

しんかい 2000 黒島海丘潜航調査(NT01-05 Leg 1航海)の概要

町山 栄章*¹ 松本 剛*² 松本 良*³ 服部 陸男*⁴
岡野 眞治*⁴ 岩瀬 良一*² 戸丸 仁*³

なつしまNT01-05 Leg 1航海では、しんかい 2000・ドルフィン-3Kを使用した黒島海丘の潜水調査を実施した。海丘南側斜面下部での精密海底重力測定の結果、水深1,505～1,544m付近にて基盤岩が表層付近にまで達していると推定される。海丘頂部の潜水調査の結果、1) 15ヶ所程度のガスバブル噴出口を発見し、それに伴われる大規模なシンカイヒバリガイコロニーを見出した、2) 小規模であるが、現生のシロウリガイコロニーが存在する、3) 塊状を呈する炭酸塩岩類の内部にチムニー等の炭酸塩岩・砂・貝殻片が取り込まれている産状を確認した事から、炭酸塩岩類の形成が複数の時期にわたる事が明らかとなった、4) ポックマークと考えられる凹地形が複数存在する、5) γ 線計測によって現在も活動的な湧水が継続している事を確認した。また、メタンフラックスの連続モニタリングを目指した試作器による短期モニタリング試験を実施した。データの一部に測器の不具合等による異常な値もあるが、高濃度の溶存メタンが存在する事が明らかとなった。

キーワード: 黒島海丘, 冷湧水炭酸塩岩, ガスハイドレート, 化学合成生物群集, γ 線計測

Outline of *Shinkai 2000* dive surveys on the Kuroshima Knoll, off Ishigaki Island.

- Preliminary report of the NT01-05 Leg 1 Cruise -

Hideaki MACHIYAMA*⁵ Takeshi MATSUMOTO*⁶ Ryo MATSUMOTO*⁷ Mutsuo HATTORI*⁸
Masaharu OKANO*⁸ Ryoich IWASE*⁶ Hitoshi TOMARU*⁷

In the NT01-05 Cruise, diving surveys using *Shinkai 2000* and *Dolphin-3K* were carried out on the Kuroshima Knoll, off Yaeyama Islands in the southern part of the Ryukyu Arc. Gravity measurement on the sea bottom in the southern slope of the knoll indicates that the basement rocks are present beneath the seafloor. The results of dive surveys on the top of the knoll are as follows: 1) A gas bubble site and large *Bathymodiolus* colonies were discovered; 2) A small living *Calyptogena* colony was found; 3) cold seep carbonates were formed during several periods; 4) several hollows interpreted as pockmark are present; 5) *in situ* gamma ray measurement shows the presence of active seeps. The results of a short-term monitoring test using a geothermometer and CTD-Methane probe system at the gas bubble site indicates the presence of high concentration of dissolved methane.

Keywords: Kuroshima Knoll, cold seep carbonates, gas hydrate, chemosynthetic community, gamma ray measurement

*1 海洋科学技術センター深海研究部第2研究グループ

*2 海洋科学技術センター深海研究部第3研究グループ

*3 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

*4 海洋科学技術センター深海研究部

*5 Deep Sea Research Department, JAMSTEC

*6 Deep Sea Research Department, JAMSTEC

*7 Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo

*8 Deep Sea Research Department, JAMSTEC

1. はじめに

黒島海丘は八重山諸島石垣島南方沖約26kmに位置する(図1)。海丘頂部の水深は約630m,南側は海溝斜面に連続しており,東・西・北側はそれぞれ海底谷によって境される,陸棚から孤立した海丘となっている(図1)。この南側斜面の崩壊が1771年に発生した八重山地震津波の原因と推定されている(松本・木村,1993など)。一方,その頂部平坦面上には,化学合成生物群集と冷湧水によって形成されたとみられる炭酸塩岩類等が発見され,また海底下にはガスハイドレートの存在が示唆されている(松本ほか,1997,1999)。これまでの一連の調査航海によって,その南側斜面の大規模な崩壊と併せて,頂部平坦面の,特に北側での化学合成生物群集やこれに伴うチムニー等炭酸塩岩類の分布が明らかにされている(町山ほか,2001;新城ほか,本号など)。また炭酸塩岩類の炭素・酸素同位体比の検討の結果,冷湧水形成にガスハイドレートが関与した事が判明した(町山ほか,2000; Takeuchi *et al.*, 本号)。とりわけ当該域は,ガスハイドレートの安定性(温度・圧力条件)が非常にセンシティブな場であるため,ハイドレートの生成・分解過程の解明には最適である。上記変動現象の因果関係の解明は,本海域のみならず南西諸島全域や類似の島弧-海溝系前弧域での変動現象を解明するために重要なデータセットを提供する。

本報告では,平成13年4月29日~5月12日にかけて実施されたなつしまNT01-05 Leg 1航海における,しんかい12000を使用した潜航調査結果概要(ドルフィン-3K事前調査を含む)を述べる。本調査では,これまでに地質マッピングの行われている黒島海丘上において,1)精密海底重力測定の手法を用いて海丘の詳細な密度構造を求め,それを基に同海丘の形成・変動過程を解明する,2)炭酸塩岩類の詳細なマッピングを実施すると共に,冷湧水域の採水や採泥等を行い,その同位体・有機化学分析からガスハイドレートと炭酸塩岩類形成に関与した流体の特性を解明する,3)メタンフラックスの解明を目指した,ガスセンサー搭載の試作器を冷湧水域に設置して短期モニタリング試験を実施する事を目的とした。

2. 調査結果概要

海丘頂部から南側斜面にかけて,ドルフィン-3K事前調査潜航として5潜航(第505~509潜航),ならびにしんかい12000調査潜航として4潜航(第1263~1266潜航)を実施した。残念ながら,台風1号の接近により,しんかい12000第1266潜航については途中で打ち切り,また予定の1潜航についても中止した。以下,南側斜面ならびに頂部それぞれについての結果概要を記述する。なお,各潜航によって採取された試料のリストを表1に示した。

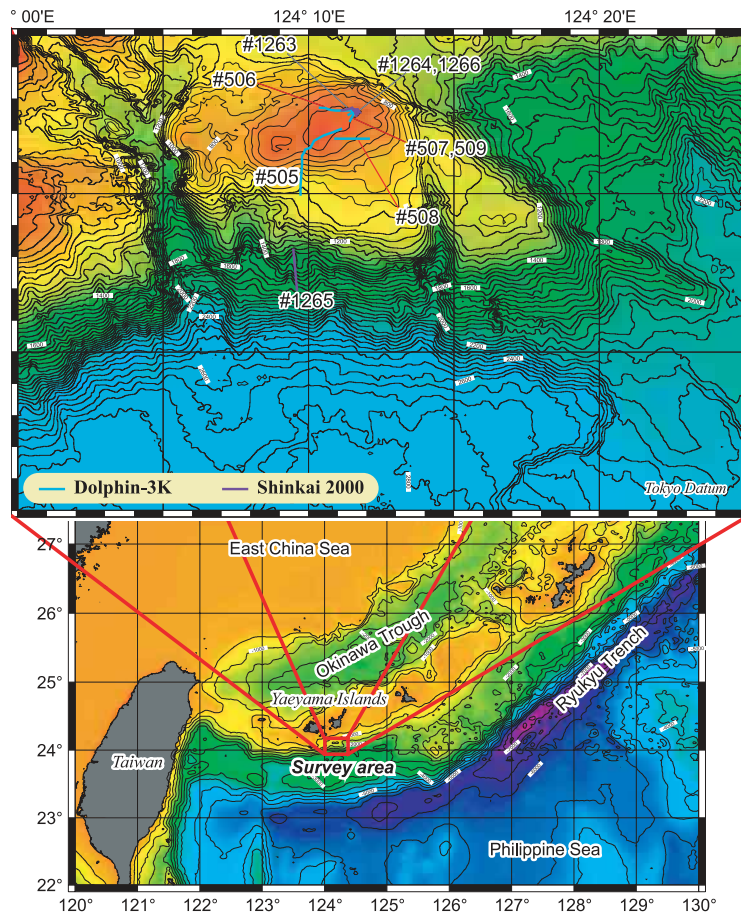


図1 調査海域図および黒島海丘における調査航跡図。

Fig. 1 Location map of the survey area and the survey tracks on the Kuroshima Knoll.

表1 NT01-05 Leg 1航海で得られた試料

Table 1 Samples recovered by diving surveys in the NT01-05 Leg 1 Cruise.

