

地球環境史（地球科学系）
現代地球科学（物理系学科）

担当教員：長濱裕幸、武藤潤、海保邦夫

プレートの沈み込み （地震・火山活動）

武藤 潤

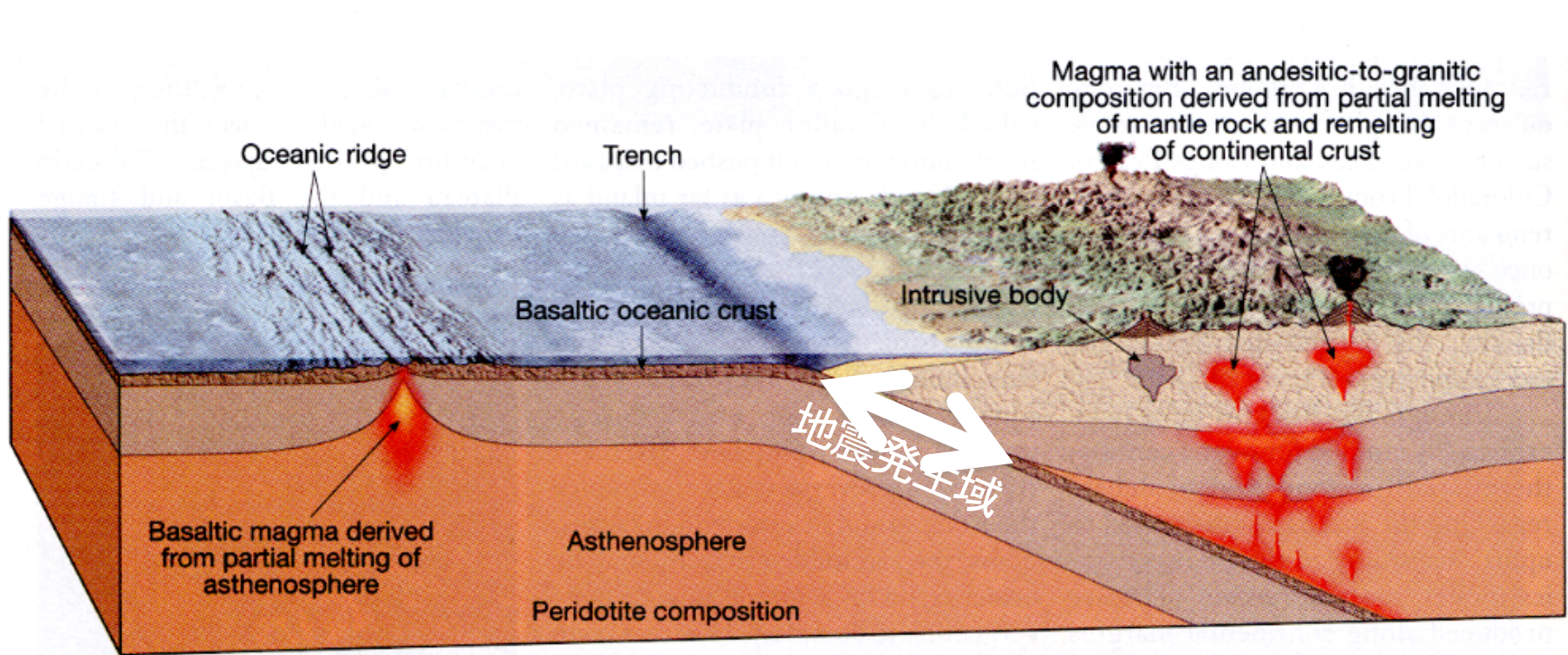
muto@tohoku.ac.jp

本日の講義の流れ

沈み込み帯で起こる地震活動・火山噴火活動を理解する

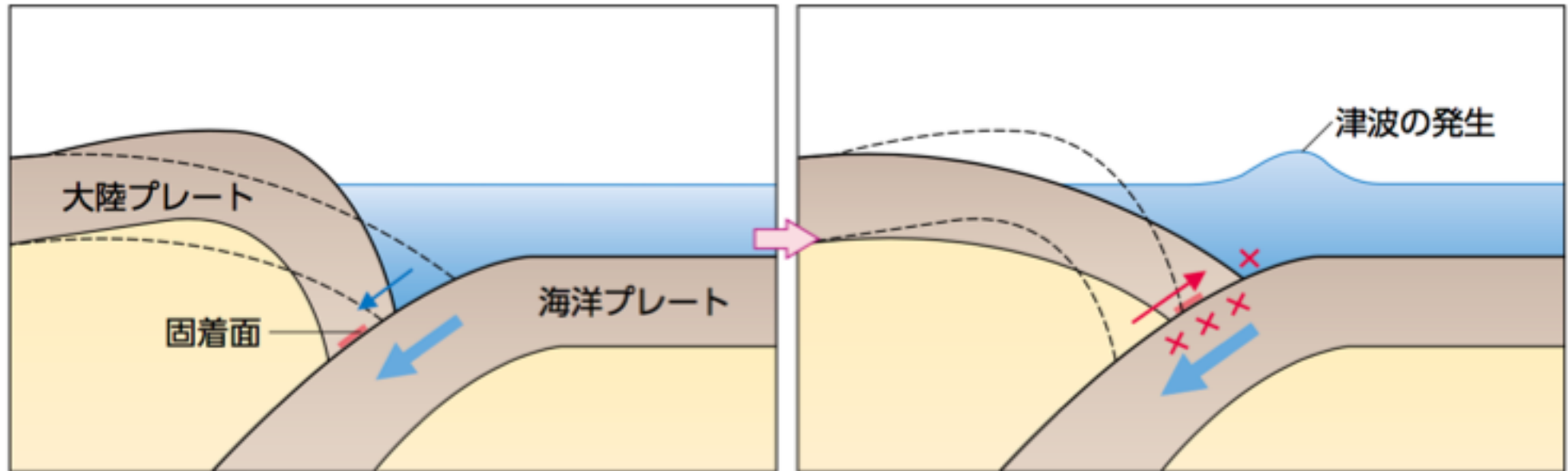
1. 地震とは
2. 沈み込み帯での地震・火山分布
3. 沈み込み帯と火山活動
4. 沈み込み帯で発生する巨大地震と関連する現象
5. まとめと課題

