

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化学的調査・地質学的調査 －長崎丸RN10航海報告－

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学理学部 公開日: 2011-10-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 土岐, 知弘, 古川, 雅英, 吉村, 浩, 神田, 洋司, 白, 大烈, 藤田, 和彦, 藤村, 弘行, Toki, Tomohiro, Furukawa, Masahide, Yoshimura, Hiroshi, Kanda, Youji, Baek, Dae-Yul, Fujita, Kazuhiko, Fujimura, Hiroyuki メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/21888

南西諸島南部海域における地球化学的・地質学的調査
— 長崎丸 RN10 航海報告 —

土岐 知弘*・古川 雅英**・吉村 浩***・神田 洋司**・
白 大烈*・藤田 和彦**・藤村 弘行*

*琉球大学理学部海洋自然科学科

**琉球大学理学部物質地球科学科

***長崎大学水産学部

Tomohiro Toki*, Masahide Furukawa**, Hiroshi Yoshimura***, Youji Kanda**,
Dae-Yul Baek*, Kazuhiko Fujita**, and Hiroyuki Fujimura*

Geochemical and geological investigations in the area around the southern Ryukyu islands
- Report on RN10 cruise by T/S *Nagasaki-maru* -

*Department of Chemistry, Biology, and Marine Science, Faculty of Science, University of the Ryukyus, Senbaru-1
Nishihara, Okinawa 903-0213, Japan

**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 (RN10 Cruise) for students of Faculty of Science, University of the Ryukyus, by T/S *Nagasaki-maru*, the scientific survey was carried out during May 22 to 28, 2010. We took seawater samples above a submarine knoll in the forearc area off Miyako Island, and ones in the southern Okinawa Trough for reference. We also recovered rock samples using a dredger at Miyako Seamount which locate in the southern Okinawa Trough. Granitic rocks were dredged, which may correspond to Omoto Granit in Ishigaki island. Surface sediments were sampled by an Okean-type grab sampler from an island shelf off Naha, which are composed of biogenic carbonate sand and gravel containing a large number of live large foraminifera, *Cycloclypeus* sp.

はじめに

2010年5月22日から5月28日にかけて、長崎丸(長崎大学水産学部所有)を用いた琉球大学理学部の乗船実習RN(Ryukyu-Nagasaki)10航海が実施された(Fig. 1)。本航海では、南西諸島南部海域においてCTD観測を伴った海水の鉛直採取を3ヵ所において(Table 1)、また、海底から岩石および表層堆積物をそれぞれ1ヵ所(計2

