

口頭講演 | R5: 地球外物質

■ 2019年9月20日(金) 14:00 ~ 16:30 | 大講義室 1b 大講義室

R5: 地球外物質

座長: 橘 省吾、松本 恵

[座長]

松本 恵: R5-12~R5-16

橘 省吾: R5-17~R5-21

14:00 ~ 14:15

[R5-12] 集積岩ユークライト中トリディマイト多形が示す低温領域での熱史について

*大野 遼¹、竹之内 惇志²、三河内 岳³、山口 亮² (1. 東大・院理、2. 極地研、3. 東大・総研博)

14:15 ~ 14:30

[R5-13] ユークライト隕石に産するシリカ多形の成因

「発表賞エントリー」

*金丸 礼¹、山口 亮^{1,2}、今栄 直也^{1,2}、西戸 裕嗣³ (1. 総研大、2. 極地研、3. 岡理大)

14:30 ~ 14:45

[R5-14] Padvarninkaiに記録された複雑な衝撃変成履歴

*宮原 正明¹、山口 亮²、大谷 栄治³ (1. 広島大・院理、2. NIPR、3. 東北大・院理)

14:45 ~ 15:00

[R5-15] ZagamiおよびEETA 79001火星隕石中のマスケリナイト加熱実験から探る衝撃変成過程

*識名 里沙¹ (1. 東大・院理)

15:00 ~ 15:15

[R5-16] チクシュルーブ隕石孔の基盤岩石英の微細組織

谷 理帆^{2,1}、*富岡 尚敬¹、鹿山 雅裕³、常 昱³、西戸 裕嗣⁴、Das Kaushik²、Rae Auriol^{5,6}、Ferrière Ludovic⁷、Gulick Sean⁸、Morgan Joanna⁵、IODP-ICDP Expedition 364 Scientists (1. 海洋研究開発機構、2. 広島大学、3. 東京大学、4. 岡山理科大学、5. Imperial College London、6. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg、7. Natural History Museum Vienna、8. University of Texas at Austin)

15:15 ~ 15:30

[R5-17] フォルステライト単結晶のレーザー衝撃圧縮その場X線回折実験

*奥地 拓生¹、プレジャブ ナランゴー¹、尾崎 典雅²、瀬戸 雄介³、藪内 俊毅⁴ (1. 岡山大・惑星研、2. 大阪大・院工、3. 神戸大・院理、4. JASRI)

15:30 ~ 15:45

[R5-18] Esquelパラサイト隕石中のかんらん石に含まれる包有物

*江島 輝美¹、米山 安澄¹、赤坂 正秀²、昆 慶明³、平田 岳史⁴ (1. 信大・理、2. 島大・理工、3. 産総研、4. 東大・院理)

15:45 ~ 16:00

[R5-19] NWA 7203アングライトの特異な岩石組織の結晶化過程

「発表賞エントリー」

*林 秀幸¹、三河内 岳²、Bizzarro Martin³ (1. 東大・院理、2. 東大・総研博、3. コペンハーゲン大)

16:00 ~ 16:15

[R5-20] 人工微小隕石作成実験による高層大気酸素分圧条件の再現

*磯部 博志¹ (1. 熊本大学大学院先端科学研究部)

16:15 ~ 16:30

[R5-21] 急冷指標の炭素含有固化過程：地球外生成物

*三浦 保範¹ (1. 元-山口大・トロント大)

集積岩ユークライト中トリディマイト多形が示す 低温領域での熱史について

大野 遼* (東大・院理), 竹之内 惇志 (極地研), 三河内 岳 (東大・
総研博), 山口 亮 (極地研)

Low-temperature thermal history of cumulate eucrites as inferred from tridymite polymorphs

Haruka Ono*(Univ. of Tokyo), Atsushi Takenouchi (NIPR), Takashi Mikouchi (Univ. of Tokyo),
Akira Yamaguchi (NIPR)

はじめに：ユークライトは小惑星ベスタの地殻で形成されたと考えられている玄武岩質のエコンドライト隕石グループである[e.g., 1]。ユークライトは主に、集積岩・非集積岩の2つのサブグループに分けられることが多い。特に、集積岩ユークライトは輝石の離溶ラメラから冷却速度が求められるなど、ベスタ地殻形成過程の議論に広く用いられている[e.g., 2, 3]。しかし、これまで議論されてきた熱史は、輝石が示す温度領域(600~1000°C程度[4])に限られている。本研究ではこの温度領域以下での熱史を議論するために、シリカ鉱物に着目した。シリカ鉱物は様々な温度圧力条件下で多くの多形を持ち、特にトリディマイトは400°C以下で6つの多形を持つことが知られている[5]。トリディマイト多形は主に六方晶系、直方晶系、単斜晶系、擬直方晶系の4つの晶系に分かれており、それらの間には複雑な相転移関係がある[5]。本研究では、トリディマイトが低温での熱史を議論する上で有用であると考え、集積岩ユークライトに含まれるトリディマイト多形を用いて、輝石が示す温度領域を含めた広い温度範囲での熱史の議論を試みた。

