



カリフォルニアに落下した炭素質コンドライト隕石を分析 ～希ガス同位体分析から分かったこと～

概要

2012年4月22日にカリフォルニアで隕石による激しい火球発光が約5秒間目撃されました。この隕石は速やかに回収され、CM炭素質コンドライトであることが判明しました。その後、隕石試料は世界中の実績ある研究者らに送付されました。

九州大学大学院理学研究院の岡崎隆司助教らの研究グループは、高性能希ガス質量分析装置を用いて、配付された隕石試料の希ガス同位体分析を行い、この隕石がプレソーラー粒子を含む始原的な物質であること、隕石母天体表面で太陽風の照射を受けたこと、母天体脱出後、約5万年という、大部分のCM炭素質コンドライト隕石に比べて異例に短い期間宇宙空間を漂った後、地球に落下してきたことなどを明らかにしました。

本研究結果は、国際学術雑誌“Science”2012年12月21日号に掲載されます。

(※本研究論文は、40人以上の研究者らによりそれぞれの専門分野における隕石の分析が行われたものです。本リリースは、そのうち本学岡崎隆司助教らの研究グループによって行われた分析結果についての発表となります。)

背景

2012年4月22日にカリフォルニア州において隕石シャワーによる発光と爆音が報告されました。それからわずか2日後に3個の隕石破片がSutter's Millというゴールドラッシュが起こった地域で発見されました。その後、約2ヶ月間の調査によりさらに74の破片が発見され、総質量は943g、破片数77個の隕石が回収され、CM炭素質コンドライト(※1)という種類の隕石であることが判明し、「Sutter's Mill隕石」と命名されました。ドップラー気象レーダー(※2)による落下軌道予測により速やかに回収されたため、地球上での汚染・風化を受けずに研究者達に配付され、反射光分光、磁気測定、岩石鉱物学観察、微量元素分析、Cr同位体分析、軽元素(酸素・窒素・炭素)同位体分析、X線・中性子トモグラフィ、放射性核種分析など、世界中の実績ある研究者が様々な科学分析を開始しました。

内容

九州大学においては、2012年6月、岡崎隆司九州大学大学院理学研究院 助教、武智弘之九州大学理学部4年、長尾敬介東京大学大学院理学系研究科 教授が希ガス同位体分析を行いました。

希ガスは揮発性が高く、宇宙空間や小天体内部での加熱により固体物質から容易に失われます。そのため、希ガス存在度は熱影響を評価する最も敏感なパラメータとなり得ます。また、他の微量元素に比べても固体物質中濃度は低いため、放射性核種の崩壊による新たな同位体の付加にきわめて敏感で、様々な年代測定に応用されています。希ガス同位体組成の変動は放射壊変によるものだけでなく、恒星や超新星爆発、高エネルギー宇宙線との相互作用による元素合成など様々な要因があり、地球外物質にはそれらの異なる起源の希ガスを含む物質が保存されています。(これらの希ガス同位体の特徴をもとにした地球外物質の研究は、探査機「はやぶさ」の持ち帰った試料でも非常に有用であることを証明しており(Nagao et al., Science 333, 2011)、本研究でもSutter's Mill隕石が46億年前の太陽系での誕生から、今年の春、地球に飛来するまでの長い歴史を紐解くのに重要な情報を与えました。)