カ所)から採取した(Table 2 および Table 3)。本論では、航海中に実施された地球化学的および地質学的調査について報告する。

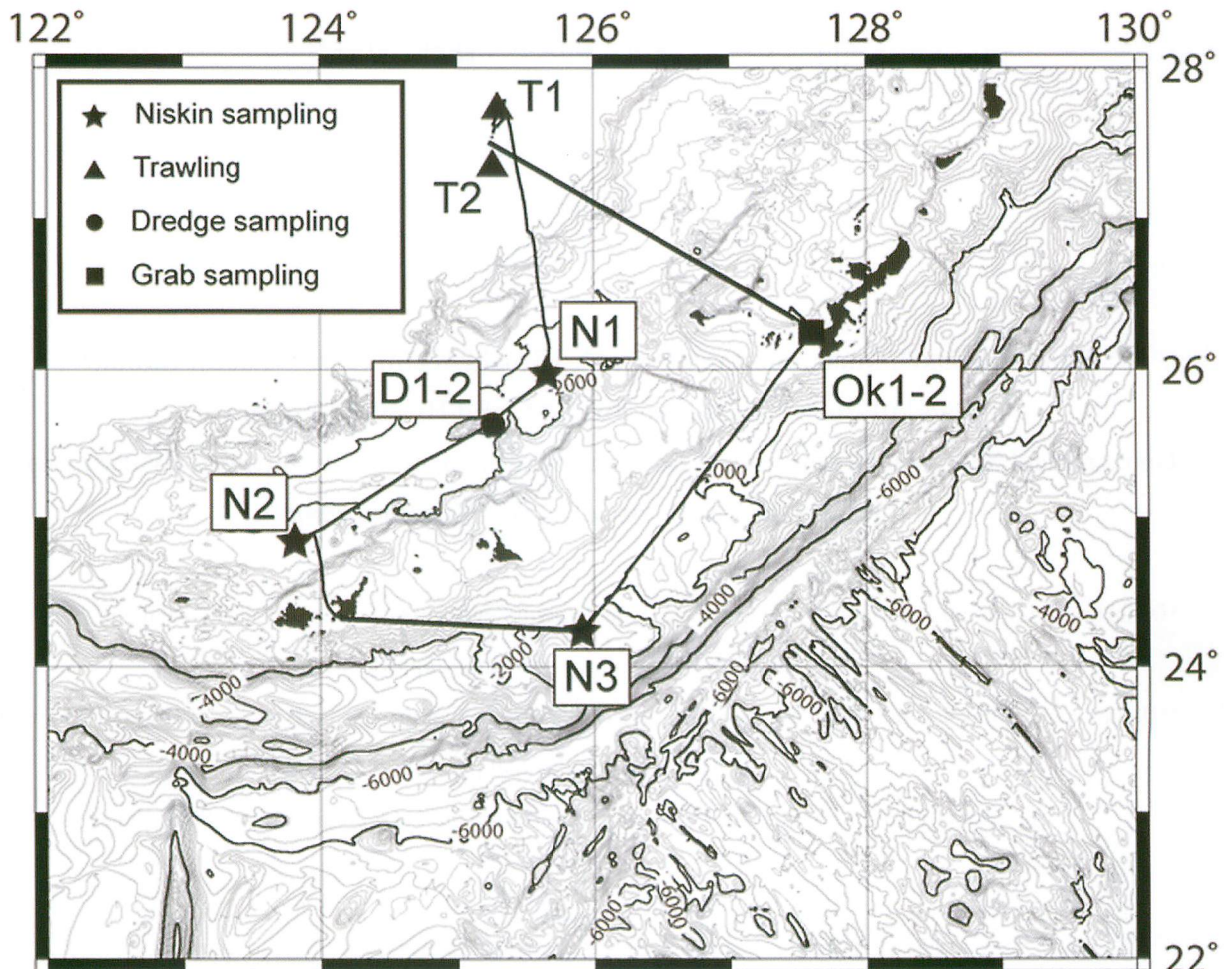


Fig. 1 Chart showing sampling sites. Tracking of the RN10 Cruise by the T/S *Nagasaki-maru* is also indicated. ★ = CTD sites, ▲ = trawled sites, ● = dredged sites, ■ = grabbed sites.

海水中のメタンを指標に用いた琉球弧前弧域海底における泥火山の分布

(1) 目的

海底泥火山は、未固結堆積物が海底下深部からもたらされ、海底面上に噴き出して形成されたものである。その多くは、プレート沈み込み帯の前弧域付加体に分布している(Milkov, 2000; Kopf, 2002)。海底泥火山の形成には、活断層や地震活動、あるいは冷湧水やメタンハイドレートが深く関係していると考えられている。一方、メタンは大気中において温室効果気体としてふるまう。このことから、地球表層の主要なメタンの放出源からの放出量や生成過程に関する研究が重要視されている。現代の海洋は、メタンの全自然放出源の6%程度にすぎないと見積られており、それほど大きな放出源とはなっていない(Prather *et al.*, 1995)。しかし、温暖化が進行すると、深層水の温度上昇が海底下のメタンハイドレート融解を引き起こす(McIver, 1982)。その結果、急激なメタン放出に繋がる危険性が

あり、これが温暖化を一層加速させる可能性がある(Nisbet, 1990; Paull *et al.*, 1991)。したがって、メタンハイドレートの形成や崩壊、それに伴う泥火山の形成及び活動は、地球表層の炭素循環、地球環境の温暖化、海底斜面の安定などを考える上で非常に重要である。

琉球弧の中部から南部にかけての前弧域(南西諸島海溝の陸側斜面)は、環太平洋泥火山帯の中で未だにその分布が空白域となっている地域である。琉球弧では、海洋域における地震の発生が顕著であり、島弧を横断する方向で発達している「洞切り断層」の多くが活断層であると指摘されている(Matsumoto *et al.*, 2009)。こういった地殻変動による断層運動は、泥火山形成の引き金となっている可能性がある。詳細な地形データから、沖縄本島南方沖海底には複数の丘状地形が見られる。本研究では、これらの丘状地形上において海水のサンプリングを行い、琉球弧前弧域海底から放出されたメタンの存在の有無を調べる。本研究は、琉球弧前弧域における海底からのメタン放出量の見積りによる環境への影響評価、あるいは活動的な島弧地殻変動と海底からのメタンの放出との関連、またメタンの海底資源としての可能性など、今後の研究の発展のための基礎研究としての役割がある。

