

3. 2 長周期地震動予測に資する地下構造モデルの検討等

(1) 研究の内容

(a) 研究の題目

長周期地震動予測に資する地下構造モデルの検討等

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人 防災科学技術研究所	研究領域長	藤原 広行
独立行政法人 防災科学技術研究所	主任研究員	森川 信之
独立行政法人 防災科学技術研究所	契約研究員	前田 宜浩
独立行政法人 防災科学技術研究所	契約研究員	岩城 麻子

(c) 研究の目的

①全国1次地下構造モデルの改良

最近の研究成果等に基づいて深部地盤の全国1次地下構造モデルを改良するとともに、地震動シミュレーション結果と地震動観測データとの比較によりモデルを検証する。

②浅部・深部統合地盤モデルの検討

浅部と深部を統合した地盤モデルの高度化手法について整理し、首都圏を含む南関東地域を対象として作成された浅部・深部統合地盤モデルを対象として、地震動観測データ等を用いた検証を実施することにより、長周期地震動予測地図の作成を高度化するための地下構造モデルの改良方法を提示する。

(2) 平成24年度の成果

(a) 研究の要約

①全国1次地下構造モデルの改良

平成23年度までに実施された「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」の成果および内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会で作成されたフィリピン海プレート上面の構造を取り込むことにより全国1次地下構造モデルを改良した。また、関東地方を対象として、複数の地震の地震動シミュレーションを実施し、観測記録との比較によりモデルを検証した結果、観測点直下の一次元的な構造モデルとしては概ね良好であるものの、三次元的な構造についてはまだ改良の余地があることを示した。

②浅部・深部統合地盤モデルの検討

従来別々に作成されていた浅部地盤と深部地盤を統合し高度化した地盤モデルの作成手法について整理した。千葉県・茨城県地域を対象として作成された浅部・深部統合地盤モデルを用いて地震動シミュレーションを実施し、全国1次地下構造モデルによるシミュレーション結果とともに観測記録と比較することにより、統合地盤モデルの有意性を示した。

(b) 研究の成果

1) 最近の研究成果等の全国 1 次地下構造モデルへの取り込み

平成 24 年 1 月に地震調査研究推進本部より公表された「長周期地震動予測地図 2012 年試作版」では付録として「全国 1 次地下構造モデル（暫定版）」が公表されている。平成 23 年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」では、南西諸島および千島列島への沈み込むプレート構造の拡張と日本海東縁部の初期モデルを作成が作成され、「全国 1 次地下構造モデル（暫定版）」との接続が行われている。一方で、フィリピン海プレートの構造に関して、新たな調査研究の成果なども示されている。そこで本検討では、最新の成果を踏まえたフィリピン海プレート構造を取り込むことにより全国 1 次地下構造モデルを改良する。

関東地方のフィリピン海プレートの構造について、全国 1 次地下構造モデルでは、Sato et al. (2005) による地震波探査等により得られている構造を基に作成されている。平成 19 年度から 23 年度まで実施された首都直下地震防災・減災特別プロジェクトでは、同プロジェクトで展開された高密度な地震観測網（MeSO-net）によるデータから得られた震源分布や地震波速度構造から、Sato et al. (2005) の構造がさらに修正される形となっている。（図 3.2-1）。一方、内閣府の南海トラフの巨大地震モデル検討会では、南海トラフの最大クラスの地震による震度分布・津波高の推定にあたり、最近の研究成果（図 3.2-2）に基づいた新たなプレートモデルが作成されている（図 3.2-3）。本検討では、フィリピン海プレート上面構造に関して、平成 23 年度に作成された全国 1 次地下構造モデル（暫定版）を南西諸島まで拡張したモデル（以下、1 次拡張モデル）と首都直下地震防災・減災特別プロジェクトによるプレートモデル（以下、首都直下モデル）および南海トラフの巨大地震モデル検討会によるプレートモデル（以下、内閣府モデル）との接合を行った。ただし、首都直下モデルと全国 1 次地下構造モデルとの接合は、首都直下プロジェクトにおいてなされており、ここではそのデータを用い、主に以下の二点の作業を実施した。

- ・伊豆半島付近およびその北側において、首都直下モデルと内閣府モデルを接合
- ・日向灘南端付近において、1 次拡張モデルと内閣府モデルを接合

図 3.2-4 に関東地方における 1 次拡張モデル、首都直下モデル、およびその両者を接合したモデルのフィリピン海プレートの上層（海洋性地殻第 2 層）の標高を比較して示す。神奈川県東部および東京都において首都直下モデルの方が深くなっている一方で、埼玉県東部や千葉県西部では反対に首都直下モデルの方がわずかだが浅くなっている。なお、実際にはフィリピン海プレート上面だけではなく、その下の海洋性地殻第 3 層および海洋性マントルの上面境界構造も作成されている（図 3.2-5、図 3.2-6）。

フィリピン海プレートの上層について、内閣府モデルも含めて最終的に接合されたモデルを接合前のモデルと比較して図 3.2-7 に示す。

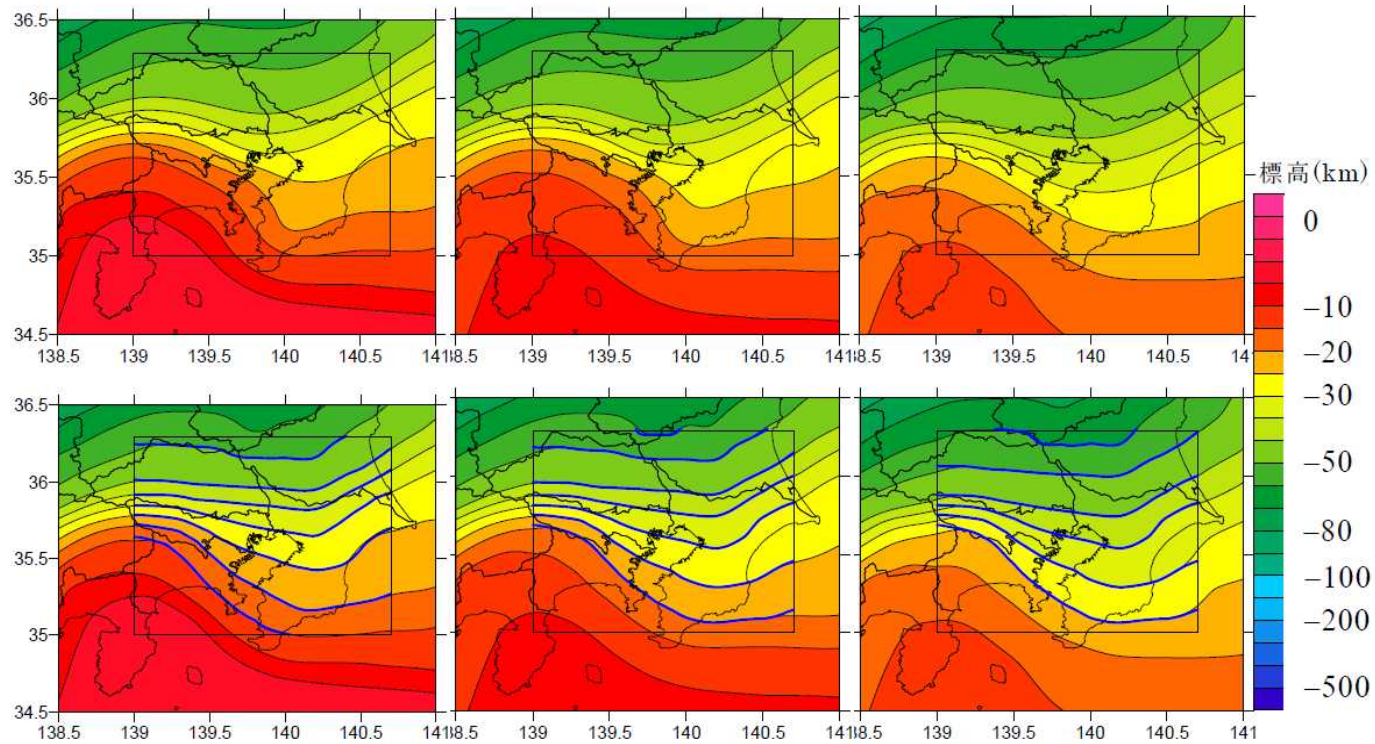
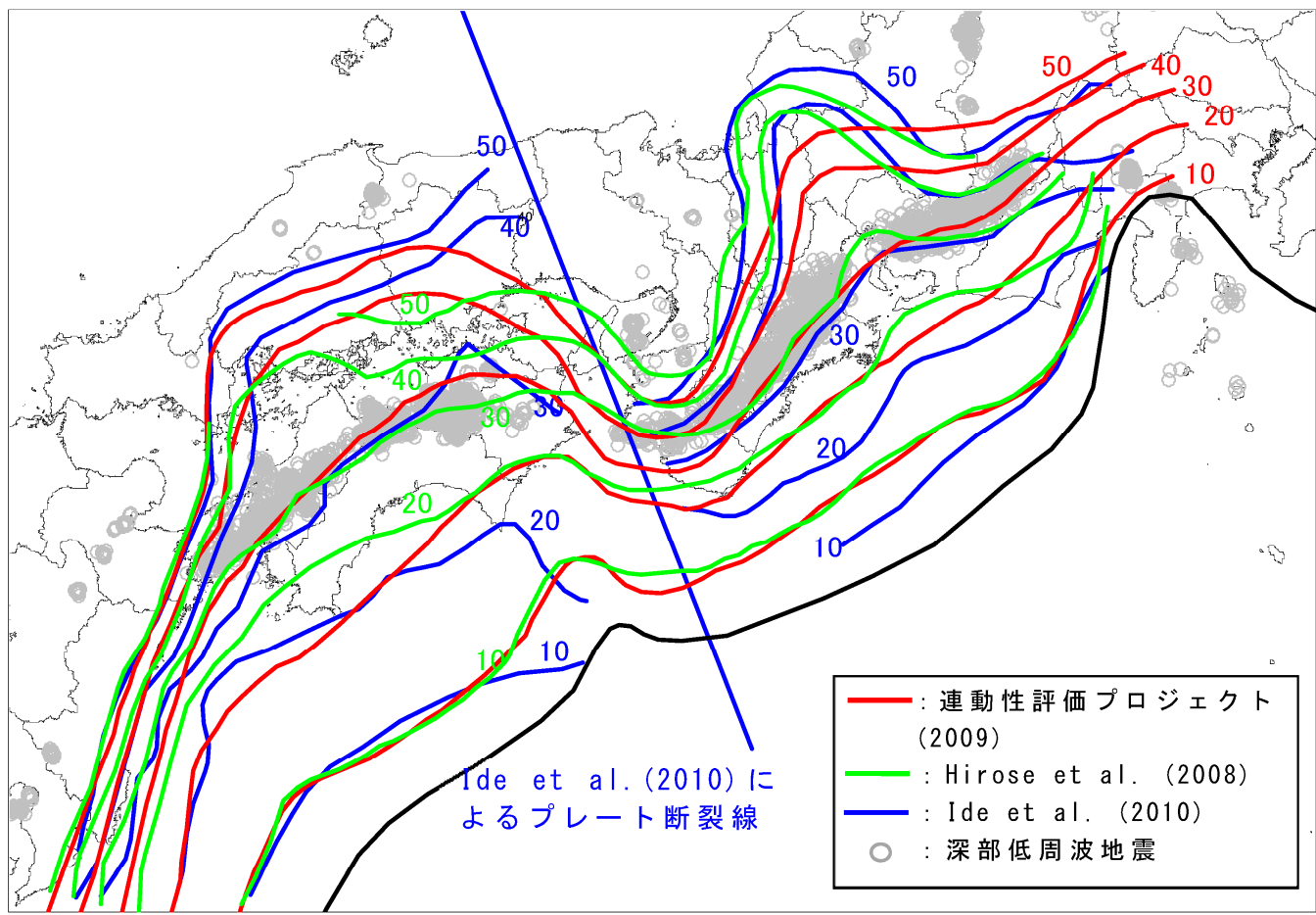


図 1. フィリピン海プレート構造モデルの構築

上段は全国 1 次地下構造モデル、下段の青線は本報告書 3.1.1 によるフィリピン海プレートの深さ分布。それぞれ左から、海洋性地殻第 2 層、海洋性地殻第 3 層、海洋性マントル。横軸は東経、縦軸は北緯。

