

瑞浪市化石博物館研究報告 第 50 巻, 第 3 号, 13–16, 1 table.

Bulletin of the Mizunami Fossil Museum, vol. 50, no. 3, 13–16, 1 table.

©2024, Mizunami Fossil Museum

Manuscript accepted on December 31, 2023; published on March 29, 2024.

## パレオパラドキシア瑞浪釜戸標本産地から産出した貝化石の ストロンチウム同位体年代(予察)

荒岡大輔<sup>1)</sup>・吉村寿紘<sup>2)</sup>・中島 礼<sup>1)</sup>

1) 国立研究開発法人産業技術総合研究所 〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1

2) 国立研究開発法人海洋研究開発機構 〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2-15

### Preliminary report of strontium isotopic ages of molluscs from the locality of the “Paleoparadoxiid Mizunami-Kamado specimen” in Mizunami City, central Japan

Daisuke Araoka<sup>1)</sup>, Toshihiro Yoshimura<sup>2)</sup>, and Rei Nakashima<sup>1)</sup>

1) National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 1-1-1 Higashi, Tsukuba City, Ibaraki 305-8567, Japan <rei-nakashima@aist.go.jp >

2) Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka City, Kanagawa 237-0061, Japan

#### Abstract

Paleoparadoxiid fossils were discovered in the Shukunohora Formation of the Mizunami Group exposed in the Toki River bed in Shimogiri-ku, Kamado-cho, Mizunami City, in 2022. In order to clarify the age of the Shukunohora Formation in this locality, we determined strontium isotopic ages using shell fossil samples that were cooccurred with paleoparadoxiid fossils. The strontium isotopic ages suggest that the depositional age of the paleoparadoxiid-bearing horizon is ca. 16.5 Ma.

*Key words:*  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , molluscs, strontium isotope chronology, Middle Miocene, Shukunohora Formation, Mizunami Group, Japan

#### 1. はじめに

現在の海水のストロンチウム同位体組成 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) は、現在の海洋におけるストロンチウムの滞留時間が 2.5 Myr であることから、全海洋で同じ値を示すことが知られている (Hodell et al., 1990). また、海洋生物の炭酸塩骨格中のストロンチウム同位体組成は海水のそれと等しくなる。したがって、炭酸塩骨格が続成作用などの変質を受けていな

い場合、炭酸塩骨格化石から過去の海水のストロンチウム同位体比を復元することが可能となる (伊藤, 1993; McArthur et al., 2020 など). 炭酸塩骨格化石を用いて復元した顕生代の海水の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  は 0.7092~0.7068 の範囲で大きな変化を示すことから、顕生代を通じた基準変動曲線は Geological Time Scale においても重要な年代指標の一つであり、ストロンチウム同位体層序として紹介されている (McArthur et al., 2020). 近年では、分析機器の進展とともに、微化石層序や火山灰層序、同位体

層序などの層序学による地層の年代決定が高精度化してきている。ストロンチウム同位体層序も同様であり、海洋生物の炭酸塩骨格化石のストロンチウム同位体比が有効な年代決定手法として使われている。

岐阜県瑞浪市周辺に分布する下部～中部中新統瑞浪層群は、陸生や海生の動植物化石を多産することから(瑞浪市化石博物館, 1974), 国内の下部～中部中新統の模式的層序として知られている。堆積年代については、微化石層序のほか、フィッション・トラック年代や U-Pb 年代などの手法が用いられて議論されている(入月・細山, 2006; 笹尾ほか, 2011, 2018 など)。瑞浪層群におけるストロンチウム同位体年代については、小笠原ほか(2001)によって、明世層山野内部層と宿洞層の貝化石からそれぞれ 11.47 Ma と 10.37 Ma と海生微化石などの生層序などの結果よりも若い年代値が得られており、保存の悪い試料であったことが示唆されている。その後著者らによって、瑞浪市土岐町の山野内部層最下部から産出した二枚貝化石 *Crenomytilus grayanus* (エゾイガイ) のストロンチウム同位体年代が分析され、入月・細山(2006)や笹尾ほか(2018)などで議論された年代層序と調和的である約 18 Ma の年代が明らかとなった(安藤ほか, 2020, 2022, 2023a)。

