

(4) 震源断層モデル等の構築

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

(東京大学地震研究所・鳥取大学大学院工学研究科)

○研究目的

(1)～(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。

○平成 22 年度の成果

- ・千葉県北西部で繰り返し発生した M6 程度の地震のモーメントテンソルインバージョン、及び余震の震源再決定を行った。この地域では、スラブ内のほぼ同じ位置で、東南東傾斜の高角逆断層タイプの地震が繰り返し発生していることが明らかにされた。

- ・南海地震を対象とした長周期地震動予測地図作成のための地下構造モデルの構築・改良をおこなった。

- ・(1)地震計を用いた自然地震観測によるプレート構造調査」により得られた自然地震の観測記録を用いて、震源パラメータのスケリング則に従って、観測記録スペクトルから想定地震のスペクトルを予測し、首都圏に想定される地震による強震動予測を行った。

○平成 23 年度の計画

- ・構築された震源断層モデル、および地下構造モデルなどに基づき、首都直下地震の広帯域強震動予測を行う。

4-2 震源断層モデルの高度化に関する調査研究（京都大学防災研究所）

○研究目的

震源断層モデル等の構築のため、広帯域強震動生成に関係するすべり分布や応力降下量、破壊様式といった震源断層のパラメータの把握とその地域性・深さ依存性についての分析を行う。そのため、既往のプレート境界地震、スラブ内地震を中心とした震源断層モデルの収集及び広帯域地震波を用いた震源過程の解析による結果の分析を行い、首都直下で発生する地震に対する震源断層モデルの高度化に寄与する。

○平成 22 年度の成果

- ・スラブ内地震の強震動予測のための特性化震源モデルに基づく 1987 年千葉県東方沖地震の強震動シミュレーションを行った。

- ・統計的グリーン関数法による面的評価を行い、観測震度分布との適合性を確認した。

- ・強震観測点における計測震度の比較を行い、よい適合性を確認した。

○平成 23 年度の計画

これまで行った特性化震源モデルの検証結果をとりまとめ、スラブ内地震の強震動予測のための特性化震源モデルの提案を行う。

4-3 強震観測研究の高度化に関する調査研究（防災科学技術研究所）

○研究目的

高精度な強震動予測を実現するためには、離散的に配置された観測点で得られた地震記録から面的な地震動分布を精度良く推定することが重要である。一方、観測点で得られる地震記録は、設置環境や周辺の地盤の影響を強く受けるため、それらデータから面的地震動分布を推定するためには、観測点周辺の地盤・設置環境の評価が重要となる。本業務では、観測点の地盤・設置環境調査を実施することにより、面的な地震動分布の推定精度向上につなげる。さらに、自然地震観測によるプレート構造調査のために設置される中感度地震観測網と、既存の K-NET、KiK-net 等のデータと併合処理することにより、強震動の面的分布を高精度に推定する。

○平成 22 年度の成果

・面的な地震動分布の推定精度向上に向けて、平成 21 年度までに実施した、千葉県における単点による微動観測結果および既往の微動アレイ観測結果を踏まえ、微動アレイ観測等を追加実施し、既存の強震観測点に基づく面的な地震動分布の推定精度の高度化について検討を行った。

○平成 23 年度の計画

・観測記録と解析結果を整理し、既往の地下構造モデルの修正を行い、地震観測記録における 0.5～10 秒程度の周期帯域を再現することのできる、浅部・深部統合地下構造モデルの構築を行い、既存の強震観測点にもとづく面的な地震動分布の推定精度の高度化について検討を行う。

4-4 首都圏周辺の高精度な地盤構造モデルの構築（東京工業大学大学院総合理工学研究科）

○研究目的

首都圏の浅部地盤および深部地盤の既存の地盤モデルを収集・整理するとともに、新しいデータの追加を図り、表層から地震基盤に至る切れ目のない 3 次元地盤モデルの作成を行う。ここで得られた結果を、個別研究テーマ（4）「震源断層モデル等の構築」で実施する首都直下地震の強震動予測の高度化に利用する。

○平成 22 年度の成果

- ・首都圏での地盤をモデル化するために、多量の微動や地震の記録について様々な視点からの分析を行った。
- ・中小地震の H/V スペクトルに基づく検討を複数の地震記録を用いて行った。既存のモデルの南西地域ではモデル修正の必要性のあることが示された。
- ・中小地震のシミュレーションによる修正モデルによって、表層部分の速度の不均質性を考慮した場合に観測記録がより説明できることが示された。

○平成 23 年度の計画

- ・引き続き浅部地盤の卓越周期データ、微動アレイ観測による深部地盤データの収集を行う。
- ・中感度稠密地震観測による観測記録を用いて、水平/上下スペクトル比などの地盤構造情報を抽出する。
- ・抽出した地盤情報を用いて地盤モデルの妥当性を検証し、必要に応じて地盤モデルの修正を行う。
- ・中小地震による地震動のシミュレーションを行い首都圏での地震動の伝播特性を明らかにする。

4-5 震源断層モデル等の構築に関する共同研究（東京大学地震研究所）

○研究目的

地震の破壊成長とスケーリング、スラブ内地震による強震動予測、高速な地震動予測手法などの研究を行い、震源断層モデルや強震動予測の高精度化につなげる。

4-5-1 地震の破壊成長とスケーリング（東京大学大学院理学系研究科）

○研究目的

地震の破壊成長のスケーリングについて、スケールの大きく異なる地震の動的・非動的成長をデータ解析と理論モデルで理解し、地震の発生・成長・強震動生成の各過程を予測するために重要な要素を明らかにする。

○平成 22 年度の成果

- ・首都直下のゆっくり地震発生の可能性を検討した。
- ・ゆっくり地震の特徴的時定数を算出した。

○平成 23 年度の計画

- ・首都直下のゆっくり地震発生の可能性を継続して検討する。
- ・他地域への応用を検討する。

4-5-2 スラブ内地震による強震動予測の高度化に関する調査研究

（北海道大学大学院工学研究科）

○研究目的

スラブ内地震による強震動予測の研究を行う。スラブ内地震は、内陸地殻内地震やプレート間地震に比べて、短周期地震波を強く励起することが知られている。この特性を考慮した強震動予測手法の高度化が望まれている。このため、スラブ内地震の震源特性評価の高度化、及び地盤の非線形応答評価の高度化について研究する。

○平成 22 年度の成果

- ・千島列島中部で発生した 2007 年アウターライズ巨大地震（ $M_w 8.1$ ）について、波形インバージョン結果（すべり分布）を基にして、経験的グリーン関数法に基づいて、6 個の SMGA（強震動生成領域）をモデル化した。
- ・震源が浅いにもかかわらず、スラブ内地震と同様に大きな応力降下量を有することがわかった。

○平成 23 年度の計画

- ・スラブ内地震による強震動予測高度化のために、2005 年三陸沖アウターライズ大地震（ $M_w 7.0$ ）や 1933 年三陸沖巨大アウターライズ地震（ $M_w 8.1$ ）を対象に、経験的グリーン関数法による地震動を用いて、震源モデルを構築し強震動シミュレーションを行う。

4-5-3 非一様な破壊伝播を考慮した震源モデルの構築とリアルタイム強震動予測へ向けた基礎的研究（九州大学大学院理学研究院）

○研究目的

震源断層モデルや強震動予測の高精度化に資するため、非一様な破壊伝播を考慮した震源解析などの研究を行う。高速な地震動予測手法などの研究を行い、震源断層モデルや強震動予測の高

精度化につなげる。

○平成 22 年度の成果

- ・2009 年駿河地震のように破壊の初期ステージで断層面が替わる（別の断層面に移る）イベントが存在することが、ごく最近の稠密観測により明らかになった。このようなケースに対応するため P 波放射強度の 3 次元マッピングに基づく破壊過程のイメージング法を開発した。

○平成 23 年度の計画

- ・高速な地震動予測を実現するために必要な高速な地震動シミュレーション法を開発する。本方法の特徴は、震源サイトと観測点サイトの構造の違いを考慮でき、PC 単体でも計算可能である。
- ・最終年度にあたり、これまでの成果をまとめる。

4-5-4 相模トラフ沿いのアスペリティの解明

(鹿児島大学大学院理工学研究科・東京大学地震研究所)

○研究目的

相模トラフ沿いのプレート境界地震の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。

○平成 22 年度の成果

- ・曲面状断層面での測地・地震データの同時インバージョンの手法を確立した。
- ・1923 年関東地震に対する、測地データと遠地地震波形データを用いたインバージョンを行った。
- ・関東地震と元禄地震の測地学的データに対するインバージョンを行い、滑り分布を得た。

○平成 23 年度の計画

- ・近地地震波形データも合わせて解析を行う。本郷観測点においては、3 次元構造を用いる。
- ・断層面形状モデルについて、千葉大及び JAMSTEC の最近の成果により示唆される海山の存在を考慮し、また地震研による相模湾～三浦半島の調査結果を反映させた再検討を行う。
- ・求められた滑り分布に関して、沈み込んだ海山との関係、スロー・スリップ・イベントの滑り分布との相補関係、滑り欠損分布、プレート間カップリングとの比較、反射法探査における反射強度や地震波トモグラフィーのポアソン比との比較、伊豆小笠原島弧の前弧の地形、構造等との関係（とくに海山および蛇紋岩ダイアピルとの関係）を検討する。



4 震源断層モデル等の構築

首都直下地震プロジェクト22年度第2回運営委員会資料

東京大学地震研究所

鳥取大学大学院工学研究科・京都大学防災研究所

防災科学技術研究所・東京工業大学大学院総合理工学研究科

東京大学大学院理学系研究科・北海道大学大学院工学研究科

九州大学大学院理学研究科・鹿児島大学大学院理工学研究科



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

首都直下地震プロジェクト22年度第2回運営委員会資料

瀨瀨一起¹⁾・古村孝志¹⁾・三宅弘恵¹⁾・増田徹¹⁾・香川敬生²⁾

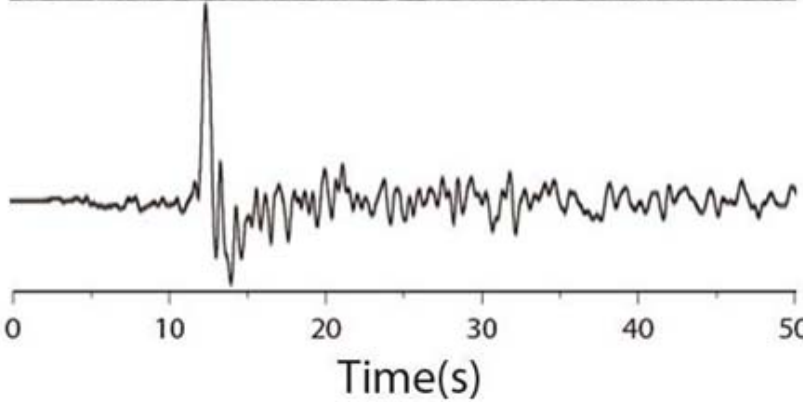
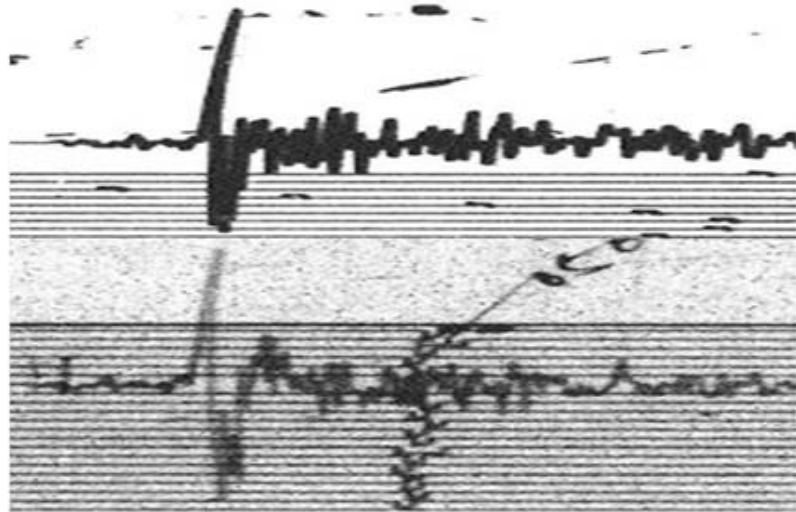
¹⁾東大地震研・²⁾鳥取大学

平成22年度の成果

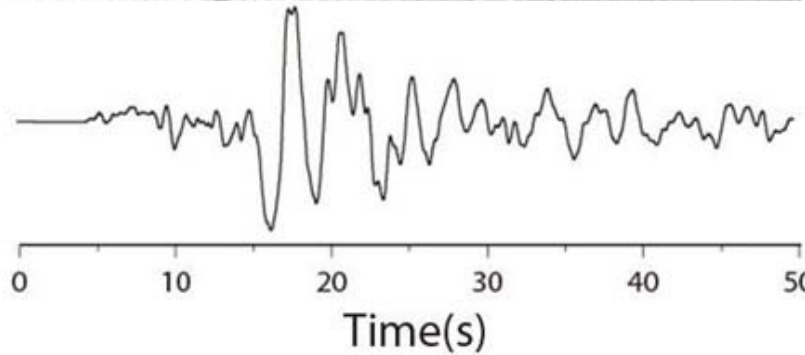
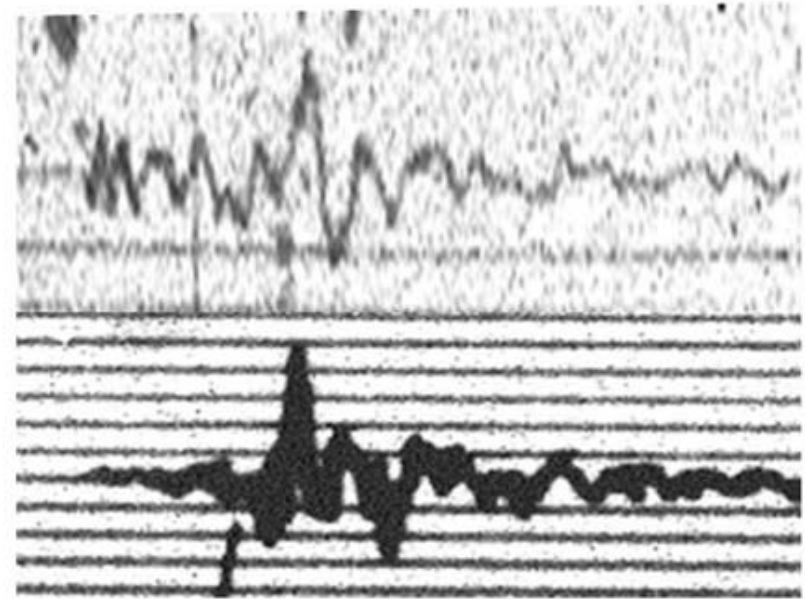
- 千葉県北西部で繰り返し発生したM6程度の地震のモーメントテンソルインバージョン, 及び余震の震源再決定を行った. この地域では, スラブ内のほぼ同じ位置で, 東南東傾斜の高角逆断層タイプの地震が繰り返し発生している.
- 南海地震を対象とした長周期地震動予測地図作成のための地下構造モデルの構築・改良をおこなった.
- 「1. 地震計を用いた自然地震観測によるプレート構造調査」により得られた自然地震の観測記録を用いて, 震源パラメタのスケーリング則に従って, 観測記録スペクトルから想定地震のスペクトルを予測し, 首都圏に想定される地震による強震動予測を試算した.

- 2
- M
- 東
- 北
- 震
- 大

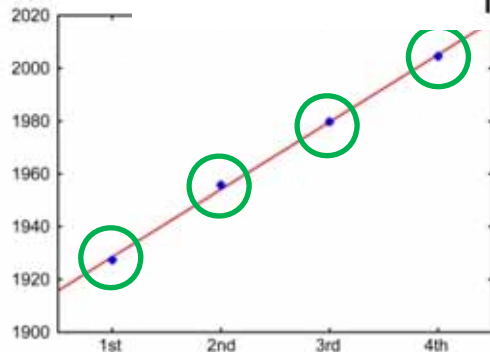
横浜 EW



銚子 EW



1
07/23
90
n)

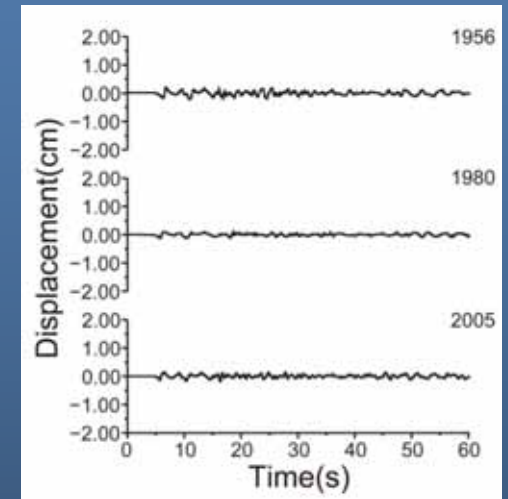
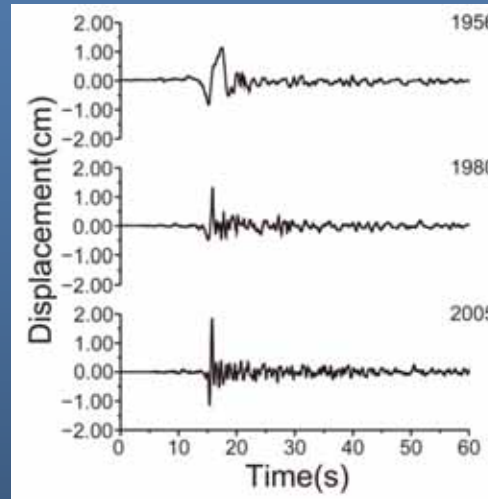
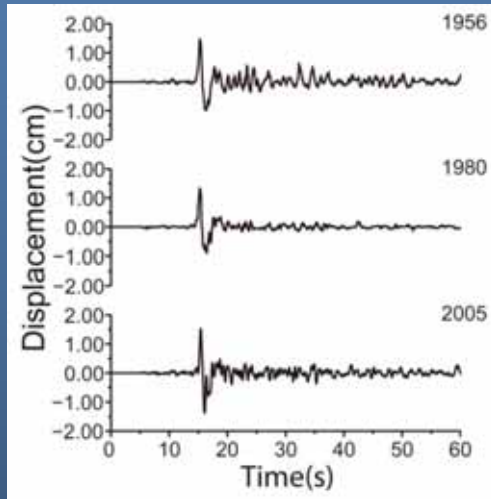


周期：約25年
 マグニチュード：6程度
 波形の相似性

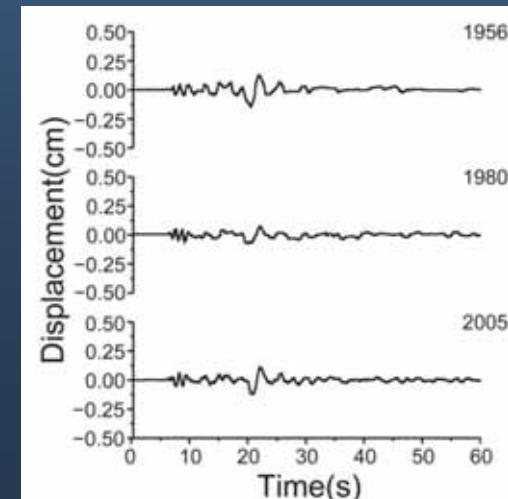
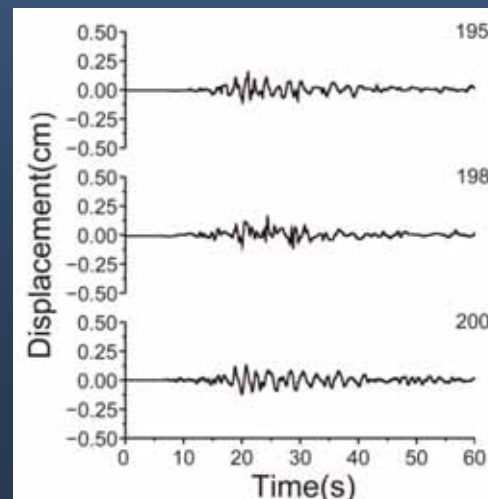
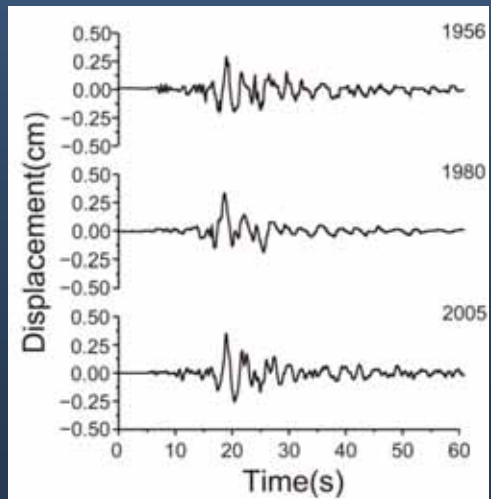
➔ 繰り返し地震と考えられる

2005年千葉県北西部地震(M6.0) - 波形の比較

横浜

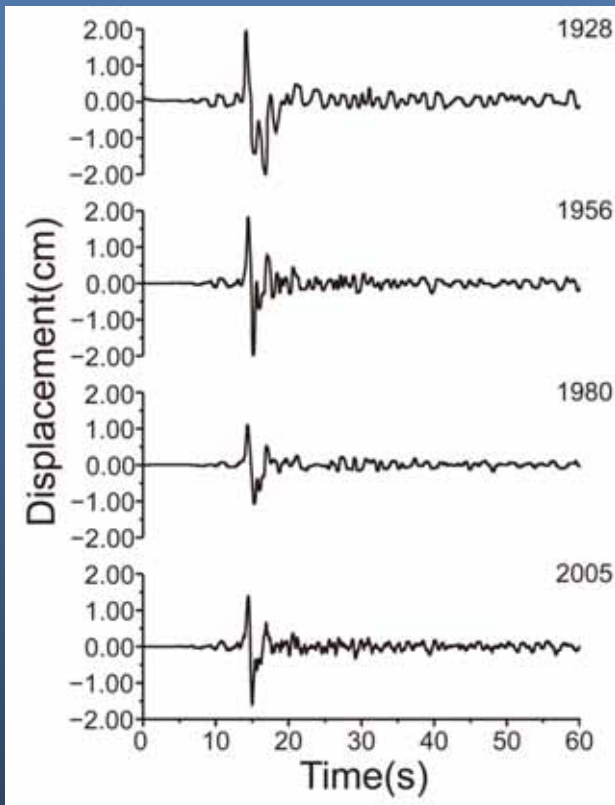


銚子



2005年千葉県北西部地震(M6.0)－波形の比較

東京



横浜

	EW	NS	UD
1956年	0.75	0.19	0.75
1980年	0.81	0.51	0.56

銚子

	EW	NS	UD
1956年	0.89	0.60	0.80
1980年	0.65	0.37	0.57

東京

	EW	NS	UD
1928年	0.51	0.46	0.71
1956年	0.93	0.78	0.85
1980年	0.86	0.37	0.72

表 1-2 2005年千葉県北西部地震の変位波形を基準にした過去の地震の波形の相関係数

千葉県北西部地震 CMTインバージョン

本研究ではKuge(2003)のコードを使用

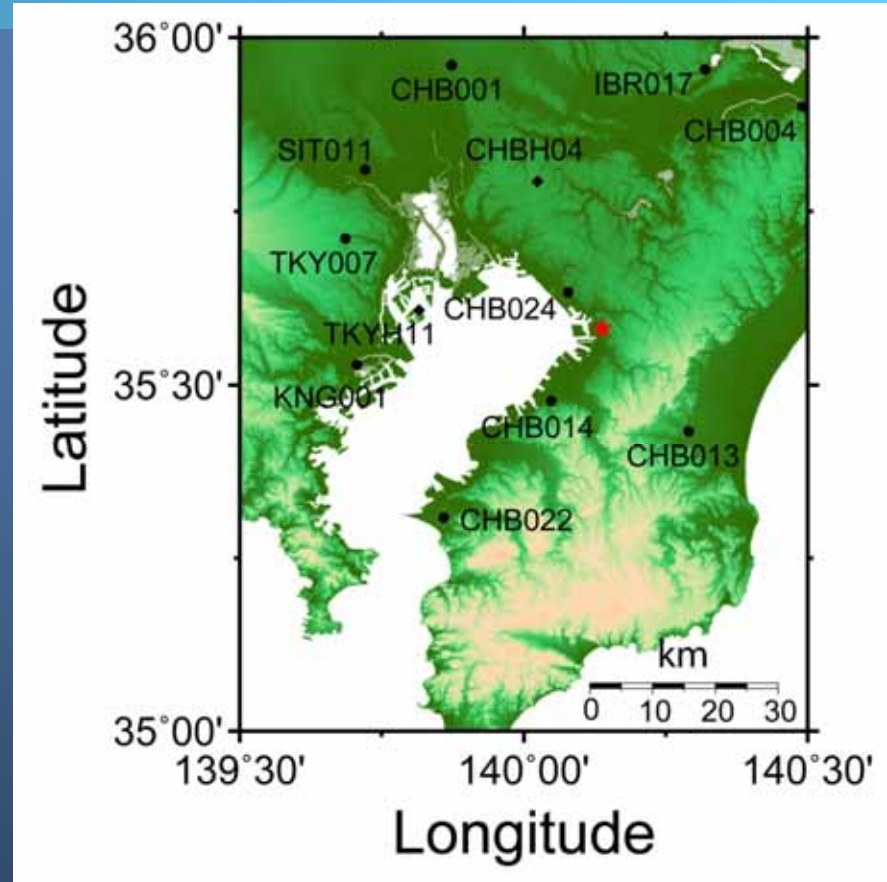
震央を気象庁一元化震源に固定
(緯度 : 35.582°N , 経度 : 140.138°E)

