

日本海溝海側斜面におけるナマコと底層流

堀内 一穂^{*1} 門馬 大和^{*2} 満澤 巨彦^{*2}
藤岡換太郎^{*2}

1991年から1992年にかけて、宮古沖日本海溝では深海曳航カメラと有人潜水艇「しんかい6500」を用いた調査が数多く行われた。これらの調査の成果の1つに、日本海溝6,500m付近に生息するウシナマコ類 (*Peniagone* sp (p.)) が底層流の流れて行く方向に頭を向けるという事実の観察が挙げられる。

ウシナマコ類はおよそ10°以内の誤差で底層流の流れて行く方向に頭を向ける。これをもとに調査地域の底層流を推定し、「しんかい6500」の流向流速計より得られた底層流の流向も加え、宮古沖日本海溝の底層流について考察した。底層流は、海溝海側斜面においてはNNW向きの流れが最も卓越し、これにNW方向とN方向が続く。反対に海溝陸側斜面すなわち海溝軸付近ではS~SSE向きの流れが卓越する。これは海溝の海側斜面と陸側斜面（もしくは海溝軸付近）ではおよそ反対方向の流れが卓越していること意味するのだろう。

宮古沖日本海溝の海側斜面には海溝軸にほぼ平行な方向を持つ地溝・地壘が発達しており、NNW方向の卓越流によりビニール袋などの軽いゴミが地溝の西端部にトラップされることが想像できる。おそらく地溝の西端部にはビニール袋などの軽いゴミがベルト状に集積しているのであろう。このように海溝部での底層流の挙動を明らかにすることは、海溝に存在するさまざまな物体の挙動を解明する手がかりとなる。

Holothurian and Bottom-current on the Oceanward Slope of the Japan Trench

Kazuho HORIUCHI^{*3} Hiroyasu MOMMA^{*4} Kyohiko MITSUZAWA^{*4}
Kantaro FUJIOKA^{*4}

In 1991 and 1992, many investigations using the deep tow camera and the manned submersible "Shinkai 6500" were carried out in Japan Trench off Miyako. It is one of the observed results in these investigations that the holothurian, *Peniagone*, inhabiting in Japan Trench at about 6,500m depth, turn its head to the downstream of the bottom-current.

Mean orientation of the holothurian, *Peniagone* measured on video recordings of the above two systems nearly equal to the direction of bottom

* 1 東北大学理学部地圏環境科学科

* 2 海洋科学技術センター深海研究部

* 3 Department of Geoenvironmental Science, Faculty of Science, Tohoku University

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

currents (within 10°). In this report, we estimate deep sea bottom currents in Japan Trench off Miyako based on the orientation of the holothurian and the data from the current meter of the "Shinkai 6500". On the oceanward slope, the NNW current is dominant and NW and N are subdominant. S to SSE currents are, on the other hand, dominant on the landward slope (nearer trench axis). This means probably that the direction of the prevailing bottom-current is opposite between on the oceanward slope and on the landward slope.

The topography of the oceanward slope of Japan Trench is characterized many horsts and grabens mostly running parallel to the trench axis (N-S to NNE-SSW). It is conceivable that light trash (for example, vinyl bag) accumulate on the western margin of the grabens owing to the prevailing NNW currents on the oceanward slope off Miyako. The light trash probably form belts on the western margin of the grabens. Thus the estimation of bottom currents will help us to understand behavior of various objects existing in the trench.

