

自己浮上式海底地震計(OBS)を用いた 駿河湾石花海周辺海域における連続地震観測

馬場 久紀^{1,*}・平田 賢治²⁾³⁾・山崎 明⁴⁾・対馬 弘晃²⁾・勝間田 明男²⁾・前田 憲二²⁾・
上野 寛²⁾・青木 重樹²⁾・小林 昭夫²⁾・木村 一洋²⁾・弘瀬 冬樹²⁾・長尾 年恭⁵⁾

The continuous Earthquake Observation in and around the Senoumi Bank in the Suruga Bay Using pop-up type Ocean Bottom Seismographs (OBSs).

Hisatoshi Baba¹⁾, Kenji Hirata²⁾³⁾, Akira Yamazaki⁴⁾, Hiroaki Tsushima²⁾,
Akio Katsumata²⁾, Kenji Maeda²⁾, Hiroshi Ueno²⁾, Shigeki Aoki²⁾,
Akio Kobayashi²⁾, Kazuhiro Kimura²⁾, Fuyuki Hirose²⁾ and Toshiyasu Nagao⁵⁾.

Abstract

Tokai University and Meteorological Research Institute (MRI), Japan Meteorological Agency started seismic observation using one pop-up type OBS near the Suruga Trough axial region, the east end of the anticipated area of a possible Tokai Earthquake, in October, 2011. Since 2012, we have furthermore conducted tripartite observation of three OBSs. Deployment and retrieval of the OBSs have been repeatedly conducted every three months using a small work boat with about 20 ton of Tokai Univ.

-
- 1) 東海大学海洋学部海洋地球科学科 〒424-8610 静岡市清水区折戸 3-20-1
Department of Marine and Earth Science, School of Marine Science and Technology, Tokai University, 3-20-1 Orido Shimizu-ku, Shizuoka 424-8610, Japan
 - 2) 気象庁気象研究所 〒305-0052 茨城県つくば市長峰1-1
Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki, 305-0052, Japan
 - 3) 現在の所属：防災科学技術研究所 〒305-0006 茨城県つくば市天王台 3-1
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 3-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-0006, Japan
 - 4) 気象庁地磁気観測所 〒315-0116 茨城県石岡市柿岡 595
Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency, 595 Kakioka, Ishioka Ibaraki, 315-0116, Japan
 - 5) 東海大学海洋研究所 〒424-8610 静岡市清水区折戸 3-20-1
Institute of Oceanic Research and Development, Tokai University, 3-20-1 Orido Shimizu-ku, Shizuoka 424-8610, Japan

* Corresponding author : hbaba@scc.u-tokai.ac.jp

(2015年2月9日受付／2015年2月18日受理)

In the Suruga Trough axial region, seismicity has become active since moderated-size earthquakes occurred there (M6.5 in 2009 and M6.2 in 2011). Although those earthquakes are thought to be occurred in the subducting Philippine Sea Plate, from land network observations, depth of these moderated-size events was probably not determined with high accuracy because of lack of observation points in the sea area. We will here report a result of the tripartite observation to examine local seismicity in the Suruga Trough axial region in terms of frequency and hypocenter distribution.

研究の背景

駿河湾は、ユーラシアプレート東端とフィリピン海プレート北端が接している駿河トラフが、南北に縦断する特異な湾である。この海域では、近い将来に発生すると考えられている東海地震の震源域に重なるため、ここで発生する地震活動には特に注意をする必要がある。東海地震は、駿河湾から静岡県の内陸部を震源とする M8 クラスの巨大地震（中央防災会議, 2001）であり、震源域周辺の地震活動、つまり駿河トラフから沈み込むプレートに由来する地震活動を詳細に把握することは、東海地震の発生時期や地震の性質を推測する上で重要である。

この駿河湾では、2009 年 8 月に M6.5 の駿河湾の地震（静岡沖の地震と記す）（Fig. 1）（気象庁, 2009）、2011 年 8 月に M6.2 の駿河湾の地震（駿河湾

南部の地震と記す）（Fig. 2）（気象庁, 2012）が駿河トラフ中軸部石花海（せのうみ）北碓付近で発生した。Fig. 1 および Fig. 2 は、気象庁によって決められた震源要素を用いて作られた震央分布図である。これらの地震の震源は、東海地震の震源域（Fig. 3）にあたるため、その後の地震活動の推移が特に注目された。これらの地震活動は、陸上の地震観測網（気象庁・防災科学技術研究所）で得られた結果では、沈み込むフィリピン海プレート内で発生したスラブ内地震であると結論づけられた。しかし、そもそも駿河湾には地震観測点が展開されていないため、詳細な震源の位置決定精度に問題がある。

