

トカラ海峡の潜水調査 ー沖縄トラフ北部東縁のテクトニクスー

木村 政昭^{*1} 松本 剛^{*2} 中村 俊夫^{*3} 西田 史朗^{*4}
小野 朋典^{*1} 青木 美澄^{*5}

「しんかい2000」第609潜航(1992)によるトカラ鞍部への調査潜水の結果、四万十帯白亜紀の名護層に対比される古期岩石が平坦面上に広く露出していることがわかった。トカラ鞍部とは、トカラ海峡(トカラ・ギャップ)下に認められ、同海峡を横断する、海嶺状地形である。また、長崎丸によるRN92航海により、その近くでナンノ化石から0.91Maより若いと推定される石灰岩(琉球石灰岩)が露出していることがわかった。調査により得られた海底試料の分析の結果を加えると、この鞍部は更新世後期に陸化していた可能性が認められる。これに、すでに行われたケラマ・ギャップでの潜水調査結果等をあわせ考えると、およそ3万~2万年前は、中国大陸-南西諸島-九州をつなぐ陸橋が存在したことが示唆される。また、これら一連の調査により、沖縄トラフ東縁(琉球海嶺)を変形させている断層と海底地形との関係は、沖縄トラフ中央地溝の拡張運動を直接反映していることが明らかになった。

Diving Survey in the Tokara Strait : Tectonic Development of the Eastern Margin of the North Okinawa Trough

Masaaki KIMURA^{*4} Takeshi MATSUMOTO^{*7} Toshio NAKAMURA^{*8}
Shiro NISHIDA^{*9} Tomonori ONO^{*6} Misumi AOKI^{*10}

Wide exposure of Cretaceous rocks (Nago formation) of the Shimanto Terrane was found on the flat terrace at the Tokara Saddle located in the eastern margin of the North Okinawa Trough by the diving survey of submersible "Shinkai 2000" in 1992. The Tokara Saddle is a ridge crossing the Tokara Strait. Ryukyu Limestone younger than 0.91 Ma was recovered

-
- * 1 琉球大学理学部
 - * 2 海洋科学技術センター深海研究部
 - * 3 名古屋大学年代測定試料研究センター
 - * 4 奈良教育大学教育学部
 - * 5 日本海洋事業株式会社
 - * 6 College of Science, University of the Ryukyus
 - * 7 Deep sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center
 - * 8 Dating and Materials Research Center, Nagoya University
 - * 9 Department of Earth Sciences, Nara Univ. Education
 - * 10 Nihonkaiyozigyo Corp.

by dredging from the exposure at the Tokara Saddle during the cruise of "Nagasaki-maru" (RN92) in 1992. Those evidence strongly suggests that the Tokara Saddle was eroded subaerially on late Pleistocene time and then subsided before 8,000 Y.B.P. Adding the late Pleistocene uplift of the Kerama Saddle to this, existence of the land bridge connecting the Chinese continent through Ryukyu Arc to Kyushu is estimated during the 30 and 20 thousand years ago in Würm Glacial Age. A major, left lateral transcurrent fault offsetting the Tokara Saddle is estimated by the diving survey and the topography surveyed in detail. The left lateral fault may have been generated by a transform fault movement originated by the extension of the Okinawa Trough.

1 はじめに

トカラ海峡は、奄美大島と種子島・屋久島の間
に位置し、幅約200kmで生物地理区を分ける境界
線、渡瀬ラインとして知られている。トカラ海峡
は、琉球列島と日本列島との地質構造境界に相当
し、海底地形および両者の生物相の相違等から判
断して、過去に奄美大島と種子島・屋久島間に、
陸橋が形成されたことがないことを意味するとさ
れてきた。しかしながら、地質調査所・海上保安
庁水路部などの最近の音波探査記録を詳細に検討
した結果、同海峡の琉球海嶺部（トカラ鞍部）に、
堆積層が無く音響基盤が露出していることがある
ことが明らかとなった。すなわち、慶良間海裂の
それ（木村ほか、1992）と同様、ごく最近まで陸
であったものが、ある時期に急激に沈降して形成
された可能性がでてきた。そこで1992年に「しん
かい2000」により第609潜航調査が行われた。

トカラ海峡域では、海底の1,000m等深線がト
カラ海峡を分断するように、海溝側から、西側に
むけて入りこんでいる。この部分をトカラ・ギャッ
プと仮称する（木村ほか、1992）。本研究域中央
から西側にかけては、500~1,000m以浅の浅い海
域になっている（図1）。トカラ・ギャップの北
東には日本列島側の種・屋久海脚が張り出し、南
東には琉球列島側の奄美海脚が張り出している。
同ギャップの西側には北東-南西方向に諏訪之瀬
島、平島、悪石島、子宝島、宝島が連なり、トカ
ラ海嶺上の高まりとなっている。東側には、南西
諸島海溝があり、フィリピン海プレートが潜り込
んでいる。

従来より、南西諸島の陸上地質調査の結果など
から、西南日本の帯状構造の延長はトカラ・ギャッ
プで、ずれていることが指摘されている（小西、
1965；木崎、1985）。また、トカラ海峡の海底地
形は、更新世初期の東西性の断層に伴うブロック
運動と海水準上昇によって形成されたとされてい
る（安間、1976）。当域は沖縄トラフの東縁にあ
たり、それらの運動は沖縄トラフの拡張運動を直接
反映している可能性がある。そこで本研究では、
北部沖縄トラフ東縁のテクトニクスを明らかにし、
沖縄トラフの成因及び形成過程を明らかにするた
めに、このトカラ・ギャップの潜水調査を行った
（写真1）。

小論は、1992年にトカラ海峡で行われた海洋科
学技術センターの「しんかい2000」第609潜航、
およびそれに先だって行われた長崎大学水産学部
の「長崎丸」によるRN92航海、海洋科学技術セ
ンターの「かいよう」による精密海底地形調査
（図2）等の調査結果をあわせ報告する。トカラ
海峡および周辺の海底地質調査結果を整理すると
ともに同海峡の発達史も考察するために、海上保
安庁水路部の音波探査記録、国の基礎調査による
エアガン・マルチチャンネル音波探査記録、「長
崎丸」RN91航海の3.5KHz音波探査記録の解析
結果も利用した。

2 「長崎丸」RN92航海

1992年4月9日-18日、長崎大学の実習船「長
崎丸」によるRN92航海中にドレッジが行われた。
このドレッジは音波探査記録で確認された音響的

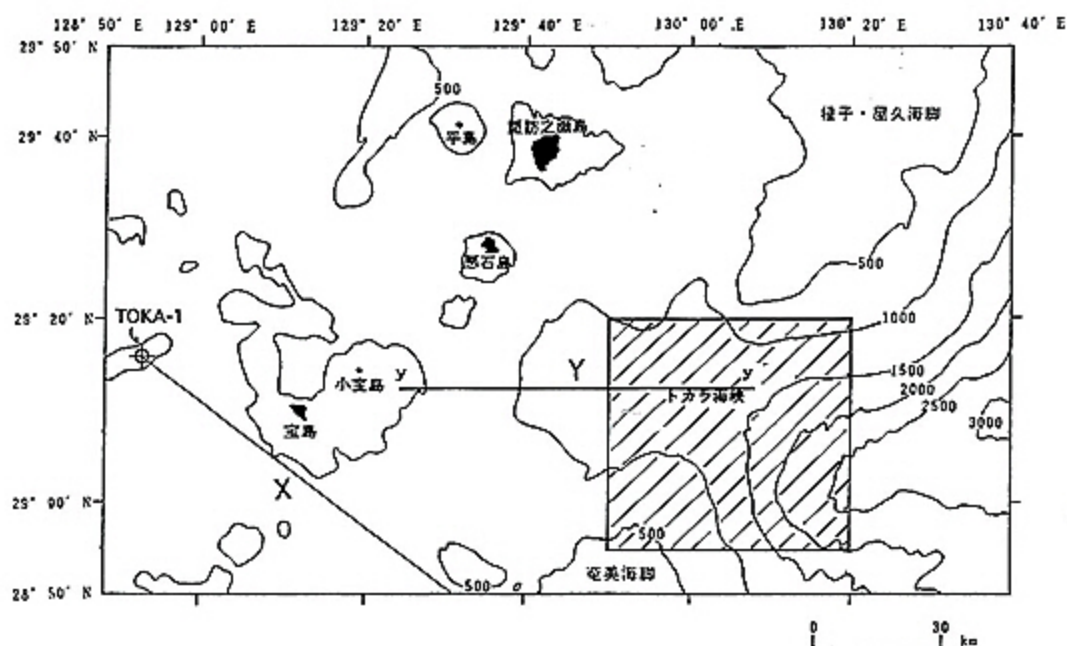


図1 調査域。四角で囲まれた地域はシービーム地図(図2)が作製された範囲。測線X, Yは図6に示す。
Fig. 1 Index map of the surveyed area. The seabeam map (Fig. 2) was made in the box area.
Survey lines X and Y are represented in Fig. 6.

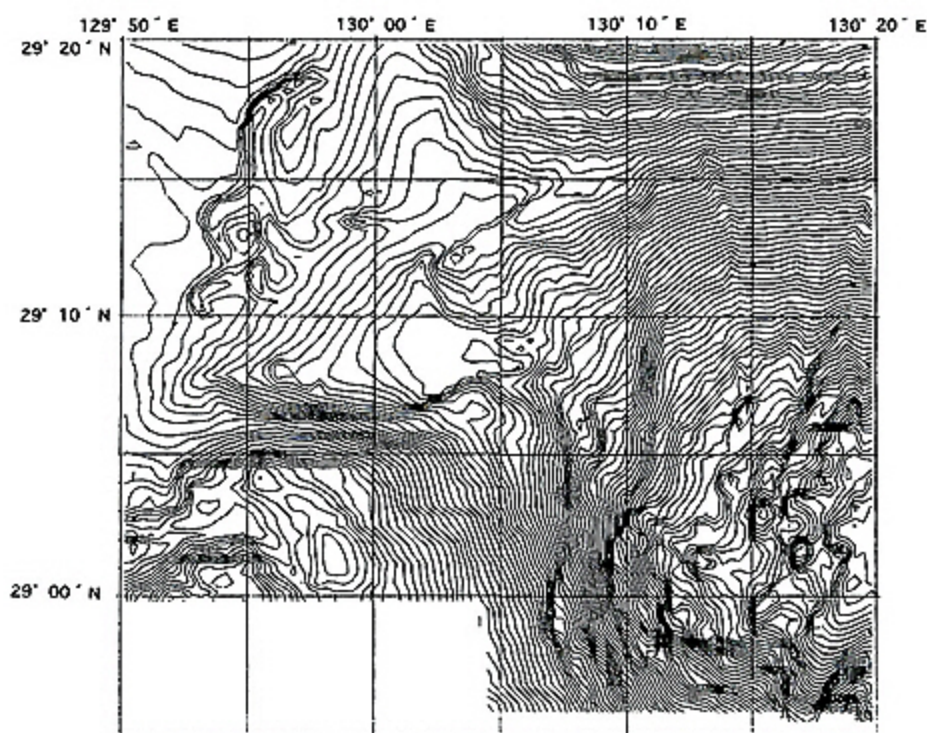


図2 シービーム地図(「かいよう」DK92-3 航海による)。GDS 測位は東京 datum により補正
Fig. 2 Seabeam map surveyed during DK92-3 cruise ("Kaiyo"). GPS location is corrected on the basis of Tokyo datum.

