

### 3. 3 断層帯周辺における地震動予測の高度化のための研究

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 断層帯周辺における地震動予測の高度化のための研究

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人 東京大学地震研究所	教授	額額 一起
国立大学法人 東京大学地震研究所	助教	三宅 弘恵
国立大学法人 東京大学地震研究所	学振特別研究員 (PD)	石瀬 素子

(c) 業務の目的

サブテーマ(1)・(2)で得られた成果を基に、神縄・国府津－松田断層帯における震源モデルと地下構造モデルを構築し、本断層帯周辺地域における地震動予測の高度化を図る。

(d) 3カ年の年次実施計画

1) 平成21年度：

神縄・国府津－松田断層帯（以下、「本断層帯」）周辺の地下構造に関する既存の資料の収集と整理を行った。また、次年度以降に実施を予定している当該断層帯周辺地域の地下構造モデル化のための手法について検討した。さらに、既存の強震観測網で得られた地震記録を用いて対象領域の地下構造の地域性についての調査を実施した。

2) 平成22年度：

サブテーマ(1)・(2)による成果および文献より断層モデルに関する資料収集を行った。また、中小地震の地震動シミュレーションにより、既存の地下構造モデルを当該断層帯の強震動予測のためのモデルとして使用することに対する検討を行った。

3) 平成23年度：

本断層帯の震源のモデル化を行い、より広い領域を対象とした地震動予測を実施する。その際、サブテーマ(1)から提供される当該断層帯の深部構造を参考にして震源モデルを構築し、精度の高い地震動予測を実施する。

(e) 平成22年度業務目的

今年度の目的は、最終年度に予定している本断層帯周辺域を対象とした強震動予測のための震源モデルおよび地下構造モデルの構築を進めることである。震源のモデル化については、初年度から実施している本断層帯周辺域の地下構造に関する文献収集に加え、震源に関する文献調査を実施する。一方、地下構造のモデル化については、既存の構造モデルが本調査地域に適用可能かどうかの検討を行う。加えて、前年度に

引き続き、既存の強震観測点で得られた地震動の面的分布を調査することにより、当該地域の地震動の地域性の把握に努める。

## (2) 平成 21 年度の成果

### (a) 業務の要約

#### 1) 震源断層モデルの構築

当該断層に関する既存の震源モデルについて、主に文献より情報収集を行った。

#### 2) 地下構造モデルの構築

想定東海地震および東南海地震の長周期地震動予測のための全国 1 次地下構造モデルを、神縄・国府津－松田断層帯周辺地域における強震動予測のための地下構造モデルとして使用することに対する検討を行った。中小地震の地震動シミュレーションによる観測波形の再現性によって評価を実施した。

#### 3) 強震観測による当該地域における地震動の地域性の検討

既存の強震観測網で得られた当断層帯周辺で発生した最大震度 6 強を記録した静岡県東部の地震（2012 年 3 月 15 日、M6.0）の地震記録を基に、当該地域における地震動の地域性を調査した。その結果、本断層帯の東側に分布する足柄平野では、平野の中央部よりも縁辺部において強い揺れが励起されていたことが示された。昨年度調査した中規模地震の際には、平野中央部において強い揺れが励起されており（平成 21 年度本重点的調査観測・研究報告書、2010）、地震規模によって地震動の地域性が異なる可能性が示唆された。

### (b) 業務の成果

#### 1) 震源モデルの構築

神縄・国府津－松田断層帯における強震動予測のための震源モデル作成に向け、本断層帯の位置や断層面の形状等、震源モデルの構築にかかわる情報収集を行った。参考にした主な資料は、活断層の長期評価（地震本部、1997；2005；2009）および全国地震動予測地図（J-SHIS、2008；2009；2010）である。

長期評価では、当断層帯の位置および形態や、ボーリング調査・トレンチ調査等による断層の活動履歴などの陸域の調査・観測に基づいた検討が行われており、表 1 にあるような陸域で認められる当該断層の特性が評価されている（表 1・図 1）。ただし、①断層帯南方の海域には相模トラフが存在すること、②当断層帯南東端付近の海成段丘で認められる平均上下変位速度が大きいこと、を考慮すると、当該断層帯がさらに南方の海域まで延長している可能性が高いということが指摘されている。一方、以上の長期評価に基づいて作成された全国地震動予測地図では、神縄・国府津－松田断層帯は、海域におけるその存在も考慮されている（表 2・図 2）。

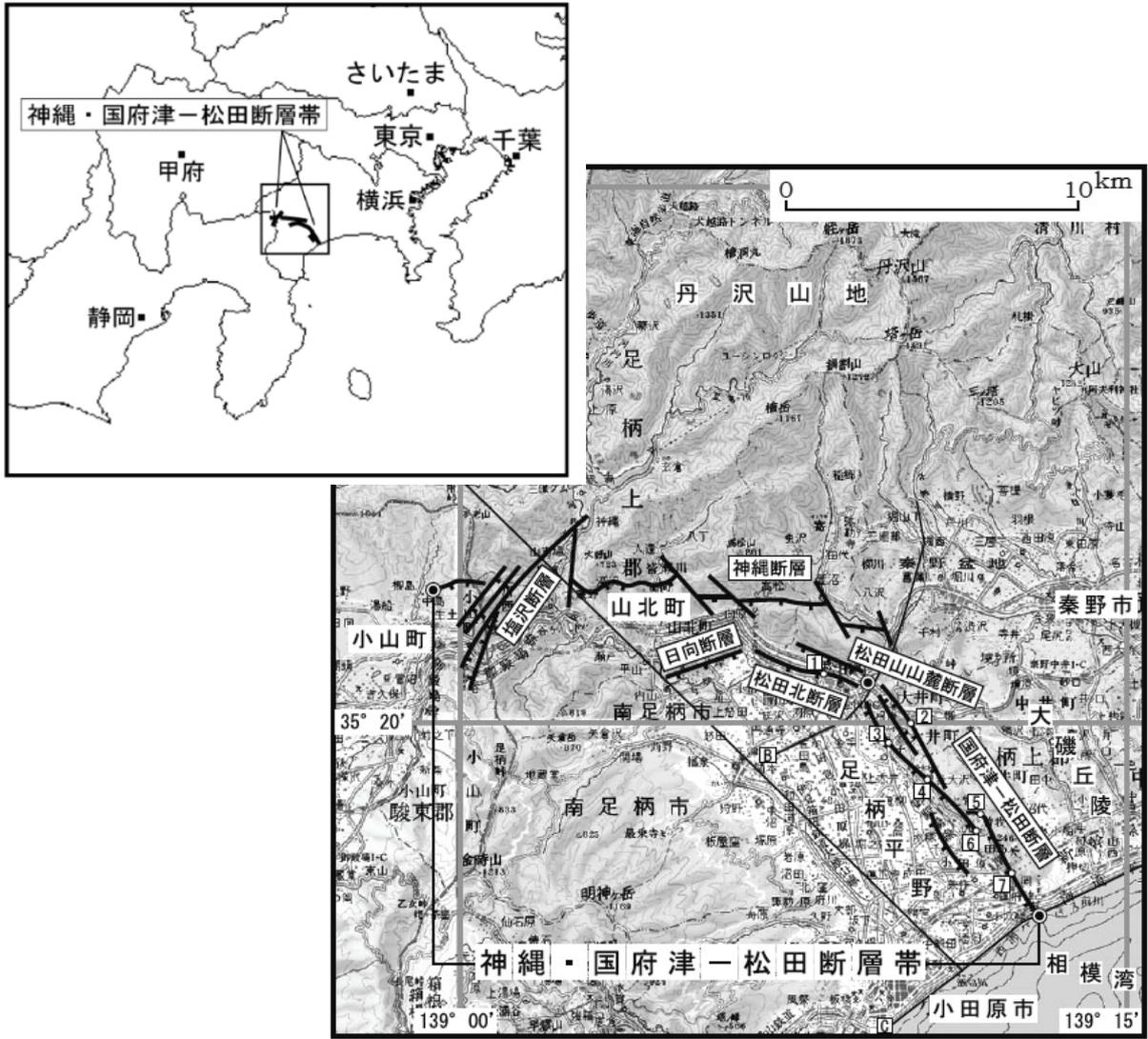


図1 活断層の長期評価において検討された神縄・国府津-松田断層帯の概略位置図とその詳細位置（地震本部，2005）。

表1 活断層の長期評価による神縄・国府津－松田断層帯の断層パラメータ

	No. Segment	基準(日本測地系)		上端	長さ	幅	走向	傾斜	規模
平成 17 年度	1	北西端: 35°22', 138°59'		0 km	25kmも しくはそ れ以上	10 km 程度	N80°W	70°-80° (北傾斜)	Mj 7.5 程度
	2	屈曲点: 35°21', 139°09' 南東端: 35°17', 139°13'		0 km		10-15 km 程度		N35°W	
平成 21 年度	1	北西端: 35°22', 138°59'		0 km	25 km も しくはそ れ以上	20 km 程度	N80°W	40°-50° (北傾斜)	Mj 7.5 程度
	2	屈曲点: 35°21', 139°09' 南東端: 35°17', 139°13'		0 km		10-15 km 程度		N35°W	