そこで東海大学と気象庁気象研究所では、駿河トラフ中軸部石花海付近でこの海域で発生する地震活動調査のために、2011 年 10 月から自己浮上式海底地震計（OBS）を用いた地震観測を開始した。OBS

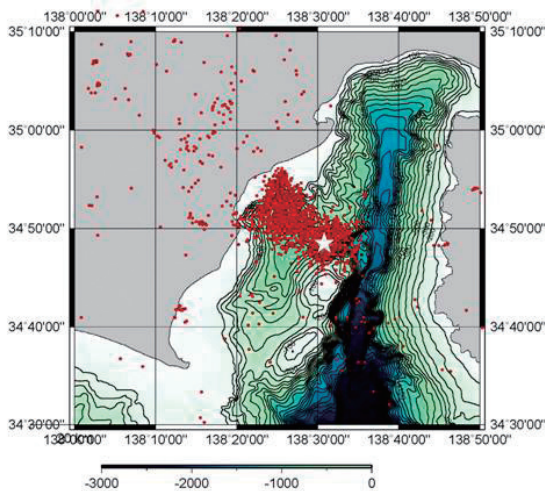


Fig. 1 Epicenter distribution of Shizuoka-oki Earthquake (M6.5 in August 2009) by JMA from August 11th to August 17th, 2009. A star mark shows main shock position.

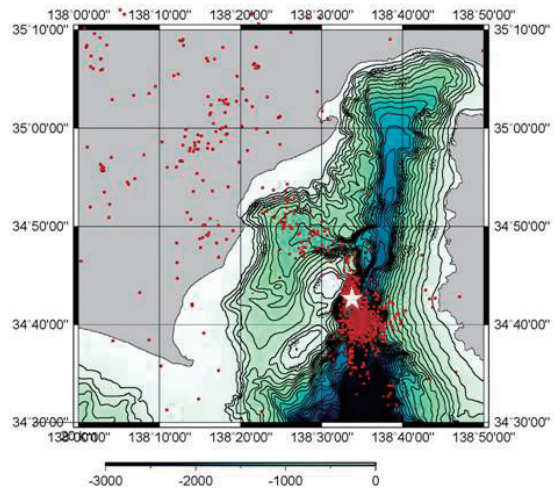
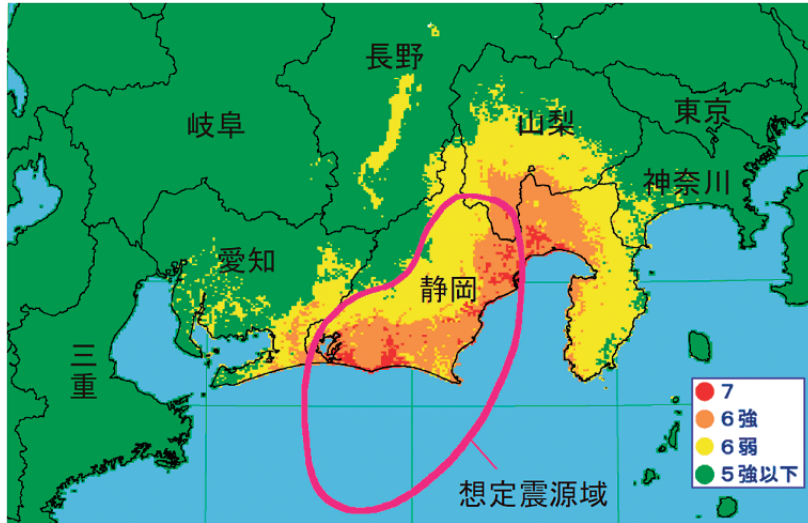


Fig. 2 Epicenter distribution of South Suruga-bay Earthquake (M6.2 in August 7th, 2011). A star mark shows main shock position.



「東海地震の想定震源域」と「想定される震度分布」
(想定及び図は内閣府による。)

Fig. 3 The Tokai earthquake focal zone (red-solid line area) with the highest level in the seismic intensity color scale (ex. red: seismic intensity 7, orange and yellow: seismic intensity 6) by the Central Disaster Prevention Council (2001).

