



## 国際宇宙ステーションにおいて氷の結晶成長実験に成功

### 流水の海に住む魚はなぜ凍死しないのか!?

#### 研究成果のポイント

- ・国際宇宙ステーション・「きぼう」日本実験棟を用いた無重力実験で氷の結晶成長に成功。
- ・水が特殊な不凍糖タンパク質を含むと、無重力下でも氷の結晶成長が促進されたり振動したりする。
- ・結晶の成長促進は一見不凍効果と矛盾するよう見えるが、実はこのタンパク質の機能の本質。
- ・この機能をもとに、流水の海に住む魚がなぜ凍死しないのかという生命の不思議に迫る。

#### 研究成果の概要

北海道大学低温科学研究所（研究代表 古川義純名誉教授）と宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、国際宇宙ステーション・「きぼう」日本実験棟<sup>\*1</sup>において、2度目となる氷点下に冷却した水中での氷の結晶成長実験に成功しました。この実験では、流水直下の氷点下の環境に住む魚の凍結を防ぐ機能を持つ不凍糖タンパク質<sup>\*2</sup>が水中にわずかに含まれると、氷結晶のある決まった面の成長速度が純水中に比べ大幅に速くなり、さらに周期的に変動（振動）することを初めて検証しました。これは、無重力下では結晶周囲で対流などの乱れが存在しないので、氷の成長に対するタンパク質の効果が顕在化されるため、まさに宇宙実験ならではの結果です。この成果は、不凍糖タンパク質が氷の結晶成長をどのようにして制御するのかという仕組みを明らかにします。さらに、氷点下でも魚が凍死しないのはなぜかという生命の不思議を説明するモデルに書き換えを迫ります。

#### 論文発表の概要

研究論文名：Oscillations and accelerations of ice crystal growth rates in microgravity in presence of antifreeze glycoprotein impurity in supercooled water（微小重力において観察された、不凍糖タンパク質を不純物として含む過冷却水中で成長する氷結晶成長速度の振動と加速）  
著者：古川義純、長嶋 剣、中坪俊一、Salvador Zepeda、寺澤隆倫、麻川明俊、村田憲一郎、佐崎元（北海道大学低温科学研究所）、吉崎 泉、田丸晴香（宇宙航空研究開発機構）、島岡太郎（一般財団法人日本宇宙フォーラム）、曾根武彦（有人宇宙システム株式会社）、横山悦郎（学習院大学計算機センター）  
公表雑誌：Scientific Reports  
公表日：日本時間（現地時間） 2017年3月6日（月）午後7時（英国時間 2017年3月6日（月）午前10時）（オンライン公開）

## 実験の概要

### (背景)

極地の海の流水直下に住む魚は、氷点下の環境でも凍結することなく生き延びることができます。これは、血液中に含まれる不凍糖タンパク質が氷結晶/水界面に吸着することで、結晶成長を抑制するためとされてきました。しかし、実際にどのように界面に吸着しているのか、氷の結晶成長にどのような効果があるのかは不明でした。結晶成長の実態を探るには、成長速度の時間変動を精密に測定することが不可欠ですが、地上実験では対流などの効果で成長速度が変化しやすいため、無重力環境での測定が重要になります。

### (研究手法)

国際宇宙ステーションでは、安定した無重力環境が維持され、対流などの乱れを完全排除することができます。この特質を利用した実験を行うため、氷の成長速度を精密に測定する宇宙実験装置 (Ice Crystal Cell 2<sup>※3</sup>) を北海道大学と JAXA が共同で開発しました。その核心部分である氷結晶を成長させるための装置は、北海道大学低温科学研究所で独自に開発したものです。完成した宇宙実験装置は、JAXA の種子島宇宙センターから打ち上げられ、「きぼう」日本実験棟に設置しました。実験は、地上から送信する信号をもとに、自動制御で行いました。

