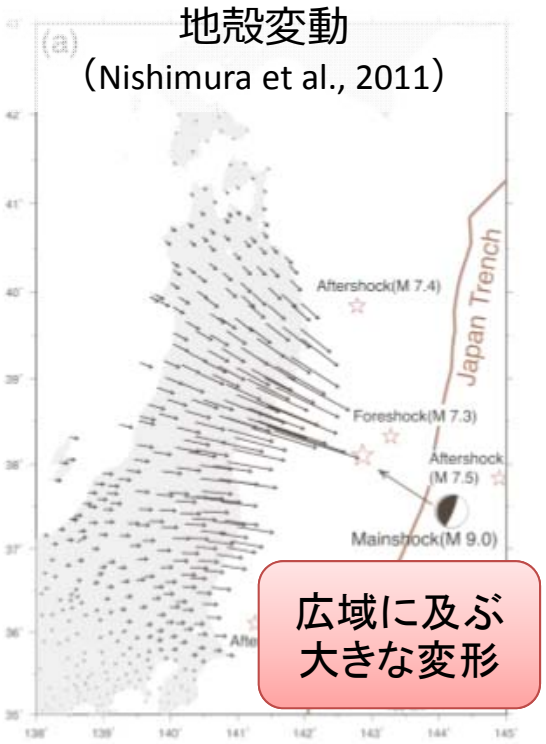
(1) b. プレート構造・変形過程と地震発生過程の解明

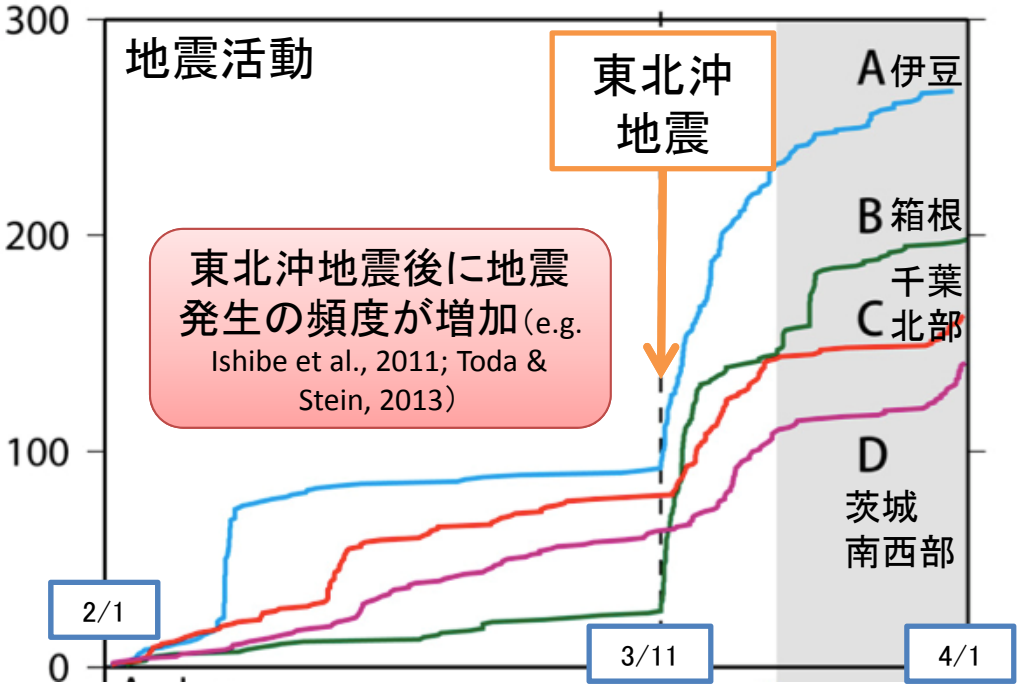
東京大学地震研究所

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。

2011年東北沖地震後の地殻活動について

- 東北沖地震の前後で地殻活動に大きな変化



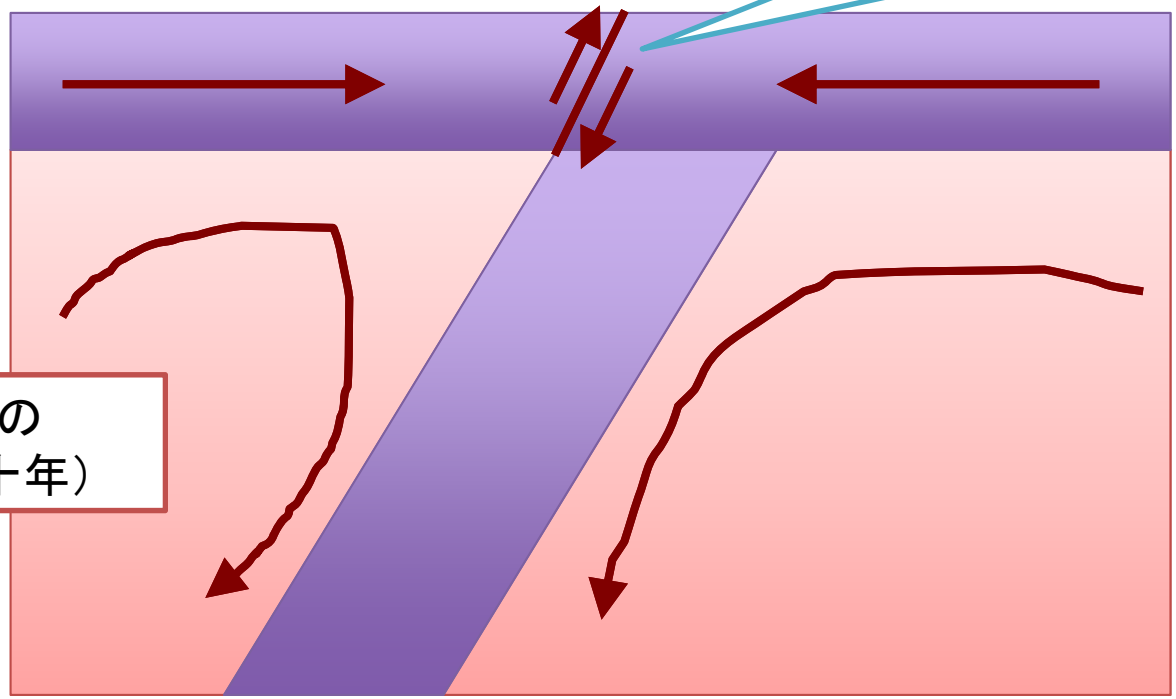


- 地震後4年でどのように変化したのか?
- どのようなメカニズムで引き起こされるのか?

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）



アセノスフェアの
粘性的流動（数十年）

＊無視されがち

余効すべりの過大評価

両方のメカニズムを考慮したモデルを構築し断層にかかるクーロン応力を計算する！

断層活動の評価

H27年度の計画

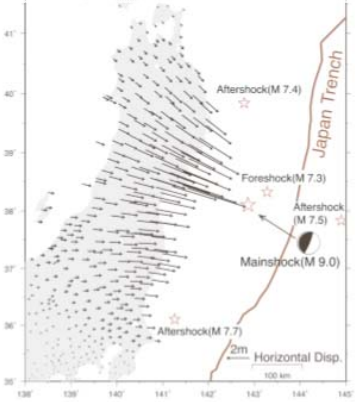
- 首都圏の断層モデルの高度化のため、富士山東麓部の伏在断層を対象に反射法地震探査などの変動地形・地球物理学的な調査を実施する。

- 地殻変動解析等より得られた現実的な粘性構造を三次元FEMモデルに取り込み、クーロン応力変化計算手法の高度化を図る。
  - （1）a、cと連携して計算したクーロン応力変化と首都圏域の地震活動の関係を解明する。

(1) 粘弾性有限要素モデルによる応力計算

観測データ

地震時の変動
(Nishimura et al., 2011)



3年間の余効変動

＊国土地理院・海上保安庁などによる

東北沖地震の
すべり分布

粘性構造の推定
（Purdue大学）

粘性緩和の
効果

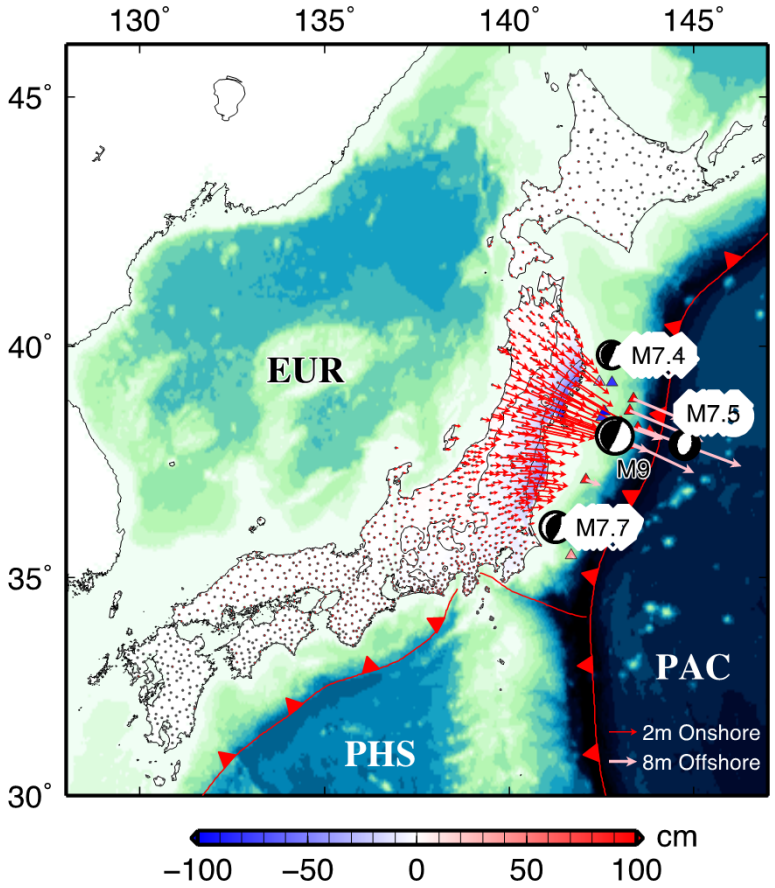
東北沖地震後
の応力計算

粘性緩和と余効
すべりの効果を
両方含む

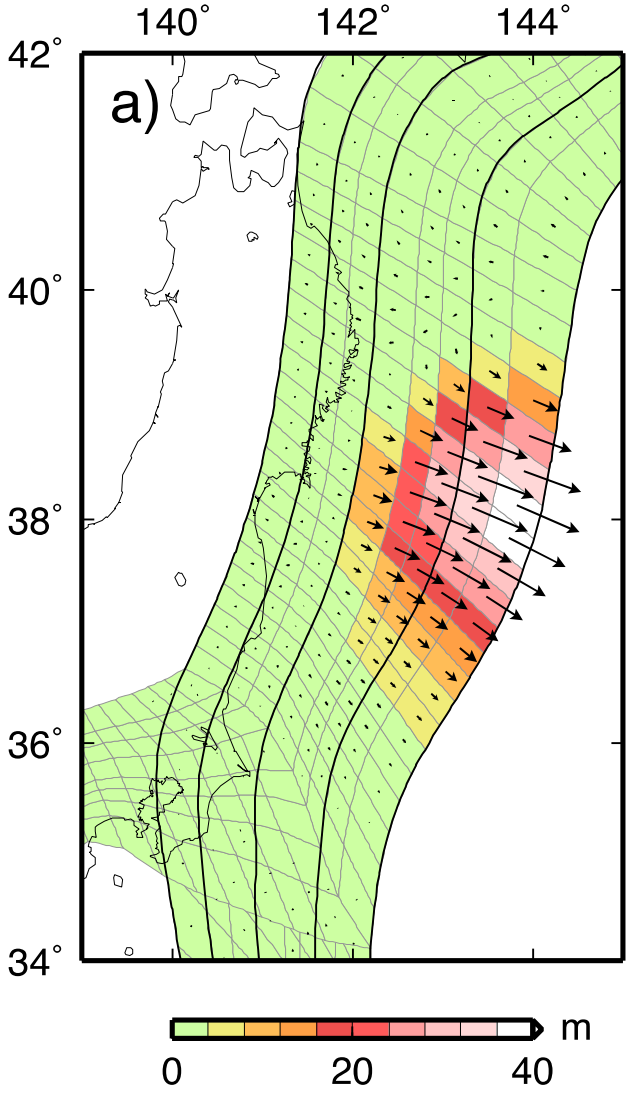
余効変動の
残差

余効すべり

地震時変動とすべり分布

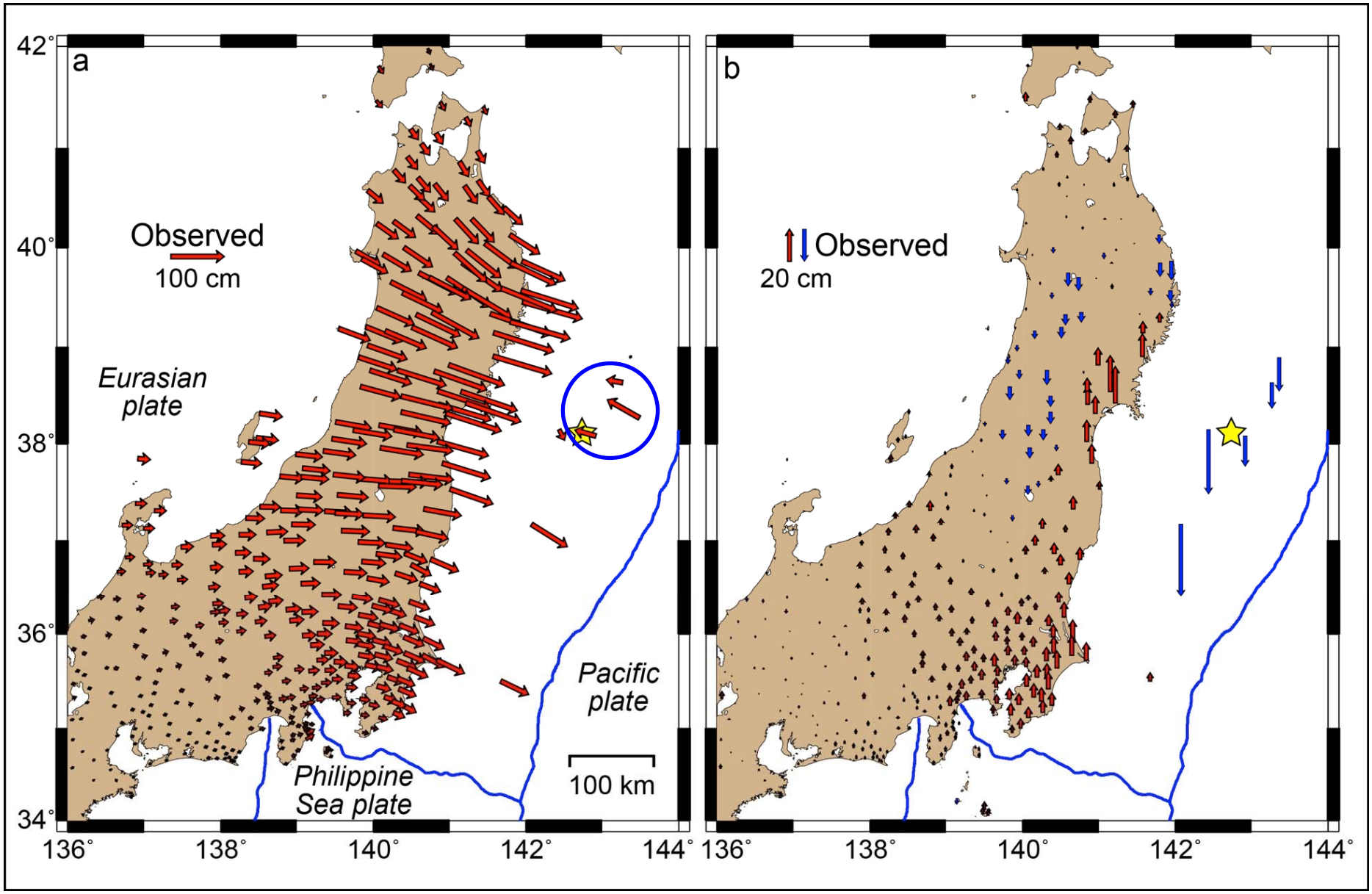


Hashima et al. (in prep.)

