

相模湾初島沖・神津島東方沖 「ハイパー・ドルフィン」潜航調査(KY01-01航海)

岩瀬 良一*¹ 久保 雄介*¹

平成13年3月「かいよう」KY01-01航海において、無人探査機「ハイパー・ドルフィン」による相模湾初島南東沖及び伊豆諸島神津島東方沖の潜航調査を実施した。初島南東沖では、目視観察及び前方探査ソナーにより湧水活動の指標となる化学合成生物群集の分布調査並びに海水中の溶存メタン濃度計測及び複数地点での地中温度計測などを実施した。その結果、湧水活動が長期観測ステーションの約40m南の地点で最も活発であることなどが明らかとなった。神津島東方沖では、2000年6月以降の一連の群発地震域北西端付近において、比較的大きな地温勾配や、地震活動を反映していると考えられる特徴的な地形を確認した。また、潮流の影響下に特徴的な起伏地形を確認した。

キーワード: 相模湾初島沖, 神津島東方沖, 潜航調査, 化学合成生物群集, 地中温度計測, 群発地震

Dive survey off Hatsushima Island in Sagami Bay and east off Kouzushima Island by ROV "Hyper-Dolphin" (KY01-01)

Ryoichi IWASE*² Yusuke KUBO*²

In March, 2001, during KY01-01 cruise of R/V "Kaiyo", dive surveys by ROV "Hyper-Dolphin" of the seafloor southeast off Hatsushima Island in Sagami Bay and east off Kouzushima Island in Izu Islands was carried out. In the southeast off Hatsushima Island survey, investigation of the distribution of chemosynthetic biological communities, which were the indicators of cold seep activity, by using video cameras and CTFM sonar, measurement of spatial distribution of dissolved methane concentration in sea water and measurement of subbottom temperature in several sites were carried out. As the result, it became clear that the cold seep activity was most active in the site about 40m south of the long-term observatory. In east off Kouzushima site, comparatively large geothermal gradient and the characteristic landform which seemed to reflect seismic activity near the northwest edge of earthquake swarm area was found out. Also, the characteristic landforms under sea water currents were observed.

Keywords : Off Hatsushima Island in Sagami Bay, East off Kouzushima Island, dive survey, chemosynthetic biological community, subbottom temperature measurement, earthquake swarm

*1 海洋科学技術センター深海研究部

*2 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center

1. はじめに

伊豆半島東方沖の群発地震域に隣接する相模湾初島南東沖の深海底は、シロウリガイを中心とした国内で最大規模の化学合成生物群集が存在する冷湧水域であり、1993年以降ケーブル型の多目的観測システム「深海底総合観測ステーション」により深海環境変動のリアルタイム連続観測が行われている(岩瀬ほか(2001))。プレート境界域のダイナミクスを解明する上で、地下流体の移動を把握することが重要な課題となっており、近年、その境界条件として海底面を出入りする流体の流量及びそれに含まれるメタンなどの化学成分の変動の直接計測による定量化が試みられている(Tryon, et al.(1999)など)。本冷湧水域において同様な調査を実施しようとする時、湧水の指標となるシロウリガイやチューブワーム等の化学合成生物群集の分布を調査することが必要となるが、これまでは個々の生物群集を調査することが多く、特に最近ではより広域の全体的な分布状況はあまり把握されていなかった。

伊豆諸島海域では、2000年6月26日夕方より三宅島島内にて群発地震が始まり、翌日には三宅島東方の海底で小噴火を伴いながら、群発地震の活動域が神津島東方沖に移動し、その後2ヶ月近くにわたって続した(中田(2001))。その震源分布は三宅島から神津島東方沖まで北西方向に板状にのびており(酒井ほか(2001))、開口割れ目にマグマが貫入して地震を引き起こしていることが推定されている。

一方、2000年度より最大潜航深度3000mの無人探査機「ハイパー・ドルフィン」(支援母船「かいよう」)が海洋科学技術センターに導入され、機器作動確認のための試験潜航並びに運航技術会得のための訓練潜航が開始されている(岩瀬(2000))。その一環として、2001年3月14日から3月21日にかけて、初島南東沖及び神津島東方沖にて試験・訓練潜航が実施されることとなった。この機会を利用し、両海域において海底の目視調査を中心とする調査を行った。本論文では、これらの調査結果の概要を報告する。

