

## 伊豆衝突帯にある神奈川県西部地域で発生した微小および小地震のメカニズム解

棚田俊收<sup>1)\*</sup>・行竹洋平<sup>1)</sup>・本多 亮<sup>1)</sup>・原田昌武<sup>1)</sup>・伊東 博<sup>1)</sup>・永井 悟<sup>2)</sup>・杉原英和<sup>1)</sup>・吉田昭夫<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 神奈川県温泉地学研究所

<sup>2)</sup> 国立台湾大学理学院地質科学系

## Focal Mechanism Solutions of Micro- and Small Earthquakes Occurred in the Western Kanagawa Area Situated in the Izu Collision Zone

Toshikazu Tanada<sup>1)\*</sup>, Youhei Yukutake<sup>1)</sup>, Ryou Honda<sup>1)</sup>, Masataka Harada<sup>1)</sup>, Hiroshi Ito<sup>1)</sup>, Satoru Nagai<sup>2)</sup>, Hidekazu Sugihara<sup>1)</sup> and Akio Yoshida<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Hot springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

<sup>2)</sup> Department of Geosciences, National Taiwan University, R.O.C. Taiwan

### Abstract

Focal mechanism solutions of earthquakes in the western Kanagawa area are compiled and characteristics of fault types in the Izu collision zone are discussed. Reverse, strike-slip, and oblique fault mechanisms are seen in the Izu collision zone. Although only about 10 per cent of micro- and small earthquakes, are associated with strike-slip fault mechanisms, the largest and the second largest earthquakes (M 6.0 and M 5.6) are of that type. It was found that the direction of the P axis is somewhat different in the western and eastern Tanzawa areas : in western Tanzawa the average direction of the P axis is NW-SE, while it is NNW-SSE in eastern Tanzawa. We think this difference in the P axis direction reflects differences in tectonic conditions in those areas. In the Ashigara plain area, mechanism solutions are mostly reverse and oblique faults with the P axis direction between E-W and NNW-SSE.

**Key words:** focal mechanism, Kanagawa, Izu collision zone, Metropolitan Seismic Observation Network (MeSO-net)

### 1. はじめに

文部科学省は、大きな被害が予想される首都直下地震対策として、2007年度より5年計画で「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」を開始した。このプロジェクトの目的のひとつは、関東平野直下の複雑な地下構造の解明を目指すことである。そのために1都8県に約5キロ間隔で、新たに開発された地震観測装置(笠原・他, 2010)が設置された。この観測網は首都圏地震観測網(MeSO-net)と呼ばれ、これによって人工ノイズの高い環境でも明瞭な地震波が観測できるようになった(川

北・酒井, 2010)。

神奈川県温泉地学研究所は、東京大学地震研究所や防災科学技術研究所と協力し、神奈川県内を中心に観測点の設置工事や保守管理を実施し(棚田・他, 2008)、この観測網で得られたデータと当所のデータとを組み合わせることで、伊豆衝突帯陸域の北東部にあたる神奈川県西部地域の地震活動等の調査研究を進めている。本報告では、伊豆衝突帯陸域の北東部における応力分布を理解する資料として、まずMeSO-net整備以前のP波極性から推定されたメカニズム解についてまとめ、次にメカニ

\*e-mail: tanada@onken.odawara.kanagawa.jp (〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586)

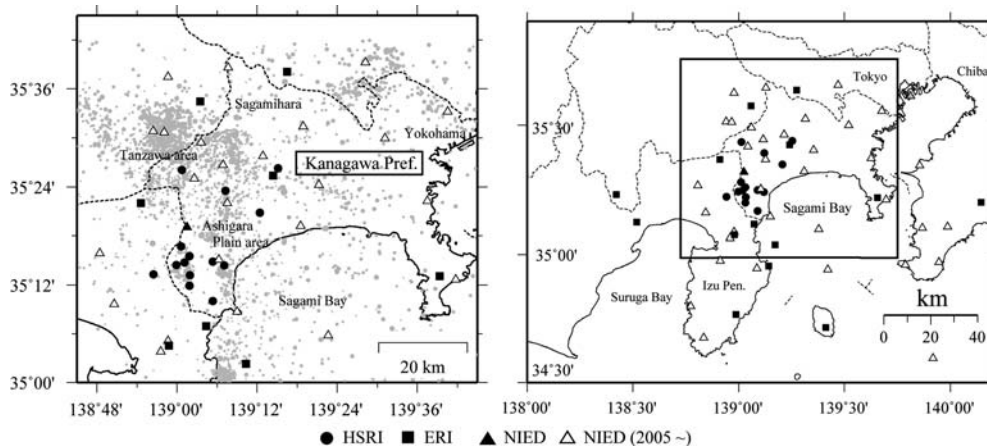


Fig. 1. Location map of seismograph station.

