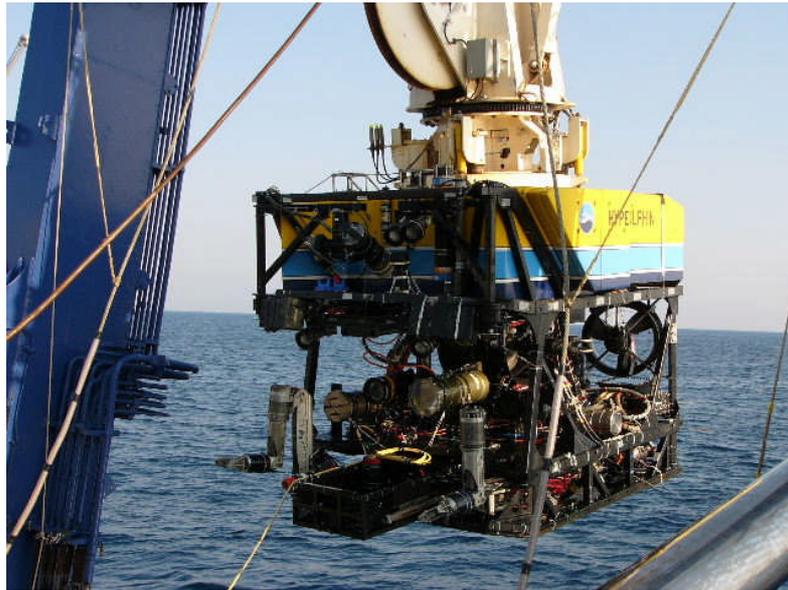


ROV「ハイパードルフィン」調査潜航 Dive#825-828

支援母船「なつしま」NT08-08 調査航海

クルーズレポート



(遠州灘・豊橋沖)

海洋研究開発機構

地球内部変動研究センター

目 次

1. 調査研究の目的および概要 / Purposes and Proposal (後藤)
 2. 調査日程 / Cruise Log
 - 2-1. 調査海域図 / Survey Area and Map (後藤)
 - 2-2. 航海ログ / Ship Log (南澤)
 - 2-3. ROV 潜航概要 (後藤)
 3. 乗船者リスト / Participants (南澤)
 - 3-1. 研究者 / Onboard Scientists and Marine Technician
 - 3-2. 乗組員 / Crew and Operation Team
 4. 装置の概要・予察的結果 / Instruments and Initial Result
 - 4-1. OBEM (後藤)
 - 4-2. ROV ホーマを用いた海底測量 (伊藤)
 - 4-3. MORSE : 現場比抵抗測定計 (笠谷)
 - 4-4. EFOS : 地球電場観測装置 (後藤)
 5. まとめと今後の研究計画 (後藤) / Summary and Future Plan
- 謝辞 / Acknowledgement

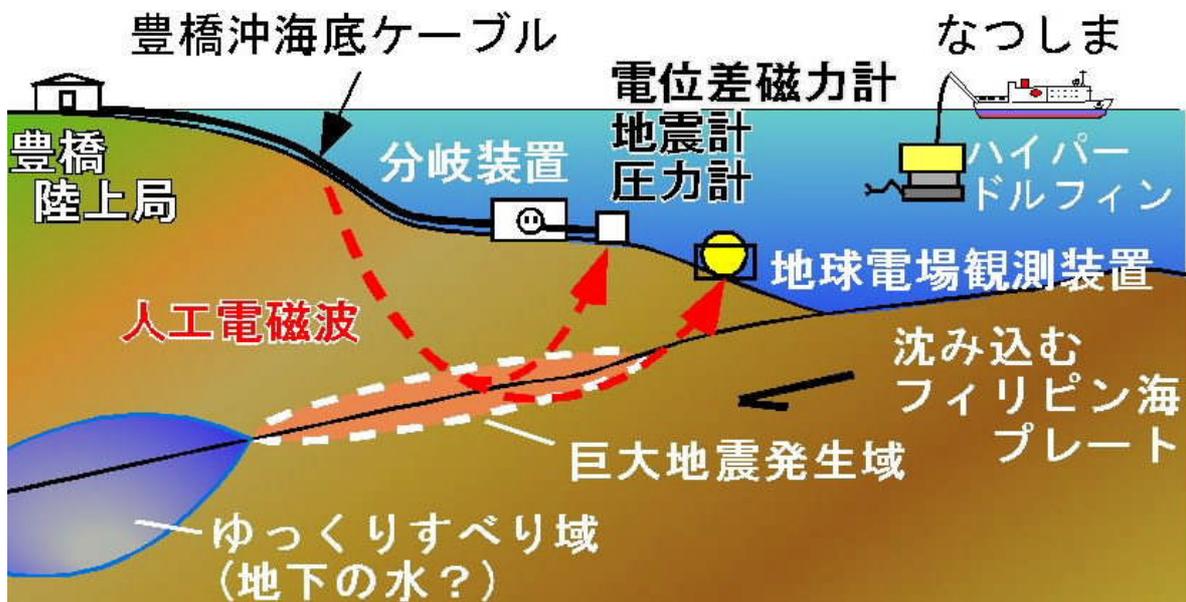
1. はじめに

NT08-08 航海では、平成 20 年度深海調査研究の一般公募に基づいて採択された以下の課題について、支援母船「なつしま」及び無人探査機「ハイパードルフィン」による調査研究を実施する。実施期間は平成 20 年 4 月 18 日（金）～平成 20 年 4 月 23 日（水）までの 6 日間である。

課題提案者：後藤忠徳（海洋研究開発機構 地球内部変動研究センター）

課題名：「豊橋沖海底ケーブル付近の地球電磁場観測装置回収および広帯域地震計接続」

NT08-08 航海は、これまでの 5 回の航海（NT07-01, NT07-03, KPL による 2007 年 3 月航海、NT07-06、NT07-14）によって構築された豊橋沖海底ケーブルステーションでの海底長期観測に関する調査研究を実施する。これらの一連の調査目的は、東海地震想定震源域直上の海底における、地震・地殻変動・地下水流動およびそれに伴う諸現象の検出・解明である。調査海域図（2-1）に示すように、豊橋沖海底ケーブルは東海沖のプレート間固着域をまたいで海底に敷設されている。その先端は固着域のトラフ側端部に位置しており、陸側と海側のプレート境界断層の固着域～すべり域の境目にあたる。このような領域では、すべり域での発生した歪みが固着域縁辺部に蓄積しているため、巨大地震発生に伴って（あるいはその前後で）海底下の状態が最も大きく変化すると期待される。従って豊橋沖海底ケーブルステーションでの海底長期観測は、巨大地震発生に伴う諸現象の検出に最適な場所であり、さらに多項目の連続観測を行うことにより、巨大地震やそれに伴う諸現象発生のメカニズム解明が進むと期待される。



豊橋沖海底ケーブルステーションを軸とした、
海底観測（自然信号観測および人工電磁探査）の概念図

NT08-08 航海では、長さ約 60km の豊橋沖海底ケーブルそのものを人工電流送信アンテナとして利用した人工電磁気探査を行う。電流送信は豊橋陸上局に設置した人工電流可変装置により行う。送信信号は正弦波であり、周期は 120 秒である。この信号を地球電場観測装置（EFOS）2 台によって受信す

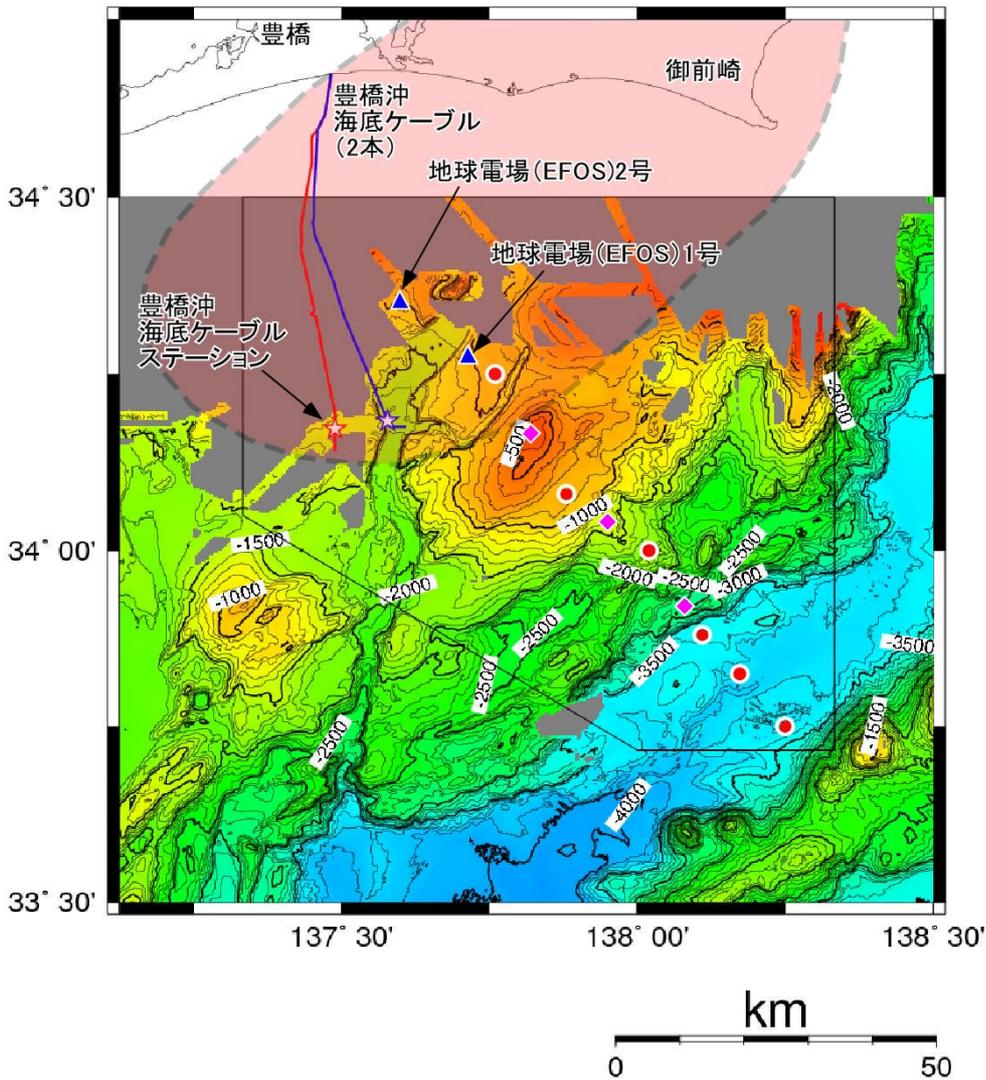
る。EFOS は既に NT07-06 航海（2007 年 4 月）で海底に設置されたものである。残念ながら EFOS は海底ケーブルに接続はされていないオフライン機器であるが（自己記録式、電池内蔵）、1 年間にわたって連続して、自然および人工的な電磁場信号を記録している。NT08-08 航海ではこれらの 2 台の EFOS の回収を実施する。回収されたデータを解析することで、海底下の地殻の電気伝導度構造（電気の通りやすさ＝地下水の分布）およびその時間変化の議論が可能となる。

