

星間粒子のヘリウム捕獲場所と捕獲機構をはじめて解明

～銀河中の星間粒子の起源と進化の関係の解明に期待～

ポイント

- ・ 星間粒子中のヘリウム分布の 3 次元分析に成功。
- ・ SiC 星間粒子が AGB 星後期の 100 万年の間に誕生し惑星状星雲中心星の星風を受けたことを解明。
- ・ 銀河内の星間粒子の一生と恒星の一生との関係の理解の進展に期待。

概要

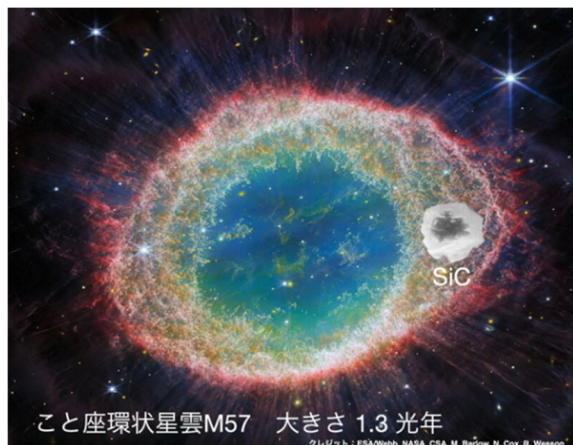
北海道大学大学院理学研究院の馬上謙一助教と圀本尚義教授、米国ワシントン大学の甘利幸子教授らの研究グループは、炭素質隕石中に残存していた SiC^{*1} 星間粒子^{*2} 中のヘリウム原子の 3 次元分布をナノメータースケールの分解能で分析することに成功し、個々の星間粒子の一生において、いつ・どこで・どのようにしてヘリウム原子を捕獲したのかを解明しました。

銀河系の星間粒子は、惑星を作る原材料の一つです。地球を作った星間粒子はコンドライト^{*3} 隕石中に数千分の 1～数万分の 1 の割合で含まれています。SiC は隕石中で最も多量に見つかる星間粒子の一つです。SiC 星間粒子には最大 1% のヘリウム原子が含まれています。SiC はヘリウム原子を成分にできないので、なぜこれほどの多量のヘリウム原子が含まれているのか謎でした。

本研究では、ヘリウムの 3 次元分析ができる分析装置を世界ではじめて開発し、ヘリウムが SiC 星間粒子の表面直下約 100 ナノメートルの層に濃縮していることを突き止めました。このことからヘリウムは惑星状星雲中心星^{*4} から噴き出した星風^{*5} が捕獲されているものであることが判明しました。また、その捕獲量は星間粒子により非常に異なっており、そのバリエーションからヘリウムの捕獲場所は、中心星より、ある粒子は 0.3 光年の地点、別の粒子は 30 光年の地点というように粒子毎にバラバラであることも分かりました。その上、この捕獲場所の違いは、ヘリウムを多く捕獲した時の粒子の年齢に対応し、その獲得年齢は 2 万歳から 100 万歳の間で粒子により異なることが分かりました。

以上の成果は、SiC 星間粒子が AGB 星^{*6} 時代後期の 100 万年の間に AGB 星の周りで誕生し、その後、惑星状星雲中心星から星風を受け、星間空間へと拡散したことを示しています。星間粒子には超新星^{*7} 起源のような他の恒星起源のものもあるので、この研究手法を応用することにより、銀河の中の星間粒子の進化と恒星の進化との関係の理解が総合的にできるようになることが期待されます。

なお、本研究成果は、2025 年 10 月 14 日（火）公開の Nature Communications 誌に掲載されました。



こと座環状星雲 M57 において SiC 星間粒子が惑星状星雲中心星の恒星風を受けているポンチ絵。本研究では、本ポンチ絵のような場所で恒星風を受けた太陽系形成以前の SiC 粒子が見つかった。図中の SiC 粒子の実際の大きさは約 3 μm である。環状星雲 M57 画像のクレジット：ESA/Webb, NASA, CSA, M. Barlow, N. Cox, R. Wesson

