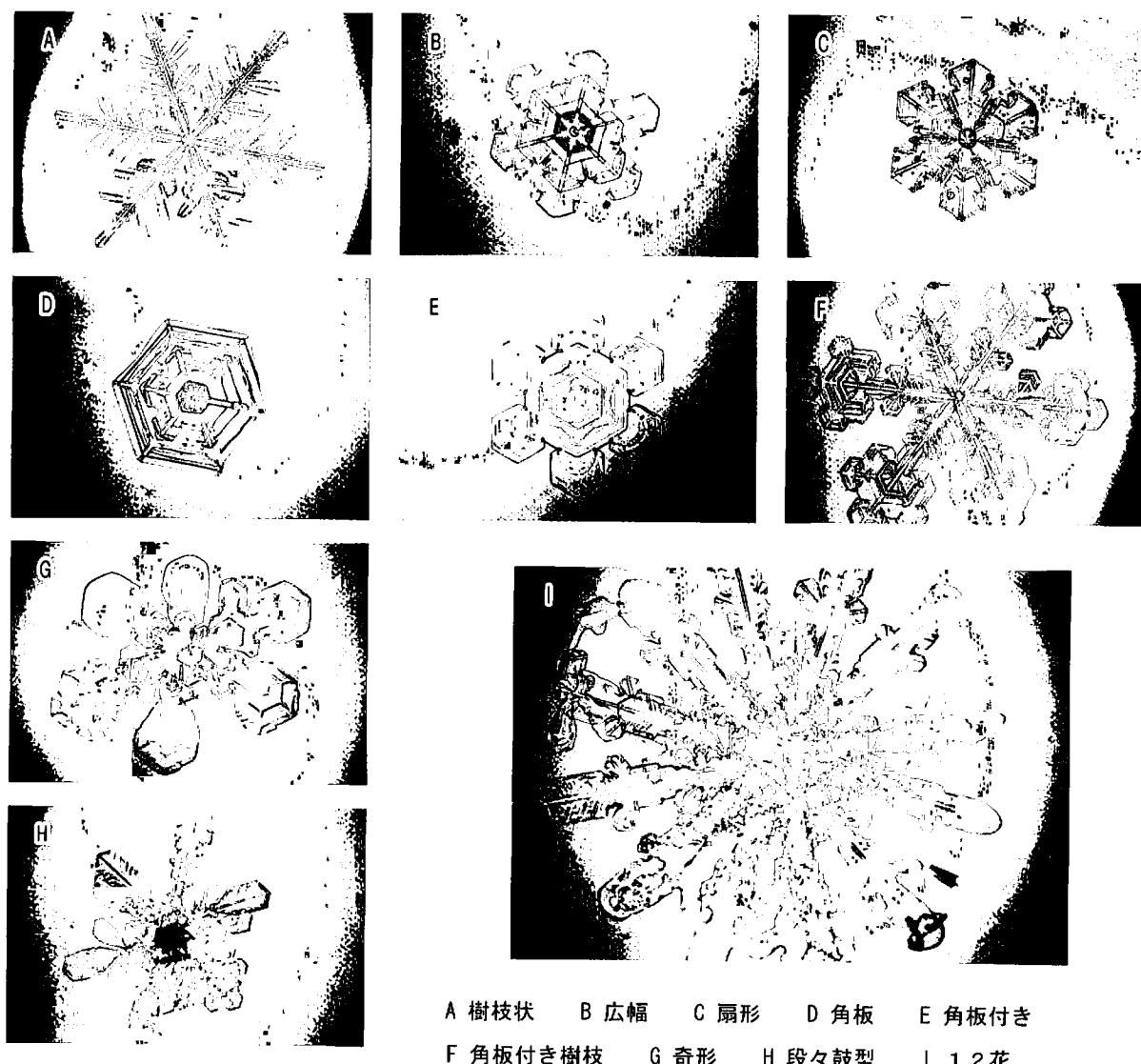
③さらに写真撮影する場合

- i 頸微鏡を外気温になじませておく
- ii カメラをセットしておき、照明・ピントを合わせておく
- iii 照明を消しておく
- iv 結晶を乗せたスライドガラスをステージに乗せ照明をつける
- v 素早く撮影する

