

平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に誘発された地震の震源分布

The Earthquake Distribution of the Dynamic Triggering from The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

清本真司¹, 森脇 健¹, 菅沼一成², 溜淵功史¹, 長岡 優³
Masashi KIYOMOTO¹, Ken MORIWAKI¹, Issei SUGANUMA², Koji TAMARIBUCHI¹
and Yutaka NAGAOKA³

(Received June 24, 2013; Accepted September 22, 2013)

1 はじめに

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」(M9.0) が発生し, 日本列島の応力に大きな変化が発生した. この地震の発生以降, 例えば同年 3 月 12 日に長野県・新潟県境付近で M6.7 (最大震度 6 強), 同年 3 月 15 日に静岡県東部で M6.4 (最大震度 6 強) の地震がそれぞれ発生するなど, 余震域から離れた地域でも地震活動が活発になった領域が見られた.

そして, これらの地震活動とは別に, 東北地方太平洋沖地震の地震波の伝播中に各地で微小地震が発生していることが Miyazawa (2011) により指摘された.

本稿では, Miyazawa (2011) を参考に, 東北地方太平洋沖地震の地震波によって誘発されたと思われる地震を検出し, カタログ化するための検出作業を行うことによって得られた震源分布とその特徴を紹介する.

2 地震の検出・検測

通常時, すなわち地震が頻発しない状況においては, 地震が発生すると地域地震センターデータ処理システム (REDC) により自動的に検知され, イベント判定及び自動検測が行われる. しかし, 規模の大きな地震が発生した直後や, 短期間に地震が連発

するような状況下では, S/N 比が低下することにより, 微小地震検知が困難となる傾向がある (例えば, 清本・他, 2013). 今回は, 東北地方太平洋沖地震の発生直後の時間帯が対象であるため, REDC によるイベント検出は期待できず, すべて目視により作業を行った. 東北地方太平洋沖地震による大振幅の影響を除去するため, 通常では使用しない 10Hz 以上の高周波成分を強調したバンドパスフィルタを適用して波形一覧表示を行い, イベント検出に活用した.

例えば, 図 1 は中部地方の観測点の波形に高周波のバンドパスフィルタをかけて一覧表示したものであるが, 14 時 47~48 分にかけて東北地方太平洋沖地震の P 波が, 同 48~49 分にかけて同地震の S 波が発現していることが分かる. 一方, 14 時 50 分, 同 54 分, 同 57 分には上記と異なる明瞭な地震波が判別できる. 上記以外の時間帯についても若干ながら振幅の変化が認められる. これらはいずれも通常の処理では検出できず, 今回の東北地方太平洋沖地震により誘発された地震と考えられる.

検出作業には気象庁で通常の地震検測に用いている会話検測プログラムを使用した, 通常の波形表示では地震検測が出来ない. そのため, 上記で示した波形一覧表示とほぼ同じ波形表示となるよう, 0.1 秒 (10Hz) のハイパスフィルタを用いて検測を行っ

¹ 地震火山部地震予知情報課, Earthquake Prediction Information Division, Seismological and Volcanological Department

² 文部科学省研究開発局地震・防災研究課, Earthquake and Disaster-Reduction Research Division, Research and Development Bureau, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

