

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14539

研究課題名（和文）火星隕石のウラン - 鉛年代系の再検討

研究課題名（英文）Reassessment of uranium-lead systematics in the Martian meteorites

研究代表者

森脇 涼太（Moriwaki, Ryota）

千葉工業大学・地球学研究センター・研究員

研究者番号：40832019

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：火星由来の玄武岩であるシャーゴットイト隕石の地球化学的研究により、その親マグマを生成した火星マントル中のソースリザーバーの情報が得られる。本研究では、火星マントルの化学進化プロセスの解明を目的として、シャーゴットイト隕石の鉛同位体組成分析を行った。これまでの研究から、火星マントル中には鉛同位体的な不均質が存在していることが明らかとなった。この地球化学的な不均質は、火星マントル中に存在する2つの端成分リザーバー間の混合によって形成されたと考えられる。この結果は、火星マグマオーシャンの固化後のマントル対流が、火星マントルが均質化される前に停止したことを示す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

火星は原始惑星の特徴を保持していると考えられており、太陽系初期の物質進化プロセスを理解するうえで重要な研究対象である。本研究では、これまで困難であったシャーゴットイト隕石の高精度鉛同位体組成分析を行うことで、初期分化時に形成された火星マントル中の地球化学的不均質を鉛同位体的な観点から明らかにした。新たに鉛同位体組成からの制約が与えられたことにより、火星マグマオーシャンにおける分化プロセスについてより詳細な議論が可能になる。このことから、本研究の成果は地球型惑星の初期進化プロセスの解明に貢献するものであると期待される。

研究成果の概要（英文）：Geochemical study of the shergottites, Martian basalts, provides information about signatures of their source reservoirs in the Martian mantle. I conducted lead isotope analysis of the shergottite meteorites in order to identify geochemical signatures of the Martian mantle. My efforts shed light on the geochemical heterogeneity in the Martian mantle in terms of lead isotope systematics. This geochemical heterogeneity formed by mixture between two end-member reservoirs in the Martian mantle. This result suggest that convection after the Martian magma ocean solidification stopped before the Martian mantle completely homogenized.

研究分野：宇宙地球化学

キーワード：火星隕石 シャーゴットイト 火星マントル 鉛同位体

1. 研究開始当初の背景

初期太陽系における惑星形成および分化プロセスの解明は、現代の宇宙地球化学分野に残された大きな課題である。活発なマントル対流等によって惑星初期の情報が消失している地球とは異なり、火星は現在でも太陽系原始惑星の特徴を保持していると考えられており、太陽系初期の物質進化を理解するうえで非常に重要な研究対象である。火星由来の玄武岩であるシャーゴットイト隕石は、その親マグマを生成した火星マントル内に存在するソースリザーバーの特徴を反映する。そのため、シャーゴットイト隕石の地球化学的研究により、火星マントルの形成プロセスや、現在に至るまでの化学進化に関する知見が得られる。

惑星マントルの詳細な地球化学的研究には、複数の放射壊変系を組み合わせる議論を行うことが必要不可欠である。ウラン-鉛壊変系は、地球岩石試料の研究には幅広く用いられてきたが、火星隕石試料への応用は限定的であった。火星隕石の鉛同位体組成は、地球落下後の汚染や火星表層での変質作用による影響を受け易く、火星マントル内のソースリザーバーの鉛同位体組成を決定することが困難であった。本研究では、火星隕石試料からソースリザーバーの組成を反映する成分を抽出し分析を行うことで、ウラン-鉛壊変系に基づく火星マントルの化学進化の解明を目指す。

2. 研究の目的

本研究の目的は、シャーゴットイト隕石試料にウラン-鉛壊変系を適用し、火星マントルの化学進化を明らかにすることである。シャーゴットイト隕石の鉛同位体分析に基づき、同位体初生値およびソースリザーバーの μ 値 ($^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$) 比を決定する。これらのデータをルビジウム-ストロンチウム壊変系などの他の壊変系から得られたデータと比較することで、火星マントルリザーバーの地球化学的特徴を明らかにする。

3. 研究の方法

シャーゴットイト隕石は、その地球化学的特徴から Depleted, Intermediate, Enriched の3グループに分類される(Fig.1, [1])。本研究では、シャーゴットイト隕石の地球化学的多様性をカバーするように試料を選択した。

それぞれのシャーゴットイト隕石試料について全岩粉末試料を作製し、地球汚染成分および火星表層成分を除去するために段階的酸処理法による酸分解を行った[2]。得られた5つの抽出液と残留物について微量元素濃度の測定、鉛およびストロンチウム同位体組成の測定を実施した。微量元素濃度の測定には東京工業大学理学院地球惑星科学系所有の四重極型 ICP-MS (iCAP TQ, Thermo-Fisher Scientific) を使用した。鉛同位体比の測定には同系所有の TIMS (Triton-plus, Thermo-Fisher Scientific) を、ストロンチウム同位体組成の測定には千葉工業大学次世代海洋資源研究センター所有の TIMS (Triton-plus, Thermo-Fisher Scientific) をそれぞれ使用した。得られた鉛およびストロンチウム同位体組成の年代補正計算により、各シャーゴットイト隕石試料の同位体初生値を決定した(Fig.2)。

