

(1) b プレート構造・変形過程と地震発生過程の解明

b 1. 構造探査とモデリングに基づくプレート構造・変形過程と地震発生過程の解明

(東京大学地震研究所)

首都圏の伏在活断層を地下構造探査によって明らかにし、地殻上部の震源断層モデルを作成する。現実的なレオロジーモデルに基づく粘弾性数値モデルを作成し、2011年東北地方太平洋沖地震後に、震源断層に作用する応力を求め、地震発生予測の高度化をはかる。

プレート構造・変形過程と地震発生過程の解明

都心部の
伏在活断層調査

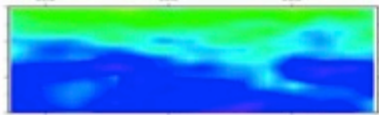


震源断層モデル

統合地殻活動モデルの構築

レオロジーモデル

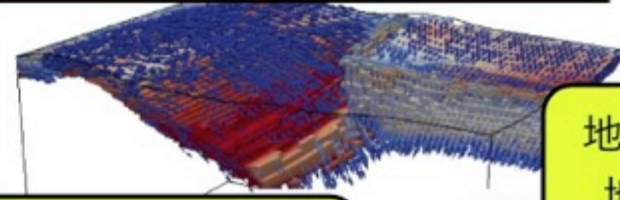
関東下の構成岩石モデルの構築
(横浜国立大学)



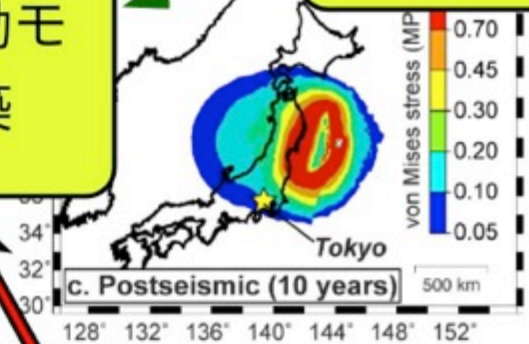
地震波トモグラフィ



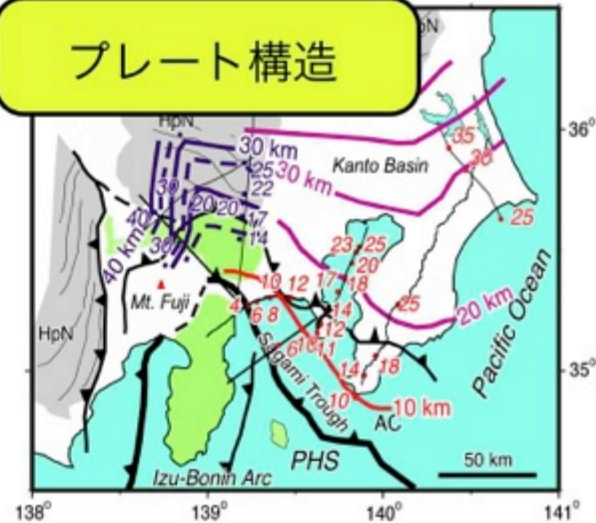
高温・高圧下での弾性波速度の測定

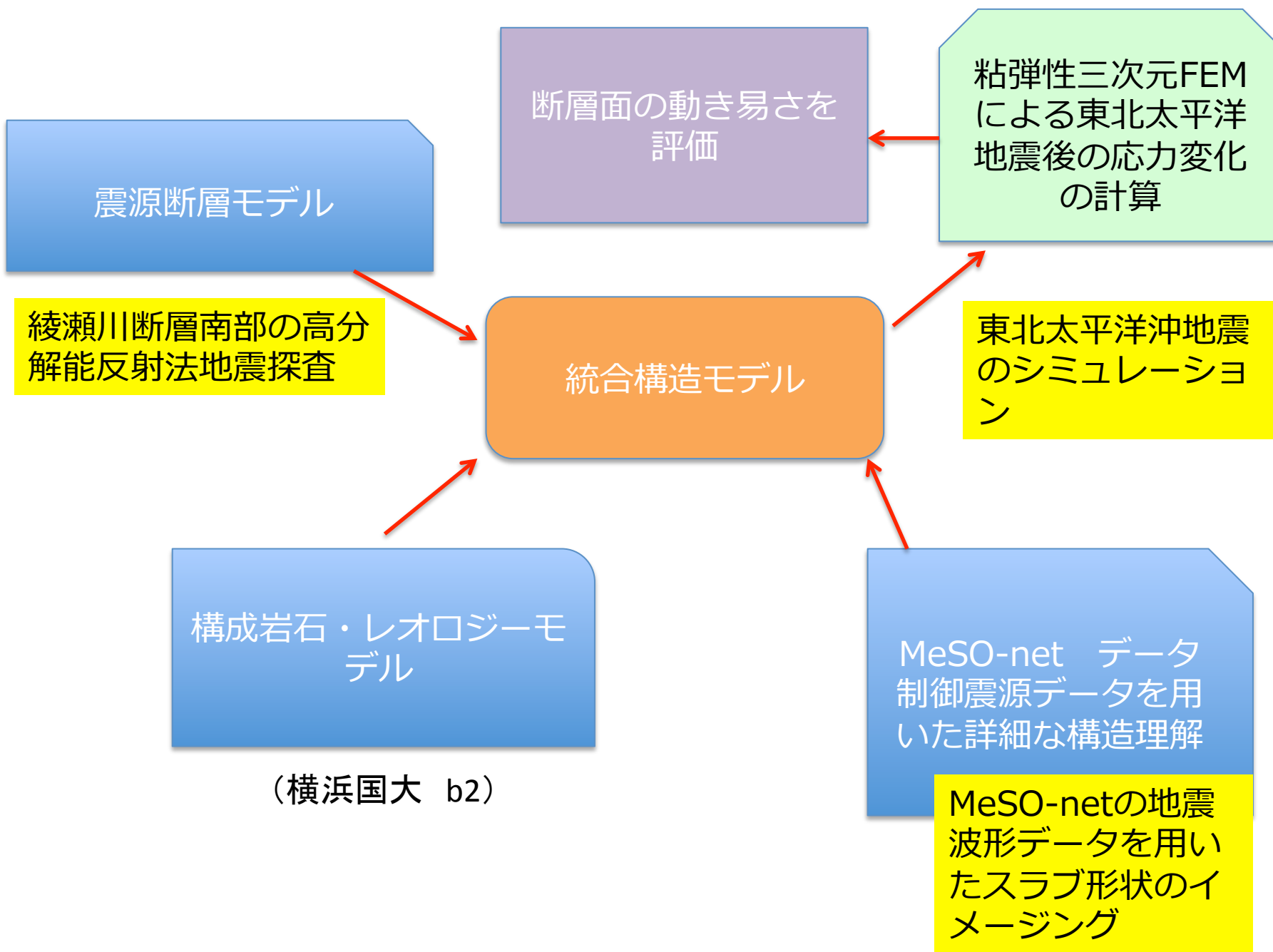


地殻変動・
地震活動



プレート構造





(横浜国大 b2)

H25の研究概要

- ・ 綾瀬川断層南部を横切る反射法地震探査を実施し、断層モデルを作成する。
- ・ 東日本の構造モデルを作成し、三次元粘弾性有限要素法により平成23年東北地方太平洋沖地震後の余効変動・応力変化を求め、観測されたデータと比較し、既存弱面に作用するクーロン応力を求める。

(1) 震源断層モデル 調査対象断層



浅層反射・変動地形調査と既存測線の再解析を実施し、形状と活動性を解明

H25 綾瀬川断層南部
- 推進本部は南部は活断層ではないと評価したが、活断層の可能性大

H26 武蔵野台地東縁 (和光-戸田)
- 活断層が伏在している可能性

H27 武蔵野台地東縁 (都心部)
- 活断層が伏在している可能性

H28 秦野-横浜沈降帯
- 段丘面の褶曲変形のみ、活断層が伏在している可能性大

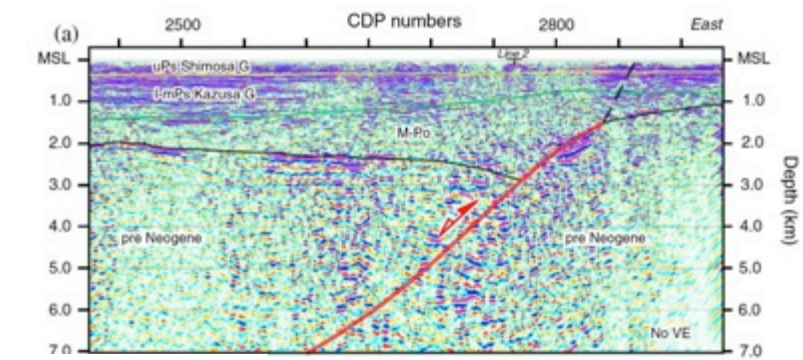
石山ほか (2011) 首都直下報告書に加筆

(1) 震源断層モデル 関東平野に伏在する活断層： 北関東測線の例

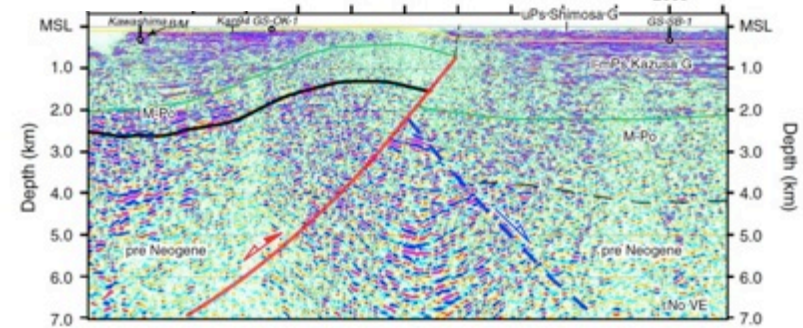


青線：既存の深部構造探査測線

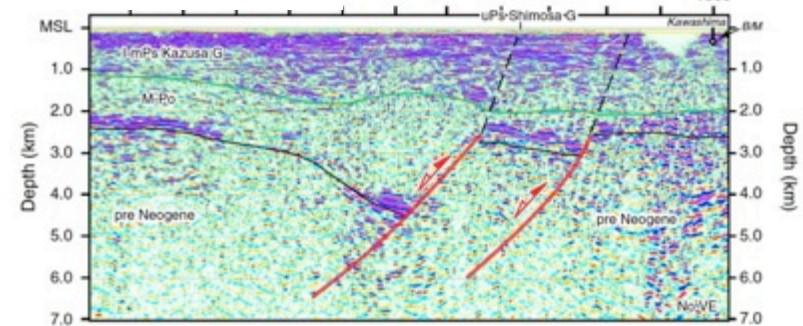
深部構造探査断面と周辺の地質・深井戸を対比することにより、伏在断層の分布や構造が明らかになってきた



