

隕石中の希ガスの主要成分の起源とその宇宙地球化学的示唆
The origin of the main component of
noble gases in meteorite and its cosmo/geochemical implications

松田 准一 (MATSUDA JUN-ICHI)
大阪大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要

隕石中の希ガスは、隕石の中に一様に含まれているのではなく、**Q** という極微量の相に含まれていることが知られている。**Q** は炭素質であることがわかっているが、その化学形態等はよくわかっていない。本研究では、希ガスやラマン分光測定により **Q** がどのような構造の炭素質かを解明し、太陽系の初期形成史を明らかにしようとするものである。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地球宇宙化学

キーワード：隕石化学、希ガス、同位体、**Q**、プレソーラーダイヤモンド、炭素

1. 研究開始当初の背景

希ガスは、化学的に不活性であり、揮発性が高いことから、その挙動は温度圧力などの物理的条件によってのみ支配され、化学反応に関係しないトレーサーとして、惑星の起源や進化といった問題の解明に大きく貢献してきた。しかし、希ガスは隕石の中に一様に分布しているのではなく、**Q** という炭素質の中に偏在している。

2. 研究の目的

この隕石中の希ガスの担体 **Q** は、どのような化学結晶形態の炭素質であるのか、またその希ガス取り込み機構などもよくわかっていない。本研究では、室内実験やさまざまな隕石の物理化学的処理、また希ガスやラマン分光測定などから、**Q** とは何かを解明する。また、その解明を通して、太陽系初期で起こったさまざまな事象に対しての情報を得ようとするものである。

3. 研究の方法

Q は炭素質であることがわかっているため、ラマン分光分析が有益であると思われる。さまざまなタイプの隕石の化学処理、あるいは物理的手段により、**Q** を含む物質を濃縮し、それらの試料について、電子顕微鏡による化学分析、希ガス測定を行う。また、ラマン分光装置をもちいて、バンド位置や半値幅などさまざまなラマン分光パラメータを得て、炭素の結晶形態を探る研究を行う。

4. これまでの成果

1. 化学処理ではなく純粋に物理的な方法で希ガスの濃縮成分を分離する技法は、我々が炭素質隕石であるアレन्दについて世界で初めて見つけたものである。しかし、同じ技法を普通コンドライトに適用すると、同様な物質は得られるものの、希ガスは濃縮していないことがわかった。
2. **Saint Aubin** 鉄隕石中のさまざまな包有物（クロマイト、トロイライト、シュラーバーサイトなど）について、希ガスの元素存在度と同位体比の詳細測定を行った。始源的成分はほとんどなく、**Q** 成分もみられなかったが、シュラーバーサイトだけの中に、宇宙線照射と核分裂起源としても説明できないわけではないが、**Xe-HL** 成分が残っている可能性を指摘した (Nishimura et al., 2008)。
3. タイプ4の隕石は、**HL** 成分がなく、**Q** だけの成分が残っていることが期待されているので、普通コンドライトのタイプ4のいくつかの隕石について、酸処理を行い、残渣を用意した。これについて、全岩と化学残渣の希ガスの元素存在度と同位体比を測定した。**Saratov(L4)**には、確かに **HL** 成分がなく **Q** だけが残っていること、**Q** は全岩の希ガスの約 50%しか担っていないこと、酸処理で溶けた成分が残りの 50%を担っていること、またそれは、**Q** よりも放出温度が高いことなどの結果を得た。この隕石の **Q** と溶解部分の希ガス元素比は、ともにタイプ3の一番高いサブグループ

[4. これまでの成果 (続き)]