1 はじめに

1991年以来宮古沖日本海溝では、海洋科学技術センター所属の潜水艇「しんかい6500」と深海曳航カメラを用いた調査が数多く行われてきている。著者の1人堀内は、同じく著者の1人である海洋科学技術センターの藤岡換太郎博士の紹介で、1992年の調査船「かいよう」による日本海溝曳航調査に参加させていただいた。「かいよう」による調査は地形、地質、地震、生物など多岐の分野にわたるもので、そのうち深海曳航カメラによる海底観察が海溝陸側斜面で1回、海側斜面で3回、深海平坦面で1回の計5回行われた(門馬ほか, 1993)。海側斜面の海底面には棘皮動物を主体として数多くの生物が観察された。

深海底より船上に送られてくる映像はとても鮮明で生き生きとしたもので、見守る多くの人々を画面に釘付けにした。そして、透明で頭部に牛の角状の突起物を持つナマコ(ウシナマコ類, *Peniagone* sp (p.))が皆同じ方向に頭を向けているという事実も、その画面より送られてきたものであった。

ある種の底生生物が底層流の指標となる事実は古くから知られている(例えばGrigg, 1972; Ohta, 1983)。また、既に駿河湾においてウシナマコ(*Peniagone japonica* Ohshima, 1915)が底層流に対し負の走流性(negative rheotaxis)

を示す事実が明らかになっており(岡田・太田, 1982; Ohta, 1983), それを利用した底層流の推定も実際に行われている(Ohta, 1983; Okada and Ohta, 1993)。さらに、これらの成果は遠く地球の反対側の大西洋中央海嶺の調査においても利用されている(Galkin and Mostalev, 1990: ただし記述に誤りあり)。ところが、これらの研究では物理的手段により計測された底層流の流向・流速とウシナマコなどの生物の方向との比較がなされておらず、結果として生物による底層流の観測は定性的で不十分な手法でしかなかった。

筆者らは、「しんかい6500」に設置されている流向・流速計とビデオ映像より、ウシナマコ類の頭の方向と底層流の流向・流速との定量的な関係を明らかにした(Horiuchi et al., in prep.)。本報告ではこれらの研究の経緯を報告したうえで、宮古沖日本海溝で実際に底層流の観測を試み考察を行うことにする。

2 日本海溝海側斜面の地形と生物

宮古沖日本海溝にて、海洋科学技術センターの潜水調査船「しんかい6500」による潜航調査と深海曳航カメラによる曳航調査が行われた海域を図1に示す。調査海域の水深は6,000~6,500m付近に集中し、最高水深は6,607mに達した。日本海溝は、その地形とテクトニックな要因より、最深

