

第 1 章 地震活動によるプレートの詳細構造の解明

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

1.1.1 はじめに

東南海・南海地震は、ユーラシアプレートとその下に沈みこむフィリピン海プレートの境界面で発生するプレート境界型の巨大地震である。この地震は 80～150 年程度の間隔で繰り返し発生していることが知られており、21 世紀の前半にも発生する可能性が高いことが指摘されている。次の発生の確かな予測は困難としても、それまでにどのような地震発生場の中で巨大地震が発生するかを詳細に調べておくことはプレート境界型巨大地震の予知技術を確立する上での基礎的な課題と言える。そのような地震発生域における地震活動の分布は、地震発生場の力学的な状態を反映しているものと考えられ、重要な調査項目の一つであると言える。特に紀伊半島の南方沖は東南海地震と南海地震の想定震源域の接合部となっており、前回の東南海地震、南海地震はこの海域で破壊が開始していることから、この海域での地震活動は注目される場所である。

現在のところ、ケーブル式の海底地震計が設置されている一部の地域を除けば、海域には常設の地震計が存在しない。ほとんどの海域では、陸域に展開されている地震観測網を使用して地震を検出することになり、陸から離れるに従い微小な地震活動の把握は困難となる。また震源の決定精度も悪くなり、特に深さの決定精度が低下することが知られている（例えば、青木・他、2003）。よって、海域で発生する地震活動を把握するためには震源域付近の海底に地震計を設置し、観測を行なう必要がある。特に東南海・南海地震の震源域はほとんどが海域にあるため、この海域の地震活動を詳細に把握するためには海底地震観測の実施が必須である。

気象研究所では 1999 年度より 5 ヶ年計画で実施された特別研究「地震発生過程の詳細なモデリングによる東海地震発生の推定精度向上に関する研究」（気象研究所地震火山研究部、2005）の一環として、東海沖において自己浮上式海底地震計（以下、OBS）による観測を実施した。これに続き、2004 年度より 5 ヶ年計画の特別研究「東海地震の予測精度向上および東南海・南海地震の発生準備過程の研究」では、その研究の一環として東南海・南海地震の震源域周辺において OBS による観測を実施することになった。この観測の目的は東南海・南海地震の震源域周辺での地震活動の調査であり、さらに求められた震源分布から沈みこんでいるフィリピン海プレートの形状を推定し、地震のシミュレーションモデルに反映させることにあった。

研究計画初年度の 2004 年 9 月に紀伊半島の南東沖で $M_j 7.4$ の地震が発生した。この地震は南海トラフ軸付近で発生したプレート内地震であった。本震発生後の余震活動は比較的活発で、余震域は本震から北西方向およびトラフ軸沿いの西南西方向に延びる分布を示した。この地震の発生が、次の東南海地震の発生にどのような影響を及ぼすのか注目される場所であった。そこで当初の研究計画を一部変更し、この地震の余震分布の詳細な調査と時間的推移を把握することを目的として、OBS による余震観測を実施した。OBS 観測は断続的に計 4 回に渡り実施されたが、このうち 3 回目までの観測結果については山崎・他（2008）に詳しく報告されている。

一方、紀伊半島の南方海域では、東京大学地震研究所（以下、地震研）による長期型 OBS 観測が 2003 年度より 5 ヶ年計画で開始されていた（Mochizuki *et al.*, 2009）。この OBS 観測は、一年間観測が可能なように設計された二十数台の OBS を紀伊半島周辺海域から紀伊水道の南方沖にかけて 20km～30km の間隔で配置した観測である。この観測では OBS の回収とほぼ同時に設置もおこなっているので、リアルタイム性はないものの、観測海域に常設の地震計が配備されているのとはほぼ同等な観測網とみなすことができる。こうした状況下にあつて、我々の OBS 観測と地震研の観測との重複は避けることとし、長期型 OBS の観測網からはずれた海域で、プレート内における地震活動の把握に寄与する観測を目指すことにした。その結果、主に紀伊半島南方沖の南海トラフ周辺での地震活動を調査することにし

た。地震研の長期型 OBS の観測データはいずれ公開される見込みであり、これを取り込んでより広域で詳細な地震活動解析がなされることが望まれるが、ここでは我々の観測データのみを用いた観測結果について報告する。

以上に記した経緯により、本研究計画で実施した OBS 観測は「紀伊半島南東沖の地震の余震観測」と「紀伊半島南方沖の南海トラフ周辺での地震活動調査」に分けることができる。いずれ地震研の長期型 OBS の観測結果が公表されるものと思われ、その際に我々の観測結果と併せ更に検討したい。Fig. 1.1.1 に 5 カ年の本研究計画において実施した OBS 観測の観測点を示す。

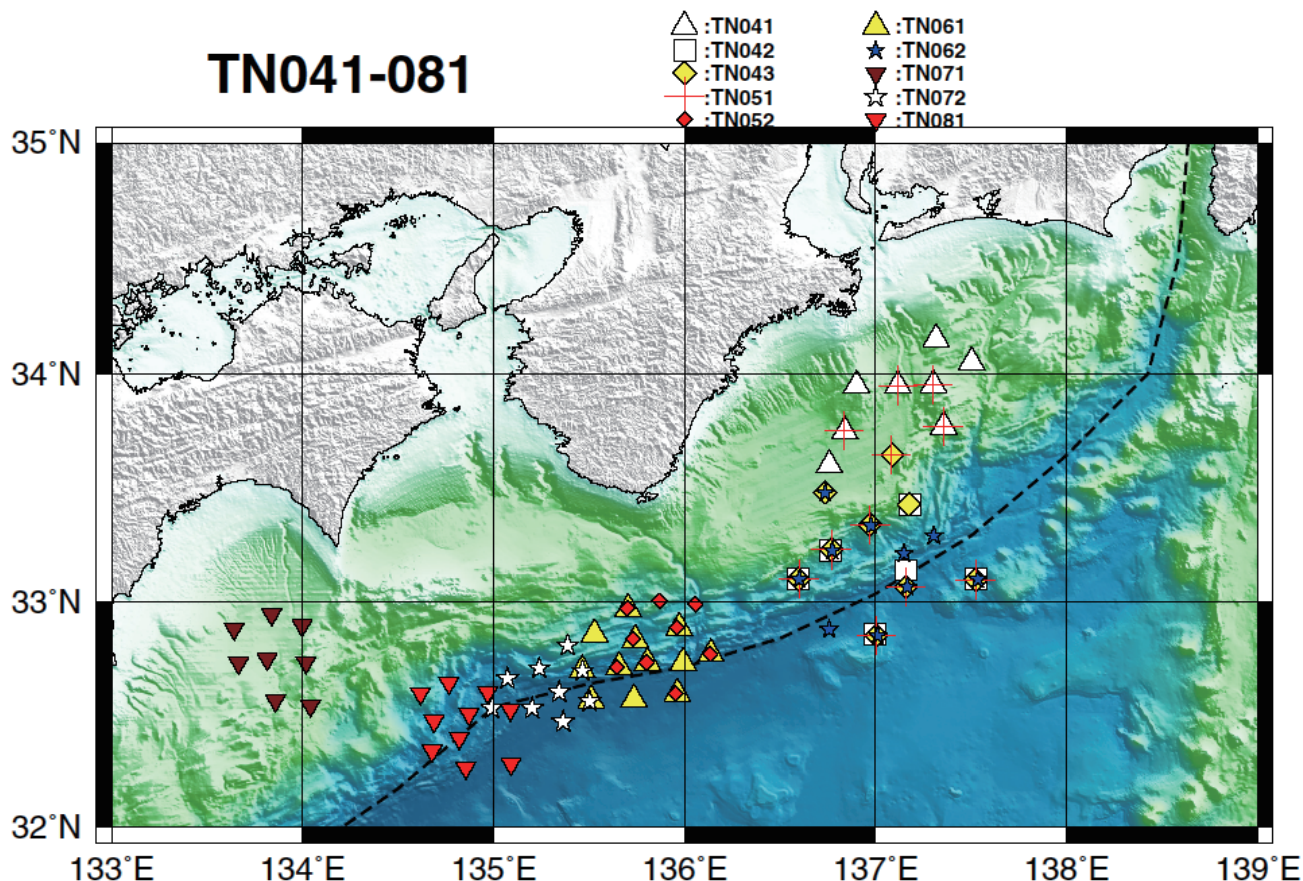


Fig. 1.1.1. Map of the ocean-bottom seismometers for observations conducted from FY 2004 to FY 2008. Each mark indicates an OBS station. The broken line denotes the Nankai trough axis. The fiscal years of these observations are as follows. TN041, TN042, and TN043: FY 2004. TN051 and TN052: FY 2005. TN061 and TN062: FY 2006. TN071 and TN072: FY 2007. TN081: FY 2008.

1.1.2 紀伊半島周辺海域における地震活動の概観

Fig. 1.1.2 に 2004 年の初めから 2008 年末までに紀伊半島周辺海域で発生した $M_j 1.0$ 以上で深さが 60km 以浅の気象庁一元化震源の分布を示した。紀伊半島の南東沖約 100km の南海トラフ軸には一辺が 60km 程度の三角の形をした密度の高い地震活動が存在するが、これは 2004 年紀伊半島南東沖の地震の余震活動である。この余震活動を除けば、紀伊半島の南東海域での地震活動は全般的に低い。一方、紀伊半島と四国の間の紀伊水道一帯では活発な地震活動が存在する。紀伊半島南方沖の南海トラフ軸周辺では周囲よりやや地震活動が活発であるように見える。全般的に紀伊半島の周辺海域で発生している地震の深さは 30km~60km に決まっているが、陸域の観測から求めた海域の地震の震源は深く決まる傾向があるので実際の発生深度はもっと浅いと考えられる。

2004 1/1 0:0 — 2008 12/31 23:59

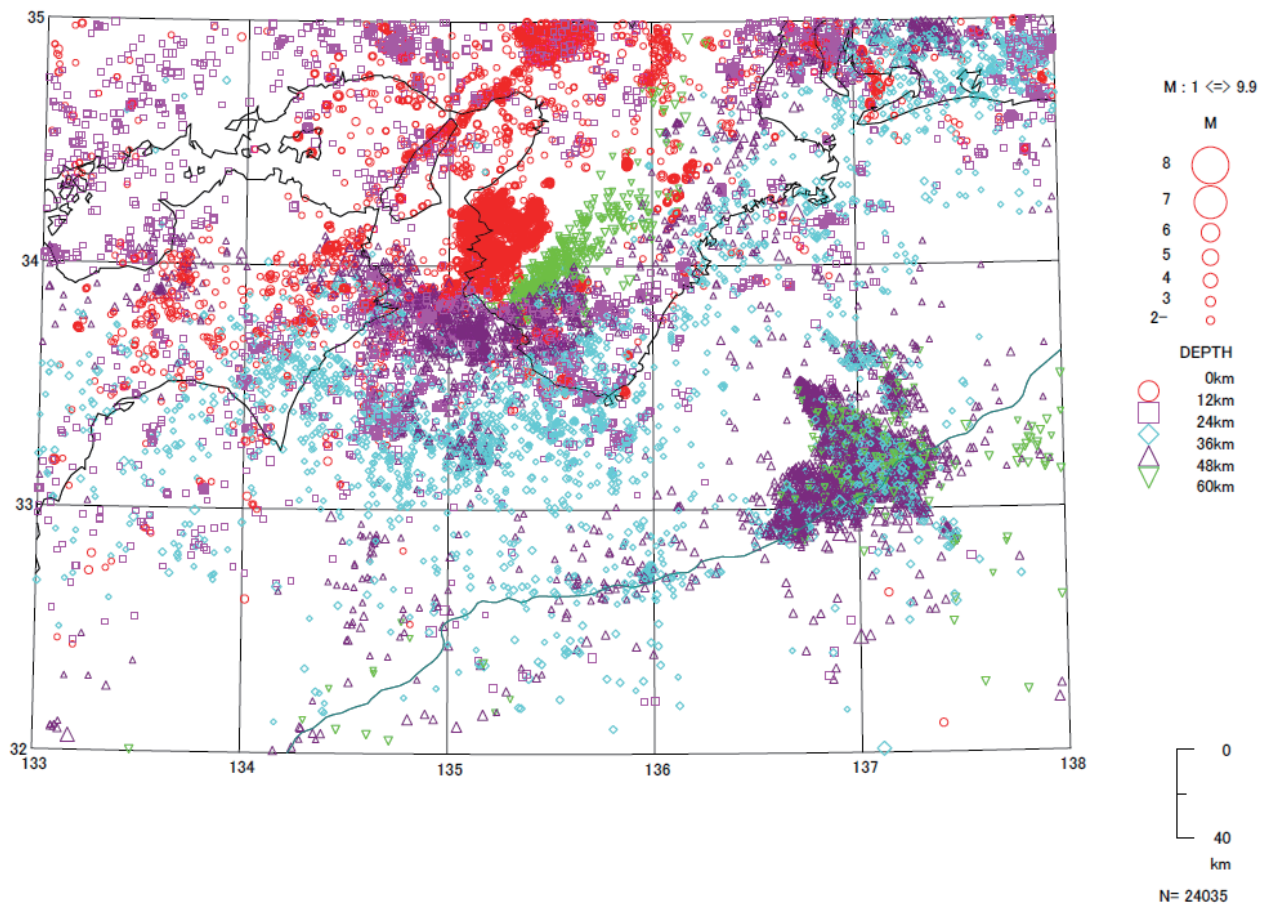


Fig. 1.1.2. Seismicity map of the area off the Kii Peninsula from January 1, 2004, to the end of 2008. Earthquakes exceeding $M_j 1.0$ and shallower than 60km are depicted from the unified seismic catalog.

1.1.3 OBS 観測

本研究で使用した OBS は(株)東京測振製と(株)勝島製作所製の二種類の OBS である。東京測振製 OBS の地震計の固有周波数は 2Hz で、A/D 変換の分解能は 16 ビット、観測可能期間は 3 ヶ月である。勝島製作所製 OBS はそれぞれ 4.5Hz, 24 ビット、4 ヶ月である。両社の OBS とも地震計は上下動と水平動二成分の三成分からなり、さらに海中の震動を捉えるハイドロフォンが装備されている。地震計はジンバル機構により設置した海底面の傾斜の影響を受けないように設計されているが、水平動の直交二成分の水平方位に関しては OBS の海底面着底時の向きに支配される。観測データの収録方式は連続記録方式とし、サンプリング周波数は東京測振製 OBS では 50Hz, 勝島製 OBS では 100Hz (TN043 観測では 200Hz) とした。

OBS の時刻校正は投入直前と回収直後に GPS 時計との差 (ΔT) を求め、OBS 時計の時刻ずれは一定であるとして ΔT を直線補間して補正している。OBS 時計の時刻ずれは 2~3 ヶ月の観測期間でおおむね 2~3 秒以内であった。

また、各観測点の緯度・経度および水深は OBS 投下後に音響通信装置による三点測量を行って求めた。この方法による観測点位置の決定精度はおおむね 20m~30m 以内である。

なお、OBS 観測の実施にあたっては気象庁地震火山部と共同で行っており、実施した各 OBS 観測の作業報告などについては気象庁地震火山部発行の地震機動観測実施報告 (気象庁地震火山部, 2007; 気象庁地震火山部, 2008) を参照されたい。

1.1.4 検測および震源決定

OBS 観測の検測および震源決定方法については 1.3 節に詳しく記述してあるので、ここではごく簡単に述べる。

検測作業については、取得した OBS の波形データを時刻補正処理した後、イベント毎の WIN 形式のファイルに変換して検測を行なった。検測作業は微小地震検測支援ソフト WIN（卜部・束田，1992）による会話検測を用いて P 相と S 相を検測した。震源計算は Hypomh（Hirata and Matsu'ura, 1987）を使用して行なった。震源計算に用いた P 波の一次元速度構造は、当該観測海域で実施された速度構造探査の図から読み取った。S 波速度については $V_p^*/V_s^*=1.73$ の固定値を用いた。さらに PS 変換波を用いた観測点補正を施し、最終的な震源を決定した。

Hypomh では上下動の最大速度振幅から渡辺（1971）の式によりマグニチュードが計算される。ところが、Hypomh から求めたマグニチュードを気象庁マグニチュードと比較すると $M_j3.0$ 以下の小さな地震ではかなり大きめになる傾向が認められた。そこで、本研究では Hypomh で求まるマグニチュードを気象庁マグニチュードに変換する補正式を求め、それを用いて OBS 震源のマグニチュードを決めた。ただし、気象庁一元化震源カタログに記載のある地震についてはそのカタログに記載されたマグニチュードを用いた。

1.1.5 OBS 観測コードの命名について

本報告において便宜上各 OBS 観測に次の命名法を適用し観測コードとした。コードの意味は最初の 2 文字が観測海域を示しており、TN は東南海・南海海域での観測を意味している。次の数字二桁が観測を開始したときの西暦年度の下二桁で、最後の数字が同じ海域で行ったその年度の何回目の OBS 観測であるかを意味している。例えば TN042 は東南海・南海で 2004 年度に行った第二回目の OBS 観測であるという意味である。以降、本報告においてはこの観測コードを用いて記述する。

1.1.6 実施した OBS 観測と震源分布

1.1.6.1 TN041 観測

2004 年度第 1 回目の OBS 観測（TN041 観測）は、東南海地震の推定震源域の中心域に位置する熊野灘東方沖で実施した。本観測の主たる目的は当該海域における微小地震活動の調査であったが、それ以外にこの海域は 2008 年度に新設される東南海ケーブル式海底地震計の設置予定海域であり、そのための予察的調査という目的も含まれた。

観測点配置図を Fig. 1.1.3 に、観測表を Table 1.1.1 に示した。OBS は当初 11 台設置の予定であったが、投入直前の点検で 1 台の OBS にトランスポンダの不具合が発見され、A 地点への投入を中止した。また、回収時に E および G 地点でトランスポンダの応答はあったものの、海底から浮上させることができず、回収できなかった。原因として、切離し機構の不具合か OBS 本体ガラス球への浸水が考えられた。これらのトラブルが重なり、結局 8 地点での観測となった。ただし、震源決定においては東海ケーブル式海底地震計の 4 地点のデータも使用した。

震源計算に用いた一次元速度構造は、仲西・他（1994）による東海沖での構造探査結果から青木・他（2003）が求めた速度構造を使用している（Fig. 1.1.4）。決定した震源数は 51 個である。求めた震源分布を Fig. 1.1.5 に示した。また、震源決定にあたって用いた観測点補正値を Table 1.1.2 に示した。

予想していた通り熊野灘東方沖は地震活動の低い地域であり、OBS の観測網の中に震源が決まった地震は 20～30 個であった。このため震源分布からその特徴を捉えることは難しい。その中で志摩半島の南東沖は比較的地震が多く分布した。また H 観測点の南西部に小規模な群発的な地震活動が見られた。

この今回の OBS 観測点は「2004 年 9 月 5 日紀伊半島南東沖の地震（ $M_j7.4$ ）」の震央の北方 50km～100km に位置しており、震源から比較的近い海域で観測していたことになる。すなわち、地震発生の 17 日前まで陸上の地震観測点よりずっと震源に近い場所で観測していたことになり、地震発生前に周辺海域で何らかの地震活動の変化があったかど

うかは興味のあるところであった。しかし、OBS 観測によっても地震前に特に目立った変化は観測されておらず、地震活動がきわめて低かったことが確認できた。

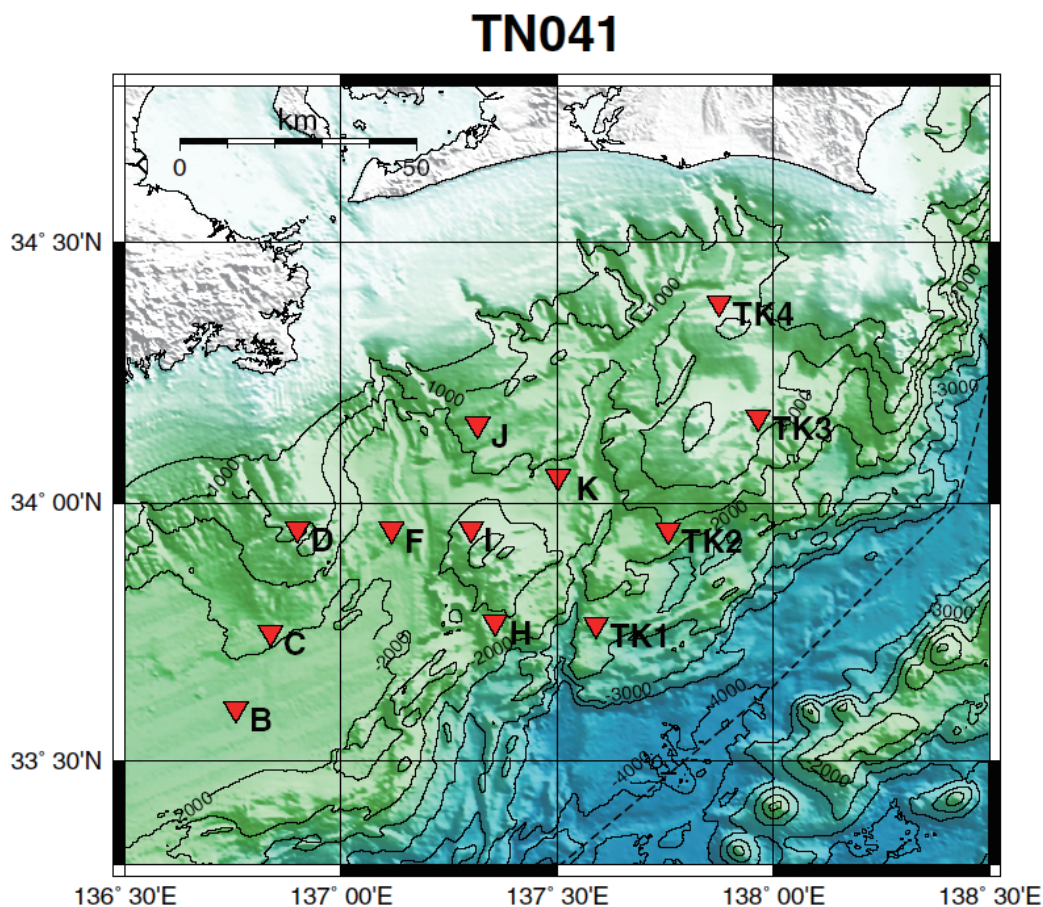


Fig. 1.1.3. OBS location map of the TN041 observation. TK1 to TK4 indicate the locations of the stations of the Tokai cable OBS system. The broken line denotes the Nankai trough axis.