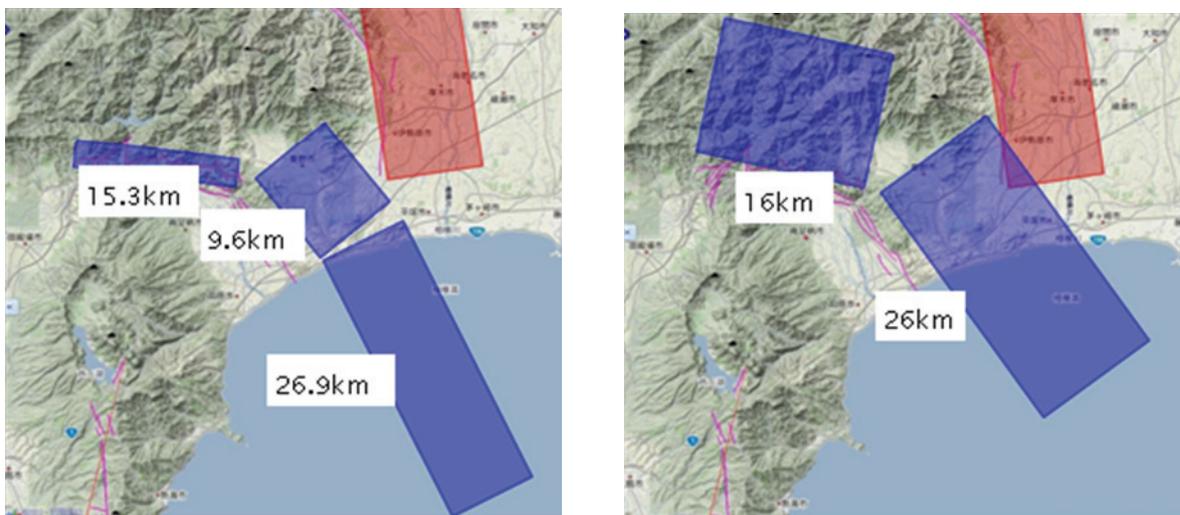


図2 地震動予測地図による神縄・国府津－松田断層帯の断層モデル。青色の矩形が断層面を地表に投影した領域に対応する。(左図) 2008 および 2009 年度版、(右) 2010 年度版。

表2 地震動予測地図による神縄・国府津－松田断層帯の断層パラメータ

	No. Segment	基準(日本測地系)		上端 [km]	長さ [km]	幅 [km]	走向	傾斜	Mw
2008 年 度版	1	138.984	35.374	3	15.3	10	97	105	7.5
	2	139.171	35.364	3	9.6	13	140.7	130	
	3	139.241	35.294	3	26.9	13	153.2	130	
2009 年 度版	1	139.151	35.357	3	15.3	10	277	75	7.5
	2	139.238	35.297	3	9.6	13	320.7	50	
	3	139.374	35.078	3	26.9	13	333.2	50	
2010 年 度版	1	139.158	35.363	2	16	18	282.3	45	6.9
	2	139.343	35.169	2	26	16	324	40	

## 2) 地下構造モデルの構築

神縄・国府津－松田断層帯周辺域における強震動予測に向けた準備として、既存の地下構造モデルが当該断層帯の地下構造のモデル化として使用できるかどうかについて検討を行った。対象としたのは、想定東海地震および東南海地震の長周期地震動予測用の全国1次地下構造モデル（Koketsu et al., 2009；図3）で、中小規模地震の観測波形の再現性によって評価を実施した。具体的な手順は、①地震動のシミュレーションに使用する地震の選定、②震源メカニズムの選択、③観測波形の再現性の評価、である。

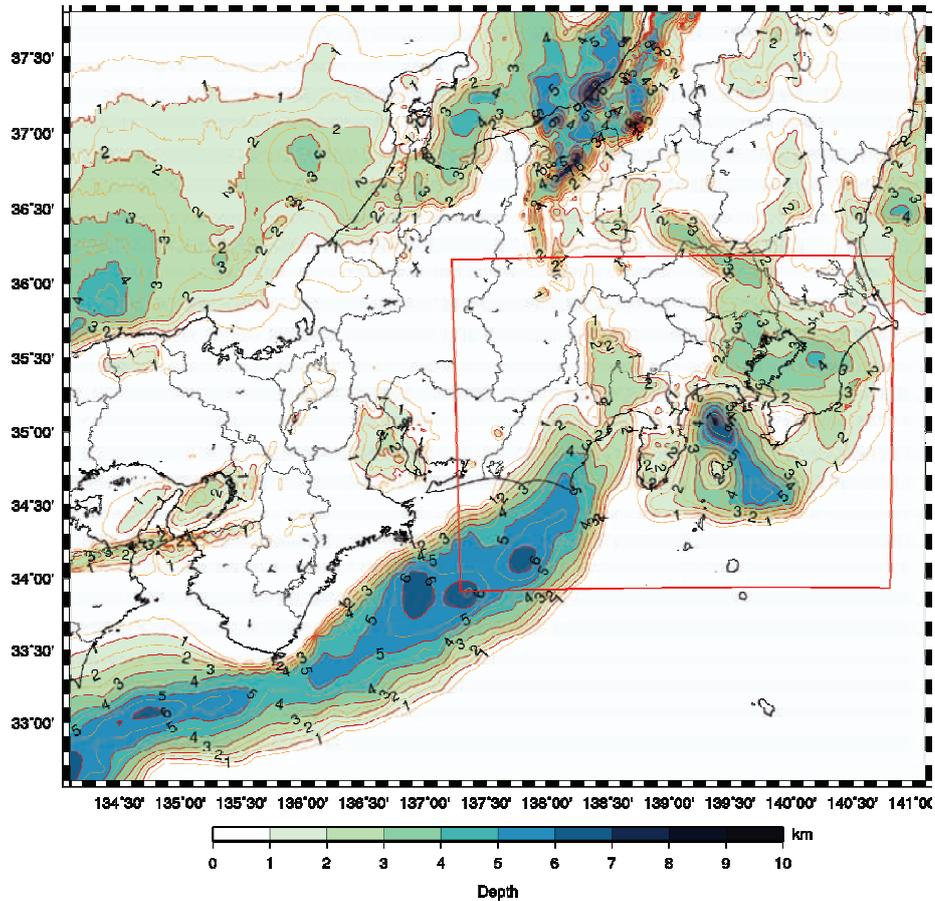


図3 2009年度長周期地震動予測地図試作版で用いられた全国1次地下構造モデルの地震基盤の上面深度分布と本検討で用いた範囲（赤線）。

### a) 地震の選定

本断層帯近傍で発生し、かつ観測機録が多数の観測点で得られている中小規模地震であるということから、2001年12月8日の神奈川県西部の地震（Mj 4.6）をシミュレーションに使用する地震として選定した。地震の諸元を表3に示す。

表3 地震動シミュレーションに使用した地震の諸元

2001年12月8日4時7分頃に発生した神奈川県西部の地震 Mj 4.6

	初動解 (気象庁)	CMT 解 (F-net)
震央位置	35.54°N, 139.145°E	
深さ	24 [km]	38 [km]
地震モーメント		6.13e+15 [Nm]
走向, 傾斜, すべり角	3°, 85°, 63°	23°, 89°, 74°

b) 震源メカニズムの選択

上記の地震に対する気象庁の初動解および F-net の CMT 解のうち、震源近傍の硬質な地盤上にある観測点での波形の再現性のより良いものを震源モデルのメカニズムとして決定した。評価に使用した観測点分布を図 4 に示す。図 5 および図 6 には観測波形とそれぞれのメカニズムを用いて再現された波形の比較を示す。観測波形には、①後続動が少ない、②S 波初動部分が明瞭、という特徴が見られるが、これらをより良く再現した気象庁による初動解を震源モデルのメカニズムとして採用した。

