

### 3. 3 広帯域地震動予測のための手法検討等

#### (1) 研究の内容

##### (a) 研究の題目

広帯域地震動予測のための手法検討等

##### (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	瀨瀨 一起
国立大学法人 鳥取大学大学院工学研究科	教授	香川 敬生
国立大学法人 東京大学地震研究所	助教	三宅 弘恵

##### (c) 研究の目的

「3. 2 長周期地震動予測のための手法検討・時刻歴計算等」で改良された地下構造モデル、震源モデルや計算手法を「全国地震動予測地図」における長周期帯域での地震動予測に用いるためには、地震本部における従来の長周期地震動予測よりも短周期の帯域での予測計算の精度を向上させなければならない。そのための問題点を整理し、地下構造モデル、震源モデルや計算手法のさらなる改良方策をまとめ、地震本部に報告する。

#### (2) 平成 22 年度の成果

##### (a) 研究の要約

##### 1) 研究の目的

長周期地震動予測地図を従来の周期 3.5 秒以上から周期 2 秒以上にまで短周期化することを目的とした。

##### 2) 実施方法

3. 2 で得られた地下構造モデルについて、周期 2 秒までを対象とした適用性を検証した。また、昭和南海地震の震源インバージョン結果について、より短周期・短波長までの解析を試みた。また、これら短周期帯域で検証された地下構造および震源モデルを用いて、周期 2 秒以上の帯域を対象としたシミュレーションを実施した。

##### 3) 成果の要約

三次元地下構造モデルについては、中規模地震の観測記録を周期 2 秒まで概ね説明できることを示すことができた。これによって、3. 2 で実施した地殻最上部層を導入したモデル化および R/V スペクトル比によるモデルの更新、中規模地震を説明するためのモデル改良プロセスの妥当性が示されたと考えることができる。今後同様のプロセスを踏むことによって、全国規模の三次元地下構造モデルの作成と改良が行われるものと期待する。

昭和南海地震の国内の観測記録を数値化したデータには、周期 2 秒程度までの信号が含まれていることを示すことができたが、記録点数などの要因で短周期・短波長までの解析については良好な結果を得ることができなかった。そこで、周期 5 秒以上の震源インバー

ジョン解を基に周期 2 秒までの震源時間関数を作成し、それを用いて昭和南海地震のシミュレーションを実施した。

#### (b) 研究の実施方法

三次元的予測計算を行う際、ハードウェアの面から見ると、記憶容量が膨大で計算速度が超速な計算機環境が普及していない現状では、短周期帯域の計算精度に制約がある。一方、大地震時に観測点で記録される長周期地震動の卓越周期は、堆積層の厚い大・中規模の平野等では周期 4～10 秒以上であるが、小規模の平野や盆地等ではそれ以下である。これら様々な地域に建設される構造物への影響評価のためには、広い周期帯域での長周期地震動予測の精度を向上させることが必要である。そのため、広帯域の地震動予測に広く用いられているハイブリッド合成法に関する今までの問題点を整理し、超並列計算機を利用した計算を試みて、計算の有効限界周期を短周期側に拡張するための長周期地震動計算手法等の改良方策をまとめる。具体的には、既存探査データや地震観測点の分布に制限される地下構造モデル化、震源過程解析の分解能に制限される震源モデル化、および計算手法の効率化について総合的な検討を行い、広帯域地震動予測の高度化のために必要な事項を抽出する。また、強震動予測のためのレシピの高度化に向けての改良方策をまとめる。

#### (c) 研究の成果

##### 1) 三次元地下構造モデルの周期 2 秒までの適応性確認

「3. 2 長周期地震動予測のための手法検討・時刻歴計算等」で得られた三次元地下構造モデルは、既往モデル（藤原・他，2006<sup>1)</sup>，Iwata *et al.*，2008<sup>2)</sup>，瀬戸・他，2009<sup>3)</sup>）を基に改良を加えたものである。3. 2 では従来と同様に周期 3.5 秒以上の周期帯を対象としたモデル化を行ったが、ここでは改めて周期 2 秒以上を対象とした検証を行う。

図 3.3.1 には、2004 年紀伊半島沖地震（前震、 $M_J$ ：6.9、深さ：8 km）のシミュレーションと観測による波形の比較例を示す。観測記録の振幅・走時・波形について、周期 2 秒以上の帯域で概ね再現できている。なお、図中の赤矢印は、昭和南海地震のグリーン関数としてこれらの波形を用いる場合に、実際の観測記録が振り切らずに数値化されている範囲を示している。特に震源インバージョンにおいては、少なくともこの範囲で波形が一致していることが重要となる。

他に、近畿地方を対象とした 2001 年京都府中部の地震（ $M_J$ ：5.1、深さ：9.5 km）による検証例を示す。図 3.3.2 には震源から設定した 2 方向の解析ラインを示す。それぞれのラインについて、図 3.3.3 および図 3.3.4 には初期モデル（青）と最終的な改良モデル（赤）によるシミュレーション波と観測波との比較を示す。図中それぞれの左には解析ラインに沿った構造断面図を併記している。図 3.3.3 では、地殻最上部層を導入した改良モデルには初期モデルでは再現できていない後続波群が再現されており（破線の丸印）、走時も整合している。図 3.3.4 では、初期モデルで過大評価となっている後続波群が（破線の丸印）、改良モデルでは適切な振幅で再現されている。

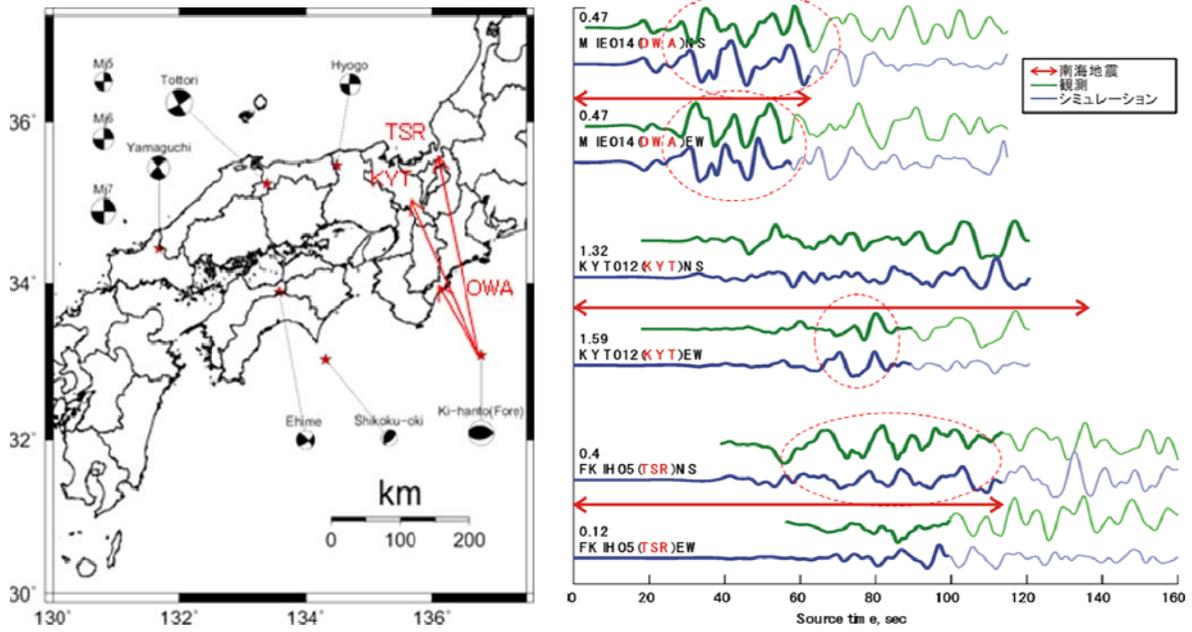


図 3.3.1 2004 年紀伊半島沖の地震の各観測点におけるシミュレーションと観測の比較

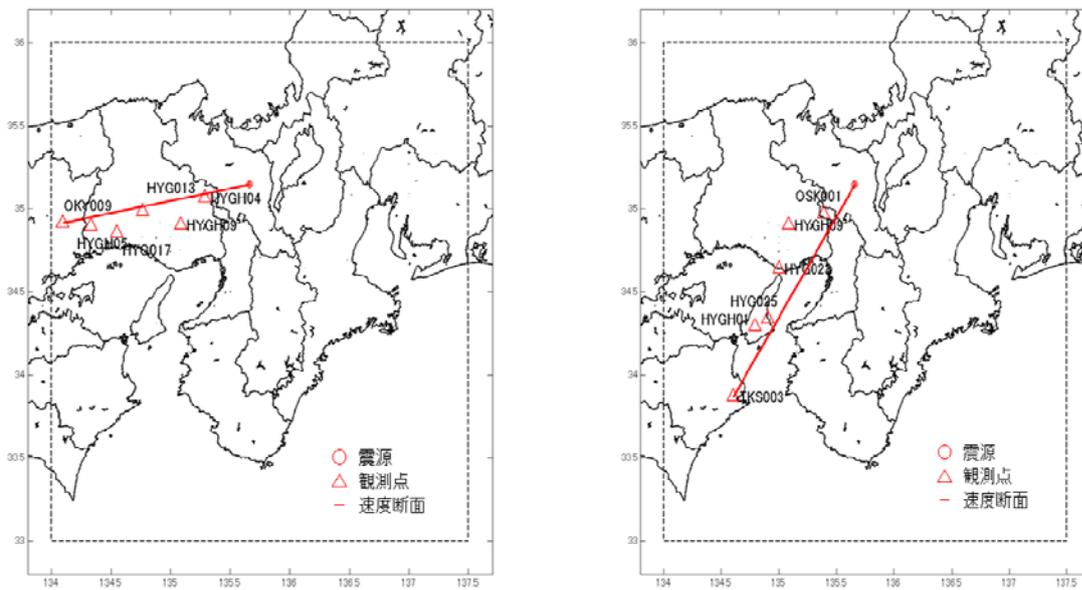


図 3.3.2 2001 年京都府南部の地震と 2 方向の解析ライン (左: ライン 1、右: ライン 2)

