



氷表面での水膜のでき方を解明

研究成果のポイント

- ・氷結晶表面は融点（0°C）以下の温度でも 2 タイプの水膜で覆われていることはこれまでに知られていたが、これらの水膜は、氷が融けるのではなく、水蒸気が析出することで生成することを解明した。
- ・本研究成果は、スケートの滑りやすさや、復氷、凍上、食品や臓器の低温（冷凍）保存、雷雲での雷の生成など、氷表面の水膜が重要な役割を果たす幅広い現象の機構解明に役立つことが期待される。

研究成果の概要

氷の表面は融点（0°C）以下の温度でも擬似液体層^{注1}と呼ばれる薄い水膜で覆われています。この現象は表面融解と呼ばれ、スケートの滑りやすさから雷の発生まで、幅広い現象の鍵を握ると考えられています。しかし、この水膜がどのようにしてできるのかはまだわかっていませんでした。そこで我々は、原子・分子高さの段差を可視化できる特別な光学顕微鏡を用いて、様々な水蒸気圧下で氷結晶表面を観察しました。その結果、2 タイプの擬似液体層は、氷結晶表面が融けてできるのではなく、過飽和な水蒸気が氷結晶表面に析出することでできることを解明しました（図1）。

本成果は、これまで長らく「表面融解」と呼ばれて来た現象の描像を根底から覆すもので、今後、氷表面の水膜が重要な役割を果たす幅広い現象の機構解明に役立つと共に、半導体結晶や有機物結晶など、様々な材料で見られる融点直下での超高温表面・界面現象の解明に役立つと期待されます。

本研究成果は、米国科学アカデミー紀要（PNAS）のオンライン速報版で 2016 年 2 月 1 日（月）（米国東部時間）に公開されました。

論文発表の概要

研究論文名：Two types of quasi-liquid layers on ice crystals are formed kinetically
（氷結晶上の 2 タイプの擬似液体層は速度論的に生成する）

著者：麻川 明俊（阿南工業高等専門学校（元北海道大学低温科学研究所博士研究員））、佐崎 元、長嶋 剣、中坪 俊一、古川 義純（北海道大学低温科学研究所）

公表雑誌：米国科学アカデミー紀要

公表日：日本時間（現地時間）2016 年 2 月 2 日（火）午前 5 時（米国東部時間 2016 年 2 月 1 日（月）午後 3 時）

研究成果の概要

(背景)

氷結晶の表面は融点 (0°C) 以下の温度でも、擬似液体層と呼ばれる薄い水膜で覆われています。この現象は「表面融解」と呼ばれ、スケートの滑りやすさや復氷、霜柱による凍上、雪だるまの作製、雷雲での雷の発生など、寒冷圏での生活と密接に関連した幅広い現象の鍵を握ると考えられています。そのため、擬似液体層が生成する機構を解明することは極めて重要です。

融点以下の温度で氷が表面融解することは、これまで様々な光学的手法によって観測されてきましたが、ごく最近まで誰も直接可視化することができませんでした。

最近、低温科学研究所相転移ダイナミクスグループとオリンパス株式会社が共同で開発した光学顕微鏡を用いることで、氷結晶表面の擬似液体層を直接可視化できるようになりました。その結果、形状が異なる2タイプ（薄い層状と液滴状）の擬似液体層が存在することなどがわかってきました。

(研究手法)

オリンパス株式会社と共同で開発したレーザー共焦点微分干渉顕微鏡^{注2} (図2) を用いると、氷結晶表面の水1分子高さ (0.37nm) の段差を直接可視化できます。この光学顕微鏡を用いて、融点直下 (-2°C~0°C) , 様々な水蒸気圧のもとで成長する氷結晶 (雪結晶) 表面を観察しました。

(研究成果)

高過飽和な水蒸気中では、層状と液滴状、両タイプの擬似液体層が生成します (図1A) 。しかし、水蒸気圧が低下するとともに、まず層状の擬似液体層が消滅し (図1B) , 次いで液滴状の擬似液体層が消滅する (図1C) ことが今回新たにわかりました。また、低過飽和及び平衡な水蒸気中では、氷結晶表面には擬似液体層は生成しませんでした。すなわち、擬似液体層は、氷結晶表面が融けることで生成するのではなく、氷結晶表面に過飽和な水蒸気が析出することで生成することがわかりました。擬似液体層が生成する現象はこれまで長らく「表面融解」と呼ばれてきましたが、そのような呼称は実体を表していないこととなります。さらに、これまでは水蒸気が平衡であるか過飽和であるかに関わらず、擬似液体層は氷表面に安定に存在すると考えられてきたため (図1右側) , 本研究成果は、従来の擬似液体層の描像を根幹から修正する必要があることを示しています。

(今後への期待)

本研究により得られた擬似液体層についての新たな知見は、スケートの滑りやすさから雷雲での雷の発生まで擬似液体層が重要な役割を果たす幅広い現象の秘密を解き明かす鍵を握るとともに、様々な結晶材料で見られる融点直下での超高温表面・界面現象の解明に役立つと期待されます。

