

グリーンランド・イスア表成岩帯の石墨片岩中に含まれる
モナザイト、ゼノタイム及びジルコンの CHIME 年代測定とその問題点
**CHIME dating of monazite, xenotime and zircon in graphitic schist,
Isua Supracrustal Belt, Greenland and problem for the measurement**

大友陽子^{1*}・加藤丈典²
Yoko Ohtomo^{1*}, Takenori Kato²

¹北海道大学大学院工学研究院環境循環システム部門

²名古屋大学宇宙地球環境研究所

¹Faculty of engineering, Hokkaido University, Kita 13, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8628, Japan

²Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan

*Correspondence author. E-mail: ohtomoy@eng.hokudai.ac.jp

Abstract

Biogenic graphite in > 3.7 Ga metasediments, Isua Supracrustal Belt (ISB), West Greenland, has been reported as the oldest remnants of life. However, ecosystem spreaded in the >3.7Ga ocean is still poorly understood. Isua biogenic graphite is located in chlorite-rich layers of metasediments as grains accompanied by monazite, xenotime and zircon. These rare earth element (REE)-bearing minerals could be supplied to sediments at primary sedimentary setting or precipitated from metamorphic fluids. Chemical Th-U-total Pb Isochron Method (CHIME) dating was conducted on these REE-bearing minerals to constraint the generation process.

CHIME age of zircon in graphite-rich metasediments indicates 3.9–3.8 Ga, which is consistent with previous zircon age in banded iron formation collected close to our sampling area. CHIME age of monazite and xenotime indicate two age peaks of ~2.7 Ga and ~3.7 Ga. Previous studies suggest that Isua retrograde metamorphism has occurred at ~2.7 Ga (Frei et al., 2001), which is consistent with one of age peaks of monazite and xenotime. Nano-scale observation of monazite by transmission electron microscope showed that well-ordered, sheeted graphite was crystalized around monazite, whereas quartz and disordered graphite were observed as inclusion of monazite. Considering with CHIME results and nano-structures of monazite together, monazite was considered to be formed during early diagenesis with involving indigenous biogenic organic matter and quartz and suffered by subsequent metamorphic events. The occurrence of monazite resembles REE-bearing minerals observed in Australian Archaean sedimentary rocks reported by Rasmussen (1996), which could be derived from altered biogenic organic matter during diagenesis.

Keywords: Isua Supracrustal Belt, biogenic graphite, rare earth elements, monazite, CHIME

1. はじめに

最古の生命の痕跡は約 38 億年前の岩石が分布するグリーンランド・イスア表成岩帯で発見されている (Rosing, 1999; Ohtomo et al., 2014). しかしながら, 当時どのような微生物圏が地球表層に広がっていたのか詳細は不明である. イスア表成岩帯で発見されている生命の痕跡は ¹²C に富むグラファイトであり, グラファイトは緑泥石に富む層と石英に富む層の互層からなる堆積岩由来の岩石に含まれている. グラファイトは緑泥石に富む層に濃集しており, 同じ層にはモナザイトやゼノタイム, ジルコンが共存している. これら希土類含有鉱物の起源として, 岩石形成時に混入した場合

と、変成作用中に流体から沈殿した場合が考えられ、もし岩石形成時に混入したとすれば当時の地球表層環境をその化学組成に反映している可能性がある。そこで本研究では、生物由来グラファイトと共存するモナザイトやゼノタイム、ジルコンの CHIME 年代測定から、これらの鉱物の成因に制約を与えることを目的とした。

2. 手法

グラファイトと共存するモナザイトやゼノタイム、ジルコンのサイズは数 μm ~10 μm であり、またしばしばクラックが入っている為に、微小領域の測定が可能な CHIME 法であってもビームがうまく当たらず正確な測定ができないという問題点がある。そのため本分析ではできるだけ多くの粒子の測定を行い、妥当な測定値が算出されたもののみを採用した。2017 年度の総測定数は 159 点、測定が成功したのはモナザイト 8 点、ジルコン 8 点、ゼノタイム 10 点であった。