また NT08-08 航海では自己浮上式の海底電位差磁力計（OBEM）1 台も設定する。EFOS 2 台は 1 年前に設置を行ったため、その機器特性に若干変化がある可能性がある。また電池切れや浸水などによりデータ取得ができていないことも考えられる。OBEM は海底環境での検定および豊橋沖海底ケーブルからの人工電流受信を目的として、本航海で設置し、数日間海底データを取得した後に回収する予定である。

さらに NT08-08 航海では、豊橋沖海底ケーブル先端から送信されている人工電流が、海底のどの程度の範囲まで、どの位の強度で届いているかを調べるために、ハイパードルフィンに電位差計を搭載して豊橋沖海底ケーブルステーション付近へ潜航させる予定である。これによって、人工電流信号が正しく海底に送信されているかを確かめると共に、得られたデータから海底下浅部（～数百 m）の電気伝導度構造の推定を試みる。このようなハイパードルフィンを用いた機動的な観測は、豊橋沖海底ケーブルステーションでの連続観測記録の解釈を行うときに、必要となる情報である。また人工電流信号をハイパードルフィンで受信する際には、NT07-06 航海で使用した現場比抵抗測定装置を使用する。この装置は海底下のごく浅部（～数 m）の電気伝導度を測定する能力を本来有しているため、人工電流信号受信時には、同時に海底下ごく浅部の電気伝導度測定も実施する。

なお本課題名に含まれる「広帯域地震計接続」は当初予定されていたものの、接続予定であった広帯域地震計に不具合が発生したため、見送られた（広帯域地震計は 2008 年 1 月まで相模湾に設置されていたものであり、これを本航海で豊橋沖海底ケーブルステーションへ接続予定であったが、水平動へ異常があったため現在メーカーにて調査中である）。

2-1. 調査海域図



●が海底電位差磁力計（OBEM）の設置点、◆が海底電位差計（OBE）の設置点（2007年に設置、全台回収済み）。▲が地球電場観測装置1号、2号の設置点。赤☆が豊橋沖海底ケーブルステーションの位置。波線で囲まれた赤いエリアが、陸上GPSネットワークから求められたプレート間固着域、台形は本航海の調査海域。

潜航ポイントは以下のよう。

- Dive #825, 826 : 豊橋沖海底ケーブルステーション分岐装置 (34-10.466°N、137-29.337°E)
- Dive #827 : 地球電場観測装置2号 (34-20.994°N、137-35.997°E)
- Dive #828 : 地球電場観測装置1号 (34-16.503°N、137-42.726°E)

NT08-08 Shipboard Log & Ship Track 1/1				Position/Weather/ Wind/Sea condition
Date	Time	Description	Remarks	
18Apr08	9:00	研究者乗船@「なつしま」		12:00(GMT+9h)
	10:00	清水港出港、調査海域へ向け発航	遠州灘へ向け発航	34-43.0N,138-22.7E
	10:30-11:00	船内生活レクチャー		Overcast
	16:00	調査海域着(遠州灘)		NE-5(Fresh breeze)
	16:03	XBT計測(D=1061m)	34-19.9103N, 137-37.1411E	Sea moderate
	16:51	OBEM投入	34-20.9601N, 137-36.0304E	
	18:00-19:20	研究者ミーティング		
	19:06	漂泊開始		
19Apr08	6:44	XBT計測(D=1335m)	34-10.2502N, 137-28.5743E	12:00(GMT+9h)
	13:00	海況不良のため、HPD潜航調査中止		34-16.0N,137-23.0E
	16:00	漂泊開始		Fine but cloudy
				NNW-8(Gale) Sea rough
20Apr08	4:30	漂泊終了、潜航地点へ向け発航		12:00(GMT+9h)
	7:00	潜航地点着		34-16.0N,137-23.0E
	8:06	HPD着水	Dive#825	Fine but cloudy
	9:15	HPD着底(D=1312m)	34-10.470N, 137-29.369E	NW-4(Moderate)
	13:23	HPD離底(D=1314m)	34-10.463N, 137-29.335E	Sea slight
	13:59	HPD浮上		
	14:11	HPD揚収完了		
	14:25	浜名湖沖へ向け発航		
	17:00	漂泊開始		
21Apr08	4:45	漂泊終了、潜航地点へ向け発航		12:00(GMT+9h)
	7:00	潜航地点着		34-10.5N,137-29.3E
	8:17	HPD着水	Dive#826	Fine but cloudy
	9:18	HPD着底(D=1313m)	34-10.475N, 137-29.304E	NW-4(Moderate)
	15:24	HPD離底(D=1314m)	34-10.468N, 137-29.455E	Sea slight
	16:07	HPD浮上		
	16:19	HPD揚収完了		
	18:00	漂泊開始		
22Apr08	2:30	OBEM設置地点へ向け発航		12:00(GMT+9h)
	6:00	OBEM設置地点着		34-16.5N,137-42.7E
	6:20	切り離しコマンド送信		Fine but cloudy
	7:01	OBEM浮上		SW-3(Gentle)
	7:18	OBEM回収		Sea smooth
	8:02	HPD着水	Dive#827	
	9:06	HPD着底(D=910m)	34-21.001N, 137-35.973E	
	9:24	HPD離底(D=914m)	34-20.990N, 137-35.992E	
	9:54	HPD浮上		
	10:07	HPD揚収完了		
	11:26	HPD着水	Dive#828	
	12:36	HPD着底(D=1016m)	34-16.493N, 137-42.711E	
	13:14	HPD離底(D=1018m)	34-16.502N, 137-42.723E	
	13:44	HPD浮上		
13:57	HPD揚収完了			
14:15	調査終了、調査海域脱	JAMSTECIに向け発航		
23Apr08	9:00	JAMSTEC専用岸壁着		
	10:00	研究者下船@「なつしま」		

2-3. ROV潜航概要

Dive No.	潜航日 (2008年)	実施内容
	4月18日	<ul style="list-style-type: none"> 10:00出港(清水港日の出埠頭) OBEM-JM4を海底に設置
	4月19日	<ul style="list-style-type: none"> 荒天待機
825 (写真)	4月20日	<ul style="list-style-type: none"> 豊橋沖海底ケーブルステーション周辺のセンサー等の位置を、ROVホーマを用いて音響測量 DOMESの電極を軽く埋設
826 (写真)	4月21日	<ul style="list-style-type: none"> 分岐装置のホーマのチェック 現場比抵抗測定装置(MORSE)を用いた海底電気探査 MORSEを用いて、分岐装置のシーアースから送信される人工電流信号を受信
827 (写真)	4月22日	<ul style="list-style-type: none"> (潜航前)OBEM-JM4を自己浮上により回収 地球電場観測装置2号の回収(5m電位差測定用ケーブル4本付) (豊橋沖海底ケーブルから東へ約13km地点)
828 (写真)		<ul style="list-style-type: none"> 地球電場観測装置1号の回収(300mの電位差測定用ケーブル付) (豊橋沖海底ケーブルから東へ約23km地点)
	4月23日	<ul style="list-style-type: none"> 機構岸壁着岸

3-1.

**Participants aboard
Scientific Group**

名前	Name	役職	乗船期間
	所属	部署	
	住所		
後藤 忠徳	Tadanori Goto	技術研究主任	4/18～4/24
	JAMSTEC	IFREE	
笠谷 貴史	Takasi Kasaya	技術研究員	4/18～4/24
	JAMSTEC	IFREE	
伊藤 亜妃	Aki Ito	技術研究主事	4/18～4/24
	JAMSTEC	IFREE	
桜井 紀旭	Noriaki Sakurai	JAMSTEC研究生/学部生	4/18～4/24
	JAMSTEC/東海大学	IFREE	
川野 雅弘	Masahiro Kawano	学部生	4/18～4/24
	東海大学	海洋学部	
南原 雄	Takeshi Nanbara	学部生	4/18～4/24
	東海大学	海洋学部	
南澤 智美	Satomi Minamizawa	観測技術員	4/18～4/24
	日本海洋事業(株)	海洋科学部	

JAMSTEC: Japan Agency of Marine-Earth Science & Technology

IFREE: Institute for Research on Earth Evolution

3-2. Crew and Operation Team

R/V NATSUSHIMA Crews

Captain	Hitoshi Tanaka
Chief Officer	Shinichi Kusaka
2 nd Officer	Isao Maeda
3 rd Officer	Makoto Ohkubo
Chief Engineer	Tatsuo Jidouzono
1 st Engineer	Masahiro Kajiwara
2 nd Engineer	Yoshinobu Hiratsuka
Junior 2 nd Engineer	Kazunori Noguchi
3 rd Engineer	Takahiro Mori
Chief Radio Operator	Satoshi Watase
2 nd Radio Operator	Hidehiro Itoh
Boat Swain	Kazuo Abe
Able Seamen	Tugimi Sasaki
Able Seamen	Kozo Yatogo
Able Seamen	Shuji Takuno
Able Seamen	Kazushiro Ohsako
Sailer	Hiroaki Murase
Sailer	Tomohiro Kimura
No.1 Oiler	Kouzou Miura
Oiler	Takaatsu Inomoto
Oiler	Tatsuomi Chino
Oiler	Junji Mohri
Oiler	Keiya Taniguchi
Chief Steward	Teruyuki Yoshikawa
Steward	Shinsuke Tanaka
Steward	Toshiharu Kishita
Steward	Yoshio Okada
Steward	Hidetoshi Kamata

Hyper Dolphin Operation Team

Operation Manager

2nd Submersible Staff

2nd Submersible Staff

3rd Submersible Staff

3rd Submersible Staff

3rd Submersible Staff

3rd Submersible Staff

Kazuya Mitsufuji

Mitsuhiro Ueki

Shigeru Kikuya

Tetsuya Ishizuka

Katsushi Chiba

Teppei Kido

Yuta Sakakibara

4-1 OBEM

本航海の調査海域は、フィリピン海プレートが日本列島下に沈み込んでいる南海トラフの東端に位置しており、プレート間巨大地震の発生が推測されている「東海地震」の想定震源域となっている。MCS や OBS による精力的な調査がこれまでも行われているが、地震発生の鍵とされている「流体」の存在に敏感である比抵抗を調べる電磁気探査は行われていなかった。そこで

NT07-01 航海より繰り返して、海底電位差磁力計 (OBEM) を用いた地殻構造調査を実施している。複数の OBEM データを一つにまとめることによって、図 1 のような断面図を得ることが可能である。図 1 は熊野灘～紀伊半島下の地殻比抵抗構造である (Kasaya et al., 2005)。熊野灘では海域と陸域の同時観測が行われ、フィリピン海プレートの比抵抗が沈み込むに従って変化する様子が明らかとなり、分岐断層付近や紀伊半島下の低周波微動域において低比抵抗体が検出されている。これによれば、東南海地震のプレート固着域は高比抵抗で、その浅部延長と深部延長が低比抵抗と、ということが分かる。