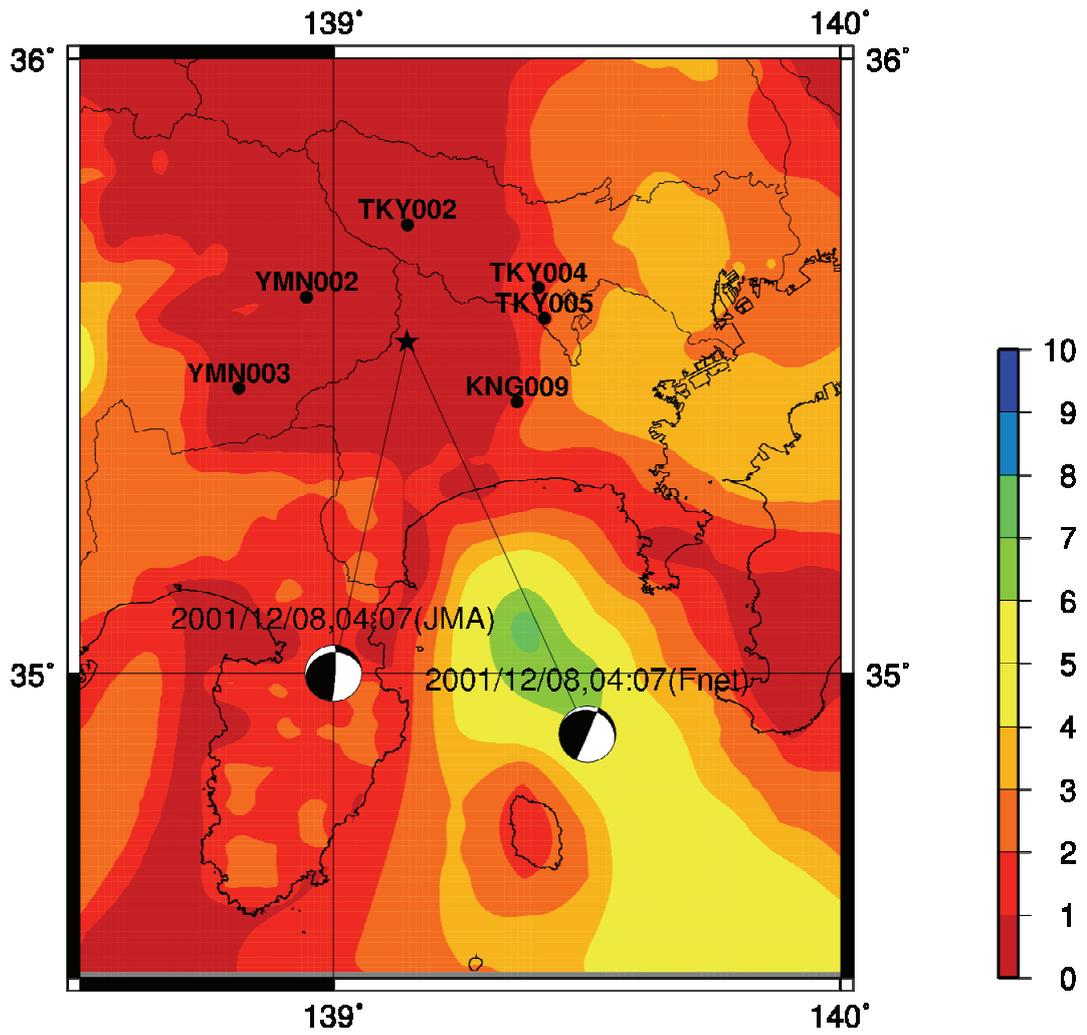


図4 評価に使用した地震の震央および観測点位置と地震メカニズム。地震メカニズムは、メカニズム解の選択の際の候補とした気象庁の初動解およびF-netのCMT解を示す。

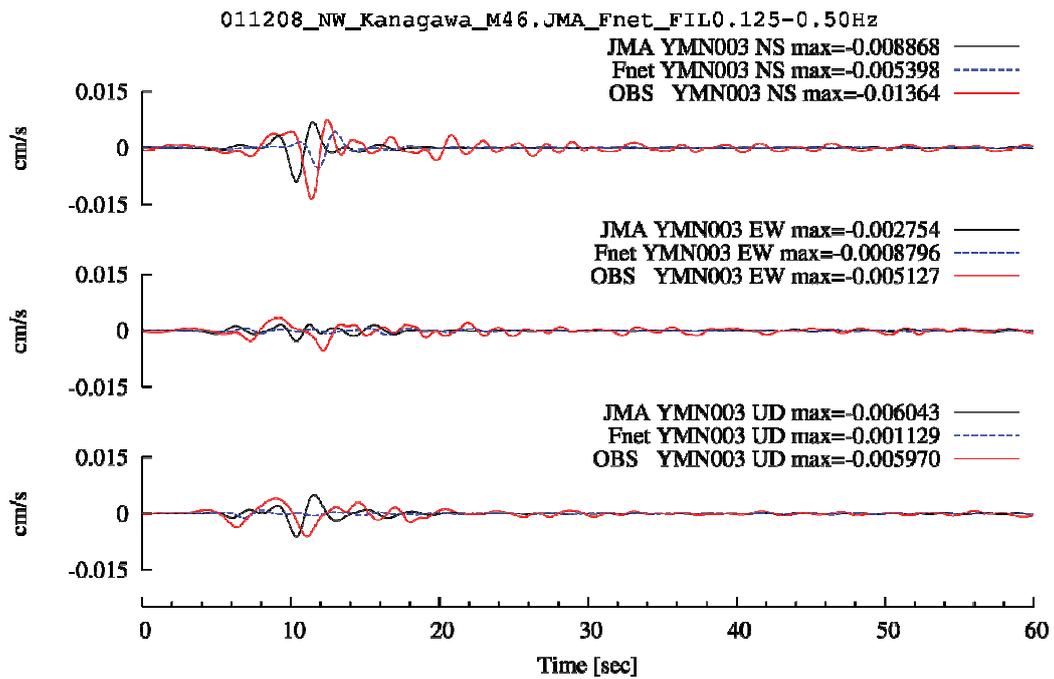


図5 YMN003 (鶴岡) における計算波形と観測波形の比較 (速度波形)。赤実線：観測波形、青点線：震源 F-net の震源メカニズムを使用して得られた計算波形、黒実線：気象庁 (JMA) の震源メカニズムを用いて得られた計算波形。上から南北成分、東西成分、上下成分。

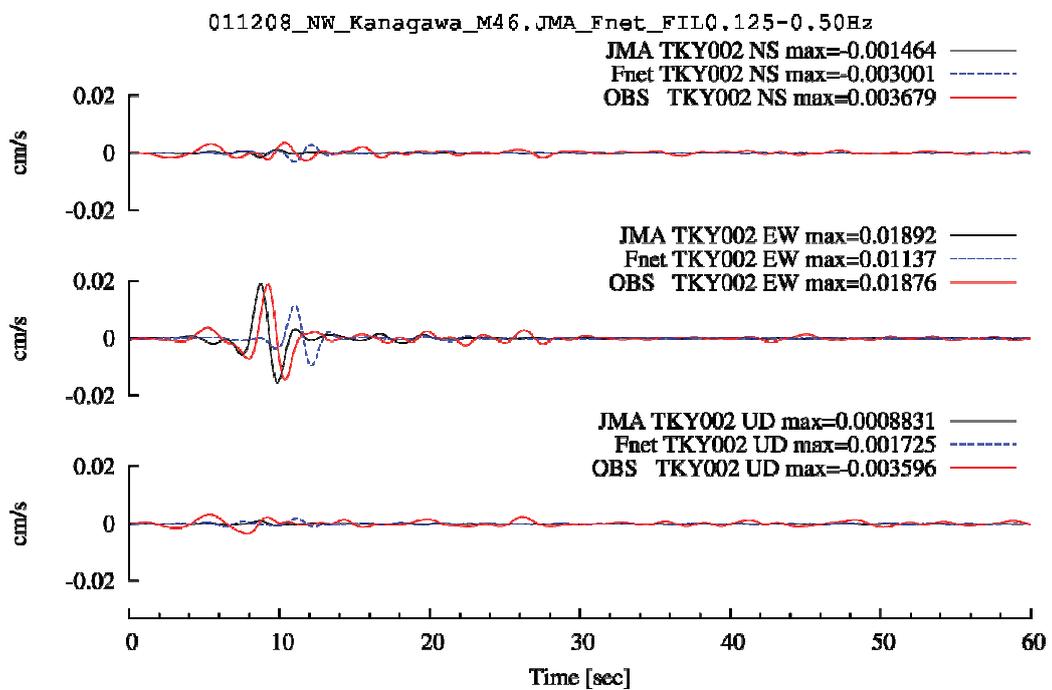


図6 TKY002 (檜原) における計算波形と観測波形の比較 (速度波形)。赤実線：観測波形、青点線：F-net の震源メカニズムを使用して得られた計算波形、黒実線：気象庁 (JMA) の