図 3.2-1 首都直下地震防災・減災特別プロジェクトによるプレートモデル（文部科学省・東京大学地震研究所、2012 より）。



図IV.4 プレート形状 各研究成果のコンターの比較

図 3.2-2 南海トラフにおけるフィリピン海プレート上面構造に関する最近の研究成果（内閣府、2011 より）。

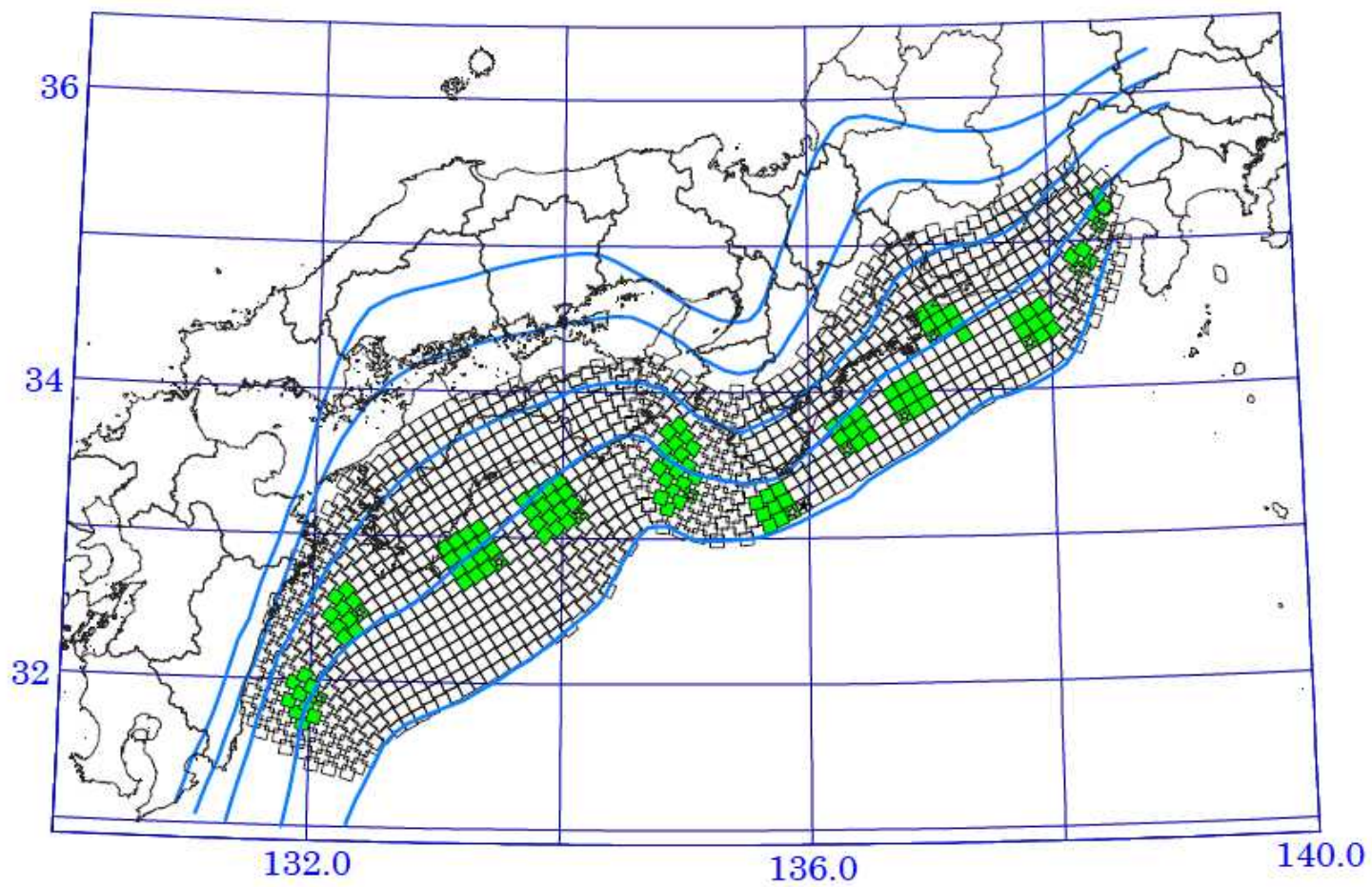


図 3.2-3 南海トラフの巨大地震モデル検討会によるフィリピン海プレートのモデル（等深度コンター；10km 間隔）と強震断層モデル（内閣府、2012 より）。

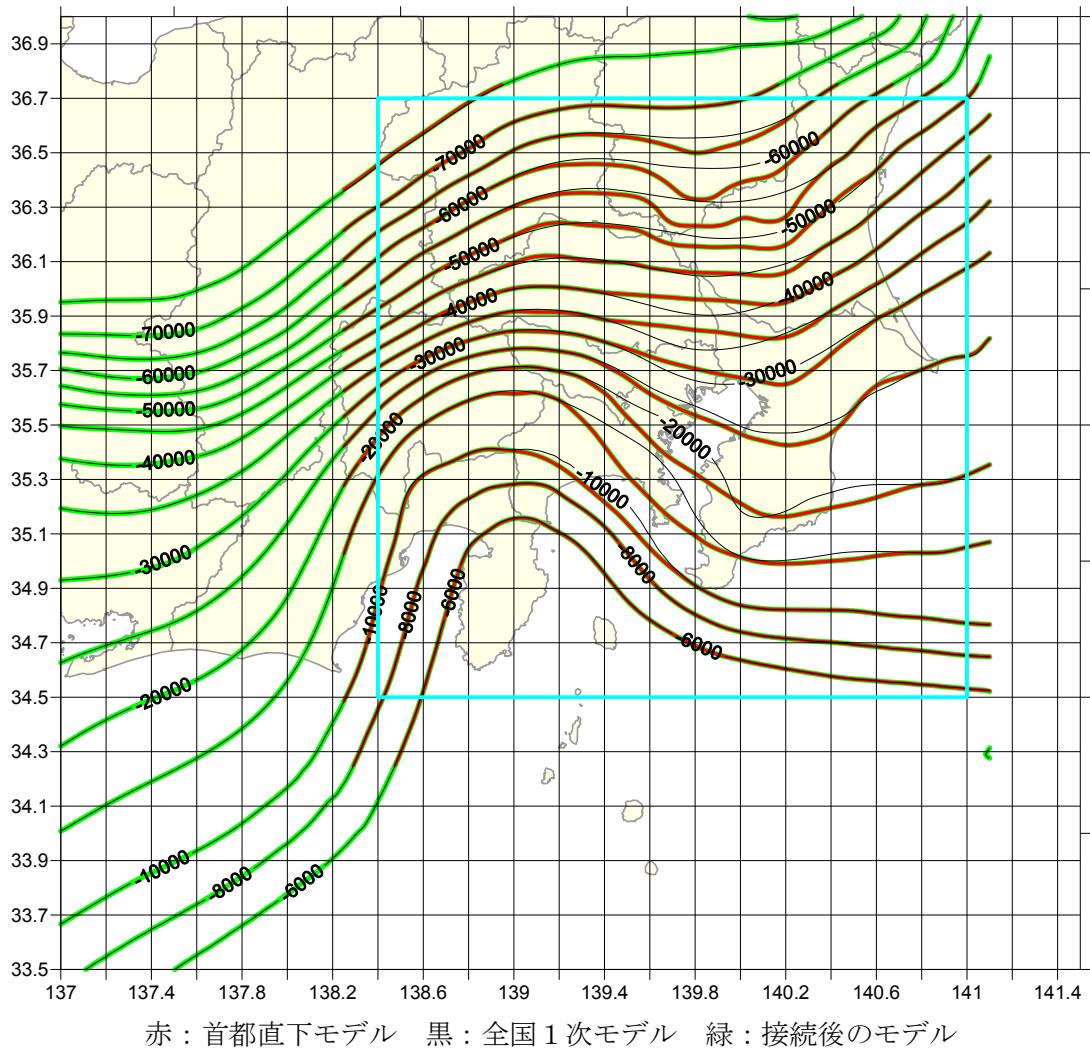
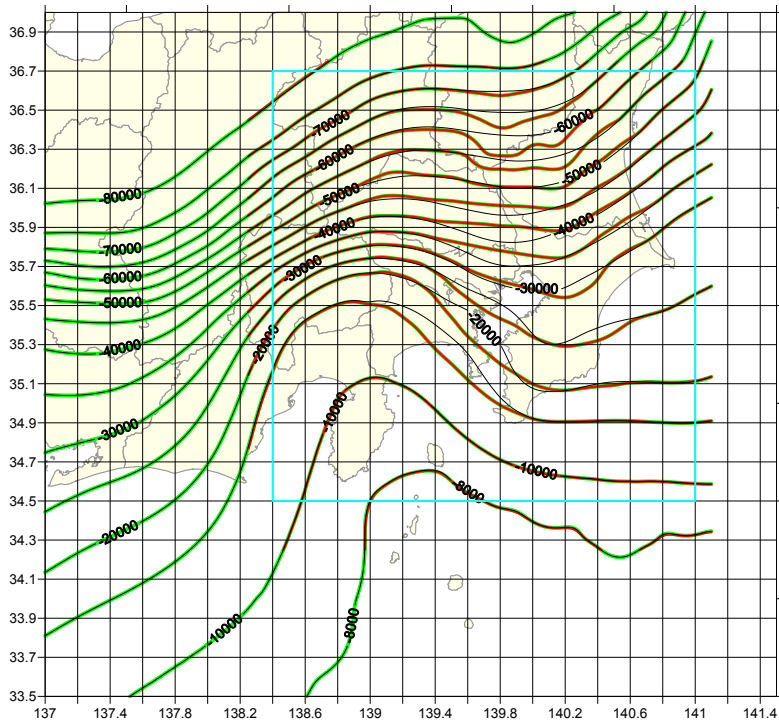
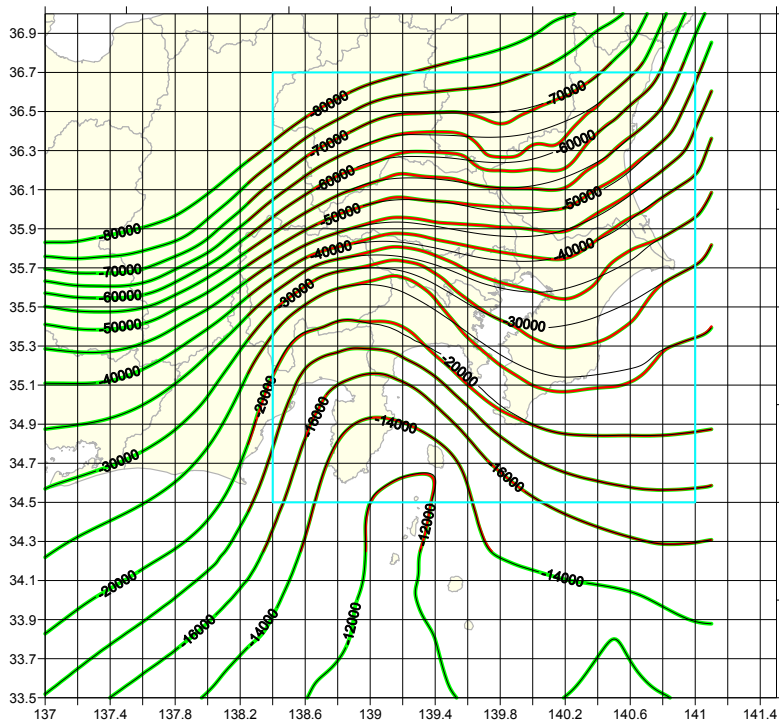


図 3.2-4 首都圏におけるフィリピン海プレート上面（海洋性地殻第2層上面）標高。



赤：首都直下モデル 黒：全国一次モデル 緑：接続後のモデル

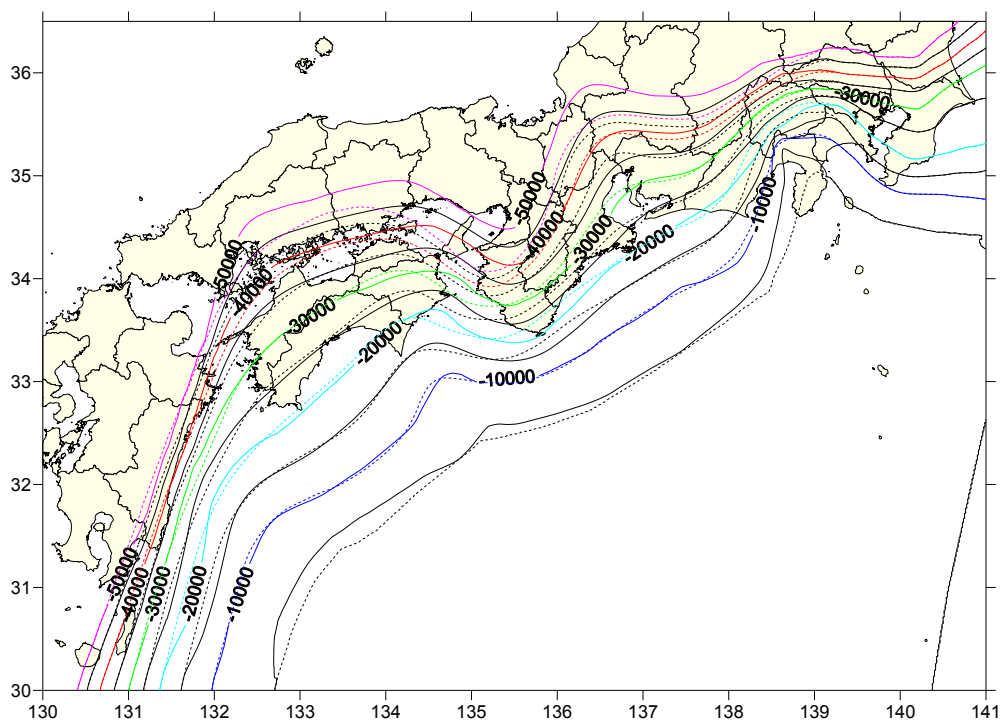
図 3.2-5 フィリピン海プレートの海洋性地殻第3層の上面標高。



赤：首都直下モデル 黒：全国一次モデル 緑：接続後のモデル

図 3.2-6 フィリピン海プレートの海洋性マントルの上面標高。

実線：接合モデル、点線：1次拡張モデル



実線：接合モデル、灰色線：内閣府モデル

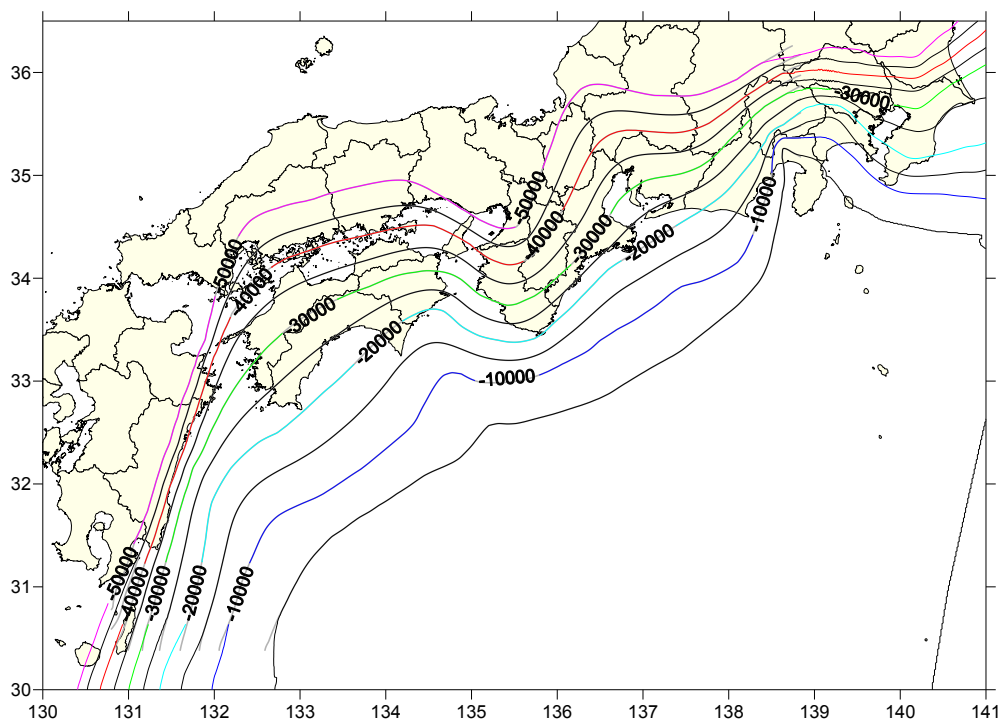


図 3.2-7 接合したフィリピン海プレート上面（海洋性地殻第2層）の標高。

2) 関東地域を対象とした全国1次地下構造モデルの検証

関東地域に関して、全国1次地下構造モデルでは、長周期地震動予測地図2009年試作版において宮城県沖地震と南海トラフ（想定東海地震、東南海地震）で別々にチューニングされ、作成された構造が統合されている。そこで今回、プレート構造の修正による影響も含めて、関東平野を対象とした地下構造モデルの妥当性を確認するため、関東平野に対して直下および平野外のそれぞれを震源とする地震を対象とした地震動シミュレーションを実施し、地震動観測記録との比較を行った。

妥当性の確認にあたり、観測波形、計算波形それぞれのフーリエスペクトルを算出し、Anderson (2004) による下記の指標を計算した。

$$s(p_1, p_2) = \exp\left\{-\left[\frac{(p_1 - p_2)}{\min(p_1, p_2)}\right]^2\right\} \quad (3.2-1)$$

ここで、 p_1 はある周期における観測波形によるフーリエスペクトル、 p_2 はある周期における計算波形によるフーリエスペクトルである。

2.5から4秒、4秒から6秒、6秒から10秒の3帯域にわけ、それぞれの周期帯域で s の平均値を求めた。また、速度波形の最大値についても同様にしてAnderson (2004) による指標を計算した。(3.2-1) 式の s は図3.2-8のような関数になる。 p_1 を2とした場合の p_2 の変化による s の変化を示したものである。いわゆる倍半分の精度というのは、 s の値は概ね0.4を示す。

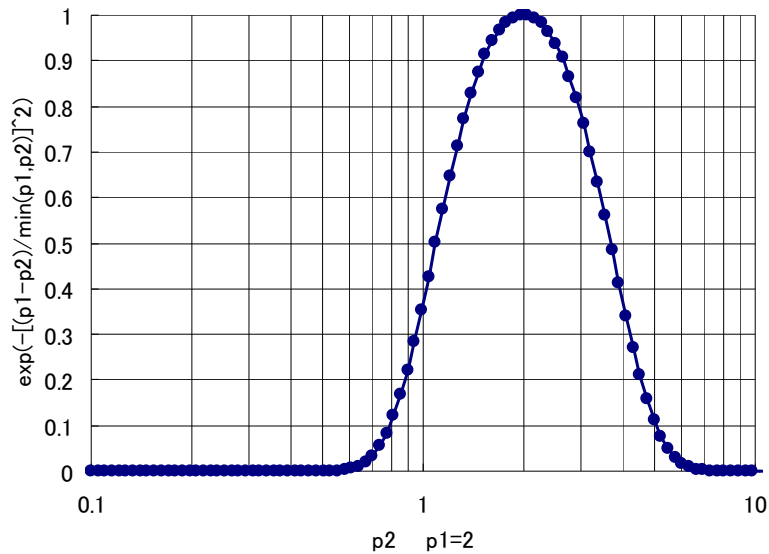


図 3.2-8 Anderson (2004) による指標で p_1 が 2 の場合の指標の分布。

(A) 2005年7月23日 千葉県北西部の地震 (Mj6.0)

この地震は、関東平野の直下で発生した太平洋プレート内の地震である。表3.2-1に計算に用いた震源パラメータを示す。メカニズム解については、F-netの解析結果をもとに設定した。震源および計算結果を示す観測点位置を図3.2-9に示す。

計算波形と観測波形の比較を図3.2-10に、スペクトルの相関および最大速度の相関を図3.2-11に示す。計算波形は概ね観測波形をよく説明できている。なお、プレート構造の違いによる計算結果の相違は小さい。相関に関しては、計算領域のほぼ全域で0.7以上の値を示しており、観測データをよく説明できていることが分かる (図3.2-11)。最大速度の比較を図3.2-12に示す。NS成分の最大値がややばらついているが、理由として、地下構造モデルではなく計算に用いた震源モデル (メカニズム解) が合致していない可能性が考えられる。

表3.2-1 地震動シミュレーションにおける震源パラメータ。

日時	2005/7/23 16:35	2009/8/11 5:07	2009/8/11 18:09		
震源位置	千葉県北西部	駿河湾 (本震)	駿河湾 (余震)		
緯度 [° N]	35.582	34.805	34.8192		
経度 [° E]	140.138	138.502	138.5308		
深さ [km]	68	21.6	19.5	14	14
地震モーメント [Nm]	9.11×10^{17}	4.60×10^{18}	2.08×10^{15}		
Mw	5.9	6.4	4.2		
走向	8	63/307	107	107	269
傾斜	64	59/47	66	66	33
すべり角	101	各要素断層	106	106	79