収れん型プレート境界(沈み込み帯)の概念図



沈み込み帯での地震のメカニズム

A プレート境界地震(海溝型地震)



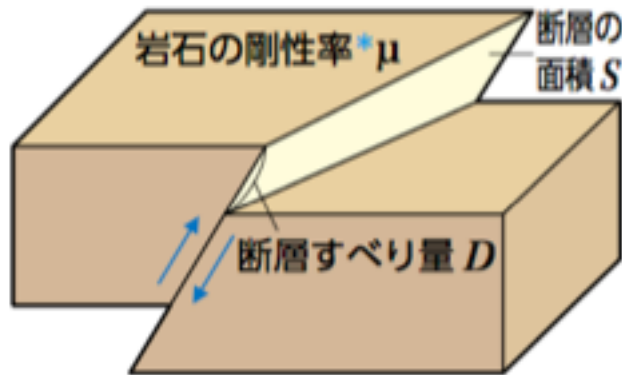
海洋プレートが大陸プレートの下にもぐり込む。海洋プレートと大陸プレートは摩擦力により固着しているため、大陸プレートは引きずり込まれる。大陸プレートにひずみエネルギーが蓄えられていく。

ひずみエネルギーが摩擦力に打ち勝って、大陸プレートがはね上がり、地震が起こる。このとき、津波(🔵 p.178)が発生することもある。内陸でのゆれが小さくても、プレート境界が大きくすべると大きな津波が発生する場合がある*。