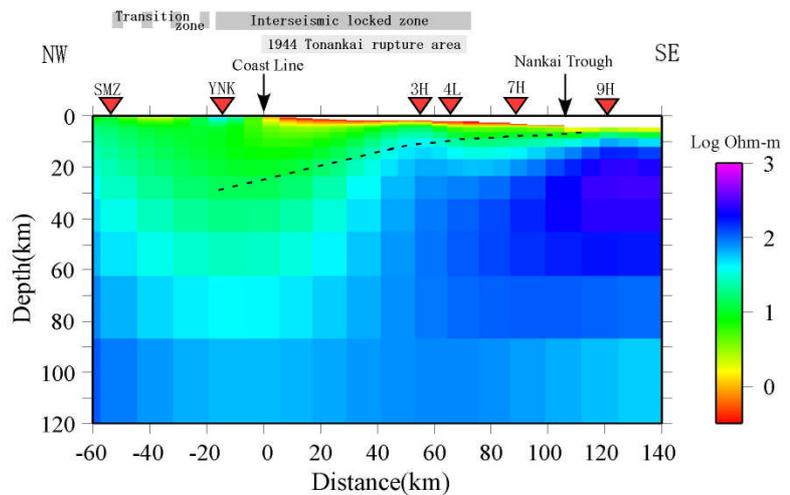


図 1 紀伊半島～熊野灘. で得られた比抵抗構造

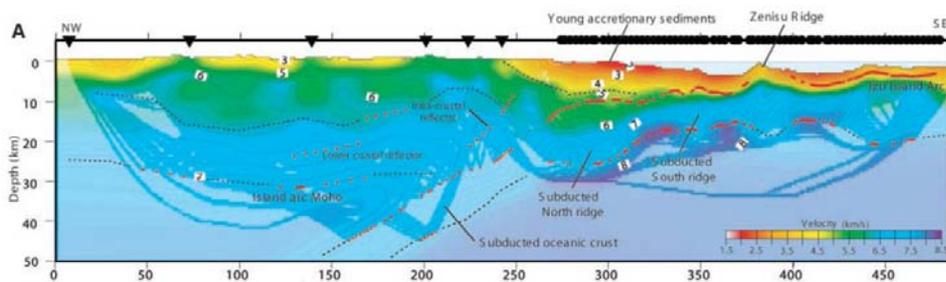


図 2 東海沖から中部地方にかけての地震波測道構造(Kodaira et al., 2004).

本航海の調査海域で MCS と OBS による調査からは、図 2 に示したように海嶺の沈み込みが確認されている(Kodaira et al., 2004)。この海嶺の沈み込みは、熊野灘とは大きく異なる点であり、海山がどのようにプレートの固着と関係しているのかが興味深い。Ohta et al.(2004)では、陸域の GPS データからバックスリップを求め(図 3)、低周波地震との関係を議論している。スリップ量の大きな領域は海域にまで及んでいることから、本航海の調査によって東海地震の震源域を比抵抗構造からとらえることが可能であり、熊野灘での地震波探査と電磁気探査の結果を相互に比較することで、プレートの固着と流体との関係がより明らかになることが期待される。

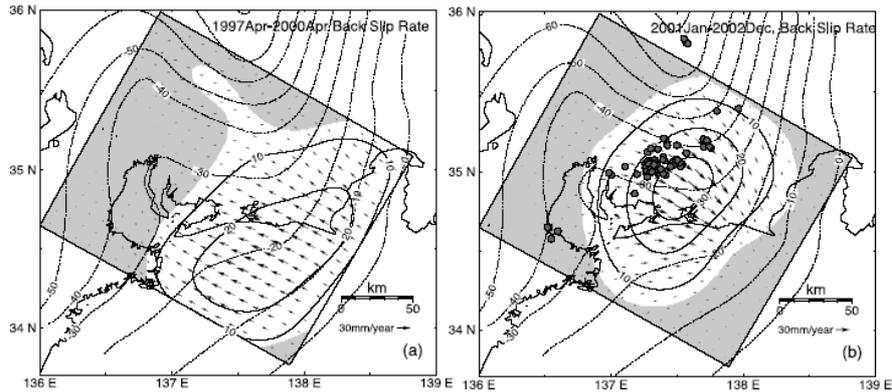


図3 調査地域周辺でのバックスリップ量(Ohta et al., 2004).

本航海で投入・回収された OBEM (ID : JM4) は、2 つの耐圧ガラス球に必要な測器が封入された自己浮上式観測測器(図 4、5)である。やや大型の装置ではあるが、1 年間以上の海底電磁場連続観測が可能であり、地殻やマントルの電気伝導度構造調査などに用いられている。音響切り離し装置は、東京大学地震研究所や海洋研究開発機構で実績のある海底地震計の音響切り離し機構を採用しており、船底デューサーを用いた SSBL(Super Short Base Line)により、浮上中の測器の深度をリアルタイムで知ることが出来る。OBEM にはフラックスゲート型 3 成分磁力計が採用されており、磁場 3 成分を 1 秒サンプリングで記録可能である。また電場についてはアーム先端についている電極を用いて、水平 2 成分の測定が可能である。その他、傾斜計・温度計などを回路部に搭載している。フレーム上部にはビーコン・フラッシャーが取り付けられており、回収作業を容易にしている。



図4. ガラス球2球型 OBEM の外観 (旧タイプ) .

しかしながら、従来の2つ球型OBEMは電場を測定するための長い電極アームを折りたたむことなく浮上するため、浮上に時間が要する上に、回収作業の効率の低下させる要因となっている。そこで本航海では、すでに開発済みの1つ球型OBEMの腕折りたたみ機構(図6)を参考に、腕折りたたみ機構を新たに開発して搭載した。本航海では、海底でのデータ取得のみならず、新たな腕折りたたみ機構についての海域試験も行うものである。

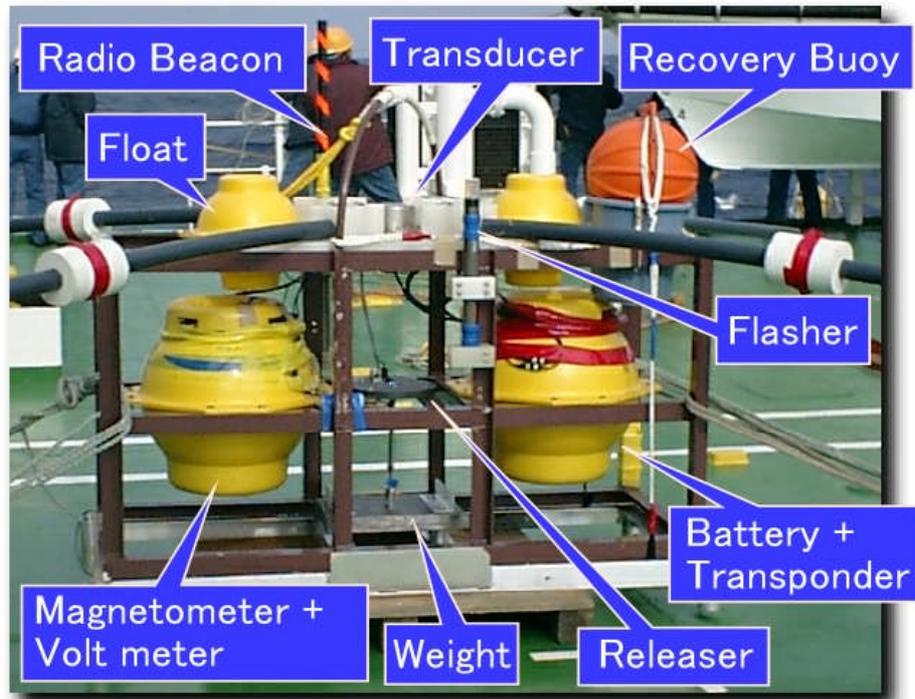


図5 2つ球型OBEMの各部の説明

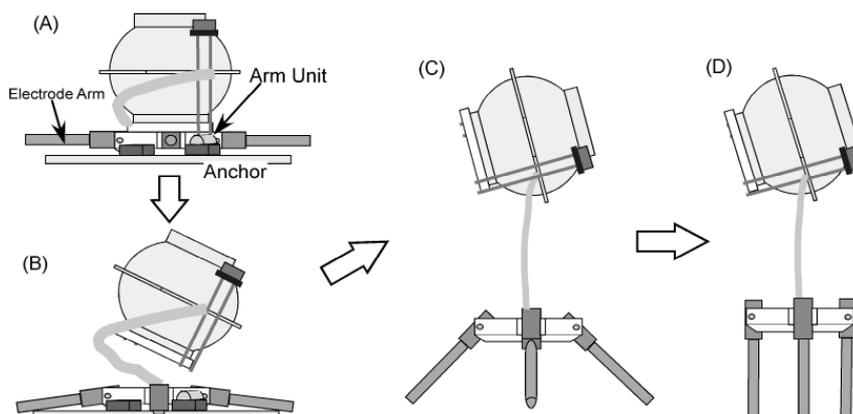


図6 1つ球型OBEMでの電極アームの折り畳み機構の概念図。海面到達時も浮力のない電極アーム部は(D)の状態では海面下にあるため、揚収作業が容易である。

1つ球型OBEMおよび2つ球型OBEMの電極アーム部は、音響信号による錘の切り離しが成功して浮上するに伴い、自動的に電極アームが折りたたまれる機構をしている(図6~8)。1つ球型OBEMの場合は、取り付け台座はポリプロピレン製で浮力的にはほぼ中性、電極アーム部の素材

はMCナイロンと塩ビであるため浮力がない（図6）。そのため、海面到達時にも海面に出るのはOBEM本体のガラス球部のみである。また、電極アームが海面下に垂れ下がった状態にあるため、海上に浮かんだOBEM本体を船のすぐ側まで寄せることが可能になり、作業性と安全性を高める効果がある。しかし全く同様の腕折りたたみ機構を2つ球型OBEMへ採用することは、フレームの大きさのため困難であった。そこで、腕部分のみ、その基部から折りたたむ方法を今回は採用した（図7，8）。

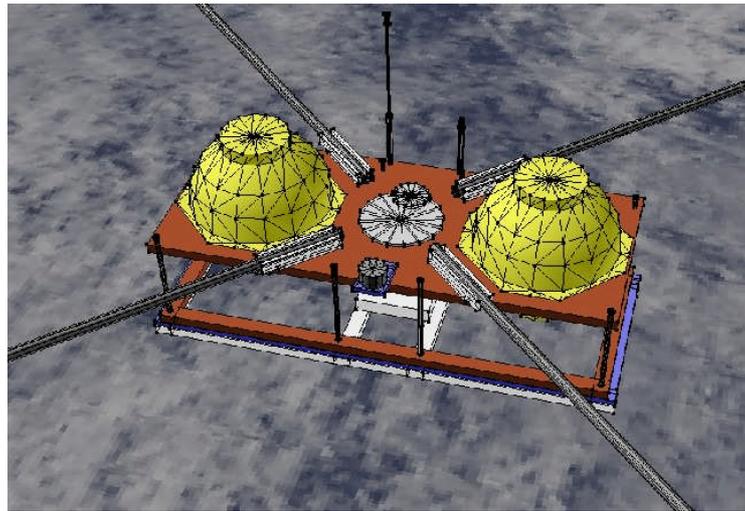


図7. 新たに開発された2つ球OBEM（着底時）

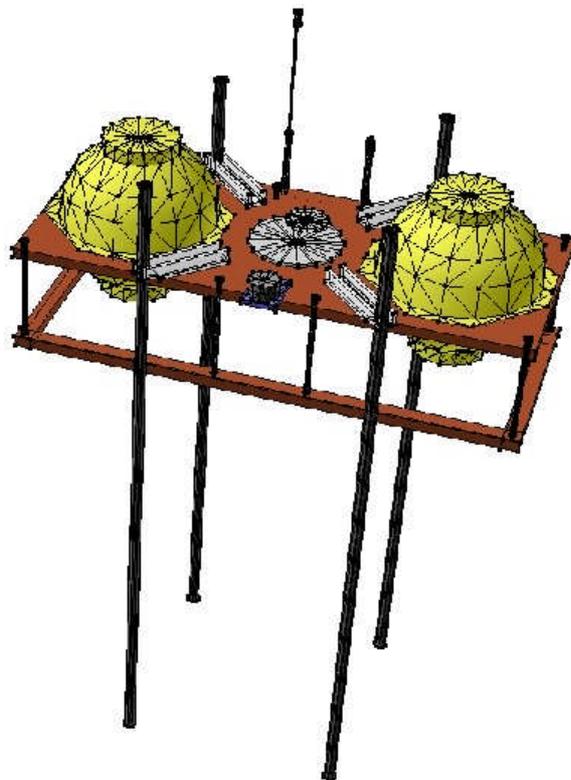


図8. 新たに開発された2つ球OBEM（錘切り離し後、浮上時）

実海域試験に先立って、JAMSTEC 工学実験場内部で腕折りたたみ機構および浮上姿勢の試験を行った（図9）。吊り下げ試験の結果は良好であり、腕の折りたたみ機構は正常に働くものと思われた。