の設置回収は、東海大学海洋学部が所有する 20 トンクラスの小型舟艇 (南十字・北斗) を用いて、3 ヶ月ごとに繰り返し、現在も観測を継続している。

OBS 観測

使用している OBS (Fig. 4) は、浮力体を兼ねたガラス球耐圧容器の中に地震計や記録機器を始めとする機材を取め、小型舟艇から自沈のためのウェイトを取り付けて投入し、海底に自由落下によって設置する。OBS は、バッテリーの容量から約 3 ヶ月ごとに設置回収を繰り返す必要がある。回収は、船上から超音波装置によって OBS に取り付けられた切り離し機構を作動させ、ウェイトを切り離し、ガラス球耐圧容器の浮力によって浮上させる。

観測は、2011 年 10 月 (観測名: SRG01) から開始した。当初の観測は OBS1 台による 1 観測点のみであったが、4 回目の観測 2012 年 7 月 (観測名: SRG04) から観測点を 3 点とし、OBS 観測点のみによる独自の震源決定が可能となった。しかし、SRG04 観測では 1 台の OBS 機器が不調のため、5 回目 (観測名: SRG05) の観測から震源決定を行っ

た。各繰り返し観測に関する詳細 (名称、期間、観測点数等) を Table 1 に示す。また、OBS 観測点の配置図を Fig. 5 に示す。

以上のように OBS は、同じ海域で回収・設置を繰り返すが、小型舟艇から投入される OBS は海底に着底するまでに、海流等の影響で投入位置と海底の着底位置にずれが生じる。そこで、OBS が海底に

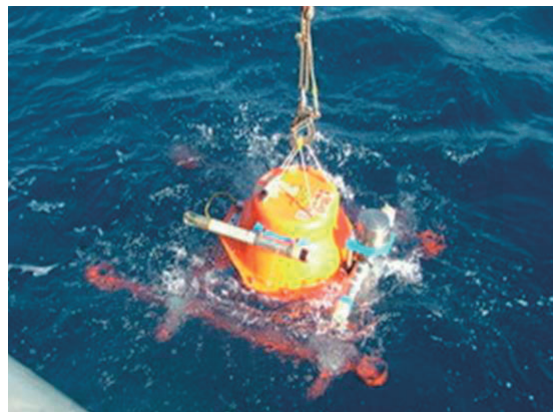


Fig. 4 A pop-up type Ocean Bottom Seismograph (OBS) used in this observation.

Table 1 Summary of the information and record quality of the OBS observation.

Observation	Recording Period	Num. Sts	St. Name	Quality or Condition
SRG01	2011年10月17日～2012年01月18日	1	SRG011	Not recovered
SRG02	2012年01月18日～2012年04月25日	1	SRG021	Good
SRG03	2012年04月25日～2012年07月31日	1	SRG031	Good
SRG04	2012年07月31日～2012年10月18日	3	SRG041・SRG042・SRG043	SRG042 abnormal
SRG05	2012年10月20日～2013年01月31日	3	SRG051・SRG052・SRG053	Good
SRG06	2013年02月02日～2013年05月01日	3	SRG061・SRG062・SRG063	Good

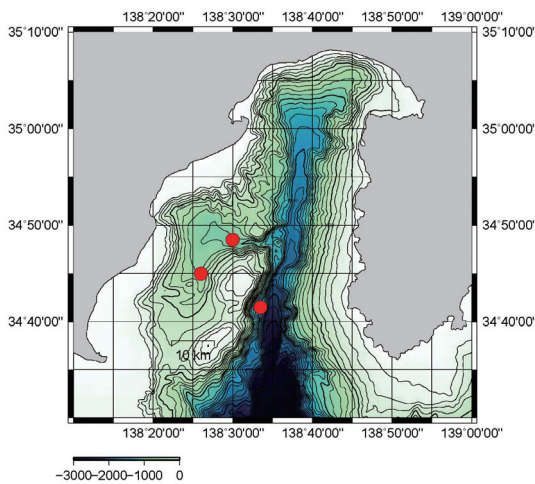


Fig. 5 Locations of three OBS stations are shown by solid-red circles.