Table 1.1.1. Information list of the TN041 observation.

観測名：	TN041					
観測期間：	2004. 05. 25 - 2004. 08. 19					
設置航海：	神戸海洋気象台 啓風丸					
乗船者：	山崎 明（気象研）・阿部正雄（気象庁地震火山部）・大野浩史（気象庁地震火山部）・林 保成（東京測振）					
回収航海：	気象庁地球環境・海洋部 凌風丸					
乗船者：	吉川澄夫（気象研）・長田芳一（気象庁地震火山部）・松原忠泰（東京測振）					
観測点名	北緯	東経	深さ(m)	OBS TYPE	sampling	備考
TN041A				東京測振型	50Hz	投入中止
TN041B	33. 60166	136. 75706	2072	東京測振型	50Hz	
TN041C	33. 74911	136. 83723	1933	東京測振型	50Hz	
TN041D	33. 95004	136. 89932	790	東京測振型	50Hz	
TN041E	33. 75149	137. 10582	1991	東京測振型	50Hz	回収できず
TN041F	33. 94918	137. 11663	1708	東京測振型	50Hz	
TN041G	33. 85096	137. 18088	1973	東京測振型	50Hz	回収できず
TN041H	33. 76997	137. 35682	1627	東京測振型	50Hz	
TN041I	33. 95041	137. 30107	1170	東京測振型	50Hz	
TN041J	34. 15060	137. 31617	1319	東京測振型	50Hz	
TN041K	34. 05006	137. 50242	1688	東京測振型	50Hz	

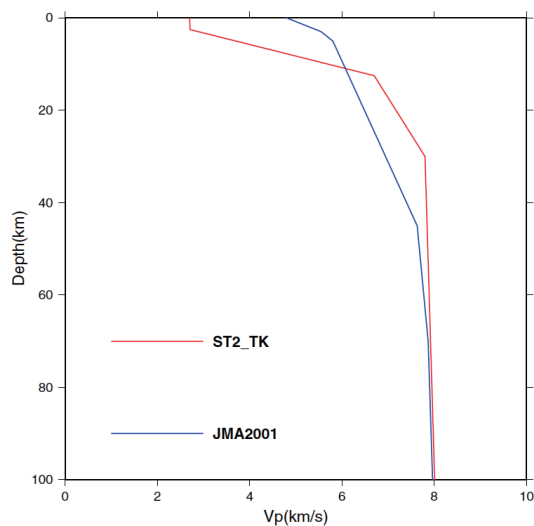


Fig. 1.1.4. P-wave velocity structure model used for the hypocenter determination of the TN041 observation (red line) made by Aoki *et al.* (2003). The JMA2001 structure model (Ueno *et al.*, 2002) is denoted by a blue line for reference.

Table 1.1.2. Used station correction values of P- and S-phases for the TN041 observation.

Station	Station correction value (s)	
	P-wave	S-wave
TN041B	-0.027	-1.777
TN041C	-0.227	-2.101
TN041D	-0.181	-1.076
TN041F	-0.133	-1.137
TN041H	0.089	-1.236
TN041I	-0.021	-1.060
TN041J	0.099	-0.498
TN041K	0.042	-0.906
TK1	0.184	-0.343
TK2	0.121	-0.334
TK3	0.155	-0.245
TK4	0.182	-0.817

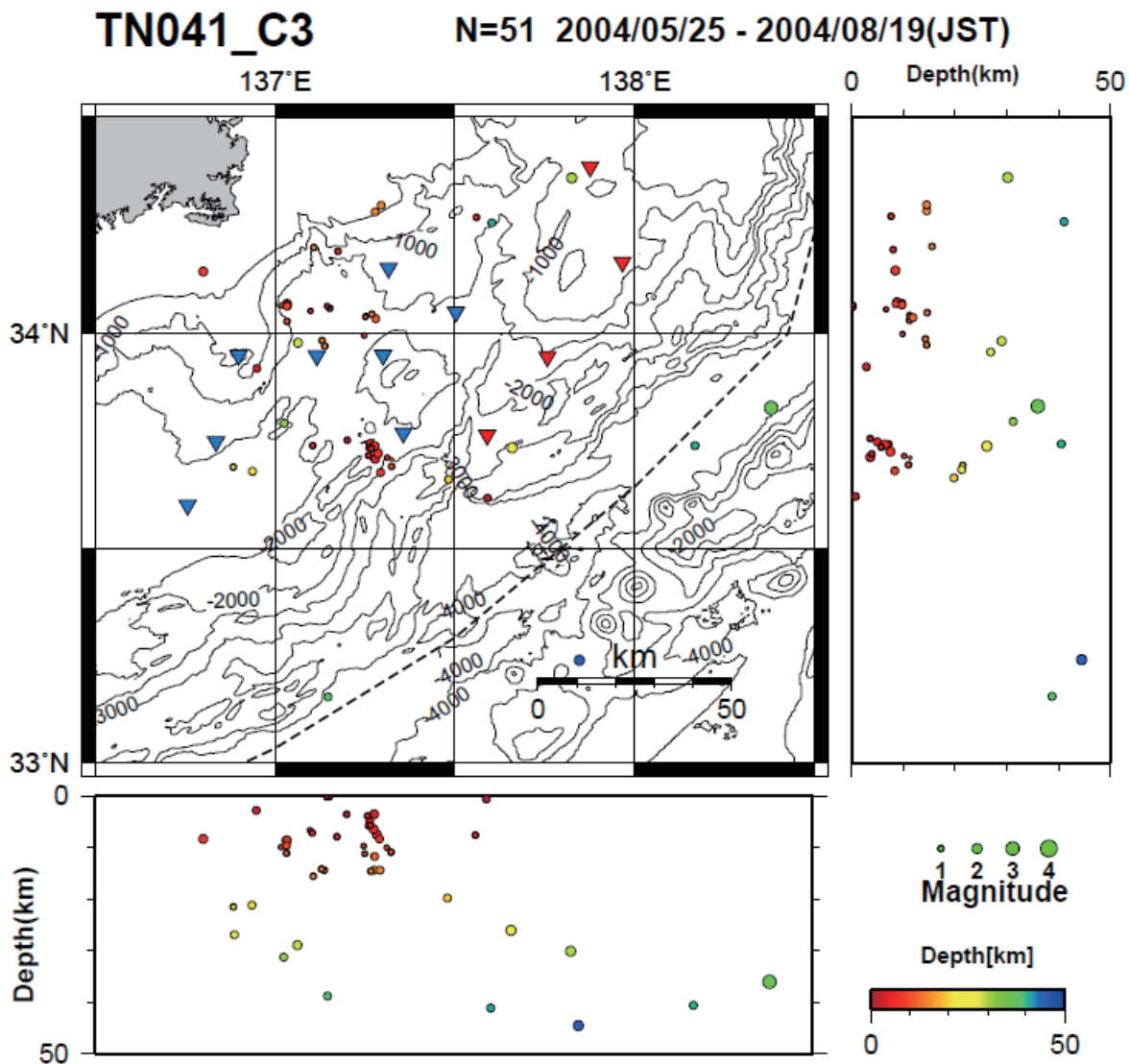


Fig. 1.1.5. OBS-located hypocenter distribution for the TN041 observation.

1.1.6.2 TN042 観測

2004 年 9 月 5 日に紀伊半島南東沖で $M_j7.4$ の地震が発生したため、この地震の余震観測を行った。これについては 1.3 節で詳しく報告してあるので、ここでは観測点配置図 (Fig. 1.1.6) と観測表 (Table 1.1.3), および震源分布 (Fig. 1.1.7) を示すにとどめる。

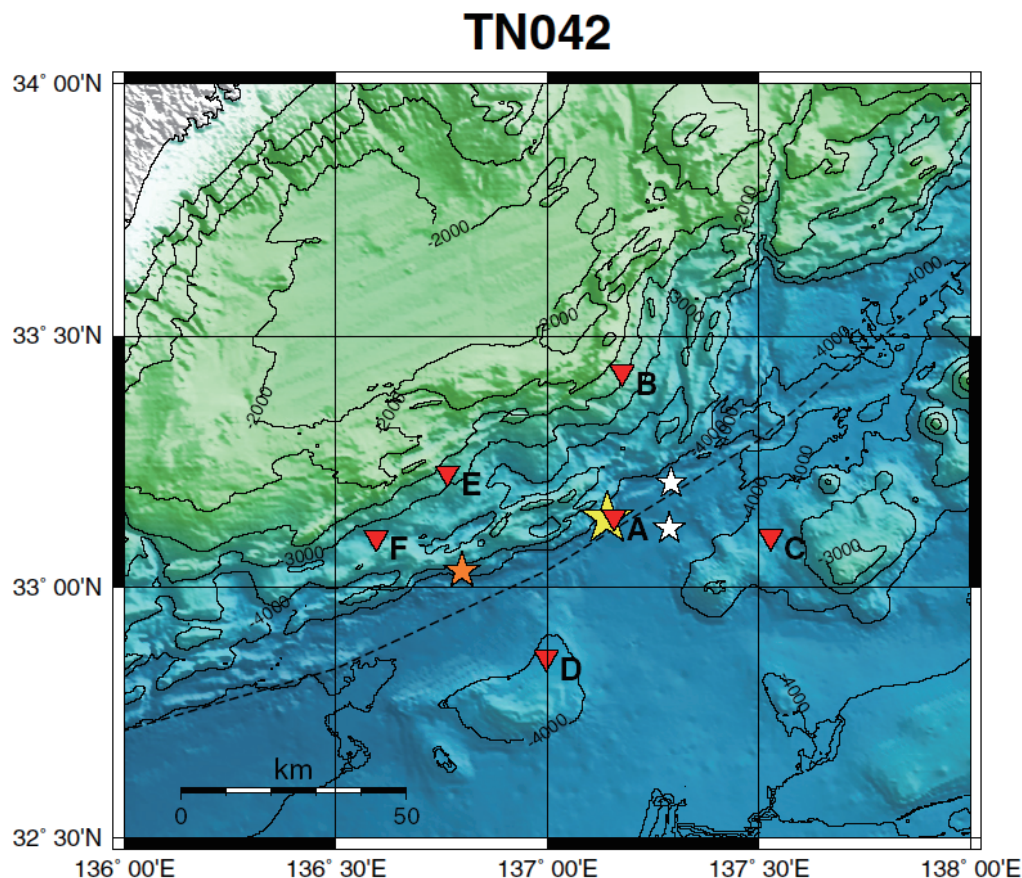


Fig. 1.1.6. OBS location map of the TN042 observation. The large yellow star denotes the epicenter of the mainshock ($M_j7.4$) of the 2004 off the Kii Peninsula earthquake, the orange star denotes the foreshock ($M_j7.1$), and the two white stars denote the largest aftershocks ($M_j6.5$)

Table 1.1.3. Information list of the TN042 observation.

観測名:	TN042					
観測期間:	2004. 09. 22 - 2004. 11. 30					
設置航海:	舞鶴海洋気象台 清風丸					
乗船者:	青木重樹 (気象研)・長田芳一 (気象庁地震火山部)・森脇 健 (気象庁地震火山部)・松原忠泰 (東京測振)					
回収航海:	神戸海洋気象台 啓風丸					
乗船者:	山崎 明 (気象研)・阿部正雄 (気象庁地震火山部)・森脇 健 (気象庁地震火山部)・関谷 博 (大阪管区気象台)・吉岡英和 (勝島製作所)・中島倫也 (勝島製作所)					
観測点名	北緯	東経	深さ (m)	OBS TYPE	sampling	備考
TN042A	33. 13939	137. 15751	4322	東京測振型	50Hz	
TN042B	33. 42770	137. 17663	2493	東京測振型	50Hz	
TN042C	33. 10113	137. 52748	3883	東京測振型	50Hz	
TN042D	32. 85976	136. 99722	3992	東京測振型	50Hz	
TN042E	33. 22851	136. 76432	2863	東京測振型	50Hz	
TN042F	33. 09930	136. 59510	3344	東京測振型	50Hz	

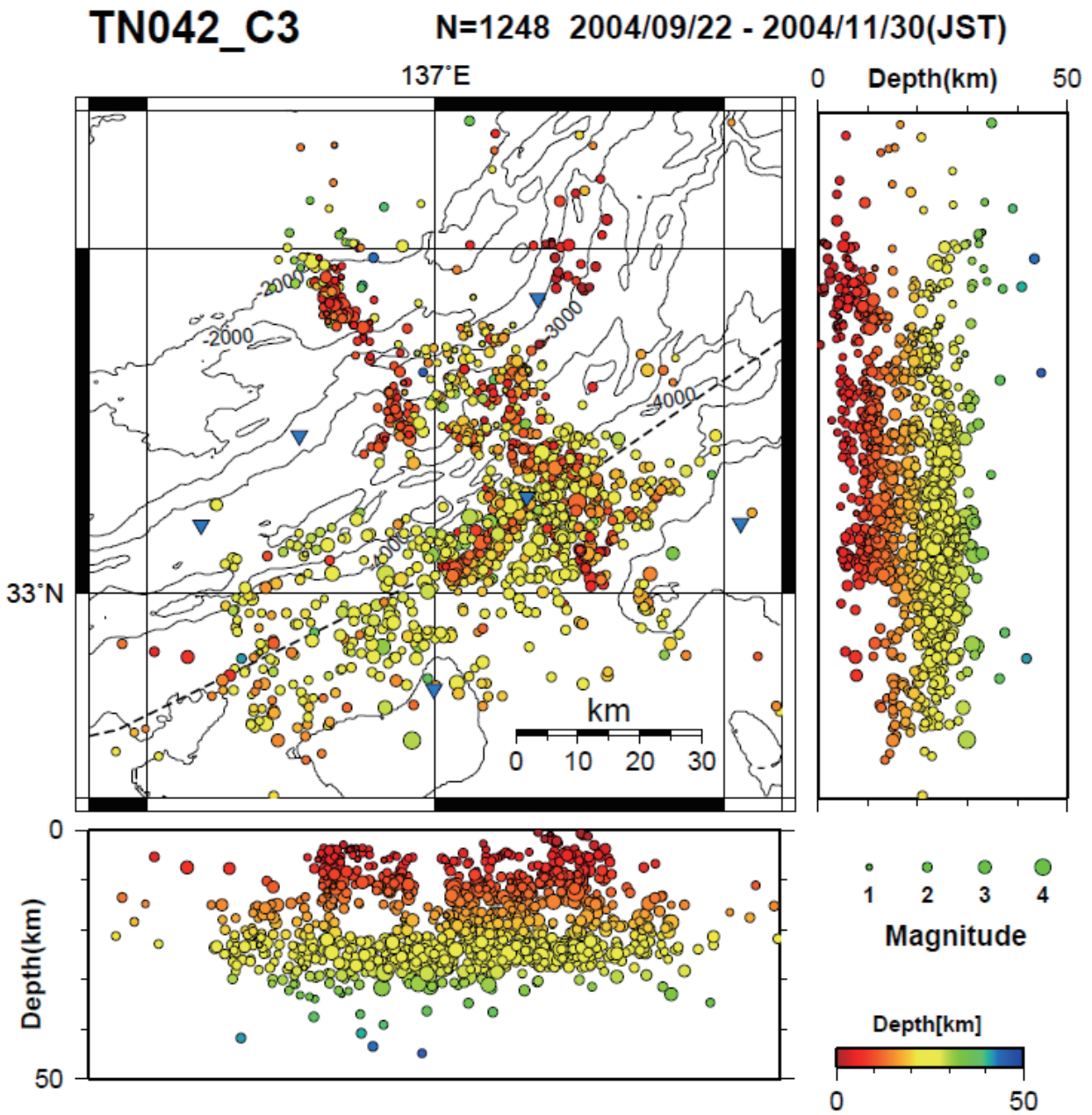


Fig. 1.1.7. OBS-located hypocenter distribution for the TN042 observation.