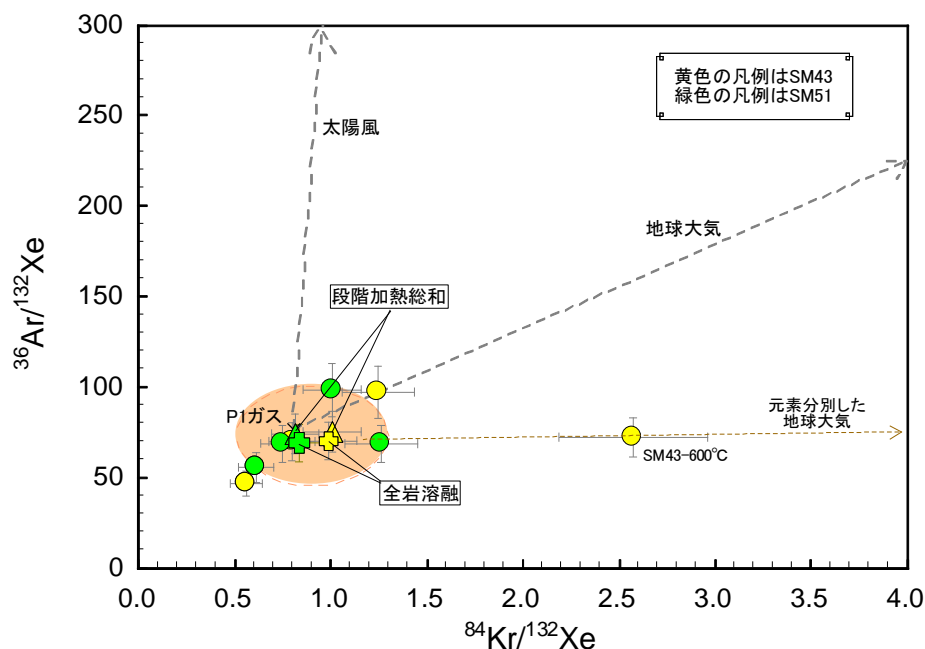
隕石試料として約10mgの2つの破片(SM43、SM51)がカリフォルニア大学から九州大学に送付されました。九州大学ではそれぞれの破片をおよそ3分割にし、1つは段階加熱分析(600, 900, 1400, 1800℃で加熱しガスを抽出)、1つは全岩分析(1800℃で一気に加熱しガスを抽出)、1つは

バックアップ用としました。直径 0.5mm 程度の試料(1.6 ~ 4.0mg)を厚さ 10 ミクロンのアルミ箔製のカップ (直径 1mm、長さ 4mm) に入れ、それを直径 1.5mm の球状に丸め、真空加熱炉のサンプルホルダに設置しました (図 1)。アルミに包んだ試料をサンプルホルダ中心の穴から炉の“るつぼ”に落とし、試料を加熱して希ガスの抽出を行いました。