結果：試料は Moore County, Yamato (Y) 980433, Moama の3つの集積岩ユークライト薄片試料を用いた。3つの試料中全てに単斜晶系トリディマイトが存在していた。中でも Moore County に含まれるものは約4mmと最も大きいものであった。Y 980433 の単斜晶系トリディマイトには他の試料と比べて割れ目が多く含まれていた。Moama 中の単斜晶系トリディマイトには、他の試料には見られなかったラメラ状組織をした直方晶系トリデ

イマイトが含まれていた。ラメラ状直方晶系トリディマイトはホストである単斜晶系トリディマイトに比べて割れ目が多く含まれていた。

考察と結論：直方晶系トリディマイトは400~210°Cで安定領域を持つのに対して、単斜晶系トリディマイトは160~110°Cに安定領域があることが知られている[5]。さらに、これまでの我々の研究から、集積岩ユークライトよりも速く冷却された非集積岩ユークライト中の玄武岩質岩片中には直方晶系トリディマイトが存在していることを見出している[6]。これらのことから、Moama 中に存在した直方晶系トリディマイトは、冷却過程で一部に直方晶系を残したまま単斜晶系に部分的に相転移して形成されたと考えられる。そのため、Moama は単斜晶系トリディマイトのみを持つ他の2つの試料よりも速く冷却された可能性が高い。しかし、先行研究で輝石より見積もられている冷却速度は Moore County より Moama の方が遅い。そのため、Moore County と Moama の冷却速度が400°Cに至るまでに逆転した可能性があることが明らかになった。

以上のように、本研究からトリディマイトは輝石が示す温度領域以下の温度での熱史を議論する上で有用であることが示された。

参考文献：[1] Binzel R. P. and Xu S. (1993) *Science* 260:186-191. [2] Miyamoto M. and Takeda H. (1994) *EPSL* 122:343-349. [3] Harlow G. E. et al. (1979) *EPSL* 43:173-181. [4] Lindsley D. H. (1983) *Am. Min.* 68:477-493. [5] Graetsch H. and Flörke O. W. (1991) *Zeit. Krist.* 195:31-48. [6] Ono H. et al. (2016) 7th NIPR Symp. Polar Sci.

Keywords: Eucrite, Silica, Thermal history, Tridymite, Low-temperature

*Corresponding author: o-haruka@eps.s.u-tokyo.ac.jp

ユークライト隕石に産するシリカ多形の成因

金丸 礼(総研大), 山口 亮(極地研), 今榮 直也(極地研), 西戸 裕嗣(岡理大)

Petrogenesis of silica polymorphs in eucrites

R. Kanemaru* (SOKENDAI), A. Yamaguchi (NIPR), N. Imae (NIPR) and H. Nishido (OUS)

ユークライトは、母天体上(Vesta[1])で熱・衝撃変成作用・メタソマティズムなど複雑な2次的プロセスを経験している。従来、ユークライトの変成史の理解のため岩石・鉱物学的特徴に基づく熱変成度[2]や衝撃変成度[3]の推定が行われてきた。本研究では熱・衝撃変成度に加え、シリカ鉱物に注目した。シリカ鉱物は多くの多形を持ち、結晶化時や2次的プロセスの情報を保持していると考えられる。温度圧力条件から、ユークライトメルトから結晶化する初生シリカ鉱物相はトリディマイトとなること期待されるが、実際には様々な相が観察される。本研究では、光学顕微鏡、FE-SEM、ルミノスコープ、顕微ラマン分光装置を用いて16個のユークライト[3]のシリカ鉱物の相同定をした。

本研究では、ユークライトにおけるシリカ鉱物の産状をトリディマイトと石英の量比に基づき、Si-I(トリディマイト:>90%)、Si-II(トリディマイトと石英の共存)、Si-III(石英:>90%)に大別した。Si-Iは、集積岩ユークライトなど固化時に徐冷したもの、また、熱変成度が高い玄武岩質ユークライトに多く、Si-IIIは、熱変成度の低い玄武岩質ユークライトに多く観察された。これらユークライトに産するトリディマイトは、粗粒で短冊状の外形を示す。石英は多孔質で不透明鉱物、リン酸塩鉱物などと共生する。

Si-Iのトリディマイトは、メソスタシスと共生しない。溶融実験から、ソリダス温度付近の加熱により、メソスタシスが優先的に溶融することが知られている[4]。つまり、これらユークライトは高温熱変成作用過程により、トリディマイトの安定領域から徐冷したことが示唆される。急冷されたユークライトマグマから晶出するシリカ鉱物は、クリストバライトである[4]。クリストバライト(~2.36 g/cm³)から相転移した石英(2.65 g/cm³)は、密度差を解消するため微小なクラックを多く含む場合がある[5]。つまり、Si-II, IIIの多孔質な石英は、ユークライトマグマの急冷により結晶化したクリストバライトが熱変成作用により再結晶化したことが示唆される。Si-IIのトリディマイトは自形であり、多孔質の石英に囲まれていることから、トリディマイトの結晶化中に急冷・再加熱により、Si-IIIと同様の石英が形成されたことが示唆される。

参考文献: [1] Binzel R. P. and Xu S. 1993, *Science*, 260, 5105. [2] Takeda H. and Graham A. 1991, *Meteoritics*, 26, 129-134. [3] Kanemaru R. et al. 2019, 60th LPSC #2132. [4] Yamaguchi A. et al. 2013, *Earth Planet. Sci. Lett* 368, 101-109. [5] Seddio S. M. et al., 2015, *Amer. Mineral*, 100, 1533-1543.

