

2013年4月13日淡路島付近の地震 (M6.3) の余震の発震機構

Focal Mechanisms of Aftershocks for the M6.3 Awaji Island Earthquake on APR. 13, 2013

片尾浩・久保篤規⁽¹⁾・山品匡史⁽¹⁾・松島健⁽²⁾・相澤広記⁽²⁾・酒井慎一⁽³⁾
・澁谷拓郎・中尾節郎・吉村令慧・木内亮太・三浦勉・飯尾能久

Hiroshi KATAO, Atsuki KUBO⁽¹⁾, Tadashi YAMASHINA⁽¹⁾, Takeshi MATSUSHIMA⁽²⁾,
Koki AIZAWA⁽²⁾, Shin'ichi SAKAI⁽³⁾, Takuo SHIBUTANI, Setsuro Nakao, Ryokei YOSHIMURA,
Ryota KIUCHI, Tsutomu MIURA and Yoshihisa IIO

(1) 高知大学高知地震観測所

(2) 九州大学地震火山観測研究センター

(3) 東京大学地震研究所

(1) Kochi Earthquake Observatory, Kochi University

(2) Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University

(3) Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Synopsis

On April 13, 2013, a $M_{JMA}6.3$ earthquake occurred in the Awaji Island. Epicenter located southwest of the active fault system ruptured by the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake. We installed the temporal seismic stations around the epicenter immediately after the mainshock. Using data of these temporal stations, we determined the focal mechanisms of aftershocks precisely. Although, we could find various types of mechanisms in the aftershock sequence, most of them occurred under the E-W compression stress field as like with other earthquakes in the Kinki Area. However, aftershocks in the area of southeast of the mainshock have the P axes of NE-SW direction.

キーワード: 発震機構, 余震, 淡路島, 応力場

Keywords: focal mechanism, aftershock, Awaji Island, stress field

1. はじめに

2013年4月13日5時33分ごろ淡路島中部を震源とする $M_{JMA}6.3$ の地震が発生した。淡路市で近畿地方では1995年阪神淡路大震災以来となる震度6弱を記録したほか、近畿地方を中心に中部地方から九州地方にかけて有感となり、負傷者は34人、被害住宅は8,072棟に上った。

阪神淡路大震災を引き起こした1995年兵庫県南部地震 ($M_{JMA}7.3$) は、宝塚市付近から淡路島の一宮町

(現淡路市) に達する北東-南西に走る右横ずれの活断層帯が活動したもので、18年以上経過した現在も余震活動が継続している。今回の地震は兵庫県南部地震震源域の南西端に隣接する場所で発生した。ただし、 $M_{JMA}6.3$ の本震断層面は南北走向の逆断層であり、場所も兵庫県南部地震の震源断層帯の延長線上よりもやや南にずれているで、直接的な兵庫県南部地震の余震活動の一環であるとは言えないと考えられる。しかし、今回の震源域が兵庫県南部地震の影響を大きく受けている場であったことも間違いなく、

活断層の末端でなぜ地震の破壊が停止するのか、その後周囲の既存断層とどのような相互作用があるのかといった地震学上の重要な課題に関連した注目すべき場所で起きた地震であると言える。今回の本震震央付近はなだらかな起伏の丘陵地で、従来地表で活断層の存在は認定されておらず、「未知の活断層」が活動したものと言われている。

本稿では、本震直後に行った緊急余震観測の概要と、予察的な発震機構解析の結果を紹介する。

2. 緊急余震観測

1995年の兵庫県南部地震の時点では、淡路島には微小地震観測点は東大地震研所属の1点があったのみであった。その後、防災科学技術研究所の高感度地震観測網 (Hi-net) など基盤観測網が全国的に整備された。しかしながら、今回の M_{JMA} 6.3地震発生時点における淡路島内の定常観測点は4点 (京大、気象庁、Hi-net、東大震研が各1点) のみであり、その観測点間隔は約20kmと疎らであった。高精度の震源決定や発震機構解析のためには、震源域近傍に多数の臨時観測点を迅速に展開することが必要であった。

