

東北大学災害復興新生研究機構シンポジウム

海溝型地震に備える： 東北地方太平洋沖地震がもたらした教訓

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

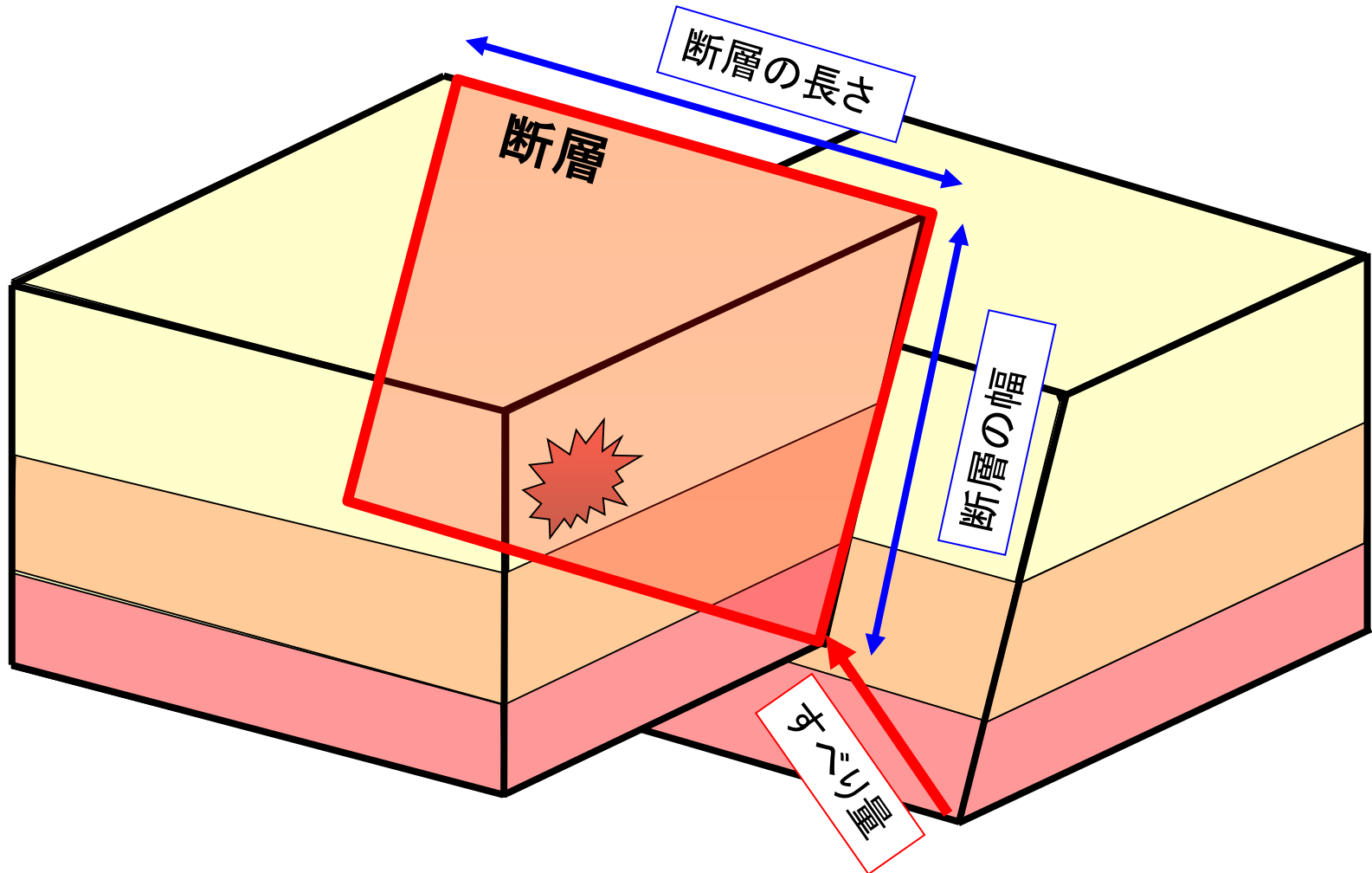
toru.matsuzawa.c6@tohoku.ac.jp

2019年2月13日(水) 14:10-14:35
ウェスティンホテル仙台2階 グランドボールルーム

地震の性質

地震とは？

断層が急激にすべって、大地を揺らすこと



地震の大きさ

地震のエネルギー (E)

$\propto$: 「比例する」という意味

$\propto$ 地震モーメント (M_0)

$\propto$ 断層のすべり量 (d) $\times$ 面積 (S)

$\propto$ 断層のすべり量 (d) $\times$ 長さ (L) $\times$ 幅 (W)

地震のエネルギー (E)

とマグニチュード (M)

との関係の経験則

$$\log E \propto \frac{3}{2} M$$

$$E \propto 10^{\frac{3}{2} M}$$

$$d \propto L \propto W$$

断層の長さが10倍

$\Leftrightarrow$ エネルギーが1000倍

$\Leftrightarrow$ マグニチュードが2違う

マグニチュードが0.2増えると
エネルギーが2倍になる

ただし、すべて「概ね」の話である。

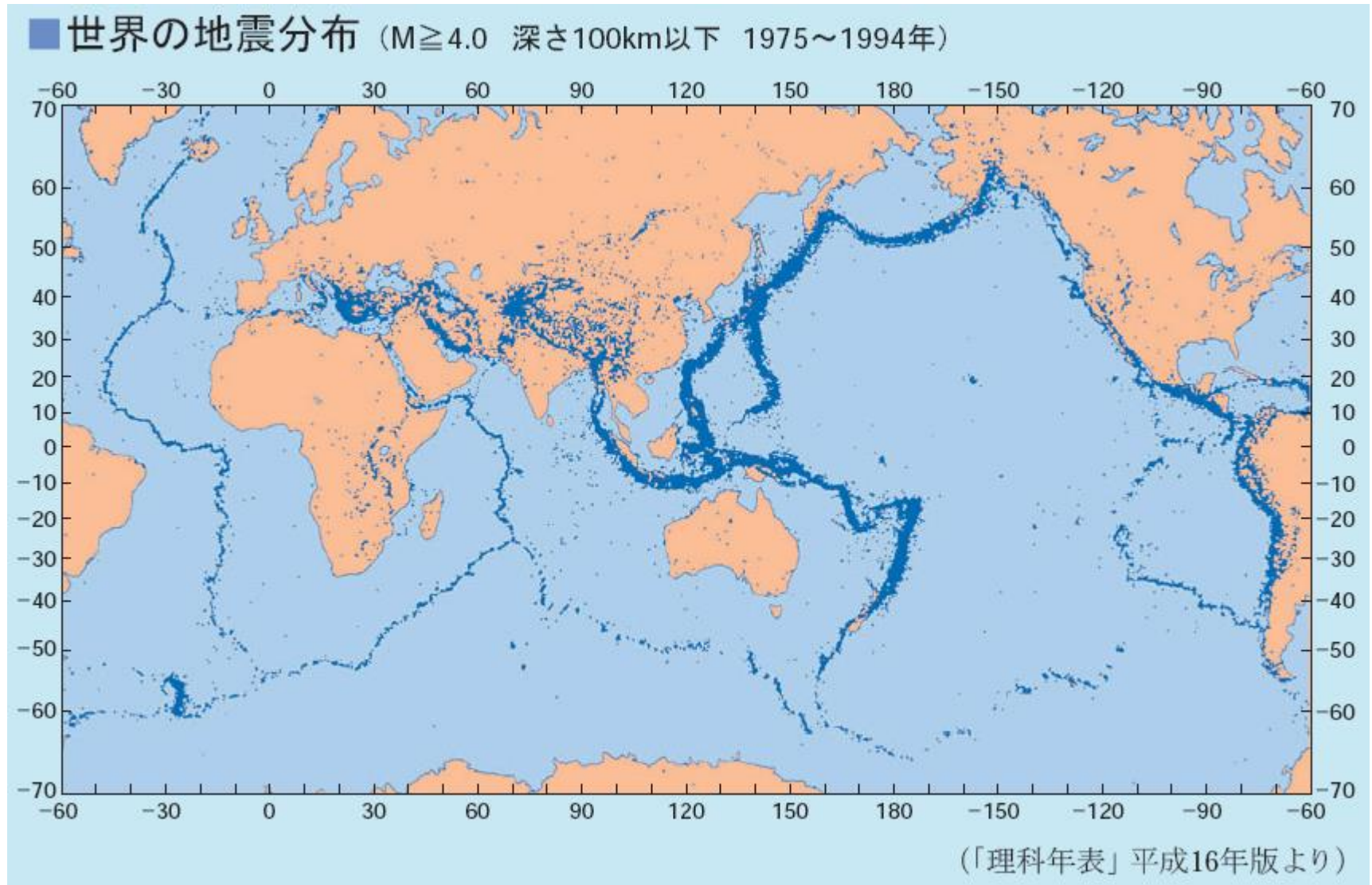
地震の大きさの概略

M	滑り量	断層の長さ	断層面積	例えば...
9	10m	500km	100000km ²	東北地方くらい
8	3m	150km	10000km ²	宮城県や岩手県くらい
7	1m	50km	1000km ²	佐渡島くらい
6	30cm	15km	100km ²	猪苗代湖くらい
5	10cm	5km	10km ²	金華山くらい
4	3cm	1.5km	1km ²	皇居くらい
3	1cm	500m	0.1km ²	東京ドーム2個くらい
2	3mm	150m	10000m ²	グラウンドくらい
1	1mm	50m	1000m ²	体育館くらい

注：倍～半分のバラツキあり

東北地方太平洋沖地震の前に
わかっていたこと

世界の地震活動とプレート運動



国土面積: 世界の0.25%(1/400)
M6以上の地震: 世界の20%(1/5)

文部科学省(2004)