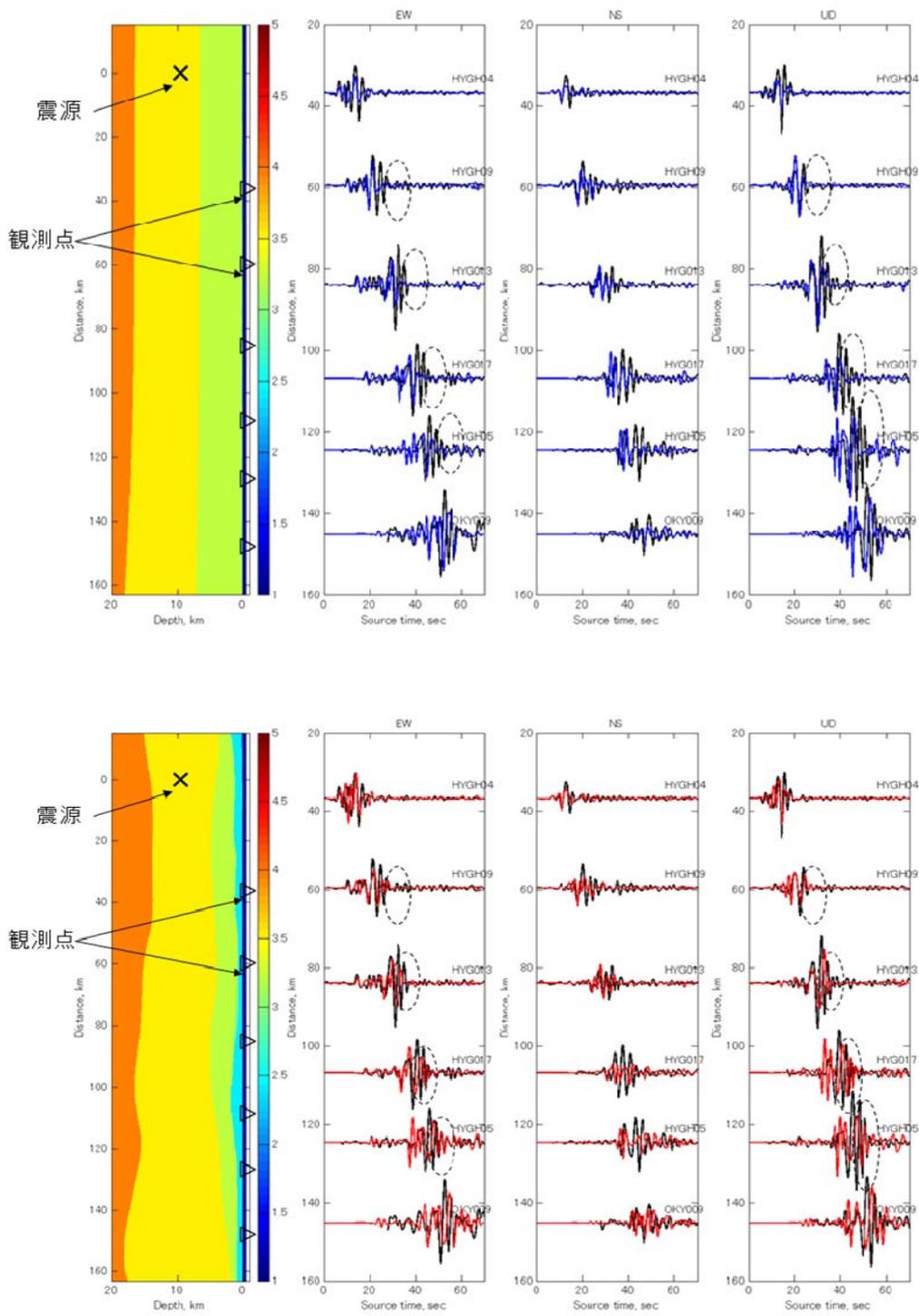


図 3.3.3 ライン 1 における初期モデル（上）と改良モデル（下）と観測波形の比較

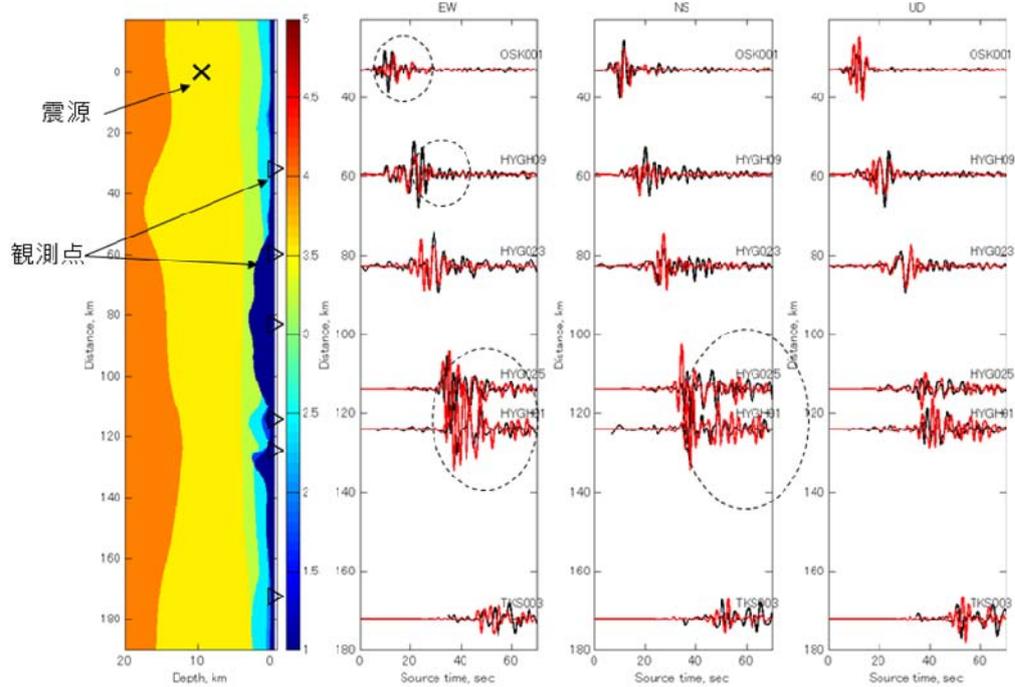
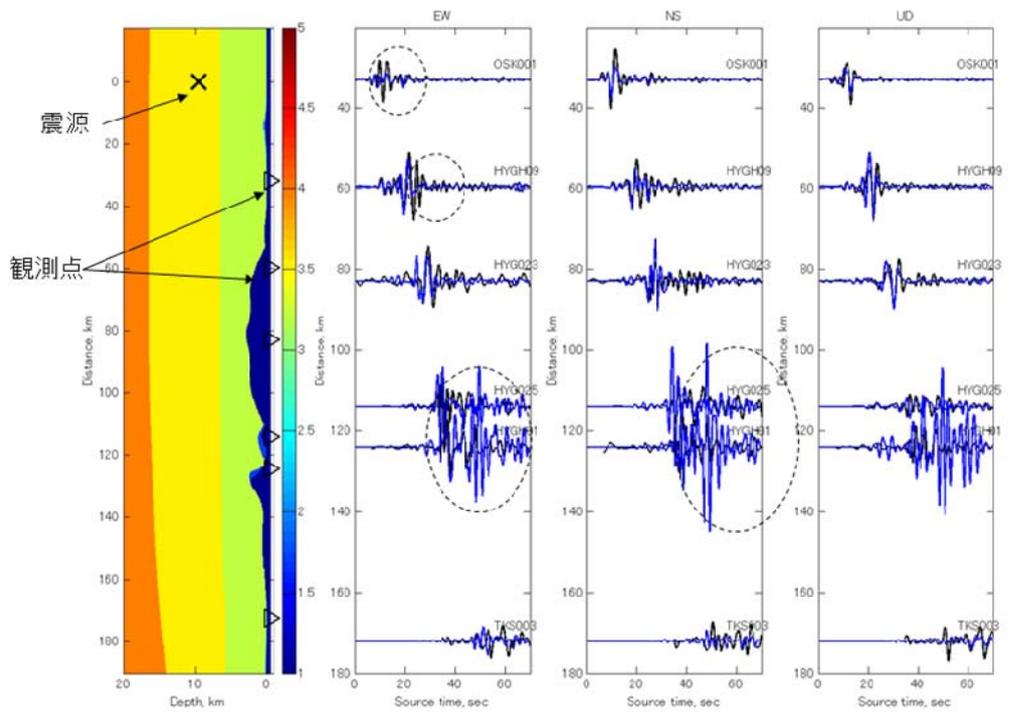


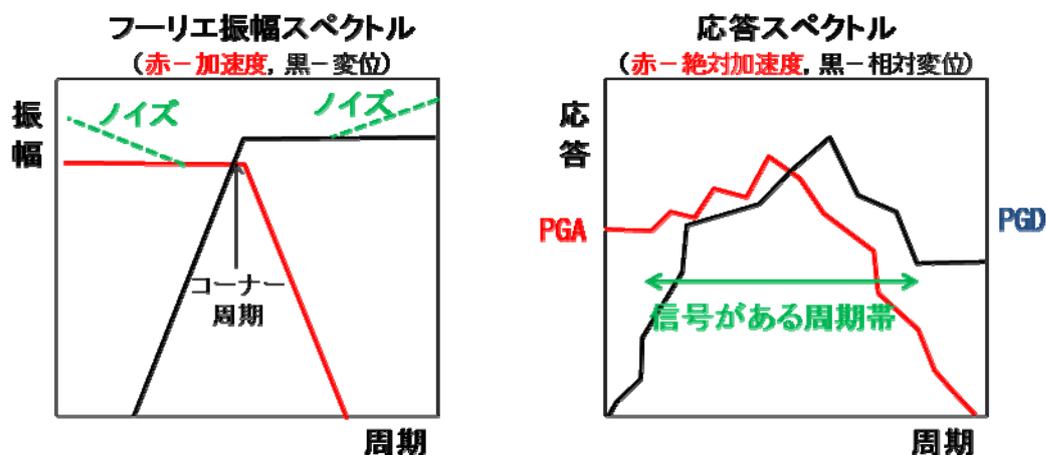
図 3.3.4 ライン 2 における初期モデル（上）と改良モデル（下）と観測波形の比較

この他の中規模地震でも多方向に向かって解析ラインを取って同様の検証を実施し、概

ね周期 2 秒までの波形、振幅の再現性を確認している。このように、地殻最上部層を導入したモデル化および 3. 2 で実施したモデル改良プロセスが周期 2 秒までの波形再現に有効であったことが示唆され、今後同様のプロセスを踏むことによって全国規模の三次元地下構造モデルの作成と改良が行われることが期待される。

2) 昭和南海地震観測記録の精度確認

3. 2 で実施した三次元グリーン関数を用いた昭和南海地震の震源インバージョンの短周期帯域への拡張を次項で試みているが、その準備として昭和南海地震の観測記録 (Murotani (2007) <sup>4)</sup> でデジタル化されたもの) の精度を確認した。



理想的には、コーナー周期をはさんで、  
**加速度フーリエは短周期側でフラット、**  
**変位フーリエは長周期側でフラット。**

・ノイズが卓越すると、これを上回る。

波形としての信号がある範囲よりも、  
**絶対加速度応答は短周期でPGAに漸近し、**  
**相対変位応答は長周期でPGDに漸近する。**

図 3.3.5 フーリエおよび応答スペクトルを用いた有効周期帯の考え方

その際の考え方は図 3.3.5 に示す通りである。フーリエスペクトルは、図の左に示すように理想的には  $\omega^{-2}$  乗則に沿って、加速度フーリエは短周期側がフラットに、変位フーリエは長周期側がフラットになる。もしこれに短周期あるいは長周期でノイズが乗っておれば、その周期よりも短周期あるいは長周期でフラットなレベルから大きい方に逸脱する（長周期では  $1/f$  ノイズ）形状を示すことになる。この特性によってノイズに影響されない範囲を推定することができる。次に応答スペクトルで見ると、図の右に示すように、信号が含まれるより短周期帯域では絶対加速度応答が最大加速度に漸近してフラットとなり、長周期帯域では相対変位応答（あるいは相対速度応答）が最大変位（あるいは最大速度）に漸近してフラットになる。この考え方に沿って実際の観測波形を解析した例を図 3.3.6 に示す。

