宮古島南東，マイバーバマ東部のビーチロックから 採取した試料の ^{14}C 年代とその意義

小 元 久 仁 夫*

Radiocarbon Ages and Significance for Beachrock Samples Collected from the Eastern Part of Maibabama, Southeast of Miyako Island

Kunio OMOTO*

[Received 13 August, 2019; Accepted 10 May, 2020]

Abstract

Comprising beachrock, Maibabama lies southeast of Miyako Island. It is approximately 400 m in length and 3 to 17 m in width. Fossil shell, coral and calcarenite samples were collected from the eastern part of Maibabama in order to determine their ages using accelerator mass spectrometry (AMS). ^{14}C age of a *Nerita albicilla* yielded an age of Modern (100.7 ± 0.3 pMC); however, *Tridacna gigas* yielded an age of 981 ± 22 yr BP. Coral fragments yielded an age of 1746 ± 23 yr BP, while four calcarenite samples were between 1350 ± 23 and 1567 ± 22 yr BP. The above samples were collected from two outcrops standing 1 m apart and within a 10 cm circle. Five of the seven samples coincided with the estimated ages of past tsunamis within an error range of $\pm 3\sigma$. Consequently, the several samples collected from beachrock at the eastern part of Maibabama might have been washed ashore by past tsunamis before being cemented. Formation of the eastern part of the beachrock started at 980 yr BP and ended recently. Therefore, they do not coincide with the older ages of other tsunami boulders (*Porites* sp.) nearby, reported previously.

Key words : beachrock, radiocarbon age, Meiwa Jishin (Earthquake) Tsunami, Maibabama, Miyako Island

キーワード : ビーチロック, 放射性炭素 (^{14}C) 年代, 明和地震津波, マイバーバマ, 宮古島

I. はじめに

宮古島の南東，太平洋に突き出るように伸びる東平安名岬西部のポケットビーチは，地元では「マイバーバマ」とよばれている（図1）。マイバーバマでは弧状の海岸線に沿って長さ約400 m，幅3～17 mのビーチロックが発達しており

（図2A），海側に1～3度傾く固結層と陸側に小急崖をもつマイクロケスタ状の地形が観察される（図2B）。ビーチロックは潮間帯に位置し，所により3～4列に区分され，陸側の低所には干潮時に潮だまりが見られる。

宮古島にビーチロックが多数存在することは Kawana and Pirazzoli（1984）が報告し，ビー

* 元日本大学大学院理工学研究科/日本大学文理学部

* Graduate School of Science and Technology, Nihon University and College of Humanities and Sciences, Nihon University, retired, Hachioji, 192-0364, Japan

図 1 ^{14}C 年代測定試料採取地点を示す地形図 (国土地理院発行 1:25,000 地形図「東平安名岬」に地名および方位記号を追加). M は本報告, B は Omoto (2001), 小元 (2005, 2010, 2014b) の試料採取地点, 赤枠は津波石の集積範囲 (Omoto, 2011) を示す.

Fig. 1 Topographical map showing sampling site of Maibabama (beach), southeast of Miyako Island. M indicates sampling site of this report, while B indicates former sampling site (Omoto, 2001, 2005, 2010, 2014b). Red frame indicates area of accumulated tsunami boulders (Omoto, 2011).

チロクから採取した貝化石, サンゴ化石, 石灰砂岩や石灰礫岩の細粒物質などを試料とした多数の ^{14}C 年代が小元 (2005, 2014a) により報告されている。これまで報告されたマイバーバマのビーチロックの年代は, 西部の年代のみであり (小元, 2005), 東部のビーチロックの年代は報告されていない。ただし, マイバーバマ東部のビーチロックのなかに半分埋没した直径約 1 m のハマサンゴ化石 (図 2C: *Porites* sp.) の年代は, 小元・南 (2017) により報告されている。

本研究では, これまで年代が報告されていないマイバーバマ東部のビーチロックから採取した試料の ^{14}C 年代と, 異種試料間に生じた年代差の原因について考察した結果を報告する。さらにマイバーバマ西部のビーチロックの年代 (小元, 2005) に未発表資料を加えて東部のビーチロックの年代と比較するとともに, 小元・南 (2017) が報告したハマサンゴ化石の年代との関連についても報告することを目的とする。

