

## 潜水機によるガイドラインマーカを用いた再接近について

内田 徹夫<sup>\*1</sup> 橋本 惇<sup>\*2</sup> 渡辺 正之<sup>\*1</sup>  
段野 洲興<sup>\*1</sup> 小原 孝文<sup>\*1</sup> 田中 武男<sup>\*2</sup>

潜水機による深海調査において、海底の同一地点にビークルを何度か正確に到達させる必要がしばしば起こる。特に、近年海底の特異点に観測機器を設置する定点観測が多く行われるようになり、このような潜水機の運用方法は益々重要性を増して来ている。しかしながら、音響測位精度の限界、有人潜水船の覗き窓あるいはテレビカメラを通しての視界の制約といった問題から、このようなオペレーションは現在のところ極めて困難な状況にある。そこで、我々はガイドラインマーカと呼ぶ海底標識を使用する潜水機の再接近技術を開発し、1988年8月と10月、相模湾内水深1100mの海域で行われた無人探査機「ドルフィン-3K」、有人潜水調査船「しんかい2000」の運用時にその再接近方法の実海域試験を行った。ここでは、その方法を紹介し、試験の結果について報告する。

キーワード：ドルフィン-3K, 沖ノ山堆, ガイドラインマーカ

### On the Point Approach Operation of Underwater Vehicles using "Guideline Marker"

Tetsuo UCHIDA<sup>\*3</sup> Jun HASHIMOTO<sup>\*4</sup>  
Masayuki WATANABE<sup>\*3</sup> Kunioki DANNO<sup>\*3</sup>  
Takafumi OHARA<sup>\*3</sup> Takeo TANAKA<sup>\*4</sup>

In the sea floor surveys with underwater vehicles, it is often necessary or desirable for the vehicle to come back exactly to the same spot on the sea floor repeatedly. And, the vehicle operation method to come back to the same spot is becoming more important with the increasing use of the observation instruments settled at some fixed specified on the sea floor. However, the vehicle operation of this kind is very difficult because of the insufficient precision of the acoustic positioning system and restricted visibility through the view port of the manned vehicle

---

\*1 運航部

\*2 深海研究部

\*3 Ship Operations Development

\*4 Deep Sea Research Development

and through the TV system. To overcome this difficulty, we developed a vehicle point approach method which uses a "Guideline Marker". The method was tested in the operations of an unmanned vehicle "DOLPHIN-3K", and a manned vehicle "SHINKAI 2000", at the depth of 1,100 m in the Sagami Bay, in August and October respectively, in 1988. This paper introduces the method which includes both operation technique and instrumentation and discusses the results of the sea trials.

**Key word:** DOLPHIN-3K, OKINOYAMA KNOLL, GUIDELINE MARKER

## 1. はじめに

潜水調査船「しんかい 2000」や無人探査機「ドルフィン-3K」を使用した深海調査において、同一ポイントへの再接近の必要がある場合、音響航法用の海底設置トランスポンダを利用することが多い。その場合トランスポンダ本体又はブイを、潜水機に装備された音響方位探知機あるいは前方探査ソナーで探知して接近する。再接近目標点と海底設置トランスポンダ位置は同一であるため、予め係留シンカーに調査器具等を取付けておく事はよくあることである。しかし、目標点は母船からフリーフォールで投下して設置したもので、潜水機が海底上で見出した特異点ではない。また長期間にわたり何回も再接近を必要とする場合トランスポンダをその海域に放置する必要がある。

「しんかい 2000」の潜航調査では音響測位による誘導、あるいは視認距離を延ばして接近を容易にすることが出来る閃光フラッシャーの補助によって、海底上に見出した特異点への再接近を行う場合もある。しかし、このようなオペレーションでは音響測位の誤差や視界の制約のため、パイロットの海底地形の記憶による微妙な位置判断、経験、または人為的な努力に頼る部分が多く、確実な再接近方法とは言いがたい。また無人探査機では潜水調査船に比べて現場から得られる情報量が少なく臨場感に乏しい為、潜水調査船で行うよりさらに難しい状況がある。

そこで我々は、目標点を点から線に変えることにより効率的な再接近を可能にするガイドラインマーカーを使用した再接近方法を開発した。この方法は目標点から延長して潜水機を誘導するガイドラインマーカーを予め方向を定めて海底に敷設

しておき、再接近する場合は音響測位の誘導によりマーカーと交差するよう潜水機のコースをとる。そして、マーカー視認後は直接これを辿り目標点に到達する方法である。このように、音響航法装置の測位と組み合わせて使用するが、潜水機の測位にはある程度の誤差を持つことを前提としており、これを補なうために目標の近傍では確実な目視により接近する方法である。

## 2. ガイドラインマーカー敷設装置

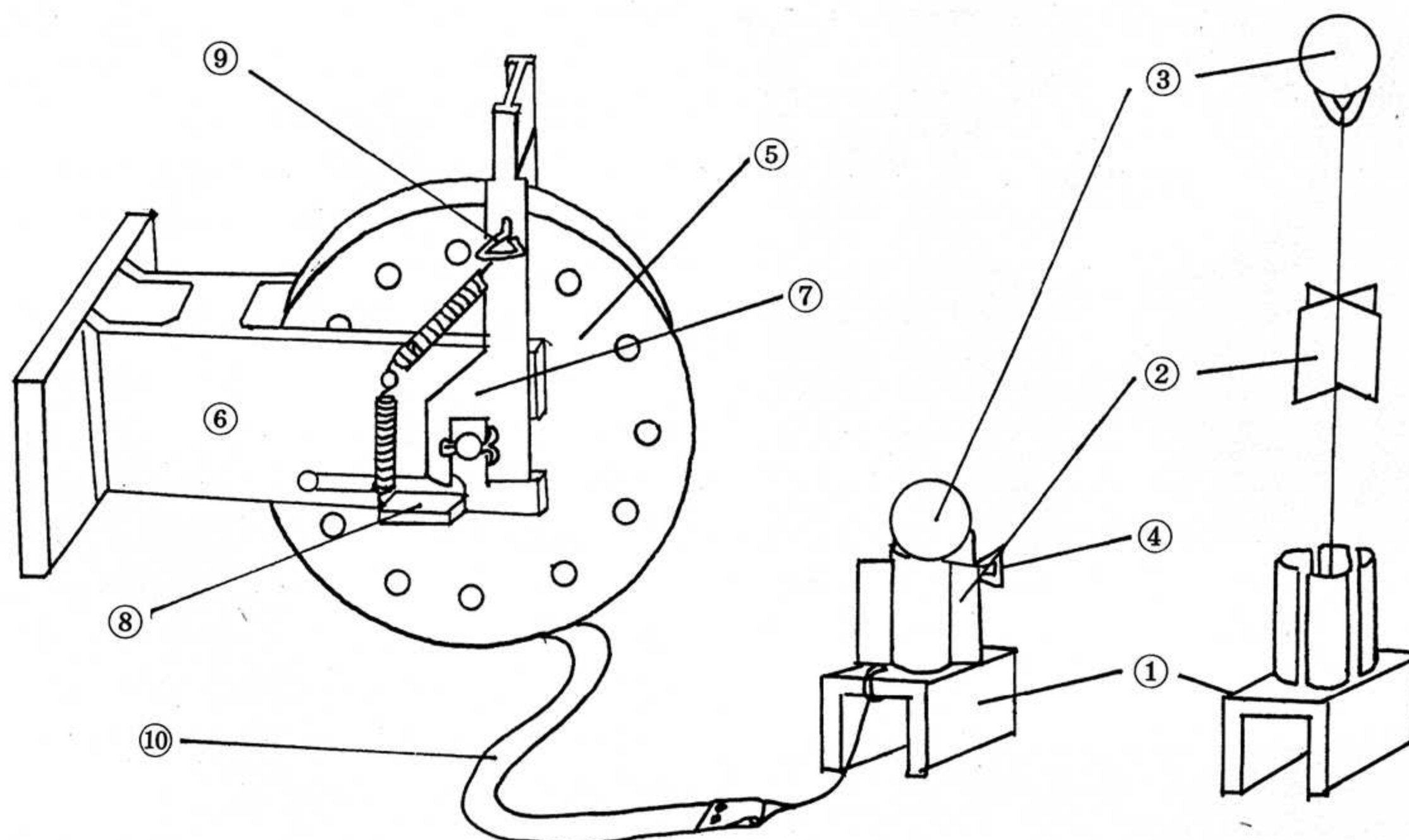
ガイドラインマーカーを海底に敷設するため、潜水機に取付ける装置で潜水機に装備されているマニピュレーターの補助操作によって作動させる。敷設装置はポイントマーカー、敷設装置本体、ガイドラインマーカー、敷設装置本体、ガイドラインマーカーから構成される（図1参照）。