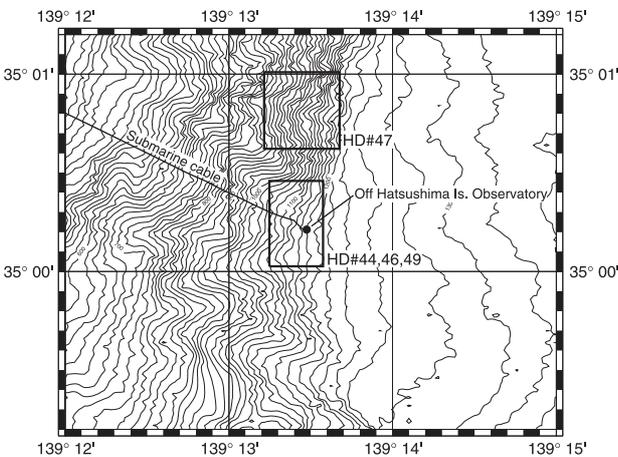


図1 相模湾初島南東沖調査海域
Fig. 1 Survey area southeast off Hatsushima Island

2. 初島南東沖海域

初島南東沖海域では、第44潜航(3月16日)、第46潜航(3月18日)、第47潜航(3月19日)および第49潜航(3月21日)の4潜航が実施された。調査海域図を図1に、航跡図を図2及び図3に示す。水平位置はSSBL音響測位によるものであるが、「ハイパー・ドルフィン」の深度データは、ビデオにインポーズされるもののデジタル記録としては残らないため、図2、図3における深度は、自己記録型のCTDセンサ(ドイツADM-Elektronik GmbH製 ADM-MEM-2000 を搭載し(図4))、その圧力データを、ビデオにインポーズされた深度データ64個と比較して、圧力-深度変換の一次式を求め、圧力データから算出した深度である。第44、46、49潜航は、「深海底総合観測ステーション」及びその周辺海底を航走し、第47潜航はステーションの約1000m北の斜面を北西方向に登るルートで航走した。

これらの潜航では、湧水の指標として、化学合成生物の分布の他、地中温度分布及び海水中の溶存メタンの分布状況の調査を試みた。この目的のため、ビデオカメラによる目視観察に加え、数カ所で地中温度計(日油技研製)による地中温度計測、及び前記のCTDセンサに取り付けたメタンセンサ(ドイツASD Sensortechnik GmbH製)による航走中のメタン濃度連続計測を実施した。メタンセンサは、透過膜を介して海水に接した半導体ガス検出器により溶存メタン濃度を計測するものである。CTDセンサは図4に示すようにピークルの左舷下側に取り付けてあり、メタンセンサはできるだけ海底面に近くなるように、このCTDセンサの下面に検出面を下に向けて取り付けた。