³ 地震火山部火山課, Volcanological Division, Seismological and Volcanological Department

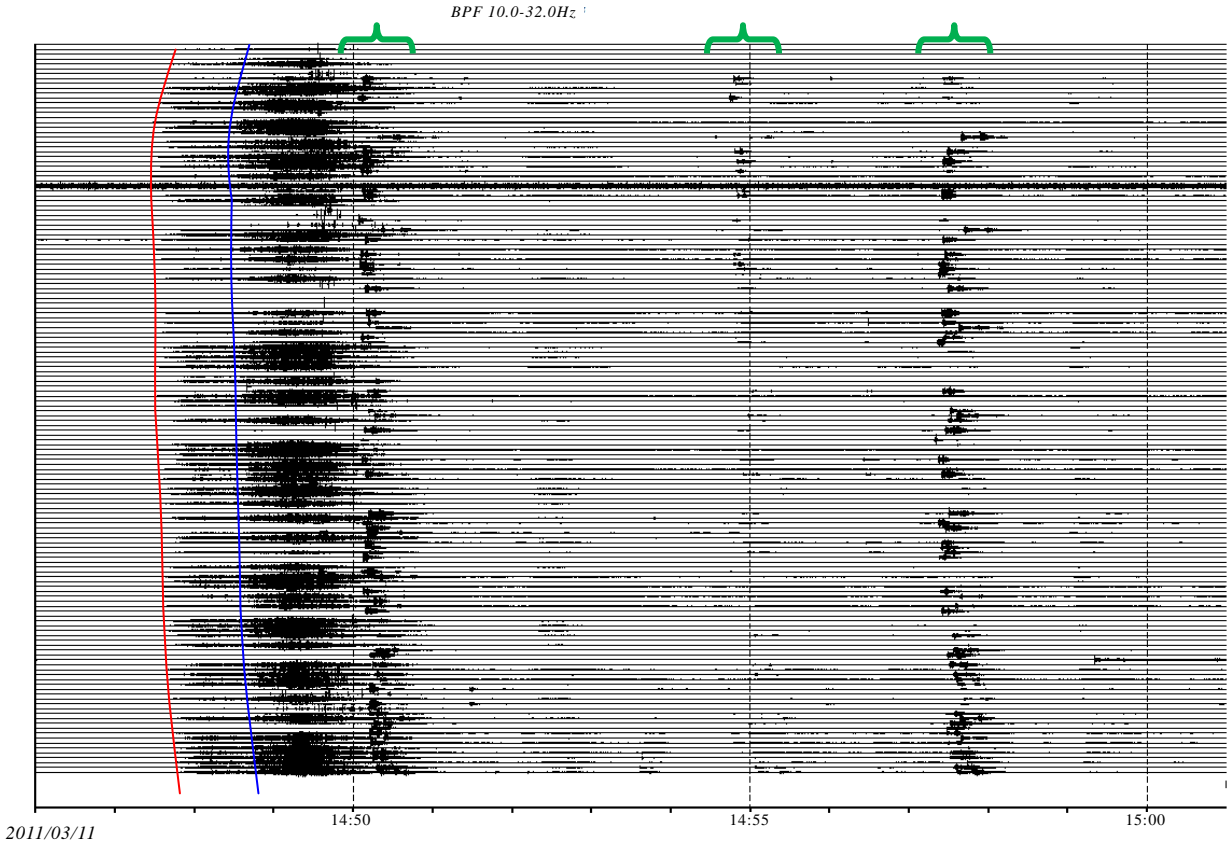


図 1 中部地方の観測点一覧表示波形（表示期間は 2011 年 3 月 11 日 14 時 45 分から 15 時 01 分）。10.0~32.0Hz という高周波のバンドパスフィルタをかけている。中部地方では、14 時 48 分前から東北地方太平洋沖地震の P 波（赤線部）が到達し、14 時 49 分前から S 波（青線部）が発現している。この一覧表示だけでも、緑色の波括弧付近の時間帯に余震とは異なる地震波（誘発された地震）が存在することがわかる。

