

委員提供資料

松澤 暢 委員

提供資料

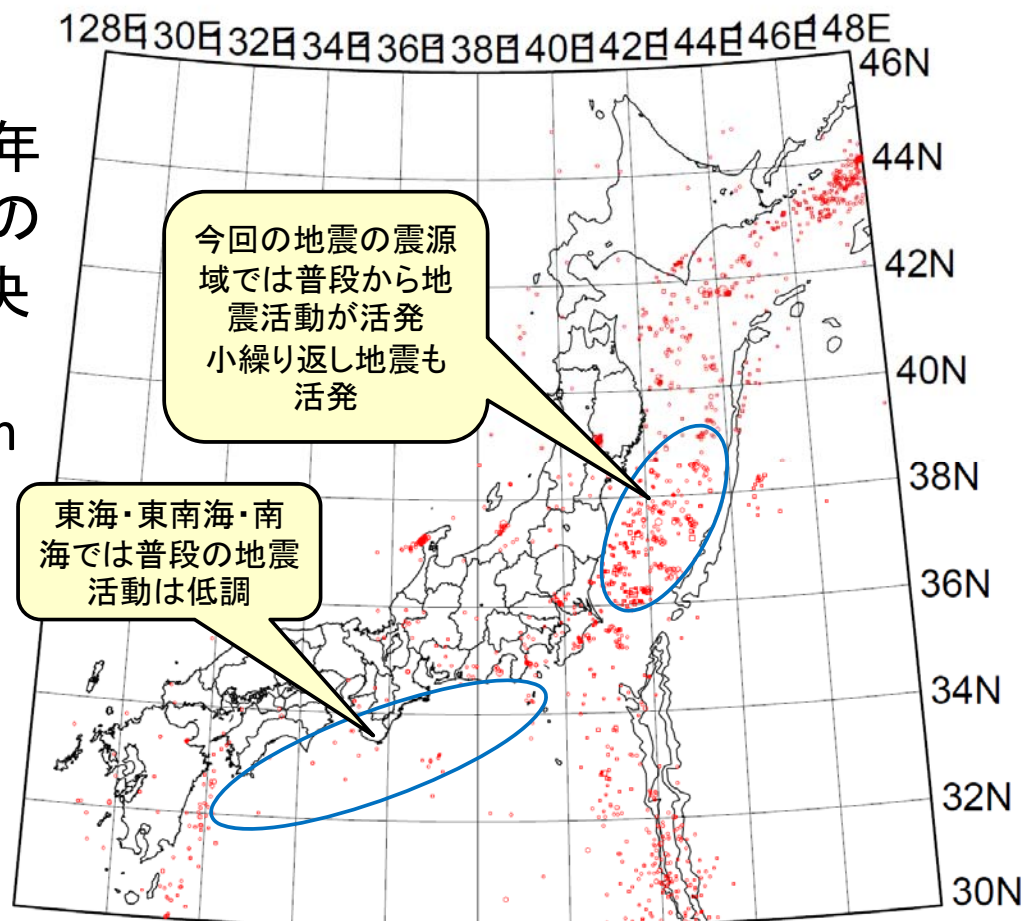
2011年東北地方太平洋沖地震

東北大学大学院理学研究科
地震・噴火予知研究観測センター
松澤 暢

2012年8月6日(月)16:00-19:00
南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会

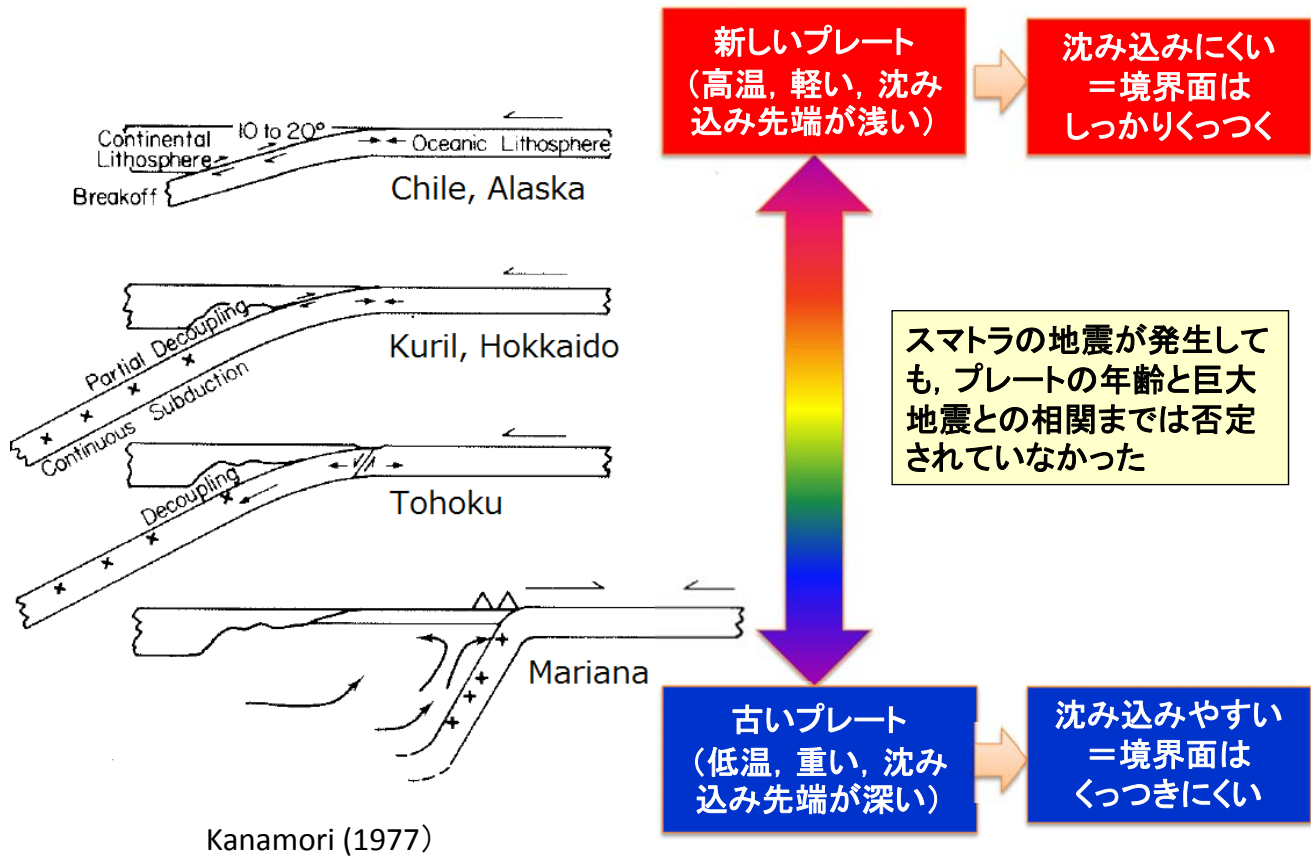
1

2006-2010年
のM4以上の
地震の震央
分布
(深さ60km
以浅)



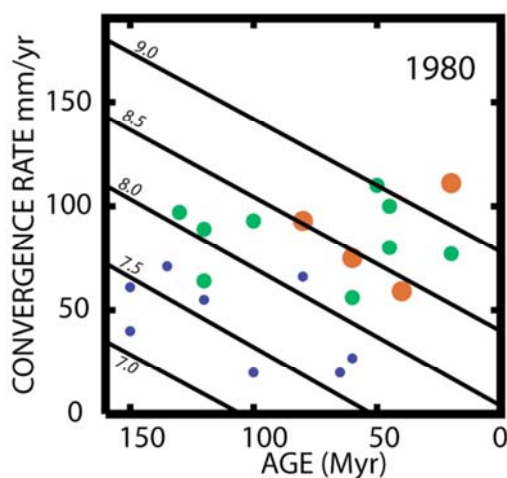
2

プレート境界の強度の違いを説明するモデル

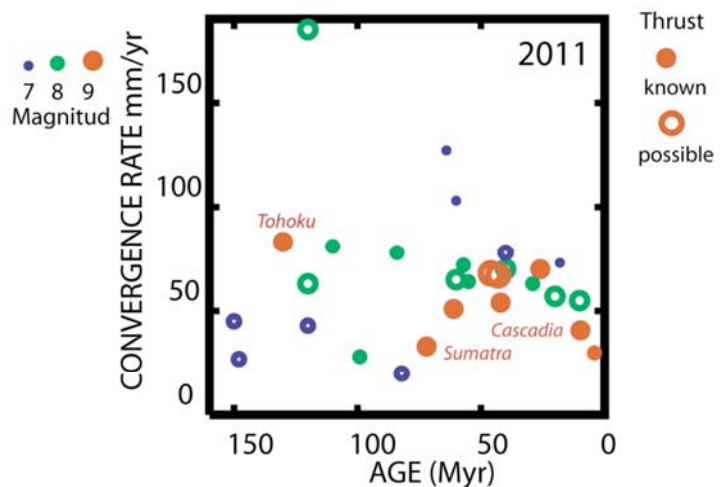


3

Ruff and Kanamori (1980) の結果の再検討 Stein and Okal (2007)