### 2.1 ポイントマーカー

目標点に設置し発見を容易にし、⑩ガイドラインマーカーの先端を固定するものである。ポイントマーカーは①シンカー、②リフレクター、③ブイから成りこれらを長さ1.2 mの細いロープで結び、設置場所までの運搬を容易にするため①シンカーの筒状の部分にこれらが収納できる構造となっている。設置する際は、マニピュレーター操作で④ストッパーピンを外すことにより③ブイが浮いて展張する機構になっている（図1）。

### 2.2 敷設装置本体

⑩ガイドラインマーカーを巻いた⑤リールを保持し潜水機に固定するもので、展張の際はマニピュレーターの操作により⑨ストッパーピンを外し、潜水機を移動させて⑤リールを回転させることにより、⑩ガイドラインマーカーを巻き出して海底



- |                  |              |                      |                |                        |
|------------------|--------------|----------------------|----------------|------------------------|
| Point marker     | ① : Sinker   | ② : Reflector        | ③ : Buoy       | ④ : Stop pin           |
| Laying unit      | ⑤ : Reel     | ⑥ : Base plate       | ⑦ : Drop lever | ⑧ : Drop lever trigger |
| Guideline marker | ⑨ : Stop pin | ⑩ : Guideline marker |                |                        |

図1 ガイドラインマーカー敷設装置  
Fig.1 Guideline marker system

に敷設する。敷設終了後は⑦ドロップレバーの⑧トリガーを外して、⑩ガイドラインマーカーの終端が接続されている⑤リールを投棄する（図1，写真1）。

### 2.3 ガイドラインマーカー

海底に敷設しポイントマーカーへ潜水機を誘導するもので、先端から5 m毎にリングマークを印した軟銅製のテープである（写真2，3）。素材選択の理由として以下の様な事があげられる。

- ① 比重が大きい為、海底に沈み海中に漂うことがない。
- ② 厚さが薄いため長尺でも巻くとコンパクトになる。
- ③ 破断張力が適当であり、切れ目等が入ると極端に弱くなる。このため敷設中にプロペラ等に巻き込んだ場合には容易に切断することができる。
- ④ 海中で比較的視認し易い。

