

浅海用 OBE の開発

丸山瑞恵・久田大樹・杉内裕明・姫野康一郎・安松潤二・小玉幸太郎・
本田義明・小島佑介・瀬戸口健・浦亜征・佐藤数美・新貝雅文・下泉政志(九州能開大)・
藤浩明(富大院理工)・笠谷貴史(海洋研究開発機構)・大志万直人(京大防災研)

Development of an Ocean Bottom Electrometer for shallow seas

M. Maruyama, T. Kuden, H. Sugiuchi, K. Himeno, J. Yasumatsu, K. Kodama, Y. Honda,
Y. Kojima, K. Setoguchi, T. Ura, K. Sato, M. Shingai, M. Shimoizumi (Kyushu Polytechnic College),
H. Toh (Toyama U.), T. Kasaya (JAMSTEC) and N. Oshiman (DPRI, Kyoto U.)

Abstract

Observation of geomagnetic and geo-electrical variation field yields important information on the distribution of electrical conductivity of the earth's interior. The measurement, however, has been so far restricted on land and on deep sea. It is therefore important to extend observation on shallow seas.

Since 2004, OBE (Ocean Bottom Electrometer) designed for use at depths less than 500m has been developed and marine MT (Magneto-Telluric) sounding survey was conducted in the Sea of Japan off Tottori during the period from June 23 to August 23, 2007. KPC-OBE was recovered successfully, so overview of KPC-OBE and preliminary results are described concisely in this report.

1. はじめに

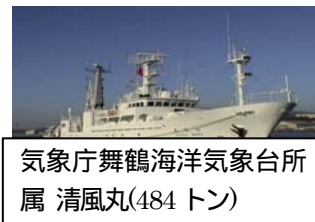
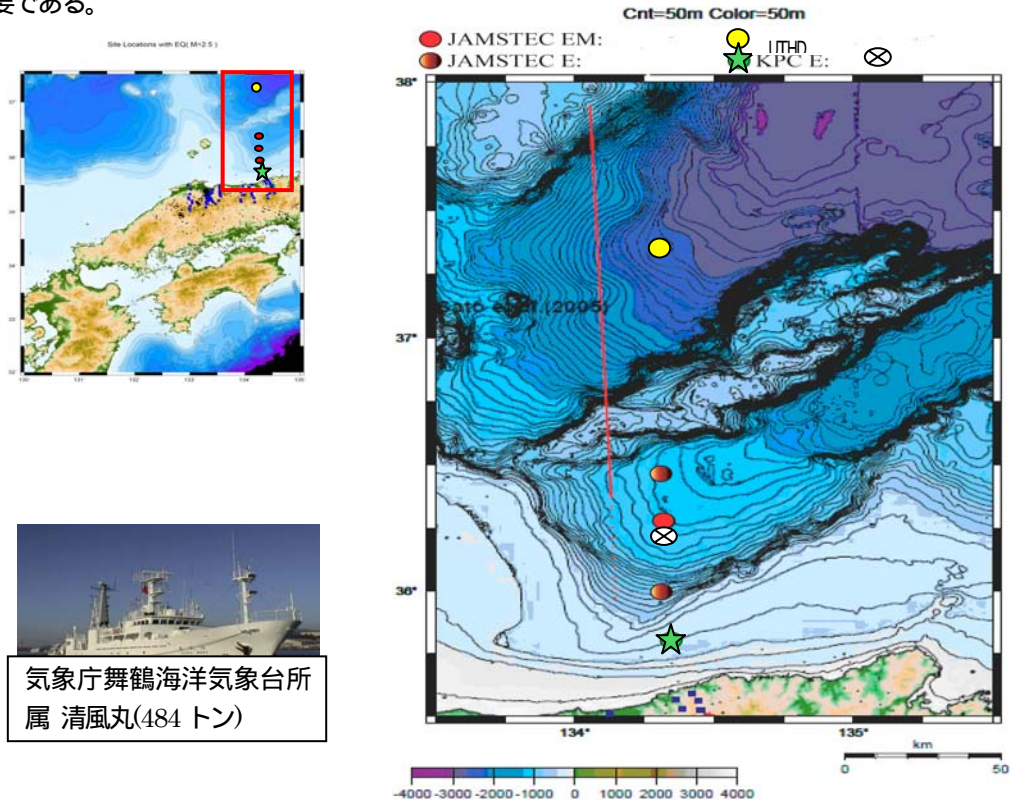
浅海底での MT 観測を目指した機器開発には、海洋研究開発機構 (JAMSTEC)、原環センター (RWMFRC) などが取り組んでいる (笠谷ら、2006; 吉村ら、2004)。九州能開大 (KPC) でも、平成 16 年度より、水深数 100m 程度までの浅海専用の自然電磁場変動観測機器 (OBEM) の開発に取り組んできた (西留ら、2005; 吉村ら、2006)。平成 17 年度 (8 月 30 日 ~ 10 月 20 日) には、鳥取沖日本海での共同海底電磁気観測 (第 1 図) に参加した。ただ、浅海は一般に好漁場であることが多く、鳥取沖では 8 月下旬から始まるカニ漁のため、設置予定地点が水深 250m 程度の浅海から水深 1200m 程度の場所に変更となった。そこで、深海仕様に変更した九州能開大製海底電位差計 (以降、KPC-OBE と略記) を水深 1200m の海底 (第 1 図 (×) 地点) に設置したが、その回収には失敗した。その主な原因は、浮力設計のミスであり、自己浮上速度が約 0.1m/s 以下と非常に低速であり、16 時 35 分の切離し後、海面下 50m 程度まで到達するのに 5 時間以上も費やし、その後、月明かりの下での 2 時間にも渡る捜索にも関わらず、発見することはできなかった。この回収失敗のため、淡清丸や地震研をはじめとする多くの機関にご迷惑をお掛けした。本年度は、リベンジを誓って改良した KPC-OBE を気象庁舞鶴海洋気象台所有の清風丸により 6 月 23 日水深 230m の地点 (第 1 図の 印地点) に投入し、2 カ月後の 8 月 23 日 8 時 56 分に切り離しコマンド送信後、7 分程度の電蝕により 1mm のステンレス線が切断され、自己浮上を開始して 8 分程度 (0.5m/s 程度の浮上速度) で KPC-OBE は無事海上に現れ、9 時 20 分には回収することができた。

