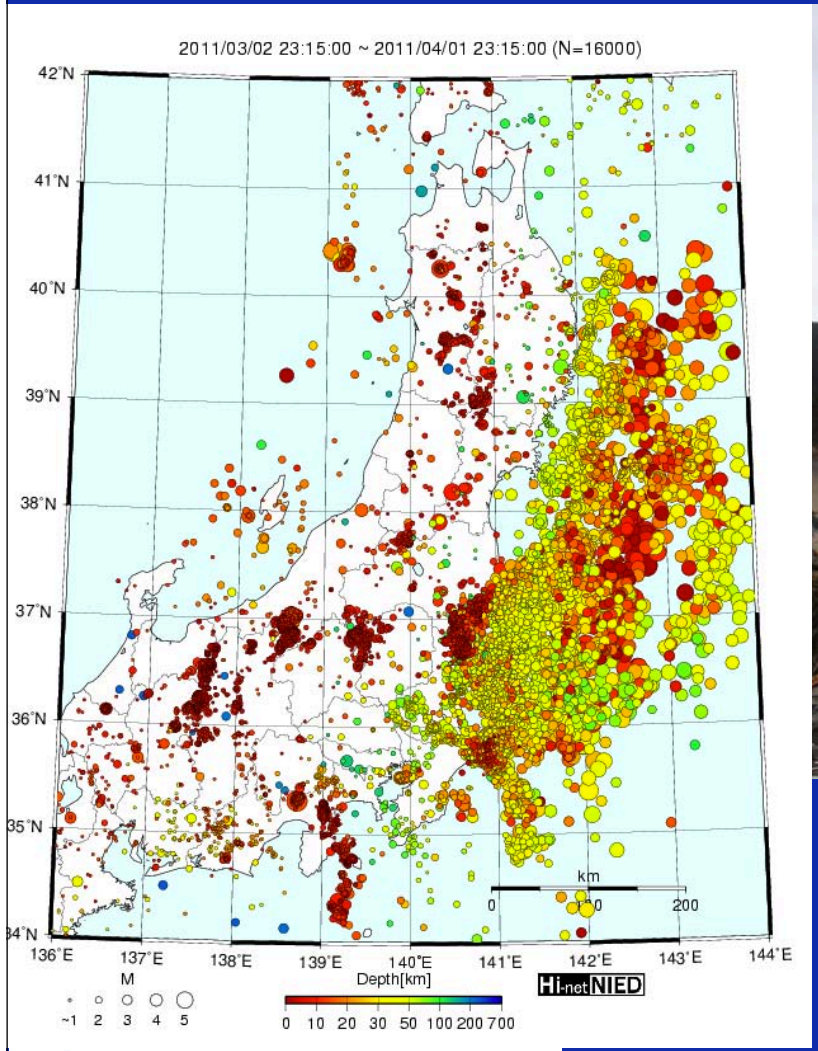
第36回ふじのくに防災学講座（2011年4月16日、静岡県地震防災センター）

東日本大震災を起こした地震とその影響



防災科研（2011）

読売新聞

小山真人
（静岡大学防災総合センター）

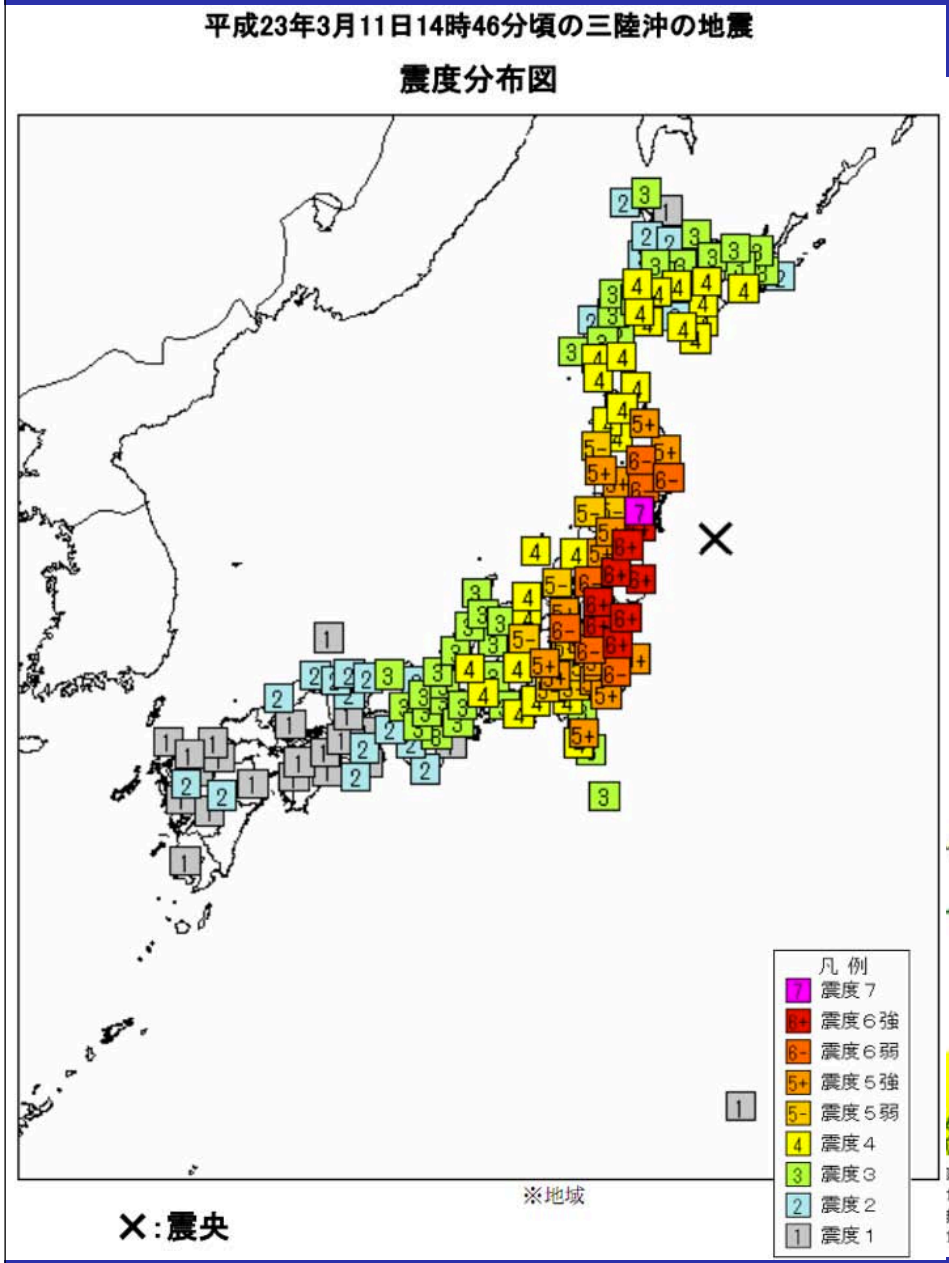
１．何が起きたのか

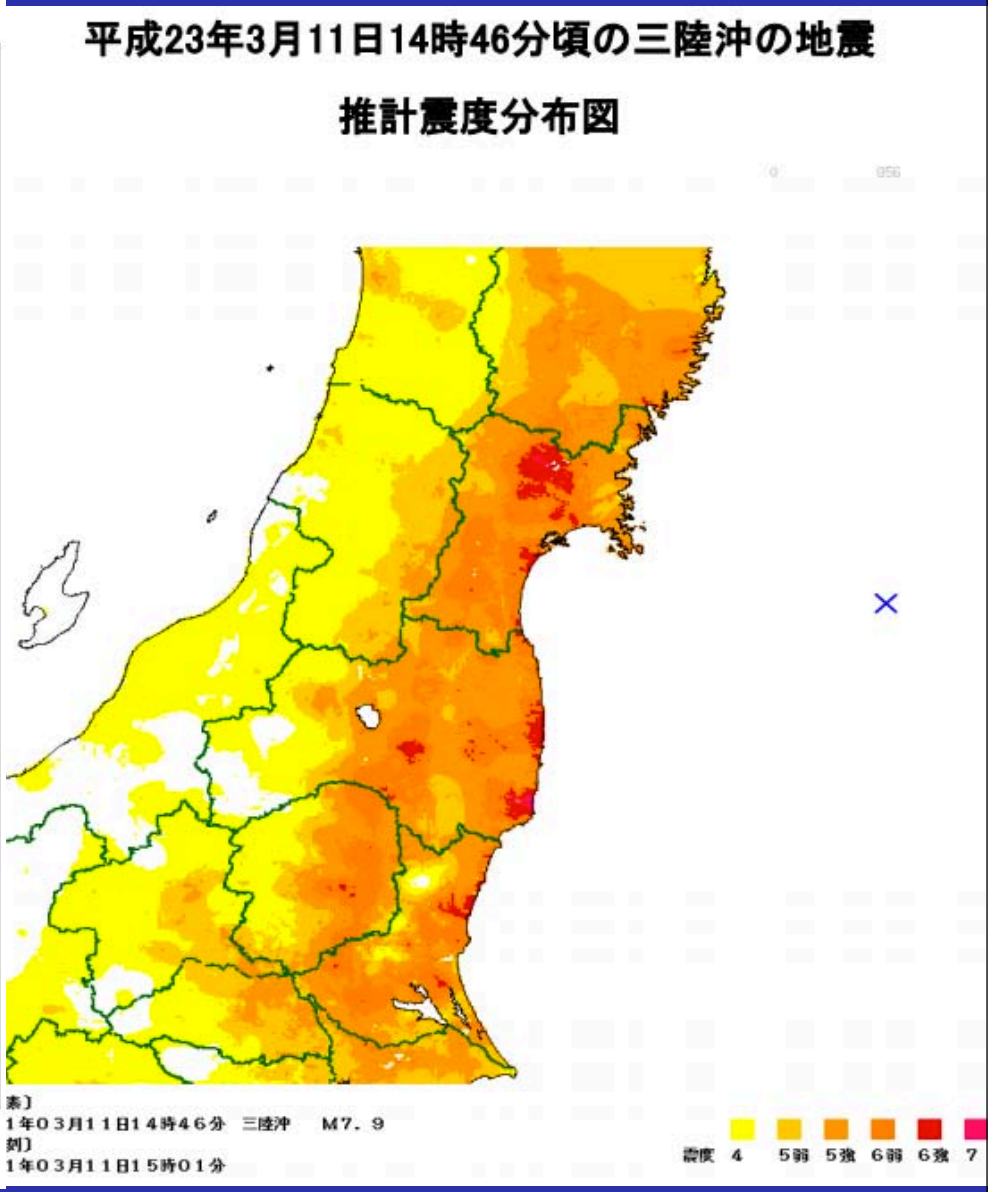
２．これは、予測されていたことなのか？
本当に「想定外」現象なのか？

３．いま何が起きつつあるのか？
これから何が起きるのか？
（１）誘発される地震
（２）誘発される火山噴火

１．何が起きたのか

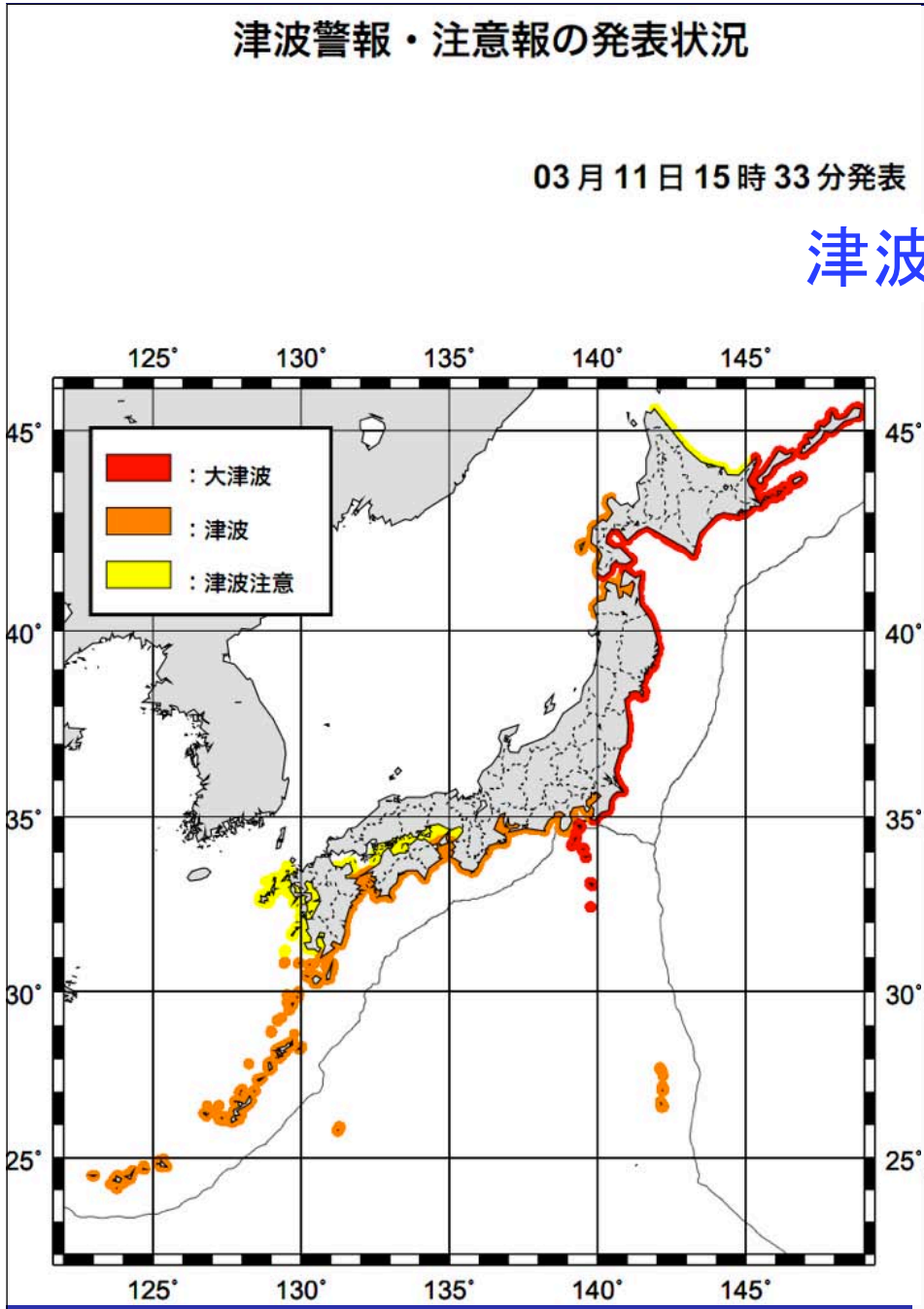
本震の震度分布

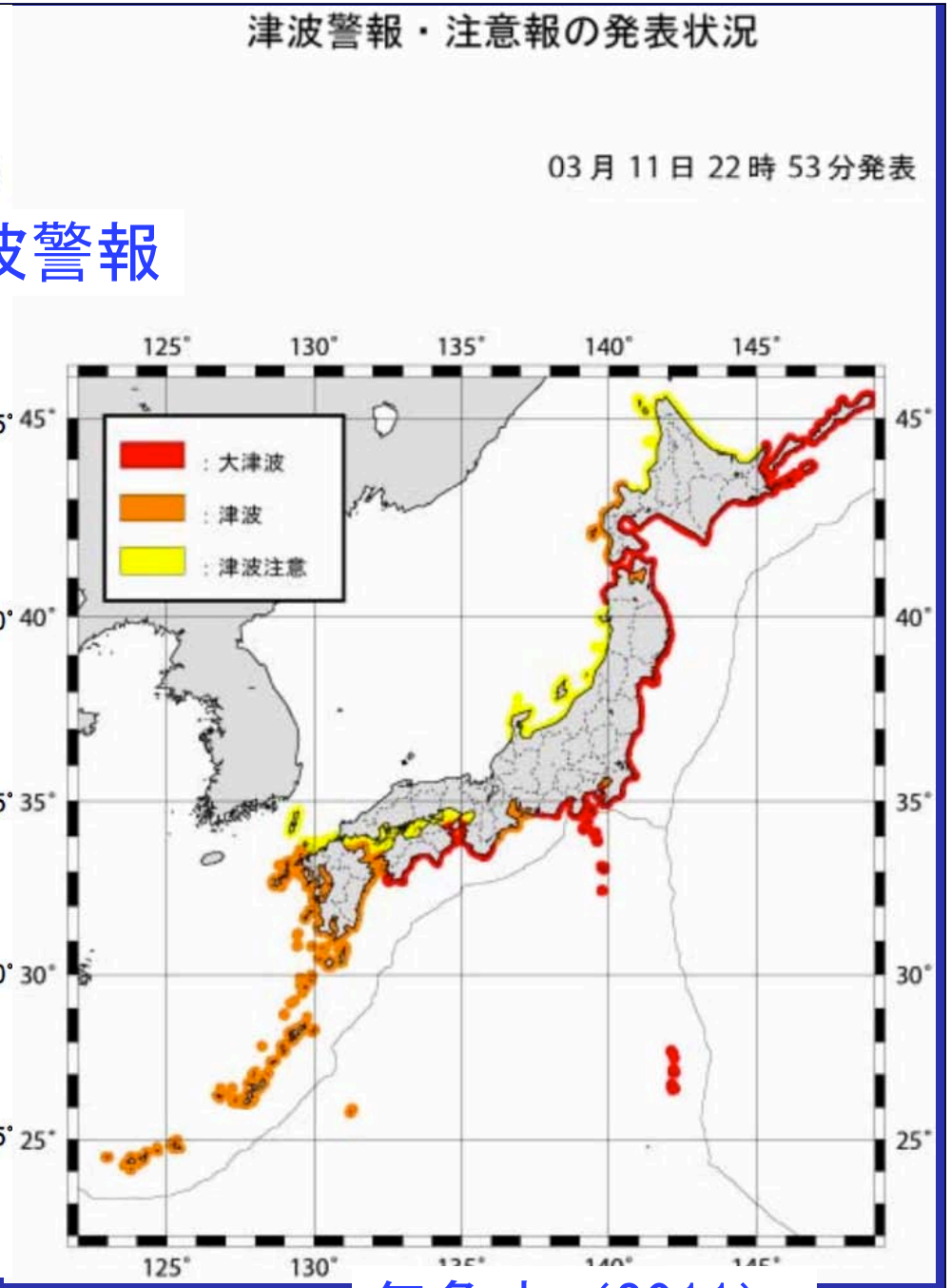




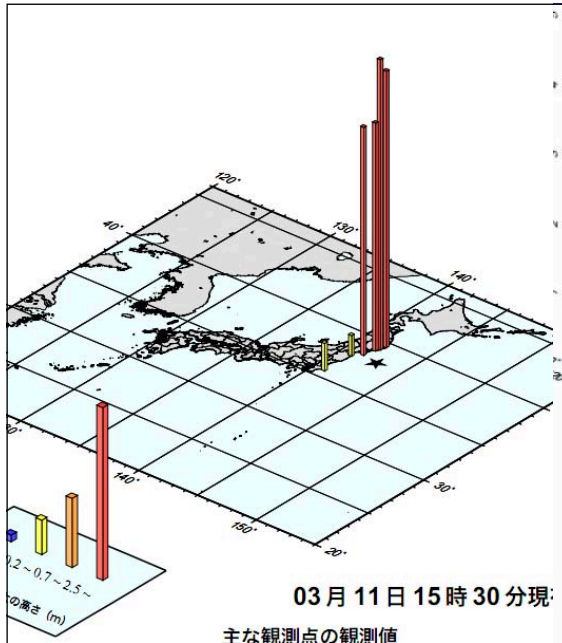
気象庁（2011）

津波警報





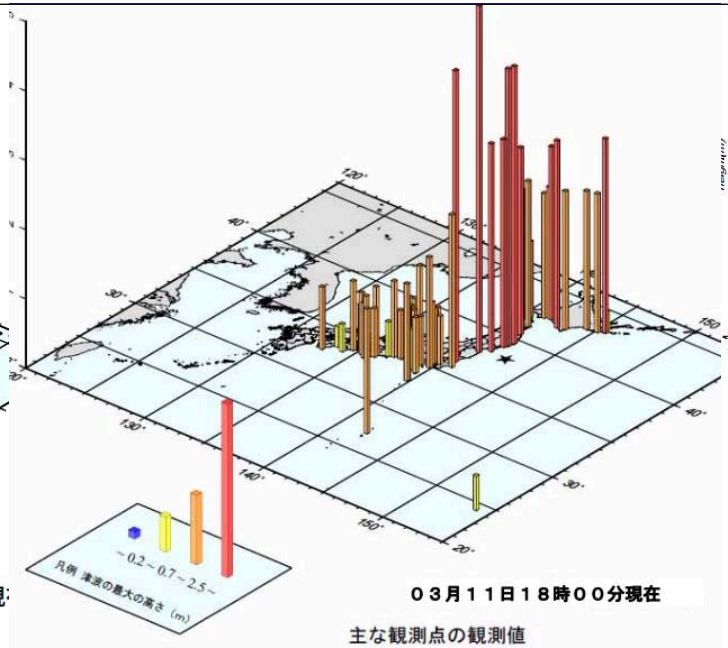
気象庁（2011）



03月11日15時30分現

主な観測点の観測値

第一波			最大波		
11日 14時 45分	引き	0.1m	11日 15時 21分	4.2m	
11日 14時 48分	押し	0.2m	11日 15時 21分	4.0m	
11日 14時 46分	引き	0.2m	11日 15時 15分	3.3m	
11日 14時 46分	押し	0.1m	11日 15時 20分	3.3m	
11日 15時 13分	押し	0.4m	11日 15時 25分	0.4m	
11日 14時 55分	押し	0.3m	11日 14時 56分	0.3m	
11日 14時 47分	押し	微弱	11日 14時 49分	微弱	
11日 14時 48分	押し	微弱	11日 14時 54分	微弱	



０３月１１日１８時００分現在

主な観測点の観測値

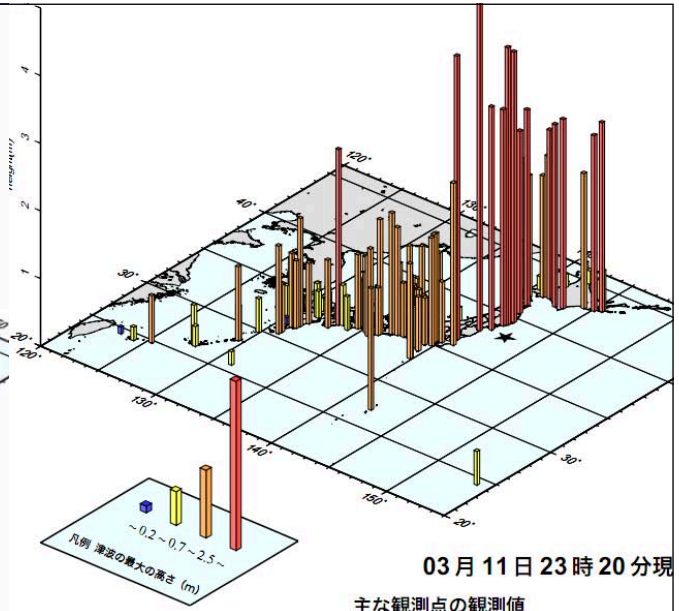
	第一波			最大波		
相馬	11日 14時 55分	押し	0.3m	11日 15時 50分	7.3m	以上
大洗	11日 15時 15分	押し	1.8m	11日 16時 52分	4.2m	以上
宮古	11日 14時 48分	押し	0.2m	11日 15時 21分	4.0m	以上
釜石	11日 14時 45分	引き	0.1m	11日 15時 21分	4.1m	以上
大船渡	11日 14時 46分	引き	0.2m	11日 15時 15分	3.2m	以上
石巻市鮎川	11日 14時 46分	押し	0.1m	11日 15時 20分	3.3m	以上

名称・巨大津波計表示）

11/ 3/11 15:36 >

1000 mm

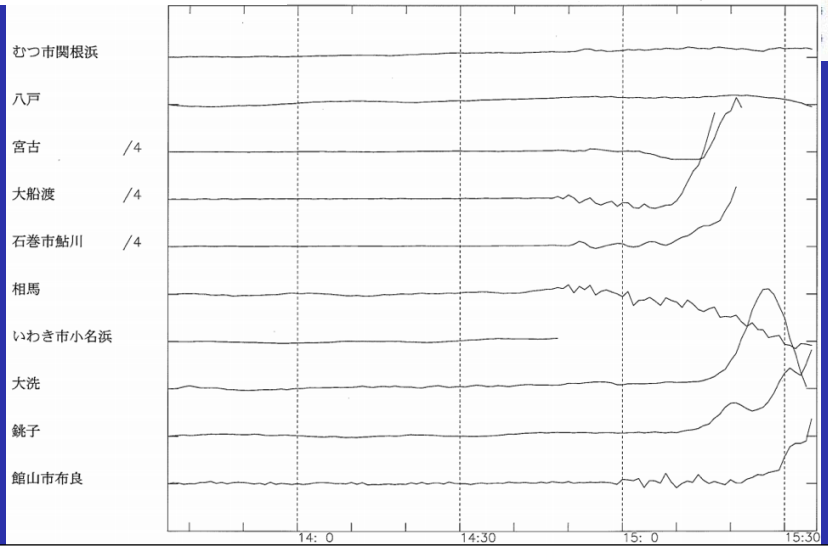
57分 2.8m
42分 2.7m
51分 2.7m
17分 2.5m



03月11日23時20分現

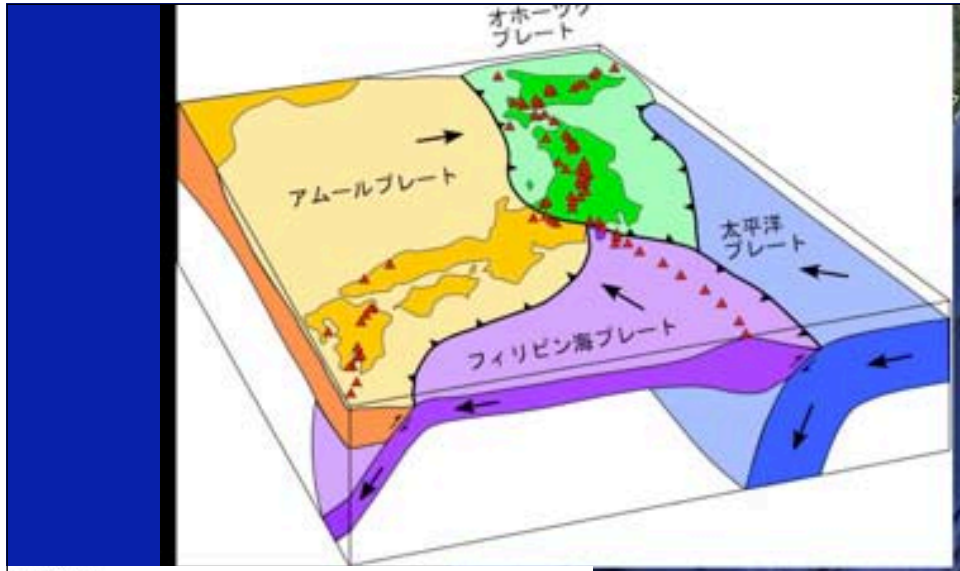
主な観測点の観測値

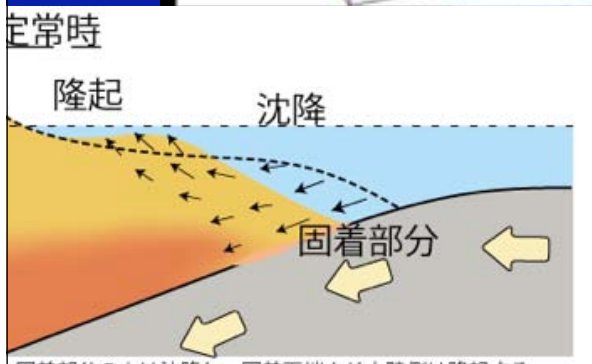
	第一波			最大波	
相馬	11日 14時 55分	押し	0.3m	11日 15時 50分	7.3m以上
大洗	11日 15時 15分	押し	1.8m	11日 16時 52分	4.2m
釜石	11日 14時 45分	引き	0.1m	11日 15時 21分	4.1m以上
宮古	11日 14時 48分	押し	0.2m	11日 15時 21分	4.0m以上
石巻市鮎川	11日 14時 46分	押し	0.1m	11日 15時 20分	3.3m以上
大船渡	11日 14時 46分	引き	0.2m	11日 15時 15分	3.2m以上
むつ市関根浜	11日 15時 20分	引き	0.1m	11日 18時 16分	2.9m
根室市花咲	11日 15時 34分	引き	微弱	11日 15時 57分	2.8m
十勝港	11日 15時 26分	引き	0.2m	11日 15時 57分	2.8m以上
浦河	11日 15時 19分	引き	0.2m	11日 16時 42分	2.7m