Sample No.	Name	Sample Type	Equipment	Date	Time	Latitude	Longitude	Depth (m)	Description
D3K-505-R1	sandstone	Rock	Manipulator	04.30.01	10:42	24-05.595N	124-09.636E	1007	Shimajiri Gr.?, 18x15x3cm
D3K-505-R2	mudstone	Rock	Manipulator	04.30.01	12:56	24-06.496N	124-09.685E	751	Shimajiri Gr.?, 16x11x7cm
D3K-505-R3	carbonate?	Rock	Manipulator	04.30.01	13:00	24-06.496N	124-09.685E	751	carbonate nodule?, 5x7x2.5cm
D3K-505-R4	pumice	Rock	Manipulator	04.30.01	13:22	24-06.662N	124-09.810E	682	4 pieces (5x6x4cm...etc.)
D3K-505-C1	sand	Sediment	Push corer	04.30.01	10:12	24-05.376N	124-09.645E	1000	10cm long (for interstitial water)
D3K-505-C2	mudstone?	Sediment	Push corer	04.30.01	15:13	24-07.057N	124-10.466E	634	10cm long, semi-consolidated, Shimajiri Gr.? (for interstitial water)
D3K-506-R1	carbonate	Rock	Manipulator	05.01.01	10:58	24-07.860N	124-10.626E	627	sand chimney, 30cm long, 13cm diameter
D3K-506-B1	shell	Organism	Manipulator	05.01.01	11:23	24-07.820N	124-10.819E	636	fragments of <i>Calypptogena</i>
D3K-506-B2	shell	Organism	Manipulator	05.01.01	12:24	24-07.779N	124-11.272E	646	fragments of <i>Calypptogena</i> and <i>Bathymodiolus</i>
D3K-506-C1	LOST	Sediment	Push corer	05.01.01	11:18	24-07.820N	124-10.819E	636	LOST
D3K-506-C2	LOST	Sediment	Push corer	05.01.01	12:01	24-07.804N	124-11.047E	647	LOST
D3K-506-W1	cold seep	Water	Vacuum sampler	05.01.01	12:57	24-07.829N	124-11.529E	642	
D3K-507-W1	bottom water	Water	Niskin sampler	05.01.01	16:31	24-07.819N	124-11.520E	642	
D3K-508-C1	sand	Sediment	Push corer	05.03.01	10:02	24-06.970N	124-11.669E	720	13cm long, massive medium-grained sand (for interstitial water)
D3K-508-C2	sand/mud/ mudstone	Sediment	Push corer	05.03.01	11:16	24-06.960N	124-11.289E	685	11cm long, vf.-fine-grained sand/mud/mudstone (for interstitial water)
D3K-508-C3	sand and mud	Sediment	Push corer	05.03.01	12:27	24-06.991N	124-10.838E	671	8cm long, fine-grained sand/silty mud (for interstitial water)
D3K-508-W1	bottom water	Water	Niskin sampler	05.03.01	12:25	24-06.991N	124-10.838E	671	
D3K-509-R1	carbonate?	Rock	Manipulator	05.03.01	15:40	24-07.861N	124-11.634E	663	chimney type?, calcareous mudstone, 10x8x6cm
D3K-509-B1	shell	Organism	Manipulator	05.03.01	15:21	24-07.829N	124-11.529E	642	living <i>Bathymodiolus</i>
D3K-509-W1	bottom water	Water	Vacuum sampler	05.03.01	15:14	24-07.829N	124-11.529E	642	
2K-1263-R1	carbonate	Rock	Manipulator	05.07.01	13:00	24-07.879N	124-11.295E	645	massive type, 15x12x5cm
2K-1263-R2	carbonate	Rock	Manipulator	05.07.01	13:00	24-07.879N	124-11.295E	645	plate type, 56x16x6cm
2K-1263-R3	carbonate	Rock	Manipulator	05.07.01	14:14	24-07.810N	124-11.011E	639	chimney, 34(L)x13(D)cm
2K-1263-R4	carbonate	Rock	Manipulator	05.07.01	14:14	24-07.810N	124-11.011E	639	chimney, 23(L)x11(D)cm
2K-1263-R5	mudstone	Rock	Manipulator	05.07.01	14:27	24-07.835N	124-10.951E	640	?Shimajiri Gr., 5.5x6x3cm
2K-1263-B1	shell	Organism	Manipulator	05.07.01	11:58	24-07.830N	124-11.536E	637	<i>Bathymodiolus</i>
2K-1263-B2	shell	Organism	Manipulator	05.07.01	13:34	24-07.822N	124-11.152E	641	<i>Calypptogena</i>
2K-1263-B3	tube worm	Organism	Manipulator	05.07.01	13:37	24-07.822N	124-11.152E	641	<i>Vestimentifera</i>
2K-1264-R1	carbonate	Rock	Manipulator	05.08.01	11:51	24-07.905N	124-11.573E	664	massive type, 25x17x20cm
2K-1264-R2	carbonate	Rock	Manipulator	05.08.01	12:06	24-07.903N	124-11.633E	662	chimney type, 17(L)x21(D)cm
2K-1264-R3	carbonate	Rock	Manipulator	05.08.01	12:06	24-07.903N	124-11.633E	662	chimney type, 6(L)x8(D)cm
2K-1264-R4	carbonate	Rock	Manipulator	05.08.01	12:17	24-07.919N	124-11.680E	665	chimney type, 21(L)x10(D)cm
2K-1264-R5	carbonate	Rock	Manipulator	05.08.01	12:17	24-07.919N	124-11.680E	665	chimney type, 11(L)x11(D)cm
2K-1264-R6	carbonate	Rock	Manipulator	05.08.01	12:47	24-07.875N	124-11.734E	663	chimney type, 41(L)x7(D)cm
2K-1264-R7	carbonate	Rock	Manipulator	05.08.01	13:27	24-07.839N	124-11.666E	655	plate type, 34.5x8x1.3cm
2K-1264-R8	carbonate	Rock	Manipulator	05.08.01	14:50	24-07.835N	124-11.531E	635	plate type, 21x14x3cm
2K-1264-R9	mudstone	Rock	Manipulator	05.08.01	15:41	24-07.735N	124-11.740E	657	?Shimajiri Gr., 6x7x5cm
2K-1264-C1	sand/silt	Sediment	Push Corer	05.08.01	15:40	24-07.735N	124-11.740E	657	13cm long
2K-1264-B1	shell	Organism	Manipulator	05.08.01	14:16	24-07.832N	124-11.545E	637	<i>Bathymodiolus</i>
2K-1264-B2	shell	Organism	Manipulator	05.08.01	14:50	24-07.835N	124-11.531E	635	<i>Bathymodiolus</i>
2K-1264-W1	bottom water	Water	Niskin sampler	05.08.01	14:25	24-07.832N	124-11.545E	637	
2K-1264-W2	bottom water	Water	Niskin sampler	05.08.01	14:47	24-07.835N	124-11.531E	635	
2K-1264-W3	cold seep	Water	Vacuum sampler	05.08.01	15:01	24-07.835N	124-11.531E	635	
2K-1265-R1	pumice	Rock	Manipulator	05.09.01	14:12	24-03.329N	124-09.394E	1505	8x5.5x5cm (for interstitial water)
2K-1265-C1	sand	Sediment	Push Corer	05.09.01	13:45	24-03.329N	124-09.394E	1505	25.5cm long, massive medium to fine-grained sand (for interstitial water)
2K-1265-C2	sand	Sediment	Push Corer	05.09.01	14:34	24-03.521N	124-09.390E	1392	17cm long, massive very fine to fine-grained sand
2K-1266-R1	carbonate	Rock	Manipulator	05.11.01	11:59	24-07.867N	124-11.725E	665	chimney type, 18.5(L)x7(D)cm
2K-1266-C1	mudstone?	Sediment	Push Corer	05.11.01	11:46	24-07.867N	124-11.725E	665	Lost (20cc remained)

2.1. 海丘南側斜面

黒島海丘南側麓部から頂部に至る南北測線を設け、海丘の密度構造を求めて基盤変動の知見を得る目的で精密海底重力測定を実施した。上述したように、当初予定の1潜航が中止されたため、海丘南側斜面下部の潜航(しんかい2000第1265潜航)のみが実施されている。なお、斜面上部においてはドルフィン-3Kを使用した事前調査1潜航(第505潜航)を実施した。

(1)ドルフィン-3K 第505潜航(図2)

黒島海丘の南斜面を登り、頂部を北東へ横断する測線を設けて実施した。着底地付近より水深920m付近までは、カレントリップルの発達が顕著な砂層から構成され、引き続き

780m付近までは散点的に巣穴が認められる比較的平坦な地形をなしている。水深750mおよび640m付近には、過去に形成されたと推定される規模の大きいカレントリップルが認められ、谷部には黒色の礫(マンガンコーティング)が集積していた(図4C)。640m付近までは基盤の島尻層群と推定される泥岩・砂岩が露出しており、特に670m付近まではステップ状の露岩(崖)が視認された(図4A)。また一部には軽石礫が集積する部分が頻りに認められた。上位は泥岩層が散点的に露出する砂礫が分布する。頂部の633m付近には、マンガンでコーティングされた炭酸塩岩(ノジュール、一部チムニー含む)が分布する(図4B)。東方では砂礫層のみが分布していた。

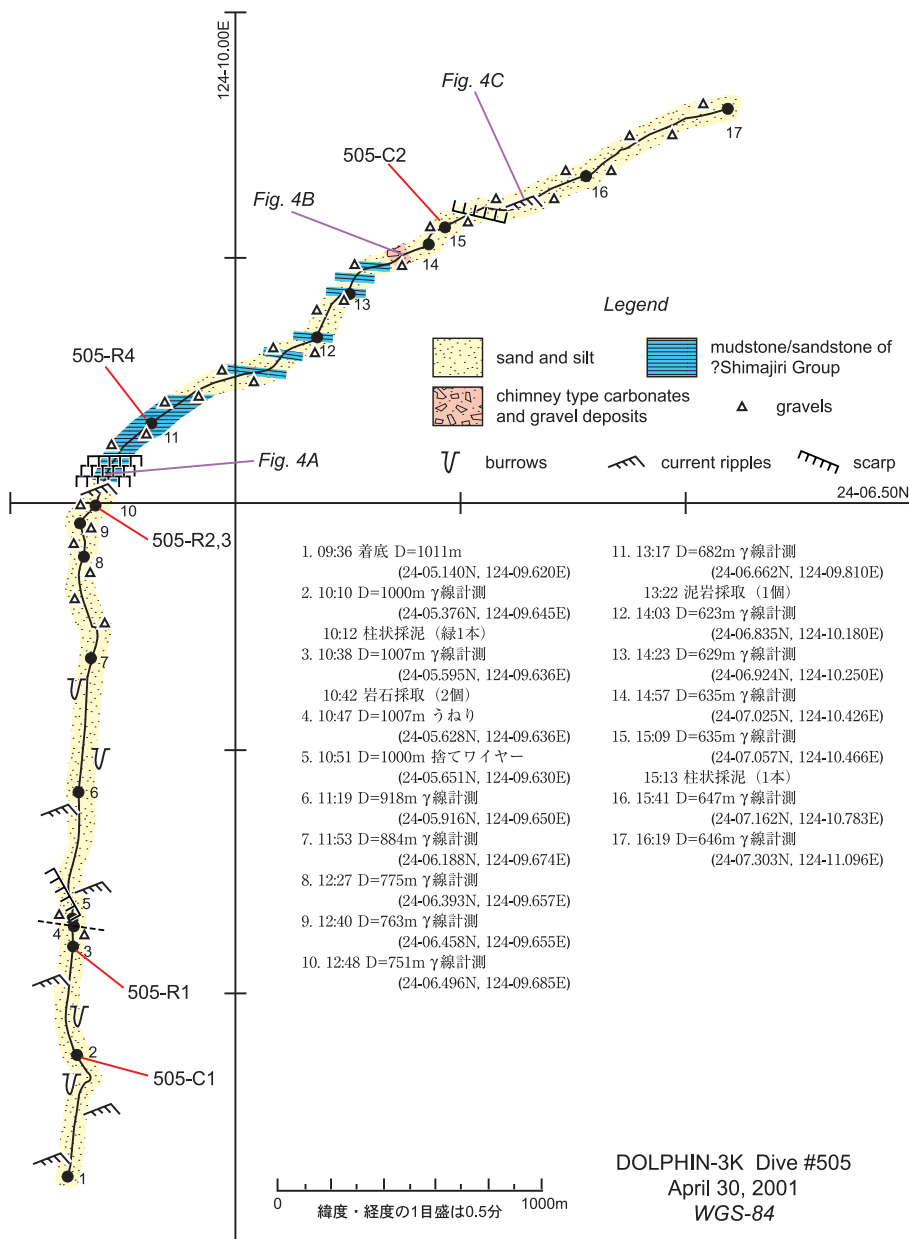


図2 ドルフィン-3K第505潜航調査ルートマップ。

Fig. 2 Route map of Dolphin-3K 505 Dive.

