

沖縄トラフ東縁 (ケラマ鞍部) のテクトニクス

木村政昭*¹ 門馬大和*² 松本剛*² 青木美澄*¹
大塚清*² 満澤巨彦*² 田中裕一郎*³ 小野朋典*¹

1989年および1990年の2年度にわたり、海洋科学技術センターの「かいよう」により、沖縄トラフの東縁にあたるケラマ鞍部において、シービームによる精密地形調査および曳航式深海カメラ、ドレッジによる地形・地質精密調査が行われた。

その結果、本域は0.2Ma以降降陸化、浸食を受けた可能性が強いことが明らかとなった。またその沈水時期は、浸食を受けた海底に堆積物が堆積する間がない程度に新しいことが明らかとなった。

Tectonic Movement at the Kerama Saddle in the Eastern Margin of the Okinawa Trough

Masaaki KIMURA*⁴ Hiroyasu MONMA*⁵ Takeshi MATSUMOTO*⁵
Misumi AOKI*⁴ Kiyoshi OTSUKA*⁵ Kyohiko MITSUZAWA*⁵
Yuichiro TANAKA*⁶ Tomonori ONO*⁴

Detailed topographic and geologic surveys by means of Seabeam sounding-system and deep tow camera with dredger were carried out by the "KAIYO" (JAMSTEC) at the Kerama Saddle in the eastern margin of the Okinawa Trough during 1989 and 1990. The result reveals that the eastern margin of the Okinawa Trough was subaerially eroded some time after 0.2 Ma. The Kerama Saddle has been subsided in very young age as no sediments deposited on the eroded surface of the saddle.

-
- * 1 琉球大学理学部
 - * 2 海洋科学技術センター
 - * 3 地質調査所海洋地質部
 - * 4 College of Science, University of The Ryukyus
 - * 5 Japan Marine Science and Technology Center
 - * 6 Geological Survey of Japan

1. はじめに

沖縄トラフのリフティングがいつ行われ、どのように進んできたかということは、その東縁の形成史と密接な関係をもつ(木村, 1983)。沖縄トラフの東縁には、南西諸島をのせる琉球海嶺が位置する。この琉球海嶺の最深部がケラマ鞍部である。

ケラマ鞍部は、沖縄島の南西方約300kmに位置する(図1)。そこは琉球列島を地形的・地質的に南北に分ける構造地形で(本座, 1977)、ケラマ鞍部と呼ばれる凹所にあたる。それは沖縄島と宮古島の間を横切る凹地ということで、従来は宮古凹地と呼ばれていた場所である。1975年と1976年に海上保安庁水路部によって、沖縄島近海の海底地形および地質構造調査が行われた結果、「慶良間海裂」と命名された(加藤ほか, 1982)。ケラ

マ鞍部(慶良間鞍部; Kerama Saddle)とは、慶良間海裂の中の北東-南西方向にのびる海嶺状部分であり、ここは、琉球海嶺の一部にあたる(木村, 1991)。そして、音波探査記録の解析から海裂中のケラマ鞍部は、1.8万年以降に南方へ台湾を経て中国大陆にまでつながっていた陸橋が沈没した最深部との示唆が得られている(木村, 1991)。

そこで、1989年6月と1990年11月に、海洋科学技術センターの海中作業実験船「かいよう」(2,840t)によって曳航調査およびシービーム調査が行われた(図2)。そして、シービームによる海底地形図、曳航式深海カメラのビデオ記録、およびドレッジ・サンプル等が得られた。その一部はすでに公表されている(図3)(木村ほか, 1990; 松本, 木村, 1991)。

2. 調査

2-1. 日程・範囲

- 1) 1989年6月18日-21日(DK89-1-OKN, LEG 2)
昼間カメラの曳航が行われ(図4, 表1)、夜間にシービームによる地形調査が行われた(図4)。本調査ではサイド・スキャン・ソナーの曳航も行ったが、それは現在解析中である。シービーム調査の範囲は、北緯 $25^{\circ}40'N$ ~ $25^{\circ}50'N$ の緯線および、東経 $126^{\circ}50'E$ ~ $127^{\circ}10'E$ の経線で囲まれる範囲である。この区域において、約1,155m(0.62マイル)間隔に東西方向の測線を設定して調査を行った。
- 2) 1990年11月8日-24日(DK90-8-NSS, LEG1, LEG2)

本調査は、すべてシービームによる調査であり、海況が許す限りの範囲で24時間観測を行った。慶良間海裂の精査は、11月12日から14日と、22日から24日の間に行われた。本調査では、1989年の調査の結果残った空白部分を埋めることを目的とした。それに加えて、更に南北へ範囲を拡大した。この調査によって、慶良間鞍部南東の海底谷の地形と、「慶良間断層」およびその北側の凹地の地形が、より詳細に記録された。

1990年の調査では、前年の調査で特に記録の空白部分が多かった北緯 $25^{\circ}46'N$ 以南において、その空白部分を埋めるように測線を設けた。その

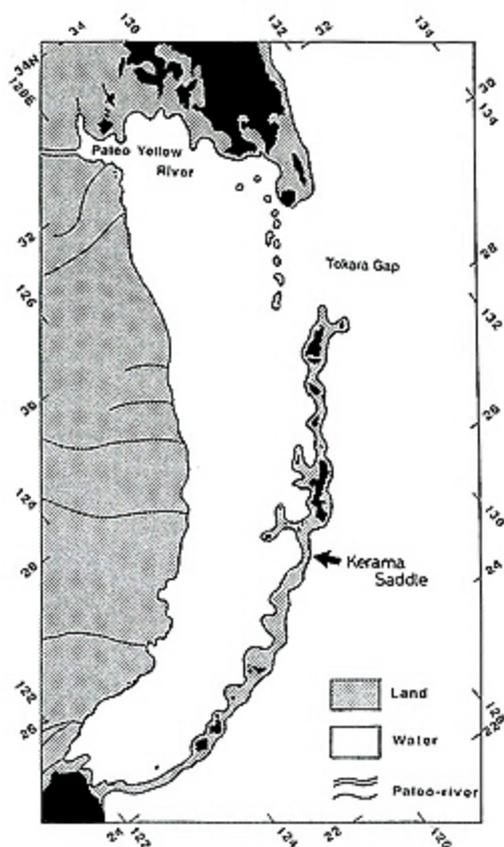


図1 後期更新世に推定される陸域(木村, 1991)とケラマ鞍部の位置。

Fig. 1 Location of the Kerama Saddle, and estimated land areas in Late Pleistocene time (Kimura, 1991).