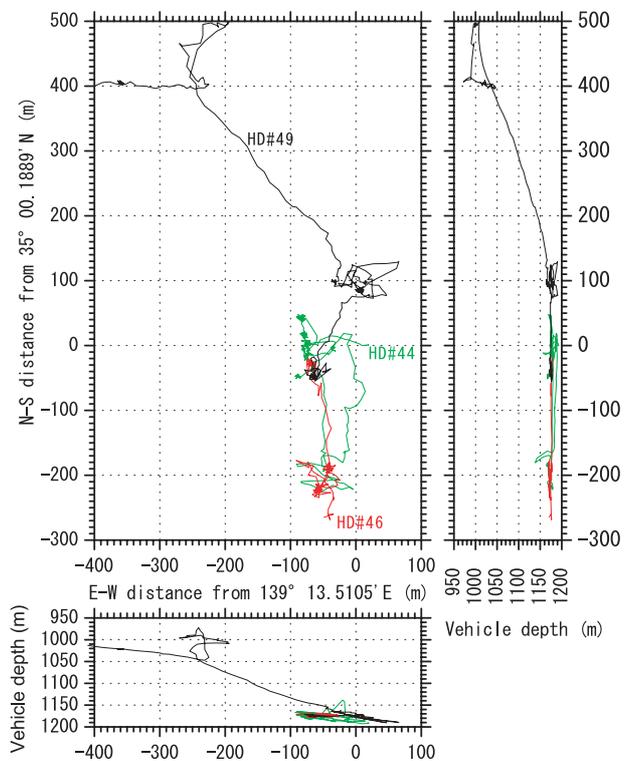


図2 第44、46、49潜航航跡図
Fig. 2 Tracklines of dive #44, #46 and #49

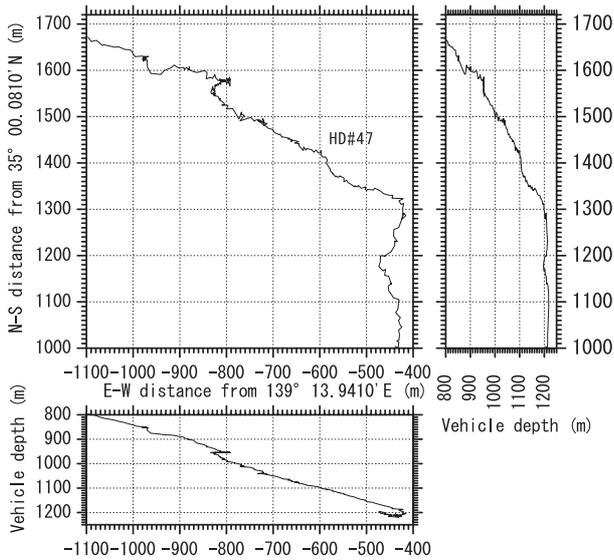


図3 第47潜航航跡図
Fig. 3 Trackline of dive #47



図4 「ハイパー・ドルフィン」に取り付けたメタンセンサー付きCTDセンサー
Fig. 4 CTD sensor with methan sensor attached to ROV "Hyper-Dolphin"

ステーション周辺で実施した3潜航(図2)のうち、第44潜航では、ステーション前に着底し、ステーションの地震計の方位調整作業を行った後(図5)、ステーションの約50m南のシロウリガイコロニーに2000年11月18日の第37潜航で設置した地中温度計を回収し、さらにその南側を、海底観察並びにピークルの操作訓練を行いつつ航走した。地中温度計は、30cm



図5 ステーションのビデオカメラで撮影された地震計方位調整作業
Fig. 5 Adjustment work of seismometer's alignment viewed by video camera of the observatory

の槍の中に槍先端を含め10cm間隔で合計3個のサーミスタが取り付けられたものであり、得られた地温勾配は、0.20K/mであった。

第46潜航では、ステーションの南側の海底観察及び3箇所での地中温度計測を実施した。ここで使用した地中温度計も前記と同じタイプの槍長30cmのものである。

第49潜航では、ステーションの南側の1箇所の前記の槍長30cmの地中温度計に加え、槍長96cmで槍先端を含め30cm間隔で合計3個のサーミスタが取り付けられた地中温度計による地中温度計測を行った後、ステーション北側を航走し、ステーションの北北西約500mのバクテリアマットと思われるものが付着した岩の脇(図6)1箇所を槍長30cmの地中温度計による地中温度計測を行った。

これらの潜航では、シロウリガイコロニーの分布状況の把握を目的として、複数箇所前方探査ソナー画面のハードコピーを取得した。ハードコピーは自動で作成されるわけではなく手動操作であるため、航走した全ての海底面を網羅しているわけではなく、残念ながら個々のソナー画面間の対応が不明瞭なものもある。元のソナー画面はカラーであるが、編集しやすいように色調の反転を行った後、グレースケールに変換してつなぎ合わせていった。図7にこうして作成したソナー画面合成図を地中温度計測から算出された地温勾配の値と共に示す。音響測位データには数十mの誤差があり、測位データのみでソナー画面をつなぎ合わせると整合がとれなくなるので、東西位置 - 60m、南北位置 - 50mの点を基準として、ソナー画像ができる限り整合するように順次つなぎ合わせていった。そのため、図7のソナー画像と図2の航跡図では水平位置に若干の相違がある。また、地中温度計測時、必ずしも槍が根本まで海底に刺さったわけではないため、地温勾配は確実に地中温度を計測している槍先端及び槍中央の2点のサーミスタのデータにより求めた。但し、前述の第44潜航で回収した地中温度計については、根本まで刺さっていることを確認しているので、3点全てのサーミスタのデータ



図6 ステーションの北北西約500mのバクテリアマット
 Fig. 6 Bacteria mat observed at 500m NNW of the observatory

を使用した。なお図中の(s)と(l)は、それぞれ計測した地中温度計の槍長が30cmと96cmであることを示している。

図7の航走ルート上では、規模の大きなシロウリガイのコロニーは、ステーションの約230m南、同約40m南、ステーション近傍及び同約70m北に存在している。これより北には、生きたコロニーとしては小規模なコロニーが点在していた。またステーションの北約400mには急崖があり、それより北の調査は断念した。

