

3.4 長期型自己浮上式海底地震計の整備とその試験運用について

平田賢治・山崎 明・対馬弘晃

3.4.1 背景

気象研究所地震津波研究部（平成25年度までは地震火山研究部）は、平成11年度から自己浮上式の海底地震計（Ocean Bottom Seismograph: OBS）を用いた地震観測研究を実施している（青木・他, 2003; 気象研究所地震火山研究部, 2011）。これらの一連の地震観測研究においては（株）勝島製作所製および（株）東京測振製の、最長で約3ヶ月間の海底地震観測が可能な短期型OBSが使用されてきた。

平成18年度、気象研究所は、海上保安庁海洋情報部が我が国周辺の大陸棚調査に活用してきた（株）東京測振製の短期観測型OBS（型式：TOBS-24N）を30台譲り受けた。これらTOBS-24Nのうち、平成23年度および平成24年度各年で4台ずつ、2年間で合計8台の、OBSガラス球内部の既存のレコーダーを低消費電力型レコーダーに改造し、気象研究所として初めて最長1年間の長期観測が可能な長期型OBS（本報告では、この形式をTOBS-24NLと呼ぶ）を整備した。本改造作業は、気象研究所が（株）東京測振に依頼し、実施された。これらTOBS-24NLを用いて、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（ M_w 9.0）の震源域が及んでいないと考えられる房総半島沖で、試験観測をおこなった。

本報告では、今回新たに整備した長期型OBSの構成、仕様、整備方法についての概要、そしてこの長期型OBSを用いて実施した房総半島沖での試験的な海域地震観測とその結果について報告する。特に、平成25年12月現在では対策が施され問題点は解消されているが、平成24年9月の回収・再設置航海で発生した、長期型OBSの音響トランスポンダの不具合についても報告しておく。

3.4.2 長期型自己浮上式海底地震計の構成と仕様、整備方法

今回、整備した長期型自己浮上式海底地震計TOBS-24NLの構成と仕様をTable 3.4.1に示す。TOBS-24NLは、（株）東京測振製の短期型OBSであるTOBS-24Nのガラス球内部のレコーダーのみを改造したものであり、その概観はTOBS-24Nと全く同一である（Fig. 3.4.1）。TOBS-24NLの組立・解体方法もTOBS-24Nと全く同一で、基本的な手順は短期型OBS組立手順書（東京測振, 2005）に掲載されているが、実作業では細かなノウハウが必要なため、地震津波研究部では観測の度に組立・解体を（株）東京測振に依頼している。

3.4.3 長期型自己浮上式海底地震計の設置と回収

3.4.3.1 平成23年度後半から平成24年度前半にかけての観測作業

長期型自己浮上式海底地震計TOBS-24NLの試験観測および平成23年東北地方太平洋沖地震（ M_w 9.0）震源域の南側に隣接する房総半島沖における地震活動の調査を目的として、平成23年11月初旬に気象庁海洋気象観測船「凌風丸」のRF11-10次航海において、4台のTOBS-24NLを房総半島沖に設置した。Fig. 3.4.2に、4台のTOBS-24NLの設置位置とともに、平成23年東北地方太平洋沖地震発生後の房総半島沖周辺の気象庁一元化震源リストに基づく震央を示す。気象庁一元化震源リストに基づけば、房総半島沖周辺の地震活動は M_J 4を下回る規模の地震がほとんどである。また銚子付近に M_J 3以下の地震活動が集中して発生している。この地震活動は、銚子付近から南東方向の房総半島沖合に、また東方向の銚子沖合に向かって、伸張しているように見える。4台の長期型OBSは、この銚子付近から南東および東に張り出した地震活動域先端部の震源の深さの推定精度を高めるため、Fig. 3.4.2に示す位置にそれぞれ設置された。

Table 3.4.1 Configuration and specifications of long-term OBS (TOBS-24NL)