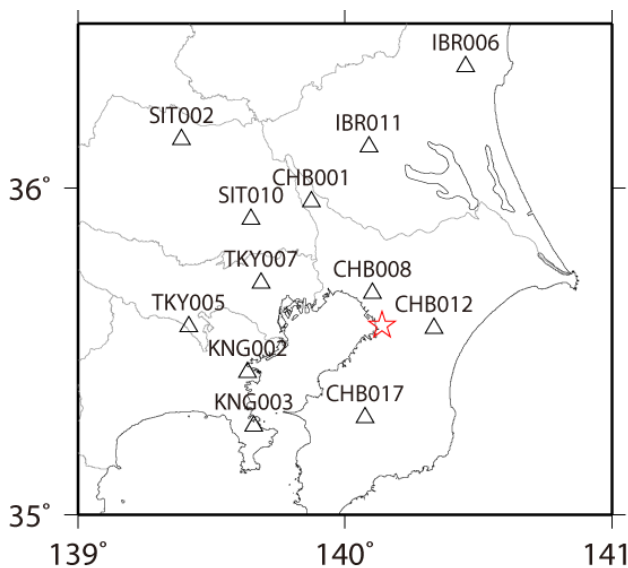
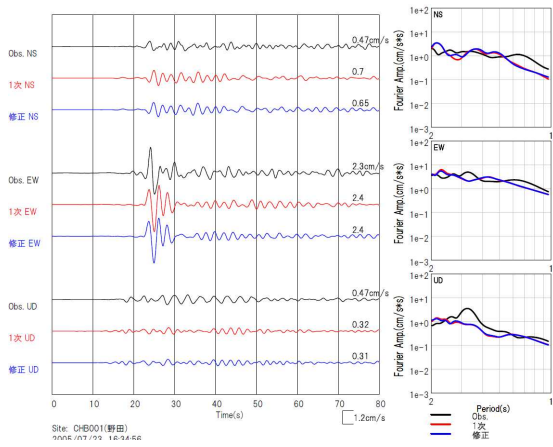
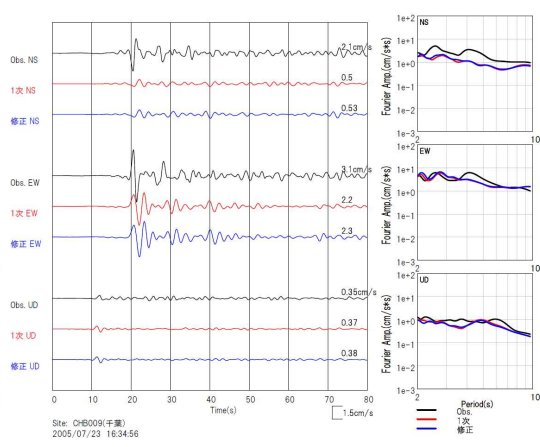


図3.2-9 2005年7月23日の千葉県北西部の地震の震央位置 (気象庁による) と波形の比較を行う観測点位置。

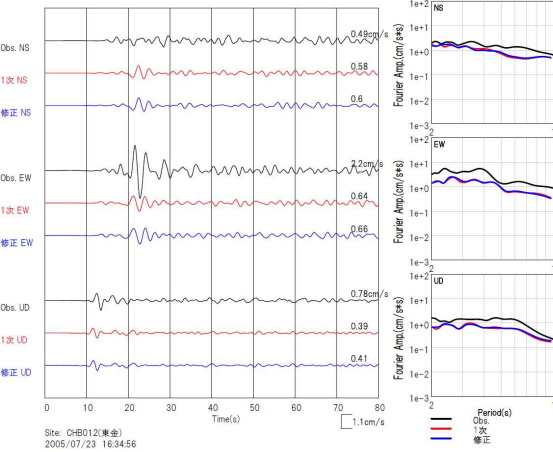
CHB001 (K-NET 野田)



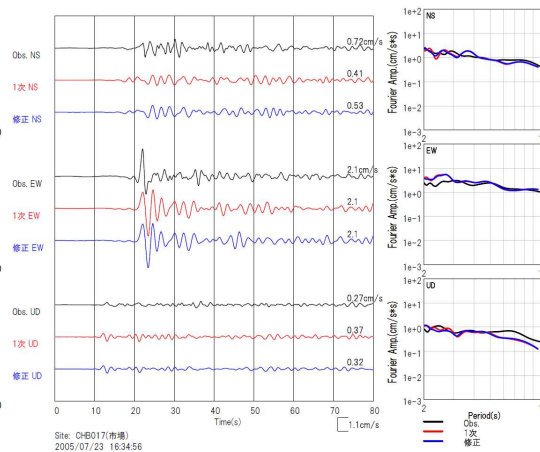
CHB009 (K-NET 千葉)



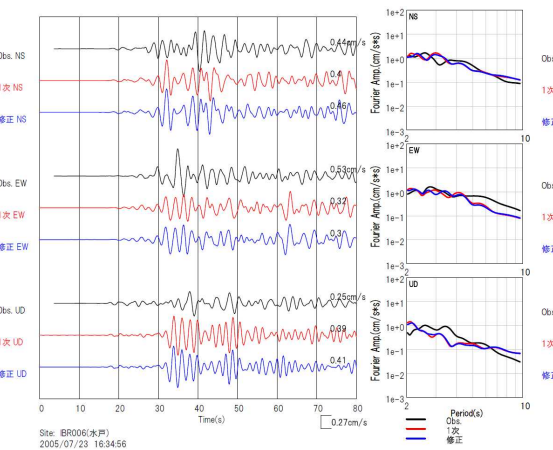
CHB012 (K-NET 東金)



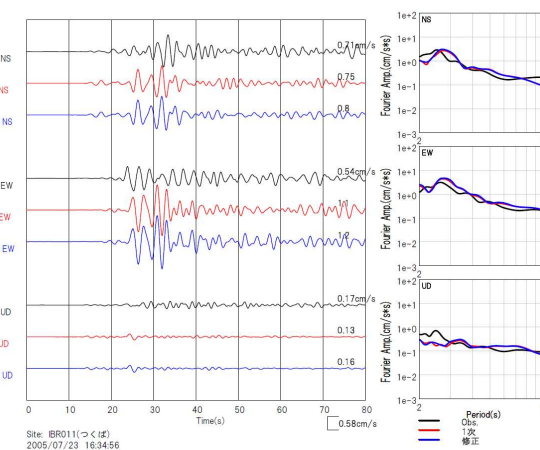
CHB017 (K-NET 市場)



IBR006 (K-NET 水戸)



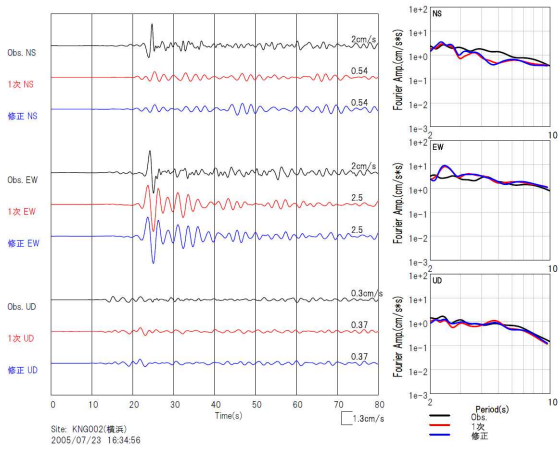
IBR011 K-NET (つくば)



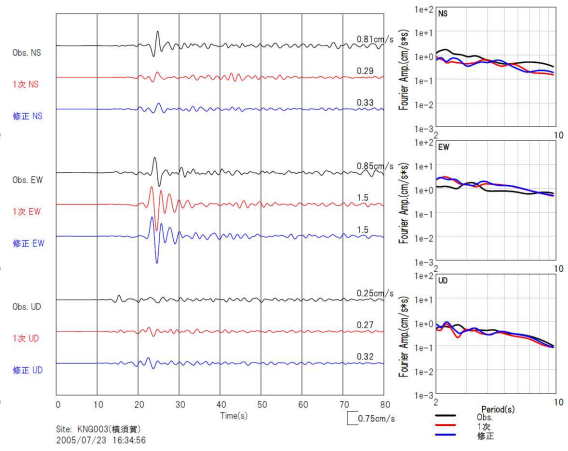
黒：観測速度波形（周期 3-10 秒） 赤：1次拡張モデル 青：プレート修正

図 3.2-10 (1) 千葉県北西部の地震の計算結果。

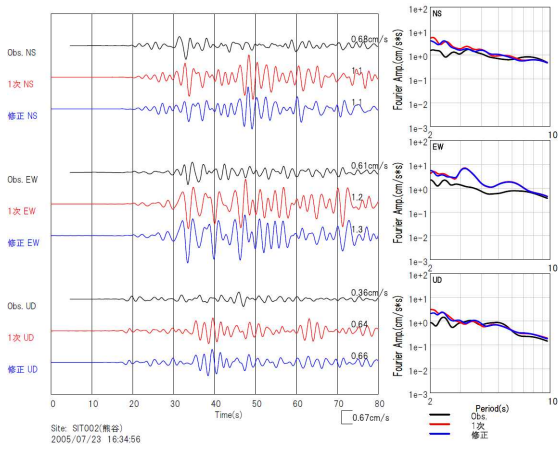
KNG002 (K-NET 横浜)



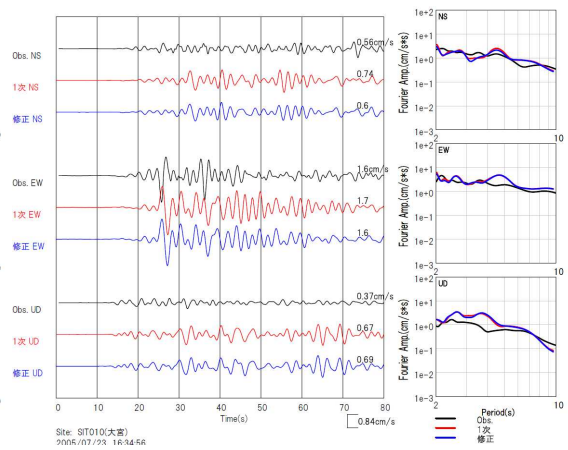
KNG003 (K-NET 横須賀)



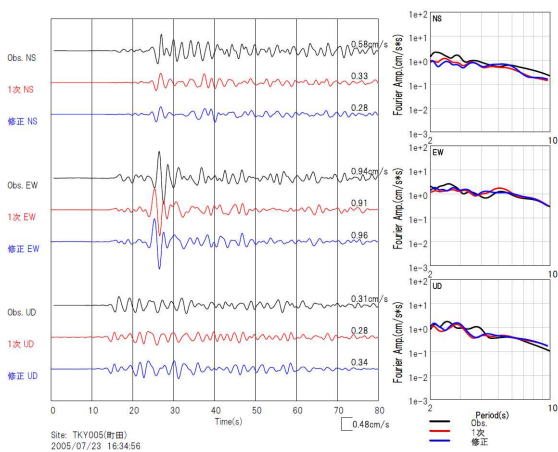
SIT002 (K-NET 熊谷)



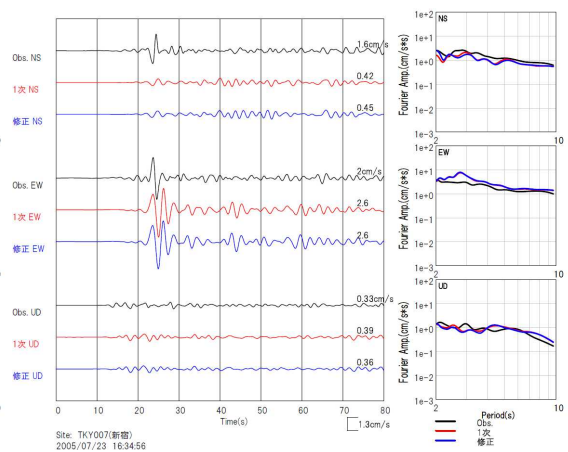
SIT010 (K-NET 大宮)



TKY005 (K-NET 町田)

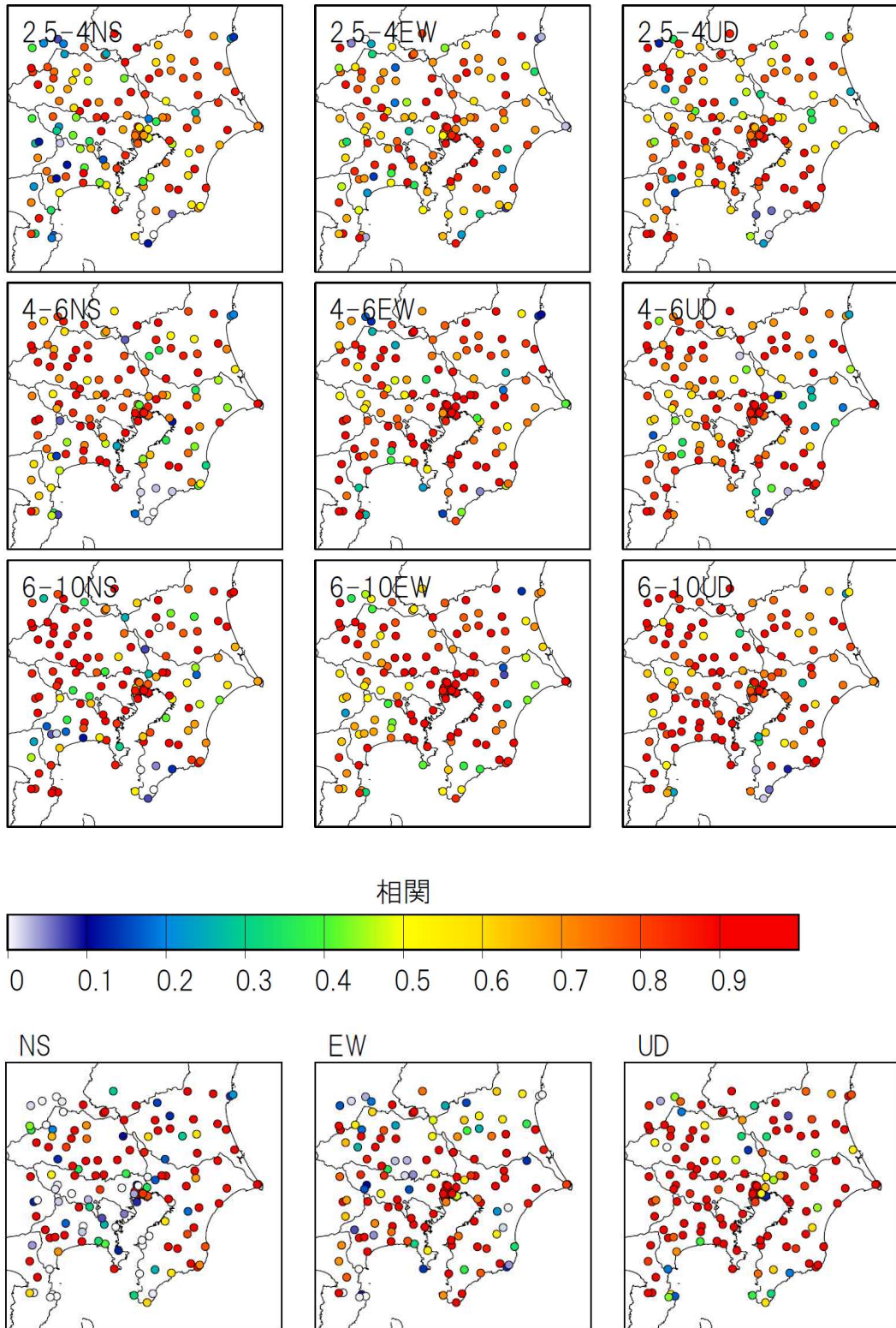


TKY007 (K-NET 新宿)



