

# 地震学研究の最先端 ～災害科学への期待と課題～

東京大学地震研究所  
加藤 照之

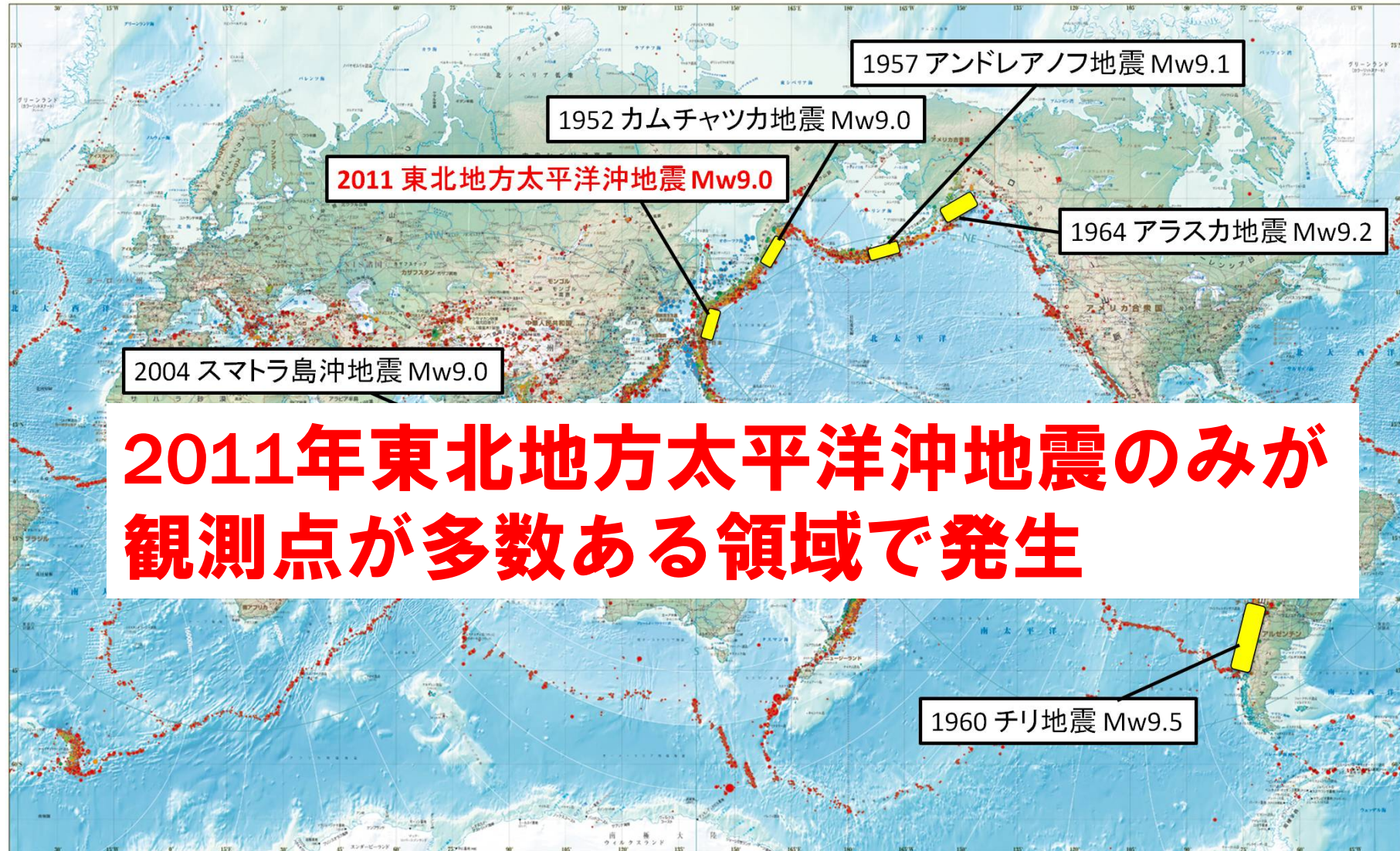
# 話題の内容

- 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震でわかったことわからないこと
  - 超巨大地震のメカニズム
  - なぜ巨大な津波が発生したのか
  - 想定外だったのか
- 超巨大地震予測に向けた今後の課題と方策
- 災害科学への期待と課題

# プレートと地震活動：超巨大地震

世界の震源分布 (2010年版)

東京大学 地震研究所



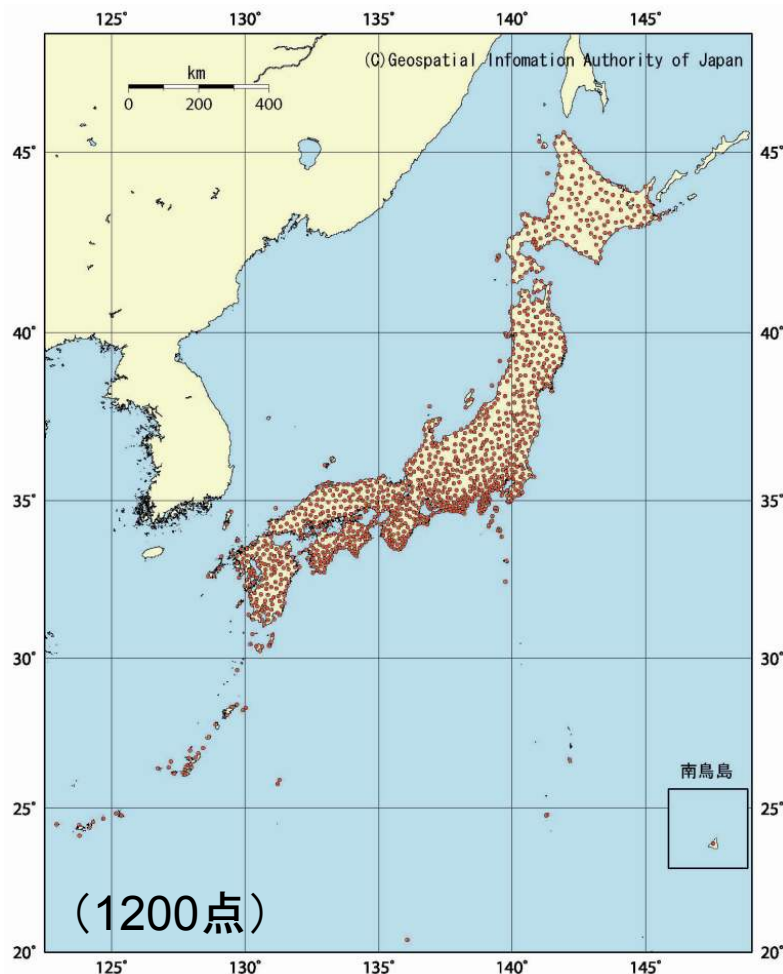
**2011年東北地方太平洋沖地震のみが観測点が多数ある領域で発生**

**超巨大地震はプレート境界で発生**

# 国の基盤観測網

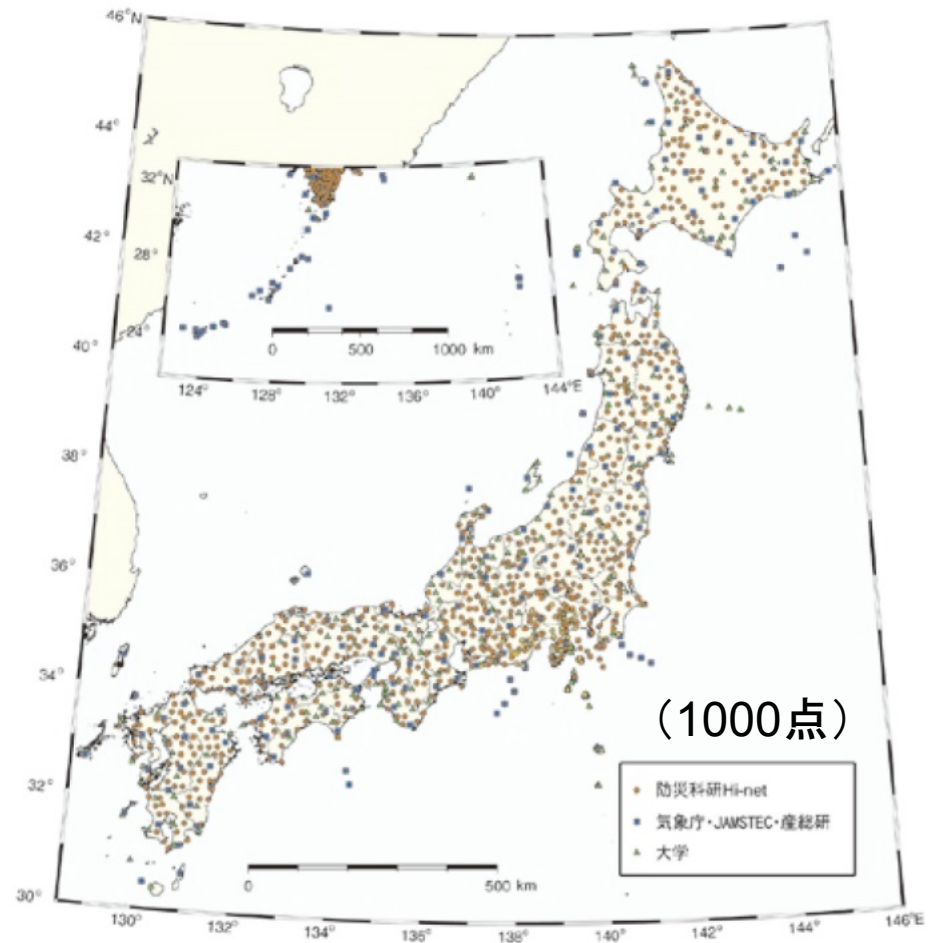
## 世界一高密度の国家観測網

### 測地観測網(GEONET)



(国土地理院HPより)

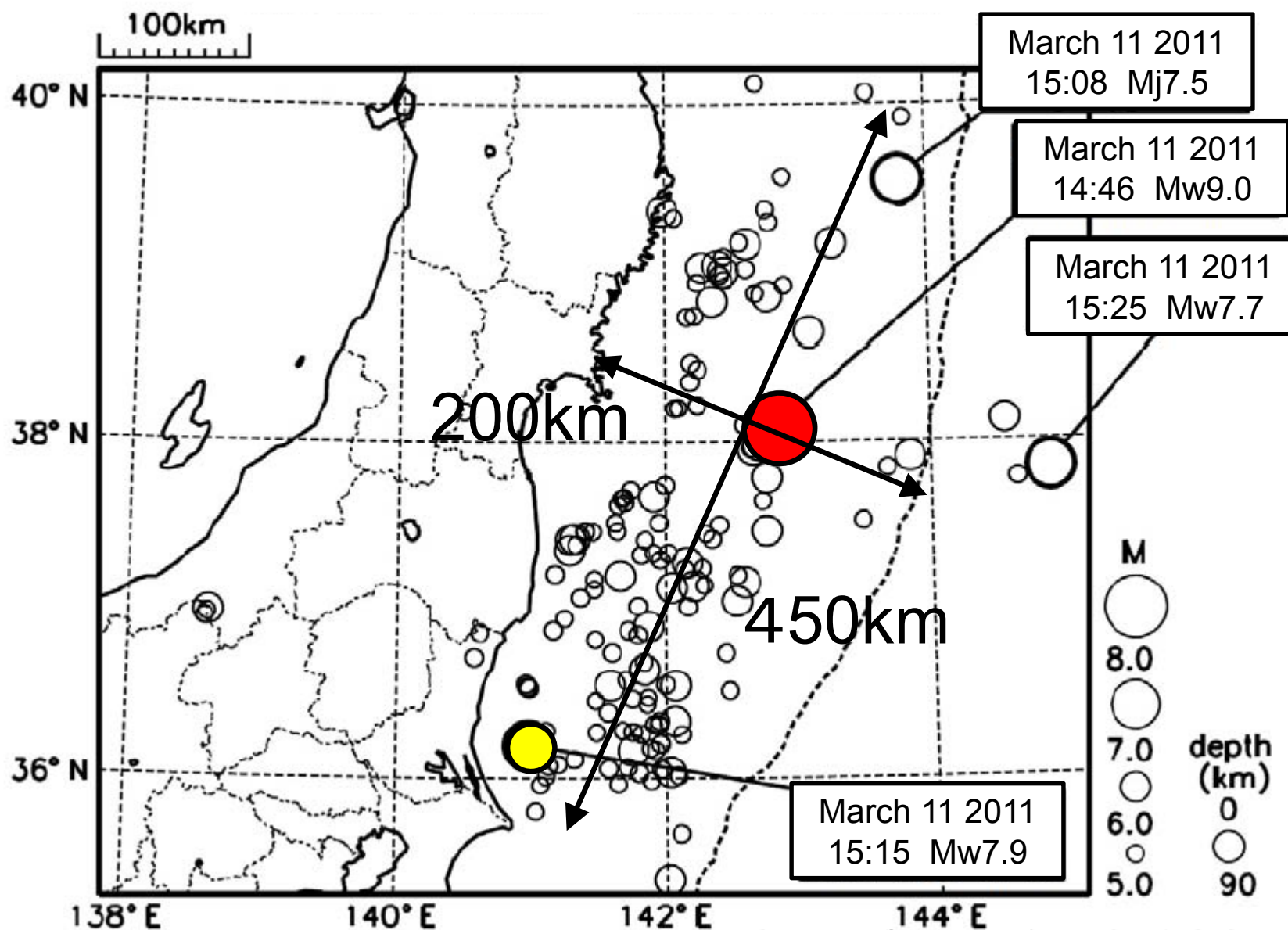
### 地震観測網(HINET)



(小原, なみふる, May 2004)

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震  
の実態を地震・地殻変動・津波  
のデータから解明する

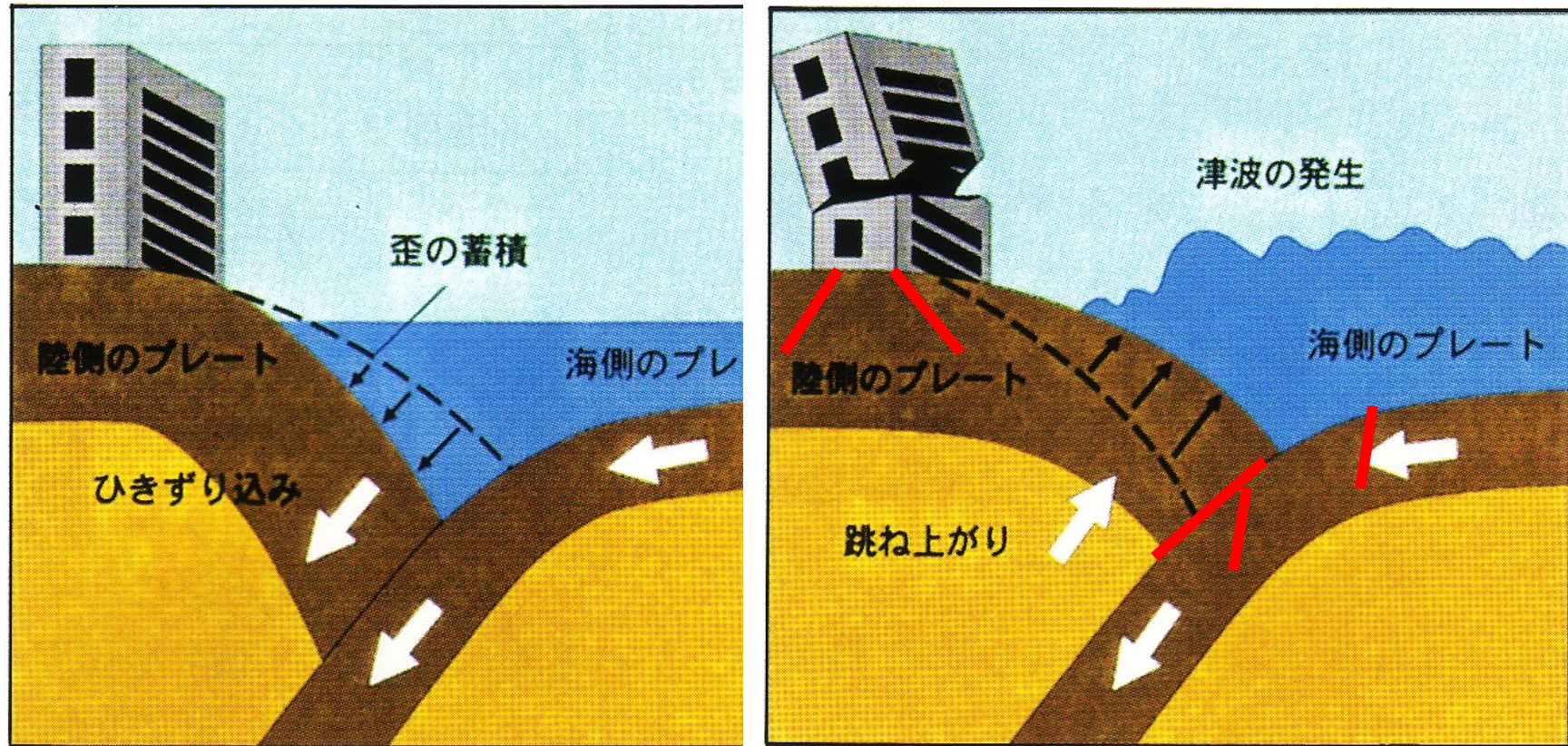
# 本震及び本震後1日の余震で見る震源域



(深さ<90km, M≥5.0)

(気象庁記者発表資料No.11)