深さ : 67 ~ 77 km, 1km ごと

バンドパスフィルター

IBR017 : 0.1 ~ 0.5Hz

他の観測点 : 0.05 ~ 0.5Hz

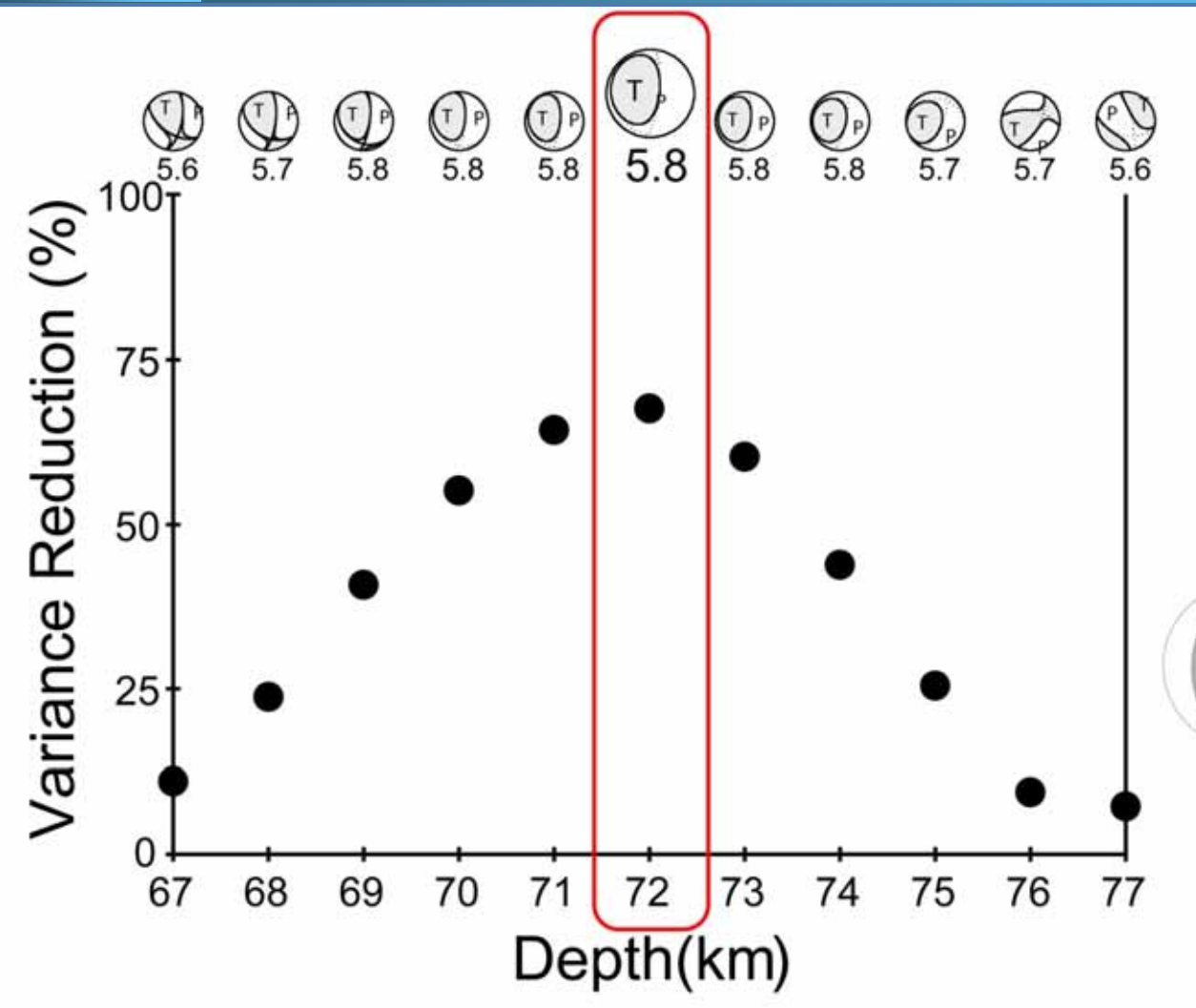


グリーン関数の計算 : Kohketsu (1985) のreflectivity法

地下構造 : Tanaka et al. (2005)の3次元構造を参考に得られる、観測点直下の1次元構造

構造モデルに含まれる誤差の処理として、観測波形と合成波形を0.05sずつ2回ずらした

千葉県北西部地震 CMTインバージョン 結果



深さ 72km
V.R = 67.7 (%)
 $M_w = 5.8$
 $M_0 = 6.7 \times 10^{17} \text{ Nm}$

他のメカニズムとの比較

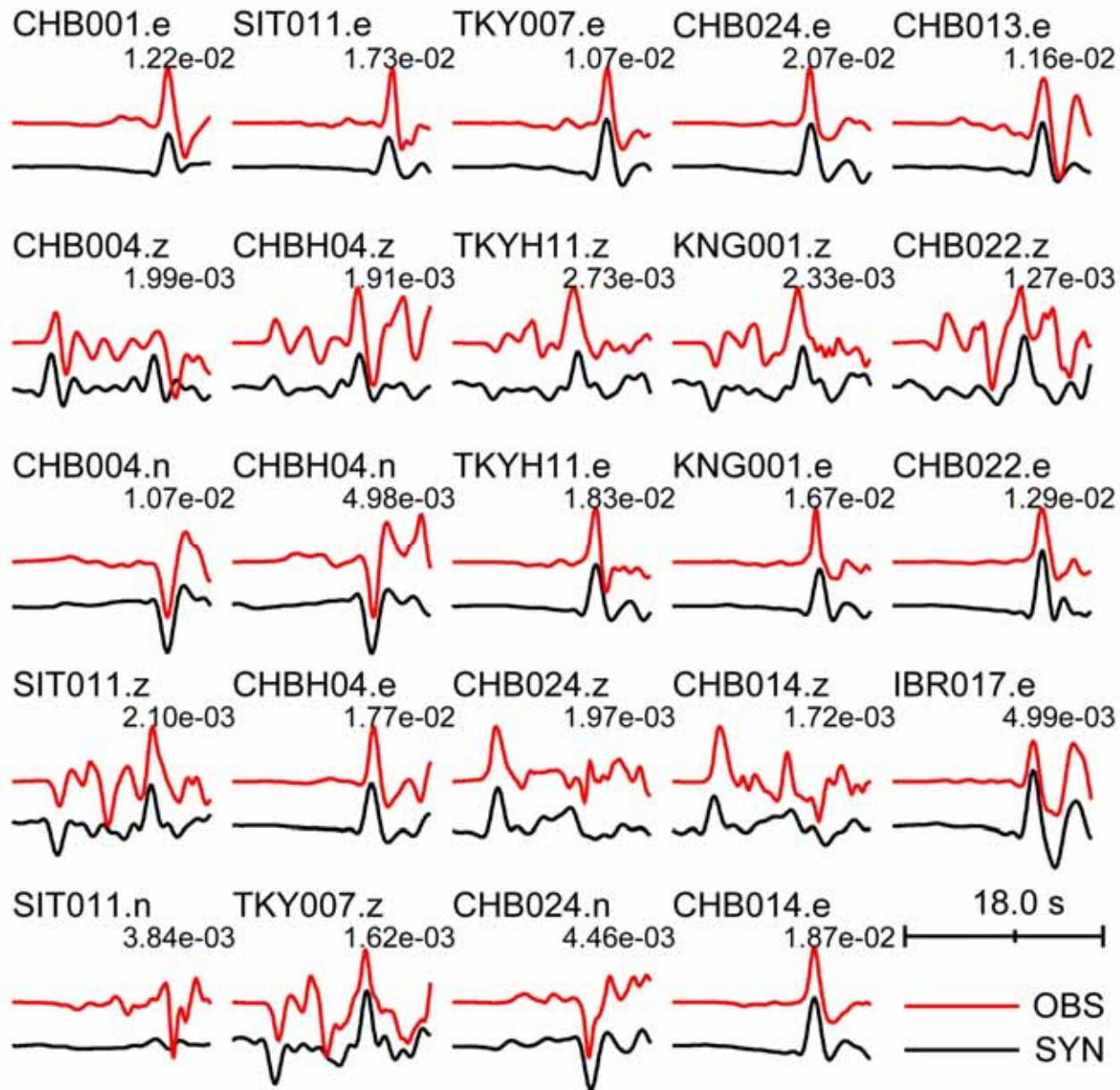


JMA

F-net

本解析

千葉県北西部地震 CMTインバージョン 波形の比較

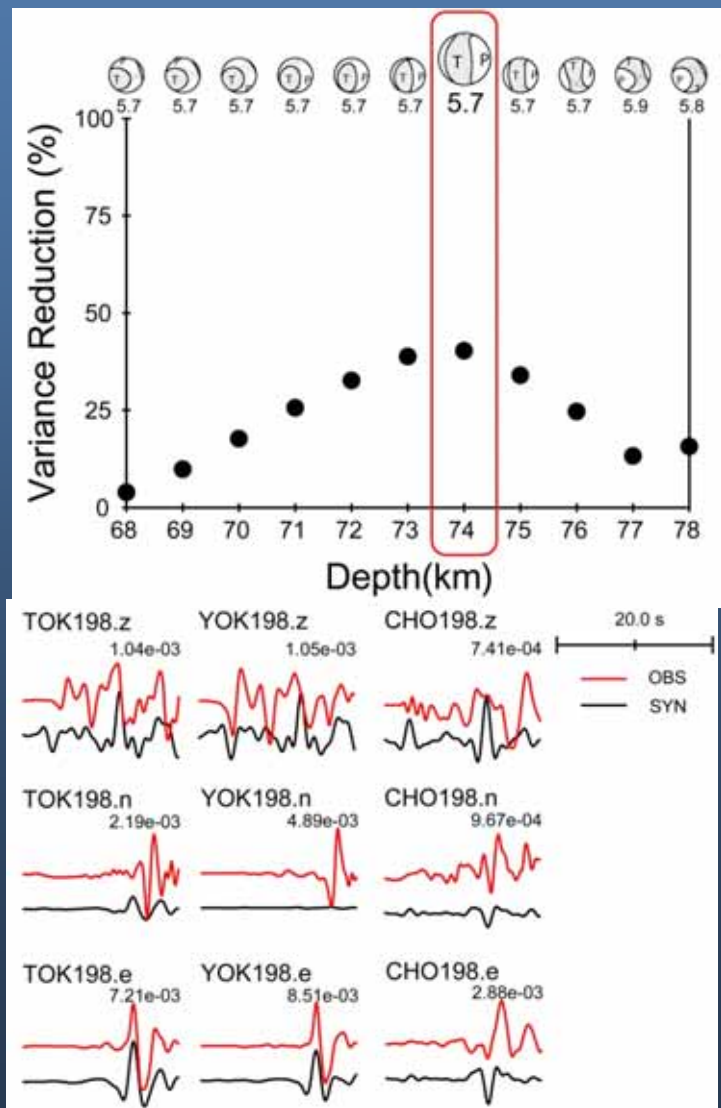


赤線：観測変位波形
黒線：合成変位波形

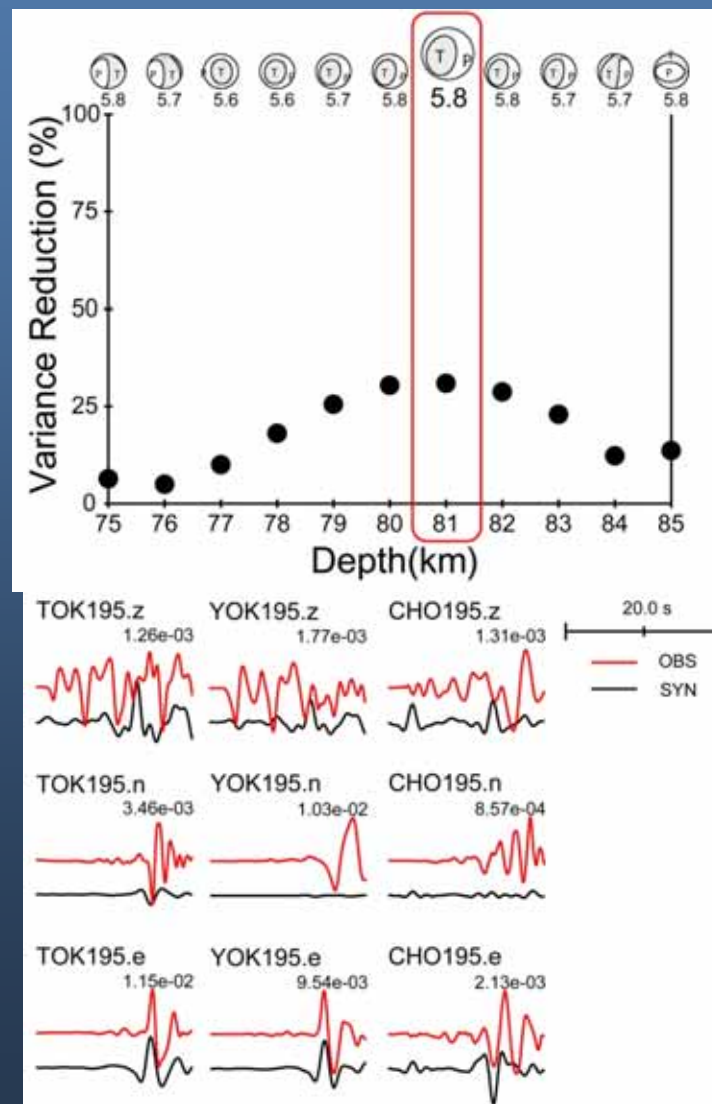
観測波形と理論波形は
概ね一致

千葉県北西部における過去の地震 CMTインバージョン

1980



1956



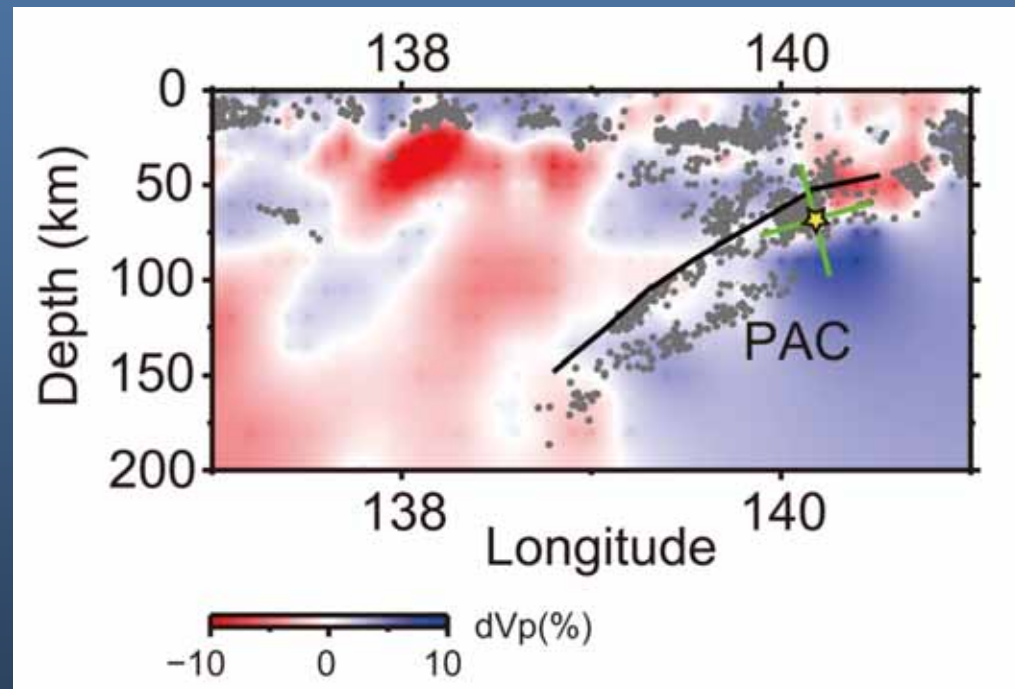
千葉県北西部地震 CMTインバージョン 結果より

この地震は深さ72km (沈み込む太平洋プレートの上面付近)に位置し、これは、F-net (68km) と気象庁 (73km) の中間の値

震源メカニズムは西北西 - 東南東圧縮の逆断層タイプ

この深さでは、地震タイプはスラブ内地震である

	Strike	Dip	Slip
Nodal plane 1	5.18	76.05	97.60
Nodal plane 2	156.21	15.85	61.96



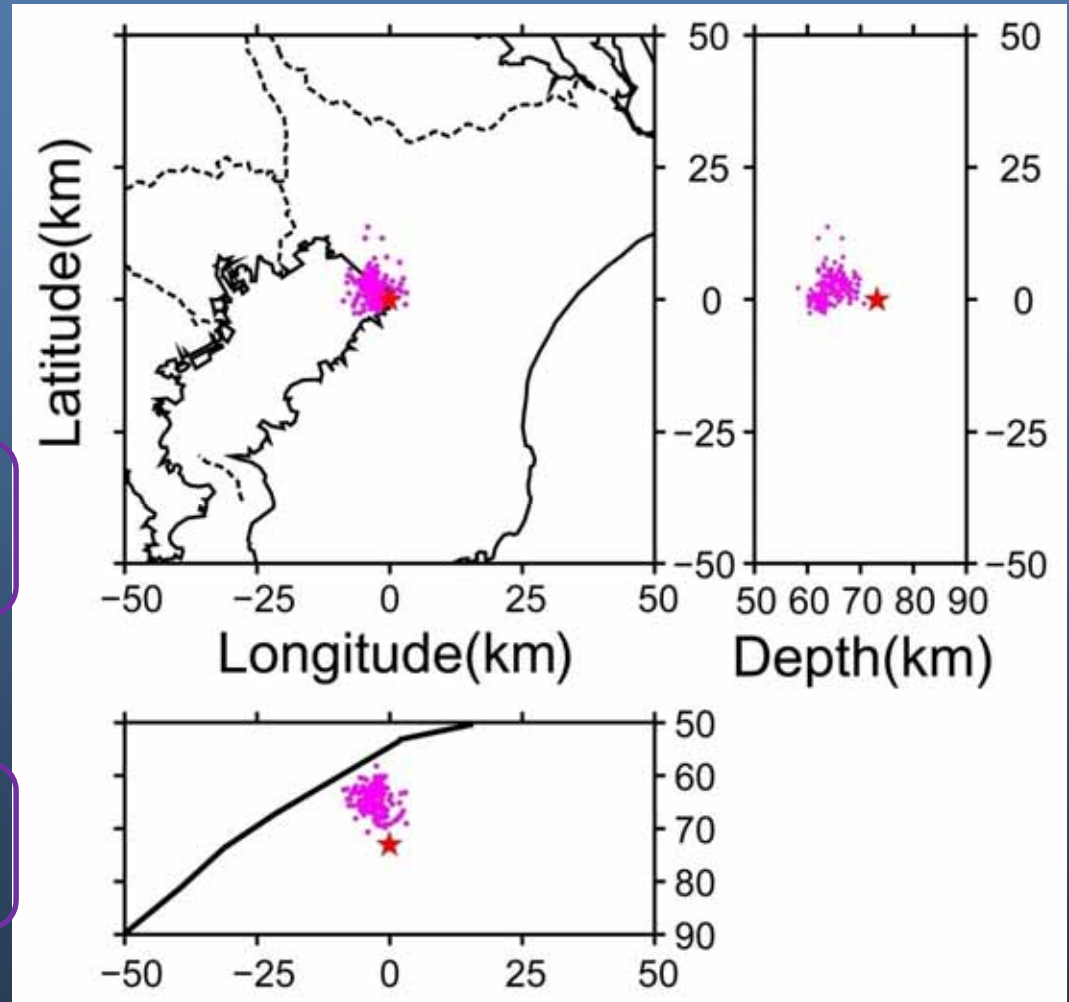
千葉県北西部地震の余震の再決定

余震の分布から断層面を決定する



断層面がどちらであるか特定することは困難

Double-Difference Algorithm を用いた震源再決定を試みる



千葉県の前震の再決定

本震直後から3日間149個の前震

走時の数

P波 : 3556個、S波 : 2679個

作成した地震のペア : 980組

平均して持つペアの数 : 26

それらのペアの平均の距離 : 2.09 km

最大の距離 : 9.1

km

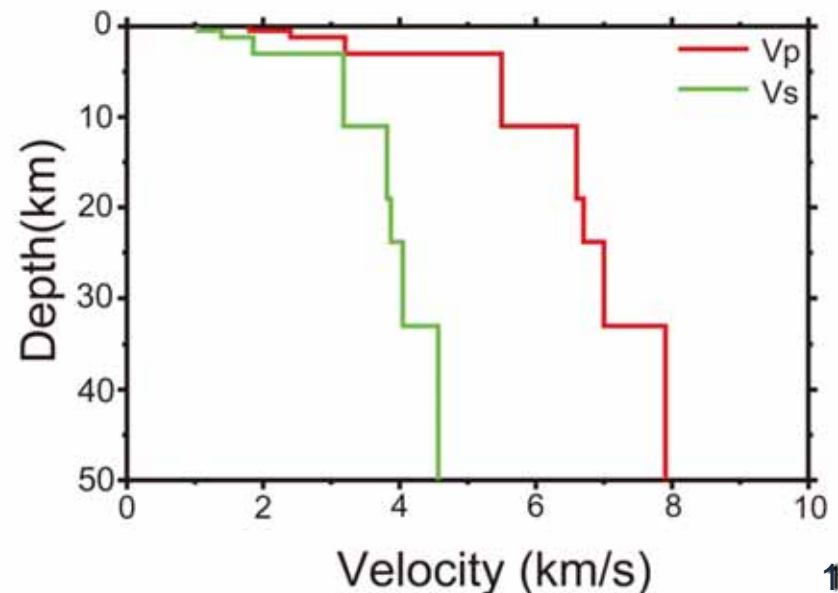
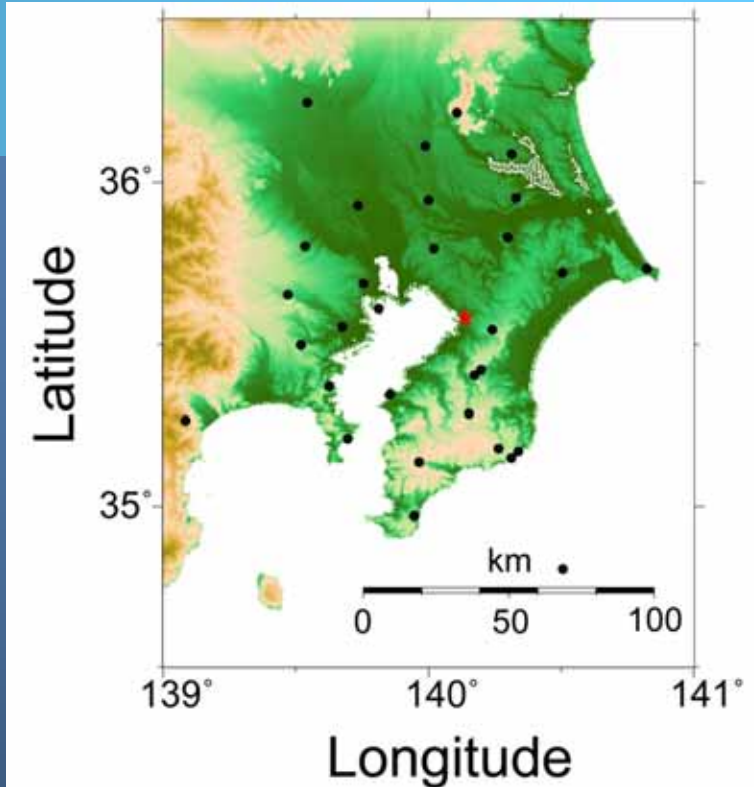
観測点 : 本震から100 km 以内の31点

地下構造 : Tanaka et al. (2005) から得られる共通の1次元構造

Iteration : 10 回

重み : P波 : S波 = 1 :

0.1



解析結果

147の地震が再決定

再決定前と再決定後の震源の
誤差の変化

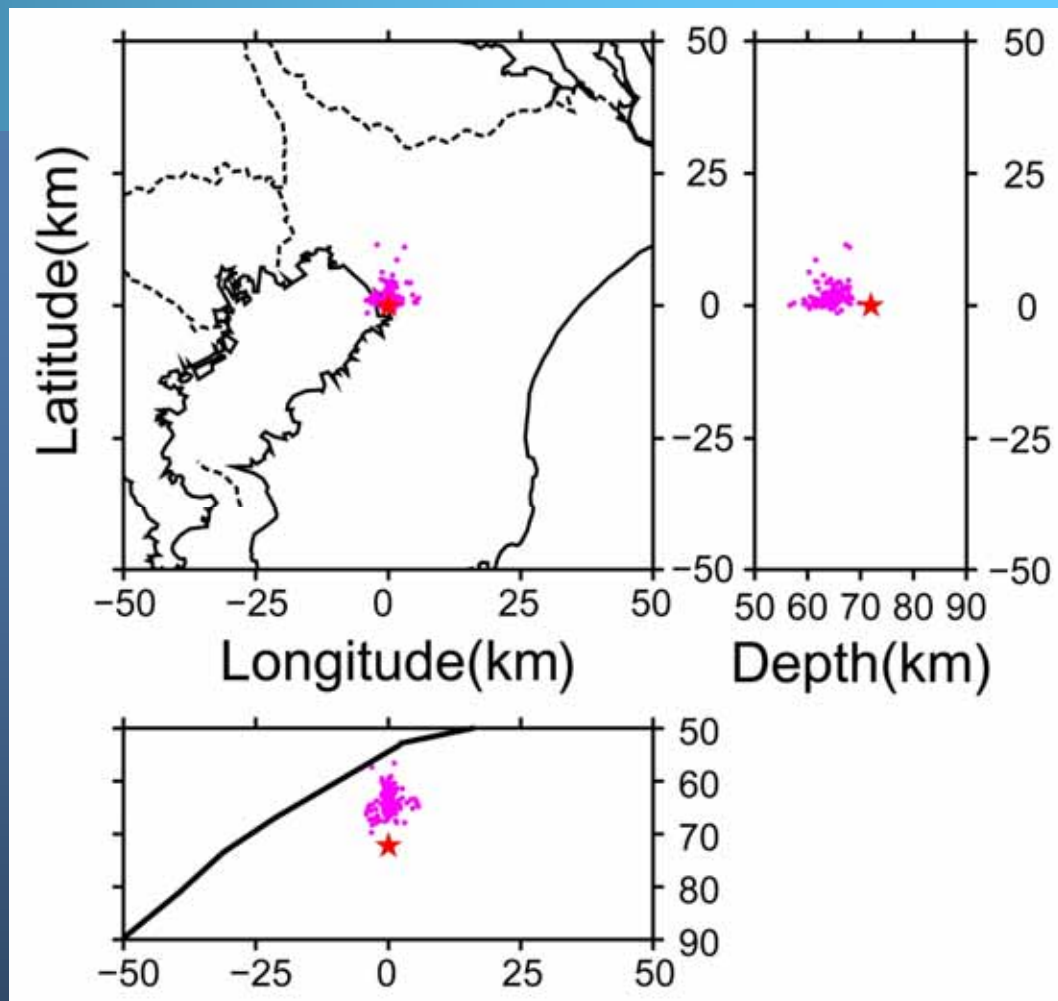
1.57 km → 0.44 km

1.57 km → 0.38 km

1.76 km → 1.11 km

走時残差の二乗平均平方根の
変化

0.22 sec → 0.09 sec



- ・ 東南東方向に高角に傾斜した断層面が示唆される
- ・ 太平洋プレート上面に直交した断層面によるスラブ内地震が想定される

千葉県北西部の過去の大地震の再決定

解析対象の地震

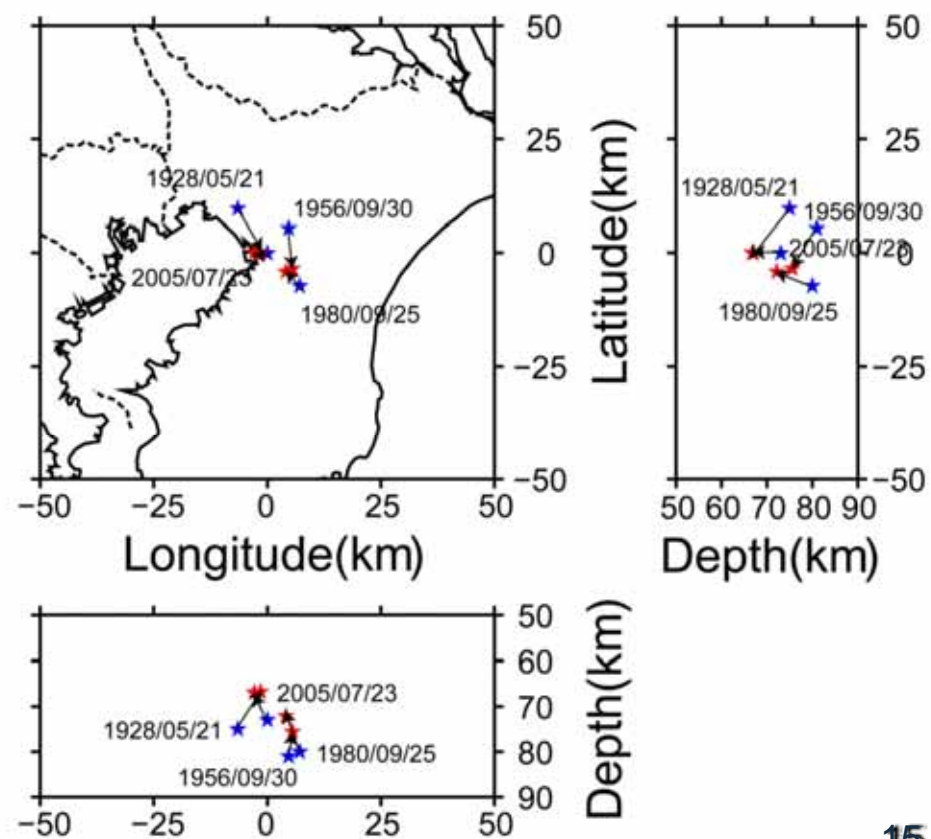
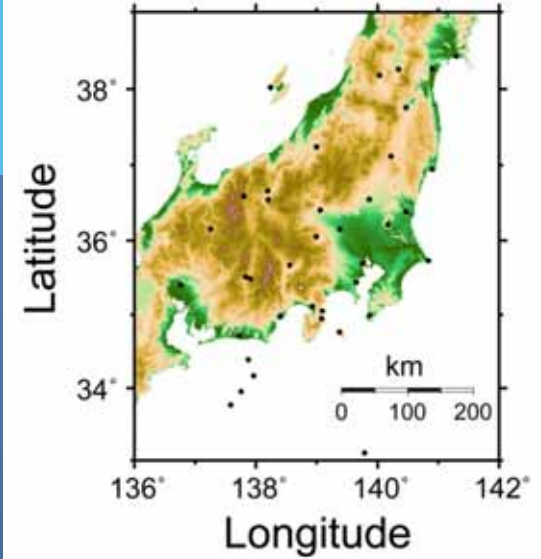
1980年の本震：本震と本震直後1か月の余震

その他の本震：本震と本震直後1か月の余震を併せる

用いた観測点：震源から350km以内の38点

地震のペアを作る距離：35km以内

それぞれの震源の位置の違いは小さくなり、これらの地震はほぼ同じ場所で発生したように見える



南海地震による長周期地震動予測のための 地下構造モデルの構築および改良

- 南海地震の震源域を含み、東南海地震の震源域に隣接する領域周辺の地下構造モデルの構築・改良を行った。

1次モデル
(3次元層境界)



海域付加体モデルと
内陸堆積層モデルの統合

統合1次モデル
(3次元層境界)



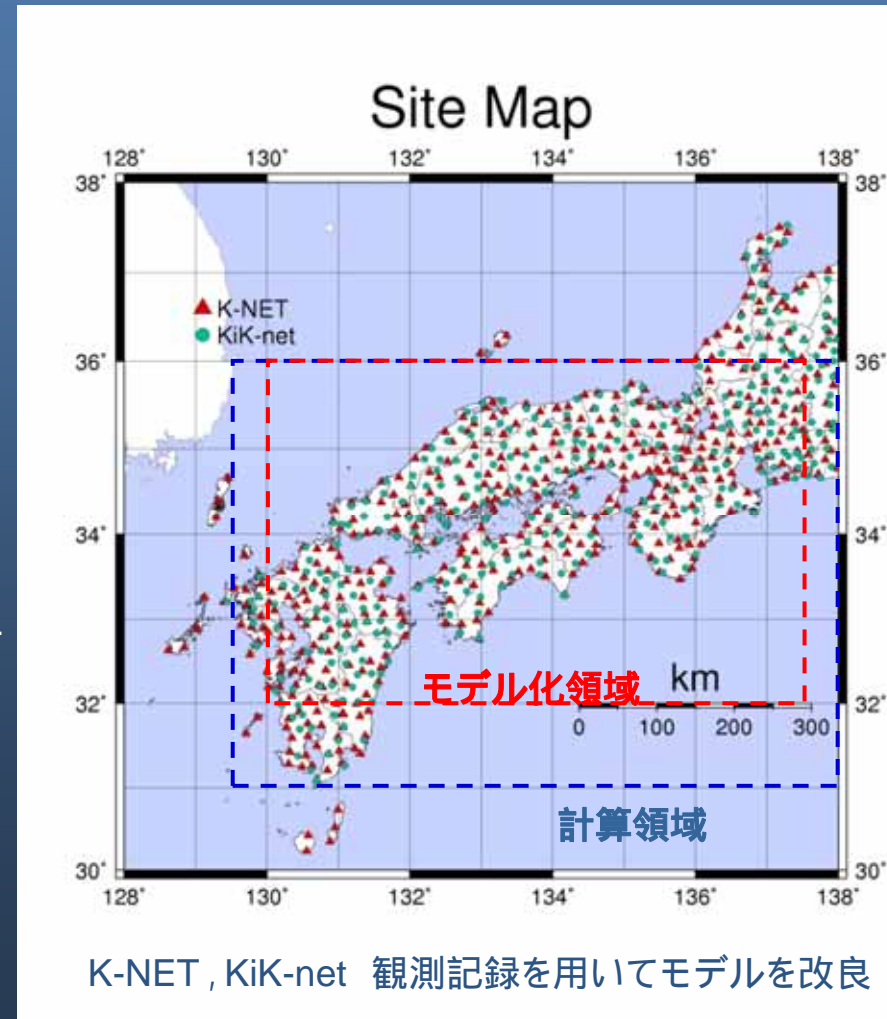
$V_s=2\text{km/s}$ 及び 2.4km/s 層を地殻最上部層に付加し走時残差を低減