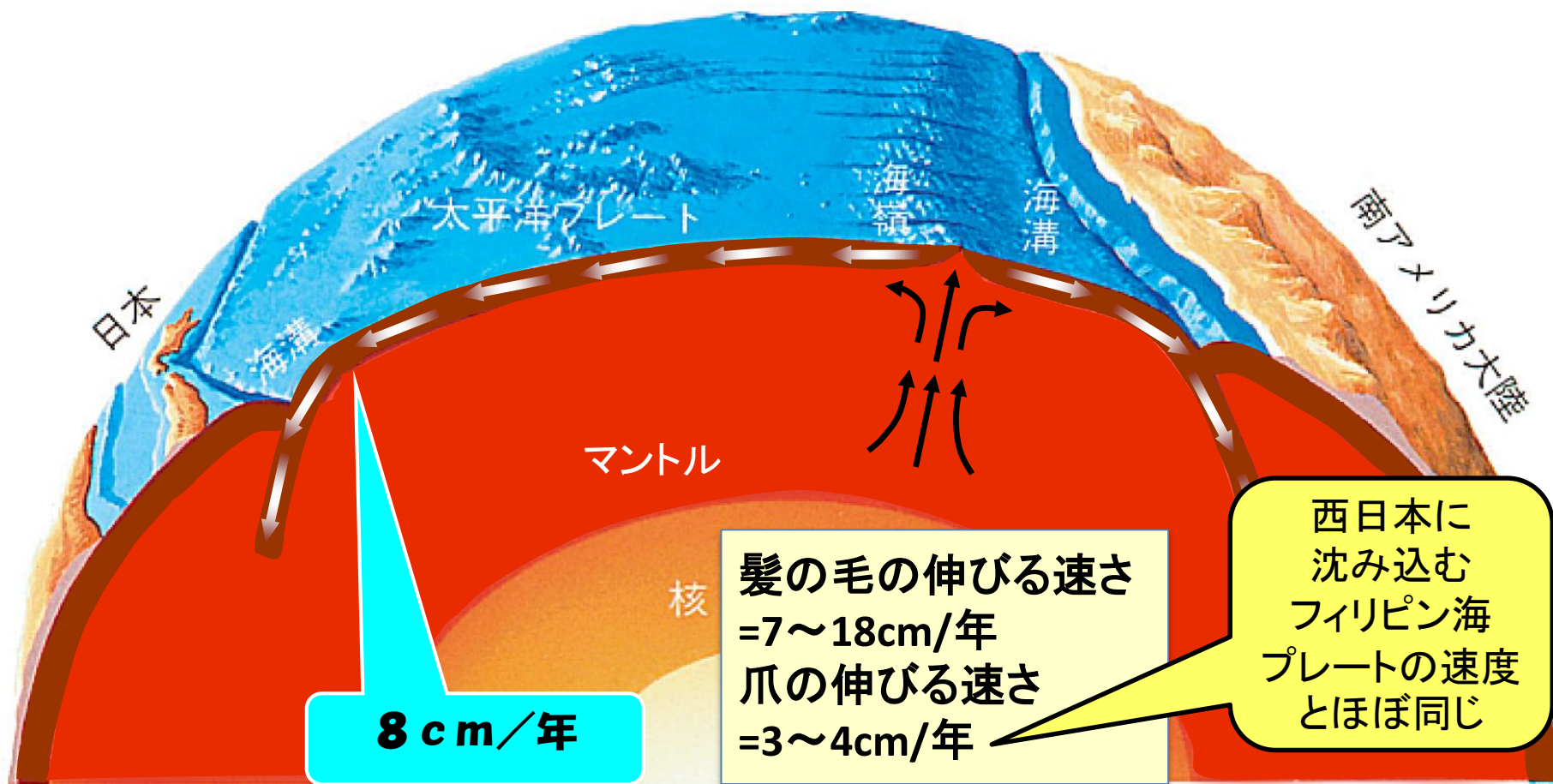
世界の地震活動とプレート

■世界のプレート境界



プレート運動

- ・ 海のプレートは海嶺（海底山脈）で生成される.
- ・ 海嶺から両側に地球表面に沿ってゆっくりと移動する.
- ・ 陸のプレートと衝突すると、重い海のプレートが海溝の
ところから 沈み込む.



G P S 観測点の分布



GEONET
(国土地理院)

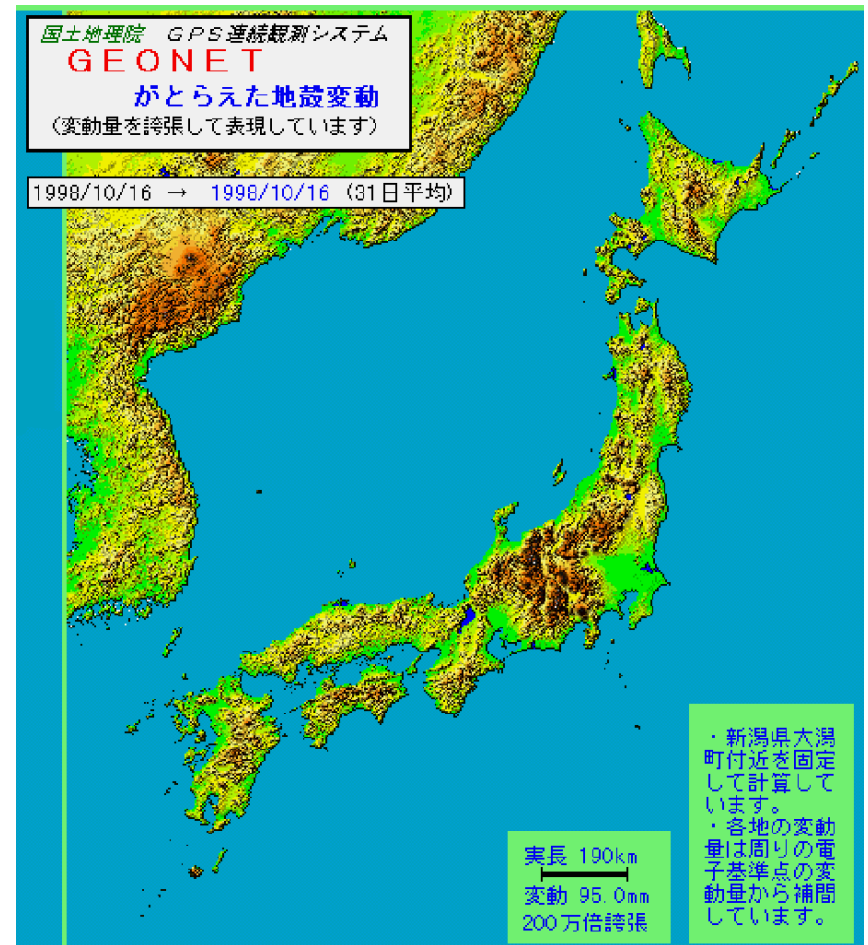


日本列島の変形(アニメーション)

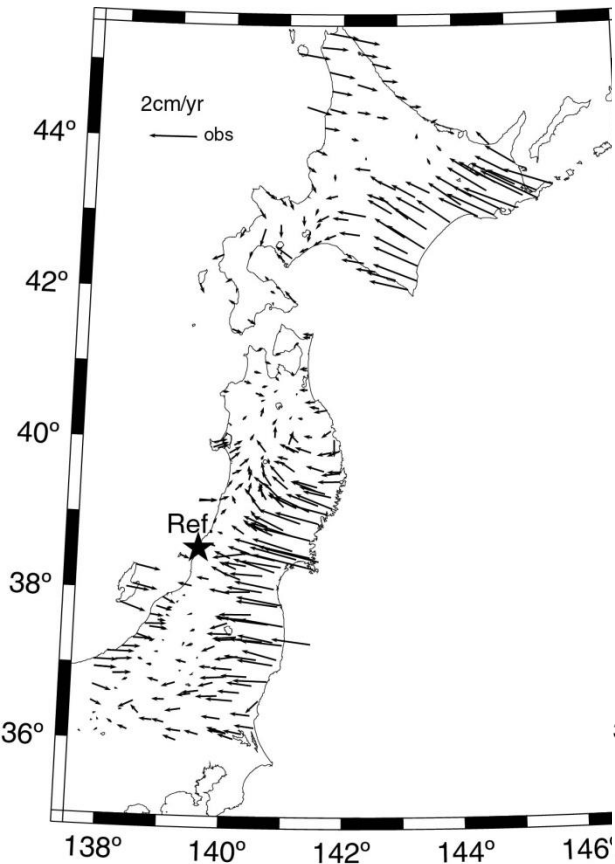
- 右のアニメーションは変動量を実際の地形に対して200万倍誇張している
- 1年分の変動を繰り返して表示
- プレート沈み込みに関連した東西・北西-南東圧縮のパターンが見える

(国土地理院)

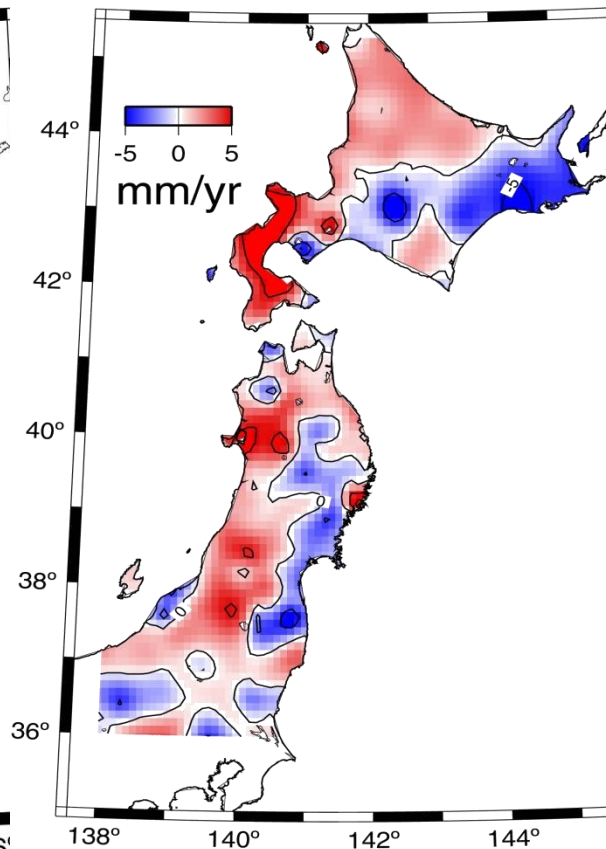
他のアニメについては国土地理院の
<http://www.gsi.go.jp/kanshi/>を参照.