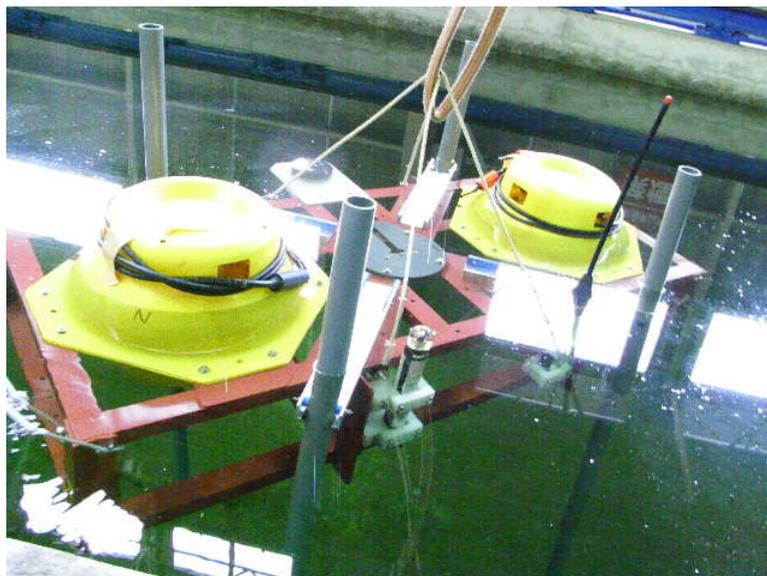


図9. 波動水槽内での吊り下げ実験
(上：吊り下げ前、下：波動水槽に浮かべたところ)

NT08-08 航海では、実際に OBEM を海底へ投入し、数日間の海底観測の後に、これを自己浮上により回収した。回収時の写真が図10である。残念ながら、4本の腕のうち1本を折りたたむことに失敗したが、これは揚収作業中に折りたたまれた。おそらくは腕解放用ロープが、フレームの少しの出っ張りに引っかかってしまったようである。これは空気中での折りたたみ試験では明らかではなかった点であり、今後改良を加える予定である。



図 10. 水面浮上時の OBEM（上）および揚収時の OBEM

4-2.ROV ホーマを用いた海底測量

豊橋沖海底ステーションには多くのセンサーが設置されている。この配置はおおまかに図 1 に示すものであるが、正確な相対位置は現状では把握されていない。今回、センサー群の相対位置を 50m 程度の精度で知ることが目的として ROV ホーマを用いた海底測量を行った。方法としては、音響測位（簡易 LBL）で分岐装置、磁力計、地震計の 3 点の位置求め基準点とする。次に基準点の位置をもとに、数箇所の位置を決定する。

通常ハイパードルフィンに搭載されている ROV ホーマ呼び出し装置は、通常フレーム上（おでこ）に設置されている。今回の測量では 3 本の ROV ホーマを使用するが、そのうち 2 本は海底に直接設置する。距離を正確に測定するにはホーマ間の高低差をなくす必要があるため、写真 1 に示すように ROV ホーマ呼び出し装置をハイパードルフィンのサンプルバスケット右前に設置した。

ハイパードルフィンに搭載した ROV ホーマのうち（写真 1）、測量には **sonardyne** 製の ROV ホーマ 2 本（ID61 と ID68）を使用する。他の 2 本はシステム技研製のホーマであり応答試験用に搭載しているものである。

ダイブ#825 は 08/04/20 08:18JST に潜行を開始し、ハイパードルフィンは地震計（S-SMAD）近傍に着底した。ホーマ台を海底に直接置き、搭載した ID61 と ID68 の 2 本の ROV ホーマが正常に動作するかを確かめるためキャリブレーションを行なった。ROV ホーマから 0m、5m、15m 離れた距離から呼び出したところ、それぞれのホーマは安定して同等な値を返した。これにより、双方とも測器として問題はないと判断した。

測量を行うのと同時に、方眼紙上に 200 分の一スケールで作図を行なった。これを図 2 に示す。原点は地震計の位置とし、南北を縦軸、東西に横軸をとった。また、各点での距離測定では基本的に 5 秒おきに 10 数回のデータを取り、その平均値を測定値として用いた。コンパスで距離に応じた円を描いていき、円の交わる場所を位置として決定していく。その際、ハイパードルフィンによる方位、ソナー画像も参考とする。

ホーマ ID68 をホーマ台に固定したまま地震計から北 20cm 程度の海底に設置した。ID68 の位置はここで決定した。次に分岐装置に取り付けられているホーマ ID15 の位置を決定した。ホーマ ID15 は高さ 84cm のフレーム上に取り付けられている。分岐装置を写真 2 に、分岐装置とホーマ ID15 の位置概念図を図 3 に示す。ホーマ ID68 に位置する ROV ホーマ呼び出し装置から、ホーマ ID15 までの距離は 5.3m、方位（ハイビジョンカメラ方位）は 209 度であった。この距離と方位により、ID15 の位置を決

定した。

ホーム ID61 をホーム台から引き抜き、電位差磁力計 (DOMES) の HOLE2 から南東に 30cm 程度離れた海底に直接設置した。ホーム ID61 と ROV ホーム呼び出し装置との距離は約 20cm である (図 4)。この場所から、ID68 と ID15 との距離を測定した。ID68 までの距離は 15.5m、ID15 までの距離は 11.1m、方位は 350 度 (ビークル方位 310 度 + ソナー画像での角度 40 度) だった。作図上でもほぼ正しい方位と位置に ID61 が決定されており、ソナー画像での距離間も音響とほぼ同様だった。これにより ID61 の位置を決定した。

以上の 3 点の位置を正しいものとして、ハイパードルフィンで以下の点に移動し測量を行った。

・電位差磁力計の東 10m 電極

ID61 までの距離 4.8m、ID15 までの距離 10.6m、ID68 までの距離 13.2m。ID15 の方位は 330 度で、作図上でもおおまかに正しいものだった。

・電位差磁力計の東 20m 電極

ID61 までの距離 14.3m、ID15 までの距離 15.5m、ID68 までの距離 14.8m。ID15 の方位は 300 度であり、作図上での角度約 285 度とのずれが大きい。

・電位差磁力計の南 10m 電極

ID61 までの距離 4.8m、ID 15 までの距離 17.8m、ID68 までの距離 20.8m。ID15 の方向は 355 度。作図上の円は ID15 だけ大きくはずれているため、再計測を行なった。ID15 までの距離は 16.7m だった。作図上の円は ID15 だけ少し大きめである。

・電位差磁力計の南 20m 電極

ID61 までの距離 14.2m、ID15 までの距離 25.8m、ID68 までの距離 29.9m。ID15 の方向は 360 度。作図上の円は ID15 だけ少し大きめである。

・分岐装置 (ID15) の南のストリーミングロープ位置

ID61 までの距離 19.8m、ID15 までの距離 30.2m、ID68 までの距離 35.2m。作図上での円は一点で重なった。

・分岐装置の西 4m (参考値)

ID68 までの距離 7.9m、ID15 までの距離 3.1m。作図上で重なった点は、ROV 呼び出し装置の位置と矛盾しなかった。

・シーアース (分岐装置の北)

ID61 までの距離 18.0m、ID15 までの距離 7.0m、ID68 までの距離 2.5m。作図上での円は一点で重なった。

・電位差磁力計の東 20m 電極 (作図上での角度とカメラ方位のずれが大きいので、再計測を行なった)

ID61 までの距離 14.4m、ID15 までの距離 15.6m、ID68 までの距離 14.8m。ID15 の方位は 280 度。距離の値はほぼ変化がないが、方位は作図上のものと近づいた。ソナー画像での方位の読み取りには注意が必要である。

13:21 にホーマ ID61 を回収しホーマ台に戻した。ホーマ台をサンプルバスケットに回収し、ハイパードルフィン は 13:23 に離底した。

分岐装置のフレームをはさんだ位置で、ホーマ ID15 までの距離が他の 2 点までより長い場合作図上での 3 つの円が一点で重ならない地点が多い。原因 1 つとしては、ID15 は ROV 呼び出し装置より高い位置に設置してあることが考えられるが、計算上直線距離への影響は少ない。ほかの原因として、分岐装置のフレームで音響が反射するために ID15 までの距離が長めにでている可能性がある。また、ホーマ ID15 の示す値が正しいものかどうか事前に未確認だった。ID15 のキャリブレーションを行なうとともに、測定距離が長めであるのはフレームの干渉が影響しているという仮説のもと、2 回目の実験を行うことにした。

ダイブ番号#826 は、08/04/21 08:28 に潜行を開始した。はじめに、ホーマ ID15 のキャリブレーションを行なった。前日の試験により、測器に問題がないと思われる ROV ホーマ ID61 を、ID15 の真西方向に 40 から 50cm 離れた海底に設置した (図 5)。ハイパードルフィン は ID61 の真西 5m 程度の場所に移動し、それぞれの ROV ホーマとの距離を測定したところ、ID15 までの距離 5.2m、ID68 までの距離 4.6m であった。これは、ID15 と ID68 の高低差 84cm と水平距離 40~50cm を考慮した場合、適切な値であった。よって、ROV ホーマ ID15 は測器として問題がないと判断した。

次に、フレームの干渉を検証した。前日の試験で、作図上で ID15 の円がほかより大きかった電位差磁力計の南 20m 地点からスタートし、フレームの影響がないと思われるストリーミングロープの西側へ向かって少しずつ移動する。フレームの影響がなくなった地点で距離に大きな変化があるかどうかを調べた。

- ・電位差磁力計の南 20m 地点

ID15 までの距離 25.8m、ID61 までの距離 25.6m。

- ・2m 西へ移動

ID15 までの距離 25.3~25.4m、ID61 までの距離 25.2m。

- ・2m 西へ移動

ID15 までの距離 25.8~25.9m、ID61 までの距離 25.5m。

- ・さらに西へ移動しストリーミングロープの東側へ

ID15 までの距離 25.2~25.3m、ID61 までの距離 24.9~25.0m。

- ・ストリーミングロープを超えてロープの西側へ

ID15 までの距離 26.1~26.2m、ID61 までの距離 25.7~25.8m。

・西へ 2m かつ南に 1m 移動

ID15 までの距離 27.5~27.6m、ID61 までの距離 27.1~27.2m。

10:15 にホーマ ID61 を回収し、測量試験を終了した。実験の結果、フレームの干渉がないと思われる地点に移動しても、距離に大きな変化はみられなかった。よって、ID15 の測定距離が長めであるのはフレームの干渉が原因ではないことがわかった。今後、他の要因を考える必要がある。

