

パラオ海溝の深海 6500m に存在する石灰岩体の溶解
Dissolution of limestone block located at 6500m depth of the Palau Trench

坪井辰哉^{1*}・和田秀樹²・中村俊夫³・松崎浩之⁴・大辻菜穂⁵・藤岡換太郎⁶・小栗一将⁶・北里 洋⁶
Tatsuya Tsuboi¹, Hideki Wada², Toshio Nakamura³, Hiroyuki Matsuzaki⁴, Naho Otsuji⁵,
Kantaro Fujioka⁶, Kazumasa Oguri⁶, Hiroshi Kitazato⁶

¹ 静岡大学大学院理学研究科 (Graduate School of Science, Shizuoka University)

² 静岡大学理学部地球科学科 (Institute of Geosciences, Shizuoka University)

³ 名古屋大学年代測定総合研究センター (Center for Chronological Research, Nagoya University)

⁴ 東京大学大学院工学系研究科 (Graduate School of Technology, The University of Tokyo)

⁵ 新潟大学大学院自然科学研究科 (Graduate School of Science and Technology, Niigata University)

⁶ 海洋研究開発機構 (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

*Correspondence to: Tatsuya Tsuboi; E-mail: r0134010@ipc.shizuoka.ac.jp

Abstract

The large limestone block was found at 6500m depth of Palau Trench in 1993. The Sr isotopic age of this limestone shows the accumulation age of late Miocene. Using the submersible *Shinkai 6500*, we report the ¹⁴C density of seawater collected around the large limestone block on the landward slope of the Palau Trench, at around 6500m depth, which is significantly deeper than the carbonate compensation depth (CCD). AMS-¹⁴C measurements of dissolved inorganic carbon (DIC) extracted revealed values as low as -295‰. It is suggested that this value is predominantly caused by the dissolution from the limestone block.

要旨

1993 年の“しんかい 6500”潜航の際に、パラオ海溝陸側斜面の水深 6500m の海底に巨大な石灰岩岩体を発見した。この石灰岩体は、炭酸塩補償深度 (CCD) 以深に分布している。Sr 同位体比年代曲線による石灰岩の堆積年代は、およそ後期中新世であると推定される。また、石灰岩露頭近傍の海水の溶存無機炭素の AMS-¹⁴C 測定の結果は、 $\Delta^{14}\text{C}$ 値で -295‰ を示した。この値は、深海の海水の ¹⁴C 濃度よりも低い。この低い ¹⁴C 濃度の原因は、CCD 以深の環境における石灰岩からの炭酸塩の溶解によって、石灰岩露頭近傍の海水に ¹⁴C を含まない炭酸イオンが供給されることによるものであり、局所的ではあるが、深海の炭素循環の新たな供給源の実態を示すものである。

Keywords: Palau Trench, Deep-water Limestone, DIC, $\Delta^{14}\text{C}$, Sr isotopic age

キーワード: パラオ海溝, 深海石灰岩, 溶存無機炭素, $\Delta^{14}\text{C}$, Sr 年代

1. はじめに

海洋表層で生成された炭酸塩粒子（主に炭酸カルシウム）は、海洋深部に沈降する過程で、化学的平衡状態の変化によって溶解を始める。この深度を炭酸塩補償深度（carbonate compensation depth; CCD）と呼ぶ。CCD は、水温・水圧・飽和度に関係して変化する。東部赤道太平洋における CCD は、水深 4500m 付近である (Seibold and Berger, 1996)。通常、炭酸塩粒子は、CCD 以深の海底には存在し得ない。

しかし、稀に炭酸塩が CCD 以深に存在することがある。CCD 以深の炭酸塩の存在の主要な原因は、タービダイトに伴う浅海に堆積した炭酸塩の深海底への輸送である。タービダイトに伴う CCD 以深の炭酸塩の存在は、プエルトリコ海溝 (Ericson et al., 1952)、ナウル海盆 (Shipboard Scientific Party, 1981)、パラオ海溝 (Fujioka et al., 1986; Yamamoto et al., 1988) などで報告されている。

本研究の調査地域であるパラオ海溝は、フィリピン海プレート東縁を縁取る、伊豆－小笠原海溝、マリアナ海溝、ヤップ海溝の南方延長に位置しており、最深部は、水深 7000m を超える。1993 年のしんかい 6500 潜航 (Dive 190) の際に、パラオ海溝陸側斜面の水深 6500m の海底に、巨大な石灰岩体の存在が確認された (藤岡・北里, 1994) (図 1, JAMSTEC)。この石灰岩体についての詳細な潜航調査は、1995 年のしんかい 6500 潜航で行われた (北里・藤岡, 1996)。調査の結果、石灰岩体は、水深 5000m から確認されており、潜航深度限界の 6500m 以深の海底にまで連続して階段状に分布していることが明らかになった。緩斜面では、石灰岩を数 cm 程度の暗灰色軟泥が覆い、急斜面では、石灰岩が露出する急崖になっている。この石灰岩の形成年代は、底生有孔虫や石灰質ナノ化石の群集解析から中期中新世であると示唆されている。また、石灰岩が露出する地点では、海水よりも高密度の物質が、露頭表面から陽炎のように立ち昇る現象が潜航中に目視で確認されている。



図 1. 1993 年のしんかい 6500 潜航で発見された石灰岩岩体

Figure 1. Discovery of the limestone block from dive #190 of *Shinkai 6500*.