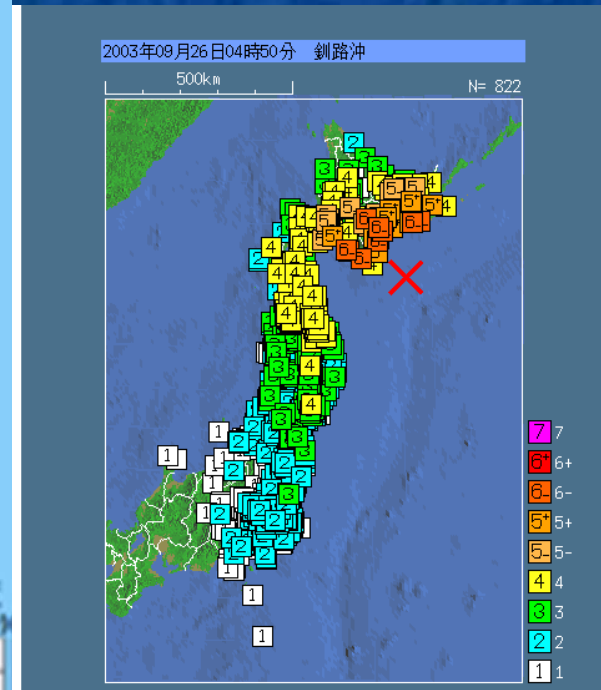
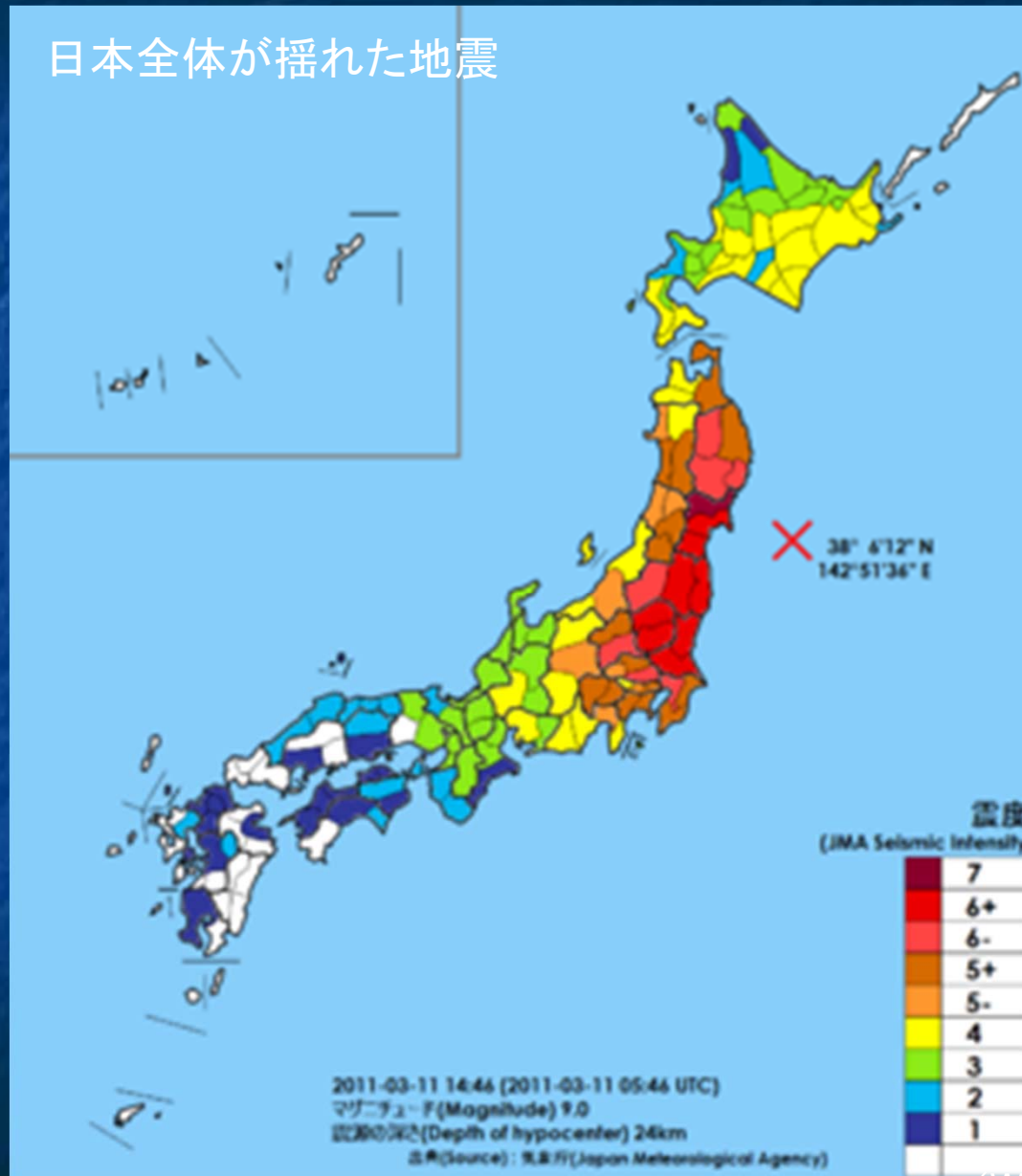
# 地震発生 の 3種類 の 場所



- プレート間地震(M8<, 周期:100-200年, 津波発生)
- プレート内(内陸)地震(M7級, 周期:>1000年)
- スラブ内地震(アウターライズを含む)

# 震度分布

日本全体が揺れた地震

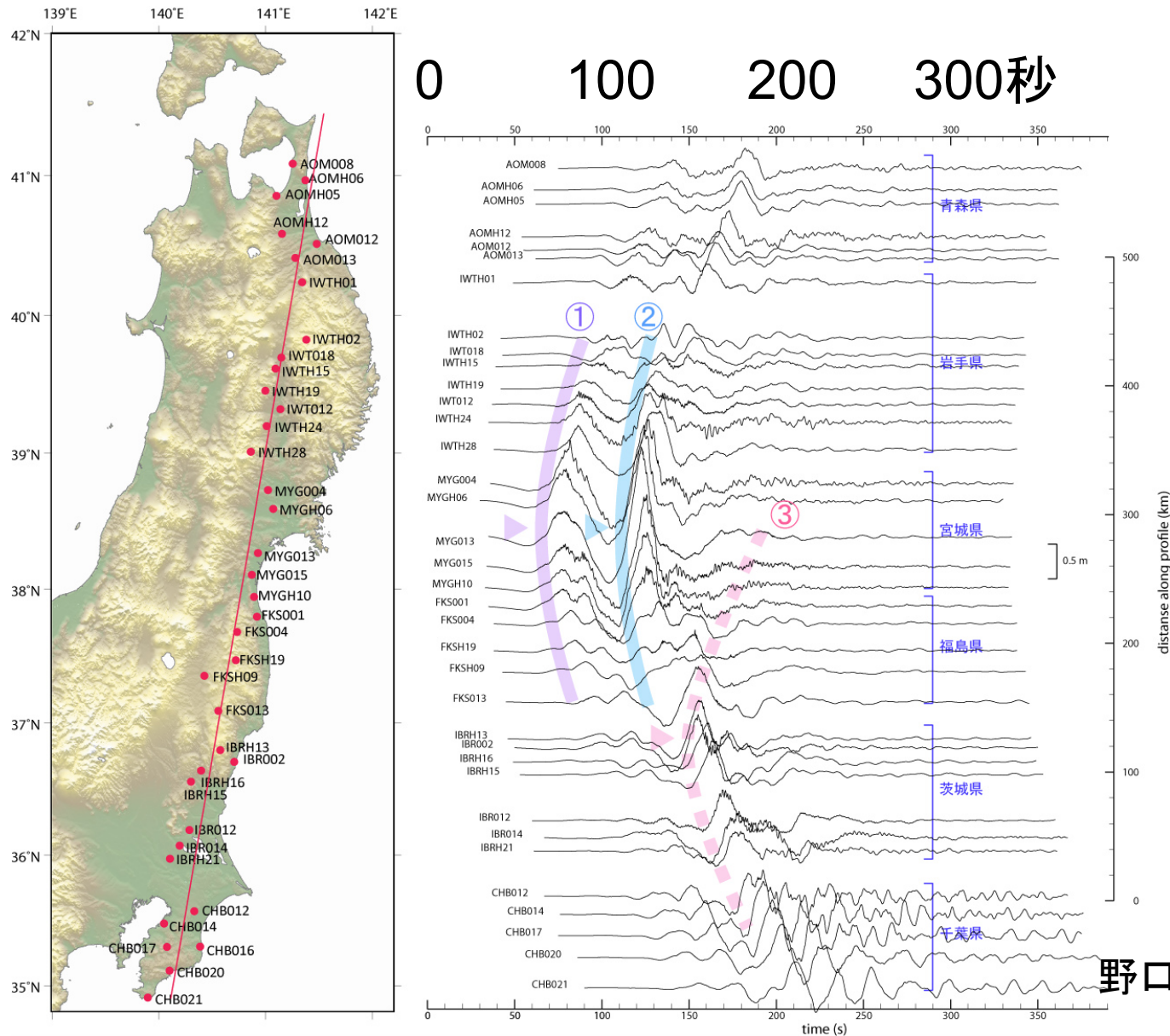


(Wikipedia「東北地方太平洋沖地震」より)



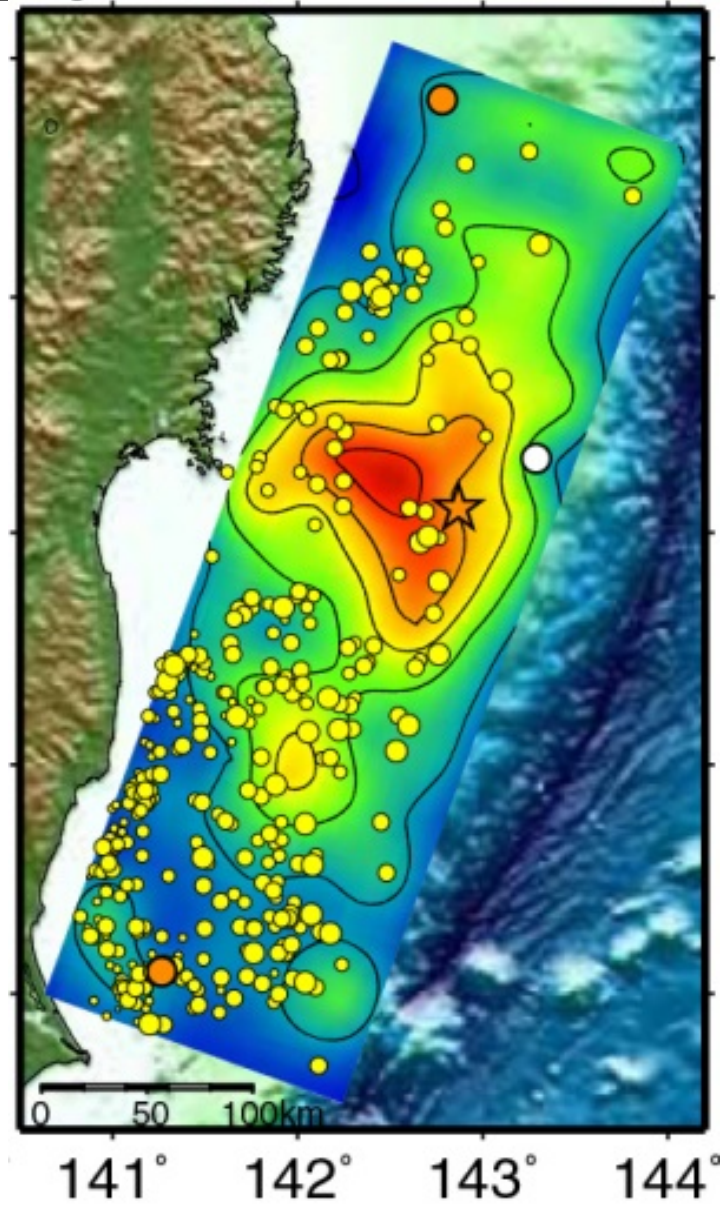
# 東北太平洋沖地震に伴う地震計の記録

～地震波形にうまく合うように断層面上のすべり分布を推定する(インバージョン)～



野口・古村 (2011)

# 強震波形でみた断層すべり

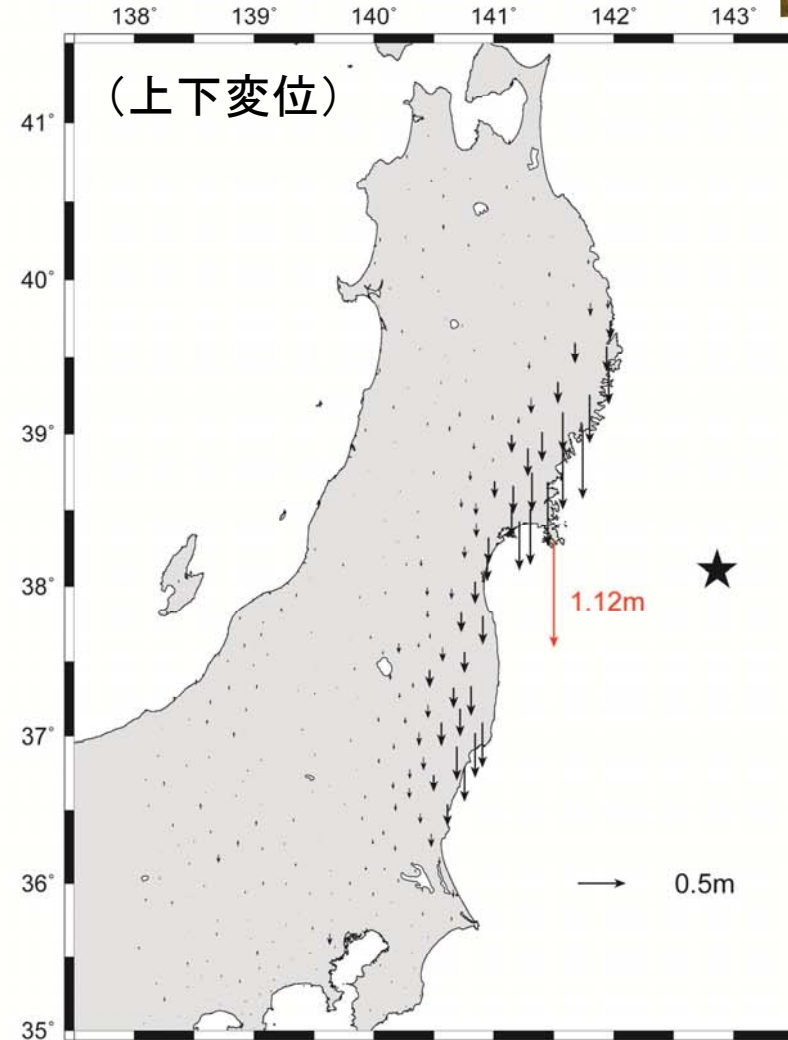
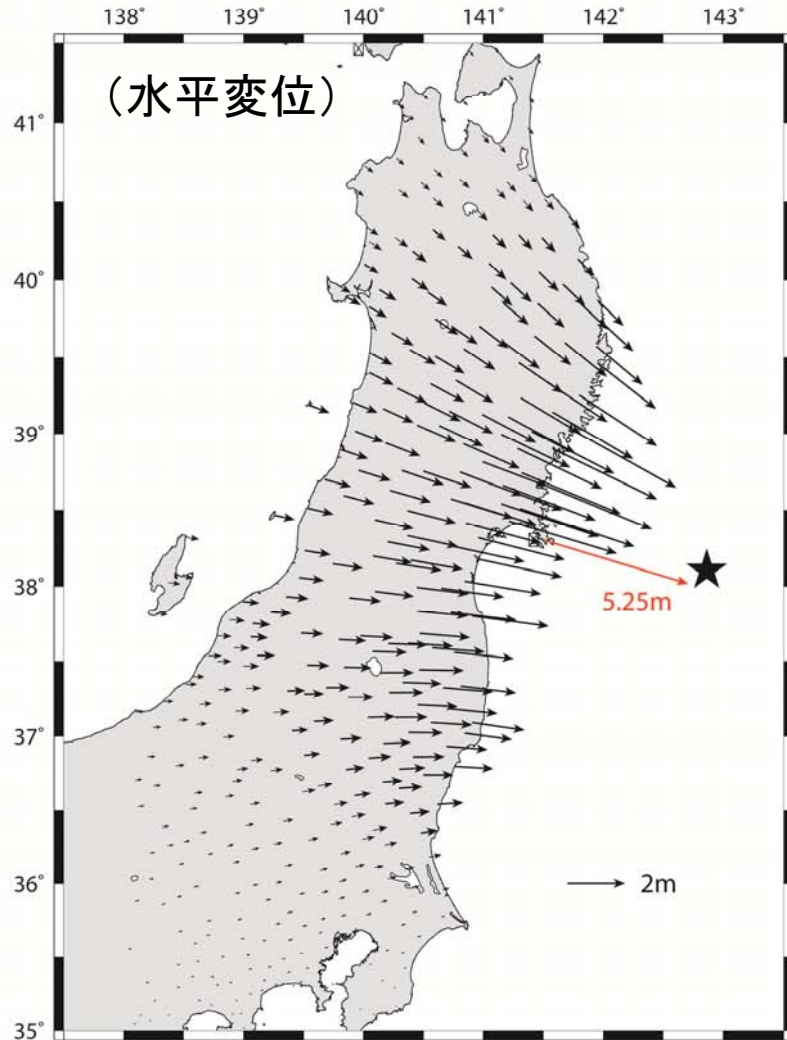


Mw: 9.0

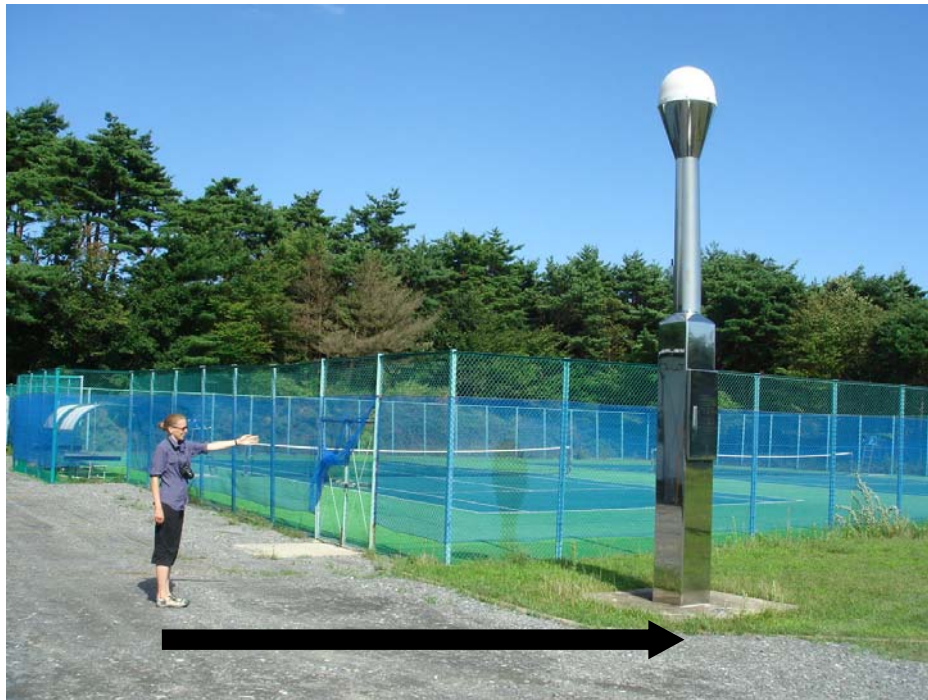
(Koketsu et al., EPSL, 2011)



# GPSで見た本震による地殻変動



5m以上の変位を記録したGPS観測点(左)と  
1m以上の地盤沈下で使えなくなった岸壁(右)

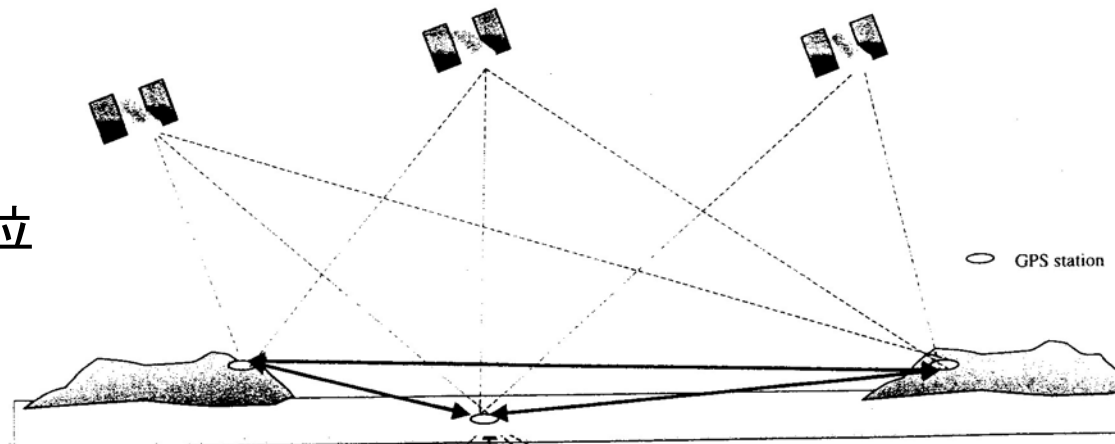


(国土地理院電子基準点「牡鹿」)