船上での暫定的な結果では、電位差磁力計の真東に設置されたと想定していた東 10m 電極が北東方向に位置していることがわかった。今後、得られたデータの再解析を行いセンサー群の相対位置を精度よく決定する予定である。

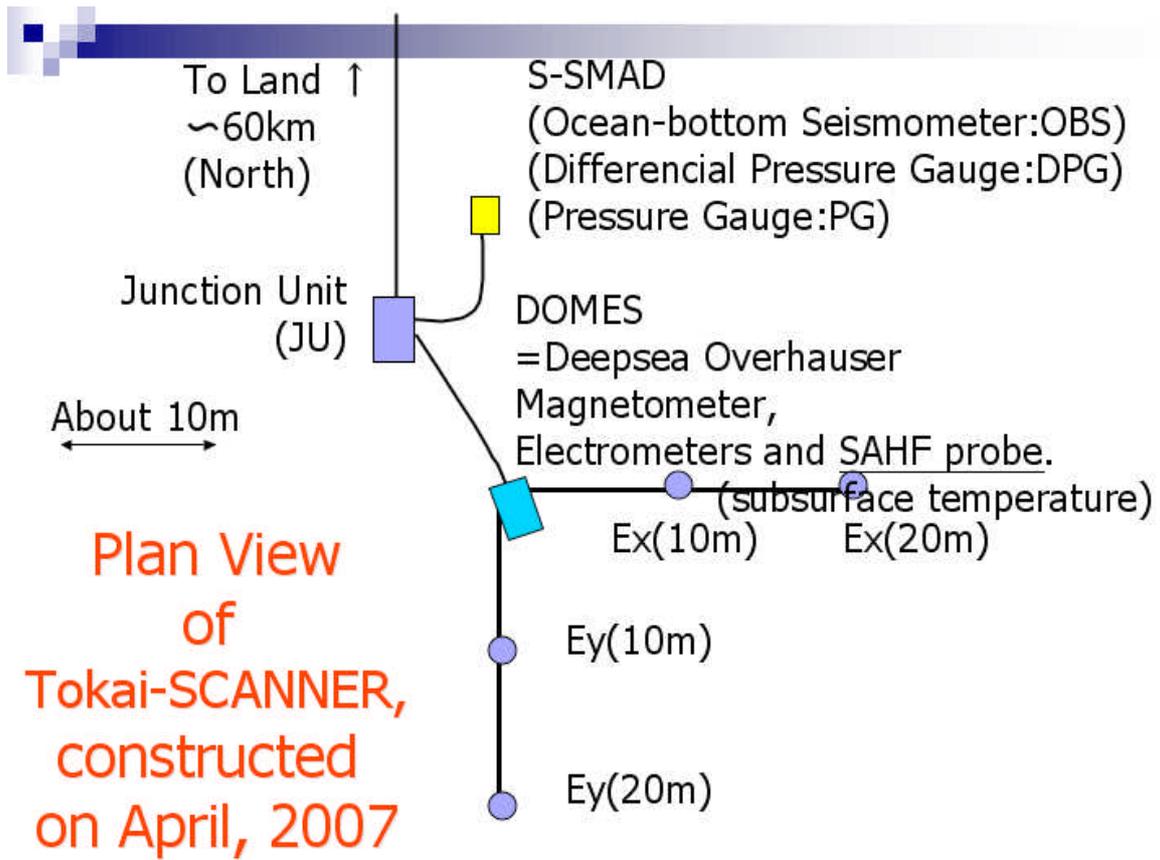


図 1. 豊橋沖海底ステーションのセンサー群



写真1. ROV ホーマ呼び出し装置とダイブ#825 で搭載した ROV ホーマ

①

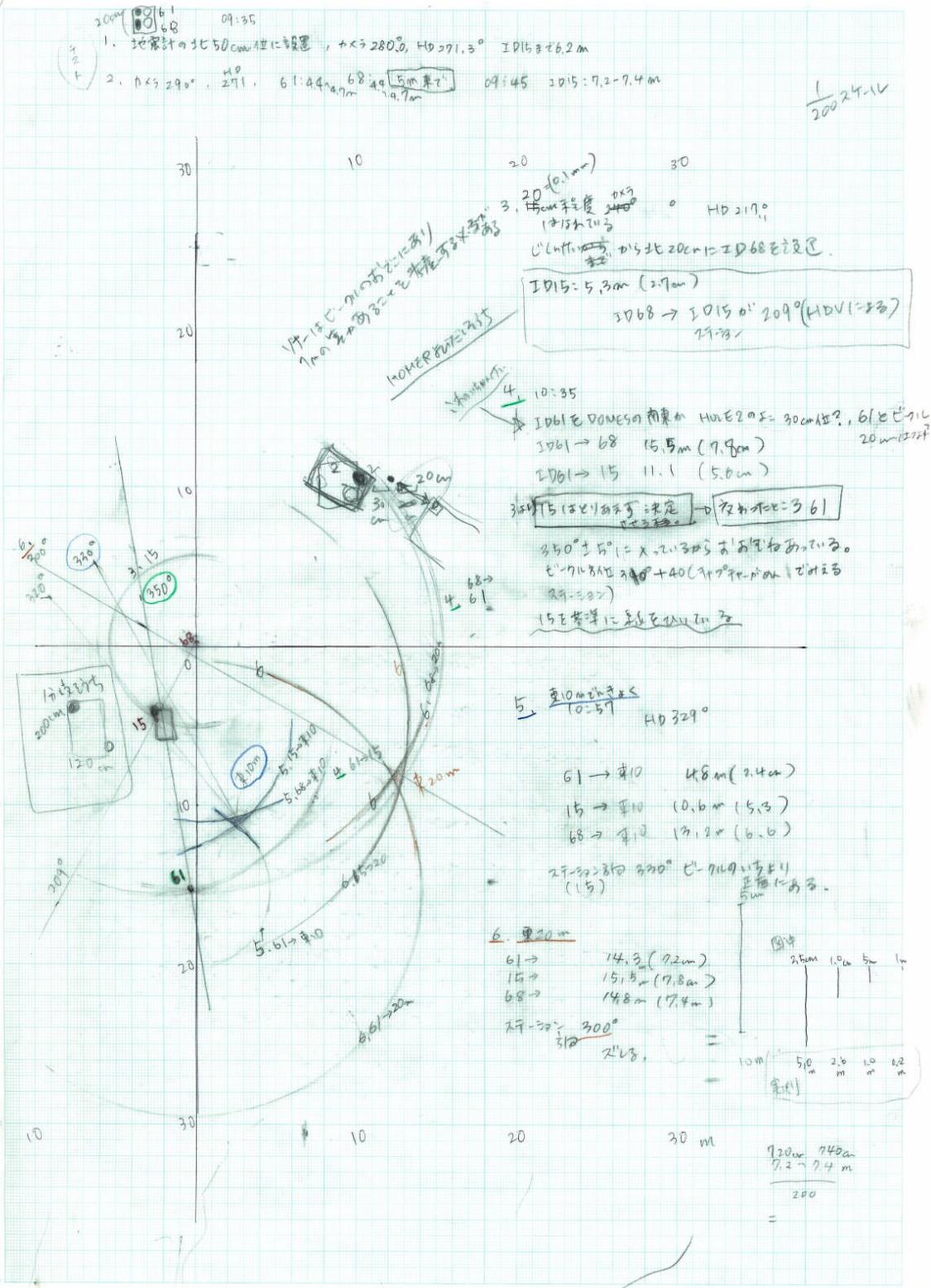


図 2-1. 船上での作図

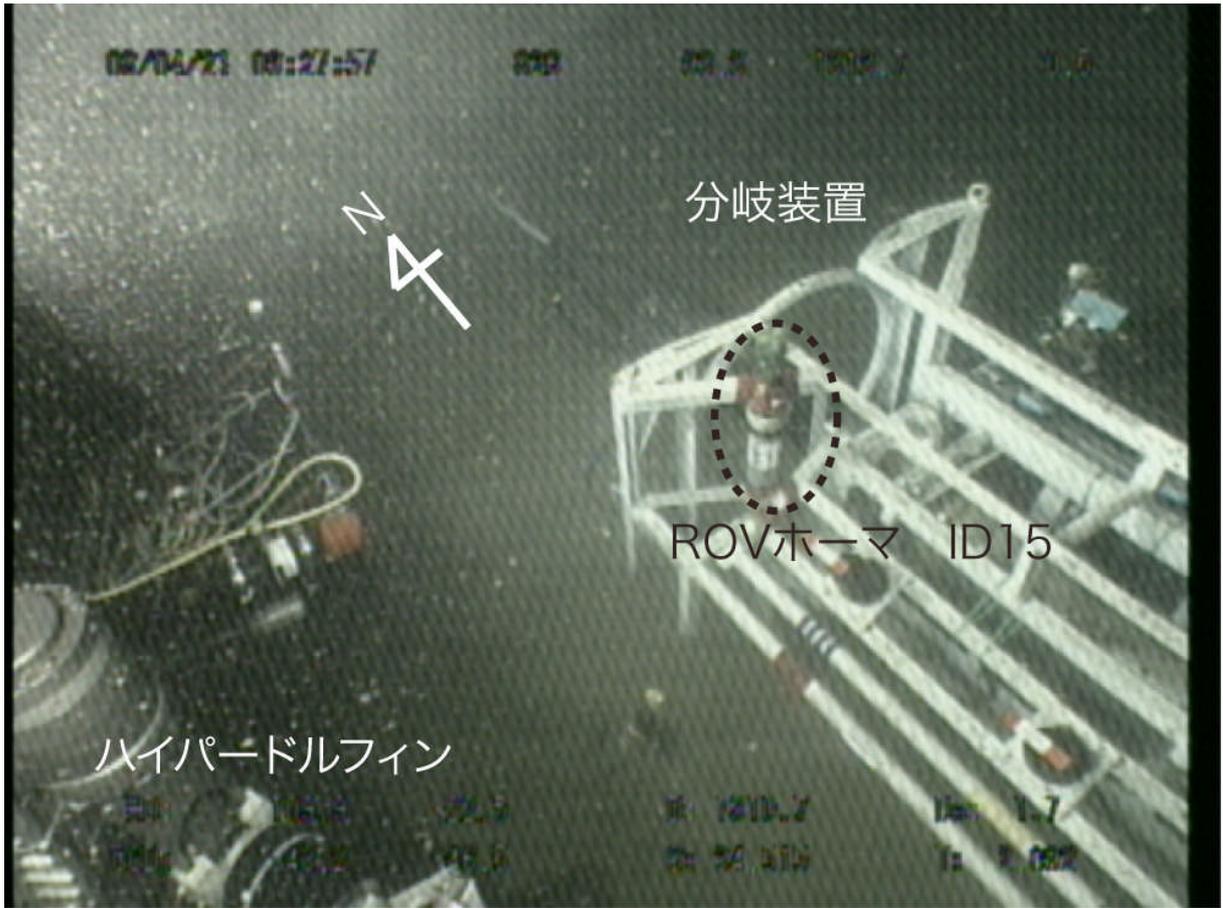


写真2. 分岐装置

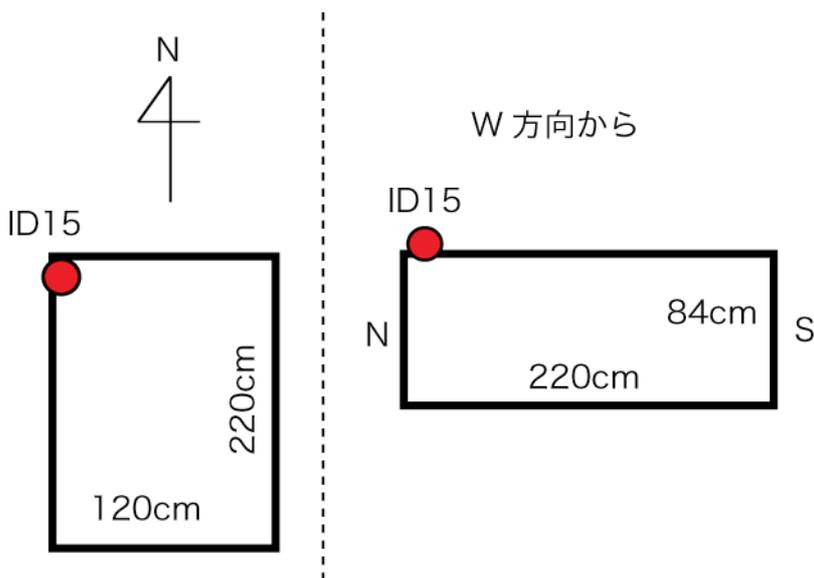


図3. 分岐装置と ROV ホーム ID15 の位置関係

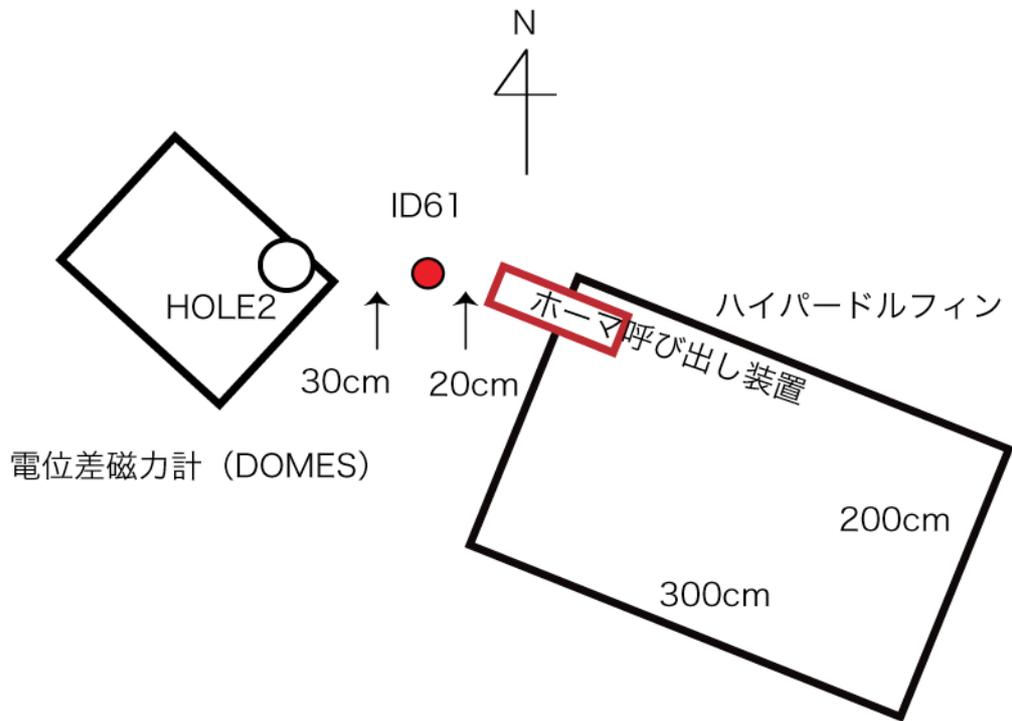


図4. 電位差磁力計 (DOMES)、ROV ホーム ID61 と ROV ホーム呼び出し装置の位置関係

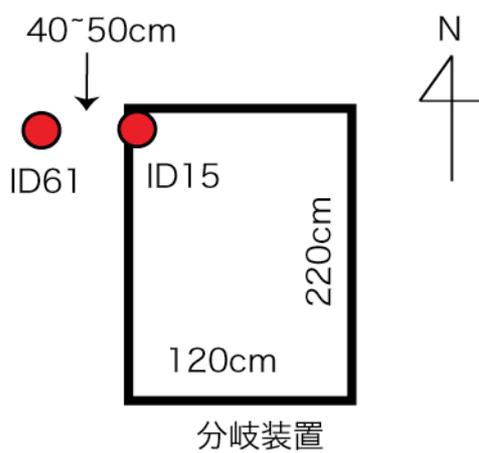


図5. ROV ホーム ID61 と ID15 の位置関係

4-2 その場比抵抗測定装置(MORSE)の概要 (担当:笠谷)

4-2-1 装置概要

その場比抵抗測定装置(MORSE : Mobile Resistivity meter at SEa floor)は、送信・受信電極を装備したプローブを海底に突き刺す、あるいは電極を取り付けたケーブルを牽引することによって、浅部の比抵抗を測定するものである。NT07-06 では、プローブを用いた分岐装置周辺での比抵抗測定に成功している。今航ではウェンナー配置(電極間隔約 3m)の電極ケーブルを牽引することによって、浅部の比抵抗計測試験を実施した。

比抵抗装置は ROV ハイパードルフィンを介して DC24V の供給と RS-232C 通信を行える仕様である。制御用のパソコンはハイパードルフィンの制御コンテナに設置され、ハイパードルフィンの画像とターミナルソフト上に出力される数値を見ながら、適宜設定パラメータを変えながら測定をすることが可能である。8Hz 収録の場合、バイナリとなるため変換プログラムにより ascii 化する必要がある。以下に MORSE の仕様を示す。

/***** MORSE 仕様 *****/

デジタル出力

- ・ 信号形式 RS232C
- ・ 通信速度 9600bps
- ・ データ長 8bit
- ・ パリティ none
- ・ ストップ bit 1bit

記録装置

- ・ 使用メディア コンパクトフラッシュ 256MB
- ・ ファイルフォーマット FAT16
- ・ 記録方式 8Hz 測定 バイナリファイル
 8Hz 測定以外 テキストファイル

・ 電場受信部

- 電場測定範囲 $\pm 10\text{mV}/\pm 100\text{mV}/\pm 1\text{V}$
- 温度測定範囲 $-20\sim+60^{\circ}\text{C}$
- 測定間隔 8Hz/1Hz/

・ 送信部

- 送信電流 $\pm 400\text{mA}(\pm 20\text{V MAX})$
- 送信電流パルス幅 10 秒以上 60 分以下