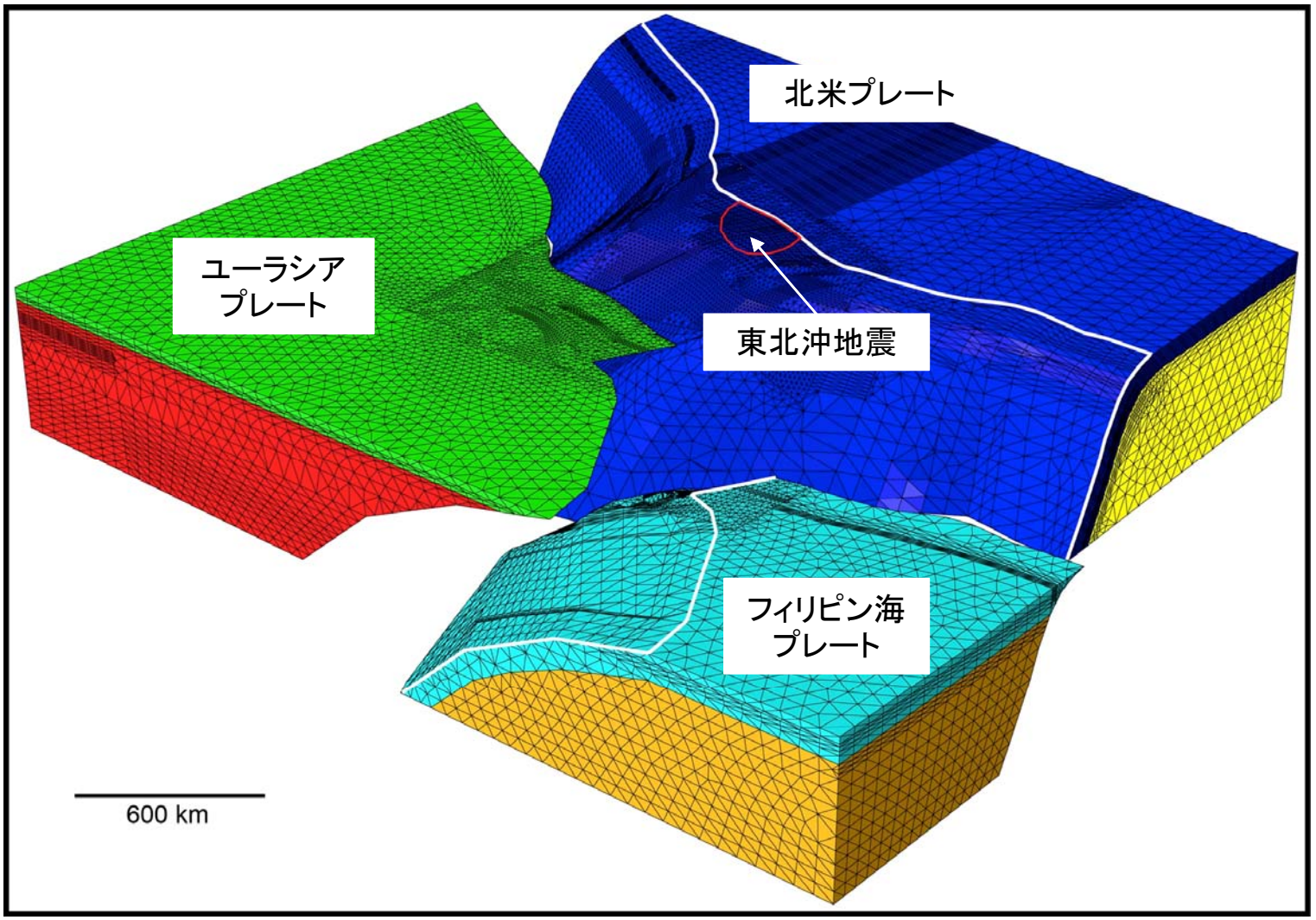


(Freed et al., in prep.)

地震後3年の累積余効変動



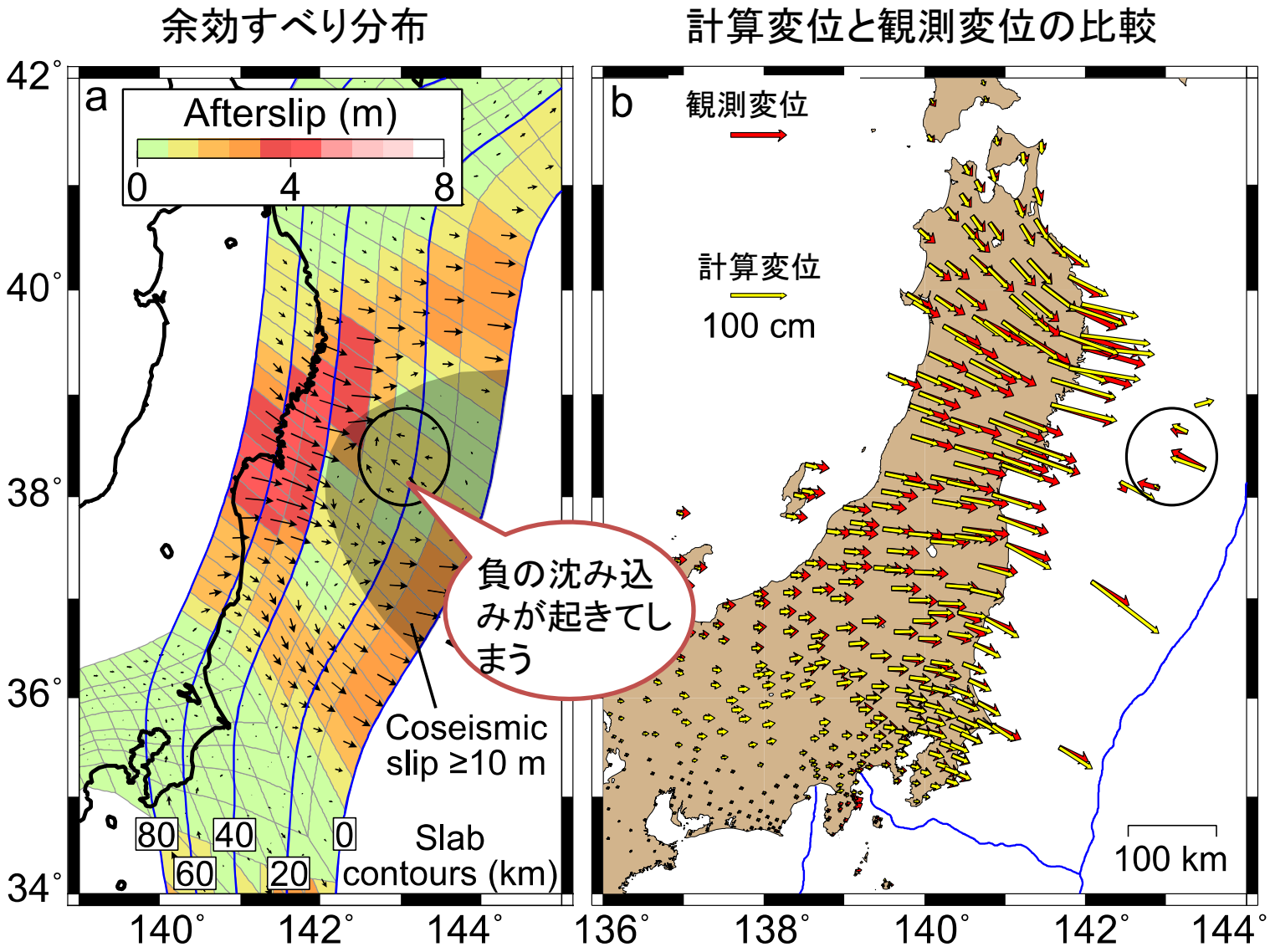
有限要素モデル



(Freed et al., in prep.)

(Freed et al., in prep.)

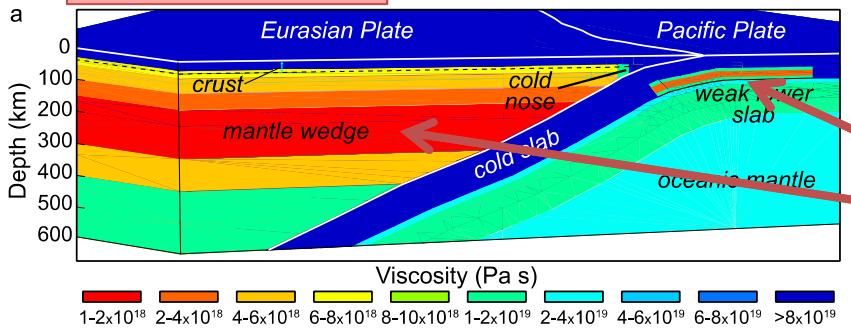
粘性緩和を無視した場合のすべり分布



(Freed et al., in prep.)

粘性緩和による最適モデル

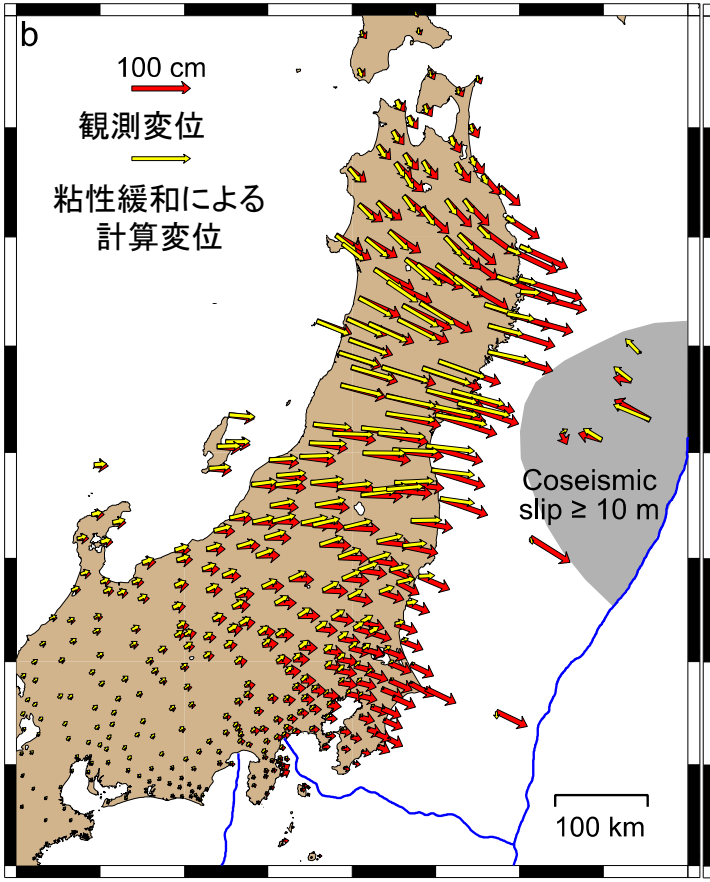
リソスフェアの厚さ25 km

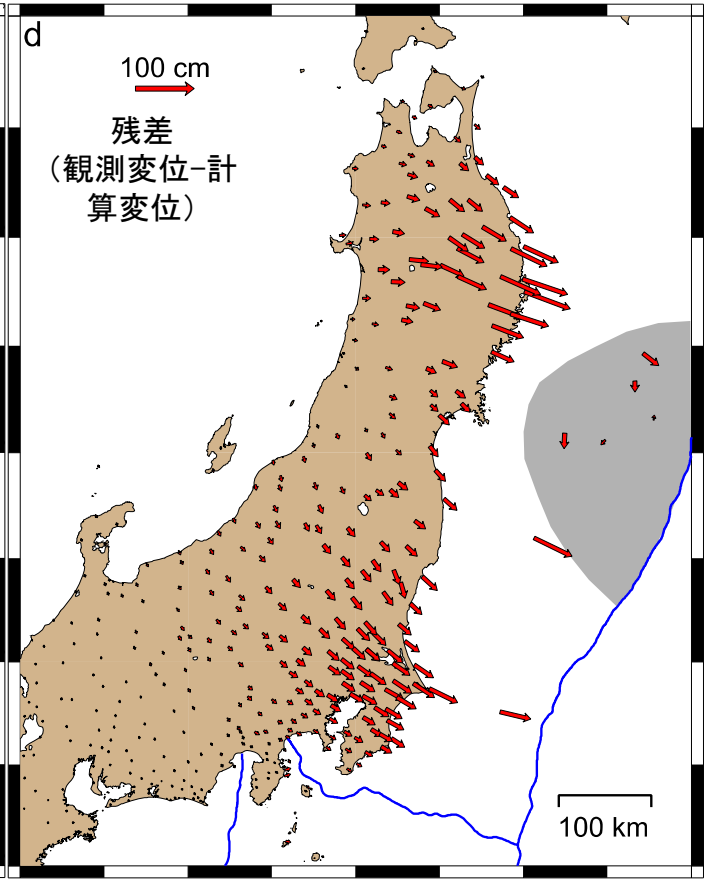


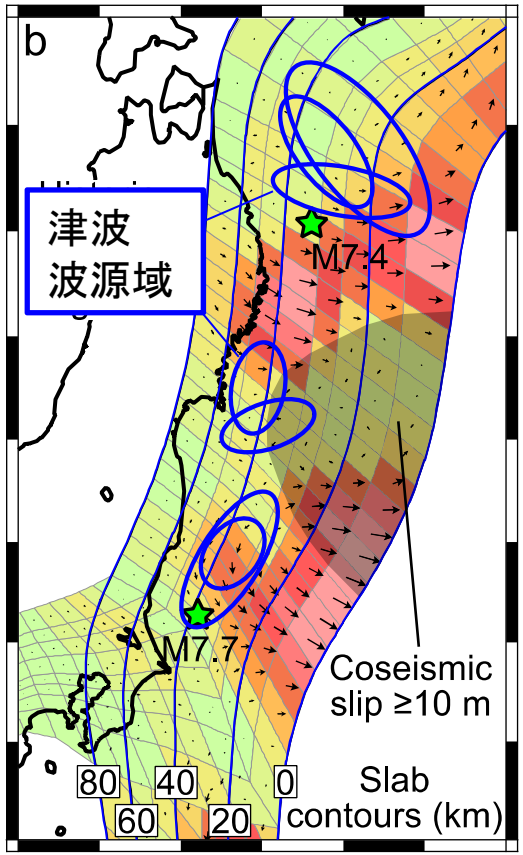
最適粘性構造

低粘性部：~10^{18} Pa s

残差ベクトルより計算した余効すべり

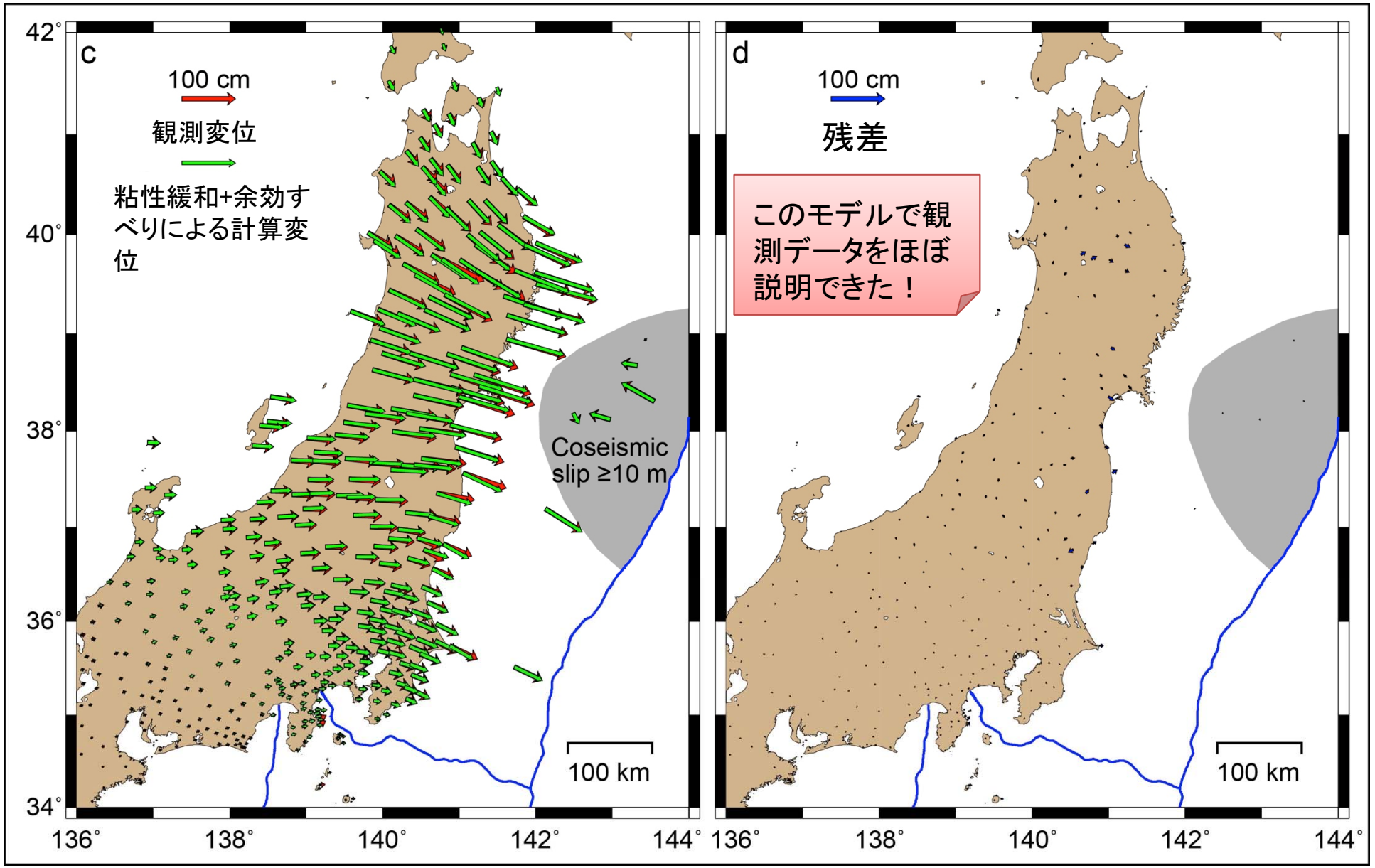






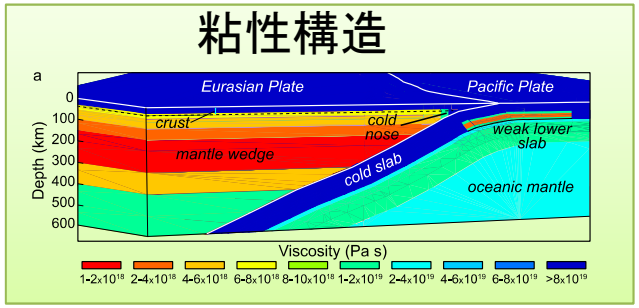
(Freed et al., in prep.)

