



西南日本のひずみ集中帯と内陸地震

京都大学 防災研究所 地震予知研究センター
西村 卓也

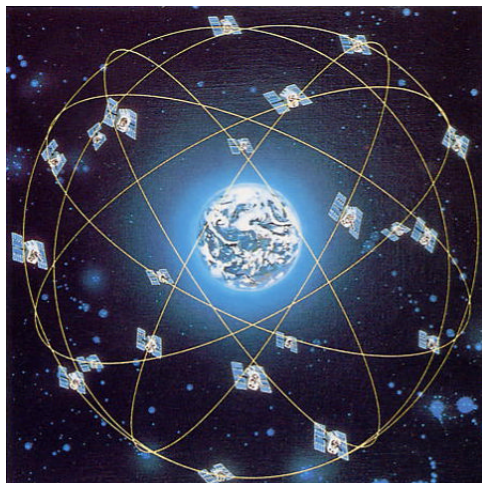


地殻変動とその観測方法GNSS(GPS)

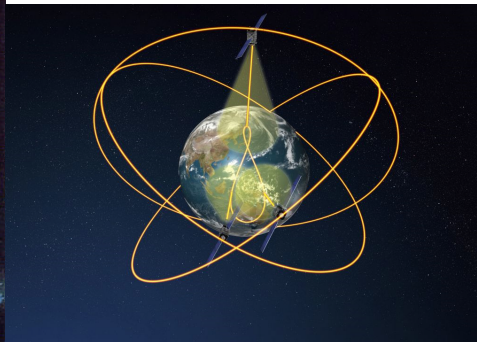


地殻変動の例(熊本地震)

- 地殻に生ずる種々の変形・変位. 隆起・沈降, 断層や褶曲などの地殻変動は通常とても小さいため, 測定するためには精密な測量が必要.
- GNSS(衛星測位システム)とは, 人工衛星を利用して, ある地点の位置を正確に測定することが出来るシステム.
- GNSSの代表例がGPSであるが, GLONASS(ロシア), Galileo(EU), 北斗(中国)や準天頂衛星システム(みちびき, 日本)など多くのシステムが利用可能となっている.
- 従来の測地観測に比べてさまざまな利点.
 - 全天候, 24時間連続, 無人観測が可能.
 - 精度は, 概ね水平方向で2-3mm, 上下方向で1-2cmが達成.
- 日本列島では, 1996年より国土地理院の全国観測網GEONETが運用を開始している. 現在では世界各国(特に変動帯に位置する国)でGNSS連続観測網が稼働中.



