

地元の皆さんに支えられた地震観測 —満点計画の15年—

地震予知研究センター阿武山観測所 飯尾 能久(いいお よしひさ)

背景

- ・地震とはどんなものか？
- ・地震の起こり方と発生予測
- ・内陸地震の発生予測における2つの異なるアプローチ
- ・内陸地震の発生過程の理解とそれに基づく発生予測

満点計画

地元の方々と一緒に観測した例—山陰の地震帯における観測

目的：地震を起こす力と断層の強度の空間変化の解明

地元の方々に観測してもらう例—大阪府北部の地震の余震観測

目的：大阪府北部の地震と周辺の活断層との関係の解明

兵庫県南部地震で動いた野島断層



写真-6 北淡町野島平林の断層亀裂

鈴木・他(1995、国土地理院時報)より

この地点では、地震前には
この段差はなかった

縦ずれ1.3m 横ずれ1.7m

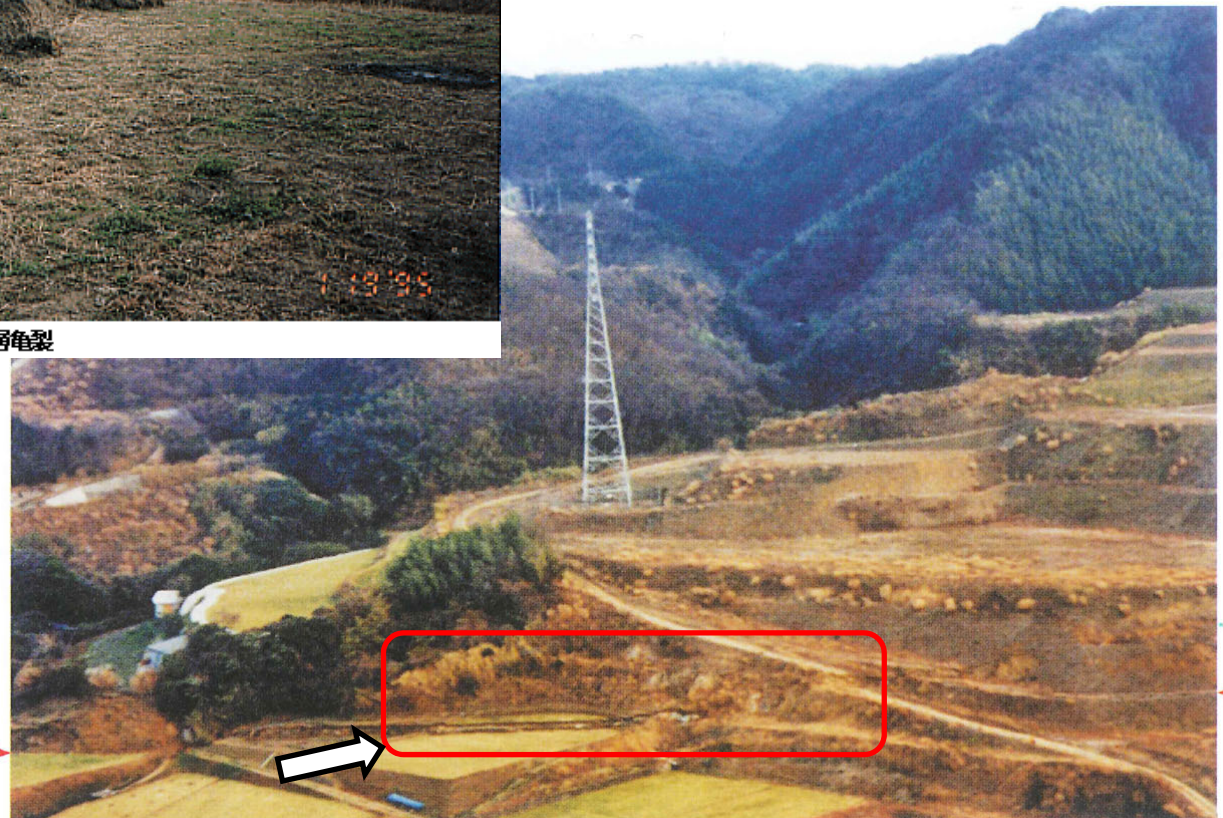
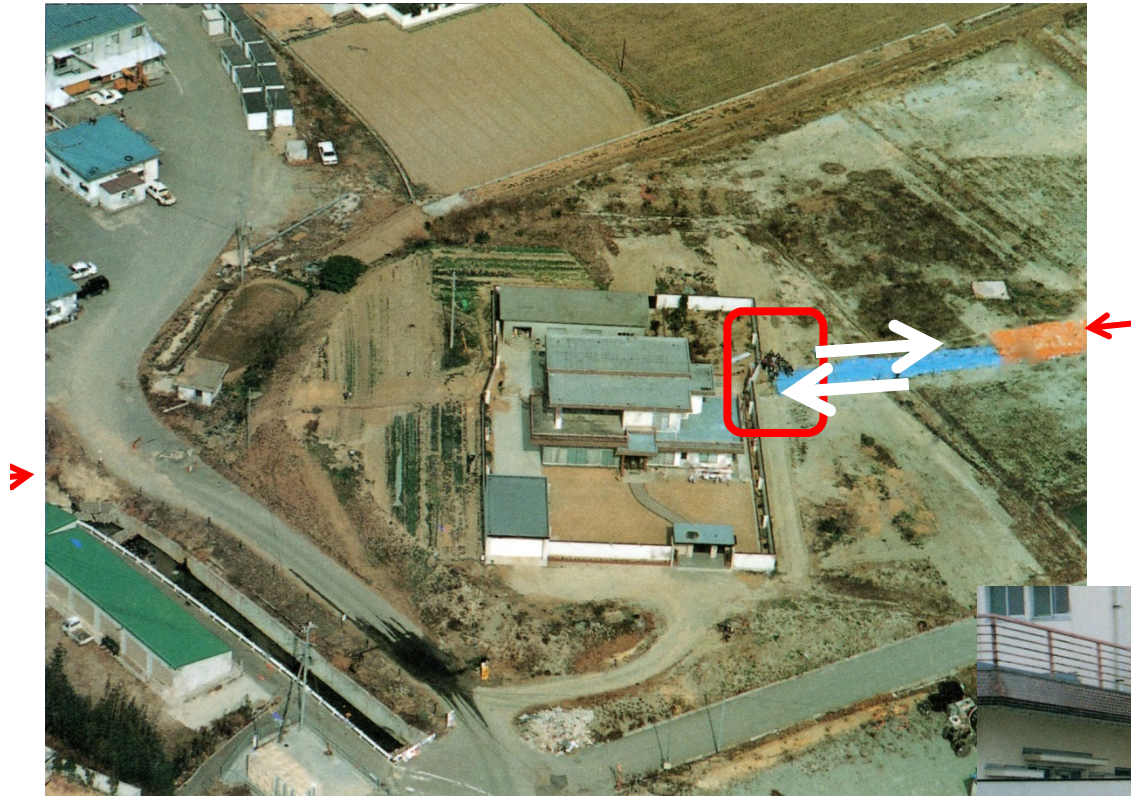


写真6 淡路島北部西縁の野島断層 (1995年1月岡田撮影)

岡田・八木(2019) 図説 日本の活断層
より

断層は山地と平地の境にある

人家の近くの野島断層 地震直後



京大防災研地震予知研究センター(1995)
1995年兵庫県南部地震より

野島断層をほってみると

崖は岩と土の境にある割れ目に続いている



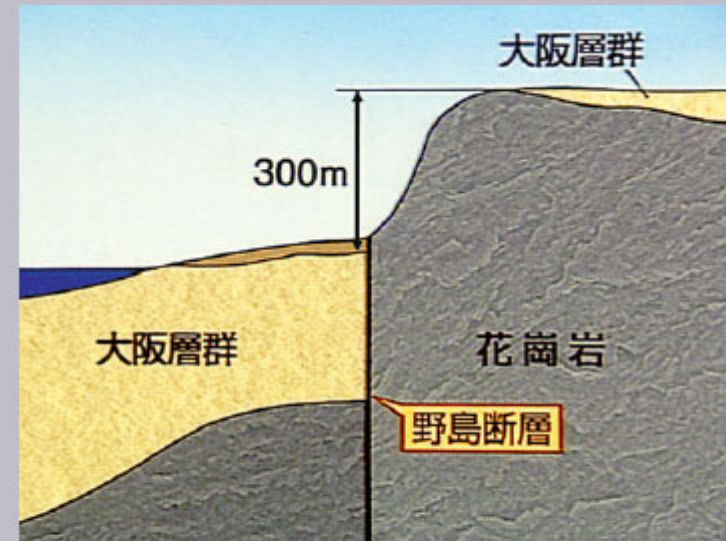
野島断層記念館

文科省(2004)「日本の地震防災 活断層」より

野島断層はさらに深部へ伸びている



淡路島北西岸 右手の急な斜面のふもとに野島断層がある。(写真提供 毎日映画社)



左写真の地質断面図 野島断層の南東側(右側)が繰り返して隆起して山地になった。

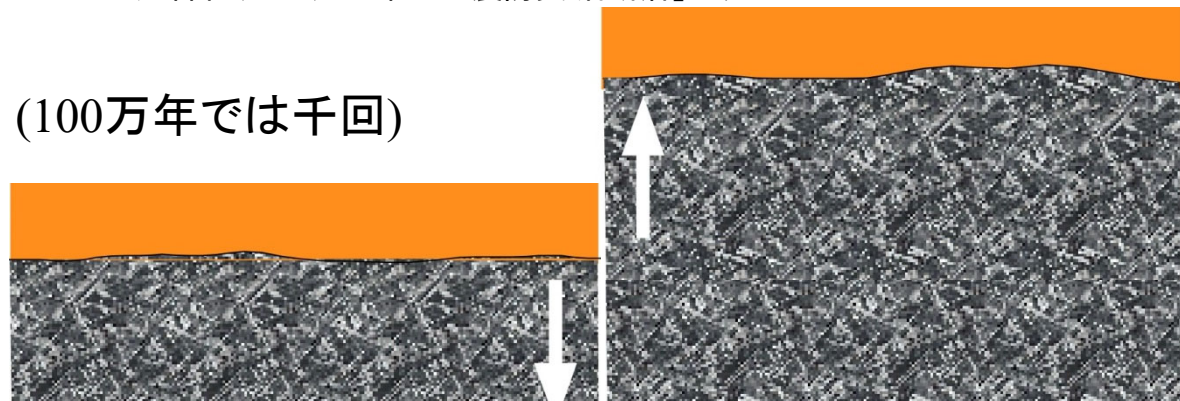
(図提供 毎日映画社)

文科省(2004)「日本の地震防災 活断層」より

100万年間で1000mずれた

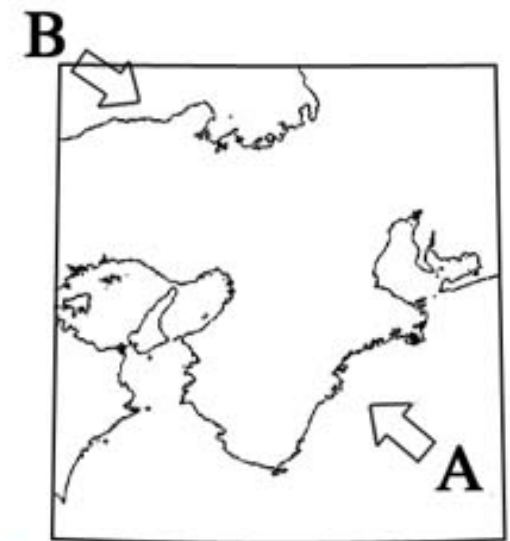
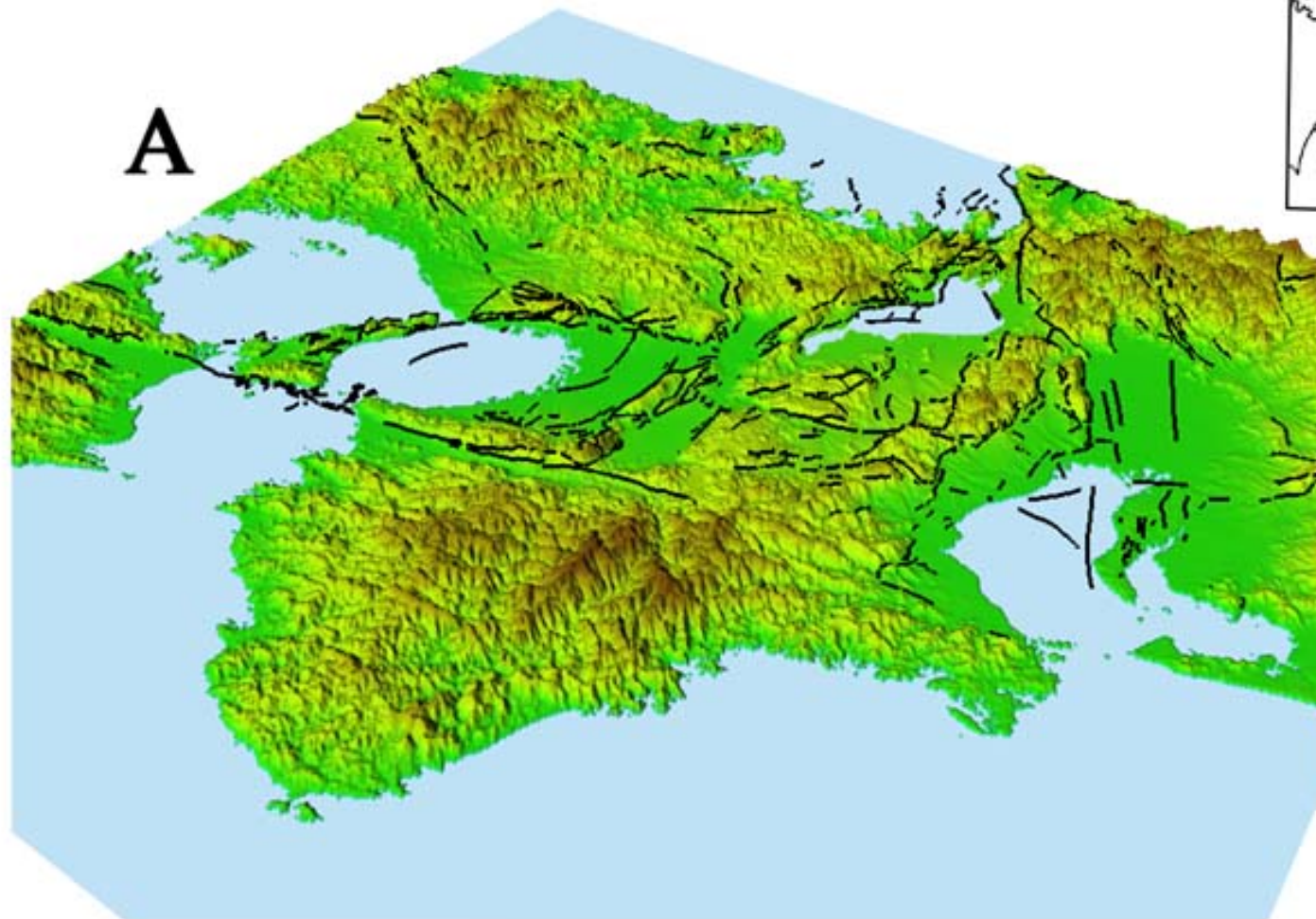
1000年に1回大地震があった (100万年では千回)

