Bulletin of the Mizunami Fossil Museum, no. 42 (2016), p. 75–83, 6 figs., 2 table.
© 2016, Mizunami Fossil Museum

# 沖縄県宮古島における島尻層群のストロンチウム同位体年代

**加藤　進**

㈱地球科学総合研究所

# Strontium isotope ages of the Shimajiri Group in Miyako-jima, Okinawa Prefecture, Japan

**Susumu Kato**

JGI, Inc.

**Abstract**

Strontium isotope ratios ($^{87}Sr/^{86}Sr$) were measured for 10 calcareous foraminiferal samples from the Ookamishima Formation, the lowest part of the Shimajiri Group, as obtained from the Miyako R-1 exploratory well in Miyako-jima, Okinawa Prefecture, Japan. The samples were obtained from cuttings for head-space gas analysis at depths from 1400 to 1700 m below ground level.

The calculated Sr isotope ages range from 8.8 to 5.4 Ma (late Miocene). Taking into account any alteration of the samples, errors in the calculated ages, the correlation between Sr isotope ages and depth, and the probable occurrence of unconformity at ~1640 m depth in the well, Sr isotope ages of the samples from depths of 1400 m and 1700 m are estimated to be ca. 6 Ma and ca. 7 Ma, respectively.

The depositional age of the Ookamishima Formation is probably late Miocene to Pliocene, as inferred from microfossils in the overlying Gusukube Formation, and the thickness and Sr isotope ages of the Ookamishima Formation.

*Key words*: Shimajiri Group, Ookamishima Formation, Sr isotope age, Miyako R-1 well, late Miocene

## はじめに

主に後期中新世～鮮新世の海成層からなる島尻層群は沖縄県に広く分布している（第 1 図）が，その堆積開始時期は地域ごとに異なっていることが知られている（兼子，2007）．沖縄本島中南部では，地表試料やボーリングコアを用いて詳細な浮遊性有孔虫化石層序および石灰質ナンノ化石層序が設定されている（例えば，Ujiie, 1994; 氏家・兼子，2006）．

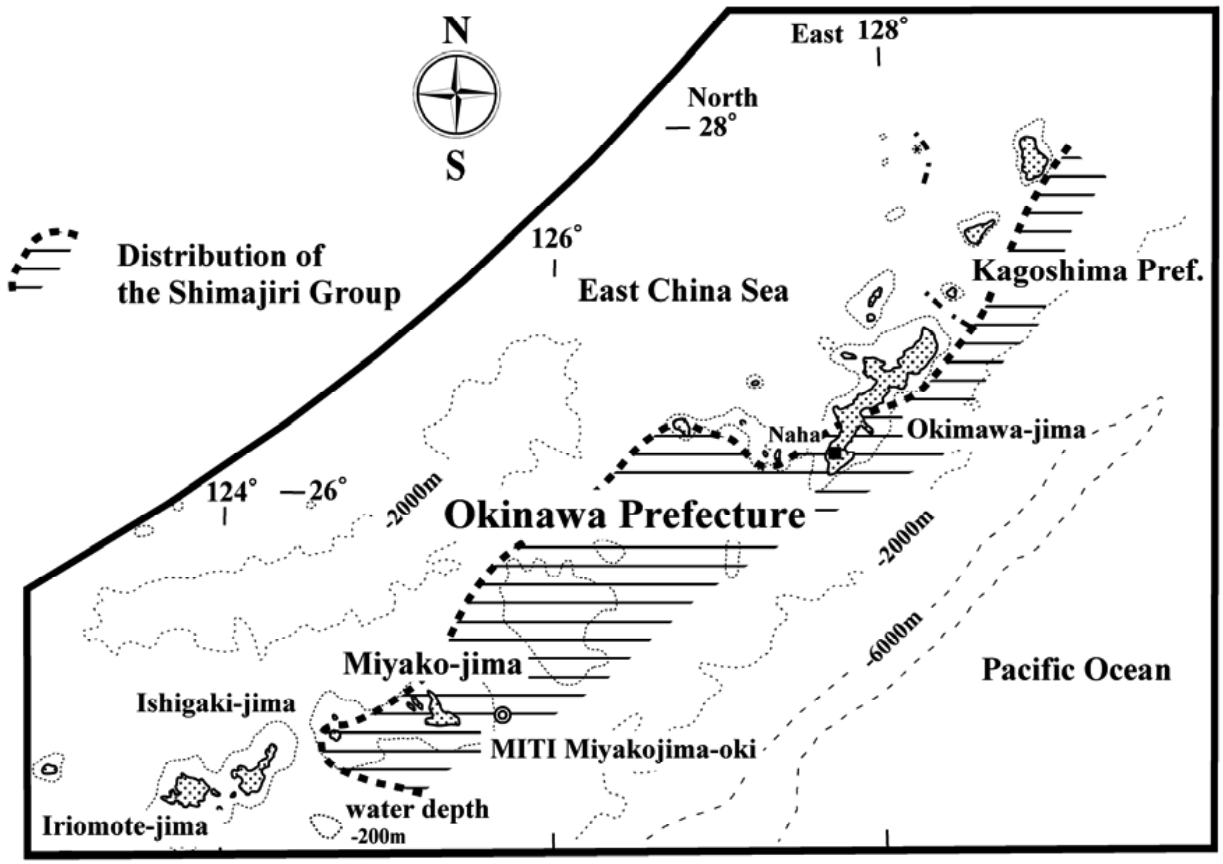
宮古島は更新統琉球層群の石灰岩に広く覆われており，鮮新統を主体とする島尻層群は北東海岸や南海岸に模式的に分布し，大神島などの離島，与那覇湾付近や内陸部にわずかに分布するのみである（矢崎，1978）．地下に発達する島尻層群には水溶性天然ガス鉱床が胚胎している可能性が高いことが指摘されていた（沖縄天然ガス研究グループ，1971; 福田，1989）．沖縄県は平成 25 年度に「天然ガス資源活用に向けた試掘調査事業」の一環として，中新統の八重山層群を目的層とする試掘（宮古 R-1）を実施し，約 2,000 m の島尻層群と約 400 m の八重山層群および水溶性ガスの存在を確認した（沖縄県商工労働部産業政策課・試掘事業共同企業体，2014）．本井の掘削で得られた石油地質学的成果については既に報告している（加藤ほか，投稿中）．

