

礫岩質ビーチロックの正確な形成年代の決定法 (3)
**Physical and chemical analyses to obtain accurate formation age of
conglomeratic beachrock (3)**

小元久仁夫^{1*}・藁谷哲也²・北川浩之³・加藤丈典³・大八木英夫⁴・
小田寛貴³・横尾頼子⁵・池田晃子⁶

Kunio Omoto^{1*}, Tetsuya Waragai², Hiroyuki Kitagawa³, Takenori Kato³, Hideo Oyagi⁴,
Hirotaka Oda³, Yoriko Yokoo⁵, Akiko Ikeda⁶

¹元日本大学大学院理工学研究科・日本大学文理学部・²日本大学大学院理工学研究科・
日本大学文理学部・³名古屋大学宇宙地球環境研究所・⁴南山大学総合政策部・
⁵同志社大学理工学部・⁶名古屋大学全学技術センター

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

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

³ ISEE, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan

⁴ Faculty of Policy Studies, Nanzan University, Showa, Nagoya 466-8673, Japan

⁵ Faculty of Sciences and Engineering, Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto 610-0321, Japan

⁶ Technical Center of Nagoya University, Chikusa, Nagoya, 464-8601, Japan

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

Abstract

The formation age of beachrock has been determined based on the ¹⁴C age of biological origin carbonate (i.e. shell and coral) collected from beachrock. However, it indicates the death age of the organism and does not indicate an accurate age of the beachrock formation. Therefore, it is necessary and indispensable to measure directly the age of the cement material of the consolidated intertidal sediments.

We sampled cement materials attached on the surface of cobbles or boulders of the conglomeratic beachrocks formed on the coasts of Sasebo, Nagasaki Prefecture, Shimauratou Island, Miyazaki Prefecture, Zamami Island, Aka Island, Tokashiki Island, Geruma Island, Iheiya Island, Bise and Tsuha coast of Okinawa Prefecture. The cement materials were scraped using a small electric hand drill with a stainless steel drill edge of 2–3 mm in diameter and a stainless steel brush of 1 cm in diameter. A sample of 20 mg powder was used for AMS¹⁴C dating and analysis of chemical composition by ICP-MS.

Except for the Sasebo samples, the cement materials were rich in calcium carbonate; 69.1% for Hiinohama and 85.4% and 74.2% for Zamami samples. However, the carbonate content of the Sasebo sample was as low as 0.6%, and high in Al (6.95%) and Fe (4.91%). The $\delta^{13}\text{C}$ values of the whole samples except for the Sasebo sample were in a range between -4‰ and $+4\text{‰}$, suggesting that the carbon of the cemented material originated from seawater. The ¹⁴C ages of three in situ shell samples (*Claudiconcha japonica*) lying under the boulders of conglomeratic beachrock of Sasebo were Modern (101.6–102.5 pMC). The formation ages of conglomeratic beachrock collected at Hiinohama of Shimauro Island indicated during 3270–3220 BP and during 2920–2510 BP, respectively.

The ¹⁴C ages of the two cemented materials collected from Zamami Island were 1043 ± 26 BP and 1020

± 26 BP. Other cemented materials of the beachrock from Aka Island yielded ages of 1531 ± 26 BP and 1336 ± 26 BP, being younger than those of shell and coral samples from the same beachrocks. Results of this study demonstrate that the pretreatment method in this study was valid to determine the formation age of the conglomeratic beachrock.

Keywords: conglomeratic beachrock; AMS ^{14}C dating; pretreatment technique; elemental analysis

1. はじめに

ビーチロックは、潮間帯の堆積物が海水や陸水中の炭酸カルシウムによって固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。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こと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)。従来、ビーチロックの形成年代はビーチロックから採取した生物化石の年代から推定されてきた。しかし、その年代は生物の死亡年代を示すのみであり、堆積物が固結した年代と乖離している可能性が高い。ビーチロックの形成年代を正確に決定するためには、セメント物質の年代を測定することが望まれる。本研究では、ビーチロックの形成年代の決定が困難視されてきた礫岩質ビーチロックの正確な形成年代を決定する方法の開発を目的とした。このため、ビーチロックの堆積物を固結しているセメント物質、または生物化石表面に付着している炭酸カルシウムを物理的・化学的に分離する手法を開発し (小元ほか, 2019)、セメント物質の ^{14}C 年代を測定し、生物化石から得られた ^{14}C 年代と比較・検討した。