顎微鏡で観察するときには、照明の熱で結晶が溶けるので、できれば蛍光灯などの冷光源を使い、照明は使わないときには消しておく。結晶を受けてから、ほんの数分、気温が高ければ数秒で結晶は形がくずれ、解けてしまう。観察は時間との勝負になる。

志賀高原など、内陸で標高が比較的高いスキーチャンプー場へいくと、雪結晶が静かに降ってスキーウェアに落ちる。よく見ると、2~3mmのとてもかわいらしい樹枝状の結晶であることがわかる。雪を観察しようがんばらなくても、ちょっとした注意で雪結晶には簡単にお目にかかることができる。リフトに乗っている間など、退屈しのぎに雪結晶の観察でもしてみるのはどうだろうか。きっと新しい発見があるはずである。

3. 主な雪結晶



3章 Java Scriptを使用した気象アニメーション教材

-気象衛星「ひまわり」やライブカメラの画像をアニメーション教材に-

最近、学校でのインターネット環境が整備され、総合的な学習の時間や各教科での学習に活用されている。インターネット上には最新のデータや膨大な量の資料が蓄積されており、これからもさらにインターネットを利用した学習の重要性が増していくことに疑いはない。理科においても、調べ学習はもとより、生物の検索、環境分野の最新の情報など幅広く利用されており、これからもインターネットは教育の場でもますます大きな役割を担うであろう。

気象分野においては、ひまわりの雲画像が自由に閲覧でき、また気象台の観測データやアメダスの情報などもリアルタイムで取り出すことができ、従来不可能であった時間的、地域的な天候の違いなども簡単に知ることができるようになった。さらに、ライブカメラなどのシステムも増えてきており、教室において実際に他の場所の天気を見ることもできる。

しかし、実際の授業で必要な（使える）場面を自由に選択し、動画で見ることは難しく、素材はあるものの、授業にそのまま使えないことが多い。

そこで今回、JavaScriptを使い、気象情報Webサイトから画像をダウンロードし、アニメーションとして簡単に表示・提示するための教材を作成するためのプログラムを制作した。操作は簡単で、誰にでも扱え、生徒に雲の動きや天気図の変化を示すことができ、さらに、いろいろな画像（たとえば四季の風景など）もアニメーションに加工できる。また、生徒が工夫をしながら自由にアニメーションを作つて学習することもできる。プログラムは石川県教育センター 情報教育課 塚田指導主事によるものである。

1. 概要

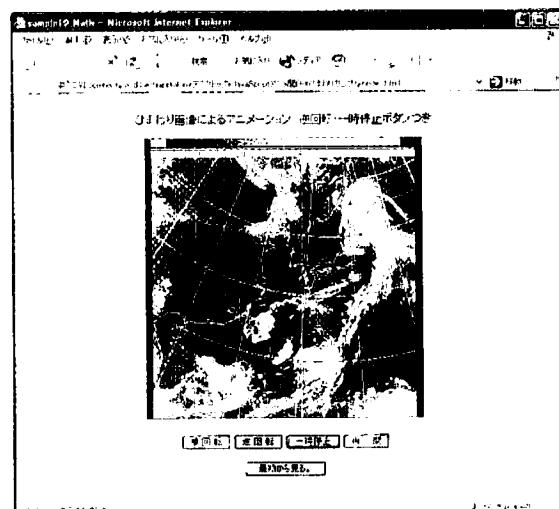
- ①広く使われているスクリプト言語JavaScriptを使用したプログラムである。
- ②できるだけ簡単な作業でアニメーションを作れるようにする。
- ③できたアニメーションは、Webブラウザソフト（インターネットエクスプローラなど）を使って見る。
- ④ボタン操作で再生、一時停止、逆転などの操作が行える。
- ⑤画像切り替え時間などを簡単に設定できる。
- ⑥アニメーションを作るためのデータはインターネット上から入手する。