本稿では，宮古 R-1 で確認された島尻層群についてその詳細を報告するとともに，有孔虫化石を用いて行なったストロンチウム（Sr）同位体比の測定結果から得られた Sr 同位体年代を報告し，島尻層群の下限の地質年代について考察する．

## 宮古島における島尻層群

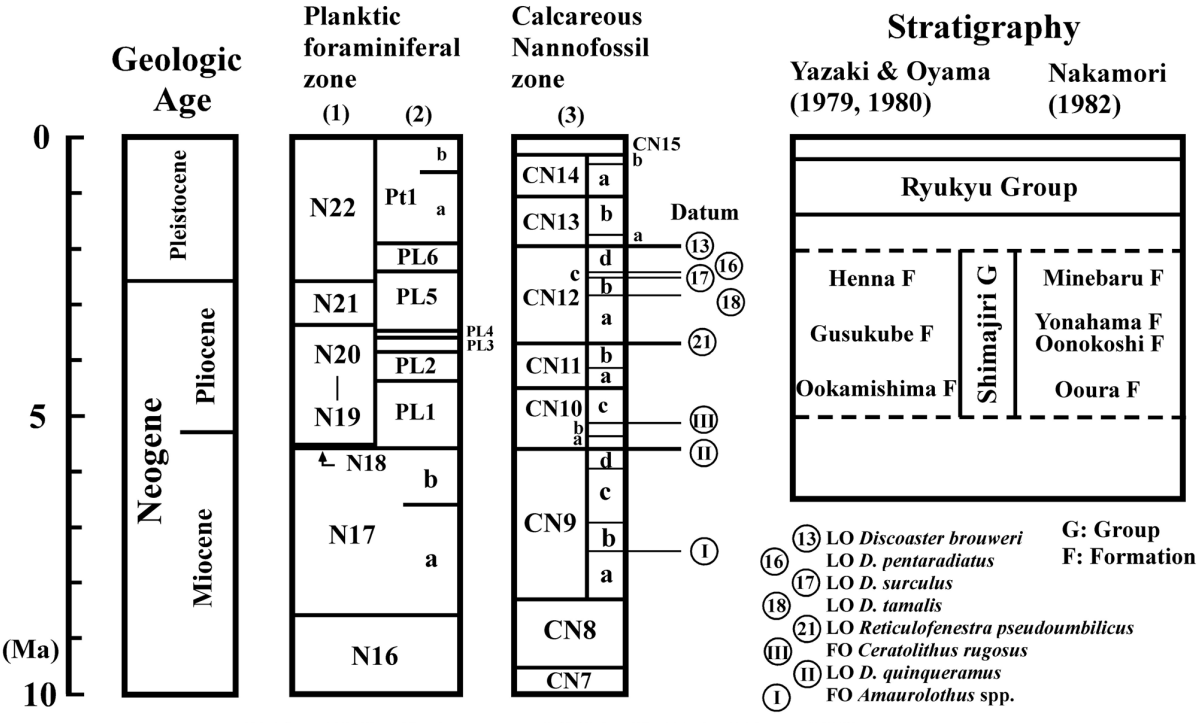
宮古島の地表に露出する島尻層群の地層区分や地質年代は研究者により若干意見の相違はあるものの大略は一致している．本稿では 1/5 万地質図幅（矢崎・大山，1979; 1980）の地層区分を用いるが，微化石の研究者に広く用いられている中森（1982）の地層区分も参考として示す（第 2 図）．島尻層群は下位から，砂岩と泥岩を主とする大神島（おおかみじま）層，均質な塊状泥岩を主とする城辺（ぐすくべ）層，砂岩と泥岩の互層からなる平安名（へんな）層に区分され，粗粒→細粒→粗粒の 1 サイクルからなる一連の堆積物であり，その下限は地表では確認されていない（矢崎，1978）．貝類化石から，島尻層群の堆積場は内湾潮間帯から始まり漸次水深を増し，おそらく 400 m 前後の水深まで達したと推定されている（小笠原・増田，1983）．