1回の地震で1mずれると、
100万年で1000mずれる



近畿地方の活断層

「日本の地震活動」より

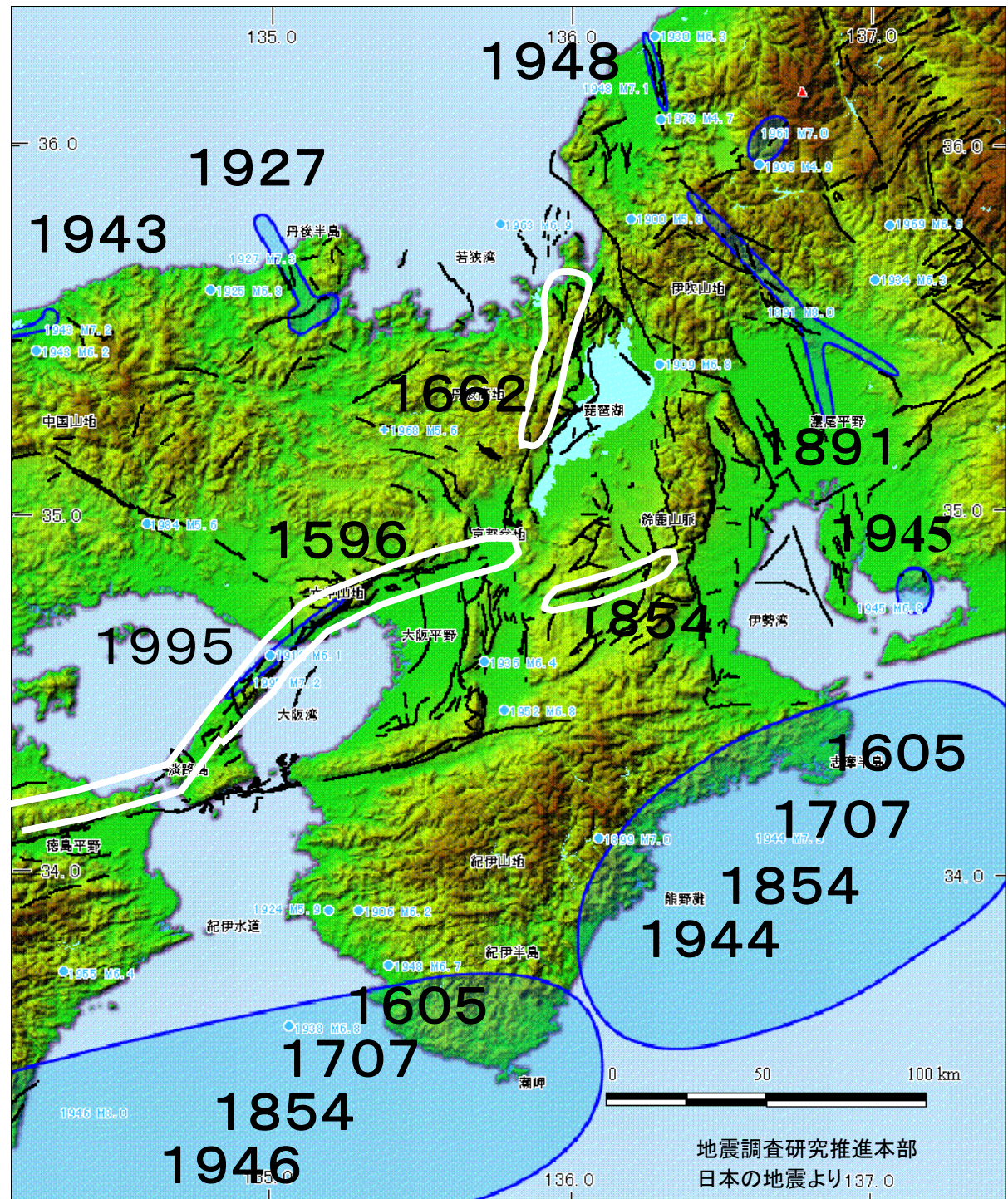
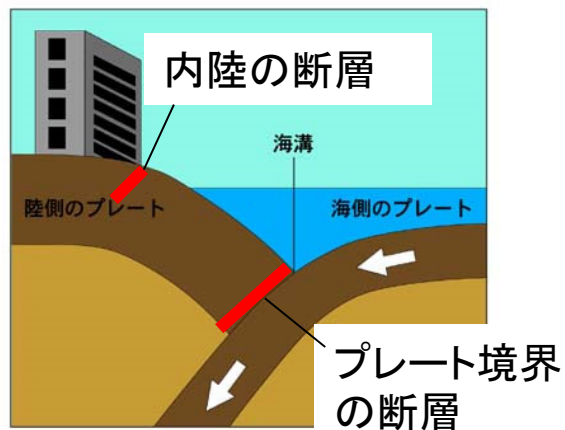


プレート境界型地震と 内陸地震の起こり方

1596年以降の近畿地方の例

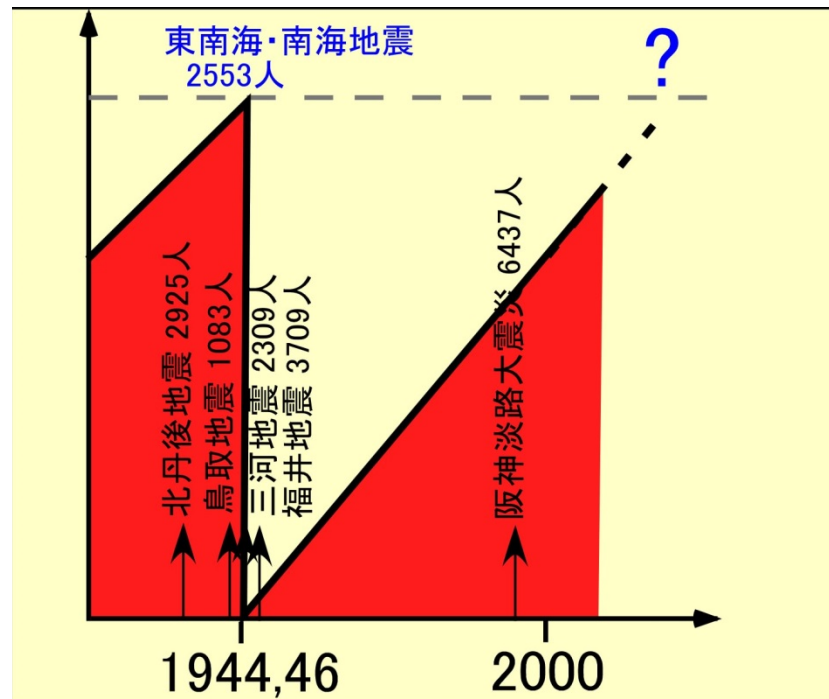
南海トラフの巨大地震は約100年～200年ごとに発生する。

内陸地震は、この期間内では繰り返してはいないが、千年から数万年程度の間隔で発生すると言われている。



南海地震と近畿の内陆地震の履歴

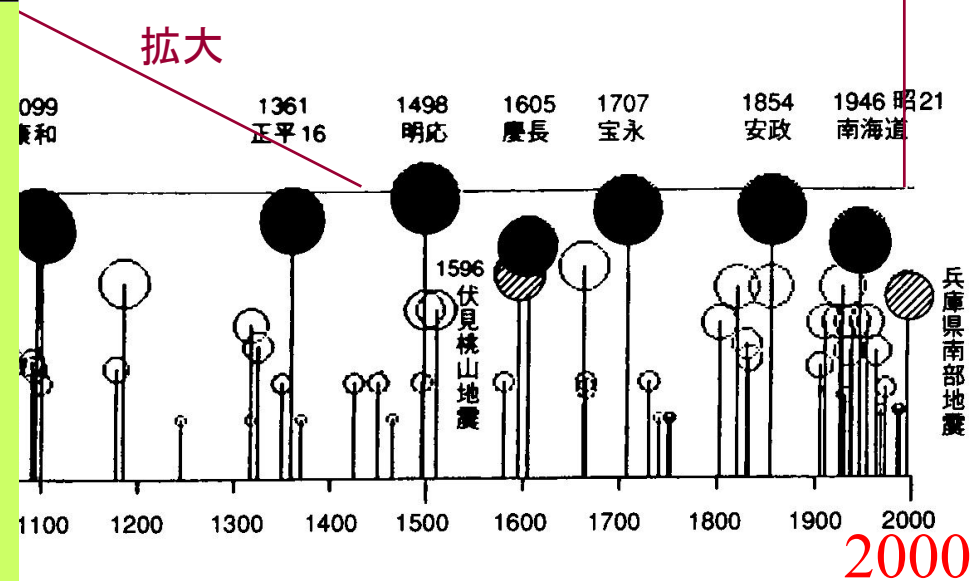
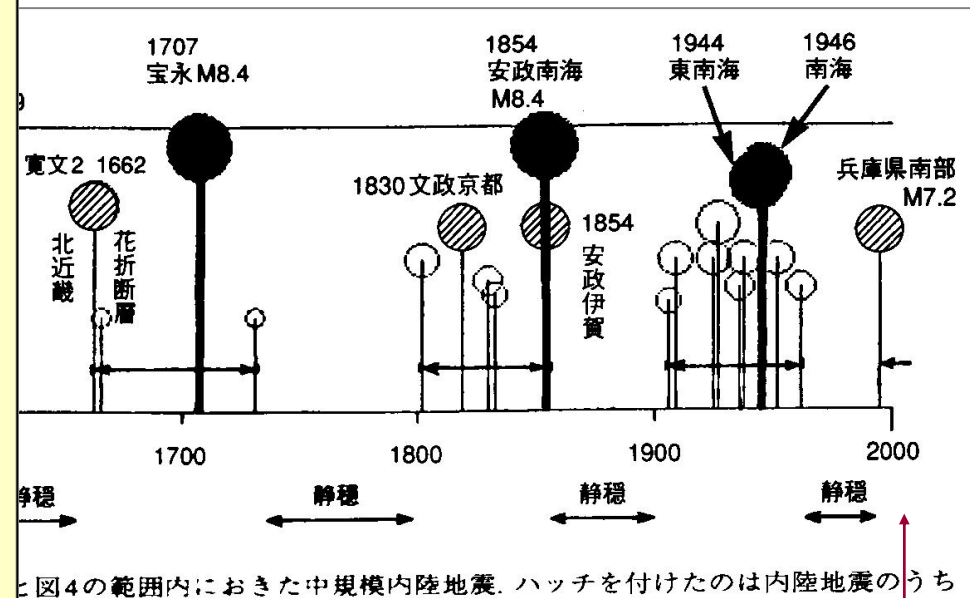
(都司, 1999)



南海トラフの巨大地震の前50年および後10年の期間では、

それ以外の期間に比べて、発生数が約4倍

宇津(1974)

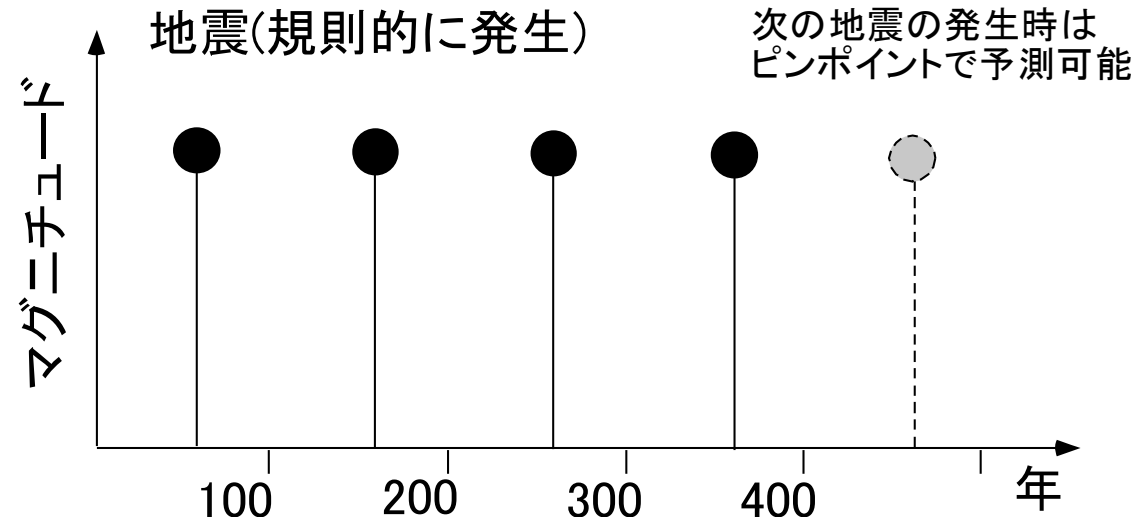


地震の長期的な発生予測の問題点

現在のやり方:

活断層の活動履歴に基づいた統計的手法.

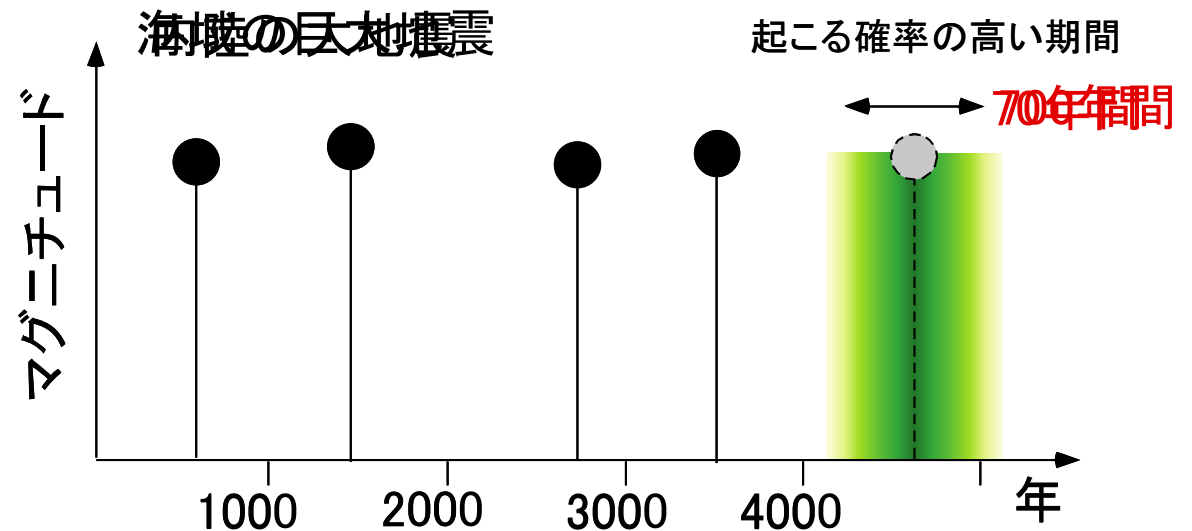
規則的に発生しているわけではないので, 発生時期の見積もりに幅がある.



内陸大地震の場合:

再来間隔が長いため, 発生時期の見積もりに数百年程度の幅がある.

将来の精度向上にも限界あり.



発生過程の理解に基づいた
(物理的な)予測手法の開発が必要

内陸地震の発生予測と天気予報の違い

天気予報

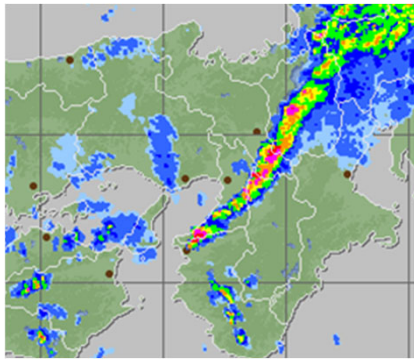
大気・海洋中において

気圧・風速・湿度などのデータ

基礎方程式系

数値モデル

気温や降水量の予測



レーダー降水ナウキャスト(気象庁)

内陸地震の発生予測

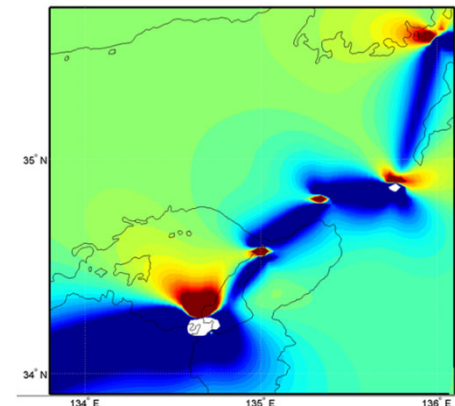
日本列島の内陸地殻において

応力・断層の強度に関するデータ ??