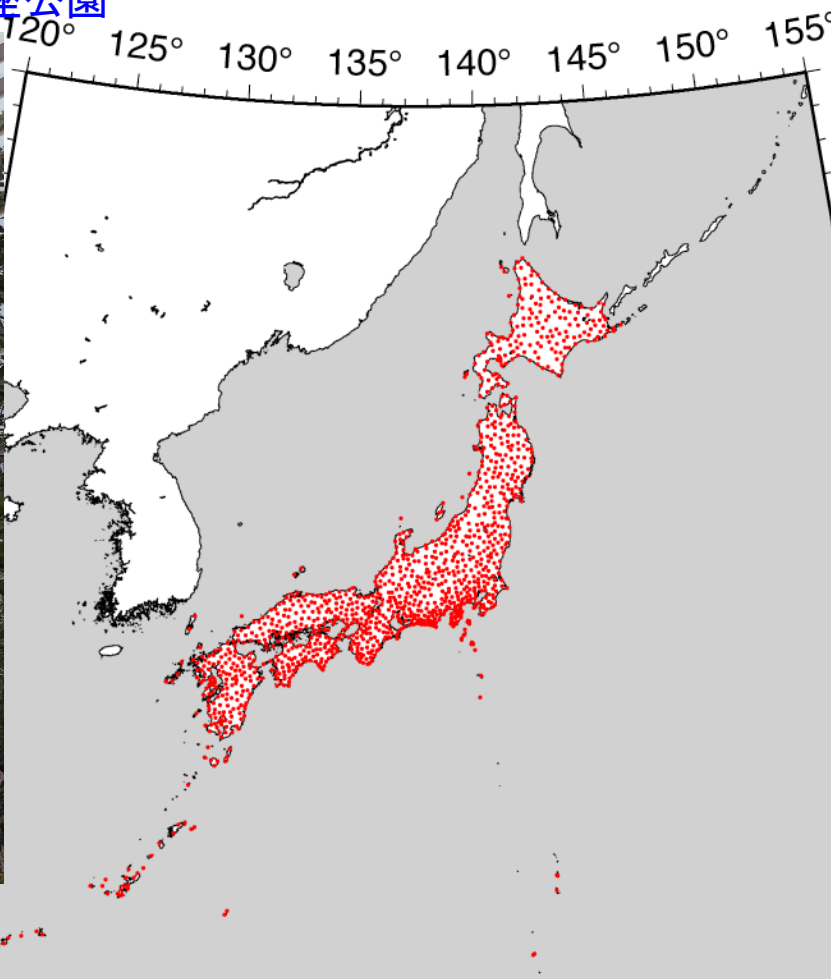
GPS衛星の軌道



測位衛星「みちびき」の軌道
©JAXA

地殻変動の基盤観測網 GEONET

大阪(950336) 大阪市銅座公園

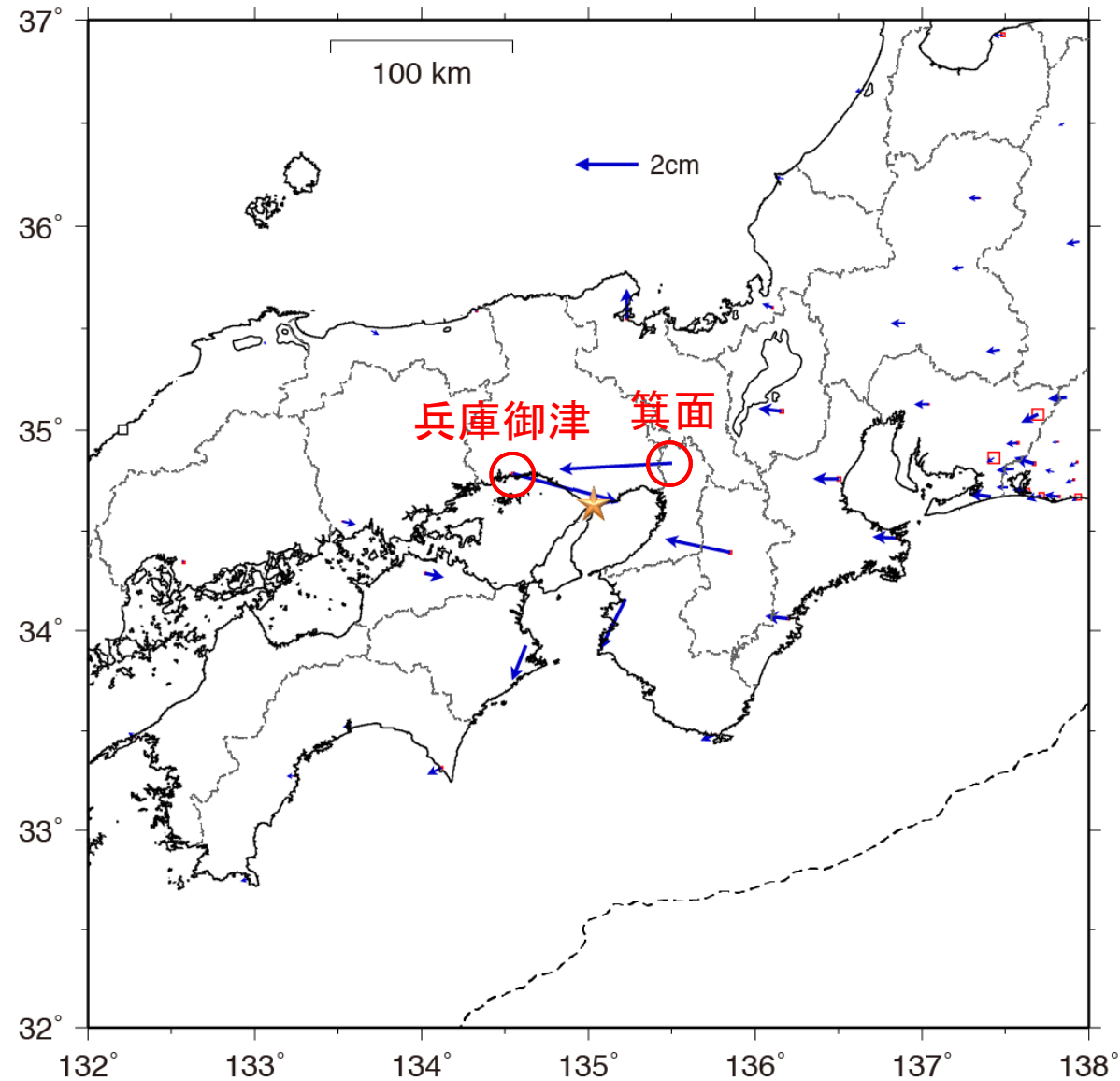


富士山頂

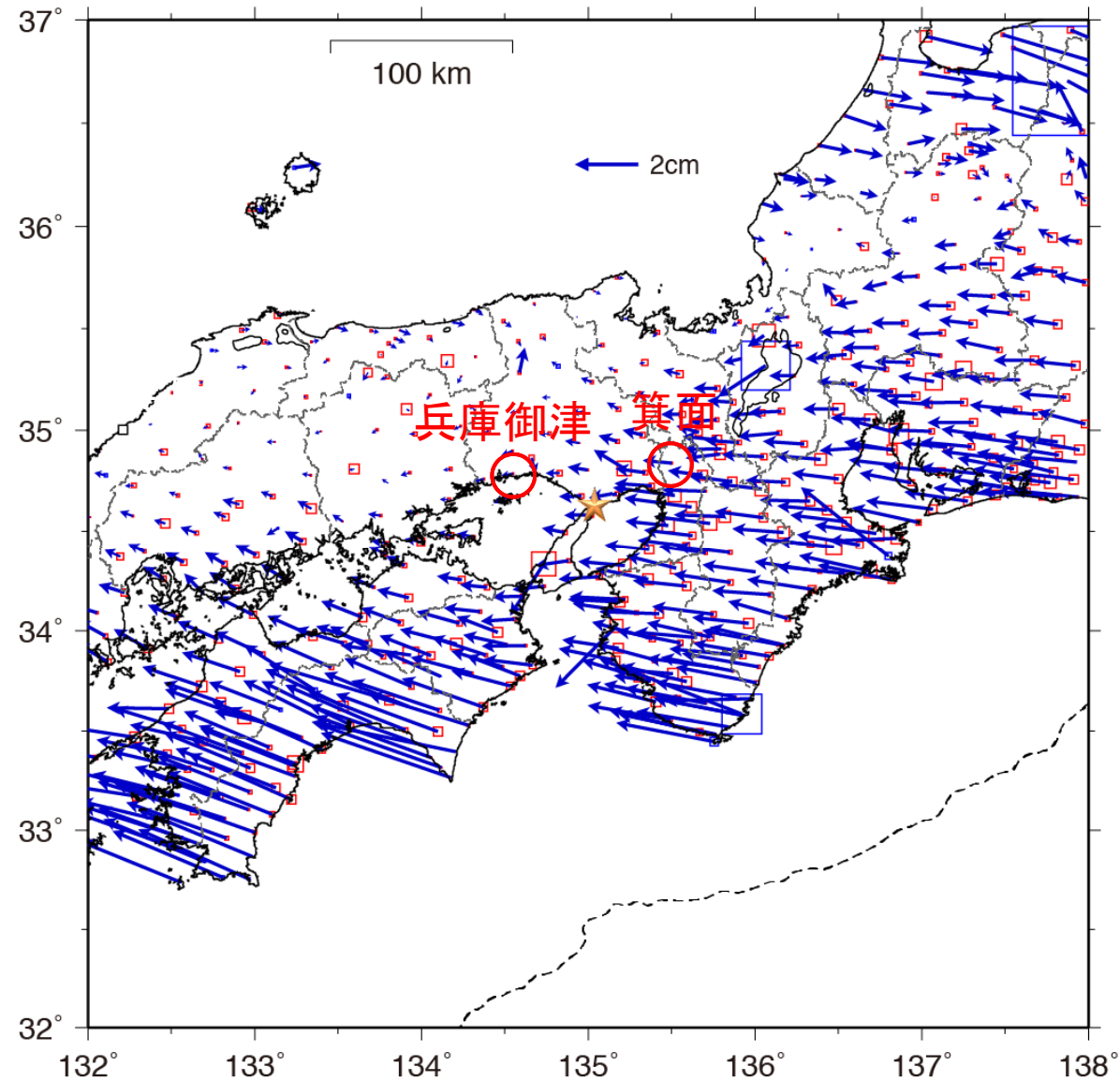


- ・日本全国約1300箇所に電子基準点(GNSS連続観測点)が設置
- ・大学や研究機関による独自の設置も

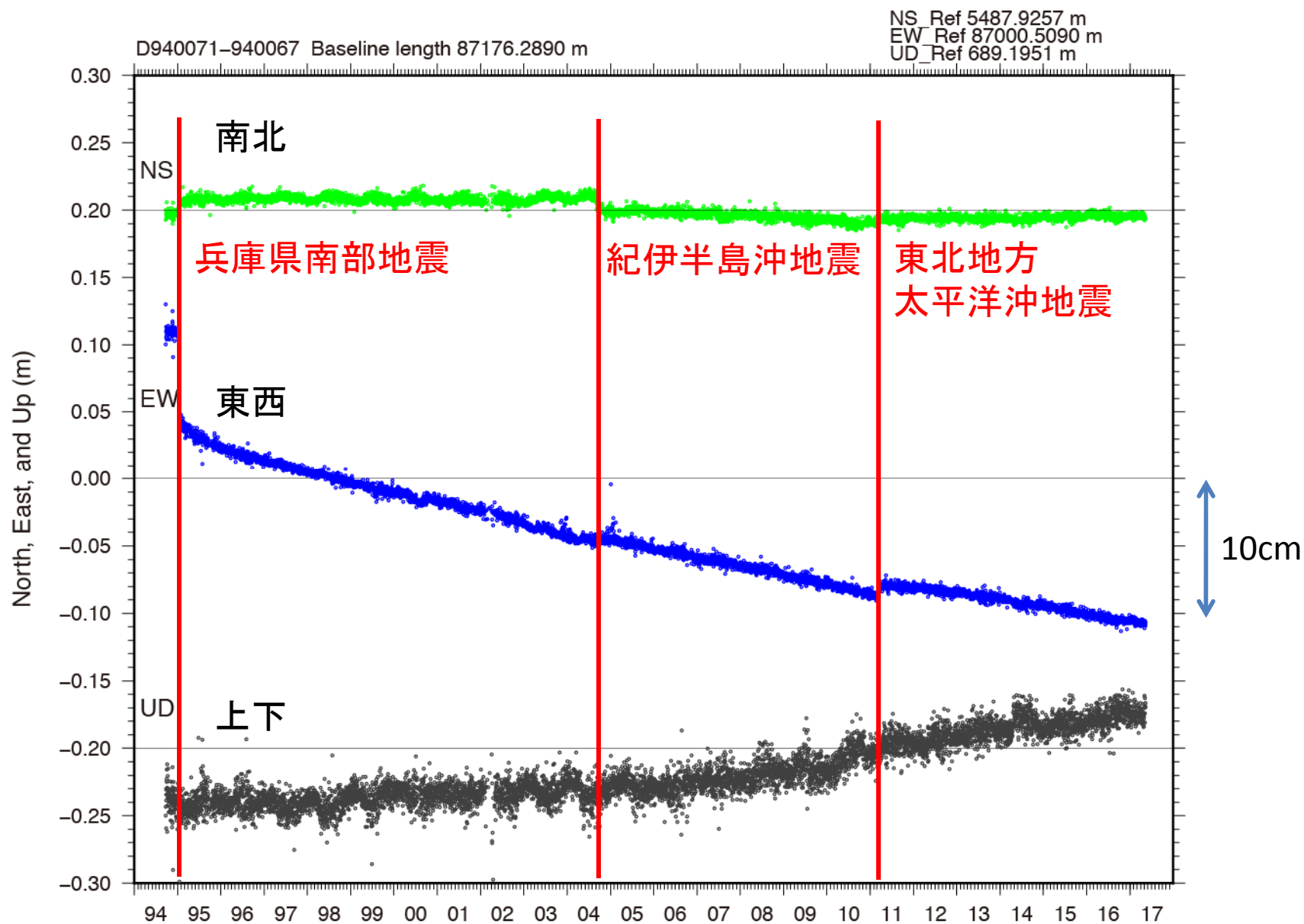
兵庫県南部地震による地殻変動



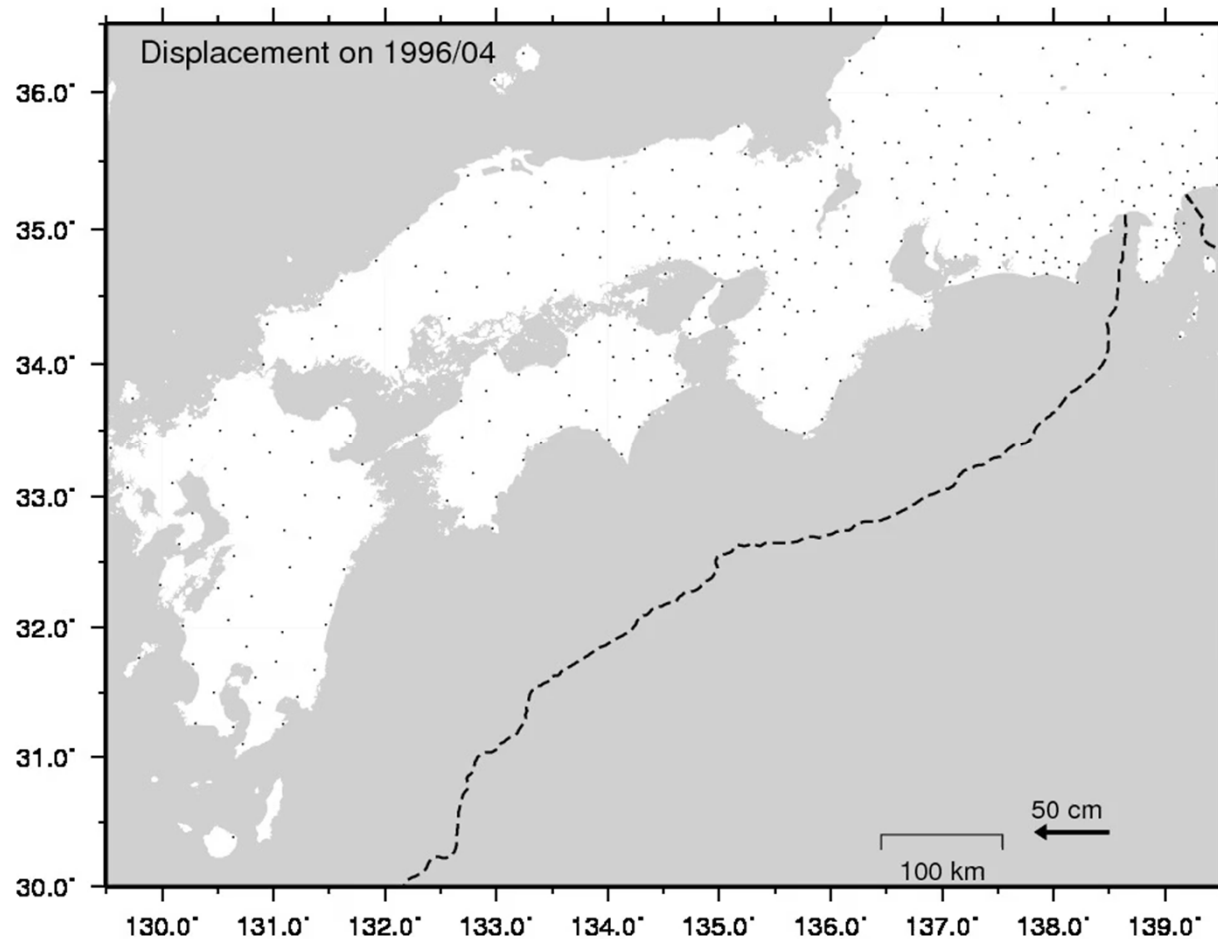
最近 1 年間の地殻変動



基線時系列(兵庫御津→箕面)