島尻層群で確認されている浮遊性有孔虫化石帯の下限は PL1，上限は N22 であり（Ujiie, 1994; 第 3 図），その地質年



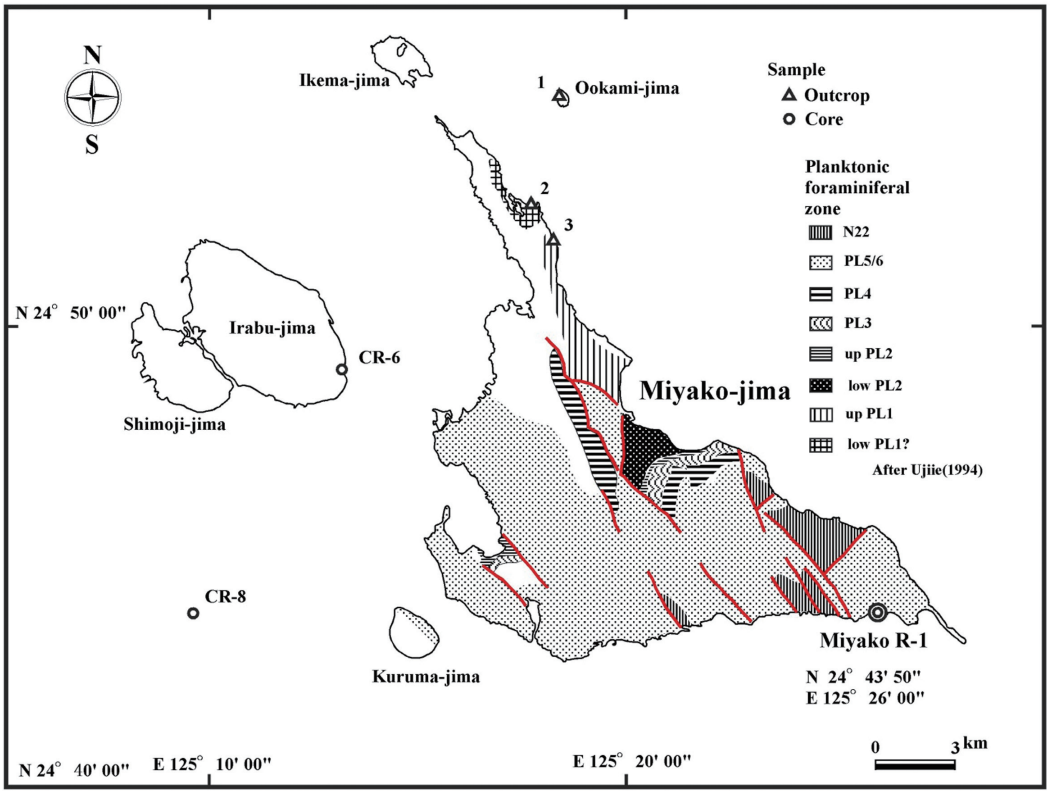

第 1 図　沖縄県における島尻層群の分布

Fig. 1. Index map showing the distribution of the Shimajiri Group, Okinawa Prefecture.




第 2 図　宮古島における島尻層群の層序区分，浮遊性有孔虫化石帯および石灰質ナンノ化石帯と基準面

Fig. 2. Stratigraphic division, planktic foraminiferal zones and calcareous nannoplankton zones and datums of the Shimajiri Group, Miyako-jima.




第 3 図　島尻層群の浮遊性有孔虫化石帯分布と試料および宮古 R-1 の位置（Ujiie (1994) に加筆）

Fig. 3. Distribution of planktic foraminiferal zones in the Shimajiri Group, showing sample locations and the site of the Miyako R-1 exploratory well. Modified from Ujiie (1994).

代は鮮新世～更新世である（第 2 図）.

## 宮古 R-1 で確認された島尻層群

宮古 R-1 は宮古島市城辺字保良川ノ上部において，深度 2,437.14 m まで掘削され，八重山層群にて掘り止められた（加藤ほか，投稿中）．10 m 毎に行なわれた掘屑（カッティングス）の岩質調査を基に，物理検層（比抵抗，自然電位および天然ガンマ線検層），地層傾斜，および東北大学が実施した微化石（有孔虫化石と石灰質ナンノ化石）の調査結果を踏まえて，掘削区間は下位から，八重山層群（深度 2,008 ～ 2,437.14 m），島尻層群（深度 30 ～ 2,008 m），および琉球層群（深度 0 ～ 30 m）に区分されている（第 4 図；沖縄県商工労働部産業政策課・試掘事業共同企業体，2014）.

島尻層群は主に岩相に基づいて，地表と同様に下位より大神島層（深度 1,114 ～ 2,008 m），城辺層（深度 595 ～ 1,114 m），平安名層（深度 30 ～ 595 m）に細分される．大神島層は中粒砂岩，砂岩・泥岩互層，泥岩からなり，砂岩には貝殻片が含まれる．深度 1,840/1,880 m 間には石炭礫が含まれており，物理検層から薄い石炭層の挟みが推定される．また，深度 1,200 ～ 1,350 m の上部ではヘッドスペースガス分析用カッティングス試料（HSG 試料）の残渣中に豊富な磁鉄鉱が認められた．城辺層は主に泥岩からなり，薄い砂岩層を挟む．下部の深度 900 ～ 1,005 m にも HSG 試料の残渣中に豊富な磁鉄鉱が認められた．平安名層は砂岩と砂岩・泥岩互層からなる部分と主に泥岩からなる部分がある．深度 500/595m 間はシルト岩からなり，深度 590/600 m 間に石灰質ナンノ化石の 3 つの基準面（⑯，⑰，⑱）が認められることから，深度 595 m に平安名層 / 城辺層の境界が設定されている．地表でもこれら 3 つの基準面が一緒に嶺原層下部で確認されている（Sato *et al*., 2002）.

石灰質ナンノ化石調査は深度 30 ～ 2,160 m 間で 10 m 毎に行なわれた．その産出上限（Last Occurrence: LO）が CN10a/CN9 境界（基準面⑪）を規定する *Discoaster quinqueramus* は認められなかった．一方，*Ceratolithus rugosus* の産出下限（First Occurrence: FO）は深度 1,120/1,130m 間に，*Reticulofenestra pseudoumbilicus* の産出上限は深度 680/690 m 間に認められ，それぞれ CN10c/CN10b 境界（基準面⑩）と CN12a/CN11b 境界（基準面㉑）を規定している.

地層傾斜は深度 1,640 m 付近より浅部では南東方向に 10 ～ 20 度傾斜しており，深くなるほど傾斜角が大きくなっている（第 4 図）．一方，深部では地層傾斜は北西～北東方向に 20 度程度傾斜している.

