南海トラフ地震の予測と防災に向けた提言

吉田明夫（静岡大学客員教授）

地震調査私見 気象技監 藤原咲平

昭和十九年十二月七日　静岡、愛知、三重三県を中心として大地震起り被害大なり。殊に軍国重大なる時機に於て汽車不通を生じ、輸送力に対する影響甚大なると、各種軍需工場の破壊を伴ひ生産力上の障害大なる等より見て、其れ等に対する各當局の参考とすると共に将来の見透し及地震学上の研究に資せんが爲め、運輸通信大臣の鉄道被害御視察に随行して十二月九日十八時四十分東京駅発同夜静岡市一泊十日静岡より名古屋迄の沿線を視察し、同地に於ける吉野長官の地震関係懇談會に出席し十一日七時東京に歸着せり。その間視察調査せし所及愚見を綴りて以て報告す。

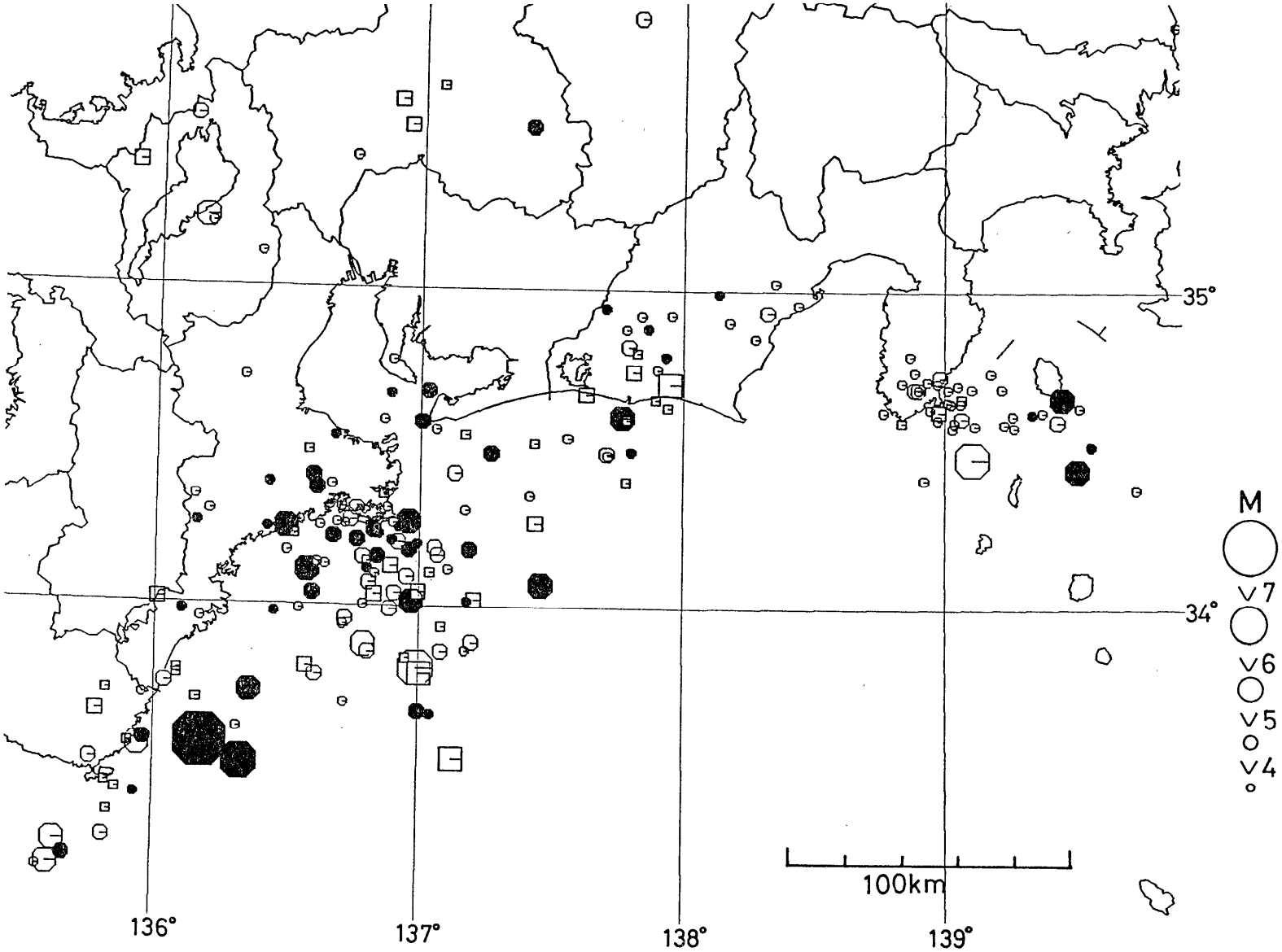
御前崎村

御前崎測候所で記録された餘震は初期微動時間が9～12秒のものの外3～6秒の小地震が発生してゐる。即ち**御前崎の極く附近にも局部的に餘震が発生してゐる事を示してゐる。**

此の遠州灘に面した浜では津浪の際に汀線から約35米の邊迄潮が上つたとの事であるので浜の傾斜を100分の5と概測して**津浪の高さは2.0米**と成る。遠州灘の津浪を看視して居た警備隊員の談を綜合すると津浪は14時5分に引き波で始まり14時37分には可成りの沖迄潮が引ひた。そして大小の津浪が數回あつたとの事である。従つて**津浪は震後30分して始まつた事になる。**