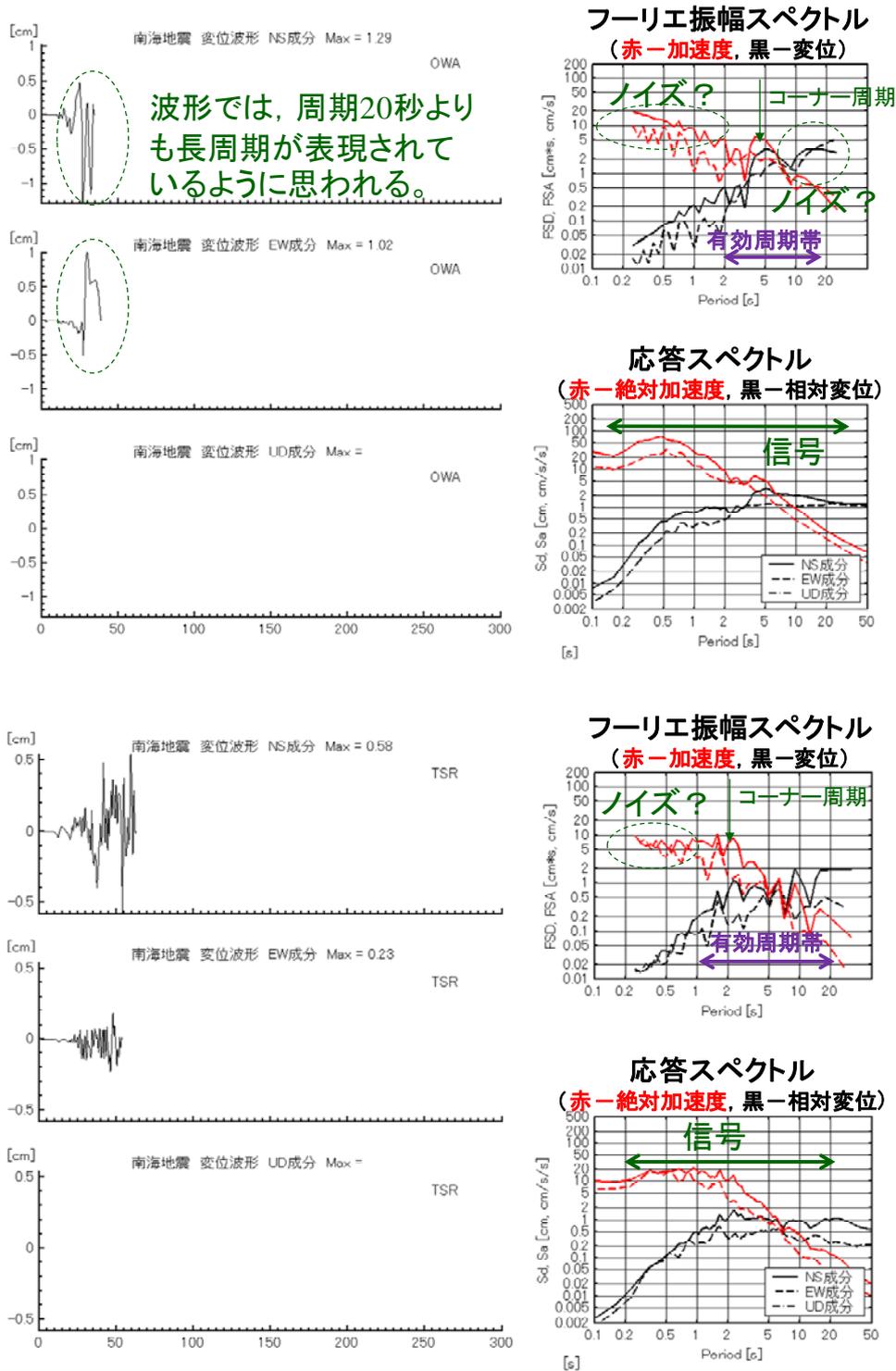


図 3.3.6 数値化記録のフーリエおよび応答スペクトルの例 (上: OWA、下: TSR)

図 3.3.6 上の OWA (尾鷲) サイトでは、応答スペクトルから周期 0.15~30 秒に信号があることが窺える。フーリエスペクトルでは短周期限界が 2 秒、長周期限界が 10 秒程度に見える。しかし、波形で見ると周期 20 秒程度のものが表現されており、振り切れによる短い記録であるために長周期ノイズのように見えたものと思われる。同図下の TSR (敦賀) サ

イトでは、応答スペクトルから周期 0.2～30 秒に信号があること、フーリエスペクトルから周期 1～30 秒まではノイズに影響されていないことが推測できる。このような検討を全観測サイトについておこなった結果を表 3.3.1 に示す。これらの検討により、近地観測記録については、振り切れてはいるものの周期 2 秒以上の精度を持っていることが確認された。

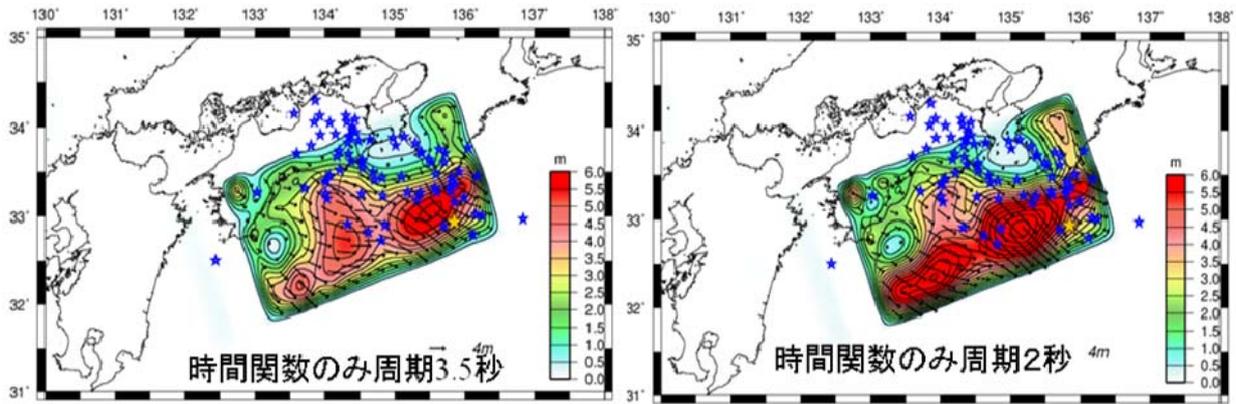
表 3.3.1 各観測点での有効周期帯

観測点	有効周期帯 秒	信号がある 周期帯、秒
HMD	2-50	0.2-50
FKK	1-20	0.2-20
KYT	2-20	0.2-20
MYZ	2-20	0.2-50
OWA	2-20	0.15-35
TKS	2-20	0.2-30
TSR	1-30	0.2-30

### 3) 昭和南海地震の震源インバージョンの短周期帯域への拡張

三次元グリーン関数を用いた昭和南海地震の周期 5 秒までのインバージョンを、より短周期・短波長へ拡張することを試みた。その際、3.2 の検討では三次元グリーン関数の対象外とした MIS (三島) サイトについて、構築・改良をおこなった西南日本の地下構造モデルに東海域の既往モデル (瀬藤・他, 2009<sup>3)</sup>) を付加して三次元グリーン関数を計算して用いた。

図 3.3.7 に、小断層の大きさは 20km 四方のまま、震源時間関数のみ 3.5 秒相当 (基底 3.2 秒の三角形を 1.6 秒ずつずらして 25 波) および 2 秒相当 (基底 2 秒の三角形を 1 秒ずつずらして 40 波) とした結果を示す。それぞれの解析で、グリーン関数および観測波形とも、対象周期以上の成分を含むようにフィルターと時間刻みを調整している。特に周期 2 秒までの結果では Variance 値が悪くなり、地震モーメントおよび最大すべり量が過大となってすべり分布も浅い部分に集中するようになっている。図 3.3.8 にそれぞれのすべり時間関数を示すが、周期 5 秒までであれば Kostrov 型となっていたものが、ふた山のベル型に崩れている傾向が見られる。これらの結果からは、短周期までのインバージョンが良好に実施されたとは言い難い。



$6.50 \times 10^{21} \text{Nm}$   
 $M_w$  8.48,  $D_{\text{max}}$  6.07m  
 Var. 0.194

総合 var.=0.194  
 近地 var.=0.277  
 遠地 var.=0.189  
 地変 var.=0.222

$7.94 \times 10^{21} \text{Nm}$   
 $M_w$  8.53,  $D_{\text{max}}$  8.33m  
 Var. 0.205

総合 var.=0.205  
 近地 var.=0.241  
 遠地 var.=0.198  
 地変 var.=0.382

図 3.3.7 震源時間関数のみ短周期化した場合の結果

次に、震源時間関数のみ先の検討で妥当な範囲であった 3.5 秒相当（基底 3.2 秒の三角形を 1.6 秒ずつずらせて 25 波）とし、要素断層を 10km 四方とした解析を試みた。その際、すべりのスムージングに関わる係数を、ABIC を参考に再調整した。

その結果、ABIC を最小とするためには、スムージングを大幅にきつくする（ $\beta=0.5$  から  $\beta=2.0$  へ）必要があった。表 3.3.2 に示すように、 $\beta$  値を大きくすることで地震モーメントは小さくとも妥当な値となったが、Variance 値は悪化した。図 3.3.9 に  $\beta=2.0$  とした場合の結果を示す。要素断層を 10km 四方と細かくしても、スムージングをきつくしたため、要素断層 20km 四方の場合よりも滑らかなすべり分布となっている。また、すべりの大きい場所もこれまでの検討とは異なる傾向がみられる。以上の結果から、短周期・短波長までのインバージョンが良好に実施されたとは言い難いものとなった。

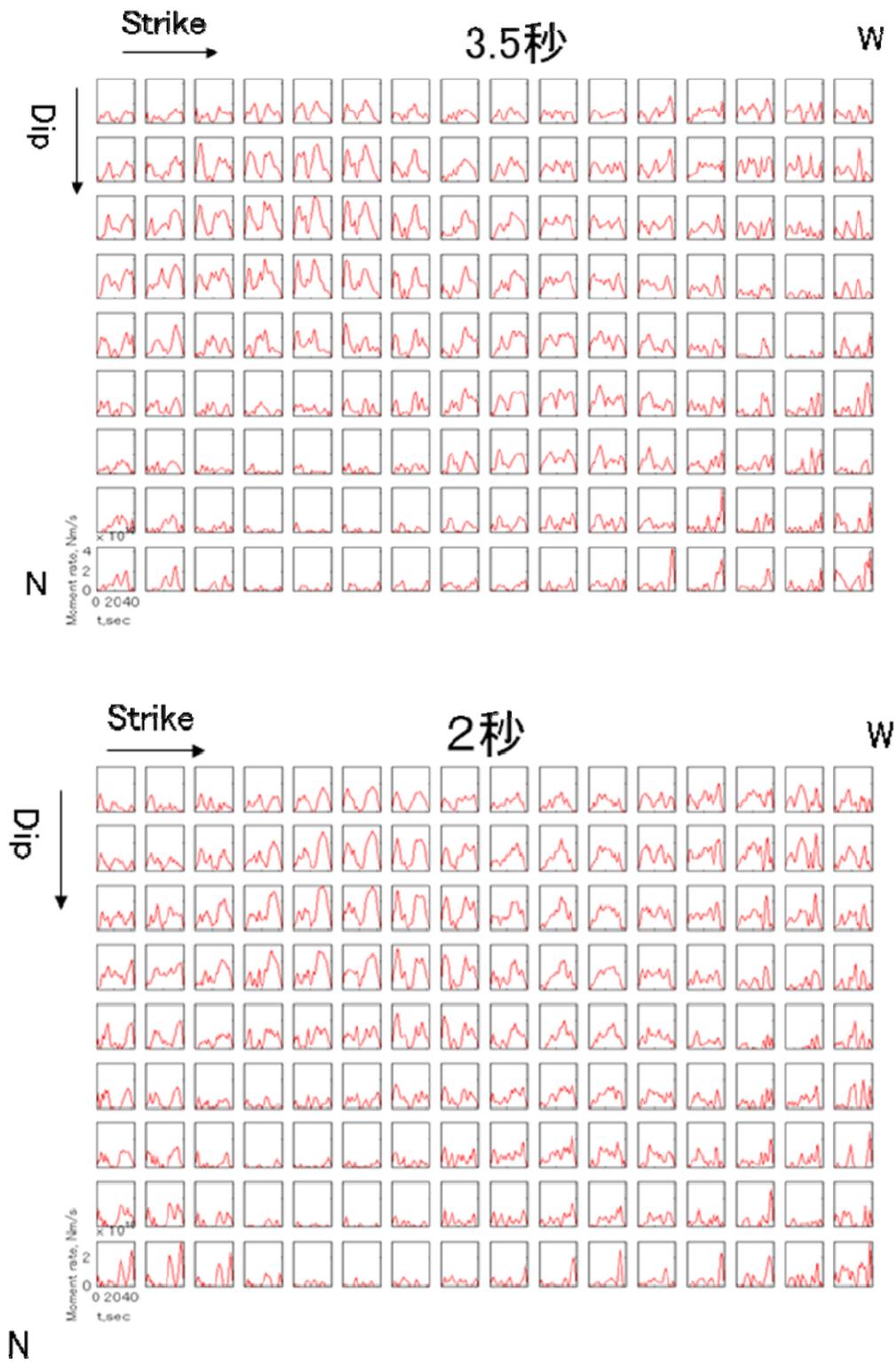


図 3.3.8 震源時間関数のみ短周期化した場合のすべり時間関数（上：3.5 秒、下：2 秒）

表 3.3.2 ABIC を指標とした最適なスムージング係数の選定

$\beta$	ABIC	Variance	Mo(Nm)	Mw
1.0	3.0846E+05	0.252	6.23E+21	8.46
1.5	3.0464E+05	0.277	5.65E+21	8.43
<b>2.0</b>	<b>3.0397E+05</b>	<b>0.298</b>	<b>5.24E+21</b>	<b>8.41</b>
2.5	3.0438E+05	0.317	4.94E+21	8.40