## 島尻層群の有孔虫化石

宮古 R-1 では，深度 610 ～ 1,970 m 間の島尻層群において浮遊性有孔虫化石（20 試料：80 m 毎あるいは 40 m 毎）と底生有孔虫化石（23 試料）の調査が行なわれている（沖縄県商

工労働部産業政策課・試掘事業共同企業体，2014）．調査では深度 1,250 m 以浅にのみ浮遊性有孔虫化石で年代決定に重要な種が産出していた．しかしながら，深度 1,350 m のヘッドスペースガス用試料には貝殻片とともに有孔虫化石が多産していたので，浮遊性有孔虫化石の概査を行った。その結果，鍵種の *Globorotalia puncticulata, Globigerina* cf. *nepenthes, Sphaeroidina dehiscens* が 認められたので，PL1 ～ PL2 に対比される（沖縄県商工労働部産業政策課・試掘事業共同企業体，2014）．

底生有孔虫化石では，深度 1,470 m 以深には 11 試料のうち 3 試料からのみ *Ammonia* spp. などの極浅海種が産出しており，特に深度 1,500 m と 1,650 m には *Ammonia altispira* が確認された（沖縄県商工労働部産業政策課・試掘事業共同企業体，2014）．

矢崎・大山（1979）は大神島層を岩相に基づいて 7 つに細分し，産出する有孔虫化石や貝類化石を報告している．その中で，亜炭を挟む大神島砂岩（層厚：200 ～ 300 m）は *Ammonia beccari* を中心とする底生有孔虫化石のみを産出し，極めて浅い，時に淡水の影響を受ける内湾あるいは河口近くの堆積物と推定しており，宮古 R-1 の深度 1,730 ～ 1,980 m 間がこれに相当する．

## Sr 同位体比測定

### 試料

一部の HSG 試料を用いて有孔虫化石用の処理を行い，有孔虫化石の有無を確認し，深度 1,400 m, 1,450 m, 1,467.1 m（コア）, 1,500 m, 1,650 m, 1,700 m の試料から有孔虫化石を拾い上げ，計 10 試料を Sr 同位体比測定試料とした（第 1 表）．この表には，以前 Sr 同位体比を測定したコア試料（宮古島周辺で石油公団石油開発センターによって掘削された坑井）や地表の露頭から採取した試料についても，測定に用いた有孔虫化石の種，個体数，保存状況を示す．

### 測定方法

Sr 同位体比（$^{87}Sr/^{86}Sr$）の測定は島根大学亀井准教授に外注した．試料はテフロン容器を用いて 10%酢酸で溶解し，溶解部分より DOWEX AG50W-X8 の陽イオン交換樹脂を用いて Sr を抽出した．抽出方法は Kagami *et al*. (1987) に従った．測定には島根大学総合理工学部に設置の表面電離型質量分析計（Finigan MAT 社製 MAT-262）を使用し，飯泉（1996）の方法に従った．各試料の Sr 同位体比は，同時に測定した標準試料 NIST SRM 987 の Sr 同位体比を 0.710241 として規格化した．

### 測定結果

測定結果を第 2 表に示す．McArthur and Howarth (2004) に基づいて Sr 同位体年代（以下 Sr 年代）を求めるために，Sr 同位体比は標準試料 NIST SRM 987=0.710248 に規格化して表示してある．また，測定誤差から求めた年代誤差の最大値を示す．更に，以前新潟大学に外注して測定した試料の測定結果も同様に示す．測定誤差は個体数が少ない試料を除けば，$15 \times 10^{-6}$ 未満と小さいが，Sr 年代の誤差は± 1.5 Ma 前後と大きいものもある，

宮古 R-1 の Sr 年代は 8.8 ～ 5.4 Ma といずれも後期中新世を示しており，深部ほど Sr 年代が古くなる傾向が認められる（第 5 図）．また，同深度の浮遊性種試料と底生種試料の Sr 年代を比べると，明らかに底生種試料の Sr 年代が古い．この傾向はコア試料 CR-8 にも認められる．この坑井（CR-8）の深度 54.0 m と 63.9 m のコア試料からは石灰質ナンノ化石が産出しており，*Discoaster quinqueramus* を欠き，*Reticulofenestra pseudoumbilica* と *Sphenolithus abies* を産することから，CN11 ～ CN10 に対比されている（本田ほか，1993）．また，このコア試料の浮遊性有孔虫化石には *Globorotalia margaritae, Neogloboquadrina acostaensis, Globorotalia tumida, Globoquadrna (=Dentoglobigerina) altispira, Pulleniatina primalis* (s) が検出されており，兼子（2007）に基づけば，これらの群集は PL2 ～ PL1 上部に対比される．これらの微化石年代と比較すると，底生種試料の Sr 年代 6.0 Ma は明らかに古く，浮遊性種試料の Sr 年代 4.1 Ma は調和している．地表試料（1, 2, 3）では上位ほど Sr 年代が若くなっているが，Ujiie (1994) の浮遊性有孔虫化石帯の分布図（第 3 図）からはいずれも PL1 に相当していると推定され，地表試料 1 のみがそれと矛盾しない．