今回の地震発生を受けて、地震予知研究センター (および地震防災部門理学系2分野) では4月13日午前中に緊急の教員会議を招集し、情報交換と対応を協議した。会議終了後直ちに緊急余震観測班が公用車で宇治を出発した。地震当日JR線などの鉄道は終日ダイヤが混乱したが、淡路島を通る神戸淡路鳴門自動車道をはじめとする高速道路の通行に支障は無く、約2時間で震源域に到着し15時ごろには本震震央付近で最初の臨時観測点の設置に取りかかった。

観測機材には、京都大学防災研究所と株式会社近計システムが共同開発した三成分一体型小型軽量地震 (KVS-300) と低消費電力収録装置 (EDR-X7000) から構成される通称「満点システム」を用いた。 (飯尾, 2011) 地震計の固有周期は0.5秒、サンプリング周波数は250Hzで連続波形が現地 (オフライン) 収録される。運搬・設置が極めて簡便で、単1アルカリ電池8個で約2か月間稼働する。最初の観測点に引き続き、「満点システム」ならではの機動性を発揮し、同様の臨時観測点をさらに3箇所設けた後、その日のうちに帰所した。

翌14日には九州大学チームが携帯データ端末を利用した臨時テレメータ観測点を1点淡路島西岸に設置し、15日には東大地震研究所が衛星通信利用のテレメータ点を1点設置した。この2点のテレメータデータは宇治の地震予知研究センターでも受信し、リアルタイムでの震源決定等を行うなど余震活動の推移の監視に使用した。これらと平行して、14日か

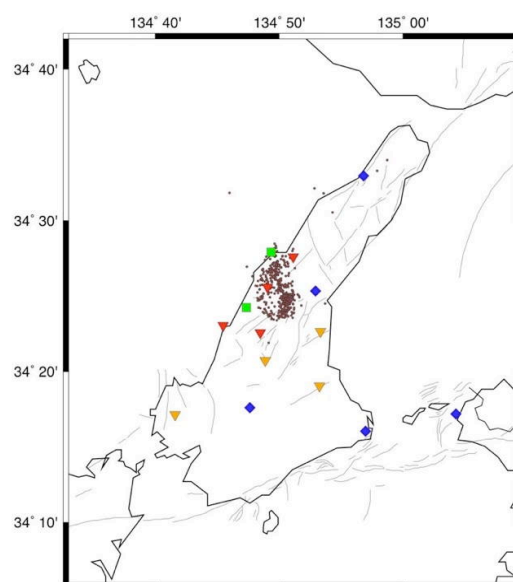


Fig. 1 Map showing the location of the stations in/around the Awaji Island. (Red : Kyoto Univ., Orange: Kochi Univ., Green: Kyushu Univ. and ERI, Univ. Tokyo, Blue: Permanent stations) Small dots are the epicenter of the aftershocks.

ら16日にかけて高知大学が同様の「満点システム」を用いて震源域南方に新たに4点の臨時観測点を設置した。Fig. 1に本研究の臨時観測点および周辺の定常観測点の分布を示す。

これら臨時点10点による観測は6月半ばまで行なわれ、オフラインの観測データはすべて無事回収された。

3. 震源・発震機構の決定

3.1 震源決定と余震分布

本研究では、臨時観測点で得られたデータに加え、従来からある定常観測網のテレメータデータを用いて解析を行った。定常観測データには、近畿地方～中国地方東部～四国東部に分布する京都大学およびその他の大学、気象庁の津波地震観測網、Hi-net等の観測網に所属する約60観測点 (固有周期1秒、サンプリング周波数100Hzが標準) のデータが含まれている。淡路島周辺における観測点分布をFig. 1に示す。

本研究では、定常観測点からのテレメータデータを準リアルタイムに処理し、トリガー方式で地震ごとにイベント波形データを作成した。さらに本研究の臨時観測点10点すべてを統合した連続波形データから、テレメータ観測のトリガリストに従って地震ごとに波形データの切り出しを行い、定常点データと臨時点データを統合したイベント波形データを作成した。