(2) 調査方法

調査は、前弧域 1 ヵ所のほか、リファレンスとして背弧域から 2 ヵ所を選んで行った(Table 1)。海水の採取に先立って、CTD(Conductivity Temperature Depth profiler)観測を行った。CTD 観測は、Sea-Bird Electronics 社製 SBE9 を用いて、電気伝導度、水温、圧力のほか、DO(Dissolved Oxygen:溶存酸素)、蛍光光度計を用いた植物プランクトンのクロロフィル *a* 量、透過率を計測した。

海水は、12 連式のニスキン採水器(5 L)を用いて採取した。ただし、表面の海水については、バケツを用いて採取した。採取された海水は、船上で直ちに溶存メタンガス分析用として内容積約 120 ml のガラス製バイアル瓶に分取した。海水を分取したバイアル瓶には、生物活動を固定するために、直ちに分注器を用いて飽和塩化水銀溶液 1 ml を添加した後、気泡が入らないようにブチルゴム栓及びアルミキャップで密栓した。また、分取された海水は、溶存有機物の光分解による一酸化炭素発生や温度変化による容器の破損を防ぐために測定まで約 10°C の冷暗所で保存した。

Table 1. Location and description of seawater sampling by a Niskin sampler during the RN10 cruise.

Site	Date	Time	Latitude	Longitude	Depth (m)	Site description
N1	24/5/2010	3:58 AM	26°00.202'N	125°40.132'E	1,889	Above a control seafloor in the Okinawa Trough
N2	24/5/2010	6:00 PM	24°51.661'N	123°50.992'E	1,596	Above a hydrothermal field at the Hatoma Knoll
N3	25/5/2010	2:12 PM	24°15.067'N	125°55.135'E	1,385	Above a submarine knoll in the forearc area

(3) 結果

水温、塩分、溶存酸素量、透過度、クロロフィル *a* 量、光量について、鉛直分布を Fig. 2 に示す。なお、N1 サイトの光量がほとんどバックグラウンドレベルしかないことは、未明のサンプリングであったことを示していると考えられる。水温の鉛直分布から、表層から 800 m 付近までは深さとともに低下する傾向が見られる。同様の傾向は、溶存酸素量にも見られる。N3 サイトは、いずれの因子に関しても、他の二つのサイトと異なる傾向を示している。N3 サイトでは、

200～800 m 付近において、水温・溶存酸素量ともに他のサイトに比べて高い。また、N3 サイトには、他の 2 サイトと比べて、600～1100 m 付近において塩分の低い水が、800～1100 m 付近において溶存酸素量の低い水が分布している。

いずれのサイトでも観測されたように、800 m よりも浅い海水は成層化している。このように成層化した海水は、上下混合をほとんど起こさない。このことから、N3 サイトでのみ観測された特徴的な水塊は、水平方向の移動によって供給されたものであると考えられる。N3 サイトは、他の 2 ヲ所とは異なり、唯一前弧側において観測している。このことから、前弧側には背弧側とは異なる特徴的な水塊が分布していることが示唆された。今後、持ち帰った海水試料中のメタン濃度を測定し、前弧側および背弧側それぞれの海底からのメタンの放出の有無を明らかにする。