2022 年に瑞浪市釜戸町下切区の土岐川河床に露出する宿洞層においてパレオパラドキシア科化石(パレオパラドキシア瑞浪釜戸標本)が発見された(安藤ほか, 2023b)。この産地における宿洞層の年代を明らかにするため、貝化石試料を用いたストロンチウム同位体年代を分析したのでここに報告する。

## 2. 試料

本研究において使用した貝化石試料は、全てパレオパラドキシア科の骨格が産出した瑞浪市釜戸町下切区の土岐川河床に露出する宿洞層から採取された。宿洞層は主に砂岩からなり、礫岩および貝殻を含む砂岩を伴う地層である(氏原ほか, 1999)。この地層は不整合関係で下位を明世層、上位を生俵層と接している。宿洞層の堆積年代については、入月・細山(2006)や氏原ほか(1999)などによってまとめられているが、Blow(1969)の浮遊性有孔虫化石帯 N8 の下限(16.4 Ma)を含むいわゆる Mid-Neogene Climatic Optimum の時期に形成されたとされている。また、下位層の明世層の年代が約 18–17 Ma、上位層の生俵層が 15.8–15.6 Ma とされていること(入月・細山, 2006; 河邑ほか, 2011)、N8 の下限年代が約 17.0 Ma と指摘されていること(Hoshi et al., 2019)を考慮すると、宿洞層の堆積年代は 17–16 Ma と考えられる。

貝化石試料 MS1～MS4 は、パレオパラドキシア科骨格化石の周囲から産出したものであり、すべて同層準である。内訳は、*Crenomytilus grayanus* の外層 2 点(MS1, MS2)、*Ostreoida* fam., gen. et sp. indet. (カキ類) 1 点(MS3)、*Chlamys itoigawae* (イトイガワニシキ) 1 点(MS4)である(Table 1)。本試料と同層準から採取された貝類化石(安藤, 2024)、棘皮動物化石(大路, 2024)、貝形虫および有孔虫化石(入月ほか, 2024)から、本層準の堆積環境は汽水域でなく外洋水の影響を受ける浅海帯にあたりとされている。そのため、本試料には陸水の影響は少なく、本試料のストロンチウム同位体比は堆積時の海洋のストロンチウム同位体比を示すものと考えられる。

**Table 1.** ストロンチウム同位体比の測定結果と算出した年代値。Average に示されている各数値はいずれも 4 試料の数値の算術平均値。

Sample	ID	Formation	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2SD	Ma (median)	Ma (from)	Ma (to)
<i>Crenomytilus grayanus</i>	MS1	Shukunohora Formaton	0.708729	0.000028	16.2	15.7	16.7
<i>Crenomytilus grayanus</i>	MS2	Shukunohora Formaton	0.708716	0.000033	16.4	15.8	16.9
<i>Ostreoida</i> sp. indet.	MS3	Shukunohora Formaton	0.708694	0.000023	16.7	16.3	17.0
<i>Chlamys itoigawae</i>	MS4	Shukunohora Formaton	0.708709	0.000026	16.5	16.1	16.9
Average			0.708712	0.000028	16.5	16.0	16.9

## 3. 同位体分析手法

ストロンチウム同位体比の分析および同位体年代の算出方法の詳細については、安藤ほか(2020,

2022, 2023a)に記載した通りであるため、本章で簡潔に記載する。まず、*Crenomytilus grayanus* 試料については外層のカルサイトのみをサンプリングし、カルサイトから成る *Ostreoida* fam., gen. et sp. indet. お

よび *Chlamys itoigawae* については殻表面の汚染部位を除去したうえでバルク試料を洗浄し、粉末化した後に、硝酸で溶解した。溶液化した試料を蒸発乾固させた後、8 mmol/L の硝酸溶液に再溶解させ、イオンクロマトグラフ (930 Compact IC Flex, Metrohm AG, Herisau, Switzerland) によってストロンチウムを分離・精製した (Yoshimura et al., 2018)。分離・精製したストロンチウム溶液について多重検出器型 ICP 質量分析計 (Neptune Plus, Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA) にてストロンチウム同位体比の測定を行った (Araoka and Yoshimura, 2019)。試料の年代値については、最新のストロンチウム同位体年代モデルである McArthur et al. (2020) の Look-Up Table の ver. 6:2020 を用いて算出した。

