

## 極低温氷表面での OH ラジカルの動きやすさを初めて測定

～宇宙の氷微粒子上で分子進化が活性化する温度が明らかに～

### ポイント

- ・極低温氷表面に存在する OH ラジカルの振る舞い（動き）を調べる手法を開発。
- ・OH ラジカルが氷表面を動き出す温度を測定。
- ・宇宙に浮遊する氷微粒子上で、分子進化が加速する温度が明らかに。

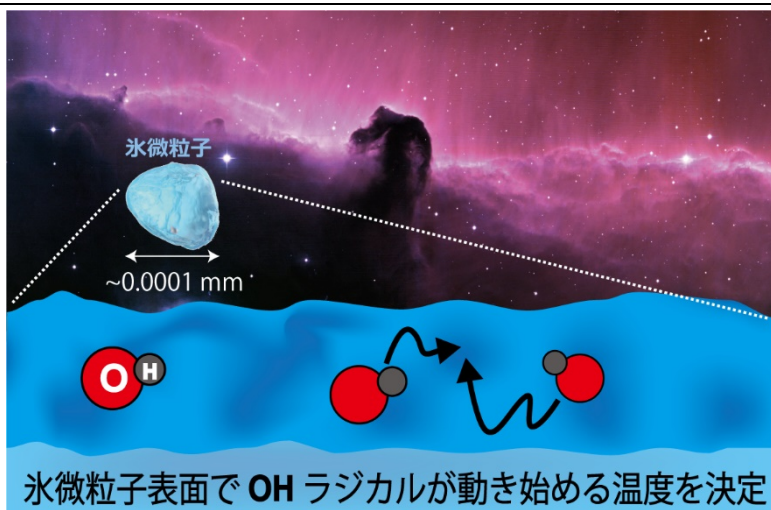
### 概要

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、理化学研究所仁科加速器科学センターの中井陽一専任研究員と共同で、新たに開発した手法を用いて、極低温氷表面で OH ラジカルが動き始める温度を調べることに成功しました。

OH ラジカルは水分子 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) から水素原子 (H) が一つ取れたもので、非常に化学反応を起こしやすい性質を持っています。宇宙空間に浮遊する極低温の氷微粒子表面には OH ラジカルが大量に存在し、有機分子を含む様々な分子の生成に大きな役割を果たすと考えられています。つまり、OH ラジカルは宇宙における分子の進化の鍵を握る化学種ということが出来ます。しかし、OH ラジカルは氷表面に比較的強く結合しているため、氷微粒子の温度が上がり、それが表面を動き回る温度になったとき初めて分子進化は活性化します。宇宙の環境に近い超高真空・極低温下における氷表面の OH ラジカルを観測することは実験的に難しく、これまで OH ラジカルが動き出す温度は明らかになっていませんでした。

研究グループは今回、その観測手法を新たに開発し、氷表面に存在する OH ラジカルが動き出すのに必要なエネルギーを測定することに成功しました。その結果、極低温の宇宙環境に存在する氷微粒子表面では、およそ  $-237^\circ\text{C}$  で OH ラジカルの動きが活発化し分子進化が促進することが分かりました。今後は、OH 以外の化学種でも同様の手法で氷表面での動きやすさを調べることで、宇宙の氷微粒子表面における分子進化の全容に迫ることが期待されます。

なお、本研究成果は、2022年11月14日（月）公開の *Astrophysical Journal Letters* 誌に掲載されました。



宇宙空間に浮遊する氷微粒子表面に存在する OH ラジカルのイメージ図。新たに開発した、氷表面の OH ラジカルを高感度に検出する手法により、OH ラジカルが氷表面を動き始める温度を決定することが可能となった。背景は実際の星間分子雲（馬頭星雲と呼ばれる有名な分子雲）の写真。

## 【背景】

宇宙空間には星が生まれる極低温領域（最低温度-263°C）である星間分子雲<sup>\*1</sup>が存在します。星間分子雲は化学反応が起こりにくい極低温の環境にもかかわらず、有機分子を含む多種多様な化学種が存在することが天文観測により明らかになってきました。こうした化学種は原子や単純な分子から複雑化（分子進化）してできたもので、星間分子雲に浮遊している氷微粒子<sup>\*2</sup>が重要な役割を果たしていることが知られています。

氷微粒子上での化学反応の鍵を握るのは、ラジカルと呼ばれる非常に化学反応を起こしやすい化学種です。その中でも、水分子（H<sub>2</sub>O）から水素原子（H）が一つ取れた OH ラジカルは氷微粒子上に大量に存在し、様々な分子の生成に大きな役割を果たすと考えられています。OH ラジカルは氷微粒子の表面に比較的強く結合しているため、氷微粒子の温度が上がり、それが表面を動き回る温度になって初めて分子進化は活性化します。従って、氷微粒子上での分子進化について理解を深めるためには、OH ラジカルが動き始める温度を実験により決定することが重要です。しかし、氷表面に存在する OH を H<sub>2</sub>O と区別して感度良く観測することは困難で、これまでその情報は得られていませんでした。

## 【研究手法】

一般的な分析手法を用いて氷表面に存在する OH ラジカルを観測することは難しいため、新たな観測手法の開発を行いました。低温科学研究所で独自に開発した真空実験装置内（図1）に宇宙に浮遊する極低温氷微粒子を再現し、紫外光を照射して一部の水分子を壊す（H<sub>2</sub>O→OH+H）ことで氷表面に OH ラジカルを生成しました。この OH ラジカルをレーザー光で氷表面から引き放し、放出してきた OH ラジカルを別のレーザーを用いて分析検出することで、氷表面に存在する OH ラジカルを観察しました。OH ラジカルが氷表面を動き始める温度に達すると、OH 同士が化学反応を起こす（OH+OH→H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>）ため、OH ラジカル数が減少します。この温度と OH ラジカル数の関係を調べることで、氷表面に存在する OH ラジカルが動き出すのに必要なエネルギーを測定しました。

