

### 3.4 震源断層モデル等の構築

#### 3.4.1 強震動予測手法と地下構造モデルに関する調査研究

##### (1) 業務の内容

###### (a) 業務の目的

3.1~3.3で得られたデータ等を総合して、プレート境界地震、スラブ内地震のそれぞれについて、地震発生場所の絞込み、地殻やプレートを含む地下構造モデルの構築、さらには震源断層モデルの構築等を行う。首都圏に脅威をもたらす地震の解析、地下構造モデルの構築なども行って、長周期地震動予測地図の作成や首都直下地震の強震動予測につなげる。

###### (b) 平成21年度業務目的

首都圏に脅威をもたらした相模トラフから南海トラフに至る過去の地震について、プレート形状や地震波伝播経路の地下構造による影響を考慮できるように計算手法を改良し解析を継続する。

また、平成20年度より継続している地下構造モデルの構築を完成させ、長周期地震動予測地図を取りまとめる。

###### (c) 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	纈纈一起	
東京大学大学院情報学環 / 地震研究所	教授	古村孝志	
東京大学地震研究所	助教	三宅弘恵	
東京大学地震研究所	特任研究員	増田徹	
鳥取大学大学院工学研究科	教授	香川敬生	

##### (2) 平成21年度の成果

###### (a) 業務の要約

1) 平成20年度より継続している地下構造モデルの構築を完成させ、長周期地震動予測地図をとりまとめた。対象とした地震は、想定東海地震及び東南海地震であり、昨年度試作した長周期地震動による最大速度分布図に加え、速度応答スペクトル分布図及び地震動継続時間分布図の試作版を作成した。

2) 首都圏に脅威をもたらした相模トラフから南海トラフに至る過去の地震について、プレート形状や地震波伝播経路の地下構造による影響を考慮できるように、昨年度から継続して計算手法の改良を行った。対象とした地震は南海地震であり、過去に発生した南海地震の震源過程研究成果を参照して震源モデルの検討を行い、南海地震の震源域及び周辺領域の地下構造モデルについて昨年度の手法を適用して検証と改良を行った。

## (b) 業務の成果

前年度の業務では、長周期地震動予測地図の試作版の作成に向けて、2004 年紀伊半島東南沖地震の再現計算により、相模トラフから南海トラフに至る領域で発生する地震の震源域から首都圏に至る伝播経路にあたる駿河湾周辺の地下構造モデルの検証と改良が実施された。これらの改良によりほぼ完成した 1 次地下構造モデルを用いて、想定東海地震及び東南海地震による長周期地震動予測地図を試作した。

本年度の業務では、想定東海地震、東南海地震による首都圏を含む広域の長周期地震動予測地図の取りまとめを行い、昨年度試作した最大速度分布図に加えて、高層ビルや長大構造物の安全性評価に対して重要な要因の 1 つである長周期地震動の継続時間分布図及び速度応答スペクトル分布図の試作版、及び時刻歴波形を作成した。

また、想定東海地震や東南海地震の震源域およびその周辺領域の地下構造モデルの検証及び改良の手法を、より規模の大きな南海地震の震源域とその周辺領域に適用し、地下構造モデルを改良した。さらに、南海地震のような巨大地震について安定して予測計算ができるように計算手法の改良を行った。

### 1) 長周期地震動予測地図のとりまとめ

#### a) 長周期地震動予測地図の作成

想定東海地震は南海トラフ・駿河トラフに沿った領域を震源とする海溝型巨大地震のうち、駿河湾～浜名湖沖の領域を震源として想定される地震で、地震のマグニチュードはおよそ 8 と想定される地震である。過去に南海トラフ・駿河トラフで発生した地震のうち、震源域が浜名湖沖以東の領域に限定された地震は知られていない。しかしながら、1944 年の東南海地震（昭和東南海地震）は、1704 年宝永地震及び 1954 年東南海地震とは異なり、駿河湾～浜名湖沖の領域が破壊せずに残ったため想定東海地震発生の切迫性が高いと考えられている。東南海地震は、1944 年東南海地震と同じく潮岬沖～浜名湖沖の領域を震源とするものでマグニチュードは 8 を超える地震である。南海トラフ・駿河トラフに沿った東海・東南海・南海領域で発生した過去の海溝型巨大地震の平均発生間隔は約 110 年、次の東南海地震の発生確率は今後 30 年以内に 60～70%と予想されている（地震調査研究推進本部, 2009）<sup>1)</sup>。これらの地震はいずれも、発生した場合には首都圏をはじめとして太平洋沿岸の広範な地域に甚大な影響を及ぼすことが懸念されている。

昨年度は、観測記録の再現計算等により改良した地下構造モデルを用いて、想定東海地震および東南海地震を対象として、関東地方及び近畿地方に至る広域での長周期地震動予測を行い、最大速度分布図を試作した。本年度は、想定東海地震及び東南海地震に対して長周期地震動予測のとりまとめを行い、最大速度分布に加えて、速度応答スペクトル、及び地震動の継続時間等の試作版、及び時刻歴波形を作成した。

長周期地震動は 3 次元地下構造モデルを用いて差分法により計算した。地震動の有効周期は 3.5 秒以上である。用いた地下構造モデルの各層の物性値を表 1 に示す。また、S 波速度が 700m/s、1,300m/s、2,400m/s、及び 3,200m/s の層の上面深さ分布を図 1 に示す。時刻歴波形については図 2 の代表地点について示した。

#### ) 想定東海地震

想定東海地震は単独では過去に発生したことが知られていないため、昨年度業務と同様に、入倉・他 (2003)<sup>2)</sup>や地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2008)<sup>3)</sup>による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)」に基づいた特性化震源モデルを採用し、地震活動と固着域の関係を参考にアスペリティと背景領域を設定した。表 2 に断層パラメタを示す。また、図 3 に震源モデルを示す。震源断層領域は、中央防災会議 (2001)<sup>4)</sup>および地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2001)<sup>5)</sup>による震源域の形状を参照し、震源断層面は地下構造モデルのフィリピン海プレート上面より 1 km 浅い位置に設定した。断層すべりの方向はフィリピン海プレートの沈み込みの方向に合わせた。アスペリティについては松村 (2002)<sup>6)</sup>による地震活動と固着域の関係を参考にして断層北西部に 3 個、それより東部の浅い位置に 1 個を配置した。ここで想定しているアスペリティの位置は、浜名湖の北西側で生じた東海スローイベントの領域 (Ozawa *et al.*, 1998<sup>7)</sup>; Ohta *et al.*, 2004<sup>8)</sup>; Miyazaki *et al.*, 2006<sup>9)</sup>) と相補的關係となるようにしている。アスペリティの総面積の断層面積全体に対するの比及びアスペリティにおけるすべり量の断層平均変位に対する比は、Murotani *et al.* (2008)<sup>10)</sup> のプレート境界地震のスケーリング則に基づいて、それぞれ 19%、2.1 倍と設定した。応力パラメタの断層全体で見たときの平均値は中央防災会議 (2001)<sup>2)</sup>などと同様に 3.0 MPa とした。アスペリティにおける応力パラメタの値は、アスペリティモデルを適用した場合 15.8 MPa である。すべり速度時間関数については、中村・宮武 (2000)<sup>11)</sup>により提案された関数を用いた。表 3 にアスペリティ及び背景領域のすべり時間関数のパラメタを示す。破壊開始点については、Heki and Miyazaki (2001)<sup>12)</sup> による GPS データ解析の結果、及び Horii (2006)<sup>13)</sup> による地震サイクルシミュレーションの結果を参考にして、東海スローイベントの終端部分に近い震源断層の西側部分に配置した。断層破壊は破壊開始点から同心円状に広がり北東方向に伝播してアスペリティが破壊するとした。破壊伝播速度は、震源域近傍における S 波速度の平均値を超えないように 2,700 m/s と設定した。

図 4 に、地震が発生してから 50 秒後、100 秒後、及び 150 秒後の速度振幅のスナップショットを示す。図 5 には長周期地震動の最大速度分布図を示す。計算の有効周期は 3.5 秒よりも長周期側であり、実際の最大速度はここに示した値よりも大きくなる可能性があることに注意が必要である。想定東海地震による最大速度は、震源域近傍の駿河湾周辺で 40 cm/s 以上と予測され、また震源から離れた関東平野においても深部地下構造の影響で震源域近傍と同程度の値が予測される。関東平野での大きな最大速度値は、震源での破壊伝播方向の前方に位置することによる directivity 効果が強く表れたこと、及び厚く存在する堆積層の効果が反映されたものと考えられる。

図 6 に速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布と速度応答継続時間 (石井 (2008)<sup>14)</sup>, Ishii (2008)<sup>15)</sup>)を示す。図 6(a)は減衰定数が 5%、図 6(b)は減衰定数が 1% の場合である。図 7 及び図 8 にはそれぞれ周期 7 秒及び 10 秒の速度応答スペクトルの振幅分布及び速度応答継続時間を示した。それぞれ(a)は減衰定数が 5%、(b)は減衰定数が 1% の場合である。速度応答振幅分布も最大速度分布と同様に、破壊伝播の効果が強く現れ、震源より東側で大きな値をとり、減衰 5% の速度応答スペクトル振幅は周期 5~10 秒で 50~100cm/s となる。特に関東平野では、厚い堆積層の影響で震源から比較的遠く離れているにもかかわらず大きな値となっている。東京都庁では減衰 5% の速度応答スペクトルの振幅は周期 10 秒

で約 180cm/s である。速度応答継続時間は堆積層が厚い関東平野、濃尾平野、大阪平野等で長く 300 秒を超える。高層ビル、長大構造物、あるいは大型施設では想定東海地震による継続時間の長い長周期地震動に対して注意が必要となろう。

代表地点における長周期地震動の時刻歴波形及び減衰定数 5% の速度応答スペクトルを図 9(a) ~ (e) に示す。堆積層の厚い平野等で継続時間が長いことがわかる。

#### ) 東南海地震

東南海地震の震源モデルについては、近地の観測波形を用いた震源過程インバージョン解析により推定されている 1944 年東南海地震のモデル (山中 (2004) <sup>16)</sup>) を採用した。図 10 に震源モデルを示す。震源過程インバージョンでは平面の震源断層が仮定されているが、計算に用いた震源断層は、海域構造を含む三次元地下構造モデルのフィリピン海プレート上面より 1 km 浅い場所に再配置した。

地震が発生してから 50 秒後、100 秒後、及び 150 秒後の速度振幅のスナップショットを図 11 に示す。図 12 には長周期地震動の最大速度分布図を示す。計算の有効周期は 3.5 秒よりも長周期側であり、実際の最大速度はここに示した値よりも大きくなる可能性があることに注意が必要である。図 13 に速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布と継続時間を示す。図 13(a) は減衰定数が 5%、図 13(b) は減衰定数が 1% の場合である。図 14 及び図 15 にはそれぞれ周期 7 秒及び 10 秒の速度応答スペクトルの振幅分布を示した。それぞれ (a) は減衰定数が 5%、(b) は減衰定数が 1% の場合である。

東南海地震は想定東海地震よりも地震規模が大きいいため、東海地震に対してよりも最大速度の大きな領域がより広い範囲に及んでいる。しかし、首都圏での最大速度は、東南海地震の震源域は想定東海地震に比べて関東平野からは遠いため想定東海地震ほどは大きくない。また、震源域の大半が海域に位置しており、大きな最大速度の現れる領域は想定東海地震と比較すると限定的である。最大速度と速度応答スペクトルともに破壊伝播の効果により震源より東側で大きな値となっている。想定東海地震と比較すると破壊伝播の効果はそれほど顕著ではない。特性化震源モデルと不均質震源モデルの相違が反映されていると考えられる。震源近傍の浜松では最大速度が 20cm/s 程度、減衰 5% の応答スペクトルが周期 10 秒で 40cm/s 程度であった。愛知県庁では最大速度が 7cm/s、周期 5 秒の減衰 5% の応答スペクトルが 10cm/s 程度であった。継続時間は堆積層が厚い関東平野、濃尾平野、大阪平野で長く 300 秒を超える。

代表地点における長周期地震動の時刻歴波形及び減衰定数 5% の速度応答スペクトルを図 16(a) ~ (e) に示す。

長周期地震動予測の妥当性を検証するために、予測計算された時刻歴波形を 1944 年東南海地震の観測記録と比較した。図 17 に時刻歴波形と速度応答スペクトルの比較を示す。(a) は Midorikawa et al. (2006) <sup>17)</sup> による大手町における観測記録、(b) は古村・中村 (2006) <sup>18)</sup>、Furumura et al. (2008) <sup>19)</sup> による横浜及び東金における観測記録との比較である。東金において予測波形は観測記録より小さめであるが、大手町及び横浜において予測波形は観測記録とよく一致している。

## 2) 計算手法の改良

#### a) 震源モデルの検討

南海地震は、南海トラフに沿って紀伊半島先端から四国の西端までの領域を震源域とする海溝型巨大地震であり、過去に繰り返し発生している。1946年昭和南海地震、1854年安政南海地震は南海地震が単独で発生した最近の活動であり、1704年宝永地震は想定東海地震、東南海地震の震源域及び南海地震に震源域を含む広大な領域を震源域とする巨大地震である。本業務では、近年室谷(2007)<sup>20)</sup>によりインバージョンによる震源過程の研究で得られた1946年昭和南海地震の震源モデルを検討した。用いられた観測データは、47観測点の測量データ、7観測点の遠地変位波形データ、8観測点の近地変位波形データである。測量データの測定位置を図18(a)に、遠地の地震観測点位置を図18(b)に、近地の地震観測点位置を図18(c)に示す。インバージョンにおいては、震源断層は小断層に分割され、multi-time window法(Hartzell and Heaton(1983)<sup>21)</sup>)を採用して、未知量である各小断層の時間関数を求めている。各小断層は曲面状のフィリピン海プレートに沿って配置され、走向角と傾斜角は一樣ではなく、time-windowのモーメント及びすべり角も未知数としていくことが特徴的である。グリーン関数は1次元構造を用いて波数離散化法で計算されている。実際の3次元的地下構造を1次元構造でモデル化するために、震源から観測点への伝播経路ごとに1次元地下構造を設定している。

震源インバージョン結果の主なパラメータを表4に示す。図19(a)に震源断層の深度分布、図19(b)に断層面上の各小断層における破壊開始時刻、図19(c)にすべり量分布、図19(d)にすべり時間関数を示す。大きな断層すべりは、主に深さ20kmより浅いところに現れ、室戸岬近傍と潮岬西方沖に2つアスペリティを構成している。

上記室谷(2007)のインバージョンにより得られた断層面上でのすべり分布、及び本業務で構築した1次地下構造モデルに基づいた剛性率の深さ分布から、南海地震の震源断層における地震モーメント分布を求めた。地震モーメントは、剛性率、すべり変位、及び断層面積の積として定義されており、剛性率は媒質密度とS波速度の平方の積であるから、1次地下構造モデルを参照して、震源モデルの各小断層の深さにおける媒質密度とS波速度から剛性率を計算し、各小断層の地震モーメントを求めた。図20に得られた地震モーメント分布を示す。

#### b) 地下構造モデルの改良

想定東海地震及び東南海地震の長周期地震動予測地図の試作版を作成する際に、計算に用いる地下構造モデルを構築、改良、検証したものと同一標準手法を、南海地震の長周期地震動予測地図の試作版作成のための地下構造のモデル化に適用した。地下構造モデル構築の標準手法では、探査データやボーリングデータに基づいて対象領域内で関数的あるいは統計的内挿により構築する0次モデル、0次モデルを自然地震観測記録のR/Vスペクトル比を用いた層厚の調整等により修正される0.5次モデル、0.5次モデルに対して中小地震の観測記録と再現計算による計算波形との直接比較や重力データ等で面的に改良して得られる1次モデルへと順次改良が重ねられる。本業務では、南海地震の長周期地震動予測で対象となる領域において既往の研究により構築されている地下構造モデルを初期モデルとして採用した。図21に本業務で採用した統合化地下構造モデルの断面図を示す。この領域での統合化地下構造モデルは内陸部の地震基盤から工学的基盤までのモデルと海域の

プレート構造・地殻・マントルを含む地下構造モデルとを統合したものである。統合化モデルは新たに収集した探査データにより改良を行った。収集した探査データの測線位置を図 22 に示す。統合化地下構造モデルに基づいて、自然地震の S 波後続波から計算される R/V スペクトル比を用いた層厚の調整によりモデルを改良した。R/V スペクトル比に基づいていく地下構造モデル改良のために選定した自然地震及び観測点の位置を図 23(a)に示す。図 23(b)には、観測記録から計算される R (Radial) 成分及び V (Vertical) 成分それぞれのスペクトル、R/V スペクトル比、及び多くの地震についての R/V スペクトル比の平均を示す。図 23(c)には R/V スペクトル比と修正前後の地下構造モデルを示す。図 23(d)は修正された地下構造モデルから計算される R/V スペクトル比の分布を示す。このように改良された地下構造モデルの妥当性を検証するために、中規模地震～大地震の観測記録と再現計算時刻歴波形とを比較した。比較の結果、観測波形の再現性が十分でないいくつかの領域について修正を行った。琵琶湖北部については、探査データによる地下構造解析結果(図 24(a)、(b))に基づいて修正した。高知平野については、微動アレイ探査より得られた構造解析結果及び重力ブーグ異常データに基づいてモデルを修正した(図 25(a)、(b))。微修正された地下構造モデルは対象領域の中で発生した中小地震の観測波形と再現計算波形との比較により妥当性を検証した。表 5 に検証に用いた地震のマグニチュード、震源位置、メカニズム、及び計算に用いたライズタイムの設定値を示す。図 26 に観測波形と計算波形の比較を示す。

以上の手続きにより構築、改良、検証された南海地震による長周期地震動予測地図の作成のための 1 次地下構造モデルの、各層境界の上面深さの分布を図 27 に、断面図を図 28 に示す。

### c) 計算手法の改良

長周期地震動予測計算は、主に有限差分法あるいは有限要素法等により行われているが、これらの手法は運動方程式の微分演算の有限差分近似に依存している。海溝型巨大地震からの地震動計算の場合、対象となる領域が広範囲に及ぶ。そのため計算に要求される周期の短周期側限界に対して、差分を十分余裕をもった微小な量にとることは困難となる。そのような場合には、各計算ステップで生じる計算誤差が集積することにより計算のある段階で発散が起こる等、計算の不安定さが問題となる。南海地震は、地震規模が大きく震源域の拡がりや 300km に及ぶことから、計算対象領域が広い。実際の予備的計算において、図 29 に示すように、地震発生後およそ 200 秒にいくつかの地点で発散が起こった。発散の起こる地点は地下構造モデルの層境界深さが急変する場所であることが多い。本業務では、差分計算用のグリッドモデルを作る場合、発散対策としてモデルのスモーキングの機能を加えた。これにより以前より計算の安定性が増し、地震発生後 350 秒～400 秒間は発散が起らないようにできた。

計算安定性が確保された本業務で用いているプログラムについて、離散化波数法 (Bouchon、1981<sup>23)</sup>) による計算波形との比較により精度の検証を行った。検証において震源は点震源とし、地下構造は 1 次元モデルを用いた。検証用の点震源として、Murotani (2007) による南海地震の震源モデルの小断層のいくつかを選定し、1 次元速度構造として、同じく Murotani (2007) がそれぞれの観測点に対するグリーン関数を計算する際に用い

た地下構造を採用した。図 30 に、本業務で用いている差分法による波形と離散化波数法による波形の比較例を示す。差分法と離散化波数法では、非弾性減衰定数  $Q$  値の周波数依存性が異なるものの、差分法による計算波形と離散化波数法による長周期地震動の計算波形はよく一致しており、差分法により精度よく安定に時刻歴波形が計算されていることを示している。

#### (c) 結論ならびに今後の課題

駿河トラフ、南海トラフでは想定東海地震、東南海地震、及び南海地震が近い将来に発生することが懸念される。本年度業務では、想定東海地震及び東南海地震について、東北地方南部から首都圏、近畿圏にいたる広範囲での長周期地震動予測地図を取りまとめ、昨年度作成した最大速度分布に加えて、速度振幅が 1cm/s を超えている地震動の継続時間分布、減衰定数 5% 及び 1% における速度応答スペクトルの周期 5 秒、7 秒、及び 10 秒の振幅分布及び継続時間分布地図の試作版を作成した。想定東海地震や東南海地震より規模の大きな南海地震に対する長周期地震動予測地図の試作版作成のために、昨年度までに開発、改良してきた地下構造モデルの構築、改良、検証をする手法を南海地震の震源域を含む近畿圏から九州地方にいたる領域に適用し、プレート構造、地殻、マントルを含む 1 次地下構造モデルを構築した。地下構造モデル構築のために、収集した対象領域内の既往探査データを用いて地下構造モデルを修正し、さらに中小地震の観測記録の  $R/V$  スペクトル比に基づいて浅部層構造を調整し、再現計算に基づいて 1 次地下構造モデルの妥当性を検証した。南海地震の長周期地震動予測地図の作成には、計算対象領域が今年度の範囲よりもさらに広がる可能性があることから、精度よく安定に地震動計算を行えるように、地下構造モデル、震源モデルの高度化及び計算手法の高度化が必要である。また、過去に首都直下およびその周辺で発生した地震について、データや断層モデル推定結果の再評価と通して、地震発生位置の絞込みと震源モデルの構築を進めていく必要がある。

#### (d) 引用文献

- 1) 地震調査研究推進本部: 今までに公表した活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧, [http://www.jishin.go.jp/main/p\\_hyoka02\\_chouki.htm](http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_chouki.htm), 2009.
- 2) 入倉孝次郎・三宅弘恵・岩田知孝・釜江克宏・川辺秀憲・Luis Angel Dalguer (2003). 将来の大地震による強震動を予測するためのレシピ, 京都大学防災研究所年報, **46B**, 105-120.
- 3) 中央防災会議: 東海地震に関する専門調査会資料, 2001.
- 4) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2008), 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」).
- 5) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 南海トラフの地震を想定した強震動評価手法について(中間報告), 2001.
- 6) 松村正三: 東海の推定固着域における 1990 年代後半の地震活動変化, 地震 2, Vol.54, pp.449-463, 2002.
- 7) Ozawa, S., M. Murakami, M. Kaidzu, T. Tada, T. Sagiya, Y. Hatanaka, H. Yarai, and T. Nishimura: Detection and monitoring of ongoing aseismic slip in the Tokai region,

- central Japan, *Science*, Vol.298, pp.1009–1012, 2002.
- 8) Ohta, Y., F. Kimata, and T. Sagiya: Reexamination of the interplate coupling in the Tokai region, central Japan, based on the GPS data in 1997–2002, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.31, L24604, doi:10.1029/2004GL021404, 2004.
  - 9) Miyazaki S., P. Segall, J. J. McGuire, T. Kato, and Y. Hatanaka: Spatial and temporal evolution of stress and slip rate during the 2000 Tokai slow earthquake, *J. Geophys. Res.*, Vol.111, B03409, doi:10.1029/2004JB003426, 2006.
  - 10) Murotani, S., H. Miyake, and K. Koketsu: Scaling of characterized slip models for plate-boundary earthquakes, *Earth Planets Space*, Vol.60, pp.987-991, 2008.
  - 11) 中村洋光・宮武隆: 断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式, *地震 2*, Vol.53, pp.1–9, 2000.
  - 12) Heki, K. and S. Miyazaki: Plate convergence and long-term crustal deformation in Central Japan, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.28, pp.2313–2316, 2001.
  - 13) Hori, T.: Mechanisms of separation of rupture area and variation in time interval and size of great earthquakes along the Nankai Trough, southwest Japan, *J. Earth Simulator*, Vol.5, pp.8–19, 2006.
  - 14) 石井透: 東京の地震動の応答継続時間スペクトルとその震央方向特性, *日本地震工学会大会梗概集*, 280-281, 2008.
  - 15) Ishii, T.: A study on response duration time spectra of earthquake motions in Tokyo, The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, PaperID02-0020, 2008.
  - 16) 山中佳子: 1944 年東南海地震と 1945 年三河地震の震源過程, *月刊地球*, Vol.26, pp.739–745, 2004.
  - 17) Midorikawa, S., S. Akiba, H. Miura, and T. Masatsuki: Long-period ground motion at Tokyo during the 1944 Tonankai, Japan earthquake, Third International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Paper Number: 140, 2006.
  - 18) 古村孝志・中村操: 1944 年東南海地震記録の復元と関東の長周期地震動, *物理探査*, 59, 4, 337-351, 2006.
  - 19) Furumura, T., T. Hayakawa, M. Nakamura, K. Koketsu, and T. Baba: Development of long-period ground motions from the Nankai, Japan, earthquake: Observations and computer simulation of the 1944 Tonankai (Mw 8.1) and the 2004 SE Off-Kii Peninsula (Mw 7.) earthquakes, *Pure Appl. Geophys.*, 165, 585-607, 2008.
  - 20) 室谷智子, Source process of the 1946 Nankai earthquake estimated from seismic waveforms and leveling data (地震波形と水準測量データから見た 1946 年南海地震の震源過程) 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、博士学位論文, 2007.
  - 21) Hartzell, S. H. and T. H. Heaton: Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 73, 1553-1583, 1983.