今回の計測で得られた地温勾配は、ステーションの約40m南のコロニーで6.6~14.9K/mと大きな値をとっているが、そこから10m程度しか離れていない場所で4ヶ月間の計測後に第44潜航で回収した温度計からは、0.2K/mという桁以上小さい値が得られている。この温度勾配の違いは、この場所での水温変動がせいぜい1K程度であることを考

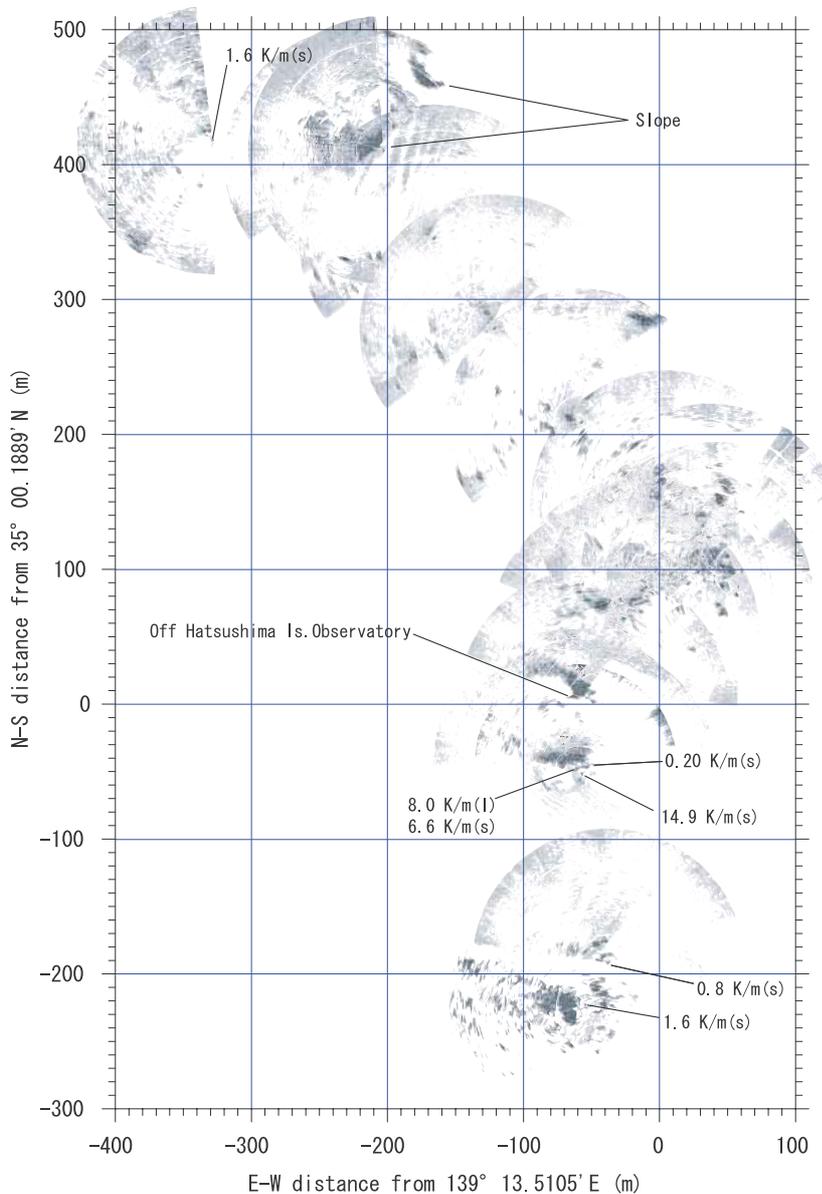


図7 前方探査ソナー画像及び地中温度勾配の分布
 Fig. 7 CTFM sonar images and distribution of subbottom temperature gradients

えると、水温変動の影響とは考えられず、むしろ湧水の局在性を示しているものと考えられる。

これ以外の場所は0.8～1.6K/mの値となっている。なお、ステーションの地中温度計から得られる温度勾配は、3K/m程度である。

図8に第44、46、49潜航で得られたメタン濃度の分布を示す。ステーション及びその約40m南のコロニーで相対的に高い値を示している。第44潜航ではステーションの南方200mの範囲まで高い値を示しているが、ステーションのADCPの記録を参照すると、この地点を航走している時刻には南向きの底層流が卓越しており、地震計の方位調整作業による海底面の擾乱により地中から海水中にまき散らされ、南方に流れていった溶存メタンを検出している可能性がある。メタン濃度は、通常、航走中より着底時に大きな値をとる考えられるが、ステーション及びその約40m南のコロニー以外での着底作業中はそれほど大きな変化は見られない。