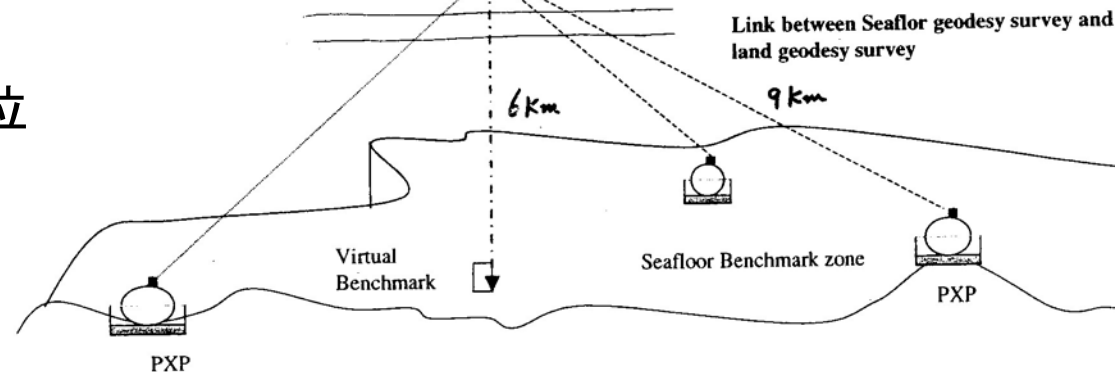
# GPS-音響結合による海底地殻変動の検出

- 海上に浮かべたブイをKinematic GPSで、ブイー海底基準点間距離を音響で計測する。海底基準点を3つおき、三角形の重心の水平位置が距離によって変わらないことを利用。
- 1980年はじめころ米国で開発開始。1990年代後半より日本で開発が推進され実用化。

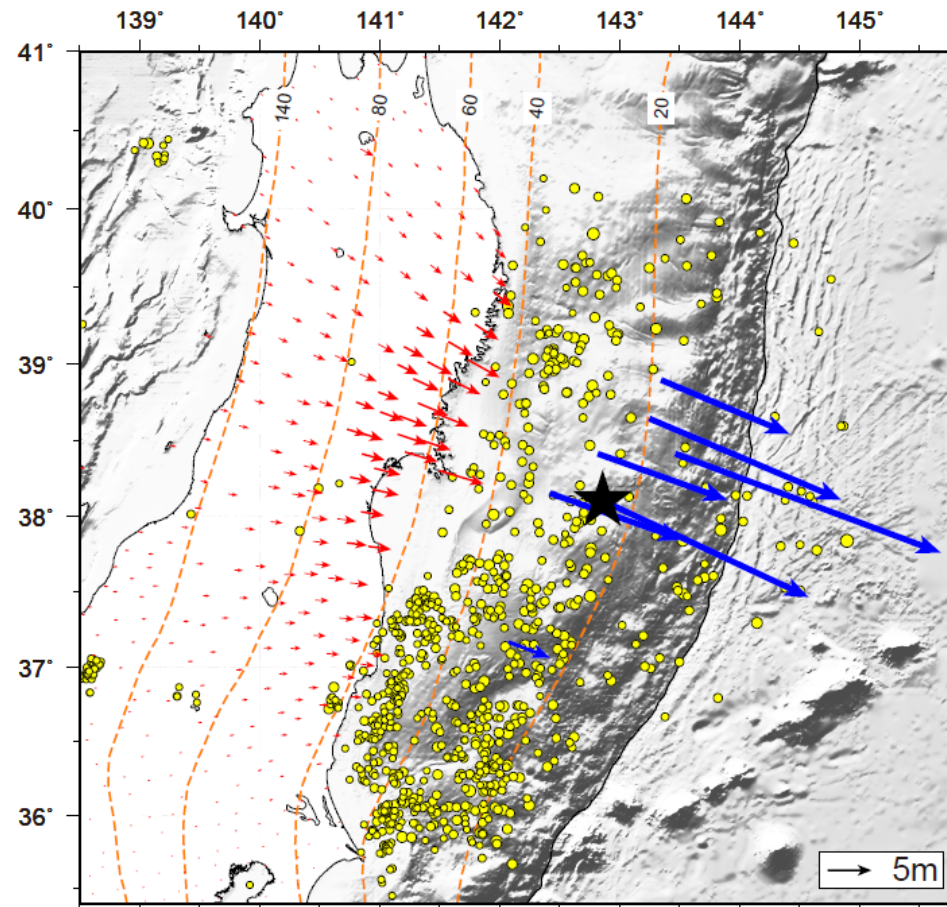
GPSによる測位



音響による測位



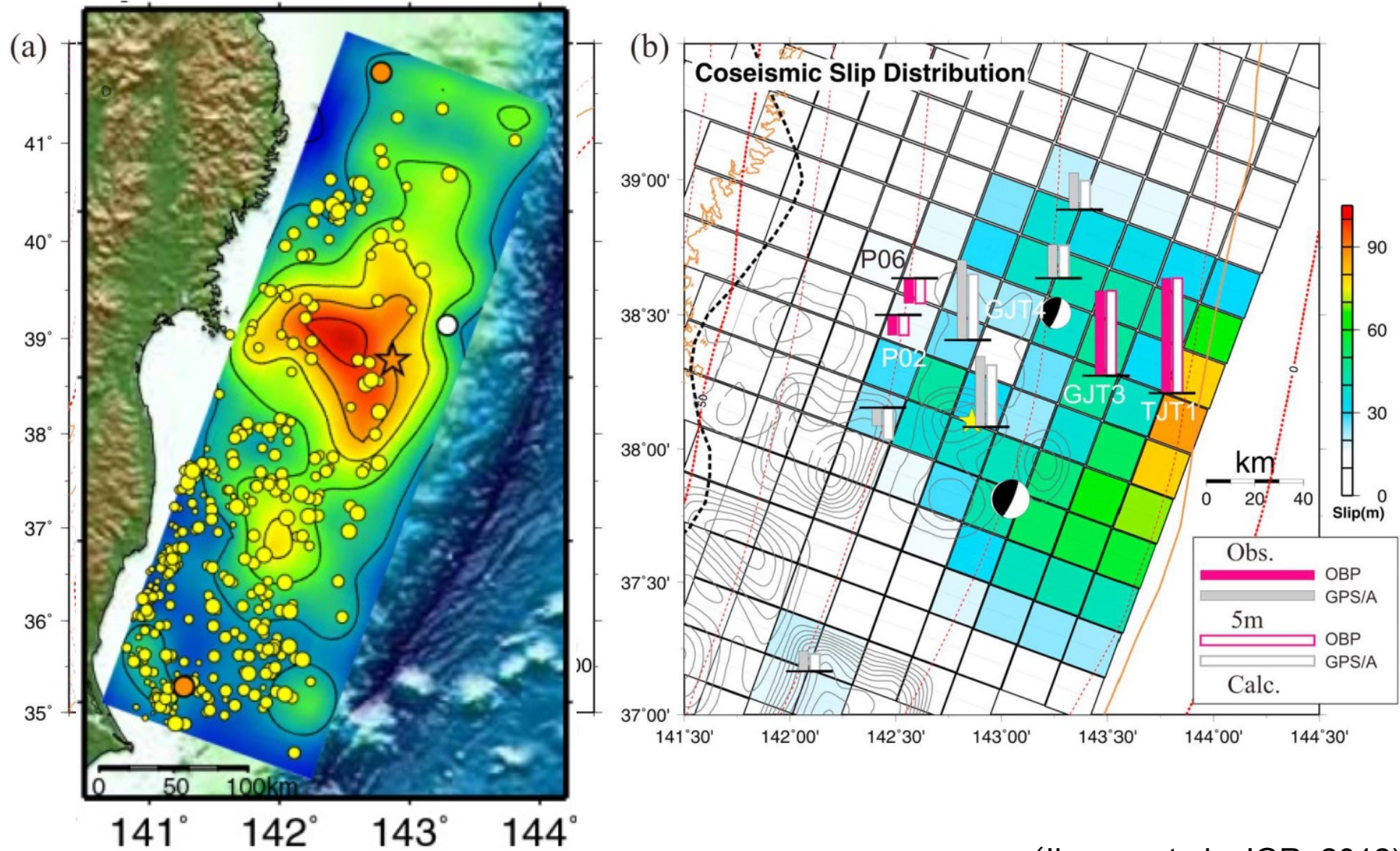
# GPS-音響システムによる海底地殻変動



- 青色：GPS—音響システムによる海底地殻変動（海上保安庁，東北大）
- 赤色：地上のGPS観測データ
- 海底地殻変動は最大30m以上の変位を観測

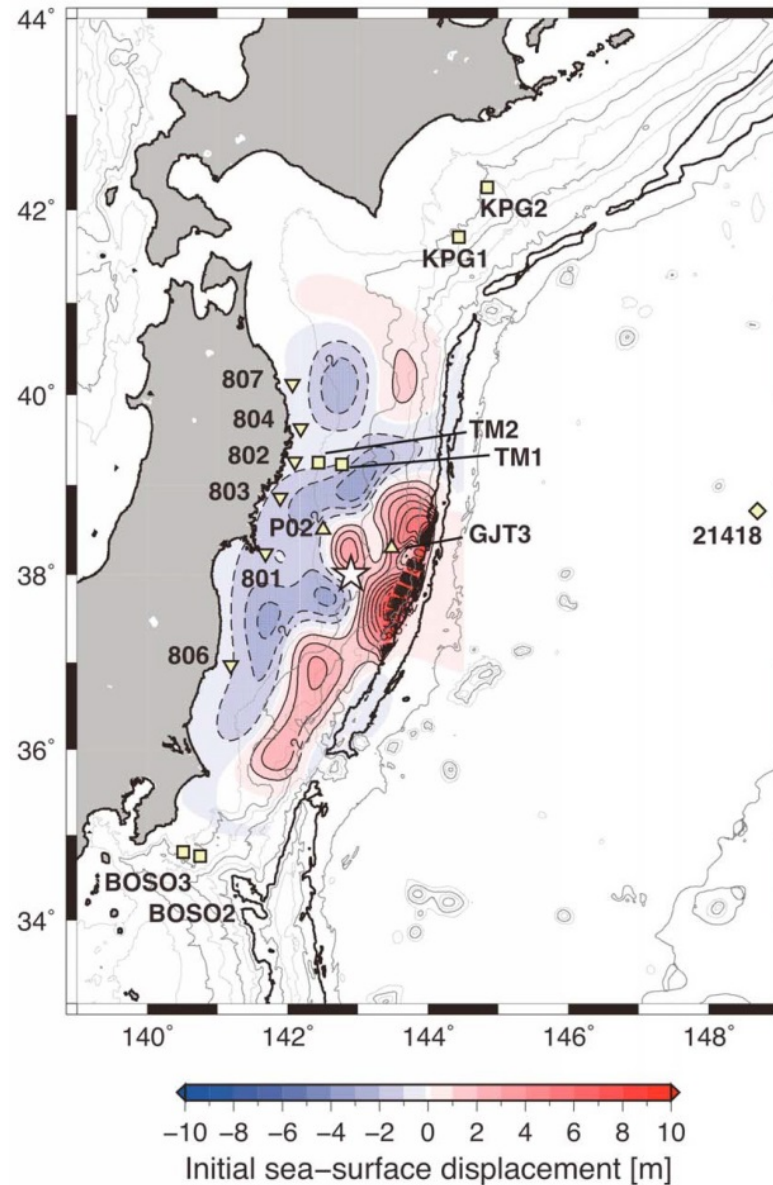
（加藤愛太郎，地球化学，2012）

# 地殻変動から推定した断層すべり分布



(Iinuma et al., JGR, 2012)

# 推定された断層すべりから得られる初期海面高

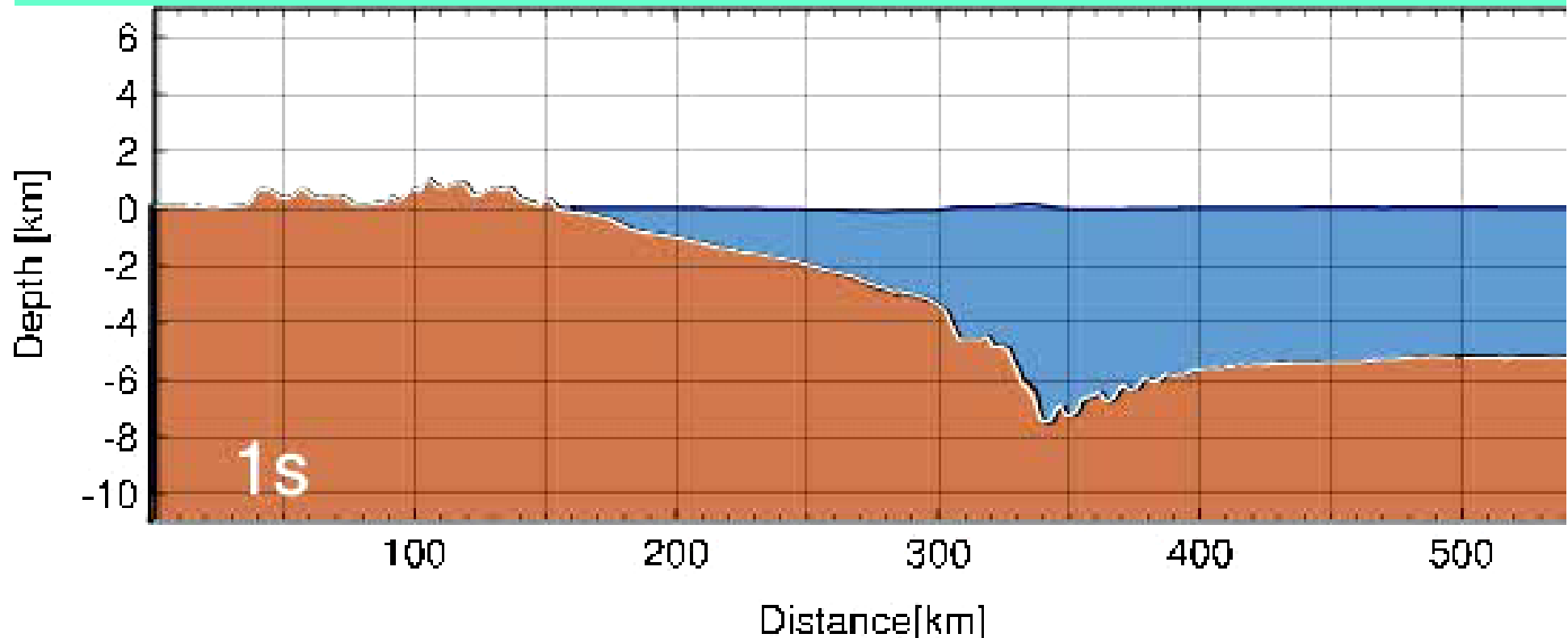


(Iinuma et al., JGR, 2012)



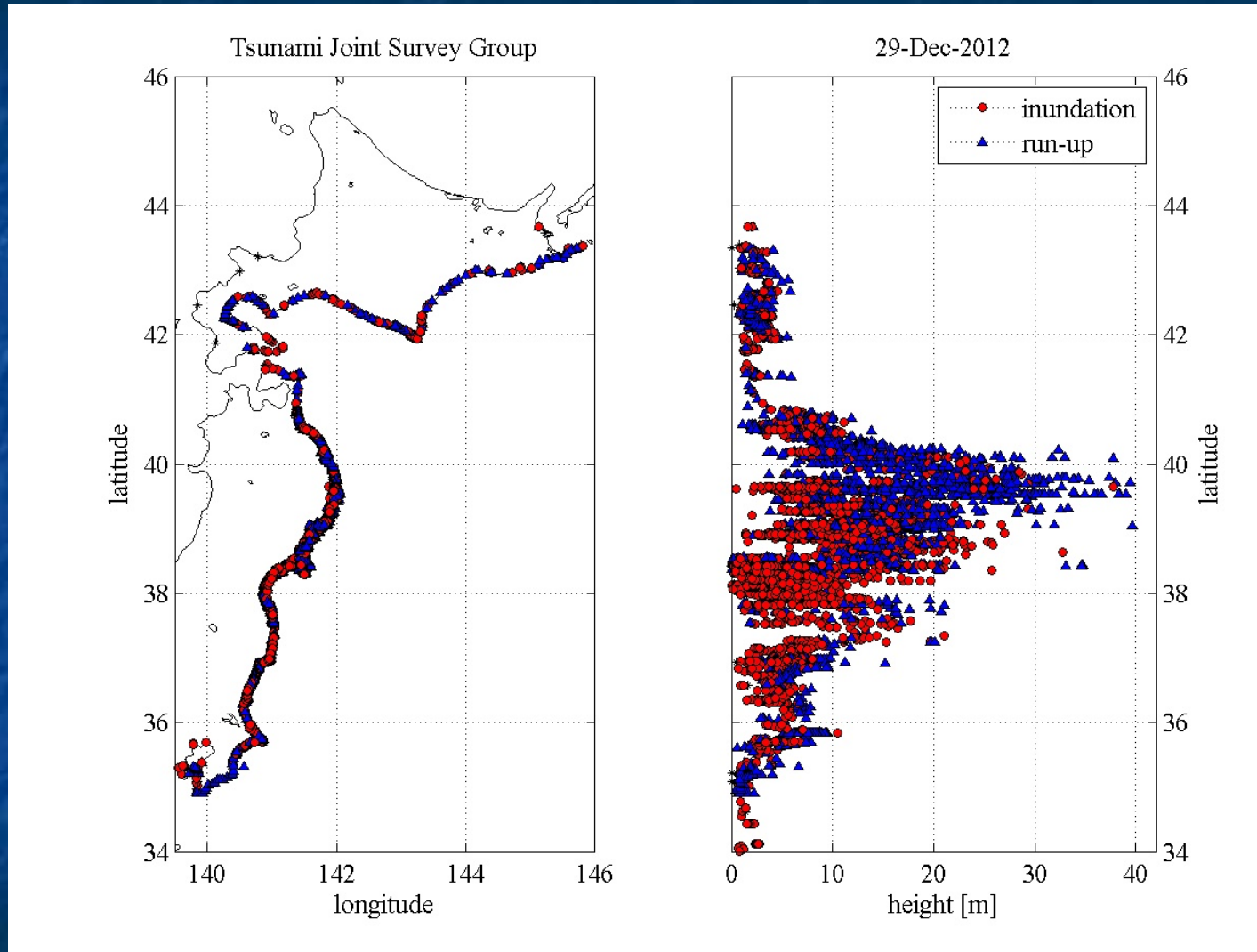
# 地震と津波 (Earthquake and Tsunami)

- 海底で地震が発生すると津波が発生する.
- 普通の波よりもはるかに波長が長いので流れとなって押し寄せてくる.
- 津波は海が浅くなると速度が遅くなり、高さが増す.  
(後ろの波が追い付いてくるため)