Ruff and Kanamori (1980)
(1900年-1974年の地震)



Stein and Okal (2007) によって改訂されたデータ(図はStein et al., 2012による)
(1700年-2004年の地震;
地域によって遡れる過去は異なる)
+2011年東北地方太平洋沖地震

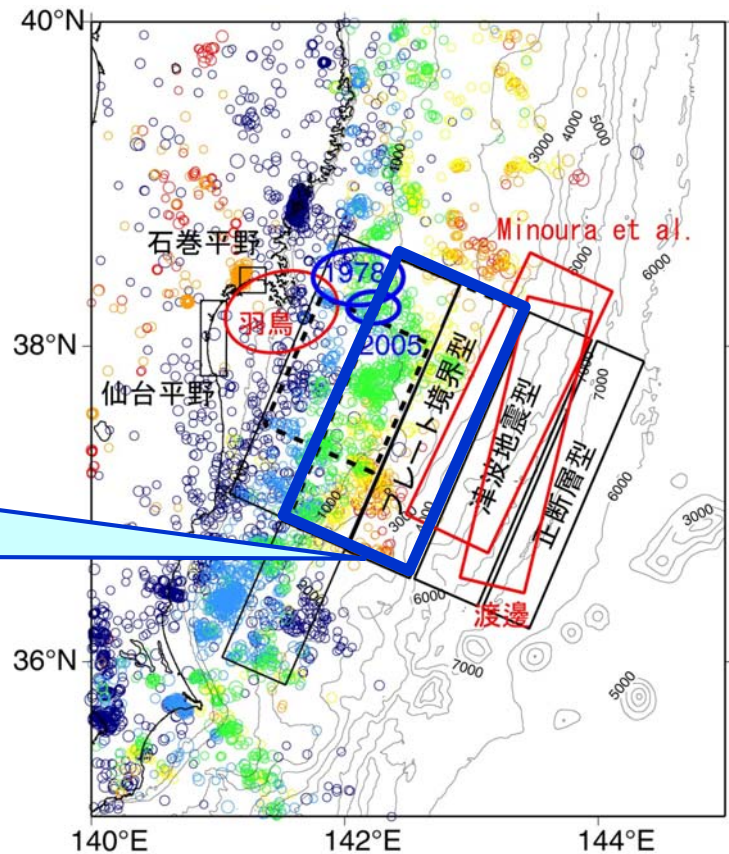
4

貞観津波のシミュレーションと津波堆積物との比較

シミュレーションによる浸水域
と津波堆積物の分布がよく一
致したのは...

Model 10
上端深さ: 15km
サイズ: 200km x 100km
すべり量: 7m
Mw: 8.4

岡村・他, 宮城県沖における重点的
調査観測 総括成果報告書, 2010



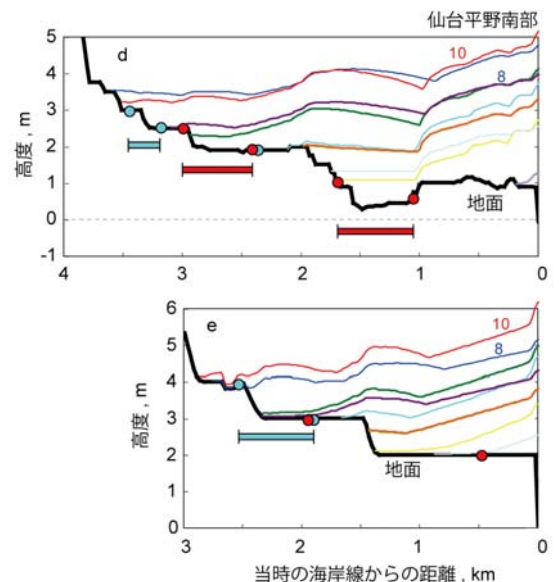
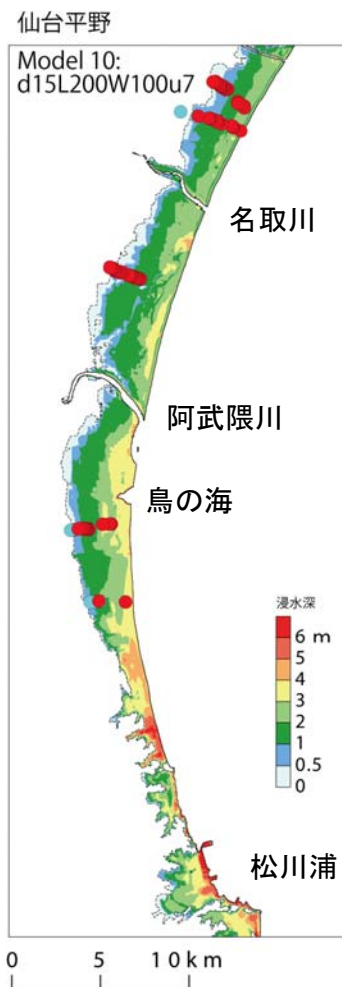
5

