

琉球大学学術リポジトリ

南西諸島南部海域における地球科学的調査 ー長崎丸RN03航海報告ー

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学理学部 公開日: 2009-12-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中村, 衛, 藤田, 和彦, 加藤, 祐三, 高木, 保昌, 西田, 英明, 森井, 康宏, 平識, 善史, Nakamura, Mamoru, Fujita, Kazuhiko, Kato, Yuzo, Takaki, Yasuaki, Nishida, Hideaki, Morii, Yasuhiro, Heshiki, Yoshihumi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/14208

南西諸島南部海域における地球科学的調査
— 長崎丸 RN03 航海報告 —

中村 衛*, 藤田 和彦*, 加藤 祐三*, 高木 保昌**, 西田 英明**
森井 康宏**, 平識 善史*

*琉球大学理学部物質地球科学科

**長崎大学水産学部

Mamoru Nakamura*, Kazuhiko Fujita*, Yuzo Kato*, Yasuaki Takaki**,
Hideaki Nishida**, Yasuhiro Morii**, and Yoshihumi Heshiki*:
Earth science investigation in the area around the southern Ryukyu Islands
- Report on RN03 cruise by T/S Nagasaki Maru -

*Department of Physics and Earth Sciences, Faculty of Science, University of the Ryukyus,
Senbaru-1 Nishihara, Okinawa 903-0213, Japan

**Faculty of Fisheries, Nagasaki University, Bunkyo-machi, 1-14, Nagasaki 852-8521, Japan

Abstract

As a part of the educational cruise (RN03 Cruise) for students of Faculty of Science, University of the Ryukyus, by T/S Nagasaki Maru, the scientific survey was carried out during May 26 to June 5, 2003. Geomagnetic and bathymetric surveys were carried out in the east off Ishigaki Island to investigate faults and basement structure. Two distinct faults, striking NW-SE and dipping SW, were found between Ishigaki Island and Tarama Island. In order to estimate the primary productivity of algal symbiont-bearing larger foraminifera in low-latitude shelf environments, surface sediments were quantitatively sampled from an island shelf off the west of Miyako Island. The planktic foraminiferal genus *Pulleniatina* is an important paleoceanographic proxy in the Ryukyu Arc region, indicating either the past Kuroshio Current or variations in winter sea surface temperature for the late Quaternary. Plankton tows and CTD profiles in the upper 200 m depth were taken at three stations along 125°E to correlate the ecological distribution of *Pulleniatina* with hydrographic environmental properties. We dredged seafloor samples at the northern shelf off Ishigaki-jima and Iriomote-jima to confirm the location of "Iriomote Submarine Volcano" which erupted in 1924. No volcanic rocks were recovered from the shelf.

はじめに

2003年5月26日より6月5日まで、長崎丸（長崎大学水産学部）による琉球大学理学部の乗船実習 RN (Ryukyu-Nagasaki) 03 航海が行われた。全体の航跡を Fig.1 に示す。この航海で、南西諸島南部の海底地形・磁気探査、プランクトン採集および底質の採取を行った。また、東シナ海の大陸棚においてトロールを2回行った。小論では航海中実施された地球科学的調査について報告する。

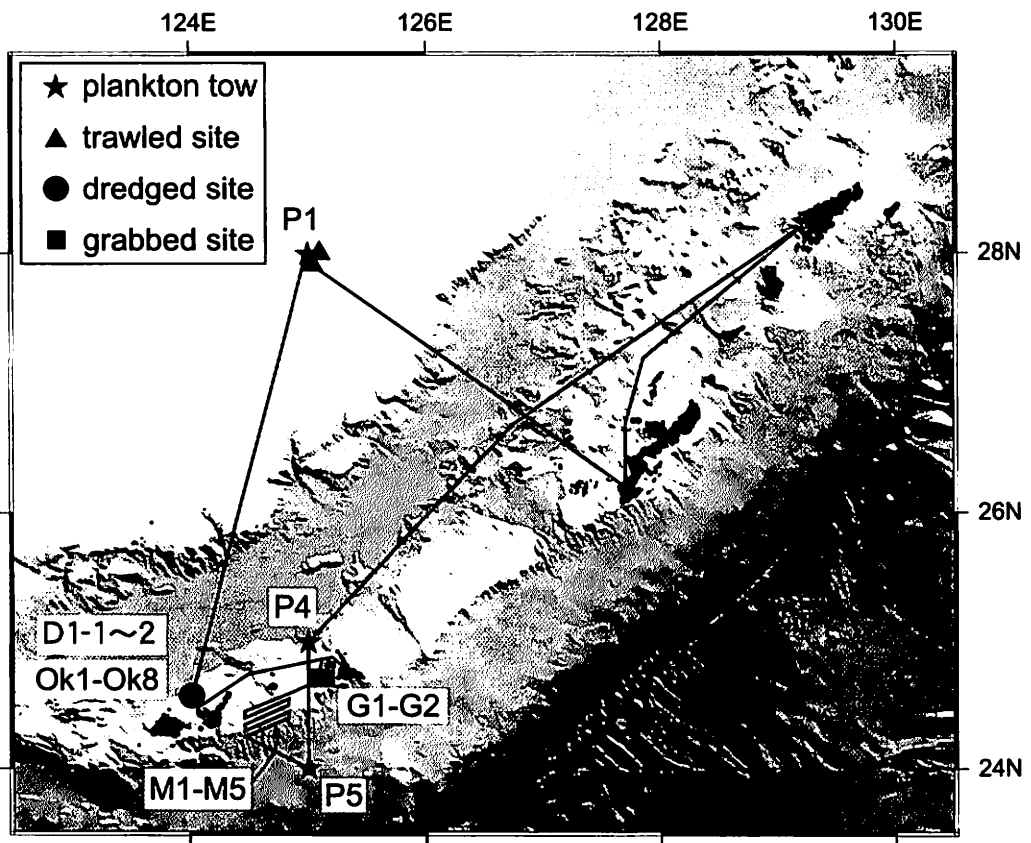


Fig. 1. Chart showing sampling sites. Tracking of the RN03 Cruise by the T/S Nagasaki Maru is also indicated. ▲= trawled sites, ●=dredged sites, ■=grabbed sites. ★= plankton-tow sites.