1.1.6.3 TN043 観測

TN042 観測に引き続き、紀伊半島南東沖の地震の余震観測を実施した。ここで、TN042 観測の OBS の回収と TN043 観測の OBS の設置は同じ航海で実施された。結果については 1.3 節で詳しく報告してあるので、ここでは観測点配置図 (Fig. 1.1.8) と観測表 (Table 1.1.4)、および震源分布 (Fig. 1.1.9) を示すにとどめる。

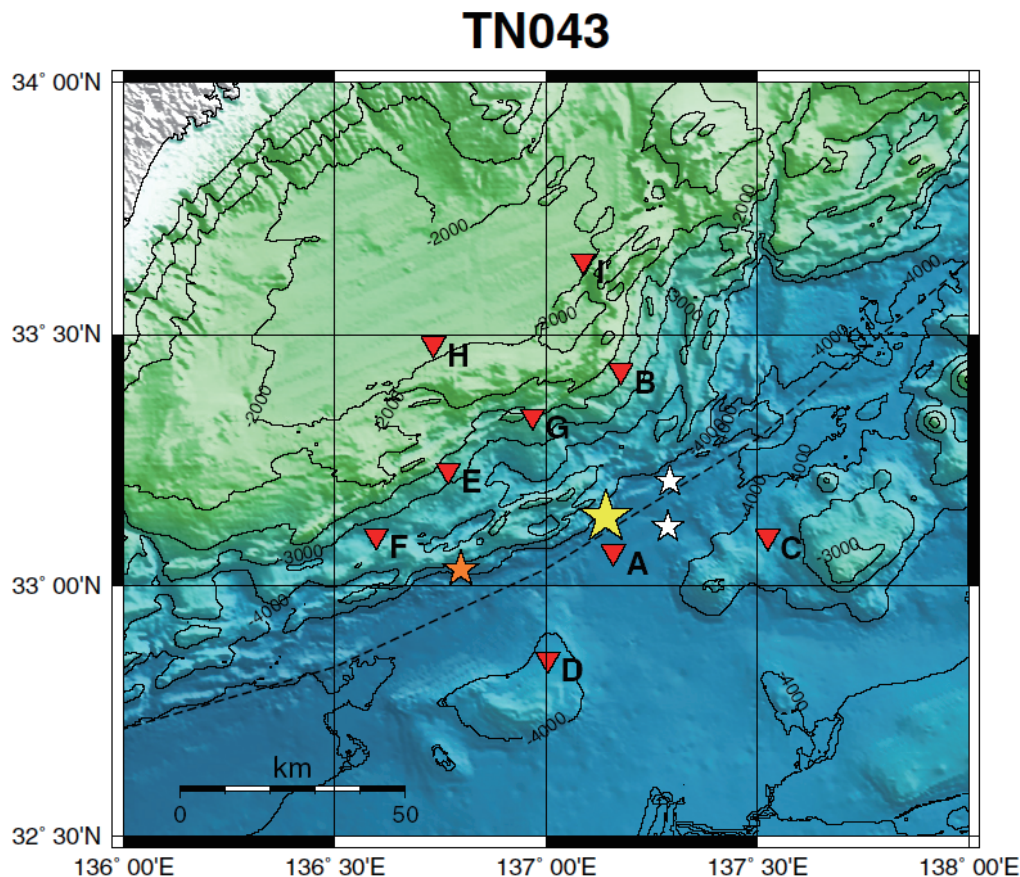


Fig. 1.1.8. OBS location map of the TN043 observation. The symbols have the same meanings as those in Fig. 1.1.6.

Table 1.1.4. Information list of the TN043 observation.

観測名：	TN043					
観測期間：	2004. 12. 08 - 2005. 03. 03					
設置航海：	神戸海洋気象台 啓風丸			注) TN042 回収航海と同一航海		
乗船者：	山崎 明 (気象研)・阿部正雄 (気象庁地震火山部)・森脇 健 (気象庁地震火山部)・ 関谷 博 (大阪管区気象台)・吉岡英和 (勝島製作所)・中島倫也 (勝島製作所)					
回収航海：	神戸海洋気象台 啓風丸					
乗船者：	吉田康宏 (気象研)・阿部正雄 (気象庁地震火山部)・吉田知央 (気象庁地震火山部)・ 平松秀行 (福岡管区気象台)・吉岡英和 (勝島製作所)・塚原貴志 (勝島製作所)					

観測点名	北緯	東経	深さ (m)	OBS TYPE	sampling	備考
TN043A	33. 06784	137. 15942	4252	東京測振型	50Hz	
TN043B	33. 42808	137. 17667	2489	東京測振型	50Hz	
TN043C	33. 09790	137. 52433	3886	東京測振型	50Hz	
TN043D	32. 85320	137. 00444	3973	勝島型	200Hz	
TN043E	33. 22974	136. 76782	2878	勝島型	200Hz	
TN043F	33. 09987	136. 59727	3348	勝島型	200Hz	
TN043G	33. 33832	136. 96804	2665	勝島型	200Hz	
TN043H	33. 48105	136. 73380	2057	勝島型	200Hz	
TN043I	33. 64647	137. 08824	2010	勝島型	200Hz	

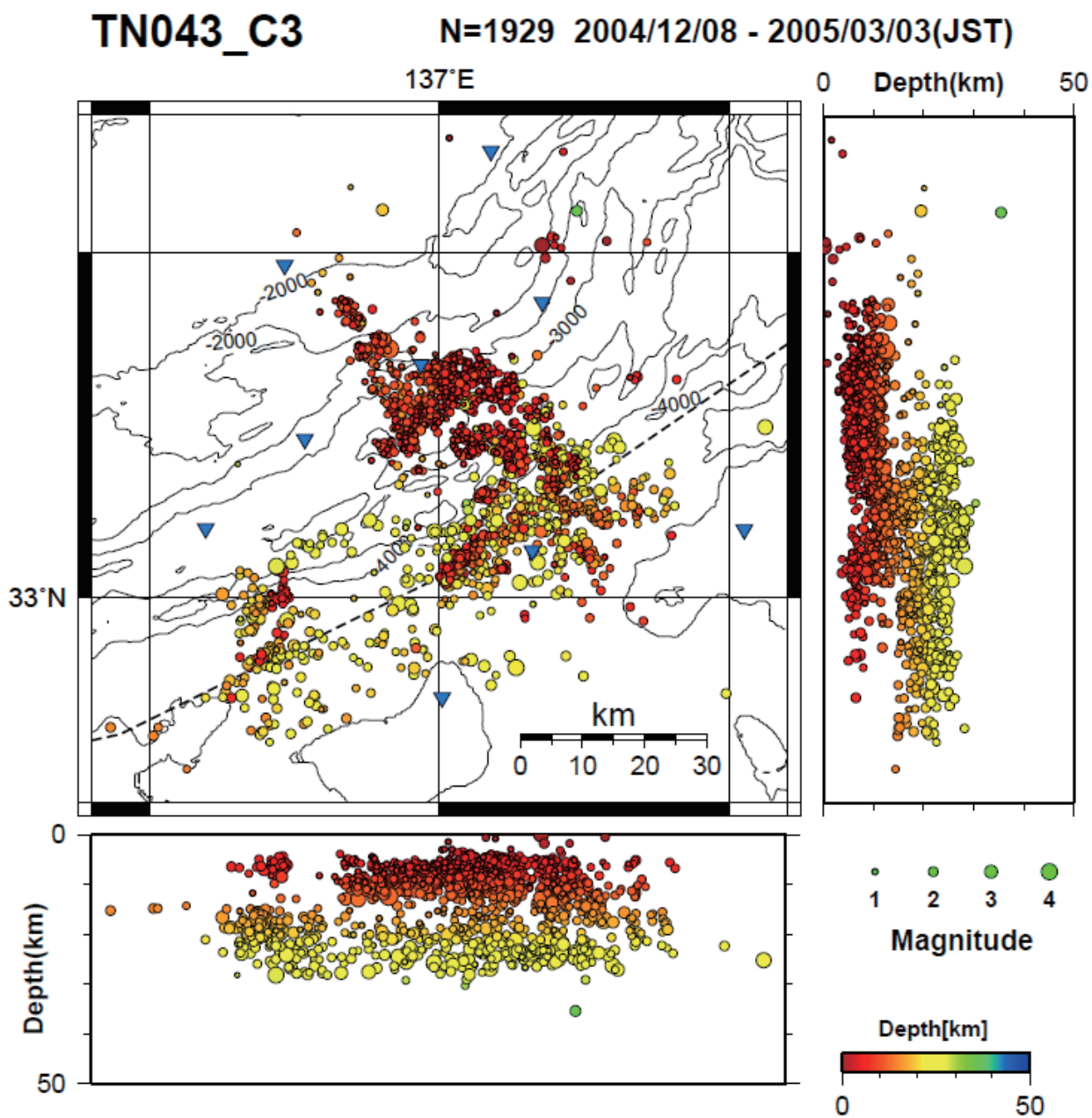


Fig. 1.1.9. OBS-located hypocenter distribution for the TN043 observation.

1.1.6.4 TN051 観測

TN043 観測が終了したあとも、なおも余震活動が活発であったため、さらに余震観測をおこなった。結果については 1.3 節で詳しく報告してあるので、ここでは観測点配置図 (Fig. 1.1.10) と観測表 (Table 1.1.5), および震源分布 (Fig. 1.1.11) を示すにとどめる。

TN051

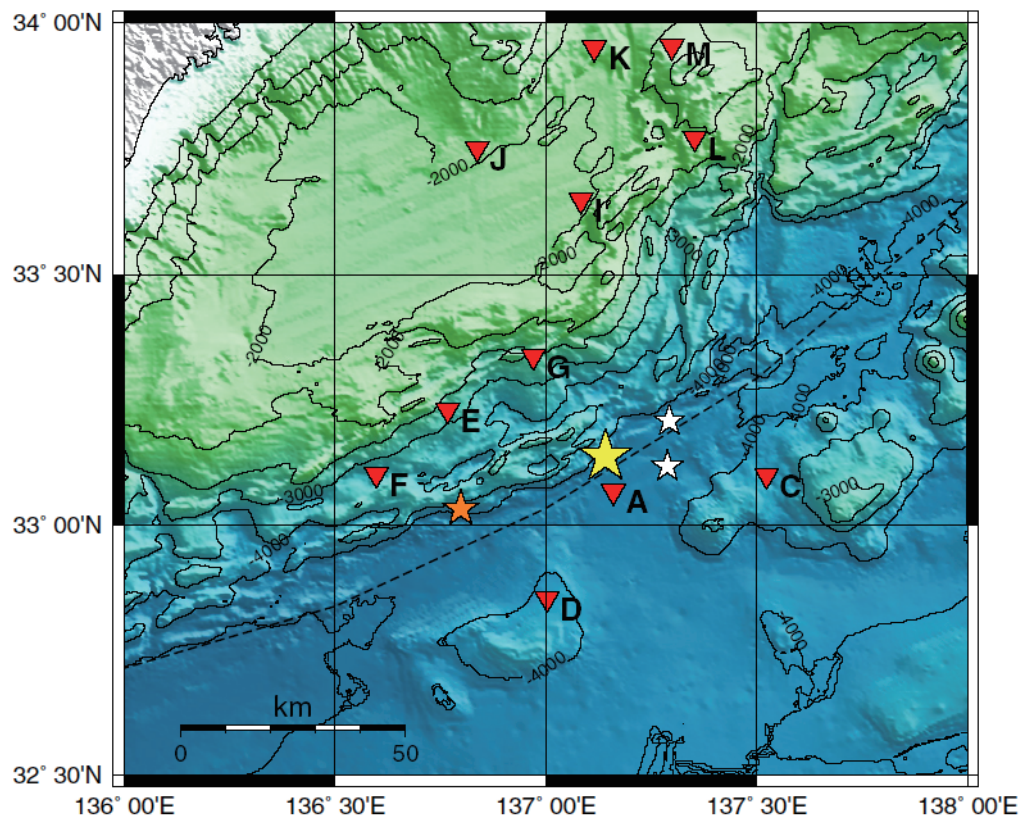


Fig. 1.1.10. OBS location map of the TN051 observation. The symbols have the same meanings as those in Fig. 1.1.6.

Table 1.1.5. Information list of the TN051 observation.

観測名：	TN051					
観測期間：	2005. 05. 22 - 2005. 08. 02					
設置航海：	神戸海洋気象台 啓風丸					
乗船者：	山崎 明（気象研）・阿部正雄（気象庁地震火山部）・松岡英俊（気象庁地震火山部）・ 新納孝寿（大阪管区気象台）・吉岡英和（勝島製作所）					
回収航海：	気象庁地球環境・海洋部 凌風丸					
乗船者：	勝間田明男（気象研）・阿部正雄（気象庁地震火山部）・大河原斉揚（気象庁地震火山部）・ 森脇 健（気象庁地震火山部）・吉岡英和（勝島製作所）					
観測点名	北緯	東経	深さ(m)	OBS TYPE	sampling	備考
TN051A	33. 06785	137. 16002	4245	勝島型	100Hz	
TN051B	33. 42754	137. 17597	2491	勝島型	100Hz	浮上事故
TN051C	33. 09964	137. 52370	3882	勝島型	100Hz	
TN051D	32. 85332	137. 00264	4010	勝島型	100Hz	
TN051E	33. 23018	136. 76736	2865	勝島型	100Hz	
TN051F	33. 10183	136. 59754	3379	勝島型	100Hz	
TN051G	33. 33693	136. 96990	2661	勝島型	100Hz	
TN051H				勝島型	100Hz	投入中止
TN051I	33. 64770	137. 08366	2023	東京測振型	50Hz	
TN051J	33. 75029	136. 83697	1965	東京測振型	50Hz	
TN051K	33. 94931	137. 11535	1701	東京測振型	50Hz	
TN051L	33. 77107	137. 35249	1660	東京測振型	50Hz	
TN051M	33. 95179	137. 29939	1200	東京測振型	50Hz	

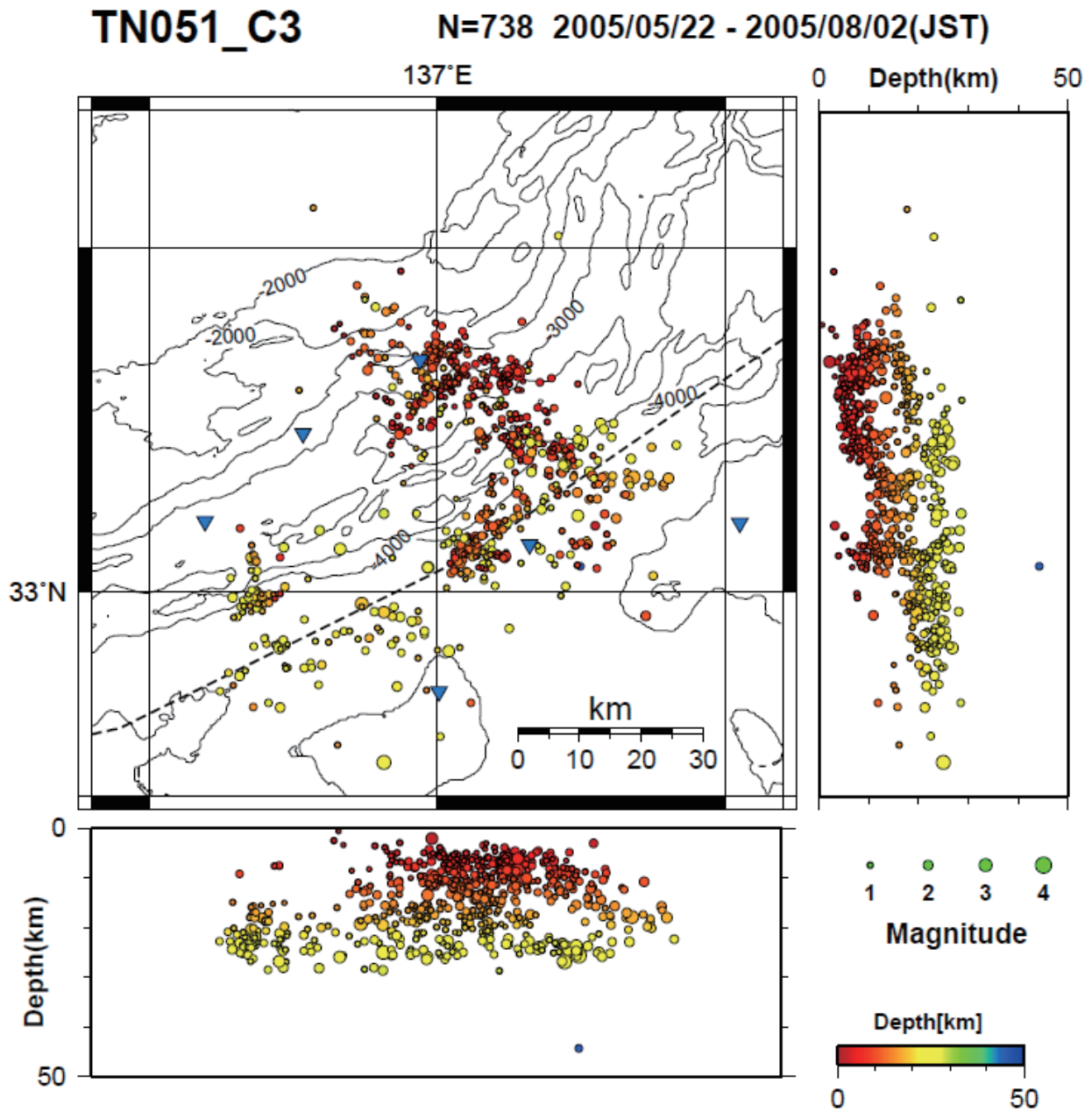


Fig. 1.1.11. OBS-located hypocenter distribution for the TN051 observation.

1.1.6.5 TN052 観測

2005 年度第 2 回目の OBS 観測（TN052 観測）は、潮岬南方沖の南海トラフ周辺の海域で実施した。潮岬南方沖では東南海地震と南海地震の想定震源域が接合しており、1946 年の南海地震の破壊開始点（震源）はこの海域に位置し、1944 年の東南海地震の震源は潮岬の東方約 40km の海域に推定されている（Kanamori, 1972）。また、近い将来発生の子予想されている次の東南海・南海地震でもこの海域から破壊が始まると想定されており（Hori *et al.*, 2004; 高山・他, 2008）、この海域の地震活動の分布とその時間変化は注目されている。

潮岬南方沖では前述したように地震研による長期型 OBS 観測網が展開中であつたため、観測の重複は避け地震研の観測を補うように長期型 OBS 観測網のさらに南の南海トラフ軸周辺で OBS 観測を行うことにした。

OBS は 10 台設置したが、回収時に D 地点に投入した OBS のトランスポンダからの応答がなく回収を断念した。よつて 9 地点での観測となつた。観測点配置図を Fig. 1.1.12 に、観測表を Table 1.1.6 に示した。

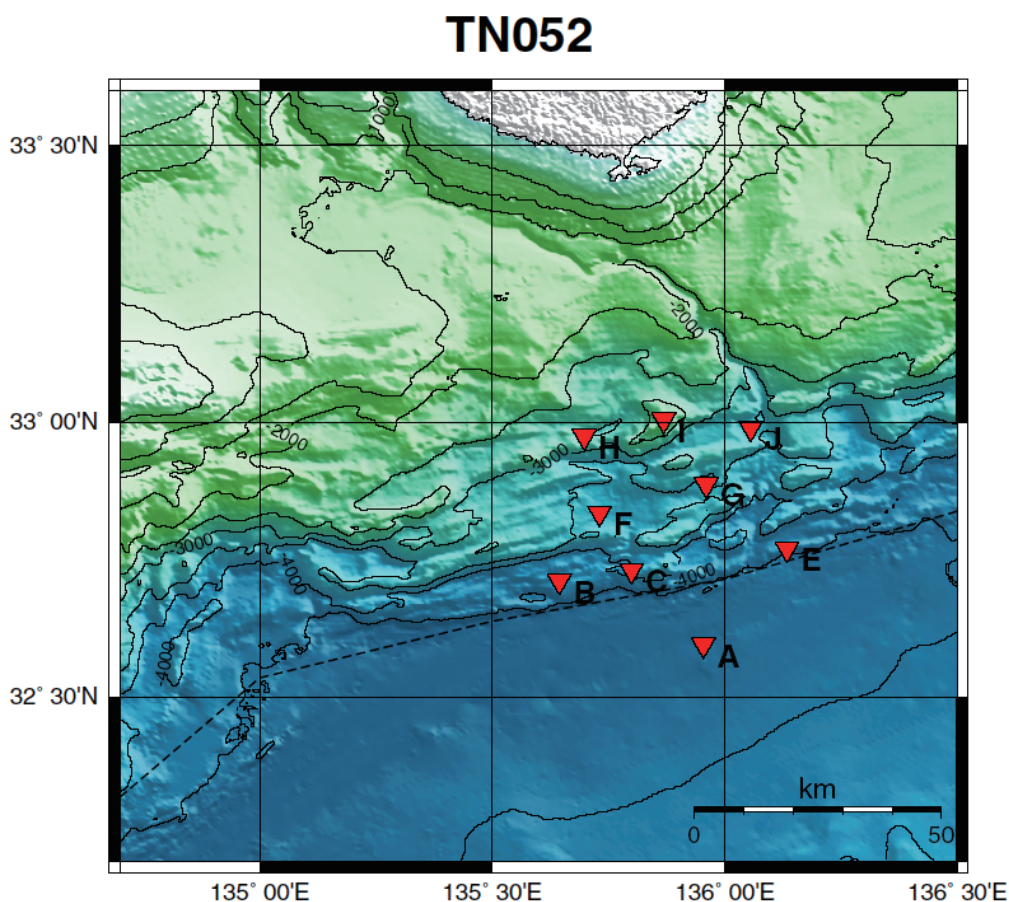


Fig. 1.1.12. OBS location map of the TN052 observation.

