

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Sat. Sep 18, 2021 9:00 AM - 12:15 PM JST | Sat. Sep 18, 2021 12:00 AM - 3:15 AM UTC | 🏠 Zoom
Session 2

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Tomoki Nakamura, Yusuke Seto, Shogo Tachibana

[Chairperson]

Yusuke Seto, Shogo Tachibana: R5-01 - R5-06

Shogo Tachibana, Tomoki Nakamura: R5-06 - R5-13

9:00 AM - 9:15 AM JST | 12:00 AM - 12:15 AM UTC

[R5-01] Comparative consideration of Earth's mineral from three major events: Solid formation of other celestial bodies

*Yasunori Miura¹ (1. Yamaguchi University/Graduate Science (Post))

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[R5-02] Crystallographic orientation analysis of olivine in dunitic achondrites: Magmatic crystallization and deformation in protoplanets

*Takashi Mikouchi¹, Atsushi Takenouchi², Akira Yamaguchi³, Masahiro Yasutake⁴, Anthony J. Irving⁵ (1. Univ. of Tokyo, 2. Kyoto Univ., 3. NIPR, 4. JASRI, 5. Univ. of Washington)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[R5-03] Igneous body of quenched angrites in comparison with komatiites

*Hideyuki Hayashi¹, Takashi Mikouchi² (1. EPS, U. Tokyo, 2. UM, U. Tokyo)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[R5-04] Constraints on the cooling rate recorded by silica minerals using Mesosiderites

*Haruka Ono¹, Atsushi Takenouchi², Takashi Mikouchi³, Akira Yamaguchi⁴, Naoji Sugiura¹ (1. Chiba Inst. Tech., PERC, 2. Kyoto Univ., Museum, 3. Univ. of Tokyo, Museum, 4. NIPR)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[R5-05] Multi-probe microscopy analysis of NWA 10153 and NWA 6148

*Kakeru Kukihara¹, Masaaki Miyahara¹, Akira Yamaguchi², Yoshio Takahashi³, Yasuo Takeichi⁴, Naotaka Tomioka⁵, Eiji Ohtani⁶ (1. Hiroshima Uni. Sci., 2. NIPR, 3. Tokyo Uni. Sci., 4. KEK, 5. JAMSTEC, 6. Tohoku Uni. Sci.)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[R5-06] Evaluation of Fe valence state change in plagioclase by shock events as inferred from micro-XANES analysis

*Wataru Satake¹, Takashi Mikouchi², Kousuke Kurosawa¹, Haruka Ono¹, Takafumi Niihara², Takafumi Matsui¹ (1. CIT, 2. Univ. Tokyo)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

休憩

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[R5-07] Shock recovery experiments of jarosite

Kohei Kawano², *Masaaki Miyahara¹, Takamichi Kobayashi³, Toshimori Sekine⁴, Hiroki Suga⁵, Yoshio Takahashi⁶ (1. Hiroshima Uni., 2. Sci. Hiroshima Uni., 3. NIMS, 4. Osaka Univ., 5. JASRI, 6. Univ. of Tokyo)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[R5-08] Shock features in Antarctic H6 chondrites

*Atsushi Takenouchi¹, Akira Yamaguchi^{2,3} (1. The Kyoto Univ. Museum, 2. NIPR, 3. SOKENDAI)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[R5-09] Construction of a multi-element XANES library of layered silicates used for water metamorphism analysis in meteorite mother celestial bodies

*Kosuke Inoue¹, Keisuke Fukushi¹, Hiroki Suga³, Yoshio Takahashi², Takahiro Kawai², Yasuo Takeichi⁴ (1. Kanazawa Uni.Sci, 2. Tokyo Uni.Sci, 3. SPring-8, 4. KEK)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[R5-10] The application of the XAFS method and oxidative hydrothermal alteration experiments from reproduced I-type cosmic spherules

*Huimin Shao², Hiroshi Isobe¹, Ginga Kitahara², Akira Yoshiasa¹ (1. Kumamoto Univ., 2. Kumamoto Univ., Grad. Sch. Sci. Tech)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[R5-11] Hydration process of amorphous silicate nanoparticles analyzed by quasielastic neutron scattering at high temperature

*Takuo Okuchi¹, Naotaka Tomioka², Yusuke Seto³, Yuhei Umeda¹, Takeshi Yamada⁴, Hiromu Tamatsukuri⁵, Kaoru Shibata⁵ (1. Kyoto Univ., 2. JAMSTEC, 3. Kobe Univ., 4. CROSS, 5. JAEA)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[R5-12] Oxygen isotope exchange experiments between Ca-, Al-rich inclusion (CAI) melt and carbon monoxide gas

*Daiki Yamamoto¹, Noriyuki Kawasaki², Shogo Tachibana³, Michiru Kamibayashi³, Hisayoshi Yurimoto² (1. JAXA, 2. Hokkaido Univ., 3. Univ. of Tokyo)

地球鉱物の三大極限現象の対比考察:地球外の固体形成

三浦保範 (元山口大)

Comparative consideration of Earth's mineral from three major events: Solid formation of other celestial bodies

Yasunori MIURA (Post Yamaguchi Univ.)

Regional and global phenomena by extreme phenomena in Earth's and other planets etc. are discussed, where the Earth is involved in all types. The formation of global system is predicated on the existence of ocean system. Carbonated sedimentary rocks remain on the Earth. Research and exploration of "uniqueness of celestial materials" are expected in the future works by comparative analyses.

はじめに: 昨年の本学会で地球の基本物質の鉱物の固体物質は流動的な大気圏と海洋圏と反応して本惑星活動の一部を残す固体圏であること、その主反応に炭素含有物が活動して固体圏に残存すること、海水圏のない他惑星(月、火星、小惑星)にも炭素含有物が残存することを報告した。本件では地球の三大現象の活動から固体残存物で形成することを他天体物質と対比的に検討する。

固体鉱物の極限生成条件の分類: 天然現象で極限現象は三大現象(隕石衝突、地震、火山)が地球にすべて発生して変動をしている。他天体では天体衝突と内部振動が主体で火山は各天体で制限される (Table 1)。

極限現象と固体システム圏: 極限三大現象(隕石衝突、地震、火山)はその箇所の「局所現象」で不活動天体では全圈的となる。

海水圏による全圈的固体層の形成: 全圈的な固体圏の形成は海水圏の存在が前提で、地球には大規模な堆積層(石灰岩、砂岩、頁岩)が報告されている。特に石灰岩は炭素含有物が大量に広範囲に関与している。

Keywords: Earth's minerals, Water-system, Carbonate rock, Material differences. yasumiura50@gmail.com

Table 1. Extreme event of Earth and other bodies [1].