次に第47潜航では、ステーションの約1000m北の斜面を北西方向に登る測線を航走し、2箇所で槍長30cmの地中温度計による地中温度計測を実施した。図9にソナー画像及び地温勾配分布を、図10にメタン濃度分布を示す。

この測線では、東西位置 - 600m付近より西側でシロウリガイの死貝が多数確認され、さらに東西位置 - 800m付近より西側では、ハオリムシ及びシンカイヒバリガイからなる生物群集が散在していた(図11)。特に東西位置 - 980m、南北位置1630m付近には、大規模なハオリムシの群集が確認された(図12)。図9に示した2箇所の地温勾配のうち、東側はシンカイヒバリガイ群集脇で計測したものである。いずれも1.2K/mという値が得られている。メタン濃度については、測線の南側で大きな

値が得られているが、ビデオカメラからは特に湧水などを示唆する特徴は見いだされておらず、大きな値となった原因は不明である。これ以外では大規模なハオリムシ群集が存在した地点周辺で若干高い値となっている。

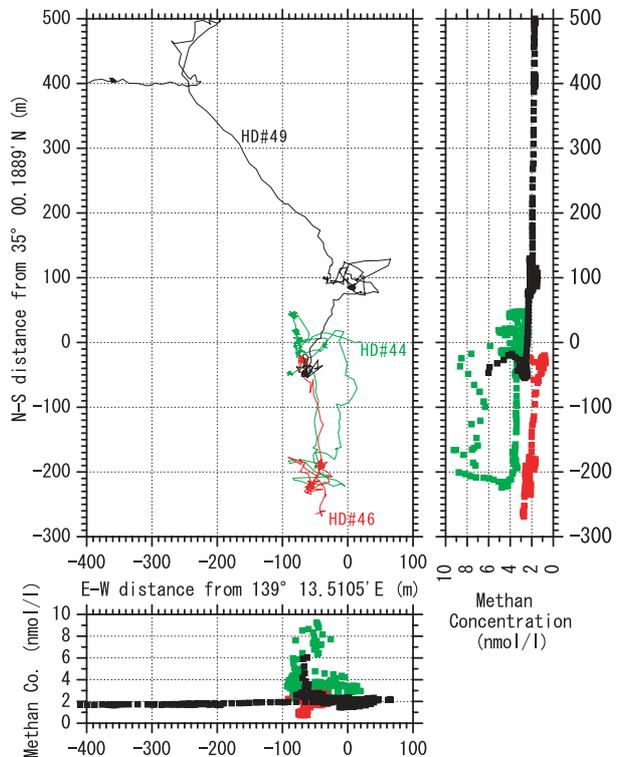


図8 第44、46、49潜航で得られたメタン濃度の分布
Fig. 8 Distribution of methane concentration measured in dive #44, #46 and #49