Table 1.1.6. Information list of the TN052 observation.

観測名：	TN052
観測期間：	2005. 10. 18 - 2005. 11. 25
設置航海：	気象庁地球環境・海洋部 凌風丸
乗船者：	山崎 明（気象研）・大河原斉揚（気象庁地震火山部）・松岡英俊（気象庁地震火山部）・ 吉岡英和（勝島製作所）・松下正法（勝島製作所）
回収航海：	神戸海洋気象台 啓風丸
乗船者：	青木重樹（気象研）・阿部正雄（気象庁地震火山部）・青木玲子（気象庁地震火山部）・ 関谷 博（大阪管区気象台）・吉岡英和（勝島製作所）・松下正法（勝島製作所）

観測点名	北緯	東経	深さ (m)	OBS TYPE	sampling	備考
TN052A	32. 59460	135. 95461	4654	東京測振型	50Hz	
TN052B	32. 71095	135. 64446	4244	勝島型	100Hz	
TN052C	32. 73122	135. 80001	3882	勝島型	100Hz	
TN052D	32. 73883	135. 98317	4322	勝島型	100Hz	回収できず
TN052E	32. 76954	136. 13372	4277	勝島型	100Hz	
TN052F	32. 83415	135. 73075	3698	勝島型	100Hz	
TN052G	32. 88647	135. 96063	3588	勝島型	100Hz	
TN052H	32. 97338	135. 69815	2946	勝島型	100Hz	
TN052I	33. 00380	135. 86895	2211	勝島型	100Hz	
TN052J	32. 98852	136. 05627	3460	勝島型	100Hz	

注) TN052D は三点測量を実施しておらず投入地点である。

検測は OBS 観測点の 3 地点以上で P または S 相が認められた地震について行った。震源計算に用いた一次元速度構造は、本海域において JAMSTEC により実施された速度構造探査結果 (Kodaira *et al.*, 2006) から読み取って求めた (Fig. 1.1.13)。決定した震源数は 86 個である。求めた震源分布を Fig. 1.1.14 に示した。また、震源決定にあたって用いた観測点補正値を Table 1.1.7 に示した。

本観測の解析結果から、南海トラフ軸周辺において陸上の観測では捉えられていない微小な地震活動が存在することがわかった。この微小地震活動の分布をもう少しはっきり確認するため、次回の OBS 観測もほぼ同じ海域で行うことにした。

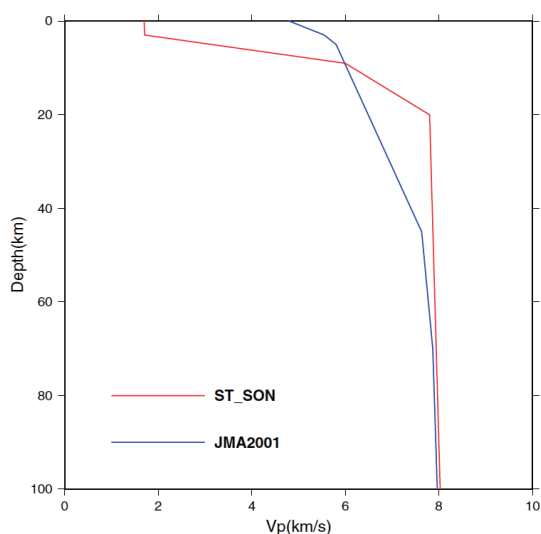


Fig. 1.1.13. P-wave velocity structure model used for the hypocenter determination of the TN052 observation (red line) derived from Kodaira *et al.* (2006).

Table 1.1.7. Used station correction values of P- and S-phases for the TN052 observation.

Station correction value (s)		
Station	P-wave	S-wave
TN052A	-0. 067	-0. 977
TN052B	0. 007	-0. 597
TN052C	0. 006	-0. 752
TN052E	0. 103	-0. 544
TN052F	-0. 086	-0. 963
TN052G	-0. 044	-0. 852
TN052H	-0. 077	-1. 278
TN052I	0. 182	-0. 952
TN052J	-0. 054	-1. 054

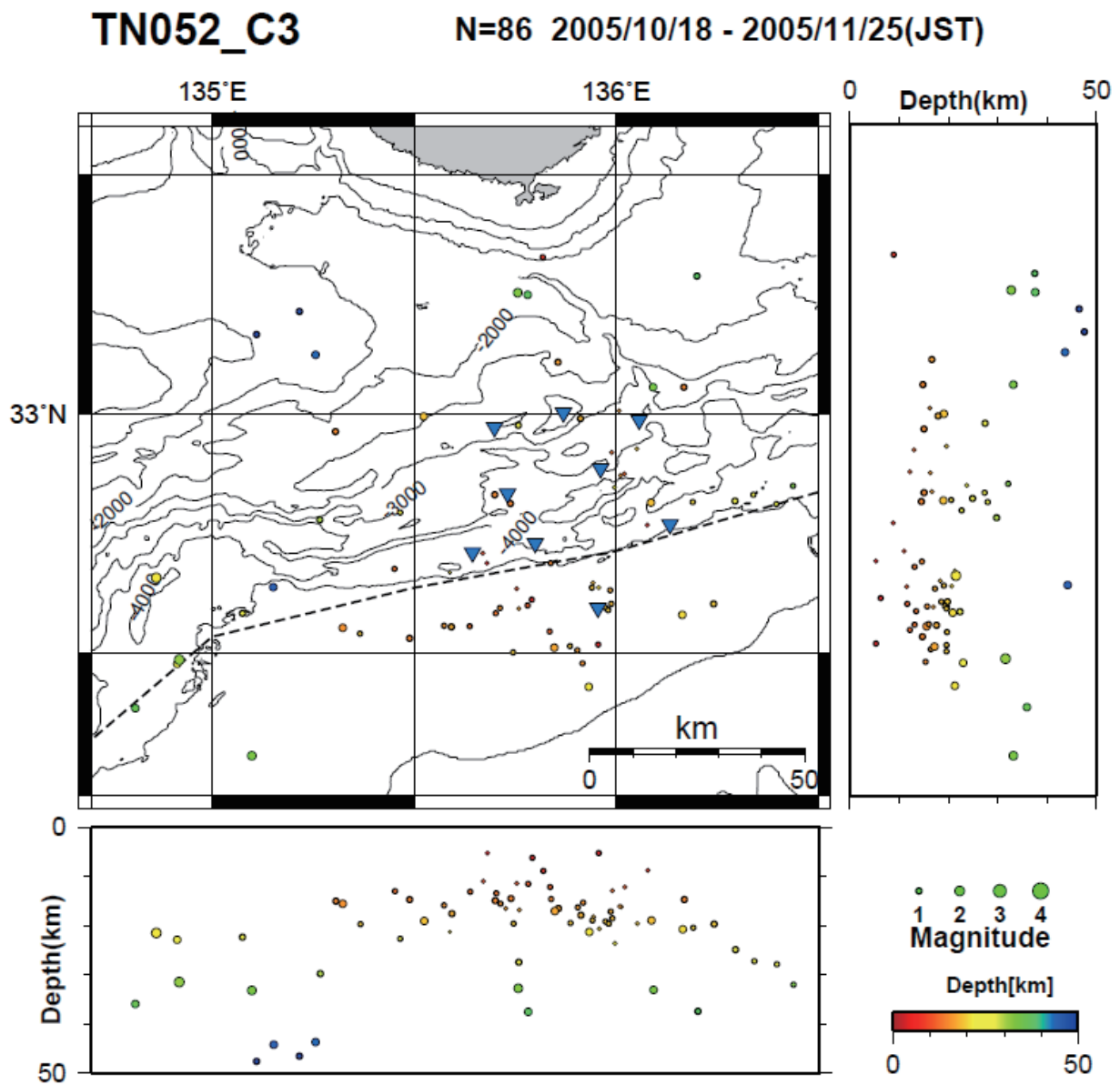


Fig. 1.1.14. OBS-located hypocenter distribution for the TN052 observation.

1.1.6.6 TN061 観測

TN052 観測に続き、2006 年度第 1 回目の OBS 観測（TN061 観測）も潮岬南方沖の南海トラフ周辺の海域で実施した。OBS は 12 台設置し、無事全台回収でき、地震の記録状況もすべての観測点で良好であった。観測点配置図を Fig. 1.1.15 に、観測表を Table 1.1.8 に示した。

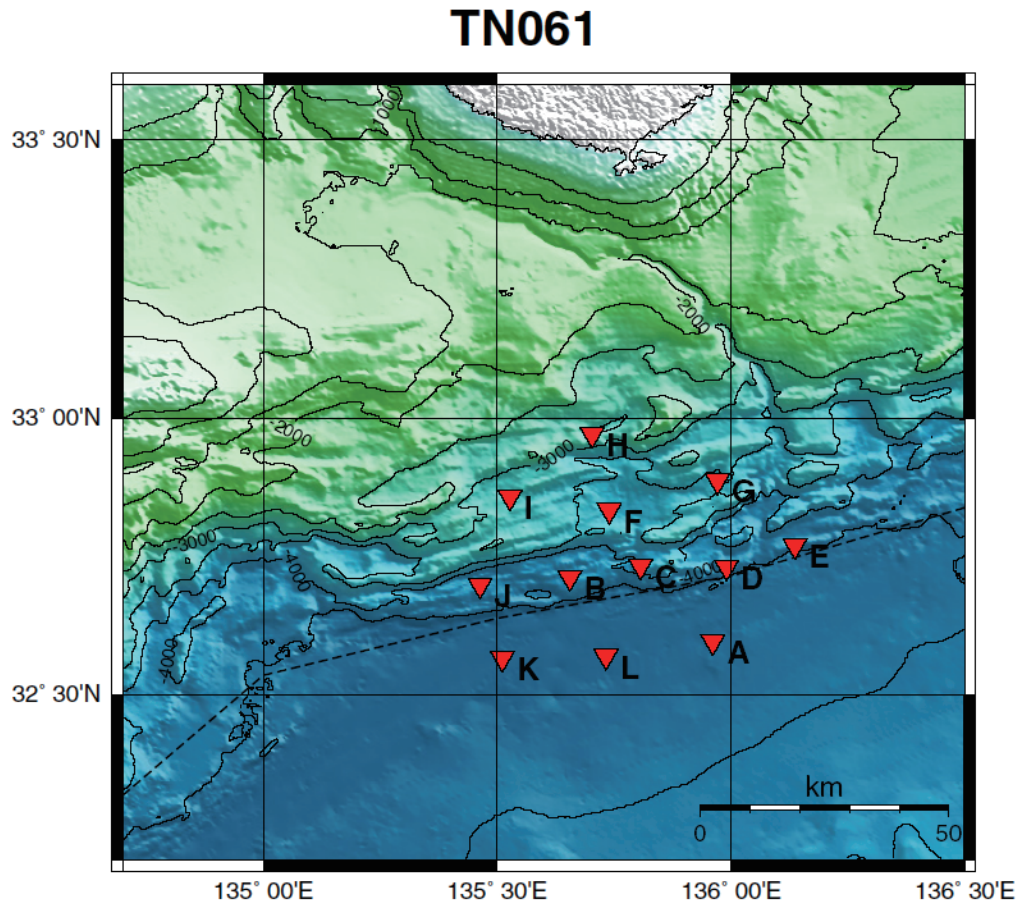


Fig. 1.1.15. OBS location map of the TN061 observation.

Table 1.1.8. Information list of the TN061 observation.

観測名：	TN061					
観測期間：	2006. 05. 21 - 2006. 07. 24					
設置航海：	神戸海洋気象台 啓風丸					
乗船者：	岩切一宏（気象研）・田中昌之（気象庁地震火山部）・久保田勲（気象庁地震火山部）・西新三郎（沖縄気象台）・吉岡英和（勝島製作所）・岩佐 良（勝島製作所）					
回収航海：	気象庁地球環境・海洋部 凌風丸					
乗船者：	弘瀬冬樹（気象研）・久保田勲（気象庁地震火山部）・森脇 健（気象庁地震火山部）・吉岡英和（勝島製作所）・岩佐 良（勝島製作所）					
観測点名	北緯	東経	深さ (m)	OBS TYPE	sampling	備考
TN061A	32. 59567	135. 96105	4641	勝島型	100Hz	
TN061B	32. 71172	135. 65536	4201	勝島型	100Hz	
TN061C	32. 73260	135. 80678	3889	勝島型	100Hz	
TN061D	32. 73117	135. 99047	4254	勝島型	100Hz	
TN061E	32. 76936	136. 13695	4270	勝島型	100Hz	
TN061F	32. 83253	135. 74019	3712	勝島型	100Hz	
TN061G	32. 88635	135. 97123	3469	勝島型	100Hz	
TN061H	32. 97014	135. 70299	2889	勝島型	100Hz	
TN061I	32. 85723	135. 52714	3156	勝島型	100Hz	
TN061J	32. 69841	135. 46396	4261	東京測振型	50Hz	
TN061K	32. 56603	135. 51099	4726	東京測振型	50Hz	
TN061L	32. 56917	135. 73325	4695	東京測振型	50Hz	

検測は OBS 観測点の 3 地点以上で P または S 相が認められた地震について行った。震源計算に用いた一次元速度構造は、TN052 観測と同じ構造を用いた (Fig. 1.1.13)。決定した震源数は 167 個である。求めた震源分布を Fig. 1.1.16 に示した。また、震源決定にあたって用いた観測点補正値を Table 1.1.9 に示した。

TN052 観測に続き、TN061 観測においても南海トラフ軸周辺において気象庁一元化震源カタログにはない微小地震が多数発生していることが確認できた。微小地震はトラフ軸周辺海域に多発しており、特にトラフ軸から南側 30km までの領域で地震の密度が高くなっている。これらトラフ軸周辺で発生している地震の深さは 10km~25km であり、フィリピン海プレートの海洋性地殻から上部マントルで発生している地震であることがわかった。なお、Fig. 1.1.16 を見ると OBS の観測網から離れるに従い震源が急に深くなる傾向が認められるが、これは観測網から離れると震源決定精度が低下し実際の震源より深く求まる傾向が出現するため、実際には OBS の観測網の中で求めた震源の深さとそれほど違いはないであろうと推測される。

南海トラフ軸の南側はフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込みを始める位置にあたり、テクトニクス的にはプレートを曲げる応力がプレート内に亀裂を発生させ、微小地震活動を引き起こしているものと推察される。なお、TN052 および TN061 観測で発見された潮岬南方沖の地震活動については 1.2 節で他の観測結果と併せて改めて述べる。

Table 1.1.9. Used station correction values of P- and S-phases for the TN061 observation.

Station correction value (s)		
Station	P-wave	S-wave
TN061A	-0. 024	-1. 120
TN061B	-0. 100	-0. 793
TN061C	-0. 052	-0. 936
TN061D	0. 047	-0. 499
TN061E	0. 122	-0. 637
TN061F	-0. 155	-1. 190
TN061G	-0. 048	-1. 017
TN061H	0. 009	-1. 100
TN061I	-0. 051	-1. 106
TN061J	-0. 039	-0. 557
TN061K	0. 006	-0. 563
TN061L	0. 008	-0. 646

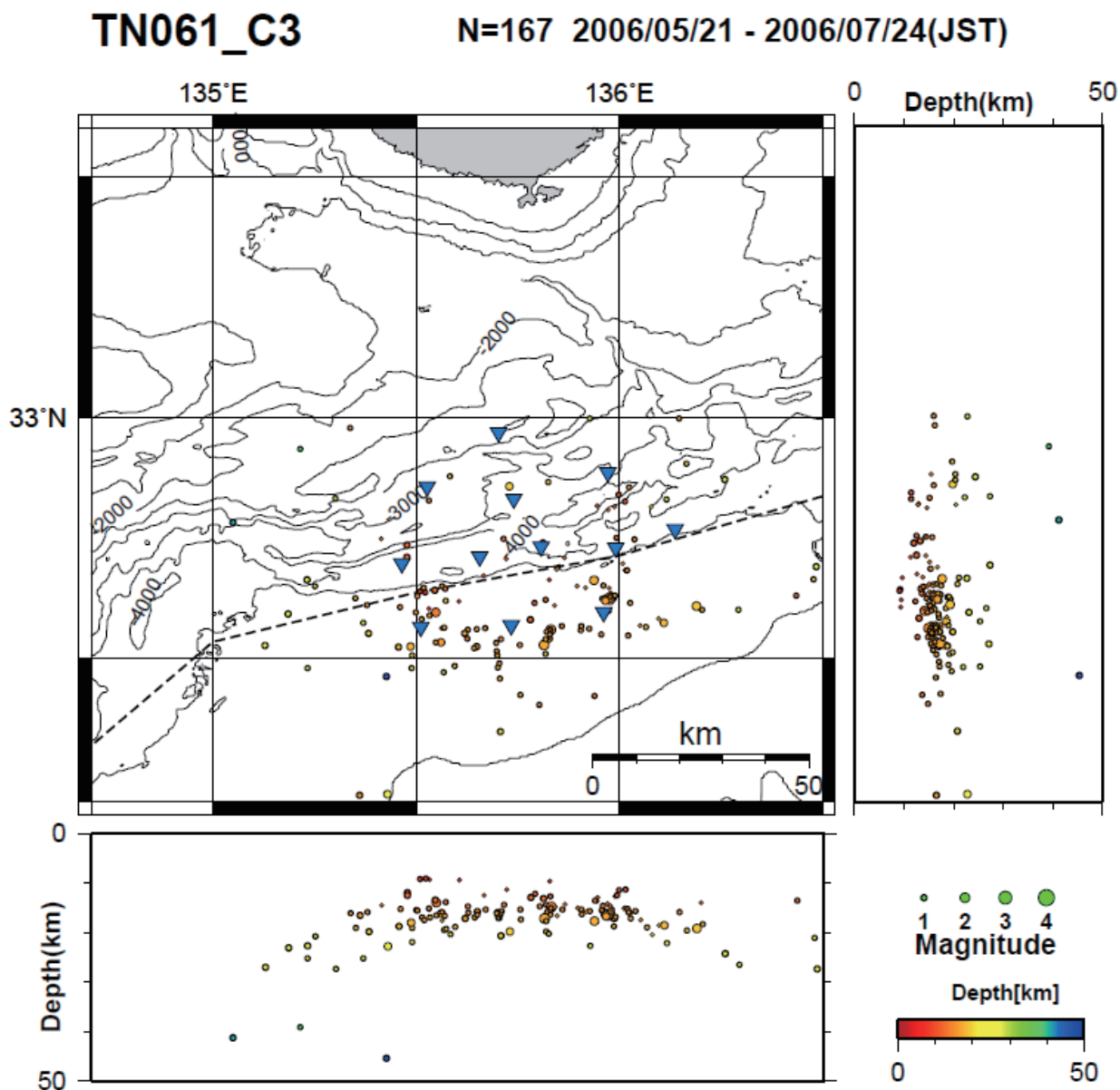


Fig. 1.1.16. OBS-located hypocenter distribution for the TN061 observation.

