

琉球大学学術リポジトリ

沖縄本島近海の陸棚上に見られるサンゴモ球の放射性炭素年代

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学 公開日: 2007-10-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松田, 伸也, 野原, 昌人 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/2199

沖縄本島近海の陸棚上に見られる サンゴモ球の放射性炭素年代

松田伸也*・野原昌人**

Radiocarbon ages of rhodoliths on the deep forereef to insular shelves
around Okinawa-jima, Ryukyu Islands.

Shinya Matsuda*・Masato Nohara**

Abstract

Rhodoliths are widely distributed on the deep forereef to insular shelves around Okinawa-jima and its associated islets, ranging from 50 to 135m in depth. The rhodoliths consist of plural individuals of nonarticulated coralline algae and encrusting form of foraminifer *Acerculina inhaerens*, both of which form more or less concentric internal structure. Radiocarbon dates of 11 rhodoliths range from modern to 2750 ± 70 yrs. B. P. These ages and existence of living coralline algae on the surface of rhodoliths indicate on-the-spot rhodolith-formation on the deep forereef to insular shelves at depths down to 135m.

はじめに

紅藻綱サンゴモ科（サンゴモ目とする見解もある）のうち、節を有しないいわゆる無節サンゴモには、安定した底質に固着生活することなく球状の単一個体の藻体として砂礫底に礫として生育するものがある。また、複数種の無節サンゴモの硬組織が次々と覆いあって球状・亜球状の岩塊を形成している場合がある。このような無節サンゴモの硬組織を主要な構成物のひとつとする球状・亜球状岩塊をサンゴモ球（rhodolith）と称する。サンゴモ球はその特異な形状のため古くから注目され、熱帯から寒帯まで、潮間帯から陸棚まで、世界各地の様々な環境から多数報告されている。

近年、沖縄島近海の水深 50～135m の陸棚上に、表面を生体無節サンゴモと皮殻型有孔虫 *Acerculina inhaerens* Schultze が被覆し、内部も皮殻型無節サンゴモと *Acerculina inhaerens* の硬組織よりなるサンゴモ球が広く分布するようすが詳細に明らかになった（松田ほか、1992）。同様のサンゴモ球は琉球列島の他の島々の陸棚からも報告されている（井龍、1984、1985；Tsuji 1993；松田・富山、1988）。また、この陸棚に見られるサンゴモ球の内部構造とそれを構成する群集は、更新統琉球層群中の主要な岩相のひとつである石灰藻球石灰岩に多産する化石石灰藻球（箕浦 1980；Minoura & Nakamori, 1982）と同一である（Iryu, 1992）。

これらのサンゴモ球が広い陸棚平坦面とその他の

1993年10月29日受理

*琉球大学教育学部理科教室, Department of Science, College of Education, University of the Ryukyus, Nishihara, Okinawa, 903-01, Japan.

**地質調査所海洋地質部, Marine Geology Department, Geological Survey of Japan, Tsukuba, Ibaragi, 305, Japan.

縁斜面、独立した堆の頂上部など、近在のサンゴ礁斜面から運搬されてきたとは考えられないところでも大量に見られること、およびこれらのサンゴモ球内部の遺骸サンゴモ群集(井龍、1984)と、表面の生体サンゴモ群集(松田・富山・1988)が、琉球列島のサンゴ礁の礁斜面上部のサンゴモ群集(井龍・松田、1987; Matsuda, 1989; Iryu & Matsuda, 1988)とは異なることから、これらのサンゴモ球は現在陸棚上において、ほぼ現地性の状態で形成されつつあると考えられている(松田・富山、1988; 松田ほか、1992)。

