

「アイスマールド」の謎と「復氷」

高橋信夫

アイスマールド



「アイスマールド」とは「まるい氷を作る器械」です。

私は、2003年5月に新潟県湯之谷村で行われた「科学の碑 春まつり」の時に平野孝典さんに見せていただいたのが最初でしたが、その時は実際に氷をとかすところを見なか

ったこともあって、さほど興味を持ちませんでした。ところが、その年の7月「イタクラ式発想法講座」で板倉聖宣さんが実演して下さったのを見てビックリしました。大きめの四角い氷が、みるみるうちにとけて10秒ほどで丸い氷になってしまったからです。「丸い型に氷を入れれば丸くなるだろう」くらいは想像したものの、あまりの鮮やかさに一同びっくりでした。

私を含めてその場にいた人たちの感想は

- ・ なんであんなに速くとけるのだろう
- ・ 材質はなんだろう
- ・ なにか仕掛けがあるのではないか

などというものでした。理屈はわからないながらも「氷がとける」のですから、熱によるものであるだろうとは思いました。ところが、板倉さんの見方は違いました。「熱伝導でとける」と言っているけど、違うのではないか」というのです。その理由はこうです。「熱でとけるのであれば、出来あがったまるい氷もとけてしまうはずではないか」。そして「氷がとけるのは 圧力のためである」という仮説をたてたのです。

0度以下でも氷がとけるとき

氷には「圧力をかけられるととける」という性質があることをご存じでしょうか。「水が氷になる時に体積が増える」ということを知っている人は多いと思います。寒冷地で冬に水道管が破裂しないように注意するのもこのためです。「氷になるときに大きくなるなら、氷をつぶしてやれば水になるだろう」と考えてもらっても結構です。ともあれ、氷に高い圧力がかかると 0 以下でも とけることがあります。そうやってとけてできた水は、0 以下なので 圧力を解いてやると、すぐに 氷に戻ろうとします。こうして氷ができる現象を「復氷」と呼びます。

熱伝導で氷はとけるか

アイスモールドのあまりの「とかしっぷり」のよさに、私は、あの中に何か特別な仕掛けがあるのではないかと思い、家に帰って「アイスクリームスクープ」(アイスクリームをすくう道具)を出してきました。このスクープは「ヒートパイプ」と呼ばれる特別の仕組みを応用しているらしいと聞いていたからです。

ふつうのスプーン状にものアイスクリュームをすくうと、アイスクリュームがなかなか離れなくて苦労することがありますが、このアイスクリュームスクープでは 握った手の体温 が先端に素早く伝わって、アイスクリュームがとけて離れやすくなる、というわけです。

これまではアイスクリュームを取るのにしか使ったことはありませんでしたが、この時はじめて氷をのせてみたのです。すると、みるみるうちに氷がとけていくではありませんか。一緒に見ていた息子と共に「あっ」と声をあげてしまいました。「さすがはヒートパイプ」と感心しながら、ふと「ただのアルミニウムではどのくらいとけるのか」が気になりはじめました。そこで、東急ハンズで「アルミニウムのかたまり」を買ってきました。10センチ四方で厚さ5センチほどのものです。これに冷蔵庫の氷を載せてみたところ・・・、なんと、アイスクリュームスクープの時と同じようにどんどんとけるではありませんか。「ありゃ、じゃあヒートパイプは何だったのだ」と少し拍子抜けしましたが、「アルミもなかなかやるな」ということになりました。

というわけで、「だだのアルミニウムのかたまり」でも氷をよくとがすということがわかりました。アイスモールドの体積と重さを量って比重を計算したら2.7くらいになったので材質はアルミニウムであるらしいこともわかりました。また、アイスモールドに氷をただのせただけでも氷はよくとけたので、圧力がなくても熱伝導でとけているらしいことがわかってきました。