22) Kimura, T. and Y. Kakehi, Source process of the 2001 Hyogo-ken Hokubu, Japan, earthquake (Mw 5.2) and comparison between the aftershock activity and the static stress change, Bull. Seismol. Soc. Am., 71, 959-971, 1981.

23) Bouchon, M., A simple method to calculate Green's function for elastic layered media, Bull. Seismol. Soc. Am., 71, 959-971, 1981.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
「長周期地震動予測地図」2009年版の作成 - 想定東海地震・東南海地震・宮城県沖地震 -	纈纈一起・三宅弘恵・引間和人・木村武志・古村孝志・藤原広行・橋本徹夫・石井透・吾妻瞬一・室谷智子・早川崇・渡辺基史・鈴木晴彦	日本地球惑星科学連合2009年大会	2009年5月	国内
震度データによる安政江戸地震の断層モデルの推定	引間和人・纈纈一起	日本地球惑星科学連合2009年大会	2009年5月	国内
繰り返すスラブ内地震(2)	丸山岳朗・纈纈一起・三宅弘恵・松原誠	日本地震学会2009年秋季大会	2009年5月	国内
Ambient noise Green's function simulation of long-period ground motions for reverse faulting	Miyake, H., and G. C. Beroza	米国地球物理学連合2009年秋季大会	2009年5月	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
A proposal for a standard procedure of modeling 3-D velocity structures and its application to the Tokyo	Koketsu, K., H. Miyake, Afnimar and Y. Tanaka	Tectonophysics, 472, 290-300	2009年7月	国際

metropolitan area, Japan				
地下構造モデルと強震動シミュレーション	纈纈一起・三宅弘恵	地震	2009年7月	国内
Source fault of the 2007 Chuetsu-oki, Japan, earthquake	Miyake, H., K. Koketsu, K. Hikima, M. Shinohara, and T. Kanazawa	Bull. Seismol. Soc. Am.	2010年1月	国際
長周期地震動予測地図	纈纈一起・三宅弘恵	日本地震工学会誌	2010年1月	国内

#### マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果	対応者氏名	報道・掲載機関	発表時期	国際・国内の別
阪神大震災から15年(上)	纈纈一起	朝日新聞朝刊	2010年1月8日	国内
NHKスペシャル・MEGAQUAKE第3回「巨大都市を未知の揺れが襲う：長周期地震動の脅威」	纈纈一起	NHK	2010年3月7日	国内

#### (f) 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22年度業務計画案

1) 首都圏に脅威をもたらした過去の地震の解析結果をもとに、首都直下で懸念される地震の震源位置を絞込み震源断層モデルを構築する。

2) 相模トラフから南海トラフに至る領域で過去に発生し首都圏に脅威をもたらした地震についての解析から得られた結果をもとに、震源断層の位置するプレート形状モデル・地震波伝播経路にあたる地下構造モデル・震源断層モデルの構築を完成させ、長周期地震動予測地図を高度化する。

表 1. 地下構造モデルの物性値

層番号	P 波速度 $V_p$ (km/s)	S 波速度 $V_s$ (km/s)	密度 ( $g/cm^3$ )	Q 値	備考
1	1.7	0.35	1.80	70	
2	1.8	0.50	1.95	100	
3	2.0	0.60	2.00	120	
4	2.1	0.70	2.05	140	
5	2.2	0.80	2.07	160	
6	2.3	0.90	2.10	180	
7	2.4	1.00	2.15	200	付加体
8	2.7	1.30	2.20	260	
9	3.0	1.50	2.25	300	
10	3.2	1.70	2.30	340	
11	3.5	2.00	2.35	400	
12	4.2	2.40	2.45	400	
13	5.0	2.90	2.60	400	地震基盤 (近畿圏)
14	5.5	3.20	2.65	400	地震基盤
15	6.0	3.53	2.70	400	上部地殻
16	6.7	3.94	2.80	400	下部地殻
17	7.8	4.60	3.20	500	マントル
18	5.0	2.90	2.40	200	海洋性地殻第 2 層
19	6.8	4.00	2.90	300	海洋性地殻第 3 層
20	8.0	4.70	3.20	500	海洋性マントル

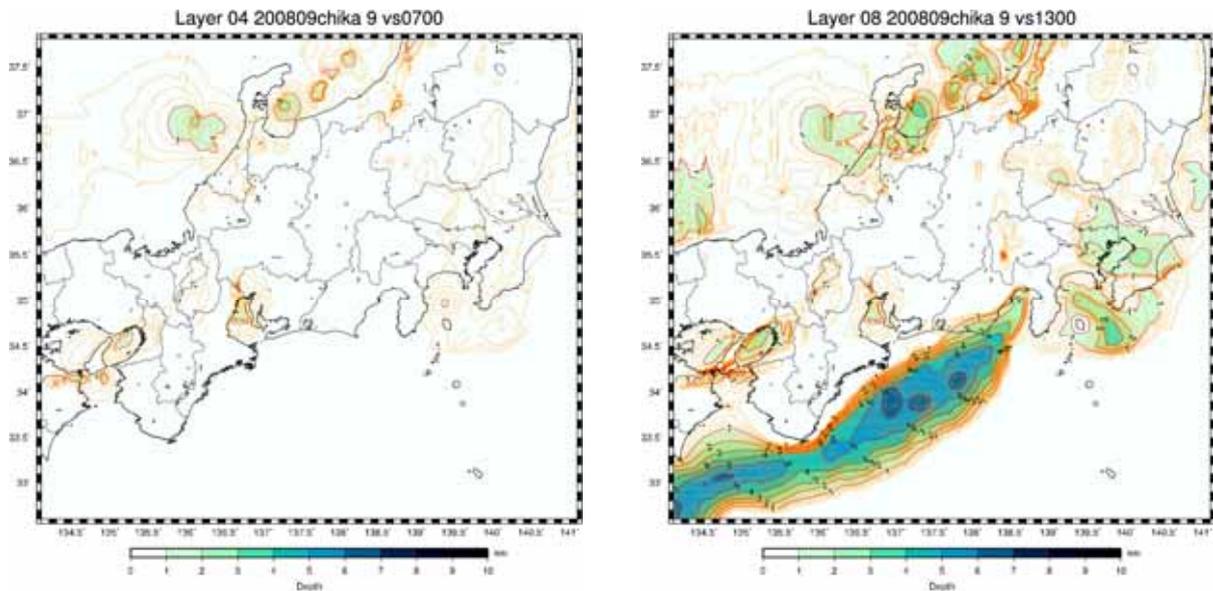


図 1(a) . 長周期地震動予測地図作成に用いた地下構造モデル。  
 速度層の上面深さの分布。  
 左 : S 波速度 700m/s。右 : S 波速度 1,300m/s。

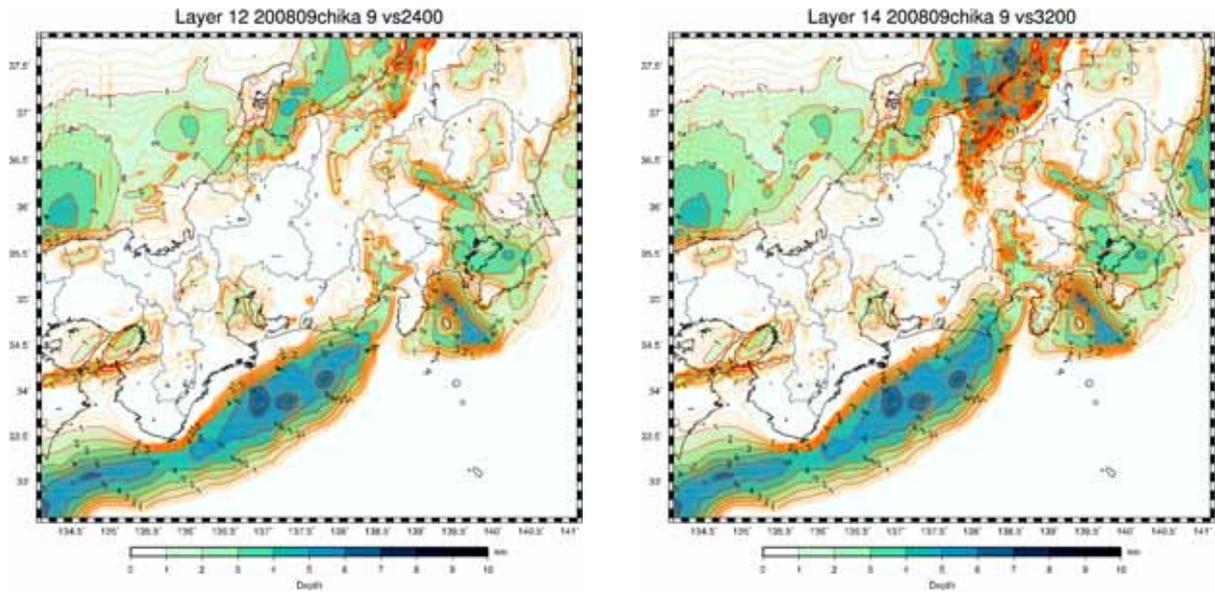


図 1(b) . 長周期地震動予測地図作成に用いた地下構造モデル。  
 速度層の上面深さの分布。  
 左 : S 波速度 2,400m/s。右 : S 波速度 3,200m/s。

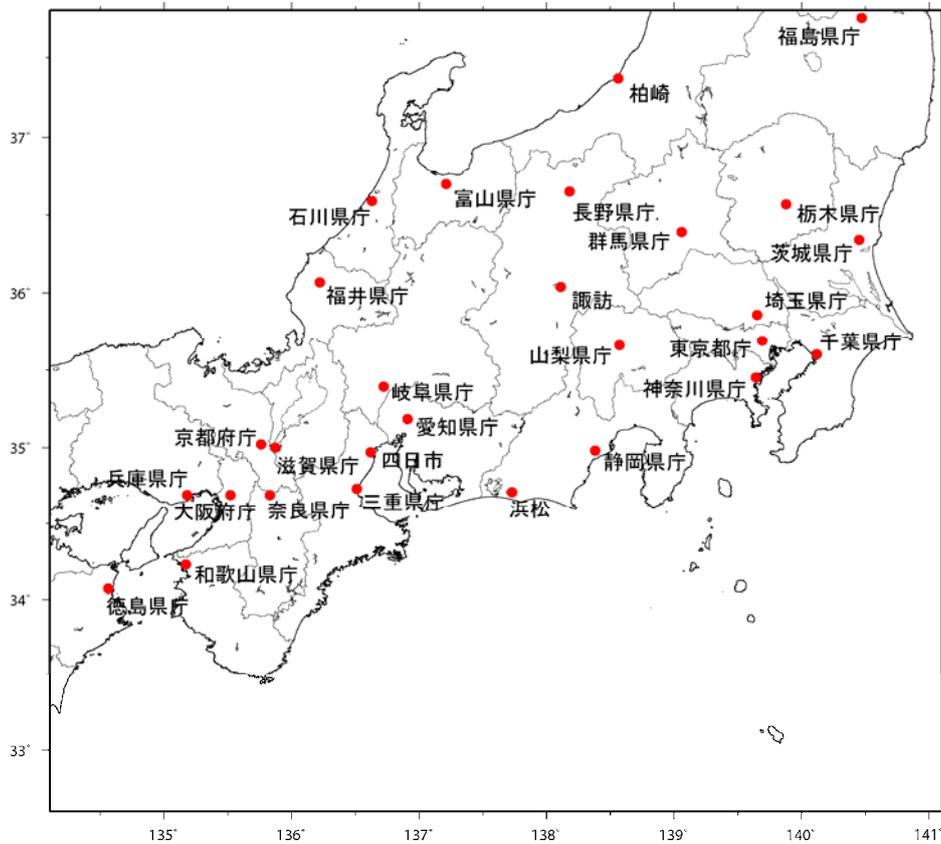


図 2 . 想定東海地震による長周期地震動の時刻歴波形を評価した代表地点。

表 2 . 想定東海地震の断層パラメータ一覧

	本検討	中央防災会議 (2001)
<b>巨視的断層パラメータ</b>		
走向 (degree)	平均 220 (205-235)	variable
傾斜 (degree)	平均 15 (10-20)	variable
すべり角 (degree)	90	Sagiya (1999)
断層面積 $S$ (km <sup>2</sup> )	約 9400	約 9400
投影断層面積 (km <sup>2</sup> )	9100 (~ $S * \cos(\text{dip})$ )	
静的応力降下量 $\Delta\sigma_c$ (MPa)	3.0	3.0
地震モーメント $M_0$ (Nm)	1.12E+21 (= $S^{1.5} * \Delta\sigma_c / (7\pi^{1.5}/16)$ )	1.10E+21 (= $S^{1.5} * \Delta\sigma_c / 2.5$ )
モーメントマグニチュード	7.97	7.96
剛性率 $\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	3.48E+10	4.10E+10
平均すべり量 $D$ (m)	3.42	2.85
<b>微視的断層パラメータ</b>		
全アスペリティの面積 $S_a$ (km <sup>2</sup> )	約 1786 (= 0.19 $S$ )	約 2900 (= 0.30 $S$ )
投影アスペリティ面積 (km <sup>2</sup> )	1700 (~ $S_a * \cos(\text{dip})$ )	
平均すべり量 $D_a$ (m)	7.18 (= 2.1 $D$ )	5.25
地震モーメント $M_{0a}$ (Nm)	4.46E+20	6.27E+20
応力降下量 $\Delta\sigma_a$ (MPa)	15.8 (= $\Delta\sigma_c * S / S_a$ )	22 (クラック式)
ライズタイム $T_a$ (s)	5.53 と 3.70	
アスペリティの個数	3	6
背景領域の面積 $S_b$ (km <sup>2</sup> )	約 7614	約 6500
投影背景領域面積 (km <sup>2</sup> )	7400 (~ $S_b * \cos(\text{dip})$ )	
地震モーメント $M_{0b}$ (Nm)	6.73E+20	5.01E+20
平均すべり量 $D_b$ (m)	2.54	1.78
実効応力 $\sigma_b$ (MPa)	3.16 (= 0.2 * $\Delta\sigma_a$ )	2.3 (クラック式)
ライズタイム $T_b$ (s)	11.11	
$f_{max}$ (Hz)	6	6
震源時間関数	中村・宮武 (2000)	
<b>その他の断層パラメータ</b>		
破壊伝播様式	同心円状	同心円状
破壊伝播速度 $V_r$ (km/s)	2.7 以上	2.7

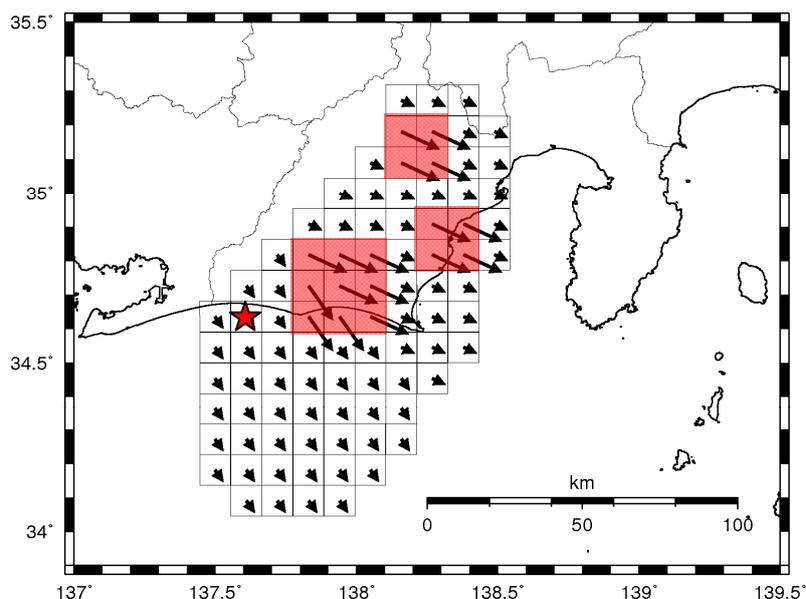


図 3 . 想定東海地震の震源モデル。  
 は破壊開始点。 はアスペリティ。矢印はすべりの方向。

表 3 . 想定東海地震のすべり時間関数パラメタ

領域		アスペリティ			背景領域
		No.1	No.2	No.3	
断層幅	W [km]	30	20		60
最終すべり量	D [m]	7.18	7.18		2.54
実効応力	[MPa]	15.8	15.8		3.16
密度	[g/cm <sup>3</sup> ]	2.75	2.75		2.75
せん断波速度	[km/s]	3.555	3.555		3.555
剛性率	$\mu$ [GPa]	34.8	34.8		34.8
破壊伝播速度	Vr [km/s]	2.7	2.7		2.7
fmax	[Hz]	6	6		6
最大すべり速度	vm [m/s]	14.1	11.6		4
最大すべり速度 到達時間	td [s]	0.054	0.054		0.054
ライスタイム	tr [s]	5.53	3.70		11.11
すべり終了時間	ts [s]	8.333	5.556		16.67
Kostrov型関数に 移行する時間	tb [s]	0.083	0.074		0.084

Vm ~ tb は中村・宮武のすべり時間関数を算定する際、結果として算定されるもの



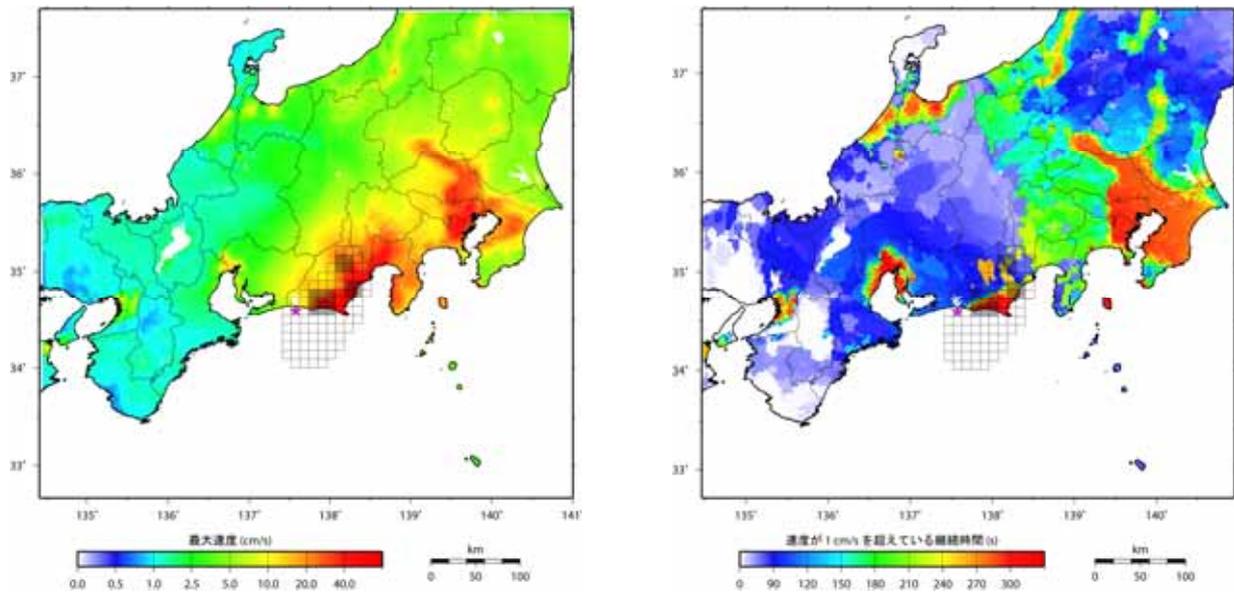


図 5 . 想定東海地震による長周期地震動の最大速度分布と継続時間分布。  
 左：最大速度値分布。右：速度振幅が 1cm/s を超えている地震動継続時間。  
 □：破壊開始点。 □：震源断層。 □：アスペリティ領域。

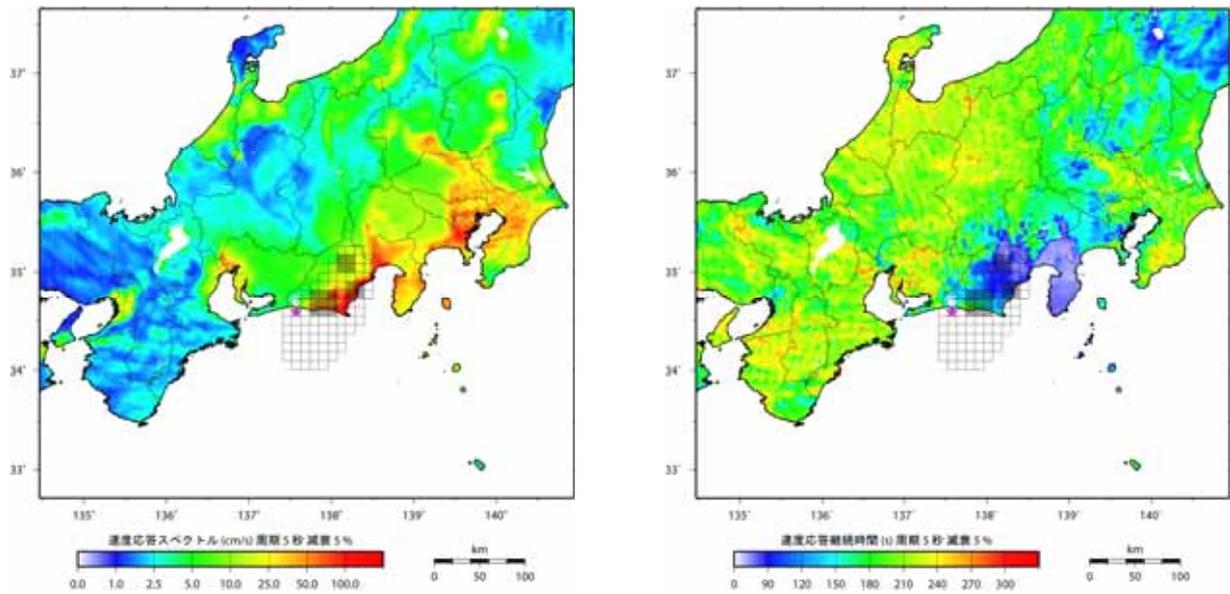


図 6(a) . 想定東海地震による長周期地震動速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布と速度応答継続時間分布。減衰定数 5%。

左：速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布。右：継続時間。  
 : 破壊開始点。 : 震源断層。 : アスペリティ領域。

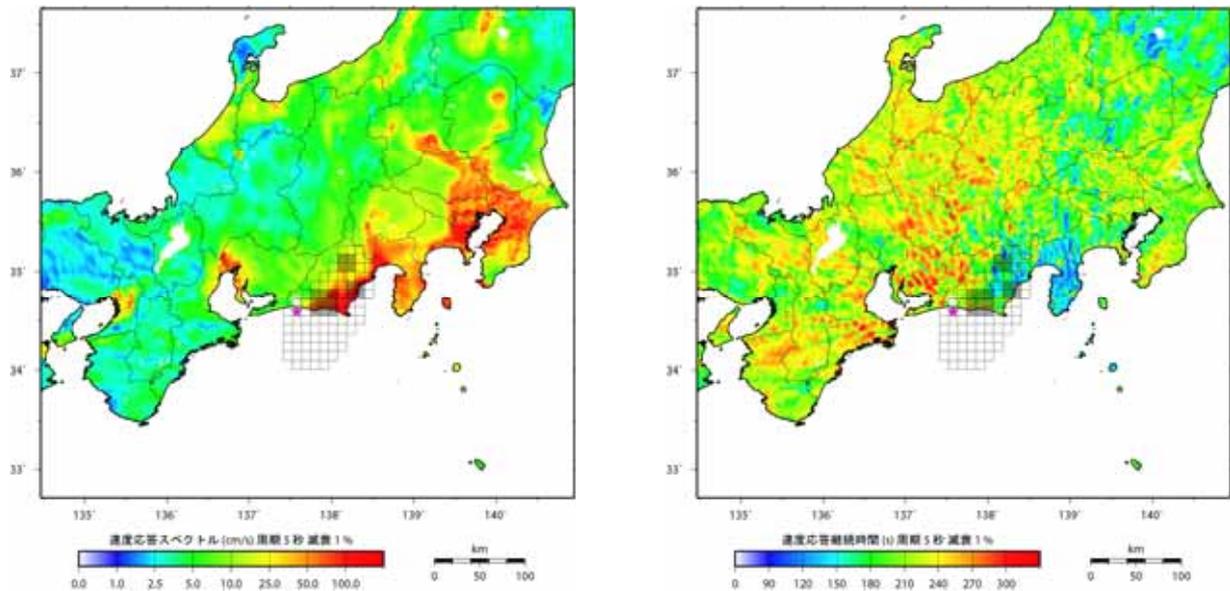


図 6(b) . 想定東海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布と速度応答継続時間分布。減衰定数 1%。

