

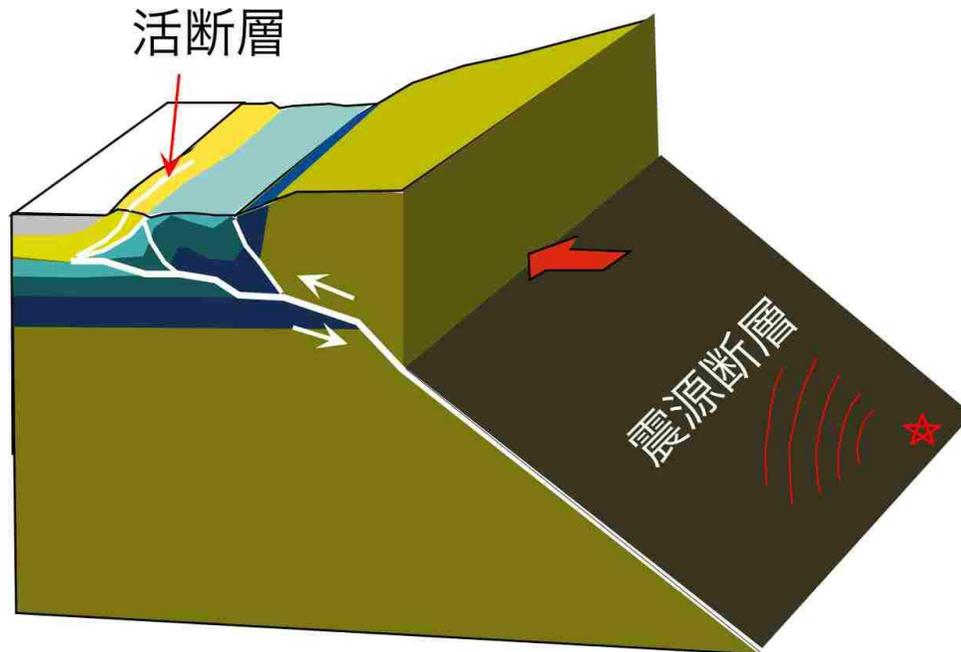
上盤プレート内地震の 長期評価に向けて

佐藤比呂志
東京大学地震研究所

用語の使い方

活断層：地形・地質学的に認められる断層で、最近地質時代に繰り返し活動したもの（松田時彦，1997）

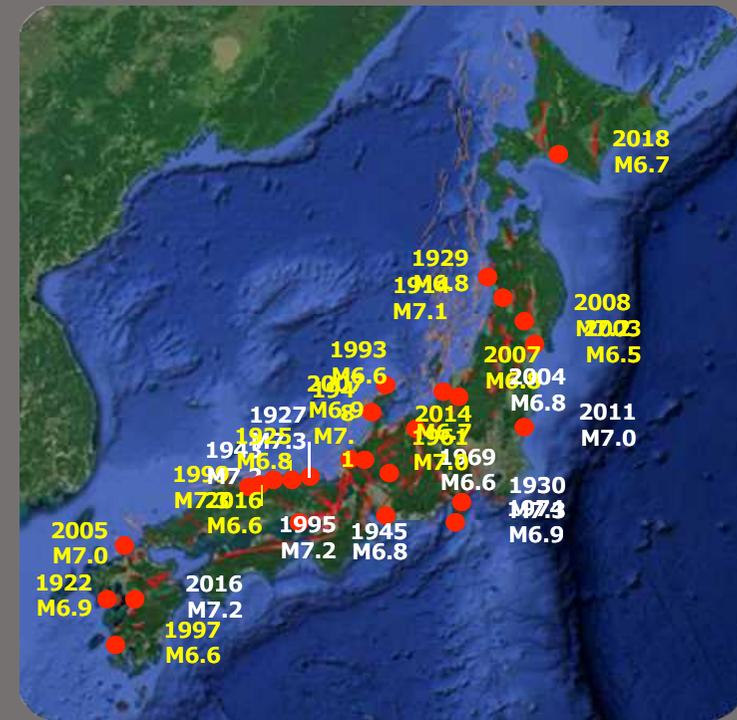
※震源断層：地震波を発生させる断層



ここで活断層という用語は、活断層-震源断層システムの浅部に限定して使用する。

20世紀以降の内陸で発生した主な地震（M6.5以上）

- 1914 秋田仙北 (M7.1)
- 1922 千々石湾 (M6.9) # 雲仙断層帯
- 1925 北但馬 (M6.8) #
- 1939 男鹿 (M6.8) #
- 1930 北伊豆 (M7.3) 丹那断層
- 1927 北丹後 (M7.3) 郷村断層・山田断層 (一部)
- 1943 鳥取 (M7.2) 吉岡断層・鹿野断層
- 1945 三河 (M6.8) 深溝断層
- 1948 福井 (M7.1)
- 1961 北美濃 (M7.0)
- 1962 宮城県北部 (M6.5)
- 1969 岐阜県中部 (M6.6) 畑佐断層
- 1974 伊豆半島沖 (M6.9) # 石廊崎断層
- 1993 能登半島沖 (M6.6) #
- 1995 兵庫県南部 (M7.2) 野島断層・六甲断層系 (一部)
- 1997 鹿児島県北西部 (M6.6)
- 1999 鳥取県西部 (M7.3)
- 2004 中越 (M6.8) 小平尾断層
- 2005 福岡県西方沖 (M7.0) #
- 2007 能登半島 (M6.9) #
- 2007 中越沖 (M6.8) #
- 2008 岩手宮城内陸 (M7.2)
- 2011 長野県北部 (M6.7)
- 2011 福島県浜通 (M7.0) 塩ノ平断層・井戸沢断層
- 2014 長野県北部 (M6.7) 神城断層
- 2016 熊本 (M7.2) 布田川・日奈久 (一部)
- 2016 鳥取県中部 (M6.6)
- 2018 北海道胆振東部 (M6.7)