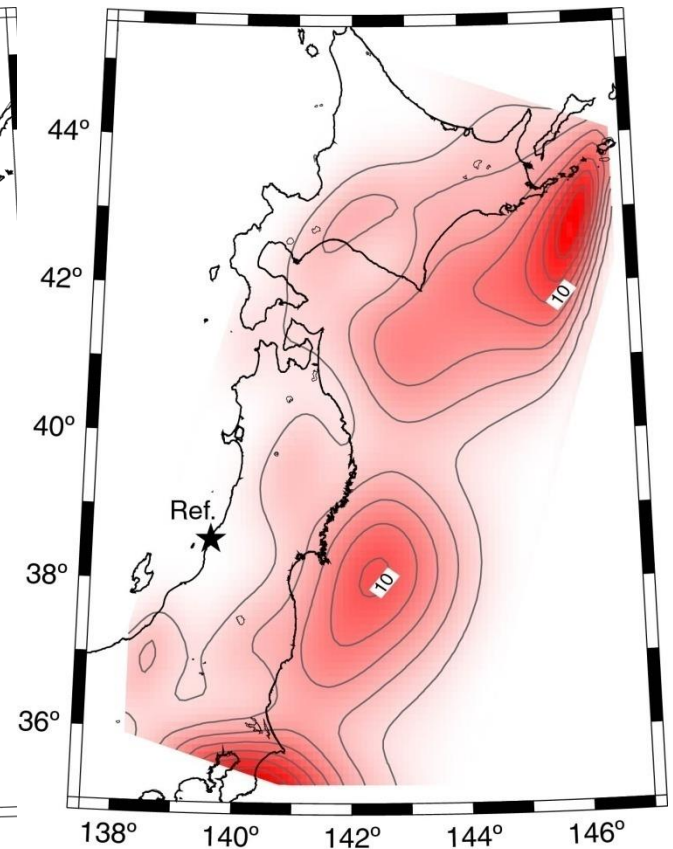
1997-2001年のGPS観測から推定された プレート間固着状況



水平変動



上下変動



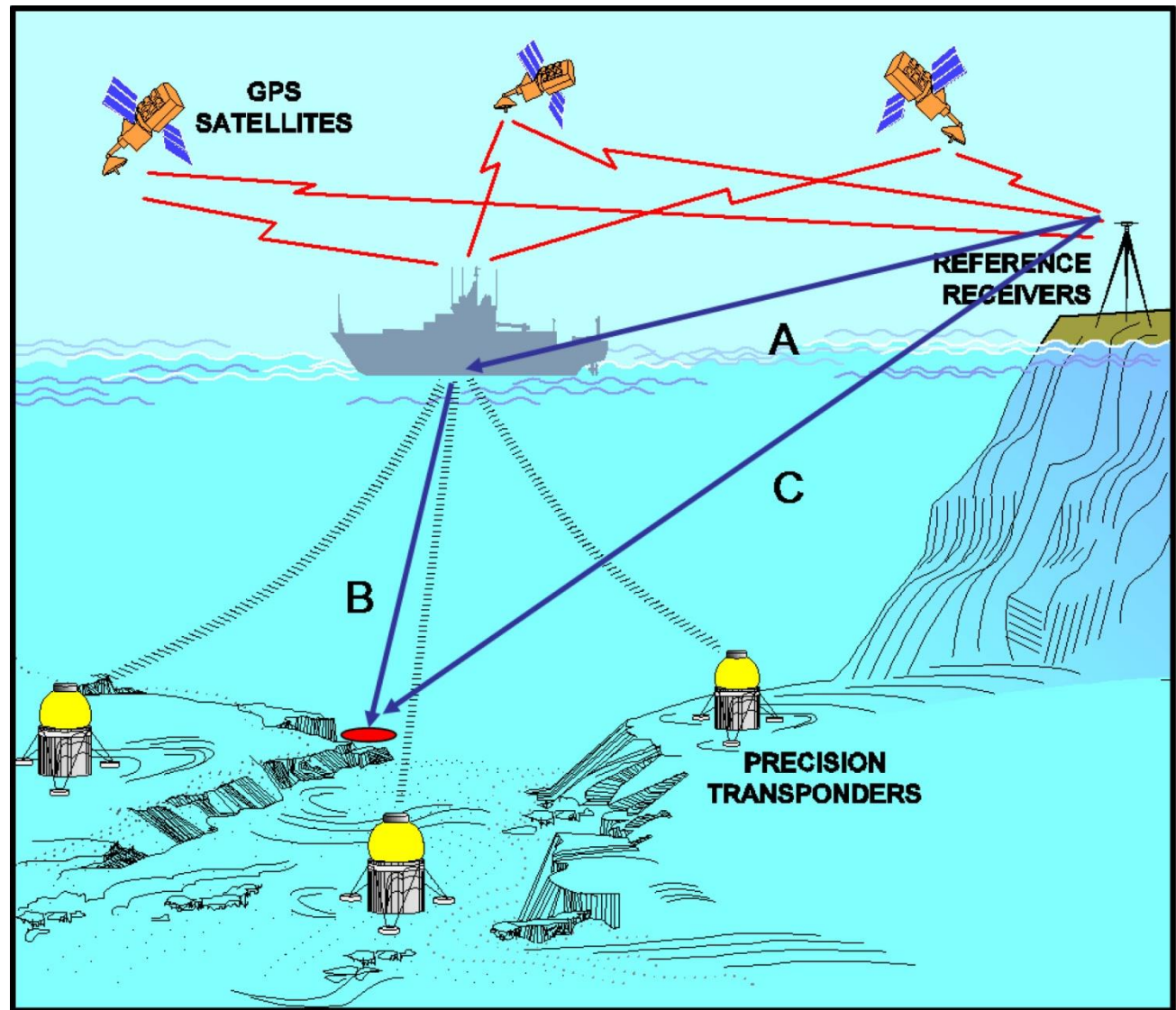
すべり欠損率(cm/年)

東北地方は 10^{-7} /年で短縮

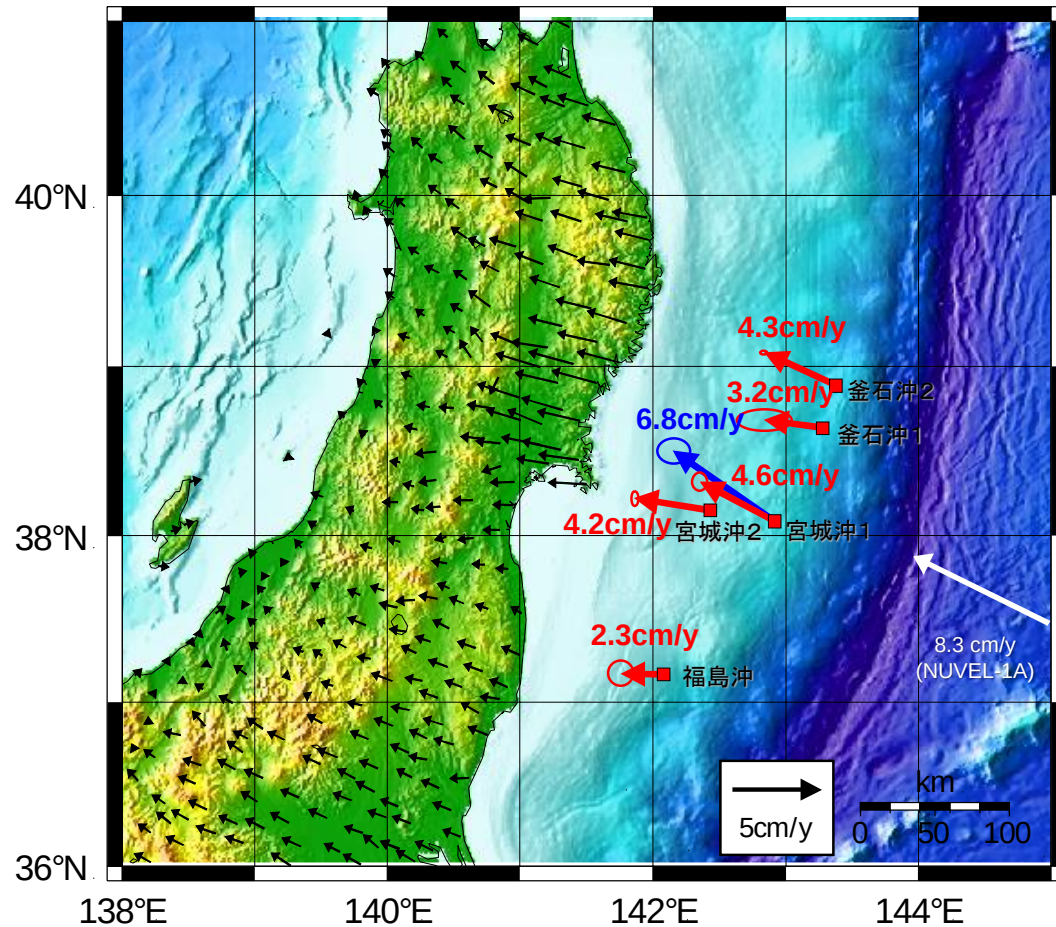
Suwa et al. (2006)

GPS/音響結合方式測量

- A) 陸の基準局に対する船の相対位置をGPSで決定
- B) 船に対する海底ベンチマークの相対位置を水中音波を使って決定
- C) 陸の基準局に対する海底ベンチマークの相対位置をAとBを組み合わせることで決定