野田隆起帯

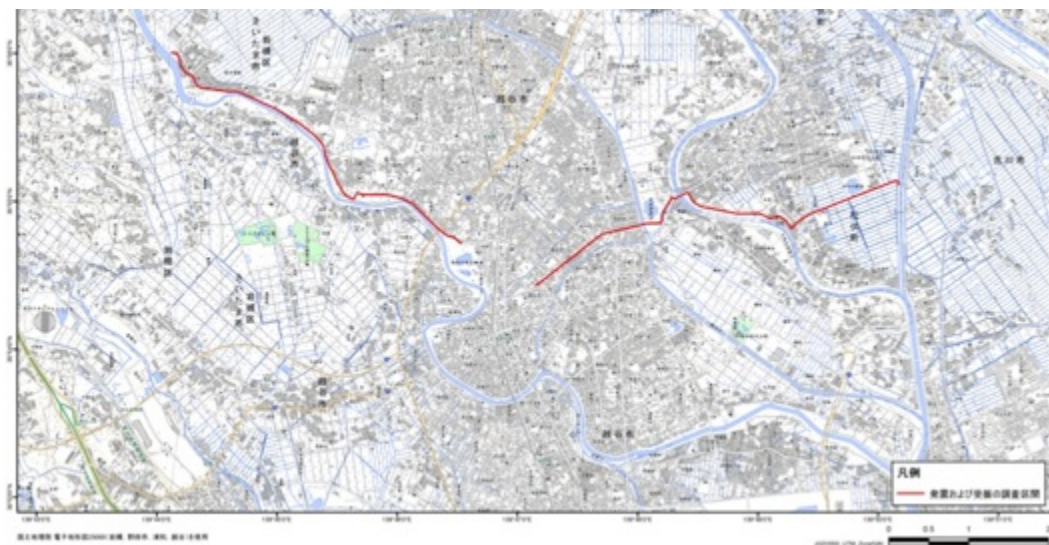


綾瀬川断層北部



荒川沈降帯

H25年度 綾瀬川断層南部の高分解能反射法地震探査



(上) エンビロパイプを使用した都市部での発振作業



(下) 昨年度導入したポータブル独立型レコーダーGSRの展開

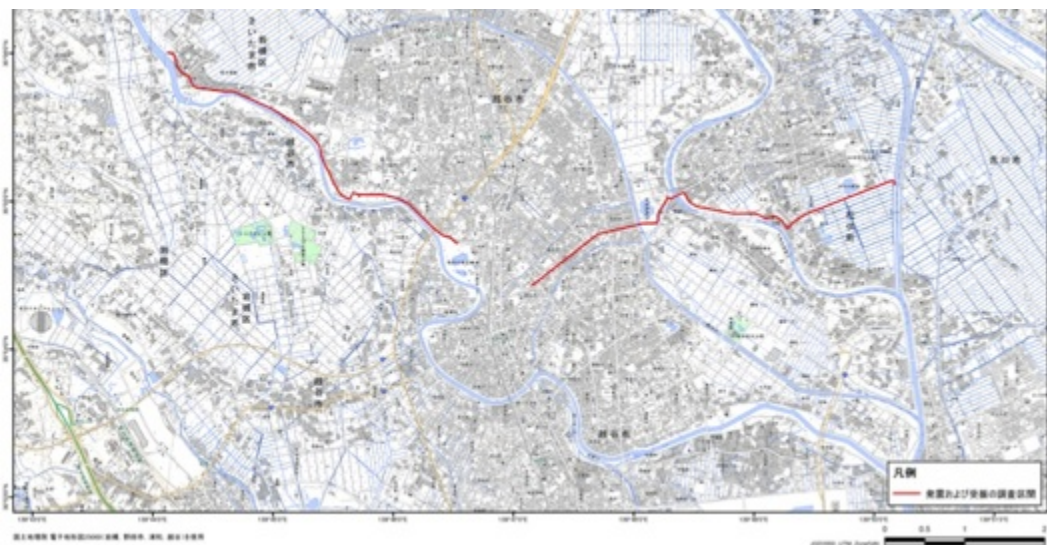
・ H24年度：既存断面と変動地形を再検討
→綾瀬川断層南部において、既存の断面（埼玉県活断層調査、大大特北関東測線など）に見られる変形帯直上に、最終間氷期の段丘の撓曲崖が認められることを確認

・ H25年度：稠密発振・受振（10m）固定展開・中型パイプロ震源を用いた高分解能反射法地震探査を実施（測線長約5km*2本）

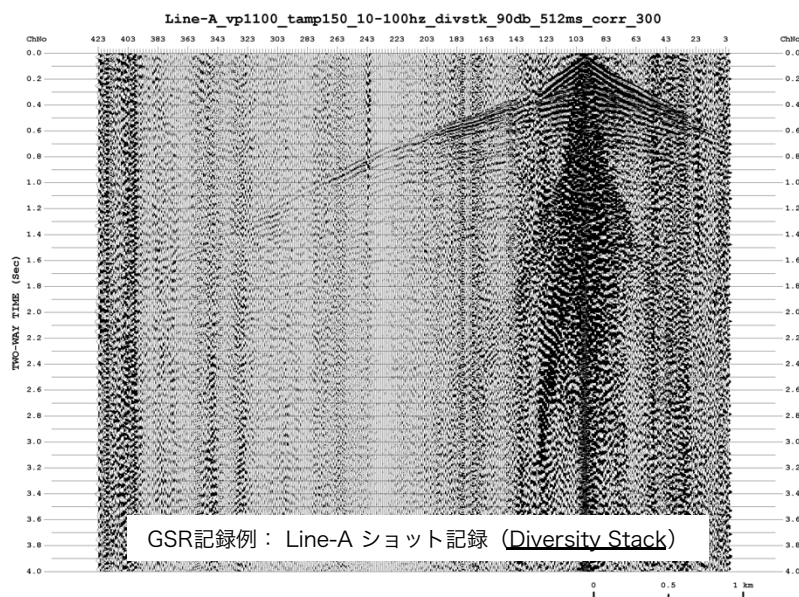
H25年度 綾瀬川断層南部の高分解能反射法地震探査



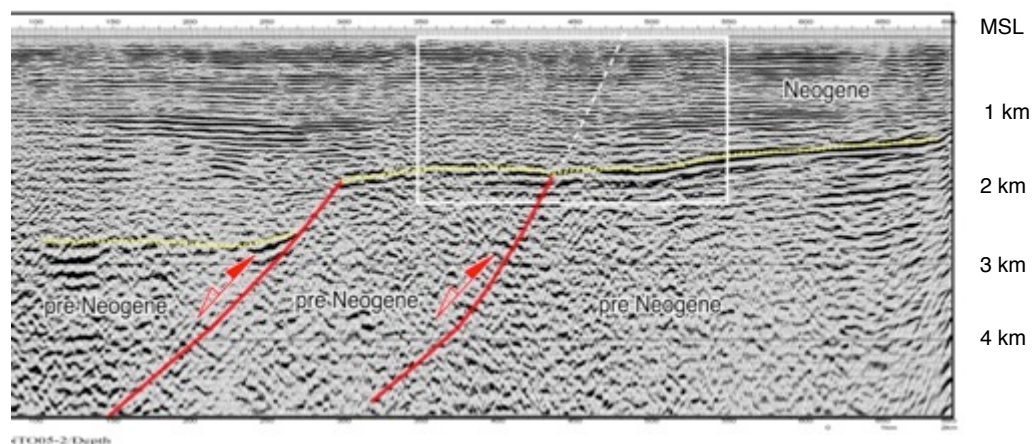
綾瀬川断層南部



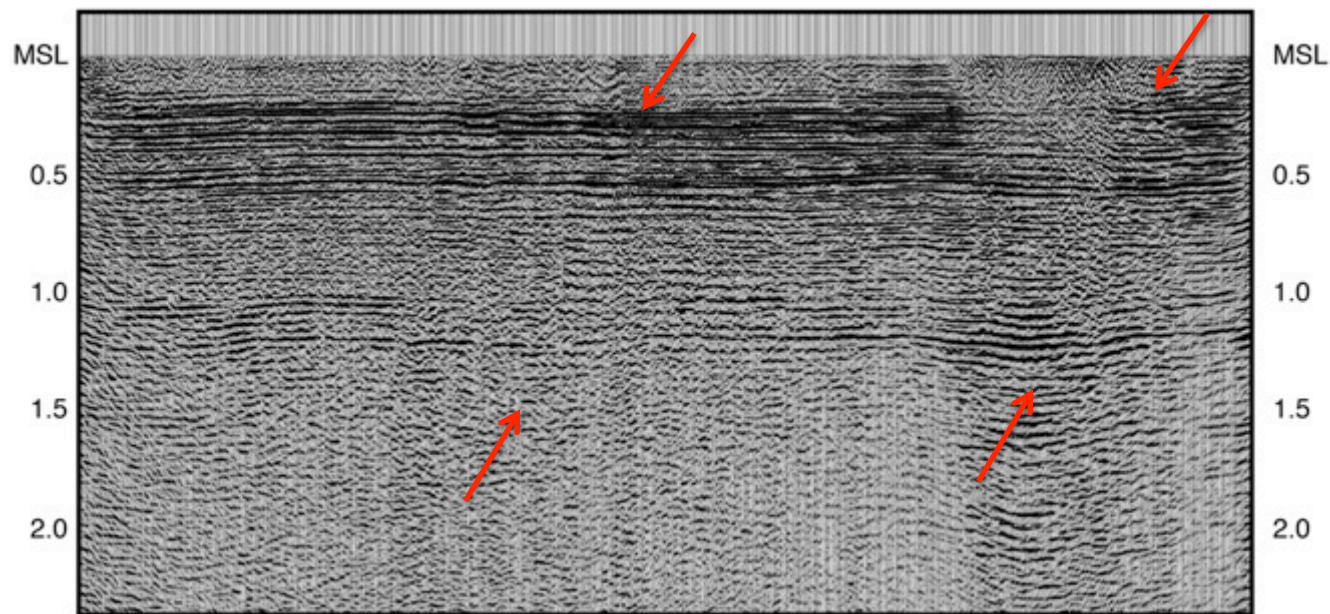
- ・ H24年度：既存断面と変動地形を再検討
→綾瀬川断層南部において、既存の断面（埼玉県活断層調査、大大特北関東測線など）に見られる変形帯直上に、最終間氷期の段丘の撓曲崖が認められることを確認
- ・ H25年度：稠密発振・受振（10m）固定展開・中型パイプロ震源を用いた高分解能反射法地震探査を実施（測線長5km*2本）



H25年度 綾瀬川断層南部の高分解能反射法地震探査



大大特 大宮-野田測線 深度断面 No VE



Line B 深度断面 (No vertical exaggeration)