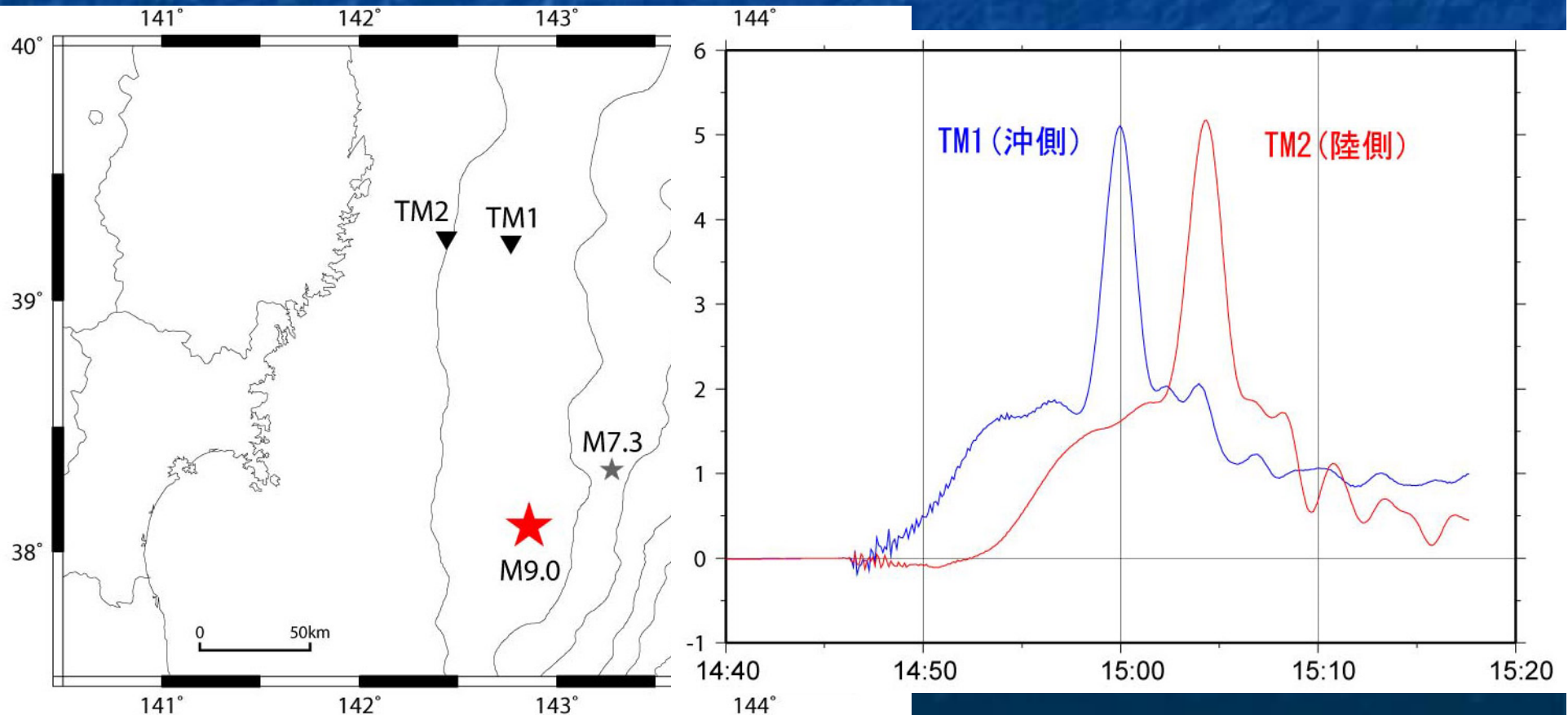
# 津波の現地調査結果



赤:浸水高, 青:遡上高

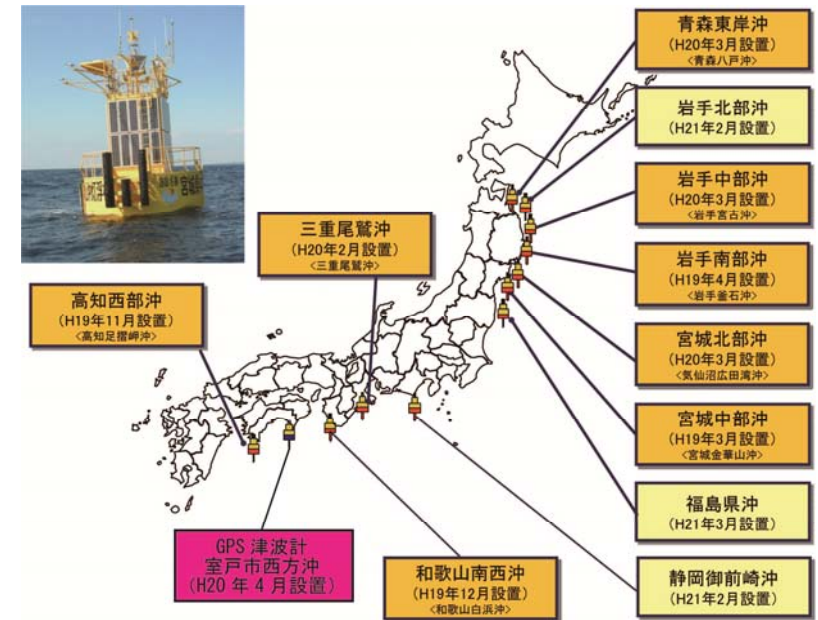
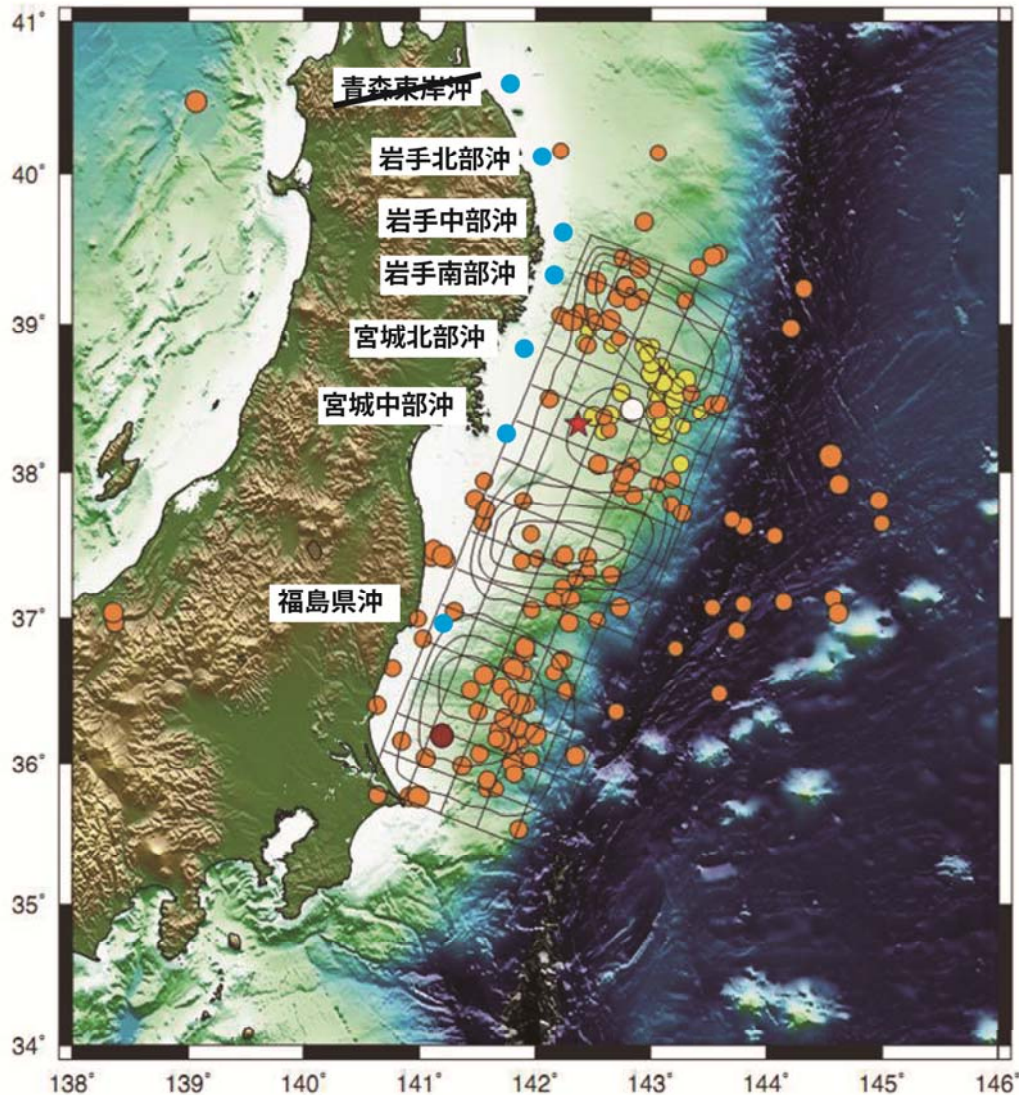
# 釜石沖海底水圧センサーによる記録

- 沖側から陸側に伝搬していく様子がわかる
- 最初緩やかな上昇. 続いて急激なピークが現れる
- 津波は陸に近づくにつれ増幅することに注意



([http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103\\_tohoku/eng/#sealevel](http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/eng/#sealevel))

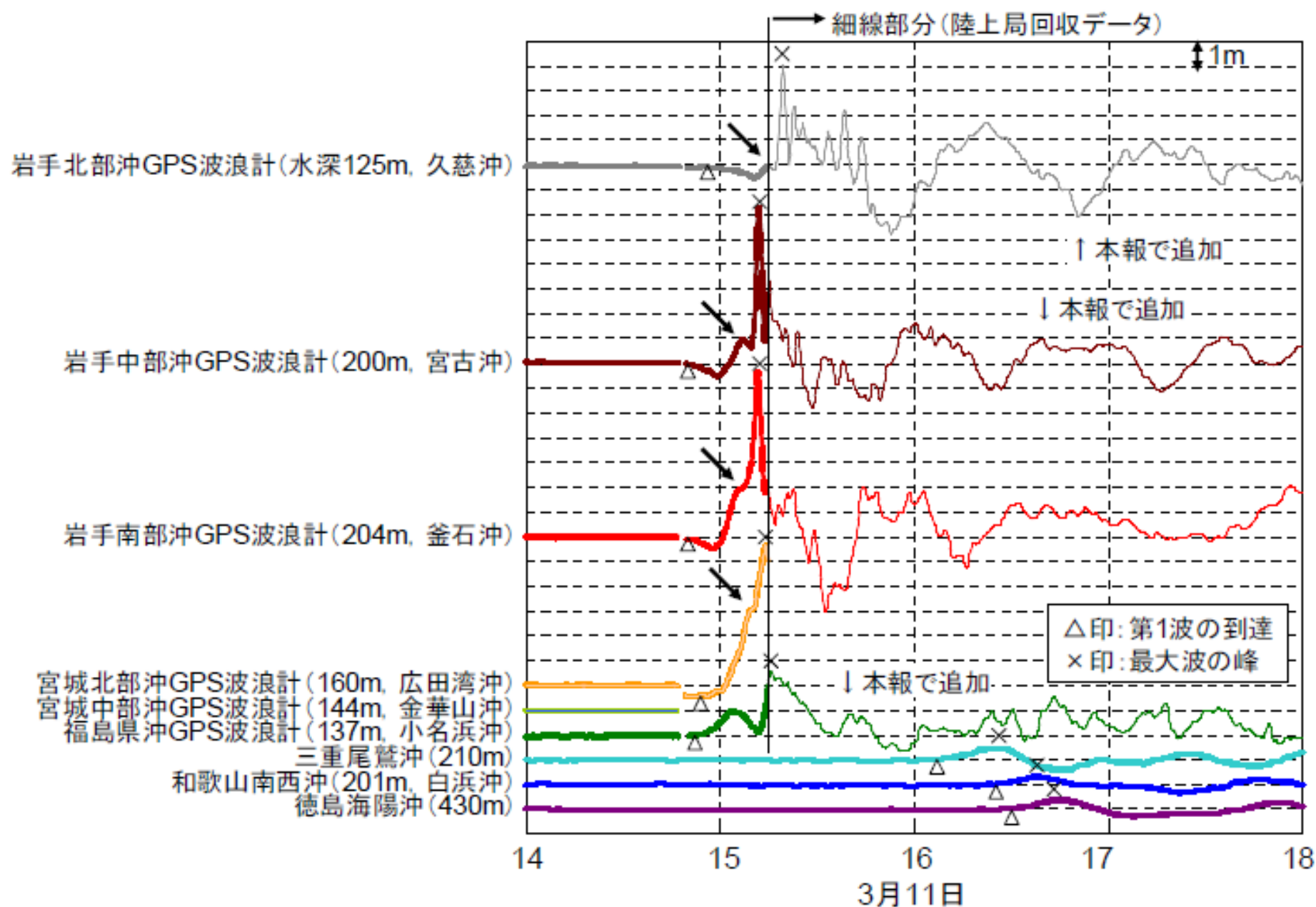
# GPS波浪計(GPS津波計)



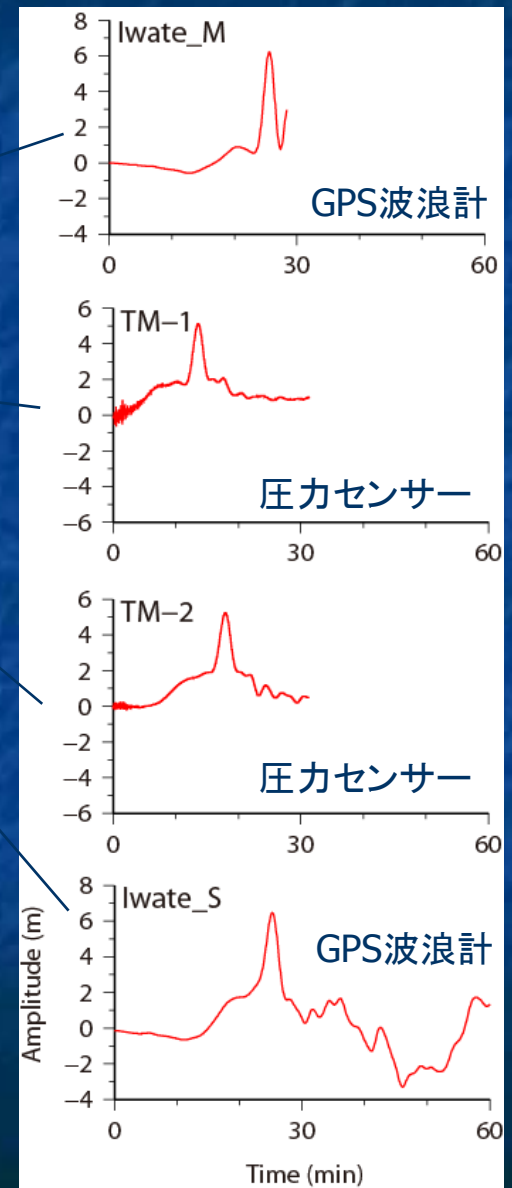
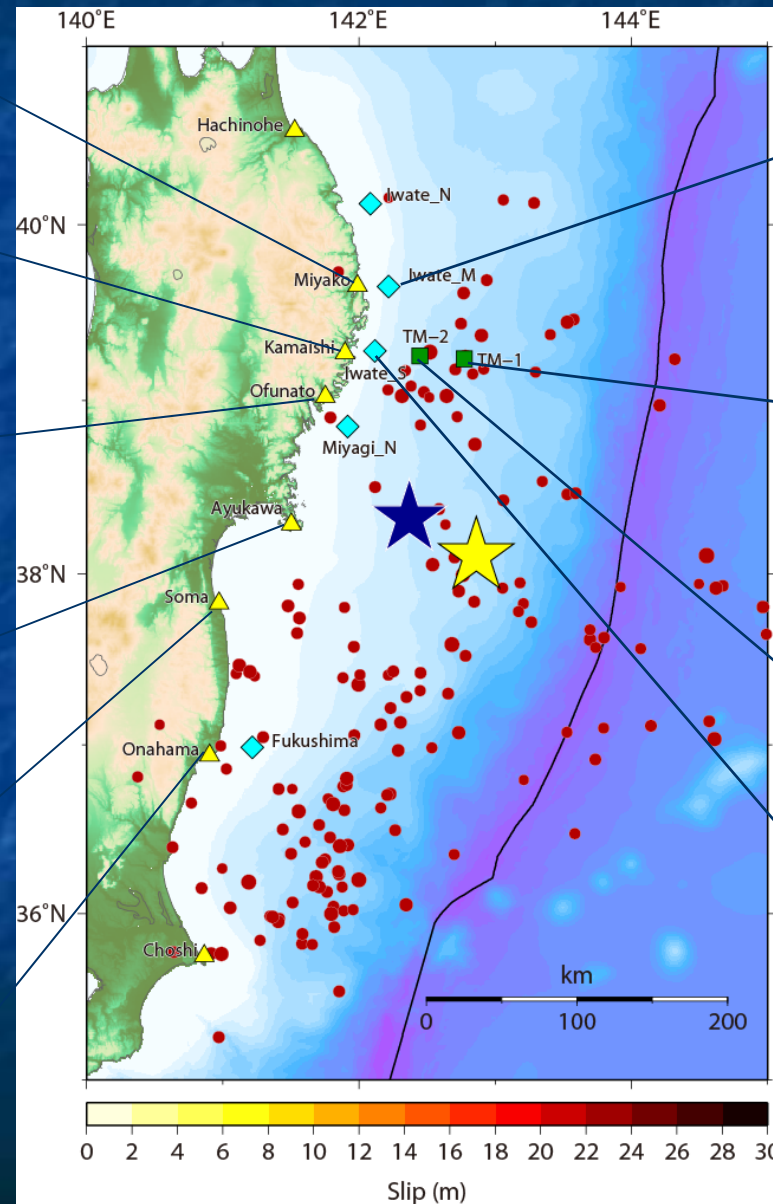
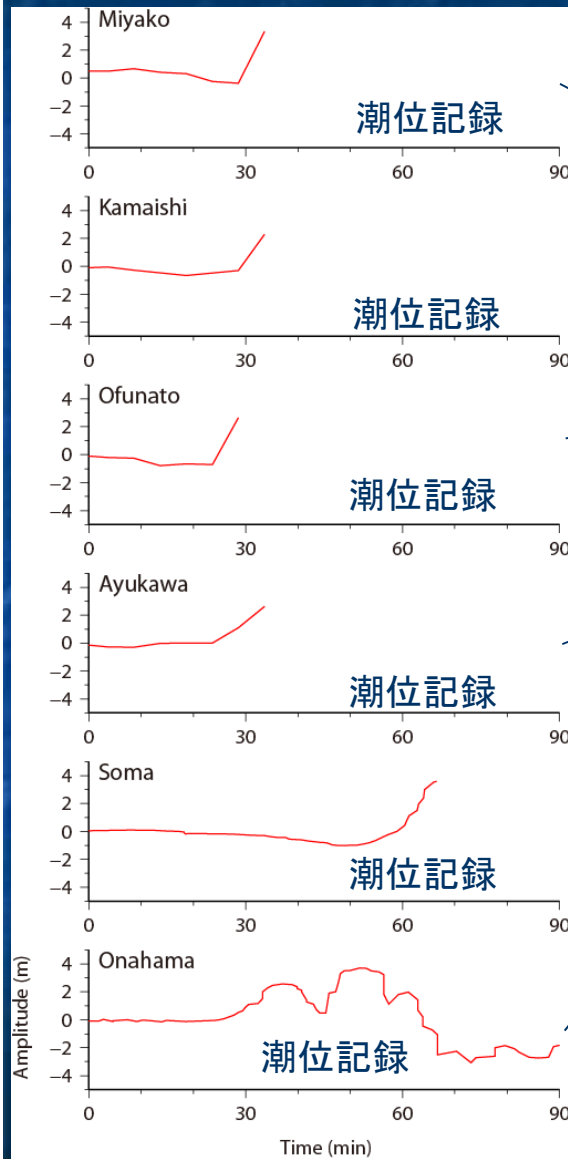
- RTK-GPSを利用. 無線によりデータ伝送
- 沿岸20km以内に設置
- 15か所に設置.
- Web上でリアルタイムモニタ可