1944年東南海地震の余震活動（直後30日間）

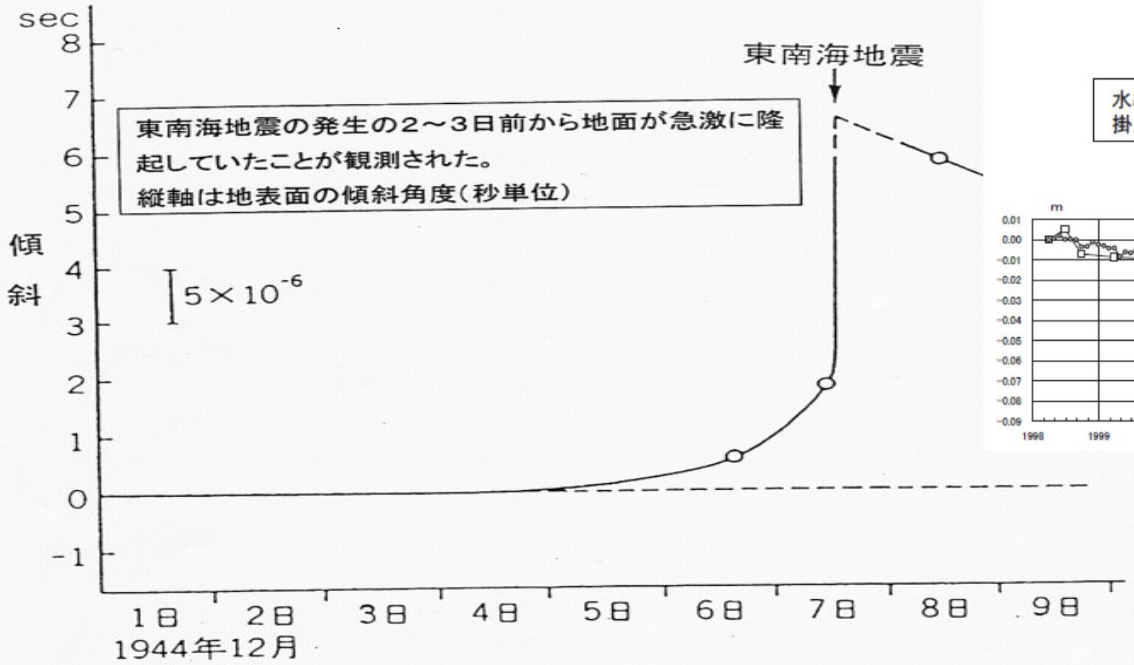
岩田孝仁・浜田信生



１９４４年東南海・１９４６年南海地震の前に観測された前兆とおぼしき現象

- 掛川付近の水準測量の際の地殻変動
- 浦神での潮位記録データにみられる変化
- 四国・紀伊半島での地下水位変化
- 地震活動の静穏化
- ・・・

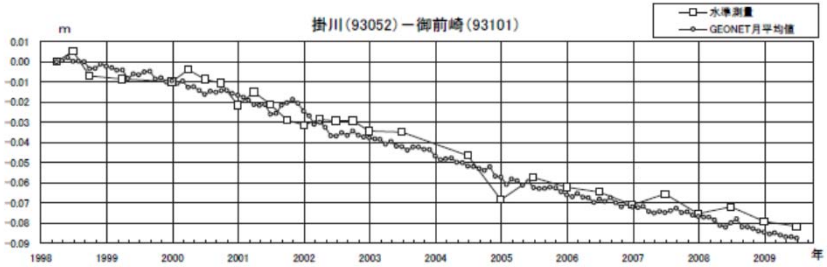
1944年東南海地震直前の静岡県掛川付近の傾斜変化



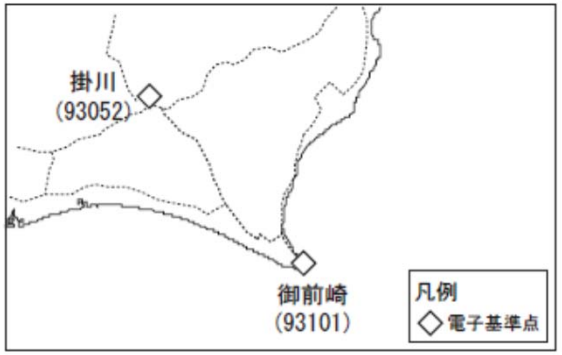
御前崎　電子基準点の上下変動

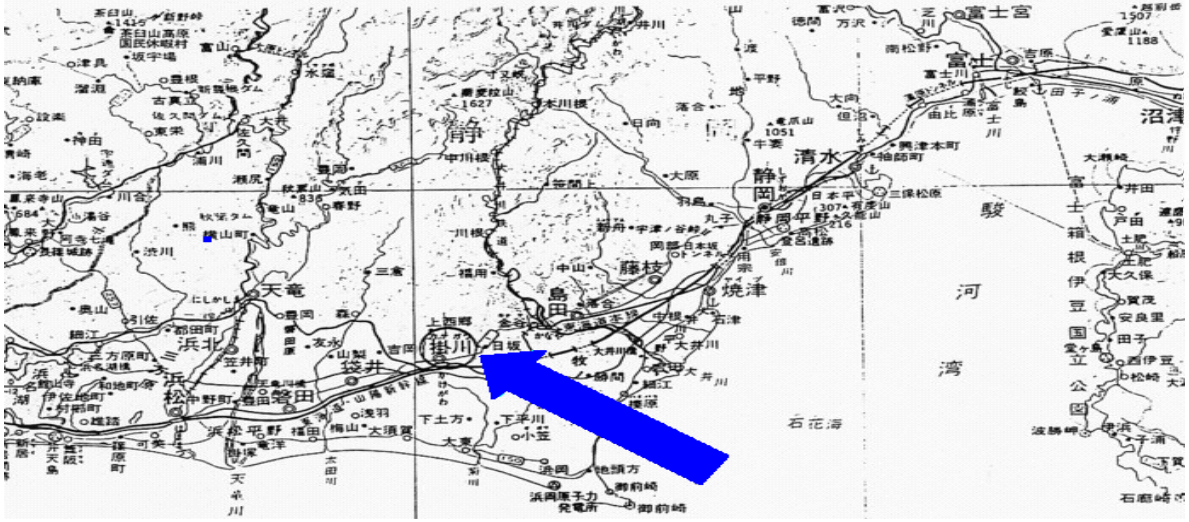
水準測量と GPS 観測の比較

水準測量と GPS 観測の結果は，よく一致している．
掛川に対して，御前崎が沈降する長期的な傾向が続いている．



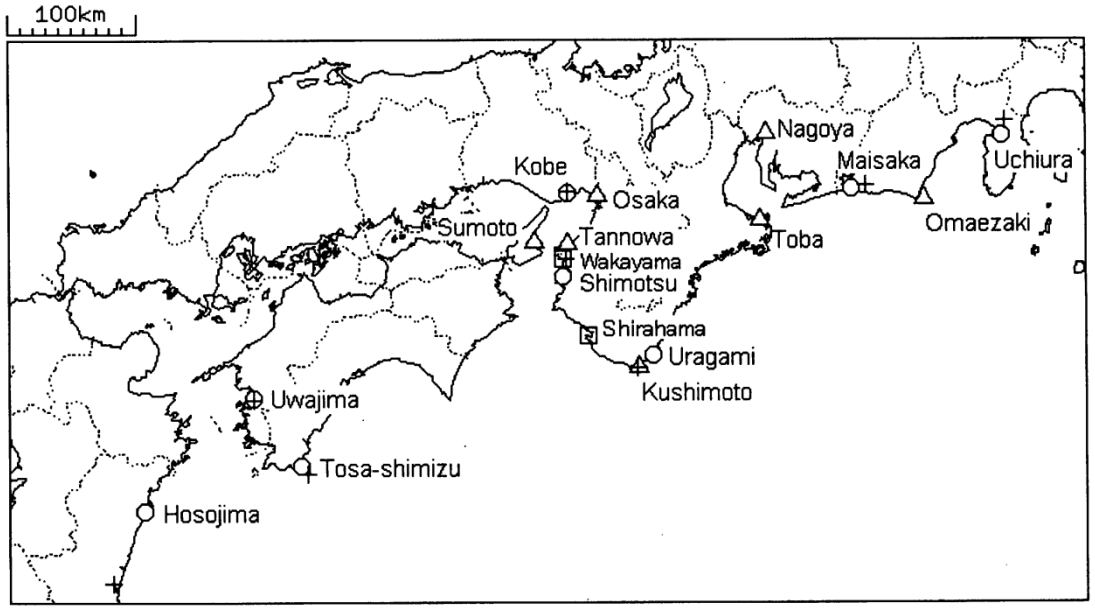
位置図



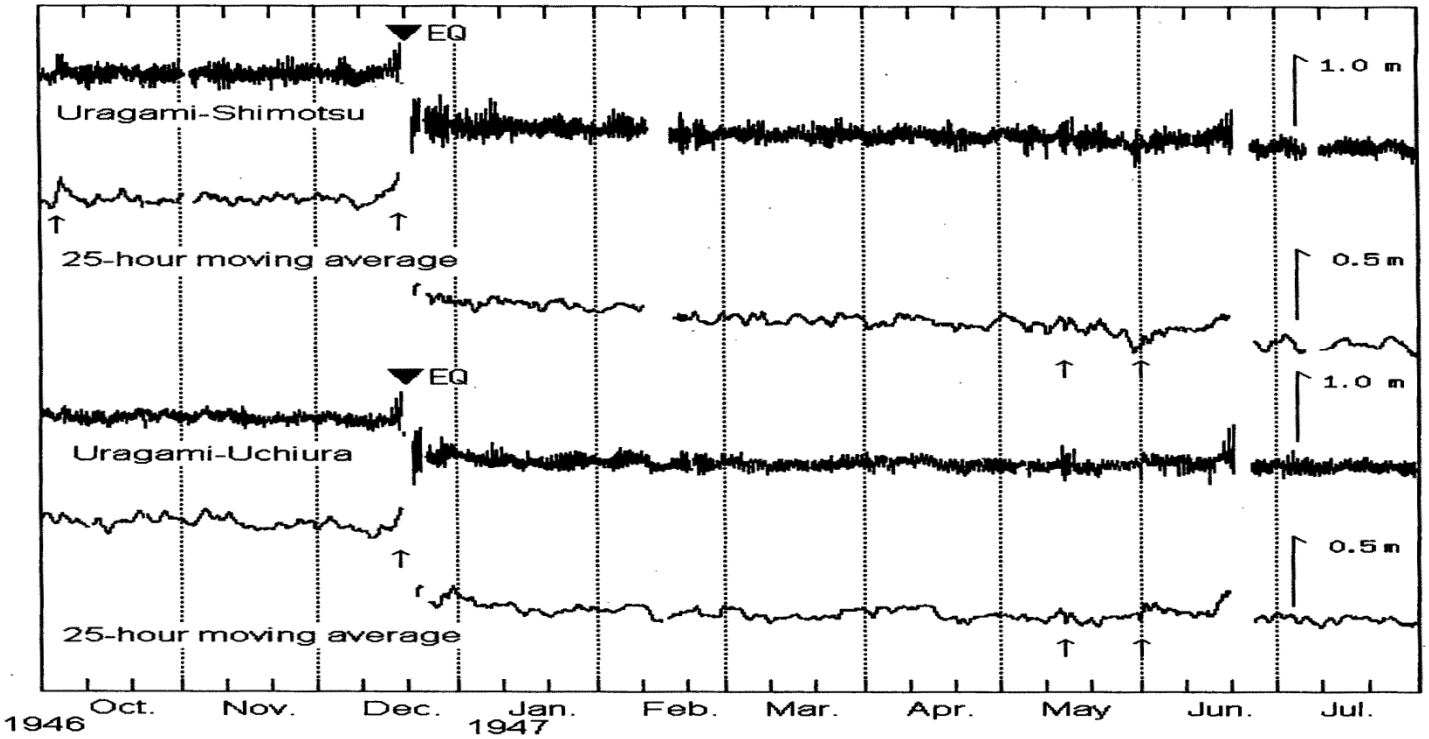


1946年南海地震の直前に紀伊半島南端の浦神の潮位が上昇したように見える

下図は 浦神ー下津 及び 浦神ー内浦の間の潮位差

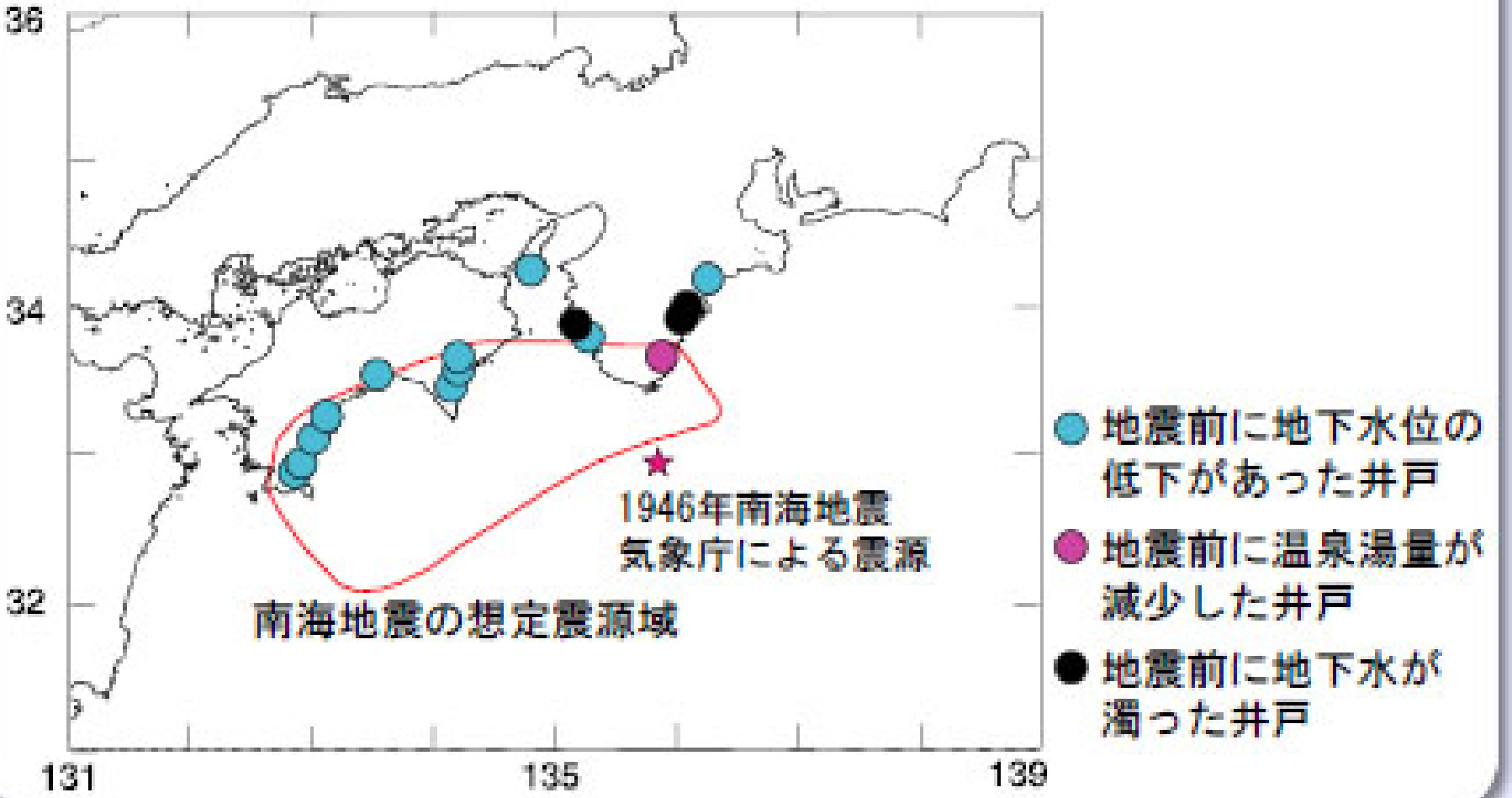


1946 年南海地震直前の浦神の潮位変化

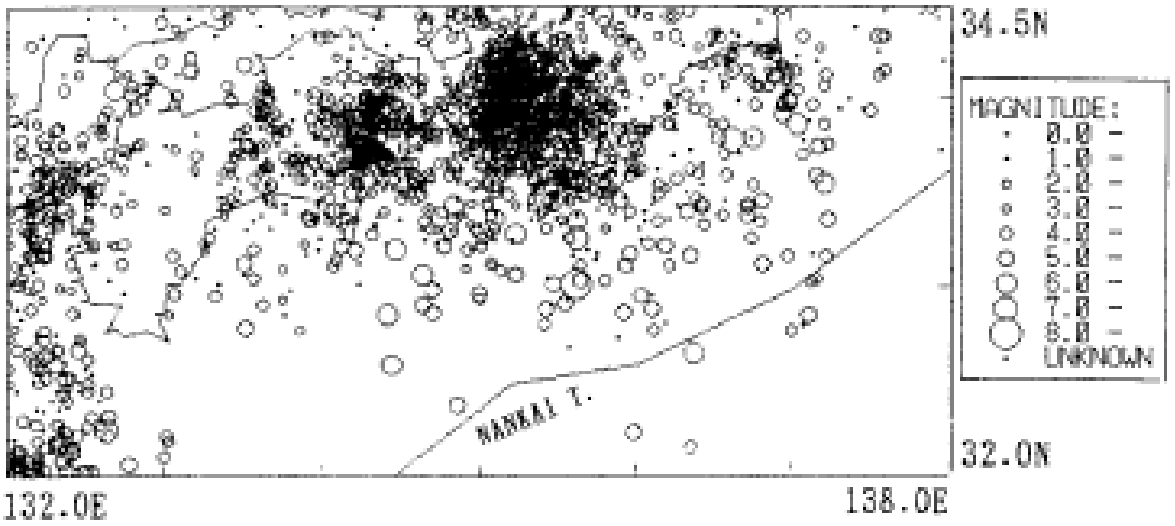


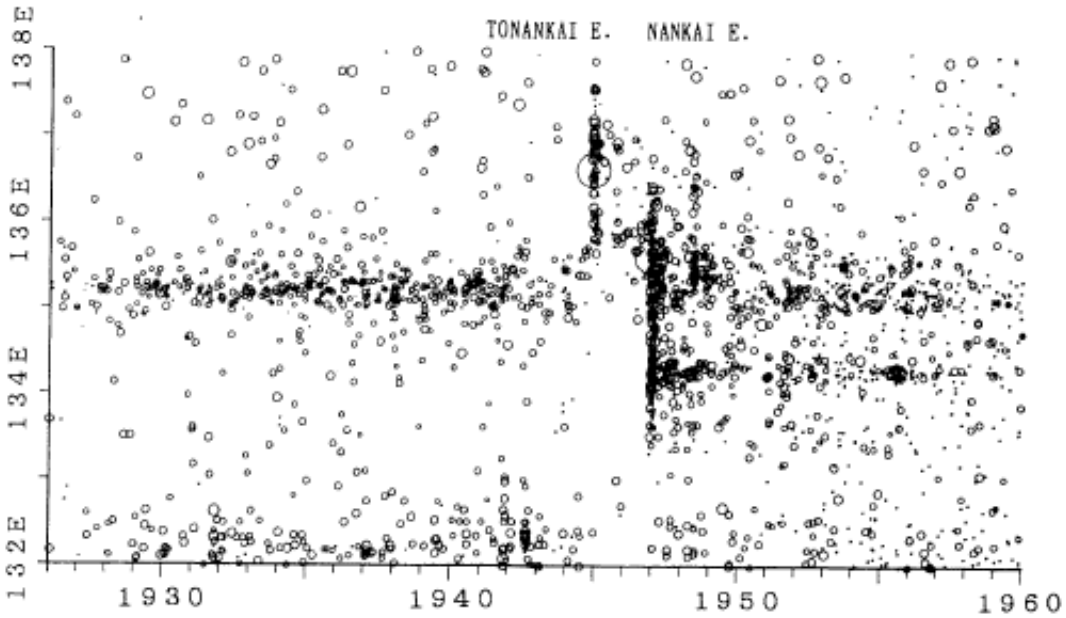
小林・真砂・吉田 (2002)

1946年南海地震前の地下水等の変化（海上保安庁水路局，1948）



1944年東南海地震・1946年南海地震の前に、広域で地震活動が静穏化した

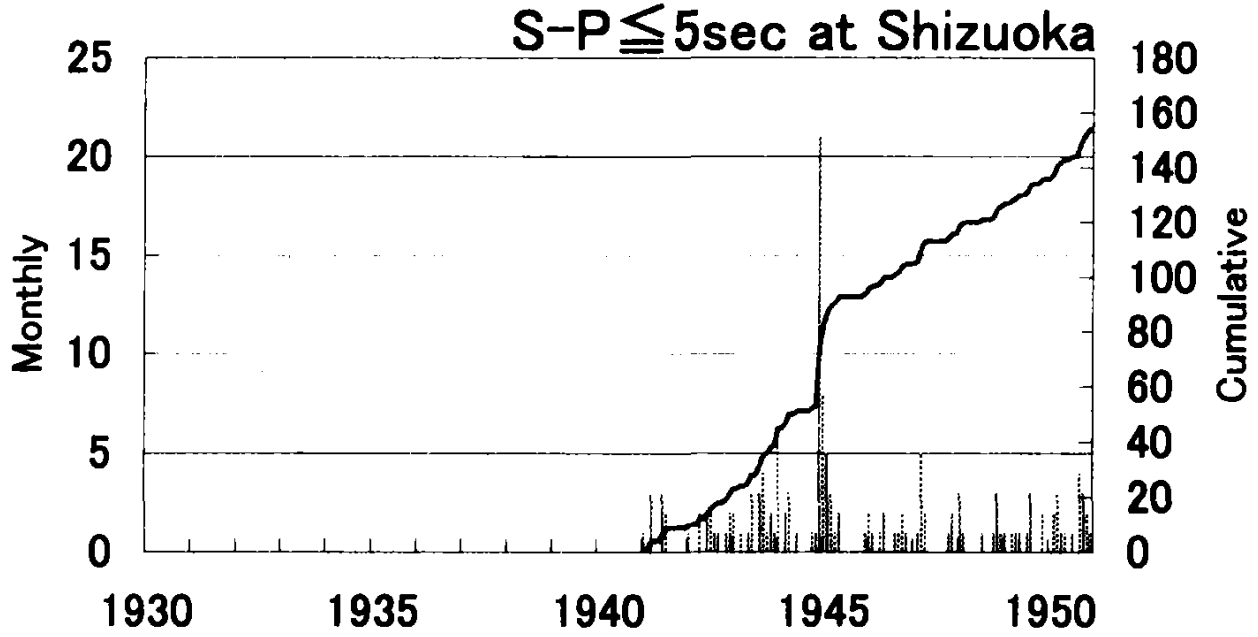




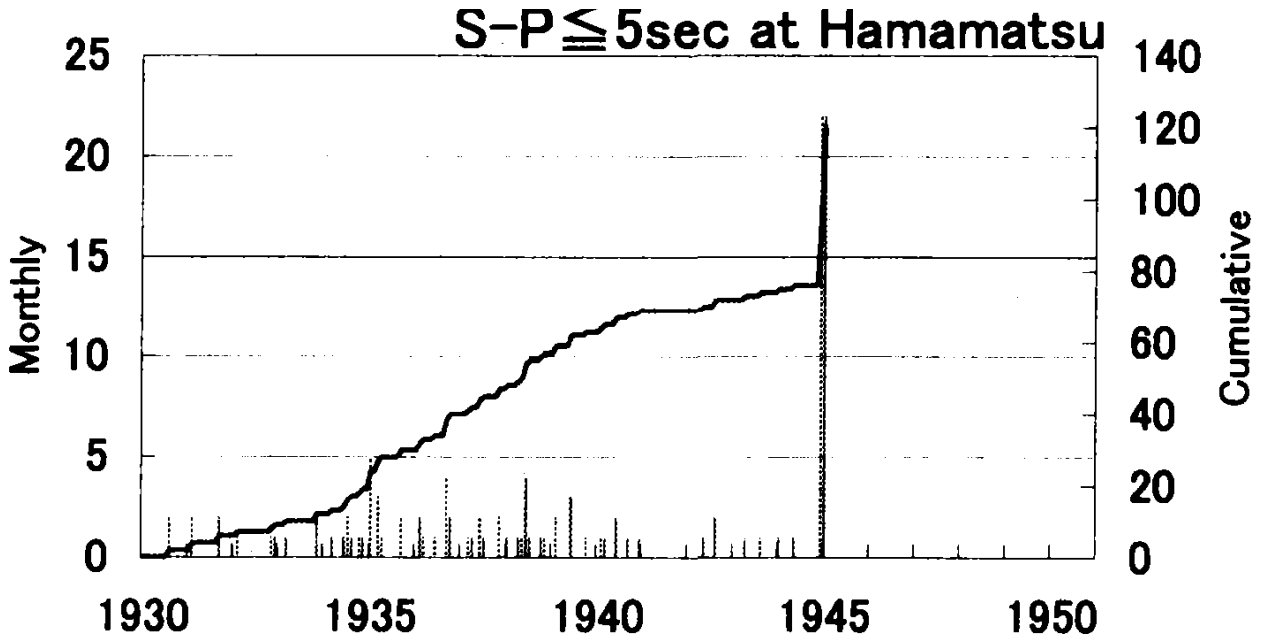
木村・岡野 (1995)