2. アニメーション作成の手順

教材作成の手順は4段階である。

- ① Webページを利用した気象衛星画像の検索と取得

最近はいろいろなWebサイトが気象情報を発信している。各気象台や過去の気象衛星画像のデータベースを持っているWebサイトなどから気象衛星画像を取得する。これらについて後後にいくつかの例を挙げる。



今回開発した教材の初期画面 ↑

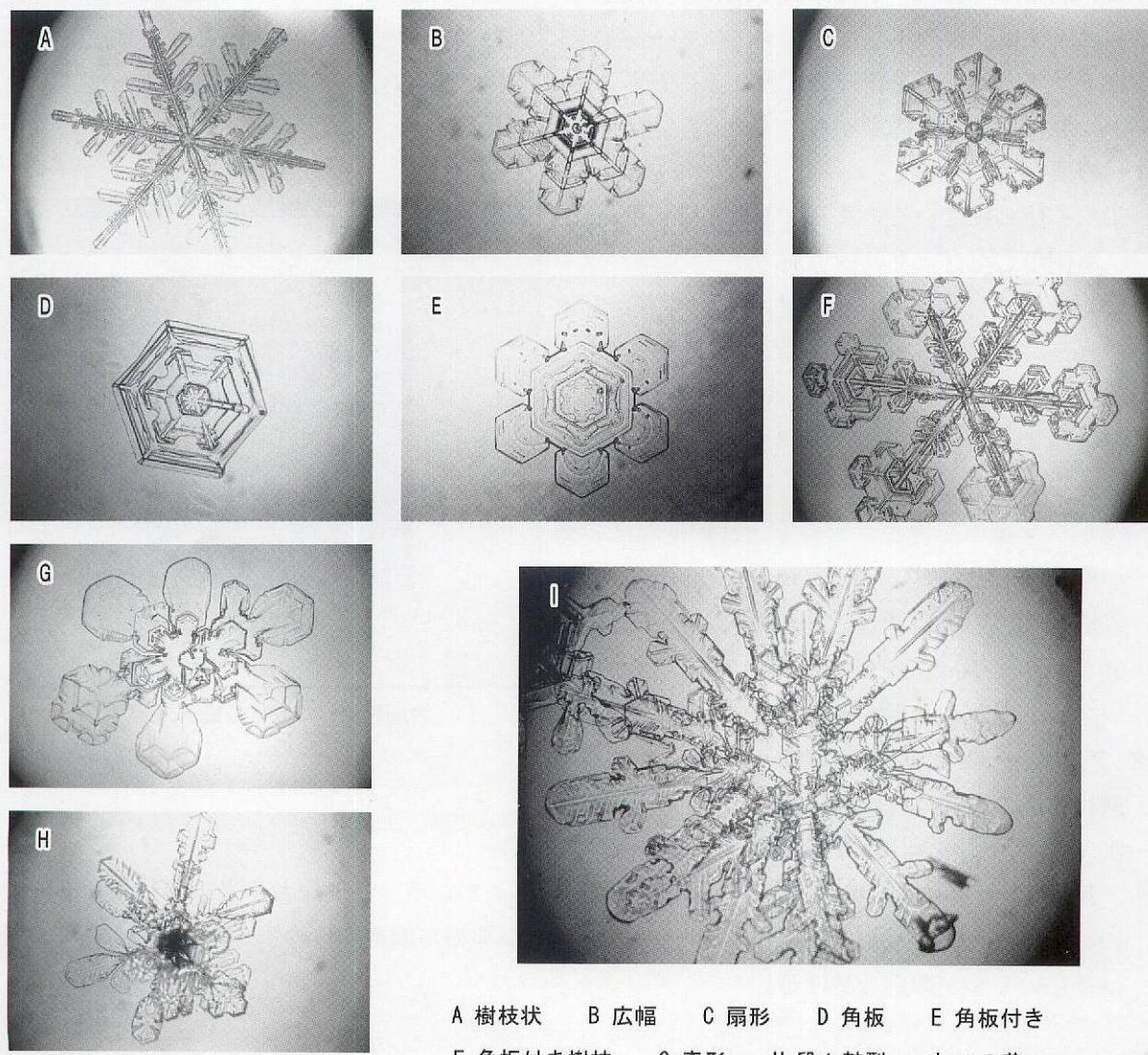
③さらに写真撮影する場合

- i 顕微鏡を外気温になじませておく
- ii カメラをセットしておき、照明・ピントを合わせておく
- iii 照明を消しておく
- iv 結晶を乗せたスライドガラスをステージに乗せ照明をつける
- v 素早く撮影する