Event	Planet and others	Extreme event
Impact (Sky)	Earth, the Moon, Mars, Asteroids	Asteroids (meteorite) Impacts
Quake (Solid)	Earth, the Moon, Mars	Interior quakes (with & without ocean system)
Volcano (Eruption)	Earth (Ocean), Mars (Solid)	Surface (rocks, ocean)

天体の各物質モデルの展開: 天体の軌道観測で天動説が解明された。今後は物質面からの「天体の独自性」が研究や探査などで期待される。

まとめ: 本件は下記のようにまとめられる。

- 1) 天然現象で極限現象には局所と広範囲な現象があり、地球は全てに関与している。
- 2) 全圈的固体圏の形成は海水圏の存在が前提である。地球には堆積層の炭酸岩が残存している。
- 3) 「天体物質独自性」の対比的な研究探査議論などが今後期待される [1-3]。

参考文献: [1] 三浦保範 (1996) 「衝撃波ハンドブック」 (シュブ リンガーフェアラークTokyo), 1073-1209. [2]

Miura Y. (2018) IMA-2018 (Melbourne, Australia) 2039. [3] Miura Y. (2021) JpGU, PPS04-P18 (Yokohama).

カンラン岩質エコンドライト隕石のカンラン石結晶方位解析： 原始惑星でのマグマ結晶化・変形過程の検証

三河内 岳* (東大・総研博/院理)、竹之内 惇志 (京大・総博)、安武 正展
(高輝度光科学研究センター)、山口 亮 (国立極地研)、Anthony J. Irving
(ワシントン大・地球宇宙科学)

Crystallographic orientation analysis of olivine in dunitic achondrites: Magmatic crystallization and deformation in protoplanets

Takashi Mikouchi* (Univ. of Tokyo), A. Takenouchi (Kyoto Univ.), M. Yasutake (JASRI),
A. Yamaguchi (NIPR), A. J. Irving (Washington Univ.)

はじめに: マグマ溜まり中での結晶集積過程やその後の変形過程により鉱物粒子に結晶方位の配向性が見られることは地球では一般的である。原始惑星起源のカンラン岩質エコンドライト中のカンラン石にも同様の報告がなされており、特にブラチナイトのカンラン石には形態定向配列 (SPO) と結晶方位定向配列 (CPO) が普遍的に見られることが明らかになっている (Hasegawa+ 2017 など)。近年、サハラ砂漠およびその周辺から多くのブラチナイトおよびカンラン岩質で ungrouped のエコンドライト隕石が発見されていることから、原始惑星で起こったマグマ結晶化および変形過程の多様性をさらに理解するためにこれらの隕石合計 14 試料中のカンラン石結晶方位解析を新たに行った。

試料と分析手法: 本研究で分析した試料は、11 個のブラチナイト (NWA 3151, NWA 4872, NWA 4874, NWA 4876, NWA 4882, NWA 5969, NWA 5971, NWA 6349, NWA 6474, NWA 7388, NWA 7605) および 3 個のカンラン岩質で ungrouped のエコンドライト (NWA 6077, NWA 6962, NWA 13446) で、それぞれの薄片試料の数 $\text{mm}^2 \sim 2 \text{cm}^2$ ほどの領域を FE-SEM (国立極地研 JEOL JSM-7100M) に付属した EBSD 分析装置で分析した。得られたカンラン石の結晶方位 (空間群: P_{6mm}) は AZtec ソフトで解析し、1 結晶につき 1 方位データとした。それぞれの試料で解析したカンラン石結晶数は 238 個~3603 個で、CPO の議論に十分に有意な数と考えられる。

結果: 分析したブラチナイト 11 個のうち、5 試料には SPO と有意なカンラン石の CPO ($M \text{ index} : 0.071 \sim 0.101$) の両方が見られた。ただし、結晶方位の集中が見られた結晶軸は、 b 軸が NWA 4874 と NWA 5969、 c 軸が NWA 7388、 b 軸と c 軸の両方が NWA 3151 と NWA 7605 と多様であった。明らかな SPO が見られなかった 6 試料については CPO も見られなかった。また、Ungrouped のカンラン岩質エコンドライト 3 試料では、NWA 6962 と NWA 13446 には SPO も CPO も見られなかったが、NWA 6077 では弱い SPO と CPO (b 軸, $M \text{ index} : 0.093$) が見られた。

考察と結論: 以上のように、今回分析した合計 14 個のカンラン岩質エコンドライトのうち、半分近くの試料で $b, c, b+c$ 軸のカンラン石 CPO が見られた。ブラチナイトの結果は先行研究とよく一致している (Hasegawa+ 2017)。 c 軸集中の CPO はカンラン石の長軸方向であることから、流れのある溶岩流中などで、カンラン石長軸が揃うような集積過程が考えられる。一方で b 軸集中の CPO は自形のカンラン石での広い結晶面 (柱面) である (010) 面を重力的に上下にして結晶がマグマ溜まりの底に静穏に沈積した集積過程が考えられるが、天体内部での変形による過程も知られている。実際、NWA 6077 は微量元素分析からコンドライトの物質の部分熔融後残渣であると指摘されているため (Burkhardt+ 2017)、原始惑星内部での変形過程により b 軸集中が生じた可能性がある。

Keywords: Dunitic achondrite, Olivine, Crystallographic preferred orientation, EBSD

*Corresponding author: mikouchi@um.u-tokyo.ac.jp

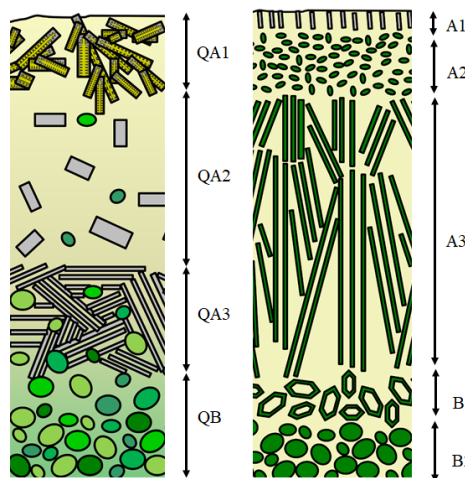
コマチアイトとの対比を通じた急冷アングライトの形成場

林秀幸(東大・院理)、三河内岳(東大・総研博)

Igneous body of quenched angrites in comparison with komatiites

Hideyuki Hayashi* (U. Tokyo) and Takashi Mikouchi (U. Tokyo)