基盤（E層；後述）の上の岩石を採取するために
行われた。したがって海峡北側の種・屋久海脚の
上を目標とした。ドレッジ・ポイントは、北緯
29°09.7′，東経 130°03.9′，水深1,366mから，
北緯29°09.0′，東経 130°04.0′，水深1,400～1,385m
の間を目標とした。実際のポイントは表1及び図
3に示される。ドレッジによる採泥は、小型新野
式Dredgeによりトカラ構造海峡のridge部（トカ
ラ鞍部；後述）で1回行われた。ドレッジのポイ
ントは、水深1,380～1,400mで、ワイヤーを1,550
mまで巻き出した状態で、地形確認のために船を

走らせた。目標と思われる地形を探し、最終的に
はワイヤーを1,901mまで巻き出したときに着底
した。約20分間引っ張った後巻き上げ、Dredger
を回収した。

採取されたサンプル（表1）は、主に基盤岩が
小角礫状になったものである（硬質緑色千枚岩：
無数の割れ目がある）。その中に、1つだけ石灰
岩が採取された（写真2-(1)，(2)）。それは礫
質石灰岩となっており、緑色千枚岩の円礫が含ま
れている。そのほかのサンプルとして軽石が認め
られた。

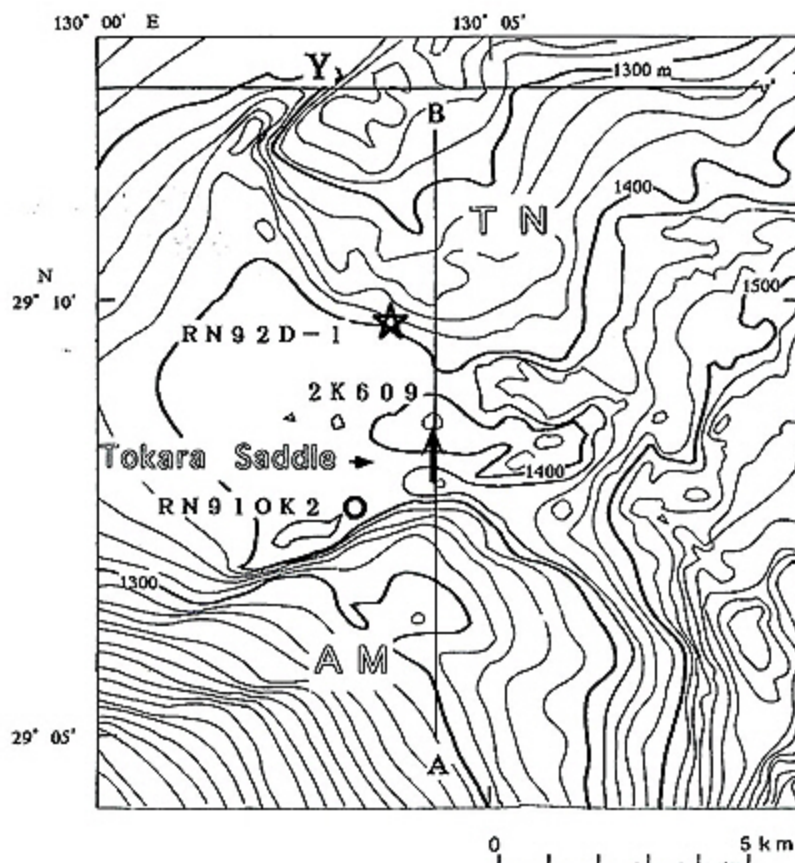


図3 トカラ鞍部の海底地形（DK92-3航海によるシービーム地図）と第609潜航測線（2K609）。測点RN92D-1，RN910K2は表1，2，YおよびA-B測線は図6と7に示される。TN：種子・屋久海脚，AM：奄美海脚

Fig. 3 Topography, surveyed lines and stations at the Tokara Saddle. The topography was surveyed by means of multi-narrow beam system. Sampling stations are listed in Tables 1 and 2, and survey lines Y and A-B are shown in Figs. 6 and 7. TN : Tane-Yaku Spur, AM : Amami Spur.

表1 「長崎丸」RN92 航海および RN91 航海で得られたサンプル。測位はGPS (日本測地系) により、測深は魚群探知機による。RN92D-1 はドレッジ、RN91PC1-4はピストン・コアリング、RN91OK1-3はオケアンによる。

Table 1 Samples obtained by the RN91 and RN92 cruises ("Nagasaki-maru"). Ship positions were measured with GPS (Japanese Geodetic System) and water depths were observed by the eco-sounder. RN92D-1: dredge number, RN91PC1-4: Piston coring and RN91OK1-3: Okean dredging.

サンプル番号	採取地点	位 置	水深 (m)	試 料 記 載
92年 4月 12日 RN92D-1	トカラ鞍部	29° 09.70'N 130° 03.90'E	1390	緑色千枚岩層: 10.5 (12.5) × 5 × 5cm, () は割れたものを修復した大きさ。3 × 2.3 × 2 cm。表面には薄くMn酸化物が付着しており暗褐色を呈す。他、小片12個。 軽石: 4.5 × 3.4 × 3cm, 3.8 × 3.5 × 2cm, 3.2 × 2.3 × 1cm。他、1片。 石灰質礫岩: 8 × 7 × 0.8cm。緑色千枚岩の円礫、二枚貝、カキの殻などを含み、基質は主に石灰質からなると思われる。固結度は低い。琉球石灰岩? 砂泥: 色 (wet): Olive gray (5Y 3/2) ~ light olive gray (5Y 5/2)。
1991年 4月12日~ 13日 RN91PC1 RN91PC2	トラフ側沖	29° 52.5'N 127° 59.9'E	395	パイロットコア (露径2.5cm) コアキャッチャー (砂質細礫)。パイロットの露径1袋採れた礫は岩盤?、古期岩。
RN91PC3	トラフ側沖	29° 35.3'N 128° 48.7'E	792	パイロットコアなし、ピストンコア25cm程採取 (軽石)。
RN91PC4	海溝斜面側	28° 40'N 131° 2.1'E	3130	パイロットコア40cm程度採取。ピストンコア85cm程度採取、コアキャッチャー及びパイロットのコアキャッチャー各1袋ずつ。ピストンコア紛失。トリガーにワイヤーがからまり切断。パイロットコア全長30cm (表層部2.5cm酸化色)。
RN91OK1	海溝斜面側	28° 59.1'N 130° 28.0'E	2418	泥、表層酸化色 (黄土色) その下olive系の色を呈する。ローズベンガルで染色する。コア3本、ビニール袋3。
RN91OK2	海溝斜面側	29° 7.6'N 130° 3.3'E	1415	極小量の砂。
RN90OK3	海溝斜面側	29° 12.4'N 129° 49.4'E	1071	難底時のtension が弱い、極々少量の砂?

3 「かいよう」による精密海底地形調査 (DK92-3; TSUNAMI-KO cruise)

1992年4月10日から16日の間、海洋調査船「かいよう」に搭載のシービーム (マルチナロービーム) 測深機により、南西諸島海域における精密地形調査が実施された。琉球弧のみならずフィリピン海北端部の形成史にとって重要な鍵を握っている南西諸島海域については、今後系統的な深海精密調査を進めてゆく必要があり、そのための第一段階として実施されたものである。

本調査により、28°56'N~29°20'N, 129°50'E~

130°20'Eの範囲の精密海底地形図が作製された (図2) (松本・木村, 1993)。これにより、トカラ海峡海域の海底地形に関し以下の点が明らかになった。

(1) トカラ海峡域には、南西諸島をのせる琉球海嶺が南北両側から海脚として張り出している。そして、その中央部でとぎれたようになる。それをトカラ・ギャップと仮称しておく。本域北側の海脚は種子・屋久海脚、南側のそれは奄美海脚である。

(2) 海域中心部では、南・北両側から張り出した

尾根部が接続する。この付近が最深所となり、水深1,400mをこす。ほぼ1,420~1,430mが最深所と思われる。このトカラ海峡の琉球海嶺部が深まった所は、“馬の鞍”のような地形的形態を示すために「トカラ鞍部」と仮称する。この付近で屋根の幅はおおよそ5kmほどでケラマ鞍部中最も細くなる所である。幅5km前後の水路状の低地が2本ほどあり、南側のものは東方へのび、琉球海溝側斜面に海底谷となつてのびてゆく。

(3) このトカラ鞍部の西側に、1,400m等深線で囲まれる径約4kmの凹所がある(図3)。凹所の中は極めて平坦である。

(4) 南・北両海脚の接触部に、北から南にそれぞれN45°E, NS, N60°E, N15°W, N45°E走向を持つ断層群が鞍部を断ち切るように横断する。これらにより鞍部が落ち込み、南・北からのびてきた海脚延長部(鞍部)の最深所を形成する。この部分がケラマ・ギャップの中心部にあたり、またトカラ鞍部の中心となる。

(5) 海域南東部は水深が2,000mを超え、海溝斜面に向かう。八重山沖(松本・木村, 1993)と同様極めて複雑な地形であり、特定のトレンドを見つけ出すのは難しい。この海溝斜面上に、地形の走行と斜交ないし直行する方向に、海底地じりの痕らしい急斜面が見られる。おそらくは、海溝方向の張力による斜面崩壊によると思われる。

(6) 本調査海域の南東部は、重力のフリーエリア異常の極小部に相当する。このことから本域の地形形成の主要因の1つに、全体に大きい下向きの力が働いており、それにより引きずり込まれることがあげられる。

4 「しんかい2000」第609潜航調査

1992年5月23日、海洋科学技術センターの「しんかい2000」によって、トカラ海峡最深部で第609潜航による調査が行われた(図3, 4, 5)。この潜水調査のまず第1の目的は、音波探査記録によって確認された音響的基盤E層(後述)(図6)が、トカラ海峡最深部でも露出しているかどうかを確認することにある。

潜水調査は、北緯29°08.23' 東経130°03.93' (水深1,416m)より北緯29°08.83' 東経130°04.15' (水深1,364m)付近の範囲で行われ、最深部は北

緯29°08.18' 東経130°04.11' 付近で水深1,426mであった(図3)。航跡を図3および4に示す。ただし、測位に比べ潜水した海底の深度・地形は多少ずれていることが後でわかった。図2の航跡は地形に合わせたものである。このずれが何によって生じたものかは今後の検討課題である。以下に本潜航の概要を示す。

4.1 第609潜航の概要

潜水者: 木村政昭, 櫻井利明, 廣瀬重之

海域: 南西諸島トカラギャップC, (最大) 深度1,426m

位置計測はGPS(WGS84)補正による。トランスポンダーは不使用

潜航日時: 1992(平成4)年5月23日 海域着, XBT投下 07時30分(図5)

海象状況: 天候bc, 風向WNW, 風力3, 波浪1,

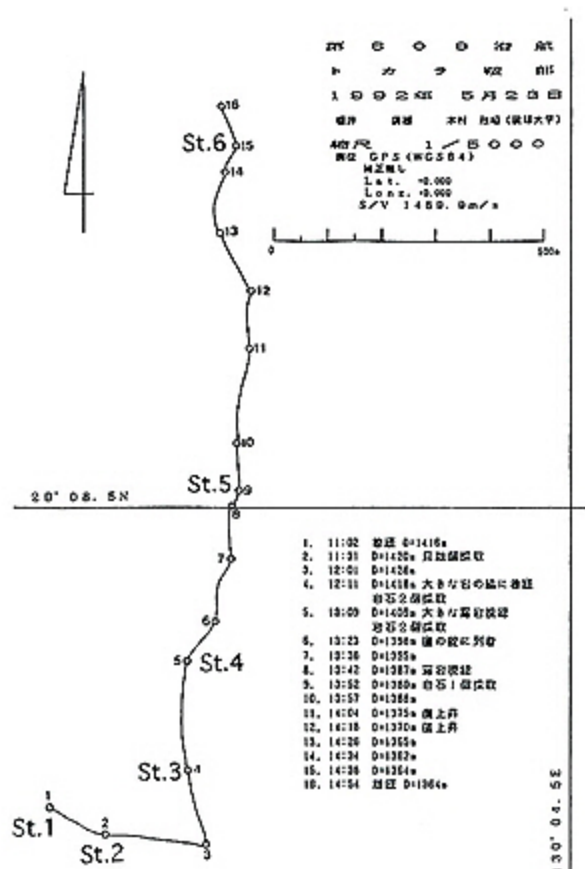


図4 「しんかい2000」第609潜航航跡図

Fig. 4 Route of Dive 609 of "Shinkai 2000".