ほんとうに圧力で氷はとけるのか？



「圧力をかけると 0度以下でも 氷がとける」ということに関する典型的な実験として、左の図のようなものがあります。細い糸の両端におもりを付けて、氷にかけておくと、圧力で氷がとけます。しかし、すぐにまた凍るので糸が通過しても氷は切れないというものです。私も

やってみましたが、たしかにその通りになりました。(おもりが重すぎると速く切れすぎてしまったためなのか、まっぴたつになってしまうこともありました)

しかし、アイスモールドでも同じことが起きているのでしょうか。まず、「どの程度の圧力でとけるのか」が気になります。上の実験では「細い糸」に何キロもの重さをかけていますので、単位面積あたりにすれば相当大きな圧力です。一方アイスモールドの重さは350グラムくらいで、氷に接触する面積は「ひも」よりもずっと大きいので、圧力はずっと小さくなると想像できます。どうもこれではとけそうにありません。実際にアイスモールドを「氷水」の中に入れて0度近くにして 熱伝導ではとけないようにして 実験してみたところ、氷はとけませんでした。「圧力によってどのくらい融点下がるか」は、「クラジウス・クラペイロンの式」というもので求めることができるそうですが「1」融点を下げるためには、120気圧くらいの圧力が必要だそうなので、アイスモールドの重さでは融点はほとんど下がらない だろうと考えました。

できあがった「丸い氷」はとけないか？

「熱伝導ではないのではないかと考えたもうひとつの理由が できあがった丸い氷がとけないから というものでした。 たしかに、アイスモールドに氷を入れてスタートした時の「見事なとけ方」と比べると、丸くなった氷は、半球型の凹みの中でじっとしているように見えます。 しかし実際は「とけていた」のです。 丸い穴に丸い氷 ということでピッタリとハマり、しかしアイスモールドとの間には 水の膜 ができているために、直接金属に触れることがなく、またアイスモールド自体が冷たくなっているために「とけにくく」なってはいますが、少しく置いておけばとけてしまいます。

アイスモールドの謎はとけたか？

皆が 不思議に思った ことはふたつありました。

- 1 . なぜ、あんなに速くとけるとか
- 2 . なぜ、できた氷はとけないのか

「1」についての私の結論は「アルミニウムとはそもそも氷をよくとかすものだ」ということです。 普段 アルミニウム板に氷をのせる などということをするのがないので、気付かなかったのですが、これは試してみてもよくなりました。 それ以来「アルミ製」のもので次々と手に入れては氷をのせて実験しましたが、期待どおりにとけてくれました。「解凍プレート」という 冷凍食品を速く解凍する ための道具がありますが、これが特に仕掛けもない(ただし、厚手で大きな)「ただのアルミニウムの板」であることを知っていた人にはわかったかもしれません。

「2」は、上に書いたとおり、いくつもの条件が重なったために「とけないように感じた」といってよいでしょう。

かくして、「謎」は解けました。アイスモールドにはタネも仕掛けもない、ということです。(「タネも仕掛けもない」のに、不思議で楽しいのがエンターテインメントというものです)

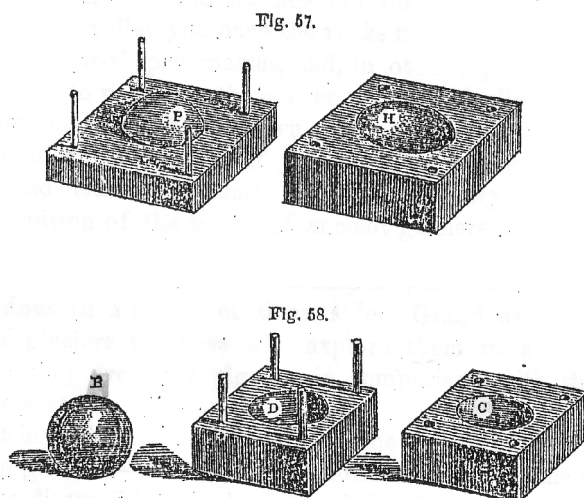
ティンダルの実験

私がアイスモールドや氷をとかすことに興味を持っていることを知っ

た板倉さんが面白い資料をくださいました。ジョン・ティンダルの『もの

の動きとしての熱』という論文に「アイスモールドにそっくり」な道具が描かれているという

のです。見ると、ほんとうにそっくりです。こんなちょうど良いものを、ちょうど良いタイミングで見つけてきてしまう板倉さんには敬服するばかりです。(先生いわく「この本を持っていることの方がスゴイ」のだそうです