左：速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布。右：継続時間。  
 : 破壊開始点。 : 震源断層。 : アスペリティ領域。

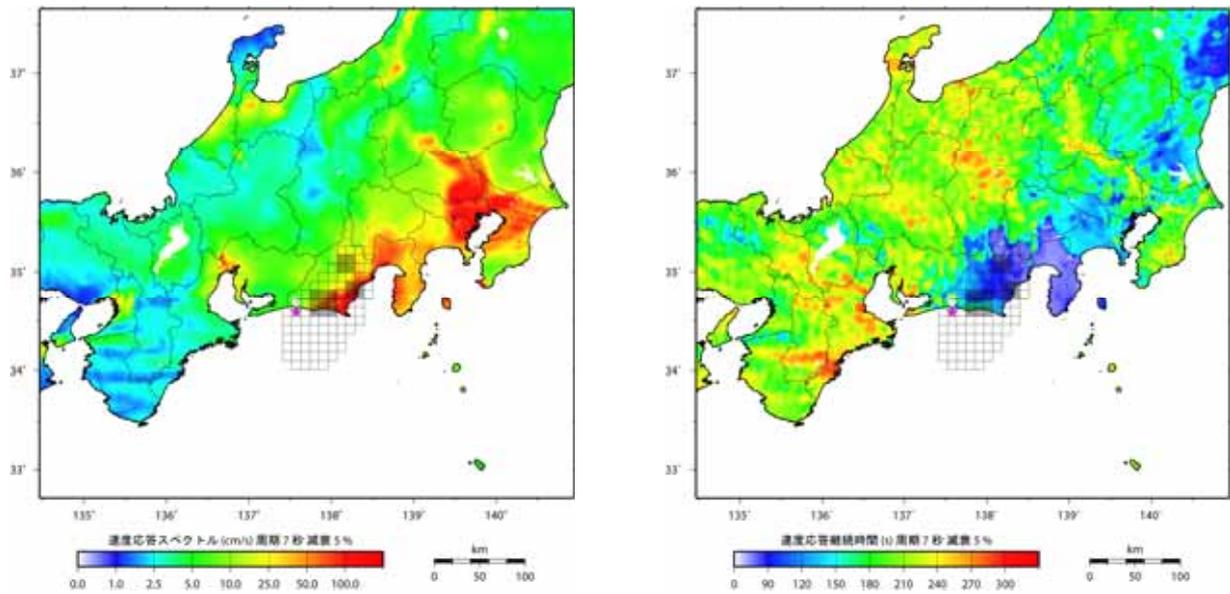


図 7(a) . 想定東海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル周期 7 秒の振幅分布と速度応答継続時間分布。減衰定数 5%。

左：速度応答スペクトル周期 7 秒の振幅分布。右：継続時間。  
 : 破壊開始点。 : 震源断層。 : アスペリティ領域。

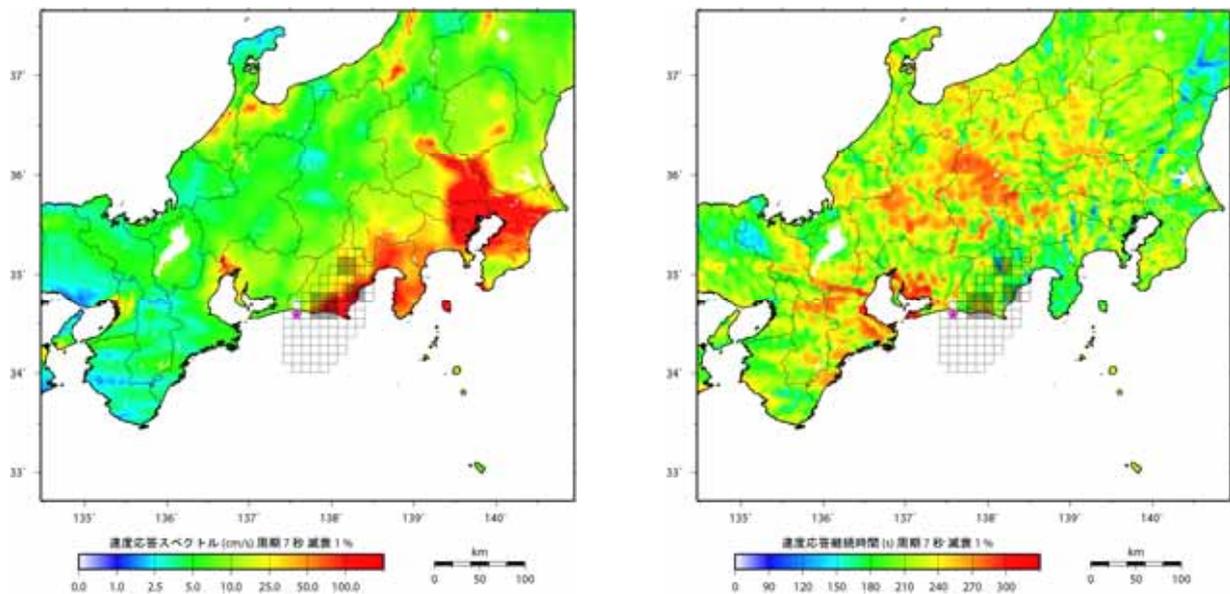


図 7(b) . 想定東海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル周期 7 秒の振幅分布と速度応答継続時間分布。減衰定数 1%。

左：速度応答スペクトル周期 7 秒の振幅分布。右：継続時間。  
 : 破壊開始点。 : 震源断層。 : アスペリティ領域。

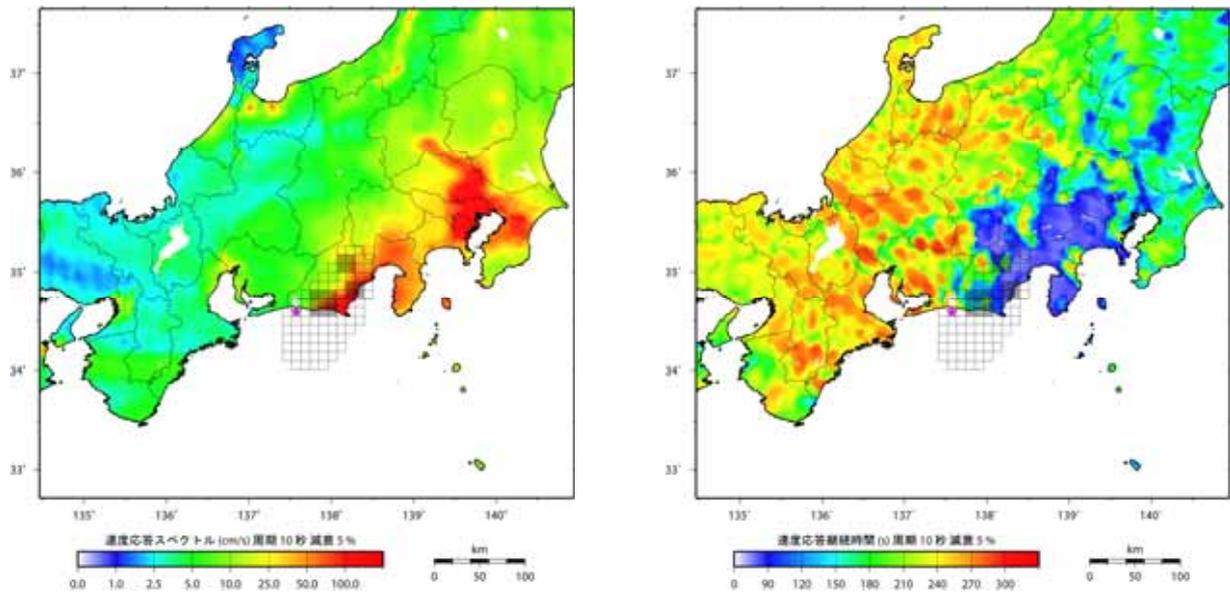


図 8(a) . 想定東海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル周期 10 秒の振幅分布と速度応答継続時間分布。減衰定数 5%。

左：速度応答スペクトル周期 10 秒の振幅分布。右：継続時間。  
 : 破壊開始点。 : 震源断層。 : アスペリティ領域。

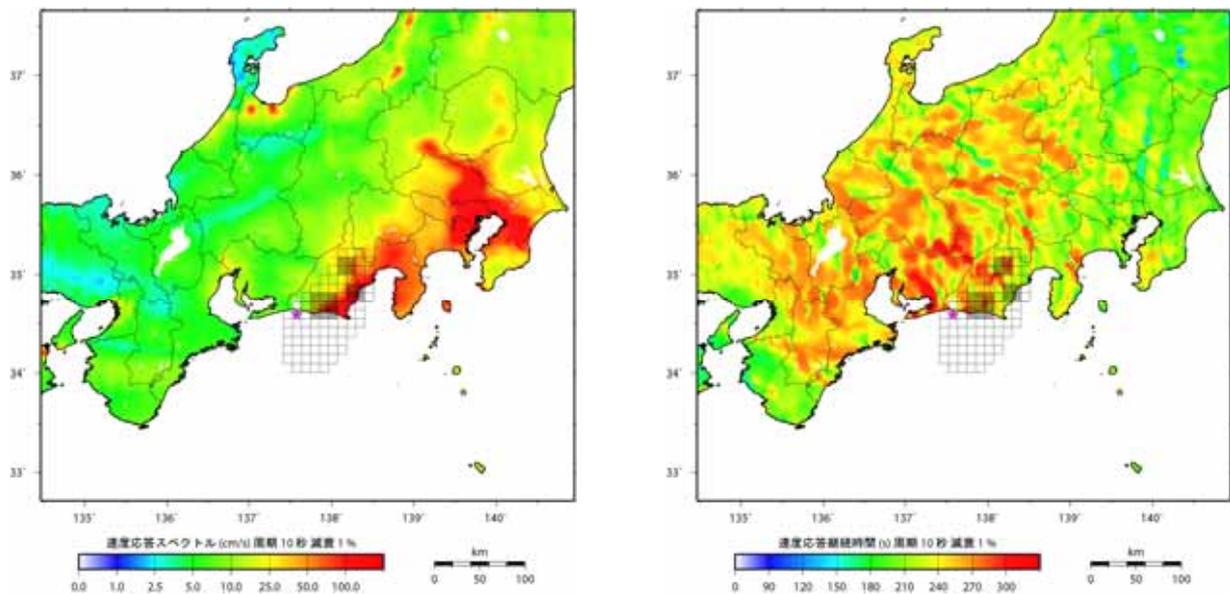


図 8(b) . 想定東海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル周期 10 秒の振幅分布と速度応答継続時間分布。減衰定数 1%。

左：速度応答スペクトル周期 10 秒の振幅分布。右：継続時間。  
 : 破壊開始点。 : 震源断層。 : アスペリティ領域。

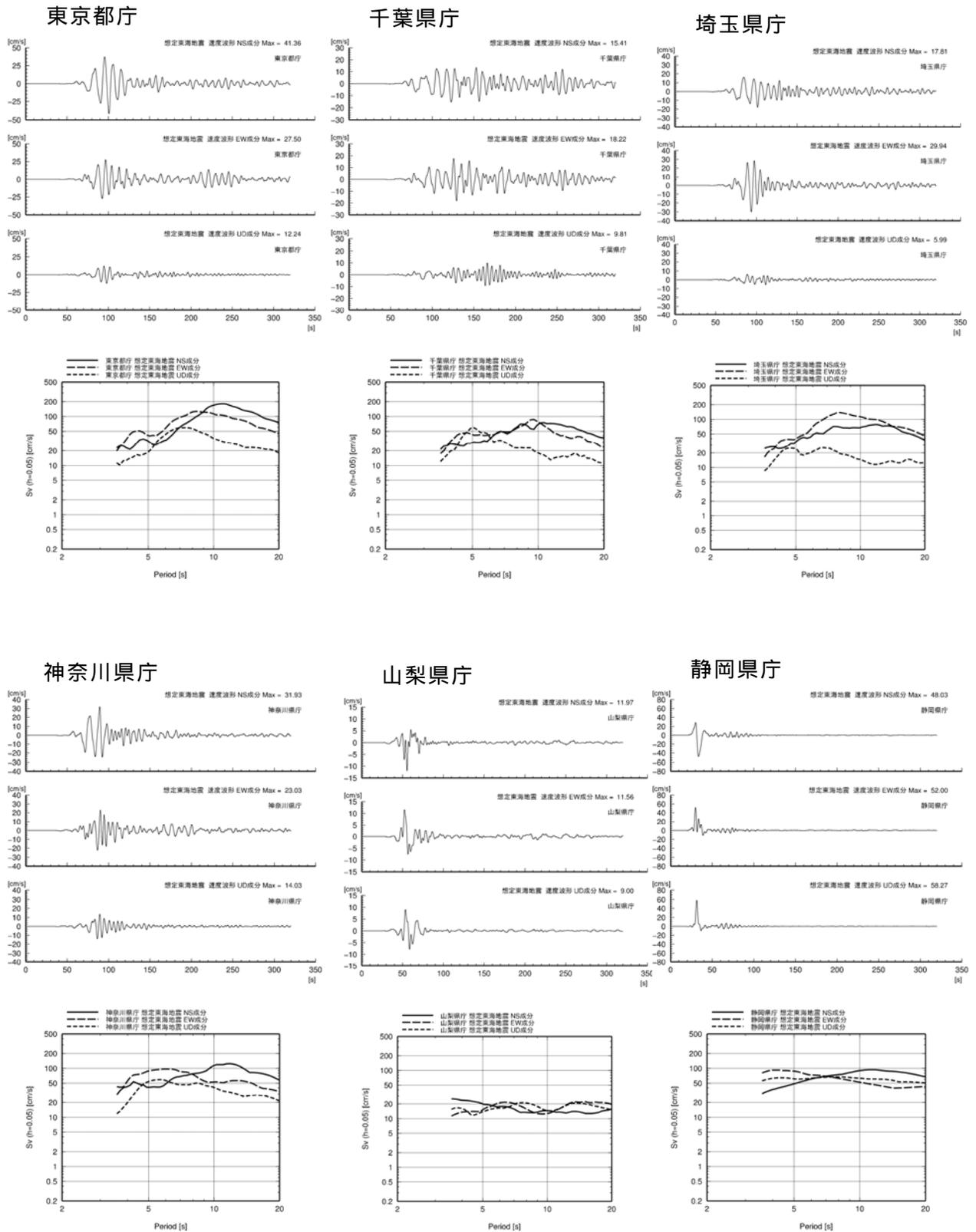


図 9(a) . 想定東海地震による長周期地震動の時刻歴波形と減衰定数 5% の速度応答スペクトル。  
 上段：速度波形。上から、南北成分、東西成分、上下成分。  
 下段：速度応答スペクトル。実線は南北成分、破線は東西成分、点線は上下成分。

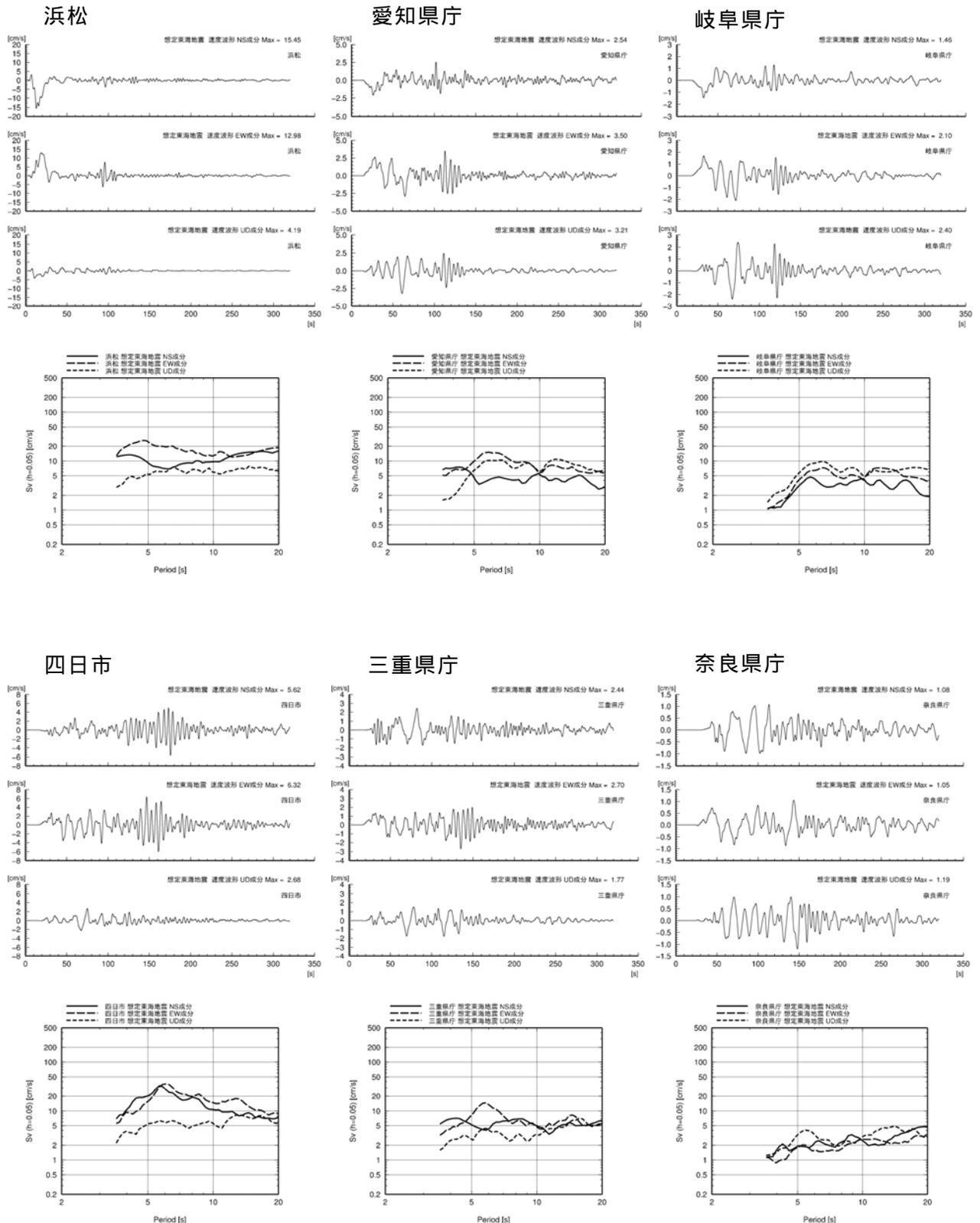


図 9(b) . 想定東海地震による長周期地震動の時刻歴波形と減衰定数 5% の速度応答スペクトル。  
 上段：速度波形。上から、南北成分、東西成分、上下成分。  
 下段：速度応答スペクトル。実線は南北成分、破線は東西成分、点線は上下成分。

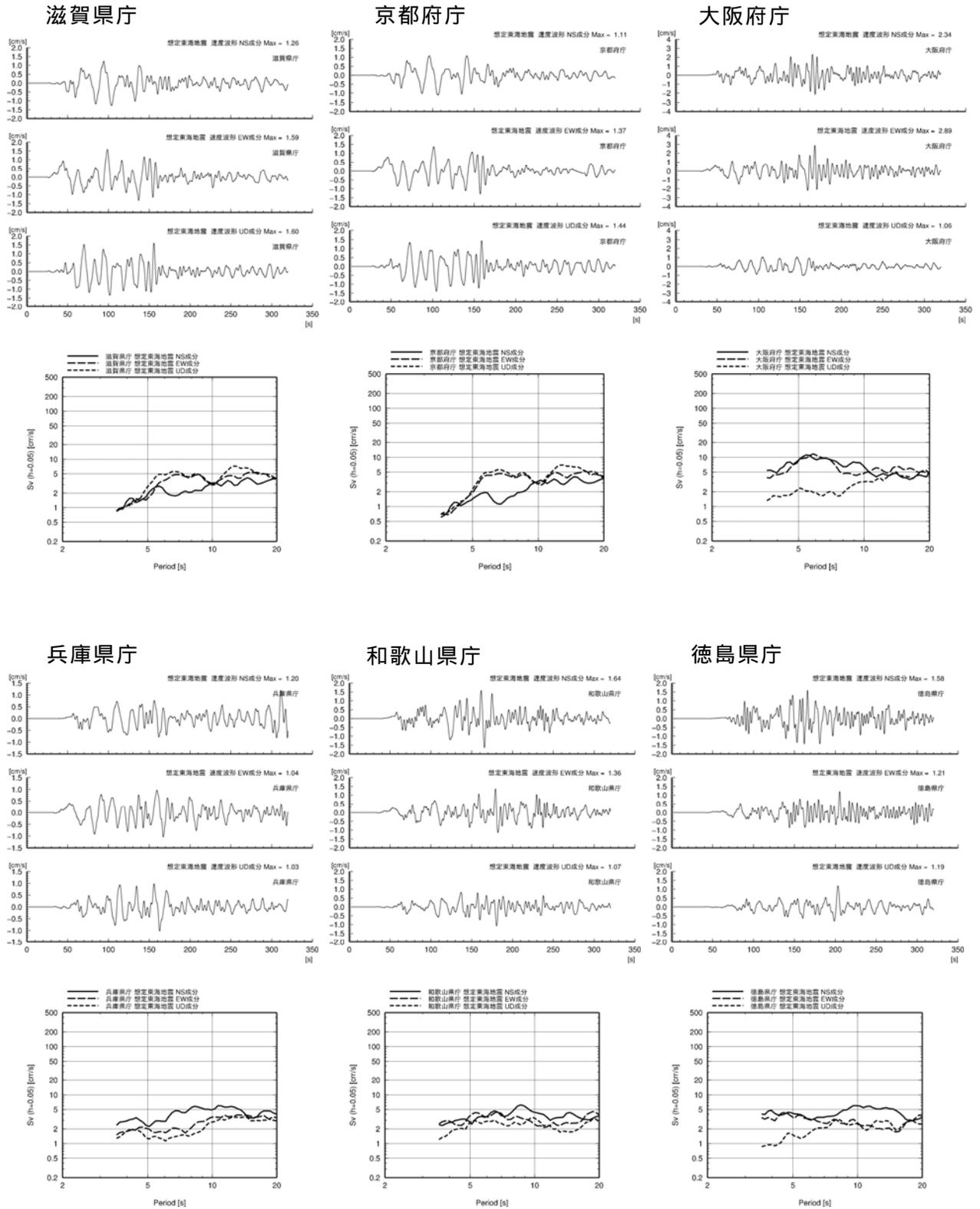


図 9(c) . 想定東海地震による長周期地震動の時刻歴波形と減衰定数 5% の速度応答スペクトル。  
 上段：速度波形。上から、南北成分、東西成分、上下成分。  
 下段：速度応答スペクトル。実線は南北成分、破線は東西成分、点線は上下成分。