黒：観測速度波形（周期 3-10 秒） 赤：1次拡張モデル 青：プレート修正

図 3.2-10 (2) 千葉県北西部の地震の計算結果。



上から、周期 2.5-4.0 秒、4.0-6.0 秒、6.0-10.0 秒、最大速度

図 3.2-11 フーリエスペクトルおよび最大速度値の相関（千葉県北西部の地震）。

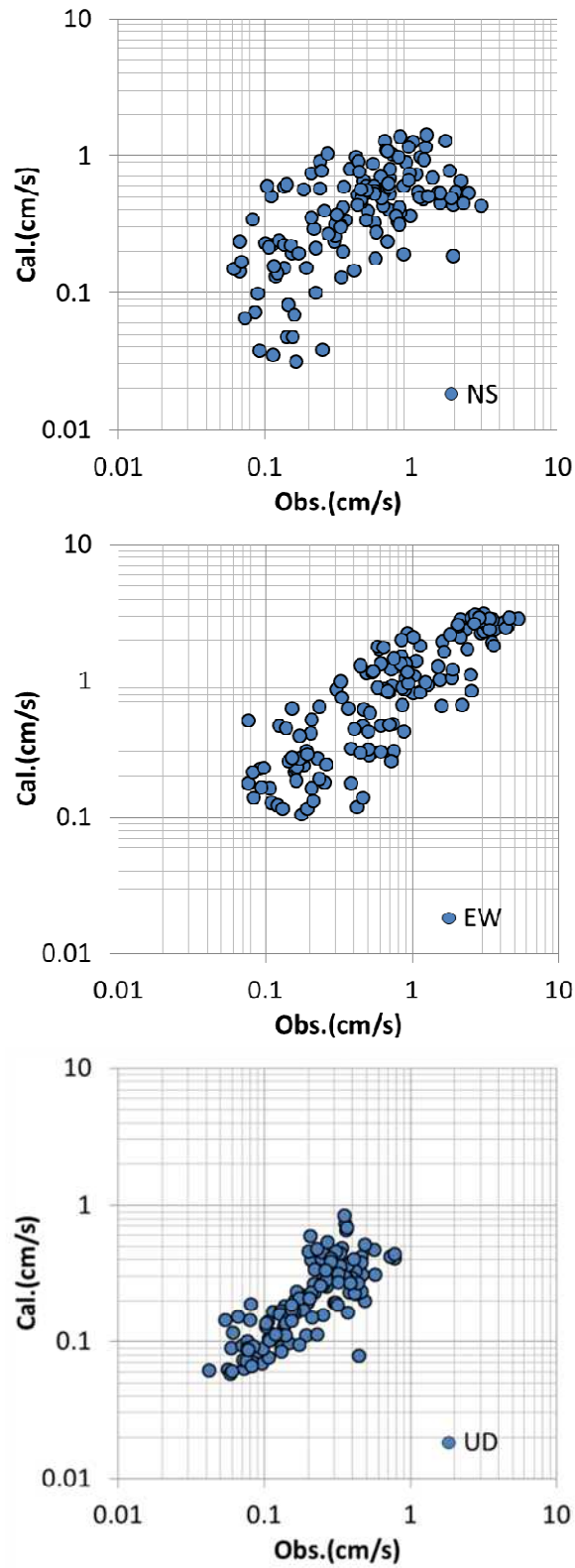


図 3.2-12 最大速度の比較（千葉県北西部の地震）。

(B) 2009年8月11日5時7分 駿河湾の地震本震 (Mj6.5)

この地震は、関東平野の南西側に震源が位置しているフィリピン海プレート内の地震である。地震動シミュレーションにあたっては、鈴木・青井(2009)を参考に特性化震源モデルを作成し(図3.2-13、表3.2-1)、中村・宮武(2000)の震源時間関数を用いた。

図3.2-13に示している観測点における計算波形と観測波形の比較を図3.2-14に、スペクトルおよび最大速度の相関を図3.2-15に示す。また、最大速度の比較を図3.2-16に示す。千葉県北西部の地震と同様、プレート構造の違いによる計算結果の相違は小さい。周期2-3秒程度のスペクトルを見ると、計算結果の方が過小評価気味である。観測点SZO002(K-NET伊東)およびSZO007(K-NET修善寺)はともに震源近傍での計算結果であるが、これらの結果でも周期2~3秒付近のスペクトルが過小評価である。千葉県北西部の地震と同様に、この地震についても震源モデル(メカニズム解)が合致していない可能性が考えられる。相関を見てみると、伊豆半島において周期2.5~4秒のスペクトルの相関が低い値を示している(図3.2-15)。概ね振幅として倍半分の精度で計算がなされているが、EW成分のばらつきが大きい(図3.2-16)。

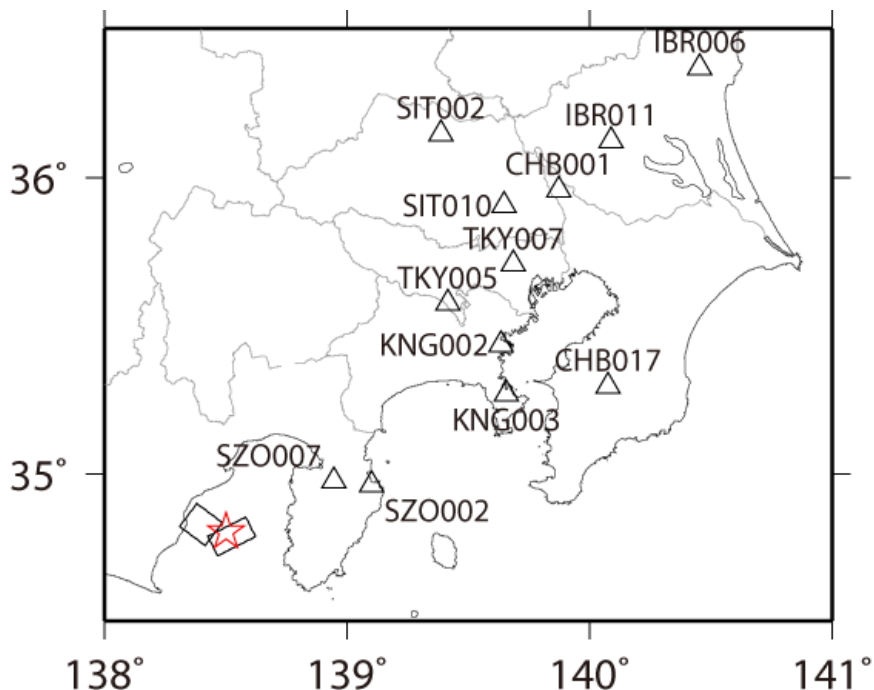
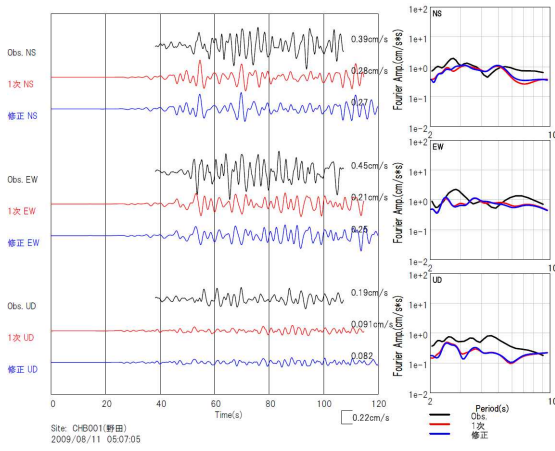
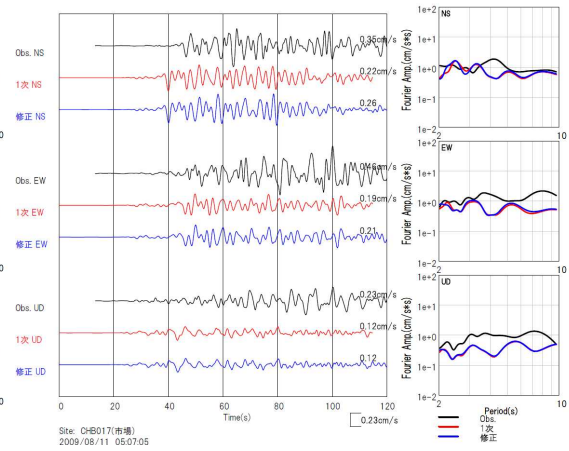


図3.2-13 2009年8月11日の駿河湾の地震(本震)の設定断層面(鈴木・青井、2009による)と波形の比較を行う観測点位置。

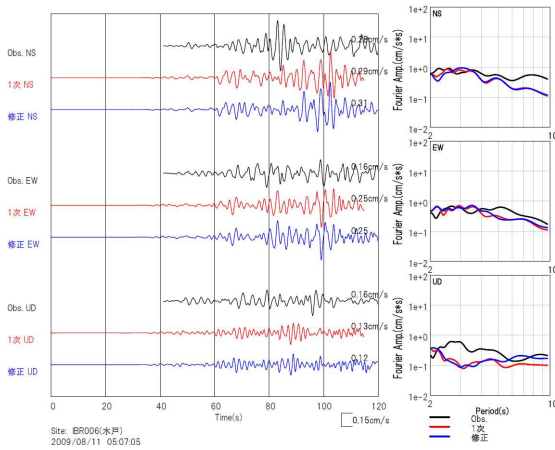
CHB001 (K-NET 野田)



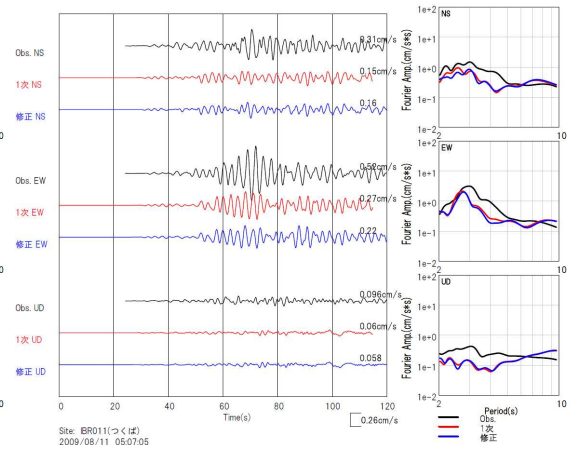
CHB017 (K-NET 市場)



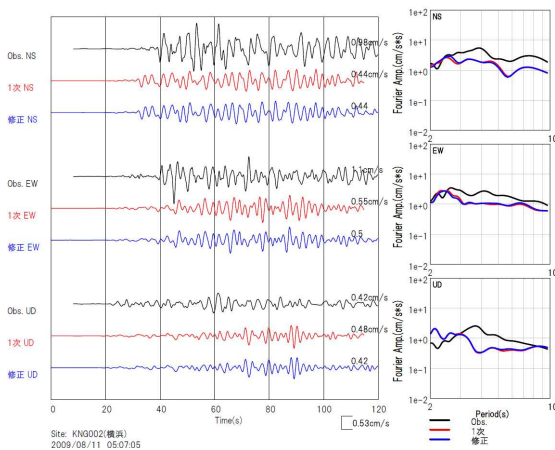
IBR006 (K-NET 水戸)



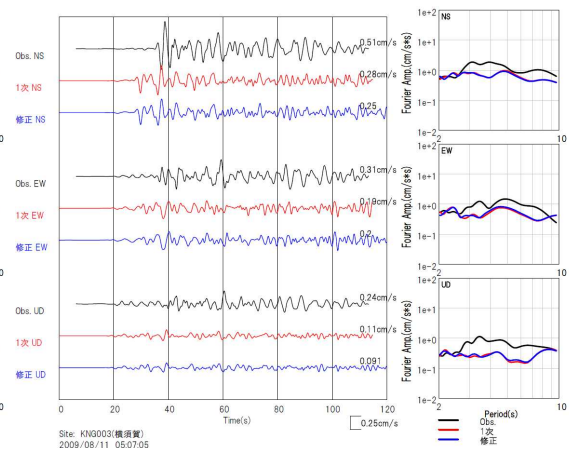
IBR011 K-NET (つくば)



KNG002 (K-NET 横浜)



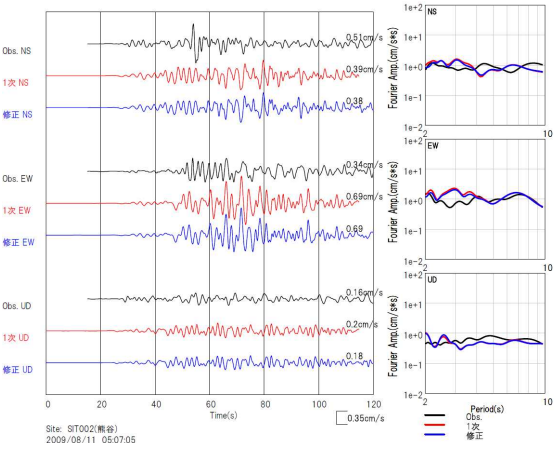
KNG003 (K-NET 横須賀)



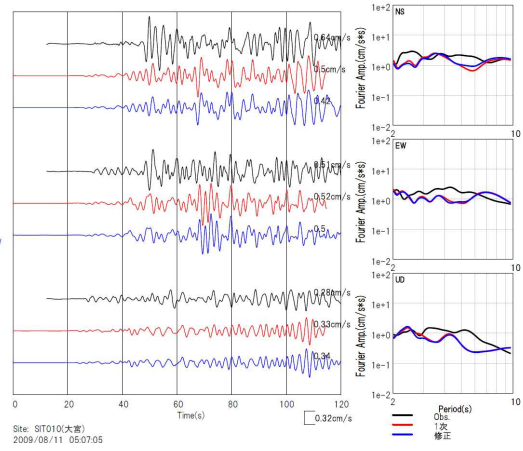
黒：観測速度波形（周期 3-10 秒） 赤：1次拡張モデル 青：プレート修正

図 3.2-14 (1) 駿河湾地震（本震）の計算結果。

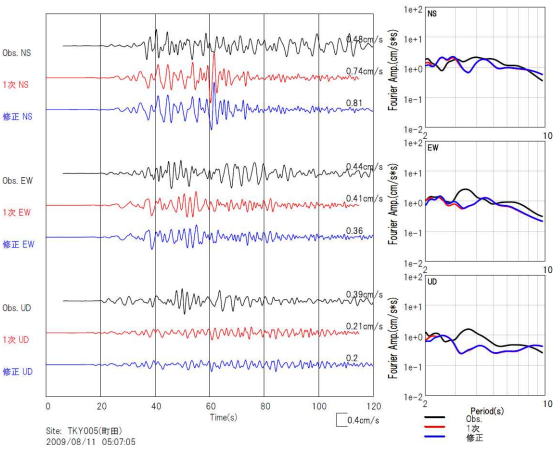
SIT002 (K-NET 熊谷)



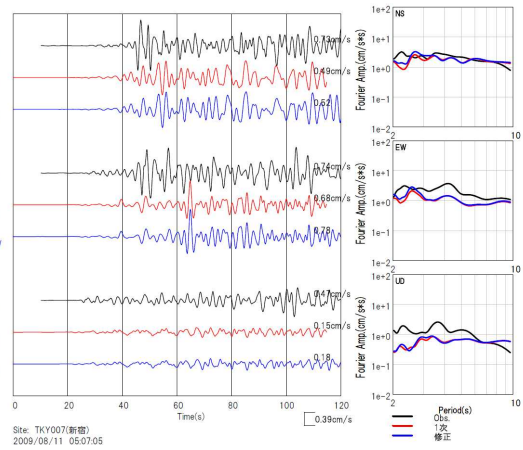
SIT010 (K-NET 大宮)



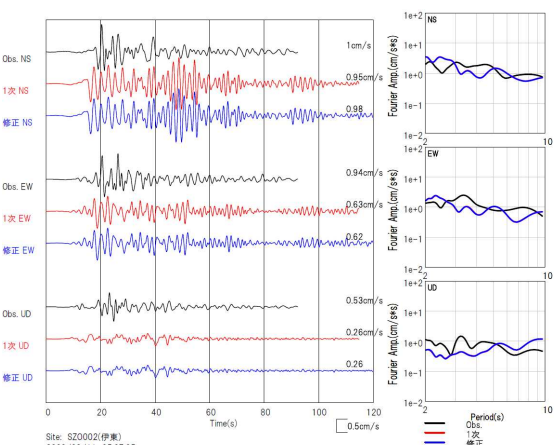
TKY005 (K-NET 町田)



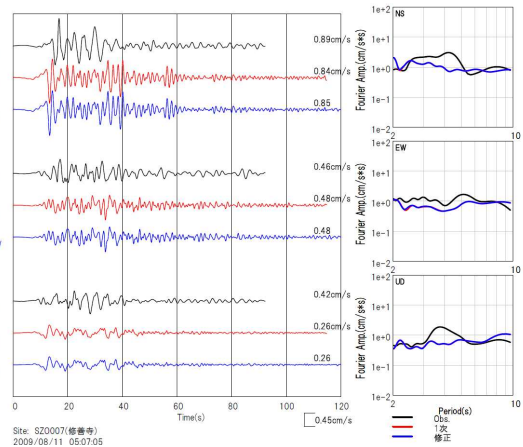
TKY007 (K-NET 新宿)



SZO002 (K-NET 伊東)