一方、世界各地の陸棚には最終氷期から後氷期海進早期の低海水準時に相当する年代を示す炭酸塩堆積物が多く分布することが知られており、一般に陸棚には氷期の低海水準時、後氷期海進時、そして海面が現在の位置でほぼ安定した後という、異なる環境条件下で堆積した堆積物が複雑に分布すると理解されている(Milliman and Emery, 1968; Milliman, 1974)。サンゴモ球についても、水深100m前後の陸棚に見られ、最終氷期から後氷期海進早期(25,000~10,000 yrs. B. P.)という年代を示し、低海水準時に浅海環境下で形成されたと考えられている例が、South Africa (水深115m および120m, Siesser, 1972)・North Carolina 沖(水深54~94m, 99~108m, MacIntyre and Milliman, 1970)・Florida 沖(水深74~81m, MacIntyre and Milliman, 1970)など多数知られている。これに対し、陸棚上に産し、かつ放射性炭素年代値が現在(contemporary)もしくは1,500 yrs. B. P. より若い、すなわち後氷期に海水準が現在の高さに達した後の年代を示すというサンゴモ球もしくはサンゴモ生物岩が、North Africa (水深86m, Milliman, 1974)・南大西洋の Vema Seamount (水深73m, Vogel, 1970; Simpson and Heydorn, 1965)・Brazil 南東部沖(水深89m, Deliblias *et al.*, 1972)・Canary Islands (水深63~66m, McMaster and Conover, 1966; Adey and MacIntyre, 1973)・Yucatan Shelf (水深未記載、61m 以浅と思われる, Logan *et al.*, 1969)・地中海 Alboran Ridge (水深54m~88m, Milliman *et al.*, 1972) から報告されている。したがって、陸棚のサンゴモ球には低海水準時の relict と後氷期海進終了後の年代を

示すという例の双方が認められる。

サンゴ礁沖合海域に関しては、1970年代末までに、水深数10mの forereef にほぼ現地性の状態で生育しつつあるサンゴモ球が多数分布する例が数多く報告され(Bosellini and Ginsburg, 1971; Montaggioni, 1979; Focke and Gebelein, 1978 など)、これらは Bosence (1983) によって forereef rhodolith と命名された。その後、カリブ海域で、サンゴモ球が礁斜面よりさらに沖合いの陸棚にまでわたって広く分布することが(Reid and MacIntyre, 1988; Prager and Ginsburg, 1989) 明らかになったが、サンゴモ球の形成の場は、各々30~60mと35~65mの陸棚であり、それまでの forereef rhodolith の報告深度を、越えるものではなかった。

最近 forereef rhodolith の分布下限がメキシコ湾の Flower Garden Bank で80m (Minnery *et al.*, 1985, Minnery, 1990) と報告され、ハワイ群島で90mにサンゴモ球が見られると報告された(Adey *et al.*, 1982)。また、カリブ海 San Salvador 島近海の海山の頂上部の水深70m地点で現世を示す年代値が得られ、同時に219mと297mからも同様の値が報告されたが、この大深度の測定試料は、海山の急斜面に浅所から運びこまれたものであって、サンゴモの生育状況から、サンゴモ球の成長は主に90m以浅でおこっていると推定されている(Littler *et al.*, 1991)。

このように世界各地の例をみると、独立した海山の斜面の例外的大深度においてサンゴモの生育が知られている(Littler *et al.*, 1985, 1986; Agegian and Abbott, 1985)ものの、サンゴモ球の形成は水深90m付近を下限とする報告例が多く、これが従来の共通する認識であると言える。100mをこえ135mに達するという沖縄島近海の生体サンゴモ群集を伴うサンゴモ球の分布深度は、これまでの forereef rhodolith や今までの現世の年代値を示す陸棚サンゴモ球の報告例より大きい。また水深100mという深い陸棚を rhodolith が広く覆っている点に関して、ごく短い指摘が(Nelson *et al.*, 1982 など)あるが、サンゴ礁前縁から陸棚にわたっての海域を、深度のうえでもまた空間的にも網羅する範囲でサンゴモ球の分布を定量的に調査した例は沖縄本島のみであるし、

100mをこえ、135mに達する大深度でサンゴモ球が形成されつつあるというのは、新しい主張である。

沖縄本島近海の陸棚のサンゴモ球については、すでに産状および生物群集の検討結果から現地性と言う結論が出されてはいるが、放射性年代値を求めて、最終氷期の低海水準時に極浅海環境で形成され堆積した可能性について慎重に検討しておくことは必要であると我々は考えた。よって、その結果をここに報告する。

