

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 25 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22340167

研究課題名（和文）

火星隕石シャーゴッタイトの同位体年代学研究

研究課題名（英文）

Chronological study of martian meteorites, shergottites

研究代表者

三澤 啓司 (MISAWA KEIJI)

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号：70212230

研究成果の概要（和文）：

玄武岩-バデレライト試料について衝撃加熱実験を行った。衝撃変成バデレライトのウラン-鉛系では、年代が完全にリセットする擾乱は認められなかった。RBT 04261 火星隕石中のバデレライトのウラン-鉛年代は 2 億年であることが明らかになり、火星ではつい最近まで火成活動があったと解釈された。この結果は、これまでのルビジウム-ストロンチウム、サマリウム-ネオジウム、ルテチウム-ハフニウム同位体年代解釈の妥当性を支持し、鉛-鉛年代 41 億年が火山活動を記録しているという主張を否定した。また、火星地殻由来の鉛の混入により鉛-鉛年代が古くなっている可能性を指摘した。

研究成果の概要（英文）：

Shock-recovery and annealing experiments on basalt-baddeleyite mixtures were undertaken to evaluate shock effects on U-Pb systematics of baddeleyite. Complete radiogenic lead loss due to shock metamorphism and subsequent annealing was not observed in the baddeleyites studied here. In order to address the timescale over which Mars was geologically active, we have undertaken U-Pb studies on baddeleyite in the Roberts Massif 04261 shergottite. In situ U-Th-Pb isotopic analyses of baddeleyite yield a young ^{238}U - ^{206}Pb age of ~ 200 Ma. The present results imply that Martian magma was still forming only 200 Ma ago, and that Mars had been geologically active until the recent past. The present results confirm the previous Rb-Sr, Sm-Nd and Lu-Hf systematics but conflict with the Pb-Pb ages of 4.1 Ga for shergottites by the Lyon group, possibly due to Martian crustal component(s) which might have been incorporated into constituent phases of shergottites during shock metamorphism.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2011 年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2012 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	10,900,000	3,270,000	14,170,000

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：同位体・放射年代・火星

1. 研究開始当初の背景

(1) Bouvier et al. (2005, 2008; 以下フランスリヨングループ) は、「シャーゴッタイトの結晶化年代は、41億年 (鉛-鉛年代) であり、1.7から5.8億年という若い年代は、水質変成によって同位体系がリセットした変質年代である」という新しい解釈を示した。リヨングループはリン酸塩鉱物 (ウラン、トリウム、希土類元素の担体) の変成を重要視しているが、斜長石のルビジウム-ストロンチウム系とバデレアイトのウラン-鉛系については、衝撃変成による同位体系のリセットという別の要因を提案している。しかし、シャーゴッタイトのリン酸塩鉱物には水質変成を受けた証拠、輝石-斜長石のウラン-鉛系は擾乱がないと結論づける根拠は示されていない。41億年という鉛-鉛年代は、見かけの年代と結論できるのか?この疑問に答えるためには、衝撃変成、水質変成が同位体系にどのような影響を与えるのかを明らかにしなければならない。バデレアイトは、結晶化の際にウランを取り込み鉛は取り込まないため、ウラン-鉛、鉛-鉛同位体系により火星隕石の結晶化年代を求めることが出来る。しかし、火星隕石中のバデレアイトは、粒径が10 μm 程と小さいうえウラン含有量が少ないことから、ウラン-鉛同位体分析はほとんど行われてこなかった。

2. 研究の目的

本研究は、火星隕石の岩石鉱物学および同位体年代学に基づき、火星地殻の形成および変成年代を明らかにし、火星地殻-マンツルの分化過程を解明することをめざす。これまでに公表された火星隕石のルビジウム-ストロンチウム、サマリウム-ネオジウム、ルテチウム-ハフニウム年代は、1.7から5.8億年と若い。しかし、同じ火星隕石の鉛-鉛年代は41億年と古い (Bouvier et al., 2005, 2008)。同位体系によるこの年代の違い

が、水質変成作用や衝撃変成作用に関連した流体包有物に起因するものなのか、あるいは衝撃変成と水質変成の直接的な影響なのか、そして最終的に火星地殻を構成する若い岩石があるのか、本研究では岩石鉱物学、同位体年代学、地球化学的手法を駆使して明らかにする。Zagami隕石に存在する分化残液を代表するオリビンに富む岩相について、ルビジウム-ストロンチウム、サマリウム-ネオジウム年代を求め、火星地殻の形成年代を高精度で決定する。

