

結晶は生きている 氷結晶成長におけるパターン形成

ICE CRYSTAL

背景と目的

誰もが一度はセーターに降った雪やガラス窓に凍りついた水蒸気を見たことがあるでしょう。それらは、微妙に異なる木の枝のような形が集まってきれいな六角形になったり、同じ形が等間隔で現れたりしている結晶であることがわかります。

雪や氷の結晶ができるときの温度や湿度、風の強さ、塵の量などの条件のわずかな違いが、このような形の違いを生み出しています(図1)。氷の結晶ができる過程(結晶成長過程)は複雑で、でき方の詳しい仕組みには、まだわからないところが残されています。

氷の結晶成長は、円盤状の結晶が成長するところからはじまります。成長が進むにつれて、この円盤の縁の形が不安定な状態になり、デンドライトとよばれる樹枝状の結晶が成長していきます(図2)。これまでの研究で、樹枝状結晶の成長過程については、枝が分岐する仕組みなどがある程度わかってきました。しかし、なめらかな形をした円盤状の結晶に凹凸ができる、つまり不安定な状態になる過程についてはよくわかっていません。この過程を詳しく調べるためには、結晶周辺の水の温度分布とその時間変化を正確に計測する必要があり、流れのない安定した静かな環境が必要です。

ところで、水を火にかけたり、部屋でストーブを焚いたりしたとき、水や空気が上下に流れる現象(熱対流)が見られます。こうした熱対流は、加熱によって水や空気の密度が変化したところに重力が作用して生じる現象です。このような熱対流は地上では避けられない現象であり、例えば氷が成長するときは「潜熱」と呼ばれる熱が発生するため、熱対流が起こり、氷周辺の環境を乱してしまいます。

国際宇宙ステーションの中は微小重力環境であるため、このような熱対流は生じません。したがって、円盤状の結晶が不安定化する過程を詳しく、精度良く観察するためには、宇宙で実験を行うことが欠かせないのです。

