

～水や氷を素材とする教育実験～

アイスレンズをつくるⅡ

北海道教育大学（釧路校）

矢作 裕

要 約

雪氷科学は、水の凍結現象そのものの機構解明という理学的な性格と、災害防止や現象の利用という工学的な性格をもっている。また教育の面からは、水を素材とする科学というきわめて日常的で、“台所の科学”と呼ぶにふさわしい側面をもつ。しかし、これまで個別には物理の教科書にあるような古典的な実験が用意されているものの、教育・普及を目的として組織的に実践的に教育実験の素材としてまとめられたことはなかった。しかしここ2～3年の間に、雪や氷に関する実践的な教育実験が、雪氷科学の研究者や教育の現場のなかから数多くつくりだされ、発表されるようになってきている。凍土に関しては、1996年に室温下でアイスレンズをつくる方法を発表した。それはこのような教材のひとつである。この実験方法によって冬の地中を眺めるように、室内でアイスレンズの生成されるようすを実験し観察できるようになったが、「凍結が上部に向かって進行する」点が教育実験としては難点であった。この論文ではこの点を克服し、自然現象と同様なアイスレンズが確実に生成できるようになり、実験の方法も一層簡略化された。

はじめに

土の凍結をあつかったものは、60年前の自由学園の「霜柱の研究」がある。これにならって、1995年にその現代版といったものを用意し、さらにアイスレンズをビーカー内につくる実験を2種類紹介した。ひとつは湿った土の入ったストローを、冷却した不凍液に浸してアイスレンズを成長させるもの、他のひとつは、スライドガラスを使って試料をフィルム状にして、一層扱いやすいものとした。凍上現象は冬の地中で発生・成長するために、冬期に広範囲に発生しているが、もともと目にふれがたいものである。この地中の現象を観察の対象として、暖かい室内に持ち込みたいと考え、それが実現された。しかし、この方法の教材としての難点は、ビーカー内の不凍液に土の試料を浸す形で凍結させるため、自然に発生するものとは成長方向が上下逆転していることであった。以下に紹介する実験方法によれば、ストロー内で自然とおなじく凍結が下降しながら凍土が生成される。この方法によれば、室温下でストロー内で、凍土とアイスレンズの発生とその消失までを10分程度の時間内に直接観察することができる。

1 : 凍上現象と凍上の条件

(1) 土の凍結の進行

図-1は、地中の凍結の深さがどのように変化していくかを示したものである。同図では冬期間だけ地表から凍結が進行し、暖気とともに凍土が消失するので、凍結の深さは図のように特徴ある曲線を描く。図には融解の深さの推移も描かれている。これは気温の上昇や太陽の直射を受けて地表面から融解が進行するためである。地中からの熱によっても、凍土はとけるが、地表からの融解に比べればごく少ない。また、この実験にもっとも関係のあるアイスレンズの生成によって引き起こされる凍上現象もあわせて描かれている。

(2) 凍上の条件

シルトは、 $0.02 \sim 0.074 \text{ mm}$ の範囲の大きさをもつ土の粒子をいい、これより粗い土粒子を細砂、細かいのは粘土である。粘土より粗い粒子で、それに近い風合いの外観である。グラントの赤土には注意してみると霜柱がよく立つ。その土にはシルトが多く混じっていることによる。このシルトがある適当な速度で凍結するときには、土粒子の間に氷が析出する。地表で空中に氷が析出するものを霜柱、地中に発達するものをアイスレンズとよんでいる。凍上現象の本質は、土粒子による氷の析出である。自然の状態では、上方から凍結が進行し、それより下方の未凍結部分の水によって氷が析出されるために、土全体の膨張は上方に向かう。実験室などで下部が膨張しうる余地があれば零度を若干下まわる温度の下降に伴って、アイスレンズは下方に進行していく。