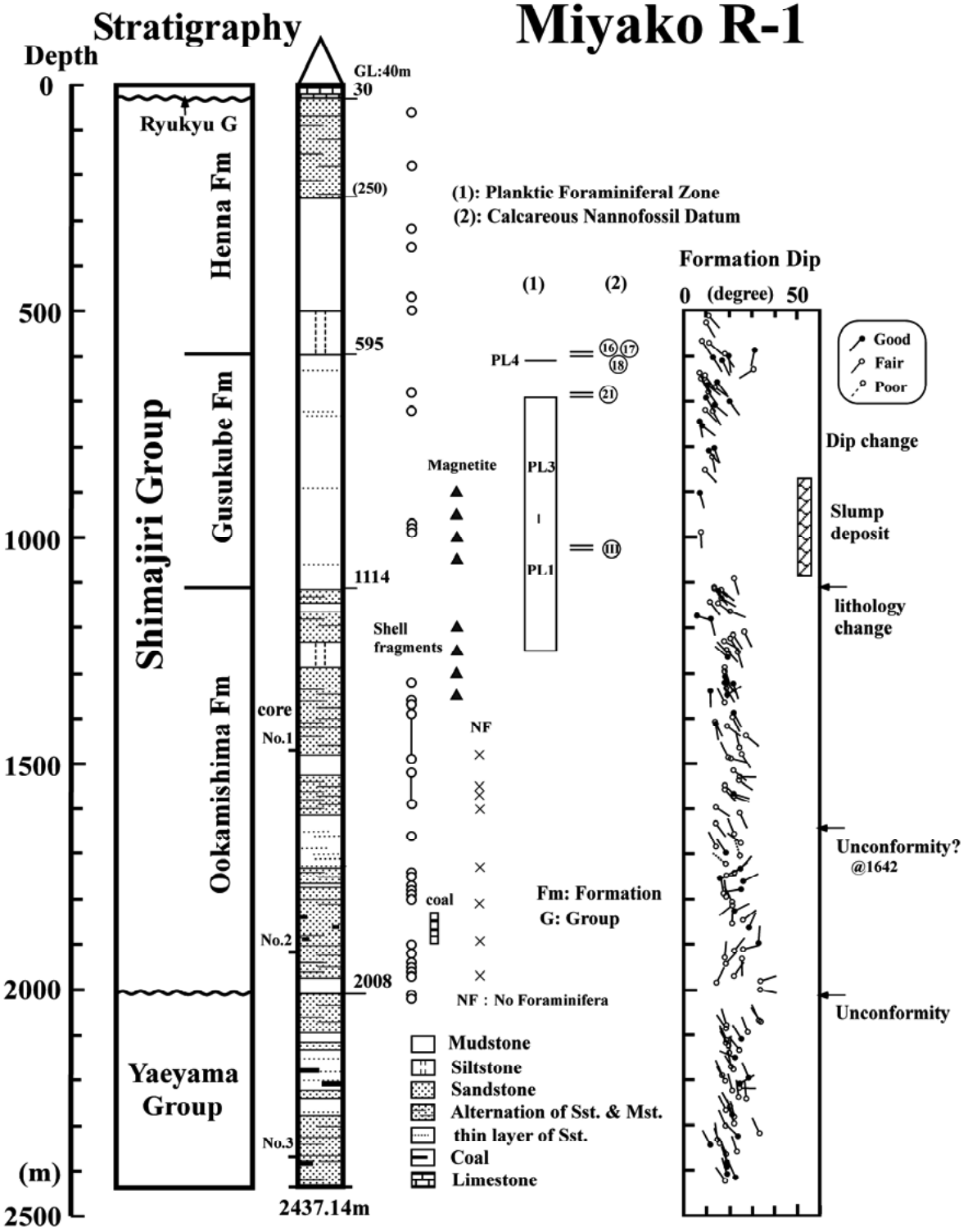
## 考察

城辺層は産出する石灰質ナンノ化石と浮遊性有孔虫化石から確実に鮮新世である．一方，その下位の大神島層については層厚が約 900 m もあるにもかかわらず，積極的に年代を示す微化石は産出していない．これは貝類化石や底生有孔虫化石から推定されるように，その堆積環境が内湾潮間帯～水深 50 ～ 60 m 以浅の浅海砂泥底であった（小笠原・増田，1983）ためと考えられる．

大神島層の Sr 年代は 8.8 ～ 5.4 Ma とかなり分散しているが，CR-8 において浮遊性種試料の Sr 年代が微化石年代と調和しており，沖縄本島南部で掘削された琉政 -2 や南城 R1 の島尻層群豊見城層で実施した有孔虫化石を用いた Sr 同位体比測定においても浮遊性種試料の方が底生種試料よりも変質の影響が弱いと推定され，微化石年代と矛盾しない Sr 年代が得られている．これらのことや年代誤差を考慮して，深度と Sr 年代との関係を直線で近似した（第 5 図の破線）．この直線から Sr 年代を求めると，深度 1,700 m では 7Ma，深度 1,400 m では 6 Ma となる．この直線を上方や下方に延長すると，中新世 / 鮮新世境界は深度 1,300 m 付近に位置し，大神島層（島尻層群）下限の深度 2,008 m では Sr 年代は約 8.4 Ma となる．

地層傾斜は深度 1,640 m 付近でその傾斜方向が逆になっていることから，不整合が存在する可能性がある（加藤ほか，投稿中）．その場合でも深度 1,400 m では約 6 Ma，深度 1,700 m では約 7 Ma の Sr 年代が推定される（第 5 図）．

深度 1,500 m と 1,650 m で確認された底生有孔虫化石 *Ammonia altispira* は大神島の大神島層からも産出しており，台湾北部では上部中新統に特徴的に産出している（Huang,




第 4 図　宮古 R-1 の地質要約図

Fig. 4. Geology summary of the Miyako R-1 well.