海底地形探査ならびに磁気探査

(1) 目的

沖縄県は過去何回も津波による災害を受けてきた。明和8年3月10日（1771年4月24日）に発生した八重山地震津波はその一つである。地震のマグニチュードは7.4と推定されており、この地震

による震害は記録されていない。しかしそれほど大きくないマグニチュードにも関わらず大津波が発生した。この津波により、八重山諸島・宮古列島を中心とする地域を最大30m以上の津波が襲い、多大な被害を受けている。このように、マグニチュードが小さいにも関わらず大きな津波が来襲したことになり、津波地震にも分類される特異な地震津波である。

八重山地震津波の波源域としては、津波被害の規模から琉球海溝の内陸斜面にある小舟状海盆の北縁であると推定されている(中田・河名, 1986)。しかし津波数値計算結果によると、ここでM7.4の断層運動が生じて最大30m以上という津波痕跡高を説明することはできない。断層モデルで津波痕跡高を説明するには地震の相似則から考えて非現実的なすべり量(30m)を仮定せざるを得ない(今村・他, 2001)。そこで断層運動以外の要因として海底地すべりの可能性が指摘されている。断層運動(M7.7の地震を想定)に加えて石垣島南方沖で海底地すべりが発生したとして津波数値計算を行うと、津波痕跡高を説明することができる(今村・他, 2001)。

しかし「大波之時各村之形行書」によると、石垣島では大地震直後、東方より雷のような音がしてその後北東と南東の方に大波が黒雲のように立ち上がり村々へ寄せ上がったとの記録が残されている(石垣市総務部市史編集室, 1998)。このことから、津波の波源域は石垣島から見て南方ではなく東方であった可能性がある。

研究が不十分であるため、石垣島の東方で大地震が起こった場合にどのような津波が発生するのか不明である。津波数値計算には断層の形状が必要であるが、石垣島東方沖にある断層の分布は不明な点が多い。そこで、石垣島から多良間島にかけての海域で地形・磁気探査をおこない、断層分布とその形状を調べる。

(2) 調査法およびデータ処理

調査は多良間島～石垣島東方の沖合約30km×40kmの海域において、音波探査と地磁気探査をおこなった。音波探査はPDR(12kHz)を、地磁気探査はプロトン磁力計(EG&G ジオメトリクス社製, G-866)をそれぞれ用いた。プロトン磁力計のセンサーは船尾より約60m後方を8-10knotで曳航した。サンプリング間隔は15秒である。地磁気全磁力データはRS-232C経由でハードディスクに保存された。船の位置データは長崎丸のGPS測位データを使用した。

測定された磁場は地球磁場の他に船体による磁場を含む。そこで2002年度に行った8の字航行データを用いて船体補正をおこなった。次に標準磁場補正をおこなった。標準磁場としてIGRF1995(IGA, 1995)を用いた。

(3) 結果

調査海域のPDR測深結果をFig.2に示す。NW-SE走向の断層が2本見られる(Fig.2中のA-A'とB-B')。両方の断層とも南西落ちである。断層A-A'は多良間島と石垣島の間に位置している。断層A-A'の断層崖は急崖をなしている。断層崖の落差は北側の測線で50mである(Fig.3)。南側の測線では100mに達する。しかし最南端の測線では断層崖は不明瞭になる。断層B-B'は多良間島の近くを通っている。断層B-B'の断層崖の落差は約50mであり、断層崖の勾配は緩やかである。

地磁気異常からは、100nT以上の強い磁気異常は見られない(Fig.4)。しかし断層A-A'より北東側に60nTの弱い正の磁気異常が見られる。断層A-A'からB-B'付近を境として北東側で正の磁気異常、南西側で負の磁気異常となっている。これは断層A-A'からB-B'にかけての地域に基盤の