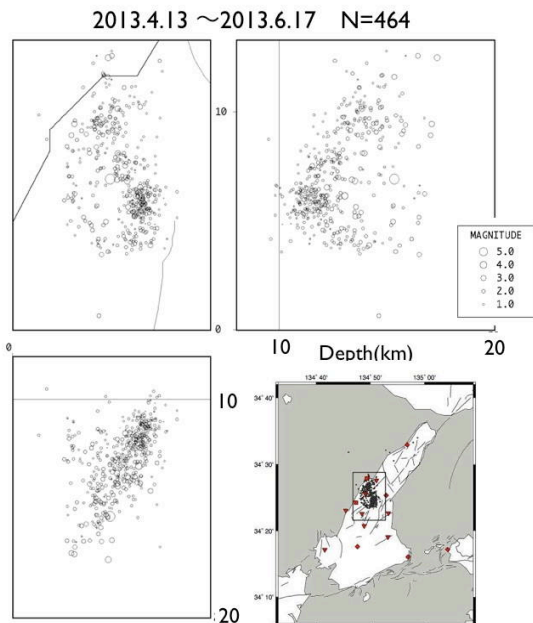


Fig. 2 Three-dimensional distribution of the aftershocks determined in this study. Extent of the epicenter map (Upper-Left) is shown as the rectangle in the index map (Lower-Right).

PおよびSの走時ならびに初動の押し引きなどは、これらのイベント波形データからプログラムwin（ト部・東田，1992）を使用してPC画面上で手動で読み取った。震源決定にはwinシステム標準のプログラムHYPOMH（Hirata, N. and M. Matsu'ura, 1987）を使用し、速度構造モデルとしてJMA2001（上野ほか，2002）を用いた。

Fig. 2に、本研究のデータを基に震源決定した4月13日から6月17日までの464個の余震の震源分布を示す。余震の震央は南北約10km東西約5kmの範囲に分布し、震源の深さは約10km～18kmである。図の東西断面図からわかるように、余震は西に傾き下がる本震断層面に沿った分布していることが明瞭である。

3.2 発震機構解

P波初動の押し引きをプログラムwinの画面上で手動で読み取り、Maeda et al. (1992) の方法により発震機構を求めた。それらのうち四象限型で押し引き分布を説明できている割合（スコア値）が高く解の任意性が少ない等の条件を満たした精度の良い解は206個あった。M2.0以上の余震はほぼ全て精度よく発震機構を決めることができたが、M2.0～1.0では半数程度しか精度の良いものは無い。M1.0以下ではほとんど発震機構は決まらなかった。（ただし、これは臨時観測網を展開する以前、例えば13日午前中に発

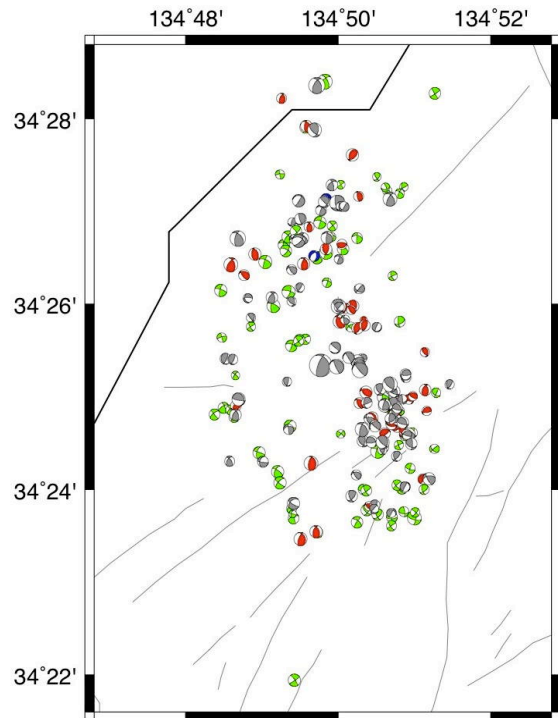


Fig. 3 Spatial distribution of focal mechanism solutions obtained in this study. All diagrams are equal-area projection on the lower hemisphere. Red ones are reverse fault type, greens are strike-slip type and others are intermediate fault type.