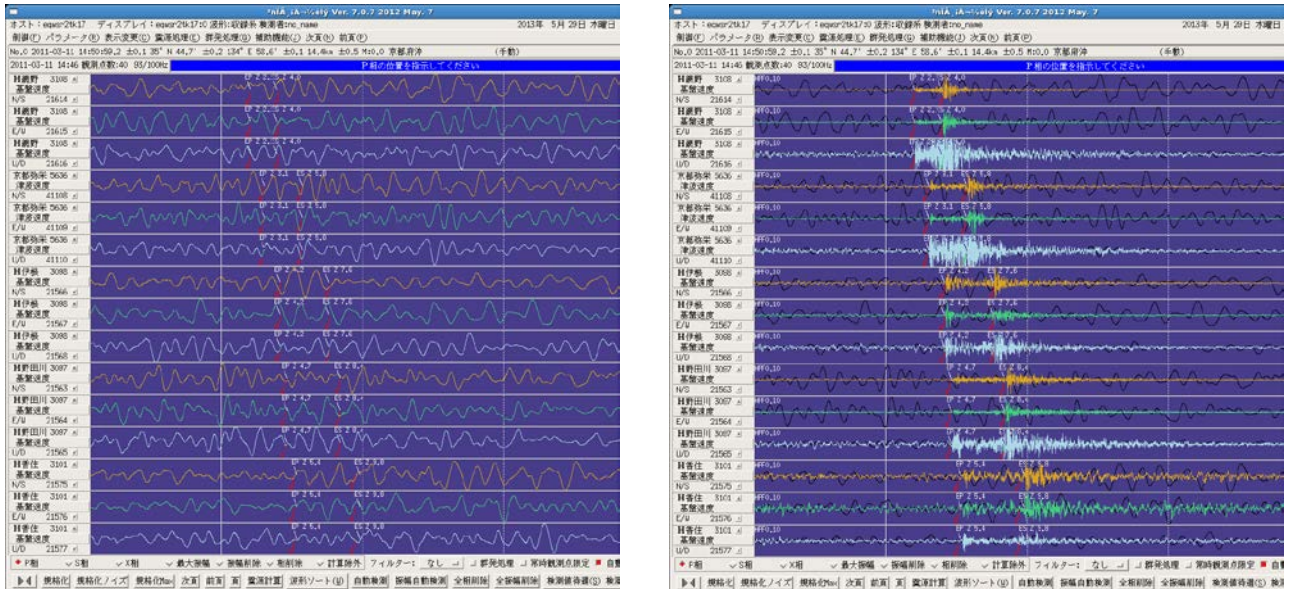


図 2 2011 年 3 月 11 日 14 時 50 分の京都府沖の地震の検測画面。画面上では 14 時 49 分から 53 分頃の波形が表示されており、丁度東北地方太平洋沖地震の表面波部分が到達している。左図の通常波形では、表面波による大振幅以外を識別することは難しい。一方、0.1 秒のハイパスフィルタを適用した右図では、P 相、S 相が明瞭に確認できる。