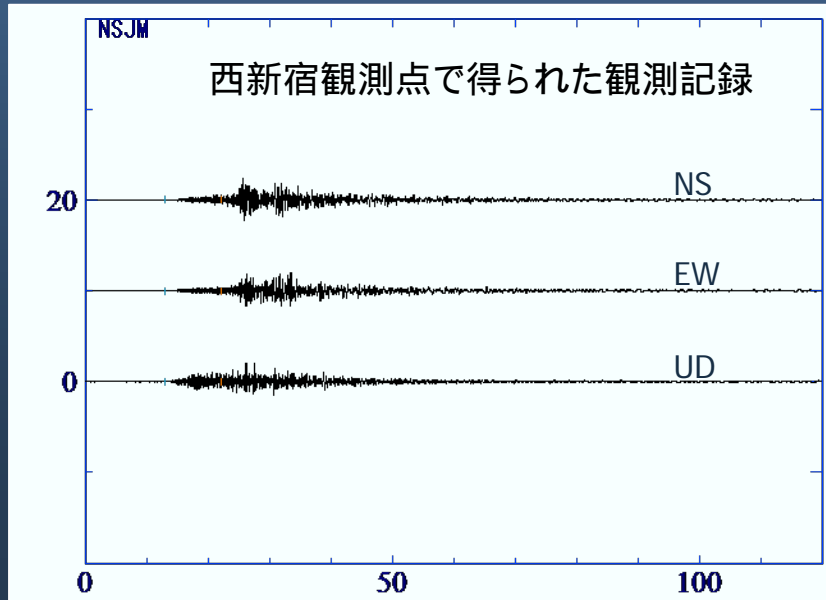
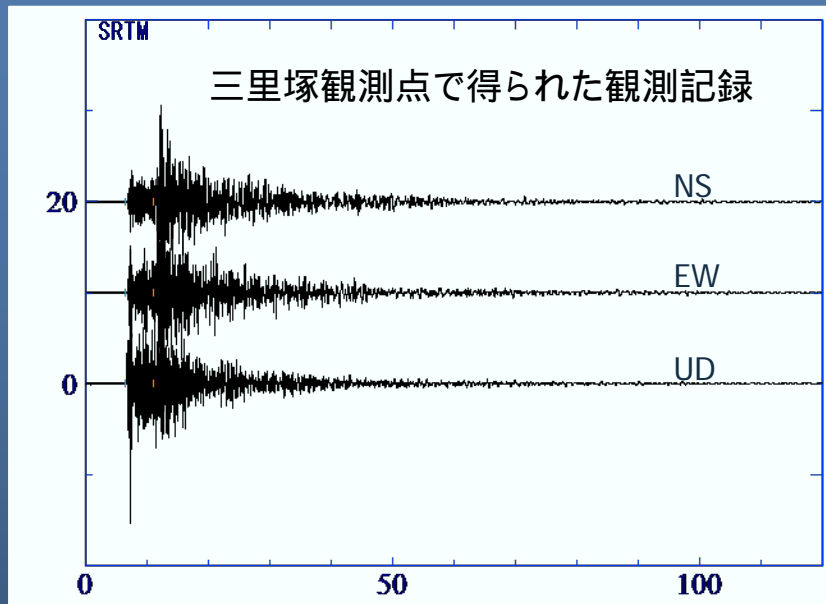
R/Vスペクトルで堆積層の速度構造を改良

改良1次モデル
(3次元層境界)

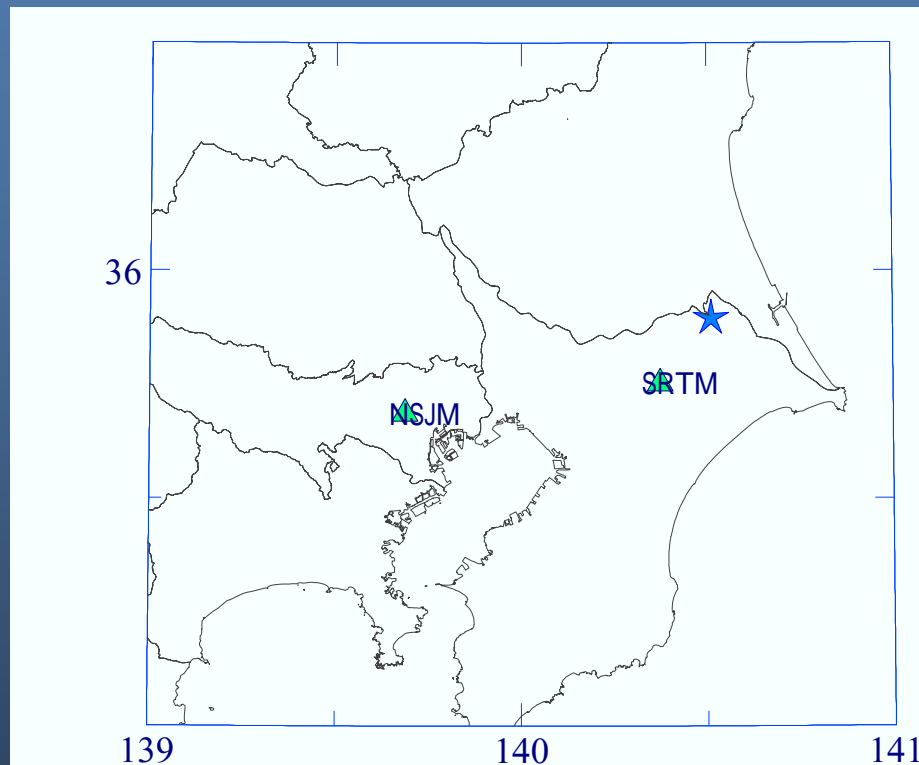
地震の再現計算で検証



自然地震の観測記録による地震動予測(1)

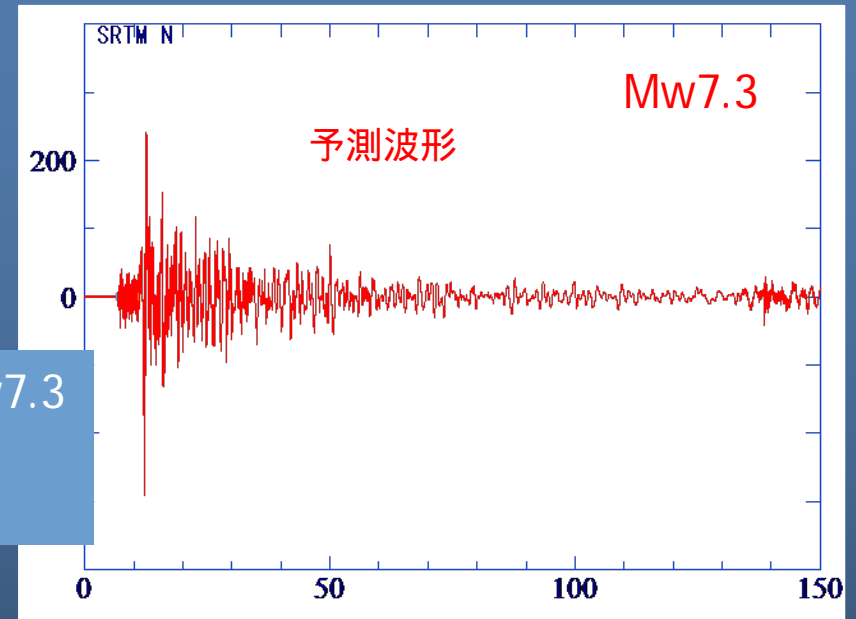
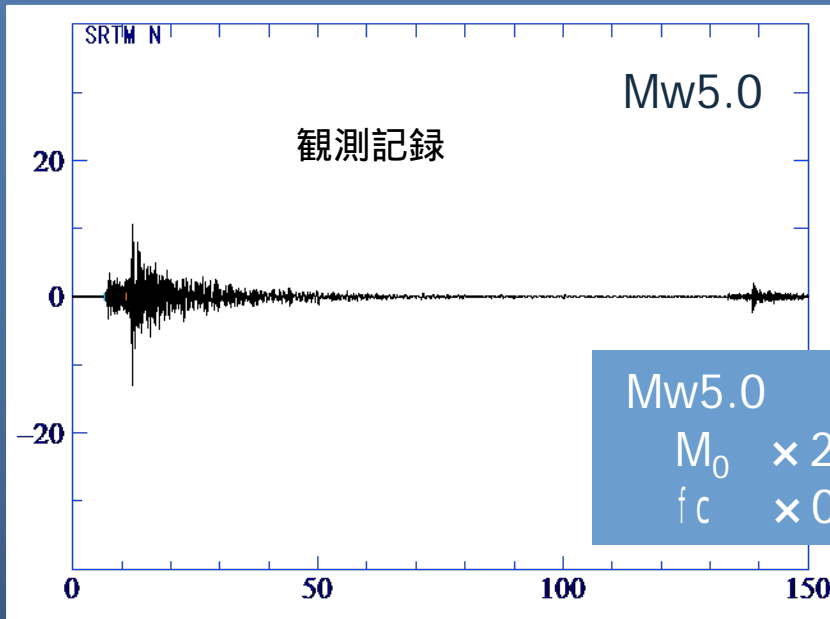


2010年7月23日6時6分 深さ35km Mw5.0

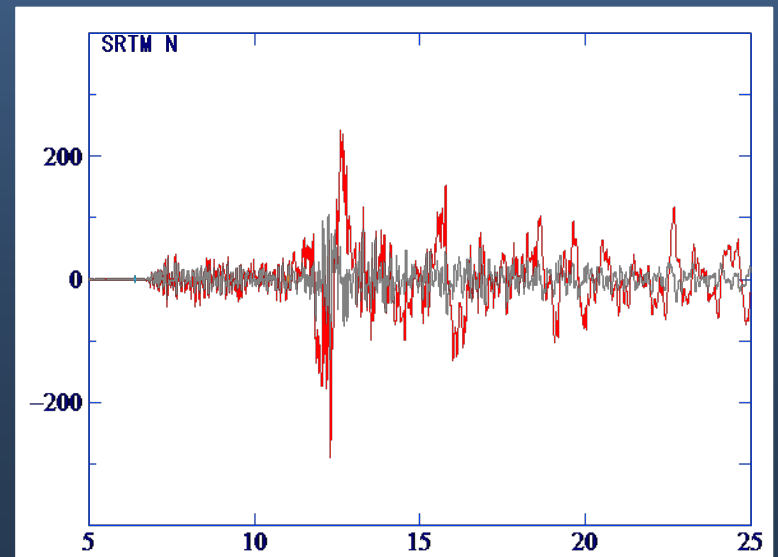
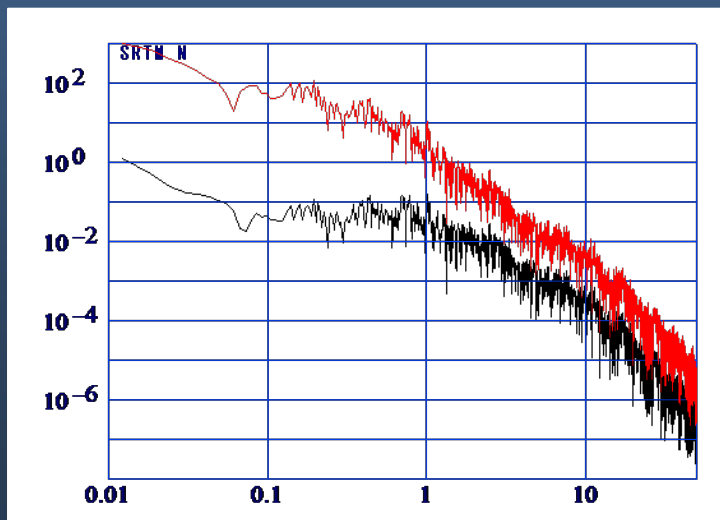


Mw5.0の地震の観測記録を用いて、
想定地震(Mw7.3)の地震動を予測する。
(震源パラメタのスケージング則に従う)
点震源を仮定。

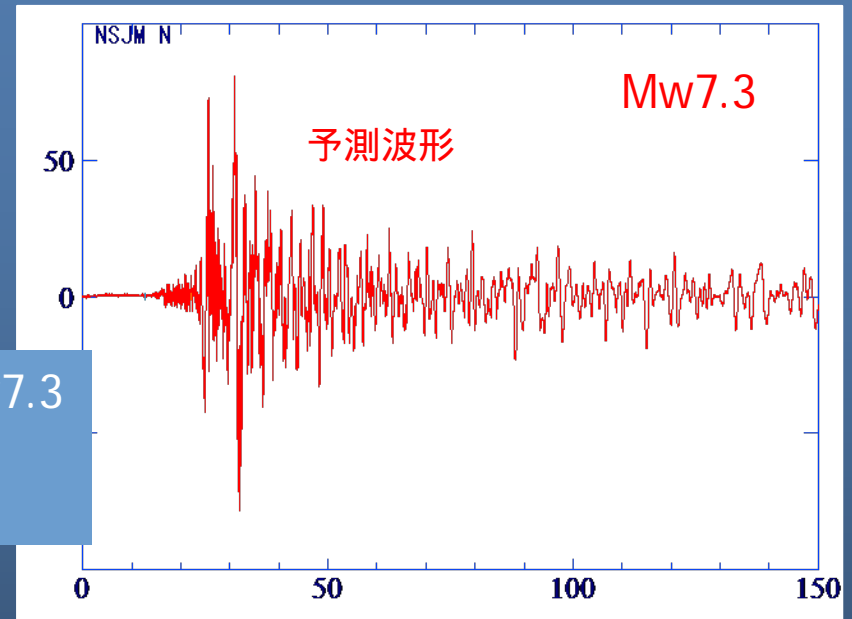
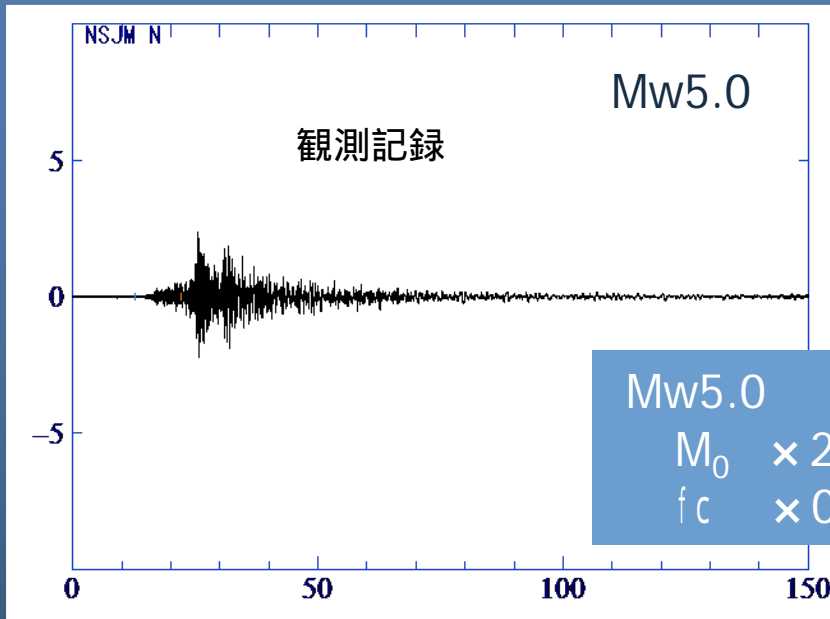
自然地震の観測記録による地震動予測(2)



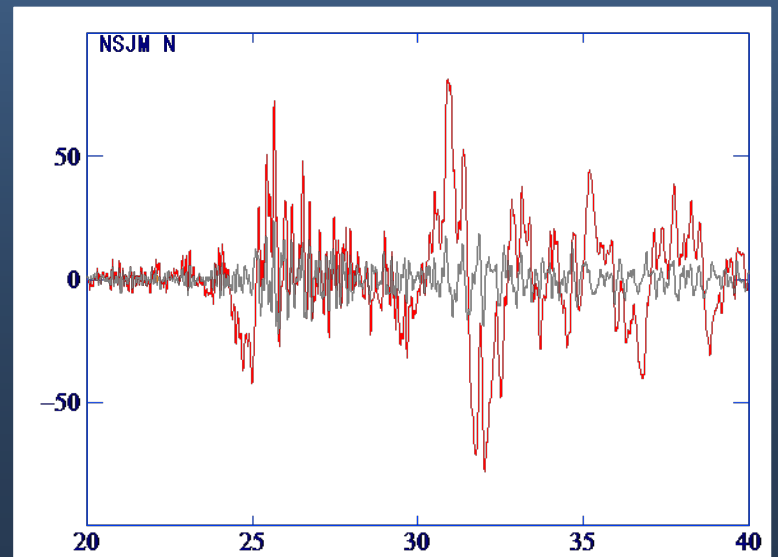
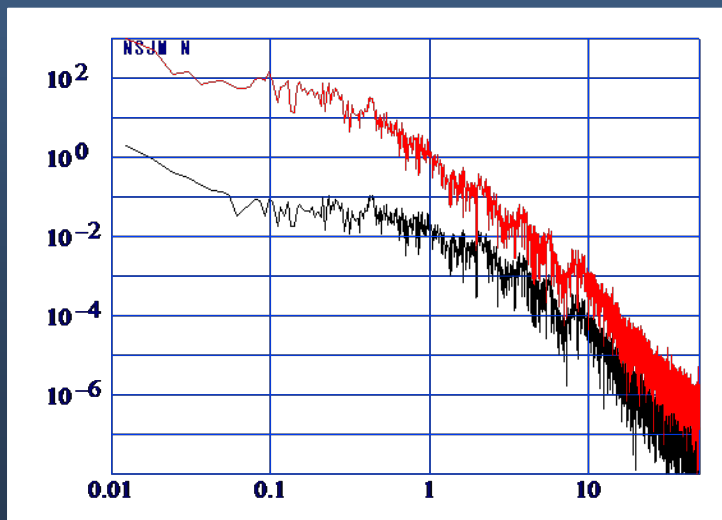
Mw5.0 Mw7.3
 $M_0 \times 2,000$
 $f_c \times 0.08$



自然地震の観測記録による地震動予測(2)



Mw5.0 Mw7.3
 $M_0 \times 2,000$
 $f_c \times 0.08$



平成23年度の実施計画

- 構築された震源断層モデル, および地下構造モデルなどに基づき, 首都直下地震の強震動予測を行う.



4 - 2 震源断層モデルの高度化 に関する調査研究 (京都大学防災研究所)

平成22年度第2回首都直下地震防災・減災特別プロジェクト運営委員会 (23.2.21)

研究目的

首都直下で発生するスラブ内地震等の強震動予測のための震源断層モデルを高度化することを目的とする。

平成21年度までの成果

スラブ内地震の断層破壊領域，アスペリティ領域と地震規模との経験式を構築した。

それらの経験式に基づいて，強震動予測のための特性化震源モデル構築法を提案した。

2001年芸予地震，2003年宮城沖の地震をターゲットとして，いくつかのシナリオ設定の下で，経験的グリーン関数法により強震動シミュレーションを行って観測記録と比較することによって，特性化震源モデルの妥当性の検証を行った。

平成22年度の計画

平成21年度に引き続き、特性化震源モデルの検証を行い、モデル構築手法の適用性を検討する。

昨年度からの特性化震源モデルによる評価

- ・ 2001年芸予地震においては妥当な評価が行われた
- ・ 2003年宮城県沖の地震においては、平均像では地震動が過小評価であった。断層面積・アスペリティ面積が標準偏差分小さい、応力降下量が大きいモデルによって観測は説明される。
- ・ 深さ依存性を考える必要がある。

今年度

- ・ 1987年千葉県東方沖地震を対象として特性化震源モデルを構築し、震度分布などを求めて観測値と比較する。

スラブ内地震の特性化震源モデル

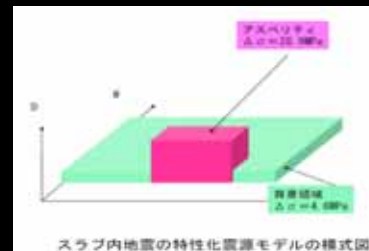
全体面積 (S)およびアスペリティ面積 (S_a)と地震モーメントの関係

$$S = 6.57 \times 10^{-11} M_0^{2/3}$$

$$S_a = 1.04 \times 10^{-11} M_0^{2/3}$$

特性化震源モデル

アスペリティの応力降下量 28.9 MPa
全体領域の平均応力降下量 4.6 MPa



- [1] 地震規模を設定する。
- [2] 経験式から断層面積，アスペリティ総面積を決める。
- [3] 震源断層は正方形（長さと同幅）とする。
- [4] 震源断層の走向，傾斜角，すべり角は想定地域のメカニズムを用いる。
- [5] アスペリティと破壊様式の設定を行う。

1987年千葉県東方沖地震

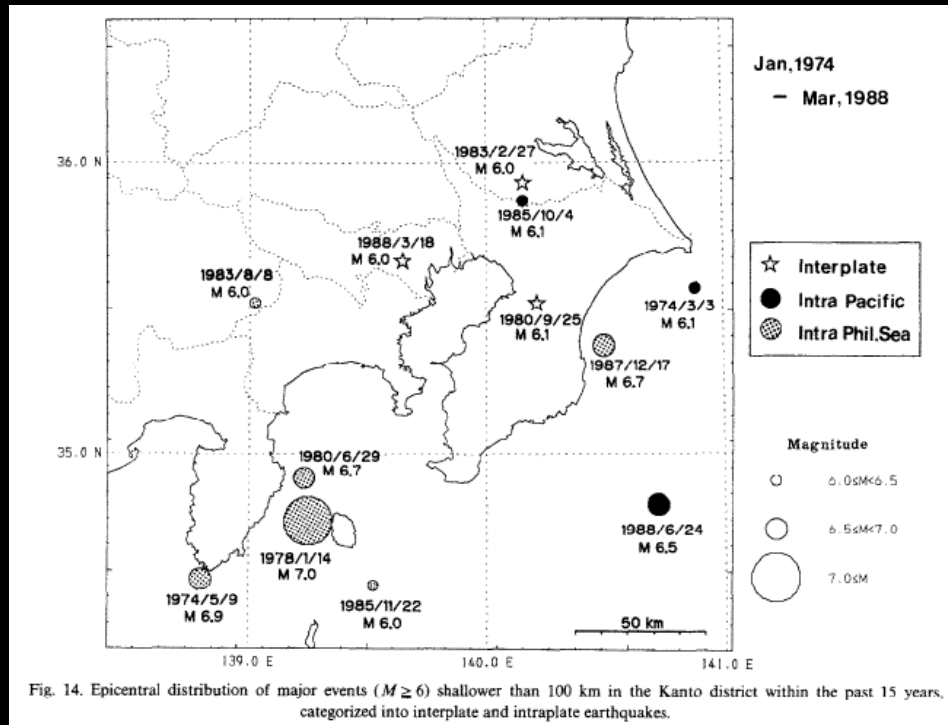
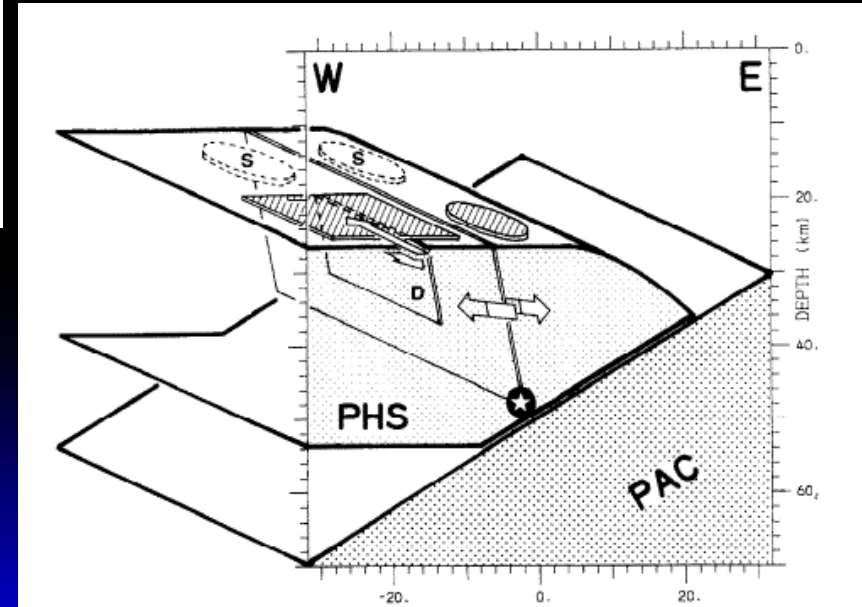


Fig. 14. Epicentral distribution of major events ($M \geq 6$) shallower than 100 km in the Kanto district within the past 15 years, categorized into interplate and intraplate earthquakes.



Okada and Kasahara (2000)

1987年千葉県東方沖地震 近地強震記録による震源インバージョン

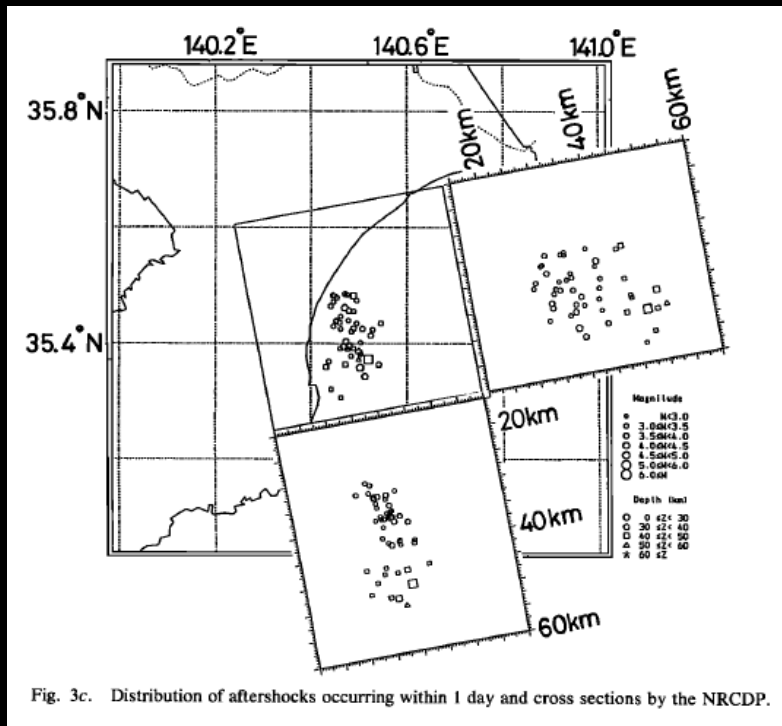
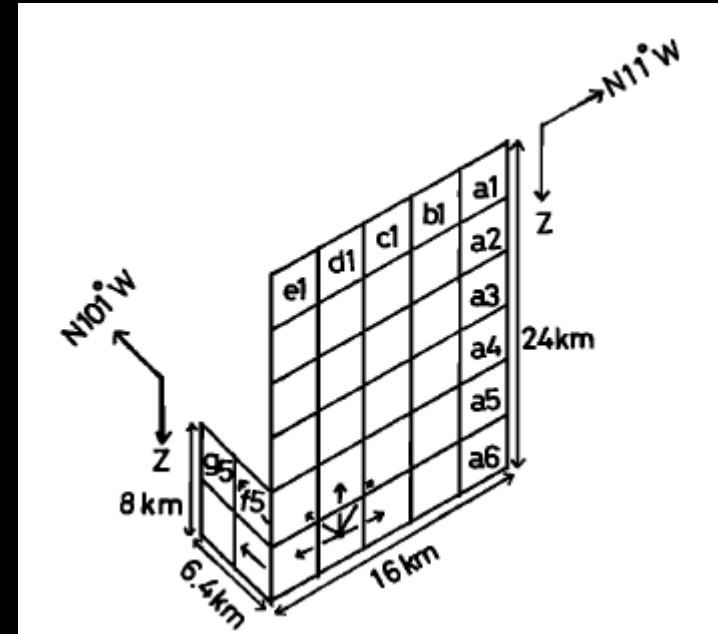
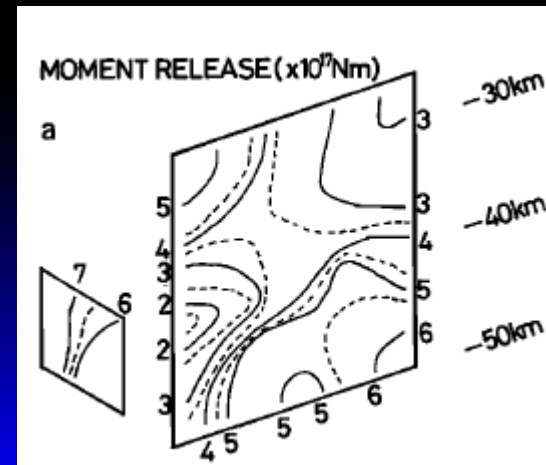


Fig. 3c. Distribution of aftershocks occurring within 1 day and cross sections by the NRCDP.