*津波地震という。ゆっくりすべりの一種とされる。

マグニチュード

モーメントマグニチュード

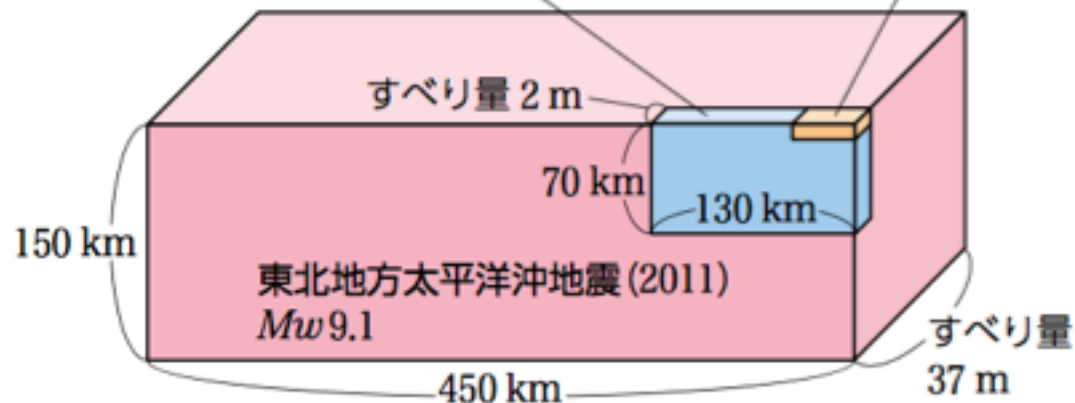


* かたさの目安

近年では、モーメント
マグニチュード M_w が
よく使われる。 M_w は、
断層の面積 S 、断層すべ
り量 D 、岩石のかたさ μ
の積から求められ、ゆれの
大きさとは関係ない。