はじめに:アングライトは太陽系最古のエコンドライトの一種であり、急冷または徐冷組織を示す。急冷組織を示すアングライトは結晶化年代が特に古く、タイムアンカーとして重要視されている。Hayashi & Mikouchi (2019) は、急冷組織を示すアングライトを岩石組織的に QA1、QA2、QA3 に分類し、それらは冷却速度の大小に従って生じることを示した(下図)。QA1 はカンラン石と灰長石の共晶から成る樹枝状組織を持つ。QA2 は、比較的粗粒で、灰長石がランダムな結晶方位を示す。QA3 は、短冊状の灰長石が複数粒子で、同一の結晶方位を持つ。一部の急冷組織を示すアングライトは、Mg に富むカンラン石外来結晶を含んでいる。



急冷組織を示すアングライト岩体

コマチアイト岩体

このような組織は、地球上に見られるコマチアイトと類似している。コマチアイト溶岩流の上部では、骸晶状や平板状のカンラン石を特徴的に含むスピニフェックス組織を示す。この組織は、比較的速い冷却速度の下で形成されたと考えられている。コマチアイトの層序は、上部チルドマージン(A1)、ランダムスピニフェックス(A2)、平板状スピニフェックス(A3)のように岩相が変化している(Pyke+ 1973)。本研究では、急冷組織を示すアングライトとコマチアイトの組織、冷却速度およびバルク組成をそれぞれ比較し、急

冷組織を示すアングライトの形成場を明らかにすることを試みた。

化学組成:急冷組織を示すアングライトのバルク組成は相関を示しており、Mg に富むカンラン石外来結晶の同化度合いに応じて変化している(Mikouchi+ 2004)。Sahara 9955、D'Orbigny、NWA 1296 および NWA 7203 は純粋なアングライト質マグマと考えられた。

組織と冷却速度:急冷組織を示すアングライトとコマチアイトはそれぞれ、岩体の深さに応じて組織が変化しており、組織や冷却速度が対応している。QA1 は、細粒な粒子サイズという点でA1に対応する。冷却速度はNWA 7203の細粒部分(QA1)では >300 °C/hr、A1では >150 °C/hr(Faure+ 2006)と見積もられ、いずれも岩体内で最も速い冷却速度を持つ。QA2 は、灰長石がランダムな結晶方位を持っており、A2のカンラン石がランダムな結晶方位を持つ点と類似する。冷却速度は、Asuka-881371(QA2)では約50 °C/hrである一方、A2では >10 °C/hr(Faure+ 2006)と見積もられており、類似している。QA3 は、結晶方位の揃い、伸長した灰長石を含んでおり、A3が同様のカンラン石を含んでいる点と類似する。NWA 1670(QA3)では約4 °C/hrである一方、A3では2~5 °C/hr(Faure+ 2006)と見積もられており、よく対応している。

結果と考察:急冷組織を示すアングライトとコマチアイトの組織、冷却速度およびバルク組成を比較したところ、それぞれよく対応する岩相が存在することが明らかになった。このことは、急冷組織を示すアングライトはコマチアイトと同様な形成場で結晶化した可能性を示している。コマチアイトの形成場は、Hill+ (1995)により、フィッシャーからの連続的な噴火であると考えられている。溶岩流は、噴火地点近傍では連続的である一方、末端部では散発的である。アングライト母天体でも同様の溶岩流を生じた可能性がある。その場合、急冷組織を示すアングライトは、NWA 7203が冷却速度の異なる細粒な組織と粗粒な組織を持つことから、溶岩流の冷却速度が、新たな溶岩流が覆い被さることで変化するような、溶岩流の末端部分に由来すると考えられる。

Keywords: Angrite, Komatiite, stratigraphy, cooling rate, xenocryst

*Corresponding author: h.hayashi@eps.s.u-tokyo.ac.jp

メソシデライトを用いたシリカ鉱物が記録する 冷却速度の推定

大野 遼* (千葉工大), 竹之内 惇志 (京大・博物館) 三河内 岳 (東大・総研博), 山口 亮 (極地研), 杉浦 直治 (千葉工大)

Constraints on the cooling rate recorded by silica minerals using Mesosiderites

Haruka Ono*(Chiba Inst. Tech.), Atsushi Takenouchi (Kyoto Univ.), Takashi Mikouchi (Univ. of Tokyo), Akira Yamaguchi (NIPR), Naoji Sugiura (Chiba Inst. Tech.)

はじめに: シリカ鉱物は、幅広い温度圧力条件下において 23 以上の多形を持つことが知られている [1]。例えば、シリカ鉱物の一つであるトリディマイトは、400°C以下で準安定相を含む 8 つの多形を持ち、常温では異なる 3 つの結晶系が存在する [2]。本研究では、これらのシリカ鉱物の特性から、1200-400 °C以下に至るまで、幅広い温度範囲でシリカ鉱物が熱史を推定するのに有用であることを示してきた [3, 4]。しかし、期待される冷却速度は 10^{-4} °C/yr と非常に遅いため、実験ではシリカ鉱物の相転移による冷却速度の定量的な推定には至らなかった。そこで本研究では、400°C以下の冷却速度を定量的に推定可能な Fe-Ni メタルとシリカ鉱物の両方を含むメソシデライトに着目した。メソシデライトは、メタルとシリカ鉱物だけでなく、800°C程度での冷却速度を定量的に推定可能な輝石も含まれている。そのため、メタルと輝石が示す冷却速度と存在するシリカ鉱物の相や形態を比較することで、シリカ鉱物による高温～低温における定量的な冷却速度を見積もることができると期待される。

結果: 試料には、メソシデライトの中で熱変成度が最も低いと報告された [5] NWA 1878 とその次に低い熱変成度の Vaca Muerta を用いた。Vaca Muerta のシリカ鉱物は、単斜晶系のトリディマイトのみが存在していた。NWA 1878 中では、先行研究 [5] 同様、クリストバライトと石英が確認され、それらは集合体を成していることが新しく観察された。クリストバライトには、高温型から低温型に相転移する際にみられる“fish-scale”と呼ばれる割れが存在していた。クリストバライトには $1\ \mu\text{m}$ 以下の包有物が含まれていた。

考察と結論: 先行研究より、トリディマイトは徐冷によりメルトから晶出する場合とクリストバライトから相転移によって形成される場合がある [4]。Vaca Muerta 中の Fe-Ni メタルから見積もられた冷却速度は 10^{-7} °C/yr と徐冷であり [6]、トリディマイトの存在はその冷却速度と整合的な結果となった。しかし、NWA 1878 中でトリディマイトが存在していないことから、クリストバライト晶出後は速やかに冷却されたことを示唆している。先行研究では輝石の離溶ラメラから、NWA 1878 が 850 °C程度において 0.01 °C/day 以上の冷却速度を経験したと見積もられている [5]。このことから、クリストバライトは 0.01 °C/day の冷却速度ではトリディマイトに相転移しないことが推測される。一方で、近年新しく見つかった Erg Chech 002 (EC 002)では、クリストバライトとトリディマイトの集合体の存在が報告されており、冷却速度が~1200-1000°C で 0.003-0.014 °C/day であると見積もられている [7-9]。以上のことから、クリストバライトがトリディマイトに相転移する冷却速度は、0.003-0.01 °C/day 以下であることが示唆された。

参考文献: [1] Sosman R. B 1965. *Rutgers University Press*, 388 pp. [2] Graetsch H. and Flörke O. W. (1978) *Z. Kristallogr.* 195, 31-48. [3] Ono H. et al. (2019) *MAPS.*, 54, 2744-2757. [4] Ono H. et al. (2021) *MAPS.*, in press. [5] Kimura M. et al. (2020) *MaPS.* 55:1116-1127. [6] Powell B. N. (1969) *GCA.* 33:789. [7] Mikouchi T. and Zolensky M. K. (2021) *LPS LII*, Abstract # 2548. [8] Yamaguchi A. et al. (2021) *LPS LII*, Abstract #1892. [9] Barrat J. A. et al. (2021) *PNAS* 118:11.

