



## 極低温氷表面における水素分子のエネルギー状態転換機構の解明： 宇宙における分子進化の鍵

### 研究成果のポイント

- ・ 極低温氷表面で、水素分子の原子核スピン転換に伴うエネルギー状態の変化を観測。
- ・ エネルギー状態変化率の温度依存性から、未解明だった原子核スピン転換のメカニズムを解明。
- ・ 宇宙における分子進化の鍵を握る、水素分子生成初期のエネルギー状態が明らかに。

宇宙で最も存在度の高い水素分子は、宇宙空間に浮遊する氷微粒子上で2つの水素原子が合体して生成します。生成した水素分子には異なる原子核スピン状態に起因する、オルソとパラと呼ばれる2つのエネルギー状態が存在します。水素分子がどちらのエネルギー状態で氷微粒子から宇宙空間に放出されるかは、宇宙における分子進化を左右する重要な鍵になります。エネルギー状態は分子が氷微粒子から離れると変化しないため、分子の生成母体である氷微粒子上での状態変化に大きな関心が向けられていました。本研究では、このエネルギー状態の時間変化率（時間と共に変化する割合）がわずかに $-264^{\circ}\text{C}$ から $-257^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で急激に変化すること、また、その変化が生じるメカニズムを世界に先駆けて明らかにしました。これは従来考えられていた宇宙における化学進化の理解に一石を投じる成果です。

本研究は、Physical Review LettersのEditors' Suggestionに選ばれました。

### 論文発表の概要

研究論文名：Surface Temperature Dependence of Hydrogen Ortho-Para Conversion on Amorphous Solid Water（アモルファス氷表面における水素分子オルソ-パラ転換の温度依存性）

著者：植田寛和（北海道大学、現：物質材料研究機構）、渡部直樹（北海道大学）、羽馬哲也（北海道大学）、香内 晃（北海道大学）

公表雑誌：Physical Review Letters (American Physical Society)

公表日：米国東部時間 2016年6月22日（水）（オンライン公開）

## 研究成果の概要

### (背景)

水素分子は宇宙で最も存在量の多い分子で、宇宙における多種多様の分子生成に関与しています。水素分子は宇宙空間に浮遊する極低温の氷微粒子上で2つの水素原子が合体して生成します。水素分子を構成する水素原子には原子核が存在し、そのスピンの向きの違いから、水素分子にはオルソとパラという異なるエネルギー状態が存在します(図1)。オルソ状態はパラ状態よりもエネルギーが高いため、より化学反応を促進することができます。したがって、氷微粒子上で生成した水素分子がどちらのエネルギー状態で宇宙空間に放出されるかは、その後の多くの分子生成(分子進化)に大きく影響します。このエネルギー状態は水素分子が一度氷微粒子から放出されると変化しないため、氷微粒子上での状態変化の有無に大きな関心が向けられていました。最近の研究から、氷微粒子上でオルソ状態からパラ状態に変化すること自体は分かってきましたが、状態の時間変化率が氷微粒子の温度とともにどう変化するのか、また、そのメカニズムについては未解明でした。こうした知見は宇宙における分子進化を正しく理解するために必要不可欠のものです。本研究では、実験室で宇宙空間に存在する氷微粒子を模擬的に作り、その表面で水素分子のエネルギー状態がオルソからパラに変化する様子(図2)を、様々な温度で観測することに初めて成功しました。

### (研究手法)

低温科学研究所で独自に開発した真空実験装置内(図3)に、宇宙に浮遊する極低温( $-263^{\circ}\text{C}$ 程度)の氷微粒子表面を再現し、そこへ水素分子を付着させました。付着から一定時間の後、弱いレーザー光で表面上の水素分子を真空中に蒸発させ、蒸発した水素分子のエネルギー状態を色素レーザーを用いて分析しました。このようにして、オルソ及びパラのエネルギー状態に存在する分子数比(オルソ/パラ比)の時間変化をモニターすることが可能になりました。この測定を、氷表面温度を変えて繰り返し、エネルギー状態の時間変化率の温度依存性を得ました。

### (研究成果)

極低温の氷表面で、水素分子のオルソ/パラ比は時間とともに減少し、低いエネルギー状態のパラの割合が増加しました。オルソ状態からパラ状態への時間変化率を氷表面温度 $-264^{\circ}\text{C}$ から $-257^{\circ}\text{C}$ の範囲で測定したところ、測定範囲のわずか $5^{\circ}\text{C}$ の違いで、変化率が急激に上昇することが分かりました。この温度依存性から、エネルギー状態の変化率を支配する物理機構が明らかになりました。宇宙では水素分子が氷微粒子表面で生成したときの氷の温度や、水素分子が氷微粒子から宇宙空間に放出されるタイミングによって、水素分子のエネルギー状態が異なることが本研究により初めて明らかになりました。本研究は、宇宙における分子進化のスタートラインである水素分子のエネルギー状態と、その状態を決定するメカニズムを提示した画期的なものです。

### (今後への期待)

水素分子が氷微粒子表面で生成し、初めて宇宙空間に放出される際のエネルギー状態は、その後続く分子進化に決定的な意味を持ちます。これまで、そのエネルギー状態の変化率は氷微粒子の温度に関わらず一定であると考えられてきましたが、本研究によりそれが間違いであったことが分かりました。この結果は、従来の分子進化モデルの再構築を促し、宇宙における分子の生成・進化の研究に新たな展開をもたらすことが期待されます。

## お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学低温科学研究所 教授 渡部 直樹（わたなべ なおき）

TEL：011-706-5501 FAX：011-706-7142 E-mail：watanabe@lowtem.hokudai.ac.jp

ホームページ：http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/

### 【参考図】

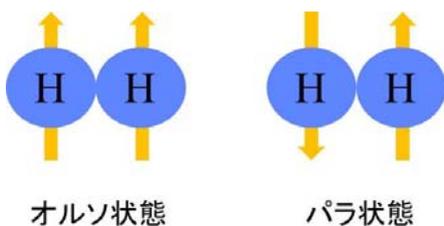


図1 水素分子の2つのスピン・エネルギー状態  
水素分子は2つの水素（H）原子核から構成される。原子核はコマのように自転（スピン）しており、その向きの組み合わせの違いからオルソとパラと呼ばれる2つの異なるエネルギー状態が存在する。オルソ状態はパラ状態より高いエネルギーを有する。

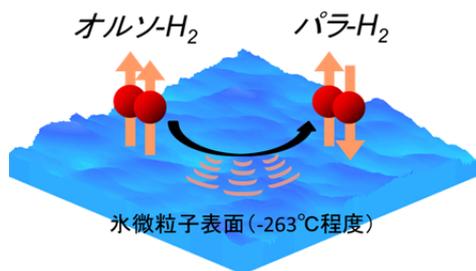


図2 極低温氷微粒子表面での水素分子の状態変化（イメージ図）

宇宙空間に浮遊する極低温の氷微粒子表面で、オルソ状態の水素分子はエネルギーを氷に逃がすことにより、よりエネルギーの低いパラ状態に時間とともに変化する。



図3 低温科学研究所で開発し、本研究に用いた実験装置