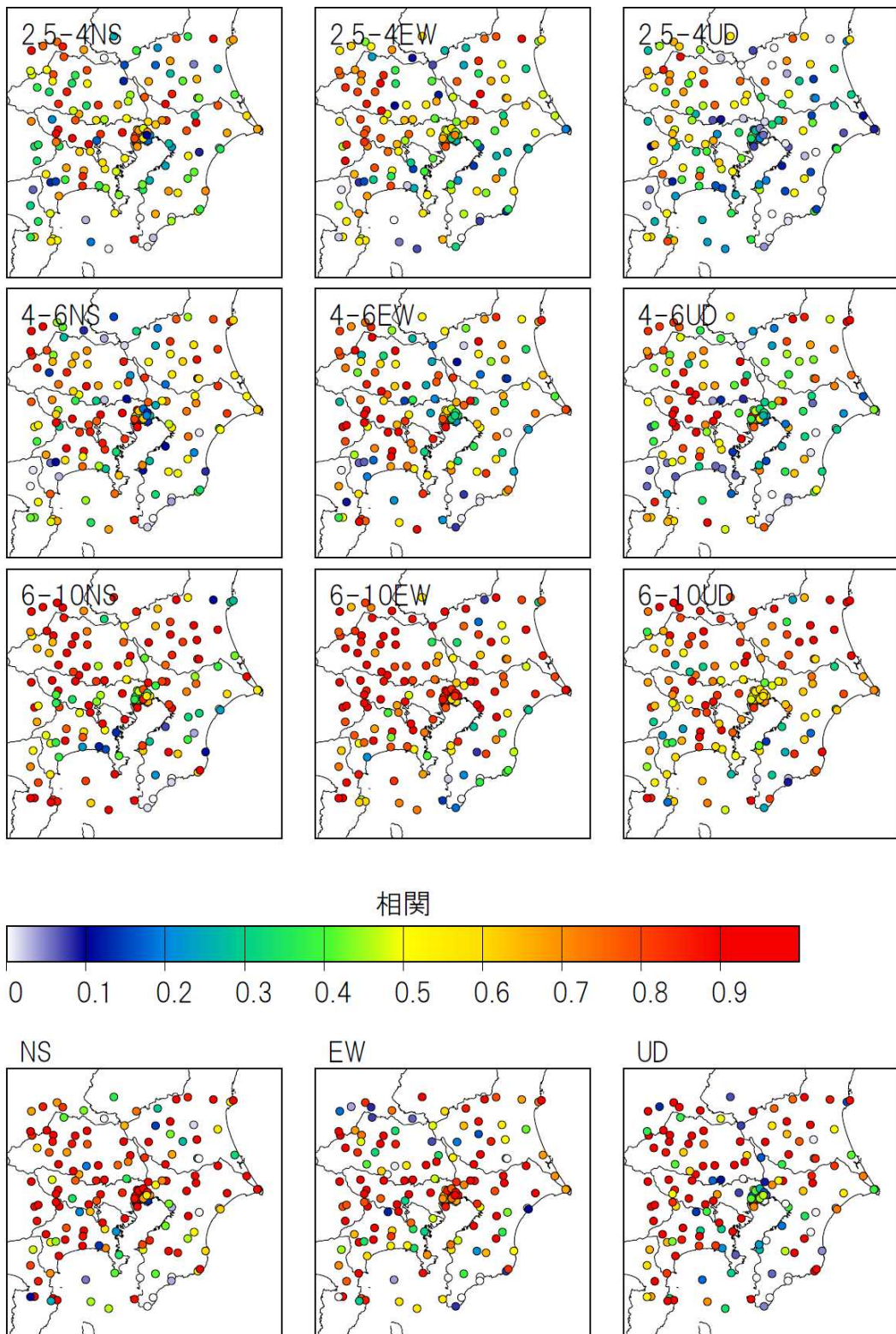


SZO007 (K-NET 修善寺)



黒：観測速度波形（周期 3-10 秒） 赤：1次拡張モデル 青：プレート修正

図 3.2-14 (2) 駿河湾地震（本震）の計算結果。



上から、周期 2.5-4.0 秒、4.0-6.0 秒、6.0-10.0 秒、最大速度

図 3.2-15 フーリエスペクトルおよび最大速度の相関（駿河湾の地震本震）。

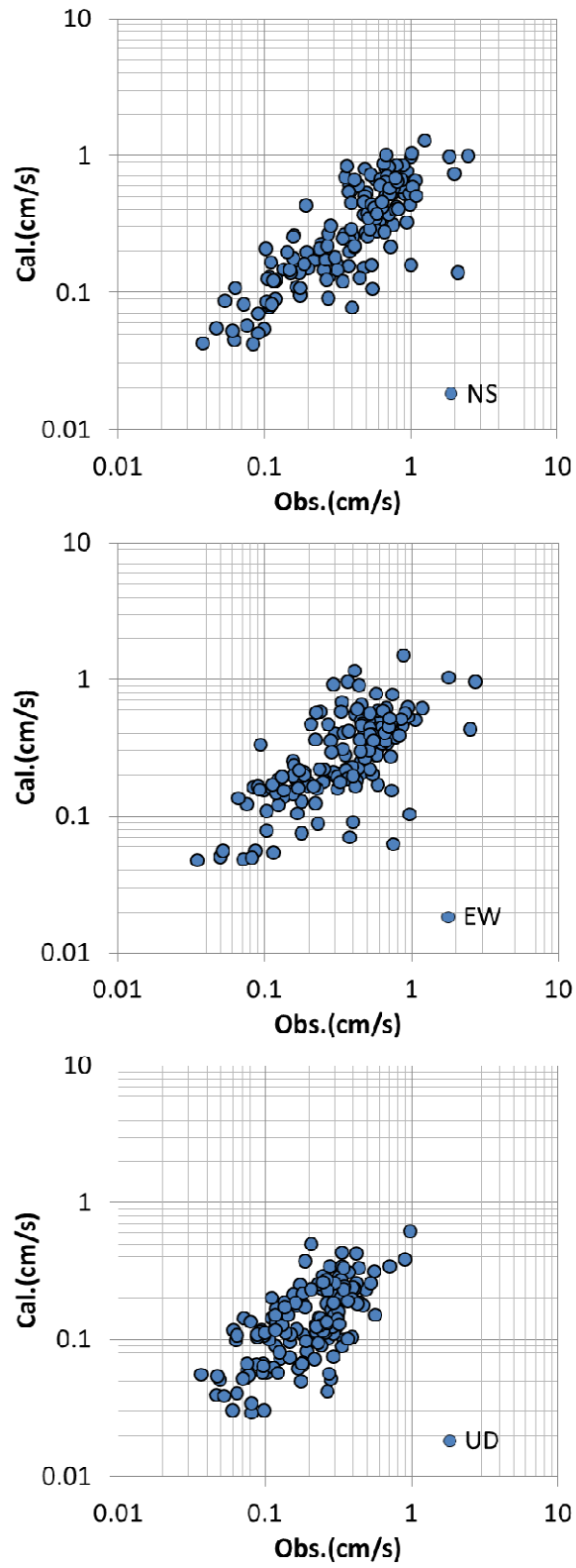


図 3.2-16 最大速度の比較 (駿河湾の地震本震)。

(C) 2009年8月11日 18時9分 駿河湾の地震余震 (Mj4.4)

前節で計算した駿河湾の地震では震源近傍で波形の一致度が悪かったため、ここでは、より震源過程が単純と考えられるその余震についても計算も行った。表3.2-1に震源パラメータを示す。対象周期は2秒以上とした。Case1では、気象庁の一元化震源の位置とF-netによるメカニズム解を用いた。Case2では、震央位置およびメカニズム解は変えずに、F-netによる震源の深さを用いた。Case3は、Case2の震源位置で気象庁の初動解によるメカニズム解を用いた。なお、ここでは全国1次地下構造モデル（プレート境界モデル修正前）を用いている。震源および計算結果を示す観測点位置を図3.2-17に示す。

計算波形と観測波形との比較を図3.2-18に、スペクトルおよび最大速度の相関を図3.2-19に示す。また、図3.2-20に震源位置と速度構造モデルを示す。深さ14kmでも震源はフィリピン海プレート内となっているが、震源を浅くすることによって、計算波形の後続位相の振幅が大きくなっている。なお、初動解とF-netメカニズムの違いによる影響は小さい。スペクトル、最大値の相関はCase2が高いが、東京都東部や埼玉県の一部で波形の一致度が低い（図3.2-19）。

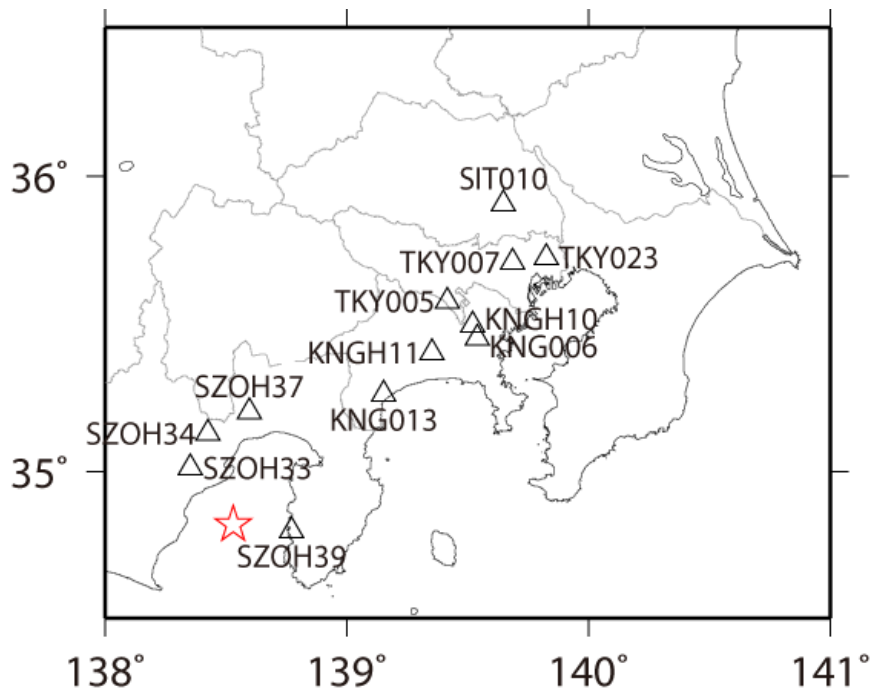
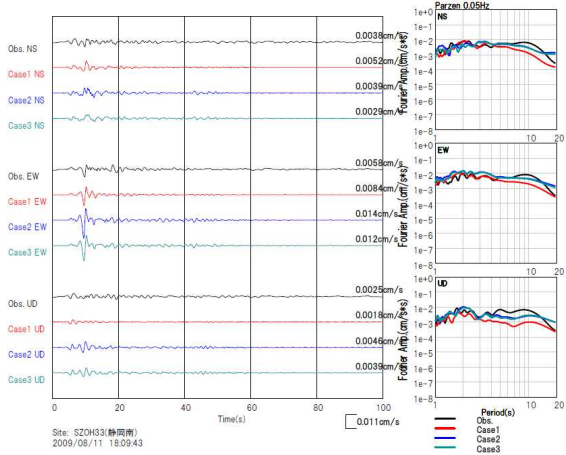
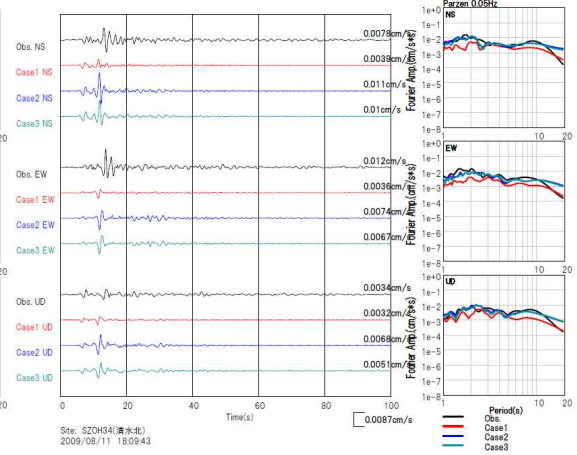


図 3.2-17 2009年8月11日の駿河湾の地震（余震）の震央位置（気象庁による）と波形の比較を行う観測点位置。

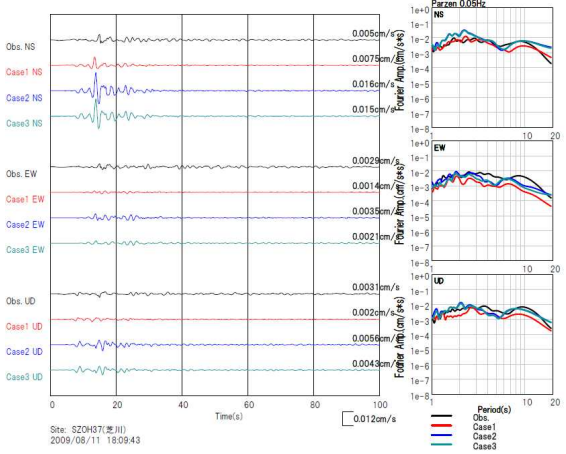
SZOH33 (KiK-net 静岡南)



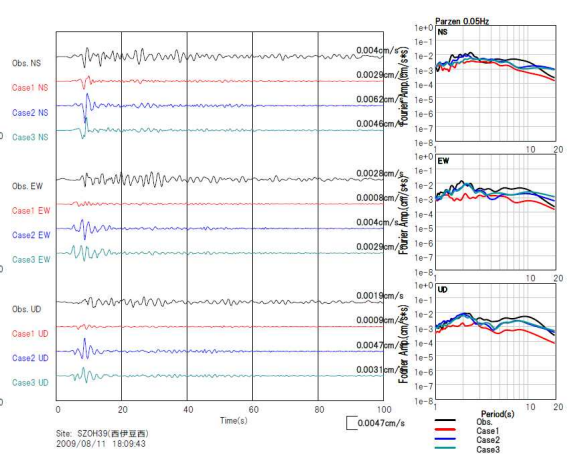
SZOH34 (KiK-net 清水北)



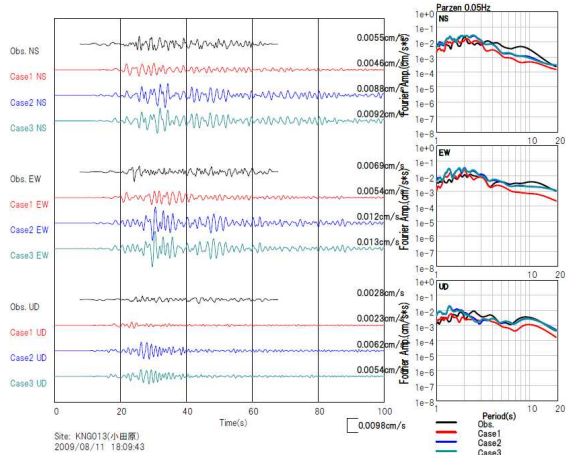
SZOH37 (KiK-net 芝川)



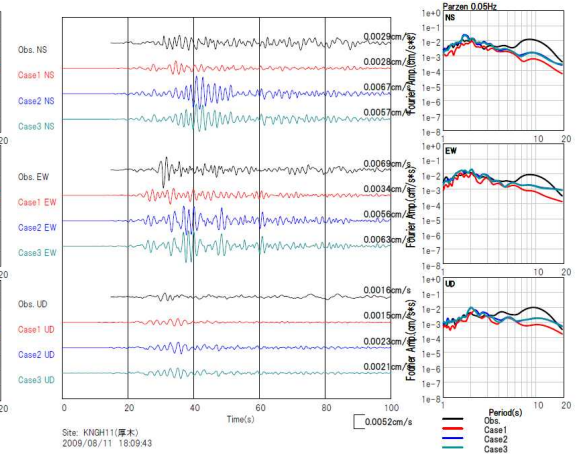
SZOH39 (KiK-net 西伊豆西)



KNG013 (K-NET 小田原)



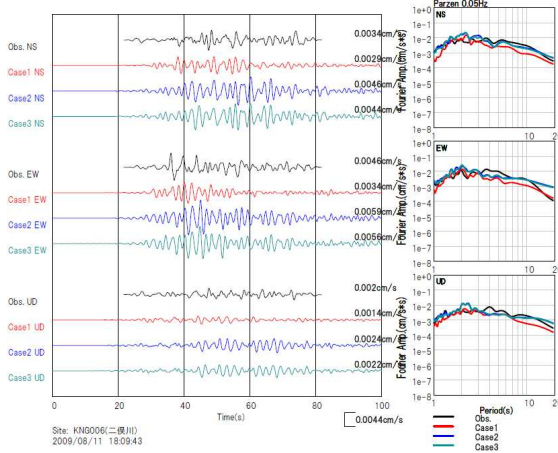
KNGH11 (KiK-net 厚木)



