

沖縄トラフ東縁のテクトニクス —背弧海盆形成メカニズムの解明—

木村 政昭*¹ 小野 朋典*¹ 松岡 裕美*² 大塚 裕之*³
中村 俊夫*⁴ 宮崎 幸光*¹

1993年8月に、トカラ・ギャップにおいて「ドルフィン-3K」の第147潜航、同年9月に「しんかい2000」の第704潜航の潜水調査が行われた。そして、1993年9月に、ケラマ・ギャップにおいて「ドルフィン-3K」第149潜航が行われた。その結果、トカラ・ギャップの最深部に近い1,200m水深で、第四紀礫性石灰岩の比較的広範囲にわたる露頭を発見し、サンプルを採取することができた。ナノ化石より、この石灰岩の時代はCN14以新(1.66Ma~)で、第四紀と鑑定され、琉球石灰岩に対比できる。この石灰岩は、四万十帯の名護層群に対比させられる古期岩類を不整合に被覆する。古期岩類は高い地形の所で広く露出する。また、南方のケラマ・ギャップの潜水調査では、水深550m付近の鞍部上からクジラの化石やチムニー状の石灰質砂岩等が得られた。従来の調査結果とをあわせると、ケラマ・ギャップ及びトカラ・ギャップ域は、第四紀後期のウルム氷期に広範に陸化していた時期があったことがより明らかとなった。

キーワード：背弧海盆、沖縄トラフ、陸橋、琉球弧、琉球石灰岩

Tectonics in the Eastern Margin of the Okinawa Trough —Study of Formation Mechanism of a Backarc Basin—

Masaaki KIMURA*⁵ Tomonori ONO*⁵ Hiromi MATSUOKA*⁶
Hiroyuki OTSUKA*⁷ Toshio NAKAMURA*⁸
Yukimitsu MIYAZAKI*⁵

Diving surveys were carried out by "Shinkai 2000" and "Dolphin-3K" in the Tokara Gap and by "Dolphin-3K" in the Kerama Gap from August to September in 1993. We found outcrops of Quaternary reefal limestone unconformably covering Cretaceous hard sandstone of the Shimanto Belt at the water depth of 1,200m in the Tokara Gap. Limestone

- * 1 琉球大学理学部
- * 2 高知大学理学部
- * 3 鹿児島大学理学部
- * 4 名古屋大学年代測定資料研究センター
- * 5 College of Science, University of Ryukyus
- * 6 Department of Sciences, Kochi University
- * 7 Department of Sciences, Kagoshima University
- * 8 Dating and Materials Research Center, Nagoya University

recovered are correlatable with Pleistocene Ryukyu Limestone by nannofossil age determination and rock facies. A chimney-shaped, carbonaceous sandstone pipe was recovered from the depth of about 560m in the Kerama Gap. The result with previous works strongly suggests that those studied areas were emerged in broad during the last Glacial Age in Late Pleistocene time.

Key words : Backarc basin, Okinawa Trough, Land bridge, Ryukyu Limestone

1. はじめに

1993年度「しんかい2000」と「ドルフィン-3K」によるトカラ・ギャップの潜水調査及び「ドルフィン-3K」によるケラマ・ギャップの潜航調査の成果を合わせて報告する(図1)。トカラ・ギャップにおいては、1993年8月31日に「ドルフィン-3K」の第147潜航、9月に「しんかい2000」の第704潜航が行われた。また、ケラマ・ギャップにおいては、1993年9月5日に「ドルフィン-3K」第149潜航が行われた。

トカラ海峡では、南西諸島を載せる海底の高まりである「琉球海嶺」が、水深1,400mの等深線により分断されている。この部分をトカラ・ギャップという(図2)。トカラ・ギャップの詳細な地形については、1992年4月に海洋科学技術センターの調査船「かいよう」のシービームによる精密海底地形調査が行われた(木村ほか、

1993)。このトカラ・ギャップの北側には、種子・屋久海脚が、南側には奄美海脚が張り出している。西側には、北東-南西方向にトカラ列島が南北に連なっている。さらにその西側には沖縄トラフがある。東側には、フィリピン海プレートの沈み込む南西諸島海溝がある。図2によると、北側の種子・屋久海脚から幅約4~5kmの高まりが南方に延びていることがわかる。また南側の奄美海脚からは幅数kmの高まりが北方へ延びている。両者は基本的には連続する一連の尾根部を形成して

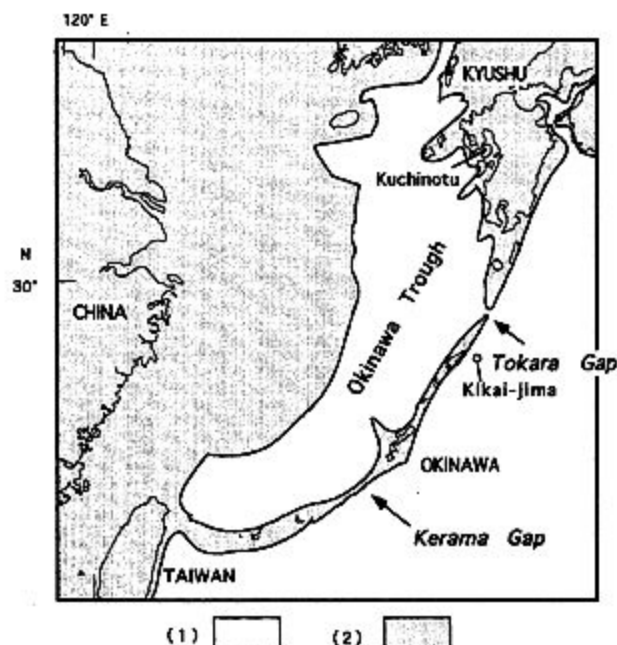


図1 調査域を示す図。ベース・マップは木村ほか(1993年)を小修正。(1) およそ2万年前の海域。(2) 同陸域
Fig.1 Surveyed areas. (1) Water area about 0.02 Ma, (2) Land area in the same age.

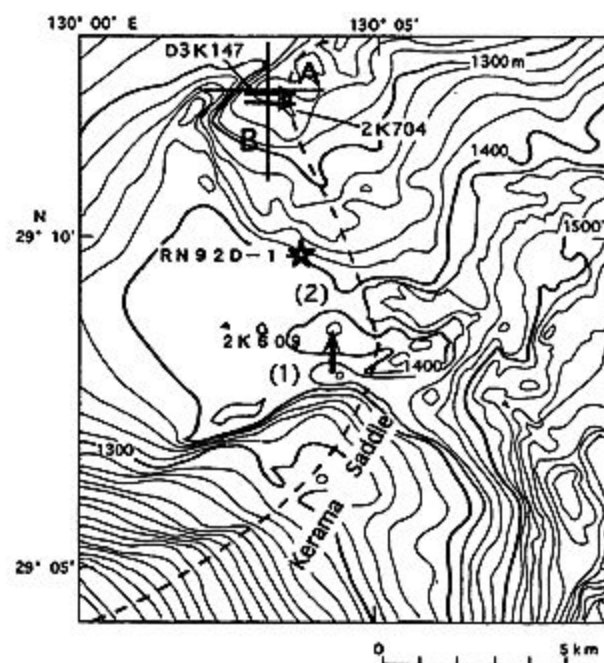


図2 トカラ・ギャップの地形図とPDR測線位置。ベース・マップは木村ほか(1993年)による。D3K147:「ドルフィン-3K」第147潜航、2K704:「しんかい2000」第704潜航、2K609:「しんかい2000」第609潜航(1993)。RN92D-1:長崎丸によるドレッジ地点(1992年)。(1) トカラ(海底)水路、(2) トカラ北(海底)水路
Fig.2 Topography of the Tokara Gap and surveyed positions. D3K147: "Dolphin-3K" 147 Dive, 2K704: "Shinkai2000" 704 Dive, 2K609: "Shinkai2000" 609 Dive (1993), RN92D-1: Dredge station by Nagasaki Maru (1992). (1) Tokara (submarine) Channel, (2) Tokara North (submarine) Channel.

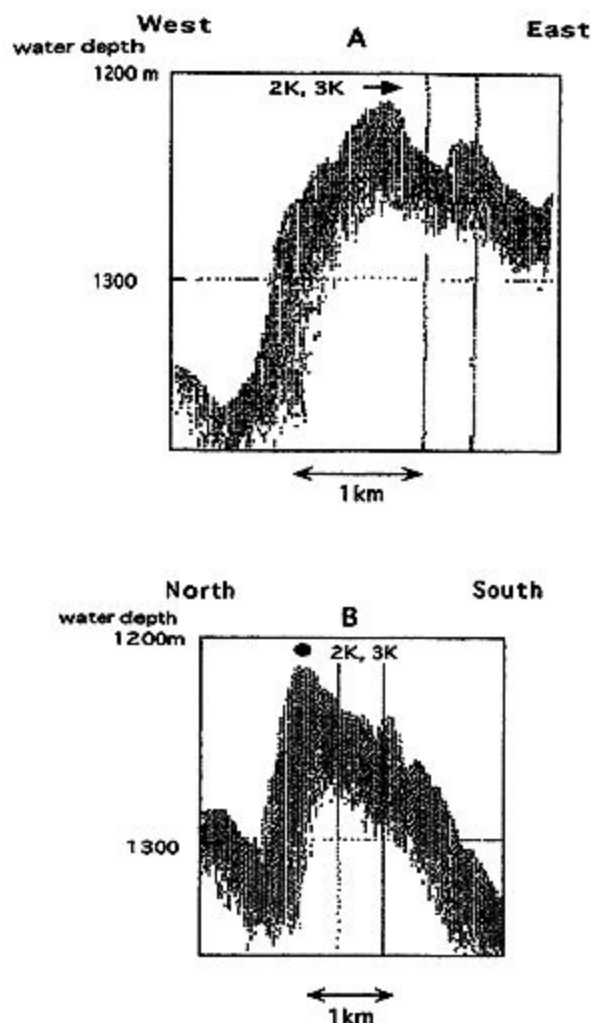


図3 PDRプロファイル。海嶺(トカラ鞍部)の頂部(Tokara Saddle)が今回の潜水調査地点。測線位置は図2。2K:「しんかい2000」、3K:「ドルフィン-3K」

Fig.3 PDR profiles of the summit of the Tokara Saddle and diving position by "Shinkai 2000" and "Dolphin-3K" locations. Locations are represented in Fig. 2. 2K: "Shinkai 2000", 3K: "Dolphin-3K".