兵庫県南部地震(1995) $M_w 6.9$
断層 $40 \text{ km} \times 10 \text{ km}$,
すべり量 2 m

関東地震(1923) $M_w 7.9$



地震モーメント

$$M_0 = \mu S D$$

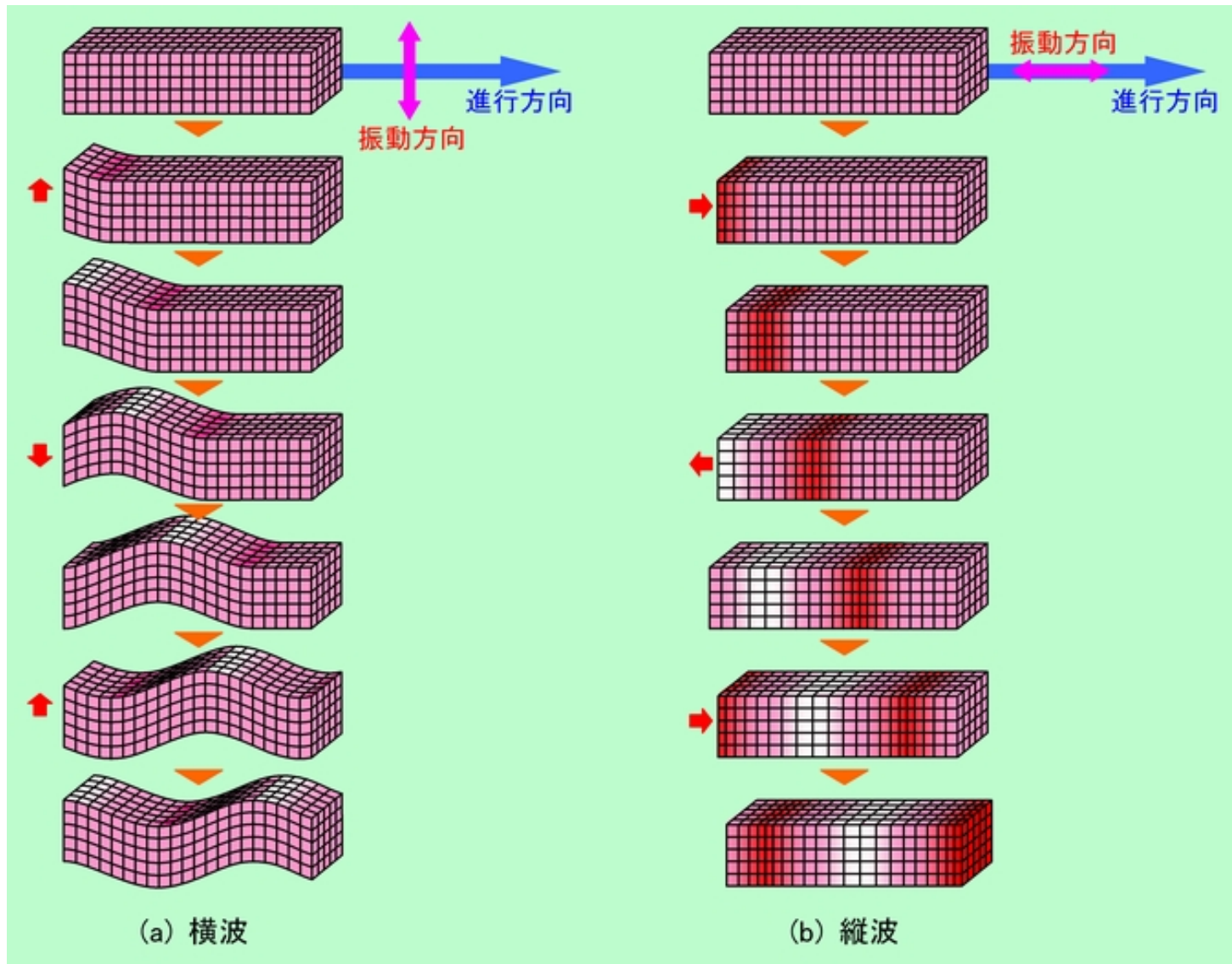
モーメントマグニチュード M_w