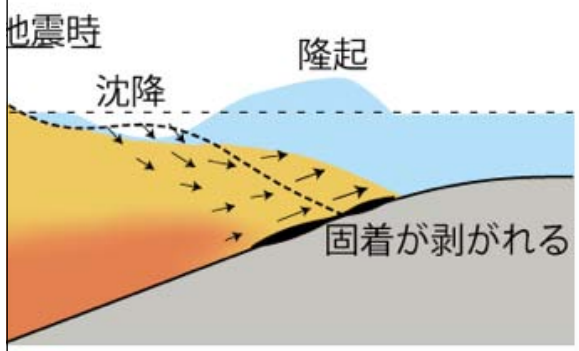


津波の伝播状況

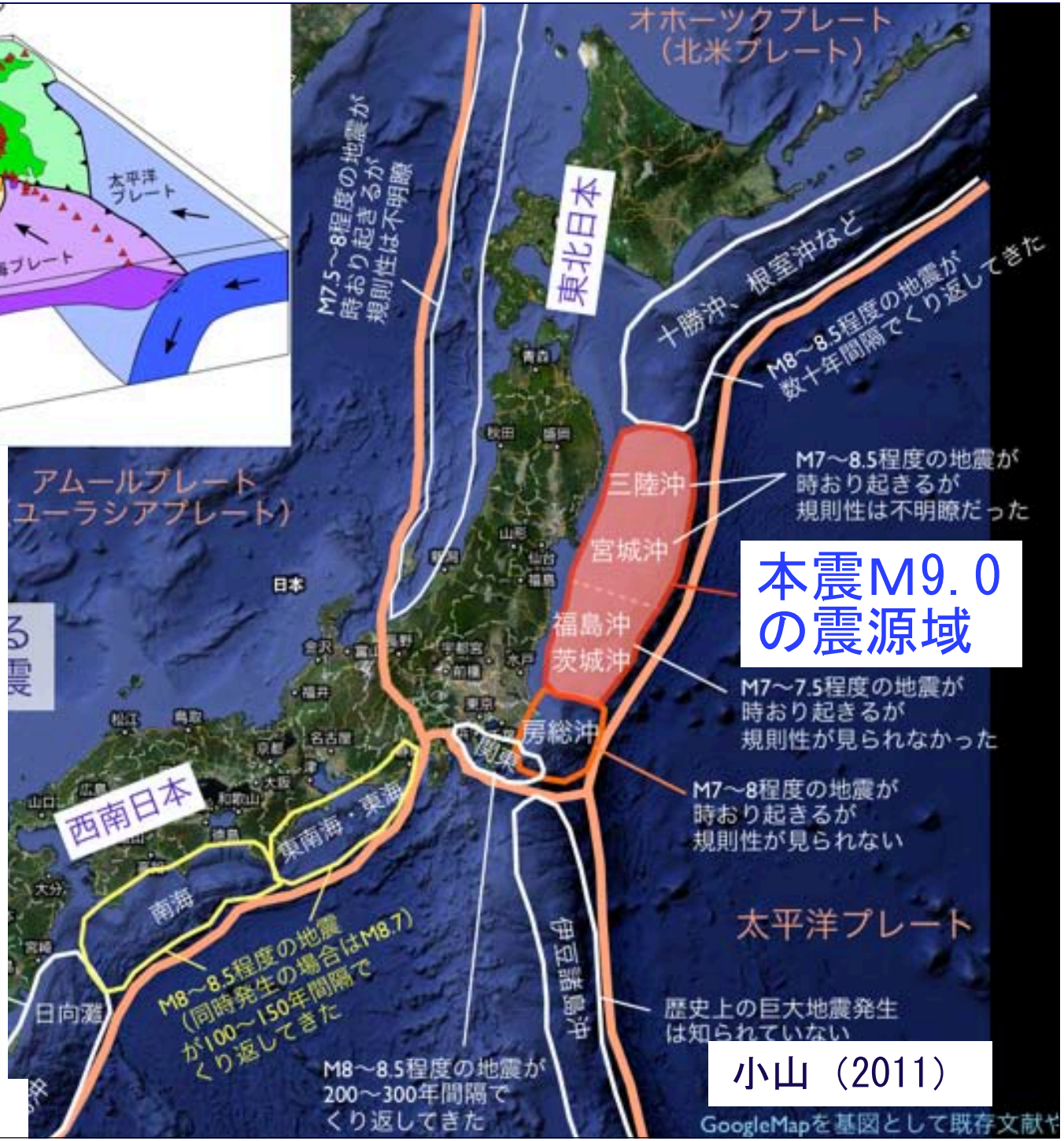
気象庁（2011）



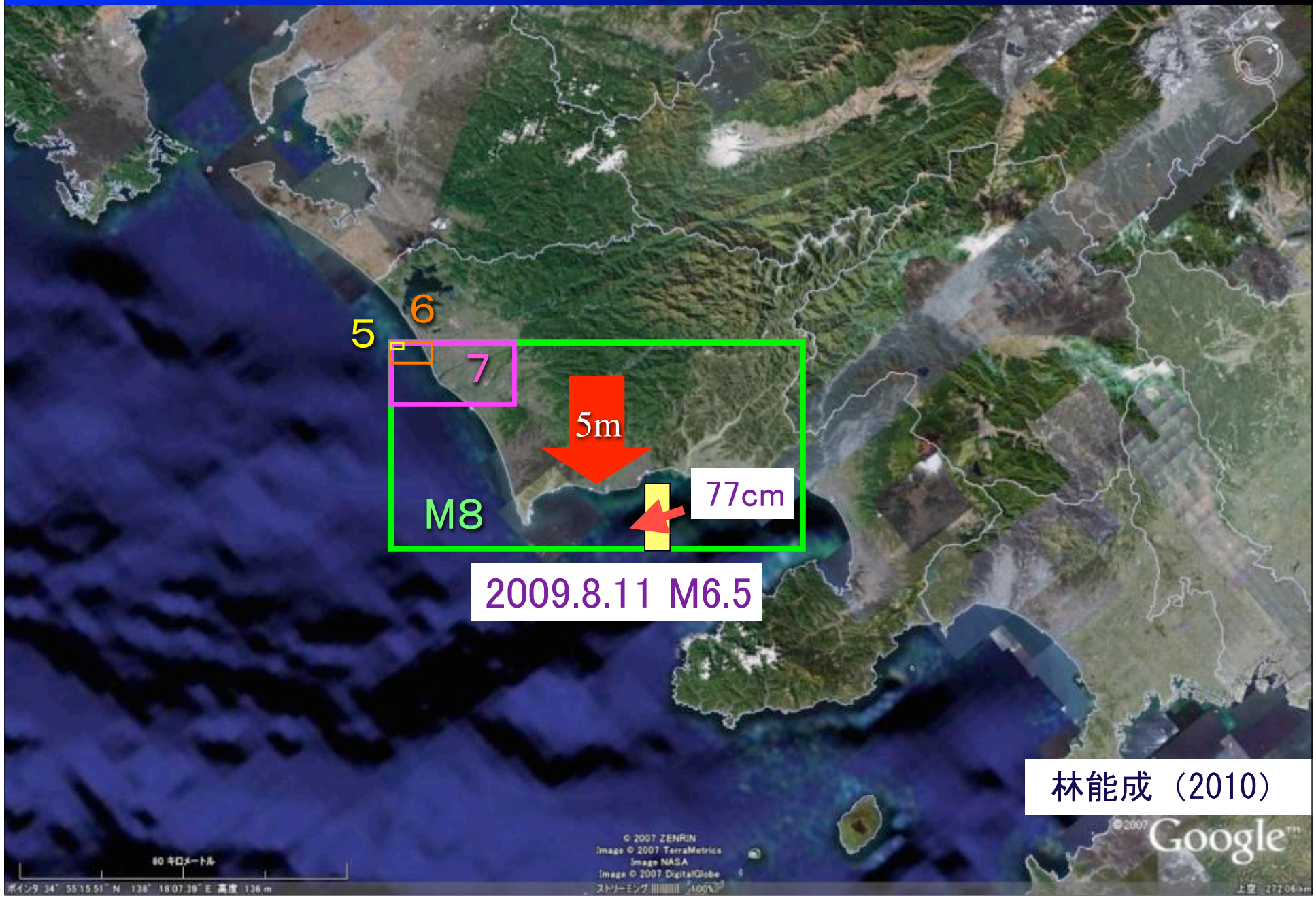




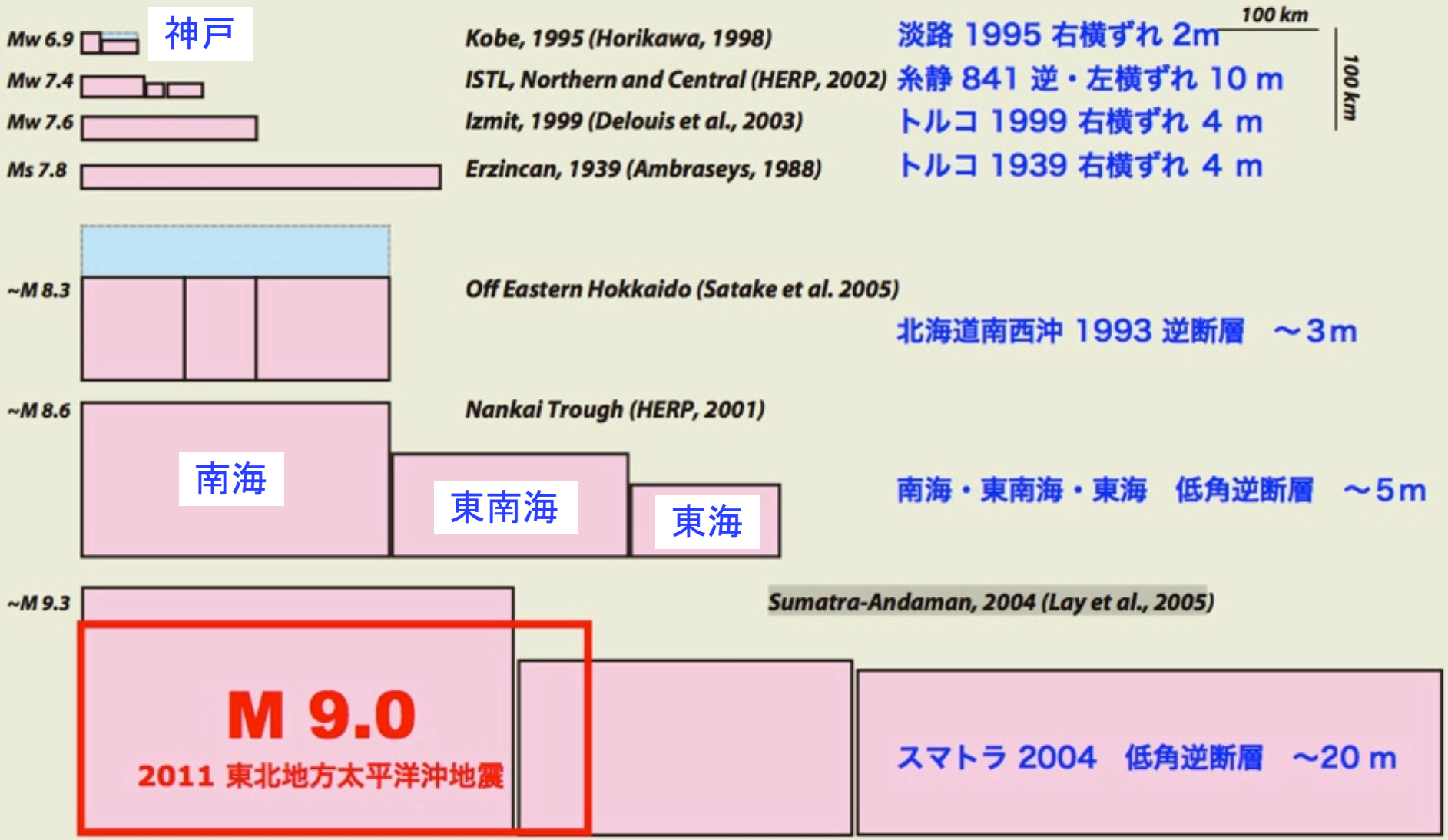
静岡大学理学部（2011）



マグニチュード＝震源破壊の大きさ

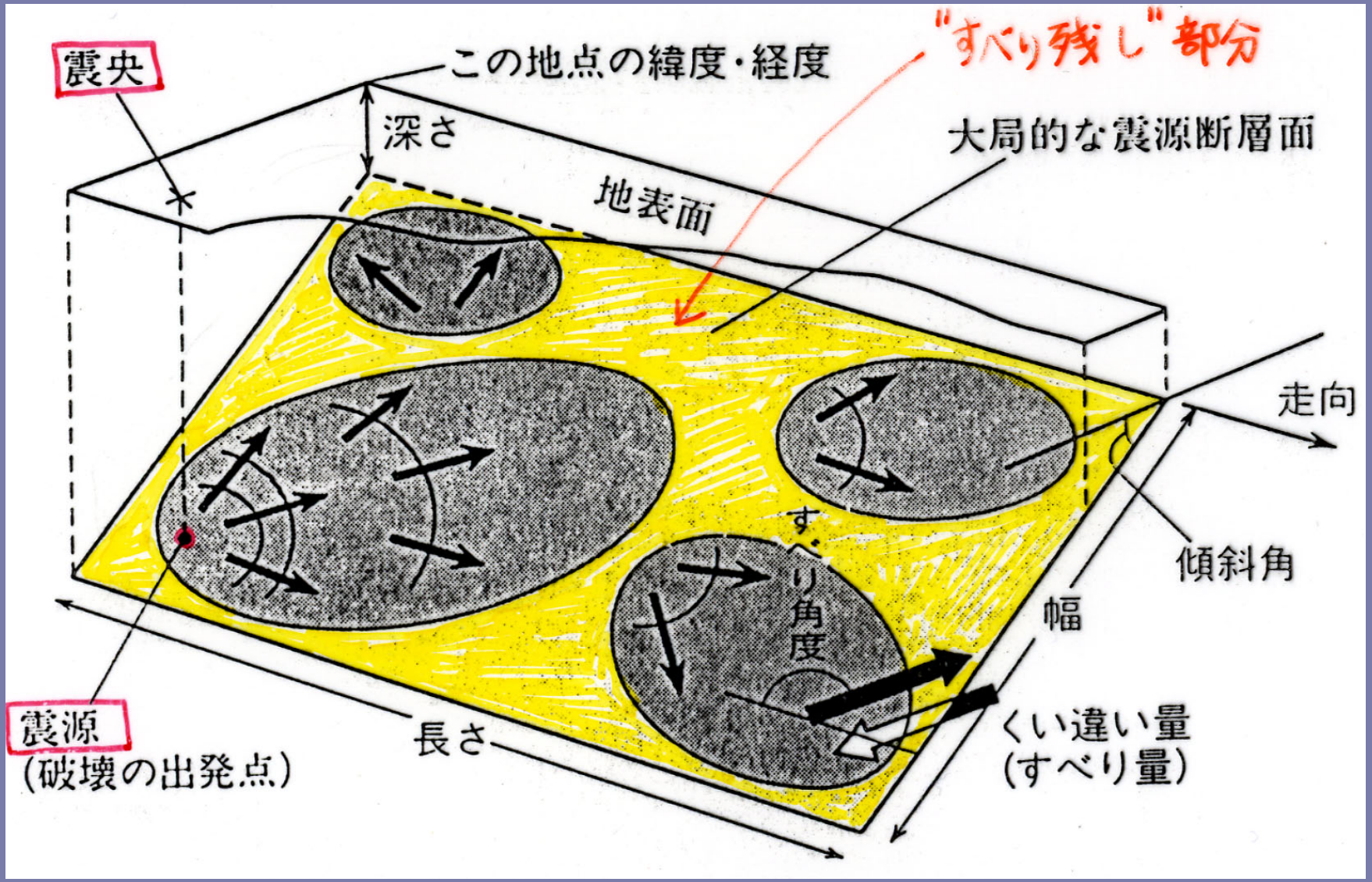


Mと震源断層面積の比較

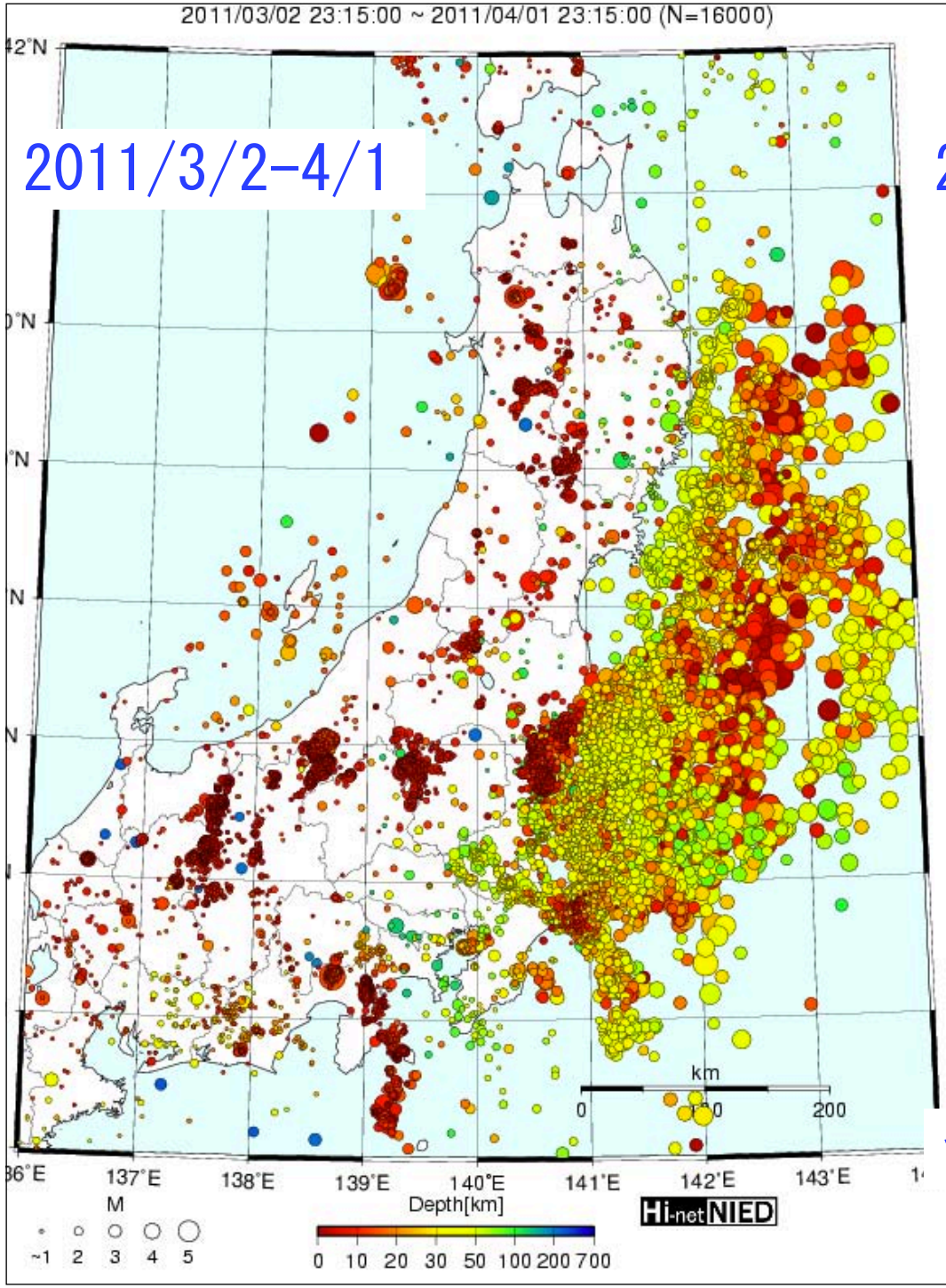


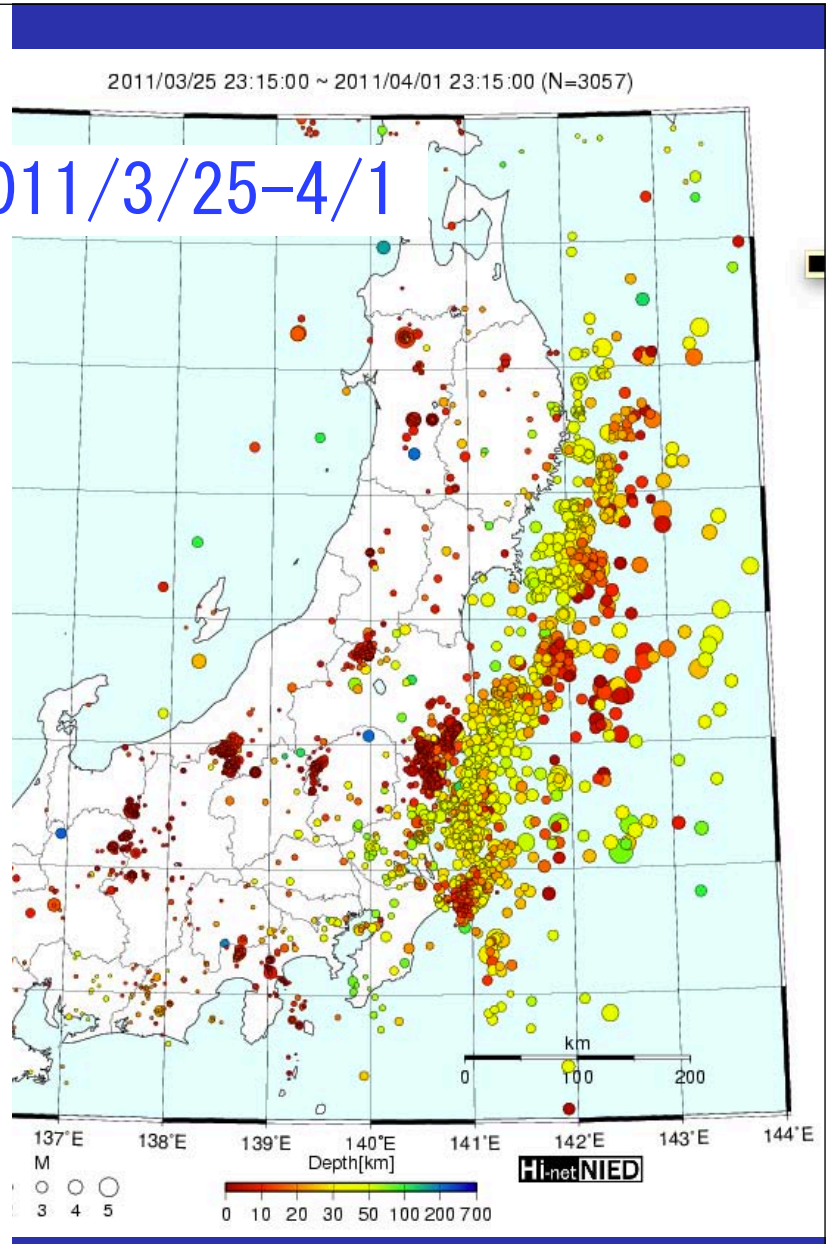
奥村（2011）に加筆

本震と（狭義の）余震の関係



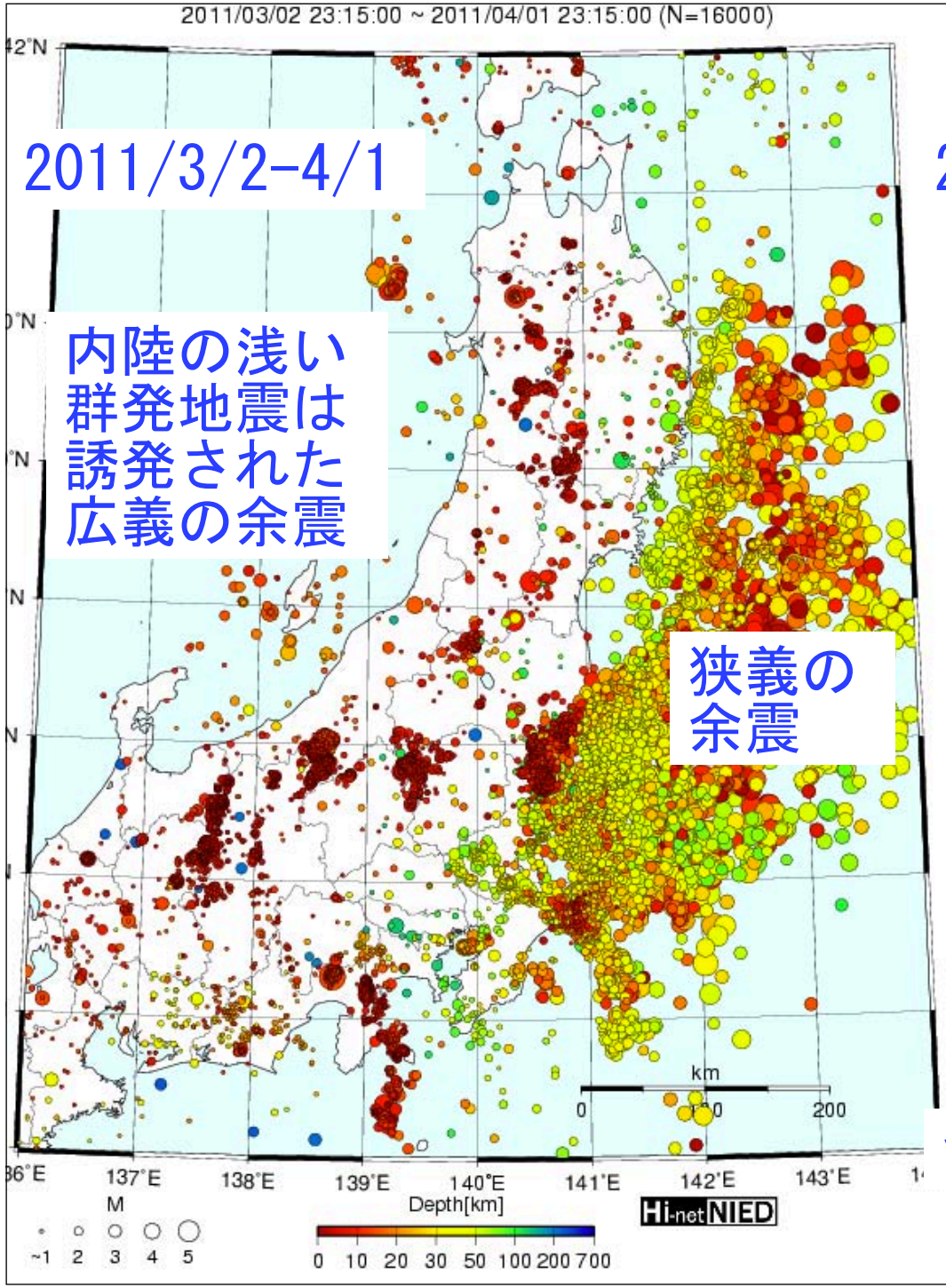
石橋（1994）

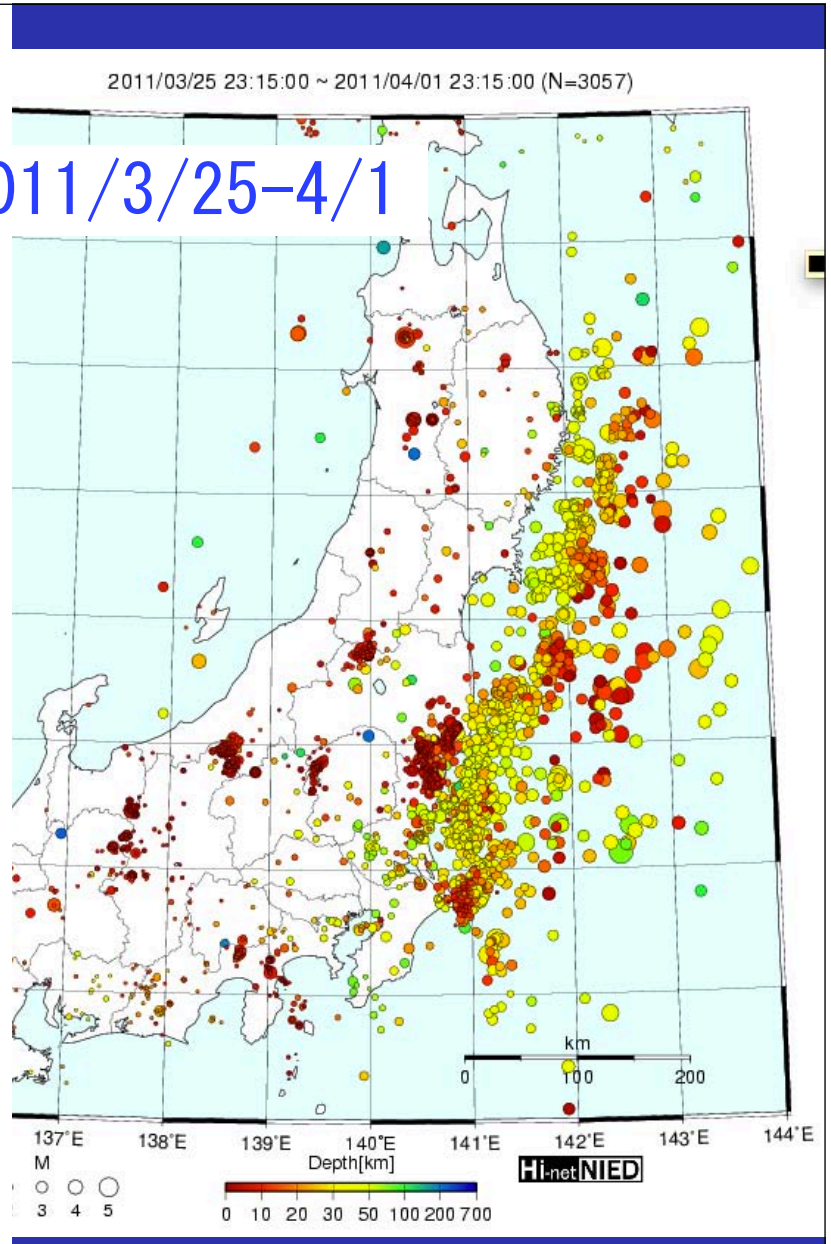




余震分布（2011年東日本）

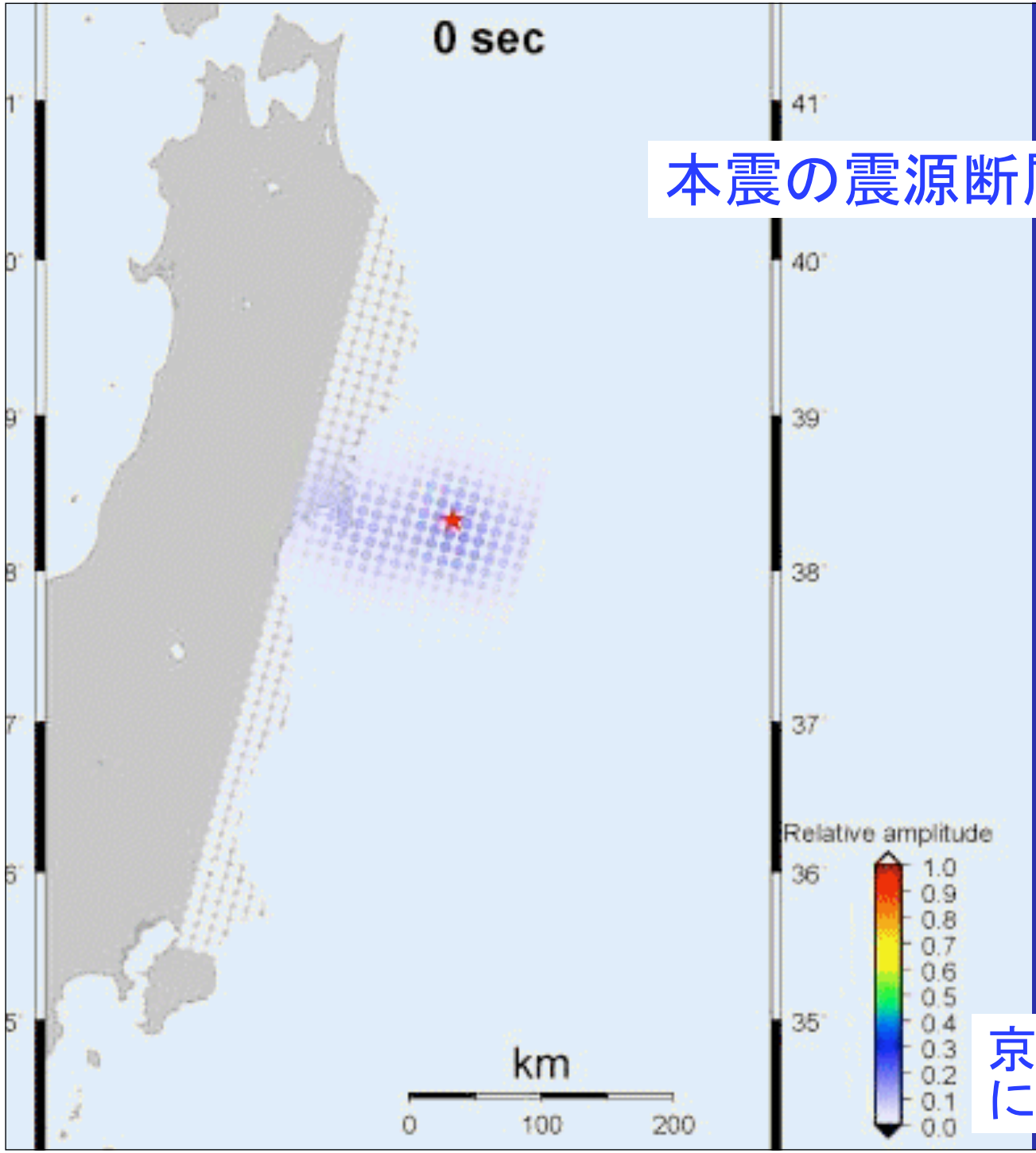
防災科研（2011）





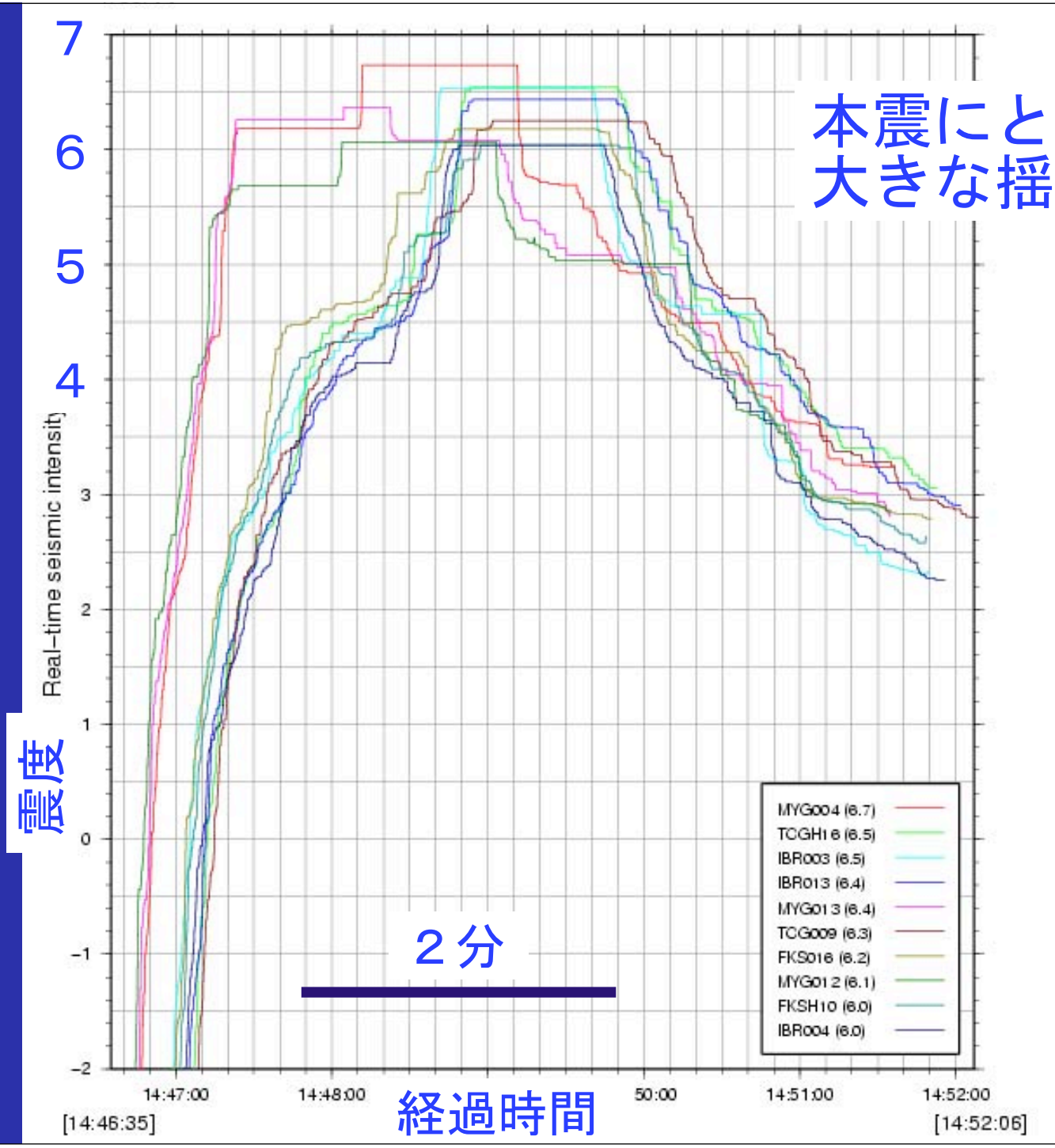
余震分布（2011年東日本）

防災科研（2011）



本震の震源断層破壊のようす

京大防災研（2011）
によるアニメーション



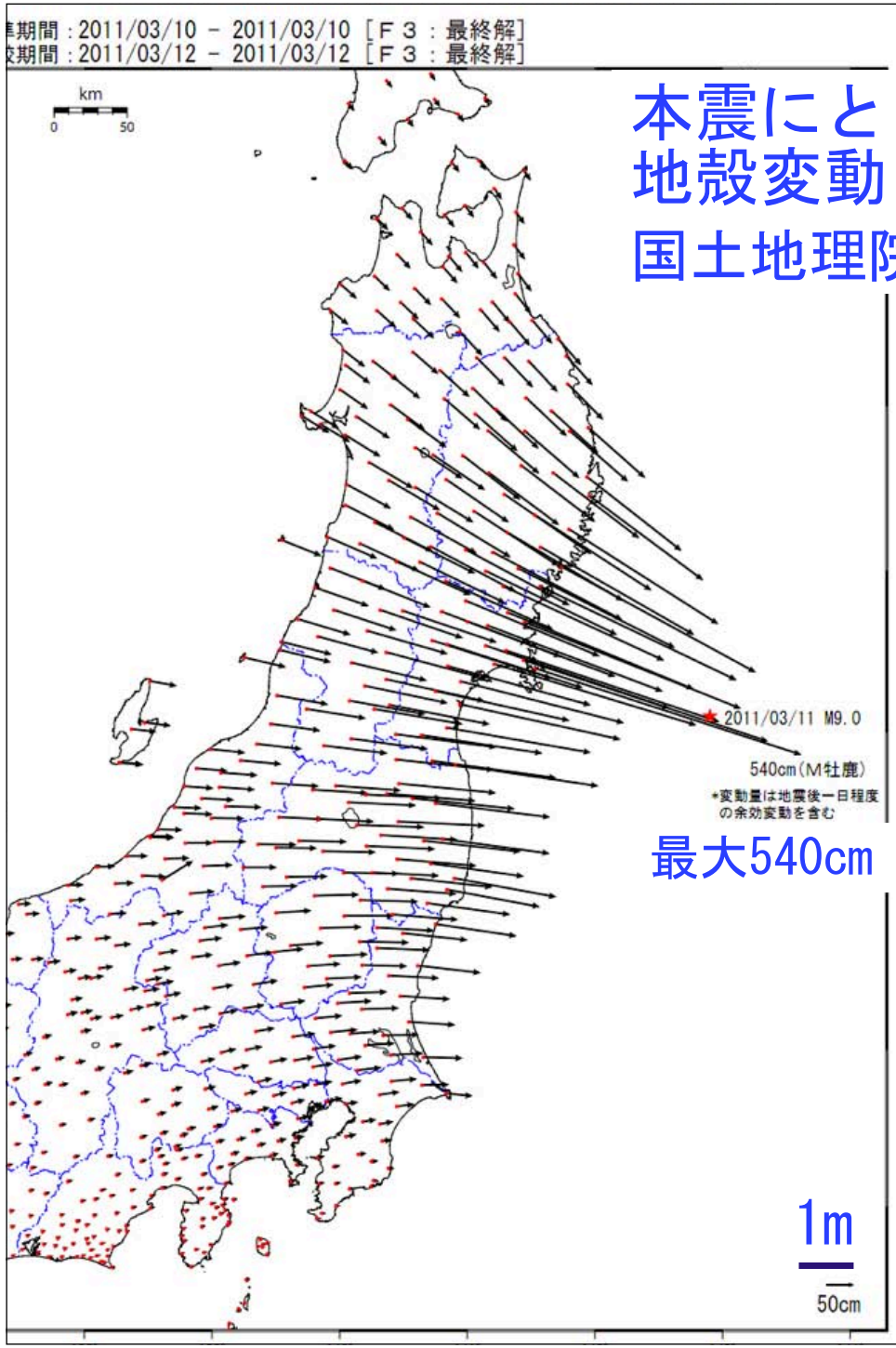
本震にともなう
大きな揺れの継続時間

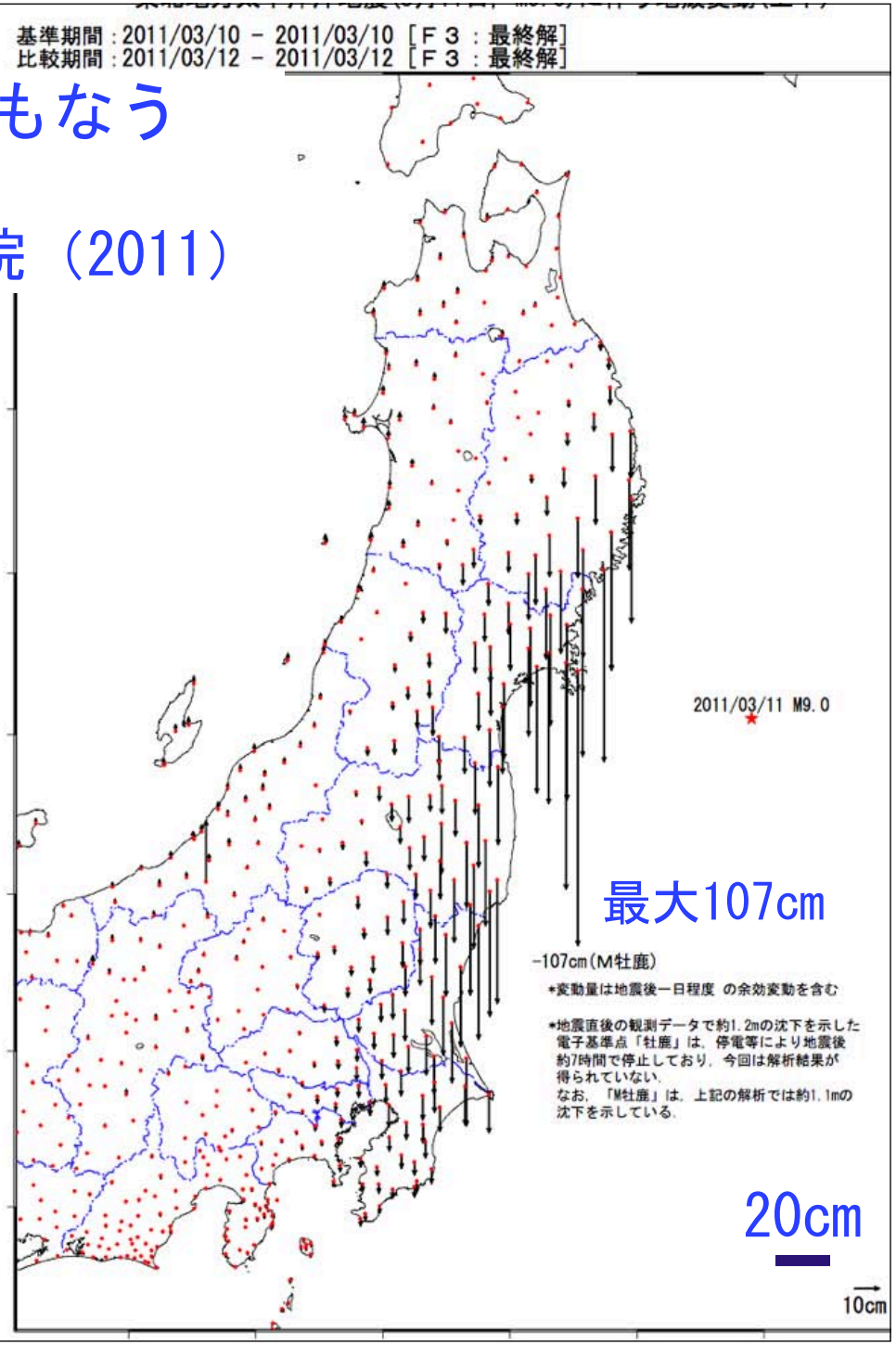
東北～北関東で震度5弱以上の強い揺れが１分半～２分継続

防災科研（2011）

本震にともなう地殻変動

国土地理院（2011）

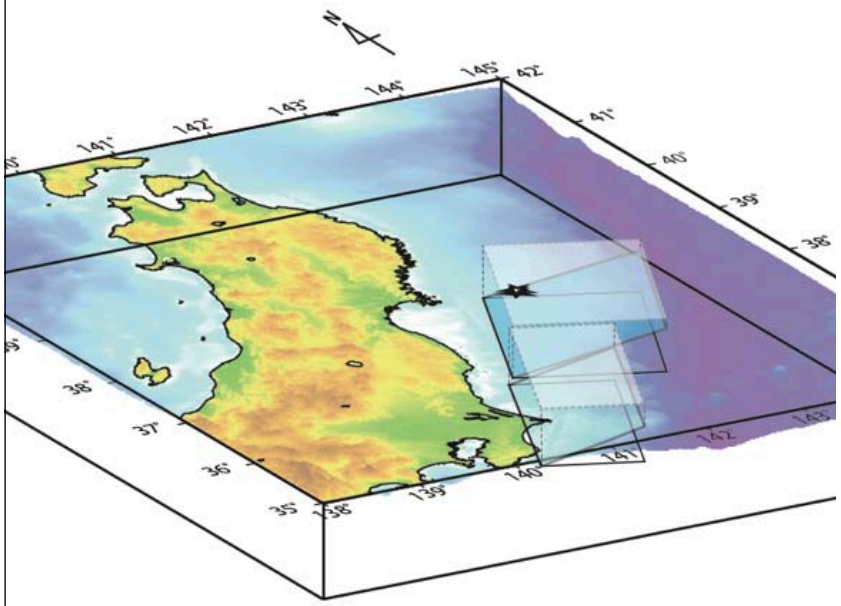