粘性緩和+余効すべりの最適モデル

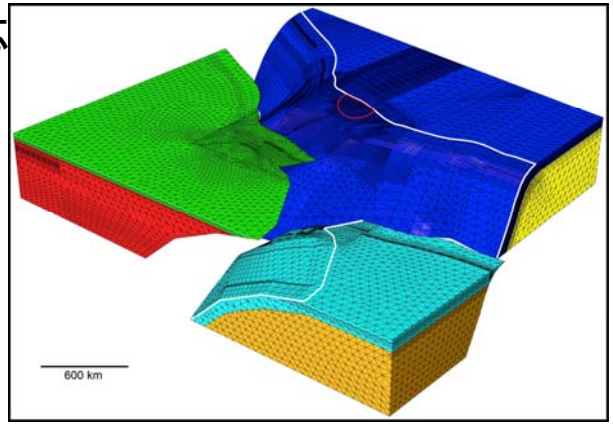


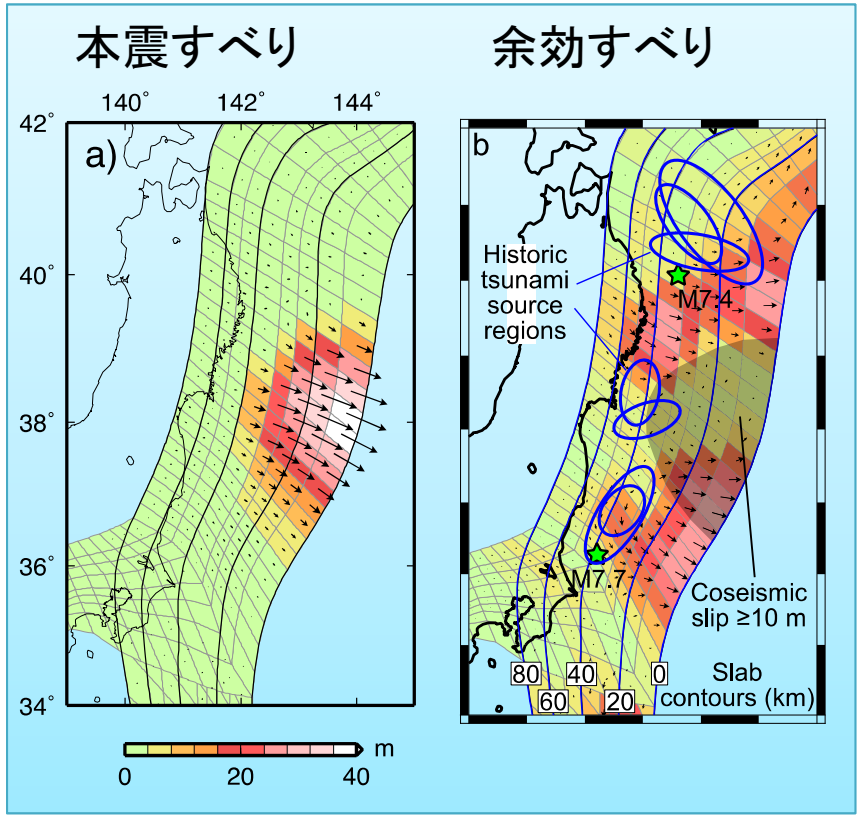
東北沖地震後の応力計算

- 先に述べた、本震すべりの粘性緩和、余効すべりの効果をモデルに取り入れて関東周辺の応力（深さ15 km）を試算。



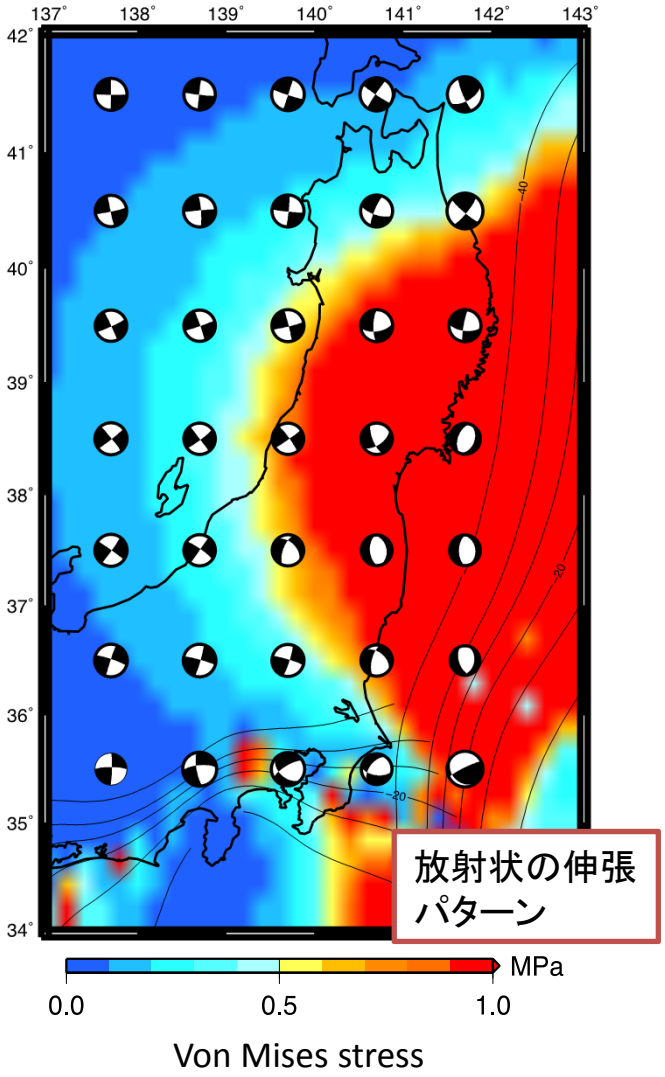
FEMによる応力計算





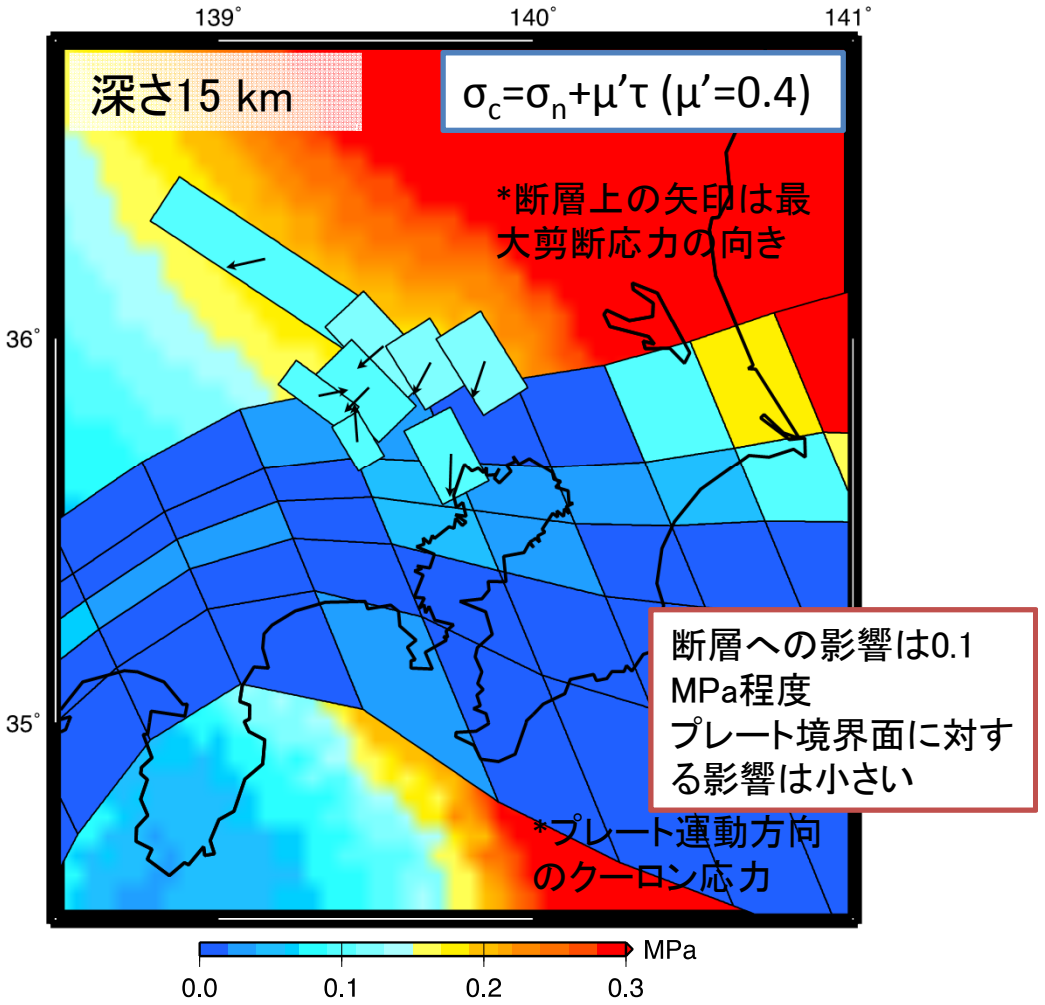
地震直後の応力場

東北日本の応力パターン



Von Mises stress

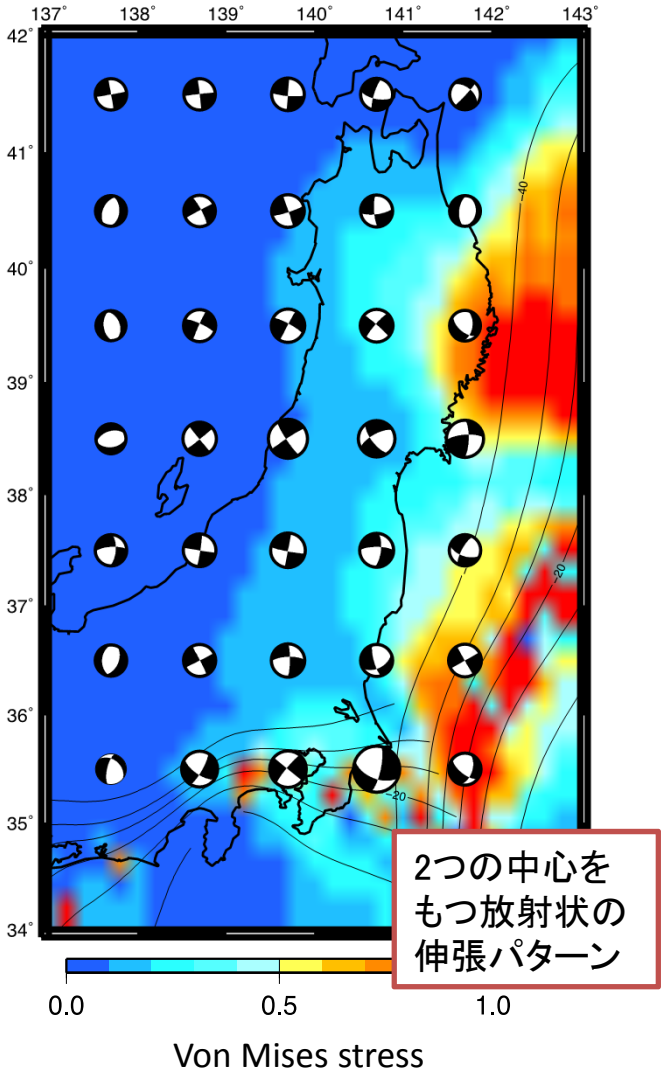
関東周辺の断層にかかるクーロン応力



Von Mises & Coulomb stress

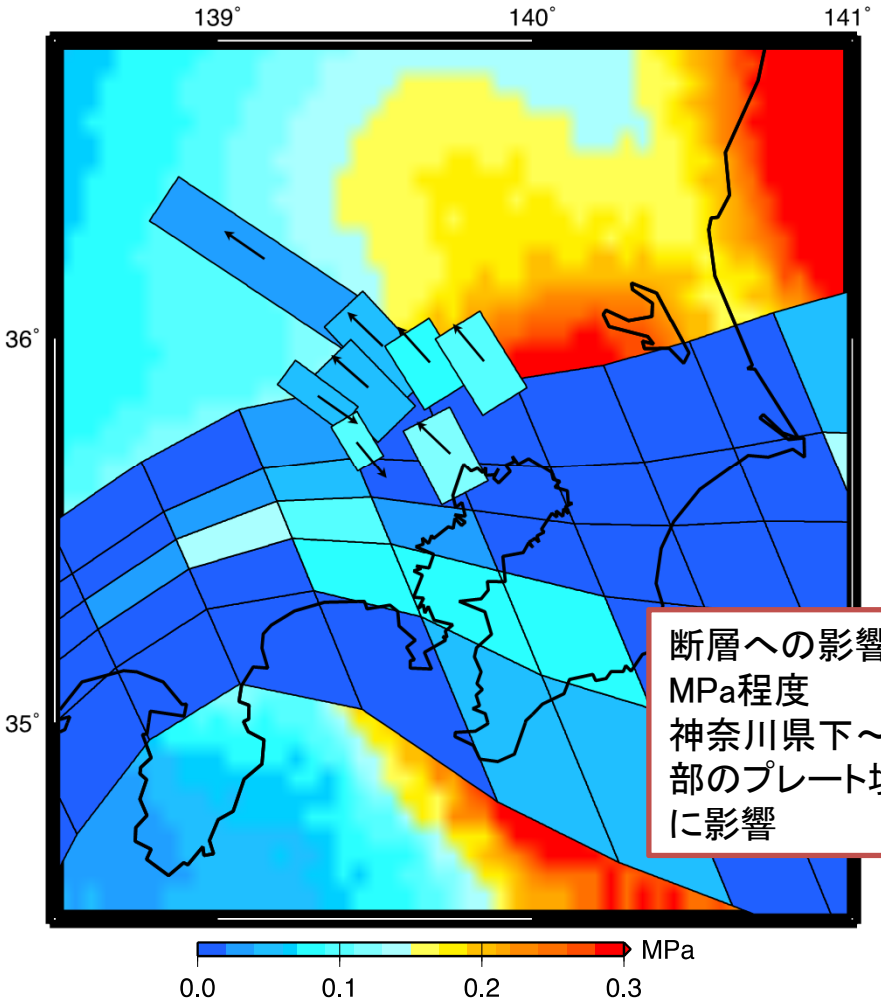
余効すべりによる応力場

東北日本の応力パターン



2つの中心をもつ放射状の伸張パターン

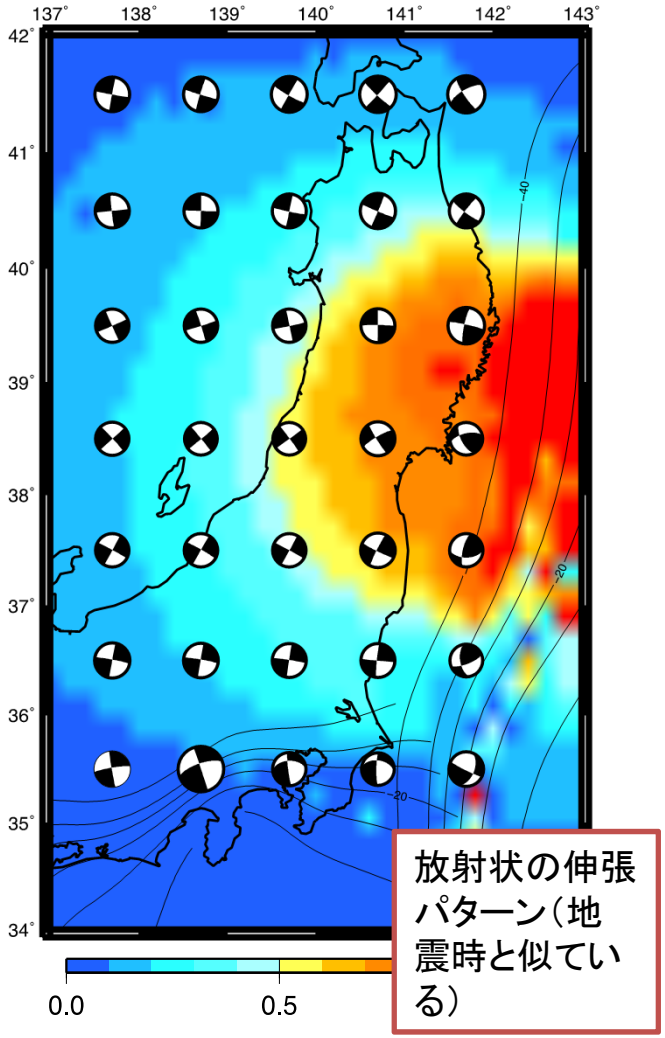
関東周辺の断層にかかるクーロン応力



断層への影響は0.1 MPa程度