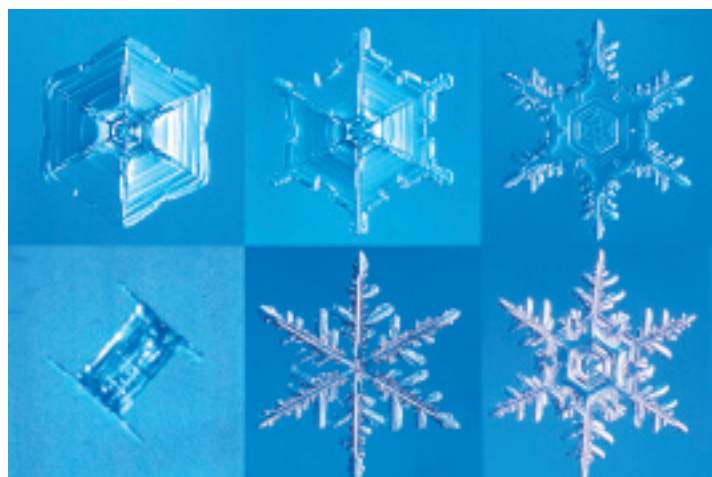


図1 結晶の形(雪) / 写真提供:北海道大学 古川義純教授

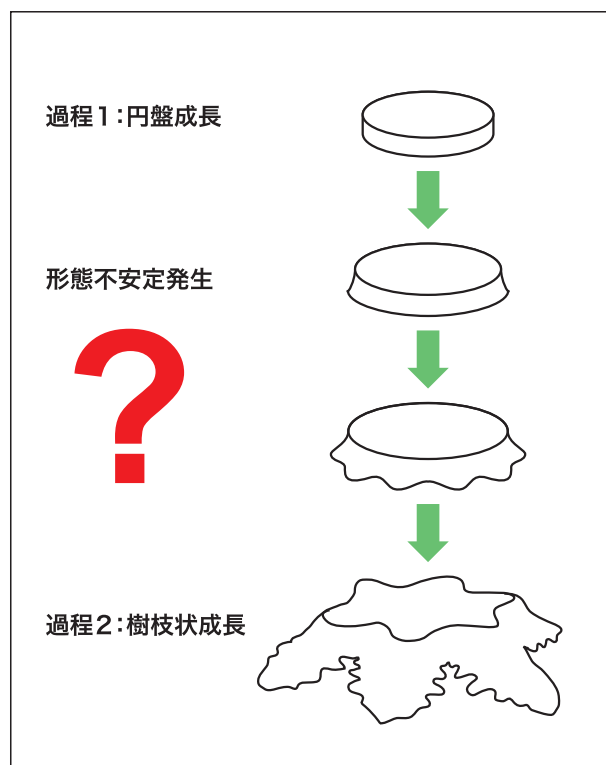


図2 氷の結晶成長過程

実験内容

この実験は溶液結晶化観察装置(SCOF)という実験装置を使って行います。この実験装置は顕微鏡と干渉計を備えており、結晶成長過程を詳しく調べることができます。

この実験に用いる供試体(注1)の写真を図3、図4に、セル部の模式図を図5に示します。供試体は溶液結晶化観察装置の中に設置します。

供試体の核形成セルの温度を冷やすと氷ができます。その氷はガラス細管を通して結晶成長セルへ導びかれます。温度制御された結晶成長セルの中で氷が成長する様子、とくに円盤状の結晶が不安定な状態になるときの様子を詳細に観察して、その厚みや直径、成長速度を計測します。また、結晶周辺の局所的な温度を干渉計を用いて詳細に調べます(図6)。実験データの再現性を確認する必要がありますので、結晶成長セル内の温度条件を変化させながら、何度も繰り返し実験を行います。

氷が成長する様子を2方向から観察できるように、この供試体の中には観察装置が入っています。装置の観察系で成長の様子を正面から観察し、供試体内の観察系で側面から観察することで、結晶の立体的な形態がわかりますし、結晶周囲の温度も3次的に分かるのです。

私たちにとって身近な存在である氷の結晶がどのようにしてつくられていくのか。その不思議が宇宙実験によって解明されていきます。

注：各実験用に製作し、実験材料を内包して実験装置に組み込む小型実験装置のことを「供試体」と呼んでいます。

ココがポイント!

■氷の結晶成長過程に対する理解を深めます。今回着目する円盤状氷は、分子的に平坦な面である円盤の面と、分子的に荒れた面である円盤のふちの面(外周部)との組み合わせからなっており、それぞれ別の結晶成長様式で成長します。対流のない微小重力環境において、それぞれの面がどのように成長するかを詳しく調べることで、結晶の形ができるしくみを明らかにします。

■氷点下の環境でも凍らずに暮らす生物がいます。これらの生物は不凍タンパク質と呼ばれるタンパク質を持っており、生体内でできる氷結晶の成長を食い止めることができます。たとえば、タラ、カレイ、ニンジンなどはこのタンパク質を持っています。また、大根や人参など、冬野菜にも含まれています。過冷却水から氷が結晶成長する機構を調べることは、これらの生物の生体反応を理解することにつながります。

■氷の結晶成長の知識は、臓器移植のための生きた臓器の保存や冷凍食品の品質保持など、わたしたちの将来の生活にも役立ちます。

■氷の結晶成長機構は、地球温暖化ガスを大量に封じ込めているクラスレート・ハイドレート(水分子のカゴの中にガスが入っている化合物)の生成過程と深く関係しています。これらを理解し、制御する技術の開発に役立ちます。

■氷の結晶は、地球表面に最も大量に存在する結晶体です。その地球表面で起こる様々な自然現象は、氷の結晶が成長したり、融けたりすることを通して起こります。たとえば、雪や雨が降ったり雷が起きるなどの気象現象、海水の生成や消滅、南極の氷床の生成、氷河の流動などの自然現象、さらには生命の発生や進化なども、氷の結晶と深く関連しています。また、最近注目を集める環境問題である酸性雪の生成やオゾン層の破壊現象なども、氷の結晶の生成と密接に関係しています。氷の結晶成長のしくみを理解することは、このような自然現象の起こるしくみを解明することにも結びつきます。



図3

Ice Crystal 供試体外観



図4

Ice Crystal 供試体内部

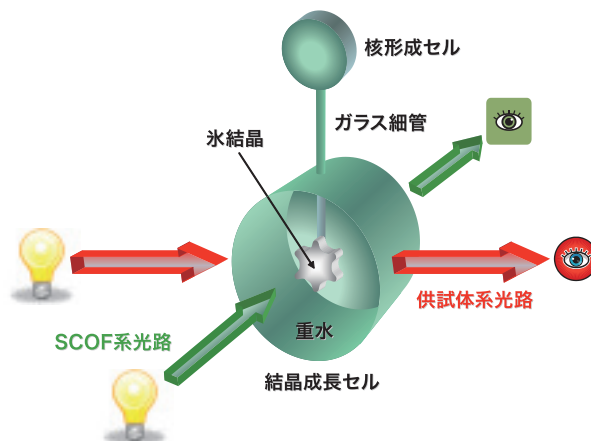


図5 Ice Crystal 供試体セル部模式図

2方向から観察することで、結晶の立体的な形態が分かる。

図6 ガラス管の先端から成長している円盤状氷
(左: 振幅変調顕微鏡写真、右: マッハツェンダー型干渉顕微鏡写真)

結晶周囲の温度が変化すると、その部分の縞が曲がる。画像から縞の曲がり具合を調べ、計算によって結晶周囲の温度を調べることができる。

プロフィール



古川 義純

北海道大学 低温科学研究所 教授

専門：結晶成長、氷物理、生物物理