応力・断層の強度と地震発生との関係式 ??

数値モデル化 ??

内陸地震の発生予測 ???

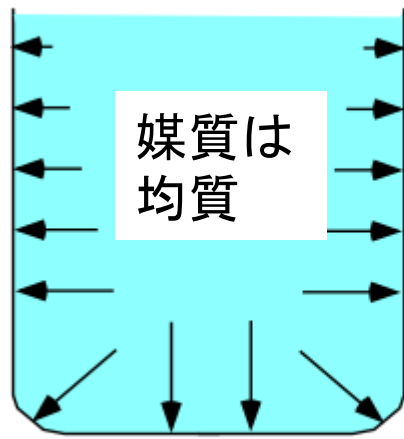


地殻応力天気図 (満点計画)

気圧と応力の違い ー地震の発生予測の難しさー

気圧・風速・湿度などのデータ

天気予報



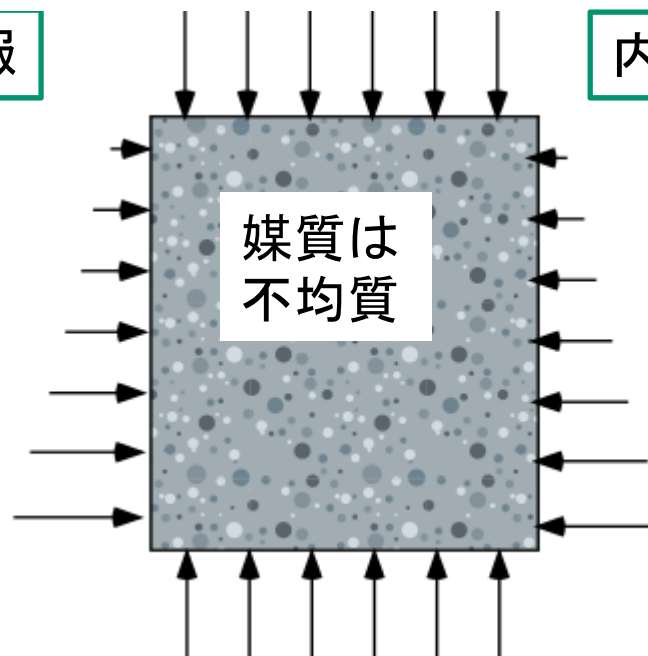
ビーカーの中の水

圧力: 向きに寄らない, 1成分

例) 905 hPa

応力・断層の強度に関するデータ

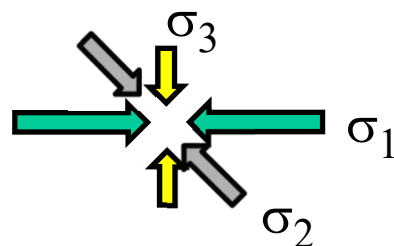
内陸地震の発生予測



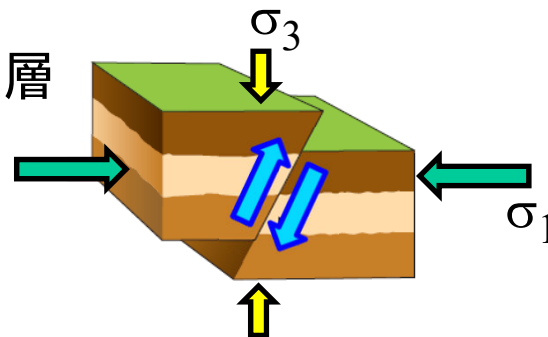
応力: 3方向別々

方向3+大きさ3 = 6成分

大きさの推定が非常に難しい



逆断層



地震を起こす力 (断層をずらす力)

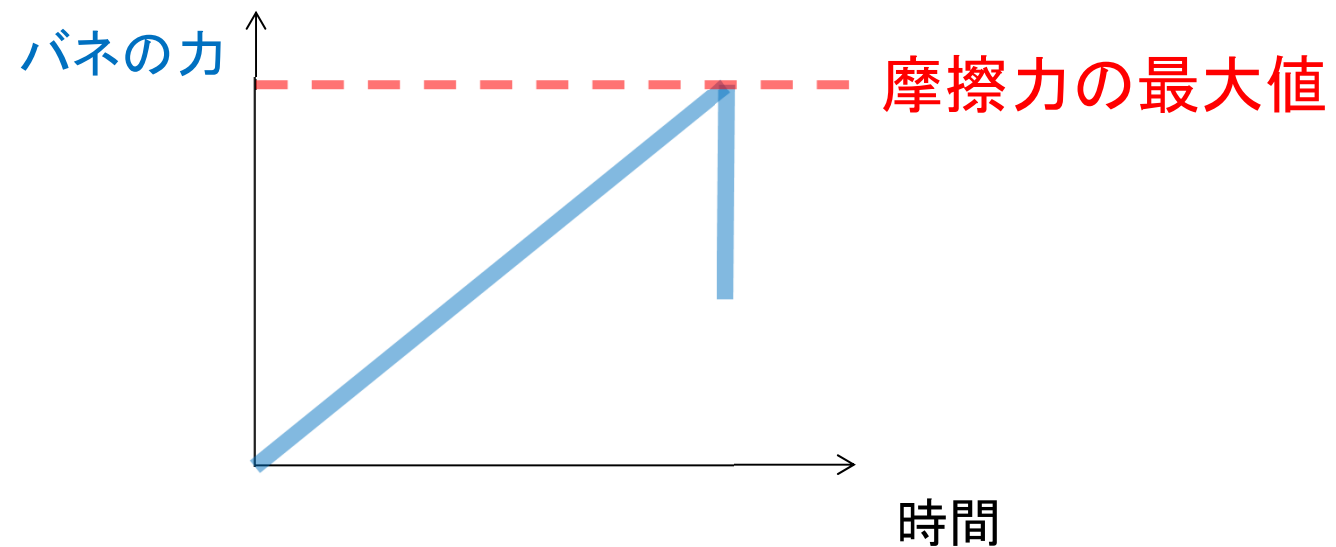
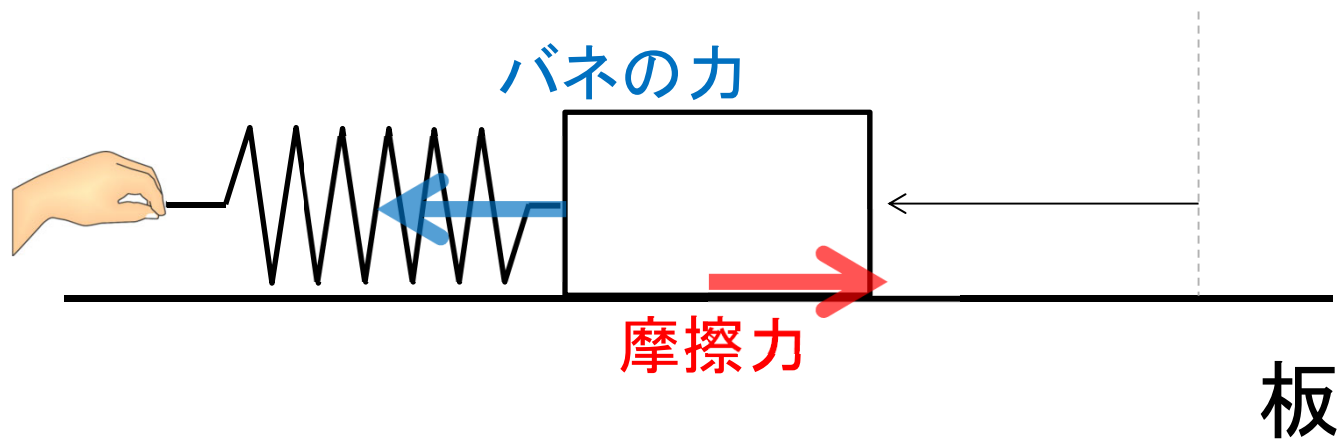
$\sigma_1 - \sigma_3$ (差) に関係

(断層面上のせん断応力)

最大主圧縮応力

向きの推定は可能

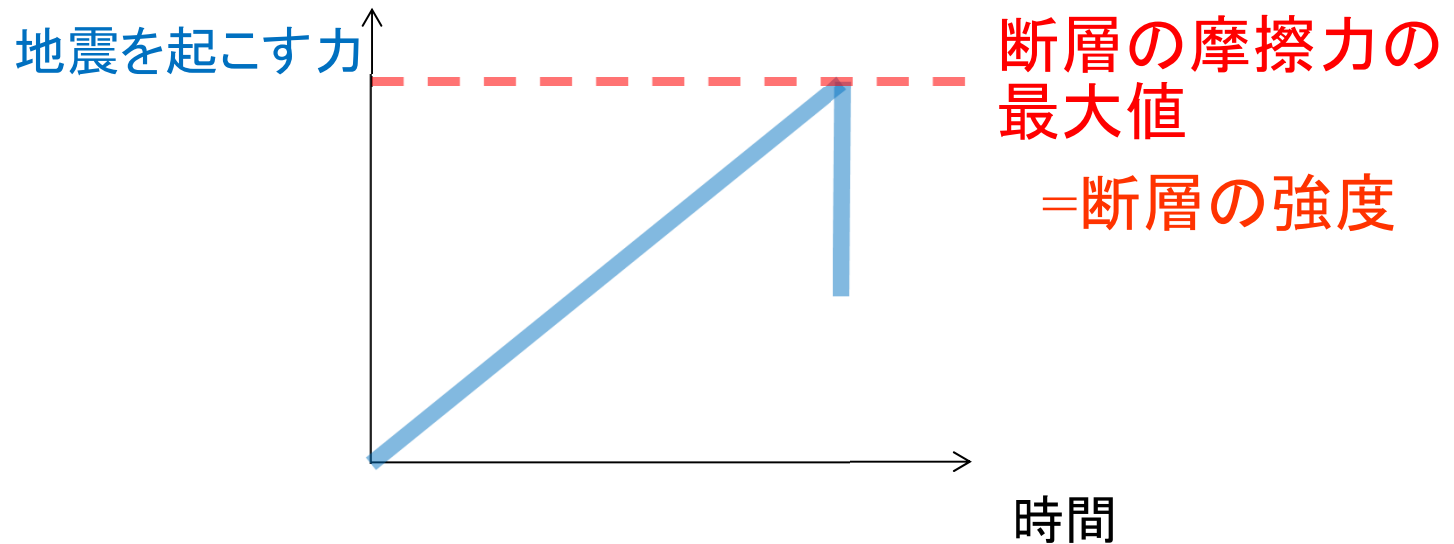
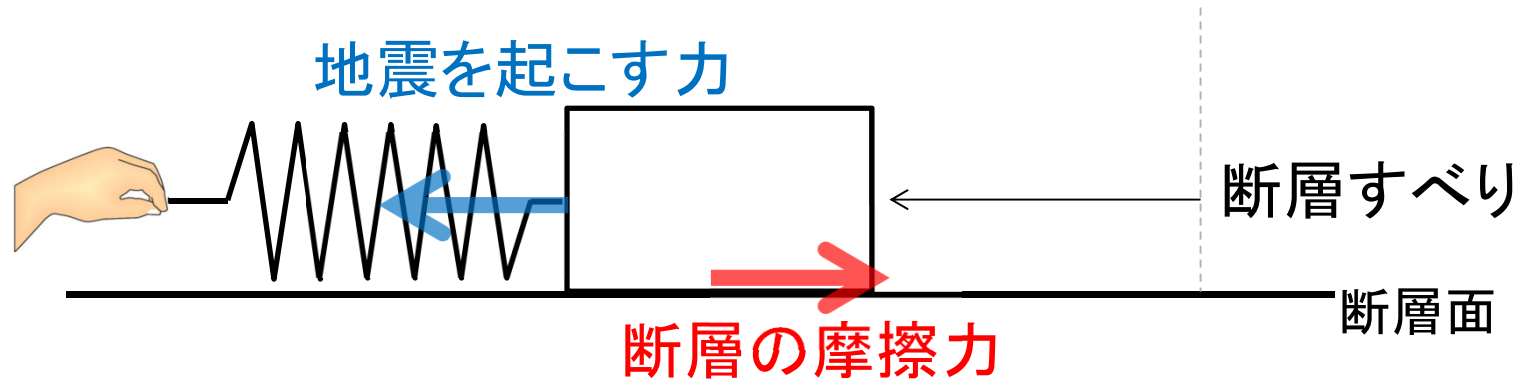
バネを一定の速さで引っ張ると
限界に達して、積み木がずれる



