

沖縄島南部, 琉球層群基底の糸満層 (新称) とその年代

兼子尚知¹・伊藤 孝²

Naotomo Kaneko, Takashi Ito (2006) Age of the Itoman Formation (new to science) at base of the Ryukyu Group in southern part of the Okinawa-jima, Ryukyu Islands, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 57(5/6), p.159 - 168, 7 figs, 1 table.

Abstract: The Itoman Formation is newly proposed and described herein, that called "reddish limestone" in Kaneko (1994), Kaneko and Ito (1995, 1996). Age of the Itoman is estimated about 1.3 Ma from strontium isotope stratigraphy. The Itoman is a basal formation of the Ryukyu Group, consisting of coral reef complex deposits and related formations. A depositing period of the Itoman is the first stage of coral reef development around the Ryukyu Islands. The estimation of the age of the Itoman is important to establish a tectonic history of the Ryukyu Islands and coral reef development.

Keywords: strontium isotope stratigraphy, Pleistocene, Ryukyu Group, Itoman Formation, "reddish limestone", coral reef, Okinawa Prefecture, Ryukyu Islands

要 旨

本稿では、兼子 (1994) 及び兼子・伊藤 (1995, 1996) の“赤色石灰岩 (reddish limestone)”を新たに「糸満層 (Itoman Formation)」と命名・記載し、その堆積年代がストロンチウム同位体組成から約 1.3 Ma と推定されることを報告する。糸満層は、沖縄島南部地域において、サンゴ礁複合体堆積物とそれに関係する地層で構成される琉球層群の基底部をなす地層として位置づけられる。すなわち、糸満層が形成された時期は、琉球列島における更新世のサンゴ礁発達の初期にあたり、その年代値の推定は琉球列島の構造発達史や周辺サンゴ礁の形成史を考察するうえで重要である。

1. はじめに

琉球列島に広く分布する琉球層群は、サンゴ礁複合体堆積物である石灰岩を主体とし、その形成時期は前期 - 中期更新世と考えられてきた (木崎ほか, 1984; Koba, 1992; 佐渡ほか, 1992)。沖縄島南部における琉球層群は、下位より知念層・那覇層・港川層 (あるいはこれらに相当する地層) によって構成されている (MacNeil, 1960; Nakamori, 1986; 名取・影山, 1987; 氏家, 1988 など)。兼子 (1994) は、これらの地層とは層序的に明瞭に区別され、独立した岩相層序单元として認定しうる石灰岩からなる地層が、沖縄島南部地域に存在することを初めて報告し、特徴的な色調からこれを便宜的に“赤色石灰岩”と呼んだ。これは、琉球層群を構成する要素としてその基底部に位置するこ

とから、これまで知られていた地層に比べて、琉球列島に発達するサンゴ礁のより初期の段階を示すものであるといえる。すなわち、この中には琉球列島にサンゴ礁が発達し始めた時期の情報が記録されていると予想され、その形成年代は、琉球列島の構造発達史やサンゴ礁の形成史を解明するうえで極めて重要であると考えられた。兼子・伊藤 (1995, 1996) は、“赤色石灰岩”に含まれる化石の石灰質骨格中のストロンチウム (以後 Sr と記す) 同位体組成 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比) を測定し、それによって推定された Sr 同位体層序年代から、“赤色石灰岩”の堆積年代を約 1.3 Ma とした。この結果は、琉球列島におけるサンゴ礁発達開始時期の年代が、それまで考えられていた値 (0.7~0.6 Ma; Koba, 1992) に比べ、数十万年以上遡るものであることを示している。

本稿では、以上の研究に基づき“赤色石灰岩”からなる地層を新たに糸満層と命名し、その記載を行うとともに、Sr 同位体層序年代の詳細について述べる。

2. 地層の記載

【地層名】 糸満層 (Itoman Formation) [新称]。この名称は、模式地のある沖縄県糸満市に由来する。

【標徴】 沖縄島南部に分布し、サンゴ礁複合体に特徴的な生砕物からなる、赤色を帯びる石灰岩の地層。

【模式地】 沖縄県糸満市山城の南東約 500 m, 北緯 26 度 4 分 59.7 秒, 東経 127 度 41 分 7.5 秒 (日本測地系) [北緯 26 度 5 分 14.3 秒, 東経 127 度 41 分 0.5 秒 (世界測地系)] の地点。