3. 研究の方法

- (1) ハワイ玄武岩と年代既知の南アフリカ産バデレアイトの混合物に24-57 GPa程度の衝撃圧を加え、回収試料中のバデレアイトのウラン-鉛年代を測定し、出発物質のバデレアイトの年代と比較する。
- (2) 衝撃実験 (47 GPa) により結晶構造に損傷を与えたバデレアイト-玄武岩試料を、酸素分圧をコントロールした電気炉内で1-3時間、1000~1300°Cで加熱し冷却する。バデレアイトのウラン-鉛年代を再度測定し、加熱による同位体系への影響を探る。
- (3) 火星隕石RBT 04261の衝撃変成作用について検討し、バデレアイトのウラン-鉛年代を求める。
- (4) Zagami隕石から新たに見つかった鉄に富みオリビンを含む岩相について、岩石鉱物学記載を行い、ルビジウム-ストロンチウム、サマリウム-ネオジウム、アルゴン-アルゴン年代を求める。これまで報告されていた3つの岩相 (細粒、粗粒、暗色) の岩石鉱物学と同位体年代と比較し、新しい岩相の起源を議論する。

4. 研究成果

- (1) バデレアイト-玄武岩の衝撃実験から、57

GPaの衝撃圧ではバデレイトのウラン-鉛系はリセットしないことが示された (Niihara et al., 2009)。

(2) 1300°Cまで加熱した衝撃実験 (47 GPa) 試料中のバデレイトのウラン-鉛同位体系は、放射起源鉛の50%損失、あるいはウランの損失が認められた。しかし、バデレイトのウラン-鉛系を完全にリセットする放射起源鉛の100%損失は、認められなかった。バデレイトの衝撃変成、加熱実験結果から、バデレイトのウラン-鉛同位体系は容易にリセットされないことが明らかになった。

(3) 火星隕石RBT 04261中のバデレイトのウラン-鉛同位体年代学研究から、シャーゴッタイトの結晶化年代は41億年ではなく1.7-5.8億年であることが明らかになった (Niihara, 2011)。

(4) Zagami隕石から見つかった鉄に富みオリビンを含む岩相のアルゴン-アルゴン年代は~1.8億年、オリビンを含む岩相の起源物質は、細粒、粗粒、暗色岩相の起源物質と $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が異なること、火星の火山活動ではマグマの混合あるいは火星地殻物質の同化作用がこれまで考えられていた以上に重要であることが明らかになった (Niihara et al., 2012; Nyquist et al., 2012; Misawa et al., 2012; Park et al., 2013)。

本研究によって得られた成果は、火星の火成活動を理解するうえで重要な制約を与える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

1. Yoneda S., Hidaka H., Machida S., Yokoyama T., Misawa K., Sasaki. S., Kanazawa N. (2012) Special features of the new thermal ionization mass spectrometer installed at the National Museum of Nature and Science, and their precision, reproducibility and long term stability

on isotopic ratio measurements. *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci. Ser. E*, **35**, 1-6. 査読有

2. Niihara T., Kaiden H., Misawa K., Sekine T., Mikouchi T. (2012) U-Pb isotopic systematics of shock-loaded and annealed baddeleyite: Implications for crystallization ages of Martian meteorite shergottites. *Earth Planet. Sci. Lett.* **341**, 195-210, doi:10.1016/j.epsl.2012.06.002. 査読有
 3. Niihara T. (2011) Uranium-lead age of baddeleyite in shergottite Roberts Massif 04261: Implications for volcanic activity on Mars. *J. Geophys. Res.* **116**, E12008, doi:10.1029/2011JE003802. 査読有
 4. Hiroi T., Kaiden H., Misawa K., Niihara T., Kojima H., Sasaki. S. (2011) Visible and near-infrared spectral survey of Martian meteorites stored at the National Institute of Polar Research. *Polar Sci.* **5**, 337-344, doi:10.1016/j.polar.2011.06.002. 査読有
 5. Niihara T., Imae, N., Misawa K., Kojima H. (2011) Petrology and mineralogy of shock-melted H chondrites, Yamato-791088 and LaPaz Ice Field 02240. *Polar Sci.* **4**, 558-573, doi:10.1016/j.polar.2010.08.003. 査読有
 6. Shih C.-Y., Nyquist L.E., Reese Y., Misawa K. (2011) Sm-Nd and Rb-Sr study of ilmenitic shergottite Yamato 984028. *Polar Sci.* **4**, 515-529, doi:10.1016/j.polar.2010.05.004. 査読有
- [学会発表] (計 15 件)
1. Park J., Herzog G.F., Nyquist L.E., Lindsay F., Turrin B., Swisher III, C.C. Delaney, J.S., Shih C.-Y., Niihara T., Misawa K. (2013) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages for maskelynites and K-rich

