

### 3.1.5 自然地震による地殻構造探査（首都圏）

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務題目

自然地震による地殻構造探査（首都圏地域）

担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学地震研究所	教授	平田 直	hirata@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	助教授	卜部 卓	urabe@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	助手	酒井 慎一	coco@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	助手	五十嵐俊博	igarashi@eri.u-tokyo.ac.jp

##### (c) 業務の目的

制御震源による地震探査は、火薬による発破、バイブロサイス、エアガンなどにより、非常に多くの点で弾性波を投射し、その反射波・屈折波を非常に密なアレイ観測網で記録することによって、プレート境界などの顕著な反射面や、二次元の詳細な速度構造の推定を行っている。しかし、震源が地表面近くにあるため、弾性波は地殻深部までは到達しにくい。そのため、地殻浅部の構造は詳細に求められるが、より深部の構造、沈み込むプレート近傍の地震発生層の構造については高い解像度で推定することは難しい。

一方、自然地震による地殻構造探査は、到達時刻の不確定性、構造とのトレードオフによる震源位置の不確かさ、震源の非均一な分布により、解像度は制御震源には及ばないが、より深部の情報、震源断層そのものの情報をもたらすことに利点がある。

そこで、本業務においては、制御震源では明らかにできない地殻深部の弾性波速度構造、フィリピン海プレートと関東地方を形成するプレートとその境界近傍の構造を、自然地震を用いて明らかにし、首都圏に被害を発生させる地震の震源断層のイメージングを行うことを目的としている。

##### (d) 5 年間の年次実施計画

- 1)平成 14 年度：新規観測測線の計画、観測点の設置および、既存観測点のデータ構築と自然地震活動の解析。

房総半島を縦断する測線配置を計画し、測線全体の下見を行い、9 点の設置工事を終了した。また、東京大学地震研究所内にデータ収録装置を立ち上げ、南関東周辺で発生している地震と遠地地震の地震波形の切り出しを行うシステムを構築した。また、既存地震観測網のデータを用い、小繰り返し地震活動の解析を行い、関東地方の太平洋プレート、フィリピン海プレートの沈み込み境界でも、大地震のアスペリティとの相補的位置関係や、非地震性すべりとの関連性を明らかにした。

- 2)平成 15 年度：新規観測点の設置・データ収録、取得データの調査、解析。

昨年度より引き続き、新規観測点の設置作業を行い、計画 30 点全点の設置を完了した。これらの観測点で得られる波形データは、周辺の既存観測点で得られたデータも含めて、近地・遠地地震のデータを蓄積している。

3)平成 16 年度：地震観測点の維持・管理、解析。

本計画により設置された地震観測点の維持・管理および、データ収録を継続する。得られた波形記録に対して予備解析を行い、アレイ下の地震波速度構造を推定する。

4)平成 17 年度：地震観測点の維持・管理、解析。

本計画により設置された地震観測点の維持・管理および、データ収録を継続する。震源断層全域を解像しうる範囲で地震波速度構造を推定する。

5)平成 18 年度：地震観測点の維持・管理・撤収、解析。

本計画により設置された地震観測点の維持・管理、データ収録を行い、年度末に撤収する。得られた地震波速度構造、発生する地震の震源を解像し、また、地質、測地学的情報と比較することにより、震源断層のイメージングを行う。

(e)平成 16 年度業務目的

本研究では、制御震源では明らかにできない地殻深部の弾性波速度構造、フィリピン海プレートと関東地方を形成するプレートとの境界近傍の構造を、自然地震を用いて明らかにし、首都圏に被害を発生させる地震の震源断層のイメージングを行うことを目的としている。平成 16 年度も引き続き房総半島縦断稠密地震観測アレイとその周辺観測点で観測された波形記録を収録した。また、遠地地震波形を用いてレシーバー関数解析の予備解析、近地地震記録の波形の特徴を調査し、震源断層のイメージングに資する研究を推進する。

**(2) 平成 16 年度の成果**

(a) 業務の要約

平成 16 年度には、昨年度までに設置されたアレイ観測点の維持管理、データ収録を実施した。本業務では、関東地方とその周辺に設置されている既存観測点で得られたデータも含めて、近地・遠地地震のデータを蓄積しており、近地で発生した地震は多数収録されている。一方、遠地地震波形記録データはレシーバー関数解析を用いた解析に用いた。解析可能なデータ数はまだ十分ではないが、制御震源による地殻構造探査によって抽出されたフィリピン海プレートの深さとほぼ等しい深度に速度コントラストが存在することを、自然地震の解析からも推定することができた。また、近地で発生した地震波形記録は、おおむね良好であり、大振幅を持つ変換波もいくつか見られているが、震源・伝播経路による構造不均質が強く示唆された。

(b) 業務の実施方法

本研究では、房総半島を縦断する測線長 125 km の間に 30 地震観測点を新設し、既存の観測網データも併用した自然地震観測を行っている。現在までの波形収録状況本年度は、この地震観測アレイ記録から得られた遠地地震波形記録を基にレシーバー関数解析を行い、また、房総半島周辺で発生した地震の観測波形の特徴を調査した。

### (c) 業務の成果

#### 1)新設観測点の維持管理、収録状況

本研究では、房総半島地域に稠密アレイ観測点を設置し、既存の観測網データも併用した自然地震観測を行っている。新設地震観測点は、平成 14 年度に実施された制御震源による地殻構造探査測線に沿うように、千葉県安房郡白浜町から佐倉市にかけて房総半島を縦断する測線に配置した。測線長は約 125 km、中周期地震計（周期 30 秒～0.02 秒）を約 10～15 km 間隔で 10 点設置し、その間を埋めるように、固有周期 1 秒の短周期地震計（L-4G-3D）を 20 点、計 30 点を設置している。観測点間隔は最近接部分で約 2km、最も空いている場所で約 10 km である（図 1）。また、本観測では、測線上に独立行政法人防災科学技術研究所によって設置されている高感度地震観測点が 3 点（嶺岡 N.MINH、市原 N.ICHH、八日市場 N.YKIH）あるため、これらの観測点も考慮した測線配置を行っている。

得られた波形記録は、房総半島周辺で発生している地震については気象庁の一元化震源カタログ、遠地地震記録についてはアメリカ地質調査所で決定された速報震源カタログを基に切り出しを行っている。そのうち、観測から 1 年経過した現在まで収録されたイベント数と、千葉県内で有感であった地震数を図 2 に示す。一月あたり約 800 イベントが収録されており、そのうち 8 個が有感となる強い揺れを伴っていた。ただし、2004 年 10 月の有感地震数の増加は、主として観測アレイから 2° 程度の震央距離で発生した新潟県中越地震の活動によるものであり、房総半島近傍の地震活動の活発化ではない。

次に有感地震の震央分布を図 3 に示す。本年度は観測測線周辺の地震活動は定常的に活発であったため、広範な方位から到来した地震波形を得ることができた。本測線は都市部に近く人工的なノイズが生じやすいこと、三方を海洋に囲まれており脈動が大きいことから、1 年を通してノイズレベルは高い。また、測線長が 125km あるため、ある程度規模の大きい地震でなければ測線全体で良好な記録は見られない。房総半島直下の地殻構造は、数 km に及ぶ厚い堆積層による地震波の散乱、北方に沈み込むフィリピン海プレート、西方に沈み込む太平洋プレートの影響を考慮する必要がある、解析には多様な方位、深度の情報を持った地震波形をさらに蓄積することが必須である。

#### 2)新設観測点下におけるフィリピン海プレート境界の深度推定

短周期地震計を含むアレイ測線上に配置した観測点で得られた地震波形を使用して、レシーバー関数解析を行った。

レシーバー関数は観測点で得られた地動の水平動動径成分を上下動成分でデコンボリューションすることによって得られる<sup>1)</sup>。この処理により、ある地震波速度境界面で P 波から S 波に変換して観測点に到達した波を抽出でき、観測点近傍下の速度構造が推定可能となる。ここでは、デコンボリューション処理時に、マルチテーパー法<sup>2),3)</sup>を用いたレシーバー関数解析<sup>4)</sup>を行った。

本アレイでは中帯域地震計と短周期地震計が混在している。そこでまず、同一地点に異なる地震計が設置されている場合のレシーバー関数の比較を行った。使用した観測点は新潟県中越地方に東京大学地震研究所が設置している広神観測点 (E.HRG) である。ここでは、2002年8月から約2年間の間に観測された、震央距離  $30^{\circ} \sim 90^{\circ}$  の間に発生した S/N 比のよい地震を使用した。

方位角の幅  $10^{\circ}$ 、 $5^{\circ}$  間隔毎にスタックしたレシーバー関数の比較を図 4 に示す。左からそれぞれカットオフ周波数 1Hz の動径成分、3Hz の動径・接線成分、5Hz の動径成分である。両地震計ともほぼ等しいレシーバー関数記録が得られており、周期・特性の異なる地震計を同様に利用することが可能であることが分かった。しかし、カットオフ周波数 1 Hz の記録を見ると、短周期地震計のレシーバー関数記録はイベント到達前のノイズが大きい。地震計特性による低周波帯域での S/N 比の低下が主な原因と考えられる。