謝辞：試料採取の際に多大な御協力をいただき地質調査所海洋地質部の大嶋和雄・横田節哉・村上文敏・井内美郎・池田国昭の各氏、琉球大学理学部海洋学科の氏家宏教授・木村政昭教授・山本聡助教授・小野朋典技官、鈴木常夫船長以下東海大学丸二世号の乗組員の方々、矢田雅明船長以下長崎丸の乗組員の方々、放射性炭素年代の測定を引き受けてくださった木越邦彦教授をはじめとする学習院大学年代測定研究室の方々、*Acervulina inhaerens* の同定をして下さった Wien 大学の Johan Hohenegger 教授、また有益な御助言をいただいた琉球大学教育学部の河名俊男教授・田吹亮一助教授・同理学部の大森保助教授・東北大学理学部の井龍康文博士、以上の方々に篤く御礼申し上げます。本研究には昭和62年度文部省科学研究費補助金 (No. 62740468) の一部を使用した。

採取地点付近におけるサンゴモ球の

分布様式およびそれらの特徴

本研究では、1979年に地質調査所海洋地質部により採取され(野原ほか、1980)同所に保存されていた試料の一部と、琉球大学理学部海洋学科実習航海(RN-84, 87 航海)の際に採取され同教室に保存されていた試料の一部を用いた。それらの試料は1試料を除き、沖縄本島西側の陸棚上、水深66~135mの地点から得られた。

沖縄本島の西側では水深120m以浅の陸棚上に、20m以浅、40~60m、60~80m、100~120mの水深を有する4段の平坦面が認められる(大嶋、1980)。サンゴモ球は、そのうち水深60~80m、面と100~120m面上を広く覆っており、その分布下限は135mに達している(松田ほか、1992)。

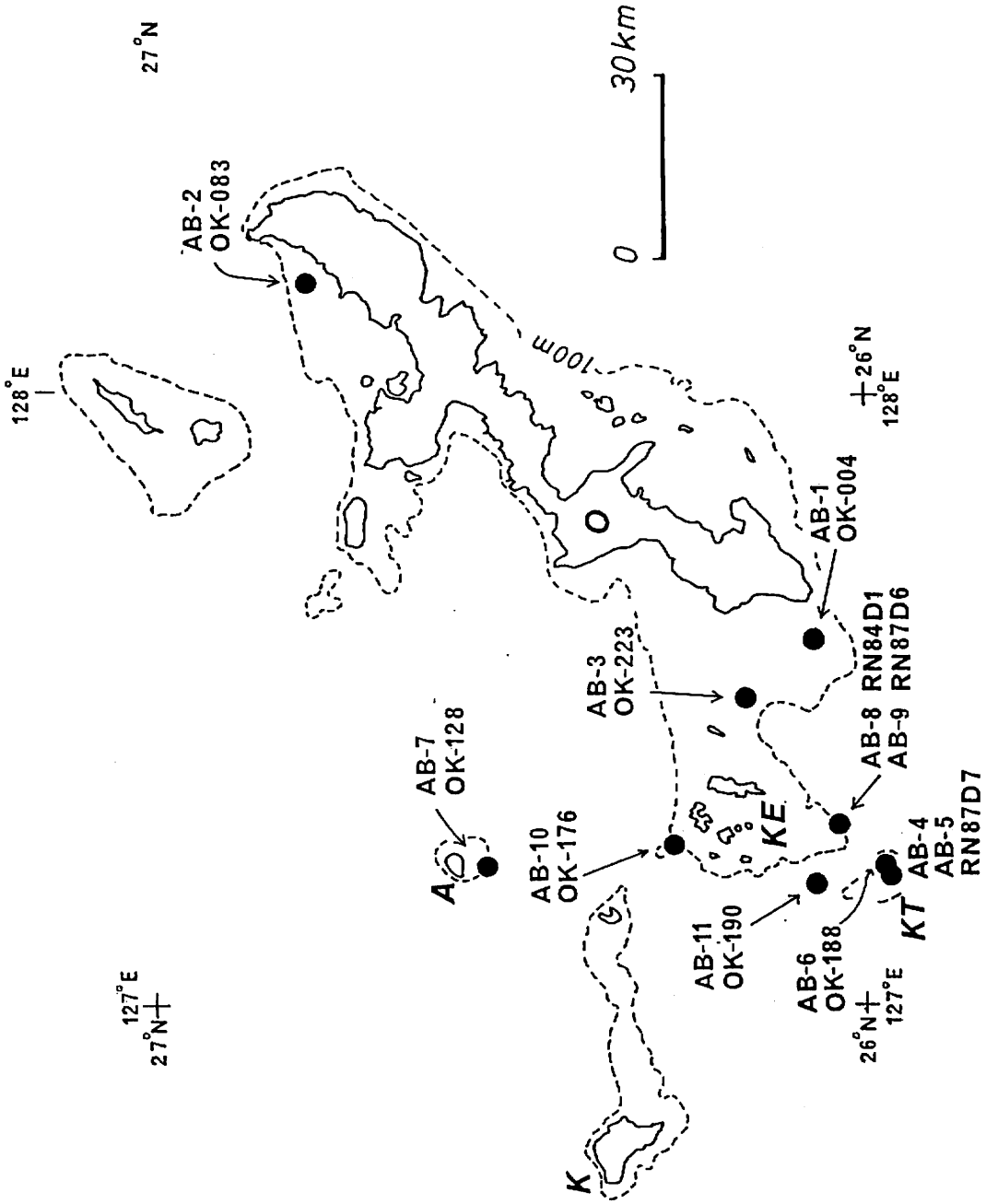
AB-1・AB-2・AB-3・AB-4・AB-5・AB-6が60~80m面、AB-10が100~120m面、AB-7・AB-8・AB-9がその両者の中間斜面、AB-11が陸棚縁辺の斜面にあたる地点より採取された。このような沖縄本島の陸棚上に分布するサンゴモ球は球状・楕円体状の外形を有するものが多く、まれに偏平な円盤状のものがある。最大のものは直径15cmに達する。多くのサンゴモ球の正中断面では、皮殻型無節サンゴモと皮殻型有孔虫の *A. inhaerens* が重なりあった同心円構造を呈する。一般に、サンゴや貝のように肉眼で識別し得る大型生物遺骸よりなる核はみられない。