【背景】

銀河系中の星間粒子は、惑星を作る原材料の一つです。現在の星間粒子を採取し実験室中で分析することは困難ですが、地球を作った星間粒子はコンドライト隕石中に数千分の1～数万分の1の割合で含まれています。SiC 星間粒子は隕石中で最も多量に見つかる星間粒子の一つで、主に AGB 星と呼ばれる星の周りで誕生します。AGB 星は宇宙で最も多量に星間粒子を作る製造工場と言われています。SiC 星間粒子には最大1%のヘリウム原子が含まれています。SiC はヘリウム原子を成分にできないので、なぜこれほど多量のヘリウム原子が含まれているのか謎でした。

【研究手法】

本研究では、分析装置 LIMAS を用いました（図1）。LIMAS は2次中性粒子質量分析計の一種で、日本電子株式会社と共同開発をした分析装置です。これは、ヘリウムの3次元分析をナノメートルスケールの分解能で実現した世界初の装置です。分析方法は、1ミクロンに細く絞ったガリウムビームで星間粒子表面を走査します。そうすると、表面直下の原子が飛び出します。飛び出した中性原子に集光したフェムト秒レーザー光をあてると、トンネルイオン化が起こり、イオンになります。そのイオンをビーム走査の順番に質量分析して並べていくと、原子の3次元分布地図ができてきます。LIMAS の特徴は、これまでできなかったヘリウムの局所分析ができることです。

研究に用いた SiC 星間粒子は、フッ酸等を用いて約80gのマーチソン炭素質コンドライト隕石を溶かし、僅かに残る溶け残りの中から抽出しました。本研究には、その抽出物の中から比較的大粒（2～3μm）の粒子を15個選び、分析しました。

【研究成果】

3次元分析によりヘリウムが SiC 星間粒子の表面下約100ナノメートルの層に濃縮していることを突き止めました（図2）。このことから粒子中のヘリウムは惑星状星雲中心星から吹き出した高速の星風がイオン注入され、捕獲されているものであることが判明しました（p1図）。また、その捕獲量は星間粒子により異なっており、そのバリエーションからヘリウムの捕獲場所は中心星より0.3光年から30光年の地点と個々の粒子毎にバラバラであることも分かりました。この捕獲場所の違いは、ヘリウムを多く捕獲した時の粒子の誕生からの年齢を表しています。解析の結果、その時の年齢は、2万歳から100万歳と粒子により違うことが分かりました。

【今後への期待】

以上の成果は、SiC 星間粒子が AGB 星時代後期の100万年の間に AGB 星の周りで誕生し、その後、惑星状星雲中心星から星風を受け、星間空間に拡散したことを示しています。星間粒子には超新星起源のような他の種類の恒星起源のものもあるので、この研究手法を応用することにより、銀河の中の星間粒子の進化と色々な恒星の進化との関係の理解が総合的にできるようになることが期待されます。

【謝辞】

本研究で使用した分析装置 JEOL LIMAS は、JST 先端計測分析技術・機器開発プログラムにより、石原盛男博士・内野喜一郎教授・日本電子株式会社と共同開発したものです。本研究は JSPS 科研費 JP21H04985 の助成を受けたものです。

論文情報

論文名 History of individual presolar SiC grains revealed by stellar winds (恒星風により解明された個々の先太陽系 SiC 粒子の生い立ち)
著者名 馬上謙一¹、和泉 樹¹、大槻悠太¹、甘利幸子²、垾本尚義¹ (¹ 北海道大学大学院理学研究院、² ワシントン大学物理学科・宇宙科学マクドネルセンター)
雑誌名 Nature Communications (科学の総合専門誌)
DOI 10.1038/s41467-025-64216-1
公表日 2025 年 10 月 14 日 (火) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 助教 馬上謙一 (ばじょうけんいち)

T E L 011-706-9174 メール bajo@ep.sci.hokudai.ac.jp

北海道大学大学院理学研究院 教授 垾本尚義 (ゆりもとひさよし)