(2) しんかい 12000 第1265潜航 (図3)

黒島海丘の南斜面下部～中腹に至る水深1,771～1,392mの範囲で潜航を実施した。重力測定は4地点(500～1,000m間隔)で実施した(水深1,771, 1,544, 1,505, 1,392m)。着底地付近より離底地付近までを通して、細粒砂～シルトで構成されており、マウンド状の巣穴が普遍的に認められた。着底点G-1(水深1,771m)付近は緩傾斜面にあっており、この緩傾斜面は、途中、水深1,760m付近まで連続し、その後、平均傾斜角14°の斜面となり、水深1,540m付近(G-2)まで連続する。その後、傾斜角3°の緩傾斜となり、水深1,500m付近(G-3)まで連続していた。なお、水深1,544m付近で流木に群がるコシオリエビが視認された(図4D)。また、1,505m付近にて、軽石を採取した(起源は不明であるが、第四紀火山からと推定される)。その後平坦な地形があり、背後の傾斜角18°の急傾斜面となり離底点(G-4)迄続いていることが確認された。起伏の緩急は交互に現れるものの、崩落痕などの変動痕は認められなかった。形成されてから変動を被っていないものと考えられる。

2.2. 海丘頂部

炭酸塩岩類の詳細なマッピングならびに冷湧水域での試料採取、短期モニタリング試験を実施する事を目的として、海丘頂部における潜航調査(ドルフィン-3K 4潜航:第506～509潜航;しんかい12000 3潜航:第1263・1264・1266潜航)を実施した。

(1)ドルフィン-3K 第506潜航(図5)

黒島海丘の頂部を東へ横断する測線を設け、海底目視観察および試料採取を実施した。着底地付近には、ノジュール状を呈する黒色礫が散在する砂礫が分布しており、所々に島尻層群の砂岩泥岩互層と推定される露岩が認められた。この互層は東西方向の走向をもち、緩やかに南に傾斜する構造を示す。630m付近より古期のチムニー礫(マンガンで被覆される)が分布しはじめる。測線上のほぼ中央に、深さ7～8m程度で10mオーダーの径を示す円～楕円形の凹地形が4箇所ほど認められた。そのうちの1つには、底部にバクテリアマット、シロウリガイ死貝と現生シンカイヒバリガイが観察

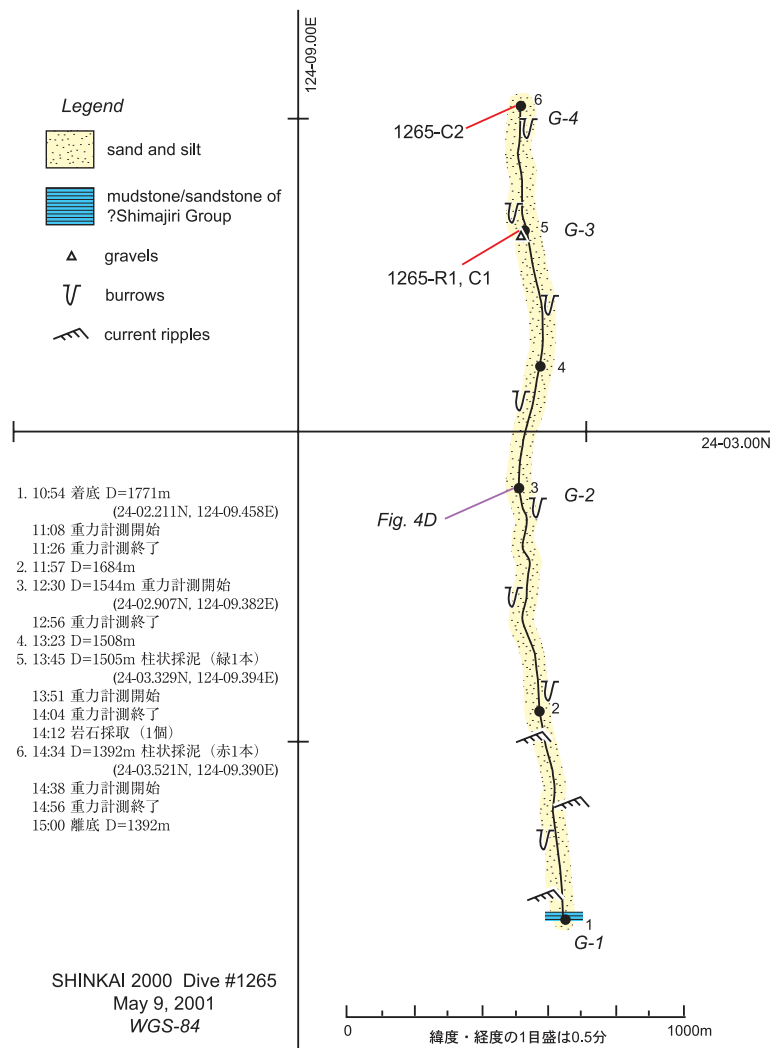


図3 しんかい12000第1265潜航調査ルートマップ。

Fig. 3 Route map of Shinkai 2000 1265 Dive.

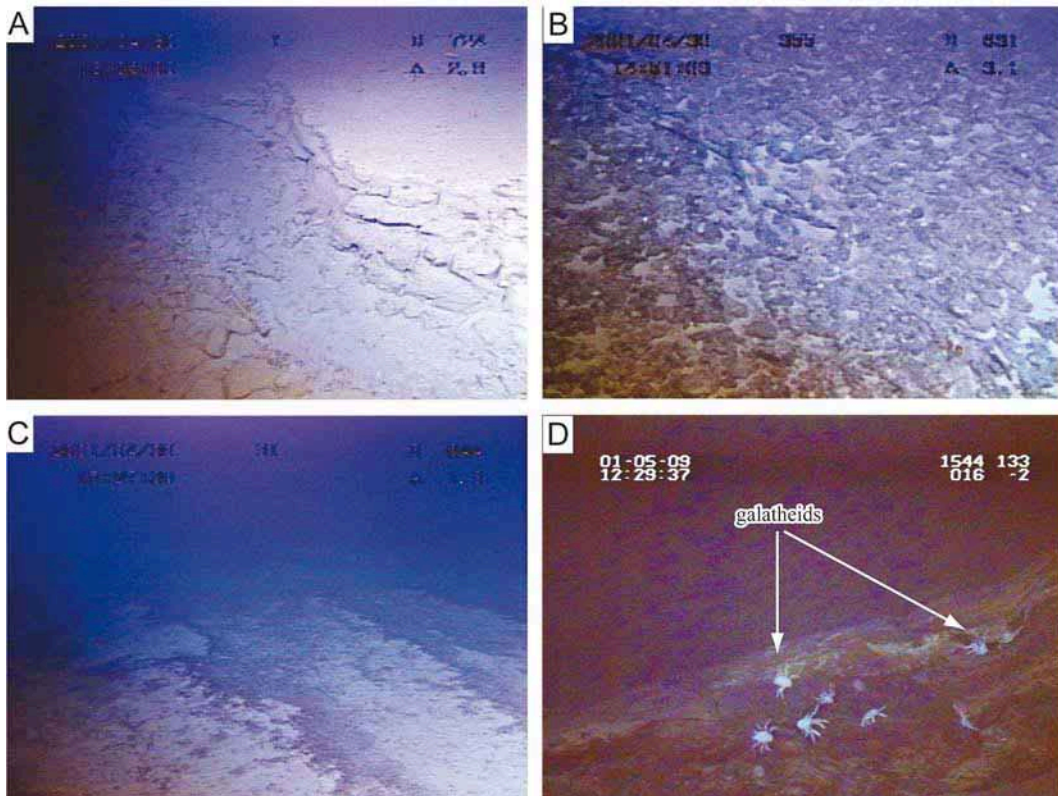


図4 黒島海丘南側斜面の海底状況。A: 島尻層群と推定される泥岩層露頭(ドルフィン-3K第505潜航,水深727m)。B: チムニー・ノジュール状炭酸塩岩よりなる黒色礫。マンガンで被覆されている(ドルフィン-3K第505潜航,水深634m)。C: 古期のカレントリップル(ドルフィン-3K第505潜航,水深644m)。D: 流木に群がるコシオリエビ(しんかい2000第1265潜航,水深1544m)。

Fig. 4 Photographs at the southern slope of the Kuroshima Knoll. A : Mudstone of ?Shimajiri Group (Dolphin-3K Dive #505, 727m deep). B : Gravels of chimney and nodule type carbonates (Dolphin-3K Dive #505, 634m deep). Note all gravels are coated by manganese. C : "old" current ripples (Dolphin-3K Dive #505, 644m deep). D : Galatheids around a driftwood (Shinkai 2000 Dive #1265, 727m deep).

された。離底地点付近には、シロウリガイの死貝コロニーやチムニー礫が多数認められた。また高みには顕著に発達するペイメント状炭酸塩岩(底質は比較的粗粒の砂質堆積物)や規模の大きなシンカイヒバリガイ群集が発達しており、数ヶ所でガスバブルが連続的に噴出しているのを視認した(図8A)。ガスバブル噴出口付近では、シンカイヒバリガイは幼体～成体まで、様々な殻サイズの個体が互いに付着して数10cmのマウンド状構造を形成しているのが確認された。この噴出口の1つにて真空吸引採水を実施した。

(2)ドルフィン-3K第507潜航(図5)

黒島海丘の頂部に見出されたガスバブル噴出地点周辺の海底目視観察および試料採取を実施した(北東方向へ航走)。着底地付近は、砂礫が分布する。その後(水深649m付近以降)、シロウリガイ死貝群集やペイメント状炭酸塩岩が80m程度にわたって分布する。底質は泥岩等の細～中礫を含む砂質泥であり、散点的にシロウリガイ死貝コロニーの分布が認められる。ガスバブル噴出地点に向かうにつれ、シロウリガイ死貝コロニーの規模が大きくなり始める

(個体密度も高くなる)。またチムニー礫も分布する。シンカイヒバリガイコロニー中のガスバブル噴出地点に地中温度計を設置し、離底前にその地点にてニスキン採水を実施した。

(3)ドルフィン-3K第508潜航(図5)

黒島海丘の頂部南方を西へ横断する測線上を潜航した。着底地付近は、小さいリップルマークの発達する堅くしまった細粒砂～シルト底よりなる。水深731m付近よりリップルの発達が弱くなり、生物の這い痕が認められるようになる。水深724m付近より、底質には細礫が認められはじめる。また散点的に、島尻層群と推定される海底風化した泥岩層が視認される。これらはしばしば東西方向に追跡できる。