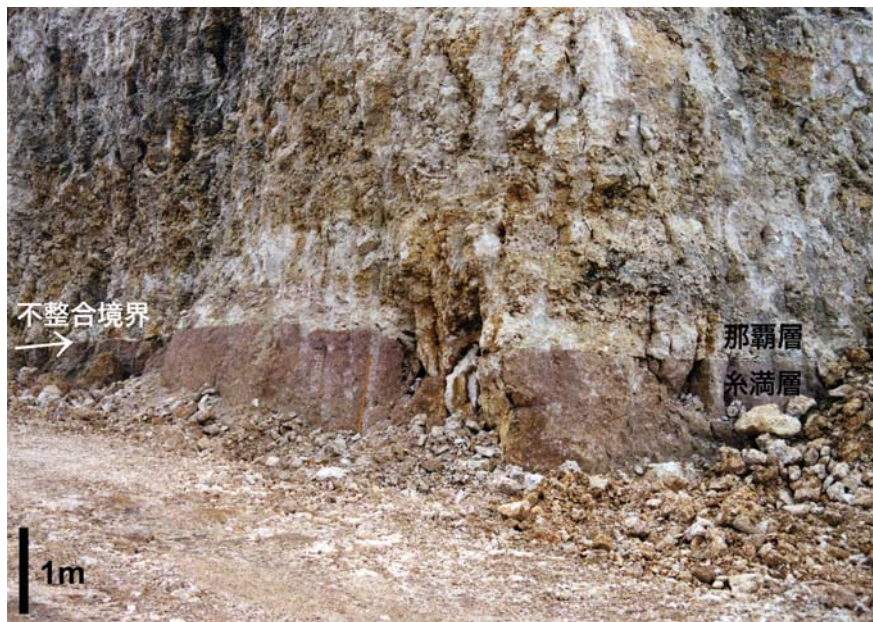
【分布】 糸満層の露頭は沖縄島南部に点在する (第 1

¹地質情報研究部門 (Institute of Geology and Geoinformation, GSJ)。

²茨城大学教育学部 (College of Education, Ibaraki University, Mito, Ibaraki, 310-8512 Japan)。



第2図 糸満層の模式地露頭(糸満市山城の南東約500 m). 位置は第1図を参照のこと.
Fig. 2 Crop of the type locality of the Itoaman Formation, about 500 m SE of Yamagusuku, Itoaman City.



第3図 大渡鉱山(糸満市宇江城の東南東約750 m)における糸満層の露頭. 位置は第1図を参照のこと.
Fig. 3 Crop of the Itoaman Formation at the Oodo Mine, about 750 m ESE of Uegusuku, Itoaman City.

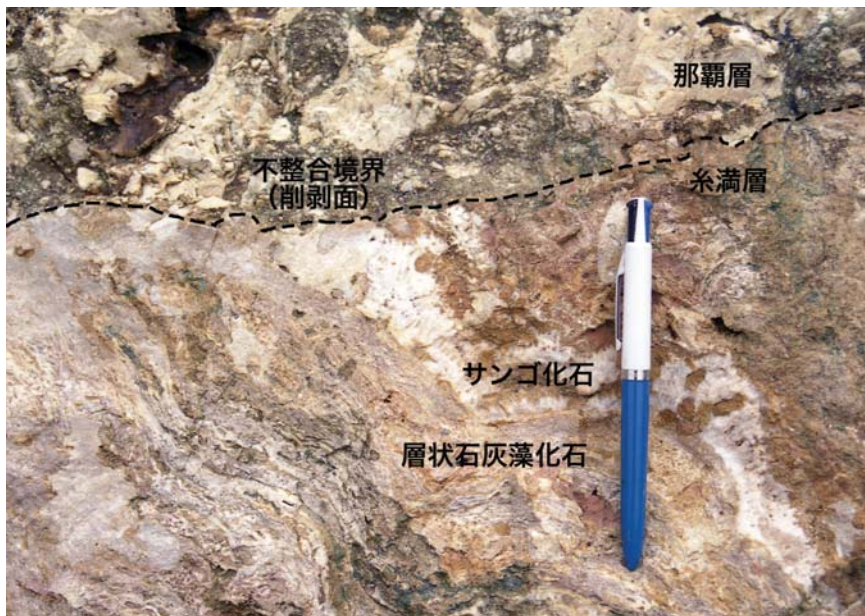
【堆積環境】 本層の大部分を構成する淘汰の悪い碎屑性石灰岩は、礁斜面下部から礁前縁にかけての水深50 mから200 mで堆積したと推定され、サンゴ石灰岩は礁斜面上部から水深数十 mで堆積したと推定される(井龍ほか, 1992; Nakamori *et al.*, 1995; Iryu *et al.*, 1998).

【層序関係】 本層は、島尻層群(新里層)を不整合で覆う(第2図)。知念層とは、地表では直接の層序関係は認められない。小田原ほか(2005)によれば、ボーリングコア試料では本層が知念層を覆うことが認められるが、堆積年代を考慮すると、知念層と本層は一部では同時異層の可能性があるとされる。那覇層には、



第4図 糸満層の含泥岩礫石灰岩.

Fig. 4 Limestone of the Itoman Formation including mud clasts.



第5図 模式地における糸満層と那覇層との不整合境界.

Fig. 5 Unconformity between the Itoman and Naha Formations at the type locality.