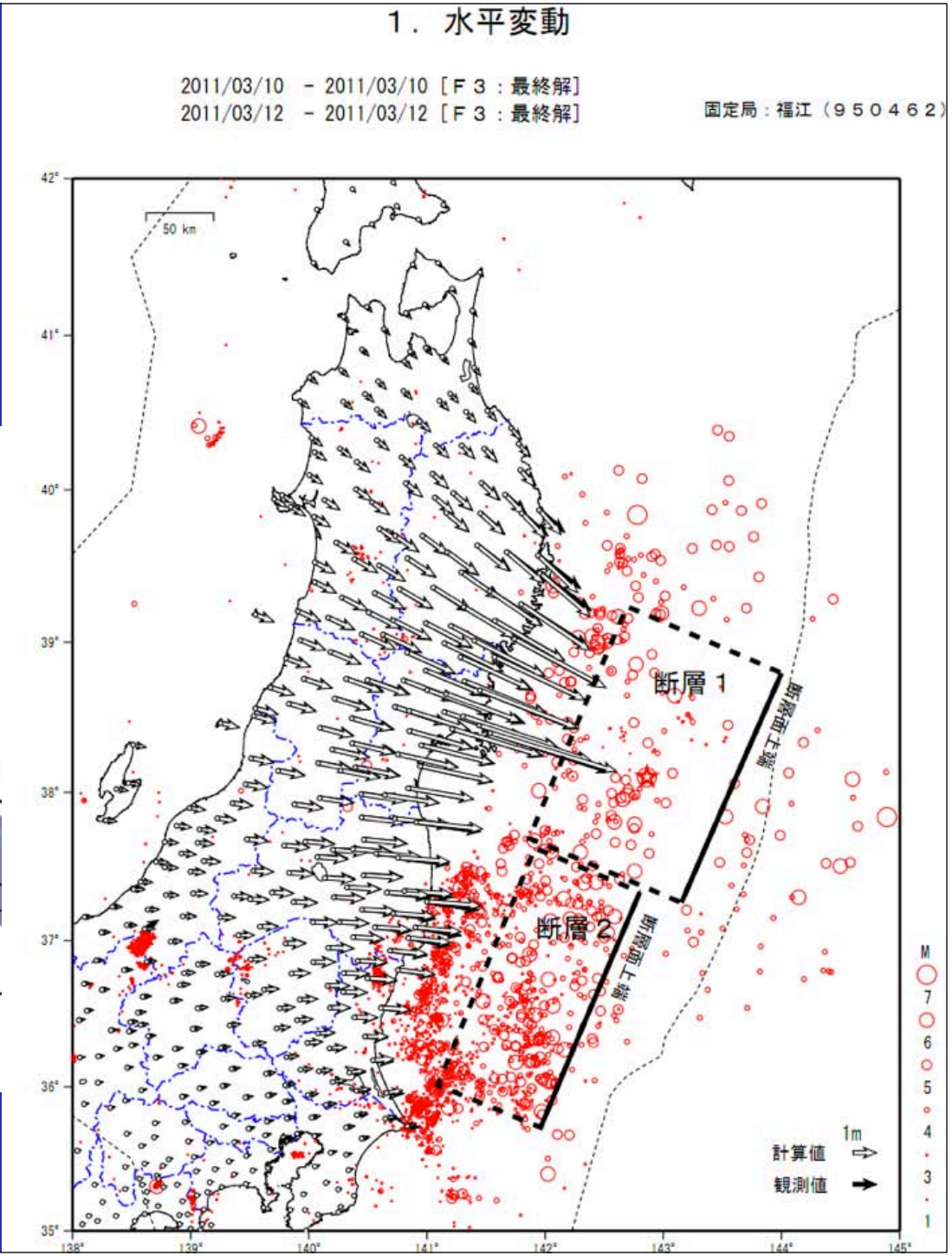


地殻変動から求めた震源断層モデル

国土地理院（2011）

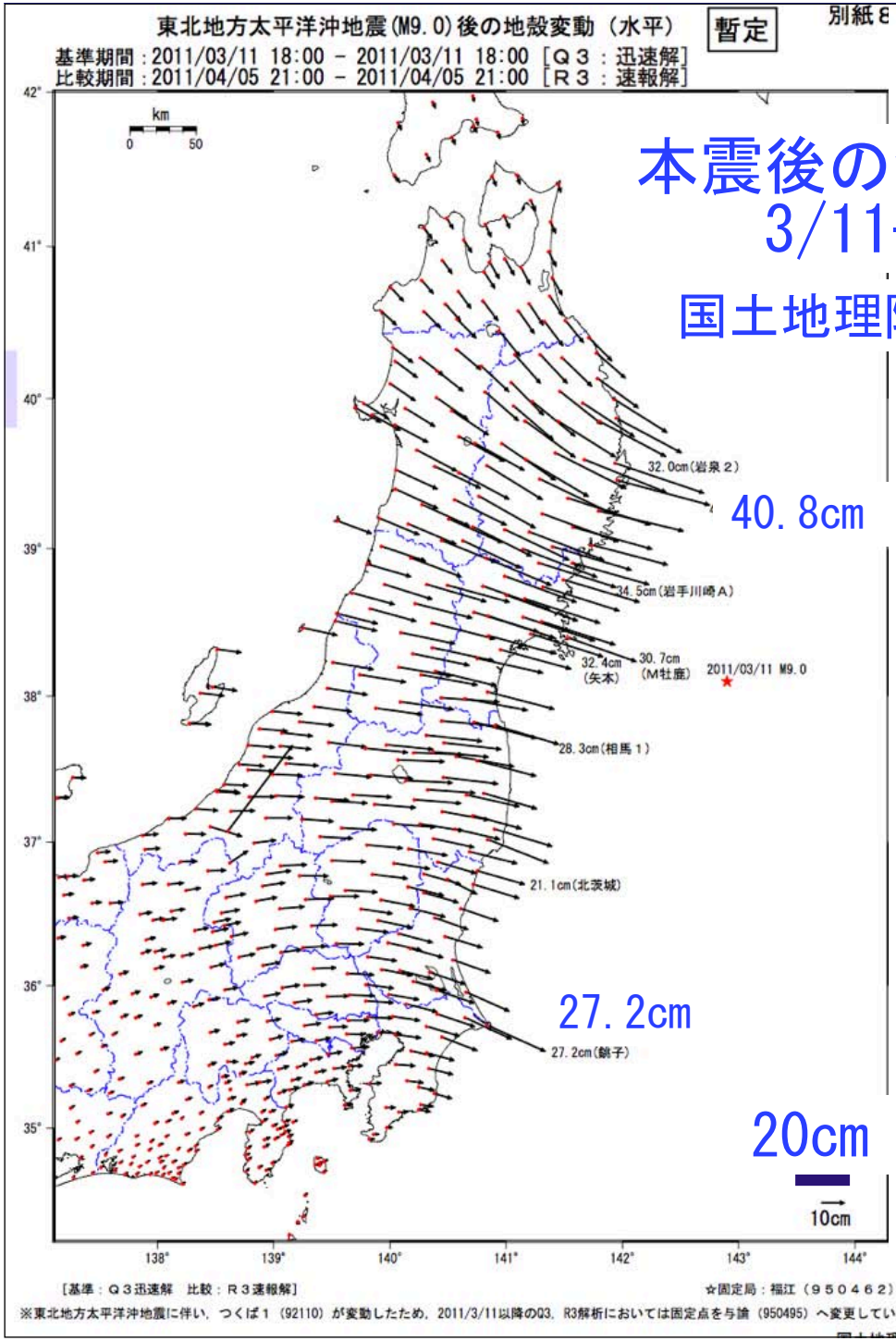
平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震
震源断層モデルの概念図

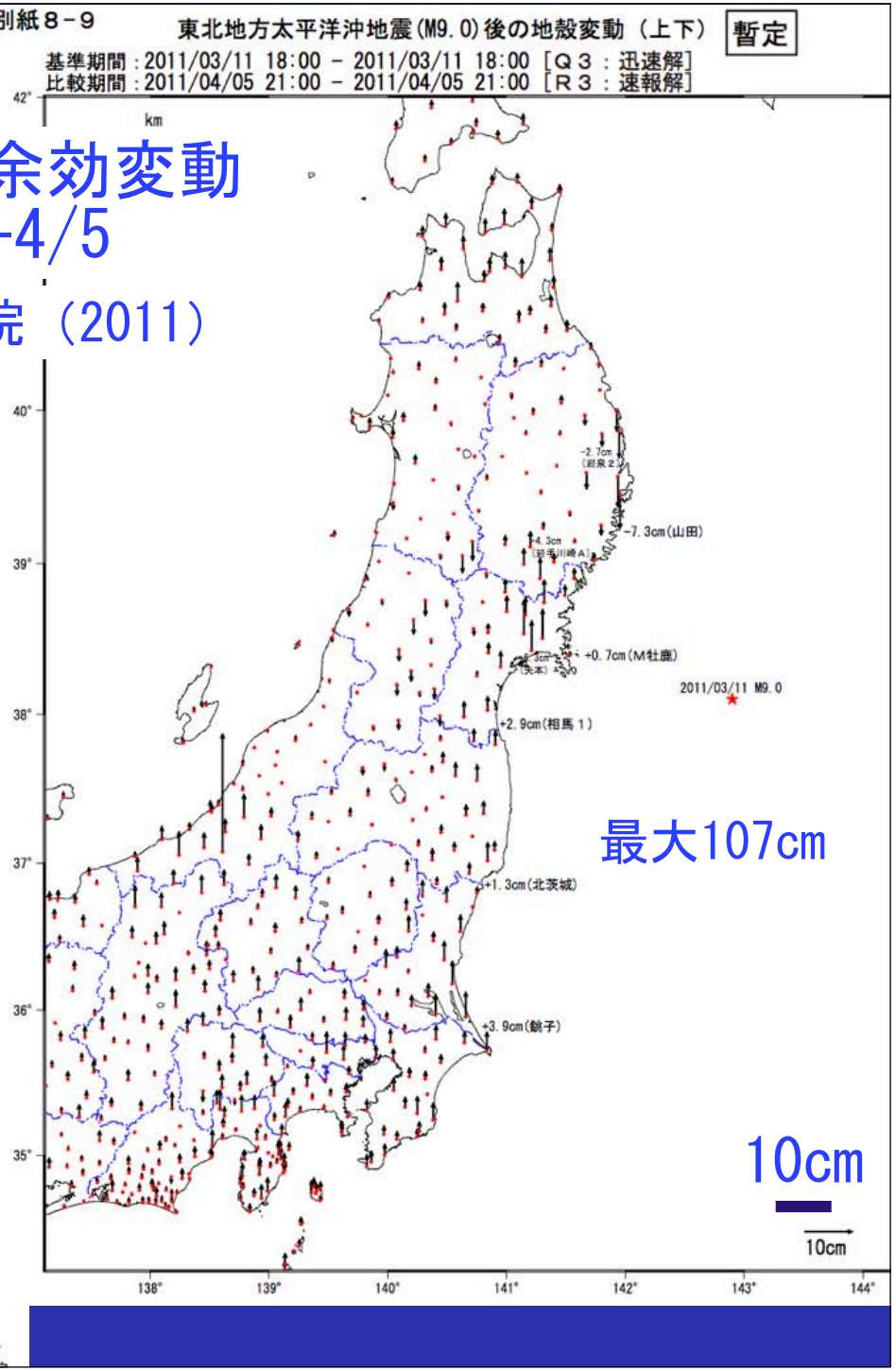




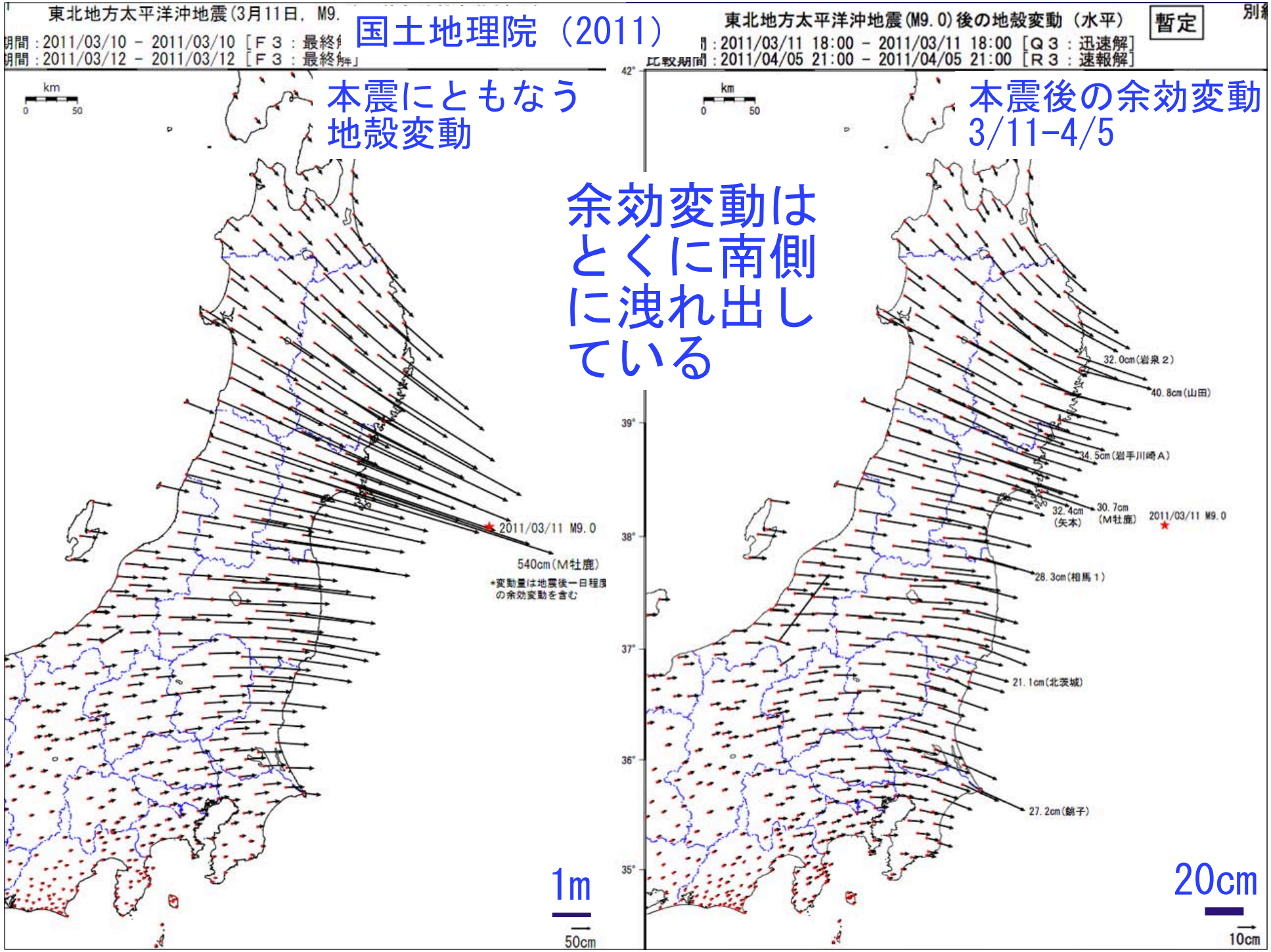
本震後の余効変動
3/11-4/5

国土地理院（2011）

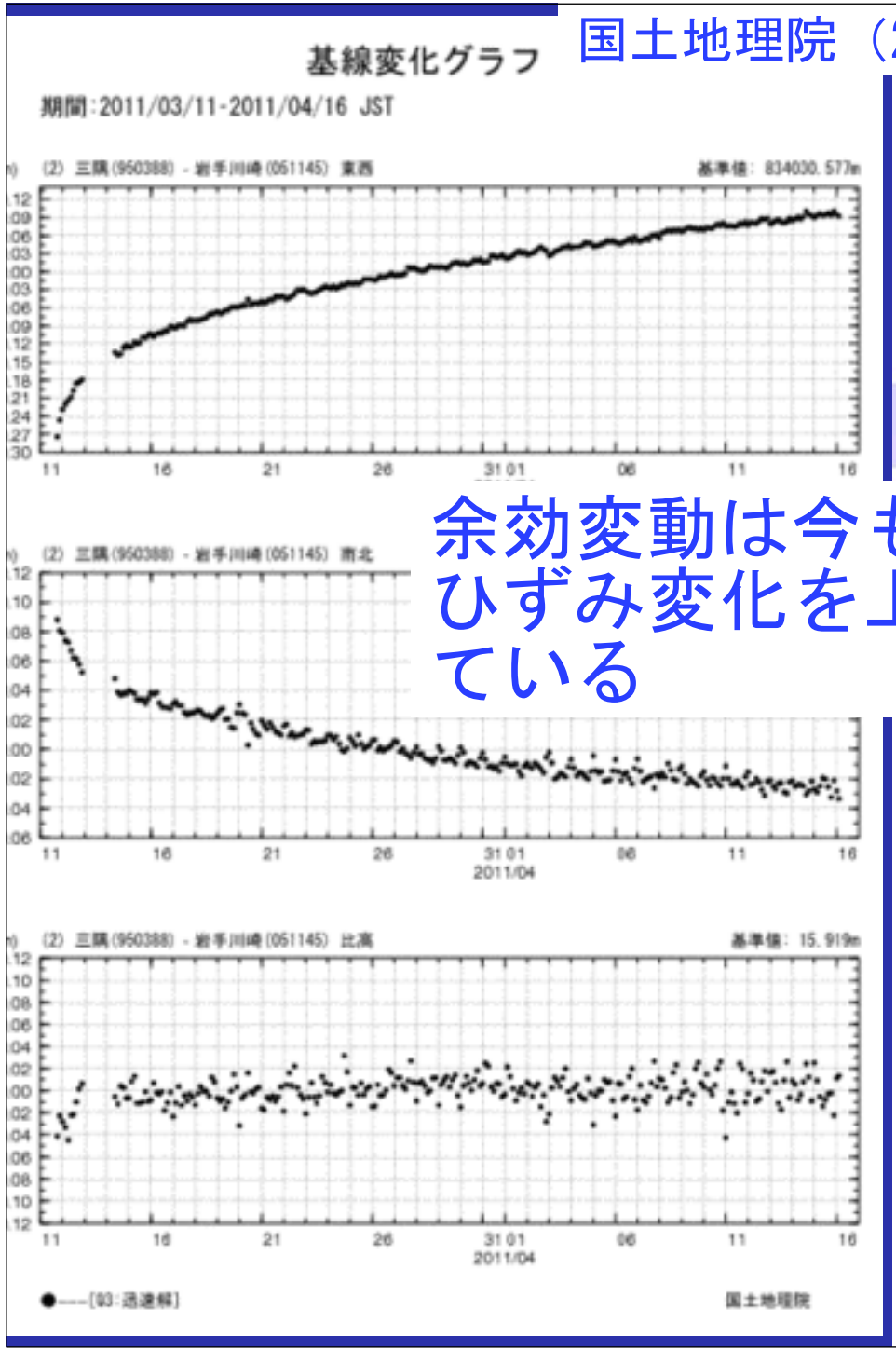


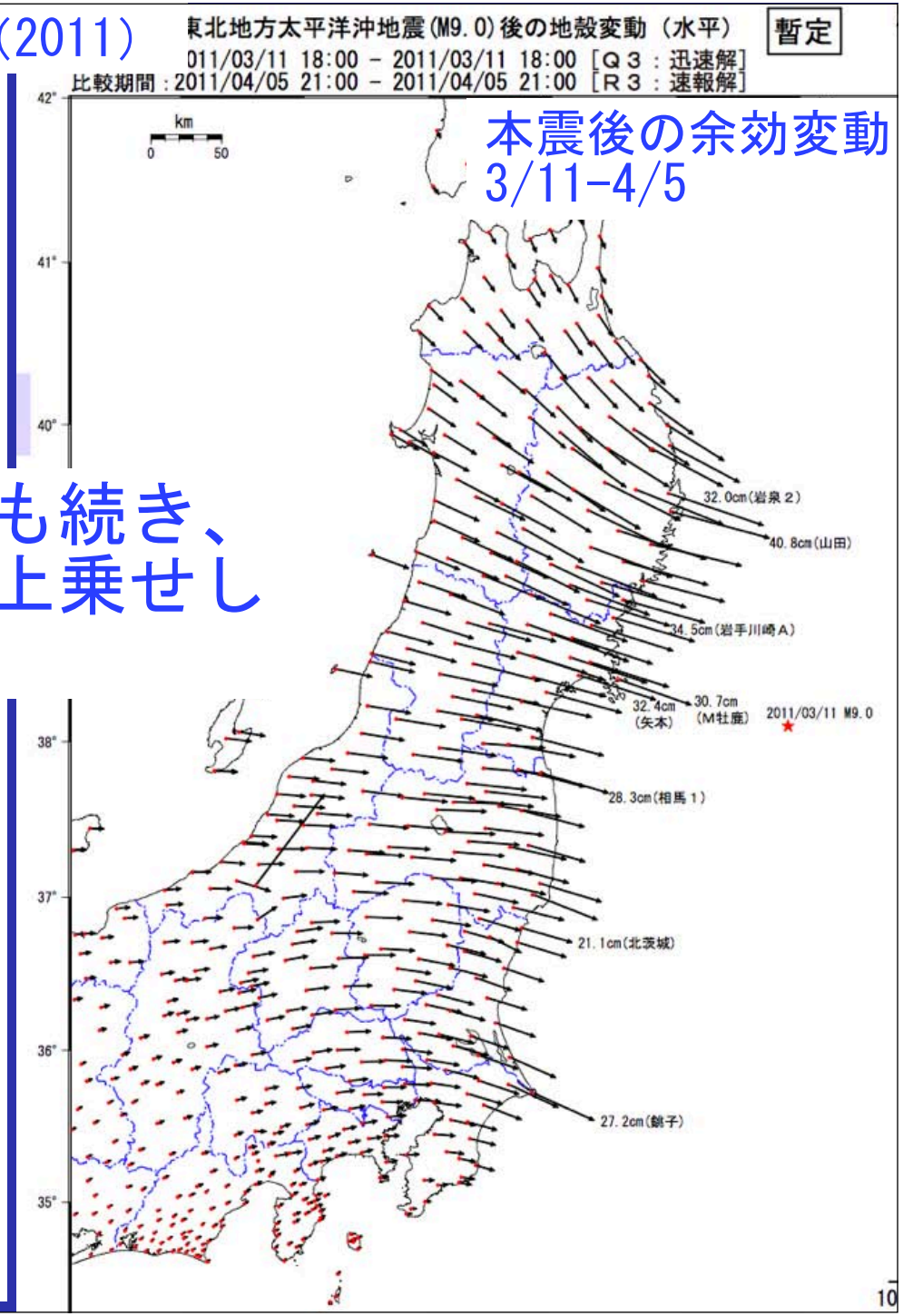


国土地理院（2011）


東北地方太平洋沖地震(3月11日, M9.
期間：2011/03/10 - 2011/03/10 [Ｆ３：最終
期間：2011/03/12 - 2011/03/12 [Ｆ３：最終解]
km
0 50
本震にともなう
地殻変動
2011/03/11 M9.0
540cm(M牡鹿)
*変動量は地震後一日程度
の余効変動を含む
1m
50cm
東北地方太平洋沖地震(M9.0)後の地殻変動（水平）
暫定
期間：2011/03/11 18:00 - 2011/03/11 18:00 [Ｑ３：迅速解]
比較期間：2011/04/05 21:00 - 2011/04/05 21:00 [Ｒ３：速報解]
本震後の余効変動
3/11-4/5
余効変動は
とくに南側
に洩れ出し
ている
42°
39°
38°
37°
36°
35°
32.0cm(岩泉２)
40.8cm(山田)
34.5cm(岩手川崎Ａ)
32.4cm
(矢本)
30.7cm
(M牡鹿)
2011/03/11 M9.0
28.3cm(相馬１)
21.1cm(北茨城)
27.2cm(銚子)
20cm
10cm