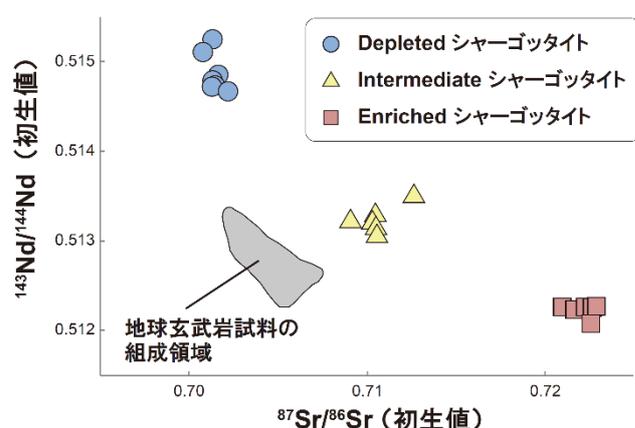


Fig.1 シャーゴットイト隕石の初生ストロンチウム同位体組成とネオジウム同位体組成に基づく分類。地球の玄武岩試料の組成範囲との比較

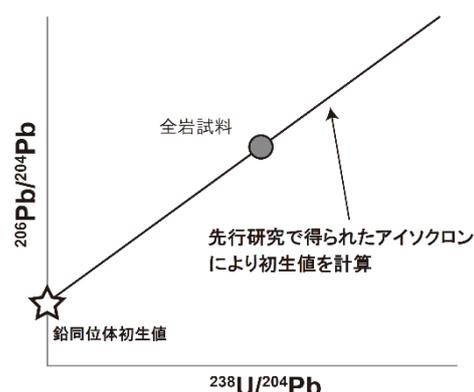


Fig.2 全岩試料同位体組成を使用した年代補正計算による同位体初生値の計算方法の模式図

4. 研究成果

Enriched に分類される NWA 6963, NWA 13289 の鉛同位体組成は、先行研究で報告されている同分類のソースリザーバーの組成に近い値を示した。一方で、Intermediate に分類される NWA 6234 からは、放射性起源の鉛に枯渇した特徴を持つ初生同位体比が得られた ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 12.551$,

$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 12.744$)。先行研究で報告されているシャーゴッタイトソースリザーバーの鉛同位体組成の中に、この組成と一致するものはなく、Intermediate シャーゴッタイトのソースリザーバー固有の鉛同位体組成が初めて明らかになったといえる。これらの組成は Depleted シャーゴッタイトのソースリザーバーの鉛同位体組成とは大きく異なっており (Fig.3)、シャーゴッタイトソースリザーバーの地球化学的な多様性が、鉛同位体の観点からも明らかになった。

2段階の火星マントル進化モデルに基づき[3]、得られた初生ストロンチウム同位体組成と初生鉛同位体組成から、それぞれ各ソースリザーバーの $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比と μ 値の計算を行った。Enriched に分類される NWA 6963 と NWA 13289 のソースリザーバーについては、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比と μ 値ともに先行研究で報告されている Enriched ソースリザーバーの組成範囲と誤差範囲で一致した。Intermediate に分類される NWA 6234 について、ソースリザーバーの μ 値は 3.23 ± 0.02 と計算され、これは先行研究で報告されている Intermediate である LAR 77005 のソースリザーバーの μ 値 ($\mu = 3.5 \pm 0.4$) と誤差範囲で一致する。一方で、NWA 6234 のソースリザーバーの $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比は LAR 77005 と一致しなかった。先行研究では、Intermediate ソースリザーバー内の Rb/Sr, Sm/Nd, Lu/Hf 比の不均質が報告されている[4]。また、Depleted ソースリザーバー内には地球化学的な不均質が報告されている[3]。今後の研究により Intermediate ソースリザーバー内の Pb 同位体的な不均質についても検討する必要がある。