震源メカニズムを用いて得られた計算波形。上から南北成分、東西成分、上下成分。

c) 地震動シミュレーションによる観測波形の再現性の確認

対象領域に位置する 25 観測点（図 7 参照）について、三次元差分法（Pitarka, 1999）を用いて地震波伝播の計算を行い、周期 2 秒から 8 秒の時刻歴波形とスペクトルの再現性から地下構造モデルを評価した。その結果、観測波形の再現性には地域性が見られた。図 8 に示す新宿をはじめとする関東平野に位置する観測点では、観測波形が良く再現された。一方、相模湾の北西湾岸と相模湾（領域 1）に位置する SZO009、KNG003、KNG005、KNG007、KNG010、KNG013、KNG206 および木更津周辺（領域 2）の CHB015、CHB017、CHB019、CHB022、CHB030 において計算値が観測地を下回り（図 9 参照）、波形のよい再現性は得られず、震源モデルの調整に加え、領域 1、2 および震源から両領域までの地下構造モデルを修正する必要があることが示された。

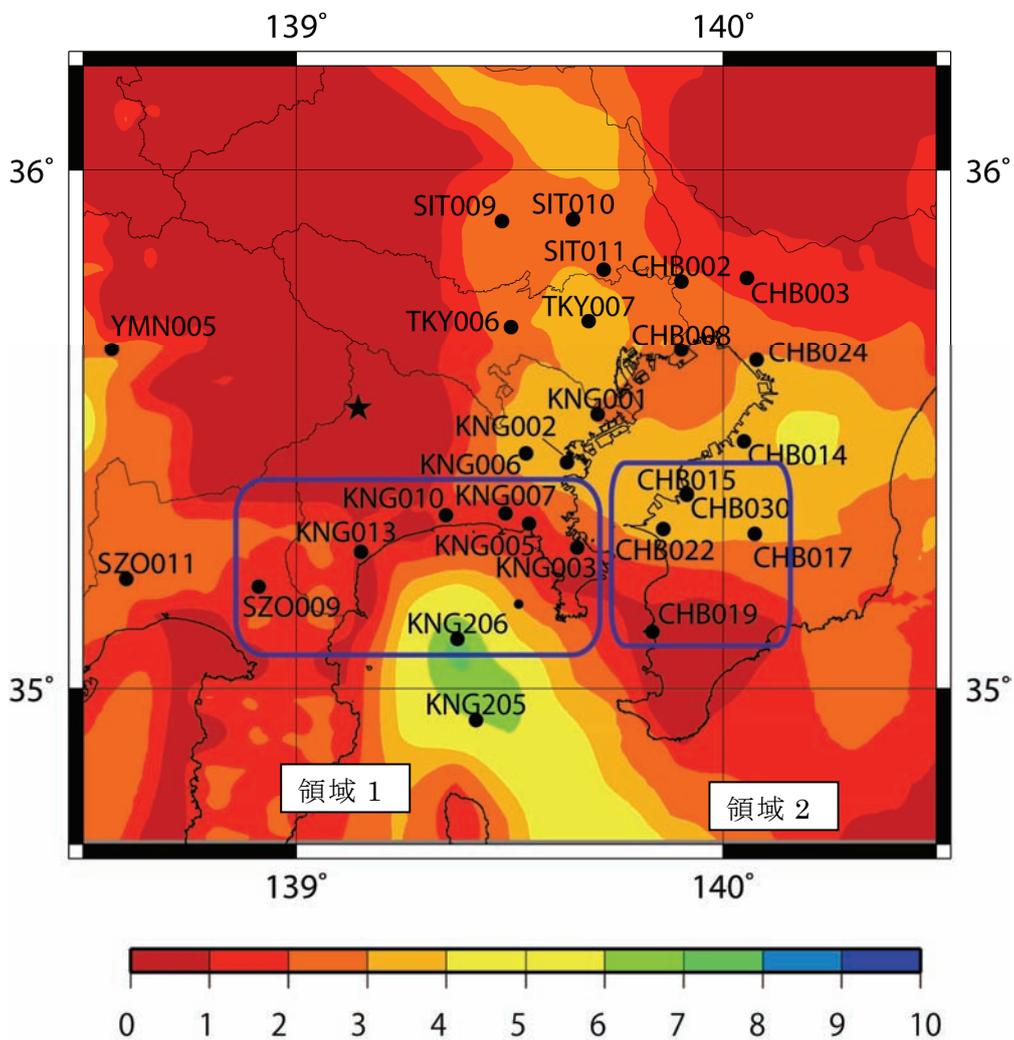
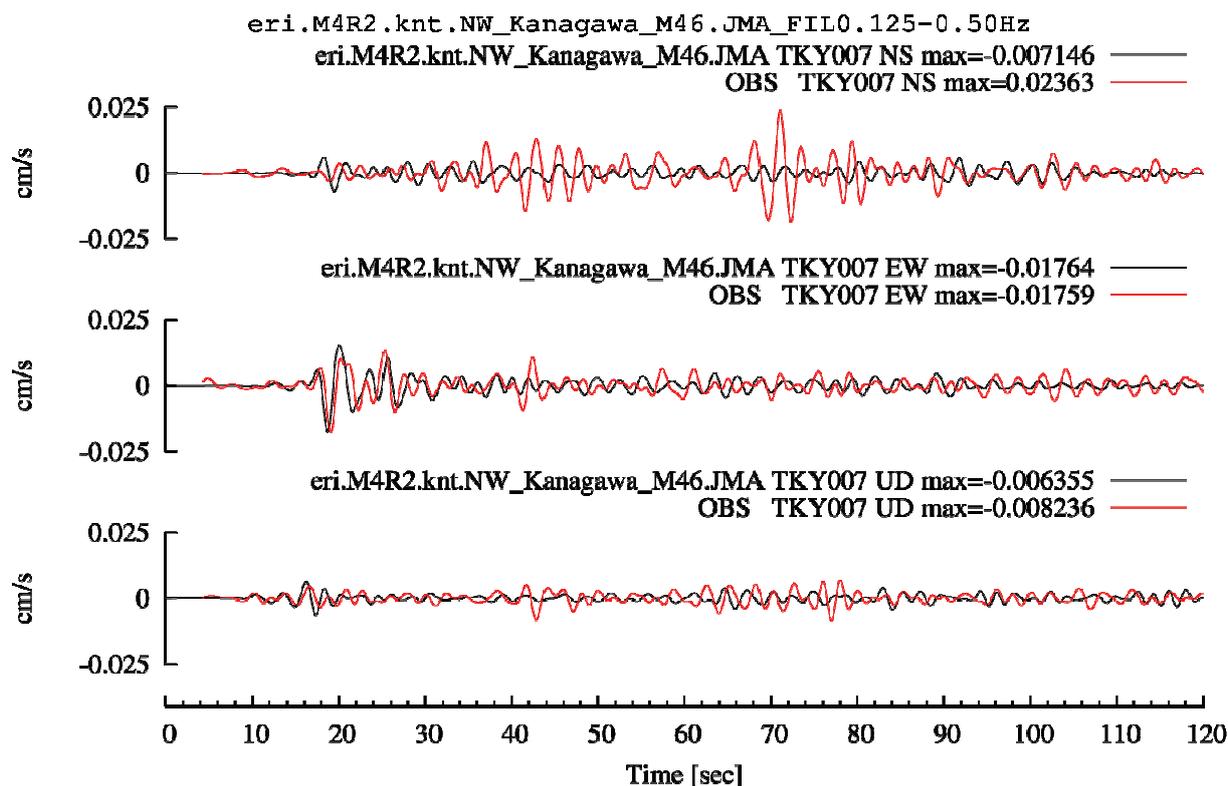