Keywords: Eucrite, Silica polymorphs

Corresponding author: kanemaru.rei@nipr.ac.jp

Padvarninkai に記録された複雑な衝撃変成履歴

宮原正明 (広島大・理)*, 山口亮 (極地研), 大谷栄治 (東北大・理)

The complex shock metamorphism history recorded in the Padvarninkai

Masaaki Miyahara (Hiroshima Uni.)*, Akira Yamaguchi (NIPR), Eiji Ohtani (Tohoku Uni.)

We investigated the shock-induced melting textures and high-pressure polymorphs therein in the eucrites Padvarninkai with FE-SEM and Raman spectroscopy. The shock-melt veins included coesite, Ca-pyroxene and garnet-like minerals as high-pressure polymorphs. Both the progressive and retrograde phase transitions occurred in the shock-melt veins, suggesting that the shock metamorphism recorded in Padvarninkai is not simple.

1. はじめに

HED 隕石は小惑星 Vesta の破片と見なされている [1]。しかし、HEDs 隕石の起源と地球への飛来プロセスに関しては議論が続いている [2]。HED 隕石の内、ユークライトは Vesta の表層を構成していた岩石と考えられている。Yamaguchi et al. (1993) [3]によれば、Padvarninkai は最も強い衝撃変成作用を記録しているユークライトである。しかし、Padvarninkai の衝撃変成作用の痕跡はこれまで詳しく調べられてこなかった。そこで、本研究では、Padvarninkai の衝撃溶融組織とそこに生成する高圧相を詳細に調査した。

2. 実験試料と実験手法

2 枚の Padvarninkai の岩石薄片を研究に利用した。1 枚は衝撃溶融組織を持たない母岩、もう一枚は幅広い衝撃溶融組織を含む。溶融組織と高圧相の観察・分析には光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡 (FE-SEM)、レーザーラマン分光装置を用いた。

3. 結果と考察

Padvarninkai の母岩部分はオフィティック組織を持つ。主な構成鉱物は単斜輝石 (普通輝石—単斜鉄珪輝石) と灰長石、他に少量のイルメナイト、クロマイト、トロイライト、シリカ鉱物 (トリディマイト、クリス

トバライト、石英) 及びリン酸鉱物も含まれていた。

母岩中の大部分の灰長石はアモルファス化していた。衝撃溶融脈に接している灰長石の内部には多数の微結晶が生成していた。小球状に集合した微結晶もあった。ラマンスペクトルに基づく、この微結晶は Ca 輝石に類似する。一部の小球状微結晶集合体はその晶癖を保ったままアモルファス化していた。母岩中のシリカ鉱物はアモルファス化していたものもあった。衝撃溶融脈中のシリカ相はコーサイト、シリカガラス或いは石英であった。一部の石英粒子はコーサイト粒子或いはシリカガラスを取り囲むように生成していた。衝撃溶融脈の基質部分には単斜輝石とガーネット様鉱物が生成していた。衝撃溶融脈中では、低圧相から高圧相だけでなく、その逆の転移を示唆するものがあり、Padvarninkai に記録された衝撃変成履歴が複雑であることを示している。

引用文献

[1] M.C. De Sanctis et al., 2012, *Science* 336, 697–700. [2] A. Yamaguchi et al., 2002, *Science* 296, 334–336. [3] A. Yamaguchi et al., 1993, *Meteoritics* 28, 462–463.

Keywords: Eucrites, Silica, Plagioclase, high-pressure polymorph

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

Zagami および EETA 79001 火星隕石中のマスケリナイト 加熱実験から探る衝撃変成過程

識名 里沙* (東大・院理), 三河内 岳 (東大・総研博)

Heating experiments of maskelynite in Zagami and EETA 79001 Martian meteorites: Implication for their shock metamorphism

Risa Shikina*(Univ. of Tokyo), Takashi Mikouchi (Univ. of Tokyo)

はじめに：マスケリナイトは、強い衝撃によって斜長石が固相状態でガラス化したものであり、シャーゴッタイト火星隕石に普遍的に見られる[1]。マスケリナイトは加熱により容易に結晶質斜長石に戻ることが知られており、その再結晶化度は衝撃圧に依存する[2]。[2]は、衝撃実験によって得られたマスケリナイトを加熱したものであるが、天然とは衝撃エネルギーが著しく異なることから[3]、天然の衝撃変成試料を用いた再結晶化実験では、実験室の結果とは異なる傾向を示す可能性がある。本研究では、異なる衝撃変成度を経験した2つのシャーゴッタイト (Zagami と EETA 79001) のマスケリナイト加熱実験を行い、再結晶化度の評価を試みた。