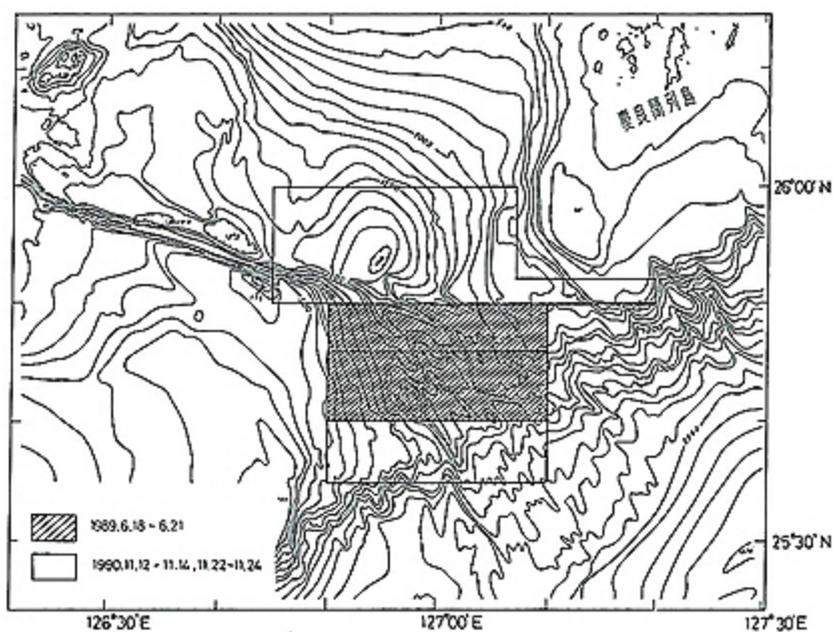


図2 海洋科学技術センター「かいよう」のシービームにより測定された範囲。

Fig. 2 Surveyed area measured with Seabeam by "KAIYO" of JAMSTEC.

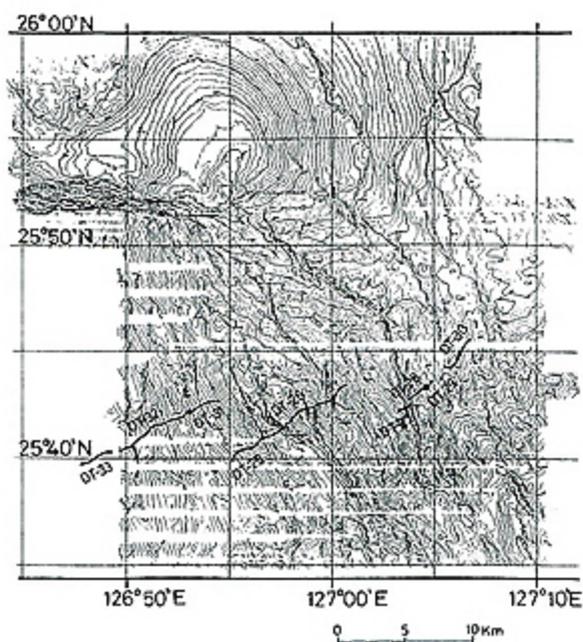


図3 慶良間海裂中のケラカ鞍部のシービーム地図。(松本, 木村, 1991より)

Fig. 3 Seabeam map of the Keraka Saddle in the Kerama Gap (after Matsumoto and Kimura, 1991).

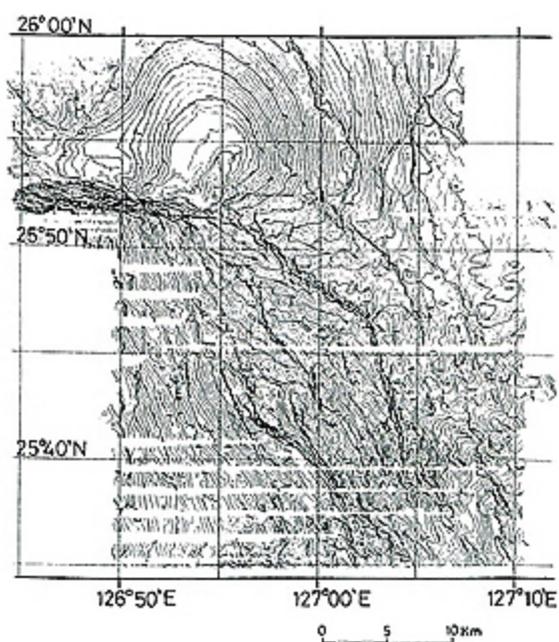


図4 深海曳航式カメラ・システムの測線
Fig. 4 Track lines of the Deep Tow Camera system.

表1 深海曳航式カメラの測線一覧。測位はGPS (Tokyo Datum) による。

CS: カメラ撮影とサンプリング

Table 1 Deep tow lines at the Kerama Saddle, measured with GPS (Tokyo Datum).

CS: Camera and sampling

Line No.	Date	Time (JST)	Lat. (Tow Fish Position)	Long.	Depth of the camera	
DT-25CS	08/19/89	Start	07:30	25-39.92	126-55.19	972n
		End	08:40	25-40.32	126-56.54	1,246n
DT-26CS	08/19/89	Start	10:45	25-40.32	126-56.54	1,234n
		End	17:45	25-43.37	127-00.76	952n
DT-27CS	08/20/89	Start	07:45	25-42.26	127-03.28	1,110n
		End	09:00	25-42.56	127-03.93	893n
DT-28CS	08/20/89	Start	09:53	25-42.76	127-03.89	835n
		End	10:50	25-43.43	127-04.65	888n
DT-29CS	08/20/89	Start	11:39	25-43.25	127-04.52	873n
		End	13:20	25-43.47	127-04.41	887n
DT-30CS	08/20/89	Start	14:48	25-44.27	127-05.44	935n
		End	17:45	25-45.52	127-06.74	935n
DT-31CS	08/21/89	Start	07:30	25-42.66	126-54.41	1,028n
		End	08:51	25-42.23	126-53.12	858n
DT-32CS	08/21/89	Start	09:49	25-42.03	126-53.07	916n
		End	15:10	25-40.38	126-49.74	524n
DT-33CS	08/21/89	Start	15:58	25-40.31	126-49.73	526n
		End	17:50	25-39.74	126-47.83	363n

際、更に南へ北緯25°35'Nまで範囲を広げた。東西方向は水深が浅くなるため、一定間隔または東西方向の測線では記録がとりにくくなることと、調査期間の関係からそのための測線を増やせなかったことなどがあり、範囲の拡張はしなかった。北は主に、北緯25°50'N~26°00'Nの緯線、東経126°45'E~127°07'Eの経線で囲まれる範囲を調査した。この範囲は当初、東方は東経127°20'Eまで範囲を広げて精査を行うような測線を予定した。しかし、調査を進めるうちに、東方の慶良間堆に近付くにつれ、水深が浅くなること、数本の測線を終了した時点で、特に気になる地形が見られないことなどから、その後は東経127°07'Eまでとした。西端の東経126°45'E付近は、慶良間海裂断層の北側に位置する凹地のうち、最も東側の凹地をカバーする範囲である。

2-2. 調査機器システム

1) シービーム・システム

「マルチナロービーム音響測深機」(Multipul Narrow Beam Echo Sounder) が正式名であるが、

アメリカのGeneral Instrument社製の装置の商標名である。"シービーム"の名称は、すでに内外で一般化しているので、本論文においてもこれを用いる。シービームが、従来の音響測深機と異なるのは、船の航跡に沿って帯状に走査できる点である。従来は、指向角の広い音響ビームを使用し、海底の平均的な水深を記録していた。これに対しシービームは、指向角のせまいビームを船の進行方向に直角に発射し、その線上の水深を記録する。これを連続的に記録することで、帯状に地形を走査することを可能にしたものである。船底にある送波器から、片舷約20°の角度で合計16本の音響ビームを発射する。ビームの周波数は12KHzである。海底からの反射を受波器が受けて、コンピュータが水深を計算し、記録する。記録の幅は船の直下水深のおよそ70%になる。得られた記録は、船の航跡のデータを加えて、リアル・タイムで地形図が作成されるようになっている。双胴船である「かいよう」では、送・受波器は右舷船底に設置されている。