$$M_w = \frac{1}{1.5} \log M_0 + c$$

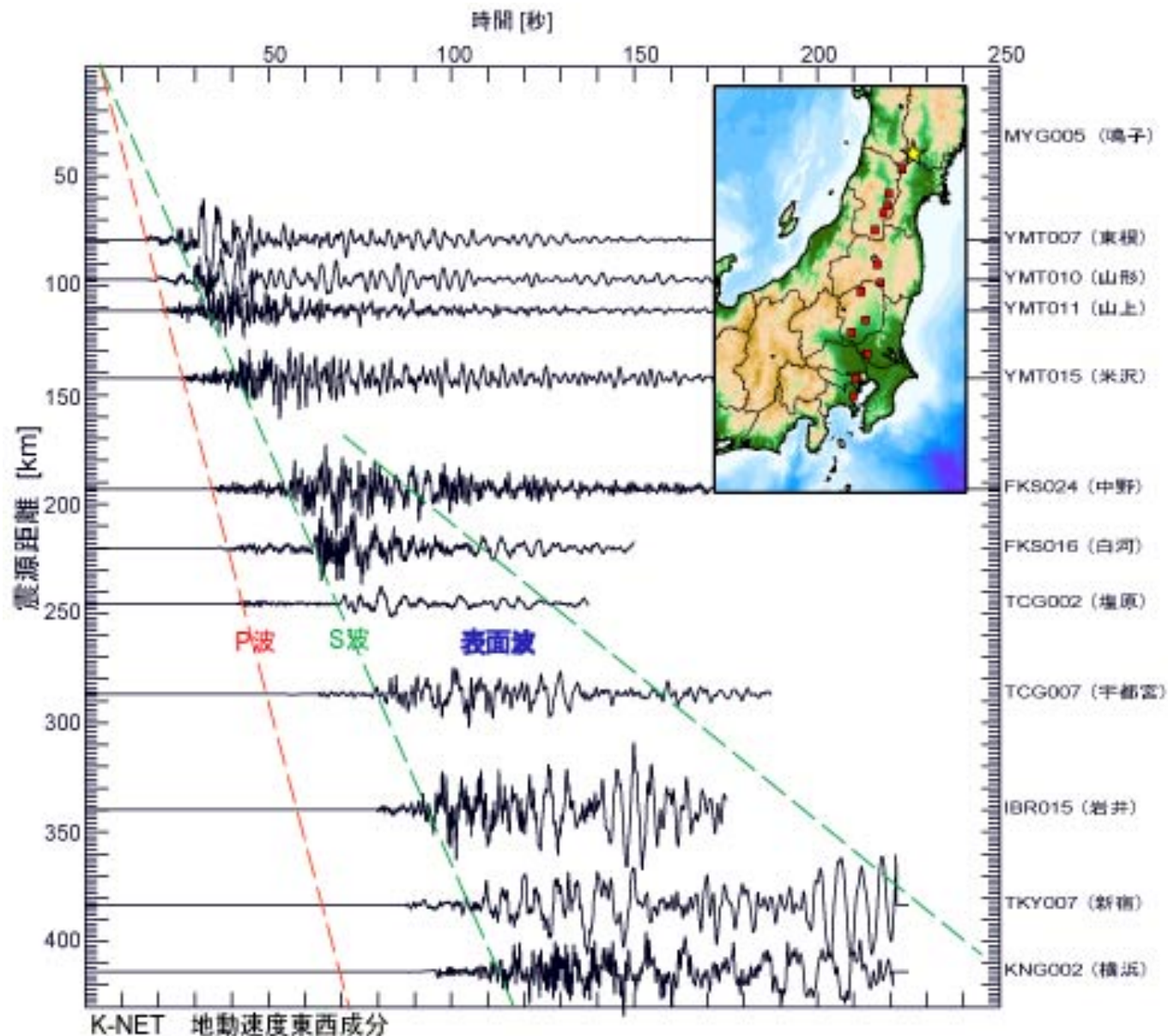
マグニチュードを決める断層面積

プレート境界地震 > 内陸地震

地震波

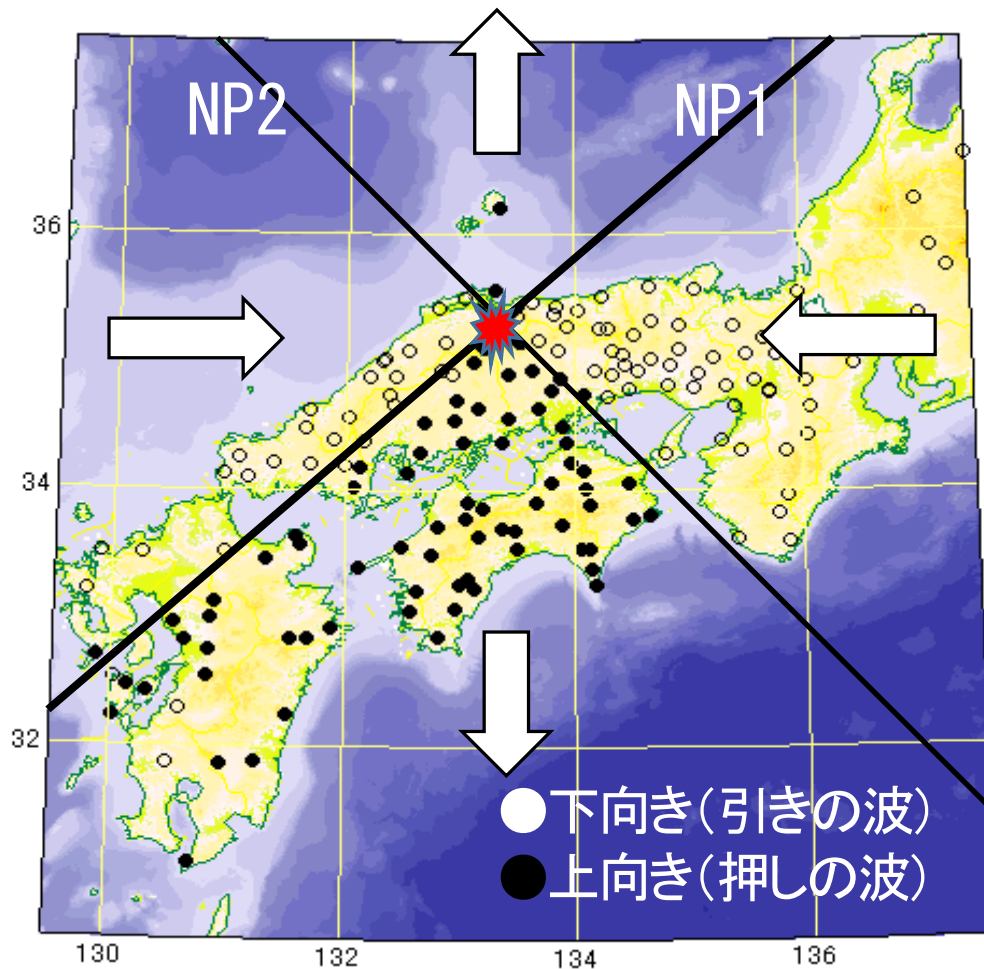


地震波伝播とその記録