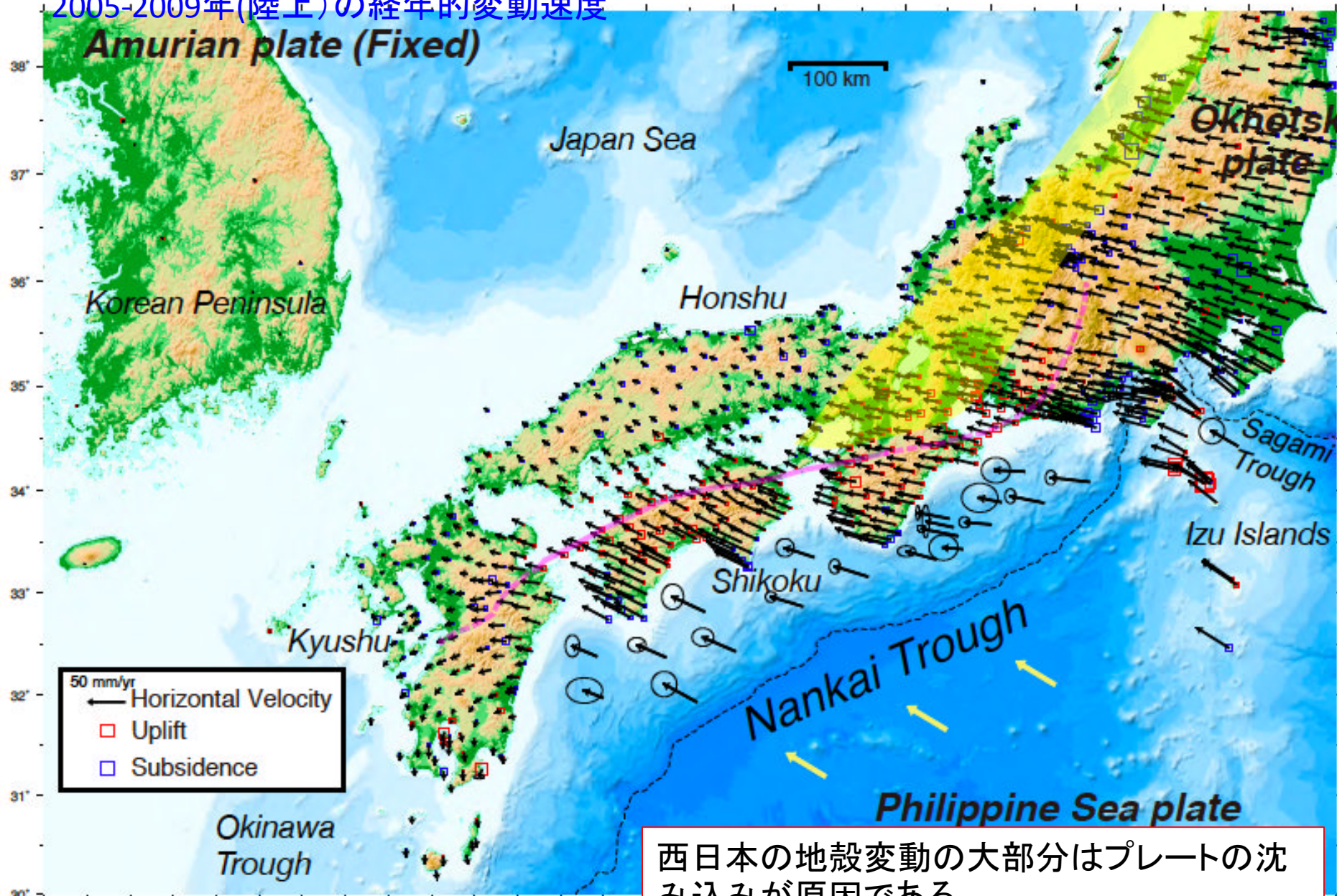
変動する日本列島



- 最近20年間で1m以上の変動が見られる.

陸上＋海底の地殻変動

2005-2009年(陸上)の経年的変動速度



ひずみ集中帯とは？

- 「ひずみ」は変位の空間微分

x, y を東西, 南北方向とし, u, v をそれぞれ x, y 方向の変位とする.

$$e_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad e_y = \frac{\partial v}{\partial y} \quad e_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

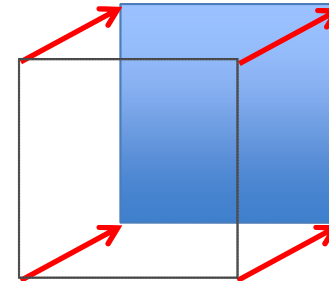
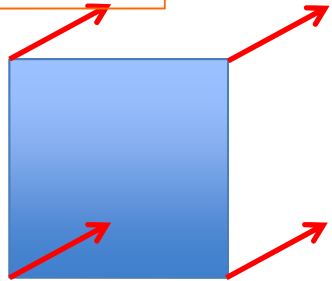
面積ひずみ: $e_x + e_y$

最大剪断ひずみ: $\sqrt{(e_x - e_y)^2 + 4e_{xy}^2}$

- GNSSによって計測できるのは, 変位速度(変位の変化量)なので, 観測値から推定されるのは**ひずみ速度**なのだが, **ひずみ集中帯**という名称が一般化.
- 日本列島の中でもひずみ速度の特に大きい場所をひずみ集中帯と呼ぶ.
 - 新潟-神戸ひずみ集中帯が顕著な例.
 - プレートの沈み込みが直接影響しているような場所(例えば四国)は, 「ひずみ集中帯」とはあまり呼ばれない.
 - ひずみ集中帯では内陸地震も多く発生.

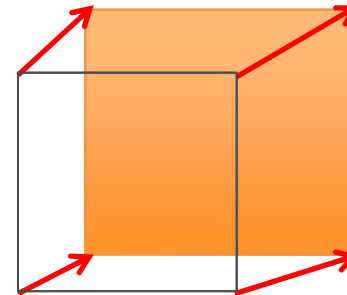
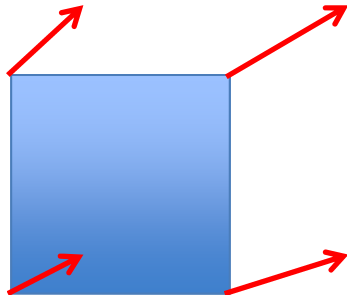
ひずみの直感的イメージ

ひずみのない地殻変動

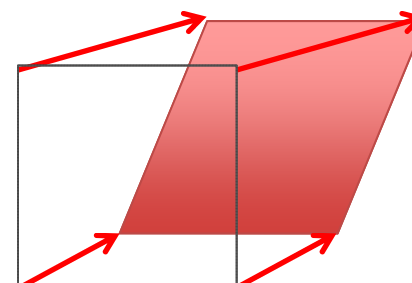
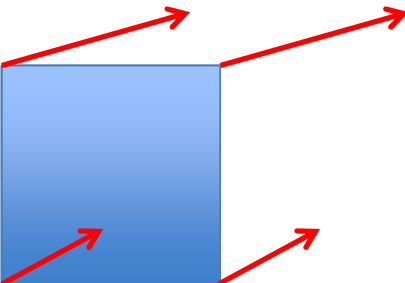


ひずみ0

ひずみのある地殻変動



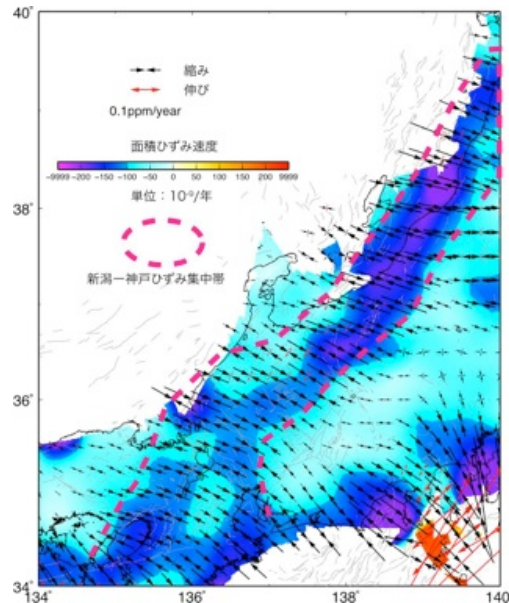
面積ひずみ



せん断ひずみ

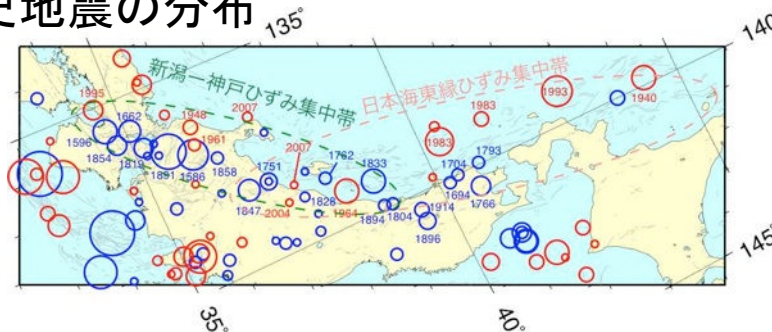
新潟-神戸ひずみ集中帯の発見

GNSSデータに基づく面積ひずみ速度分布



- 日本全国のGNSSデータから、内陸の顕著なひずみ集中帯として初めて発見されたのが新潟-神戸ひずみ集中帯 (Sagiya et al., 2000)
- 幅は100km程度
- GNSSデータだけではなく、複数の観測データからこの地域の地殻活動が高いことを指摘。