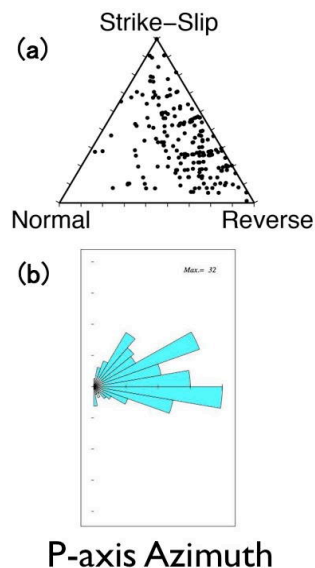


Fig. 4 (a) The fault type distribution after the method of Frohlich (1992). (b) Histogram of P-axis directions for aftershocks mechanisms.

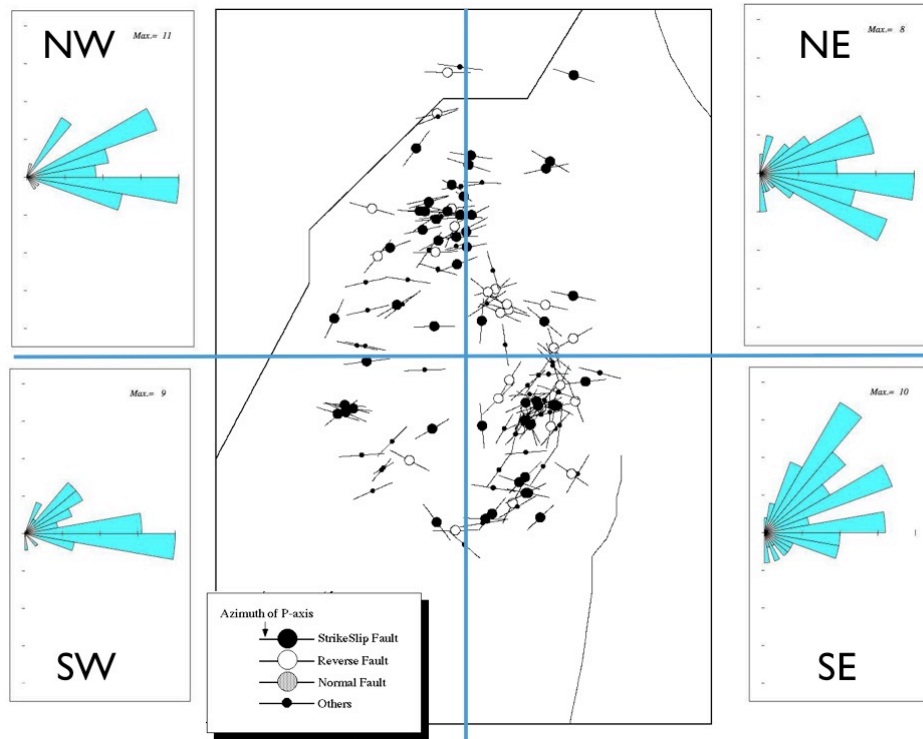


Fig.5 Map showing the P-axis directions and the fault types of aftershocks. Thin lines are the active faults. Histogram of P-axis directions for each 4 division around the mainshock.

