

ビーチロック試料の正確な膠結年代の決定方法 (2)

An Attempt to Obtain Accurate Concretion Age of Beachrock Sample (2)

小元久仁夫<sup>1\*</sup>・藁谷哲也<sup>2</sup>・塩見昌司<sup>3</sup>・大八木英夫<sup>4</sup>・横尾頼子<sup>5</sup>・池田晃子<sup>6</sup>

Kunio Omoto<sup>1\*</sup>, Tetsuya Waragai<sup>2</sup>, Atsushi Shiomi<sup>3</sup>, Hideo Oyagi<sup>4</sup>, Yoriko Yokoo<sup>5</sup>, Akiko Ikeda<sup>6</sup>

<sup>1</sup>元日本大学大学院理工学研究科・日本大学文理学部・<sup>2</sup>日本大学大学院理工学研究科・日本大学文理学部・

<sup>3</sup>日本大学生産工学部・<sup>4</sup>南山大学総合政策学部・<sup>5</sup>同志社大学理工学部・<sup>6</sup>名古屋大学宇宙地球環境研究所

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, Nihon University and College of Humanities and Sciences, Nihon University, retired. Hachioji, Tokyo 192-0364, Japan

<sup>2</sup> Graduate School of Science and Technology, Nihon University and College of Humanities and Sciences, Nihon University, Setagaya, Tokyo 156-8550, Japan

<sup>3</sup> College of Industrial Technology, Nihon University, Narashino, Chiba 275-8575, Japan

<sup>4</sup> Faculty of Policy Studies, Nanzan University, Showa, Nagoya 466-8673, Japan

<sup>5</sup> Faculty of Sciences and Engineering, Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto 610-0321, Japan

<sup>6</sup> Technical Center of Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan

\*Corresponding author. E-mail: k.omoto@ab.auone-net.jp

Abstract

Formation age of beachrock has been determined based on <sup>14</sup>C age of marine carbonate samples (i.e. fossil shell and coral) collected from beachrock, however the age often indicates the dead time and does not indicate correct formation age of beachrock. The formation age of beachrock is the time when the inter-tidal sediments were cemented by physicochemical precipitation of high-Mg calcite and aragonite from seawater or meteoric water as a result of high temperatures, CaCO<sub>3</sub> supersaturation, and/or evaporation. Therefore it is necessary and indispensable to measure directly the beachrock cement (CaCO<sub>3</sub>).

We collected <sup>14</sup>C dating samples from the coast of Sasebo, Nagasaki prefecture, Zamami Island, Aka Island, Bise and Tsuha coasts of Okinawa prefecture. Aka Island and Zamami Island mainly consist of sandstone and phyllite. The cemented materials attached to the behind of boulders and cobbles consisting conglomeratic beachrock. This means that conglomeratic beachrock never originally include marine calcium carbonate. We used a small electric hand drill with a stainless steel drill edge of 2~3 mm or a stainless steel brush of 1cm in diameter, and drilled or abraded the surface of the cemented material. Then we collected ca. 20~50 mg powder sample for AMS-<sup>14</sup>C dating and elemental analysis by ICP-MS.

Two cemented materials collected from Zamami Island yielded <sup>14</sup>C ages of 1040 BP and 1020 BP, while *Tridacna squamosa* and a coral sample indicated 1600 BP and 1490 BP. Another cemented samples collected from Aka Island yielded <sup>14</sup>C ages of 1530 BP and 1340 BP. Shell fragments and two coral samples yielded ages of 1210 BP, 1060 BP and 890 BP, respectively, however *Strigatella paupercula* sample indicated Modern (103 pMC).

If we consider the age of cement material indicates exactly an accurate formation age of beachrock, then the conglomeratic beachrock of Zamami Island was formed during 1040~1020 BP and beachrock of Aka Island was formed 1530 BP and 1340 BP.