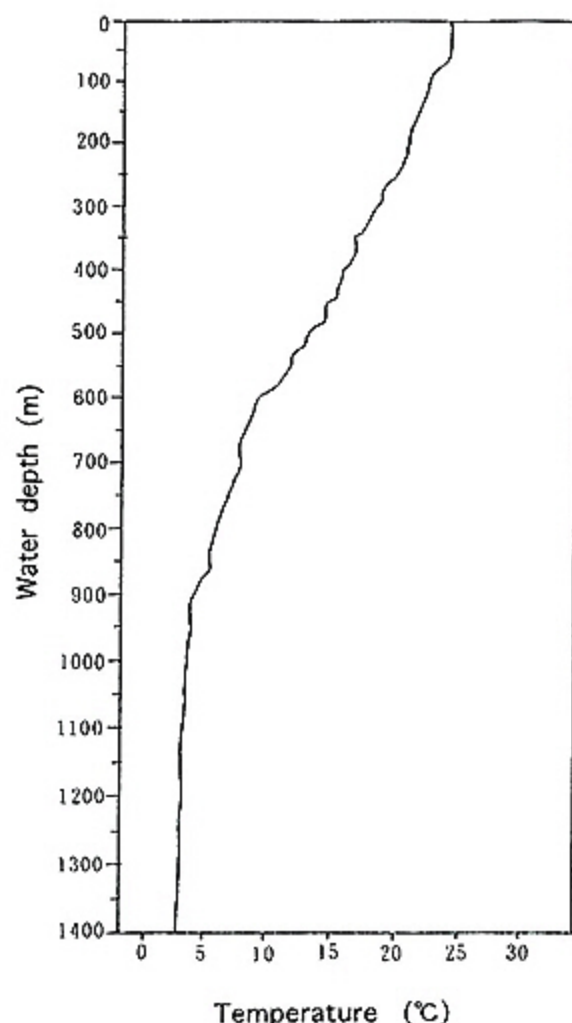


図5 第609潜航時のXBTによる水温変化(1992年5月23日07時30分)

Fig. 5 Vertical distribution of water temperature observed with XBT at 07°30', May 23rd in 1992 (for Dive 609.).

うねり 1, 視程 7 哩

潜航開始時刻 09時40分
 着底時刻 11時02分・・・29° 08, 20'N,
 130° 04, 10'E
 離底時刻 14時54分
 浮上時刻 15時42分
 潜航時間 6 時02分間
 海底時間 3 時52分間

主な調査方法: 地形・底質・断層等の観察を行い、マニピュレーターによる岩石採取および柱上採泥器による底質採取。サンプル記載は、表2に示す。

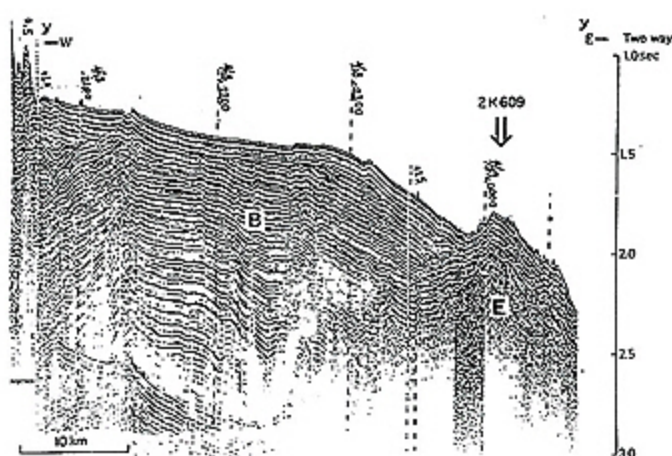


図6 第609潜航地点(2K605)付近を通るエアガン記録の一例。トカラ鞍部の東西横断面を示し、潜水地点は音響的基盤が露出しているのがわかる。位置は図1と図3に示される。

Fig. 6 E-W trending profile of the airgunning record crossing over the Tokara Saddle. The basement rock is exposed at the diving spot.

4.2 海底観察

その概要は表3に示したとおりである。午前11時02分に着底。水深1,416m, 視程は8mほどで、水温2.30°C, 流向流速は290° 方向から0.4ktのスピードの流れがあった。

11:18 水深1,418m。トカラ鞍部最深部付近の底質採取を行う。底質は粒度の揃った粗粒な砂である。砂丘状地形があり、陸橋時代の砂浜が沈んだような形態を示している。

11:58~12:00 本域最深部、水深1,426m。上記同様な砂、深海堆積物とは思えない。おそらく古砂丘の沈水したものであろうと観察された。

12:11~12:47 最深部に近いところで基盤岩の露出部が認められた。1億年前(?)に形成された変成岩類(四万十帯)が侵食されたと思われた。

13:09 枕状溶岩と酷似した岩石採取。後にこれは四万十帯の堆積岩とわかる。

14:05~14:06 東西性の正断層崖。ほぼ20m間隔で発達する。基本的にはこのような正断層によって陸橋が崩壊したことがうかがえる。

本潜水域全体を見てみると、海底面に露岩(E層)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の2つに大別される(図7-(2))。

表2 「しんかい2000」第609潜航により得られたサンプル。位置はGPS, 測地系 WGS84,無補正。Tokyo datumへの交換: lat-0.23', long+0.12'

Table 2 Samples recovered by the 2K609 cruise of "Shinkai 2000" in 1992. Location is observed with GPS (WRS84) and no corrected. Changing to Tokyo datum: Latitude-0.23', longitude+0.12'.

番 号	位 置	サ ン プ ル
St.1 2K609-1	採取日: 1992年5月23日 場所: トカラ鞍部 位置: 29° 08.23'N, 130° 03.93'E (GPS, 測地系 WGS84 無補正, Tokyo datum への交換: lat-0.23', long+0.12' 以下同様。) 水深: 1418m	コア 80mm長×50mm径, 500g。 底質: Dark brown sand。 表面から 5mm まで: dark brown muddy sand。 それ以降: light brown coarse sand bearing rich foraminifera。 (1)Core catcher中の砂。 (2)Inner tube中の砂。 以上はPaleo beachの砂? (1)生物 1)カシバンウニ類殻片, 白色。 MAX.500×500×500mm, 20g。 海底では大型貝類に見えた。現世。 2)赤ん坊の手形の生物。サンゴの仲間? ケラマ1991年2Kで得られたものと同じ。現世? (2)軽石 4個。MAX.100×70×65mm, 100g。 Grayish white dacitic punice, with dark brown manganese coating. Woody。 (3)砂 150g。Dark to yellow clean coarse sand, including foran more than 50%。 岩石としては、圧倒的に軽石が多いようである。pebble sizeの軽石もかなり入る。ほかに古期岩類も入る。 全体で Brownish gray coarse sand 1袋となる。有孔虫を多量に含み、これによりタンデトロンで年代測定可。 古期岩類1個。200×110×100mm, 2000g。 Dark brownish gray pelitic rock, with thin manganese coating. Alternation of brown part and black part。 基盤岩石。サンプル中に無数の割れ目はいる。破砕帯中の岩石? 四万十帯が秩父帯の岩石と思える。本岩石は特に割れ目が多く、岩の中に白い部分あり、石灰岩かどうかの確認必要。 基盤岩2片, 200g。 (1)Brownish gray rock. Crackが多く崩れ易い。210×130×50mm。全岩海洋センターへ。 (2)230×150×110mm。 Brownish gray with thin manganese coating and white vein. crack多い。 表面の黒色部はglassyな部分にもみえる。さらに一見放射状にみえる割れ目が入り、岩石が重く枕状溶岩にもみえる。しかし薄片観察の結果では砂岩に炭酸塩岩質の脈が入ったものであることがわかった。海底景観では枕状溶岩の露頭と思えるようなものあり。 薄片鑑定: Arkosic arenite (アルコース質アレナイト; 泥質基質が少なく)。veinlet多い (石英質、炭酸塩質)。放散虫なし。
St.2 2K609-2	採取日: 1992年5月23日 場所: トカラ鞍部 位置: 29° 08.21'N, 130° 04.00'E 水深: 1420m	
St.3 2K609-3	採取日: 1992年5月23日 場所: トカラ鞍部 位置: 29° 08.27'N, 130° 04.08'E 水深: 1418m	
St.4 2K609-4	採取日: 1992年5月23日 場所: トカラ鞍部 位置: 29° 08.37'N, 130° 04.09'E 水深: 1409m	
St.5 2K609-5	採取日: 1992年5月23日 場所: トカラ鞍部 位置: 29° 08.52'N, 130° 04.14'E 水深: 1380m	基盤岩、割れ目多い。枕状溶岩が剥けるため、全岩持ち帰り。 換鏡: Sedimentary tuff。 名残層。 Grayish brown very fine to fine sand, bearing medium sand。 2K-609-2に比べると泥質にみえる。細粒砂多しマニユビレータの爪に入ったもの。 Paleo beach の砂にみえた。
St.6 2K609-6	採取日: 1992年5月23日 場所: トカラ鞍部 位置: 29° 08.83'N, 130° 04.15'E 水深: 1364m	

表3 トカラ鞍部の海底観察記録(「しんかい2000」による)

Table3 Observation records of the sea bottom at the Tokara Saddle using with "Shinkai 2000".

時刻	St.No	深度	緯度・経度	観察記録
11:02	st.1	1418m	29° 08.23' N 130° 03.93' E	着底。リップル・マークのついた砂東方への流れによってできたと思われる。 目標深度より300mずれている。 真まりの上。 白っぽい砂、サンゴ砂にみえる。泥っぽい、泥混じりの砂。白っぽい砂は表面だけのようである。 柱状採水器によるサンプリング。上が粗くて細かい砂を確認。穴の中にもう一度さす。サンゴ砂でないことを確認。白い貝殻多数。 着底。110° へ向かう。リッジの頂がみえる。 白っぽい砂。 東からの底層流。白い貝殻が散らばっている。
04				
23				
25				
26				かなり大きな貝殻のかげら。前方少し高くなる。小ridge状。 リップル・マークたくさん。東北方向に傾斜。小ridge。 貝殻のかげらたくさん。
28		1420m		
29				
30				
31		1421m		
34	st.2	1420m	29° 05.21' N 130° 04.00' E	着底。 白い貝殻。カニのこうら? 2Kの玉手箱に収納。中が白っぽい泥(土の固まり) 2つサンプリング。 移動開始。
41				
11:48				
51		1423m		
52		1424m		比高が 1m ぐらいのリッジが 10m 間隔でみられる。 表面に黒い泥質物(泥?) 貝殻片化石? 生きている巻貝?
53				
54				
56		1424m		リップル・マーク発達悪くなる。底質砂。
58		1428m		
12:00				本域最深处にかかる。 これまでと同じ砂。ダークグレーのリップル・マーク。黄砂であるが少しはある。本域最深处。 巨礫発見。 着底。着底。そばに材木あり。釘が出ている。 20cm 程度の露岩の露を2つサンプリング (2K60 9-3) 食事 ビデオ録画開始。これ以前は失敗 移動 リップル・マークなし。 リップル・マーク出てくるがすぐなくなる。 生きている巻貝。 岩発見。着底。千枚岩の様。四万十帯? 表面は泥っぽい。 露岩片をサンプリングする。崩れる泥岩。露岩サンプリング (2K609-4) 移動。 リップル・マークなし。 リップル・マークあり。 リップル・マーク弱まる。 リップル・マーク出てくる。 着底。5m ぐらいの東西方向で崩落の断層崖。 露岩に石英脈(?)が見える。 移動。 露岩むき出し。 落ち込む。 リップル・マークある。 北のぼり。底質砂。 泥っぽくなる。 小崖。機が丸い。左へ傾く。西傾斜の層。四万十帯。 急崖。表面は滑らか。 表面がごつごつに変わる。 四万十帯の層理。 停止。 露岩サンプリング (2K 609-5)。 移動。 露岩。 表面に少し泥がかぶる。 急崖。 なだらかな泥っぽい砂地が長く。 停止。亀裂の多い泥地。
6	st.3	1418m	29° 08.27' N 130° 04.08' E	
8				
18				
52				
59				
13:00				
4				
5	st.4	1409m	29° 06.37' N 130° 04.09' E	
6				
11				
13:18				
17				
18				
20				
22				
22				
26				
29				
32				
33				
38				
37				
42				
44				
45				
46				
47	st.5	1380m	29° 08.52' N 130° 04.14' E	
50				
53				
54				
56				
14:04				
5	st.6	1384m	29° 08.83' N 130° 04.15' E	
36				