(1) Spherical glass pressure vessel
Dimensions: External diameter 17 inches, inner diameter 15.9 inches; Maximum deployable water depth 6700 m
Connectors: 10 pin × 1 (control/hydrophone), 3 pin × 1 (transducer)
2 pin × 1 (forced electrical corrosion release system)
Vacuum port × 1
Hard hat size: H 22 in × W 22 in × D 19 in
(2) Battery
Recorder battery: OBB-24N-16 (3.9 V lithium battery cell, series connection of 2 cells × 16 sets parallel)
* For short-term (3 months) OBS: 3.9 V lithium battery cell, series connection of 2 cells × 8 sets parallel)
Transponder battery: L-G2BA (12 month-use type)
* For short-term (3 months) OBS: L-G2BA (5 month-use type)
(3) Seismic sensor
Velocimeter: two horizontal components and vertical component installed in gimbal
Natural frequency 4.5 Hz, sensitivity 0.41 V/(cm/s), damping constant 0.7
(4) Hydrophone
Sound pressure sensitivity: -168 dB (ref. 1 V/μPa) (2–15 kHz), -168 dB ± 1 dB (10–5000 Hz)
(5) Recorder (long-term remodeled DTC-6710)
Input channels: 4 ch, input voltage ±4.2 V (0 dB)
Sampling rates: 50, 100, 125, 200, 250, 500 Hz. A/D converter: 24 bit Delta-Sigma type
Pre-amp. (4 ch each): Magnification ratio 0, 20, 40, 60 dB. Low-pass filter, f_c 220 Hz, 18 dB/Oct.
Clock accuracy: $\pm 5 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$; Trigger type: threshold, time-window, etc.
Power consumption: Normal operation, 12 mA. During data archive, 45 mA
Storage media: 40 GB HDD
(6) Acoustic transponder
Receiver channels: 3 ch. Receive frequency 8.0–11.0 kHz. Transmit frequency 8.3–10.7 kHz
(7) Radio beacon
Antenna power: 0.1–0.2 W. Transmit frequency 41–44 MHz. Radio wave type A1
(8) Flasher
Flash interval: 2 s. Light emission: Discharge in xenon gas. Power: 0.1 J
(9) Release system: Forced electrical corrosion type
(10) Sinker
Dimensions: L 65 cm × W 65 cm × H 25 cm. Weight in air: about 35 kg



Fig. 3.4.1 Long-term ocean bottom seismometer (OBS) (TOBS-24NL). Instruments (seismometers, digital recorder, electronics for transponder, batteries) are contained in a spherical glass pressure vessel that is covered by a yellow polyethylene housing called a “hard hat”. A radio beacon is placed on the left side of the hard hat and a light that flashes during recovery is installed on the right side. The transducer of the transponder is behind the hard hat. An anchor painted brick-red will be released by a forced electrical corrosion release system to allow recovery of the OBS.

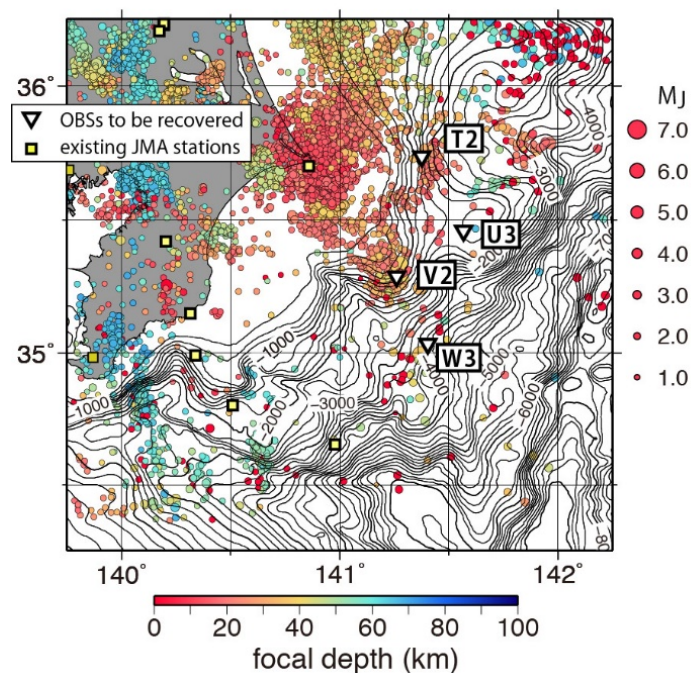


Fig. 3.4.2 Locations of OBSs deployed from November 2011 to September 2012. Inverted triangles indicate long-term OBSs, and squares indicate seismic stations of the Japan Meteorological Agency. Epicenters (circles) from January 1, 2012, to July 12, 2012, are also plotted (from Japan unified seismic catalog).