- ⑤ 容易に入手できる。
- 表1にその要目と特徴を示す。

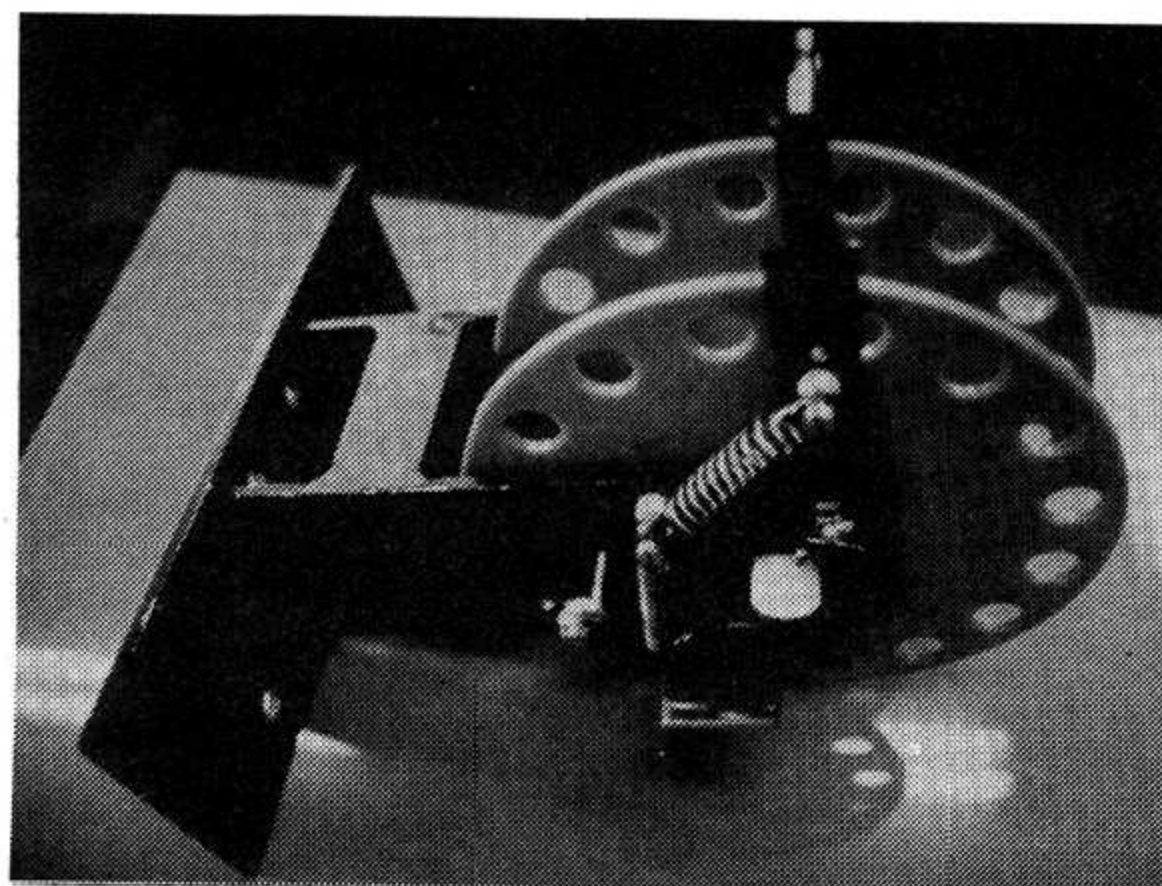


写真1 敷設装置  
Photo.1 A set of guideline marker laying unit

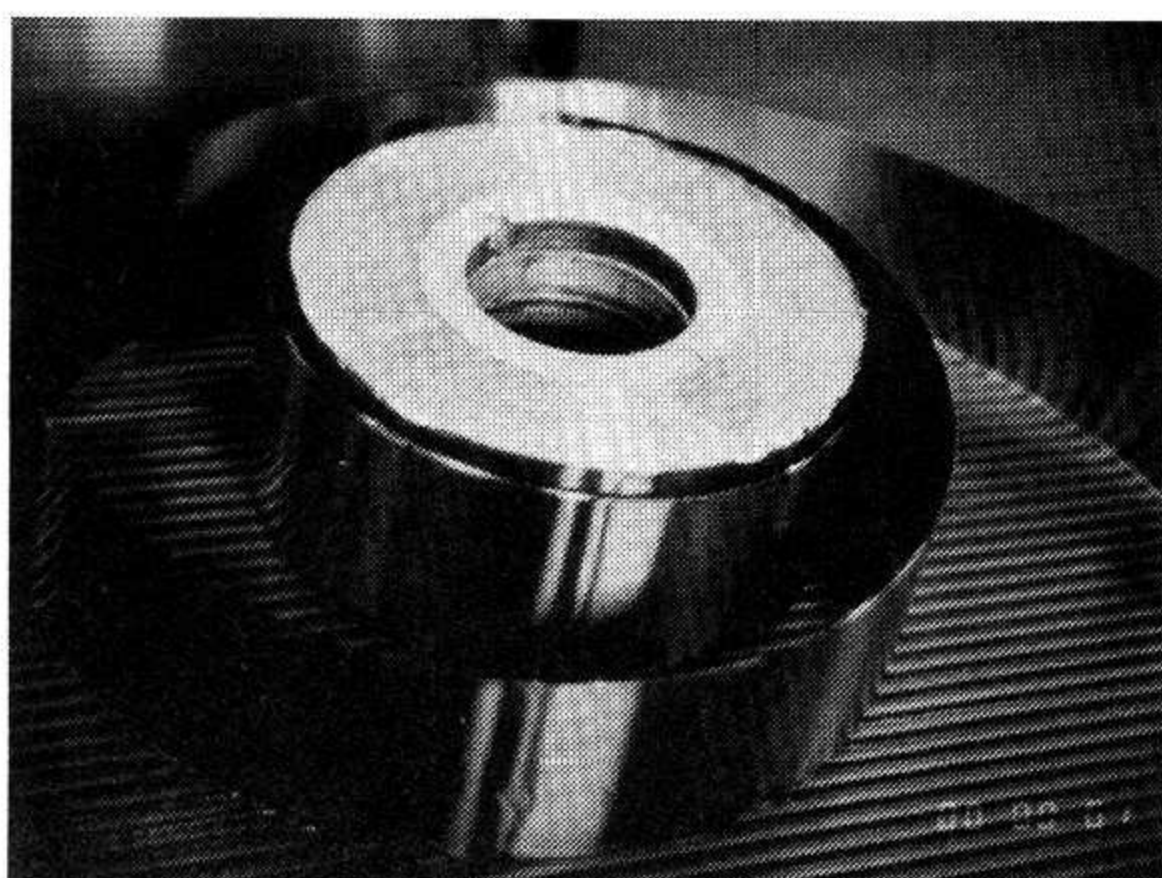


写真2 ガイドラインマーカー（軟銅テープ）  
Photo.2 Guideline marker (Cu tape)



写真3 ガイドラインマーカーに記された  
レングスマーク（マーク間隔：5 m）  
Photo.3 Length mark painted on the guideline marker  
(marking pitch : 5 m)

### 3. ガイドラインマーカーを用いた再接近の例

1988年8月及び10月、相模湾、沖ノ山堆南西部、水深 1100 m の海域（図2）に目標点を設定した。この付近は北東方向に約15°の昇り傾斜地であり、また以前からの調査により冷水湧出現象に伴う特異な生物群集の存在が確認されている場所である

（橋本他<sup>1)</sup>，1988）。今回はシロウリガイコロニーのひとつを目標点としシロウリガイの標識放流実験の一環としてガイドラインマーカーによる再接近方法が実験された。表2に示すように8月中は「ドルフィン-3 K」によって目標点へのポイントマーカーの設置、ガイドラインマーカーの敷設及び標識放流のための再接近を行った。10月には前半を「ドルフィン-3 K」、後半は「しんかい 2000」によって再接近を行った。

8月に実施した「ドルフィン-3 K」のNo. 32 DIVEでは目標点としたシロウリガイの群落に到着後、直ちにポイントマーカーを設置した（写真4）。次にビークル後進により約11分でガイドラインマーカーを敷設してリールと共に切り離した。確認のために行ったトラッキング航走ではリールの位置から目標点まで約5分で到達した。No. 33, 34, 35 DIVE ではいずれの場合もガイドラインマーカーの西側に着底して交差するコースをとり、予測された位置でマーカーを発見、速やかに目標点に到達した（図3）。この中でNo. 33, 34 DIVE では1日内の午前、午後に2回の潜航を行いシロウリガイ43個体を採取し、母船上で標識を取付けて1時間40分後に元の場所へ放流した（写真5）。8月

表 1 ガイドラインマーカーの要目と特徴  
Table.1 Dimension and characteristics of Guideline marker (Cu tape)

|                  |          |                             |          |
|------------------|----------|-----------------------------|----------|
| 長さ<br>Length     | 100 m    | 比 重<br>Specific gravity     | 8.89     |
| 厚 さ<br>Thickness | 0.085 mm | 破 断 張 力<br>Breaking tension | 93.5 kgf |
| 幅<br>Width       | 50 mm    | 重量<br>Weight                | 4.0 kg   |