II. 試料と分析方法

試料は小元・南 (2017) が報告したハマサンゴ化石の年代と比較することを考慮して, その東側 (MB-2) と西側 (MB-3) のビーチロックの陸側の小屋 (図 2C) から採取した。その位置は $24^{\circ}43'35.3''\text{N}$, $125^{\circ}27'16.9''\text{E}$, 標高は約 0.4 m である。試料採取地点のビーチロックの模式断面を図 3 に示す。図 3 では, 他の地点で見られる一番海よりのビーチロックは測線上にないため描いていない。マイバーバマにおける平均潮位差は, 宮古島西岸の平良港のそれから約 2 m と考えられ, ビーチロックは潮間帯に位置する。

MB-2 からアマオブネ (*Nerita albicilla*: MB-2A) およびこれを取り囲んでいる細粒物質 (calcarenite: MB-2B) と, 細粒物質中にあったクシハダミドリイシ (*Acropora spicifera*: 以下, 枝サンゴ片: MB-2C) を採取した (図 2C)。図 2C の M1 および M2 は小元・南 (2017) が報告

図 2 マイバハマ東部のビーチロックと試料採取地点の位置。A：写真は低潮位時のビーチロックを示す。赤い星印は図Bおよび図Cの試料採取地点を示す。B：写真は試料採取地点と西方のビーチロックを示す。C：写真は試料採取地点のMB-2およびMB-3の位置を示す。M1およびM2は小元・南（2017）の試料採取位置を示す。

Fig. 2 Photo shows beachrock developing at the eastern part of Maibahama and sampling site. A: Photo taken at low tide level. Red star indicates location of sampling sites shown in photo B and C. B: Photo shows sampling site and westward beachrock. C: Photo shows sampling sites of MB-2 and MB-3. M1 and M2 indicate sampling sites reported by Omoto and Minami (2017).

図 3 試料採取地点付近のビーチロックの模式断面図と試料採取地点（丸印）。平均高潮位は 0.9 m であり、右上部の傾斜急変部は汀段である。

Fig. 3 Schematic cross-section of beachrock in the sampling site. Circle indicates sampling site. Mean high tide level is ca. 0.9 m and abrupt change shown at upper right is a berm.

したハマサンゴ化石から試料を採取した位置を示す。この M1 より約 0.5 m 西側の MB-3 からシャコガイ片 (*Tridacna gigas* : MB-3B), シャコガイ片周辺の粗粒砂 (MB-3D), そしてシャコガイ片からはがしたセメント物質を多く含むと推量される砂質物質 (表側は MB-3Cf, 裏側は MB-3Cb: 以下セメント物質と呼称) を採取した。これらの試料はそれぞれ直径 10 cm 以内から採取したものであり, 不整合は認められず同一層序の同一時期の堆積物と推定される。

採取した試料は, 名古屋大学宇宙地球環境研究所の加速器質量分析計 (Tandetron 型 AMS2 号機) で ^{14}C 年代測定を行った。なお, ^{14}C 年代を較正するにあたり, 宮古島の ΔR に関する文献資料がなかったため, conventional age で議論する。

III. 結果と考察

1) 試料の ^{14}C 年代

年代測定の結果, MB-2 から採取したアマオブネは Modern (100.7 ± 0.3 pMC) となったが, 残り 6 試料から 1746 ~ 981 yr BP までの年代が得られ, 各試料の $\delta^{13}\text{C}$ は $-0.3 \sim +3.3\%$ を示した (表 1)。アマオブネを囲む細粒物質の年代は 1541 ± 22 yr BP となり, 枝サンゴ片の 1746 ± 23 yr BP よりも新しい年代を示した。一方, MB-3 から採取したシャコガイ片 (MB-3B) の年代は 981 ± 22 yr BP で, これをとり囲む細粒物質 (MB-3D) の年代は 1567 ± 22 yr BP であった。また MB-3B の表と裏側に付着していたセメント物質 (MB-3Cf および MB-3Cb) の年代は, それぞれ 1399 ± 23 yr BP および 1350 ± 23 yr BP であった。MB-3 から採取した試料の年代は, シャコガイ片の表裏に付着していたセメント物質の年代を除き $\pm 2\sigma$ の統計誤差範囲に入らない。