1944年東南海地震前に観測された地震活動の静穏化 （青木・吉田 2001）

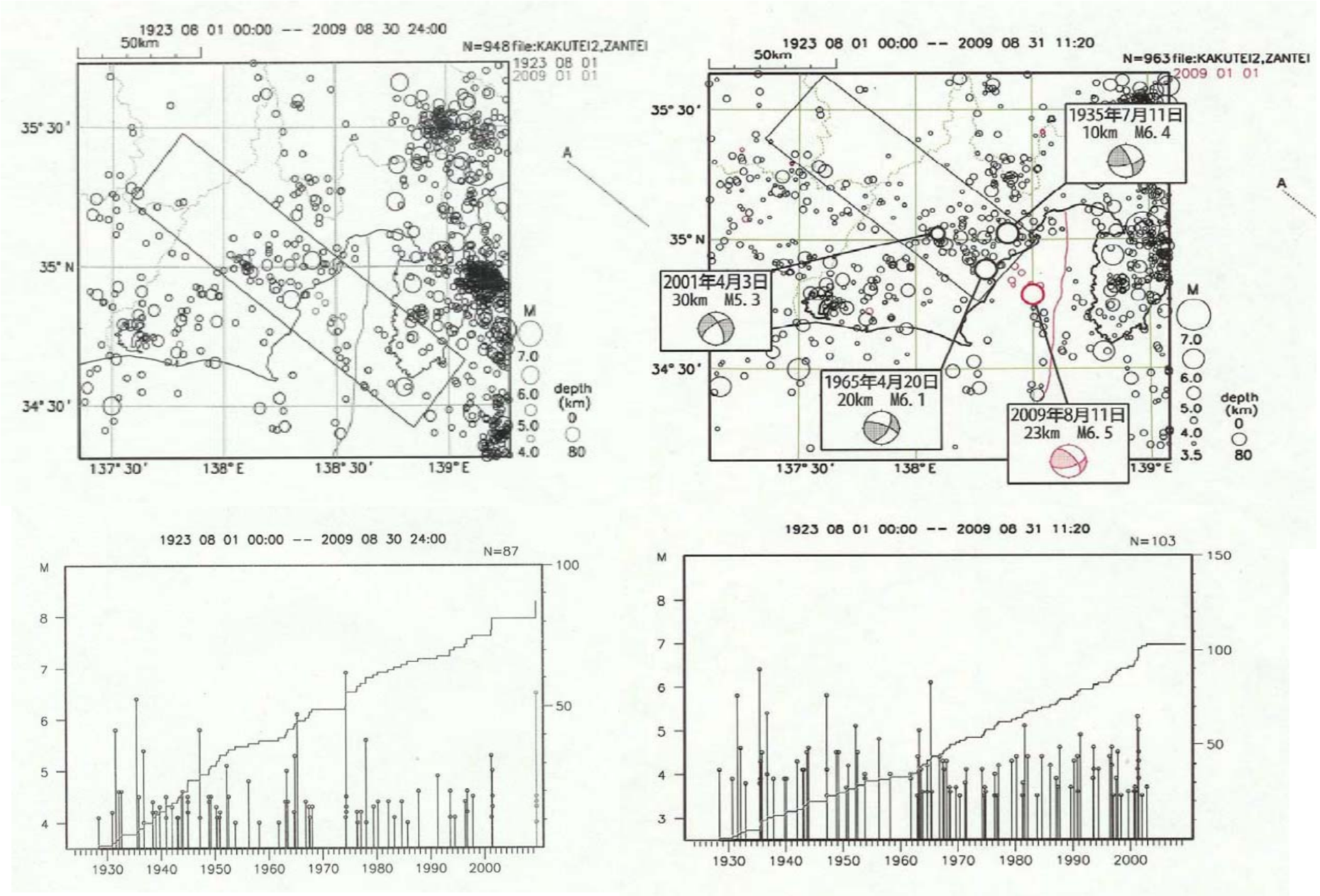
静岡測候所でS－Pが5秒以内の地震



浜松測候所でS－Pが5秒以内の地震



2009年駿河湾地震（M6.5)の前にみられた石廊崎ー焼津ゾーンの静穏化

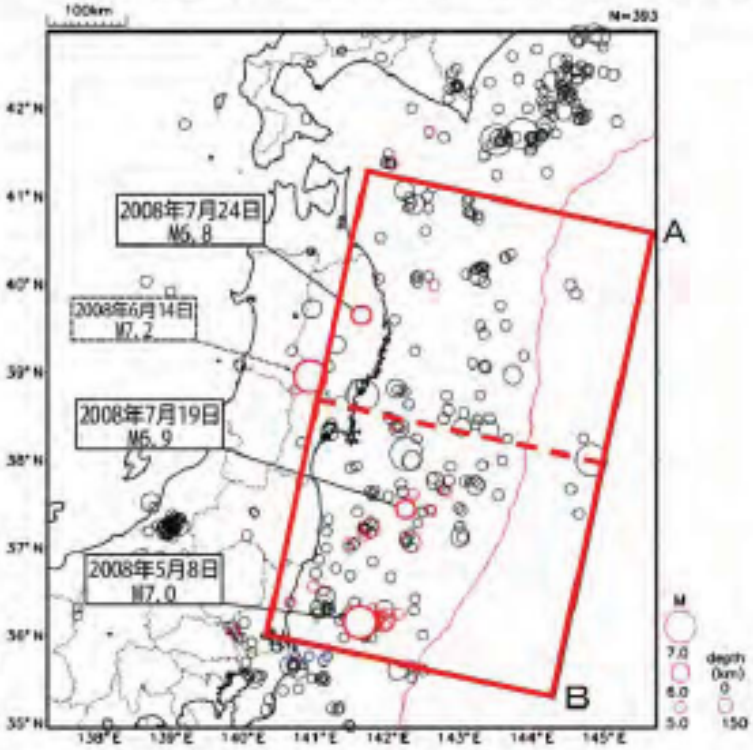


２０１１年東北地方太平洋沖地震の前に観測された前兆現象

- 地震活動の静穏化
- 前震
- 地震発生の明瞭な潮汐応答
- 地殻短縮変動の減少
- *b* 値の低下
- ・・・

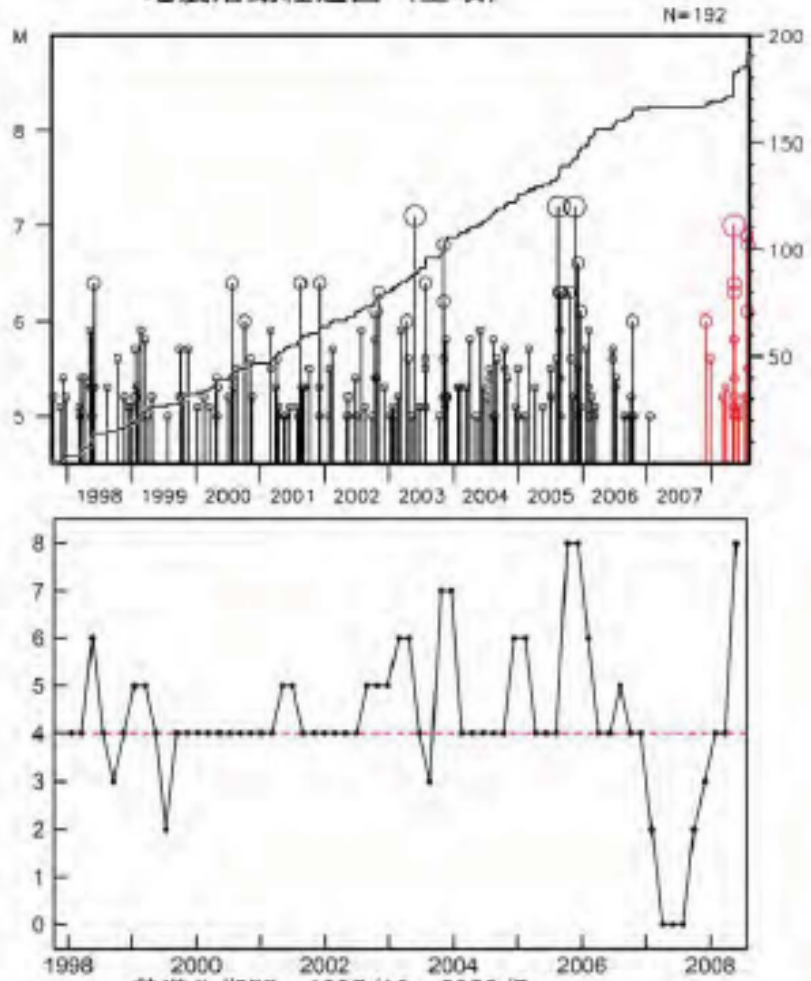
震源域とその周辺で地震活動が2007年に広域静穏化

震央分布図（1997年10月～，M≧5.0，深さ150km以浅）



東北地方の太平洋側の地震活動は，2007年当初から低い状態が続いていたが，2008年に入ってから，5月8日茨城県沖（M7.0），7月19日福島県沖（M6.9），7月24日岩手県沿岸北部（M6.8）の地震の他，上図の矩形領域外だが6月14日岩手・宮城内陸地震（M7.2）など大きな地震が相次いでいる

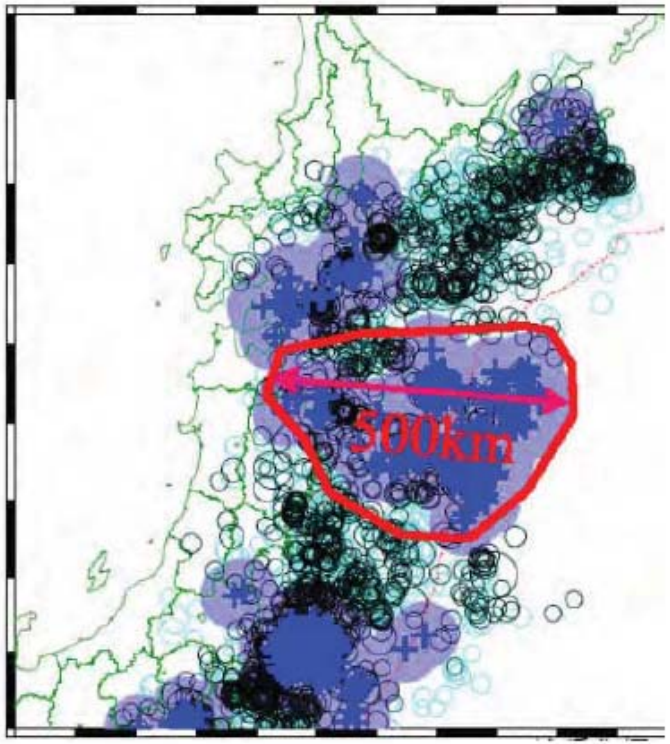
地震活動経過図（全域）



基準化期間：1997/10～2008/7
指数化単位：120日間を60日毎
デクラスタ：Δr=20km Δt=20日

気象庁 (2008)

震源域とその周辺で地震活動が2001年から静穏化



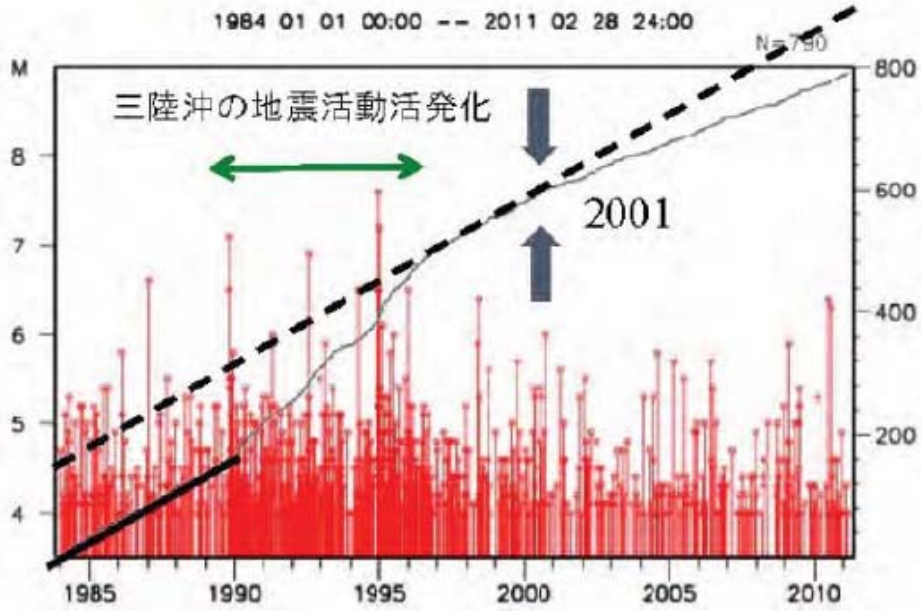
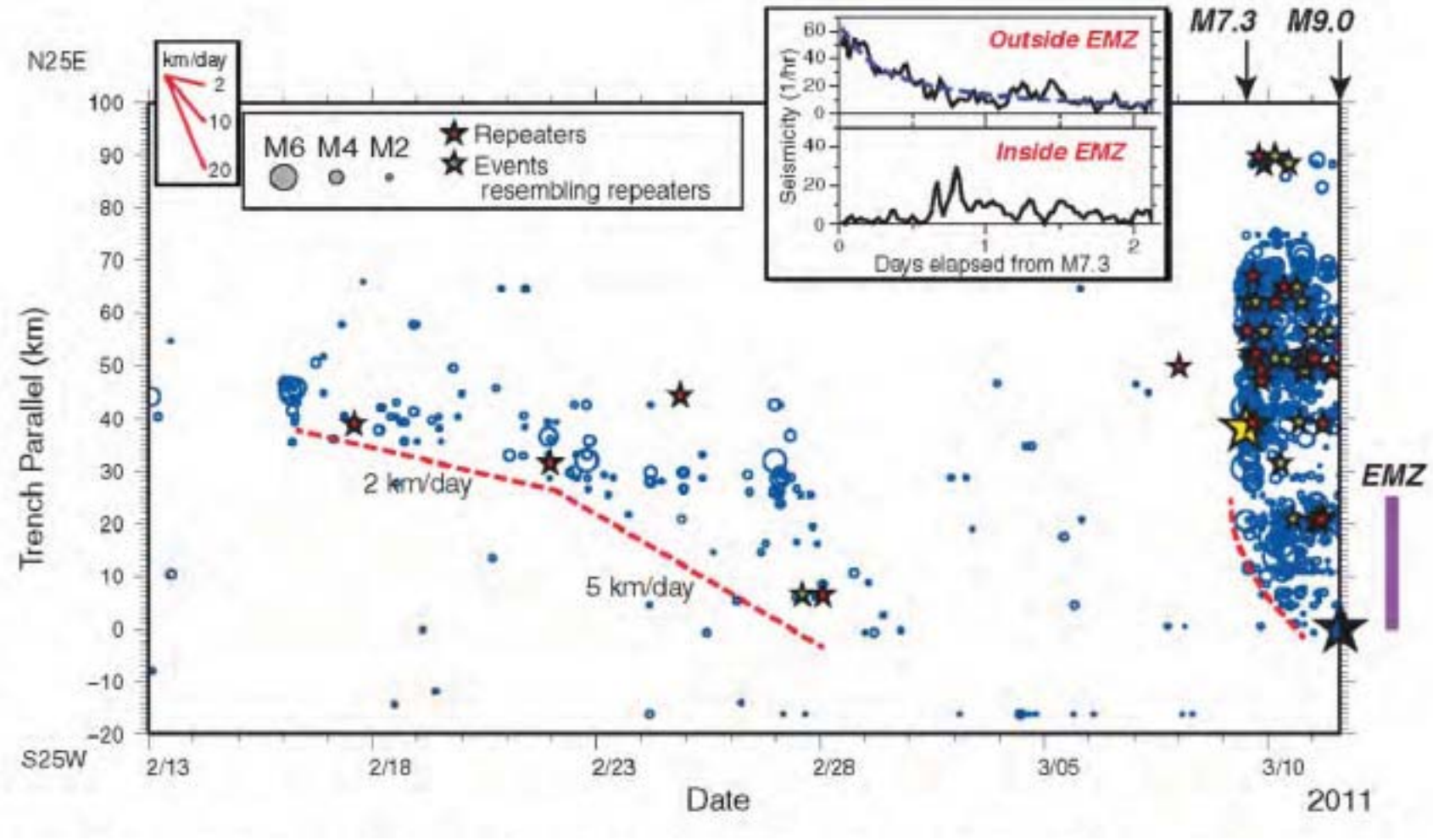


図 1.（左）2001-2011/2 に検出された静穏化域を青円で示す．青円の半径は 50 km に固定．赤線枠で囲んだ領域は，この期間内終始静穏化状態にあった．一方他の領域は短期的に消失したり，場所が動いたりしていて安定しない．（右）左図赤線枠内の M-T および回数積算図．

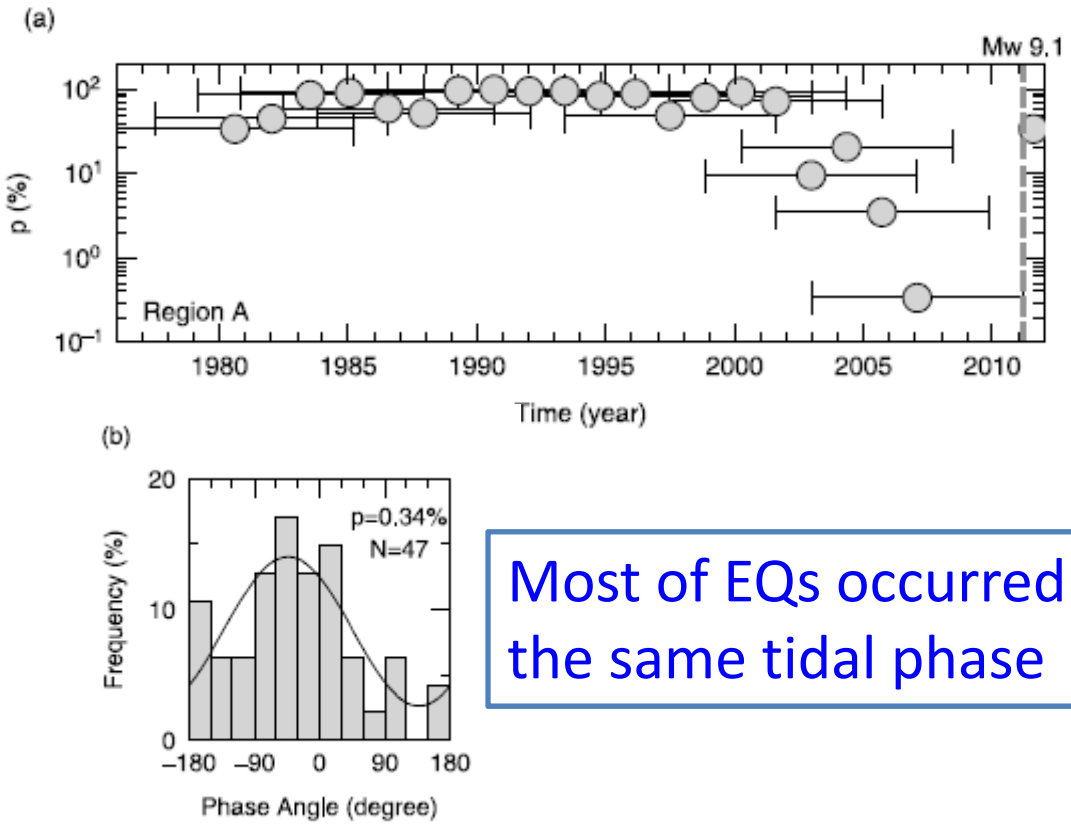
気象研究所 (2008)

２日前のM7.3の前震と2月の微小地震活動にみられた震源移動

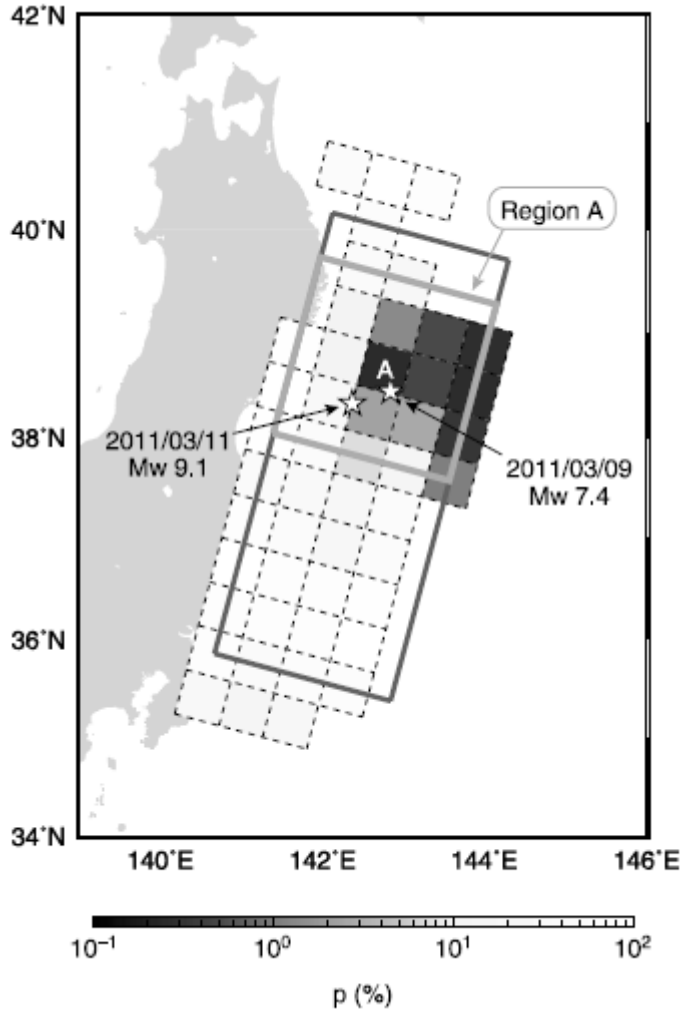


地震研究所(2011)

Tanaka, S., Tidal triggering of earthquakes prior to the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw9.1), Geophys. Res. Lett., 39, 2012.