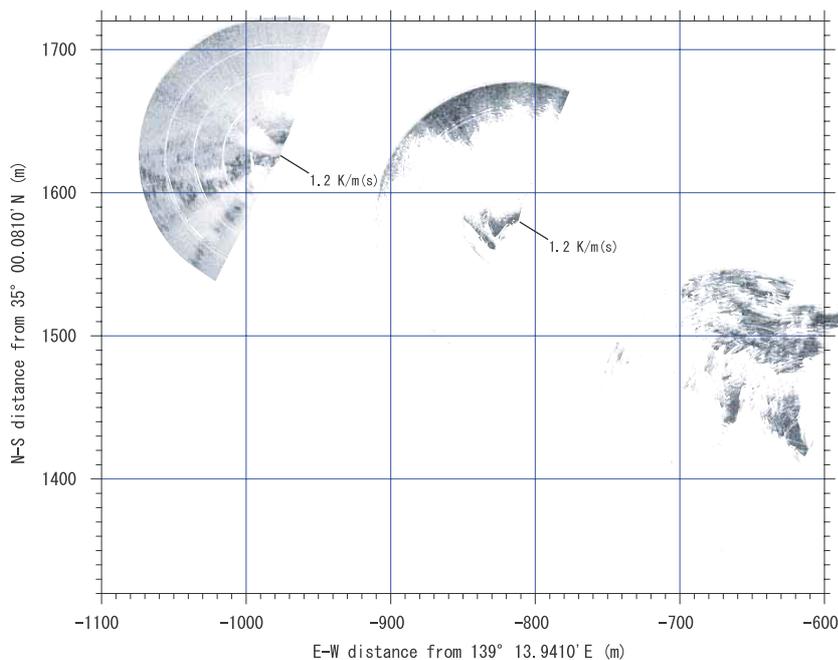


図9 第47潜航のソナー画像及び地温勾配分布
Fig. 9 CTFM sonar images and distribution of subbottom temperature gradients of dive #47

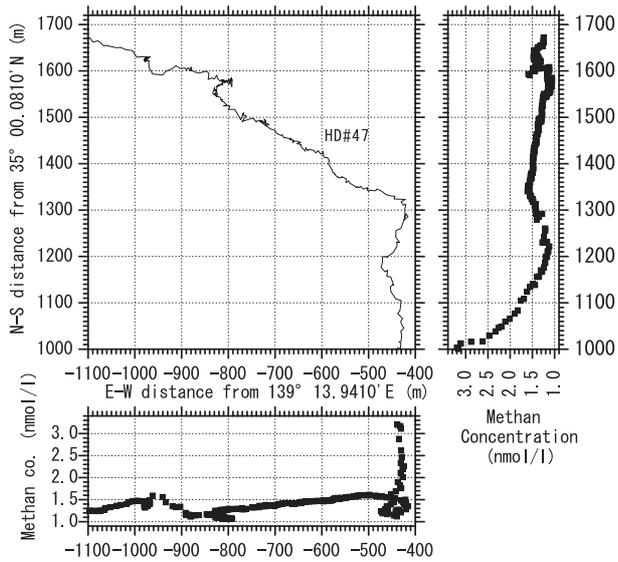


図10 第47潜航のメタン濃度分布
Fig. 10 Distribution of methan concentration measured in dive #47



図11 第47潜航で確認された生物群集
Fig. 11 Chemosynthetic biological community found in dive #47



図12 第47潜航で確認されたハオリムシ群集
Fig. 12 Community of tube worms found in dive #47

3. 神津島東方沖海域

神津島東方沖海域では、第43潜航(3月14日)、第45潜航(3月17日)、第48潜航(3月20日)が実施された。調査海域図を図13に、各潜航の航跡図をそれぞれ図14、図15、図16に示す。図13には気象庁による2000年6月から12月までの震源分布を、図14には今回得られた地温勾配(1個所)を、図16には地中温度計測点を併せて示す。深度は各潜航毎に前述の初島南東沖と同様な手法で求めた。

第43潜航は、一連の群発地震の震源域の北西端付近で実施した。全体としては、リップルマークに覆われた砂地であるが、図14の地温勾配を示した地点で幅約2m、高さ約50cmのN52W方向に伸びる帯状に盛り上がった地形を確認した(図17)。この頂部で地中温度を計測したところ、1.5K/mの地温勾配が得られた。水深が302mと浅いので、水温変動の影響は無視できないが、比較的大きな値である。

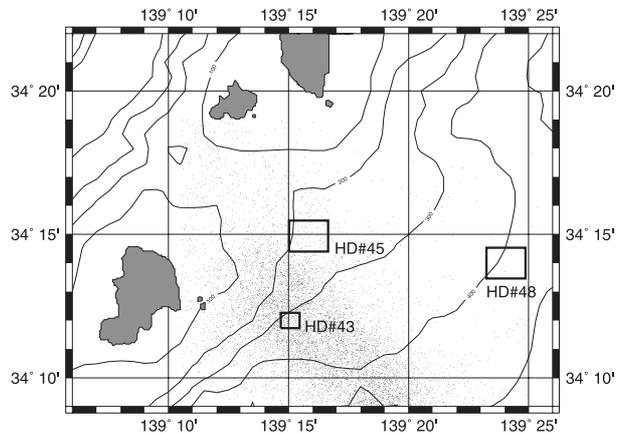


図13 神津島東方沖調査海域と気象庁による震源分布(2000年6-12月)
Fig. 13 Survey areas east off Kouzushima Island and epicenters (June - December, 2000) determined by JMA