- 送信電流振幅 5mA 間隔で任意
- 送信電流波形 矩形(DUTY50 パーセント)

・ 使用電源

- DC24V 1A 以下

4-2-2 比抵抗測定試験

第 826 潜航で比抵抗測定試験を実施した。Figure 4-2-1 は電極などの配置を示したもので、C が送信電極、P が受信電極でウェンナー法配置となっている。受信電極には銀-塩化銀電極、送信電極にはブリジッドワイヤーを巻き付けて使用している。ケーブルは鉛入りロープに沿わせて取り付け、スパイラルチューブで保護している。Figure 4-1-2 から分かるように、C2-P2 間が短いので見かけ比抵抗の算出時には補正が必要である。

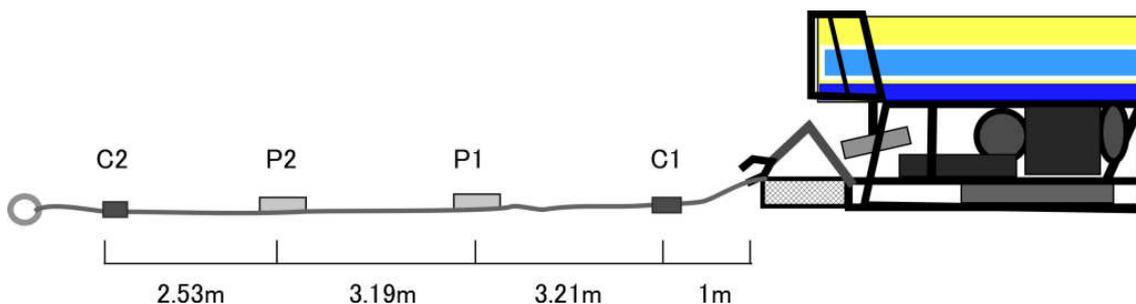


Fig. 4-2-1 電極の配置図。ウェンナー法配置となっている。

測定したのは、ステーションから東に 30m、50m、70m、100m、130m、160m、200m の 7 地点である。第 825 潜航で測定の基準となった S-SMAD から東へ移動していったが、距離については分岐装置に取り付けられたホームー(ID 15)からの距離であることを注意が必要である。何れの観測点でも 1H サンプリングで 5 分程度の比抵抗測定(パルス幅 10 秒、送信電流 100mA)で測定を実施した後、豊橋ケーブルのシーアースから送信されている人工信号を受信するために 20 分間の測定を行った。しかしながら、MORSE の自然電位測定モードがうまく機能していなかったため、最も送信パルス幅を長くできる 240 秒に設定し測定を実施した。測定しながら適宜波形を確認し、比抵抗測定および人工信号受信とも良好であることを確認した。測定終了後、水深 1200m まで上昇して高度を保持したまま、電気探査装置のキャリブレーションを行った。今後、これらのデータを詳細に解析することで浅部の比抵抗構造の推定が可能となる。

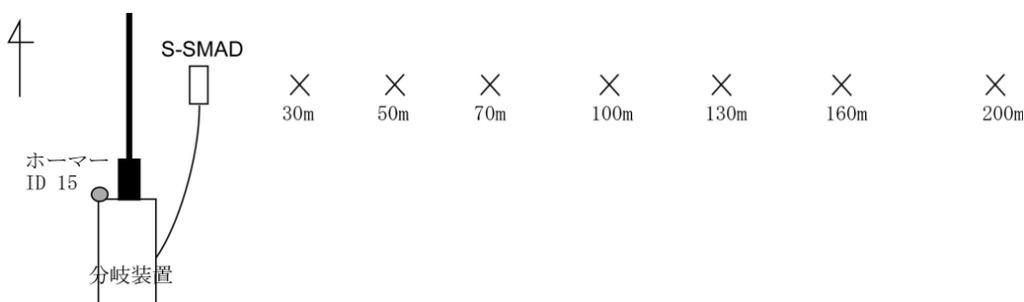


Fig. 4-2-2 測定点分布図。距離はホームー(ID 15)からの距離。

4-4. EFOS : 地球電場観測装置

巨大地震発生域と地下の流体分布や移動の間にどのような関係があるかを明らかにするため、調査船「なつしま」NT07-06 航海では、豊橋沖海底ケーブルの付近（分岐装置から約 20~30km 北東、水深約 1000m）へ、300m のセンサーケーブル 1 本を有する地球電場観測装置（EFOS）1 号機が 1 台と、5m のセンサーケーブル 4 本を有する EFOS2 号機が 1 台設置されている。本航海では設置済みの EFOS1 号機・2 号機を ROV ハイパードルフィンによって回収する。これらの装置は海底において自然および海底ケーブルから送信される人工的な電位差変動データを 1 年間自己記録している。本装置の設置場所は東海地震想定震源域の真上であり、陸上の GPS 観測からもプレート境界が固着していると考えられる地域であり、回収されるデータを解析することにより、東海地震震源域の地下電気伝導度構造が明らかになると共に、その時間変化も追うことができると期待される。電気伝導度は地下の流体の有無で大きく変化するため、本装置の電場データの解析によって巨大地震発生域と流体の関係が明らかになるとと思われる。