**Keywords:** conglomeratic beachrock; AMS-<sup>14</sup>C dating; pretreatment technique; elemental analysis

## 1. はじめに

ビーチロックは、海浜堆積物が潮間帯において海水や陸水中の炭酸カルシウムや炭酸マグネシウムによって膠結されて形成される (AGI, 1957; Stoddart and Cann, 1965)。このため、その形成年代と標高は、地殻変動や海水準変動を示す重要な指標となる。また近年、その強固な物性が海岸侵食に対して護岸的な働きをするとの観点から、土木工学的な見地からも注目されている (壇上・川崎, 2013)。サンゴ礁地域のビーチロックは、炭酸塩試料が得やすいため、多くの年代測定が行われてきた (例えば小元, 2005)。しかし、温帯地方のビーチロックは炭酸塩試料に乏しく、年代決定が困難なため、地殻変動や海水準変動を研究する際に隘路となっている。ビーチロックの形成年代は、これまでビーチロックから採取した生物化石の年代が近似値を示すと考えられてきた (壇上・川崎, 2013)。しかしこれまで測定された炭酸塩の年代は、生物の死亡年代を示すのみであり、膠結されるまでの経過時間が不明のため、ビーチロックの膠結年代を正確に示していない。

一方 Moore (1973) は、ビーチロックのセメント物質を電子顕微鏡で観察し、それが微小な砂の粒子間を埋める針状の aragonite からなることを報告している。これは、セメント物質から aragonite の炭酸カルシウムだけを取りだして高感度の AMS で年代を測定すれば、ビーチロックの形成年代を正確に決定できる可能性を示唆している。しかし微細な aragonite の結晶から、年代測定可能な十分な炭素量を取り出す方法は確立されていない。そこで昨年度は、非石灰岩地域の海岸に発達する礫岩質ビーチロックを調査し、礫の裏面に固く付着した (セメント) 物質を分離する方法を考案した。そして、元素分析によりセメントの主成分が炭酸カルシウムであることを明らかにし、AMS- $^{14}\text{C}$  年代測定結果からビーチロックの形成年代を決定した (小元ほか, 2019)。この研究成果は、礫岩質ビーチロックの膠結年代を、礫の裏面に固く付着した (セメント) 物質を試料として、AMS- $^{14}\text{C}$  年代測定法で決定できることを実証している。

本研究では昨年度の成果を踏まえ、非石灰岩地域の海岸に発達する礫岩質ビーチロックを対象として試料を採取し、AMS- $^{14}\text{C}$  年代測定法によりセメントの年代を決定する。またセメントの元素分析により化学組成を明らかにし、セメントを構成する炭素の起源についても検討する。

## 2. 試料採取

ビーチロックの存在が報告されている、長崎県佐世保市東浜町の海岸 (西村, 1972)、沖縄島西方慶良間列島の阿嘉島および座間味島 (河名, 1996; 小元, 2005, 2007)、沖縄島北部の備瀬および津波海岸 (小元, 2005, 2007) を調査の対象にした (図1および図2)。2019年8月上旬には阿嘉島の前浜ビーチおよび座間味島の阿真ビーチ、8月下旬には長崎県佐世保市東浜町の海岸、10月下旬には備瀬および津波海岸において現地調査を行い、試料を採取した。阿嘉島および座間味島は、非石灰岩の島であり、砂岩や千枚岩で構成されている。このため、礫岩質ビーチロックを構成する礫の裏面に固く付着している物質 (セメント) には、これらの岩石起源の炭酸カルシウムはほとんど含まれていない。この地質条件は、セメントに含まれる炭素の起源を考察する際に重要な資料である。調査したビーチロックの分布状態と、採取した試料の写真を図3～図14に示す。採取した年代測定試料は、水洗・風乾後に日本大学文理学部において、岩石カッターを使用して整形した。なおビーチロックのセメント成分の起源を確認し、陸上から流入する河川や湧水がビーチロックの形成に与える影響を調査するため、佐世保市東浜町と座間味島のビーチロックの近くの小河水から、検水を採取した。