顕微鏡で観察するときには、照明の熱で結晶が溶けるので、できれば蛍光灯などの冷光源を使い、照明は使わないときには消しておく。結晶を受けてから、ほんの数分、気温が高ければ数秒で結晶は形がくずれ、解けてしまう。観察は時間との勝負になる。

志賀高原など、内陸で標高が比較的高いスキー場へいくと、雪結晶が静かに降ってスキーウェアに落ちる。よく見ると、2~3mmのとてもかわいらしい樹枝状の結晶であることがわかる。雪を観察しようがんばらなくても、ちょっとした注意で雪結晶には簡単にお目にかかることができる。リフトに乗っている間など、退屈しのぎに雪結晶の観察でもしてみるのはどうだろうか。きっと新しい発見があるはずである。

3. 主な雪結晶



A 樹枝状 B 広幅 C 扇形 D 角板 E 角板付き
F 角板付き樹枝 G 奇形 H 段々鼓型 I 12花

3章 Java Scriptを使用した気象アニメーション教材

-気象衛星「ひまわり」やライブカメラの画像をアニメーション教材に-

最近、学校でのインターネット環境が整備され、総合的な学習の時間や各教科での学習に活用されている。インターネット上には最新のデータや膨大な量の資料が蓄積されており、これからもさらにインターネットを利用した学習の重要性が増していくことに疑いはない。理科においても、調べ学習はもとより、生物の検索、環境分野の最新の情報など幅広く利用されており、これからもインターネットは教育の場でもますます大きな役割を担うであろう。

気象分野においては、ひまわりの雲画像が自由に閲覧でき、また気象台の観測データやアメダスの情報などもリアルタイムで取り出すことができ、従来不可能であった時間的、地域的な天候の違いなども簡単に知ることができるようになった。さらに、ライブカメラなどのシステムも増えてきており、教室において実際に他の場所の天気を見ることもできる。

しかし、実際の授業で必要な（使える）場面を自由に選択し、動画で見ることは難しく、素材はあるものの、授業にそのまま使えないことが多い。

そこで今回、JavaScript を使い、気象情報 Web サイトから画像をダウンロードし、アニメーションとして簡単に表示・提示するための教材を作成するためのプログラムを制作した。操作は簡単で、誰にでも扱え、生徒に雲の動きや天気図の変化を示すことができ、さらに、いろいろな画像（たとえば四季の風景など）もアニメーションに加工できる。また、生徒が工夫をしながら自由にアニメーションを作つて学習することもできる。プログラムは石川県教育センター 情報教育課 塚田指導主事によるものである。

1. 概要

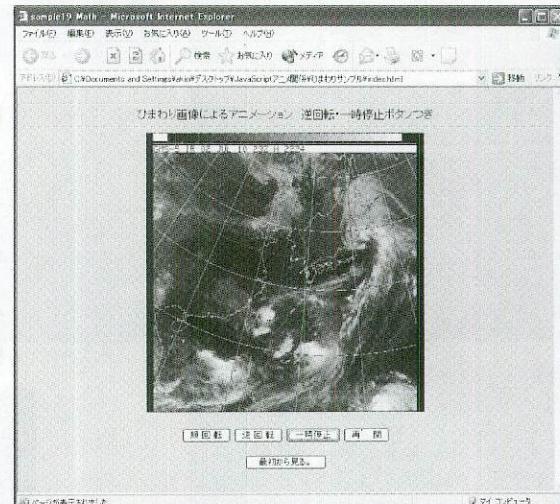
- ①広く使われているスクリプト言語 JavaScript を使用したプログラムである。
- ②できるだけ簡単な作業でアニメーションを作れるようにする。
- ③できたアニメーションは、Web ブラウザソフト（インターネットエクスプローラなど）を使って見る。
- ④ボタン操作で再生、一時停止、逆転などの操作が行える。
- ⑤画像切り替え時間などを簡単に設定できる。
- ⑥アニメーションを作るためのデータはインターネット上から入手する。