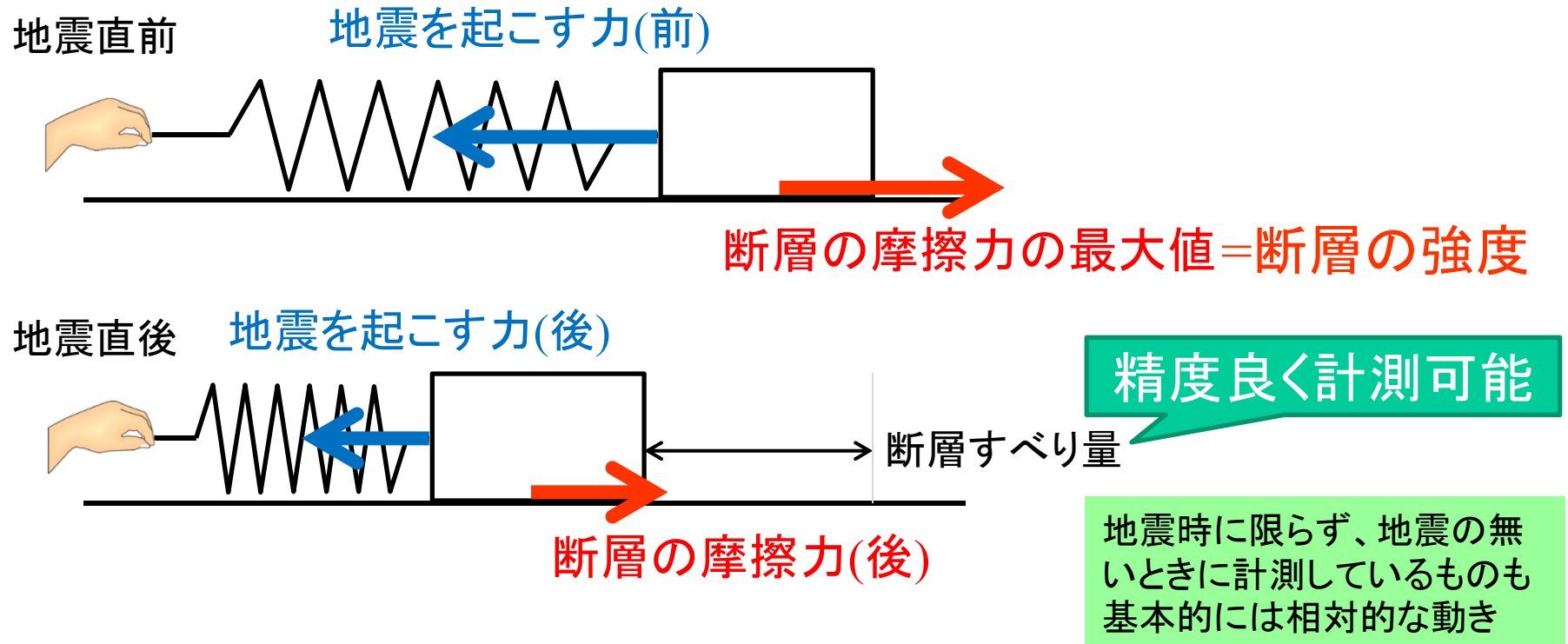
地震は、地震を起こす力が断層の強度に達すると発生

断層面の摩擦の問題

→ 机の上の積み木をひっぱる場合と同様



地震を起こす力の大きさの推定は非常に難しい

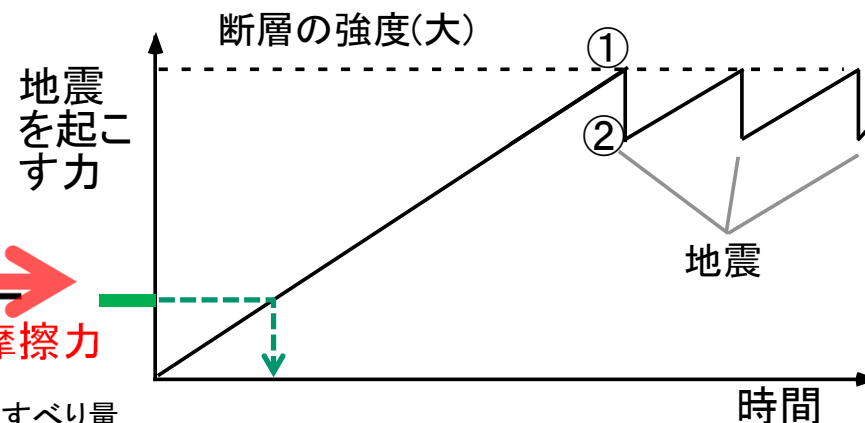
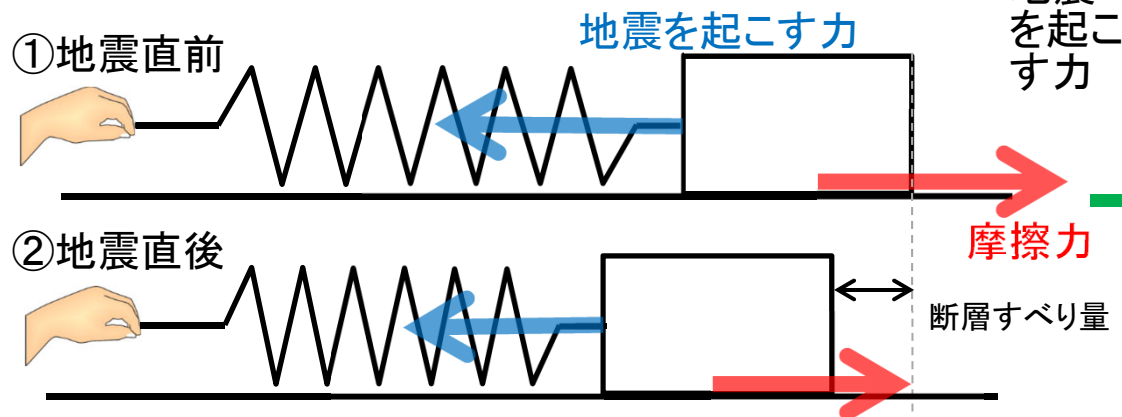


(精度良く測定可能な)断層すべり量は、地震を起こす力の地震前後の差で決まり、地震を起こす力自体の大きさに直接は関係しない。

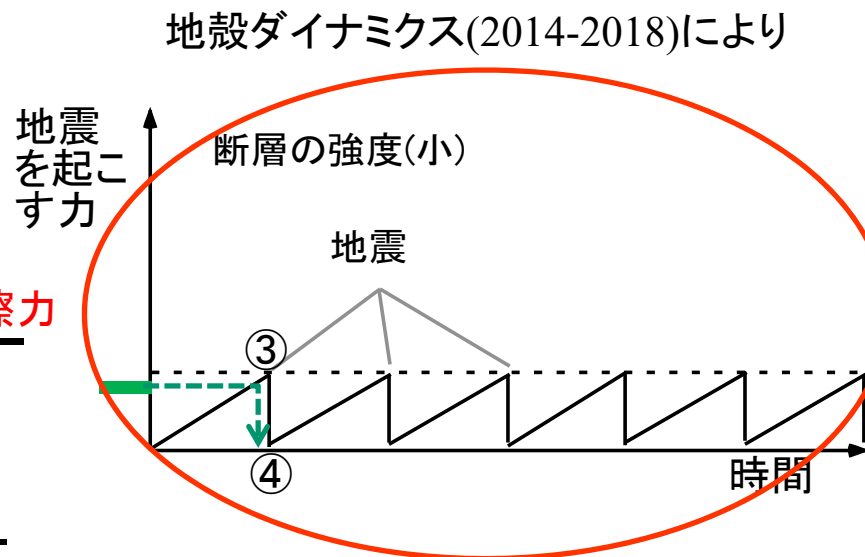
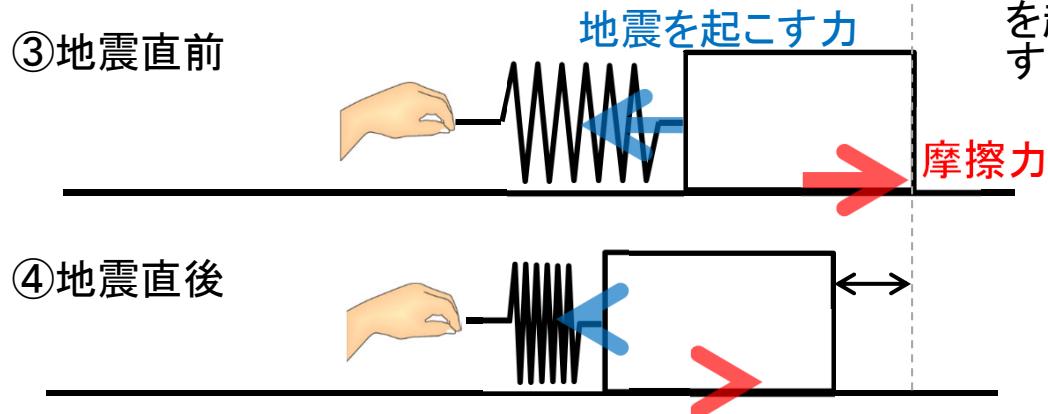
→断層の強度は、地震直前の断層の摩擦力(=地震を起こす力)のことでありこれもよく分からない。

断層の強度は大きいのか？ 小さいのか？ (1980年代からの大問題)

断層の強度が大きい場合

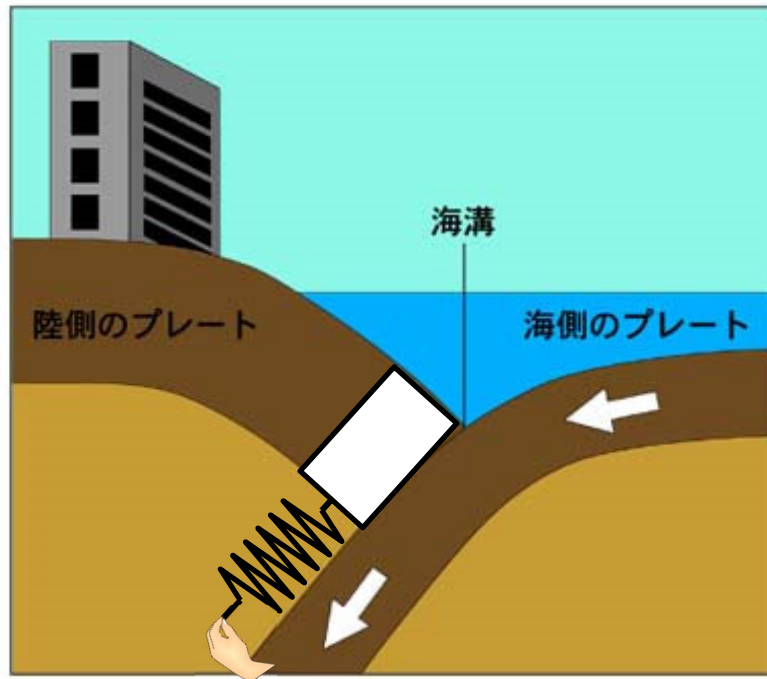


断層の強度が小さい場合

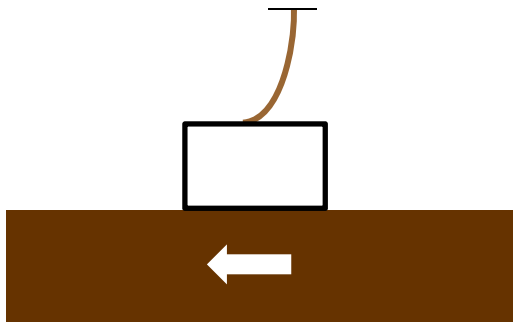


問題: ある断層で地震を起こす力の大きさが測定された。
断層の強度が大きい、小さいでその解釈はどう異なるか？

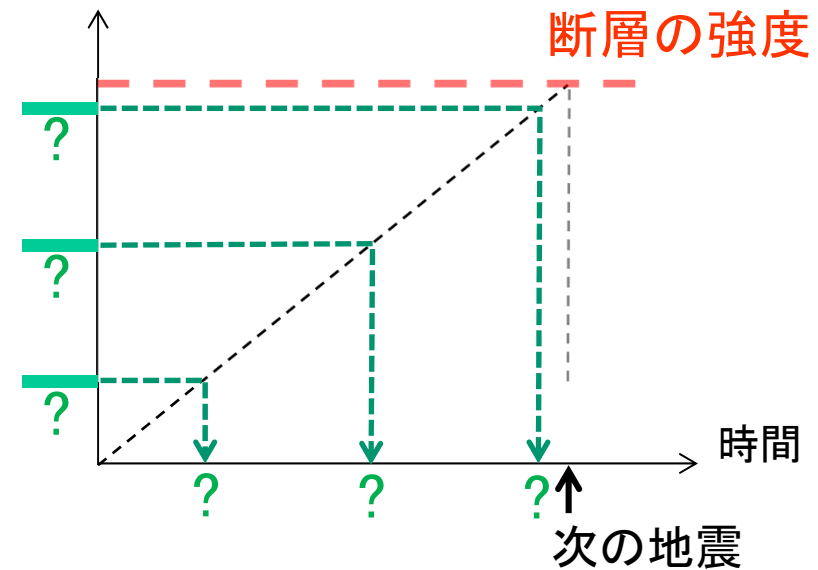
南海トラフの巨大地震はいつ起こるか？



地震調査委員会編「日本の地震活動」に加筆



地震を
起こす力



断層の強度も地震を起こす力の大きさも不明なので、物理的な手法により、発生時期を予測することが出来ない。

地震を起こす力、応力や断層の強度を知って発生を予測する

推定が難しいため、膨大なデータを必要とする

満点計画

- ・地震の観測点を**万点**規模にする
- ・**観測点間隔を1km程度に**
- ・**電気の無い山の中でも観測可能**
(本来は道の無いところでも)
- ・小型、低消費電力、長時間稼働、取り扱いが簡単
- ・計器を新たに開発
- ・実行には膨大なマンパワーが必要
設置する場所探しや許可をいただく
通信機能なし、太陽電池の設置は面倒 → データ回収に回る必要あり
- ・地元の方々と一緒に観測する 鳥取県西部
- ・地元の方々に観測してもらう 大阪府北部