Fukuyama (2001)



1987年千葉県東方沖地震

強震動予測のための特性化震源モデル

標準モデル

想定 $6.1 \times 10^{18} \text{Nm}$ (Mw 6.7)

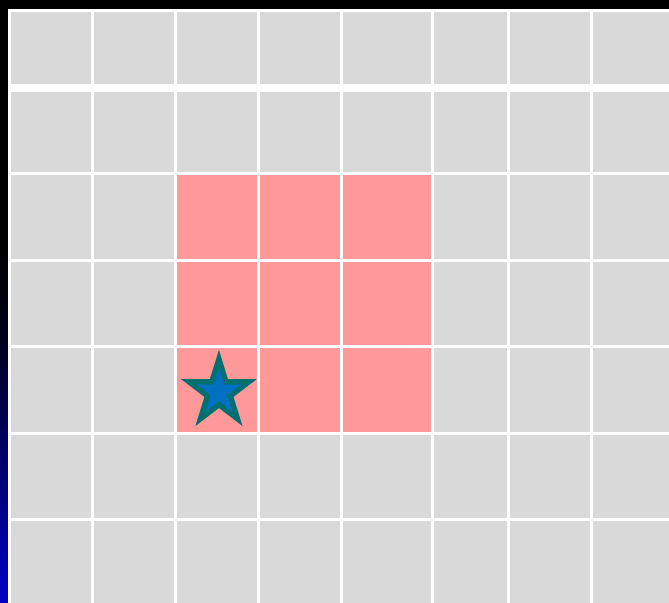
全体領域 219km^2

$16 \times 14 \text{km}^2$

アスペリティ領域 35km^2

$6 \times 6 \text{km}^2$

N349E



応力降下量

アスペリティ 28.9MPa

平均 4.6MPa

震源深さ 46.7km

Dip69

強震動シミュレーション

統計的グリーン関数法【大西・堀家、2000】

地殻モデル（地震基盤以深）

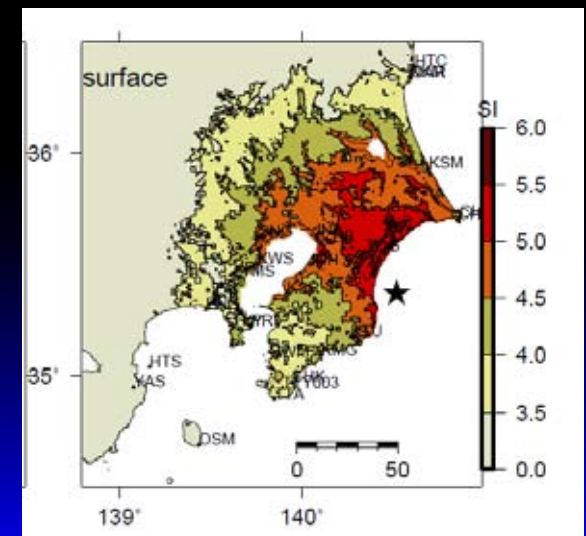
【Toda et al., 2008; Ishida, 1992; 古村（2002）など】

深い地盤（工学的基盤以深）構造モデル（内閣府、2004）

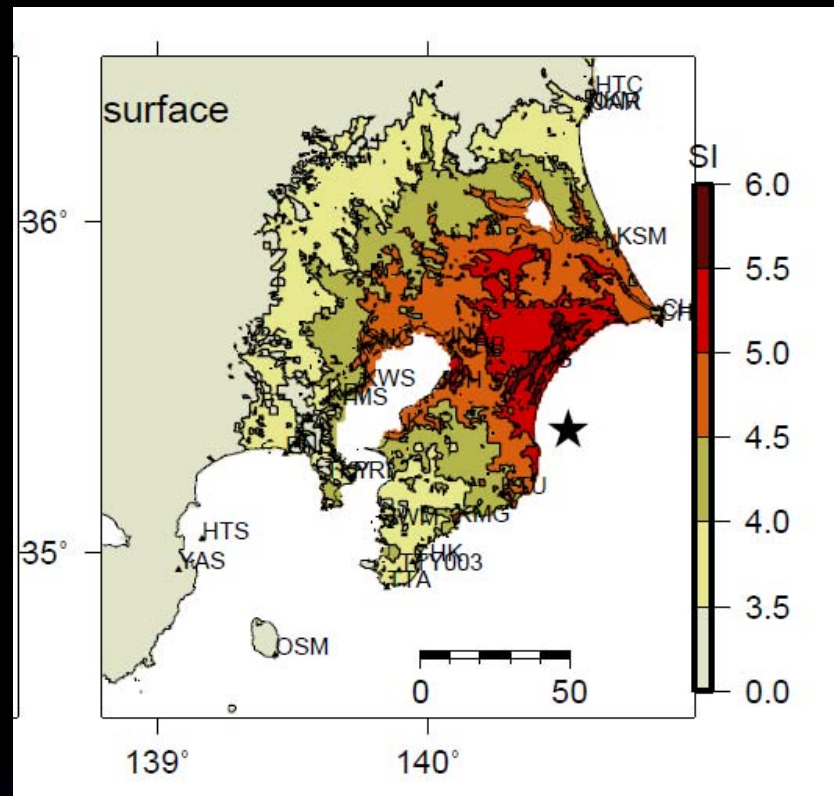
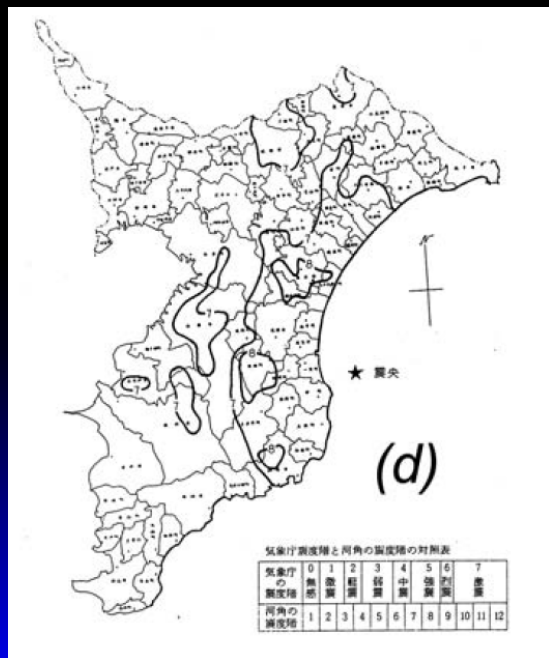
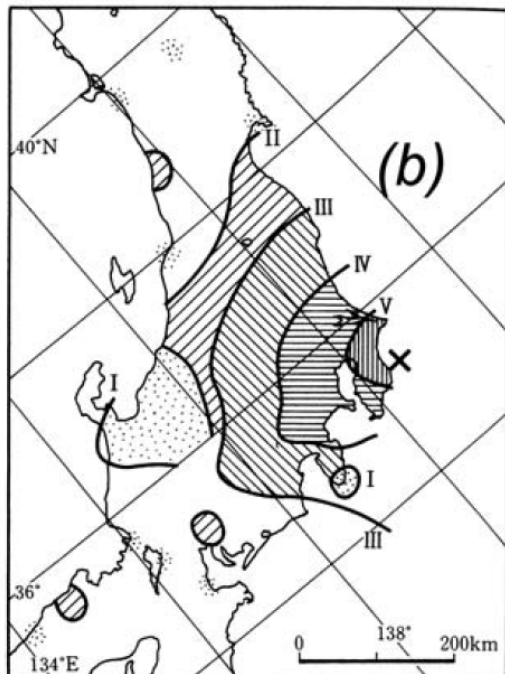
観測点直下の1次元構造を利用

浅い地盤（工学的基盤以浅）

AVS30による最大速度増分【松岡（2005）；Wakamatsu and Matsuoka（2006）】

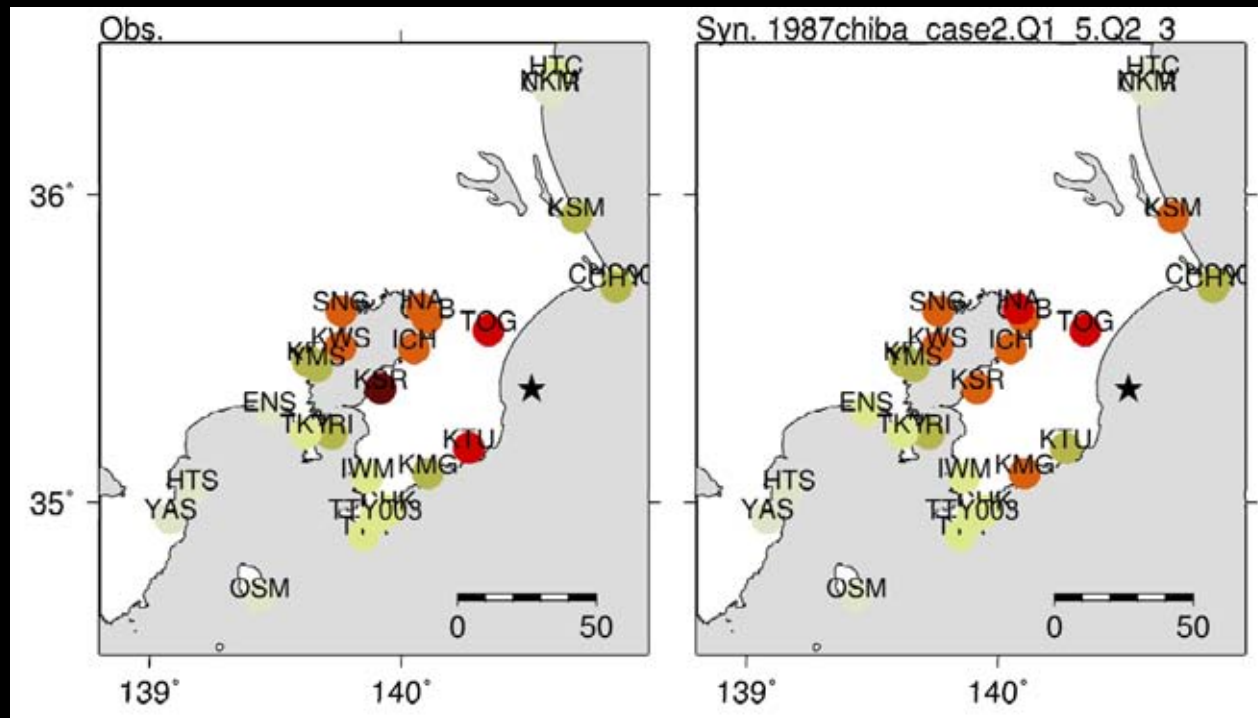


宇佐美 (2003)

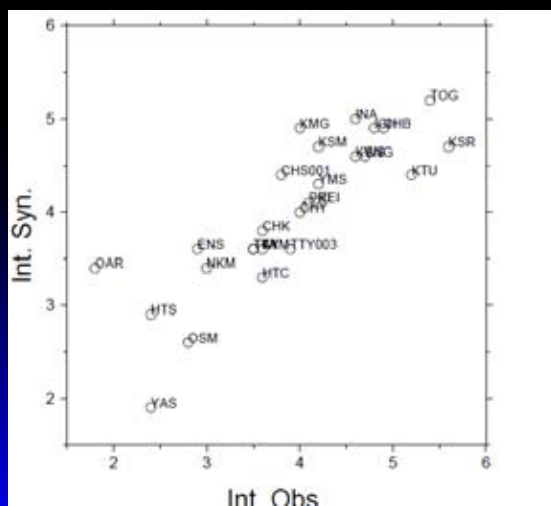


観測震度分布(左)とシミュレーションによる計測震度分布(上)

荒 (2000)



強震観測点での観測震度（左）とシミュレーションからもとめた震度（右）



震度値の比較

横軸：観測震度

縦軸：シミュレーション震度

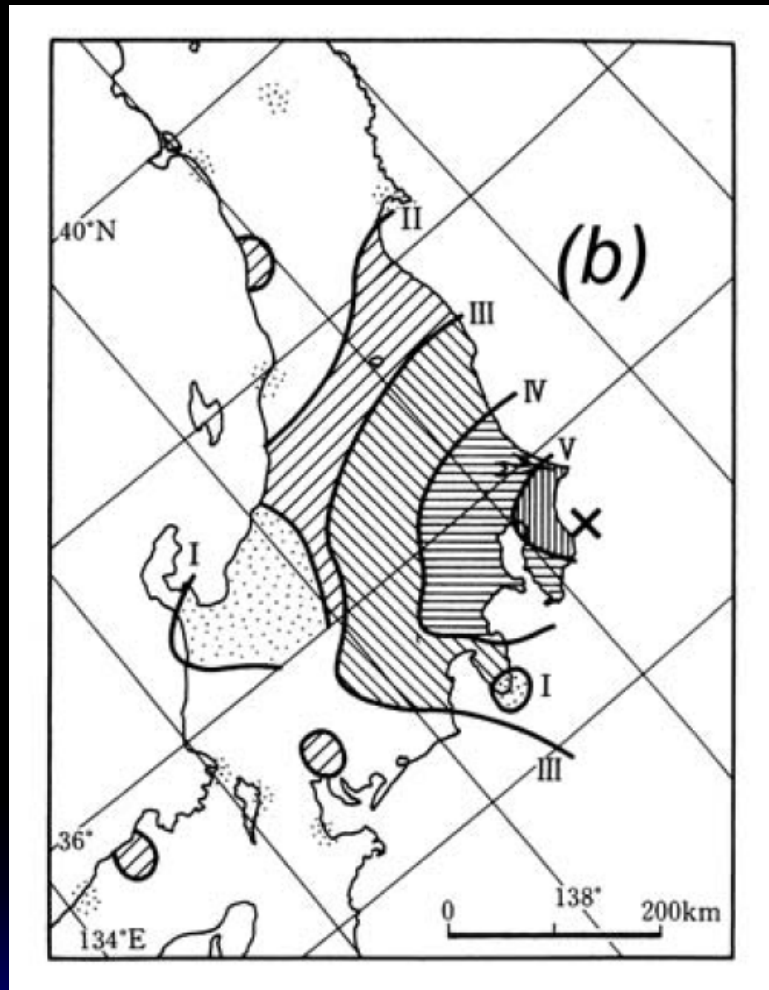
平成22年度の成果

- ・スラブ内地震の強震動予測のための特性化震源モデルに基づく1987年千葉県東方沖地震の強震動シミュレーションを行った
- ・統計的グリーン関数法による面的評価を行い、観測震度分布との適合性を確認した
- ・強震観測点における計測震度の比較を行い、よい適合性を確認した。

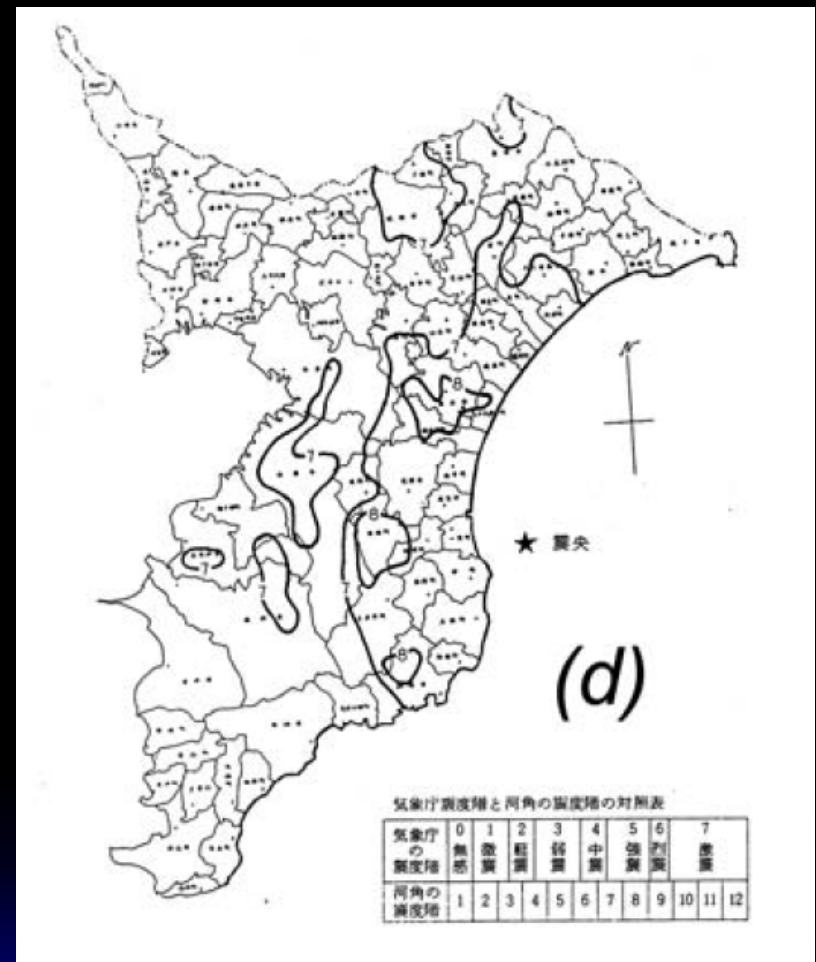
平成23年度の計画

これまで行った特性化震源モデルの検証結果をとりまとめ、スラブ内地震の強震動予測のための特性化震源モデルの提案を行う。

1987年千葉県東方沖地震 震度分布



宇佐美 (2003)

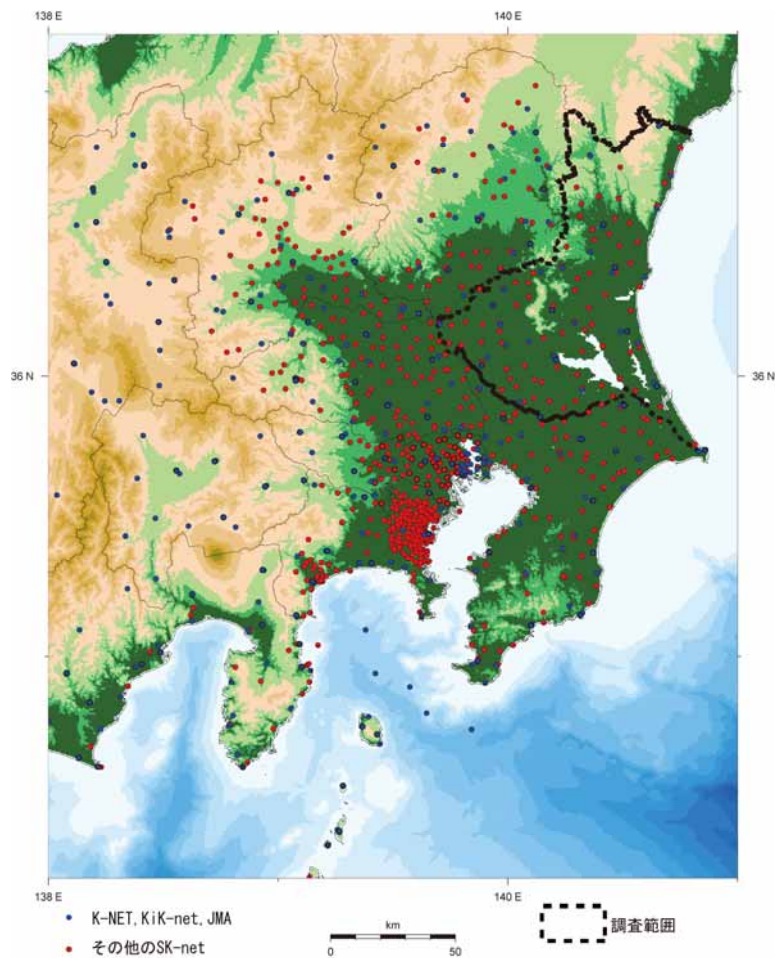


荒 (2000)

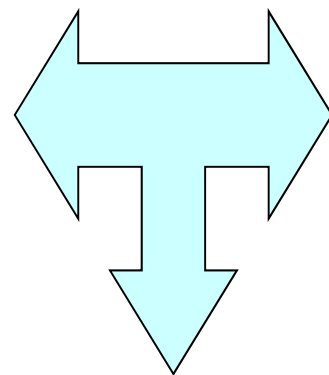
4 - 3 強震観測研究の高度化 に関する調査研究

独立行政法人
防災科学技術研究所

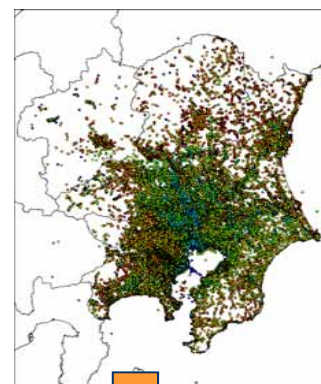
強震観測研究の高度化に関する調査研究



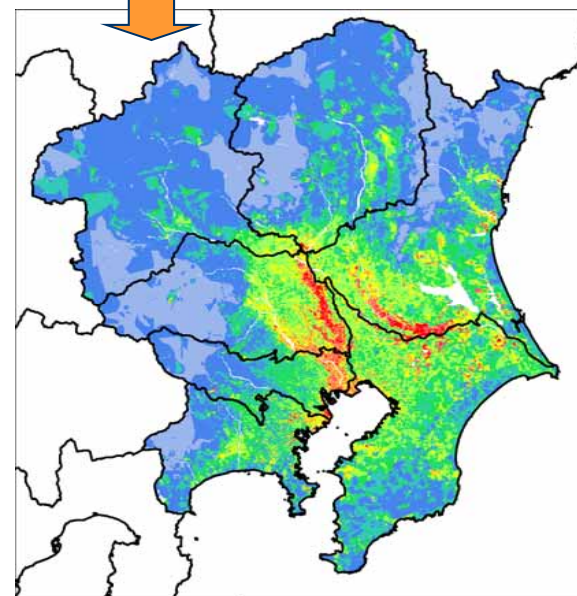
強震観測点の調査



微動測定による観測点調査とボーリングデータ等から作成した地盤モデルを組み合わせ、面的地震動推定のための手法開発を行う



関東地域の地盤データ

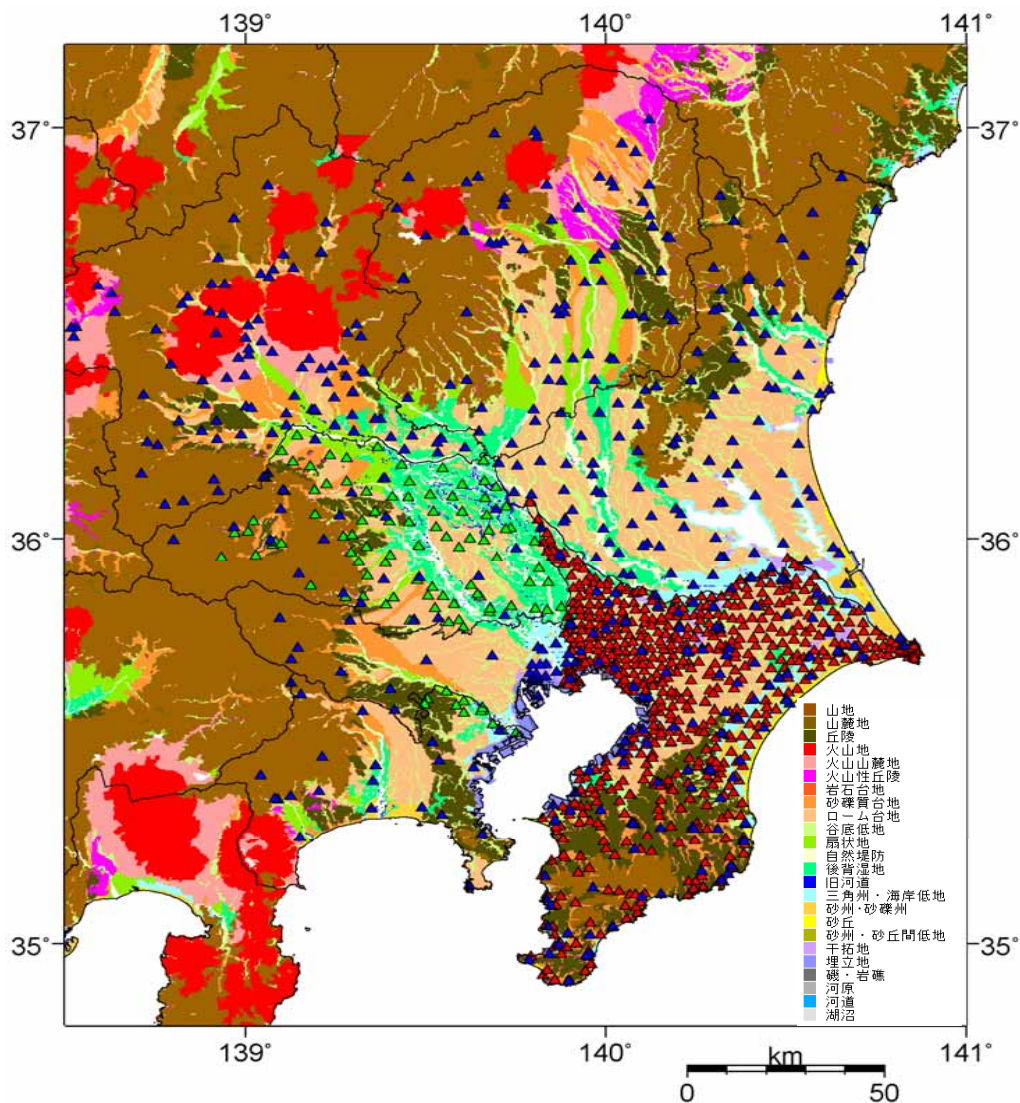


ボーリングデータ・微地形分類に基づいて作成された地盤モデル

今年度（平成22年度）の実施内容

面的な地震動分布の推定精度向上に向けて、平成21年度までに実施した、千葉県における単点による微動観測結果および既往の微動アレイ観測結果を踏まえ、微動アレイ観測等を追加実施し、既存の強震観測点に基づく面的な地震動分布の推定精度の高度化について検討を行う。

H21年度までに実施した単点による微動観測位置



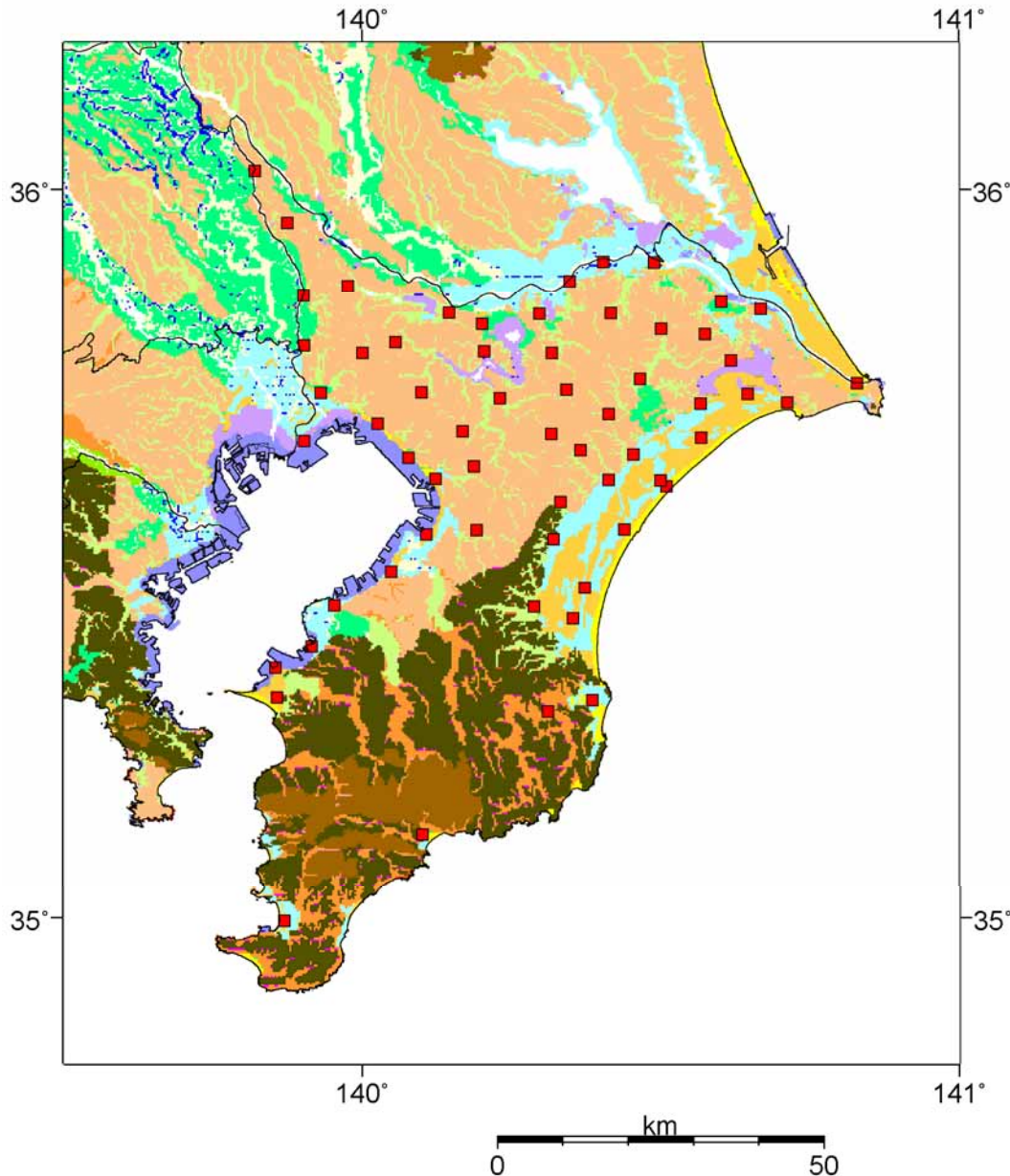
微地形区分の山地系の微地形区分を除く微地形区分(台地および低地)において観測点間隔が最小で2km間隔毎に学校を選択