観測に先立って、調査海域付近でXBTを投下し、その海域における、海水中の音速の垂直分布を計算し、補正值として設定した。最終的には、位置などの補正を加えた上で、「シービーム地図」を完成させる。位置はGPSによる。これによって、これまでの測深記録で作成した地形図上では表現されなかった微細地形が明かにされた。しかし、それでも解像度は、高低差10m程度であるので、シービーム地図上でなだらかな斜面のように見えても、実際には細かい階段状の地形であったりする事もあった。本海域ではそのようなより微細な地形の情報も必要であるため、深海曳航式のサイド・スキャン・ソナーを用いた。

2) 深海曳航式カメラ・システム

1989年6月の調査では、鉄パイプ製のオープン・フレームに、次のような観測機材が組み込まれた。カラーTVカメラ(海底観察用)、同上用ライト、白黒TVカメラ(前方監視用)、同上用ライト、ステレオ・スチール・カメラ、同上用ストロボ、CTD測定機、高度計、トランスポンダ(13.5KHzで使用)等である。それぞれの機材が、収納されている耐圧容器の性能は、それぞれ

異なっている。曳航体全体の耐圧は水深4,000mである。搭載される観測機材は、観測の目的に応じて、追加や変更が行われる。カメラ曳航体は、スチール・カメラの焦点距離である3~4mの高度を保って、約1Ktの低速で曳航される。高度の目安のために、曳航体には約3mのガイド・チェーンが取り付けられており、その先端がカメラの視野に入る様になっている。また、曳航体のフレームから、箱型のドレッジャーを吊り下げ、必要と思われる場所で、船上で後述のテレビ画面を見ながらサンプリングを行った(表2)。ドレッジャーによるサンプリングは、ケーブルを繰り出して、ドレッジャーを数10秒程度着底させながら行う。長時間着底させると曳航体が海底の突起などにひっかかる可能性があるため、短時間に行う。

カラーTVカメラの映像は、船上のモニターに映し出される。この映像を見ながら、ウィンチ操作やスチール・カメラによる撮影などが行われる。画面には、時刻、曳航体の高度、深度、海水温が表示される。ビデオテープには、モニターに投影された映像の記録をとる。前方監視用の白黒TVの映像は、上り斜面や凹凸の多い海底を曳航する際に、適宜モニターを切り替えて、ウィンチ操作の手助けとする。切り替えた時には記録として残るが、それ以外は特に録画はしない。スチール・カメラによる撮影は、観察者が画面を見ながら、適宜撮影をする。100フィートフィルムを使用するので、一回の装填で約700枚の撮影ができる。ステレオ写真の撮影が可能であるが、必要でないときは一方のカメラのみを使用する。本調査でも、特に必要と思われなかったためステレオ撮影は行わなかった。船上では、観察者がモニターの映像を見ながら全測線の海底の様子を観察記録紙に記載する。この観察記録は、時間を追って地形、岩石の産状、底質、生物などについて記載をする。後に、ビデオ解析を行う時の手助けとなる。また、カメラに限らず、曳航調査を行うときには、測線の開始から終了までの間、5分毎に船と曳航体の位置の記録をとる。記録事項はその時刻における、船の直下水深、曳航体の船からの水平距離、深度、曳航体の方位、船首方位、速力およびケーブル長である。曳航体の相対位置は、曳航体に搭載したトランスポンダからの音響信号に

表2 ドレッジ・サンプルー一覧表。ただし、位置はカメラ測線の出発点と終点を示している。サンプルはこの間のどこかで得られたもの。

Table 2 Samples dredged. Locations represents starting and ending points of deep tow camera line. Samples were recovered at some place along the line.

DT-25	Time	Latitude	Longitude	Depth
89/6/18	Start 07:30	25°-39.92'N	126°-55.19'E	872m
	End 09:40	25°-40.32'N	126°-56.54'E	1240m
<ドレッジ試料の記載> ・No.被覆された標: 8×4.5×1.5, 5.5×4.5×3, 4.5×3×1.5cm 他. 5cm以下の標円盤 ・pencil: 4×3×1.5, 4.5×3×2.5cm 他, 2.5cm以下の小標10数個 ・scoria: 2cm以下 ・生物片: カイメン、貝片、サンゴ(?)片, etc. ・化石 (No.被覆): 魚の耳石、殻の骨				
DT-26	Time	Latitude	Longitude	Depth
89/6/19	Start 10:45	25°-40.32'N	126°-56.54'E	1234m
	End 17:45	25°-43.37'N	127°-00.76'E	952m
<ドレッジ試料の記載> ・薄くNo.被覆された標: 6.5×5.5×5, 8.5×4.5×4cm ・No.被覆された2.5cm以下の標円盤 ・pencil: 2cm以下の小標 5個 ・生物片: カイメン、貝片 ほか ・泥 ・現生生物: 貝、ナマコ				
DT-27	Time	Latitude	Longitude	Depth
89/6/20	Start 07:45	25°-42.26'N	127°-03.28'E	1110m
	End 09:00	25°-42.56'N	127°-03.93'E	893m
<ドレッジ試料の記載> ・No.被覆された黄褐色の中粒~粗粒砂(?) 粒。有孔虫と思われる白色の粒。 緑灰色の泥の塊(数ミリ)を含む泥岩: 20×18×8cm (4kg) ・No.被覆された標円盤: 12×7×4.5, 11×8.5×5.5, 8×5×3.5, 7.5×5.5×4, 7×8×3, 8×4×3.5cm ほか ・No.被覆された標 (ハンマーに傷がつく): 9×4×2, 6.5×4.5×2.5, 4.5×3.5×3.5cm ほか ・板状のNo.被覆された標: 14.5×8×2.5, 11×7.5×1, 11×7×2, 8.5×6.5×1, 9×4.5×0.5, 9×6×2cm ほか ・円筒状の泥岩(中にエビ): 10×4×3cm ・pencil: max. 5×4×3cm ほか3cmほどの小標 ・生物片: カイメン、貝片、サンゴ(?)片 ほか				
DT-28	Time	Latitude	Longitude	Depth
89/6/20	Start 09:53	25°-42.76'N	127°-03.89'E	885m
	End 10:50	25°-43.43'N	127°-04.65'E	886m
<ドレッジ試料の記載> ・No.被覆された標円盤: 4×2.5×1cm ・薄くNo.のついた泥岩質砂岩: 3.5×2×2cm ・2~3cmの穴のある黄灰色の泥岩: 9×6×3.5cm ・0.2cmほどの穴のある泥岩: 8×5×3cm ・No.被覆された板状標: 4.5×3.5×0.5cm ・pencil: 1cmほどの小標 ・生物片: カイメン、サンゴ(?)の骨、標に付着した藻類(?)、貝片				
DT-29	Time	Latitude	Longitude	Depth
89/6/20	Start 11:39	25°-43.25'N	127°-04.52'E	875m
	End 13:20	25°-43.47'N	127°-04.41'E	867m
<ドレッジ試料の記載> ・No.被覆された泥岩標: 8×4×1, 5.5×3×1, 3×3×1cm その他小片				
DT-30	Time	Latitude	Longitude	Depth
89/6/20	Start 14:48	25°-44.27'N	127°-05.44'E	935m
	End 17:45	25°-45.52'N	127°-08.74'E	935m
<ドレッジ試料の記載> ・生物化石を含むNo.被覆された石灰質砂岩 (30(a)): 22×20×9, 8×7×2.5, 9×8×3.5, 6×4.5×1.5cm ・薄くNo.被覆されたpencil: 9×6×4.5, 5×4.5×3.5cm ほか小標3個 ・No.被覆された小標標および新鮮な泥岩 (30(b)): フジツボ、貝片、殻の骨、 化石、カイメン ・化石: ツキヒガイの仲間、巻貝				
DT-31	Time	Latitude	Longitude	Depth
89/6/21	Start 07:30	25°-42.60'N	126°-54.41'E	1028m
	End 08:51	25°-42.23'N	126°-53.12'E	846m
<ドレッジ試料の記載> ・No.被覆された泥岩標: 24×10×3.5, 5×7×2 (カイメン付着) cm ・No.被覆された砂岩(?)硬質泥岩)標: 9×6×3, 7.5×4×2, 7×5×3.5, 6.5×4×4, 6×5×3.5, 5.5×4×2cm ほか小標 ・No.被覆された泥岩: 9.5×8.5×4 (生物化石と思われる白い粒を含む), 5.5×4.5×2.5, 4×2.5×2.5, 7.5×3, 4.5×3×2.5cm ほか小標 ・No.被覆された板状標: 9×4×1, 4×4×1cm ほか ・scoria(?) : 3×1.5×1cm ・細粒有孔虫砂岩(泥分多い): 貝片、浮遊性有孔虫、底生有孔虫、ウニの骨、 カイメンの骨片、その他軟体動物 (DT-33に比べ生物片は少ない)				
DT-32	Time	Latitude	Longitude	Depth
89/6/21	Start 09:49	25°-42.03'N	126°-53.07'E	916m
	End 15:10	25°-40.38'N	126°-49.74'E	524m
<ドレッジ試料の記載> ・No.被覆された泥岩 (板状): 14×10.5×4.5, 11×8.5×5, 8.5×7.5×4, 8×6×3.5, 7.5×6.5×2, 7×5×3.5cm ほか小標数個 ・No.被覆された板状の石灰質砂岩: 9×6×0.7cm ・岩石小片及び生物片: カメガイ、浮遊性の貝、その他貝片、フジツボ、ヒトデ。				