歴史地震の分布



- GNSSによるひずみ速度
- 測地測量による100年間のひずみ速度
- 活断層
- 歴史地震

名古屋大学・鷺谷 威教授のホームページより

1995年以降に発生した主な内陸直下型地震

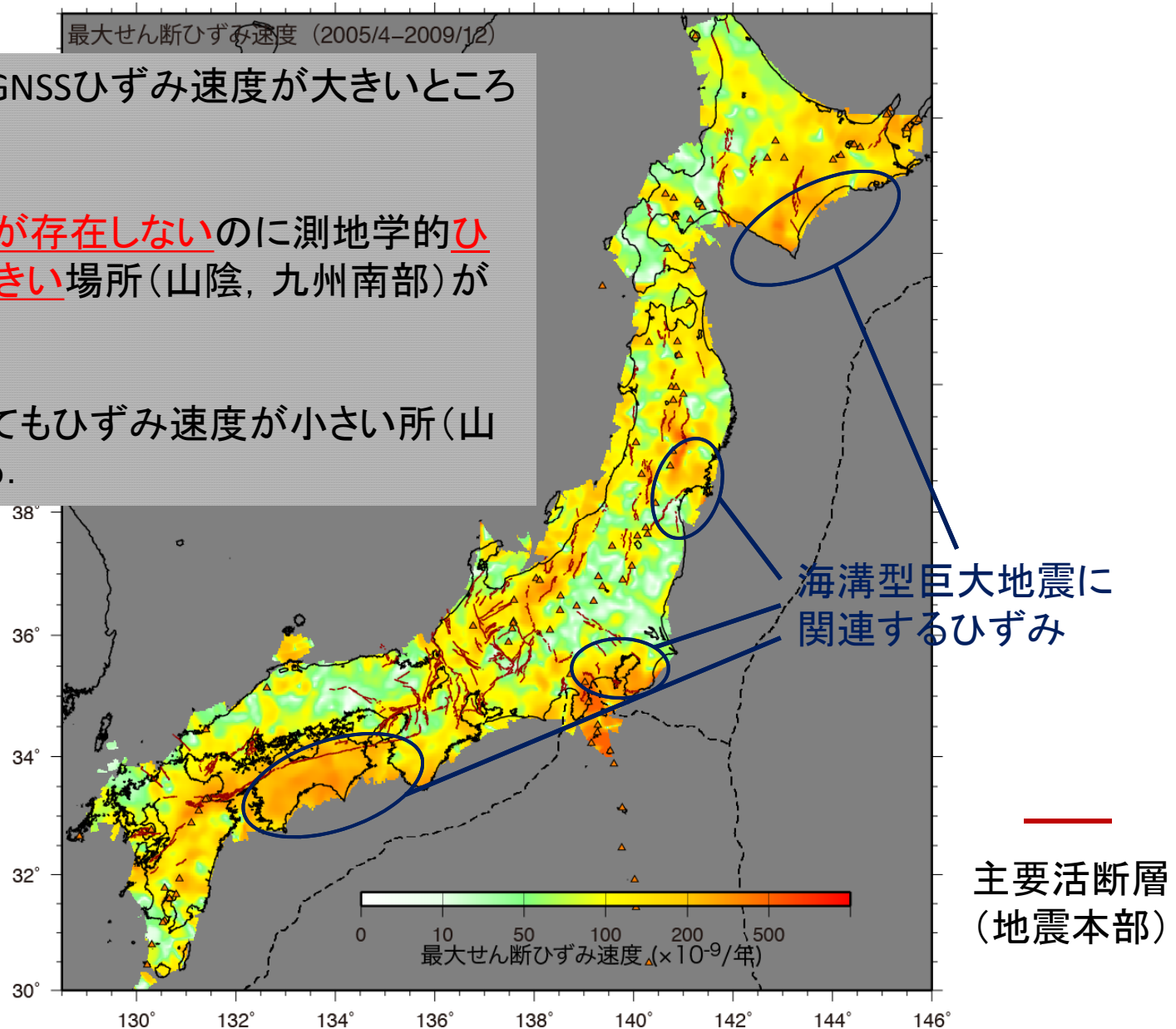
発生年月日	地震名	マグニチュード	死傷者	ひずみ集中帯？
1995/1/17	兵庫県南部地震	7.3	50,229	○
2000/10/6	鳥取県西部地震	7.3	182	○
2004/10/24	新潟県中越地震	6.8	4,873	○
2005/3/24	福岡県西方沖の地震	7.0	1263	× or △
2007/3/26	能登半島沖地震	6.9	356	× or △ or ○
2007/7/16	新潟県中越沖地震	6.8	2,360	○
2008/6/14	岩手・宮城内陸地震	7.2	471	○
2011/3/12	長野県北部の地震(栄村)	6.7	49	○
2011/4/11	福島県浜通りの地震	7.0	14	×
2014/11/22	長野県北部の地震(白馬村)	6.7	46	○
2016/4/14	熊本地震	7.3	2972	○
2016/10/21	鳥取県中部の地震	6.6	31	○

ひずみ集中帯で内陸地震が発生した割合は9/12に達する。

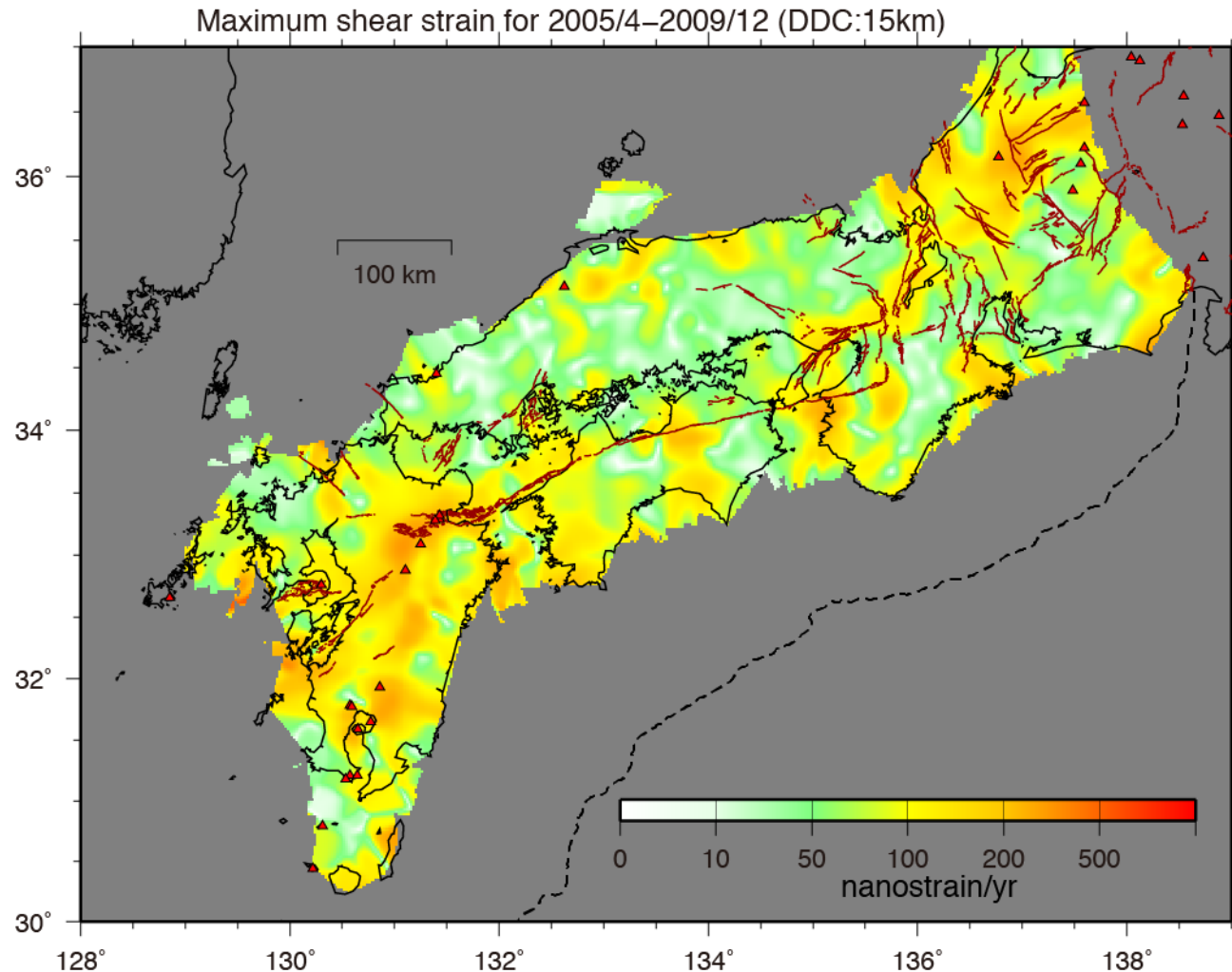
全国ひずみ(最大せん断ひずみ)速度

最大せん断ひずみ速度 (2005/4-2009/12)

- 活断層分布とGNSSひずみ速度が大きいところは概ね対応.
- 顕著な活断層が存在しないのに測地的ひずみ速度が大きい場所(山陰, 九州南部)がある.
- 活断層があってもひずみ速度が小さい所(山崎断層)がある.