モデルから推 定される貞観 津波の浸水域

阿武隈川より北は
現在の仙台東部道
路, 南は6号線く
らいまで津波が到達
⇒ 今回と同じ

この報告を受けて,
地震調査委員会では
海溝型地震の長期評
価の改訂版を今年の
4月に出して, 住民へ
の説明を強化しようと
していた矢先であった。

岡村・他, 宮城県沖に
おける重点的調査観
測 総括成果報告書,
2010

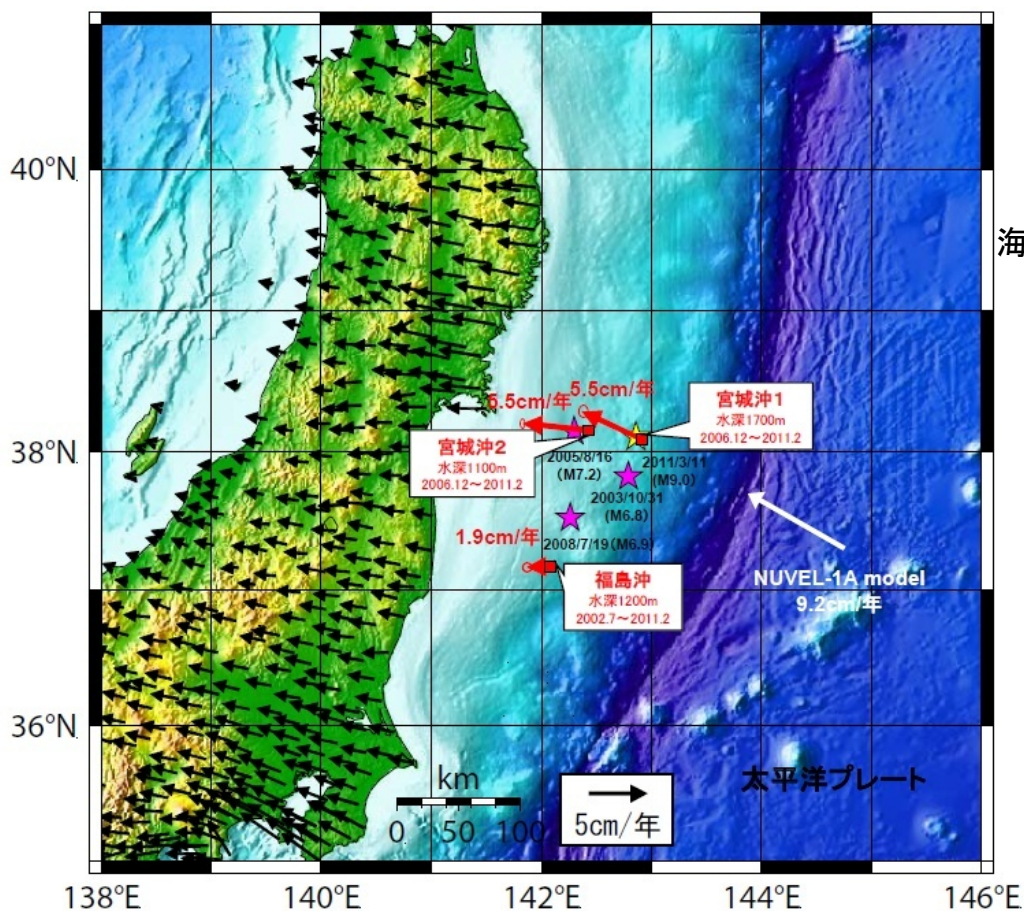


- 貞観津波の堆積物の位置
- 貞観津波と思われる堆積物の位置
- 1. 正断層型
- 2. 津波地震型
- 3. d15_L200_W50_u5
- 4. d31_L200_W50_u5
- 5. d15_L200_W100_u5
- 6. d31_L200_W100_u5
- 7. d31_L300_W50_u5
- 8. d31_L100_W100_u10
- 9. 仙台湾内の活断層
- 10. d15_L200_W100_u7

- 貞観津波の堆積物の位置
- 貞観津波と思われる堆積物の位置

6

本震前の変位速度



ユーラシアプレート
に対する変位速度

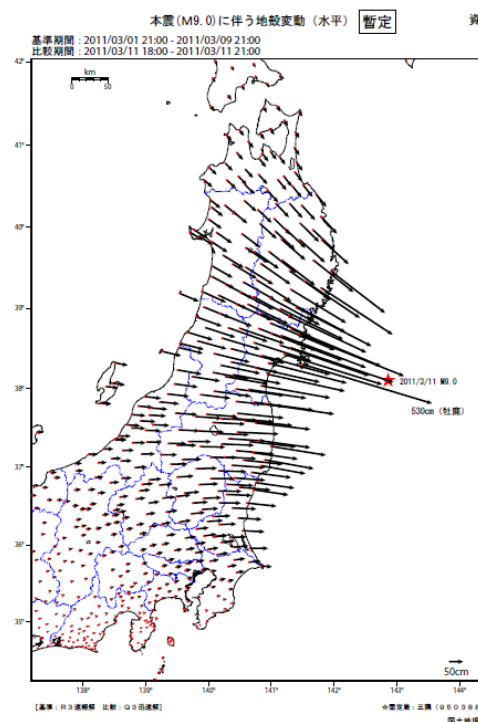
海上保安庁(2011)

陸上は, 国土地理
院による2009年4
月~2010年4月の
F3解

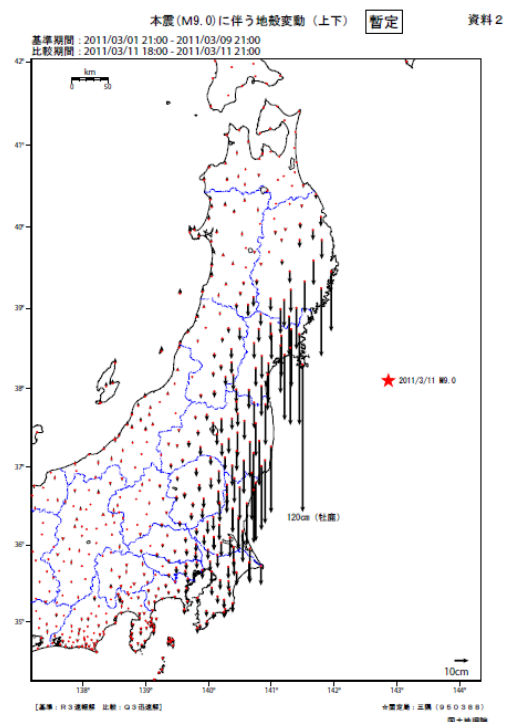
7

GPSによる本震時の地殻変動

東北地方は
太平洋沿岸
が5m, 日本
海沿岸が
1m東に動い
たので, こ
の地震で4m
広がったこ
とになる。



資料 1

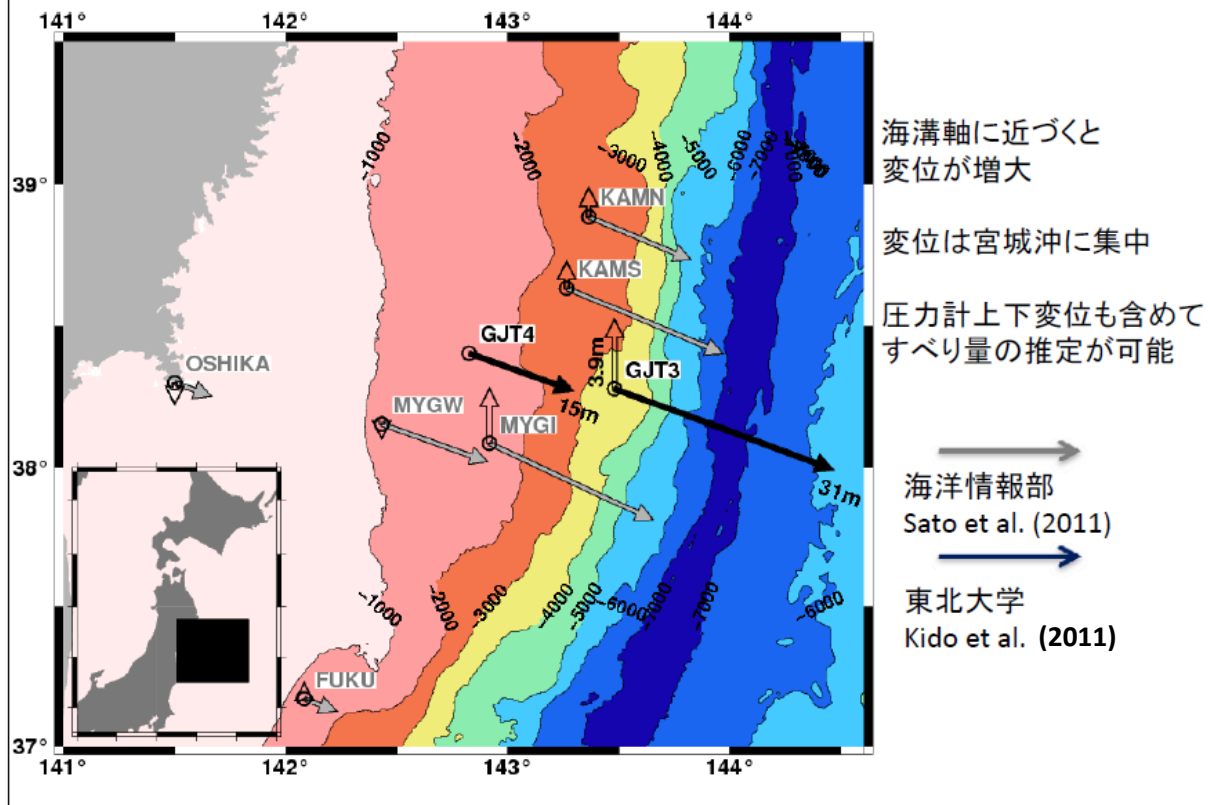


資料 2

国土地理院(2011)