Most of EQs occurred the same tidal phase



This change is quite dominant!

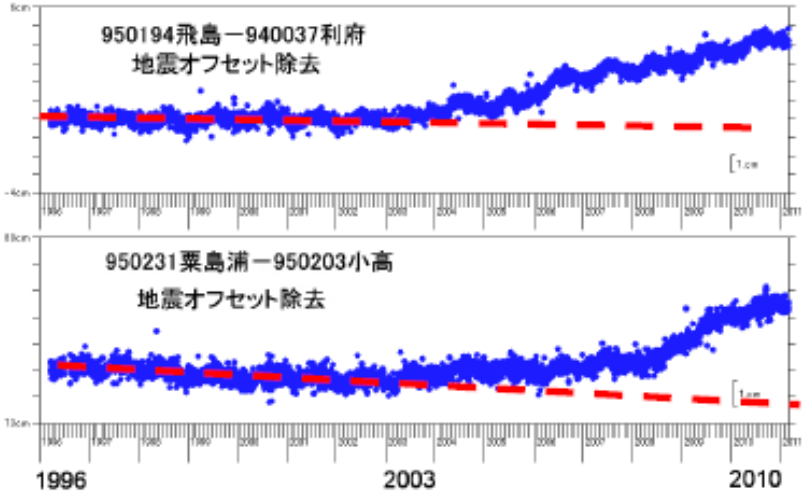
Figure 4. (a) Temporal variation of *p*-value in region A indicated in Figure 3. A time window of 3000 days shown by horizontal line is shifted by 500 days. (b) Histogram showing the phase distribution of earthquakes in region A in the 3000 days prior to the Tohoku-Oki earthquake. Solid curve is the best-fit sinusoid to the distribution.

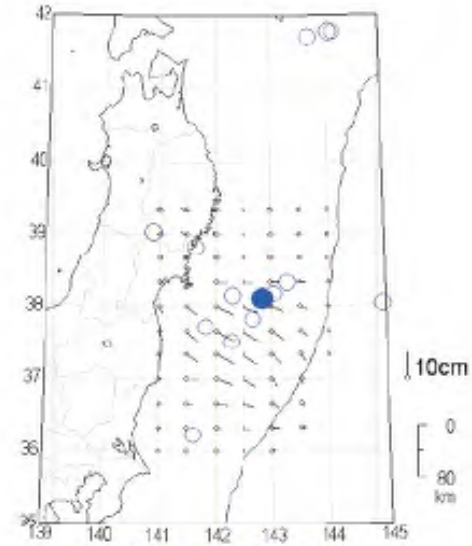
地殻変動

5.1. 非定常変位は 2003 年頃から開始（気象研究所, 2011）

GPS の基線長変化から非定常変位は 2003 年頃から始まっているように見える．プレート境界上のすべり分布を求めると（地震時の変動は除くが余効変動は含む），東北地方太平洋沖地震の破壊開始点から主に南側の福島県，茨城県沖に分布している．

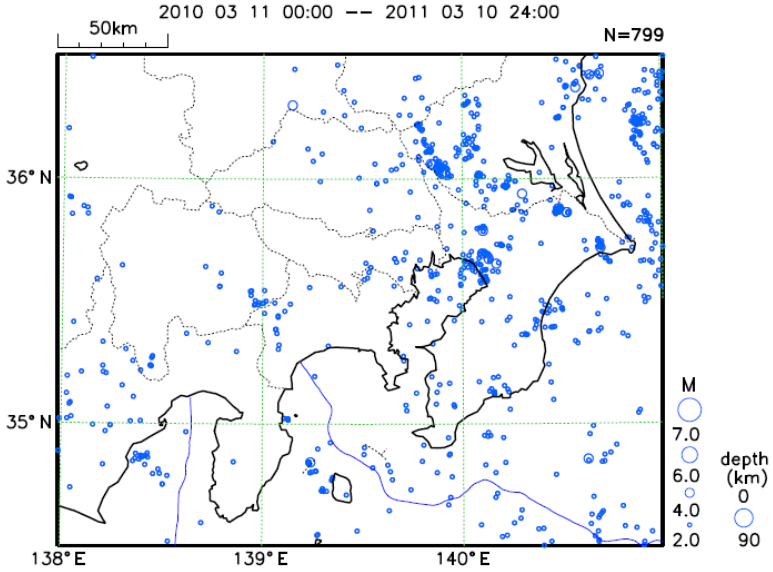
非定常的な変動

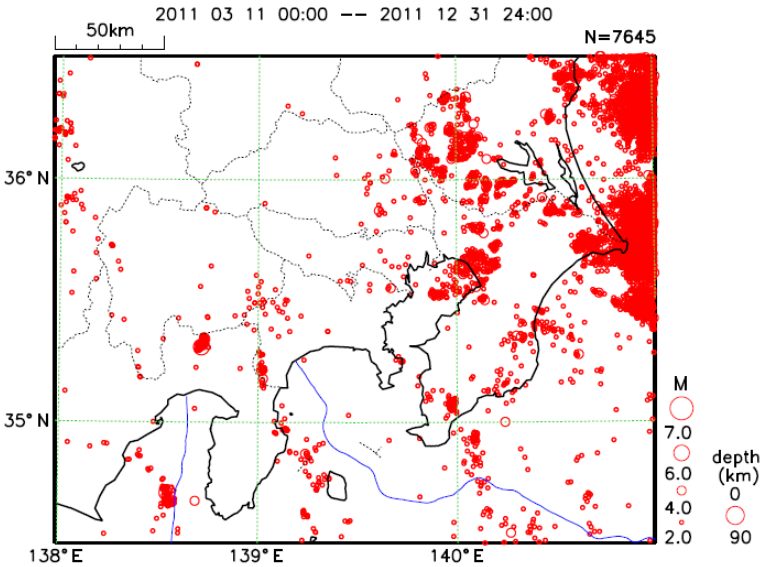


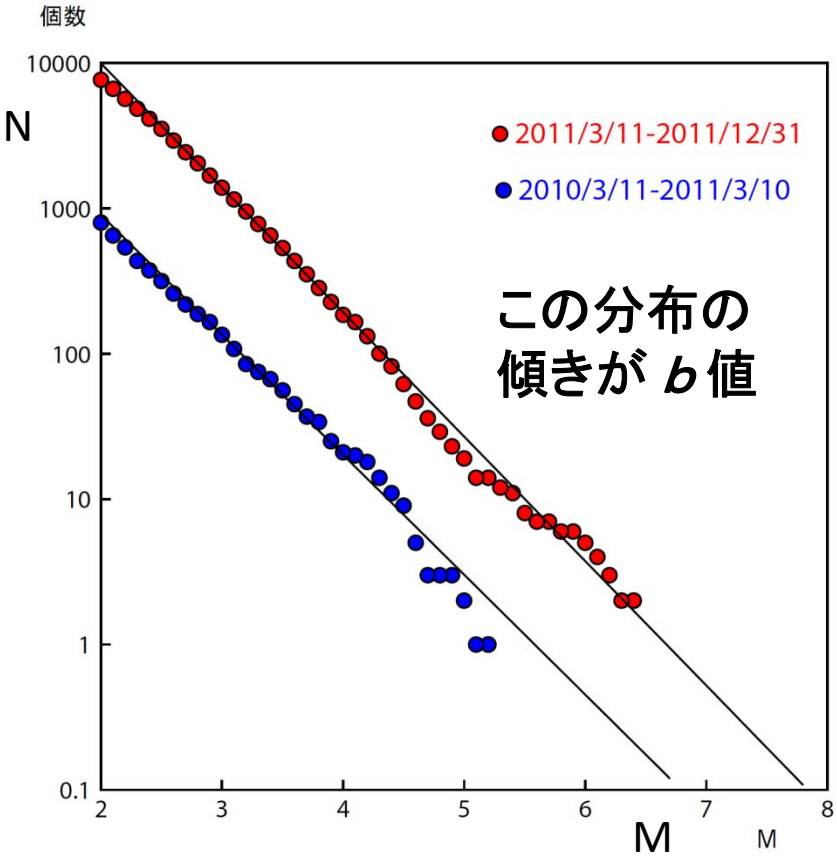


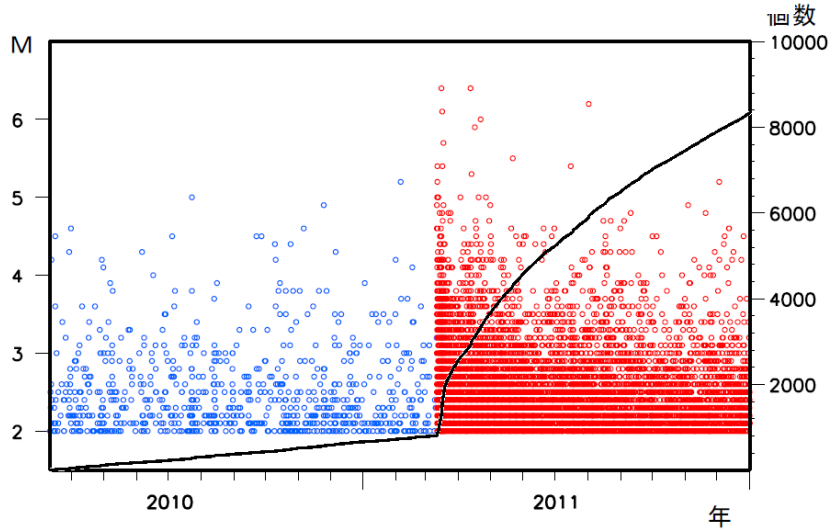
第 4 図　非定常成分がプレート境界のすべりによるとして推定したすべり分布
●：東北地方太平洋沖地震
○：2003 年から上記地震までに発生した M6.7 以上の地震

気象研究所


2010 03 11 00:00 -- 2011 03 10 24:00
50km
N=799
36° N
35° N
138° E
139° E
140° E
M
7.0
6.0
4.0
2.0
depth
(km)
0
90


2011 03 11 00:00 -- 2011 12 31 24:00
50km
N=7645
36° N
35° N
138° E
139° E
140° E
M
7.0
6.0
4.0
2.0
depth
(km)
0
90


個数
N
10000
1000
100
10
1
0.1
2
3
4
5
6
7
8
M
2011/3/11-2011/12/31
2010/3/11-2011/3/10
この分布の
傾きが b 値


M
6
5
4
3
2
回数
10000
8000
6000
4000
2000
2010
2011
年

b 値の変化

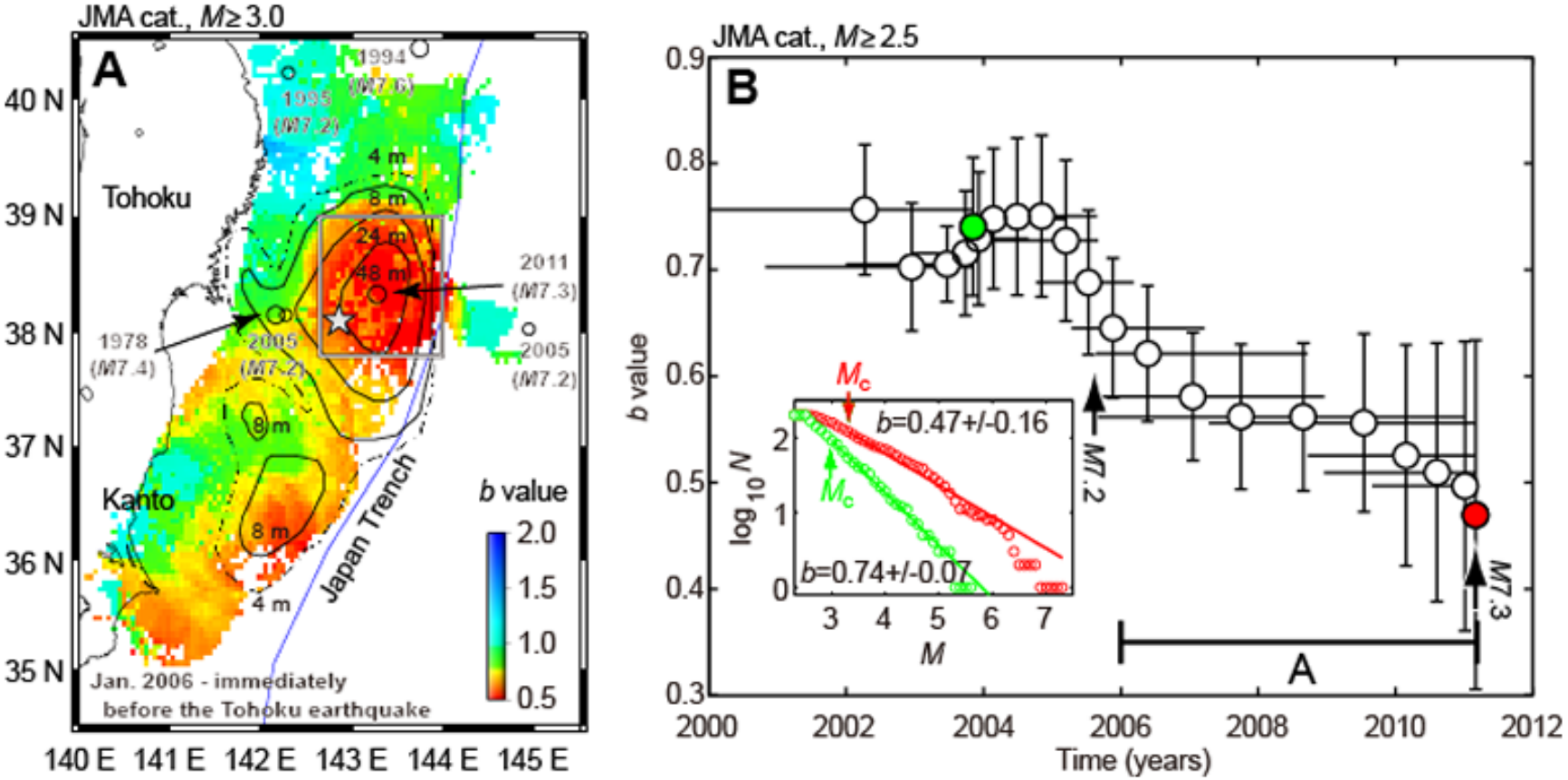
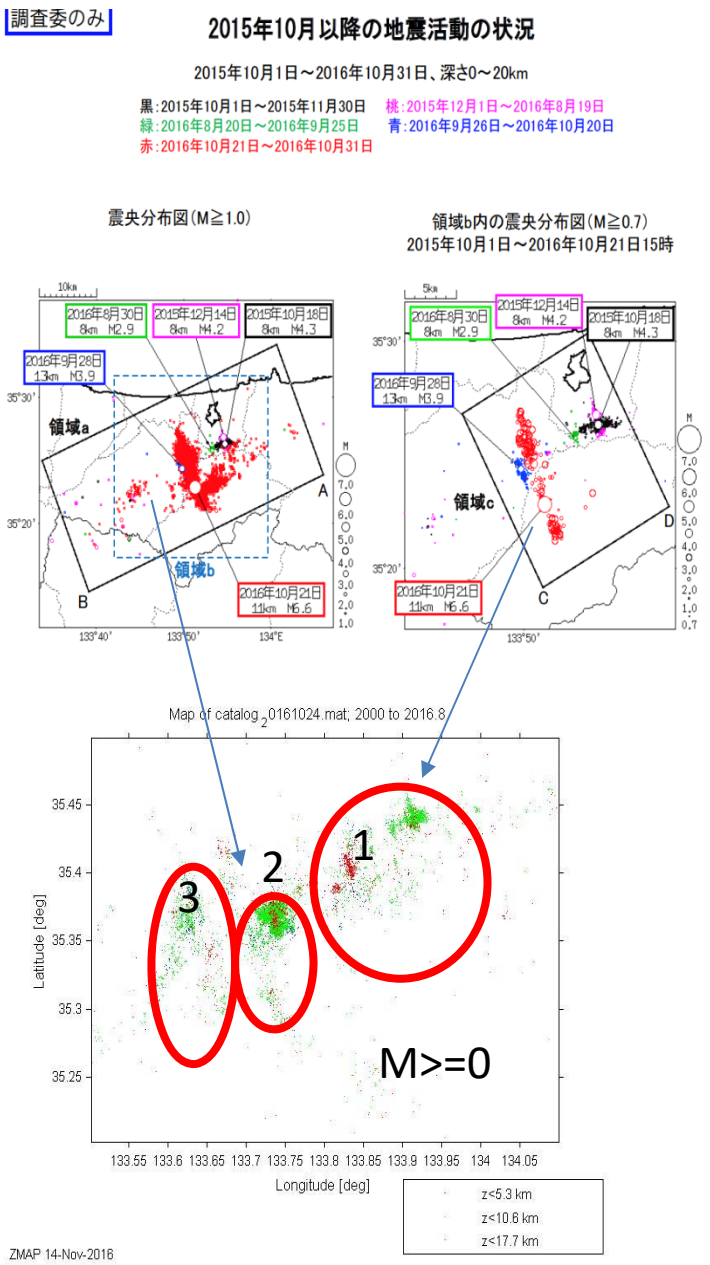
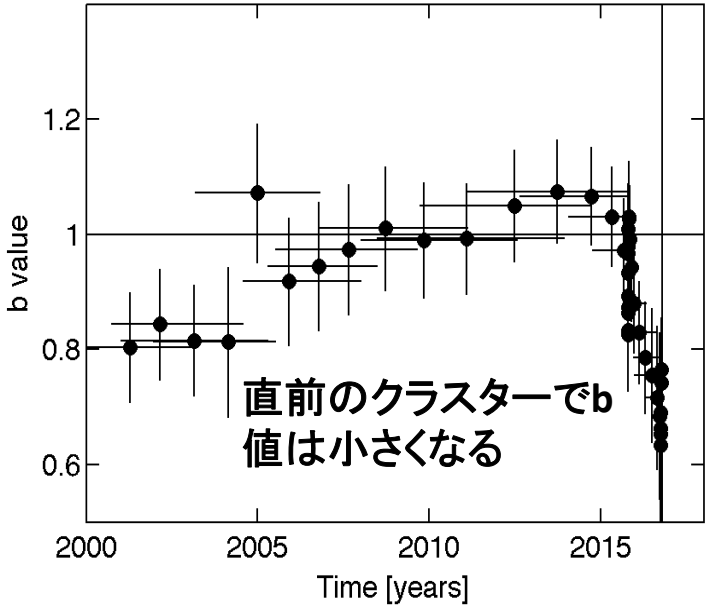