いる。これがトカラ鞍部(Tokara Saddle)で、いわゆるケラマ・ギャップにおける琉球海嶺部の尾根にあたる。この鞍部の最深所は、幅1km前後の水深1,420mを超える水路状の谷となっている(図2中の(1))。これを「トカラ水路(Tokara Channel)」と仮称しておく。その北側により浅い水路がもう1本ある(図2中の(2))。これを「トカラ北水路(Tokara North Channel)」と仮称しておく。

1992年4月に長崎丸によってトカラ・ギャップ最深部付近から第四紀礫性石灰岩の小片がドレッジされた。そのような深度での礫性石灰岩の存在は、海底の相対的な

沈降を示唆するため、1992年は石灰岩の確認にターゲットをあてた。1992年5月、「しんかい2000」による潜水調査を行った結果、四万十帯に属すると思われる古期岩類の露出を確認したが、石灰岩を発見することはできなかった。そこで今回、1993年8月31日に「ドルフィン-3K」による事前調査、9月9日に「しんかい2000」による本調査が行われた(図2, 3)。

一方、沖縄本島と宮古島の間に位置している海域海底には、琉球海嶺の尾根の切れ目にあたるケラマ・ギャップがある。そこでも海嶺の尾根部が認められ、これをケラマ鞍部(Kerama Saddle)と呼ぶ。当域では、1991年に「しんかい2000」による潜水調査が行われ、ソウを含む陸上大型動物の可能性のある化石を採取できた(木村ほか, 1992)。そこで、今回は、より多くの化石を採取し確実なデータを蓄積するために、「しんかい2000」による潜水調査が計画された。ところが台風接近のため、「ドルフィン-3K」による事前調査のみが行われたのでその結果を報告する。1993年度の潜水調査域を含む周辺の海底地形及びPDR記録を図4, 5に示す。図6には、トカラ・ギャップとケラマ・ギャップ海域の水温の垂直変化を示す。ここで小論では、測線・測点の位置はGPSによるものを基準としWGS84を補正無しで用いた。東京datumへの補正をする場合はGPSの値に緯度については-0.24、経度については+0.12を加える。

2. 海底観察

2.1 トカラ・ギャップ

(1) 「ドルフィン-3K」第147潜航

1993年8月31日午前、「ドルフィン-3K」による「しんかい2000」潜航調査の事前調査が、トカラ・ギャップ北半部の海嶺状の高まり上で行われた(総指揮: 川名修生)(図7中の(1))。水深1,224mに着底し、水深1,224mで離底した。その間観察を行いながらサンプリングを行った。着底点付近は、砂質堆積物で覆われた平坦面で、エビや海綿類、クモヒトデ及び魚等が見られた。本域は、水深1,300~1,200mの間に比較的小傾斜の斜面をのぼりながら調査を行った。

今回の潜航で採取された岩石サンプルを表1に示す。St. 1(水深1,215m)とSt. 3(水深1,224m)では、砂質堆積物の上に転がる、表面に小さい穴がたくさんある軽石を採取した。St. 2(水深1,212m)は、本域の基盤岩である硬質砂岩の露出する岩場であった。そこで硬質砂岩を採取した(写真1-(1))。St. 4(水深1,224m)とSt. 5(水深1,224m)は、一面砂質堆積物で覆われた平坦面であ

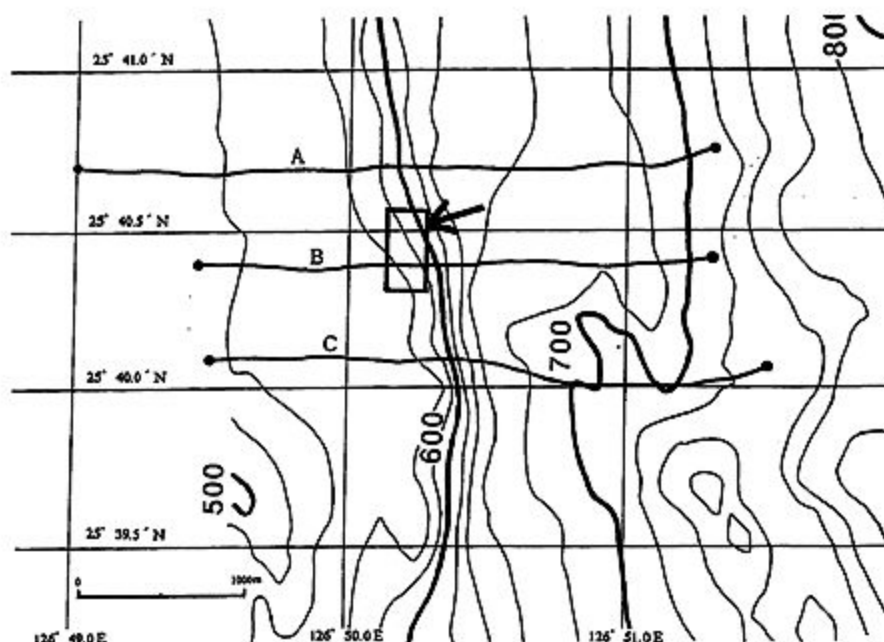


図 4 ケラマ・ギャップ潜水地点付近の等深線図 (単位は m)。ベース・マップは木村ほか (1992) より編集。矢印は「ドルフィン-3K」による調査域

Fig. 4 Topography in the vicinity of the surveyed site by "Dolphin-3K" in 1993. The base map was edited from Kimura *et al.* (1992). The arrow represents the pre-survey area by "Dolphin-3K".

る。St. 4の方では、地形的凸部にSt. 2で見られた硬質砂岩と思われるものが見られた。この2つの地点では、薄い堆積物の下に白色板状の石灰岩層が確認された (写真1-(2))。薄板が突出したような部分をマニピュレーターで採取した。それは、礫性石灰岩であった。ここでは、たまたま海底地形が断層により薄板状に浮き上がっていたので発見できた。このことより、断層崖の手前の砂質堆積物の下にも、石灰岩がある可能性が考えられる。

本潜水域全体を見てみると、海底面に古期岩類が露出している部分と、細粒から粗粒の砂質物で覆われている部分、そして断層によって海底面に露出したと思われる石灰岩露出部分の3つに大別された (図8)。露岩部分は、明らかに硬質砂岩と思われるが、所により全体的にごつごつとしていて塊状で、一見千枚岩のようにもみえる露頭もある。砂底部は、表面に白っぽい堆積物や泥質の薄層が見られた。リップル・マークが所々見えた。

(2) 「しんかい2000」第704潜航

本潜航調査は、1993年9月9日に行われた。観測者：木村政昭、船長：鈴木晋一、船長補佐：吉梅剛。潜航地点は29°12.50' N, 130°03.00' E, GPS (WGS84補正なし)。海象：天候bc, 風向NNW, 風力3, 波浪2, う

ねり3, 視程8哩。着底水深は1,215mで、海底は薄い細粒堆積物に被覆された露岩であった。

着底点の視程は7m, 水温2.78°C, 160°方向へ0.2ktの流速であった。結果的には、先に行われた「ドルフィン-3K」第147潜航地点の南数百mをほぼ平行に調査を行ったことになった (図7中の(2))。その結果、「ドルフィン-3K」の調査とほぼ同じように、潜水域は海底面に基盤岩が露出している部分と、細粒から粗粒の砂で覆われている部分、そして第四紀石灰岩露出域の3つに大別された。露岩部分は、表面が滑らかでかなり大きい砂岩と思われる岩場であるが、全体的にごつごつとしていて一見千枚岩のようにもみえたりする。砂底部は、表面に白っぽい堆積物や泥質の薄層が認められた。これは、マリン・スノーや現世堆積物であろうと思われる。リップル・マークが所々見られ、北東から南西の方向へ向かう底層流の存在を示唆させる。

St. 1 (水深1,208m) で、新期石灰岩の大露出地を発見した (写真1-(3))。とくに石灰岩は、比高1~2m, 長さ20~30mの断層崖で新鮮な露出面を見せていた。この崖の上の肩の部分の石灰岩を、マニピュレーターで砕きとって、その一部を採取することができた (写真2, 3)。石灰岩を切る断層崖は、北北東-南南西方向の走

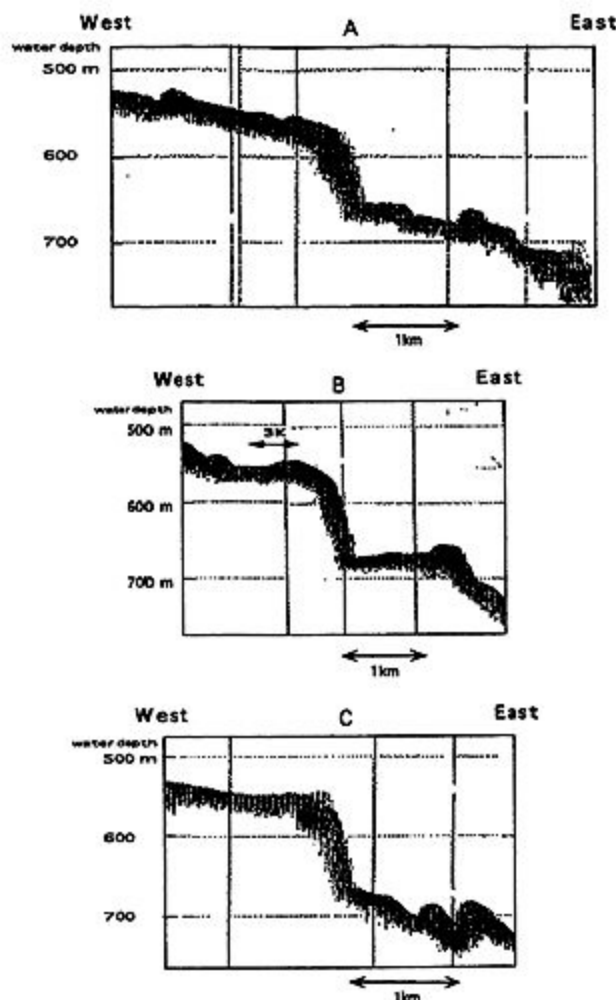


図 5 ケラマ・ギャップ調査地点の PDR 断面図。位置は図 4 に示す。

Fig. 5 PDR profiles at the Kerama Saddle. Position is presented in Fig. 4.

向で南東落ちである。この断層崖は、おそらく先に「ドルフィン-3K」で発見された石灰岩の比高の低い断層崖と連続していると考えられる。また、石灰岩上面は差別侵食により、硬い部分が残ったケスタ状の地形となっている（写真 1-(2), (3), 写真 2-(1), (2)）。

本調査によって得られたルートマップを図 8 に示す。図 9 はこれまでのデータをすべてコンパイルして作製した模式的な地質図である。ただし、完新世の堆積物は水路のものを除いて省略してある。

2. 2 ケラマ・ギャップ（「ドルフィン-3K」第 149 潜航）

1993 年 9 月 5 日午前、ケラマ・ギャップ南東部の事前調査が「ドルフィン-3K」により行われた（総指揮：川名修生）（図 10）。水深 545m に着底し、水深 555m で離

底した。その間観察を行いながらサンプリングを行った。着底点付近は、一面が平坦な岩盤で、所々に海岸の波浪侵食でみられるような小起伏が観察された。岩盤は、石灰岩や硬質礫岩で構成される。礫は比較的固結した薄い層を構成しているように見える。この層の上面の平坦面上の水深 554m からクジラの骨の化石が採取された。

調査域は、西から東へ緩やかに傾斜している。南北に走る東落ちの断層や西落ちの断層が認められた。得られた海底試料は表 2 に示した。以下に各ステーションについて説明する。

St. 1: 水深 555m の平坦な場所で、所々に円礫状の岩石や砂礫が見られる。ここでは、軽石とドーナツ状に穴のあいた岩石を採取した（写真 4-(3)）。

St. 2: 水深 554m で、岩盤に囲まれる凹地状の地形を示す。砂礫が比較的多い。ここでヒゲクジラの下顎骨化石と鑑定されたものを採取した。これは、マニピュレーターでようやく採取できたことから、礫層にはまりこんでいた様子がうかがえる。また、化石の手前にあった岩石を採取し、このステーションでマーカー・ブイを設置した。

St. 3: 水深 544m の平坦な場所で、薄く砂の堆積した所である。化石と思われる 5～6 cm の長さの小枝状のサンプルを採取した（ただし、浮上する際に紛失）。そのすぐ近くで、角礫状の岩石を採取。このポイントでは現生の生物が比較的多く見られた。

St. 4: は水深 542m で、砂礫の多い平坦な所である。ここで、チムニーの一部に似た筒状の岩石を 2 本発見し、1 本だけ採取できた。また、その周辺で、中央のくぼんだ皿状の岩石を採取した。ほかに、角礫状の石灰岩および軽石を採取した。

本潜航によって得られた海底表層地質図は図 11 に示される。

2. 3 海底試料

(1) トカラ・ギャップ

「ドルフィン-3K」及び「しんかい 2000」の潜航における調査で採取された岩石については、一部を除いて薄片を作り観察した。また、石灰岩については、粉末 X 線回折法により炭酸塩鉱物組成を分析した。そして、石灰岩中の小片並びにその表面を被覆する堆積物からのナノ化石による年代測定及び有孔虫による環境解析等を行った。