(4)ドルフィン-3K第509潜航(図5)

黒島海丘の頂部に見出されたガスバブル噴出地点周辺の潜航を実施した(北東方向へ航走)。着底地付近は、古期のチムニー・ノジュール等の炭酸塩岩礫が分布する砂礫底からなる。水深640m付近より小規模なシロウリガイ死貝コロニーやチムニー礫等の炭酸塩岩が分布しはじめる。この

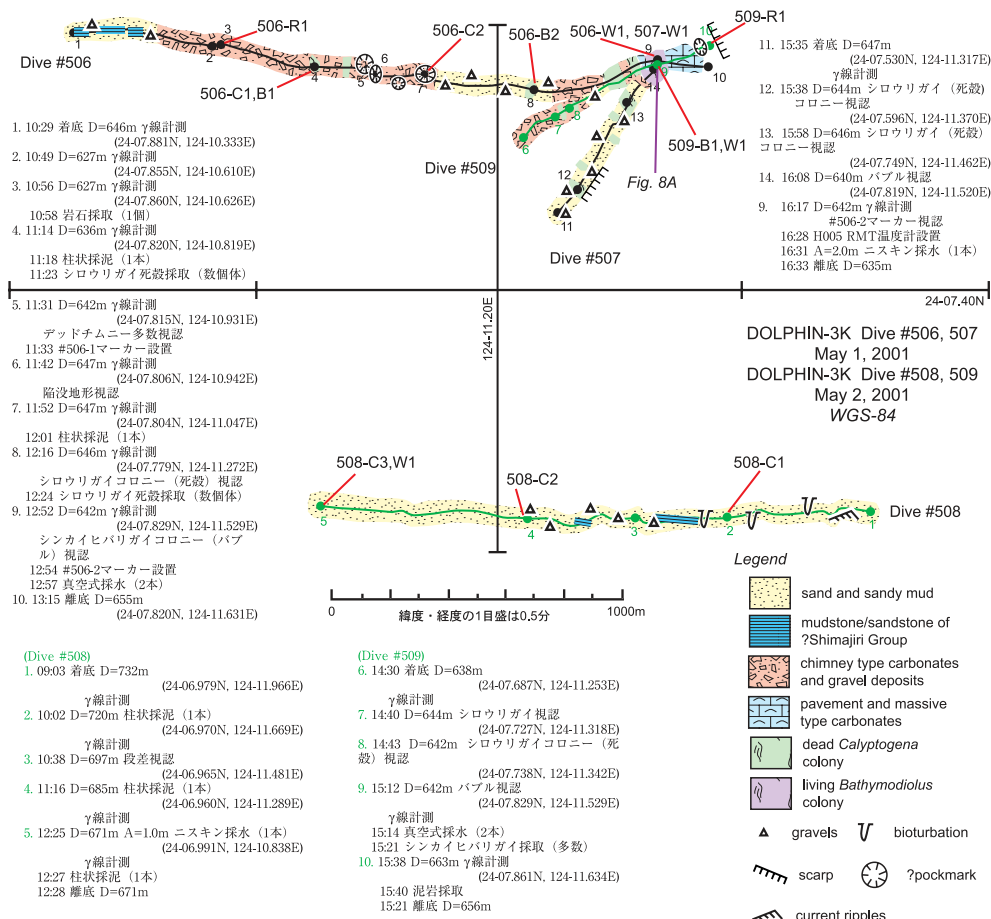


図5 ドルフィン-3K第506～509潜航調査ルートマップ。

Fig. 5 Route map of Dolphin-3K 506-509 Dives.

後、散点的にシロウリガイ死貝殻が分布する。ガスバブル噴出地点に向かうにつれやや登り斜面となり、シロウリガイ死貝コロニーの規模が大きくなり始める。またチムニー礫も分布する。ガスバブル噴出地点手前よりペイメント状炭酸塩岩が発達し、その上にシンカイヒバリガイコロニーが分布し始める。ガスバブル噴出地点を過ぎると緩やかな下り斜面の地形を呈する。噴出地点よりしばらくはペイメント状炭酸塩岩が発達しているが、離底地付近には凹地が認められた(深さ5～7m程度)。

(5) しんから12000第1263潜航(図6)

事前調査にて見出されたガスバブル噴出地点を経由し、頂部を西へ横断する測線を設け、センサーの設置、海底目視観察および試料採取を実施した。着底地付近は、チムニーや泥岩角礫が散在する砂質底である。次第にシロウリガイ死貝群集が認められるようになり、さらにガスバブルサイト縁辺部では、シンカイヒバリガイ生貝がシロウリガイ死貝中に認められるようになる(この付近のシロウリガイ死貝は白色を呈する比較的新期のものである)。ガス噴出地点の約50m手前より、ペイメント状炭酸塩岩が分布しはじめ、シンカイヒバリガイ群集が出現する。この中に連続的・間欠的なバブ

ルサイトは10箇所程度確認できた。また海底面直上付近の海水の揺らぎも認められた。このうちの1つにセンサーを設置した。西方では、チムニー(直立)やシロウリガイ死貝群集・塊状炭酸塩岩の分布が認められた。特に塊状炭酸塩岩は海底から数m程度の規模で林立しており、根元付近にシロウリガイ死貝が密集する傾向がある。付近の緩やかな窪地部分には、新期の白色を呈するシロウリガイ死貝群集(数m程度)が散在しており、一部は現在も生きている事が明らかとなった。このうちの1つは、数10cm程度の広がりを呈する白色バクテリアマット3地点、個体サイズの比較的大きなシロウリガイ(現生10個体程度)、ならびに全長130cmにおよぶチューブワーム1個体からなる(図8B)。底質は砂質泥であり、直下の堆積物は黒色を呈している。その後、黒色チムニー礫が密集する産状が観察され、その中に淡褐色直立チムニーが散点的に分布する。測線の終わり部分に、深さ5～7m程度の凹地形(ポックマークと推定される)が2箇所ほど認められた(図8C)。底部は砂質泥底よりなり、チムニーや塊状炭酸塩岩、およびそれらの礫とシロウリガイ・シンカイヒバリガイの貝殻片が確認された。また、数は少ないが直立した新期のチムニーも認められた。なお、斜面の一部には鳥尻層群と思われる泥岩層が露出する。

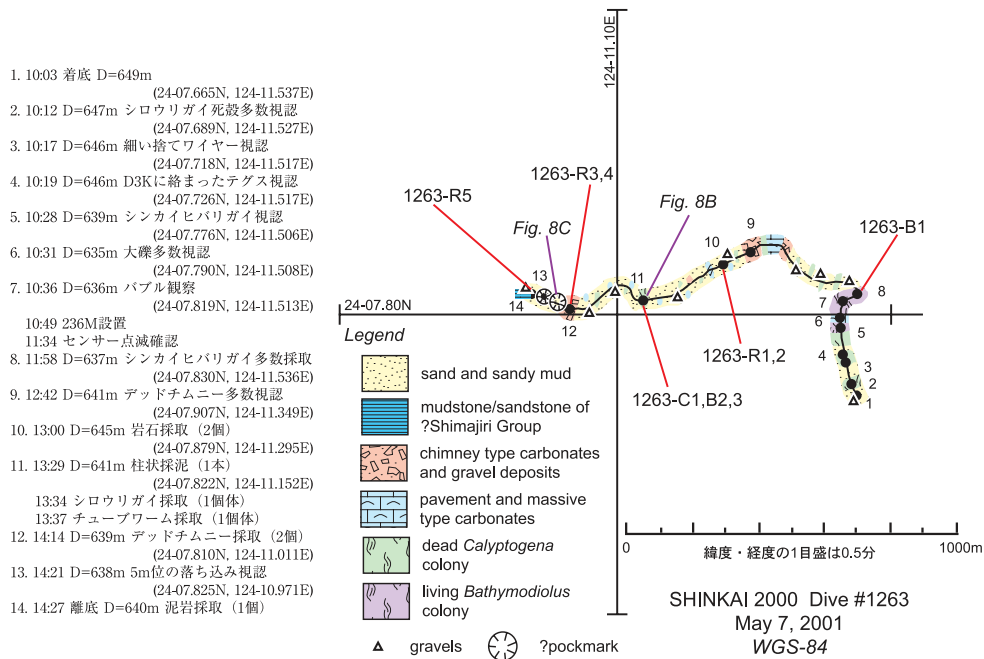


図6 しんかい 2000第1263潜航調査ルートマップ。
 Fig. 6 Route map of Shinkai 2000 1263 Dive.

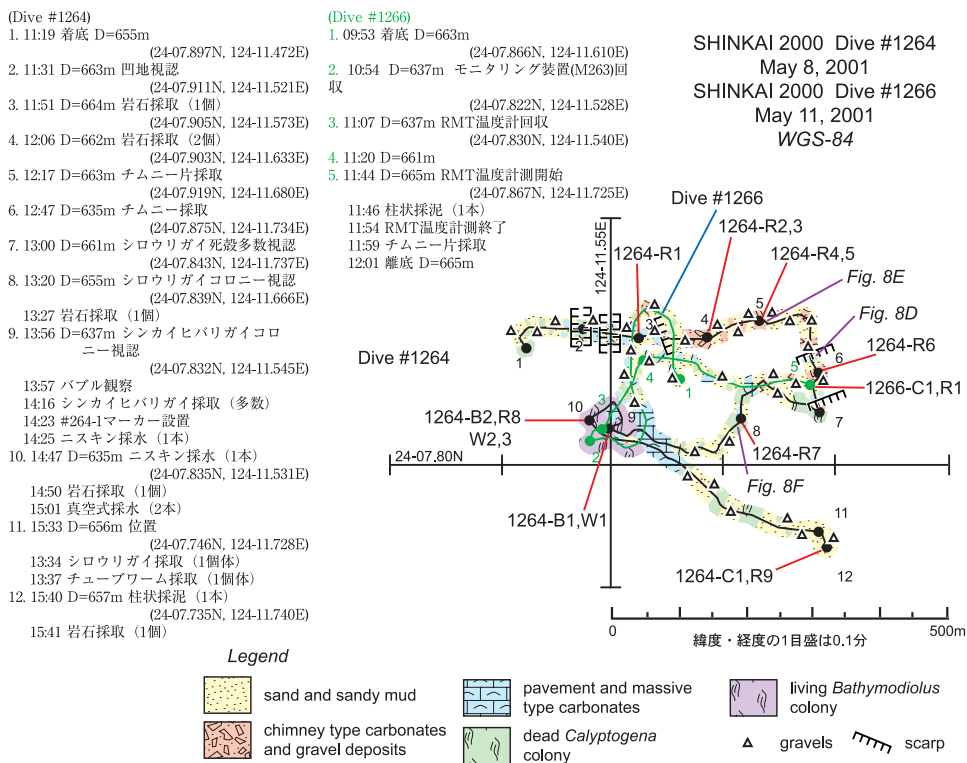


図7 しんかい 2000第1264・1266潜航調査ルートマップ。
 Fig. 7 Route map of Shinkai 2000 1264 and 1266 Dives.