神奈川県下～房総南部のプレート境界面に影響

粘弾性緩和による応力場（3年後）

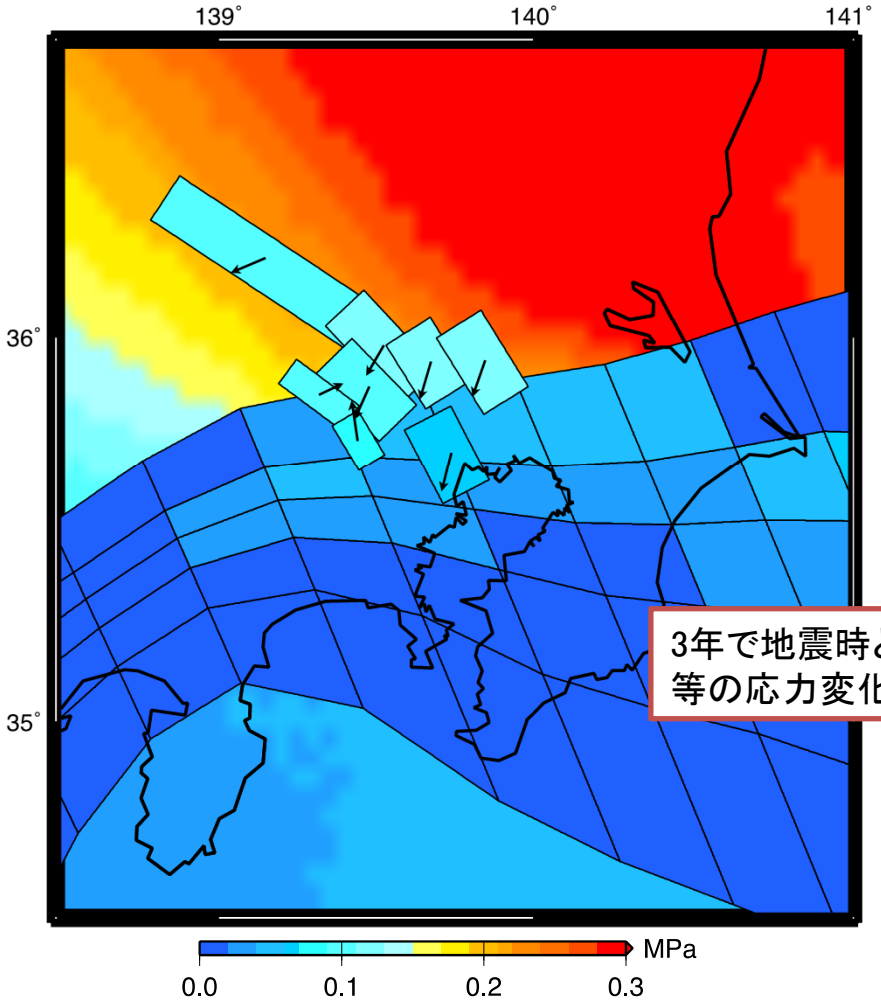
東北日本の応力パターン



放射状の伸張パターン（地震時と似ている）

Von Mises stress

関東周辺の断層にかかるクーロン応力

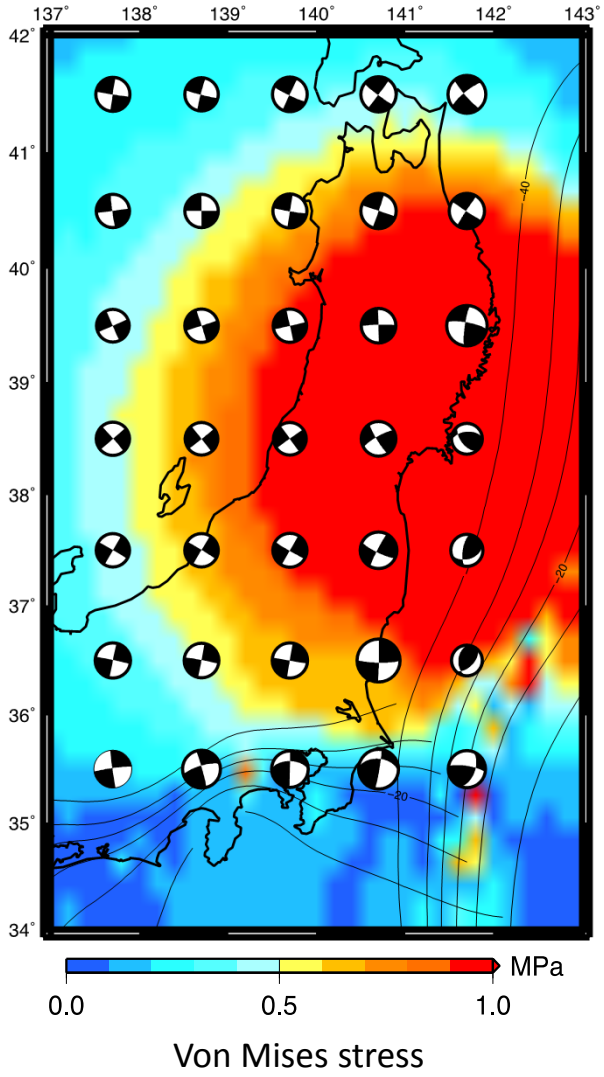


3年で地震時と同等の応力変化

Von Mises & Coulomb stress

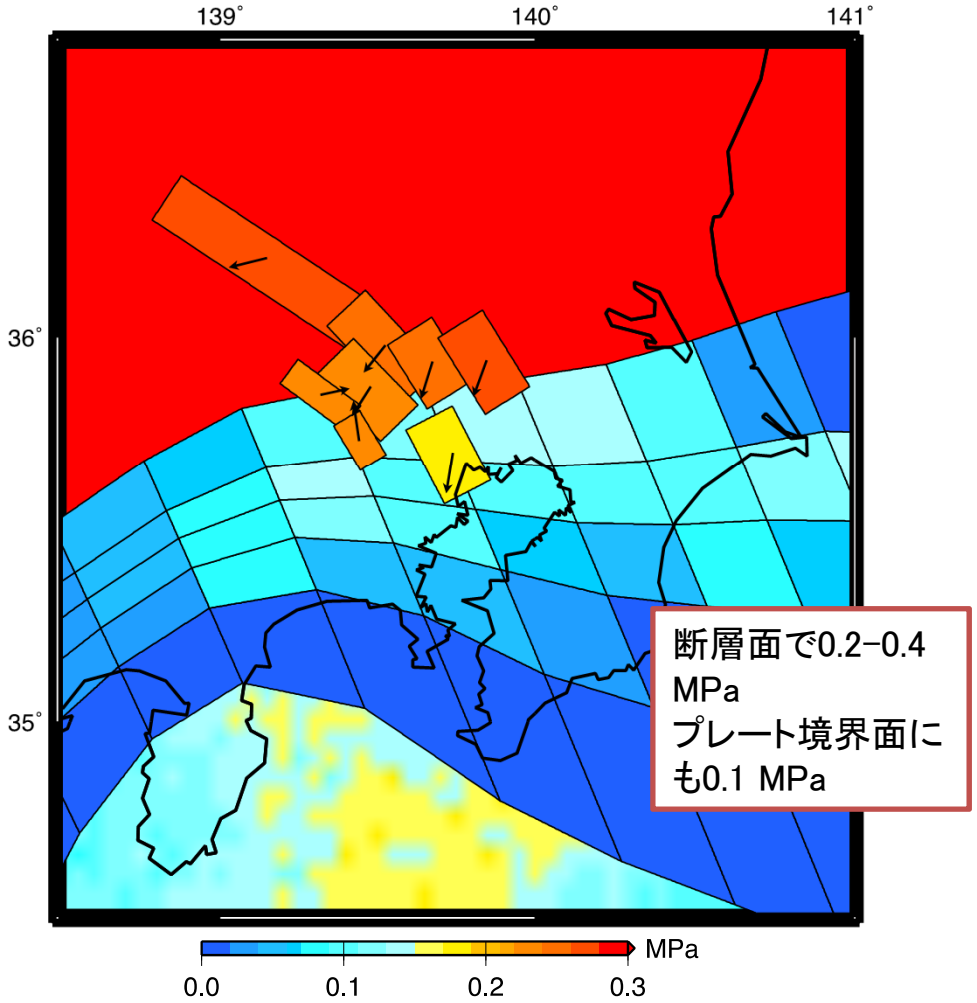
粘弾性緩和による応力場（10年後）

東北日本の応力パターン



Von Mises stress

関東周辺の断層にかかるクーロン応力

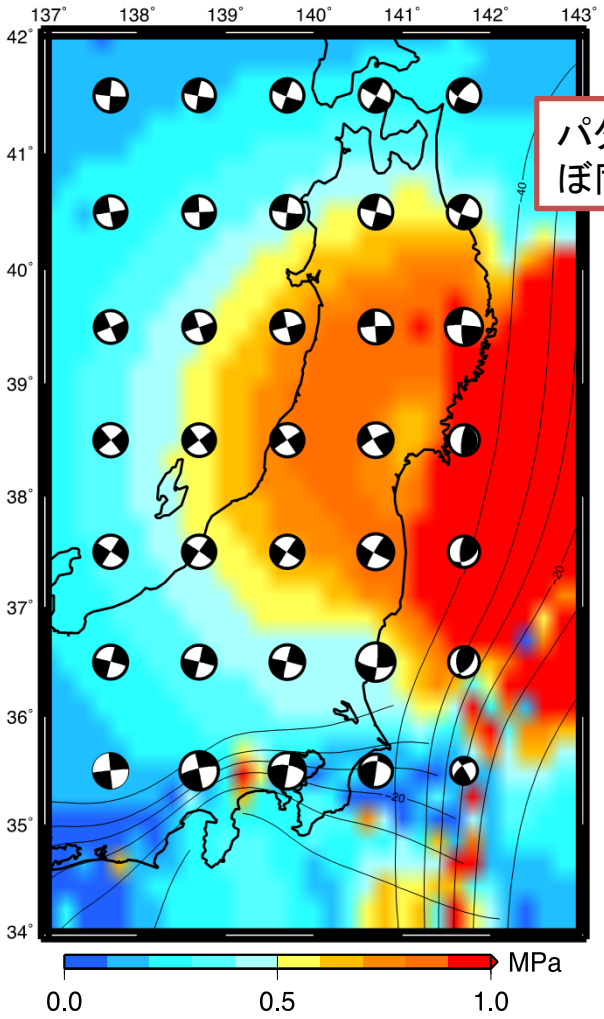


断層面で0.2–0.4 MPa
プレート境界面にも0.1 MPa

Von Mises & Coulomb stress

一様粘性構造の場合（10年後の応力）

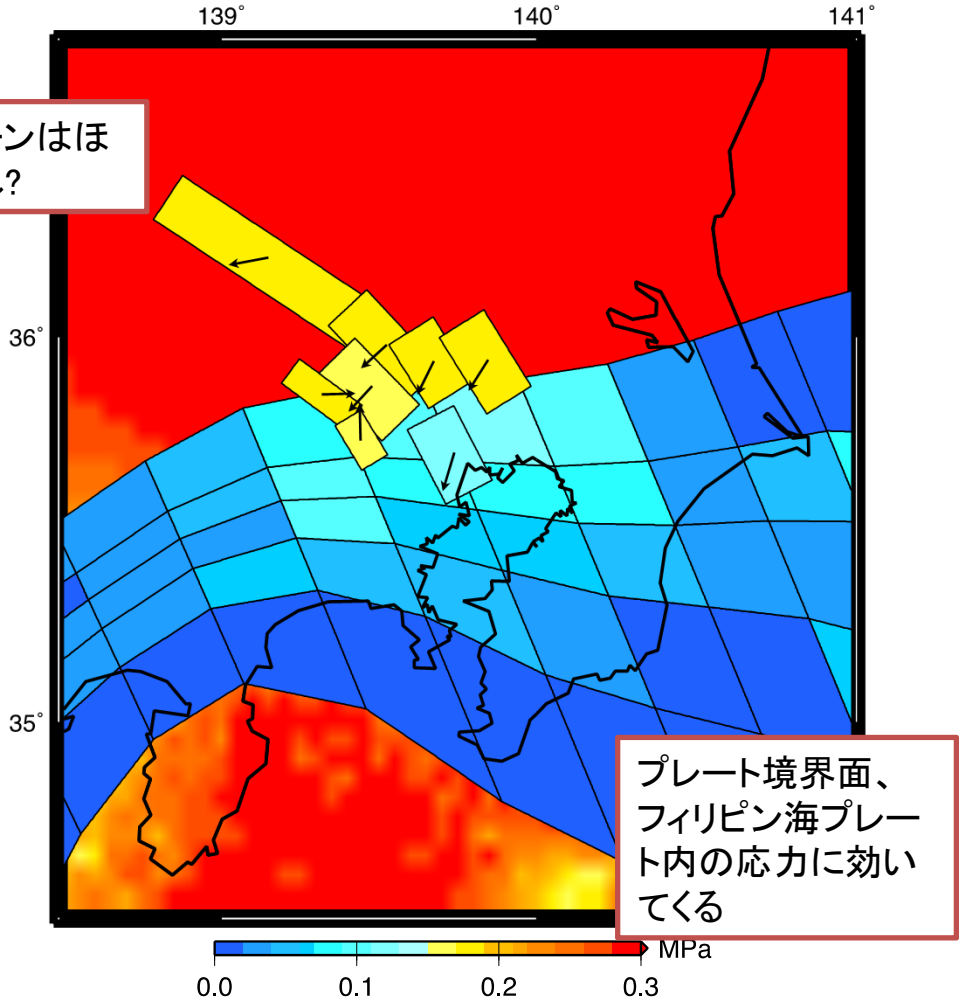
東北日本の応力パターン



Von Mises stress

パターンはほぼ同じ?