房総アレイ観測点では、これまで約 10 ヶ月間遠地地震記録を収録している。残念ながら、現在収録できている遠地地震記録はデータ蓄積が十分ではなく、信頼できる結果を示すには不十分である。そこで、アレイ下の観測点についての予備解析を行い、制御震源による地殻構造探査結果との比較を行った。

レシーバー関数解析に使用した観測点を図 5 に、使用した地震を図 6 に示し、その結果を図 7(b)、図 7(c)に示す。震央距離 30 度から 90 度の範囲で発生した地震のうち S/N 比のよい地震波形記録を選択して使用した。特に、図 7(b)図作成時には、図 6 中星印で示した、使用観測点すべてで良好な S/N 比を持つ 2 つのイベントをスタックし、各観測点におけるレシーバー関数の動径成分記録を作成した。一方、図 7(c)は、図 6 丸印で示した遠地地震から得られたレシーバー関数の動径成分の振幅を、速度構造モデルとして IASP91<sup>5)</sup> を仮定してトレースしたものである。ここでは正の振幅を青色、負の振幅を赤で示している。図 7(a)は平成 14 年度に行われた、制御震源による地殻構造探査で得られた反射断面である。反射断面で得られたフィリピン海プレート上部境界の深さが図 7(a)中矢印で示されているが、それに対応するように、レシーバー関数解析でも正の振幅が見られる (図 7(b)、7(c) 中矢印)。その深さは南部で約 10km、北部に行くにつれて徐々に深くなり、北端で約 30km であり、反射断面の結果よりも若干深い。これは、レシーバー関数解析で得られる正の振幅は、浅部が低速度、深部が高速度となる境界を示しており、プレート内の海洋性地殻とマンツルの境界を見ているためと考えられる。ただし、図 7(b)図の各トレースを見ると、0 秒付近に来るべき直達 P 波に時間遅れが生じており、より浅部の堆積層と基盤との境界で変換相が見られる。また、南側で約 3 秒 (深さ 25km) 程度から北側へ向けて徐々に遅れていく顕著な正の振幅を持つ相も見られるが、これも浅部基盤境界での多重反射を見ている可能性がある。浅部の不均質性とプレートの傾斜の双方を考慮し、より詳細な境界深度を推定するためには、より多様な方位から到来した波を使用する必要がある。

### 3) 房総半島周辺で発生した地震と波形の特徴

次に房総半島稠密アレイで記録された、アレイ周辺で発生した地震とその波形の特徴を記す。

図 8 は、新設観測点アレイ観測開始した平成 16 年 2 月から平成 17 年 3 月までに房総半島周辺地域で発生したマグニチュード 2 以上の地震の震源分布である。

房総半島周辺地域は、陸地を形成する上盤側プレートの下に、北方へフィリピン海プレートが沈み込み、さらに、その下には西方に太平洋プレートが沈み込む、非常に複雑な地殻構造を形成している。これらのプレートの位置については、非常に多くのモデルが提案されている<sup>6),7)</sup>。それに伴い、定常的な地震活動も非常に活発である。

ここでは、房総半島直下の太平洋プレート境界およびフィリピン海プレート境界の近傍で発生した地震を選び出し、その波形の特徴を調査した。図9で波形を示した地震について、防災科学技術研究所 F-net によるモーメントテンソル解を図8に記す。メカニズム解と震源深さの情報から、東西圧縮のメカニズムを持つ地震は太平洋プレート境界近傍で発生した地震(図8(a)、(b)、(c)、(e))であり、北西-南東圧縮のメカニズムを持つ地震(図8(d)、(f))はフィリピン海プレート境界近傍で発生した地震であると考えられる。

図9(a)から(f)に記した地震波形は、それぞれ、(a)房総半島南東沖、深さ70km(M4.4)、(b)千葉県中部、深さ71km(M3.9)、(c)房総半島九十九里海岸下、深さ58km(M3.4)、(d)房総半島九十九里下、深さ28km(M4.0)、(e)銚子市付近、深さ48km(M3.4)、(f)千葉県北部、深さ36km(M3.7)、で発生した地震を房総半島稠密アレイ観測点で観測した上下動地震波形記録である。波形には1~10Hzのバンドパスフィルターをかけており、北側観測点から順に、上から表示している。また、振幅は最大値で規格化し、各波形の右側に規格化振幅を示している。

まず、太平洋プレート境界近傍で発生した地震波形を調査した。制御震源から得られたフィリピン海プレートの位置に相当するSP(PS)波S波到達前1~3秒程度前(P波到達後1~3秒後)に見られ、稠密アレイより西側で発生した(b)の地震は確かに、SP変換波相当の波が存在している。また(c)、(e)の地震もPS、あるいはSP相が到達すると思われる時刻に波群が見られている。一方、房総半島南方で発生した(a)の波形には目立った変換波を見ることはできなかった。変換面の傾斜方向や震源メカニズムが影響しているのかもしれない。房総半島地域は、1923年関東地震の震源域を含み、また、スローイベント<sup>8),9)</sup>も観測されている。従って、房総半島アレイで見られる波形には、プレートの固着状況の変化が見られていることが期待され、その影響が観測波形の変化に影響しているのかもしれない。ただし、これらの波形はどれも、経路の異なる直達波の重合や散乱の影響を強く受けた波群の到来が見られ、変換波の同定は容易ではない。

次に、フィリピン海プレート境界近傍で発生した地震も特徴を調査した。図9(d)はDD20からDD24観測点に近接した位置で発生した地震である。しかし、P波の後3秒から、観測点間距離が離れるにつれて時間差が広がる変換波が見られる。この相に対応する変換波は水平動成分には見られないこと、初動と極性が反転しているように見られることから、P波の深部反射相と思われる。図9(f)はアレイ北端付近で発生した地震である。DD21付近でP波初動振幅が小さくなり、Pコーダ波が複雑になっていることから、フィリピン海プレート内を伝播していると考えられる。

波形を示したこれらの地震が発生している場所では、小繰り返し地震活動が数多く見られる(図10)。この活動はプレート境界での繰り返しすべりと考えられるため、その特徴を利用して千葉県北部から茨城県にかけた地域の新たなフィリピン海プレート境界モデルも提案されている<sup>7)</sup>。また、図10中枠で囲った領域では太平洋プレート境界で発生している小繰り返し地震が多数発生している<sup>10),11)</sup>。この領域では最大M6クラスの地震も発生

しており、地震活動の活発なクラスターを形成している。枠内で囲った小繰り返し地震を含むクラスター全地震についての M-T 図を図 11 に記す。M5 以上の地震については 1 Hz あるいは 0.5Hz のローパスフィルターをかけた地震波形を目視し、グループ分けを行った。このクラスターは、複数の中小アスペリティが存在する複雑な様相を呈していることが強く示唆される。このようなクラスターを詳細に解析することによって、アスペリティのマッピングが可能になるとともに、その上盤側の構造のイメージングにも有用な良質のソースを与えるものと期待される。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

平成 16 年度は、新規観測点の維持・保守作業、データ収録を実施し、取得データの予備解析を行った。関東地方周辺に設置されている既存観測点で得られたデータも含めた近地・遠地地震のデータの蓄積を進めている。近地で発生した地震の波形記録中には数多くの変換相が見られ、房総半島下の詳細な地震波速度構造の解明に資することが期待される。しかし、複雑な地殻構造を解明するためには、震源位置、メカニズムをより厳密に把握し、構造と対応づける必要がある。また、遠地地震を用いたレシーバー関数解析は、制御震源を基に得られたフィリピン海プレート境界深度とほぼ等しいかやや深い位置に明瞭な変換相をみることができた。ただし、この地域の高ノイズレベルの影響や、良質なデータを与える遠地地震数が本年度は少なかったため、長周期帯での構造解析には、データ蓄積期間が必要である。より精度の高い地殻構造を得るためには、近地の深発地震も利用するなど解析手法の改良も必要である。

#### (e) 引用文献

- 1) Ammon, C. J., The isolation of receiver effects from teleseismic P waveforms, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 81, 2504-2510, 1991.
- 2) Thomson, D. J., Spectrum estimation and harmonic analysis, *IEEE Proc.*, 70, 1055-1096, 1982.
- 3) Park, J., Lindberg, C. R., and F. L. Vernon III, Multitaper spectral analysis of high-frequency, seismograms. *J. Geophys. Res.*, 92, 12675-12684, 1987.
- 4) Park, J., and V. Levin, Receiver functions from multiple-taper spectral correlation estimates, *BSSA*, v90, pp1507-1520, 2000.
- 5) Kennet, B. L. N., and E. R. Engdahl, Traveltimes for global earthquake location and phase identification, *Geophys. J. Int.*, 105, 429-465, 1991.
- 6) Ishida, M.: Geometry and relative motion of the Philippine Sea plate and Pacific plate beneath the Kanto-Tokai district, Japan, *J. Geophys. Res.*, 97, pp. 489-513, 1992.
- 7) Kimura, H., K. Kasahara, T. Igarashi, and N. Hirata, Repeating earthquake activities associated with the Philippine Sea plate subduction in the Kanto district, central Japan: a new plate configuration revealed by interplate aseismic slips, submitted to *Tectonophysics*, 2005.
- 8) S. Ozawa, S. Miyazaki, Y. Hatanaka, T. Imakiire, M. Kaidzu, M. Murakami, Characteristic silent earthquakes in the eastern part of the Boso peninsula, Central Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 30 (6), doi: 10.1029/2002GL016665, 2003.
- 9) 広瀬一聖・川崎一朗・岡田義光・鷺谷威・田村良明, 1989 年 12 月東京湾サイレント・ア

ースクェイクの可能性, 地震 第2輯, 53, 1, 11-23, 2000.