まず、「ドルフィン-3K」第 147 潜航で、トカラ鞍部より得られた岩石の鑑定は以下のようである。

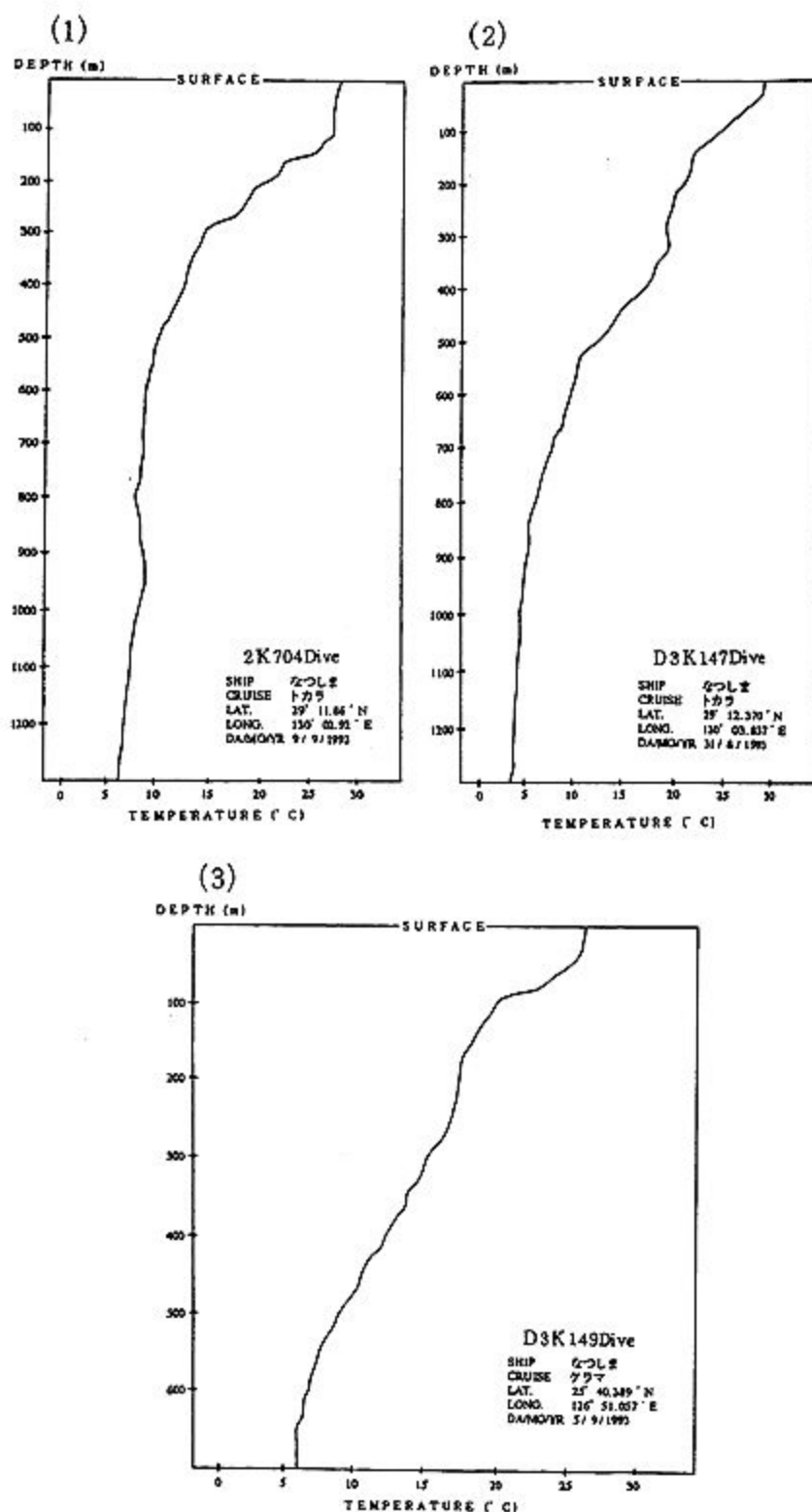


図 6 XBT グラフ。(1)「ドルフィン-3K」147 潜航時 (トカラ・ギャップ), (29°12.370' N, 130°03.837' E, 1993 年 8 月 31 日, 07:00-07:05), (2)「しんかい 2000」(トカラ・ギャップ), (29°11.86' N, 130°02.92' E, 1993 年 9 月 9 日, 12:43), (3)「ドルフィン-3K」(ケラマ・ギャップ), (25°40.389' N, 126°51.057' E, 1993 年 9 月 5 日, 06:29-06:31)

Fig. 6 XBT graph. (1) Tokara Gap ("Dolphin-3K" 147 Dive) (29°12.370' N, 130°03.837' E, 1993/8/31, 07:00-07:05), (2) Tokara Gap ("Shinkai 2000") (29°11.86' N, 130°02.92' E, 1993/9/9, 12:43), (3) Kerama Gap ("Dolphin-3K") (25°40.389' N, 126°51.057' E, 1993/9/5, 06:29-06:31).

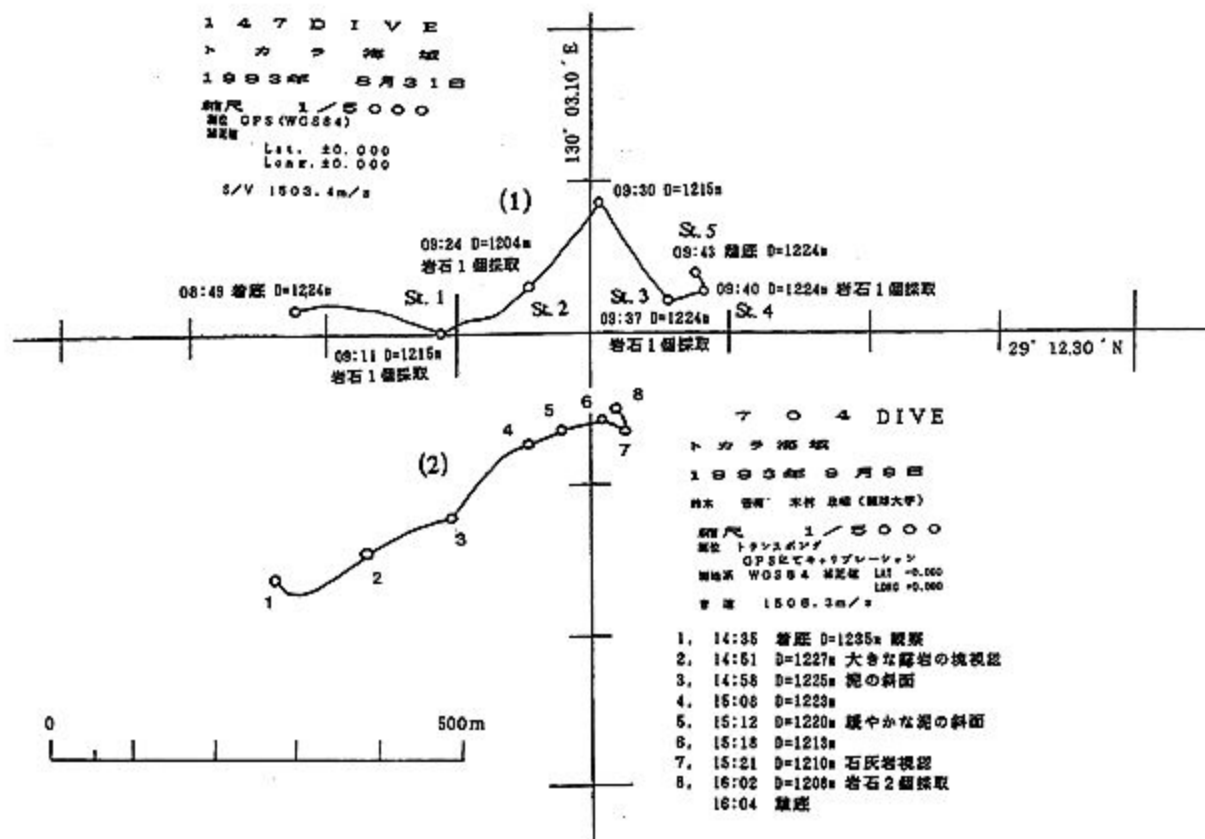


図7 トカラ・ギャップ潜航の測線図。(1)「ドルフィン-3K」第147潜航, (2)「しんかい2000」第704潜航
Fig. 7 Surveyed lines in the Tokara Gap. (1) "Dolphin-3K" 147 Dive. (2) "Shinkai 2000" 704 Dive.

3K147-2: 琉球海嶺上で発見された基盤岩である。写真1-(1)で示される水深1,212mのSt. 2で得られたサンプル。大きさは30×25×20cmである。これは、石灰質細粒砂岩である。表面は薄くマンガン酸化物に覆われている。石英脈が多数認められる。岩石薄片観察では石英粒が多く、長石はそれほど多くない。炭酸塩質鉱物の粒子が多い。マトリックスは炭酸塩質鉱物である。

3K147-5: 石灰岩(琉球石灰岩)(写真3-(2))。St. 5の水深1,224mで得られたサンプルで、大きさは、68×30×15cmである。上面は、薄くマンガン酸化物被覆がある。表面は軟らかいが、内部はかなり固結しており、ハンマーでたたいてもなかなか割れなかった。薄片観察では、マトリックスの部分はほとんどなく、生物片が集まっているのが分かる。石英などの鉱物は、数%程度であった。

「しんかい2000」第704潜航により得られた岩石試料は以下のようなものである。

2K704-2: calcareous arkose。石英粒が多い。次に炭酸塩質鉱物の粒子が多い。長石はあまり多くない。マ

トリックスは、炭酸塩質鉱物からなる。

2K704-1: 石灰岩(琉球石灰岩)(写真3-(1))。水深1,208mのSt. 1より得られたサンプルで、大きさは、52×18×11cmである。色は表面が淡灰色で、見かけは海岸の砂をそのまま固めたように見えた。しかし、この石灰岩はマニピュレーターで採取する際になかなか割れず、かなり固結した岩石である。薄片観察では、マトリックスの部分は非常に少なく、多量の生物片が集まって固まったようにみえる。粒子はそろっていて大きく、かつ円磨されていることが分かる。薄片全体で、石灰質部分が90%以上で、石英などの鉱物は数%であった。また、岩石中に遠洋性を示す底生有孔虫が見られない。これは、Dunham (1962) の石灰岩の分類では、部分的に基質が残った packstone といえる。

次に、表層堆積物については、表3のような組成が示された。3K147-2のサンプルでは砂の含有量は50%前後で、他は70%を超えていてどれもかなり砂質である。149μm以上のサイズのものについて砂粒の組成をみた。

3K147-2-1: 硬質砂岩の割れ目に入っていた軟質堆積

表1 トカラ・ギャップから得られたサンプル記録
Table 1 Samples recovered from the Tokara Gap.