関東周辺の断層にかかるクーロン応力



Von Mises & Coulomb stress

プレート境界面、フィリピン海プレート内の応力に効いてくる

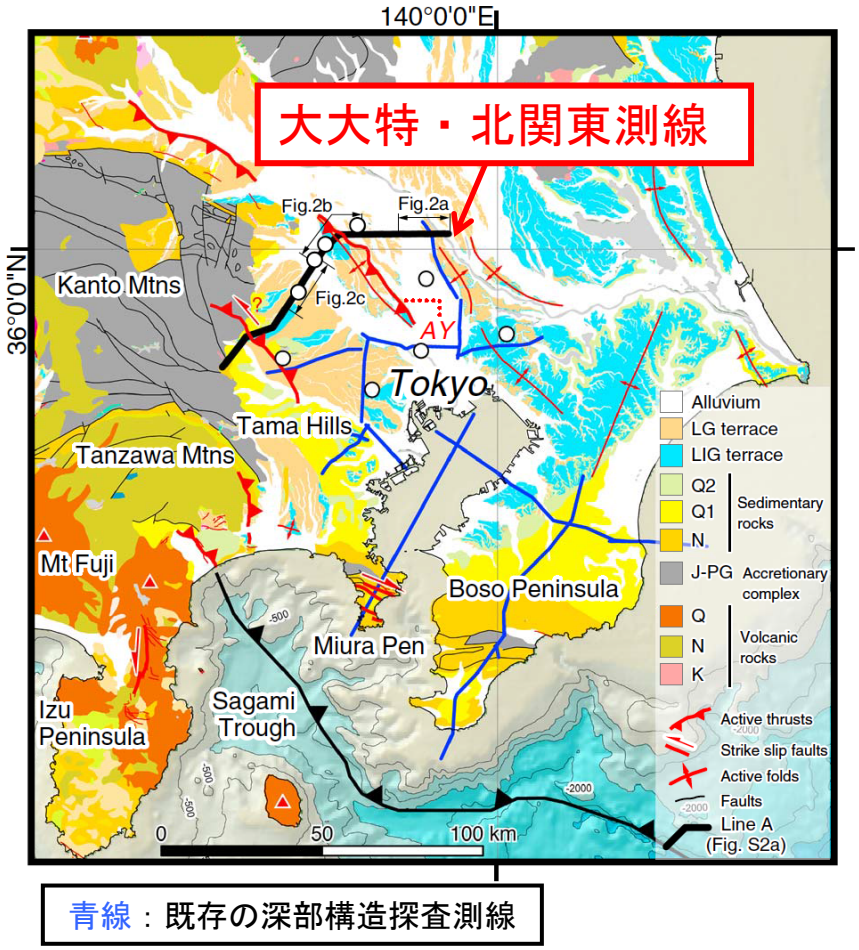
(1) 粘弾性数値モデルまとめ

- FEMモデルの余効変動計算により、最適粘性構造と余効すべり分布を求めた。本震のすべり分布と合わせて、今後応力計算が可能となった。
  - ユーラシア側のリソスフェアの厚さは25 km
  - 背弧域では150 – 300 kmの深さの低粘性マントルが存在
  - 太平洋プレートの屈曲部では、下部に強度低下部（もしくは薄いメルト層）が存在
  - 余効変動は、ほぼ等量の粘弾性緩和とアフタースリップで説明可（空間分布は異なる）
  - 余効すべりは地震時すべりと津波地震の波源域の間に顕著。60 km以深まで広がらない。

- 東北沖地震後の関東周辺の応力変化に対する、地震時すべり、粘弾性緩和、余効すべりの効果を簡単に見積もった
  - 地震時、粘弾性緩和（3年分）、余効すべり（3年分）による応力変化は、それぞれ0.1MPa程度。粘弾性効果は3年で他の効果と同等であり、10年たつと他の効果よりも大きくなる

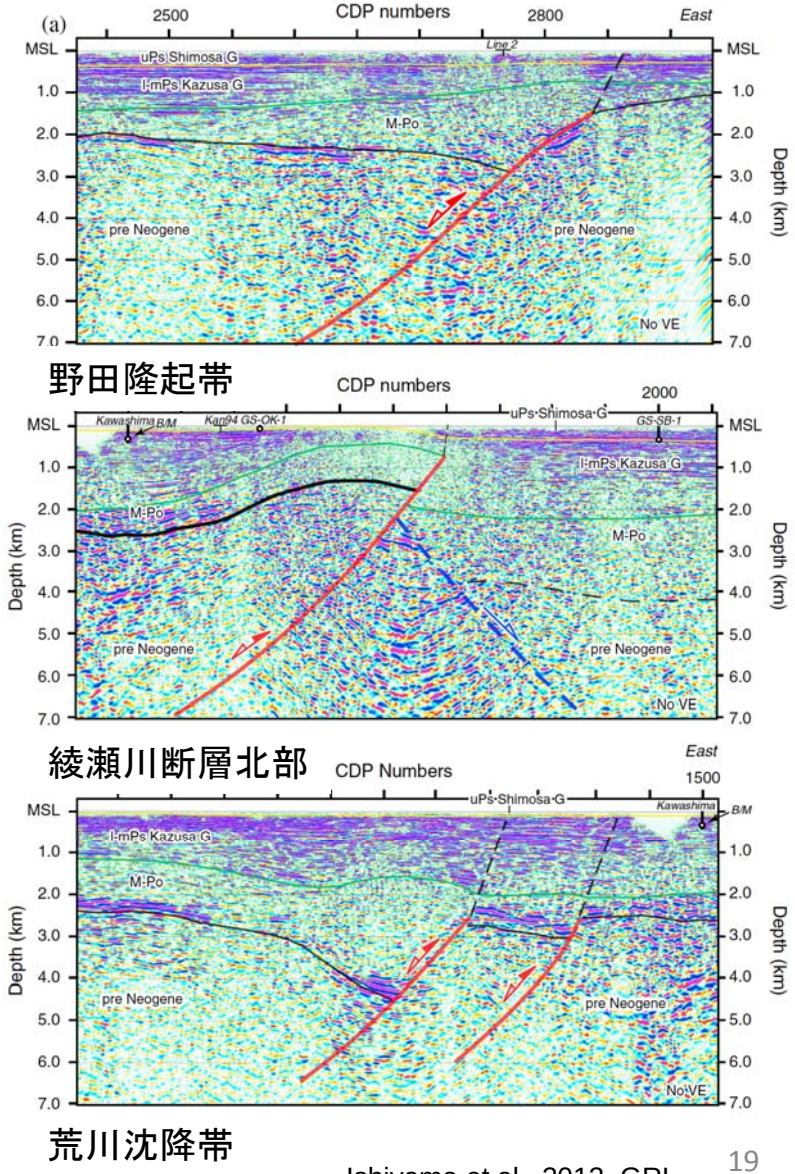
- 今後の課題
  - Freed氏と連携し3つの効果をカップルさせて解き、正確な応力を計算する
  - 観測データとの比較（余震活動）
  - 伏在断層におけるクーロン応力の評価

（2）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

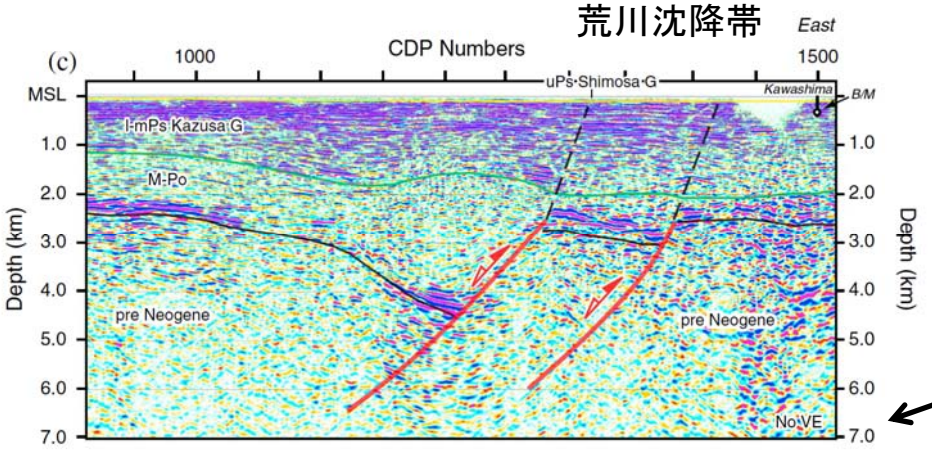
深部構造探査断面と周辺の地質・深井戸を対比することにより、伏在断層の分布や構造が明らかになってきた