(6) しんかい 2000 第1264潜航 (図7)

ガスバブル噴出地点周辺を東西に航走しながら順次南下する測線上での精査を行った。着底地付近は、炭酸塩岩(ノジュール等)が分布する砂礫底である。湧水地点より200

~400m離れた場所では比高数mの岩塊(塊状炭酸塩岩)の林立が確認された。チムニー群の周囲に林立する岩塊には、長い(~50cm)転倒したチムニーが取り込まれており、このほかにもシロウリガイなどの貝殻破片や砂と一緒に大小のチム

二(その破片であるドーナツ状の岩片含む)がかなり取り込まれている(図8D)。東方にチムニーの分布密度が高くなり、径も太くなる傾向がある(調査域東部は全般にチムニーが多い:図8E)。特に北東400m付近にはチムニーがよく発達し、直立するものも少なくない。大きなものは長さ1m直径30cm以上に達する。チムニーからのバブルは確認されず、い

ずれも生成がとまっていると考えられる。東部からガスバブル地点に向かう測線上では、シロウリガイ死貝群集が認められるようになり(図8F)、パイメント状炭酸塩岩が分布しはじめ、シンカイヒバリガイ群集が伴われるようになる。センサーユニット中に十分な量のガスが滞留していたが、ハイドレートの形成は確認できなかった。

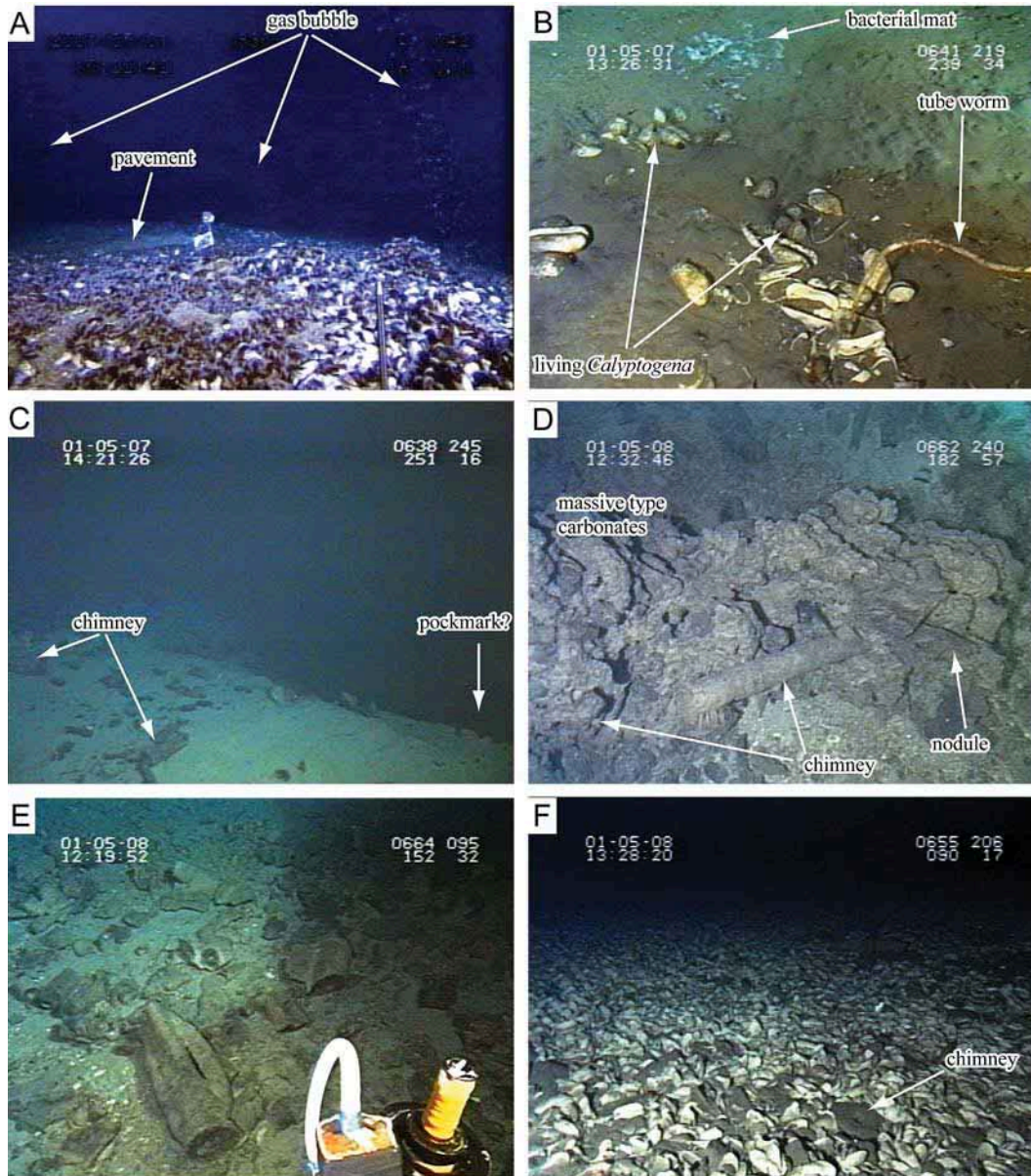


図8 黒島海丘頂部の海底状況。A: 連続的に噴出するガスバブル。周囲には大規模なシンカイヒバリガイコロニー・炭酸塩岩パイメントが発達する。(ドルフィン-3K第506潜航,水深642m)。B: 現在も生きている小規模シロウリガイコロニー。バクテリアマットやチューブワームも認められる(しんかい12000第1263潜航,水深641m)。C: ポックマークと推定される凹地形(しんかい12000第1263潜航,水深638m)。D: 林立する塊状炭酸塩岩。転倒したチムニーやノジュール等が取り込まれている(しんかい12000第1264潜航,水深662m)。E: 密集するチムニー群(しんかい12000第1264潜航,水深664m)。F: 大規模シロウリガイ死貝コロニー。チムニー片も認められる(しんかい12000第1264潜航,水深655m)。

Fig. 8 Photographs of the Kuroshima Knoll. A: Many gas bubbles are found around the large *Bathymodiolus* colony. Note pavement type carbonates are developed. (Dolphin-3K Dive #506, 642m deep). B: A small living *Calyptogena* colony. Bacterial mats and a tube worm are also found. (Shinkai 2000 Dive #1263, 641m deep) C: A hollow interpreted as pockmark (Shinkai 2000 Dive #1263, 638m deep). D: Massive type carbonates containing chimneys and nodules (Shinkai 2000 Dive #1264, 662m deep). E: Many large chimneys (Shinkai 2000 Dive #1264, 664m deep). F: A large dead *Calyptogena* colony (Shinkai 2000 Dive #1264, 655m deep).

(7) しんかい 12000 第1266潜航 (図7)

調査潜航(Dolphin-3K第507潜航およびしんかい 12000第1263潜航)でシンカイヒバリガイのコロニーにそれぞれ設置したセンサーの回収を目的とし、あわせて付近の潜航調査を実施した。なお、台風の接近により途中で潜航を打ち切った。着底地点付近は砂礫底よりなる。北西方向に航走するにつれ、炭酸塩岩の巨礫や岩塊が認められる。南西方向に変針し、斜面を登る途中で黒色を呈するシロウリガイ死貝が大量に認められ、斜面頂部にはシンカイヒバリガイの大規模なコロニーおよびガスバブルが存在する。の地点より東に約300m航走したところで、チムニーの破片が散見された。

3. 考察

3.1. 精密海底重力測定

海丘南側斜面での計測を実施したが、台風の接近のため斜面上部の潜航調査は実施できず、上部の精密海底重力測定は今調査ではなしえなかった。下部斜面における4ヶ所で海底重力測定を実施した(図3)。重力測定は、重力計(カナダScintrex社製CG-3M)をしんかい 12000の船内に設置し、測定時には計測ポイントの海底面上に潜水船を着底させたとうえで測定を行った(松本, 2000)。潜航ルートの観察結果は既に述べた通りである。

調査航海前後に、石垣島地方気象台基準重力点で行った重力計検定結果も併せ、各測定点について、海面上に換算した重力異常値を求めた。結果は以下の通りである(表2)。G-2~G-3間で、水深の変化の割にフリーエア異常・ブーゲー異常ともに、その変化が他の地点に比べて大きく、この部分で基盤岩が表面付近にまで達していることを示唆している。全体を通じて、海底は砂泥に覆われており、最近生じた海底地じり痕を示唆する変動痕は本調査ルート上では認められなかった。

3.2. 海丘頂部における炭酸塩岩類・化学合成生物群集

今回の調査では、これまでに地質マッピングの行われている黒島海丘頂部において、炭酸塩岩類の詳細なマッピングの実施を1つの目的とした。その結果、1)多数のガスバブル噴出口を発見し、それに伴われる大規模なシンカイヒバリガイコロニーを見出した、2)小規模であるが、現生のシロウリガイ・チューブワームのコロニーを発見した、3)炭酸塩岩類の形成は一時期ではなく、いくつかの段階が存在する事が明らかとなった、4)ポックマークと考えられる凹地形が存在する事が明らかとなった。

表2 しんかい 12000第1265潜航における海底重力測定値
Table 2 Data of sea bottom gravity measurement from Shinkai 2000 Dive #1265.