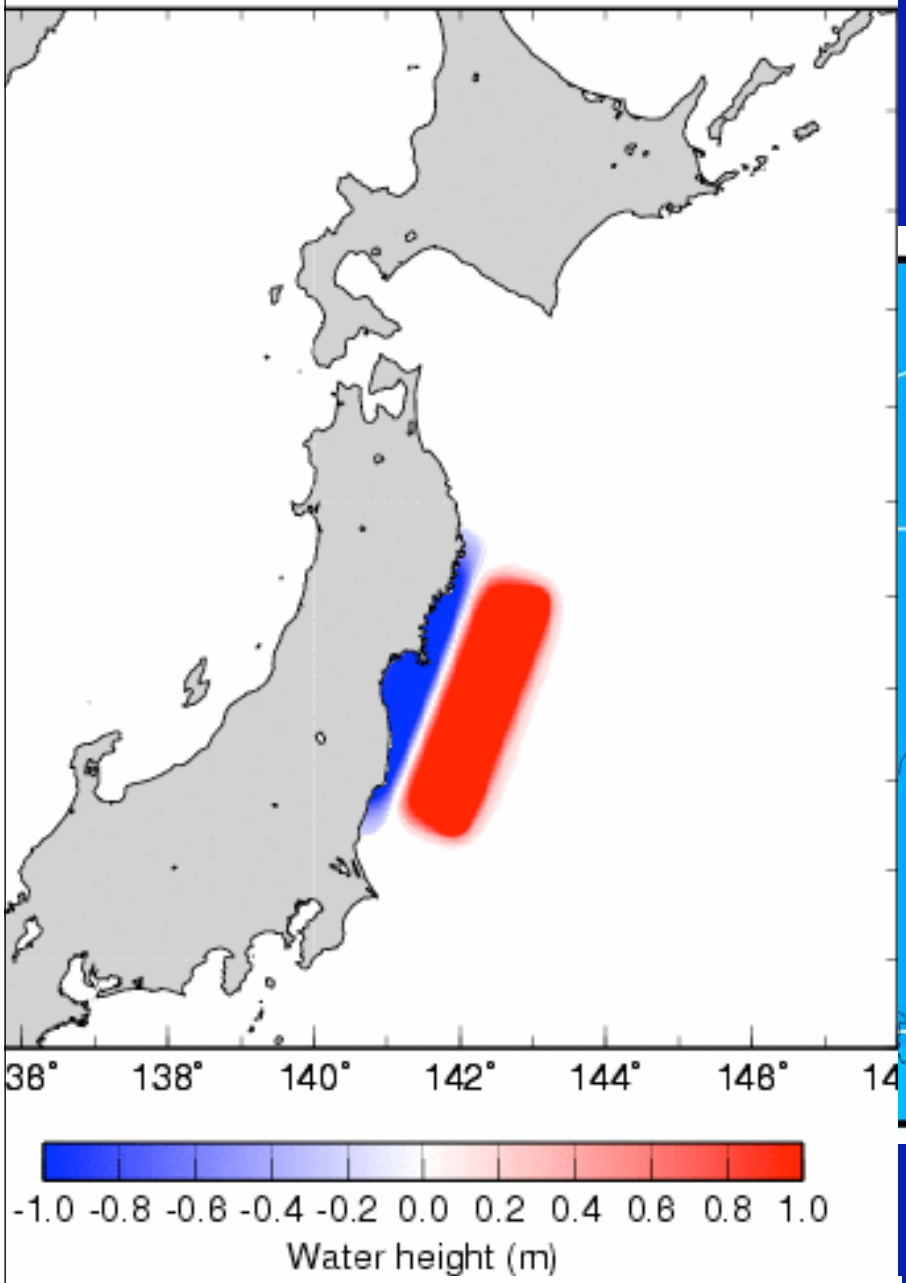
国土地理院（2011）





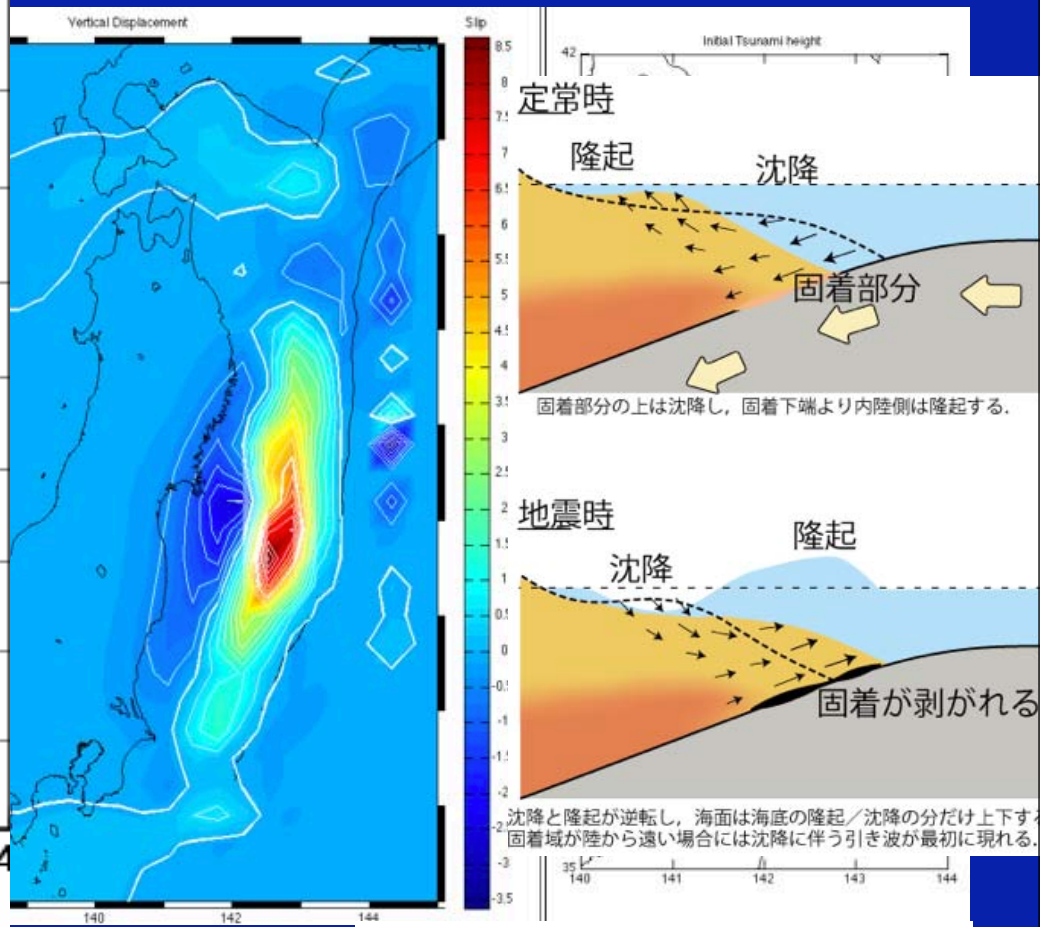
余効変動は今も続き、
ひずみ変化を上乗せしている

今回の津波伝播の様子（アニメーション）



東大地震研（2011）

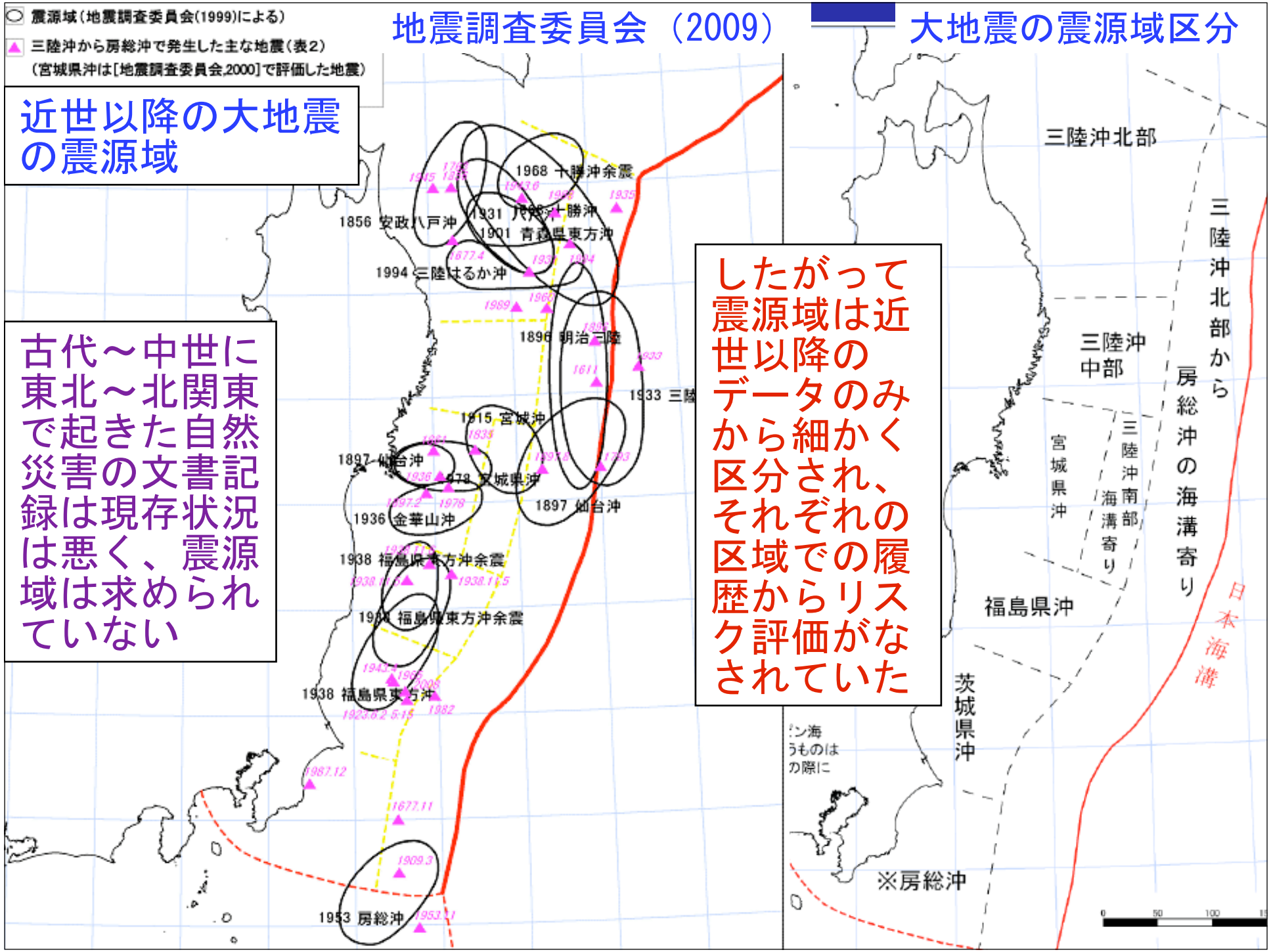
津波の波源域の上下変動と海面変動



静岡大学理学部（2011）

２．これは、予測されていたことなのか？
本当に「想定外」現象なのか？

地震調査委員会（2009）　大地震の震源域区分

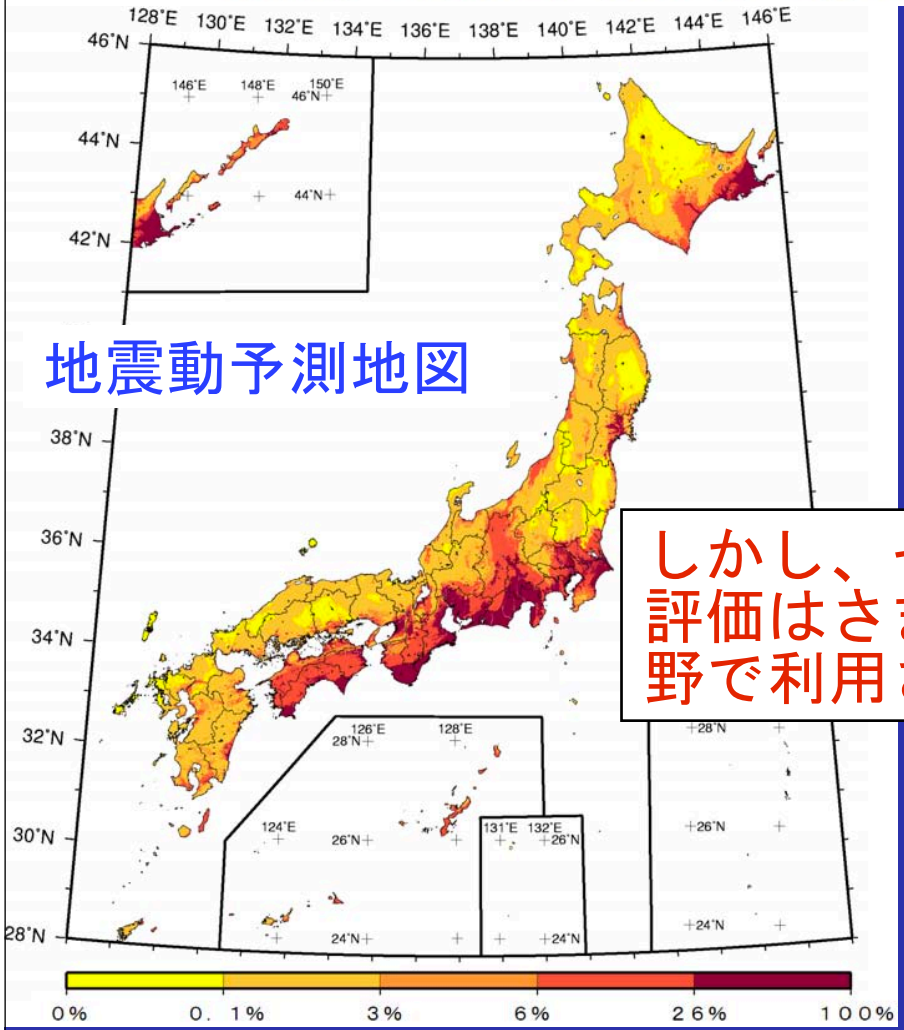


近世以降の大地震の震源域

古代～中世に東北～北関東で起きた自然災害の文書記録は現存状況は悪く、震源域は求められていない

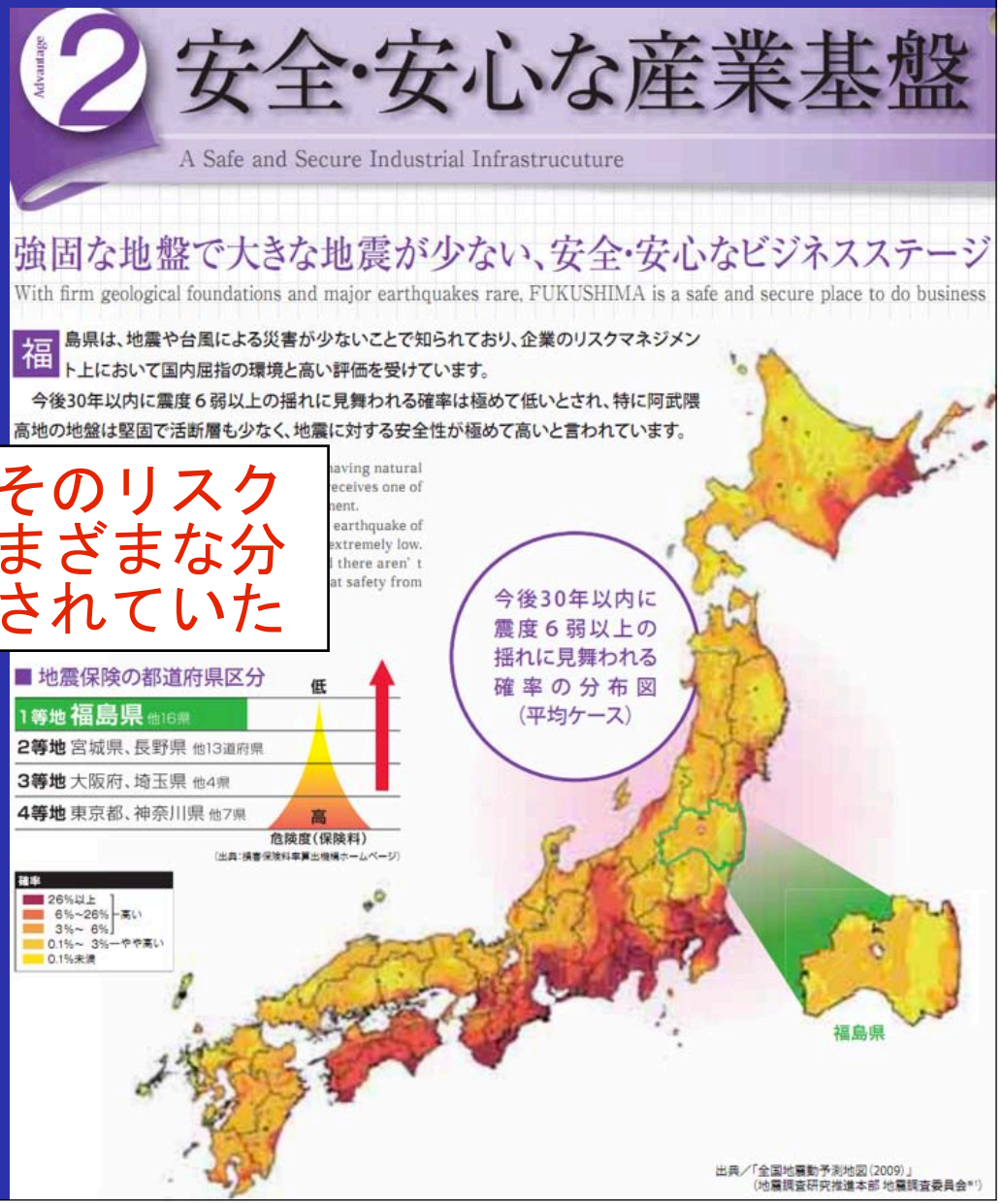
したがって震源域は近世以降のデータのみから細かく区分され、それぞれの区域での履歴からリスク評価がなされていた

今後30年以内に震度６弱以上の揺れに見舞われる確率（平均ケース）
（基準日：平成22年（2010年）１月１日）



地震調査委員会（2010）

福島県企業立地ガイド
（福島県、2010）



しかし、そのリスク評価はさまざまな分野で利用されていた

今後30年以内に震度６弱以上の揺れに見舞われる確率（平均ケース）

地震調査委員会と地震調査研究推進本部（国としての唯一の全国の地震評価機関）には、（1）三陸～房総沖の長期評価を誤った点、（2）今後どのような大規模余震を警戒すべきか、の２点について組織としての説明責任がある。

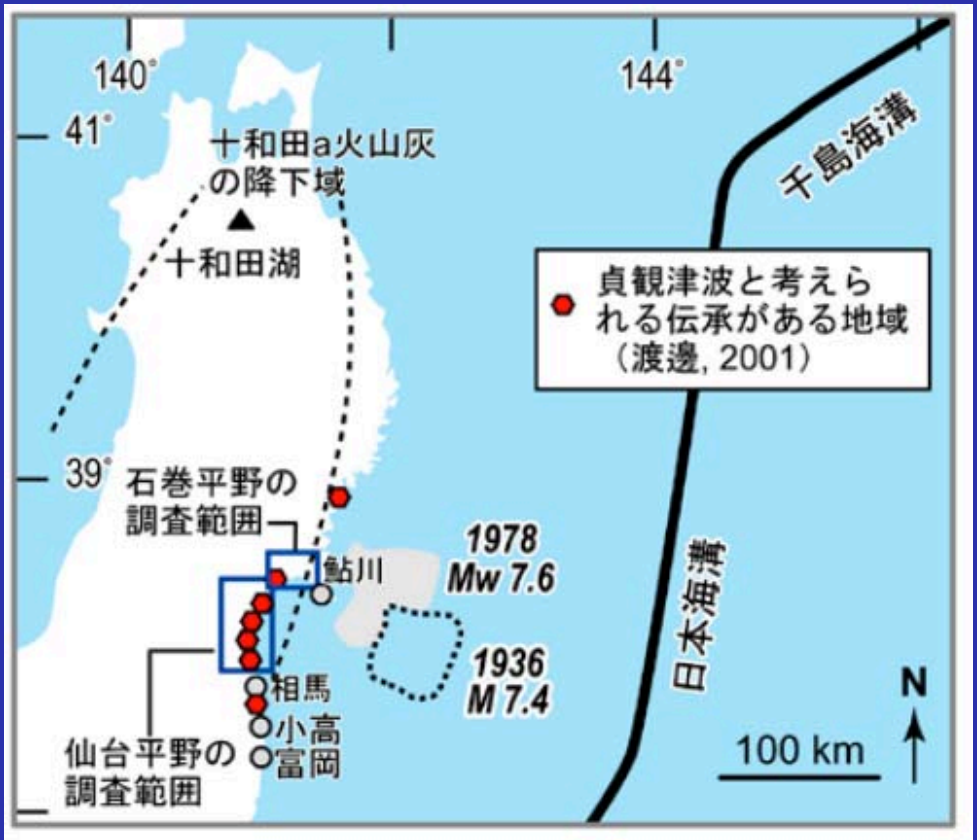
→しかし、震災以後の活動は観測事実をまとめて追認しているだけに過ぎず、その姿勢には大きな疑問を感じる。上記の説明は委員長会見や委員個人の断片的な情報発信にとどまっており、組織としての公式文書による詳しい説明がない

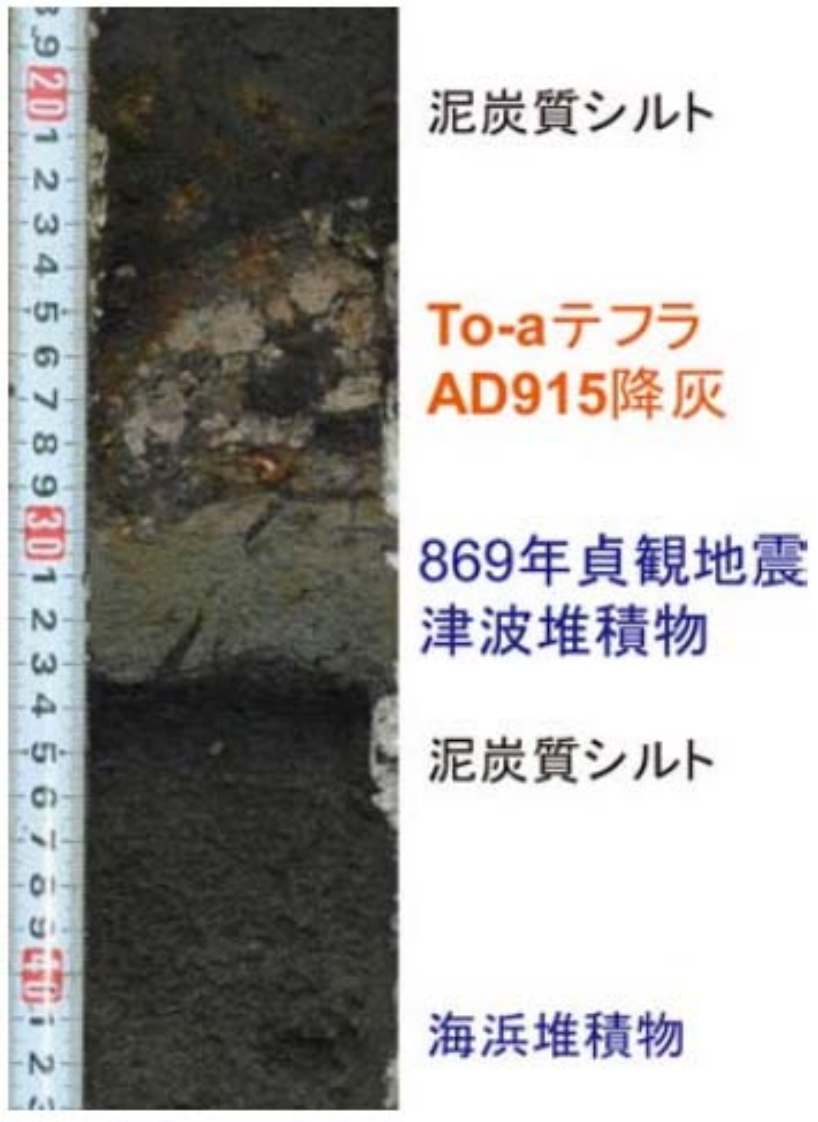
検索
文字サイズ | 大 | 中 | 小 | English サイトマップ
出典／「全国地震動予測地図（2009）」（地震調査研究推進本部 地震調査委員会*1）

しかし、一方では中世以前の大津波に関する物的証拠が次々と得られつつあった

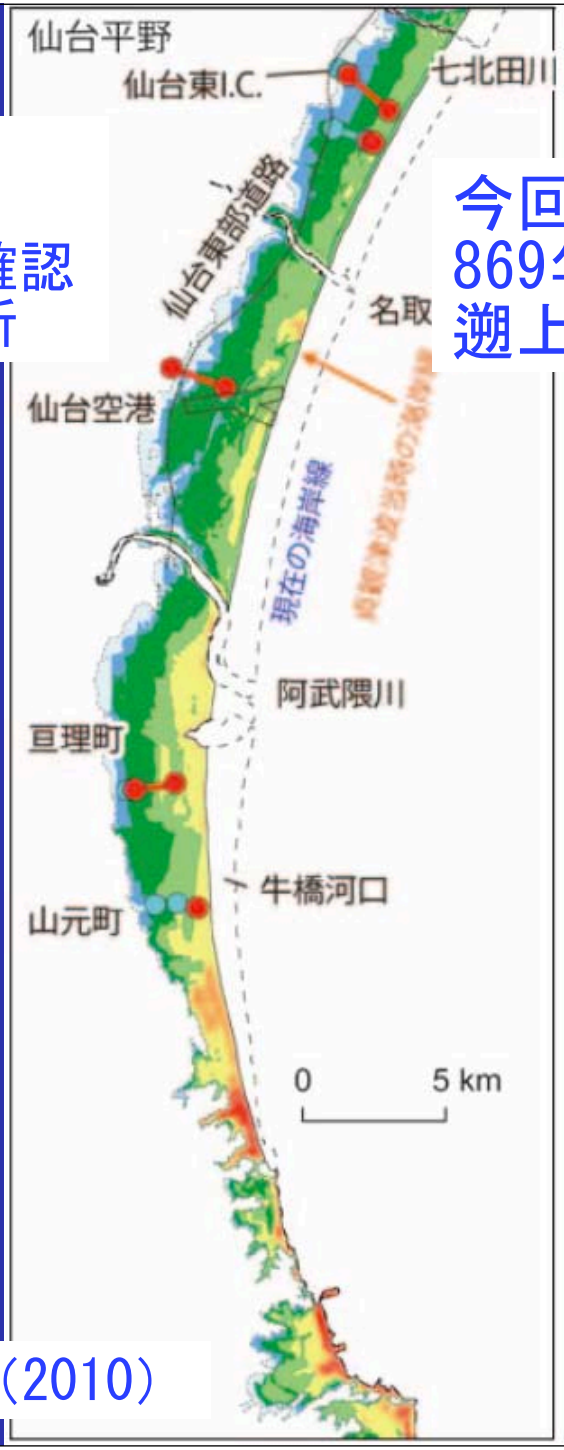
仙台平野–福島県北部で見つかった869年の大津波の物的証拠

宍倉ほか（2010）

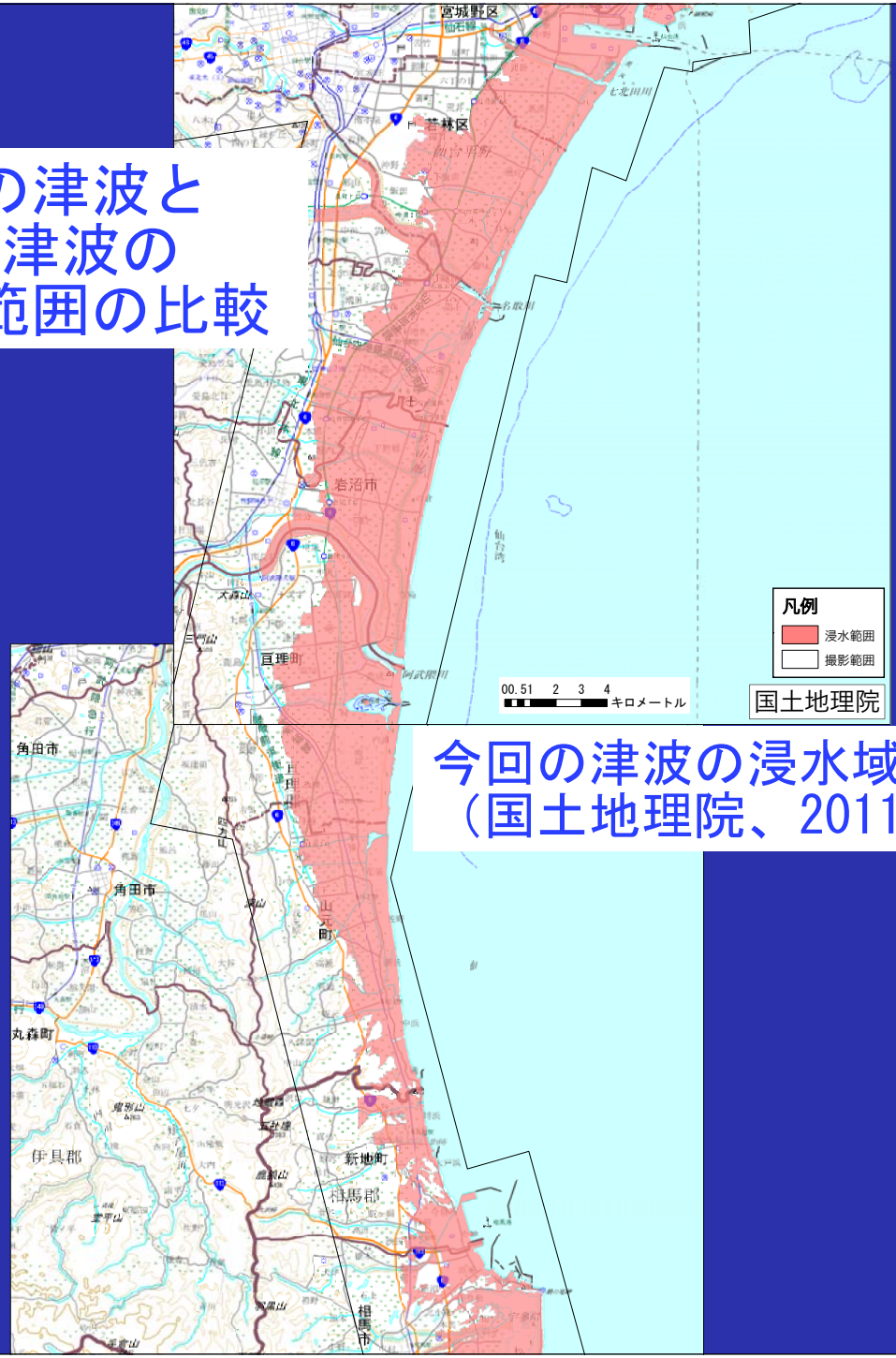




●：
869年津波
堆積物が確認
された場所

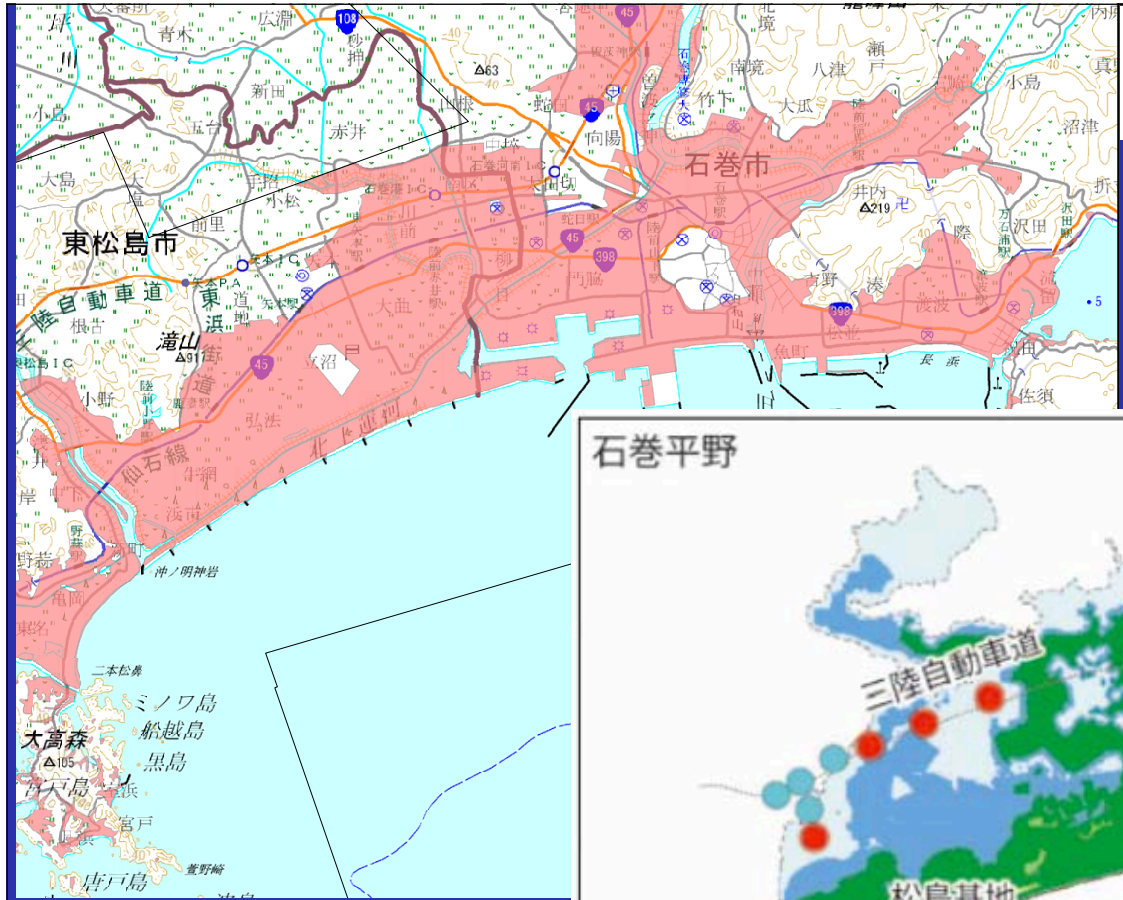


今回の津波と
869年津波の
遡上範囲の比較



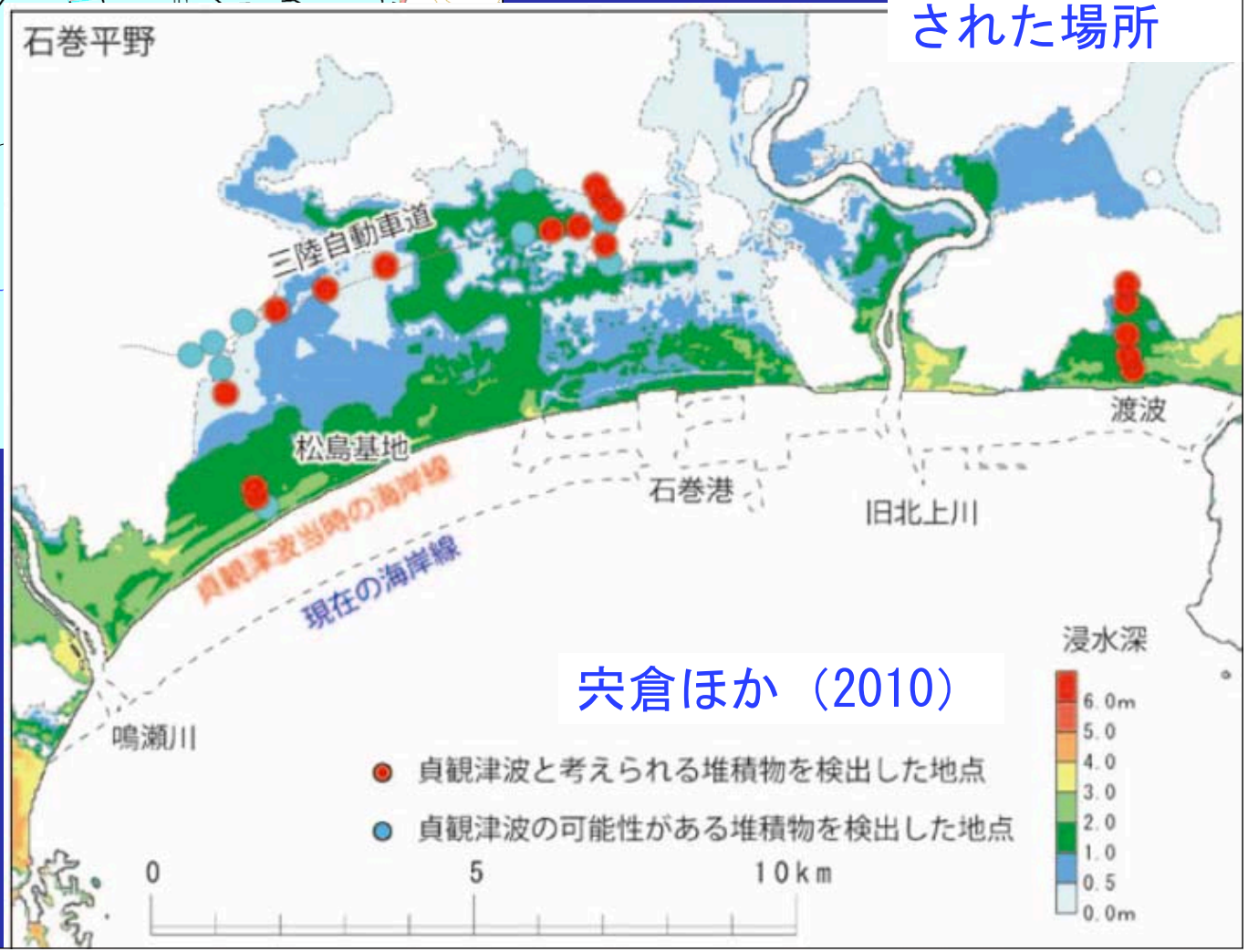
今回の津波の浸水域
（国土地理院、2011）

宍倉ほか（2010）



今回の津波の浸水域
（国土地理院、2011）

●：
869年津波
堆積物が確認
された場所

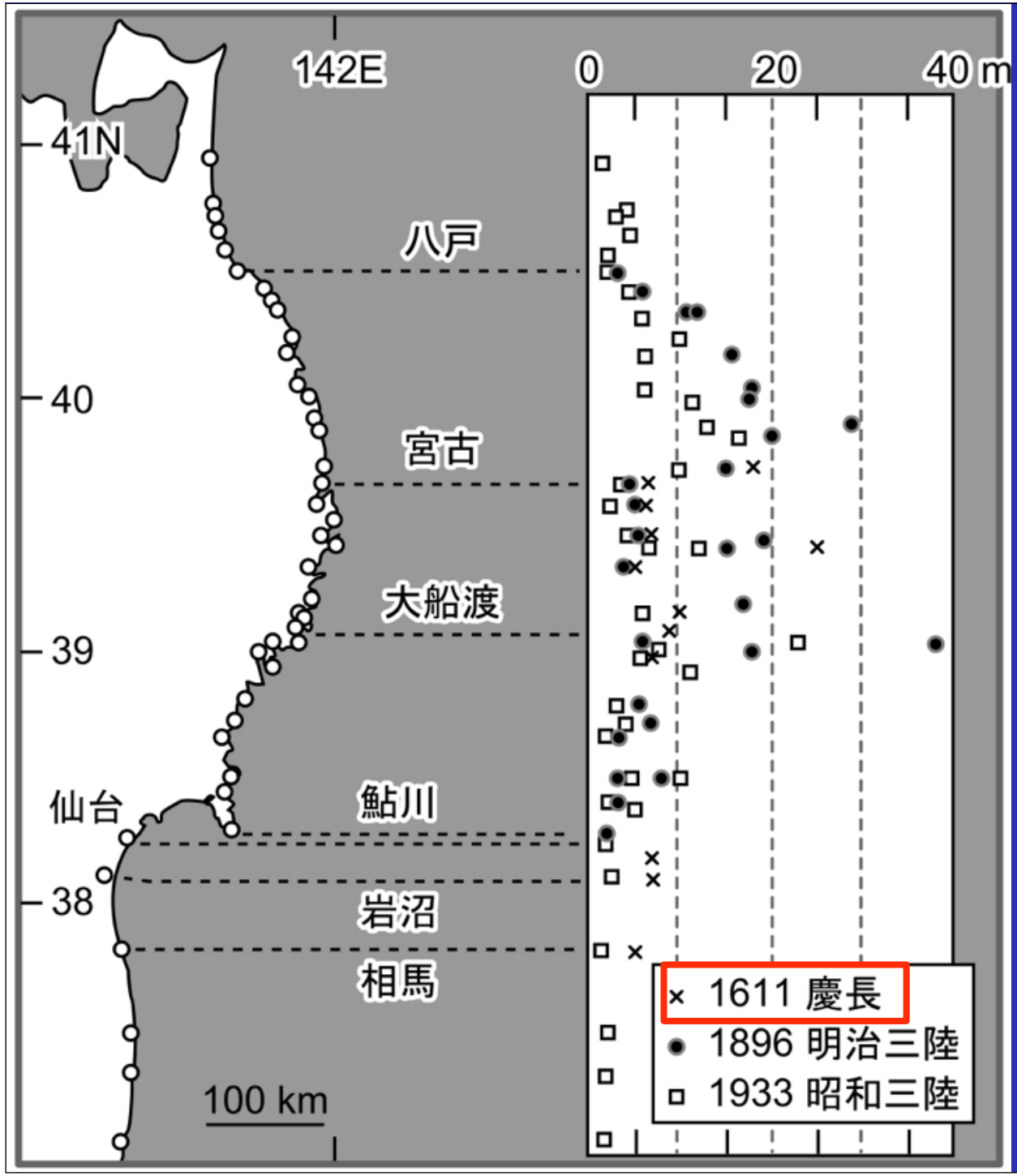


今回の津波と
869年津波の
遡上範囲の比較

宍倉ほか（2010）

869年津波の波源モデル

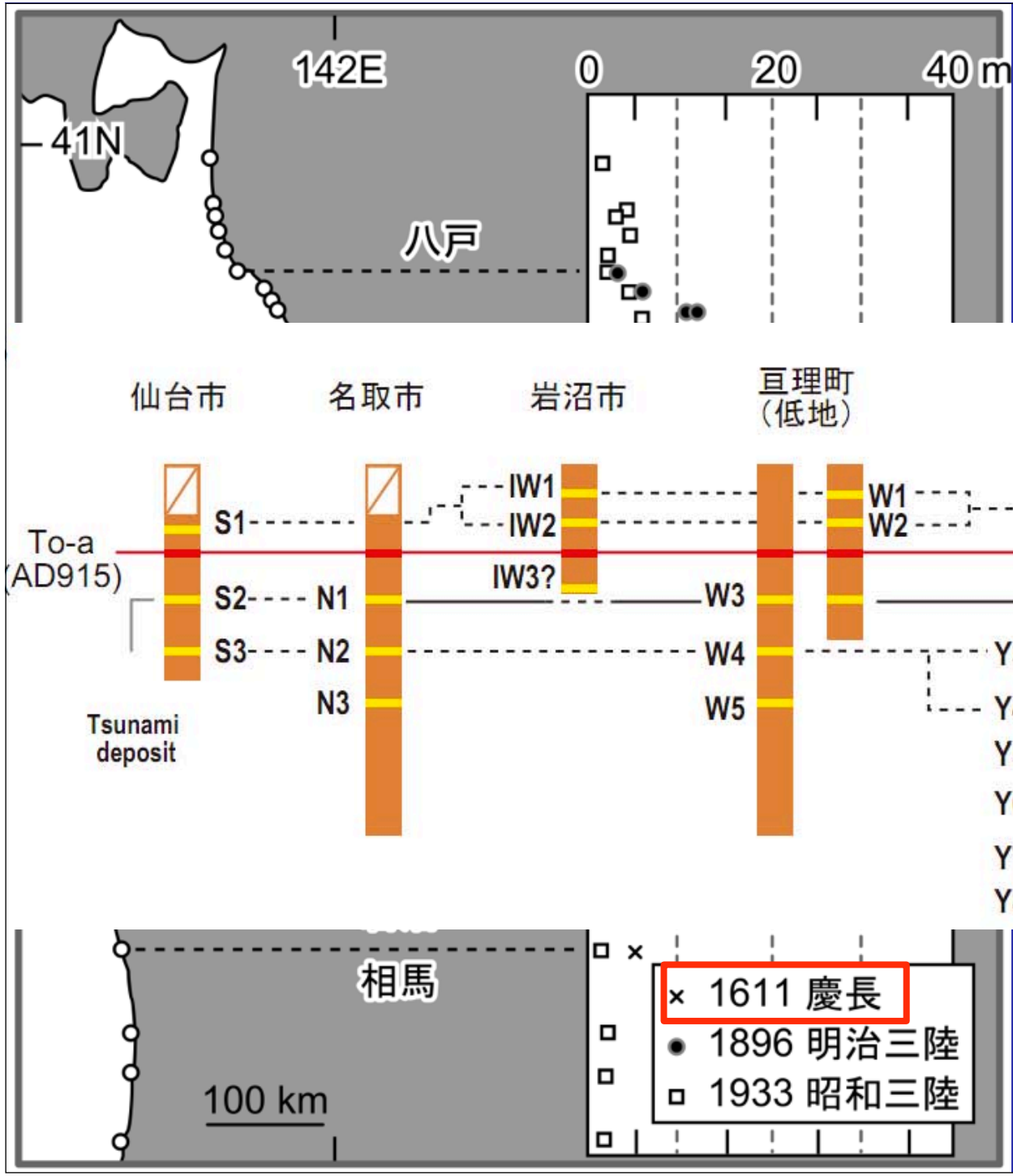
宍倉ほか（2010）



さらに1611年にも
同規模？の津波が

つまり、今回の津波
は450～800年に１度

羽鳥（1995）
澤井ほか（2006）

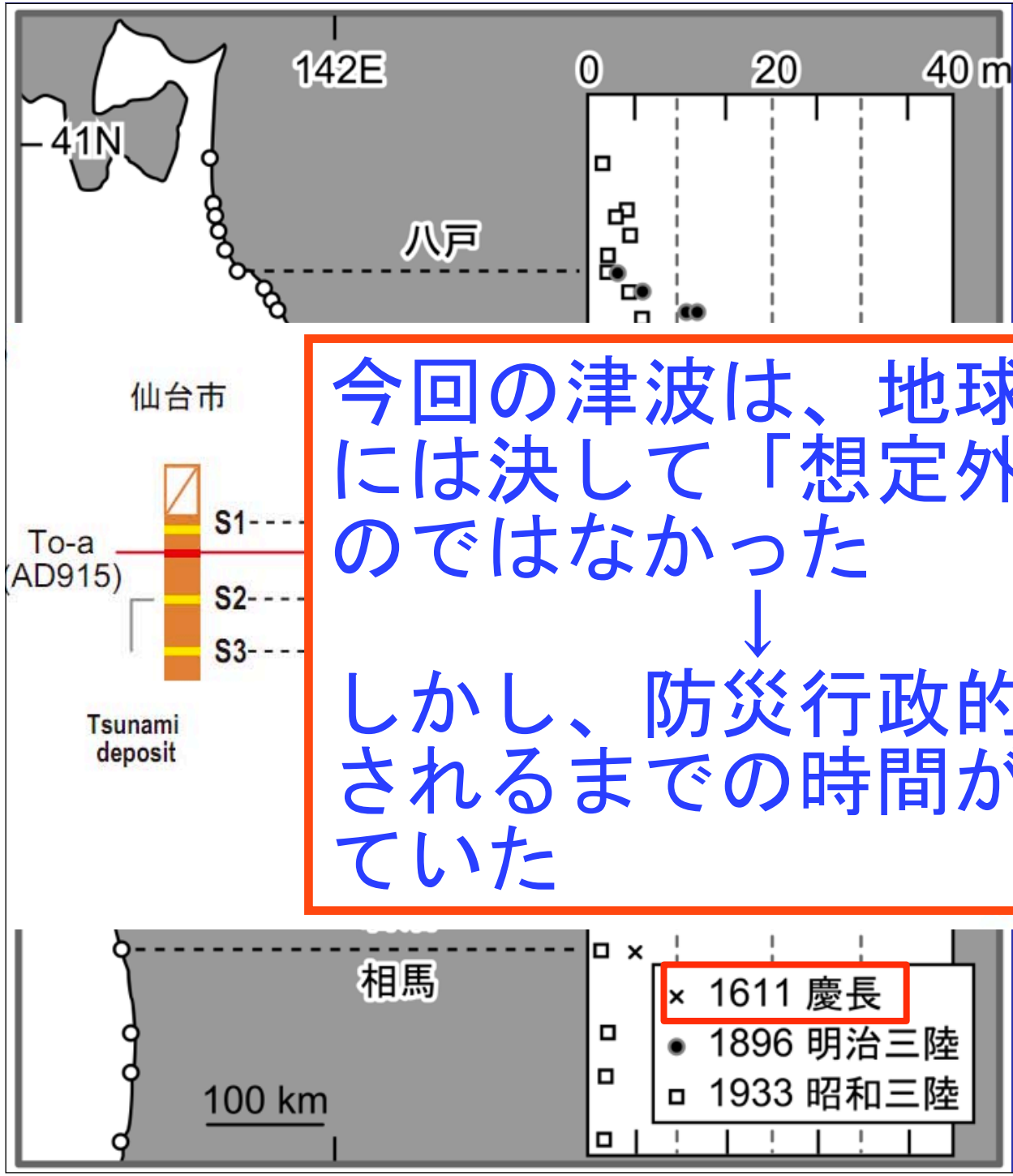


さらに1611年にも
同規模？の津波が

つまり、今回の津波
は450～800年に１度

澤井ほか（2007）

羽鳥（1995）
澤井ほか（2006）



さらに1611年にも
同規模？の津波が

つまり、今回の津波
は450～800年に１度

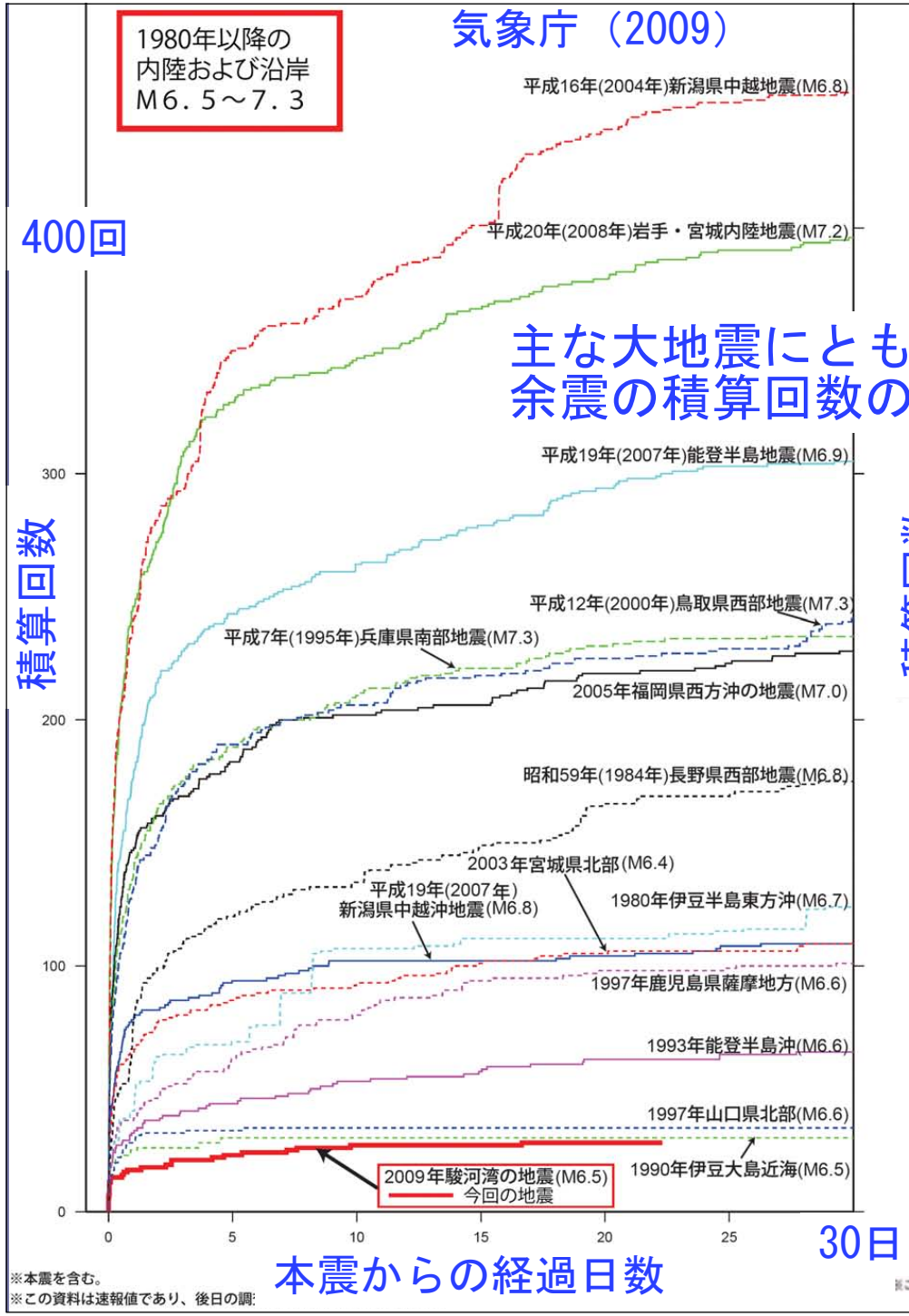
今回の津波は、地球科学的
には決して「想定外」のも
のではなかった
↓
しかし、防災行政的に想定
されるまでの時間が不足し
ていた

