

Ice Crystal 2 プロジェクト :

国際宇宙ステーション実験の成果の概要

古川 義純¹、中坪 俊一²、長嶋 剣¹、麻川 明俊¹、村田 憲一郎¹、佐崎 元^{1,3}、
横山 悦郎⁴、吉崎 泉⁵、田丸 晴香⁵、島岡 太郎⁶、曾根 武彦⁷、真木 孝雄⁸、
山本 明日佳⁸

1. 雪氷新領域部門相転移ダイナミクス分野
2. 技術部装置開発室
3. 共同研究推進部
4. 学習院大学
5. 宇宙航空研究開発機構
6. 一般財団法人日本宇宙フォーラム
7. 有人宇宙システム株式会社
8. オリジナル株式会社

国際宇宙ステーション「きぼう」において、氷結晶の自由成長実験（プロジェクト名：Ice Crystal 2）が実施された。2008年に実施した実験に続くものであり、今回は不凍糖タンパク質（Antifreeze glycoprotein: AFGP）を含む過冷却水中での成長する氷結晶の成長速度をマイケルソン干渉計により精密に測定することを目標とした。実験は、2013年11月 - 2014年6月の間、124回にわたって実施された。

本実験で使用された宇宙実験装置は、本研究所技術部とオリジナル光学との協力により開発された。技術部では、本装置の心臓部とも言える氷結晶成長装置の開発を担当した。宇宙実験装置は、打ち上げ時の振動への対処、微小重力環境での確実な作動の保障、すべての操作が地上から送信されるコマンドにより制御されることへの対応、万一打ち上げ後に故障が起こった場合の対処法など、地球上で使用される通常の実験装置とは異なる多くの要素を満たさなければならない。技術部としても、宇宙実験装置の開発は初めての経験であったが、極めて優れた装置の開発に成功し、実験を成功に導く原動力となった。また、生成した結晶を観察するための光学系の開発は、オリジナル光学が担当した。この光学系は、マイケルソン型干渉顕微鏡と位相差顕微鏡を同軸で設置し、同時に両者の観察画像を得ようというもので、世界初の顕微鏡システムである。

氷結晶は、ガラス毛细管の中で生成した種結晶から成長を開始することで、成長容器内で一つの単結晶の成長を実現している。また、成長する氷結晶のその場観察は、位相差顕微鏡とマイケルソン干渉顕微鏡により行われた。ガラス毛细管の回転により成長する氷結晶のベーサル面を光軸方向と直交させることで、ベーサル面からの反射光による干渉縞を得ることが出来る。観察画像は、その場で動画として地上にダウンリンクされ、実験データとして記録される。

本実験では、AFGPを添加した過冷却水中での氷結晶成長を観察した。AFGPは、極域の魚の血液内に含まれ、血液を過冷却状態に保ったままで生体の凍結を抑制する機能（不凍効果）を持つタンパク質である。AFGP分子は、氷/水界面に吸着することで氷結

晶成長のカイネティクスを大きく変化させることが、このような機能の発現に密接に関連している。氷/水界面への吸着の状態、それが結晶成長カイネティクスに及ぼす効果の実態は、まだ十分明らかになっていないが、界面への AFGP 分子の吸着は 2 段階で起きると予測されている。すなわち、弱い吸着状態と強い吸着状態があり、それは吸着した AFGP 分子の 2 次構造 (Conformation) と密接に関連している。もし、このような吸着が実現すると、その吸着状態に応じて結晶成長カイネティクスへの効果も変化するはずであり、成長速度の時間的な変動 (自励振動) が生じると予測される。本宇宙実験では、対流などの擾乱を完全に排除できる微小重力空間において実験を実施することで、このような自励振動成長を観察することが重要になる。

宇宙実験では、0.2 – 0.7 K の過冷却度の範囲で氷ベール面からの干涉縞の取得に成功し、そのいずれでも結晶成長速度が成長時間に対して大きく周期的に変動することを見出した。すなわち、氷結晶の自励振動成長の検出に初めて成功した。

本成果は、不凍糖タンパク質分子の機能発現機構の解明に向けた基礎的な情報を提供するだけでなく、広く結晶内部にしばしば観察されるストリーション (縞縞模様) の生成とも密接に関連するものである。また、極めて非線形性の強い現象であり、今後新たな結晶成長に関する数理モデルの開発など、結晶成長や氷物理学の範囲を越えて多くの研究分野への展開が期待される。

参考文献

- 1) 古川 義純, Salvador Zepeda, 宇田 幸弘, 日本物理学会誌, 65 (2010) 98 – 103.
- 2) Salvador Zepeda, et al., Crystal Growth & Design, 8 (2008) 3666 – 3672.
- 3) Yukihiro Uda, et al., Journal of Physical Chemistry, B111 (2007) 14335 – 14361.