

## 沖縄県石垣島産造礁サンゴ化石の $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 年代とその意義

Uranium-series dates of fossil hermatypic corals in Ishigaki-jima Island, Okinawa Prefecture, and their significance

山田茂昭\* 松田博貴\*\* 大村明雄\*\*\*

Shigeaki Yamada\*, Hiroki Matsuda\*\* and  
Akio Omura\*\*\*

2006年8月4日受付.

2006年12月4日受理.

\* 金沢大学大学院自然科学研究科 (現所属: 株式会社日さく)  
Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa 920-1192, Japan (present address; Nissaku Co., Ltd, 4-37 Higashimitabi-machi, Suita, 564-0033, Japan)

\*\* 熊本大学理学部地球科学科  
Department of Earth Science, Faculty of Science, Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami, Kumamoto 860-8555, Japan

\*\*\* 金沢子ども科学財団  
The Kanazawa children's Science Foundation, Marunouchi, Kanazawa 920-0987, Japan

Corresponding author; S. Yamada, shigeaki-yamada@nissaku.co.jp

**Abstract: This study provides new uranium-series dates of the Ryukyu Group in Ishigaki-jima Island, South Ryukyu Arc (SRA). Two fossil hermatypic coral samples taken from coral limestone in the northern and southern parts of the island were dated as  $118.5 \pm 2.0$  ka and  $119.9 \pm 2.0$  ka, respectively, which correlates to oxygen isotope stage 5.5. This fact suggests that a reef complex was formed during isotope stage 5.5 in Ishigaki-jima Island, just like in Hateruma-jima and Yonaguni-jima Islands, SRA. The dated coral in the northern part was collected at an elevation of 1.3 m. It is, therefore, inferred that the northern part of the island was tectonically stable since isotope stage 5.5. On the other hand, the dated corals in the southern part was collected at an elevation of 15 m, which indicated that the southern part of Ishigaki-jima has been uplifted at rate of about 0.10 m/ky since isotope stage 5.5. Our data clearly show that the western part of SRA has been situated in the tectonic setting of uplift for the last 125 ky.**

Key words: Ishigaki-jima Island, Ryukyu Group, coral, Uranium-series date, Oxygen isotope stage, South Ryukyu Arc

### はじめに

琉球列島には、主にサンゴ礁複合体炭酸塩堆積物からなる第四系琉球層群 (MacNeil, 1960) が広く分布する。琉球層群の層序は、1990年代以降、同層群を構成する複数のサン

ゴ礁複合体の一つ一つが一回の海水準変動に対応して形成されたものであるという時間・空間的形成過程を考慮した層序区分を基に、その再検討が進んできた (例えば, Iryu et al., 1998)。筆者らは、これらの成果を踏まえて、琉球弧における第四紀のサンゴ礁の形成環境の復元と発達史ならびに構造運動の変遷を明らかにすることを目的として、南琉球弧の各島々に分布する琉球層群の層序と堆積相の検討を行ってきた。本論では、筆者らの一連の研究の成果の一つとして、これまで  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  法による堆積年代の報告のなかった南琉球の石垣島に分布する琉球層群から、初めて得られた造礁サンゴ化石の  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  年代について報告する。

### 地質概説および礁性石灰岩の産状

石垣島は、北緯  $24^{\circ}20' \sim 24^{\circ}35'$ 、東経  $124^{\circ}04' \sim 124^{\circ}20'$  の範囲にあり、沖縄本島の南西方約 410 km、台湾の東方約 280 km に位置する (Fig. 1)。石垣島の琉球層群大浜層 (中川ほか, 1982; 金子ほか, 2003) は、全島にわたり広く分布する。本層は一般に礁性石灰岩からなるが、陸源性砕屑物を主体とする堆積物も含まれ、ブネラ粘土層 (Foster, 1965) もその一つである。本報告の検討対象地域は、石垣島北部の伊原間地域と石垣島南部の新川地域である (Fig. 1)。