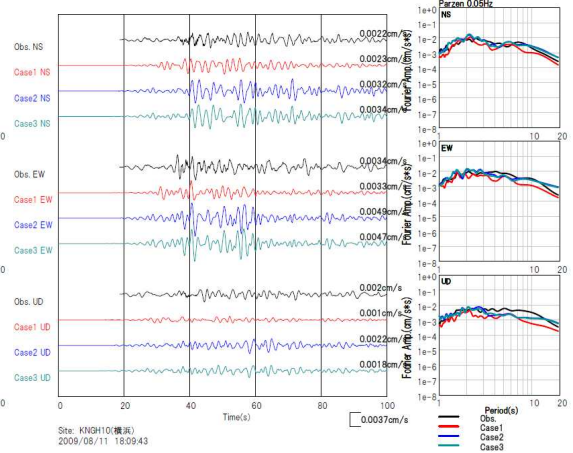
黒 : 観測 赤 : Case1 青 : Case2 緑 : Case3

図 3.2-18 (1) 駿河湾の地震 (余震) の速度波形の比較 (周期 2 秒以上)。

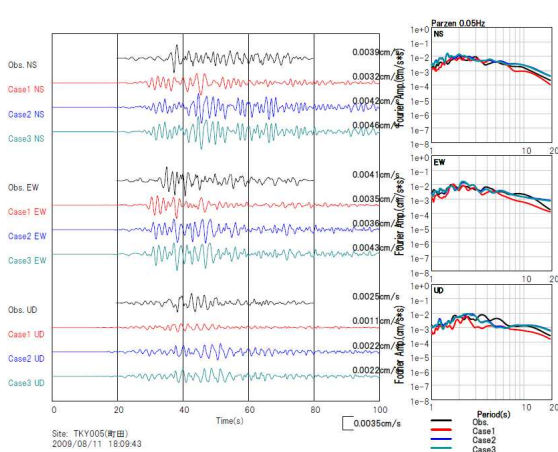
KNG006 (K-NET 二俣川)



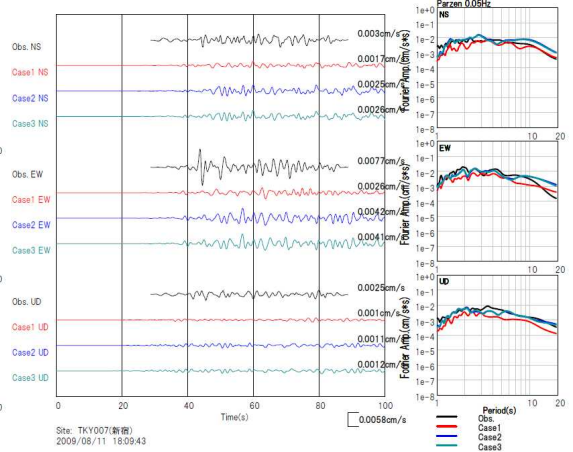
KNGH10 (KiK-net 横浜)



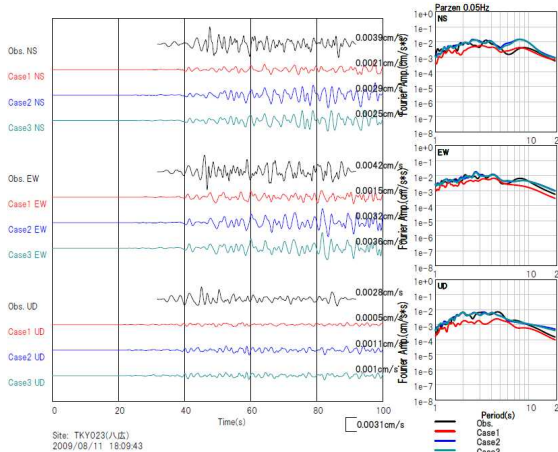
TKY005 (K-NET 町田)



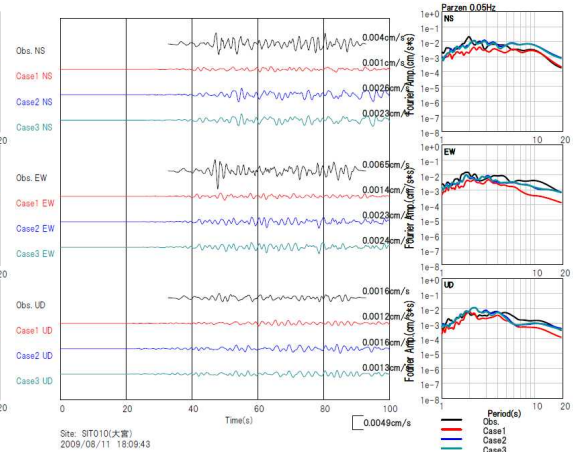
TKY007 (K-NET 新宿)



TKY023 (K-NET 八広)



SIT010 (K-NET 大宮)