10) Igarashi, T., Repeating earthquakes in the Kanto District, Japan: Characteristics of spatio-temporal distribution, IUGG 2003, Sapporo, 2003.

11) 木村尚紀・笠原敬司・五十嵐俊博・平田直・八木勇治, 相似地震活動から推定される条件付き安定すべり領域, 地球惑星科学関連学会合同大会, 幕張, 2004.

成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
芹澤正人・橋本信一・羽田敏夫・小林勝・五十嵐俊博	常時接続型通信回線を用いた地震観測点の設置技術とセキュリティ	東京大学地震研究所技術研究報告, 第10号, 32-42	平成16年

2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
五十嵐俊博・平田直・小林勝・羽田敏夫・橋本信一・芹澤正人	房総半島縦断稠密地震観測(2)	地球惑星科学関連学会合同大会、幕張	平成16年5月11日
Toshihiro Igarashi, Naoshi Hirata, David Okaya, Hiroshi Sato, and Jeffrey Park	Receiver function analysis in and around the Boso-Peninsula, Central Japan	American Geophysical Union Fall Meeting, American Geophysical Union, San Francisco	平成16年12月16日

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成17年度業務計画案

平成17年度は、本計画で設置した地震観測点の維持・管理および、データ収録を継続する。その際、保守・点検および観測点の再配置を行い、解析に資する良質のデータ蓄積に努める。また、本自然地震観測により蓄積状況に応じてレシーバー関数解析等を行い、地震波

速度構造、沈み込むフィリピン海プレート面の形状の推定を行う。

房総半島アレイの広帯域地震観測点とその周辺の地震観測点から得られる下方入射地震波形を用いてレシーバー関数解析を行う。遠地地震データのみでは、データ蓄積が進まない恐れがあるため、近地深発地震が使用可能となるよう解析手法の改良を試みる。房総半島域の新規アレイ観測点は、制御震源による地殻構造探査の結果や地震波トモグラフィ解析による速度構造の結果を用いて拘束条件を与え、より詳細な深部速度構造の抽出を行う。また、フォワードモデリングに加え、インバージョン解析も行い、相と構造の関係を明確にする。また、観測波形に見られる顕著な変換波群の中から、プレート境界面起源と考えられる反射波・変換波を抽出し、その深さ分布を調べることにより、プレート面の形状の推定を行う。その際、房総半島域は震源の絶対位置、特に深さ分布のばらつきを小さくし、発生場所の違いを明確にしながら行う。プレート境界近傍に発生する地震群については、波形の相関を利用した相対震源決定を行うことにより、地震間やプレート境界との位置関係の相対精度の向上にも努める。

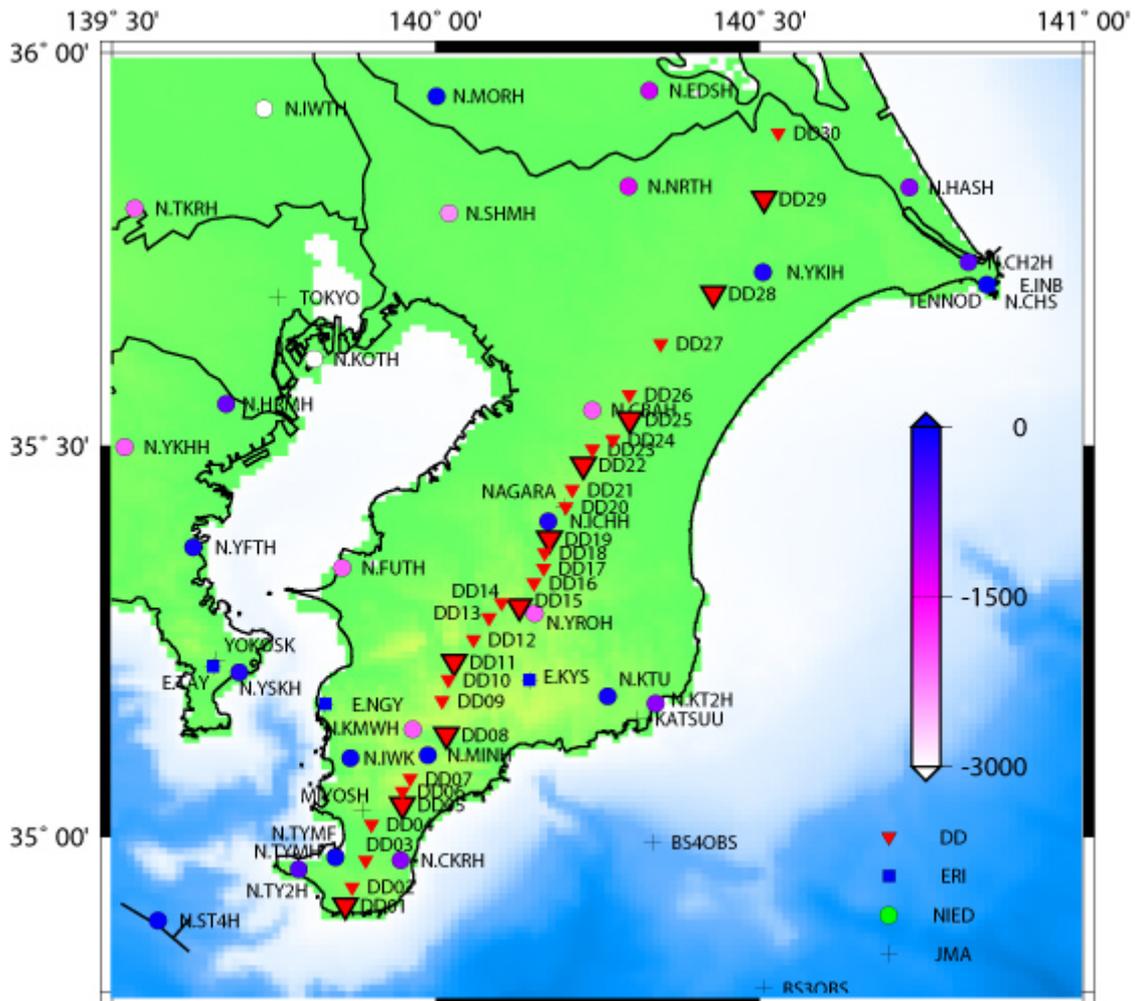


図1 房総半島周辺の地震観測点配置図。本研究で新規に設置した稠密アレイ観測点を赤色の逆三角印、地震研究所、防災科学技術研究所、気象庁の既存観測点をそれぞれ、四角、丸、+印で示す。広帯域地震計は大きい記号で記し、また、既存観測点は設置深度でスケールしている。