$5.24 \times 10^{21} \text{Nm}$

$M_w 8.41, D_{\max} 5.78\text{m}$

Var. 0.298

総合 var.=0.298

近地 var.=0.535

遠地 var.=0.279

地変 var.=0.233

$\beta = 2.0$

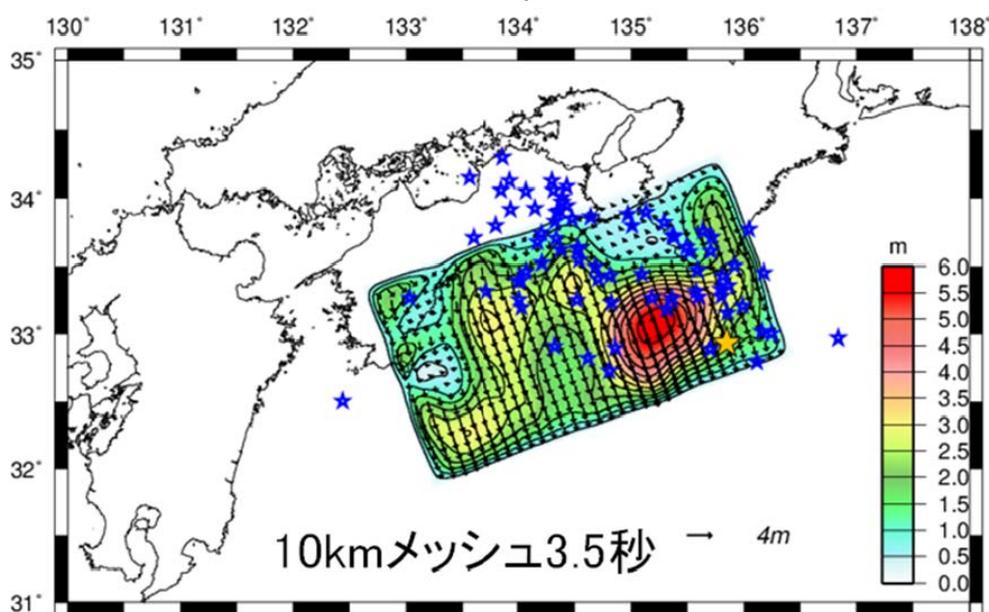


図 3.3.9 震源時間関数を 3.5 秒相当とし要素断層を 10km 四方とした場合の結果

以上の検討の結果、利用可能なデータ量では昭和南海地震の震源インバージョンを Murotani (2007) <sup>4)</sup> が実施した要素断層 20km 四方、有効周期帯 5 秒以上よりも短周期・短波長に拡張することは困難であると言える。そこで、図 3.3.10 に示す MIS (三島) サイトを加えた三次元グリーン関数を用いて、上記の周期・波長の範囲で解析した結果を震源インバージョンの最終結果とする。3.2 で実施した結果よりも MIS (三島) を含む分だけ Variance 値が悪くなっているが、地震モーメントは既往検討に比べて妥当な範囲となっている。

$6.51 \times 10^{21} \text{Nm}$   
 $M_w$  8.48,  $D_{\max}$  6.92m  
 Var. 0.181

総合 var.=0.181  
 近地 var.=0.396  
 遠地 var.=0.171  
 地変 var.=0.190

近地+遠地  
 +地殻変動

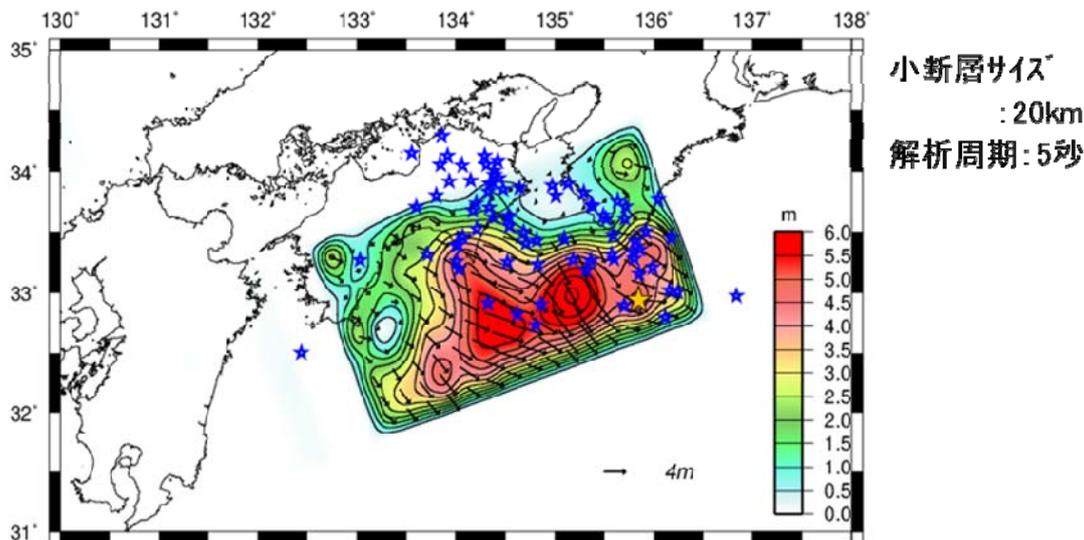


図 3.3.10 三次元グリーン関数を用いた昭和南海地震の最終結果

#### 4) 短周期まで有効な震源モデルの構築

前項で、昭和南海地震で遺されたデータ量からは、震源インバージョン解析を周期 5 秒よりも短周期・短波長に拡張することが困難であることが分かった。そこで、Miyake *et al.* (2001)<sup>5)</sup> に倣って震源時間関数にパルスを付与することにより、より短周期 (周期 2 秒) まで有効な震源モデルを構築した。具体的な方法論は、周期 4 秒を底とする 20 波の三角関数を 2 秒毎に足し合わせた要素断層毎のすべり速度時間関数に、図 3.3.11 左下に示すようにその最大値を生じる三角関数に、周期を半分の 2 秒とした三角関数をパルスとして付与する。その振幅を短周期までの観測記録を表現するように調整し、トータルの地震モーメントが変化しないように、基となるすべり速度時間関数の振幅も微調整する。図 3.3.11 には断層面全体に最大値と同じ振幅 ( $A_x=1.0$ ) だけパルスを付与したすべり時間関数と、それらによる破壊を遠地で見えた場合のトータルのすべり速度時間関数 (青) とそのフーリエスペクトルを、パルスを付与しないオリジナルのすべり速度時間関数 (黒) とともに示している。低周波数帯域では両者が一致し、短周期ではパルスを付与した方の振幅が大きくなっていることが分かる。

強震動評価に用いられる中村・宮武 (2000)<sup>6)</sup> の震源時間関数を用いても同様に短周期化を測ることができる。図 3.3.12 にその結果を示すが、オリジナルのすべり速度関数を用いないため、遠地で見えた波形もオリジナルとは異なって前半に集中したものとなる。また、立ち上がり之急なため差分計算の不安定が懸念される。そこで、図 3.3.11 に示した方法で短周期まで有効なモデルを策定した。

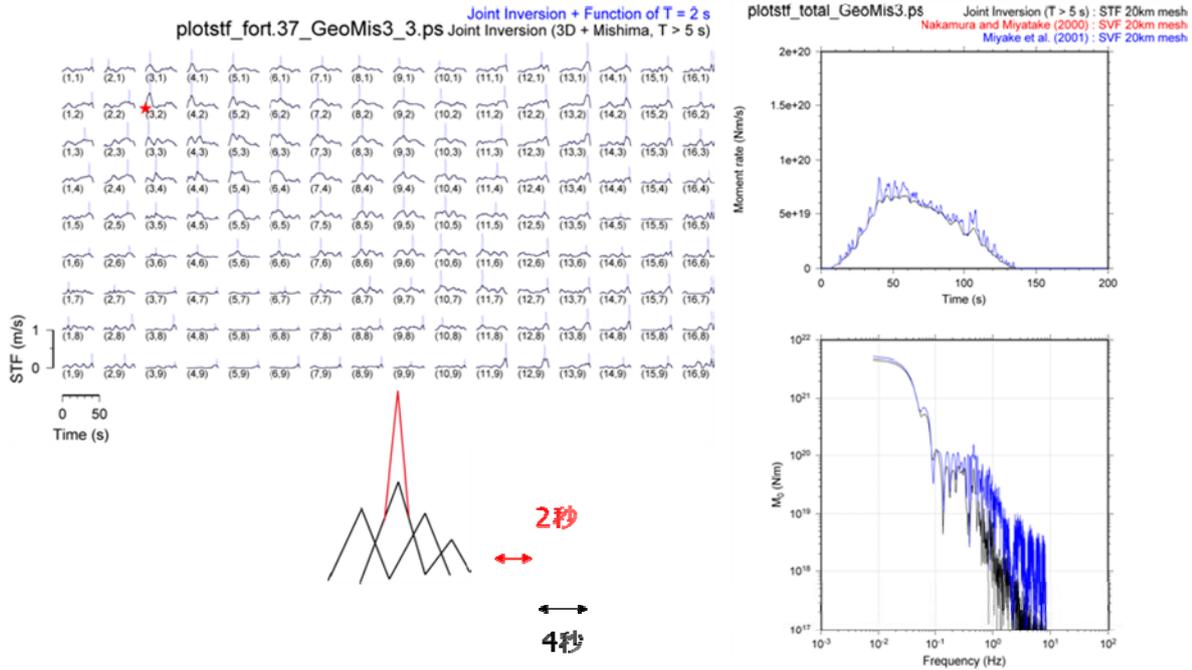


図 3.3.11 Miyake *et al.* (2001)<sup>5)</sup> に倣った震源時間関数の短周期化例

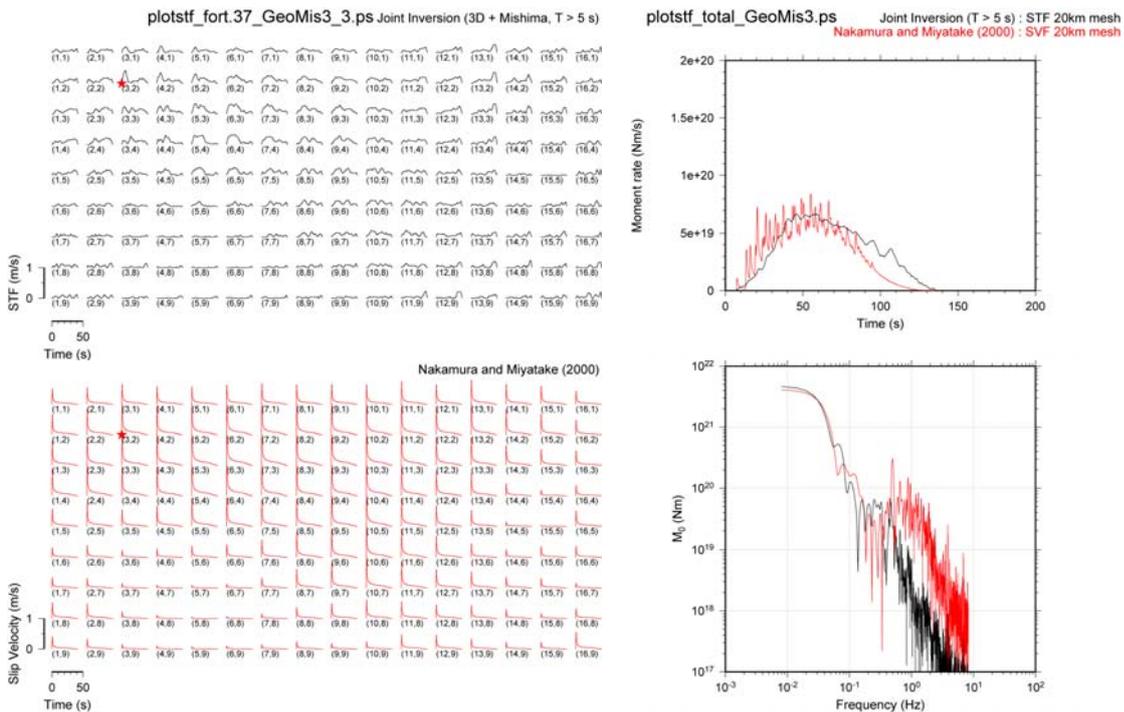


図 3.3.12 中村・宮武(2000)<sup>6)</sup> を用いた震源時間関数の短周期化例

図 3.3.11 のように全体にパルスを与えると、短周期帯域までの観測記録の再現性は必ずしも良くなかった。そこで、図 3.3.13 に示すように、すべりの大きい部分にのみパルスを与え、その振幅 ( $A_x$ ) を領域毎に調整した。図 3.3.13 に示したモデルによって計算される周期 2 秒までの観測波形、スペクトルとの比較を図 3.3.14 に示す。広範囲の観測点につい