は今年度測定を実施した常時微動単点(612点)

は昨年度までに実施したSK-NET観測点(千葉・茨城・栃木・群馬386地点)
地図背景は微地形区分

は今年度までに東京工業大学で観測した微動観測点(124地点)

今年度実施した微動アレイ観測位置(千葉県内)



平成21年度に微動アレイ観測を実施した千葉県内の震度観測点および小・中・高等学校において、L字アレイによる常時微動調査を60箇所にて実施した。

今回観測した微動アレイは、昨年度に取得した既往の微動アレイの周期帯域(5~0.5秒)よりも短周期側の情報取得を目的に、これまでの既往の微動アレイ観測結果と位相速度を接続できるように対象周期2秒~0.1秒程度の位相速度を得ることのできるサイズの微動アレイ観測を行った。

微動アレイ展開例

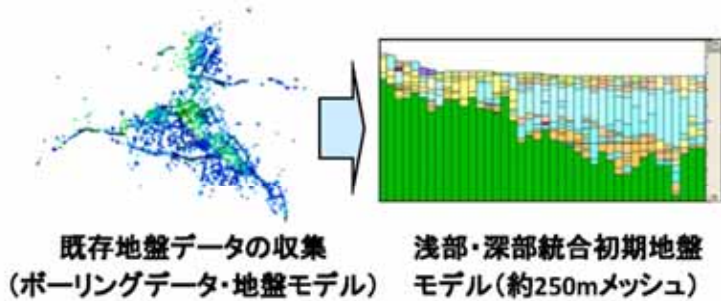
< L字アレイ >

CHBA45 長生村役場



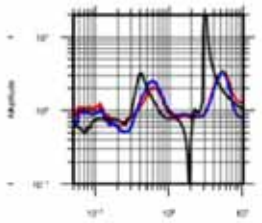
浅部・深部統合地盤モデルの作成の手順

① 地盤のモデル化 (初期モデルの作成)

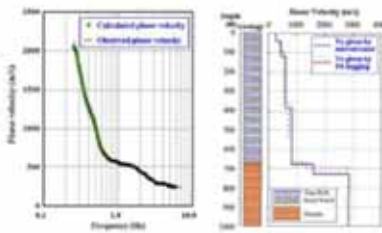


② 微動観測の実施

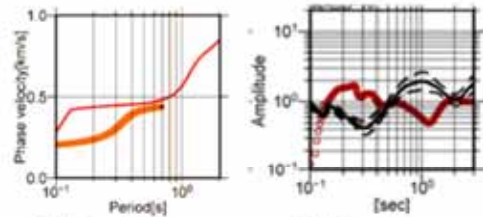
常時微動(単点)



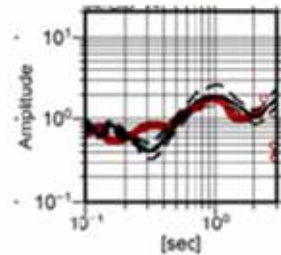
常時微動(アレイ)



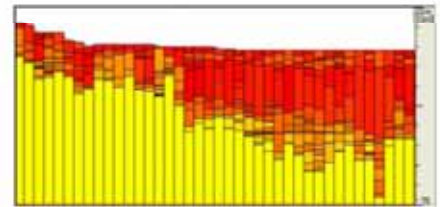
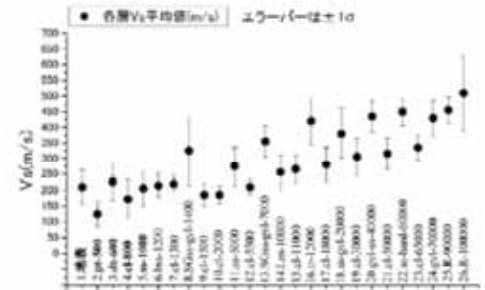
③ 微動観測結果と初期モデルによる 解析処理(逆解析処理)

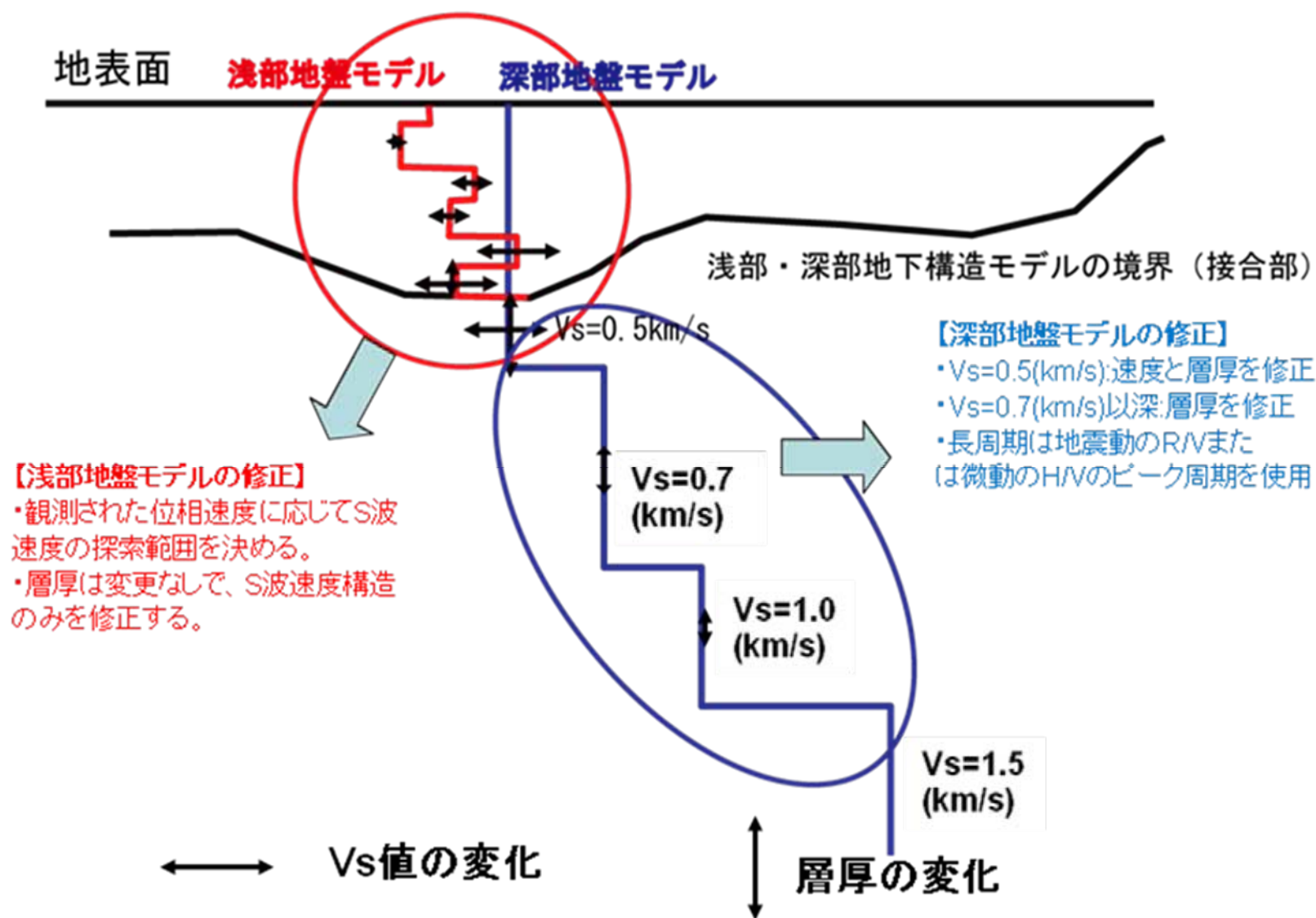


逆解析結果



④ 地質層相毎のS波速度の算出による 浅部・深部地盤構造モデルの作成

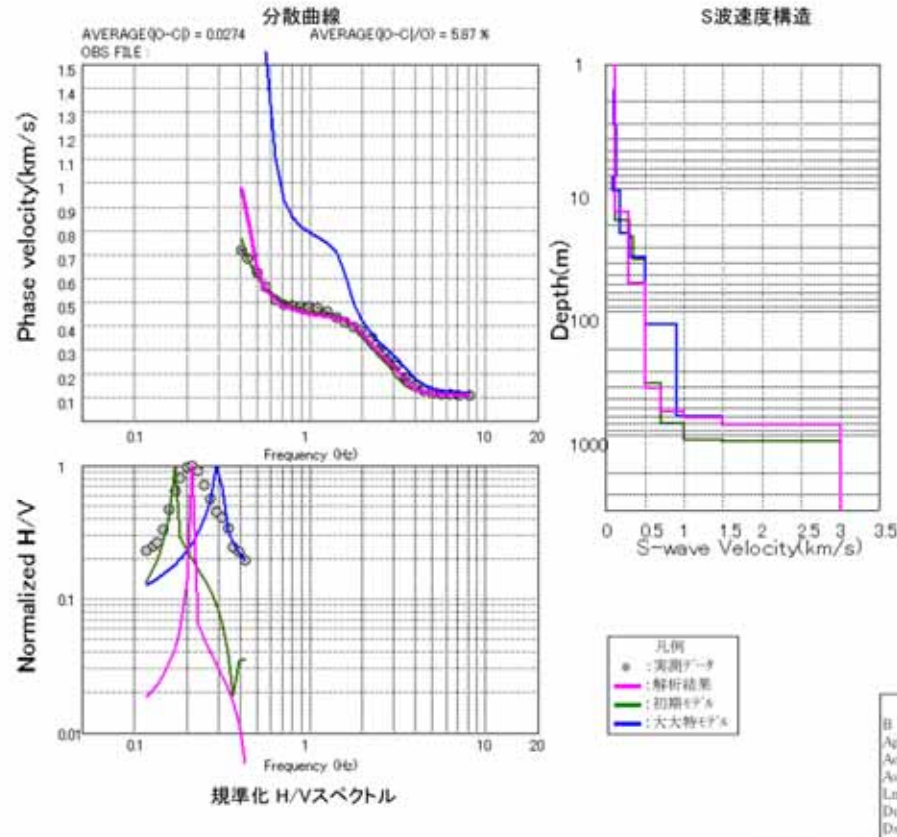




微動アレイ観測結果（大大特モデルとの位相速度と本研究の解析結果との比較） （CHBA43：小見川町役場）

CHBA43 小見川町役場

千葉県 微動探査(アレイ) 解析結果



大大特モデル

下面深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm ³)	土質区分
1.6	1.6	593	116	1.6	B
3.1	1.5	568	111	1.4	Ac
8.1	5.0	687	135	1.4	Ac
10.6	2.5	456	90	1.4	Ac
35.9	25.3	955	187	1.8	As
125.3	89.4	1850	500	1.9	-
694.9	569.6	2350	900	2.2	-
806.9	112.0	3000	1500	2.3	-
810.3	3.4	3200	1700	2.4	-
-	-	5800	3000	2.7	-

初期モデル

下面深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm ³)	土質区分
18.3	18.3	620	120	1.4	Ac/B
24.6	6.3	1600	310	1.9	Ds
37.7	13.1	1800	350	1.9	Ds
378.3	340.6	1800	500	1.9	-
788.2	409.9	2100	700	2.0	-
1080.0	291.8	2400	1000	2.1	-
1105.6	25.6	3000	1500	2.2	-
-	-	5600	3000	2.5	-

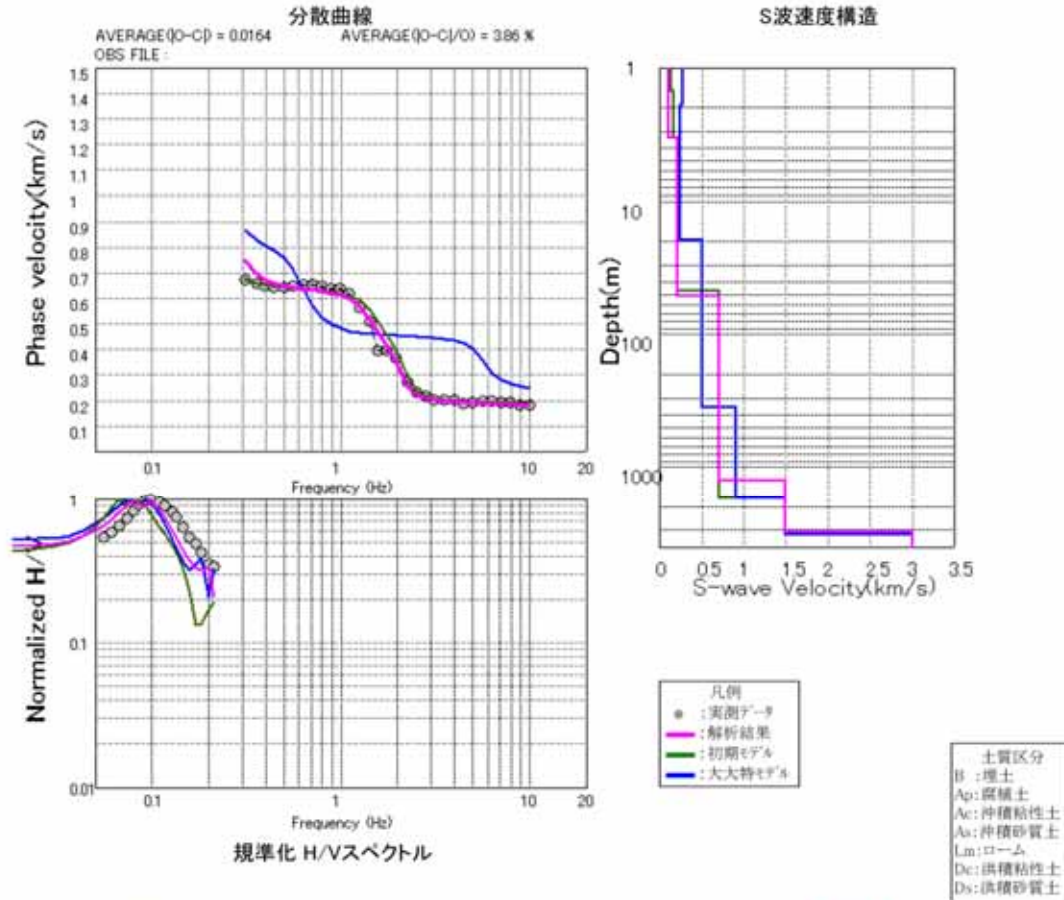
解析結果モデル

下面深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm ³)	土質区分
15.8	15.8	620	120	1.4	Ac/B
21.8	6.0	1600	290	1.9	Ds
58.6	36.8	1800	290	1.9	Ds
411.6	353.0	1800	500	1.9	-
635.6	224.0	2100	700	2.0	-
717.6	82.0	2400	1000	2.1	-
810.6	93.0	3000	1500	2.2	-
-	-	5600	3000	2.5	-

微動アレイ観測結果（大大特モデルとの位相速度と本研究の解析結果との比較） （CHBA45：長生村役場）

CHBA45 長生村役場

千葉県 微動探査(アレイ) 解析結果



大大特モデル

下層 深さ(m)	層厚 (m)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	土質 区分
1.9	1.9	1383	271	1.3	Ap
19.7	17.8	1264	248	1.9	As
354.1	334.4	1850	500	1.9	As
1728.9	1374.8	2350	900	2.2	—
3243.7	1514.8	3000	1500	2.3	—
—	—	5800	3000	2.7	—

初期モデル

下層 深さ(m)	層厚 (m)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	土質 区分
1.5	1.5	640	130	1.7	B
3.4	1.9	790	160	1.9	As
47.0	43.6	1100	210	1.8	As/Ac
1700.0	1653.0	2100	700	2.0	—
3073.5	1373.5	3000	1500	2.2	—
—	—	5600	3000	2.5	—

解析結果モデル

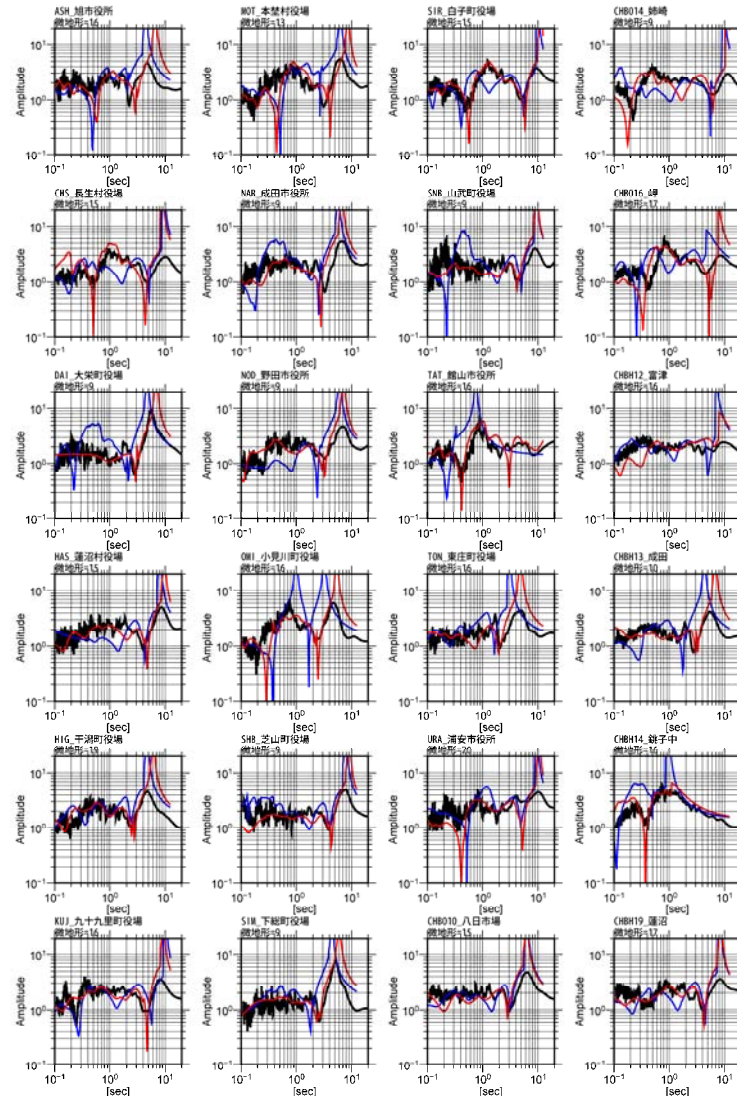
下層 深さ(m)	層厚 (m)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	土質 区分
1.3	1.3	640	100	1.7	B
3.4	2.1	790	100	1.9	As
50.9	47.5	1100	210	1.8	As/Ac
1250.9	1200.0	2100	700	2.0	—
3084.9	1834.0	3000	1500	2.2	—
—	—	5600	3000	2.5	—

地盤モデルによる理論H/Vと地震動R/Vスペクトル比

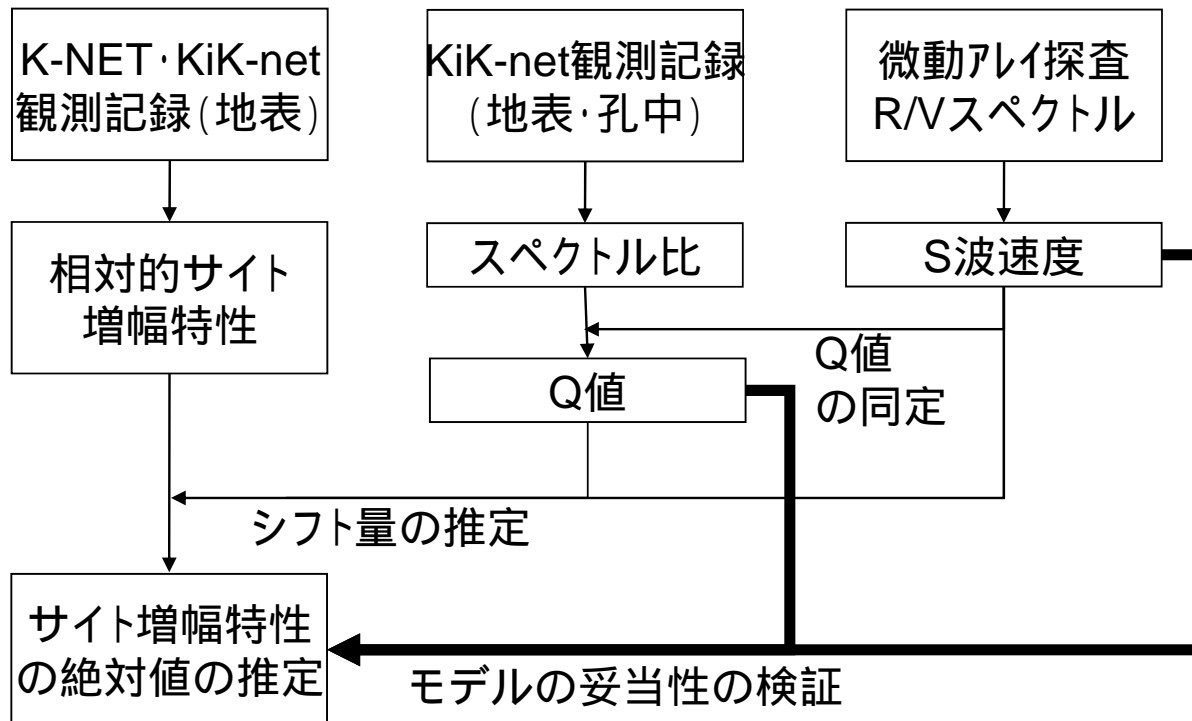
との比較。黒線：地震記録によるH/Vスペクトル比(R/Vスペクトル比)

赤線：本研究における地盤モデルによる理論H/Vスペクトル比(4次モード合成R/L比=0.58)

青線：大々特地盤モデルによる理論H/Vスペクトル比(4次モード合成R/L比=0.58)

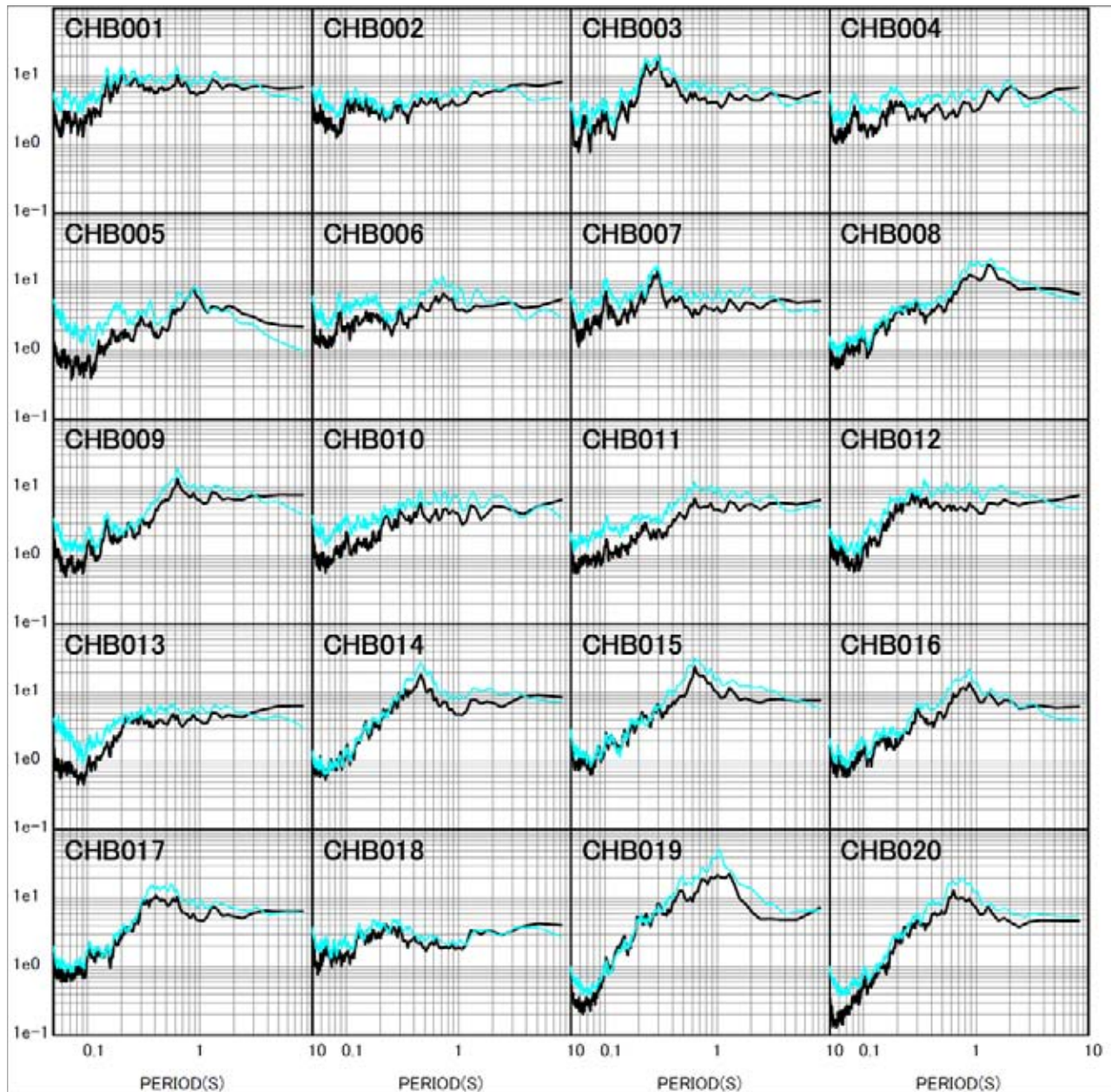


地震観測点におけるスペクトル増幅率と浅部・深部統合地盤構造モデルによる増幅度解析方法の検討フロー

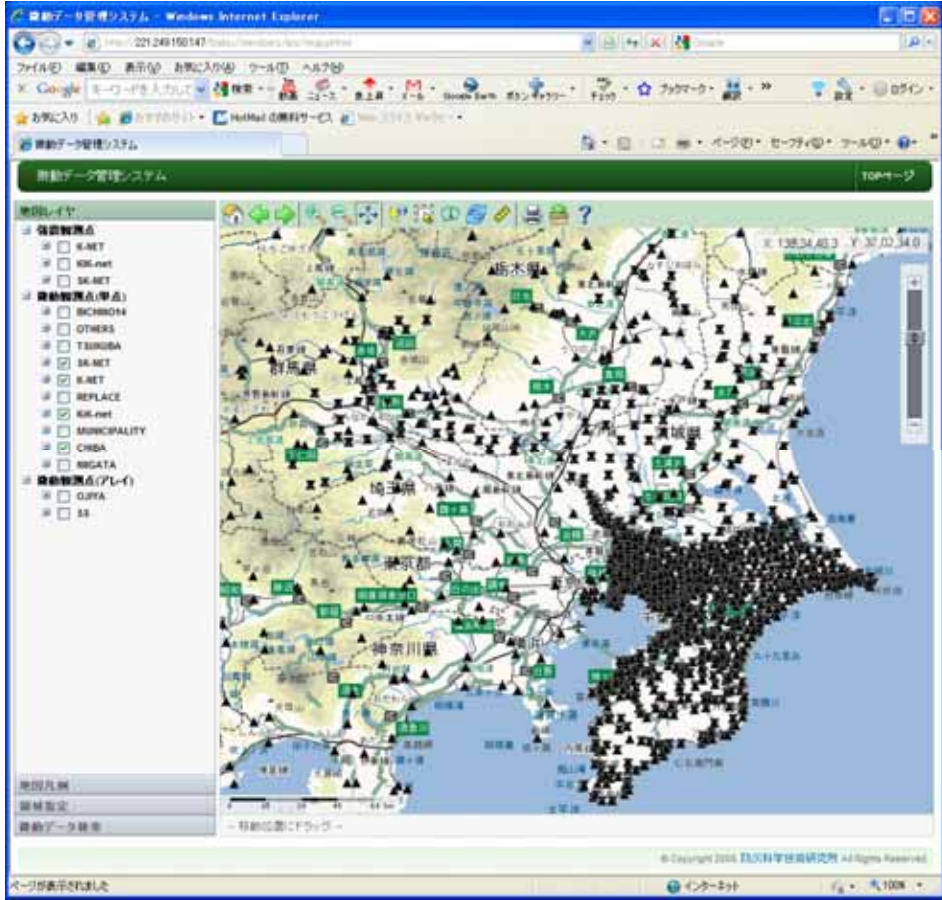


増幅特性の比較 野津・長尾(2005)との比較

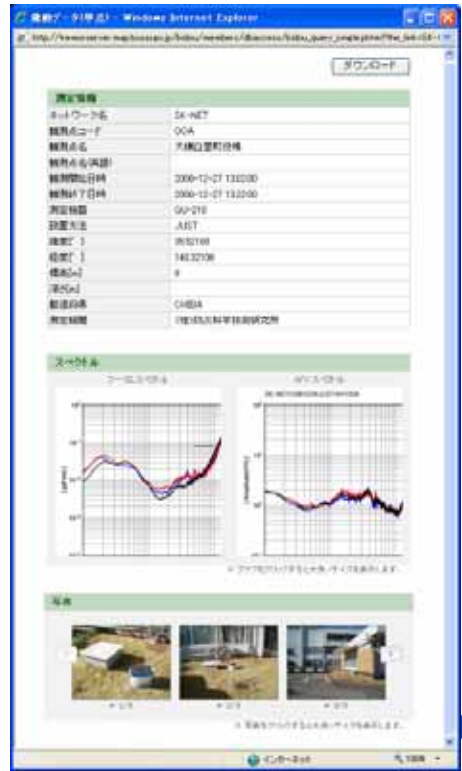
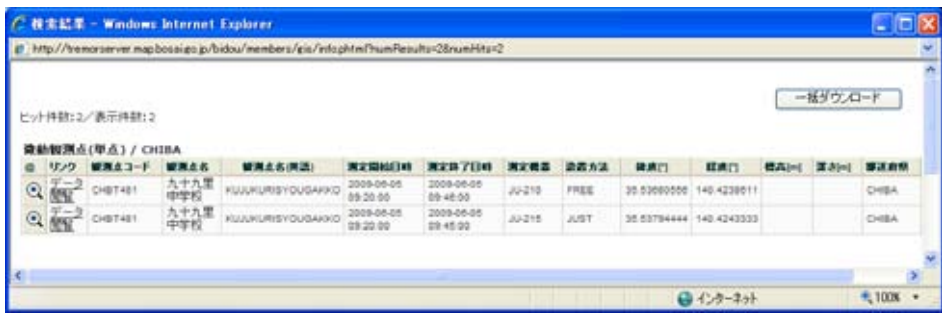
黒:本検討 水色:野津・長尾(2005)