今回は、KPC-OBE の構成と取得したデータの概略について報告する。現在 MT 解析、モデル計算等は進行中であり、後日報告する予定である。

2. 電位差計測装置(OBE)

2.1 機構部

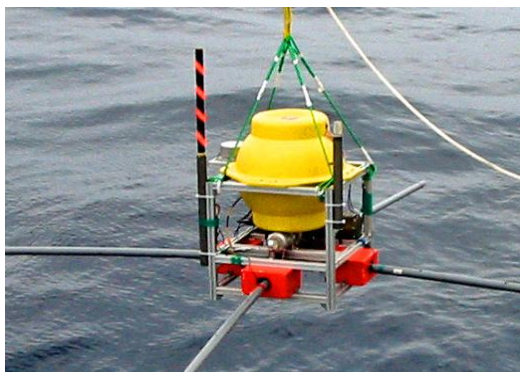
昨年度(KPC-OBE2006)と今年度(KPC-OBE2007)のOBE装置の外観を第2図に、その構成物の空中重量と水中重量を第1表に示す。ハードハット内には、水深6700mまで耐圧性が保障された17インチガラス球があり、その中にはデータ計測・記録装置と電源及び、姿勢検出・記録装置を収納している。ハードハットの外側には、ビーコン、フラッシャー、音響トランスポンダ、切離し装置付き錘を取り付けている。機構部の最重要課題は、確実な切離し機構と十分な浮力の確保による回収成功であり、また、良好なデータ取得のための揺れの低減も必要である。



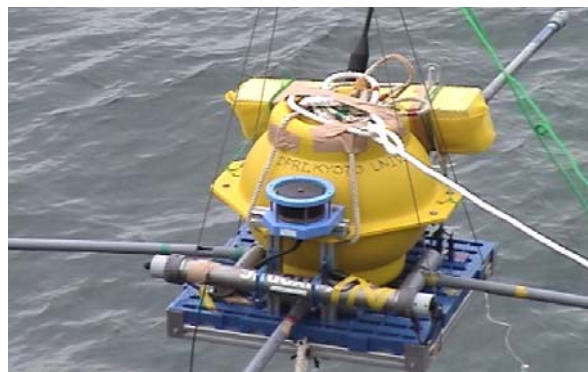
気象庁舞鶴海洋気象台所属 清風丸(484トン)