図 7 地震動シミュレーションにより観測波形の再現性を評価した観測点分布。図中のコンターは地震基盤上面（S波速度が 3.2 km/s）の深度をあらわす。



eri.M4R2.knt.NW\_Kanagawa\_M46.JMA\_ACC\_FIL0.125-0.50Hz

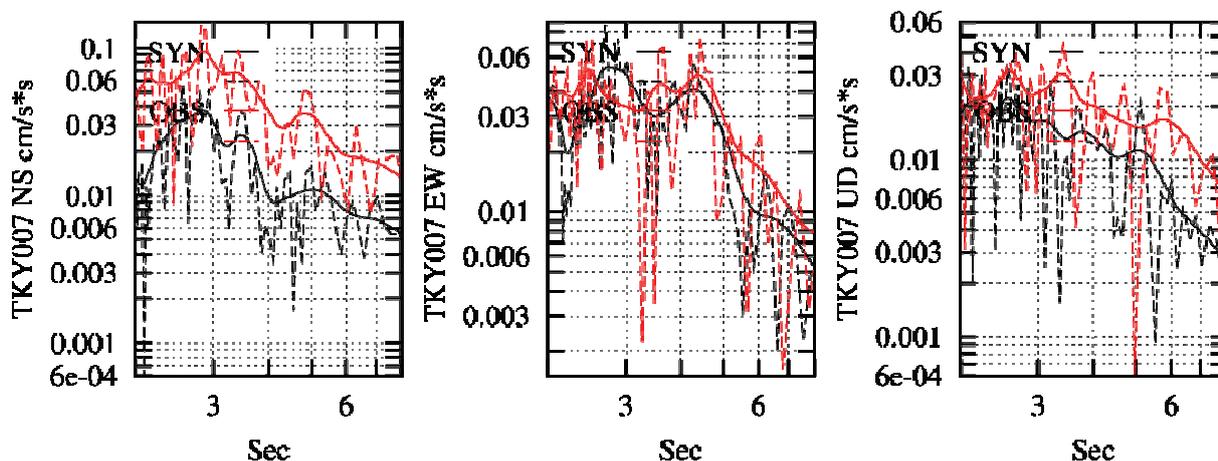
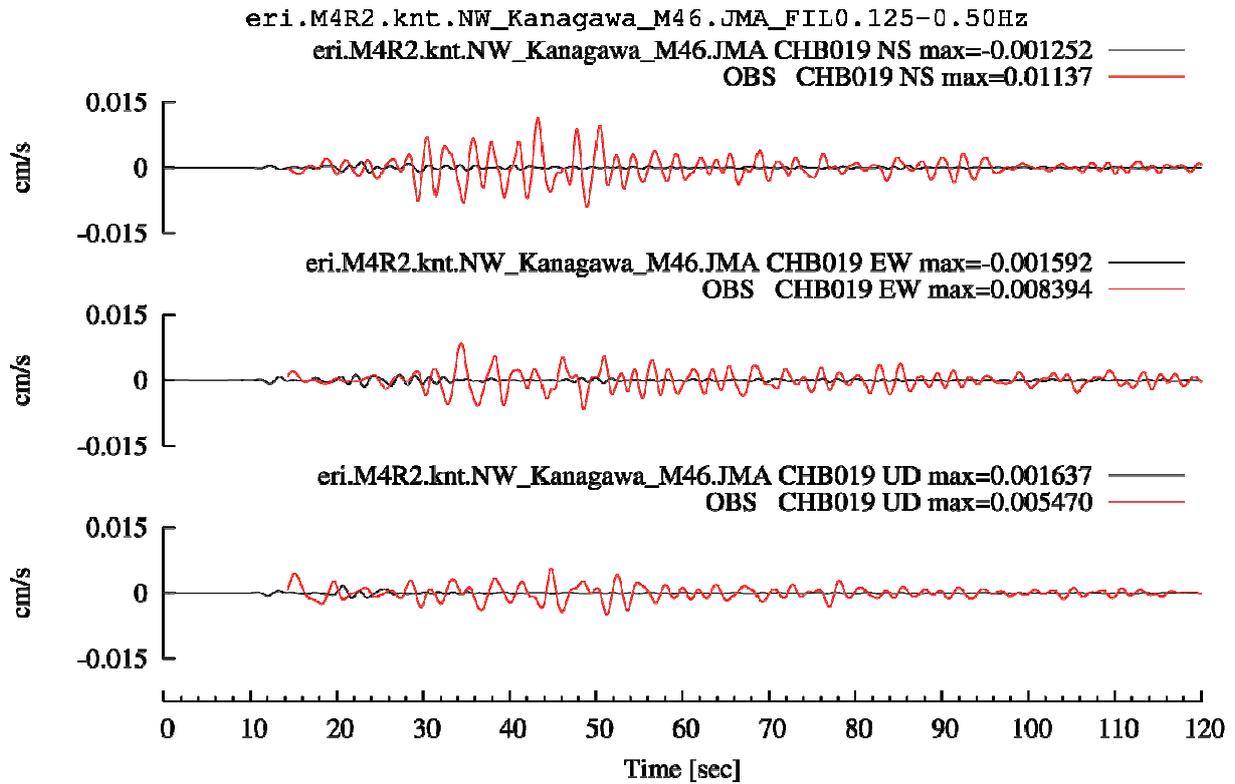


図8 TKY007 (新宿)における地震動シミュレーションの結果。それぞれ、赤が観測記録、黒が計算値を示す。(上段)速度波形。上から南北成分、東西成分、上下成分。(下段)フーリエスペクトル。実線は0.05 HzのParzebウィンドウで平滑化したスペクトル。左から南北成分、東西成分上下成分。何れの成分においても、観測波形が比較的良く再現されている。



eri.M4R2.knt.NW\_Kanagawa\_M46.JMA\_ACC\_FIL0.125-0.50Hz

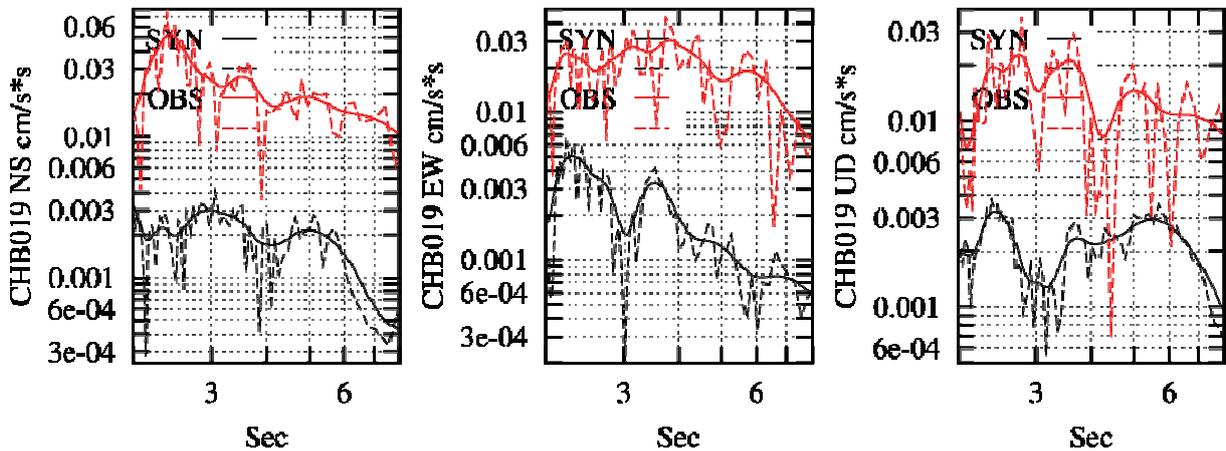


図9 CHB019 (鋸南)における地震動シミュレーションの結果。(上段)速度波形。上から南北成分、東西成分、上下成分。(下段)フーリエスペクトル。実線は0.05 HzのParzebウィンドウで平滑化したスペクトル。左から南北成分、東西成分、上下成分。それぞれ、赤が観測記録、黒が計算値を示す。何れにおいても、計算は慶賀観測波形を大きく上回っており、観測波形の再現性はあまりよくない。