着底してから小型舟艇を3つの異なる位置に移動し、GPSによって決められた船位と、そこからの超音波によるOBSまでの距離測量を実施することにより、着底したOBSの精度の高い位置決めを行っている。

記録の解析

地震記録例を Fig. 6 に示す。この記録は、2012年2月1日（観測名：SRG02）の例で、Fig. 6 (a) の24時間記録では、多くの地震記象が得られていることが解る。特に注目したいのは、小さなイベント (Fig. 6 (b) : S-P 時間 0.5 秒程度の規模の小さい地震) が数多く記録されており、この海域の海底下では陸上ではほとんど観測することができない微小地震活動が高いことを示している。

2012年10月（観測名：SRG05）からは3点観測 (Fig. 5) となったため、OBS観測点のみによる震源決定を行った。震源決定では、まず得られた地震記録はOBSの設置時と回収時に船上で実施されるGPSとの時刻のズレを基に、時刻補正が行われる。そして、3つの観測点で得られたそれぞれの地震記象を切り出し、1つのファイルに取りまとめる。各観測点のP波到達時間、S波到達時間、最大振幅、そして、PS変換波到達時間は、微小地震検出支援ソフトWIN (ト部・東田, 1992) を用いて読み取った。震源決定は、Hypomh (Hirata and Matsu'ura, 1987) を用いた。震源決定計算で用いる地下速度構造には、陸上の地震観測網の震源分布と比較することができるよう、気象庁の一次元速度構造モデルJMA2001 (上野ほか, 2002) を用いた。また、震源決定の際には、PS変換波到達時間を用いた堆積層補正 (気象研究所, 2005) も行った。海底面の最上部には、水分を多く含んだ未固結の堆積層があり低速度層を形成している。このため海底では、陸域に比べ地震波の速度は遅くなり、特にS波の速度は極めて遅くなる。地震波速度が遅くなることにより地震波到達時間にも遅れが生じ、P波速度とS波速度の比 (V_p/V_s 比) も陸域と大きく異なることから、海底地震観測では一般的に堆積層と地殻の境界で発生するPS変換波を用いて堆積層補正を行う (Iwasaki et al., 1991)。

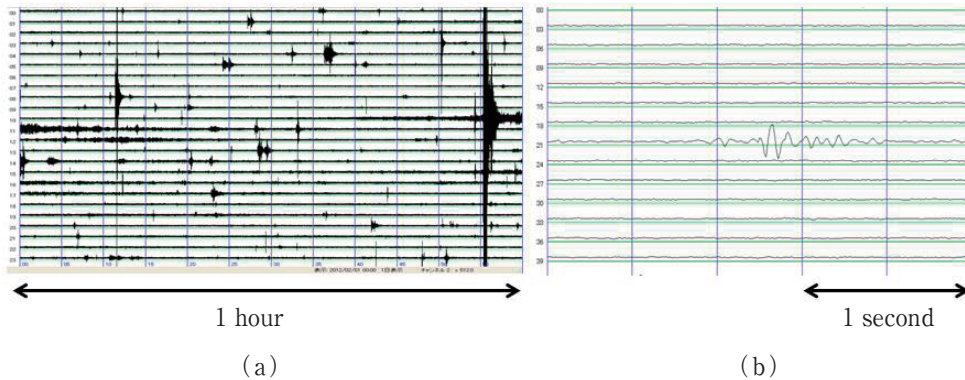


Fig. 6 Samples of record sections of the horizontal seismograph at the OBS station SRG011 are shown.

(a) Record of February 1st, 2012, for 1 day, the transverse width indicates 1 hour.

(b) Record of February 1st, 2012, for 30 second, the transverse width indicates 2.5 seconds.

地震活動

Fig. 7 に OBS によって決められた 2012 年 10 月～2013 年 5 月 (観測名: SRG05・SRG06) の震源分布を示す. 決められた震源のマグニチュード (M)

は $-0.8 \sim 2.2$ 程度である. 東西方向の地震深さ断面に示す波線は, 弘瀬他 (2007) によるフィリピン海プレートの形状から推定されたプレート境界位置を示している. この震源分布の特徴としては,