## 3. 実験方法

AMS- $^{14}\text{C}$  年代測定の試料調製は、名古屋大学宇宙地球環境研究所において行い、石墨を生成し、タンデム型 AMS で  $^{14}\text{C}$  年代測定と  $\delta^{13}\text{C}$  の測定を行った。水質分析は名古屋大学の宇宙地球環境研究所で行った。セメント成分の分析は、同志社大学理工学部の ICP-MS による。

#### 4. 実験結果

- ①長崎県佐世保市東浜町の海岸から採取したセメントは、炭酸塩の含有量がきわめて低く年代測定ができなかった。また、ビーチロック（膠結した砂礫）の直下から採取した原地性の貝化石（セミアサリ）3個は、+Modern（103~102 pMC）であった。AMS- $^{14}\text{C}$ 年代測定を行った試料の中で、阿嘉島と座間味島の測定結果を第1表に、2箇所ですみずみした検水の水質分析結果を表2に示す。
- ②沖縄県阿嘉島の前浜ビーチから採取した2件のセメントの年代は、1530 BP および1340 BPであり、2個のサンゴ化石と貝化石片の年代は、それぞれ1210 BP、1060 BP および890 BPであった。一方、座間味島の阿真ビーチから採取した2件のセメントの年代は、1040 BP および1020 BPであったが、シャコガイは1600 BPを示し、サンゴ化石は 1490 BPを示した。
- ③南西諸島で最古（7620 cal BP）のビーチロック（沖縄島の備瀬海岸; 小元, 2007）の直下から採取した4試料の年代は、すべて既報の年代よりも大幅に新しく、なかでも2個の貝化石は+Modernとなり、また貝化石裏面の付着物質の年代は、1930 BP、枝サンゴは4270 BPであった。
- ④座間味島の小河川水の検水結果は、陽イオンでは $\text{Na}^+$ が、陰イオン成分は $\text{Cl}^-$ （塩化物イオン）が主要成分を占めている。一方佐世保の検水は、 $\text{Cl}^-$ の濃度がやや高く、陰イオンでは $\text{HCO}_3^-$ の占める割合がもっとも高い。

#### 5. 考察とまとめ

実験結果にもとづき考察した結果を要約すれば、次の通りである。

- ①長崎佐世保市東浜町のビーチロックのセメントは $\text{CaCO}_3$ ではなく、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 等である可能性が推量され、セメントの元素分析結果が待たれる。また膠結礫の直下から採取した3件の貝化石が+Modernとなった原因は、原地性の貝がごく最近まで棲息していたことを示唆する。
- ②礫岩質ビーチロックのセメントの $^{14}\text{C}$ 年代が、ビーチロックの形成年代を示すとすれば、阿嘉島の前浜ビーチは1530~1340 BPに、一方座間味島の阿真ビーチでは1040~1020 BPにビーチロックが形成されたと解釈される。なお、セメント物質の $^{14}\text{C}$ の起源は、基盤岩や礫が非石灰岩であることから海水と推定される。
- ③しかしながら、阿嘉島から採取した貝化石およびサンゴの年代は、セメント物質の年代より古い。同様に、座間味島から採取した2件のセメントの年代は、シャコガイやサンゴ化石の年代より新しい。これらの結果は、複数の膠結時期の存在を示唆する。
- ④座間味島阿真ビーチの小河川水の主要成分組成は、海水の主要成分組成と類似する。すなわち、海水の $\text{Na}/\text{Cl}$ の重量比は0.556であるが、検水の $\text{Na}/\text{Cl}$ の重量比は0.549であり、この2つのイオンで概ね85%以上の全成分比を占める。検水の採水時間が満潮から干潮に転じた後であるため、検水は遡上した海水の影響を受けている可能性が推量される。一方佐世保市東浜町で採水した検水の分析結果は、九州や全国の河川水の平均成分組成（小林, 1961）と比較して $\text{Cl}^-$ の濃度がやや高めであるが、総溶存成分量は平均淡水なみである。
- ⑤沖縄県備瀬海岸のビーチロックから採取した4試料の年代が、すべて既存の年代よりも新しい原因は、試料とした貝化石や枝サンゴがビーチロック形成以前に堆積していたものではなく、潮間帯の堆積物が膠結後に、侵食により生じた凹地に堆積したことを示唆する。
- ⑥阿嘉島や座間味島のビーチロックの年代は、本研究による年代以外に、河名（1996）、小元（2005）やOmoto（2006）の報告がある。今後、元素分析結果や $\delta^{13}\text{C}$ の測定結果を踏まえて、ビーチロックの形成年代を既存の年代と対比・検討すると共に、セメントの $^{14}\text{C}$ の起源を明らかにする。