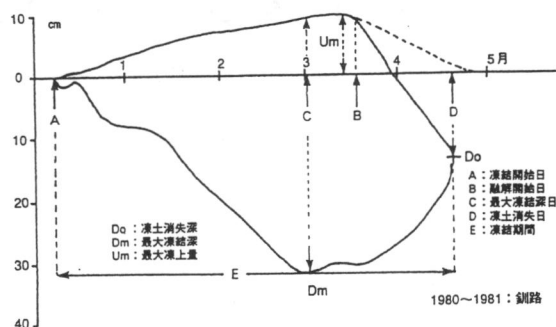


図-1 土の凍結と凍上現象

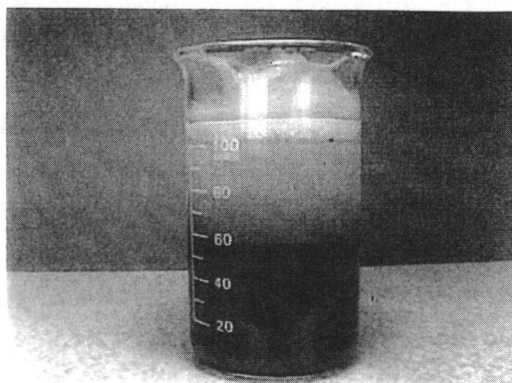


写真 1 土に水を加え攪拌して数時間放置し土の表面を使う。

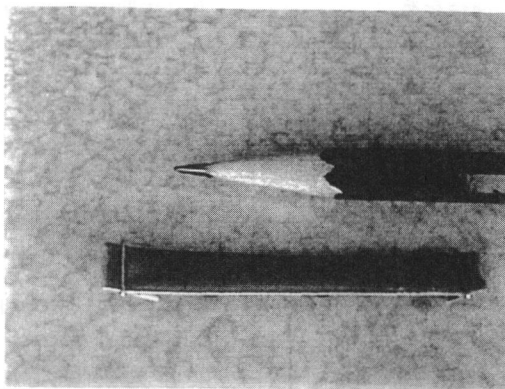


写真 2 ストローに土を入れつぶしてフィルム状にする。

2 : アイスレンズをつくる

(1) フィルム状の土試料をつくる

(a) 材料 : ① ホッチキスと針, ② 輪ゴム (数本),
③ ストロー (透明なまがるストロー, 0.5cm,
18cm), ④ 200cc程度のスチール缶 (ふたは
缶切りできりとおとす, 直径5cm, 高さ10.
5cm), ⑤ 断熱材 (包装材料につかう柔らかい
もので缶にまきつけるくらいの大きさの
もの), ⑥ -20°C ぐらいに冷却した不凍液か,
氷と食塩による寒剤)

(b) 土の試料の準備

アイスレンズを実験的につくるさいに, 土
の試料の採取と実験用の試料の調整が重要で
ある. 土の採取は, 学校のグラウンドの赤土が
よい. 細かくて適当な湿り気を (保水性) を
保持する土を敷き詰め, 風で土埃りが立たな
いような条件は, 粘土質, シルトの土がよい.
この条件は霜柱が発生しやすい条件と重なる.
霜柱の発生を確かめるのがよいが, グラウンド
の土を一握りほど用意する.

(c) 土を透明な容器にいれ, 十分に水を加えて
かきまぜ, 余分な水が透明になるまで数時間
放置する (写真1). 土は粒の粗いものから順
に沈み, 上澄みのすぐ下は融けたチョコレート
状の細かい粒子の集まりとなる. この層を
残して上澄み液を捨てる.

(d) ストロー (直径0.5mm, 曲がるようになった
透明なものを用意して, 長いほうにチョコレ
ート状の土をスプーンなどで, 長さにして2
cmほどの長さに詰める.

(e) ストローの一端を折り曲げホッチキスで
封じ, 長さ約5cmになるようにストローを切り
おとす.

(f) ストローをつぶしてフィルム状にする (写
真2).

(g) 空気が入らないように端を1cmほど折り

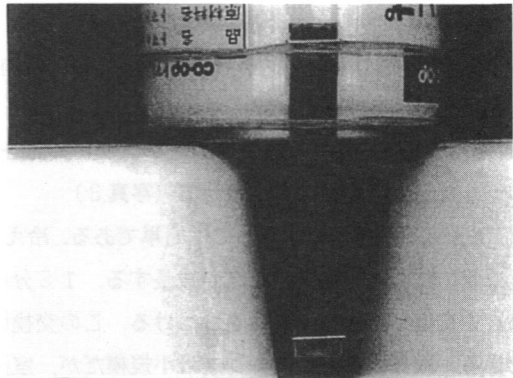


写真 3 土を入れたストローをフィルム
状にして缶の底にとりつける.