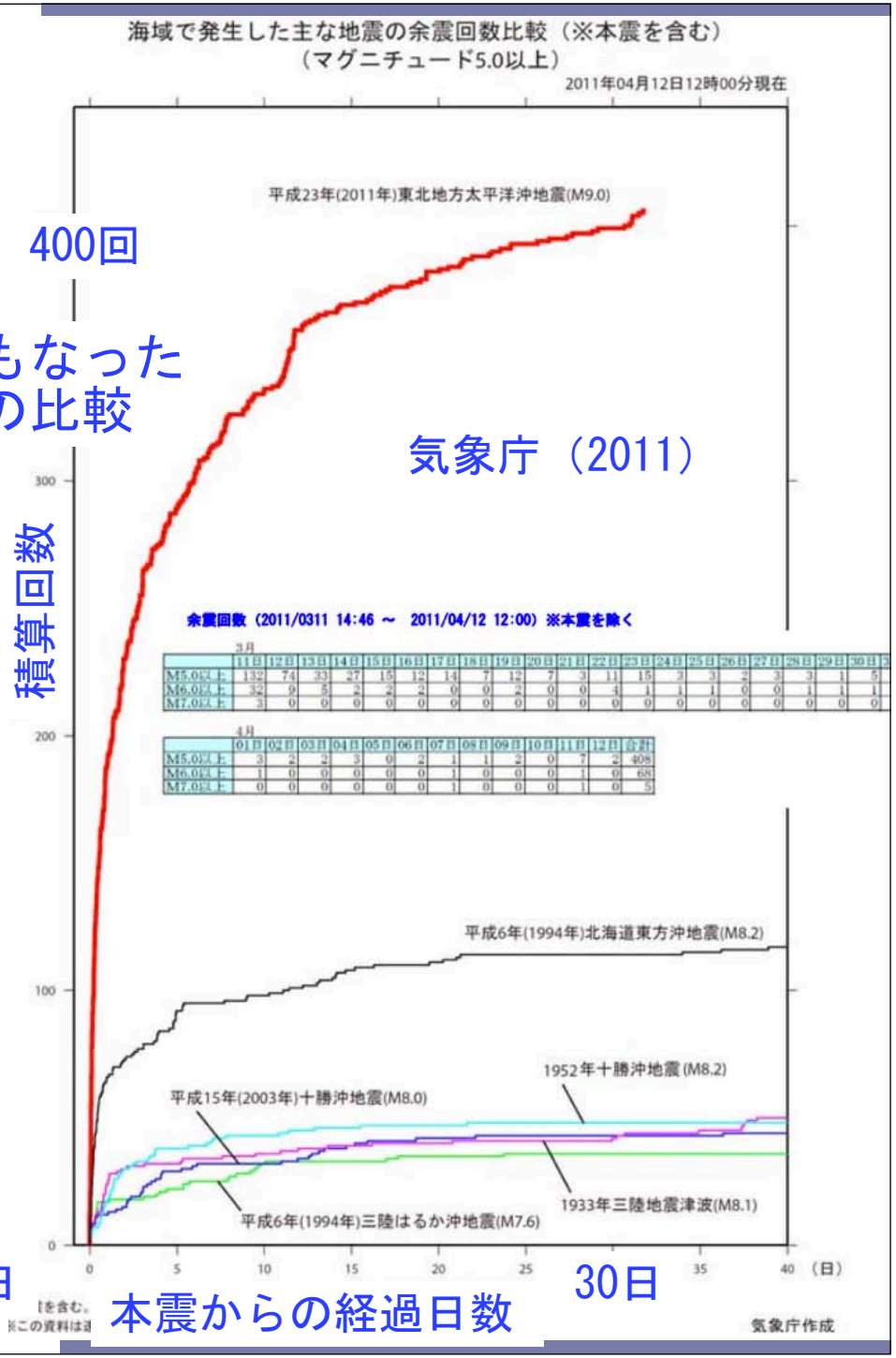
か（2007）

羽鳥（1995）
澤井ほか（2006）

３．いま何が起きつつあるのか？
これから何が起きるのか？
（１）誘発される地震

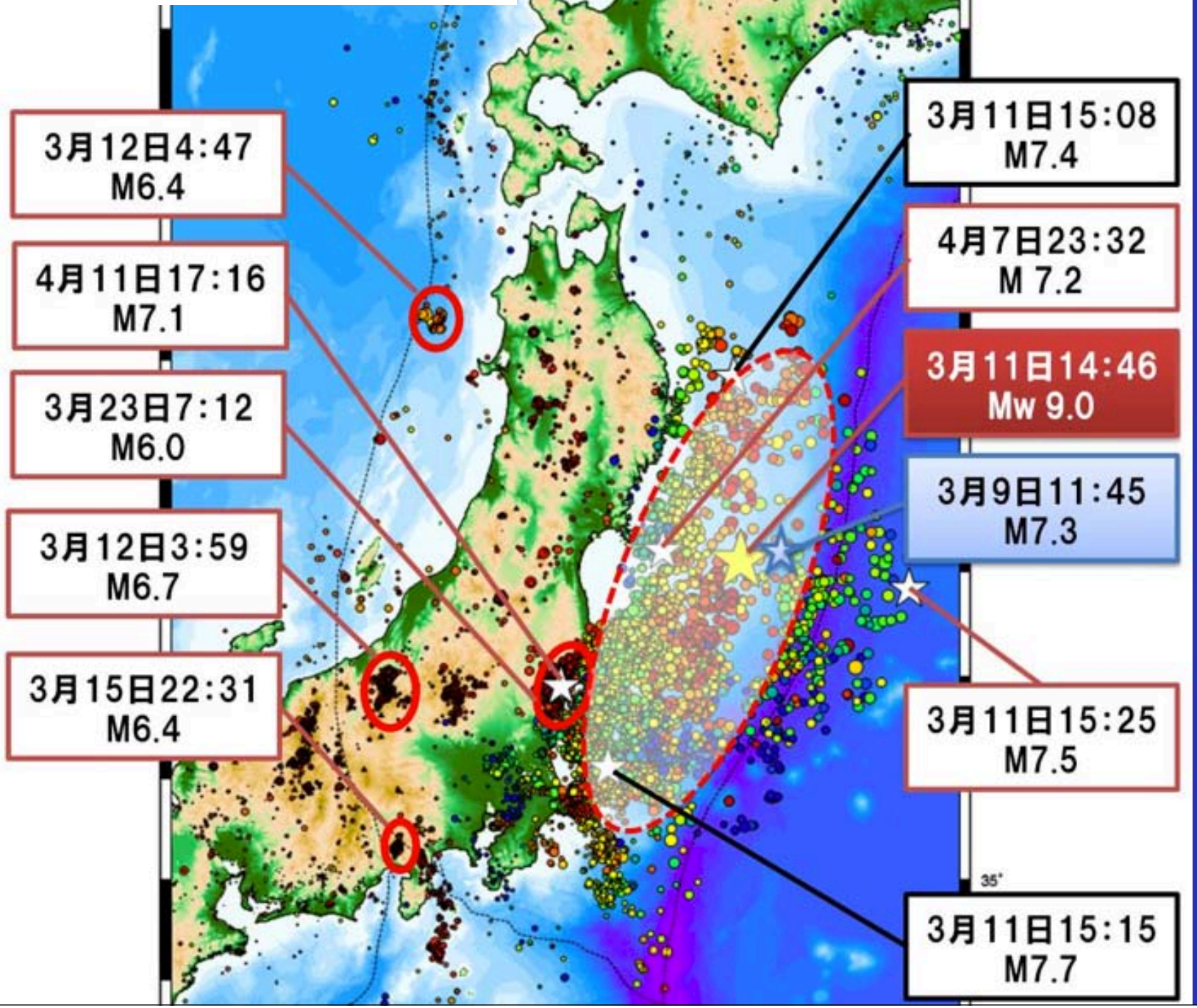
主な大地震にともなった余震の積算回数の比較





主な誘発地震（広義の余震）

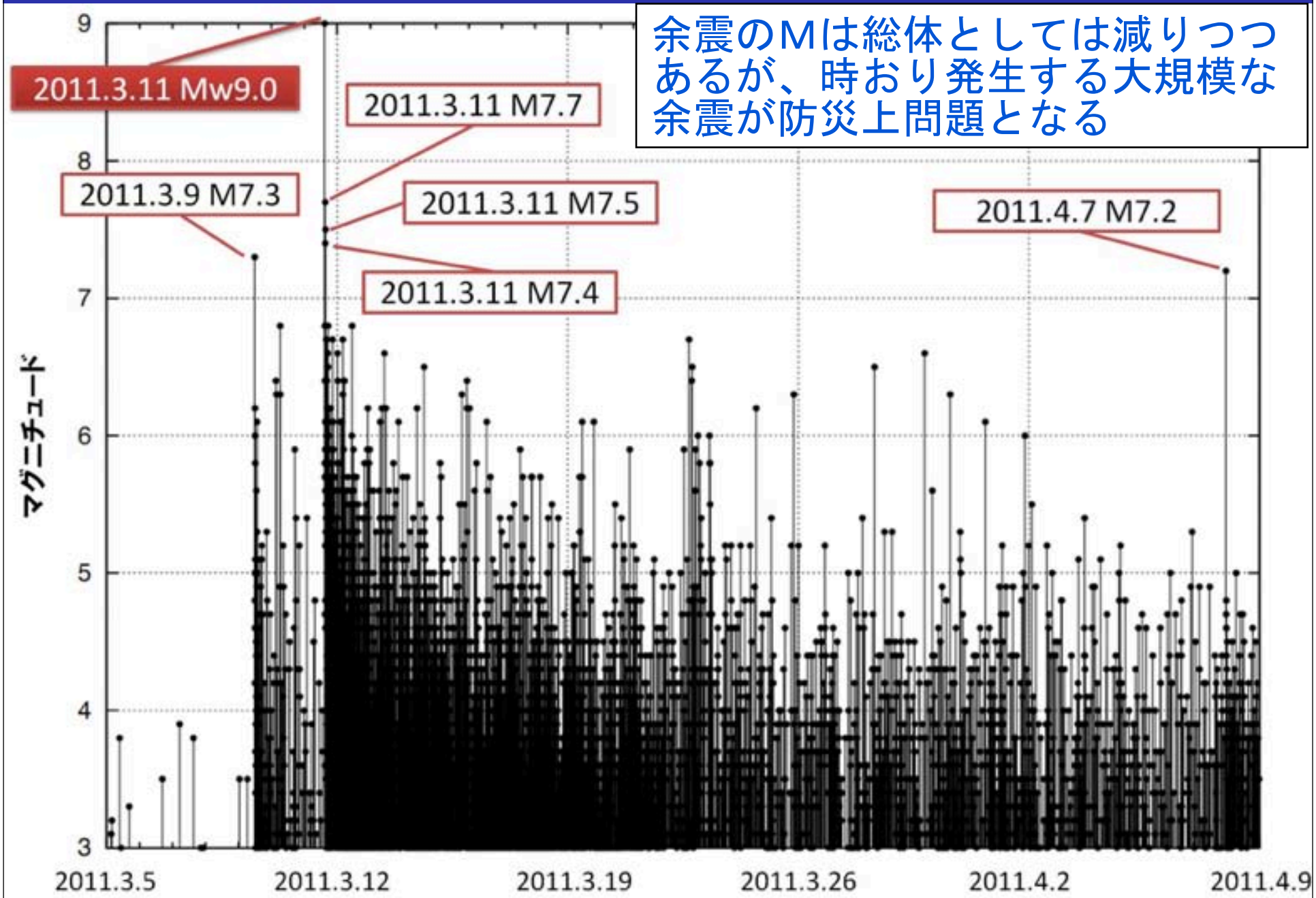
東大地震研（2011）



余震の時間経過

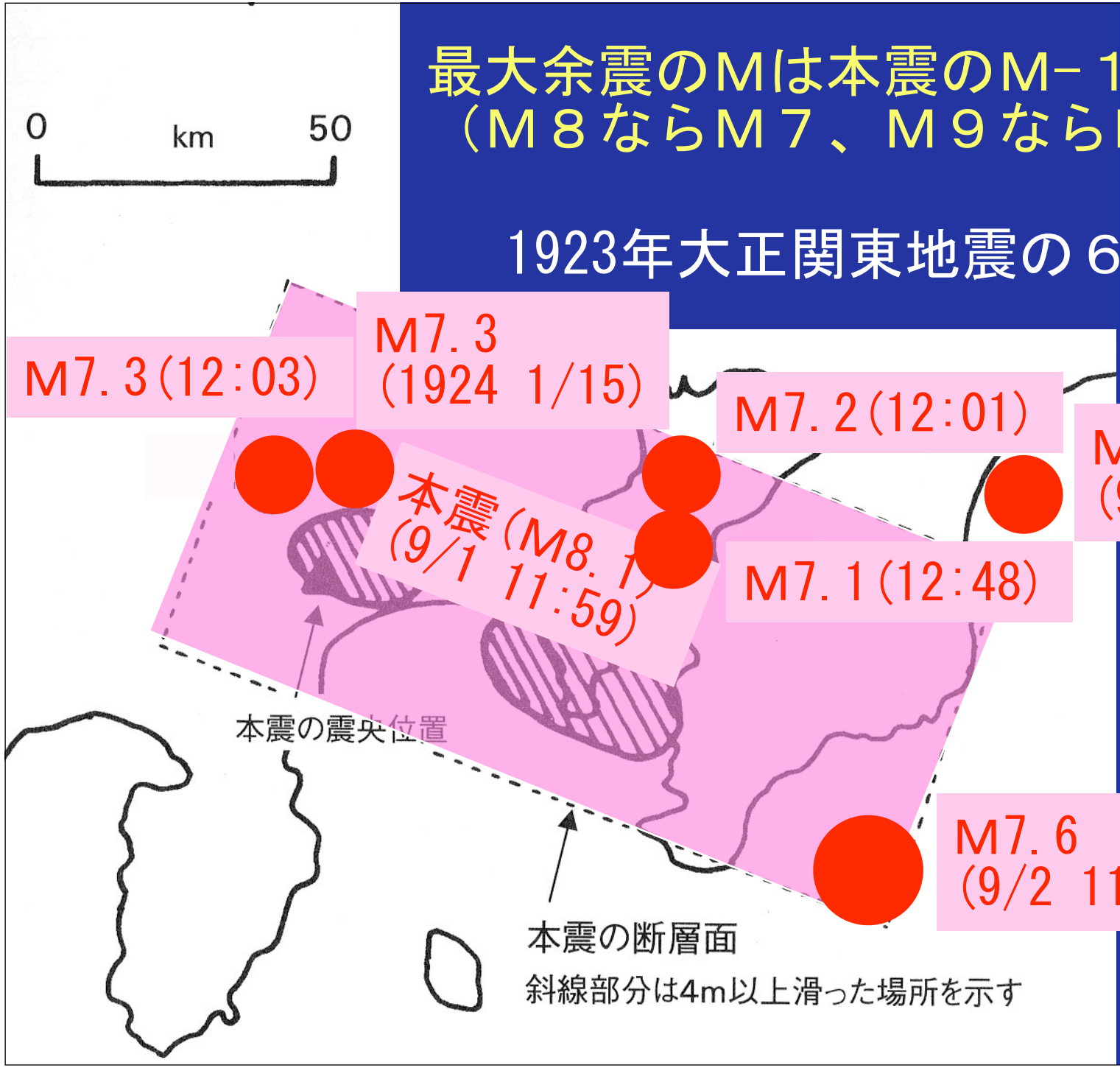
東大地震研（2011）

余震のMは総体としては減りつつあるが、時おり発生する大規模な余震が防災上問題となる



最大余震のMは本震のM−１（経験則）（Ｍ８ならＭ７、Ｍ９ならＭ８）

1923年大正関東地震の６大余震



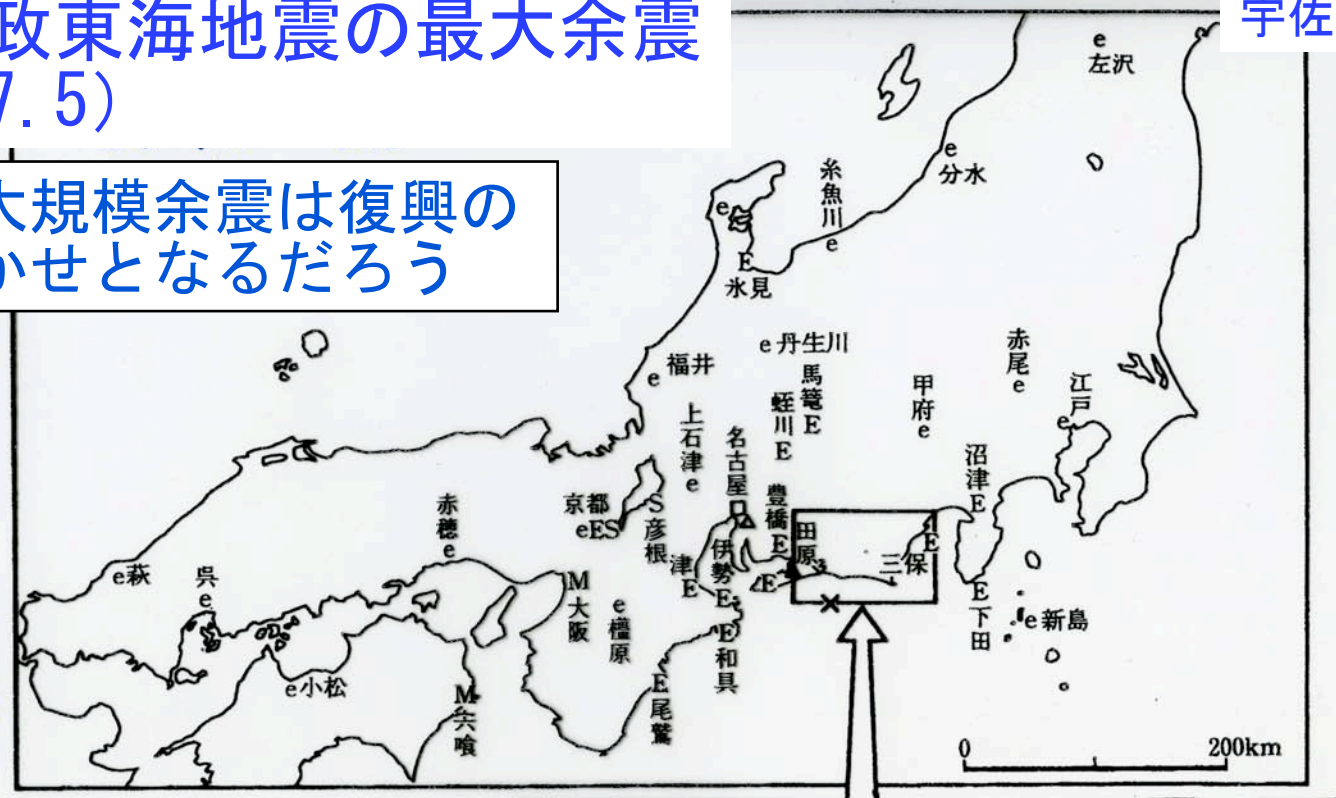
武村(2003)

1854年安政東海地震の最大余震（M7.0～7.5）

宇佐美（1996）

こうした大規模余震は復興の大きな足かせとなるだろう

宇佐美（1996）



261–3* 1855 XI 7（安政 2 IX 28）酉刻 遠州灘 λ＝137.75°E φ＝34.5°N（C） M＝7.0～7.5 前年の東海沖地震の最大余震．遠州灘沿岸に高潮あり．舞阪～相良の沿岸地域に被害あり．浜松で町方全潰 7，本堂庫裡潰 6 ヵ寺，山門潰 2 ヵ寺．土蔵大破多く，長屋潰れ多し．死 2．掛塚，下前野，袋井・掛川辺がひどくほとんど全滅．米津村で全潰 27 ともいう．有感地域は山形～山口県に及ぶ．

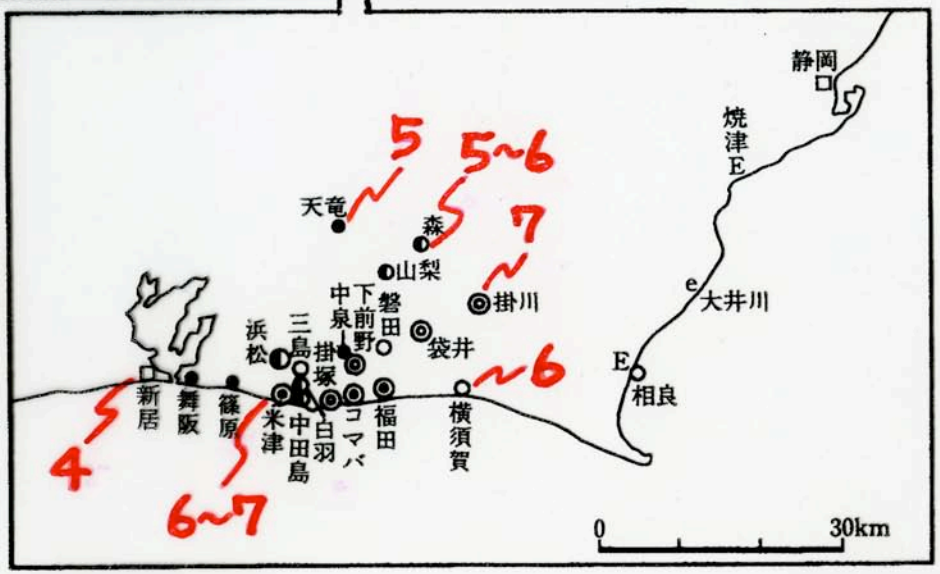
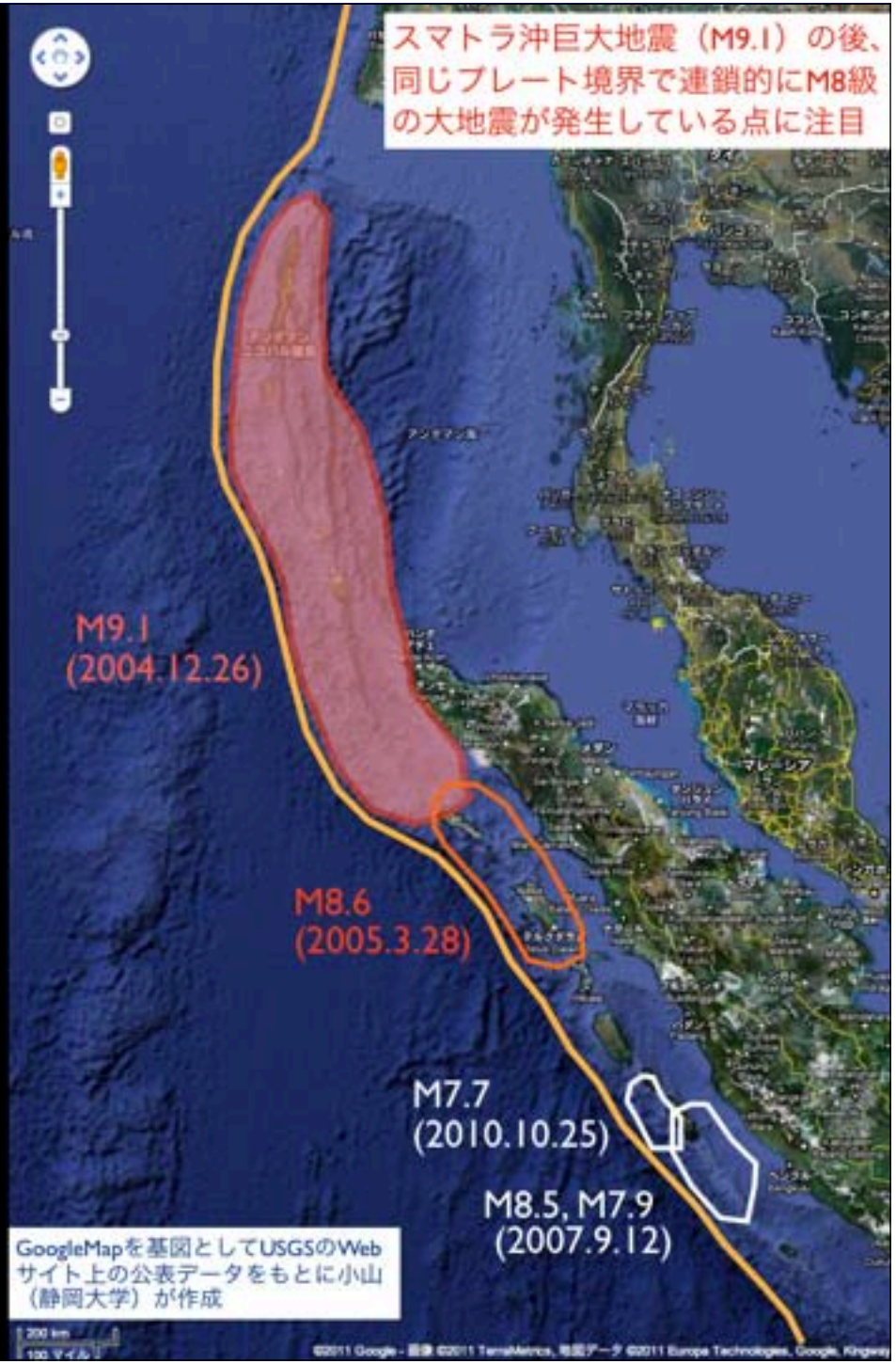