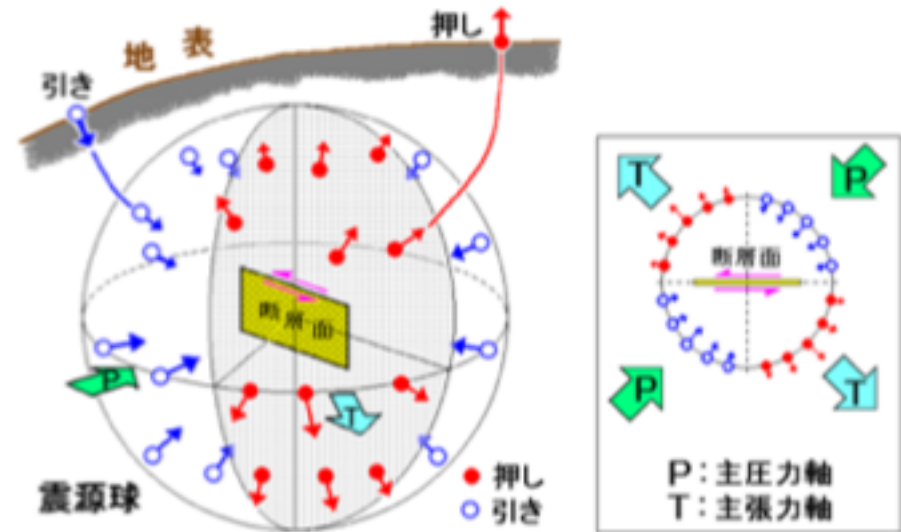


東大地震研古村先生HP (<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/furumura/08lwate/>)

地震の揺れと断層タイプ



2000年鳥取県西部地震(気象庁HP/梅田, 2013)