Keywords: Silica, Cooling rate, Tridymite, Cristobalite, Mesosiderite

*Corresponding author: o.haruka527@gmail.com

Nakhlite 隕石 NWA 10153 と NWA 6148 の複合顕微分析

久木原翔*, 宮原正明 (広島大学), 山口亮 (極地研), 高橋嘉男 (東京大学), 武市泰男 (KEK), 富岡尚敬 (JAMSTEC), 大谷栄治 (東北大学)

Multi-probe microscopy analysis of NWA 10153 and NWA 6148

Kakeru Kukihara*, Masaaki Miyahara (Hiroshima Univ.), Akira Yamaguchi (NIPR), Yoshio Takahashi (Tokyo univ.), Yasuo Takeichi (KEK), Naotaka Tomioka (JAMSTEC), Eiji Ohtani (Tohoku univ.)

We conducted petrological and mineralogical studies of the nakhlites NWA 6148 and NWA 10153 to clarify aqueous alteration and stratigraphy in the nakhlites complex. As a result, NWA 6148 and NWA 10153 were originated from that rapidly cooled and solidified near surface, and two different aqueous alteration events likely occurred in NWA 10153.

1. はじめに

火星隕石ナクライトは複数回の溶岩流によって形成され、その後生じた水質変成の痕跡を多く示す。これまで様々なナクライトを用いた岩体の層序や変質に関する研究が行われてきたが、岩体内での変質作用の鉛直方向の変化は未解明である。そこで、ナクライト岩体の層序と鉛直方向での変質作用の変化に新たな知見を加えるため、岩体内での位置が分かっている NWA 10153 と岩体の深部由来と推定されている NWA 6148 の鉱物学的・岩石学的記載を行った。

2. 実験手法

NWA 6148 と 10153 の研磨片を用意し、FE-SEM-EDS による組織観察を行った。化学組成の定量分析には EPMA を用いた。FIB で変質組織の薄膜加工を行い、STXM によって XANES を取得し、化学種解析を行った。その後、TEM/STEM-EDS を用いて変質鉱物の組織観察、化学組成分析、結晶構造解析を行った。

3. 結果と考察

NWA 6148 は主に橄欖石(約 5.3%)、輝石(約 39.5%)、メソスタシス(約 55.2%)で構成され、メソスタシス中には斜長石、カリ長石、磁鉄鉱、Fe-Ti 酸化物が確認できた。輝石の組成累帯構造には Ca が増加する傾向が見られた。変質はほとんど確認できなかった。これはナクライト中では異例であり、その理由については現在検討中である。

一方、NWA 10153 は主に橄欖石(約 1.5%)、輝石(約 39.5%)、メソスタシス(約 35.1%)で

構成され、メソスタシス中には斜長石、カリ長石、黄鉄鉱、Fe-Ti 酸化物が確認できた。変質は橄欖石、輝石、黄鉄鉱の周辺で見られた。輝石周辺での変質は卓越する変質鉱物により①ゲータイト、②ジャロサイト、③サポナイト、④炭酸塩鉱物領域に分けられる。橄欖石の変質組織は現在分析中であり、今後の課題である。目下判明している変質鉱物の組み合わせから、NWA 10153 には塩基性～中性の流体が作用するイベントの後に酸性の流体が作用するイベントがあったと考えられる。一連の変質過程はこれまで調べられたナクライトのものと一致する[1-2]。

NWA10153 と NWA 6148 はメソスタシスの割合が大きいことから、溶岩流の浅部由来である可能性がある。NWA 6148 に見られた輝石中の Ca が増加する傾向は、同じくナクライトの NWA 5790[3]と MIL 隕石[4]に共通しており、これらの隕石が同一の溶岩流イベントで形成した可能性がある。NWA10153 と NWA 6148 の岩体内での位置については今後さらに検討を行う。

引用文献

- [1] Nakamura et al. (2020) Japan Geoscience Union Meeting 2020 PPS10-P13.
- [2] Shiraishi et al. (2019) National Institute of Polar Research the Tenth Symposium on Polar Science OA Antarctic meteorites
- [3] Jambon et al. (2016) Geochimica et Cosmochimica Acta 190, 191-212.
- [4] Mikouchi et al. (2006) 37thLPSC, abstract no.1865.

Keywords: Mars, NWA 10153, NWA 6148, Aqueous alteration, Nakhlites complex

Corresponding author: M210891@hiroshima-u.ac.jp

放射光マイクロ XANES を用いた衝撃による 斜長石中の鉄の価数変化の評価

佐竹 渉* (千葉工大)、三河内 岳 (東大)、黒澤 耕介 (千葉工大)、
大野 遼 (千葉工大)、新原 隆史 (東大)、松井 孝典 (千葉工大)

Evaluation of Fe valence state change in plagioclase by shock events as inferred from micro-XANES analysis

W. Satake* (CIT), T. Mikouchi (Univ. Tokyo), K. Kurosawa (CIT), H. Ono (CIT),

T. Niihara (Univ. Tokyo) and T. Matsui (CIT)

研究背景: マグマの酸素分圧は、形成される鉱物の組合せや化学組成に強い影響を与えることから、火成岩の形成環境について重要な情報を持つ。発表者らは斜長石とマスクリナイト(斜長石が強い衝撃を受けガラス化したもの)中の鉄価数に注目し、放射光 Fe マイクロ XANES (X 線吸収端近傍構造)を用いて分析することで、火星隕石最大のグループであるシャーゴッタイトの酸素分圧を相対的に評価している(Satake+ 2014)。このような測定においては、斜長石中の鉄価数が衝撃の前後で変化しないことを前提とし、実際に少数の衝撃実験試料でそのことを確認しているが、この試料では熱履歴が分からないため、温度の考察ができない。そこで、申請者らが近年行っている 3 次元での衝撃回収実験試料の分析により、その検証がより確かなものになると考えて、衝撃実験試料の Fe マイクロ XANES 分析を実施したのでその結果を報告する。