### 3) 強震観測による当該地域における地震動の地域性の検討

関東地震や想定東海地震などの相模・駿河・南海トラフ沿いに繰り返し発生する地震に備え、本断層帯が位置する南関東の太平洋沿岸地域には多くの強震観測点が設置されている。本業務では、同地域に展開されている東京大学地震研究所の強震観測網の観測点で得られた強震記録（東京大学地震研究所強震観測データベース，<http://smsd.eri.u-tokyo.ac.jp/smad/>）の面的分布を調べることにより、地震動の地域性について検討した。

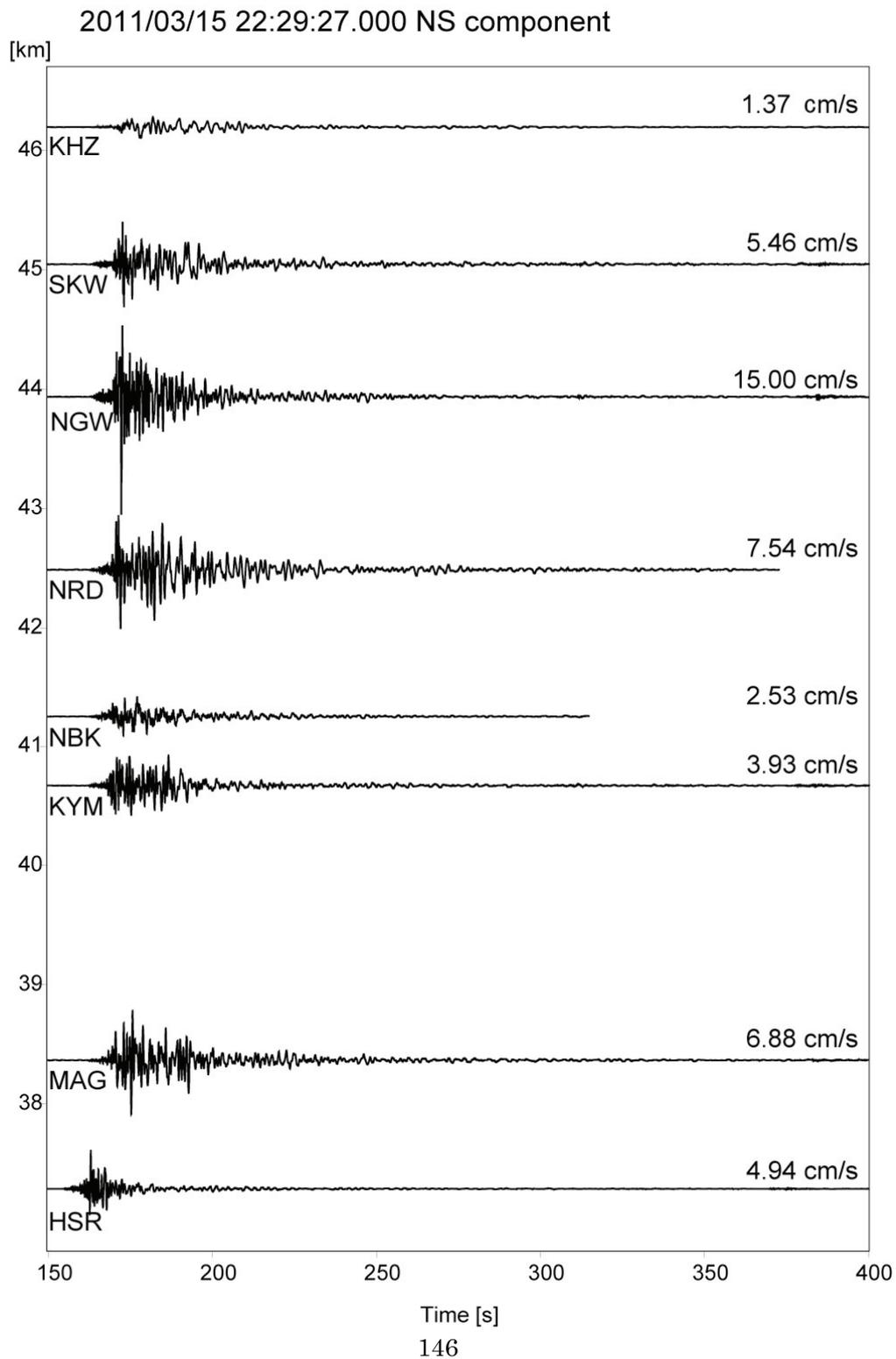


図 10 東京大学地震観測所の強震観測網で得られた 2011 年 3 月 15 日の静岡県東部の地震 (M6.0) の際の実速度波形 (南北成分)。縦軸は震央距離をあらわす。右の数値は南北成分における速度の最大値。

図 10 に 2011 年静岡県東部の地震 (Mj6.0、2011 年 3 月 15 日) の際に記録された伊豆・駿河湾地域の代表地点における速度波形を示す。足柄平野内に位置する観測点では、強い揺れが比較的長く継続しており、平野の中央部ほど継続時間が長くなっている。図 11、12 に 2011 年静岡県東部の地震 (Mj6.0、2011 年 3 月 15 日) の際に記録された伊豆・駿河湾地域の震度分布と代表地点における変位波形を示す。地震研究所の強震観測網で記録された地震動の震度相当値は 2 から 5 弱を示しており、平野の中央部よりも端部において大きな値となる傾向が見られる。