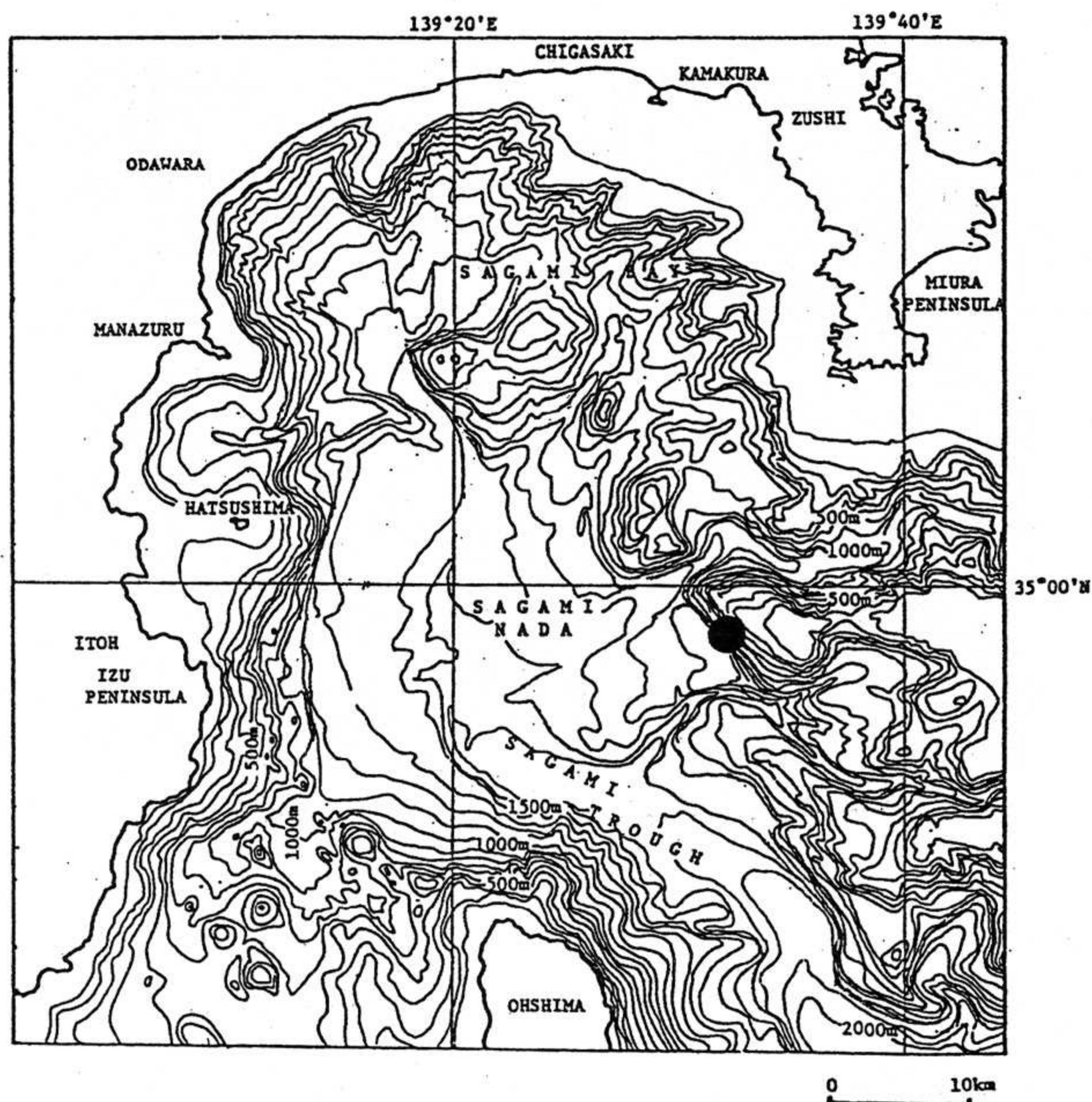


図2 ガイドラインマーカー試験海域  
Fig.2 Location of guideline marker trial area

表 2 潜航調査の目的  
Table.2 Misson of dive reserch

| 潜 航 番 号<br>Dive No.   | 日 付<br>Date | 潜 航 目 的<br>Dive misson |
|-----------------------|-------------|------------------------|
| ドルフィン-3K No.32 Dive   | 1988年8月8日   | 目標点設置                  |
| ドルフィン-3K No.33 Dive   | 1988年8月9日AM | 標識放流の為の再接近             |
| ドルフィン-3K No.34 Dive   | 1988年8月9日PM | 標識放流の為の再接近             |
| ドルフィン-3K No.35 Dive   | 1988年8月10日  | 放流後の観察                 |
| トランスポンダ再設置            |             |                        |
| ドルフィン-3K No.38 Dive   | 1988年10月11日 | 標識放流の為の再接近             |
| ドルフィン-3K No.39 Dive   | 1988年10月14日 | フィールド実験容器の設置           |
| しんかい 2000 No.372 Dive | 1988年10月24日 | 経過観察及び周辺調査             |
| しんかい 2000 No.373 Dive | 1988年10月25日 | 沖ノ山堆地質調査               |