- ・解析の結果、鮮新・更新統（上総層群）を緩やかに変形させる伏在断層

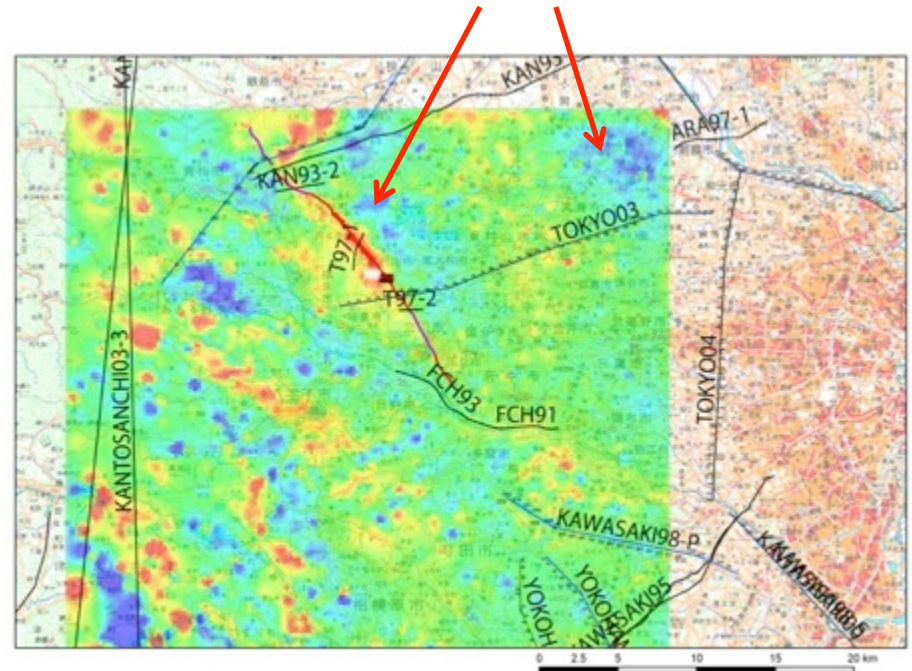
- ・変形が微弱かつブロードなため、ごく最近の活動性に関するデータを得ることは困難

断層モデル (平成25年度版)



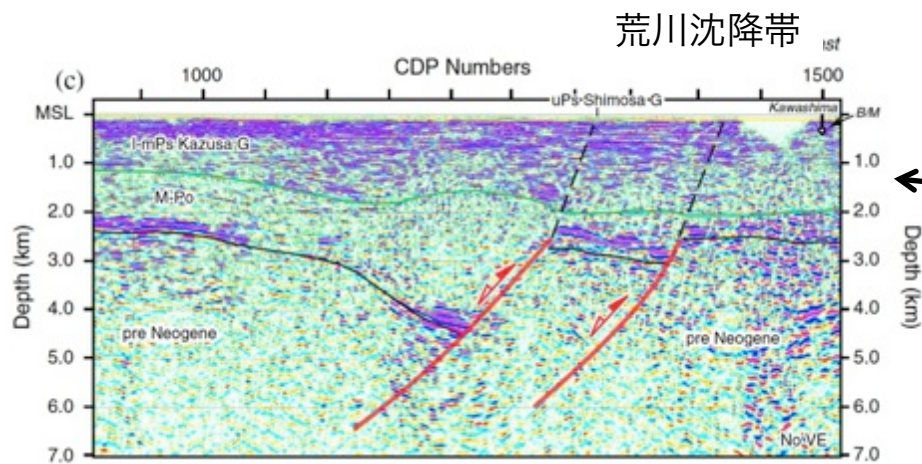
断層モデル（矩形、下端深度15km、上端深度・形状は深部構造探査の結果による）に基づいてモデリングを実施

ブーゲー重力異常の一次微分（短波長成分）による低密度層（半地溝充填堆積物）の検出 首都圏広域でH25-26に実施

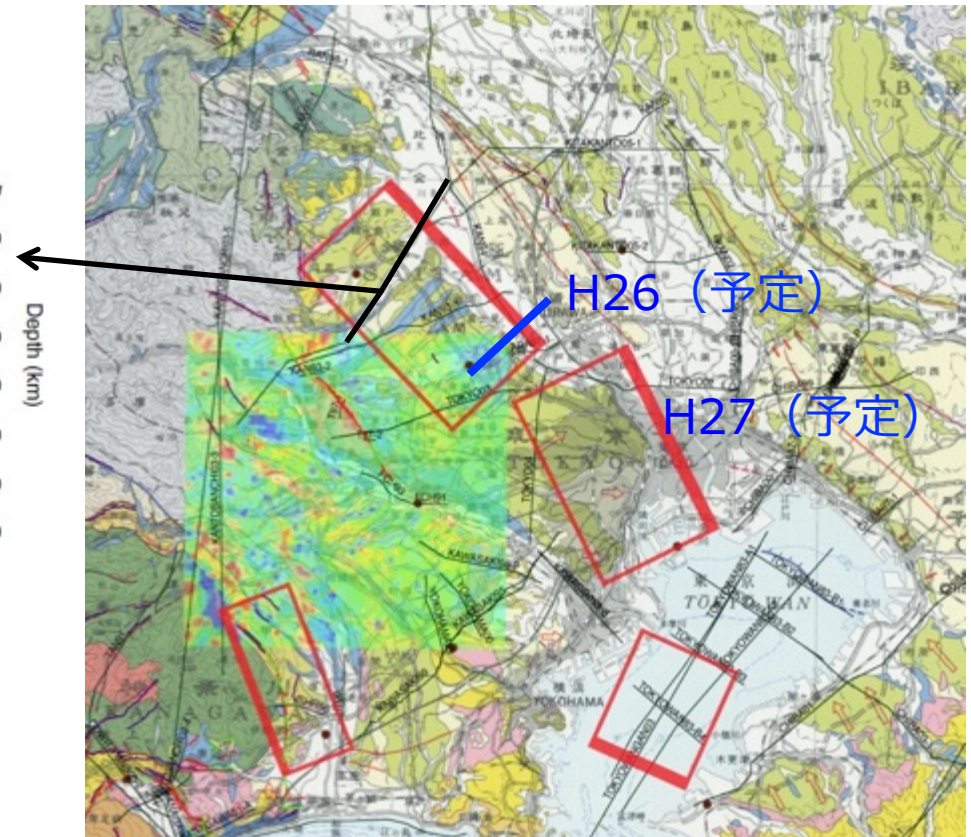


H26年度の計画（1）断層モデル

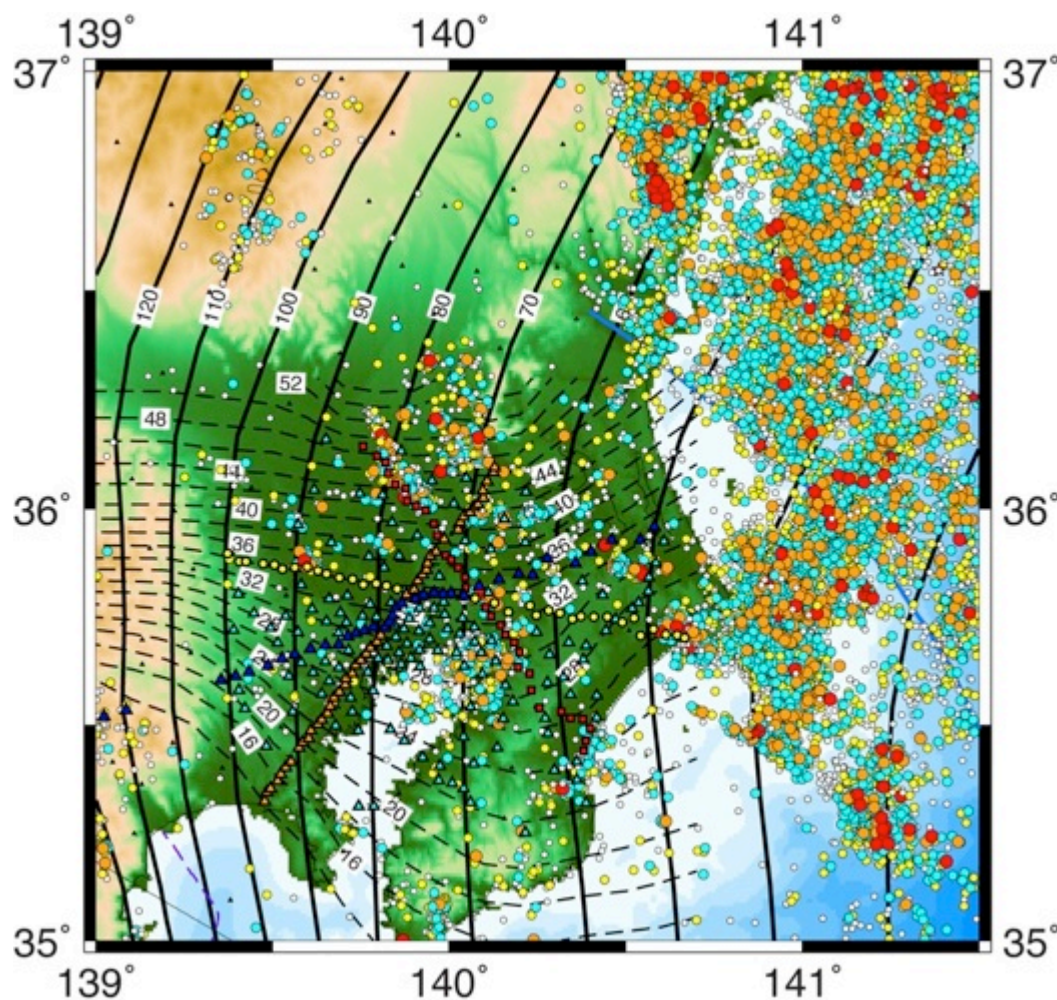
首都圏の断層モデルの高度化のため、武蔵野台地北東縁で反射法地震探査などの変動地形・地球物理学的な調査を実施する。



Ishiyama et al., 2013, GRL



MeSO-net の地震波形データを用いたフィリピン海および太平洋プレートのイメージング



目的:

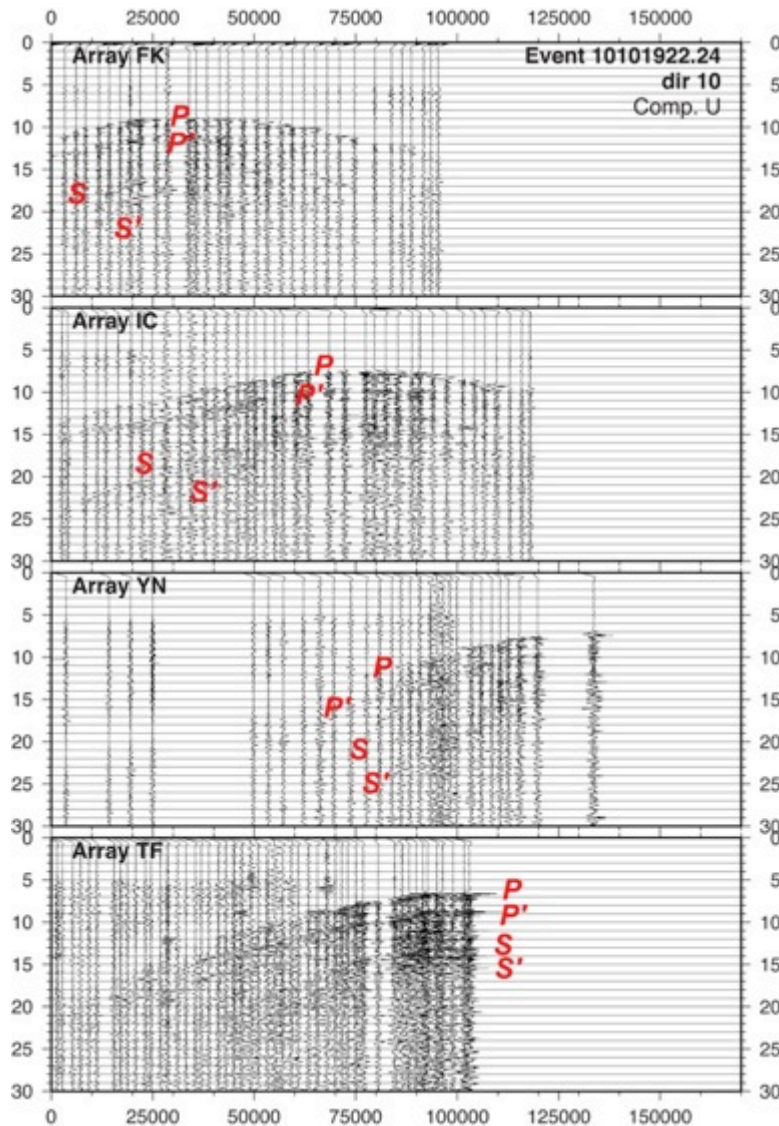
- (1) MeSO-net の観測データを用いて、フィリピン海プレートの深さと形状を改良する。
- (2) スラブ境界や内部の物性についての情報を抽出する。
- (3) 同様の情報を太平洋スラブについても探し出す。