メニュー

地元の方々と一緒に観測した例—山陰の地震帯における観測

最終目標： 南海トラフの巨大地震の前にどこで大地震が起こるかを推定

目的： 地震を起こす力と断層の強度の空間変化を解明

現時点での成果： σ_1 の方位の空間変化について

地元の方々に観測してもらう例—大阪府北部の地震の余震観測

最終目標： 今後の地震活動の予測

目的： 大阪府北部の地震の断層と周辺の活断層との関係を解明

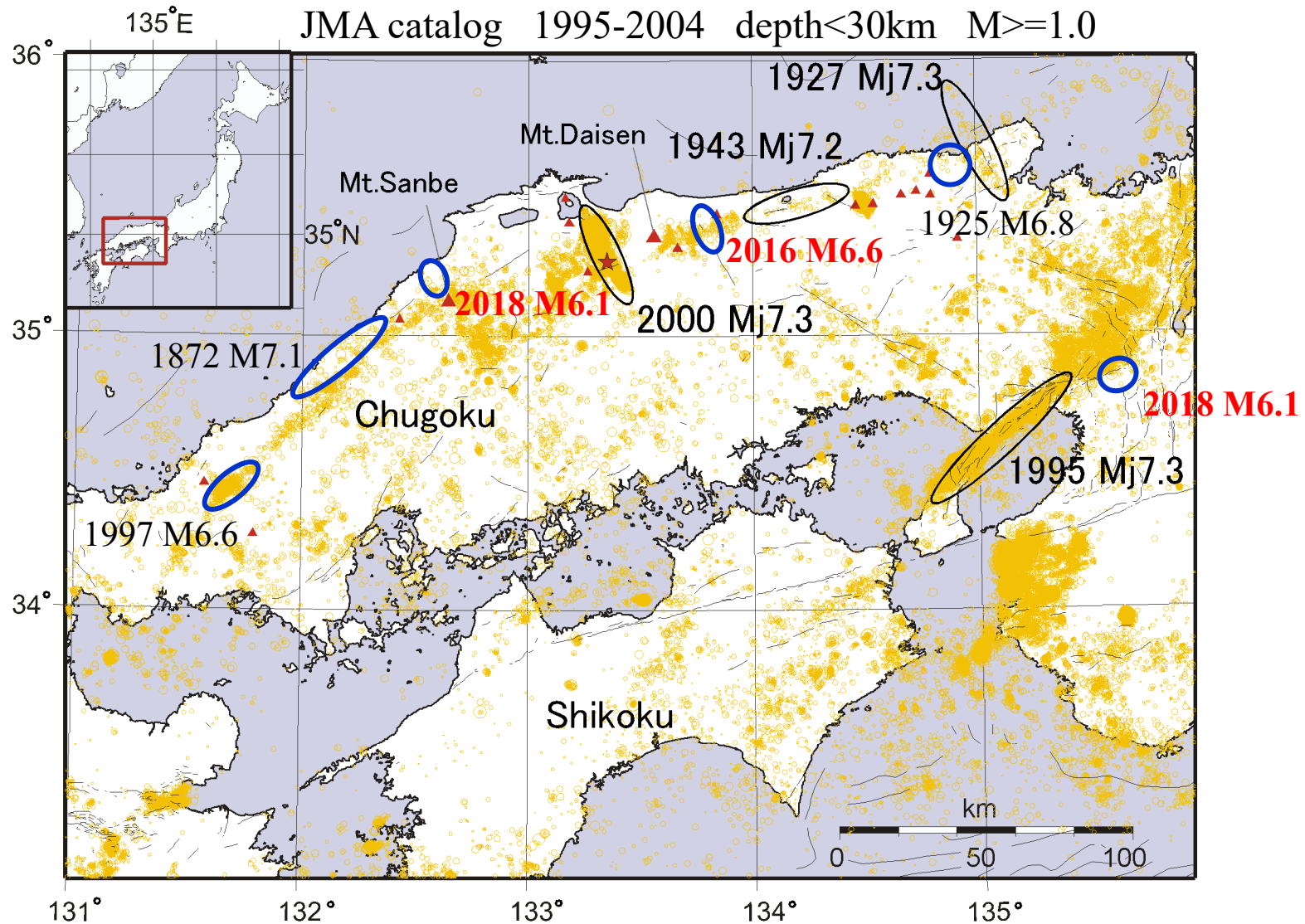
現時点での成果： 有馬高槻断層帯付近の低速度異常域について



鳥取県
日野郡日南町
福万来

山陰地方の地震帯

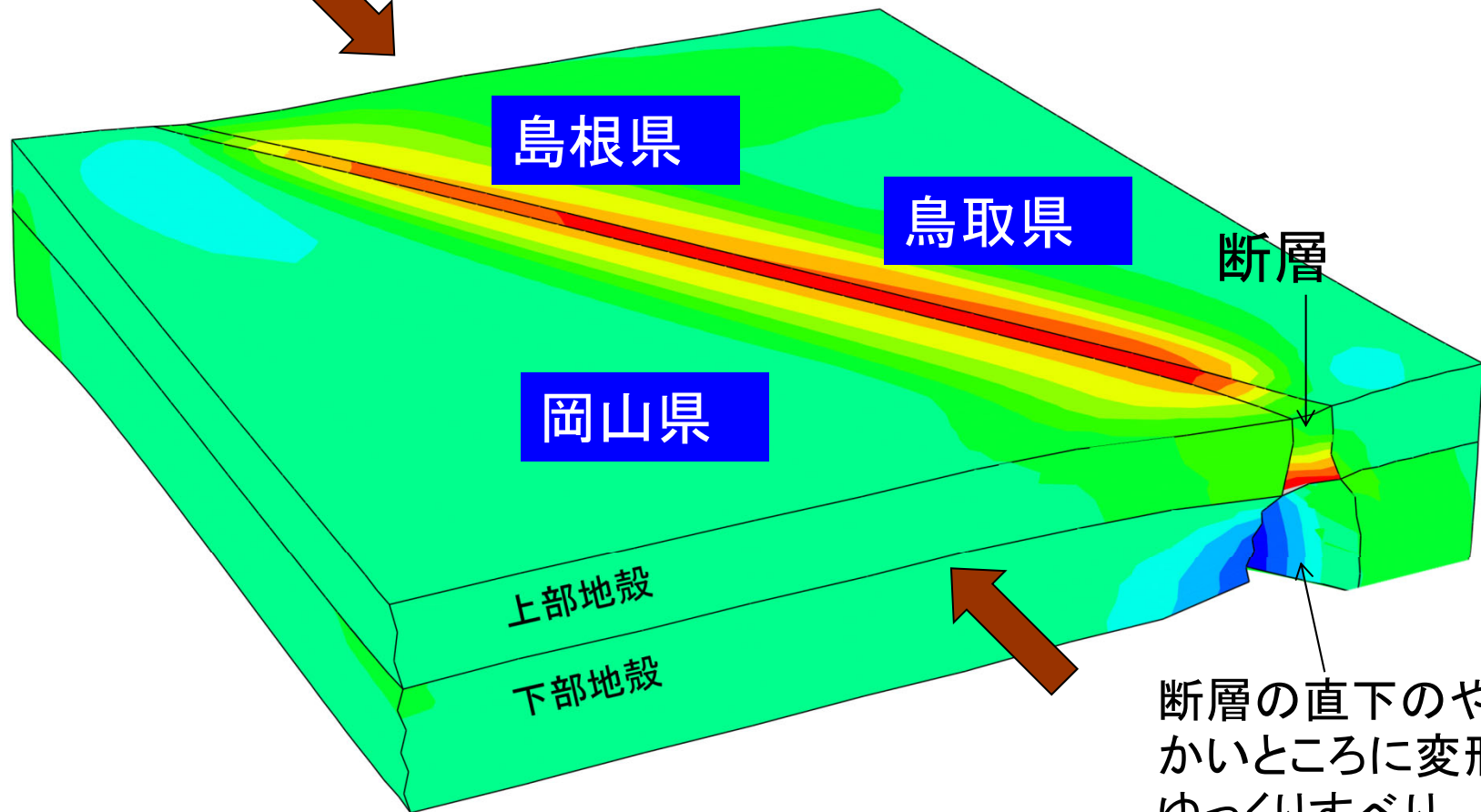
最近約150年間は大地震が多数発生しているが、
顕著な活断層は少ない。プレート境界からも遠い。



下部地殻のやわらかいところに変形することにより 直上の断層に応力集中する

沈み込むプレートの「押し」
による圧縮応力

赤：地震を起こす力が大きい
緑：小さい

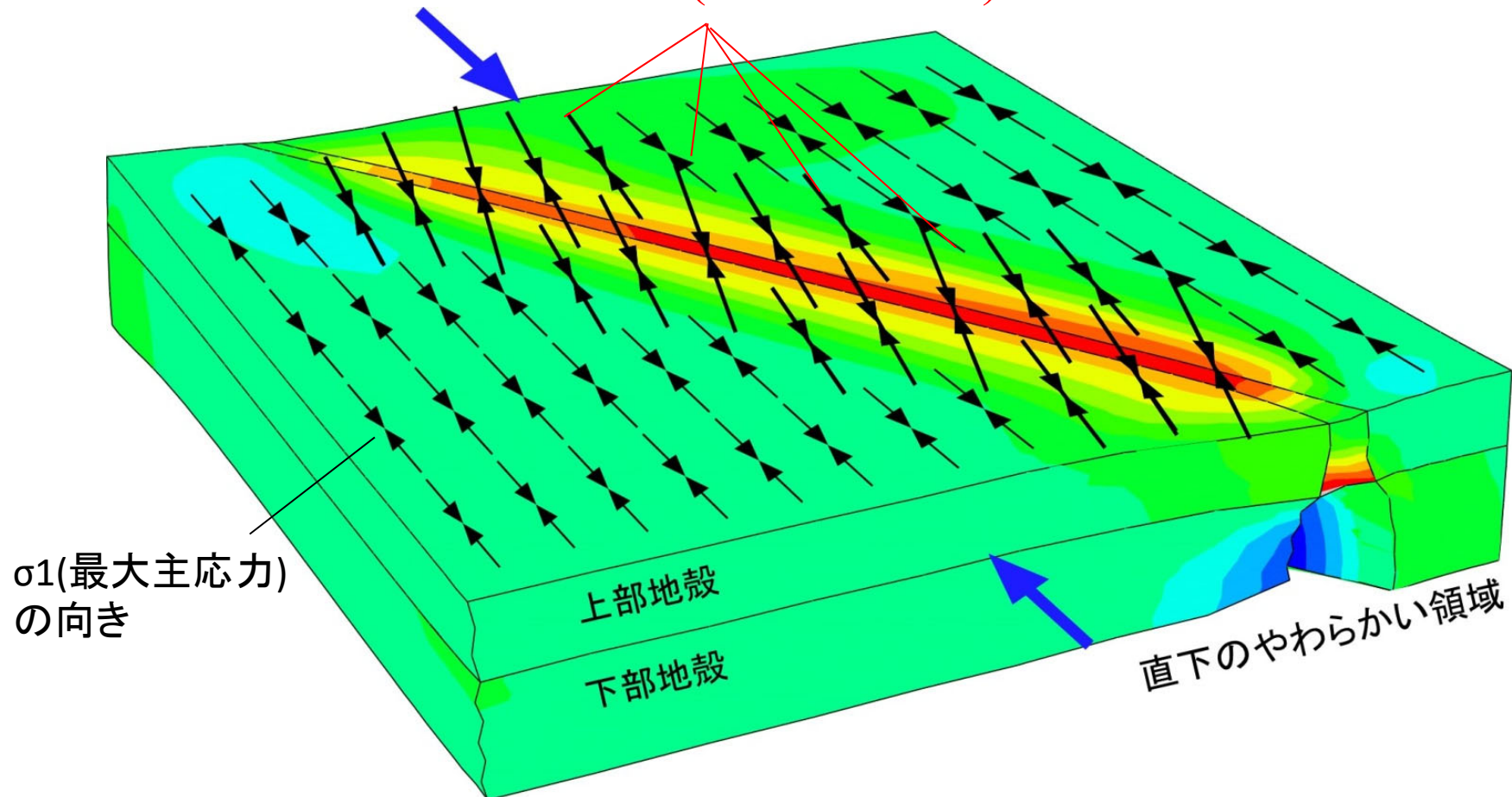


下部地殻のやわらかいところに変形することにより 直上の断層に応力集中する

沈み込むプレートの「押し」による圧縮応力

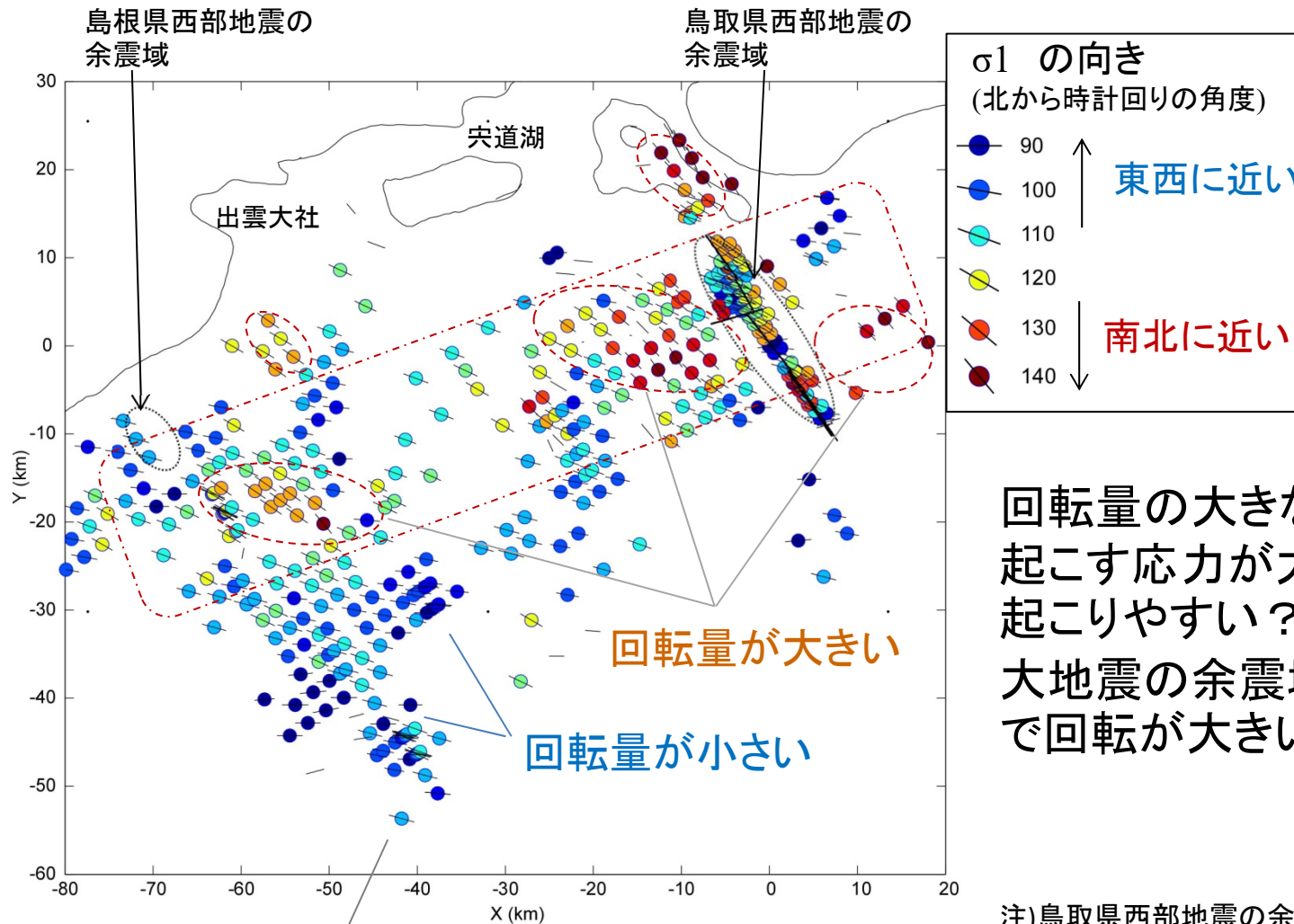
地震を起こす力が増加

σ_1 (最大主応力)の向きは回転



地震帯において σ_1 (最大主応力)の向きが空間変化

満点観測データ等を用いて、5kmおきに σ_1 の向きを推定



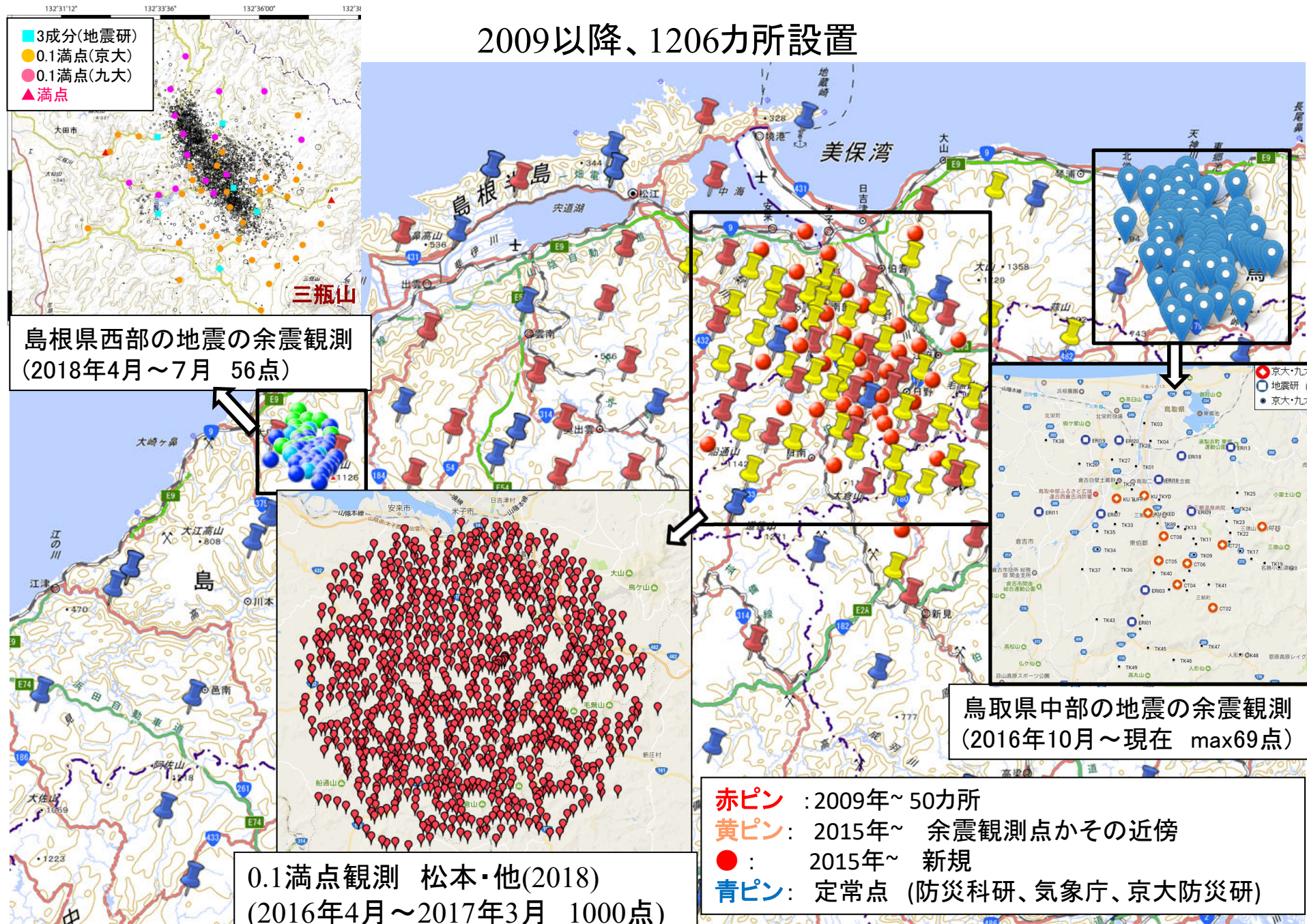
注)個々の点の応力を推定

回転量の大きなところで地震を起こす応力が大きく、大地震が起こりやすい？
大地震の余震域ではないところで回転が大きいように見える。

注)鳥取県西部地震の余震域内の不均質は地震すべりによる断層近傍の局所的なもの

山陰地方の地震帯における稠密地震観測 (満点140点 2018年10月時点)

2009以降、1206力所設置



地元の皆さんに支えられた地震観測



阿武山地震観測所・サイエンスミュージアム計画

i) 満点計画の基地

地域との連携 (e.g., 鳥取県西部地震観測ボランティア)