サンゴモ球を構成するのは主に *A. inhaerens* および *Lithophyllum*, *Lithothamnion*, *Mesophyllum*, *Spongites*, *Lithoporella* 属の無節サンゴモである。サンゴモ球の内側から外側に向かってサンゴモ群落の組成の変化は認められない。SEMによる観察ではサンゴモ個体間の微小孔隙、生殖巣、細胞腔に海中膠結作用で晶出した炭酸塩が認められる。

穿孔生物による孔隙を多数もち、全体が多孔質で同心円構造が不明瞭となっているサンゴモ球も見られる。また、中心部に大きな穴があるものも多い。それらの孔隙は未固結の石灰質粒子および泥で満たされている。また、固結した堆積物は、生物侵食による孔隙や個体間の隙間の一部をみたくような形でみられる。大きな孔隙を充填して固結した堆積物が、中心近くに緻密・無構造の灰白色の塊として認められるため、全体の同心円構造が不明瞭なものもある。これらの固結した堆積物は Danham (1962) の mudstone から wackestone 様の組成を呈する。この固結堆積物中に認められる砂粒大(63~2,000 μ)の粒子は底棲有孔虫・軟体動物・こけ虫類・棘皮動物などの破片で角張っており、多くは500 μ をこえない。

測定試料

測定に供したサンゴモ球のうち、AB-4・AB-5・AB-8・AB-9は、表面の生体サンゴモと他の皮殻型藻類が色を残していたことから、採取時にこれらは生体であり、そのサンゴモ球は海底表面にあったと判断される。その他の試料は保存中に脱色していたため、生体サンゴモの付着状況は判断



第1図.

試料採取地点の位置。等深線は野原ら(1980)に基づく、A: 粟国島、K: 久米島、KE: 慶良間諸島、KT: 慶良間堆、O: 沖縄島

表 1.

測定結果（年代値は Ribby の半減期を用いて計算）。AB-4, 5, 8, 9 は琉球大学海洋学学科採取、他は地質調査所海洋地質部採取。L : M : S はサンゴモ球の大きさ（長径：中径：短径、mm）、A と C は X 線粉末法記録紙上のあられ石 (A) と マグネシウム方解石 (C) の 2 θ の最大ピークの高さ (mm)、inner と outer は同一サンゴモ球の内側半分 (inner) と外側半分 (outer) を示す。