Method:

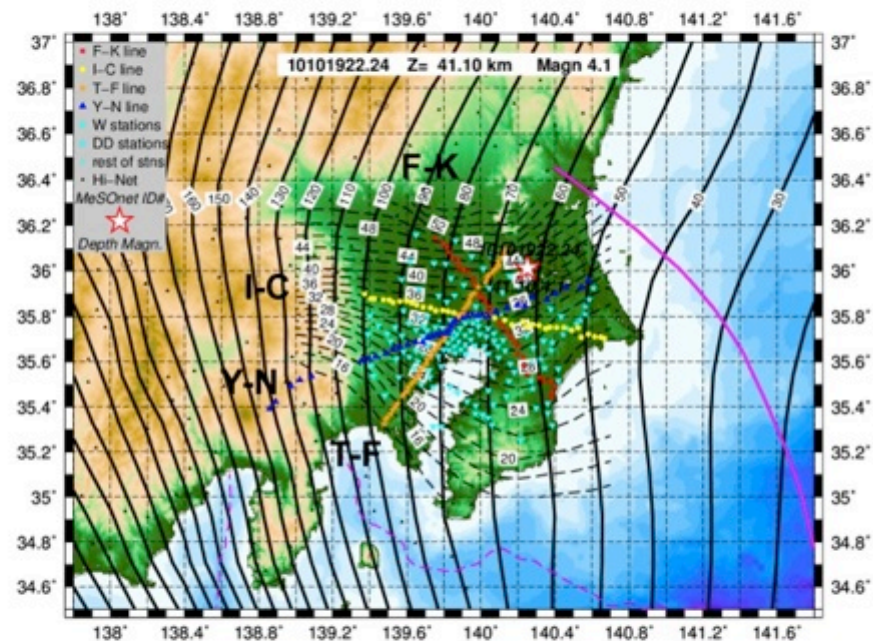
- (A) 反射波・屈折波、P波およびS波の変換波などの後続波に着目。
- (B) MeSO-net のデータを、マルチチャンネル反射法地震探査の概念と方法により解析。
- (C) 解釈の妥当性の検討のため理論波形を計算。速度構造と形状を改良するためにも、有効。

太平洋プレート Hirose (research web site).
フィリピン海プレート ERI (MeSO-net group).

MeSO-net で観測された地震波形: M4.1, 深さ 41.1 km 2010.10.19
22:24



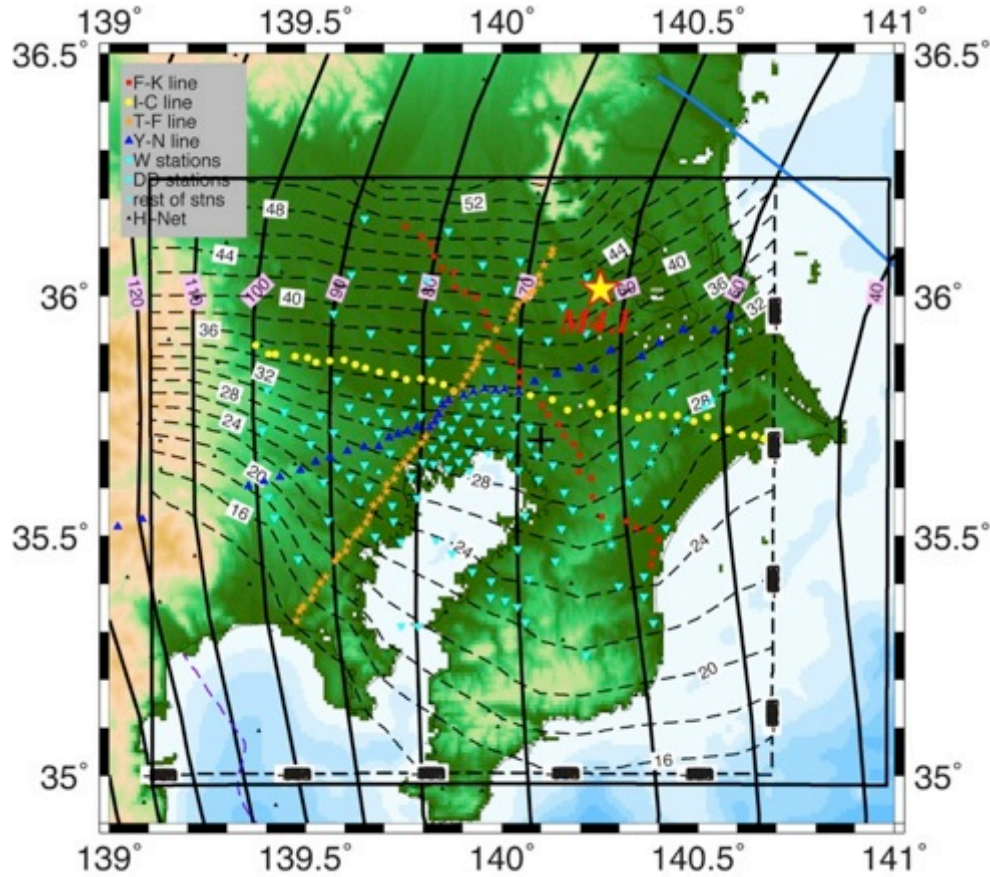
震源はPHSの地殻内



P' と S' は、スラブ内からの反射と解釈される。
スラブの内部構造や反射特性についての情報を
読み取れる可能性がある。

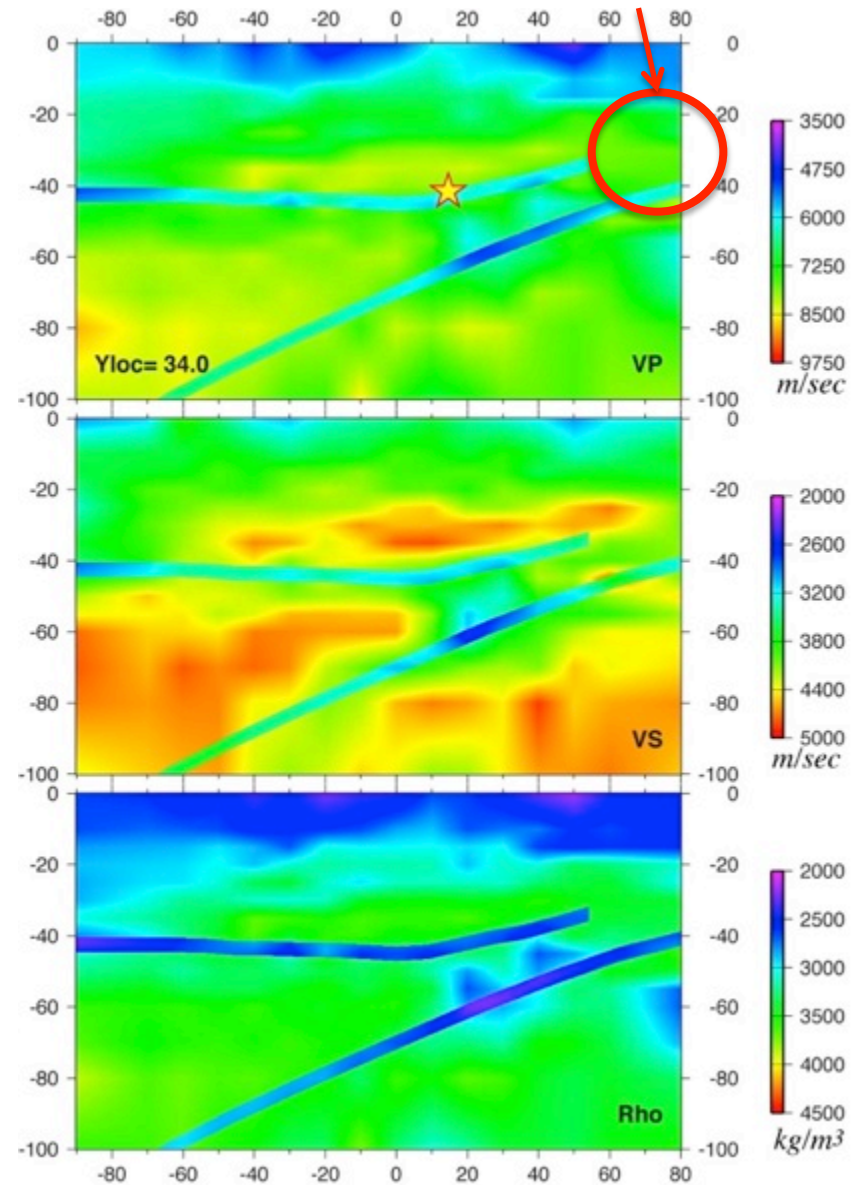
MeSO-net 内の地震を用いた理論波形の計算

三次元弾性体モデルを構築
地震研 MeSO-net グループのトモグラフィと
PHS上面の形状
PACの形状(広瀬)