生した多くの余震を含んだ数である。臨時観測データを用いることができる14日以降は、発震機構の決定率が改善している。）

精度よく求まった206個の発震機構解を、下半球等積投影で各々の震央位置にプロットしたのがFig. 3である。Katao et al. (1997)に従って断層タイプを分類し、逆断層は赤で、横ずれ断層は緑で、それ以外の中間型は灰色で発震機構の押しの領域を塗り分けている。一見して、全体的にほぼ東西方向の圧縮を示すものがほとんどであること、本震に類似した逆断層だけでなく横ずれ型や中間的なものが混在していることが見て取れる。全体として東西圧縮でありながら、逆断層と横ずれあるいはその中間型が混在する、言い換えると σ_1 は東西方向で確定しているが σ_2 と σ_3 にはほとんど差が無いという応力状態は、近畿地方北部における背景的な微小地震活動でも見られる一般的な特徴であると言える。（例えば、青木ほか、2012）また、本震の発震機構とは異なる様々なタイプの発震機構の余震が発生することは、兵庫県南部地震の余震でも見られた。（Katao et al., 1997 ; Yamanaka et al., 2002）

Fig. 4(a)はFrohlich (1992)に従って断層タイプの分布を三角形のダイアグラムにプロットしたものである。横ずれ断層および逆断層、それらの中間に位置する様々なタイプが混在している。全体としては、

東西圧縮の逆断層と横ずれ断層が混在している。少数ながら正断層型のものも見受けられる。Fig. 4(b)は、206個の余震のP軸の方位分布を示すローズダイアグラムである。全体として東西方向の圧縮が卓越しているが、北東方向に向くものが少なからず存在していることがわかる。

Fig. 5は、同じく206個の余震を断層型で分類し、P軸方位とともに地図上に示したものである。断層タイプの定義はやはりKatao et al. (1997)に従い、各々の震央を横ずれ断層型は黒で、逆断層型は白抜きで、正断層型は灰色で塗り、それ以外の中間型のは小さい黒い円で表している。また、余震域を東西南北に2分割して4つの領域に分け、各領域におけるP軸の方位分布を示すローズダイアグラムも示されている。本震の南東側の領域に、P軸が北東—南西方向を向いた逆断層型が多数存在しているのが特徴的であり、局所的に応力場が変化しているように見える。その原因としては、兵庫県南部地震および今回のM_{JMA}6.3の断層運動による局所的な応力場の変化、深さによって異なる地下の流体の存在とその地震にともなう挙動、地質的に特定の方向に卓越した弱線の存在、南東方向に位置する主要活断層である先山断層の過去の活動の影響など様々な可能性が考えられ、今後検討を進める必要がある。

4. まとめ

淡路島中部に大学合同で10点の臨時観測点を設置し、2013年4月13日 M_{JMA} 6.3の地震の緊急余震観測を行った。

定常観測網のデータも追加して、余震の震源再決定および約200個の発震機構を決定した。

余震は本震断層面に沿って発生しているが、全体として東西圧縮でありながら、様々な断層タイプが混在している。本震震央の南東側の浅い余震では、北東-南西方向のP軸が卓越しており、局所的に応力場が変化している可能性がある。

参考文献

青木裕晃・片尾 浩・飯尾能久・三浦 勉・中尾愛子・米田 格・澤田麻沙代・中尾節郎 (2012) : 稠密地震観測による近畿地方北部におけるメカニズム解と応力場, 京都大学防災研究所年報, 55, B, 121-140.

飯尾能久 (2011) : 次世代型地震観測システムの開発と運用-満点(万点)を目指して-, 京都大学防災研究所年報, 54, A, 17-24.

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-, 駿震時報, 65, 123-134.

ト部卓・束田信也 (1992) : win-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) , 地震学会講演予稿集, No1, C22-P18.

Frohlich, C. (1992): Triangle diagrams : ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms, Phys. Earth Planet. Interiors, 75, 193-198.

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, 50-61.

Katao, H., N. Maeda, Y. Hiramatsu, Y. Iio and S. Nakao (1987): Detailed Mapping of Focal Mechanisms in/around the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake Rupture Zone, J. Phys. Earth, 45, 105-119.

Maeda, N. (1992): A method of determining focal mechanisms and quantifying the uncertainty of the determined focal mechanisms for microearthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 82, 2410-2429.

Yamanaka, H., Y. Hiramatsu and H. Katao (2002): Spatial distribution of atypical aftershocks of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, Earth Planets Space, 54, 933-945.

(論文受理日 : 2014年6月11日)