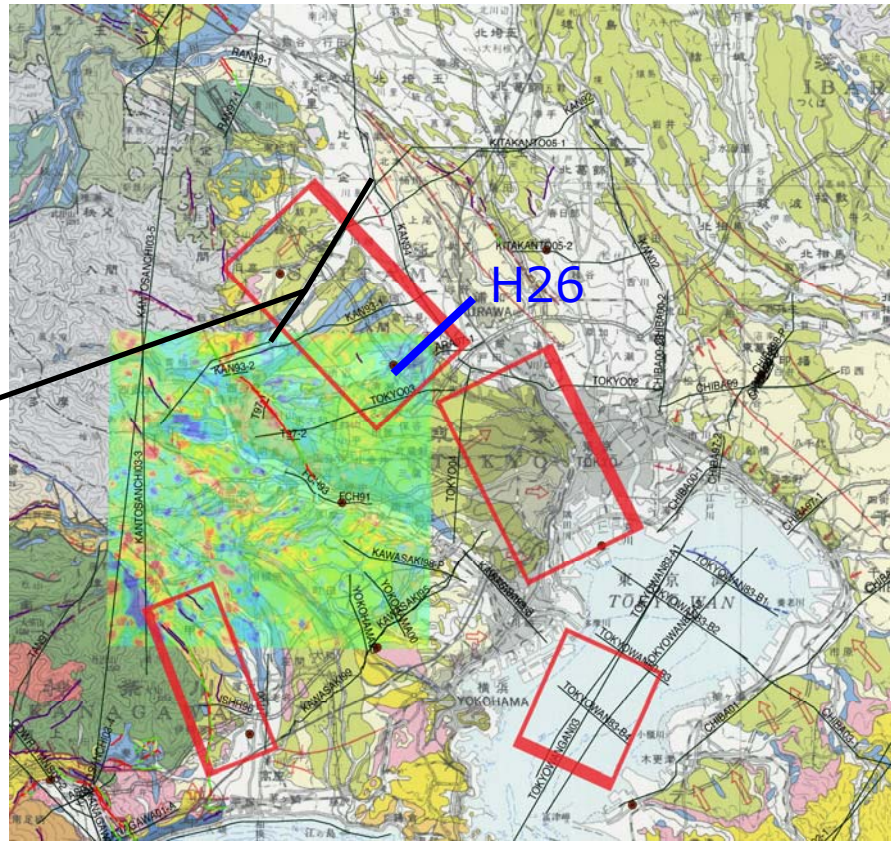


Ishiyama et al., 2013, GRL

武蔵野台地東縁　高分解能反射法地震探査

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を実施、データ取得および解析

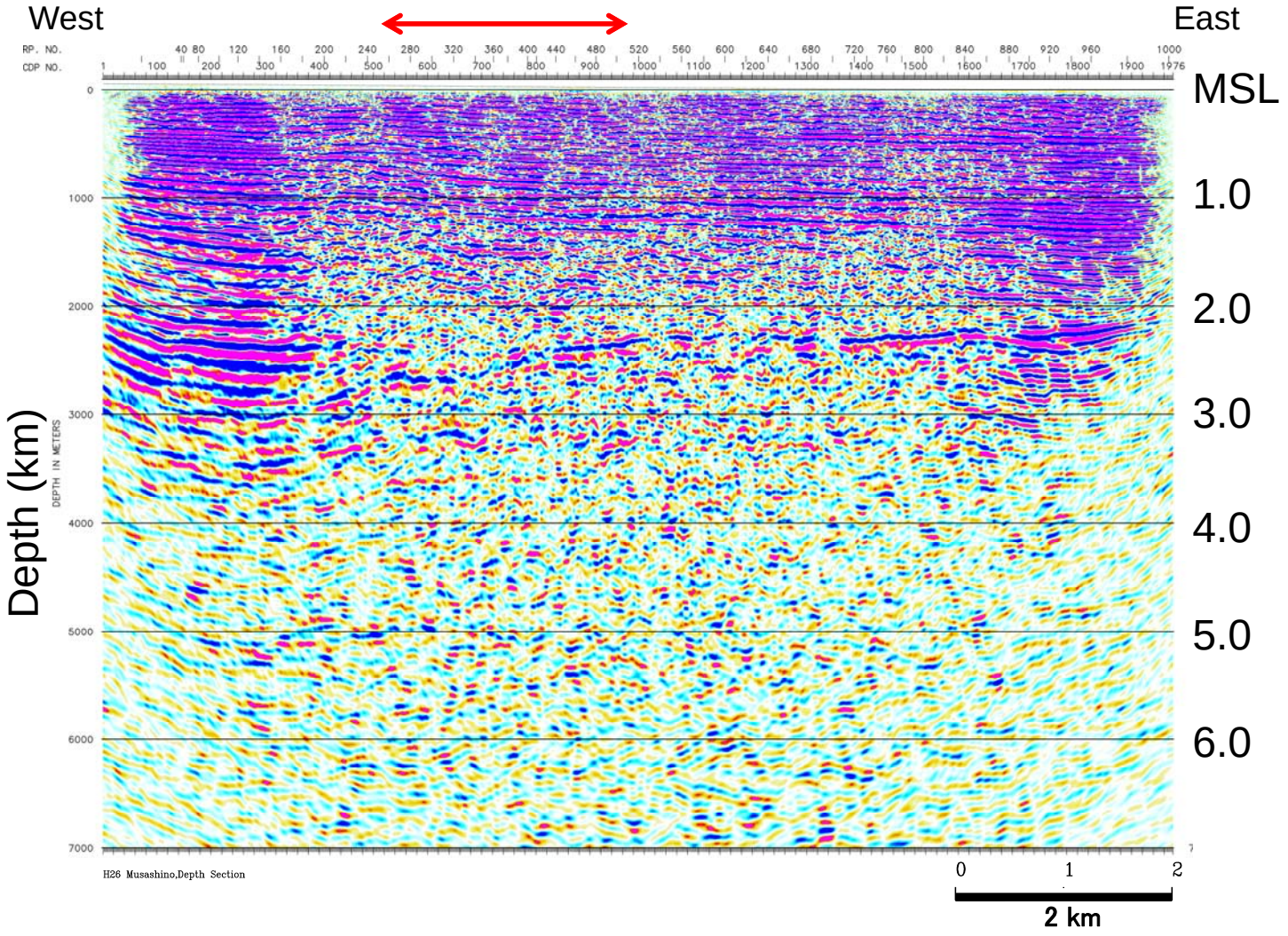




大大特・北関東測線の一部でみられる伏在逆断層（正断層の反転）の構造

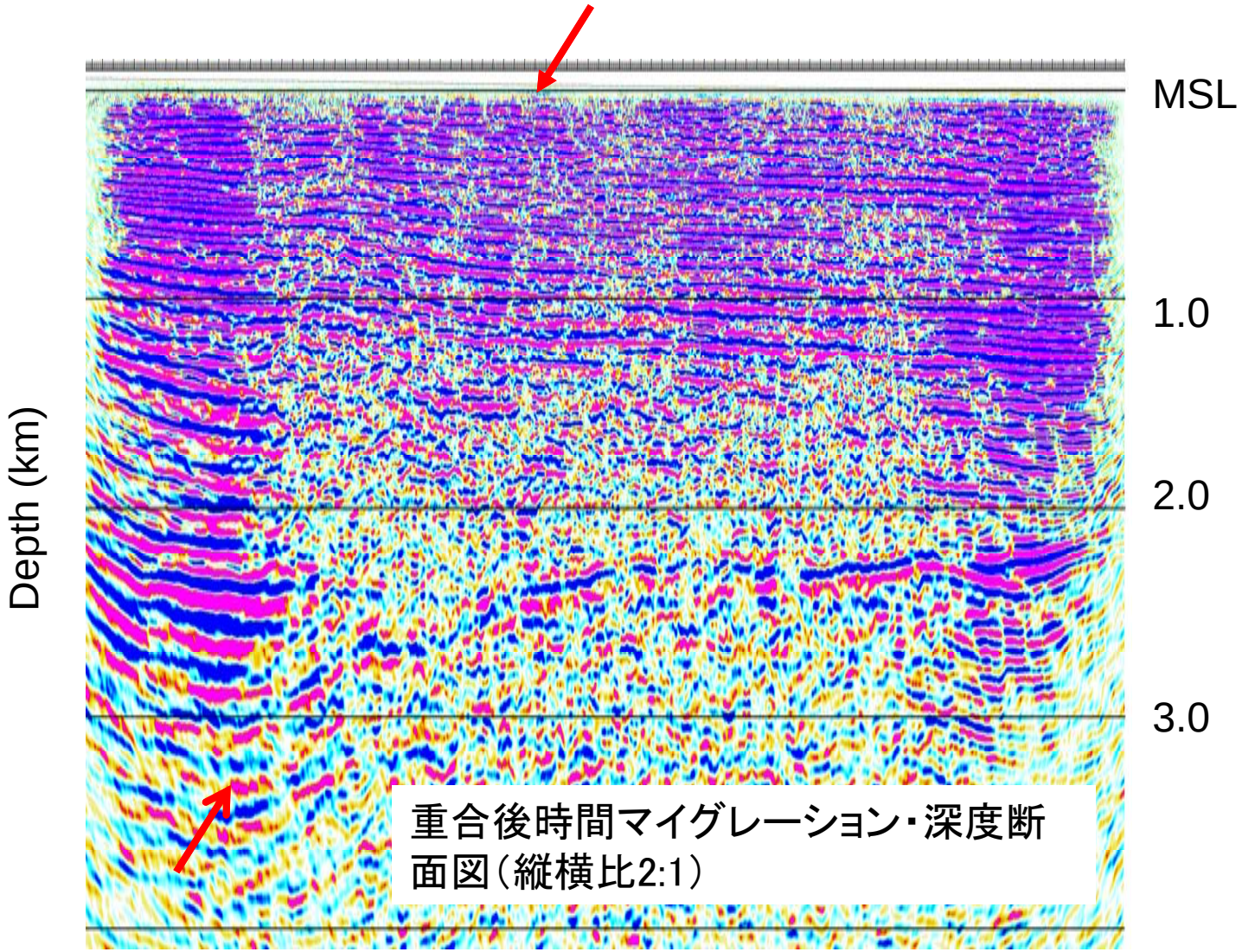
伏在逆断層の分布・形状を明らかにする

武蔵野台地東縁の反射法地震探査　深度断面



重合後時間マイグレーション・深度断面図（縦横比1:1）

重合後時間マイグレーション・深度断面図（縦横比2:1）



測線中央部に西傾斜の向斜軸（赤矢印）をもつ単斜構造が認められ、北関東測線と類似の構造を示す

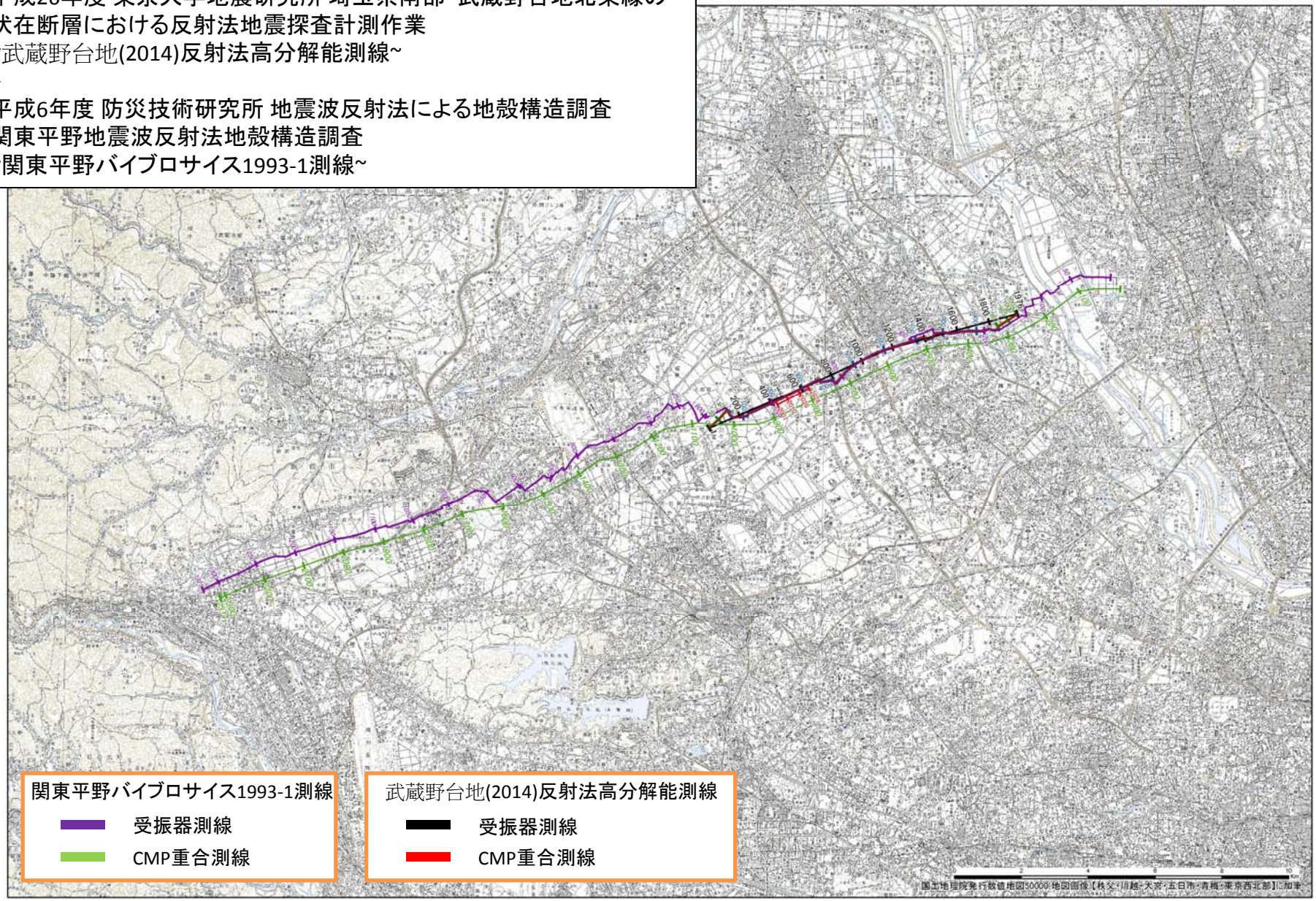
H27年度　調査予定：武蔵野台地東縁

・　武蔵野台地東縁の活動性（変動地形調査）

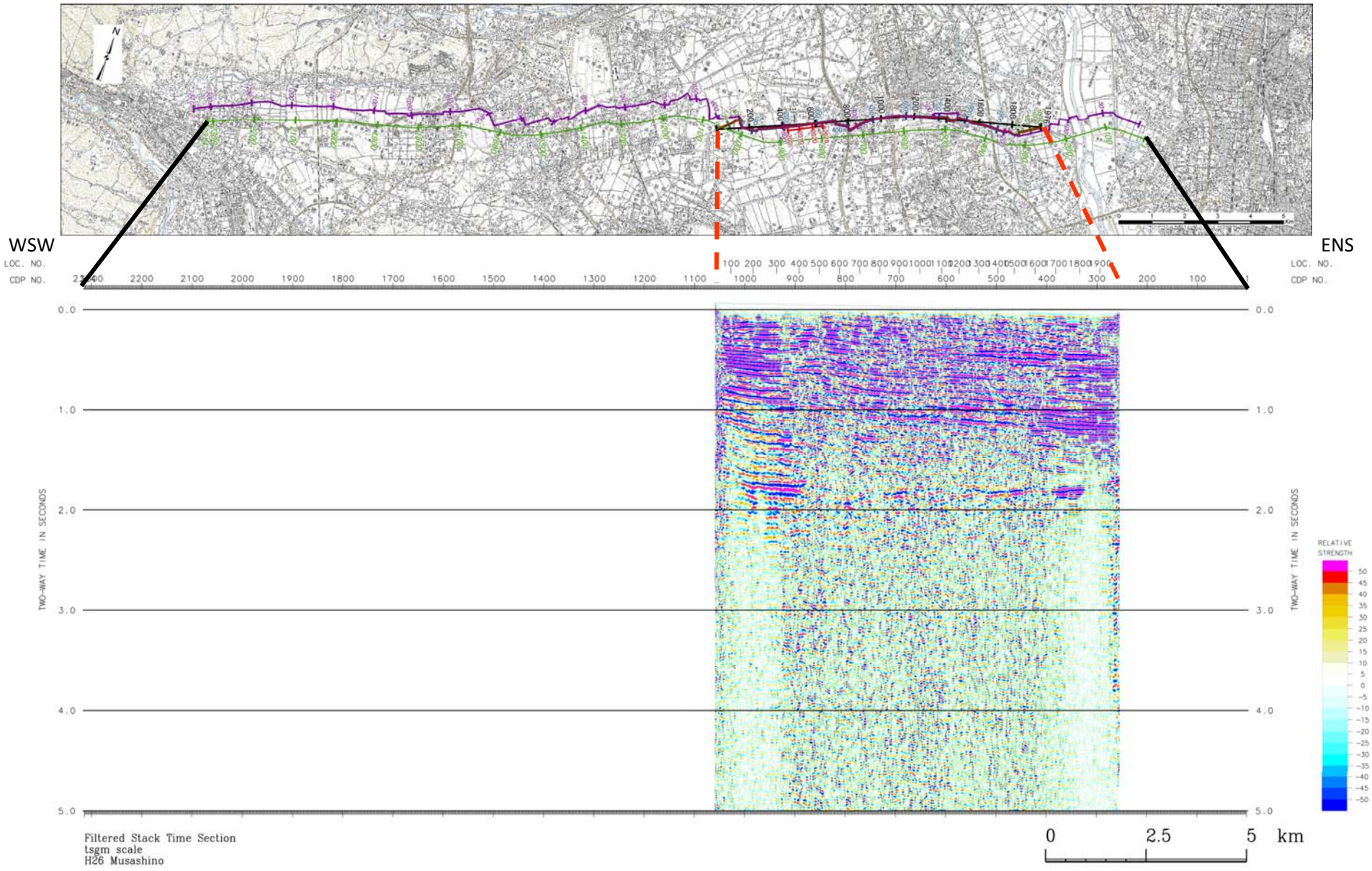
・　武蔵野台地東縁の深部形状：防災科技研との共同研究として、本測線と重複する防災科技研の深部構造探査断面との統合解析を行う。その結果を検討して、伏在断層の深部形状を検討

・　これらを反映させた矩形モデルの改訂

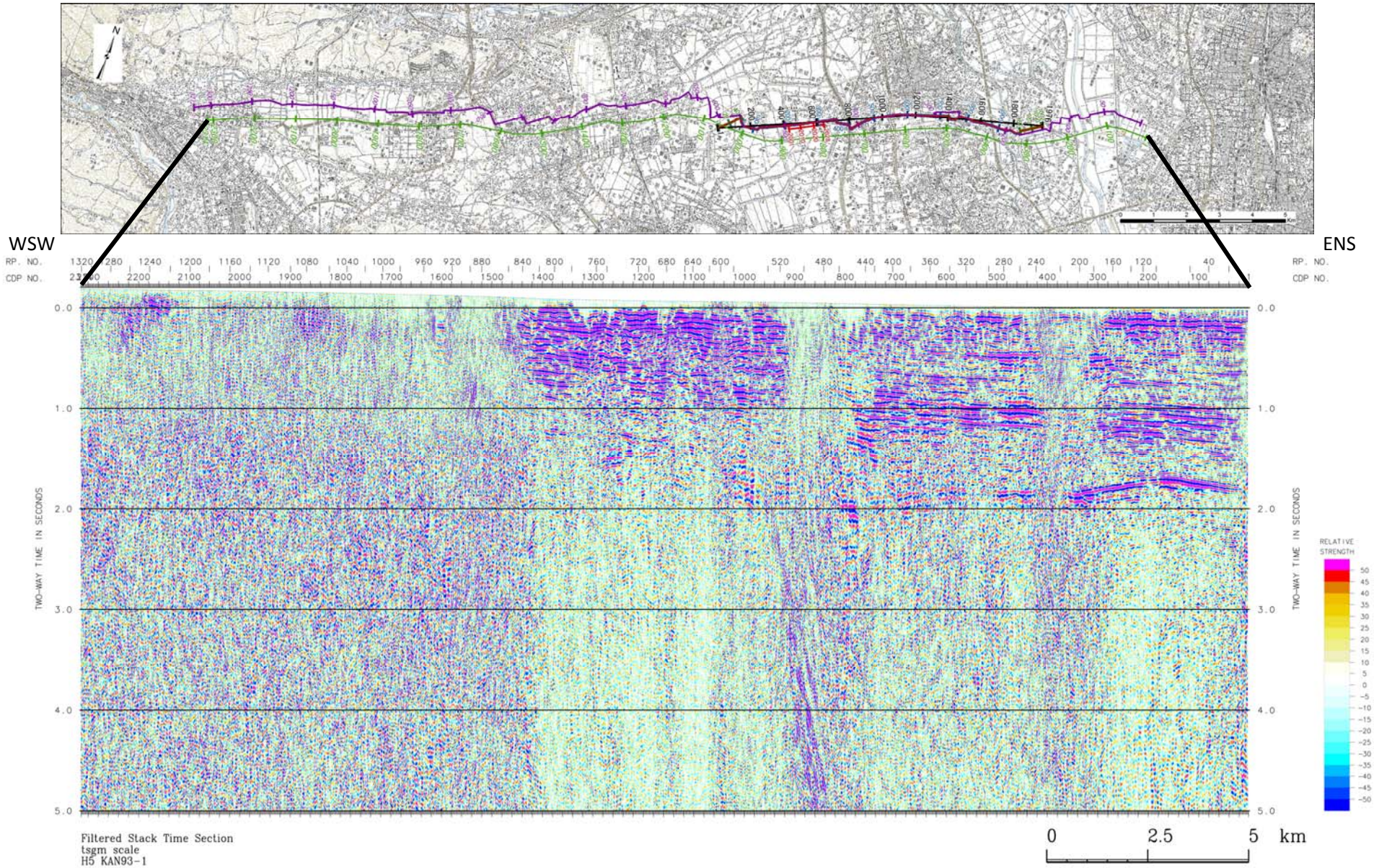
平成26年度 東京大学地震研究所 埼玉県南部・武蔵野台地北東縁の伏在断層における反射法地震探査計測作業
~武蔵野台地(2014)反射法高分解能測線~
+
平成6年度 防災技術研究所 地震波反射法による地殻構造調査
関東平野地震波反射法地殻構造調査
~関東平野バイブロサイス1993-1測線~



H26武蔵野測線 重合時間断面



KAN93-1 重合時間断面（既存処理）



武蔵野台地　KAN93-1とH26武蔵野測線の統合処理

各測線のデータ取得仕様の概略比較表

測線名	武蔵野台地(2014)反射法高分解能測線	関東平野バイブロサイス1993-1測線
測線長	10.74 km	33.0 km
発震区間	10.74 km（道路沿い）	33.0 km（道路沿い）
標準発震点間隔	10 m	100 m
総発震点数	891点	213点
受振点間隔	10m, 20m	25m
展開パターン	固定展開	移動展開(160RPs)
総受振点数	1030(固定)	1321
探鉱機フィルター	なし	低域遮断周波数：8Hz, 18dB/oct 高域遮断周波数：90Hz, 72dB/oct
CMP間隔	5.0m	12.5m
CMP範囲	1-1976(W=>E)	2341-1(W=>E)

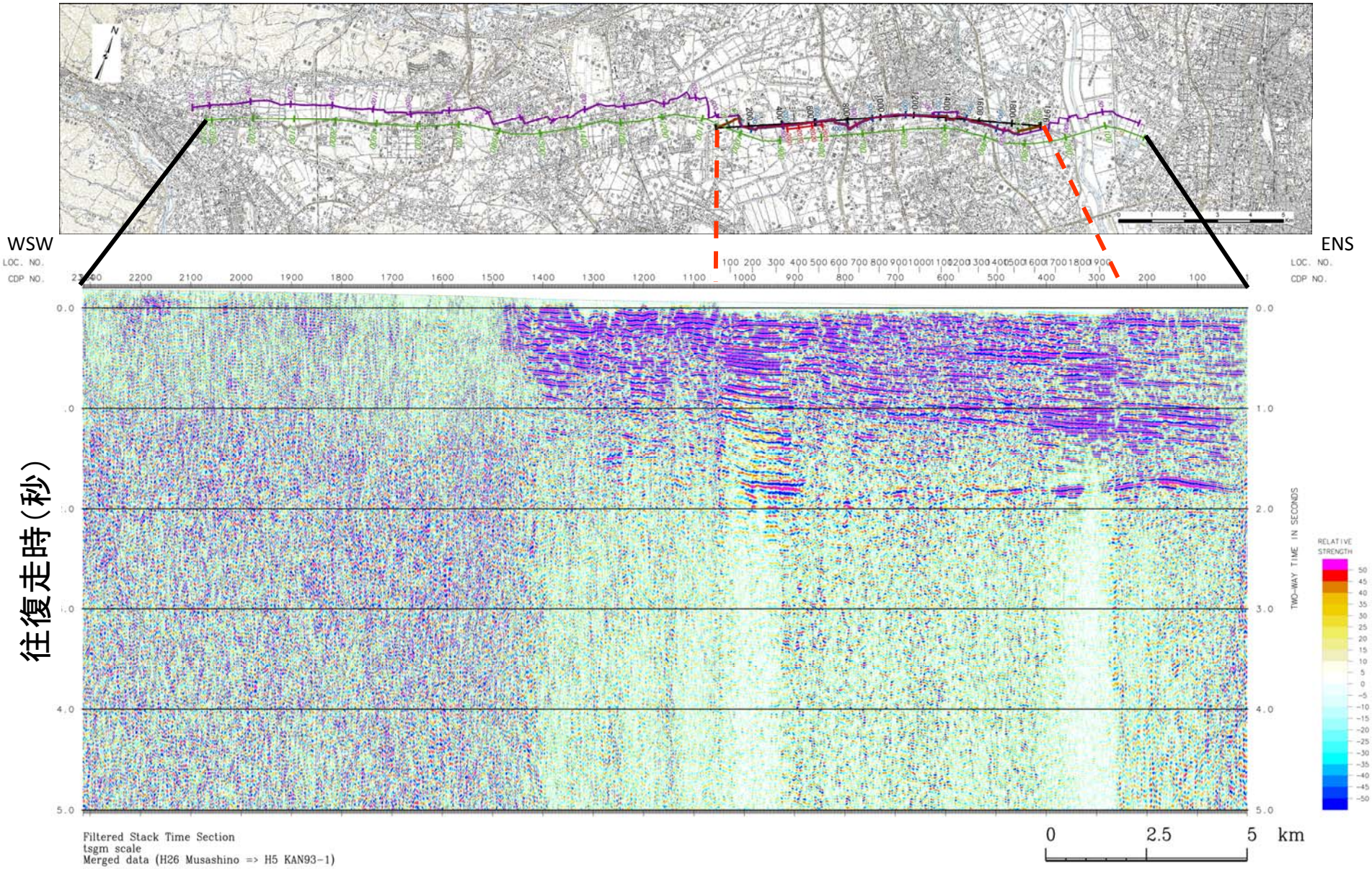
1. 関東平野バイブロサイス1993-1測線の再処理
   – ランダムノイズ抑制処理, コヒーレントノイズ抑制処理及びSurface-consistent Deconvolution