黒：観測 赤：Case1 青：Case2 緑：Case3

図 3.2-18 (2) 駿河湾の地震 (余震) での速度波形の比較 (周期 2 秒以上)。

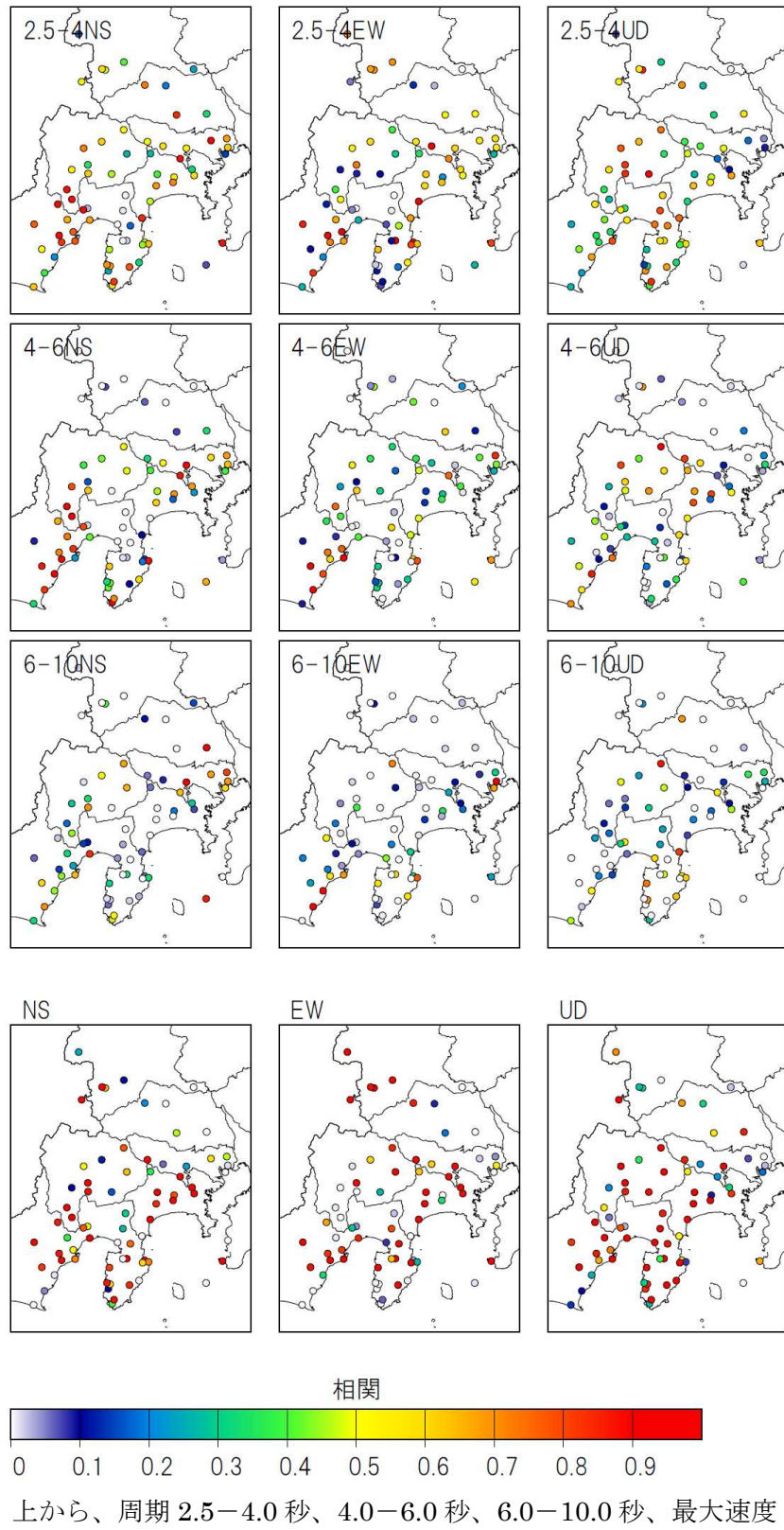


図 3.2-19 (1) フーリエスペクトルおよび最大速度の相関 (駿河湾の地震余震 ; Case1)。

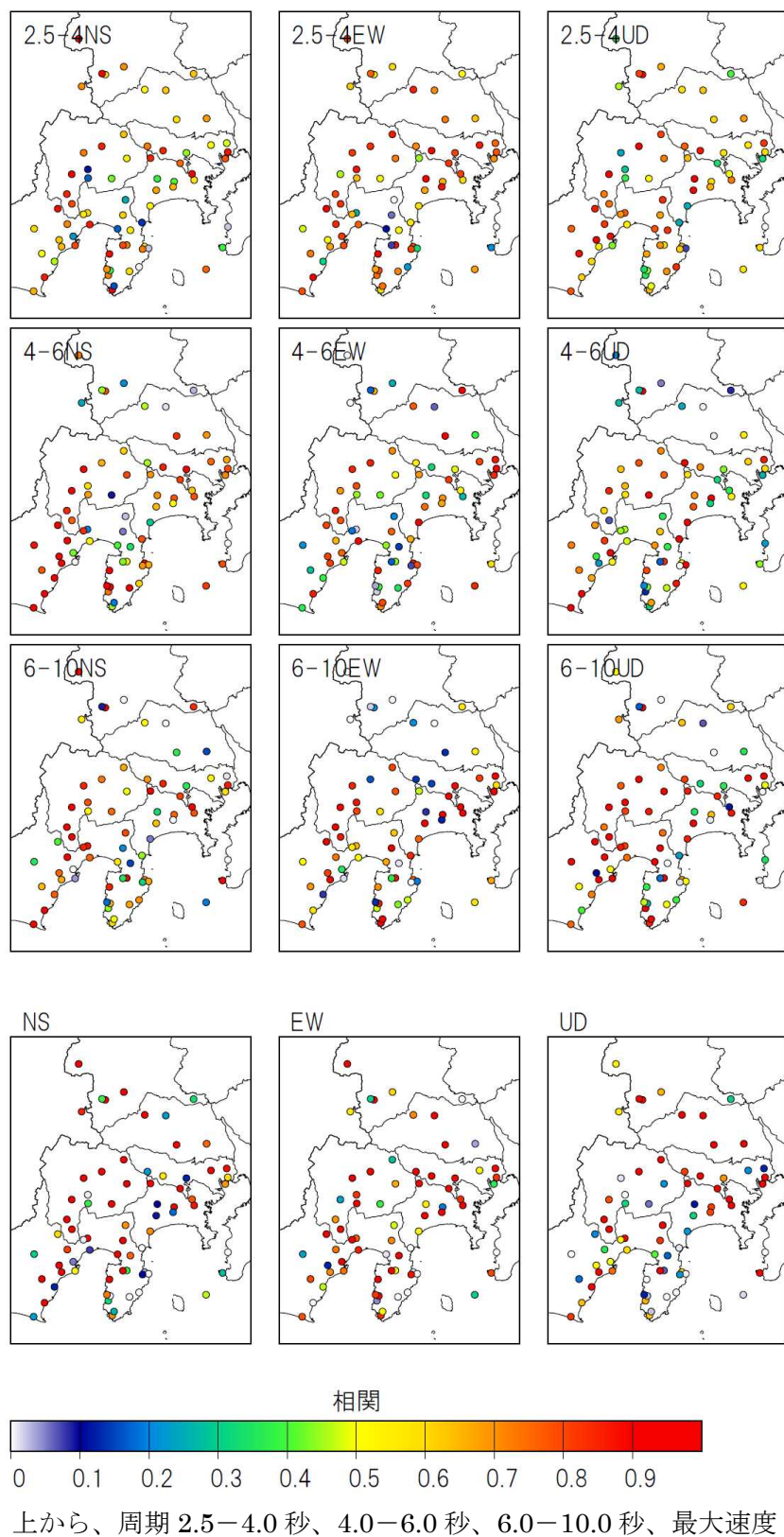


図 3.2-19 (2) フーリエスペクトルおよび最大速度の相関 (駿河湾の地震余震 ; Case2)。

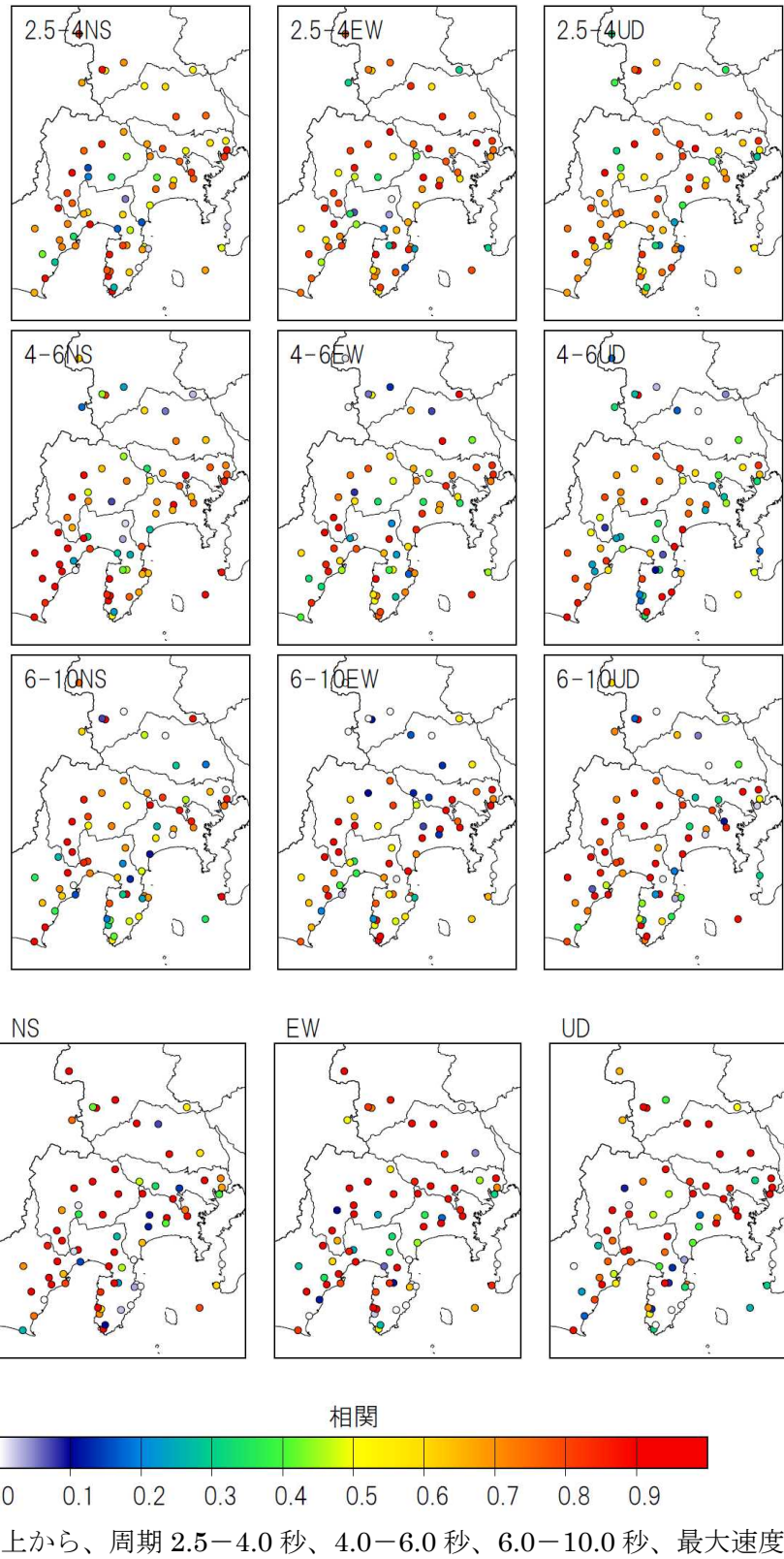


図 3.2-19 (3) フーリエスペクトルおよび最大速度の相関 (駿河湾の地震余震 ; Case3)。

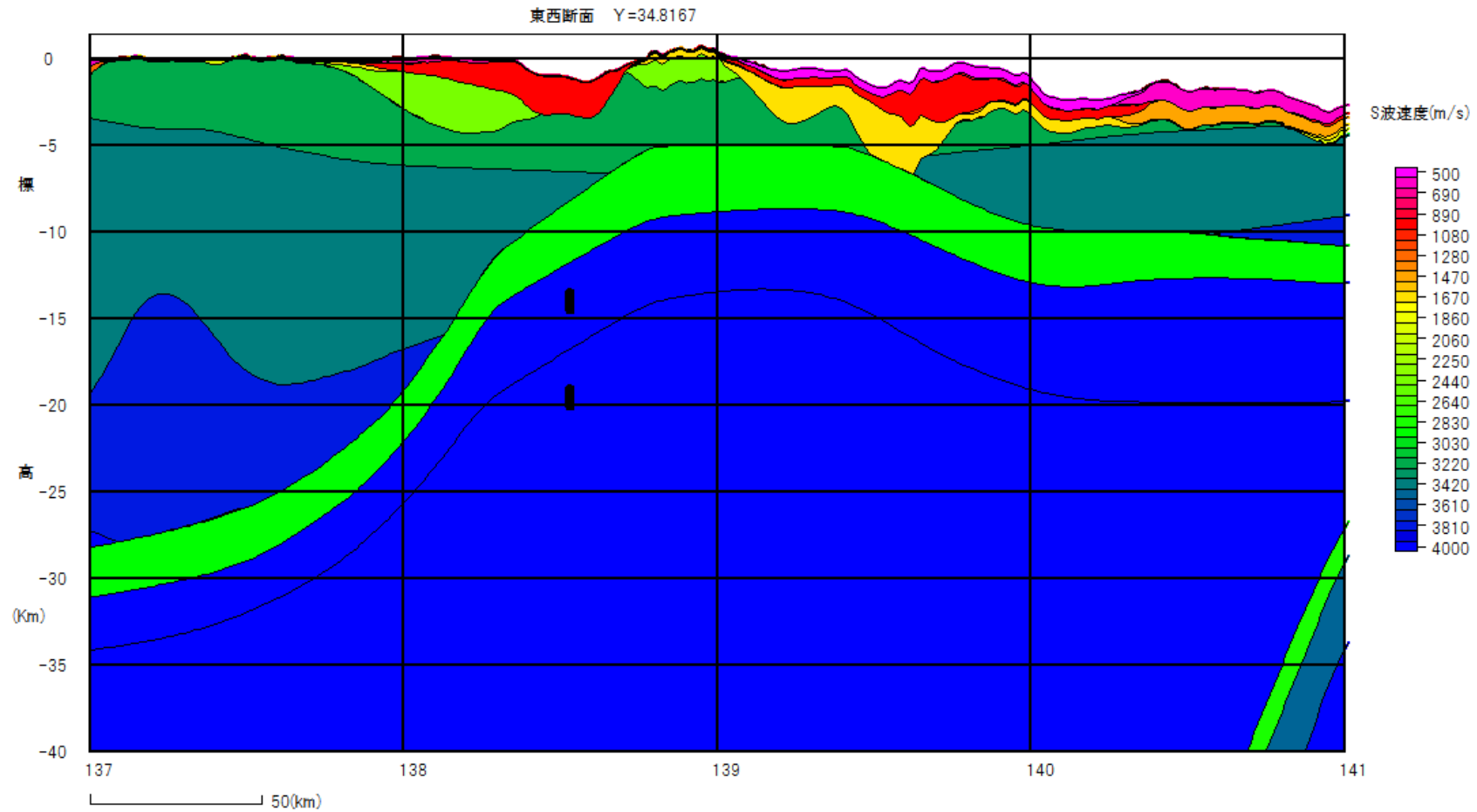


図 3.2-20 駿河湾の地震（余震）の震源位置と速度構造モデル。

3) 浅部・深部統合地盤モデルの検討

これまで、地震動評価においては、地震基盤から工学的基盤までの「深部地盤」と工学的基盤以浅の「浅部地盤」のモデルが別々に作成され、地震動計算が行われることがほとんどであった。周期 3 秒程度以上の長周期地震動を対象とする場合には深部地盤のモデルのみ考慮することでもおおむね、海溝型巨大地震の広帯域化に向けては、震源モデルの高度化だけではなく地下構造モデルの高度化も必要である。

一方、建物被害に大きく影響を及ぼすとされる周期 1 秒前後 (0.5 から 2 秒) の地震動については、浅部地盤、深部地盤のいずれによっても増幅され得る。このような観点から、浅部地盤と深部地盤を統合したモデルを作成するための検討が進められている (先名・他、2013)。ここでは、その概要を示すとともに、首都圏を含む東関東地域 (千葉県、茨城県) を対象として浅部・深部統合地盤モデルと全国 1 次地下構造モデルを用いた地震動シミュレーション結果を比較し、浅部・深部統合地盤モデルの有効性を確認する。

(A) 首都圏における浅部・深部統合地盤モデルの作成の概要

浅部・深部統合地盤モデルの作成は、主に周期 0.5 から 2 秒の地震動評価の高精度化と広域評価を目的として進められている。そのモデルの作成方法については、先名・他 (2013) で詳しく述べられており、ここではその概略を示す。先名・他 (2013) では、図 3.2-21 に示す浅部・深部統合地盤モデルの作成手順が示されている。初期モデルに関して、深部地盤モデルは、地震調査研究推進本部による「全国地震動予測地図」の「震源断層を特定した地震動予測地図」の作成に用いられている全国深部地盤モデル (藤原・他、2009) が適用されている。また、浅部地盤モデルの作成について、以下の二通りが示されている。

①「あてはめ」モデル

ボーリングデータの土質区分ごとに N 値と S 波速度構造の関係を設定するとともに、N 値が 50 の基準面を工学的基盤として、コンター図を作成する。このとき、ボーリングデータがない地点 (メッシュ) については、微地形区分が同じでボーリングデータが存在する最も近い地点のモデルを採用する。

②「地質層序」モデル

ボーリング柱状図より地層境界を求め、水平方向につないで層構造を作成し、各層の代表的な N 値より S 波速度を設定する。

ただし、水平方向の構造の連続性などから、②の地質層序モデルが望ましいとされている。初期モデルの作成後、地震観測記録や微動観測記録の H/V スペクトル (水平動/上下動比) や微動観測記録から得られるレイリー波の位相速度の分散曲線を用いてチューニングを行い、実際の地震を対象とした差分法による地震動シミュレーションにより妥当性の確認を行う。このとき、深部地盤モデルの上部についても修正対象とし、場合によっては、

浅部地盤と深部地盤の間に新たな層を追加する。例えば、千葉県・茨城県における検討では、深部地盤初期モデルには無かった S 波速度 700m/s および 1000m/s の層が挿入されている（図 3.5-22）。

なお、このような浅部・深部統合地盤モデルの作成は、現在、南関東（東京都、神奈川県、埼玉県）地域および新潟県地域を対象として進められており、このうち南関東地域については、千葉県・茨城県地域のモデルとの統合も含めた検討が進められている。

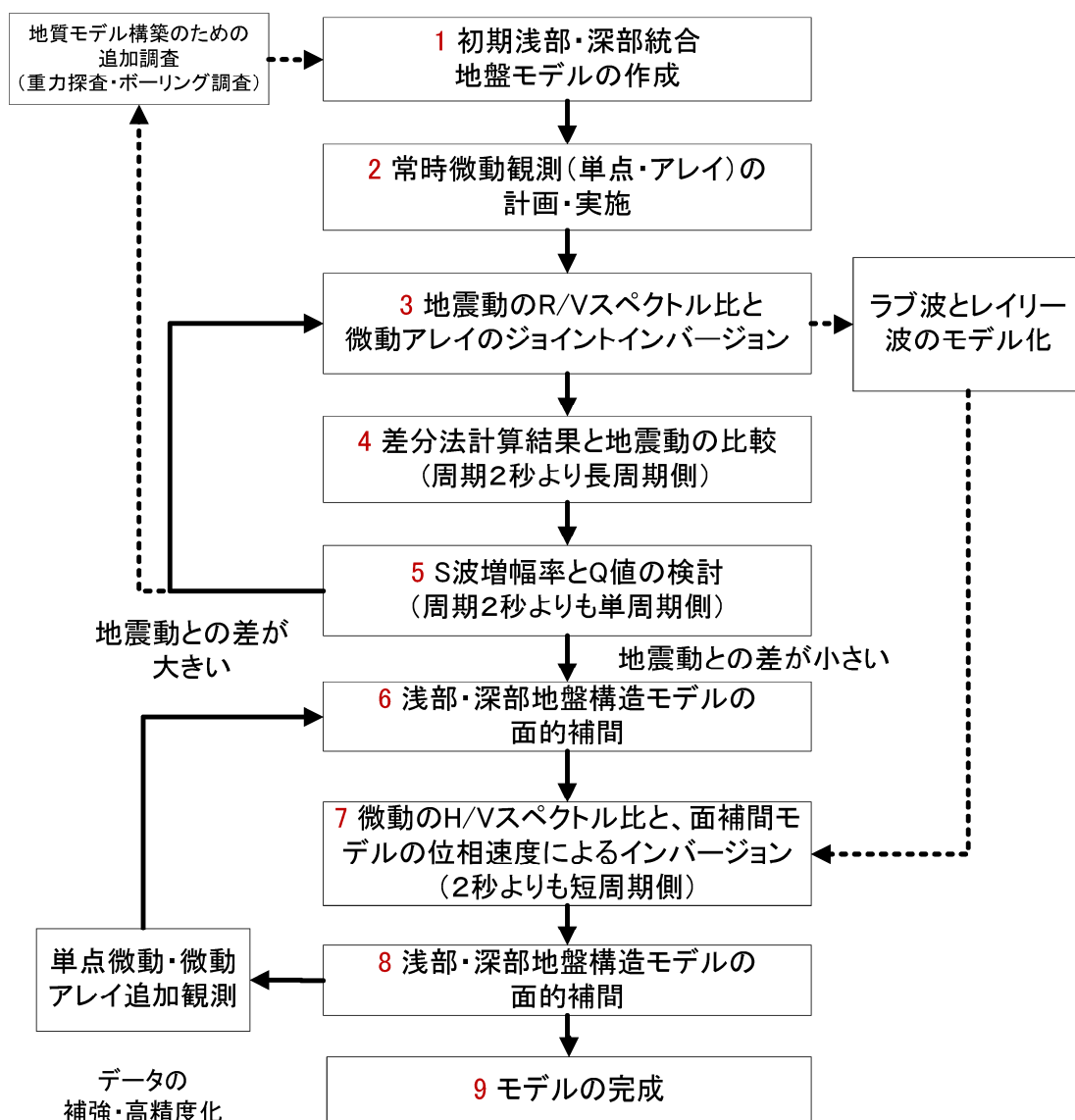


図 3.2-21 浅部・深部統合地盤モデル作成の流れ（先名・他、2013 より）。

(B) 浅部・深部統合地盤モデルを用いた地震動シミュレーション

南関東地域（千葉県・茨城県）を対象として作成された浅部・深部統合地盤モデル（先名・他、2013）を用いて差分法による地震動シミュレーションを行い観測記録と比較した。計算の対象とした地震は、モデル化領域のほぼ中央部で発生した2004年10月6日の茨城県南部の地震（深さ66km、M5.7；表3.2-2、図3.2-22）である。この地震では、K-NET、KiK-net、および、千葉県と茨城県が設置している震度計により強震記録が得られている。地震動シミュレーションは表3.2-3の条件で行った。浅部・深部統合地盤モデルでは地震基盤までがモデル化されているため、それよりも深部の構造については、全国1次地下構造モデルを参考にモデル化した。

地震動シミュレーションによる最大速度値・速度応答スペクトル（周期2、3、5秒）の分布を図3.2-23に示す。図中には各観測点における観測値を重ねて示している。最大速度値は0.1Hz~0.5Hz、速度応答スペクトルは0.1Hz~1Hzのバンドパスフィルターを施した計算記録および観測記録から算出しており、計算値はVs350m/sの地盤上での値となっている。計算結果は震央の西側で振幅が大きく、震源からの放射特性の影響を強く受けた分布となっている。一方、観測値では震央の西側だけでなく、東側でも振幅の大きな地点がみられる。これは、速度構造モデルにはVs350m/sよりも低速層が含まれていないことや、バンドパスフィルター処理によっても観測記録には高周波数成分の影響が残っていることなどが理由と考えられる。

既往の他の地下構造モデルとの比較のために、浅部・深部統合地盤モデルの初期モデルとして与えたJ-SHISの地下構造モデル（J-SHISモデル）、相模トラフの長周期地震動シミュレーションに用いた地下構造モデル（長周期モデル）を用いた地震動シミュレーションを行った。図3.2-23には、これら2つの地下構造モデルと浅部・深部統合地盤モデルを用いた計算による最大速度値・速度応答値の比も示している。比較に用いた2つの地下構造モデルでは計算対象領域内の表層のVsが500m/sとなっており、浅部・深部統合地盤モデルを用いることでVs350m/s層（層厚~100m程度）がモデル化された千葉県北西部~茨城県南西部の地域において振幅レベルが高くなる傾向がみられる。また、筑波山南麓では表層がモデル化されたことで振幅レベルが高くなっている。なお、長周期モデルにおいて千葉県東方沖で振幅の小さい領域が見られるのは、この領域では局所的に地震基盤が浅くモデル化されているためである。図3.2-22（右）に示した2つの側線における速度波形、フーリエスペクトルの比較を図3に示す。浅部・深部統合地盤モデルでは、微動や地震動の周波数特性を考慮して構造モデルの修正が行われており、他の2つのモデルによる計算結果に比べ観測記録のピーク周波数の再現性が向上していることが確認できる。特に、茨城県南西部のIBR.069（図3.2-24（1））やIBR.058（図3.2-24（2））では、観測スペクトルに見られる0.25Hz付近のピークが、今回のモデルによって再現されていることがわかる。

本検討ではやや深い地震を対象としており地震波はほぼ鉛直入射しているため、観測点直下の地下構造の影響が強く反映される条件であると考えられる。ここでは周期2~5秒に

ついでに、浅部・深部統合地盤モデルを用いることで既往の地下構造モデルを用いたものよりも地震動の振幅レベルや周波数特性が改善されており、長周期地震動予測の高度化に有効であると考えられる。また、長周期地震動には表面波の寄与が大きいことから、観測点近傍だけではなく、震源から観測点までの3次元構造の影響を適切に評価することも必要である。そのためにも、千葉県・茨城県を対象に作成された浅部・深部統合地盤モデルと同様に、各地域の地下構造モデルを改良することで、長周期地震動予測の高度化が図られるものと考えられる。

表 3.2-2 差分法の計算の対象とした地震。

date	time	latitude ° N	longitude ° E	depth km	Mj	Mw	Mo Nm	strike	dip	rake	data		
											NIED	Chiba	Ibaraki
2004/10/6	23:40:40	35.989	140.090	66.0	5.7	5.7	4.52E+17	360	64	83	65	59	63

表 3.2-3 差分法の概要。

手法	不連続格子を用いた差分法 (Aoi and Fujiwara, 1999)
格子サイズ	深さ7.5kmまで：70m 深さ7.5kmから100kmまで：210m
Q値の参照周期	1秒
時間間隔	0.05秒
有効周期帯	1秒以上
震源時間関数	Smoothed ramp function (パルス幅1秒)