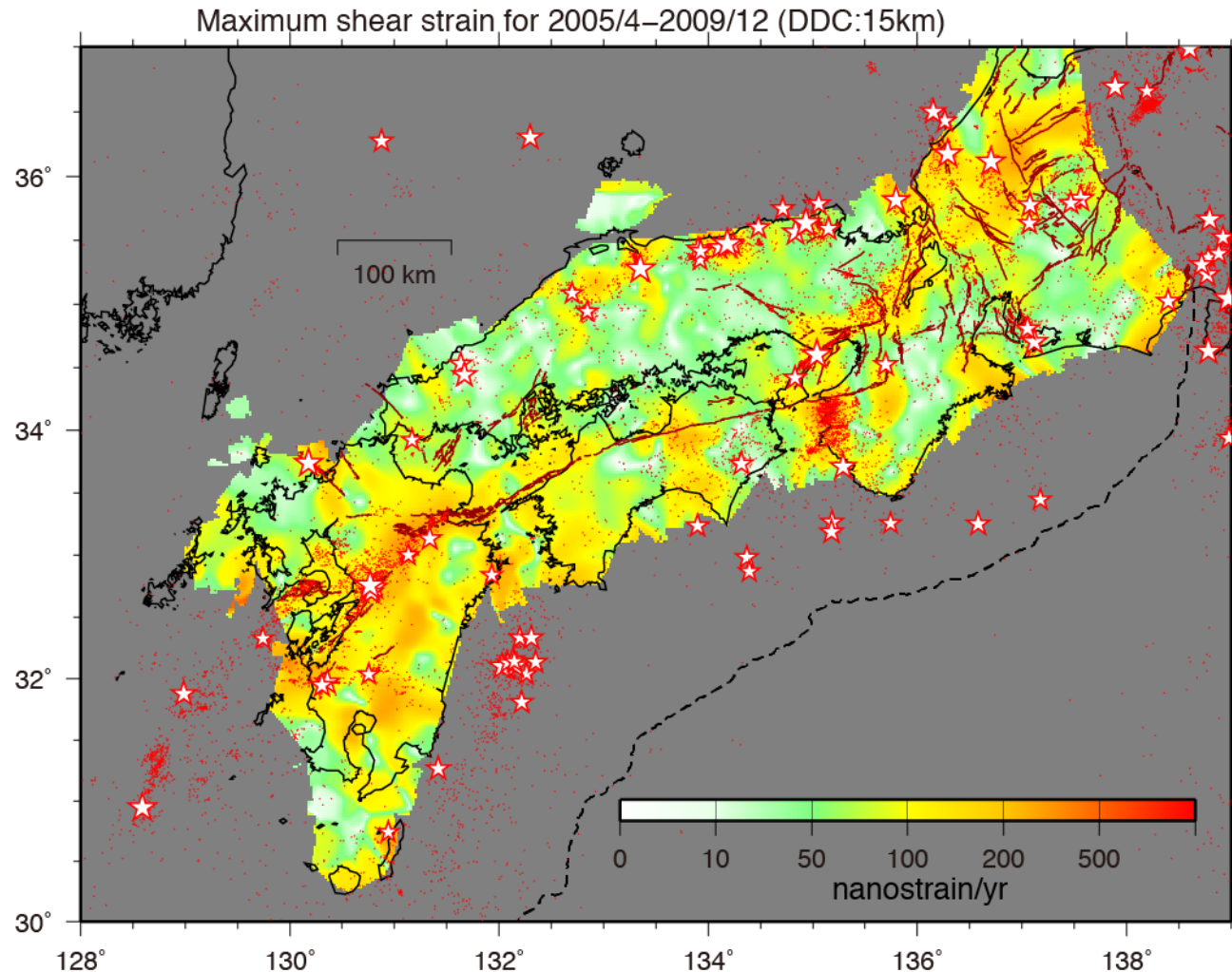


南海トラフからのプレート沈み込みの影響を補正した最大剪断ひずみ速度



— 主要活断層分布
(地震本部による)

浅い地震活動との比較(M $\geq$ 6)

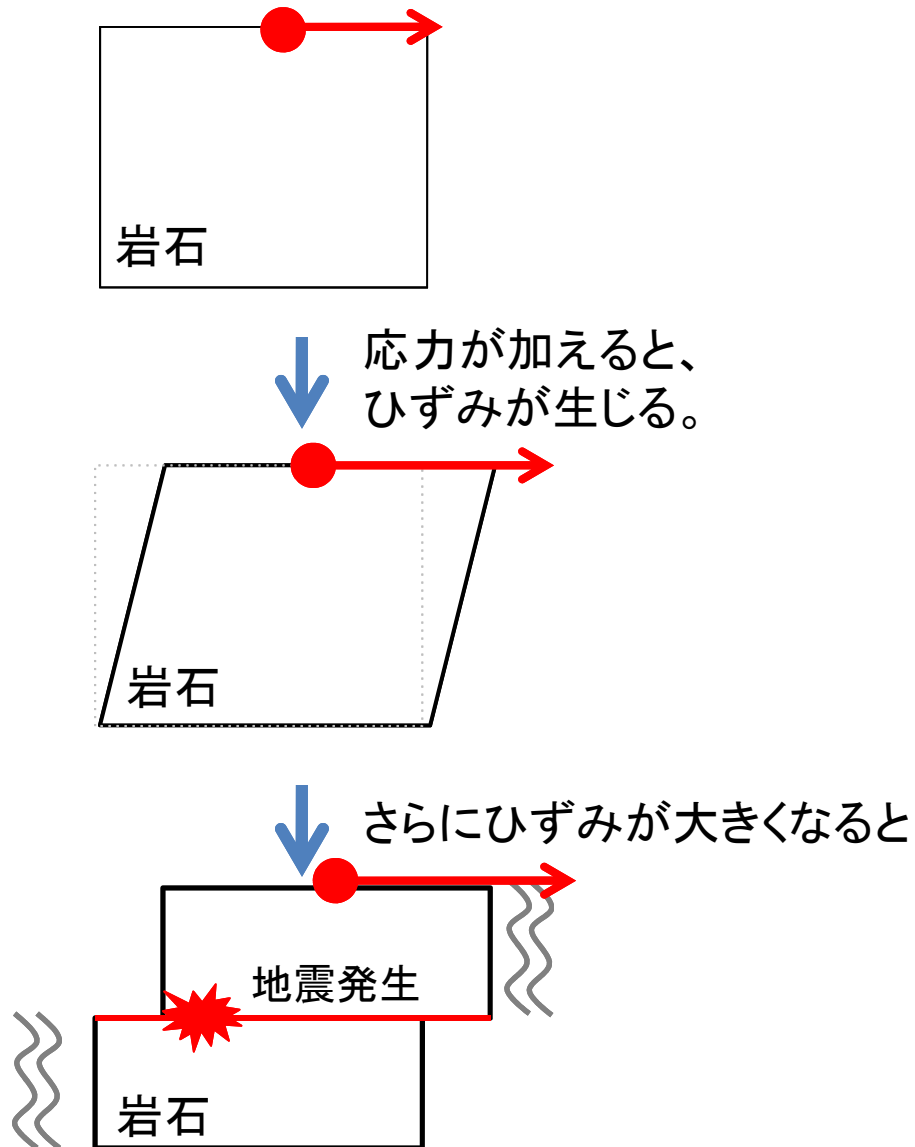


熊本-阿蘇-大分は一連のひずみ集中帯と捉えることができる。
西村(2017)

— 主要活断層分布
(地震本部による)

ひずみと地震発生の定性的関係
……なぜ地震発生予測は難しいのか？

ひずみ集中と地震発生の関係

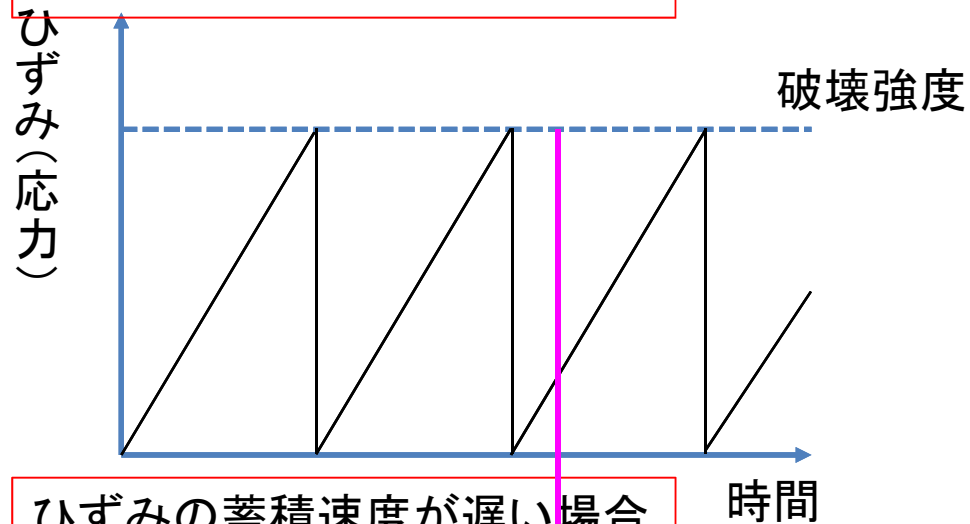


- 物体に応力をかけるとひずみが生じる。
- 弾性体では、応力とひずみが比例する関係にある(フックの法則)が、応力がある限界(降伏応力)を超えると元に戻らない変形(塑性変形)が生じる。
- さらに応力が増大すると脆性破壊が生じる。
- 脆性破壊が生じる絶対ひずみ量は概ね $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度であることが知られている。