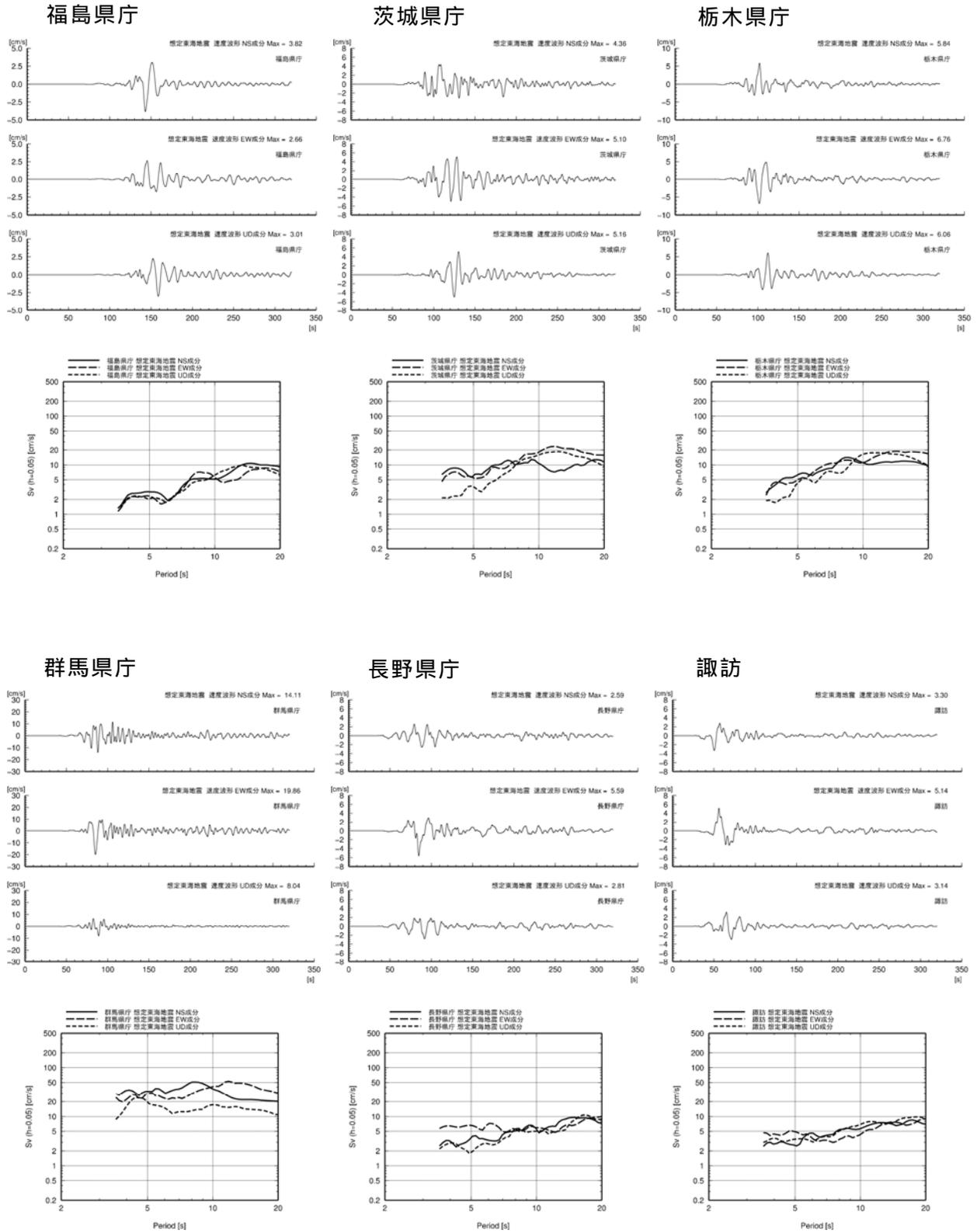


図 9(d) . 想定東海地震による長周期地震動の時刻歴波形と減衰定数 5% の速度応答スペクトル。  
 上段：速度波形。上から、南北成分、東西成分、上下成分。  
 下段：速度応答スペクトル。実線は南北成分、破線は東西成分、点線は上下成分。

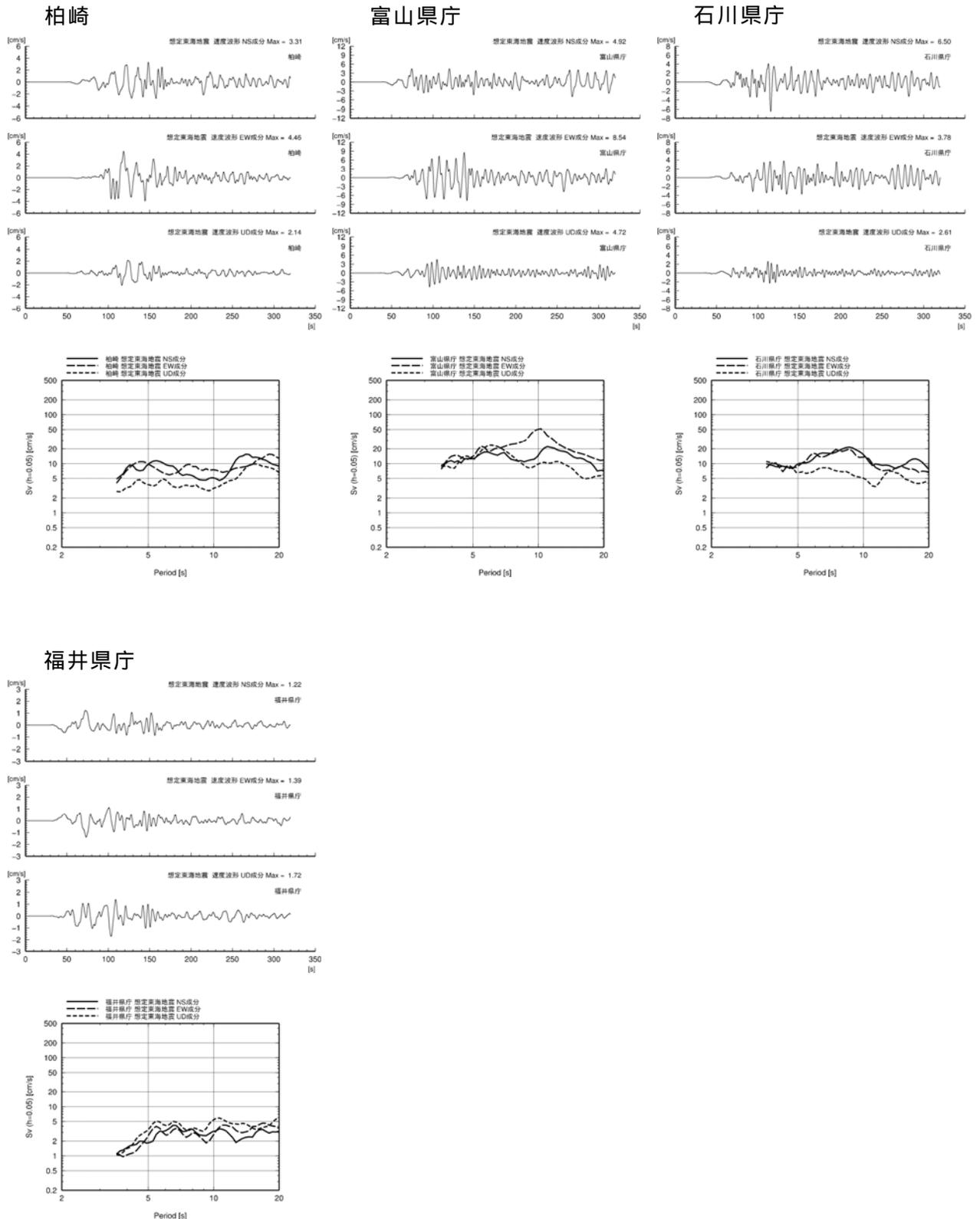
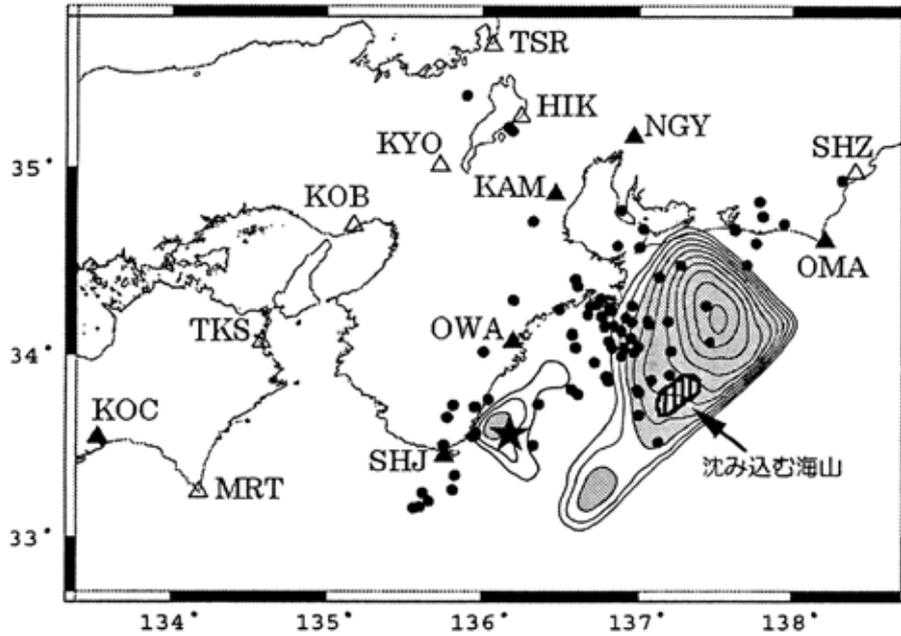


図 9(e) . 想定東海地震による長周期地震動の時刻歴波形と減衰定数 5% の速度応答スペクトル。  
 上段：速度波形。上から、南北成分、東西成分、上下成分。  
 下段：速度応答スペクトル。実線は南北成分、破線は東西成分、点線は上下成分。



Tonankai 44/12/07  
 $M_0=1.48E+21Nm$   $M_w=8.1$   $Ver.=0.3317$

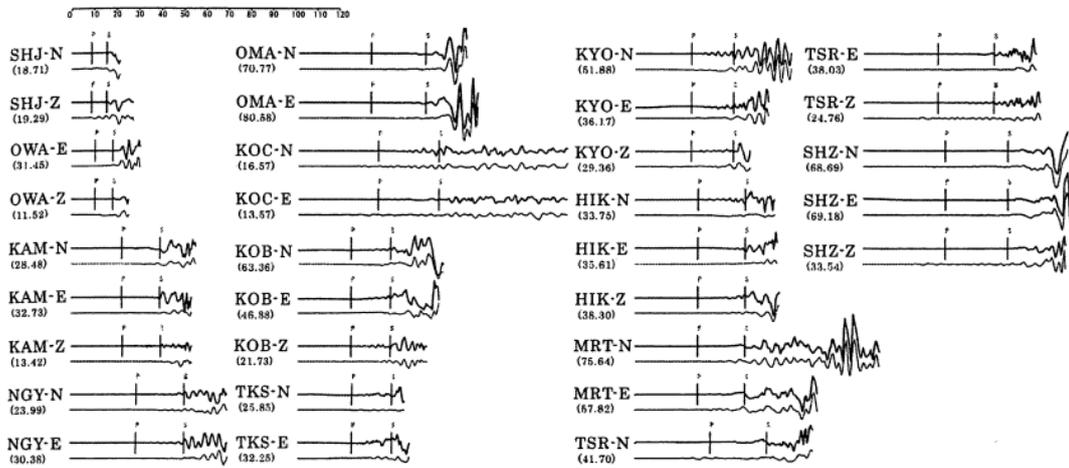
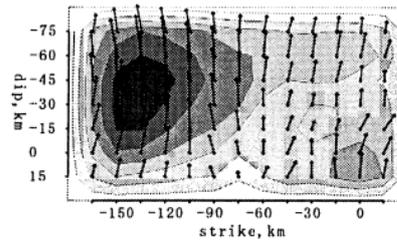
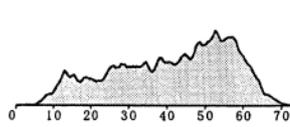
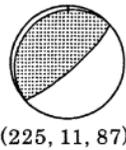


図2 求められたメカニズム、震源時間関数、すべり分布、観測波形(上段)と理論波形(下段)の比較。各記録の左側の記号は観測点コードと成分、数字は観測波形の両振幅値。

図10. 東南海地震の震源モデル(山中, 2004より)。  
 震源断層のコンターは0.3m間隔のすべり量。

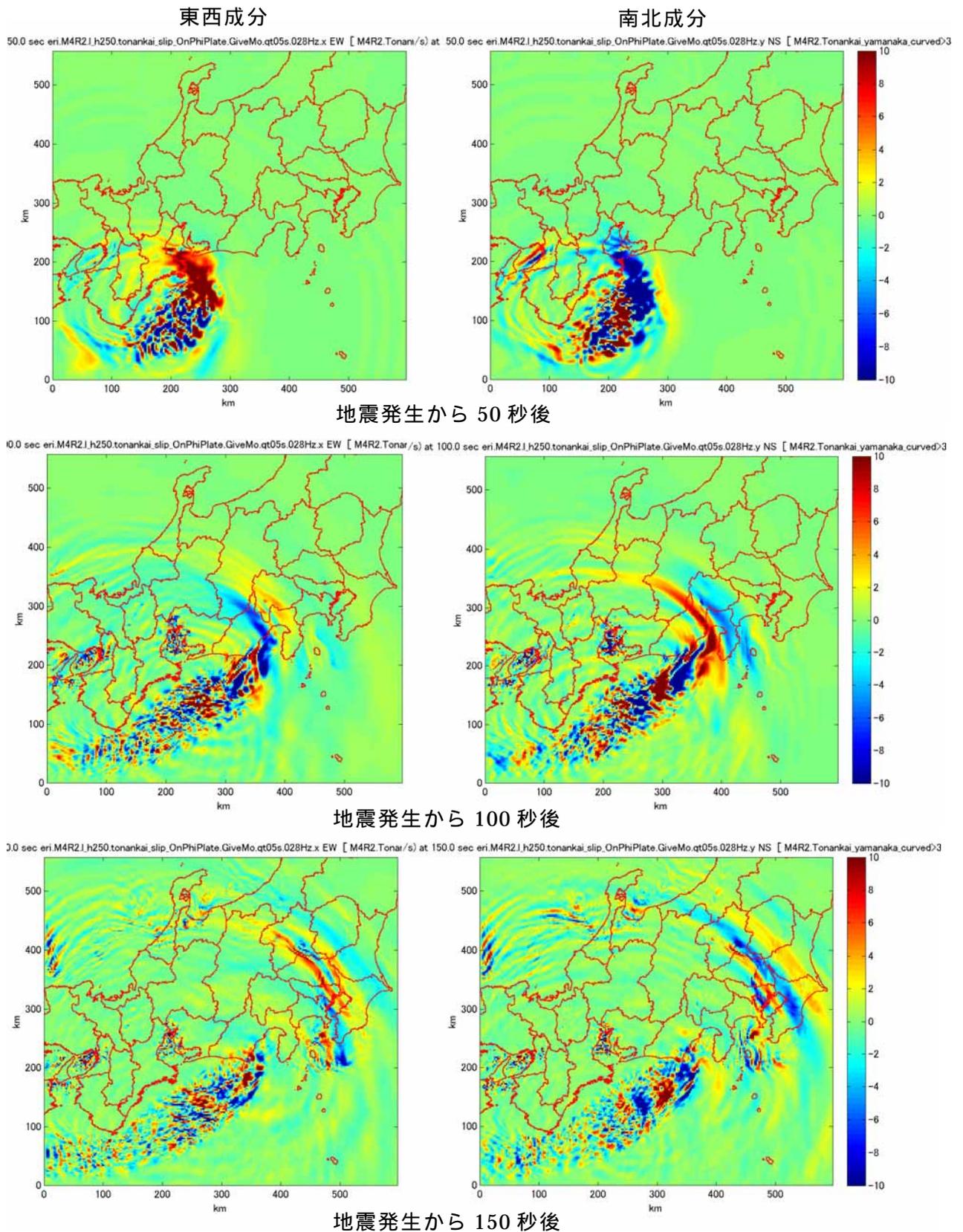


図 11 . 東南海地震による速度振幅のスナップショット。

左：東西成分。右：南北成分。

上段：地震発生から 50 秒後。中段：100 秒後。下段：150 秒後。

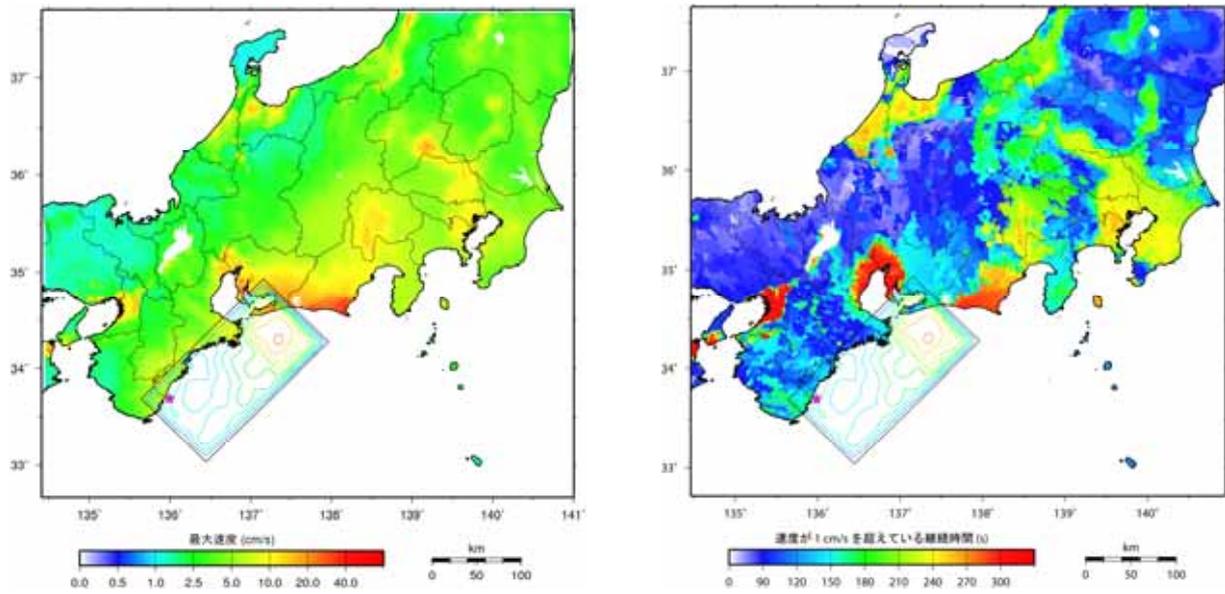


図 12 . 東南海地震による長周期地震動の最大速度分布と継続時間分布。  
 左：最大速度値分布。右：速度振幅が 1cm/s を超えている地震動継続時間。  
 ○：破壊開始点。震源断層のコンターはすべり量。

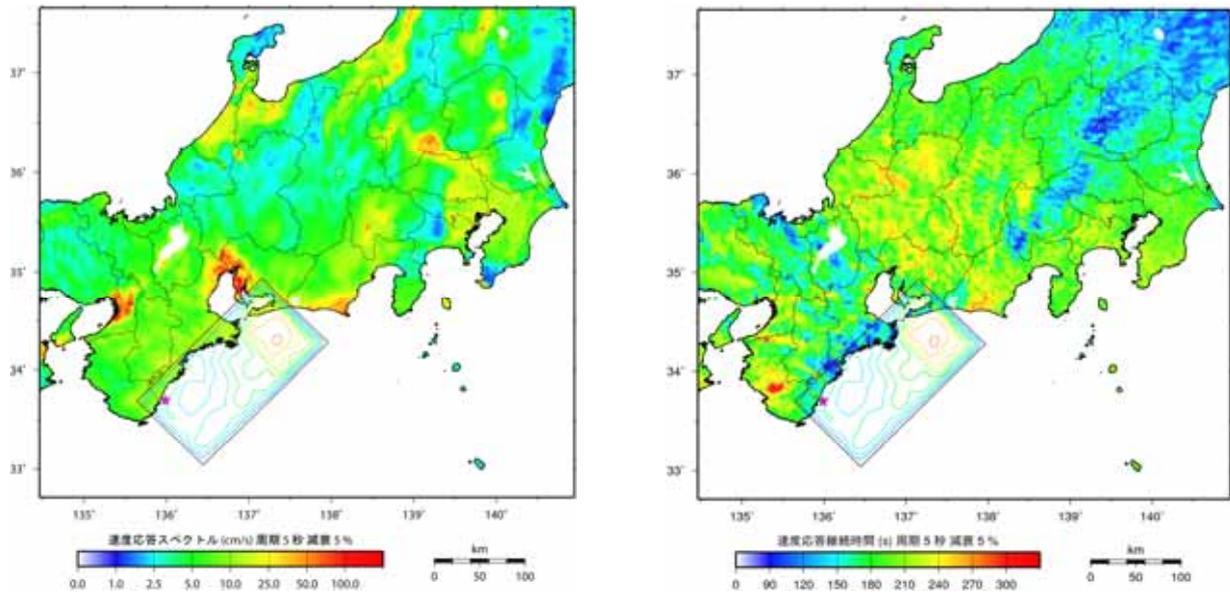


図 13(a) . 東南海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布と速度応答継続時間分布。減衰定数 5%。

左：速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布。右：継続時間。  
 ○：破壊開始点。震源断層のコンターはすべり量。

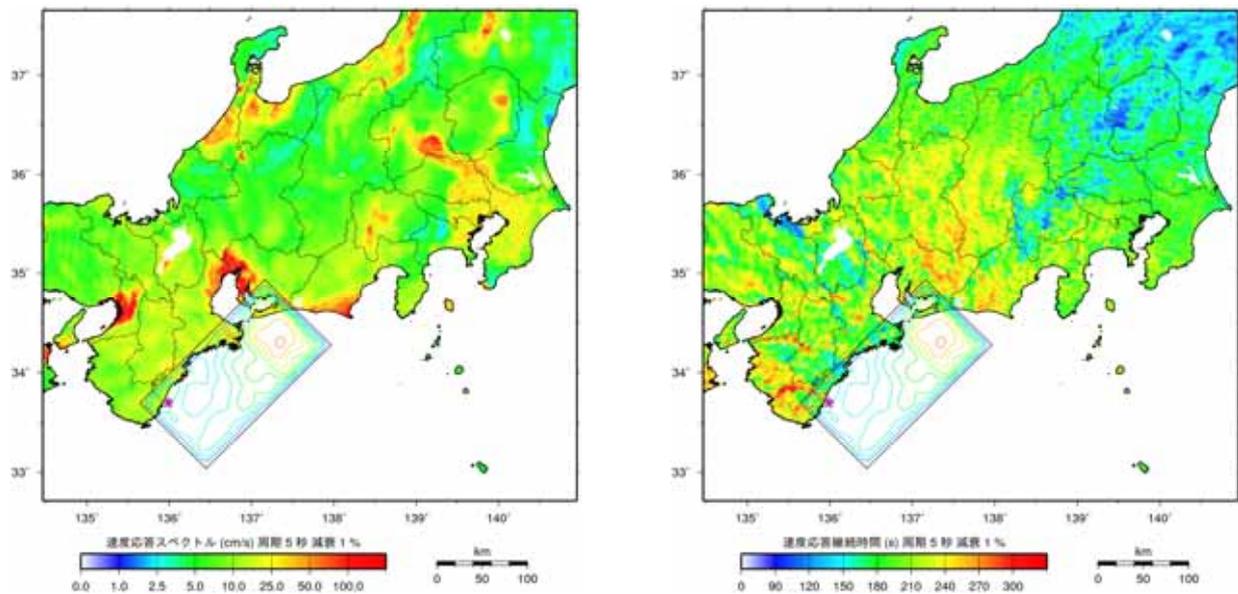


図 13(b) . 東南海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布と速度応答継続時間分布。減衰定数 1%。

左：速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布。右：継続時間。  
 ○：破壊開始点。震源断層のコンターはすべり量。