て概ね短周期までの振幅レベルを再現できる震源モデルを設定することができている。ただし、ここで行った短周期化は、昭和南海地震の周期5秒以上の「前地震モデル」について、短周期帯域を暫定的に「特性化」したモデルとなっており、昭和南海地震の周期2秒までの実像とは言えないことに留意しておく必要がある。

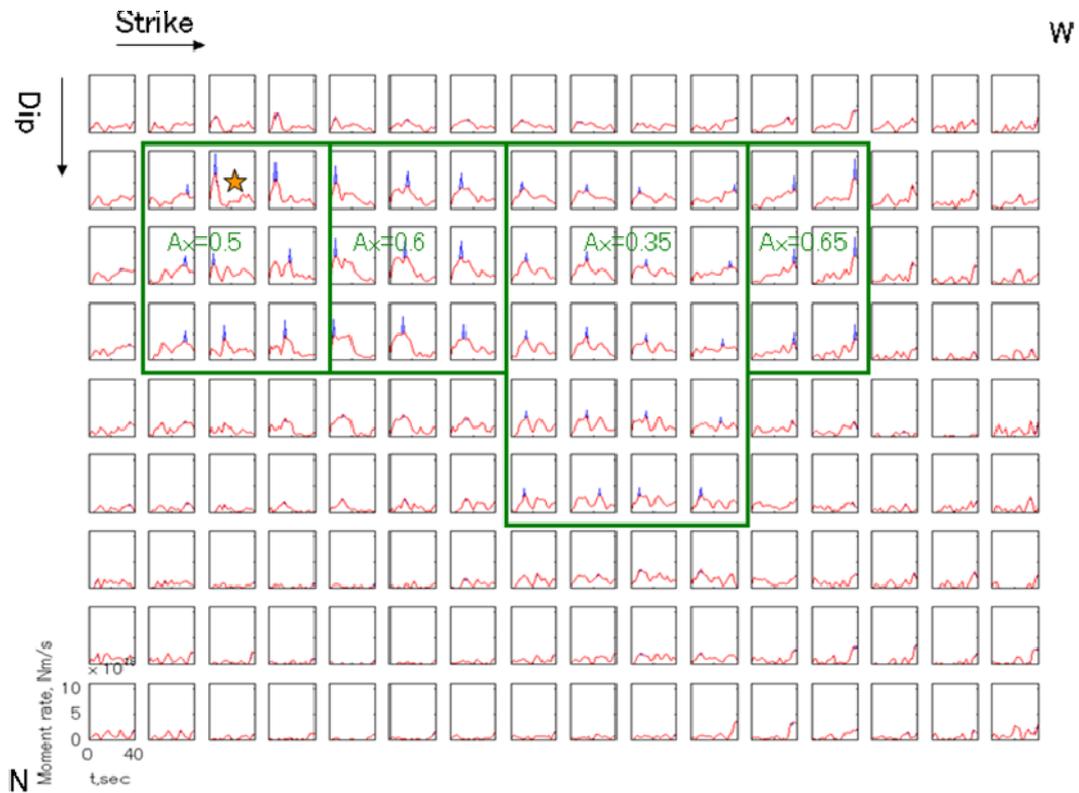
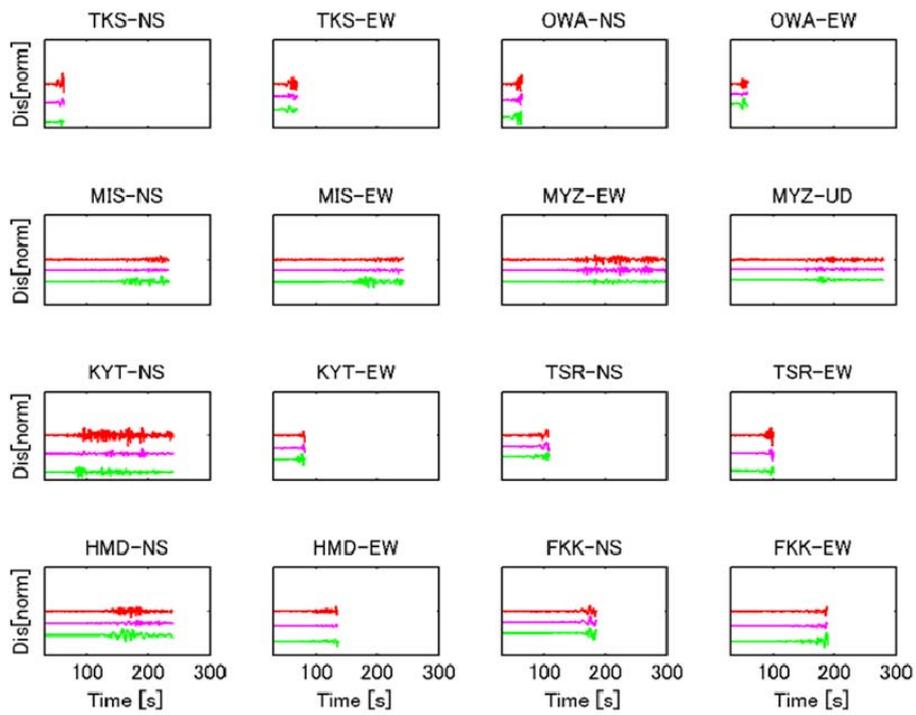
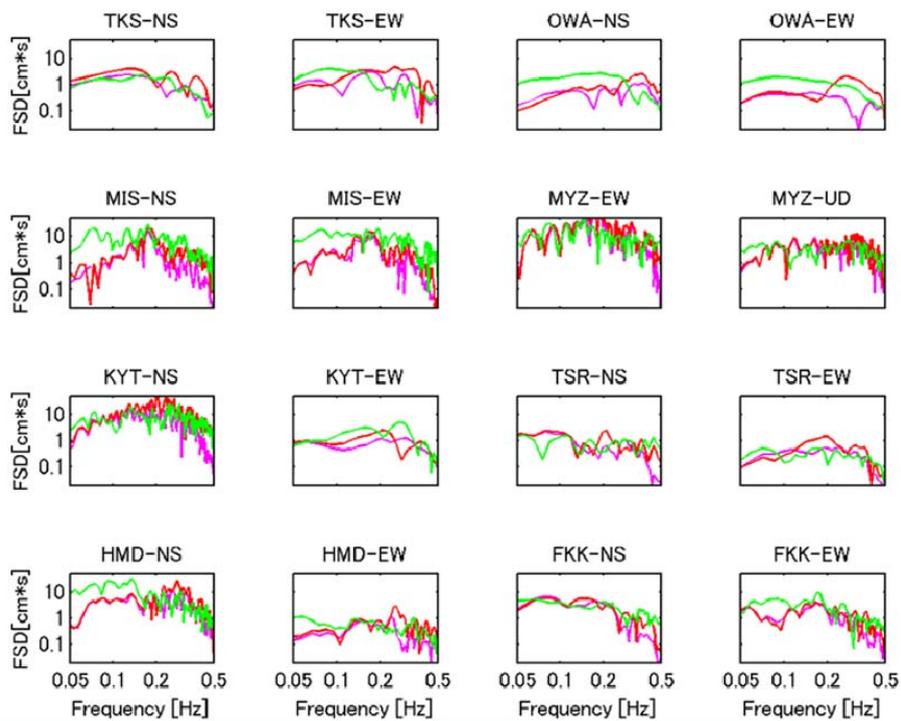


図 3.3.13 すべりの大きい領域のみにパルスを与えて短周期化したモデル



緑—観測波形、紫—短周期化なしモデル、赤—短周期化ありモデル



緑—観測波形の応答スペクトル、紫—短周期化なし、赤—短周期化あり

図 3.3.14 図 3.3.13 で計算された波形(上)およびフーリエスペクトル(下)と観測の比較

#### 5) 昭和南海地震の周期 2 秒までのシミュレーション

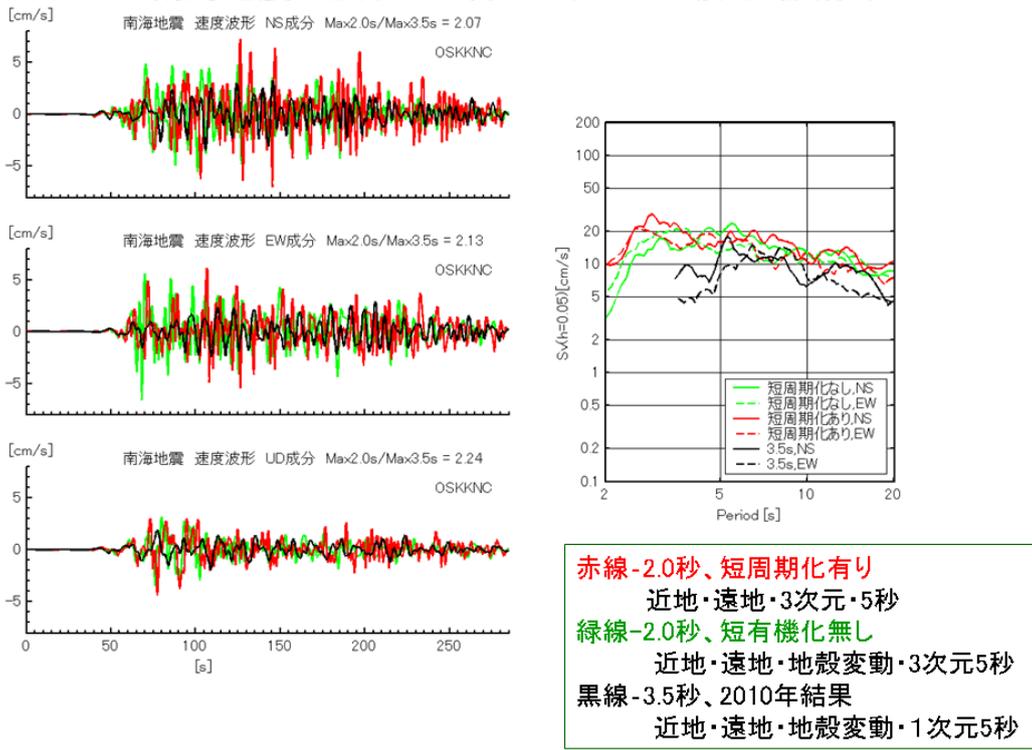
上記震源モデルおよび「3. 2 長周期地震動予測のための手法検討・時刻歴計算等」で得られた地下構造モデルを用いて、昭和南海地震の周期 2 秒までのシミュレーションをおこなった（以下「新規計算」と称する）。

代表地点の波形および応答スペクトルを、チューニング前の地下構造モデルおよび一次元グリーン関数による震源インバージョン解をそのまま用いた周期 3.5 秒以上の結果（以下「既往計算」と称する）と比較して図 3.3.15 に示す。いずれの地点においても、黒の既往計算に比べて緑（短周期化無し）および赤（短周期化）の新規計算の応答スペクトルがほぼ全ての周期帯域で大きく、特に新規計算を短周期化した周期 3.5 秒以下 2 秒までの帯域でその傾向が顕著に見られる。これを反映して予測速度波形の最大振幅も短周期化した新規計算の方が既往計算に比べて 2 倍程度大きくなっている。