第 1 表　Sr 同位体比測定試料

Table 1. List of samples analyzed for Sr isotope ratios, showing the location and depth of samples, and the calcareous foraminiferal species identified.

| Well Name | Depth (m) | | B/P | Preservation | Species | | Number |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Miyako R-1** | | | | | | | |
| | 1,400 | (1) | B | P, D | *Pseudorotalia* | *gaimardii* | 34 |
| | | | | | *Asterorotalia* | *trispinosa* | 1 |
| | | | | | *Ammonia* | sp. | 2 |
| | | | | | Miliolinidae miscellaneous | | 6 |
| | | (2) | P | P | *Globigerinoides* | spp. | 3 |
| | | | | | *Globorotalia* | sp. | 2 |
| | | | | | *Sphaeroidinellopsis?* | sp. | 1 |
| | | | | | Planktic genus & species indet. | | 1 |
| | 1,450 | | B + P | P | *Ammonia* | spp. | 3 |
| | | | | | *Quinqueloculina* | cf. *carinata* | 1 |
| | | | | | Planktic genus & species indet. | | 1 |
| | 1,467.1 | | B | P | Calcareous genus & species indet. | | 2 |
| | 1,500 | | B | P | *Pseudorotalia* | *gaimardii* | 4 |
| | | | | | *Rectobolivina* | *bifrons striatula* | 2 |
| | | | | | Miliolinidae genus & species indet. | | 1 |
| | | | | | Calcareous miscellaneous | | 2 |
| | 1,650 | | B | P, D | *Pseudorotalia* | *gaimardii* | 6 |
| | | | | | *Rectobolivina* | *bifrons striatula* | 1 |
| | | | | | *Cibicides* | sp. | 1 |
| | | | | | *Ammonia* | spp. | 3 |
| | 1,700 | (1) | B | P, D | *Pseudorotalia* | *gaimardii* | 58 |
| | | | | | *Lagenonodosaria* | *scalaris* | 1 |
| | | | | | *Cibicidoides* | spp. | 9 |
| | | | | | *Ammonia* | spp. | 5 |
| | | (2) | B | P, D | *Pseudorotalia* | *gaimardii* | 37 |
| | | | | | *Cibicidoides* | spp. | 21 |
| | | | | | *Ammonia* | spp. | 10 |
| | | | | | Calcareous miscellaneous | | 10 |
| | | (3) | P | D | *Sphaeroidinella* | sp. indet. | 2 |
| | | | | | *Globigerinoides* | spp. | 2 |
| | | | | | *Globigerina* | spp. | 4 |
| | | | | | Planktic miscellaneous | | 7 |
| | | (4) | P | D | *Globorotalia* | spp. | 3 |
| | | | | | *Globigerinoides* | spp. | 2 |
| | | | | | *Globigerina* | spp. | 7 |
| | | | | | *Pulleniatina* | sp. | 1 |
| **CR-6** | 75.7 | | B | P | *Asterorotalia* | *trispinosa* | 22 |
| | | | | | *Plectofrondicularia?* | *totomiensis* | 12 |
| | | | | | *Pseudorotalia* | sp. | 9 |
| **CR-8** | 64.0 | | B | P | *Cibicidoides* | *wuellerstorfi* | 15 |
| | | | | | *Uvigerina* | *peregrina* | 14 |
| | | | | | *Cibicides* | *pseudoungerianus* | 11 |
| | 64.0 | | P | P | *Globigerina* | *bulloides* | 33 |
| | | | | | *Neogloboquadrina* | spp. | 18 |
| | | | | | *Globigerinoides* | spp. | 13 |
| **Outcrop 1** | | | B | P | *Cibicides* | *praecinctus* | 29 |
| | | | | | *Pseudorotalia* | sp. | 7 |
| | | | | | *Lenticulina* | spp. | 5 |
| **Outcrop 2** | | | B | P | *Asterorotalia* | *trisinosa* | 21 |
| | | | | | *Plectofrondicularia?* | *totomiensis* | 12 |
| | | | | | *Pseudorotalia* | sp. | 8 |
| **Outcrop 3** | | | B | P, D | *Pseudorotalia* | sp. | 17 |
| | | | | | *Asterorotalia* | *trisinosa* | 13 |
| | | | | | *Lenticulina* | sp. | 1 |

B: Benthic　P: partly broken, D: dark color
P: Planktic

第 2 表　Sr 同位体比測定結果と Sr 同位体年代
Table 2 Sr isotope ratios and Sr isotope age data.

| Well Name | Depth (m) | P/B | Number | $^{87}Sr/^{86}Sr^{*}$ | 2σ (×10$^{-6}$) | Sr isotope age (Ma) Age | (−) | (+) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Miyako R-1 | | | | | | | | |
| | 1,400 (1) | B | 43 | 0.708985 | 9 | 6.1 | 0.2 | 0.3 |
| | (2) | P | 7 | 0.709012 | 20 | 5.7 | 0.6 | 0.4 |
| | 1,450 | B + P | 5 | 0.708990 | 17 | 6.1 | 0.3 | 0.4 |
| | 1,467.1 | B | 2 | 0.708926 | 31 | 8.5 | 1.7 | 1.4 |
| | 1,500 | B | 9 | 0.709024 | 11 | 5.4 | 0.4 | 0.4 |
| | 1,650 | B | 11 | 0.708950 | 12 | 7.2 | 0.6 | 1.1 |
| | 1,700 (1) | B | 73 | 0.708932 | 12 | 8.1 | 0.9 | 1.0 |
| | (2) | B | 78 | 0.708922 | 13 | 8.8 | 1.2 | 0.8 |
| | (3) | P | 15 | 0.708998 | 14 | 5.9 | 0.3 | 0.3 |
| | (4) | P | 13 | 0.708956 | 19 | 7.0 | 0.7 | 1.4 |
| CR-6 | 75.5 | B | 50 | 0.709053 | 14 | 4.0 | 1.5 | 1.0 |
| CR-8 | 64.0 | B | 40 | 0.708996 | 11 | 6.0 | 0.3 | 0.2 |
| | 64.0 | P | 64 | 0.709052 | 12 | 4.1 | 1.5 | 0.8 |
| Outcrop 1 | | B | 41 | 0.709019 | 10 | 5.5 | 0.4 | 0.3 |
| Outcrop 2 | | B | 41 | 0.709053 | 11 | 4.0 | 1.4 | 0.9 |
| Outcrop 3 | | B | 31 | 0.709059 | 12 | 3.3 | 0.9 | 1.4 |