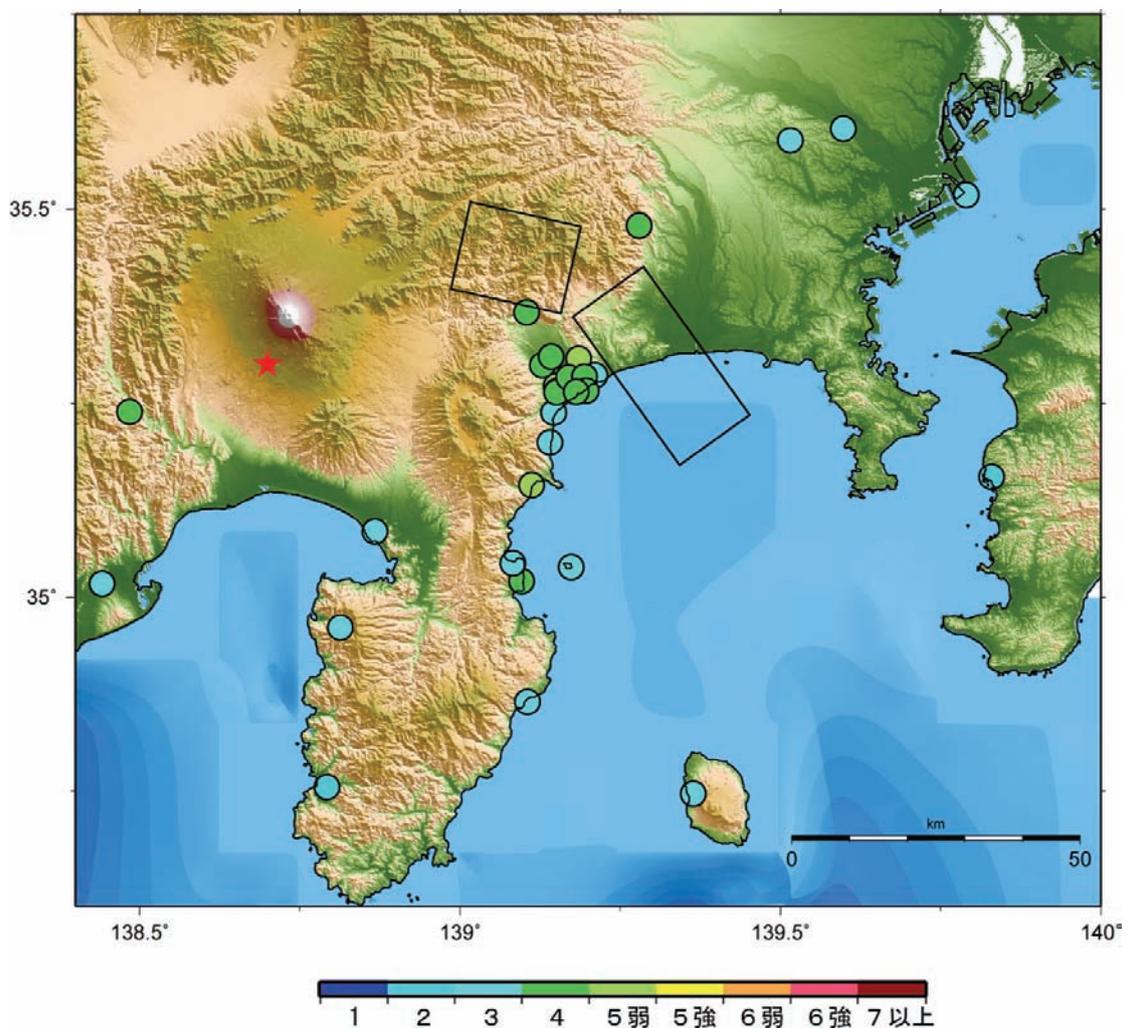


図 11 東京大学地震観測所の強震観測網で得られた 2011 年 3 月 15 日の静岡県東部の地震 (M6.0) の際の震度相当値分布。赤星は震央をあらわす (震源の深さは 10 km)。断層面の地表投影 (黒実線) は全国地震動予測地図 2010 年度版 (地震調査研究推進本部地震調査委員会、2010) でモデル化された本断層帯の位置と形状に基づく。

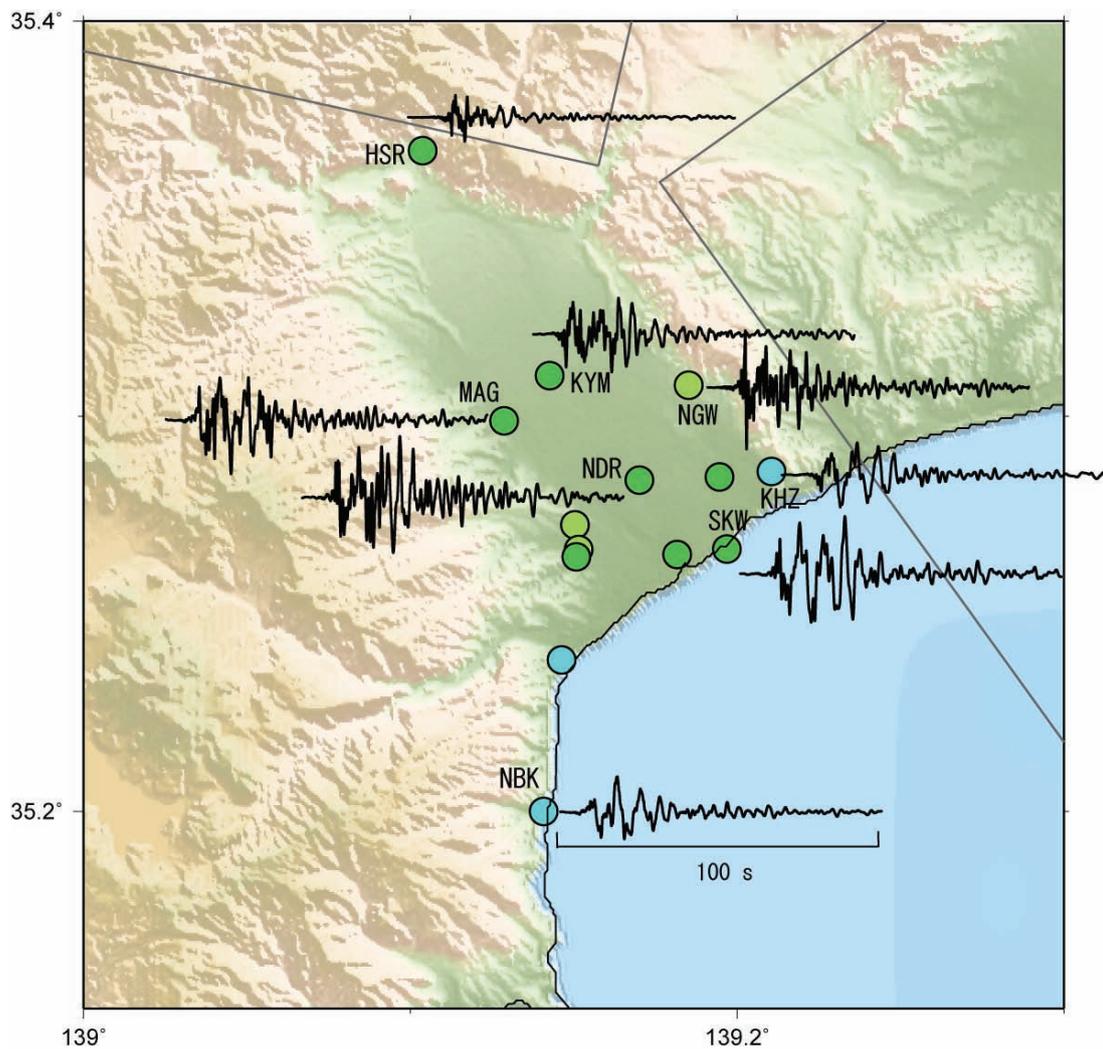


図12 東京大学地震観測所の強震観測網で得られた2011年3月15日の静岡県東部の地震（M6.0）の際の震度分布と代表地点に置ける変位波形。全観測点の波形振幅は、同じスケールで記載している。赤色の星は震央を示す。断層面の地表投影（黒実線）は全国地震動予測地図2010年度版（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2010）でモデル化された本断層帯の位置と形状に基づく。

同地震の最大加速度分布を図13および14に示す。昨年度調査した中規模地震（Mw4.9）では平野の中央部において周囲よりも強い地震動が記録されており、平野内における揺れの地域性は地震の特性に依存することが示唆される。