食い違いがあるためであると見られる。

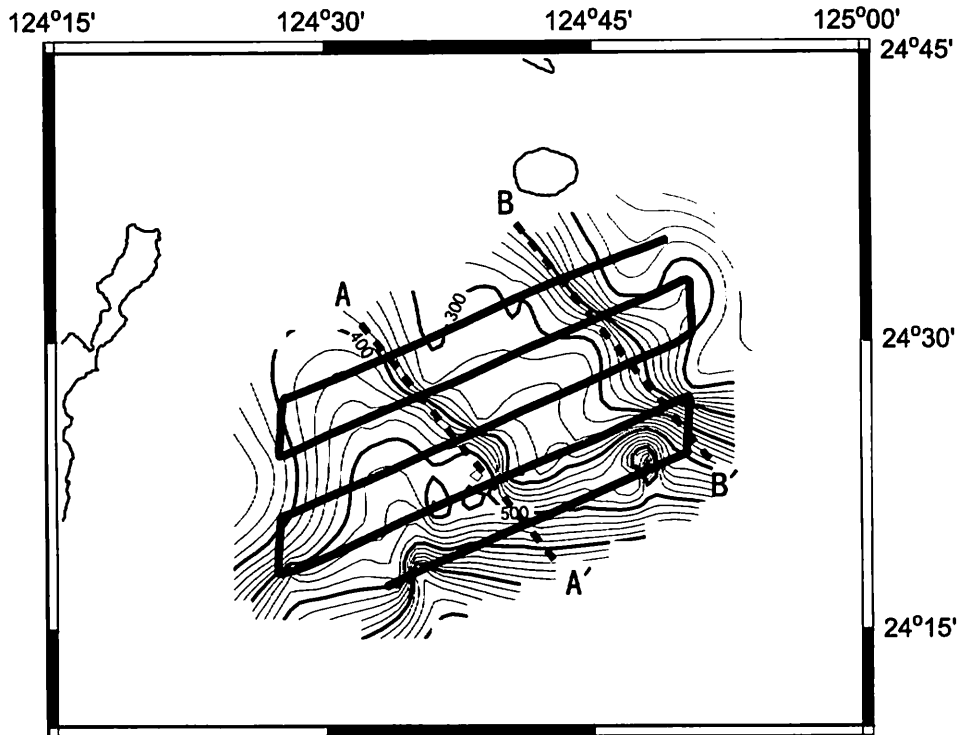


Fig. 2. Bathymetric contour map in the geomagnetic and bathymetric survey area. Dotted lines A-A' and B-B' show the lineaments (inferred faults). Contours have 20 m intervals.

島棚に棲息する大型有孔虫の炭素生産に関する調査

(1) 目的

琉球列島の水深100m前後に発達する平坦な島棚（陸棚）上には、無節サングモと大型底生有孔虫を主体とする生物群集が棲息しており（例えば、松田ほか, 1992; 辻ほか, 1993; Iryu et al., 1995）、活発な生物生産が行われている。この島棚の面積はサング礁と一般に定義される礁原の面積よりもきわめて広いことから、島棚生物群集が海洋の炭素生産にどの程度貢献しているのか非常に興味もたれている（鈴木, 1992）。無節サングモは被覆性有孔虫とともにサングモ球と呼ばれる球状岩塊を形成し、その光合成純生産量については $0.088\text{gC}/\text{m}^2/\text{hr}$ という値が報告されている（Littler et al., 1991）。一方、大型底生有孔虫も細胞内に微細藻類が共生しているため（Lee and Anderson, 1991）、有孔虫-微細藻共生系は宿主の石灰化による無機炭素（炭酸塩）生産とともに、共生藻の光合成による有機炭素生産を行い、島棚における基礎生産者としての役割を果たしている（Hallock, 1999）。島棚（陸棚）域における大型有孔虫の炭素生産量に関しては、Tudhope and Scoffin (1988) がグレートバリアリーフにおいて炭酸塩純生産量を $40\text{gCaCO}_3/\text{m}^2/\text{yr}$ ($= 4.8\text{gC}/\text{m}^2/\text{yr}$) と見積っている以外、定量的に評価されていない。さらに、島棚域の大型有孔虫-微細藻