- melt from olivine-rich lithology in (Kanazawa) Zagami. *44th Lunar Planetary Science Conference*, 18-23 March, 2013, Houston, TX, USA.
2. Nyquist L.E., Misawa K., Shih C.-Y., Niihara T., Mikouchi T., Park J. (2012) Possible origins of magmatic and isotopic heterogeneity in Zagami. *35th Symposium on Antarctic Meteorites*, 29-30 November, 2012, National Institute of Polar Research, Tachikawa, Japan.
 3. 三澤 啓司, 新原 隆史, Chi-Yu Shih, Young Reese, Laurence Nyquist, 米田 成一, 山下 浩之, 平田 大二 (2012) Zagamiからみつかったオリビンに富む岩相のRb-Sr同位体系 *日本地球化学会年会*, 9月11-13日, 2012年, 九州大学, 福岡
 4. Misawa K., Niihara T., Shih C.-Y., Young Y.D., Nyquist L.E., Yoneda S., Yamashita H., Hirata D. (2012) Additional Sr isotopic heterogeneity in Zagami olivine-rich lithology. *75th Annual Meeting of the Meteoritical Society*, 12-17 August, 2012, Cairns, QLD, Australia.
 5. Niihara T., Misawa K., Mikouchi T., Nyquist L.E., Park J., Yamashita H., Hirata D. (2012) Complex formation history of highly evolved basaltic shergottite, Zagami. *75th Annual Meeting of the Meteoritical Society*, 12-17 August, 2012, Cairns, QLD, Australia.
 6. Niihara T. (2012) U-Pb isotopic systematics on shock-metamorphosed baddeleyite. *The 2012 V.M. Goldschmidt Conference* (Invited Keynote Talk), 24-29 June, 2012, Montréal, QC, Canada.
 7. Misawa K. (2011) Moderately volatile element fractionations in the early solar nebula. *Workshop on Chemical Evolution of the Universe*, Tokyo Metropolitan Univ., 31 October-2 November, 2011, Minami-Osawa, Hachioji, Japan.
 8. Niihara T., Kaiden H., Misawa K. (2011) Petrology and mineralogy of the RBT 04261 shergottite. *2011年度日本惑星科学連合大会*, 5月20-25日, 2011年, 幕張, 千葉
 9. Niihara T. (2011) Shocked baddeleyite: Implication for crystallization age of shergottites. *Lunar and Planetary Institute Seminar Series*, 22 February, 2011, Houston, TX, USA.
 10. 荒井 朋子, 吉武 美和, 富山 隆将, 新原 隆史, 横山 立憲, 海田 博司, 三澤 啓司 (2010) 月隕石NWA4485のジルコン U-Pb年代からわかる月のKREEPマグマ活動期間 *2010年度日本地球化学会年会*, 9月7-9日, 2010年, 立正大学, 熊谷
 11. 新原 隆史, 三澤 啓司, 堀江 憲路, 海田 博司 (2010) RBT 04261 レルゾライト 質シャーゴッタイトのウラン-鉛同位体年代 *2010年度日本地球化学会年会*, 9月7-9日, 2010年, 立正大学, 熊谷
 12. Park J., Nyquist L.E., Bogard D. D., Garrison D. H., Shih C.-Y., Mikouchi T., Misawa K. (2010) Argon analyses of Iherzolithic shergottites Y-984028 and Y-000097. *73rd Annual Meeting of the Meteoritical Society*, 26-30 July, 2010, City of New York, NY, USA.
 13. Niihara T., Misawa K., Horie K., Kaiden H. (2010) Young age of baddeleyite in enriched shergottite RBT 04261. *73rd Annual Meeting of the Meteoritical Society*, 26-30 July, 2010, City of New York, NY, USA.

14. Niihara T., Kaiden H., Misawa K., Sekine T., Mikouchi T. (2010) U-Pb isotope systematics of baddeleyite: Implications for crystallization age of shergottites. *33rd Symposium on Antarctic Meteorite*, 8-9 June, 2010, National Institute of Polar Research, Tachikawa, Japan.
15. Arai T., Yoshitake M., Tomiyama T., Niihara T., Yokoyama T., Kaiden H., Misawa K., Irving A.J. (2010) U-Pb age dating and mineralogy of a KREEP basalt clast in the lunar meteorite NWA 4485. *33rd Symposium on Antarctic Meteorites*, 8-9 June, 2010, National Institute of Polar Research, Tachikawa, Japan.

〔図書〕 (計 1 件)

1. 三澤 啓司 (2012) 地球と宇宙の化学事典
日本地球化学会編集 (分担執筆) 火星隕石
pp. 340 朝倉書店

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三澤 啓司 (MISAWA KEIJI)

国立極地研究所・研究教育系・准教授
研究者番号：70212230

(2) 研究分担者

海田 博司 (KAIDEN HIROSHI)

国立極地研究所・研究教育系・助教
研究者番号：10302811

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

新原 隆史 (NIIHARA TAKAFUMI)

Lunar and Planetary Institute・博士研究員

ナイキスト ラリー (Larry E. Nyquist)

アメリカ航空宇宙局・ジョンソン宇宙センター・研究員

シ チュー (Chi-Yu Shih)

ヤコブステクノロジー・研究員

パク ジスン (Jisun Park)

Lunar and Planetary Institute・研究員