試料と分析手法: 分析試料として、千葉工業大学に設置されている、二段式軽ガス銃を用いた 3 次元での衝撃回収実験によって得られた玄武岩を用いた。この玄武岩は内モンゴル自治区産であり、斜長石の組成は $An_{54-66}Ab_{33-44}$ と、シャーゴッタイト中のマス
Keyword: Shock metamorphism, Plagioclase, XANES

ケリナイトと似た組成を持つ。回収した試料は、iSALE を用いた 2 次元の数値衝突シミュレーションによって、衝突点で 10 GPa、500 K の圧力と温度を経験したと見積もられる。分析手法としては、偏光顕微鏡による斜長石の光学観察、EPMA (JEOL JXA-8900L)による鉱物組成分析、放射光マイクロ XANES 分析(高エネ研、Photon Factory、BL-4A)による斜長石中の鉄の 2 価 3 価比の測定(ビーム径: 約 5 μ m)を行った。

結果と考察: 偏光顕微鏡の観察の結果、回収実験後の試料中において、衝突点付近の領域にある斜長石に、強い波動消光が見られた。EPMA による分析の結果、衝撃後の斜長石の組成は $An_{48-61}Ab_{37-50}$ であった。顕微鏡観察により、他の鉱物などの包有物が含まれておらず、強い波動消光を示す斜長石の粒子を XANES 分析に選んだ。XANES 分析の結果は、衝突前の斜長石の $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ 比の値は 11-20%、衝突後の試料の値は 11-20%であり、衝突前後で $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ 比の値は変わらなかった。この結果から、少なくとも 10 GPa、500K の環境下では、鉄の 2 価 3 価比は変化しないと考えられる。しかし、火星隕石はより大きな衝撃を受けているため、より高圧・高温を経験した試料の分析が必要である。

Corresponding author. Satake, E-mail: wataru.satake@p.chibakoudai.jp

ジャロサイトの衝撃回収実験

川野晃平, 宮原正明* (広島大・理), 小林敬道 (NIMS), 関根利守 (大坂大・工), 菅大暉 (JASRI), 高橋嘉夫 (東京大・理)

Shock recovery experiments of jarosite

Kouhei Kawano, Masaaki Miyahara*, (Hiroshima Univ.), Takamichi Kobayashi (NIMS), Toshimori Sekine (Osaka Univ.), Hiroki Suga (JASRI), and Yoshio Takahashi (Tokyo Univ.)

Shock recovery experiments of jarosite and natrojarosite were conducted in the shock pressure range of 13–41 GPa to clarify shock-induced dehydration. Based on the XRD/DTA analysis of recovered samples, jarosite decomposes into hematite (+magnetite) and FeSO_4 with the dehydration of OH above ~23 GPa.

1. はじめに

火星探査機マーズ・エクスプレスは可視光・赤外線分光器により3箇の鉄の硫酸塩が火星表面に存在することを突き止めた[1]。火星探査車オポチュニティはメスバウアー分光装置を用いて火星表土に鉄明礬石(ジャロサイト: $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$)が含まれることを明らかにした[2]。ジャロサイトの存在は火星表層で起きた水-岩石反応の痕跡の1つと見なされている。

火星では今なおメテオロイドによる衝撃が起きている。含水硫酸塩鉱物は加熱すると分解し脱水反応が起きる。衝突に伴う衝撃圧縮がジャロサイトに加わると加熱時同様の脱水反応が起きると予想される。しかし、ジャロサイトを用いた衝撃回収実験はなく、分解脱水を起こす衝撃圧や分解反応は未知である。そこで、本研究ではジャロサイトとソーダ鉄明礬石(ナトロジャロサイト: $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$)の衝撃銃実験を行い、脱水圧力と分解反応を明らかにした。

2. 実験試料と実験手法

ジャロサイトは草津白根山の北東に位置する茶つぼみ公園にて採集したものを使用した。ナトロジャロサイトはギリシャのKamariza 鉱山のものを使用した。試料を乳鉢で粉碎しよく乾燥して吸着水を取り除き衝撃実験試料とした。粉末試料をSUS304のコンテナに封入し、衝撃銃実験はNIMSの一段式火薬銃を使用し、衝撃圧はインピーダ

ンスマッチング法で求めた。実験は衝撃圧13–41 GPaの範囲で行った。衝撃実験後、コンテナから粉末試料を回収し、XRDとDTA/TG分析を行った。

3. 結果と考察

13 GPaの衝撃圧を加えたジャロサイトのXRDパターンは出発物質とほとんど変わらないが、ピークの半値幅がわずかに大きくなっていった。22.6 GPaではジャロサイトのピークの半値幅がさらに大きくなり、ヘマタイトのピークが現れた。33.0 GPaではジャロサイトのピークが消失し、ヘマタイトに加えマグネタイトの弱いピークが現れた。41.0 GPaではヘマタイト、マグネタイトとSzomolnokite ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)のピークが現れた。

以上の結果とDTA分析から、ジャロサイトは約23 GPa以上でヘマタイト、 FeSO_4 、 K_2SO_4 (非晶質)に分解し、OHが脱水し始めることが判明した。Szomolnokiteは FeSO_4 が空気中で水和し生成したものである。マグネタイトはヘマタイトの分解生成物と推定される。

一方、ナトロジャロサイトは32.6 GPaでも分解は完了しておらず、分解にはジャロサイトに比べて高い衝撃圧が必要かもしれない。

引用文献

- [1] Gendrin et al., *Science*, **307**, 1587 (2005).
[2] Squyres et al., *Science*, **306**, 1698 (2004).

Keywords: Mars, jarosite, shock experiment, dehydration
Corresponding author: miyahara@hiroshima-u.ac.jp

南極産 H6 コンドライトの衝撃変成組織

竹之内惇志* (京大・総博), 山口亮 (極地研, 総研大)

Shock features in Antarctic H6 chondrites

Atsushi. Takenouchi* (The Kyoto Univ. Museum) and Akira Yamaguchi (NIPR, SOKENDAI)

過去の天体運動を推定するために、これまで衝撃変成組織観察と Ar/Ar 年代測定により隕石の衝突史の解明を行ってきた[e. g., 1]。

L コンドライトは比較的数量多くの試料で高圧鉱物の存在が報告されている[2]。高圧鉱物の有無[2]と Ar/Ar 年代の報告[3]見ると、L コンドライトではく5 億年前や 16 億年前といった若い衝撃変成年代を示している試料 (e. g., Taiban, Mbale, Peace River, Seagraves (c)) が高圧鉱物を含む傾向がみられる[e. g., 1]。一方、高圧鉱物を含む H コンドライトの衝撃変成年代は報告されておらず、高圧鉱物を生成するような天体衝突現象が H コンドライト母天体上でいつ発生したのかは未だ明らかではない。