## 謝辞

試料のAMS<sup>14</sup>C年代測定では、中村俊夫名古屋大学名誉教授および宇宙地球環境研究所の北川浩之教授にお世話になった。水質分析は同研究所の南雅代教授に行っていた。貝殻試料の鑑定は、元神奈川県立生命の星・地球博物館の松島義章博士にいただいた。試料調製にあたり、名古屋大学宇宙地球環境研究所より旅費の支給を受けた。本小論文の作成にあたり、南雅代教授のコメントにより内容が改善された。以上の方々および機関に謝意を表します。

## 引用文献

- 小元久仁夫 (2005) 南西諸島から採取したビーチロックの<sup>14</sup>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.
- 小元久仁夫 (2007) 南西諸島で最古のビーチロックとその意義. 日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」, 42, 1-14.
- 小元久仁夫・中村俊夫・森 和紀・田中邦一・松田重雄・大八木英夫・安谷屋 昭・久貝弥嗣・新城宗史 (2011) 宮古島東平安名崎西方, ティダガー(太陽泉) の石灰華段丘地形, 堆積物の較正年代および水質分析結果について. 日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」, 46, 25-48.
- 小元久仁夫・藁谷哲也・塩見昌司・南 雅代 (2019) ビーチロック試料の正確な膠結年代の決定方法. 名古屋大学年代測定研究, 3, 41-43.
- 河名俊男 (1996) 琉球列島中部の非石灰岩地域(渡嘉敷島, 阿嘉島, 渡名喜島) における後期完新世の海面変動—礫岩ビーチロックとそれに保護された完新世サンゴ礁の例—. 日本地理学会発表要旨集, 50, 116-117.
- 小林 純 (1961) 日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究. 農学研究, 48, 63-106.
- 壇上 堯・川崎 了 (2013) セメント物質に着目したビーチロックの形成メカニズムに関する考察. *Journal of Mining Materials Processing Institute of Japan*, 129, 520-528.
- 西村暉希 (1972) 佐世保市にあるbeachrockと考えられる礫岩. 長崎県地学会誌, 17, 17-18.
- American Geological Institute (1957) *Glossary of Geology and Related Sciences*. Kaufmann Printing Inc. Washington, D.C., 28.
- Moore, C.H.Jr. (1973) Intertidal carbonate cementation Grand Cayman, West Indies. *Journal of Sedimentary and Petrology*, 43(3), 591-602.
- Omoto, K. (2006) Radiocarbon ages and  $\delta^{13}\text{C}$  isotopes of beach rocks from the Okinawa Islands, southwest Japan. In *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium*, Okinawa, 511-518.
- Stoddart, D.R., Cann, J.R. (1965) Nature and origin of beachrock. *Journal of Sedimentology and Petrology*, 35, 243-247.