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に誘発された地震の震源分布

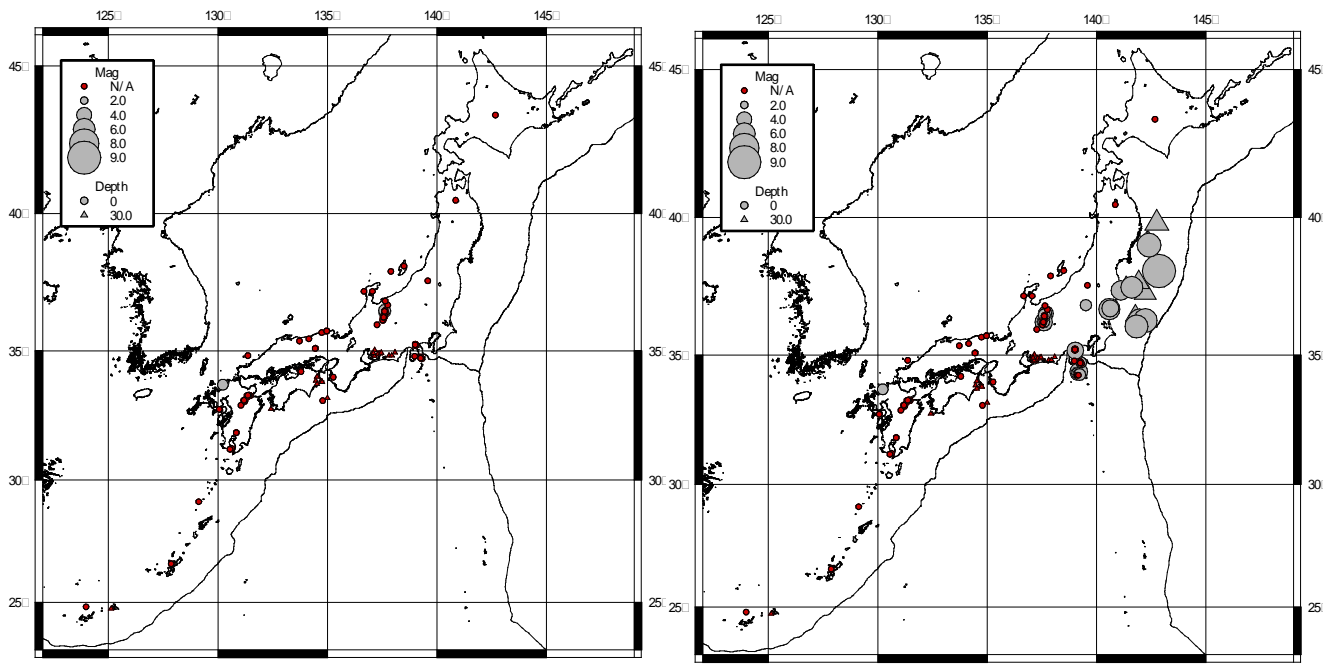


図 3 東北地方太平洋沖地震に誘発された震源分布（表示期間は 2011 年 3 月 11 日 14 時 45 分から 15 時 10 分）
左図は今回決定した震源分布を、右図は通常の震源決定で求めた震源分布も含めて示している。

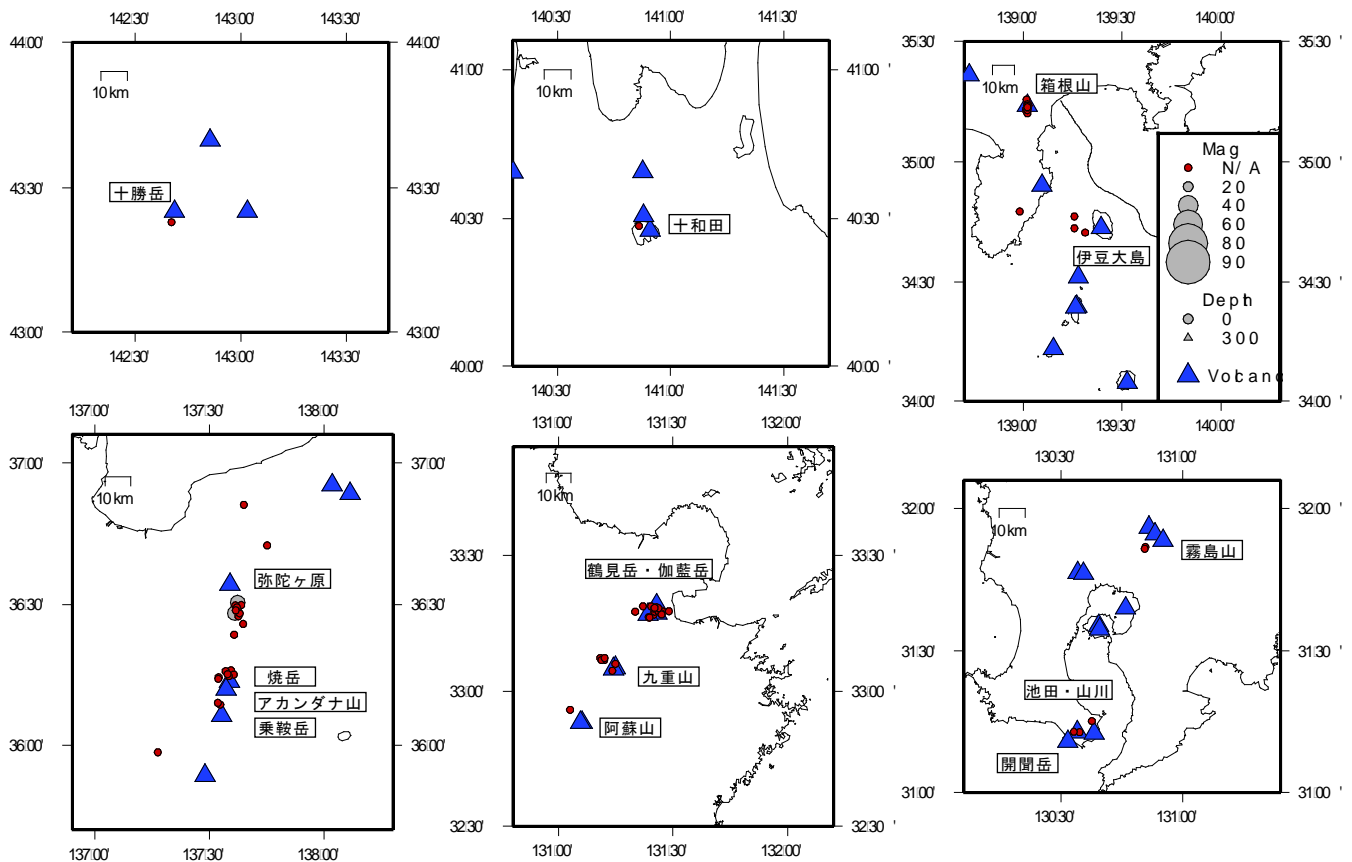


図 4 東北地方太平洋沖地震に誘発された地震のうち、活火山の近傍で発生した震源分布。
青色は活火山を示しており、特に誘発された地震に近い活火山については火山の名称を記している。