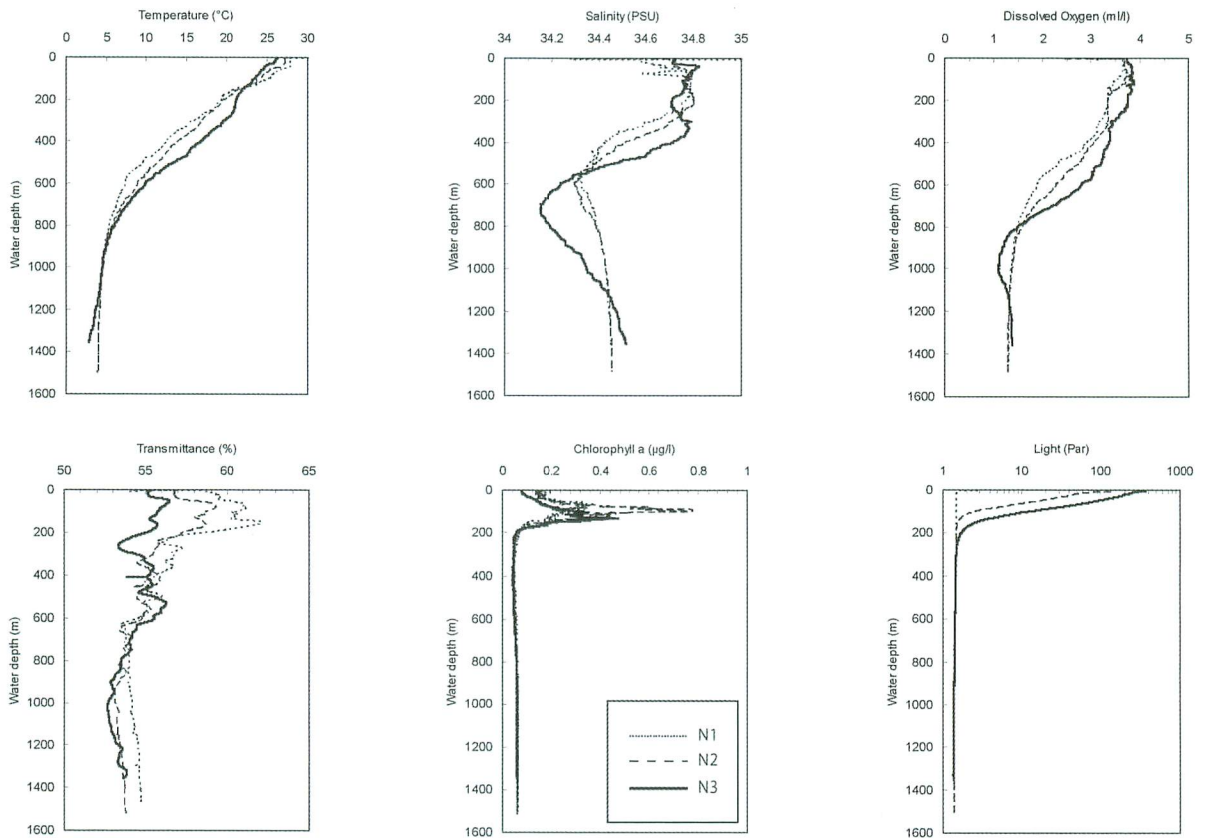


Fig. 2 Physical and biological environmental data measured by a CTD profiler at three stations during the RN10 cruise.

海洋の二酸化炭素吸収と人為起源および熱水起源の二酸化炭素

(1) 目的

産業革命以来、人類は絶えず化石燃料を燃やし続け 1800～1994 年までに化石燃料の消費とセメントの製造によって大気中へと放出された二酸化炭素の総量は $2.44 \pm 0.2 \times 10^{17}$ gC に達する (Sabine *et al.*, 2004)。現在の大気中に残留する二酸化炭素の量は毎年 3.2×10^{15} gC であり、残りの炭素は主に陸の生物圏と海洋に吸収されている (Prentice, 2001)。海洋は毎年およそ 2×10^{15} gC の炭素を吸収していることが明らかにされており (Prentice, 2001)、地球規模での炭素循環を考える上で海洋への二酸化炭素の吸収量は大変重要なパラメーターである。一方、沖

縄トラフの海底熱水系からは非常に多量の二酸化炭素が海洋に供給されていることが知られている(Sakai *et al.*, 1990)。このような地球内部から海洋に供給されている炭素が、海洋や大気にどのような影響を与えているかは明らかにされていない。

本研究では、南西諸島南部周辺海域で採取した海水を用いて、全炭酸や全アルカリ度、溶存酸素量などの鉛直分布を調べることによって、大気中の二酸化炭素が海洋へどのように吸収されているかを明らかにする。また、全炭酸の炭素同位体比を測定することによって、人為起源の二酸化炭素がどのように増加してきたか、さらに熱水起源の二酸化炭素がどの程度海洋の全炭酸に影響を与えているかを明らかにする。

(2) 調査方法

採水地点は Table 1 に示した 3 か所である。表層海水はバケツで採水し、それ以外は 12 連式のニスキン採水器 (5 L) を用いて、各層毎に採水を行った。測定項目は、pH、DO (溶存酸素量)、TIC (全炭酸)、TA (全アルカリ度)、塩分、炭素同位体比である。全炭酸、全アルカリ度および炭素同位体比測定用の試料海水は、サイフォンによってバイアル瓶 (100 ml) に移し、0.1 M の HgCl_2 溶液を 0.5 ml 添加して密封し、測定まで冷蔵保存した。さらに、pH 測定用、溶存酸素測定用および塩分測定用の試水を、それぞれプラスチック試験管 (15 ml)、酸素瓶 (約 100 ml) およびポリ瓶 (50 ml) に取り分けた。溶存酸素は、船上で固定液を添加して酸素を固定し、実験室に持ち帰った。