サンゴモ球番号	採取地点番号	水深 (m)	経度	緯度	L : M : S	測定試料の諸特徴	A/C	年代値	測定試料番号
AB-1	OK-004	66	127° 36.2'E	26° 04.0'N	44 : 31 : 25	bulk	1.2/216	2750 ± 70 yr. B. P.	GaK-13725
AB-2	OK-083	73	128° 10.0'E	26° 47.9'N	82 : 73 : 56	bulk	1.3/145	$\delta^{14}C = 11.101 \pm 1.33 \%$	GaK-13726
AB-3	OK-223	78	127° 29.9'E	26° 09.9'N	68 : 67 : 55	bulk	7.4/207	620 ± 70 yr. B. P.	GaK-13732
AB-4	RN87-D7	79	127° 13.2'E	25° 57.3'N	55 : 42 : 38	bulk	8.6/132	10 ± 100 yr. B. P.	GaK-13722
AB-5	RN87-D7	79	127° 13.2'E	25° 57.3'N	96 : 91 : 87	inner	18.1/130	1640 ± 90 yr. B. P.	GaK-14680
						outer	13.8/145	330 ± 90 yr. B. P.	GaK-14679
AB-6	OK-188	80	127° 14.0'E	25° 58.0'N	76 : 71 : 45	bulk	7.0/184	1910 ± 80 yr. B. P.	GaK-13730
AB-7	OK-128	95	127° 14.1'E	26° 32.9'N	86 : 64 : 53	inner	6.2/213	460 ± 70 yr. B. P.	GaK-13727
						outer	22.9/217	60 ± 90 yr. B. P.	GaK-13728
AB-8	RN84-D1	96	127° 18.1'E	26° 02.0'N	63 : 58 : 42	bulk	3.2/147	40 ± 100 yr. B. P.	GaK-13724
AB-9	RN87-D6	98	127° 18.0'E	26° 02.0'N	95 : 92 : 69	bulk	0.1/154	660 ± 90 yr. B. P.	GaK-13719
AB-10	OK-176	105	127° 16.0'E	26° 16.0'N	49 : 48 : 43	bulk	0.9/157	1810 ± 110 yr. B. P.	GaK-13729
AB-11	OK-190	135	127° 12.1'E	26° 04.0'N	73 : 60 : 60	bulk	0 / 154	380 ± 90 yr. B. P.	GaK-13731

し得なかったが、採取面積約0.1 m²のスミス・マッキンタイア型採泥器はサンゴモ球の密集する地点では体積物を深く掘ることが出来なかったので、いずれの試料も海底面もしくはその直下にあったと推定される。

測定に先立ち試料に以下のような処置をほどこした。まず、各々のサンゴモ球の外殻部を5~10mmの厚さでとり除く。残りの部分全体を細礫・粗粒砂大に砕いて、それらを超音波洗浄機に数回かけたあと、実態顕微鏡下でサンゴモと *A. inhaerens* の破片を約20g 選びとり、測定に供した。大型のAB-5およびAB-7は、もとのサンゴモ球の半径の2分の1の大きさの中心部とそれを取りまく外殻部とを別々の試料とした。

AB-9では中心部の *A. inhaerens* の塊があったため、室内に泥が進入していない骨格が得られた。AB-4およびAB-5はいくつかの微小孔隙を石灰泥が埋めていたが、その量は目視で1%程度で、選定の結果、堆積物の混じり込みのほとんどない測定試料が得られた。しかし、これらの試料の他は、試料は前に詳しく記したような固結堆積物が微小孔隙を満たしているところが認められるサンゴモ球であり、小さな固結堆積物塊は完全には除去されておらず、*A. inhaerens* の室や数100 μ 程度の微小孔隙中を充填している固結石灰泥をいくぶん含んでいる。

測定試料はいずれも無節サンゴモと *A. inhaerens* の混合試料であるが、X線粉末法による検討の結果、高マグネシウム方解石とあられ石の双方が認められた。このあられ石は海中膠結作用によるものであろうが、試料によっては固結した堆積物中の生物起源のあられ石の効果もあると思われる。低マグネシウム方解石は、いずれの試料からも検出されなかった。

結 果

年代測定の結果を水深順に並べて表1に示す。測定は学習院大学年代測定研究室による。

個々の小型サンゴモ球全体を測定した結果、沖縄島北部の60~80m面上の試料から現在を意味する値、慶良間堆頂上(60~80m面に相当)の試料から10 \pm 100 yr. B. P., 1910 \pm 80 yr. B. P., 沖縄島南部の60~80m面の試料から620 \pm 70 yr.