北米プレートに対する速度ベクトル



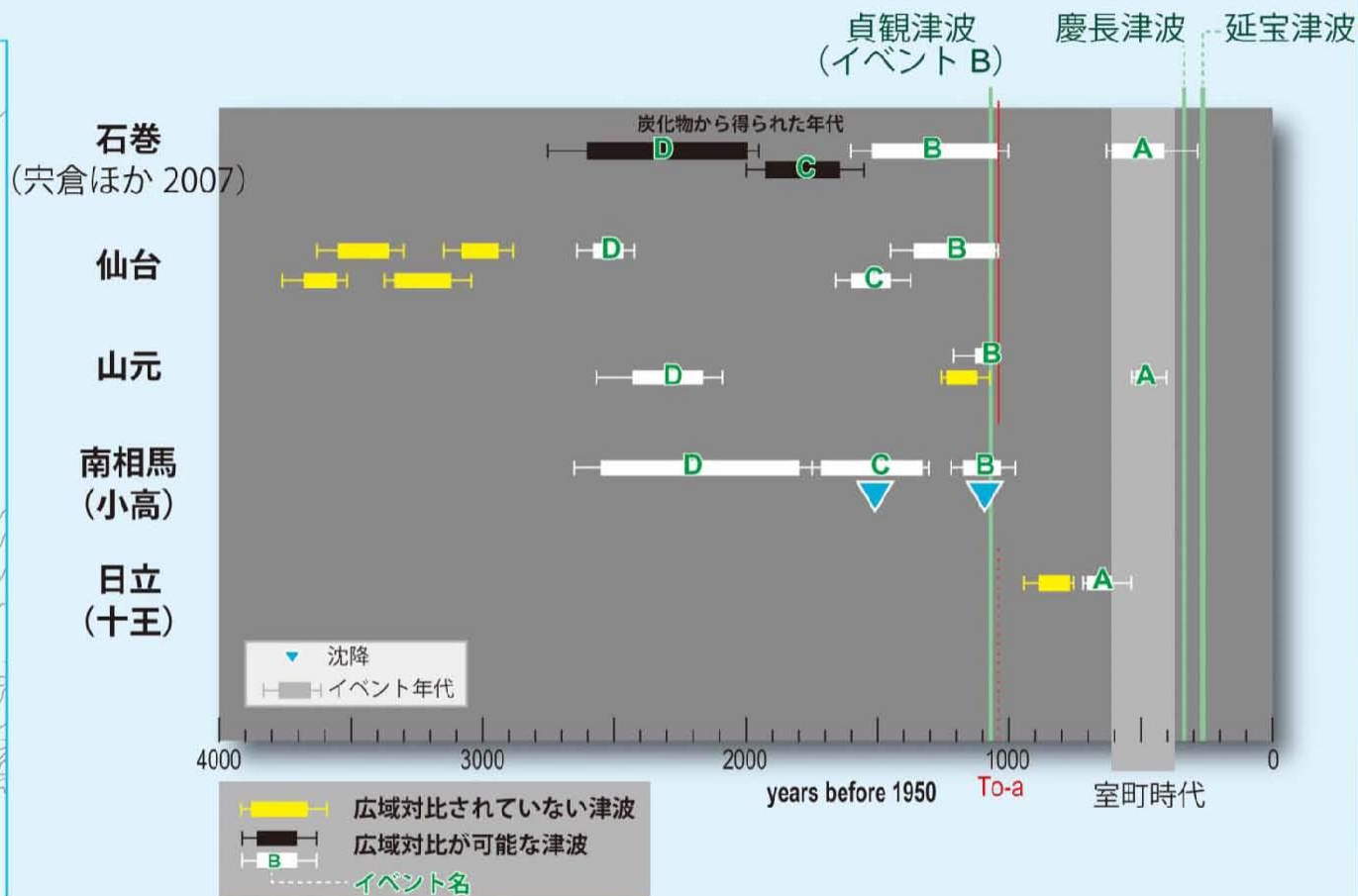
※陸上の矢印は、国土地理院電子基準点の移動速度ベクトル

	速度	方向	期間
釜石沖2 (KAMN)	4.3 cm/y (参考値)	295°	2002/7-2010/11
釜石沖1 (KAMS)	3.2 cm/y (参考値)	278°	2007/7-2010/11
宮城沖1 (MYGI)	6.8 cm/y	305°	2002/5-2005/8
	4.6 cm/y	298°	2006/12-2011/2
宮城沖2 (MYGW)	4.2 cm/y	279°	2006/12-2011/2
福島沖 (FUKU)	2.3 cm/y	271°	2002/7-2008/3

- 全速度ベクトルが西～北西方向
- 太平洋プレートや陸上の電子基準点の動きと概ね整合的

貞觀地震(869年)

日本海溝沿い南部における 津波堆積物の広域対比



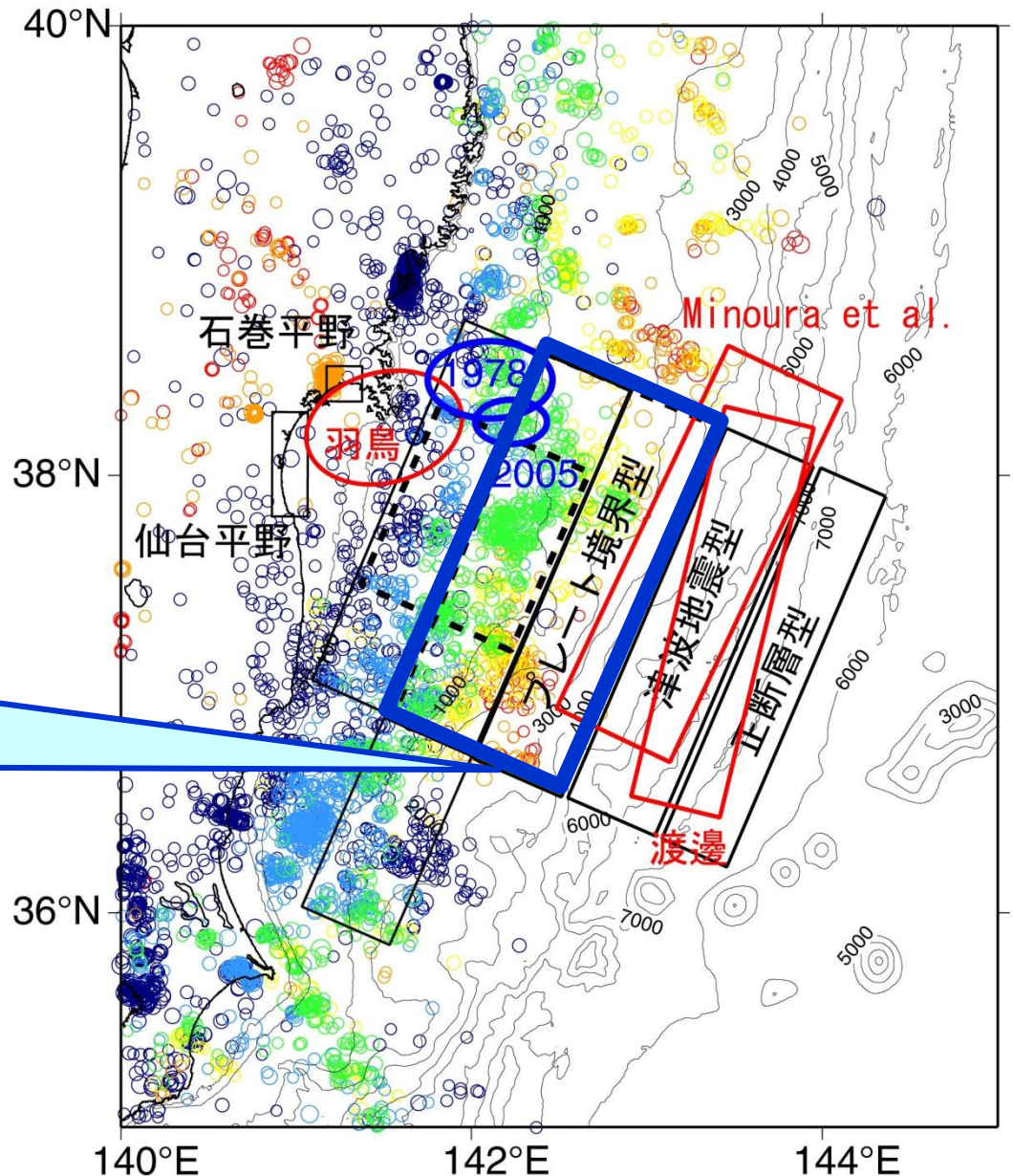
日本海溝南部では貞観津波のような広域に影響する津波は450-800年間隔で発生している。

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



モデルから推定される貞観津波の浸水域

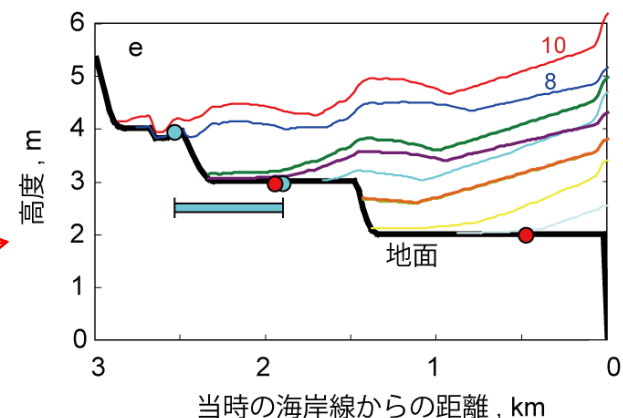
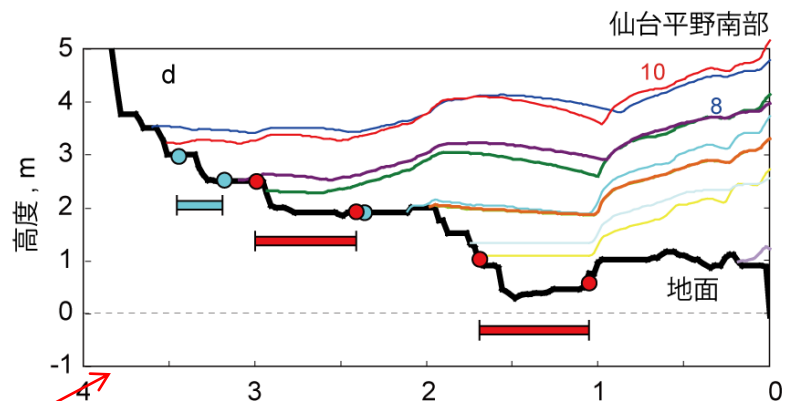
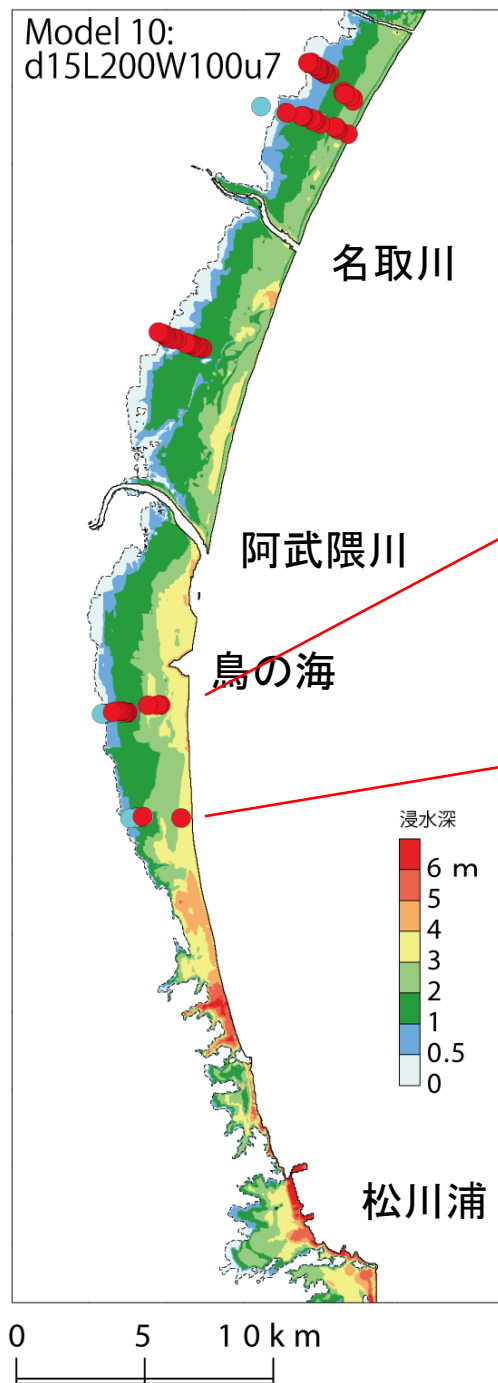
阿武隈川より北は現在の仙台東部道路, 南は6号線くらいまで津波が到達
⇒ 今回と同じ

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**2011年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