が)

「アイスモールドにはこんな歴史があったのだ」と私たちはびっくりし、また喜んでこの論文を読んでみることにしました。

ティンダルは、登山家でもあり、アルプスの「氷河」の研究に力を入れていました。氷河は 氷という固体 であるにもかかわらず、山の狭谷を流れるように 動いていきます。その理由について「氷が粘体としてふるまうから」だとする説(フォーブスら)とティンダルらの「氷は一旦とけてから復氷する」という説があり、ティンダルは自らの復氷説を立証する目的もあって、レクチャーで復氷の実験をしてみせます。そこで使われたのが、「アイスモールドそっくり」の「鑄型」でした。ところが、アイスモールドの原型 ともいえると思ったものの 使い方は全く異なっていました。「氷をとかして丸くする」のではなく、氷に強い圧力をかけて変形させ、あるいは、「かき氷」を「鑄型」に詰めては圧力をかけて、ついには 透きとおった氷の球 にしてしまうという実験をしてみせたのです。これらはいずれも氷の「復氷」の性質を利用したものです。結果として 復氷を利用しているかと思った「アイスモールド」の原理は実は

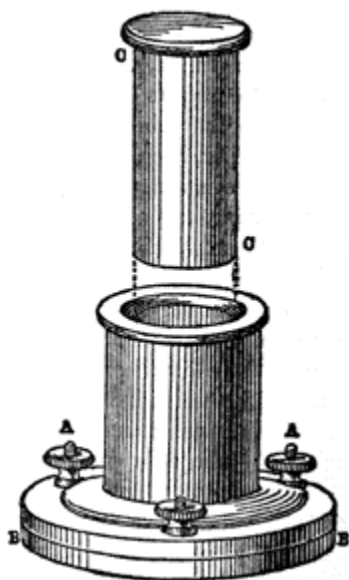
復氷ではなく、アイスモールドの原形かと思った「ティンダルの鑄型」は復氷の原理を見せるための道具だったわけです。

アイスモールドとよく似た型をしたこの「鑄型」ですが、水圧機を使って30気圧くらいの圧力をかけて使うそうです。私がアイスモールドで真似をしたら、圧力かける間もなく熱伝導で氷がとけてしまったのですが、ティンダルはこの鑄型をつげのような木で作っていたのです。そのため、冷やすこともなく皆の前で実験をすることができたのでしょう。

ファラデーによる「復氷」の原理

「復氷」が起きる理由は、高圧によって氷がとけてできた融点より低温になった水が、圧力をなくなると融点に戻るためにまた凍る、と考えられていましたが、ファラデーは「氷と氷に挟まれた水分子はまわりの氷の影響で氷になろうとする」という説を唱えました。ファラデーはこれを実証するべく、水に小さな氷片をいくつか浮かべて、「ほんのわずかに触れただけの氷片同志でも凍り付く」ことで「復氷に圧力は必要ない」ことを示しました。しかしながら、J・トムソンらは「わずかな接触であっても、そこには圧力が生じて融点降下が起きている」と指摘するなど論争になり、ついに決着はつかなかったということです。

ヘルムホルツの追試



ドイツの化学者・生理学者であるヘルムホルツ(Hermann von Helmholtz 1821-1894)はティンダル同様に登山家であり、同じく氷河の研究をしていましたが、ティンダルの「復氷説」とは意見を異にして、J・トムソン、W・トムソンらの「氷河粘体説」を支持していました。「復氷説」を批判するために、自らもティンダルのものに似た「氷圧縮装置」を作って実験しています。ティンダルのものが木製であるのに対して、こちらは「鉄の鑄物」でできており、「氷水」の中に置くことで