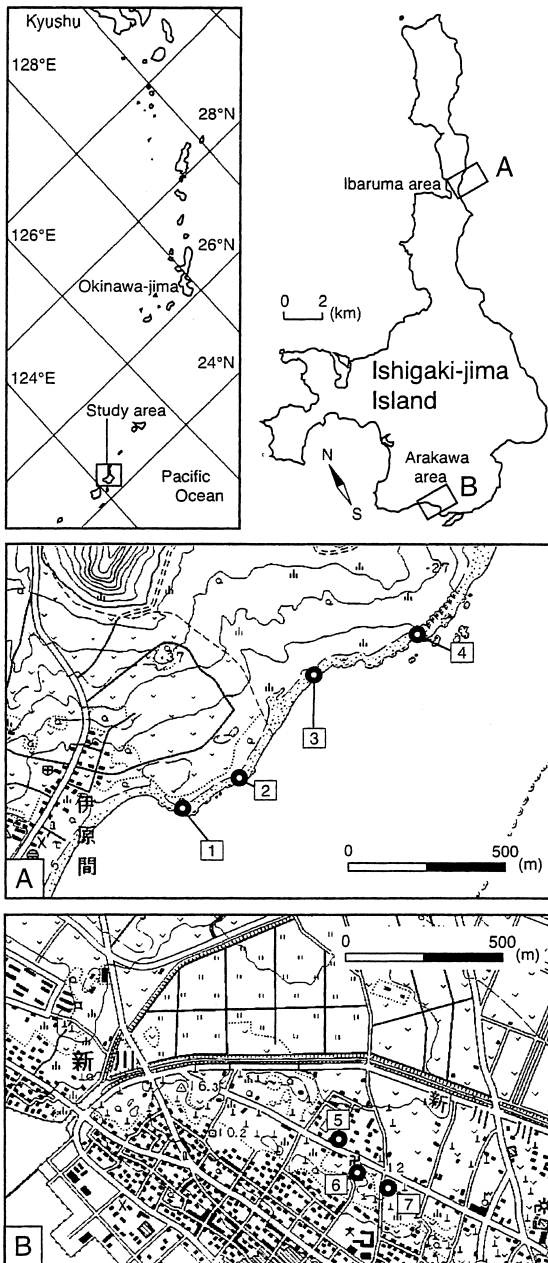
以下に、検討試料が採取された礁性石灰岩の産状に関して記述する。なお、琉球層群の岩石記載は、Embry and Klovan (1971) によって改訂された Dunham (1962) の分類に従った。

#### 1. 伊原間地域

本地域の大浜層は、サンゴフレームストーン (Coral framestone) ならびに生砕性グレインストーン~パックスストーン (Detrital grainstone ~ packstone) からなり (Figs. 1, 2)、基盤のトムル層と傾斜不整合で接する (Fig. 2; Loc. 4)。本地域には、標高約 2 m の平坦面が存在し、礁性石灰岩が分布する (Fig. 2; Loc. 1 ~ 4)。サンゴフレームストーン中の造礁サンゴ化石群集は、卓状の *Acropora* spp., *A. monticulosa*, *A. palifera* を主体とし、半球状の *Goniastrea retiformis*, *Porites* spp. を伴っており、極浅海域 (水深 0 ~ 5 m) に生息する *A. hyacinthus* 群集に対応づけられる (Nakamori, 1986)。今回得られた  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  年代測定試料 (AO509) は、標高 1.3 m に露出するサンゴフレームストーン中に含まれる卓状の *Porites* sp. である (Fig. 2; Loc. 1)。