### (研究成果)

氷結晶の成長条件を変えて実験を繰り返し、124 回の実験のうち 22 回で氷の成長速度の精密測定に成功しました。その結果、不凍糖タンパク質の効果により氷の底面では成長速度が純水中に比べて 3 ~5 倍も速くなり、さらに周期的に変動 (振動) することが明らかになりました。従来、不凍糖タンパク質が氷の成長を抑制するために生体の凍結を防ぐと考えられてきたため、氷の結晶成長が促進されることはこれまで予測されていなかったもので、生体の凍結抑制とは一見矛盾するよう見えます。しかし、実際には氷の結晶外形の効果により成長の速い面は消失し、最終的に最も成長速度の遅い面で囲まれるため成長が止まり、凍結抑制に対する不凍糖タンパク質の役割を矛盾なく説明できることが示されました。

### (今後への期待)

不凍糖タンパク質が氷の結晶成長を促進したり周期振動させたりすることは、生体高分子による結晶成長の制御の仕組みと直結しています。生体内で起きる様々な結晶成長の原理を理解して、新しい材料の創製に結びつけることを目指すバイオ・クリスタリゼーションの原理にも密接に関連しています。この研究成果を進展させることにより、今後、生体の極限寒冷環境での生き残り戦略の物理的な仕組みに書き換えを迫っていきます。そして、凍結抑制の機能性タンパク質としての原理が明らかになることで、医療分野、食品分野、エネルギー分野などへの活用が期待されます。

## お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学低温科学研究所 助教 長嶋 剣 (ながしま けん)

TEL : 011-706-6881 FAX : 011-706-6881 E-mail : nagasima@lowtem.hokudai.ac.jp

ホームページ : <http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/ptdice/>

[参考図]



図 1 (写真左(c)NASA) 国際宇宙ステーション・「きぼう」日本実験棟。この与圧部において、2013年11月から翌年6月まで、実験が行われた。(写真中央) 本実験のために新たに開発された宇宙実験装置。愛称「Ice Crystal Cell 2」。本装置は、JAXA 種子島宇宙センターから、2013年8月に「こうのとりの4号」に搭載して打ち上げられた。(写真右) Ice Crystal Cell 2の心臓部分である氷結晶成長装置。低温科学研究所技術部により、設計・開発が行われた。

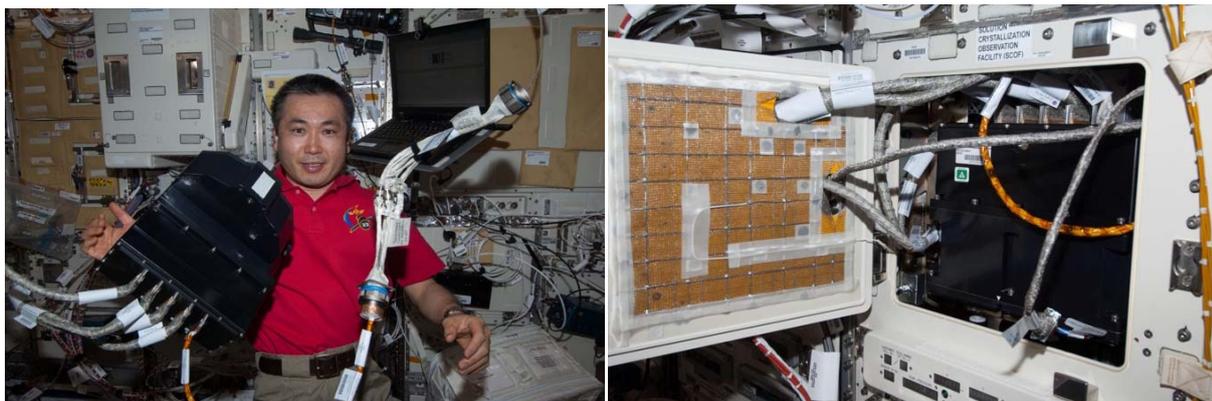


図 2 (写真左(c)JAXA/NASA) 若田光一宇宙飛行士が Ice Crystal Cell 2 を「きぼう」の SCOF<sup>※4</sup> に設置している時の様子。(写真右(c)NASA) SCOF に設置された Ice Crystal Cell 2。