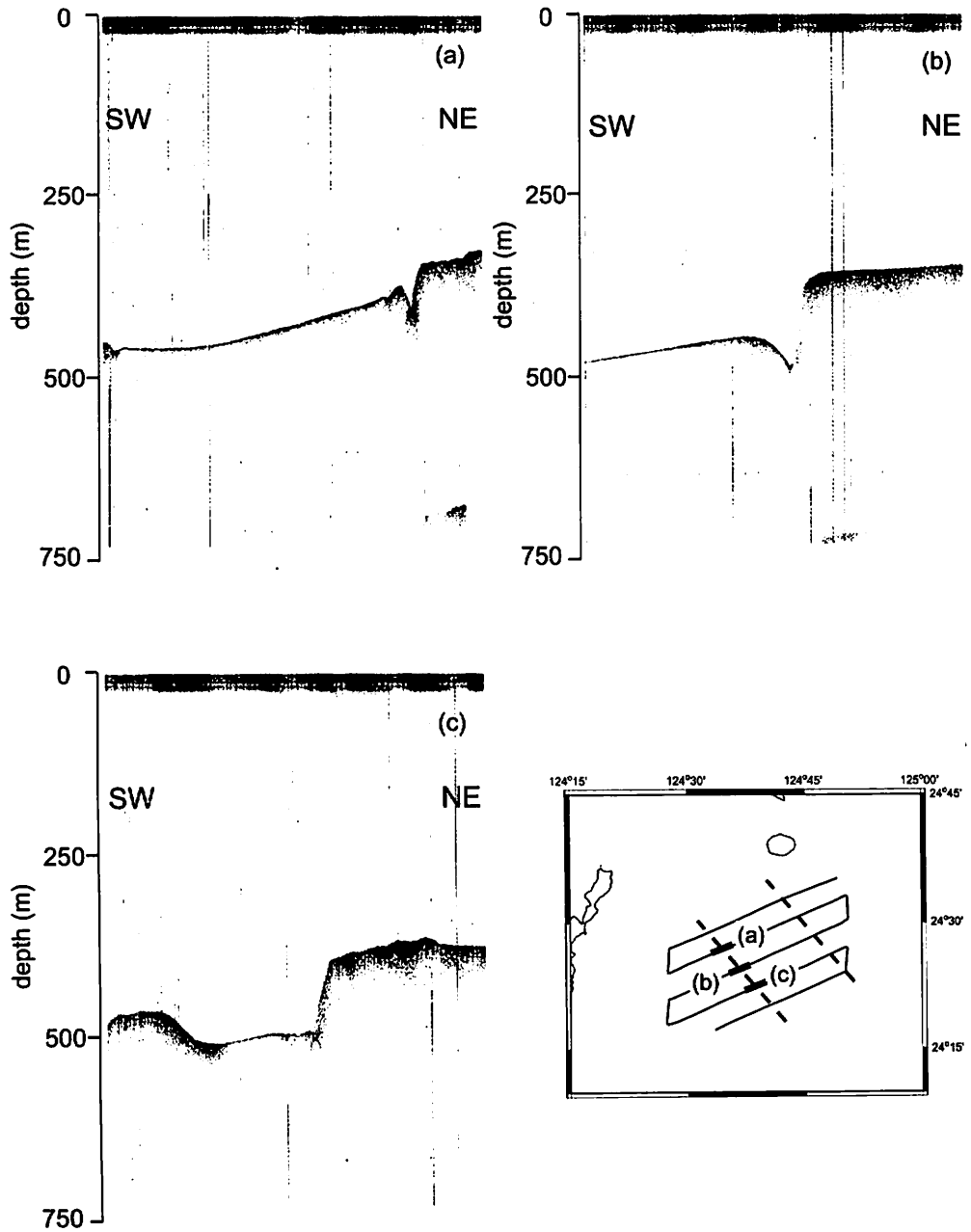


Fig. 3. PDR profiles showing inferred fault A-A' in Fig.2.

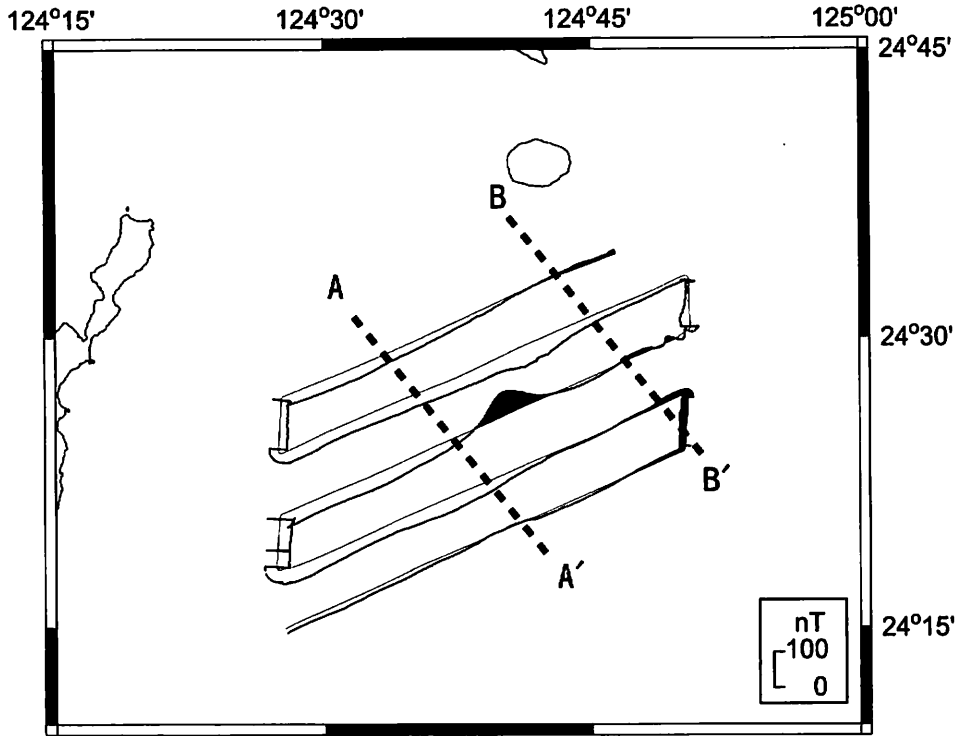


Fig. 4. Geomagnetic anomalies along ship tracks. Hatched area showing the positive anomalies.

共生系による有機炭素生産量はこれまで見積もられていない。

前回の RN02 航海における調査（中村ほか, 2002）では、宮古島西方沖の島棚から島棚斜面における表層堆積物の採取に成功し、大型有孔虫の生態分布を明らかにすることができた。しかし表層堆積物を定量的に採取することができなかつたため、大型有孔虫の炭素生産量を見積もる上で必要となる棲息密度（現存量）を正確に評価するには至らなかつた。そこで本航海では、宮古島西方沖の島棚域における 2 地点において表層堆積物の定量採取を試みた。

（2）結果

オケアン式グラブ採泥器によって採取された各試料の採取地点と記載を Table 1 に示す。G1 地点（水深94m）では、砂礫径炭酸塩堆積物が採取された。この堆積物はさまざまな種類の生物遺骸破片によって構成され、特に直径 5 cm までの大型有孔虫の遺骸殻が多量に含まれている。堆積物の表層には、細礫から中礫径までの石灰質礫が散在し、それらの表面は無節サンゴモや被覆型有孔虫によって覆われている。また、礫の表面や表層に大型有孔虫の生体個体が確認された。G2 地点（水深64m）では、主に粗粒砂から中粒砂によって構成される炭酸塩堆積物が採取された。大型底生有孔虫の遺骸殻や貝類の破片も多く含まれている。堆積物表層に認められる大型有孔虫の生体個体数は G1 地点と比較して少ない。今後、定量採取された表層堆積物試料に含まれる大型有孔虫の生体個体数を調べ、さらに各有孔虫種の光合成速度および石灰化速度を測定し、島棚生物群集の炭素生産における大型有孔虫の寄与を定量的に見積もる予定である。

Table 1. Location and description of samples taken using an Okean-type grab sampler during the RN03 cruise.