(1) 地震の震源は, 駿河トラフ軸から西側で帯状

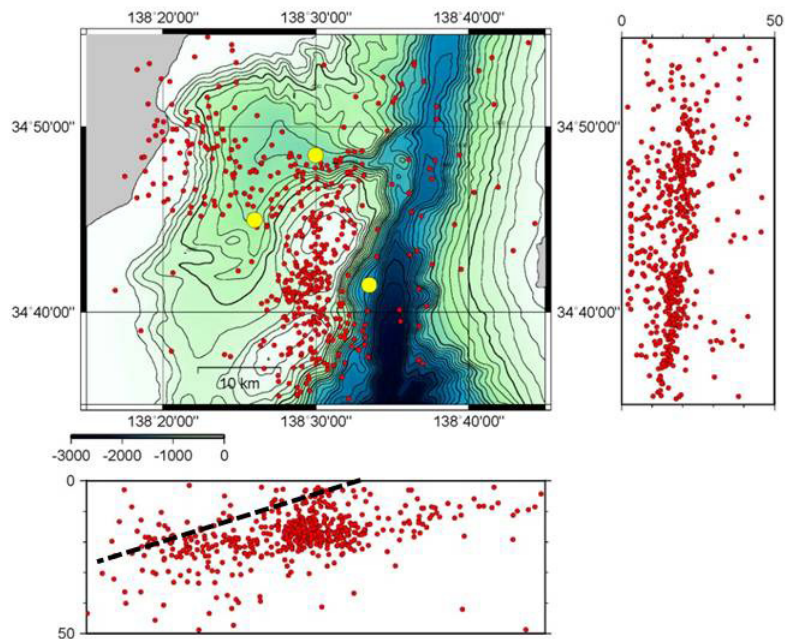


Fig. 7 Hypocenter distribution determined with three OBS stations in and around Senoumi Bank from October, 2012 to May, 2013. Three solid-yellow circles show the OBS stations. A broken line show the location of plate boundary by Hirose et. al. (2007).

に集中している。駿河トラフ軸直下ではほとんど地震が発生していない。

- (2) 石花海北堆直下では浅い地震が数多くみられる。
- (3) 震源の深さを示した東西断面を見ると、駿河トラフ軸を起点とし西に向かうにしたがって震源の深さが次第に深くなる様子が見られる。これらの地震は、沈み込むフィリピン海プレートの境界で発生した地震とスラブ内地震であると推定される。
- (4) 深さ分布の南北断面を見ると、地震の震源が北に向かうにしたがって深くなる様子が解る。が挙げられる。

Fig. 8は、同期間に陸上の気象庁(JMA)観測網によって決められた駿河湾石花海周辺海域の震源分布を示している。Fig. 7と比較すると、OBSによって決められた震源の数やその様子は明らかに異なる。上記の(1)~(4)のOBS震源(Fig. 7)の特徴と比較し、JMAの震源分布(Fig. 8)について以下にまとめる。

- (1) 石花海東側斜面で地震が集中している箇所がある。決められた震源の数がOBS観測と比較し

て少ない。

- (2) 石花海付近を含め、20 km以浅ではほとんど震源が決められていない。明らかにOBSの深さ分布(Fig. 7)とは傾向が異なる。
- (3) 深さ分布の東西断面を見ると、駿河トラフから始まる沈み込みに伴う地震の様子は見ることができない。
- (4) 深さ分布の南北断面を見ると、深さ20 km付近に地震が連なる帯状の面が見られる。

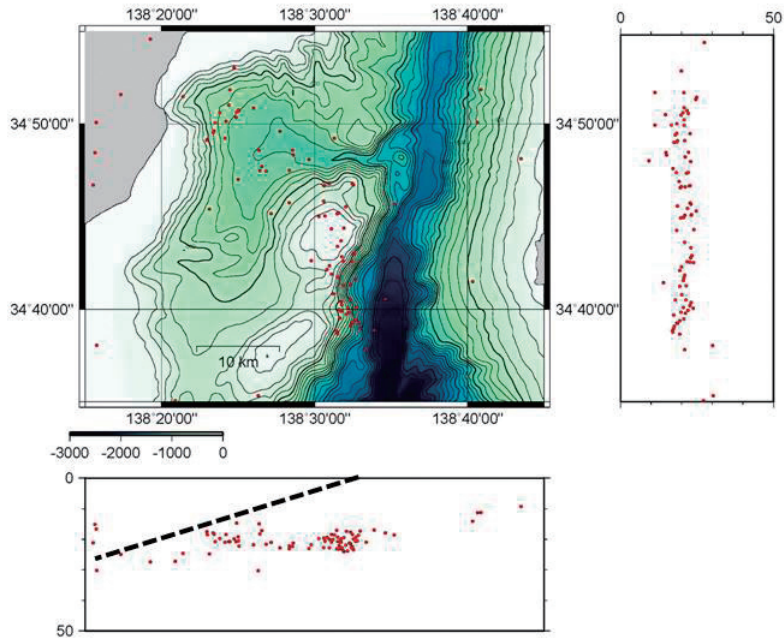


Fig. 8 Hypocenter distribution determined by the JMA in and around Senoumi Bank in October, 2012 to May, 2013. A broken line show the location of plate boundary by Hirose et al. (2007).