2. アニメーション作成の手順

教材作成の手順は4段階である。

- ① Web ページを利用した気象衛星画像の検索と取得

最近はいろいろな Web サイトが気象情報を発信している。各気象台や過去の気象衛星画像のデータベースを持っている Web サイトなどから気象衛星画像を取得する。これらについては後にいくつかの例を挙げる。



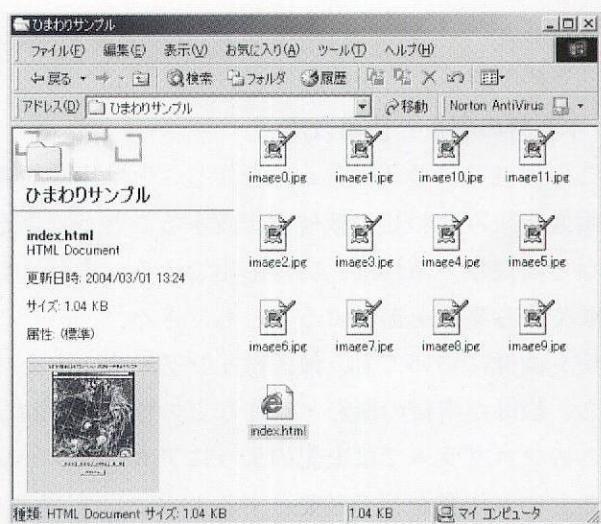
今回開発した教材の初期画面 ↑

②指定フォルダへの保存と名前の変更

- i JavaScriptでかかれたプログラムファイル(index.html)があるフォルダに画像を保存する。(右図)
- ii 保存した画像のファイル名をimage0、image2、image*へと0から順につける。

③Java Scriptの設定

index.htmlをクリックしてブラウザソフトで表示する。メニューバーの「表示」→「ソース」をクリックすると下記のプログラムが表示され、下のゴシック体の数値部分を下の指示のように書き換える。



```

<HTML>
<HEAD>
<TITLE>ボタンつきアニメーション</TITLE>
<SCRIPT LANGUAGE="JavaScript">
    var n=0,dn=1;
    var image=new Array(12);           // 準備した画像ファイルの枚数
    function imageset0{
        for(i=0;i<12;i++){
            image[i]=new Image(400, 400);
            image[i].src="image"+(i)+".jpg";
        }
    }
    function scroll0{
        time=setTimeout("scroll0",500);   // 画像ファイルの切り替わる時間。
        document.image.src=image[n].src; // 単位は m s (ミリ秒 : 1秒=1000ミリ秒)
        n=n+dn;
        if(n>=12) n=n-12;
        if(n<0) n=n+12;
    }
</SCRIPT>
</HEAD>
<BODY bgcolor="lightblue"
onLoad="imageset0;scroll0">
<CENTER>
<HR>
    ひまわり画像によるアニメーション 逆回転・一時停止ボタンつき
<HR>
<IMG SRC="image0.jpg" NAME="image" WIDTH=400 HEIGHT=400>

<FORM NAME="MyForm">
    <INPUT TYPE="button" VALUE="順回転" onClick="dn=1;">
    <INPUT TYPE="button" VALUE="逆回転" onClick="dn=-1;">
    <INPUT TYPE="button" VALUE="一時停止" onClick="clearTimeout(time)">
    <INPUT TYPE="button" VALUE="再開" onClick="scroll0()"><BR><BR>
    <INPUT TYPE="button" VALUE="最初から見る。" onClick="n=0,dn=1;">
</FORM>
</CENTER>
</BODY>
</HTML>

```

上のゴシック体の部分を変更すれば、自由に画像の大きさや枚数、更新時間を調節し、いろいろな教材を作成することができる。またファイル名を自由につけたいときには、網掛けの部分を変更すればよい。