## 【研究成果】

実験から決定した OH ラジカルが動き始めるのに必要なエネルギーから、様々な温度条件で OH ラジカルが氷表面を動き回る速さを算出しました。氷微粒子上での化学進化は 10 万年というタイムスケールで考える必要があります。そこで、10 万年の間に氷星間塵（直径およそ 0.0001 mm）の表面をくまなく動き回ることができる温度を見積もりました。

その結果、極低温の宇宙環境に存在する氷微粒子表面では、およそ-237°Cを超えると OH ラジカルの動きが活発化し分子進化が促進することが分かりました。星間分子雲における星の生成が進むにつれて、その環境の温度は徐々に上昇していきます。すなわち、-263°C程度の極低温で氷表面に蓄積されていた OH ラジカルが温度上昇に伴い動き始め、活発な分子進化が起きます。本研究で決定された温度を用いて化学進化のシミュレーションを行うことで、OH ラジカルの関わる分子進化過程をより正確に理解できることとなります。

## 【今後への期待】

星間分子雲の氷微粒子表面では、OH ラジカルだけでなく様々なラジカル種も分子生成に関わっています。OH 以外のラジカル種が氷微粒子表面でどのように振る舞うかは未解明のままです。従って、これらの化学種にも同様の手法を適用し、氷表面での動きやすさを調べることで、宇宙の氷微粒子表面における分子進化の全容に迫ることが期待されます。

## 論文情報

論文名 Direct Determination of the Activation Energy for Diffusion of OH Radicals on Water Ice  
(OH ラジカルの氷表面拡散に関する活性化エネルギーの測定)  
著者名 宮崎彩音<sup>1</sup>、柘植雅士<sup>1</sup>、日高 宏<sup>1</sup>、中井陽一<sup>2</sup>、渡部直樹<sup>1</sup> (<sup>1</sup>北海道大学低温科学研究所、<sup>2</sup>理化学研究所仁科加速器科学研究センター)  
雑誌名 Astrophysical Journal Letters (天文学物理学の専門誌)  
DOI 10.3847/2041-8213/ac9d30  
公表日 2022年11月14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/index.html>

## 配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒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 jp-press@general.hokudai.ac.jp

## 【参考図】

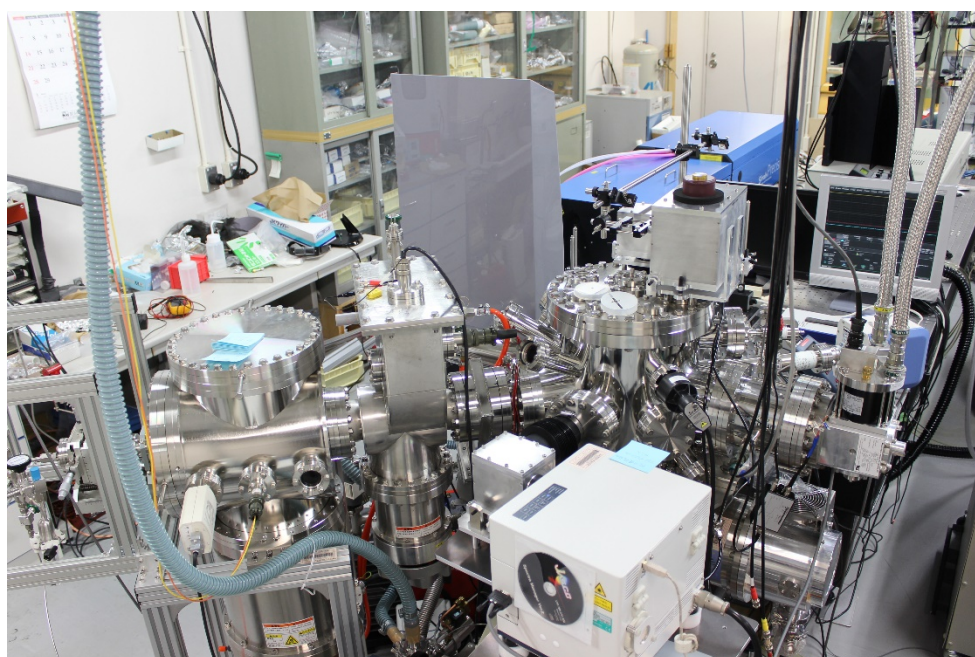


図 1. 低温科学研究所で開発し、本研究に用いた実験装置。宇宙環境を再現するための超高真空槽の中心部に極低温の氷を作成した。奥に見える青色の装置は色素レーザーで、OH ラジカルの検出に用いた。

## 【用語解説】

- \*1 星間分子雲 … 星や惑星が誕生する場であり、周辺にまだ星が出来ていないので熱源が無く最低-263°C程度の極低温になる。そこに存在する氷微粒子は有機分子より早い段階で形成し、様々な有機分子の母胎となっている。
- \*2 氷微粒子 … 氷星間塵とも呼ばれ、ケイ酸塩鉱物や炭素質物質の周りを主に H<sub>2</sub>O からなる氷をまとった 0.0001mm 程度の微粒子。