加熱実験：Zagami と EETA 79001 の小片(約 5 mm) を、CO₂-H₂ ガス混合炉中 (log₁₀O₂=IW+2) で 900°C (1, 4, 8, 12, 24, 168 時間)、1000°C (1 時間) および 800°C (24, 168 時間) で加熱した。薄片試料の作成後、光学顕微鏡で観察し、斜長石再結晶度を評価した。鉱物組成は EPMA (JEOL JXA 8900L) で分析し、元素マップから再結晶斜長石の割合を求めた。

結果：[4]の報告のように、Zagami は 800°C、24 時間および 168 時間、900°C で 1 時間加熱した実験では再結晶の明確な証拠を示さなかったが、900°C、4 時間以上加熱した場合には繊維状の結晶質斜長石が見られた。900°C で 24 時間と 168 時間加熱されたマスケリナイトは、ほとんど完全に多結晶質の斜長石に変換された。900°C で 4 時間加熱した試料と 1000°C で 1 時間加熱したマスケリナイトは、繊維状結晶質斜長石が元の粒子の割れ目と縁に沿ってのみ観察された。EPMA 分析から、Na と K が再結晶化領域で乏しくなり、Ca に富んでいることが分かった。900°C で 24 時間

および 168 時間加熱されたマスケリナイトには、Na と K に富むガラス領域が存在し (Na₂O: ~6.5 wt%, K₂O: ~2.5 wt%)、再結晶がまだ起こっていない場所に Na と K が集中することを示唆する。Zagami とは異なり、EETA 79001 は 800°C、24 時間および 900°C、1 時間加熱した実験で既に再結晶を示し、900°C で加熱したすべての試料で繊維状の結晶質斜長石が観察された。1000°C で 1 時間加熱したマスケリナイトはほぼ完全に再結晶化し、800°C で 168 時間加熱したマスケリナイトは 1 粒子中の ~33% で再結晶化が確認された。

考察と結論：マスケリナイトの再結晶度は、斜長石の元々の衝撃度と関係があると報告されており、同じ加熱時間の試料では衝撃度が高いほど再結晶化度が低いことが示されている[2]。Zagami と EETA 79001 の衝撃圧は、それぞれ 29.5±0.5 GPa と 39±4 GPa と推定されているが[1]、本実験では衝撃度の高い EETA 79001 の再結晶化度が高く、[2]とは異なる傾向を示した。これは、より強い衝撃を受けた EETA 79001 の方が、マスケリナイト化後に乱された原子構造が残留熱により修復され、再結晶化が起りやすかったためと考えられる。また実験全体を通して、天然試料の加熱実験では、[2]よりも高い再結晶化度を示した。これも、天然と実験室実験との衝撃エネルギーの差異により、残留熱の違いによって引き起こされたものと考えられる[5]。

参考文献：[1] Fritz et al. (2011) MAPS 40:1393-1411. [2] Ostertag & Stöffler (1982) Proc. 13th LPSC:A457-A463. [3] Tomeoka et al. (1999) GCA 63:3683-3703. [4] Mikouchi et al. (2002) MAPS 37:Suppl. A100. [5] Takenouchi et al. (2017) MAPS 52:2491-2504.

Keywords: Shergottite, Maskelynite, Recrystallization, Residual heat

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

チクシュルーブ隕石孔の基盤岩石英の微細組織

谷理帆^{1,2}, 富岡尚敬², 鹿山雅裕³, 常昱³, 西戸裕嗣⁴, Das Kaushik¹, Auriol Rae^{5,6}, Ludovic Ferrière⁷, Sean Gulick⁸, Joanna Morgan⁵, IODP-ICDP expedition 364 scientists

(¹広島大学, ²JAMSTEC, ³東京大学, ⁴岡山理科大学, ⁵インペリアル・カレッジ・ロンドン, ⁶アルベルト・ルードヴィヒ大, ⁷ウィーン自然史博物館, ⁸テキサス大学)

Microstructural observations of quartz from the basement rocks of the Chicxulub impact structure and shock pressure estimation

Riho Tani^{1,2}, Naotaka Tomioka^{2*}, Masahiro Kayama³, Yu Chang³, Hirotsugu Nishido⁴, Kaushik Das¹, Auriol Rae^{5,6}, Ludovic Ferrière⁷, Sean Gulick⁸, Joanna Morgan⁵ and the IODP-ICDP Expedition 364 scientists (¹Hiroshima University, ²JAMSTEC, ³University of Tokyo, ⁴Okayama University of Science, ⁵Imperial College London, ⁶Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, ⁷Natural History Museum Vienna, ⁸University of Texas at Austin)

The Chicxulub impact structure, which is an only well-preserved peak-ring crater on Earth, was drilled by the joint IODP-ICDP Expedition 364 in 2016. A continuous core was successfully recovered from the peak ring between depths of 505.7–1334.7 mbsf [1]. Our study aims at evaluating a newly developed shock barometry method and to characterize shock effects in quartz from the basement granitic rocks (747.0–1334.7 mbsf). We have determined shock pressures recorded by each quartz grain from the basement rocks using the cathodoluminescence (CL) spectroscopy method, knowing that a part of blue emission band is caused by shock-induced defect centers and that its intensity drastically increases with increasing shock pressure. Estimated shock pressures are almost constant throughout the drilling depth in the range of 15–25 GPa. The results are in relatively good agreement with those determined by conventional universal stage method using PDFs orientations in shocked quartz [2].