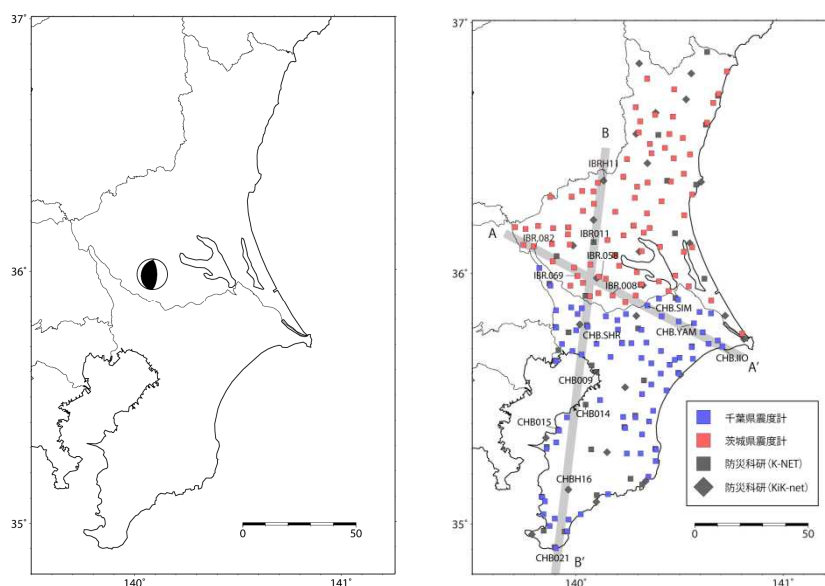


図 3.2-22 差分法の計算に用いた地震（左）と、波形計算の対象とした観測点（右）。

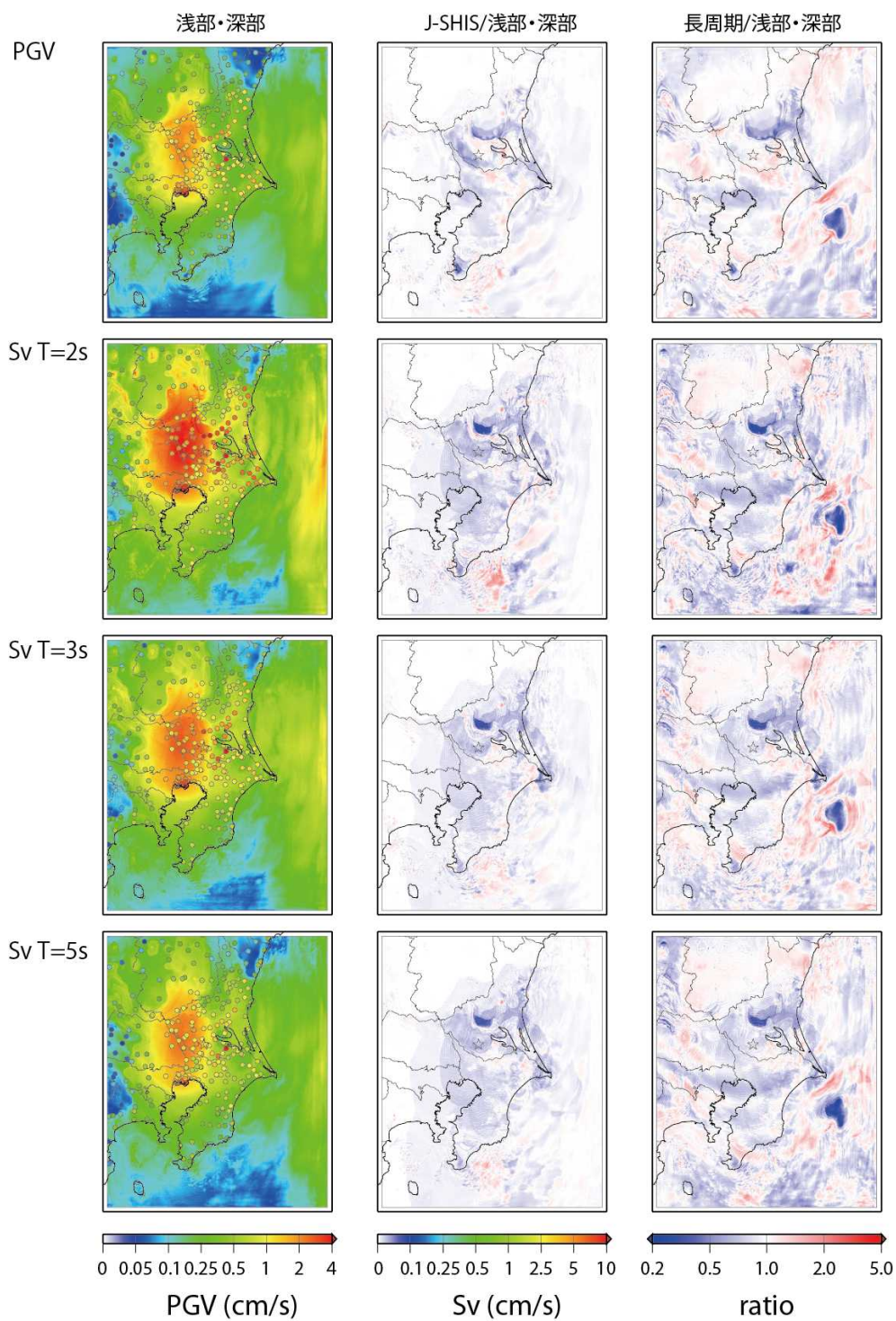


図 3.2-23 (左) 浅部・深部統合地盤モデルを用いた地震動シミュレーションによる最大速度値と速度応答値の空間分布。強震観測点での観測値は○で示している。(中央、右) J-SHIS モデル、長周期モデルによる最大速度値と速度応答値と浅部・深部統合地盤モデルによる最大速度値と速度応答値の比の空間分布。

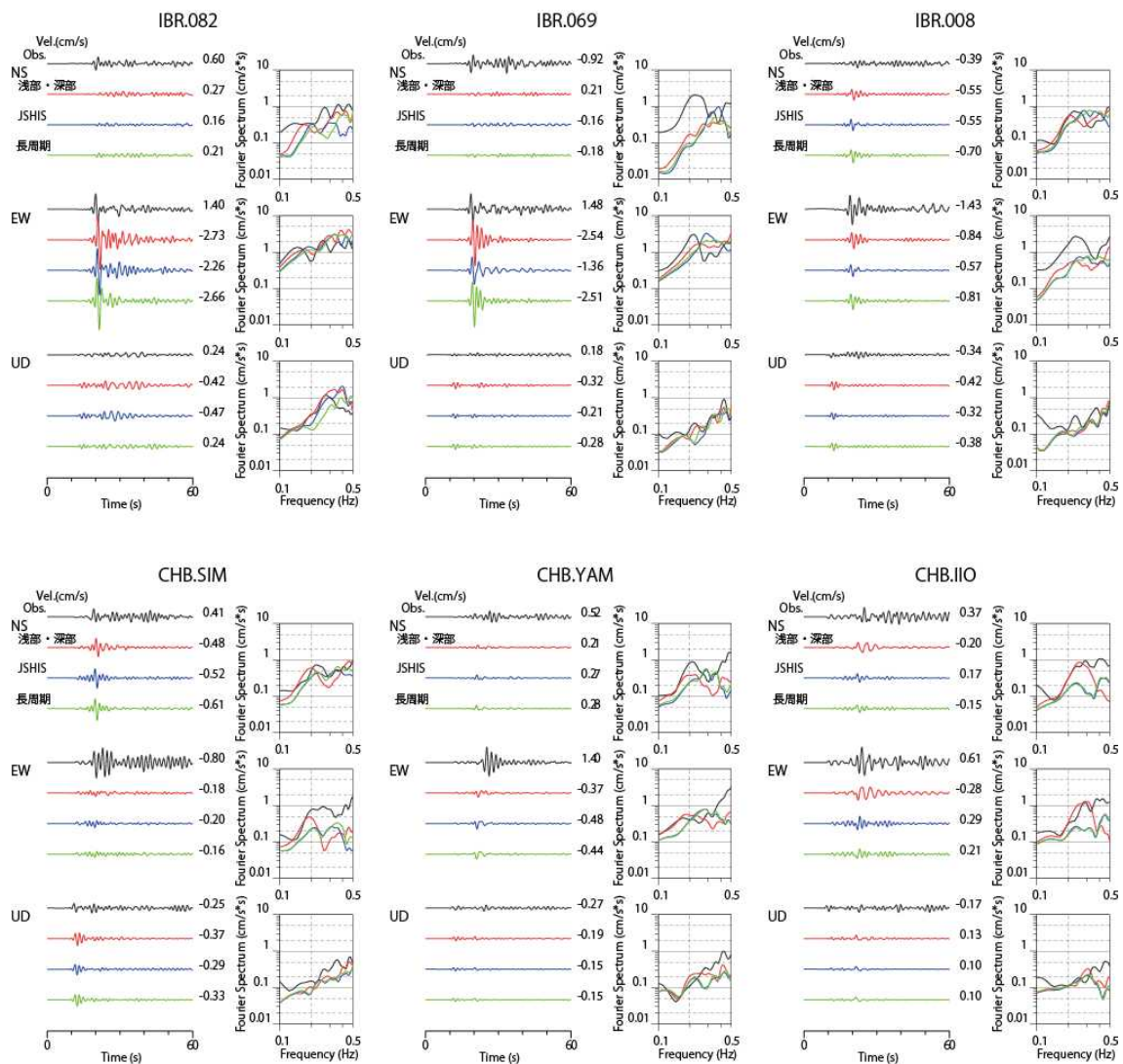


図 3.2-24 (1) 図 3.2-22 左の測線 A-A'での観測記録（黒線）と浅部・深部統合地盤モデルを用いた結果（赤線）、J-SHIS モデルを用いた結果（青線）、および相模トラフのシミュレーションに用いた地下構造モデルを用いた結果（緑線）による速度波形とフーリエスペクトルの比較。波形には 0.1~0.5Hz のバンドパスフィルターを施している。スペクトルは 0.05Hz の Parzen window により平滑化している。

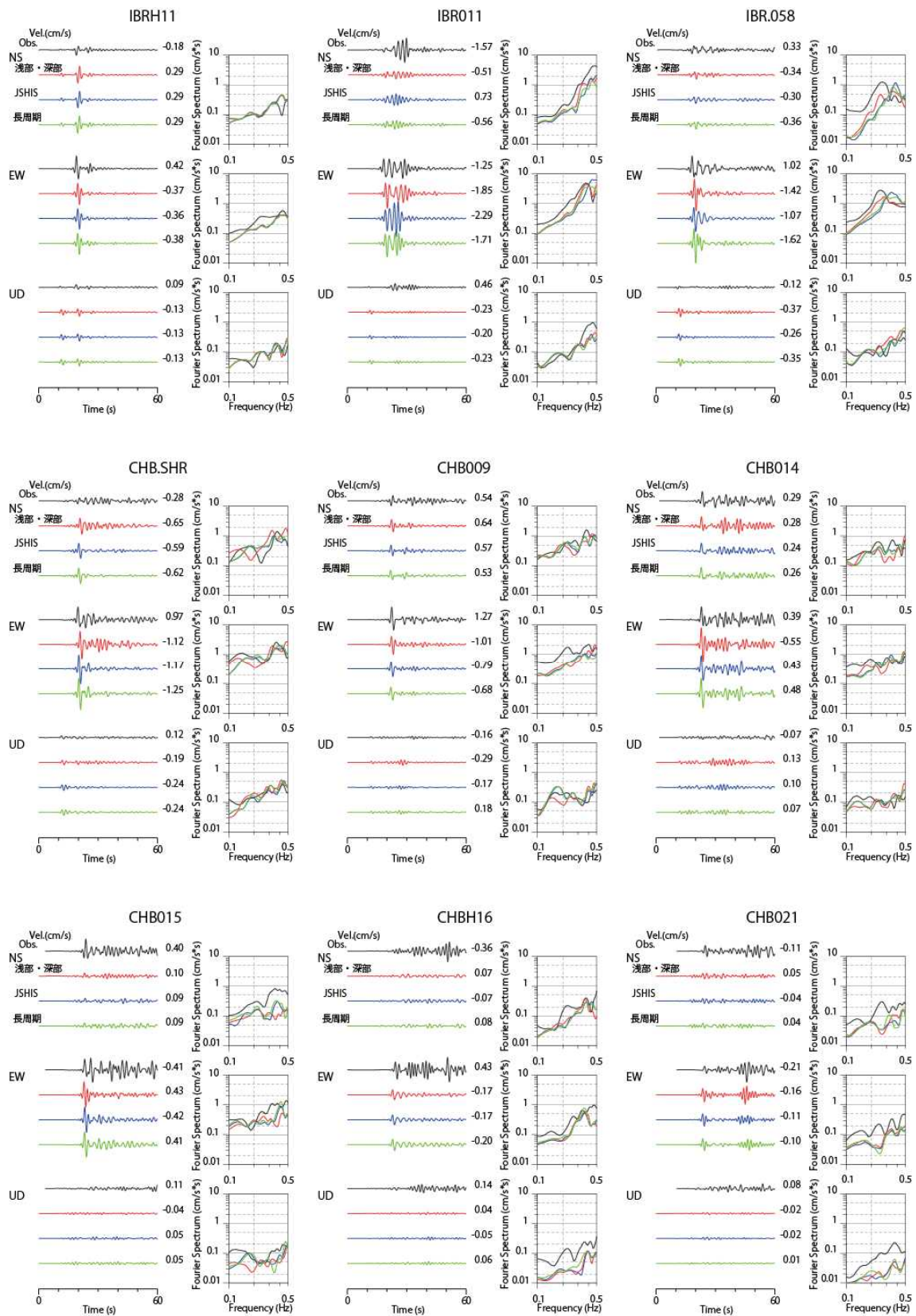


図 3.2-24 (2) 図 3.2-24 (1) と同じ。ただし、B-B'測線についてのもの。

(c) 結論ならびに今後の課題

全国1次地下構造モデルにおけるフィリピン海プレートの構造に関して、最新の知見を反映したモデルが取り込まれた。ただし、房総沖については最近の探査結果等が取り込まれておらず、平成23年度に作成された南西諸島については探査自体が不十分な状況にあり、今後もさらに改良の余地が残されている。

関東地域を対象とした地震動シミュレーションによる計算結果と地震動観測記録との比較より、全国1次地下構造モデルに関して、関東平野直下の地震については概ね観測記録を再現できていることから、観測点直下の一次元構造としての精度は概ね良好であるものの、平野の端部付近で精度が十分でない地点もあった（例えば、SIT002 K-NET熊谷）。一方、平野外を震源とする地震に関しては、直下の地震よりもシミュレーション結果の合致度が悪くなる傾向が見られる。この点に関しては、用いた地震の震源モデルや深さの妥当性に関する問題も残されているものの、三次元的な構造としては、特に海域についてまだ改良の余地が残されている状況にあると言える。なお、今回実施したフィリピン海プレート境界構造の修正に関して、(長周期)地震動シミュレーションの結果には大きく影響しないことが確かめられた。一方で、新たな研究成果等を随時取り込むことは有意であるものの、その都度モデルの検証を行うことになると効率的な作業は困難であるとともに、利活用を考える上でも支障となる。今回は内閣府など国の機関としてのモデルを統一するという観点からも作業を行ったが、今後は、国としての統一的なモデルの構築、改良を計画的に進めていくことも必要である。

深部地盤モデルのみではなく、浅部・深部統合地盤モデルを用いることにより、特に周期0.5から2秒の地震動評価の精度が向上し、海溝型巨大地震の広帯域化にも資することが確かめられた。ただし、このようなモデルの作成は、関東平野および新潟県地域と日本全国の一部地域にとどまっている。今後全国的に展開するためには、ボーリングデータをはじめとする地下構造に関する調査やデータ収集を行うことはもちろんであるが、地質層序を考慮した浅部地盤の初期モデルの構築が重要となる。

(d) 引用文献

- 1) Aoi, S. and H. Fujiwara, 3-D finite difference method using discontinuous grids, Bull. Seismol. Soc. Am., 89, 918-930, 1999.
- 2) Anderson, J.G., Quantitative measure of the goodness-of-fit of synthetic seismograms, 13th World Conference on Earthquake Engineering, 243, 2004.
- 3) 藤原広行・河合伸一・青井真・森川信之・先名重樹・工藤暢章・大井昌弘・はお憲生・早川譲・遠山信彦・松山尚典・岩本鋼司・鈴木晴彦・劉瑛, 強震動評価のための全国深部地盤構造モデル作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, 337, pp.267, 2009.
- 4) Hirose, F., J. Nakajima and A. Hasegawa, Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan

- estimated by double-difference tomography, *J. Geophys. Res.*, 113, B09315, doi:10.1029/2007JB005274, 2008.
- 5) Ide, S., K. Shiomi, K. Mochizuki, T. Tonegawa and G. Kimura, Split Philippine Sea plate beneath Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L21304, doi10.1029/2010GL044585, 2010.
 - 6) 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「長周期地震動予測地図」2012年試作版－南海地震（昭和型）－, 2012.
 - 7) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所, 科学技術振興費 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト①首都圏でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等 平成23年度成果報告書, 2012.
 - 8) 内閣府, 南海トラフの巨大地震モデル検討会中間とりまとめ, 平成23年12月27日, 71pp, 2011.
 - 9) 内閣府, 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について（第一次報告）巻末資料, 平成24年3月31日, 2012.
 - 10) 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, 53, 1-9, 2000.
 - 11) Sato, H., N. Hirata, K. Koketsu, D. Okaya, S. Abe, R. Kobayashi, M. Matsubara, T. Iwasaki, T. Ito, T. Ikawa, T. Kawanaka, K. Kasahara and S. Harder, Earthquake source fault model beneath Tokyo, *Science*, 309, 462-464, 2005.
 - 12) 先名重樹・前田宜浩・稲垣賢亮・鈴木晴彦・神薫・宮本賢治・松山尚典・森川信之・河合伸一・藤原広行, 強震動評価のための千葉県・茨城県における浅部・深部統合地盤モデルの検討, *防災科学技術研究所研究資料*, 379, pp.408, 2013.
 - 13) 鈴木亘・青井真, 近地強震記録による平成21年（2009年）8月11日駿河湾の地震の震源インバージョン, http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/surugawan_20090811/inversion/, 2009.
 - 14) 東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト, 連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究, サブプロジェクト1の研究成果の活用および地域研究会の開催, 平成20年度成果報告書, 2008.