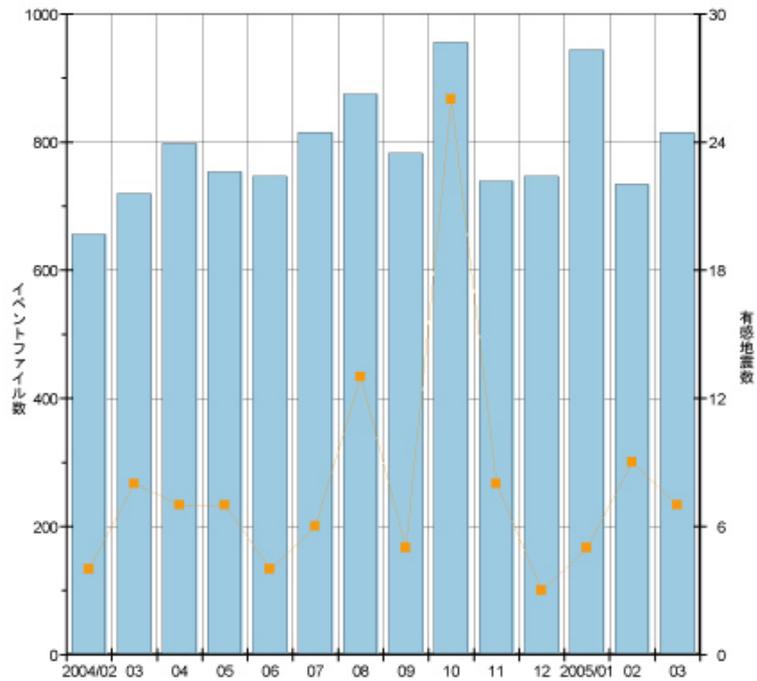


図2 月別収録イベント数（棒グラフ）と、千葉県内の有感地震数（折れ線グラフ）。

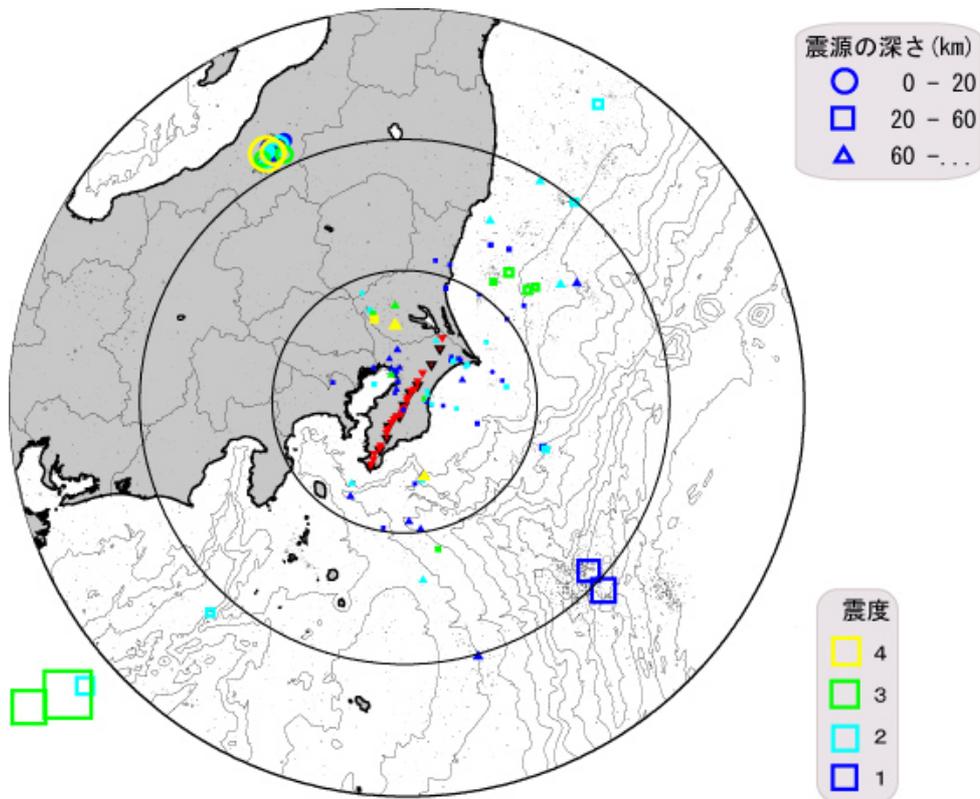


図3 有感地震の震央分布。記号は震源深さで分けており、記号の色は千葉県内最大震度を、記号の大きさは地震規模を表している。房総稠密アレイ観測点の重心から  $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $3^\circ$  の円を併せて示す。赤逆三角印は房総稠密アレイ観測点を示している。

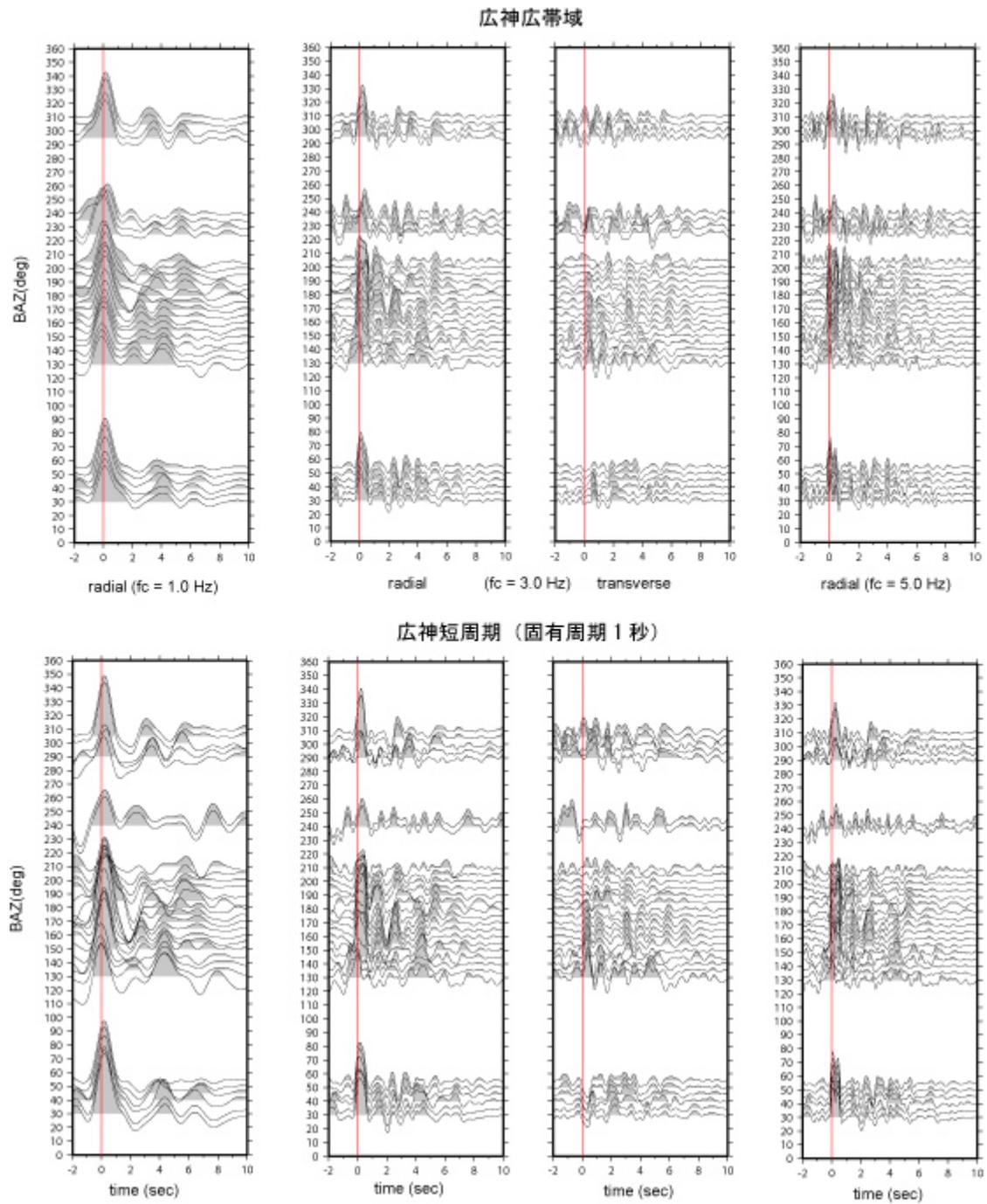


図4 方位角 ( $10^\circ$  幅、 $5^\circ$  間隔) 毎にスタックしたレーザー関数の比較。東大地震研・広神観測点の広帯域地震計 (上) と短周期地震計 (下) の記録。左からそれぞれカットオフ周波数 1Hz の動径成分、3Hz の動径・接線成分、5Hz の動径成分である。

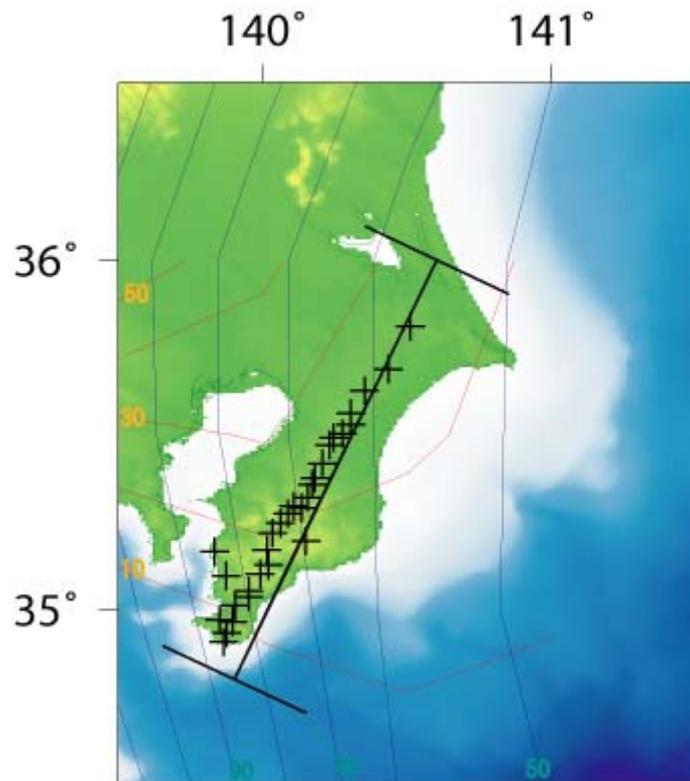


図5 図7に記したレーザー関数作成に使用した観測点分布。青色と赤色のコンターはそれぞれ、Ishida[1992]によって推定された沈み込むフィリピン海プレートと太平洋プレートの上面の深さを示している。