シャコガイ片の年代よりも, その周囲の充填物質 (MB-3D) の年代が古いことは既報 (小元, 2000) と整合する。しかし MB-2 から採取した枝サンゴ片の年代 (1746 ± 23 yr BP) が, それをとり囲んでいる細粒物質の年代 (1541 ± 22

表 1 マイバーバマ東部のビーチロックから採取した試料の ^{14}C 年代.

Table 1 Radiocarbon ages of beachrock samples collected from the eastern part of Maibahbama (beach).

Sample Code	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C age $\pm 1\sigma$ yr BP	Lab. Code NUTA2-
MB-2A	<i>Nerita albicilla</i>	1.0	Modern	26427
MB-2B	calcarenite	-0.3	1541 ± 22	26428
MB-2C	coral fragments	3.3	1746 ± 23	26429
MB-3B	<i>Tridacna gigas</i>	2.4	981 ± 22	26430
MB-3Cf	calcarenite	1.1	1399 ± 23	26431
MB-3Cb	calcarenite	0.8	1350 ± 23	26432
MB-3D	calcarenite	1.0	1567 ± 22	26435

注: MB-3A は未測定.

Note: MB-3A sample is not measured.

yr BP) よりも古い原因は, 海洋リザーバー効果 (Stuiver and Polach, 1977) によると推察される。

2) 異種試料の年代

同一層序の堆積物の年代は異種試料であっても, おおむね統計誤差範囲に入ることが期待される。しかし MB-2 から採取したアマオブネは Modern となり, 枝サンゴ片の年代は採取した 7 試料中最古の 1746 ± 23 yr BP を示した。MB-2 と MB-3 から採取した異種試料の年代は, $\pm 2\sigma$ の統計誤差範囲に入らなかった。以下この原因について考察する。

ビーチロックは, もともと潮間帯の堆積物が主として海水や地下水中に含まれる炭酸カルシウムによって膠結した結果形成される (Stoddart and Cann, 1965)。潮間帯には元来さまざまな起源の物質が混在しているため, 個々の堆積物について高精度の年代測定を行った場合に年代が異なることは当然生ずるであろう。すなわち年代の異なる物質が, ある年代に同時に膠結したと解釈すれば, 地形形成年代は同じであっても個々の堆積物の年代に差異が生じる。

今回の測定結果はビーチロックの形成年代を決定する場合に, 単一試料の年代だけでは不十分であることを示唆しており重要である。すなわちビーチロックの形成年代を決定する場合には, 堆積物

表 2 ビーチロック試料の年代と宮古島を襲った津波の年代 (Omoto, 2011) との対比.

Table 2 Correlation of ages of beachrock samples of Maibabama and estimated ages of tsunamis that attack Miyako Island (Omoto, 2011).

	NUTA 2- Sample Code	26430 MB-3B	26432 MB-3Cb	26431 MB-3Cf	26428 MB-2B	26435 MB-3D	26429 MB-2C
1	マイバーバマ ¹⁾	981	1350	1399	1541	1567	1746
2	$\pm 1\sigma$ yr BP	22	23	23	22	22	23
3	津波発生年代 ²⁾	984	1301	1301	1514	1514	1702
4	$\pm 1\sigma$ yr BP	57	39	39	29	29	38
5	年代差 (1-3)	-3	49	98	27	53	44
6	2 の誤差範囲 ($\pm \sigma$) ³⁾	1 σ	3 σ	> 3 σ	2 σ	3 σ	2 σ
7	4 の誤差範囲 ($\pm \sigma$) ⁴⁾	1 σ	2 σ	3 σ	1 σ	2 σ	2 σ

¹⁾ 表 1 による. ²⁾ Omoto (2011) より計算した conventional age. ³⁾ 2 の誤差範囲を示す. ⁴⁾ 4 の誤差範囲を示す.