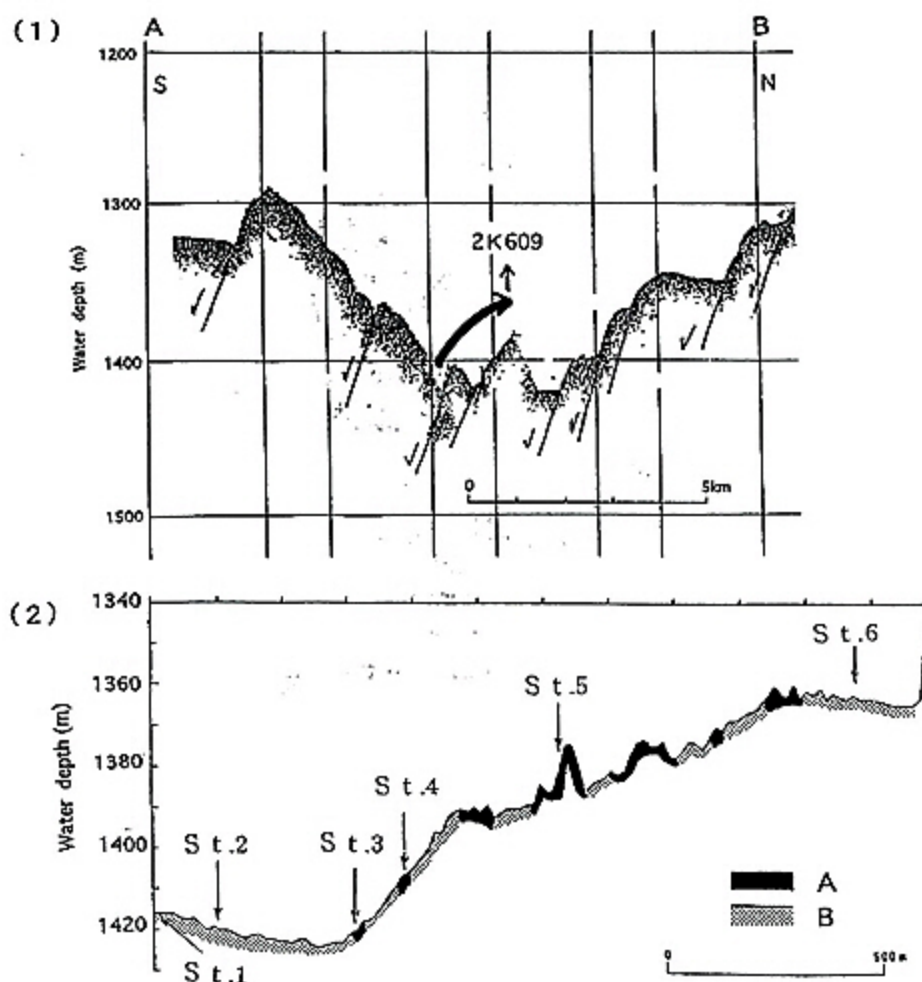


図7 潜水地点の地形・底質

(1) 第609潜航の航跡に沿ったPDR記録断面図(「なつしま」による)。位置は図3に示される。見かけ上、同一平坦面が正断層で落ち込んでいる。2K609の測点は表2, 3を参照

(2) 潜水域の断面地形と底質。「しんかい2000」の STD データによったもの。位置は図3および図7-(1)に示される。凡例 A: 基盤岩、B: 細～粗粒砂

Fig. 7 Topography and materials along the diving track of Dive 906.

(1) PDR profile along the crest of the ridge in the Tokara Gap (Tokara Saddle), surveyed by "Natsushima". It seems that a same flat surface was offset by normal step faults. 2K609 is listed in Tables 2 and 3. Line A-B is represented in Fig. 3.

(2) Profile surveyed by "Shinkai 2000" at Tokara Saddle. The Dive 609 of location is shown in Figs. 3 and 7-(1). Legend A: Basement rock, B: Fine to coarse sand.

露岩域は、st. 3, 4, 5などで認められ、露岩表面は全体的にごつごつとしていて、一見千枚岩のようにみえる。ところにより層理の発達がよく、層理は一様に西傾斜を示している。st. 5では、一部分表面が滑らかなところもみられた。また、st. 3, 4, 5ではこの露岩のサンプリングを行った。

この露岩のサンプルは、顕微鏡観察により、名護層に対比された(後述)。露岩は所々で細粒から粗粒の砂で覆われている。st. 1では表面の堆積物のコア・サンプルを採取した。海底では砂の表面に白っぽいものが観察された。これは必ずしもマリンスノーばかりではなさそうである。白っ

ばいものは、コア・サンプリングによって、表面だけに薄くたまっていたものであり表面下は細粒から中粒の砂であった。表層には、断続的ではあるがリップル・マークが見られた。このリップル・マークの方向は、それらが北北東へむかう流れでできたことを示している。これは現在の海流の向きに一致している。しかし、「しんかい2000」で観測された海底での実際の流れは西北西方向へ向かう流れであった。

以上で得られたサンプルの記載は表2に示した。

5 サンプル解析結果

5.1 岩石鑑定

「しんかい2000」第609潜航でトカラ鞍部より得られた2K609のサンプルの顕微鏡観察の結果は次のようであった(表4, 写真3参照)。

2K609-3: Brown-gray brecciated metamorphosed calcareous arkose.

2K609-4: Brown metamorphosed calcareous

arkosic arenite.

2K609-5: Gray tuffite.

海底および陸上の産状、検鏡の結果を総合すると、これらのサンプルは、沖縄本島で露出している白亜紀頃の地層とされ名護層に対比される。この名護層は、西南日本の四万十帯に属している。

長崎丸RN92航海で石灰岩が得られた。この石灰岩は、貝化石を多数含んでいる未固結碎屑性石灰岩で、下位の基盤岩の円磨度の高い中礫を多く含んでいる。また、この石灰岩に含まれる泥質物中のナンノ化石がCN14あるいはCN15を示すため、本岩石はおおよそ90万年より若く琉球石灰岩に対比される。

5.2 「しんかい2000」2 K609コア 分析結果

「しんかい2000」で径38mm、長さ90mmのコア(2K609; 柱状試料)が得られた。このコアを1cm毎に輪切りにしてサンプル処理が行われた。コアの含水率は最上部が約42%で、下部にむけて

表4 トカラ鞍部の基盤岩の顕微鏡鑑定(朱桂田による)

Table 4 Microscopic characters of samples from the Tokara Saddle by Zhu Guitan.

Number	2K-609-2	2K-609-3	2K-609-4
Location	29 08'27"N 130 04'08"E	29 08'37"N 130 04'09"E	29 08'52"N 130 04'14"E
Water depth	1418m	1409m	1380m
Characters	Brown-gray, with strong brecciation, grain size <1cm as a shape of lenticle, composed of quartz and feldspar with granular texture. network veins widely developed in the clastic and calcareous materials between the lenticles, which are carbonate veins.	Brown, with granular texture, composed of feldspar, quartz and less metal minerals. granule are angular inserted by carbonate veins and less silicious veins.	Gray, with fine granular texture and tuffaceous texture, mainly composed of quartz, feldspar and less muscovite and hornblende.
Rock name	brecciated calcareous arkose	arkosic arenite	tuffite

減少し、最下部 9 cm で 31% となった。含砂率は約 76% から 81% で、本コアは砂質堆積物であることを示している (表 5-(2))。

砂粒分析結果は、鉱物片 (石英・岩片ほか) が 40~55% となっており、このコアの砂質分の半分を占めている (表 5-(3), 図 8-(1))。浮遊性有孔虫は 30% 前後、火山ガラスは 4 から 13% である。底生有孔虫およびその他の生物片から浅い環境 (水深数 10m) を示すようなものは見あらず、通常水深 1,000m 以浅において顕著な水深による全有孔虫に対する底生有孔虫の % 変化もほとんどない。また、砂粒成分はコアを通して大きな変化は認められない。

6 年代

6.1 ナノ化石

表 6 にナノ化石による年代測定結果を示した。これには、1991年に海洋科学技術センターの「ドルフィン 3 K」と「しんかい 2000」により得られたケラマ・ギャップのサンプルの一部も入っている。それらの位置や内容については、木村ほか (1992) に記載されている。ケラマ・ギャップのサンプルについては、とくに木村ほか (1992) で CN 13 とされたものについて修正がなされたものを、ここに示したものである。CN zone の年代は、Okada and Bukry (1980) および Matsuoka and Okada (1989) に基づく。

まず、RN92D-1 サンプルについてみてみる。こ

表 5 2K609-1 コアの分析 (小野朋典)。(1) 砂含有量(%), (2) 砂含有量(%), (3) 有孔虫含有量ほか(%), (4) $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^{13}\text{C}$ 量比

Table 5 Analysis of the core (2K609-1) by T. Ono.

- (1) Sand fraction content.
- (2) Water and sand contents (%).
- (3) Various component in the 2K609-1 core.
- (4) $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ contents of planktonic foraminifera tests.

(1) Sand fraction contents

SAMPLE NO.	SAND CONT. (%)
92-609-2	96.69
92-609-6	36.29

(2) Water and sand contents (%) (2K609-1 core)

SAMPLE NO.	Water cont.	Sand cont.
0-1cm	41.89	77.67
1-2cm	39.41	79.44
2-3cm	37.57	78.66
3-4cm	38.53	81.06
4-5cm	36.08	78.7
5-6cm	35.95	78.83
6-7cm	33.16	76.29
7-8cm	32.84	75.59
8-9cm	31.11	77.68

(3) 2K609-1 core (%)

SAMPLE NO.	P.F.	B.F.	Radio.	Oth.Org.	Mine.	Vol.gl.	P.F.frag.	Unknow	Total
0-1cm	31.62	0.7	0	3.04	55.97	5.86	2.81	0	100.00
2-3cm	31.22	0.44	0	0.66	38.86	12.45	15.94	0.44	100.01
4-5cm	36.96	2.53	0	3.04	41.77	13.16	2.53	0	99.99
6-7cm	27.51	0.87	0.17	1.38	49.48	4.5	16.09	0	100.00
8-9cm	34.85	0.76	0	2.65	49.62	9.47	2.65	0	100.00

P.F.: Planktonic Foraminifera B.F.: Benthic Foraminifera Radio.: Radiolaria
Oth.Org.: Other organisms Mine.: Minerals Vol.gl.: Volcanic glasses
P.F.frag.: Planktonic Foraminifera fragments

(4) $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ contents of planktonic foraminifera tests (2K609-1 core)

cm	$\delta^{18}\text{O}$	VS PDB $\delta^{13}\text{C}$	VS PDB
0-1	-1.448	1.944	
2-3	-1.248	1.952	
4-5	-1.588	1.899	
6-7	-1.607	1.765	
8-9	-1.571	1.941	

表6 ナンノ化石

(1) ナンノ化石による対比 (ナンノ化石鑑定は西田史朗による)。Litho-facies 欄のサンプルに下線の付してあるものは、それが測定された底質。1991年に行われたケラマ鞍部におけるドルフィン3Kの調査により得られたサンプルについては、木村ほか (1992) に記載がある。

(2) ナンノ化石産出一覧表

Table 6 Nanno planktonic fossil.

(1) Correlation table based upon nannoplanktonic data. Nannoplankton was determined by S. Nishida. If a material in the Lithofacies column is underlined, the underlined one was measured. Part of samples obtained by "Dolphin 3K" in 1991 were described in Kimura et al. (1992).

(2) Nanno fossil species.