Point	Depth (m)	Free air anomaly (mgal)	(simple) Bouguer anomaly (mgal)
G-1	1771	-33.0	88.9
G-2	1544	-16.4	89.9
G-3	1505	-10.3	93.4
G-4	1392	-3.8	92.0

なお、今回の調査を含め、これまでの結果をまとめたルートマップを図9に示す。チムニー等の炭酸塩岩類の分布は、海丘頂部の北方に偏在しており、東西方向に延びた分布である事がわかる。また、これまでに報告してきたように、西側に分布する炭酸塩岩類、特にチムニー群は、マンガンでコーティングされた黒色を呈し、かつ礫として海底面に分布する事から、より東部に分布する炭酸塩岩類に比較し、相対的に古期のものであると推定される。

(1) ガスバブル噴出および現生化学合成生物群集

海丘頂部において、今回新たに大規模なガスバブル噴出地点を発見した。このサイトでは連続的な噴出が10箇所ほどで確認される。間欠的なものを含めると15箇所程度以上存在すると考えられる。周辺は、溶存メタンを主栄養源としているシンカイヒバリガイ(牧ほか, 2001)が大規模なコロニーを形成しており、散在しているコロニーを含めると、その広がり80m程度に及ぶものである。また、現在、溶存ガスを分析中であるが、予察的な分析結果からはメタンのみが検出されている(戸丸ほか, 準備中)。したがって、このガスバブルはほぼメタンガスからなるとみなされる事から、ガス噴出に伴ってメタン湧水が現在も存在する事はほぼ間違いないと思われる。

一方で、ガスバブルサイト西方に位置する緩やかな凹地斜面には、新期の白色を呈するシロウリガイ死貝群集(小規模)が散在しており、一部は現在も生きている事が明らかとなった。この付近にも冷湧水が存在し、そのため硫酸還元帯が海底表面付近にまで及んでいる事が推定される。

(2) 冷湧水炭酸塩岩類の産状およびその形成

今回の調査では、ガスバブルサイト周辺域での炭酸塩岩類の分布の詳細を把握する事ができた。これまでの調査結果より、認められる炭酸塩岩類は、1)パイプメント(shell crust)、2)チムニー、3)巣穴、4)ノジュール、5)塊状、へ分類することができる。ノジュール状(板状含む)炭酸塩岩は、細粒な陸源性砕屑物をミクライトが膠結したものと推定される(カルサイトとドロマイトを様々な比率で含む)。これは、服部ほか(1994)により相模湾の初島沖から報告された炭酸塩岩クラストと同様なものである。パイプメントタイプは、シンカイヒバリガイ(一部にはシロウリガイ)の貝殻片が密集したコキナ状を呈する炭酸塩岩で、砂質基質は陸源性砕屑物や有孔虫類などとそれらを膠結するカルサイトからなっている。一方、チムニー状を呈する炭酸塩岩類は、御前崎沖の南海トラフからSakai et al.(1992)によって採取されたものと類似している。チムニー状の炭酸塩岩は、冷湧水が明らかに内部を上昇していたと考えられるvent holeの構造をもつもので、セメントはほぼドロマイトから構成される(Takeuchi et al., 本号など)。

今回新たに、塊状を呈する炭酸塩岩類の内部にチムニーを主体とする他の炭酸塩岩・砂・貝殻片が取り込まれている産状を確認した。すなわち、この場所においては、チムニーの成長/成長停止/倒壊の後に岩塊(塊状炭酸塩岩)の成長があった事がわかる。これは、炭酸塩岩類の形成がある

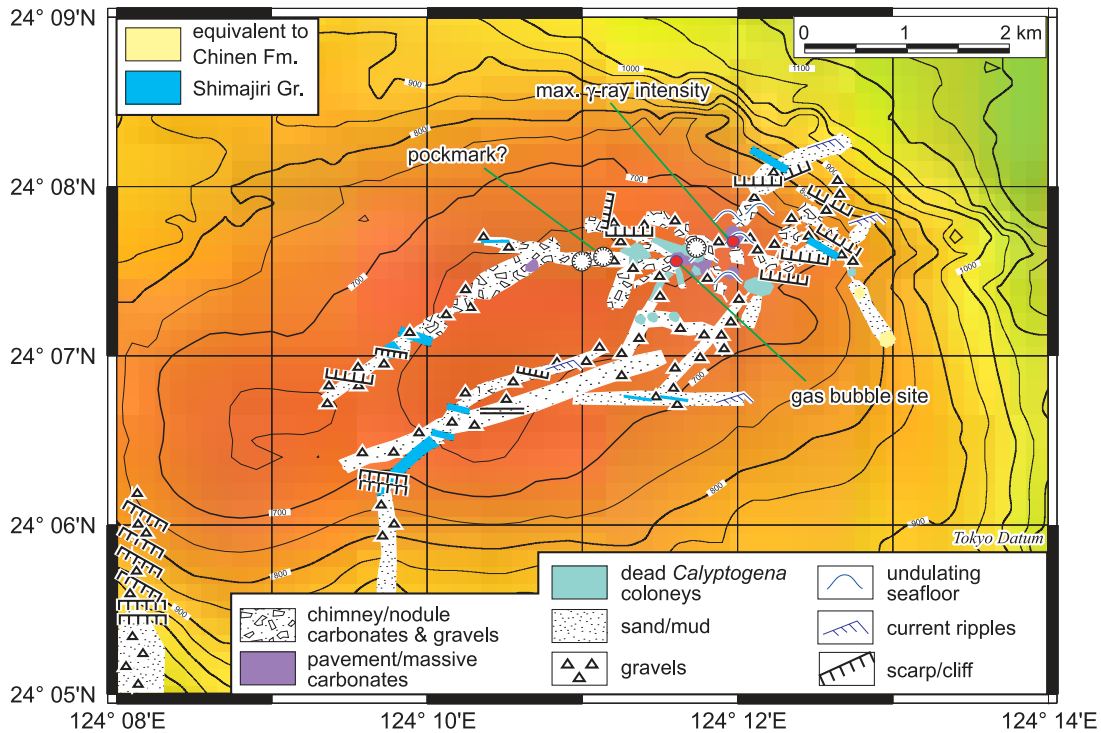


図9 黒島海丘頂部のルートマップ。データは今回の調査のほか、松本ほか(1997, 1999)、町山ほか(2001)、新城ほか(本号)、松本(未公表資料)による。

Fig. 9 Route map at the top of the Kuroshima Knoll. Data from Matsumoto *et al.* (1997, 1999), Machiyama *et al.* (2001), Shinjo *et al.* (this vol.), Matsumoto (unpub. Data), and this cruise.

一つのイベントに起因するものであるというこれまでの考えを否定するものであり、したがって、頂部に分布する炭酸塩岩類の形成が一時期に形成されたものではないという事が明らかとなった。炭酸塩岩類の酸素・炭素同位体比の検討から、生物起源のメタンからなる湧水を起源とした流体からの沈殿が想定され、かつその流体がガスハイドレートの分解水に由来する事が明らかとなっている(町山ほか, 2001; Takeuchi *et al.*, 本号)。また、シロウリガイ死貝と新期のドロマイトチムニー中から産する貝殻片のAMS¹⁴C年代は、それぞれ約1,400・2,000・2,600yBPを示しており、一方でペイメントタイプに含まれるシンカイヒバリガイ死貝(4試料)の年代は6,800~9,800yBPを示す(松本ほか, 1999; 町山, 未公表資料)。海水および流体中のデッドカーボンの影響を考慮に入れても有意な相違が年代からも示唆される。今回見出された産状はこの年代値とは別の関係を示すものであり、古期のチムニーの形成年代はさらに古くなると推定される。このように炭酸塩岩類の形成時期にはいくつかの段階が存在する事が明らかとなった。

ところで、上述の6,800~9,800yBPという年代値は、日本周辺の炭酸塩岩類中のシロウリガイ類による年代値とほぼ一致する。たとえば、東部南海トラフにおける炭酸塩岩類の形成年代は、最終氷期以降(Sakai *et al.*, 1992)あるいは約150,000yBP・20,000yBP(Lalou *et al.*, 1992)であり、その後容脱・再結晶作用を受けているという。駿河湾口御前崎沖

の金洲ノ瀬で採取された炭酸塩岩類中のツキガイモドキの年代は10,580±90yBPである(服部ほか, 1996)。また、相模湾初島沖と駿河湾口御前崎沖の金洲ノ瀬からの炭酸塩岩類中のシロウリガイ殻の年代値は、9,710±100yBP・37,020±1060yBP(補正値はそれぞれ7,400yBP・35,755yBP)である(服部ほか, 1996)。以上の値より、氷期(あるいは寒冷期)に密接に関連して多くの炭酸塩岩類が形成されたと推定される。

(3) ポックマーク様凹地形

これまでの調査によって、海丘頂部海底面において起伏の激しい箇所が存在する事が指摘されているが(町山ほか, 2001など)、今回の調査では、円~楕円形を呈するいくつかの凹地形が認められた。凹地形は10mオーダーの径を示し、深さは数mである。産状から、これらがポックマークである可能性が高いと考えられる。これらの凹地形やガスバブルサイトの地点はほぼ東西方向に直線的に配列しており、断層等の構造の存在が示唆され、炭酸塩を沈殿させたガスハイドレートの分解水湧出がこの構造線の影響を受けていると想定できよう。

(4) γ線測定結果

潜水船等によるγ線計測については服部・岡野(1999)に述べられており、また昨年実施した黒島海丘調査のγ線計測

の成果は既に公表されている(服部・岡野, 2001)。今回の調査においても、全潜航において着底時に γ 線計測を実施している(図10, 11)。全体として、頂部西側はウラン系列の濃度が高く、古い傾向を示すと考えられる。対照的に東側はトリウム系列が高く、最近の活構造に伴うものが想定できよう。

海丘南側斜面下部(しんかい12000第1265潜航)では、着底点G-2・G-3において γ 線強度・トリウム系列・ウラン系列とも高い傾向が認められる(図10)。海底重力測定から、この付近で基盤岩が海底表層まで達している事が示唆されており、基盤岩の構造にともなう影響があるかもしれない。

海丘頂部においては7潜航実施した(図11)。Dolphin-3K第506潜航における、11時43分頃の凹地形の底部で計測した値が最も γ 線強度が強い(150CPS)。Dolphin-3K第505潜航では、14時30分頃のチムニー状炭酸塩岩類が分布する地帯を中心として、 γ 線強度やトリウム系列の含有量が多くなっている(図10)。ウラン系列も1ppm以上であり、この地帯は断裂構造に伴う冷湧水の湧出があると推定される。Dolphin-3K第507・509潜航、しんかい12000第1263・1264・1266潜航におけるガスバブル湧出地帯では、シнкаイヒバリガイ生貝や不規則な表面の起伏にさざぎられて γ 線センサーが十分接近して計測できなかったためもあり、それほど γ 線強度は高くはない(～60CPS程度)が、ウラン系列の濃度が1ppm以上と強度に比して高い場合が頻繁に認められる。この地帯ではマイクロクラックの進行等に伴うラドンの湧出があるのかもしれない。また、しんかい12000第1263潜航のシロウリガイ生貝コロニー地点はトリウム系列濃度が高く、現在も活動的な湧水が続いている事が示唆される。