データベース登録状況 - 微動データベース登録画面 -



今後の業務の効率化のため、データベースに正確な位置座標とともに各種データを収録。誰でもデータ閲覧・ダウンロード・生データからの再解析も可能。



今後の予定

観測記録と解析結果を整理し、既往の地下構造モデルの修正を行い、地震観測記録における0.5～10秒程度の周期帯域を再現することのできる、浅部・深部統合地下構造モデルの構築を行い、既存の強震観測点にもとづく面的な地震動分布の推定精度の高度化について検討を行う。

4-4 地盤構造モデルの高度化に関する調査研究

- 1) 昨年度の引き続き、浅部地盤の卓越周期データ、微動アレイ観測による深部地盤データの収集を行う。
- 2) 中感度稠密地震観測による観測記録を用いて、水平/上下スペクトル比などの地盤構造情報を抽出する。
- 3) 抽出した地盤情報を用いて地盤モデルの妥当性を検証し、必要に応じて地盤モデルの修正を行う。
- 4) 中小地震による地震動のシミュレーションを行い、首都圏での地震動の伝播特性を明らかにする。

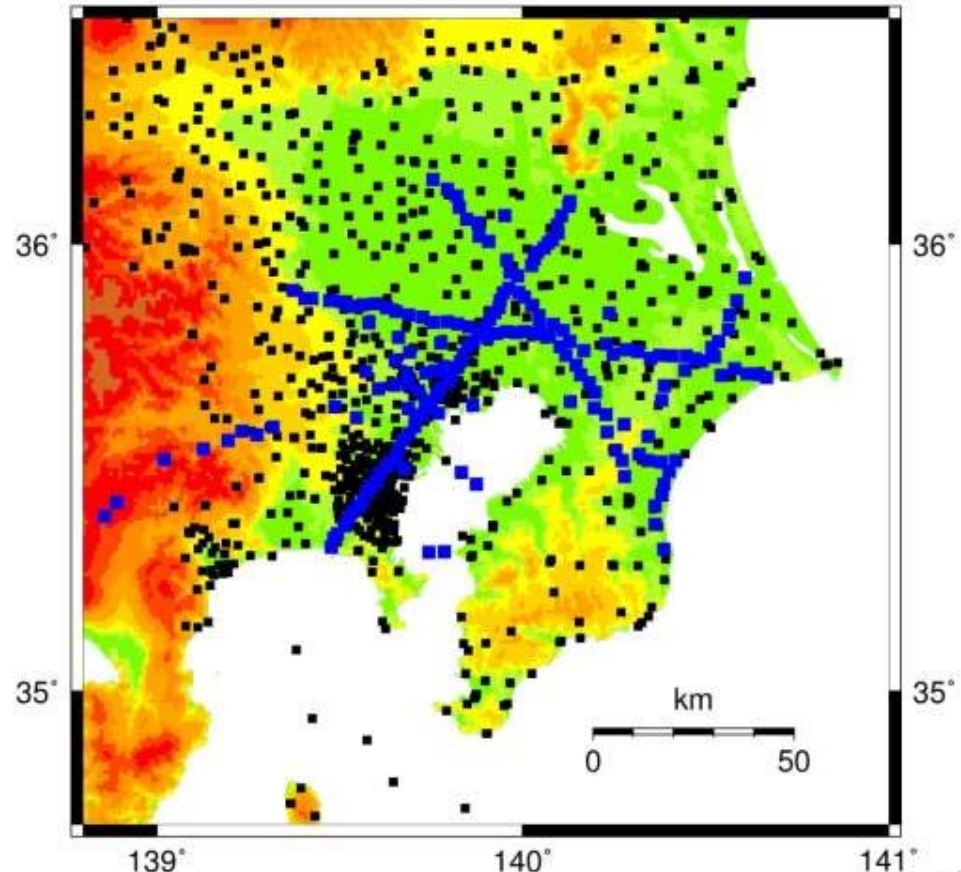
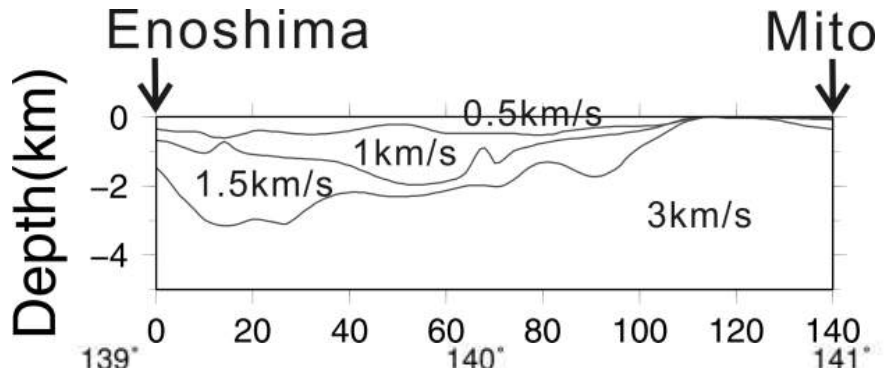
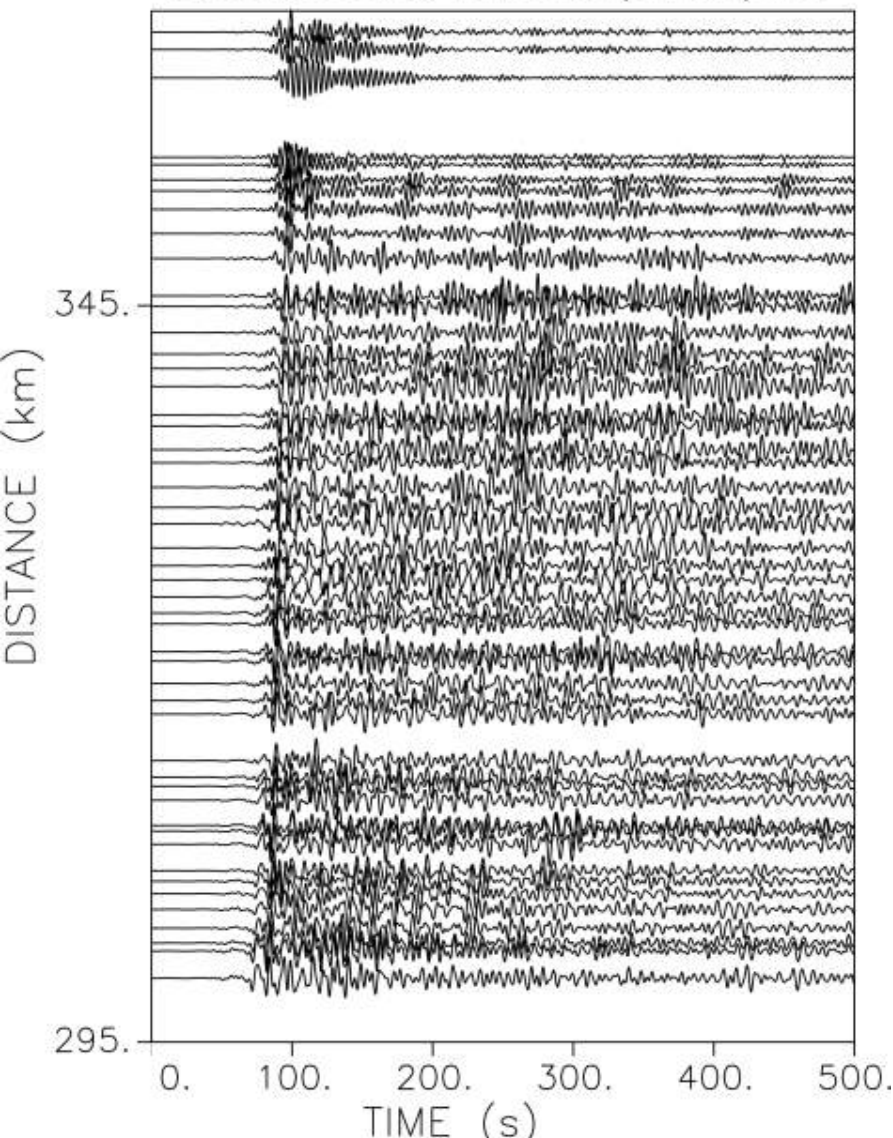
東工大 翠川三郎, 山中浩明, 三浦弘之、津野 靖士

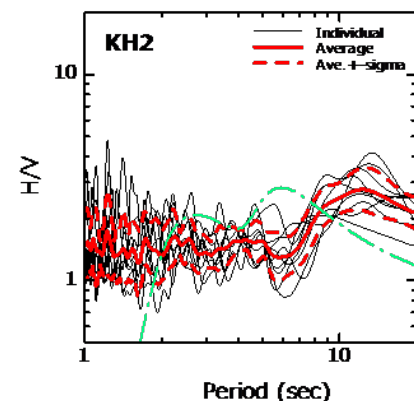
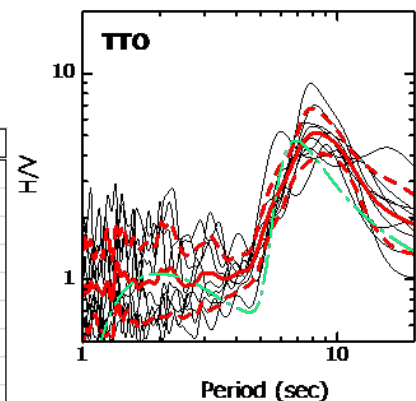
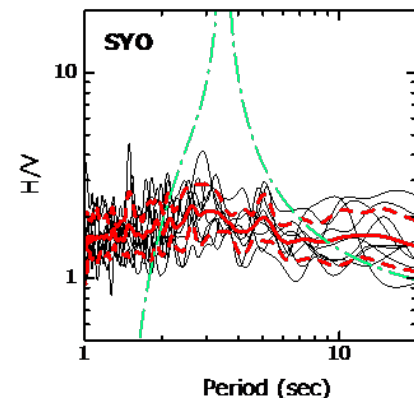
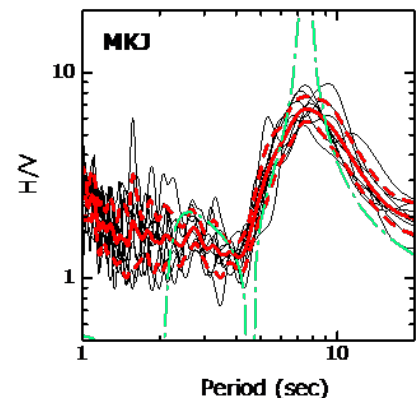
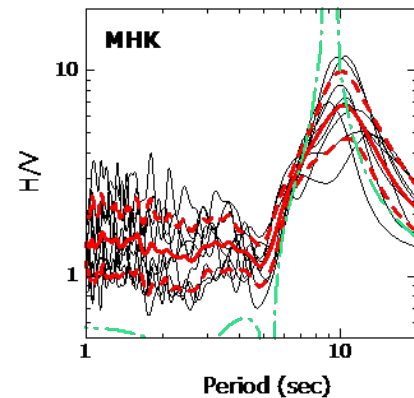
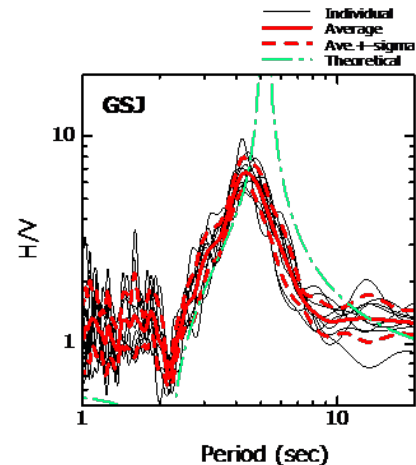
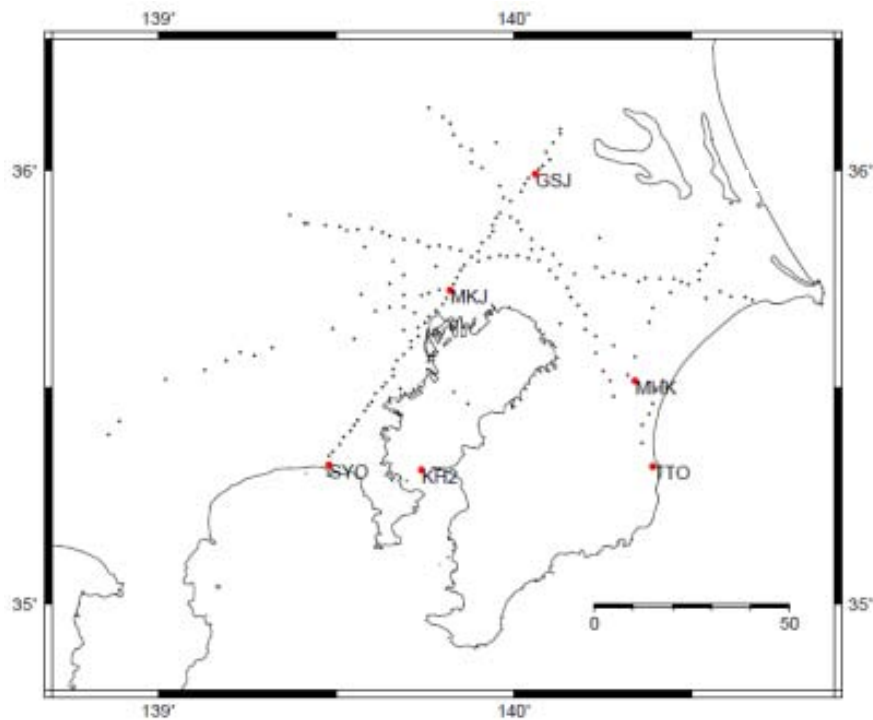
研究協力者: 海洋研究開発機構 大堀道広

MeSO-netの記録 八丈島東方沖M6.6 h57km

周期4 - 20秒の東西方向の速度

2009/AUG/13 7:48 Vel (4-20s) EW





使用したMeSO-net観測点

Table 1 使用した地震

No.	Origin time	Location of Hypocenter	Latitude	Longitude	Hypo. dist.	Depth	Magnitude
1	2009/8/9, 19:56	Off the south coast of Tokaido	33.1 N	138.5 E	250 km	340km	Mj 6.9
2	2009/8/11, 5:07	Suruga Bay	34.8 N	138.5 E	150 km	20 km	Mj 6.6
3	2009/8/13, 7:49	Off the east coast of Hachijojima	33.0 N	140.8 E	250 km	40 km	Mj 6.5
4	2009/8/17, 9:05	Ryukyu Islands	23.4 N	123.6 E	2000 km	50 km	Mj 6.7
5	2009/8/17, 19:10	Ryukyu Islands	23.3 N	123.7 E	2000 km	40 km	Mj 6.6
6	2009/10/30, 16:03	In the sea off Amami Oshima	29.2 N	129.9 E	1200 km	60 km	Mj 6.8
7	2010/2/27, 5:31	In the sea off Okinawa Island	25.9 N	128.7 E	1450 km	40 km	Mj 7.4
8	2010/3/14, 17:08	Offshore Fukushima prefecture	37.7 N	141.9 E	250 km	40 km	Mj 6.6
9	2010/4/26, 11:59	Ryukyu Islands	22.2 N	123.8 E	2000 km	50 km	Mj 6.6

首都圏の地震動コーダH/Vのピーク周期と 既存モデルとの比較

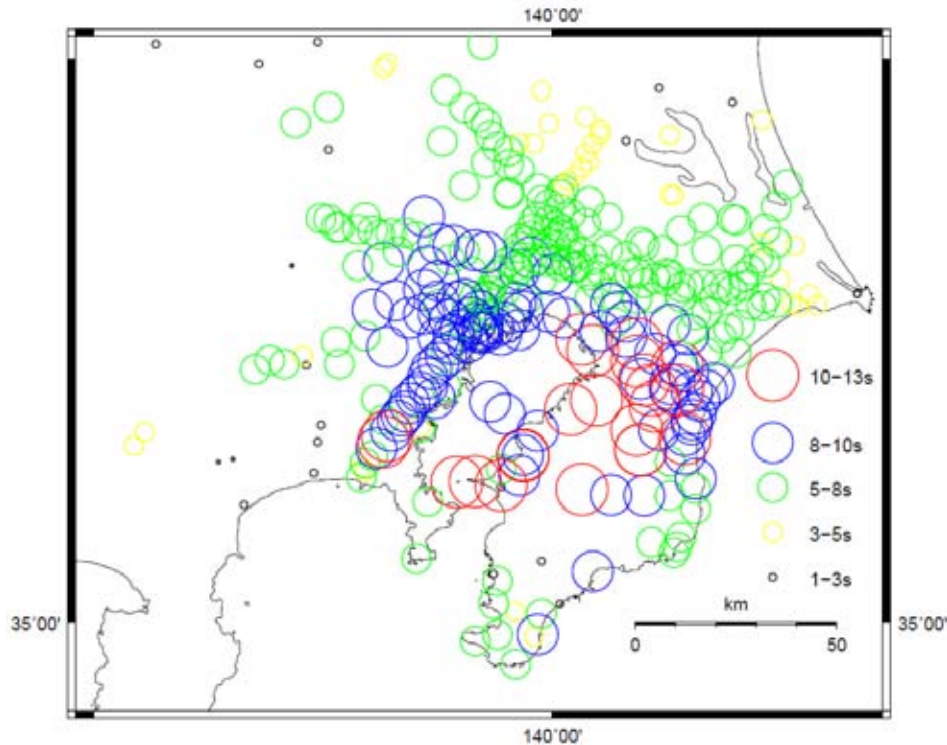


Fig 3 . 地震動コーダH/Vの1次卓越周期分布
(本解析結果 + 佐藤・東、2006の結果)

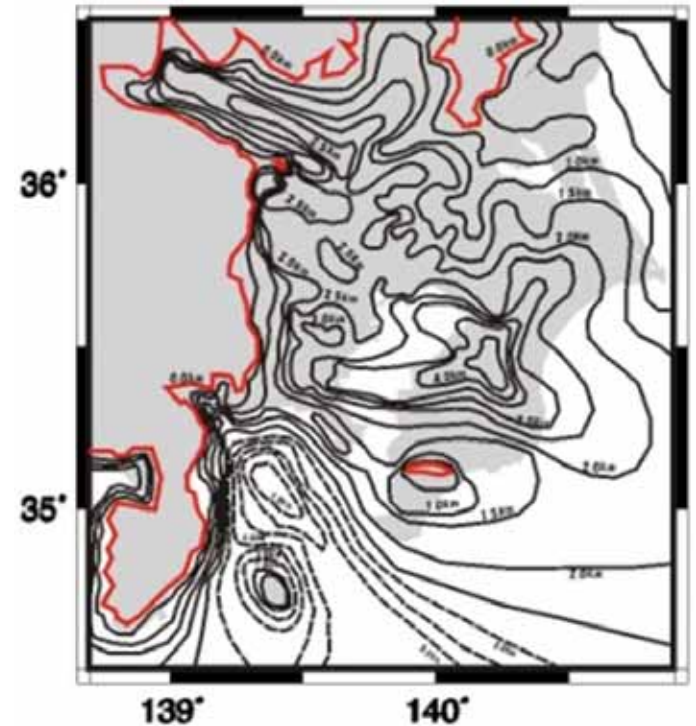
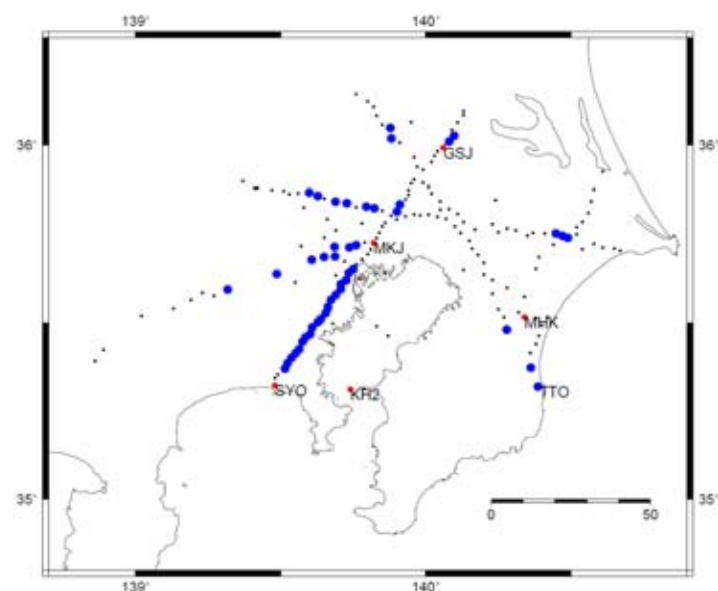
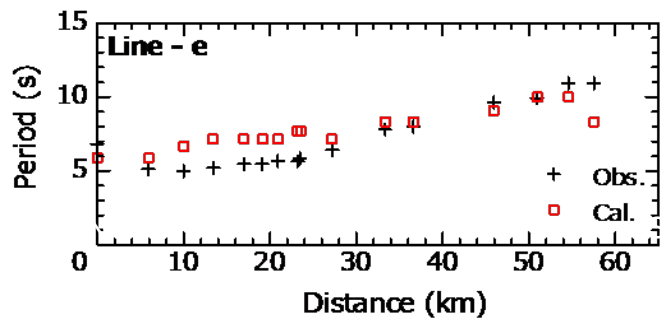
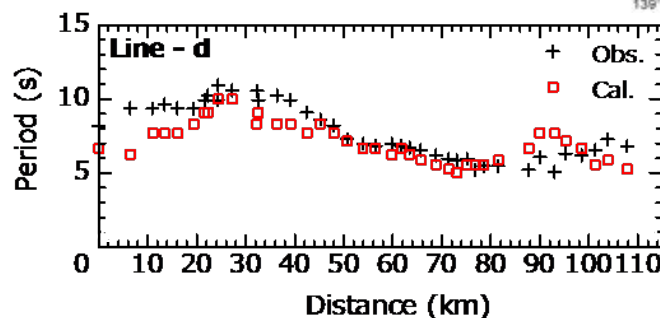
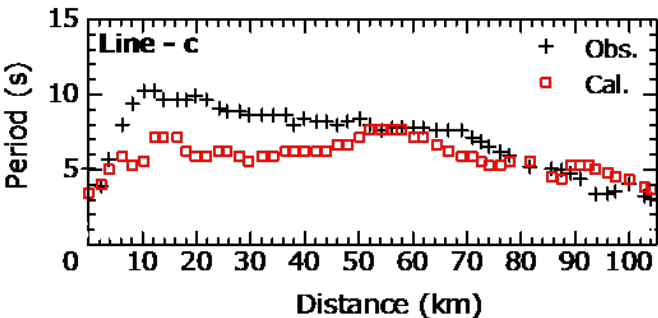
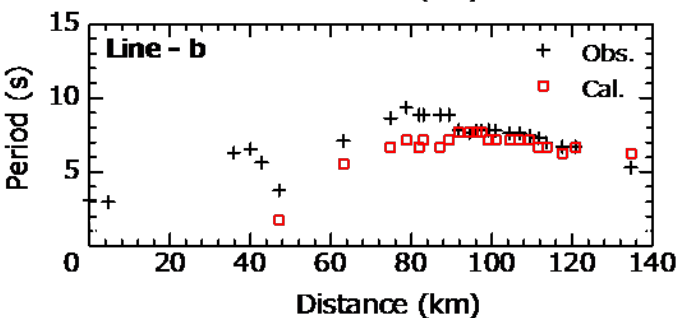
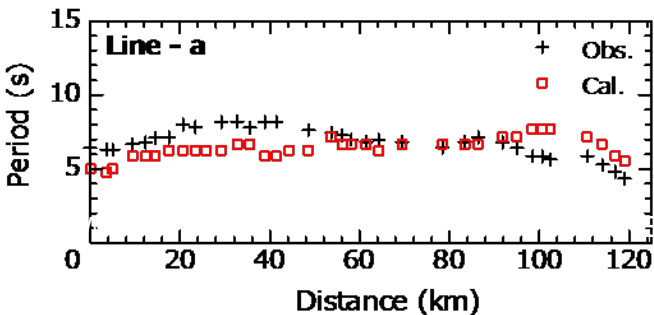


Fig 4 . 山中・山田 (2006) による
基盤上面深度



観測と理論のH/V
スペクトル比の
整合性があまり
良くない地点()

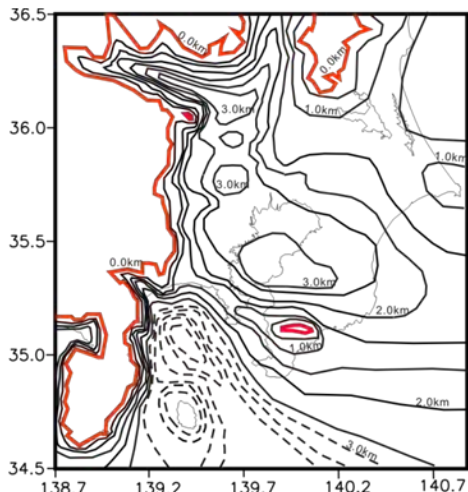


地下構造の改善

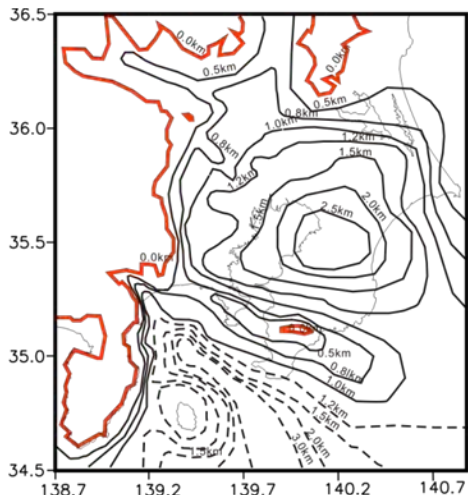
地震動コーダH/V比の卓越周期と山中・山田(2006)モデルを用いて計算したRayleigh波基本モードの楕円率の卓越周期との比較

最近の微動探査結果に基づく改良モデル

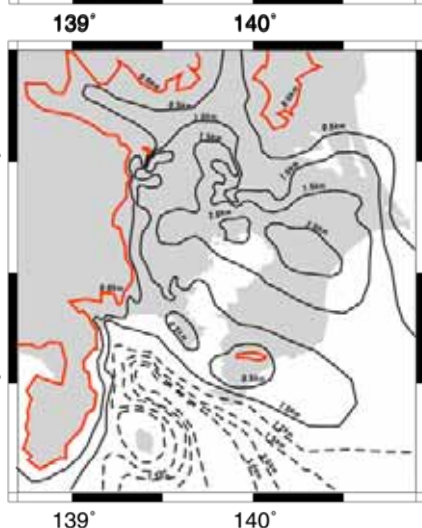
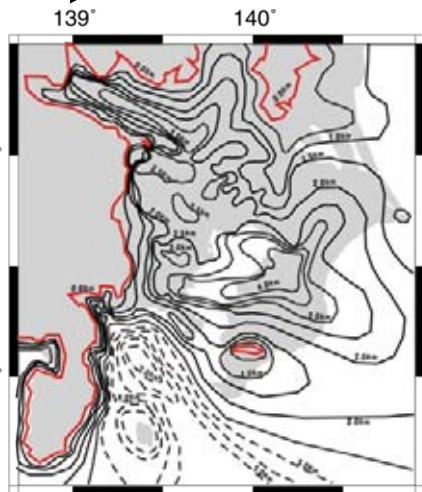
Vs3.0km/s層
上面深度分布
(地震基盤
上面深度)