H コンドライトの衝撃史を明らかにするために、これまで約 30 個の H コンドライトの組織観察と Ar/Ar 年代分析を進めてきた。本研究では新たに分析に加えた 3 つの H6 コンドライトの衝撃変成組織の観察結果について報告する。

試料は A 12363, A 10174, Y 981909 の 3 つで、いずれも国立極地研究所から貸与された薄片試料を用いた (A 12363, 51-1 A10174, 41-1, Y 981909, 51-1)。組織観察は国立極地研究所の走査型電子顕微鏡 (FE-SEM, JEOL JSM-7100F) を用い、鉱物相同定には電子顕微鏡に付属する電子線後方散乱回折 (EBSD) 解析装置 (AZtec, Oxford Instruments) を使用した。

A 12363: 薄片全体に細粒な不透明鉱物が散らばっており (silicate darkening)、斜長石が硫化鉄中で針状に結晶化した組織や、クロマイトの融食組織など高温の経験を示唆する組織がみられた。カンラン石や輝石は弱い波状消光を示し、細い衝撃溶融脈も観察された。脈内部は細粒なカンラン石・輝石の自形結晶と他形の不透明鉱物及びガラスの集合であり、高圧鉱物は観察されなかった。これらは衝撃溶融脈が徐冷または再加熱を経験して形成した組織であると考えられる。

A 10174: ネットワーク状の太い衝撃溶融脈

が観察された。溶融脈周囲では斜長石の EBSD パターンが不明瞭となるが、脈から離れると明瞭なパターンを示した。衝撃溶融脈が断層のように切られた組織が観察され、2 回以上の衝撃変成作用を経験していることが示唆された。衝撃溶融脈は細粒で等粒状の輝石やカンラン石と、その間を埋める不透明鉱物・ガラスで構成されており、高圧鉱物は観察されなかった。

Y 981909: 斜長石がマスケリナイト化しており、カンラン石や輝石は波状消光と弱いモザイク化を示した。溶融脈内部の見た目は A 10174 と類似するが、ringwoodite, wadsleyite, garnet などの高圧鉱物が豊富に存在した。Ringwoodite-wadsleyite は脈内部と周囲のカンラン石を置き換えており、garnet は自形結晶で脈内部に形成していた。

A 12363 は全体的に高温の経験を示唆しており、衝撃変成組織はその熱によりリカバリされている。衝撃変成作用と加熱作用が同一のイベントか否かは明らかではないが、強い加熱を伴う衝撃イベントの存在を示唆する。一方、Y 981909 は高圧鉱物を保持するため、溶融脈は高圧下で冷却固化している。そのため Y 981909 が記録する衝撃イベントは局所的な加熱のみを伴っており、A 12363 とは異なる衝撃イベントを記録している。A 10174 は熱的影響が A 12363 よりは弱く Y 981909 よりは強い衝撃変成作用を経験し、その後、いずれの衝撃イベントよりも弱い衝撃変成作用を経験している。

本研究では 3 つの H6 隕石がそれぞれ異なる 4 つの衝撃イベントを記録していることを明らかとした。今後、これらの隕石の Ar/Ar 年代分析を進め、各隕石の衝撃変成作用がいっ起きたのかを明らかにする。

参考文献: [1] Takenouchi et al. (2020) The 11th Symp. on Pol. Sci. abst. [2] Tomioka and Miyahara (2017) *MaPS*, 52, 2017-2039. [3] Swindle et al. (2014) *Archaeology to Planet. Sci.* 378:333-347.

Keywords: Shock history, Ordinary chondrite, high-pressure phases

*Corresponding author: takenouchia24@gmail.com

隕石母天体における水質変成作用の解析に用いる層状ケイ酸塩の マルチエレメント XANES ライブラリの構築

○井上皓介¹、福土圭介²、菅大暉³、河合敬宏⁴、高橋嘉夫⁴、武市泰男⁵ (¹金沢大学大学院自然科学研究科、²環日本海域環境研究センター、³JASRI/SPring-8、⁴東京大学大学院理学系研究科、⁵高エネルギー加速器研究機構)

Construction of a multi-element XANES library of layered silicates used for water metamorphism analysis in meteorite mother celestial bodies

*K. Inoue¹, K. Fukushi², K. Morida¹, H. Suga³, T. Kawai⁴, Y. Takahashi⁴, Y. Takeichi⁵ (¹ Graduate School of Science, The University of Kanazawa, ² Institute of Nature and Environmental Technology, ³ JASRI/SPring-8 ⁴ Graduate School of Science, The University of Tokyo, ⁵ High Energy Accelerator Research Organization)

【はじめに】隕石には、含水鉱物の一種である層状ケイ酸塩が含まれていることがある。層状ケイ酸塩は液体の水の存在下で生成する鉱物であるため、隕石中における層状ケイ酸塩の存在は過去に地球外天体で生じた水循環の存在を意味する。層状ケイ酸塩は構造元素の含有量や配位位置によって様々な鉱物種が存在し、この鉱物種の違いは生成環境に関連づけられる。故に、隕石試料に含まれる層状ケイ酸塩の鉱物種の同定から、地球外天体の水環境を推定できる可能性がある。だが、隕石試料は得られる試料の量に限りがあるため、少ない情報から多くの知見を推定できる新たな判断指標の構築が必須である。本研究では微小領域から情報を得る手法として「走査型透過 X 線顕微鏡(STXM)」に注目した。STXM は局所領域での元素の存在状態を分析するツールであり、元素が構造中のどの部分に配位しているかなどの情報を有している為、層状ケイ酸塩の種類を推定できる可能性を秘めている。また STXM は電子プローブマイクロアナライザ(EPMA)と比べ、より微小な領域下でスペクトルを検出して鉱物の存在状態を確認することが可能である。加えて、層状ケイ酸塩粒子もナノスケールサイズほど微小である為、EPMA 以上に正確な鉱物相の同定を行う事が可能である。本研究では地球上の様々な層状ケイ酸塩を標準試料とし、構成元素の X 線吸収スペクトルと試料の特徴とを集約することで、STXM における層状ケイ酸塩同定の判断指標の基準となるライブラリの構築を目指した。

【試料】ライブラリ構築のための標準試料として、2 八面体型のモンモリロナイト 3 種類、鉄モンモリロナイト、ノントロナイト 4 種類、イライト、白雲母、カオリナイト 2 種類、ハロイサイト、パイロフィライト、及び 3 八面体型のサポナイト 3 種類、鉄サポナイト、ヘクトライト、アンチゴライト、クリソタイル、鉄蛇紋石、クリノクロア、タルクを用意した。また、これらの標準試料ライブラリが実際に STXM に適用可能か確かめる実証分析用試料として、マーチソン隕石試料、タギシュレ