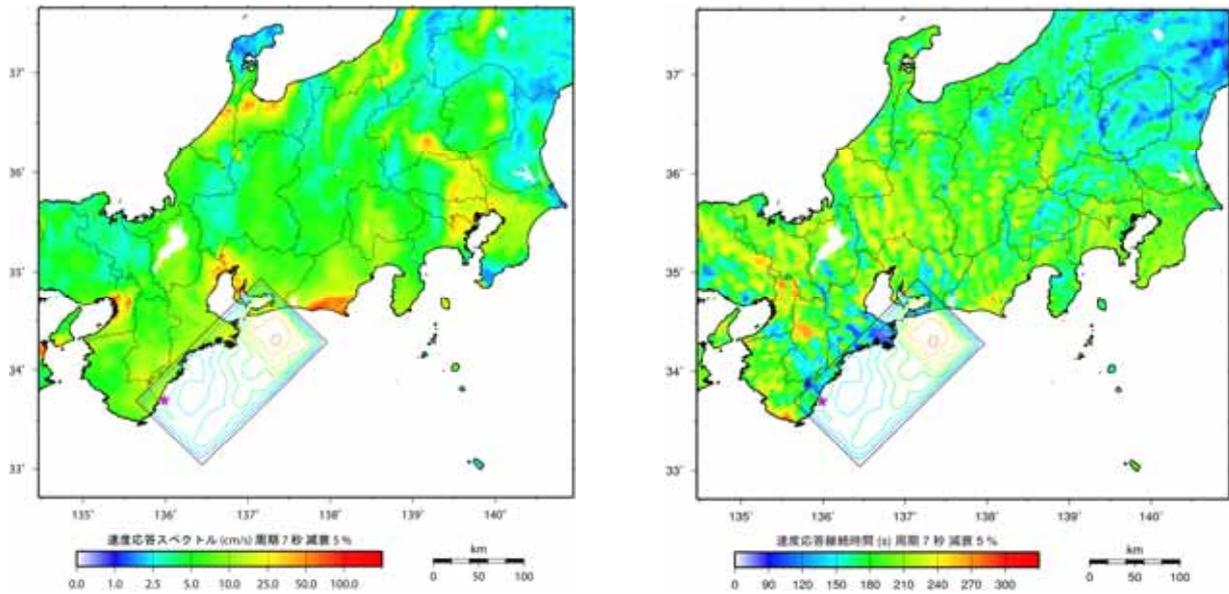


図 14(a) . 東南海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル周期 7 秒の振幅分布と速度応答継続時間分布。減衰定数 5%。  
 左：速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布。右：継続時間。  
 : 破壊開始点。震源断層のコンターはすべり量。

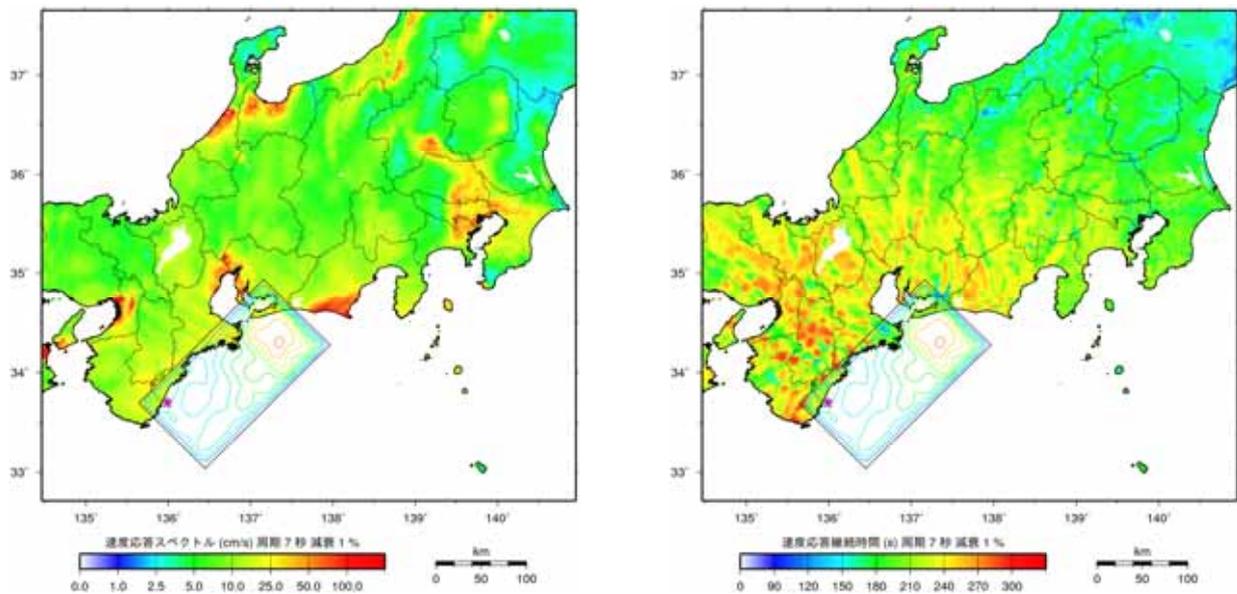


図 14(b) . 東南海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル周期 7 秒の振幅分布と速度応答継続時間分布。減衰定数 1%。  
 左：速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布。右：継続時間。  
 : 破壊開始点。震源断層のコンターはすべり量。

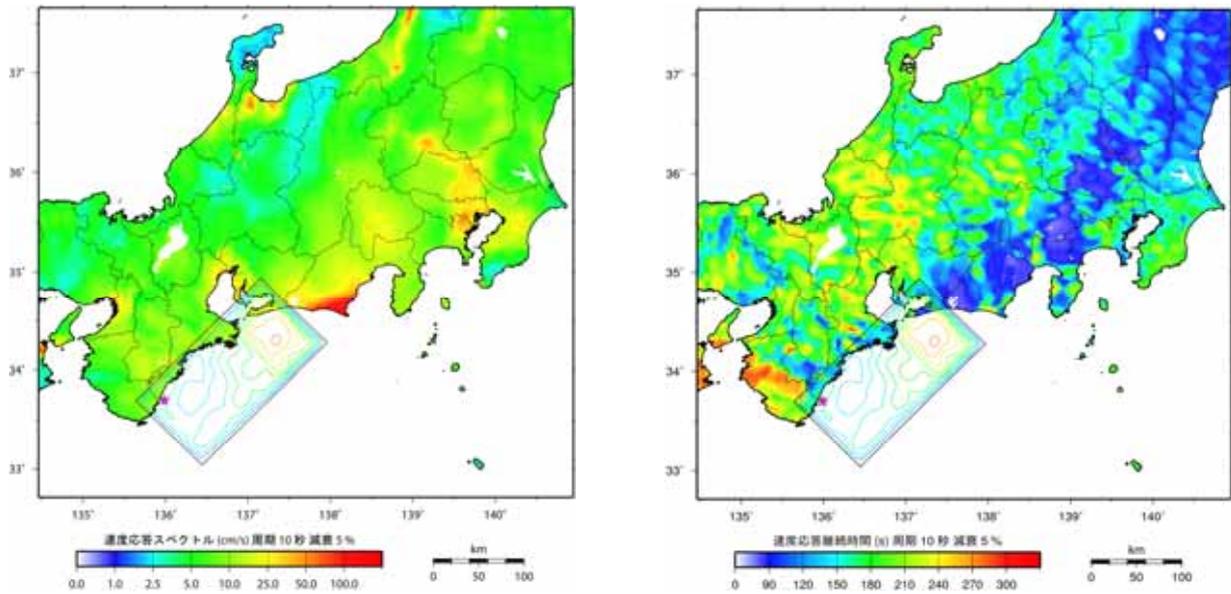


図 15(c) . 東南海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル周期 10 秒の振幅分布と速度応答継続時間分布。減衰定数 5%。  
 左：速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布。右：継続時間。  
 ○：破壊開始点。震源断層のコンターはすべり量。

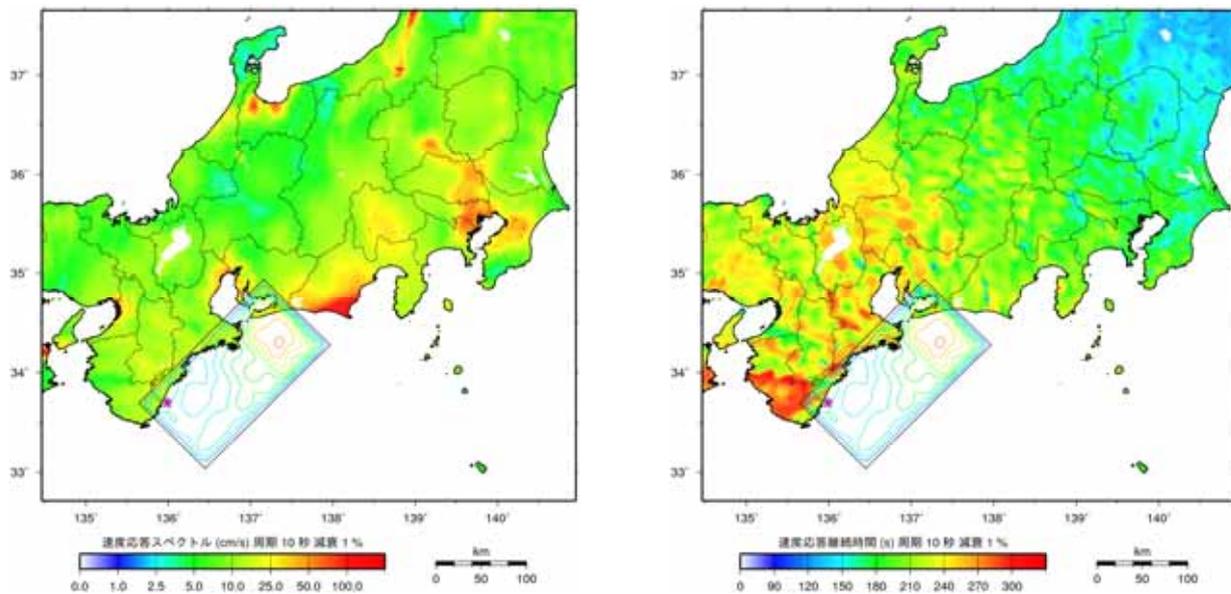


図 15(b) . 東南海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル周期 10 秒の振幅分布と速度応答継続時間分布。減衰定数 1%。  
 左：速度応答スペクトル周期 5 秒の振幅分布。右：継続時間。  
 ○：破壊開始点。震源断層のコンターはすべり量。

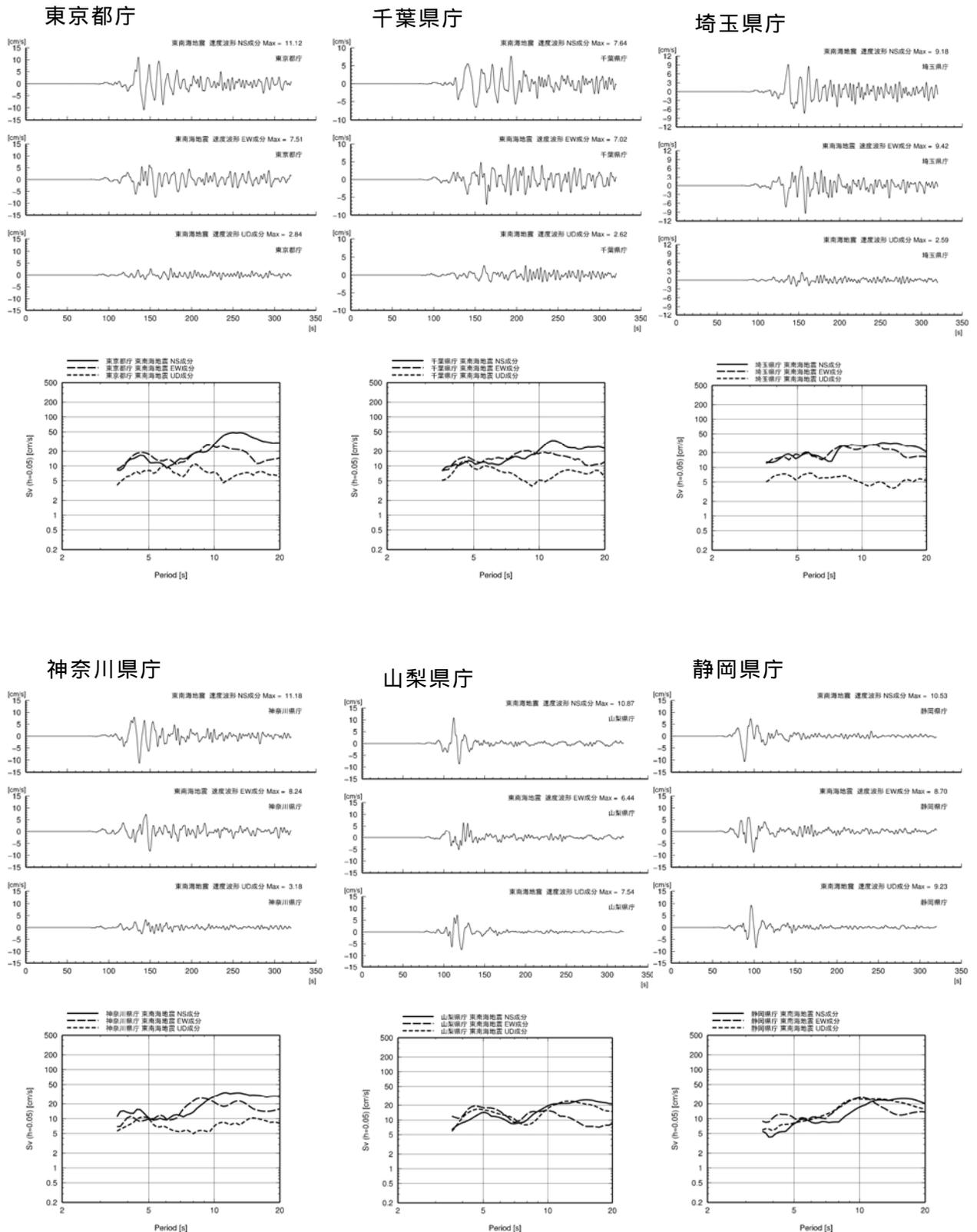


図 16(a) . 東南海地震による長周期地震動の時刻歴波形と減衰定数 5% の速度応答スペクトル。  
 上段：速度波形。上から、南北成分、東西成分、上下成分。  
 下段：速度応答スペクトル。実線は南北成分、破線は東西成分、点線は上下成分。

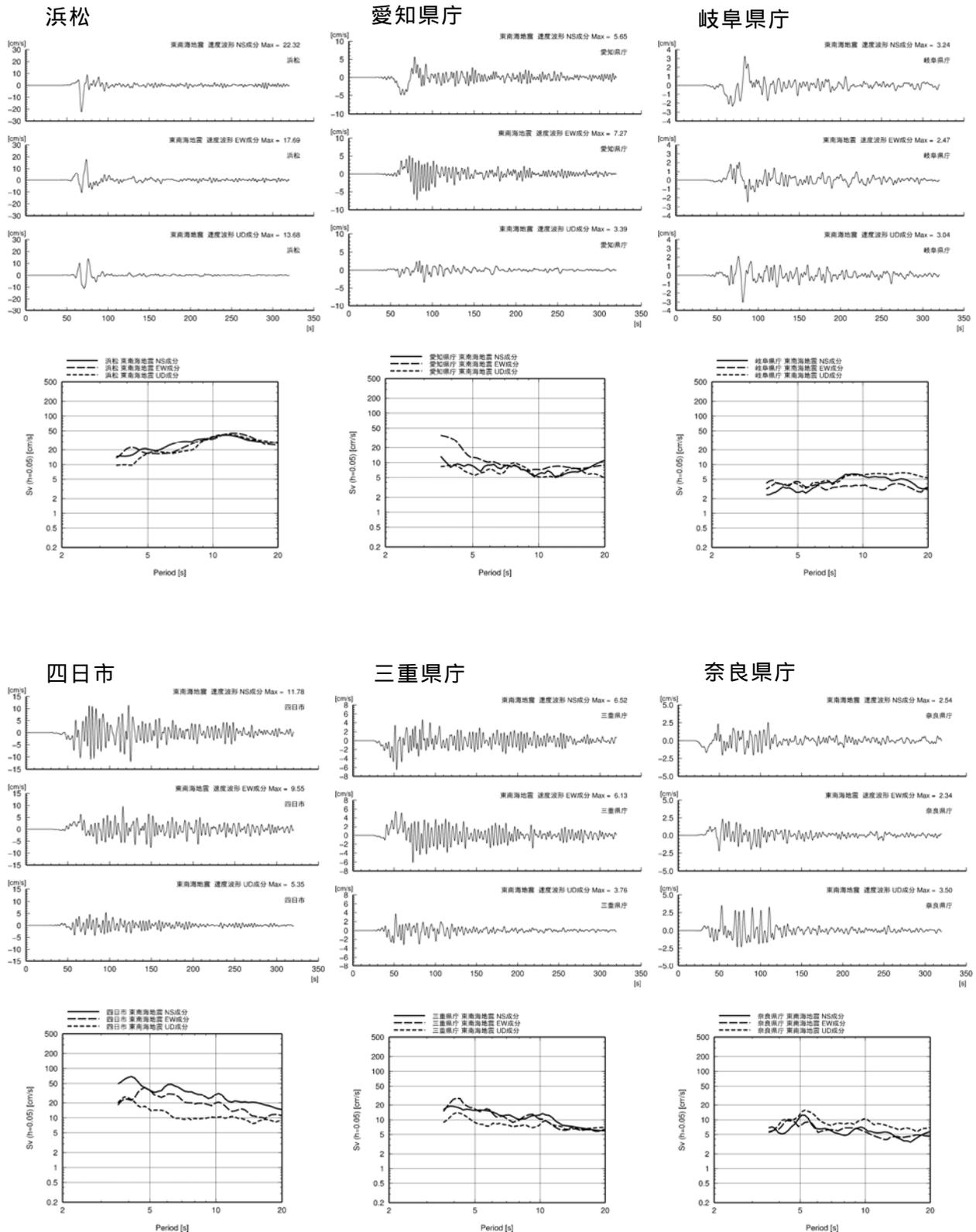


図 16(b) . 東南海地震による長周期地震動の時刻歴波形と減衰定数 5% の速度応答スペクトル。  
 上段：速度波形。上から、南北成分、東西成分、上下成分。  
 下段：速度応答スペクトル。実線は南北成分、破線は東西成分、点線は上下成分。

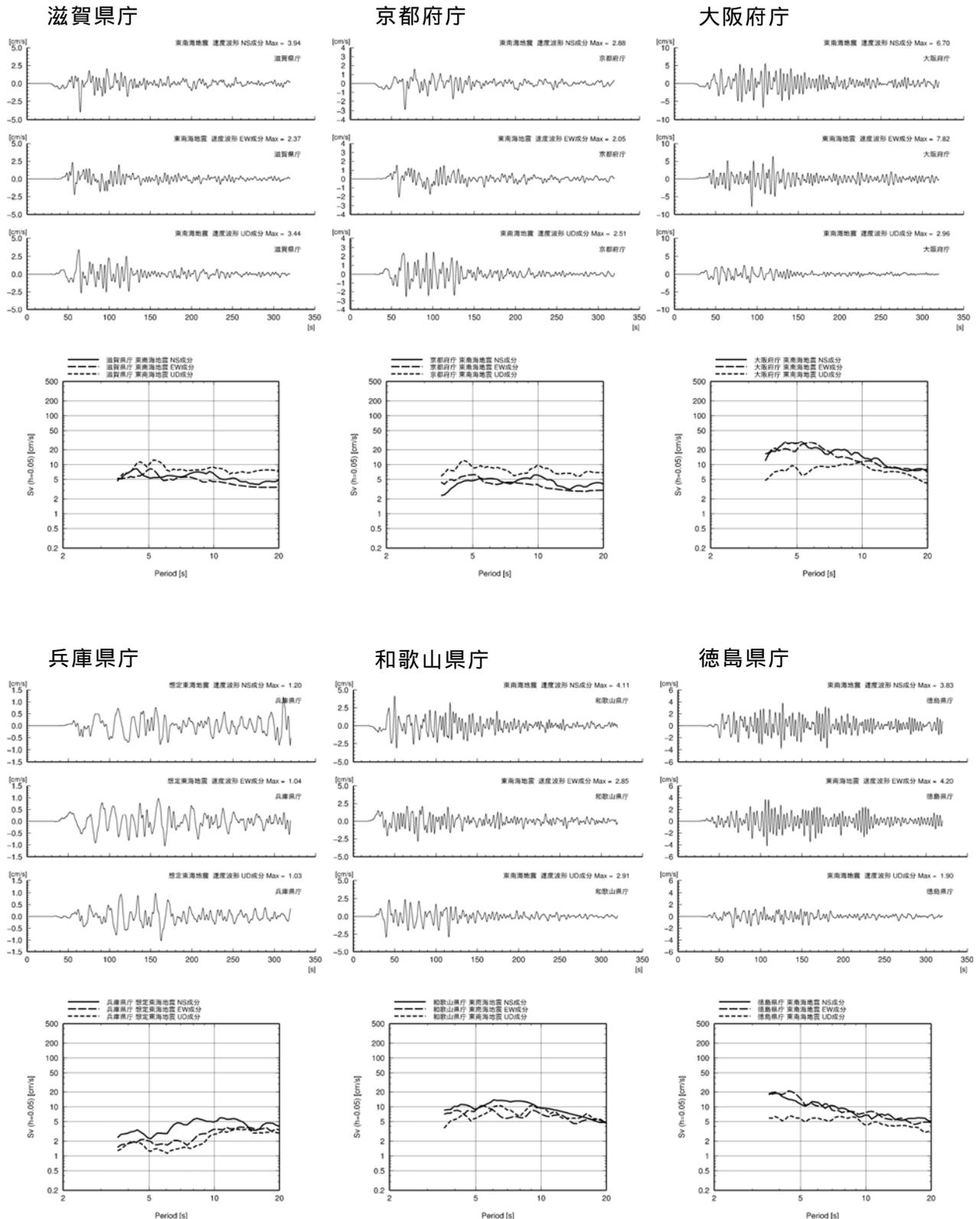


図 16(c) . 東南海地震による長周期地震動の時刻歴波形と減衰定数 5% の速度応答スペクトル。  
 上段：速度波形。上から、南北成分、東西成分、上下成分。  
 下段：速度応答スペクトル。実線は南北成分、破線は東西成分、点線は上下成分。

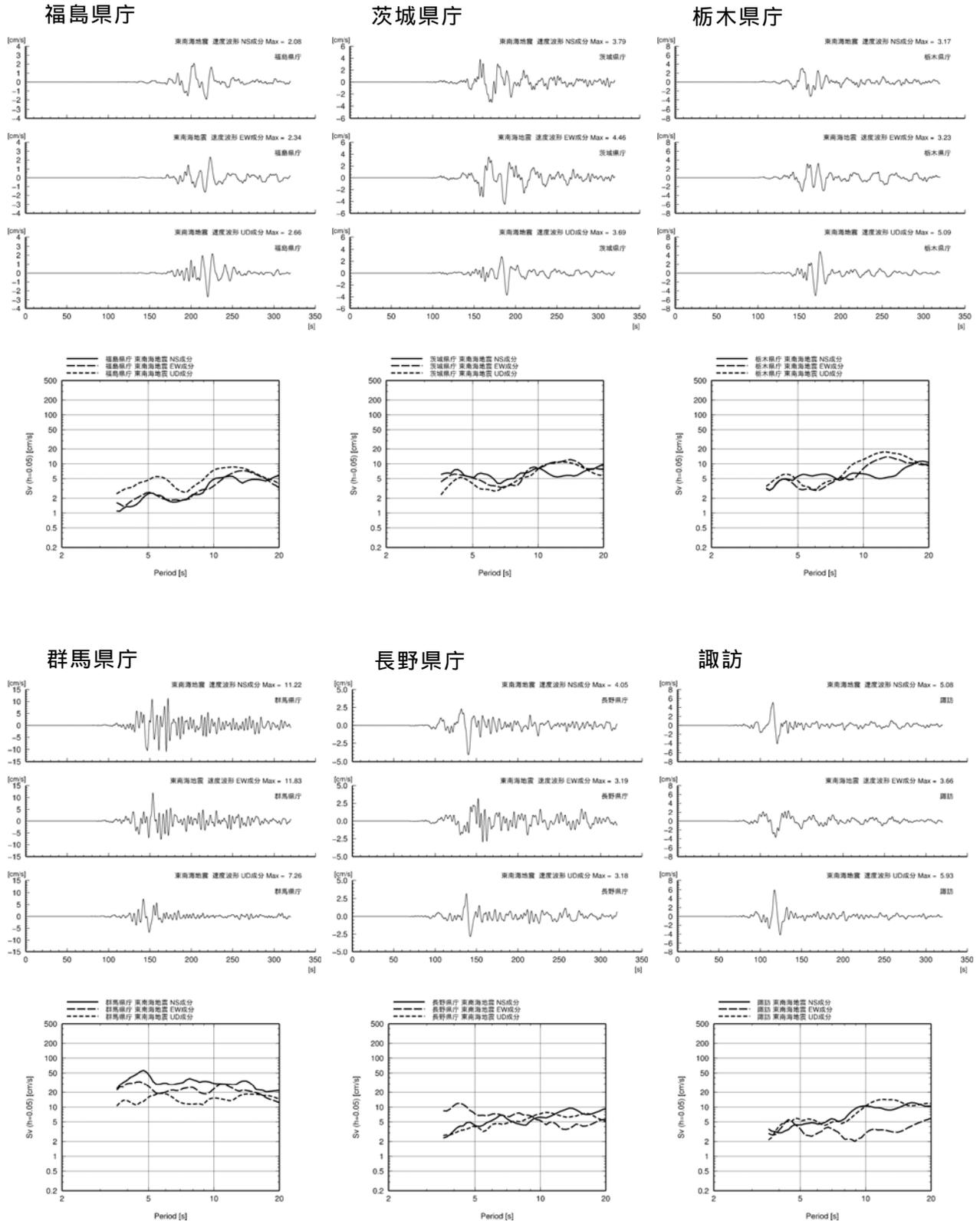


図 16(d) . 東南海地震による長周期地震動の時刻歴波形と減衰定数 5% の速度応答スペクトル。  
 上段：速度波形。上から、南北成分、東西成分、上下成分。  
 下段：速度応答スペクトル。実線は南北成分、破線は東西成分、点線は上下成分。