B: Benthic
P: Planktic
*: NIST SRM 987=0.710248

1989)．大神島の試料（地表 1）の Sr 年代は 5.5 Ma であり（第 2 表），これと調和的である．

深度 1,700 m の試料からは浮遊性有孔虫化石もかなり産出しており（第 1 表），残っているものを詳細に検討したところ，*Globorotalia margaritae* が認められた．この種は兼子（2007）によれば PL2 ～ PL1 上部に産出が限定されるが，Wade *et al*. (2011) では PL2 ～ M14 までレンジが延びており，その年代値は 6.08 ～ 3.85 Ma である（Anthonissen and Ogg, 2012）．

以上述べたように，城辺層の微化石年代，大神島層の層厚や Sr 年代から総合的に判断すると，大神島層の地質年代は後期中新世～鮮新世と推定される．

基礎試錐「宮古島沖」（第 1 図）では，深度 520 ～ 2,880 m 間に島尻層群が確認されており，深度 2,530 m の不整合でもって上部層と下部層に細分されている（円谷・佐藤，1985）．下部層は中～粗粒で一部礫質の砂岩を主とし，泥岩やシルト岩からなり，底生有孔虫化石は *Pseudorotalia* 属や *Quinqueloculina* 属等の浅海性種によって占められている．岩相からこの下部層は大神島層に対比され，「宮古島沖」を通る北西－南東方向の地震記録断面図（円谷・佐藤（1985）の図 4）では下部層の上部が不整合によって削剥されていることが明瞭に読み取れる．また，深度 2,840 m には後期中新世を示す *Discoaster* cf. *quinqueramus* が産出しており（田中，1993），大神島層に上部中新統が含まれることを支持している．

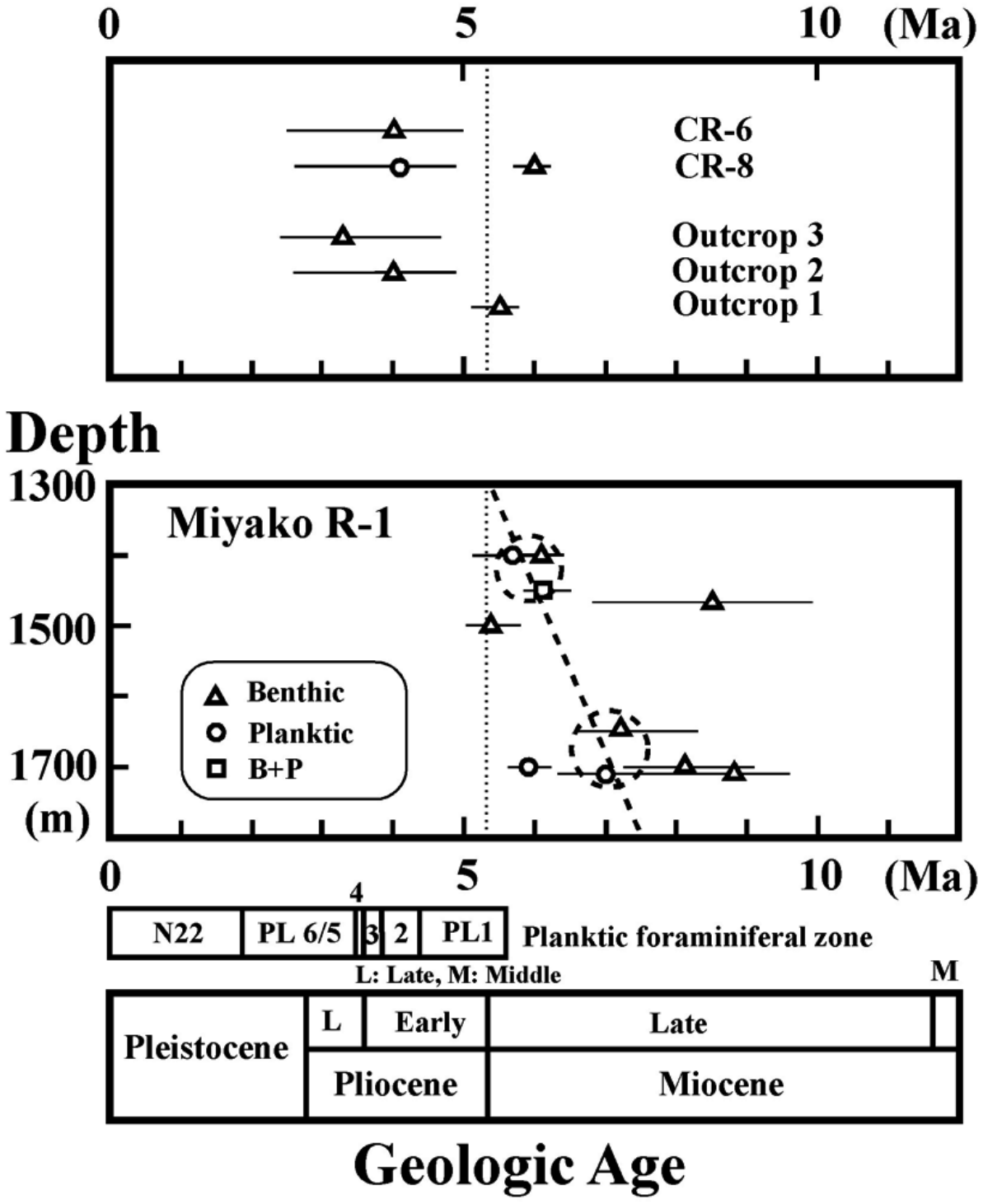
## まとめ

宮古 R-1 で確認された約 2,000 m の島尻層群のうち，年代決定に有効な微化石が産出していない大神島層について，深度 1,400m ～ 1,700 m の HSG 試料から拾い上げた有孔虫化石を用いて 10 試料の Sr 同位体比を測定し，Sr 年代を求めた．