(1)

No		Lithofacies	CN zone	Correlation
08	トカラ鞍部 2K609-2	medium sand	5 (0.27-0 Ma)	Holocene
09	2K609-6	fine sand	5	Holocene
35	RN92/8-D-1	石灰質礫岩中の貝に付着した泥	4 (0.91-0.27 Ma) or 15	琉球石灰岩
16	ケラマ鞍部 D3K111-5	light gray siltstone	3b (1.6-0.91 Ma) or 4a (0.91-0.46 Ma)	知念層
17	D3K111-6	yellowish hard siltstone	3b	知念層
18	D3K111-7	hard rock with <u>gray silt</u>	3a (1.8-1.6 Ma) or 2 (>1.8 Ma)	島尻層群
26	D3K110-5/3	hard rock	3b	知念層
28	D3K109-6	limestone with <u>little clay</u>	3b	知念層
33	D3K110-9/2	yellowish fine sandstone with Mn-coat	3b	知念層

(2) ナンノ化石産出一覧

specie/samples	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
<i>C. pelagicus</i>																+	+	+	+								+					+	c	+	+	+	+
<i>Cycl. leopora</i>	c				c		c	r	c	c													c	+				+					+				+
<i>Cycl. macintyreii</i>																	+																+			r	+
<i>D. brouweri</i>																			+												+		+			+	
<i>D. challengerii</i>																																		+	+		+
<i>D. pentaradiatus</i>																																+	c	+			
<i>E. huxleyi</i>	c				c		c	c	c	c	c												c	+												+	
<i>G. caribbeanica</i>																																+					
<i>G. oceanica</i>	c				a		c	c	c	c	c												c	+		+		+						+		+	
<i>H. kamptneri</i>	c				c		c	c	c	c	c												c	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>H. vallichi</i>	r							c	r		r																+										
<i>Hay. perplexus</i>											r												r									+					
<i>H. coccolithomorpha</i>							r																r														
<i>O. fragilis</i>																							r														
<i>P. discopora</i>																										+											
<i>P. japonica</i>					r			r	r																												
<i>R. japonica</i>																	+	+	+	+	+											+	c	+	+	c	
<i>R. sp.</i>																																					
<i>Rh. claviger</i>	r						r				r																										
<i>Ps. lacunosa</i>							c	r								+	+																				
<i>Syr. pucifera</i>	r																																				
<i>U. sibogae foliosa</i>	r				c		c	c	c	c	c														c											+	
<i>Foraminifer</i>	+				+		+	+	+	+	+													+													
<i>Diatoms</i>							+	+	+																				+								
<i>Sponges</i>					+																																
<i>volcanic glass</i>							E																														

a: abundant, c: common, r: rare, +: present, E: EDX major element analysis

これは碎屑性石灰岩であるが、この岩石中の貝（岩ガキ？）に付着した暗灰色の泥から検出されたナンノ化石について鑑定が行われた。これはCN14あるいはCN15に対比される。これは、0.91-0.27 Ma か 0.27-0 Ma のものとなる。しかも、Emiliana huxleyiが検出されるところから（表6）、27万年より若い可能性がある。およそ90万年より若く、さらに27万年より若い可能性がある石灰岩であり、“C年代のおよそ4万年より古いとでた値とは矛盾しない。これは南西諸島に広く分布する更新世の琉球石灰岩（従来は100万年より若い年代が測定されている）に対比できる。

そのほか海底表面およびコアの砂はCN15で、27万年よりも若いものとでた。

一方、ケラマ・ギャップの岩盤類は、D3K111-7は木村ほか(1992)のとおり島尻層群（後期中新世—前期更新世）に対比されるが、他のものは1.6-0.9 Maに属し、知念層に改められた。

6.2 放射性炭素年代測定

測定結果を表7に示す。測定は名古屋大学年代測定資料研究センターのタンデトロンにより行われた。“Cの半減期として5,570年を用いて年代が計算された。この“C年代値はY.B.P.の単位で、西暦1950年から過去へ遡った年代値で示され、年代値の誤差はone sigma(1標準偏差)を示した。これは、同じ条件で測定を100回繰り返したとき、測定結果が誤差範囲内に入る割合が68回であることを意味し、誤差を表示の2倍にとると、誤差範囲に入る割合が95回になる。

表7の2K609-1は、「しんかい2000」第609潜航によりトカラ鞍部で採取したコア堆積物中の有孔虫である。それにより堆積物の年代を得ることを試みた。底生有孔虫より浮遊性有孔虫の方が底質の年代を知るのに良いとされ、浮遊性有孔虫を選

んだ。現実には、本コア中に含まれていたのはほとんどが浮遊性であった。本試料はコアの下部から選んだため、現在のものとは明らかに区別される。試料は、コアの最底部、コアの表面から8 cmと9 cmの間のもので選ばれた。149 μ 以上の浮遊性有孔虫628個体（種は限定せず）、重さ0.0168gを選び出した。その結果、“C年代7880 $\pm$ 160 Y.B.P.が得られた（表7）。

RN92D-1については、石灰岩中の貝（岩ガキ？）について測定された。これは約4万年より古いとでたが、その貝に付着していた泥からでたナンノ化石によるCN14あるいはCN15という鑑定結果とは矛盾しない。

6.3 酸素・炭素同位体測定

次に、酸素・炭素同位体測定結果を示す（表5-(4)、図8-(2)）。酸素・炭素ともに、コアを通して大きな変化は認められない。コア最上部の酸素同位体比は-1.448で、この値は琉球列島周辺から得られたピストン・コア最上部の値とほぼ一致する。また、酸素同位体によるEmiliani's stageでは現世から最終氷期に向けて、酸素同位体比が急激に+側（0%前後）に変化するが、本コアではその傾向が全くみられない。氷期がはっきりと同位対比に表れるのが、今から8,000-10,000年前から先とされていることから、本試料はおおよそ8,000-10,000年より若い可能性がある。

6.4 火山灰層序

トカラ鞍部の底質中の火山ガラス分析結果は表8のようになった。ガラス片20個のDEX分析結果とVAISによる同定である。VAISは同定の母集団として標準試料2,000個を検索した。その結果、2K-609-6はアカホヤ火山灰層に同定された（図9、10）。本試料はバブルフレーク形の火山ガラスからなっている。ナンノ化石の示す年代（表6-(1)）

表7 タンデトロンによる放射炭素年代測定結果（測定：中村俊夫）

Table 7 ^{14}C dating result by means of accelerator mass spectrometry of samples (analysed by T. Nakamura).

Sample No.	試料名称・試料材料	^{14}C 年代	測定番号
2K-609-1	堆積物中の浮遊性有孔虫	7880 $\pm$ 160 Y.B.P.	NUTA-2614
RN92 D-1	石灰質礫岩中の貝（岩ガキ？）	> 35840 Y.B.P.	

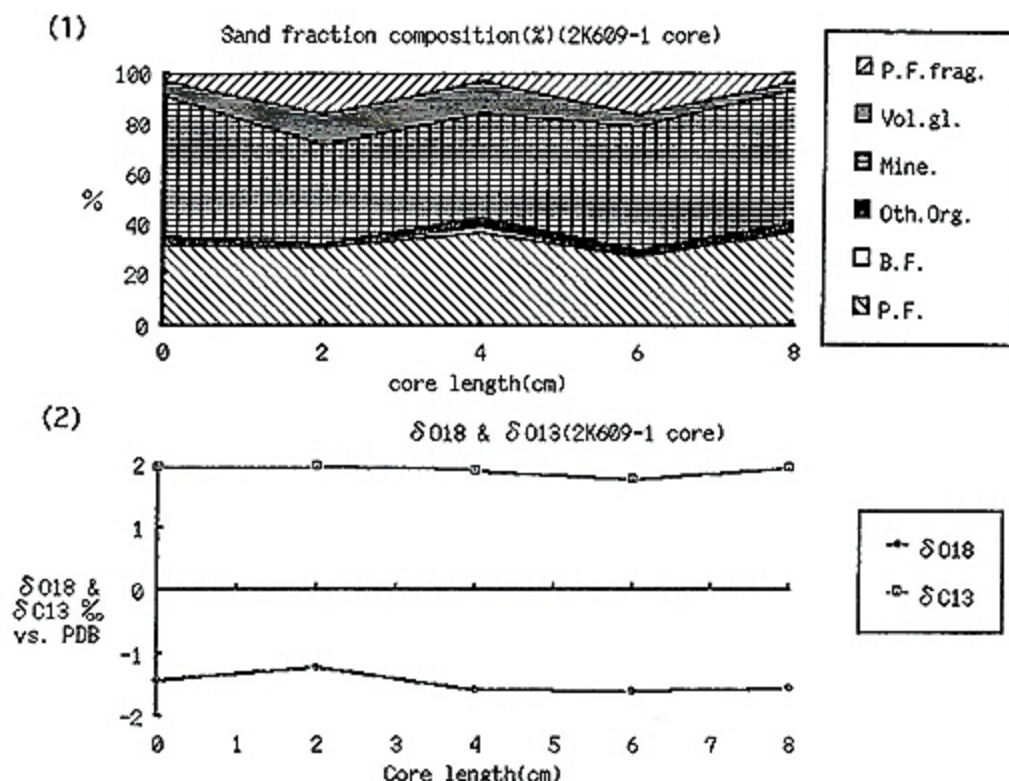


図8 2K609-6 コアの分析(小野朋典による)

(1) 2K609-1 コアの組成。凡例 P. F. frag.: Planktonic foraminifera fragments, Vol. gl.: Volcanic glasses, Mine.: Minerals, Oth. Org.: Other organisms, B. F.: Benthic foraminifera, P. F.: Planktonic foraminifera.

(2) 2K609-6 コアの同位対比

Fig. 8 Analytical result of the core of 2K609 by T. Ono.

(1) Sand fraction composition in 2K609-1 core. Legend P.F.frag.: Planktonic foraminifera fragments, Vol. gl.: Volcanic glasses, Mine.: Minerals, Oth. Org.: Other organisms, B. F.: Benthic foraminifera, P. F.: Planktonic foraminifera.

(2) $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ contents of planktonic foraminifera (*Globigerinoides sacculifer*) tests in the 2K609-1 core.

表8 火山灰分析(西田史朗による)

Table 8 Analysis of the volcanic ash in the sample of 2K609-6 (determined by S. Nishida).

ID: TOKARA SAMPLE: 2K-609-6
DATE: 92/07/23 13:21:02 DISKET: EDX RAW #8
RECORD No. 2401 ~ 2420 N = 20

	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	TiO2	FeO
Minimum	1.340	0.550	9.580	74.600	2.260	1.580	0.120	1.950
Maximum	2.430	1.260	10.830	81.120	2.990	3.060	0.500	5.950
Range	1.090	0.710	1.250	6.520	0.730	1.480	0.380	4.000
Mean	2.016	0.941	10.248	77.380	2.567	2.446	0.378	4.025
Sum of sqs.	1.527	0.526	1.972	44.107	0.772	3.168	0.269	15.264
Variance	0.076	0.026	0.099	2.205	0.039	0.158	0.013	0.763
Std. dev.	0.276	0.162	0.314	1.485	0.196	0.398	0.116	0.874