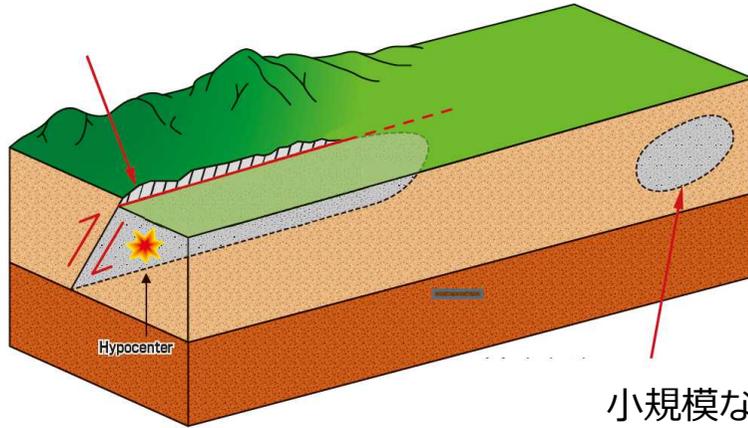


黄色：震源と活断層の関連が不明な地震

海陸境界部で発生した地震

活断層-震源断層システムの分類

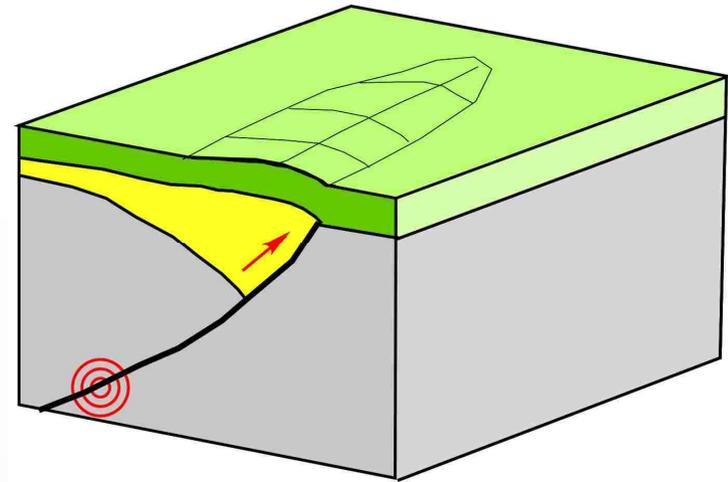
通常M6.8以上の地震では、地表に地震断層が出現



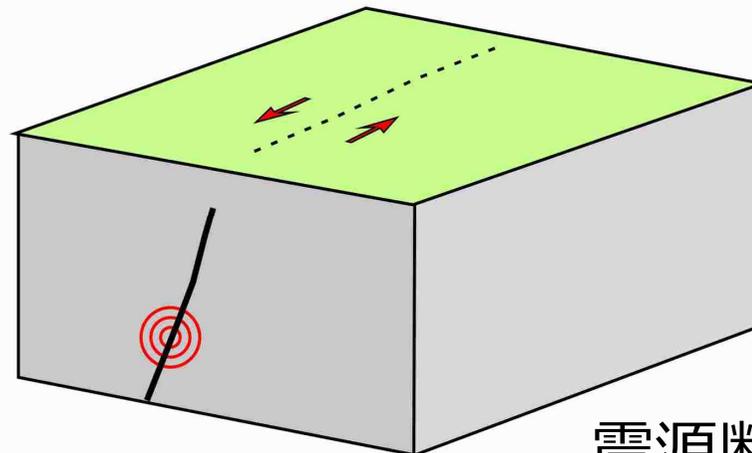
小規模な震源断層

活断層-震源断層

厚い堆積層、溶岩など火山噴出物により被服、地質構造に現れているもの



伏在活断層-震源断層



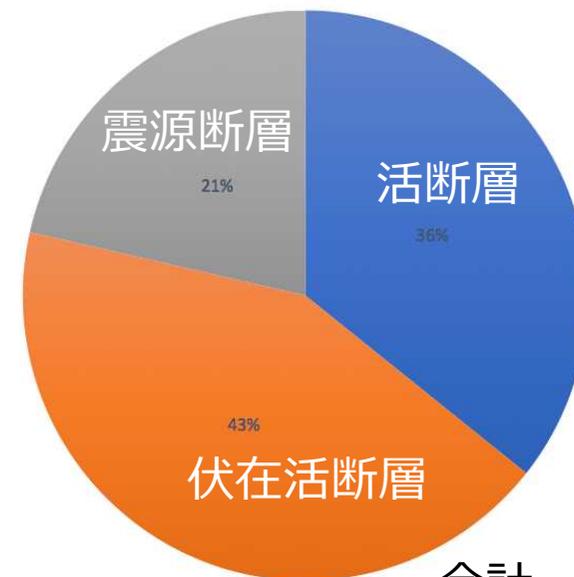
震源断層

地質構造などから、震源断層の存在を把握できない

20世紀以降の内陸地震を起こした震源断層の分類

活断層-震源断層 10

- 1930 北伊豆 (M7.3) 丹那断層
- 1927 北丹後 (M7.3) 郷村断層・山田断層 (一部)
- 1943 鳥取 (M7.2) 吉岡断層・鹿野断層
- 1945 三河 (M6.8) 深溝断層
- 1969 岐阜県中部 (M6.6) 畑佐断層
- 1974 伊豆半島沖 (M6.9) # 石廊崎断層
- 1995 兵庫県南部 (M7.2) 野島断層・六甲断層系 (一部)
- 2004 中越 (M6.8) 小平尾断層
- 2011 長野県北部 (M6.7)
- 2011 福島県浜通 (M7.0) 塩ノ平断層・井戸沢断層
- 2014 長野県北部 (M6.7) 神城断層
- 2016 熊本 (M7.2) 布田川・日奈久 (一部)



合計 28

伏在活断層-震源断層 12

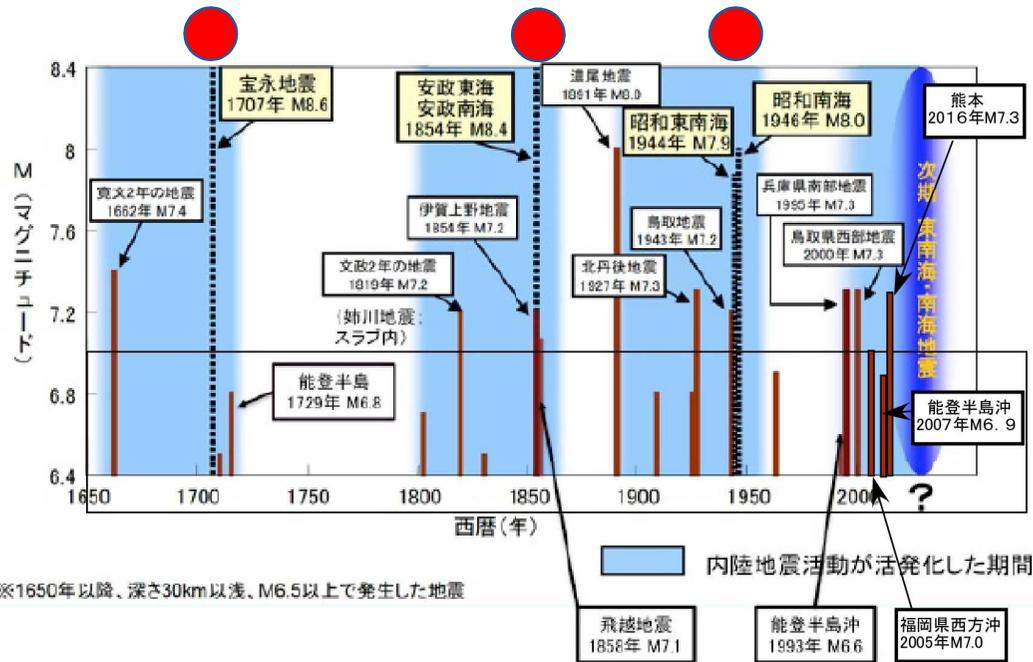
- 1914 秋田仙北 (M7.1)
- 1922 千々石湾 (M6.9) # 雲仙断層帯
- 1939 男鹿 (M6.8) #
- 1948 福井 (M7.1)
- 1961 北美濃 (M7.0)
- 1962 宮城県北部 (M6.5)
- 1993 能登半島沖 (M6.6) #
- 2005 福岡県西方沖 (M7.0) #
- 2007 能登半島 (M6.9) #
- 2007 中越沖 (M6.8) #
- 2008 岩手宮城内陸 (M7.2)

- ・ 活動履歴から長期評価可能な断層は半数以下
- ・ 全体に震源断層の抽出が不足

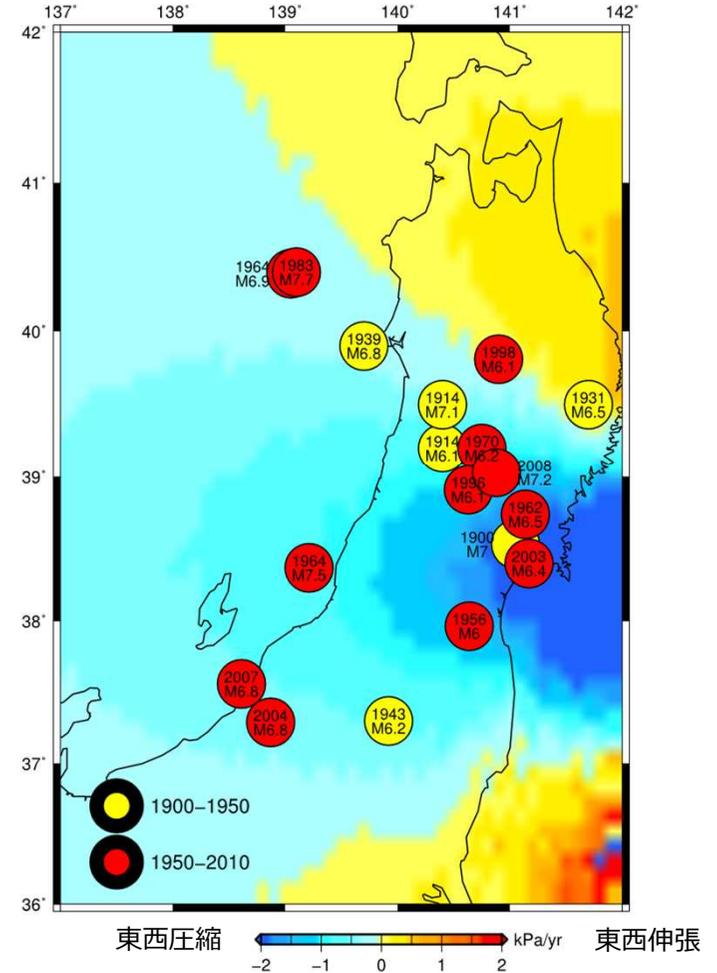
震源断層 6

- 1925 北但馬 (M6.8) #
- 1997 鹿児島県北西部 (M6.6)
- 1999 鳥取県西部 (M7.3)
- 2011 長野県北部 (M6.7)
- 2016 鳥取県中部 (M6.6)
- 2018 北海道胆振東部 (M6.7)

プレート間巨大地震と上盤プレート内地震の関係



南海トラフ沿いのプレート間巨大地震 (赤丸) と内陸地震のMT図



2011年東北地方太平洋沖地震前の東西方向の応力蓄積速度と地震前の20世紀以降に発生したM6以上の地震 (Hashima et al., in prep.) Freed et al. (2017)のモデルをもとに計算

構造モデルによる地震発生ポテンシャル評価

プレート境界でのすべり

島弧における
現在の応力場
を規定

構造モデル

数値実験

粘性を含む

変形・応力

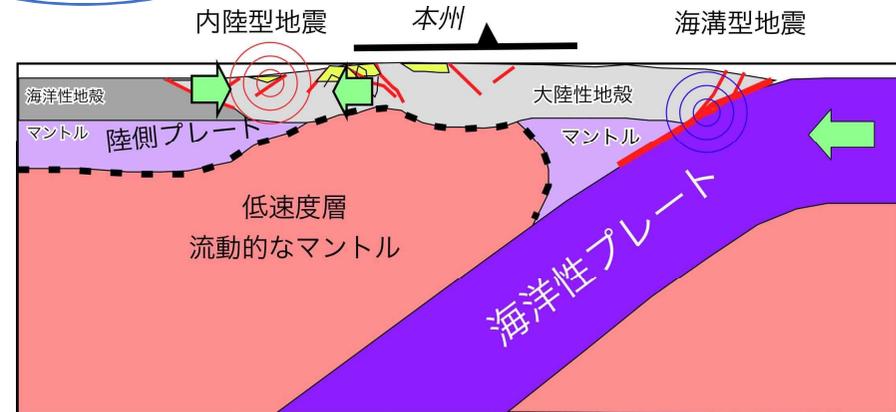
地殻変動・地震活動
など

観測データ

地殻活動予測

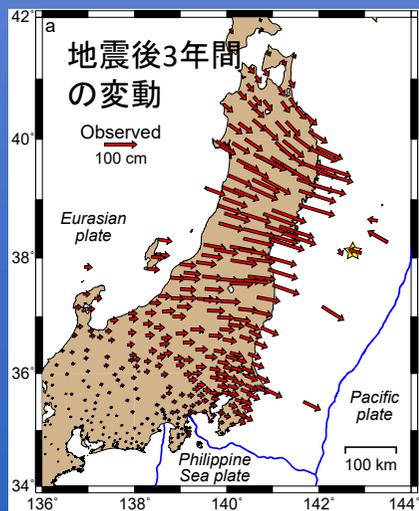
断層システムの形
状など

被害地震発生ポテンシャルの評価

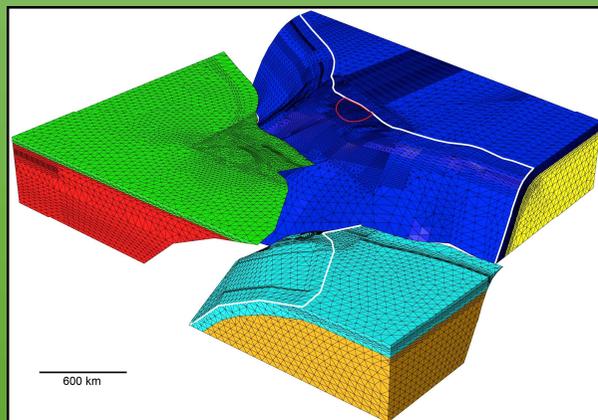


地殻変動データを用いた応力モデリング

稠密な地殻変動データ



有限要素モデル (FEM)