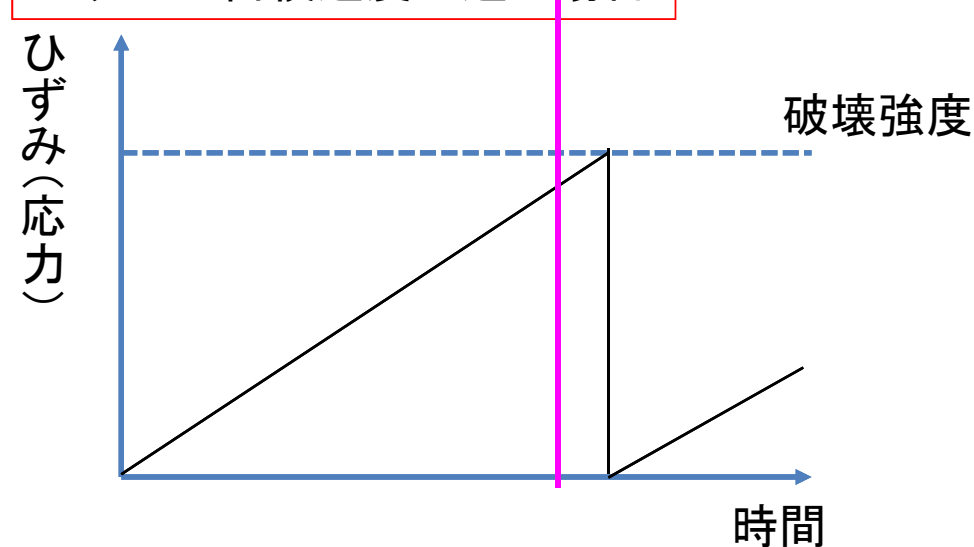
ひずみと地震の発生は
密接に関係しているはず

ひずみと地震発生の関係

ひずみの蓄積速度が速い場合

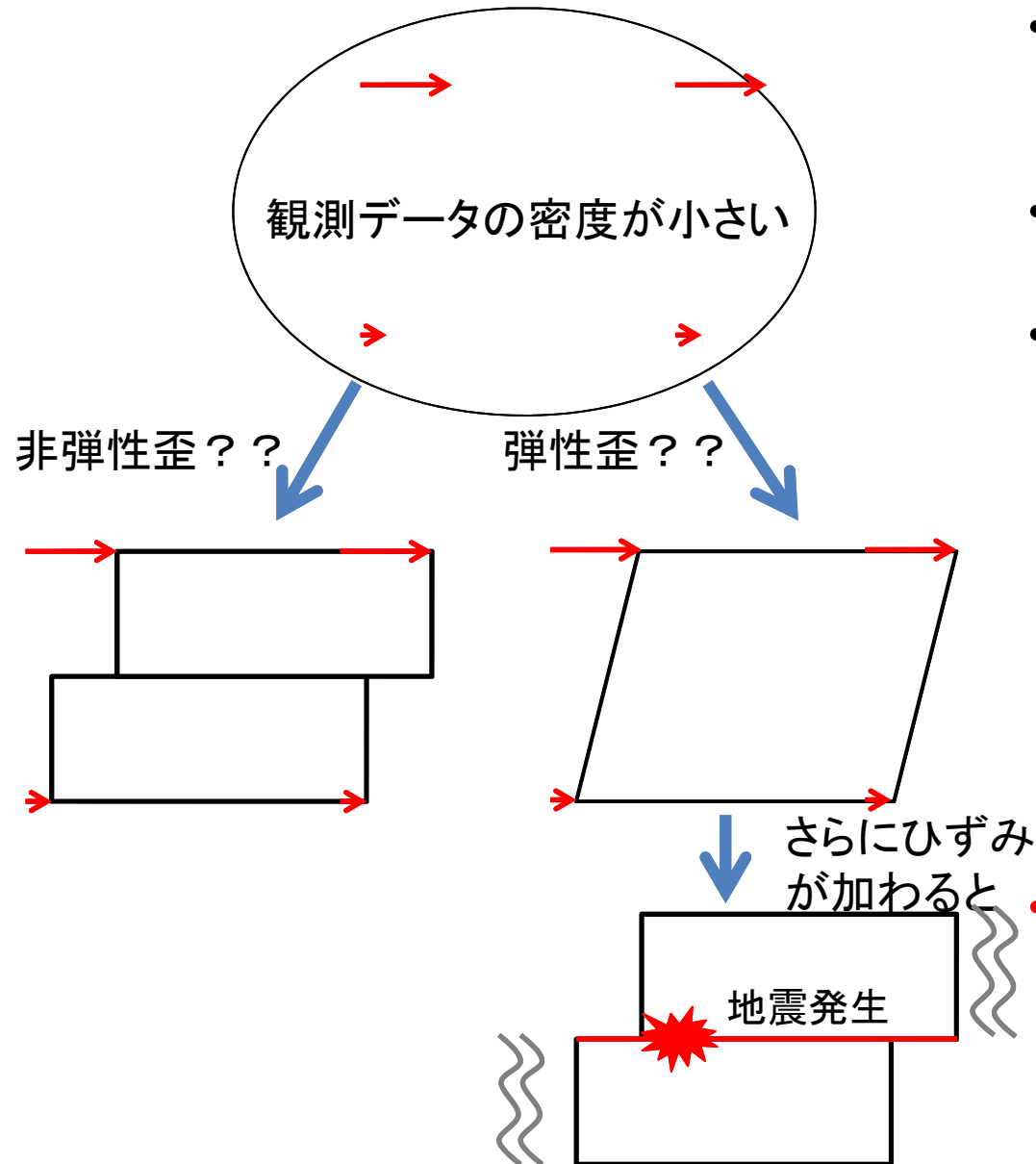


ひずみの蓄積速度が遅い場合



- ひずみの蓄積速度が速い方が長時間の地震の発生頻度は高い。(当たり前)
- しかし、今現在のひずみの蓄積量がわからないため、次にどこに来るかはわからない。

しかし、直接的な地震予測は難しい

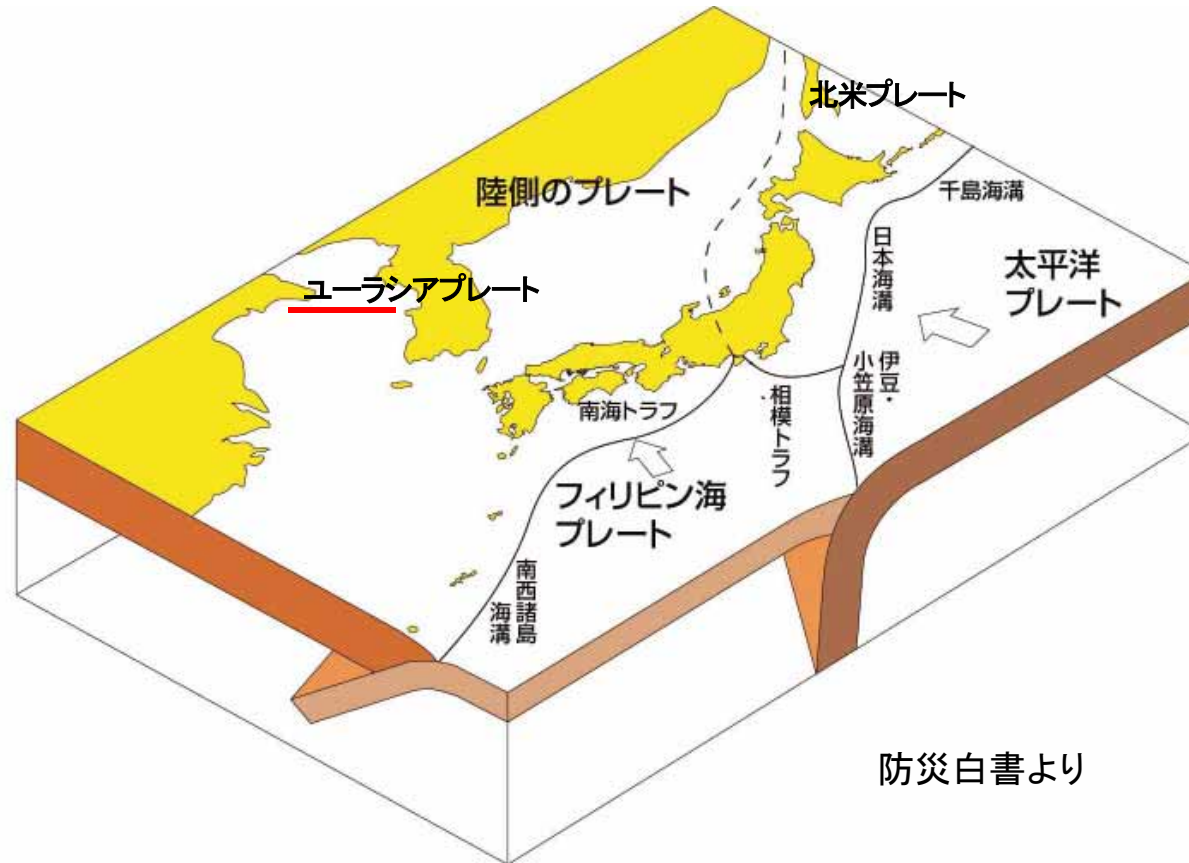


- 観測できるのではひずみ速度 (ひずみの変化量) であり、ひずみの絶対値ではない。
- 破壊強度 (限界ひずみ) もよくわからない。
- 計測しているひずみ速度も弾性的なものなのか、非弾性的なものなのか区別できない。
 - 時空間的に疎な観測では、地震などによる非弾性変形を見ているのか、地震に至るまでの弾性変形を見ているのかわからない。
 - 空間的に密な観測では区別できる可能性も