図6 遠地地震の震央分布。星印は図7(b)で使用したイベント、丸印は図7(c)で使用したイベントを示す。

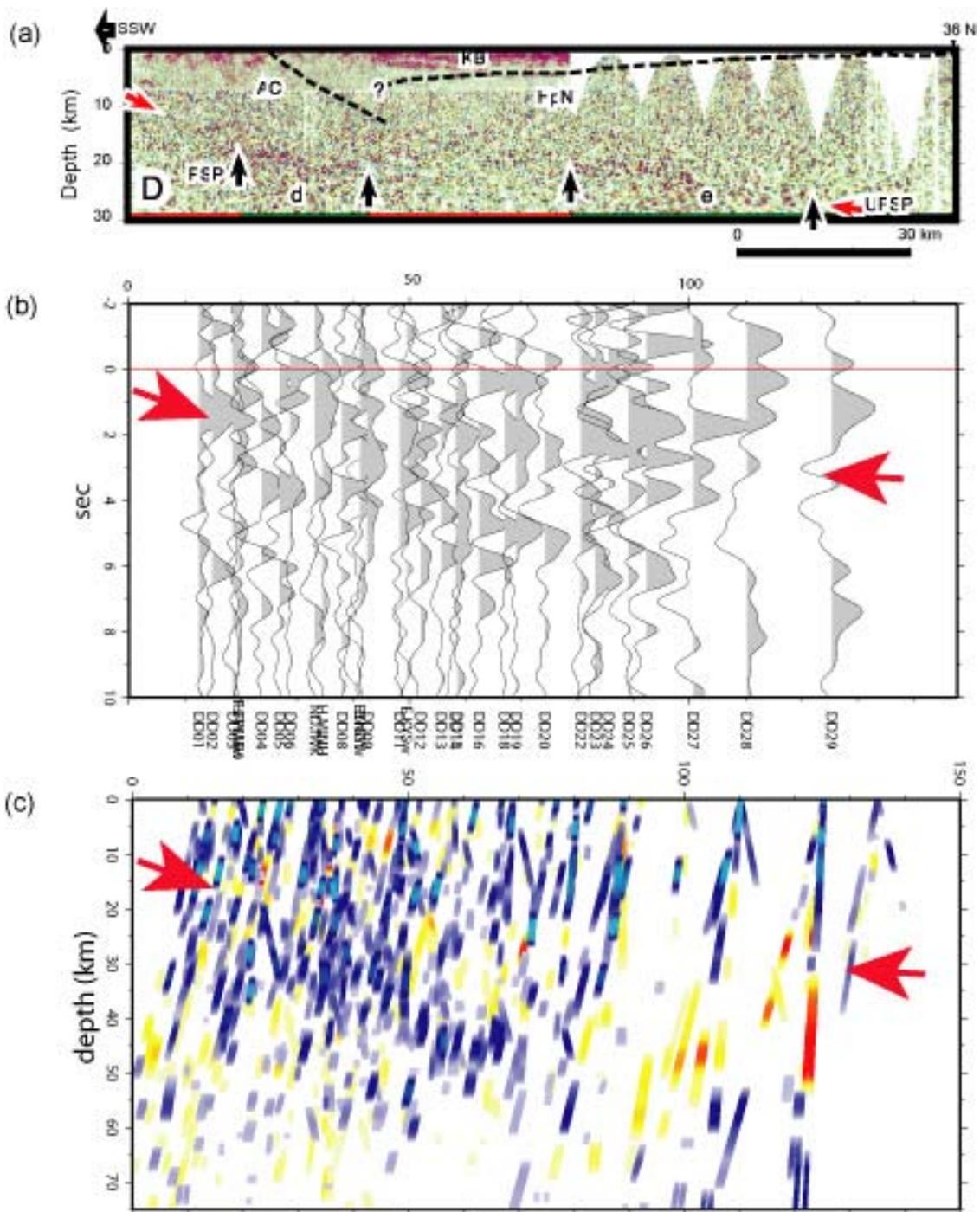


図7 図5の房総半島縦断測線に沿った鉛直断面の比較。(a)制御震源による地震波反射断面。(b)各観測点におけるレーザー関数の動径成分記録。図6星印で示した2つのイベントを用いた。(c)図6丸印で示した遠地地震から得られたレーザー関数の動径成分の振幅表示。レイトレースにはIASP915)速度構造モデルを使用した。正の振幅を青色、負の振幅を赤で示している。

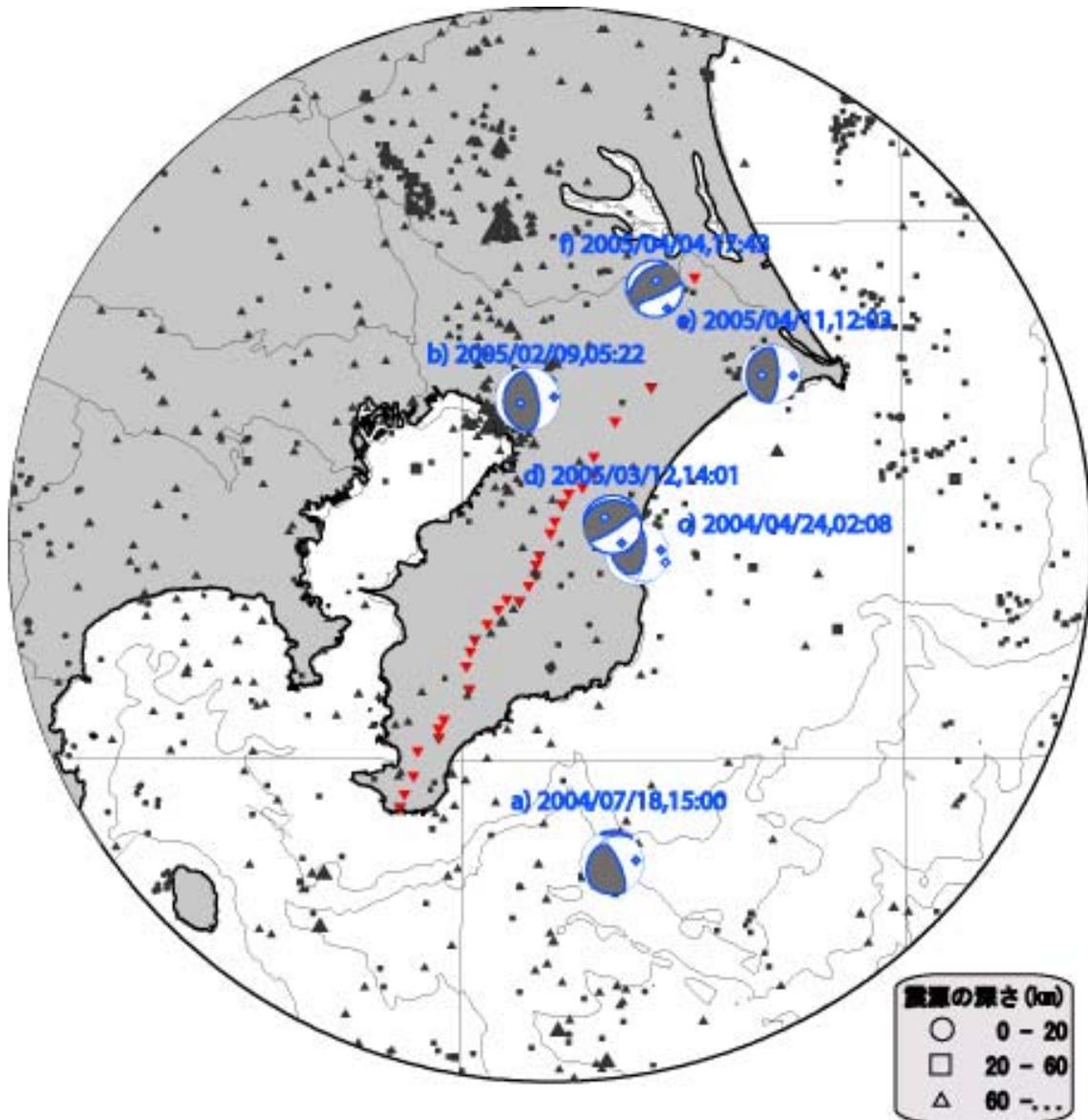


図8 平成16年2月から平成17年3月までに房総半島周辺地域で発生したマグニチュード2以上の地震の震源分布。図9(a)～(f)に示した地震の発生位置とモーメントテンソル解を併せて示す。赤逆三角印は房総半島稠密観測点を示している。