#### 4. 結果と考察

貝化石のストロンチウム同位体比測定結果と、算出した年代値を Table 1 に示す。すべての試料でストロンチウム同位体比は誤差範囲内で一致しており、同時期に形成された化石であることを示している。パレオパラドキシア産出層準の算出年代の中央値は 16.2–16.7 Ma を示し、4 試料の年代中央値の平均は 16.5 Ma であった。また年代の下限は 15.7–16.3 Ma (平均: 16.0 Ma)、上限は 16.7–17.0 Ma (平均: 16.9 Ma) と算出された。

前述の研究による宿洞層の堆積年代は 17–16 Ma と推定され、あわせてパレオパラドキシア瑞浪釜戸標本周圍から産出した浮遊性有孔虫化石は浮遊性有孔虫化石帯 N8 の下限 (16.4 Ma) を示し (入月ほか, 2024)、今回算出されたパレオパラドキシア産出層準における貝化石試料のストロンチウム同位体年代の平均値 16.5 Ma (16.9–16.0 Ma) とこの堆積年代とは調和的である。したがって、貝化石試料によるパレオパラドキシア科産出層準の年代は約 16.5 Ma といえる。これは、宿洞層が氏原ほか (1999)、入月・細山 (2006) などが論述した Mid-Neogene Climatic Optimum の堆積物であることを絶対年代値からも支持しているといえる。

#### 5. 謝辞

産総研地質調査総合センターの阿川友紀子氏、海洋研究開発機構の吉川芳子氏には、実験室での分析作業について補助していただいた。University College London の J. M. McArthur 教授にはストロンチウム同位体年代モデルの Look-Up Table の ver. 6:2020 についてご教示いただいた。星博幸博士 (愛知教育大学) と長谷川善和博士 (横浜国立大学)

名誉教授、群馬県立自然史博物館名誉館長) には、原稿を査読していただき有益なコメントをいただいた。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

#### 6. 引用文献

- 安藤佑介. 2024. パレオパラドキシア瑞浪釜戸標本産地の瑞浪層群宿洞層から産出した貝類化石. 瑞浪市化石博物館研究報告 50(3): 67–72.  
DOI: 10.50897/bmfm.50.3\_67
- 安藤佑介・荒岡大輔・吉村寿紘・西本昌司・中島礼. 2020. 下部中新統瑞浪層群明世層産二枚貝 *Crenomytilus grayanus* (エゾイガイ) のストロンチウム同位体年代. 瑞浪市化石博物館研究報告 47: 89–93.  
DOI: 10.50897/bmfm.47.0\_89
- 安藤佑介・荒岡大輔・吉村寿紘・中島礼. 2022. 瑞浪層群明世層産貝類におけるストロンチウム同位体年代の追加記録. 瑞浪市化石博物館研究報告 49: 119–122.  
DOI: 10.50897/bmfm.49.0\_119
- 安藤佑介・荒岡大輔・吉村寿紘・中島礼. 2023a. 瑞浪層群明世層産貝類におけるストロンチウム同位体年代の再計算結果. 瑞浪市化石博物館研究報告 50(2): 7–8.  
DOI: 10.50897/bmfm.50.2\_7
- 安藤佑介・楓達也・北川博道・合田隆久・甲能直樹. 2023b. 瑞浪層群宿洞層(岐阜県瑞浪市釜戸町)よりパレオパラドキシア科の全身骨格の発見. 化石 113: 1–2.  
DOI: 10.14825/kaseki.113.0\_1
- Araoka, D., and T. Yoshimura. 2019. Rapid purification of alkali and alkaline-earth elements for isotope analysis ( $\delta^7\text{Li}$ ,  $\delta^{26}\text{Mg}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , and  $\delta^{88}\text{Sr}$ ) of rock samples using borate fusion followed by ion chromatography with a fraction collector system. *Analytical Sciences* 35: 751–757.  
DOI: 10.2116/analsci.18P509
- Blow, W. H. 1969. Late Middle Eocene to recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In: P. Bronnimann, and H. H. Renz, eds., *Proceedings of the 1st International Conference on Planktonic Microfossils*, Geneva 1: 199–422.
- Hodell, D. A., G. A. Mead, and P. A. Mueller. 1990. Variation in the strontium isotopic composition of seawater (8 Ma to present): Implications for chemical weathering rates and dissolved fluxes to the oceans. *Chemical Geology: Isotope Geoscience Section* 80: 291–307.