2. 研究方法

ビーチロックの細粒物質を固結している物質は、電子顕微鏡観察からaragonite needlesであると報告されている (Moore, 1973)。したがって、aragonite needlesを試料として高感度のAMSで ^{14}C 年代測定を行えば、ビーチロックの形成年代を決定できる可能性がある。しかしながら、aragonite needlesを年代測定試料として採取する方法は確立されていない。小元は非石灰岩の海岸に発達する礫岩質ビーチロックを対象として、礫の裏面や側面に付着し、砂礫を固結している堆積物がセメント物質であると判断し、これを試料とした。2020年度は礫岩質ビーチロックが存在する長崎県奈留島、沖縄県慶留間島、渡嘉敷島、渡名喜島および伊平屋島を対象として野外調査を行い、試料を採取する。採取した試料は共同研究者が所属する日本大学文理学部で岩石カッターを使用して整形し、試料調整とAMS ^{14}C 年代測定は名古屋大学宇宙地球環境研究所で行う。試料の元素分析は研究分担者が所属する同志社大学理工学部、また試料採取地点から採取した湧水の分析は南山大学総合政策部で行う。上記とは別に、試料のXRF (蛍光X線) 分析は名古屋大学宇宙地球環境研究所で行う。

3. 試料の採取と分析

2020年度に行った野外調査と採取した試料の分析は、以下の通りである。沖縄県渡嘉敷島には、大潮の3月11日に渡島して試料を採取した。試料採取地点を図1Bおよび図1Cに、またビーチロックの状況を図2Aに示す。慶留間島では10月15日に現地調査を行い、試料を採取した。慶留間島の試料採取地点を図2Bに、また採取した試料を図2Cに示す。10月16日には渡名喜島に代えて伊平屋島で現地調査を行い、試料を採取した。伊平屋島から採取した試料の採取地点は図3に示し、ビーチロックの分布状況と採取した試料を図4に示す。なお、2020年度は新型コロナウイルス蔓延のため、沖縄県渡名喜島や長崎県奈留島における渡島調査ができなかった。採取した ^{14}C 年代測定試料は名古屋大学宇宙地球環

境研究所において試料調製を行い、AMS¹⁴C年代測定を行う予定である。またセメントの元素分析は、同志社大学理工学部で行う予定である。2019年度までに行った元素分析結果を表1に示す。渡嘉敷島から採水した検水の水質分析は、秋田大学大学院理工学研究科で行った。その結果を表2に示す。なおセメント物質のXRF分析は未着手である。