比較

最適モデルを用いて
コンピューター上で
応力計算

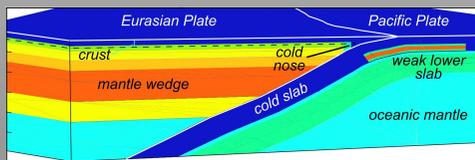
- 応力の推定
- 地震発生ポテンシャル評価

地殻変動データを
説明する最適モデルを
決定

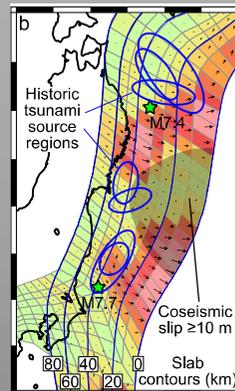
入力

修正

内部構造と
すべり分布の
推定



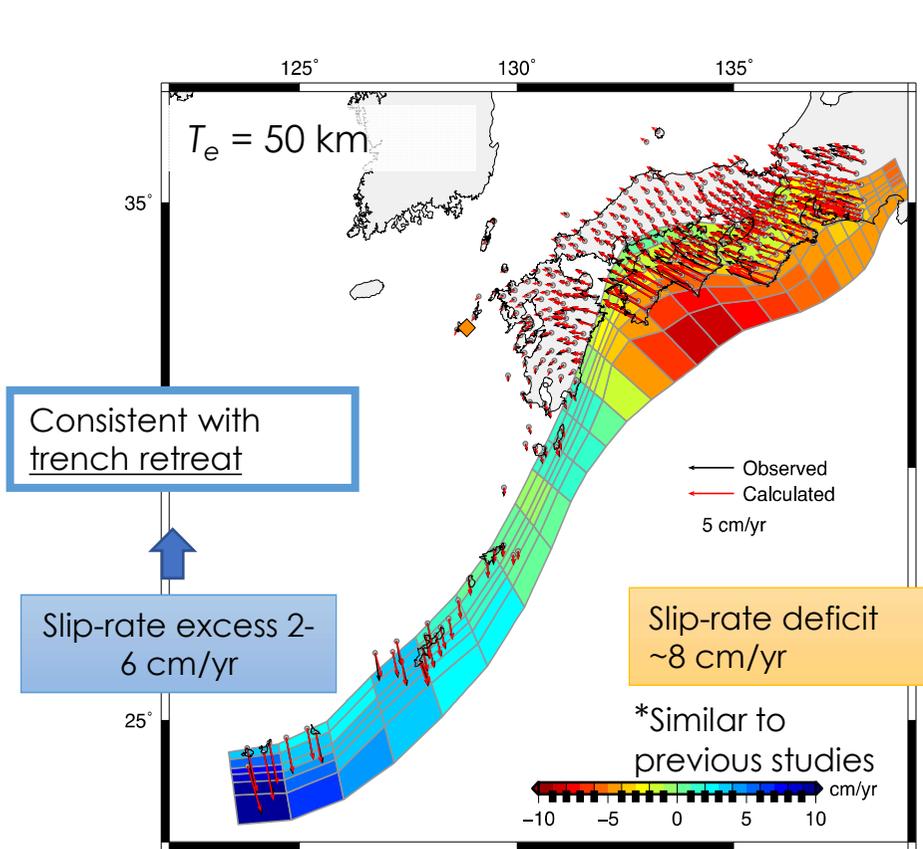
(Freed et al., 2017)



震源断層の形状モデル

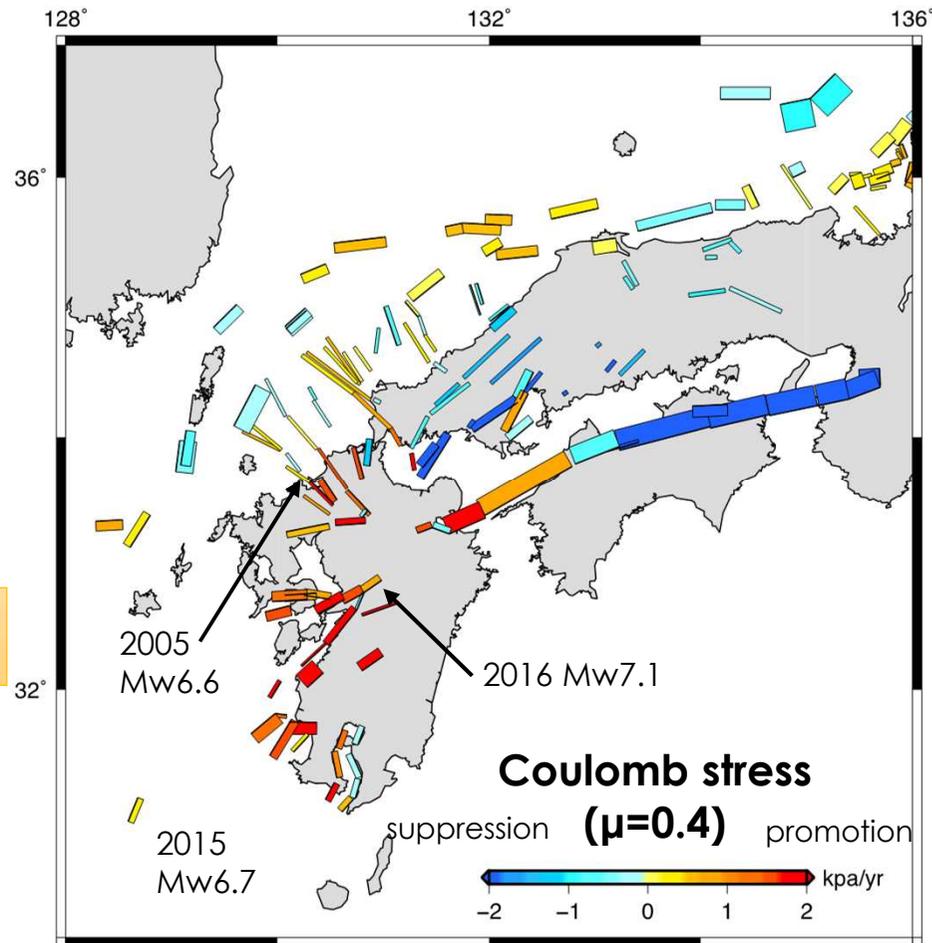
西南日本における地殻変動のモデル化と断層面上のクーロン応力蓄積速度

上盤プレート内地震の長期評価のための物理モデルの基礎を提供



インバージョンによって得られたすべり速度
欠損分布・余剰分布と地表変位速度

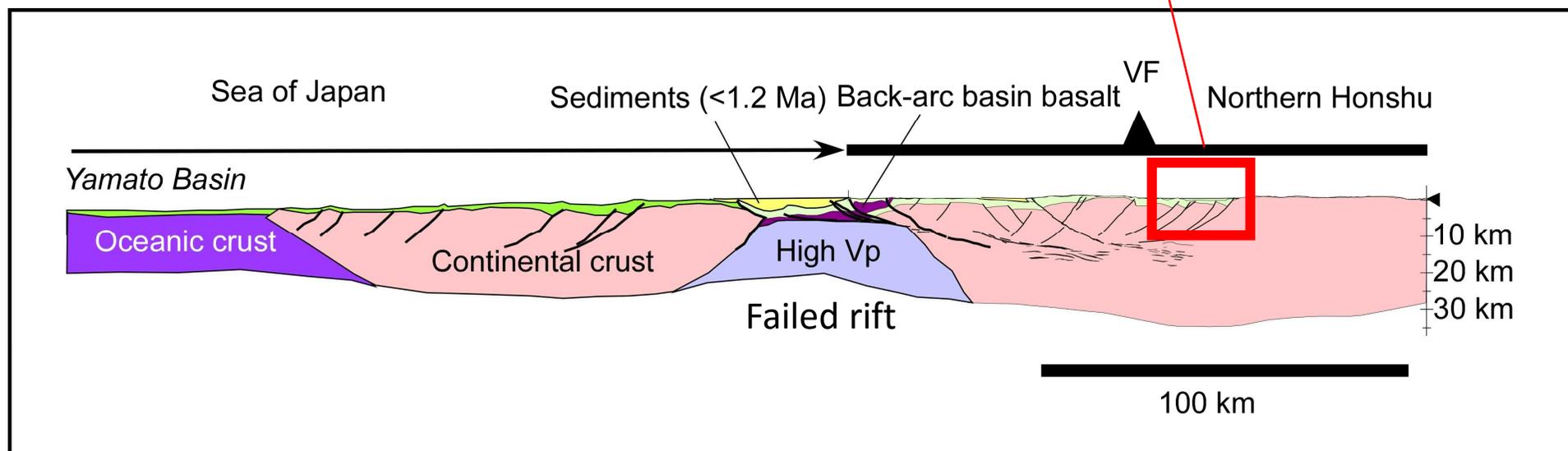
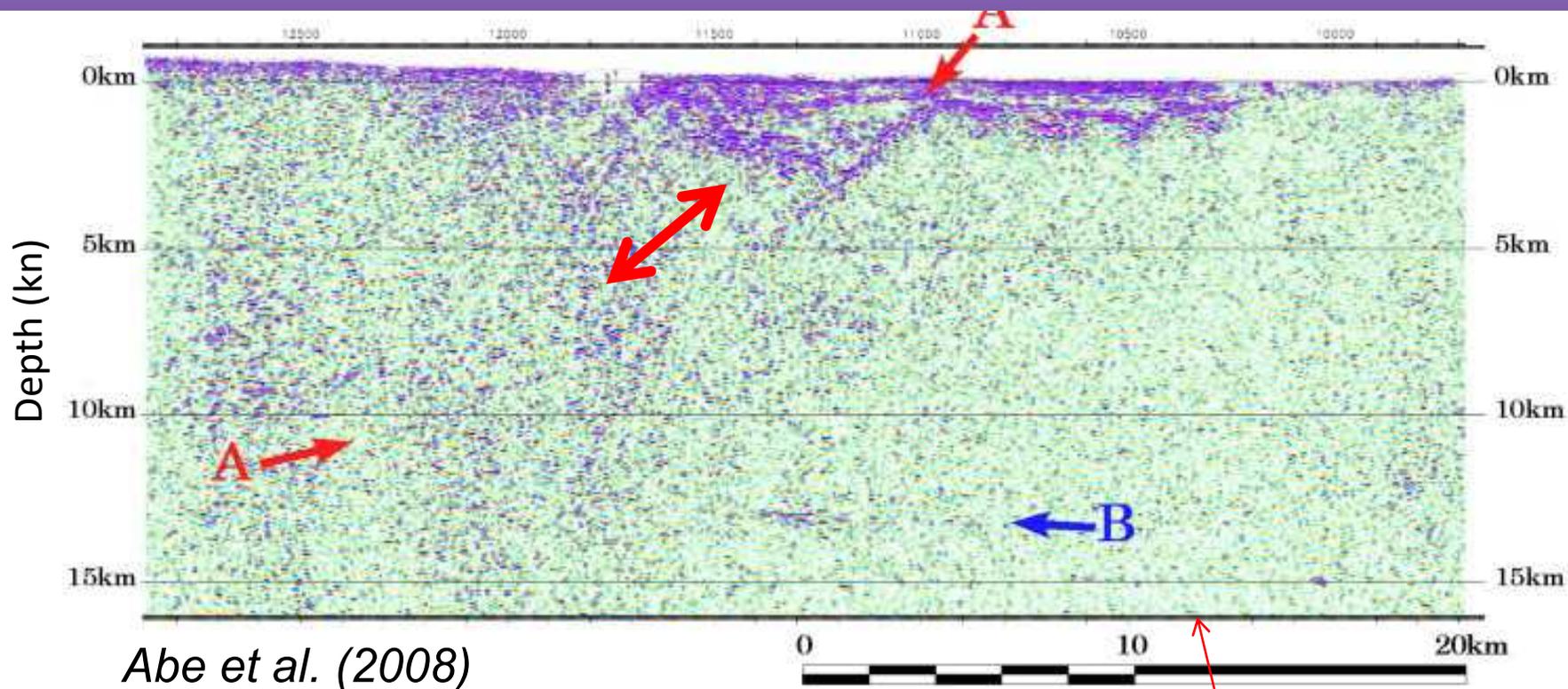
矢印と各点の色は残差変位速度の水平、上下成分。
残差変位速度は観測変位速度から計算変位速度を
差し引いた量である。