¹⁾ Conventional ages were re-calculated based on the ages of Omoto (2011). ²⁾ Quoted from Table 1.

³⁾ Each value is within the error range of column 2. ⁴⁾ Each value is within error range of column 4.

質中に異種試料があれば、それらの年代測定を行い、その結果を検討した上で最終決定すべきであることを示している。

3) 試料の年代と津波の年代

小元 (2014b) はビーチロックから採取した貝化石・サンゴ化石・石灰砂岩などの年代を、宮古列島に襲来した津波の年代 (Omoto, 2011; 小元, 2012; 小元・中村, 2013) と比較した。その結果、試料の約 60% は津波発生年代の ± 50 年以内に入った。この結果を踏まえて、同一層序から採取した異種試料の年代が異なった原因と津波の因果関係を検討するため、今回測定した試料の年代をマイバーバマに襲来した津波の年代 (Omoto, 2011) と比較する (表 2)。

表 2 によれば、マイバーバマから採取した 7 試料のなかで Modern となった MB-2A と、MB-3Cf を除く 5 試料 (すなわち、MB-2B, MB-2C, MB-3B, MB-3Cb, MB-3D) の年代は $\pm 3\sigma$ (66 ~ 69 年) 以内で津波発生年代に入る。また津波発生年代と 3 年差の試料が 1 個 (MB-3B) ある。このようにビーチロックから採取した試料の年代が、宮古島に襲来したと推定された津波の襲来年代と整合することは注目される。

4) ビーチロックの形成年代

マイバーバマから採取した 7 試料の年代にも

とづき、ビーチロックの形成年代について考察する。ビーチロックの形成は、4 試料中でもっとも新しい年代を示したシャコガイ片の 981 ± 22 yr BP 以降と解釈する。それより古い年代を示す試料はもともと存在した堆積物か、あるいは津波や台風の暴浪によって打ち上げられた可能性が高いと推量する。

小元・南 (2017) が報告したハマサンゴ化石は、津波によって運ばれたものと考えられる。この化石の年代は、 659 ± 20 yr BP および 711 ± 20 yr BP で、本報告の年代 (表 1) とは乖離している。このため、おそらく陸側の MB-3 付近が膠結後に、津波または暴浪などの侵食によって生じた凹地に 1771 年の明和の大津波でこのハマサンゴ化石が転がり込んだものと解釈され、さらにその後に MB-2 付近が膠結したと推量される。

5) マイバーバマ西部と東部の年代の対比

マイバーバマ東部のビーチロックから 1746 ± 23 yr BP, 1567 ± 22 yr BP, 1541 ± 22 yr BP, 1399 ± 23 yr BP, 1350 ± 23 yr BP, 981 ± 22 yr BP および Modern の年代が得られた (表 1)。一方、マイバーバマ西部のビーチロックから採取した試料を β 線法で測定し、 3369 ± 64 yr BP, 1790 ± 70 yr BP, 1730 ± 70 yr BP, 1710 ± 65 yr BP, 1645 ± 65 yr BP, 740 ± 60 yr BP およ

表 3 マイバーバマ西部のビーチロックから採取した試料の ^{14}C 年代 (小元, 2005 に未発表資料を追加).

Table 3 Radiocarbon ages of beachrock samples collected from the western part of Mai-bahbama (Omoto, 2005) with unpublished data added.

Sample Code	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conv. Age $\pm 1\sigma$ yr BP	Lab Code	Bibliography
MB-1A	<i>Tridacna</i> sq.	3.39	1645 $\pm$ 65	NU-1137	Omoto, 2005
MB-1B	calcarenite	-0.08	1790 $\pm$ 70	NU-1138	Omoto, 2005
MB-1C	<i>Tridacna</i> sq.	2.07	1710 $\pm$ 65	NU-1139	Omoto, 2005
MB-1D	<i>Tridacna</i> sq.	3.39	Modern	NU-1501	Unpublished data
MB-1E	coral	0.49	3369 $\pm$ 64	NU-1502	Unpublished data
MB-1F	calcarenite	1.64	1730 $\pm$ 70	NU-1503	Unpublished data
MB-1G	<i>Tridacna</i> sq.	3.30	740 $\pm$ 60	NU-1504	Unpublished data