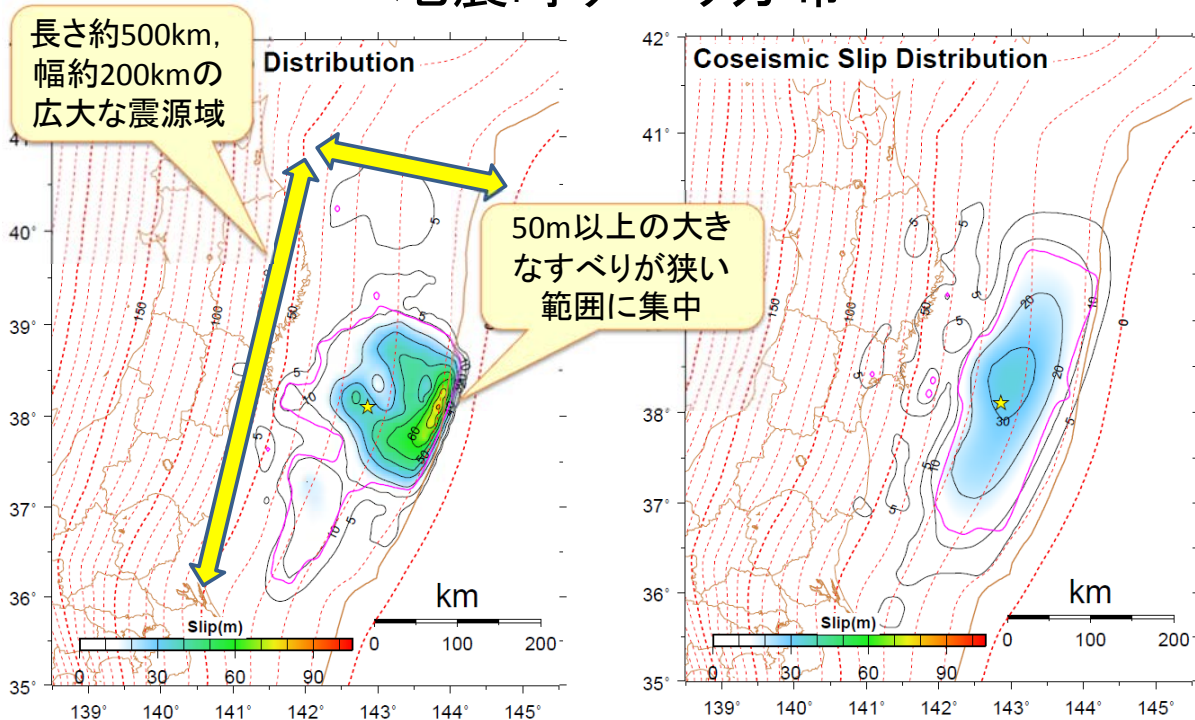
8

GPS/A観測による海底水平変動



9

海陸の地殻変動データから推定した 地震時すべり分布



海陸のデータを入れた場合

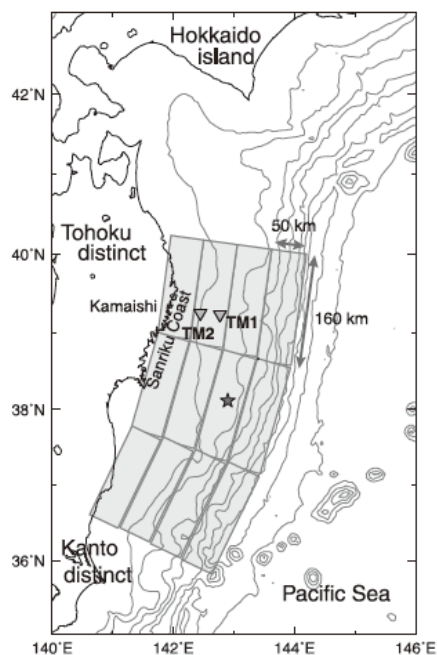
陸のGPSデータの場合

Iinuma et al. (2012)

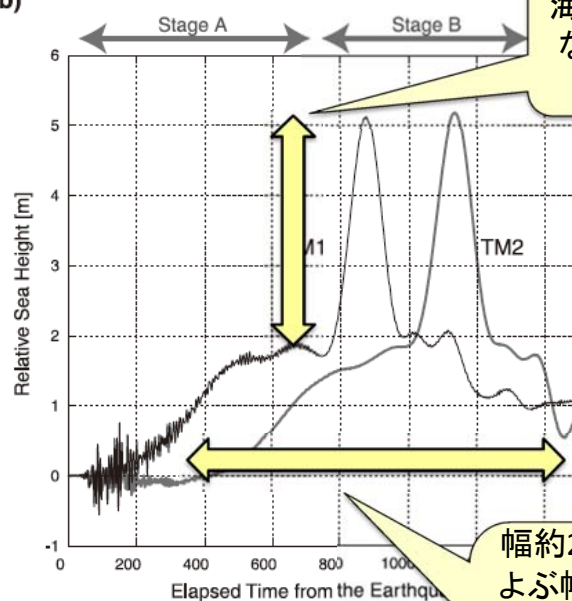
10

海底圧力計で捉えられた津波

(a)



(b)



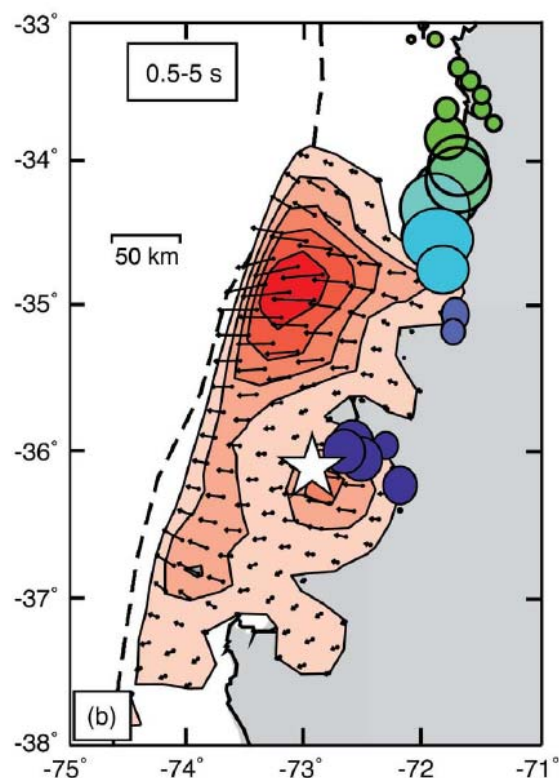
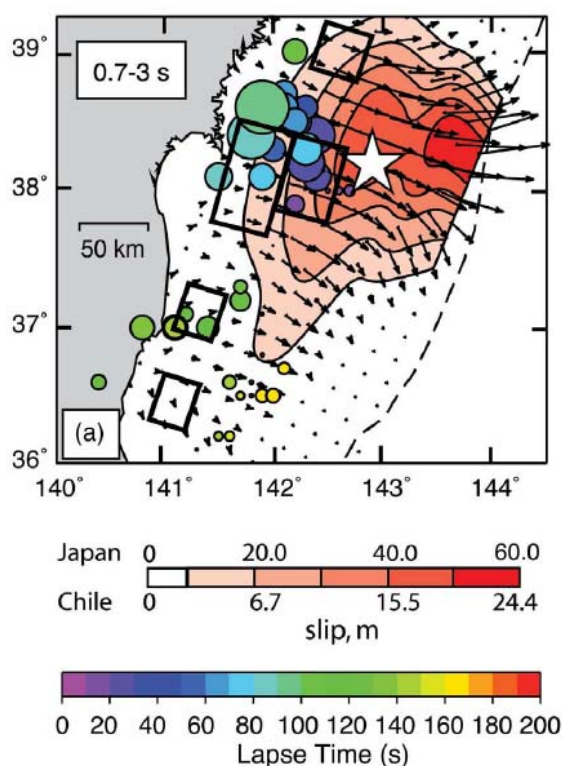
海溝付近の大きなすべりによる高い津波

幅約200kmにおよぶ幅広い震源域による継続時間の長い津波
⇒ 浸水が内陸奥まで及ぶ

Maeda et al. (2011)