図 261–3–1 震度分布

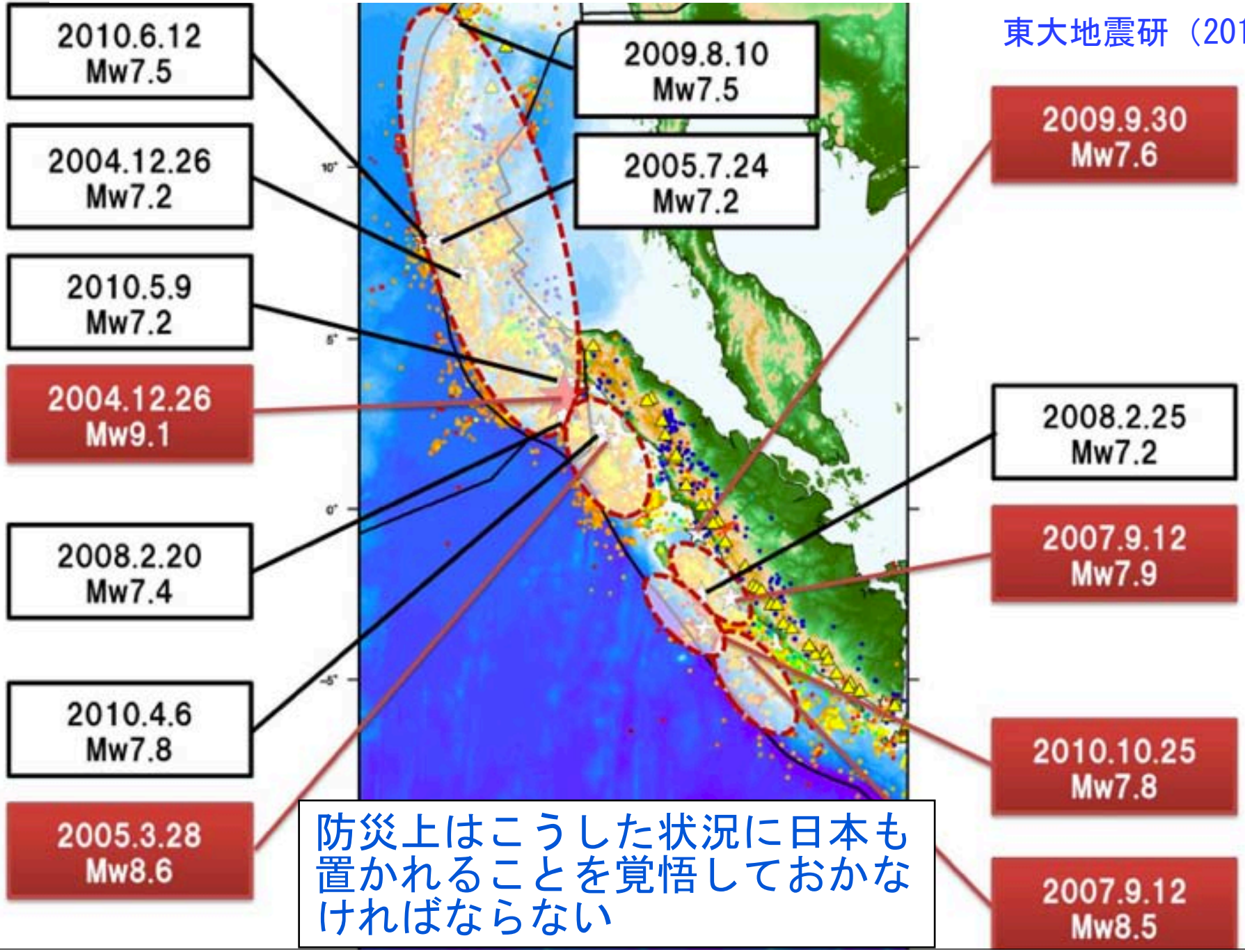


2004年スマトラ沖地震と今回の地震の比較

小山（2011）

2004年スマトラ沖地震の後、インドネシアで何が起きたか

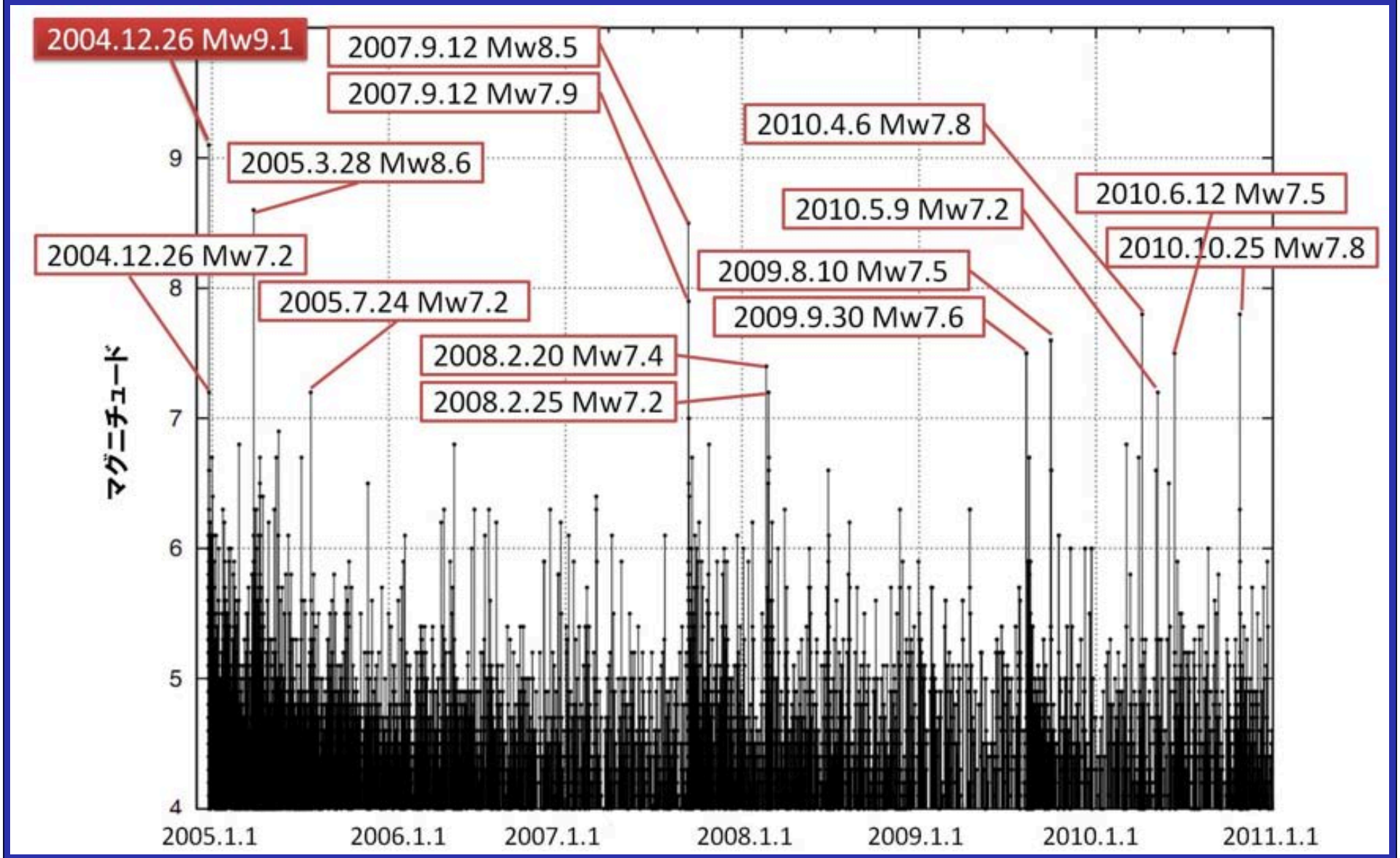
東大地震研（2011）



防災上はこうした状況に日本も置かれることを覚悟しておかなければならない

2004年スマトラ沖地震後の余震の時間経過

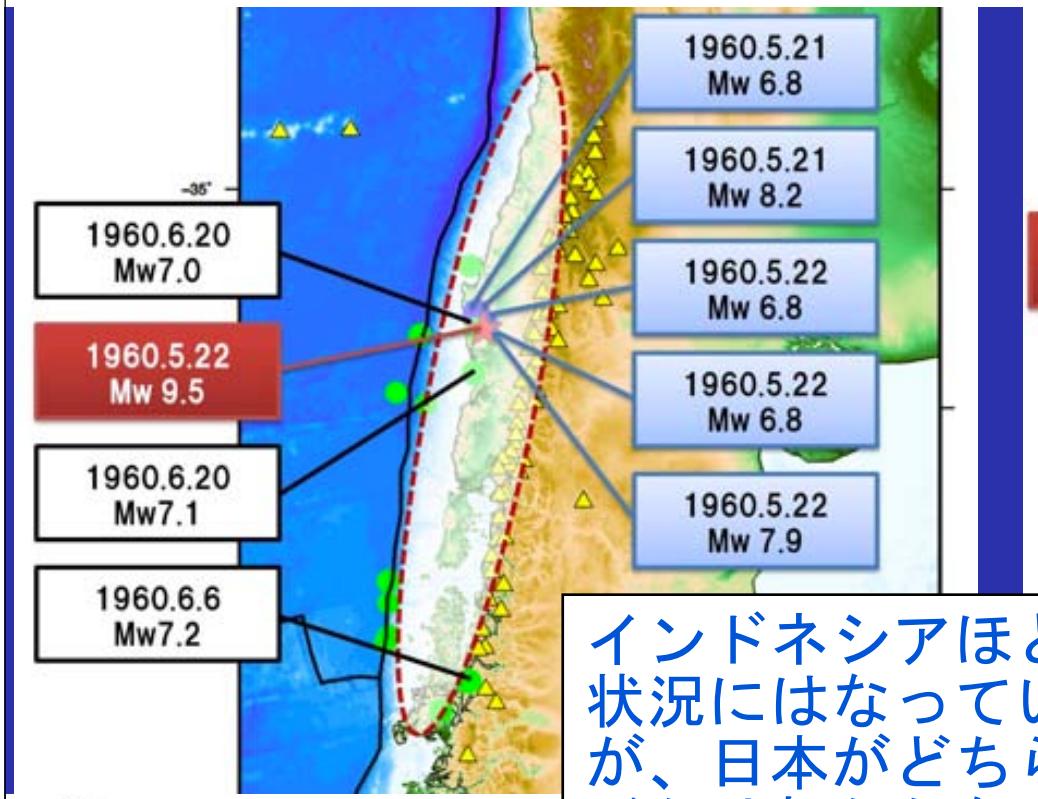
東大地震研（2011）

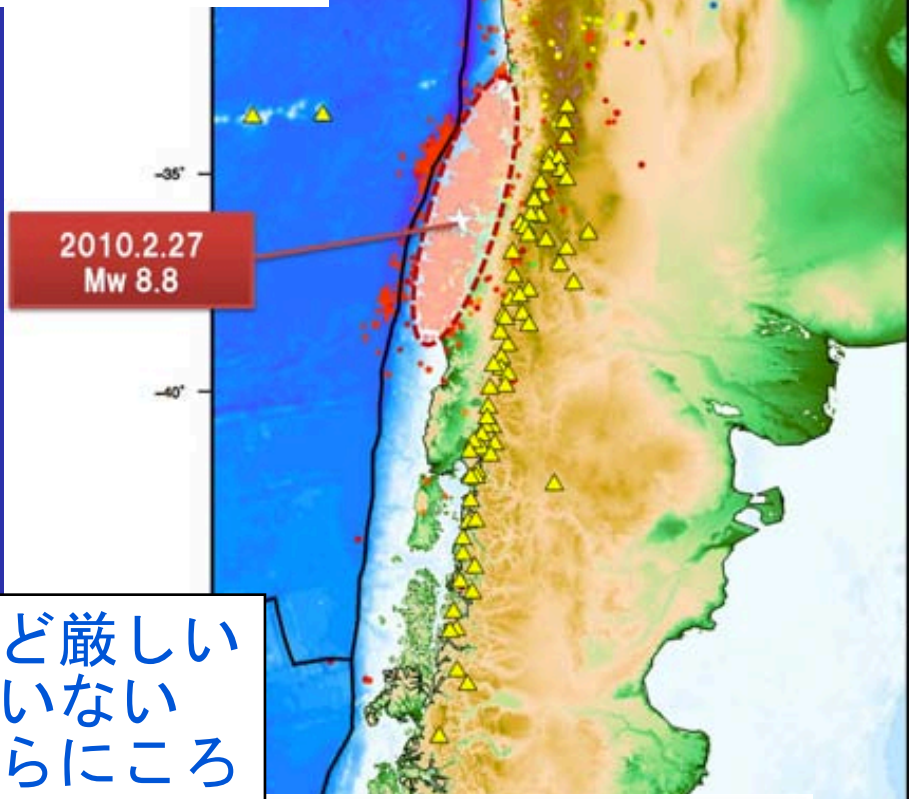


防災上はこうした状況に日本も置かれることを
覚悟しておかなければならない

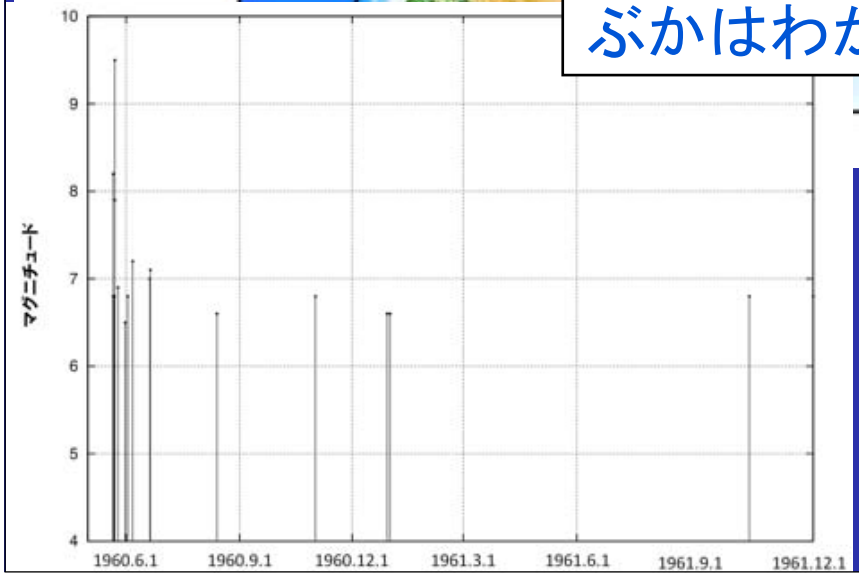
1960年と2010年チリ地震後の余震の時間経過

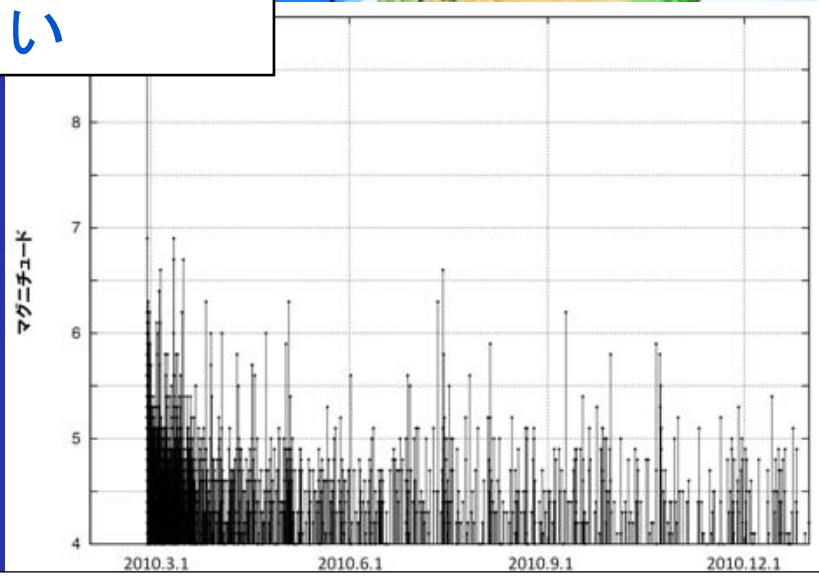
東大地震研（2011）





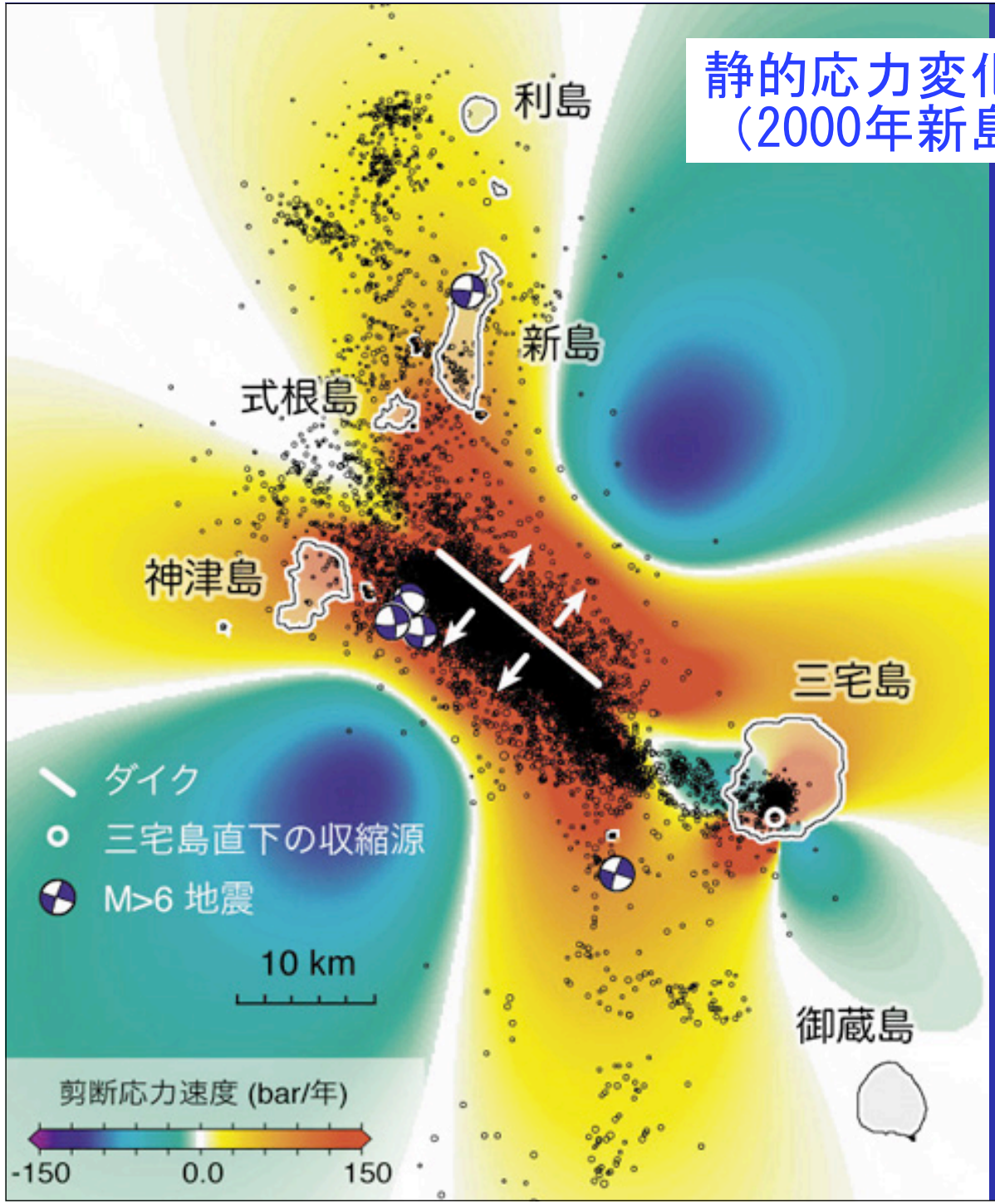
インドネシアほど厳しい状況にはなっていないが、日本がどちらにころぶかはわからない





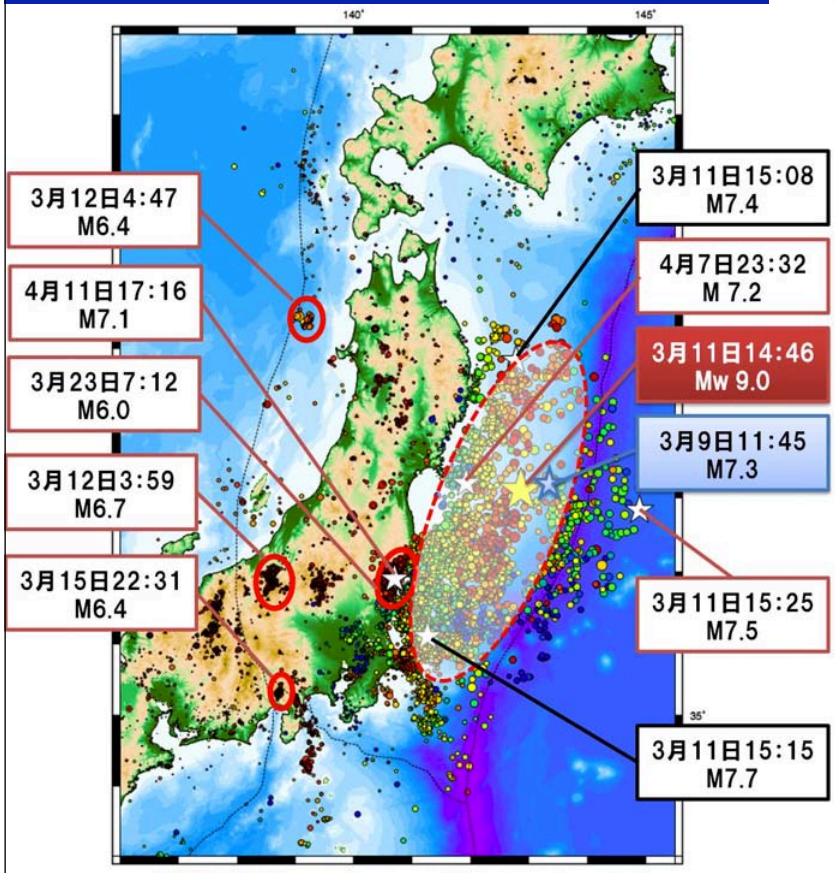
静的応力変化による誘発地震の予測（2000年新島・神津島近海地震の例）

遠田（2002）



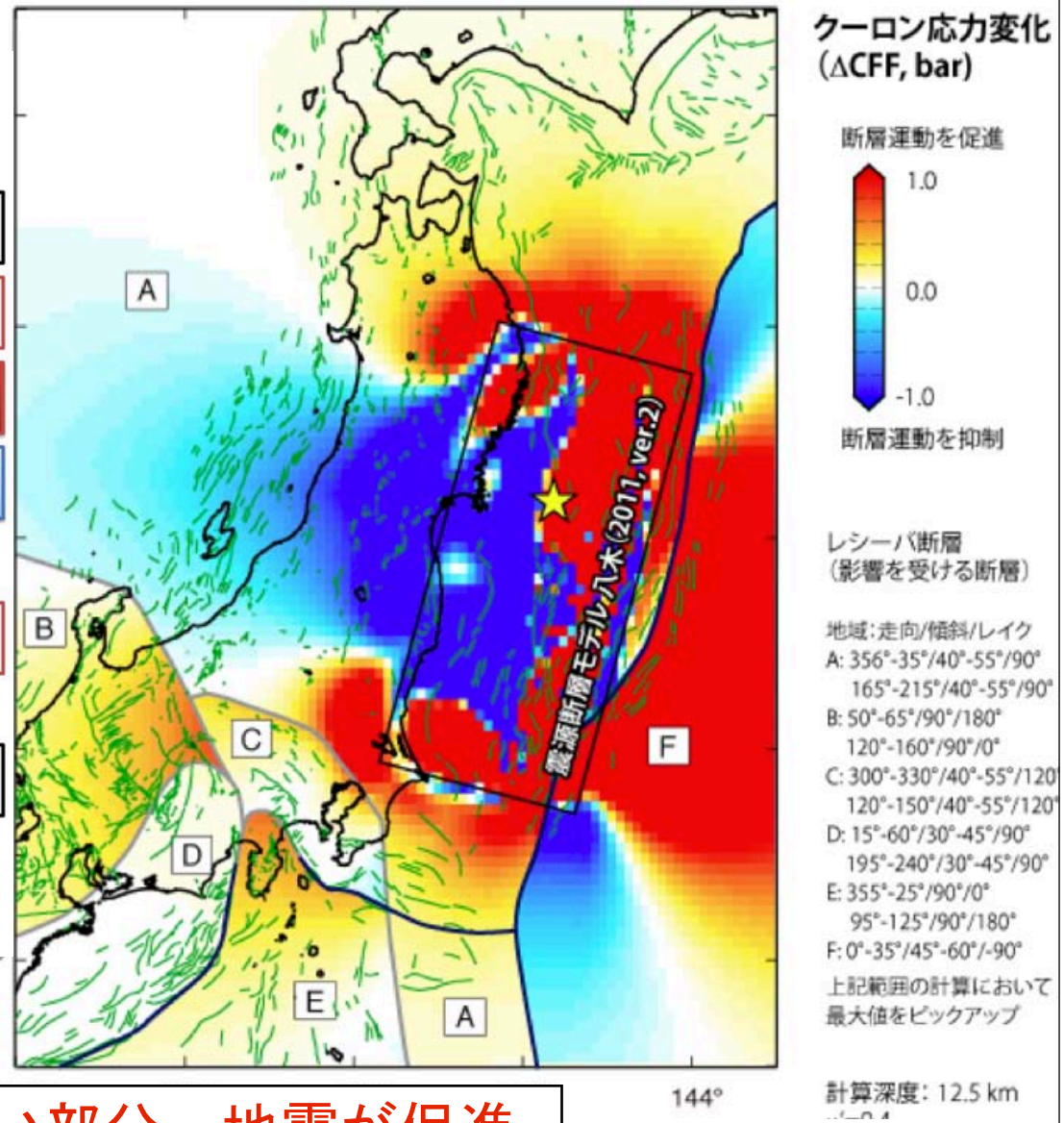
このように力学的な計算により大雑把な場所の予測はできるようになったので、今後の防災上の目安になる

本震の震源断層のずれにともなう静的応力場変化による誘発地震（各地域固有の応力場に対する変化を地域毎に算出）



東大地震研（2011）

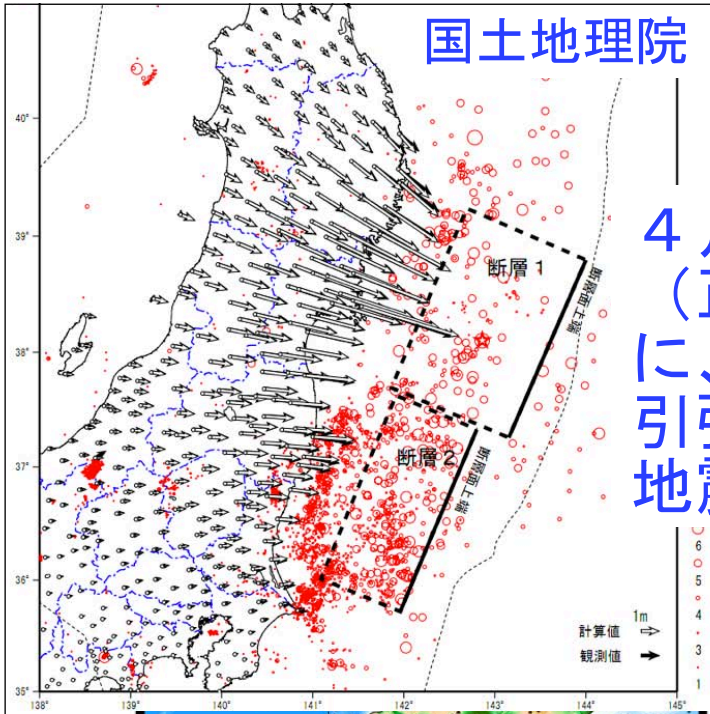
（4月8日までの余震
庁一元化震源による）



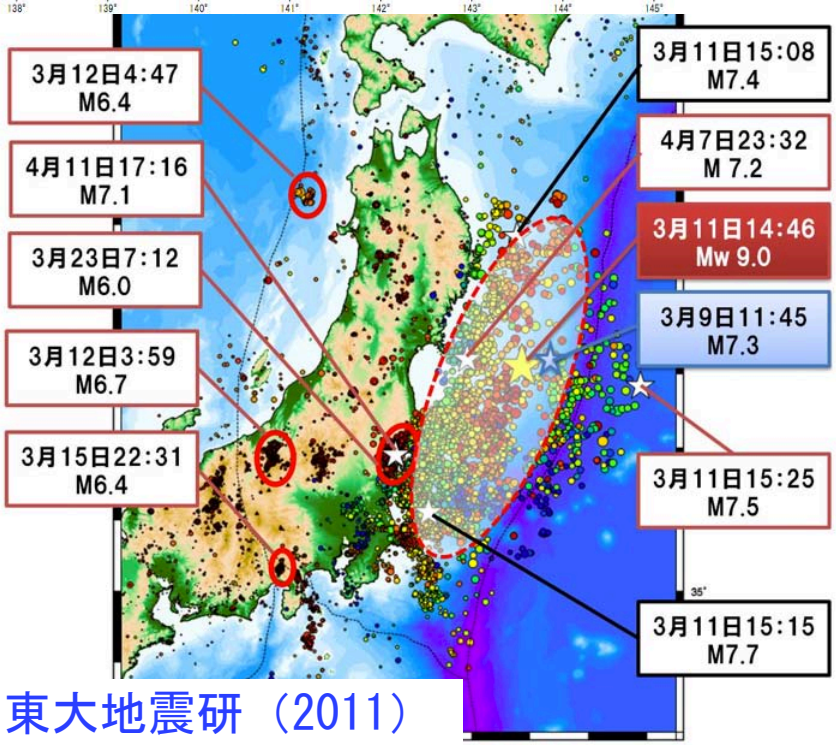
赤い部分：地震が促進
青い部分：地震が抑制

京大防災研（2011）

国土地理院（2011）

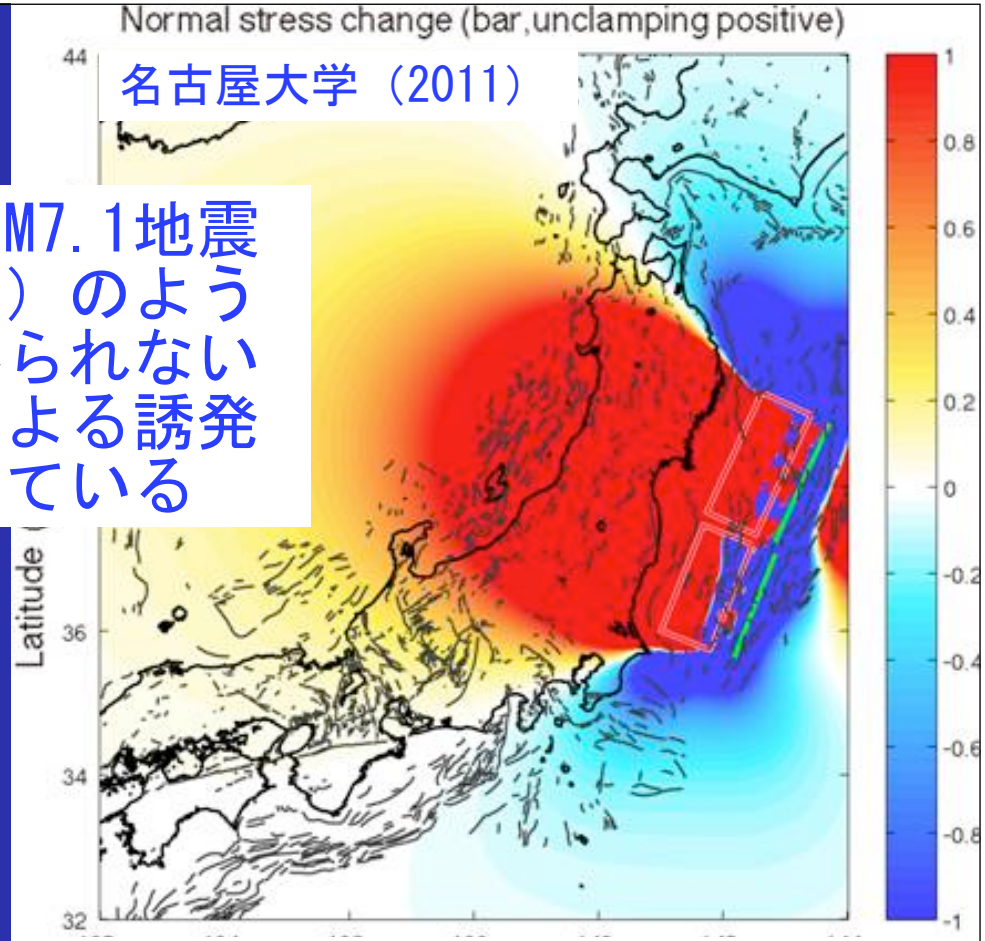


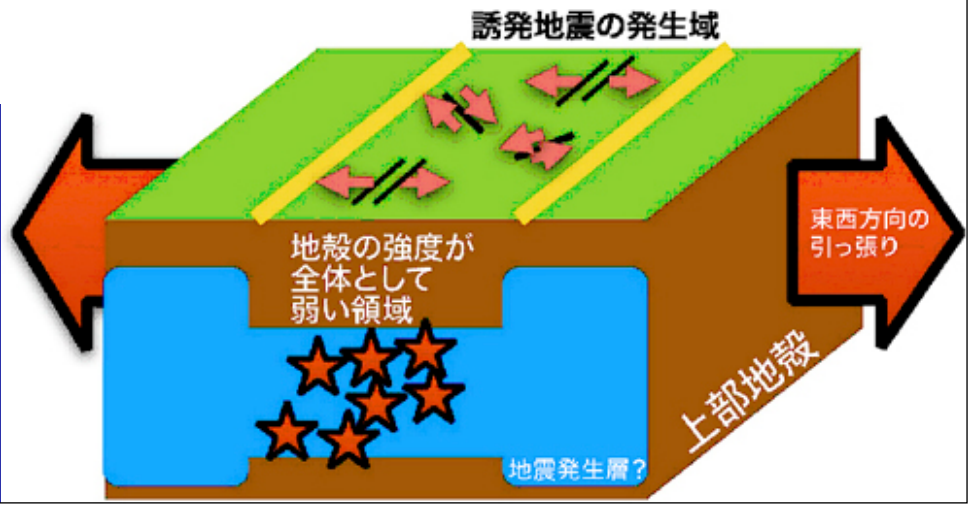
４月11日のM7.1地震（正断層型）のように、通常みられない引張応力による誘発地震も起きている



東大地震研（2011）

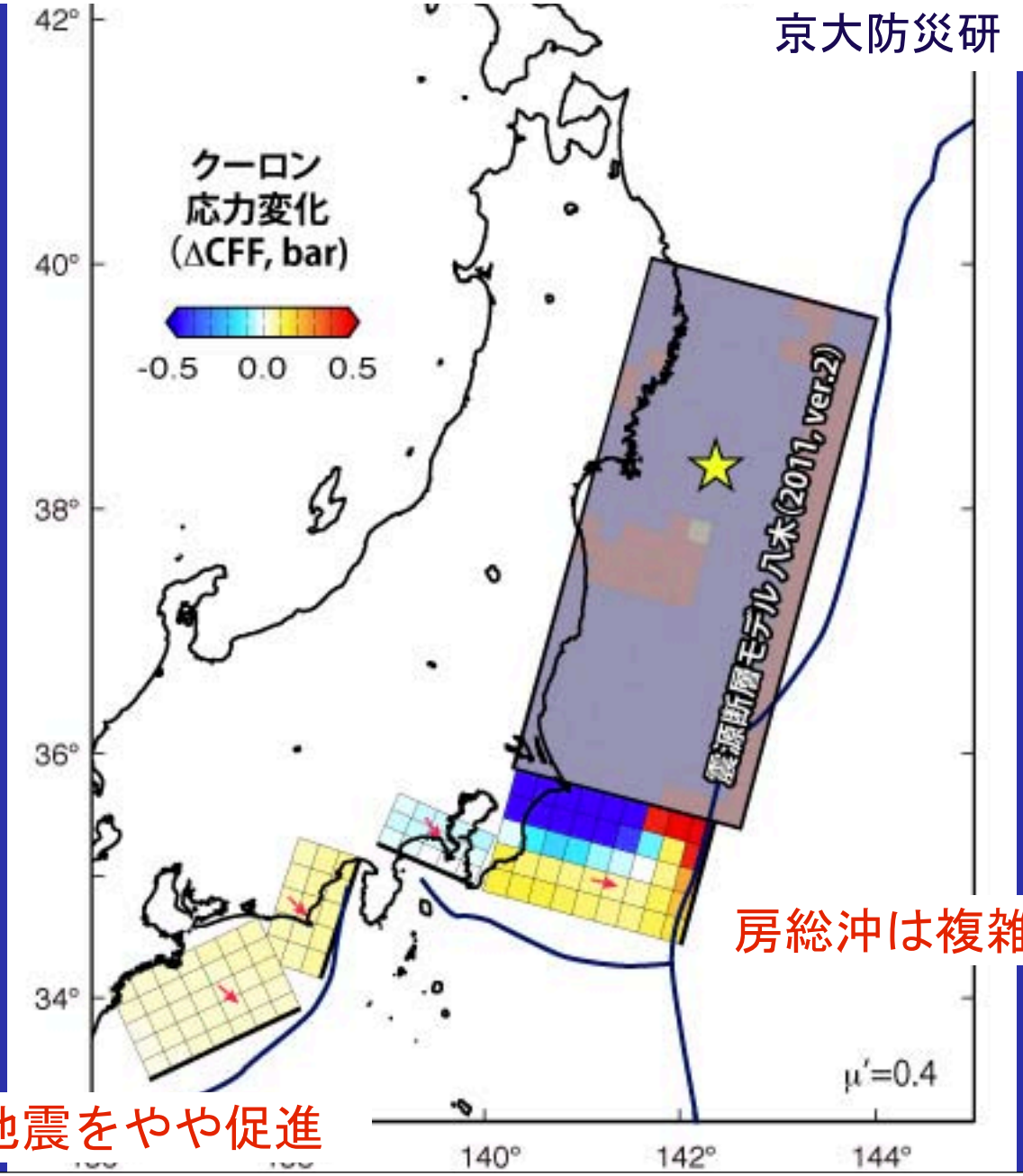
名古屋大学（2011）





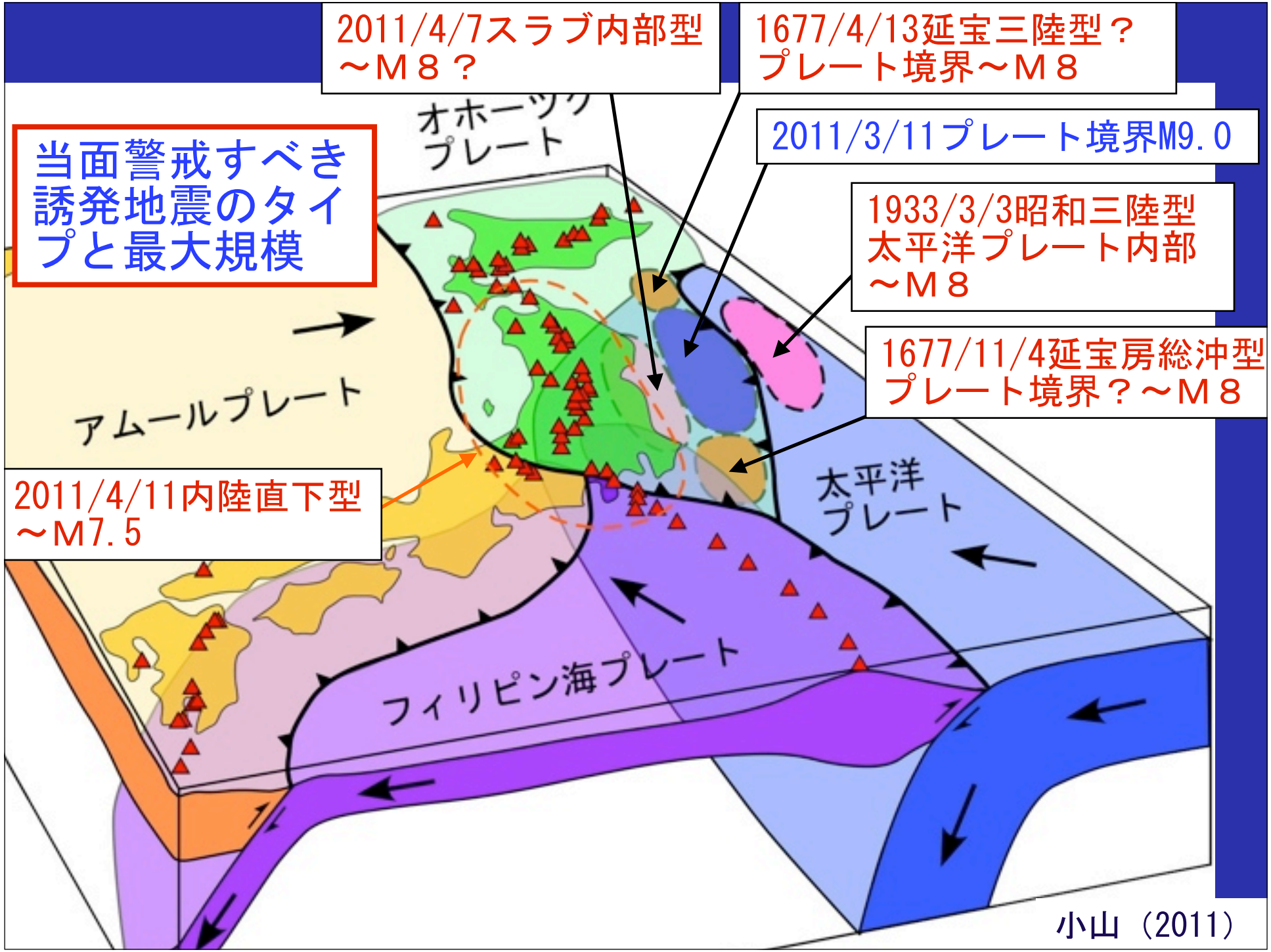
本震の震源断層のずれにともなう静的応力場変化による誘発地震（東海・東南海・関東・房総沖への影響を算出）