3. 結果と考察

3-1. CHIME 年代測定結果

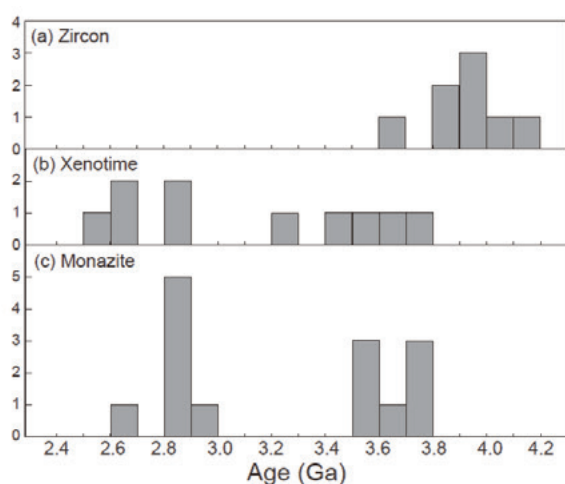


図 1. 生物由来グラファイトと共存するジルコン、ゼノタイム、モナザイトの CHIME 年代。(a) ジルコン、(b) ゼノタイム、(c) モナザイト。

分析の結果、ジルコンの年代は 39~38 億年前にピークを持ち、ゼノタイムやモナザイトよりも古い値を示した。この年代は過去の研究で示されたイスア表成岩帯の形成年代 (Nutman et al., 2009) と同等かそれよりも古いことから、当時の大陸地殻からもたらされた碎屑物由来であり、変成作用がジルコン年代に与えた影響は少ないと考えられる。一方でゼノタイム及びモナザイトの年代は約 37 億年前と約 27 億年前の 2 箇所にピークを持つことがわかった。石墨片岩が見つかった地域は約 37 億年前に形成され、ほぼ同時期に昇温変成作用を受けた後に約 27 億年前に後退変成作用を受けたことが先行研究により示されている (Nutman et al., 2009; Frei et al., 2002)。ゼノタイム及びモナザイトの年代はこれら二度の変成作用を記録していると考えられる。しかしながら、イスア表成岩帯

の形成年代と昇温変成作用の年代が近いこと、及び CHIME 年代の誤差を考えると、本結果のみでゼノタイムやモナザイトの初生年代を決定することはできない。そこで透過型電子顕微鏡観察より、モナザイトの微細な産状からその成因を限定することとした。

3-2. 年代測定結果とモナザイトの微細構造観察との整合性

微小領域におけるモナザイトの産状を観察するため、透過型電子顕微鏡観察を行った。モナザイトは細粒グラファイト粒子 (径~数百 nm) が濃集している層に存在している。また、しばしばグラファイト凝集体 (径~数 μm) を伴うことがこれまでの観察から判っている。そこでモナザイト、基質 (細粒グラファイト、石英、緑泥石) およびグラファイト凝集体が共存する部分を集束イオンビーム (FIB, Focused Ion Beam) で切断して薄膜を作製し、組織観察を行った。観察の結果、モナザイト結晶周辺に層状のグラファイト結晶が付着している様子が観察された (図 2a, b)。このグラファイトの格子は規則正しく配列しており欠陥も少ないことから (図 2c)、変成作用中に結晶化したもの

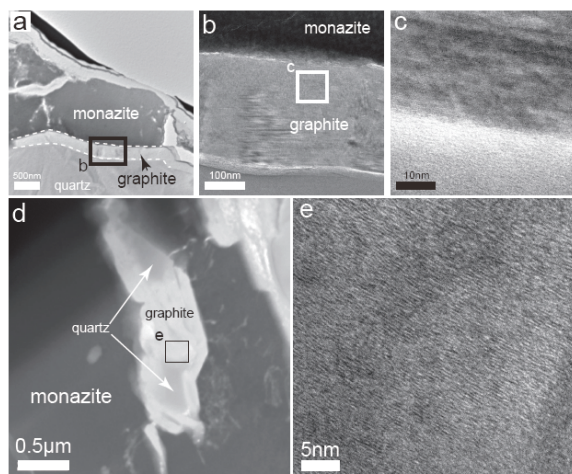


図 2. モナザイトと共存するグラファイトの透過型電子顕微鏡写真. (a) モナザイト周囲のグラファイト結晶, (b) a の黒枠部分拡大図, (c) b の白枠部分拡大図, (d) モナザイトに包有されたグラファイト, (e) d の黒枠部分拡大図.