- ④ 保存、終了して、index.htmlを再度開くと、ブラウザが立ち上がりアニメーションが表示

される。

3. 本教材の利点と使用方法

この教材でアニメーションを作ることは比較的簡単であり、気象分野だけではなく、いろいろな画像を組み合わせて教材を作成することができる。例えば、花の開花や成長の様子、結晶の成長など画像さえあれば、広く応用できる。また、自由に止めたり逆転もできるので、実験操作の手順や注意事項を提示することもできる。

使う画像についても、最近はインターネット上に多数の画像が保管され、公開されていることから、教師が素材の撮影・制作などの作業を行わないでもいろいろな教材を作り出せる。

このプログラムでは上記のようにアニメーションを作る楽しさを味わえるよう、生徒が自分で作るという作業を若干必要とするようにした。それでもスクリプト自体が簡単な構造であるため、簡単な説明だけで作業ができる、結果も得られる。つまり生徒自身の手による教材・資料の作成ができる。単なる受け身で教材の提示を受けるだけではなく、自分たちが必要な素材を選び、必要な作業を経て必要な教材を作り出すことができ、そこには、生徒の自主性や興味・関心を培い、生徒の工夫によって創造性あふれる教材を生み出す可能性が広がっている。できた自分の作品を見て、意見を交換することにより、教材提示だけでは得られなかつた達成感が得られるだろう。また、理科でますます重要視される「選択授業」や「発展的な学習」の教材としても有用であろう。

ただ、注意すべき点もある。まず、先にも述べたインターネット上の画像や情報には著作権があり、教師が使用する場合は注意が必要である。できれば、制作者に連絡をとり、あらかじめ許可を得ておきたい。特に、Webサイト上に画像使用に関する表示がある場合は気をつける。また、生徒がWeb上のデータを利用して教材を作る際には、生徒に著作権についての心得を示しておく必要がある。このことは、これから的情報化社会において、ますます重要な情報利用の道徳を教えることにもつながる。

4. 気象情報の入手について

現在、インターネット上には、気象情報関連会社や大学、博物館、個人などでたくさんの気象情報がある。ここではひまわり画像のデータベースを持つ仙台市科学館と、毎日の天気図が閲覧できる気象人を紹介するが、そのほかにも高知大学など画像・データを提供しているサイトも多い。

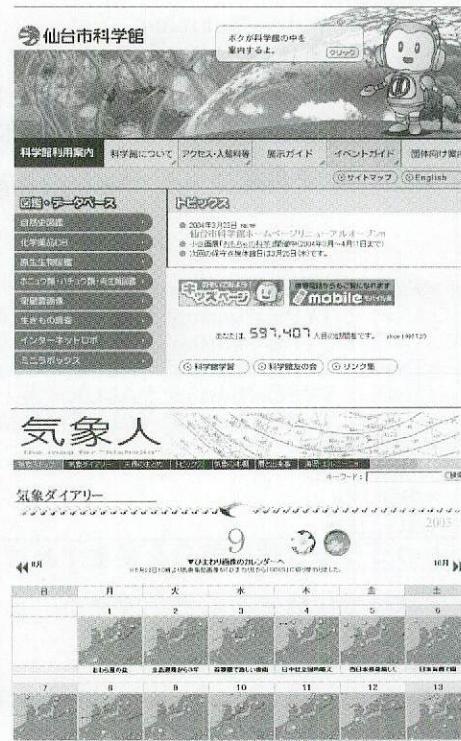
【気象情報Webサイトの例】

仙台市科学館 <http://www.kagakukan.sendai-c.ed.jp/himawari/>

1996年からの全日の毎時のひまわり画像がデータベースとして保存されており、教材を作る場合など重宝する。

気象人 <http://www.weathermap.co.jp/kishojin/>

天気情報会社ウェザーマップ社が提供するサイト。過去の毎日の天気図や気象現象の解説などが掲載さ



れている。

【自動巡回画像取得ソフトについて】

ここで解説してきたプログラムを利用することで、毎時のアメダス降雨情報をアニメーションとして教材化したり、日本全国に設置されているライブカメラの画像を使い、天気の変化を提示することも可能になる。しかし、必要な毎時の画像を Web を通じて手動操作で全て取得することは、実際には難しい。そこで、Web 上を自動で巡回して指定し Web サイトの画像を自動的に取得するソフトウェアが上越教育大学の中川清隆氏と信州大学教育学部の榎原保志氏らによって開発され、提供されている。彼らが運営する研究会「気象情報を教育に利用する会」への入会を条件に無償で（送料実費必要）配付されている。