び Modern の年代が得られた (表 3)。

上記の年代を比較すると、マイバーバマ西部で採取された、3369 $\pm$ 64 yr BP の試料 (サンゴ化石) を除き、他の試料の年代は $\pm 1 \sim 3\sigma$ の誤差範囲に入り整合的である。古い年代を示すサンゴ化石は、より古い時代の津波あるいは台風の暴浪によって運ばれた堆積物ではないかと推察する。すなわち、この試料を除けばマイバーバマの東部と西部には、ほぼ同時期の年代を示す堆積物があり、 β 線法と AMS 法で測定したビーチロック試料の年代が整合することがわかる。ところで、マイバーバマのビーチロックは数カ所で連続性が途切れている。この原因として、建築材として人為的にビーチロックが採取されたことを除けば、その位置に元々ビーチロックが形成されなかったか、あるいは形成後に津波や台風の暴浪によって破壊・侵食されたかによると推察される。

IV. ま と め

これまで記載した内容を要約すれば次の通りである。

- (1) マイバーバマ東部のビーチロックから採取した貝化石、サンゴ化石と、これらを取り囲む細粒試料 (calcarenite) から、1746 $\pm$ 23 yr BP から Modern までの年代が得られた。
- (2) この結果をマイバーバマ西部のビーチロックから採取された試料の年代と比較したところ、西部の 1 試料を除き、ほぼ同時期の年

代を示す堆積物が存在することがわかった。

- (3) マイバーバマ東部の同一地点、同一層序のビーチロックから採取した異種試料の年代は、 $\pm 2\sigma$ の統計誤差範囲内で一致せず、最大約 1,750 年の年代差を生じた。この原因は、潮間帯にあった年代の異なる堆積物がある時期、同時に膠結したためであり、また海洋リザーバー効果 (Stuiver and Polach, 1977) の可能性も推量される。
- (4) マイバーバマ東部のビーチロックから採取した 7 試料中 5 試料の年代は、 $\pm 3\sigma$ の誤差範囲で宮古列島に襲来したと推定される津波の年代 (Omoto, 2011) に入り、さらにそのなかの 1 試料は ± 3 年以内に入る。この結果は、ビーチロックのなかに過去の津波によって運搬あるいは移動し、膠結した堆積物が存在することを示す。
- (5) 本研究の成果は、ビーチロックの形成年代を 1 試料の年代にもとづき決定するのではなく、種類の異なる複数試料の年代測定結果にもとづいて決定すべきであることを示している。
- (6) 津波や台風の暴浪によって運搬・移動して打ち上げられた堆積物が存在することを考慮すると、マイバーバマ東部のビーチロックは、およそ 1000 yr BP 頃から今日に至るまでの間に形成されたと推定される。
- (7) ビーチロックのなかに埋没しているハマサンゴ化石 (小元・南, 2017) より陸側に位置す

るビーチロックは、1771年の明和津波以前に、すでに形成されていたことが明らかになった。

謝 辞

本研究は、平成30年度名古屋大学宇宙地球環境研究所の一般研究「ビーチロックの正確な膠結年代の決定方法」の一環として行ったものである。本研究にあたり、名古屋大学宇宙地球環境研究所から補助を受けた。AMS年代測定では中村俊夫名誉教授、北川浩之教授、南雅代教授ならびに池田晃子主任技師にお世話になった。国立研究開発法人産業技術総合研究所の高橋浩博士には、試料の $\delta^{13}\text{C}$ を測定していただいた。神奈川県立生命の星・地球博物館の松島義章博士には、貝化石の鑑定をしていただいた。HGS Limited, Managing Director, Dr. John Hoyes CPhysには、英文要旨を校閲していただいた。匿名の査読者からのコメントは適切であり、論文の修正上有意義であった。以上、お世話になった皆様に謝意を表します。