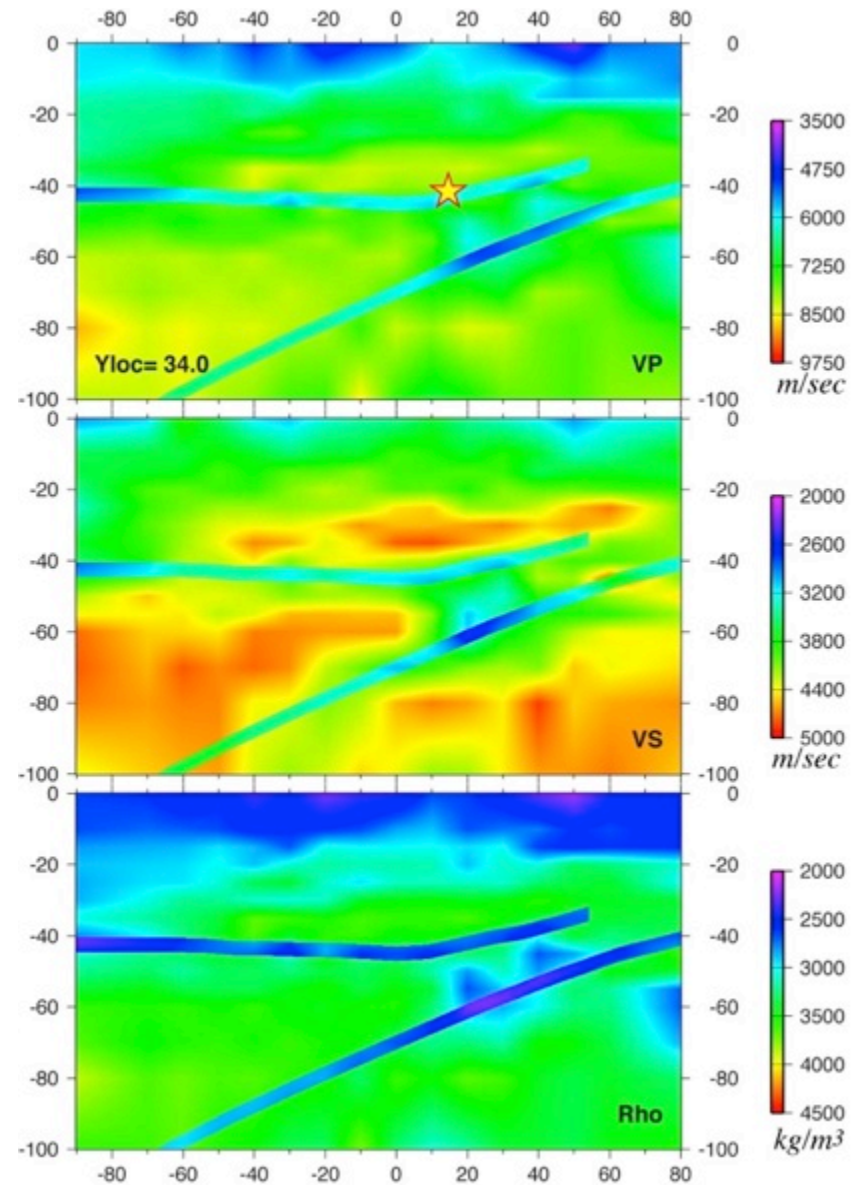
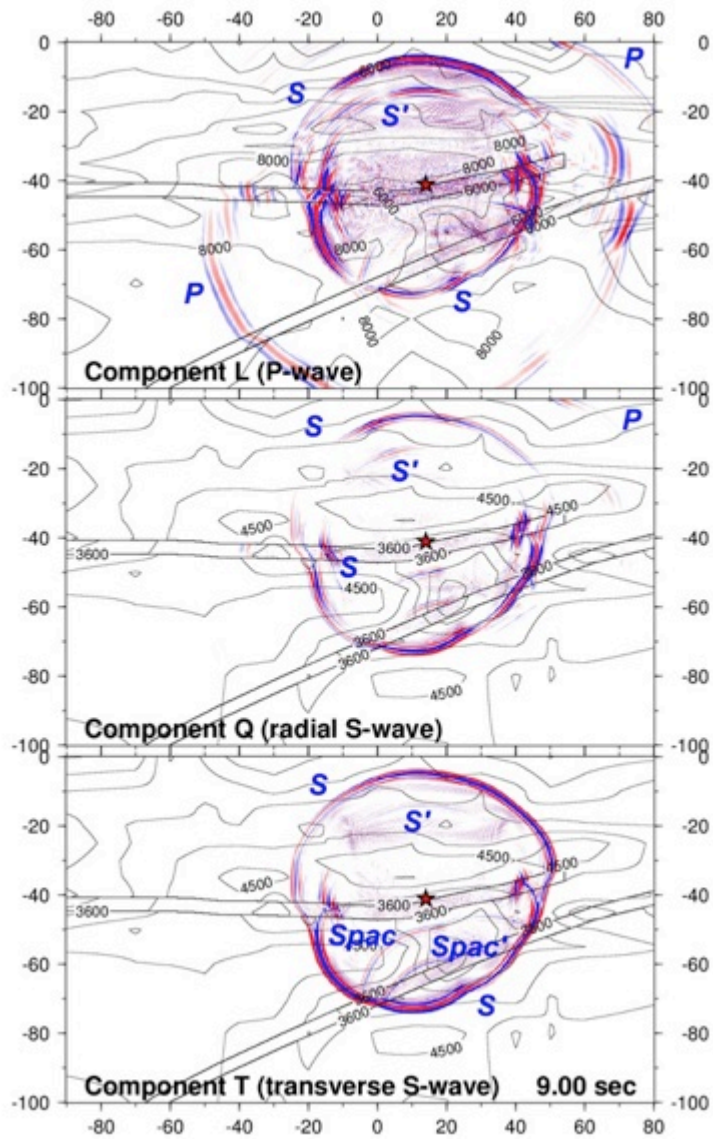
M4.1, depth 41.1 km 2010.10.19 22:24