TEM observations show that shocked quartz grains have dislocations, subgrain boundaries, and planar deformation features (PDFs) oriented parallel to (0001), {10-11}, and {10-13}. These PDF orientations, based on experimentally shocked single quartz grains, are typically formed at pressures below ~20 GPa [3]. Most of the investigated PDFs are not anymore made of amorphous silica but recrystallized quartz, associated with a high density of dislocations and voids. The decorated PDFs form as a result of post-impact hydrothermal alteration. It is known that hydrothermal quartz shows very weak blue CL intensity [4]. However, the presence of hydrothermally recrystallized PDFs does not affect shock pressure determination of quartz from the basement rocks probably due to their small volume fraction within the CL measurement area (35 x 45 μm²). A quartz grain experienced a shock pressure of ~20 GPa, estimated based on CL measurements, showed superlattice reflections of quartz, corresponding to 3-fold periodicity of reflections along [121]*_{Qtz} in the vicinity of PDFs. The similar superstructure of quartz was previously reported in recovered quartz samples after experimental compression above 21 GPa [5]. Therefore, the crystal structure is also supporting evidence for shock pressure generation of ~20 GPa.

References: [1] Morgan et al. (2016) *Science*, 354, 878–882. [2] Rae et al. (2017) *LPSC*, 1934.pdf. [3] Langenhorst and Deutsch (1994) *Earth Planet. Sci. Lett.*, 125, 407–420. [4] Richter et al. (2003) *Mineral. Petrol.*, 79, 127–166. [5] Kingma et al. (1993) *Phys. Rev. Lett.* 70, 3927–3930.

Keywords: Chicxulub impact crater, drilling core samples, cathodoluminescence, quartz, TEM

*Corresponding author: tomioka@jamstec.go.jp

フォルステライト単結晶のレーザー衝撃圧縮その場 X 線回折実験

奥地 拓生¹, プレジャブ ナランゴ¹, 尾崎 典雅², 瀬戸 雄介³, 藪内 俊毅⁴
 (1岡山大学惑星研, 2大阪大院工, 3神戸大院理, 4JASRI)

Laser-shock compression experiments of forsterite coupled with XFEL diffraction

Takuo Okuchi*¹, Purevjav Narangoo¹, Norimasa Ozaki², Yusuke Seto³ and Toshinori Yabuuchi⁴
 (1Okayama Univ., 2Osaka Univ., 3Kobe Univ., 4JASRI)

Primitive meteorites often show features of shock metamorphism, including occurrences of dense polymorphs of major mineral phases. By previous transmission electron microscopy studies, it was demonstrated that olivine (α - Mg_2SiO_4) often had transformed into its denser polymorphs such as wadsleyite (β - Mg_2SiO_4) and ringwoodite (γ - Mg_2SiO_4), as well as a recently-discovered new structure (ϵ - Mg_2SiO_4 ; Tomioka and Okuchi, Sci. Rep. 2017). The impact events that produced these polymorphs played essential roles in the history of early solar system evolution. Here we tried to reproduce such a dynamic transformation process starting from forsterite olivine single crystals by using very strong laser beam and x-ray free electron laser (XFEL) beam in combination at SACLA, SPring-8, Japan.

The transformation process was analyzed with sub-nanosecond time resolution by ultrafast single-crystal diffraction scheme using XFEL (Fig). A series of synthetic α - Mg_2SiO_4 single crystal plates with 50 μm in thickness were separately compressed along its a-axis by irradiation of strong laser beam with 532 nm wavelength and with 4 nanoseconds of pulse width, that was focused into ~ 200 μm diameter on target. The transforming structures were analyzed at variable delay times by using femtosecond XFEL pulse, which was focused into even smaller dimension where the strongest shock wave was propagating.

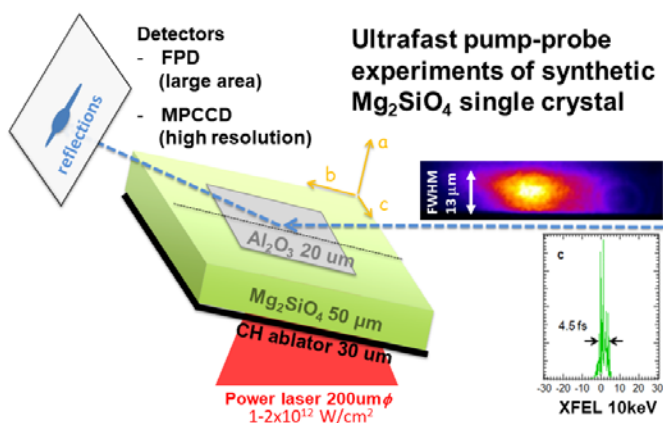


Fig. Experimental Setup

By analyzing the motion of Bragg reflection coming from hexagonal close-packed oxygen layer (200) of α - Mg_2SiO_4 , we firstly observed propagation of decaying elastic wave, and secondly observed decaying plastic wave. We then discovered an ultrafast transformation process toward cubic close-packed oxygen layer structure, which is possibly related to γ - Mg_2SiO_4 . The transformation had completed only within few nanoseconds, which was not expected to occur during shock metamorphism of meteorites. It can be a shear-induced fast lattice slipping proceeding without any atomic diffusion process. We conclude that formation processes and environments of some of dense Mg_2SiO_4 polymorphs in heavily shocked meteorites are needed to be reconsidered to involve this fast process.