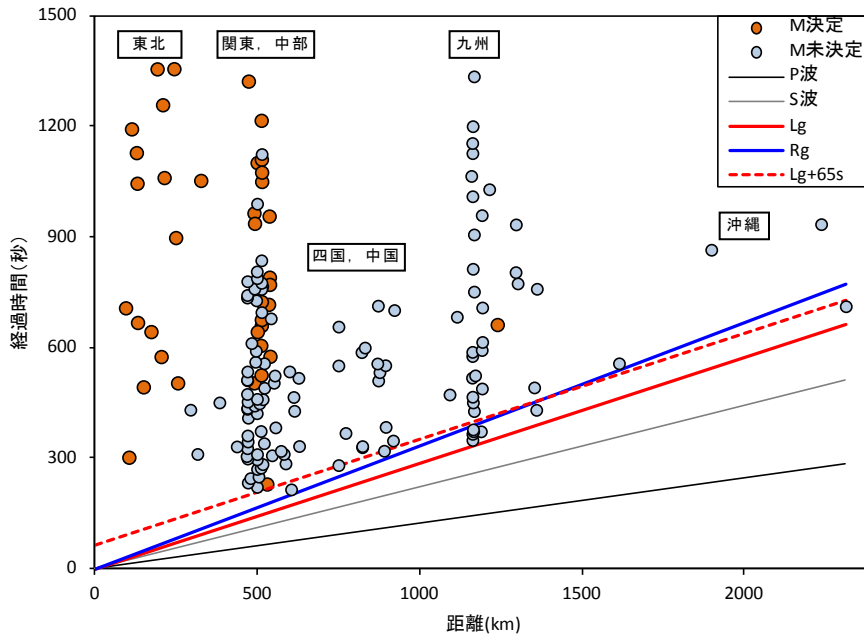


図 5 東北地方太平洋沖地震の震源位置及び震源時を起点として、誘発された地震の震央距離と発生時刻の分布図。
Lg 波や Rg 波などの表面波の伝播以降、地震が発生していることが分かる。

た。図 2 に具体的な波形検測画面を表示する。左側が通常の処理で表示される画面を示しているが、このままでは地震波の識別を行うことは難しい。一方、右側はハイパスフィルタを適用した波形表示であるが、こちらは地震波が存在することが明瞭に判別できる。

このようにして、誘発された地震の検出・検測作業を東北地方太平洋沖地震発生直前の 14 時 45 分から 15 時 10 分までの 25 分について行い、新たに 118 個の地震を決定した。これらは他の通常の地震と同様の基準にて検出及び品質管理作業を行ったものであり、気象庁カタログに掲載される予定である。

3 震源分布から見た特徴

2 で得られた震源を図 3 の左に、2 の結果に加えて通常の処理で検出・決定した震源を図 3 の右にそれぞれ示す。

震源分布から以下の特徴が見られ、多くは Miyazawa(2011)が求めた震源分布と調和的であると言える。

(1) 全国で地震が発生

多くは関東以西で多く発生しており、北海道、東北地方の地震数は少ないことが分かる。

Miyazawa(2011)では開聞岳付近の地震が南端となっているが、トカラ列島、沖縄本島近海、宮古島近海、石垣島北西沖で地震が存在することが確認できた。

なお、Miyazawa(2011)の震源分布で決定されている北海道東部の知床半島の羅臼付近の地震について、近傍の 2 観測点（羅臼及び北大羅臼）では明瞭な地震波形が記録されていたが他の観測点ではほとんど地震波形が記録されていなかった。そのため、気象庁の検測登録基準を満たすことができず、図 3 及び気象庁のカタログへの反映も行われていない。

(2) 火山近傍で地震連発（図 4）

箱根山、伊豆大島、新島、焼岳、別府付近（鶴見岳・伽藍岳）、九重山などで地震の連発が見られた。これらは地震活動が活発化した火山と合致している（例えば、気象庁、2013）。