潜航番号	サンプル番号	位置	深度 (m)	サンプル記載
「ドルフィン-3K」 第147潜航 1993年8月31日	3K147-1	St. 1 29°12.32'N 130°02.99'E	1,215	亜角礫状の軽石 30×25×20cm 薄いマンガン酸化物被覆
	3K147-2	St. 2 29°12.33'N 130°03.05'E	1,212	硬質砂岩 32×25×20cm 薄いマンガン酸化物被覆
	3K147-3	St. 3 29°12.32'N 130°03.16'E	1,224	亜角礫状の軽石 28×20×18cm 薄いマンガン酸化物被覆
	3K147-4	St. 4 29°12.33'N 130°03.18'E	1,224	礫性石灰岩 22×16×6cm 黄灰白色 薄いマンガン酸化物被覆 岩石中に貝片を多数含む
	3K147-5	St. 5 29°12.34'N 130°03.17'E	1,224	礫性石灰岩 68×30×15cm 上面は薄くマンガン酸化物被覆 岩石中に、貝化石を多数含む 岩石薄片の観察では wackestone- packstone
「しんかい2000」 第704潜航 1993年9月9日	2K704-1	St. 1 29°12.25'N 130°03.12'E	1,208	礫性石灰岩 52×18×11cm 灰白色～白色 岩石中に貝化石を多数含む 岩石薄片の観察では packstone- grainstone
	2K704-2	St. 2 29°12.33'N 130°03.05'E	1,212	古期岩類 (硬質砂岩) calcareous arkose

物。鉱物には輝石などが含まれる。浅海の生物片は認められない。また、底生有孔虫の全有孔虫に占める割合も4%と低いため、浅いところ(400~500m以浅)で堆積したようにみえない。

3K147-5-3: 石灰岩の表面の凹部に入っていたもの。鉱物片が52%と半分以上を占めている。鉱物は石英、長石、輝石等からなり、黒色の磁性鉱物を含んでいる。浅海の生物片は認められない。また、底生有孔虫の全有孔虫に占める割合も4%と低い。底生有孔虫の中で、砂質の有孔虫が多く、底生有孔虫の中に占める割合は44.4%と高い。砂質有孔虫は沖縄近海の水深1,000~3,000mから得られた底質サンプルからはあまりでてこない。含砂率は、約80%で砂質である(図12, 表3)。

3K149-2-2: クジラの骨化石の表面に付着した堆積物である。有孔虫以外の生物片では、翼足虫類を多数含

む。浅海性を示す生物片は認められない。

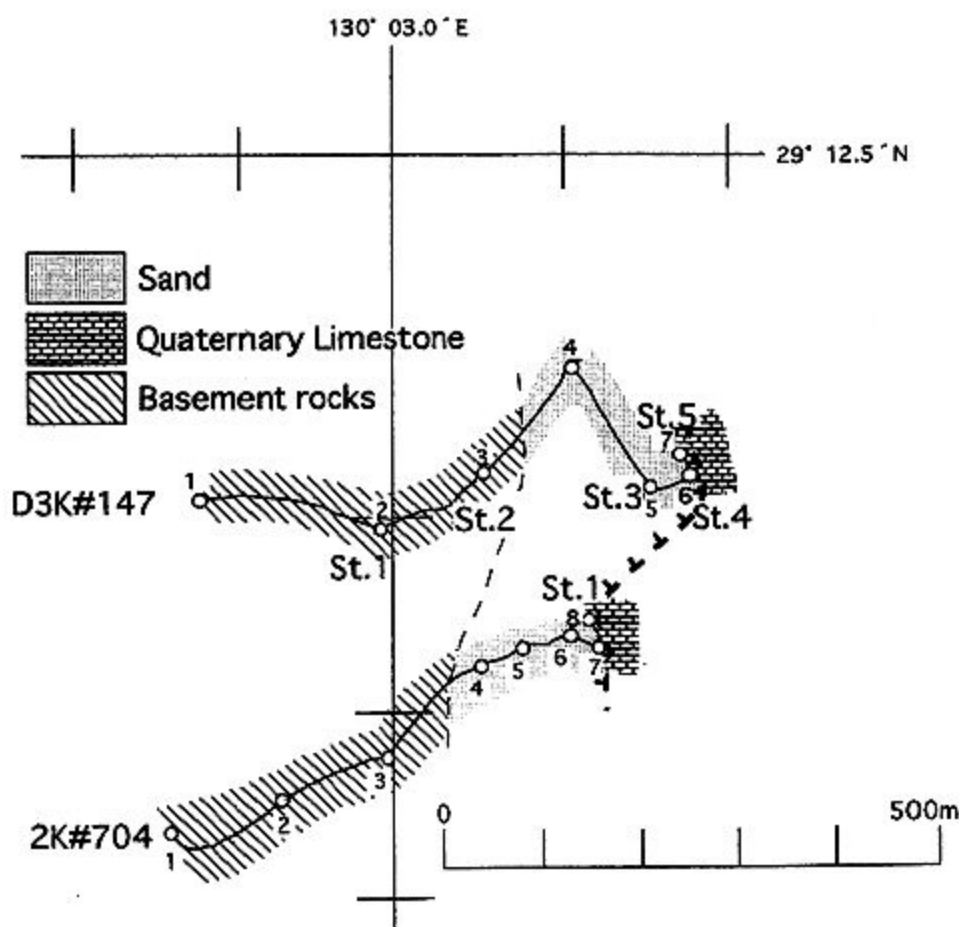
3K149-4-3: 付着物は翼足虫類、コケムシを含む。

2K704-1-1: 石灰岩の表面に付着した堆積物。炭酸塩でできた不明な生物片を多数含む。浮遊性有孔虫の含有量が少ない(6%)。浅海性を示す生物片は認められない。含砂率は約80%で砂質である(図12, 13, 表3)。

以上の5サンプルのすべてについて、浮遊性有孔虫に *Globorotalia truncatulinoides* が認められかつ *Globorotalia tosaensis* が認められないので、約60万年よりは新しい堆積物と考えられる。

(2) ケラマ・ギャップ

3K149-1-1: 石灰質泥岩。水深555mで得られたサンプルで、大きさは14×16×17cmである。中心には径4cmの円い穴が通ったドーナツ型をしている(写真4-(3))。表面は薄くマンガン酸化物に被覆されており、黒



ドルフィン3K (第147潜航 1993年8月31日)

- 1、D=1224m 着底
- 2、D=1215m St.1 岩石1個採取
- 3、D=1212m St.2 岩石1個採取
- 4、D=1215m
- 5、D=1224m St.3 岩石1個採取
- 6、D=1224m St.4 岩石1個採取
- 7、D=1224m St.5 岩石1個採取後、離底

しんかい2000 (第704潜航 1993年9月9日)

- 1、D=1235m 着底、観察
- 2、D=1227m 大きな露岩の塊視認
- 3、D=1225m 泥の斜面
- 4、D=1223m
- 5、D=1220m 緩やかな泥の斜面
- 6、D=1213m
- 7、D=1210m 石灰岩視認
- 8、D=1208m St.1 岩石2個採取後、離底

図8 トカラ・ギャップのルートマップ (「しんかい2000」, 「ドルフィン-3K」)

Fig. 8 Rout map at the Tokara Saddle.

色を呈す。検鏡したところ、主にミクライトからなり、わずかに有孔虫を含む。

3K149-1-2: 軽石。大きさは $9 \times 7 \times 6$ cm で、黄灰白色の亜角礫である。上部から落ちてきたように転がっていた。未検鏡。

3K149-2-1: 水深554mより得られたサンプルで、大きさは $6 \times 5 \times 1.5$ cm である。表面が薄くマンガン酸化物に被覆された、黒色の円礫。未検鏡。

3K149-3-1: 硬質石灰質岩。水深544mで得られたサンプルで、大きさは $14 \times 11 \times 8$ cm である。表面が薄くマンガン酸化物に被覆された、黒色～暗褐色の亜角礫。

検鏡したところ、主にミクライトからなり、X線回折を行なったところ、方解石とドロマイトのピークが強く現れた。

3K149-4-1: 砂質石灰岩。水深542mで得られたサンプルで、長さ42cm、径15～19cmである。中心に5～10mmの細い穴が通っている (写真4-(1), (2), 写真5-(1))。検鏡したところ、マトリックスはミクライトからなり、大きさのそろった石英粒子が3～5%認められた。また、有孔虫をかなり多く含む (写真5-(2))。X線回折の結果、カルサイトとドロマイトのピークが強く現れた。

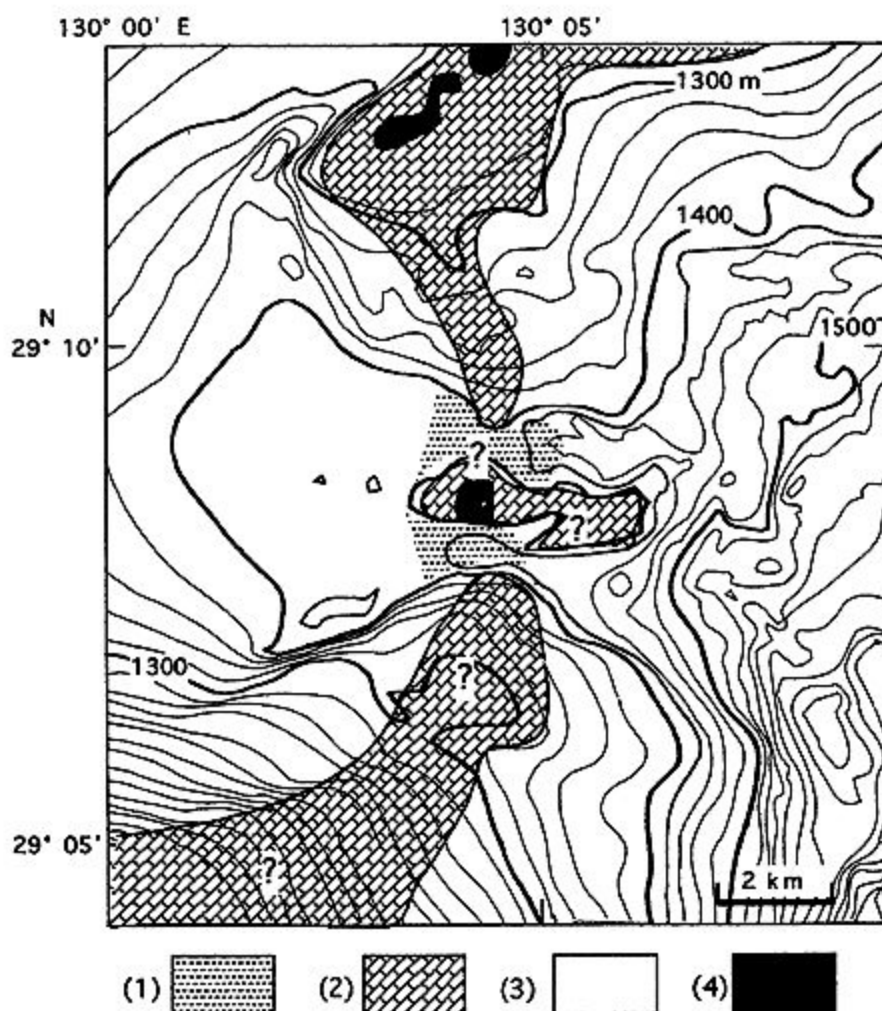


図9 トカラ・ギャップの地質図。(1) 完新世砂質堆積物, (2) 第四紀琉球石灰岩, (3) 先琉球石灰岩堆積物に被覆されている地域, (4) 基盤 (四万十帯)

Fig.9 Geologic map at the Tokara Saddle. (1) Holocene sandy sediment, (2) Quaternary Ryukyu Limestone, (3) Covered area by Pre-Ryukyu Limestone sediment, (4) Basement (Shimanto Belt).