<図 1. アルミ箔カップ(a). 真空加熱炉にセットした試料(b).>

希ガスは He, Ne, Ar, Kr, Xe と 5 元素ありますが、そのうち 3 つの重い元素の存在度比を図 2 に示します。



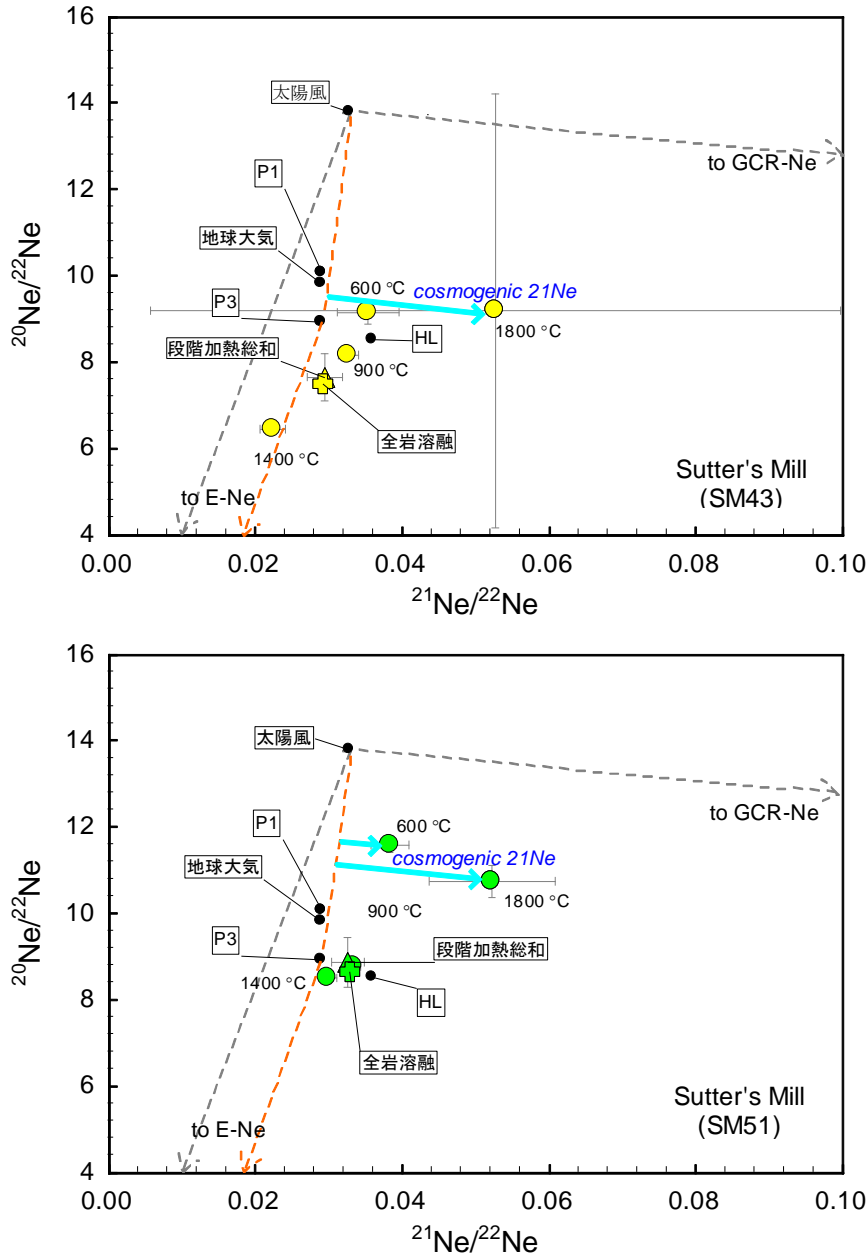
<図 2. Ar, Kr, Xe 元素比.>

Sutter's Mill 隕石中の Ar, Kr, Xe は隕石固有のガス (P1 ガスと呼ばれる) が大部分を占めていることが分かります。P1 ガスは太陽系星雲のガスが炭素質物質に取り込まれた始原的なガスと考えられており、Sutter's Mill 隕石中の濃度は他の CM 炭素質コンドライト中の濃度とよく一致しています。

一方、SM43 の 600°C では元素分別した地球大気の影響が見られます。試料は分析前に真空中において 150 度で一昼夜加熱して吸着ガスを除去しているため、大気中の酸素や水と反応して 2 次的に形成した物質に内包された大気と推測されます。

Ne 同位体組成からは、プレソーラー・グレイン (※3) に含まれる希ガスや太陽風 (※4) 起源の希ガスが含まれていることが判明しました。図 3 中の P3 や HL で示されるガスはプレソーラー・ダイヤモンド (※5) に含まれる希ガスで、Ne-E はプレソーラー・シリコンカーバイド (※6) に含まれる希ガスです。これらに加えて SM51 では太陽風起源のガスが含まれており、母天体表面での角礫岩化作用 (※7) の際に太陽風照射を経験したことを示唆しています。他の Sutter's Mill 試料 (SM2-5) の X 線回折分析で発見された他天体由来の鉱物 (オルダマイト) も、この角