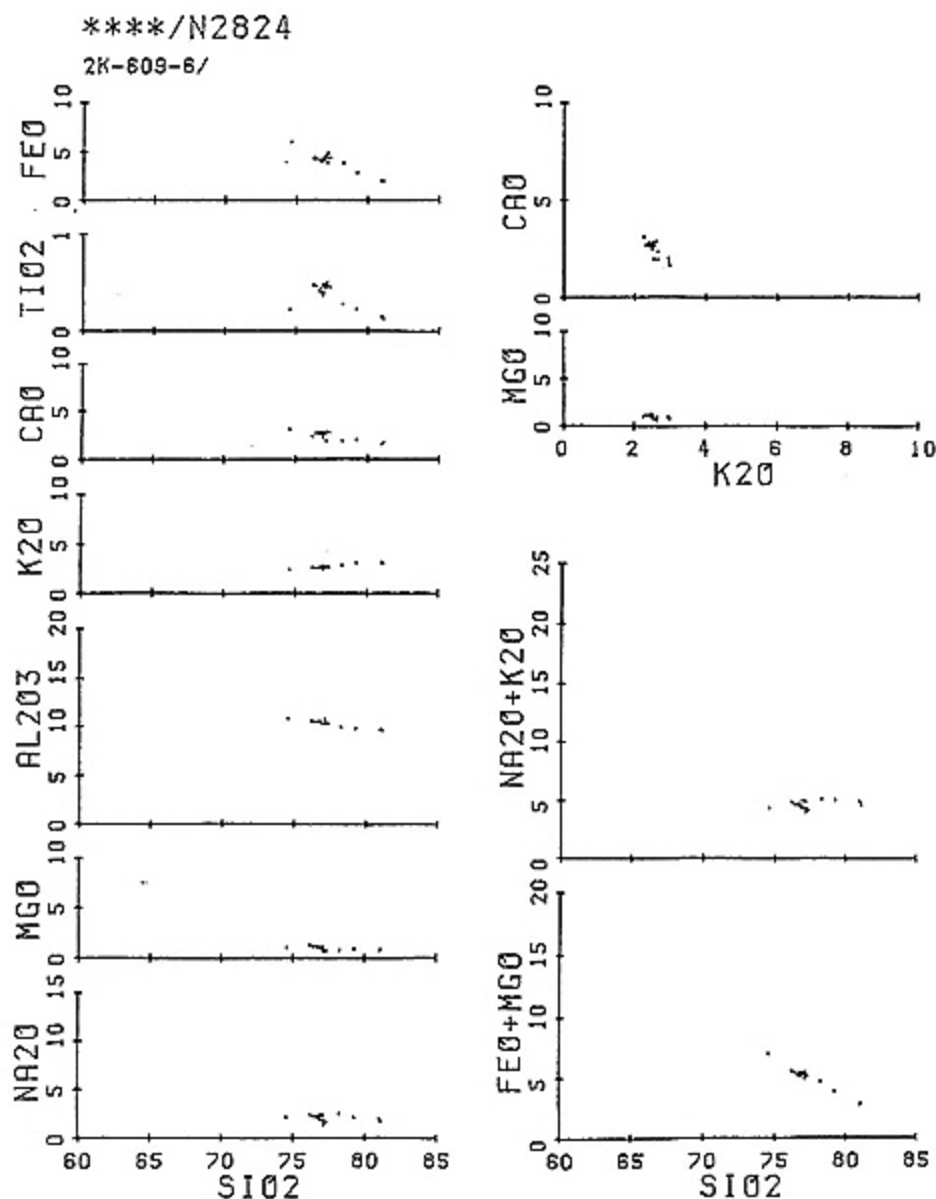


図9 トカラ鞍部の火山灰(2K609-6)分析(西田史朗)

Fig. 9 Analysis of the tephra in sand of 2K609-6, determined by S. Nishida.

とも調和的である。試料は多少のコンタミネーションを受けているが、平均値としては大きく異なるとは思われない。

7 考察

7.1 海底の侵食面

本域の音波探査記録の解析からは、南西諸島海域全般にわたって区分される音響的層序(木村ほか, 1980; Kimura, 1985)のうちA, B, C,

E層の4つの層序が認められた。本域付近には、国の基礎資料のエアガン・マルチチャンネルの測線があり(相場・関谷, 1979), そのうちの測線X(図1)上ではTOKA-1が試掘されている。このボーリング・データ(例えばNash, 1979)も参考にした。E層は、音響パターンのみでは、層理がよく認められず音響的基盤を示す。種・屋久海脚から、奄美海脚にかけてのトカラ鞍部では、記録上E層の露出が示される(図6)。そこでは、そ

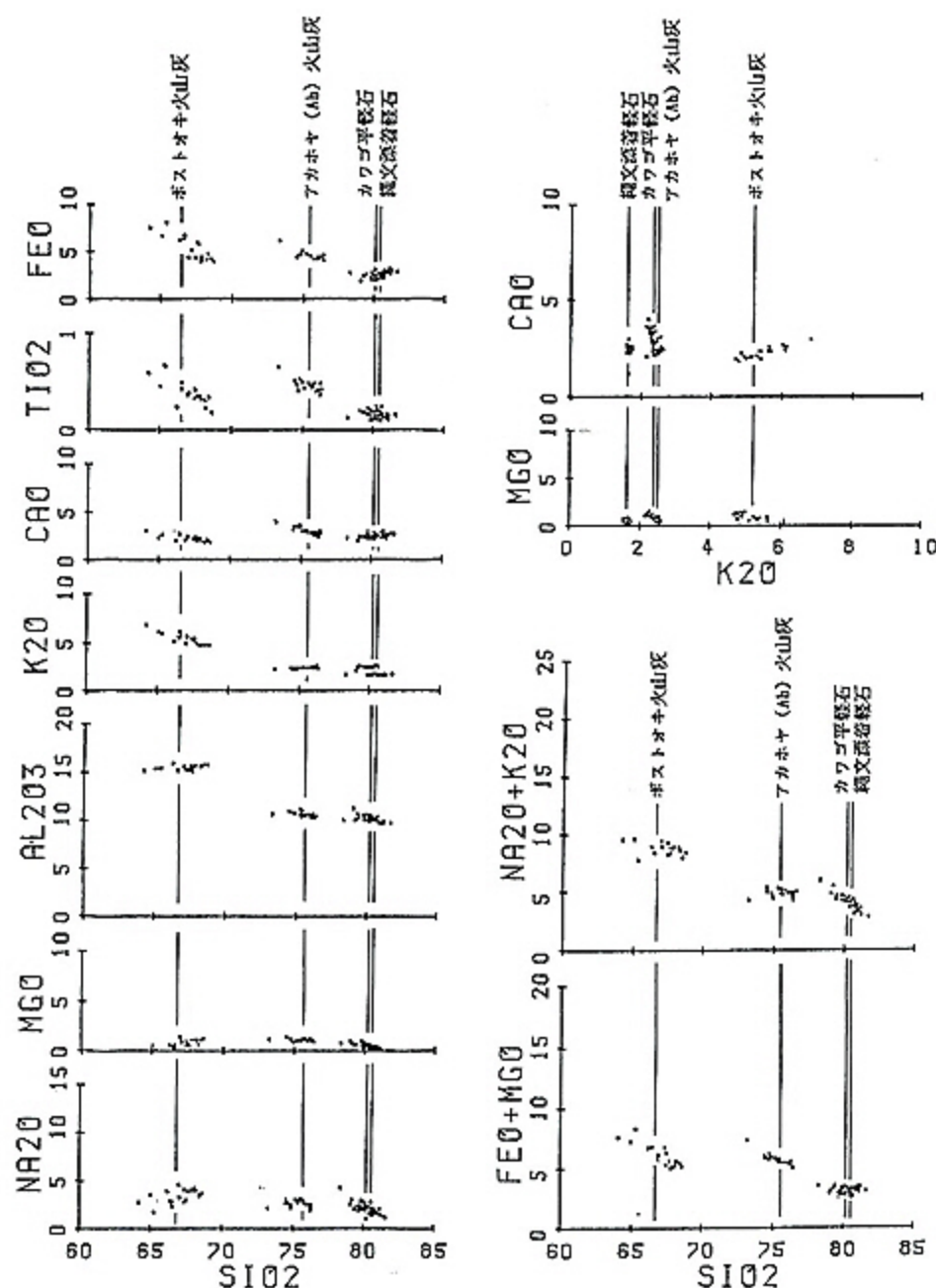


図10 各地の火山灰対比
Fig.10 Correlation of the tephra in vareous regions.

の表面に新期堆積物が音響的に見分けがつきにくいくらい薄いかほとんど被覆していないようにみえる。トカラ海峡最深部付近の音響的基盤E層露出域を東西方向に走る3.5KHzの音波探査記録からも、そこでは被覆する soft sediment が認められずE層が露出していることが認められる。これら音波探査記録解析結果は、潜水調査により確認

され、奄美大島から種子島・屋久島に続く海峡域で音響的基盤が露出していることが明らかとなり、本域のE層は古第三紀以前のものに対比される。

C層はエアガンのシングル・チャンネル記録では音響的基盤と識別が難しいことが多いが、マルチ・チャンネル記録では層理がよく認められ、明瞭に他と区別される。後期中新世から初期更新世

にかけての島尻層群（氏家，1990）に対比される。B層は、音響パターンとして層理が明瞭で堆積層を示し、場所によっては、B1、B2層に分けられる。本層は、本研究域全域に広く分布している。見かけ上、下位の層を斜交不整合で被覆している。本域海底表面では、このB層の傾斜層理が海底面で広範囲にわたって侵食を受けたようにみえる（図6）。図6は、海上保安庁水路部により得られたエアガン・シングルチャンネル記録（大島ほか，1988）の一部であるが、B層上面の平坦面がB層の傾斜層理を切っていることが示される。RN91航海では、B層が侵食を受けて露出していると思われる地点でのピストン・コアリングが行われた。その際は、ごく少量の砂が得られたのみであった（図3、表1）。これは、その地点が新期の深海性軟堆積物にほとんど被覆されていない地点であることを示し、B層侵食面が露出していることを示唆している。

音波探査記録の解析および今回とこれまでに諸機関により得られた試・資料をもとにし、まだ模式的なものであるが簡略化した海底地質図を作成したものが図11である。これらの結果は、そこが更新世初期から水域であったならば、かなり厚い堆積物で被覆されて、平坦な地形をしていると思われる従来の常識的見解と大きく異なる。そこで、本域の侵食面のことについて考察する。

①「しんかい2000」による第609潜航調査の潜水直前に行われた、精密音響測深機（PDR）により得られたトカラ鞍部に沿った南北地形断面図は、同一平坦面が多数の断層で切られているところを示している（図7-(1)）。はたして、潜水結果は、侵食平坦面の存在を裏付けた。そこには、1億～数千万年前と推定される岩石が平坦面上に広く露出していた。採取された岩石は、弱変成を受けた千枚岩や石灰質砂岩で、四万十帯の名護層（白亜紀？）に属するものと鑑定された。そして、沖縄トラフから海溝斜面にかけて平均1kmの厚さで分布する島尻層群が、本域では全く欠如している（図11）。このことから、この地域は、中新世後期から更新世初期までは陸化していたかそれ以降侵食を受けた侵食面の露出する地域とみなせる。

②RN92航海により、トカラ鞍部より新期の石灰岩と思われる岩石をドレッジした。それに含まれ

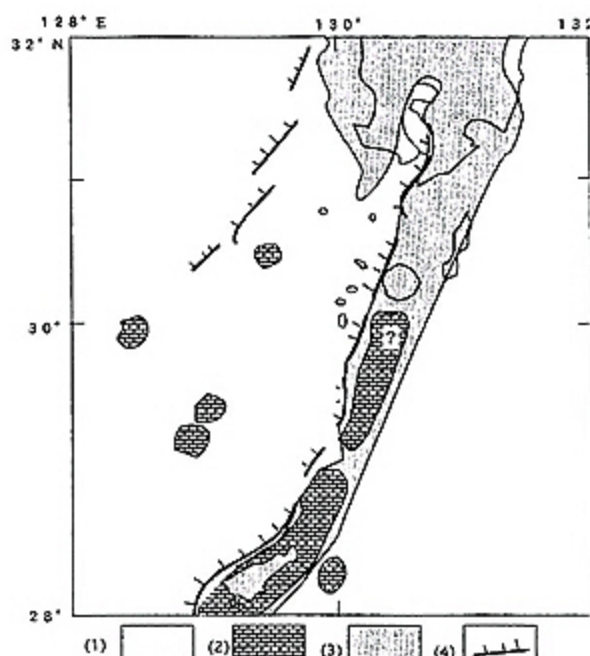


図11 先新第三系および琉球石灰岩露出域。凡例：(1)後中新世以後の堆積物分布域、(2)琉球石灰岩、(3)先新第三系、(4)断層

Fig.11 Distribution of outcrops of pre-Neogene formations and Pleistocene Ryukyu Limestone. Legend (1) Distributional area of Late Miocene to Pleistocene sediments (Shimajiri Group and younger one), (2) Ryukyu Limestone, (3) Pre-Neogene formation, (4) Faults.