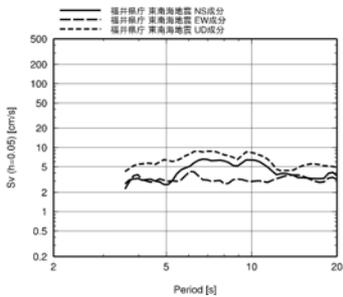
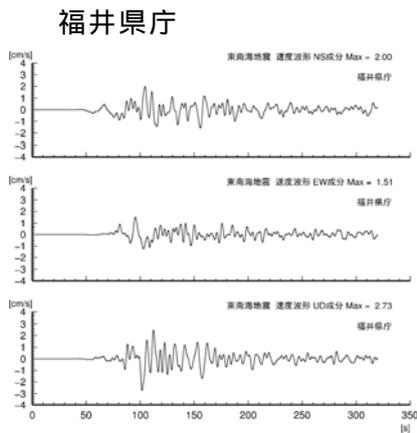
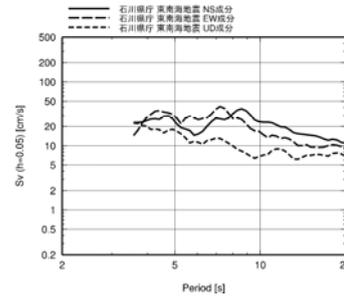
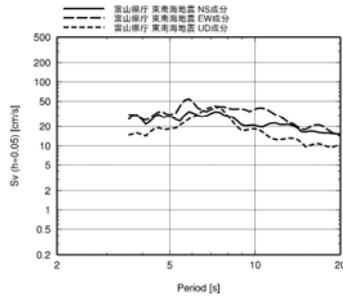
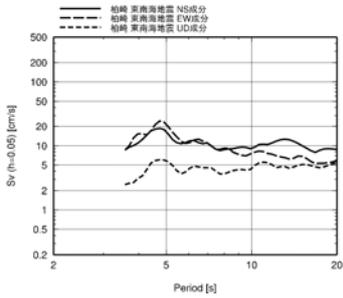
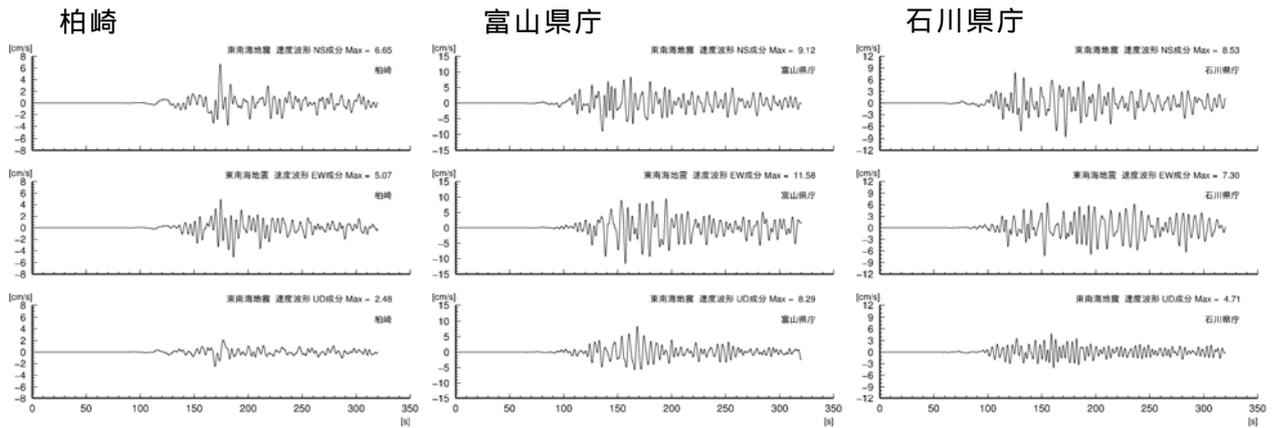


図 16(e) . 東南海地震による長周期地震動の時刻歴波形と減衰定数 5% の速度応答スペクトル。  
 上段：速度波形。上から、南北成分、東西成分、上下成分。  
 下段：速度応答スペクトル。実線は南北成分、破線は東西成分、点線は上下成分。

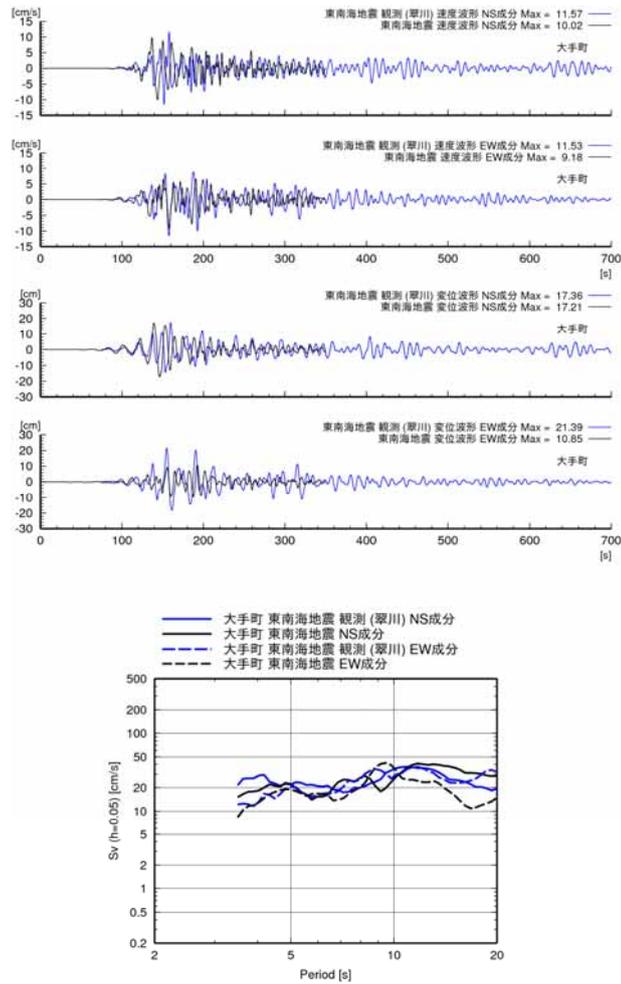


図 17(a) . 長周期地震動予測時刻歴波形の検証。

1944 年東南海地震の観測記録 ( Midorikawa et al. 2006 ) と計算波形との比較。  
 青は観測記録、黒は予測計算。  
 上から順に、速度波形南北成分、速度波形東西成分、変位波形南北成分、  
 変位波形東西成分、速度応答スペクトル。  
 速度応答スペクトルで実線は南北成分、破線は東西成分。

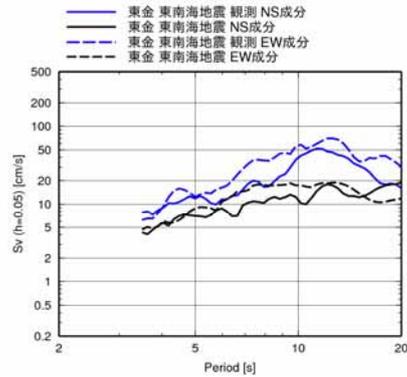
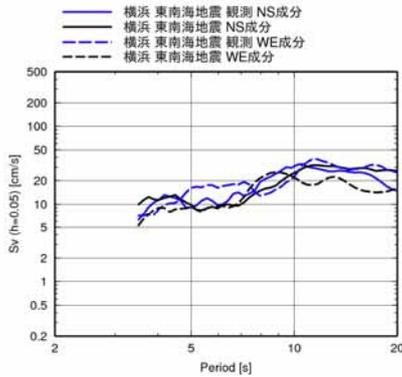
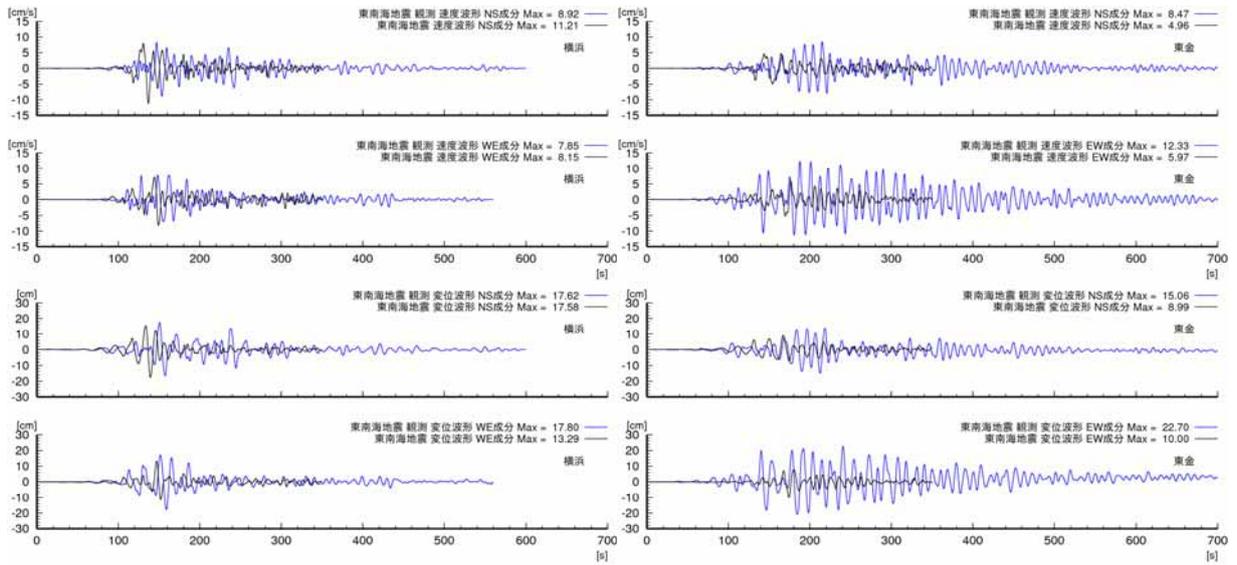


図 17(b) . 長周期地震動予測時刻歴波形の検証。

1944 年東南海地震の観測記録（古村・中村、2006）と計算波形との比較。

青は観測記録、黒は予測計算。

上から順に、速度波形南北成分、速度波形東西成分、変位波形南北成分、

変位波形東西成分、速度応答スペクトル。

速度応答スペクトルで実線は南北成分、破線は東西成分。

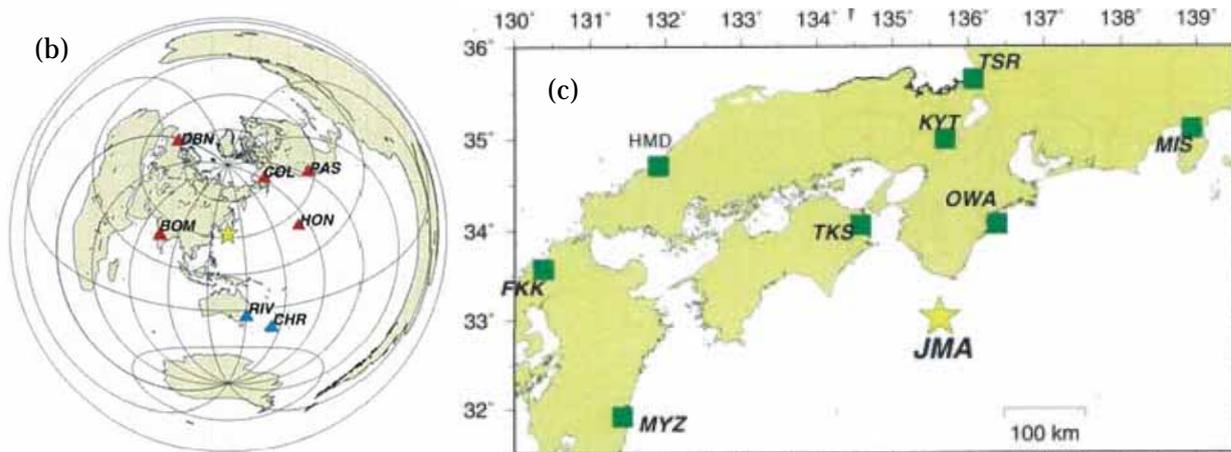
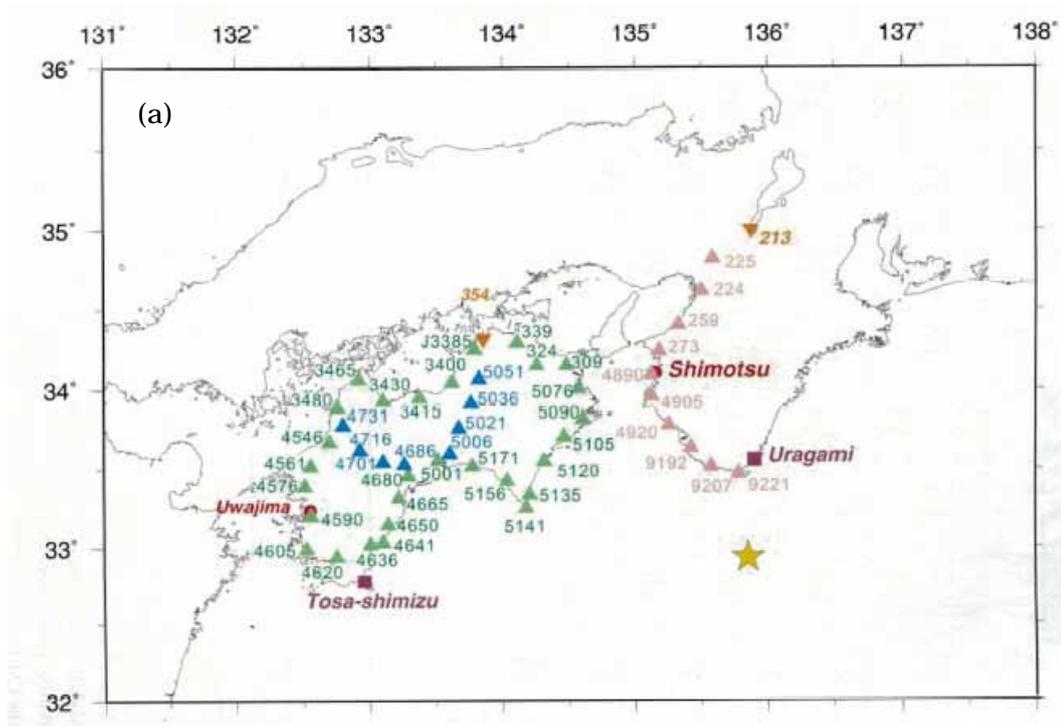


図 18 . 1946 年南海地震の震源インバージョンに用いられた観測点位置。

(a) 測量データ。(b) 遠地地震観測点。(c) 近地地震観測点。

(室谷, 2007)

表 4 . 南海地震の震源モデルの主なパラメタ。

パラメタ名	パラメタの値	パラメタ名	パラメタの値
断層の走向角	250 °	破壊開始点	135.848、 32.935
小断層の走向、傾斜角、深度	プレート形状に合わせる	破壊開始の小断層	(3,2)
断層の長さ	260km	破壊速度	3.4km/s
断層の幅	180km	総モーメント	5.5x10 <sup>21</sup> Nm ( Mw=8.42 )
小断層数	13 x 9	総破壊時間	120s
小断層サイズ	20 x 20km	最大すべり量	5.1m
		平均すべり量	2.4m

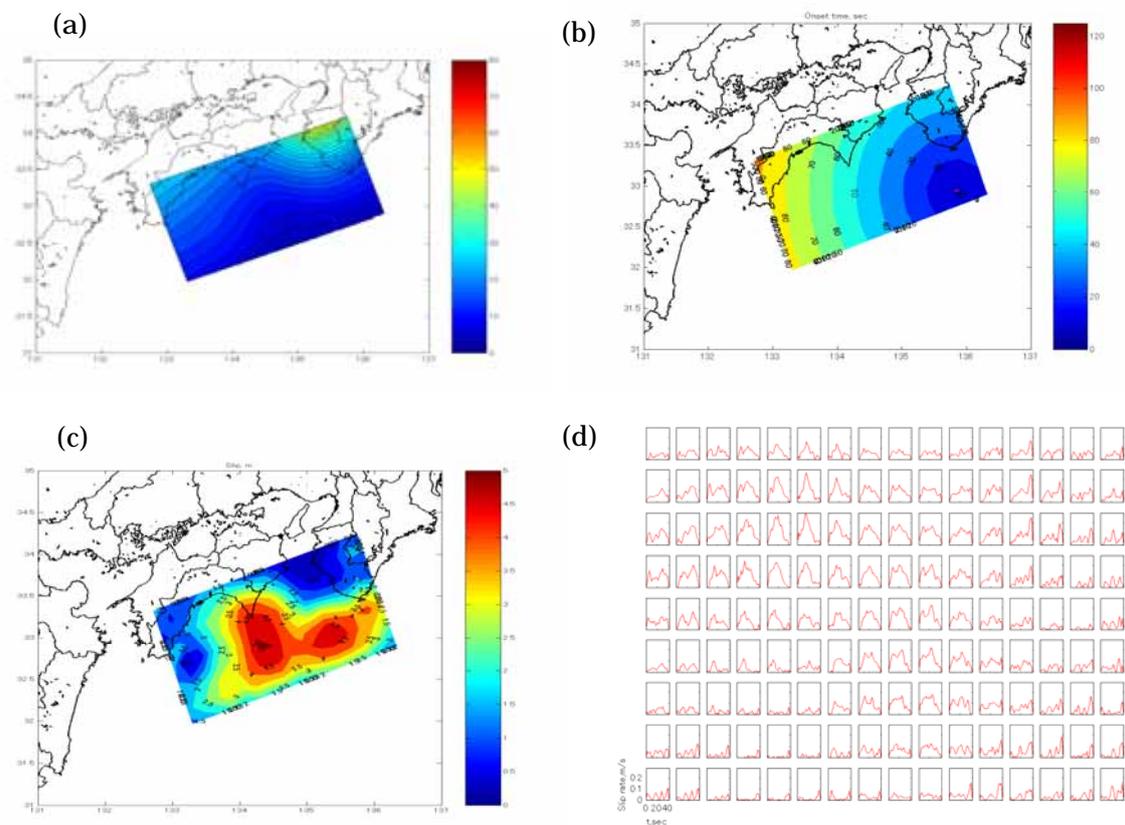
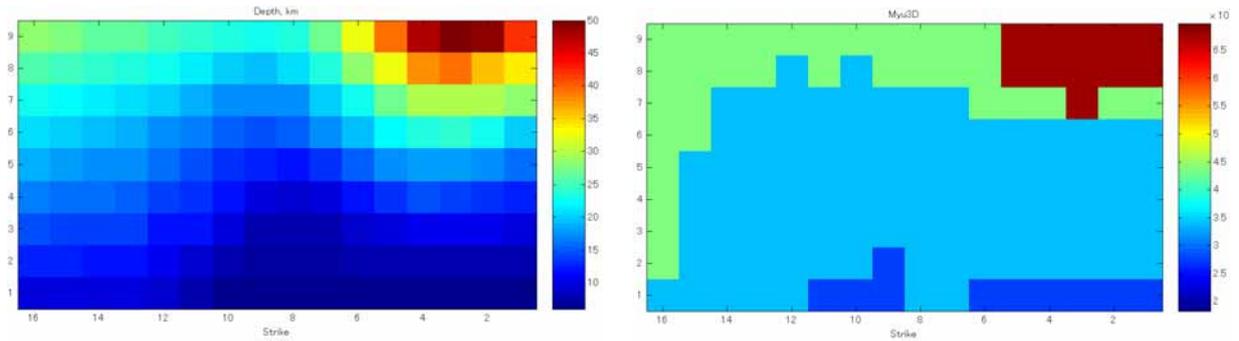


図 19 . 1946 年南海地震の震源インバージョンにより得られた震源モデル。

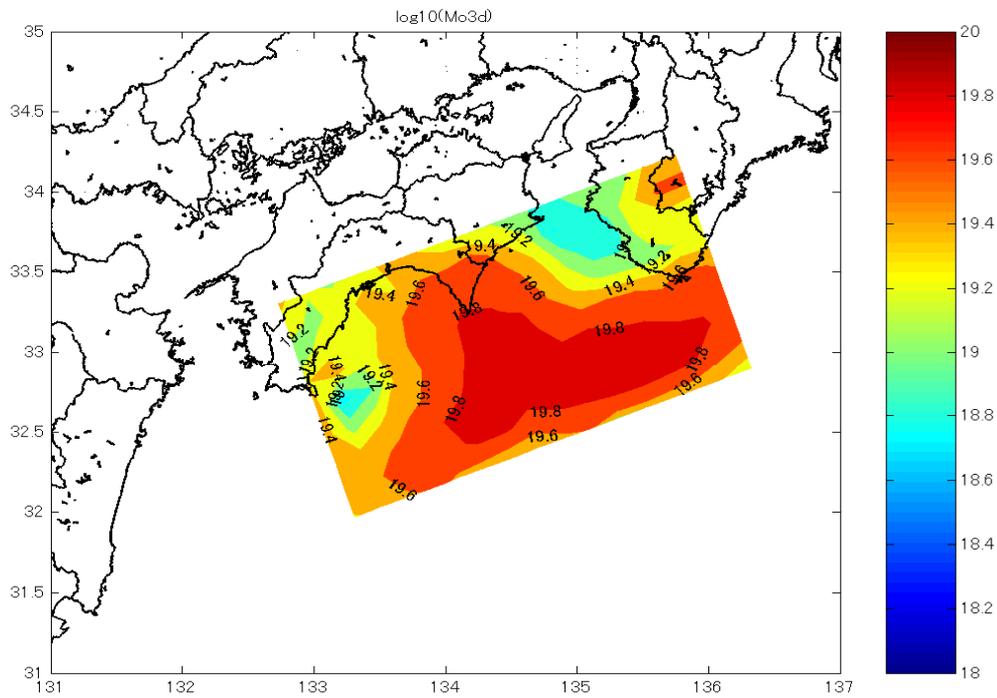
(室谷,2007)

- (a) 震源断層の深さ分布 (km)。
- (b) 断層面上の各点での破壊開始時刻 (s)。
- (c) 断層すべり量の分布 (m)。
- (d) 各小断層におけるすべり時間関数