3K149-4-2: 石灰岩。大きさは $16 \times 10 \times 4$ cm で、皿状に中央のくぼんだ岩石 (写真6-(1))。表面は薄くマンガン酸化物で被覆されている。検鏡した結果、基質はミクライトからなり、多くの有孔虫を含む様子が見られた (写真6-(2))。

3K149-4-3: 大きさは $10 \times 8 \times 7$ cm で、表面は、薄くマンガン酸化物で被覆されている。未検鏡。また、岩石の凹部に付着していた堆積物 (D3K149-4-3-①) については、翼足類及び、コケムシを含むことが分かった。

3K149-4-4: 大きさは $10 \times 8 \times 3$ cm で、表面が薄くマンガン酸化物で被覆された、扁平な礫である。3K149-4-1の岩石と同様である。未検鏡。

3K149-4-5: 軽石。大きさは $10 \times 7 \times 7$ cm で、亜角礫状で黄灰白色の軽石。上部から落ちてきたように海底に転がっていた。未検鏡。

2. 4 ケラマ・ギャップのチムニー状岩石について

ケラマ・ギャップの水深542mの一面平坦な岩盤 (石灰岩・泥岩礫からなる礫層) の表面に筒状の岩石を2本発見した。ここでの基盤は琉球石灰岩に対比されるものである (木村ほか, 1992)。礫層中にはまりこんだようになっている、1本だけ採取できた。一見チムニーが欠けて倒れたもののようみえた。長さ42cm, 径15~19 cmで、ややS字状にまがった炭酸塩質の岩石である。中心に径5~10mmの穴が通る特徴を持つ。表面はマン

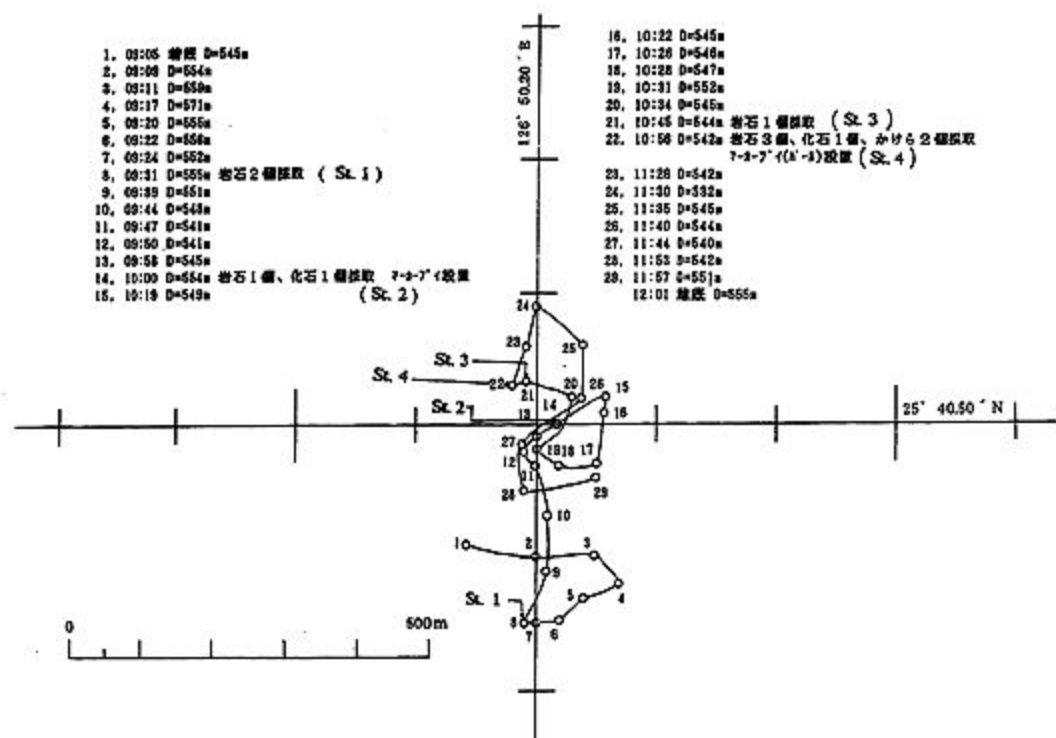


図 10 ケラマ・ギャップの「ドルフィン-3K」第149潜航の測線図
Fig. 10 Survey lines of the "Dolphin-3K" 149 Dive in the Kerama Saddle.

ガン酸化物により被覆され黒色を呈している。この岩石の成因については、次のような解釈が考えられる。

1) まず、鍾乳石（つらら石）の可能性が考えられた。つらら石は、石灰成分を溶かした地下水が、鍾乳洞の天井から滴下するときに晶出してできるものであり、主として炭酸塩岩類からなる。その特徴としては、形状が円筒状で中心に穴が通っており、同心円状の成長線が見られる。しかし、ケラマ・ギャップで得られた筒状岩石は、石英や有孔虫を含む石灰質砂岩であり、鍾乳石のような明確な成長線が認められないことから、明らかに鍾乳石ではないことが分かった。

2) 次に、ノジュールの一種ではないだろうかとの推測が立てられた。このタイプに属するものには、植物体を核として、土中の水酸化鉄や炭酸塩などが分離・濃集してできる「高師小僧」もしくは「黄土人形」と呼ばれるものがある。通常それらは、今回採取されたものに比べてかなり小型のものが多く、中には径数m以上にも及ぶものがあるとされる。St. 2が、かつて陸化していたと思われる所なので、当調査で得られた筒状岩石は、「高師小僧」もしくは「黄土人形」の一種である可能性は、否定できない。

そこで筒状石の切片を作り検鏡した結果、核となった植物体の存在は確認できなかった。また、そのような陸

上に露出した土壌と関係をもつのものであれば、筒状石中に花粉が多量に入っているもよいと思い調べた。しかし、胞子が一部検出されただけで、花粉は検出できなかった。その胞子については、空気中を漂っていたのが海中に落ちて乱入してもよい。

3) 海底で形成された石灰質チムニーの破片。本域で得られた中空円筒によく似た太く固い筒状物質が、南海トラフの水深3,800~1,900mの所で得られている。これは、アイソトープによる検討の結果、フィリピン海プレート沈み込みにより、海溝斜面に生じたシーページによる地下水のしみ出しによって生じた一種の炭酸塩質チムニーと考えられた (Sakai *et al.*, 1992)。今後そのような成因の可能性も探るべきであろう。

2. 5 大型化石

トカラ・ギャップの「ドルフィン-3K」第147潜航及び「しんかい2000」第704潜航で得られた石灰岩中に、化石（特に貝化石）が多数含まれていた（表4、写真2-(3)）。これらの生物相は、潮間帯付近の環境を示している。これまでの検討によると、それら貝化石及び岩相は、喜界島の上嘉鉄層の石灰岩のそれのようにみえる。上嘉鉄層は、5.5~6.5万年前の琉球石灰岩新期部層とされている（小西, 1980）。これは、最終氷期内の垂間氷期にあたる。

表2 ケラマ・ギャップより得られたサンプル
Table 2 Samples recovered from the Kerama Gap.

資料番号	水深	肉眼観察	薄片観察
3K 149-1-1	555 m	(大きさ) 16×14×7cm ドーナツ型, マンガン酸化物被覆 石灰質細粒岩	matrix は micrite 有孔虫はほとんどみられない
149-1-2	555 m	(大きさ) 9×7×5cm 亜角礫状, 黄灰白色 軽石	
149-2-1	554 m	(大きさ) 6×5×1.5cm 円礫状, マンガン酸化物被覆 石灰岩	
149-2-2	554 m	(大きさ) 106×15×10cm (重さ) 15kg マンガン酸化物被覆 ヒゲクジラ下顎骨化石	
149-3-1	554 m	(大きさ) 14×11×8cm 亜角礫状 石灰質細粒岩, マンガン酸化物被覆	matrix は micrite 有孔虫はほとんどみられない
149-4-1	542 m	(大きさ) 42×19×15cm 円筒状 マンガン酸化物被覆 砂質石灰岩	matrix は micrite 石英および有孔虫を多数含む
149-4-2	542 m	(大きさ) 16×10×4cm 皿状 マンガン酸化物被覆 石灰岩	matrix は micrite (赤褐色に変色) 有孔虫を多数含む
149-4-3	542 m	(大きさ) 18×10×7cm 亜角礫状 貝化石含む, マンガン酸化物被覆 石灰岩	
149-4-4	542 m	(大きさ) 10×8×3cm 扁平, マンガン酸化物被覆 149-4-1 と同種の岩石	
149-4-5	542 m	(大きさ) 10×7×7cm 亜角礫状, 黄灰白色 軽石	

※ 試料番号	位置
149-1-1 (St. 1)	25°40.35'N 126°50.19'E
149-2-1~2 (St. 2)	25°40.50'N 126°50.22'E
149-3-1 (St. 3)	25°40.53'N 126°50.19'E
149-4-1~5 (St. 4)	25°40.53'N 126°50.18'E

「ドルフィン-3K」第149潜航により、ケラマ鞍部西側斜面の水深552mの所 (St. 2) により、大型哺乳動物のものと思われる巨大な骨化石を採取した。これはケラマ石灰岩と称される礫層 (木村ほか, 1992) 中に埋積され、表面が露出していたものである。この大きさは106×15×10cmで、重さが約15kgで、表面は薄くマンガン酸化物で被覆されており、暗褐色～黒色を呈している。また、化石骨の露出面が平らに削られていた。鑑定の結

果、これは、鯨類の右側下顎骨で、中でも最大級のヒゲクジラのものである可能性があることがわかった。また、化石表面の凹部に付着していた堆積物 (D3K149-2-2-①) については、翼足類を多数含み、浅海性を示す生物片は認められなかった (表3, 図13)。

2. 6 年 代

(I) 有孔虫年代

トカラ・ギャップから採取された岩石表面に付着して

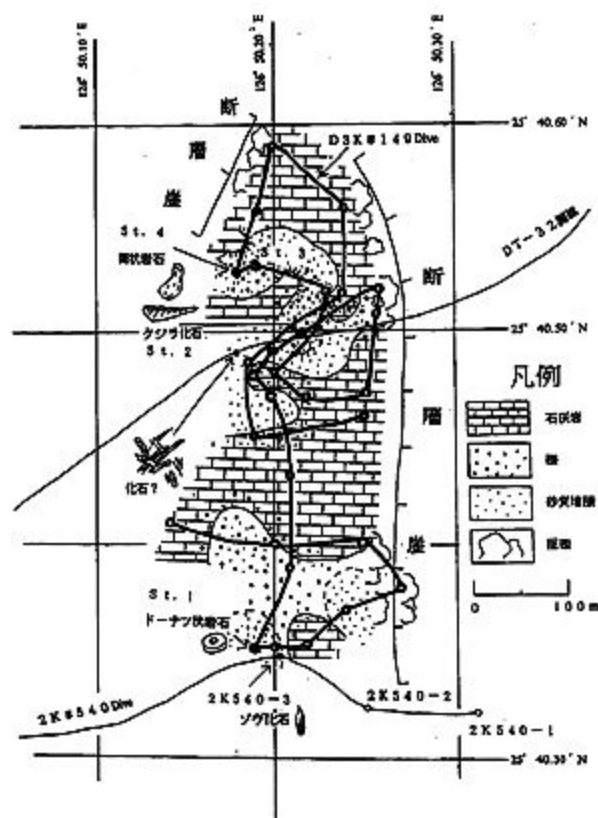


図 11 ケラマ・ギャップの表層地質図 (「ドルフィン-3K」ほか)

Fig. 11 Surface geologic map in the Kerama Saddle.

いた堆積物から浮遊性有孔虫を検出し、その年代を推定した。その結果、3K147-2-1 (硬質砂岩の割れ目に入っていた砂質堆積物)、3K147-5-3 (石灰岩の表面の凹部に入っていた砂質堆積物)、2K704-1-1 (石灰岩の表面の凹部に入っていた砂質堆積物) のサンプルすべてについて、浮遊性有孔虫に *Globorotalia truncatulinoides* が認められかつ *Globorotalia tosaensis* が認められないので約60万年よりは新しいと考えられる。産状からは、これらの砂質堆積物は、石灰岩の上に不整合的に堆積したものとみられる。

ケラマ・ギャップから得られた3K149-2-2 化石表面の凹部に付着していた堆積物と3K149-4-3 の岩石の凹部に付着していた堆積物についても、これらのサンプル中の浮遊性有孔虫に、*Globorotalia truncatulinoides* が認められかつ *Globorotalia tosaensis* が認められないので、約60万年よりは新しいと考えられる。

(2) ナノ化石年代

表5にナノ化石による年代測定結果を示す。表中のB (barrenの頭文字) は、ナノ化石が認められなかったものである。まず、トカラ鞍部から得られたサンプルに

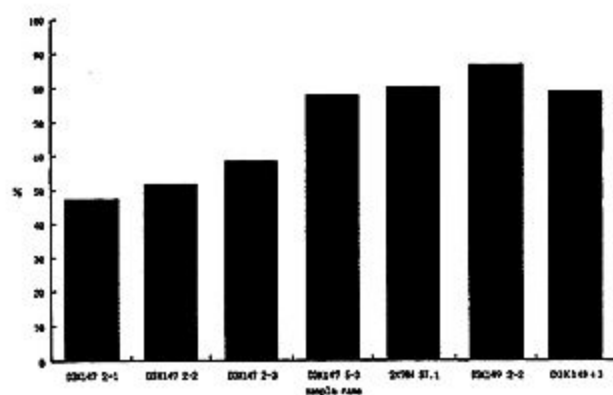


図 12 含砂率グラフ

Fig. 12 Content of sand grain.