イク隕石試料、火星隕石ナクライト試料を用意した。

【方法】試料に対し、鉱物相同定のために粉末 X 線回折を、鉱物化学分析のために蛍光 X 線分析を行った。構成主要元素の X 線吸収スペクトル取得は、高エネルギー加速器研究機構 Photon Factory の BL-19B で行った。尚 BL-19A が STXM 本体で BL-19B は同じビームを用いたバルク試料用 XAFS となっているが、標準試料が想定上ほぼ 100% の層状ケイ酸塩であることから、わずかに存在する不純物を分析するリスクや測定にかかる時間を考慮し、標準試料においては STXM 本体ではなくバルク試料用の XAFS を上記 25 個の層状ケイ酸塩試料の構成元素である Si, Al および Mg の K 端について X 線吸収端近傍構造(XANES)スペクトルを得た。また、各隕石試料について集束イオンビーム(FIB)を用いて加工し、BL-19A の STXM を用いてナノスケール下での画像マッピングを行った。得られたマップ内で元素ごとに範囲を限定して AlMg におけるスペクトルを測定した。また見いだされた AlMg のスペクトルに対しては解析ソフト REX2000 を用いて標準試料のスペクトルをフィッティングさせ、その際の合致度の高いものほど存在する可能性の高い鉱物であるとして鉱物同定を行った。

【結果と考察】標準試料の分析において、Si ではスペクトルの試料間での明瞭な違いは見られなかったが、Al では四面体に配位する Al と八面体に配位する Al を区別することが可能な、Mg では 3 八面体型と 2 八面体型を区別して更に 3 八面体型のうち 1:1 構造と 2:1 構造を区別することが可能なスペクトルが検出された。隕石試料の STXM 分析においては、全ての試料で層状ケイ酸塩由来と考えられる AlMg のスペクトルが見いだされた。詳細な分析結果及び考察について、発表の際に報告する。

The application of the XAFS method and oxidative hydrothermal alteration experiments from reproduced I-type cosmic spherules

Huimin Shao (Kumamoto Univ.), Hiroshi Isobe* (Kumamoto Univ.), Ginga Kitahara (Kumamoto Univ.), and Akira Yoshiasa (Kumamoto Univ.)

The formation mechanism of hematite spherules in Meridiani Planum on Mars was widely discussed by researchers (Misra et al., 2014; Morris et al., 2005; Nie et al., 2020). Misra et al. (2014) proposed a possibility that the hematite spherules may be derived from cosmic spherules. Therefore, we carried out experiments on reproduced I-type cosmic spherules

(Shao et al., 2020) by oxidative hydrothermal alteration experiments. The starting material was oxidized with the oxygen fugacity controlled by $Mn_2O_3 - Mn_3O_4$ solid buffer in the hematite stability field. The sulfuric acid solution and deionized water were used to control pH values to be 4 and 7, respectively. The vessels were heated at 150°C and 200°C for 10 days and 30 days. The detailed experimental conditions are shown in the table.

Exp.	Experimental conditions			
	Tem (°C)	Dur (days)	pH	CO ₂
1	150	10	7	√
2	200	10	7	×
3	150	10	4	×
4	200	10	4	×
5	150	30	7	√
6	150	30	7	×
7	200	30	7	√
8	200	30	7	×

SEM and EDS analysis revealed that the hematite, magnetite, wustite, and Fe-Ni metal were the main mineral of run products. Fe K-edge XAFS measurements were performed using beamline NW-10A in fluorescence mode at the Photon Factory, KEK, Tsukuba, Japan. The shift of the first derivative spectra peak position from low energy to a higher energy value suggests that the oxidation degree increased as follows: 1. Starting material, Exp.1, Exp.3, and Fe metal; 2. Fe_3O_4 and Exp.4; 3. Exp.2, Exp.8, and Fe_2O_3 . It could be inferred that Exp.1 and 3 were nearly not oxidized; Exp.4 contains mainly magnetite; Exp.2 and 8 are almost completely transferred to hematite. According to the above results, the run products from 150°C 10 days show not a big difference from the starting materials both in pH4 or 7. However, when the temperature at 200°C (10 days), the run products were oxidized to be magnetite (in pH4), or hematite (in pH7). At the same time, under 200°C pH7 condition, both 10 days and 30 days are identical spectra to hematite. The oxidation behavior of reproduced I-type cosmic spherules showed that relatively slow oxidation on metallic spherules could progress under around 200°C. Moreover, the run product under the neutral condition could be oxidized to a higher oxidation state than acidic condition (pH4). From our experiments, it is possible to form hematite from extraterrestrial solid Fe-Ni metal spherules by oxidative hydrothermal conditions. Hence, we suggest that the slow oxidation on melted and quenched droplets derived from iron meteorite bodies may also create hematite minerals in a similar process on the Martian surface.

Keywords: Martian hematite, oxidative hydrothermal alteration, XAFS, cosmic spherules

Corresponding author: isobe_hrs@kumamoto-u.ac.jp

非晶質微粒子の高温水質変成過程の中性子準弾性散乱

奥地拓生¹, 富岡尚敬², 瀬戸雄介³, 梅田悠平¹, 山田武⁴, 玉造博夢⁵, 柴田薫⁵
(¹京都大・複合研, ²JAMSTEC・高知コア研, ³神戸大・院理, ⁴CROSS, ⁵原子力機構)

Hydration process of amorphous silicate nanoparticles analyzed by quasielastic neutron scattering at high temperature

Takuo Okuchi*¹, Naotaka Tomioka², Yusuke Seto³, Yuhei Umeda¹, Takeshi Yamada⁴, Hiromu Tamatsukuri⁵ and Kaoru Shibata⁵ ¹Kyoto Univ., ²JAMSTEC, ³Kobe Univ., ⁴CROSS, ⁵JAEA)

We previously demonstrated that quasielastic neutron scattering is uniquely effective for analyzing atomic-scale hydrogen transport in hydrous minerals. In the current study, this scheme has been applied for analyzing atomic-scale reaction and transport processes of water within amorphous silicate nanoparticle medium. We obtained the results at temperatures to ~500 K where hydrated amorphous medium starts to crystallize into layered hydrous mineral structure. Microscopic mechanisms of water storage and transport in such hydrous media were revealed, which have implication for understanding of aqueous alteration and water transport processes in asteroids occurring in the early solar system.