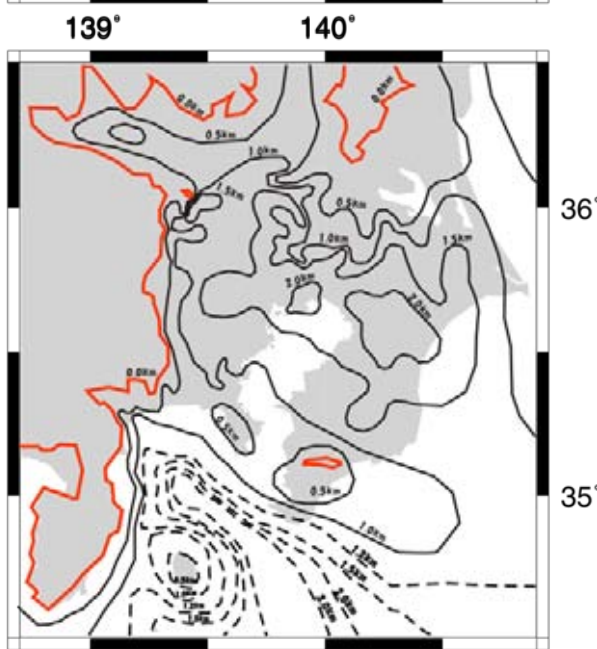
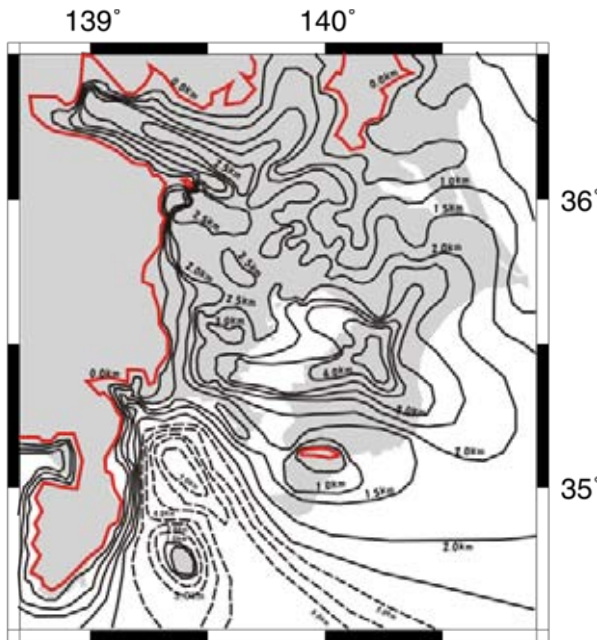
Vs1.5km/s層
上面深度分布
(2002版は
Vs1.7km/s)



山中・山田(2002)



山中・山田(2006)

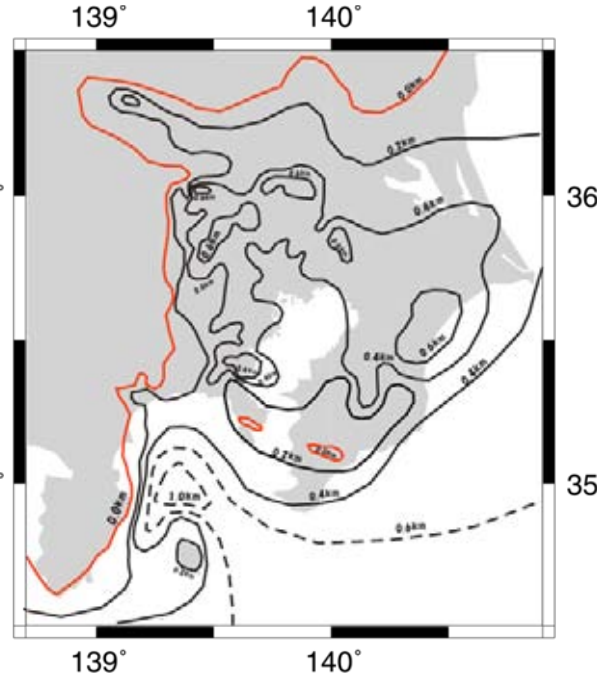
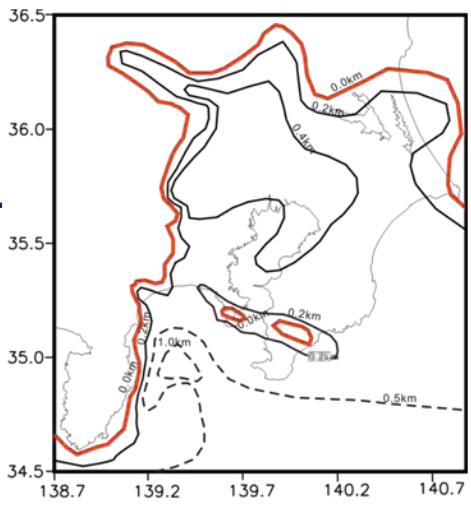


新しいモデル

探査地点数が増加するとともに、コンター形状も複雑に

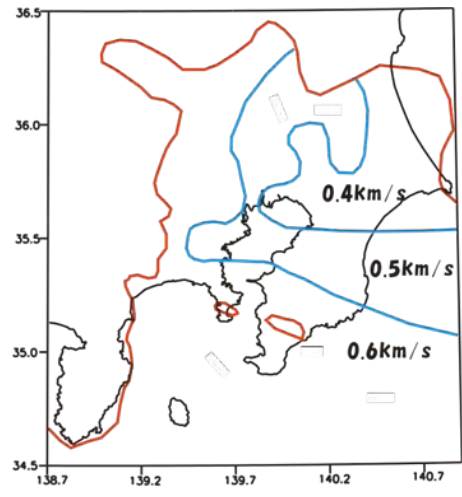
表層部分(1km/s層上面)のモデル

Vs1.0km/s層
上面深度分布
:Vs0.5km/s
表層層厚分布

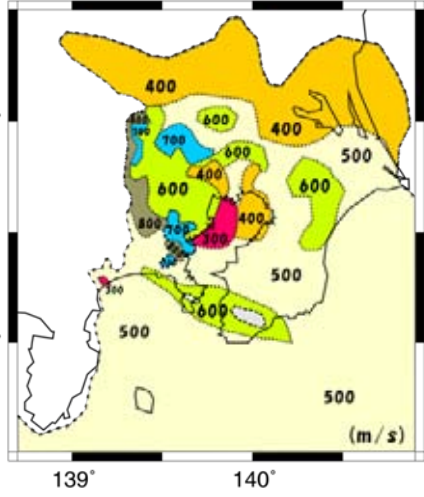


表層Vs分布

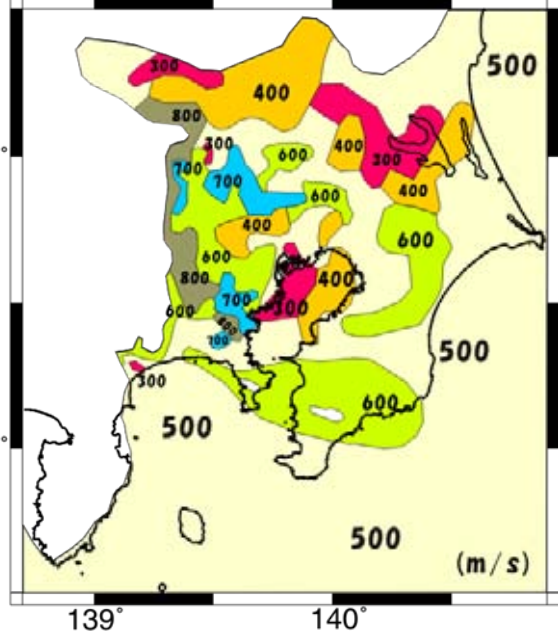
地点数が少な
かった頃は,推定
部分が多かった.



山中・山田(2002)

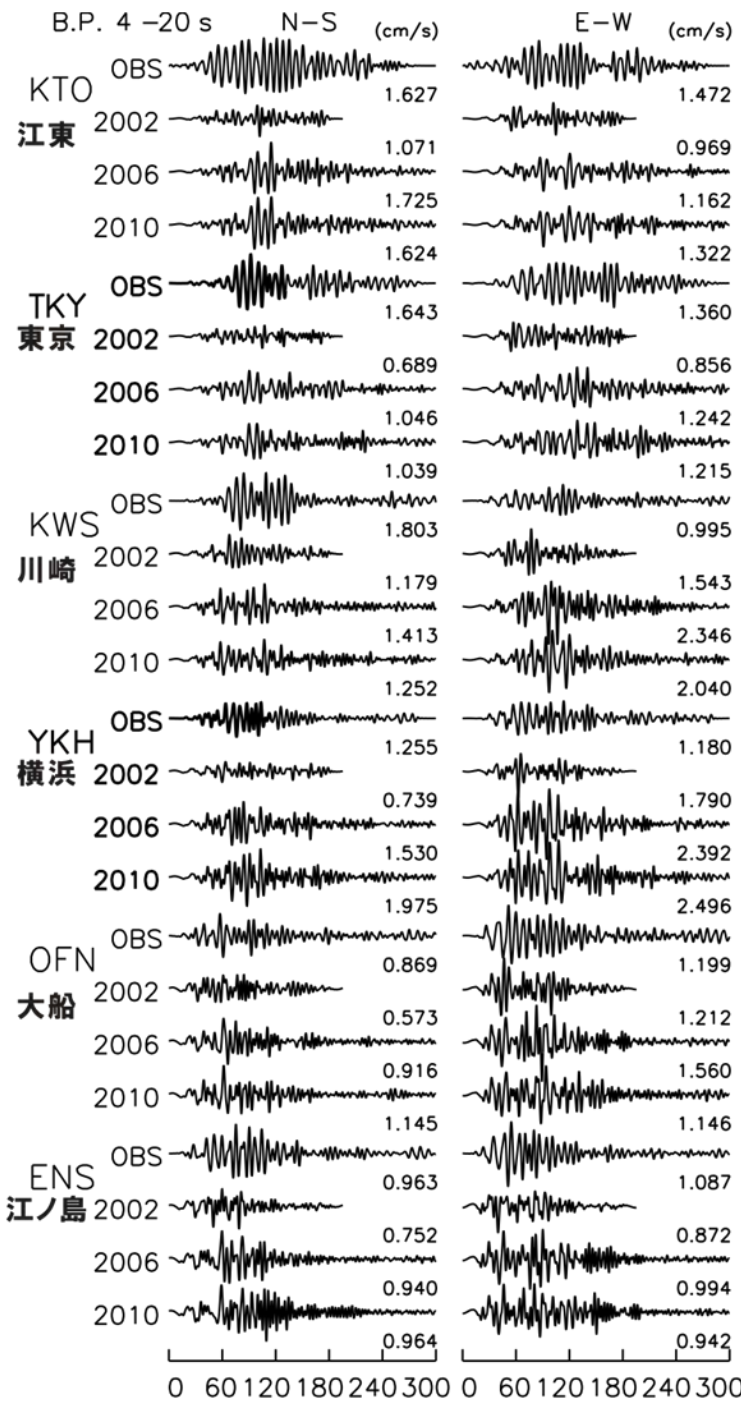


山中・山田(2006)

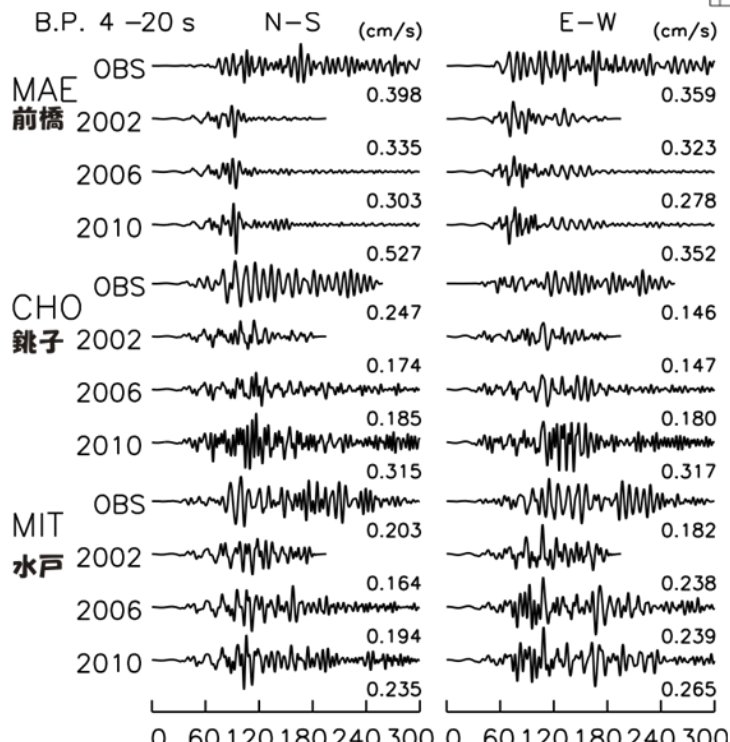
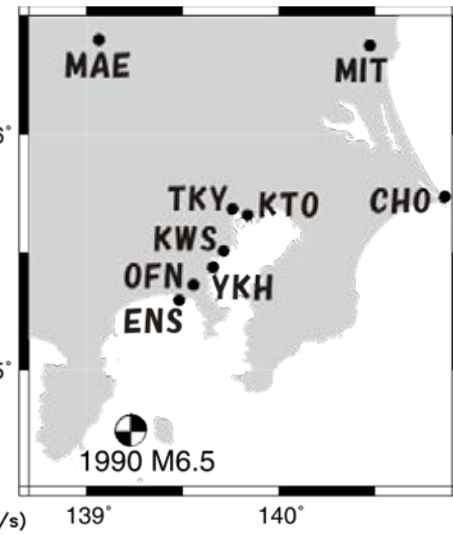


改良版モデルを数値化,差分用離散化 地震動シミュレーションへ

表層Vs均一版モデルによる 周期4～20s 速度波形の比較



2006年版から2010年版への変化はあまり大きくないが、継続時間の伸びや最大振幅の改善化も見られる。



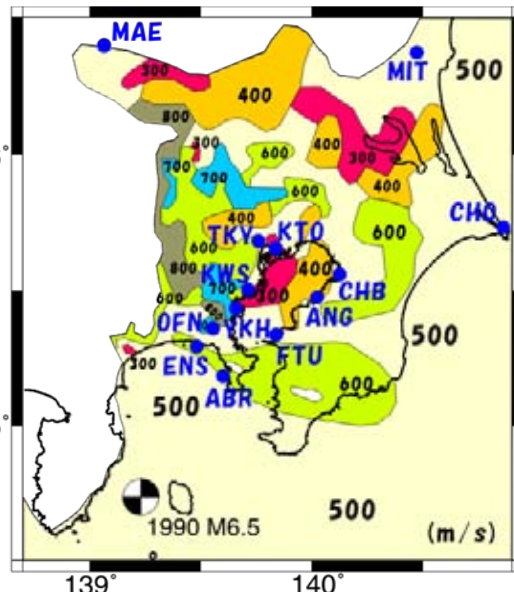
表層Vsに地域的分布を考慮したモデル

による周期4 ~ 20s 速度波形の比較

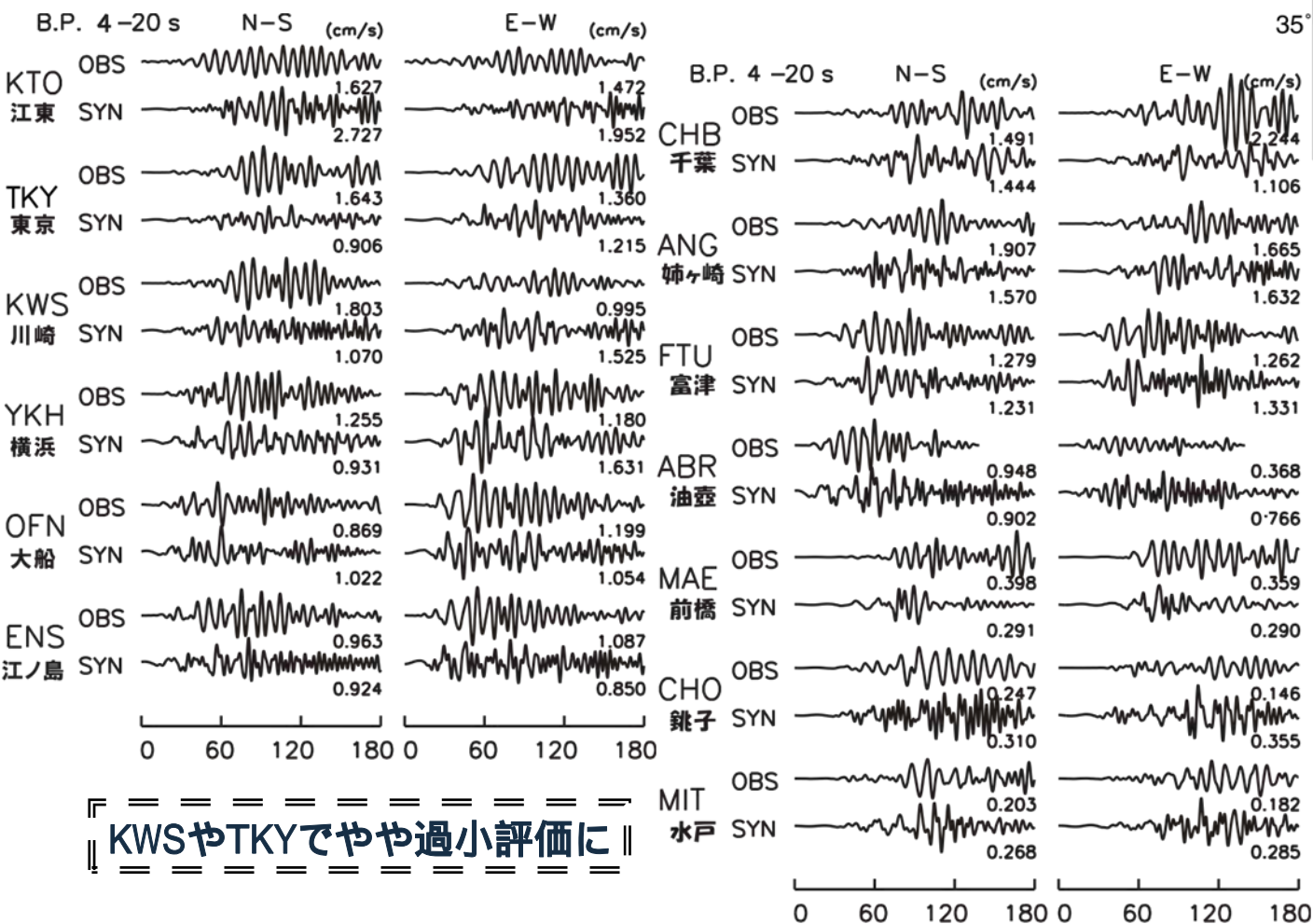
(Layer 1: Vs500m/s層に対して, 右図のように面的にVs300 ~ 800m/sを分布させたモデル)

格子サイズを変更 = dx0.24km

前出までのモデルとは, 差分格子モデルで若干異なる点に注意

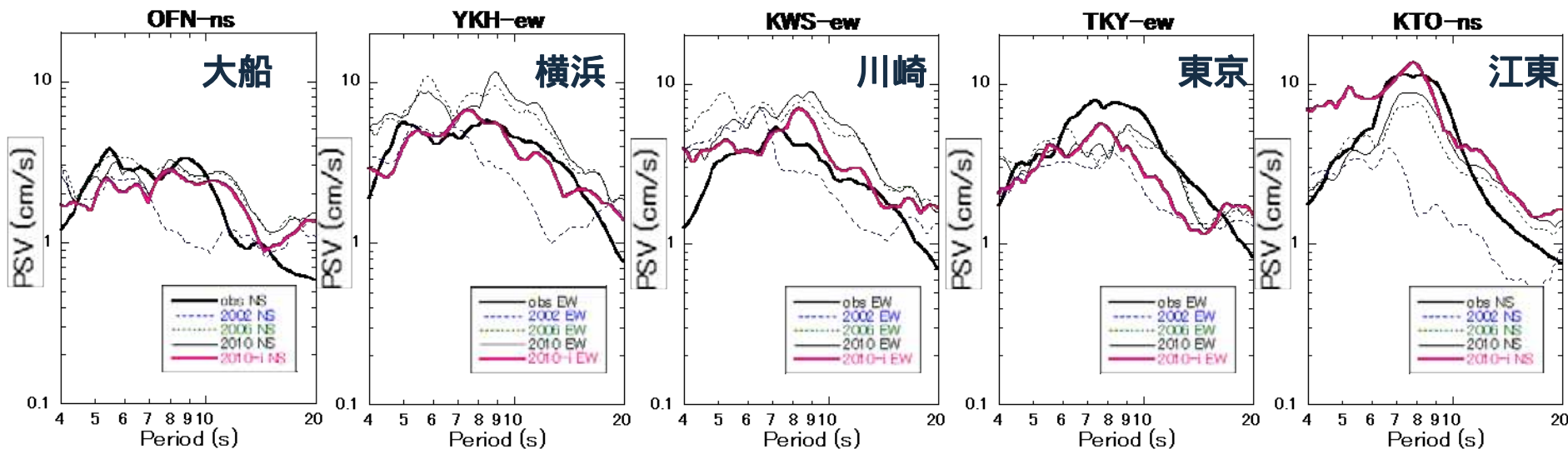


表層Vs分布
波形出力地点



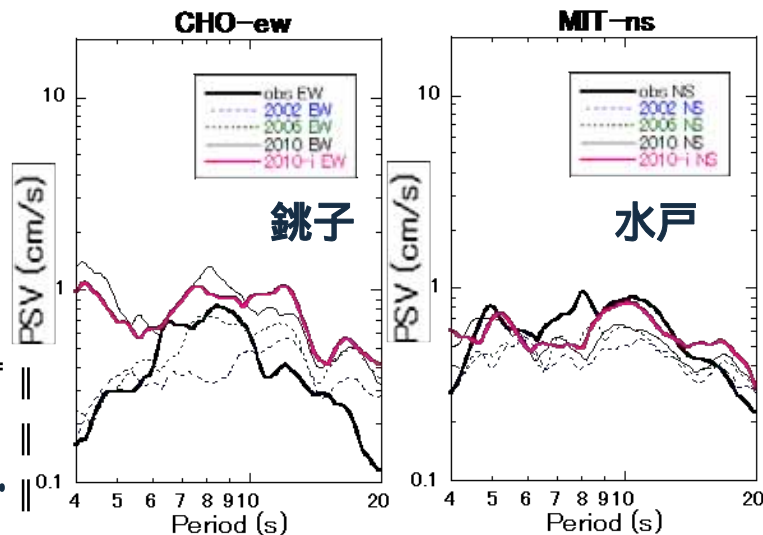
速度応答スペクトル(h:5%)での比較

注目は、黒太線(観測)と桃色太線(2010年表層不均質モデル版波形)



モデル更新 ↓

2002 = 2002年表層Vs均一モデル
 2006 = 2006年表層Vs均一モデル
 2010 = 2010年表層Vs均一モデル
 2010-i = 2010年表層Vsに
 地域的分布を考慮したモデル



速度応答スペクトルにおいては、2010-iの結果がもっとも観測記録に近いものになっているように見える。表層Vsを地域毎に変更させたことにより、大船では、ほとんど変化がないのに対して、横浜、川崎では、振幅値が小さくなり、江東では大きくなり、改善化された。

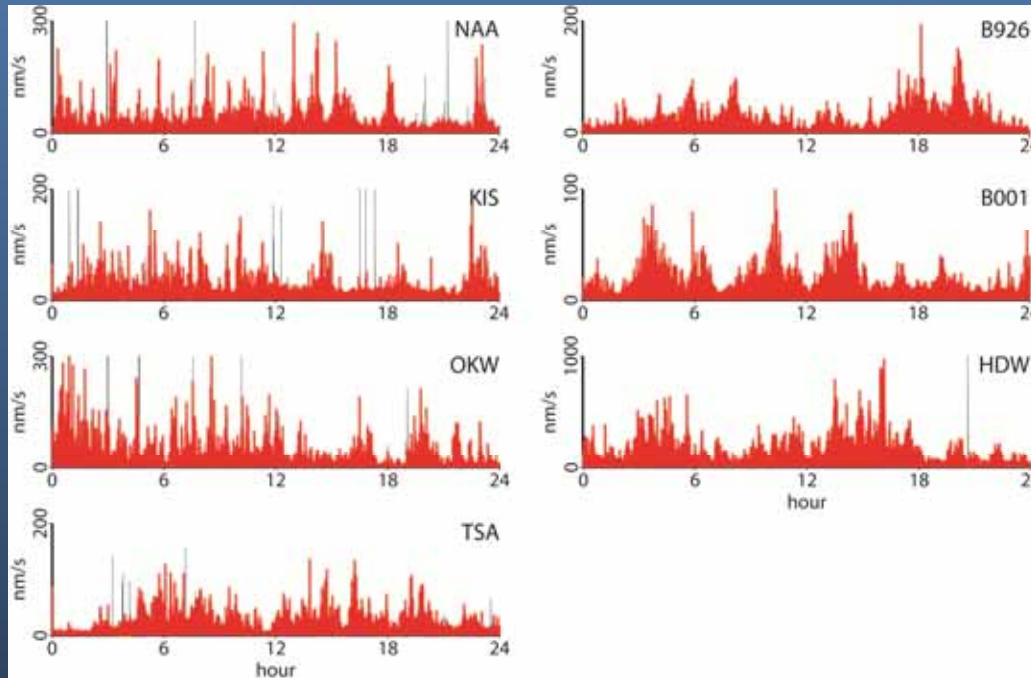
まとめ

- 首都圏での地盤をモデル化するために、多量の微動や地震の記録について様々な視点からの分析を行ってきた。
- 中小地震のH / Vスペクトルに基づく検討を複数の地震記録を用いて行った。既存のモデルの南西地域ではモデル修正の必要性があることを示した。
- 中小地震のシミュレーションによって修正モデルによって、表層部分の速度の不均質性を考慮した場合に観測記録がより説明できることを示した。

- H22年度までの成果
 - 首都直下のゆっくり地震発生可能性検討
 - ゆっくり地震の特徴的時定数算出
- H23年度の実施計画
 - 首都直下のゆっくり地震発生可能性検討(継続)
他地域への応用へ

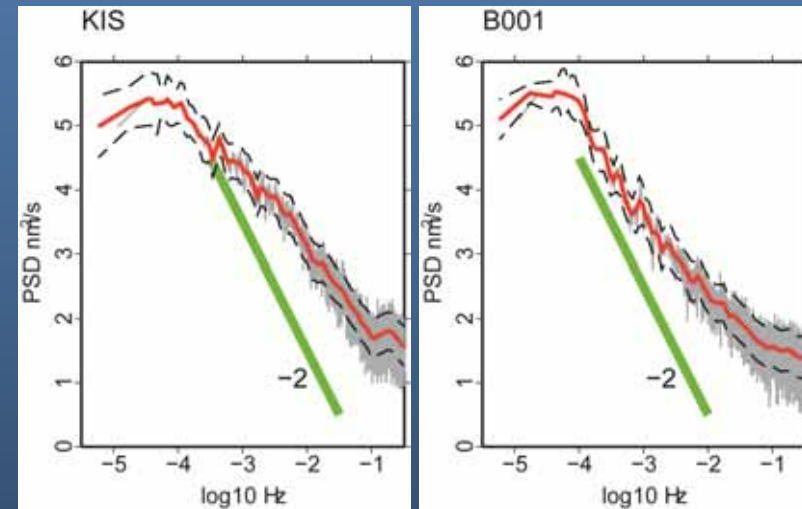
ゆっくり地震の時定数抽出

南海沈み込み帯



カスケード沈み込み帯

エンベロップスペクトルの定量化

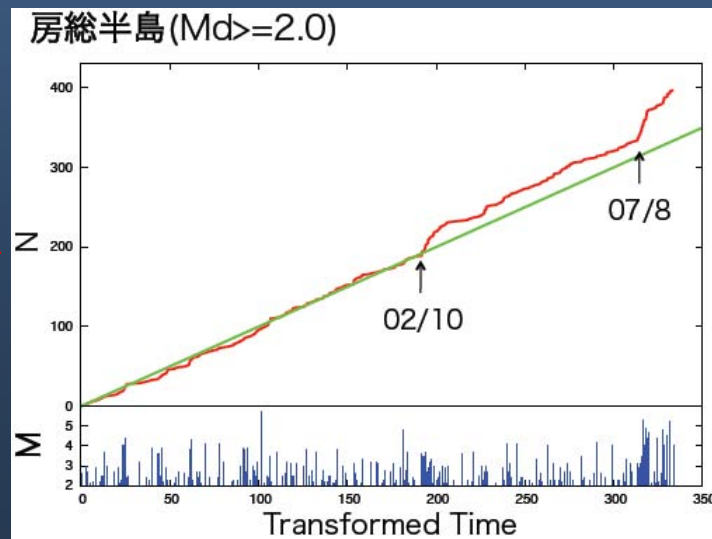
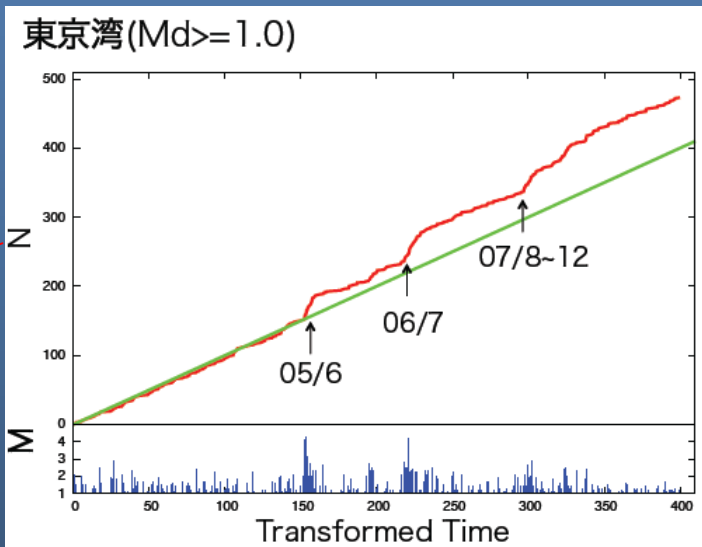
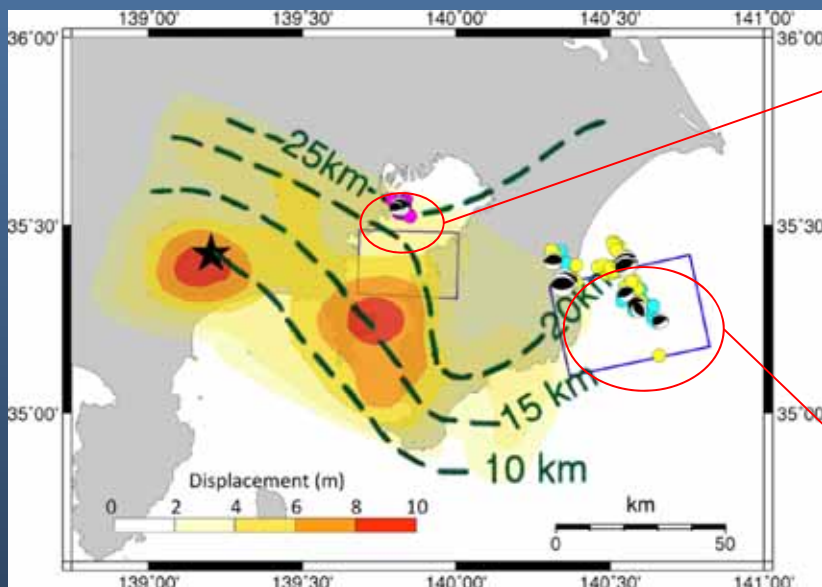


