

～水や氷を素材とする科学教材～

『霜柱を育てる』

矢作 裕 北海道教育大学（釧路）

はじめに

1. 自由学園の『霜柱の研究』から
2. 氷と食塩による低温装置
3. 霜柱の微速度撮影

おわりに

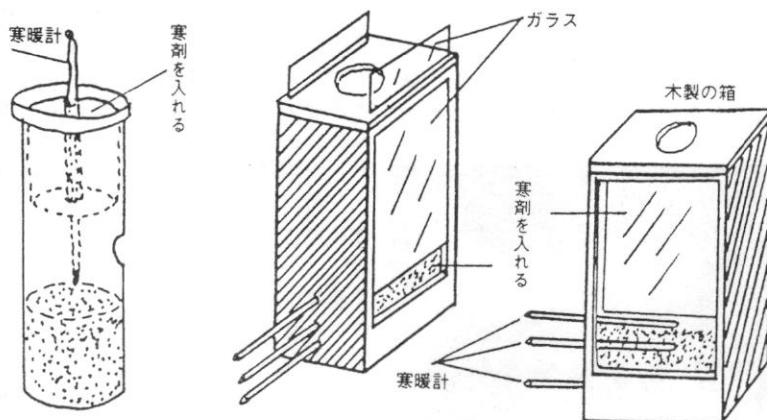
はじめに

この小論は表題のように「水や氷を素材とする科学教材」のシリーズのひとつで、前作のビデオ教材『水の粘性』に続くものである。このような水を素材とするテーマをとりあげているのは、つぎのような問題意識を背景にしているからである。

今日の人類の最重要課題は、自然系、生物系を最上位に形成される地球環境構造の保全である。このための環境教育は、環境の評価・管理の双方を支える重要な位置を

占めている。またキーワードとしての水は、日常から出発して、それを実験の材料とすることで自然科学の分野を横断的に把握できる点で、素材として重要である。さらには『理科ばなれ』が問題視され、自然科学の底辺をゆすぶり、技術立国の危機が叫ばれるに至っている。十分すぎる素材に恵まれ『実験』という最も魅力溢れるはずの楽しみに触れることができずに、青少年たちが虚像に突進する姿は悲劇的でさえあり、教育系の大学で科学教育に大きく関わっているものとして看過できない問題である。

自然科学の魅力を引き出す上で、身近なものを実験の素材とするのは、困難も多いが楽しみも効果も大きい。これまで長年にわたって科学教育に関わり、雪氷学の恩恵を受けつつ過ごしてきたものに課せられた魅力ある仕事として意義を見いだしている。



図－1 自由学園の生徒達の実験装置 (1938年当時) 『釧路と凍土』³⁾ より

1. 自由学園の『霜柱の研究』から

霜柱は、とくに関東地方で初冬から早春にかけて日常的にみられる現象であることから古くから注目されてきた。周知のように、のちになって中谷宇吉郎の一連の研究で、それが凍上現象の原因と同一現象であることが明かになっていった。

この意味で、霜柱の研究は凍上学の前駆的研究ということができる。わが国の霜柱の研究論文には、一世紀も前に書かれたものがある¹⁾。手にしたかぎりでは霜柱についてのもっとも古い凍上機構の解明をめざした実証的研究と思われる。また専門の研究者によるもの以外では、いまから60年前の1934年に開始された、自由学園の生徒たちの手になる実験報告『霜柱の研究』²⁾が著名である。個性的な学校として知られている自由学園の女生徒たちのクラブ活動から生まれたものである。これは研究論文としても評価が高いが、同時に自然科学教育の特筆すべきすぐれた実践として、いまもって新鮮さを失なうことなく関係者に読み継がれているものである。

また、この報告には指導者については、

すこしも触れられていないが、一読してそこには卓抜した指導者の存在を窺うことができる。指導にあたったのは、のちに教科書やおびたしい数の科学啓蒙書を書くことになる三石 徹氏である。人工雪の研究で著名な中谷宇吉郎と東京帝国大学時代の同窓で、93歳を過ぎて、かくしゃくとして著作、講演に縦横に活躍している。なお霜柱の歴史的研究については「釧路と凍土」³⁾に詳細に触れているので参照されたい。