Station and seismicity (2000-2009) map in and around Kanagawa prefecture. ●; Hot Springs Res. Inst. of Kanagawa Pref., ■; Earthquake Res. Inst. of Tokyo Univ., ▲; National Res. Inst. for Earth Science and Disaster Prevention. Gray circles show seismicity from 2000 to 2009 ( $M > 1$ ). Dotted lines show prefectural borders.

ズム解を決定する上での MeSO-net の有効性について簡単に示すことにする。

## 2. 神奈川県西部で発生する微小および小地震のメカニズム解

神奈川県温泉地学研究所は 1960 年代に展開していた箱根火山地震観測網を 1990 年代から神奈川県西部地域に拡大し、さらには地殻変動観測網を新たに付け加え、テレメータ観測を開始した。これらの観測網は、箱根火山活動の監視と近い将来発生するであろうと言われた神奈川県西部地震（石橋，1988）の前兆現象把握に関する研究を目的としている。（神奈川県温泉地学研究所，1992，1999）。

この研究目的を達成するにあたって、応力分布の詳細な解明は重要な課題のひとつである。一般的に用いられている P 波極性メカニズム解を推定する手法において重要なことは、地震観測点が数多く震央の周りを取り囲むように配置されていることである。ところが、当研究所の観測点数は、当初 9 点しかなく、メカニズム解を推定することは難しかった。そこで 1990 年代に地震観測点数を 4 点増設し、さらには気象庁での一元化事業が開始される以前から、東京大学地震研究所や防災科学技術研究所等とリアルタイムのデータ交換をおこなってメカニズム解の導出に務めてきた。現在では当研究所所有の観測点のほかに、神奈川県内および周辺地域の 62 点のデータをモニターしている（図 1）。

棚田（2004，2007）は、1989 年 4 月から 2004 年 3 月末までの約 14 年分のデータに対し Hardebeck and Shearer

（2002）の方法を適用し、箱根火山を含む神奈川県西部地域における微小地震のメカニズム解と圧縮・張力軸（以下、P 軸と T 軸と記す）の分布を求めた。それらの特徴は以下のとおりであった。小田原直下に当たる足柄平野の西縁で発生する地震の P 軸方向は北北西-南南東方向、丹沢山地では北西-南東方向の傾向であることを示した。また、箱根カルデラ内の浅い火山性地震における P 軸の方向も丹沢山地と同じ北西-南東方向である（棚田，2008）。

行竹・他（2006）は、当所の 2000 年から 2006 年 8 月までの震源データセットに対し Okada（1992）の方法を使い、メカニズム解を決定した。メカニズム解の精度を判定するにあたって、彼らは震源決定の誤差や P 軸・T 軸の誤差（標準偏差）も考慮に入れて、マグニチュード 1 から 4 までの精度の良いメカニズム解を求めることに成功した（図 2）。なお、彼らはメカニズム解のタイプを、T 軸伏角の絶対値が 60 度以上の場合を逆断層型、P 軸伏角の絶対値が 60 度以上の場合を正断層型、P 軸と T 軸の伏角の絶対値が 30 度以下の場合を横ずれ型とし、それ以外を中間型と分類している。本報告もこの分類方法に従ってメカニズム解のタイプを表記する。その結果、この地域で発生するメカニズムタイプの多くは、伊豆衝突帯である応力場を反映して逆断層型と横ずれ型、及びその 2 つの中間タイプで、それらがメカニズム決定数の 90% 以上を占めることが示された。P 軸方向については、丹沢山地の西部においては東-西から西北西-東南東の方向が、丹沢東部では北北西-南南東方向が卓越していることを示して、東部と西部では P 軸方向がやや



Fig. 2. Classification of focal mechanism by 4 areas of the western Kanagawa area. The 4 areas indicate the Western Tanzawa area (TW), the Eastern Tanzawa area (TE), the Ashigara Plain area (AP) and the Hakone Volcano area (HV). The area division map refers Fig. 3. Focal mechanism was estimated by Yukutake *et al.* (2006).