設置航海では、4台の長期型OBSは、岸壁の輸送トラックから人手を介して積み込まれ、凌風丸の作業甲板のエンジンルームの上方付近に毛布を敷き詰め、その上に置いた架台に搭載しロープで固縛した (Fig. 3.4.3)。投入作業は、ロープ固縛位置から凌風丸右舷側作業甲板にいったん人力で運ばれ、その後作業甲板のセンタークレーンを用いて海中に投入した (Fig. 3.4.4)。Table 3.4.2に、平成23年11月に設置し平成24年9月に回収された長期型OBSの設置位置および、

沈降時間・速度、船上の音響トランスデューサーから切離信号を送信してから錘が切り離され浮上を開始するまでの時間、浮上時間・速度に関する情報をまとめた。

なお、平成24年9月の回収航海（RF12-07次航海）において2台の長期型OBSを回収することができなかった。回収断念に至った主な経緯は以下のとおり；(1)9月22日13:18から13:45にかけて船上音響トランスデューサーから長期型OBS #I-014に信号を送信したが、OBSトランスポンダからの応答が確認できなかった。このため9月22日13:18から17:04（日没直前）まで、あらかじめ定められた手順にしたがって応答確認を繰り返したが応答が確認できなかったため回収を断念した。(2) 同様に長期型OBS #I-026についても、9月23日06:40から06:44にかけて船上音響トランスデューサーから信号を送信したが応答が確認できなかった。このため06:47から09:26まで同様な手順で応答確認を繰り返したが、OBSトランスポンダからの応答が確認できなかったため回収を断念した。

9月23日正午頃までは海況はそれほど悪くなく、9月22日午前中には観測点 U3とW3においてそれぞれ長期型OBS #I-010と#I-007を無事回収している。このためOBSトランスポンダからの応答が確認できなかったのは海況が悪かったなど自然環境が原因とは考えにくい。



Fig. 3.4.3 Photograph of the long-term OBSs (with yellow hard hats) onboard R/V *Ryofu-Maru* during cruise RF11-10 in November 2011. The other spherical vessels are long-term OBSs of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo.



Fig. 3.4.4 Photographs taken during deployment of long-term OBSs during cruise RF11-10 of R/V *Ryofu-Maru*. (a) A long-term OBS was moved manually from its secured in-transit position to the side of the ship in preparation for deployment then (b) winched over the guardrail and (c) lowered to the sea surface.

Table 3.4.2 Locations and descending and ascending durations of long-term OBSs installed in November 2011

Station code	OBS code	Latitude ¹		Longitude ¹		Water depth ¹ (m)	Descent duration (min)	Descent speed (m/min)	Release time ³ (min.)	Ascent duration (min)	Ascent speed (m/min)	Release for deployment ²	Surfacing ^{2,4}	Remarks
		Deg.	Min.	Deg.	Min.									
T2	I-014	141	21.636	35	44.163	1475	23	64	—	—	—	2011/11/06 17:08	—	No response from the transponder
U3	I-010	141	34.032	35	27.490	1155	24	48	1	43	27	2011/11/06 11:50	2012/09/22 11:18	
V2	I-026	141	15.660	35	17.205	922	14	66	—	—	—	2011/11/07 09:49	—	No response from the transponder
W3	I-007	141	24.253	35	2.007	3580	58	62	29	84	43	2011/11/05 16:09	2012/09/22 08:23	

¹ Location and water depth were estimated from acoustic ranging measurements between R/V and deployed OBS