11

長周期と短周期の励起の違い



2011 Tohoku, Japan earthquake (Mw 9.0) 2010 Maule, Chile earthquake (Mw 8.8)

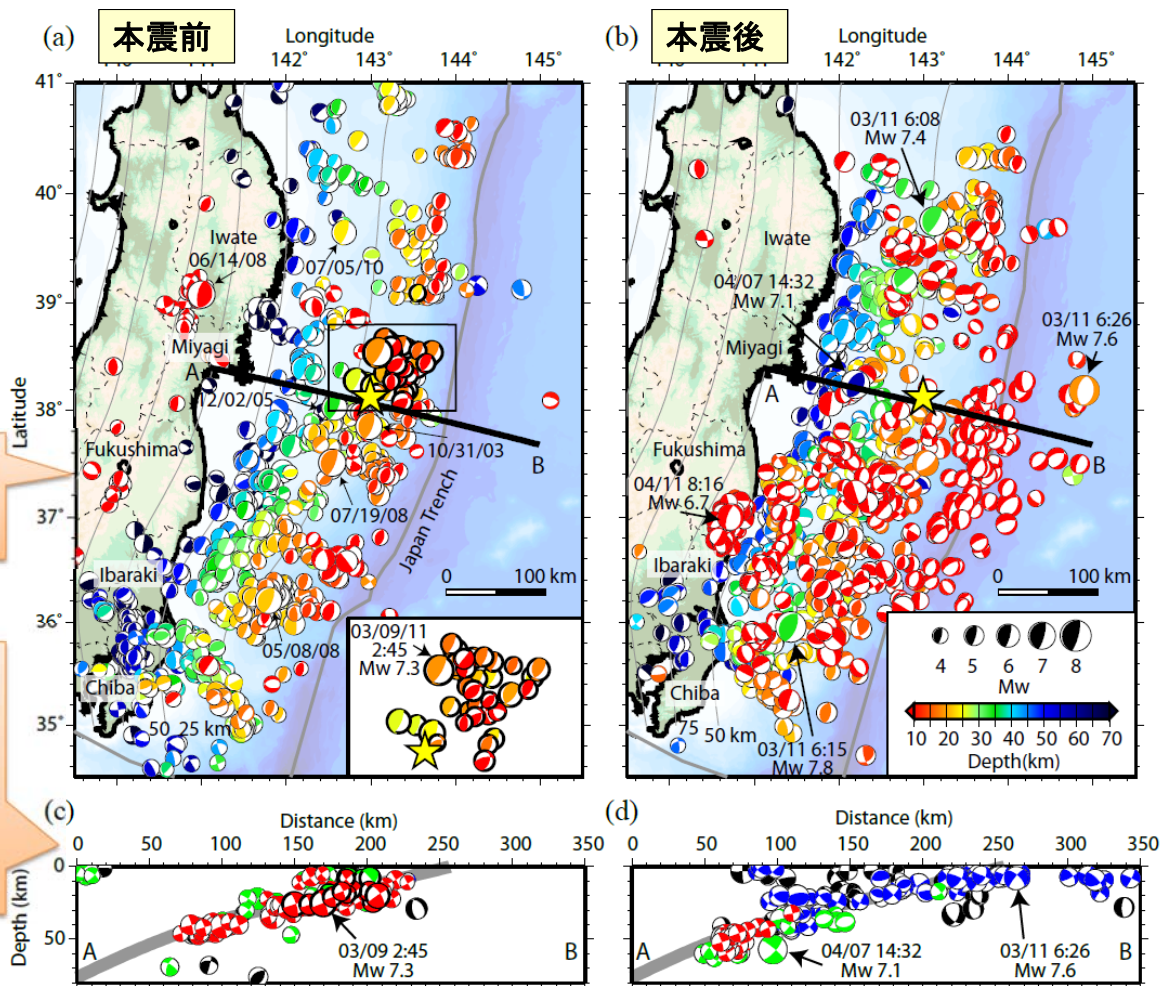
Lay et al. (JGR, 2012)

12

本震前と
後のメカ
ニズム解
の変化
(Asano et
al., 2011)

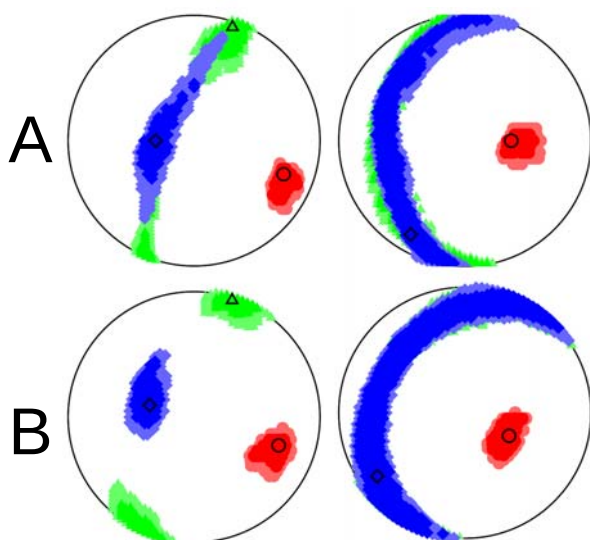
色は深さ
を表す

色はタイプ
を表す:
赤: 低角逆
断層
緑: 逆断層
青: 正断層
黒: その他

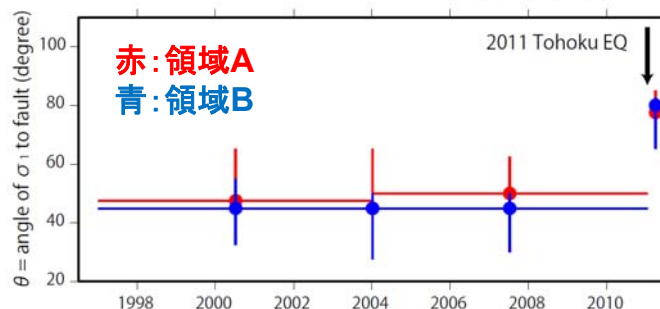
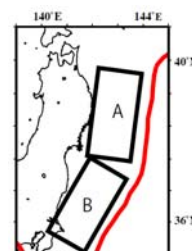


2011年東北地方太平洋沖地震前後の偏差応力変化から 推定されたプレート境界の低強度と高間隙水圧

本震前 本震後 (Hasegawa, Yoshida, Okada, EPS, 2011)



赤: 最大圧縮力軸
緑: 中間主応力軸
青: 最小圧縮力軸



本震前後の応力の主軸方向の変化. 95%の信頼
範囲を着色して示す.

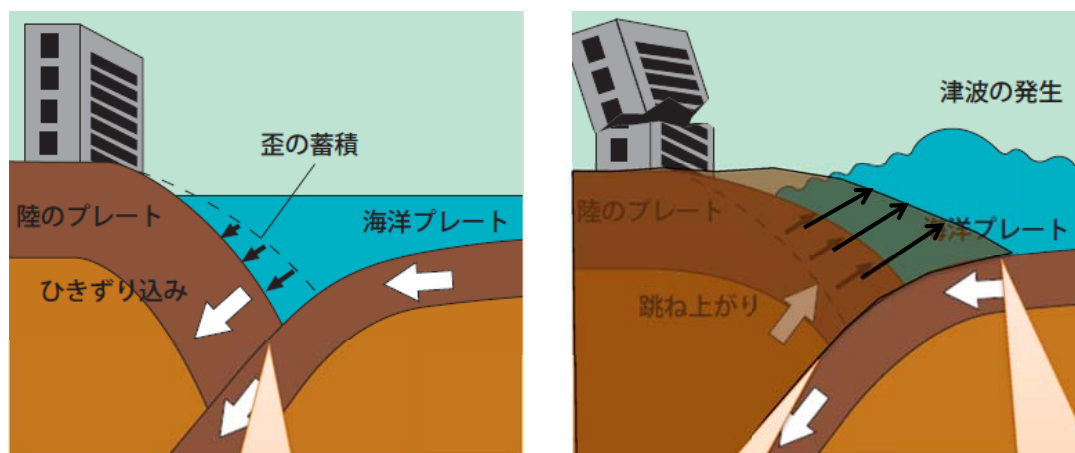
最大圧縮力軸の方向の時間変化

圧縮力軸方向が約30度変化⇒強度は20MPa程度⇒間隙水圧は静岩圧の約95%
(間隙水圧が無ければ, 深さ25kmにおける強度は本来500MPa程度)