「0」で実験しています。

ヘルムホルツはこの器具を「アイスモールド」と呼んでいます。もちろん現代の「アイスモールド」とは全く異なりますが、「氷の鋳型」という意味なのでごく自然にそう呼んだのでしょう。

(現代の「アイスモールド」の「形のルーツ」がティンダルの鋳型ならば、「名前のルーツ」はヘルムホルツだったのか、と思いましたが、実際には、現代の「アイスモールド」は、そのかたちも製品名も、独自につくられたものであり、ティンダルやヘルムホルツの影響を受けてわけではありません)

氷がくっつくのは不思議ではないのか

冷蔵庫の氷を深皿などにたくさん入れておくと、氷同志がくっつきあってしまうことは、経験したことがあることでしょう。「氷と水があれば、凍り付くのは当然」となんとなく思ってしまうことはありませんか。氷は0以下なんだから、水を凍らすことができてもいいような気がします。実際には「氷がとけだしているような部屋の中」で一方では「水が凍る」のは不思議です。凍り付くは「復氷」が起きているからだと考えられています。すなわち氷ができたのは水が0になったからとは別の理由だろうということです。詳しい原理については上に書いたとおり決着はついていないようですが、「0以上でも水は凍る」ということは容易に体験することができます。氷片をふたつ手にとって押しつけてみてください。ほんの数秒の間押しつけるだけで、氷はしっかりとくっついていることでしょう。部屋の温度が28度であってもそうなります。もっと極端には、「お湯の中」(お風呂でもいい)でさきほどと同じように氷片を押しつけてみると、どんどんとけて小さくなりながらも氷はくっついて離れなくなります。40度のお湯の中で凍りつくのを見るのは、ちょっと不思議な気持ちです。実は、「温度が低すぎたり、水分が全くない」と復氷は起こらないのです。雪合戦の玉や雪だるまを作る時に、「サラサラの雪」ではうまくいかないのはそのためです。

ほとんど押しつけないでも氷をくっつけることができます。水を入れた容器に氷をいくつか浮かべておくと、特にくっつけようとしなくても、

ほんのちょっと触れあっただけで、その接触した点でくっついてしまいます。これがファラデーの主張する「圧力を加えなくても復氷は起きる」というところなのですが、J・トムソンらに言わせれば「点で接触しているからこそ、圧力は高い」となるのでしょうか。こうして「氷と氷がくっつく」現象が、どのような仕組みで起きているかは、現在でもまだ解明されていないことがあるそうです。

おわりに

アイスモールドがきっかけになって、「氷」に関していろいろと考える機会を得ることができました。インターネットで探す限り「復氷 (regelation)」といえば、ティンダルやファラデーばかりが出てきます。新しい研究はどの程度なされているのでしょうか。富山大学の対馬勝年教授が「氷」に関して「解け水が潤滑作用をするからスケートは良く滑る」という世界で主流の学説に対して「滑り機構学説」という氷自体がよく滑るという説を出すなど、色々な研究をされていますが、その対馬さんによれば、復氷に関するファラデーとトムソンの論争には結着がついていないということです。

アイスモールドのデモンストレーションを始めとして、いろいろな情報を提供していただき、また助言をくださった板倉聖宣さん、竹内三郎さんに感謝いたします。

2003/08/29/nt

《参照した主な文献》

John Tyndall, "Heat considered as A Mode of Motion," Delivered at The Royal Institution of Great Britain in the season of 1862, D. Appleton and Company 1865

Ice and Glaciers

Hermann von Helmholtz; Translated by Edmund Atkinson "A Lecture Delivered at Frankfort-on-the-Main, and at Heidelberg", February,

1865

前野紀一著 『水の科学』 北海道大学図書刊行会 1981