について述べる。3K704-1のサンプルは、岩盤 (石灰岩) であるが、化石の保存が良くない。しかし、*Gephyrocapsa oceanica* が存在するので、CN14-15で第四紀といえる。Barggren *et al.* (1985) によると、1.66Ma以降のものということになる。すでに、これとよく似た石灰岩がこの付近で得られている (RN92D-1)。この石灰岩から検出されたナノ化石が、CN14あるいはCN15に対比され、わずかながら *Emiliana Huxleyi* が検出されることから、27万年より若い可能性もある (木村ほか, 1993)。したがって、今回の石灰岩は1.66Maより若く、かつ27万年よりも若い可能性のあるものといえよう。これは、琉球石灰岩に対比されてよいだろう。

その他はすべて、石灰岩及びその表面に付着している堆積物である。その他の石灰岩本体中からはナノ化石は認められなかった。その表面に付着した堆積物について、見かけ上最も古そうなものから新しそうなものまで区分して分析してみたが、ナノ化石上からはすべてCN15とでた。CN15は、Okada and Bukry (1980) のナノ化石帯で一番新しいもので、*Emiliana Huxleyi* が確認できたことを示す。Thierstein *et al.* (1977) によれば、*Emiliana Huxleyi* の初出現はisotope stage 8に相当し、27万年前より新しいことになる。これは27万年より若いものであることを示した。3K704については、すでに述べたとおりである。

次に、ケラマ鞍部のサンプルについて見てみる。3K149-1はドーナツ状の岩石で石灰岩片である。ナノ化石は認められなかった。3K149-4-1はチムニーに似た筒状岩石である。その中にもナノ化石は認められなかった。3K149-4-2は、皿状岩石である。この中にもナノ化石が認められなかった。

表 3 表層堆積物分析表。P. Fora: Planktonic foraminifera, B. Fora: Benthic Foraminifera, P.F.f.: Planktonic foraminifera, fragments, Other O.: Other organisms, V. gla.: Volcanic glasses, Radio.: Radiolaria. (1) 含砂率, (2) 砂粒組成 (個体数), (3) 砂粒組成 (%)

Table 3 Composition of the surface sediments. P. Fora: Planktonic foraminifera, B. Fora: Benthic foraminifera, P.F.f.: Planktonic foraminifera, fragments, Other O.: Other organisms, V. gla.: Volcanic glasses, Radio.: Radiolaria. (1) Sand content (%), (2) Composition of sandsized fractions (number), (3) Composition of sandsized fractions (%).

(1) 含砂率

Sample name	Sand con. (%)
3K147-2-1	47.45
3K147-2-2	51.96
3K147-2-3	58.78
3K147-5-3	78.17
2K704-1	80.57
3K149-2-2	86.91
3K149-4-3	78.99

単位は%

(2) 砂粒組成 (個体数)

Sample name	P. Fora.	B. Fora.	P.F.f.	Mineral	unknown	Other O.	V. gla.	Radio.	Total
3K147-2-1	121	5	30	121	85	29	62	2	455
3K147-5-3	145	5	41	252	12	22	1	5	483
2K704-1	21	7	13	128	23	175	1		368
3K149-2-2-①	132	33	13	2	14	141			335
3K149-4-3-①	206	37	54	9	1	288			595

単位は個数

remarks

D3K147-2-1: mineral は輝石ほか, *G. trunca* あり, 浅海性生物なし.

D3K149-2-2: 浅海性生物なし.

2K704-1: B.F.% = 19%

D3K147-5-3: mineral は長石, 石英, 輝石ほか, 黒色の磁性鉱物, *G. trunca* あり, 砂質有孔虫多い, 砂質: その他の底生有孔虫 = 146: 183 (146+183) × 100 = 44.4%.

(3) 砂粒組成 (%)

Sample name	P. Fora.	B. Fora.	P.F.f.	Mineral	unknown	Other O.	V. gla.	Radio.	Total
3K147-2-1	26.59	1.10	6.59	26.59	18.68	6.37	13.63	0.44	100
3K147-5-3	30.02	1.04	8.49	52.17	2.48	4.55	0.21	1.04	100
2K704-1	5.71	1.90	3.53	34.78	6.25	47.55	0.27	0.27	100
3K149-2-2	39.40	9.85	3.88	0.60	4.18	42.09	0.00	0.00	100
3K149-4-3	34.62	6.22	9.08	1.51	0.17	48.40	0.00	0.00	100

(%表示)

3. 考 察

3. 1 四万十帯上の琉球石灰岩

今回トカラ・ギャップから採取した石灰岩の年代については, CN14-15とて, 1.66Maより若いものであるということがわかった。1992年の「長崎丸」RN-92航海のドレッジで得られた石灰岩中に含まれていたナノ化

石の年代はCN14-15とでている (木村ほか, 1993)。今回得られた石灰岩もこれと調和的である。また, 喜界島 (図1) の石灰岩も岩相が似ており, しかも中に含まれる貝化石の種類が非常に似ている。喜界島の石灰岩にはコケムシ, アルガルボールが含まれ, そのほか生物片が大半を占めている。carbonate mineral の粒子も見ら

表 4 トカラ・ギャップより採取された石灰岩中の軟体動物化石

Table 4 Fossil mollusca composed of limestone recovered from the Tokara Gap.

サンプル番号	化石	備考
3K147-4	ミノガイ科 Family Limidae ハネガイ <i>Ctenoides lischkei</i> (LAMY)	本州以南 潮線下約 10 m
	イタヤガイ科 Family Pectinidae シゼツホタテ <i>Pecten (Serranovola) tricariatus</i> (ANTON)	本州中部以南
	フナガタガイ科 Family Trapezidae フナガタガイ <i>Trapezium</i> sp.	本州南部以南 潮線下
	腕足貝 <i>Pictothyris picta</i> (THOMSON)	
	フジツボ <i>Balanus</i> sp.	
3K147-5	フネガイ科 Family Archidae ミノエガイ <i>Samacur pacifica</i> (NOMURA et ZIMBO)	本州 (津軽) ~ 九州 —20~—250 m
	ザルガイ科 Family Cardiidae オキナワヒシガイ <i>Fragum lechooanum</i> (KIRA)	奄美大島以南 0~—10 m
	バカガイ科 Family Mactridae チヨノハナガイ <i>Raeta pulchella</i> (ADAMS et REEVE)	北海道以南 潮線下
	フジツボ <i>Balanus</i> sp.	
2K704-1	イタヤガイ科 Family Pectinidae <i>Chlamys</i> sp.	

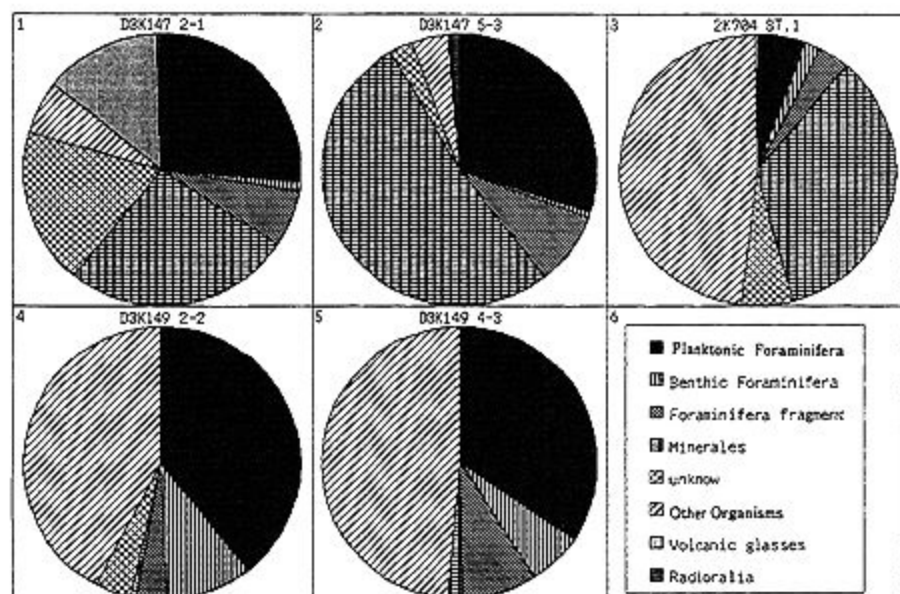


図 13 砂粒堆積物組成

Fig. 13 Composition of sand size fractions.

表 5 ナノ化石年代

Table 5 Age determination by means of nanno planktonic fossil.

Sample number	Material	Biostratigraphic zone
3K147-4	sediment covering limestone	CN 15
3K147-4	limestone	B
3K147-5	limestone	B
3K147-5-1	sediment covering limestone	CN 15
3K147-5-2	sediment covering limestone	CN 15
3K147-5-4	sediment covering limestone	CN 15
3K147-5-5	sediment covering limestone	CN 15
3K147-5-6	oldest sediment covering limestone	CN 15
3K149-1	limestone	B
3K149-4-1	limestone	B
3K149-4-2	limestone	B
2K704-1	limestone	CN 14-15
2K704-1	sediment covering limestone	CN 15

れ、大部分が再結晶している。Dunham (1962) の分類では、部分的に基質が残っている packstone である。したがって、今回の石灰岩は、1.66Maより若く、かつ5～6万年前のものという可能性があるものといえる。このような、琉球石灰岩に対比できる礁性石灰岩が、水深1,390mかそれ以浅から検出されたわけである。

トカラ・ギャップでは、基盤が露出しているらしいことは音波探査記録により指摘されていた(木村ほか, 1993)。1992年の「しんかい2000」によるサンプル採取により、硬質砂岩が露出していることが確認された。この砂岩は、沖縄本島に露出している四万十帯に属し、白亜紀ころ(約1億年前)の地層である名護層に対比された(木村ほか, 1993)。1993年の「ドルフィン-3K」第147潜航で得られた砂岩は、石灰質硬質砂岩で、1992年の「しんかい2000」第609潜航で得られたものと比べると、やや石英粒の量が異なるが、全体的にみてかなり類似している。よって、今回採取された硬質砂岩も名護層に属すると考えると、本域一体に露出している基盤岩は、白亜紀ころに堆積したものと考えられる。その岩石の上に、不整合を介して直接1.66Ma以降の琉球石灰岩がのっていることが今回確認されたわけである。南西諸島では、基盤岩と石灰岩の間には新第三紀の島尻層群等が堆積している。したがって6～1.6Maにはこの基盤岩露出域は陸であり、そのために島尻層群などが堆積しなかったか、あるいは、堆積後琉球石灰岩堆積前に侵食さ

れたかどちらかであると考えられる。その後、相対的な海面上昇によって、この基盤岩が海底面に没し、その上に礁性石灰岩が形成された。

今回採取された石灰岩の表面には、差別侵食によってできたと思われるケスタ状の侵食地形が認められる。その上を砂質堆積物が薄く覆っていた。この砂質堆積物の年代は、現在測定中であるが、これとほぼ同じものと考えられる1992年の「しんかい2000」第609潜航において得られた砂質堆積物のコアのタンデトロンによる¹⁴C年代測定の結果からは、約7,800年前という値が得られている。これから、石灰岩堆積後、本域は再び陸もしくは浅海の状況にあり、石灰岩表面を侵食し、その後砂質堆積物がたまり、少なくとも約7,800年前から後に現在の水深に近い深さまで沈降したと考えられる。