とはいえ、理想的な場合 (弾性ひずみ) の場合は、地震発生レートとひずみ速度には正の相関があるはず。

日本列島内陸のひずみ集中帯の 成因について

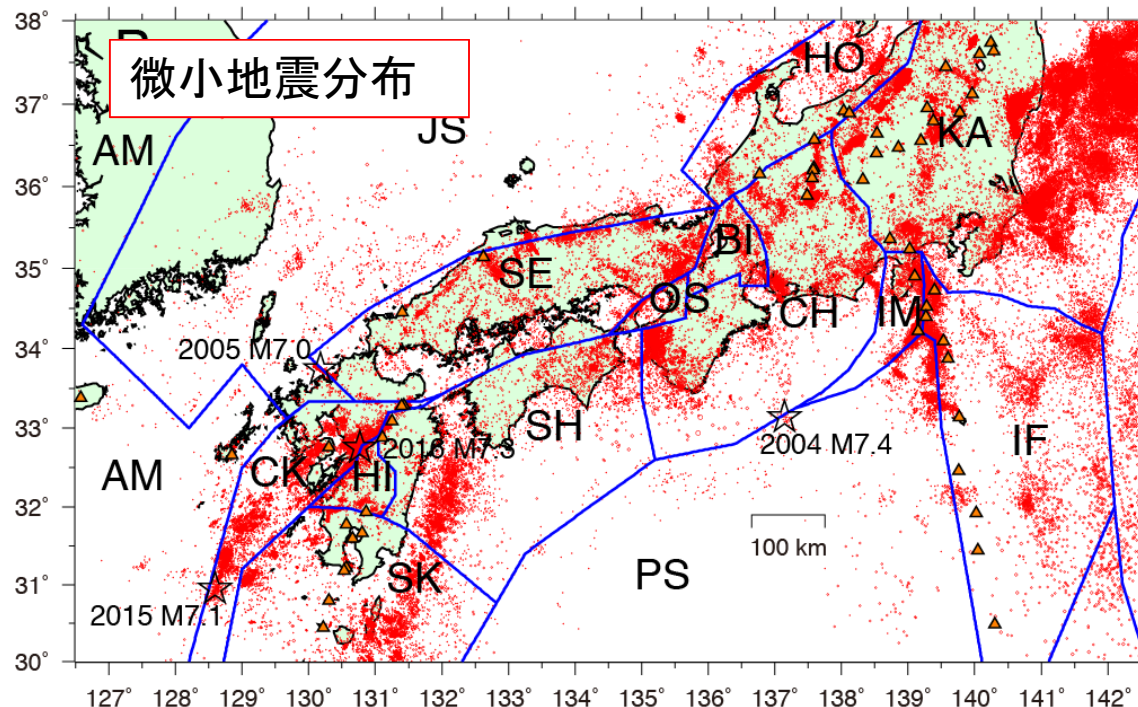
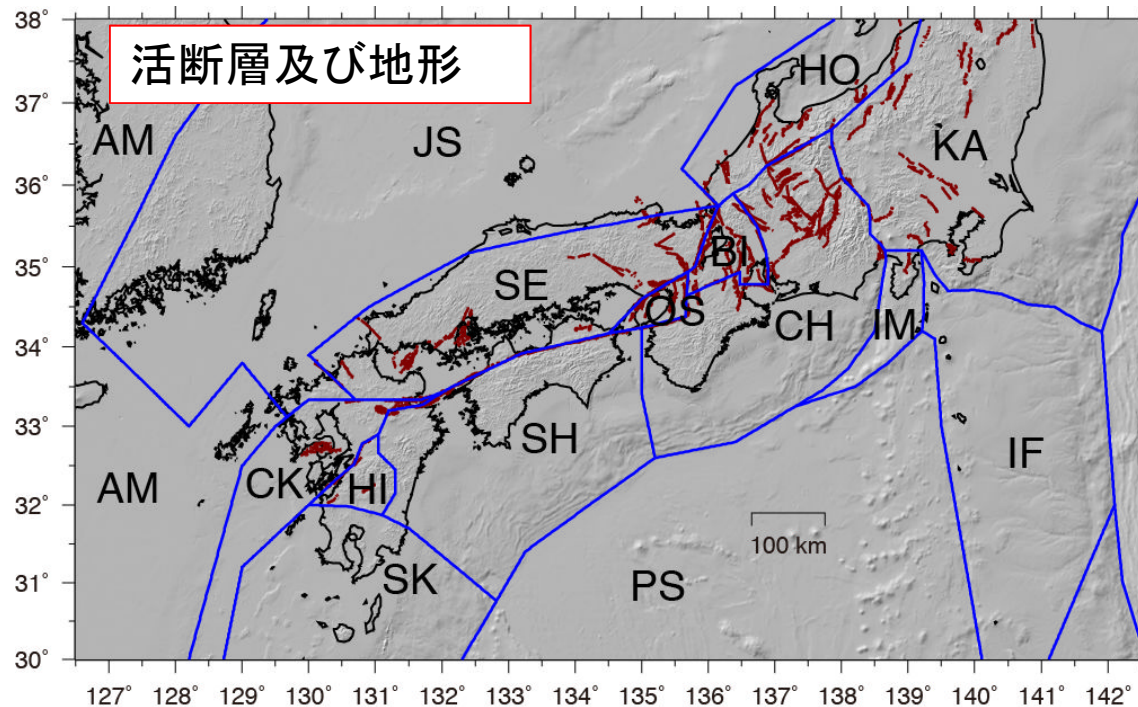
日本列島周辺のプレート



- 東北日本と西南日本は別のプレートに属すると考えられている。
- 一昔前は、東北日本と西南日本のプレートの境界は、日本海東縁から富山湾、糸魚川ー静岡構造線を通り、駿河湾にぬけるという説が有力だった。

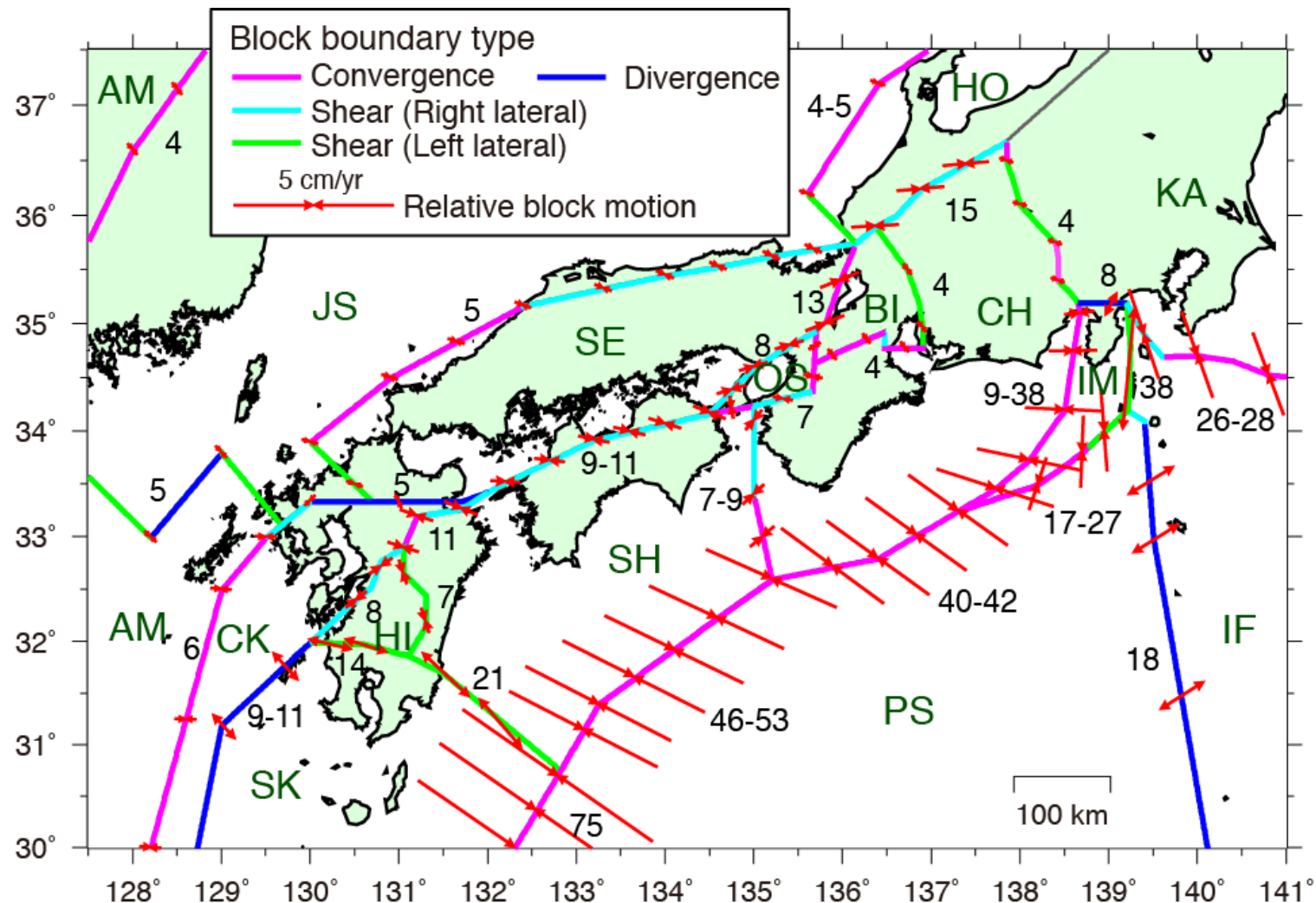
ひずみ集中帯の成因

- プレート(ブロック)境界仮説
- 従来, 2つだけと考えられてきた陸側のプレートは, 実際はより細かく分かれていて, その境界で地震が発生し, ひずみも集中する.