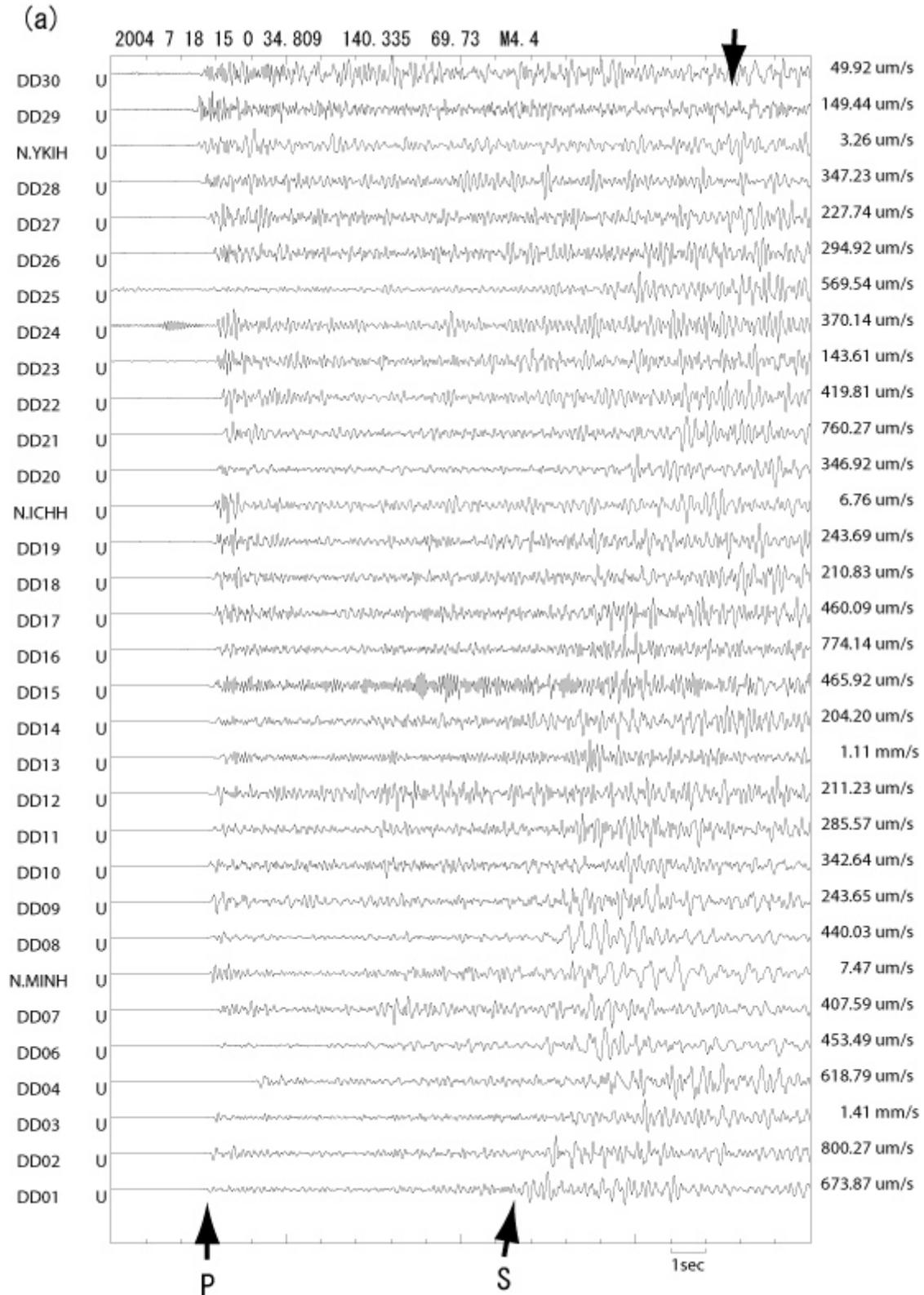


図9(a) 房総半島南東沖、深さ70kmで発生した地震(M4.4)の上下動地震波形記録。波形には1~10Hzのバンドパスフィルターをかけており、北側観測点から順に、上から表示している。振幅は最大値で規格化し、各波形の右側に規格化振幅を示している。P波、S波の到達時刻を矢印で示す。