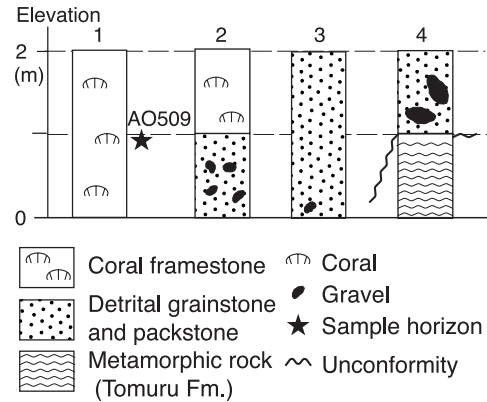
#### 2. 新川地域

新川地域には、*Cycloclypeus-Operculina* フロートストーン (*Cycloclypeus-Operculina* floatstone) や石灰藻球フロートストーン (Rhodolith floatstone) と、これを侵食

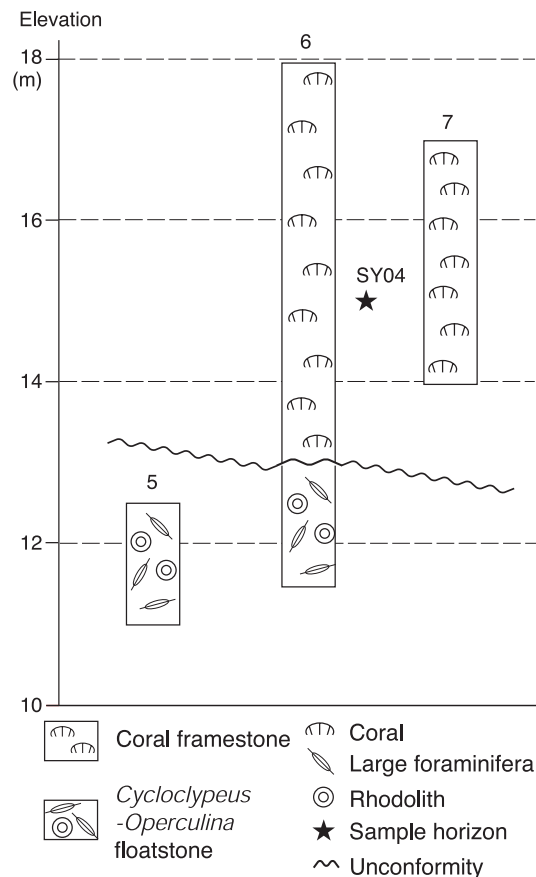


**Fig. 1.** Maps showing locations the study area and locations of columnar sections in Figs. 2 and 3. 1:25,000 scale topographic maps “Ibaruma” (A) and “Ishigaki” (B) published by the Geographical Survey Institute of Japan.

不整合で覆うサンゴフレームストーン (Coral framestone) が分布する (Fig. 3; Loc. 5~7). 本地域で得られた  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  年代測定試料 (SY04) は、不整合上位のサンゴフレームストーン中に含まれる *Porites* sp. の巨大群体の一部であり、その標高は 15 m である (Fig. 3; Loc. 6). サンゴフレームストーンに含まれる造礁サンゴ化石群集は、直径 0.5~1.0 m に達する半球状の *Porites* spp. を主体とし、細枝状の *Acropora* spp. や *Montipora digitata* を伴っており、極浅海域 (水深 0~5 m) に生息する *M. digitata* 群集に対応づけられる (Nakamori, 1986).



**Fig. 2.** Columnar sections of the Ryukyu Group in Ibaruma area, northern part of Ishigaki-jima Island. Sample horizon of the dated coral (AO509) at Loc. 1 is indicated by an asterisk.



**Fig. 3.** Columnar sections of the Ryukyu Group in Arakawa area, southern part of Ishigaki-jima Island. Sample horizon of the dated coral (SY04) at Loc. 6 is indicated by an asterisk.

#### 造礁サンゴ化石のウラン系列年代

$\alpha$  スペクトル  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  年代測定の原理は大村 (1988) に、試料の放射化学的処理は大村ほか (1991) の方法にそれぞれ従った。薄片観察と粉末 X 線分析により測定試料には、

**Table 1.** Radiochemical data and a spectrometric <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U dates of the corals from Ishigaki-jima Island.