異なっていることを指摘した (図 3a)。足柄平野域での P 軸方向は、東-西から北北西-南南東の方向であり、棚田 (2004, 2007) の結果と調和的であった。

### 3. 神奈川県西部で発生したマグニチュード 4 以上のメカニズム解

一般的に、マグニチュードの大きい地震の方がテクトニックな応力場をよりよく反映していると考えられる。そこで、一元化データをもとに気象庁が決定した資料より、神奈川県西部地域で発生したマグニチュード 4 以上の地震のメカニズム解を抽出し、その断層タイプと P 軸方位を検討した。また、一元化処理がおこなわれる以前で、マグニチュード 5 および 6 クラスのメカニズム等の報告があるものも列記した。なお、棚田 (2004) や行竹・他 (2006) の解析期間内にもマグニチュード 4 クラス以

上の地震が発生しているが、それらの地震についてはより多くの観測点数を解析した気象庁等の関係機関資料や文献で公表されているメカニズム解を記すこととする。

1997 年 10 月から 2009 年末までの約 12 年間にマグニチュード 4 以上の地震は神奈川県西部地域で 22 回発生している。これらのメカニズム解と P 軸の方位分布を図 4 (a) と図 3 (b) に示した。丹沢地域ではマグニチュード 4 以上の地震が 14 回発生しており、そのうちの 12 個 (丹沢西部 3 個, 東部 9 個) のメカニズムが気象庁によって決まっている。丹沢西部で発生した地震のメカニズムタイプは、3 個とも逆断層型で、P 軸は北西-南東方向であった。丹沢東部で発生した地震のメカニズムタイプは、逆断層型が 3 個と中間型が 9 個で、P 軸は北北西-南南東方向であった。メカニズムタイプは行竹・他 (2006)、棚田 (2004, 2007) の結果と調和的であった。P 軸方向に

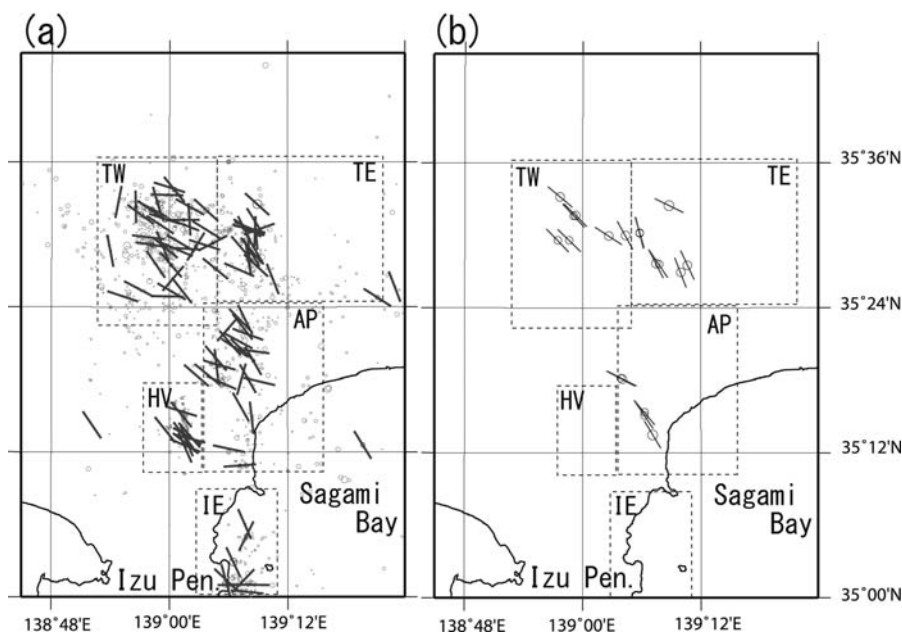


Fig. 3. The P axis distribution in the western Kanagawa area.

(a) Modified map of Fig.4 in Yukutake *et al.* (2006).

(b) Result by Japan Meteorological Agency for earthquakes more than Magnitude 4.0.

TW; Western Tanzawa area, TE; Eastern Tanzawa area, AP; Ashigara Plain area and HV; Hakone Volcano area.