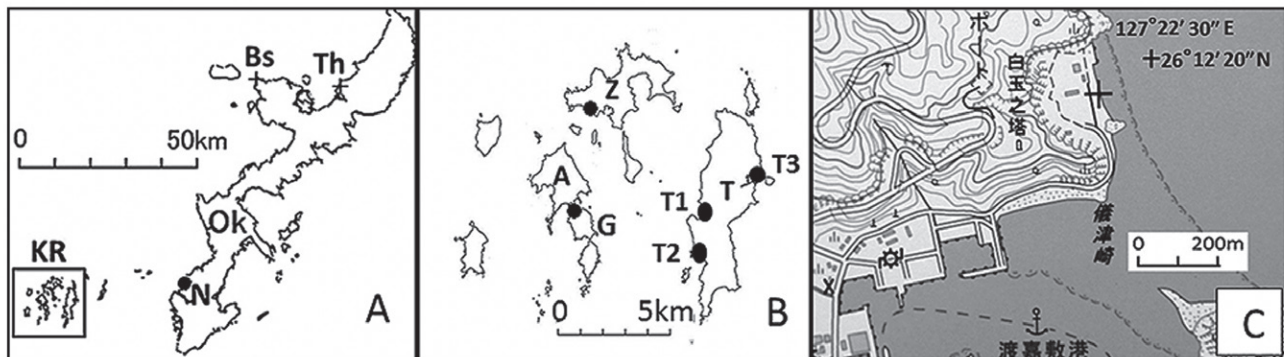


図1 渡嘉敷島の試料採取地点を示す地図

Aは渡嘉敷島が属する慶良間列島 (KR) と沖縄本島の位置関係を示す。Bは慶良間列島の座間味島 (Z)、阿嘉島 (A)、慶留間島 (G) および渡嘉敷島 (T) を示す。図中の●は試料採取地点を示し、T3は図Cに対応する。原図は国土地理院発行地形図 1 : 25,000「渡嘉敷」。

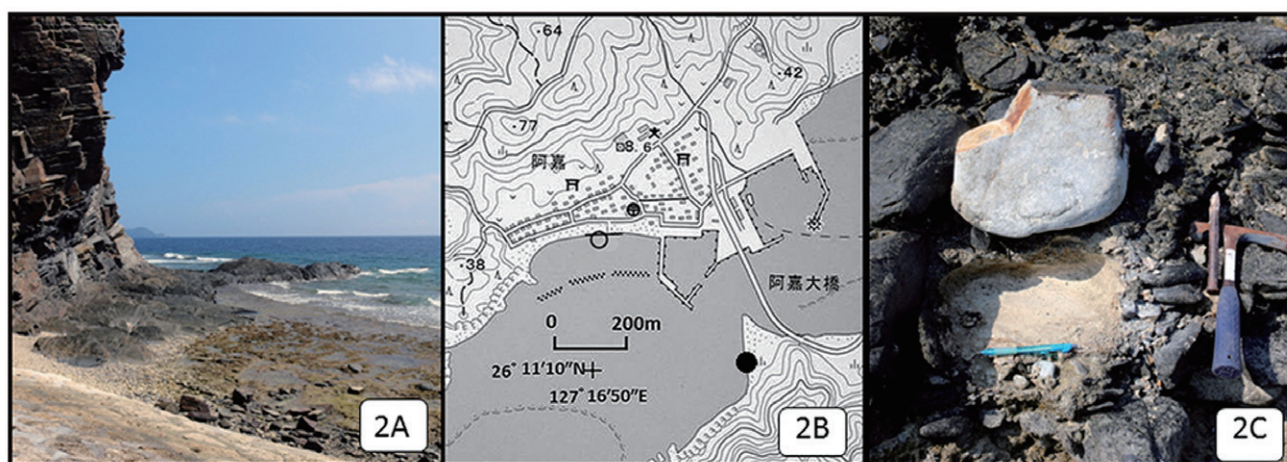


図2 渡嘉敷島北東部のビーチロック、慶良間島の試料採取地点を示す地形図および試料を示す写真

2Aは渡嘉敷島北東部 (図1BのT3) のビーチロック、2Bは慶良間島 (図1BのG) の試料採取地点 (黒丸) を示す地形図、2Cは同地点で剥がした礫と現れたセメント物質を示す。原図は国土地理院発行地形図 1 : 25,000「座間味」。