不整合で覆われる。港川層とは、直接の層序関係はない。

那覇層との境界は、色調の明瞭な違いにより認識できる。模式地露頭（糸満市山城）において、本層に含まれるサンゴ及び層状石灰藻化石がこの境界で切られて、上位に那覇層が重なる関係が観察される（第5図）。このような事実より、本層と那覇層の関係は、不整合であると考えられる。

【層序単元】 沖縄島南部地域においては、サンゴ礁複合体堆積物に関係する地層として、知念層・糸満層・那覇層・港川層をまとめ、これらの地層により琉球層群（MacNeil, 1960）を構成するものとする。

【堆積年代】 本層の堆積年代は、約1.3 Maと考えられる（後述）。

【注記】 本層は、兼子（1994）、兼子・伊藤（1995；1996）

第1表 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 分析結果及び算出した Sr 同位体層序年代.

Table 1 Result of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analyses and calculated Sr isotope stratigraphic age.

地名	地層名	測定対象	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ *	2 σ M	Ma** (誤差)
大度海岸	現世	サンゴ	0.709176	15	—
喜屋武	港川層	サンゴ	0.709198	10	—
大度鉦山	那覇層	サンゴ	0.709150	12	0.42 ± 0.19
山城	那覇層	サンゴ	0.709162	10	0.18 ± 0.22
山城	那覇層	サンゴ	0.709137	11	0.68 ± 0.24
つきしろ	那覇層	石灰藻球	0.709156	11	0.30 ± 0.16
与座岳	那覇層	サンゴ	0.709148	8	0.46 ± 0.22
大度鉦山	糸満層	二枚貝	0.709102	10	1.35 ± 0.16
山城	糸満層	サンゴ	0.709108	9	1.23 ± 0.17
つきしろ	糸満層	碎屑性石灰岩	0.709157	9	—
つきしろ	糸満層	二枚貝	0.709103	9	1.32 ± 0.20
大里碎石	糸満層	碎屑性石灰岩	0.709127	11	—
大里碎石	糸満層	サンゴ	0.709095	11	1.48 ± 0.20
開成鉦山	糸満層	層状石灰藻	0.709161	11	—
慶座バンタ	知念層	二枚貝	0.709112	12	1.16 ± 0.22
山城	新里層	泥岩	0.727220	11	—
山城	新里層	泥岩	0.710504	8	—

* Normalized to $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$

** Ma = $13737.79 - 19371.60 \times ^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ (伊藤, 1993)

などの“赤色石灰岩”, Jiju (2003) などの "reddish limestone" に相当する.

3. Sr同位体組成分析

3.1 目的

Sr同位体層序年代を推定するため,各地層から得た試料のSr同位体組成($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比)の分析を行った.

3.2 測定試料及び分析法

島尻層群新里層上部の泥岩試料(糸満市山城),知念層上部の石灰質砂岩(八重瀬町慶座バンタ),糸満層(糸満市山城・大渡鉦山・開成鉦山・八重瀬町大里碎石・南城市つきしろ)・那覇層(糸満市山城・大渡鉦山・与座岳・南城市つきしろ)・港川層(糸満市喜屋武)の石灰岩試料及び現世サンゴ試料(糸満市大度海岸)を測定に用いた.

これらのうち石灰質砂岩と石灰岩から,岩石カッターにより多数のチップを作り,なるべく変色しておらず,サンゴ・軟体動物等の生物骨格が多く含まれるものを選び,めのう乳鉢により数mm立方の破片に粗粉碎し,生物骨格部分を拾い出した.それらを,水道水で洗浄後,超純水中で超音波洗浄(5分x3回),クリーンオープンで乾燥後,実体顕微鏡で碎屑粒子が含

まれていないことを確認した上で,めのう乳鉢で粉末化した.