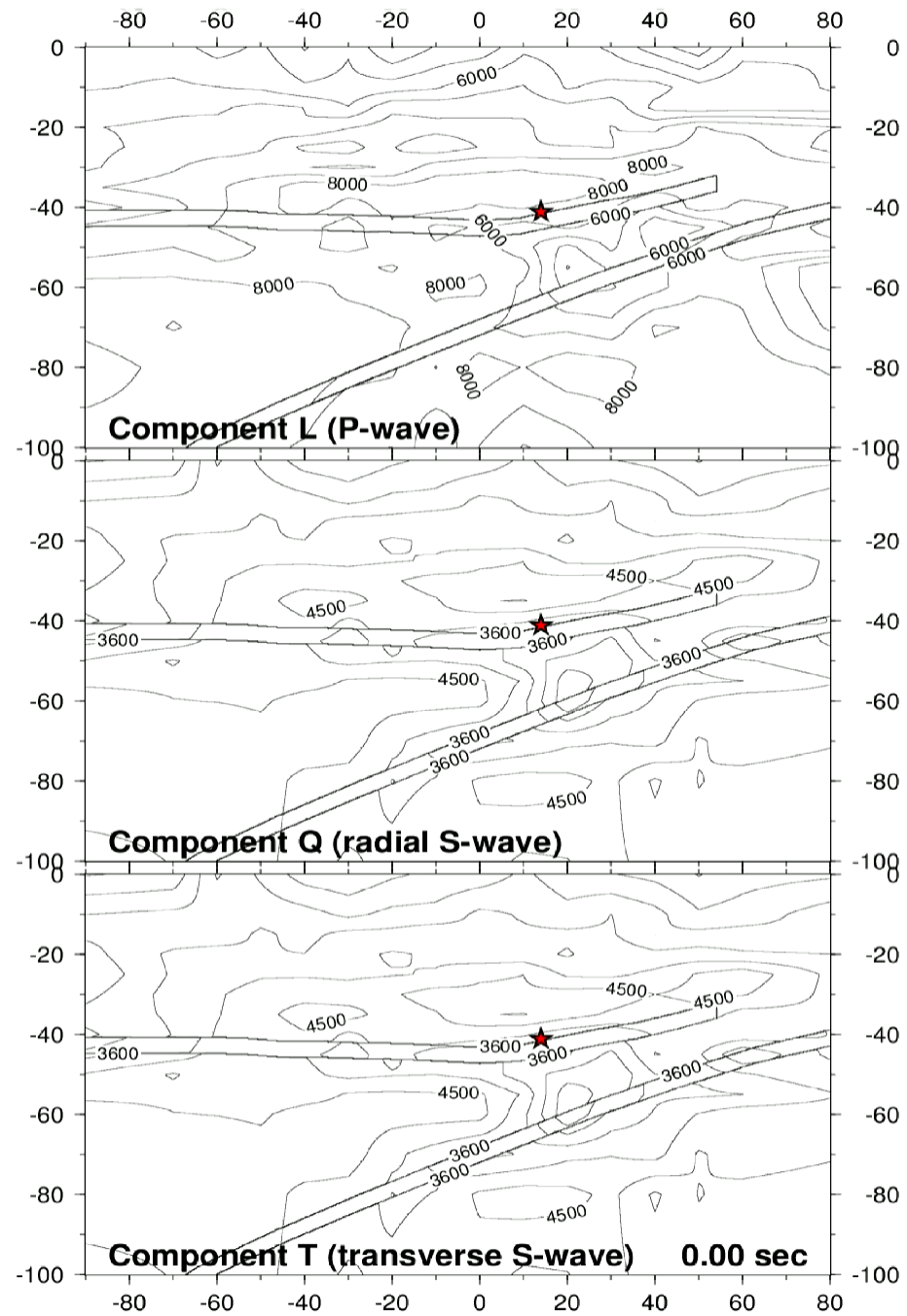
ERIモデルでは
作図範囲外



MeSO-net 内の地震を用いた理論波形の計算

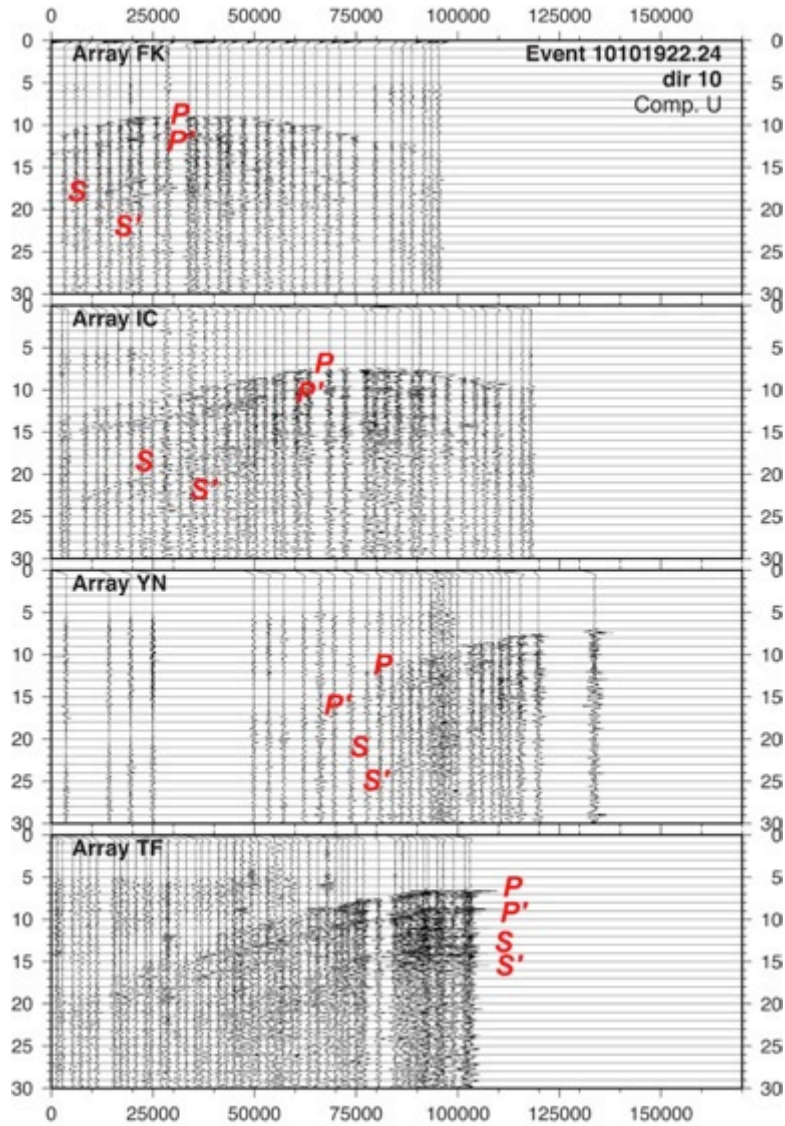
三次元有限差分法による



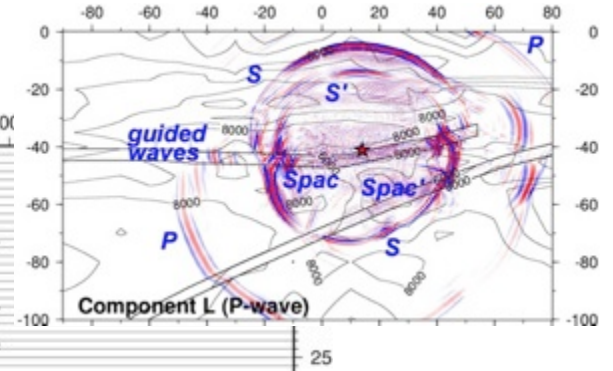
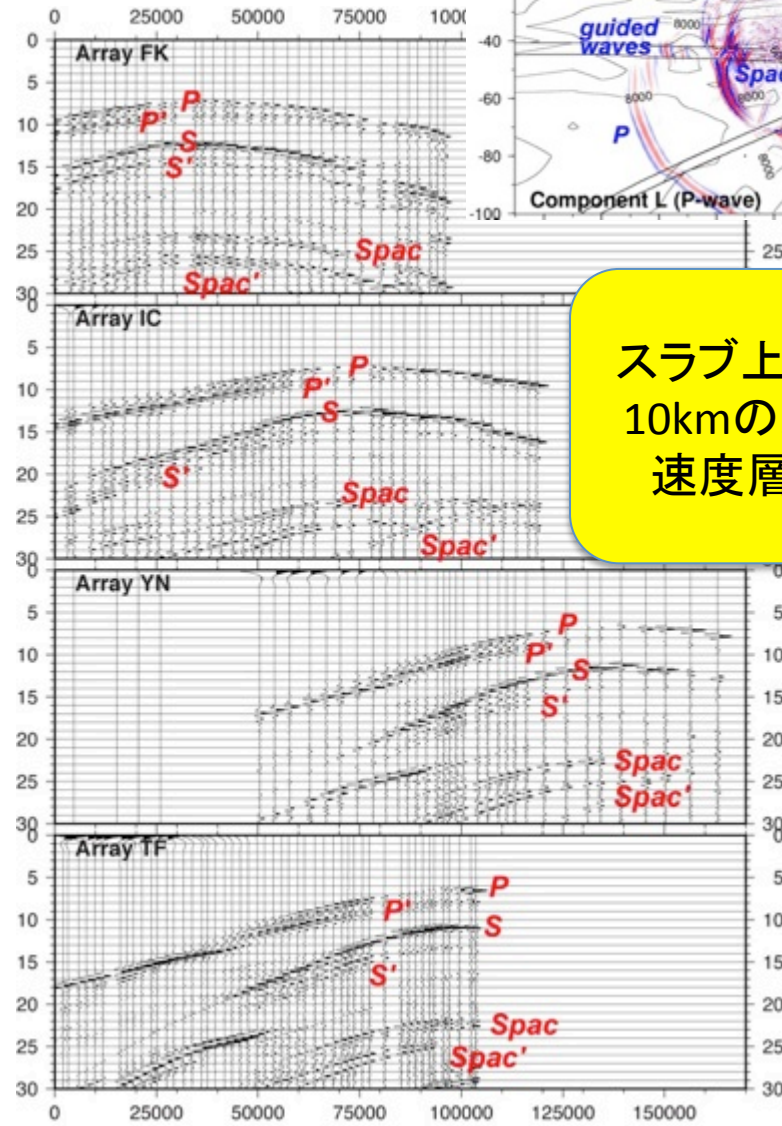


観測波形と理論波形の比較

M4.1, depth 41.1 km, 2010.10.19 22:24



理論波形

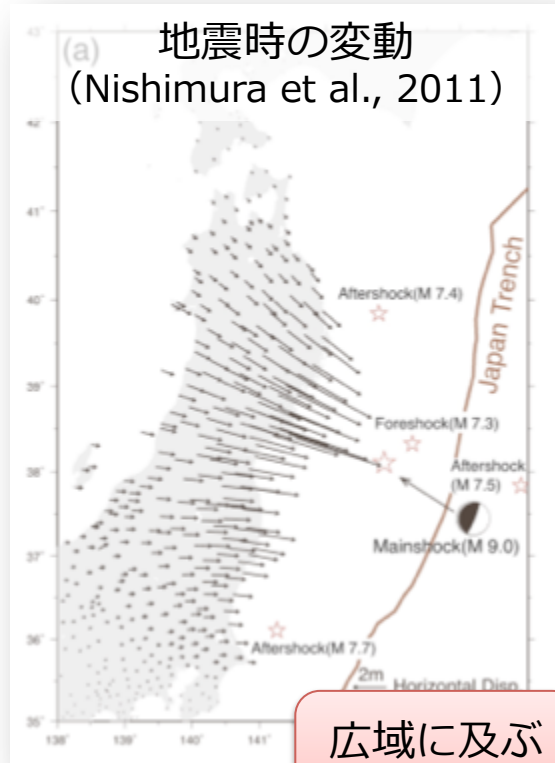


スラブ上面に厚さ
10kmの20%の低
速度層を仮定

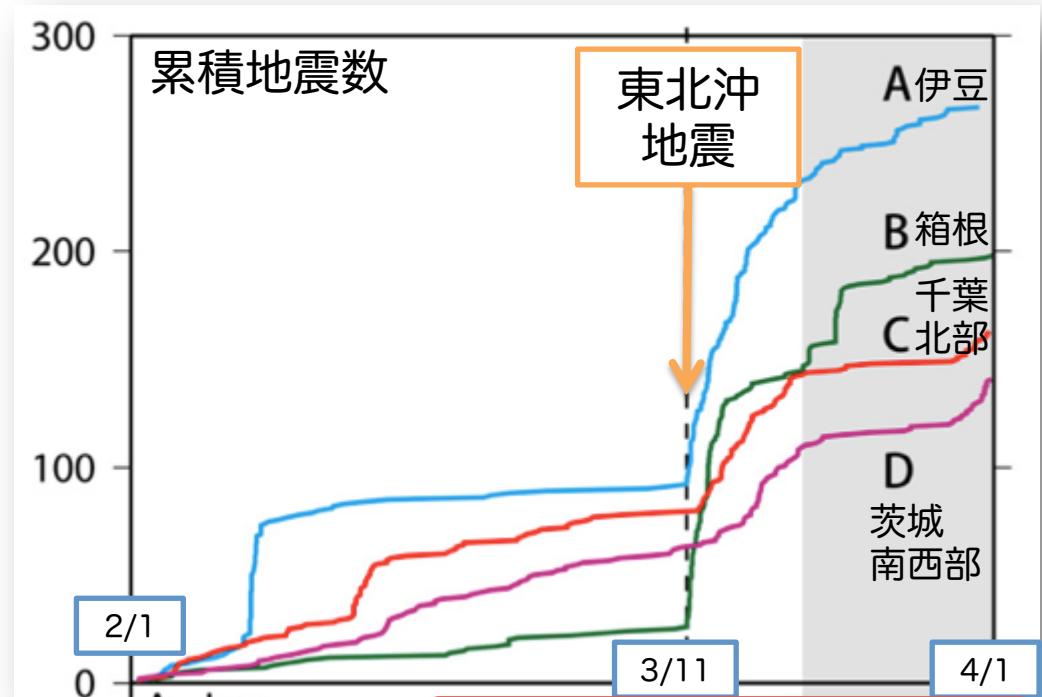
•• 不一致は、速度構造やスラブ形状の変更が必要なことを示している。

(2) 有限要素法 (FEM) による2011年東北沖地震に伴う関東地方の応力変化のシミュレーション

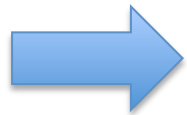
2011年東北沖地震による地殻変動と地震活動



広域に及ぶ
大きな変形



東北沖地震後に地震発生の頻度が増加 (e.g. Ishibe et al., 2011; Toda & Stein, 2013)



今後の首都圏の地震活動は?