小学校で地震観測 (満点計画防災教育プログラム)

ii) 歴史的な地震計を活用したアウトリーチ

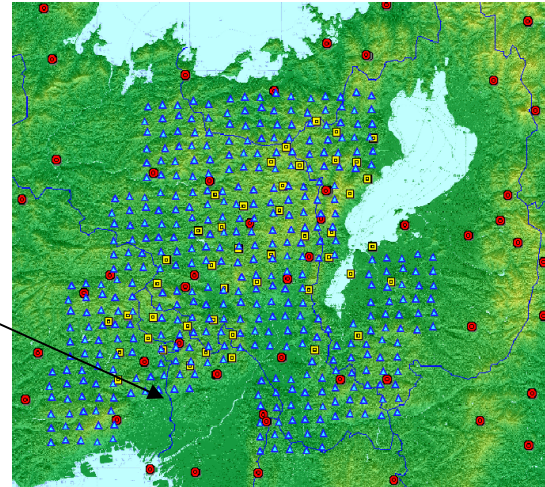
阿武山サポーター活動

サポーターが地震観測、地震の読み取り
地震計のメンテを行っている小学生が阿武山を訪問

満点計画 地震観測点を万点(満点)へ



阿武山観測所が基地機能を果たす



● 定常点50点
■▲ 臨時観測点 450点

100km × 100km程度の領域に
100点なら 10km おき
1千点なら 3km おき
**1万点なら 1km おき程度の
高密度で観測点を設置できる**

← 500点の場合の例



機器の検定風景

低消費電力記録装置 EDR-X7000

- ・平成18年度総長裁量経費で開発
- ・特許取得 2012年5月
- ・世界最高性能

(オフライン地震観測用データロガーの中で)

エコ 大記憶容量 高分解能 高時刻精度
単1乾電池24本で1秒間に250点のデータを約9月間連続観測可能
既存の最も優れたものの約2/3の低消費電力



小型軽量地震計 KVS-300

- ・平成19年度防災研究所特別事業費で開発
- ・特許取得 2011年11月
- ・世界最小・最軽量

(2Hzの動コイル型地震計の中で)

外形寸法 11 × 10 × 15cm 重量 約1.5kg

阿武山地震観測所・サイエンスミュージアムプロジェクト



具体的な取り組み

- ・歴代地震計等の保存・展示化
- ・**サポーターの養成**
- ・一般見学会、団体見学会
- ・出前講座、ペットボトル地震計工作
- ・「阿武山アースダイバー」作成
- ・まんてんてらこや (一般向け サイエンスカフェ)
- ・阿武山倶楽部 (中高生向け サイエンスクラブ)



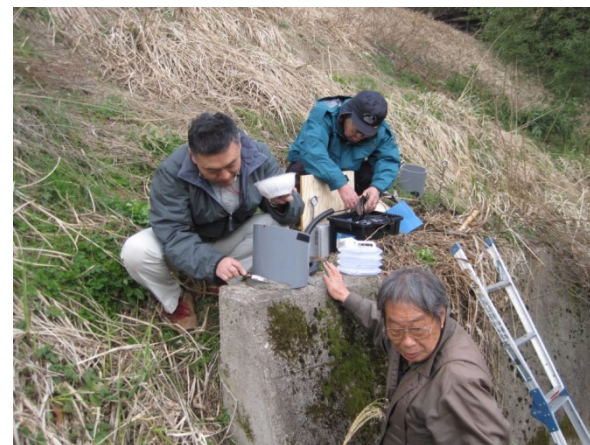
阿武山サポーターが鳥取県西部の観測に参加 2014年～



場所探し 土地交渉



現地作業場で機材準備



設置調整

鳥取県西部の0.1満点(千点)観測 2016～2017年度 松本・他(2018)

地域のボランティアを養成、300カ所の場所探しと用地交渉をお願いする
既に地震観測に精通していた、阿武山サポーターが「仲立ち」を務める



事前ミーティング
阿武山サポーターさんも参加



場所探し実習
地域ボランティアさん



研究者 A: 阿武山サポーター

終了後

「満点計画」と連携した防災教育プログラム 巨大災害研究センター 矢守研との共同研究

京丹波町 下山小学校での取り組み 2009年～



小学生が設置やメンテナンスを行う



満点地震計の特徴を学ぶ

最先端の地震研究に子どもたちが自身に参加することで、専門家のみが担ってきた防災実践を、専門家と非専門家の両方が担う防災実践へとかえる。

下山小の生徒が阿武山を訪問、ネットで鳥取の小学生と交流会も行う。

鳥取県日野町での取り組み 2009年～ 鳥取県との共同事業



設置やメンテナンス方法の勉強
日野町根雨小学校



現地作業
(機材トラブルがあり数回やり直した)



日野町黒坂小学校付近での設置
2015年6月19日朝日新聞より

気 持ちも新たに新学期をスタートさせようとするあまり、かえって余裕のない日々を過ごしていた私は、うっかり4月の行事予定「6年地震計データ取り出し」の表記を見過ぎていた。その日はすぐにやって来た。関係機関から来校いただき、6年生の5時間目の授業が始まった。まず体育館裏に設置してある箱の中のデータを子どもたちが交代しながら取り出して、新たなデータを記録するためのソフトを装着する作業を行う。その後、理科室に移動してあらかじめデータ解析していただいたさまざまな波形をスクリーン上に見ながら、地震研究の第一人者の先生方から説明を受けた。全国に数ある学校の中で、唯一本校にのみ地震計の設置がなされていることを知るとともに、子どもたちが聞き入る様子を見ながら地震による波動が音速(マッハ)よりはるかに早く伝わることなどを知らされた。それにしても本校で昨年度から取

り組んできた地震計の取り出し作業にかかるさまざまな教育的な内容に新鮮な驚きを感じたものだった。

昨年9月、総合防災訓練の一環として本校で防災教室を行い、京都大学防災研究所巨大災害研究センターの「満点計画」による防災学習が始められた。本校の6年児童がこれを受け持つことになり、昨年度は2回だけの取り出し作業だったが、これが新6年生にバトンタッチされて今年も継続して実施。子どもたちは次のような感想を記している。

「予知は難しいかもしれないけど、みんなを守るために一生懸命データを集めたい」、「データの読み取りをして遠い所の地震(チリ地震)の様子が記録されているのにびっくりした。すごいと思った」

防災教育を通して、積極的に自分から何かをしかけて世の中を見ていこうとする子どもの育成を目指したいものである。

小学校での地震観測

コラム 一日下部 安良 京丹波町立下山小学校校長

70%のシェアを持つ新聞がボランティアへの参加を呼びかけて下さる。

受付窓口は 鳥取県危機管理局

二十数名の応募があり、ニュースレターを配布

日本海新聞 1面 2015.3.28

「0・1満点観測」を、存じだろ、か。2000年10月に起きた鳥取県西部地震の震源域で、広範囲にわたって小型地震計を設置して地震活動を観測する取り組みで、活動を支えてくれるボランティアを募っている。◆観測しているのは鳥取大や京都大など全国の大学の地震学者や地質学者で構成された「地殻ダイナミックス研究グループ」。09年から「満点計画」として観測しており、17年度には半径34kmの範囲に千カ所の地震計を設置する。「0・1」は満点(1万)の10分の1の意味。◆ボランティアの期間は18年3月までを見込んでいます。◆観測が広範囲で長期間にわたっており、観測点の場所探しや観測装置の保全など、地理に詳しい地元の人たちの協力が不可欠である。◆参加者は、原則として電子メールでの連絡や情報伝達ができ、観測場所に行けること(一部の範囲でも可)。活動に賛同し、成功させたいという熱意がある人が一番だろ。◆「地震や火山の活動期にある」と指摘する専門家もいる。多くの人が観測に参加することで、防災・減災に関心を持つ人が増え、意識も向上する。子どもたちの中から日本を代表するような地震学者が育ってくれたらうれしい。

メニュー

地元の方々と一緒に観測した例—山陰の地震帯における観測

最終目標： 南海トラフの巨大地震の前にどこで大地震が起こるかを推定

目的： 地震を起こす力と断層の強度の空間変化を解明

現時点での成果： σ_1 の方位の空間変化について

地元の方々に観測してもらう例—大阪府北部の地震の余震観測

最終目標： 今後の地震活動の予測

目的： 大阪府北部の地震の断層と周辺の活断層との関係を解明

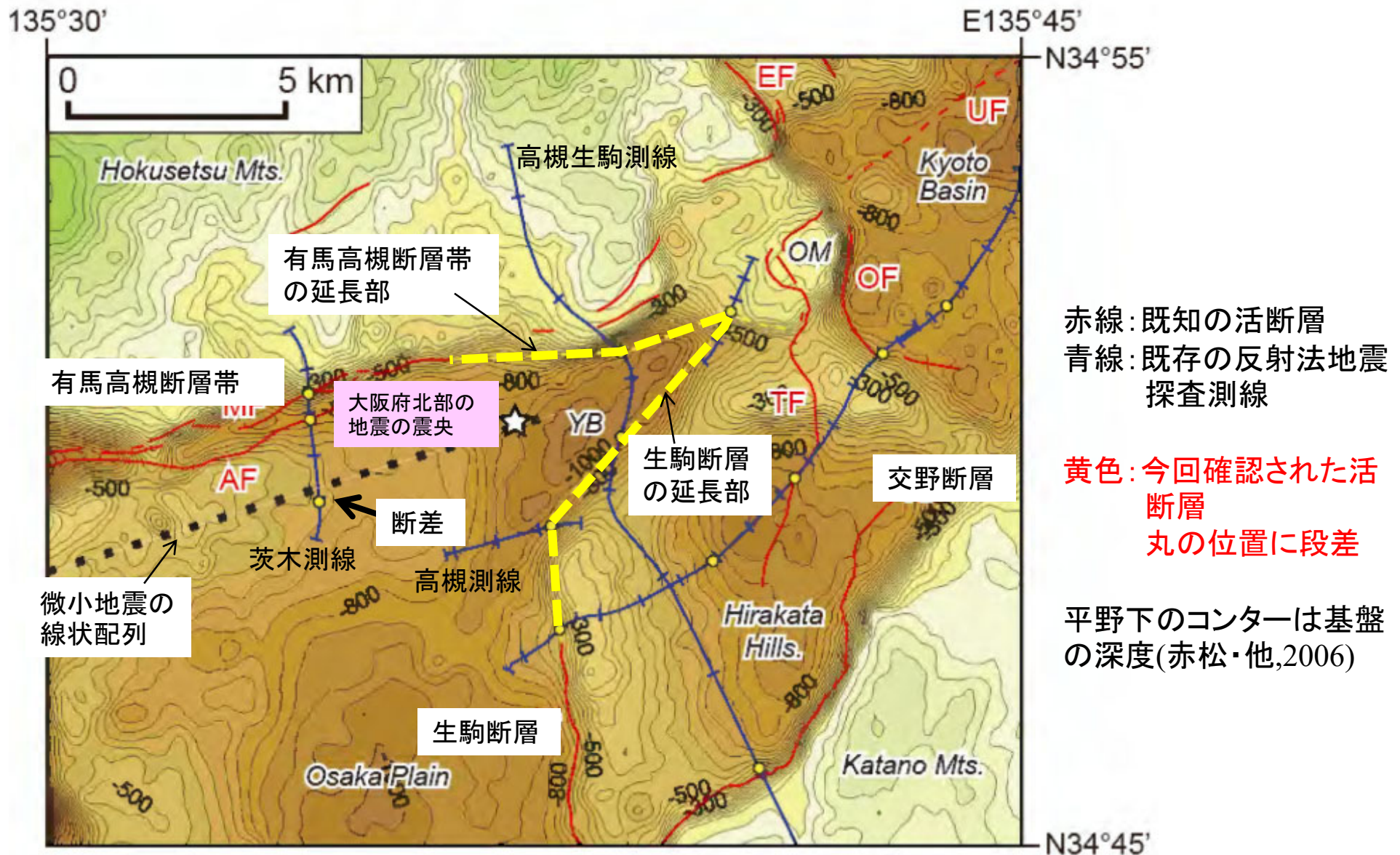
現時点での成果： 有馬高槻断層帯付近の低速度異常域について



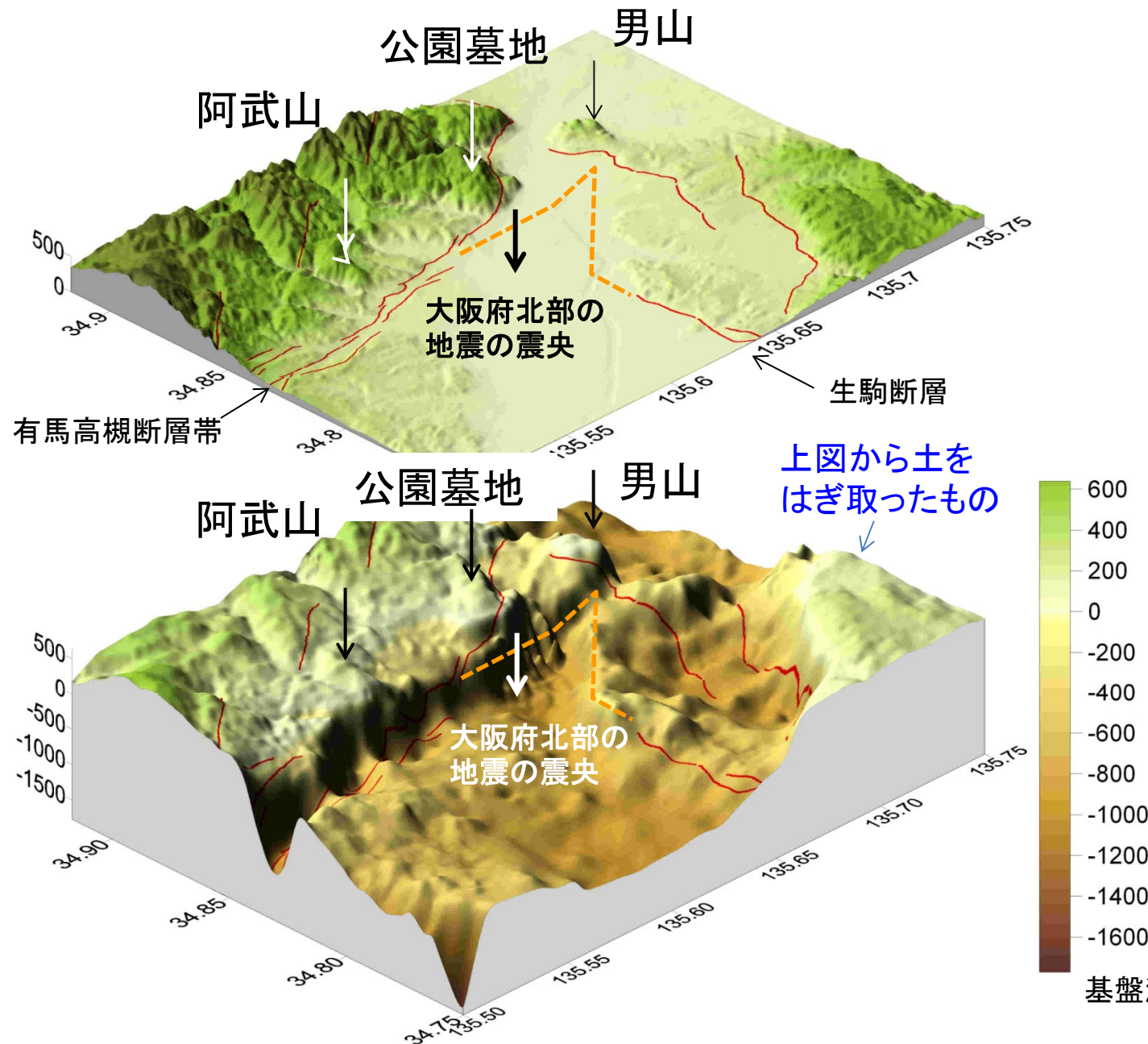
鳥取県
日野郡日南町
福万来

大阪府北部における活断層の分布

(堤・飯尾, 2019)に加筆



大阪府北部における活断層の分布と基盤構造



重力異常から推定された有馬-高槻断層帯付近の基盤構造 (赤松・他, 2006) に加筆

第Ⅰ期 余震観測点設置風景

阿武山サポーターが地縁・血縁・土地勘を生かして、観測点探し・土地交渉・設置に大活躍。

0.1満点システム

松本・他(2018,2020)