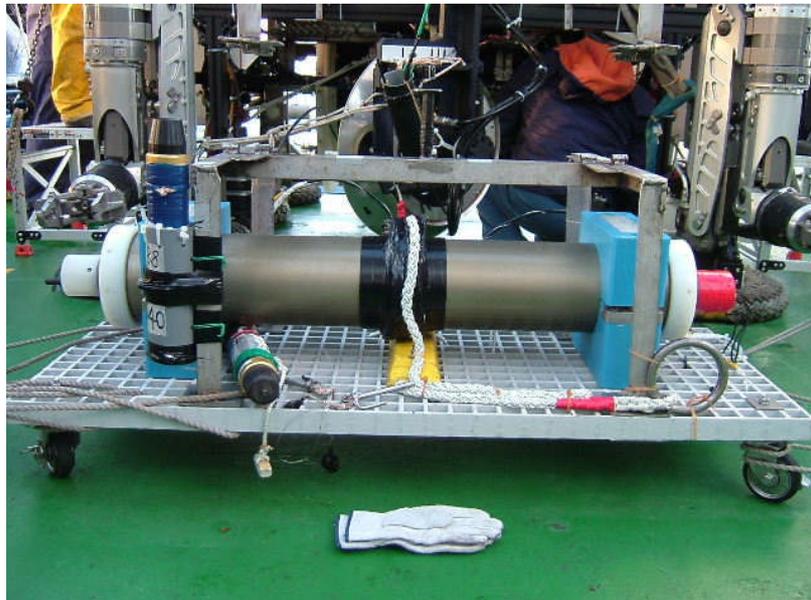


図 1. 地球電場観測装置 1 号機（写真は記録部）。
水中重量 30kg、空中重量 60kg



図 2. NT07-01 で設置された EFOS1 号機。NT07-06 航海で撮影。
ROV-HOMER と回収用吊り下げリングを取り付け済み。
その後 NT07-06 航海で回収され、同地点に再設置された。

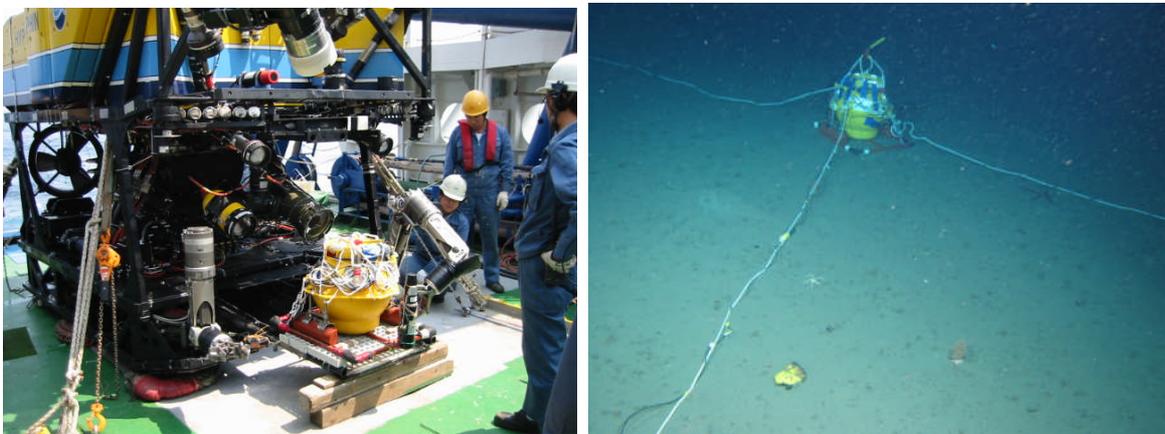


図 3. (左) NT07-06 航海において潜航準備中のハイパードルフィンと EFOS2 号機。
2 号機は 1 号機とは違い、長さ 5m のセンサーケーブルを東西南北 4 方向へ展長する。
(右) NT07-06 航海において海底に設置された EFOS2 号機 (2007 年 4 月時点)。
四方向に電極ケーブルが展張されている様子がよく分かる。

地球電場装置の回収作業は順調であった。図 4 以降に回収時の写真を示した。EFOS1 号機については、設置時の状態のまま 1 年間海底で長期観測を行っていたと思われる。一方、EFOS2 号機については、5m の電極ケーブルがその位置を大きく変えていた。おそらく底層流によって、ケーブルが移動してしまったものと思われる。N 電極・S 電極については移動していないと思われるため、これらのデータを用いて今後の解析を行う予定である。データに関しては、EFOS1 号機については時計同期・データ転送を順調に行うことができたが、EFOS2 号機に関しては、内蔵電池切れのため、時計同期およびデータ転送を行うことができなかった。EFOS2 号機については下船後に外部給電環境下でデータ転送を行う予定である。

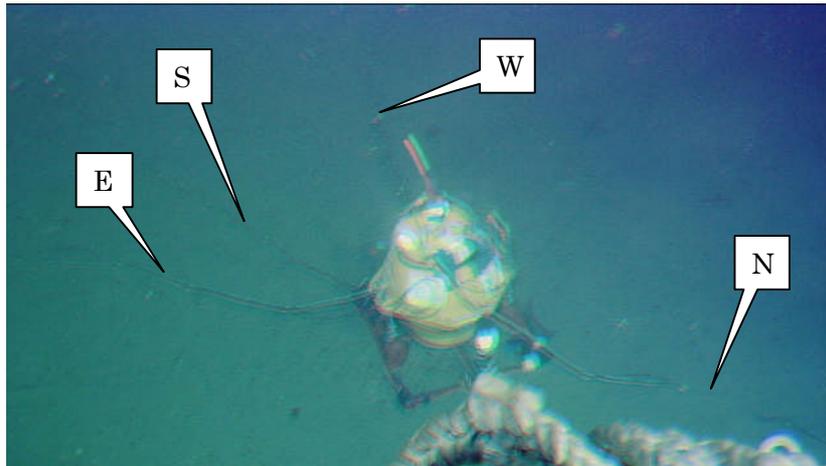


図 4. 回収時の EFOS2 号機。E 電極と W 電極が大きく S 方向へ移動していることが分かる（図 4 と比較；なお NSEW は機器のセンサー名であり、真に NSEW 方向へ展開されているわけではない）。



図 5. 回収フックにより EFOS2 号機を回収

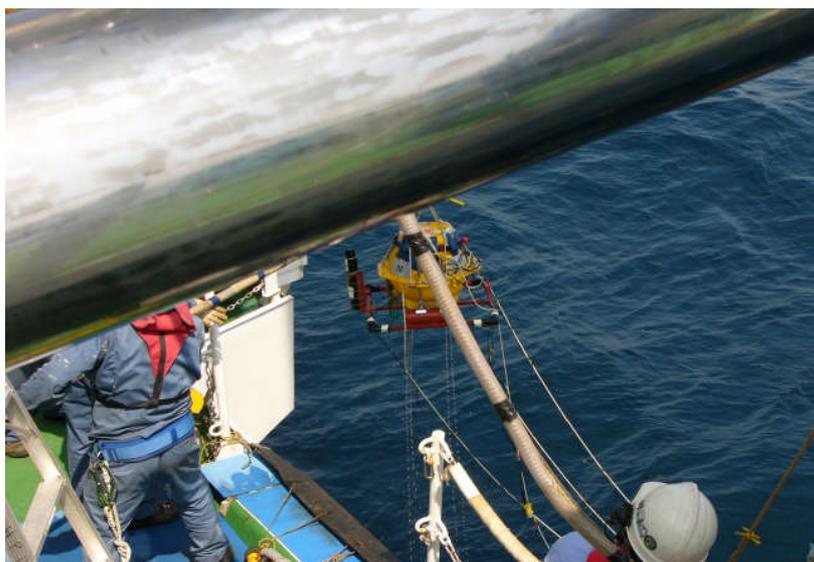


図 6. EFOS2 水きり。A フレームにさえぎられて見づらいが、5m ケーブル 4 本が垂れ下がっている様子が見える。



図 10. EFOS1 号機、水きり。この後、人力により 300m ケーブルを揚収した。

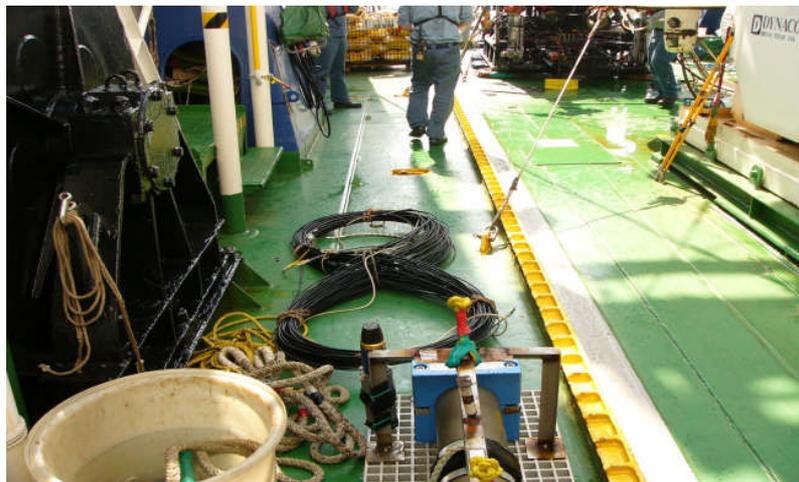


図 11. 揚収後の 300m ケーブル（上）と EFOS1 号機の記録計（下）

5. まとめと今後の研究計画

NT08-08 航海では、以下の調査を実施することができた。

- ・ 豊橋沖海底ケーブルステーション周辺のセンサー等の位置の音響測量を行った。ROV ホーマ複数本を用いて、豊橋沖西ケーブルの先端の海底分岐装置に接続されている地震・地殻変動観測装置 (S-SMAD)、海底電位差磁力計パッケージ (DOMES) の諸センサーの海底での相対位置を決定した。測量結果はコントロールルーム上で即座に図化されており、測量結果の適正度の判断に役立った。結果として、分岐装置から半径 30m の範囲に設置されている各センサーの相対位置を 1m 程度の誤差で求めることができた。位置精度にもっとも影響を与えたのは、ROV ホーマの測距精度ではなく、ROV ホーマ近傍の金属フレームなどによる反射音響波のようである。ROV ホーマの展開地点を工夫すれば、10cm 程度の精度で測量が可能であると思われる。