お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学低温科学研究所 教授 佐崎 元 (さざき げん)

TEL : 011-706-6880 FAX : 011-706-6880 E-mail : sazaki@lowtem.hokudai.ac.jp

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

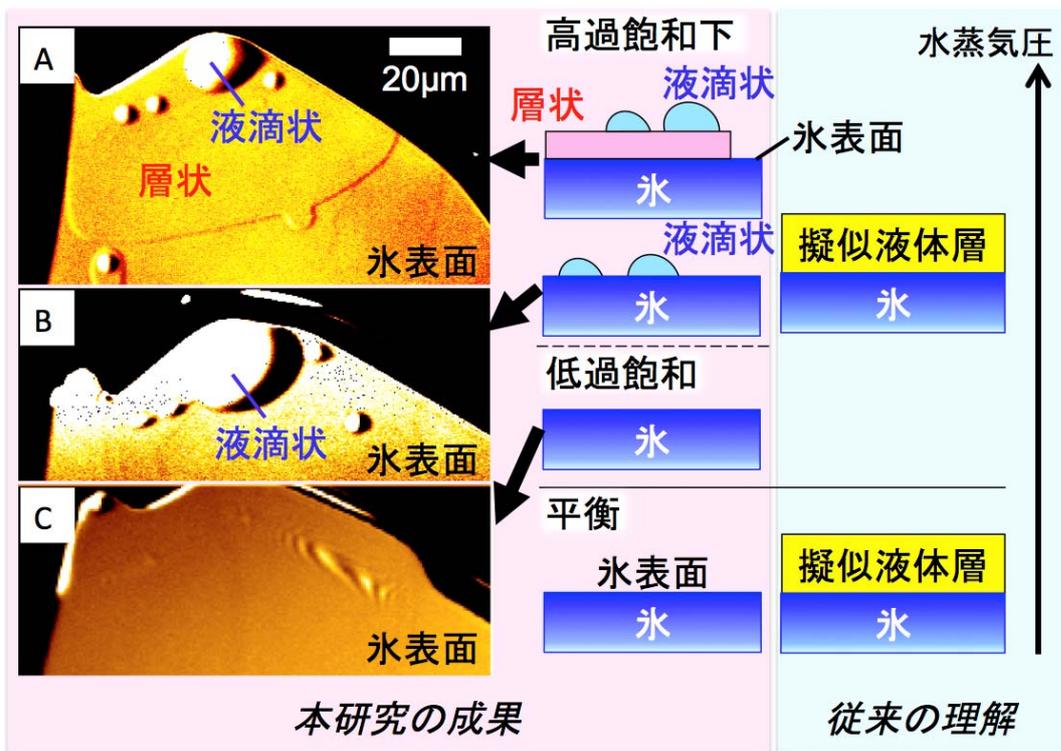


図1 水蒸気圧と2種類の擬似液体層の生成。図の左側は本研究の成果を、そして右側は従来の理解を示している。高い水蒸気圧下では、成長している氷結晶表面上に、層状と液滴状の擬似液体層が生成する(A)。しかし、水蒸気圧が低下するとともに、まず層状の擬似液体層が消滅し(B)、次いで液滴状の擬似液体層が消滅する(C)ことがわかった。

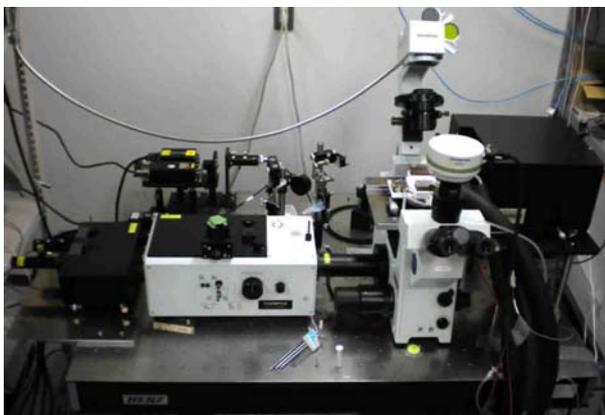


図2 氷結晶表面上の原子・分子高さの段差を可視化できるレーザー共焦点微分干渉顕微鏡

[用語解説]

注1 擬似液体層：擬似液体層とは融点直下で結晶表面を覆う液体のことを指し、水と氷の間間的な物性（構造や粘度など）を持っている。氷以外にも、金属や半導体、有機物など幅広い材料の結晶表面で生成することが知られている。

注2 レーザー共焦点微分干渉顕微鏡：レーザー共焦点顕微鏡はノイズ光を大幅に除去し、観察像を鮮明にする。また、微分干渉顕微鏡は分子高さレベルの段差に明暗のコントラストを与える。この両顕微法を組み合わせ、さらに様々な改良を加えたものが本研究で用いているレーザー共焦点微分干渉顕微鏡（図2）。