- DOI: 10.1016/0168-9622(90)90011-Z
- Hoshi, H., H. Iwano, T. Danhara, H. Oshida, H. Hayashi, Y. Kurihara, and Y. Yanagisawa. 2019. Age of the N7/N8 (M4/M5) planktonic foraminifera zone boundary: constraints from the zircon geochronology and magnetostratigraphy of early Miocene sediments in Ichishi, Japan. *Chemical Geology* 530: 119333.  
DOI: 10.1016/j.chemgeo.2019.119333
- 入月俊明・細山光也. 2006. 瑞浪層群宿洞層と生俵層—熱帯浅海から最大海進期の海生層—. In 日本地質学会, 編, 日本地方地質誌 4 中部地方. 朝倉書店. 東京都. p. 370–371.
- 入月俊明・林 広樹・辻本 彰. 2024. パレオパラドキシア瑞浪釜戸標本産地の瑞浪層群宿洞層から産出した貝形虫化石と有孔虫化石. 瑞浪市化石博物館研究報告 50(3): 81–89.  
DOI: 10.50897/bmfm.50.3\_81
- 伊藤 孝. 1993. 新生代海水 Sr 同位体層序組成データの評価と Sr 同位体層序学. *地質学雑誌* 99: 739–753.  
DOI: 10.5575/geosoc.99.739
- 河邑圭太・須藤 斎・柳沢幸夫. 2011. 岐阜県瑞浪地域中部中新統生俵層の珪藻化石年代層序. *Diatom* 27: 17–32.  
DOI: 10.11464/diatom.27.17
- McArthur, J. M., R. J. Howarth, G. A. Shields, and Y. Zhou. 2020. Chapter 7 - Strontium Isotope Stratigraphy. In F. M. Gradstein, J. G. Ogg, M. Schmitz, and G. Ogg, eds., *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier. Amsterdam. p. 211–238.  
DOI: 10.1016/B978-0-12-824360-2.0000
- 瑞浪市化石博物館. 1974. 瑞浪の地層と化石. 瑞浪市化石博物館研究報告第 1 号: 475 p.
- 小笠原憲四郎・久田健一郎・中野孝教・植村和彦. 2001. 本州下部中新統の堆積環境復元. 平成 11 年度～12 年度科学研究費補助金研究成果報告書. 47 p.
- 大路樹生. 2024. 瑞浪市釜戸町のパレオパラドキシア産地から見つかったウニ類. 瑞浪市化石博物館研究報告 50(3): 73–74.  
DOI: 10.50897/bmfm.50.3\_73
- 笹尾英嗣・岩野英樹・檀原 徹・林 譲治. 2011. 岐阜県南東部に分布する中新統瑞浪層群および岩村層群のフィッション・トラック年代. *地質学雑誌* 117: 476–481.  
DOI: 10.5575/geosoc.117.476
- 笹尾英嗣・檀原 徹・岩野英樹・平田岳史. 2018. 岐阜県南東部に分布する中新統瑞浪層群および岩村層群のジルコン U-Pb 年代とジルコン FT 年代の再評価. *地質学雑誌* 124: 141–150.  
DOI: 10.5575/geosoc.2017.0067
- 氏原 温・入月俊明・細山光也. 1999. 岐阜県東濃地域の第三系. 日本地質学会第 106 年学術大会見学旅行案内書 (106th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Excursion Guidebook): 97–116.
- Yoshimura, T., D. Araoka, Y. Tamenori, J. Kuroda, H. Kawahata, and N. Ohkouchi. 2018. Lithium, magnesium, and sulfur purification from seawater using an ion chromatograph with a fraction collector system for stable isotope measurements. *Journal of Chromatography A* 1531: 157–162.  
DOI: 10.1016/j.chroma.2017.11.052