(地震研HPより)

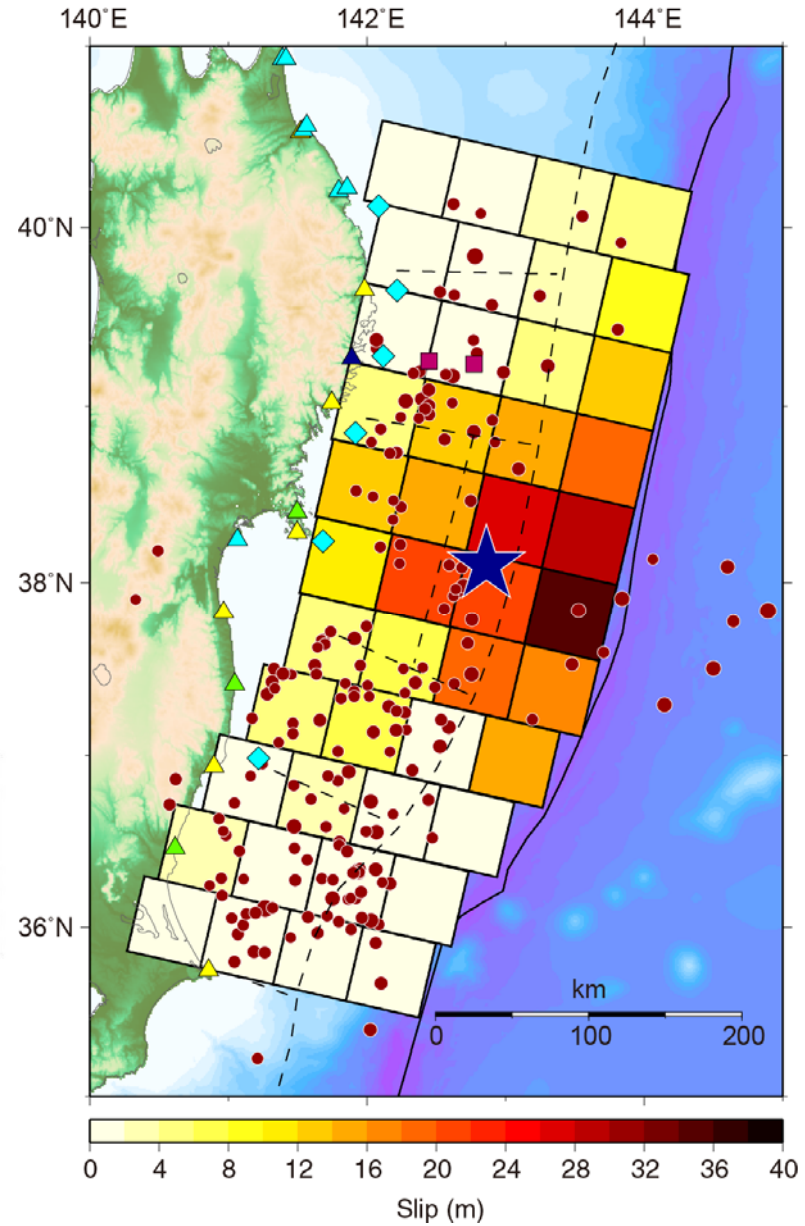
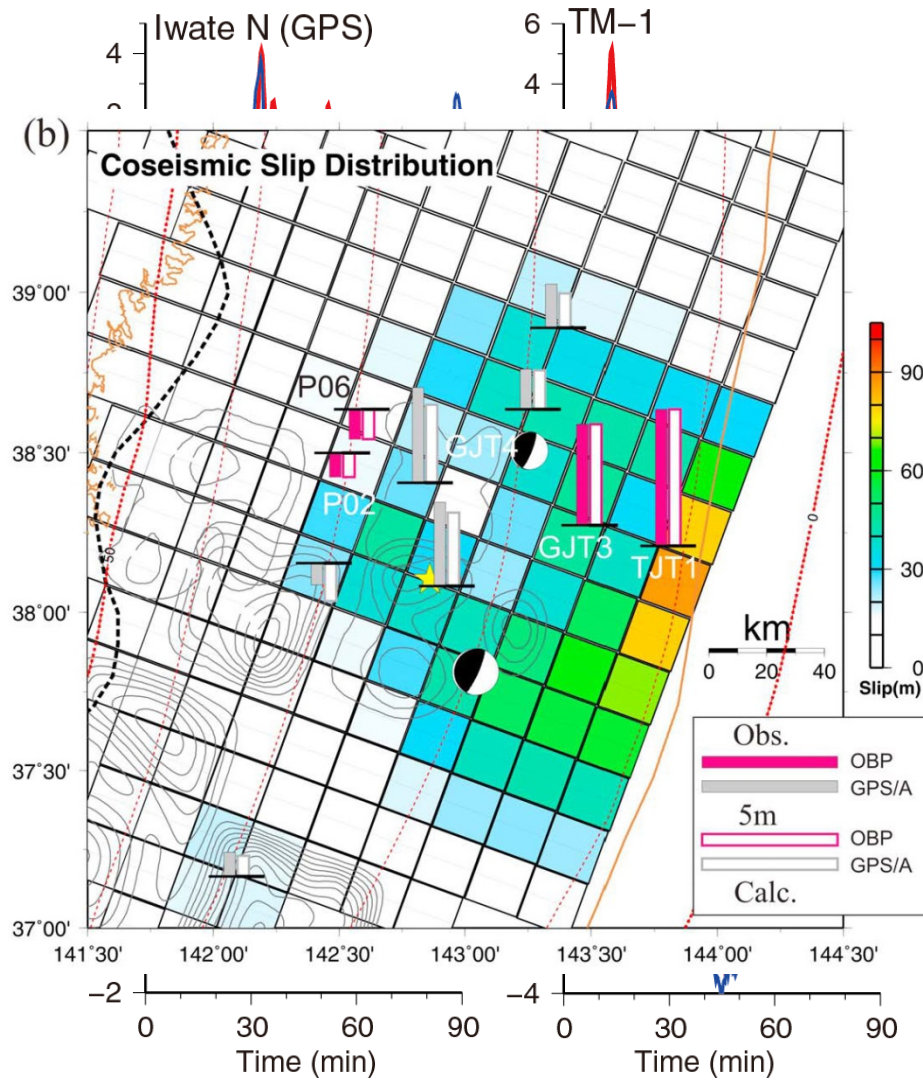
# 2011年東北太平洋沖地震に伴う津波の記録



# 観測された津波波計記録



# 津波波形から推定したすべり分布

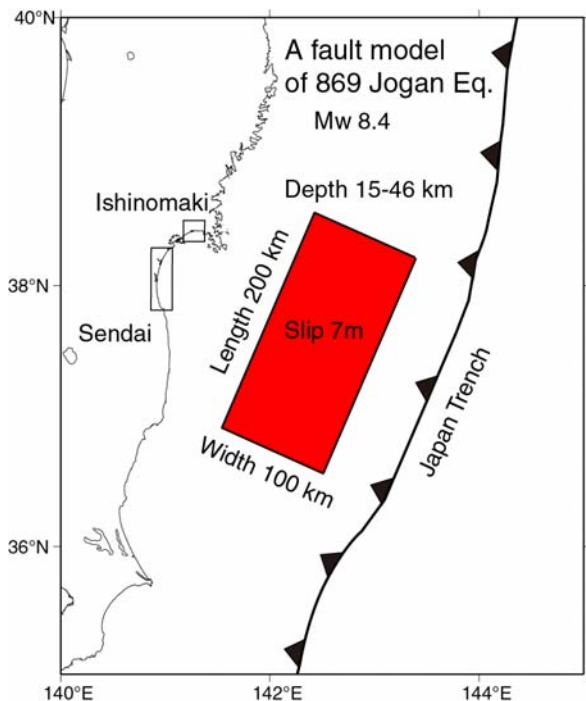


(佐竹資料)



# 869貞観地震と2011年東北沖地震の津波浸水域

## 貞観地震モデル



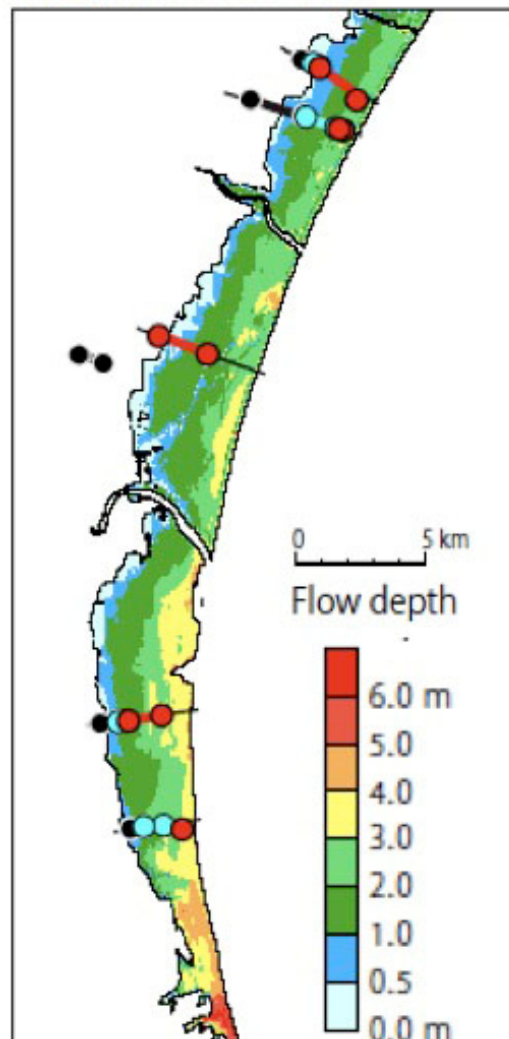
Satake et al. (2008)

Namegaya et al. (2010)

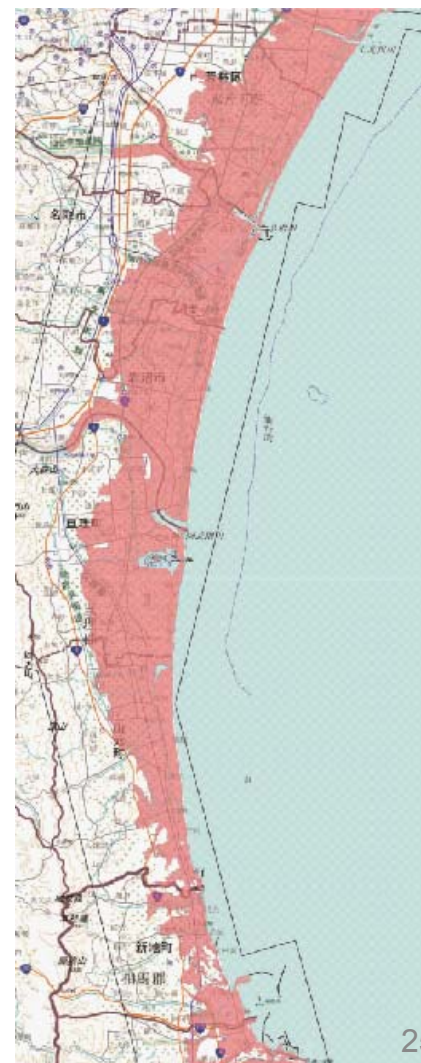
- 869年貞観津波堆積物
- 869年の堆積物の可能性
- 堆積物なし

## 869年堆積物分布と浸水域

Model 10: d15L200u7



## 2011年浸水域



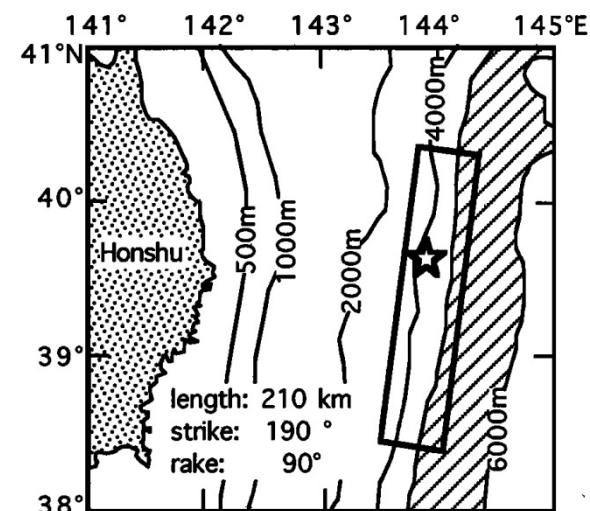
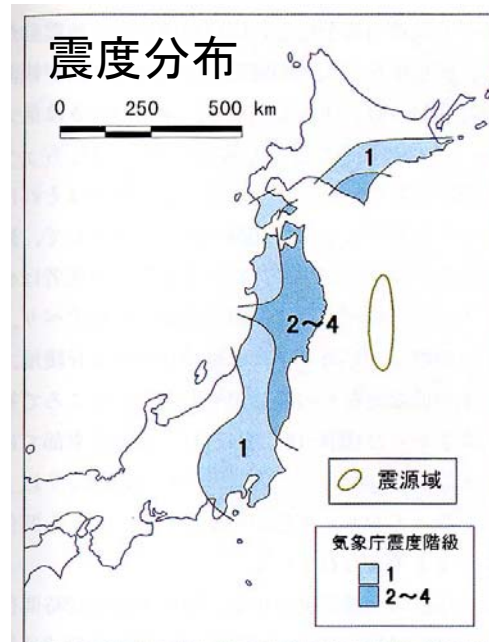
(行谷他(2010)原図(島崎2011より引用))

# 1896年明治三陸地震津波 (Mw8.4-8.5; Mt8.6)

津波による死者約22,000名



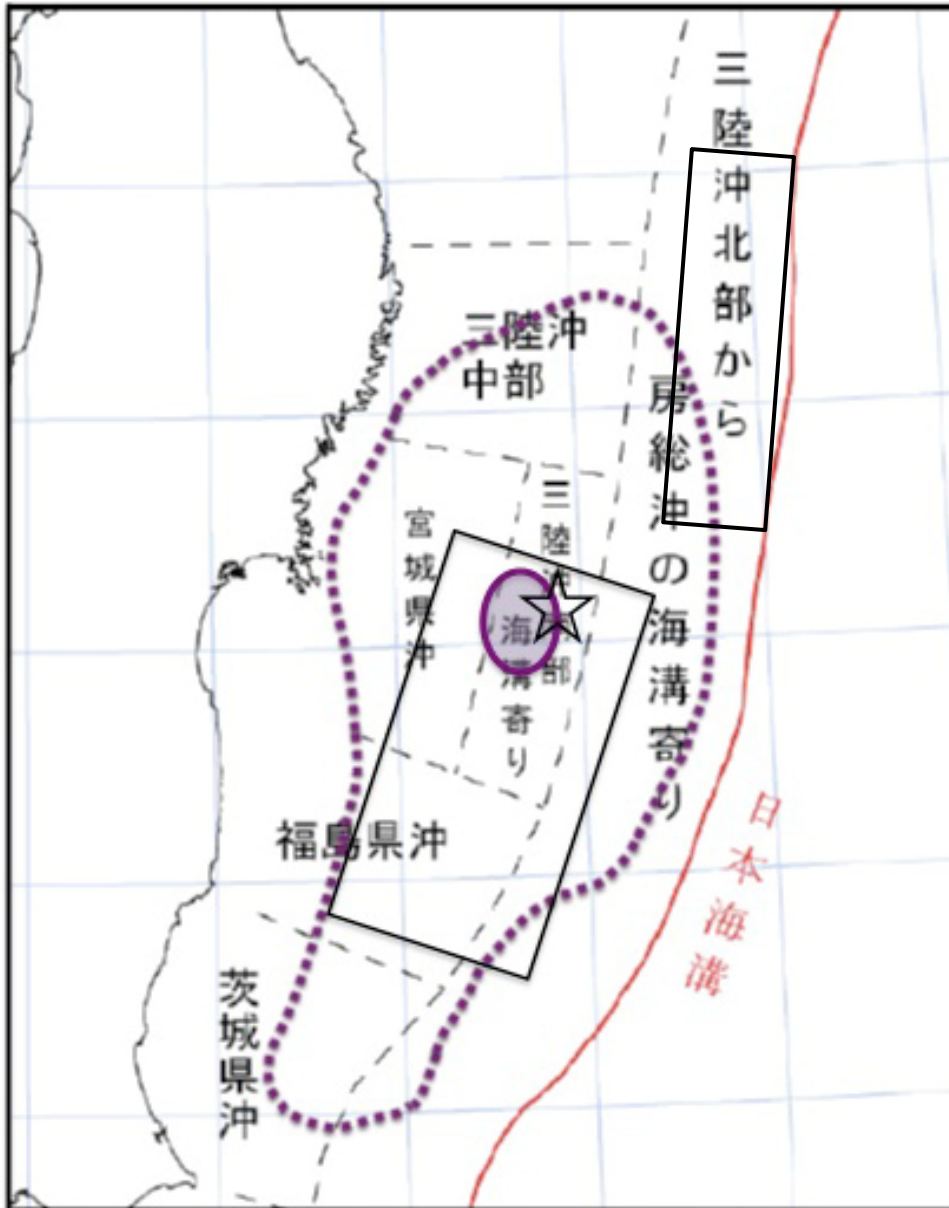
地震動は弱いのに大きな  
津波:**津波地震**



最大震度 3~4 津波高さ 最大38m

- “津波地震”は地震波を多くは放出しない→震度がマグニチュードから期待されるほど大きくならない
- 地震による揺れから想定されるよりも大きな津波が発生する
- プレート境界の浅いところで発生する可能性(?)