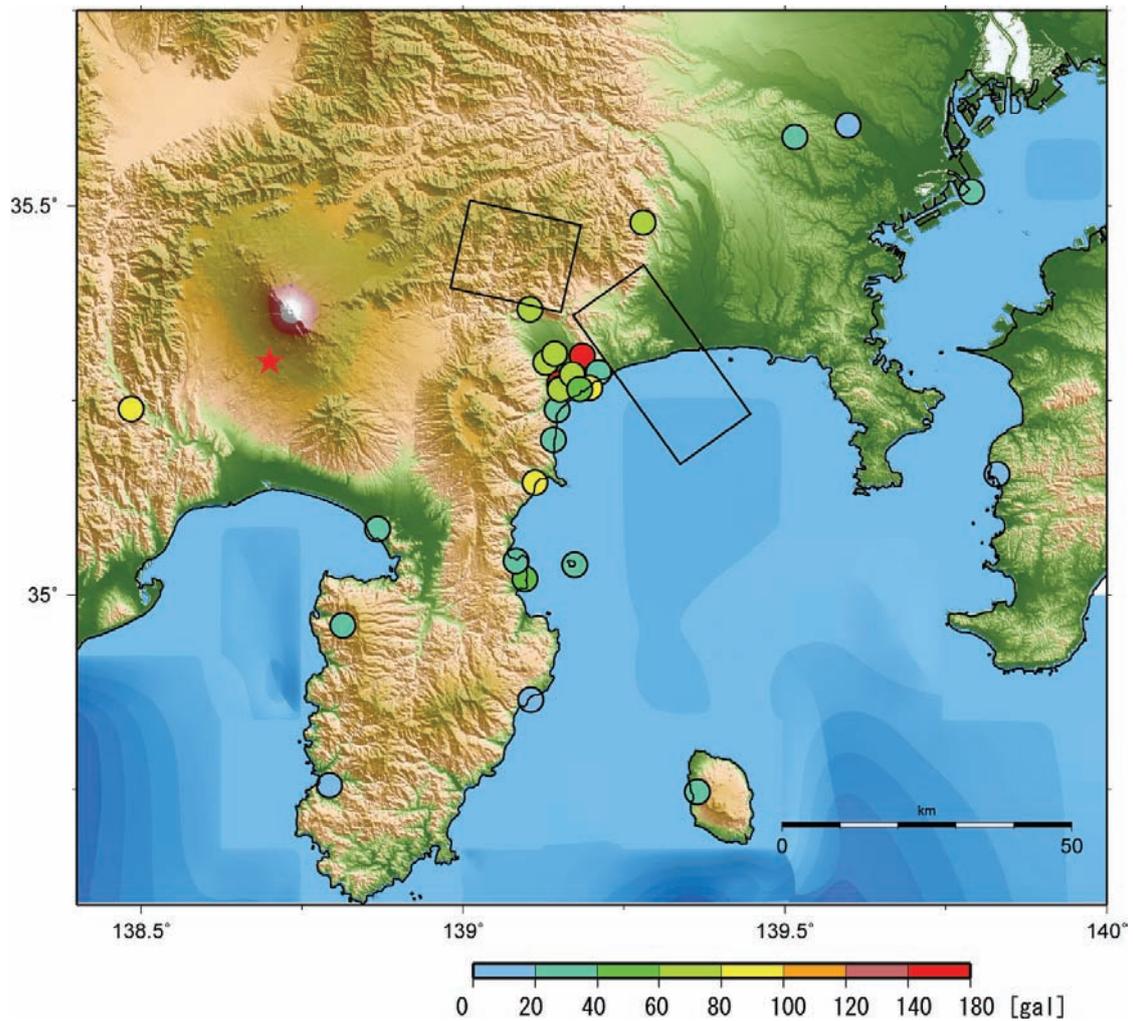


図 13 東京大学地震観測所の強震観測網で得られた 2011 年 3 月 15 日の静岡県東部の地震 (M6.0) の際の最大加速度分布。赤星は震央をあらわす (震源の深さは 10 km)。断層面の地表投影 (黒実線) は全国地震動予測地図 2010 年度版 (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2010) でモデル化された本断層帯の位置と形状に基づく。

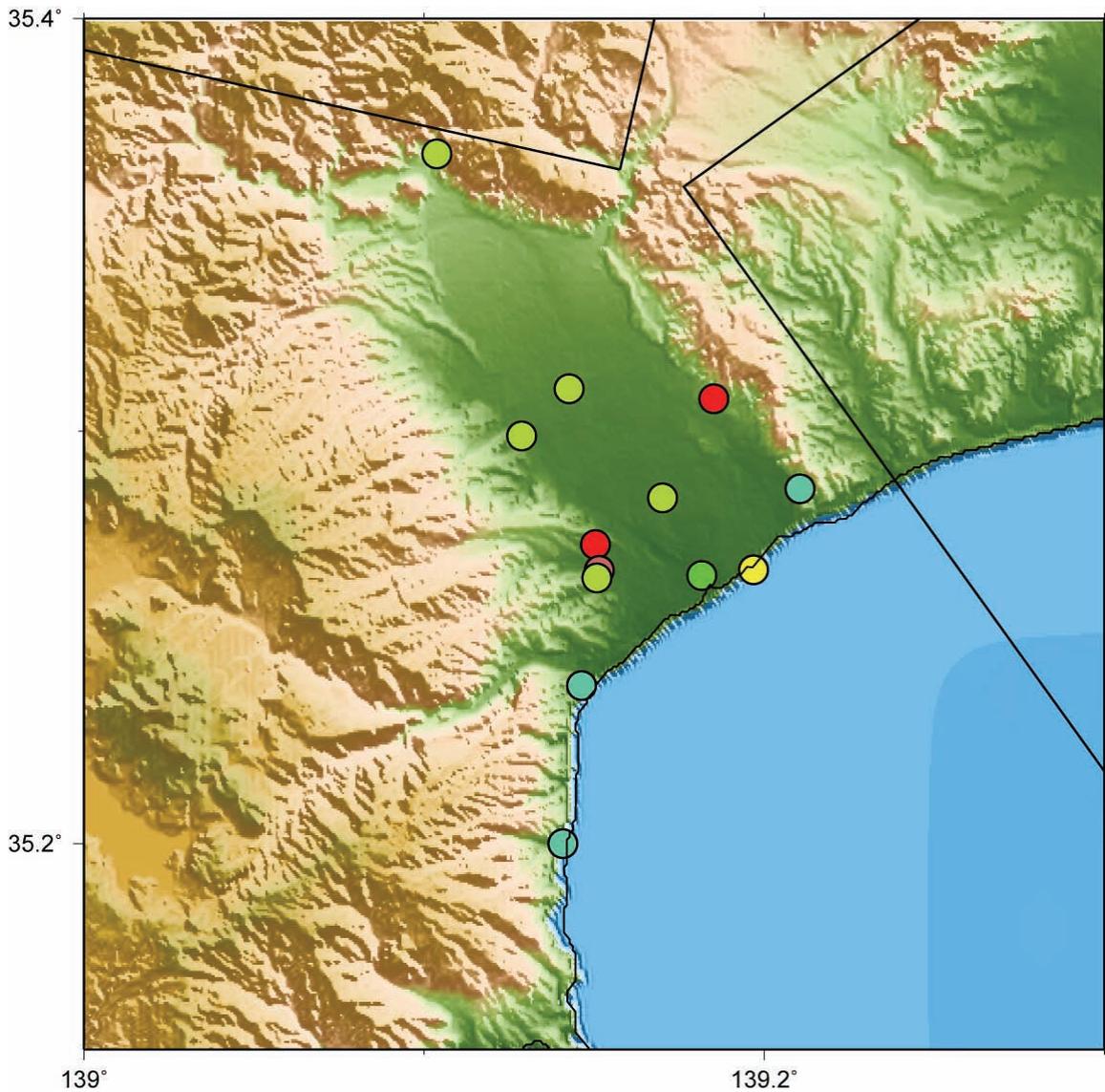


図 14 国府津－松田断層帯周辺部の拡大図。図 11 と同じカラースケールを使用している。断層面の地表投影（黒実線）は全国地震動予測地図 2010 年度版（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2010）でモデル化された本断層帯の位置と形状に基づく。

(c) 結論ならびに今後の課題

神縄・国府津－松田断層帯周辺域における強震動予測に向け、震源と地下構造のモデル化を進めた。震源モデルの構築については、主に文献より既存モデルについての情報収集を行った。本断層帯の震源モデルは、現時点においてもその修正が続けられている段階であり、今後、本プロジェクトで得られた構造探査等の成果も考慮したモデル化を実施することが課題である。一方、地下構造モデルの構築については、想定東海地震および東南海地震の長周期地震動予測のための全国 1 次地下構造モデルを、本研究対象領域における強震動予測に使用することに対する検討を行った。その結果、地域的にモデルの修正が必要であることが示された。また、本断

層帯周辺における強震記録を基に地震動の地域性の調査を実施し、地震の特性によって地震動の地域性が異なる可能性が示唆された。今後、以上の成果を基に、神縄・国府津－松田断層帯周辺域における地震動予測を実施する。

(d) 引用文献

- 1) 文部科学省研究開発局，神縄・国府津－松田断層帯周辺における重点的な調査観測平成 21 年度成果報告書，2010
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会，全国を概観した地震動予測地図 2008 年版，[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/08\\_yosokuchizu/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/08_yosokuchizu/index.htm)，2008.
- 3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会，全国地震動予測地図 2009 年版，[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09\\_yosokuchizu/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/index.htm)，2009.
- 4) 地震調査研究推進本部地震調査委員会，全国地震動予測地図 2010 年版，[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10\\_yosokuchizu/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10_yosokuchizu/index.htm)，2010.
- 5) 地震調査研究推進本部地震調査委員会，神縄・国府津－松田断層帯の調査結果と評価について，1997.
- 6) 地震調査研究推進本部地震調査委員会，神縄・国府津－松田断層帯の調査結果と評価の一部改訂について，2005.
- 7) 地震調査研究推進本部地震調査委員会，神縄・国府津－松田断層帯の調査結果と評価の一部改訂について，2009.
- 8) Koketsu K., H. Miyake, Afnimar, Y. Tanaka, A proposal for a standard procedure of modeling 3-D velocity structures and its application to the Tokyo metropolitan area, Japan, Tectonophysics, 290-300, 2009.
- 9) Pitarka, A., 3D elastic finite-difference modeling of seismic motion using staggered grids with nonuniform spacing, Bull. Seismol. Soc. Am., 89, 54-68, 1999.

(3) 平成 23 年度業務計画案

平成 21 年度および 22 年度に得られた震源モデルおよび地下構造モデルに基づいて地震動予測を実施する。