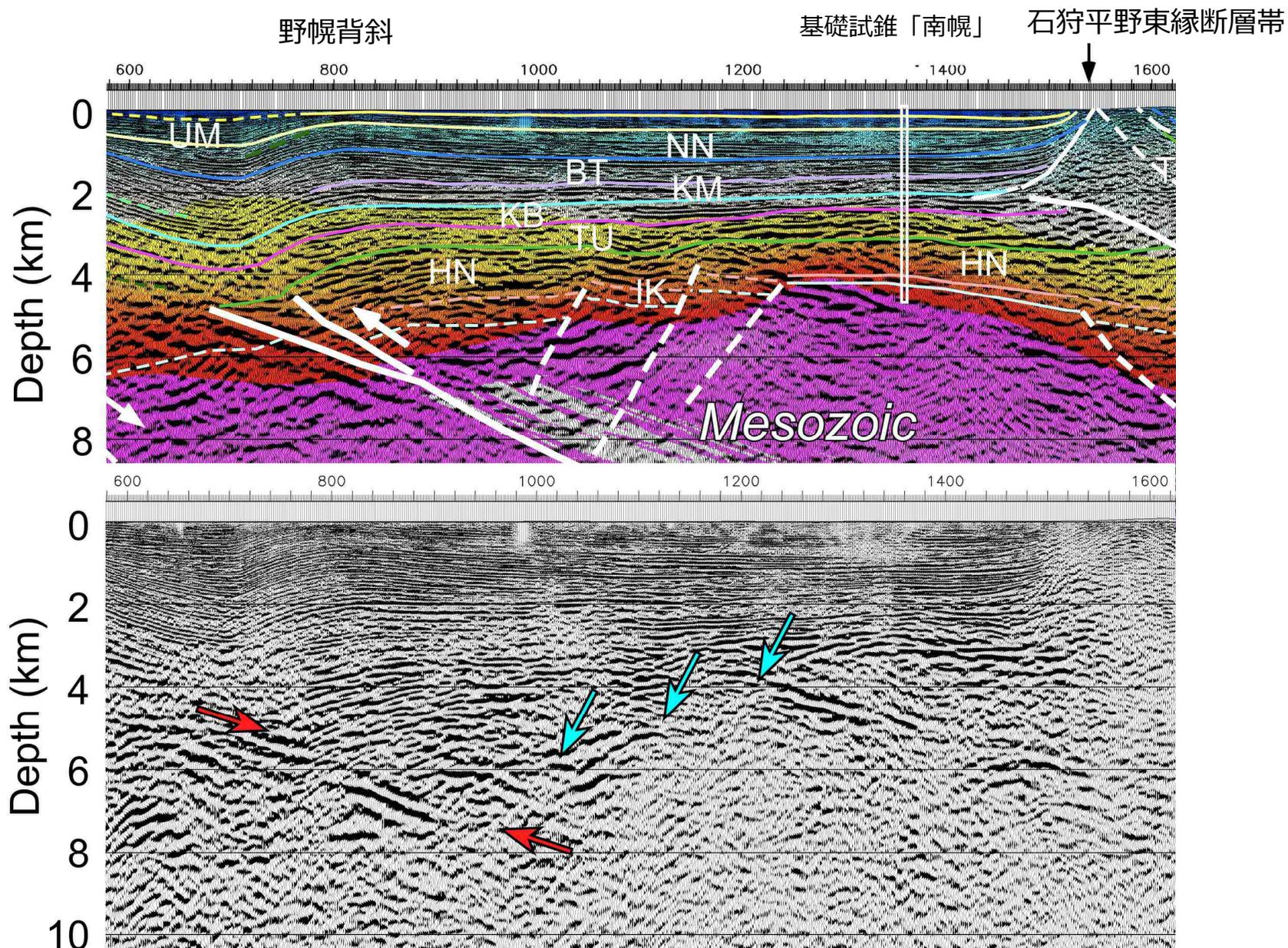
震源断層におけるクーロン破壊応力

Hashima et al. (2018) SCEC
meeting abstractによる。

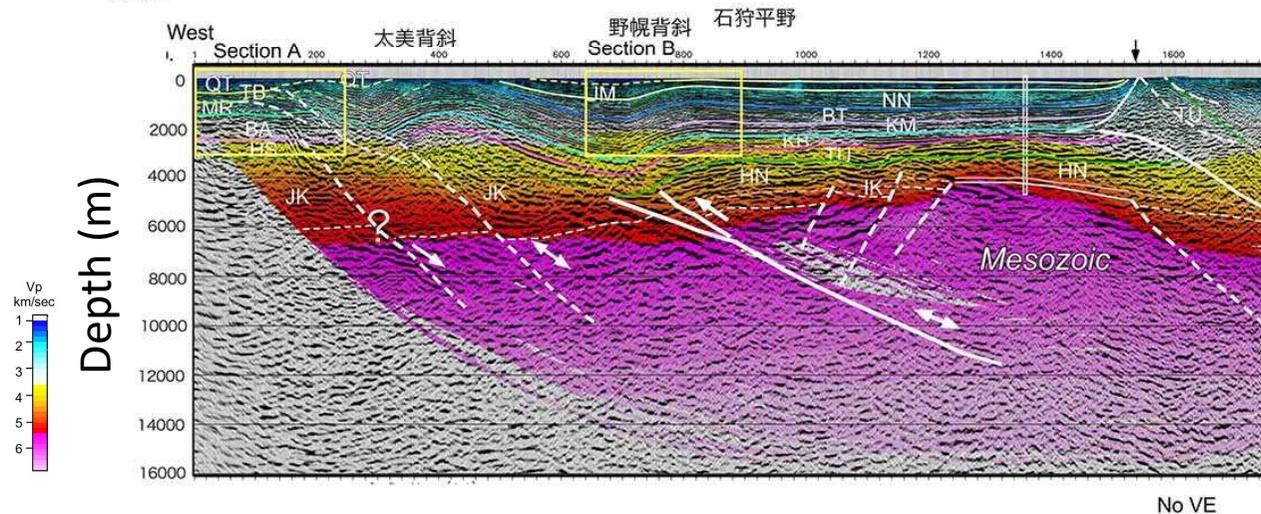
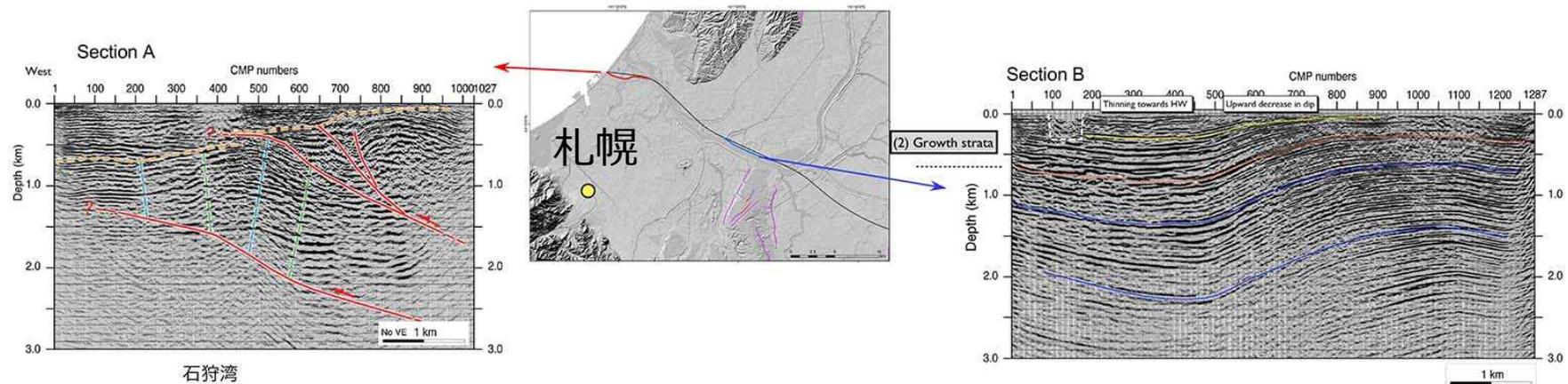
反射法による震源断層のイメージング:北上低地西縁断層帯