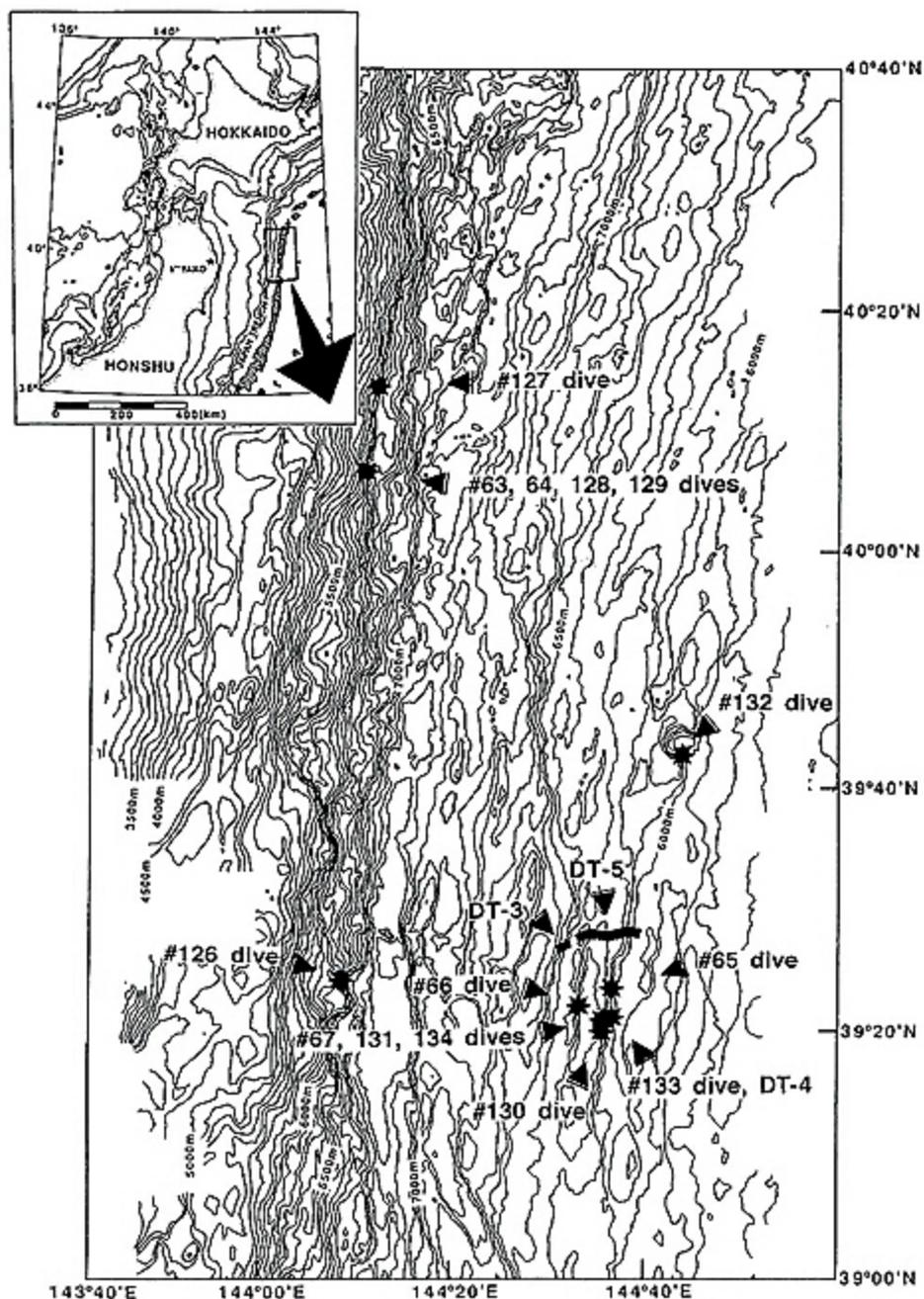


図1 1991年から1992年にかけて宮古沖日本海溝にて行われた深海曳航カメラの曳航調査（太線）と「しんかい6500」の潜航調査（星印）の位置図。海底地形図はLe Pichon and Kobayashi et al. (1987) とKobayashi (1991) による。

Fig. 1 Investigated area using the "JAMSTEC/Deep tow system" (thick lines) and the "Shinkai 6500" (asterisks) in Japan Trench off Miyako in 1991 and 1992. Bathymetry is compiled from Le Pichon and Kobayashi, et al. (1987) and Kobayashi (1991).