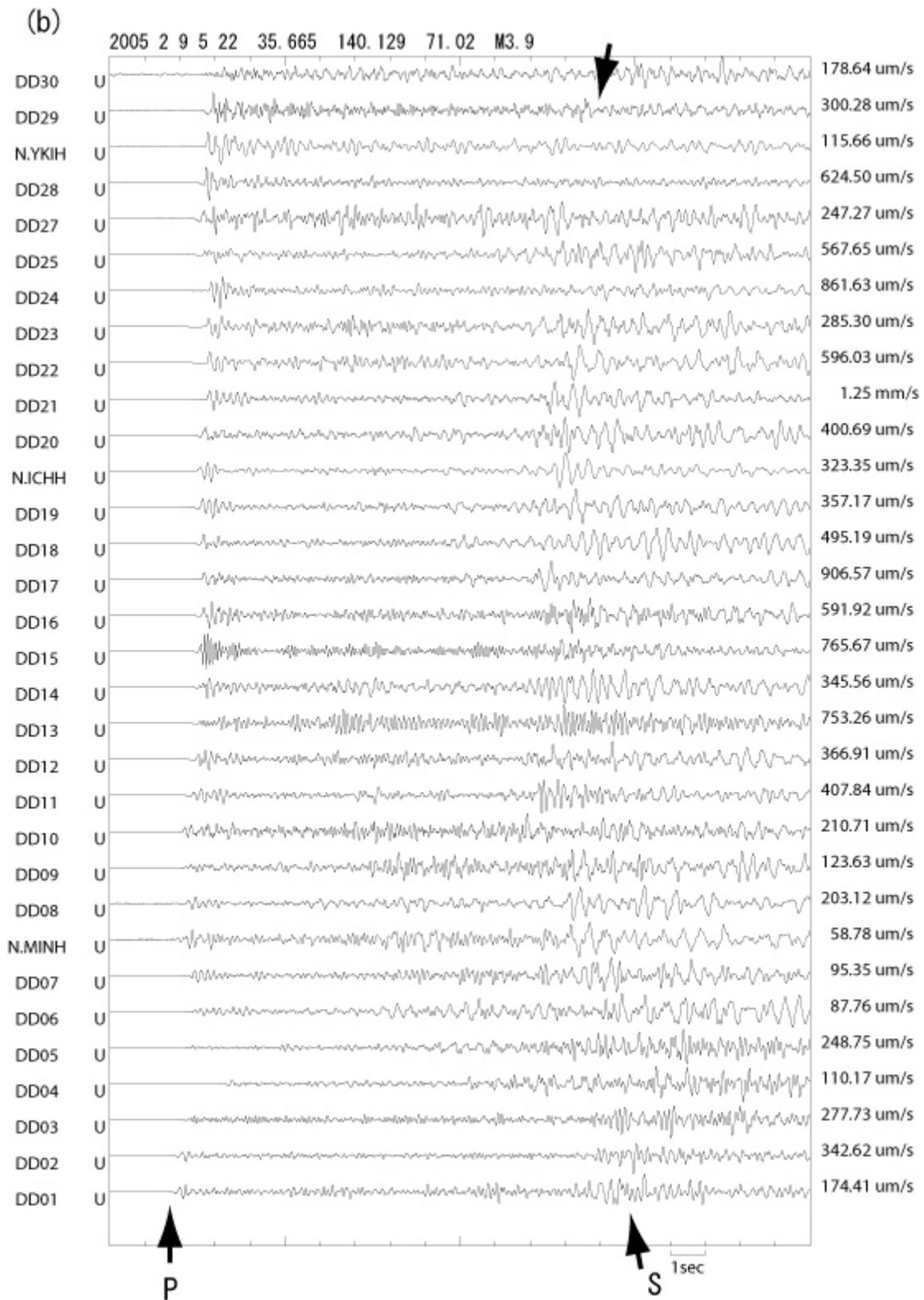


図 9 (b) 千葉県中部、深さ 71km で発生した地震 (M3.9) の上下動地震波形記録。

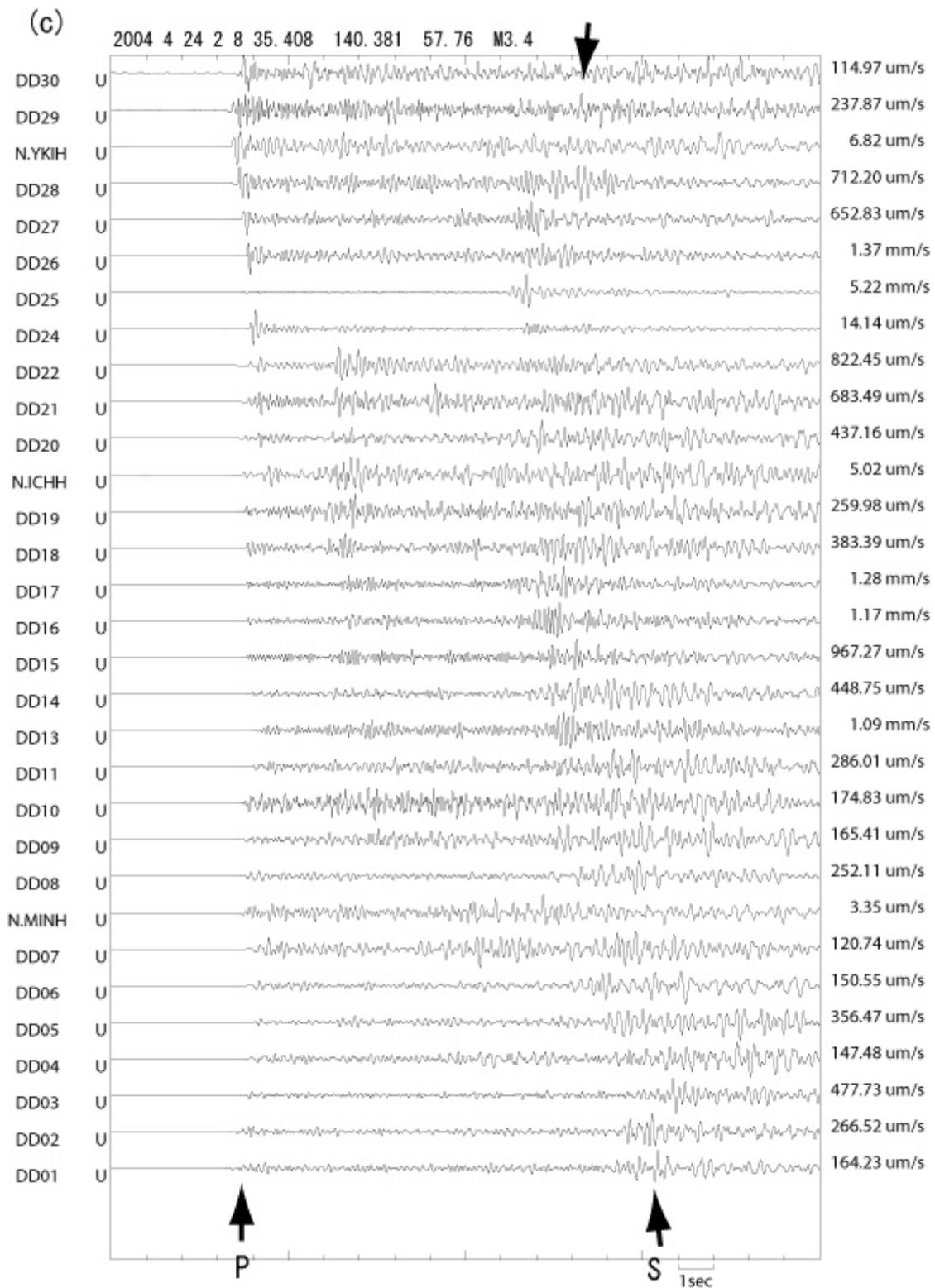


図 9 (c) 房総半島九十九里海岸付近、  
深さ 58km で発生した地震 (M3.4) の上下動地震波形記録。

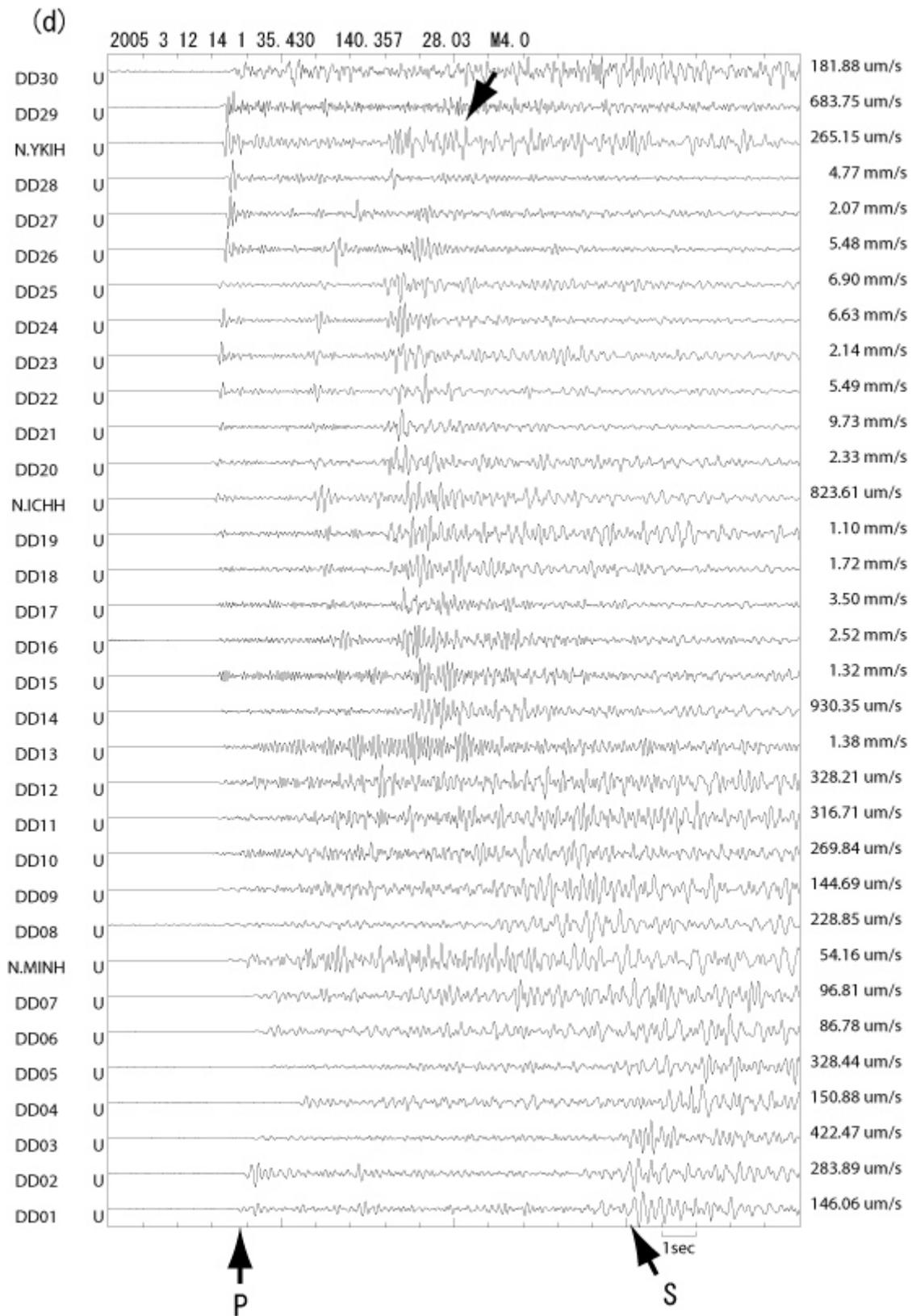


図 9 (d) 房総半島九十九里海岸付近、  
深さ 28km で発生した地震 (M4.0) の上下動地震波形記録。

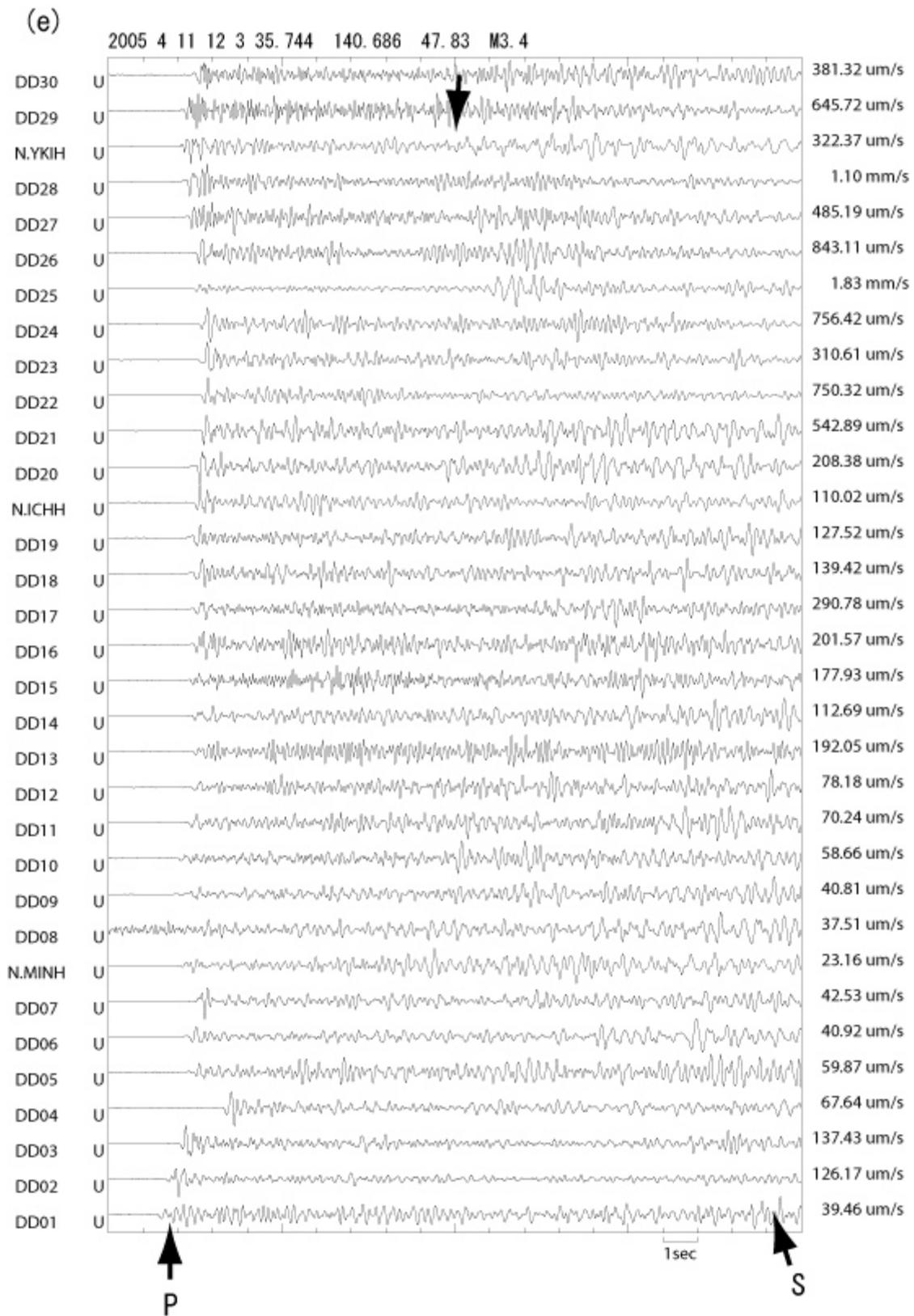


図 9 (e) 銚子市付近、  