低周波の制御震源を利用した伏在断層のイメージング

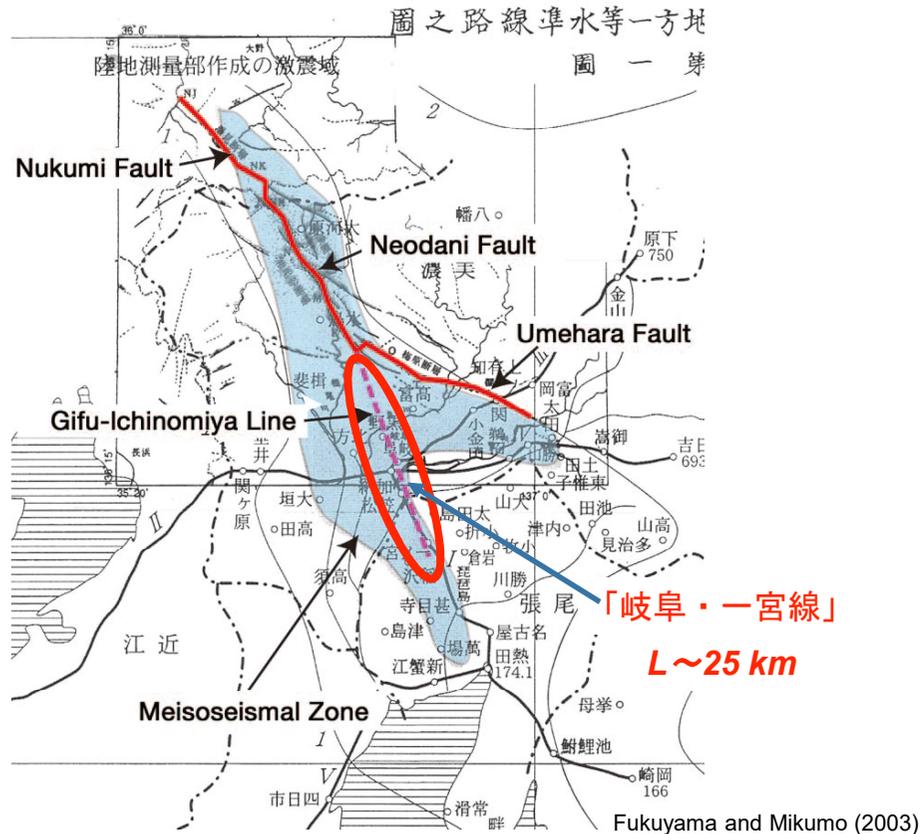


平成29年度 石狩平野横断地殻構造探查断面（平野部）



石狩平野下にも複数の伏在活断層-震源断層が分布

伏在断層が引き起こした被害地震 1891年濃尾地震 (M8.0)

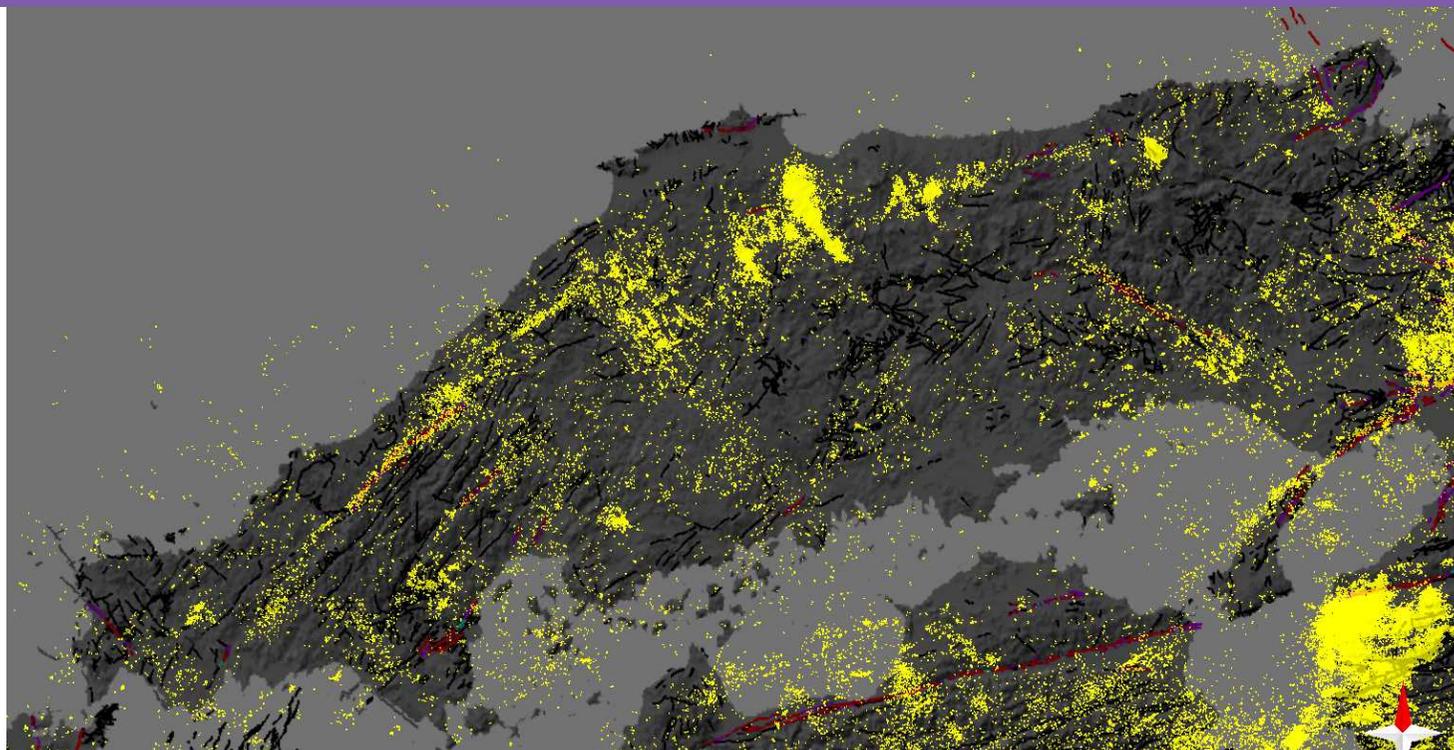


濃尾平野北東部の地震活動
(震源位置はYano et al., 2017による)

- ・ 死者7273人, 住家全壊14万棟以上 (『日本の地震活動』)
- ・ 死者およそ6100名は濃尾平野で発生するなど、平野部に甚大な被害
- ・ 根尾谷断層の南部延長・濃尾平野下の伏在断層も破壊した可能性 (村松ほか、2002; Fukuyama & Mikumo, 2003)
- ・ 濃見・根尾谷断層はA級 (2mm/年) だが梅原断層はB-C級 → 伏在断層の破壊が、濃尾平野の甚大な被害の要因のひとつの可能性