・ウニの殻、カイメン、底生有孔虫、peccis、透明動物種子

DT-33	Time	Latitude	Longitude	Depth
89/8/21	Start 15:58	25°-40.31'N	126°-40.73'E	526m
	End 17:50	25°-39.74'N	126°-47.83'E	363m

<ドレッジ試料の記載>

・砂：浮遊性有孔虫、底生有孔虫、カメガイ、ウキビシ、ツノガイ、その他の貝及び貝片、コケムシ、ウニの殻・殻、サンゴ片、カイメンの骨片、甲殻類の殻、その他生物片（貝石片や動物種子などは見当たらない）

よって計算される。これと船位とから、絶対位置を決定できる。

1989年の調査で行われた曳航式深海カメラの測線は、慶良間鞍部の尾根部に沿うような方向に設けられた(図4)。図中の"DT-"はカメラ曳航調査の測線番号である。カメラの航跡は、おもにLoran-Cと音響測位によって記録したが、DT-26の一部はLoran-Cの欠測のためNNSSによる。測線の開始および終了地点の位置は表1のとおりである。

海底観察をしながら曳航式カメラ・システムに設置した小型ドレッジャーにより、適宜ドレッジを行った。サンプルの採集地点の推定は、ビデオ解析と採れたサンプルの比較によって行った。図15にあるように、延べ36回のサンプリングを行ったうち、主にサンプルが採集されたと思われる場所を円で囲って示してある。採集地点の推定に当たっては、ビデオのモニター画面で観察される岩石の色と、実際にサンプルとして採れた岩石の色が異なるために、それらを対照することが困難なものもあった。また、DT-25、26では、ドレッジャーの取り付け位置が、曳航体の後方であったため、カメラの視野にドレッジャーが入らなかった。そのため、ドレッジを行った際に、実際にサ

ンプルが採れたかどうか、またどのようなサンプルが採れたかということ、モニターで見ることができなかった。採集地点は推定位置である。

以下に述べるビデオ解析に関する記載中の色は、モニター画面上で見られる色であり、サンプルに関する記載の色はサンプルそのものの色である。

3. 測線に沿っての観察

DT-25測線： 調査海域の測線のうち、最も深い部分(深度1,300m)を通る測線である。CTDによる地形断面(図5)を見ると、DT-25は地形的にはDT-31~33と類似した傾向を示している。DT-25のカメラのスタート点は、水深974mである。着底点には細長い板状に割れた黒色の岩が観察された。この岩石はのっぺりとしていて堆積構造などは観察されなかった。場所によっては、表面に穴などの、浸食によると考えられる形が観察された。また、クラックが入って割れている部分なども観察された。地形は緩い下りが続き、DT-25の終了前に、最深部の1,300mに達する。終了地点は小崖を登るところである。DT-25では所々に砂が堆積しており、リップル・マークが見られた。測線の終了直前にドレッジを行った。サンプルの採集地点は、崖のふもとである。このサンプル中には、1~3mmのMn酸化物が付着した棒状のものなどが採集された。

DT-26測線： ほぼDT-25の終了点から始まり、最深部には比高80mの、断層で形成されたと思わ

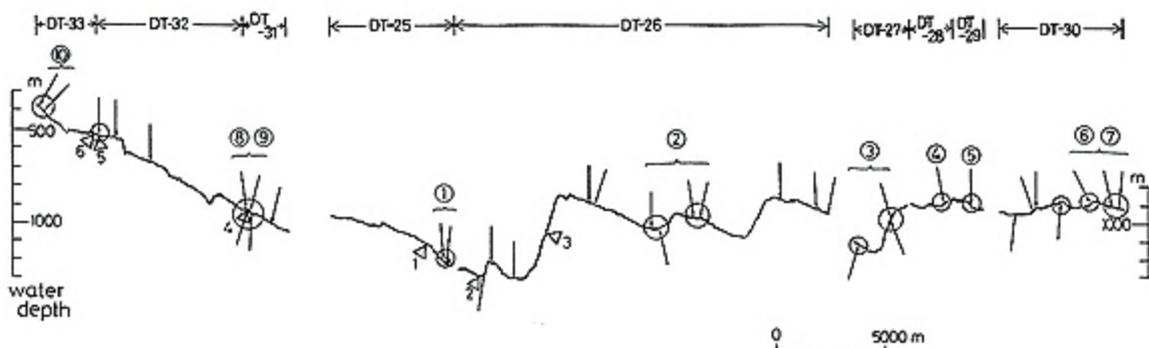


図5 ケラマ鞍部頂部の縦断面地形。矢印はサンプリングを試みた地点。円で囲ったところはサンプルが採れたと思われるところ。①-⑩は表3に対応する。三角印と数字は写真1-6に対応している。

Fig. 5 Topographic profiles along the summit of the Kerama Saddle. Arrow shows location dredged-haul and circled places do recovered samples. ①-⑩ are represented in Table 3 and triangles with numbers correlate with plates 1-6.