と考えられる. 一方で, モナザイト結晶中にもグラファイト及び石英の包有物が観察された (図 2d). このグラファイトの結晶格子は乱れており (図 2e), 生物由来グラファイトに似た特徴を示した.

透過型電子顕微鏡で観察されたモナザイトの産状は, 形成過程でグラファイトのもととなった生物の死骸や石英が取り込まれたことを示唆している. このことから, 続成作用の時点でモナザイトの前駆物質が既に存在していた可能性が挙げられる. より新しい時代の太古代堆積岩中には, 続成作用中に生物由来のリンから結晶化した希土類鉱物の例が報告されている (Rasmussen, 1996). CHIME 年代測定結果と合わせて考えると, 本研究におけるモナザイトの前駆物質も同様の環境で形成された可能性がある.

4. 結論と今後の課題

グリーンランド・イスア表成岩帯の生物由来グラファイトを含む岩石について, グラファイトと共存するモナザイト, ゼノタイム及びジルコンの CHIME 年代測定を行った. ジルコン年代は 39 ~ 38 億年前を示したのに対して, ゼノタイム及びモナザイトは約 37 億年前と約 27 億年前の 2 箇所ピークを持つことがわかった. また, 電子顕微鏡観察結果から, モナザイトが生物由来の有機物や周辺の石英を取り込みながら結晶化した可能性が浮上した. しかしながら CHIME 測定の成功率は 16% 程度と低く, 希土類鉱物の抽出・樹脂包埋により測定易い断面を多数用意するなど, 測定成功率を上げるための試料準備が必要である.

謝辞

CHIME 年代測定に際し, 共著でもある加藤丈典先生には大変お世話になった. また, 本分析は日本学術振興会特別研究員研究奨励費, 及び名古屋大学宇宙地球研究所平成 29 年度一般共同研究 (課題名: 初期太古代石墨片岩中に含まれるモナザイトを対象とした CHIME 年代測定の検討) の支援を受けた. この場を借りて心より感謝の意を表する.

引用文献

- Rosing, M.T. (1999) ^{13}C -depleted carbon microparticles in >3700-Ma sea-floor sedimentary rocks from west Greenland. *Science*, 283, 674–676.
- Ohtomo, Y., Kakegawa, T., Ishida, A., Nagase, T., Rosing, M.T. (2014) Evidence for biogenic graphite in early Archaean Isua metasedimentary rocks. *Nature Geoscience*, 7, 25–28.
- Nutman, A.P., Friend, C.R.L., Paxton, S. (2009) Detrital zircon sedimentary provenance ages for the Eoarchaean Isua supracrustal belt southern West Greenland: Juxtaposition of an imbricated ca. 3700Ma juvenile arc against an older complex with 3920–3760 Ma components. *Precambrian Research*, 172, 212–233.

Frei, R., Rosing, M.T., Waight, T.E., Ulfbeck, D.G. (2002) Hydrothermal-metasomatic tectono-metamorphic processes in the Isua supracrustal belt (West Greenland): A multi-isotopic investigation of their effects on the Earth's oldest oceanic crustal sequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66, 467–486.

日本語要旨

最古の生命の痕跡は約 38 億年前の岩石が分布するグリーンランド・イスア表成岩帯で発見されているが、当時どのような微生物圏が地球表層に広がっていたのか詳細は不明である。本研究では、生物由来グラファイトと共存するモナザイトやゼノタイム、ジルコンの CHIME 年代測定から、これらの鉱物の成因に制約を与えることを目的とした。分析の結果、ジルコンの形成年代は 39～38 億年前を示したのに対して、ゼノタイム及びモナザイトは約 37 億年前と約 27 億年前の 2 箇所にピークを持つことがわかった。また、電子顕微鏡観察結果から、モナザイトが欠陥の多いグラファイトや石英を包有していることがわかった。以上のことから、モナザイトは生物由来の有機物や周辺の石英を取り込みながら結晶化した可能性が挙げられる。しかしながら CHIME 測定の成功率は低く未だ十分なデータ量が得られていないため、測定成功率を上げるべく試料準備に更なる工夫が必要と考えられる。