1.1.6.7 TN062 観測

前述した2004年紀伊半島南東沖の地震の余震活動は、地震発生から2年を経過し活動はかなり減衰しているものの、依然として紀伊半島南東沖の周辺海域では目立った地震活動を保っていた。これらの余震活動がプレート構造の中で時間的・空間的にどのように変化しているかを調べる目的で、2006年度第2回目のOBS観測（TN062観測）では再び紀伊半島南東沖の地震の余震観測を実施することにした。

OBSは予定地点に12台設置し、全て回収することができた。ところが、回収したB地点のOBSはレコーダとの応答がとれず、 $\angle T$ の測定ができなかった。さらに収録されたデータは最初の2日間あまりでその後は記録されていないことがわかった。測定開始から2日後に収録の制御系統に何らかのトラブルが発生し、収録が停止したもようである。このレコーダは結局電源の再投入で正常に復帰し、ランニング試験を行ったが異常現象の出現はなかった。また、J地点では回収時の $\angle T$ （OBS時計-GPS時計）が-17秒と異常に大きかった。この時計の異常については1.1.9.2節でもう少し詳しく述べるが、 $\angle T$ が直線的に変化しておらず、適切な時刻補正值を得ることが困難であったため、J地点のデータは震源決定には使わなかった。これらの収録部のトラブルが重なり、TN062観測で震源決定に用いたOBS観測点は10地点である。観測点配置図をFig. 1.1.17に、観測表をTable 1.1.10に示した。

TN062

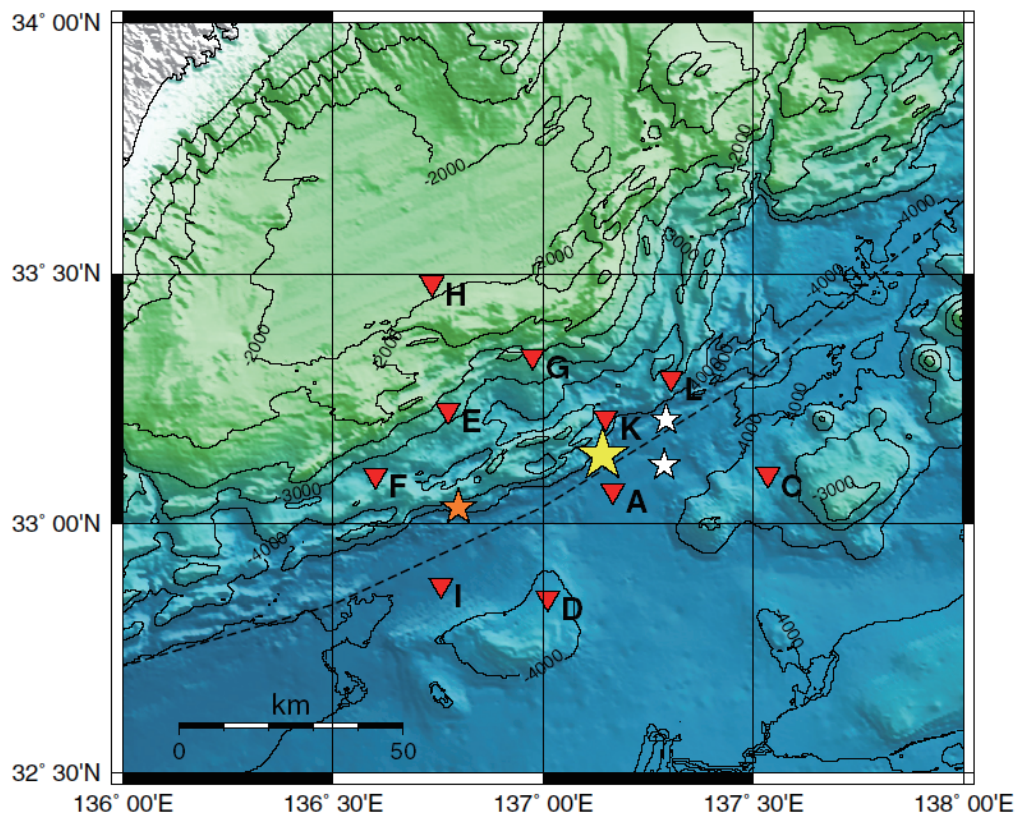


Fig. 1.1.17. OBS location map of the TN062 observation. The symbols have the same meanings as those in Fig. 1.1.6.

Table 1.1.10. Information list of the TN062 observation.

観測名：	TN062					
観測期間：	2006. 10. 17 - 2006. 12. 05					
設置航海：	気象庁地球環境・海洋部 凌風丸					
乗船者：	山崎 明（気象研）・宮下 誠（気象庁地震火山部）・松末伸一（福岡管区气象台）・ 里見克彦（大阪管区气象台）・吉岡英和（勝島製作所）					
回収航海：	神戸海洋气象台 啓風丸					
乗船者：	吉田康宏（気象研）・久保田勲（気象庁地震火山部）・中村幸司（気象庁地震火山部）・ 吉岡英和（勝島製作所）					
観測点名	北緯	東経	深さ(m)	OBS TYPE	sampling	備考
TN062A	33. 06664	137. 16587	4235	勝島型	100Hz	記録なし
TN062B	33. 42576	137. 17716	2495	勝島型	100Hz	
TN062C	33. 09863	137. 53510	3871	勝島型	100Hz	
TN062D	32. 85160	137. 01058	3952	勝島型	100Hz	
TN062E	33. 22752	136. 77346	2871	勝島型	100Hz	△T異常
TN062F	33. 09752	136. 60122	3326	勝島型	100Hz	
TN062G	33. 33556	136. 97486	2651	勝島型	100Hz	
TN062H	33. 48059	136. 73554	2059	東京測振型	50Hz	
TN062I	32. 87737	136. 75732	4477	勝島型	100Hz	
TN062J	33. 07973	136. 87552	3386	勝島型	100Hz	
TN062K	33. 21310	137. 14921	3799	東京測振型	50Hz	
TN062L	33. 29167	137. 30454	3492	東京測振型	50Hz	

検測は OBS 観測点の 5 地点以上で P または S 相が認められた地震について行った。震源計算に用いた一次元速度構造は、2004 年～2005 年に実施した同海域での余震観測で用いた構造を使用した（1.3 節参照）。決定した震源数は 586 個である。求めた震源分布を Fig. 1.1.18 に示した。また、震源決定にあたって用いた観測点補正値を Table 1.1.11 に示した。

得られた余震分布を前回の観測（TN051）と比較すると、余震活動は全体的に減衰しているが、余震域の領域はあまり変化していないことが確認できた。また、余震域北部の G 点付近や北東部の K 点付近など数箇所に余震活動の集中する地震クラスターを認めることができた。

Table 1.1.11. Used station correction values of P- and S-phases for the TN062 observation.

Station	Station correction value(s)	
	P-wave	S-wave
TN062A	0.083	-0.910
TN062C	0.322	-0.473
TN062D	0.182	-0.803
TN062E	-0.109	-1.500
TN062F	-0.285	-1.549
TN062G	0.107	-0.925
TN062H	-0.231	-1.729
TN062I	-0.027	-1.190
TN062K	-0.197	-1.383
TN062L	-0.233	-1.270

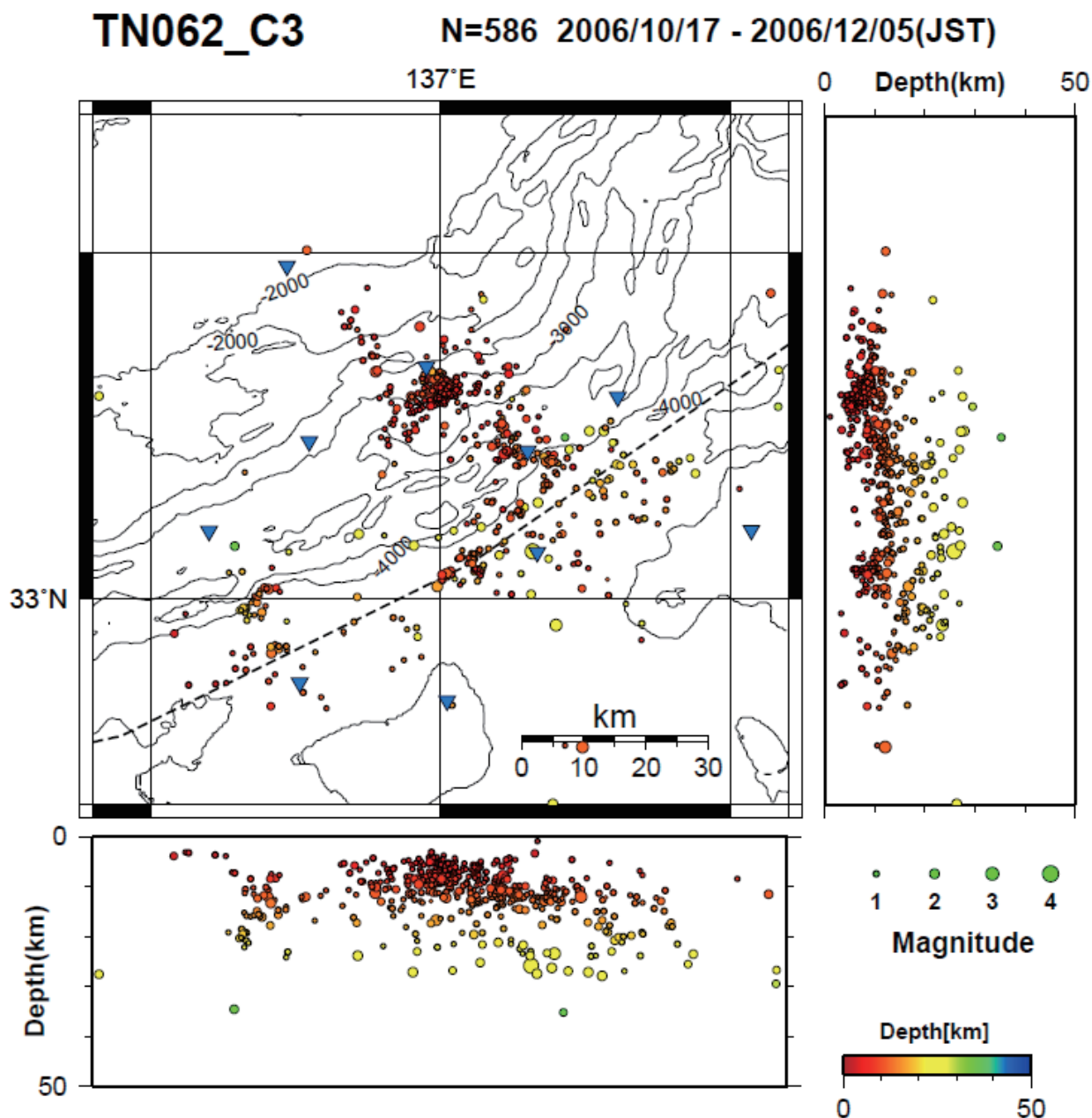


Fig. 1.1.18. OBS-located hypocenter distribution for the TN062 observation.

1.1.6.8 TN071 観測

本研究では東海から東南海・南海地震までを研究対象としており、南海地震の震源域も OBS の観測対象海域に含まれるので、2007 年度第 1 回目の OBS 観測 (TN071 観測) は高知沖で実施することとした。高知沖では 2004 年に 29 台の OBS を投入した JAMSTEC による大規模な自然地震観測が実施されている (Obana *et al.*, 2006)。TN071 観測では高知市南方沖の水深 1000m 付近の海域にみられる地震活動に的を絞った OBS 観測を行うことにした。

OBS は 9 台設置したが、G 地点では回収時に測定した $\angle T$ が -37 秒と異常に大きかった。この OBS は前回の観測 (TN062) でも $\angle T$ が異常であった OBS で、前回の観測終了後に時計のランニングテストを実施したが異常が出現しなかったため、今回の観測でも使用することになっていた。しかし結果的には異常が再発してしまったので、この OBS のレコーダは不良と判断し、新品と交換することにした。原因は不明であるが、海底の低温下の環境において電子回路に不安定な動作が生じることなどが想像される。結局 G 地点のデータは適切な時刻補正値を得ることが困難であったため震源決定には使わなかった。観測点配置図を Fig. 1.1.19 に、観測表を Table 1.1.12 に示した。

TN071

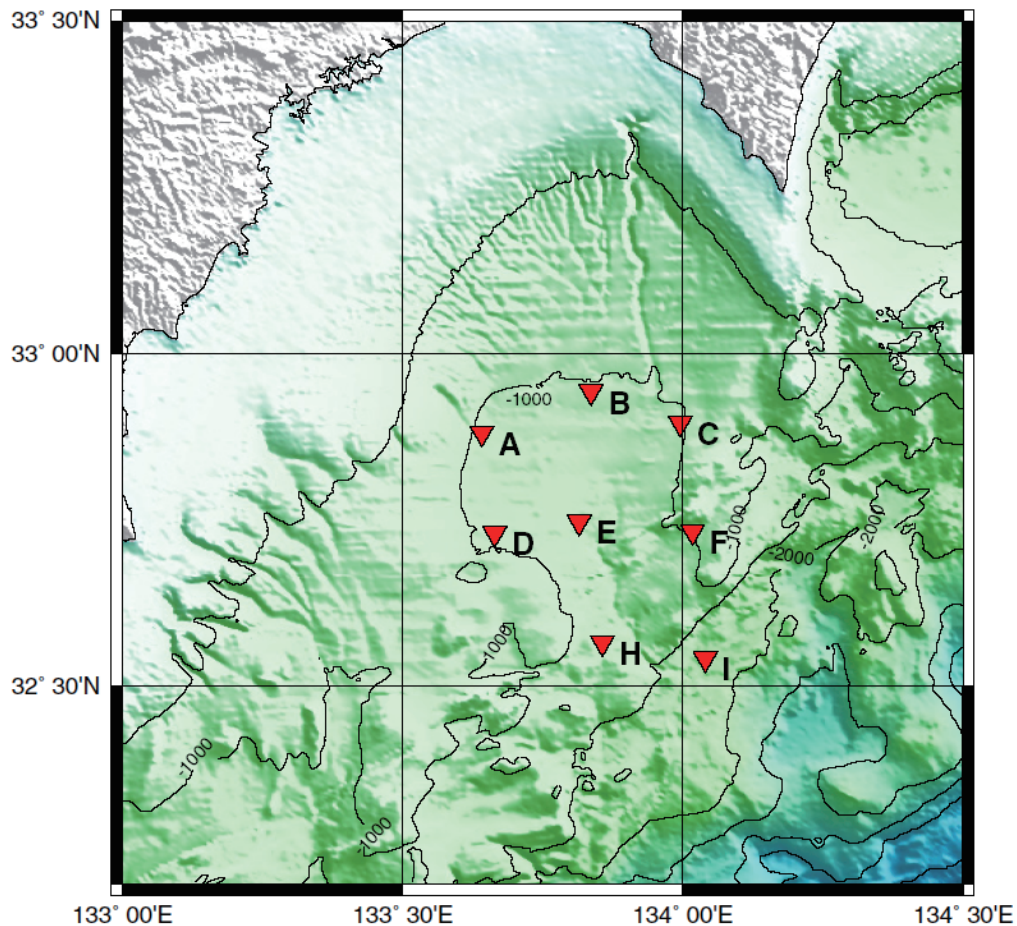


Fig. 1.1.19. OBS location map of the TN071 observation.

Table 1.1.12. Information list of the TN071 observation.

観測名：	TN071					
観測期間：	2007. 05. 25 - 2007. 08. 02					
設置航海：	神戸海洋気象台 啓風丸					
乗船者：	山崎 明（気象研）・白土正明（気象庁地震火山部）・宮下 誠（気象庁地震火山部）・ 田澤芳博（勝島製作所）・岩佐 良（勝島製作所）					
回収航海：	神戸海洋気象台 啓風丸					
乗船者：	岩切一宏（気象研）・宮下 誠（気象庁地震火山部）・足達晋平（気象庁地震火山部）・ 田澤芳博（勝島製作所）・岩佐 良（勝島製作所）					

観測点名	北緯	東経	深さ (m)	OBS TYPE	sampling	備考
TN071A	32. 88167	133. 64115	1019	勝島型	100Hz	
TN071B	32. 94360	133. 83617	1016	勝島型	100Hz	
TN071C	32. 89645	133. 99557	1014	勝島型	100Hz	
TN071D	32. 73019	133. 66410	1011	勝島型	100Hz	
TN071E	32. 74737	133. 81460	1079	勝島型	100Hz	
TN071F	32. 73291	134. 01749	1010	勝島型	100Hz	
TN071G	32. 53809	133. 63362	962	勝島型	100Hz	△T異常
TN071H	32. 56484	133. 85674	1167	勝島型	100Hz	
TN071I	32. 54111	134. 03981	1837	勝島型	100Hz	

検測は OBS 観測点の 3 地点以上で P または S 相が認められた地震について行った。震源計算に用いた一次元速度構造は、本海域において JAMSTEC により実施された速度構造探査結果 (Kodaira *et al.*, 2000a) から読み取って求めた (Fig. 1.1.20)。決定した震源数は 36 個である。求めた震源分布を Fig. 1.1.21 に示した。また、震源決定にあたって用いた観測点補正値を Table 1.1.13 に示した。

解析の結果、OBS 観測のネット内に震源が求まった微小地震は十数個で、この海域の地震活動が非常に低いことが改めて確認できた。また、震源は深さ数 km から 40km くらいの範囲で分布するが、プレート構造との対応などは不明瞭である。いずれにしても求められた震源の数が少なく、震源分布の特徴を議論するまでにはいたらなかった。今後の課題としてこうした地震活動の非常に低い海域で OBS 観測を効果的に実施する場合、なるべく観測期間を長くとるように観測機器の省電力化や、設置や回収を行う作業船の運行調整が必要と言える。

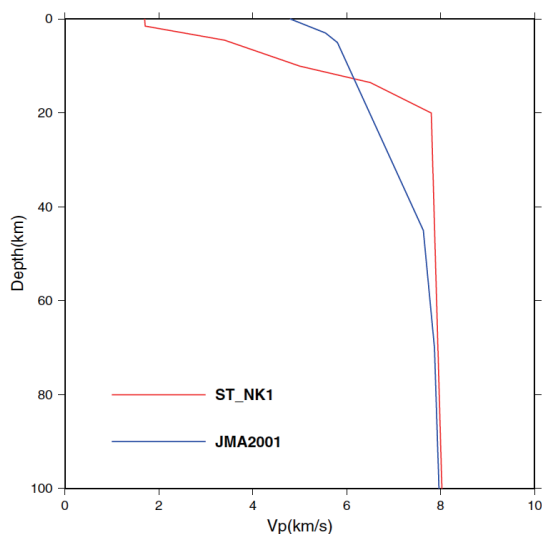


Fig. 1.1.20. P-wave velocity structure model used for the hypocenter determination of the TN071 observation (red line) derived from Kodaira *et al.* (2000a).

Table 1.1.13. Used station correction values of P- and S-phases for the TN071 observation.