兵庫県南部地震・福井地震など平野下の断層は甚大な被害を生む

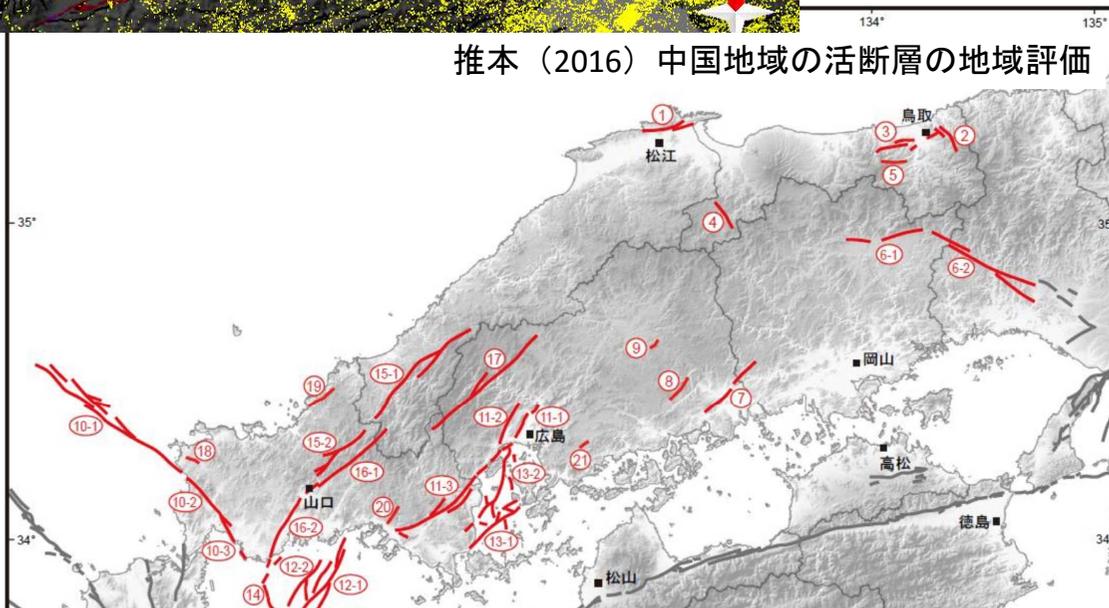
地震観測に基づく震源断層マッピングの重要性



Yano et al. (2017) JUICE catalogue

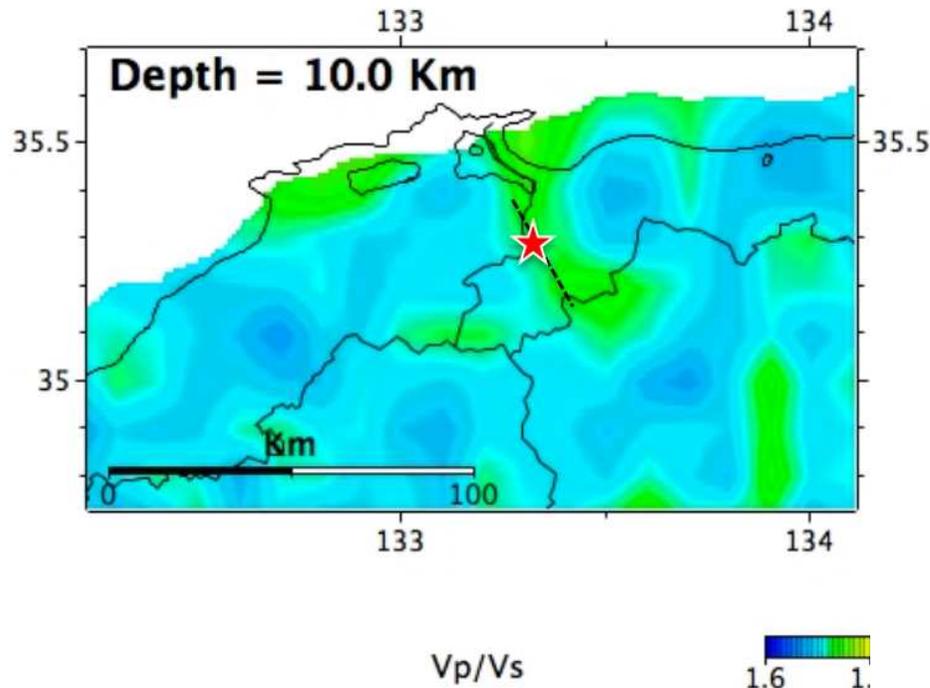
「活断層」ではなく、震源断層の評価には地震観測データの利用が不可欠

推本（2016）中国地域の活断層の地域評価

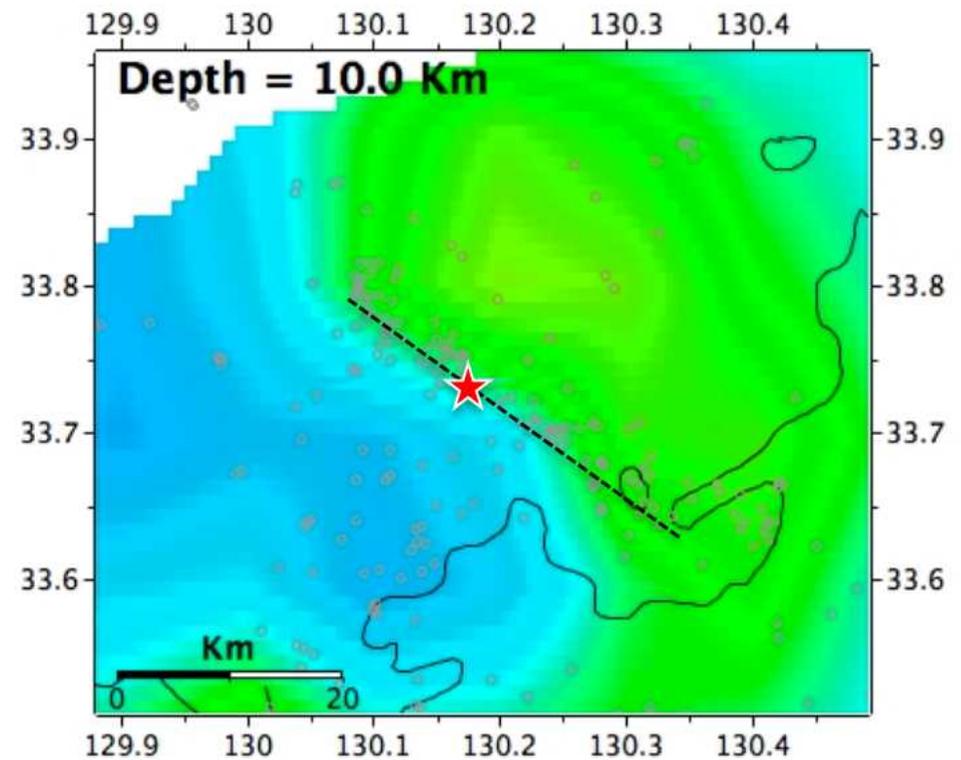


地震波トモグラフィと震源断層の関係

福岡県西方沖地震 (2005, M7.0)

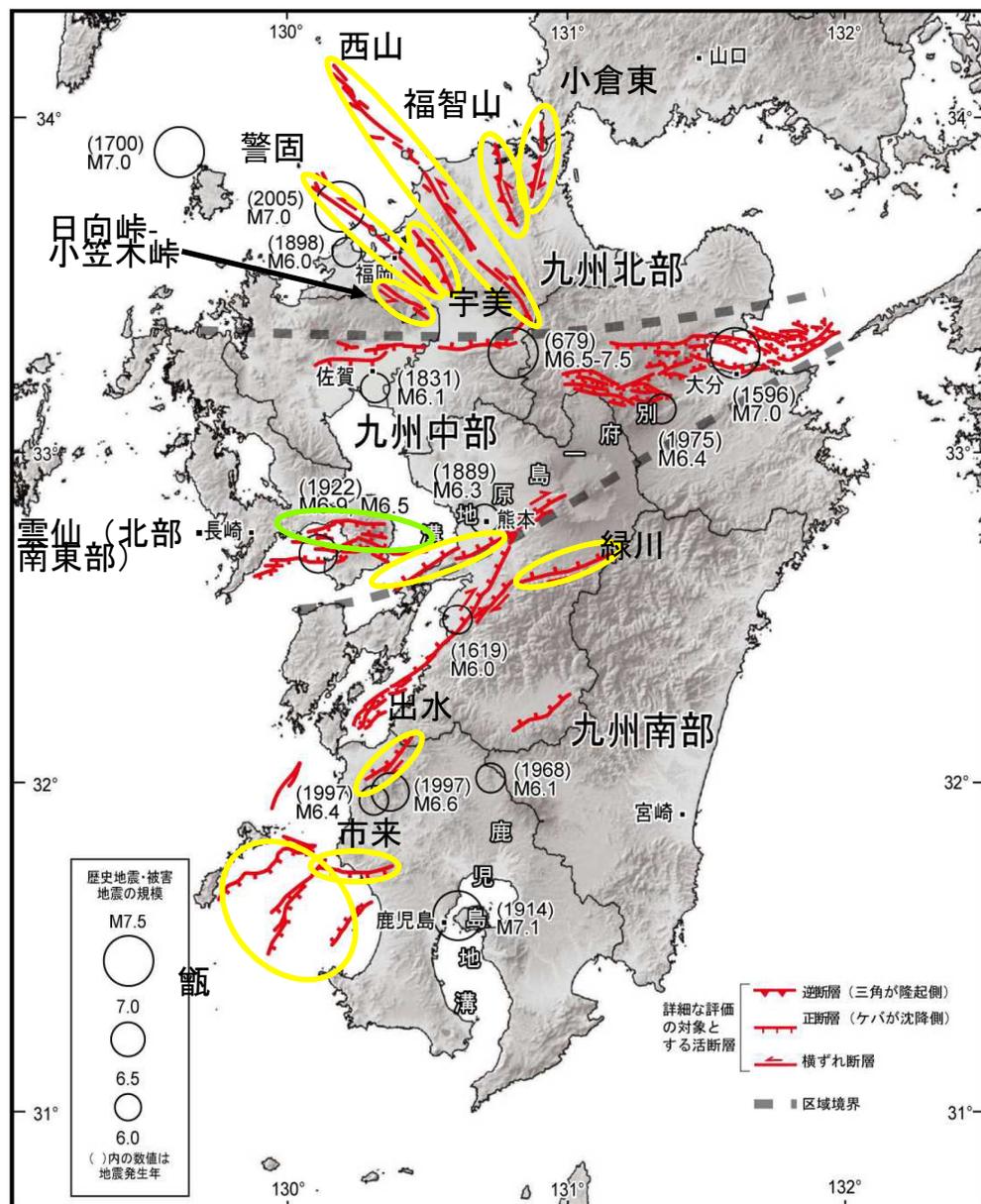


鳥取県西部地震 (2000年, M7.3)