3.3. ガスバブルサイトにおける短期モニタリング

今回の調査では、メタンフラックスの連続モニタリングを目指した試作器を冷湧水域に設置して、短期モニタリング試験

を実施する事を計画した。ドルフィン-3Kによる事前潜航において、新たに大規模かつ多数のガスバブル噴出口を見出した事から、連続的なバブル噴出口に測器を設置する事とした。設置位置: 24-07. 819N, 124-11.513E; 水深: 636m)。設置はしんかい12000第1263潜航(5月7日)で、回収は第1266潜航(5月11日)で実施し、ほぼ4日間の短期モニタリングを行った(図12A)。またあわせて、地中温度計(日油技研製)をドルフィン-3K第507潜航(5月1日)において、連続的なガスバブル噴出口に設置し、しんかい12000第1266潜航(5月11日)で回収を行った。設置位置: 24-07. 819N, 124-11.520E; 水深: 642m; 図12B)。なお、ガスセンサーを含む試作器は、SST社(Sea & Sun Technology GmbH)のCTD110Mをベースにし、圧力センサーをParoscientific社製の8BT2000-IIに変更したものである。これにメタンセンサー(CAPSUM社製: CAPSUM Technologie GmbH; 測定レンジ: 10nmol～4 μ mol)を取り付け、外部供給電源としてリチウム電池(13.5V, 90Ah)を使用した。

図13に回収した地中温度計(槍長25cm, 槍先端より3点のサーミスタを10cmで配置)の約10日間のモニタリング記録を示す。各点での温度はほぼ同じ値を示しており、顕著な地温勾配は認められず、水温の変動が支配的である。この要因の一つとしては、マウンド状のシнкаイヒバリガイコロニーがガスバブル噴出口に存在したため、十分にプローブが刺さらず、正確な温度勾配が計測できなかったなど、計測上の問題もあるかもしれない。ガスセンサーを含む試作器で得た、4日間の圧力・温度・電気伝導度・メタン濃度の測定結果のうち、温度・電気伝導度のグラフを図14に示す。なお、残念ながらデータの一部に測器の不具合等による異常な値も含まれており、各データ値については詳細な吟味を行っていない事を留意されたい。圧力データは、圧力センサーとデータを記録するロガー部分の通信異常が原因と推定され

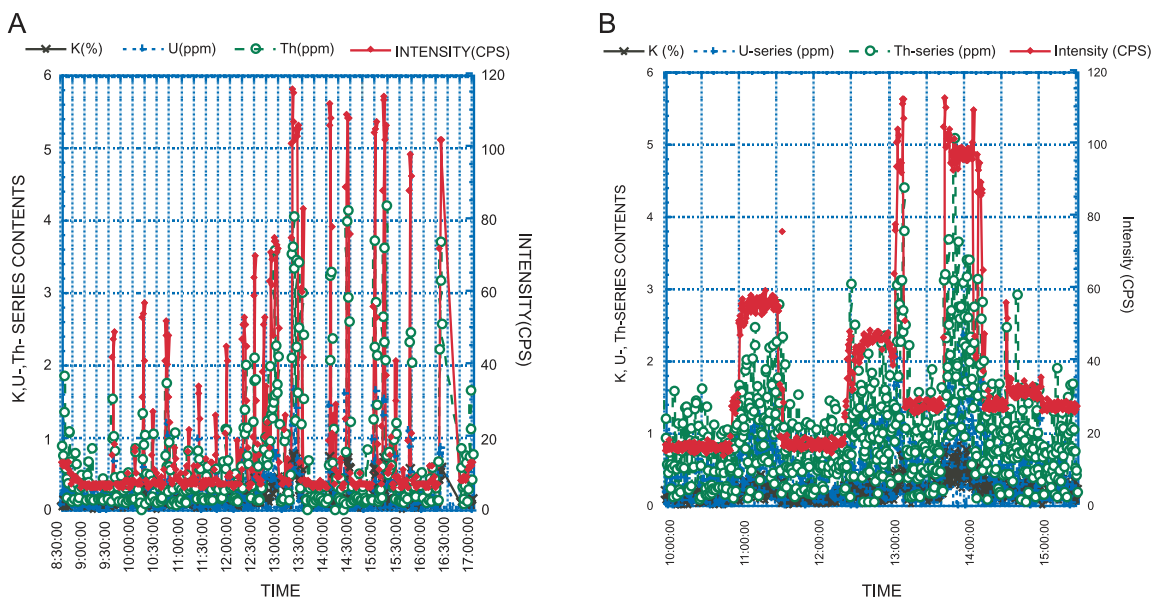


図10 黒島海丘南側斜面潜航調査時の時系列 γ 線強度・核種濃度。A:ドルフィン-3K第505潜航。B:しんかい12000第1265潜航。
Fig. 10 Gamma ray graphs of the Kuroshima Knoll, NT01-05 Leg 1 cruise. A: Dolphin-3K Dive #505. B: Shinkai 2000 Dive #1265

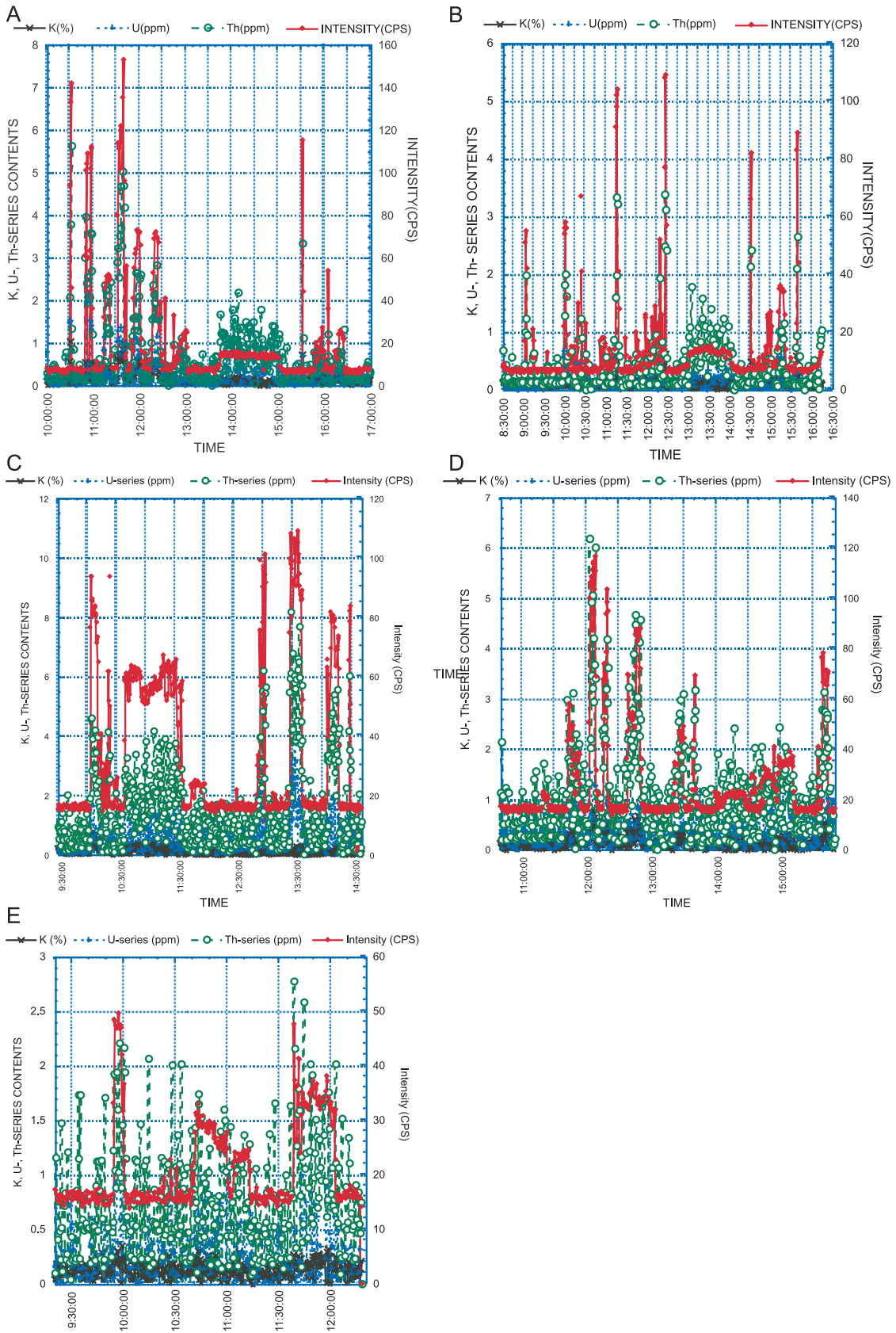


図11 黒島海丘頂部潜航調査時の時系列_線強度・核種濃度。A :ドルフィン - 3K第506・507潜航。B :ドルフィン - 3K第508・509潜航。C :しんかい I2000第1263潜航。D :しんかい I2000第1264潜航。E :しんかい I2000第1266潜航。

Fig. 11 Gamma ray graphs of the Kuroshima Knoll, NT01-05 Leg 1 cruise. A : *Dolphin-3K* Dive #506-507. B : *Dolphin-3K* Dive #508-509. C : *Shinkai 2000* Dive #1263. D : *Shinkai 2000* Dive #1264. E : *Shinkai 2000* Dive #1266.

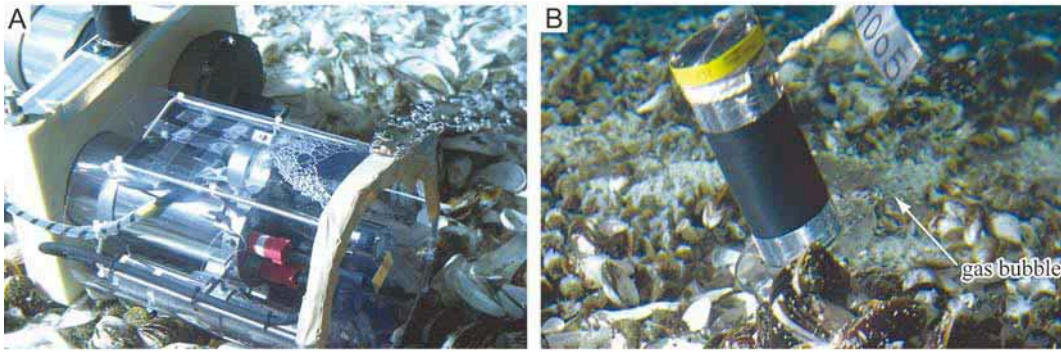


図12 短期モニタリングを実施したセンサー。A: CTDメタンプローブ。B: 地中温度計。
 Fig. 12 Photographs of the sensors installed at the gas bubble site. A : CTD-Methane probe system. B : Geothermometer.