る貝化石に付着した堆積物のタンデトロンによる年代値は、35,000年より古いとで、ナンノ化石ではCN14 (0.91-0.27 Ma) あるいはCN15 (0.27～0 Ma) という結果を得た。RN92D-1の石灰岩は、円礫を包み込むような形で発達している。これは、四万十帯の岩盤が侵食され礫ができ、その上に不整合を介し石灰岩が形成されたものとみなせる。その基盤が名護層とすると、本域では白亜紀から更新世にわたる堆積のギャップがある。このことから、石灰岩堆積前この地域が陸化していた可能性が推定される。

さらに、本域周辺に琉球層群（石灰岩）が広く分布しているにもかかわらず、潜水域にはそれが欠如している。ということは、本域は更新世の後期に陸化していたか侵食を受けたことを示している。現在、琉球石灰岩は陸上の海拔300mほどま

で分布している。しかし、ケラマ鞍部では古期岩石の上位に、琉球石灰岩を欠いて8,000年前後の砂が堆積しているだけである。ということは、鞍部にも石灰岩の堆積があったが、その後大幅に侵食されたということが強く示唆される。すなわち、当域は石灰岩堆積後陸化した可能性がある。そして、少なくとも8,000年前以後は水面下にあったということになる。そして、石灰岩中に*Emiliana huxleyi*が含まれているところから、その石灰岩の形成は27万年より若いことが考えられる。侵食の時期は、27万年前より若いことが考えられる。そうすると、本域の侵食は20数万より後ということになり、ケラマ鞍部の侵食期（木村ほか、1992）と時期が同じになる。

③潜水域最深所では、その面上に円磨度の良い細粒から粗粒の砂が基盤を薄く覆っているようである。砂の上位には現世の細粒堆積物（マリンスノーを主体としたもの）がごく薄くのっているだけである。露岩上の堆積物についても、マリンスノー由来のものを除くと、認められたものはすべて砂質である。潜水域最深所の海底から8~9cm 下に含まれていた浮遊性有孔虫についてのタンデトロンの年代測定の結果は、7,800±160 Y.B.P. すなわちおよそ8,000年前ころのものとでた。一方、潜水域の最高所の砂質堆積物表層付近からは、ほぼ6,300年前とされる「赤ホヤ火山灰層」と呼ばれる火山灰層が同定された。以上により、27万年以前の石灰岩の上を8,000年~6,000年前の砂（測定されたかぎりでは）が被覆しているということがわかった。しかも最深部ではそれが石灰岩を欠いて直接古期岩類を被覆しているということは、その間に侵食があったことを示している。

④音波探査記録によって明らかになったB層の上面が侵食面となっていることにより、B層堆積後に侵食基準面が付近に存在し、海面付近であったことが考えられる。トカラ海嶺では、基盤岩E層と琉球石灰岩相当層との間ではC層がみられない。つまり、基盤岩E層露出域がC層堆積時に陸だったために、鮮新世から更新世初期にかけての島尻層群相当層のC層は音響的基盤のE層露出域の上に堆積しなかったか、その後侵食されたと考えられる。その後B層が堆積する。この時期に海嶺部に堆積したものが琉球石灰岩に対比される。この

後海面低下によって、B層上部が侵食される。B層堆積後ふたたび海水面は相対的に低下しB層上部は広範囲にわたって侵食を受ける。このB層上部の侵食時にはトカラ海峡は種子島・屋久島と奄美大島を結ぶ最後の陸橋を形成していた可能性がある。それはまた、狭い水路が存在する陸域であったことも考えることができる。

⑤潜水調査の結果、トカラ・ギャップとケラマ・ギャップ領域の露岩上には、新期の珊瑚礁の形成は認められなかった。これは、琉球海嶺域の侵食あるいは沈水は、氷期の温度低下時にになされたとの推定と一致する。更新世後半の氷期はリスカウルムである。しかし、リス氷期（24-14万年前）に平坦面が形成され、その後沈水し海面上に顔を出さなかったとすると、本域にその後の堆積物、とくにウルム氷期の際の海面低下時の削り出された堆積物等がたまってよいはずである。それを確認するために最深部に潜水したわけであるが、そこは古期岩石が露出していて、通常陸棚斜面にみられるような泥質堆積物によって埋積されているという事実は観察されなかった。ところが一方、トカラ鞍部の海溝側斜面では、従来の長崎丸のピストン・コアリングにより泥質堆積物が得られている。それは海嶺部の侵食によりもたらされたものであろう。したがって、本域海嶺上部の侵食は最終氷期に行われたとすると合理的にみえる。このことは、堆積物や大量の生物付着が行われる時間がないくらいの速いスピードで沈んだことを示している。その、水没を促進させたものに、東西性の断層があると思われる。

以上の点から、本域の陸化ないし侵食はウルム氷期（11万~2万年前）に行われており、本域の沈水はウルム氷期以降の可能性がでてきた。

⑥潜水地点の砂の厚さがPDR記録から数mはありと読み取ると、単純に砂の堆積率から逆算すると、およそ1万年前からの堆積ということになる。すると、20数万年前以降にこの地域が陸化した、1万年前以後からここは浅い水域があった可能性がある。そこは、干潮時には大型哺乳類動物が渡れたが、小型哺乳類動物は渡れなかったというような水路を形成していたのかもしれない（図12）。

⑦沖縄本島で島尻層群堆積後琉球石灰岩堆積前の時期に水域にたまった堆積物としては、知念層が

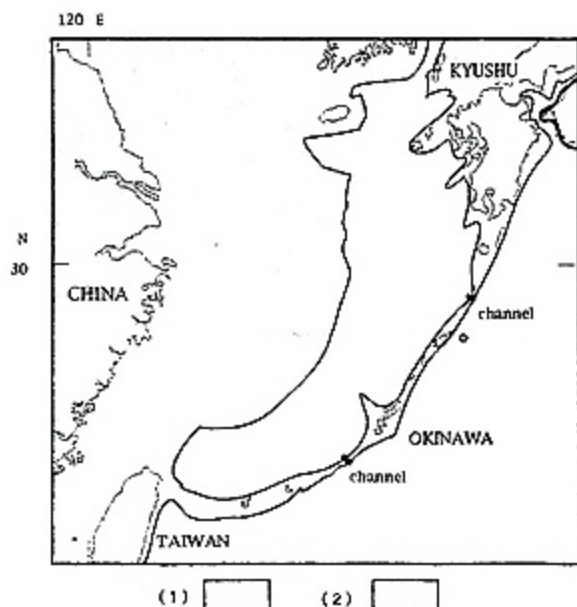


図12 古地理図。凡例(1):水域, (2):陸域
Fig.12 Paleogeography. Legend (1):Water area, (2):Land area.

ある(西田, 1980)。年代と岩層からこれに対比できる地層がケラマ・ギャップには認められる(表6)。ケラマ・ギャップは、更新世初期に陸橋が形成された直後は水域であった可能性がある。その後陸化して、琉球石灰岩形成前には陸橋が完成していたと思われる。ところが、当時水域に堆積したと思われる堆積物は、トカラ鞍部では確認されていないので、そこは水域ではなかった可能性がある。しかし、マルチ・チャンネル記録上でそれらしい堆積物がより北方に認められる。したがって、160-150万年前のいつかは、そこが切れて海峡を作っていた可能性がある。

⑧トカラ鞍部では、現在の海底面を切る断層(活断層)が無数に発達していることが観察された。しかも、採取された岩石にも無数の割れ目が入っていて、本域は基本的には破碎帯であることを示している。音波探査記録からも多くの断層が認められる。本域の平坦面形成磁気や沈降時期およびそれを促進させたと思われる断層運動等すべてが、1991年に「しんかい2000」等により調査された沖縄島と宮古島の間にあるケラマ・ギャップのそれと酷似する。その結果を合わせると、琉球弧は、後期更新世(10万年前以降)に九州に連なる陸橋

であった可能性がある(図12)。そしてケラマ・ギャップとの関係から、それが1.8万年前以降間氷期の海面上昇と断層運動により急速に沈水したという可能性が強い。図12は以上の成果をふまえ、木村(1991)に修正を加えたものである。

7.2 沖縄トラフの形成

現在の地形に通じる沖縄トラフの形成は、島尻層群堆積中から後に発生する。およそ2Ma以降のことと推察される。しかしその沖縄トラフの前身は、10Maから4Maの間に形成されたと推定される堆積盆とみられる。このとき、トラフ底の基盤はかなり拡張し、現在の琉球弧にあたる地域も大きく東および南方に移動したとみられる。この期の堆積盆は浅い水域から徐々に深化し、しかもその周辺は陸域が大きく広がっていたため、そこには粗粒な堆積物がたまったと推定される。そして、そのころの堆積盆地はその後ほとんど埋積され、厚い堆積層を形成した。この時期の新第三紀の粗粒堆積物は、石油・ガスの貯留層になり得る点からも、今後これら堆積盆についての検証が重要となろう。

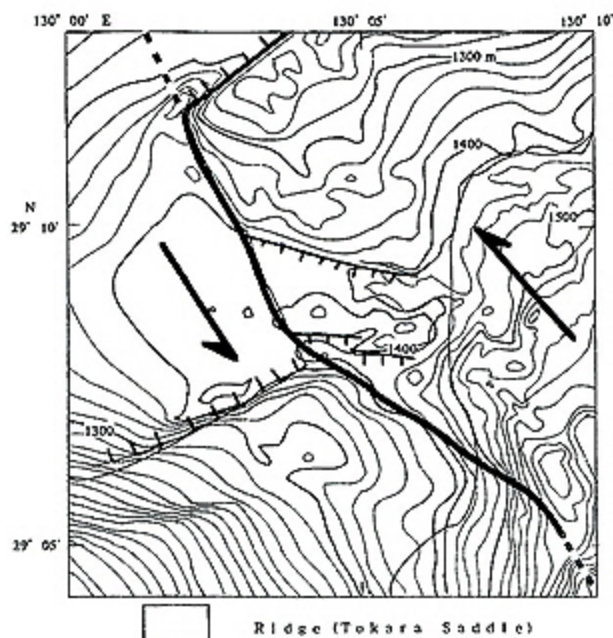


図13 シービーム地図より推定される北東-南西性の左横ずれ断層

Fig.13 Major, left lateral fault estimated by seabeam map topography.

そして、口之津層群との対比では、2 Ma ころから現在の沖縄トラフの中軸に沿って深部裂罅が形成され、地表近くでは沈降域が発達したであろう。そこにはおそらく淡水性の堆積物がたまっていたと思われる。その時期に堆積したのが口之津層群下部の大屋層(岡口・大塚, 1980)であろう。そこへ海水が進入してきたのがおよそ1.5 Ma のことと推定される。この相対的な海面上昇で堆積した地層が、島原半島口之津層群の北有馬層であり、沖縄本島の仲尾次、知念層と思われる。この層はケラマ鞍部およびトカラ海峡北部付近で発達したと思われる。したがって、この頃の陸橋はケラマ、トカラ北部あたりで切り離されていた可能性がある。しかし、琉球石灰岩堆積直前にはケラマ・ギャップも陸化していた。小論では、すでに述べたように、その後さらに更新世後期には琉球海嶺全域にわたる陸化・侵食の時期があったことが推定されたのである。

トカラ鞍部の屋根状高まりおよび露岩域の分布を見ると、最深部のギャップを境にしてS字型に湾曲をしている。これは地形と断層分布をよく検討すると、図13のような左横ずれの大断層が推定される。これによると、トカラ鞍部の東西性の正断層群は深部断層の左横ずれ運動で生じた tension cracks の可能性がある。この横ずれ断層の東方延長では、これより海溝側の、水深2,000mの等深線で代表される地形が推定横ずれ断層の延長線を境にして、それより南がぐっと海溝軸側にせりだして大きく左横ずれのセンスに一致する変化を示している(図14)。これはケラマ・ギャップでも同様である。ところが、南西諸島海溝の軸ではそれに対応するずれがほとんど認められない。このことから、トカラ・ギャップ、ケラマ・ギャップの左横ずれ運動は、フィリピン海プレートの断層の影響を受けて形成されたとするよりも、主として沖縄トラフの拡大によりもたらされたものと推定される。したがって、中央地溝に認められる熱水活動の場とも密接な関係を持つことが示唆される。