横浜国大 石川教授がMatsubara & Obara (2011)をもとに作成

九州地域の断層帯のスリッププレートの現状

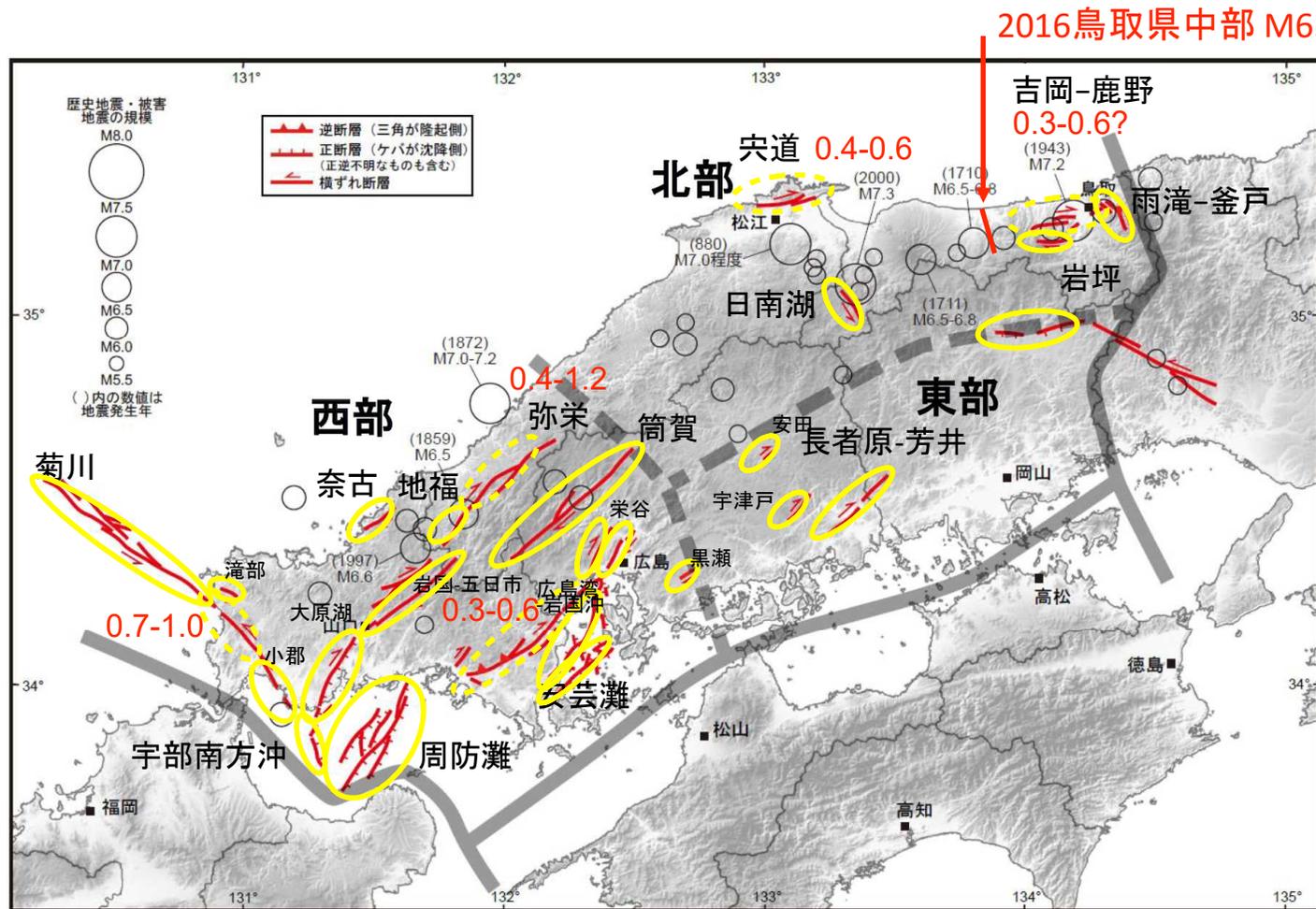


- 黄色 横ずれ主体の断層帯、横ずれ変位速度が不明

- 14断層帯中、11断層帯で横ずれ変位速度に関するデータがない

- 黄緑 正断層で変位速度が不明である断層帯

中国地域の断層帯のスリップレートの現状



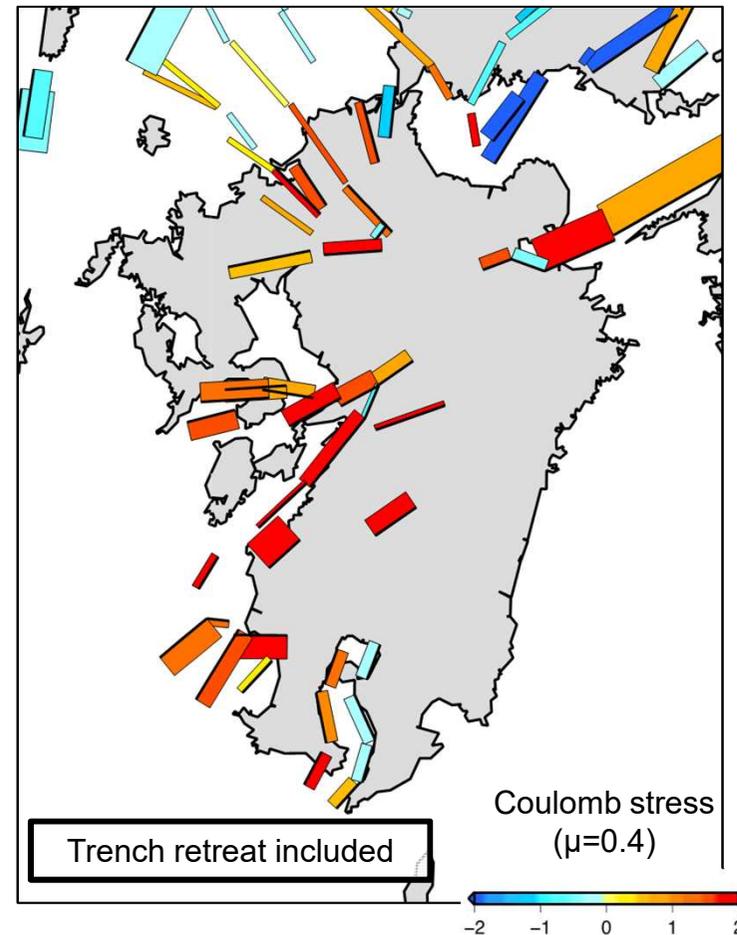
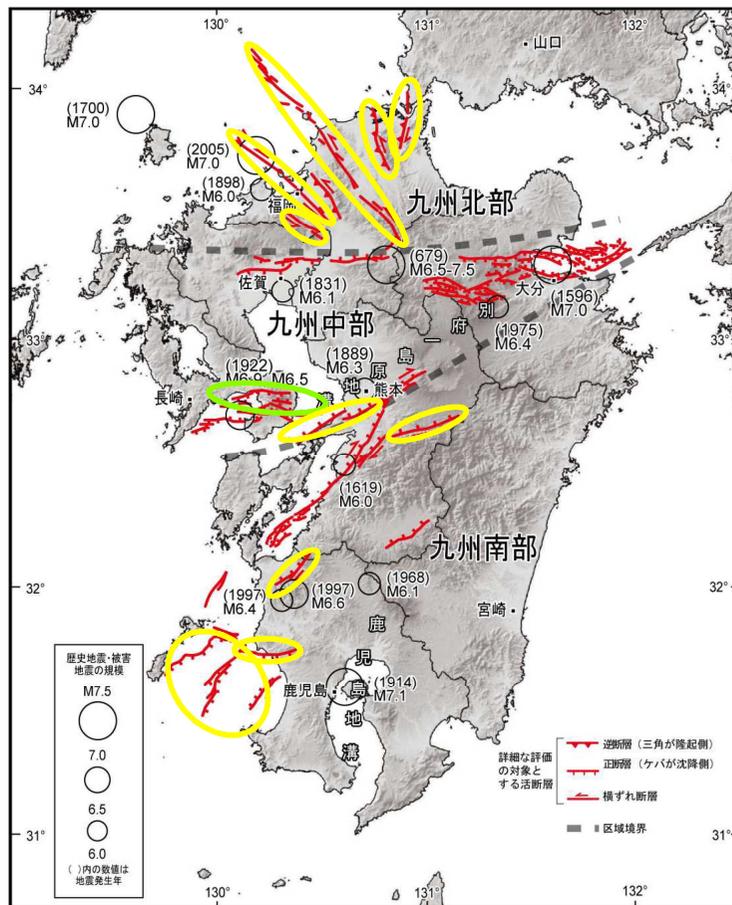
- 黄色 横ずれ主体の断層帯で、横ずれ変位速度が不明

- 黄色 (破線) スリップレートの信頼度が低い断層帯

- 21断層帯中、16断層帯で横ずれ変位速度に関するデータがなく、残りも信頼性が低い

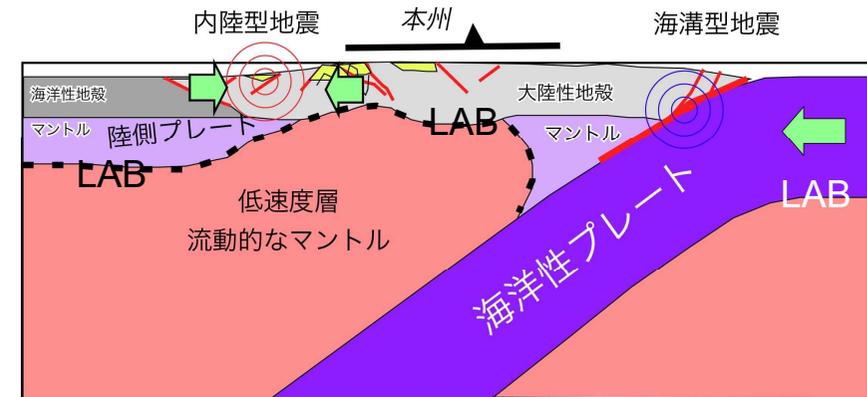
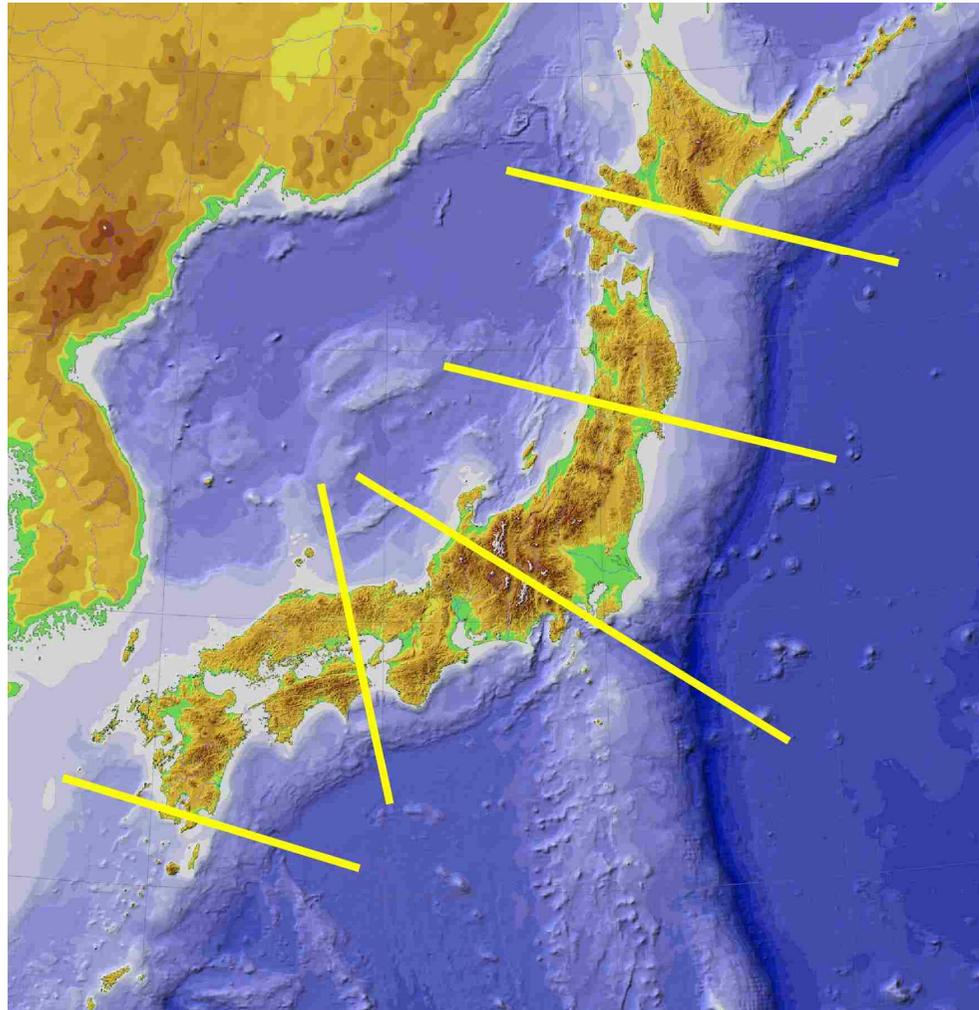
推本 (2016) 中国地域の活断層の地域評価