Site	Date	Time	Latitude	Longitude	Depth (m)	Sample description and remarks
G1	6/1/2003	10:31	24° 42.990'N	125° 04.960'E	94	Calcareous gravelly sands composed of several pieces of limestone pebble, abundant larger foraminiferal tests, molluskan shells and other bioclasts. The surface of the limestone gravels is coated with nonarticulated coralline algae and encrusting foraminifers. Some living specimens of large forms of <i>Cycolopeus</i> sp. (max. diameter: 5 cm) are collected.
G2	6/1/2003	10:54	24° 42.710'N	125° 08.600'E	64	Medium to coarse-grained calcareous sand containing larger benthic foraminiferal tests, molluskan shells and other bioclasts.
Ok-1	5/28/2003	13:15	24° 34.445'N	123° 58.363'E	764.4	No recovery.
Ok-2	5/28/2003	13:43	24° 34.465'N	123° 58.596'E	675.2	No recovery.
Ok-3	5/28/2003	14:07	24° 34.651'N	123° 58.992'E	522.4	No recovery.
Ok-4	5/28/2003	14:34	24° 34.546'N	124° 01.073'E	343.3	No recovery.
Ok-5	5/28/2003	15:03	24° 32.423'N	123° 59.102'E	195.7	Many pieces of subrounded, grayish orange-colored bioclastic limestone pebble. The surface of these gravels is covered with encrusting organisms.
Ok-6	5/28/2003	15:26	24° 30.303'N	123° 59.084'E	228.3	A piece of grayish yellow-colored, angular bioclastic limestone cobble and moderate yellowish brown-colored medium-grained muddy sand. The surface of the gravel is covered with encrusting organisms.
Ok-7	5/28/2003	15:52	24° 29.028'N	123° 56.355'E	156.8	Moderate yellowish brown-colored, coarse to very coarse-grained muddy sand with a shell fragment (2.5 cm in diameter) and other bioclasts.
Ok-8	5/28/2003	16:27	24° 28.440'N	124° 01.422'E	203	Several pieces of subrounded, dusky yellow-colored bioclastic limestone pebble and fine to medium-grained muddy sand. The surface of these gravels is covered with encrusting organisms.

南西諸島海域におけるプランクトンネット調査

(1) 目的

沖縄トラフの海底から採取されたピストンコア試料の解析によって、南西諸島海域における最終氷期以降のさまざまな古海洋変動が明らかにされた(例えば、Ujiié et al., 1991; Li et al., 1997; Ujiié and Ujiié, 1999; Ujiié et al., 2001)。それらの興味深い結果の一つに、浮遊性有孔虫 *Pulleniatina* 属の相対頻度の時系列変動が挙げられる。Li et al. (1997) は、この *Pulleniatina* の変動が、浮遊性有孔虫群集組成の変換関数法による冬季表層水温の変動と良い対応を示すことから、冬季表層水温の変動を反映すると考えた。そして、約7,000–6,000年前の層準にみられる *Pulleniatina* の相対頻度の高い時期が気候最適期 (mid-Holocene climatic optimum) に、約4,000–2,000年前の層準にみられる *Pulleniatina* の相対頻度の低い時期を世界的寒冷化に対応するとした。一方、Ujiié and Ujiié (1999) は、南西諸島海域の現世表層堆積物中に含まれる *Pulleniatina* 属の相対頻度の高い地点が黒潮の本流域と良い相関を示すことから、黒潮の流路を反映していると考えた。そして沖縄トラフ域に *Pulleniatina* の相対頻度が著しく低い最終氷期 (約20,000年) 以前には、琉球弧と台湾との間に陸橋が存在し、黒潮は琉球島弧の東沖を流れていたと推測した。また、約4,500–3,000年前の層準にみられる *Pulleniatina* の相対頻度の急激な低下は、台湾と南琉球弧との間に一時的に黒潮の流路に変化が生じさせるような障壁が存在したことが原因であるとした。

このような *Pulleniatina* 属の相対頻度の時系列変動に対して2種類の古海洋指標としての解釈がある背景には、この浮遊性有孔虫の生態に関する情報が不足していることが挙げられる。現在までに得られている知見によると (Bé, 1977)、*Pulleniatina* 属は熱帯低緯度の北緯10度から南緯10度までの海底表層堆積物中の遺骸群集において高い産出を示し、大西洋ではメキシコ湾流に沿っても高い頻度で産出する。このことから南北赤道海流付近やそれから派生する暖流を中心に棲息していると考えられる。また、有光層の主に水深50–100mに棲息しており、季節的には冬季に棲息密度が高い。しかし、その生態分布、季節変動、生理耐性と海洋環境因子との相関関係については十分に理解されているとはいえない。特に南西諸島海域における *Pulleniatina* の生態に関するこれまでの情報は主に表層堆積物中の遺骸群集解析に基づいている (Ujiié and Ujiié, 2000)。

そこで本航海では、南西諸島海域における浮遊性有孔虫 *Pulleniatina* の生態分布と海洋環境因子や黒潮の流路との関係を調べるために、黒潮本流域を縦断する測線において、海洋環境因子の観測と現生浮遊性有孔虫の採集を試みた。

(2) 調査方法

本航海では、東経125度上における北緯24度から28度までの1度ごとにプランクトン採集とCTD観測を行う計画であったが、海況によりP1地点(北緯28度)、P4地点(北緯25度)、P5地点(北緯24度)の3地点のみで行われた。プランクトン採集とCTD観測は各地点とも日中に実施された。

CTD観測に関しては、Sea-Bird Electronics社製SBE9を用いて、圧力、水温、電気伝導度、溶存酸素量、クロロフィルa量について測定した。測定水深は、P1地点(水深97mまで)以外、水深200mまでである。観測は各地点に到着後、プランクトン採集を行う直前に行われた。

プランクトン採集に関しては、丸川式中層プランクトンネット(閉鎖式、口径30cm、ろ過部側長

100cm、網目100 μ m)を用いて、鉛直引き層別採集法(気象庁、1990)を採用した。各地点の水深に応じて0-20、20-50、50-100、100-200mの各層で2-3回反復採集を行った。曳き速度は約0.5 m/sである。また、一般に動物プランクトンは日周運動を行うことが知られているため、採集した時間を記録した。さらに、浮遊性有孔虫の生活史や水深分布は潮汐周期と関係があることが知られているため(Bijma et al., 1990)、各採集日の月の位相についても記録した。採集された試料をプラスチック製容器に回収した後、船上で定性濾紙(約4 μ m)を用いて濾した。プランクトンを濾した濾紙を丁寧に折りたたみ、ビニール袋に密閉して、冷凍保存した。