(a) 南海地震の震源断層の深さ分布。  
横軸は走向方向。  
縦軸は傾斜（深さ）方向。

(b) 断層面上の剛性率分布。  
横軸は走向方向。  
縦軸は傾斜（深さ）方向。



(c) 南海地震の地震モーメント分布。

図 20 . 南海地震の震源モデルにおける地震モーメント分布。

- (a) 震源断層の深さ分布 (km)。
- (b) 剛性率の深さ分布 (GPa)。
- (c) 地震モーメントの分布 (常用対数(Nm))。

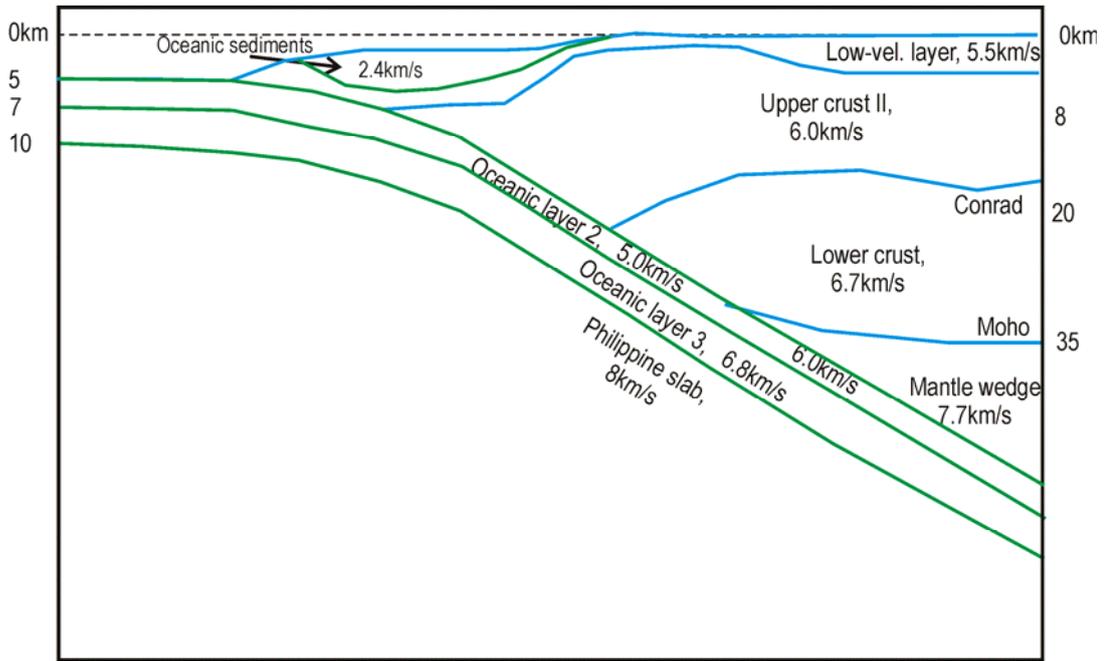


図 21 . 南海地震の長周期地震動予測のための初期モデル。  
初期モデルとした統合化地下構造モデルの断面図。

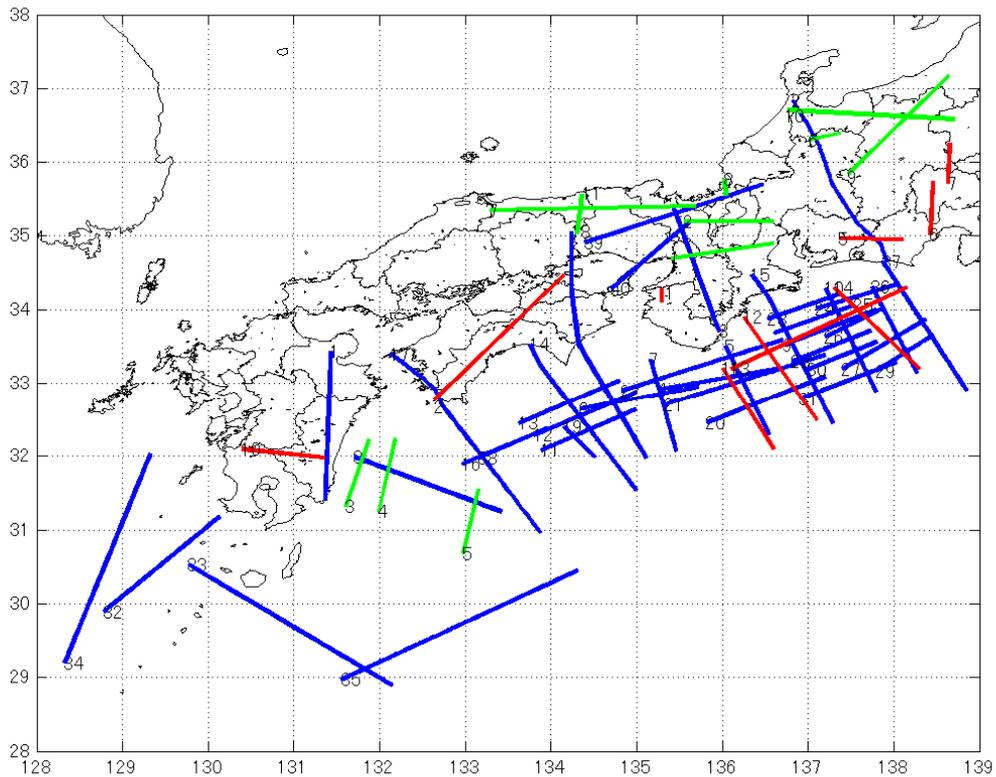


図 22 . 地下構造モデル構築のために収集した探査データ測線位置。  
青線：既往研究で収集されたデータ。  
緑線、赤線：本業務で新たに追加収集したデータ。

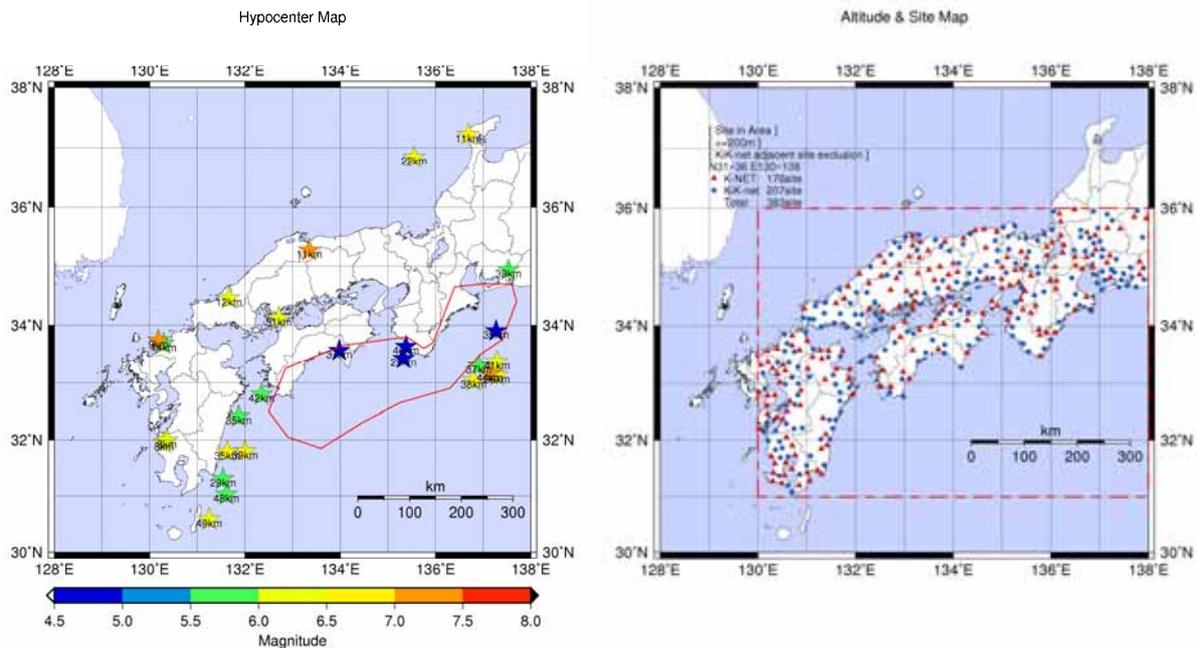


図 23(a) . 地下構造モデル改良のために収集した地震観測記録。  
 左：対象とした地震の震央位置。右：観測点位置。  
 S波の後続波の R/V スペクトル比から各層の厚さを修正する。

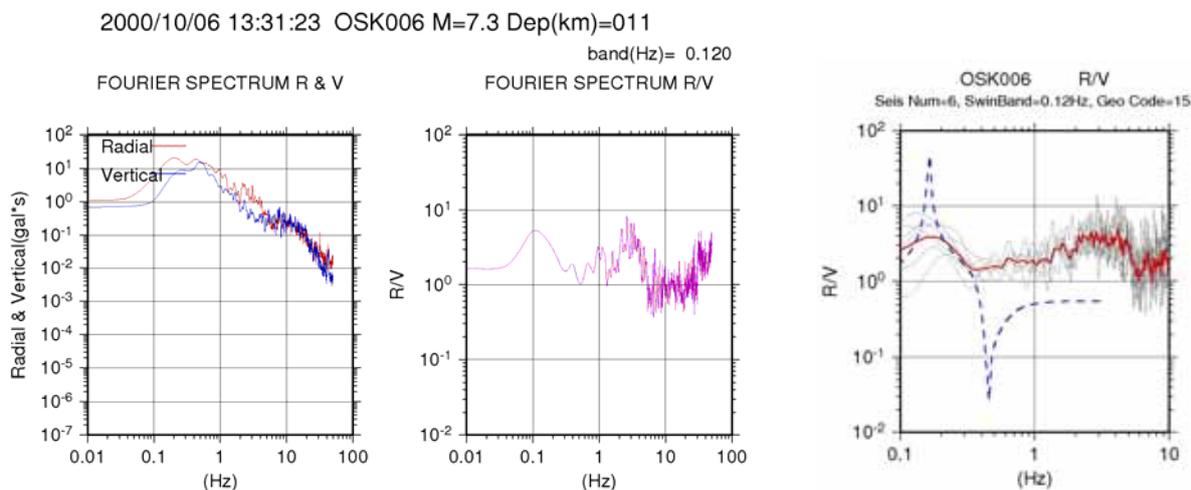


図 23(b) . 自然地震観測記録の R/V スペクトル比。  
 左：R 及び V 成分のスペクトル。中：R/V スペクトル比。  
 右：多くの地震についての R/V スペクトル比とその平均。  
 破線は地下構造モデルから計算される R/V スペクトル比。

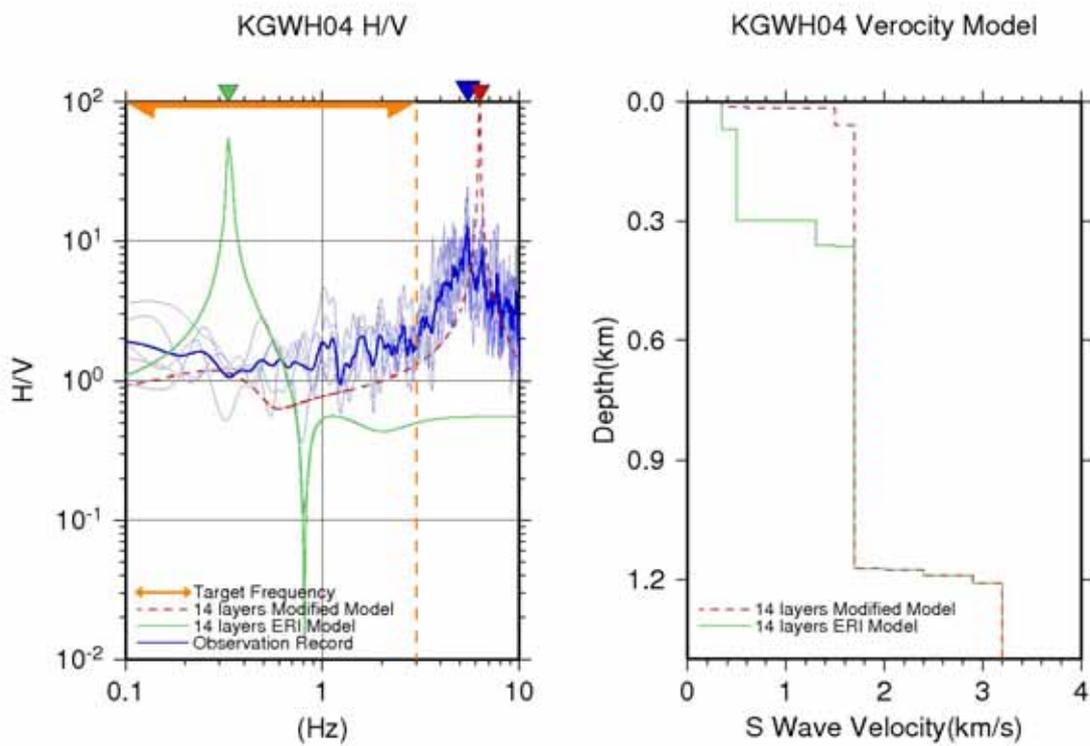


図 23(c) . 自然地震観測記録の R/V スペクトル比に基づくモデルの改良。  
 左 : R/V スペクトル比の観測値とモデル計算値。右 : S 波速度構造。  
 青線は観測値。緑線は改良前。赤線は改良モデル。

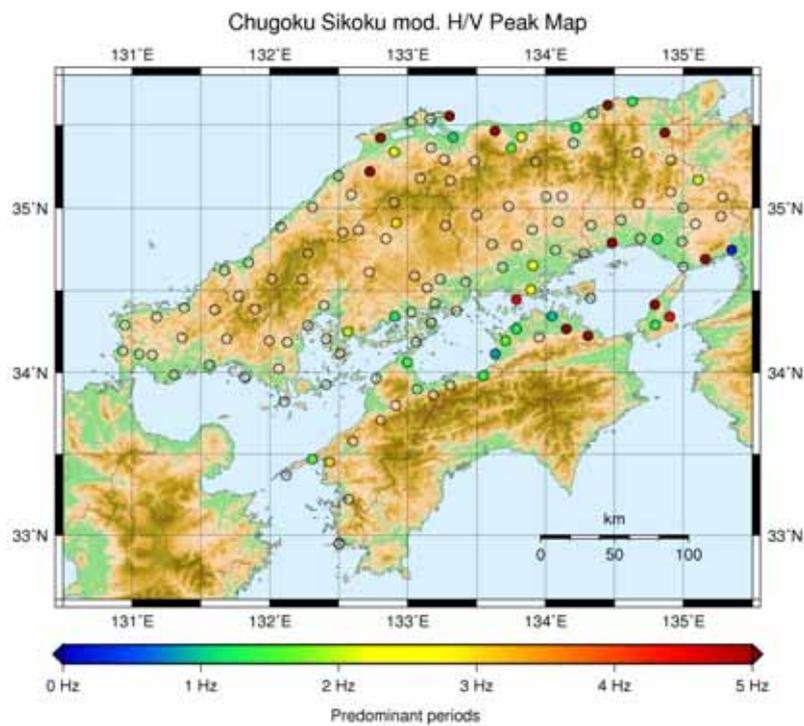


図 23(d) . 改良モデルの R/V スペクトル比のピーク周期分布。  
 モデルの修正された位置にあたる観測点のみ色で区別。

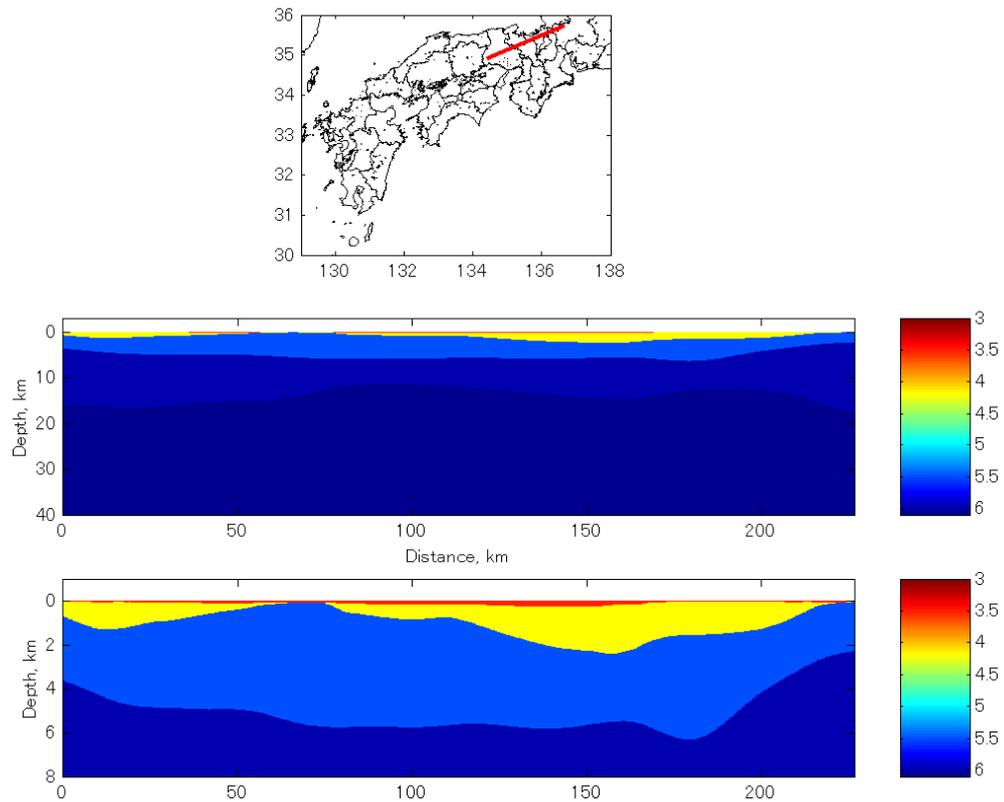


図 24(a) . 探査データによる地下構造解析結果による修正。  
 上：琵琶湖北部を通る藤橋・上郡探査測線位置。  
 中：修正前の地下構造モデルの断面図。  
 下：修正された地下構造モデルの断面図。

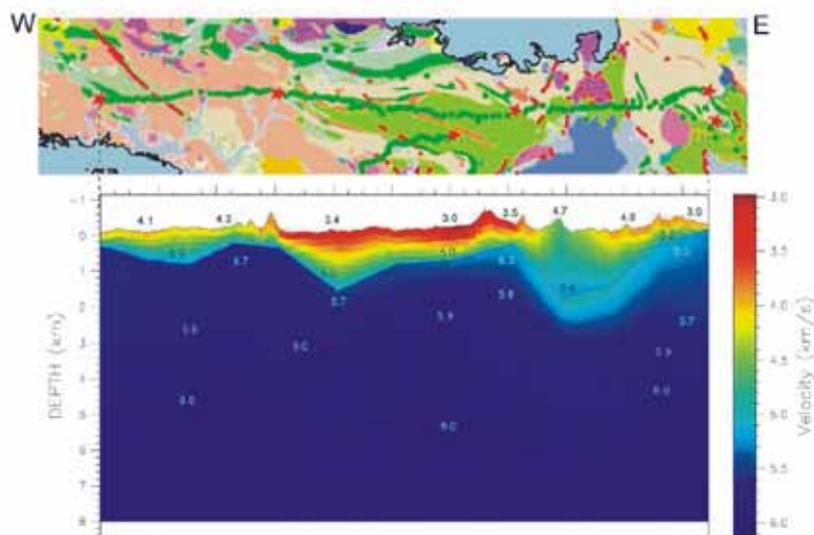


図 24(b) . 探査データによる地下構造解析結果。  
 上：琵琶湖北部を通る藤橋・上郡探査測線位置。  
 下：探査データによる地下構造解析結果。

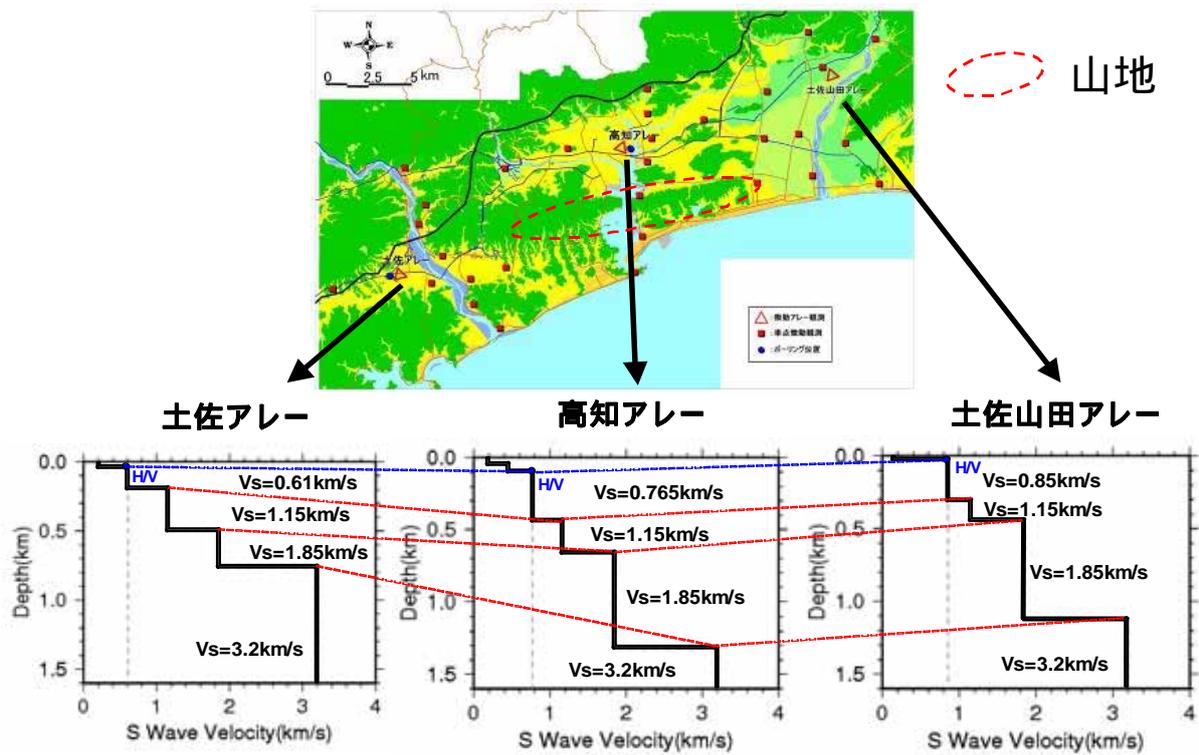


図 25(a) . 微動アレイによる地下構造解析結果。  
高知平野における微動アレイ探査結果。

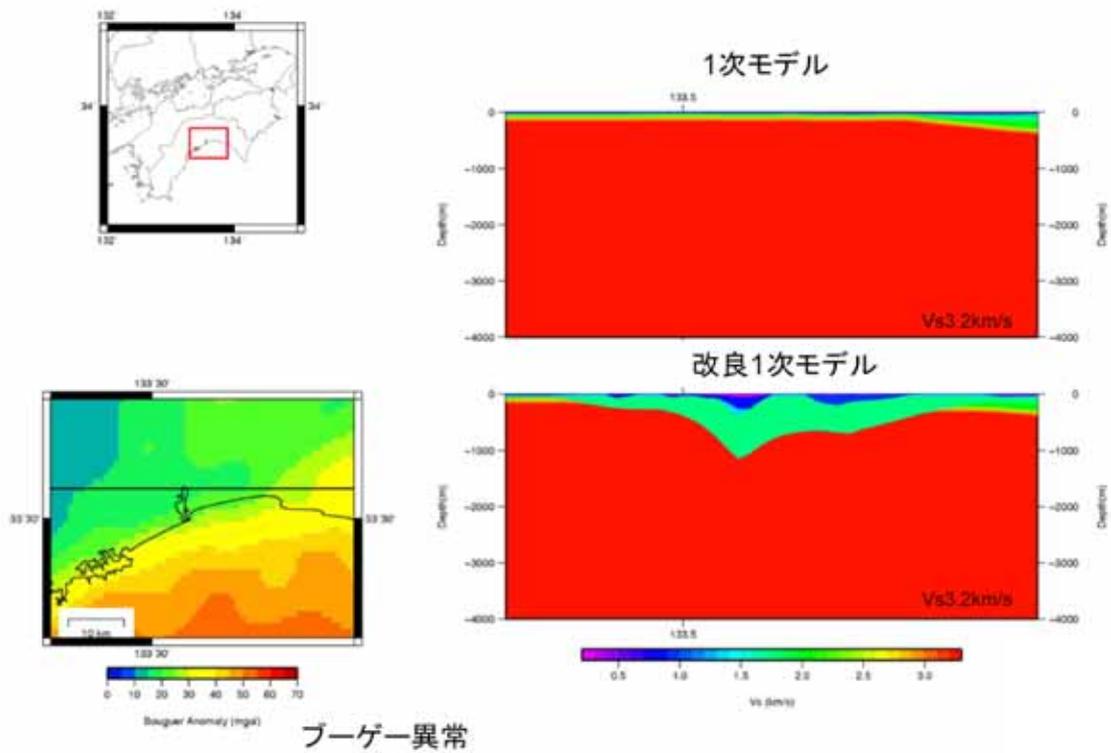


図 25(b) . 微動アレイ探査結果に基づいた地下構造モデルの改良。  
高知平野の構造を反映したモデルとなっている。

表 5.1 次地下構造モデルの検証に用いられた地震のパラメータ.