については、行竹・他 (2006) が指摘したように丹沢山地の東部と西部ではその方向がやや異なっており、マグニチュード4以上の地震においても同様な傾向であることがわかった。

足柄平野域では1997年11月1日 (M 4.0) と11月4日 (M 4.1), 2000年5月2日 (M 4.0), 2007年7月24日 (M 4.4), 2007年10月1日 (M 4.9) に計5回のマグニチュード4以上の地震が発生している。気象庁が決定したメカニズム解は、1997年11月1日 (M 4.0) と11月4日 (M 4.1) の地震は北西-南東方向のP軸をもつ逆断層型、残りの地震は北西-南東方向のP軸をもつ中間型であった (図4aと図3b)。これらの地震のメカニズムタイプは逆断層型と中間型であり、P軸方向 (図2b) も北西-南東方向にほぼ揃っており、行竹・他 (2006), 棚田 (2004, 2007) の結果と調和的である。

次に、1980年代から1997年10月までのマグニチュード5および6クラスのメカニズム等の報告を基にしたメカニズム解とP軸の方位分布 (図4bと図3b) について記しておく。

丹沢地域で発生した最も大きい地震は、1983年8月8日マグニチュード6.0の地震であった。気象庁地震予知情報課 (1984) や国立防災科学技術センター (1984a) によると、地震のメカニズムタイプは左横ずれ断層で、P軸は北西-南東方向であった。その余震としてマグニ

チュード4クラスの地震が2個あるが、ともにそのメカニズムは、北西-南東方向のP軸をもつ逆断層であった。

マグニチュード5クラスの地震としては、丹沢西部ではマグニチュード5.6 (1988年9月5日) とマグニチュード5.5 (1996年3月6日) の地震が発生しており、そのメカニズムは北西-南東圧縮の横ずれ型 (気象庁地震予知情報課, 1989) と西北西-東南東圧縮の逆断層型 (防災科学技術研究所, 1996) であった。丹沢東部で北西-南東圧縮の中間型メカニズム解をもつマグニチュード5.4の地震 (1984年2月14日) が発生している (国立防災科学技術センター, 1984b)。

マグニチュード5以上のメカニズム解から求めたP軸の方向は行竹・他 (2006), 棚田 (2004, 2007) の結果と良く一致しており、微小および小地震のP軸の方向もテクトニックな応力場を反映していることがわかった。メカニズムタイプについては、行竹・他 (2006) によると丹沢東部・西部で決定できたタイプのうち横ずれ断層型は10%程度にも関わらず、マグニチュード5以上のメカニズムタイプは、4個中2個が横ずれ断層型であった。これらの横ずれ断層型2個のマグニチュードは、もっとも大きいマグニチュード6.0と2番目に大きいマグニチュード5.6の地震であり、微小および小地震のメカニズムタイプとは異なったよりおおきな地殻もしくはプレート構造 (伊豆衝突帯) を反映した破壊を示してい

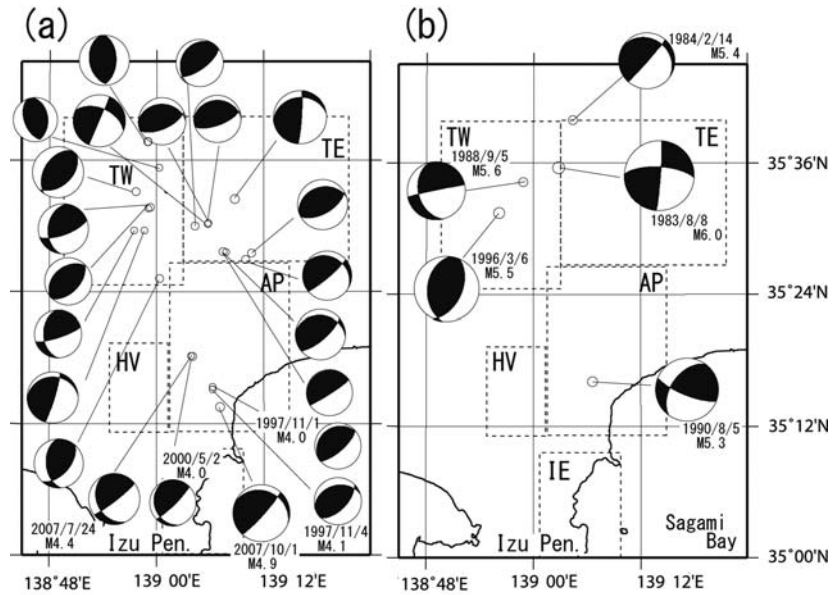


Fig. 4. Focal mechanism distribution in the western Kanagawa area.  
 (a) Result by Japan Meteorological Agency for earthquakes of Magnitude 4.0 classes.  
 (b) Result by Japan Meteorological Agency for earthquakes more than Magnitude 5.0.