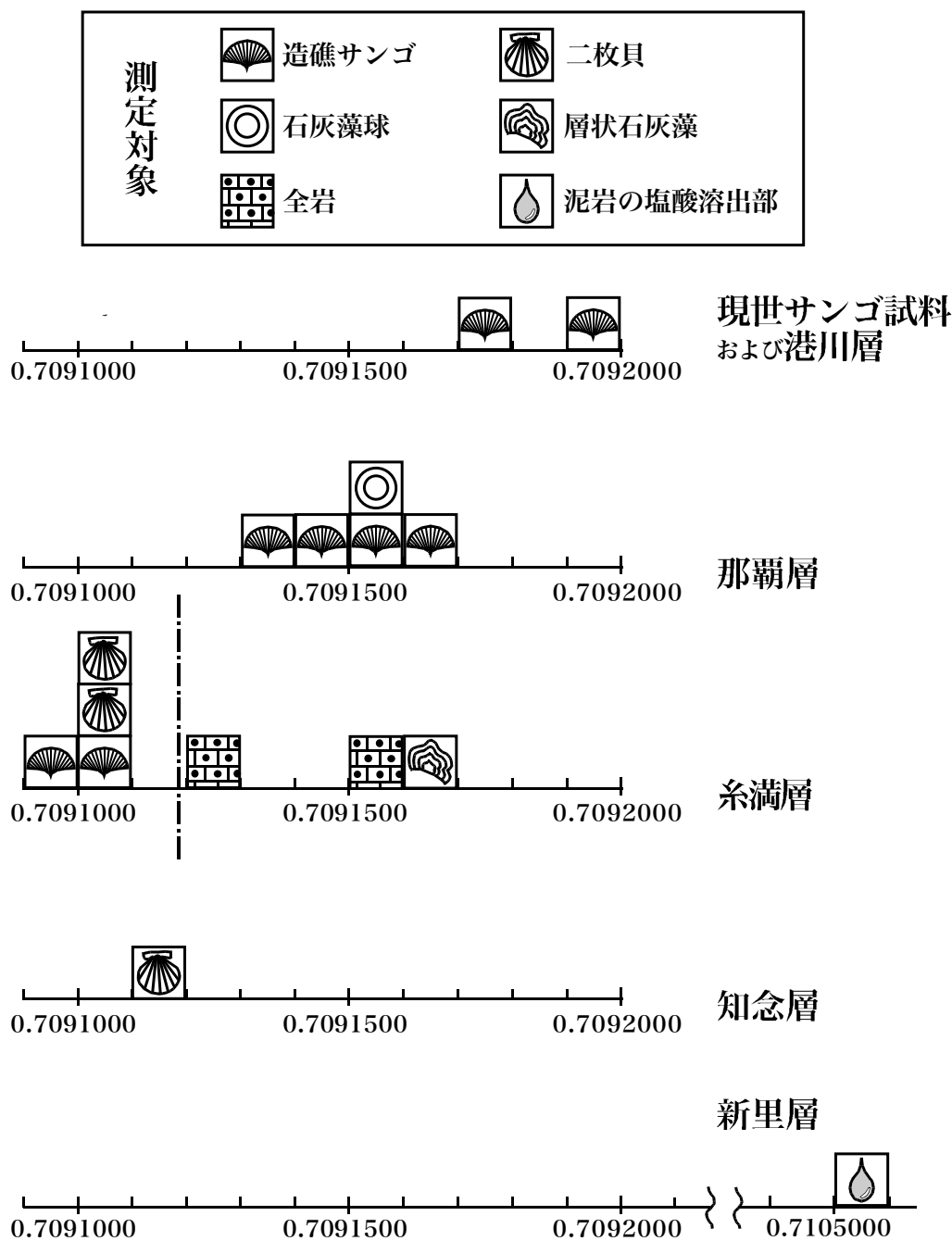
数mm立方より大きな生物骨格破片が含まれていなかった糸満層の碎屑性石灰岩試料(八重瀬町大里碎石・南城市つきしろ),新里層の泥岩試料(糸満市山城)は,試料表面部を注意深く取り除き,未風化部分をめのう乳鉢で粉末化し分析試料とした.

現世サンゴ試料は,めのう乳鉢で粗く粉碎し,表面を弱塩酸で洗浄後,粉末化した.

石灰質砂岩・石灰岩及び現世サンゴ試料に関しては,試料約3mgを10%酢酸により反応させ,溶出部を陽イオン交換カラムにより,Srを分離・精製した.新里層の泥岩試料については,試料約50mgを1N塩酸により溶解し,溶出部を陽イオン交換カラムにより,Srの分離・精製を行った.分離・精製されたSrは,筑波大学地球科学系の表面電離型質量分析装置Finigan-Mat 262RPTにより $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を測定された.本分析を行った期間におけるNIST SRM-987の分析値は, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.710240 \pm 22$ (2 σ)であった.

3.3 分析結果

上記の手順で得られた分析結果を第1表に,地層別にまとめたものを第6図に示す.また,同一露頭から複数の試料を採取した地点については,露頭内の相対的な



第6図 地層別の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比頻度分布図.

Fig. 6 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio frequency distribution figure of each Formations.