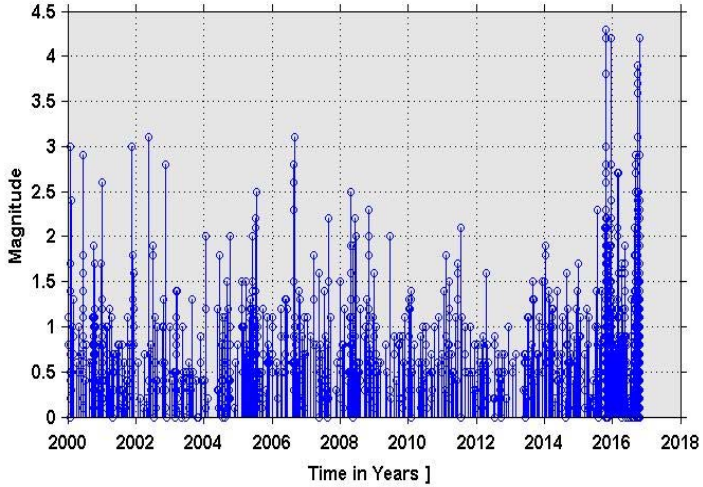
図2：2000年以降の地震活動に基づくb値の時空間変化。 (A) b値の空間分布と2011年東北地震(星印)のすべり分布(コンター)を示す。 b値を求めるために，2006年以降(図B内のAで示す期間)の地震活動を使用。 M≧7.2の地震の震央を丸印で示す。 図中の四角い領域で起きた地震活動をだけを用いて，図Bに示すb値の時系列を作成。 M≧7.2の地震の発生時期を矢印で示す。 差し込み図は，時系列の赤点と緑点における規模別頻度分布がグーテンベルグ・リヒターの法則に良く従うことを示す。

Nanjo et al., 2012 GRL

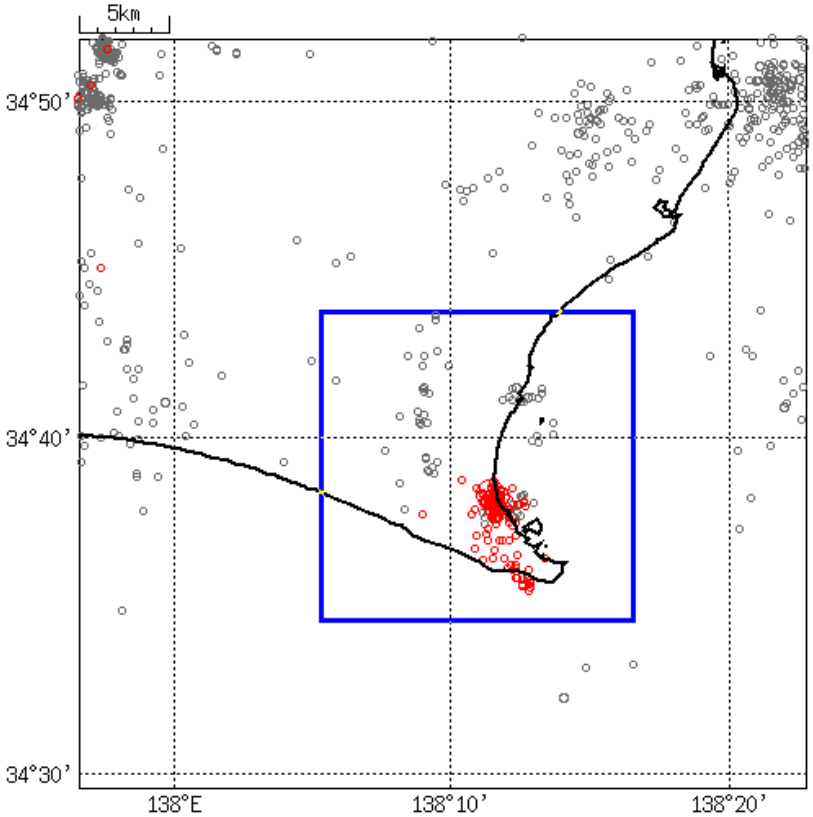
2016年鳥取地震（M6.6）の余震域を囲む領域の地震活動のb値の変化

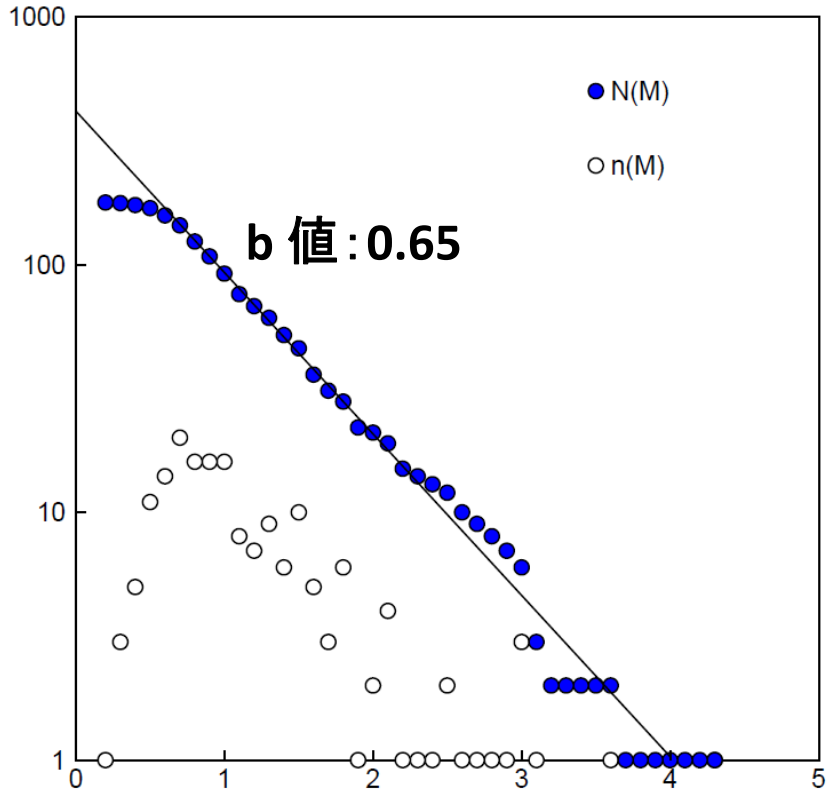


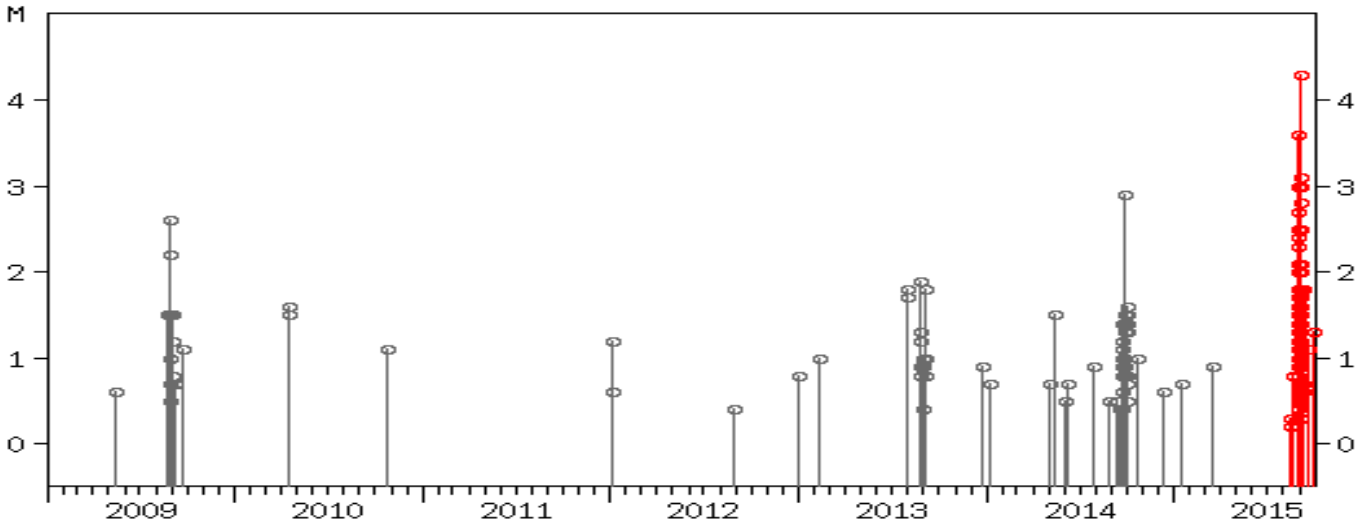




楠城 (2016)


5km
34°50'
34°40'
34°30'
138°E
138°10'
138°20'


N(M)
n(M)
b 値:0.65
1000
100
10
1
0
1
2
3
4
5


M
4
3
2
1
0
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015

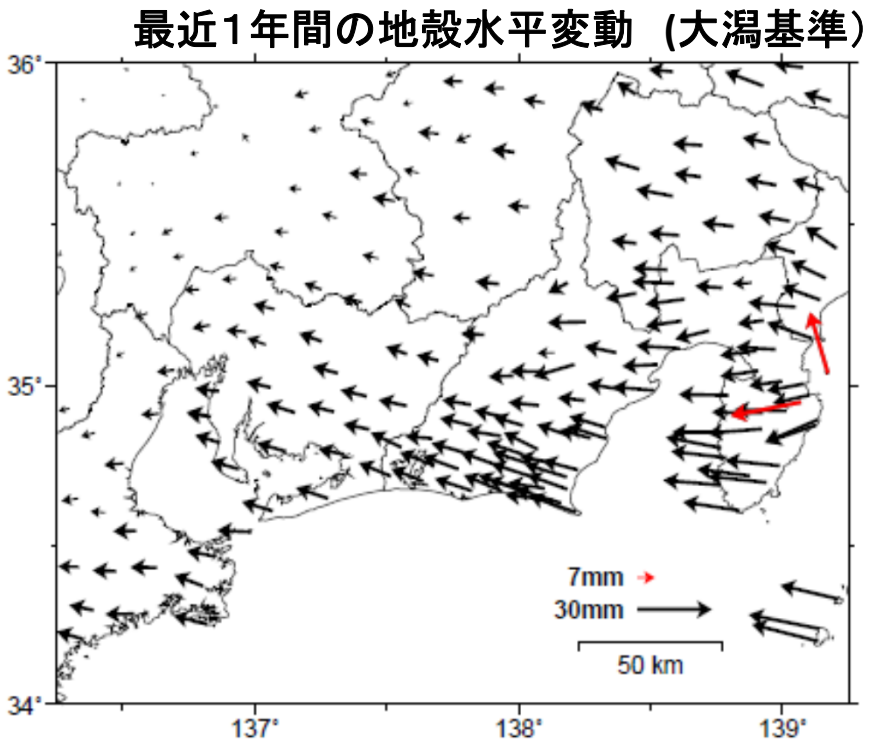
気象庁
(2015)

南海トラフ沿いで前兆の可能性のある特異な現象

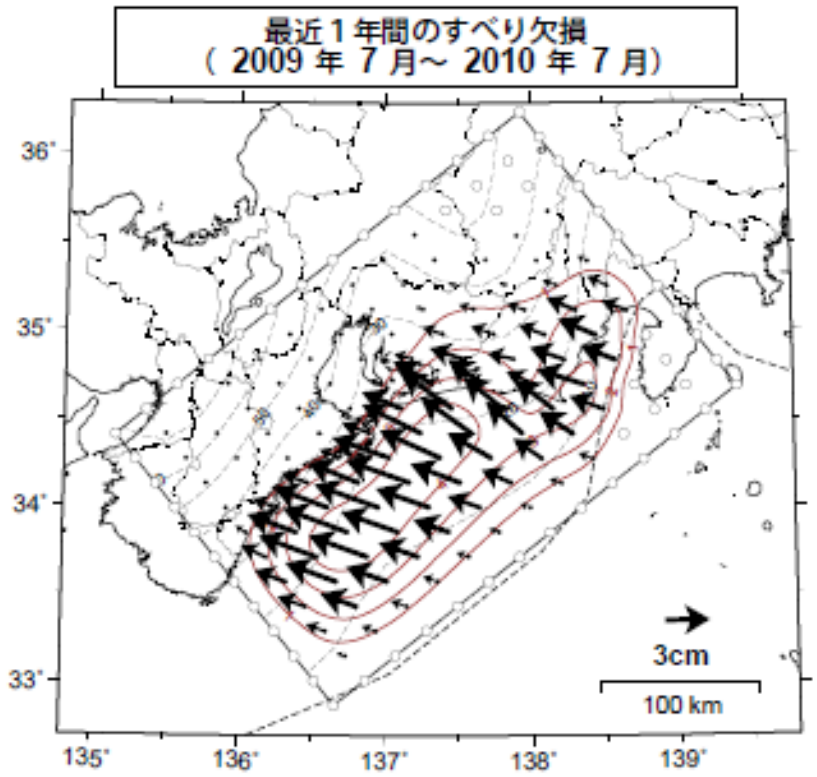
- 前駆的スリップ？
- 長期的スロースリップ領域の拡大？
- 低周波地震活動の活発化？
- プレート間カップリングの部分的はがれ？
- カップリング域の片割れの破壊