強度≒20MPa は, 見かけの摩擦係数 $\mu' \approx 0.03$ に相当

⇒ Furukawa & Uyeda (1989), Wang & Suyehiro (1999), Ariyoshi et al. (2007) と同等

現時点で考えられている今回のM9の地震の発生のしくみ



文部科学省(2004)に加筆

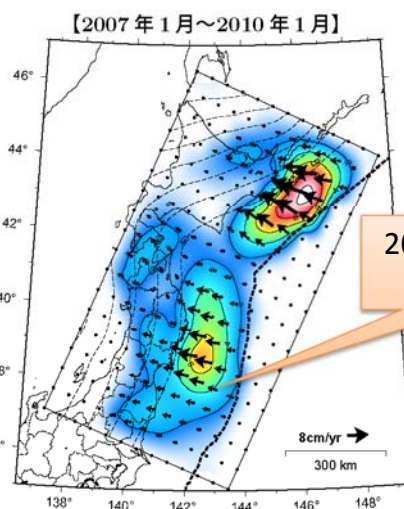
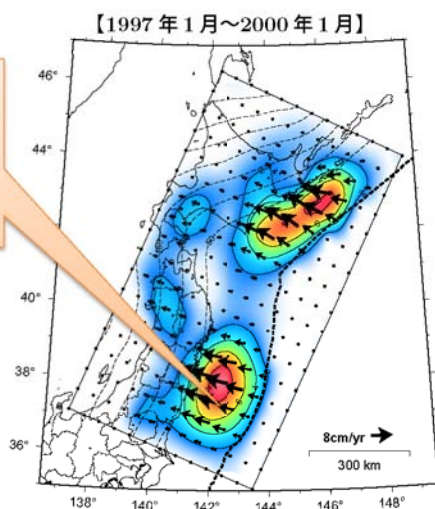
海溝近くで特に長期に渡ってひきずりこんだ領域があった

普段は滑っているときも摩擦抵抗が働く

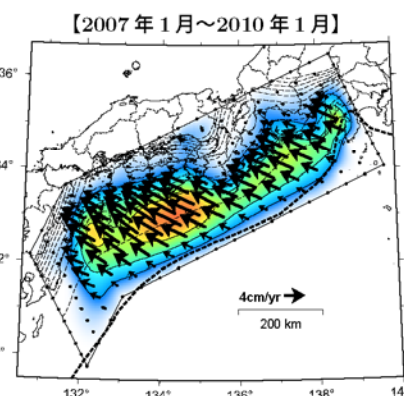
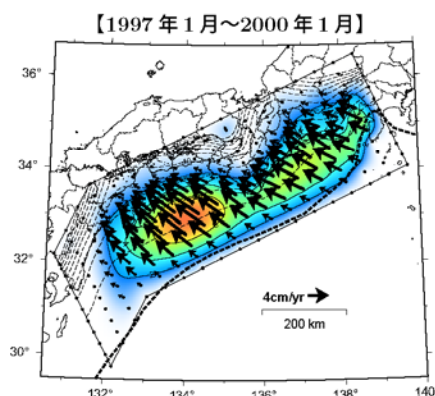
今回は滑っているときに摩擦抵抗がゼロ近くになるまで上盤が完全に跳ね上がった

1990年代末～2000年代初頭にかけては固着が強い

東北日本
および
西南日本の
すべり
欠損分布
(国土地理院,
2011)



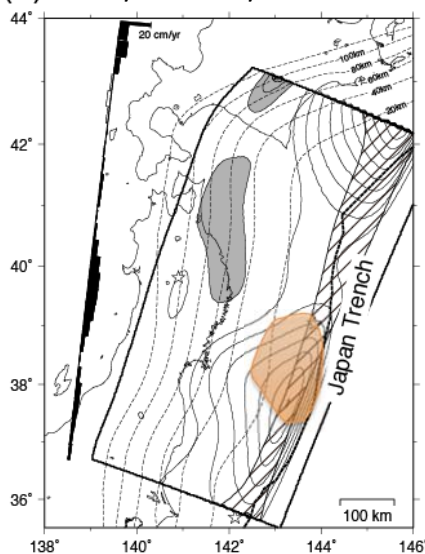
2000年代末は固着が弱い



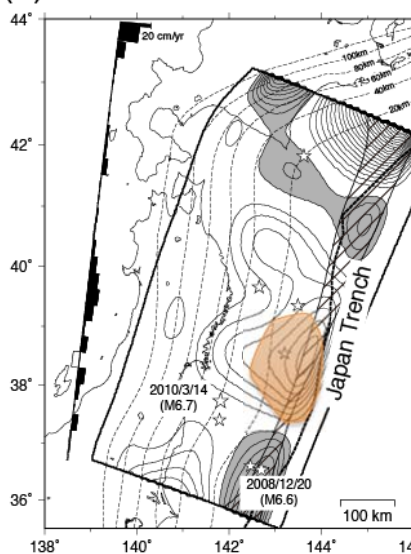
・それぞれの期間の3年間の平均変動速度からすべり欠損を推定している。
・2007年1月～2010年1月は、この期間内に発生した2008年5月9日茨城県沖の地震、2008年7月19日福島県沖の地震の影響は取り除いてすべり欠損を推定している。ただし余効変動の影響は取り除いていない。

解析領域端でのゼロ拘束の条件を外した場合の滑り欠損推定結果(西村, 2012)

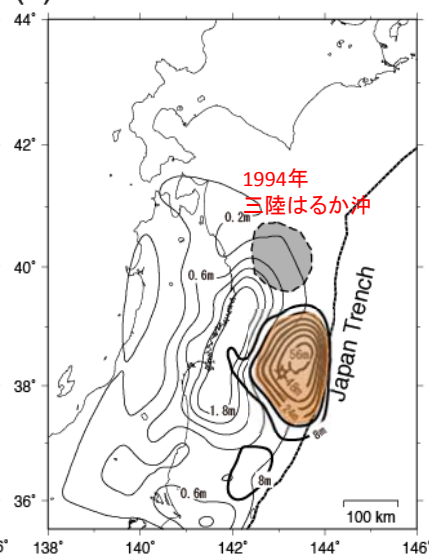
(a) 1997/10-1999/10



(b) 2008/10-2010/10



(c) 東北沖地震滑り分布



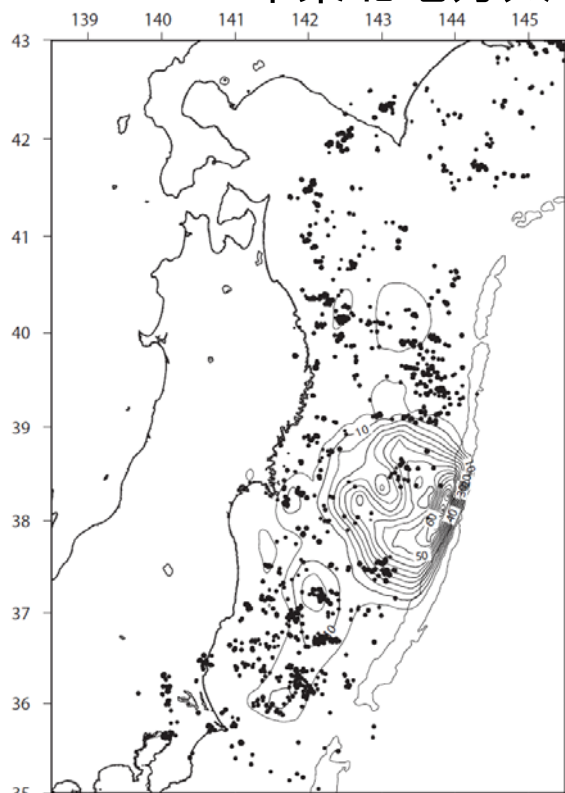
等値線間隔: 2cm/年, 灰色領域: フォワードスリップ
斜線領域: 誤差大(3cm/年)の領域

解析手法: Nishimura et al. (2004)とほぼ同じ. ただし
領域の端での滑り0拘束なし.