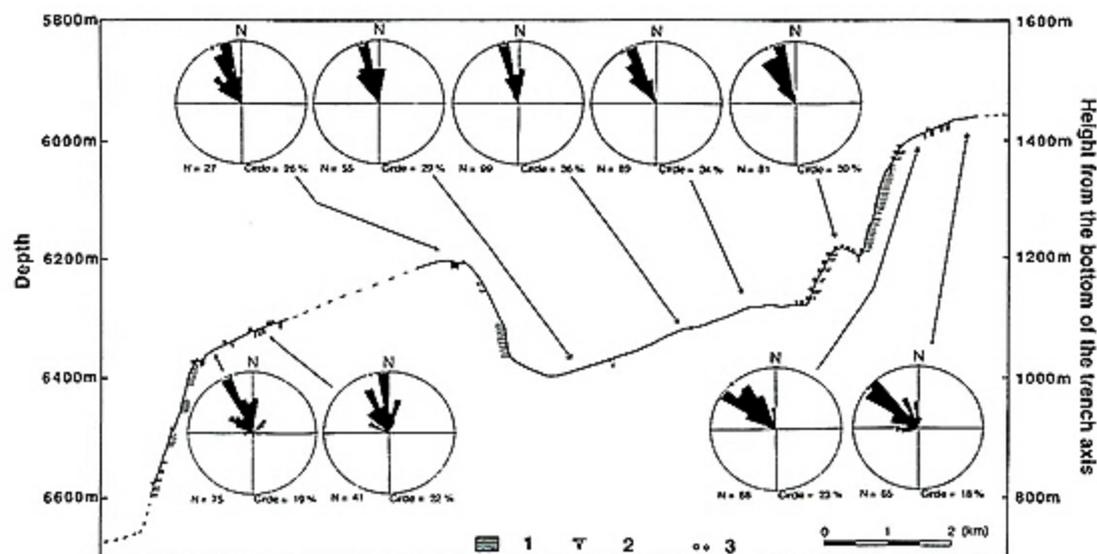


図2 深海曳航カメラのビデオ記録より計測したウシナマコ類の頭の方角。各々の地域（もしくは時間）によってまとまる方角は多少ことなるが、ナマコの頭の方角はNNW~NWに集中する。1：露頭、2：海底の亀裂、3：転石

Fig. 2 Orientation of the holothurian *Peniagone* measured on the video recordings of the deep tow camera (survey track DT-3 and DT-5). Almost all the holothurian turn their head toward the same direction (within about 30°) in each rose diagram. These mean orientations vary northwest to north-northwest as times go on and/or observed area changes eastern part to western part. 1 : outcrop, 2 : crack, 3 : rubble and gravel.

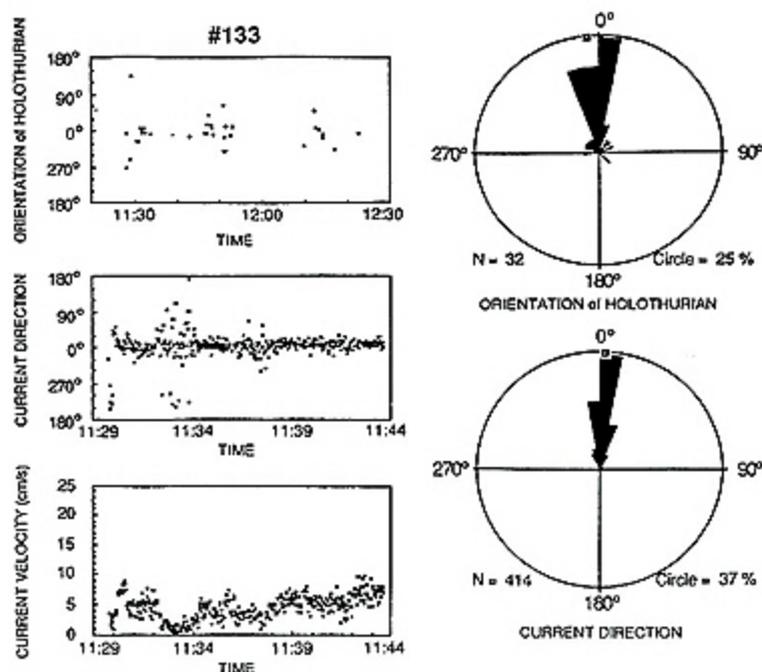


図3 「しんかい6500」の第133潜航のビデオ記録より計測されたウシナマコ類の頭の方角と底層流の関係。ウシナマコ類の頭の方角は底層流の流れて行く方向と非常によく相関を示す。

Fig. 3 The relationship between Orientation (degrees) of the holothurian *Peniagone* and direction (degrees) and velocity (cm/s) of bottom currents. All data from the #133 dive of the "Shinkai 6500". The orientation of the holothurian mostly correspond to the direction of bottom currents.