(3) 結果

Fig. 5に水温、塩分、溶存酸素量、クロロフィルa量の水深変化を示す。水温については、3地点とも水深20m付近までは一定で、それ以深では低下する傾向を示す。P1地点では80m付近に急激な水温低下が認められ、それ以降海底まで水温が一定となる。塩分については、各地点によって傾向が異なる。P1地点は、表層以外は34-35の範囲内であるが、水深に伴ってやや高くなる傾

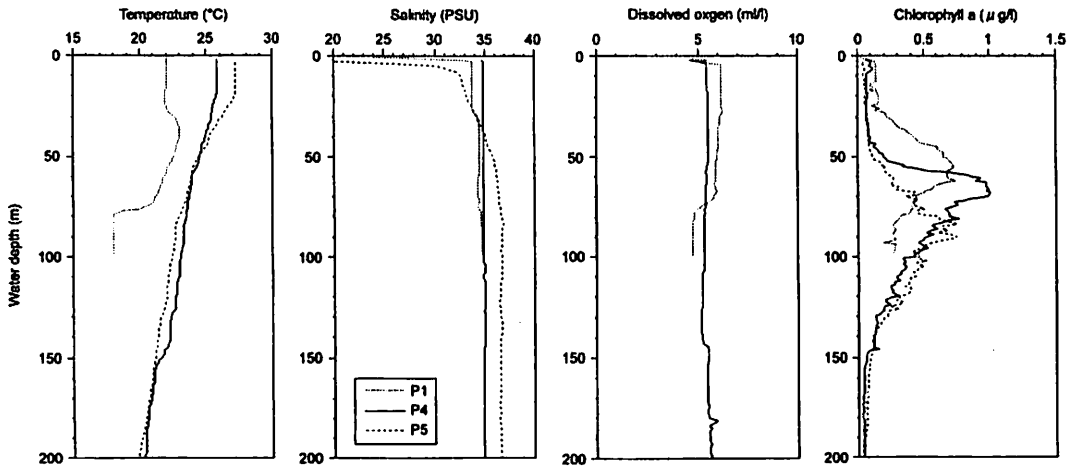


Fig. 5. Physical and biological environmental data measured by a CTD profiler at three stations along 125° E during the RN03 cruise.

向がみられる。P4地点では水深200mまでほぼ一定(約35)である。P5地点では、水深70m付近まで徐々に高くなり、それ以降水深200mまでほぼ一定(約36)である。表層の塩分が低いのは、測定時の降雨の影響と考えられる。溶存酸素量については、P1地点では5-6 m/lの範囲にあり、70m付近で急激な低下が認められる。P4地点では水深200mまでほぼ一定(5 m/l)である。クロロフィルa量については、3地点とも水深50-100mの間に極大を示すベル型の変化を示す。しかしながら、極大を示す水深と極大値は各地点で異なり、P1地点では50-60m(極大値:0.7 μ g/l)、P4地点では60-70m(1 μ g/l)、P5地点では80-90m(0.7 μ g/l)である。

Table 2に、プランクトンネット調査によって採集された試料の概要を示す。P1地点では、水深0-20m、20-50m、50-90mの3層で各層につき3試料採集された。P4およびP5地点では、水深0-20m、20-50m、50-100m、100-200mの4層で各層につき2試料採集された。一般にプラ

Table 2. Location and description of plankton tow samples taken along 125° E during the RN03 cruise.

Station	Longitude	Latitude	Date	Weather	Moon phase	Depth (m)	Trials	Local time	
P1	125° 00'E	28° 00'N	5/27/2003	Cloud	Crescent 4/27/2003	0-20	1	15:21	
							2	15:27	
							3	15:33	
						1	20-50	1	15:37
								2	15:48
								3	15:53
						1	50-90	1	16:04
								2	16:15
								3	16:27
P4	125° 00'E	25° 00'N	6/2/2003	Cloud	Crescent 5/3/2003	0-20	1	14:17	
							2	14:21	
							1	14:28	
						2	20-50	2	14:34
								1	14:05
								2	14:13
						1	50-100	1	13:40
								2	13:40
								2	13:55
P5	125° 00'E	24° 00'N	6/2/2003	Rain	Crescent 5/3/2003	0-20	1	7:28	
							2	7:31	
							1	7:38	
						2	20-50	2	7:46
								1	8:00
								2	8:11
						1	50-100	1	8:32
								2	8:32
								2	8:55

ネット採集による生体群集調査はスナップ写真にたとえられ、時間的に一瞬の記録であるとともに空間的に1点のデータであるため、日周変化、季節変化、経年変化などの情報は得られない。しかし、各有孔虫種の水深分布が分かり、それぞれの種や個体が有光層のどこの水深の情報を持っているのかを知ることができるとともに、CTD 観測によって得られた現場の海洋環境因子の観測値と直接対応づけることができる。今後、*Pulleniatina* の生態を探り、その古海洋指標性を検証するためには、この生体調査データを蓄積していくとともに、より時間平均化された情報を長期間観測可能なセディメントトラップによる調査 (山崎・尾田, 2002) と相互に補足しあいながら進めていくことが必要と考えられる。

西表海底火山に関する調査

(1) 目的

西表海底火山は1924年11月31日未明に西表島の北で噴火し (加藤, 1982) 莫大な量の軽石を放出したが、火山の正確な位置は不明なままである。加藤 (1991) は長崎丸の協力により1983年に実施したドレッジ調査結果と海上保安庁 (1991) をもとに火山の位置として3点の可能性を指摘した。今回の調査の目的はこれらの地点で岩石試料の採集を行い、西表海底火山か否かの確認を行うことである。

今回の調査地点と過去の調査地点・文献との関係を Table 3 に示す。

Table 3. Correspondence of the sites in the previous studies to those in this study.