² Japan Standard Time

³ Release time was measured from the acoustic response of the transponder

⁴ Surfacing time was detected by the radio beacon

3.4.3.2 平成24年度後半の設置作業 -OBS音響トランスポンダの故障-

前年度に引き続き平成24年度も(株)東京測振製の短期型OBS4台(#I-011、#I-012、#I-019、#I-021)を長期型OBSに改造した。平成24年9月下旬、この4台を凌風丸に搭載し(Fig. 3.4.5)、房総半島沖OBS回収・再設置航海(RF12-07次航海)に臨んだ。この搭載位置は通常のOBSオペレーション時と同じ位置である。ところが、9月21日出港直後の夕方になって、昨年度の設置航海時と同様の場所に搭載していた、長期型OBS#I-019の音響トランスポンダが不規則な間隔で自発的に音を発信し異常動作していることが確認された。このため同日夕方、チェックシートに基づき残り3台の長期型OBSの音響トランスポンダの応答確認テストを実施したところ、#I-021の音響トランスポンダが応答不良かつ「距離応答」に相当する音を不規則なタイミングで自発的に発信していること、また、残りの#I-011と#I-012がしばしば規定どおりの動作をせずに応答不良になっていることが確認された。船から音響トランスポンダメーカーの技術者と連絡を取り、可能な限りの対策を講じたが、動作不良が改善せず、このような状態で再設置作業を強行しても1年後に回収できる見通しが立たないことから、最終的に9月24日夕刻を以て再設置用に持ち込んだ4台の長期型OBSの投入を中止した。この音響トランスポンダの動作不良に関して、9月19日のOBS観測資機材の凌風丸への搬入時点から凌風丸航海終了後の東京港岸壁(お台場埠頭)着岸時における動作確認作業までの時系列をTable 3.4.3にまとめた。



Fig. 3.4.5 Photograph of long-term OBSs onboard R/V *Ryofu-Maru* during cruise RF12-07. The OBSs were placed on the working deck with blankets under them about 5–10 m behind the shelter of a CTD hangar.

Table 3.4.3 Log of malfunction and onboard countermeasures of acoustic transponder of OBSs during the cruise RF12-07 of R/V *Ryofu-Maru* in September 2012

2012/9/19	14:00	Carried OBSs onto <i>Ryofu-Maru</i>	
	14:45	<p>OBS transponder checks resulted in normal performance</p> <p>(1) Transmitted a call signal to confirm that the release system was off</p> <p>(2) Transmitted a ranging start signal</p> <p>(3) Ranged 3 times, and confirmed correct distance.</p> <p>(4) Transmitted a weight release signal</p> <p>(5) Confirmed the voltage of the release system (>13 V)</p> <p>(6) Confirmed the ascending signal by tilting the transponder to 60° from vertical</p> <p>(7) Transmitted a call signal, and confirmed that the release system was on</p> <p>(8) Transmitted a release-off signal, and confirmed the release system was off (<0.5 V)</p> <p>(9) Transmitted a ranging-off signal</p> <p>(10) Transmitted a call signal, and confirmed that the release system was off</p>	<p>Normal response (responded to first signal).</p> <p>Normal response (responded to first signal).</p> <p>Normal response (responded to first signal).</p> <p>Normal response (responded to first signal).</p> <p>14.43 V</p> <p>Normal response (responded to first signal).</p> <p>Normal response (responded to first signal).</p> <p>0.016 V</p> <p>Normal response (responded to first signal).</p> <p>Normal response (responded to first signal).</p>
2012/9/21	13:30	Departure from Odaiba, Tokyo port	
	19:00	Tested response of the OBSs on the working deck (high noise) and in the hangar (low noise)	<<Red color indicates malfunction>>
		Transmitted a call signal in the hangar (low noise) using acoustic controller A and the transducer A	Responded to 2nd calls
		Transmitted a call signal in the hangar (low noise) using acoustic controller B and the transducer B	Responded to 2nd calls
		Transmitted a call signal on the working deck (high noise) using the acoustic controller A and transducer A	No response
		Transmitted a call signal on the working deck (high noise) using the acoustic controller B and transducer B	No response
		Conducted the same tests on the working deck (high noise) with OBSs I-007 and I-010 which had been successfully retrieved	Normal response from both OBSs
2012/9/22	21:04	<p>Test the transponders with call signal</p> <p>(The second test following the procedures of the check sheet)</p> <p>(1) Transmitted a call signal to confirm that the release system was off</p> <p>(2) Transmitted a ranging start signal</p> <p>(3) Ranged 3 times, and confirmed the correct distance</p> <p>(4) Transmitted weight release signal</p> <p>(5) Confirmed the voltage of the release system (>13 V)</p> <p>(6) Confirmed the ascending signal by tilting the transponder to 60° from vertical</p> <p>(7) Transmitted a call signal and confirmed that the release system was on</p> <p>(8) Transmitted a release-off signal and confirmed the release system was off (<0.5 V)</p> <p>(9) Transmitted a ranging-off signal</p> <p>(10) Transmitted a call signal and confirmed that the release system was off</p>	<p>Responded to 2nd call</p> <p>Responded to 3rd call</p> <p>1st 3 m, 2nd 1m, 3rd no response, 4th 0 m</p> <p>1st–7th no response; transmitted a call ⇒ normal response; Transmitted release signals ⇒ no response to 8th signal</p> <p>No measurement</p> <p>Not done due to the lashing</p> <p>Normal response (responded to first signal.)</p> <p>Normal response (responded to first signal.)</p> <p>No response to 1st–3rd signals. Abnormal response to 4th signal (responded as ranging). Normal response to 5th signal</p> <p>Responded to 2nd call</p>
	22:52	Disconnected the transponder connector, and started initialization of the CPU	
	23:57	Linked the connector and finished the initialization of the CPU. Cleaned the greased connector	