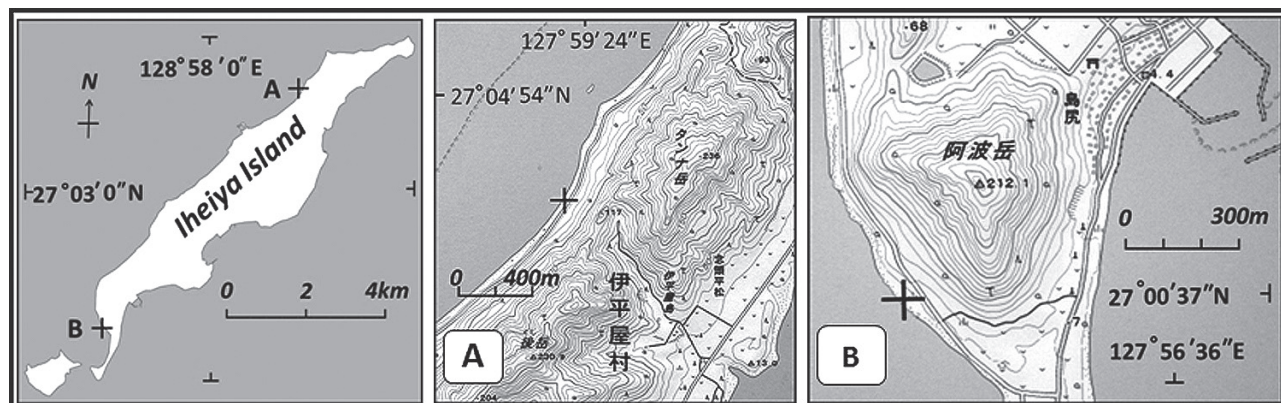


図3 伊平屋島の試料採取地点を示す図

Aは伊平屋島北部の試料採取地点を示し、Bは同南部の試料採取地点を示す。原図は国土地理院発行 1 : 25,000地形図「伊平屋島北部および同南部」。

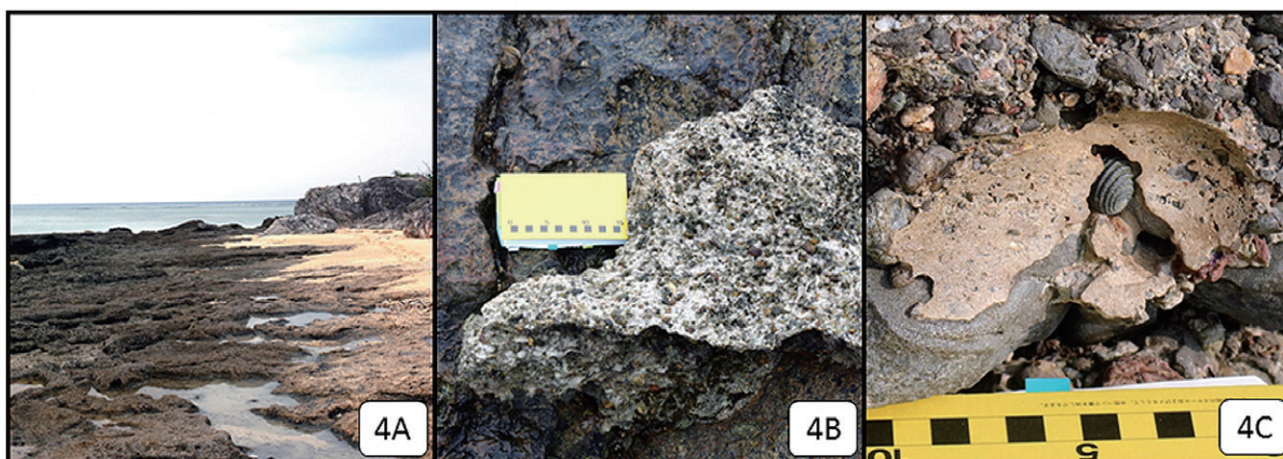


図4 伊平屋島のビーチロックと年代測定試料を示す写真

4Aと4Bは図3のB地点のビーチロックとセメント物質、4Cは図3のA地点のビーチロックで大礫を剥がして現れたセメント物質と貝化石を示す。

表1 セメント物質の元素分析結果

	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	CaCO ₃
Shimaura Isl.	0.001	0.153	0.116	0.002	2.35	27.7	0.189	0.098	0.057	69.10
Sasebo	0.45	6.95	4.91	0.50	0.75	0.57	1.22	1.57	0.040	1.42
Aka Isl.	0.024	0.490	0.184	0.003	1.33	34.2	0.77	0.174	0.018	85.41
Zamami Isl.	0.094	1.94	0.68	0.005	0.77	29.7	0.61	0.65	0.026	74.17