This work	RN02	RN92	Kato (1991)
D1	D5	D2	V
D2	D6	D3	W
D3	D7	—	X

(2) 調査方法

今回はドレッジャーとグラブ採泥器を使用した。なお、RN02 はグラブ採泥器、RN92 はドレッジャーを使用した。このうち、RN92 では何回かの作業を行った後、D2、D3 で各1個、計2個のドレッジャーを失った。このことは、これらの2地点に岩盤が発達していることを示唆しており、その意味で海上保安庁 (1991) の報告と調和的である。

(3) 結果

加藤 (1991) の研究とその後の調査結果から西表海底火山の可能性が最も大きいと考えられる D1 地点について、先ず詳しい調査を行った。ここから軽石が噴出したのなら、発泡不良の軽石はここから西南西に下る谷にも堆積している可能性がある。岩盤が発達していると思われる D1 で

レッジを行ってRN92と同様にドレッジャーを再び失う危険を避けるため、この谷でドレッジを行った。ドレッジは谷底を登るように東方に、地点名ではB→A→D1の方向に行った (Fig.6)。

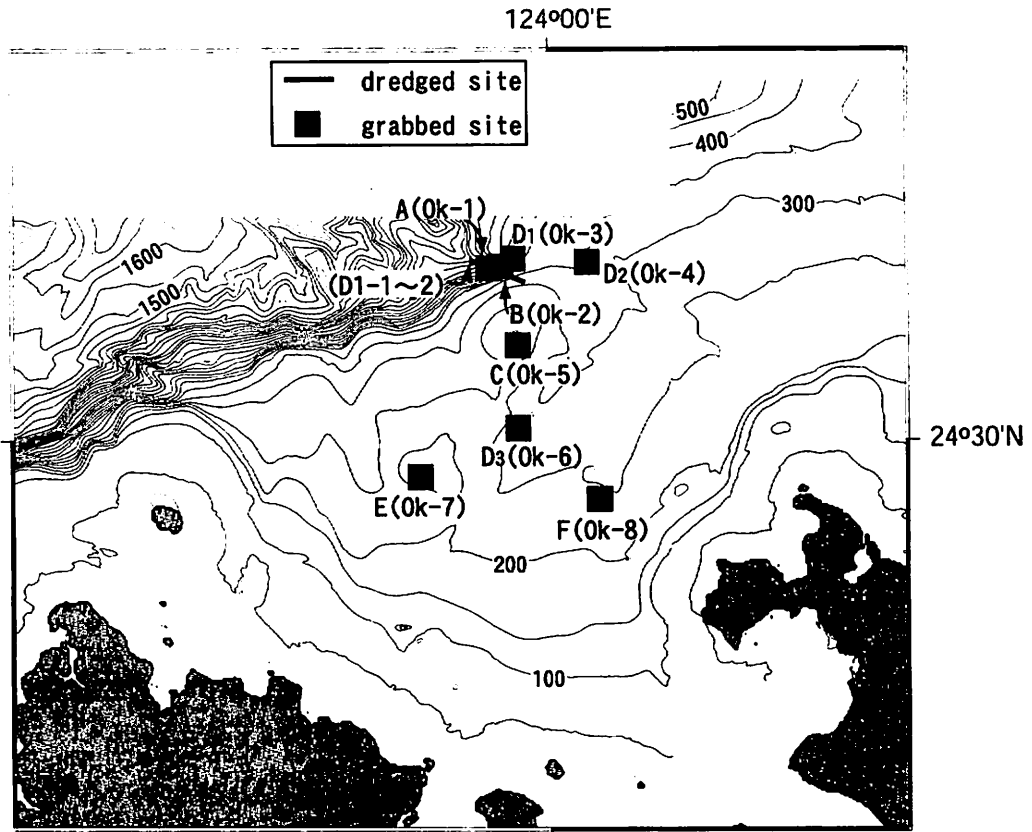


Fig. 6. Map showing sites of dredge and grab sampling. Bathymetric contours have 50 m intervals.

D1-1のドレッジはBの西方から途中Bを通過してAまで、D1-2はAの西方からAを經由してD1方向に曳いた (Table 4)。D1-1ではフェーズワイヤが切れた。D1-2でもフェーズワイヤが切れたことを示唆する衝撃があったので、船を止めワイヤをほぼ鉛直方向に曳いたが、残念ながらドレッジャーを失ってしまった。そのため、以後Grab採泥器を用いてB, A, D1地点で採集を試みたが目的の軽石は得られなかった。以上でD1地点周辺での調査を終了し、西表海底火山の可能性が次に考えられる他の高まりのD2, C, D3, E, Fで採集を試みた (Fig.6)。このうちCはニシヌズニ、Eはイリーズニとの名称が付いている (海上保安庁, 1991)。結果は深所ほど試料が取れない場合が多かった (Table 4)。これは多分、Grab採泥器が底質の表面で滑るか、斜めに着底した状態で採泥器が閉じたなどのためであろう。

Table 4. Location and description of samples recovered by a Niino-type dredger during the RN03 cruise.