部の中軸を境に陸側斜面と海側斜面に分けられる。陸側斜面は、落差約500mで約160km連続する三陸海底崖が存在するなど、全体的に急傾斜である(藤岡ほか, 1992)。海側斜面はそれに比べて全体的に緩斜面で、海溝軸に平行もしくは雁行する地溝・地塁の組み合わせで特徴づけられる(Kobayashi et al., 1991; 堀田ほか, 1992)。海側斜面には、これらの地溝・地塁の伸長方向にほぼ平行する伸長方向を持つ、幅数m以下の小亀裂が数多く存在する(堀田ほか, 1992; 門馬ほか, 1993)。

日本海溝海側斜面には数多くの生物が生息している。生物は平坦地に多く、ナマコ、ヒトデ、ウミユリ、ウミシダ、ウニ等の棘皮動物をはじめ、ヤギ、カイメン、イソギンチャク、巻き貝、エビ、ウミグモ、魚類などが見られる(門馬ほか, 1993)。その中でもウシナマコ類は深海曳航カメラなどによりよく観察される大型底生表在生物で、場所によっては100m²に約20個体認められる。観察されたウシナマコ類は体長10cm弱~20cm弱で、頭部に特徴的な牛の角状の突起物を持つ半透明なナマコである(写真1)。ウシナマコ類はその大きさや特徴からディープ・トウカメラや「しんかい6500」のビデオ画像より容易に同定できる。

3 底層流とウシナマコ類の関係

深海曳航カメラや潜水艇から送られてくる映像をみると、ウシナマコ類は深海底で明らかに皆同じ方向に頭を向けているように見える。深海曳航カメラに設置されているスティールカメラで撮影された写真においても、数匹のウシナマコ類が観察される場合には、ウシナマコ類は皆ほぼ同じ方向を向いている(写真2)。これを定量的に表すために、深海曳航カメラより得られたビデオ画像よりウシナマコ類の頭の方向を計ることを試みた。

計測は1992年に行われた測線DT-3とDT-5(図1, 測線の詳細は門馬ほか(1993)参照)で得られたビデオ画像より行った。ビデオカメラは、深海曳航カメラの進行方向がテレビ画面で0°の方向になるようにセットされている。深海曳航カメラはほとんどの場合海底面に垂直に画像を撮影しており、テレビ画面より計測した角度はそのまま深海曳航カメラの進行方向に対する角度として使

用できる。進行方向は音響測位により一定時間ごとに得られるカメラの位置より読み取った。すなわちナマコの頭の絶対方向は、画像より計測した角度を、読み取った進行方向で換算することで得られる。ビデオ画像には撮影された時間や曳航体の水深などが画面中に記録されている。計測は撮影時間の1時間ごとに最初の10分間に観察されたすべてのウシナマコ類について行った。

図2はこのようにして計測したウシナマコ類の頭の方向を地形断面図上にプロットしたものである。各々の地域(もしくは時間)によってまとまる方向は多少異なるが、ナマコの頭の方向はNNW~NWに集中する。

さて、ウシナマコ類のこのような挙動は果してどのような要因によってなされているのであろうか? 深海生物の挙動を規制する要因としては水温、塩分濃度、溶存酸素量、水圧、有機物の量、底層流、重力、地磁気、底質などが挙げられるが、深海において方向性を持つ現象を想定すると、要因は地磁気か底層流と考えるのが妥当であろう。図2に示したようにナマコの頭の方向は地域や時間によって変化する。これらは地磁気の変動の反映としては大きすぎる変化であり、故に地磁気は要因として不適切と思われる。おそらくウシナマコ類が一定の方向に頭を向けるためには、底層流が大きな役割を占めているのであろう。この考えを確かめ同時に定量的な検討を行うため、「しんかい6500」の流速計とビデオ記録より、流向とナマコの頭の方向の比較を試みた。

「しんかい6500」に設置されているドップラー流向流速計は着底時に海底からおおよそ3.6m上方の流向・流速を計測することができる。ウシナマコ類の頭の方向は、着底後1時間以内にカメラに記録されたもののみ計測し、流向計の記録と照会した。