Esquel パラサイト隕石中のかんらん石に含まれる包有物

江島輝美 (信州大学)、米山安澄 (信州大学)、赤坂正秀 (島根大学)、
 昆慶明 (産総研)、平田岳史 (東大院理)

Inclusions within olivine in Esquel pallasite

Terumi Ejima (Shinshu Univ.), Azumi Yoneyama (Shinshu Univ.), Yoshiaki Kon (AIST), Masahide Akasaka (Shimane Univ.) and Takafumi Hirata (Univ. Tokyo)

Inclusions within olivine in an Esquel pallasite of the Main group pallasite was investigated using electron microprobe analysis and Raman spectroscopy. Esquel pallasite consists mainly of olivine, Ni-Fe metal, and aggregates of fine minerals. The average Fo content of olivine is 88.3. The inclusions within olivine crystals occur as droplets, grains of irregular form and tubular form. The droplets inclusions consist of fine Ni-Fe metal, troilite, olivine and cristobalite, or single phases of troilite, Ni-Fe metal and stanfieldite. Irregular form inclusions are chromite or aggregates of chromite + troilite + enstatite and/or cristobalite. The tubular inclusions consist of unidentified Ca-Cr-Si-rich phase.

パラサイト隕石中のかんらん石の包有物は、隕石の形成環境や履歴を明らかにするために注目されてきた。Esquel パラサイト隕石のかんらん石中の包有物に関しては、トロイライト、Fe-Ni 合金、クロマイト、リン酸塩鉱物が報告されている (Buseck 1977; Desrousseaux et al. 1997)。本研究では、Esquel 隕石のかんらん石の包有物中に先行研究で未報告の鉱物を認めため、包有物構成鉱物の同定、記載、化学組成分析を行い、これらの形成過程について考察した。

鉱物の観察、組成分析、同定には、フィールドエミッションタイプ電子線微小部分分析装置およびラマン分光分析装置を用いた。

本研究で用いた Esquel 隕石試料 (2.5×2.5×0.15 cm) は、主にかんらん石および Fe-Ni 合金からなり、まれに Fe-Ni 合金およびトロイライトなどからなる微細な鉱物の集合体を含む。かんらん石は黄緑色で、縁部は茶褐色～黒色を呈する。平均 Fo 含有量は 88.3 mol.%である。かんらん石には、数 μm～1mm の滴下状、不定形、チューブ状の包有物が存在する。滴下状の包有物は、Ni-Fe 合金+トロイライト+かんらん石+クリストバライ

トの集合体から構成されるものや、トロイライト、Ni-Fe 合金、スタンフィルダイトの単相のものがある。まれに、クロマイト、エンスタタイト、シュライバーサイトの集合体のもがある。不定形の包有物には、クロマイト単相のものやクロマイト+トロイライト+エンスタタイト±クリストバライトの集合体のもがある。滴下状や不定形の包有物は、割れ目に沿って点在する。チューブ状のものは離溶状の産状で、短径 1μm×長さ数十 μm、顕微鏡下では褐色である。元素濃度分布では、母相のかんらん石より Ca、Cr、Si の含有量が高い。

包有物に含まれるかんらん石粒子は、母相のかんらん石の組成とほぼ同じである。一方、クロマイトは、かんらん石と Fe-Ni 合金の間に存在する微細な鉱物集合体中のもの、かんらん石の包有物の単相のもの、クロマイト+トロイライト+エンスタタイト±クリストバライトの集合体を構成しているもの、では組成が異なる。

包有物に含まれるクロマイトの組成の違いと包有物の産状から、Esquel 隕石は複数の形成時期の異なる包有物を形成するイベントを経験していると結論される。

Keywords: Olivine, Pallasite, FE-EPMA, Raman, Esquel

*Corresponding author: tejima@shinshu-u.ac.jp

NWA 7203 アングライトの特異な岩石組織の結晶化過程

林秀幸*(東大・院理), 三河内岳(東大・総研博), Martin Bizzarro(コペンハーゲン大)

Crystallization history of unusual petrological textures in the NWA 7203 angrite

Hideyuki Hayashi* (U. Tokyo), Takashi Mikouchi(U. Tokyo), Martin Bizzarro (U. Copenhagen)