注：Shimaura Isl. の試料は酢酸抽出、それ以外の試料は全岩分析を行った。

表2 渡嘉敷島渡嘉志久ビーチ南部の湧水（地下水）の水質分析結果

pH	EC	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
	(S/m)	(mg/L)										
7.87	4.77	9448	360	n.d	1130	329	16833	n.d		n.d.	2328	128.3

4. 研究成果

2018年度から3年間にわたり野外調査を行って、合計15地点から46件のAMS¹⁴C年代測定試料を採取した。年代測定の結果、宮崎県島浦島南部の日井の浜、沖縄県阿嘉島と座間味島の礫岩質ビーチロックの形成年代を決定することができた(小元ほか, 2019, 2020)。しかし、長崎県佐世保のビーチロックは炭酸塩の含有量が少なくAMS¹⁴C年代測定ができなかった。また、固結した礫の直下から採取したin situの貝化石(*Claudiconcha japonica*)の¹⁴C年代はModern (101.6–102.5 pMC)であった。今後、沖縄県慶留間諸島の渡嘉敷島や慶留間島と、伊平屋島の礫岩質ビーチロックの形成年代や元素分析結果が明らかになる予定である。

ビーチロックの形成過程や海浜堆積物が固結した原因を考察するため、宮古島の吉野海岸で固結砂層、非固結砂層および湧水を採取して、¹⁴C濃度、 $\delta^{13}\text{C}$ および湧水の水質分析を行った。また宮古島のマイバーバマにおいて、同一堆積層の直径10 cm以内から採取した貝化石とその両面の付着物、サンゴ化石、石灰砂岩などを採取してAMS¹⁴C年代測定を行い、異なる試料間で年代差が生ずるかどうかの検討を行った(小元, 2021)。さらに、ビーチロックの形成年代と津波石の年代を比較する研究(小元・南, 2017)も行った。

礫岩質ビーチロックの形成年代をAMS¹⁴C年代測定により決定するため、必要な試料調整法を開発したこと(小元ほか, 2019, 2020)は評価されるであろう。また本研究で行った礫岩質ビーチロックから採取したセメント物質の元素分析結果、 $\delta^{13}\text{C}$ 、¹⁴C年代(¹⁴C濃度)の測定結果は、今後ビーチロックの形成過程を考察する際に有意義な資料となろう。同一層から採取した異種試料間で年代差が生じたことや、ビーチロックの堆積物の中に津波堆積物が混入していたことは、ビーチロックの形成年代を考察する際に検討を要するとして警鐘を鳴らした(小元, 2021)。

今後は、報告事例の少ないセメント物質に関する元素分析資料を増加させることと、セメント物質のXRF分析や電子顕微鏡写真撮影を行って、セメント物質の解析と検討を行う必要がある。また、礫岩質ビーチロックが発達している海岸において、干潮時に地下水が湧出している地点が多いことから、これらの湧水の水質分析を行い海浜堆積物の固結との関連について検討する必要がある。以上が今後解決するために取り組むべき問題点である。

謝辞

採取した試料の中で、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(2021年1月12日にご逝去)にいただいた。慶良間列島から試料を採取するにあたり、環境省慶良間自然保護官座間味島事務所の松本晃自然保護官からは国立公園内における試料採取の申請および試料採取時の指導を受けた。慶留間島で試料採取の際には、慶良間諸島国立公園ビジターセンターの「さんごゆんたく館」の村石健一氏にお世話になった。また伊平屋島で試料採取の際には、伊平屋島教育委員会の嘉手納知子主任にお世話になった。本論文の英文要旨は、HGSG Limited, Managing Director, Dr. John Hoyes CPhysに校閲をしていただいた。以上の方々および機関に謝意を表します。