昭和南海地震をシミュレーションした事例は少ないが、釜江・入倉(1994)<sup>7)</sup>は経験的グリーン関数法を用いて広帯域の強震動予測をおこなっている。長周期帯域のみではない広帯域の計算であるため震度を評価することが可能で、当時の震度分布を再現するように津波に基づく震源破壊モデルの短周期励起を調整している。つまり、短周期帯域まで広域で再現したモデルと言える。その上で、大阪平野内 2 地点の応答スペクトルを示している。図 3.3.16 に、既往計算と新規計算による応答スペクトルを釜江・入倉(1994)<sup>7)</sup>の結果と比較している。図の左が上町台地上の OSA（大阪管区気象台）観測点、右が湾岸の WOS（西大阪）観測点での予測結果であり、厚い堆積構造による周期 6 秒および 3 秒程度にピークが見られる。釜江・入倉(1994)<sup>7)</sup>による黒の結果に対して、水色の既往計算では振幅が不十分であるが、緑および赤の新規計算では長周期帯域におけるスペクトルの形状を含めて振幅の再現も良好であり、短周期化した赤では周期 2 秒までの振幅が大きくなっている。

以下、周期 2 秒までを対象とした長周期地震動予測地図を順に示す。図 3.3.17 に昭和東南海地震による最大速度の地震動予測地図（瀬瀬・他, 2009<sup>3)</sup>）を付記し、図 3.3.18 に新規計算（短周期化したもの）と既往計算による最大速度分布を示す。既往計算では過小評価であった震源近傍域の値が昭和東南海地震と同程度となり、堆積平野での地震動も大きくなっていることが見て取れる。図 3.3.19 および図 3.3.20 には、新規計算と既往計算によるそれぞれ周期 5 秒および 7 秒の応答速度分布を示す。以下、減衰は全て  $h=0.05$  である。これらについても、新規計算によって振幅が大きくなっていることが分かる。図 3.3.21 には、計算速度波形が 1 cm/s を越えている継続時間の分布を示す。特に大阪平野や濃尾平野のような大規模堆積盆地構造で継続時間が長く、既往計算でより長い結果となっている。なお、徳島県吉野川沿いでも計測時間が長くなっており、他の図からは地震動の振幅も大きいことが窺える。図 3.3.22 には新規計算による周期 3 秒の応答速度分布を示す。新規計算により、これまで評価できなかった周期 3 秒の応答スペクトルを示すことが可能となり、工学的利用にあたって有用な情報となっている。

### 南海地震の波形と応答スペクトル比較:大阪府庁



### 南海地震の波形と応答スペクトル比較:京都府庁

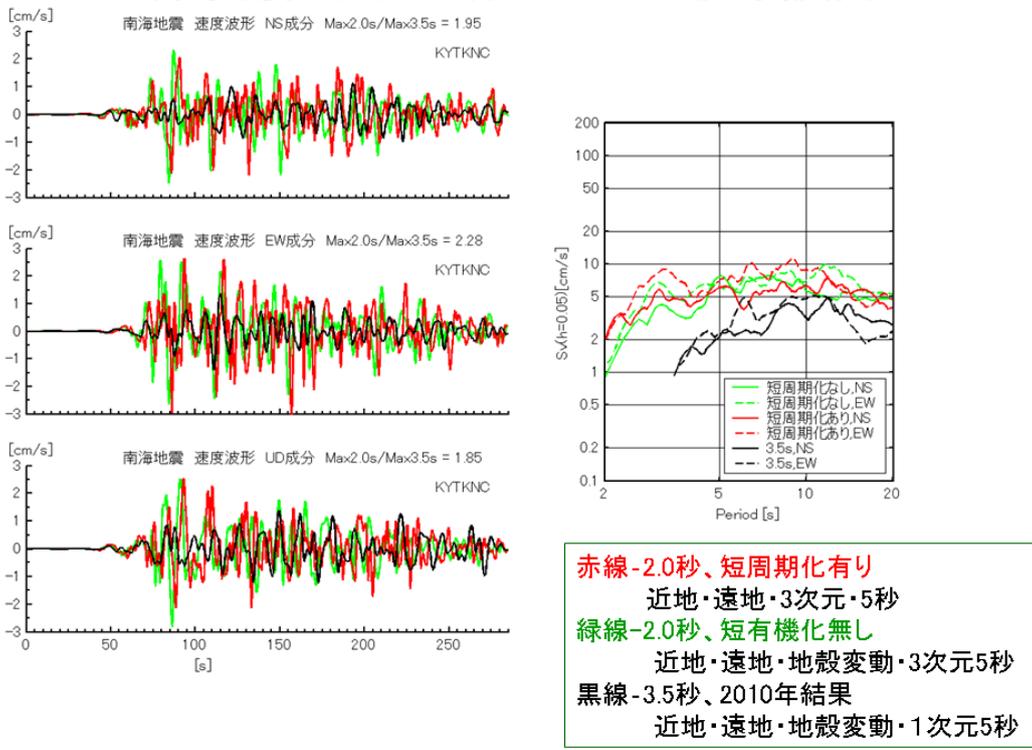
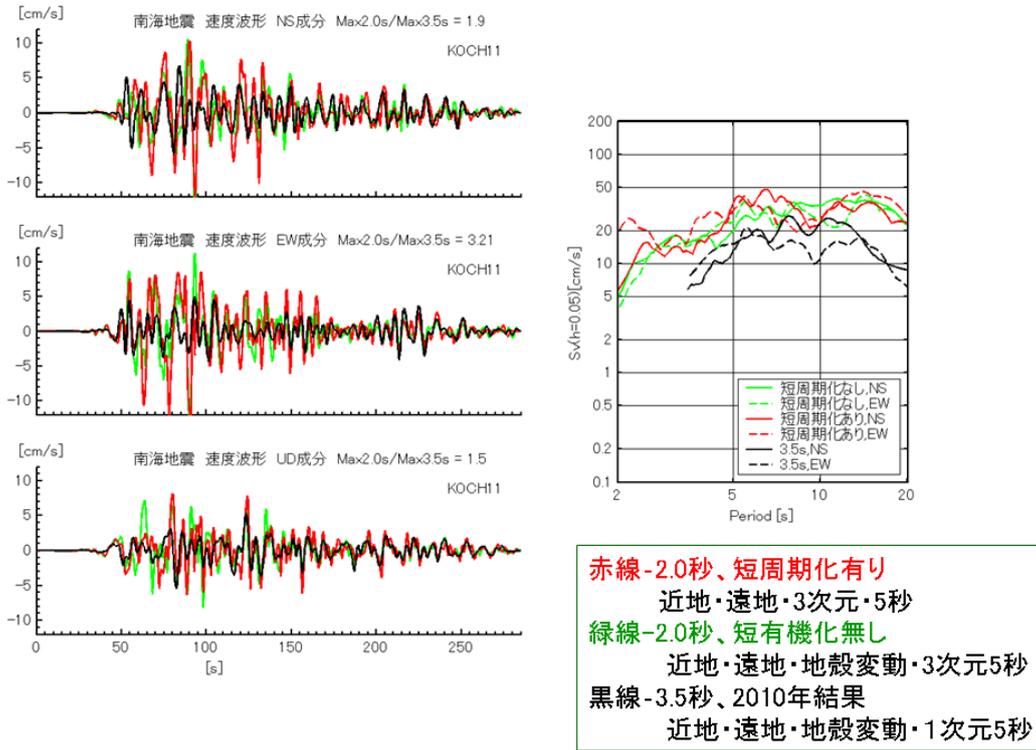


図 3.3.15(1) 新規計算と既往計算による代表地点での波形比較例 (上:大阪、下:京都)

### 南海地震の波形と応答スペクトル比較: KOCHI1



### 南海地震の波形と応答スペクトル比較: 徳島県庁

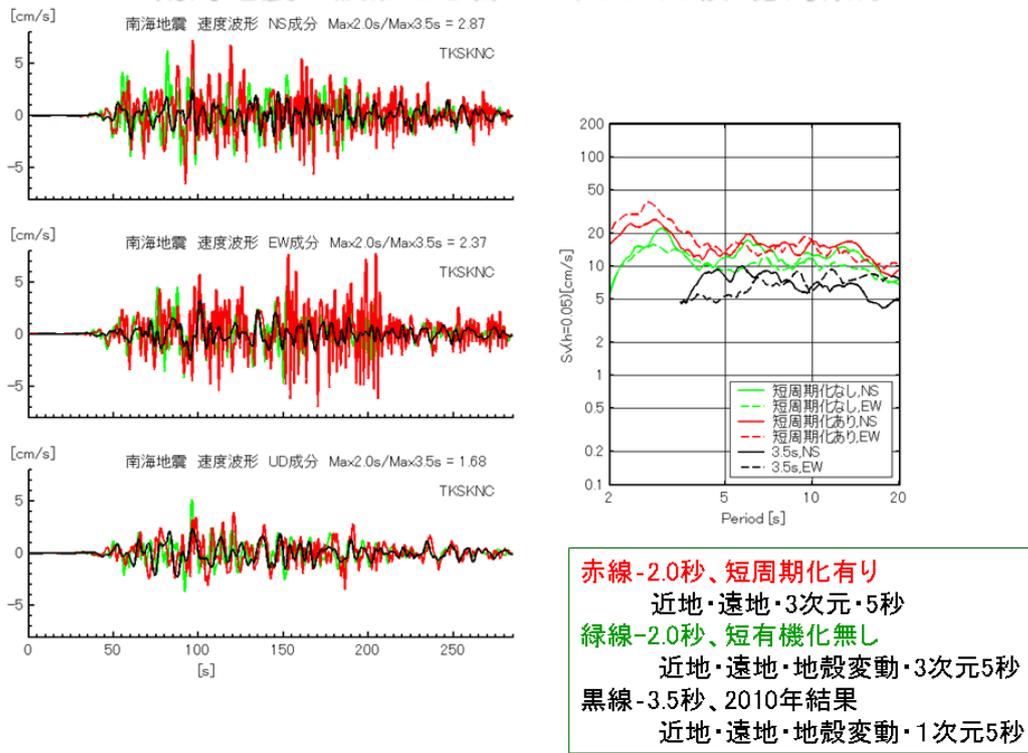


図 3.3.15(2) 新規計算と既往計算による代表地点での波形比較例 (上: 高知、下: 徳島)