Table 3.4.3 (continued)

2012/9/23		Following tests were done with the output level at Lv. 2 (transmission level)	
	0:30	(1) Transmitted a call signal to confirm that the release system was off	Normal response (responded to the first signal.)
	0:31	(2) Transmitted a ranging start signal	Responded to 2nd calls.
	0:32	(3) Ranged 3 times, and confirmed the correct distance	Normal response (responded to every signals), 1st 3 m, 2nd 0 m, 3rd 0 m
	0:33	(4) Transmitted a weight release signal	Responded to the 2nd signal (another OBS transponder responded to the 1st signal).
	0:34	(5) Confirmed the voltage of the release system (> 13V)	14.43 V
		(6) Confirmed the ascending signal by tilting the transponder to 60° from vertical	No measurement due to lashing
		(7) Transmitted a call signal and confirmed that the release system was on	No response to all 3 signals
	0:37	(8) Transmitted a release-off signal and confirmed the release system was off (<0.5 V)	Responded to 2nd signal. 0.007 V
	0:38	(9) Transmitted a ranging-off signal	Abnormal responses to all 3 signals (responded as ranging).
	0:40	(10) Transmitted a call signal and confirmed that the release system was off	Abnormal response to 1st signal (responded as ranging), normal response to 2nd signal
	0:42	Transmitted a ranging cancellation signal.	Normal response (responded to the first signal).
		Additional call test for confirmation with the output level of Lv. 0	
	0:44	(1) Transmitted a call signal to confirm that the release system was off	Normal response (responded to first signal)
	0:44	(2) Transmitted a ranging start signal	Normal response (responded to first signal)
	0:45	(3) Ranged 3 times and confirmed the correct distance	1st 4 m, 2nd 0 m, 3rd 0 m. Transponder of 1-021 spontaneously responded between 2nd and 3rd signals
	0:45	(4) Transmitted a weight release signal	I-011 abnormal response (responded as ranging)
	0:46	Transmitted a release signal	No response. I-012 abnormal response (responded as ranging)
	0:47	Transmitted a release signal	I-011 abnormal response (responded as ranging)
		(5) Confirmed the voltage of the release system (>13 V)	No measurement
		(6) Transmitted a call signal and confirmed that the release system was on	Abnormal response (responded as ranging)
		(7) Transmitted a release-off signal and confirmed the release system was off (<0.5 V)	Abnormal response (responded as ranging)
		(8) Transmitted a ranging-off signal	Abnormal response (responded as ranging)
		(9) Transmitted a call signal, and confirmed that the release system was off	No execution
2012/9/23 ~2012/9/25		Consulted engineers of Nichiyu-Giken and conducted call tests on the two retrieved OBSs and the two OBSs to be installed	No normal responses
2012/9/25	17:00	<i>Ryofu-Maru</i> anchored in Tokyo Bay, engine stopped, but generator still working	
	18:00	Call test under relatively low noise conditions	No normal response
2012/9/26	14:00	Checked the acoustic transponder until 15:50	No normal response
2012/9/27	8:48	Docked at Odaiba, Tokyo port	
	9:12	Stopped engine	
	9:30	Switched power supply from shipboard generator to land-based power. Noise level decreased	
	9:31	Transmitted a call signal (observed by Nichiyu-Giken staff)	Normal responses (no recurrence of abnormal responses)
		Continued tests until the afternoon	