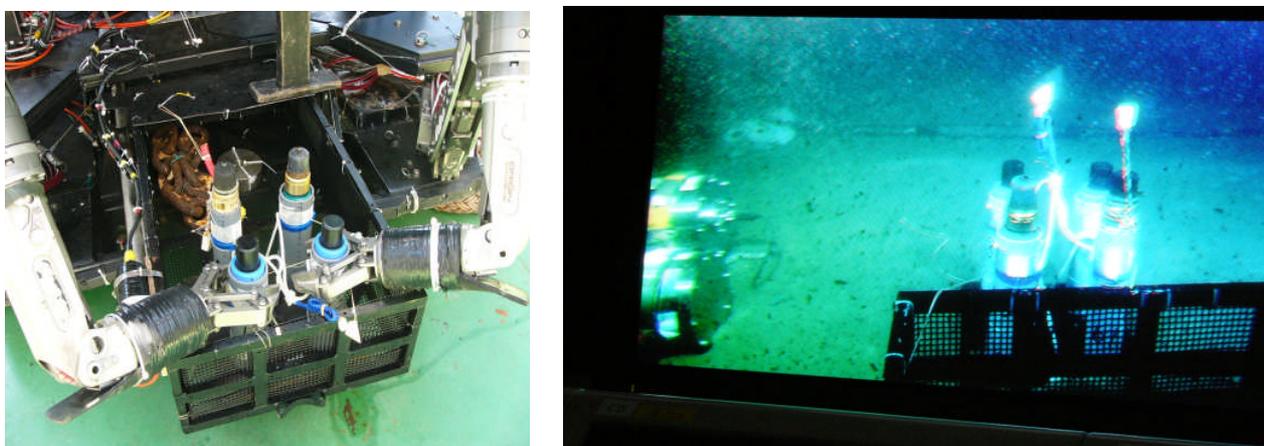


図1 左：測量用 ROV ホーマ。右：測量時の様子。右端に写っているのは地震・地殻変動観測装置。奥に海底ケーブルも見える。

- ・ 豊橋沖海底ステーションへ接続されている海底電位差磁力計 (DOMES) の電極を泥中へ埋設し、電場観測の安定性を高めた。
- ・ 豊橋沖海底ケーブル先端の分岐装置のホーマの作動チェックを行った。作動状況は良好であり、予備として海底に持っていったホーマを分岐装置に取り付けてあるホーマの近くにおくことで、2本のホーマの距離の差を比較したが、ほとんど同じであった。これにより分岐装置に取り付けられているホーマの距離計測値が正しいことを確認できた。

- ・ 新たに開発した現場比抵抗測定装置（MORSE）を用いた海底電気探査を行った。作動状況は良好で、本装置の槍状プローブもしくはケーブル状の送受信電極群の展開を行うことにも問題はなかった。これにより、海底の堆積物の比抵抗測定を行えた。また同時に、分岐装置のシーアースから送信される人工電流信号（周期 120 秒）を MORSE の電位差受信機能により受信することができた。

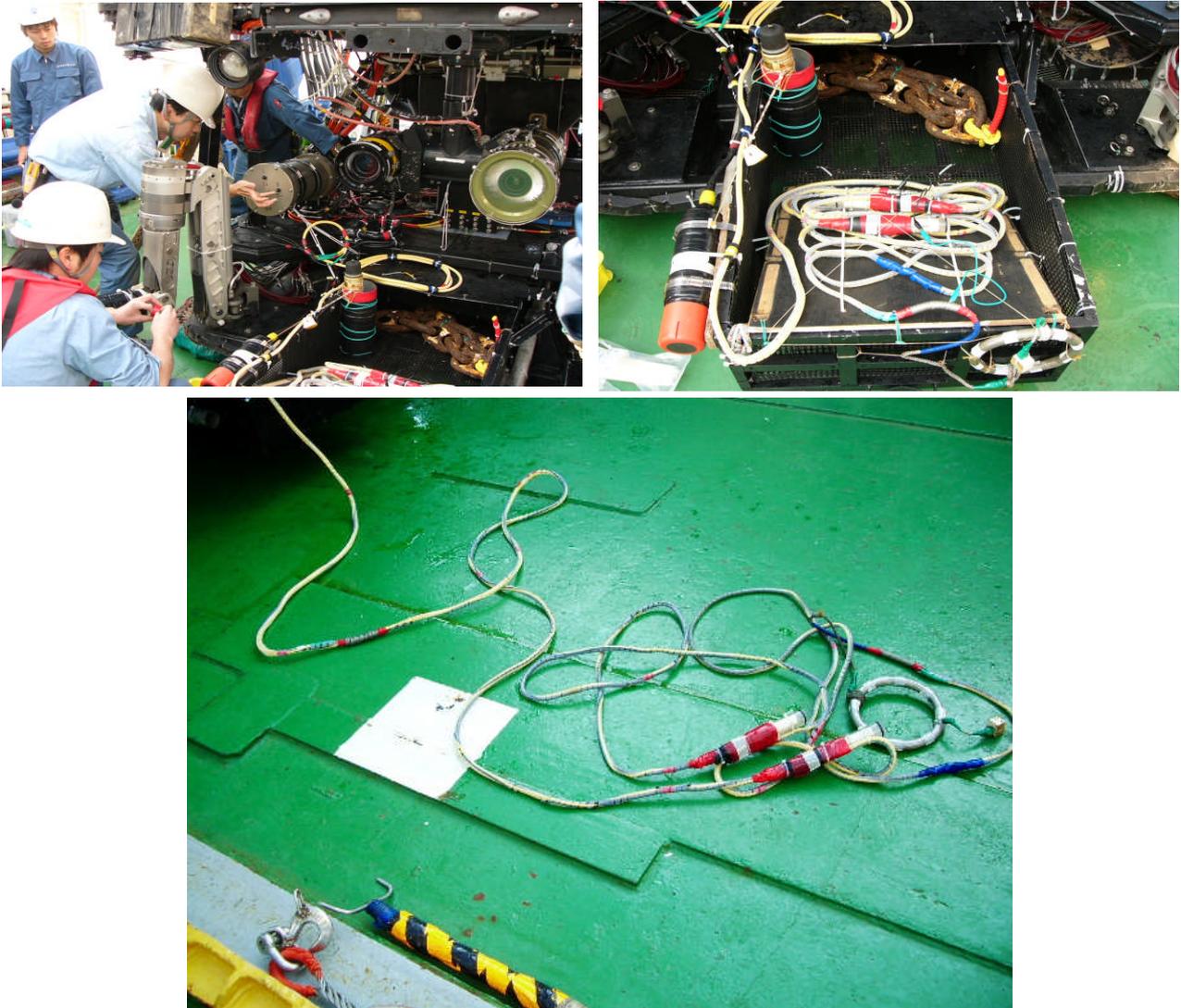


図 2 現場比抵抗測定装置（左上：研究者が触っている耐圧容器）
と展長用ケーブル（右上・下：長さ約 10m）

- ・ 自己浮上式海底電位差磁力計（OBEM）1 台を海底へ投入・回収した。新たに電極用アームの折りたたみ機構を導入したが、投入作業・自己浮上機構・回収作業に際する問題はなかった。

- 地球電場観測装置 1 号 (300m の電位差測定用ケーブル付き) および同 2 号 (5m 電位差測定用ケーブル 4 本付) の回収を行った。これらの装置は、東海沖プレート境界の固着域とゆっくりすべり域をまたぐ長さ 60km の豊橋沖海底ケーブルから送信された人工電流信号を受信しており、今後の解析によりプレート境界周辺の電気伝導度変化の試験的なモニタリングの結果が明らかになると考えている。

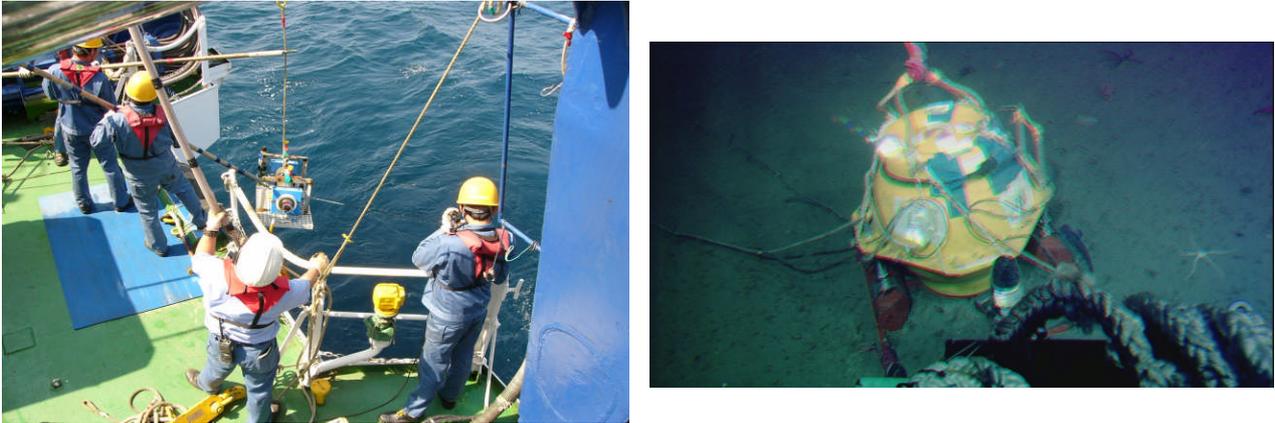


図 3 地球電場観測装置 1 号 (左) および 2 号 (右) の回収の様子

2007 年より六回に渡る豊橋沖海底ケーブルステーションの設営航海 (NT07-01, NT07-03、KPL による 2007 年 3 月航海、NT07-06、NT07-14 そして NT08-08) により、豊橋沖海底ケーブルステーションの構築は概ね終了した。今後は東海地震などに関連する地殻活動モニタリング (地震・地殻変動・地下水流動およびそれに伴う諸現象のモニタリング) を行う予定である。本海底ステーションでは多項目の連続観測を行うため、それらのセンサー間で見られる現象の比較検討を行うことで、巨大地震やそれに伴う諸現象発生メカニズムの解明が進むと期待される。また本航海では接続することができなかったなお本課題名に含まれる「広帯域地震計接続」は当初予定されていたものの、接続予定であった広帯域地震計を 2009 年以降に接続する予定である。

謝辞

本航海では、調査船「なつしま」の船長および乗組員、ならびにハイパードルフィン運航チームに多岐にわたりお世話になった。また日本海洋事業観測支援員には乗船中だけでなく、観測装置整備などでもご援助いただいた。また海洋研究開発機構の研究船運航関係者ならびに海底ケーブルデータセンター関係者など、陸上からの支援なくして、本航海は遂行は不可能であった。これらの方々に対して乗船研究者一度、深く感謝する次第である。

静岡大学の笠原順三先生、藤井直之先生、熊沢峰夫先生、東海大学の長尾年恭先生、マリン・エコ・テックの白崎勇一先生には本計画立ち上げ時にご尽力頂き、また多くの助言を頂いた。また KDDI および国際ケーブルシップの皆様、OCC の皆様には本計画に関して数多くの面でご援助、ご助力、またご配慮を頂いた。その他多くの関係者のご協力のおかげで本航海が成功し、豊橋沖海底観測ステーション構築が可能となったといえる。

なお本航海の一部は JAMSTEC 横断研究開発促進アワードおよび科学研究費補助金により支援された。