仙台平野

Model 10:
d15L200W100u7

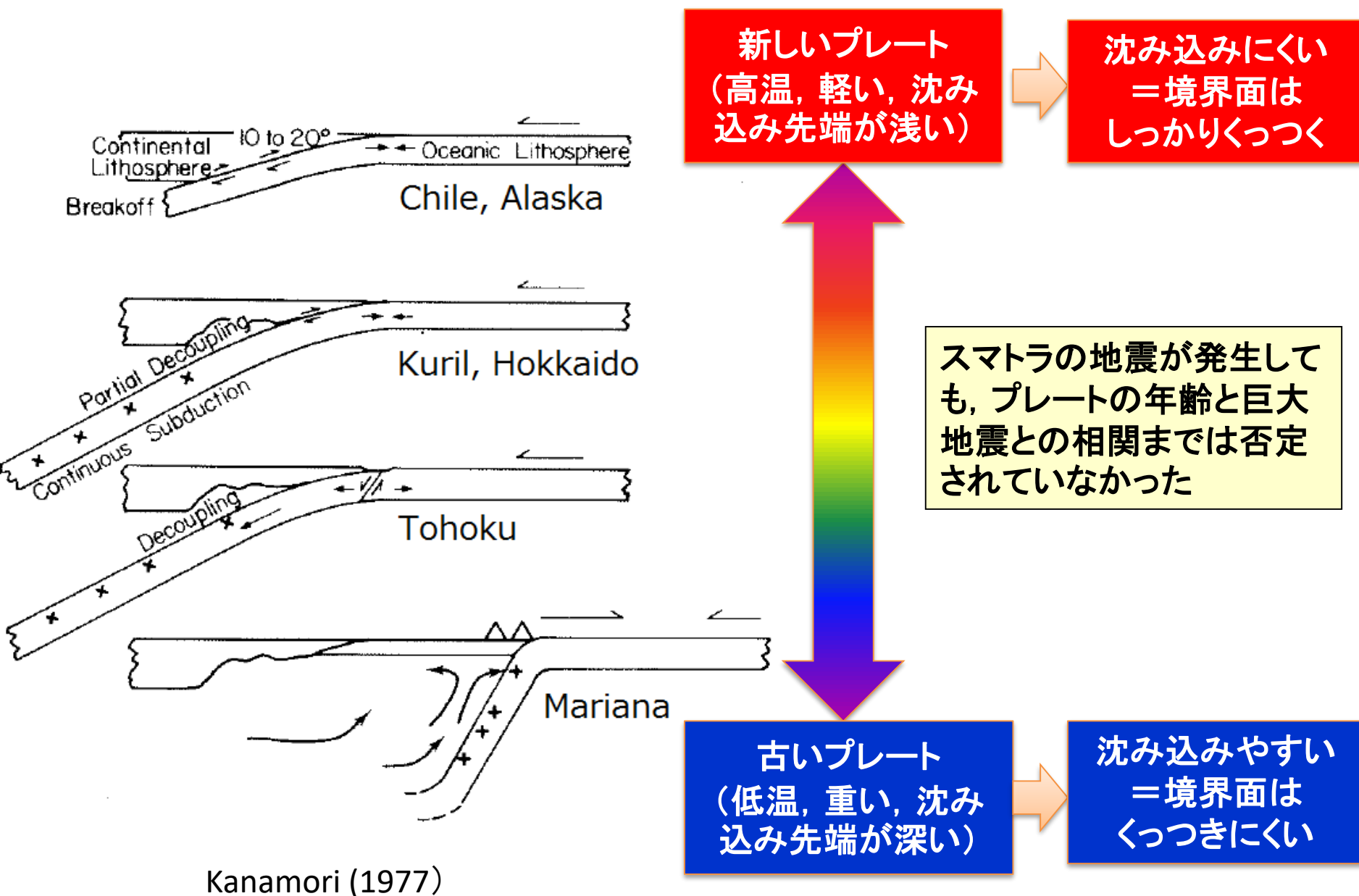


- 貞観津波の堆積物の位置
- 貞観津波と思われる堆積物の位置
- 1. 正断層型
- 2. 津波地震型
- 3. d15_L200_W50_u5
- 4. d31_L200_W50_u5
- 5. d15_L200_W100_u5
- 6. d31_L200_W100_u5
- 7. d31_L300_W50_u5
- 8. d31_L100_W100_u10
- 9. 仙台湾内の活断層
- 10. d15_L200_W100_u7

- 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

なぜ東北でM9を
予見できなかったのか？

プレート境界の強度の違いを説明するモデル



プレートの年代とM9地震

2010年までのM9地震はすべて1億年より若いプレートの上で発生していた

1957 アンドレアノフ Mw9.1

1952 カムチャッカ Mw9.0

世界で最も古いプレート

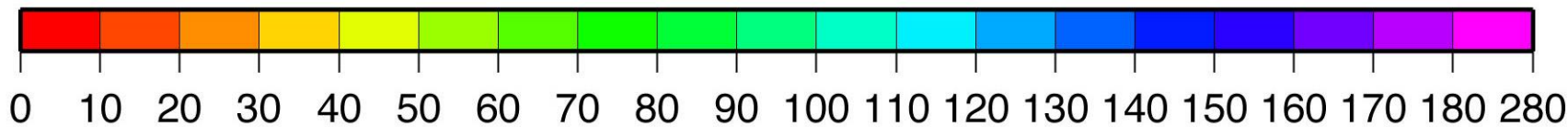
1964 アラスカ Mw9.2

2011 東北地方太平洋沖
Mw9.0

2010 チリ中部 Mw8.8

1960 チリ Mw9.5

2004 スマトラ Mw9.0

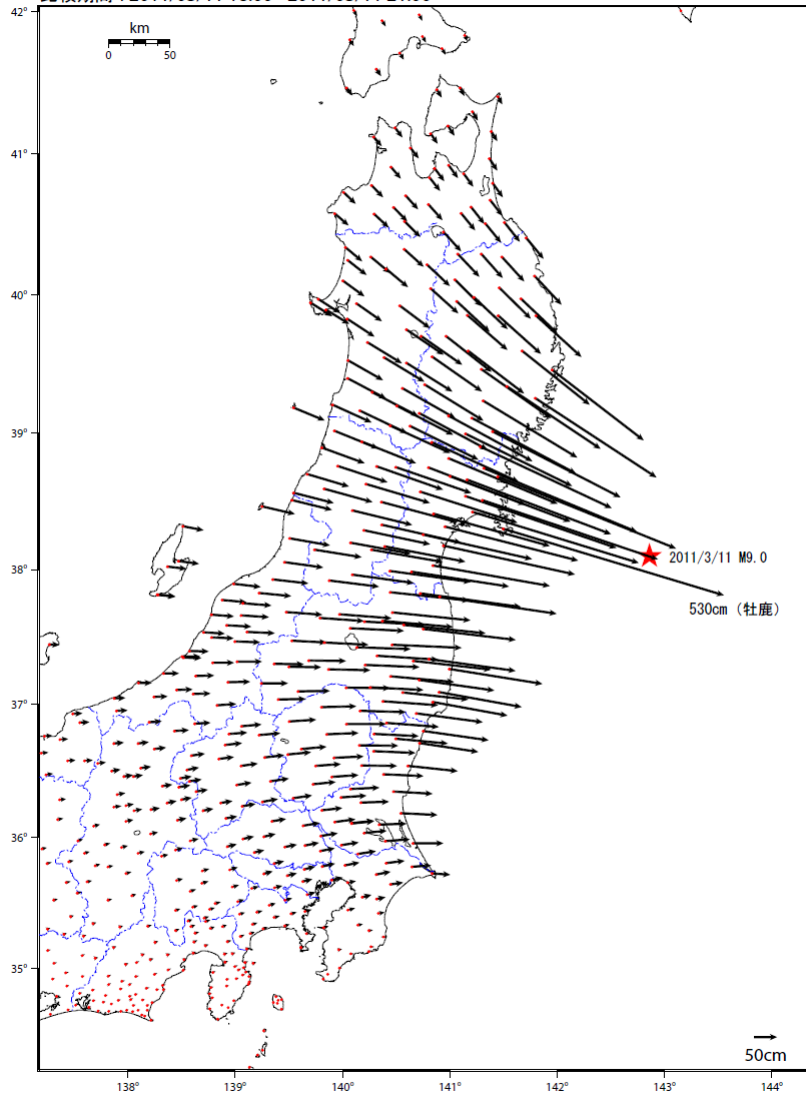


Age of Oceanic Lithosphere [m.y.]

2011年東北地方太平洋沖地震

GPS観測による本震時の地殻変動

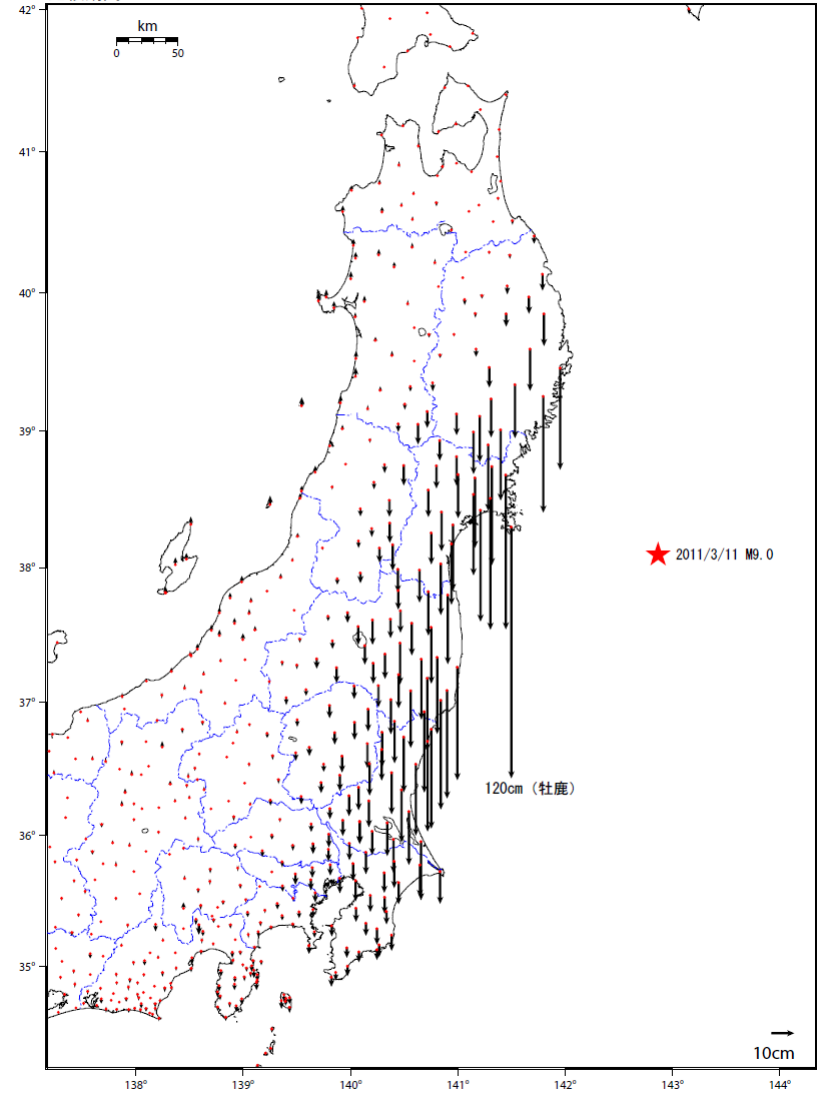
基準期間 : 2011/03/01 21:00 - 2011/03/09 21:00
比較期間 : 2011/03/11 18:00 - 2011/03/11 21:00