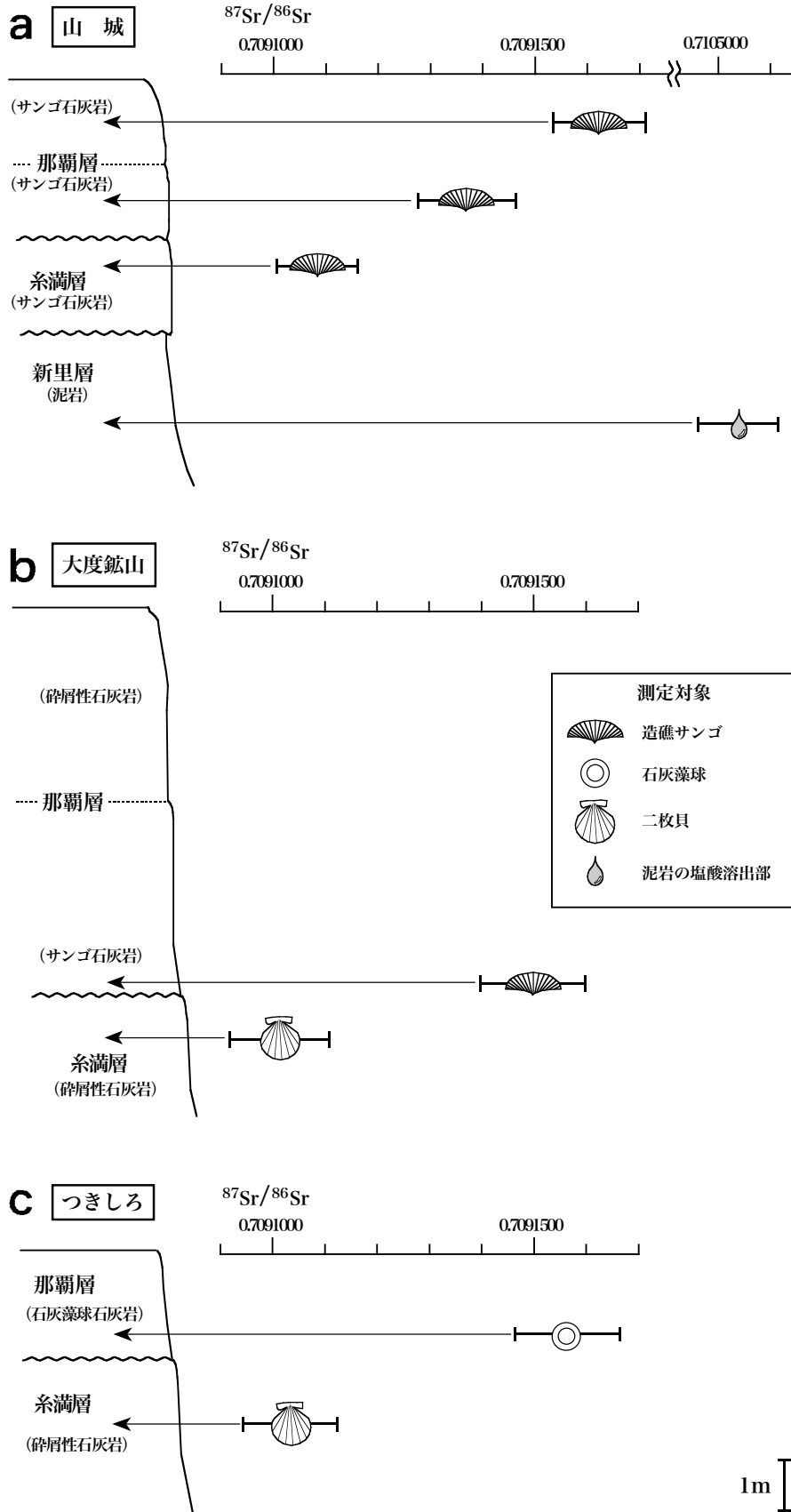
位置関係と分析値を示す(山城:第7図a, 大渡鉱山; 第7図b, つきしろ; 第7図c).

大度海岸産の現世サンゴ試料及び港川層サンゴ化石試料のSr同位体組成は, 現在の海水及び現世炭酸塩のSr同位体組成(伊藤, 1993)と等しい値を有する.

那覇層からのサンゴ・石灰藻球化石試料は, 0.709137~0.709162間の値をとり, 平均値±標準偏差は0.709151±10と現在の海水の組成よりわずかに低い

値を有する. 糸満層の試料は0.709096~0.709161と, 那覇層のそれに比べると広い値をとり, 岩相ごとに特徴的な値を有している. サンゴ化石と軟体動物(二枚貝)化石は, 0.709095~0.709108と非常に均質であり, 平均値±標準偏差は0.709102±5であった. この値は那覇層の試料よりも明らかに低い. 一方, 碎屑性石灰岩と層状石灰藻化石は高く, 0.709127~0.709161であった.

知念層の二枚貝化石試料は, 一試料ではあるが, 糸



第7図 Sr同位体組成測定地点の柱状図. a:山城, b:大渡鉦山, c:つきしろ.

Fig. 7 Columnar sections of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analyses points at Yamagusuku (a), Oodo Mine (b) and Tsukishiro (c).

満層に近い値を示す。

島尻層群新里層の泥岩の塩酸溶出部の値は0.710504～0.727220と、現在の海水Sr同位体組成と比較して明らかに高い。

3.4 分析値の評価

今回の分析値を評価する上で、次の二点について考慮する必要がある。一つ目は、石灰岩中に含まれる珪酸塩碎屑粒子の影響、二つ目は、埋没続成過程におけるSrの挙動である。

まず、珪酸塩碎屑物の影響について考える。本研究で明らかとなったように、島尻層群新里層の泥岩の塩酸溶出部は0.710504～0.727220と極めて高いSr同位体比を有している。また、現在の東シナ海における海底表層の碎屑物のSr同位体比も0.7120～0.7244と高く、それらは、基本的には河川で運ばれた大陸起源物質であることを示唆している(野原, 1995)。これらのことから、本地域は、量の差はあるものの、島尻層群の堆積時から現在にかけて、基本的には、大陸起源の珪酸塩碎屑物の堆積場であることを示唆している。