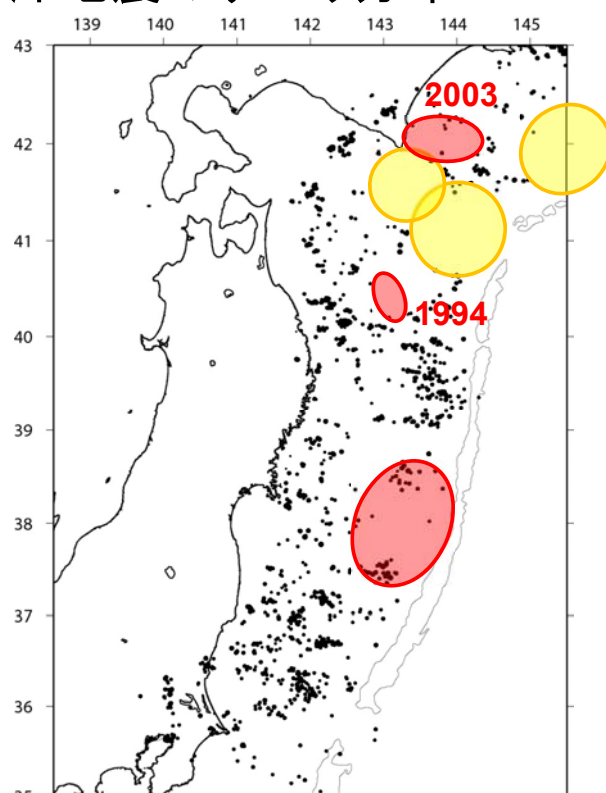
東北沖地震時滑り(太線), 余効
滑りの解析(細線)は, 国土地理
院(2011). 三陸はるか沖地震の
滑り域は, Nishimura et al.(2000)

17

太平洋プレート表面の小繰り返し地震グループの分布と 2011年東北地方太平洋沖地震のすべり分布



海陸の測地データに基づく2011年東北地方太平洋沖地震のすべり分布 (Iinuma et al., 2012)

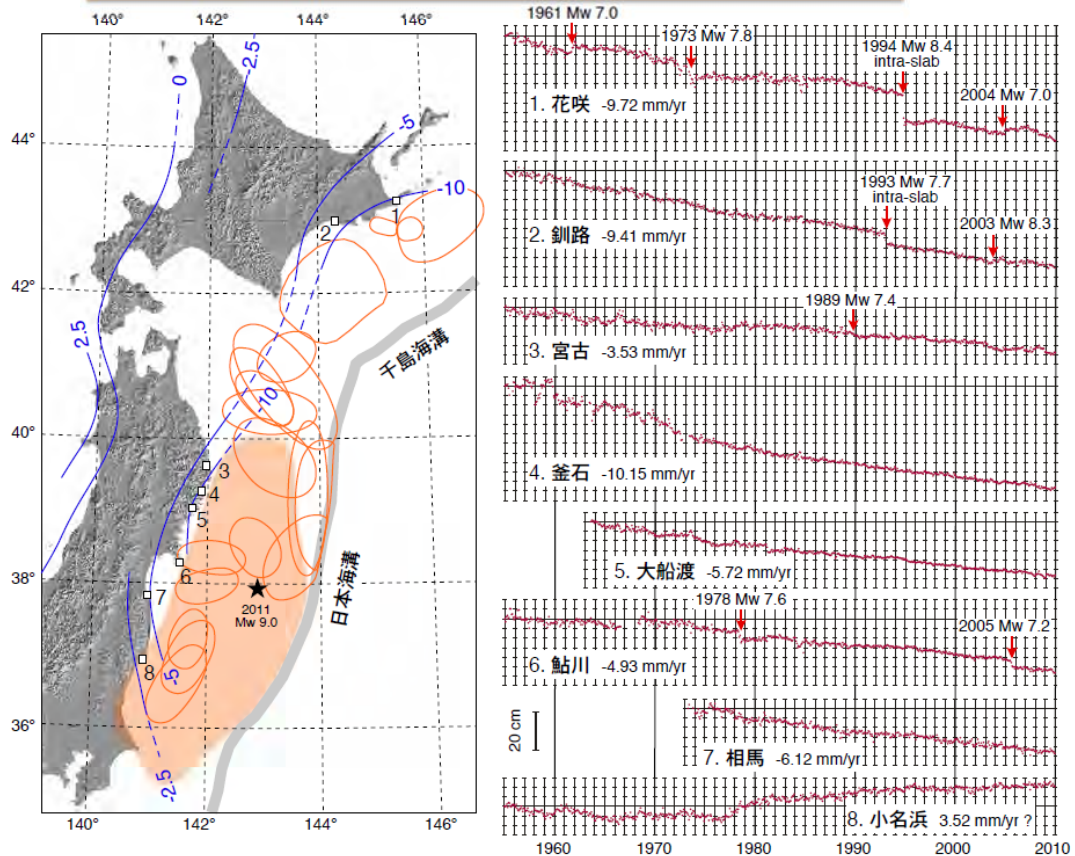


1984-2010.4.8のデータに基づく小繰り返し地震の分布 (Uchida and Matsuzawa, 2011)

18

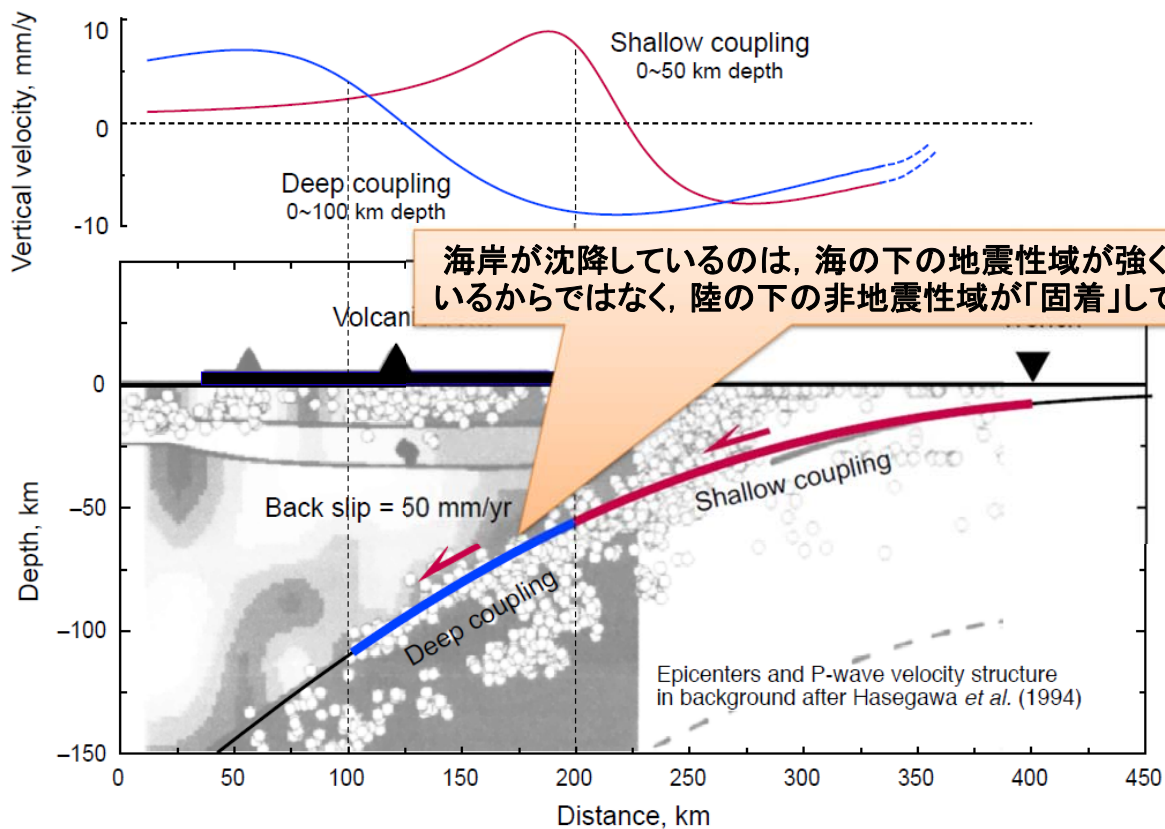
海岸の沈降と、それを説明するモデル(池田, 2011)