Station correction value (s)		
Station	P-wave	S-wave
TN071A	0. 054	-0. 266
TN071B	-0. 085	-0. 635
TN071C	0. 000	-0. 785
TN071D	-0. 047	-0. 997
TN071E	-0. 363	-1. 111
TN071F	-0. 555	-1. 154
TN071H	-0. 227	-1. 125
TN071I	-0. 099	-1. 715

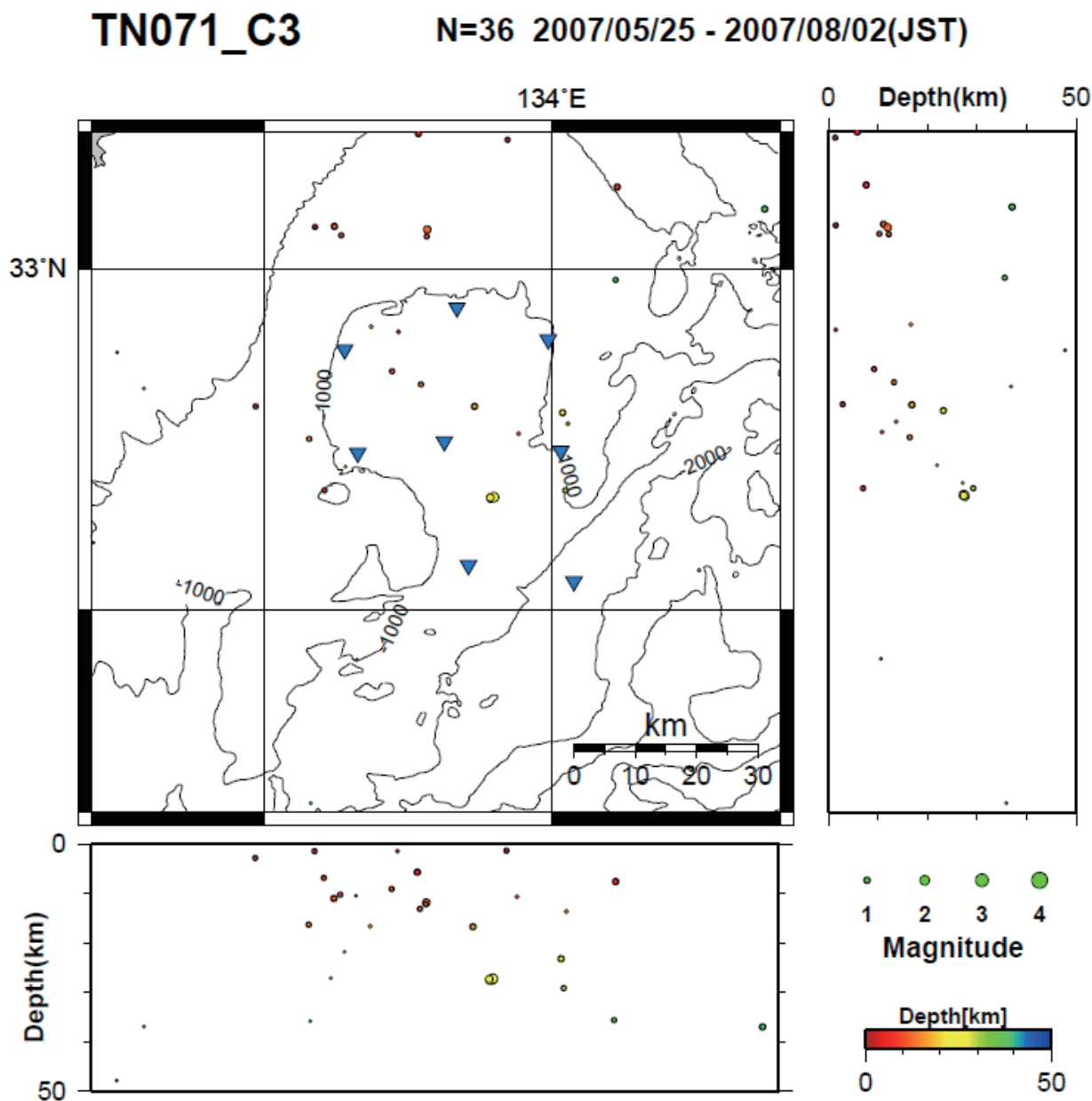


Fig. 1.1.21. OBS-located hypocenter distribution for the TN071 observation.

1.1.6.9 TN072 観測

これまで潮岬南方沖の南海トラフ周辺において実施した観測（TN052, TN061）で、トラフ軸周辺で比較的活発な微小地震活動が存在することが発見された。これらの微小地震のほとんどは気象庁一元化震源カタログに記載はなく、OBS 観測を実施することによって初めて見出された地震活動である。この微小地震活動がさらに西方にも広がっているかどうかを調べる目的で、9 台の OBS による 2007 年度第 2 回目の OBS 観測（TN072 観測）を実施した。観測点配置図を Fig. 1.1.22 に、観測表を Table 1.1.14 に示した。

今回設置した OBS で D 地点に投下した OBS は水深 3000m 付近を越えたところでトランスポンダとの応答がとれなくなった。海底への到達予定時刻を越えてもトランスポンダとの応答はとれず、船の位置などを変えて何度か船上からコール信号を送ったがやはり応答しなかった。他の観測点への設置を終えた 2 日後に再度 D 地点に戻りコール信号を送ったが状況は変わらなかった。回収は困難と思われたが、一月半後の回収航海において念のため D 地点に船を近づけコール信号を送信したところ意外にも応答が帰ってきた。すぐに切離しコマンドを送信したところ、海底から離脱させることができ無事回収できた。設置時にトランスポンダとの応答がとれなくなった原因については不明である

が、5 年ほど前に東海沖で行った OBS 観測でも同じようなことが発生した事例がある。なお、D 地点では回収時に三点測量を実施する前に浮上させたので、Table 1.1.14 の位置は OBS の投入位置である。

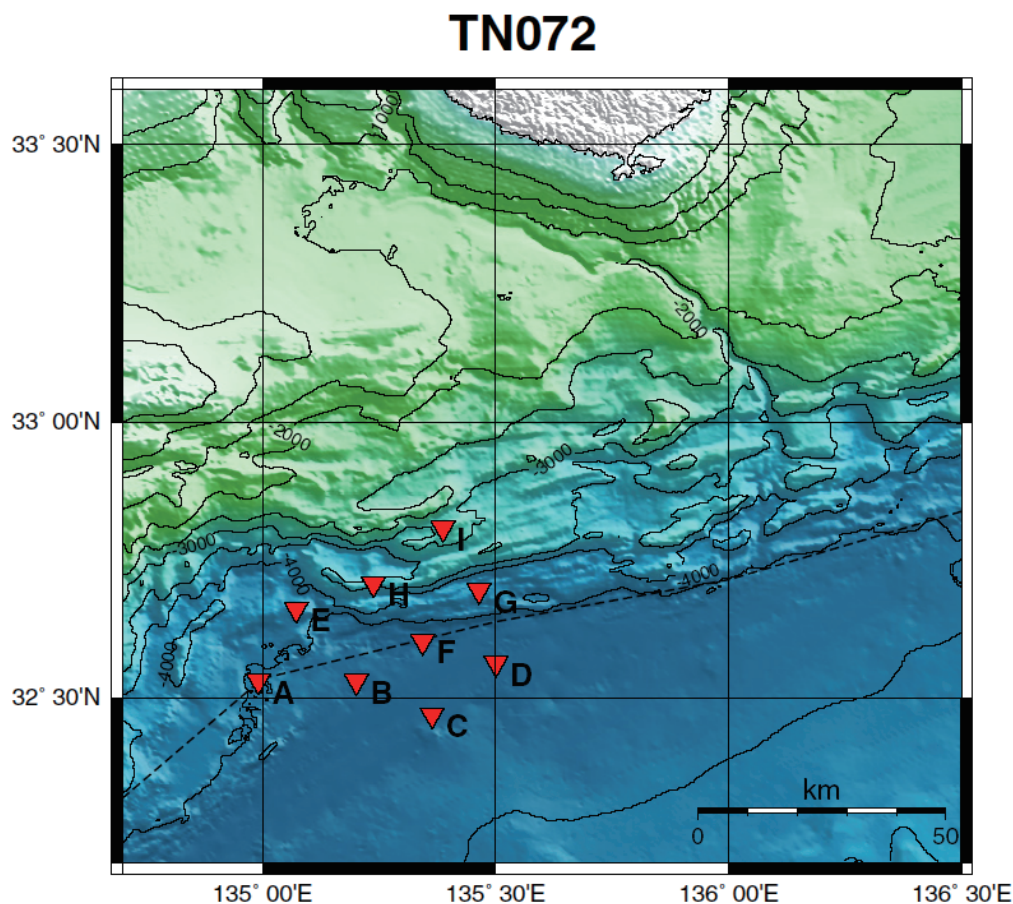


Fig. 1.1.22. OBS location map of the TN072 observation.

Table 1.1.14. Information list of the TN072 observation.

観測名：	TN072					
観測期間：	2007. 10. 16 – 2007. 12. 01					
設置航海：	気象庁地球環境・海洋部 凌風丸					
乗船者：	坂井孝行（気象研）・宮下 誠（気象庁地震火山部）・木村一洋（気象庁地震火山部）・吉岡英和（勝島製作所）・大澤真之（勝島製作所）					
回収航海：	神戸海洋気象台 啓風丸					
乗船者：	平田賢治（気象研）・宮下 誠（気象庁地震火山部）・松田 結（気象庁地震火山部）・吉岡英和（勝島製作所）・大澤真之（勝島製作所）					
観測点名	北緯	東経	深さ (m)	OBS TYPE	sampling	備考
TN072A	32. 53014	134. 99158	4499	勝島型	100Hz	
TN072B	32. 53001	135. 20101	4763	勝島型	100Hz	
TN072C	32. 46886	135. 36444	4747	勝島型	100Hz	
TN072D	32. 56193	135. 50123	4750	勝島型	100Hz	
TN072E	32. 66057	135. 07208	4197	勝島型	100Hz	
TN072F	32. 60221	135. 34410	4751	勝島型	100Hz	
TN072G	32. 69435	135. 46440	4244	勝島型	100Hz	
TN072H	32. 70647	135. 23834	3509	勝島型	100Hz	
TN072I	32. 80724	135. 38738	2905	勝島型	100Hz	

注) TN072D は三点測量を実施しておらず投入地点である。

検測は OBS 観測点の 3 地点以上で P または S 相が認められた地震について行った。震源計算のための一次元速度構造は、TN052 および TN061 観測で使用した構造を用いた。決定した震源数は 115 個である。求めた震源分布を Fig. 1.1.23 に示した。また、震源決定にあたって用いた観測点補正値を Table 1.1.15 に示した。

解析の結果、TN072 の観測海域においても比較的活発な微小地震活動が存在することが確認できた。この海域の地震活動の分布にはかなりの偏りがみられ、OBS 観測網の北東側半分では地震活動が高く、南西側半分では低いことがわかった。特に H・F・D 点を結ぶ線上に存在する WNW-ESE 方向に延びる帯状の地震分布が目立っている。また、B 点周辺の半径約 20km のエリアでは地震のほとんど発生して

Table 1.1.15. Used station correction values of P- and S-phases for the TN072 observation.

Station	Station correction value(s)	
	P-wave	S-wave
TN072A	-0.027	-1.095
TN072B	0.169	-0.451
TN072C	-0.037	-1.155
TN072D	0.013	-0.762
TN072E	-0.040	-0.966
TN072F	-0.169	-1.061
TN072G	-0.022	-0.781
TN072H	0.004	-0.812
TN072I	-0.014	-1.021

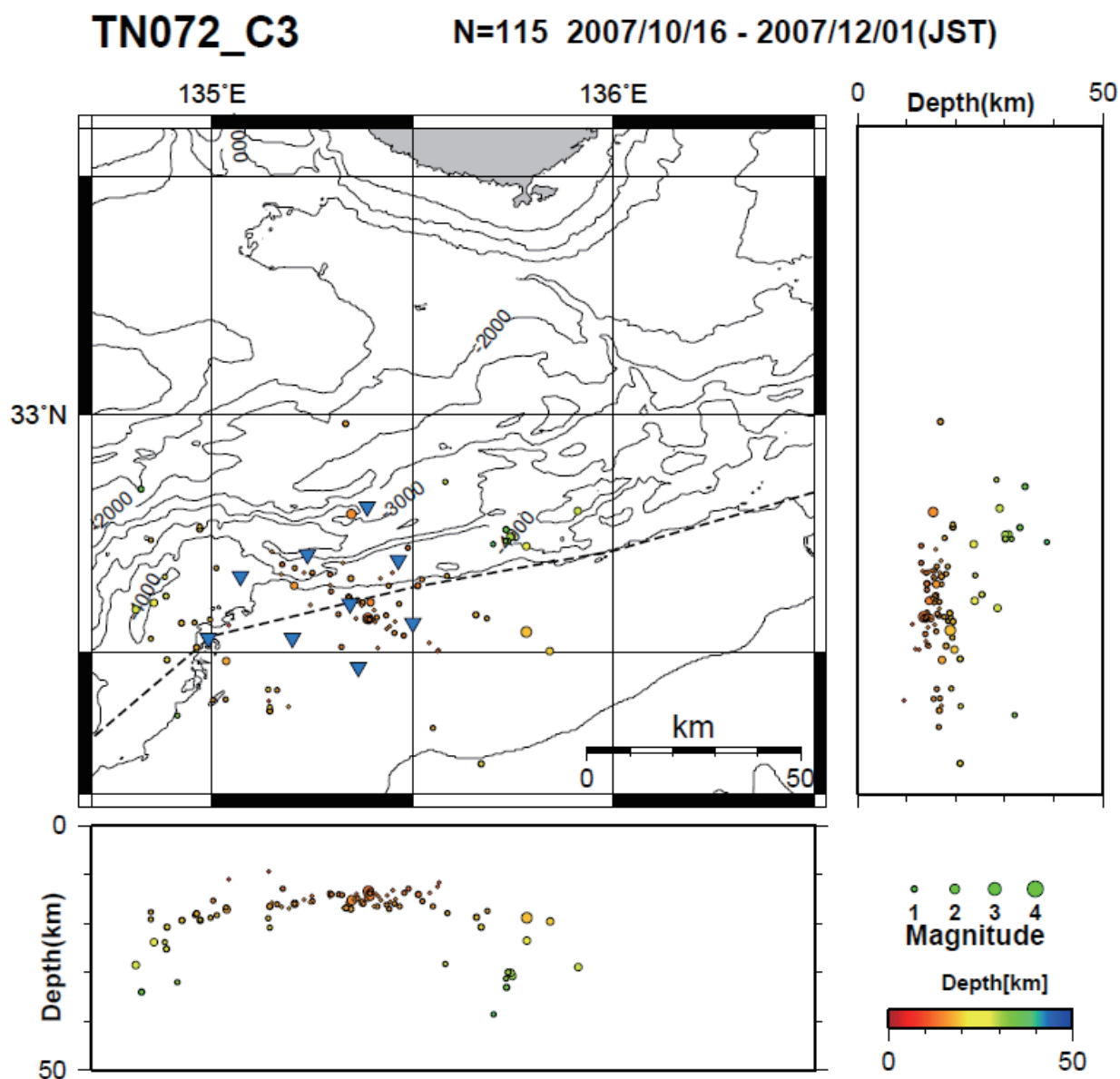


Fig. 1.1.23. OBS-located hypocenter distribution for the TN072 observation.

いない空白域が存在している。なお、OBS の観測網から離れるに従い震源が急に深くなる傾向が認められるが、これは TN061 観測の項でも述べたように、観測網から離れると震源決定精度が低下し実際の震源より深く求まる傾向が出現するためである。

TN072 観測で得られた地震活動については 1.2 節で他の観測結果と併せて改めて述べる。

1.1.6.10 TN081 観測

前回実施した OBS 観測 (TN072 観測) において、やはり南海トラフ軸周辺の地震活動は活発であり、しかも地震の分布は一様ではなく帯状の分布や空白域が存在することもわかってきた。これら地震活動の分布をさらに調べるため、TN072 観測海域の西方の紀伊水道南方沖の南海トラフ軸周辺において 2008 年度第 1 回目の OBS 観測 (TN081 観測) を実施した。

OBS は予定地点に 12 台設置し全て回収することができた。しかし、2 観測点で記録にトラブルが発生していた。I 点では回収時に ΔT の測定値が -11.6 秒とかなり大きな値を示した。その後気象研究所に搬送された OBS を点検したところ、記録が 8 月 9 日に停止していることがわかった。電池の状態を調べたところ、時計部に供給しているリチウム電池の 1 本が完全に放電していた。原因はリチウム電池 1 本の不良で、この電池が 8 月 9 日に完全放電したため時計が停止し、レコーダの記録もストップしたものと考えられる。 ΔT の測定値が異常だったのは停止した時計部からの何らかのノイズ信号を測定していたためと考えられる。 ΔT が不明であったためこの観測点のデータは震源決定に使わないことにした。J 点ではハードディスク上に最初からデータが全く記録されておらず、レコーダの不具合が原因と思われる。結局、TN081 観測で震源決定に用いた OBS 観測点は 10 地点である。観測点配置図を Fig. 1.1.24 に、観測表を Table 1.1.16 に示した。

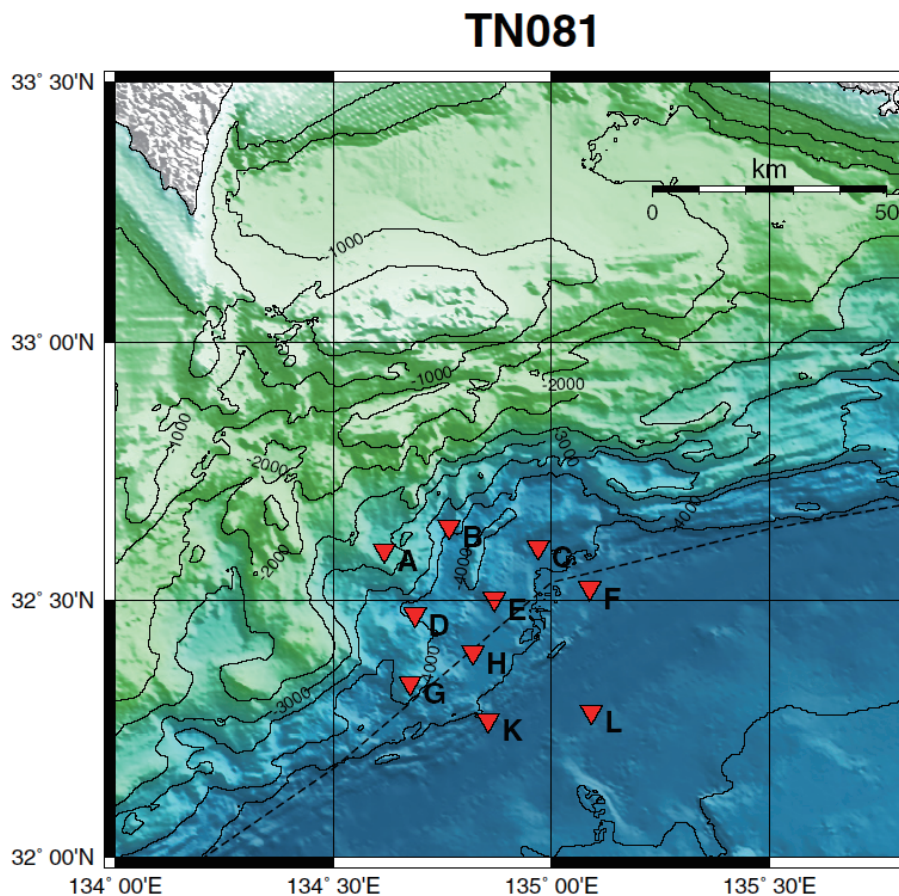


Fig. 1.1.24. OBS location map of the TN081 observation.

Table 1.1.16. Information list of the TN081 observation.