次に埋没続成過程におけるSrの挙動について考える。通常、アラレ石と方解石におけるSrの含有量は、一般にその結晶構造に規制され、前者で高い(例えば、Morse and Mackenzie, 1990)。そのため、埋没続成の過程で、アラレ石から方解石へ変化する際、結晶中のSrは間隙水中へ放出される。また、鉱物相が変化しなくても、軟泥からチョークになる際にSrが間隙水中に放出されることが知られている(Gieskes *et al.*, 1986)。一方、炭酸塩堆積物中にケイ酸塩碎屑物が多数含まれる場合は、間隙水は、その珪酸塩碎屑物のSr同位体組成の方向へシフトする(Gieskes *et al.*, 1986)。

本地域の層序は、下位から上位に向けて、豊見城層・与那原層・新里層(島尻層群)、知念層・糸満層・那覇層・港川層(琉球層群)である(豊見城層・与那原層の試料は測定対象外)。新里層は泥岩からなっているので、埋没続成の過程で、細粒碎屑粒子に近いSr同位体比を持つSrを間隙水中へ放出したと考えられる。おそらく今回の分析値に近い0.710～0.730という極めて高いSr同位体組成を有するSrを放出したであろう。

一方、2.8 Ma(与那原層の堆積時期にあたる)から現在まで、海水Sr同位体比は単調に上昇してきた(伊藤, 1993)。よって、那覇層の続成過程で放出されるSrは、糸満層の炭酸塩に対して、高いSr同位体組成を持っていたと考えられる。

これらのことから、糸満層は、埋没続成の過程で、下位の糸満層及び上位の那覇層から、糸満層堆積時の海水よりも高いSr同位体組成をもつSrの拡散の影

響を受ける環境下にあったと考えられる。更に、糸満層自体に含まれる珪酸塩碎屑物も、新里層のそれと起源が等しいと考えられるので、上下層からの影響を無視して考えた場合においても、糸満層中の間隙水Sr同位体比は、糸満層の炭酸塩よりも高かったと思われる。

先に述べたように、糸満層の試料は0.709096～0.709161と広い値の幅を持ち、岩相ごとに特徴的な値を有している(第6図)。現在の海水Sr同位体組成の均質性と糸満層の薄い層厚から判断して、これらがそのまま堆積時の海水Sr同位体比を反映しているとは考えにくい。

本研究では、上で論じた珪酸塩碎屑物のSr同位体比と埋没続成過程における間隙水のSr同位体比を考慮して、糸満層のうち、碎屑性石灰岩と層状石灰藻化石の値は、1) 試料処理の過程での珪酸塩碎屑起源Srのわずかな溶出、2) 埋没続成の過程でのSr同位体的な変質、3) 埋没続成の過程での高Sr同位体比を持つ炭酸塩の再沈殿、のいずれかの影響を受けていると考えた。そして、糸満層のうち、Sr同位体的に非常に均質なサンゴ化石と軟体動物化石の値を初生的な海水のSr同位体比と判断した。

3.5 Sr同位体層序年代

島尻層群を構成する最上位の地層である新里層中に鮮新世-更新世境界が存在する(Tanaka and Ujiie 1984; Ujiie 1985)ので、琉球層群は鮮新世-更新世境界よりも新しい。更に今回得られたSr同位体比の値の範囲から、2.8 Maから現世の試料に適用できる回帰式(伊藤, 1993)に測定されたSr同位体組成の値を代入し、その化石骨格が形成された年代(堆積年代)を算出した(第1表)。知念層の年代値は、1試料のみの測定であるが、約1.16 Maを示した。糸満層の年代値は約1.48 Maから1.23 Maを示し、平均値は約1.3 Maとなる。那覇層の年代値は約0.68 Maから0.18 Maを示し、平均値は約0.4 Maとなる。港川層サンゴ化石及び大度海岸からのサンゴ転石試料は現世の海水Sr同位体組成と区別できないため年代に換算しなかった。

これにより、糸満層と那覇層の堆積年代は明らかな差があることが示された。これは、両者が不整合関係であるという露頭観察から得られた結果を支持する。知念層上部の石灰質砂岩は糸満層より若い年代値を示す。

4. 糸満層の提唱とその堆積年代の意義

木崎ほか(1984)は、沖縄島中部の那覇層から得られた試料の年代をイオニウム法によって測定し、0.3 Maより古いことを報告した。Nakamori(1986)は、沖

沖縄島南部の那覇層から得た石灰質ナンノ化石年代を、0.46 Maから0.27 Maとした。Koba (1992) は、喜界島・徳之島・沖永良部島及び台湾から得られた琉球層群下位層の試料の年代を電子スピン共鳴年代測定法によって0.7~0.6 Maと測定した。これらの値は、本報告の那覇層の年代値の範囲内におさまる。Koba (1992) は、沖縄舟状海盆への黒潮の流入によって琉球列島における第四紀サンゴ礁の形成が開始されたとし、既知の年代値を基に、その時期を0.7~0.6 Ma (中期更新世) であると結論した。