第1図 鳥取沖における共同海底電磁気観測点分布図

Fig.1 Locations of the marine MT survey area in the Sea of Japan off Tottori



(a) KPC-OBE2006



(b) KPC-OBE2007

第2図 KPC-OBEの外観

Fig.2 The outside appearance of KPC-OBE

第1表から、ガラス球1個でOBEを構成した場合、実質25kg程度の浮力が得られることが分かる。水中重量はガラス球内に格納する計測装置や電池で8kg、ビーコンとフラッシャーで2kg、電極とアーム4本で4kg弱であり、これらを除くと残りの浮力は11kgとなる。2006年度は爆破方式(日油技研製L-GH型)の切離し機構を用い、さらに、筐体をアルミフレームで構成したため、これだけで浮力が7kgも不足してしまった。そこで、浮力体を付加して2kgの浮力を確保したが、この浮力では十分な浮上速度が得られなかった。そこで、2007年度には、切離し機構を電蝕方式(海洋電子製STD-302型)に変更すると共に、アルミフレームを極力使用しない構成にすることで、浮力体なしで6kg程度の浮力を確保することができた。さらに、2006年度の半分程度の浮力(4.5kg)を持つ浮力体を追加することで、合計10kg強の浮力が確保できた。

第1表 OBE 機構部仕様
Table 1 Specification of OBE mechanics

	KPCE-2006			KPCE-2007		
	空中重量 [kg]	浮力 [kg]	水中重量 [kg]	空中重量 [kg]	浮力 [kg]	水中重量 [kg]
ガラス球+ ハット (Benthos社 2040-17H,204H-17)	20.5	46.0	-25.5	20.5	46.0	-25.5
計測装置 + 固定材	3.0	-	3.0	2.4	-	2.4
電源部 (3B36-ST×20個)	5.0	-	5.0	5.0	-	5.0
浮力体 (シタティックフォーム: 日油技研)	4.0	12.0	-8.0	5.0	9.5	-4.5
切り離し装置	8.0	1.0	7.0	6.0	3.0	3.0
トランスポンダ・ジュース	10.0	4.8	5.2			
アルミフレーム	8.5	2.9	5.6	2.3	0.7	1.5
台座	-	-		2.5	0.5	2.0
ビーコン&フラッシャー	3.0	1.0	2.0	3.3	1.3	2.0
電極&アーム (2m長4本)	4.5	1.3	3.2	4.5	1.3	3.2
錘 (鉛)	30kg			32kg		
合計	67.0	69.0	-2.0	51.5	62.3	-10.8



第3図 OBEの自己浮上実験

Fig.3 Experiment for self pop-up mechanism of KPC-OBE2007

浮力設計等を確認するために、第3図に示すように北九州市内のフェリー乗り場（水深約10m）において、ユニッククレーンを用いて海上でのバランスや電蝕の切断所要時間、浮上速度の計測実験を、水中カメラなどを用いて海底での状況を確認しながら実施した。その結果、切離しコマンドを受け付けて、錘の切離しに要する時間は5分程度であった。また、海底から海上までの約10mを浮上するのに要した時間は15～18秒であり、浮上速度は0.5m/s以上であることを確認した。また、共同観測直前の淡清丸KT-07航海において島根沖水深150mの海底に設置した同構成のOBEMでは、落下速度は約0.75m/sであり、切離しコマンド送出後約6分で離底を確認し、その後4分程度で海面まで浮上した。従って、浮上速度は約0.6m/sであり、前記実験とほぼ同じ結果が得られた。

2.2 計測部

耐圧容器内には、電源（リチウム一次電池 3B36-ST (3.9V、30AH、0.2kg)）を20個と計測用電子回路を格納している。なお、電子回路部は投入・回収時の衝撃を考慮し、ピンコンタクトでスタックアップ接続するPC/104バスボードを採用している。計測部の構成と仕様を第2表に示す。電場は2個の電極間電位差から求めるが、その電極にはクローバテック製銀・塩化銀電極を用い、直交して配置した4個の電極と中心（筐体部）においたコモン電極との電位差を計測している。その計測精度は0.1μV/mと設定し、電極間の電位差を250倍に増幅後、型20ビットA/Dコンバータ(Cirrus Logic社CS5506)により10HzサンプリングでAD変換し、10回の計測値の平均値を1秒値として1時間単位でコンパクトフラッシュカードに記録している。電位差計測アナログ回路電源として、リチウム電池4個(±7.8V、30AH)を使用すると最大4か月間(～3000時間)動作する。一方、記録部のデジタル回路は最も電力消費が大きく、2ヶ月間の観測のためにリチウム電池12個(7.8V、30AH:3直4並列)が必要である。今後、この部分の低消費電力化が課題である。