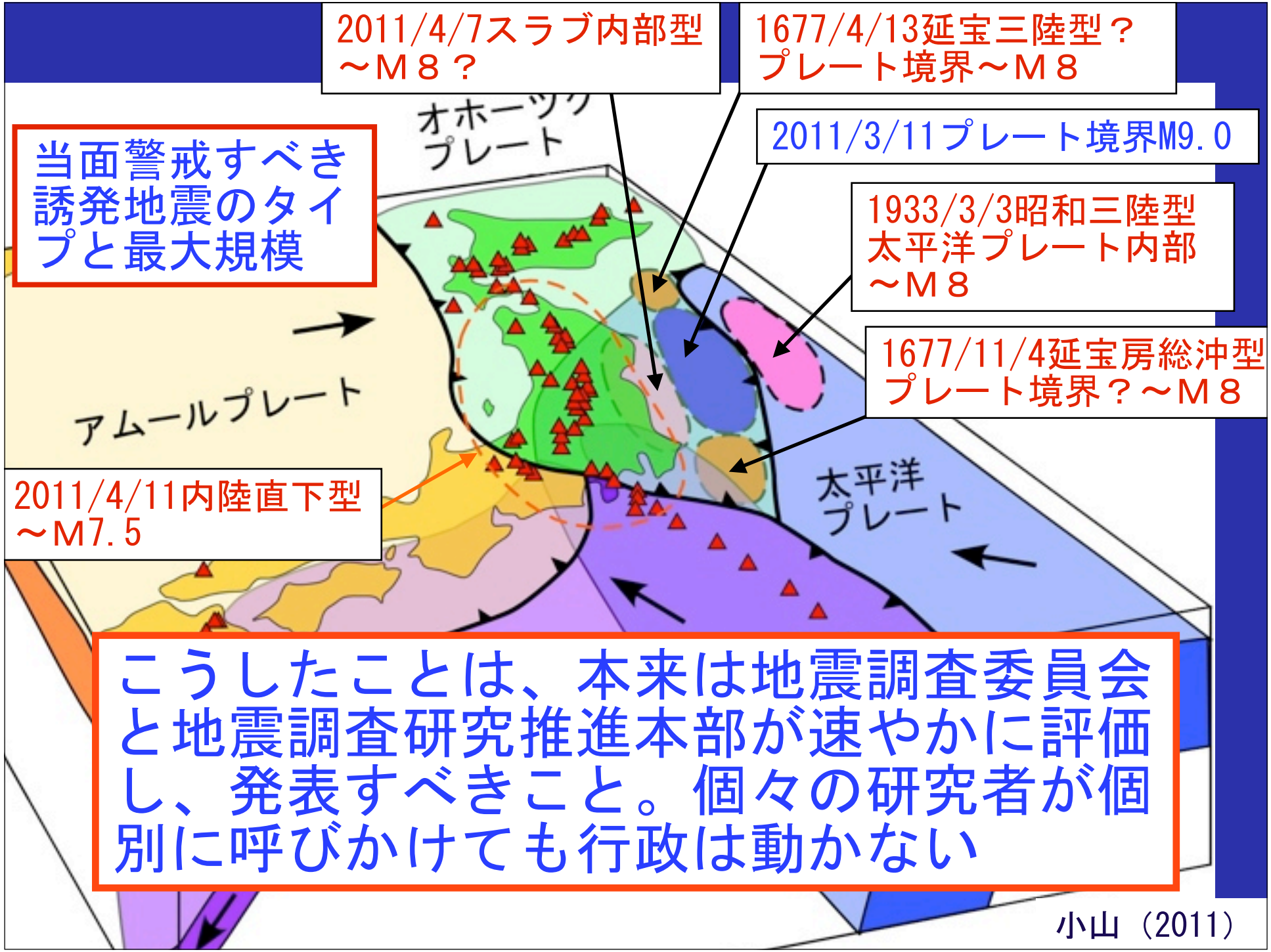
京大防災研（2011）



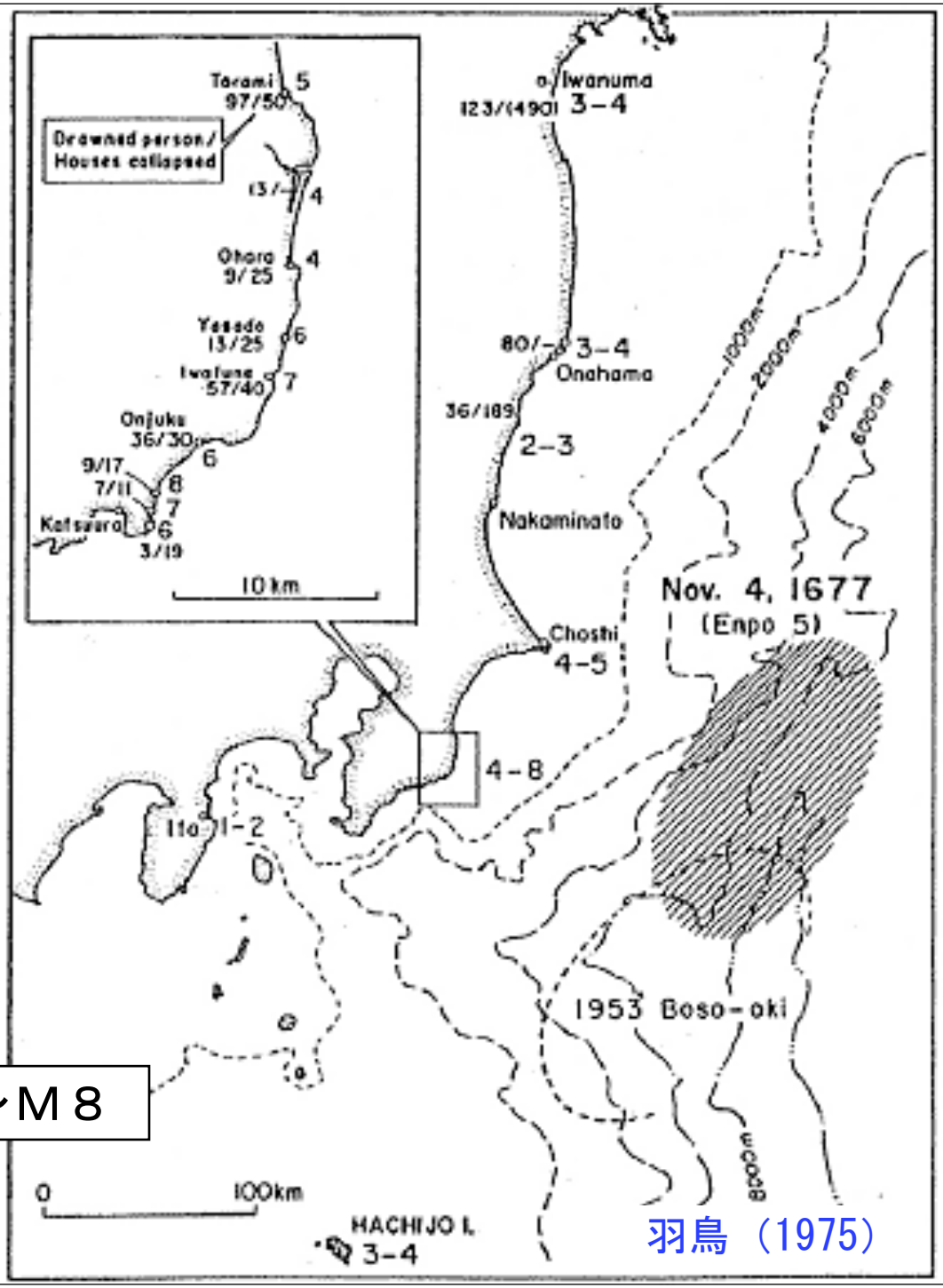
房総沖は複雑

東海・東南海地震をやや促進


2011/4/7スラブ内部型
～Ｍ８？
1677/4/13延宝三陸型？
プレート境界～Ｍ８
当面警戒すべき
誘発地震のタイ
プと最大規模
オホーツク
プレート
2011/3/11プレート境界M9.0
1933/3/3昭和三陸型
太平洋プレート内部
～Ｍ８
1677/11/4延宝房総沖型
プレート境界？～Ｍ８
アムールプレート
2011/4/11内陸直下型
～M7.5
太平洋
プレート
フィリピン海プレート
小山（2011）


2011/4/7スラブ内部型
～Ｍ８？
1677/4/13延宝三陸型？
プレート境界～Ｍ８
2011/3/11プレート境界M9.0
1933/3/3昭和三陸型
太平洋プレート内部
～Ｍ８
1677/11/4延宝房総沖型
プレート境界？～Ｍ８
当面警戒すべき
誘発地震のタイ
プと最大規模
オホーツク
プレート
アムールプレート
太平洋
プレート
2011/4/11内陸直下型
～M7.5
こうしたことは、本来は地震調査委員会と地震調査研究推進本部が速やかに評価し、発表すべきこと。個々の研究者が個別に呼びかけても行政は動かない
小山（2011）

気になる地震：
1677年延宝房総沖地震
1677年延宝三陸沖地震



羽鳥（1975）

1677/11/4延宝房総沖地震～Ｍ８

３．いま何が起きつつあるのか？
これから何が起きるのか？
（２）誘発される火山噴火

震災後、全国１３の活火山が活発化　専門家「注視」（1/2ページ）

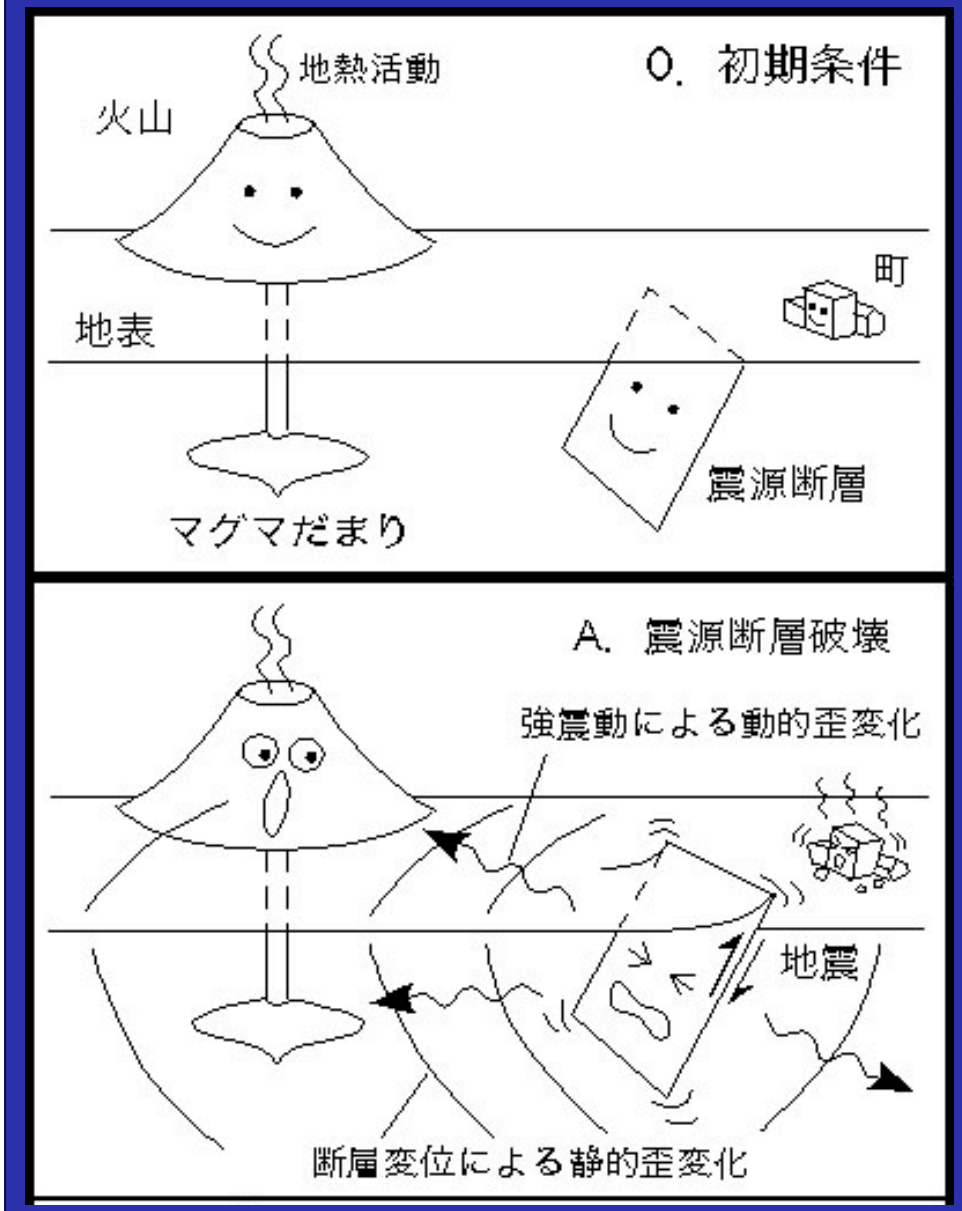
朝日新聞

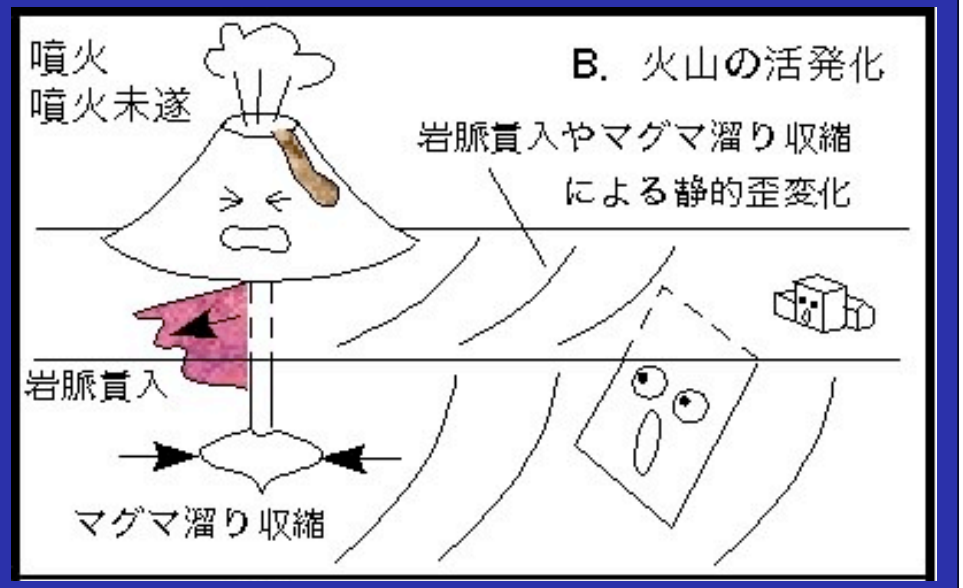
2011年3月25日3時1分　いいね！　チェック　ブログに利用　印刷

震災後、周辺で地震が増えた活火山　拡大

東日本大震災を起こしたマグニチュード（M）９．０の巨大地震の後、関東から九州まで少なくとも１３の活火山の周辺で地震が活発になったことが分かった。噴火の兆候となる地殻変動は観測されていないが、過去には巨大地震後に火山が噴火した例もある。専門家は「注視していく」と話している。

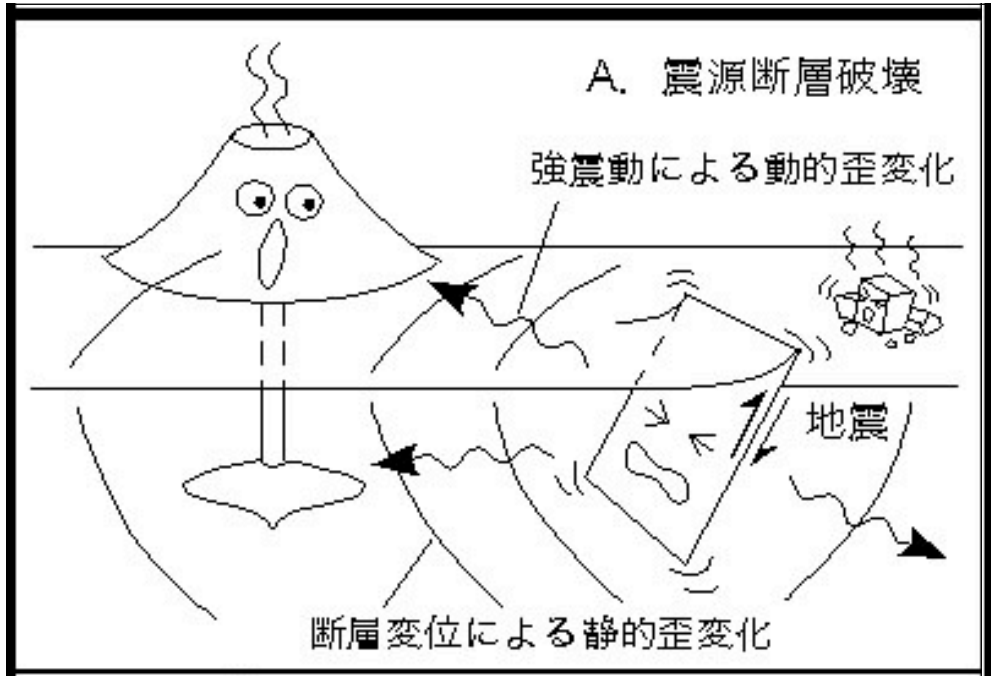
地震が増えた活火山は、関東や中部地方の日光白根山、焼岳、乗鞍岳、富士山、箱根山。伊豆諸島の伊豆大島、新島、神津島。九州の鶴見岳・伽藍岳、阿蘇山、九重山。南西諸島の中之島、諏訪之瀬島。気象庁などによると、多くは１１日の巨大地震直後に周辺の地震が増え、現在はいずれも減少傾向にあるという。

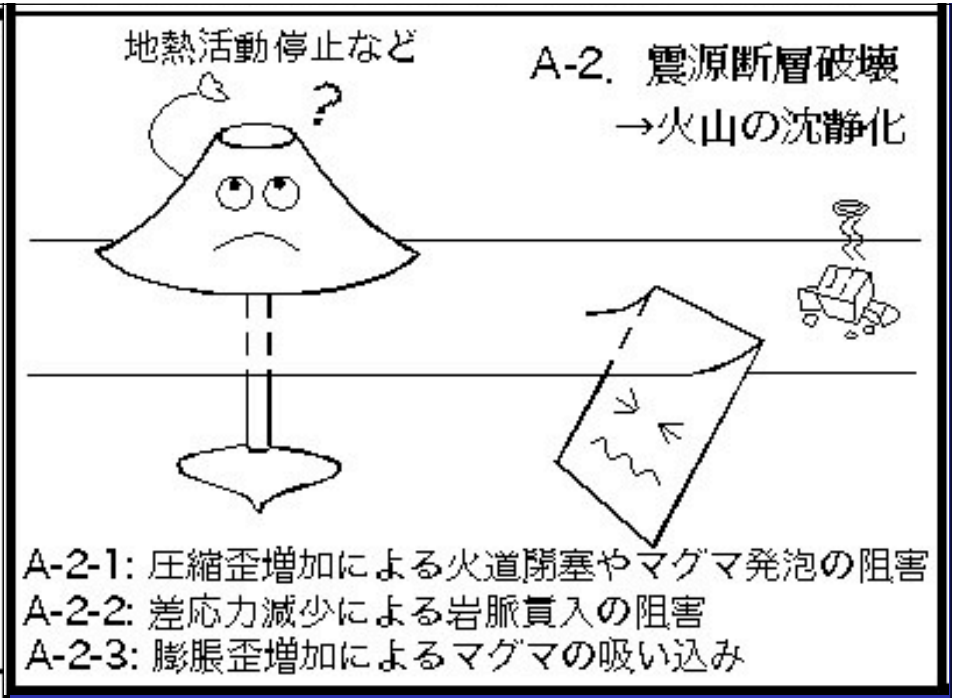


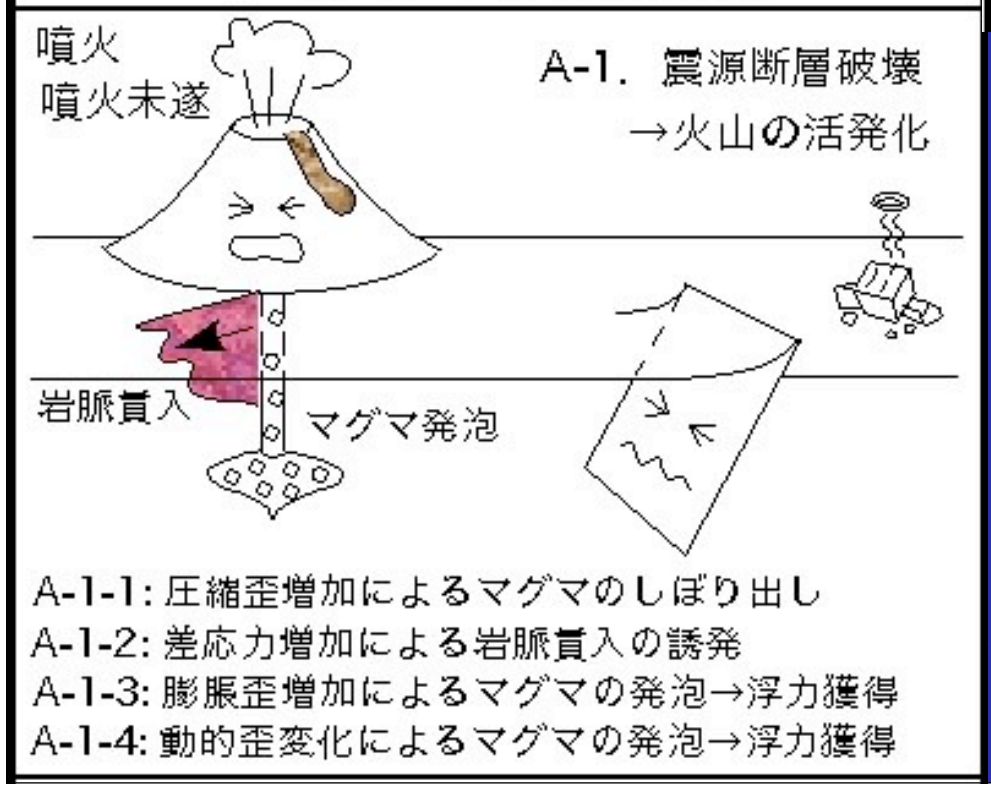


地震と火山異常の連動メカニズム１

小山（2002）



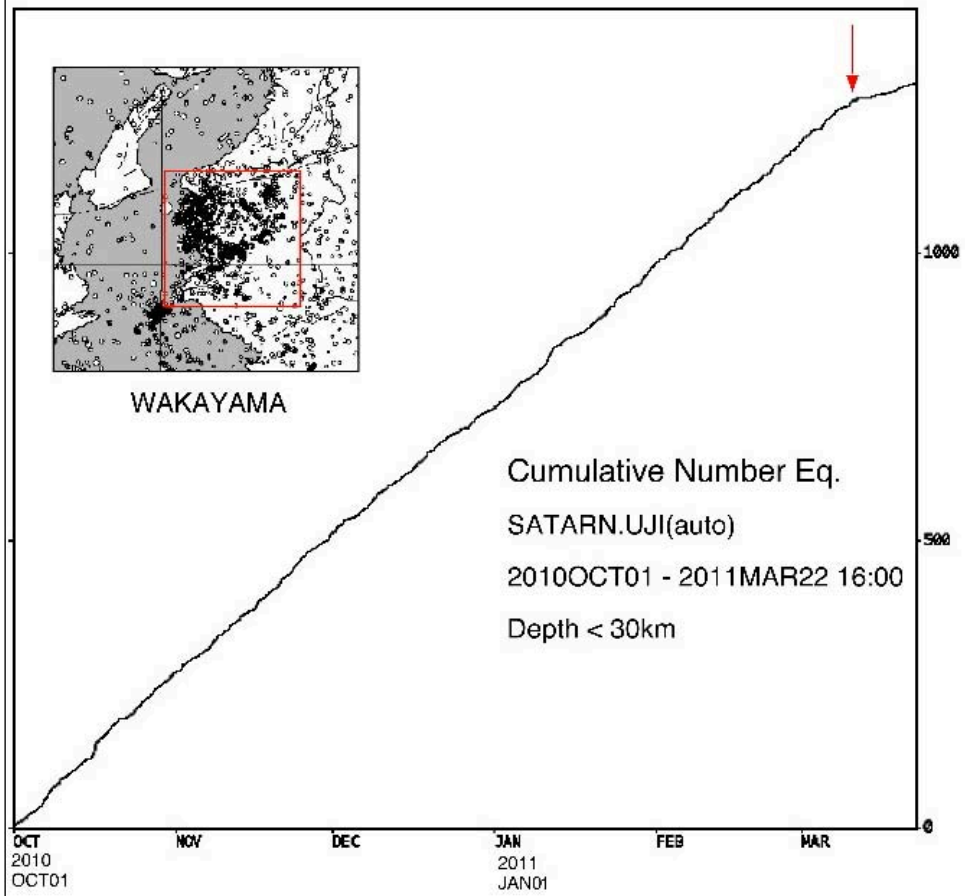


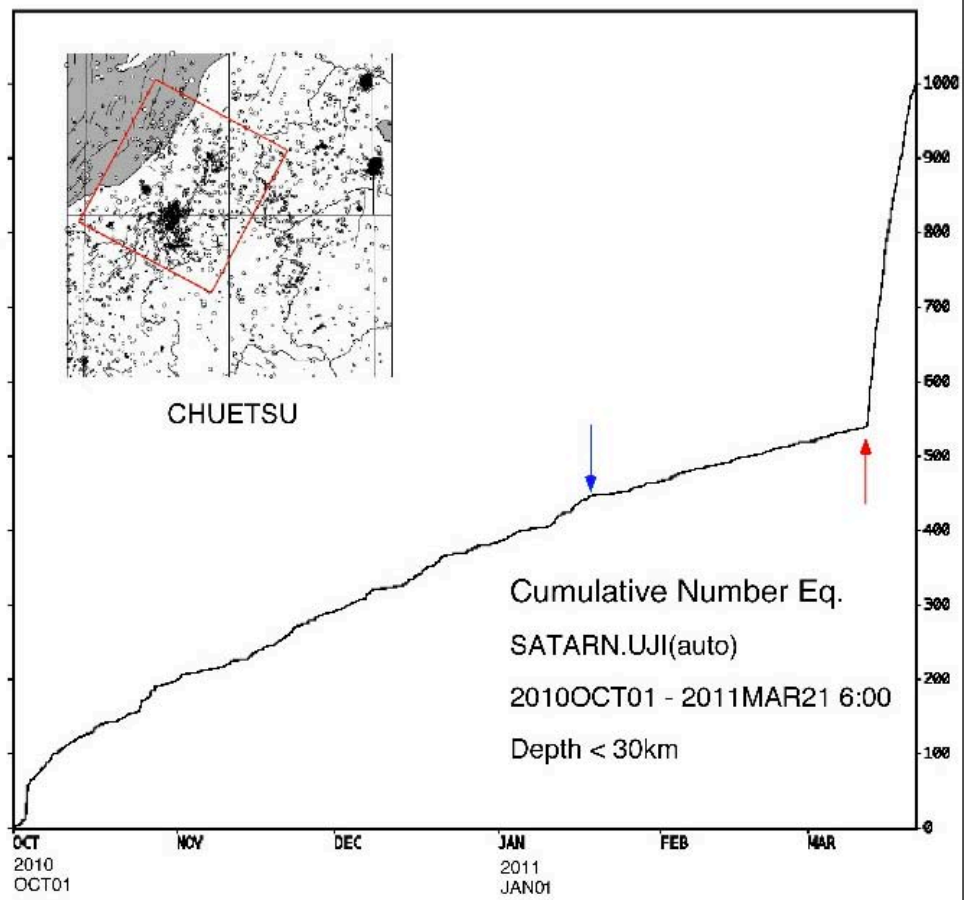


地震と火山異常の連動メカニズム２

小山（2002）

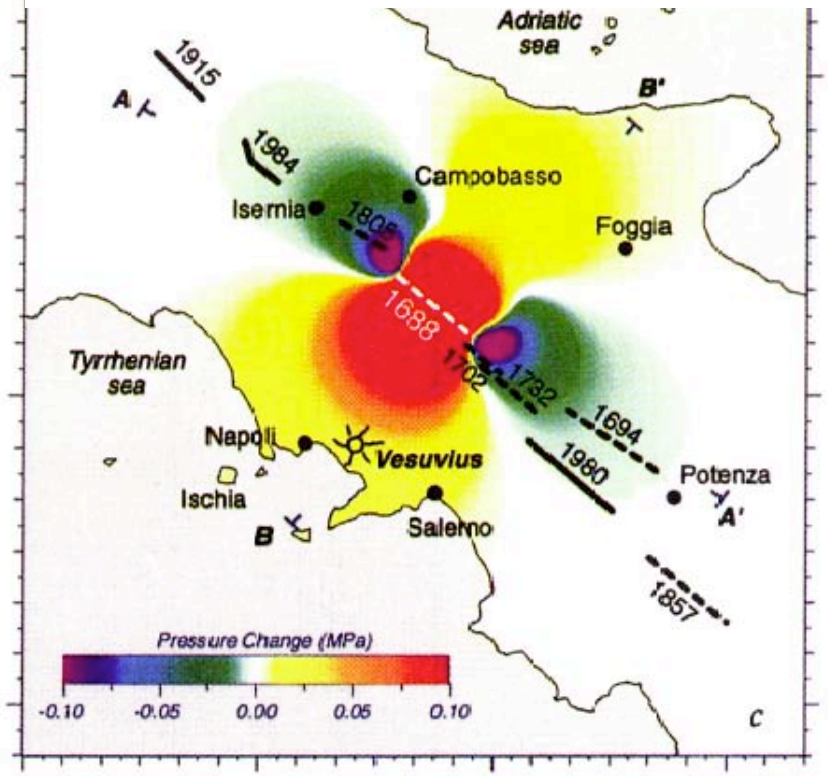
抑制された群発地震と促進された群発地震

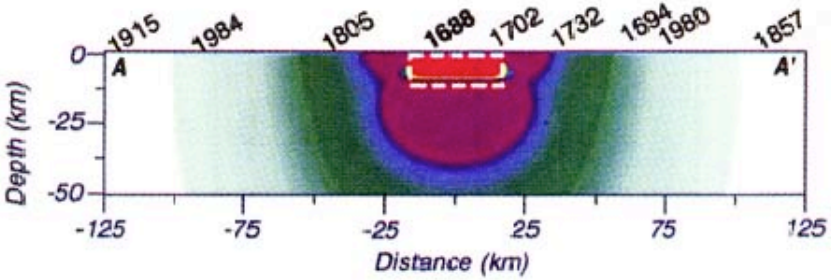


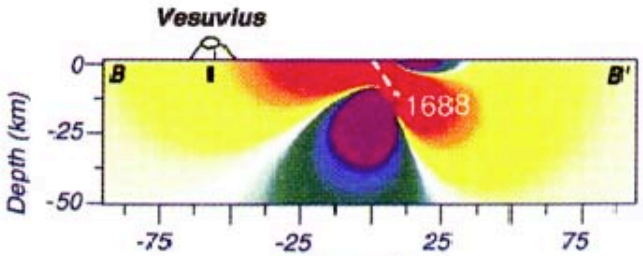


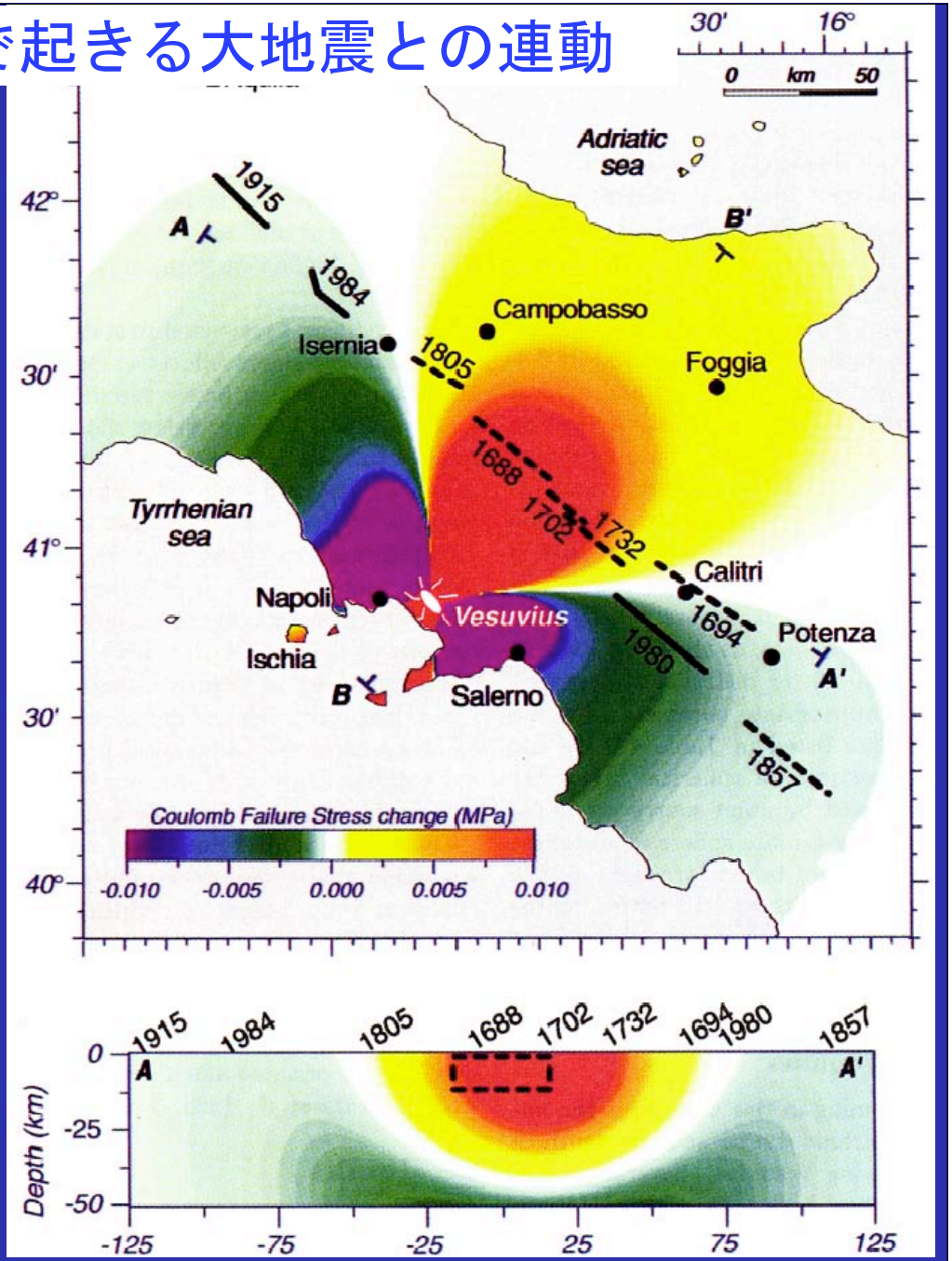
京大防災研（2011）

ベスビオ火山の噴火と近隣で起きる大地震との連動



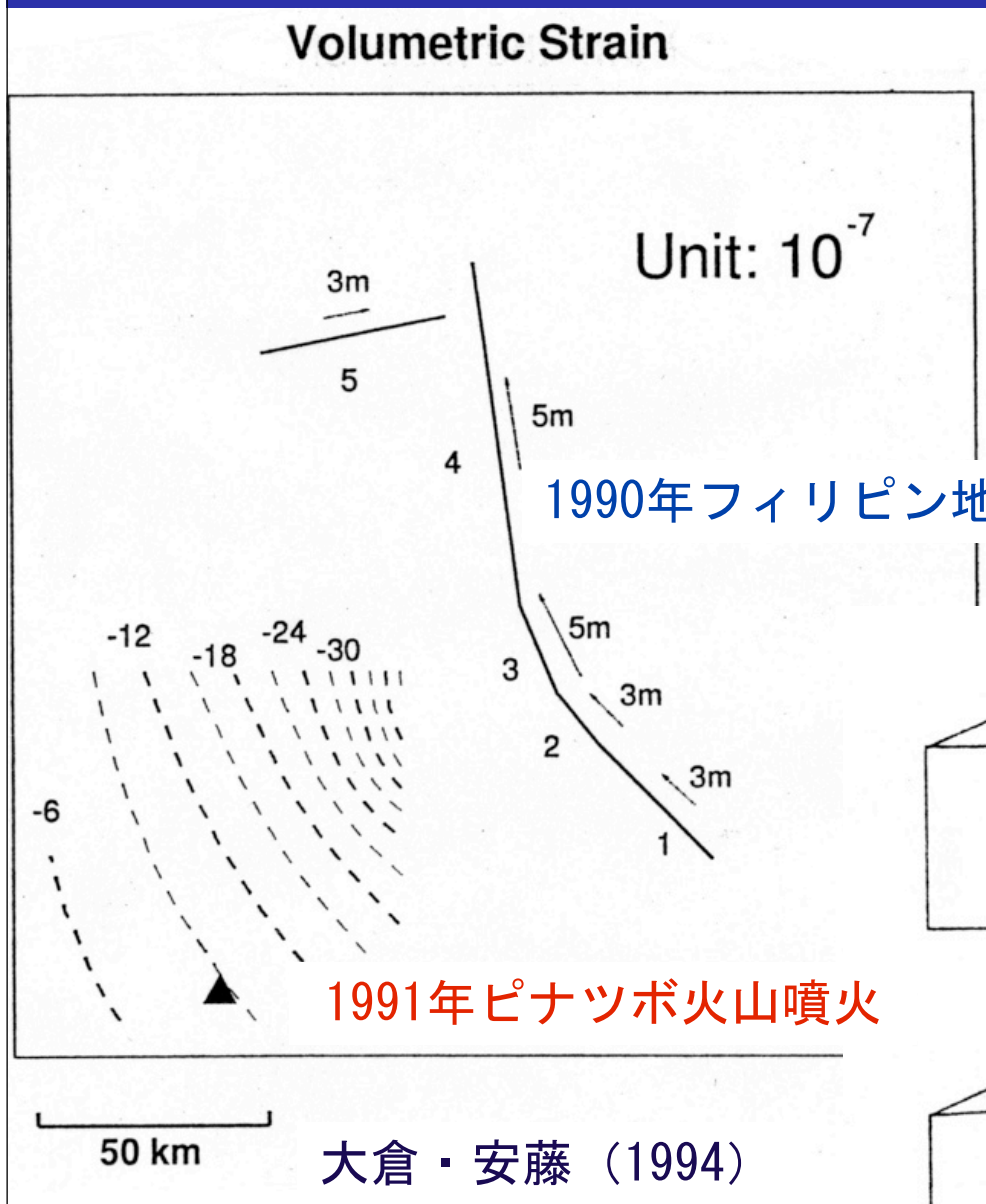






Nostro et al. (1998)