地球の進化において水は特別な役割を果たしてきた。地球の水は誕生期に微惑星などから供給された後に、内部で分配され、輸送、貯蔵されてきた。我々は J-PARC などの高強度中性子施設において、地球に供給された後の水の分配・輸送・貯蔵を理解するための中性子散乱実験を進めてきた^[1-4]。その過程で、地球に届く以前の水の研究にも中性子が強力な道具になると考えて、本研究を着想した。

水をつくる元素である水素は、最も軽くて動きやすい元素である。一方で水素は中程度の結合力を持ち、長さや結合角度が柔軟な、水素結合を形成することができる。含水鉱物は地球内部の水の貯蔵と輸送の主たる媒質である。その結晶構造の内部では、水素結合の働きによって、動きやすい水素が巧みに保持される^[1,2]。このような水素は隣接原子間程度の距離において、水酸基の配向の静的・動的な切替わり、イオンあるいは欠陥としての高速の拡散など、多様なダイナミクス(移動または運動、分子振動とは異なる)を示す。これらの水素のダイナミクスの解析のために、中性子準弾性散乱法が特に有効であることを私たちは発見して提示してきた^[3,4]。

それでは地球に届く以前の水の重要な貯蔵と輸送の媒質の一つである、非晶質の含水(または水和)ケイ酸塩の水素は、どのようなダイナミクスを示すのであろうか。準弾性散乱法では、水素原子核によって非干渉性散乱された中性子の運動量とエネルギーの変

化を通して、水素のサイト間跳躍の距離と頻度を解析する。そこから水素のダイナミクスを、体積拡散や表面拡散などの素過程に仕分けて調べることができる。この手法は非晶質物質に対しても結晶質物質と同程度に有効である^[5]。そこで本研究では、吸着した水分子との反応を経て徐々に結晶化しつつある、非晶質ケイ酸塩の状態を高温その場で解析した。その結果、水質変成過程における水素の貯蔵と輸送の状態がわかってきた。

誘導熱プラズマ装置で合成した平均粒径 70nm の Mg_2SiO_4 組成の非晶質ケイ酸塩^[6]に水蒸気を吸収させて試料を合成した。この試料を目標温度まで加熱した後に保持して、反応を進めた後に、さらに温度を保持しながら準弾性散乱の計測を行った。得られた結果から二種類の水素のダイナミクスの存在が示された。一方はケイ酸塩と水の界面、もう一方はその界面で閉じられた nm オーダーの空間に存在する水分子と考えられる。非晶質の媒質中の水素の貯蔵と輸送の状態は、結晶質のものとは大きく異なる可能性が高いといえる。講演では以上の結果の詳細を説明する。

References: [1] 奥地拓生ほか (2017) 日本結晶学会誌, 59, 309. [2] Purevjav et al. (2020) IUCrJ, 7, 370. [3] Okuchi et al. (2018) J. Appl. Cryst. 51, 1564. [4] 奥地拓生 (2021) 日本結晶学会誌, 63, 129. [5] 奥地拓生ほか (2018) 日本鉱物科学会年会 R5-12. [6] Imai (2012) PhD Thesis, Osaka Univ. Keywords: amorphous silicate, aqueous alteration, hydrogen dynamics, quasielastic neutron scattering.

*Corresponding author: okuchi@ri.kyoto-u.ac.jp

難揮発性包有物メルトと CO ガスとの酸素同位体交換実験

山本大貴*(JAXA)、川崎教行(北大)、橘省吾(東大)、上林海ちる(東大)、
 塚本尚義(北大)

Oxygen isotope exchange experiments between Ca-, Al-rich inclusion (CAI) melt and carbon monoxide gas

Daiki Yamamoto* (JAXA), Noriyuki Kawasaki (Hokkaido Univ.), Shogo Tachibana (Univ. of Tokyo),
 Michiru Kamibayashi (Univ. of Tokyo), Hisayoshi Yurimoto (Hokkaido Univ.)

原始的隕石中の Ca, Al に富む難揮発性包有物 (Ca-, Al-rich inclusion; 以降 CAI) は太陽系最初期に形成した高温鉱物の集合体である (e.g., Grossman, 1972; Connelly et al., 2012)。CAI の構成鉱物内・鉱物間には、質量非依存型の酸素同位体不均質が見られ、その成因の一つには再加熱・熔融時におけるメルト-ガス間の酸素同位体交換反応が挙げられる。(e.g., Yurimoto et al., 1998; Kawasaki et al., 2018)。Yamamoto et al. (under review) は、模擬 CAI メルト-低圧 H₂O ガス間の酸素同位体交換実験をおこない、メルト中の酸素自己拡散係数 D やメルト表面での同位体交換効率 α を決定した。しかし、¹⁶O に富む端成分である CO ガスと CAI メルトとの酸素同位体交換速度論は理解されていない。そのため、本研究では CAI メルト-低圧 CO ガス間の酸素同位体交換実験をおこなった。

同位体交換実験には、CO ガスボンベとマスフローコントローラーからなるガス導入機構を備えた高温加熱真空炉を用いた。Type B CAI の平均化学組成 (Stolper, 1982) の CAI 模擬物質を出発物質として、¹⁸O に富む低圧 CO ガス環境下 ($P_{CO} = 0.1, 0.5, 1$ Pa) で 1420°C で加熱した。加熱後試料は FE-SEM 及び二次イオン質量分析計 (Cameca ims-1280HR) で分析した。

回収試料はガラスと少量のスピネルからなり、

全ての加熱条件でガラス中の酸素同位体組成は、加熱時間とともに液滴表面が ¹⁸O に濃集し、内部から液滴表面に向かうにつれ ¹⁸O に富む同位体ゾーニングを示した。このことはメルト表面での同位体交換過程と内部への拡散過程が同時に進行していることを示す。また CO ガス圧増加に伴い表面から内部への ¹⁸O 濃度勾配が急になっており、これは表面での同位体交換過程が高い CO ガス圧条件ほど速いためであると考えられる。酸素同位体プロファイルは、表面濃度非定常三次元拡散方程式 (Crank, 1975) で説明可能であり、得られた D ($\sim 1.41 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) は、H₂O との同位体交換実験で決定した値 ($\sim 1.62 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) とほぼ一致する。一方、 α は、 10^{-3} - 10^{-4} 程度であり H₂O ガスとの場合 (~ 0.28) より 2-3 桁小さく、CAI メルト-CO ガスとの同位体交換速度は、H₂O ガスとの場合に対して圧倒的に遅いことがわかった。これに対して H₂O-CO ガス間の同位体平衡は、メルト-ガス間の同位体交換が起こる前に達成されるため (Alexander, 2004)、CAI メルト-ガス間の同位体交換速度は、H₂O と同位体平衡となった CO ガスによって大きく増大されず、CAI メルト-H₂O との同位体交換速度で決定されることがわかった。

Keywords: CAI melt, CO, Oxygen isotopic exchange

*daiki@planeta.sci.isas.jaxa.jp