Sample	Elevation (m)	Coral	U (ppm)	<sup>230</sup> Th (dpm/g)	<sup>234</sup> U/ <sup>238</sup> U	<sup>230</sup> Th/ <sup>232</sup> Th (activity ratio)	<sup>230</sup> Th/ <sup>234</sup> U	( <sup>234</sup> U/ <sup>238</sup> U) <sub>0</sub>	Date (ka)
AO509	1.3	<i>Porites</i>	2.862±0.018	1.602±0.011	1.113±0.007	> 450	0.6746±0.0063	1.158±0.009	118.5±2.0
SY04	15	<i>Porites</i>	2.776±0.019	1.561±0.010	1.110±0.007	> 320	0.6790±0.0064	1.155±0.010	119.9±2.0

**Table 2.** Present elevation and depositional depth of the dated corals at oxygen isotope stage 5.5, and the rates of uplift in Ishigaki-jima Islands.

Location and Samples	Elevation (m)	Depositional depth (m)	Age (ka)	Eustasy (m)	Rate (m/ky)
<b>Northern part</b>					
AO510	1.3	0~5	118	3	-0.01~0.03
<b>Southern part</b>					
SY04	15	0~5	118	3	0.1~0.14

二次的に形成されたアラレ石・方解石などの続成生成物が存在しないことを確認した。ウランおよびトリウムの各同位体量、<sup>230</sup>Th/<sup>232</sup>Th 比、<sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U 比および <sup>234</sup>U/<sup>238</sup>U 比を、試料の採取標高と共に、Table 1 に示す。

2つの試料からそれぞれ 118.5 ± 2.0 ka (AO509) と 119.9 ± 2.0 ka (SY04) という <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U 年代値が得られた (Table 1)。これらの値は、いずれも大村ほか (1995) による信頼性評価基準を満たしている。

考 察

1. 大浜層の堆積年代

石垣島の琉球層群の堆積年代は、ブネラ粘土層から産出したサンゴ化石の ESR 年代ならびに石灰質ナンノ化石 (*Emiliania huxleyi*) より、酸素同位体ステージ 7 以降の堆積物であるとされてきた (Koba et al., 1985)。また、石垣島南部に分布する礁性石灰岩からは、佐藤ほか (1999) の基準面 1~3 (0.41~0.16 Ma) を示す石灰質ナンノ化石が報告されている (例えば、山田・松田, 2001, 2002)。これらの研究は、石垣島に酸素同位体ステージ 5e に対比される堆積物が分布する可能性があることを示しているが、これまでそれに対比される年代値を示す堆積物の報告はなかった。

今回、石垣島北部と南部に分布する大浜層中の造礁サンゴ化石より得られた 118.5 ± 2.0 ka, 119.9 ± 2.0 ka という放射年代値は、同層が Martinson et al. (1987) の海洋酸素同位体ステージ 5.5 (以下, MIS 5.5) に堆積したことを示す。この結果より、石垣島の琉球層群の一部が、南琉球弧の与那国島や波照間島に分布する MIS 5.5 に堆積した礁性堆積物 (大村・太田, 1992) と同期間に堆積したものであると結論される。今回、既存研究と異なる新たな年代値が得られたことは、琉球層群を構成する各岩相の分布と不整合の存在から、石垣島の琉球層群がいくつかのユニットに分けられるとする見解 (山田・松田, 2001) の新たな根拠となるものと考えられる。

2. 大浜層から読み取られる造構運動

本邦では、高海水準期に対比された堆積物の分布をもとに、後期更新世の造構運動に関する議論がこれまでなされており (例えば, Konishi et al., 1974; 大村・太田, 1992)、石垣島を含む八重山地域は、汀線付近に分布する完新統礁性石灰岩の分布やノッチ高度から、北西方向への傾動を伴いながら緩やかに隆起してきたことが指摘されている (河名, 1990)。