の隕石中の **Q** の希ガスの元素比と同じで、**Xe** に比べて **Ar**, **Kr** が選択的に抜けていることがわかった。熱変成では、**Kr**, **Xe** の同位体組成には変化がなく元素比だけが変換すること、また、**Ne-Q** については、 $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ vs $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ の 3 同位体比プロット上で直線上に並ぶこと、この端成分が宇宙線照射成分と **Q** であるが、従来の **Ne-Q** の点とは異なり、**Ne-HL** 側によることがわかった。この原因として、(1) 熱変成の時に **Ne-HL** を取り込んだ。(2) **Ne** の脱ガスの際のレーラー過程による。(3) 最初からいろいろな種類の **Ne-Q** があったという 3 つの説が考えられるが、**Ne-Q** の値と隕石のタイプに相関がないことから、(3) がもっともらしいとした。この結果については、*Meteoritics & Planetary Science* に投稿し、現在改訂版を作成中である (Matsuda et al., 2009)。

4. 普通コンドライトの Hamlet(LL4) の化学残渣については、希ガスの元素存在度と同位体比の測定を行ったが、プリソーラグラフアイトが担う **Ne-E** の存在が認められたので、現在それを確認中である。
5. アレンデ隕石について、我々の開発した物理的手段により作成した **Q** に富む試料について、希ガス測定とラマン分光測定を行った。バンド位置や半値幅などさまざまなラマン分光のパラメーター値が測定の際のレーザーの励起エネルギーに関係することがわかった。希ガスデータとそれらラマン分光データとの比較から、もっとも **Q** に富む炭素物質のラマン分光学的特性を決定した。その結果、励起エネルギーの低い状態では、ラマンスペクトルのさまざまなパラメーターに大差はないが、大きい励起エネルギーで測定すると、照射の際の熱の影響で大きく別れることが判明した。**Q** に富む炭素物質は、グラフアイト構造をしていること、またその結晶サイズが大きいなどの情報を得た (Matsuda et al., 2009)。
6. C1 コンドライトであるオルゲイユ隕石について、ピリジンで処理すると低温成分の **Q** がなくなるとの報告をフランスのグループが行っているが、スイスのグループは他の隕石ではそのようなことがなかったと報告している。これについて、追試を行った。その結果、希ガス含有量がピリジン処理によって、確かに元素存在度が減少することを確認した。

5. 今後の計画

今後は、現在準備中の論文を仕上げるとともに、さまざまな普通コンドライトの化学残渣のラマン分光測定を行うこと、また他の鉄隕石のシュライバーサイトについて、**HL** 成分の有無を調べる。また、これらの研究を総合して、**Q** の解明を行う計画である。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む) (研究代表者は太字、研究分担者は二重下線、連携研究者は一重下線)

Matsuda J., Morishita K., Nara M. and Amari S. (2009) Raman Spectroscopic study of the noble gas carrier **Q** in the Allnede meteorite. *Geochem. J.* (in press).

Nishimura C., **Matsuda J.** and Kurat G. (2008) Noble gas contents and isotope abundances in phases of the Saint-Aubin (UNGR) iron meteorite. *Meteorit. Planet. Sci.* 43, 1333-1350.

Matsuda J., Nara M. and Amari S. (2008) Raman spectroscopic feature of the noble gas carrier **Q** in meteorite. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 72, A604.

Matsuda J. (2007) On the error paradox at the radiogenic age determination. *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.* 55, 375-377.

Miyakawa C., Matsumoto T. and **Matsuda J.** (2007) The effect of the collector in the precise measurement of Ar isotopic ratios. *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.* 55, 378-380.

Matsuda J., Matsuo M., Nara M. and Nishimura C. (2007) On the physical separation of a small fraction of noble gases for MWA2086 (CV3). *Meteoritics & Planetary Science*, 42, A99.

Matsuda J., Maruoka T. and Maruta S. (2007) The diurnal variation of carbon isotopic ratios of carbon dioxide in human breath. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 71, A636.

Matsuda J., Matsuo Y., Nishimura C. and Amari S. (2006) Continued search for **Q** in different types of meteorites by the physical separation. *Meteoritics & Planetary Science*, 41, A115.

Matsuda J., Akane A. and Nishimura C. (2006) Noble gas features of two desert meteorites, Dhofar008 and Northwest Africa 869. *Meteoritics & Planetary Science*, 41, A210.

2006 年 Meteoritical Society の Fellow

2007, 2009 年大阪大学教育・研究功績賞受賞