[基準 : R3速報解 比較 : Q3迅速解]

☆固定局 : 三隅 (950388)

基準期間 : 2011/03/01 21:00 - 2011/03/09 21:00
比較期間 : 2011/03/11 18:00 - 2011/03/11 21:00



[基準 : R3速報解 比較 : Q3迅速解]

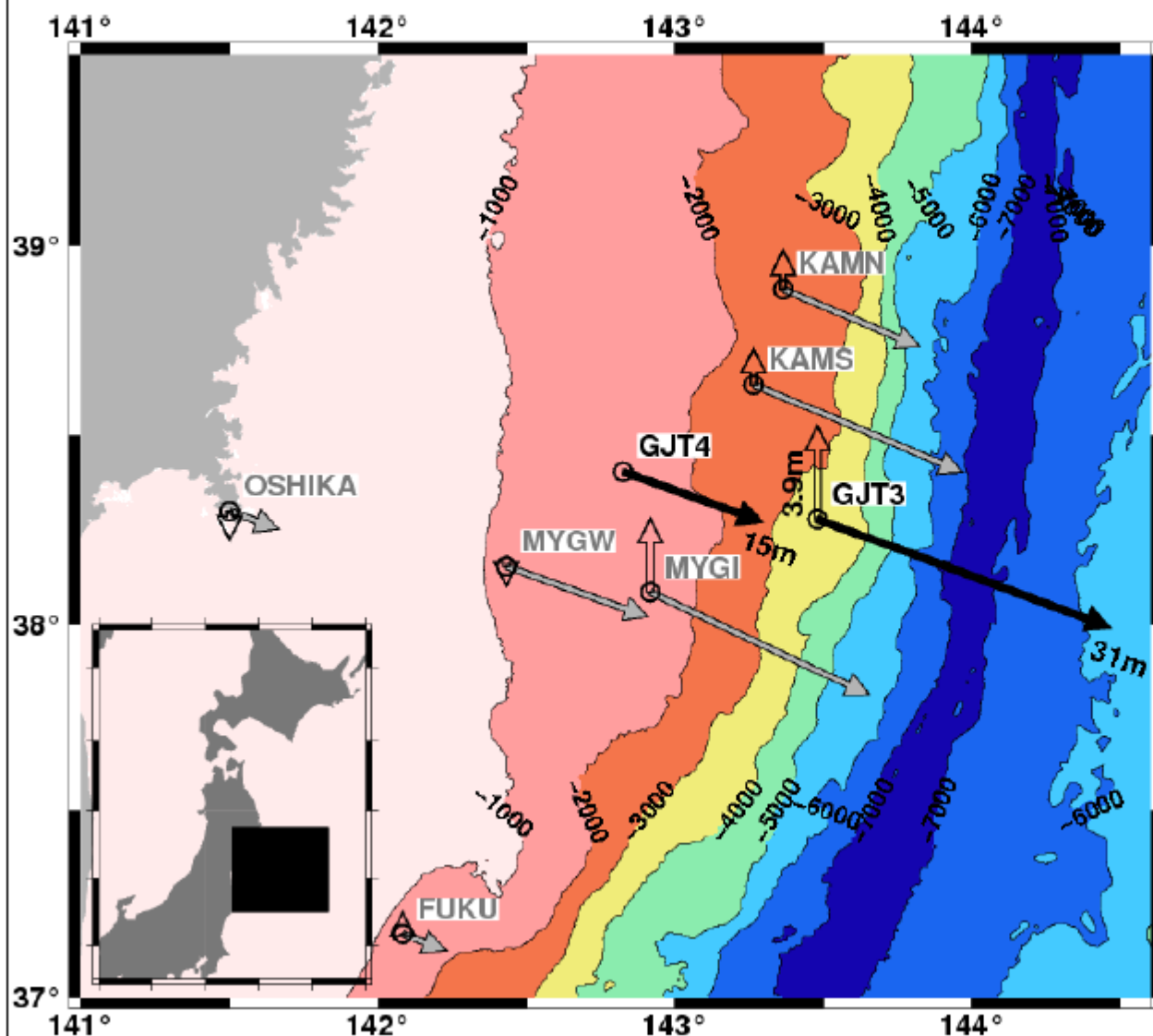
☆固定局 : 三隅 (950388)

水平成分: 太平洋岸5m, 日本海岸1m東へ

上下成分: 太平洋岸1m沈降

国土地理院(2011)

GPS/A観測による海底水平変動



海溝軸に近づく
と変位が増大

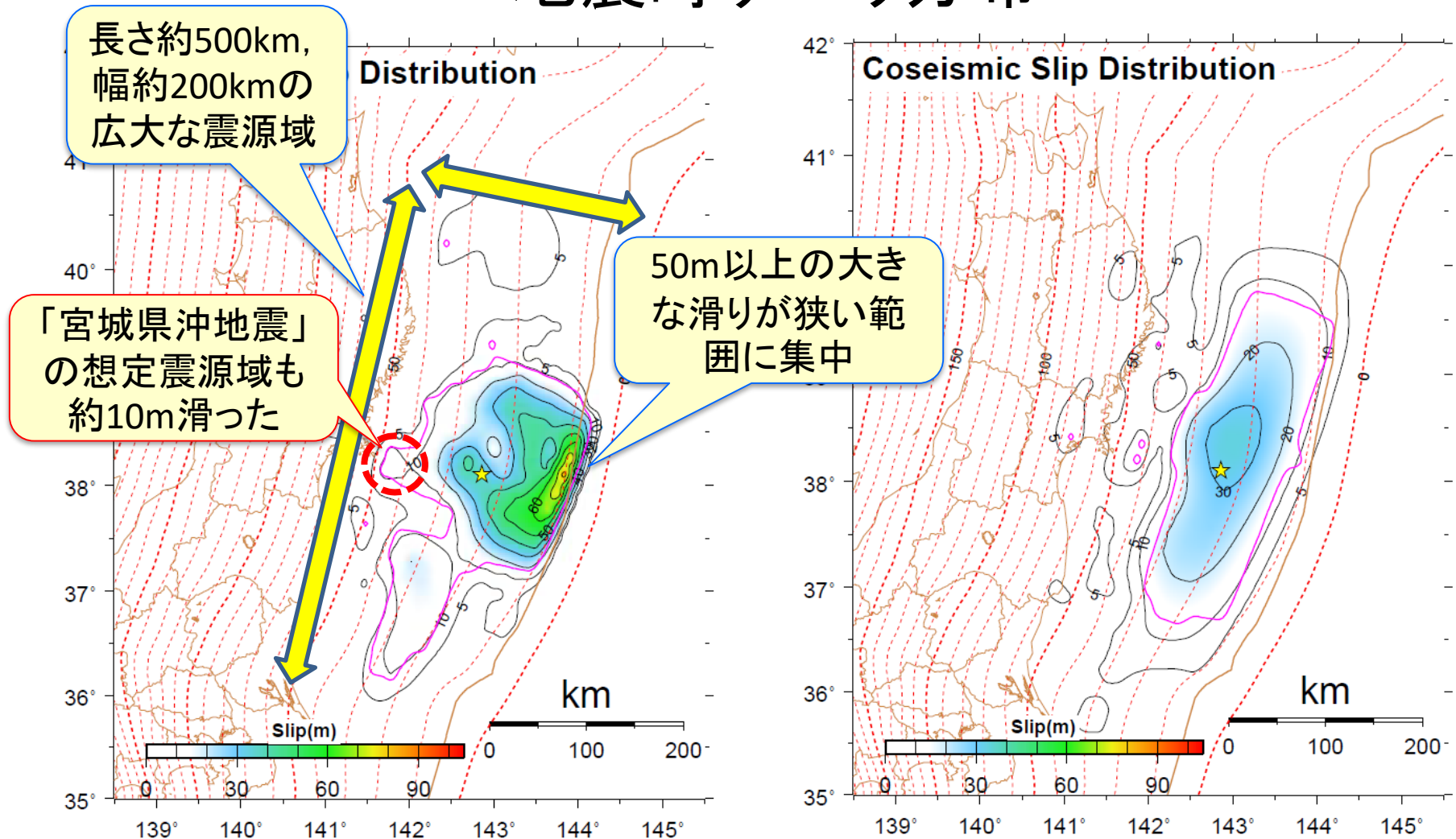
変位は宮城沖に集中

圧力計上下変位も含めて
すべり量の推定が可能

海洋情報部
Sato et al. (2011)

東北大学
Kido et al. (2011)