オフライン(現地収録)

(携帯による通信機能あり)

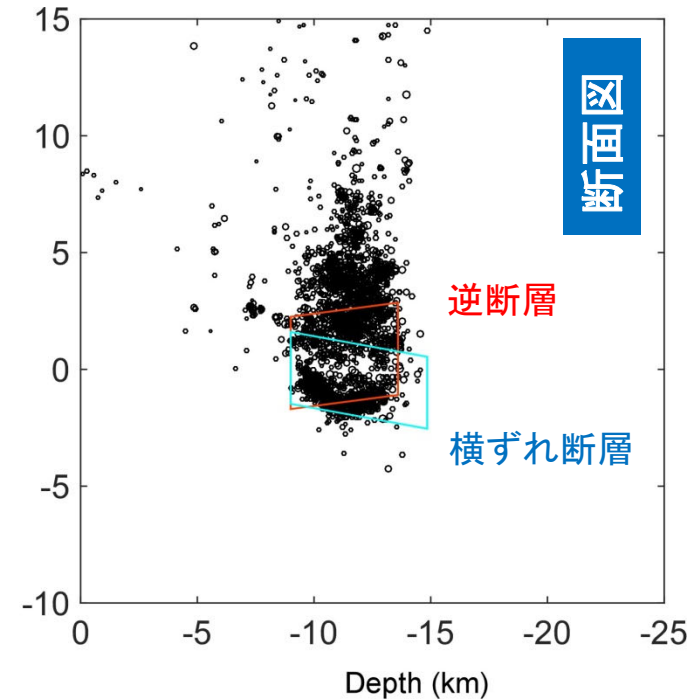
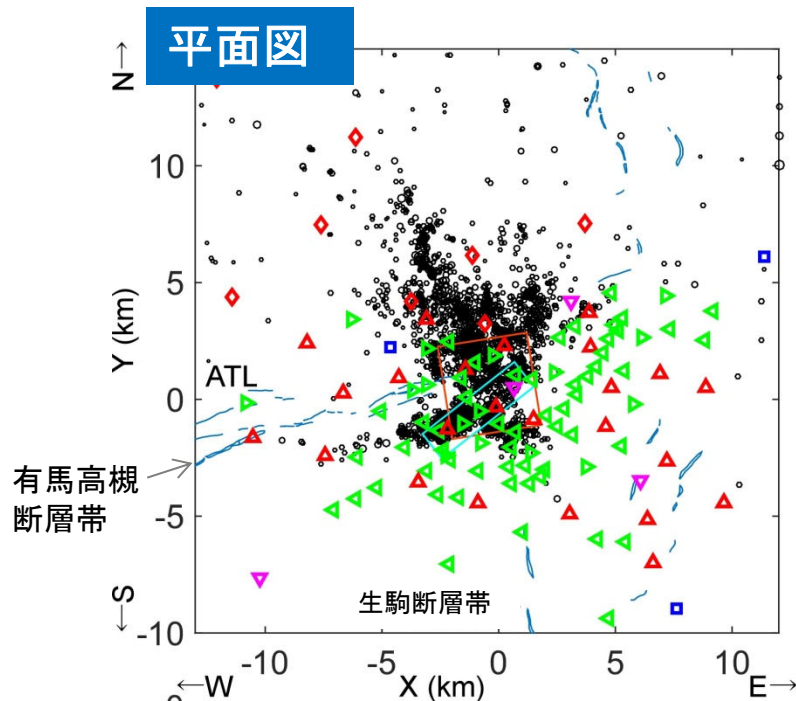
上下動のみ1成分観測

単一電池48個で1年半程度
SDカードに連続記録

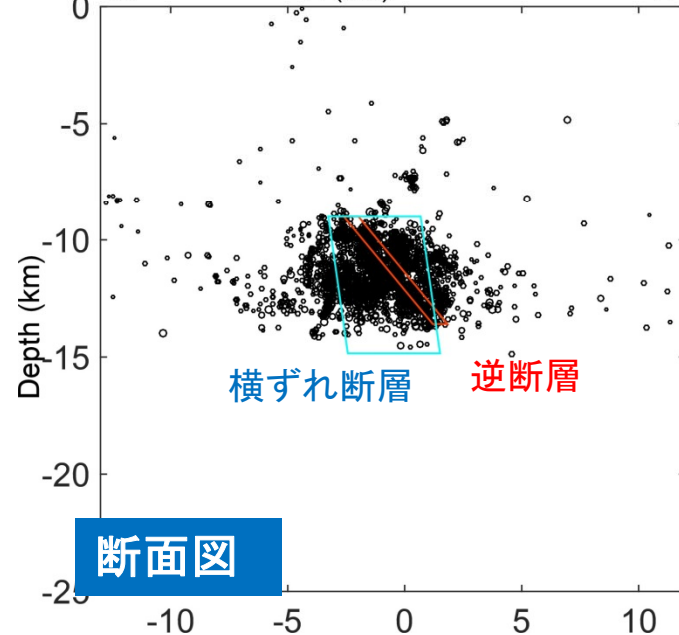
地元の方々のご協力に深く感謝申し上げます。
高槻市、茨木市、枚方市、淀川河川事務所、牧野パークゴルフ、樟葉パブリックゴルフには便宜を図っていただきました。



大阪府北部の地震の余震分布 2018年6月18日～9月1日



震源断層は
浅野・他(2018)による



- ◀ 0.1満点 2018まで
- ▶ 0.1満点 2018 ~ 2021
- ▽ オンライン
- ▲ 0.1満点 を満点に置き換え

102点

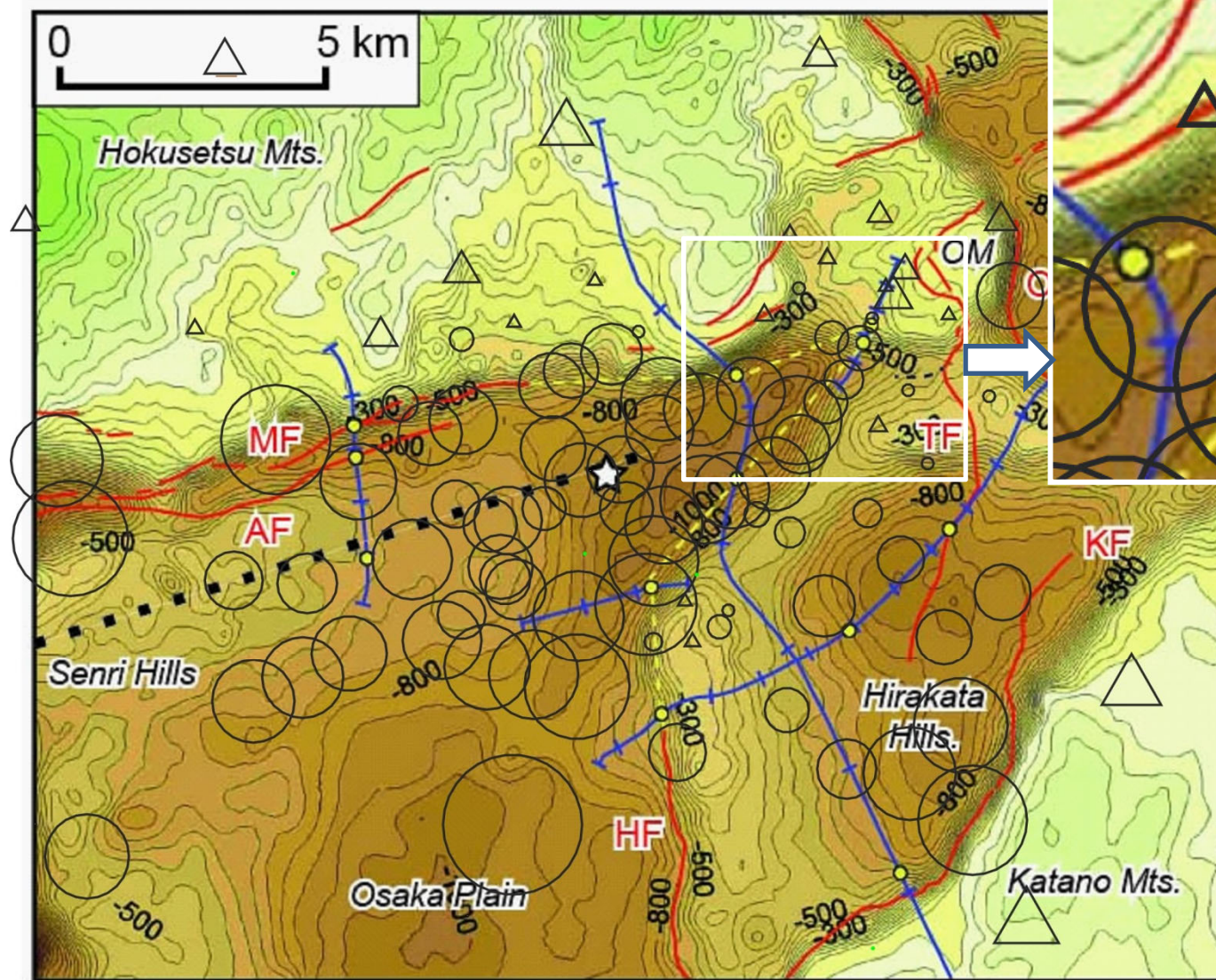
- ◆ 満点 2009 より 8点
- 定常点 3点

18-Jun-2018 - 01-Sep-2018

Mag>= -1 N= 2498

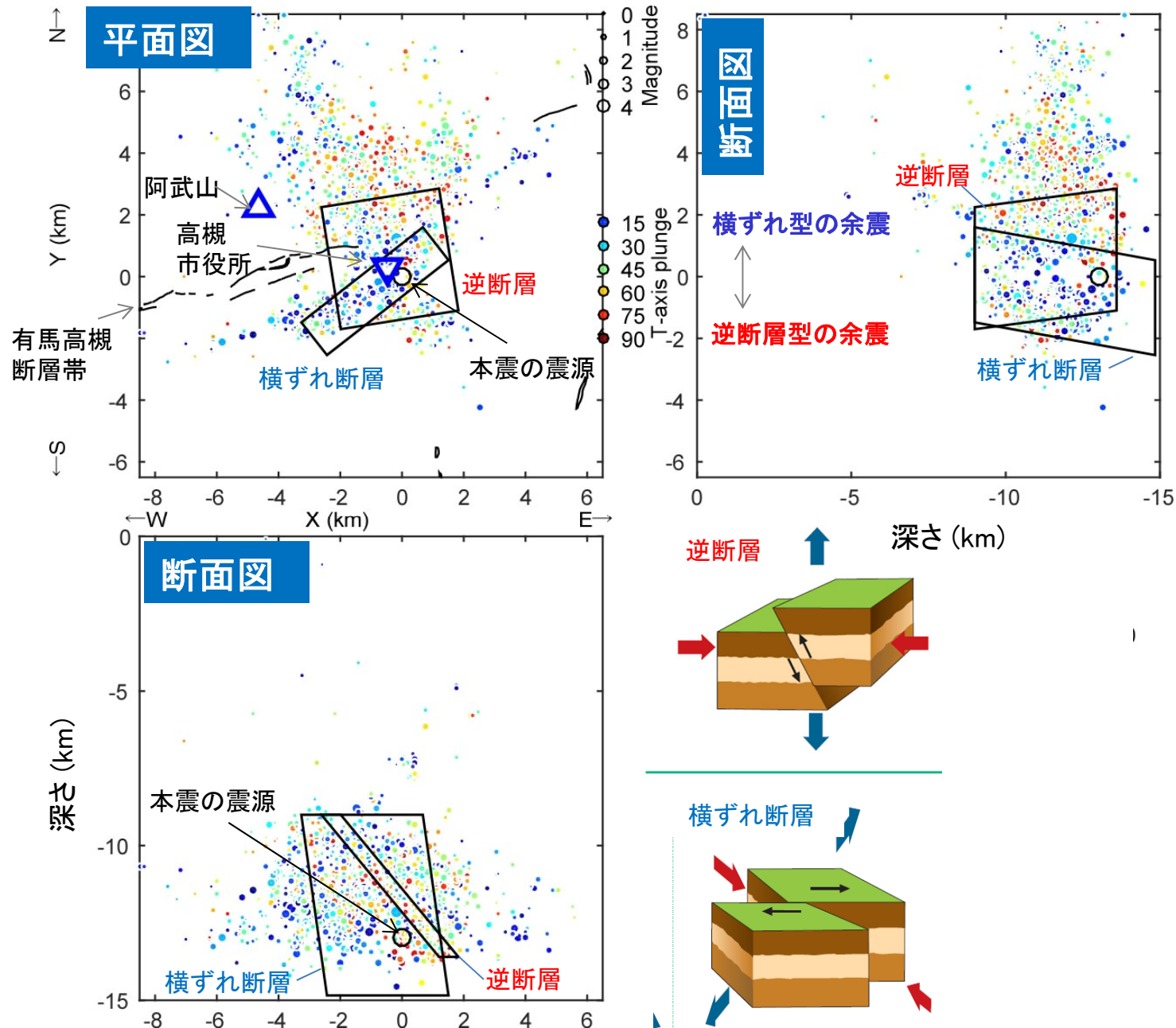
臨時点と定常点の手動読み取りデータからhypomh_psにより震源決定
O-Cの平均値から求めた観測点補正值を使用