しかし、誘発された地震が検出されても、その後地震活動が活発とはならなかった火山もある。これに該当するのは、十勝岳、十和田、弥陀ヶ原、池田・山川、開聞岳などである。

誘発された地震、特に連発するような場合は火山近傍で発生していることが多いが、火山とは関

係のない場所，例えば（3）で挙げるような場所や日本海側の地震なども少なからず存在する。

（3）プレート境界付近で発生

静岡県，愛知県，徳島県，四国沖，豊後水道で発生した地震は深さ 30km 前後であり，沈み込むフィリピン海プレートと陸側のプレートの境界付近で発生しているのが特徴である。これらの地域では，深部低周波微動が度々発生することが知られているが，今回の震源分布で静岡県から愛知県の地震及び徳島県の地震の分布は，深部低周波微動の分布に類似しているかのように見えるが，東北地方太平洋沖地震によるエネルギーの方が大きく，深部低周波微動は検出できなかった。

他には，フィリピン海プレートと陸側のプレートの境界付近で発生している地震は沖縄県の宮古島近海で検出されている。

（4）近年の規模の大きな地震が発生した余震域で発生

2005 年の福岡県西方沖の地震や平成 19 年（2007 年）能登半島地震の余震域で誘発された地震が確認できる。特に，福岡県西方沖の地震の余震域で発生した地震は規模が大きく，M2.8 と決定された。

近年において，この 2 地震以外にも規模の大きな地震は発生しているが（例えば平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震や，平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震など），それらの余震域では誘発された地震は検出できなかった。

4 時空間分布から見た特徴

東北地方太平洋沖地震の震源位置及び震源時刻を起点として，誘発された地震の震央距離と時間の分布図を図 5 に示す。図 5 の分布図を見ると，東北地方太平洋沖地震の表面波が到達するまで地震が発生していないことから，表面波がきっかけとなって誘発されたと考えられる。

気象庁（2012）によれば，東北地方太平洋沖地震は 2, 3 回程度の大きな破壊が発生しており，その中でもっとも大きな地震動となった 2 回目の破壊は（Lg 波+65 秒後）で表され，各地の震度計の最大加速度発現時間と整合している。

図 5 を見るとわかる通り，震央距離が 500km 程度の範囲では Lg と Rg が，震央距離が 700 から 800km 以遠では Rg と 2 回目の破壊による Lg（Lg+65 秒後）

の走時が同じような時間となるため，どの表面波が寄与しているかの特定は困難であるが，今回の東北地方太平洋沖地震によって誘発された地震は初期震源から推定される表面波（Lg もしくは Rg），多数の震度観測点で最大加速度を観測した 2 回目の破壊（Lg 波+65 秒後の走時）のいずれかに起因するものと考えられる。

5 まとめ

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の直後，その地震動により全国各地で地震が誘発されていることが分かった。これらの誘発された地震は Lg 波付近で励起されて始まり，北海道から沖縄まで全国に広がり，西日本で顕著に見られる。

連発している地震の多くは火山近傍で発生したものであるが，全てがそれに該当しているわけではなく，例えばフィリピン海プレートと陸側プレートの境界付近の地震や日本海側の地震なども見られる。

謝辞

匿名の査読者及び編集委員の坂井孝行氏（地震予知情報課），赤石一英氏（地震津波防災対策室）には本稿の改善のために有益な助言をいただきました。一部の図の作成には Generic Mapping Tools(Wessel and Smith, 1998)を用いました。記して感謝の意を表します。

文献

- 気象庁（2012）：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の調査報告，気象庁技術報告，第 133 号。
- 気象庁（2013）：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後に地震活動の活発化した火山，第 125 回火山噴火予知連絡会資料。
- 清本真司・溜淵功史・足達晋平・上野 寛・森脇 健・塩津安政・横田 崇（2013）：地域地震センターデータ処理システムにおける自動震源処理とその結果について，*験震時報*，**77**，15-29。
- Miyazawa, M. (2011): Propagation of an earthquake triggering front from the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L23307.
- Wessel, P. and W. H. F. Smith (1998): New, Improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans.AGU*, **79**, 579.

（編集担当 坂井孝行・赤石一英）