pH は、pH メーター (ORION 4 STAR, Thermo 社) を用いて、採水から 2~3 時間後に船上で測定した。DO は Winkler 法で求めた。これは $\text{Mn}(\text{OH})_2$ が酸素と反応して生じた $\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を、さらに KI と反応させ、その時発生した I_2 を $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ で定量する方法である。TIC、TA、塩分、炭素同位体比はそれぞれクーロメーター (CM5012, UIC 社)、全アルカリ度滴定装置 (ATT-05, 紀本電子)、塩分計 (PortaSal 8410A, Guildline 社)、安定同位体比質量分析計 (DeltaV, Thermo 社) で測定する。また、水温、透明度などは CTD 装置で得られたデータを用いる。

得られた測定値を用いて、任意の深度の海水がかつて表層にあった当時の二酸化炭素の濃度を求める (金森・池上, 1982)。また、化石燃料の消費により減少してきた大気中の二酸化炭素の炭素同位体比は海水中にも反映されていると考えられる。海水中の全炭酸の炭素同位体比を測定し、人為起源の二酸化炭素がどのように増加してきたかを見積もる。これらの鉛直分布から、沖縄近海における二酸化炭素の海洋への吸収量を明らかにする。

鳩間海丘では熱水活動が報告されており (渡辺, 1999)、非常に高濃度の二酸化炭素が海洋に供給されていることが知られている (土岐ほか, 2008)。鳩間海丘周辺で採取した海水中には、熱水活動の影響が見られると考えられ、炭素同位体比を用いて熱水起源の二酸化炭素が深海の全炭酸にどの程度影響を与えているかを見積もる。

宮古海山に関する調査

(1) 目的

水深約 1,000 m の宮古海山においては、主にサンゴ礁起源 (更新世の琉球層群) と考えられる石灰岩が採取されている (大島ほか, 1988)。このことから、更新世中期頃まで、宮古海山頂部が極浅海にあった可能性が示唆される。また、沖縄トラフ域におけるリフト形成・沈降過程を調べる上で、宮古海山が重要な鍵を握っていると考えられる。本航海では、宮古海山の形成に関するより多くの情報を得るために、宮古海山に露出している岩石の採取を行った。

(2) 調査方法

宮古海山の斜面(水深1,136 m)において、ドレッジャー(Photo1)を投入し、着底後約20分間曳航したが、1回目(D1)は岩石試料を得ることができなかった。このため、ほぼ同地点 D2(水深 1,167 m)において、再度ドレッジャーを投入し、同様に着底後約20分間曳航し、試料を得た。

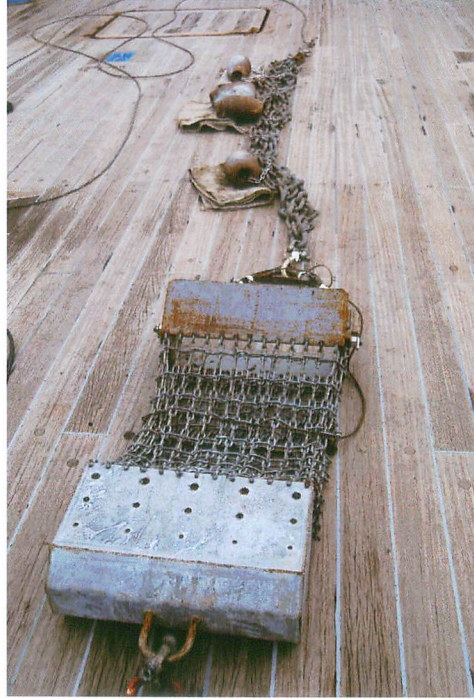


Photo 1 Dredger.

(3) 結果

試料の採取位置と記載を Table 2 に示す。また、採取直後の試料写真を Photo2 に示す。

採取された岩石は、主に花崗岩類であり、上記した石灰岩は得られなかった。宮古海山に最も近い陸域で花崗岩の分布が認められているのは石垣島 (Fig.1) である。肉眼観察からは、予察的に石垣島の於茂登岳花崗岩に相当するものと推定される。今後、薄片による鏡下観察、化学分析、年代測定を行い、沖縄トラフおよび琉球弧における火成活動、ならびに宮古海山および沖縄トラフの沈降過程を明らかにする計画である。

Table 2. Location of a Niino-type dredge sampling and description of rock samples recovered during the RN10 cruise.