なお、音響トランスポンダの動作不良問題については、RF12-07 次航海終了直後の9月下旬に、動作不良のトランスポンダを日油技研工業(株)に送り返し、10月下旬まで原因究明のため同社にて温度試験、振動試験が実施された。その結果、(1) 夏場の高温環境下と冬場の低温環境下にさらされる OBS 保管場所で OBS を保管した (Fig. 3.4.6) ため、OBS 音響トランスポンダ送受波器 (逆鍋型形状のチタン製容器) の内部のシリコンオイル中に真空の隙間が生じていた可能性があること、さらに、(2) 船のエンジン主機や発電機による振動ノイズによって OBS 音響トランスポンダ送受波器容器内部にキャビテーション現象が生じ音響性能を劣化させた可能性があること、の2つが原因であろうと推測された。これに基づき以下の対策案が考えられた：(i) 室内で深海相当の水圧を加えることにより、OBS 音響トランスポンダ送受波器に発生した真空の隙間を解消する、(ii) OBS を船に搭載する際に、OBS の下に振動緩衝材 (免震マット) を敷くことにより、船の甲板から OBS 音響トランスポンダ送受波器に伝わる船の振動ノイズを低減し、キャビテーション現象が生じるのを防ぐ。これらの対応策を検証するために室内実験が行われ、その有効性を示唆する実験結果が得られた (東京測振・日油技研工業, 2013)。

さらに実海域での OBS オペレーションと同じ条件においてそれら対策案の有効性を検証するために、平成 24 年 12 月の気象庁海洋気象観測船「啓風丸」(KF12-09 次) 航海に、9 月の凌風丸 (RF12-07 次) 航海で回収した 2 台の OBS と動作不良のため投入中止した 4 台の OBS を計 6 台持ち込み、実証試験をおこなった。しかし、対策案を全く施していない場合においても動作不良が再現しなかったため、動作不良を起こすのに必要な条件が整っていないと判断し、対策案の有効性を確認することはできなかった (東京測振・日油技研工業, 2013)。このため、さらに平成 25 年 4 月の凌風丸 (RF13-03 次) 航海においても、12 月と同様に計 6 台の OBS を持ち込み対策案の有効性を確認しようとしたが、この際も動作不良が全く再現せず、対策案の有効性を確認することはできなかった。したがって、凌風丸 (RF12-07 次) 航海の際に発生した、長期型 OBS の音響トランスポンダ 4 台の動作不良の原因に関しては推測されその対策案も考案されたものの、実海域と同じ条件下では動作不良が全く再現されなかったので、推測された原因が本当かどうか、また対策案の有効性についても確証を得ることはできなかった。ただし、先述したように、陸上での実験結果に基づけば、原因としては上記の(1)および(2)が考えられ、その対策案もある程度有効であることだけは確認された。



Fig. 3.4.6 Photograph inside the room used for storage of OBSs at the Meteorological Research Institute. OBSs in the first two rows on the left are OBSs built by Tokyo Sokushin Co., Ltd, and were transferred from the Hydrographic and Oceanographic Department of the Japan Coast Guard to the Meteorological Research Institute. Eight of them were remodeled from short-term OBSs into long-term OBSs in 2011 and 2012.

3.4.4 長期型OBSのオペレーション時および保管時の注意事項

長期型 OBS は、(株) 東京測振の短期型自己浮上式海底地震計 TOBS-24N のレコーダーだけを低消費電力型レコーダーに改造したものである。したがって、長期型 OBS のオペレーションは TOBS-24N のオペレーションとまったく同じである。

ただし、長期型 OBS の低消費電力型レコーダーのサンプリング周波数として、50, 100, 125, 200, 250, 500 Hz の 6 種類が用意されているが、サンプリングレートが 125 Hz 以外の設定では収録記録にノイズが混入してしまうため、現状ではサンプリングレートは 125 Hz 固定で用いなければいけない。なお、現時点でノイズ混入の原因は不明である。また、約 1 年間の長期観測を行うため、レコーダー用の電池と OBS 音響トランスポンダ用の電池を OBS のガラス球内部に多く装填する必要がある。