るのかもしれない。

一方、足柄平野域で発生した最も大きな地震は、1990年8月5日マグニチュード5.3の地震であった。この足柄平野域でマグニチュード5を超える地震が発生したのは1933年以來であった。この地震は、近い将来発生すると考えられたマグニチュード7クラスの“神奈川県西部地震”（石橋，1988）と同様な発震メカニズムをもつのではないかという観点から、その震源の深さやメカニズム等が注意深く検討された（Ishida and Kikuchi, 1992; 萩原，1993）。その結果、定常処理によるP波初動極性から推定された横ずれ断層型（本報告の分類では中間型に属するので、以下中間型と記す）と波形主要部の立ち上がり極性に基づく逆断層型の二つのメカニズム解が提案されている（Ishida and Kikuchi, 1992; 石田，1993; 岡田，1993）。Ishida and Kikuchi（1992）と石田（1993）はP波初動の破壊よりも断層面全体の主破壊の重要性を考えて、P軸方向が北西-南東の逆断層型を主張した。一方、岡田（1993）は、近傍の歪観測点で観測されたステップ記録と両断層から期待される面積歪みや主歪との計算値を比較し、北西-南東方向の中間型の方が、複数の歪観測記録を説明できることを示した。なお、図4bと図3bには、P波初動極性から推定されたメカニズム解とP軸の方向を図示した。

この足柄平野域で発生するメカニズムタイプとしては、マグニチュード4以上の地震や行竹・他（2006）の

結果が示すとおり、P軸方向が北西-南東の逆断層型と中間型が混在していることがわかっている。その意味では、1990年8月5日に発生したマグニチュード5.3の地震のメカニズムタイプが逆断層型もしくは中間型のどちらであっても、その地域のメカニズム解としておかしくない。いずれにしてもそのP軸の方向は上述の結果と一致しており、伊豆衝突帯の応力場を反映した地震だったと考えられる。

#### 4. メカニズム解決定に対する MeSO-net の寄与

先に述べたとおり、温泉地学研究所では伊豆衝突帯のテクトニクス解明のため、震源決定や震源メカニズム等の解析を行っている。解析には神奈川県内の防災科研や地震研究所のデータも使用しているため観測点数としては十分な数があるが、震源の深さや位置によっては空間的なカバレッジが不足している場合がある。例えば、図5は2009年7月16日に発生したM4.2の地震のメカニズム解の例である。従来の温地研および周辺のHi-netと地震研究所のデータによって決定したメカニズム解が図5(a)で、MeSO-netの押し引き分布を重ねたものが図5(b)である。この地震は、丹沢西部で発生した逆断層型の地震であったが、MeSO-netのデータを解析に使用し観測点の空間分布が拡大することによって、押し引きの分布がより明瞭に区分されることがわかる。また図6には、地震発生時に稼働中であったMeSO-net観測点

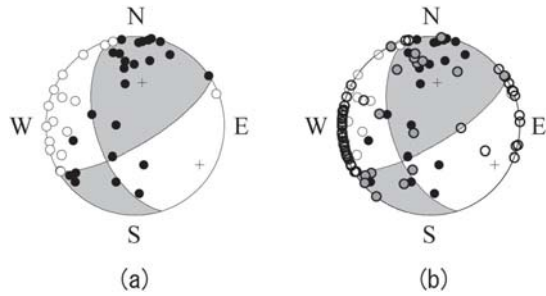


Fig. 5. Focal mechanism of the earthquake which occurred at 05:16, July 16, 2009 (M 4.2). (a) The source mechanism which is obtained from initial P wave motions recorded at stations in Fig. 1. (b) Same as (a). Except for illustrated initial P wave motions at MeSO-net stations (Gray and open circles with fat outline).