次に、トカラ・ギャップ最深部の露岩について考察する。そこは、1992年の「しんかい2000」第609潜航において調査された。最深部付近の高まりで、基盤岩である硬質砂岩の露出が確認された。しかし、石灰岩の露出は認められなかった。そこで石灰岩が見つからなかった理由は、次の2つが考えられる。1つは、もともとトカラ・ギャップ中央部は他の部分よりかなり低く水路として存在し、そのため石灰岩が形成されなかった。もう1つは、1992年には鞍部の軸に沿って航走したためというものである。したがって、尾根にあたる部分しか見ていないことになる。1993年潜航の際には、地形的に高いところには古期岩類が露出していて、その縁辺の平坦地に

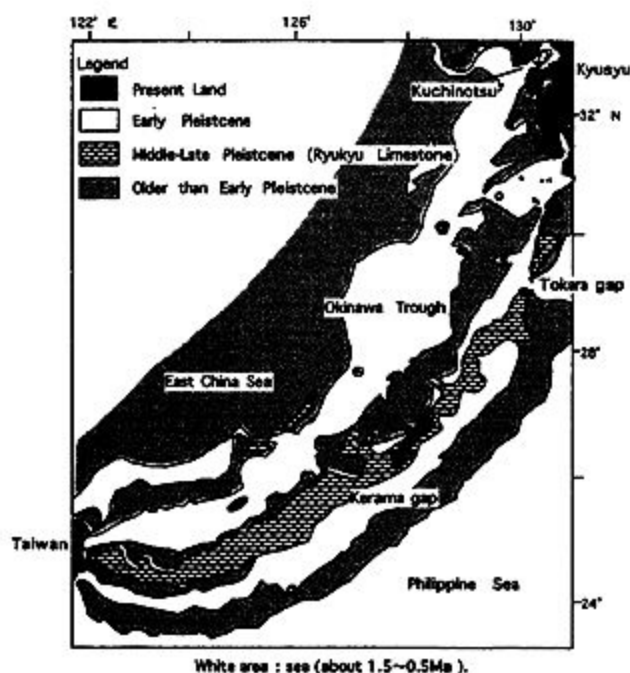


図 14 琉球海嶺及び付近地質図

Fig. 14 Geologic map of the Ryukyu Arc and its vicinity.

第四紀石灰岩の分布がみられた。そうすると、最深部でも尾根の縁辺部に石灰岩が見つかる可能性が考えられる。もし前者であったとすると、高まりの上に非石灰岩質堆積物層があってもよいと考えられる。よって、古期岩類上にそれ以前の堆積層が認められない現在は、後者の理由によって中央部に石灰岩が堆積しなかったと考えるのがより合理的と思われる。

この場合には、さらに以下の推測がなされる。

① トカラ・ギャップ中央部の基盤岩は、石灰岩堆積時にはその周りに比べかなりの高まりであり、この部分だけが陸化して石灰岩が堆積しなかった。

② トカラ・ギャップ中央部の基盤岩の上に石灰岩が堆積（更新世中期）したが、その後侵食された。

①の場合は石灰岩堆積時には陸化したことを考えなければならぬ。②の場合は、石灰岩堆積後の侵食が侵食基準面以上で行われたかが問題となる。すなわち、海峡が形成され海底侵食が行われたという考え方と、そうではなく陸化した際侵食されたのであるという考え方にわかれよう。これについては、古期岩類の上にかなり広く第四紀堆積層が見つからないということから、深海海底での侵食は難しいと思われる。第四紀の琉球石灰岩堆積時は、侵食基準面以上のレベルにあったと考えるのが合理的にみえる。

過去の調査結果と合わせると、図9のような予察的な

地質図ができあがる。これによると、島尻層群堆積時ケラマ・ギャップは古陸（相場・関谷，1979）の一部であった可能性が否定できない。図14で示される2か所のギャップについては、新期の堆積層で被覆されている可能性があるかもしれない。島原半島に認められる1.8Maころの口之津層群大屋層は非海成層である（岡口・大塚，1980）。したがって、このころはトカラ海峡は閉じていてよい。しかし、その後1.5Maよりあとには同層群の北有馬層という海成層が認められる。したがって、このころはトカラ海峡が開いていた方がよいわけである。そのことも考え合わせると、トカラ水路の下には、1.5Ma以降の海成層が堆積してよいことになる。今後この点はボーリングで確認すべきであろう。

その後琉球石灰岩堆積後、トカラ・ギャップは、侵食基準面以上になった。おそらく陸化した可能性が高い。最深部の方もその際侵食を受けて、四万十帯の岩石が露出したのであろう。その後沈水し、その上におそらく10,000年前以降の粗粒堆積物が堆積した。2本の水路は、おそらく1万年前以降は粗粒堆積物がたまるような浅い水域であった可能性が高い。そこは潮間帯を形成していたかもしれない。

3. 2 ケラマ・ギャップの石灰質礫岩類について

今回、水深554m、一面平坦な岩盤（石灰岩・泥岩礫からなる礫層）の表面から、「ドルフィン-3K」によりヒゲクジラの下顎骨と思われる化石を採取した。これは、海底に張り付いたようになっていたためマニピュレーターで時間をかけてからうじて採取できたものである。大きさは、106×15×10cm、重さは約15kgで、緩くカーブした半円筒形をしており、露出面は平らに削れていた。表面はマンガン酸化物に被覆され黒色を呈しているが、内部は茶褐色で、粗密な組織構造が見られる。

過去の調査においては、この付近でゾウ類を含む陸上哺乳動物と鑑定された化石が見つかった（「しんかい2000」第540潜航）（木村ほか，1992）。また、1989年の深海曳航調査においても、複数の化石らしきものが、この周辺で認められている。これらは共通して、平坦で固結した礫層表面に露出していた。

今回化石のほかに筒状岩石やドーナツ状岩石及び皿状岩石が得られた。これらの得られている同一場所から今回クジラ化石骨が得られたのである。それらの成因に共通した要因はないであろうか。それらは、地形的に見て侵食平坦面を被覆する堆積物中及び表面から採取されたものである。その堆積物は、固結した石灰岩や石灰質

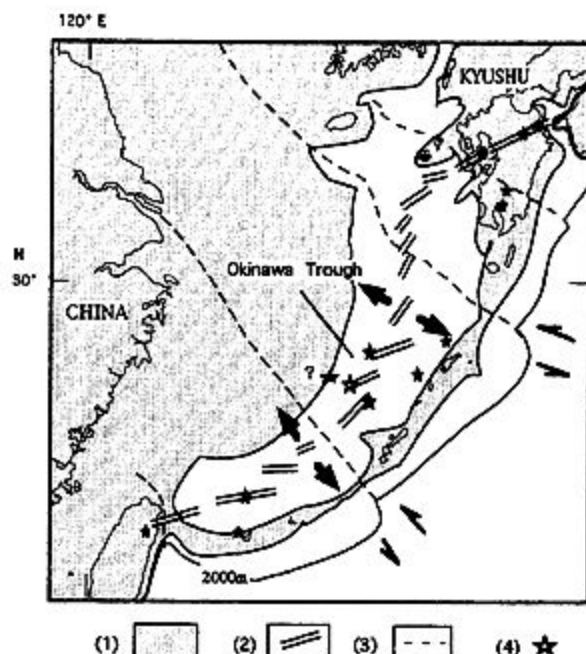


図 15 琉球海嶺-東海大陸棚テクトニック・マップ。(1) およそ 2 万年前の陸域, (2) 沖縄トラフの中央地溝, (3) 深部シヤ, (4) 熱水域

Fig. 15 Tectonic map of Ryukyu Arc to Tungkai Shelf areas. (1) Land (0.02 Ma), (2) Central rift of the Okinawa Trough, (3) Deep shear, (4) Hydro-thermal sites.

泥岩・砂岩等からなる礫層である。

① その共通要因の 1 つは、それらの基盤にあたるものは琉球石灰岩であるということである。その上に生じた変異ということになる。

② ここで本域の地史をたどると、琉球石灰岩形成後は、一度陸化した形跡がある。その辺の事件と関連がないか。

③ ドーナツ状石と筒状岩石は成因的に関係ありそうにみえる。筒石については、これまでのサンプルの中で最もよく似ているのが、炭酸塩質チムニー片である。

もし、この筒石が③のようなシーページによるものとする以下のようなことが想像できる。10~12 万年前に、港川石灰岩と那覇石灰岩との間の不整合で示されるように、琉球列島の大幅な隆起が示唆される。この隆起は琉球弧全体が東西から北西-南東方向の圧縮を受けたためと考えられる。この圧縮応力により地下水のしみだし、すなわちシーページが多く生ずる可能性がある。この際海底で炭酸塩質チムニーが多数できたかもしれない。その後、浅海化して温度上昇等によりドロマイト化が起こる可能性がある。このチムニーもドロマイト化作

用を受けたであろう。また、陸化も行われ、表面が乾燥し、堆積物表面に六角板状亀裂が生じる。その亀裂に淡水がしみこみ、ふちの盛り上がった皿状岩石ができる。次に、海嶺部が低下し水没すると、その海にクジラの骨が落ちる。そこへ、陸上の洞穴に堆積していた陸上哺乳動物も海底に洗い出される。

以上のような出来事が想像できるが、これは今後化石自体の正確な年代や岩石のアイソトープ等による検討が必要となる。もし、筒状岩石が炭酸塩質チムニーであれば、日本の浅海では初めての発見ということになる。

3. 3 第四紀地史とテクトニクス

過去の調査においても、すでに述べたようにケラマ・ギャップの侵食平坦面と思われる固結した石灰岩の上からゾウ化石と思われるものが採取されている。その石灰岩を不整合に被覆する石灰質堆積物(ケラマ石灰岩)中の翼足虫殻の¹⁴C年代値は約 4 万年前とされており、その上を不整合的に被覆する正常な砂質堆積物(ケラマ砂礫層)基底の貝及び有孔虫からは約 2 万年前という値が得られている(木村ほか, 1992)。これらのことから、琉球石灰岩堆積後 4~2 万年前ごろに、海退にともなう石灰岩段丘形成作用があったことが考えられる。それによって、琉球石灰岩が侵食され、その際、陸生・海生生物の遺骸などを取り込んだ新しい石灰岩が、琉球石灰岩上部に堆積したと考えられる(ケラマ石灰岩)。また、その後 1.8 万年前のウルム氷期最盛期に再び陸化した可能性があるとと思われる。この間に、断層運動にともなう陥没や、隆起が起こっていたと考えられる。

今回ケラマ・ギャップで得られたサンプルは、化石以外はすべて石灰質礫の類である。これらは琉球石灰岩由来のものともみなされる。ケラマ・ギャップに関しては新たな年代測定試料はないが、これらの礫や化石は、海底表面に露出しているところからおそらく、ケラマ砂礫層堆積前かそれ以降の侵食期に形成されたものと思われる。そして、トカラ・ギャップとケラマ・ギャップの両方の成果を合わせると、以下のように木村ほか(1993)の結論を支持する結果が得られる。

① 琉球石灰岩堆積前 1.5~1 Ma には、琉球海嶺全域にわたって陸化あるいはそれに近い状態であった可能性が考えられる。しかしすでに述べたように、トカラ海峡の水路(トカラ水路、トカラ北水路)は開いていた可能性が高い。

② 次に、琉球石灰岩堆積後、今から 20 万年ほど前から陸化がはじまったが、その時には、トカラ・ギャップの水路は砂の堆積するような環境であった。その幅は

1~1.5kmほどであるから、基本的には、この部分も陸化に近い状態であったことが想像できる。

③ トカラ・ギャップとケラマ・ギャップで認められた左横ずれ運動は、沖縄トラフの拡張と密接な関係のあることが予想された(木村ほか, 1993)。近年の東海大陸棚の地質構造の研究(Chang, E., 1993)と南西諸島海溝軸の変位とから、図15に示されるような深部でのシア帯(大断層)が推定される。この推定断層は、インドの北上により、ユーラシア・プレートの自由境界面が東方に押し出されたときのシア・ゾーンにあたる可能性がある。大局的には、この2つの横ずれ大断層が沖縄トラフを開かせたことになったという考え方もできよう。そして、トカラ・ギャップとケラマ・ギャップの横ずれ運動もそれを反映したものともみなすことができるかもしれない。