Stirling et al. (1998) は、西オーストラリアに分布するサンゴ礁段丘高度に基づいて、MIS 5.5 当時の海面は現在の標高 3 m まで少なくとも達していたと推定した。彼らが推定した海水面は、構造運動の影響をほとんど受けていない安定大陸域のデータを基に検討されたものであり、当時の汎世界的な海面を示している。今回、石垣島北部で MIS 5.5 に対比される年代値が得られた造礁サンゴ化石が産出した地点は標高 1.3 m である。大浜層の造礁サンゴ化石群集から推定される古水深は 0~5 m であるので、大浜層堆積時の海水面は現在の標高 1.3~6.3 m にあったことになり、このことから石垣島北部は、MIS 5.5 以降、造構運動に関しては、安定していたと考えられる。一方、石垣島南部では MIS 5.5 相当の年代値が得られた造礁サンゴ化石は標高 15 m の地点で採取されたことから、MIS 5.5 以降、顕著な隆起運動があったことが示唆される。これは、河名 (1990) が報告した完新世から現在にかけての島南部がより隆起する緩やかな傾動運動が、MIS 5.5 以降より既に起きていたことを示唆する。

そこで、石垣島北部と南部の大浜層堆積後に起こった鉛直方向の運動速度 (V) について、古水深の値 (D)、汎世界的な海水準の位置 (S)、経過した時間 (T)、現在の分布高度 (H) を基に、 $V = \{H - (S - D)\} / T$  の関係式から求めた。ここで、アイソスタシーを考慮に入れる必要があるが、琉球弧におけるアイソスタシーに関しては、どの程度の影響を及ぼしたか明らかになっていないので、本報告では考察から除外した。なお、求められる速度は、大浜層のサンゴ礁堆積物が堆積した後、現在分布する高度に達するまで、隆起・沈降が一定であったと仮定したものである。また 118~125 ka 時

の汎世界的海水準 S は, Stirling et al. (1998) より標高 3 m とした。

その結果, 大浜層堆積以降, 石垣島北部では  $-0.01 \sim 0.03$  m/ky, 石垣島南部では  $0.10 \sim 0.14$  m/ky という速度が見積られる (Table 2)。南琉球弧には, 与那国島や波照間島にも MIS 5.5 に形成された礫性堆積物が分布しており (大村・太田, 1992), これらに基づく MIS 5.5 以降の隆起速度は, 与那国島で  $0.18$  m/ky, 波照間島で  $0.30$  m/ky である (Omura, 1984; 大村ほか, 1994)。以上から, MIS 5.5 以降, 石垣島以西の南琉球弧は隆起傾向の地域であったと考えられる。

**謝 辞** 本研究の遂行に際して, 東北大学大学院理学研究科地圏進化学講座の中森 亨助教授には, 造礁サンゴ化石の鑑定法を御教授していただくと共に, 研究に関して有益な御教示・御助言をいただいた。産業技術総合研究所地質調査総合センターの兼子尚知氏, 金子慶之氏には, 野外調査において有益な御助言をいただいた。金沢学院大学美術文化学部の佐々木圭一講師には, 造礁サンゴ化石のウラン系列年代測定に際して, 様々な便宜をはかっていただいた。また, 編集幹事である宮城教育大学川村寿郎教授, 東北大学理学部井龍康文助教授, 琉球大学教育学部松田伸也教授には, 多くの建設的コメントをいただいた。以上の方々に深く感謝いたします。