詳細は準備中の論文(Horiuchi et al., in prep.)に譲るが、図3に一部示したように、ウシナマコ類の頭の方向は底層流の流れて行く方向と非常に相関を示す。すなわちウシナマコ類は底層流の流れて行く方向に頭を向けることが分かる。Ohta(1983)は駿河湾においてウシナマコ(*Peniagone japonica* Ohshima, 1915)が底層流に対し負の走流性(negative rheotaxis)を示す

と考え、それを利用して底層流の推定を行った (Ohta, 1983 ; Okada and Ohta, 1993)。筆者らの研究は、ウシナマコ類の負の走流性を日本海溝海側斜面6,500m付近で証明し、加えて底層流の流向・流速との定量的な関係 (例えば頭の方角は底層流の流向に対して 10° 以内の誤差に収まることなど) を明らかにし、これを底層流の推定に用いることの妥当性を証明するものとなった (Horiuchi et al., in prep.)。

4 日本海溝の底層流について

図2に示したように、深海曳航カメラの測線D T-3とDT-5で観察されたウシナマコ類はNNW~NWの方角に頭を向ける。ウシナマコ類は底層流の流れて行く方向に 10° 以内の誤差で頭を向けるので、曳航時の水流はNNW~NW方向に流れていたと推測される。一方、深海曳航カメラを曳航した宮古沖日本海溝では、日仏海溝計画時に潜水艇「ノチール」による潜航調査が2回、その後「しんかい6500」による潜航調査が14回、深海曳航カメラの曳航調査が4回行われている。「しんかい6500」は最初の着底時に流向・流速を測定し、支援船上に報告する。これらの底層流のデータは、必ずしも観測地点での卓越した底層流の流向を表すものではないが、各々測定日時が異なるため、底層流のおおよその卓越方向を知る手がかりとなるだろう。故に宮古沖日本海溝の底層流の卓越方向を知るために、観察されたナマコの方向に基づいた底層流の流向と「しんかい6500」の流向流速計で得られた底層流の流向をコンパイルし、図4に矢印で示した。

図4によると、海溝海側斜面においてはNNW向きの流れが最も卓越し、これにNW方向とN方向が続く。これに対して海溝陸側斜面すなわち海溝軸付近ではS~SSE向きの流れが卓越する。これは海溝の海側斜面と陸側斜面 (もしくは海溝軸付近) では、およそ反対方向の流れが卓越することを意味すると考えられる。海山の周りには時計周りの深層流の循環があることが既に知られている。海山のまわりに時計まわりの循環があれば海溝には反時計まわりの循環があることが力学的に予想される (平, 1987)。図4に示した流れは、このような反時計まわりの循環を表しているよう