4. ま と め

① トカラ鞍部北部の水深1,200m付近には、このあたりの基盤岩である古期岩類の上に琉球石灰岩相当層が不整合的に堆積していることが確認された。トカラ・ギャップの石灰岩は、潮間帯の貝化石を多数含む礫性石灰岩であり、それが水深1,200mを超す現在の深さで堆積したとは考えにくい。本域が石灰岩堆積後に沈降したことが考えられる。この第四紀石灰岩中に含まれる化石(主に貝化石)や岩相は、喜界島の上嘉鉄層の石灰岩とよく似ている。

② 「しんかい2000」第704潜航の調査により、この石灰岩層を切る北北東-南南西走向の西落ちの断層が認められた。

③ トカラ、ケラマ両ギャップの海底の石灰岩の表面には侵食平坦面と思われるものが広く認められた。その平坦面上に礫がのっている。今回ケラマ・ギャップの海底表面から採取された化石は、ヒゲクジラの下顎骨であると鑑定され、露出面は平らに削れていた。1992年には、その付近からゾウ類の可能性のある化石が採取され、その他にも化石らしいものが認められることから、調査域にはかなりの数で化石を産出していることが推測される。以上のことから、この石灰岩堆積後、本域は陸上もしくは浅海で侵食されたことが考えられる。

④ 以上の結果とこれまでの調査を検討した結果、琉球海嶺域は、2Ma以降広く陸化したことが、150~50万年前ころには水路によって切られていたと推定される。また20万年前以降の琉球海嶺全域にわたる大幅な陸化時期が推定されているが、その時にもトカラ・ギャップには水

路があったと推定される。しかし、それは幅1km前後のものでしかもかなり浅い環境であったことが推定される。

⑤ トカラ・ギャップとケラマ・ギャップは、インド・プレートの衝突によるユーラシア・プレート東部の東方へのせりだしによるシア帯がその成因と関係するかもしれない。

今後の問題点としては、今回発見されたトカラ・ギャップの石灰岩及びすでに発見されているケラマ・ギャップの石灰岩の正確な海底での分布を知る必要がある。また、トカラ水路下の地層について、深海掘削での確認が持たれる。そして、ケラマ・ギャップの化石が採取された地点には、多数の化石が密集している可能性が高い。ゾウと推定されるような重要な化石が得られているが、これは骨格のごく一部にすぎない。鑑定に耐える十分なサンプリングが望まれる。

謝 辞

研究にあたり、段野洲興、川名生修氏をはじめとする「しんかい2000」、「ドルフィン-3K」の関係者、石田貞夫船長をはじめとする「なつしま」の関係者の方々には、大変お世話になった。さらに、琉球石灰岩鑑定では長井孝一氏に、花粉分析では黒田登美雄氏、基盤岩類の鑑定においては新城竜一氏に教示いただいた。また、円筒状岩石中に木の根等の材が残されていないかどうかの鑑定にあたっては林弘也氏に協力いただいた。鍾乳石については、仲地政英氏に色々のご指導を賜った。また、筒状岩石の切断・研磨は沖縄県の塩川園石材の協力を得た。川井田敏久君をはじめとした学生諸君には、試・資料整理に助力を得た。以上の方々に対し紙面をもって感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 相場惇一・関谷英一(1979): 南西諸島周辺海域の堆積盆地の分布と性格, 石油技術協会誌, 44(5), 97-108.
- Barggren, W.A., D.V. Kent and J.A. van Couvering (1985): "Neogene geochronology and chronostratigraphy," p 211-260. In: The Neogene: Part 2.
- Dunham, R. (1962): Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture, 108-121.
- Chang, E. (1993): Source-reservoir-sea assemblages

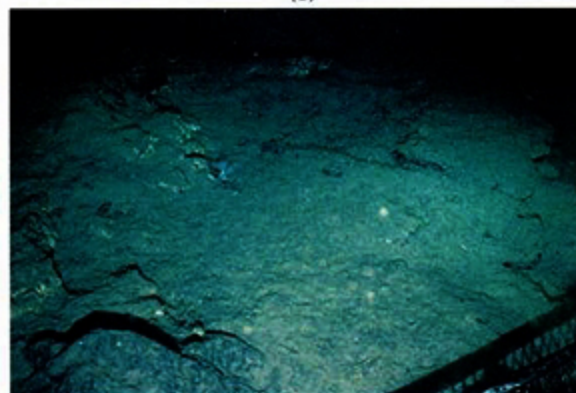
- and play type, East China shelf basin. Stanford-China Geosciences Industrial Affiliates Program, 3-4 June, 1993 (oral talk).
- 木村政昭・松本 剛・中村俊夫・大塚裕之・西田史朗・青木美澄・小野朋典・段野洲興 (1992): 沖縄トラフ東縁ケラマ鞍部の潜水調査—ウルム氷期の陸橋か?—. しんかいシンポジウム報告書, 8, 107-133.
- 木村政昭・松本 剛・中村俊夫・西田史朗・小野朋典・青木美澄 (1993): トカラ海峡の潜水調査—沖縄トラフ北部の東縁のテクトニクス—. しんかいシンポジウム報告書, 9, 283-307.
- 小西健二 (1980): 陸に上がったサンゴ礁—南海の喜界島で15年—. 自然, 1980年5月号, 46-56; 6月号, 62-72.
- Okada, H. and D. Bukry (1980): Supplementary Modification and Introduction of Code Numbers to The Low-Latitude Cocolith Biostratigraphic Zonation (Bukry, 1973, 1975). Mar. Micro-paleontol., 5 (3), 321-325.
- 岡口雅子・大塚裕之 (1980): 口之津層群における凝灰岩および竜石層中の安山岩のジルコンのフィッシュン・トラック年代. 第四紀研究, 19 (2), 75-85.
- Sakai, H., T. Gamo, Y. Ogawa and J. Boulegue (1992): Stable isotopic ratios and origins of the carbonates associated with cold seepage at the eastern Nankai Trough. Earth and Planetary Science letters, 109, 391-404.
- Thierstein, H.R., K.R. Geitzenauer, B. Molino and N.J. Shackleton (1977): Global synchronicity of late Quaternary coccolith datum levels: validation by oxygen isotopes. Geology, 5, 400-404.

(原稿受理: 1994年6月30日)

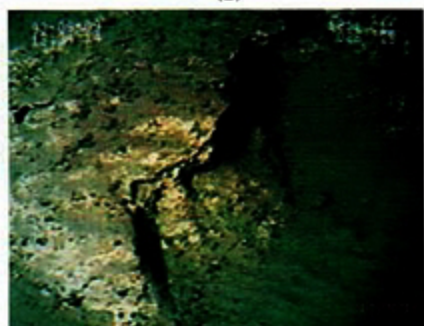
(注) 写真は次ページ以降に掲載



(1)



(2)



(3)

写真 1 トカラ鞍部の海底。(1) 露出する基盤岩 (古期岩類) (「ドルフィン-3K」第 147 潜航, St. 2), (2) 古期岩類 (写真手前) を不整合に被覆する第四紀石灰岩層 (表層堆積物下に白く見える) (同) (St. 4), (3) 「しんかい 2000」第 704 潜航によって発見された第四紀石灰岩露頭 (St. 1)

Photo 1 Outcrop of the basement in the Tokara Saddle. (1) Outcrop of basement (older rocks) and Quaternary sediment (flat part) (St. 2, "Dolphin-3K", Dive 147), (2) Quaternary limestone (white part beneath the thin veneer of sediment), unconformably covering the basement rocks (St. 4, "Dolphin-3K", Dive 147), (3) Quaternary limestone outcrop discovered by "Shinkai 2000", Dive 704 (St. 1).



(1)



(2)



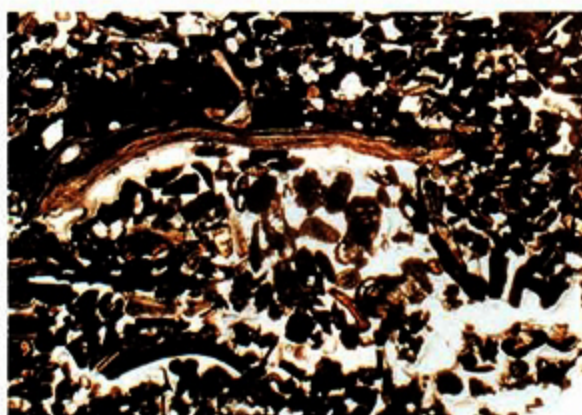
(3)

写真 2 トカラ鞍部より採取された石灰岩サンプル。(1) 2K 704-1 の第四紀石灰岩。上から見たところ。52×18×11 cm, (2) 同サンプルを側方から見たもの。上部が海底に露出していた面である。表面は、石灰岩の層理を斜めに削削している様子が認められる。これは不整合と思われる。(3) 3K 147-4 より得られた石灰岩中の貝化石 (シゼツホタテ)

Photo 2 Quaternary limestone recovered from the Tokara Saddle. (1) Limestone specimen, (2) The top of the specimen shows an erosional surface of limestone bedding, which is probably unconformity plane, (3) Fossil mollusca (*Pecten* (*Serratovola*) *tricariatus*) in limestone of D3K 147-5 from the Tokara Saddle.



(1)



(2)

写真3 トカラ・ギャップより得られた第四紀石灰岩の顕微鏡写真。(1) 2K 704-1。写真視野は11×16 mm。オープン・ニコル。(2) 3K 147-5。11×16 mm, オープン・ニコル

Photo 3 Microscopic photos of Quaternary limestone recovered from the Tokara Saddle (2K 704-1). (1) 2K 704-1: The view is 11×16 mm under open nicol, (2) D3K 147-5: The view is 11×16 mm under open nicol.



(1)



(2)



(3)

写真4 ケラマ・ギャップより得られた石灰質礫。(1) 筒状石を上から見たところ。(2) 筒状石の横断面。中心付近に小穴が通っている。(3) ドーナツ状石

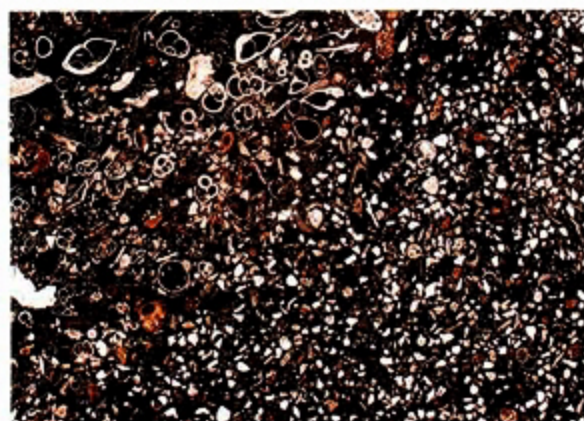
Photo 4 Calcareous gravels recovered from the Kerama Gap. (1) Chimney-shaped pipe (3K 149-4). (2) Cutting surface of the rock. A conduit is seen at the center of the pipe, (3) Doughnut-shaped gravel.



(1)



(1)



(2)



(2)

写真 5 チムニー状岩石。(1) 縦断面。中心部に穴が通っているのが認められる。(2) 顕微鏡写真

Photo 5 Picture of chimney-shaped pipe (3K 149-4).
(1) Cutting surface of the pipe. Central conduit is clearly observed, (2) Microscopic picture of the pipe (calcareous sandstone).

写真 6 皿状石。(1) 上から見たところ。(2) 顕微鏡写真

Photo 6 Dish-shaped calcareous sandstone (3K 149-4).
(1) Dish-shaped gravels, (2) Microscopic picture of the sample.