## 文 献

- Dunham, R. J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.*, **1**, 108-121.
- Embry, A. F. and Klovan, J. E., 1971, A Late Devonian reef tract on north-eastern Banks Island, Northwest Territories. *Bull. Can. Petrol. Geol.*, **19**, 730-781.
- Foster, H. L., 1965, Geology of Ishigaki-shima, Ryukyu-retto. *U.S. Geol. Surv., Prof. Paper*, 339-A, 1-119.
- Iryu, Y., Nakamori, T. and Yamada, T., 1998, Pleistocene reef complex deposits in the Central Ryukyus, south-western Japan. In Camoin, G.F. and Davies, P.J. eds., "Reefs and Carbonate Platforms in the Pacific and Indian Ocean". Spec. Publ. Int. Assoc. Sediment., no.25, 197-213.
- 金子慶之・川野良信・兼子尚知, 2003, 石垣島東北部の地質。地域地質研究報告, 5 万分の 1 図幅, 宮古島 (19) 第 6 号, 72 p, 地質調査所。
- 河名俊男, 1990, 離水サンゴ礁を特徴づけるノッチ。日本のサンゴ礁地域 1, 熱い自然: サンゴ礁の環境誌, 古今書院, 66-82.
- Koba, M., Ikeya, T., Miki, T. and Nakata, T., 1985, ESR ages of the Pleistocene coral reef limestones in the Ryukyu Islands, Japan. In Ikeya, T. and Miki, T., eds., "ESR Dating and Dosmetry", 93-104, IONICS, Tokyo.
- Konishi, K., Omura, A. and Nakamichi, O., 1974, Radiometric coral ages and sea level records from the late Quaternary reef complexes of the Ryukyu Islands. *Proc. 2nd Int. Coral Reef Symp.*, **2**, 595-613.
- Martinson, D. G., Pisias, N. G., Hays, J. D., Imbrie, J., Moore, Jr., T. C. and Shackleton, N. J., 1987, Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronology. *Quatern. Res.*, **27**, 1-29.
- Nakamori, T., 1986, Community structure of Recent and Pleistocene hermatypic corals in the Ryukyu Islands. *Sci. Rep., Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **56**, 71-133.
- 中川久夫・土井宜夫・白尾元理・荒木 裕, 1982, 八重山群島石垣島・西表島の地質。東北大地質古生物研報, no. 84, 1-22.
- Omura, A., 1984, Uranium-series age of the Riukiu Limestone on Hateruma Island, southwestern Ryukyus. *Trans. Proc. Paleont. Soc. Japan, N. S.*, **135**, 415-426.
- 大村明雄, 1988, ウラン系列年代測定。地質学論集, no.29, 107-127.
- 大村明雄・岩田秀樹・太田陽子・木庭元晴・河名俊男, 1991, 南・北大東島産後期更新世サンゴ化石の  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  年代。地学雑, **100**, 337-350.
- 大村明雄・太田陽子, 1992, サンゴ礁段丘の地形層序と構成層の  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  年代測定からみた過去 30 万年間の古海面変化。第四紀研究, **31**, 313-327.
- 大村明雄・Chappell, J.・Bloom, A. L.・McCulloch, M.・Esat, T.・Pillans, B. J.・太田陽子・佐々木圭一・中森 亨・松田伸也・川田陽子, 1995, パプアニューギニア, ヒュオン半島の更新世後期サンゴ礁段丘に関する  $\alpha$  スペクトル  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  年代の再評価。地学雑, **104**, 758-776.
- 佐藤時幸・亀尾浩司・三田 勲, 1999, 石灰質ナンノ化石による後期新生代地質年代の決定精度とテフラ層序。地球科学, **53**, 265-274.
- Stirling, C. H., Esat, T. M., Lambeck, K. and McCulloch, M. T., 1998, Timing and duration of the Last Interglacial: evidence for a restricted interval of widespread coral reef growth. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **160**, 745-762.
- 山田茂昭・松田博貴, 2001, 南琉球弧の琉球層群の層序と礁発達様式一予察一。堆積学研究, no. 53, 105-107.
- 山田茂昭・松田博貴, 2002, 南琉球弧の更新統堆積物の変遷とその規制要因。日本地質学会第 109 年学術大会講演要旨, 86.