礫岩化作用の際に取り込まれたと考えられます。



<図 3. Ne 同位体組成.>

これらの太陽系内外由来の始原的希ガスに加えて、ごく僅かですが高エネルギー宇宙線によって生成された Ne (GCR-Ne) も含まれていました。

太陽風と P3 および P3 と Ne-E の混合線からのずれを GCR-Ne (cosmogenic ^{21}Ne の付加) としてその量を見積もると、GCR- ^{21}Ne 濃度は $1.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}$ (※8) となります。数メートルサイズの物体表面での ^{21}Ne 生成率を $2 \times 10^{-9} \text{ cm}^3 \text{ STP/g/百万年}$ とすると、銀河宇宙線照射を浴びた期間 (宇宙線照射年代)、つまり、Sutter's Mill 隕石が母天体から放出され地球に落下するまでの期間はおよそ 5 万年ということになります。CM 炭素質コンドライトの宇宙線照射年代分布は 20 万年、200 万年に 2 つのピークを持ちますが、これらに比べると明らかに短い照射年代を Sutter's Mill 隕石は持つこととなります。おそらく Sutter's Mill 隕石の母天体の軌道が CM 炭素質コンドライト特有の公転軌道に進化する前に Sutter's Mill 隕石が母天体から放出されたため、他の CM 炭素質コンドライトとは異なる短い照射年代を持つようになったと考えられます。この短い照射年代は観測から求められた Sutter's Mill 隕石の軌道要素が他の CM 炭素質コンドライトのものとは比べて特異的であることと関連していると思われる。

■効果・今後の展開

科学分析の結果、Sutter's Mill 隕石は 2014 年打ち上げ予定の「はやぶさ 2」探査機の目標天体である 1999JU₃ と同類の CM 炭素質コンドライトであることが判明しました。酸化的な CM 炭素質コンドライト隕石の母天体では生成されない特殊な鉱物が Sutter's Mill 隕石から初めて発見されましたが、他の CM 炭素質コンドライト隕石からはこれまでにそのような鉱物の報告はなされていません。Sutter's Mill 隕石は落下後すぐに回収され適切な環境で保管されたため、特殊な鉱物が地球の酸素や水と反応して分解する前に発見に至ったと推測されます。

しかし、研究グループの行った希ガス分析においては地球大気の影響が検出されています。太陽系での物質進化を解明するにはどのような起源の希ガスがどの程度含まれているかを調査することが重要で、そのためには地球大気の影響を貴重な試料に極力与えてはなりません。地球上の岩石や水などの天然物や、人工物など様々な目に見えるものの混入だけでなく、目に見えない地球大気さえも地球外物質の分析には影響を与えることが再確認されました。

今後の探査機によるリターンサンプルの取り扱いには十分すぎるほどの配慮が必要となるでしょう。2020 年帰還予定の「はやぶさ 2」が持ち帰る 1999JU₃ 天体の試料からも、これまで我々が目にしなかったような様々な物質が発見され、惑星科学における新たな知見が得られることが大いに期待されます。研究グループは 8 年後を見据え、更なる分析技術の向上に努力し、惑星物質に関する知見をさらに深めて行きます。

■発表雑誌

本分析結果を含む研究論文は、国際学術雑誌“Science”2012 年 12 月 21 日号に掲載されます。

タイトル：Radar-Enabled Recovery of the Sutter's Mill Meteorite, a Carbonaceous Chondrite Regolith Breccia

著者：P. Jenniskens et al. (the Sutter's Mill Meteorite Consortium)

【用語解説】

- ※ 1 CM 炭素質コンドライト：約 46 億年前に形成した隕石の一種。揮発性元素に富み形成後、小惑星イトカワなどのような強い加熱を受けていない。
- ※ 2 ドップラー気象レーダー：アンテナから電波を発射し、物体に当たって返ってきた反射波を観測することで物体の挙動を検知する。雨や雪などの観測に利用される。
- ※ 3 プレソーラー・グレイン：太陽系形成以前に他の恒星や超新星爆発によって形成された粒子。
- ※ 4 太陽風：太陽から恒常的に放出されている荷電粒子。主に水素、ヘリウムからなる。
- ※ 5 プレソーラー・ダイヤモンド：超新星爆発由来と考えられるナノサイズのダイヤモンド微粒子。
- ※ 6 プレソーラー・シリコンカーバイド：主に赤色巨星由来のシリコンカーバイド粒子。粒径は 0.1~10 ミクロンと多様。
- ※ 7 角礫岩化作用：岩石同士の衝突により生じる機械的破砕作用。
- ※ 8 cm³ STP：標準状態 0°C、1 気圧での体積。

【お問い合わせ】

理学研究院 地球惑星科学部門 助教 岡崎 隆司

電話：092-642-2668, 3093

FAX：092-642-2684

Mail：okazaki@geo.kyushu-u.ac.jp