- …

プレート境界での固着による水平変動（左）とそれをもたらしている固着（右）



GPSによる観測結果



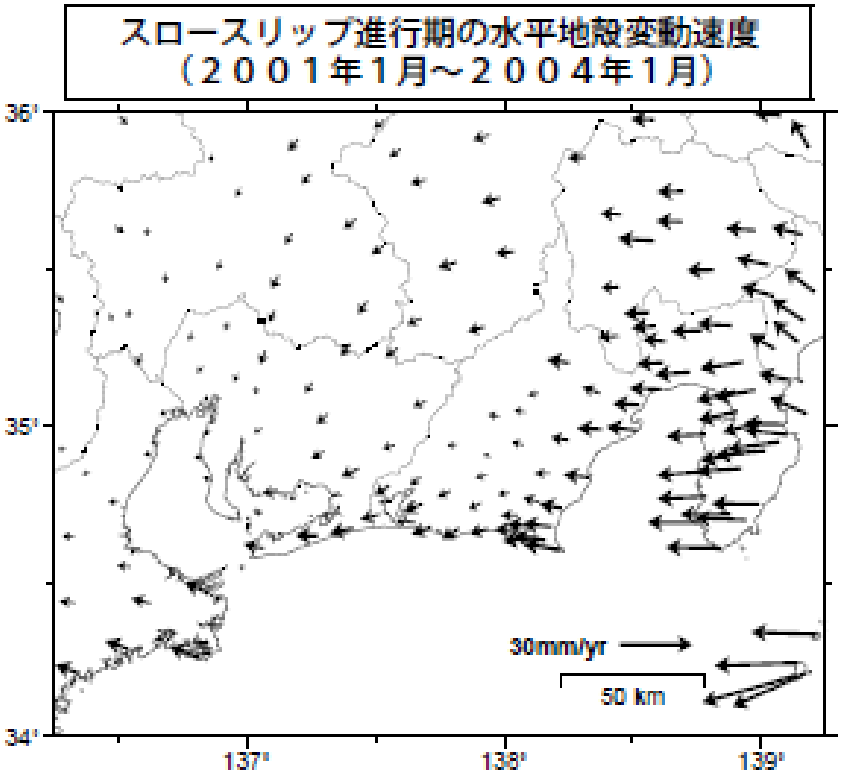
固着の強さの解析結果

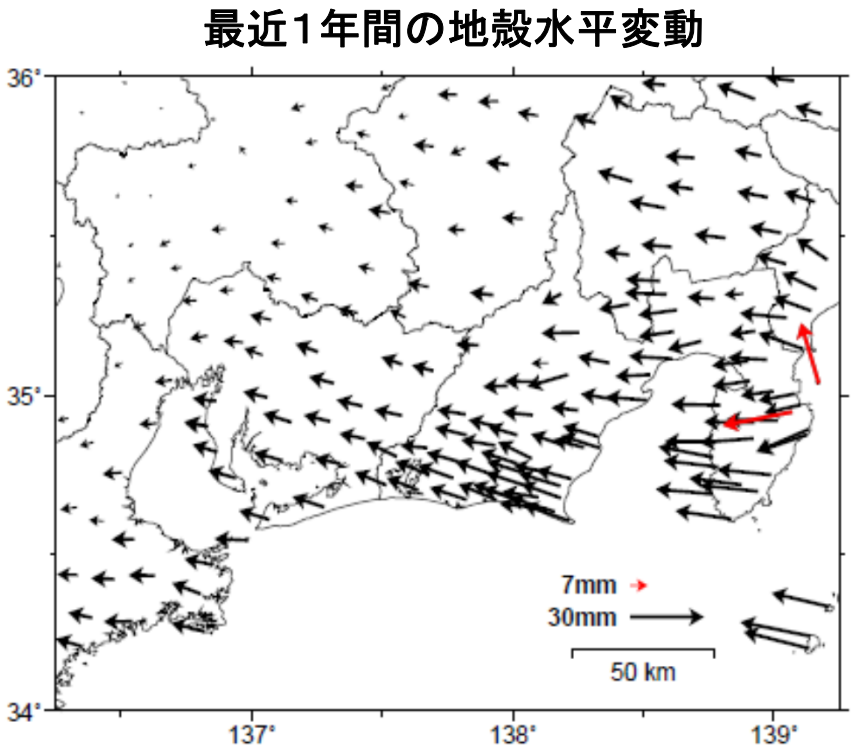
左側の水平変動は右側のような固着の結果として生じている

国土地理院, 2010

近年、プレート境界での固着がゆるんだ時期があった

浜名湖下のプレート境界でスロースリップ発生（2001年～2005年）



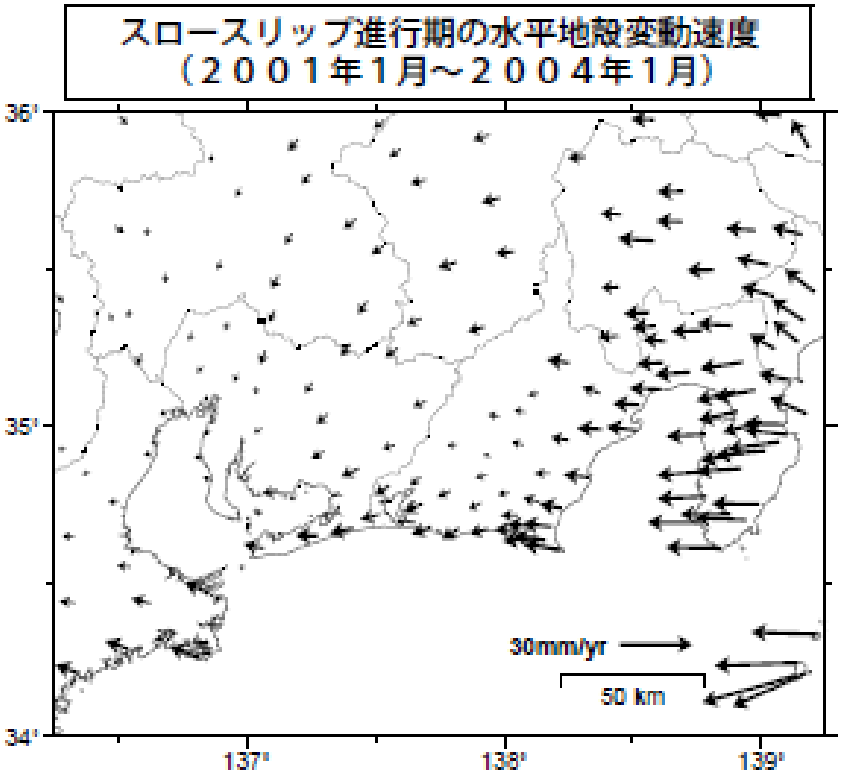


静岡県西部と愛知県東部で水平変位が
ほとんど観測されなかった！

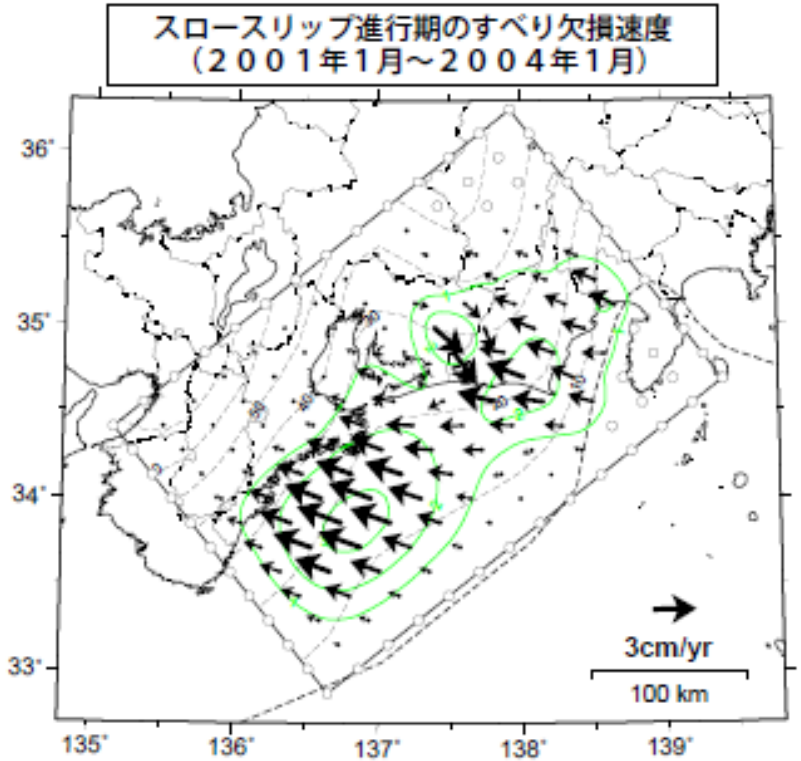
国土地理院, 2010

スロースリップ発生時の水平変位（左）と
そのときのプレート境界での固着（右）

大潟を基準にしたときの水平変位



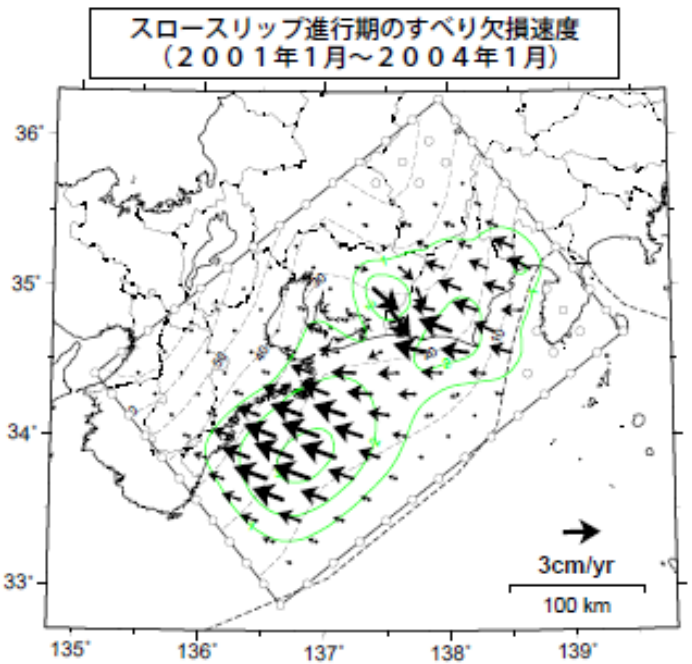
そのときの固着の強さ

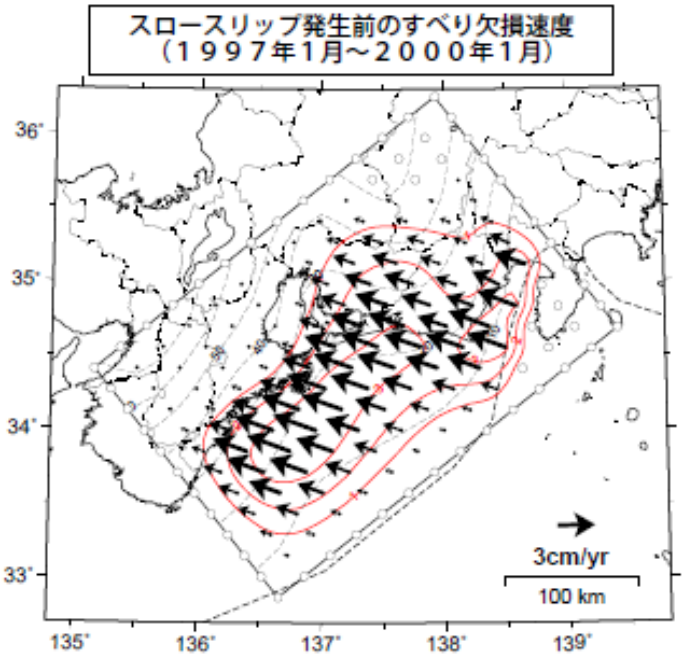


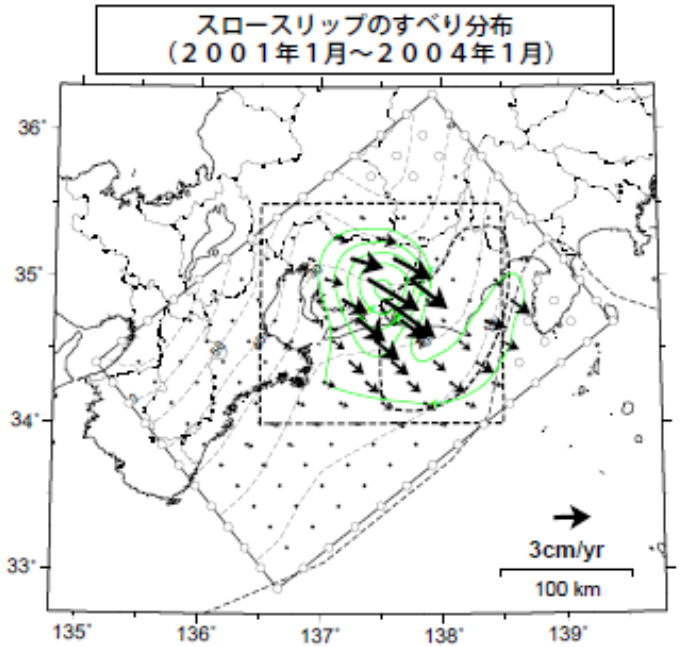
静岡県西部と愛知県東部で水平変位が
ほとんど観測されなかった！

固着を示す矢印の向きが愛知県東部で
逆のところがある！

国土地理院, 2010



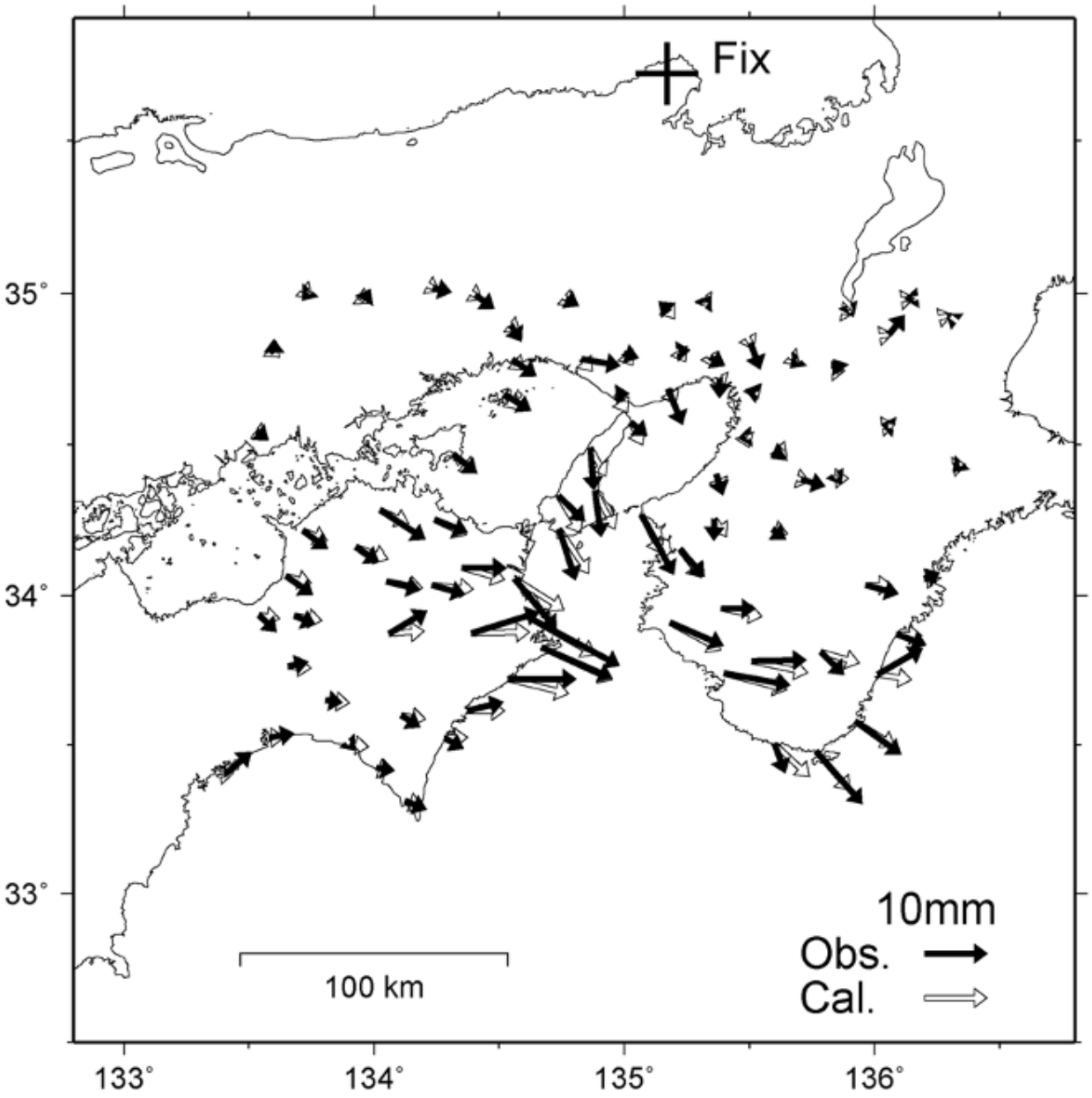