海陸の地殻変動データから推定した 地震時すべり分布



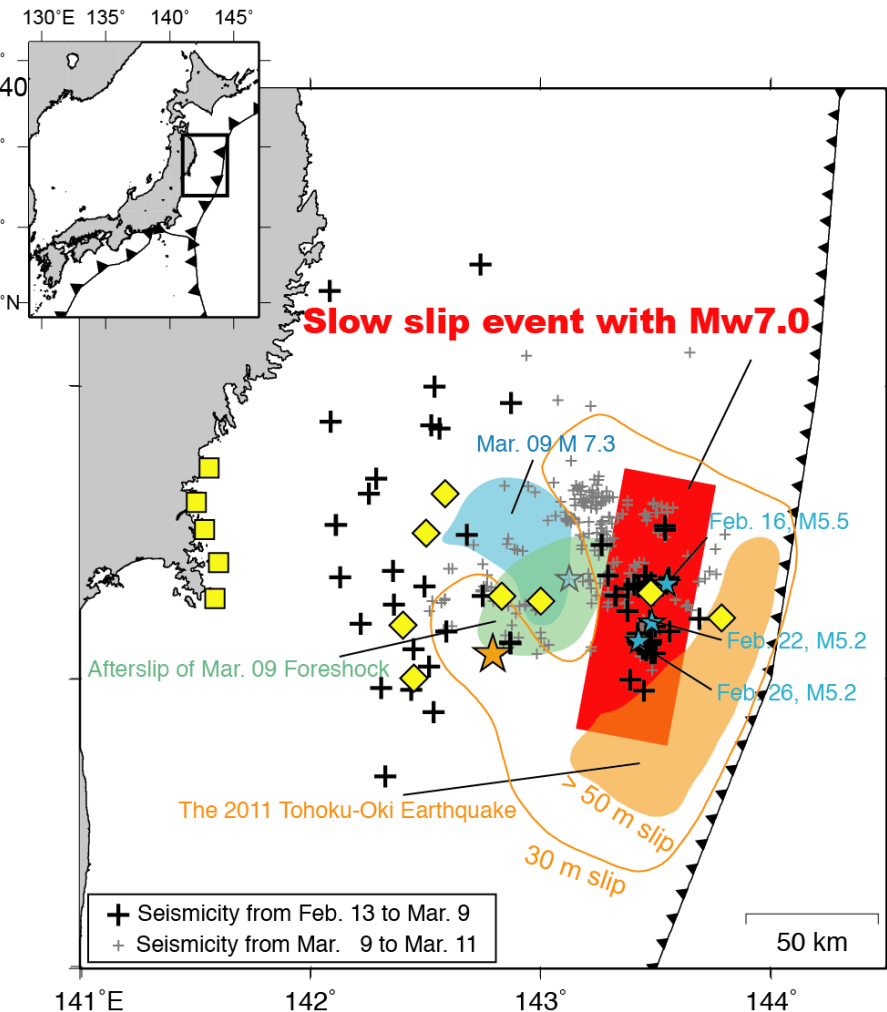
海陸のデータを入れた場合

陸のGPSデータのみの場合

本震発生までに生じたこと

— 地震とゆっくり滑りの連鎖反応

2011年2月の活動から本震まで

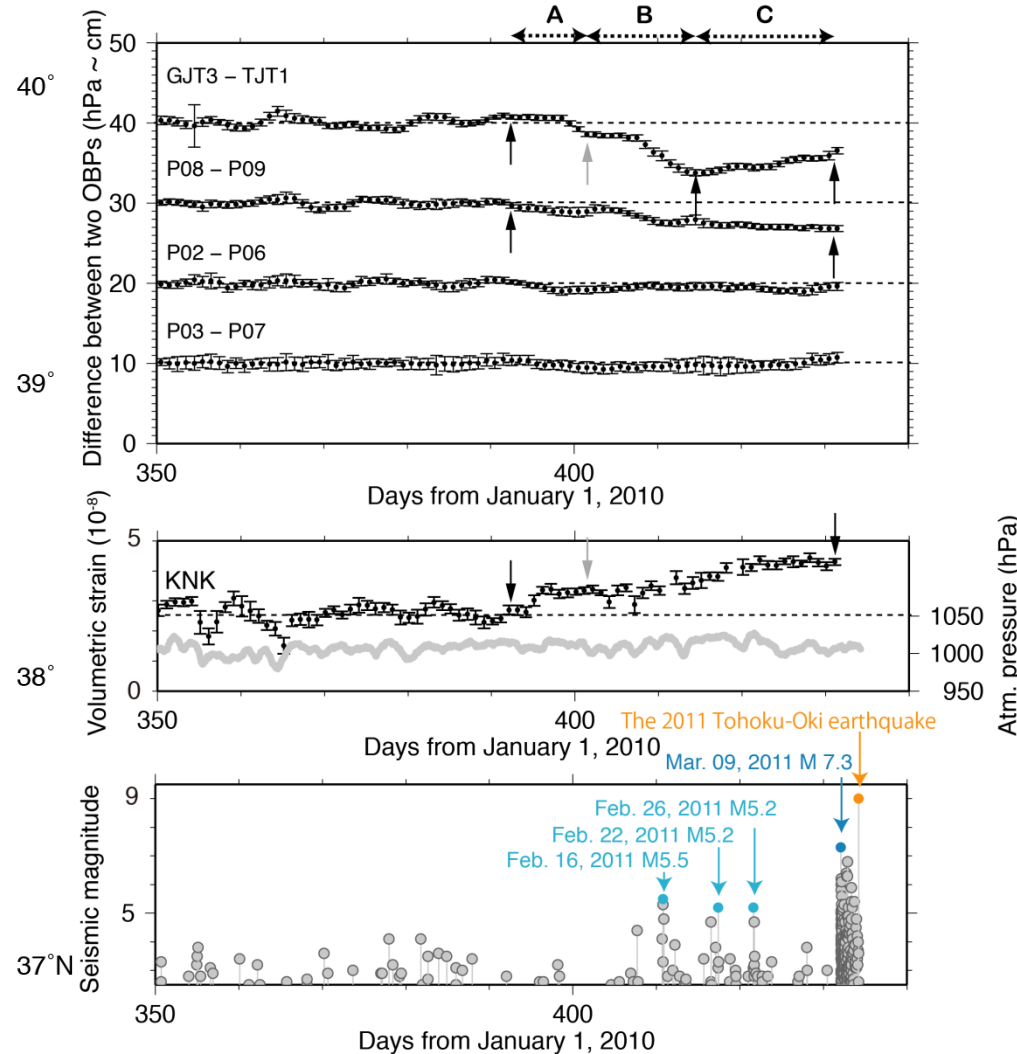


W = 35 km

L = 100 km

D = 0.4 m

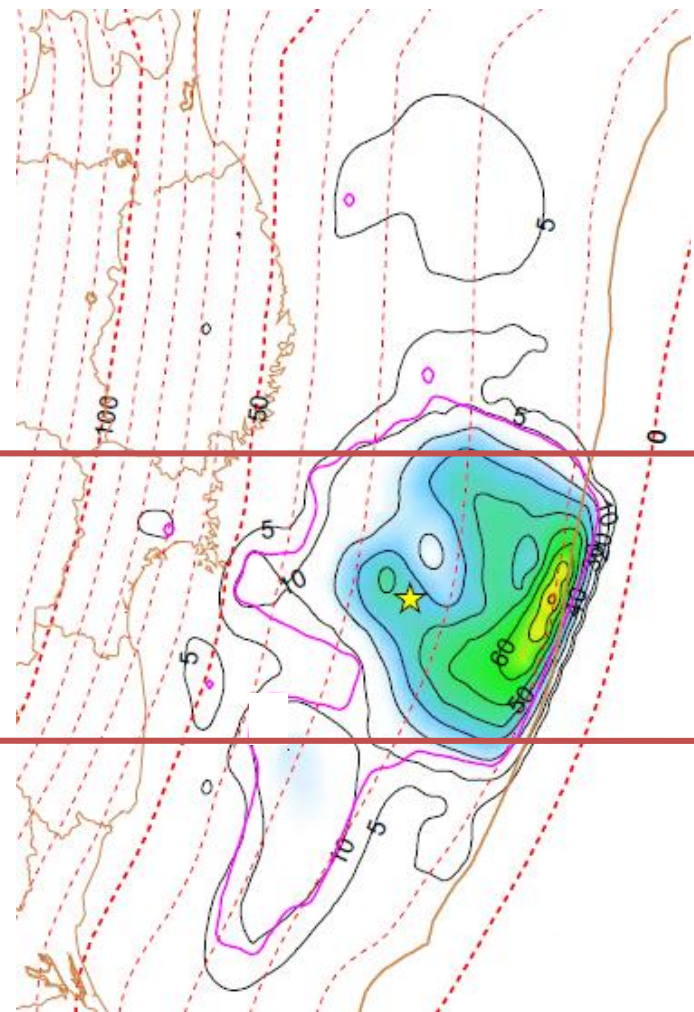
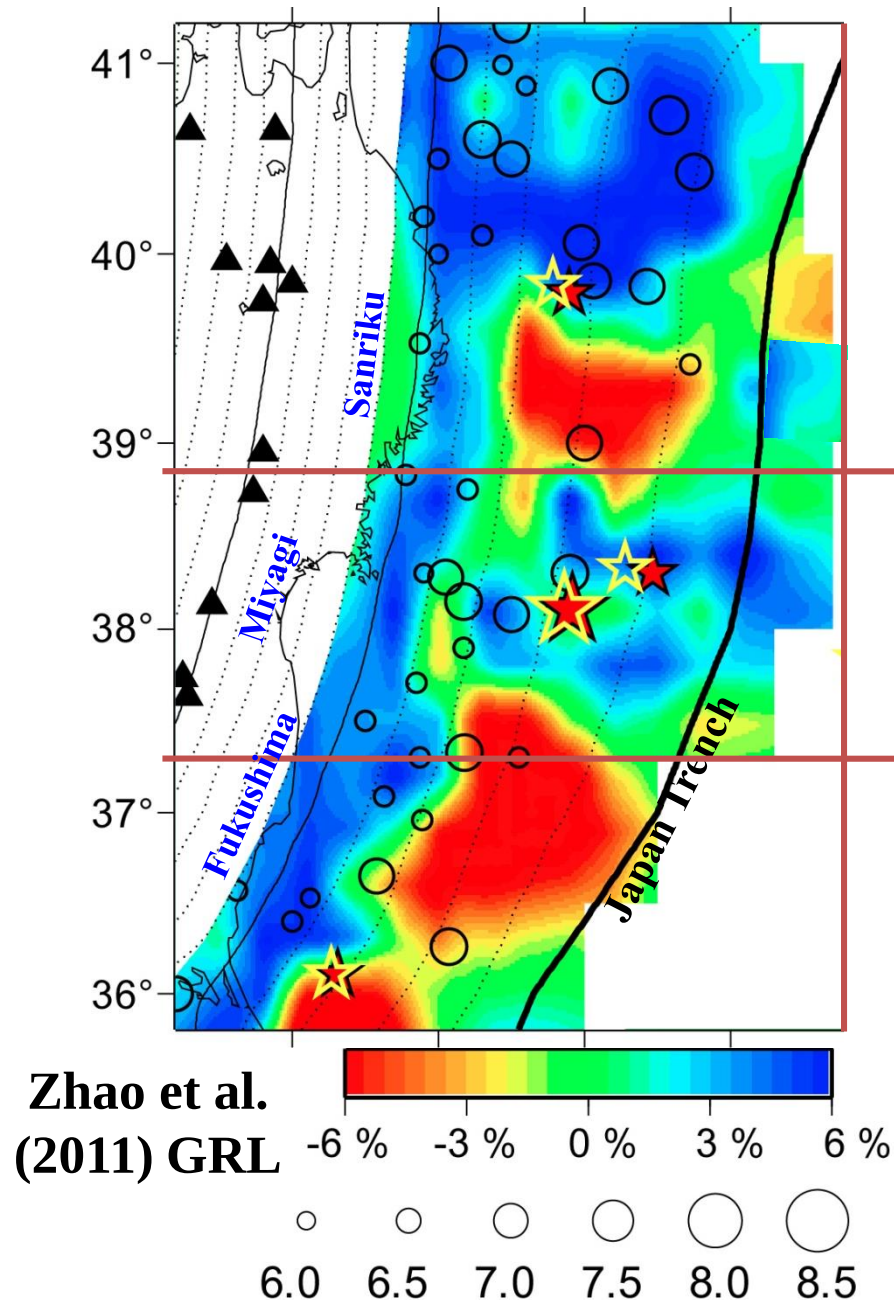
$M_0 = 3.6 \times 10^{19} \text{ Nm}$ (M_w 7.0)