れる崖を越える。シービーム地図で見ると、南東から伸びて来る尾根地形の、北東端に当たることが分かる。この高まりのふもとは、丸みのある礫が多量に堆積しているのが観察された。これを越えると地形は再び下り、1,300mに達する。この後、比高430mの断層崖を登る。この崖は、ケラマ鞍部で最大の比高を持ち、シービーム地図から計算した傾斜は55°~78°であった。正断層によって形成された崖と推定される。DT-26で目立った崖は3カ所に見られ、どれも南西落ちの高角正断層によって形成されたと思われる崖が卓越している。これらの崖には、多量の角礫が見られた。

DT-25、-26とも、数m程度の規模の小さい崖の部分では、塊状の灰色の岩石が観察された。この岩石は海底表面にも露出しており、そのような場所では平坦な地形を形成している。直線状に伸びる割れ目や、数~10数cm程度の厚さの層理が観察される場所もある。シービーム地図の等深線に表現される程度の規模の崖になると、多量の礫が見られる。礫は、崖のふもとから上部にまでおよんでいる様子が観察された。亜円~円礫がかなりみられる。

全域にわたり、海底面上には黒色の礫が散在しているのが観察された。礫は数~10数cmまで大小ある。ドレッジ・サンプルから、主にMn酸化物に被われた砂岩および泥岩礫であると推定される。

DT-26測線の、最大の比高を持つ断層崖で観察された多量の礫について記載する。断層崖の手前数100m付近から水深1,250mまでは、白・黒色の亜円~円礫が海底を一面に覆っている様子が観察された。礫の大きさはにぎりこぶし大程度のもが多く、所々で数10cmの大きさの礫も観察された。ふもとの斜面にさしかかり、勾配が急になる辺りからは、やや角張った礫が観察され、サイズも大きくなる。2~3mもあると思われる巨大な岩塊も観察された。さらに斜面を登ると、角礫が詰まった部分と、礫の下に灰色の地層が見える部分とが交互に見られるようになる。スチール・カメラの写真では、礫の色・形・大きさはまちまちであった。この辺りの崖の傾斜は60°以上ある。また、地層の断面には層理が見えるものがあり、表面や突出部には角礫が乗っている。崖の上位に行

くほど、地層の占める割合が大きくなるようである。水深1,000m付近から頂上までの数10mの間は、塊状の地層が割れたり崩れたりしている。割れ目には礫がたまっている。この辺りの礫は角~亜円礫が主である。崖の上は比較的平坦で、灰色の塊状の岩の上に黒色の礫が散在している。

DT-26では他に二つの崖地形があるが、やはり同じようにそこで多量の礫が観察された。

DT-27~30測線： DT-25,26と同様に、南西から北東に向かう測線である。DT-27の開始点の水深は1,100mである。測線開始後、比高220mの断層崖を登る。DT-26に見られた崖と同様に、斜面には多量の礫と灰色の岩石が観察される。この崖を登った後、DT-30の終わりまで、水深は800~1,000mの間で変化し、地形の急激な起伏はみられない。随所に小断層によって形成されたと思われる小崖が観察される。これらの断層は、走向や落ちの方向は様々であるが、大半が正断層と思われる。これらの小断層によって、最上層の岩石が切られている。また、DT-30の平坦面上では、砂と黒い小礫が密集している場所があった。これらは地形断面で見ると、地形のくぼみに当たるように見える。DT-30で得られたサンプルによると、球形度、円磨度ともに高い1~2cm程度の泥岩の小円礫や、貝片や蛟の歯その他の生物片などであることが分かった(全てMn酸化物に被われている)。貝片は主に1cm程の二枚貝で、浅海棲の腕足類と思われる(大塚裕之, 1990, 私信)。

DT-31~33測線： カメラは北東から南西に向かって曳航された。水路部作成の、1:200,000の海底地形図(等深線間隔100m)上では、目立った崖などは見られず、南西に向かって緩やかに登っている。一方、地形断面図には、比高差はそれほど大きくないが、断層崖と思われる崖が数カ所認められる(比高差は最大で80m)。DT-32の終わり頃に登る崖は、DT-31~33に見られる崖のうち最も比高が大きい。黒っぽい塊状の岩石からなり、DT-25~DT-27の崖に観察されたような、多量の礫は見られない。ほかの崖も同様である。

海底の様子はDT-30までと異なり、砂が多く堆積している。砂の表面には、一面にリップル・マークが刻まれている。ビデオ解析では、カメラの正確な移動方向がわからないために、マークの

方向を決定することはできなかった。崖などの起伏のある辺りでは、砂の下に黒っぽい岩石が見られる。しかし、崖のふもとや斜面以外では、ほとんど砂に埋まっており、砂の下の岩石の岩相を観察することは困難である。また、黒色の礫は10数cm程度のもが多く、量もそれほど多くない。

DT-31とDT-33のドレッジで、砂が多量に採れた。これらを比較すると、深い方のDT-31(水深950m)のサンプル中には泥分が多く含まれ、砂粒組成は鉱物粒子、微小な岩片等が多くを占め、有孔虫や貝片などの生物起源のものは、DT-33に比べて少ない。浅い方のDT-33(水深400m)で採集された砂の中には、浮遊性有孔虫、底生有孔虫、貝類や甲殻類、棘皮類の殻、コケムシ等の生物片が多量に含まれている。砂粒の大きさは、DT-33の方が全体的に大きい。カメガイや翼足虫などの殻が、原形のまま残っている。両サンプルに含まれる有孔虫は、ともに新しいものが多いと見られる。

DT-32ではこぶし大またはそれ以上の大きさの円盤状で、まん中にくぼみのある褐色の礫が採集された。この礫は海底表面で、やや砂を被った状態で存在している。このような礫はDT-33でも観察された。サンプルの表面は暗褐色を呈し、多孔質でかなり硬いものである。内部は赤茶色で、中心付近に白色部分が見られるものもある。全体的に塩酸との反応がみられ、石灰質砂岩の礫であると思われる。

4. 地質層序・年代

DT-26~33の測線中のドレッジ試料はナノ化石、有孔虫および放射能等によって年代測定された(表3, 4, 5)。

なおサンプル中にみられる底生有孔虫は、ほとんどが浅海棲のものであった(秋元和實, 1990, 私信)。カメラの観察とサンプルの照合により、ケラマ鞍部の層序は、下位は、第三紀鮮新世から第四紀更新世(6~1.6Ma)とされる島尻層群(氏家, 1986)に対比される厚い地層、その上にそれほど厚くなく更新世の1~0.01Maとされる琉球層群(木崎, 1985; 氏家, 1990)がのるらしいことがわかった。

ケラマ鞍部上面は、岩盤が広域にわたって浸食

を受け平坦になっている様子が認められた(写真1, 2, 6)。そして、その平坦面上にところどころに薄く角~円礫が岩盤を被覆している(写真4, 5)。また、時とすると中~粗粒砂が堆積している。今回得られたサンプルのほとんどが礫であった。これらは明かに下位の地層が浸食を受けてきた礫と思われる。

表3の *E. huxleyi* は、0.27Ma に出現、およそ0.08Ma 以新に多産する。DT-30(a)では少数しか産出しないため、それらが解けた可能性もある。また、*P. lacnosa* は46Maより古い、これは rework の可能性がある。確認された最新の礫はDT-30(a), DT-31(a)そしてDT-32である。DT-30(a)はナノ化石によると27万年より若く(表3)、非破壊ガンマー線測定法による推定では125,000±2000年(表5)である。DT-31(a)は、27万年以新である(表3)。DT-32はナノ化石からはでていないが、非破壊ガンマー線測定法による推定では48,200±200年とでていいる。これらについて検討する。

DT-30(a)については、砂岩中の二枚貝化石(ツキヒガイ)について行ったESRにより、24万年前とでた(田中竹延鑑定)。ただし、測定チャートによるとDT-30はアラレ石+方解石の試料と思われる。DT-30(a)については、もう一つの信号からも年代値が得られ10万年を示している。しかし、この信号については、学会でも問題が指摘されている(田中竹延, 1991, 私信)。