下左は、スロースリップが
発生していたとき（上左）
と
その発生前のとき（上右）
の固着の強さの差

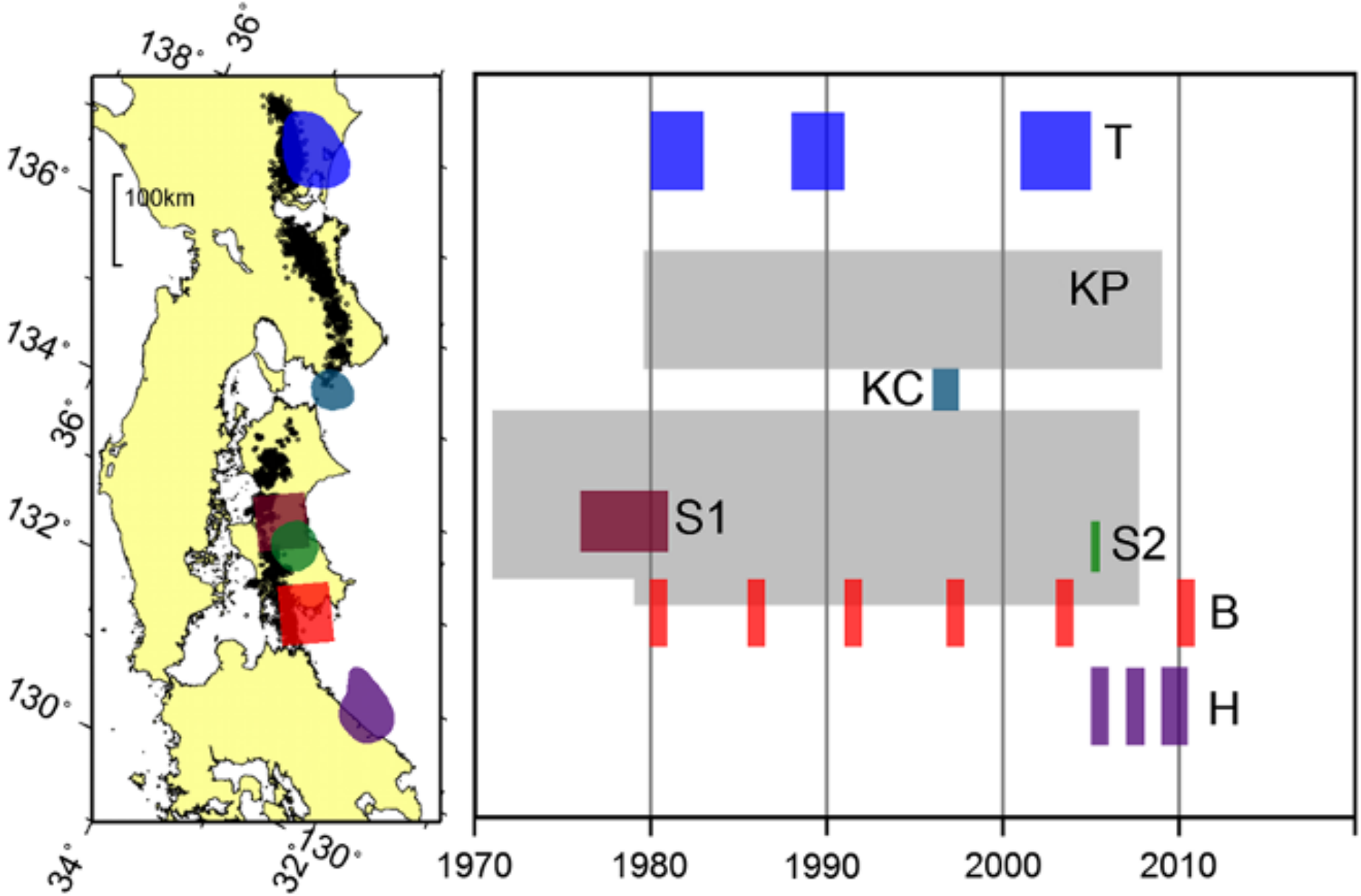
静岡県西部から愛知県
東部にかけて、顕著な
差（固着のゆるみ）が
見られる

国土地理院, 2010



De-trended horizontal displacements at GPS sites from March-April 1996 to March-April 1998 used for slip estimation. **Kobayashi (2014)**

各領域でのスロースリップの発生

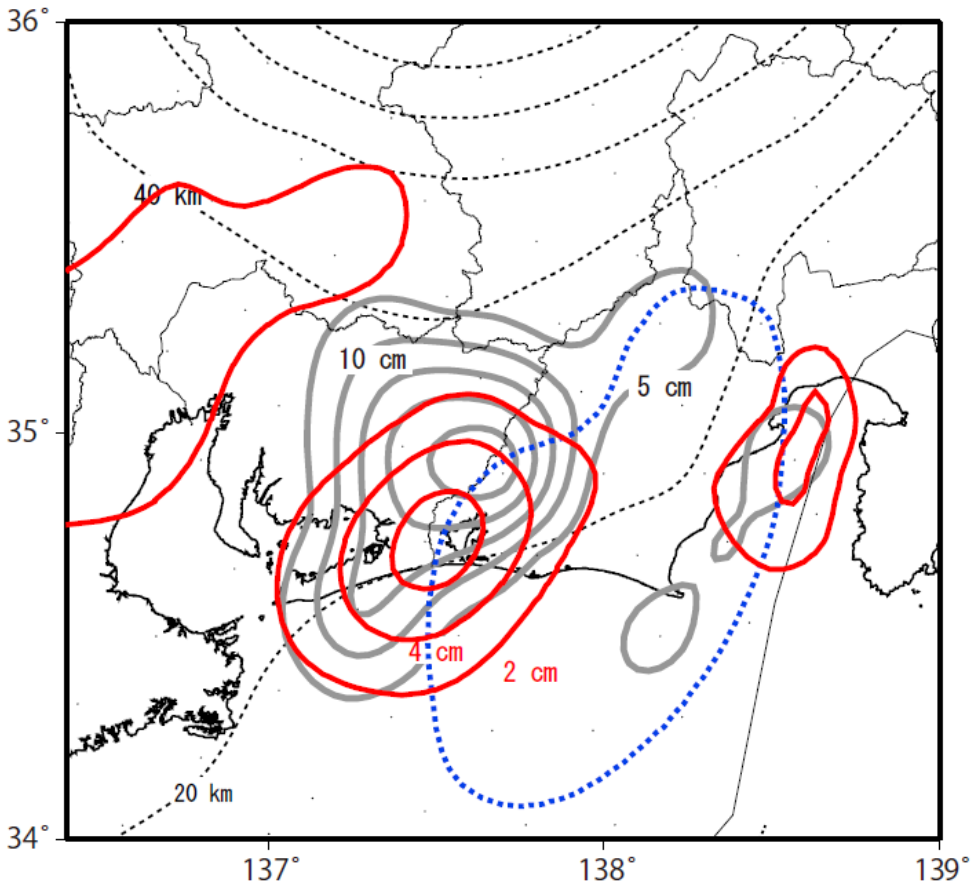


Kobayashi (2014)

20XX年南海トラフ地震の前に観測されるかもしれない前兆現象

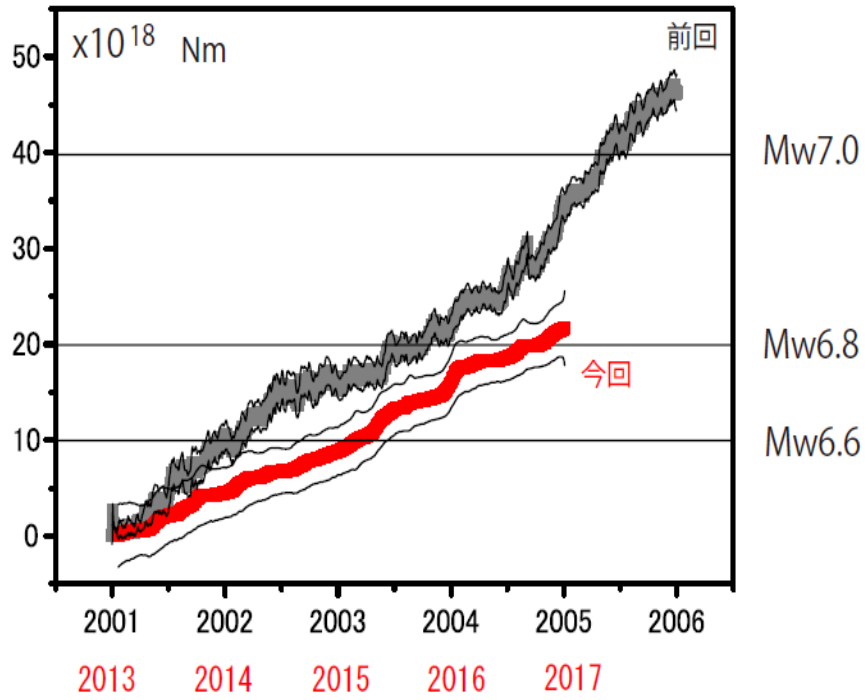
- カップリング域の片割れの破壊
- 前震？
- 前駆的スリップ？
- 地震活動の静穏化
- 地震発生の明瞭な潮汐応答？
- b 値の低下
- 長期的スロースリップの拡大
- 低周波地震活動の活発化
- プレート間カップリングの広域での弱化
- ・・・

累積すべり分布



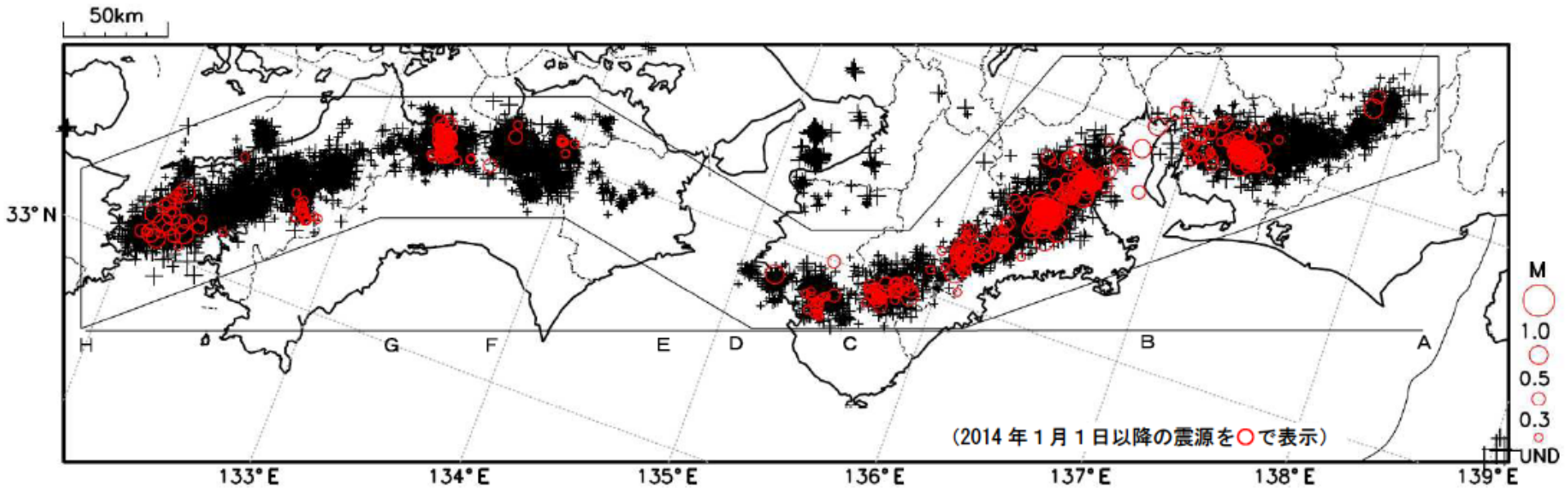
前回（等値線間隔：5cm，期間：2001/01/01-2006/01/01）
今回（等値線間隔：2cm，期間：2013/01/01-2017/01/03）