2006 年のしんかい 6500 潜航 (Dive 969-972) では、この石灰岩岩体のさらなる調査に加えて、石灰岩及び石灰岩露頭近傍の海水を採取した。露頭近傍の海水には、石灰岩露頭における炭酸塩の溶解に伴って、 ^{14}C を含まない炭酸イオンが供給されていると考えられる。したがって、石灰岩露頭近傍の海水は、みかけ上の ^{14}C に枯渇した海水であることが想定される。

2006 年の“しんかい 6500”潜航で採水した海水について、海水中の溶存無機炭素の ^{14}C 濃度測定の結果を報告する。

2. 試料と方法

石灰岩試料は、2006 年のしんかい 6500 潜航 (Dive 971) の際に、石灰岩露頭から直接採取した。試料は、酢酸に溶解させ、陽イオン交換カラムに通して Sr を分離した (Hamamoto *et al.*, 2000)。海水中の Sr 同位体比の経年変化を利用した年代決定のための Sr 同位体比測定は、新潟大学 Finnigan MAT 262 熱イオン化同位体比質量分析計法により行った (Miyazaki and Shuto, 1998)。

海水試料は、2006 年の“しんかい 6500”潜航の際に、石灰岩露頭から、~0m、0.3m、0.5m、1m、3m、5m、100m の地点で採水した。海水試料の採水には、ニスキン採水器と GAMO 採水器を使用した。

海水中の溶存無機炭素は、真空中でリン酸と反応させる方法によって二酸化炭素ガスとして抽出した (土屋・和田, 2002)。抽出した二酸化炭素ガスは、水素ガスと反応させ (鉄粉触媒・635°C)、グラファイトを生成した (Tsuboi *et al.*, 2011)。 ^{14}C 濃度の測定は、名古屋大学年代測定総合研究センターにて AMS 法により行った。

3. 結果と考察

石灰岩の Sr 同位体比は、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7089$ ($n=5$) であり、およそ後期中新世 (10Ma) に相当する。先行研究によって、この石灰岩の形成年代は、底生有孔虫や石灰質ナノ化石の群集解析から中期中新世 (16Ma) であると示唆されており (北里・藤岡, 1996)、本研究の結果は先行研究の結果と比較して 5Ma 程度の差が生じた。

Sample Name	Phase	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Palau-A01	Aragonite	0.708881 ± 0.000012
Palau-A02	Aragonite	0.708894 ± 0.000013
Palau-C01	Calcite	0.708903 ± 0.000013
Palau-C02	Calcite	0.708891 ± 0.000013
Palau-S01	Calcite	0.708920 ± 0.000014

表 1. 石灰岩の Sr 同位体比

Table 1. Sr isotope ratio of limestone.

海水中の溶存無機炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値を図 2 に示した。石灰岩露頭近傍 (海底から 5m 以内) の海水の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、-295‰から -255‰までの範囲の値を示した。一方で、石灰岩露頭から 100m 離れた地点の海水の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、-257‰であった。