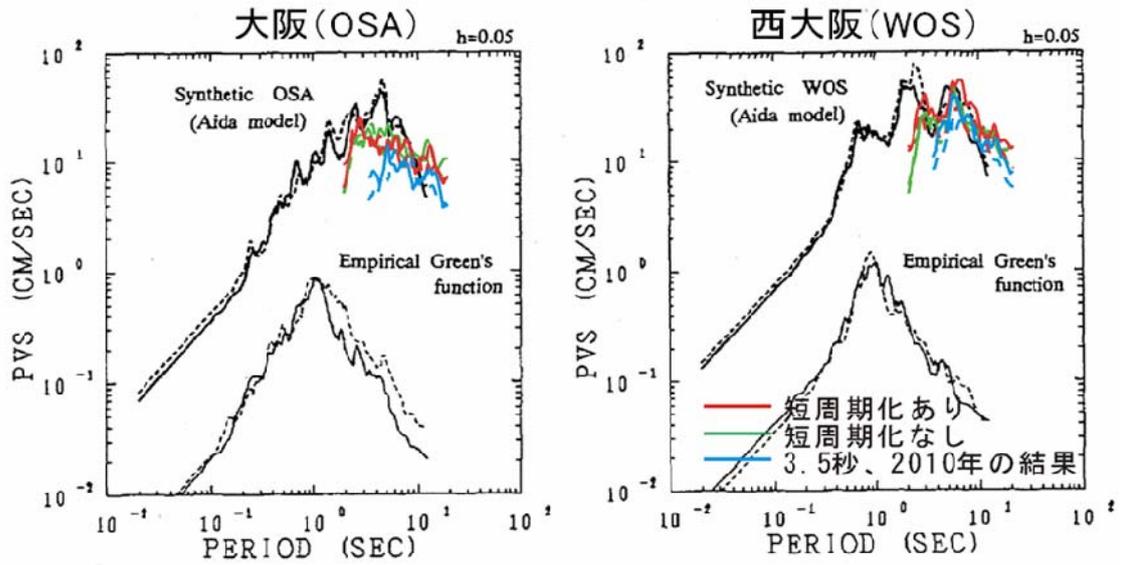


図 3.3.16 新規計算と既往計算による応答スペクトルと釜江・入倉(1994)<sup>7)</sup>との比較

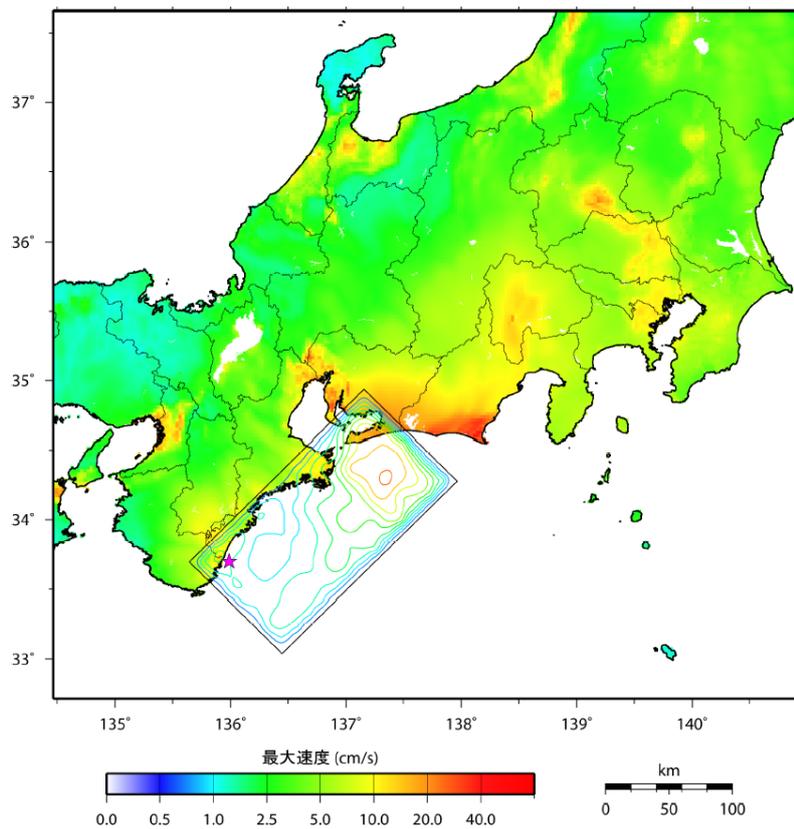


図 3.3.17 昭和東南海地震による最大速度分布 (瀬瀬・他, 2009<sup>3)</sup>)