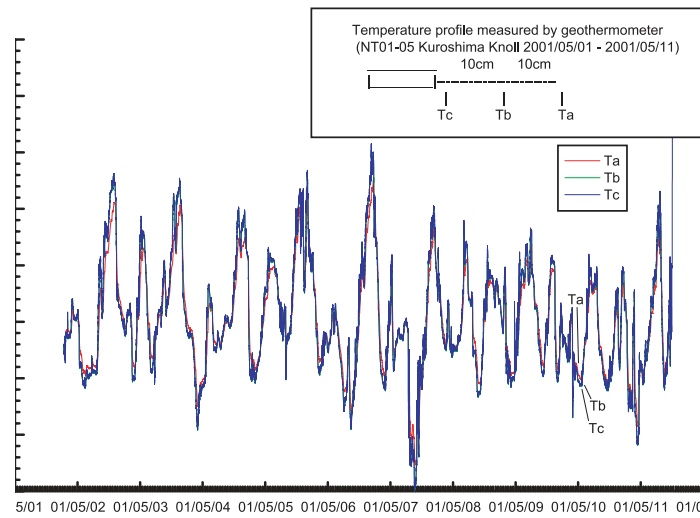


図13 ガスバブルサイトにおける地中温度計記録 (2001年5月1日～11日)。
 Fig. 13 Profiles of the geothermometer at the gas bubble site (May 1-11, 2001).

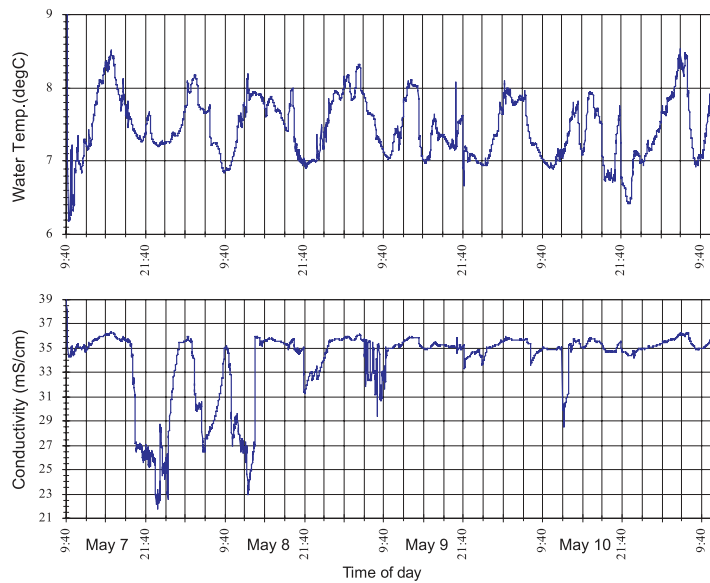


図14 ガスバブルサイトにおける水温・電気伝導度記録 (2001年5月7日～11日)。
 Fig. 14 Profiles of the water temperature and conductivity at the gas bubble site (May 7-11, 2001).

る, 矩形形状のデータ異常を示しているため, またメタン濃度については, 測器を設置後に値が得られなくなる現象が発生したため, 双方ともグラフには示していない。

温度計データは, 海洋潮汐と調和的な周期的な変動を示している。これは地中温度計の変動パターン(図13)とも調和的であるが, 計測値には差も認められることから, 詳細な吟味が今後必要である。電気伝導度については, 7日~8日にかけて極めて低い値が観測されている。この変動の要因については, ガスバブルによる影響等が推定されるが, 現時点では正確な要因は特定できていない。

図15にしんかい2000第1263潜航における測器設置時のメタン濃度データのグラフを示した。着底した後, ガスバブルサイトに向かって航走を開始すると同時にメタン濃度が増加している。特に新期のシロウリガイ死貝が視認されて以後, 現生のシンカイヒバリガイが視認されるまでのメタン濃度増加は, 湧水の影響を示している事は明らかである。また10時37分頃にガスバブル噴出口周辺に着底以後のメタン濃度増加は顕著である。測器設置後に値が得られなくなるという現象は, おそらく, メタンセンサーの測定レンジを越えてしまった事に起因するかもしれない(測定レンジ上限は $4\mu\text{mol/l}$)。

4. おわりに

今回の潜航調査はこれまでにない成果を挙げる事ができた。しかしながら, 潮流が速いため, 想定していたグリッド調査による精査を十分には進める事ができなかった。今少しの潜航調査を続ける必要がある。またガスの採取は安全性のため今回は見送らざるを得なかった。次回は採ガスを実施し, その組成を検討しなくてはならない。一方, 今回実施した短期モニタリング試験は当初予定の成果を十分に得る事はできなかった。システム製作時にロガー基板部の不具合が発生し, 事前潜航時に試験を行う事ができなかった事

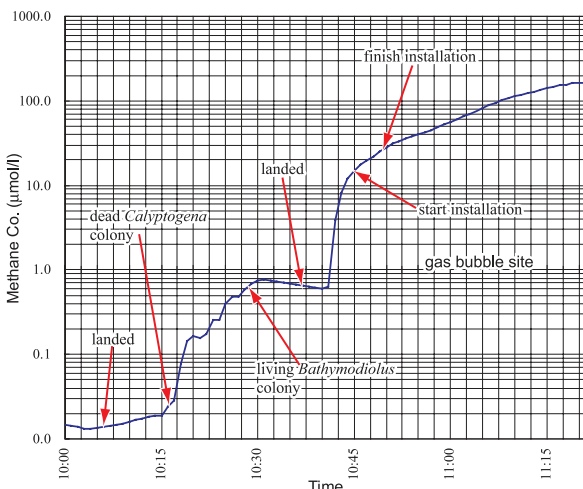


図15 ガスバブルサイトにおけるメタン濃度記録(2001年5月7日)
Fig. 15 Profile of the methane concentration at the gas bubble site (May 7).

が原因である。しかしながら, メタン濃度については得られたデータは少ないものの, かなりの高濃度のメタンが海底面直上の海水に溶存している事が明らかとなった。今回の潜航調査においてはガスハイドレートを確認できなかった。次回の潜航ではこの確認も目的の一つになる。ガスハイドレートを伴うような冷湧水域(特にガスバブル噴出域)では, 海底から海洋へのメタンフラックスが極めて高い事が示されよう。本海域はこのようなモニタリングやハイドレート研究に適した場所であり, またテストサイトとして調査を継続すべき重要な地点でもある。南海トラフあるいは相模湾における冷湧水域との比較研究も今後実施すべき重要課題となる。

平成13年度中には, かいようを使用したディーブトゥサイドスキャンソナーWADATSUMIによる頂部のイメージング, ならびにシングルチャネル反射法地震探査もあわせて実施する予定である。これによって, 予想される活構造ならびにガスハイドレートの存在について解が得られるものと期待される。

謝辞

本調査航海を実施するにあたり, 依田司令をはじめとする「ドルフィン3K」運行チームの皆様, 母船「なつしま」の齋藤船長以下乗組員の皆様には, 調査行動全般にわたってご尽力を賜った。日本海洋事業株式会社の馬場和美氏には, 観測技術員として本航海全般にわたってサポートを頂いた。真空採水器の使用に際しては, 海洋科学技術センター海洋生態・環境研究部の橋本 惇主幹・藤倉克則氏・藤原義弘氏・土田真二氏にご便宜を図って頂いた。また本航海は関係各位のご支援なくてはなしえなかった。研究者一同ここに記して謝意を表する次第である。

引用文献

- 1) 服部陸男・蟹江康光・大場忠道・秋元和實, "相模湾の沈み込み帯の冷湧水域に伴う炭酸塩類と化学合成独立栄養動物群集の環境", 化石, 60, 13-22(1996)。
- 2) 服部陸男・大場忠道・蟹江康光・秋元和實, "相模湾初島沖で発見された自生の炭酸塩類", JAMSTEC深海研究, 10, 405-416(1994)。
- 3) 服部陸男・岡野真治, "有人潜水船, 無人潜水機による海中, 海底γ線探査", JAMSTEC深海研究, 14, 639-660(1999)。
- 4) 服部陸男・岡野真治, "海洋放射線測定, 1998, 1999年度の成果", JAMSTEC深海研究, 16, 57-67(2000)。
- 5) 服部陸男・岡野真治, "海洋放射線測定最近の成果", JAMSTEC深海研究, 18, 1-13(2001)。
- 6) Lalou, C., Fontugne, M., Lallemand, S. E., and Lauriat, A., "Calyptogena-cemented rocks and concretions from the eastern part of Nankai accretionary prism: Age and geochemistry of uranium", Earth Planet. Sci. Lett., 109, 419-429(1992)。
- 7) 町山栄章・新城竜一・服部陸男・岡野真治・松本剛・木村政昭・中村 衛・當山元進・岡田卓也, "Dolphin-3K南沖縄トラフ・黒島海丘潜航調査(NT00-

- 05航海)の概要", JAMSTEC深海研究, 18, 15-30 (2001).
- 8) 町山栄章・武内里香・服部陸男・松本 剛・中村衛・木村政昭・松本 良, "八重山諸島黒島海丘に発達する大規模冷湧水炭酸塩類 - 同位体組成からみる形成過程の考察 -", 日本地質学会第107年大会演旨, 85 (2000).
- 9) 牧 陽之助・溝田智俊・鎌田光仁, "西表島沖の黒島海丘で採取された生物試料の硫黄同位体組成", 第17回しんかいシンポジウム予稿集, 40-41 (2001).
- 10) 松本 剛, "深海潜水船による海底重力測定", 測地学会誌, 46, 417-426 (1993).
- 11) 松本 剛・木村政昭, "1771年八重山地震津波発生域における精密海底地形調査と津波発生のメカニズムに関する一考察", 地震第2輯, 45, 89-108 (2000).
- 12) 松本 剛・木村政昭・西田史朗・中村俊夫・小野朋典, "八重山南岸沖の黒島海丘で発見された化学合成生物群集と海底表面の破碎について(NT97-14次航海)", JAMSTEC深海研究, 14, 477-491 (1999).
- 13) 松本 剛・上地千春・木村政昭, "南西諸島宮古・八重山沖海域精密調査より求められた1771年八重山地震津波波源での変動現象", JAMSTEC深海研究, 13, 535-561 (1997).
- 14) Sakai, H., Gamo, T., Ogawa, Y., and Boulegue, J., "Stable isotopic ratios and origins of the carbonates associated with cold seepage at the eastern Nankai Trough", EPSL, 109, 391-404 (1992).

(原稿受理：平成13年8月20日)