モーメントの時間変化

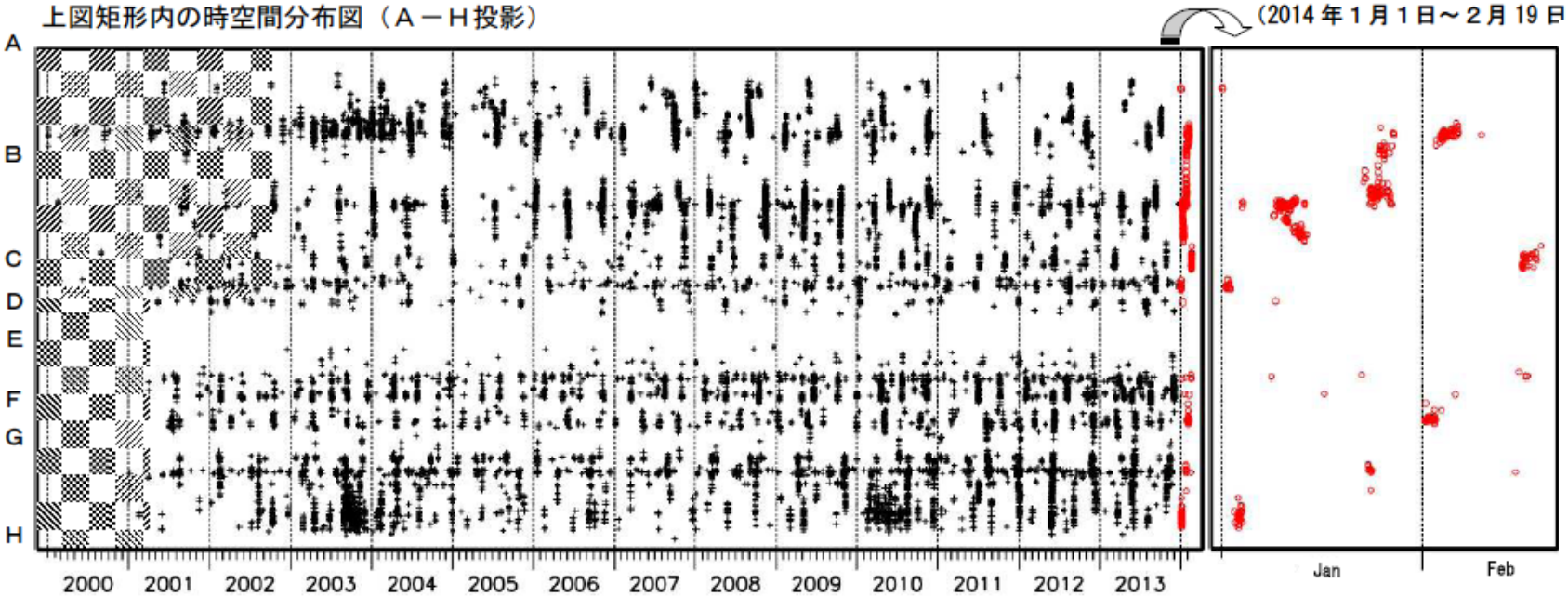


国土地理院資料

深部低周波地震活動（2001年1月～2014年2月）



上図矩形内の時空間分布図（Ａ－Ｈ投影）



愛知

三重

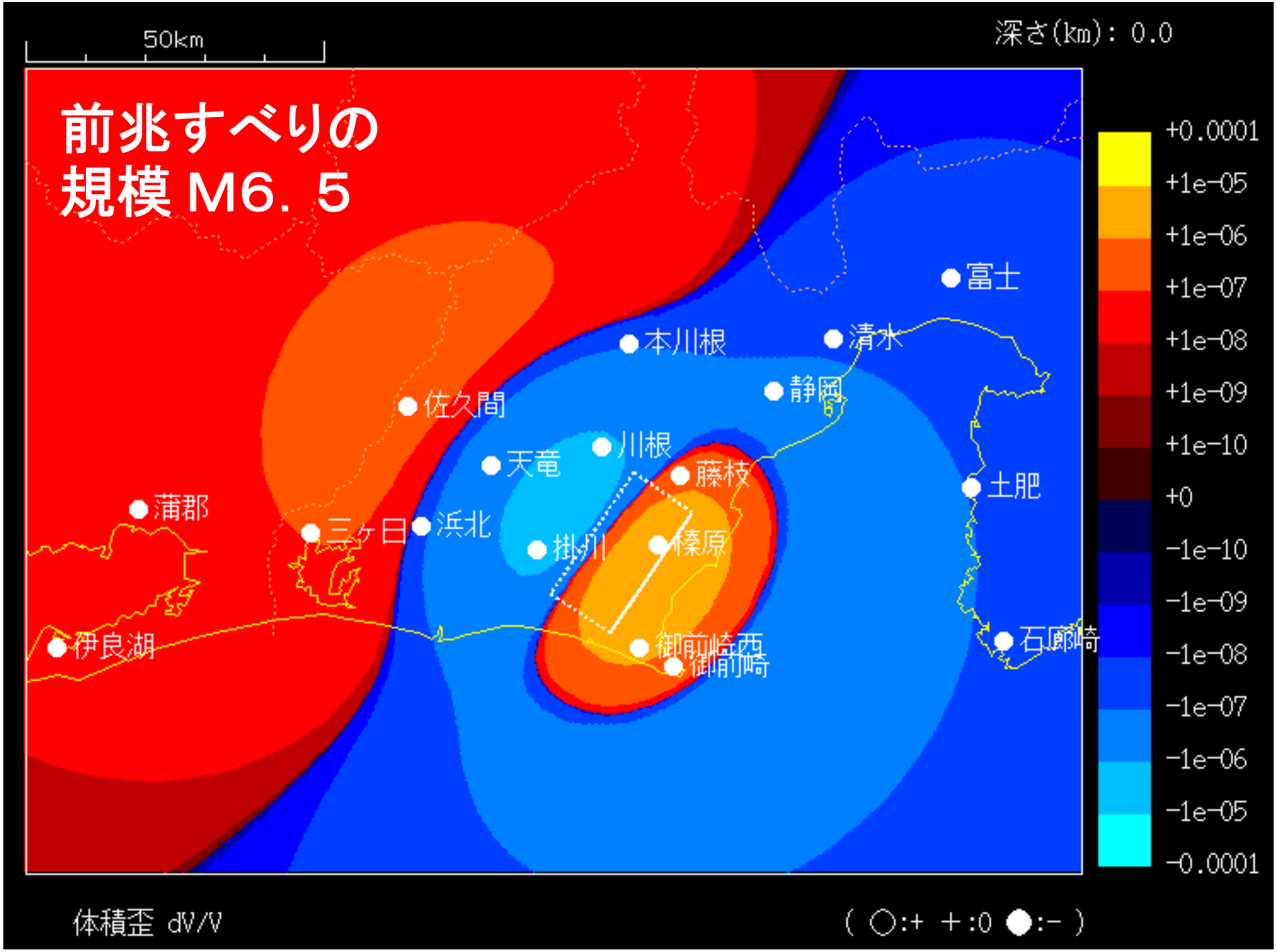
和歌山

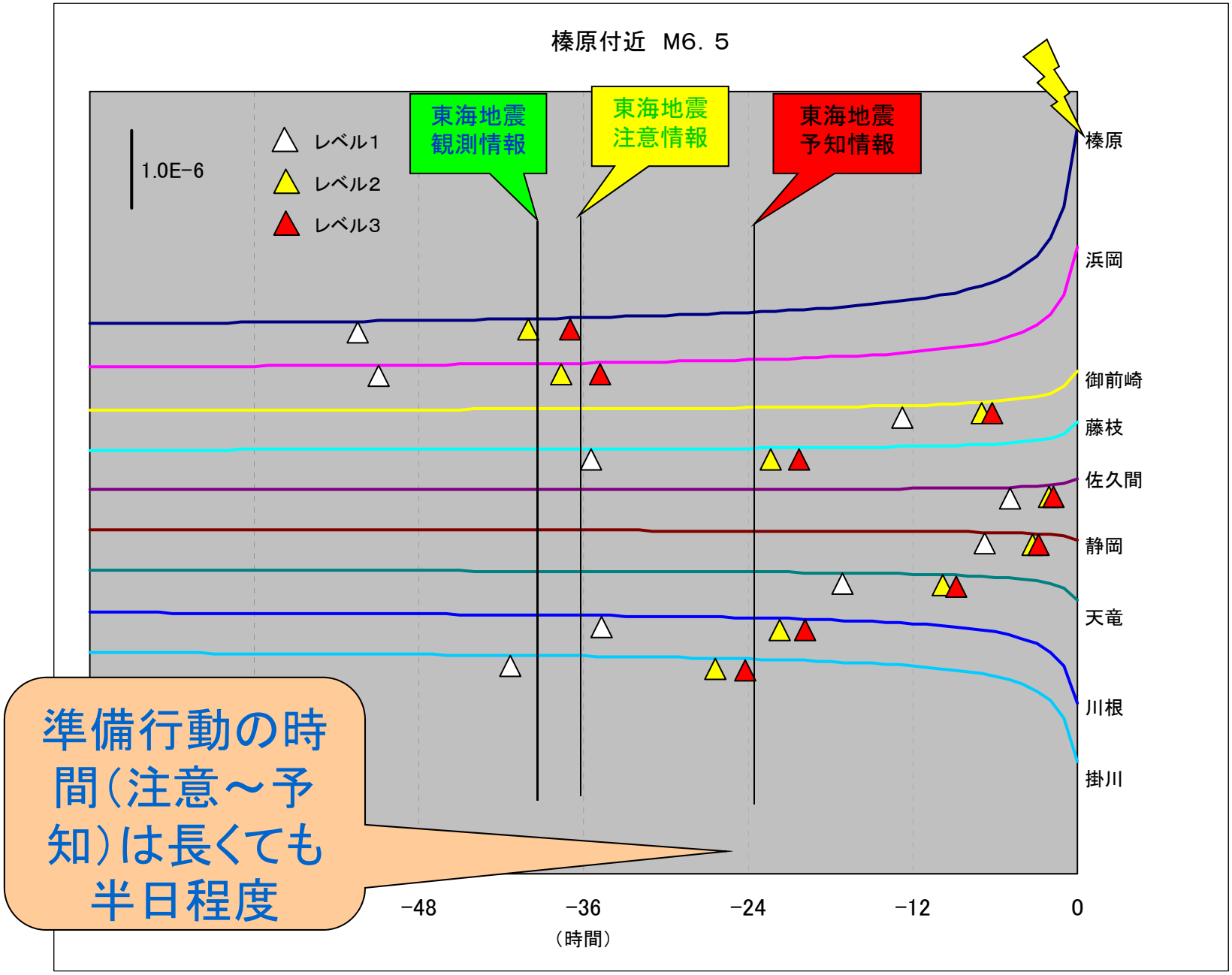
徳島香川

愛媛東部

愛媛西部

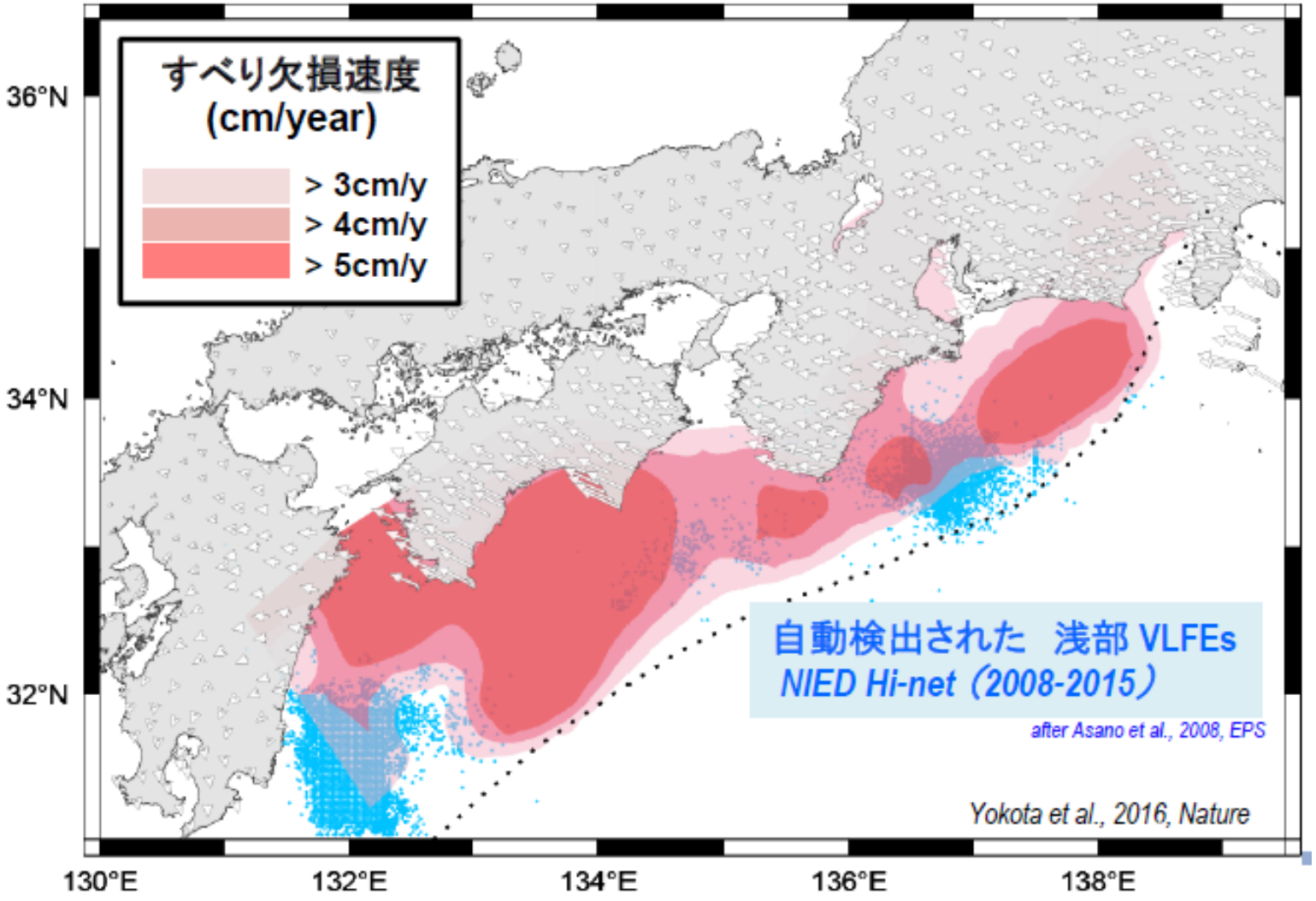
気象庁


前兆すべりの
規模 M6．5
50km
深さ(km): 0.0
富士
清水
本川根
静岡
佐久間
川根
天竜
藤枝
土肥
蒲郡
三ヶ日
浜北
掛川
榛原
伊良湖
御前崎西
御前崎
石廊崎
+0.0001
+1e-05
+1e-06
+1e-07
+1e-08
+1e-09
+1e-10
+0
-1e-10
-1e-09
-1e-08
-1e-07
-1e-06
-1e-05
-0.0001
体積歪 dV/V
(○:+ ＋:0 ●:-)


榛原付近　M6．5
1.0E-6
レベル1
レベル2
レベル3
東海地震
観測情報
東海地震
注意情報
東海地震
予知情報
榛原
浜岡
御前崎
藤枝
佐久間
静岡
天竜
川根
掛川
-48
-36
-24
-12
0
（時間）
準備行動の時間（注意～予知）は長くても半日程度

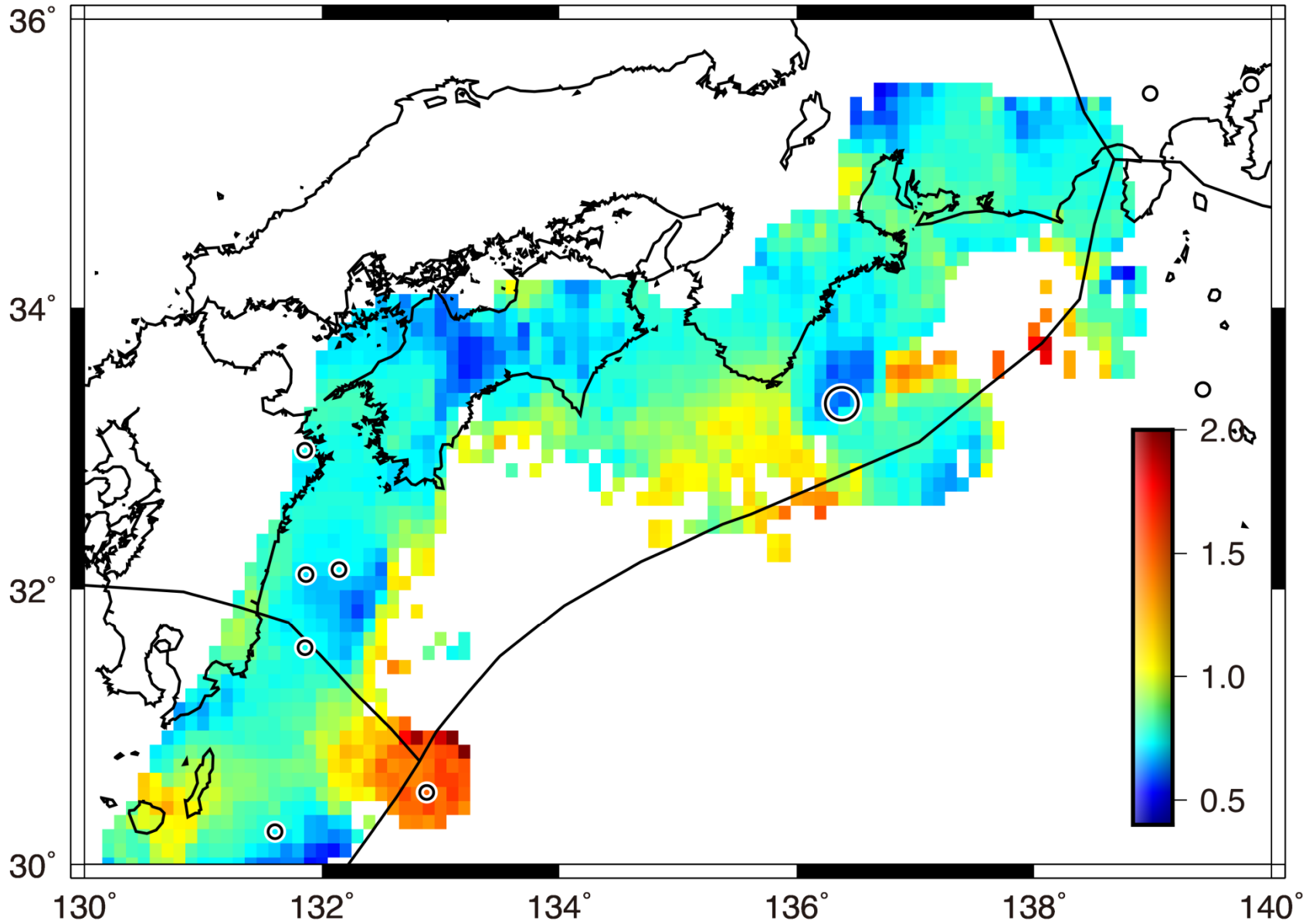
南海トラフのすべり欠損速度分布

推定されたすべり欠損速度分布と浅部VLFEの分布



海上保安庁　資料

フィリピン海スラブ内の地震活動のb値



2012-2016.6年

楠城・吉田 (2016)

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する内閣府調査部会で防災対策を要するとして提起された4つのケース

- ケース1　東側（西側）が壊れた
- ケース2　M7クラスの前震（地震）の発生
- ケース3　東北地方太平洋沖地震に先行して観測されたものと同様な現象を多種目で観測
- ケース4　東海地震の判定基準とされているようなプレート境界面でのすべりを観測

20XX年南海トラフ地震の前に観測されるかもしれない前兆現象

- カップリング域の片割れの破壊（ケース1）
- 前震？（ケース2）
- 前駆的スリップ？（ケース4）
- 地震活動の静穏化（ケース3）
- 地震発生の明瞭な潮汐応答？（ケース3）
- *b* 値の低下（ケース3）

- 長期的スロースリップの拡大
- 低周波地震活動の活発化
- プレート間カップリングの広域での弱化
- ・・・

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する内閣府調査部会で防災対策を要するとして提起された4つのケース

- ケース1　東側（西側）が壊れた

  規模や発生時期等について確度の高い予測は困難。大森･宇津公式に従うとすれば、2年経過した期間を基準とした時の、1日あたりの確率利得は地震直後から3日程度は100倍以上

- ケース2　M7クラスの前震（地震）の発生

  更に規模の大きな地震が発生する確率は3年以内に4％

- ケース3　東北地方太平洋沖地震に先行した現象

  を多種目で観測

  直ちに大規模地震が発生するか否かを判断することはできず、

  地震活動や地殻変動の状況を注意深く監視

- ケース4　東海地震の判定基準に相当するような

  プレート境界面でのすべりを観測

  このような変化を基に大規模地震の発生の可能性を定量的に

  評価する手法や基準はない

1988年6月27日付けの中央防災会議の地震防災対策強化地域指定専門委員会によると

大震法の地震防災対策強化地域として指定される要件は、発生する地震の、①切迫性、②被害の甚大性、③予知可能性、を前提として指定される

- ケース1　規模や発生時期等について確度の高い予測は困難。大森･宇津公式に従うとすれば、2年経過した期間を基準とした時の、1日あたりの確率利得は地震直後から3日程度は100倍以上
- ケース2　更に規模の大きな地震が発生する確率は3年以内に4％
- ケース3　直ちに大規模地震が発生するか否かを判断することはできず、地震活動や地殻変動の状況を注意深く監視
- ケース4　このような変化を基に大規模地震の発生の可能性を定量的に評価する手法や基準はない

南海トラフ沿いの地域は現時点において

地震防災対策強化地域として

指定される要件を満たしていない

と思われる

国の機関が、警戒宣言のような形で緊急防災対応を指示した情報を出すよりも、普段から観測結果をすべて公表して、プレート間カップリングの状況をていねいに解説しながら地震発生の可能性が高まっている等の注意喚起を定常的に行っていくことの方が、人々の防災に対する意識を高めることにつながり、実際の防災により有効なのではないか