にも見える。

ところで、宮古沖日本海溝の海側斜面で地溝を

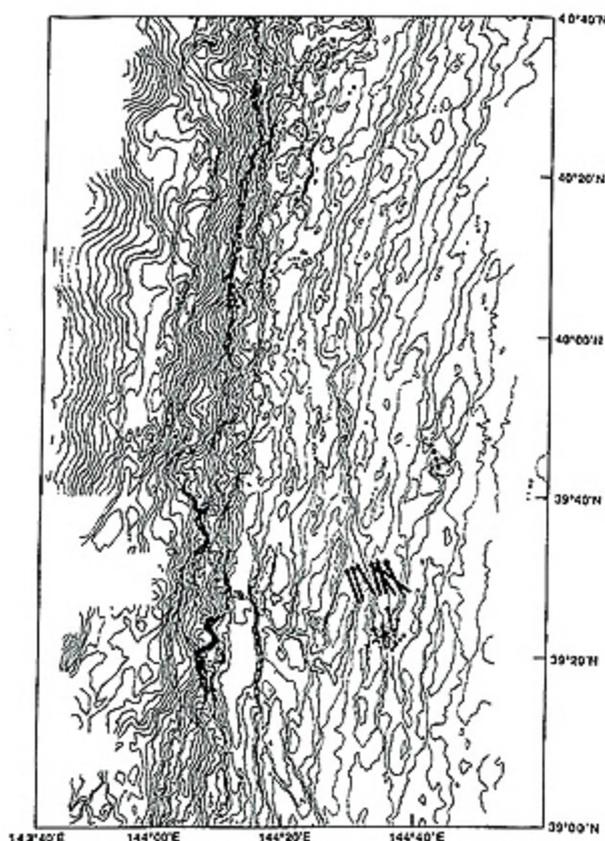


図4 深海曳航カメラで観察されたナマコの方向 (矢印) と「しんかい6500」の流向流速計で得られた底層流の流向 (破線矢印) をコンパイルした。底層流は、海溝海側斜面においてはNNW向きの流れが最も卓越し、これにNW方向とN方向が続く。反対に海溝陸側斜面ではS~SSE向きの流れが卓越する。海底地形図はLe Pichon and Kobayashi et al. (1987) とKobayashi (1991) による。

Fig. 4 Estimated direction of deep sea bottom currents in Japan Trench off Miyako based on the orientation of the holothurian (arrow) and the data from the current meter of the "Shinkai 6500" (broken arrow). On the oceanward slope, the NNW current is dominant and NW and N are subdominant. S to SSE currents are, on the other hand, dominant on the landward slope. Bathymetry is from Le Pichon and Kobayashi et al. (1987) and Kobayashi (1991).

横断して行われた深海曳航カメラによる曳航調査 (DT-5) では、地溝の西端部にビニール袋等の比重の低いゴミが多く認められ、特に急崖の麓に軽いゴミの集積が認められた (門馬ほか, 1993)。調査地域付近の急崖の方向はN~SからNNE~SSWである。故に、NNW方向の卓越流によりビニール袋などの軽いゴミが地溝の西端部にトラップされることが容易に想像できる。おそらくこのような場所にはビニール袋などの軽いゴミがベルト状に集積しており、いわば「海側斜面ゴミベルト」ともいべきものを形成しているのであろう。このように海溝部での底層流の挙動を明らかにすることは、海溝に存在するさまざまな物質の挙動を解明する手がかりとなる。

5 おわりに

以上のように、本報告ではウシナマコ類の頭の方角と底層流の流向との定量的な関係を明らかにしたうえで、実際に宮古沖日本海溝で底層流の観測を試みた。最後に、このような深海生物を用いた底層流観測はどのように行うべきかを以下に記し、報告の締めくくりとする。

おそらく、深海生物を用いた底層流観測は深海曳航カメラを用いるのが効率的であろう。深海曳航カメラを用いた海底観察の特徴として、一定スピードで広域的 (1日10km程度) な観察を行うことが挙げられる。このことは、ウシナマコ類が大量に観察される地域は、広域的かつ詳細な底層流の流向の観測ができることを意味する。加えて、日本海溝6,500m付近の潜航および曳航調査において、少量観察される他の生物についても、流れに関連すると思われる方向性が確認されている。Ohta (1983) は駿河湾と相模湾でカメラを曳航し、ウシナマコ以外にも多くの生物が走流性 (rheotaxis) もしくは負の走流性 (negative rheotaxis) を示すことを明らかにした。すなわち深海で底層流の指標となる生物はウシナマコ類以外にも数多く存在し、これにrippleなどの海底面に記録された底層流の記録を組み合わせると、多くの深海底で深海曳航カメラによる底層流の流向観測が可能となるだろう。また、深海曳航カメラによる底層流の観察は、当然海底観察と並行して同時に行うことができる。

深海底層流はかつて考えられたように定常的で穏やかなものではなく、むしろ動的で複雑なものであることが、底層流の定点観測 (例えば、岡崎, 1984; 平, 1987; Demidova et al., 1990; Klein and Mittelstaed, 1992) により明らかになってきている。このような動的な世界を正確に捉えるためには、定点での長期観測に加え、ある時点で地域的な幅を持ったデータが必要になる。この課題を解決するために、長期観測ステーションを設置するとともに、同時に深海曳航カメラによる底層流観測を行うことも考えられる。