なお、現在の OBS 保管場には冷暖房施設が整備されておらず、現状のままでは東京測振製の OBS 音響トランスポンダ送受波器の送受波能力を劣化させてしまう可能性が高い。これを防ぐためには、現在の OBS 保管場に冷暖房機器を取り付けて保管場の気温を一定の範囲に保つか、あるいは、組立の前に OBS 音響トランスポンダ送受波器に水深 2000 m 以深の水圧を掛けてトランスポンダ送受波器の容器を押し内部の隙間を解消するか、を行う必要がある。

3.4.5 長期型自己浮上式海底地震計の観測データの確認

Fig. 3.4.7 に、平成 23 年 11 月から平成 24 年 9 月にかけて房総半島沖の海底において、長期型 OBS によって記録された観測波形の例を示す。上下動・水平動 2 成分・ハイドロフォンの各信号が正常に記録されていることが確認された。当改造は、観測期間の長期化を図るため、電力消費を低減させるレコーダー全般にわたる改造であったが、レコード機能自体は正常に動作していた。

Table 3.4.4 に、凌風丸 (RF12-07 次) 航海によって回収された 2 台の長期型 OBS の投入前に設定したパラメーターのうちの主要な項目、並びに、実際の観測記録の開始日時、終了日時をまとめた。今回、微小地震を対象としたサンプリング周波数・プリアンプゲインを設定して観測を行ったが、観測波形 (Fig. 3.4.7) を確認しても、その設定は適当であったといえる。また、時計のずれも 9 か月を超える観測において、2 式のレコーダーとも 1.7 秒程度であり、補正して用いる場合問題とならないうレベルの値となっており、約 1 年の観測に支障がないことが確認された。

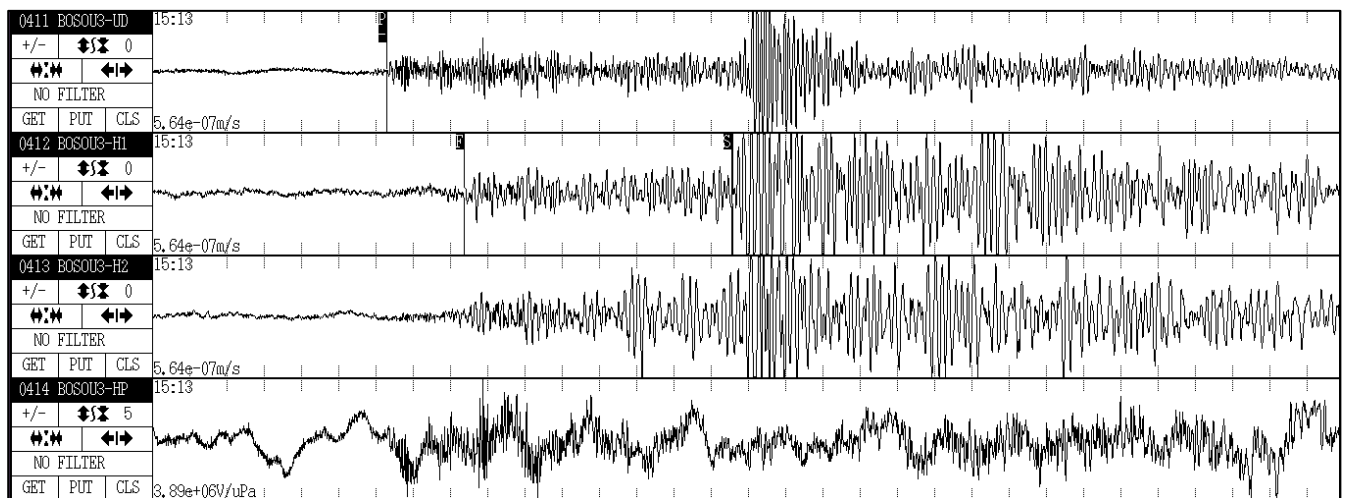


Fig. 3.4.7 Seismic records obtained by the U3 long-term OBS. Records, from top to bottom, are the vertical, horizontal-1, and horizontal-2 components, and hydrophone data.