観測名:	TN081
観測期間 (勝島型):	2008. 05. 22 - 2008. 09. 24
観測期間 (東京測振型):	2008. 05. 22 - 2008. 09. 12
設置航海:	神戸海洋気象台 啓風丸
乗船者:	山崎 明 (気象研)・岩切一宏 (気象研)・岡部 来 (気象庁地震火山部)・ 吉岡英和 (勝島製作所)・大澤真之 (勝島製作所)
回収航海:	気象庁地球環境・海洋部 凌風丸
乗船者:	坂井孝行 (気象研)・岡部 来 (気象庁地震火山部)・棚田理絵 (気象庁地震火山部)・ 吉岡英和 (勝島製作所)

観測点名	北緯	東経	深さ (m)	OBS TYPE	sampling	備考
TN081A	32. 59619	134. 61723	2982	勝島型	100Hz	
TN081B	32. 64243	134. 76586	3966	勝島型	100Hz	
TN081C	32. 60288	134. 97002	4403	勝島型	100Hz	
TN081D	32. 47125	134. 68767	4048	勝島型	100Hz	
TN081E	32. 50276	134. 86950	4374	勝島型	100Hz	
TN081F	32. 52353	135. 08808	4659	勝島型	100Hz	
TN081G	32. 33907	134. 67586	3612	東京測振型	50Hz	
TN081H	32. 39814	134. 82047	4441	東京測振型	50Hz	△T 異常
TN081I	32. 41257	134. 97724	4577	東京測振型	50Hz	
TN081J	32. 42046	135. 14905	4771	勝島型	100Hz	記録なし
TN081K	32. 26690	134. 85478	4701	勝島型	100Hz	
TN081L	32. 28257	135. 09164	4754	勝島型	100Hz	

検測は OBS 観測点の 3 地点以上で P または S 相が認められた地震について行った。震源計算に用いた一次元速度構造は、本海域において JAMSTEC により実施された速度構造探査結果 (Kodaira *et al.*, 2000b) から読み取って求めた (Fig. 1.1.25)。決定した震源数は 192 個であり、その分布を Fig. 1.1.26 に示した。また、震源決定にあたって用いた観測点補正値を Table 1.1.17 に示した。

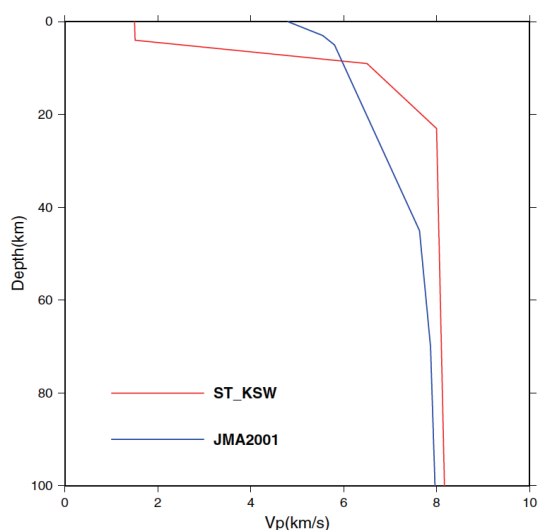


Fig. 1.1.25. P-wave velocity structure model used for the hypocenter determination of the TN081 observation (red line) derived from Kodaira *et al.* (2000b).

Table 1.1.17. Used station correction values of P- and S-phases for the TN081 observation.

Station correction value (s)		
Station	P-wave	S-wave
TN081A	0. 195	-0. 850
TN081B	-0. 068	-0. 894
TN081C	-0. 038	-1. 235
TN081D	-0. 031	-1. 047
TN081E	-0. 103	-1. 234
TN081F	-0.004	-0. 969
TN081G	0. 005	-0. 755
TN081H	-0. 230	-1. 115
TN081K	-0. 014	-0. 851
TN081L	0. 151	-0. 944

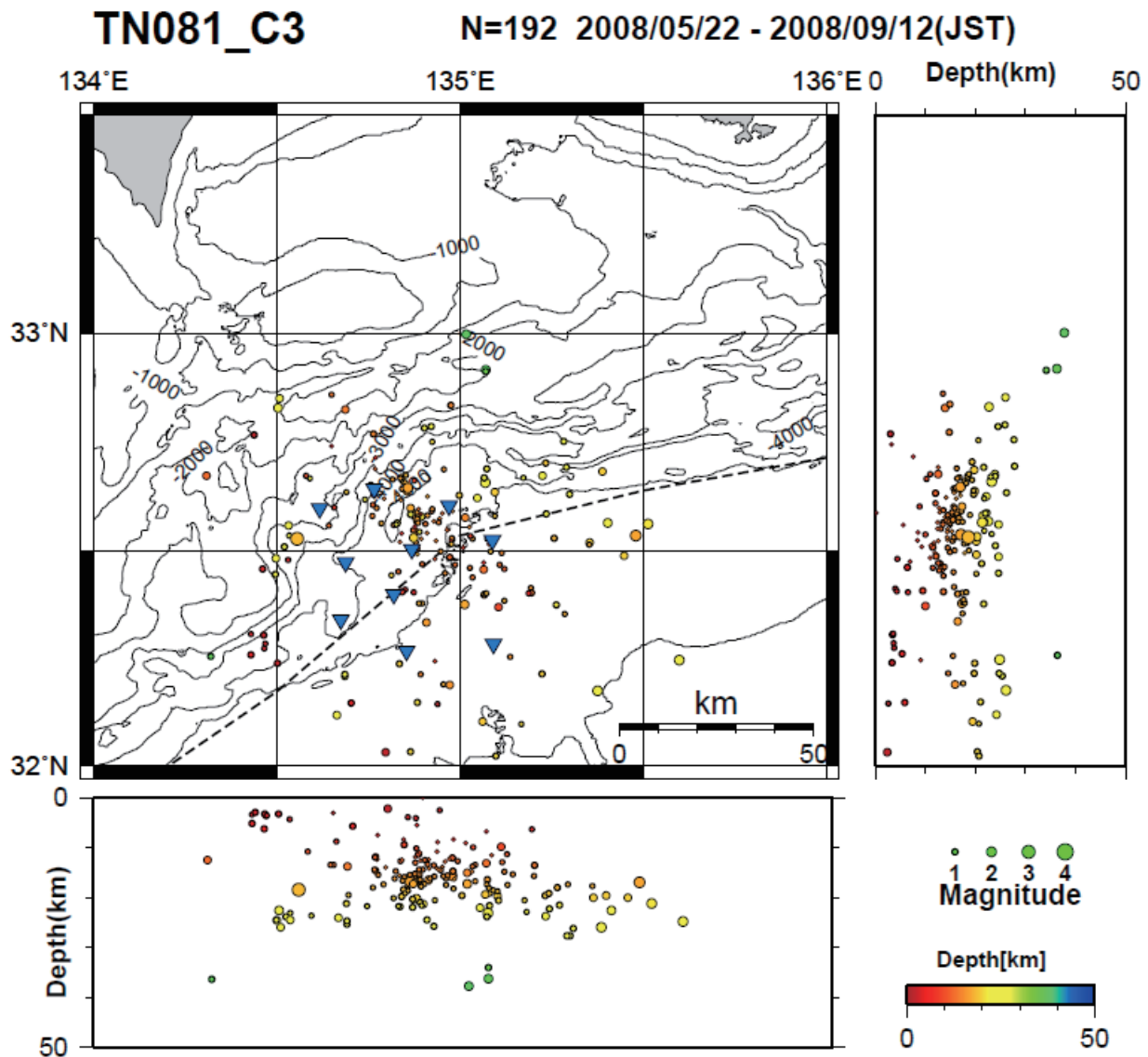


Fig. 1.1.26. OBS-located hypocenter distribution for the TN081 observation.

気象庁一元化震源カタログによれば、本調査海域の地震活動は非常に低く、OBS 観測期間中に OBS 観測の観測ネット内に求まっている気象庁一元化震源はゼロであった。しかし OBS 観測を行ってみると、観測ネット内にも多数の震源が求まりこの海域の微小地震活動は活発であることがわかった。しかも地震活動は一様ではなく、OBS 観測域の北東側半分では地震活動が高く、南西側半分では低いことがわかった。地震の発生している深さは 5km～25km で、フィリピン海プレートの海洋性地殻または最上部マントルで発生しているとみられる。TN081 観測で得られた地震活動については 1.2 節で他の観測結果と併せて改めて述べる。

1.1.7 OBS の海底下での温度変化に関する実験

OBS にはレコーダ内に水晶発振式の時計が内蔵されている。この時計の精度はそれほど高くなく、レコーダによっても異なるが通常 1 月で 1 秒程度ずれる。OBS 観測は 2～3 ヶ月の期間で行われるのが普通であり、よって回収時に 2～3 秒程度の誤差が生じるので、震源決定をする上で無視出来ない時刻誤差となる。この時刻誤差を補正するため、投入時と回収時に GPS 時計との差 (ΔT) を測定し、この間を直線補間して補正值を決めている。一般に水晶発振子の周波数の安定性には温度依存性があるが、海底下のように温度が一定であれば直線補間するのはそれなりの妥当性

がある。OBS を設置してから回収するまでに OBS 本体内部でどのような温度変化をするか確認するために、TN052 観測において簡易温度計を OBS ガラス球内に入れ、温度測定をしたのでその結果について簡単に報告する。

設置した場所は TN052 観測の E 点で、この地点の水深は 4277m である。使用した温度計は(株)T&D の「おんどとり (TR-72U)」である。温度計測は 0.1° 単位で記録は 10 分毎とした。TN052E 地点に OBS を投入したのは 2005 年 10 月 14 日の 12 時 57 分で海底への着底が確認されたのは 13 時 51 分である。また回収は 2005 年 11 月 28 日に行われ、船上から切離しコマンドを送信したのが 6 時 46 分で海上に浮上したのが 7 時 54 分、船上へ揚収したのが 8 時 31 分であった。

Fig. 1.1.27 に OBS の設置から回収までの OBS 本体内の温度状況を示した。投入からしばらくすると温度は $1.5\sim 1.6^{\circ}\text{C}$ まで下がり安定した。しかし図から明らかなように、設置から 5 日後の 10 月 19 日より規則的に 1.9°C まで一時的に温度が上昇するという現象が出現するようになった。この現象は普段の本体内の温度は 1.6°C であるが、約 32 時間周期で急に温度が上昇し約 30 分かけて 1.9°C に達し、その後 4~8 時間かけてゆっくりと冷却し 1.6°C まで戻るといった経過をたどっている。この現象の原因として、OBS のレコーダの電力消費による発熱なのか、使用した温度計自体の発熱なのかよくわからなかったが、規則的であることからこれらデータ収録機器に関係していると思われる。いずれにせよ、この一時的な発熱は 0.3°C 程度のものであり OBS レコーダの時計にはあまり影響しないと考えてよい。

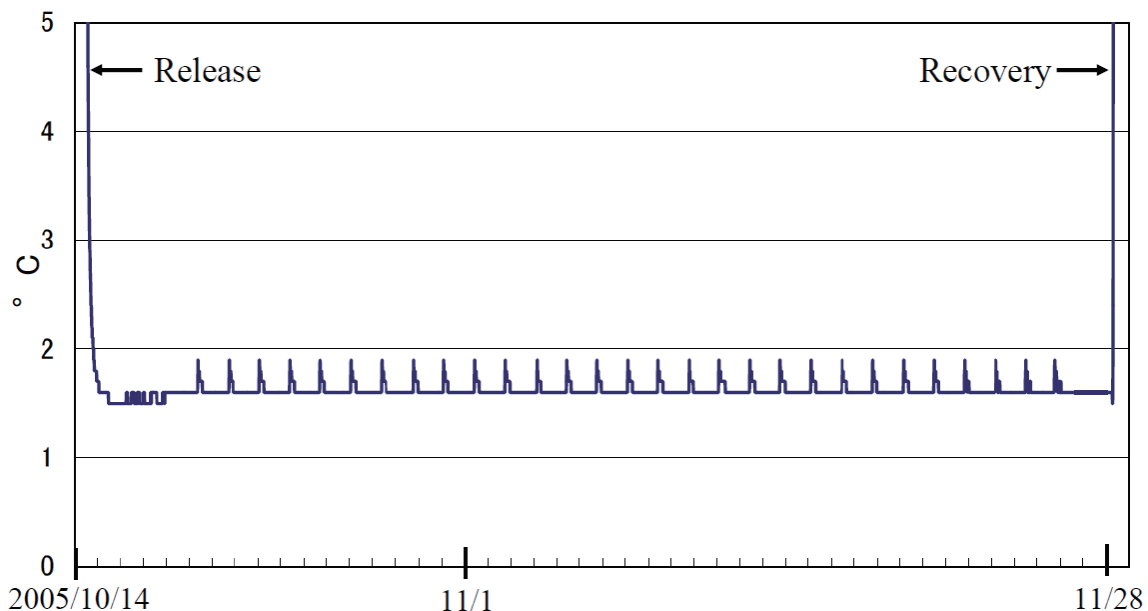


Fig. 1.1.27. Temperature change inside a glass sphere of the deployed OBS at the TN052E station from deployment to recovery.

Fig. 1.1.28 に OBS の投入から着底、その後 OBS 本体内の温度が安定するまでの経過を示した。OBS の投入直後に急激に温度が低下し、着底時には 6°C 程度となり、その後約 12 時間かけて周囲の海水温と思われる $1.5\sim 1.6^{\circ}\text{C}$ に達している様子がよくわかる。Fig. 1.1.29 に OBS 回収時の OBS 本体内の温度状況を示す。切離しコマンドの送信から浮上開始まで約 10 分を要するが、浮上開始後しばらく温度は変わらず、海面へ浮上する 10 分程度前から急激に温度が上がり、揚収時には表面の海水温程度まで温度が上昇していることがわかる。

以上、OBS の海底下での温度変化に関する実験について述べたが、海底下での OBS 本体内部温度は一時的に 0.3°C 程度上昇することはあっても全体的には極めて安定しており、 ΔT の直線補間には妥当性があることが確かめられた。

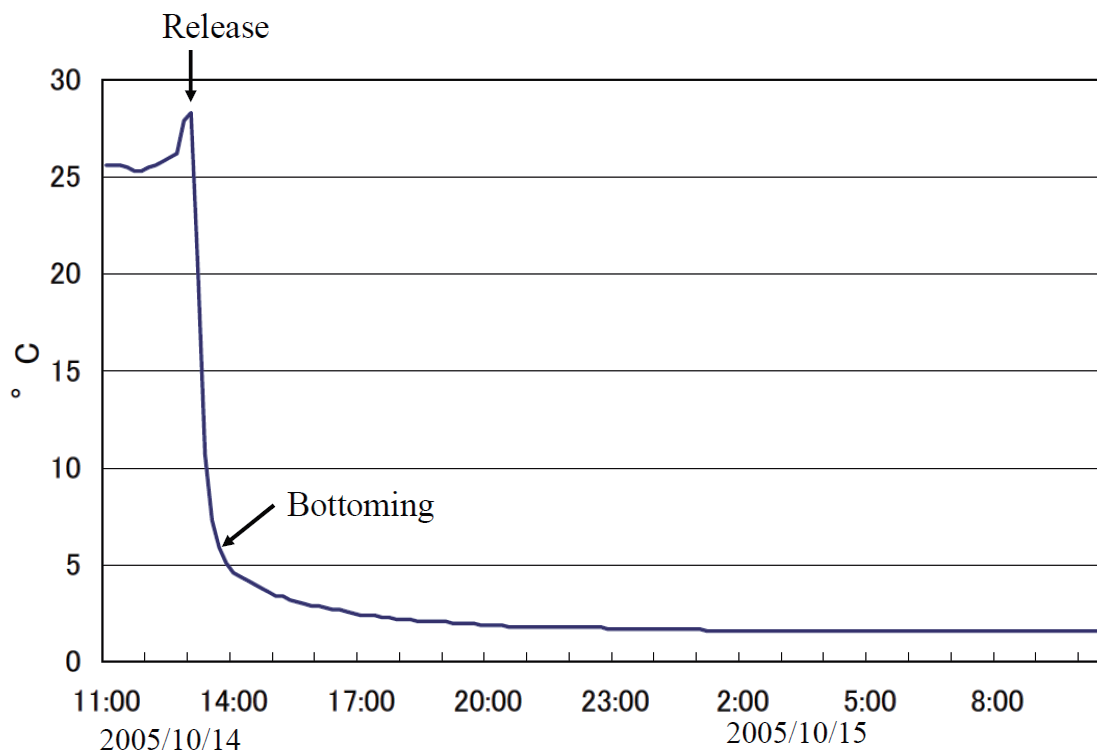


Fig. 1.1.28. Temperature change after dropping OBS into the sea.

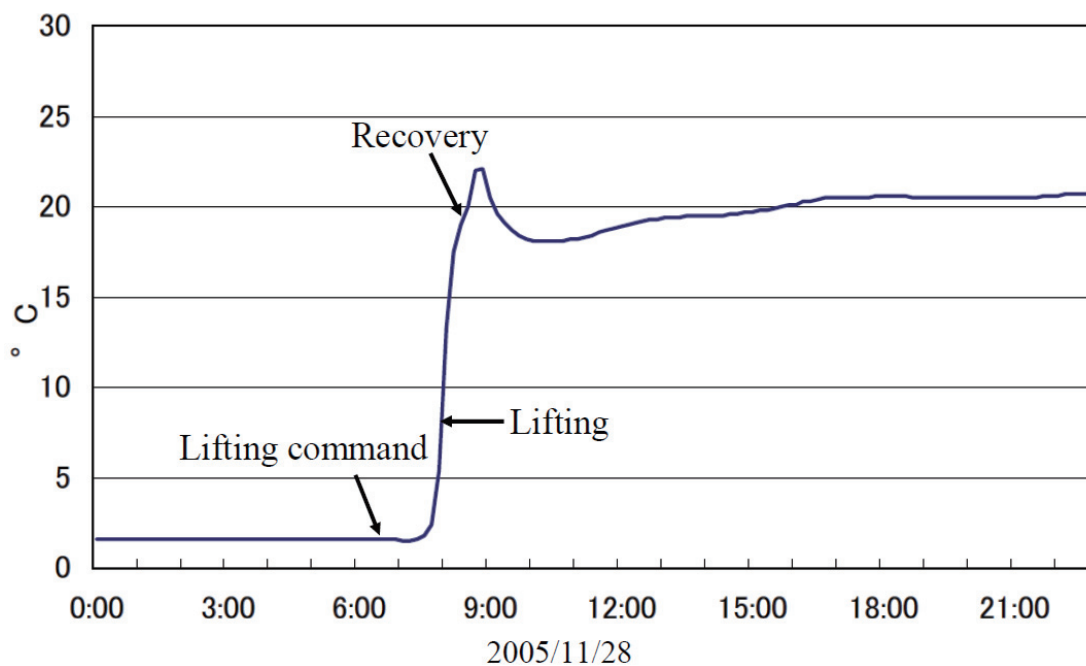


Fig. 1.1.29. Temperature change during the recovery of OBS.