はじめに:アングライトは太陽系最古の原始惑星地殻由来隕石の一種で、アルカリ元素に枯渇し、難揮発性元素に富む化学組成から、特異な鉱物組み合わせを示す(例えば Keil, 2012)。アングライトはNWA 1670とNWA 7203の例外を除き、衝撃変成組織を示さないため、広くタイムアンカーとして利用されている(Scott+, 2011; Hayashi+, 2018)。我々の過去の研究において、NWA 7203の衝撃変成組織を明らかにし、この試料がアングライト母天体の進化史を解明する上で重要であることを報告した(Hayashi+, 2018)。NWA 7203は急冷組織を示すアングライト隕石であり、粒子サイズが大きく変化する特異な岩石組織を示すが(Mikouchi+, 2012)、詳しい結晶化過程は明らかになっていない。そこで本研究では、詳細な鉱物学的研究により、NWA 7203の結晶化過程の解明を目的とした。

試料と手法:NWA 7203 薄片試料を光学顕微鏡及び FE-SEM で観察し、化学組成分析は FE-EPMA (JEOL, JXA-8530F)を用いた。

結果:NWA 7203 は主にカンラン石、灰長石及び輝石から成る。粒子サイズは1 μm 程度から100 μm 以上に大きく変化する。細粒部では、灰長石が伸長し、その間をカンラン石及び輝石が埋めている。粗粒部では、カンラン石と灰長石が樹枝状共晶を成し、その間を輝石が埋めている。粒子サイズは細粒~粗粒部に連続的に変化している。また、細粒部は~1 cmの球状集合体で、樹枝状組織が放射状に細粒部から粗粒部に広がっている。バルク組成は、各種元素のMAP分析からモード組成を求め、各鉱物種の平均組成を掛けて見積もった。その結果、粗粒部(Mg#=36)は、細粒部(Mg#=34)に比べ、わずかにMgに富みFeに乏しい組成であった。ただし、組成差はわずかで、誤差の範囲内でバルク組成は一致している可能性も否定できない。

カンラン石は粗粒部ではFo_{59.0}であり、細粒部

ではFo_{54.4}であった。平均組成を考えると、粗粒部のカンラン石は、細粒部のものより、Mgに富んでいる。これは、バルク組成の結果と調和的である。一方で輝石は、粗粒部においてはMg#=0-44、細粒部ではMg#=24-50であった。平均組成を考えると、輝石は細粒部のものの方は、粗粒部のものよりも、Mgに富んでおり、カンラン石と逆の結果である。

細粒部分にのみ、周辺のカンラン石よりもMgに富んだカンラン石が見られた(Fo_{≤64})。これらのカンラン石は、バルク組成と平衡なカンラン石Fo#よりMgに富んでいることから、外来結晶と考えられる。このカンラン石を核にし、灰長石が成長している様子が見られた。また、Fo₆₄の外来結晶は、薄片内で最もMgに富んだカンラン石であり、光学顕微鏡観察により単結晶であることが分かった。またこのカンラン石を核に、カンラン石と灰長石の樹枝状の共晶が成長していた。

議論と結論:本研究から、NWA 7203に初めてカンラン石外来結晶が見出された。今まで急冷組織を示すアングライト隕石に知られていたカンラン石外来結晶とは、Cr含有量が少ない点(0.1 wt%以下)や、Fo#が最大64と低い点(例えばNWA 1670の外来結晶はFo₉₆が存在)、カンラン石と灰長石の樹枝状共晶が外来結晶を核に成長している点などが異なる。

本研究からNWA 7203の結晶化過程は次のように考えられる。まずカンラン石外来結晶を核に、細粒部が結晶化した。次に、周囲のメルト組成がMgに富むよう変化し、粗粒部が結晶化した。メルト組成のMg富化としては、例えばマグマ混合などの可能性が考えられる。また、バルク組成が細粒部と粗粒部で同じだったならば、実際にはメルト組成は変化せず、NWA 7203の組織が形成された可能性も残されている。その場合、細粒部と粗粒部の組織の違いは、冷却速度の鈍化により起こされた可能性が考えられる。

Keywords: NWA 7203, Angrite, Crystallization history, Xenocryst

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

人工微小隕石作成実験による高層大気酸素分圧条件の再現

磯部博志* (熊本大)

Reproduction of oxygen fugacity of upper atmosphere based on artificial micrometeorites

Hiroshi Isobe* (Kumamoto Univ.)

Micrometeorites are the most abundant planetary materials accumulating to the Earth. Melted micrometeorites can record fO_2 of upper atmosphere. Magnetite crystals occur in artificial micrometeorites produced with fO_2 lower than FMQ buffer curve. Oxidation of micrometeorites may be controlled by accumulated interaction with oxygen molecules in the heating path of the meteorites.