Ito et al. (2012)

プレート境界直上の地震波速度偏差

東北地方太平洋沖地震のすべり量分布

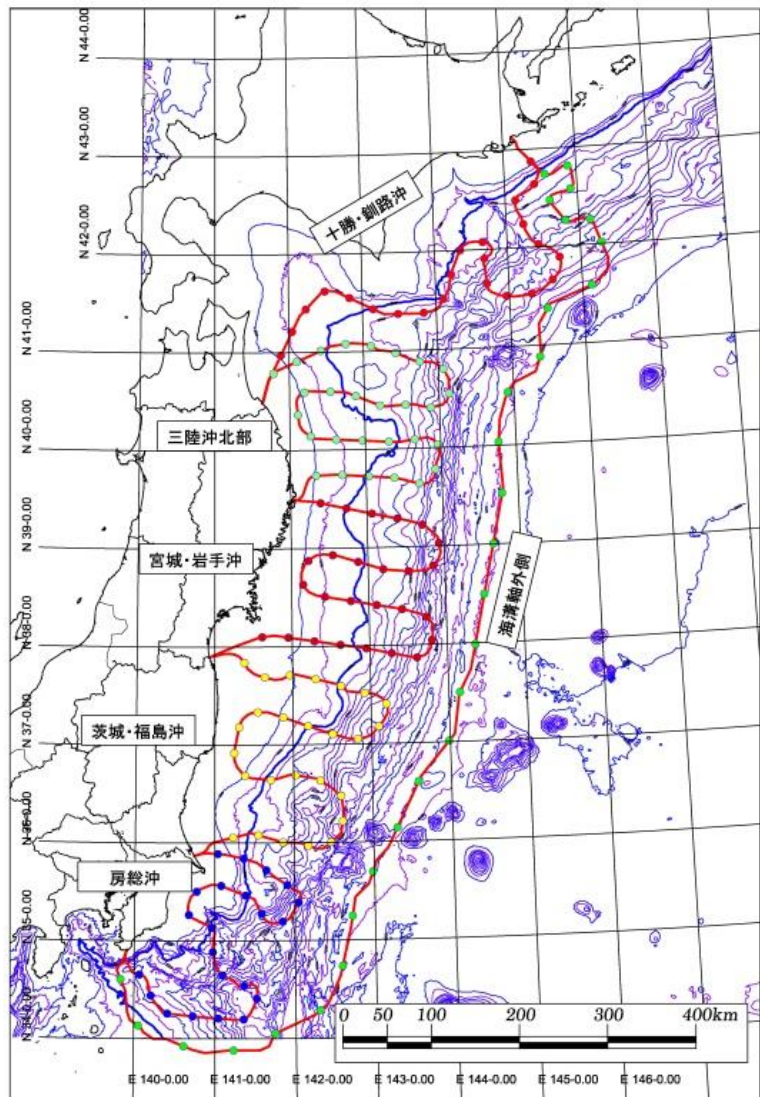


Iinuma et al. (2012) JGR

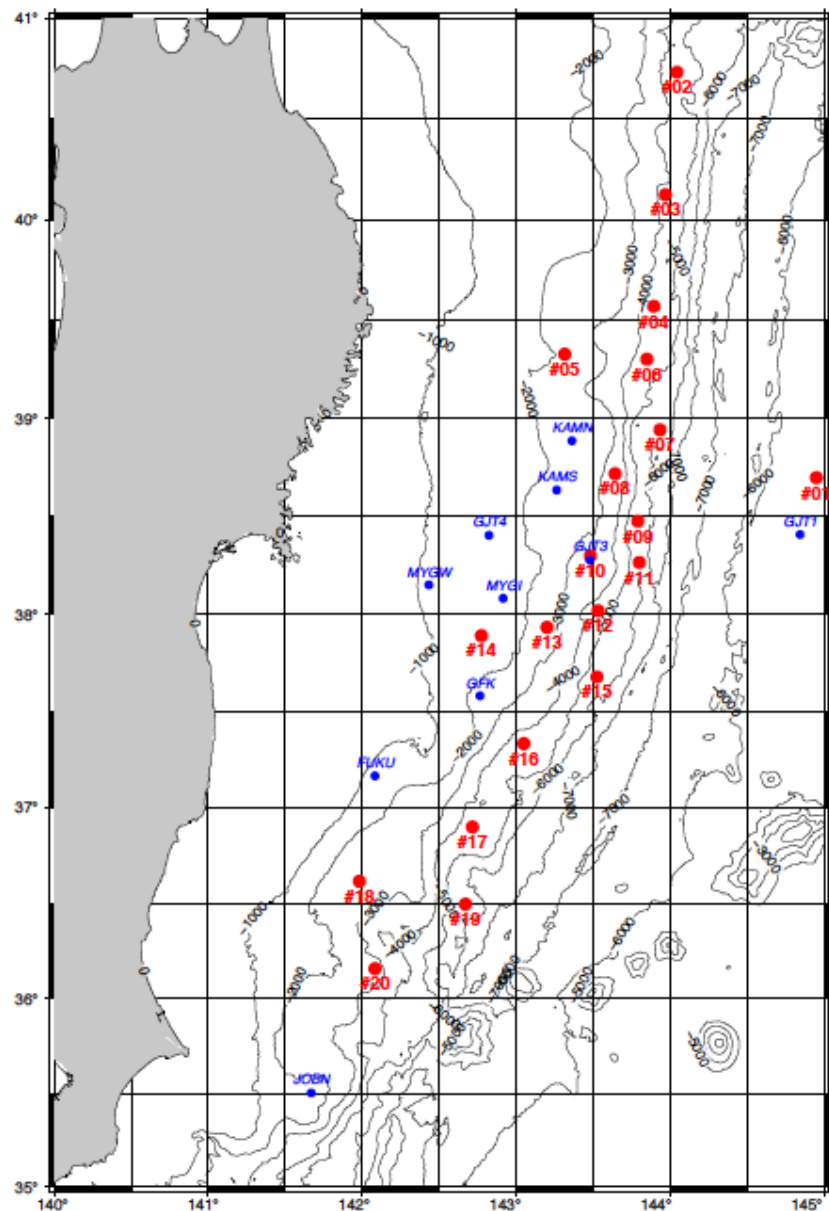
宮城県沖の大きな滑り量を示した領域の直上で、地震波速度が速い
→ 固い岩石が存在(?)

海底観測網の整備

海底ケーブル式観測網(地震+水圧)



海底GPS観測網



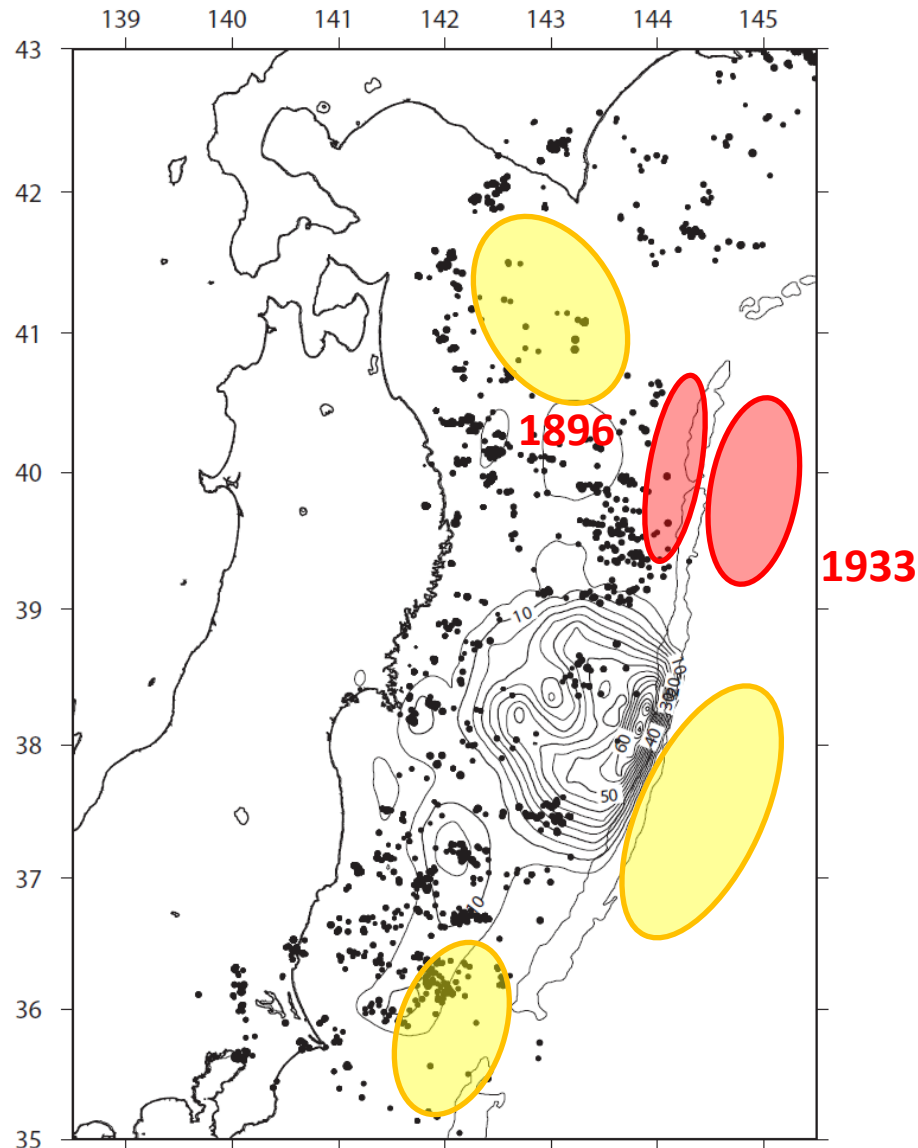
木戸・他(2012)

植平・他(2012)

備える

- 東北地方太平洋沖での大きな地震の可能性
 - M8の最大余震が数十年以内に起きてもおかしくない
 - 青森県東方沖：1968年十勝沖地震(M7.9; Mw8.2)の再来
 - 海溝外側：1933年昭和三陸地震(M8.1)と同じタイプ
 - 房総沖：1677年延宝地震(M8.0)の再来
 - 数年に1度はM7が発生してもおかしくない
 - 3.11の前でも4～8年に1度は発生
 - 現在の地震活動は3.11前の1.5倍程度
 - 最後のM7は2016年11月22日の福島沖の地震(M7.4)
- 大きな津波への備え
 - 北海道沖でM9の可能性
 - 引き波で始まるとは限らない
 - 地震発生から津波到着まで1時間かかる場合もある

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(飯沼・他, 2011)