これまでは沖縄島をはじめとして喜界島・徳之島・沖永良部島及び台湾からは、糸満層に相当する地層は知られておらず、琉球列島の第四紀サンゴ礁形成開始時期に関する年代論は、専ら那覇層あるいは那覇層相当層の推定年代の最も古い値によって編まれていた。那覇層の下位にサンゴ礁複合体堆積物の特徴を有する糸満層が発見されたことにより、今後この年代論は糸満層の堆積年代を考慮する必要がある。上述したように、糸満層の堆積年代は、それに含まれる化石骨格のSr同位体組成から約1.3 Maであると考えられる。これは、琉球列島におけるサンゴ礁形成時期が、前期更新世に遡ることを意味する。また、糸満層が明瞭な不整合によって那覇層に覆われる関係は、一時的な隆起(浅海化または陸化)があったことを示唆する。一方で、糸満層の分布高度が那覇層より相対的に低い位置にあることから、両層の堆積期間を通じて平均すると、堆積場が沈降傾向にあったと考えられる。この関係は、那覇層(最高分布標高約200 m)の上位にある港川層(最高分布標高約60 m)が、地理的に那覇層より低い位置に分布することと対照的である。琉球列島の構造発達史を復元するうえで、サンゴ礁複合体堆積物であるこれらの地層の層序と分布標高の関係は、極めて重要な情報をもたらすといえる。

佐藤ほか(2004)及び小田原ほか(2005)は、新里層・知念層・“赤色石灰岩”(糸満層)・那覇層の石灰質ナンノ化石年代を報告した。これらと本報告の年代値を比較すると、糸満層に関してはおおむね一致するが、知念層と那覇層に関しては、佐藤ほか(2004)及び小田原ほか(2005)の値はかなり古い値を示している。特に、小田原ほか(2005)は、那覇層の最下部における年代を1.45~1.21 Maとしており、これは従来考えられていた年代値より明らかに古く、糸満層の年代値と近接する。上述のように、糸満層は明瞭な不整合で那覇層に覆われており、両層の間には相応の時間間隙のあることが層序学的に認められる。琉球層群基底部の層序及び地層の堆積年代の推定は、今後より詳細な野外調査に基づき、可能な限り複数の年代測定法によってその確度を高める必要がある。

5. おわりに

本報告では、沖縄島南部において、琉球層群の基底部を構成する「糸満層」を新たに提唱し、Sr同位体組成からその堆積年代の推定を行った。糸満層の発見とその年代値の推定は、琉球列島における第四紀サンゴ礁形成史や琉球列島の構造発達史を復元するうえで重要な情報をもたらすものである。

佐渡ほか(1992)及び本田ほか(1994)は、伊良部島で得られたボーリングコア試料の石灰質ナンノ化石分析により、琉球層群下部層が1.36~1.10(約1.2) Maに堆積を開始したと報告した。この琉球層群下部層は、糸満層と堆積年代が重なるほか、上位の石灰岩と比較してより顕著な続成作用を被っていること、上位の石灰岩との層序的な関係は不整合と考えられること、全体が赤色を帯びていることなど、岩相及び層序学的に共通点を持ち相互に対比される。このほか、糸満層に対比されうる、琉球層群を構成する石灰岩の中でより古期のサンゴ礁複合体堆積物と考えられる地層は、久米島の仲村渠層(江原ほか, 2001)、与論島の宇勝層・麦屋層(小田原・井龍, 1999)が知られている。ただし、仲村渠層・宇勝層・麦屋層については、岩相及び層序学的な特徴において糸満層との類似性が認められるが、その堆積年代は不明である。これらの地層についても、糸満層と同様なSr同位体層序年代が求められることが望ましい。このような地層の分布がより多く発見され、それらの年代値が判明すれば、琉球列島の第四紀サンゴ礁形成史は、より詳細に復元されることとなる。

謝辞: 森 啓東北大学名誉教授及び東北大学理学研究科の中森亨助教授・井龍康文助教授には、野外調査のご指導をたまわった。故 氏家 宏琉球大学名誉教授及び熊本大学理学研究科の松田博貴助教授・広島県三原市立第五中学校の次重克敏博士には、現地において有益なご助言をたまわった。沖縄総合事務局農林水産部及び同沖縄本島南部農業水利事業所の方々には、地下ダム建設にかかるボーリングコア試料を観察する機会をいただいた。産業技術総合研究所の尾崎正紀氏には粗稿を検討していただき、田中裕一郎氏・上岡 晃氏には本論の査読をしていただいた。本誌編集委員の中江 訓氏は、貴重なご意見をくださった。上記の方々に篤くお礼申し上げます。

文 献

Gieskes, J. M., Elderfield, H., and Palmer, M. R. (1986) Strontium and its isotopic composition in interstitial waters of marine carbonate sediments.