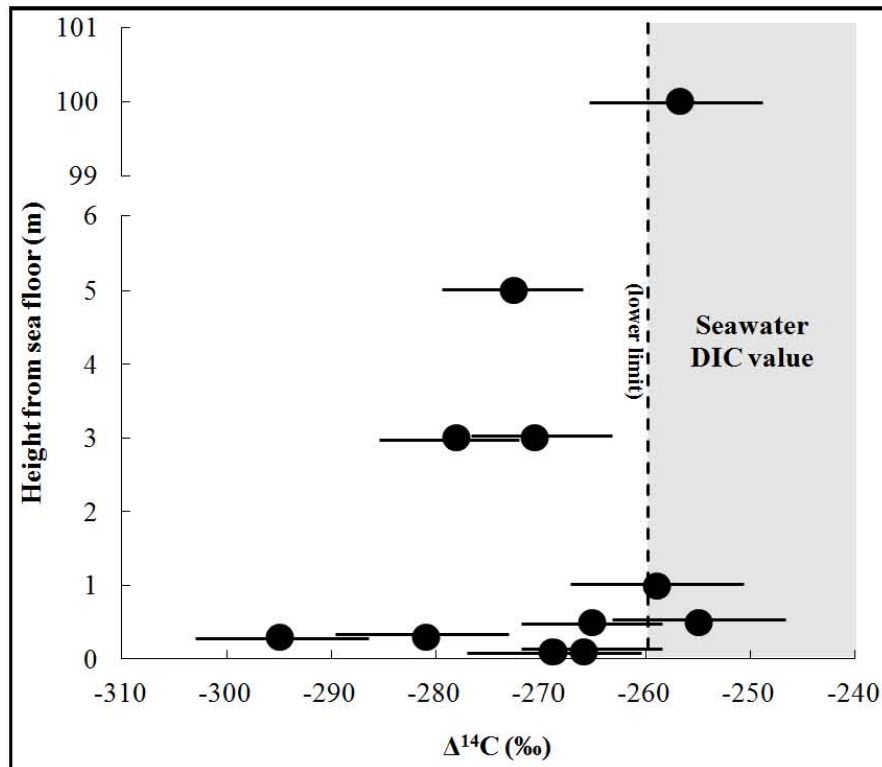


図2. 石灰岩露頭近傍の海水中的の溶存無機炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値

Figure 2. $\Delta^{14}\text{C}$ value of seawater versus height from sea floor.

石灰岩露頭近傍の海水の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、石灰岩露頭から 100m 離れた地点の海水の $\Delta^{14}\text{C}$ 値と比較して、最大で 40% 程度低い値を示した。この石灰岩露頭が水深 6500m 付近に分布しているために、石灰岩露頭では、炭酸塩の溶解によって、海水中に ^{14}C を含まない炭酸イオンが供給されている。その結果、石灰岩露頭近傍の海水の $\Delta^{14}\text{C}$ 値を減少させている。

現在の海水中的の溶存無機炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値の下限は、 -260‰ 程度である。このことから、石灰岩露頭から 100m 離れた地点の海水は、石灰岩岩体からの炭酸イオンの供給の影響を受けていないと考えられる。また、石灰岩露頭近傍の海水についても、海水中的の溶存無機炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値と同等の値を示す試料もある。このことは、石灰岩露頭から供給された炭酸イオンが、単に海水中に拡散しているのではなく、底層流や潮汐などによる複雑な海水移動の結果を反映していると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、調査船よこすか（海洋開発研究機構）の船長をはじめ乗組員の方々には大変お世話になった。また、 ^{14}C 濃度測定のための試料準備にあたり、名古屋大学年代測定総合研究センターの太田友子氏の協力を得た。Sr 同位体比の測定にあたり、新潟大学理学部地質科学科の M. Satish-Kumar 教授の協力を得た。深く感謝申し上げます。

引用文献

- Ericson DB, Ewing M, Heezen BC. 1952. Turbidity currents and sediments in the North Atlantic. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 36, 489-511.
- Fujioka K, Furuta T, Kimura G, Kodama K, Koga K, Kuramoto S, Matsugi H, Seno T, Takeuchi A, Watanabe M,

- Yamamoto S. 1986. Sediments and rocks in and around the Palau and Yap trenches. In: Tomoda Y. Preliminary Report of the Hakuho Maru Cruise KH86-1. Ocean Research Institute, University of Tokyo, Tokyo, 38-148.
- 藤岡換太郎・北里 洋. 1994. パラオ群島陸側斜面の巨大石灰岩帯の発見とその成因. JAMSTEC 深海研究 10, 231-242.
- Hamamoto T., Yuhara M., Miyazaki T., Fukase M., Kondo H., Ikawa T., Ishioka J., Kagami H., Shuto K. 2000. Rb, Sr, Sm and Nd separation from rocks, minerals and natural water using ion-exchange resin. Science reports of Niigata University, Series E 15, 49-58.
- 北里 洋・藤岡換太郎. 1996. パラオ海溝陸側斜面に露出する石灰岩の年代と堆積環境-Dive293 潜航報告-. JAMSTEC 深海研究 12, 315-322.
- Miyazaki T., Shuto K.. 1998. Sr and Nd isotope ratios of twelve GSJ rock reference samples. Geochemical Journal 32, 345-350.
- Seibold E, Berger WH. 1996. The sea floor. An introduction to marine geology, 3rd edition. Springer Verlag, Berlin, 356pp.
- Shipboard Scientific Party. 1981. Site 462: Nauru Basin, western Pacific Ocean. In: Larson RL, Schlanger SO et al., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. U.S. Government Printing Office, Washington D.C. 61, 19-177.
- 土屋理恵・和田秀樹. 2002. 加速器質量分析計による ^{14}C 測定のための海水溶存無機炭素抽出法. 静岡大学地球科学研究報告 29, 113-118.
- Tsuboi T, Iwata H, Wada H, Matsuzaki H, Sohrin R, Hiroe Y, Ichikawa T, Hidaka K, Watanabe T. 2011. Water column profiles of dissolved inorganic radiocarbon for the Kuroshio region, offshore of the southern Japanese coast. Radiocarbon 53, 679-690.
- Yamamoto S, Tokuyama H, Fujioka T, Takeuchi A, Ujiie H. 1988. Crabonate Turbidites deposited on the floor of the Palau Trench. Marine Geology 82, 217-233.