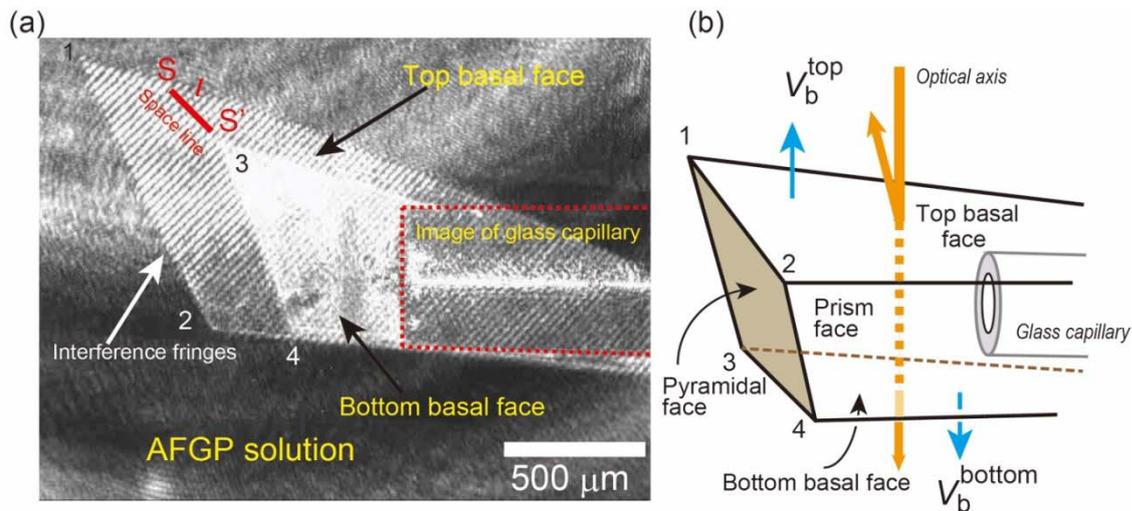


図 3 宇宙実験で取得された氷の結晶成長を記録したビデオ画像のスナップショット。画像の中心部の縞々のパターンが見える部分が氷結晶の底面 (basal face) に当たる。縞々パターンは氷の底面からの光反射で生じる干渉縞で、その移動する速度を精密に測定することで底面の成長速度を決定することができる。(b) 氷結晶の 3 次元的な外形を示す図。

【用語解説】

- ※1 国際宇宙ステーション・「きぼう」日本実験棟：地上約 400km 上空に建設された、人類史上最大の宇宙施設である国際宇宙ステーション (ISS) にある日本初の有人実験施設。船内実験室と船外実験プラットフォームの 2 つの実験スペースからなり、微小重力環境や宇宙放射線などを利用した科学実験、宇宙空間を長期間利用する実験や天体観測・地球観測が行われている。
- ※2 不凍糖タンパク質：海氷で覆われた極海に住む魚の体内に含まれ、氷点下でも生体の凍結を防ぐ機能を持つ特殊なタンパク質。分子に糖鎖を持つものを不凍糖タンパク質、糖鎖を持たないものを不凍タンパク質と呼ぶ。これらのタンパク質は、成長する氷結晶の表面に吸着することで氷の結晶成長を抑制し、不凍機能を発現すると考えられているが、その仕組みは十分解明されていない。これらのタンパク質の機能は、医学や食品科学の分野で活用が期待されている。
- ※3 宇宙実験装置「Ice Crystal Cell 2」：水を冷却して過冷却の状態に保ち、その中で氷の結晶を成長させることができる宇宙実験装置。氷結晶を成長させるセル部と結晶観察の顕微鏡部で構成されている。前者の結晶成長セルは、北海道大学低温科学研究所技術部で設計・開発が行われた。後者は、反射型干渉計と位相差顕微鏡を組み合わせた新開発の観察装置でオリンパス株式会社より開発され、装置全体は株式会社 IHI エアロスペースによって組み立てられた。
- ※4 SCOF：「きぼう」日本実験棟に搭載されている共通実験装置で、溶液結晶化観察装置 (Solution Crystallization Observation Facility) の略称。Ice Crystal Cell 2 を設置し、電源の供給や地上からのコマンド、実験画像の受け渡しの役割を果たした。  
<http://iss.jaxa.jp/glossary/jp/yo/scof.html>