Table 3.4.4 Observation period and recording parameters of OBSs that were successfully retrieved

Station code	Observation start time	Observation end time (start of retrieval)	Sampling rate	Digital filter mode	Gain of pre-amplifier	Δt (Installation/retrieval)
U3	2011/11/08 00:00	2012/9/22 10:34	125 Hz	Minimum phase	1-3 ch: 40 dB, 4 ch: 20 dB	-0.008/-1.684 s
W3	2011/11/08 00:00	2012/9/22 06:29	125 Hz	Minimum phase	1-3 ch: 40 dB, 4 ch: 20 dB	-0.003/-1.665 s

3.4.6 まとめ

平成23年度と24年度の2カ年で、各年度4台ずつ計8台の(株)東京測振製の短期型OBS (TOBS-24N) のレコーダーを改造し、長期型OBS (TOBS-24NL) を8台整備した。平成23年11月から平成24年9月の約11ヶ月間房総沖で試験観測を実施し、観測全期間にわたって良好な地震記録が得られた。

一方で、房総沖に設置した4台の長期型OBSの平成24年9月の凌風丸回収航海で、2台のOBS音響トランスポンダからの応答を確認することができず回収を断念した。また同時に、再設置用に凌風丸に搭載していた4台のOBSの音響トランスポンダが全て動作不良に陥り、これらの設置を断念した。その後のメーカーの実験室内での各種試験の結果によれば、(1) 夏場に高温、冬場に低温にさらされるOBS保管場所の温度環境によってOBS音響トランスポンダ送受波器(逆鍋型形状のチタン製容器)の内部のシリコンオイル中に真空の隙間が生じていた可能性があること、さらに、(2) 船のエンジン主機や発電機による振動ノイズによってOBS音響トランスポンダ送受波器容器内部にキャビテーション現象が生じ音響性能を劣化させた可能性があること、の2つが原因であろうと推測された。これに基づき、室内で深海相当の水圧を加えて送受波器内部のシリコンオイル中に生じた真空の隙間を解消するとともに、OBSを船に搭載する際に船から送受波器に伝わる振動ノイズを低減してキャビテーション現象が生じるのを防ぐために、振動緩衝材をOBSの下に敷く等の対策案が考えられた。そして、これらの対応策を検証するために室内実験が行われ、その有効性を示唆する実験結果が得られた。今後、長期型OBS (TOBS-24NL) を使用する場合は、これらの対策を毎回施す必要がある。

謝辞

本研究で開発した長期型自己浮上式海底地震計は気象研究所からの役務契約に基づき(株)東京測振によって製作された。海底地震計の音響トランスポンダの動作不良の調査にあたっては、日油技研工業(株)のお世話になった。実海域試験においては、気象庁地球環境・海洋部の海洋気象観測船「凌風丸」および「啓風丸」に協力いただき、乗組員、観測員をはじめ多くの関係者の方々のお世話になった。また、海域観測および回収された海底地震計のデータ解析にあたっては、東海大学海洋学部の馬場久紀准教授にご助力いただいた。一部の図の作成には、Generic Mapping Tool (Wessel and Smith, 1998) を使用した。記して、感謝の意を表す。

参考文献

青木 元・吉田康宏・原田智史・山崎 明・石川有三・中村雅基・田中昌之・松田慎一郎・中村浩二・緒方 誠・白坂光行, 2003: 自己浮上式海底地震計観測による駿河・南海トラフ沿いの地震活動—気象庁一元化震源との比較—, 地震2, 55, 429-434.

気象研究所地震火山研究部, 2011: 1.1 南海トラフ沿いの海域で実施した自己浮上式海底地震計観測, *気象研究所技術報告*, **63**, 1-35.

東京測振, 2005: 屈折波受信器組立説明書TOBS-24N, 1-27.

東京測振・日油技研工業, 2013: (気象研究所地震火山研究部宛) OBS回収装置の応答不良調査報告書, 1-52.

Wessel, P. and W. H. F. Smith, 1998: New, improved version of Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, **79 (47)**, 579, doi:10.1029/98EO00426.