# 地震本部による領域区分と断層破壊領域



6つの区分をまたいだ連動破壊

曲線: 地理院によるすべりモデル

点線: すべり量4m以上

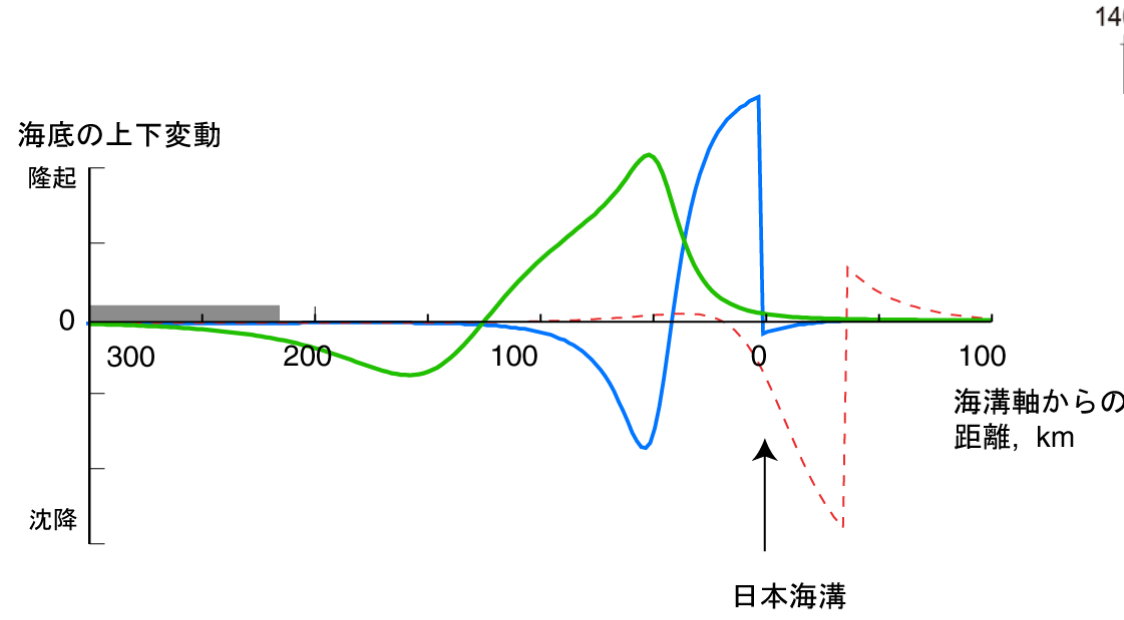
色塗り部: 24m以上

矩形(北): Tanioka and Satake (1996)  
による1896年明治三陸沖  
地震の断層モデル

矩形(南): 行谷他(2010)による貞観  
地震の断層モデル

背景の区分は地震本部による領域

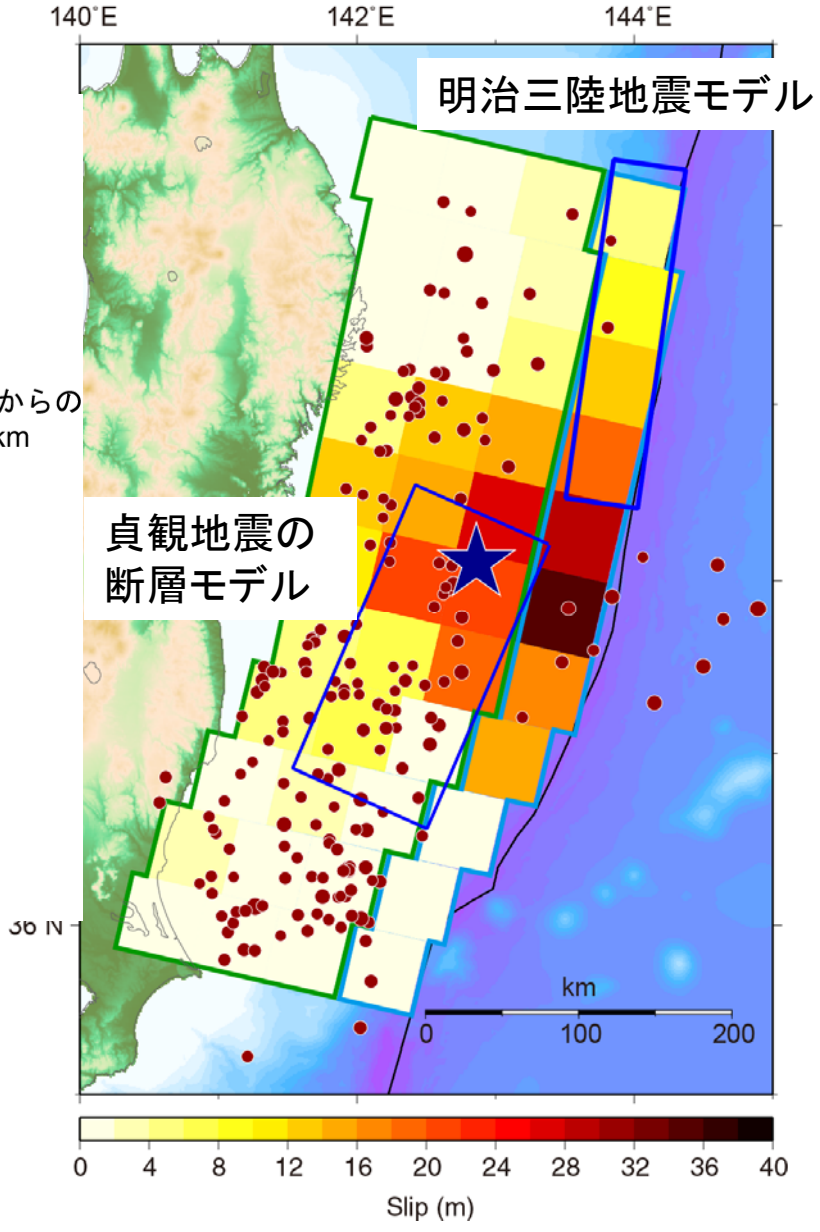
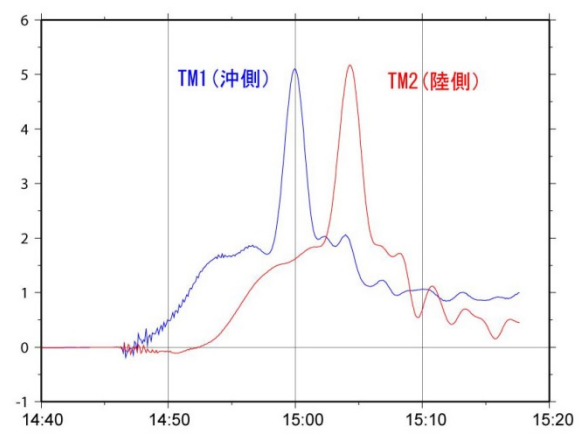
# 2011年：貞観地震型と明治三陸地震型の同時発生



陸地

プレート間地震型 1896年 1933年  
 (貞観地震のモデル) 明治三陸津波 昭和三陸津波

太平洋プレートの上



(佐竹資料に加筆)

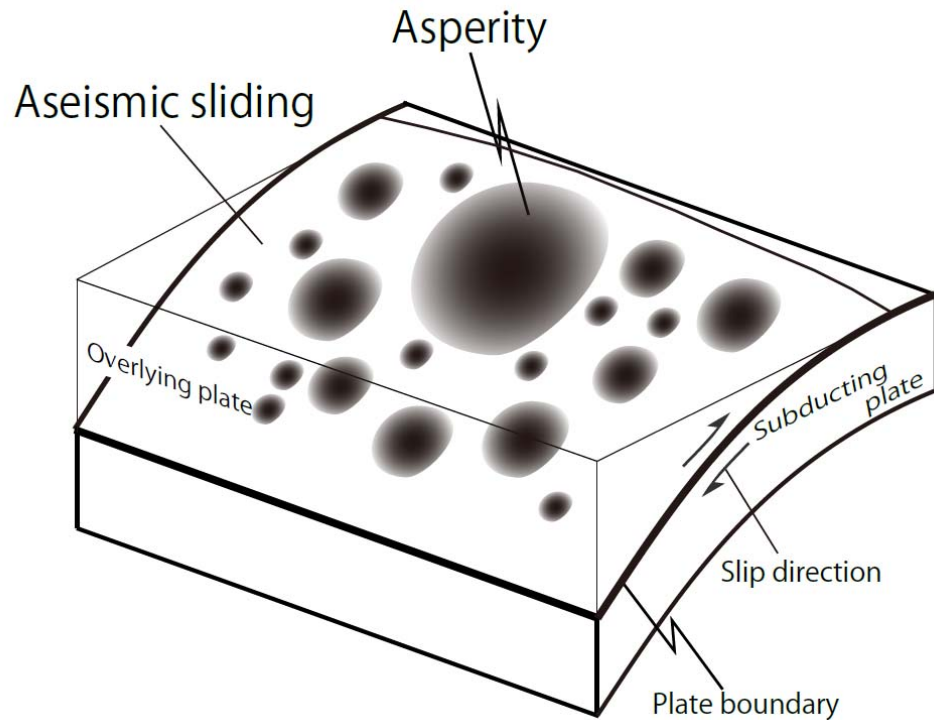
# どのような地震だったか(まとめ)

- 日本全土を揺らした大きな地震. 最大震度7の強い揺れ
- 450kmx200kmの領域を破壊
- 地震時地殻変動: (GPS)5m以上東方へ変位、1. 2m沈下
  - 海底地殻変動は30m以上を記録
- プレート境界での最大すべり量は最大50m以上
  - 測地学的データ, 津波データが調和的
  - 日本海溝付近が大きくすべった可能性(80mとの推定も)
- 巨大な津波(最大40m)で多くの死者・行方不明者
  - 津波の解析で869年貞観地震と1896年明治三陸津波地震の複合型であったらしい.

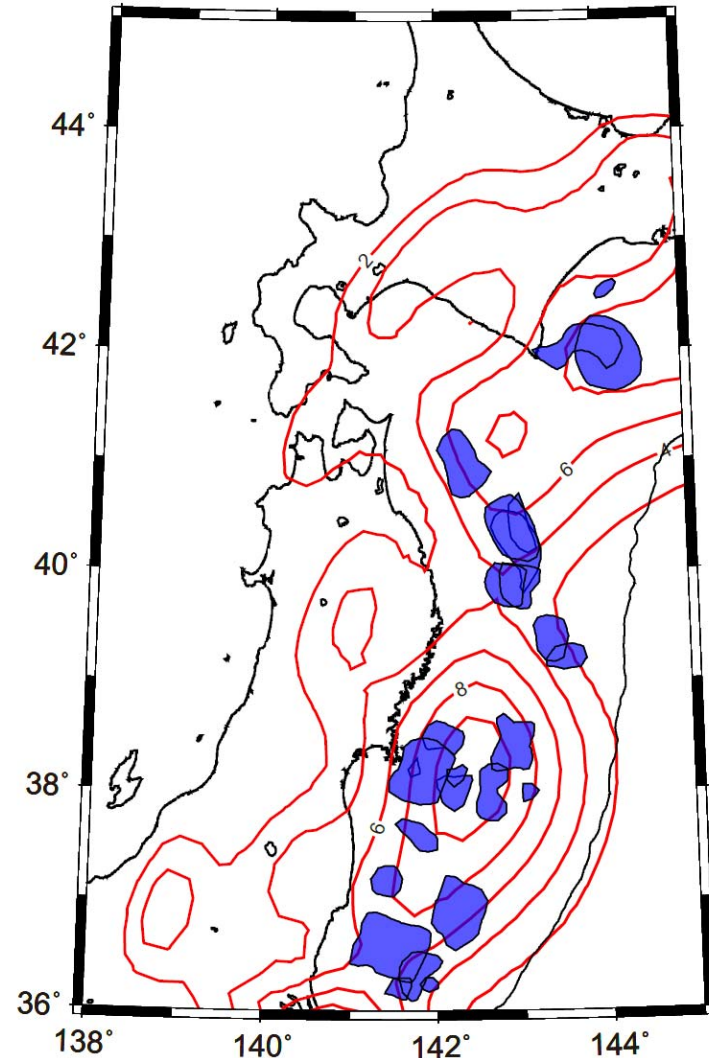
# 今回の地震は想定できていなかったのだろうか？

- 国の地震本部では全国の活断層と海溝型巨大地震の長期発生確率を調査し公表してきた。
- 東北沖で想定されていた地震とは？
  - 30-40年で繰り返し発生するM7-8宮城県沖地震, 福島県沖地震, 茨城県沖地震
  - これらが単独で起こると想定 (vs. 連動型)
- 869年貞観地震がM8.3であることが知られていた(2000年頃津波堆積物などで発見)。詳細な検討が必要とされていた。→議論

# アスペリティモデル



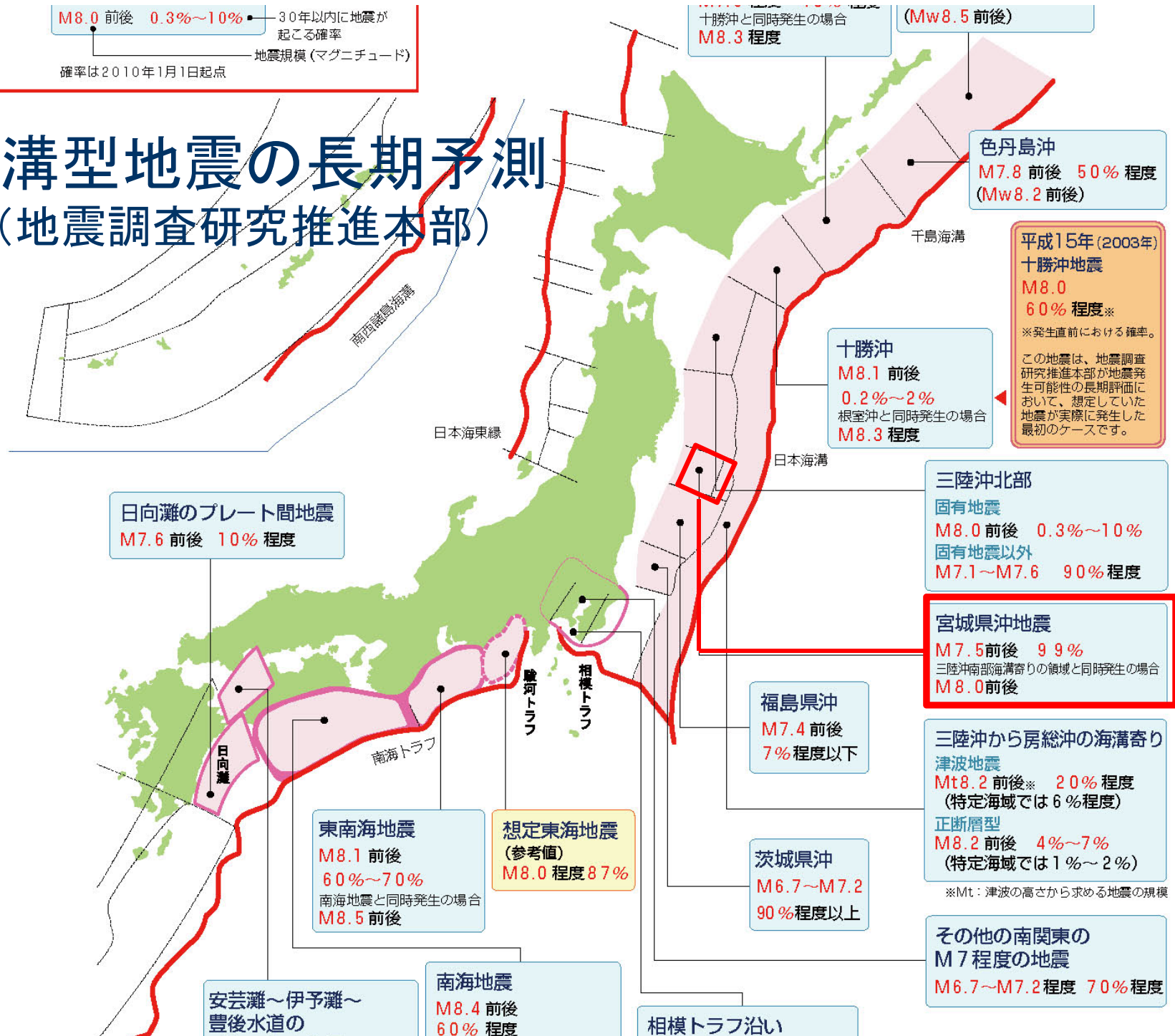
- 青色部分：地震学的に推定されたアスペリティ
- 赤色部分：GPSから推定されていた固着分布



(加藤愛太郎, 地球化学, 2012)

# 海溝型地震の長期予測 (地震調査研究推進本部)

M8.0 前後 0.3%~10% 30年以内に地震が  
起こる確率  
地震規模(マグニチュード)  
確率は2010年1月1日起点



平成15年(2003年)  
十勝沖地震  
M8.0  
60% 程度※  
※発生直前における確率。  
この地震は、地震調査  
研究推進本部が地震発  
生可能性の長期評価に  
おいて、想定していた  
地震が実際に発生した  
最初のケースです。



# 実際に起こった地震

(想定に反映できていなかった部分)