2. データ統合（関東平野バイブロサイス1993-1測線のCMP重合測線を基とする。）
   – 武蔵野台地(2014)反射法高分解能測線の前処理適用後のCMP重合前記録に対して、関東平野バイブロサイス1993-1測線の重合測線と同様のジオメトリによって、CMP重合測線を再定義し、データ投影を通じて統合データを構築。

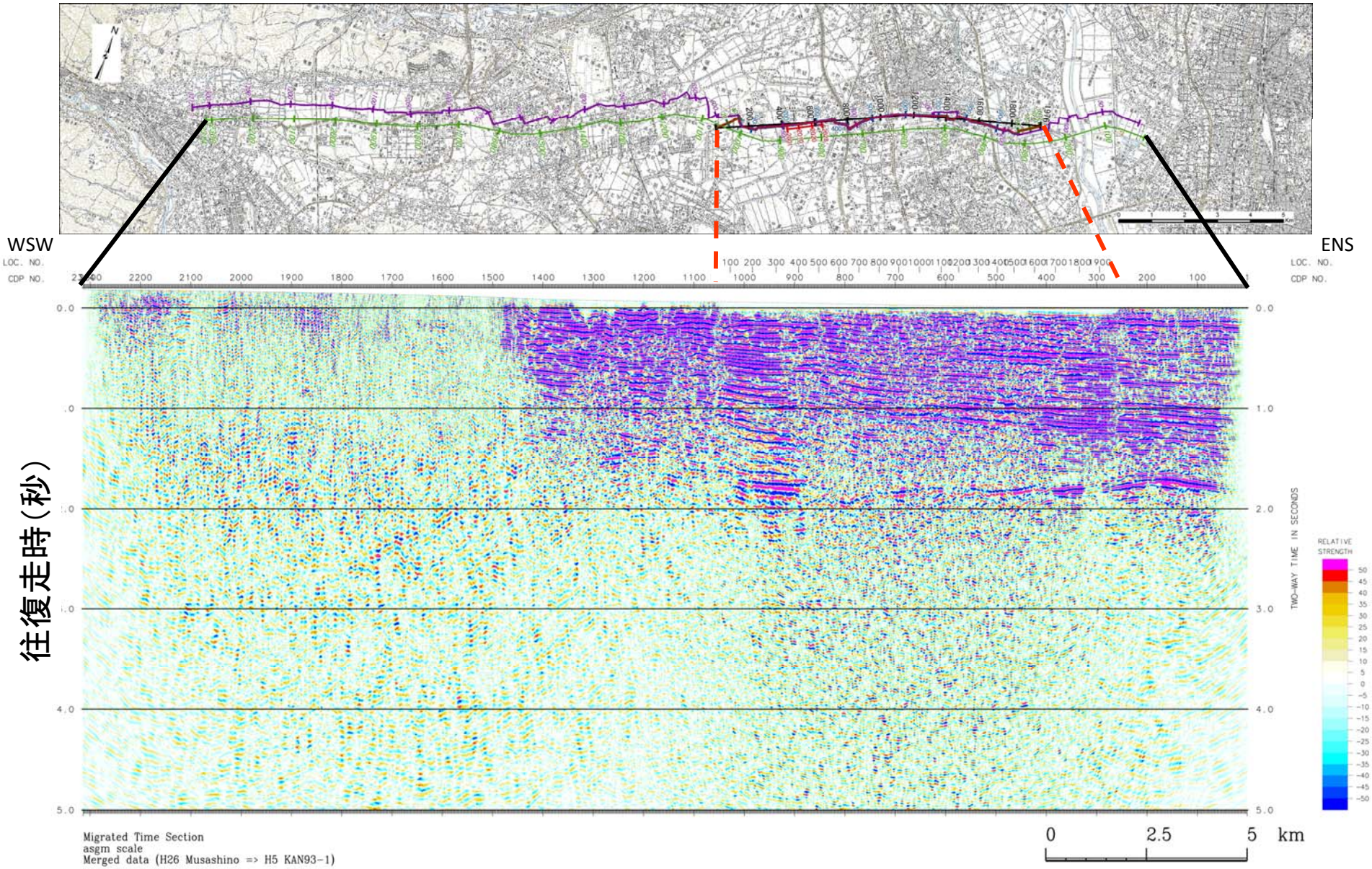
3. 統合データに対し、CMP重合処理、マイグレーション処理及び深度変換を含む一連の処理を逐次適用。

CMP再定義
CMPビンサイズ：12.5m
CMP範囲：1058-255(E=>W)

KAN93-1+武蔵野測線　統合処理（重合時間断面）

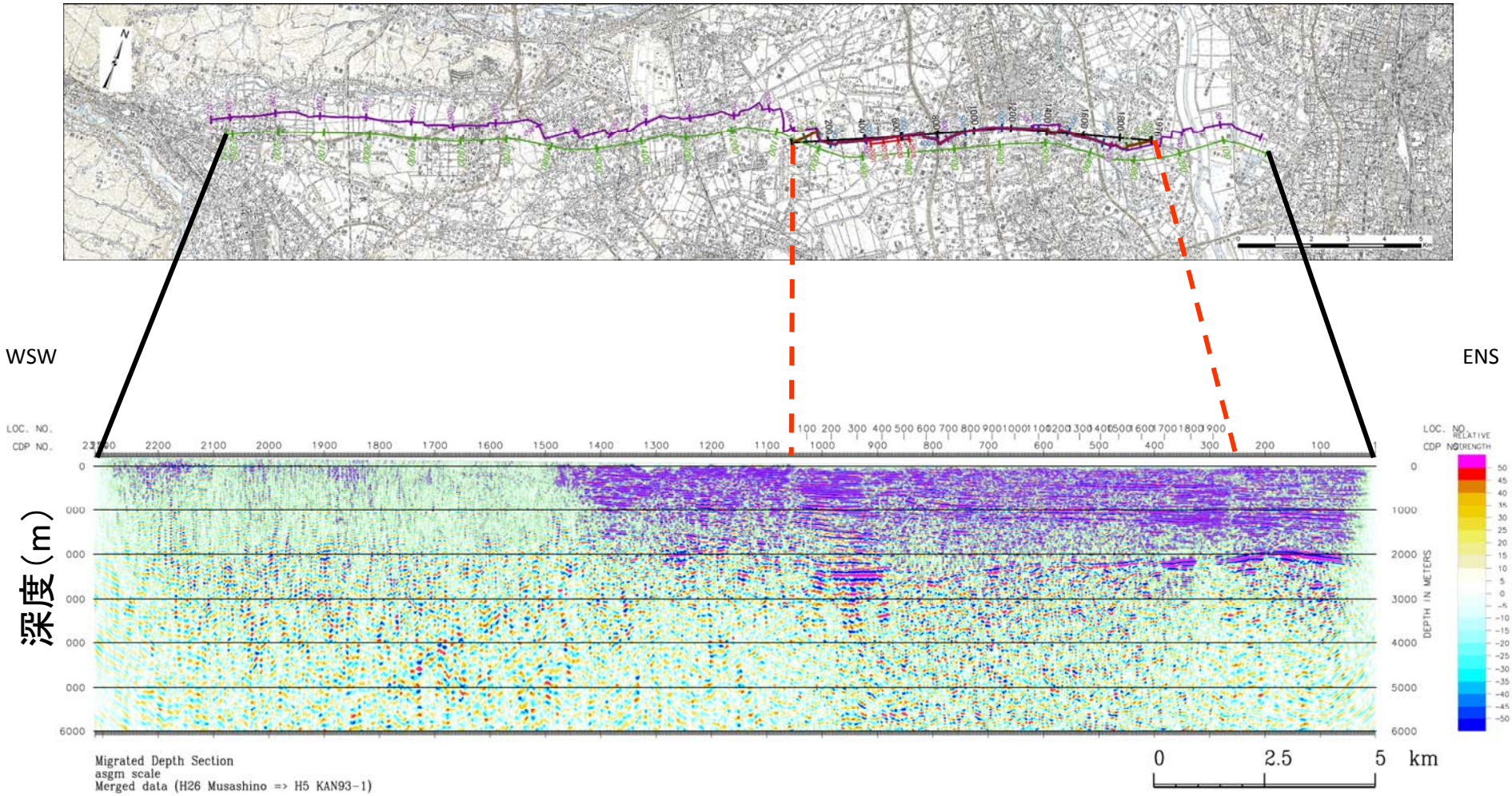


KAN93-1+武蔵野測線　統合処理（マイグレーション時間断面）

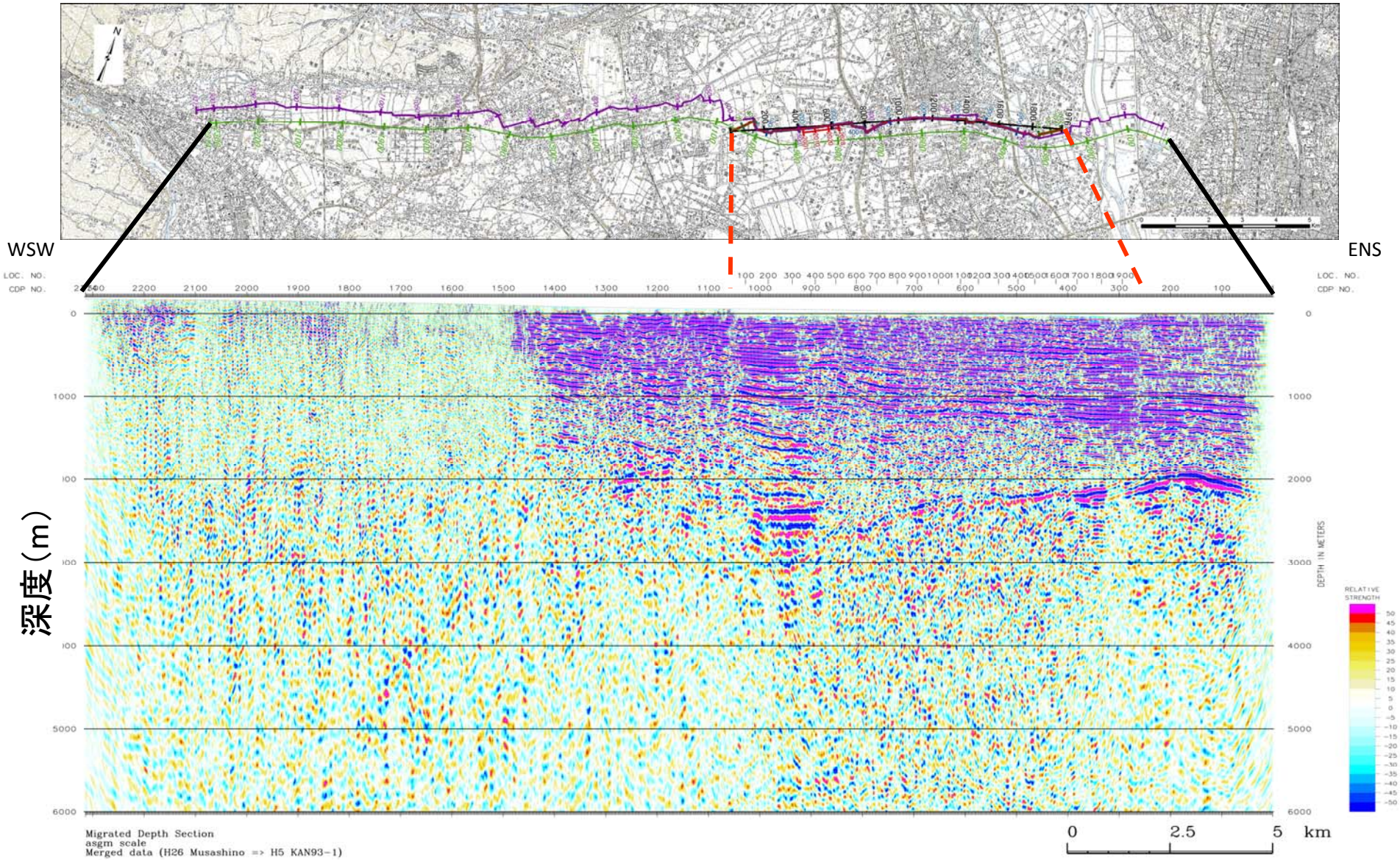


統合データ[武蔵野台地(2014)反射法高分解能測線及び関東平野バイブロサイス1993-1測線]
マイグレーション深度断面[縦横比1:1]