文 献

- Kawana, T. and Pirazzoli, A. (1984): Late Holocene shorelines and sea level in Miyako Island, the Ryukyus, Japan. *Geographical Review of Japan, Series B*, **57**, 135–141.
- 小元久仁夫 (2000): 徳之島から採取したビーチロックの ^{14}C 年代資料. 地理誌叢, **41**(1–2), 15–30. [Omoto, K. (2000): Radiocarbon age of beachrock samples collected from Tokunoshima (Island), Kagoshima prefecture, Southwest of Japan. *Chiri Shiso* (Annals of the Geography), **41** (1–2), 15–30. (In Japanese with English abstract)]
- 小元久仁夫 (2005): 南西諸島から採取したビーチロックの ^{14}C 年代と安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$)—測定資料とその分析—. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **40**, 1–27. [Omoto, K. (2005): Radiocarbon ages and isotope fractionations of beachrock samples collected from the Nansei Islands, southwest of Japan—Data sets and their statistical analyses—. *Proceedings of the Institute of Natural Sciences, Nihon University*, **40**, 1–27. (in Japanese with English abstract)]
- 小元久仁夫 (2010): 宮古島で観察された石灰華段、津波石および膠結海浜砂層の特徴. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **45**, 83–94. [Omoto, K. (2010): Characteristics of travertine terraces, tsunami boulders and cemented beach sand beds observed on southeast coast of Miyako island, southwest of Japan. *Proceedings of the Institute of Natural Sciences, Nihon University*, **45**, 83–94. (in Japanese with English abstract)]
- Omoto, K. (2011): The problem of age determination of coral boulders deposited by the Meiwa tsunami and the time of occurrence of past tsunamis. in *Proceedings of LSC 2010—Advance in Liquid Scintillation Spectrometry—*. Radiocarbon, 139–150.
- 小元久仁夫 (2012): 沖縄県宮古島南東部、マイバーバマに打ち上げられた津波石の分布とハマサンゴ化石の較正年代. 地学雑誌, **121**, 1043–1051. [Omoto, K. (2012): Distribution of coral boulders beached by huge tsunamis and calibrated radiocarbon ages of fossil *Porites* sp. of Maibahbama, SE of Miyako Island, Okinawa prefecture. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **121**, 1043–1051. (in Japanese with English abstract)]
- 小元久仁夫 (2014a): 沖縄県宮古列島から採取したビーチロック試料の較正年代. 地理学評論, **87**, 267–275. [Omoto, K. (2014a): Calibrated ages of beachrock samples collected from the Miyako Islands, Okinawa, southwest of Japan. *Geographical Review of Japan*, **87**, 267–275. (in Japanese)]
- 小元久仁夫 (2014b): 宮古列島から採取したビーチロック試料の較正年代と津波の年代. 地理誌叢, **56**(1), 11–24. [Omoto, K. (2014b): Correlation of the coincidence between calibrated ^{14}C ages of beachrock samples and ages of tsunamis attacked on the Miyako Islands, southwest of Japan. *Chiri Shiso* (Annals of the Geography), **56**(1), 11–24. (in Japanese)]
- 小元久仁夫・南雅代 (2017): 宮古島南東マイバーバマ東岸に打ち上げられたハマサンゴ岩塊の ^{14}C 年代とその意義. 季刊地理学, **69**, 119–127. [Omoto, K. and Minami, M. (2017): ^{14}C ages and significance of *Porites* sp., beached on the eastern part of Maibah beach, southeast of Miyako Island, Okinawa prefecture. *Quarterly Journal of Geography*, **69**, 119–127. (in Japanese with English abstract)]
- 小元久仁夫・中村俊夫 (2013): 宮古島南東、マイバーバマに打ち上げられた津波石から採取した貝化石の較正年代. 第四紀研究, **52**, 13–18. [Omoto, K. and Nakamura, T. (2013): Calibrated radiocarbon age of a fossil shell sample collected from a coral boulder beached on Maibahbama beach, southeast of Miyako Island, southwest of Japan. *Quaternary Research*, **52**, 13–18. (in Japanese with English abstract)]
- Stoddart, D.R. and Cann, J.R. (1965): Nature and origin of beachrock. *Journal of Sedimentary and Petrology*, **35**, 243–273.
- Stuiver, M. and Polach, H.A. (1977): Discussion reporting of ^{14}C data. *Radiocarbon*, **19**, 355–363.