DT-30の礫岩は、水深935mの海底から得られたもので、10mm程度の多数の白色小貝片および有孔虫殻から構成される石灰質粗粒砂岩である。岩片は非常に少ない。表面は1~2mmの厚さでMn被覆され黒褐色を呈している。新鮮な面は、黄褐色である。石灰質が溶解して半固結状態になっているが、再結晶化は進んでいない。ここに3片の3x3cmの大きさを持つ貝化石が入っていた。これは、*Amusium pleuronectes* (Linné)(タカサゴツキヒ)で、大陸棚上部の水深数10m以浅にいる浅海性の貝ということである(速水格鑑定)。

次に有孔虫鑑定結果(表4)について述べる。DT-26の年代については、dextral *Pulleniatina okinawaensis?*, *Globorotalia tosaensis*, *G. truncatulinoides* の産出により lower N22と判断された。

表3 ナンノプランクトン化石による年代測定結果。
測線番号中の①~⑩が、図5の①~⑩に対応する

Table 3 Geologic age determined with nannoplanktonic fossils. ①-⑩ along the line No. in Figure 4.

⊙: 多産 * : CN number: Okada and Sarkrey(1980). **: rework?

Line No.	Species	Age	Remarks
DT-25 ①	<i>Sphenolithus abies</i> <i>S. neobies</i> <i>Reticulofenestra pseudoubilica</i> <i>Pseudoemiliania lacunosa</i>	CN11* ca. 3.7~3.4 Ma (Middle Pliocene)	鳥居層群
DT-26 ②	<i>Discoaster berranii</i> <i>D. quinqueramus</i>	CN9 7.4~5.7 Ma (Late Miocene)	円盤 鳥居層群 小棘砂岩層
DT-27 ③	<i>Ceratolithus acutus</i>	CN10b ca. 5.0~4.57 Ma (Pliocene)	鳥居層群
DT-28 ④	<i>Ceratolithus acutus</i>	CN10b ca. 5.0~4.57 Ma (Pliocene)	鳥居層群
DT-29 ⑤	<i>Ceratolithus acutus</i>	CN10b 5.0~4.4 Ma (Pliocene)	鳥居層群
DT-30(a) ⑥	<i>Gephyrocapsa oceanica</i> <i>Emiliania huxleyi</i> <i>Pseudoemiliania lacunosa**</i>	CN15 0.27~0 Ma (Late Pleistocene)	英球石灰岩? 0.08 Ma 以降
DT-30(b) ⑦	<i>Ceratolithus acutus</i>	CN10b ca. 5.0~4.75 Ma (Pliocene)	
DT-31(a) ⑧	<i>G. oceanica</i> <i>E. huxleyi</i> ⊙	CN15 Late 0.27~0 Ma (Pleistocene)	砂岩塊 泉穴
DT-31(b) ⑨	<i>G. oceanica</i> <i>E. huxleyi</i> <i>P. lacunosa</i>	CN14~CN15 1.36~0 Ma (Middle~Late Pleistocene)	粗粒砂
DT-33 ⑩	<i>G. oceanica</i> <i>E. huxleyi</i> ⊙	CN15 0.27~0 Ma (Late Pleistocene or Holocene)	粗粒砂

表4 有孔虫化石による年代

Table 4 Age determined with planktonic foraminiferal fossils.

Line No.	Species	Age
DT-26	dextral <i>Pulleniatina okinawaensis</i> ? <i>Globorotalia crassaformis</i> <i>Globorotalia tosaensis</i> <i>Globorotalia truncatulinoides</i>	lower N22 Early Pleistocene 鳥居層群
DT-27	dextral <i>Pulleniatina</i> complex <i>Globorotalia crassaformis</i> <i>Globorotalia tosaensis</i> <i>Globorotalia truncatulinoides</i> <i>Globorotalia tunida</i> <i>Globoquadrina altispira</i> *	lower N22 Early Pleistocene 鳥居層群 * rework?
DT-29	dextral <i>Pulleniatina</i> complex <i>Globorotalia crassaformis</i> <i>Globorotalia truncatulinoides</i>	N22 Pleistocene 鳥居層群

表5 全岩の非破壊ガンマ線測定法による推定年代
(分析:平良初男)。

Table 5 Preliminary result dated with non-destructive gamma ray spectrometry (Analysed by H. Taira).

SAMPLE NAME	KERAMA DT-30	KERAMA DT-32
Th234 (63keV) (dpm/g)	0.9631	26.7367
Th234の誤差 (dpm/g)	0.0105	0.3344
Bi214(609keV) (dpm/g)	0.7631	10.6073
Bi214の誤差 (dpm/g)	0.0154	0.1696
Bi214/Th234	0.7951	0.4042
年代 (年)	125000	48200
年代の誤差 (年)	2000	200

DT-27については, dextral *Pulleniatina* (complex), *G. tosaensis*, *G. truncatulinoides* の産出から lower N22と判断された。DT-29については, *G. truncatulinoides*, dextral *Pulleniatina* (complex) の産出により N22となる。

ほかに, DT-31中の硬質泥岩について, 有孔虫をみたが, ほとんど入っていない, 時代判定不可能であった。また, DT-27, -28のサンプル中には, 過酸化水素水でも分解しないほど固結しているものもある。

以上の結果, DT-26, -27, -29はすべて島尻層群であると判断された。ただし, それらの測線中のサンプルがナンノ・プランクトン化石では Late Miocene~Early Pliocene という判定が出されている。400万年近くの時代のギャップが出るものがある。これは, 有孔虫からは古い時代 (Miocene) のものが認められていないことから考えると, 同一測線中のサンプルでも, 正確には採取地点が異なるものが入っていたこともあり, 新しい礫と古い礫といった時代の異なるものが混在しているものと思われる。

5. 地質構造

今回のカメラ調査により, シービーム地図により示される, ケラマ鞍部を胴切りにして発達する北西-南東性の急崖が断層起源であることが明らかとなった。それによって, シービーム地図をみると, 北西-南東性の断層系と北東-南西方向のものおよび東-西性の断層, そして, 斜面にみられ

る崩壊の跡を示すと思われる馬蹄系の急崖が識別される。このうち, 北西-南東性の断層崖は, ほとんど, 北東-西南西に伸びるケラマ鞍部 (島弧) を胴切りにする方向の断層系である。これに対して, 北東-南西から東-西性の断層は, 島弧方向に沿って発達した断層系とみられる。ゆえに, 本域で主要な断層系は, 1) 島弧方向に発達するもの, 2) 島弧方向に斜交するもの, 3) 島弧の南北斜面上の崩壊地形による断層崖の3つが主要なものと思われる。

1) の島弧に沿う断層の顕著なものは, 鞍部の北縁に発達するもので, 「慶良間断層」と呼ばれている (加藤ほか, 1982) ものに相当する。この断層は西北西-東南東の走向を持ち北落ちの断層崖をつくるが, 従来これが走向を北西-南東方向に変えて, ケラマ鞍部を横断するものと考えられていた (氏家, 1986)。しかし, 今回これは, ケラマ鞍部を横断する断層によって切られていることがわかった。また, もし, 慶良間断層が鞍部を横断するとすると, その落ちのセンスは, 北東方向でなければならないが, その走向方向に認められる顕著な断層の落ちはどれもが南西方向であり, センスが逆である。したがって, 両者が同一の断層系であることは認められない。むしろ, その落ちのセンスと, 横断断層系との新旧関係からみるならば, 慶良間断層は島弧の北縁すなわち, 大沖繩トラフの東縁を限る断層に対比されよう。それは東方では北東-南西方向に走向を変え, ケラマ鞍部の北にある海盆を形成したとみるべきと