この小論では、自由学園の『霜柱の研究』に用いられた実験装置（寒剤としてドライアイスを使用）のスケッチ（図-1）に啓発されて、簡素な多目的の低温実験装置を構成した。ペットボトルやアルミ缶などの身近な素材による装置と、60年前のものとは違って一層なじみ深い食塩と氷による寒剤を使って霜柱の「成育」を試み、その成長を普通の8mmビデオで微速度撮影することができた。図-2はペットボトルに育った人工霜柱で、ビデオの一画面である。霜柱は暖房中の普通の室内の机上で、格別温度に”注意をはらうようす”もなく、すくすくと育っていく。

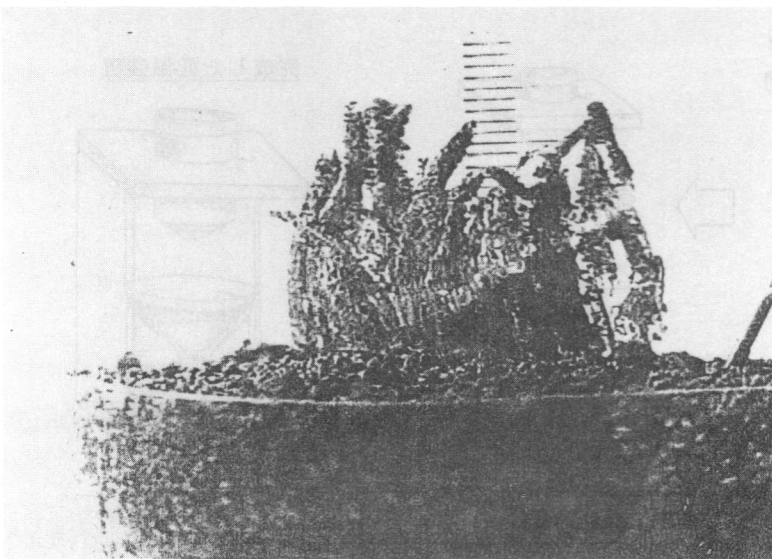


図-2 ペットボトルに育った霜柱 (高さ2.5cm 成長時間60分)

2. 氷と食塩による低温装置

(1) 霜柱の発生する条件

霜柱が立つ条件はつぎの3点である。

() 内はその最適条件である。

- 1: 空気中の温度が 0°C 以下で、地表の温度は 0°C 、地中の温度は 0°C 以上であること。(気温はできるだけ低く、地中の温度はできるだけ高いこと。)
- 2: 土の中に水分が含まれていること。(水分は飽和付近であること。)
- 3: 土の粒の大きさは 0.1mm から 0.05mm の範囲の粒径で、地表面に凸凹があること。
(粒径 0.005mm から 0.002mm のものが含まれていること。)

(2) 科学教材としての装置の条件

必要な条件は以下の4点である。

- 1: (1)の条件を1～2時間安定的に維持できること。
- 2: 身近な素材で小学生が製作できること。
- 3: 常温下で机上に置ける程度の大きさで、外部から観察できること。
- 4: 寒剤として氷と食塩を使用し、1時間程度で霜柱を観察できること。

- 1: 材料<小型のペットボトル>1個、高さ27cm、半径7.5cm、<アルミ缶>2個、高さ10-12cm、半径6.5cm、<ガーゼのような布>1枚、<発泡スチロール>厚さ2cm、15cm角ぐらいのもの(2枚重ねてもよい)、<ダンボール箱>、<棒温度計>一本、ほかに<粘着テープ> 寒剤用として、<氷>500ccぐらい、<食塩(あら塩)>100ccぐらい。

2: 装置の作成(図-3 参照)

- ・ ペットボトルを切断してコップと、じょうごにわけるとなる。
- ・ 口金に水を吸い上げるためのガーゼを通したのち、ふるった土を入れる。
- ・ 厚さ3-4cmの発泡スチロールにあき缶が入るだけの穴をあける。
- ・ コップにじょうごを載せテープで止める。
- ・ アルミ缶に氷と塩を交互にいれて寒剤を作る(重量比でくさき氷77.6%、食塩22.4%の割合いで混ぜる)・寒剤入りの缶の底が土の上3-4cmになるようにセットする。