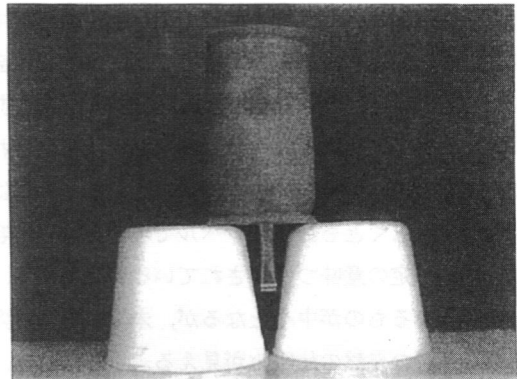


写真 4 断熱材で覆った缶に不凍液を入
れて試料の土を冷却する.

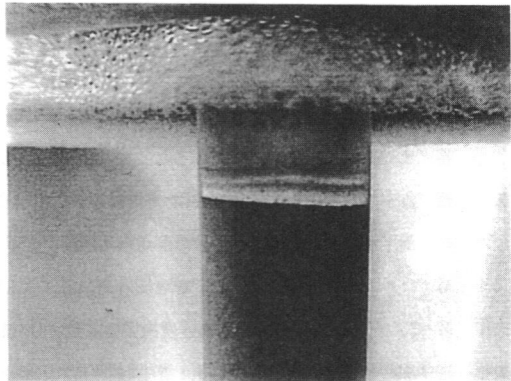


写真 5 缶の底のストロー内に成長した
アイスレンズ

曲げて、他方と同じようにホッチキスで閉じる。

(2) アイスレンズの成長を見る

(a) 不凍液を500ccぐらいペットボトルなどに用意して、原液なら同量の水を加えて冷凍庫で冷却しておく。

(b) 200ccぐらいのジュースなどのスチール缶を用意して、ストローの土試料を取り付け、発砲スチロールなどの断熱材の台に載せる(写真3)。

(c) アイスレンズを観察するのは簡単である。冷えた不凍液を缶に注ぐだけでよい。10分前後でフィルム状の試料にアイスレンズが成長する。15分ほどしたら、不凍液の温度が上がってくるので、不凍液を交換してさらに観察をつづける。この交換によって幾層にもアイスレンズの縞をつくることができる。成長するアイスレンズは小規模だが、室温の温度変化に影響されて、細かい層が形成され自然のアイスレンズとほとんど変わらない外観のものができる。

おわりに

以上の現象は、自然には冬の固い凍土の下部で発生するために、研究者が実験室で人工的にアイスレンズの発生装置を使って行うほか観察する機会はなかった。ここに紹介した方法は単純明快なので、教室や科学館で子どもたち大勢が一斉に実験するのに向いている。学校教育のなかでとりあげられる自然科学の実験の内容は、確立され体系化されたもののなかから選別される。したがって、一般に教室などで、いくつかのグループが机上で同時に小規模の実験をおこなうことができるのは、その現象がすくなくとも巨視的レベルで理解が進み、容易に再現できる安定的な技術が確立され、さらに教育的に一定の意味づけがされているときである。教室実験は、運動の法則のようなゆるぎない原理を内容とするものが中心となるが、未知のものを多く含み、草花の成長を見るような目で、無機的な現象に多彩な自然の仕組みが見えるような内容も、前者に劣らず重要である。そのような例となることを目指してビデオ作品も用意されている。また教材として利用できるように、土の凍結現象について簡単な解説を付して、別途、実験の方法を詳しく紹介する予定である。

この研究の費用の一部は北海道大学低温科学研究所の共同利用研究の費用によっている。

参考文献

- (1) 矢作 裕 寒冷地における自然科学教育 寒地技術シンポジウム'88講演論文集 59-60, 1988
- (2) 矢作 裕 土はどれほど深く凍っているか 寒地技術シンポジウム'89講演論文集 34-43, 1989
- (3) 矢作 裕 水や氷を素材とする教育実験 寒地技術シンポジウム'92講演論文集 460-465, 1992
- (4) 矢作 裕 滴下法による水の粘性係数の測定 寒地技術シンポジウム'94論文・報告集 vol.10, 483-488, 1994
- (5) 矢作 裕 コインの電池は使えるか? 寒地技術シンポジウム'95論文・報告集 vol.11, 1-6, 1995
- (6) 矢作 裕 "アイスリウム"の利用と微速度撮影の効果 寒地技術シンポジウム'95論文・報告集 vol.11, 7-14, 1995
- (7) 矢作 裕 『釧路と凍土』釧路叢書第31巻 (釧路市) 222-226, 1995
- (8) 矢作 裕, 福田正己, 平松和彦 「土の凍結融解現象の教材化に関する研究」北海道大学低温科学研究所 共同研究報告書 1-11, 1997 (=970424 icelenz2=)