Site	Date	Time touch & leave	Latitude	Longitude	Depth (m)	Sample description and remarks
D1	24/5/2010	8:19 AM 8:56 AM	25°37.475'N 25°36.959'N	125°13.201'E 125°13.161'E	1,136	No recovery
D2	24/5/2010	9:37 AM 10:07 AM	25°36.063'N 25°36.587'N	125°12.300'E 125°12.090'E	1,167	Granitic rock (Max. size: 30x20x10cm)



Photo 2 Rock samples (all) recovered at Site D2.



Photo 3 Granitic rock recovered at Miyako seamount (Site D2).

島棚棲大型底生有孔虫 *Cycloclypeus carpenteri* の生体の採集

(1) 目的

大型底生有孔虫 *Cycloclypeus carpenteri* Brady は現世有孔虫の中では最も大きく、最大直径 13 cm の個体が報告されている(Koba, 1978)。方解石で造られた殻は薄い円盤状で、中央部がやや膨らむ。幼年期を除いて輪状の室を付加形成させて成長する。本種は、インド洋と西・中央太平洋のサンゴ礁海域に分布し(Langer and Hottinger, 2000)、有光層下部(水深 60~90 m)に最も多く生息する(Yordanova and Hohenegger, 2002)。珪藻と細胞内共生するため、生体は暗黄褐色を呈する(Leutenegger, 1984)。棲息分布は、特に光(波長・光量)に規制され

る(Hohenegger, 2004)。しかし、この推察は棲息分布と現場観測による環境因子との相関に基づいており、飼育実験によって検証されていない。また、*Cycloclypeus* の化石は、第四系琉球層群の陸棚性石灰岩に産出する。その年輪状に成長する殻には棲息当時の水温や光量などの古海洋環境情報が記録されている可能性がある(Saraswati et al., 2004)。したがって、*Cycloclypeus* の生態や *Cycloclypeus* の殻に含まれる同位体比や微量元素組成と環境因子との相関の理解がより深まれば、琉球列島島棚域の第四紀古海洋環境を詳細に復元できる可能性が高まる。そこで、*Cycloclypeus* の生態を飼育実験によって明らかにするために、*Cycloclypeus* の生体を採集することを目的とした。

(2) 調査方法

那覇港沖の地点(水深 62 m)において、CTD 多項目センサーを用いて水深 2~57 m の海水温、海水塩分、クロロフィル *a* 量、濁度、水中光量子、海水 pH、二酸化炭素溶解度を測定した(Table 3)。その後、オケアン式グラブ採泥器を用いて表層堆積物の採集を 2 回試みた(Photo 4)。採集された試料から *Cycloclypeus* の生体を拾い出し、大きさ別に分け、海水を入れたプラスチック製容器に入れ、那覇新港に到着するまでの約 1 日間維持した。研究室に持ち帰った有孔虫試料を種類と大きさ別に蓋つき透明容器(PET 製)に入れて、庫温を 24°C に保ったインキュベーター内で飼育した。

(3) 結果

CTD 観測の結果、採集地点に近い水深 57 m の光量子量は $17.03 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、海水温は 24.47 °C、塩分濃度は 34.61 ‰、クロロフィル *a* 量(蛍光光度)は 0.34 $\mu\text{g/L}$ 、溶存酸素は 3.79 ml/L、濁度は 57.07 %であった。

表層堆積物は直径~5 cm の大型底生有孔虫の遺骸・生体と石灰藻球を多量に含む砂礫質堆積物から構成される。大型有孔虫群集は、主に *Cycloclypeus* を優占する(150 個体)。その他に、*Amphistegina*, *Operculina*, *Heterostegina*, *Baculogypsinoides*, *Parasorites*, *Nummulites*, *Planostegina* の 7 属約 60 個体が含まれる。特に *Heterostegina* と *Parasorites* が *Cycloclypeus* に次いで多い。

Cycloclypeus の生体の大きさは、直径 4 cm 以上が 4 個体、1~3 cm は約 60 個体、1 cm 以下は約 80 個体である。また、遺骸個体の中には、幼形個体が付着した直径 3~5 cm の個体も含まれる。遺骸個体に付着した幼形個体の大きさから、その大型遺骸個体は 1~2 ヶ月前に無性生殖を行ったと考えられる。*Cycloclypeus* は、11~2 月に無性生殖を行うことが飼育観察により明らかにされているが(Krüger et al., 1996/97)、このことは自然環境下においては 3~4 月にも無性生殖が行われていることを示唆する。