$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 図および μ 値 - $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 図において Intermediate ソースリザーバーの組成は Enriched, Depleted の中間的な組成を示した。この結果は、Enriched, Intermediate, Depleted の3つのソースリザーバーが、火星マントル内の2つの端成分リザーバー間の混合作用によって形成されたことを示唆する。火星の集積直後には、惑星全体が溶融するマグマオーシャンの状態になっていたと考えられている[5]。このマグマオーシャンが固化する過程では、早い段階で固化した集積結晶リザーバーが地球化学的に枯渇した特徴を持ち、最後に固化した分化残液を起源とするリザーバーは地球化学的に富む特徴を獲得する。これまでの研究では、前者のマグマオーシャンからの集積結晶が Depleted シャーゴッタイトのソースリザーバーであり、後者の分化残液が Enriched シャーゴッタイトのソースリザーバーを反映すると考えられていた。本研究で得られた結果は、マグマオーシャン固化後に、この2つのリザーバー間でマントル対流による混合が起きていたことを示す。火星マントル分化後には、地球と同様にマントル対流が発生していたが、火星マントルが均質化される前にこの対流が停止したために、火星マントル中に地球化学的な不均質が残されたと考えられる。

これらの成果については、2023年度日本地球化学会第70回年会および55th Lunar and Planetary Science Conference で発表を行った。

これらの成果については、2023年度日本地球化学会第70回年会および55th Lunar and Planetary Science Conference で発表を行った。

[参考文献]

- [1] Debaille V. et al. (2007) Nature 450, 525–528. [2] Moriwaki R. et al. (2017) EPSL 474, 180–189. [3] Moriwaki R. et al. (2020) GCA 274, 157–171. [4] Lapen T.J. et al. (2017) Sci. Adv. 3, Issue 2. [5] Borg, L. E. and Draper, D. S. (2003) MAPS 38, 1713–1731.

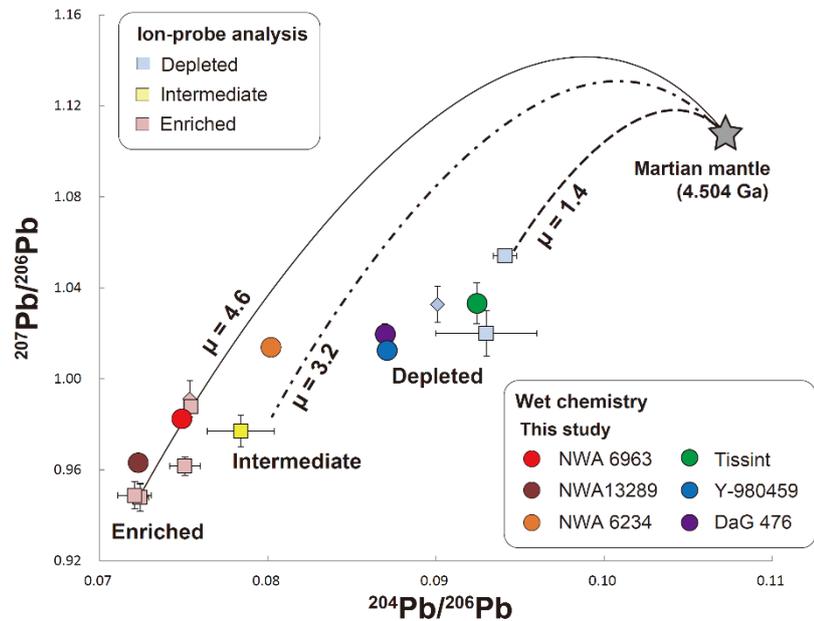


Fig.3 シャーゴッタイト隕石の鉛同位体初生値と各ソースリザーバーの μ 値。先行研究で報告されている組成も同様に示す。

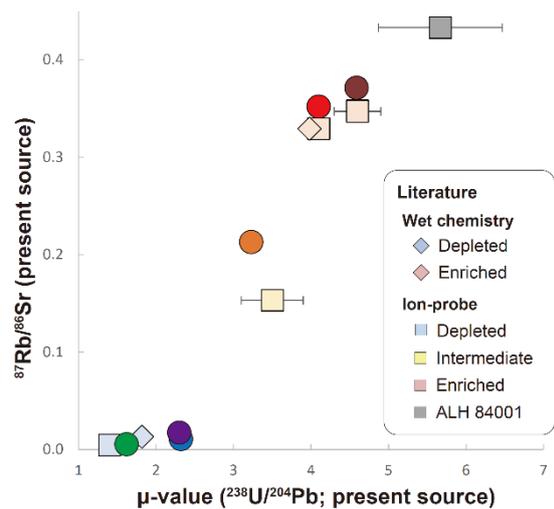


Fig.3 各ソースリザーバーにおける μ 値と $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比の比較。シンボルは Fig.3 と同様

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 森脇涼太、町田嗣樹、横山哲也 |
| 2. 発表標題 シャープゴットタイト隕石のSr-Pb同位体組成分析に基づく火星マントルの地球化学的不均質の成因考察 |
| 3. 学会等名 2023年度日本地球化学会第70回年会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Moriwaki, R., Machida, S., Yokoyama, T. |
| 2. 発表標題 Lead and strontium isotope systematics of shergottite meteorites: Implications for geochemical heterogeneity in the Martian mantle. |
| 3. 学会等名 55th Lunar and Planetary Science Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2024年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|