引用文献

- American Geological Institute (1957) *Glossary of Geology and Related Sciences*. Kaufmann Printing Inc. Washington, D.C. 28.
- 壇上 堯・川崎 了(2013) セメント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.
- Moore, C.H.Jr. (1973) Intertidal carbonate cementation Grand Cayman, West Indies. *Journal of Sedimentary and Petrology*, **43**, 591–602.
- 小元久仁夫(2005) 南西諸島から採取したビーチロックの¹⁴C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・南 雅代(2017) 宮古島マイバーバマのビーチロックに半埋没しているハマサングのAMS¹⁴C年代. *季刊地理学*, **69**, 153.
- 小元久仁夫・南 雅代・藁谷哲也・塩見昌司(2018) ビーチロックの正確な膠結年代決定法の開発(予報)—宮崎県島浦島のビーチロックの形成年代—. *季刊地理学*, **70**, 143–144.
- 小元久仁夫・南 雅代・大八木英夫・池田晃子(2019) 宮古島南東海岸に発達する固結砂層と湧水の特徴. *季刊地理学*, **71**, 136–137.
- 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. *名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定報告*, **3**, 41–43.
- 小元久仁夫・藁谷哲也・塩見昌司・大八木英夫・横尾頼子・池田晃子(2020) ビーチロック試料の正確な膠結年代の決定方法(2). *名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定報告*, **4**, 9–15.
- 小元久仁夫(2021) 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¹⁴C年代とその意義. *地学雑誌*, **130**, 95–101.
- Stoddart, D.R. and Cann, J.R. (1965) Nature and origin of beachrock. *Journal of Sedimentology and Petrology*,

35, 243 – 247.

渡辺康志 (2005) 座間味島・阿嘉島の地形地質と赤土流出. *地域研究*, 1, 127 – 131.

本研究の成果

1. 学会および学術研究会発表

小元久仁夫・南 雅代 (2017) ビーチロックの形成年代とは?. 2016年度名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム. 2017年1月30日. 名古屋大学. 名古屋市.

小元久仁夫・南 雅代 (2017) 宮古島マイバーバマのビーチロックに半埋没しているハマサングのAMS¹⁴C年代. *季刊地理学*, 69, 153. 東北地理学会. 2017年5月21日. 仙台市戦災復興記念館. 仙台市.

小元久仁夫・南雅代 (2018) 宮古島南東,マイバーバマ東部に打ち上げられたハマサングの¹⁴C年代とその意義. 2017年度名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム. 2018年2月1日. 名古屋大学. 名古屋市.

小元久仁夫・南 雅代・藁谷哲也・塩見昌司 (2018) ビーチロックの正確な膠結年代決定法の開発 (予報) —宮崎県島浦島のビーチロックの形成年代—. *季刊地理学*, 70, 143 – 144. 東北地理学会. 2018年5月19日. 東北大学理学部. 仙台市.

小元久仁夫・藁谷哲也・南 雅代・池田晃子・横尾頼子・塩見昌司 (2019) ビーチロックの年代を決定する際の問題点. 2018年度名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム. 2019年2月1日. 名古屋大学. 名古屋市.

小元久仁夫・南 雅代・大八木英夫・池田晃子 (2019) 宮古島南東海岸に発達する固結砂層と湧水の特徴. *季刊地理学*, 71, 136 – 137. 東北地理学会. 2019年5月18日. 東北大学理学部. 仙台市.

2. 学術出版物

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グ岩塊の¹⁴C年代とその意義. *季刊地理学*, 69, 119 – 127.

小元久仁夫・藁谷哲也・塩見昌司・南 雅代 (2018) ビーチロック試料の正確な膠結年代決定法の開発. *名古屋大学年代測定研究*, 2, 7 – 11.

小元久仁夫 (2019) 南西諸島宮古島南東のマイバーバマ東部および吉野海岸に打ち上げられたサング岩塊の¹⁴C年代. *季刊地理学*, 71, 82 – 88.

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.

小元久仁夫・藁谷哲也・塩見昌司・大八木英夫・横尾頼子・池田晃子 (2020) ビーチロック試料の正確な膠結年代の決定方法 (2). *名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定報告*, 4, 9 – 15.

小元久仁夫 (2021) 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¹⁴C年代とその意義. *地学雑誌*, 130, 95 – 101.