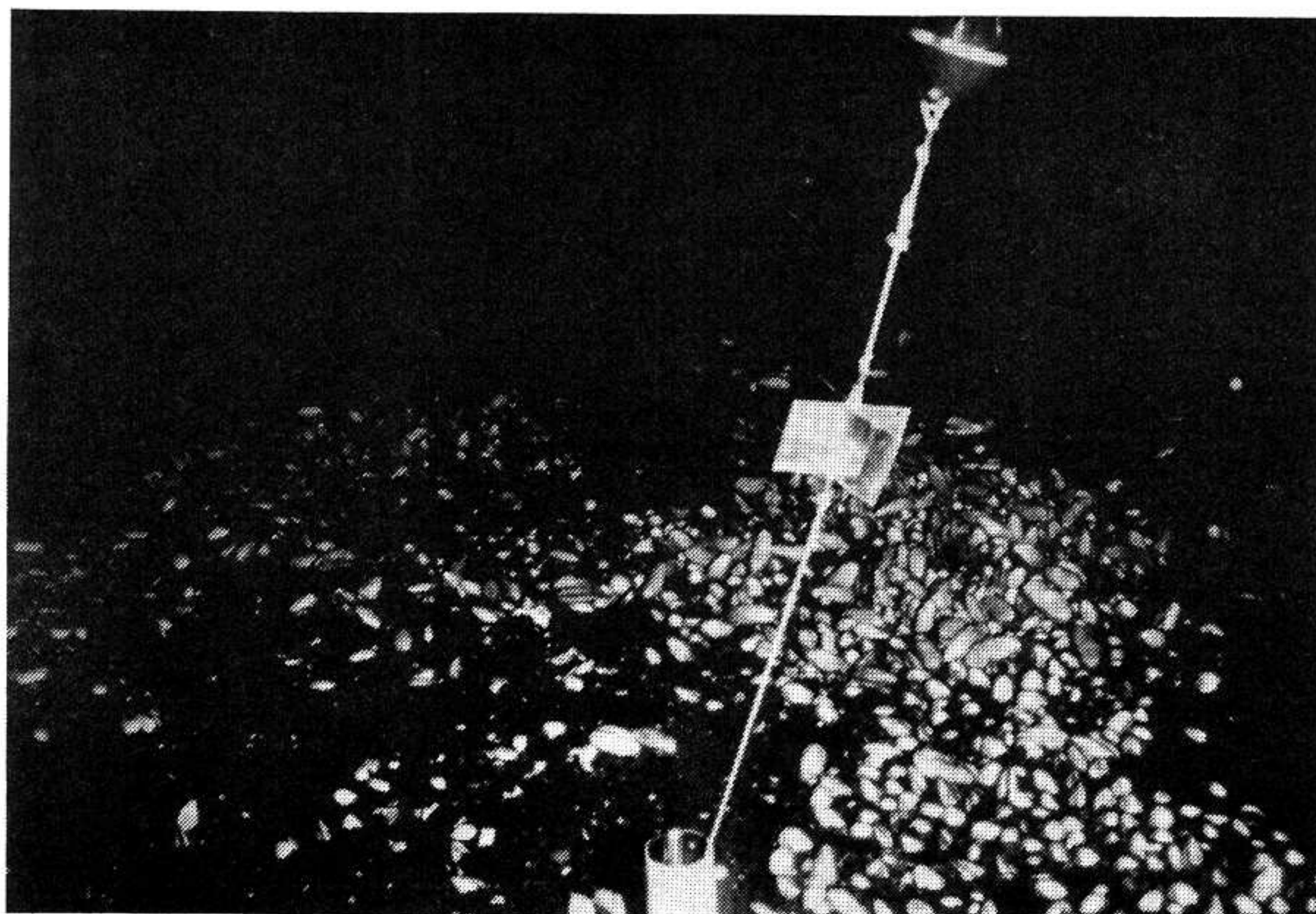


写真4 目標点に設置されたポイントマーカー  
Photo. 4 Point marker settled at target Point

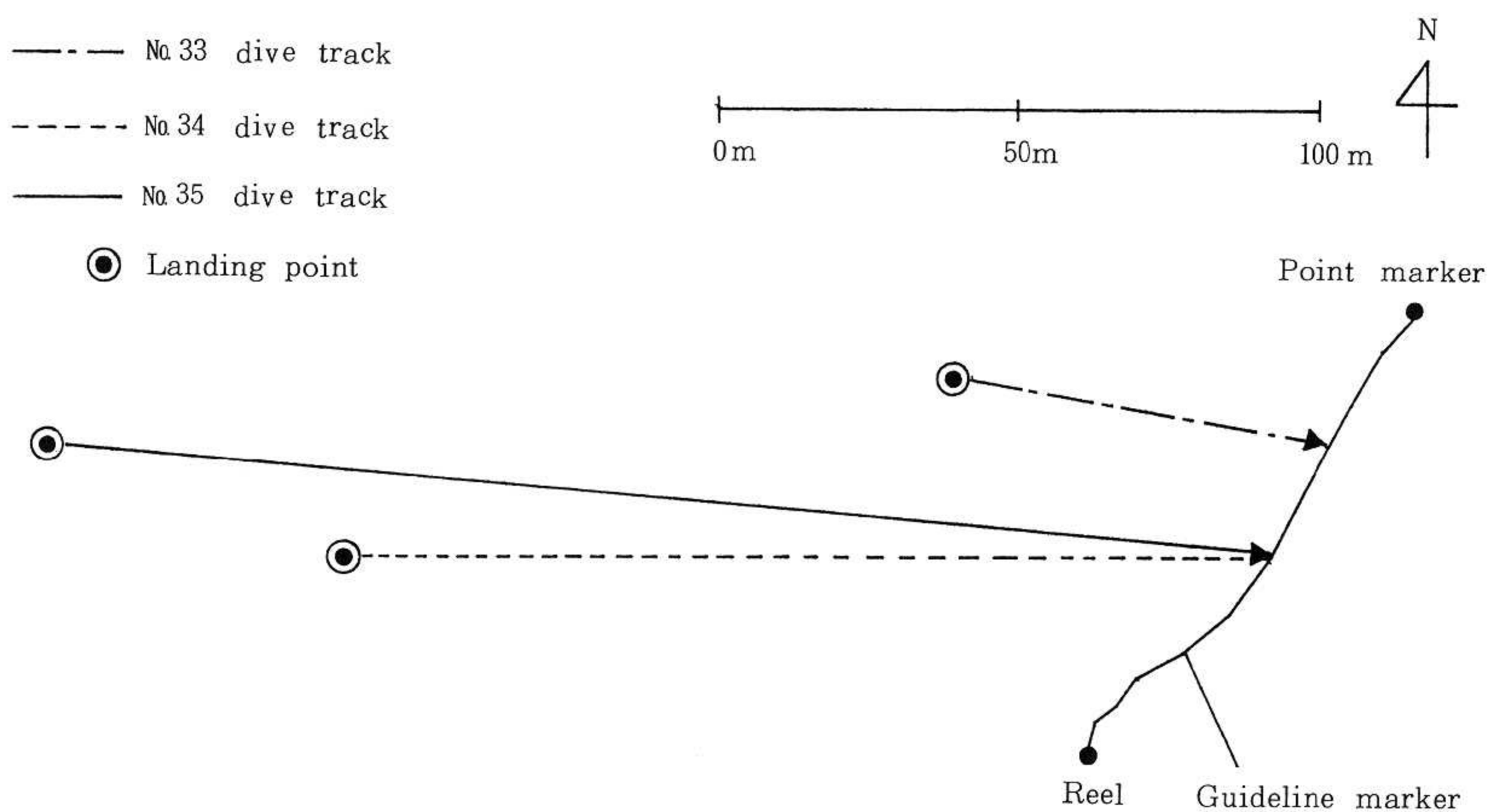


図3 “ドルフィン-3K” No. 33～35潜航 再接近航跡  
Fig.3 Point approach tracks at No. 33 to 35 dives of “DOLPHIN-3K”



写真5 標識放流されたシロウリガイ  
Photo. 5 *Calyptogena soyoae* marked and released

の調査終了後トランスポンダは揚収され10月の潜航調査にあたって、トランスポンダを再設置したため「ドルフィン-3 K」No. 38 DIVE ではガイドラインマーカーの発見に手間取った。「しんかい2000」No. 372, 378 DIVE ではミッション途中の通過点としてガイドラインマーカーを利用した接近を行い、目標点に到達した。

#### 4 ガイドラインマーカーの敷設

「ドルフィン-3 K」No. 32 DIVE に於いては自動操縦モードの自動方位保持 (Automatic Yawing Control) で船首方位を現場の登り傾斜に沿って40°に設定し、不用意な海底との接触を未然に防止するため、下り傾斜方向に敷設した。また、上昇、下降用スラスターへガイドラインマーカーが巻き込むのを防止する為と、テレビカメラで敷設の様子が確認し易いためビークル後進によって敷設を行った。しかし、後進開始と同時にテザーケーブルの巻き込みが行われたため、外力の添加によりAYCは充分機能しなくなり左右40°~50°の船首の振れをおこした。さらに泥の巻き上げによる視界不良を予測して、高度2~3 mを保持す

るつもりであったが、同様の原因から高度は10 m以上にもなり、ビークルの上下方向の運動に関してはケーブルの巻き込みを停止する敷設終了直前まではほとんどコントロール不能であった。軟銅テープは長尺では適度の柔軟性を持ち、海底に落ちつくまでに展張されたガイドラインマーカーの海底点 (接地点) と、ビークル側の展張開始点リールとが張りつめて直線状になる様子が観察された。このためビークルの船首変動の度合いよりは、敷設されたガイドラインマーカーの曲折は少なかった。なお最終的に確認したポイントマーカーの位置は、(34°-58.27' N, 139°-31.70' E 水深1110 m)であり末端のリール位置は、(34°-58.24' N, 139°-31.69' E 水深1132 m)であった。

#### 5 考 察

##### 5.1 ガイドラインマーカーの効果

表3に示すとおりNo. 32~35 DIVEでは、着底点から目橋到達までの時間からして、いずれも順調にガイドラインマーカーを利用して目標点への到達を果たしている。しかし海底設置トランスポ