- Earth Planet. Sci. Lett.* **77**, 229-235.
- 江原由樹・井龍康文・中森 亨・小田原啓 (2001) 沖縄県久米島の琉球層群. *Galaxea* (日本サンゴ礁学会誌), **3**, 13-24.
- 本田信幸・辻 喜弘・松田博貴・五月女順一 (1994) 琉球列島伊良部島の第四系石灰岩の堆積相と海水準変化. 石油技術協会誌, **59**, 86-98.
- 井龍康文・中森 亨・山田 努 (1992) 琉球層群における層序区分単位. 堆積学研究会報, no. 36, 57-66.
- Iryu, Y., Nakamori, T. and Yamada, T. (1998) Pleistocene reef complex deposits in the Central Ryukyus, southwestern Japan. In Camoin, G. and Davies, P. J., eds., *Reefs and Carbonate Platforms in the Pacific and Indian Oceans. Spec. Publ. Int. Sed. Ass.*, no. 25, Blackwell Sci., Oxford, 197-213.
- 伊藤 孝 (1993) 新生代海水Sr同位体組成データの評価とSr同位体層序学. 地質雑, **99**, 739-753.
- Jiju, K. (2003) Origin of unconformities and depositional processes of the Pleistocene carbonate rocks in the humid subtropical conditions, the Ryukyu Group on southern Okinawa Island, southern Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, **11**, 189-237.
- 兼子尚知 (1994) 沖縄本島南部における琉球層群の層序. 日本地質学会第101年学術大会講演要旨, 61.
- 兼子尚知・伊藤 孝 (1995) 沖縄本島南部における琉球層群基底部のSr同位体組成. 日本地質学会第102年学術大会講演要旨, 116.
- 兼子尚知・伊藤 孝 (1996) 沖縄本島南部における琉球層群基底層. 第四紀露頭集, 日本第四紀学会, 320.
- 木崎甲子郎・古川博恭・平良初男・大出 茂 (1984) 琉球石灰岩の年代測定. 琉球大学理学部紀要, no. 37, 29-41.
- Koba, M. (1992) Influx of Kuroshio Current into the Okinawa Trough and inauguration of Quaternary coral-reef building in the Ryukyu Island Arc, Japan. *Quatern. Res. (Daiyonki Kenkyu)*, **31**, 359-373.
- MacNeil, F.S. (1960) Tertiary and Quaternary Gastropoda of Okinawa. *U.S. Geol. Surv., Professional Paper*, no. 339, 1-148.
- Morse, J. W. and Mackenzie, F. T. (1990) Geochemistry of Sedimentary Carbonates, Elsevier, 707pp.
- Nakamori, T. (1986) Community structures of recent and Pleistocene hermatypic corals in the Ryukyu Islands, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **56**, 71-133.
- Nakamori, T., Iryu, Y. and Yamada, T. (1995) Development of coral reefs of the Ryukyu Islands (southwest Japan, East China Sea) during Pleistocene sea-level change. *Sediment. Geol.*, **99**, 215-231.
- 名取博夫・影山邦夫 (1987) 沖縄本島中一南部. 日本油田・ガス田図 (12), 地質調査所.
- 野原昌人・児玉幸雄・土器屋由紀子・大山準一 (1995) 黄海・東シナ海堆積物の起源: Sr同位体比からの証拠, 地質雑, **101**, 739-742.
- 小田原啓・井龍康文 (1999) 鹿児島県与論島の第四系サンゴ礁堆積物 (琉球層群). 地質雑, **105**, 273-288.
- 小田原啓・井龍康文・松田博貴・佐藤時幸・千代延俊・佐久間大樹 (2005) 沖縄本島南部米須・慶座地域の知念層および赤色石灰岩の石灰質ナンノ化石年代. 地質雑, **111**, 224-233.
- 佐渡耕一郎・亀尾浩司・小西健二・結城智也・辻 喜弘 (1992) 琉球石灰岩の堆積年代についての新知見—沖縄県伊良部島のボーリングコア試料の石灰質ナンノ化石分析より—. 地学雑, **101**, 127-132.
- 佐藤時幸・中川 洋・小松原純子・松本 良・井龍康文・松田博貴・大村亜希子・小田原啓・武内里香 (2004) 石灰質微化石層序からみた沖縄本島南部, 知念層の地質年代, 地質雑, **110**, 38-50.
- Tanaka, Y. and Ujiie H. (1984) A standard late Cenozoic microbiostratigraphy in southern Okinawa-jima, Japan. Part 1. Calcareous nannoplankton zones and their correlation to the planktonic foraminiferal zones. *Bull. Nat. Sci. Mus. Tokyo, Ser. C*, **10**, 141-168.
- Ujiie H. (1985) A standard late Cenozoic microbiostratigraphy in southern Okinawa-jima, Japan. Part 2. Details on occurrence of planktonic foraminifera with some taxonomic annotations. *Bull. Nat. Sci. Mus. Ser. C*, **11**, 103-136.
- 氏家 宏 (1988) 沖縄本島中・南部の地質図 (浮遊性有孔虫化石帯に基づく). 国建, 那覇市.

(受付: 2006年6月30日; 受理: 2006年9月21日)