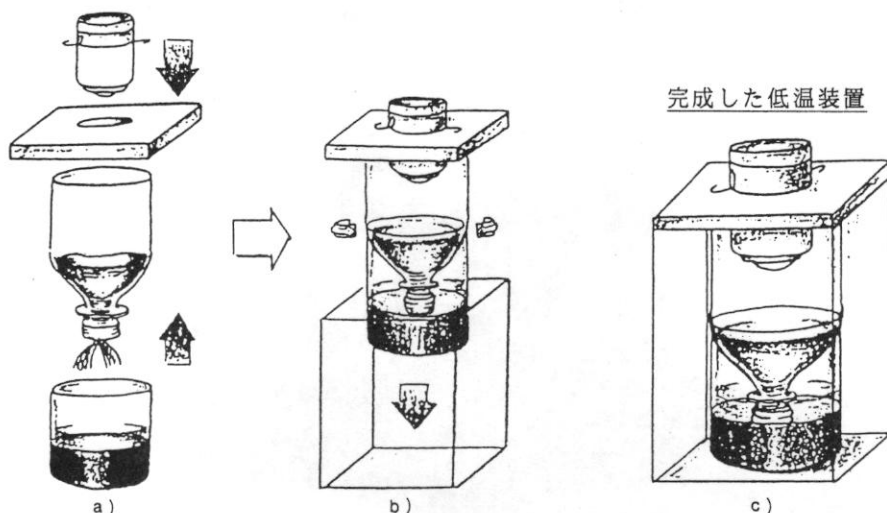


図-3 ペットボトルを利用した実験装置

(3) 材料と実験装置

(1995年)

3. 霜柱の微速度撮影

図-3に示した装置によって成長する霜柱を1時間程度で直接観察できる。ペットボトルは透明度が高いので観察にも撮影にも便利である。しかし現在は小型のビデオカメラやコンピューターを、ほとんど自由に利用できる環境にある⁴⁾。だから、標準の速度で終始撮影して、再生時に早送りをしたり、編集したりすることで、直接観察するのとは違った霜柱の成長の経過を見ることができる。コンピューターもまた日常的な道具として利用できるのも、ビデオカメラとを併用すれば、連続的に微速度撮影が可能である。身近には、ほとんど使用されていない幾台ものコンピューターがほこりを被って置かれているに違いない。このようなコンピューターやポケットコンピューターなどを使えば簡単に機器の制御ができる。図4のような数行のBASICによるプログラムで、約120秒間休止、2秒撮影などとして、半導体スイッチによって、電氣的にビデオカメラのスタートボタンを押して微速度撮影を行うことができる。この方法では、スタートボタンを押してから撮影開始迄の間、時間おくれが生じて限界はあるものの、撮影は極めて簡単である。1995年の雪氷学会北海道支部会で発表に使用した映像はこの方法で撮影されたものである。

```

100 MOTOR ON
110 FOR I=0 TO 1600:NEXT I
120 MOTOR OFF
130 FOR I=0 TO 40000:NEXT I
140 GOTO 100

```

旧式のコンピューターで制御

図-4 微速度撮影用プログラム例

おわりに

60年ほど前の1938年当時、まだ霜か霜柱の区別さえさだかでない頃に、自由学園で霜柱の研究が行われた。実験によって霜柱が、「地中の水の変形である」と結論し、その水が土のどの部分から、どの程度くるかを調べ、それが霜柱の成長におよぼす影響をしらべあげ、その最適条件をもとめる実験をし、霜柱の形態のとの関係を追求している。そして、第2期では図-1に示した実験装置を製作して、この現象の一般的性質にまで研究がおよんでいる。『霜柱』の研究は万事この調子であって、中谷先生ならずとも驚くほかはない。女生徒たちが三石先生のもとで装置作りのために鋸をひき、かなづちを打つ音が聞こえてきそうにさえ思える。

現代版の実験装置は一般的な低温装置として構想した。しかし、実験終了後の装置の土に偶然混じっていた雑草の種子が発芽したことから、生物領域での利用の可能性もある。また水の温度調節を行うことによって、さまざまな低温下での現象を量的に捉えながら直接観察する用途もひらけよう。編集済みのビデオを観た若い人々から、装置づくりそのものを含めて、「できないことがないのでは」とか、「おもしろいことができそうだ」という多くの声をきいた。

科学教育の再興の起点がこのあたりに潜んでいるように思える。

参考文献

- 1) 霜柱 後藤牧太 東洋学芸誌 1893
- 2) 霜柱の研究 自由学園新聞出版局 1937
- 3) 釧路と凍土 矢作 裕 釧路市 1995
- 4) 実験観察のためのコンピューター利用

北海道教育大学釧路教育研究No.43, 1993
(950628)