また、RN02 航海では、宮古島西方沖の水深 94 m で *Cycloclypeus* の生体が多量に採集された(中村ほか, 2002)。しかし、本航海では、RN02 航海より 30 m も浅い水深で *Cycloclypeus* が採集された。このことは、宮古島西方沖の方が透明度は高い、または光量が大きい環境でも *Cycloclypeus* が棲息できることを意味する。今後、様々な光条件下で成長(石灰化)速度、代謝量などを測定して *Cycloclypeus* の生態を明らかにしていく予定である。

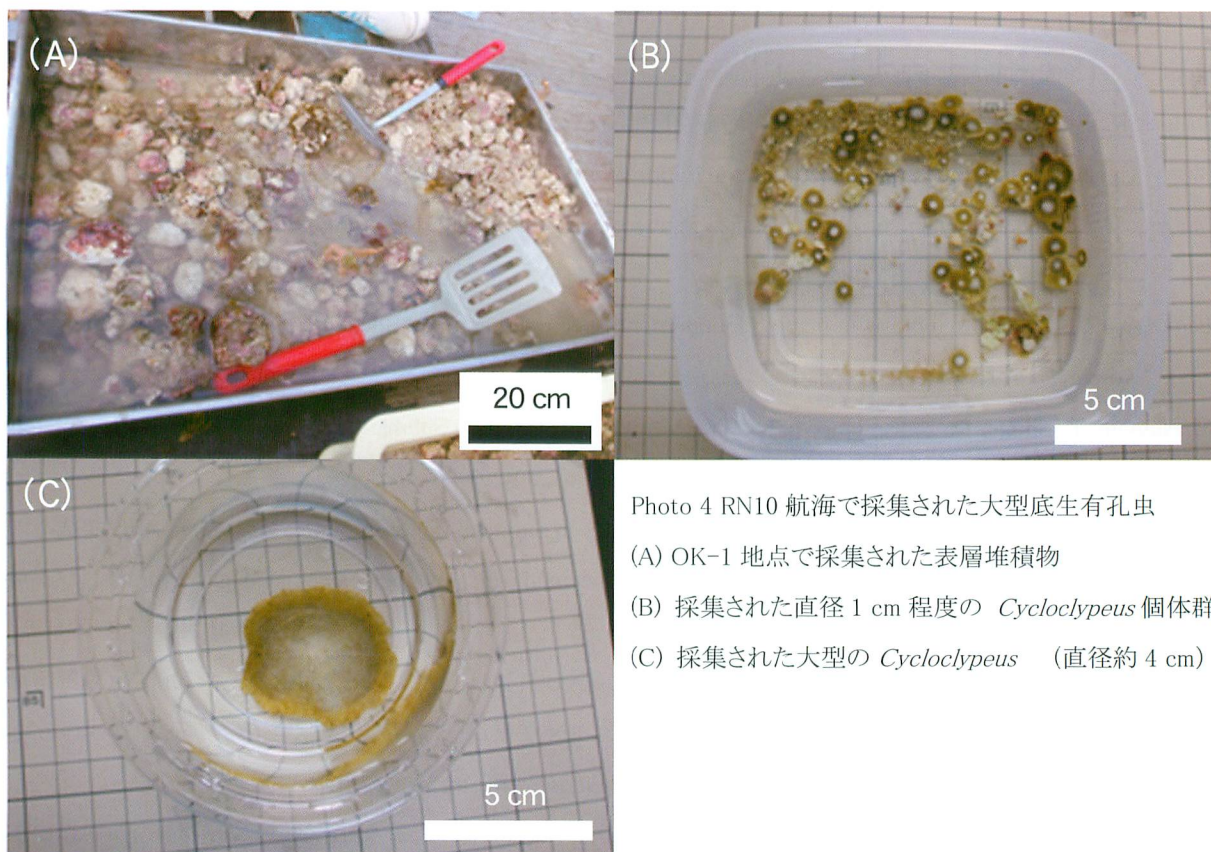


Table 3. Location of an Okean-type grab sampling and description of sediment samples taken during the RN10 cruise.

Site	Date	Time	Latitude	Longitude	Depth (m)	Sample description and remarks
Ok-1	27/5/2010	8:05 AM	26°14.907'N	127°36.949'E	62	Pale grayish-colored, biogenic carbonate gravel (pebble) and coarse-grained sand, composed of rhodoliths, large benthic foraminiferal tests, and molluscan shells. A large number of live large foraminifera, <i>Cycloclypeus</i> sp. (max. ϕ : 4.8 cm) were collected.
Ok-2	27/5/2010	8:19 AM	26°14.574'N	127°36.882'E	62	