力学的手法 b

統計学的手法 d

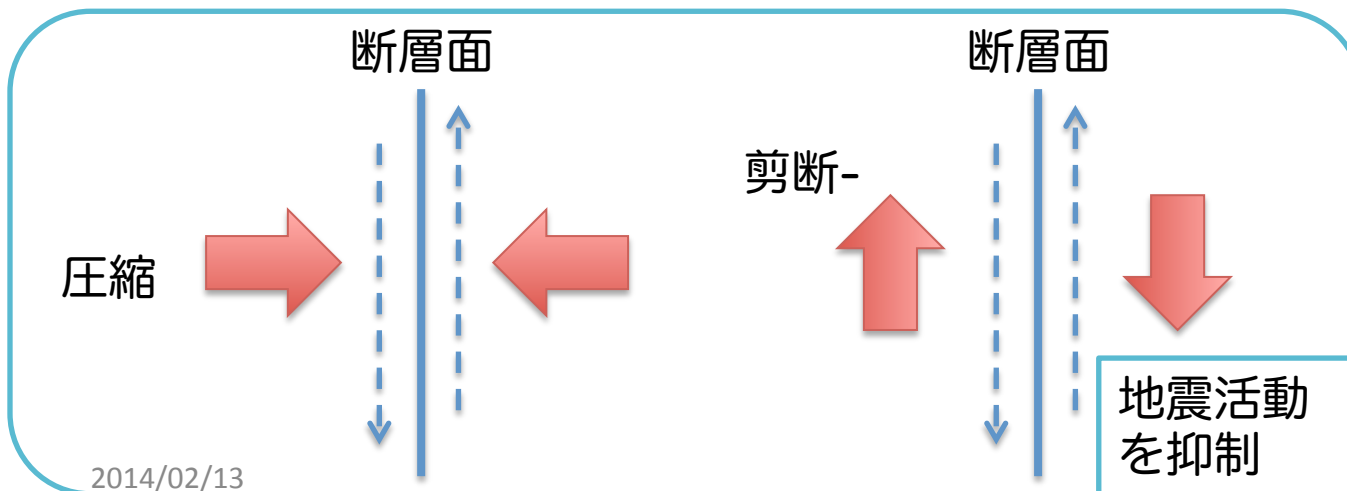
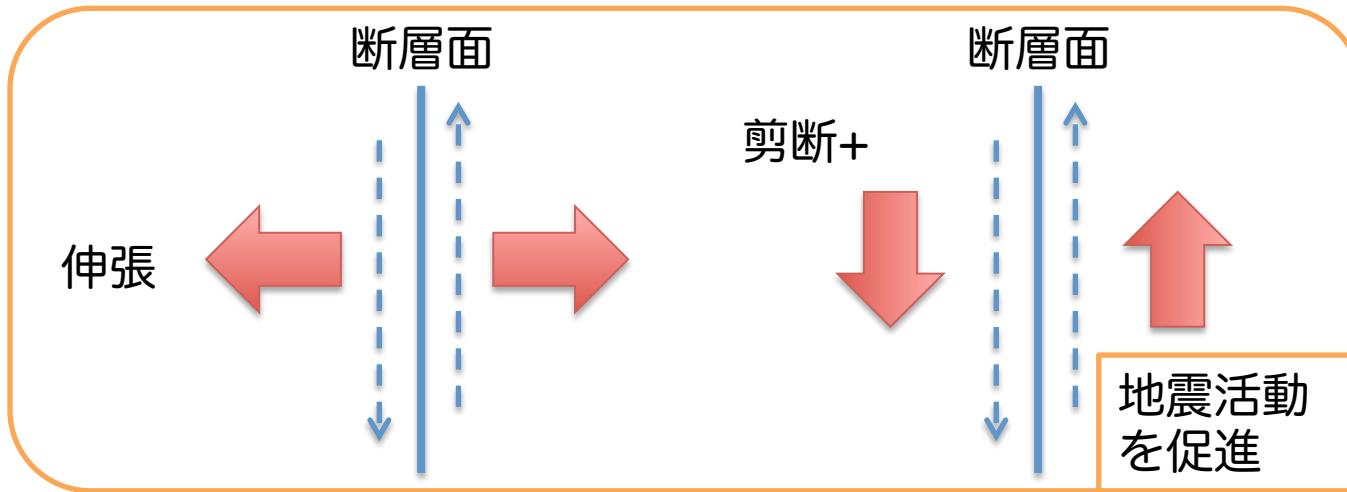
クーロン応力変化による地震活動予測

断層面に垂直な（法線方向の）伸張応力成分 σ

断層運動方向に沿った（接線方向の）ずれ応力成分 τ

過去の活動方向
----->

外部から加えた応力
->



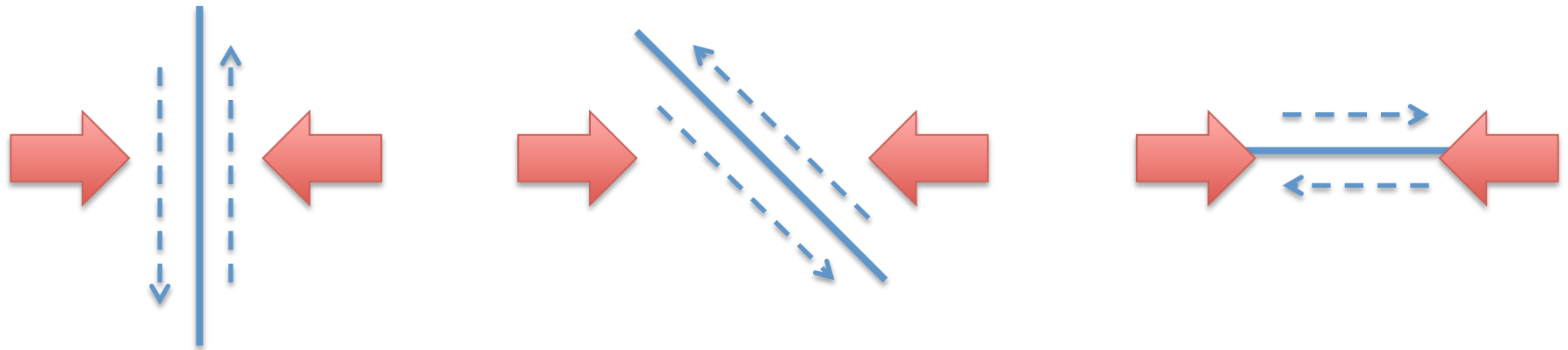
クーロン応力変化

$$\Delta CFS = \tau + \mu\sigma$$

を計算することで、地震活動が活発になるのかどうかを判定できる

断層面の形状とクーロン応力

同じ応力に対しても断層面の向きによってクーロン応力が異なる



抑制

促進

0

法線成分と接線成分に分解して計算

断層の(地下の)形状と応力変化を
両方見積もる必要がある

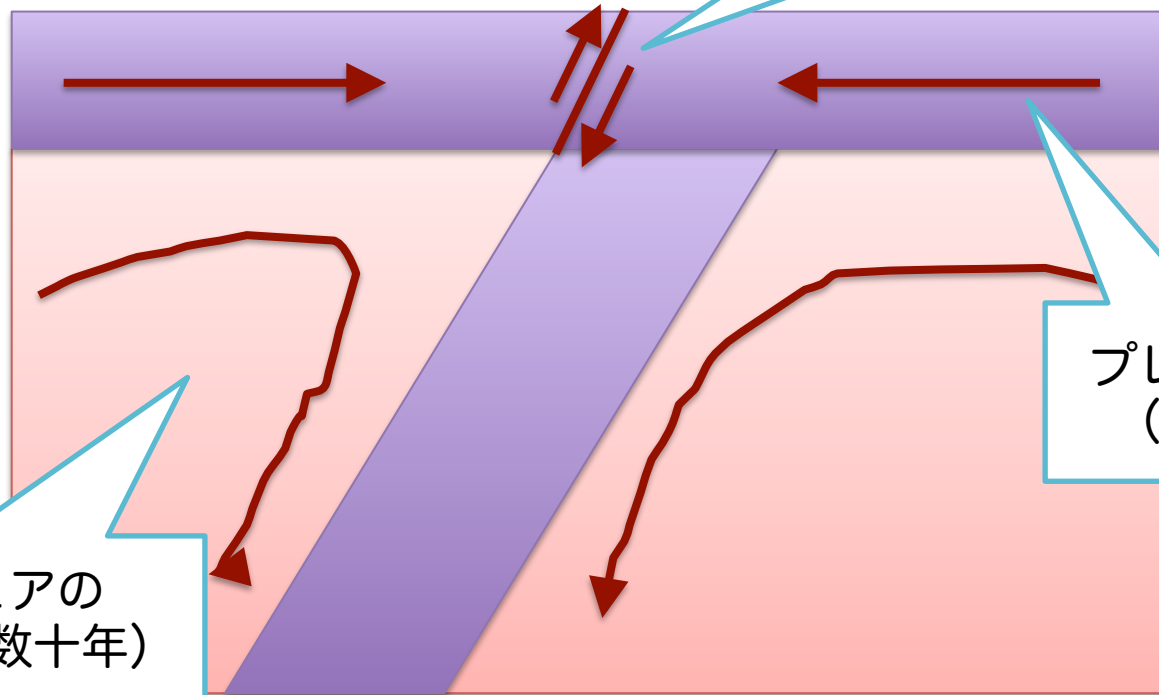
{ 反射法探査
粘弾性モデルによる応力計算

巨大地震後の地殻活動のメカニズム

地震直後の変形は地球の**弾性的な**性質に依存するが、その後の変形は、様々なメカニズムが考えられている

震源域の周りのすべり残した部分の**余効すべり** (数年)

H26年度



H25年度

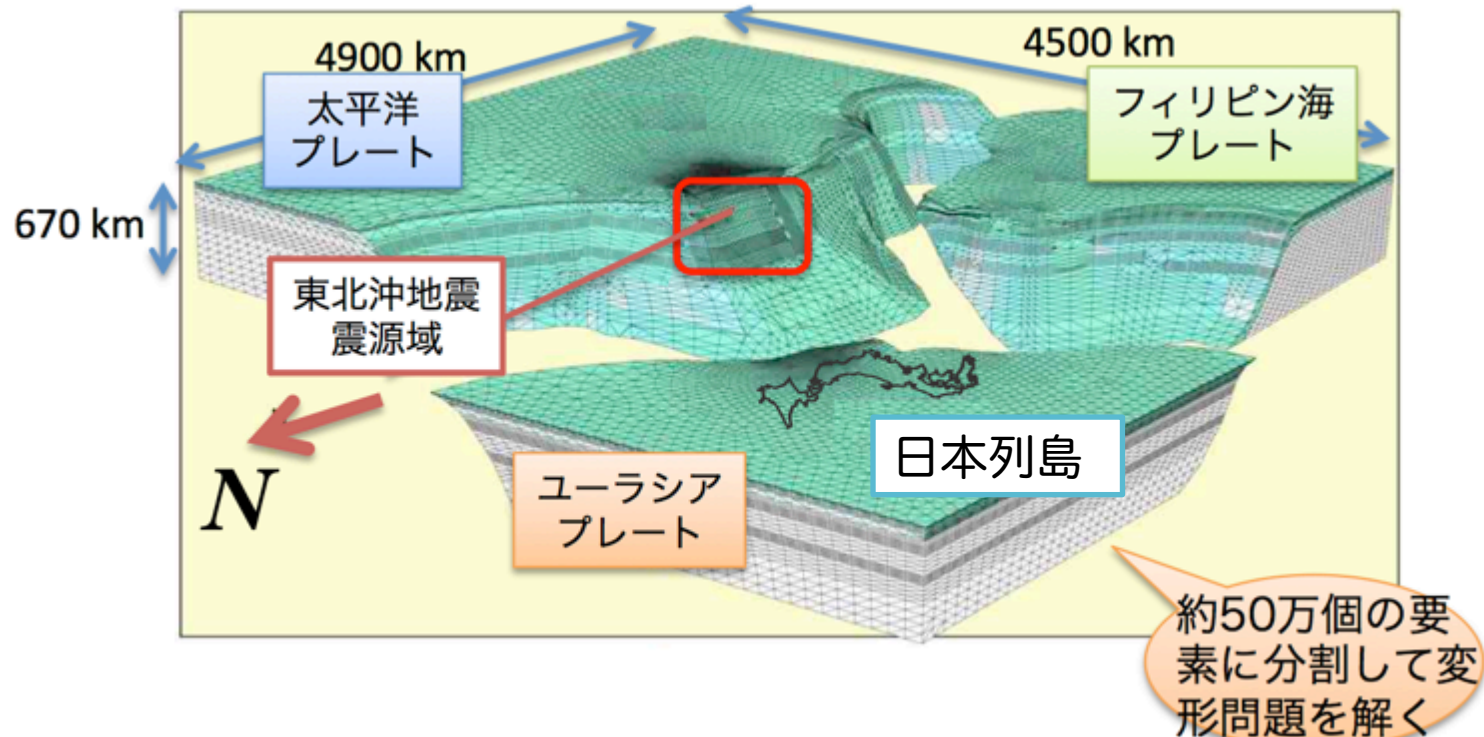
アセノスフェアの**粘弾性的流動** (数十年)

プレート運動 (数百年)



これらの効果を考慮したモデリングが必要!