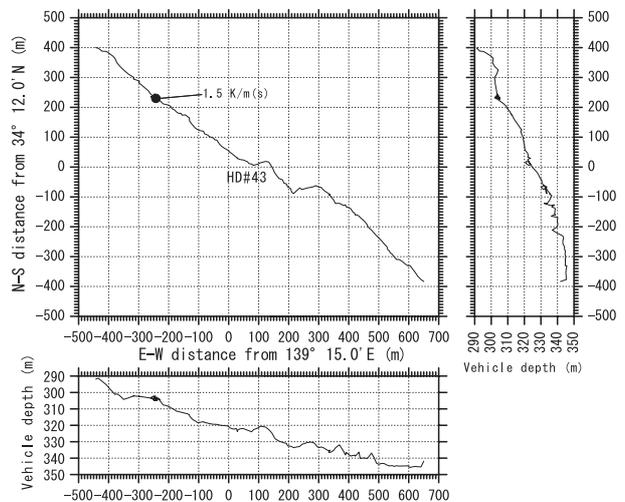


図14 第43潜航航跡図及び地温勾配分布
Fig. 14 Trackline of dive #43 and distribution of subbottom temperature gradient

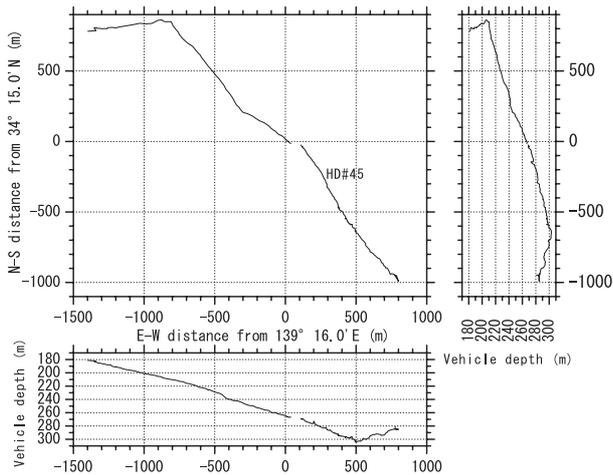


図15 第45潜航航跡図
Fig. 15 Trackline of dive #45

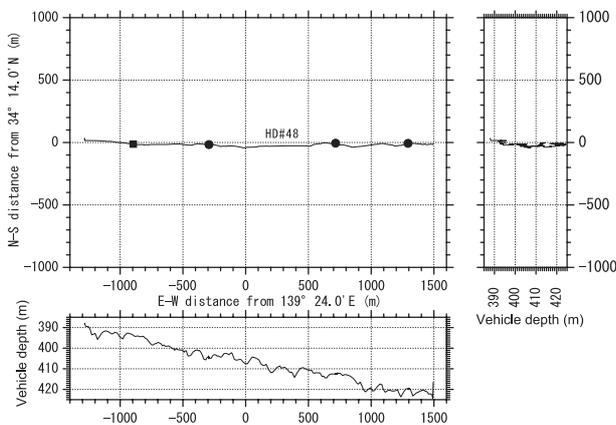


図16 第48潜航航跡図及び地中温度計測点
: 地中温度計測点
: 図18のソナー画像を取得した地点
Fig. 16 Trackline of dive #48 and locations of subbottom temperature measurement
: locations of subbottom temperature measurement
: location where sonar image(Fig-18) was obtained

同様の地形はこの西側で数個確認された。

第45潜航は震源域の北側で実施した。リップルマークに覆われた砂地または岩場で占められており、特に地震活動と関係するような地形は確認されていない。

第48潜航はシーブームなどによりデューン(砂波)の存在が示唆されている海域である。図16の東西方向の深度変化を見てもわかるように、他の2海域に比べて潮流により生成されたと推定される様々な波長の起伏が見られる。また、図16の四角点で示す場所での前方探査ソナー画像(図18)では、西向きに扇状の地形が確認できる。また、図16の丸点で示す3地点で地中温度計測を行ったが、いずれの地点でも地中温度の方が水温よりも低く、得られた地温勾配は負(-0.1 ~ -0.6K/m)となっており、水温変動の影響による温度変化と判断される。