- マグニチュードが、想定していたM7~7.5よりもはるかに大きかった。

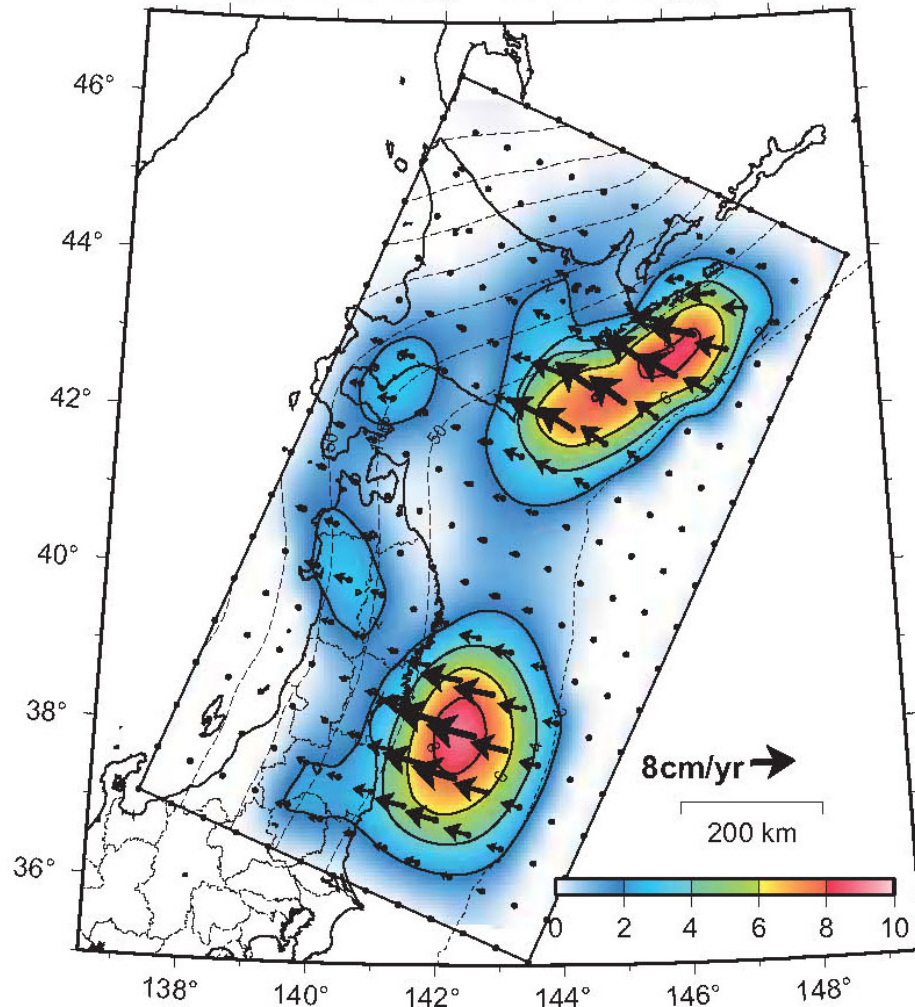
注: マグニチュードが1大きくなるとエネルギーは約30倍

- 複数のセグメント(アスペリティ)が破壊した。
- 海溝近くの固着していないかまたは弱いと思われていた箇所が大きくすべった

# プレート間固着の時間変化

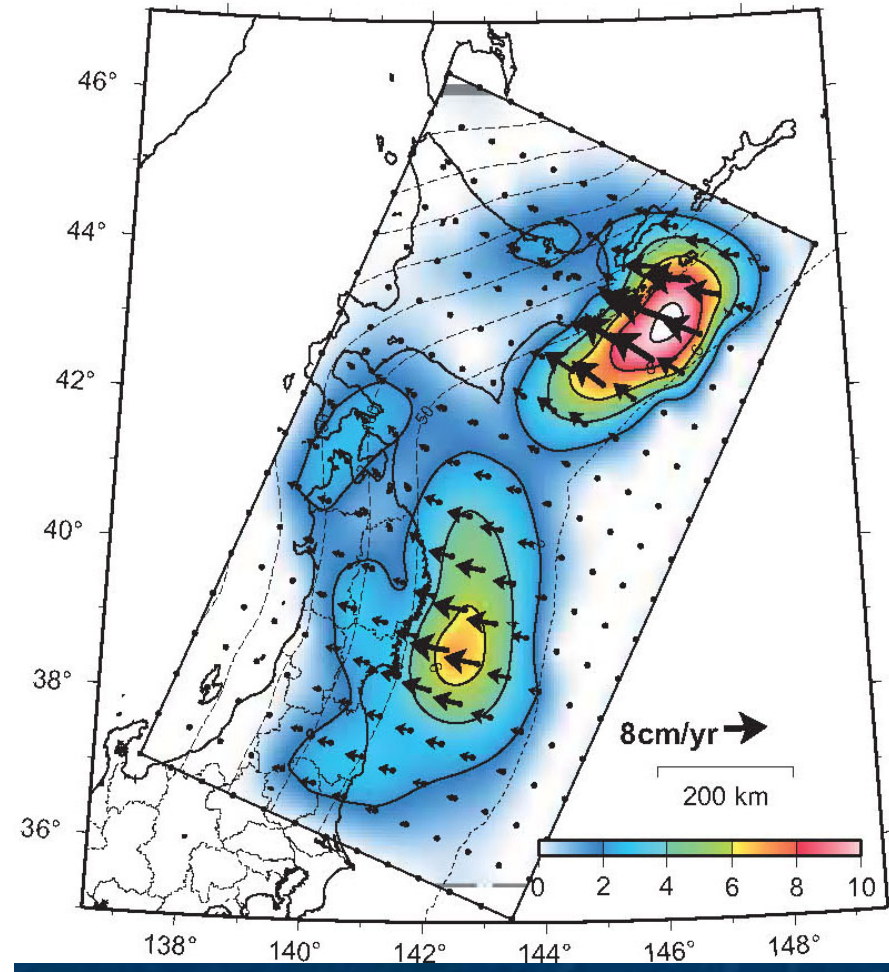
東北日本のすべり欠損分布

【1997年1月～2000年1月】



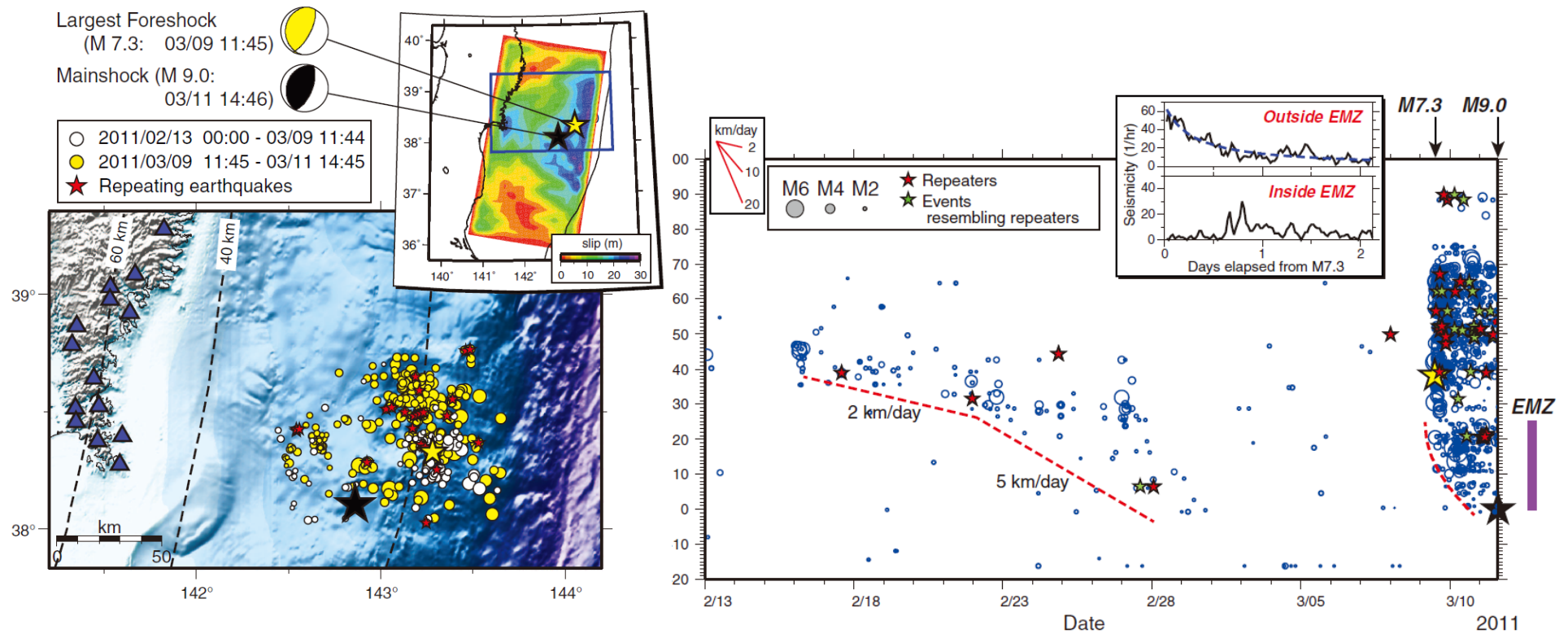
2003年頃から変化したらしい

【2007年1月～2010年1月】



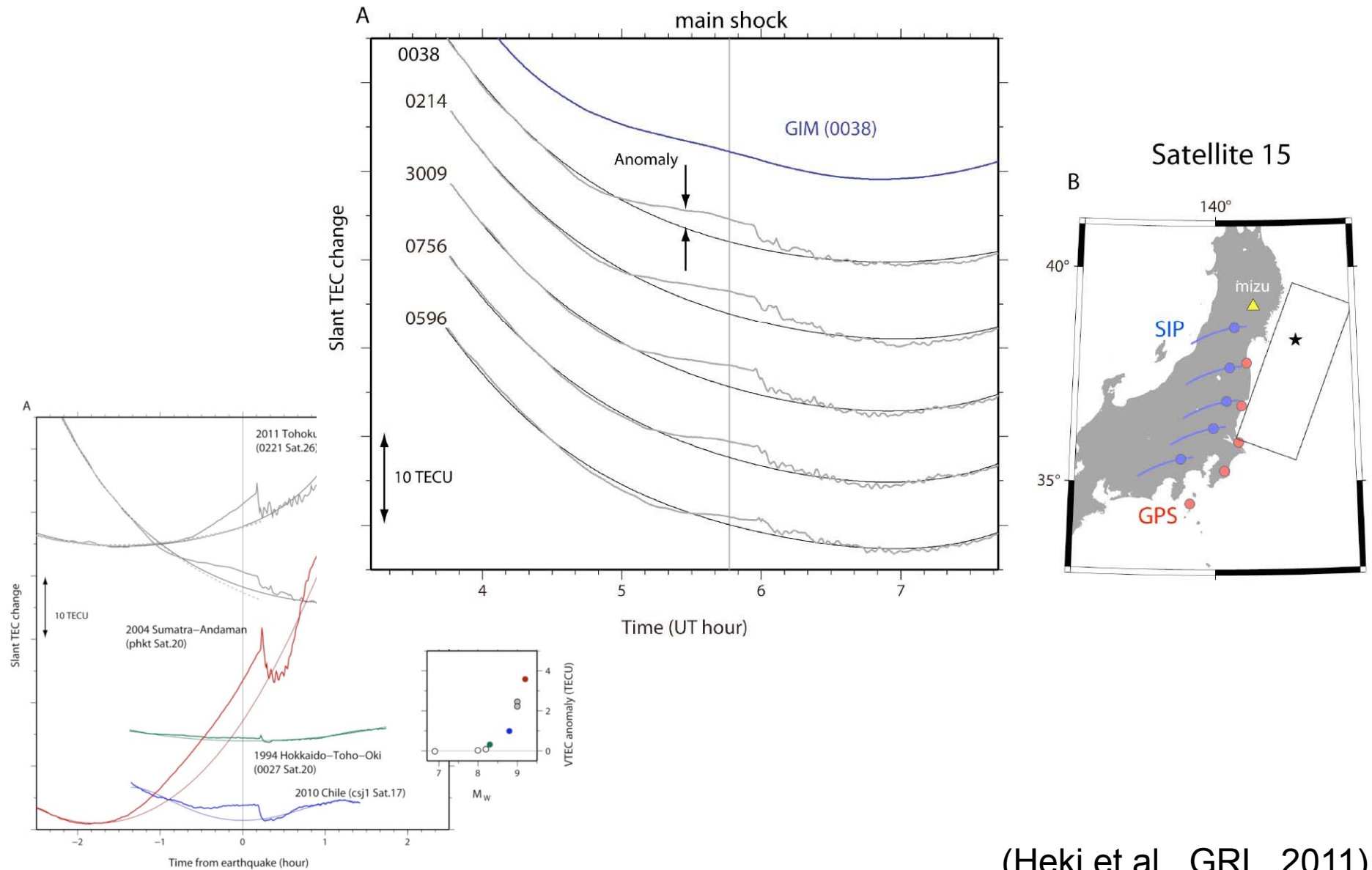
- ・それぞれの期間の3年間の平均変動速度からすべり欠損を推定している。
- ・2007年1月～2010年1月は、この期間内に発生した2008年5月9日茨城県沖の地震、2008年7月19日福島県沖の地震の影響は取り除いてすべり欠損を推定している。ただし余効変動の影響は取り除いていない。

# 前震活動と本震



(Kato et al., Science, 2012)

# GPSで見た電離層の前兆的異常

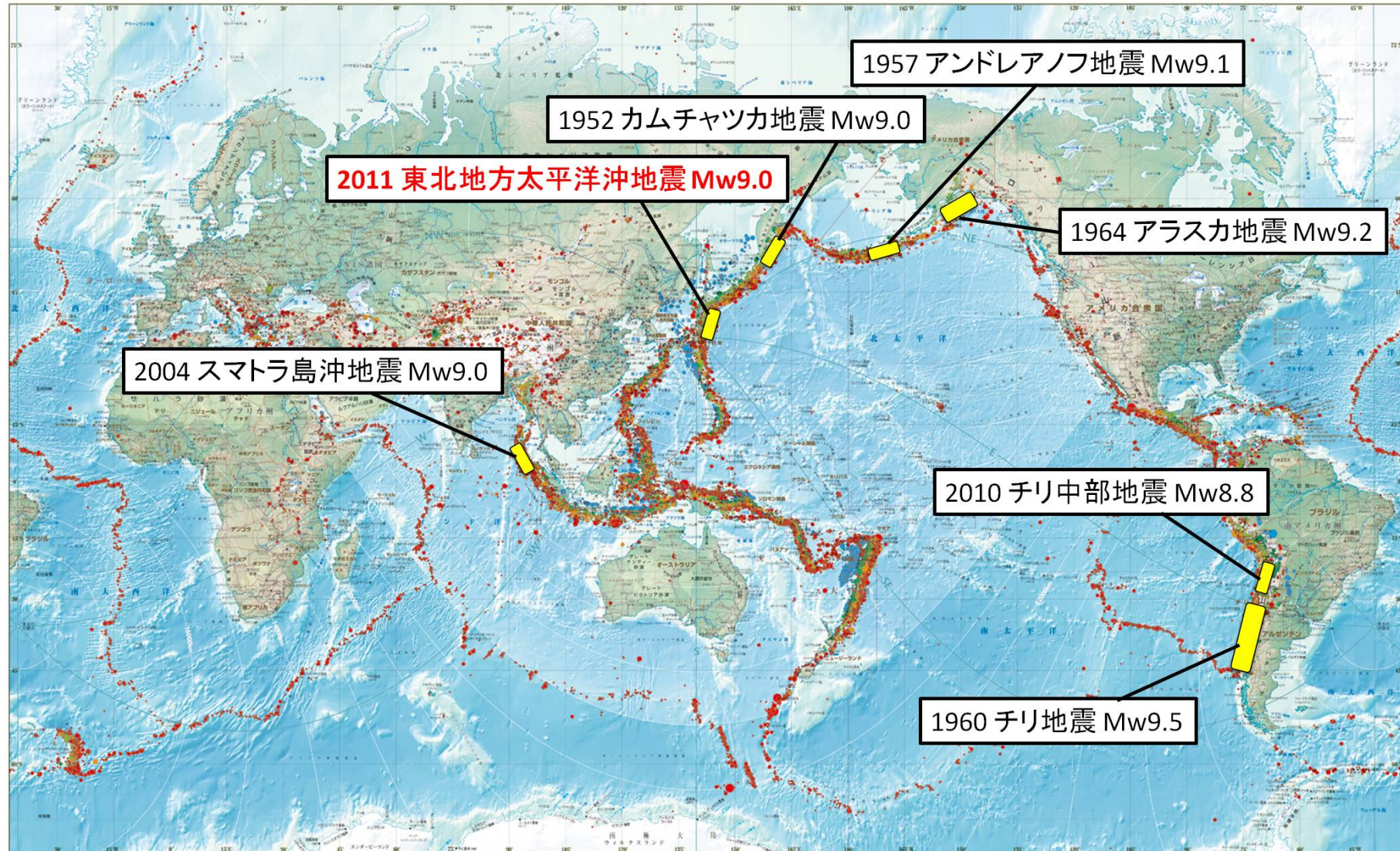


(Heki et al., GRL, 2011)

# 次の超巨大地震はどこか？

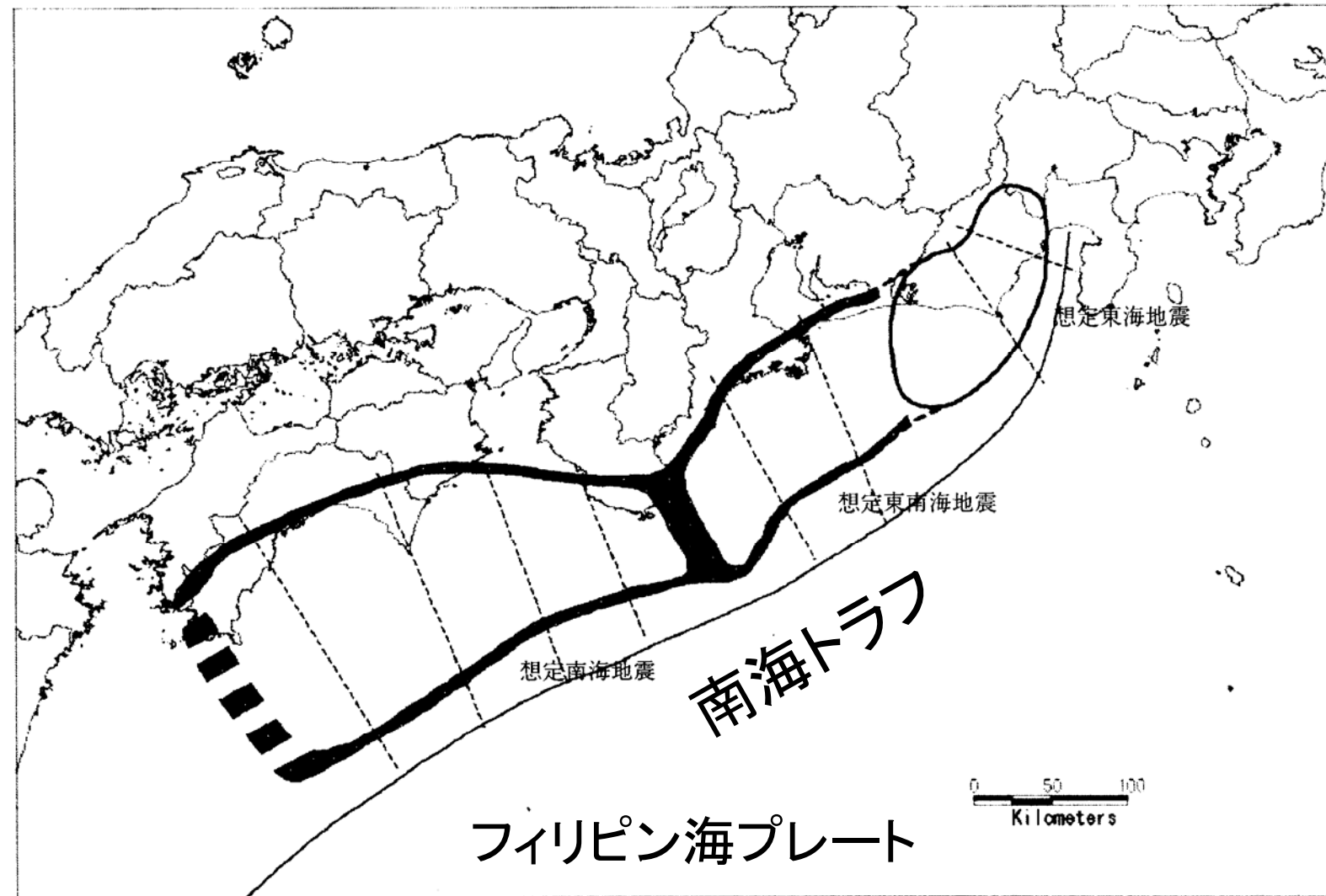
世界の震源分布 (2010年版)