Sr 年代は 8.8 ～ 5.4 Ma と分散しているが，いずれも後期中新世を示している．試料の変質や年代誤差を考慮し，直線で近似した Sr 年代と深度の関係や深度 1,640 m 付近に推定される不整合を考慮すると，Sr 年代は深度 1,400 m で約 6 Ma，深度 1,700 m で約 7 Ma と推定される．

上位の城辺層の微化石年代，大神島層の層厚や Sr 年代から総合的に判断すると，大神島層の年代は後期中新世～鮮新世と考えられる．

貝殻片は深度 1,700 m 以深でも豊富に認められることから，これらを試料として Sr 同位体比を測定することも可能であ




第 5 図　島尻層群の Sr 同位体年代

Fig. 5. Sr isotope ages of the Shimajiri Group.

り，大神島層の年代の確度を向上させるひとつの方法である。

## 謝辞

本稿の公表を許可された石油資源開発㈱および㈱地球科学総合研究所に深謝します．Sr 同位体比の測定をして頂いた島根大学総合理工学部亀井淳志准教授，有孔虫化石の鑑定および Sr 同位体比測定試料の準備をして頂いた石油資源開発（株）技術本部技術研究所の三輪美智子氏，宮古島の有孔虫化石等についていろいろ教えて頂いた井上洋子博士にお礼申し上げます．

## 引用文献

Anthonissen, D. E., and J. G. Ogg. 2012. Cenozoic and Cretaceous biochronology of planktonic foraminifera and calcareous nannofossils. The Geologic Times Scale 2012: 1083–1127.

Berggren, W. A., D. V. Kent, C. C., III Swisher, and M.-P. Aubry. 1995. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. SEPM Spec. Publ. 54: 129–212.

Blow, W. H. 1969. Late middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. Proc. 1st Internat. Conf. Planktonic Microfossils, Geneva, 1967 1: 199–242.

福田　理 . 1989. 急がれる宮古島の温泉・ガス開発 . 拓殖大学論集 179: 205–216.

本田信幸・辻　喜弘・松田博貴・佐渡耕一郎・結城智也 . 1993.　更新統琉球層群の堆積相と堆積環境　―琉球列島伊良部島の例―. 石油公団石油開発技術センター研究報告 24: 123–151.

Huang, C. Y. 1986. Oligocene and Miocene stratigraphy of the Kuohsingarea, central Taiwan. Acta Geol. Taiwan 24: 281–318.

飯泉　滋. 1996. 表面電離型質量分析計, MAT262 による岩石・鉱物試料の Sr・Nd 同位体組成の測定．島根大学地球資源環境学研究報告 15: 153–159.

Kagami, H., M. Iwata, S. Sano, and H. Honma. 1987. Sr and Nd isotopic compositions and Rb, Sr, Sm, and Nd concentrations of standard samples. Technical Report of ISEI (Institute of Study of the Earth's Interior), Okayama University, Ser., B 4: 1–16.

兼子尚知．2007. 沖縄島および琉球弧の新生界層序．地質ニュース 633: 22–30.

加藤　進・本多孝安・大見謝恒慈路．2012. 沖縄県南城 R1 の石油地質．石技誌 77: 86–95.

加藤　進・根本欣典・侯　建．投稿中．沖縄県宮古 R-1 の石油地質．石技誌 .

McArthur, J. M., and R. J. Howarth. 2004. Strontium isotope stratigraphy. A Geologic Timescale 2004: 96–105.

中森　亨．1982. 琉球列島　宮古群島の地質．東北大地質古生物研邦報 84: 23–39.

小笠原憲四郎・増田孝一郎．1983. 琉球列島の第三系貝類化石とその古環境．地質学論集 22: 95–105.

Okada, H., and D. Bukry. 1980. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude cocolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973:1975). Marine Micropaleontology 5: 321–325.

沖縄県商工労働部産業政策課・試掘事業共同体．2014. 平成 26 年度天然ガス資源活用促進に向けた試掘調査事業報告書．121 p.

沖縄天然ガス研究グループ．1971. 沖縄における天然ガス資源調査の経緯と成果．石技誌 36: 27–43.

Sato, T., T. Saito, S. Yuguchi, H. Nakagawa, K. Kameo, and T. Takayama. 2002. Late Pliocene calcareous nannnofossil paleobiogeography of the Pacific Ocean: evidence for glaciations at 2.75 Ma. Rev. Mex. Cienc. Geol. 19: 175–189.

田中　隆．1993. 基礎試錐「宮古島沖」．最近の我が国の石油開発（石油技術協会創立 60 周年記念）: 125–128.

円谷博明・佐藤時幸．1985. 基礎試錐「宮古島沖」．石技誌 50: 25–33.

Ujiie, H. 1994. Early Pleistocene birth of the Okinawa trough and Ryukyu island arc at the northwestern margin of the Pacific: evidence from Late Cenozoic planktonic foraminiferal zonation. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 108: 457–474.

氏家　宏・兼子尚知．2006. 那覇及び沖縄市南部地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅）．産総研地質総合センター : 48 p.

矢崎清貫．1978. 宮古島の島尻層群について．琉球列島の地質学研究 3: 81–88.

矢崎清貫・大山　桂．1979. 宮古島北部地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅）．地質調査所 : 46 p.

矢崎清貫・大山　桂．1980. 宮古島地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅）．地質調査所: 83 p.

2015 年 10 月 6 日原稿受理