B. P., 2750 \pm 70 yr. B. P., 慶良間諸島北方の100~120m面上の試料から1810 \pm 110 yr. B. P., 慶良間諸島南方の60~80mと100~120mとのゆるやかな中間斜面の試料から40 \pm 100 yr. B. P., 660 \pm 90 yr. B. P., 慶良間堆北方の陸棚斜面上部の試料から380 \pm 90 yr. B. P., という値が得られた。内側と外側を分けて測定したものでは、慶良間堆頂部の試料は内側1640 \pm 90 yr. B. P., と外側330+90 yr. B. P., 粟国島の水深95mからの試料は内側460 \pm 70 yr. B. P., 外側60 \pm 90 yr. B. P., という値を示した。

考 察

AB-9を除くすべての試料に、海中膠結作用で晶出した炭酸塩および固結した堆積物が認められたので、それらの影響について議論しておく。

Reid & Macintyer (1988) と Littler *et al.* (1991) は、海中膠結作用は一般にサンゴモの死後速やかに進行するため、サンゴモ球の成長とはほぼ同時進行と考えられ、年代値に重大な影響は与えないとしている。今回顕微鏡観察をした一連の試料でも、晶出した炭酸塩は、生体サンゴモに覆われた長径1cm程度のサンゴモ球や、生体サンゴモ直下の遺骸サンゴモ・*A. inhaerense* にも認められたため、やはり海中膠結作用はサンゴモ球の成長とはほぼ同時進行であるといえ、測定結果に考慮すべき影響を与えていないと考えられる。よって、AB-4、AB-5に関する年代値は信頼し得ると考えてよい。

サンゴモ球の孔隙に含まれる固結堆積物がサンゴモ球より古いものと仮定した場合、サンゴモ球の年代値は得られた年代値を越えることはない。よって、後氷期海進完了後の年代であることに変わりはない。

その反対に、この堆積物が、サンゴモ球そのものより新しい場合、サンゴモ球の真の年代値は得られた年代値よりも古いこととなる。そのため得られた年代値が堆積物の影響により真の年代値より小さくなっていると考え、それぞれの試料の理論上可能性のある最も古い年代を以下に見積もってみる。まず、各測定試料とも、サンゴモ球の正中断面の薄片では固結堆積物の堆積が目視で全体の50%をこえないと認められるため、含まれる

堆積物の量を各試料重量の50%と仮定し、さらにそのすべてが現時点(1950年)で形成されたと仮定する。得られた年代値(t)からこの新しい堆積物の影響を受けていない年代値(T)は以下の式から求められる。

$$A = A_0 e^{-\lambda t} = 0.5A_0 + 0.5A_0 e^{-\lambda T}$$

(λ : 壊変定数、 A_0 : 生体時の ^{14}C の量、
A: 測定時の ^{14}C の量)

この結果、最も古いAB-1が約7000 yr. B. P. となるほかは、いずれも5000 yr. B. P. を越えることはない。約6000~7000年前には、海水準はほぼ現在の位置に達していたので、(Umitu, 1991)、今回年代値を得た試料は、後氷期海進の終了後、海水準が現在の高さに回復したのちに形成されたことは疑いない。今回検討した試料の採取地点は、沖縄島西側陸棚の比較的広い範囲にわたるため、今回の結果から、沖縄島近海陸棚上に広く分布するサンゴモ球全体について、これらが氷期の低海水準時に形成された relict ではないと結論づけることができる。

慶良間堆上から得られたサンゴモ球 AB-4・AB-5・AB-6 から今回の結果が得られたことは、慶良間堆頂上部にみられるサンゴモ球が、海水準

が現在の高さに回復したあと、自生するサンゴモと *A. inhaerens* によってその場で形成されたこと、すなわち、サンゴモ球は水深80mという環境で形成され得ることを意味する。慶良間堆は鞍部によって慶良間諸島から切り離された、独立した地形的高まりであり、その頂上部は水深80m前後のきわめて平坦な面であるから(海上保安庁水路部、1978)、ここにみられる大量のサンゴモ球が、慶良間諸島のサンゴ礁上部斜面で形成され、重力の作用で慶良間堆頂部まで移動してきた可能性はないからである。