謝辞

琉球大学の棚原朗准教授には原稿に関する貴重なご助言を頂きました。長崎丸の運航および試料の採取に当たりまして、乗組員の皆様には大変お世話になりました。また、航海の実施に際しまして、琉球大学の小野朋典氏には多大なる技術的協力を頂きました。この場を借りて、深く感謝の意を表します。

参考文献

- Hohenegger, J. (2004) Depth coenoclines and environmental considerations of Western Pacific larger foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research* **34**, 9-33.
- 金森悟・池上尚 (1982) 大気中の二酸化炭素の海洋への吸収量の推定の試み. *地球化学* **16**, 99-105.
- Koba, M. (1978) Distribution and environment of Recent *Cycloclypeus*. *Sci. Rep. Tohoku Univ. 7th Ser. (Geogr.)* **28**,

283-311.

- Kopf, A. J. (2002) Significance of mud volcanism. *Reviews of Geophysics* **40**, 1005.
- Krüger, R., Röttger, R. and Hohenegger, J. (1996/97) Biology and reproductive processes of the larger foraminiferan *Cycloclypeus carpenteri* (Protozoa, Nummulitidae). *Archiv für Protisten Kunde* **147**, 307-321.
- Langer, M. R. and Hottinger, L. (2000) Biogeography of Selected "Larger" Foraminifera. *Micropaleontology* **46**, 105-126.
- Leutenegger, S. (1984) Symbiosis in benthic foraminifera; specificity and host adaptations. *Journal of Foraminiferal Research* **14**, 16-35.
- Matsumoto, T., Shinjo, R., Nakamura, M., Kimura, M. and Ono, T. (2009) Submarine active normal faults completely crossing the southwest Ryukyu Arc. *Tectonophysics* **466**, 289-299.
- McIver, R. D. (1982) Role of naturally occurring gas hydrates in sediment transport. *AAPG Bulletin* **66**, 789-792.
- Milkov, A. V. (2000) Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates. *Marine Geology* **167**, 29-42.
- 中村衛・藤田和彦・加藤祐三・高木保昌・西田英明・森井康弘・有賀佳代・杉山正人・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.
- Nisbet, E. G. (1990) The end of the ice age. *Canadian Journal of Earth Sciences* **27**, 148-157.
- 大島章一・高梨正雄・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. *水路部研究報告* **24**, 19-43.
- Paull, C. K., Ussler, W., III and Dillon, W. P. (1991) Is the extent of glaciation limited by marine gas-hydrates? *Geophysical Research Letters* **18**, 432-434.
- Prather, M. J., Derwent, R., Ehhalt, D., Fraser, P., Sanhueza, E. and Zhou, X. (1995) Other trace gases and atmospheric chemistry. *Climate Change 1994* (Houghton, J. T., Meira-Filho, L. G., Bruce, J. P., et al. eds), Cambridge University Press, Cambridge.
- Prentice, C. (2001) The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2001* (Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., et al. eds), Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Sabine, C. L., Feely, R. A., Gruber, N., Key, R. M., Lee, K., Bullister, J. L., Wanninkhof, R., Wong, C. S., Wallace, D. W. R., Tilbrook, B., Millero, F. J., Peng, T.-H., Kozyr, A., Ono, T. and Rios, A. F. (2004) The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂. *Science* **305**, 367-371.
- Sakai, H., Gamo, T., Kim, E. S., Tsutsumi, M., Tanaka, T., Ishibashi, J., Wakita, H., Yamano, M. and Oomori, T. (1990) Venting of Carbon Dioxide-Rich Fluid and Hydrate Formation in Mid-Okinawa Trough Backarc Basin. *Science* **248**, 1093-1096.
- Saraswati, P. K., Seto, K. and Nomura, R. (2004) Oxygen and carbon isotopic variation in co-existing larger foraminifera from a reef flat at Akajima, Okinawa, Japan. *Marine Micropaleontology* **50**, 339-349.
- 土岐知弘・岩田大吾・伊藤道裕・大森保・石橋純一郎・角皆潤・高畑直人・佐野有司・川口慎介・蒲生俊敬・山中寿

朗・高井研 (2008) 鳩間海丘における海底熱水の化学組成 2007. 第 24 回しんかいシンポジウム, 海洋研究開発機構, 横浜.

渡辺一樹 (1999) 沖縄トラフ南部, 鳩間海丘の海底熱水活動. 第 16 回しんかいシンポジウム, 海洋科学技術センター, 品川.

Yordanova, E. and Hohenegger, J. (2002) Taphonomy of larger foraminifera: Relationships between living individuals and empty tests on flat reef slopes (Sesoko Island, Japan). *Facies* **46**, 169-203.