のうち6点の上下動成分の立ち上がり部分を示す。近傍の観測点はもちろん、100 km 近く離れている観測点でも初動の立ち上がりが明確に判別できる。このことは、丹沢地域のメカニズム解析に対する MeSO-net データの重要性を示すものであり、今後観測網が完成しデータが増えていけば伊豆衝突帯のテクトニクスの解明に大きく貢献することが期待される。

## 5. まとめ

伊豆衝突帯の応力場を理解するために、当研究所が解析した微小地震と小地震のメカニズム解と気象庁等の関係機関が発表した結果を合わせて、神奈川県西部地域で発生しているメカニズムタイプやP軸の方向について

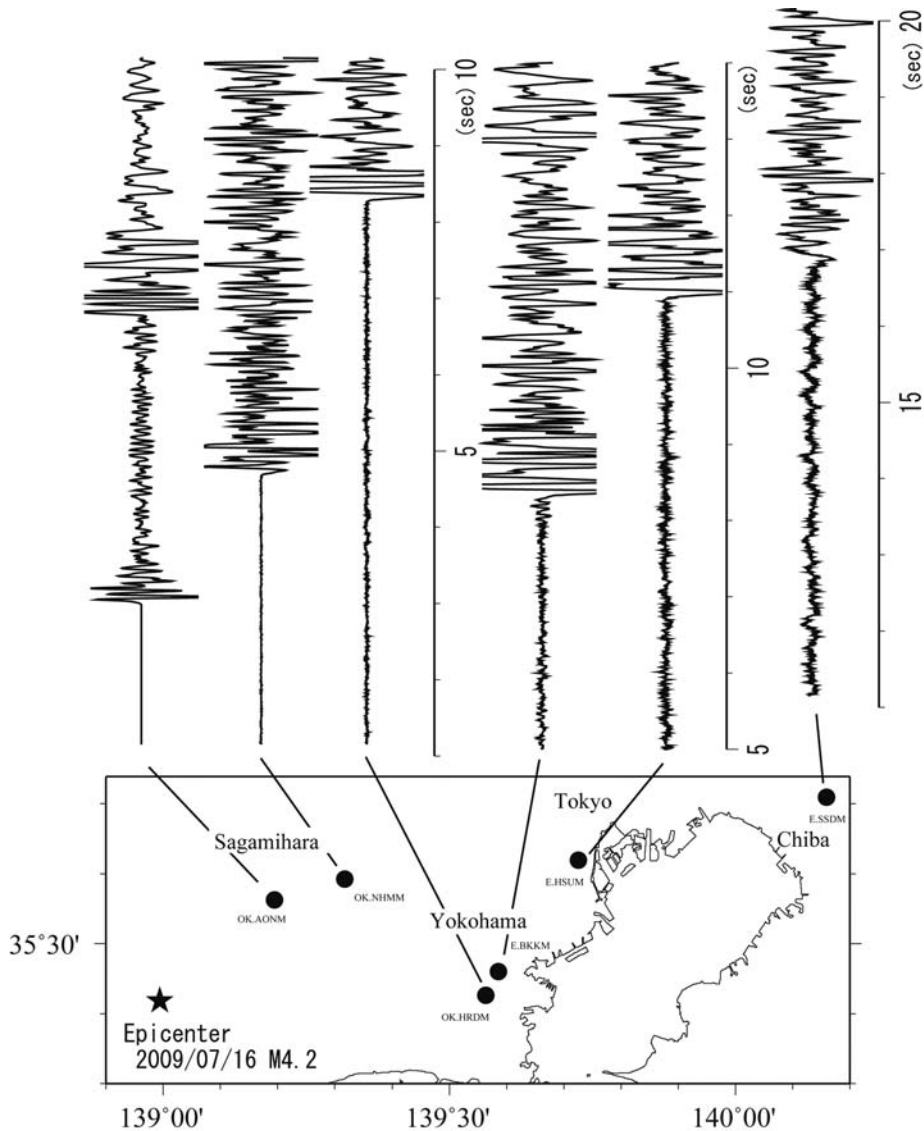


Fig. 6. Waveforms (UD) observed at MeSO-net stations. The star shows the epicenter and black circles are MeSO-net stations.