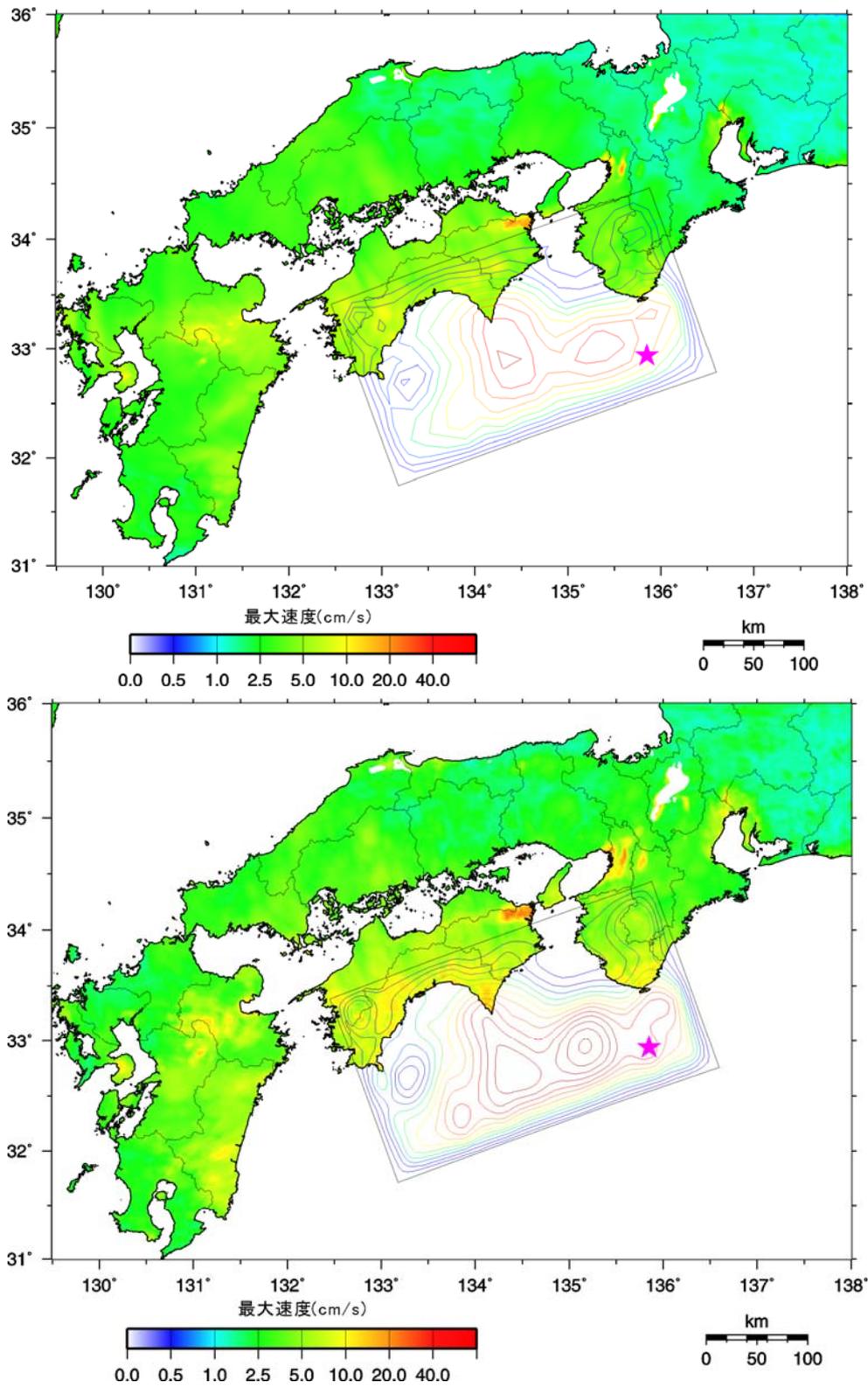


図 3. 3. 18 新規計算（上）と既往計算（下）による最大速度分布

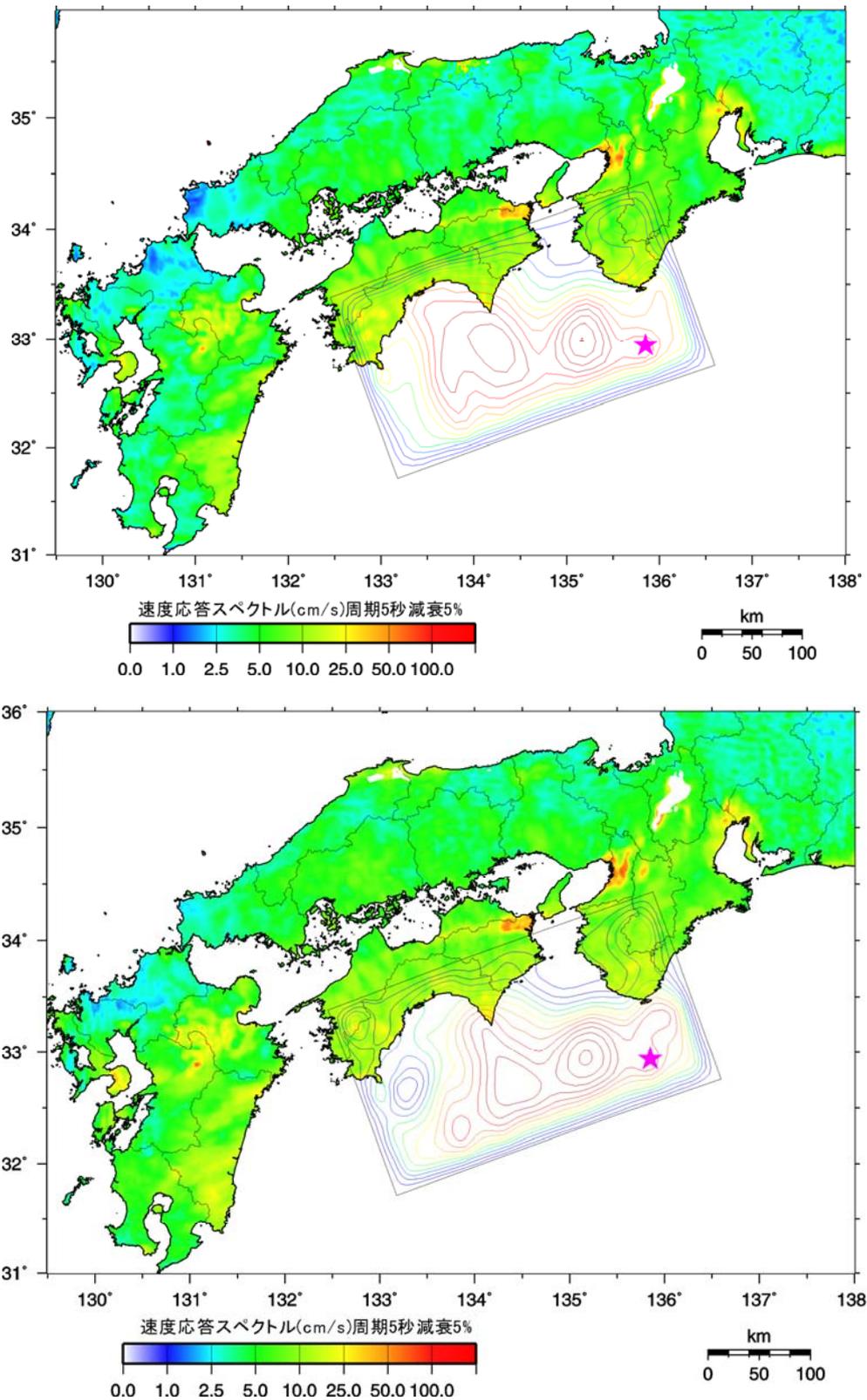


図 3.3.19 新規計算（上）と既往計算（下）による周期 5 秒の応答速度分布（減衰  $h=0.05$ ）

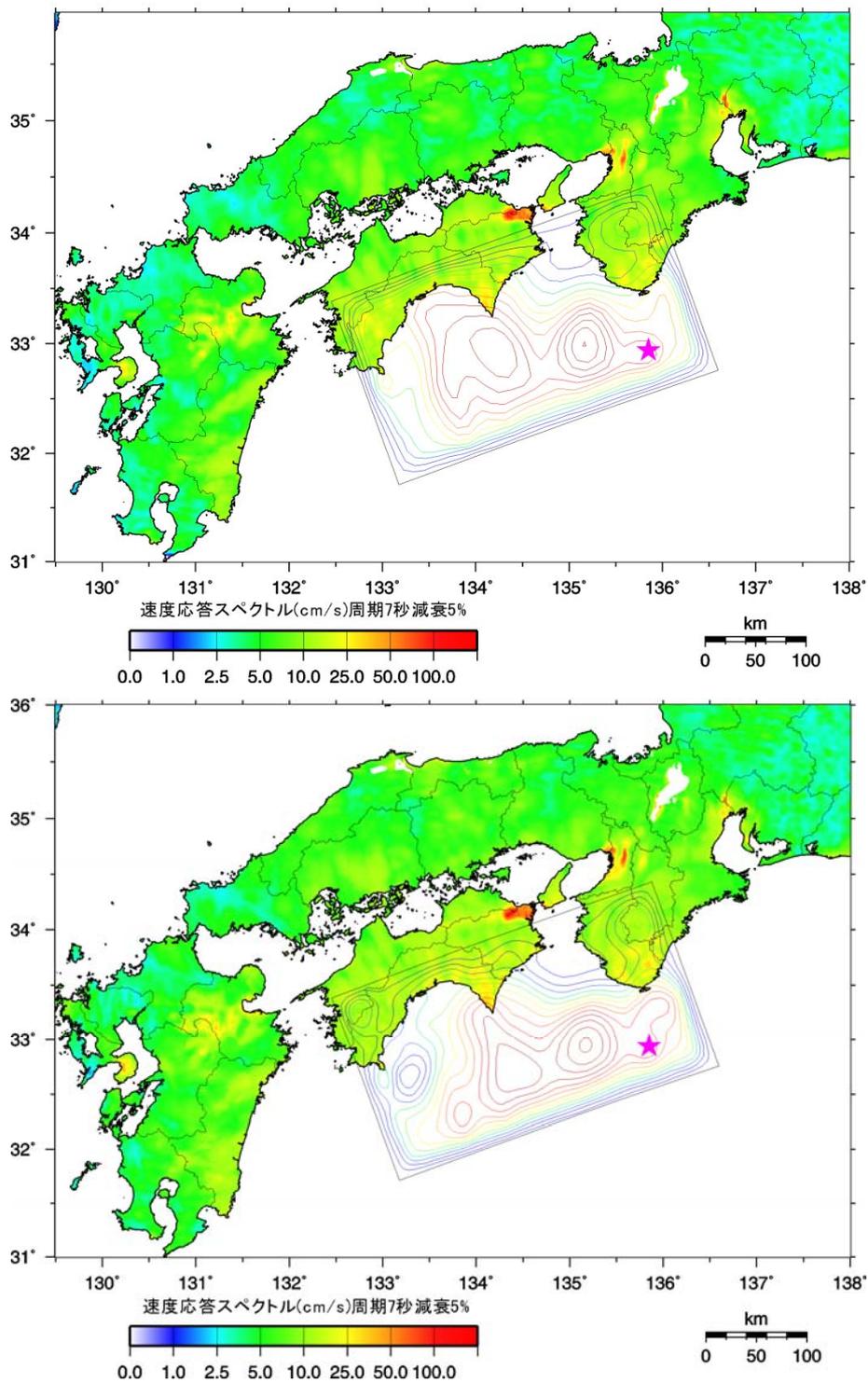


図 3.3.20 新規計算（上）と既往計算（下）による周期7秒の応答速度分布（減衰  $h=0.05$ ）

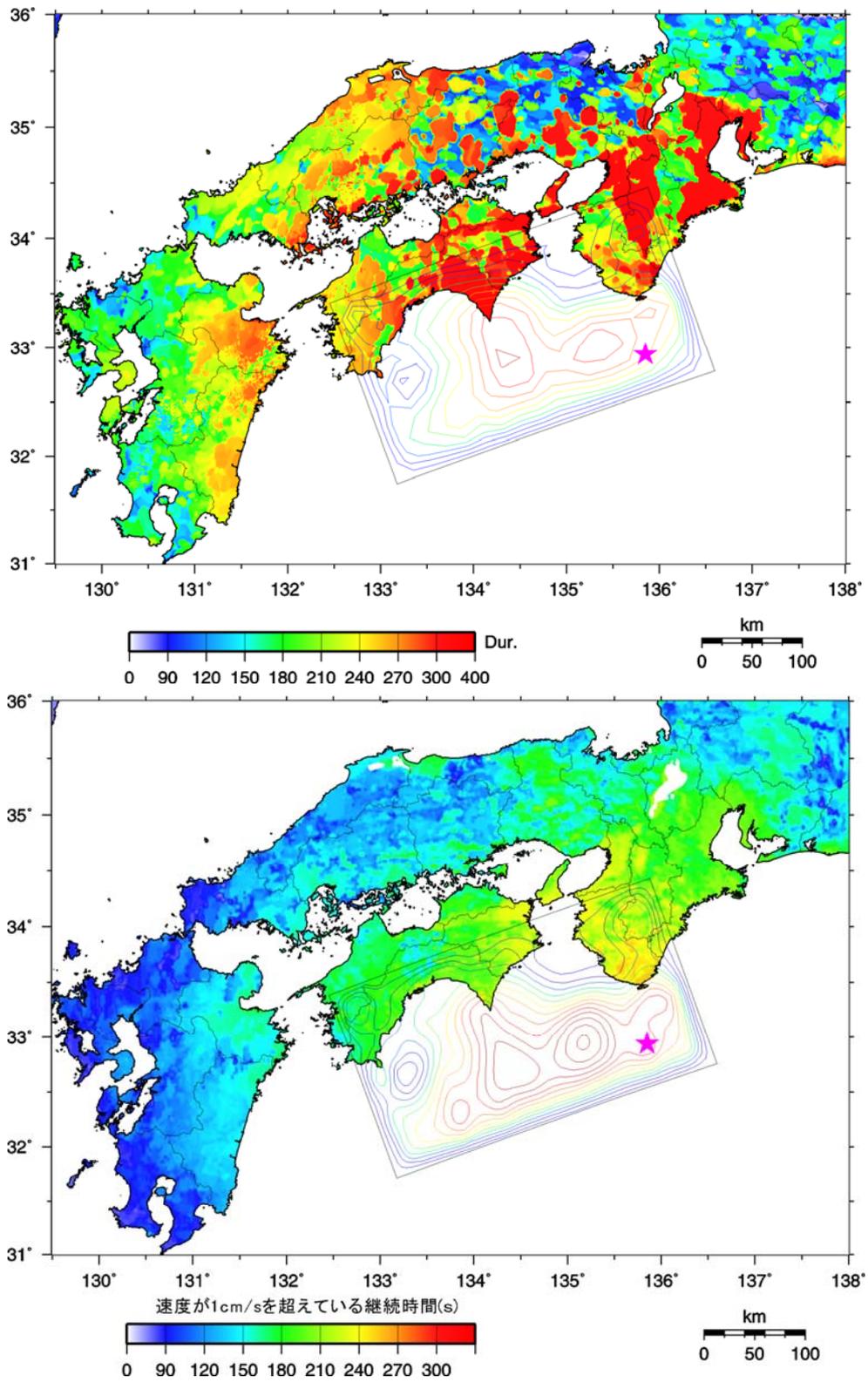


図 3. 3. 21 新規計算（上）と既往計算（下）による速度 1 cm/s 以上の継続時間分布

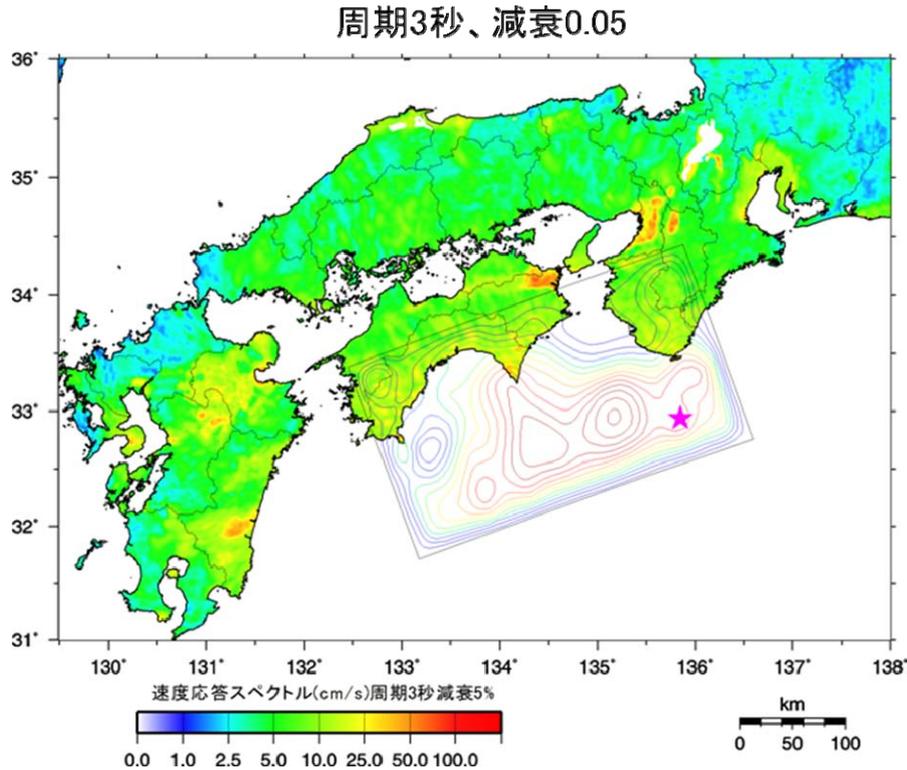


図 3. 3. 22 新規計算による周期 3 秒の応答速度分布 (減衰  $h=0.05$ )

(d) 結論ならびに今後の課題

広帯域地震動予測の高度化に向けて、「長周期地震動予測のための手法検討・時刻歴計算等」で改良された地下構造モデル、震源モデルを用いて、長周期地震動計算における短周期側の有効限界周期を地震本部による長周期地震動予測の従来の周期 3.5 秒程度（震源モデルは 5 秒程度）よりも短周期側に拡張するため、3. 2 で構築した地下構造モデルが周期 2 秒までの中小地震観測波形を概ね再現可能であることを確認するとともに、南海地震の震源インバージョン解を基に周期 2 秒までの地震動を表現できる震源モデルの構築を行った。これらモデルの構築、改良を通じて、実施した方法が長周期地震動予測地図の高度化のために有効なものひとつであることを示すことができた。三次元地下構造モデルについては、今後同様のプロセスを踏むことによって、全国規模の作成と改良が行われるものと期待する。また、検討過程において、進捗状況と改良方策をまとめて適宜適切に地震本部に報告した。

なお、南海地震による地震動を周期 2 秒まで精度良く予測するためには、現状では以下の課題が残されていると言える。

- 1) 大阪、濃尾など大規模な平野や盆地を除いて、周期 2 秒まで適用できる詳細な堆積層構造モデルが構築されている地域は限られているのが現状である。これについては、新たな地下構造調査を含むモデルの高度化に向けた検討が重要である。
- 2) 昭和南海地震本震の震源モデルは、当時の観測記録の制限から周期 5 秒よりも短周期の解を直接得ることができず、周期 5 秒までの震源時間関数に対して暫定的に周期 2 秒までの成分を付加する方法を採ることとなった。この点に関しては、震源断層面分割をよ

り短波長とし、震源時間関数をより短周期とするモデル化の規範を構築することが望まれる。

(e) 引用文献

- 1) 藤原広行・河合伸一・青井 真・先名重樹・大井昌弘・松山尚典・岩本鋼司・鈴木晴彦・早川 譲 (2006) 強震動評価のための深部地盤構造全国初期モデル, 第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集, 1466-1469.
- 2) Iwata, T., T. Kagawa, A. Petukhin, and Y. Onishi (2008) Basin and crustal velocity structure models for the simulation of strong ground motions in the Kinki area, Japan, *J. Seismology*, 12, 223-234, DOI 10.1007/s10950-007-9086-7.
- 3) 瀬瀬一起・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 (2009), 「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—, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, S221-015.
- 4) Murotani, S. (2007) Source process of the 1946. Nankai earthquake estimated from seismic waveforms and leveling data, Ph.D Thesis, University of Tokyo, 112pp..
- 5) Miyake, H., T. Iwata, H. Sekiguchi, and K. Irikura (2001) Appropriate slip velocity time function of on-/off- asperity for broadband ground motion simulation, *Eos Trans. AGU*, 82(47), Fall Meet. Suppl., Abstract S42C-0677.
- 6) 中村洋光・宮武隆 (2000) 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.
- 7) 釜江克宏・入倉孝次郎 (1994) 1946 年南海地震 (Mw=8.1) 時の震源近傍及び周辺地域における強震動評価の再現, *日本建築学会構造系論文集*, 455, 61-71.