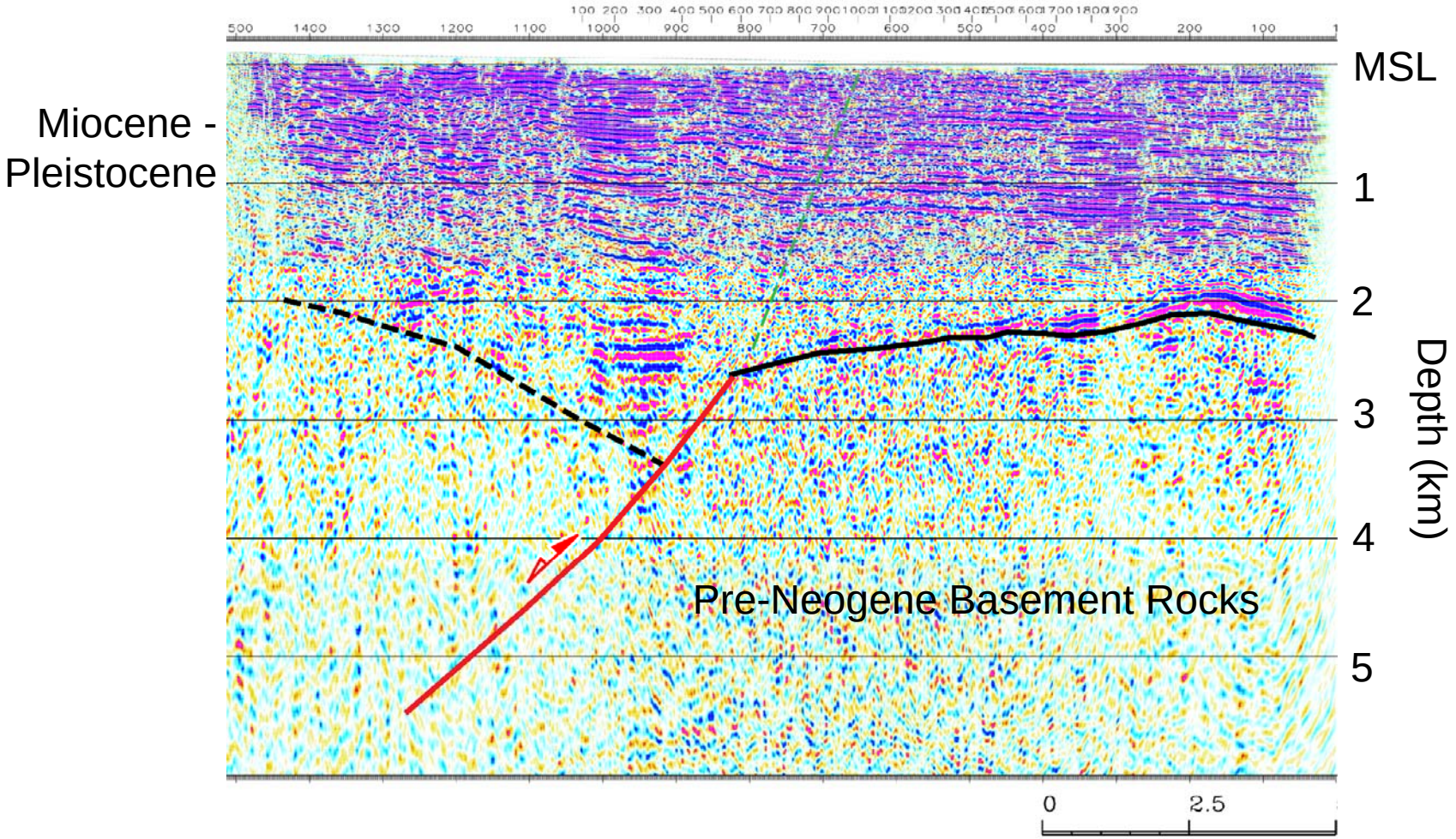
KAN93−1+武蔵野測線 統合処理(深度断面 暫定版)
縦横比1:1



KAN93-1+武蔵野測線　統合処理(深度断面　暫定版)縦横比 2:1

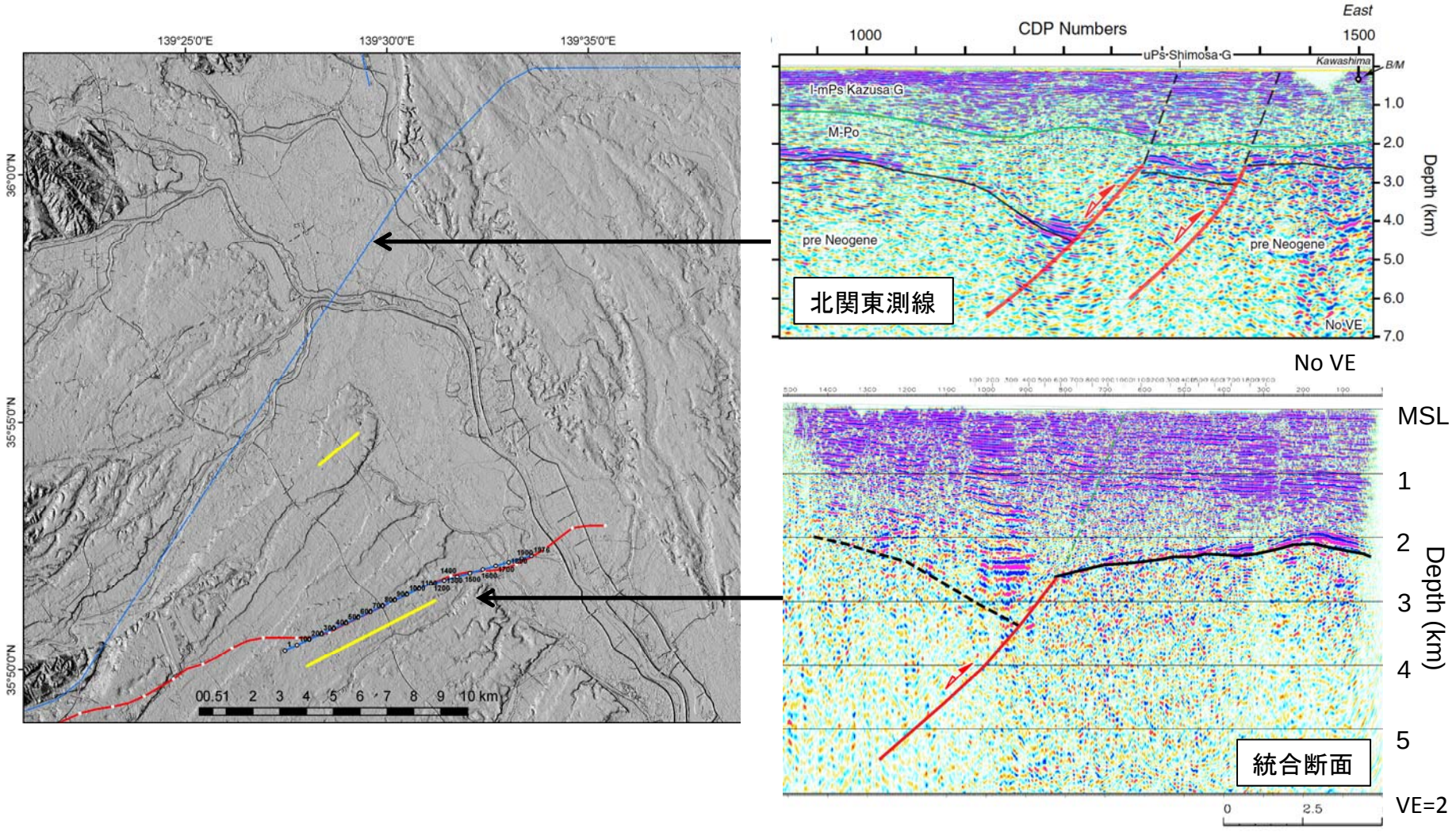


統合処理(深度断面　暫定版)解釈図　縦横比2:1



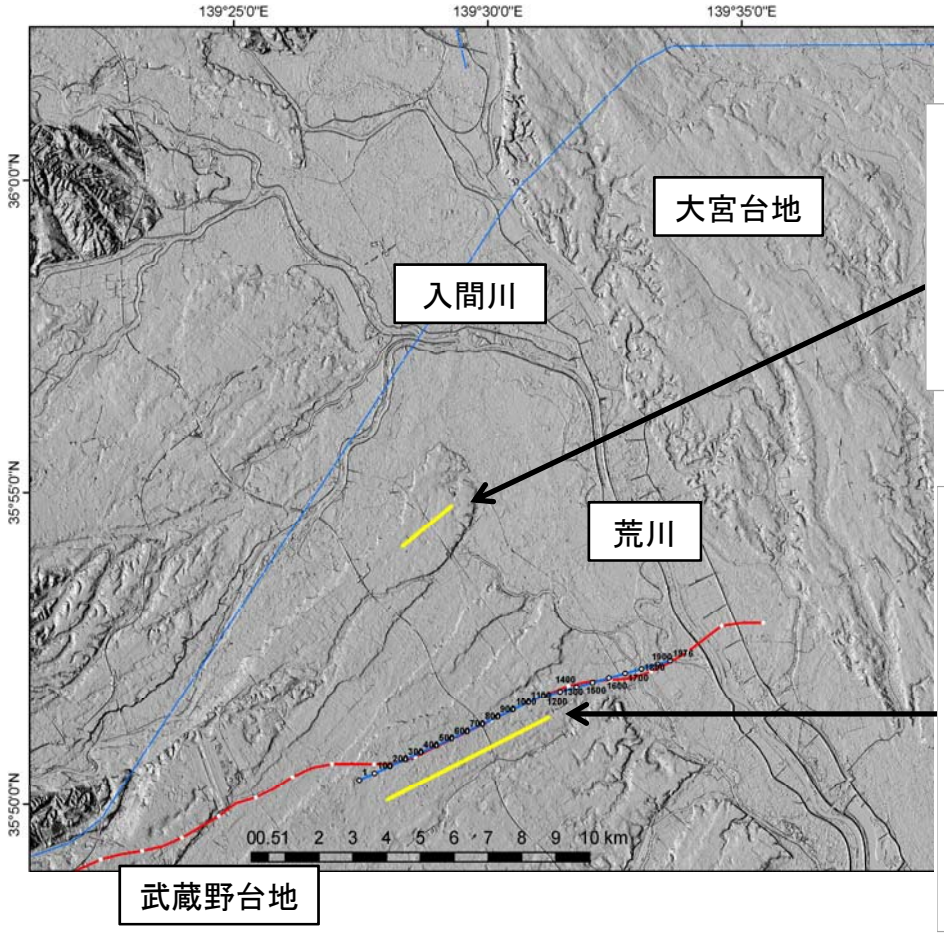
測線中央部に中新世に形成された半地溝構造(ハーフ・グラーベン)と、その直上に西傾斜の向斜軸をもつ単斜構造が認められ、半地溝構造の再活動により形成されたと考えられる

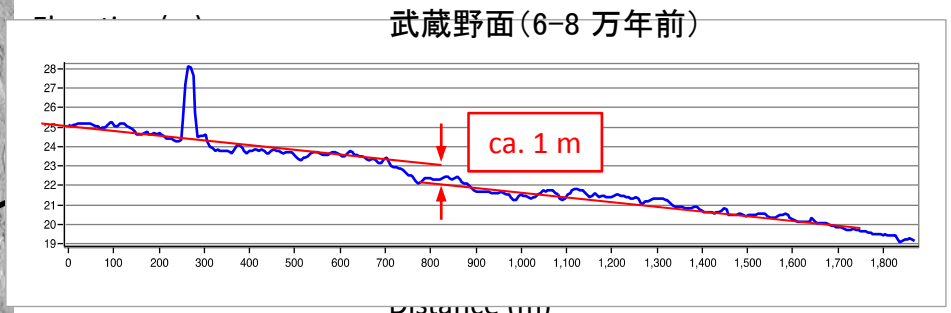
大大特・北関東測線との比較

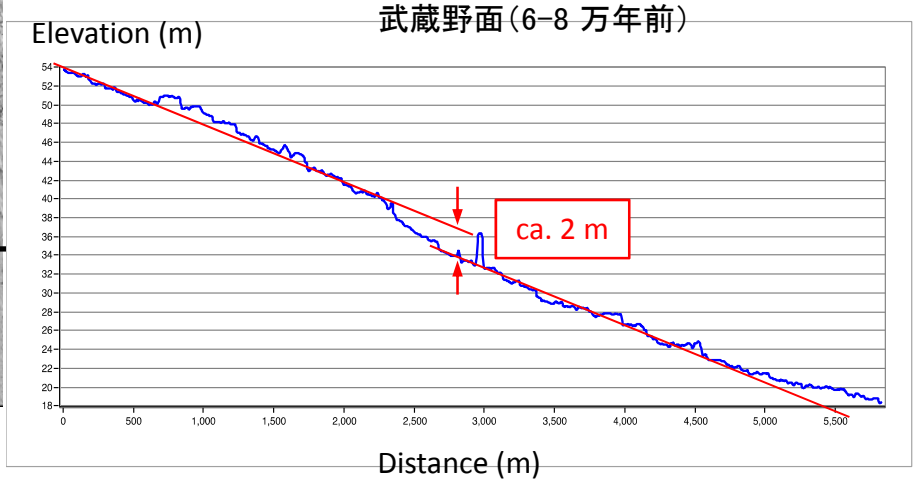


武蔵野測線に認められる構造は、北関東測線と類似の構造（中新世の半地溝構造の反転によって形成された単斜構造）を示す

武蔵野台地北東縁部の段丘に見られる変位地形

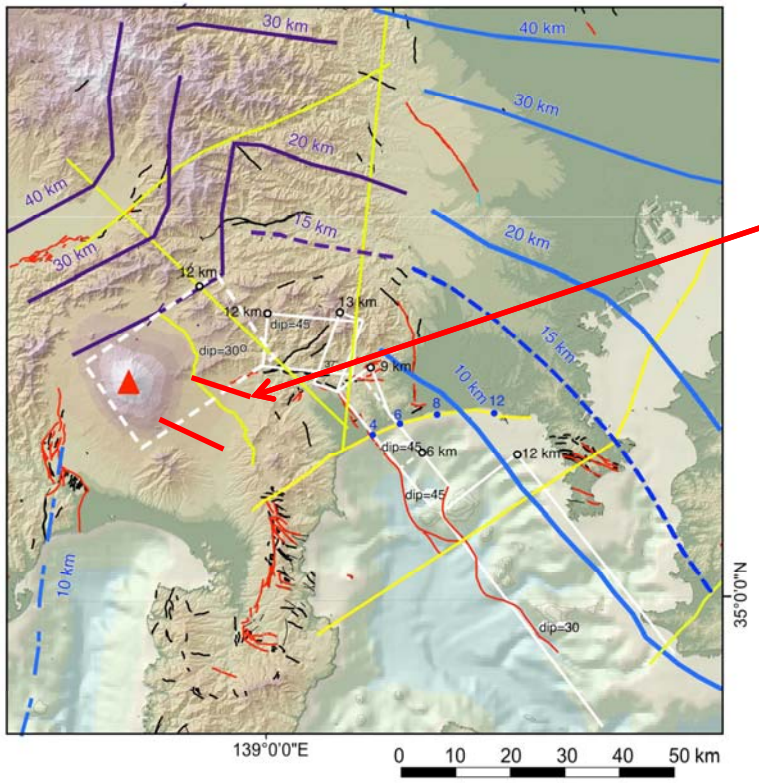




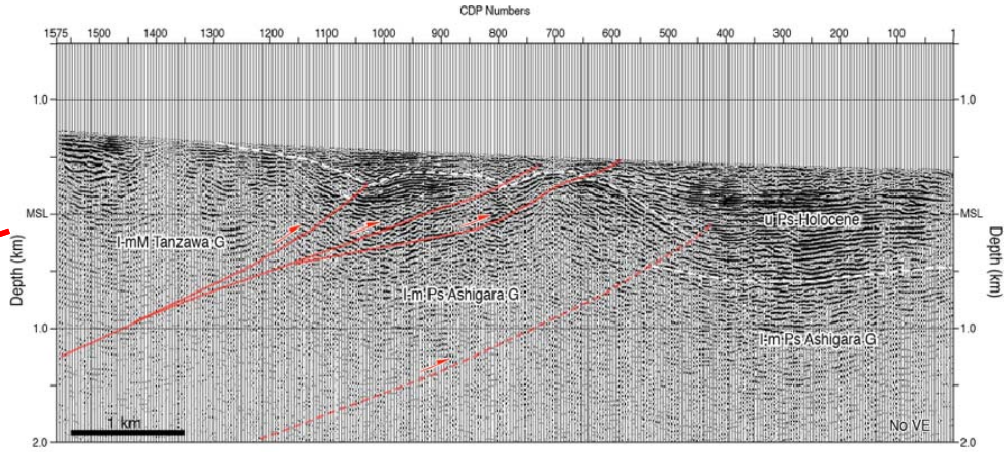


反射断面で認められた半地溝の反転構造の直上では、武蔵野面（6–8万年前に形成された扇状地性の河成段丘面）上に、北東側低下の崖地形が断続的に存在する→最近の活動を示す変位地形の可能性

H27年度　御殿場地域の反射法地震探査

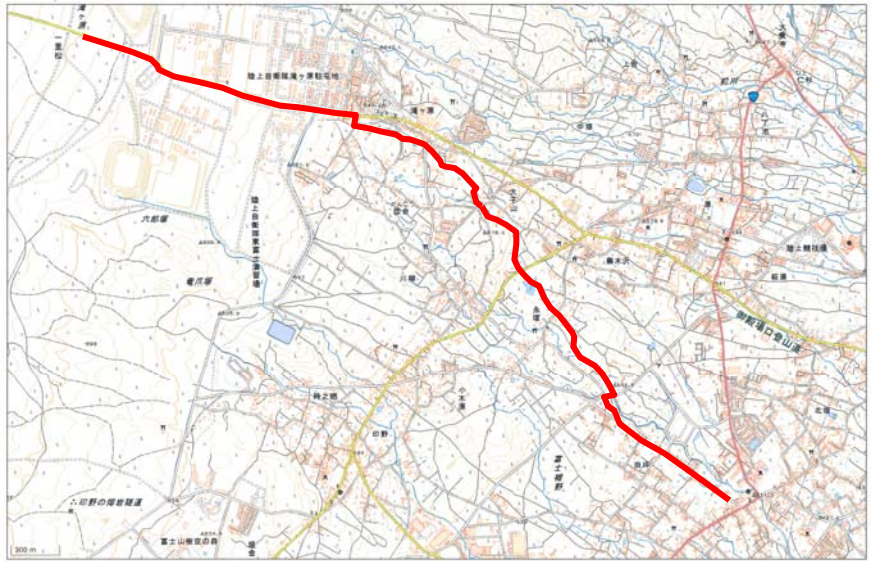


国府津松田重点での断層モデル（佐藤ほか、2011）
黄色は深部構造探査測線



H23年度小山測線（石山ほか、2011）（国府津松田重点）

富士山東麓部で新たに反射法探査を行い、
に伏在する逆断層の分布・形状を明らか
にする



1 km

H27年度御殿場測線

平成27年度　御殿場反射法地震探査

- 目的: 小山測線で見られた断層の南東延長での構造を明らかにする
- 測線長　約6 km（御殿場市原里から同滝ヶ原）
- 震源　中型バイブレーター
- 収録器 GSR（独立型レコーダー）
- 期間　2016/2/14～2/23
- **H28年度中にデータ処理**

（右上より時計回り）受振点に設置されたGSR、震源車（EnviroVib）、測線風景（西側）、DGPSによる測量

平成28年度　業務計画

- 首都圏地震観測網（MeSO-net）で得られた自然地震の後続波を用いて、首都圏下のプレート境界面などのマッピングを行い、構造モデルを更新する。本プロジェクトで得られた資料を総括し、首都圏下の断層モデルを更新する。地殻変動解析や構成岩石モデル（b2）等より得られた現実的な粘性構造を三次元有限要素モデルに取り込み、今後数10年間の断層面上でのクーロン応力変化を求める。