Site	Date	Time touch & leave	Latitude*	Longitude*	Depth (m)	Sample description and remarks
D1-1	5/28/2003	9 : 14	24° 34.467'N	123° 57.586'N	850	Some unconsolidated clods of light olive gray-colored silty clay, containing pebble-sized molluscan shells and other bioclasts.
		10 : 15	24° 33.890'N	123° 59.138'N		
D1-2	5/28/2003	10 : 47	24° 34.304'N	123° 58.628'N	589.8	No recovery. The dredger was lost.
		11 : 28	24° 34.635'N	123° 59.141'N		

*Tokyo Datum

謝 辞

琉球大学の木村政昭教授には調査の協力・助言ならびに原稿を読んで助言を頂いた。琉球大学の小野朋典氏には技術的協力を頂いた。長崎丸の乗船員の方々には多大なお世話になった。ここに記して深く感謝します。

参考文献

- Bé, A. W. H., 1977. An ecological, zoogeographic and taxonomic review of Recent planktonic foraminifera. *In*: Ramsay, A.T. S., ed. *Oceanic Micropaleontology*. Academic Press, London, 1-100.
- Bijma, J., Erez, J. and Hemleben, C., 1990. Lunar and semi-lunar reproductive cycles in some spinose planktonic foraminifers. *J. Foraminiferal Res.* 20(2): 117-127.
- Hallock, P., 1999. Symbiont-bearing foraminifera. *In*: Sen Gupta, B. K., ed. *Modern Foraminifera*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 123-139.
- IAGA Division V WG 8, 1995. International geomagnetic reference field, 1995 revision. *J. Geomag. Geoelectr.*, 47, 1257-1261.
- 今村文彦, 吉田 功, アンドリユー・ムーア, 2001. 沖縄県石垣島における1771年明和大津波と津波石移動の数値解析. *海岸工学論文集*, 48, 346-350.
- Iryu, Y., Nakamori, T., Matsuda, S. and Abe, O., 1995. Distribution of marine organisms and its geological significance in the modern reef complex of the Ryukyu Islands. *Sed. Geol.*, 99: 243-258.
- 石垣市総務部市史編集室, 1998. 大波之時各村之形行書 大波寄揚候次第. 石垣市史叢書, 120pp.
- 海上保安庁水路部, 1991. 沿岸の海の基本図 (5万分の1) 西表島北部, 海上保安庁.
- 加藤祐三, 1982. 琉球列島西表海底火山の位置と噴出物量. *琉球列島の地質学研究*, 6, 41-47.
- 加藤祐三, 1991. 1924年西表海底火山噴火. *月刊地球*, 13(10), 644-649.
- 気象庁, 1990. 海洋観測指針. (財)日本気象協会, 428pp.
- Lee, J. J. and Anderson, O. R., 1991. Symbiosis in foraminifera. *In*: Lee, J. J. and Anderson, O. R., eds. *Biology of Foraminifera*. Academic Press, London, 157-220.
- Li, B., Zhimin, J. and Pinxian, W., 1997. *Pulleniatina obliquiloculata* as a paleoceanographic indicator in the southern Okinawa Trough during the last 20,000 years. *Mar. Micropaleontol.*, 32: 59-69.
- Littler, M. M., Littler, D. S. and Hanisak, M. D., 1991. Deep-water rhodolith distribution, productivity, and growth history at sites of formation and subsequent degradation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 150: 163-182.
- 松田伸也, 井龍康文, 野原昌人, 1992. 沖縄島周辺海域のサンゴモ球およびその地質学的意義. *堆積研報*, 37: 109-111.
- 中田 高, 河名俊男, 1986. 明和8年(1771)の地震津波について. *歴史地震*, 2, 141-147.
- 中村 衛, 藤田和彦, 加藤祐三, 高木保昌, 西田英明, 森井康宏, 有賀佳代, 杉山真人, 久恒善幸,

2002. 南西諸島南部海域の地質学的・地球物理学的調査—長崎丸 RN02 航海報告—. 琉球大学理学部紀要, (74): 49-63.
- 新城竜一, 町山栄章, 牧陽之助, 本山 功, 當山元進, 外窪周子, 鐘 孫霖, 2001. 沖縄トラフ西端部と黒島海丘での潜航調査概要—「しんかい 2000」NT00-06 Leg-1 航海—. JAMSTEC 深海研究, (19): 109-121.
- 鈴木 淳, 1992. サンゴ礁生態系における物質生産. 地質ニュース, (452): 42-50.
- 辻 嘉弘, 須内寿男, 山村恒夫, 古田土俊夫, 結城智也, 岩本 博, 1993. 琉球列島宮古島西方海域の現世炭酸塩堆積物とその石油地質学的意義. 石油公団石油開発技術センター研究報告, (24): 55-77.
- Tudhope, A. W. and Scoffin, T. P., 1988. The relative importance of benthic foraminiferans in the production of carbonate sediment on the Central Queensland Shelf. Proc. 6th Int. Coral Reef Sym., Australia, 2: 583-588.
- Ujiié, H. and Ujiié, Y., 1999. Late Quaternary course changes of the Kuroshio Current in the Ryukyu Arc region, northwestern Pacific Ocean. Mar. Micropaleontol., 37: 23-40.
- Ujiié, H., Tanaka, Y. and Ono, T., 1991. Late Quaternary paleoceanographic record from the middle Ryukyu Trench slope, northwest Pacific. Mar. Micropaleontol., 18: 115-128.
- Ujiié, H., Hatakeyama, Y., Gu, X. X., Yamamoto, S., Ishiwatari, R. and Maeda, L., 2001. Upward decrease of organic C/N ratios in the Okinawa Trough cores: proxy for tracing the post-glacial retreat of the continental shore line. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 165: 129-140.
- Ujiié Y. and Ujiié H., 2000. Distribution and oceanographic relationships of modern planktonic foraminifera in the Ryukyu Arc region, northwest Pacific Ocean. J. Foraminiferal Res., 30(4): 336-360.
- 山崎 誠, 尾田太良, 2002. 海洋フラックスの古海洋への適用—セジメント・トラップの総括—. 月刊地球, 24(6): 381-387.