東京大学 地震研究所

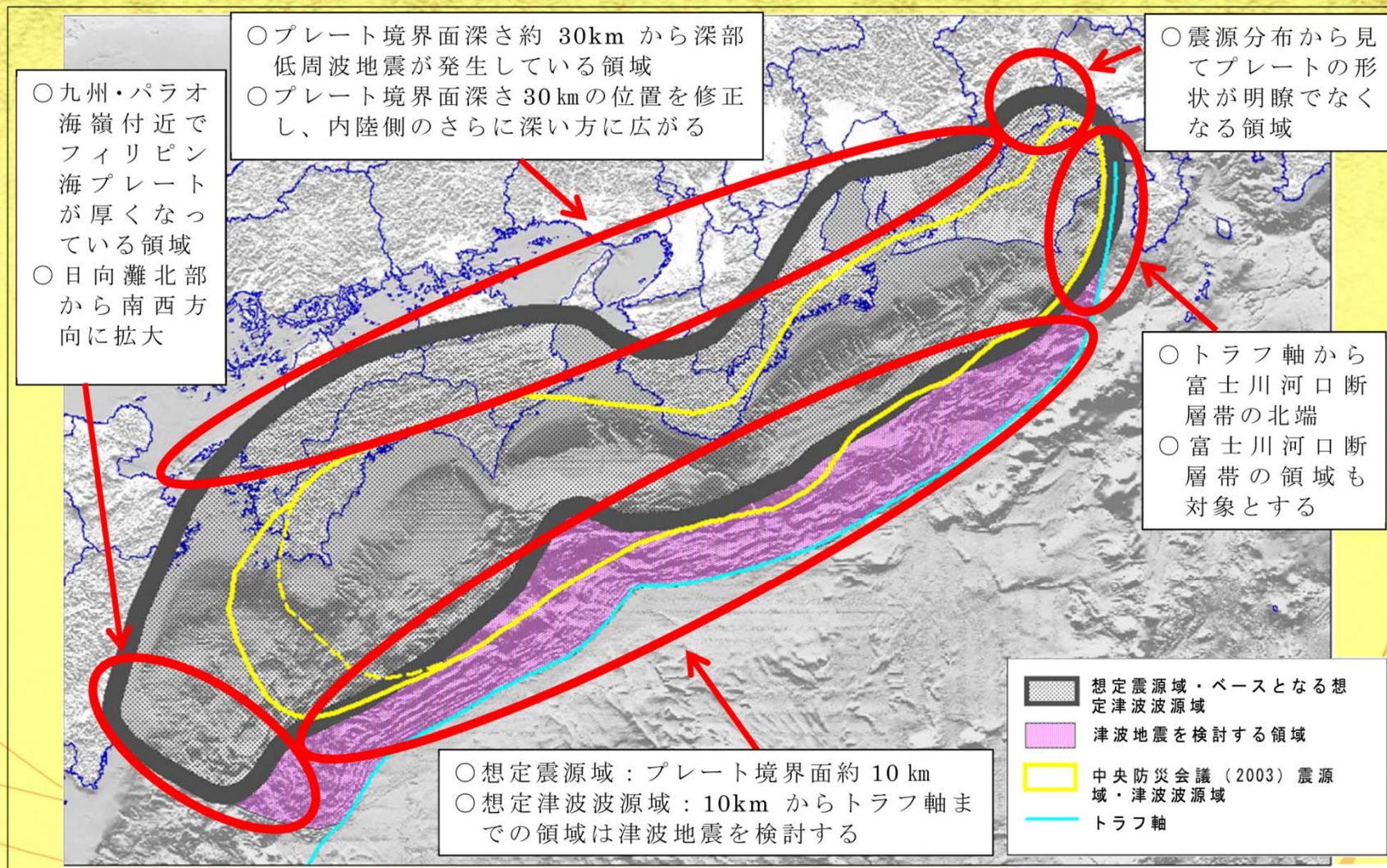


**超巨大地震はプレート境界で発生**

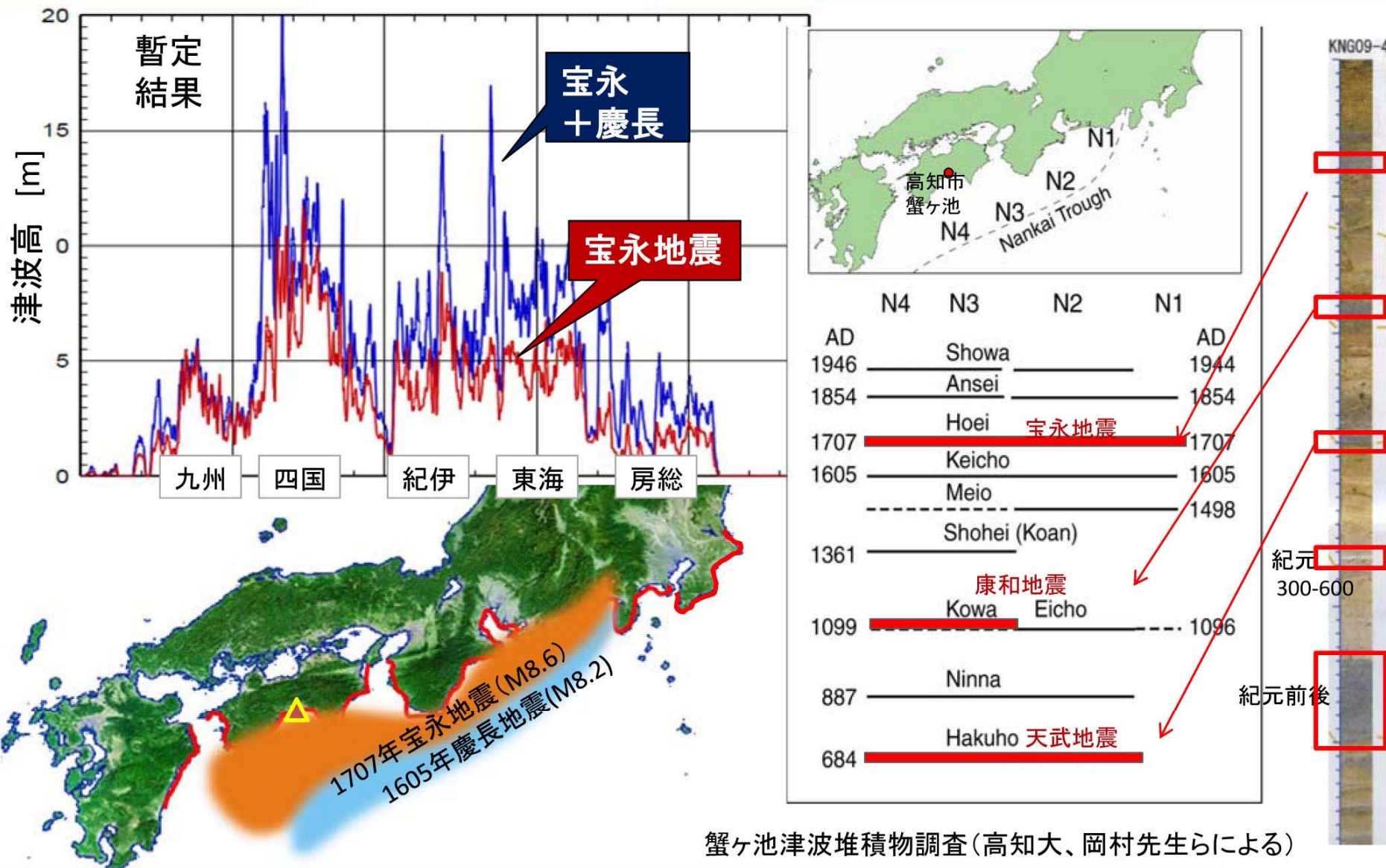
# 南海地震・東南海地震・東海地震



# “想定震源域”の見直し



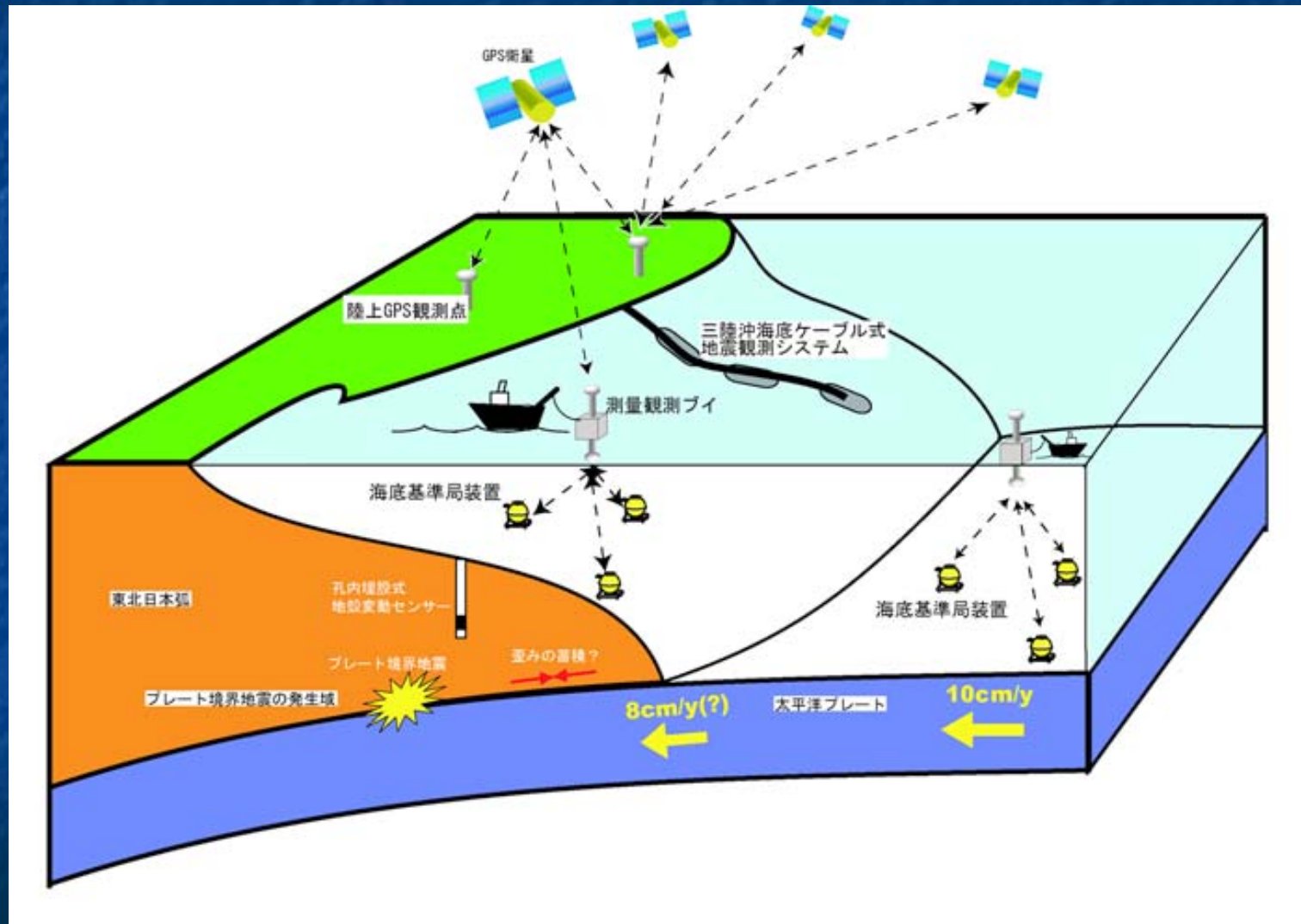
# 南海トラフ4連動発生による津波： 宝永地震＋慶長地震



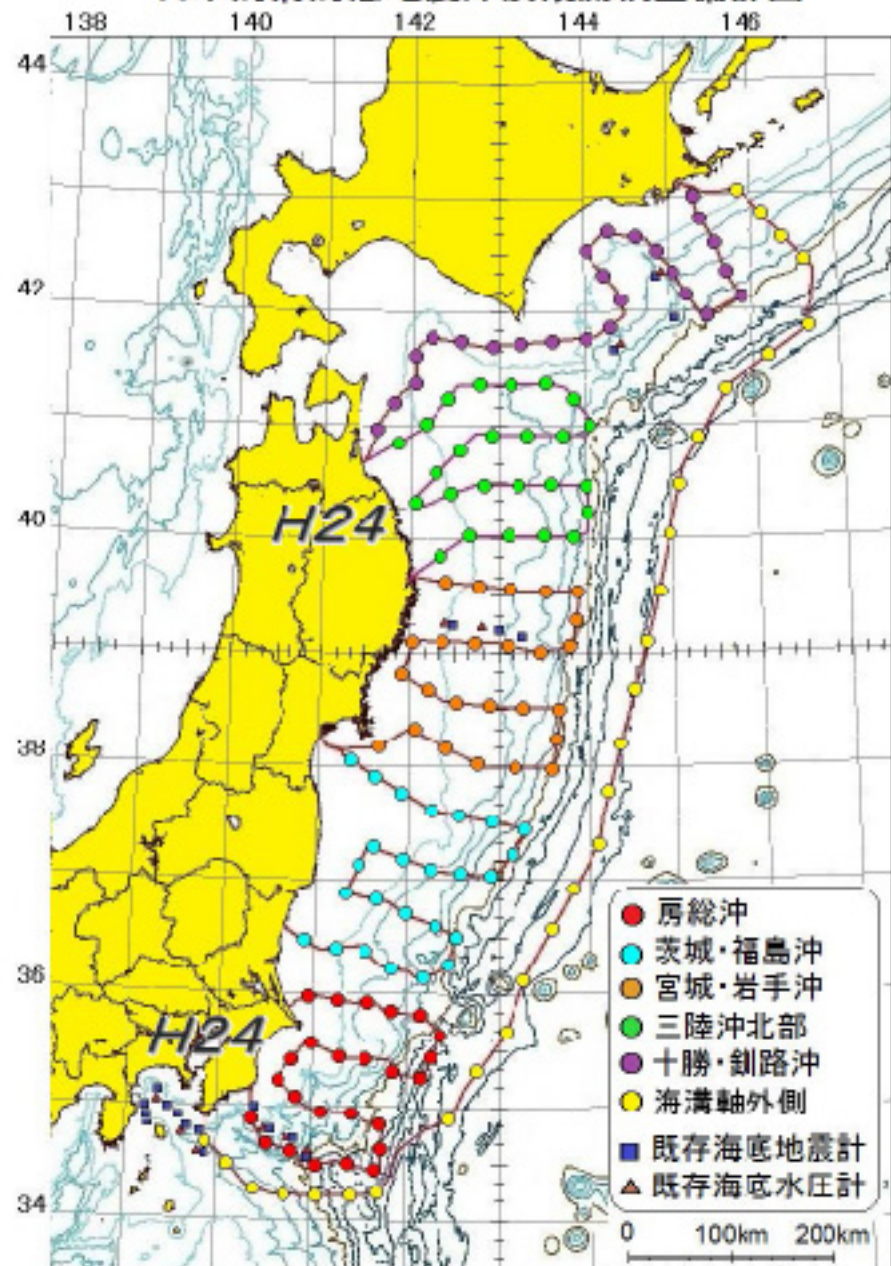
宝永地震と慶長地震が同時発生すると、津波高は今の想定より1.5～2倍高くなる可能性あり。宝永地震を上まわる津波堆積物も四国、九州で発見されている



# 海の“基盤観測網”を！



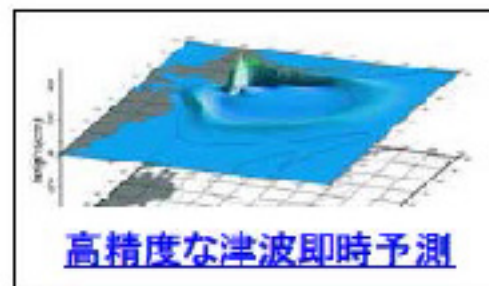
## 日本海溝海底地震津波観測網整備計画



## 日本海溝海底地震津波観測網

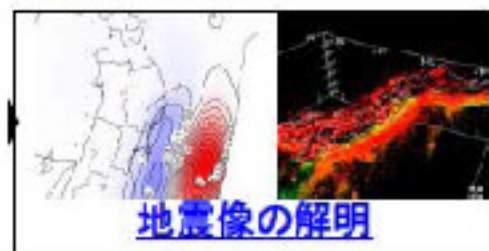
- ・ケーブル数 6
- ・ノード総数 地震計・津波計 154 台
- ・ケーブル全長 約 5,100 km 超

活用



高精度な津波即時予測

活用



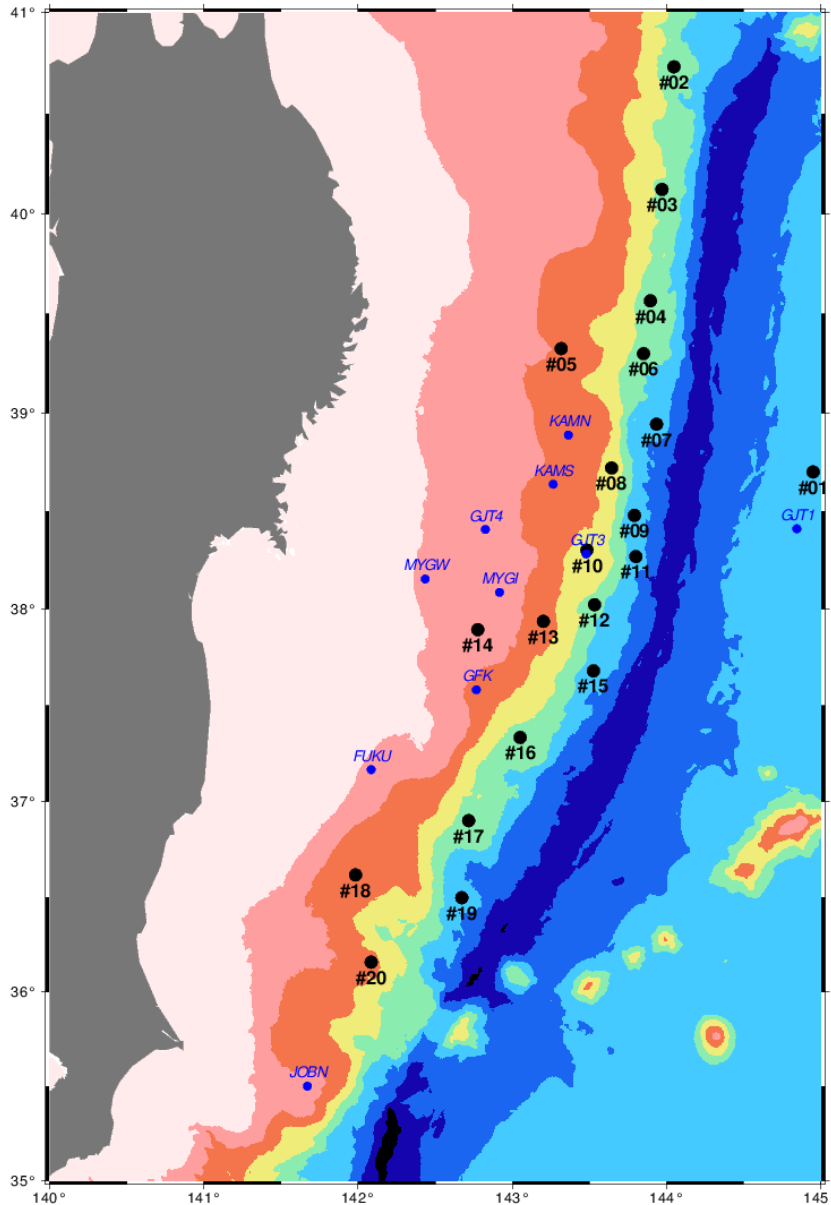
地震像の解明

活用

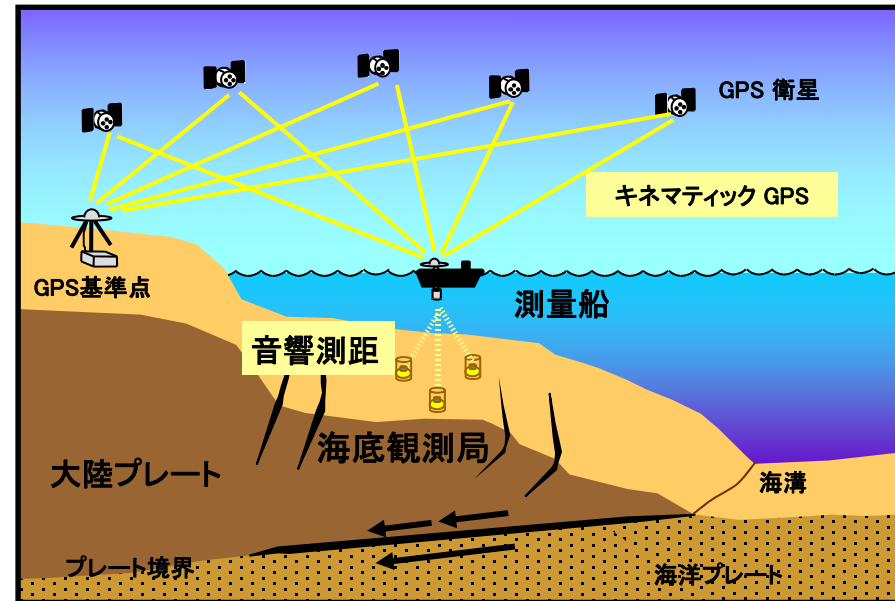


緊急地震速報への活用

# 海底GPS (GPS—音響システム) 観測網



- 20点 (86局)
- 既設点



新たに開発された  
海底局

(藤本博已教授他, 提供)

# 災害軽減のための2つの協力の輪

## 東北大学災害科学国際研究所