1.1.8 OBS の投入地点と着底地点の相違

OBS を海中に投入後、OBS は海流に流されながら降下していくので、投入位置と着底位置は当然食い違う。前回の特別研究において東海沖で実施した OBS 観測によれば投入位置と着底位置はおおよそ 100m~400m 程度ずれる（気象研究所地震火山研究部, 2005）と報告されている。しかし今回の特別研究で OBS を設置した海域では投入位置と着底位置はもっと大きくずれる傾向が認められた。特に潮岬の南方沖では黒潮の流れが強く、位置のずれは非常に大きかった。Table 1.1.18 に TN061 観測時の投入位置と三点測量で確定させた着底位置を示し、そのプロット図を Fig. 1.1.30

に示した。ここで、Fig. 1.1.30 のベクトルの始点は OBS の投下地点であるが、先端は着底地点ではない。ベクトルの方向は投下地点から OBS が移動した方向を示し、ベクトルの長さは黄色の矢印で示したスケールに従い OBS が移動した距離を表している。

Fig. 1.1.30 をみると、投下した OBS は黒潮に乗って東の方向に 400m~500m 程度流されている状況がよく分かる。移動距離が最大の F 点では約 800m 流されており、F 点は黒潮の最速帯に近いのであろうと推察される。

OBS の着底位置を確定させるため、通常の OBS 観測ではトランスポンダを利用した三点測量を実施する。しかしこの作業は観測船にとって時間をとられ負担が大きいので、大学などの OBS 観測で

は三点測量を省略することもある。しかし、潮岬南方沖のように黒潮の流れの強いところでは三点測量は是非実施し、着底位置を確実に把握しておくべきである。

Table 1.1.18. List of the drop positions into the sea and the fixed positions at the ocean bottom on the TN061 observation.

	投入位置		着底位置	
	北緯	東経	北緯	東経
TN061A	32. 59535	135. 95603	32. 59567	135. 96105
TN061B	32. 71077	135. 64908	32. 71172	135. 65536
TN061C	32. 73167	135. 80082	32. 73260	135. 80678
TN061D	32. 73242	135. 98527	32. 73117	135. 99047
TN061E	32. 76932	136. 13087	32. 76936	136. 13695
TN061F	32. 83272	135. 73083	32. 83253	135. 74019
TN061G	32. 88517	135. 96475	32. 88635	135. 97123
TN061H	32. 97007	135. 69620	32. 97014	135. 70299
TN061I	32. 85727	135. 52138	32. 85723	135. 52714
TN061J	32. 69703	135. 45772	32. 69841	135. 46396
TN061K	32. 56483	135. 50617	32. 56603	135. 51099
TN061L	32. 56833	135. 72700	32. 56917	135. 73325

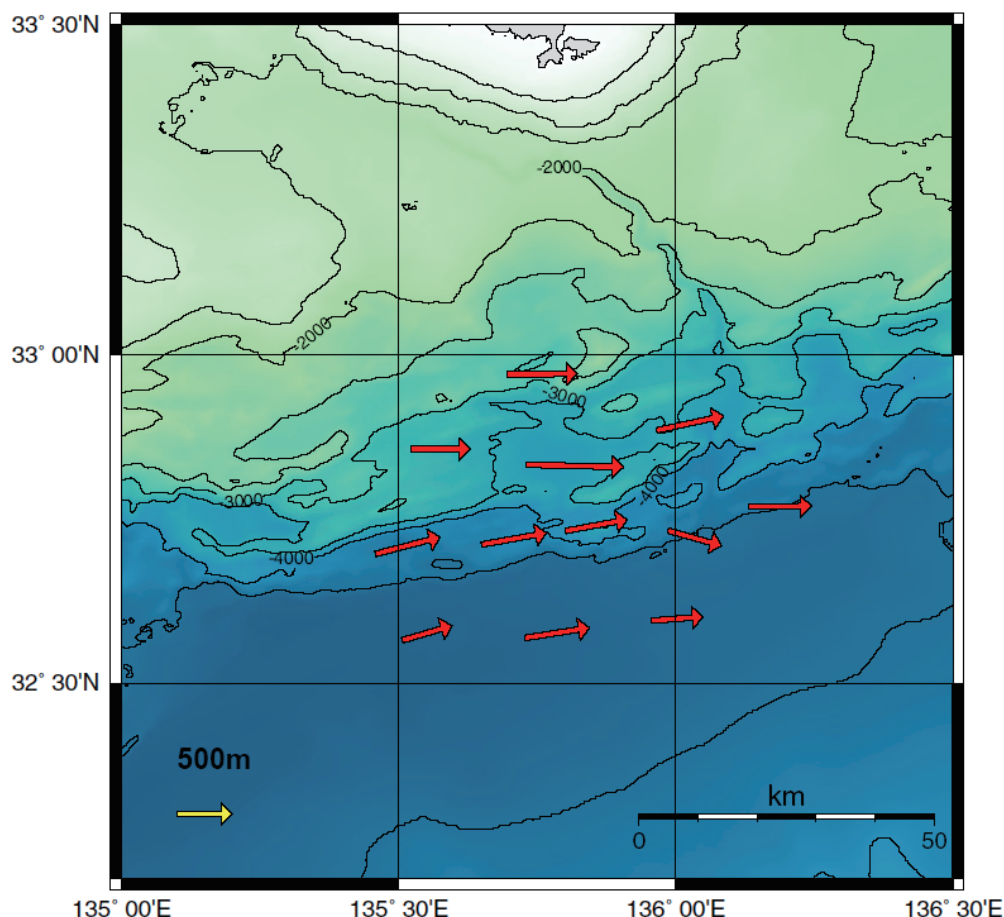


Fig. 1.1.30. Differences between drop positions of the OBSs from the ship and fixed positions at the ocean bottom on the TN061 observation. The starting point of each red arrow indicates the drop position. The direction of each arrow indicates the direction of the drop to the fixed position. The scale of distance is presented by the lower left yellow arrow; thus, the end point of each arrow does not designate the fixed position.

1.1.9 観測のトラブルなどについて

自己浮上式の海底地震観測は、最近では他機関の状況も含めるとかなり観測数も充実し、一般にはすでに十分に完成された技術であるとみなされているように思える。しかし依然として海底という苛酷な環境でなされる観測であることには変わりなく、精密機器でありながら設置や回収時には機器にかなりの力学的な衝撃が加わることも事実である。もちろん、OBS は多少の衝撃や海底の高圧に十分耐えられる設計となっており、また組立て時には非常に慎重な防水加工処理を施してある。にもかかわらず現実には亡失を始めとして観測上のいろいろなトラブルが発生している。これらのトラブルの多くは海底の零度近い温度環境と、防水処理が完全ではなかったことに起因しているように見受けられる。すなわち、OBS 観測の技術的完成度は上がってきたとはいえ、設計や組立てなどにまだまだ未熟な要素を残している技術であるといえよう。観測のトラブルについては 1.1.6 節の各 OBS 観測の説明で述べたが、本節では今後の OBS 観測の参考とするため、そのうちのいくつかのトラブルについて以下にトピック的にとりあげた。

1.1.9.1 OBS の亡失について

OBS は高価な観測装置であり、OBS を亡失した場合、観測や研究計画に与えるダメージは大きい。また、亡失届けやこれに付随する参考資料を提出する義務が生じる。よってできるだけ OBS の亡失は避けたいところであるが、実際には浸水や故障などいくつかの理由により OBS の亡失はしばしば発生する。Table 1.1.19 に前特別研究を含めた最近 10 年間の気象研究所 OBS の亡失状況を示した。前特研では 41 台投入し 5 台亡失したので回収率は 87.8%であった。今特研では 41 台投入し 3 台亡失したので回収率は 92.7%であり回収率はやや上昇した。TN043 観測以降では OBS の亡失は 1 台にとどまっており、回収率は 96.9%に急上昇する。ちなみに海洋研究開発機構での OBS の回収率は 97.7%という報告がある（野・他，2001）。OBS の亡失はガラス球内またはトランスポンダへの海水の浸水か、トランスポンダと切離し機構部をつないでいる配線の接触不良などが主な原因となって発生するものと考えられる。よって亡失を回避するためには、OBS 組立時のきめ細かな防水処理や各種点検作業が重要となる。TN043 観測以降にそれまで OBS の組立作業を担っていた専門業者が別の業者に切り替わっているが、これ以降 OBS の回収率が向上しており、OBS 組立作業工程の業者による違いが回収率に影響したものと考えられる。

Table 1.1.19. Number of OBSs lost by MRI in the last ten years.

観測名	観測海域	気象研 OBS の設置台数	亡失台数
TK991	東海沖	3	1
TK001	"	5	2
TK011	"	5	0
TK021	"	7	0
TK022	"	7	2
TK031	"	7	0
TK032	"	7	0
TN041	熊野灘東方沖	7	2
TN042	紀伊半島南東沖	2	0
TN043	"	3	0
TN051	"	7	0
TN052	潮岬南方沖	5	1
TN061	"	6	0
TN062	紀伊半島南東沖	6	0
TN071	高知沖	3	0
TN072	紀伊水道南方沖	3	0
TN081	"	6	0

1.1.9.2 TN062 観測 ΔT の問題

TN062 観測の J 地点で回収した OBS の ΔT （OBS 時計－GPS 時計）を測定したところ、17 秒と異常に大きかった（Table 1.1.20）。通常 ΔT は 2～3 ヶ月の観測で 2～3 秒以内であるので、明らかに異常であった。この異常な ΔT が一定の時間ずれにより直線的に蓄積されたものであれば、とりあえず ΔT を補間し時刻の補正值を得ること

Table 1.1.20. ΔT measurement results of the OBS's clock used at the TN062J station

ΔT 測定の測定日時		ΔT (s)
2006 年 10 月 12 日	19:33 (投入直前)	-0.043
2006 年 12 月 06 日	11:08 (回収直後)	-17.63
2006 年 12 月 12 日	12:46	-17.42

ができる。しかし、例えばある日時にステップ的に変化したなどの可能性も考えられたので、自然地震を用い J 地点の ΔT の時間的变化を調べてみた。

方法はまず J 地点の値を用いずに一日一個の自然地震の震源決定を行った。次にそれぞれ震源決定された地震について、J 地点での P 相の出現時刻を読み取り、これと計算上期待される J 地点での P 相の出現時刻の差(観測値－計算値)を求めた。その結果を Fig. 1.1.31 に示す。

図から OBS 時計は投入直後から一日 1 秒程度の割合で遅れており、11 月 3 日あたりで遅れはなくなり正常に戻ったらしいことがわかった。よって、 ΔT の直線補間は困難であり、J 点のデータは時刻補正が十分にできないことから震源決定には使わないことにした。

何故このような現象が発生したのか非常に疑問であったため、再現性を確認するため室内でのランニングテストを実施したが、現象の再発はなかった。ところが、次の TN071 観測においても同じ OBS を使用したが、この時も ΔT が -37 秒と異常に大きく、現象は再発した。やむを得ずこの OBS のレコーダは不良と判断し、新品と交換することにした。これ以上の試験は実施しなかったため原因は不明であるが、海底の低温下の環境において電子回路に不安定な動作が生じることなどが推定される。

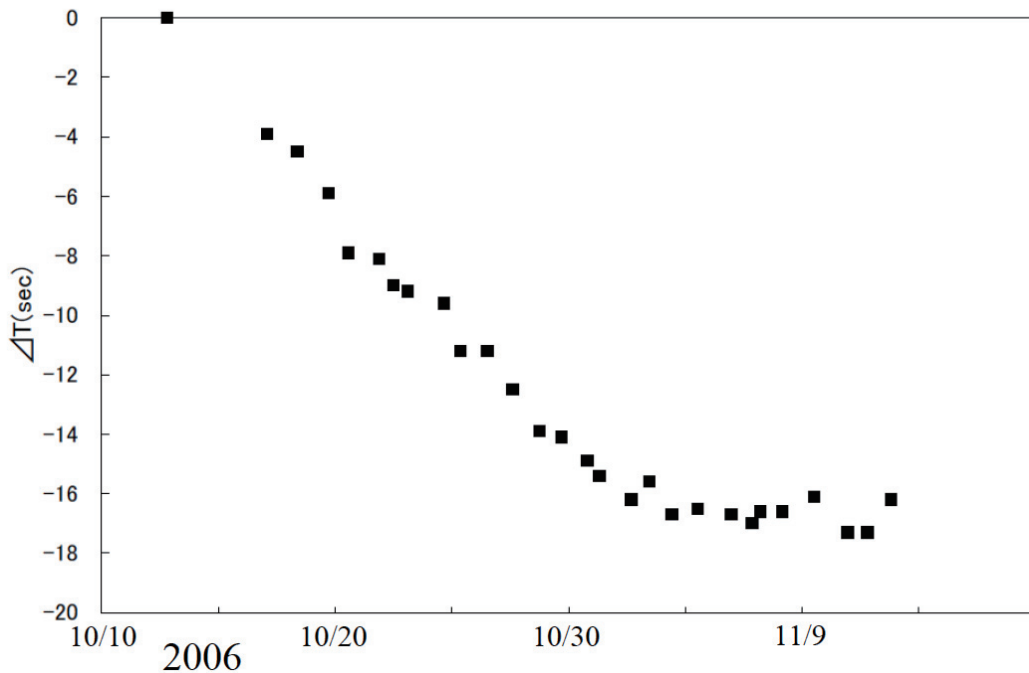


Fig. 1.1.31. Time change ΔT of the TN062J station estimated using calculated arrival times of natural earthquakes.

1.1.9.3 コンパクトフラッシュカードの記録の欠落について

気象研究所で所有する東京測振型 OBS のデータ記録方式はコンパクトフラッシュカードに記録する方式をとっている。もともとはこの OBS は光磁気ディスクに記録する方式であったが、記録上のトラブルが頻繁に発生していたため、2003 年に現在のコンパクトフラッシュカードに記録するよう改造を行った。初め、A 社製の 1GB コンパクトフラッシュカードを使っていた。このカードは 2003 年度の第一回目に実施した OBS 観測では記録上のトラブルは一切なかったが、その後の観測でデータファイルが部分的に記録から抜け落ちるという症状がでてきた。その後徐々に発生頻度が高くなり、カードによっては全記録の 10%程度が抜け落ちているという状況になってきた。原因はレコーダにあるのか記録メディアのコンパクトフラッシュカードにあるのか判然としなかったが、2005 年度以降の観測においてコンパクトフラッシュカードをすべて B 社製のものに交換した。その結果、先に述べたような症状は一切みられな

くなり記録の欠落の問題は解決した。

A社製コンパクトフラッシュカードのどこが悪かったのか原因は判然としないが、海底の零度付近の低温環境においてこのコンパクトフラッシュカードの記録動作が不安定になっていた可能性が考えられる。

謝辞

10 回にわたって実施された OBS 観測に際して、神戸海洋気象台の啓風丸、気象庁地球環境・海洋部の凌風丸、舞鶴海洋気象台の清風丸の各海洋気象観測船に協力いただきました。各船長以下乗組員、観測員の皆様をはじめ関係された多くの方々に感謝申し上げます。OBS の地震波形の検測作業にあたっては気象研究所非常勤職員または派遣職員の高橋光美氏、島田詩子氏、遠藤文恵氏、政綱香苗氏、鈴木美和子氏、土子さな枝氏に協力いただきました。作図にあたっては GMT(Wessel and Smith, 1995), および SEIS-PC(石川・中村, 1997)を使用しました。図の一部に用いた紀伊半島南東沖の地殻の速度構造データについては IFREE/JAMSTEC「地殻構造探索データベース」を使用しました。海底地形図の作成にあたっての水深データは日本海洋データセンターの資料を使用しました。Fig.1.1.1, 3, 6, 8, 10, 12, 15, 17, 19, 22 および 24 の作成にあたって、国土地理院の数値地図 250m メッシュ（標高）を使用しました。

なお、気象庁一元化震源については国土地理院、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、防災科学技術研究所、産業技術総合研究所、海洋研究開発機構、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市及び気象庁のデータを用いて作成されています。

(山崎 明)

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.
- Hirata, N. and M. Matsu'ura, 1987: Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **47**, 20-61.
- Hori, T., N. Kato, K. Hirahara, T. Baba, and Y. Kaneda, 2004: A numerical simulation of earthquake cycles along the Nankai Trough in southwest Japan: lateral variation in frictional property due to the slab geometry controls the nucleation position, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **228**, 215-226.
- 石川有三・中村浩二, 1997: SEIS-PC for Windows 95, *地球惑星科学関連学会 1999 年合同大会予稿集*, B22-P11, 78-78.
- Kanamori, H., 1972: Tectonic implication of the 1944 Tonankai and the 1946 Nankaido earthquake, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **5**, 129-139.
- 気象研究所地震火山研究部, 2005: 地震発生過程の詳細なモデリングによる東海地震発生の推定精度向上に関する研究—自己浮上式海底地震計観測による東海沖の地震活動—, *気象研究所技術報告*, **46**, 1-31.
- 気象庁地震火山部, 2007: *地震機動観測実施報告*, **16**, 122pp.
- 気象庁地震火山部, 2008: *地震機動観測実施報告*, **17**, 71pp.
- Kodaira, S., N. Takahashi, J. O. Park, K. Mochizuki, M. Shinohara, and S. Kimura, 2000a: Western Nankai Trough seismogenic zone: Results from a wide-angle ocean bottom seismic survey, *J. Geophys. Res.*, **105**, 5887-5905.
- Kodaira, S., N. Takahashi, A. Nakanishi, S. Miura, and Y. Kaneda, 2000b: Subducted seamount imaged in the rupture zone of the 1946 Nankaido earthquake, *Science*, **289**, 104-106.

- Kodaira, S., T. Hori, A. Ito, S. Miura, G. Fujie, J. O. Park, T. Baba, H. Sakaguchi, and Y. Kaneda, 2006: A cause of rupture segmentation and synchronization in the Nankai trough revealed by seismic imaging and numerical simulation, *J. Geophys. Res.*, **111**, B09301, doi:10.1029/2005JB004030.
- Mochizuki, K., K. Nakahigashi, A. Kuwano, T. Yamada, M. Shinohara, S. Sakai, S. Hashimoto, T. Yagi, T. Kanazawa, K. Uehira, M. Tahara, K. Uchida, H. Shimizu, 2009: Spatially varying seismicity distribution in the Tonankai-Nankai regions revealed by repeating long-term ocean bottom observations, *日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集*, T225-006.
- 仲西理子・塩原肇・日野亮太・小平秀一・金澤敏彦・島村英紀, 1994: 東海沖でのフィリピン海プレートの詳細な沈み込み形態の解明—エアガン—海底地震計探査による銭洲海嶺, 南海トラフ東部の地殻構造—, *地震* **2**, **47**, 311-331.
- 野 徹雄・田中仁氏・伊藤 誠・馬場和美・小平秀一・門馬大和, 2001: 音響指令によって回収できなかった自己浮上式海底地震計に関する問題, *JAMSTEC 深海研究*, **19**, 27-36.
- Obana, K., S. Kodaira, and Y. Kaneda, 2006: Seismicity related to heterogeneous structure along the western Nankai trough off Shikoku Island, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L23310, doi:10.1029/2006GL028179.
- 高山博之・前田憲二・弘瀬冬樹, 2008: 南海トラフ沿い大地震の開始位置に与えるプレート境界の形状の効果, *地震* **2**, **60**, 279-284.
- 上野 寛・畠山信一・明田川保・舟崎 淳・浜田信生, 2002: 気象庁の震源決定方法の改善—浅部速度構造と重み関数の改良—, *験震時報*, **65**, 123-134.
- ト部 卓・束田進也, 1992: WIN—微小地震観測網波形験測支援のためのワークステーション・プログラム (強化版), *地震学会講演予稿集*, **2**, 331-331.
- 渡辺 晃, 1971: 近地地震のマグニチュード, *地震* **2**, **24**, 189-200.
- Wessel, P. and W. H. F. Smith, 1995: New version of the generic mapping tools released, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, **76**, 329.
- 山崎 明・青木重樹・吉田康宏・小林昭夫・勝間田明男・阿部正雄・森脇健・大河原斉揚・長田芳一・松岡英俊・吉田知央・関谷 博・新納孝壽・平松秀行, 2008: 海底地震計を用いた 2004 年紀伊半島南東沖の地震の余震観測, *気象研究所研究報告*, **59**, 65-82.