表 3 ドルフィン-3K No.33~39 DIVE 再接近データ  
Table.3 Point approh data at No. 33 to 39 dive of "DOLPHIN-3K"

| 潜航番号<br>Dive No. | 着 底 点<br>(ラインからの距離)<br>Location of landing<br>point.<br>(Distanc from guide-<br>line marker) | 接近方位<br>Approach<br>direction | ライン発見まで<br>の 時 間<br>Time for finding<br>out the guidelin-<br>e marker. | 発見場所<br>Find out<br>location<br>of guid-<br>eline ma-<br>rker. | 着底から目標点到達<br>までの時間<br>Time for arrival<br>to be target po-<br>int. |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 33DIVE           | 60 m                                                                                         | 110°                          | 1分53秒                                                                  | 30 m                                                           | 3分27秒                                                              |
| 34DIVE           | 150 m                                                                                        | 90°                           | 9分09秒                                                                  | 55 m                                                           | 11分40秒                                                             |
| 35DIVE           | 200 m                                                                                        | 95°                           | 5分14秒                                                                  | 55 m                                                           | 7分40秒                                                              |
| 38DIVE           | 300 m                                                                                        | 90°                           | 68分20秒                                                                 | 20 m                                                           | 74分15秒                                                             |
| 39DIVE           | 100 m                                                                                        | 340°                          | 19分15秒                                                                 | 80 m                                                           | 28分35秒                                                             |

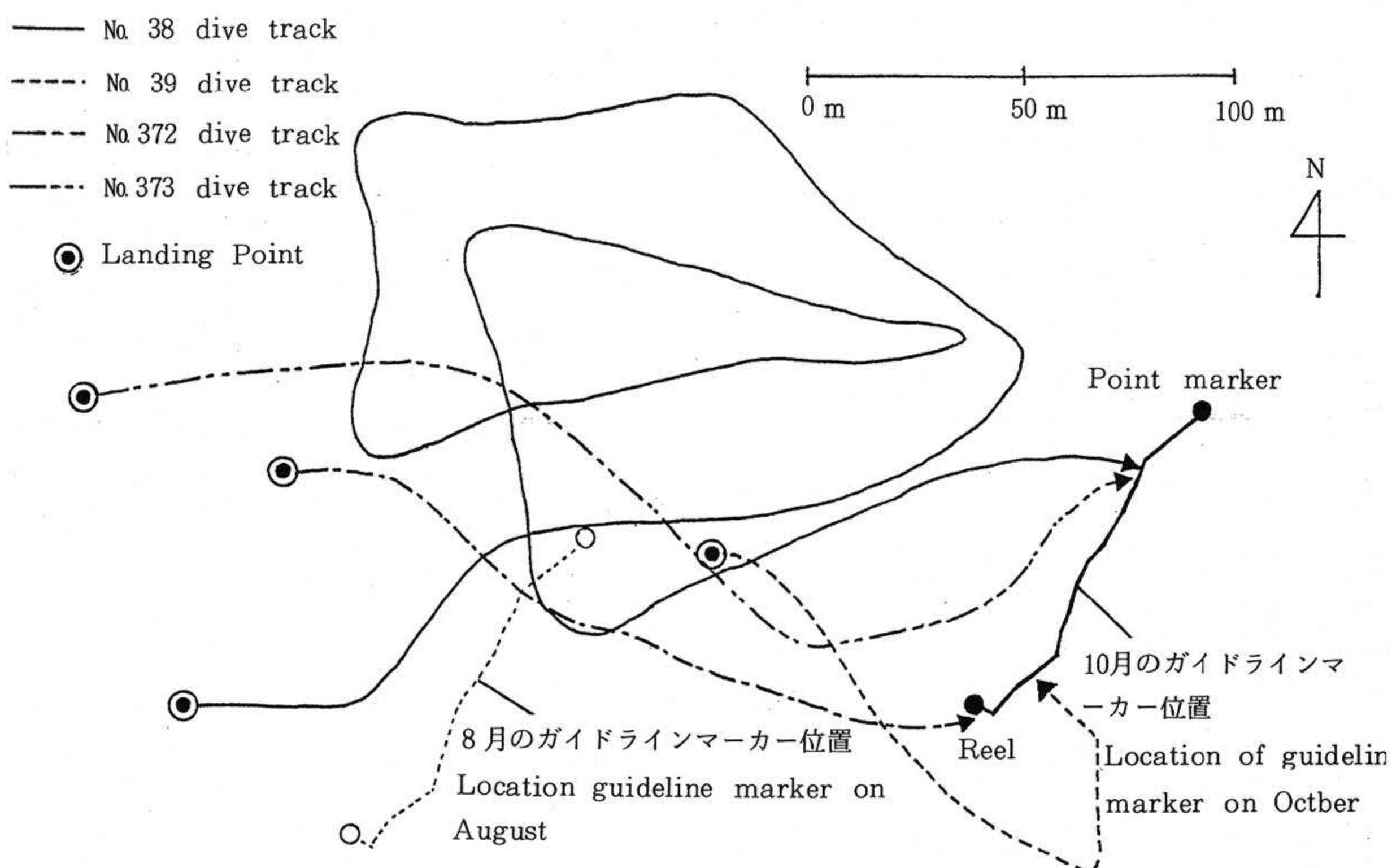


図4 “ドルフィン-3K” No. 38.39 潜航  
“しんかい 2000” No. 372.373 潜航 再接近航跡  
Fig.4 Point approach tracks at No. 38 and 39 dives of "DOLPHIN-3K"  
and No. 372 and 373 dives "SHINKAI 2000"

ンダ再設置後、最初の No. 38 DIVE はガイドラインマーカーの位置をなかなか掴めず、図4のような航跡を描いてガイドラインマーカー発見までに1時間余りを費やした(表3)。航跡が8月の測位系で確認していたガイドラインマーカーの位置よりやや北より偏位しているのは、着底直後の水深データによってガイドラインマーカーの位置のズレを推察したためであり、この場所のような一般的な傾斜地では、目標点の水深情報は等深線と直交方向に関して、ある程度の位置判断の材料となった。8月と10月での測位系の相対的な誤差による位置のズレは航跡図上で東北東方向へ約150mととなって表れた。今回、ビークルが着底して停止中に表示された音響航法SSBL方式の測位のばらつきは、約直径50mの範囲であり(図5)、相模湾内で地域湾内で地域補正を行ったロランCで得ら

れる母船測位誤差界は、ほぼ直径200m以内(加藤<sup>2)</sup>, 1988)といわれている。従ってこの海域では、単純にこれらが相対的に最悪に作用した場合トランスポンダの再設置によって、最大250m程度の位置ズレを起こす可能性がある。また、同一の測位基準を使用した「ドルフィン3-K」No.32~35 DIVEとNo.39 DIVE, 「しんかい2000」No.372, 373 DIVEでは大きな位置ズレは無く、比較的順調に目標点に到達していることから、この位置ズレは測位基準点を決定する際の母船の電波測位誤差及び、キャリブレーション作業に起因するものと思われる。各潜航の持つミッションの都合や、無人探査機と有人潜水船での基本的な海底での移動速度の相違等により、いちがいに消費時間だけでその効果を判断する訳にはいかないが、少なくとも同一測位基準ではガイドラインマーカー