各観測点における走時の遅れと基盤構造



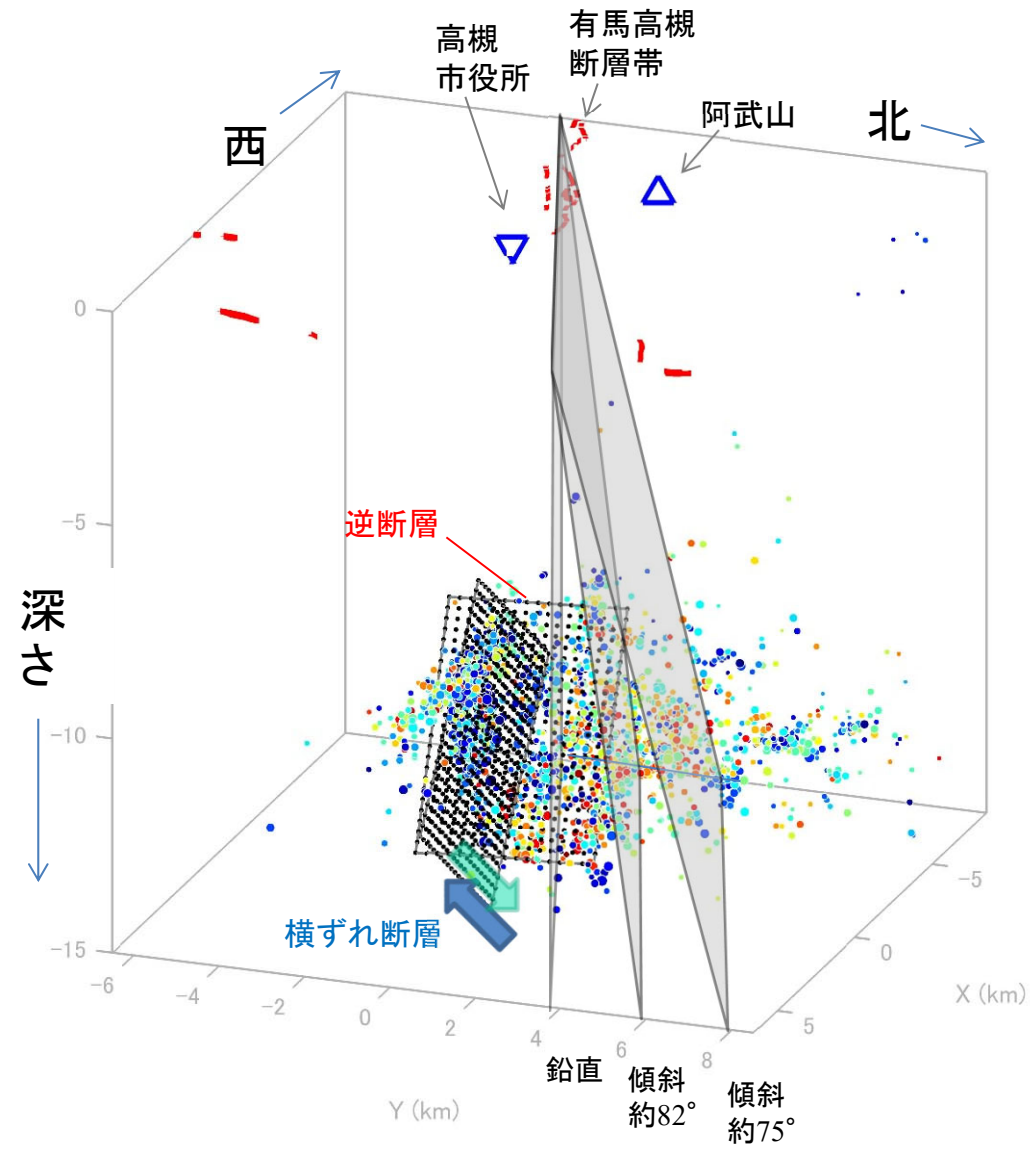
堤・飯尾(2019)による
活断層分布(背景は
赤松・他(2006)による
重力基盤図)にP-
timeのO-Cを重ねた

大阪府北部の地震の余震分布と断層の型 2018年6月18日～9月1日

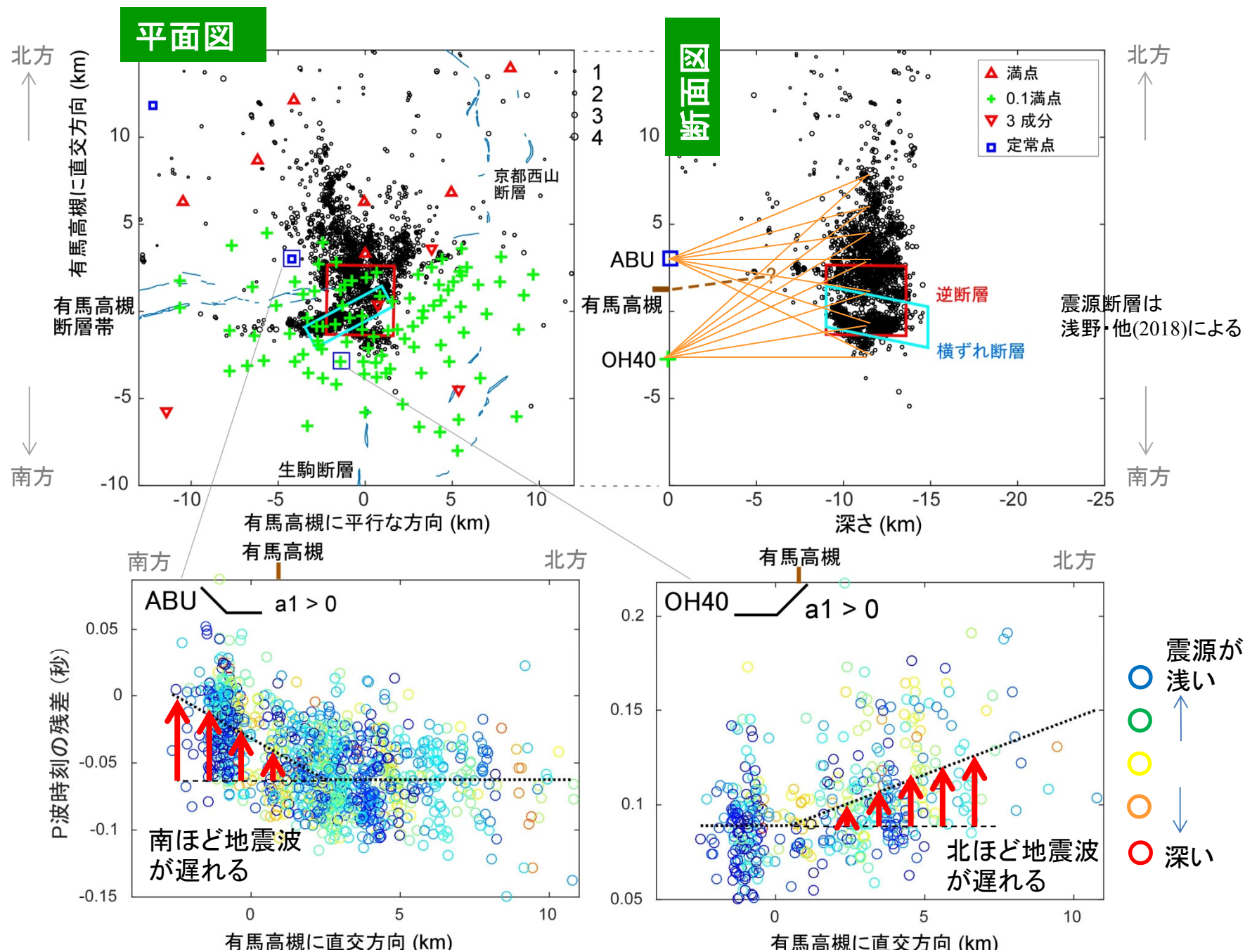


震源断層は
浅野・他(2018)による

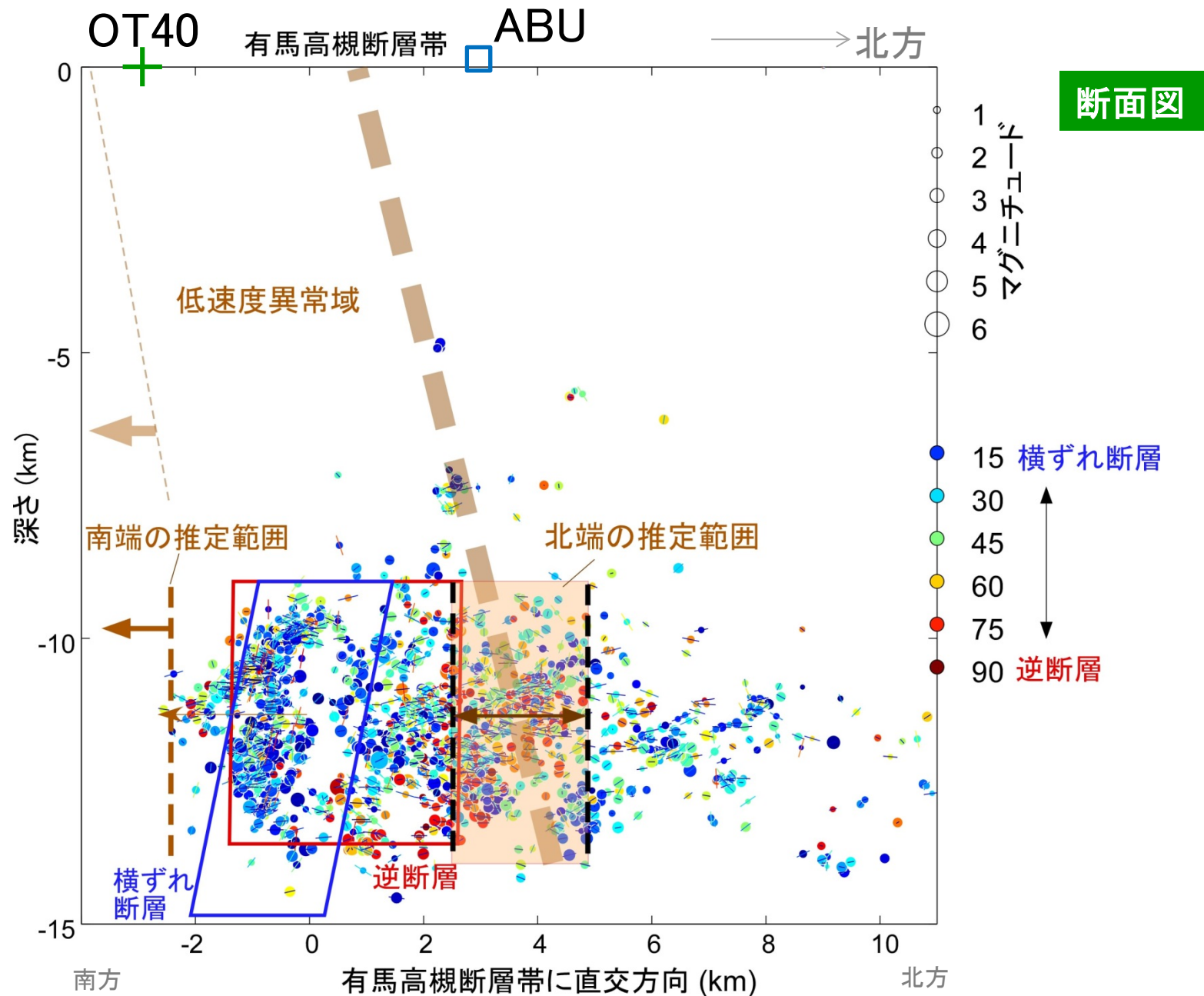
有馬高槻断層帯の深部はどこにあるか？



CTスキヤンの手法で有馬高槻断層帯の深部を探る



大阪府北部の地震の震源断層は有馬高槻断層帯の低速度異常域内にある



市民が生まれて初めて地震計を一人で設置した

11月30日 阿武山観測所で設置作業の講習会を開催。十数名が参加。

12月2日 坂手さん、持ち帰った地震計を一人で設置 @ OH149

12月6日 もう1カ所設置を設置 (写真撮影は溝口さん) @ OH150



上下動地震計を土に差し込む



記録装置と接続



防水のためケースをビニール袋で覆う



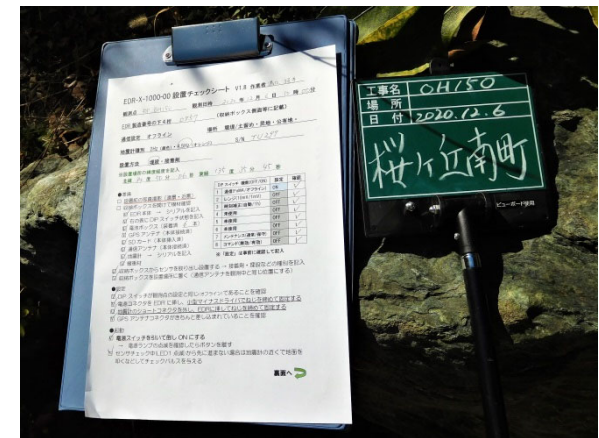
セルフチェック中



設置完了、近景を撮影



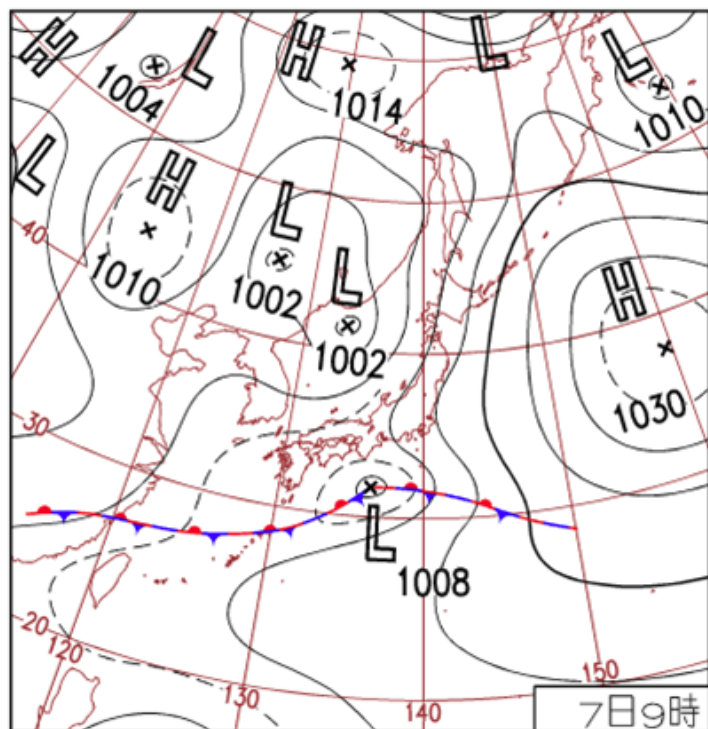
遠景を撮影



作業シートの記入を確認

おわりに —現時点での到達点—

気圧配置図

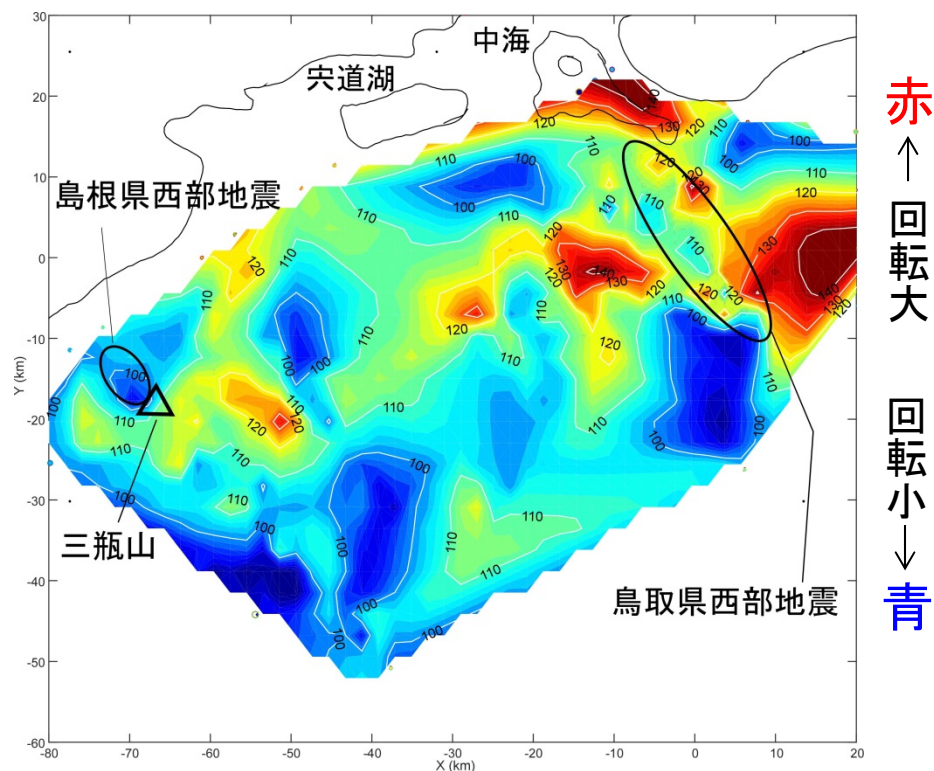


新潟地方気象台HPより

かつては、現在の気圧配置図と過去の経験とから、天気を予測していた。

これは、基本的には経験的なアプローチ

σ_1 の方位のコンター図



赤
↑ 回転大
回転小 ↓
青

回転が大きいところで地震を起こす力が大きいと考えていたが、そう単純では無かった。

断層の強度を推定する必要もある。

かつての天気予報のレベルよりもはるかに遅れている。

地震を起こす力と断層の強度から地震の発生予測を行う
(絶対値の)アプローチを地道に続けてゆきたい