これを使うことで 24 時間あらゆるデータを蓄積することが可能になる。その中から必要なデータを利用すればよい。ただ、複数の情報を毎時に取得するとそのデータ量は膨大になるため、長期的にデータを蓄積する場合には、定期的に CD-R などに保存する必要がある。

「気象情報を教育に利用する会」の URL <http://rika.shinshu-u.ac.jp/mie/mie.htm>



5. 本プログラムの利用について

本プログラムは「石川県教育センター」の HP から自由にダウンロードし、利用できる。トップページ→理科関係業務→JavaScript教材へ進みダウンロードする。

使用許可の申請は必要ないが、意見や質問・要望等があれば下記URL内の理科担当者アドレスへのメールまたは電話で対応する。

石川県教育センター HP の URL <http://www.ishikawa-c.ed.jp/rika/rikatop.htm>

【本書内撮影機材データ】

1章 雲を見る・石川の空を見る

カメラ Nikon F801・F80D

レンズ Fisheye-nikkor Ai 16mm F2.8 AF nikkor 18-35mmED F3.5-4.5 AF nikkor 20mm F2.8
SIGMA 24mm F2.8 AF nikkor 35-105mm F3.5-4.5 AF nikkor 28-105mmED F3.5-4.5

フィルム Konica CENTURIA SUPPER 100 Fujicolor Superia400

2章 ペルチェ素子を使用した人工雪発生装置の制作

カメラ Nikon Coolpix 990

拡大レンズ NikonRayfact TelescoMicro ED6*18D

ソフトウェア Adobe Photoshop 6.0

あとがき

郷土の生んだ科学者、中谷宇吉郎は、北海道大学に赴任したことをきっかけに雪に魅せられ、大雪山での雪の研究の後、大変な工夫をしながら今からおよそ70年前に人工雪結晶発生装置を作り偉大な成果を上げた。彼の科学者としての姿勢の基本は、身の回りの出来事に興味を感じ、常に新しいことを考えて、それを実際に体験・実践する事にあるように思う。

現代は情報化社会であり、多くの必要な知識や情報が比較的簡単に手に入る。しかし、反面、身の回りの自然現象を身をもって体験し、感じ、そして考える機会は減ってきてている。上記の中谷の姿勢こそが現代の理科に最も大切な部分そのものであり、児童生徒に教えることでもあると感じる。毎日、必ず目にする天気についても同様である。単なる知識として知っていることと、体験し身に付いたことはその重みが違うし、そこからの広がりも全く次元が異なる。本書が身近な自然を再認識するためのきっかけになれば幸いである。

なお、浅学ゆえ記述の中に解釈不足や学術的に稚拙な部分などがあると思うが、どうかお許し願いたい。

謝辞

本紀要作成にあたり、金沢地方気象台防災業務課の村井雅浩・田原達彦両氏、また加賀市中谷宇吉郎 雪の科学館の神田健三館長からご指導をいただきました。また気象人（ウェザーマップ社）より天気図の使用許可を野々市町在住の長兼広氏には「光柱」の画像の提供をいただきました。お礼を申し上げます。