## 日本語要旨

ビーチロックの形成年代は、これまで生物化石の年代で決定されてきた。しかしその年代は生物の死亡年代を示すのみであり、ビーチロックの膠結年代を示すものではない。本研究では、ビーチロックの細粒物質間を膠結、または生物化石表面に付着しているセメント物質(炭酸カルシウム)を物理的・化学的に分離する手法を確立し、分離したセメント物質の年代をAMS-<sup>14</sup>C年代測定により決定する方法の開発を目的としている。本年度は、5地点のビーチロックから試料を採取して、AMS-<sup>14</sup>C年代測定を行い、沖縄県阿嘉島と座間味島の礫岩質ビーチロックの膠結年代を決定することができた。



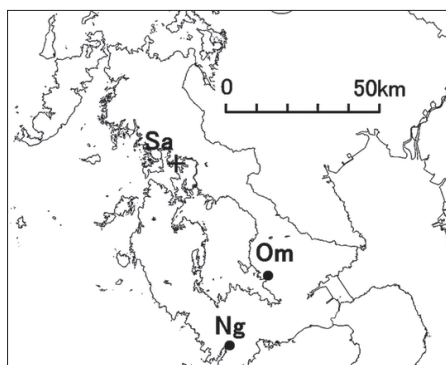


図1 佐世保市の試料採取地点  
Sa: 佐世保市, Ng: 長崎市  
Om: 大村市

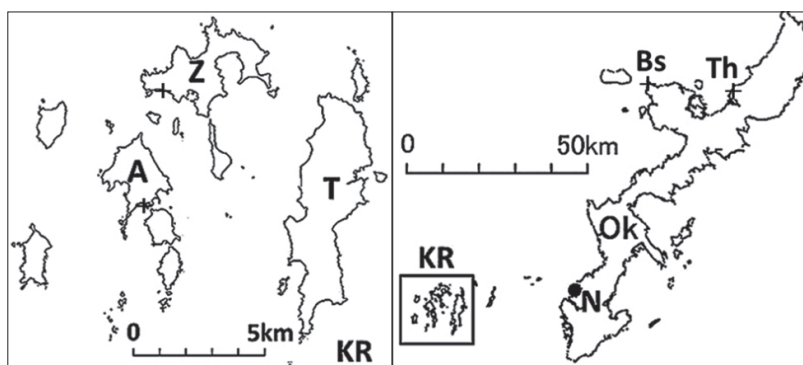


図2 沖縄県の試料採取地点 (+)  
A: 阿嘉島, Z: 座間味島, T: 渡嘉敷島, KR: 慶良間列島,  
Ok: 沖縄島, N: 那覇市, Bs: 備瀬, Th: 津波

表1 阿嘉島 (Ak-) および座間味島 (Zm-) から採取した試料の $^{14}\text{C}$ 年代

試料	試料の種類	Carbon content (%)	Conv. $^{14}\text{C}$ Age $\pm 1 \sigma$ yr BP	NUTA2-
Ak-1	calciridite (Sp-3)	8.9	1336 $\pm$ 26	27486
Ak-2	calciridite (Sp-4)	8.0	1531 $\pm$ 26	27487
Ak-3	<i>Strigatella paupercula</i>	10.5	102.5 $\pm$ 0.3 pMC	27488
Ak-4	<i>Acropora</i> sp. (Sp-1)	10.6	886 $\pm$ 25	27489
Ak-5	shell fragment (Sp-2)	11.0	1206 $\pm$ 26	27492
Ak-6	<i>Porites</i> sp. (Sp-4)	10.5	1064 $\pm$ 26	27476
Zm-1	cement (L surface)	6.5	1020 $\pm$ 26	27480
Zm-2	cement (S surface)	8.3	1043 $\pm$ 26	27483
Zm-3	<i>Tridacna squamosa</i>	11.1	1601 $\pm$ 26	27484
Zm-4	coral	11.0	1494 $\pm$ 26	27485