また、着底後の方位と傾斜変化を知るため、方位計と傾斜計を搭載し、それぞれ100nT、0.02°の精度で10秒値を電位差とは別のコントローラ(PIC18F252)を用いて、コンパクトフラッシュカードに記録している。この姿勢計測部の電源にリチウム電池2個(7.8V、30AH)を使用すると、最大2か月間(～1200時間)動作する。

第2表 OBE計測部仕様

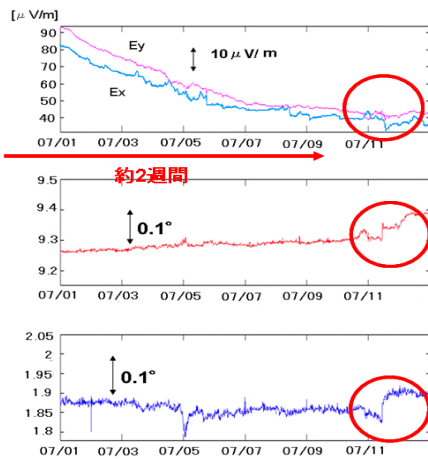
Table 1 Specification of OBE measurement instrument

姿勢計測	方位計測	MI センサ (PNI社 MicroMag3)		
	成分数	3	測定磁場範囲	±64,000nT
	測定精度	100nT		
	傾斜角計測	静電容量変化検出 (ルーカス社 DAS-20)		
	成分数	2	測定傾斜角範囲	±25°
	測定精度	0.02°	ADC (MCP3204)	12ビット
	時定数	0.6秒		
電位差計測	記録部	CompactFlash カード(32MB)		DC+7.8V、25mA
		コントローラ: PIC18F252、REX50		
	センサ	銀・塩化銀電極 (クローバテック社) 5個、電極間隔: 4m		
	成分数	2	測定電極間電圧範囲	±30mV
	測定精度	0.1μV	ADC(CS5506)	20ビット
	雑音電圧	0.8μVpp	消費電力	DC+7.8V、10mA
	記録部	CompactFlash カード(1GB)		DC+5V、70mA
	コントローラ: H8/3067(16MHz)、FROM128KB、SRAM128+4KB RTC, SerialPort 3ch, PC104bus I/F			

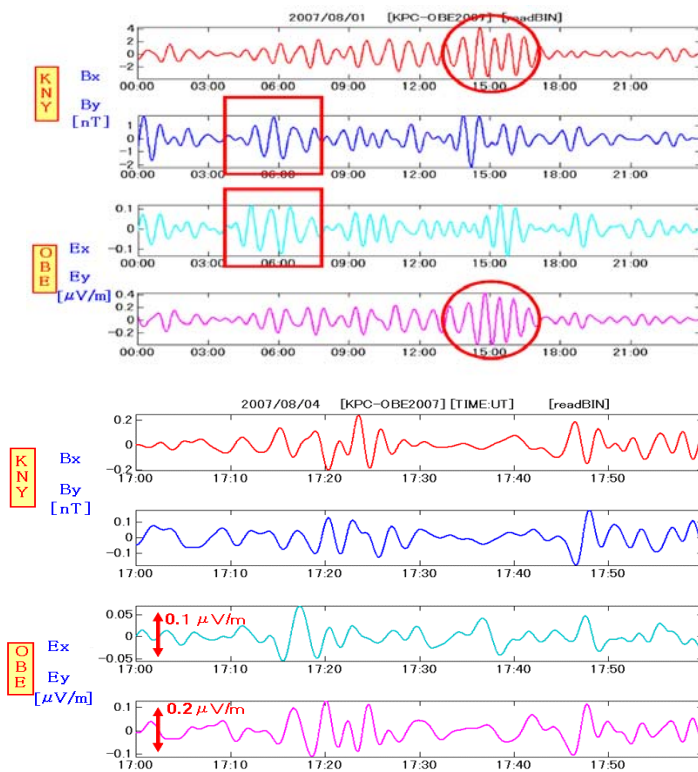
2.3 共同観測データ

第4図には、OBE座標系における電場と対応する傾斜の2週間分の変動データを示している。これによると、高さを0.8m程度まで低床化したが、やはり海流によるOBE管体の揺れは0.1°程度はあり、電場データにおいても周期数10秒程度まではその影響があると思われる。また、時折、0.5°以上の突発的な傾斜変動も記録されており、それに対応して電場データも変化している。このような揺れ対策として、電極アーム部の変更、台座の接地面積の拡大、さらに、錘(アンカー)量の増加などが今後必要であると考えられる。

また、第5図に、鹿屋の水平磁場変動とOBEの電場変動データを示している。左側の図5(a)は、8月10日から3日間のデータで、磁場変動に対応した電場変動を確認する事が出来る。右側の図5(b)は、8月5日午前2時(日本時)から1時間のデータで180秒程度の周期の地磁気脈動に対応した電場変動が確認できるが、その大きさは小さく、0.1 μ V/m程度であり、電位差計測回路のノイズレベルに近い信号強度である。



第4図 OBEで観測された電場データと傾斜データ
Fig.4 Time series of electric field variation and instrumental tilt data observed.