図17 第43潜航で確認した特徴的な地形
Fig. 17 Characteristic landform found in dive #43

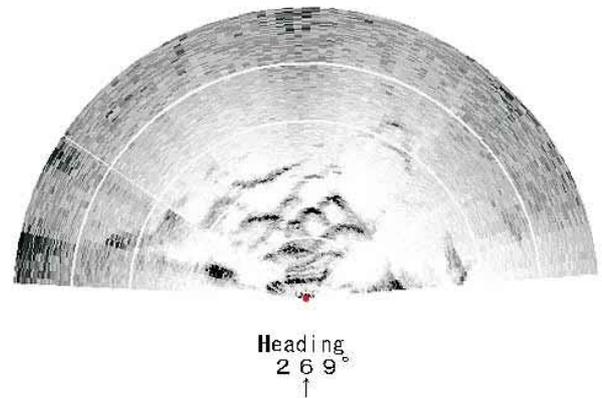


図18 第48潜航のソナー画像(20m/div)
Fig. 18 CTFM sonar image obtained in dive #48(20m/div)

4. 考察

今回の初島南東沖の潜航調査により、冷湧水の指標となるシロウリガイを中心とする化学合成生物群集の分布が把握され、またステーションの約1000m北の斜面で新たにシロウリガイ及びハオリムシからなる化学合成生物群集の存在が確認された。

地中温度及びメタン濃度の計測結果からは、ステーションの約40m南の規模の大きいシロウリガイ・コロニーで大きな変動が見られ、この地点での湧水活動が活発であることが推測される。特にこの地点の地温勾配については、わずか10m程度離れた2点間で一桁から二桁も異なる値が得られており、湧水の局在性が示唆される。これは一方が流体の湧き出し口で他方が吸い込み口であるといった可能性も想定される。今後この地点を中心に湧水流量計を設置することにより、流体の流れを解明することが期待される。

これ以外の生物群集では、地温勾配が1K/m前後となっており、またメタン濃度の変化もそれほど顕著でないが、前述の地点に比べそれほど密に温度計測を実施したわけではないので、その点を考慮する必要があるかもしれない。構成生物の相違(シロウリガイ、シロウリガイ、ハオリム

シと併せ、今後詳細に調査する必要がある。いずれにせよ、本海域ではステーションの約40m南の地点が湧水活動の中心となっていると考えられる。

神津島東方沖の潜航調査では、震源域北西端付近に帯状に盛り上がった地形が確認され、水温変動の影響を考慮すべき必要があるものの、他の海域と比較して大きな地温勾配が確認された。これらは、この地点における開口割れ目へのマグマの貫入というモデルを裏付けるものと考えられる。

一方、潮流の支配下で特徴的な地形の存在が目視調査により改めて今回確認されたが、深度データの詳細な解析や流速との相関関係などを詳細に調査することにより、これらの地形の生成機構を解明する必要がある。

謝辞

本航海では、柴田運航長はじめ「ハイパー・ドルフィン」運航チーム並びに田中船長はじめ、かいよう乗組員の方々に、貴重な試験・訓練潜航の機会を利用させていただいた。また、海洋科学技術センター企画部及び研究業務部の各位並びに深海研究部徐主幹には、航海日程の調整にお骨折りいただいた。ここに記して御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 岩瀬良一, 深海調査技術 - 有人潜水調査船と無人探査機 -, 地学雑誌, 109, 885-899 (2000)
- 2) 岩瀬良一, 満澤巨彦, 平田賢治, 海宝由佳, 川口勝義, 藤江剛, 三ヶ田均, 相模湾初島沖深海底総合観測ステーションの更新 - 次世代リアルタイム観測の確立に向けて -, JAMSTEC深海研究, 18, 185-192 (2001)
- 3) 中田節也, "特集「三宅島2000年噴火と神津島・新島周辺の地震活動」-まえがき-", 地学雑誌, 110, 129-131 (2001)
- 4) 酒井慎一, 山田知朗, 井出哲, 望月将志, 塩原肇, 卜部卓, 平田直, 篠原雅尚, 金沢敏彦, 西沢あずさ, 藤江剛, 三ヶ田均, "地震活動から見た三宅島2000年噴火時のマグマの移動", 地学雑誌, 110, 145-155 (2001)
- 5) M.D. Tryon, K.M. Brown, M.E. Torres, A.M. Trehu, J. McManus and R.W. Collier, "Measurements of transience and downward fluid flow near episodic methane gas vents, Hydrate Ridge, Cascadia", Geology, 27, 1075-1078 (1999)

(原稿受理:平成13年8月23日)