思われる。

2) のものは、地形断面図でも明らかなように、本域では主なものは西側が落ち、断層面は南西方へ数10度傾斜した正断層である。地形的にみると、大部分において崖のふもとに凹地、頂上側に高まりが配列する傾向が認められる。このような形状から考えると、相対的に北東側に傾動した地塊運動によって形成された崖であることが予想される。シーブーム地図から計算した崖の傾斜は 52° ~ 75° である。すなわち、断層によって切られたブロックが北東に傾動していると考えられる。それらの断層は本域に広く発達する平坦面を切り、本域では最新の断層である。

また、3) の崩壊による地形は、横断断層を断ち切っている。したがって、本域では古い順から、1), 2), 3) ということになる。

以上、地質学的諸情報を入れて断面図にまとめると図6のようになる。

6. テクトニクス

6-1. 急崖の角礫について

比高200-400mにおよぶ北西-南東に走る胴切り性の断層崖の表面には多く角礫が認められた。これは何を意味しているのであろうか。これは一見崖錐礫のように見えるが、観察からは明かに断層崖の下に崖錐礫状に発達する地域的に限られたものではない。では何物なのであろうか。基本的には断層崖に伴う角礫すなわち断層角礫の可能性があるようである(写真3)。今後この確認が重要である。恐らく、急激な断層運動により大きな破

壊力を受けたことを示すものではないか。

6-2. 浸食面形成時期について

ケラマ鞍部の上面に当たる平坦面はいつできたのであろうか。観察によると、その面の最新部は琉球石灰岩が浸食されているらしい(写真6)。そしてその上には礫か砂によって被覆されている(写真4, 5)。ここで、その平坦面上に乗っている礫の年代が問題となる。最新の礫は、DT-30のそれでは、方法により27万年以新(ナンノ化石)、24年から10万年(ESR)、125,000年(放射性同位元素)という値がでていいる。これは27万年より若いということは確かで、その意味では、琉球層群(琉球石灰岩)に対比されることに間違いはない。さて、ESRで24万年と10万の2つの値がでていいる。また、全岩を使つての非破壊ガンマ線測定法による推定は、13万年という値がでた。これはまだ予察的な段階であるが、この値の2倍とか1/2になるということはないであろうとのコメント(平良初男, 1990, 私信)をもらっている。ひとつの見方では、ESRの24万年というのが貝の生きていた時代、10万年前というのが陸化して再結晶化した時代をあらわすということができる。すなわち、24万年前の地層が、浸食されたのが10万年ということである。

さらに、DT-31(a)は27万年よりより若いということが出ていいるだけで、DT-32では放射性同位元素からは $48,200 \pm 200$ 年と出ている。もしこれがオーダーとして信じられるものであれば、5万年前に浸食があったということになる。以上を総合して考えると、比較的確かなことは、ケラマ

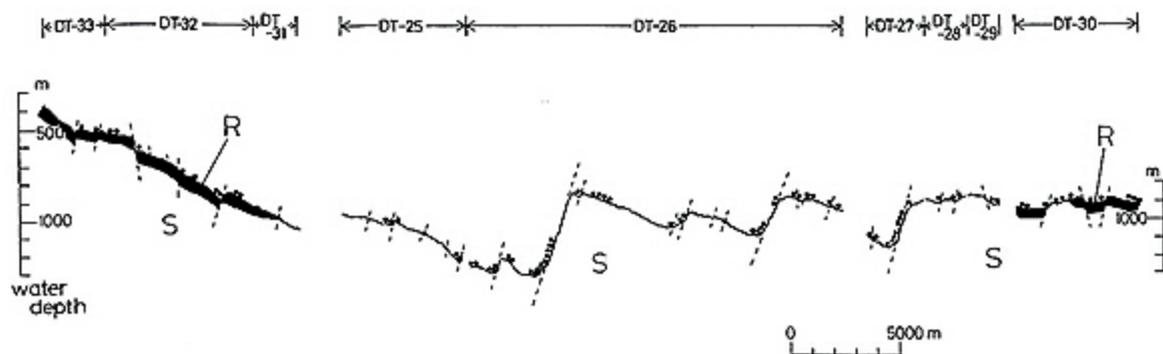


図6 ケラマ鞍部の地質断面解釈。S: 島尻層群, R: 琉球層群, 小丸は礫のあるところ。波線は断層。

Fig. 6 Interpreted geologic profile along the Kerama Saddle. S: Shimajiri Group. R: Ryukyu Group. Dots show gravels and dashed lines fault.

鞍部上に浸食平坦面と思われるものがあり、その上を24万年前の地層が礫となって被覆しているということである。これで、24万年前以降に陸化があったことが強く示唆される。さて、その浸食時期であるが、それは不確実ながら、これまでの年代測定結果から判断できるところは、10～5万年前に浸食が行われていたことが考えられる。すなわち、その時に陸化してよいということである。今回の試料から直接いえるものではないが、その陸化が琉球海嶺の相対的な隆起時期に行われたと仮定すると、およそ20万年前以降のリス氷期に行われていた可能性が強い(木村, 1991)という指摘と矛盾しない。12～13万年前の堆積である牧港石灰岩が、沖縄島の海拔40～50mほどの所で認められる。年代測定より推測された10万年前の浸食はこのような13万年以後の隆起が原因と考えられるかもしれない。

次に、これが沈水したのはいつかということを見てみたい。この平坦面の上は、最深部では浸食面下の岩盤がむき出しになっている。そして一部更新統由来の礫や完新世の砂に覆われている。そしてその様子は、今回のテレビ観察でも「しんかい2000」の観察の通り(木村ほか, 1989)、現在の南西諸島の海岸がそのまま沈んだ様な様相を呈している。浸食を受けた平坦面を被覆している礫から推定する限りでは、比較的確かなのは、沈水したのは24万年以降1万年前までの間のいつかということになる。この1万年というのは浅海底を被っている沖積層の堆積はじめる年代のことである。ただし、やや不確実ながら年代測定によれば、10ないし5万年前頃陸化していた可能性がある。それから1万年前までの間のいつかに水没がはじまったという線までせばめることが一つの可能性としてできる。

琉球列島には、第四紀になっての陸橋が推定されている。その一つは、島尻層群堆積後期から後のおよそ200-100万年の間である(木崎, 1985; 氏家, 1990; 木村, 1991)。この時期にハブが渡ってきたと考えられている。ところがその後、もう一度最後の陸橋が推定された(木村, 1985, 1991)。これは、ケラマ鞍部の表面の広域浸食平坦面の存在、そこでの広範囲な露岩とそれを覆う地層の形成年代、およびケラマ鞍部のすぐ西方に

おけるボーリング結果(相場, 関谷, 1979; 新妻ほか, 1982)等から推定されたものである。今回の結果は、20万年前以降のいつか陸橋が形成されて、その後急速に沈降が起こったということを示唆し、それらの推定と矛盾しない結果が出た。