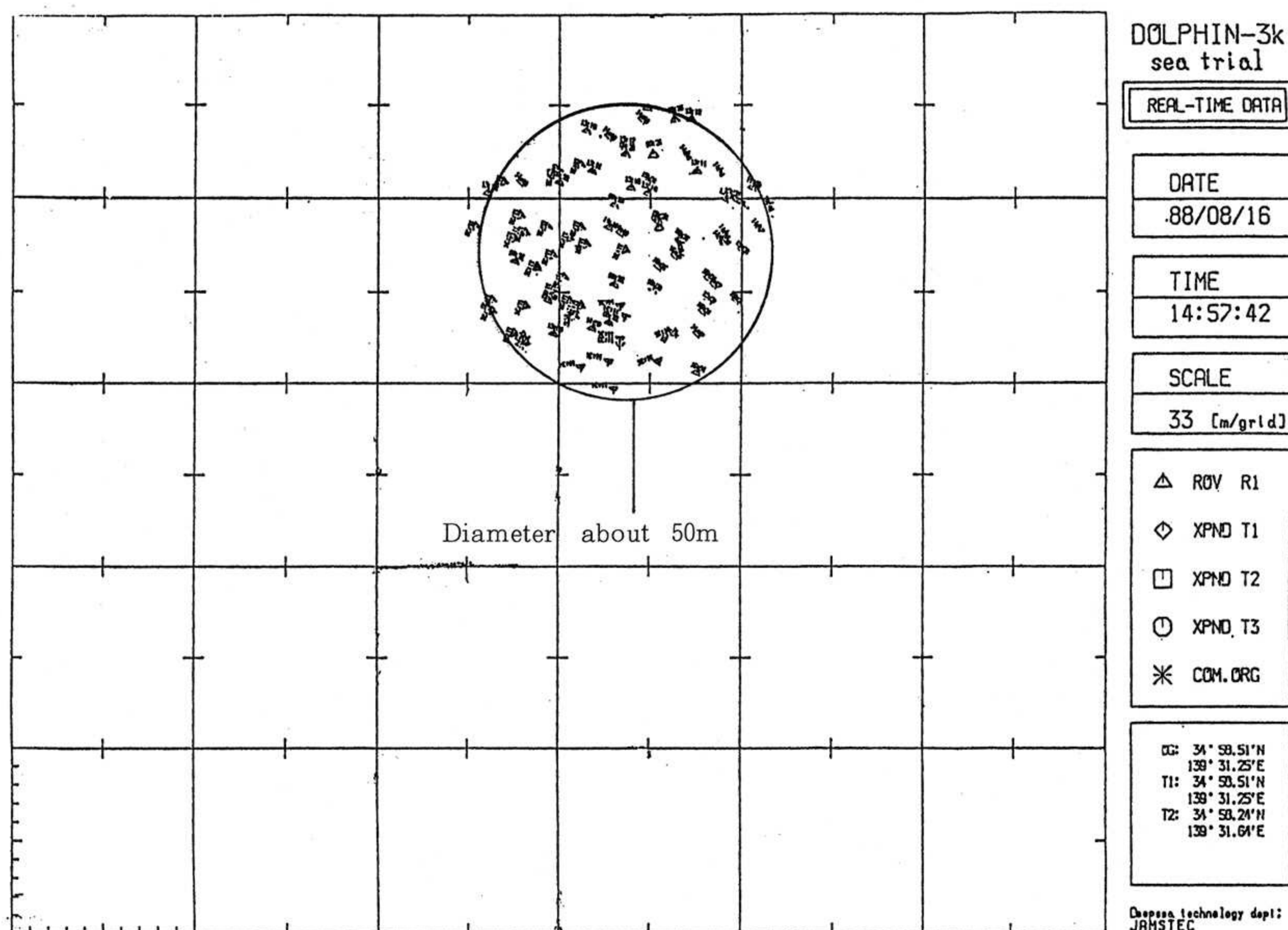


図5 “ドルフィン-3K”着底停止中の音響測位表示  
Fig.5 Data plot of the position of “DOLPHIN-3K” while it stayed at certain point on the sea floor

方式の有効性を確認することができた。

## 5.2 ガイドラインマーカーの移動

「ドルフィン-3 K」No. 32~35 DIVEで撮影したビデオ記録を使ってビークル方位、カメラパン角度、画面上でのラインの傾斜角度から5 mごとの展張方位を求めレンジスマークに照合して、敷設されたガイドラインマーカーの平面図を作成した。さらにラインに沿ってビデオ記録で観察された底質情報や特徴的な岩石を不動の指標としてこの上に重ねた(図6)。これによると、8月のNo. 32~35 DIVEの3日間ではガイドラインマーカーの移動は全く認められなかった。しかし2ヶ月後の10月のNo. 38 DIVEでは、同じ方法で平面図を作成し、先端目標点を不動として8月のものと重ねる

と、図6に示す様にガイドラインマーカーの軌跡が異なっており指標とした岩石等との位置関係からみても明らかな移動が確認された。これによると先端のポイントは全く動いていなかったが50 m付近では西側に7~8 m動いており、70~80 m付近では岩の指標R3, R4に引っ掛かっていた(写真6.7)。終端のポイントとしたリールの位置も北北東方向へ10 m程度移動していた。この付近で観測された「ドルフィン-3 K」及び「しんかい2000」の流向、流速の情報では明らかに変化が見受けられる。しかしガイドラインマーカーの移動状態からすると「しんかい2000」373 DIVEのビデオ記録で観察された110°方向から概ね0.3~0.4ノットの潮流による影響が最も大きい