九州地域の断層帯のスリップレートと震源断層面上のクーロン応力蓄積速度



- ・断層帯のスリップレートは、滑りやすさの指標となるため、類似したクーロン応力蓄積速度を示す断層帯を区分できる可能性がある。

構造モデル高度化のための島弧プロファイリング

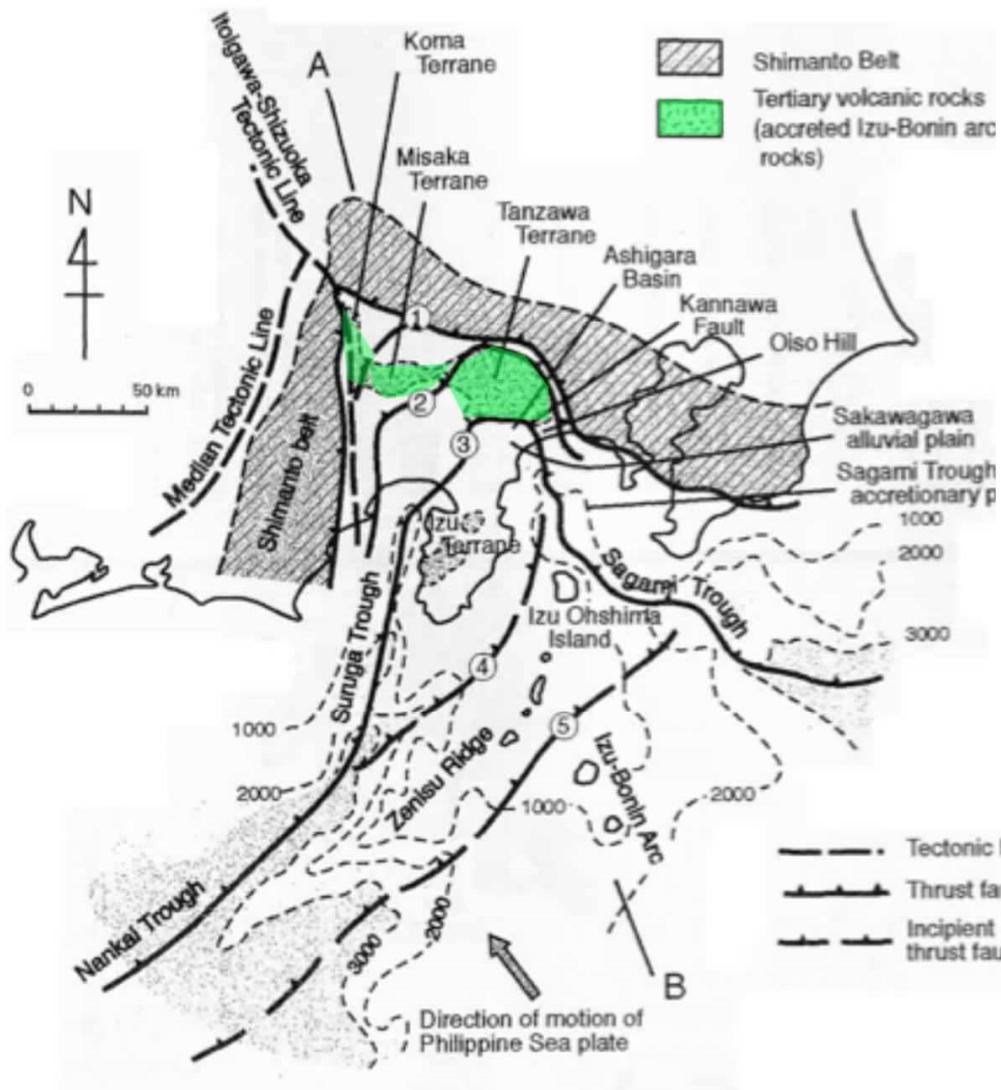


リソスフェア・上部マンテルの構造解明を視野にいたしたプロファイリング

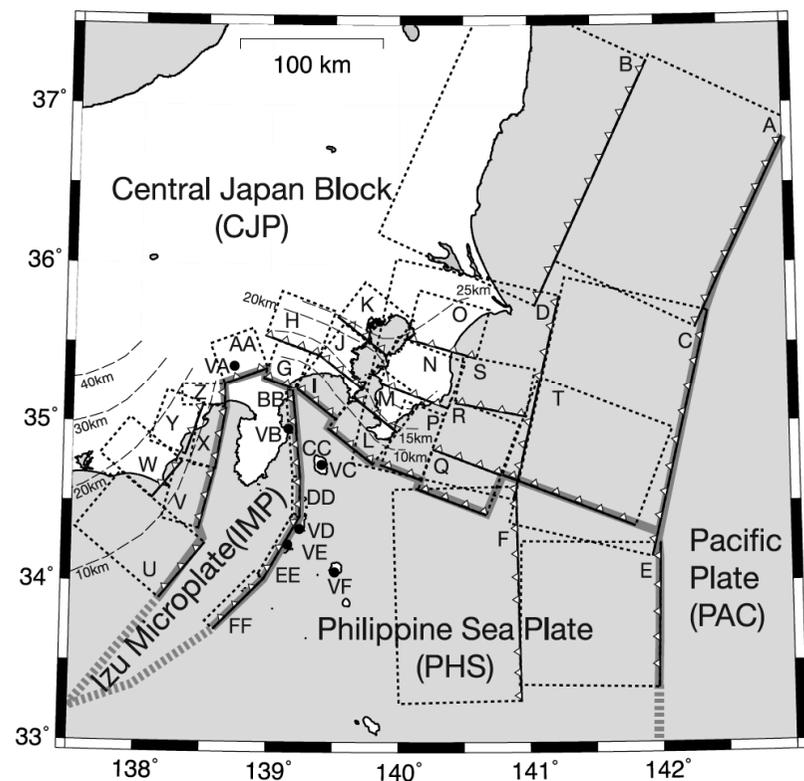
リソスフェア・アセノスフェア境界 (LAB)
モホ面
延性-脆性境界
震源断層

※広帯域海底地震観測+制御震源の第二世代型のプロファイリング

フィリピン海プレート北端部・伊豆衝突帯での歪みの分配



Taira et al. (1998)



Nishimura et al. (2007)

富士川河口断層帯・「東海地震」の長期評価を行うためには、フィリピン海プレート北端部のひずみの分配の問題を解く必要がある。

Le Pichon et al. (1987) EPSLの指摘以降、歪み分配の実態解明は30年以上放置

次期総合施策に向けて（1）

震源断層の3Dマッピング

- 上盤プレート内の震源断層のマッピングが不足
- 平野部に伏在する断層は、人的・社会的に大きな被害を生み出す
- 物理探査・地震活動など、地球科学的な知見を統合して検出し、三次元形状モデルを構築する必要がある。

物理モデルに基づく地震発生ポテンシャル評価

- 測地・地震観測結果を充たす物理的な数値モデルにより、震源断層に作用するクーロン応力の蓄積速度を求め、地震発生ポテンシャル評価を行う。
- この手法では活動履歴が不明の、多くの震源断層について、ポテンシャル評価が可能になる。
- 観測地震による地震発生確率評価と、統合的な手法を開発する。

次期総合施策に向けて（2）

活断層の長期ひずみ速度を求める

- 断層の動き易さは、断層ごとに異なる。活断層のスリッププレートは、断層の動き易さの指標として使用することができる。
- ひずみ速度によって、長期間の塑性変形を定量的に明らかにできる。広域的に扱うことにより、伏在する断層群のひずみ速度の推定に活用できるほか、現在の地殻変動の理解に有効である。

構造モデル高度化のためのプロファイリング

- リソスフェア・アセノスフェア境界など、基本的な構造が解明されていない。モデルの高度化に資するデータを大規模なものから詳細なものへと、自然地震観測と制御震源を複合させた構造探査を行う必要がある。

次期総合施策に向けて（3）

地震発生ポテンシャル評価に資する観測の推進

統合モデルによる地震発生ポテンシャル評価に資する観測を優先的に実施