静的応力場変化（圧縮）による
マグマのしぼり出し

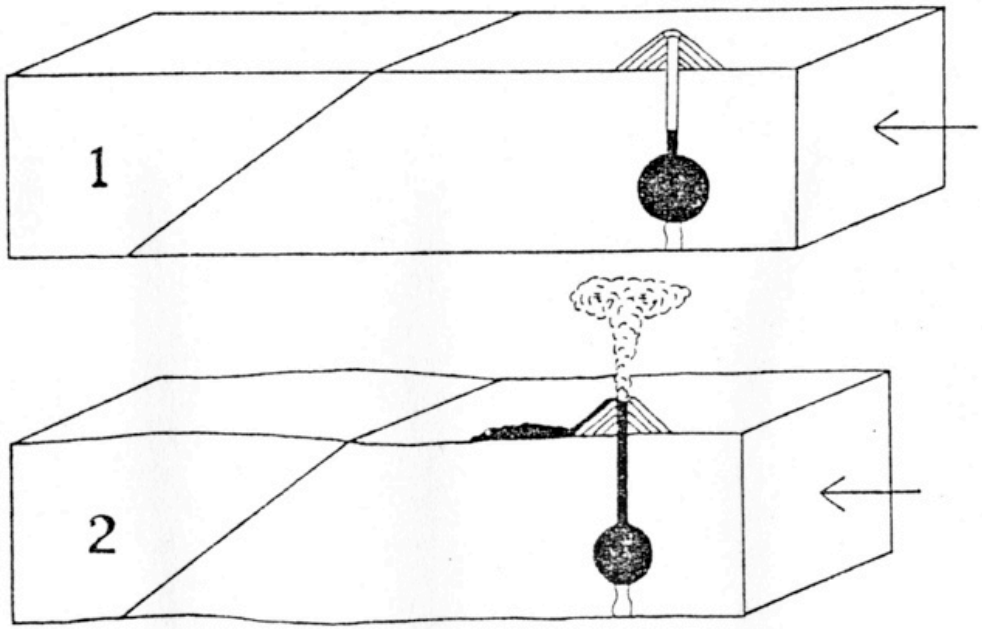


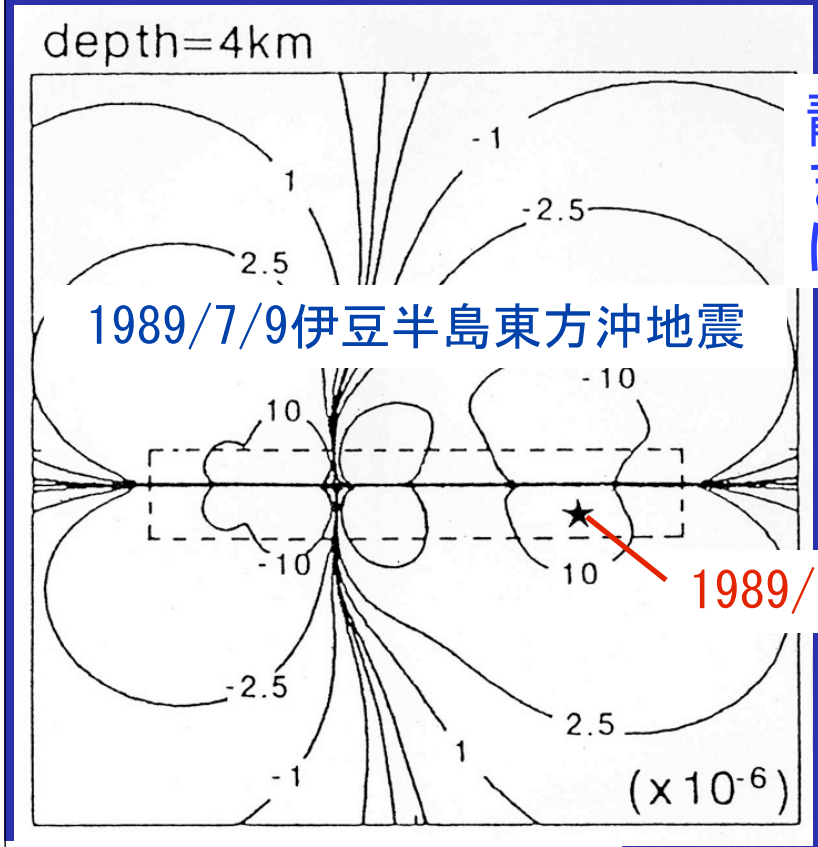
1990年フィリピン地震

1991年ピナツボ火山噴火

大倉・安藤（1994）

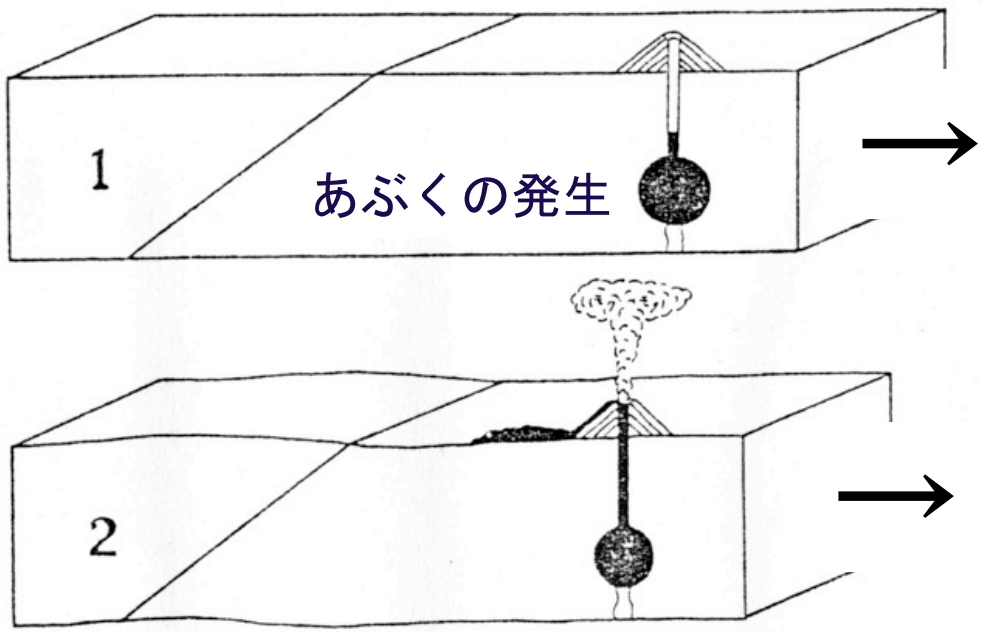
木村（1978）



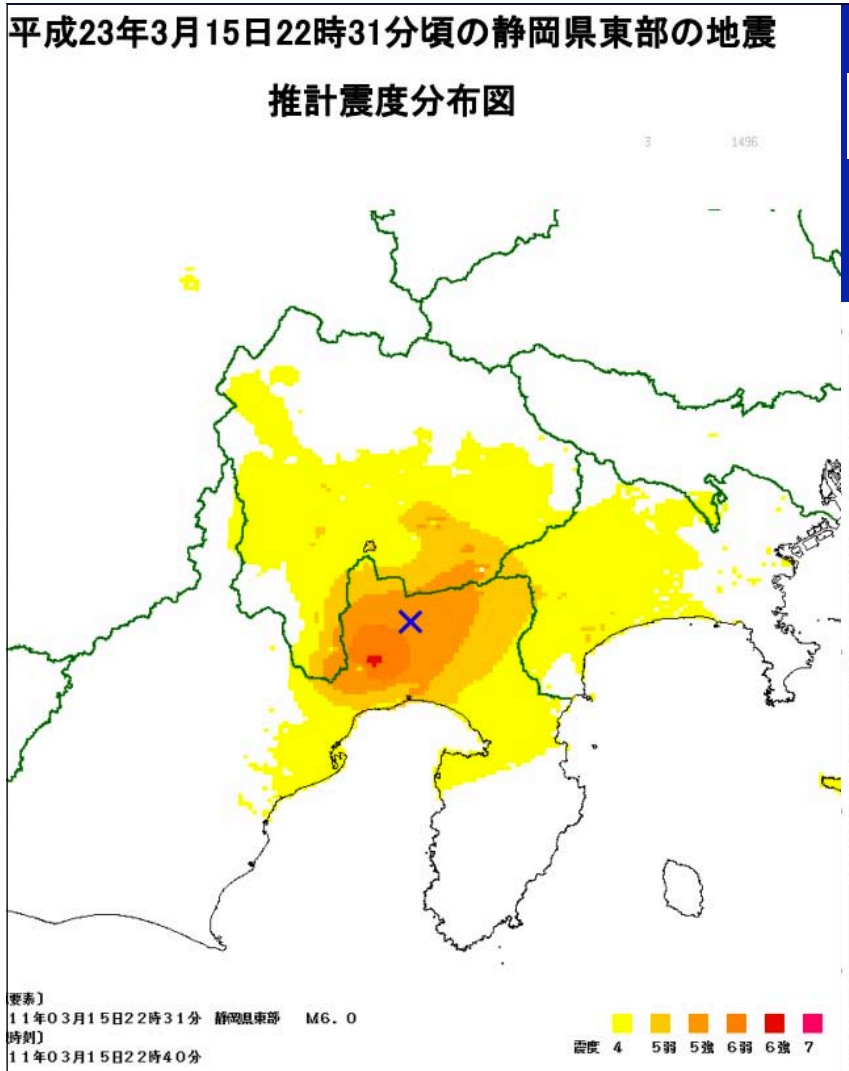


Oura et al. (1990)

静的応力場変化（膨張）
または地震動による揺さぶり
によるマグマの発泡→浮力獲得→上昇

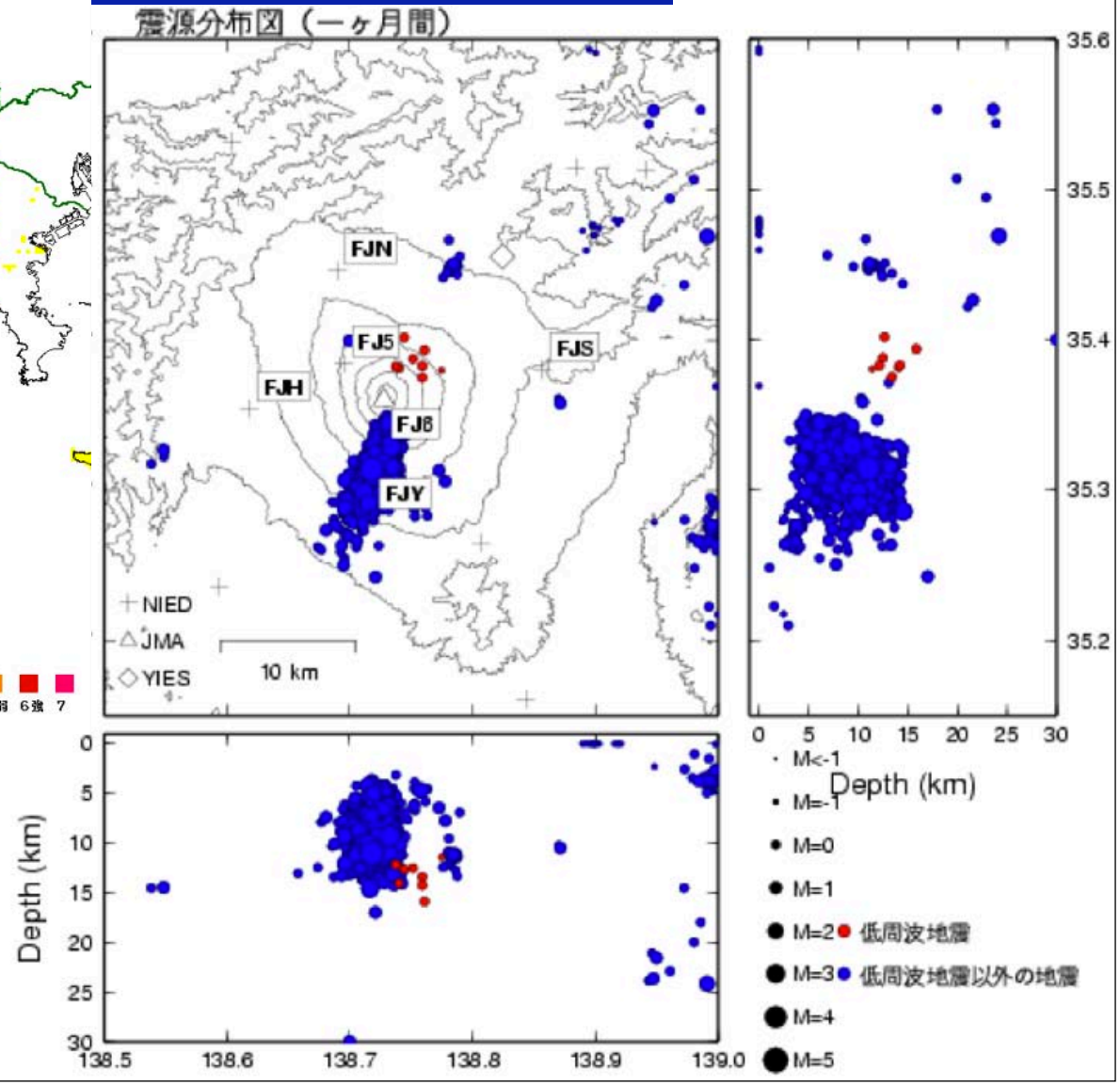


2011/3/15 富士山直下での地震M6.4



気象庁（2011）

防災科研（2011）

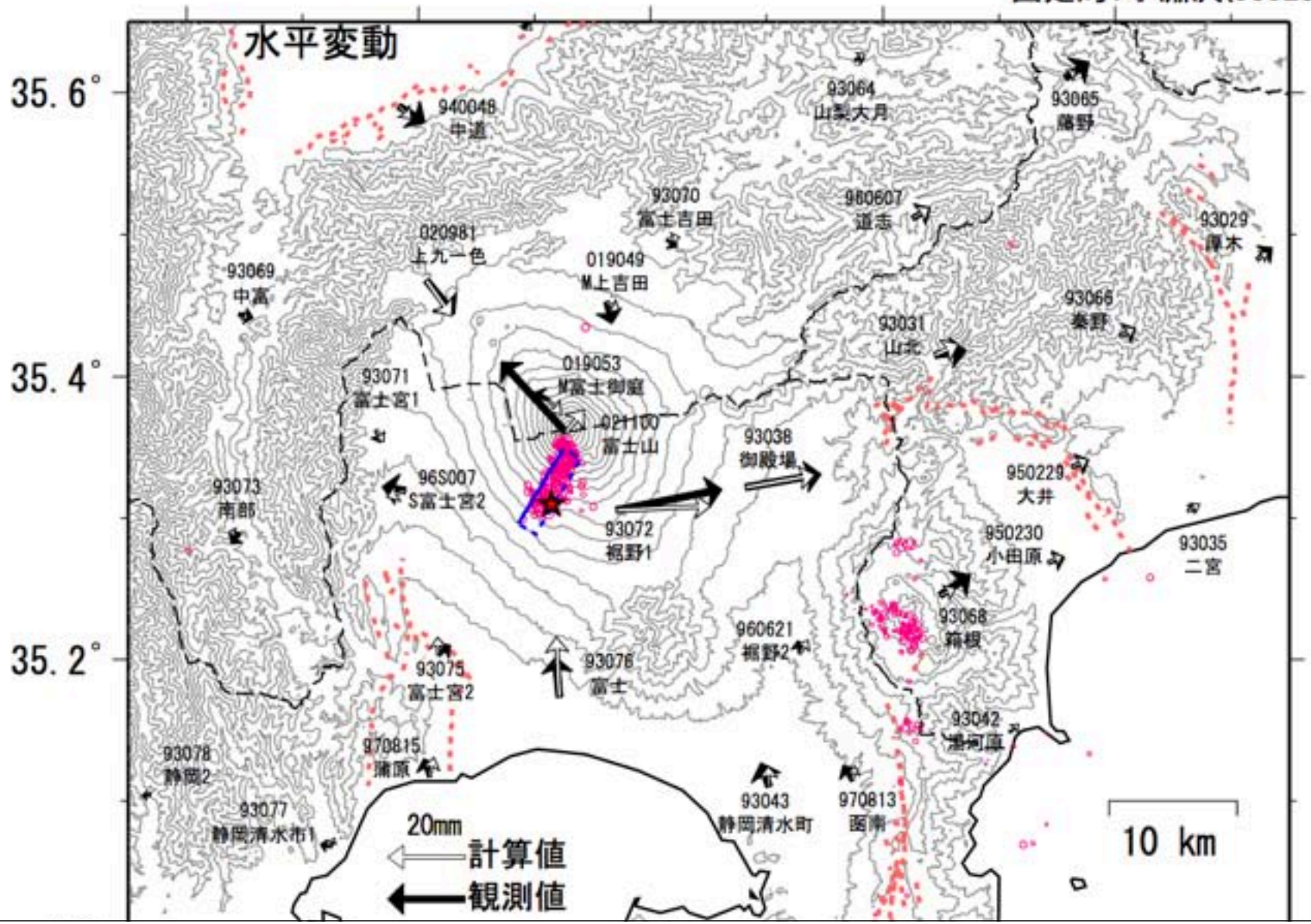


2011年3月15日静岡県東部の地震(M6.4)の震源断層モデル（暫定）

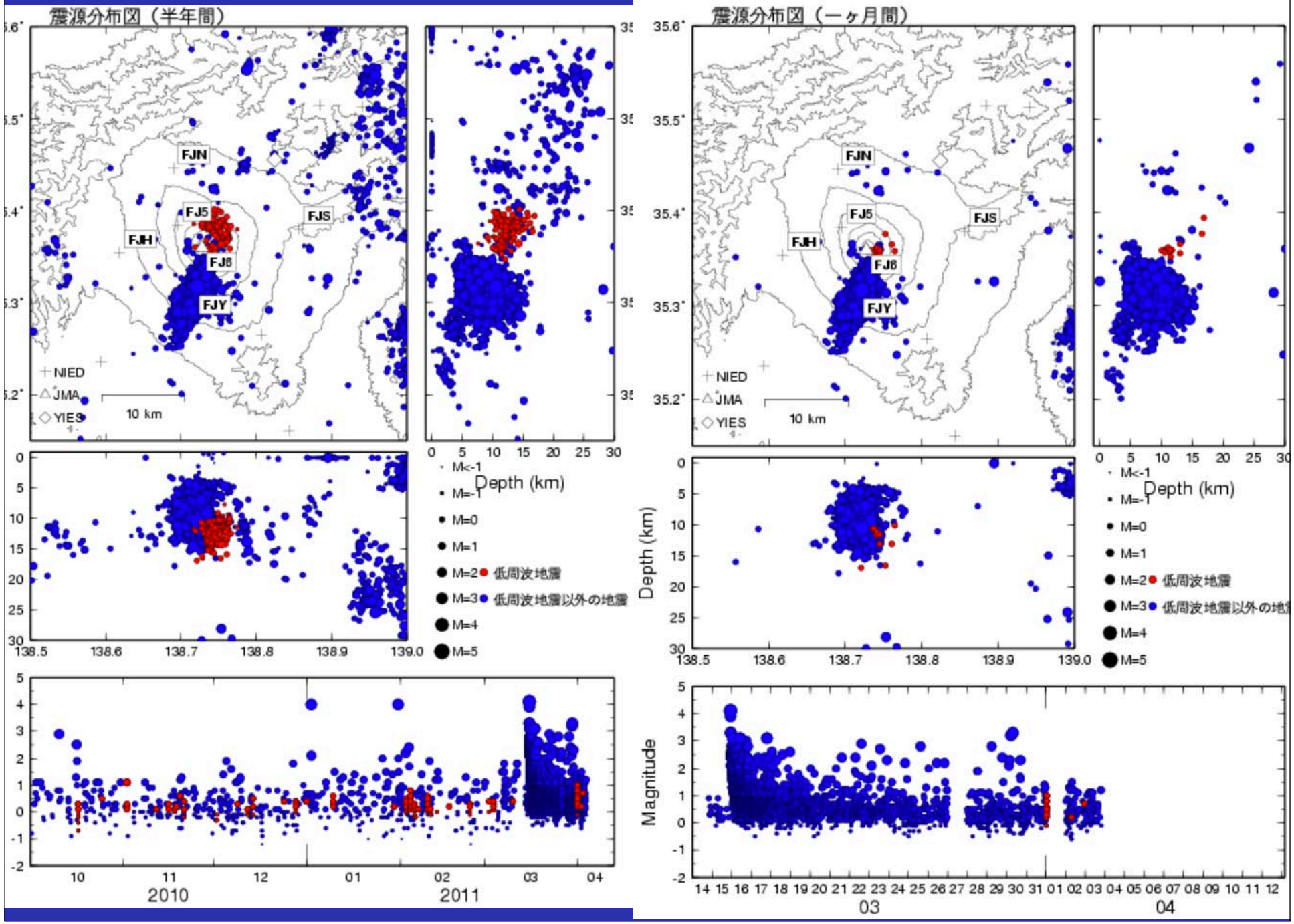
国土地理院（2011）

基準期間：2011/03/13 － 2011/03/14 (R3)
比較期間：2011/03/16 (R3)

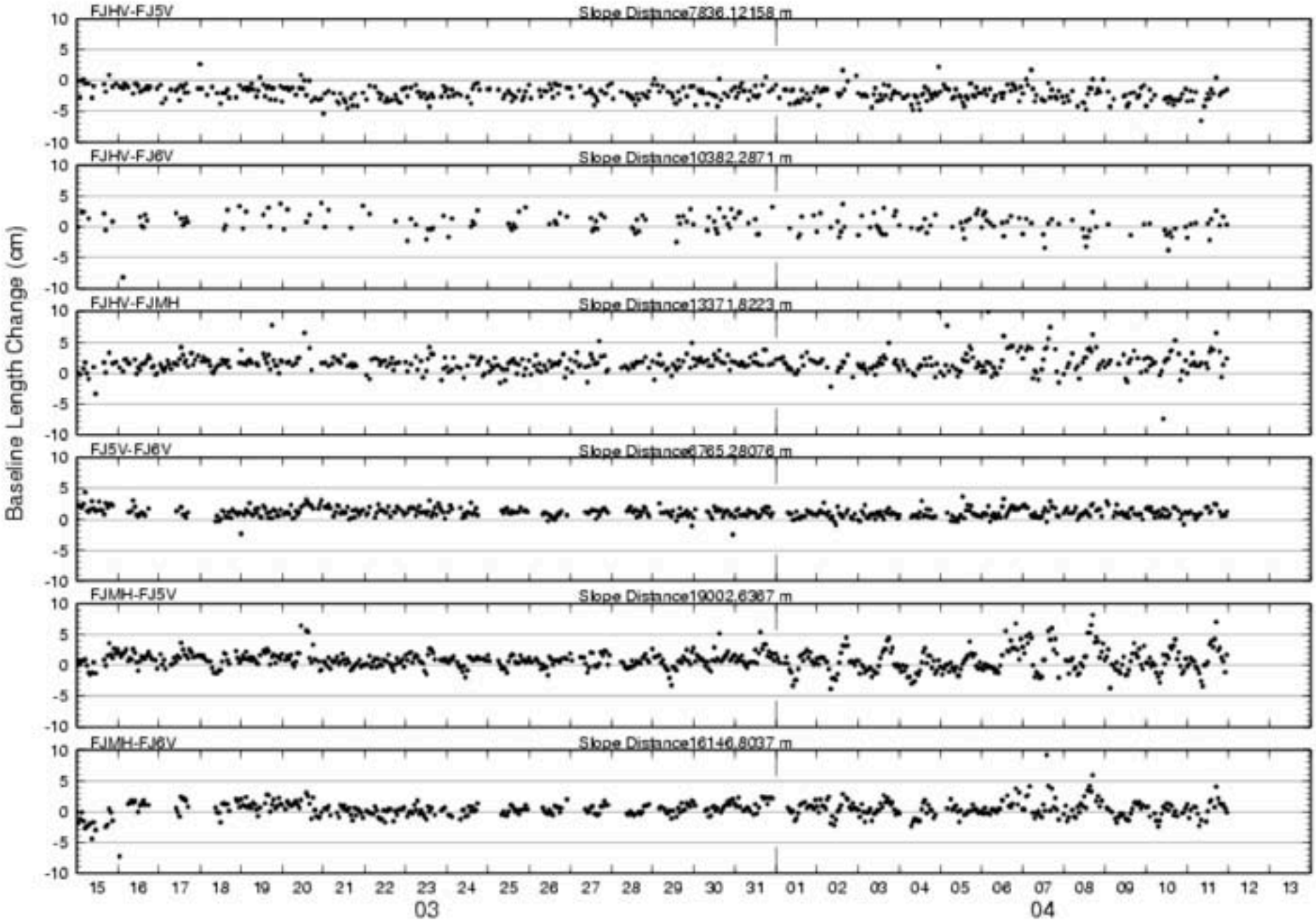
固定局：小淵沢(950263)



防災科研（2011）

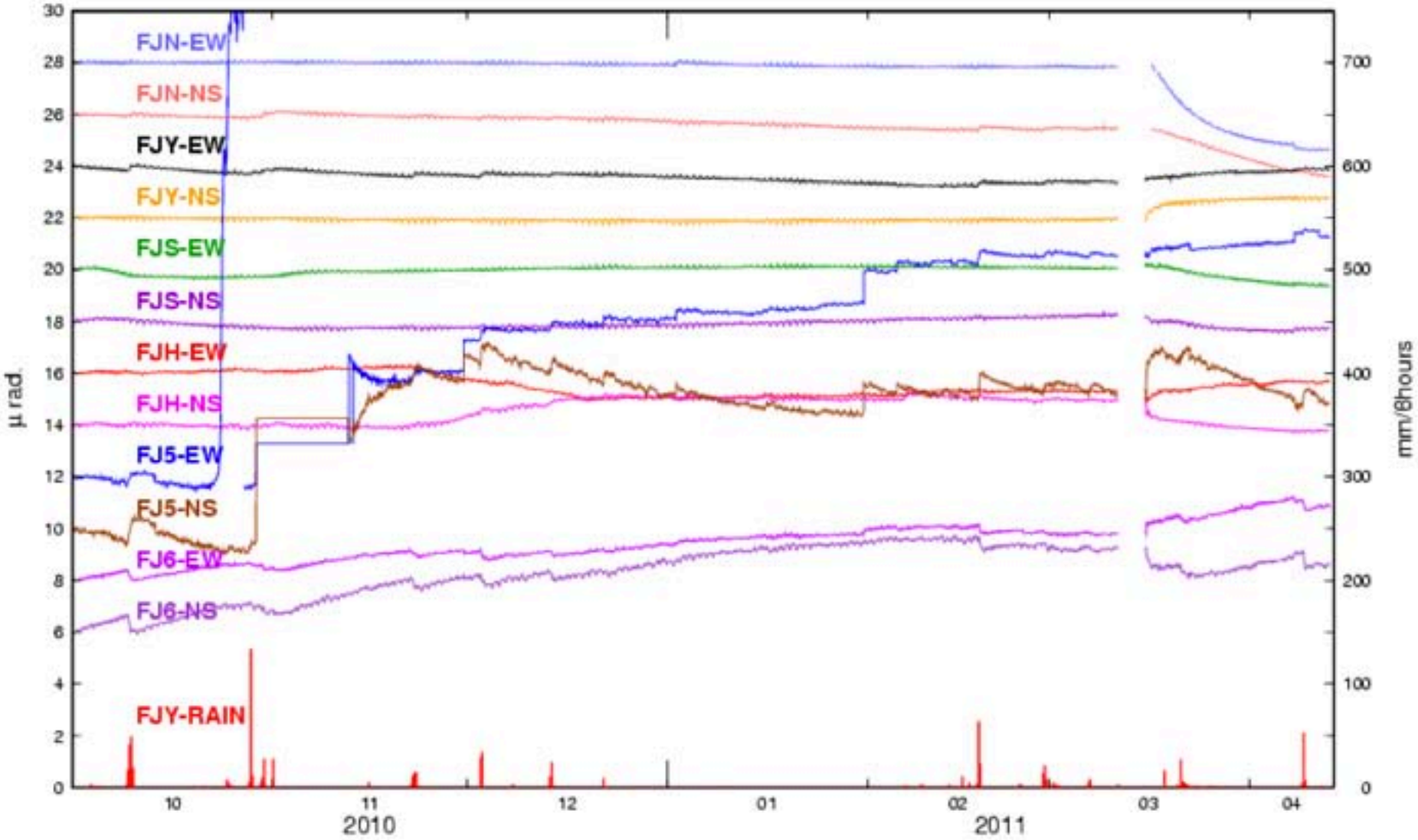

震源分布図（半年間）
震源分布図（一ヶ月間）
FJN
FJ5
FJS
FJH
FJ6
FJY
NIED
JMA
YIES
10 km
Depth (km)
M<-1
M=-1
M=0
M=1
M=2 低周波地震
M=3 低周波地震以外の地震
M=4
M=5
Magnitude
2010
2011
03
04

防災科研（2011）


Baseline Length Change (cm)
FJHV-FJ5V
Slope Distance7836.12158 m
FJHV-FJ6V
Slope Distance10382.2871 m
FJHV-FJMH
Slope Distance13371.8223 m
FJ5V-FJ6V
Slope Distance6765.28076 m
FJMH-FJ5V
Slope Distance19002.6367 m
FJMH-FJ6V
Slope Distance16146.8037 m
10
5
0
-5
-10
15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13
03
04

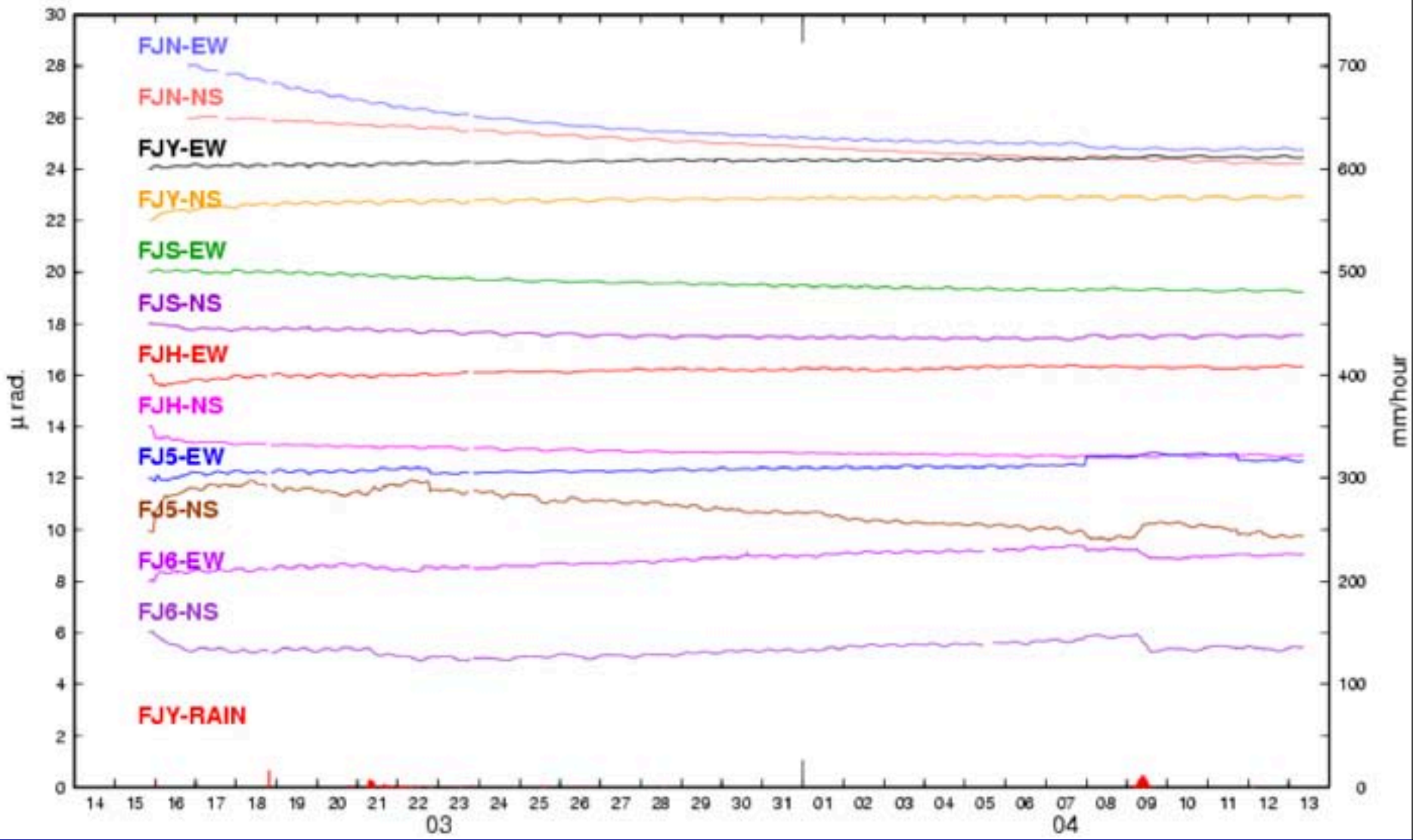
最近1週間　最近1ヶ月間　最近半年間　最近1年間

防災科研（2011）



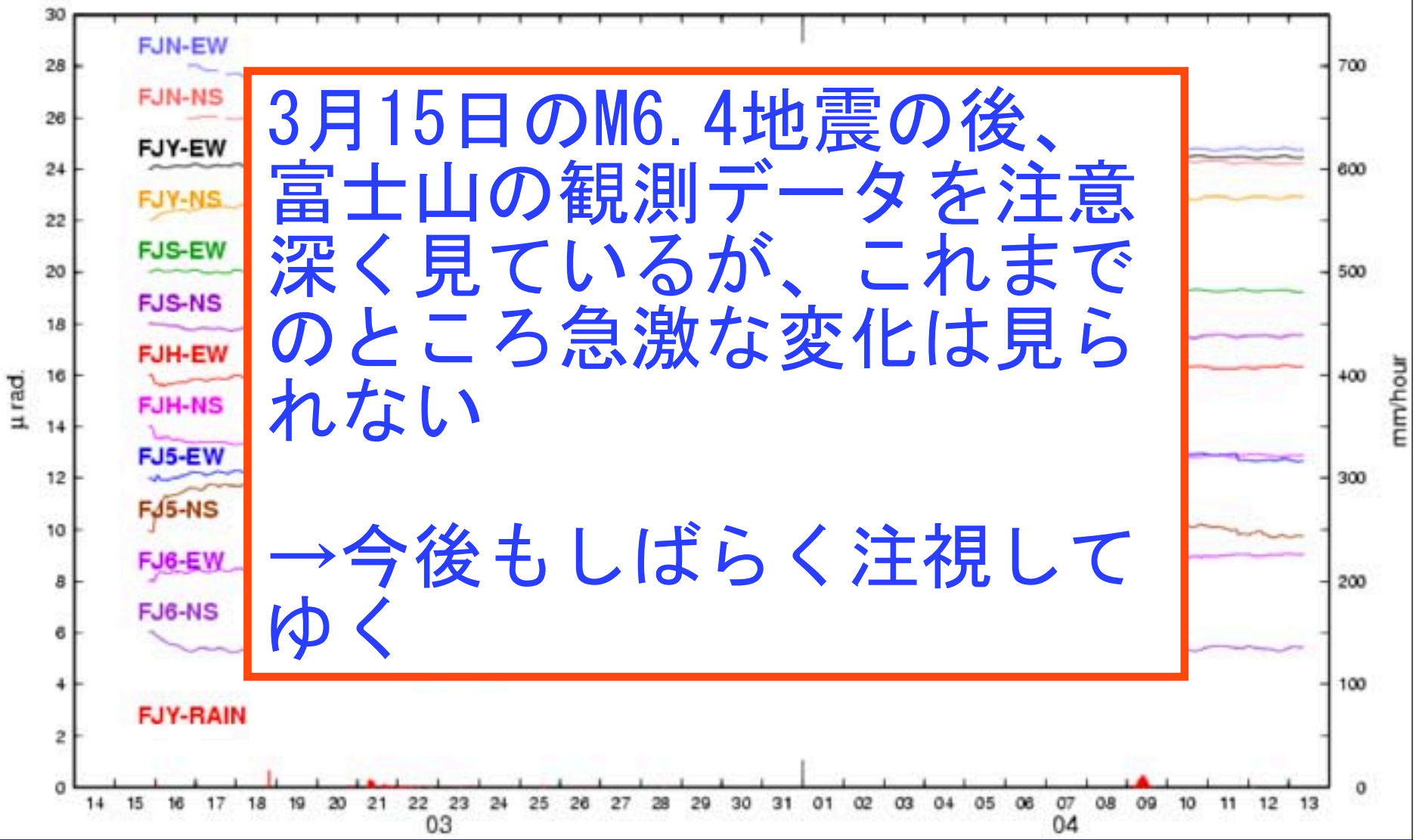
最近1週間　最近1ヶ月間　最近半年間　最近1年間

防災科研（2011）



最近1週間　最近1ヶ月間　最近半年間　最近1年間

防災科研（2011）



3月15日のM6.4地震の後、富士山の観測データを注意深く見ているが、これまでのところ急激な変化は見られない

→今後もしばらく注視してゆく