謝辞

調査船「かいよう」の湯川船長以下クルーの方々には調査や船内生活において大変お世話になった。東京大学海洋研究所の太田秀教授にはウシナマコと底層流の関係について有益な助言をいただいた。海洋科学技術センター深海研究部の堀田宏部長には「しんかい6500」の潜航データをお借りした。同じく深海研究部の橋本倬氏には棘皮動物に関する助言をいただいた。東北大学理学部の加藤久佳氏には図の作成を手伝っていただいた。以上の方々に深謝の意を表します。

参考文献

- Demidova, T. A., Ye. A. Kontar and A. V. Sokov (1990): The nature of bottom storm in the subequatorial Pacific. Dokl. Akad. Nauk SSSR, 310, 706-711.
- 藤岡換太郎・竹内 章・堀内一穂・岡野 肇 (1992): 日本海溝の陸側・海側斜面の地形とテクトニクス。第9回しんかいシンポジウム予稿集, 1-4.
- Galkin, S. V. and L. I. Mostalev (1990): Study of the abyssal fauna of the North Atlantic Ocean from deep-water manned submersibles. Oceanology, 30, 502-507.
- Grigg, R. W. (1972): Orientation and growth from of sea fans. Limnology and Oceanography, 17, 185-192.
- 堀田 宏・小林和男・小川勇二郎 (1992): 日本海溝北部海側斜面の地殻構造「しんかい6500」第65, 66, 67潜航報告。しんかいシンポジウ

△報告書, 8, 1-15.

Klein, H. and E. Mittelstaed(1992): Currents and dispersion in the abyssal Northeast Atlantic. Result from the NOAMP field program. Deep Sea Reserch, 39, 1727-1745.

Kobayashi, K. (1991): Preliminary Report of the Hakuho Maru cruise KH 90-1. Ocean Research Institute, University of Tokyo, 174pp.

Kobayashi, K., K. Tamaki, H. Fujimoto, M. Nakanishi, A. Oshida, D. C. P. Masalu, Y. Ogawa, H. Iino, T. Tsukioka, K. Kashi hara, T. Matsumoto, T. Tanaka and T. Furuta (1991): "Bathymetry of the North-Central Japan Trench by Seabeam." p.8-29. In: Preliminary Report of the Hakuho Maru cruise KH 90-1. Edited by K. Kobayashi, Ocean Research Institute, University of Tokyo, 173pp.

門馬大和・堀内一穂・満澤巨彦・海宝由佳 (1993):

日本海溝三陸沖深海曳航調査報告 (DK92-6-NHK). 本報告書.

Ohta, S. (1983): Photographic census of large-sized benthic organisms in the bathyal zone of Suruga Bay, central Japan, Bull. Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo, 15, 1-244.

岡田博有・太田 秀 (1982): 駿河湾, 相模湾の深海域における底層流起源の海底諸性状. 静岡大学地球科学研究報告, 7, 97-102.

Okada, H. and S. Ohta (1993): Photographic evidence of variable bottom-current activity in the Suruga and Sagami Bays, central Japan. Sedimentary Geology, 82, 221-237.

岡崎守良 (1984): 深海底層流の観測. Ia mer, 20, 175-214.

平 啓介 (1987): 海溝の底層流の直接測定—海洋物理学の最近の話題. 地学雑誌, 96, 15-20.

(原稿受理: 1993年 8月 9日)



写真1 ウシナマコ類の写真
Photo 1 Holothurian, *Peniagone*.



写真2 測線DT-5で得られた水深6,380mの海底写真。3匹のウシナマコ類は皆ほぼ同じ方向を向いている。

Photo 2 Holothurians at 6,380m depth in the survey track DT-5. Note three individuals of *Peniagone* (arrows) turning their heads toward the same direction.