第5図 鹿屋の水平磁場と海底で観測された電場データ

(a) 長周期変動 (3日間データ)
Long period variations
The Band-pass filtered (10-600min) magnetic (upper 2 panels) and electric (lower 2 panels) field data

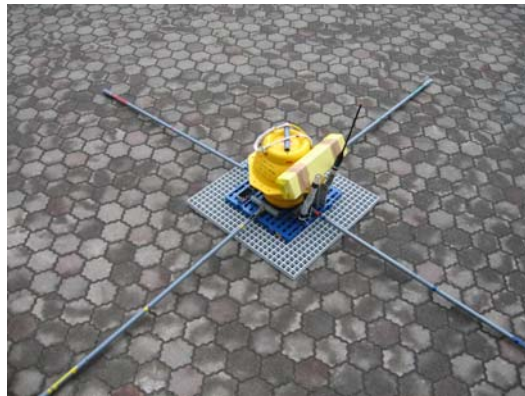
(b) 短周期変動 (1時間データ)
Short period variations
The Band-pass filtered (30-600sec) magnetic (upper 2 panels) and electric (lower 2 panels) field data

Fig.5 Time series of magnetic field variation at Kanoya magnetic observatory (JMA) and electric field variations in the sea floor.

3. まとめ

鳥取県沖約20kmの水深230mの海底で2カ月間電位差を計測した自作OBEを無事回収することができた。2年間3回に渡る実海域実験・観測によって、投入、回収に必要なOBE機構の仕様が理解でき、耐圧ガラス球1個の構成の場合、10kg程度の浮力を持たせることで、自己浮上速度は0.5m/s(1分間で30m浮上する)程度以上となることが分かった。ただ、浅海特有の低層流の影響下において0.1 μ V以下の電位差を計測するためには、電位差計測においてもより揺れにくい筐体構成(アーム取り付け機構、設置面積拡大、錘重量の増加など)にする必要がある。次年度の隠岐島と境港を結ぶ測線での共同観測は、今回より浅い(水深70~200m程度)場所がほとんどであり、対馬海流等の影響を強く受けることが考えられる。そこで、第6図に示すような筐体構成をベースに海域実験を行いながら改良を重ね、次年度の共同観測に臨みたいと思っている。

さらに、実海域実験の結果から極浅海(水深数10mから100m程度の沿岸域)においては、ガラス球耐圧容器でなくとも、自作アルミニウム製円筒形容器によって耐圧性、水密性も十分であり、むしろ水圧によって水密性を図るガラス球よりも信頼性があるという結果が得られた。そこで、今後は、金属性耐圧容器を用いた浅海用OBEも開発していく予定であり、その際、現在開発中の自作銀-塩化銀電極の試験も行いながら、稠密な多点観測の実現を目指して開発を進めていく。



第6図 KPC-OBE2008 外観

Fig.6 The outside appearance of KPC-OBE2008

鹿屋における磁場データは、気象庁地磁気観測所のご厚意で提供頂きました。

最後に、共同観測におけるOBEの設置・回収に際して多大なる便宜を図って頂いた地磁気観測所の藤井主任研究官を始め、気象庁舞鶴海洋気象台の方々、及び、藤平清風丸船長を始めとする乗組員の方々に御礼申し上げます。

参考文献

笠谷 貴史、後藤 忠徳、小型海底電位差磁力計の開発、CA 論文集、2006

吉村 公孝、山根 一修、Steven Constable、Arnold Orange、浅海域での電磁法調査の問題点と対策試案、物理探査、57、383-394、2004

西留 紳也ら、極浅海における電磁場観測機器の開発()、CA 論文集、16-22、2005

吉村 修司ら、極浅海における電磁場観測機器の開発()、CA 論文集、111-117、2006

吉村 修司ら、浅海用OBEMの開発、九州職業能力開発大学校2005年度生産系開発課題論文集、2006