見た目に異なる微動の振る舞いを定量化しその特徴的スケールがゆっくり地震の破壊領域の成長とともに変化する可能性を指摘

Ide (2010, JGR)

地震の破壊成長とスケーリング(東大・理・地惑)

首都直下のゆっくり地震 発生可能性検討



房総半島で起きているスロースリップは群発地震を伴う
同様に東京湾直下で起きている群発地震は？
(Okutani and Ide, submitted to EPS, 2011)

運営委員会 会議資料

北大 高井伸雄・笹谷 努

運営委員会
平成23年2月21日

平成22年度の研究成果

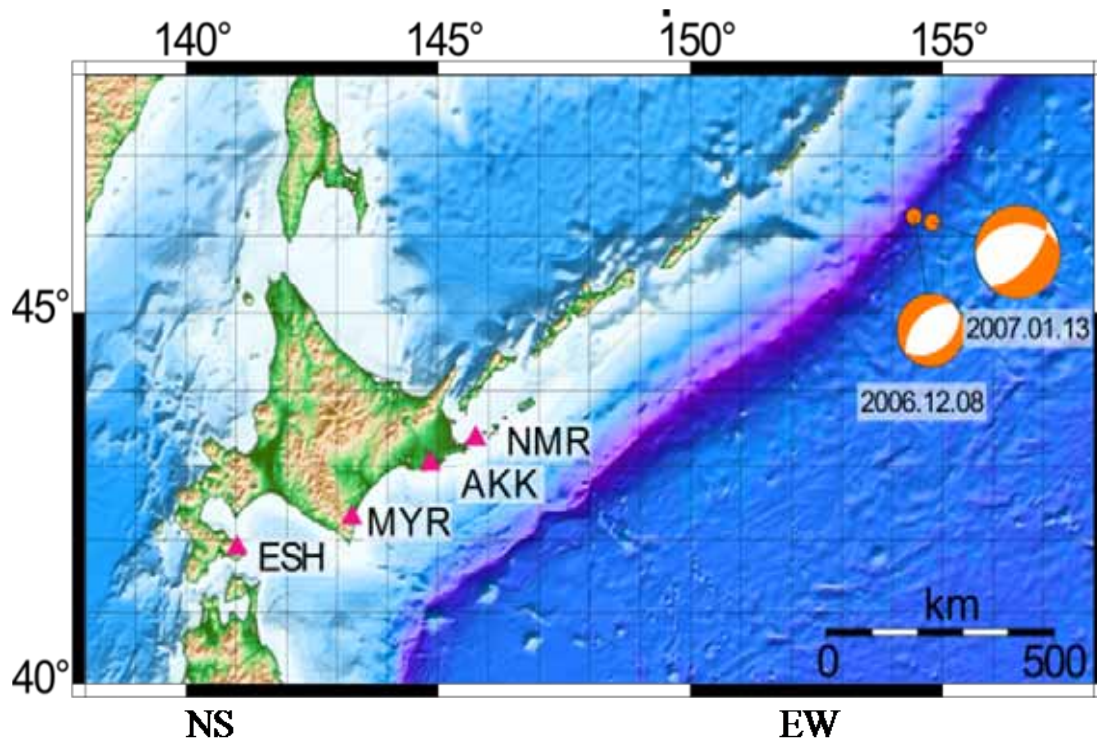
■課題:

- ・千島列島中部で発生した2007年アウターライズ巨大地震 (Mw8.1) の震源モデルの構築
- ・手法: 経験的グリーン関数法

■結果

- ・波形インバージョン結果 (すべり分布) を基にして、6個のSMGA (強震動生成領域) でモデル化した。
- ・震源が浅いにもかかわらず、スラブ内地震と同様に大きな応力降下量を有することがわかった。

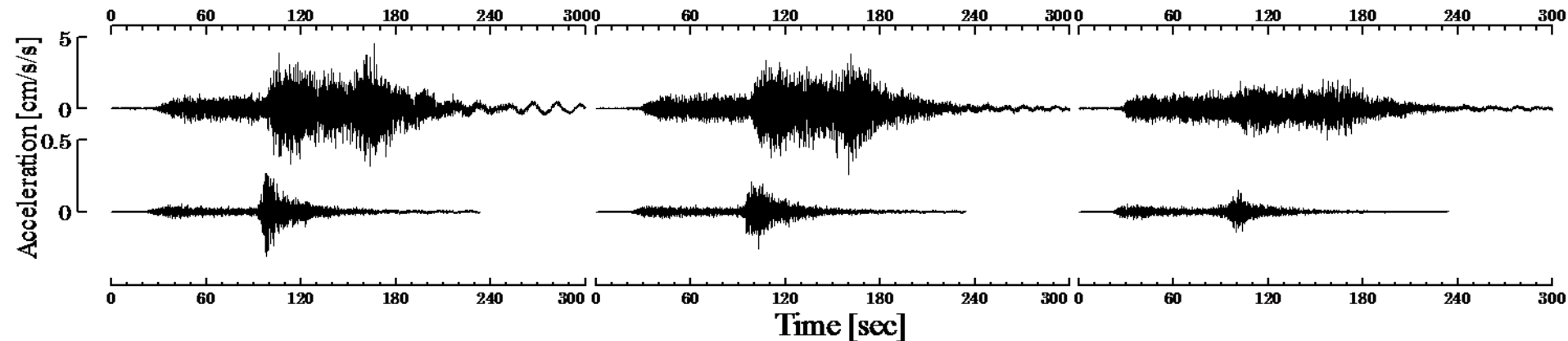
地震の震央、観測点、観測波形の例



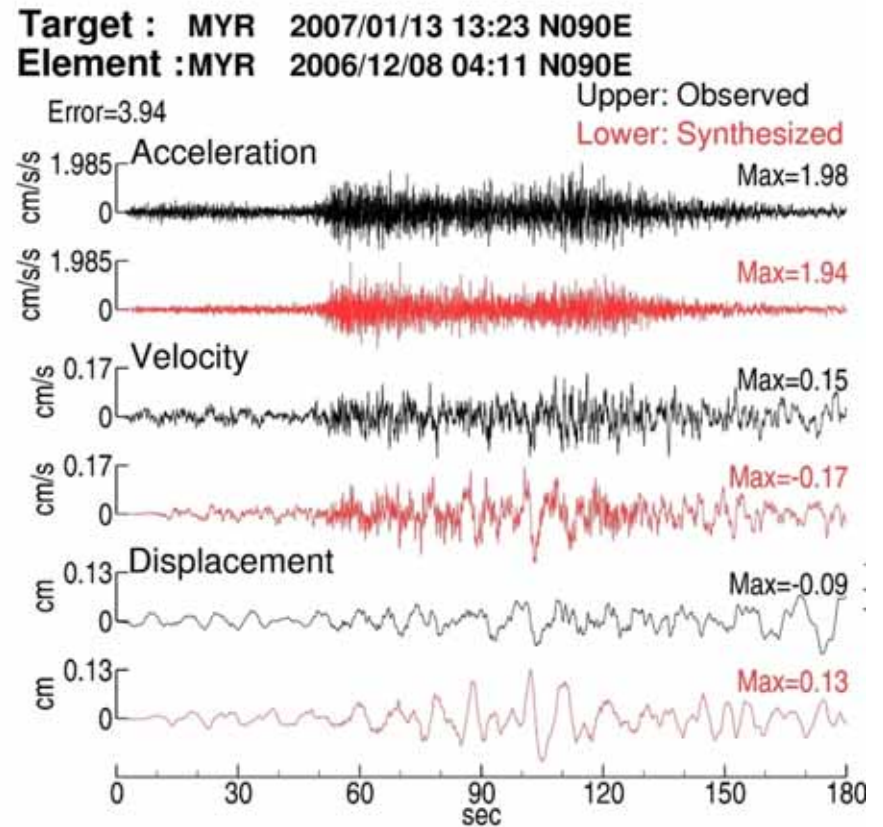
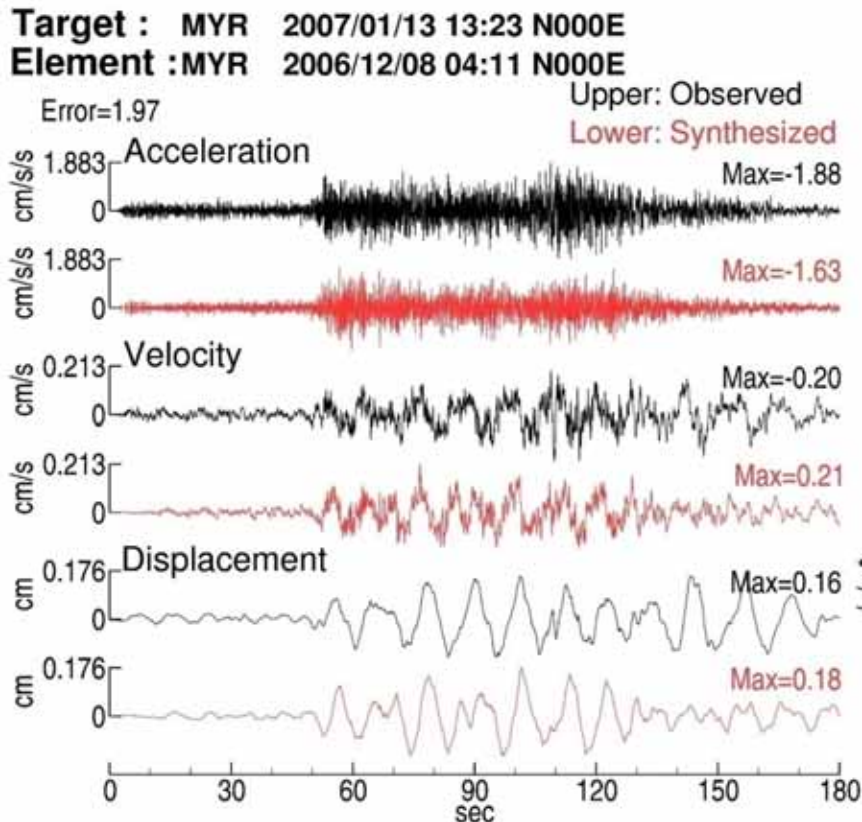
ターゲット地震
2007.01.13, Mw8.1
要素地震(前震)
2006.12.08, Mw6.4

観測波形(NMR):
上:ターゲット地震
下:要素地震

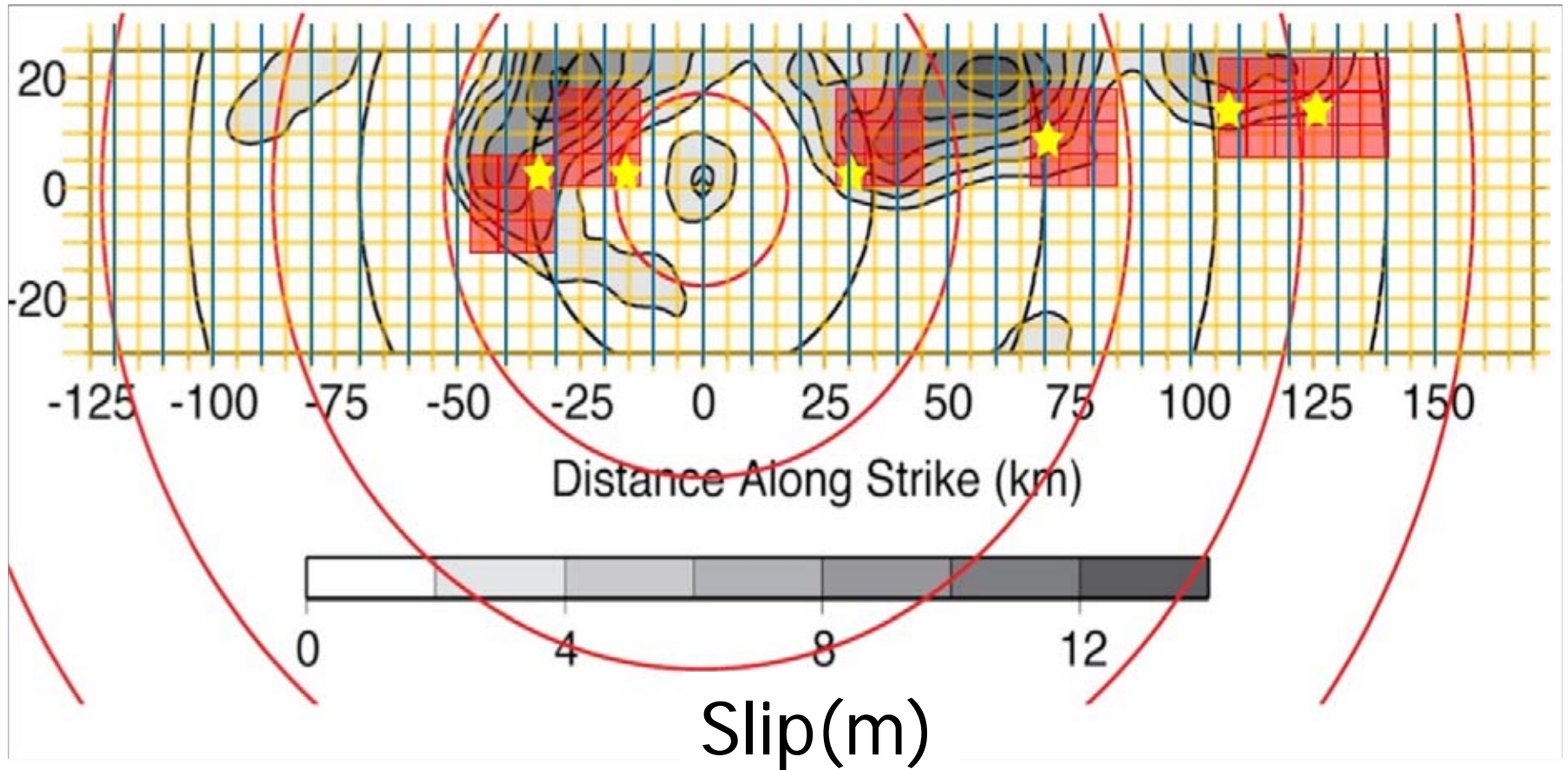
NMR



観測波形と合成波形との比較の一例： MYR観測点



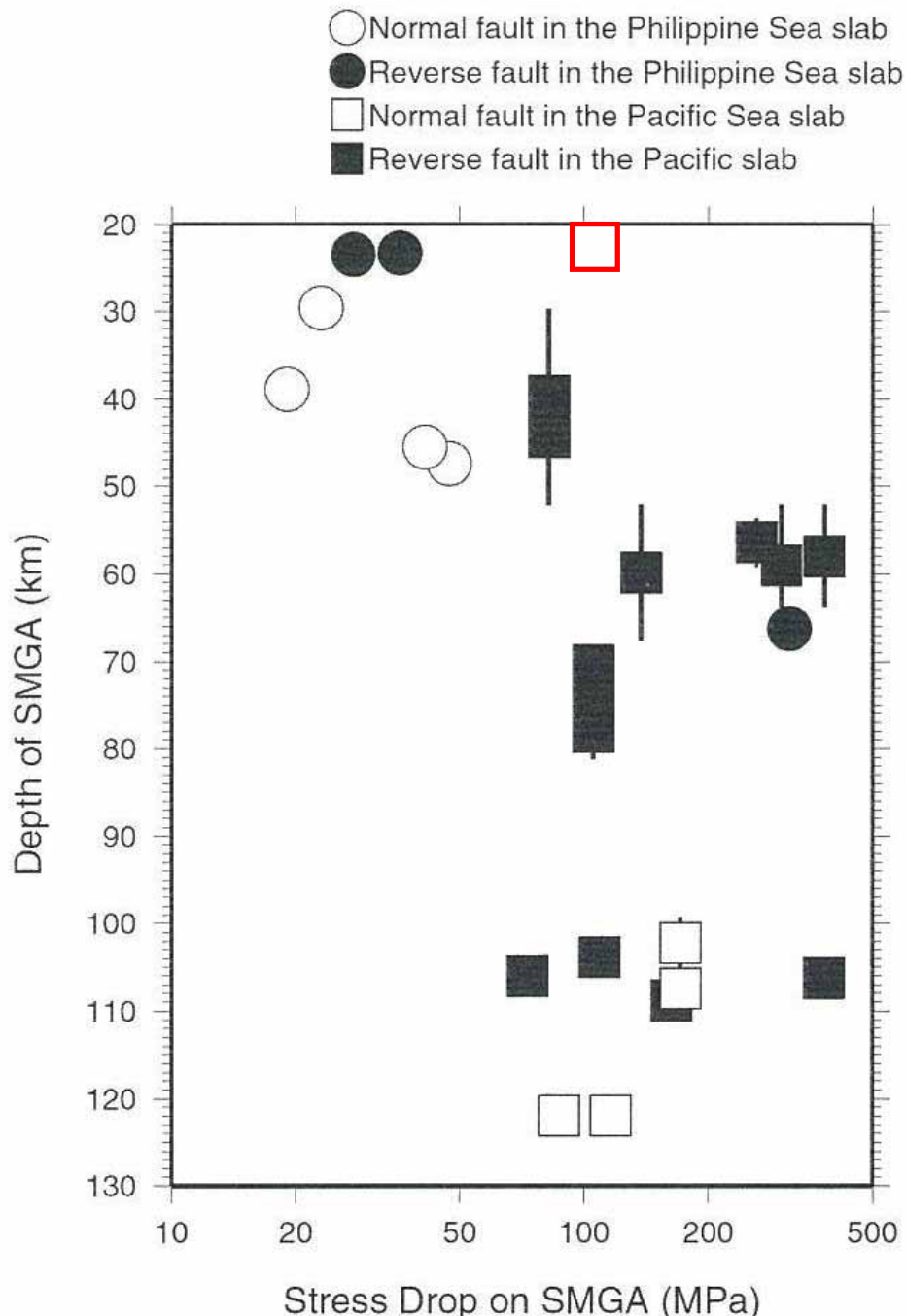
Ammon et al. (2008)によるすべり分布と 得られたSMGAの分布



SMGA、 :破壊開始点、グレースケール:すべり分布、
同心円:破壊フロントのIsochrones ($V_r = 3.5 \text{ km/s}$)。

スラブ内地震
の応力降下量
とSMGA深さと
の関係(浅野・
岩田、2010に
加筆)。

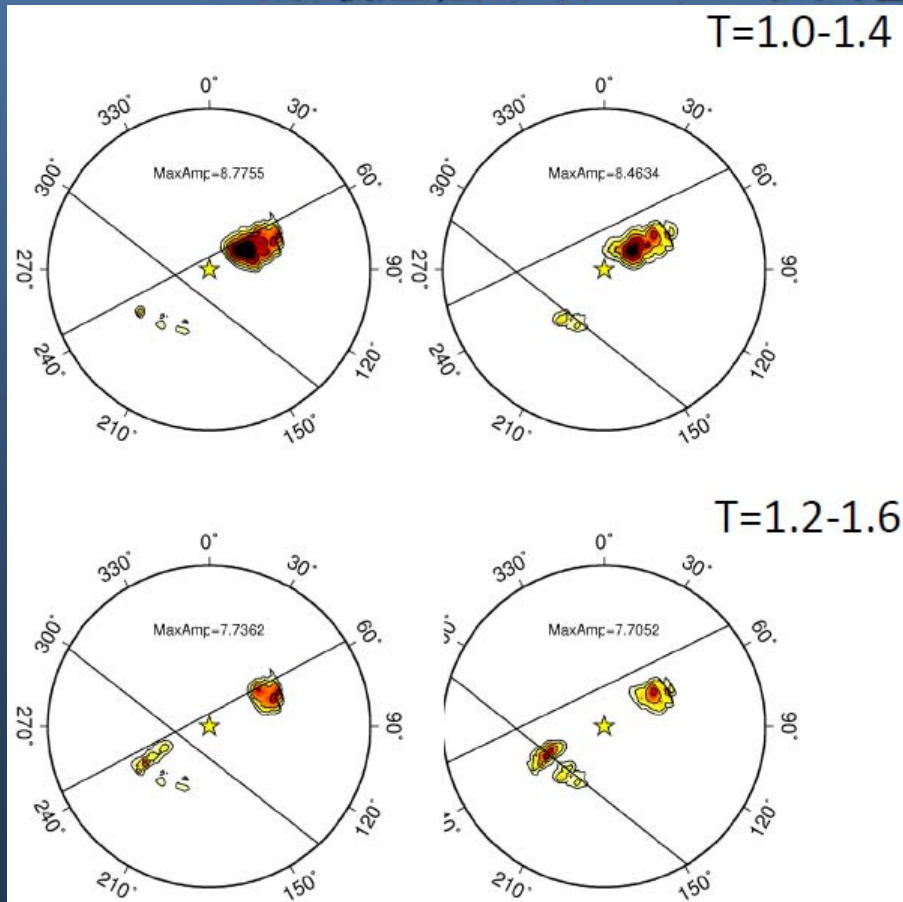
:2007年千
島中部アウ
ターライズ地震



リアルタイム強震動予測(九大・理)

■ H22年度の計画と進捗状況

- 2009年駿河地震のように破壊の初期ステージで断層面が替わる(別の断層面に移る)イベントが存在。ごく最近の稠密観測により明らかになった現象。このようなケースに対応するためP波放射強度の3次元マッピングに基づく破壊過程のイメージング法を開発した。



2009年駿河湾地震

3次元のイメージング(放射強度分布)の水平スライス

左段:震源の1 km上の水平面

右段:震源の3 km上の水平面

NE-SWの実線:1枚目断層(Hi-net初動解)との交線

SE-NWの実線:2枚目断層(F-net CMT)との交線

破壊開始後1.0-1.4 sで2枚目断層の破壊が開始。この開始点は、1枚目断層の上盤側。

リアルタイム強震動予測(九大・理)

■ H23年度の実施計画

- 高速な地震動予測を実現するために必要な高速な地震動シミュレーション法を開発する。本方法の特徴は、震源サイトと観測点サイトの構造の違いを考慮でき、PC単体でも計算可能。
- 最終年度にあたり、これまでの成果をまとめる。

相模トラフ沿いのアスペリティの解明(鹿児島大・理)

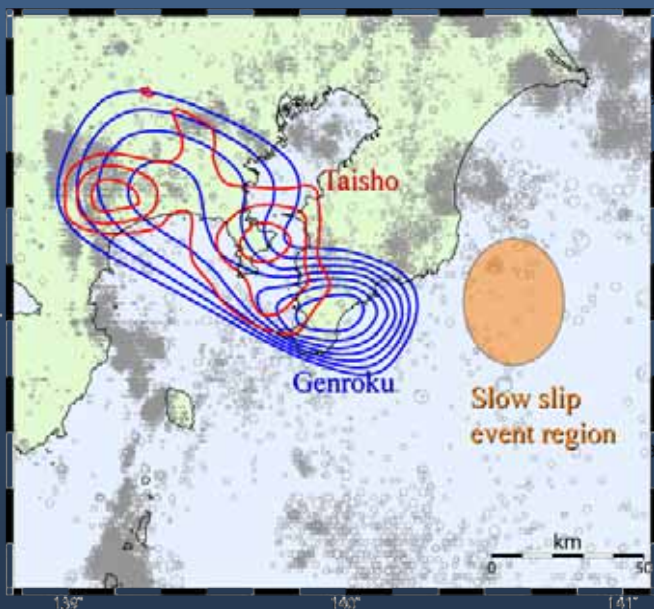
■ これまでの成果

- 関東地震・元禄地震に対する, 曲面状の断層面でのインバージョン手法の開発.
- 既存のフィリピン海スラブ上面の形状モデルを統合し, 解析のための断層面形状モデルを作成.
- 関東地震と元禄地震の測地学的データに対するインバージョンを行い, 滑り分布を得た(暫定的、改善の余地あり).

大大特 のプレート面上の
関東地震のすべり分布

曲面断層上における1923年関
東地震のすべり分布(測地)

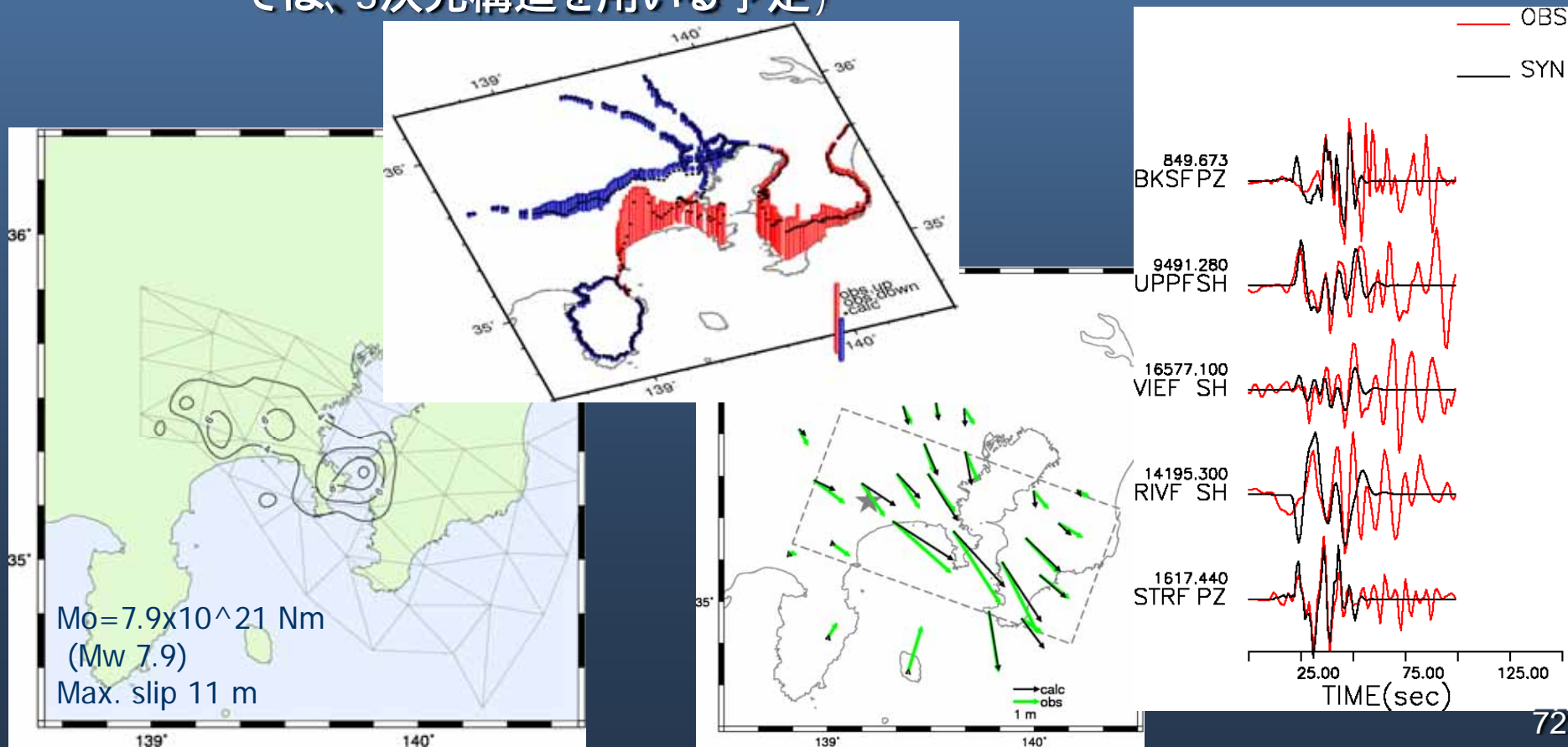
曲面断層上における1703年元
禄地震のすべり分布(海岸段丘)



相模トラフ沿いのアスペリティの解明(鹿児島大・理)

■ H22年度

- 曲面状断層面での測地・地震データの同時インバージョンの手法の確立
 - 1923年関東地震に対する、測地データ+遠地地震波形データでのインバージョン(小断層分割がまだ粗いので、予備的な結果)
 - 今後近地地震波形データも合わせて解析する予定(本郷観測点においては、3次元構造を用いる予定)



相模トラフ沿いのアスペリティの解明(鹿児島大・理)

■ H23年度の実施計画

■ 断層面形状モデルの再検討

- 千葉大、JAMSTECの最近の成果→海山の存在の示唆
- 地震研での相模湾～三浦半島の調査の反映

■ 求められた滑り分布に関する議論

- 沈み込んだ海山との関係
- スロー・スリップ・イベントの滑り分布との相補関係
- 滑り欠損分布、プレート間カップリングとの比較
- 反射法探査における反射強度や地震波トモグラフィーのポアソン比との比較
- 伊豆小笠原島弧の前弧の地形、構造等との関係(とくに海山および蛇紋岩ダイアピルとの関係)