結 論

沖縄本島近海の水深66~135mの地点から得られた11個のサンゴモ球から、後氷期海進終了後をしめす放射性炭素年代が得られた。この年代値と試料が採取された地点、生体・遺骸群集の特徴から判断して、沖縄本島近海の水深50~135mの陸棚および陸棚斜面上部の広い範囲にみられるサンゴモ球は、最終氷期の低海水準時に浅海環境で形成されたものではなく、またサンゴ礁の浅い部分に由来するものでもなく、現在の陸棚・陸棚斜面上部で、自生する無節サンゴモと皮殻型有孔虫 *A. inhaerens* によってほぼ現地成の状態で形成され、堆積しつつあると考えられる。

引用文献

- Adey, W. H. and MacIntyre, I. G., 1973. Crustose coralline algae: a re-evaluation in the geological sciences. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 84; 883-904.
- Adey, W. H. Townsend, R. A. and Boykins, W. T., 1982. The crustose coralline algae (Rhodophyta, Corallinaceae) of the Hawaiian Islands. *Smithsonian Contr. Mar. Sci.*, 15; 1-74.
- Agegian, C. R., and Abbott, I. A., 1985. Deep water macroalgal communities: A comparison between Penguin Bank (Hawaii) and Johnston Atoll. *Proc. 5th Int. Coral reef Symp.*, 5; 47-50.
- Bosellini, A. and Ginsburg, R. N., 1971. Form and internal structure of Recent algal nodules (rhodolites), Bermuda. *Jour. Geol.*, 79; 669-682.
- Bosence, D. W. J., 1983. The occurrence and ecology of recent rhodoliths - a review, In Peryt, T. (ed.) *Coated grains*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg; 225-242.
- Danham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Am. Ass. Petrol. Geol. Mem.*, 1; 108-121.

- Delibrias, G., Guillier, M. T., and Labeyrie, J., 1972. Gif natural radiocarbon measurements VII. *Radiocarbon*, 14; 280-320.
- Focke, J. W. and Gebelein, C. D., 1978. Marine lithification of reef rock and rhodolites at a fore-reef slope Locality (-50m) off Bermuda. *Geol. Mijn.* 57; 163-171.
- 井龍康文, 1984. 琉球列島における現生石灰藻球の発見とその意義. 琉球孤南端海域の海洋環境に関する総研速報 1; 47-55.
- 井龍康文, 1985. 琉球列島周辺海域における現生石灰藻球に関する研究. 琉球孤南端海域の海洋環境に関する総研速報 2; 123-133.
- Iryu, Y., 1992. Fossil nonarticulated coralline algae as depth indicators for the Ryukyu Group. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, 167; 1165-1179.
- 井龍康文・松田伸也, 1987. 琉球列島のサンゴ礁における無節サンゴモの分布. 海洋科学, 19; 524-529
- Iryu, Y. and Matsuda, S., 1988. Depth distribution, abundance and species assemblages of nonarticulated coralline algae in the Ryukyu Islands, southwestern Japan. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp.*, 3; 101-106.
- 海上保安庁水路部, 1978. 海底地形図, 6508「沖縄南部」.
- Litter, M. M. and Littler, D. S., Blair, S. M. and Norris, J. M., 1985. Deepest known plant life discovered on uncharted seamount. *Science*, 227; 57-59.
- Littler, M. M., Littler, D. S., Blair, S. M. and Norris, J. M., 1986. Deep-water plant communities from an uncharted seamount off San Salvador Island, Bahamas; distribution, abundance, and primary productivity. *Deep-Sea Res.*, 33; 881-892.
- Littler, M. M., Littler, D. S. and Hanisak, M. D., 1991. Deep-water rhodolith distribution, productivity, and growth history at sites of formation and subsequent degradation. *Jour. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 150; 163-182.
- Logan, B. W., Harding, J. L., Ahr, W. M., Williams, J. D. Snead, R. G., 1969. Late Quaternary sediments of Yucatan shelf, Mexico. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.*, 11; 1-128.
- MacIntyre, I. G., and Milliman, J. D., 1970. Physiographic features on the outer shelf and upper slope, Atlantic Continental margin, southeastern United States. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 81; 2577-2598.
- Matsuda, S., 1989. Succession and growth rates of encrusting crustose coralline algae (Rhodophyta. Cryptonemiales) in the upper fore-reef environment off Ishigaki Island, Ryukyu Islands. *Coral Reefs*, 7; 185-195.
- 松田伸也・富山卓子, 1988. 琉球列島の島棚上にみられる現生サンゴモ球に関する一考察.
琉球大学教育学部紀要, 33, Pt. 2; 343-354.
- 松田伸也・井龍康文・野原昌人, 1992. 沖縄島周辺海域のサンゴモ球およびその地質学的意義.
堆積研報, 37; 109-111.
- McMaster, R. L. and Conover, J. T., 1966. Recent algal stromatolites from the Canary Islands. *Jour. Geol.*, 74; 647-652.
- Milliman, J. D., 1974. *Marine carbonates*. Springer-Verlag. 375 pp.
- Milliman, J. D. and Emery, K. O., 1968. Sea levels during the past 35,000 years. *Science*, 162; 1121-1123.
- Milliman, J. D., Weiler, Y. and Stanley, D. J., 1972. Morphology and carbonate sedimentation on shallow banks in the Alboran Sea. In Stanley, D. J. (ed.) *The Mediterranean Sea: A*