ただし、水深2,000mのずれは非常に大きくて、現在の琉球海嶺の鞍部およびケラマ鞍部でのずれはごくわずかである。このことは、中新世～鮮新世にかけてトラフの拡張運動が活発であったが、その後は陥没運動に転じたと推定された沖縄トラ

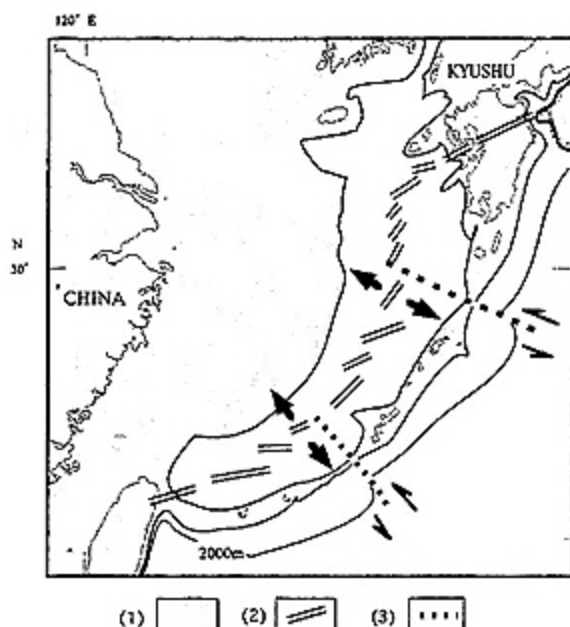


図14 沖縄トラフの拡張と縁辺域との関係を示す図。
凡例 (1): 2-3万年前の陸域, (2): 中央地溝,
(3): 深部断層

Fig.14 Relationship between the extension of the Okinawa Trough and movement of the marginal region. Legend (1): Land during 20-30 thousand years ago, (2): Central rift of the Okinawa Trough, (3) Deep fault (transform fault?).

フの形成史と調和的である。

8 結 論

1) 「しんかい2000」による潜航調査では、ケラマ鞍部の基盤が同海峡最深部近くで露出しているのが認められ、音波探査記録による音響的基盤の露出が確認された。この音響的基盤は、潜航調査によって採取されたサンプルの薄片観察より、中生代後期から暁新世にかけての地層と推定される名護層相当層(四万十帯)に対比される。トカラ鞍部最深部では、この岩盤の上に、中新世後期から更新世初期にかけての堆積物のC層、更新世初期から更新世後期にかけてのB層および琉球石灰岩が堆積していない。この事実、暁新世以降に陸化した基盤岩が更新世のある時期まで陸化していたか更新世中期以後の侵食によるものと考え

られる。

2) 「長崎丸」RN-92 で行われたドレッジでは、トカラ鞍部の最深部の少し北方で琉球石灰岩が採取された。これにより、琉球石灰岩堆積後に平坦面が形成されたことが示唆される。したがって、石灰岩層形成後侵食を受けた可能性がある。本域の鞍部上の平坦面は、24~14万年前のリス氷期に形成され、その後また、ウルム氷期にも侵食を受けたと考えられる。そして、現在の最深部付近は浅海性の砂質堆積物がたまるような水路が存在したという見方ができる。

3) トカラ鞍部では、断層性の断層が顕著に発達していることが確認された。それらの形成は、沖縄トラフの中央地溝を中心とした拡張運動や熱水活動の場と密接な関係があることが示唆された。

4) 「しんかい2000」による潜水調査およびエアガン音波探査記録解析結果より、九州と琉球弧は、およそ3万年から2万年前ころまではつながっていて陸橋を形成していた可能性が推定される。現在のトカラ海峡は、更新世の後期以後に断層等をともない相対的な海面上昇によって沈み形成されたと推定される。

謝 辞

海洋科学技術センターの「しんかい2000」の段野洲興司令、「なつしま」の井村齊船長をはじめ両船の関係者の方々には、調査に際し大変お世話になった。琉球大学の氏家宏教授、加藤祐三教授、新城竜一博士、中国鉱産地質研究室(Ministry of Hills and Waters in Guilin)の朱桂田氏らには「長崎丸」での海底サンプル採取、岩石鑑定等に際しお世話になった。また、(株)朝日テクノの田坂淳二氏および琉球大学学生の川井田敏久君らにはデータ整理に関し助力いただいた。また本研究の一部に、文部省科学研究費一般研究(B)(04452078)を使用させていただいた。あわせて紙面をもって謝意を表す。

参考文献

安間 恵 (1976): トカラ海峡の地質構造. 琉球列島の地質学的研究, 1, 163-175.
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.

木村政昭・本座栄一・植田 修・下柳田和人・玉城 勉 (1980): 沖縄舟盆中・北部および周辺海底の地質層序・構造. 琉球列島の地質学研究, 5, 133-166.

Kimura, M. (1985): Back-arc rifting in the Okinawa Trough. Mar. Pet. Geol., 2, 222-240.

木村政昭 (1991): 音波探査記録からみた琉球弧の第四紀陸橋. 中川久夫教授退官記念地質論文集, 109-117.

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.

木崎甲子郎編 (1985): 琉球弧の地質誌. 沖縄タイムス社, 那覇, 278pp.

小西健二 (1965): 琉球列島 (南西諸島) の構造区分. 地質雑誌, 71, 437-457.

松本 剛, 木村政昭 (1993): 1771年八重山地震津波発生域における精密地形調査と津波発生メカニズムに関する一考察. 地震, 第2輯 45(4), 417-426.

Matsuoka, H. and H. Okada, (1989): Quantitative analysis of Quaternary nanoplankton in the subtropical northwestern Pacific Ocean. Mar. Micropaleontol., 14, 97-118.

NASH, D. F. (1979): The Geological development of the North Okinawa Trough area from Neogene times to Recent. J. the Japanese Asso. Petroleum Technologists, 44(5), 121-133.

西田史朗 (1980): 沖縄南部の鮮新—更新統境界付近の石灰質ナントプランクトン層序. 地質雑誌, 86, 525-536.

Okada, H. and D. Bukry (1980): Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). Mar. Micropaleontol., 5 (3), 321-325.

岡口雅子・大塚裕之 (1980): 口之津層群にお

る凝灰岩および竜石層中のジルコンのフィッ
ショントラック年代. 第四紀研究, 19, 75-
85.

大島章一・高梨政雄・加藤 茂・内田摩利夫・岡
崎勇・春日 茂・川尻智敏・金子康江・小川
正泰・河合晃司・瀬田英憲・加藤幸弘(1988):
沖縄トラフ及び南西諸島周辺海域の地質・地
球物理学的調査結果. 水路部研報, (42), 19-

43.

氏家 宏(編)(1990): 沖縄の自然—地形と地質.
ひるぎ社, 那覇, 271pp.

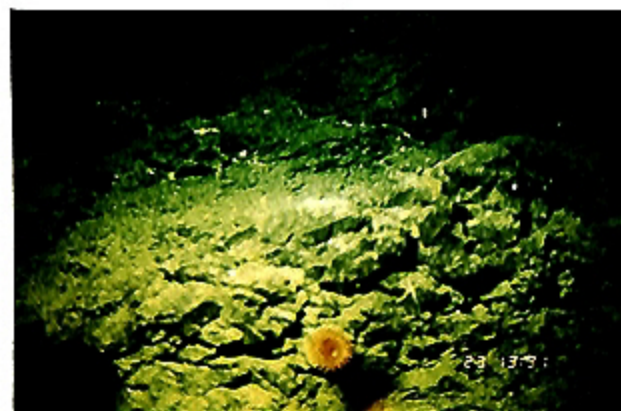
(原稿受理: 1993年7月30日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

(1)



(2)



(3)

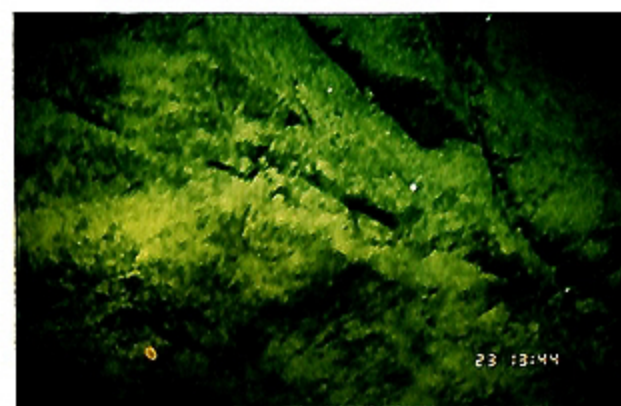


写真1 1992年、「しんかい2000」第609潜航により撮影した海底の様子

- (1) 砂底のリップルマーク。多数認められる (St.1 から St.2 へ移る地点, 11時26分撮影, 最深部近く)。
- (2) 海底岩盤露出の状態 (St.4 と St.5 の間, 13時31分撮影)
- (3) 海底岩盤露出の状態 (St.5 の近く, 13時44分撮影)

Photo 1 Features of the floor of the Tokara Saddle taken by Dive 906 of "Shinkai 2000" in 1992.

- (1) Well developed ripple mark on clean sand in the deepest part of the Kerama Saddle. The photograph was taken at 11°26'26" between Sts.1 and 2.
- (2) Exposure of the basemental rock. The photograph was taken at 13°31' between Sts. 4 and 5.
- (3) Exposure of the basemental rocks and numerous cracks. The photograph was taken at 13°44". Near St.5.

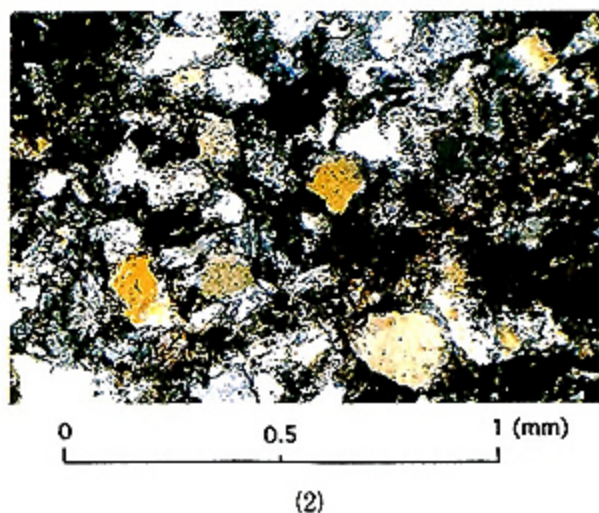
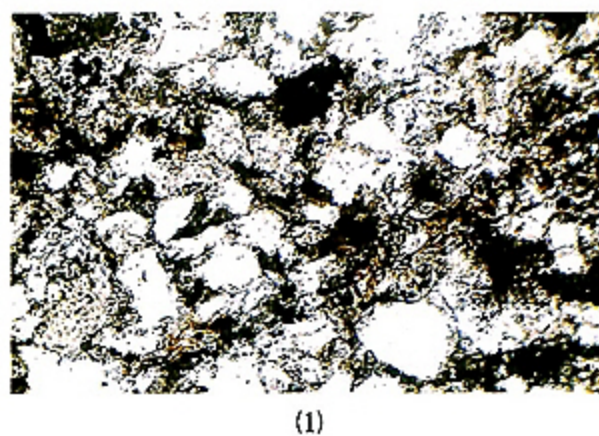


写真2 トカラ鞍部よりドレッジされた岩石 (RN92D-1)

- (1) 古期岩類 (名護層)
- (2) 琉球石灰岩に対比される岩石

Photo 2 Rock samples dredged from the Tokara Saddle (RN92D-1).

- (1) Basement rock (Nago formation).
- (2) Clastic limestone correlated with Ryukyu Limestone.

写真3 RN92D-1 の古期岩類の顕微鏡写真 (朱桂田撮影)

- (1) オープン・ニコル
- (2) クロス・ニコル

Photo 3 Microscopic photo of RN92D-1 rock (Nago formation).

- (1) Open nicol.
- (2) Cross nicol.