深さ 48km で発生した地震 (M3.4) の上下動地震波形記録。

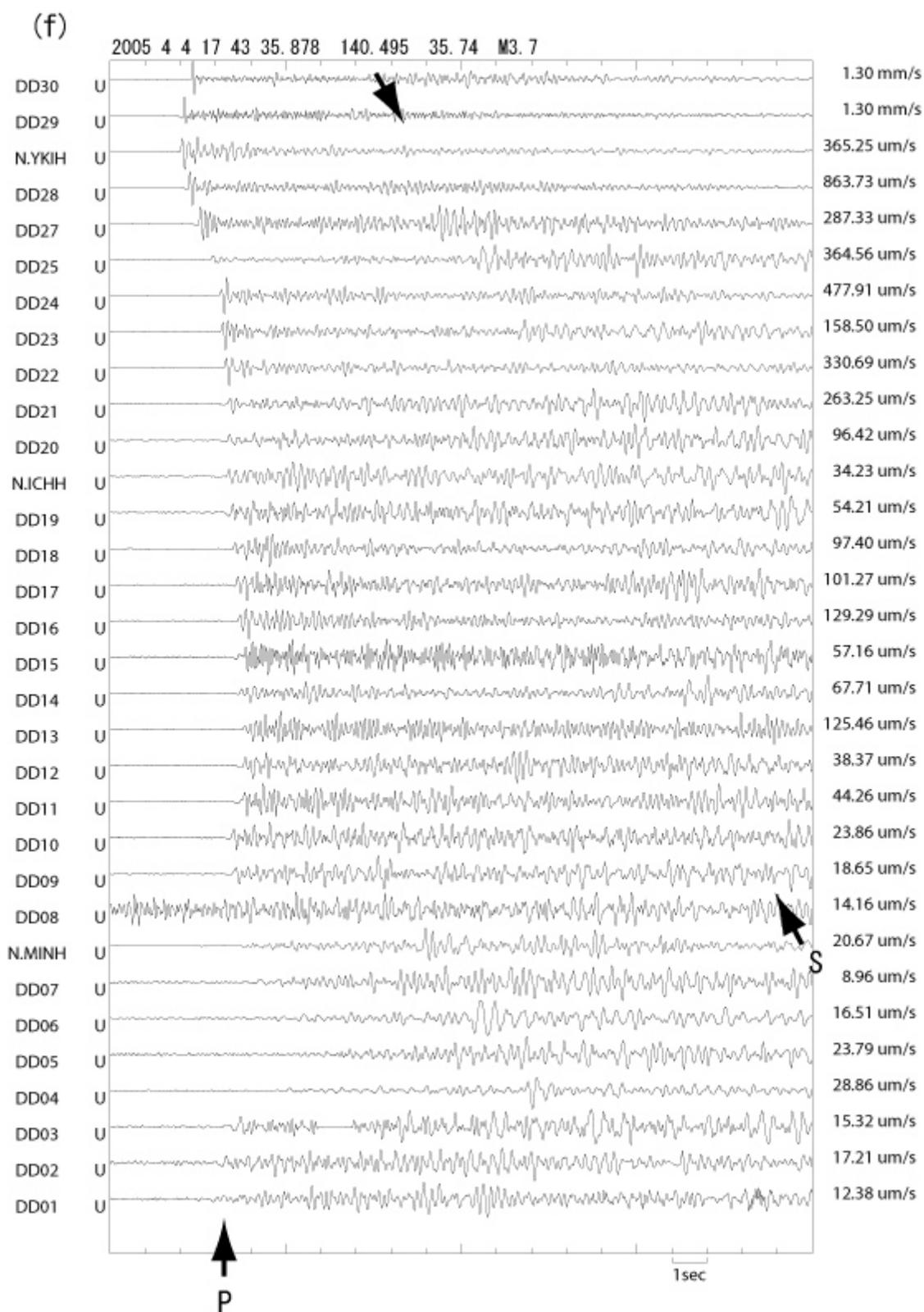


図 9 (f) 千葉県北部、  
深さ 36km で発生した地震 (M3.7) の上下動地震波形記録。

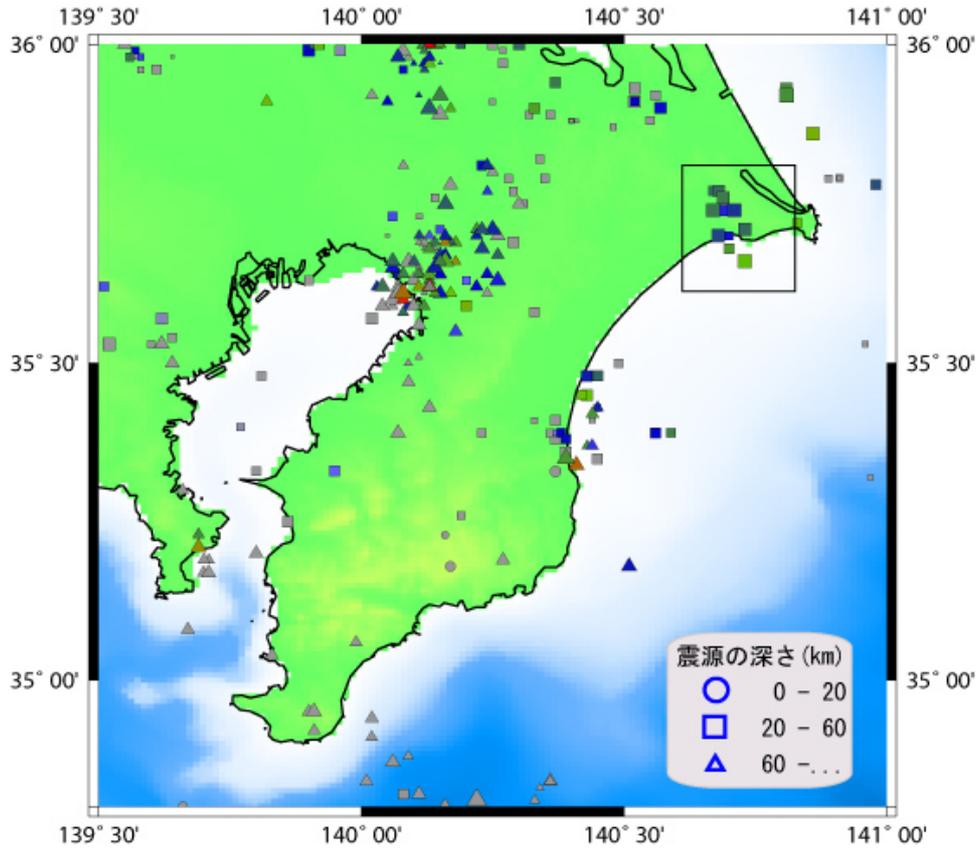


図 10 房総半島周辺域に発生している小繰り返し地震の空間分布。  
 枠で囲まれた地域は図 11 で示す地震の発生領域を示している。

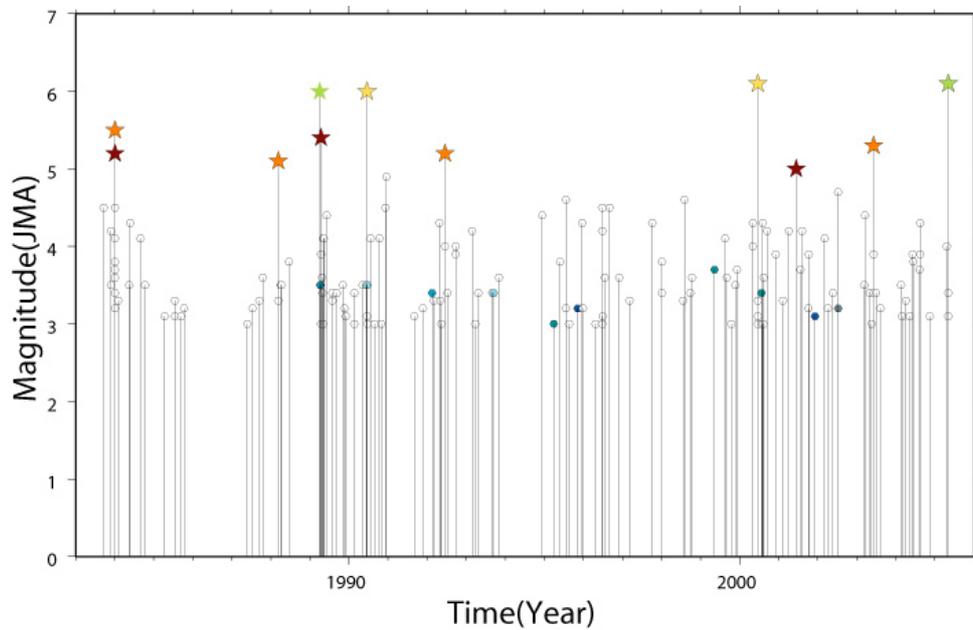


図 11 図 10 枠内、太平洋プレート境界近傍で発生した地震の M-T 図 ( $M \geq 3$ )。  
 M5 以上の地震についてはローパスフィルターをかけた  
 地震波形の目視によってグループ分けした。