- natural sedimentation Laboratory. Downen, Hutchinson and Ross. Stroudsburg ; 241-259.
- Minnery, G. A., 1990. Crustose coralline algae from the Flower Garden Banks, northwestern Gulf of Mexico: Controls on distribution and growth morphology. *Jour. Sediment. Petrol.*, 60 ; 992-1007.
- Minnery, G. A., Rezak, R., Bright, T. J., 1985. Depth zonation and growth from of crustose coralline algae: Flower Garden Banks, northwestern Gulf of Mexico. In Toomey, D. F. and Nitecki, M. H. (eds.), *Paleoalgology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg ; 237-246.
- 箕浦幸治, 1980. 琉球層群にみられる石灰藻球の堆積環境について, 琉球列島の地質学研究, 4 ; 55-62.
- Minoura, K. and Nakamori, T., 1982. Depositional environment of algal balls in the Ryukyu Group, Ryukyu Island, southwestern Japan. *Jour. Geol.*, 90 ; 602-609.
- Montaggioni, L. F., 1979. Environmental significance of rhodolites from the Mascarene reef province, western Indian Ocean. *Bull. Cent. Rech. Explor. Prod. Elf. Aquitaine* 3 ; 713-723.
- Nelson, C. S., Hancock, G. E. and Kamp, P. J. J., 1982. Shelf to basin, temperate skeletal carbonate sediments, Three Kings Plateau, New Zealand. *Jour. Sediment. Petrol.*, 52 ; 717-732.
- 野原昌人・大嶋和雄・横田節哉・村上文敏・井内美郎・池田国昭, 1980. 沖縄本島周辺海域の海底堆積物, 環境庁企画調整局(編), 環境保全研究成果集, 2(61) ; 3-28.
- 大嶋和雄. 1980. 沖縄群島周辺の海底地形からみた第四紀後期の低海水準. 第四紀研究, 18 ; 251-257.
- Prager, E. N. and Ginsburg, R. N., 1989. Carbonate nodule growth on Florida's outer shelf and its implications for fossil interpretations. *Palaios*, 4 ; 310-317.
- Reid, R. P. and MacIntyre, I. G., 1988. Foraminiferal-algal nodules from the eastern Caribbean ; growth history and implications on the value of nodules as paleoenvironmental indicators. *Palaios*, 3 ; 424-435.
- Siesser, W. G., 1972. Relict algal nodules (Rhodolites) from the South African Continental Shelf. *Jour. Geol.*, 80 ; 611-616.
- Simpson, E. S. W. and Heydorn, A. E. F., 1965. Vema Seamount. *Nature*, 207 ; 249-251.
- Tsuji, Y., 1993. Tide influenced high energy environments and rhodolith-associated carbonate deposition on the outer shelf and slope off the Miyako Islands, southern Ryukyu Island Arc, Japan. *Mar. Geol.*, 113 ; 255-271.
- Umitsu, M., 1991. Holocene sea-level changes and coastal evolution in Japan. *The Quat. Res. (Daiyonki-Kenkyu)*, 30 ; 187-196.
- Vogel, J. C., 1970. Groningen radiocarbon dates IX. *Radiocarbon*, 12 ; 444-471.