T E L 011-706-9173 メール yuri@ep.sci.hokudai.ac.jp

U R L <http://vigarano.ep.sci.hokudai.ac.jp>

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】

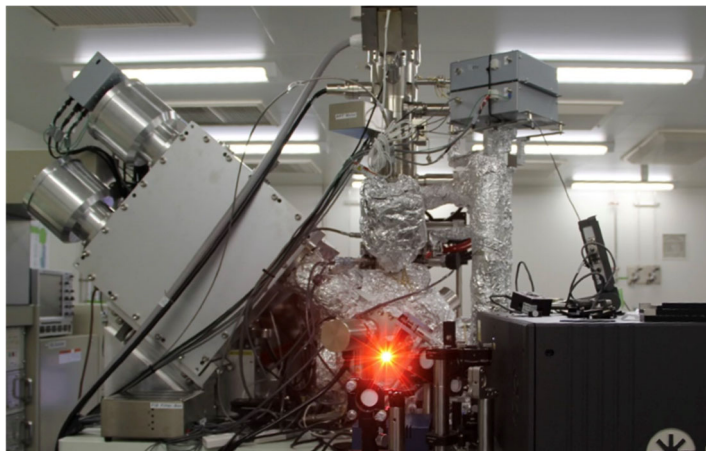


図 1. LIMAS の外観写真。He をイオン化しているフェムト秒レーザーの光が明るく見えている。

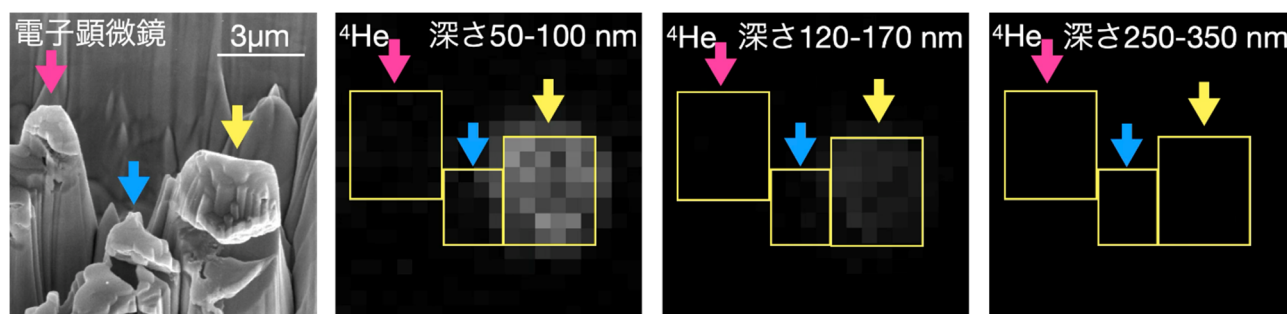


図 2. SiC 星間粒子 3 個のヘリウムの 3 次元分布。粒子毎にヘリウム濃度が異なり、表面下約 100nm の層にヘリウムが濃縮していることが分かる。

【用語解説】

- *1 SiC … ダイヤモンドと同じ結晶構造を持つケイ素と炭素からなる固体。
- *2 星間粒子 … 銀河の星間に存在する固体の粒子。大きさはマイクロメートル以下である。
- *3 コンドライト … 隕石の一種。これまで全体が溶融したことがない小天体由来の岩石。
- *4 惑星状星雲中心星 … AGB 星が進化した恒星の段階。この段階は約 5,000 年間続く。
- *5 星風 … 恒星から吹き出しているプラズマの流れ。太陽の場合は太陽風と呼んでいる。
- *6 AGB 星 … 太陽程度の質量の恒星が進化した段階。この段階は約 250 万年間続く。主系列星、赤色巨星、AGB 星、惑星状星雲の中心星、白色矮星と進化する。
- *7 超新星 … 太陽質量の約 8 倍以上の質量を持つ恒星が進化し、爆発を起こす段階。