計算に用いる有限要素 (FEM) モデル



モデル領域：4900 × 4500 × 670 (km) (千島～マリアナ列島を含む領域)

プレート境界モデル：

Nakajima & Hasegawa (2006), Hayes et al. (2012)などによる

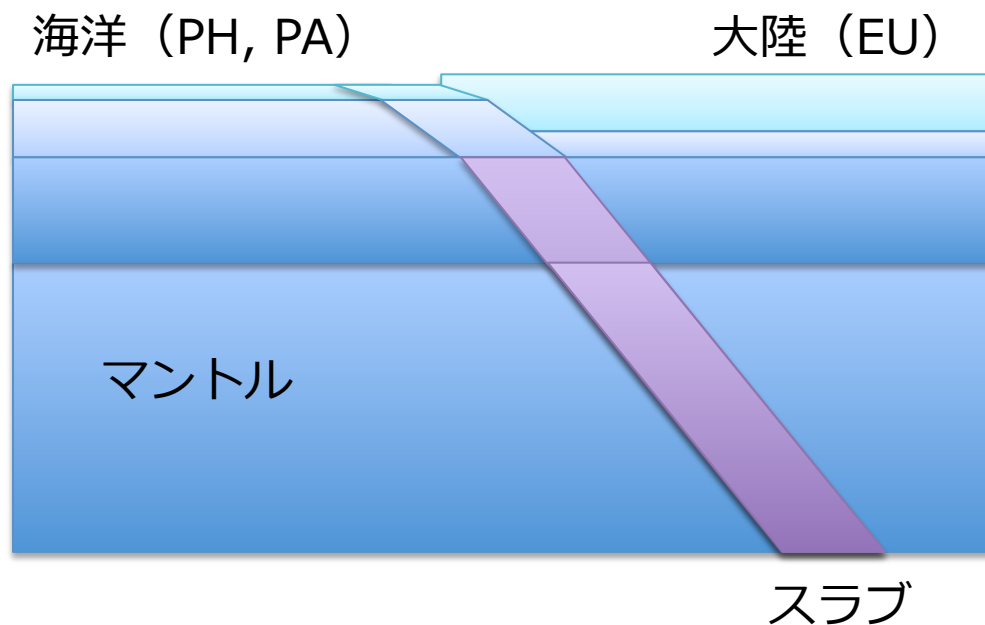
境界条件：モデル領域の側面と下面の変位固定

断層すべり：

断層面を2枚の外部境界面として、相対変位を与える (Freed et al., 2012)

メッシュ：四面体要素 (数km～100 km)

地下の物性構造



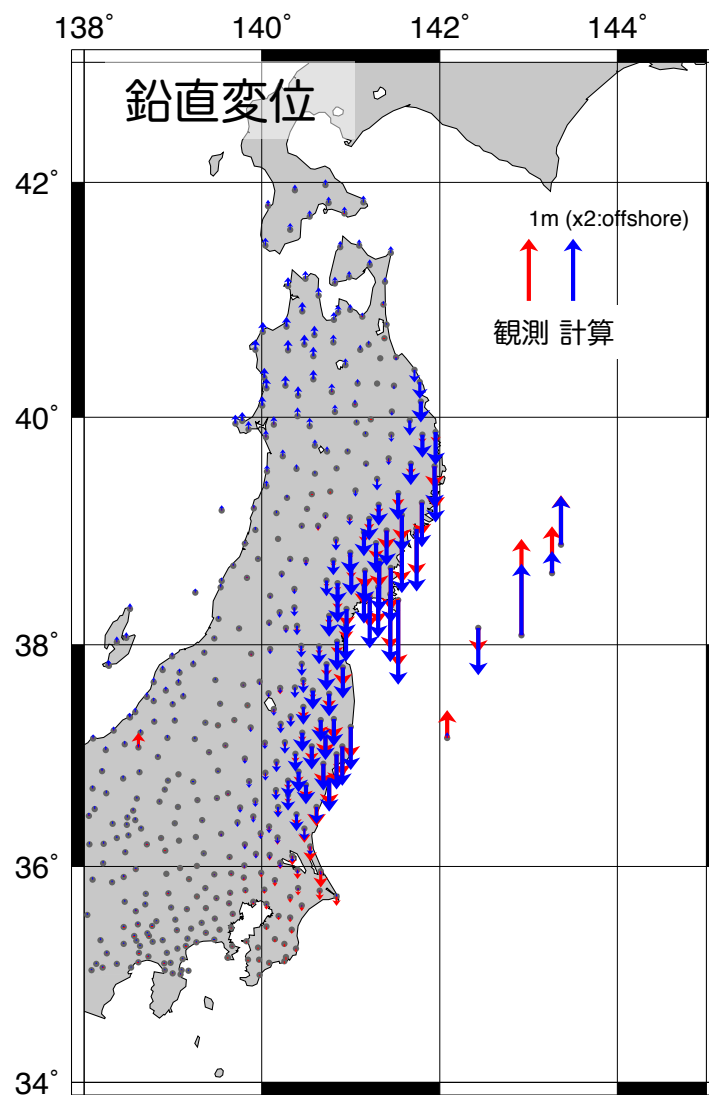
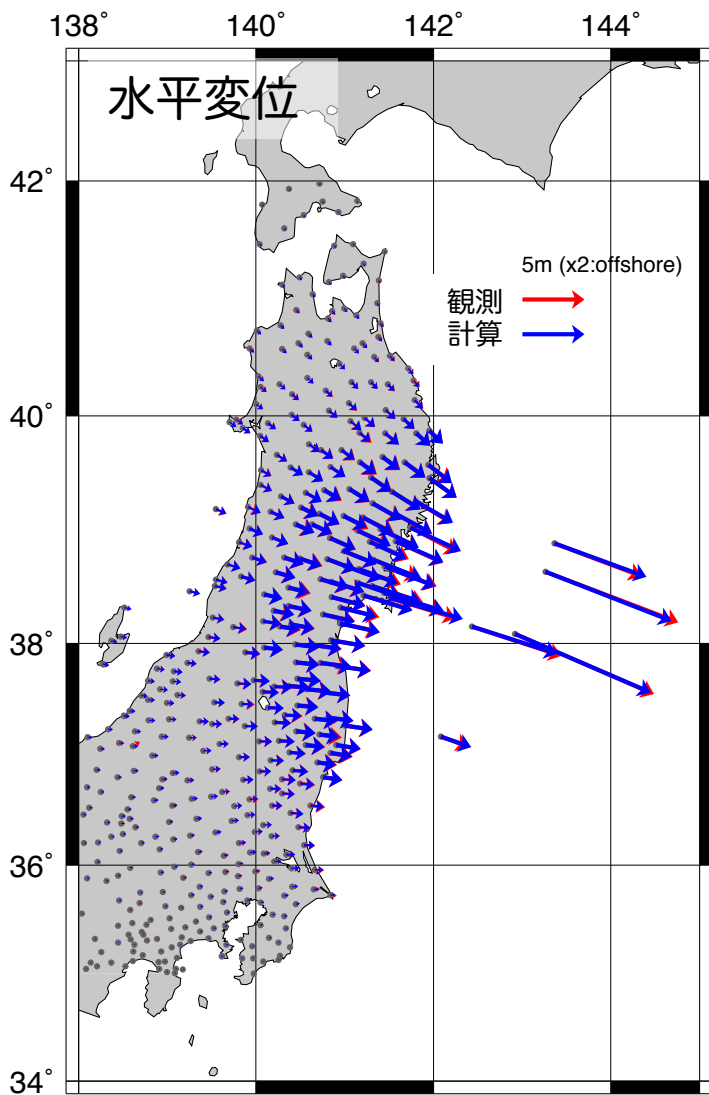
弾性：

大陸－海洋間の地殻の厚さの違いを考慮（大陸30 km、海洋6 km）
マントルはPREM全地球1次元モデルを用いる。スラブでは同じ深さの周囲の媒質より V_p , V_s が5%大きいと仮定

粘弾性：

大陸では30 km以深、海洋は30 km以深のスラブ以外の領域をアセノスフェアとした。粘性率は一様な値 1×10^{19} Pasとした。

地震時地表変位の観測値と計算値の比較



粘弾性数値モデルまとめ

- FEMモデルを構築し、地震時の地表変位データからインバージョンによってすべり分布を求め、このすべり分布に基づいて首都圏の活断層にかかる応力変化を求めた。
- 今後の課題
 - 各断層の運動方向と合わせてクーロン応力変化を求める
 - 東北沖地震の余効すべりに伴う応力の変化を求め、アセノスフェアの粘弾性緩和の効果と合わせて、首都圏下の応力変化を求める (→ d)
 - 地下構造モデルの成層構造からの精緻化 (← a, b2)
 - 首都圏下のスラブ構造
 - 現実に近いモホ面分布、リソスフェア–アセノスフェア境界

→ より現実的な地震活動度予測を可能に！

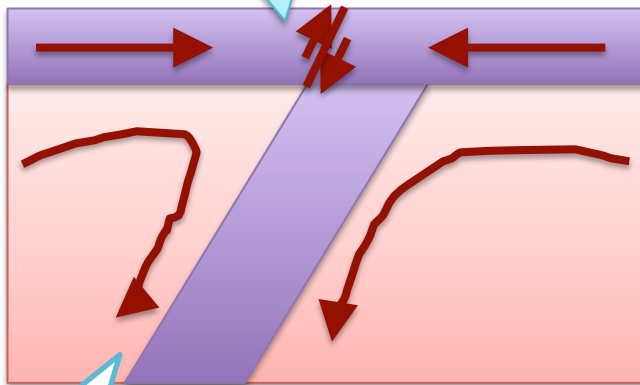
H26年度の計画（2）

現実的なメカニズムの考慮

地下構造の高度化

こちらの効果も取り入れる!

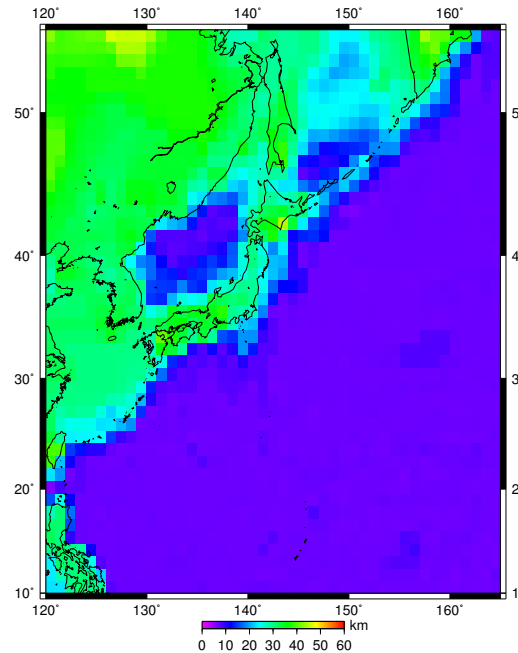
震源域の周りのすべり残した部分の余効すべり（数年）



アセノスフェアの粘弾性的流動（数十年）

H25年度

日本列島域のモホ面深度分布



首都圏下のフィリピン海プレートの上層