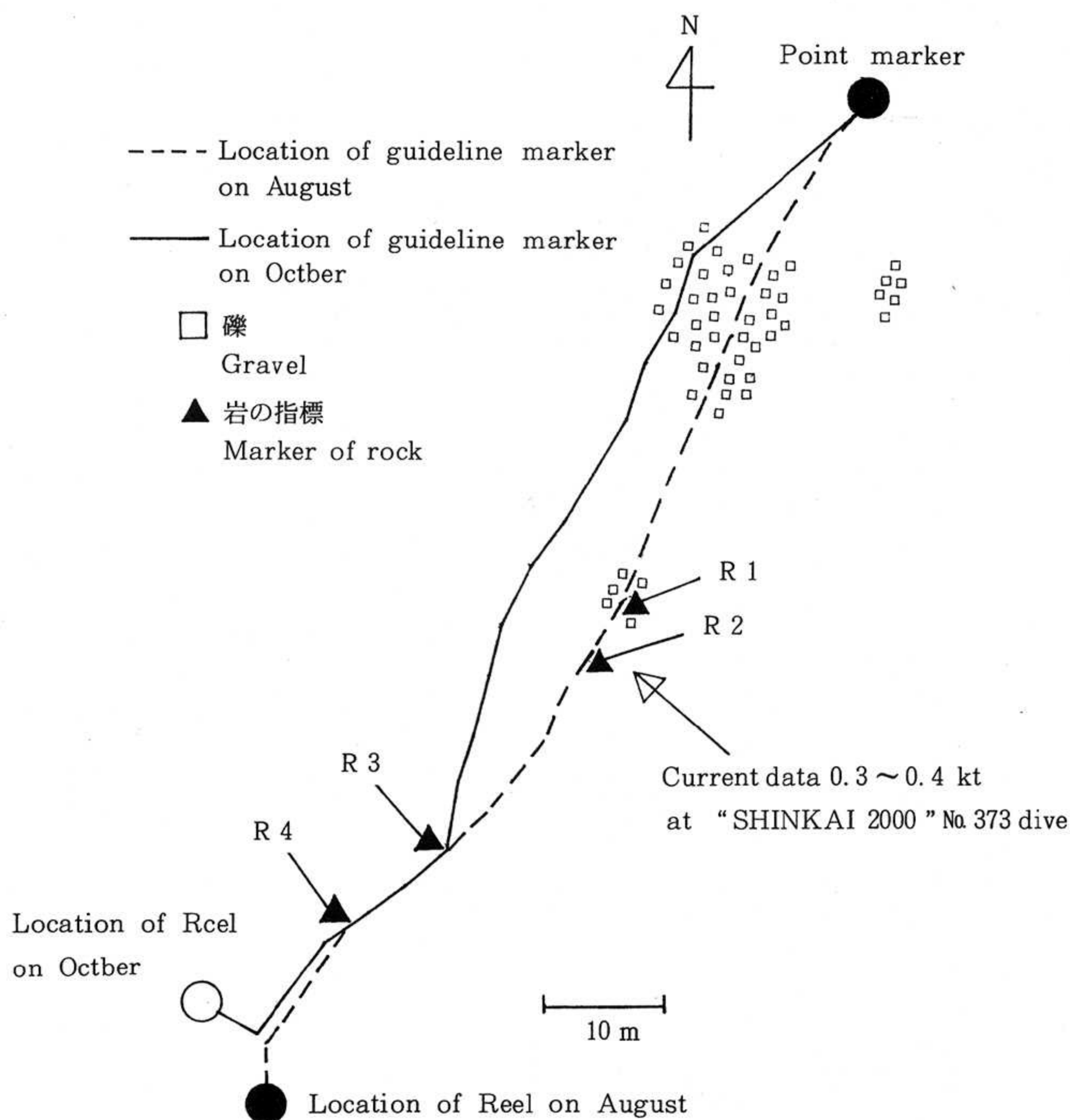


図6 8月と10月のガイドラインマーカーの位置  
Fig.6 Location of guideline marker on August and October



写真6 ガイドラインマーカー72 m付近の岩の指標「R3」  
 Photo. 6 The rock named "R3" at 72 m on the  
 guideline marker



写真7 ガイドラインマーカー78 m付近の岩の指標「R4」  
 Photo. 7 The rock named "R4" at 78 m on the  
 guideline marker

ものと思われる。ガイドラインマーカーは敷設された当初、大部分の場所で海底に張りついており、比重も大きいことから潮流の影響は受けにくいと判断していた。しかし、付近を幾度もトラッキング航走する「ドルフィン-3K」のスラスト伴流で

あおられて捻じれを起こすのが観察され、流れに対して抵抗が増加し移動に到ったものと思われる。流速は時にはもっと速くなるのかも知れず、また移動が止まったという判断もつかないため、さらに今後の経過を観察する必要がある。

### 5.3 ガイドラインマーカーの腐食

敷設から2ヶ月後のガイドラインマーカーは表面の酸化が深み青緑色に変色しており、ラインに印した空色のレングスマークの判別が甚だ困難であった。変色は酸化銅の析出によるものと思われるがその様子は一様ではなく、ラインの表側（敷設状態で上面）が裏面に比べて変色の度合いがひどく、また特にシロウリガイのコロニー内はそれ以外の場所に比べて変色が少ない傾向を示した。これはシロウリガイの生息場所の特徴である還元的な環境（酒井他<sup>5)</sup>，1987）によるものと推察される。

一般に、静海中における銅の腐食速度は0.02～0.1mm/年程度と言われているが、溶存酸素量、pH、水温、バクテリアその他触媒の存在等、環境条件により大きく変化する（岡本<sup>4)</sup>，1988）。また実際には静海中で使用する訳ではないので、当初から腐食速度を予測することは困難と思われ、実海域に敷設経過を観察することにした。少なくとも2ヶ月間では変色はしていたが、腐食孔や破断は観察されておらず再接近に際しての支障はなかった（写真）。同素材の軟銅テープを表層流海水中に曝した場合は1週間で全体が青緑色に変色、約2ヶ月で径2mm程度の腐食孔が局部にあき、それが徐々に大きく又多くなり、5ヶ月目ではちぎ

れてしまった。従ってこの場所では表層海水中に比べて腐食速度は極めて遅いものと思われる。

### 6. 今後改善すべき点

以上のことからガイドラインマーカーについては次の様な改善の必要があると思われる。

- ① 測位系の変更を含めた位置のズレに対応する為に、長さの延長、多方向への敷設ネットワーク化等、敷設規模の拡大が必要である。
- ② 潮流による移動を防ぐ為、所々に重りを置くなど移動防止の処置が必要である。また、リールの素材をMCナイロンから比較的重いアルミに変更する。
- ③ 腐食に対しては、先ず敷設されたガイドラインマーカーがどれくらいの時間経過で切断に至るか把握する。また、腐食に強い素材の検討を行う。

### 7. おわりに

無人探査機「ドルフィン-3K」、潜水調査船「しんかい2000」合わせて8回の潜航全てにおいて目標点に到達でき、ガイドラインマーカーによる同一ポイントへの再接近方法は有効であることが確認された。特に、測位系の変更（トランスポンダの再設置）がなければ、この方法は極めて簡



写真8 ガイドラインマーカーの腐食  
Photo. 8 Corrosion of guideline marker

単で効果的な再接近方法といえる。また、現用のガイドラインマーカー素材でも、一度敷設すれば2ヶ月間程度なら利用できることが確認できた。リングスマークを印したガイドラインマーカーは海底におけるひとつのメジャーとして、また金属腐食による環境識別の指標として、観測や調査にも利用できる可能性が見出された。しかし敷設後のガイドラインマーカーの移動と腐食による切断、地形が複雑な場所では利用しにくい、と言う検討課題もあり随時改良して実際のオペレーションで活用するつもりである。なお、敷設されたガイドラインマーカーは海域に残っており、今後継続して行われる潜航調査でも目標点への再接近を促す、深海の道しるべとして機能することを期待している。一方、異なった再接近の方法として現在、誘導用の小型ピンガーを使用した音響による誘導技術も開発中である。

本報告を行うに当たり惜しめない協力を頂いた運航部無人探査機操縦班、「しんかい2000」運航チーム、「なつしま」乗組員、さらに原稿執筆に当たりアドバイスを頂いた、深海開発技術部第3研究グループ諸氏に、この紙面を借りて感謝を申

し上げる。

#### 参考文献

- 1) 橋本 惇・松沢誠二・堀田 宏：“相模湾沖ノ山堆における深海生物群集の探索”，第4回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書，pp.177-188，(1988)
- 2) 加藤 洋：“電波航法ノート”，日本海洋事業株式会社，pp.32-47，(1987)
- 3) 酒井 均・蒲生俊敬・遠藤圭子・石橋純一郎・柳沢文孝・日下部実・赤木 右・石塚明男・子寺雅子・五十嵐丈夫・石井輝秋・太田 秀：“しんかい2000による相模湾初島沖シロウリガイコロニーの地球化学的研究”，海洋科学技術センター試験研究報告，第3回「しんかい2000」研究シンポジウム，pp.75-90，(1987)
- 4) 岡本 剛・井上 勝：“三訂 腐食と防食”，大日本図書株式会社，pp.80-89,109-113，(1988)

(原稿受理：1989年4月28日)