Nishimura et al.(in revision)

ブロック間相対運動速度

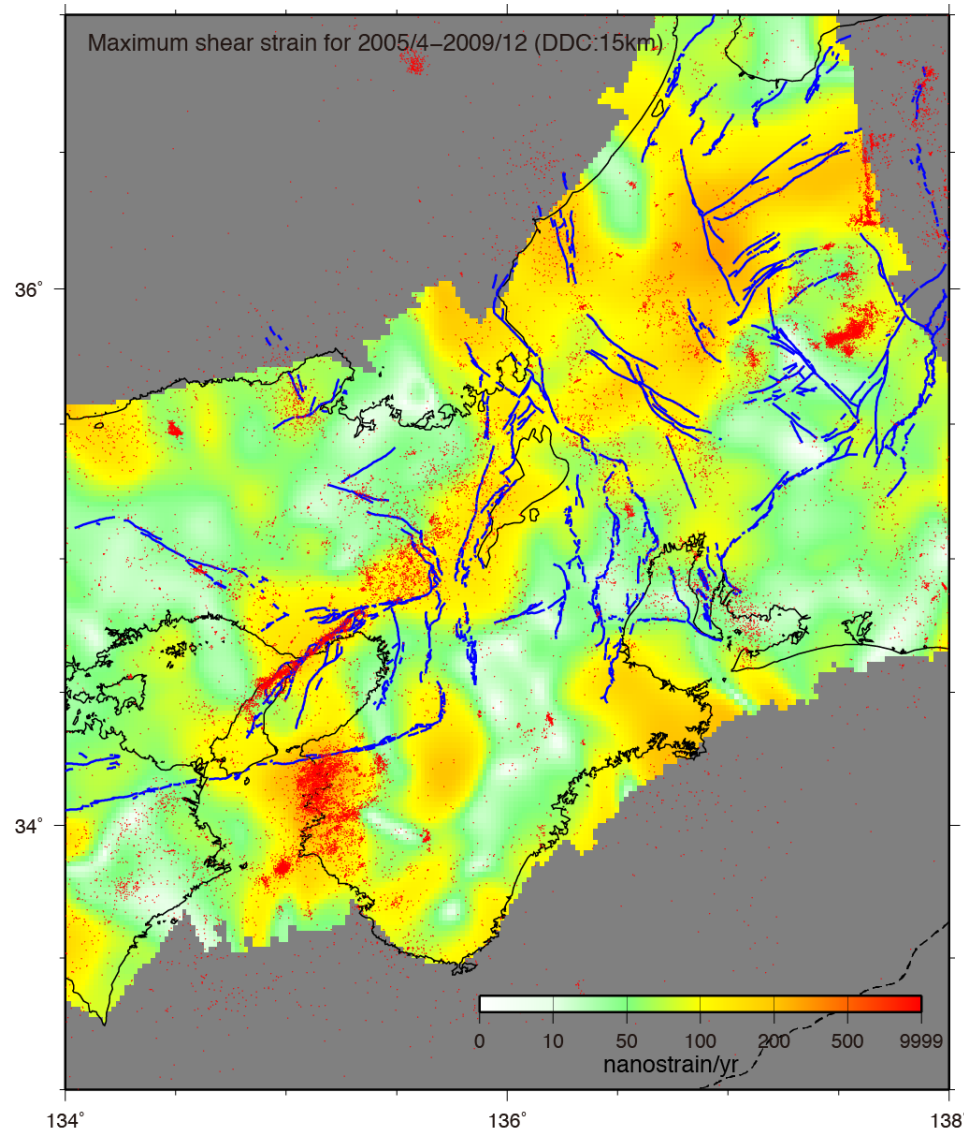


測地学的速度と地形・地質学的速度の違いの解決は？

Nishimura et al.(in revision)

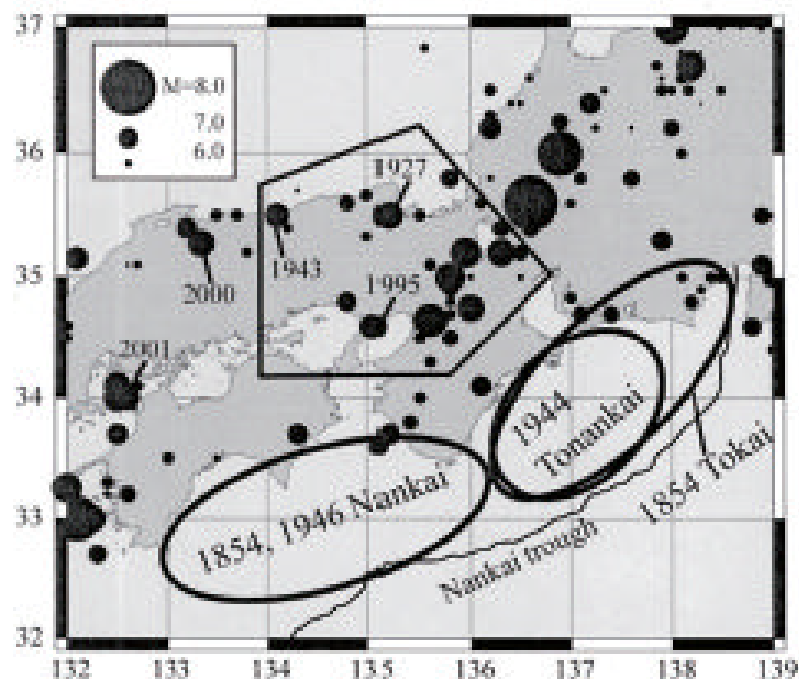
近畿地方もひずみ集中帯

近畿地方のひずみ速度分布(拡大)

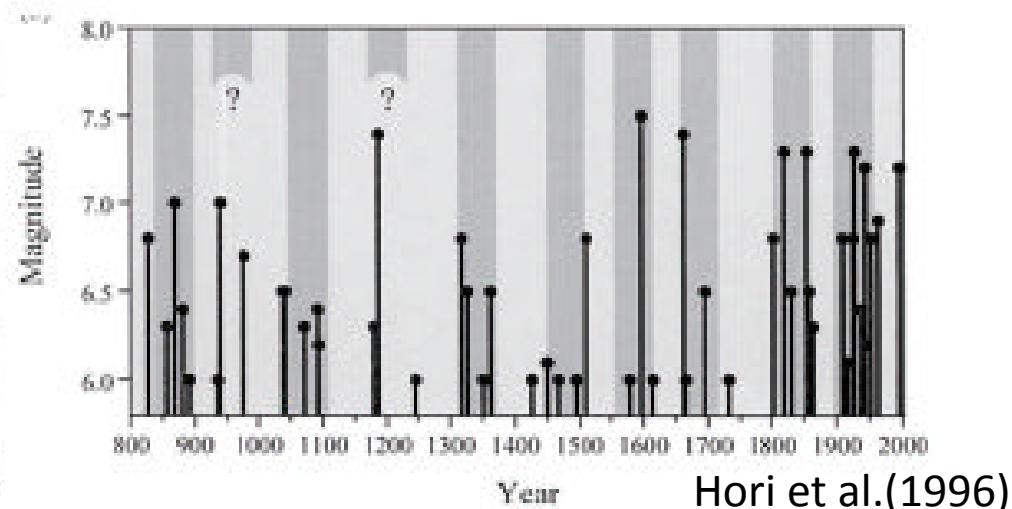


南海トラフの沈み込みによる
直接の影響を除去

西南日本の内陸地震の活動期



西暦800年以降の
西日本の内陸地震の発生時期



- 南海トラフ地震の前後(前50年、後10年)に内陸地震が集中している。
- 例、1944年南海地震、1946年東南海地震
 - 1925年北但馬地震、1927年北丹後地震、1943年鳥取地震などの内陸地震が発生

地震の予知・予測について

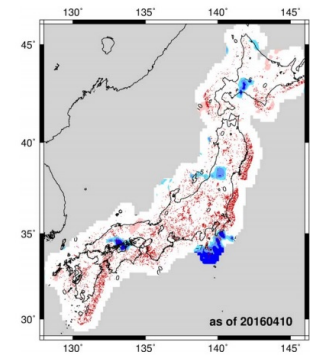
- 「地震予知」は現状では非常に困難であり、地震発生予測は基礎的な研究の一分野として推進していくという認識（日本地震学会行動計画2012）
 - － 地震予知 警報につながる確度の高いもの（例えば、東海地震予知）
 - － 地震の前の前兆現象を見つけることが必須！！
- 「地震予測」としては、地震調査研究推進本部が地震の長期評価として、30年確率などが公表されている。
 - － 内陸地震については活断層における過去の地震の発生履歴に基づいている。
 - － 地殻変動などの現在の観測データは用いられていない。
- 地震予知の実現可能性は依然として不透明であるが、GNSSデータを用いることにより、地震予測の高度化は実現可能な目標とならう。

有料地震予知・予測サービス

- 近年、有料(月216円程度)のメールマガジンという形で、地震の予知・予測情報を販売する業者が誕生している。
- GPSデータを用いていたたり、(元)大学教授が行っている例もあるが、現状では地震を確実に予測する手法はなく、2016年熊本地震の予測も成功していない。
- 地震のことを考えるきっかけにはなるかもしれないが、現状では占いの類いと同じと考えて過度に信用することは禁物。

有料の地震予知情報の例

参考: 横浜地球物理学研究所
http://blog.goo.ne.jp/geophysics_lab



おわりに

- GNSS観測により、現在の日本列島の地殻変動が詳細に観測できるようになった。
- 西日本の地殻変動の大部分は、南海トラフ沿いのプレート沈み込み帯における断層の固着によって説明でき、着実に次の地震に向けてひずみが蓄積中であることが観測されている。
- 日本列島の内陸域にはひずみが溜まりやすい場所（ひずみ集中帯）があり、地震の多発帯とも一致する。近畿地方にも、ひずみ集中帯が存在する。
- 研究の歩みは簡単ではなく、現状で地震の予知（特に短期的な予知）は不可能である。しかし、今後の研究の進展を応援していただきたい。

おわり