議論とまとめ

本研究の OBS 観測によって決められた震源分布は、2009 年 8 月に発生した「静岡沖の地震」(Fig. 1) と 2011 年 8 月に発生した「駿河湾南部の地震」(Fig. 2) の震源域付近に集中していることが解った。このことから、OBS 観測で得られた震源は、2 つの地震の余震活動と密接に関係している可能性が高い。JMA によって決められた地震発生当初の震央と、今回 OBS で決められた震央を比較すると

- (1) 「静岡沖の地震」の余震域は、南にずれる。
- (2) 「駿河湾南部の地震」の余震域は、西にずれる。

ことが解った。このズレの原因については、本震発生当初は OBS の観測が実施されていないため詳細について言及できないが、可能性として余震域が移動した、ないしは観測点網の配置によることが考えられる。

震源については、陸域で展開されている観測網では決めることができなかつた 20 km よりも浅い地震が石花海付近で多数観測された。これは、実際には沈み込むプレートスラブ内の地震のみならず、プレート境界とその上板でも地震が発生していることを示している。これらの震源が陸域の観測網で決められない点については、M が小さいことに由来するものと推定される。

以上のことから、陸上の地震観測網では、プレート境界付近で発生する M の小さい地震を含めた地震活動の全体を議論するには限界があると言える。このことは、大地震の前駆的地震活動を見逃す可能性もあることを意味する。したがって、東海地震の想定震源域にある駿河湾において OBS 観測は大変重要である。今後も OBS 観測を継続・展開することにより、駿河湾の地震をより詳しく正確に捉えることができ、それは東海地震の予測にも貢献するであろう。

謝 辞

本研究で展開した OBS は、東海大学海洋学部小型舟艇「南十字 (20 トン)」「北斗 (20 トン)」を使用した。船長・機関長には、回収・設置において大変お世話になった。OBS で使用した消耗品の一部は、東海大学海洋学部研究教育補助金、東海大学海洋研究所個別プロジェクト研究費、文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の支援を受けて実施された。

匿名査読者には、本論を改善するにおいて有意義なご指摘と修正意見を頂いた。

以上、ここに記して感謝する。

引用文献

- 中央防災会議「東海地震に関する専門委員会」(2001) 中央防災会議東海地震に関する専門調査会報告, 平成 13 年 12 月 11 日.
- Hirata, N. Matsu'ura (1987) Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique. *Eastern Planet. Inter.*, 47, 20-61.
- 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川昭 (2007) Double-Difference Tomography 法による西南日本の 3 次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定, *地震*, 第 60 巻, 1-20.
- Iwasaki, T. N. Hirata, T. Kanazawa, T. Urabe, Y. Motomiya and H. Shimamura (1991) Earthquake distribution in the subduction zone off eastern Hokkaido, Japan, deduced from ocean-bottom seismographic and land observations. *Geophysical Journal. Inter.*, 105, 693-711.
- 気象庁 (2009) 特集, 平成 21 年 8 月 11 日の駿河湾の地震, 平成 21 年 8 月地震・火山月報 (防災編), P42-67.
- 気象庁 (2012) 8 月 1 日駿河湾の地震, 平成 23 年 8 月地震・火山月報 (防災編), P23.
- 気象研究所 (2005) 第 1 章 地震活動評価手法の開発と改良, 気象研究所技術報告, 第 46 号, 1-68.
- 上野 寛・畠山信一・明田川保・舟崎 淳・浜田信生 (2002) 気象庁の震源決定の改善 - 浅部速度構造と重ね関数の改良 -, *験震時報*, 第 65 巻, 123-134.
- ト部 卓・東田進也 (1992) WIN-1 微小地震観測網波形検測支援のためのワークステーションプログラム (強化版) 一, *地震学会講演予稿集*, 2, 331-331.