てまとめた。

(1) 丹沢地域ではマグニチュード2クラスから6のメカニズム解を検討することができた。地震のメカニズムタイプは、伊豆衝突帯である応力場を反映して逆断層型と横ずれ型、及びそれらの中間タイプが混在していることがわかった。ただし、同地域で発生したもっとも大きいマグニチュード6.0と2番目に大きいマグニチュード5.6の地震は横ずれ断層型であった。

(2) 丹沢地域の西部と東部で発生している地震のP軸の方向は、丹沢西部においては北西-南東もしくは西北西-東南東方向に、丹沢東部では北北西-南南東方向に卓越していた。これらの方向はオホーツクプレートとフィリピン海プレートとの相対運動方向(Seno *et al.*, 1996)と調和的であるが、西部と東部とでは、P軸の方向がやや異なることがわかった。

(3) 足柄平野域では、逆断層型と中間タイプが多かった。P軸の方向は、東-西から北北西-南南東の方向であった。

(4) MeSO-netの観測データが、丹沢地域の震源メカニズム決定に大きく寄与することが分かった。

## 謝 辞

メカニズムを推定するには、東京大学地震研究所ならびに防災科学技術研究所の地震波形データを利用させていただきました。謝意を表します。

## 参考文献

- 防災科学技術研究所, 1996, 1996年3月6日山梨県東部地震(M 5.6), 地震予知連絡会会報, **56**, 175-184.
- 萩原幸雄, 1993, 「神奈川県西部地震」研究の現状と展望, 地学雑誌, **102**, 337-340.
- Hardebeck, J.L. and P.M. Shearer, 2002, A new method for determining first-motion focal mechanisms, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **92**, 2264-2276.
- 石橋克彦, 1988, “神奈川県西部地震”と地震予知 I, 科学, **58**, No. 9, 537-547.
- 石田瑞穂, 1993, 神奈川県西部地域の地震活動, 地学雑誌, **102**, 381-392.

Ishida, M. and Kikuchi, M., 1992, A possible foreshock of a future large earthquake near Odawara, Central Japan. *Geophys. Res. Lett.*, **19**, 1695-1698.

神奈川県温泉地学研究所, 1992, 神奈川県温泉地学研究所30年の歩み(特集号), 神奈川県温泉地学研究所報告, **23** (1), 1-316.

神奈川県温泉地学研究所, 1999, 温泉地学研究所における「神奈川県西部地震」取り組み, 神奈川県温泉地学研究所報告, **29** (1/2), 3-40.

笠原敬司・酒井慎一・森田裕一・平田直・鶴岡弘・中川茂樹・楠城一嘉・小原一成, 2010, 首都圏地震観測網(MeSO-net)の展開, 地震研究所彙報, **84**, 71-88.

川北優子・酒井慎一, 2010, 首都圏地震観測網で見られる様々なノイズ, 地震研究所彙報, **84**, 127-140.

気象庁地震予知情報課, 1984, 1983年8月8日山梨・神奈川県境付近の地震, 地震予知連絡会会報, **31**, 169-172.

気象庁地震予知情報課, 1989, 1988年9月5日の山梨東部の地震活動, 地震予知連絡会会報, **41**, 175-179.

国立防災科学技術センター, 1984a, 1983年8月8日山梨県東部の地震, 地震予知連絡会会報, **31**, 173-183.

国立防災科学技術センター, 1984b, 関東・東海地域における最近の地震活動(1983年11月~1984年4月), 地震予知連絡会会報, **32**, 80-91.

Okada, Y., 1992, Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **82**, 1018-1040.

岡田義光, 1993, 「神奈川県西部地震」の諸モデルから期待される地殻変動, 地学雑誌, **102** (4), 445-456.

Seno, T., T. Sakurai and S. Stein, 1996, Can the Okhotsk plate be discriminated from the North American plate?, *J. Geophys. Res.* **101**, 11305-11315.

棚田俊收, 2004, 神奈川県西部における震源ならびにメカニズム分布と“神奈川県西部地震”想定断層との関係, 日本地震学会講演予稿集, P 150.

棚田俊收, 2007, 神奈川県西部地域の地震活動とその発生環境, 月刊地球, 号外 **57**, 126-132.

棚田俊收・永井 悟・本多 亮・原田昌武・伊東 博・岩國真紀子, 2008, 首都直下地震防災・減災特別プロジェクトにおける温泉地学研究所の業務報告(平成19年度), 神奈川県温泉地学研究所報告, **40**, 65-68.

棚田俊收, 2008, 箱根火山の地震活動(1990年~2007年)とその発生機構, 神奈川博調査研報(自然), **13**, 187-194.

行竹洋平・棚田俊收・本多 亮・伊東 博・原田昌武, 2006, 神奈川県西部地域におけるメカニズム解, 神奈川県温泉地学研究所報告, **38**, 69-76.

(Received February 17, 2010)

(Accepted March 16, 2010)