まとめ

1) ケラマ鞍部には、それを胴切りにするように北西-南東方向の走向を持ち、南西落ちの落差数10～数100mに達する正断層崖が発達することが明かとなった。それらは、ほとんどすべて、北東側への傾動地塊を示す。そして、それら北西-南東性の断層によって、ケラマ鞍部に露出する最上層である琉球層群に相当すると推定される層までが切られていることが確認された。

2) 従来慶良間断層といわれていた大断層は、ケラマ鞍部の北斜面を形成する島弧方向の断層の一部であることが明かとなった。

3) 海底面は、最深部の水深1300mをこす深度のところでも島尻層群が広く削割されて平坦な浸食面を形成し、地層が露出していることが明かとなった。その海底面上には、薄く砂・礫が被覆している部分がある。

4) ケラマ鞍部はかつて、24万年以降のいつか陸化し、その後1万年前までのいつかに沈水したことが示唆される。今回得られた年代測定結果の資料からは、10～5万年前頃陸化した可能性が支持される。

5) 以上、本域が大陸へ連なる陸橋の一部を形成し、20万年から1.8万年前には陸橋を形成していたとの推定(木村, 1991)と矛盾するものではない。

謝 辞

本研究の海上調査においては、海洋科学技術センターの「かいよう」の浜本隆史船長以下乗組員の方々には大変お世話になった。アイ・エヌ・エー新土木研究所の田中竹延氏には一部試料についてESRによる年代測定をしていただいた。非破壊ガンマー線測定法による年代は琉球大学の平良初男教授に測定していただいた。また、東京大学の速水格教授および、鹿児島大学の塚裕之助教授には、サンプル中の化石について一部鑑定を

いただいた。あわせて紙面をもって謝意を表する次第である。

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」第44巻, 第5号, 97-108.
- 本座栄一, 1977. 琉球島弧の島弧変動と南北両域にみられる変動の違い。「海洋科学」vol.9, シンポジウム 94・95, 琉球列島の地質, 607-611.
- 加藤茂, 桂忠彦, 平野賢治, 1982. 沖縄本島周辺の海底地質。「水路部研究報告」第17号, 31-70.
- 木崎甲子郎編, 1985. 「琉球弧の地質誌」。278pp. 沖縄タイムス社.
- 木村政昭, 1983. 沖縄トラフの陥没構造形成に関する考察。「地質学論集」第22号, 141-157.
- 木村政昭, 1985. 地震と地殻変動—琉球弧と日本列島—。195p., 九州大学出版会.
- 木村政昭, 本永文彦, 嘉川郁朗, 1989. 「しんかい2000」による沖縄県慶良間諸島南方海域の潜航調査。海洋科学技術センター研報, 259-266.
- 木村政昭, 門馬大和, 大塚清, 満澤巨彦, 青木美澄, 1990. 慶良間鞍部の地質構造—陸橋はいつ沈んだか—。第7回「しんかい2000」研究シンポジウム予稿集, 68-71.
- 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学論文集, 109-117.
- 松本剛, 木村政昭, 1991. 琉球列島の微細変動地形調査—「かいよう」DK90-8-NSS航海LEG1の成果—。海洋科学技術センター試験研究報告(投稿中)。
- 新妻信明, 小西健二, 和田秀樹, 北里洋, 天野一男, 箕浦幸治, 1982. 基礎試錐「宮古島沖」。「既存ボーリング資料集」, 665-667.
- 氏家宏, 1986. 琉球弧の海底—底質と地質—120pp., 新星図書出版.
- 氏家宏(編) 1990. 沖縄の自然—地形と地質—, 271pp. ひるぎ社.

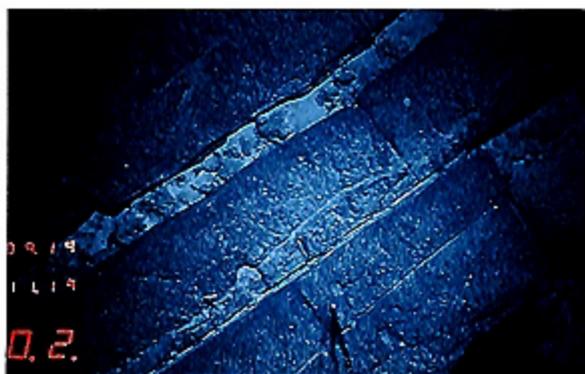


写真1 ケラマ鞍部最深部に近い海底（水深1126m）。塊状の露岩（島尻層群）が平坦面を形成。

Photo 1 Sea-floor of near the deepest part on the Kerama Saddle (water depth in 1126m). A massive rock (Shimajiri Group) forms flat surface without sedimentary coverage.

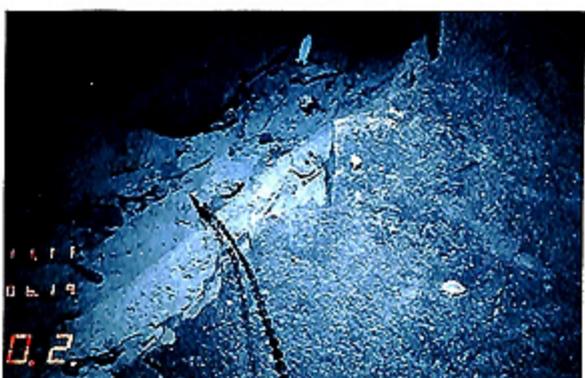


写真2 最深部の露岩（島尻層群）（水深1285m）。小断層に切られている。

Photo 2 Outcrop of the Shimajiri Group in the deepest portion on the Kerama Saddle (water depth in 1285m).



写真3 急崖の斜面にみられる角礫（水深1199m）。

Photo 3 Angular gravels on the fault scarp (1199m deep).

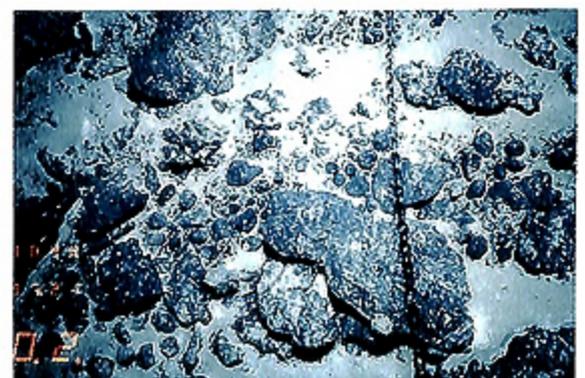


写真4 平坦面上の礫（水深931m）。

Photo 4 Gravels on flat surface (931m deep).

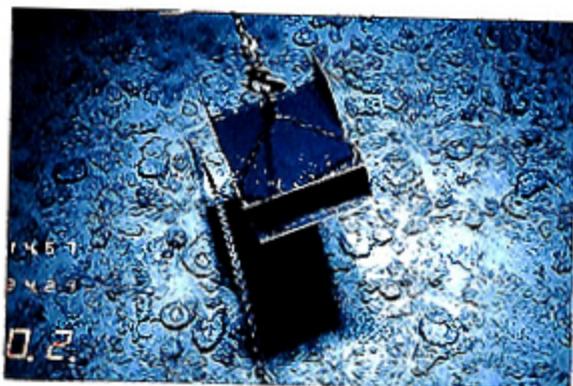


写真5 円板の中央がくぼんだようになった石灰質砂岩の礫が、海底面上に並んでいる(水深553m)。

Photo 5 Platy gravels of which center is depressed (553m deep).



写真6 琉球石灰岩(?)の表面(水深526m)。

Photo 6 Surface of the Ryukyu Limestone (?)(526m deep).