海岸は地震時も地震間も常に沈降を続けている



19

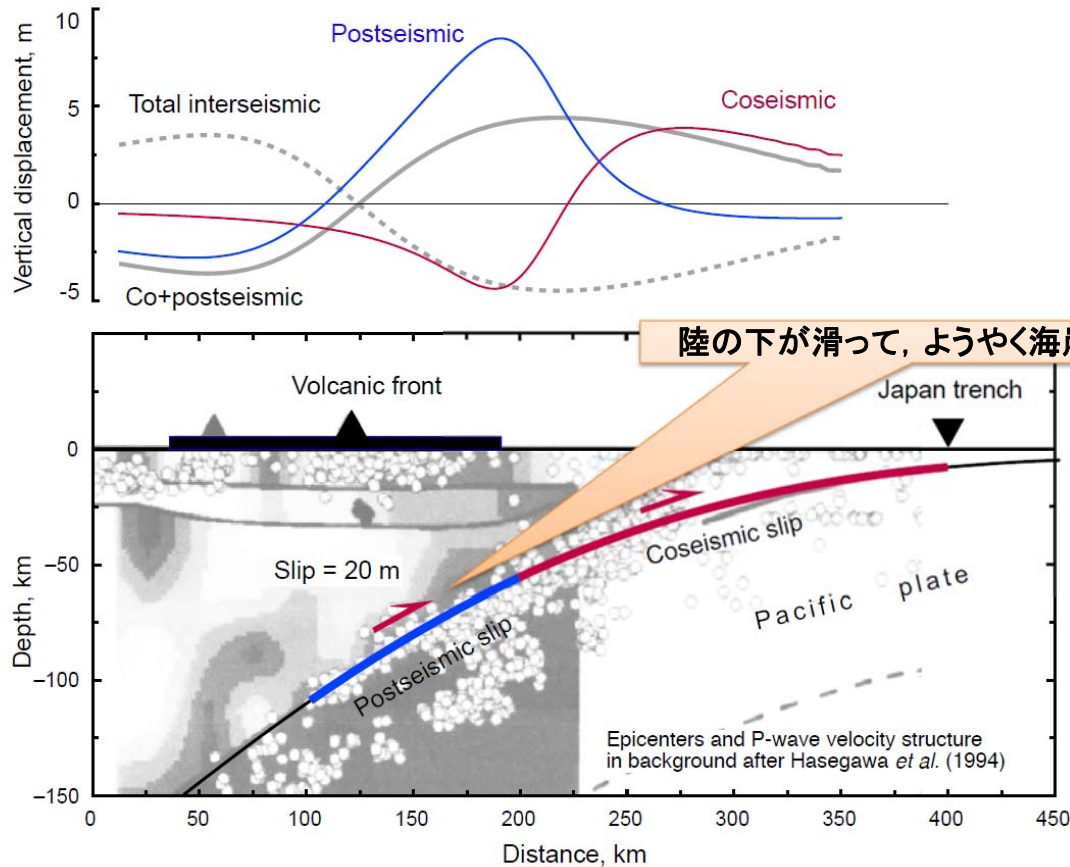
海岸の沈降と、それを説明するモデル(池田, 2011)



海岸が沈降しているのは、海の下地震性域が強く固着しているからではなく、陸の下の非地震性域が「固着」しているから

20

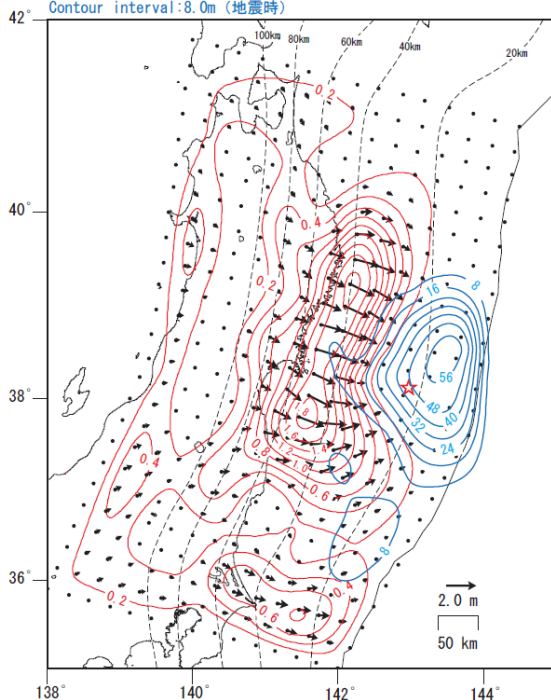
海岸の沈降と、それを説明するモデル(池田, 2011)



21

平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震
地震時と地震後のプレート境界面上のすべり分布の比較 (暫定)
地震後のすべりは地震時のすべりの小さいところできている。

データ期間 20110312 - 20110528 [F3 最終解 (R3 速報解も含む)] 固定局: 福江
Contour interval: 0.2m (地震後)
Contour interval: 8.0m (地震時)



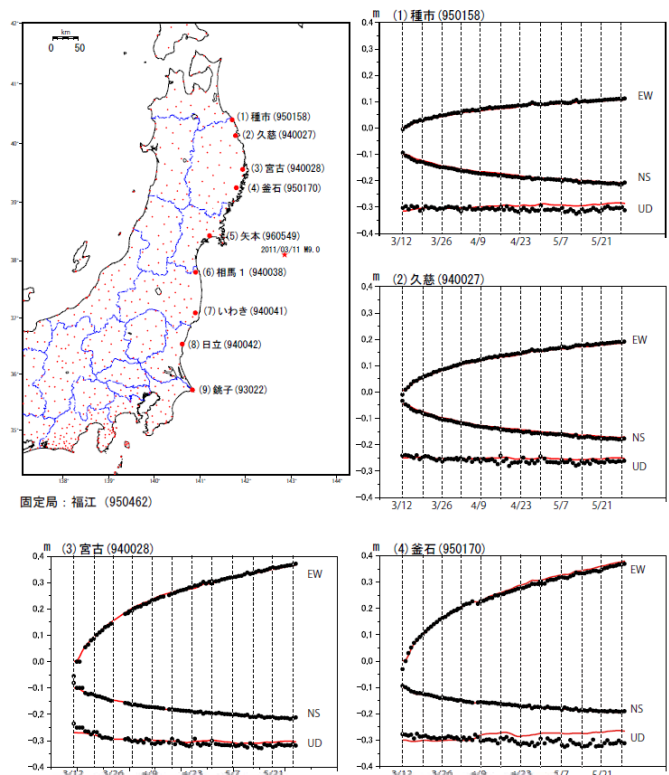
☆: 本震の震央 (気象庁)。

国土地理院・海上保安庁資料

陸の下の余効すべりは顕著ではなく、なかなか海岸が隆起しない

国土地理院(2011)

平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動時系列
観測値 (黒丸) と計算値 (赤線) (1) (暫定)



22

海岸はもとに戻るのか？

- 今のままでは東北の海岸は元に戻りそうもない
- 戻る可能性
 - 1) 海底下の余効すべりが停止し、陸域下の余効すべりだけが長期に継続
 - 2) 陸域下プレート境界で巨大なスローイベント発生
 - 3) 海岸に近い海底下で大きなプレート境界地震が発生してから、陸域深部で大きな余効すべり
 - 4) 海岸付近で陸域深部も含めたプレート境界大地震
 - 5) 上盤で大地震の発生(宮内, 2011)
 - 6) 隆起させる粘弾性変形がやがて優位になる
- 戻らない可能性
 - 7) 造構性侵食によるものなので戻らない(Heki, 2004)

23

反省と対策

- 海溝付近の小繰り返し地震の生じない場所は、非地震性すべりを生じていて固着していないと思い込んでいた。
⇒ **思い込みを排して海底地殻変動観測による検証の推進**
- 貞観地震のような巨大な地震はめったに起こらないと思っていた。
⇒ **地質学者や古地震学者との連携を強化**
- 貞観地震の存在は知っていたが、その発生機構として間隙圧の時間変化というモデルしか思いつけなかった。
⇒ **様々なシミュレーション研究者との連携強化**
- プレート境界の強度が低くても、応力をすべて解放する地震が生じれば、プレート境界が数十m動きうることに思い至らなかった。
⇒ **応力をすべて解放するメカニズムの解明の推進**
- 単純な二元論的アスペリティモデルに思考が制約された。
⇒ **摩擦構成則に基づく、より柔軟なモデルによる検討の推進**
- M9クラスの地震の経験が圧倒的に不足
⇒ **国際共同研究による全地球のM9地震の総合的研究の推進**

24