地震	M <sub>JMA</sub>	緯度	経度	深さ	メカニズム <sup>1)</sup>	Tr <sup>2)</sup>
2001年兵庫県北部	5.6	35.47	134.49	10.6km	90/89/172	2.4s
2007年愛媛県東部	5.3	33.89	133.59	38.0km	318/78/161	0.5s
2009年四国沖	4.6	33.03	134.32	20.0km	49/59/106	0.35s

1) 走向角/傾斜角/すべり角。

2) Tr は震源時間関数の継続時間。

2001年兵庫県北部の地震については Kimura and Kakehi (2005)<sup>22)</sup>による値。

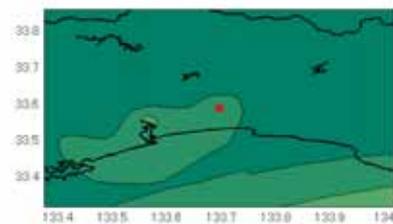
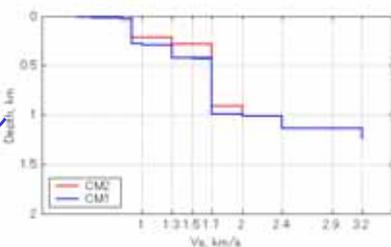
そのほかは地震調査研究推進本部レシピによる値。

2009年四国沖

KOC005

赤 - 改良モデル

青 - 09.09.16モデル



改良1次モデルの堆積層下面深度分布  
(コンターは0.5km間隔)

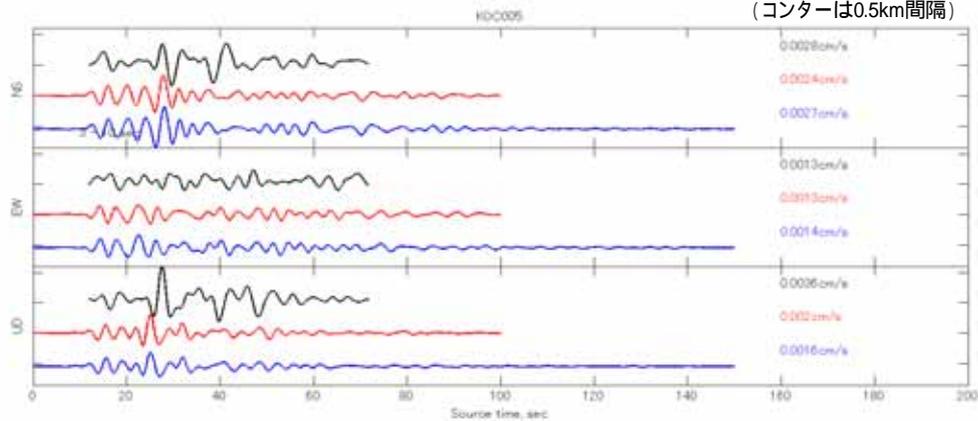


図 26(a) . 再現計算による地下構造モデル妥当性の検証。

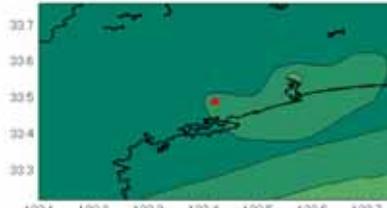
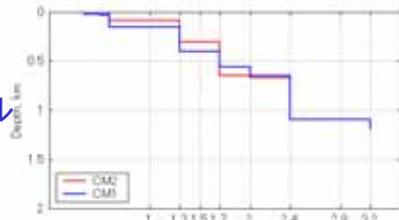
黒：観測記録。青：修正前。赤：修正後の計算速度波形。

2009年四国沖

KOC006

赤 - 改良モデル

青 - 09.09.16モデル



改良1次モデルの堆積層下面深度分布  
(コンターは0.5km間隔)

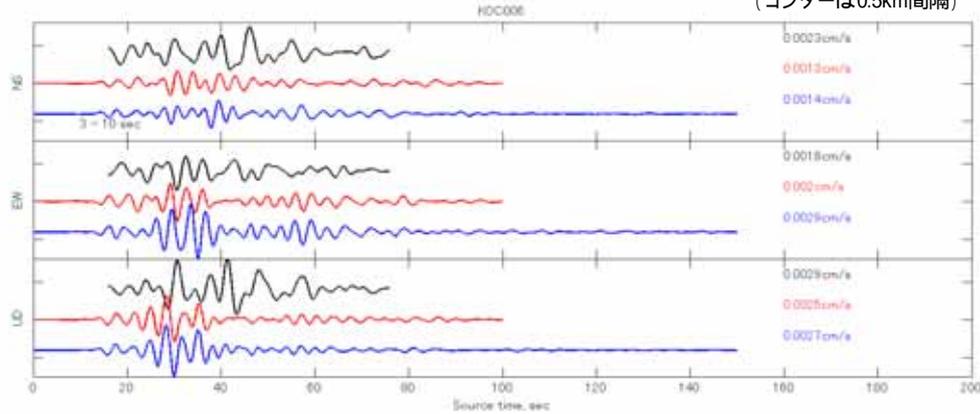


図 26(b) . 再現計算による地下構造モデル妥当性の検証。

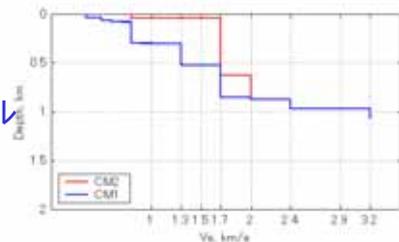
黒：観測記録。青：修正前。赤：修正後の計算速度波形。

2009年四国沖

KOC007

赤 - 改良モデル

青 - 09.09.16モデル



改良1次モデルの堆積層下面深度分布  
(コンターは0.5km間隔)

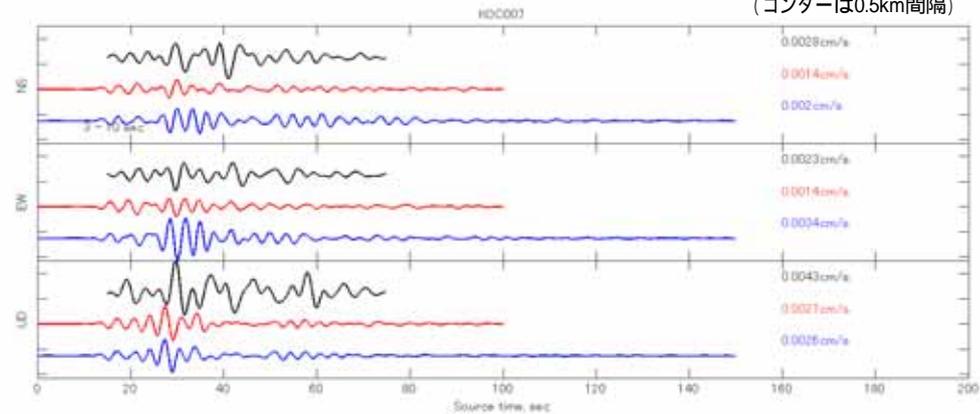
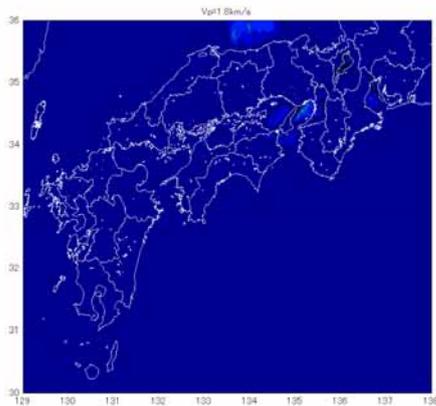
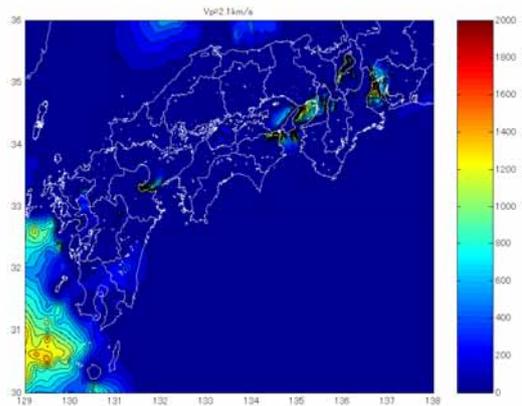


図 26(c) . 再現計算による地下構造モデル妥当性の検証。

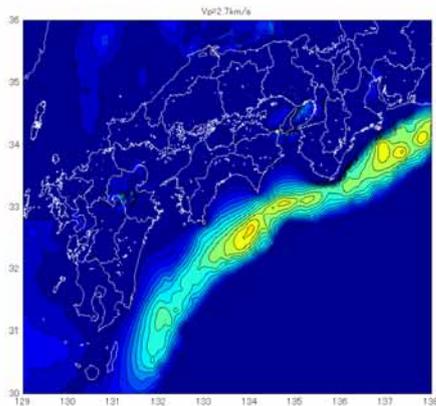
黒：観測記録。青：修正前。赤：修正後の計算速度波形。



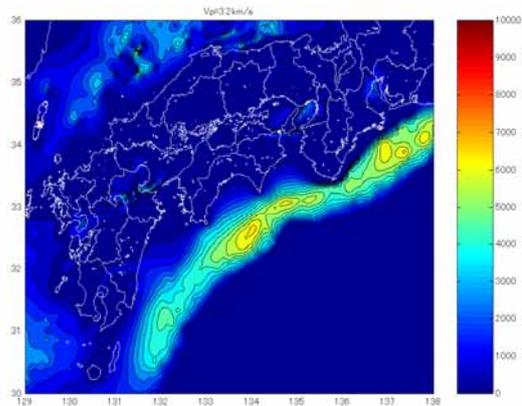
S 波速度 500m/s



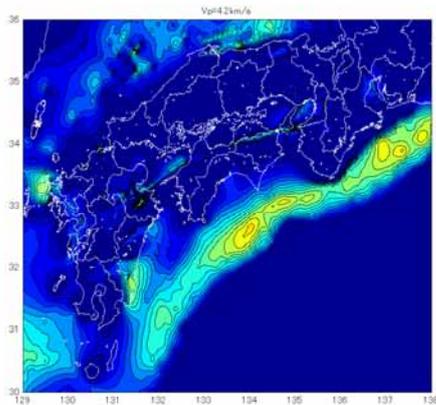
S 波速度 700m/s



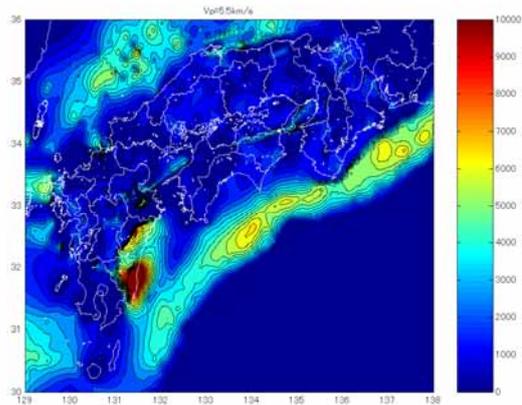
S 波速度 1,300m/s



S 波速度 1,700m/s

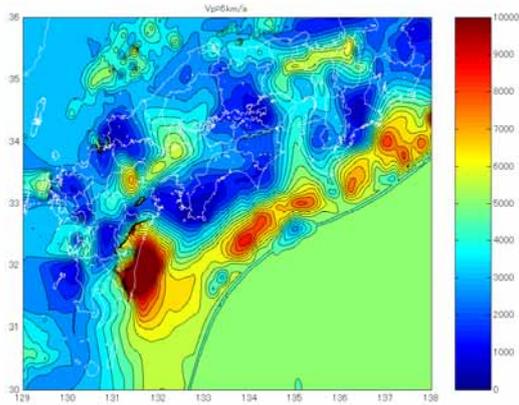


S 波速度 2,400m/s

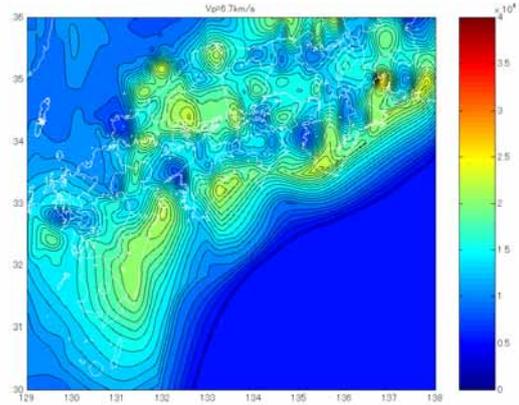


S 波速度 3,200m/s

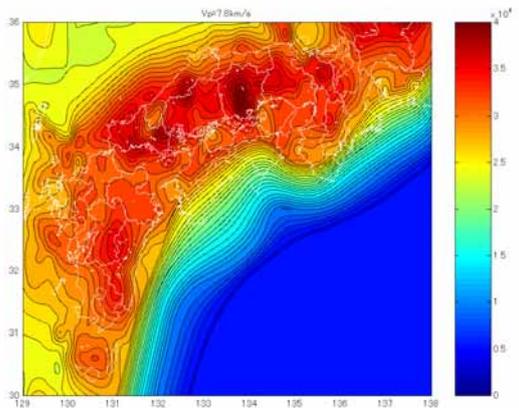
図 27(a) . 本業務で得られた 1 次地下構造モデル。  
各層の上面深さの分布。



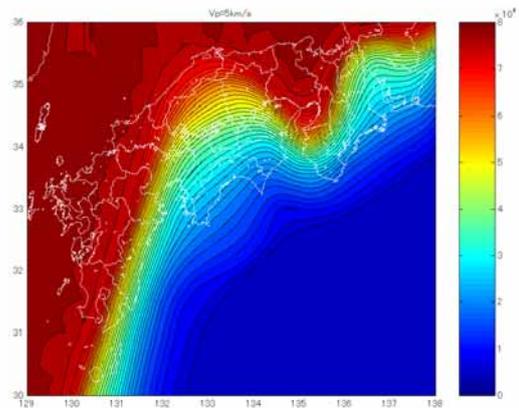
上部地殻第 2 層



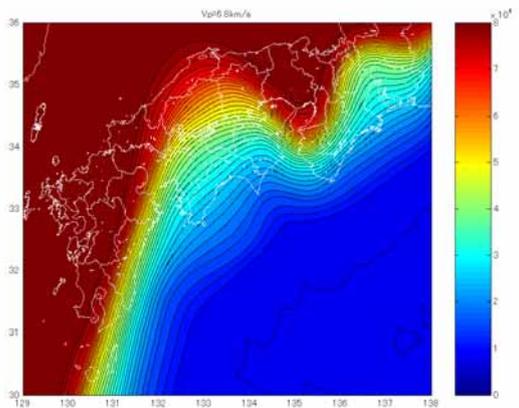
下部地殻



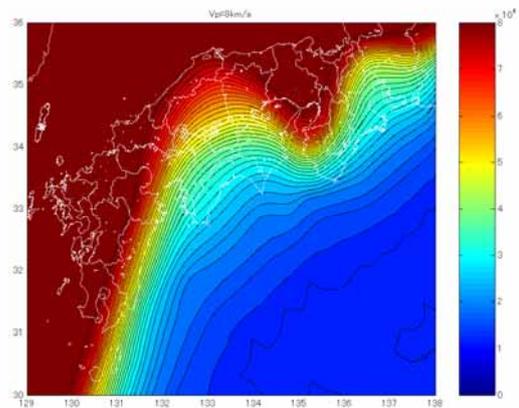
上部マントル



海洋性地殻第 2 層



海洋性地殻第 3 層



海洋性マントル

図 27(b) . 本業務で得られた 1 次地下構造モデル。  
各層の上面深さの分布。

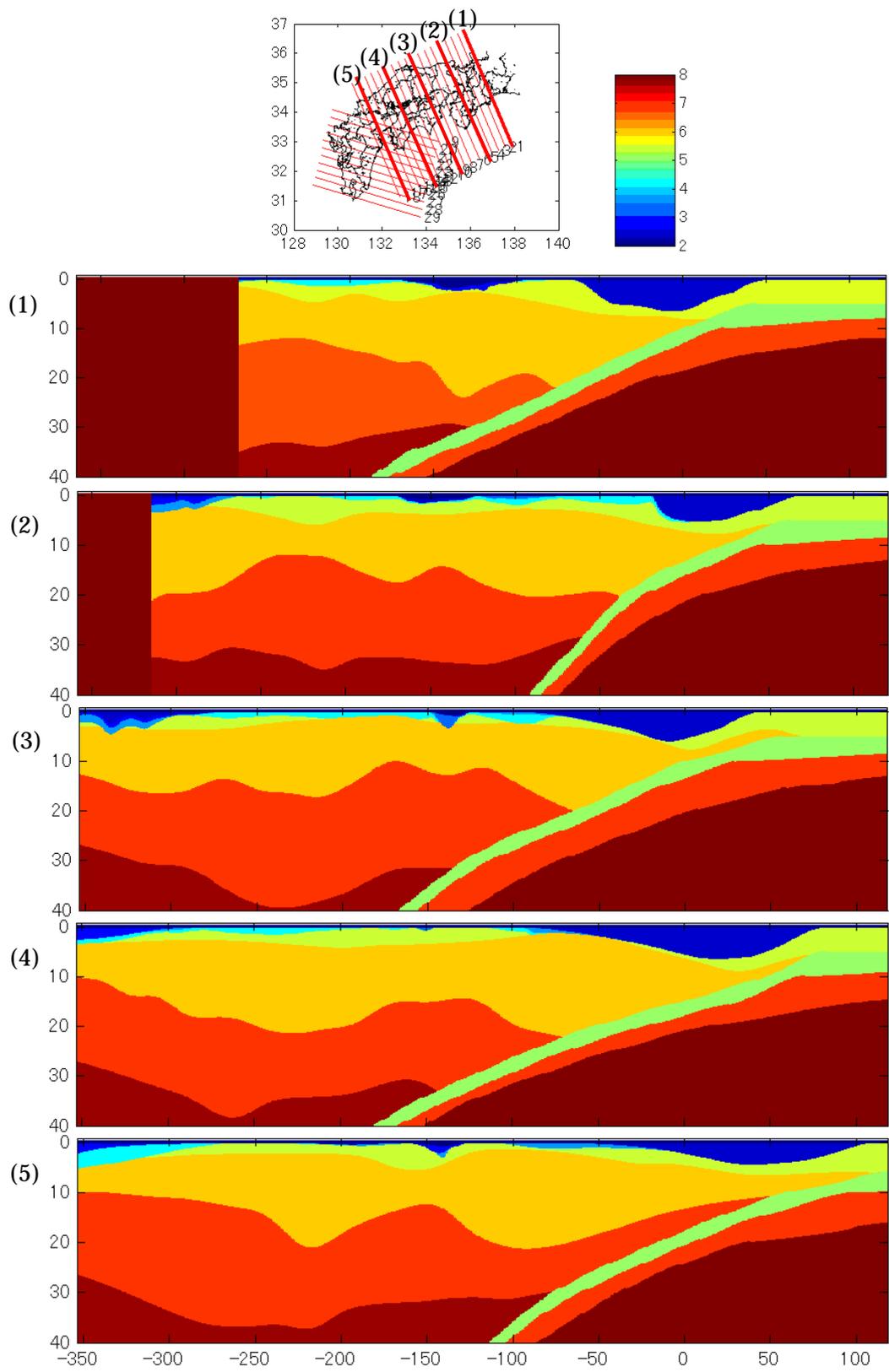


図 28 . 本業務で得られた 1 次地下構造モデルの断面図。  
 上段地図の太赤線に沿った断面。  
 東から西に順に(1)から(5)まで。

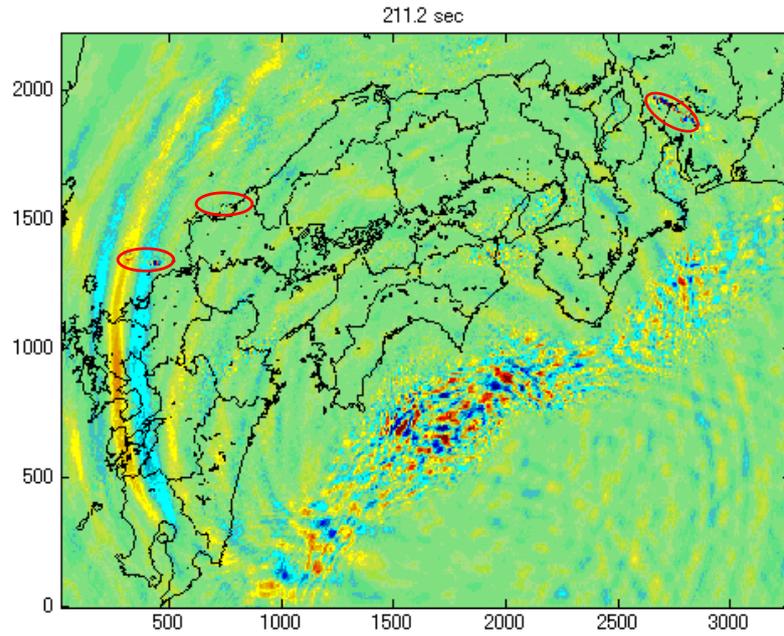


図 29 . 差分法計算における計算不安定の発現地点と時刻。  
発散の起こった地点を赤い楕円で示す。

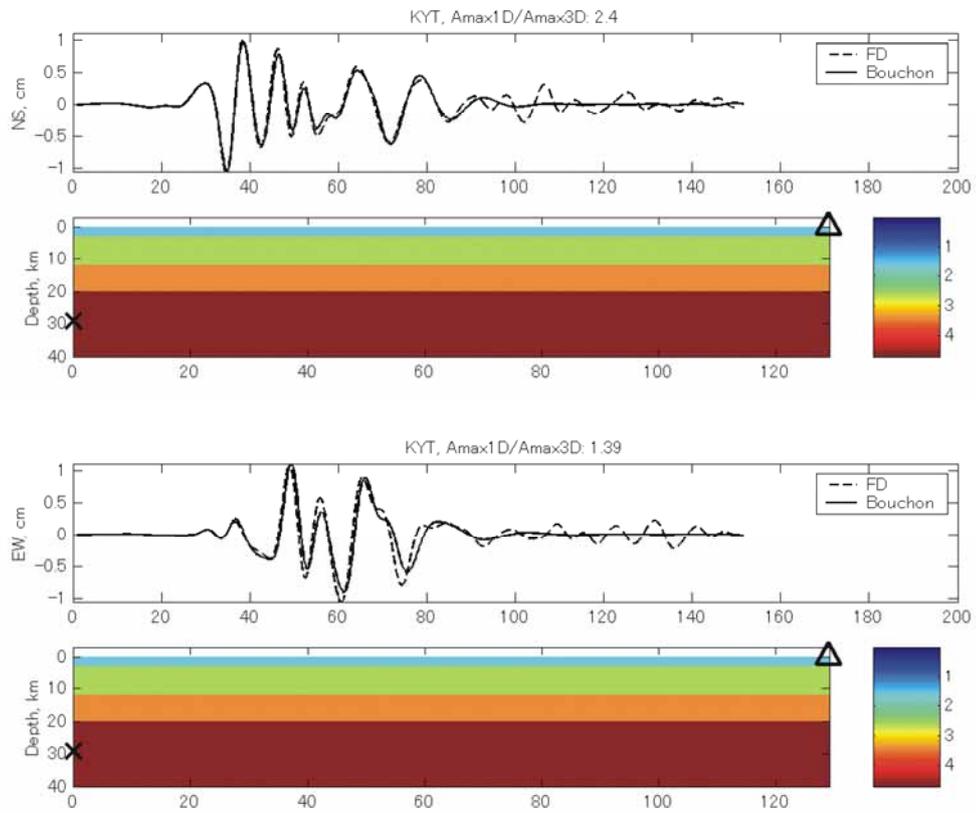


図 30 . 差分法計算の精度の検証。  
実線は離散化波数法、破線は有限差分法。