参考図書（著者50音順）

1章

- 安斎政雄 日本気象協会編 「新・天気予報の手引」：2001 クライム気象図書出版部
今井正子・綾一 「高度10000メートルから見た雲たち」：2000 成山堂書店
海老沢次雄 「雲（どちらの空風景）」：2000 随想社
北 健 「おもしろ石川気象学テキスト」：2003 北國新聞文化センター
木下誠一 「雪と氷のはなし」：1996 技報堂出版
倉嶋 厚 「大学テキスト日本の気象」：2002 古今書院
小倉義光 「お天気の科学-気象災害から身を守るために-」：1996 森北出版
榎原保志 「雲形模型を用いた雲の観察指導例」：地学教育 51巻、6号 15-19 1998
清水教高監修 「天気100のひみつ」：1992 学研まんが ひみつシリーズ 学習研究社
高橋健司 「雲 Cloud 造形美の競演」：1998 誠文堂新光社
高橋健司 「雲2 Cloud 造形美の競演」：1999 誠文堂新光社
田中達也 「雲・空」：2001 ヤマケイポケットガイド25 山と渓谷社
日本気象学会教育と普及委員会 編 「教養の気象学」：1989 朝倉書店
平井信行 「天気予報はこんなにおもしろい！」：2001 角川ONEテーマ21 角川書店
細田 剛 「天気がわかることわざ辞典」：1991 自由国民社
宮内紀雄・誠司 「天空の賛歌」：2002 クライム気象図書出版部
湯山 生 日本気象協会編 「くものてびき -10種雲形について-」：2000 クライム気象図書出版部

2章

- 小林禎作 「冬のエフェメラル」：1983 北海道大学図書刊行会
中谷宇吉郎 「中谷宇吉郎集 第二巻 第三巻」：2000 岩波書店
中谷宇吉郎 「雪の研究」：1949 岩波書店
中谷宇吉郎雪の科学館 「テキスト「雪と遊ぼう」実験教室」：2003 中谷宇吉郎雪の科学館 雪の体験学習実行委員会
中谷宇吉郎雪の科学館 「中谷宇吉郎 雪の物語」：1994 中谷宇吉郎雪の科学館
東 晃 「雪と氷の科学者 中谷宇吉郎」：1997 北海道大学図書刊行会
W. A. BENTLEY W. J. HUMPHREYS 「SNOW CRYSTALS」：DOVER Publishing

参考Web Page (50音順)

- 歩く科学館 <http://www2s.biglobe.ne.jp/~kanai/index.htm>
ウェザーナビ <http://www.iknet.info/wxinfo/proverb/proverb.html>
大西尚樹：CGによる雪の結晶 <http://superdry.s.kanazawa-u.ac.jp/~onishi/snow/snow9/index.html>
神奈川県総合教育センター応援団 <http://citorin.hp.infoseek.co.jp/tigaku.htm>
金沢気象台 <http://www.tokyo-jma.go.jp/home/kanazawa/>
気象人 <http://www.weathermap.co.jp/kishojin/>
気象友の会 <http://www.e-watchers.org/index.html>
雲をつかむような話 <http://contest.thinkquest.gr.jp/tqj2001/40457/>
kendon's Website <http://www.kendon.com/MP.htm>
榎原保志：雲の学習HP http://cert.shinshu-u.ac.jp/facul/sci/sakaki/sakaki/Rika/kumo/k_home.htm
佐藤健治 Snow World <http://www8.plala.or.jp/s58k3wmc/top.html>
士別人物列伝 <http://users.eolas-net.ne.jp/saebou/kazupage/kazu.htm>
島津製作所 <http://www.an.shimadzu.co.jp/support/science/020112/020112a.htm>
千石電商 <http://www.sengoku.co.jp/Frame-C1.htm>
仙台市科学館気象データベース <http://www.kagakukan.sendai-c.ed.jp/himawari/>
天空博物館 <http://www.asahi-net.or.jp/~CG1Y-AYTK/ao/index.html>
東京管区気象台電子閲覧室 <http://www.data.kishou.go.jp/index56.htm>
東レ科学振興会 <http://www.toray.co.jp/tsf/rika/index.html>
平松和彦氏のホームページ <http://www.users.eolas-net.ne.jp/saebou/kazupage/kazu.htm>
不思議の国のアキノコ 村井昭夫 <http://www1.linkclub.or.jp/~kinoko/>
MUSICAL OFFERING <http://www25.cds.ne.jp/~kamiken/index1.html>
@有働館 <http://www.youdocan.ne.jp/kotowaza.html>