定常的に地球に落下する隕石物質では、直径 0.1mm 前後の微粒子が最大の質量フラックスを持つ。それら微粒子は、高層大気突入時に高度 80km 付近を中心に強い加熱を受けて熔融し、その後の急冷によって熔融微小隕石と呼ばれる球粒となる。微小隕石中の鉄を含む相の酸化状態は、加熱時の酸素分圧条件によって影響を受けると考えられている。

現在の地球高層大気は高度約 100km までよく攪拌されており、地表とほぼ同じ組成を持つ。従って、酸素を約 21%の体積比で含む現在の高層大気の酸素分圧は高度に依存した大気圧によって決まっていると考えられ、高度 80km では $\log(fO_2)$ は約 -5.7 となる。太古代における地球大気の酸素量は様々な地質試料を用いて議論されている。なかでも、現世から太古代に至る海洋性堆積物中に見いだされる微小隕石粒子は、地球環境の変遷を解析する指標となる可能性が指摘されている (Tomkins et al., 2016)。

本研究では、高温炉中で微粒子を自由落下させる実験系 (Isobe and Gondo, 2013) を用いた熔融急冷実験の結果をもとに、鉄の酸化挙動と fO_2 条件の関係について検討した。試料は、鉄隕石試料および FeS 試薬から作成した

径約 100 μ m の不定形粒子である。試料粒子はおよそ 2 秒以内に最高温度の約 1600°C に達した後急冷される。 fO_2 は、FMQ バッファカーブを挟んで、最大 $\pm 2.5 \log \text{ unit}$ となるよう、 H_2/CO_2 混合ガスによって実験ごとに制御した。実験生成物は、鉄鉱物相に注目して組織および組成を解析した。

鉄隕石、硫化鉄由来の試料を用いた実験生成物ともに、 fO_2 の高い実験ほど多量の酸化鉄が形成した。また、硫化鉄試料においてはメルト相が O に富む組成となった。一方、FMQ バッファよりも低い、最も低い fO_2 を設定した実験においても一部の粒子には酸化鉄が生じ、磁鉄鉱の急冷結晶が形成しているものも見られた。

本実験のような、 H_2/CO_2 混合ガスを用いた系においては、温度に応じて H_2 , CO_2 , CO , H_2O 比が決まり、それらと平衡な fO_2 が実現する。本実験条件においては O_2 のモル比は CO_2 および CO と比較すると極めて小さいため、試料の酸化還元挙動は主に CO_2 および CO 分子との反応によって規定されると考えられる。微小隕石形成過程においては、熔融時の酸素分子との衝突頻度が鉄の酸化挙動を規定している可能性がある。

Keywords: micro meteorite, oxygen fugacity, atmospheric heating, troilite, iron meteorite

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

急冷指標の炭素含有固化過程：地球外生成物

三浦保範（元山口大）

Quenched indicator of carbon-bearing process: Extraterrestrial case

Yasunori MIURA (Post Yamaguchi Univ.)

Carbon-bearing grains called as quenched indicator of extraterrestrial rocks are required process applied for the accumulation of carbonaceous chondrites and carbon contents. The presence of quenched carbon-bearing grains remained in the primordial extraterrestrial meteorites indicates that the seawater fluid was not related totally.

はじめに：地球の三圏の物質移動のない地球外の環境では海水圏が無いので、内部での徐冷過程より、表面での急冷過程が顕著である。本件では、地球内外広く利用できる状態間の固化物質を急冷指標の観点から地球外について考察する。

急冷指標の現状とその必要性：地球の内部と圏システム活動と異なり、火星の二圏惑星は固体岩石から(衝突)遊離した大気圏が形成されている。軽元素二圏のない月・小惑星は、固体圏だけなので、岩石に軽元素が散逸し、一部残存している。地球外では、高温高圧状態から急冷する継続過程は隕石衝突であり地球型の表層・環境とは異なる。

急冷過程での炭素含有物の重要性：地球外での固化過程は、揮発性炭素元素などが固体に混在して残留するタイプなので、地球型とは異なる。

地球外の炭素含有物の FE-SEM 観察：ミクロな炭素含有物の FE-SEM (EPMA)観察で、地球外試料に観察できる(月、隕石、火星隕石等)。これは直接宇宙空間に接しているので、衝突時に固体と軽元素が取り込まれ手いることを示す。

地球外天体の活動を炭素含有物から考察：ミクロな炭素含有物は、流体や継続的な極限状態で変

化するので、その残存は広域の海水流体や継続的な火山活動などが無いことを示します。火星の隕石の若い年代については、その試料での広域確認が必要である。止まった若い年代は、「継続的な活動がなく残存している」ので、小惑星衝突等による熔融急冷での中断(若返り)で説明ができる。

地球外天体における大気と岩石：海水圏がないので大気中の炭酸ガス等は流体や石灰岩等を形成せず、無活動的な天体であることを示す。

水の形成：固体内に軽元素を残すので、加熱すると水は局所的にある状態で生成されるが、全域に及ぶ海水システムができる水量ではない。

生命に必要な炭素源：生命体は炭素化合物がメインであるので、その炭素集積過程が重要で、本件の急冷過程は地球内外で重要な一過程である。

まとめ：地球外の急冷指標の炭素含有物は、炭素質隕石や、炭素の集積に必要な過程である。古い地球外隕石に急冷炭素含有物が残存しているのは、海水流体が関与していなかったことを示す。

参考文献：三浦保範 (1996)「衝撃波ハンドブック」(シュブリンガ[®]・フェアラクTokyo), 1073-1209. Miura Y. (2017) Planet. Sci.-2050, 8101 (USA). Miura Y. (2018) IMA-2018 (Melbourne, Australia) 2039.

Keywords: Quenched indicator, Solidified Process, Carbon-bearing process yasmiura50@gmail.com