

紫外線照射で純氷にマイナスの電気が流れることを発見

～氷の新しい電氣的性質が明らかに～

ポイント

- ・氷内部にマイナスの電気が定常的に流れうることを初めて発見。
- ・マイナスの電流は紫外線照射で精密にコントロールが可能。
- ・マイナス電流の振る舞いは、従来から知られていたプラス電荷を持つ陽子による電流と全く異なる。

概要

北海道大学低温科学研究所の渡部直樹教授らの研究グループは、真空中で極低温の純氷を作製し、そこへ紫外線と電子を照射することで氷中にマイナスの電気が流れることを発見しました。また、その電流は紫外線のオン・オフで鋭敏にコントロールできることがわかりました。従来、氷は金属とは異なり、その内部に自由に動き回れる電子（マイナスに帯電）を持たないため、電子の流れによる電流をほとんど通さないと考えられていました。そこで研究グループは、この現象を説明するために理論計算を行い、紫外線を照射することにより氷表面の水分子（ H_2O ）が分解し、OH が生成され、そのOHが氷内で電子を運ぶマイナス電気のキャリアとなって動き回ることを明らかにしました。発見した現象は、氷内に電気を流すための電解質の不純物を一切必要としません。

氷はその内部にもともと微量に存在する動き回れる陽子（プラスに帯電）が水分子の間を移動することにより、わずかながらプラスの電気が流れるため、半導体としての性質を持つことが知られています。しかし、陽子の移動には熱エネルギーが必要なため、およそマイナス 80°C 以下では電流が流れないことがわかっています。研究グループはマイナス 220°C 以下でも温度に依存することなくマイナスの電気が流れることを確認しており、本研究で発見したマイナス電気の移動には熱エネルギーを必要としないことを示しました。

本研究では、従来全く想像されていなかった以下の3つの知見が画期的といえます。①氷中にマイナスの電気が定常的に流れうることを発見した。②マイナスの電気の流れは紫外線でコントロールできる。③従来知られていた氷中のプラス電気の流れとは異なり、極低温でも電気が流れる。

今後は、この現象をより幅広い温度領域で、氷の構造、紫外線強度などを変えて調べていく予定です。水や氷は、これまで長年様々な分野で研究されてきた、いわばありふれた物質です。本研究は、そうした氷にもまだ知られていない側面があることを示しており、水や氷の科学のさらなる展開のきっかけになると期待されます。

なお、本研究成果は、2019年10月3日（木）公開の Chemical Physics Letters 誌に掲載されました。

【背景】

氷の電氣的な性質は、従来、氷中に存在する微量の“余剰の陽子”の動きで説明されてきました。このプラスの電気が流れる原理はグロットゥスメカニズム^{*1}と呼ばれ、およそ 200 年前に提唱されて以来、多くの研究によりそのメカニズムの正しさが確認されています。そのため、氷はプラスの電気を帯びた陽子の流れにより電流を流すこと、その流れを保持するためには一定の熱エネルギー（温度）が必要であることが科学の世界では広く知られていました。一方で、金属のようにマイナスの電気を帯びた電子の流れにより氷中に定常的に電流が流れ得るか？という疑問は、およそ 100 年前から提起されていましたが、それを確認した研究はありませんでした。

【研究手法】

氷中にマイナスの電気が流れる現象は、極低温の氷中で生じる光化学反応を調べる実験を行っているときに偶然発見しました。実験手法は極めて簡単で、同様の装置があれば誰でも追実験が行えます。実験手順は以下の通りです。超高真空中に設置した、ニッケルを蒸着したサファイアガラスをマイナス 220°C程度に冷却し、そこへ超純水の水蒸気を吹き付け、ニッケル表面に純氷薄膜を作製します。その表面に電子を入射しながら紫外線を照射し、ニッケル表面に流れ込むマイナスの電流を測定します（図 1）。また、氷中にマイナスの電気が流れる様子を最新の量子化学計算でシミュレートしました。

【研究成果】

氷表面に電子を供給しながら紫外線を照射すると、照射と同時に氷中にマイナスの電気が流れることが観測されました。その流れは紫外線のオン・オフでコントロールすることができます。この手法のポイントは氷表面に電子を供給しながら紫外線を照射するところにあります。電子だけ、もしくは紫外線だけでは電流は流れません。量子化学計算によれば、紫外線により氷表面の H₂O 分子が分解し OH となり、その OH が氷表面の電子を捕らえ OH マイナスイオンとなり、そのイオンが氷中にマイナスの電気を運び込むキャリアになることがわかりました。本研究は、氷中にマイナスの電気が定常的に流れうることを示した初めてのものであり、その流れが極低温下でも維持され、紫外線によってコントロールされうるという、これまで全く想像されていなかった現象を見出した画期的なものです。

【今後への期待】

本研究は、氷中にマイナスの電気が流れることを初めて明らかにした、いわば研究のスタートラインに立つものです。今後、氷の新しい電氣的性質として大きな研究対象となる可能性を秘めています。例えば、地球惑星の上層大気や宇宙の低温領域には氷微粒子が大量に存在しています。こうした氷微粒子上で生じる電氣的なプロセスは、気象や新たな分子の生成に深く関与しています。本研究は氷の基礎科学としてのみならず、広く地球惑星科学、天文学に新しい展開を与えるきっかけになると期待されます。

論文情報

論文名 Ultraviolet-photon exposure stimulates negative current conductivity in amorphous ice below 50 K (温度 50 ケルビン以下の氷に紫外線を照射することでマイナスの電気が流れる)
著者名 渡部直樹¹, W.M.C. サメーラ¹, 日高 宏¹, 宮崎彩音¹, 香内 晃¹ (¹北海道大学低温科学研究所)
雑誌名 Chemical Physics Letters (化学の専門誌)
DOI 10.1016/j.cplett.2019.136820
公表日 2019年10月3日(木)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学低温科学研究所 教授 渡部直樹 (わたなべなおき)

T E L 011-706-5501 F A X 011-706-7142 メール watanabe@lowtem.hokudai.ac.jp

U R L <http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/>

配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimuhokudai.ac.jp

【参考図】

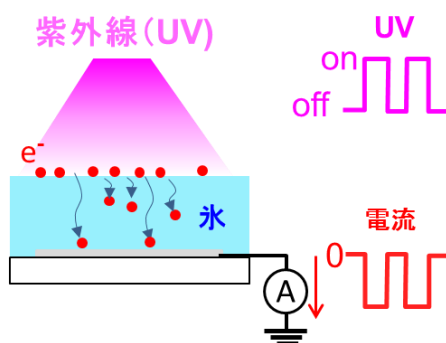


図1. 金属を蒸着したサファイアガラス上に純氷を作製し、紫外線を照射すると氷中にマイナスの電気が流れる。紫外線のオン・オフで電流をコントロールできる。

【用語解説】

*1 グロトウスメカニズム …… ドイツの化学者グロトウスが1800年初頭に提唱した、氷中を陽子が移動するメカニズムのこと。氷中に微量に存在するプラスの電気を帯びた過剰陽子が水分子と結びつくことで H_3O^+ というプラスイオンを作り、そのイオンが隣に存在する他の水分子に陽子を受け渡すことで、プラスの電気が移動する。氷に電気が流れるメカニズムとして広く受け入れられている。