表2 座間味島, 佐世保市東浜町ほかから採水した検水の分析結果

採水地点	pH	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	$\text{HCO}_3^-$ (mg/L)	$\text{Na}^+$ (mg/L)	$\text{K}^+$ (mg/L)	$\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	$\text{Ca}^{2+}$ (mg/L)	$\text{Li}^+$ (mg/L)
①座間味島	8.0	7400	135.1	1516.2	50.2	181.0	89.0	0.0
②宮古島 <sup>1)</sup>	-	47,200	131.1	10,089.6	351.9	1,094.9	623.4	-
③佐世保	7.2	122	43.4	10.2	1.0	2.9	10.2	0.0
④九州地方 <sup>2)</sup>	-	-	40.9	8.6	1.8	2.7	10.0	-
⑤全 国 <sup>2)</sup>	-	-	31.0	6.7	1.2	1.9	8.8	-

採水地点	$\text{NH}_4^+$ (mg/L)	$\text{Cl}^-$ (mg/L)	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	$\text{Fe}^-$ (mg/L)	$\text{NO}_3^-$ (mg/L)	$\text{NO}_2^-$ (mg/L)	$\text{PO}_4^{3-}$ (mg/L)	$\text{Br}^-$ (mg/L)
①座間味島	0.0	2764.1	376.8	0.3	0.1	0.0	0.0	9.6
②宮古島 <sup>1)</sup>	-	17,768.7	2,699.2	-	12.5	-	0.0	60.3
③佐世保	0.0	9.7	9.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
④九州地方 <sup>2)</sup>	0.0	4.6	13.1	0.1	0.2	-	0.0	-
⑤全 国 <sup>2)</sup>	0.1	5.8	10.6	0.2	0.3	-	0.0	-

<sup>1)</sup> 小元ほか (2011) による宮古島の海水, <sup>2)</sup> 小林 (1961) による河川水の平均値.

2019年度に調査したビーチロックと採取した試料の写真



図3 長崎県佐世保市東浜町の礫岩質ビーチロック.  
2019年8月30日撮影 (干潮時).



図4 佐世保市東浜町のビーチロック中の貝化石.  
斜め左上の10円硬貨がスケールになる.



図5 佐世保市東浜町のビーチロックから採取した  
貝化石試料.



図6 阿嘉島南部, 前浜ビーチのビーチロック.  
2019年8月1日撮影 (干潮時).



図7 阿嘉島南部, 前浜ビーチから採取した試料.  
礫表面と裏面の付着物を採取.



図8 座間味島南部の礫岩質ビーチロック.  
2019年8月3日撮影 (干潮時).





図9 座間味島南部で千枚岩の波食棚上に形成されたビーチロック.



図10 礫を剥がして礫表面と裏面の付着物質を採取.



図11 備瀬の分岐ビーチロック. ○地点から試料を採取. 2019年10月26日撮影

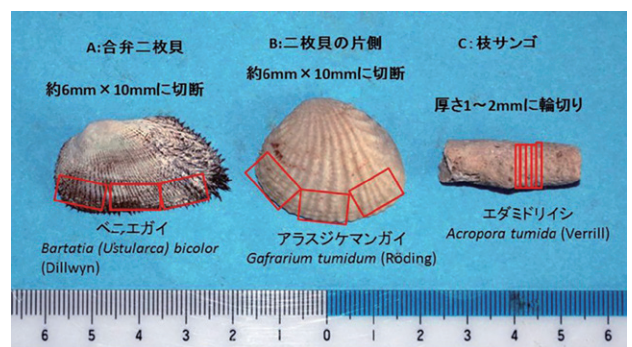


図12 備瀬のビーチロックの膠結層の下位より採取した貝化石と枝サンゴ試料. 赤線は切断位置を示す.



図13 津波の礫岩質ビーチロック.  
2019年10月27日撮影 (干潮時).



図14 津波で採取した年代測定用の試料.