防災科研HP

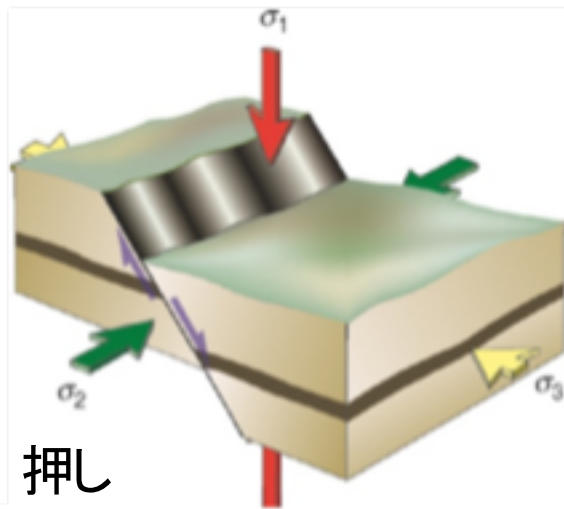
初動の押し引きから、メカニズムを決定

地震のタイプ

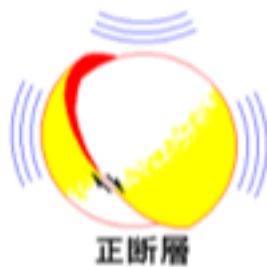
正断層

横ずれ断層

逆断層

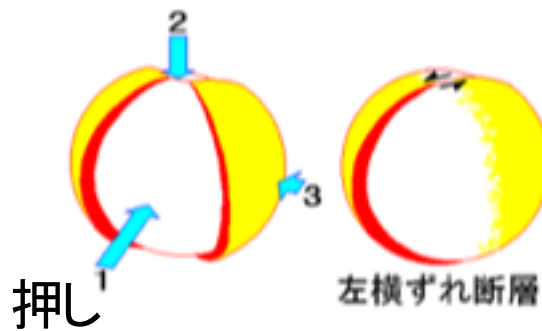
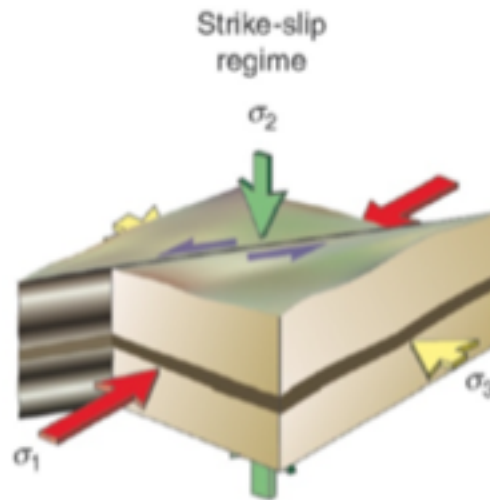


押し



正断層

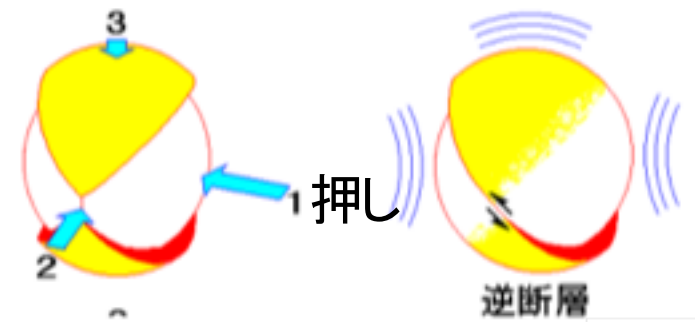
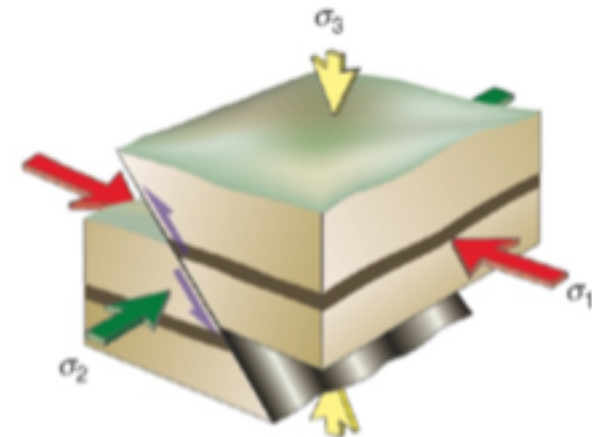
Italy



押し

左横ずれ断層

San Andreas Fault



押し

逆断層

防災科研HP

NE Japan

震源の分布

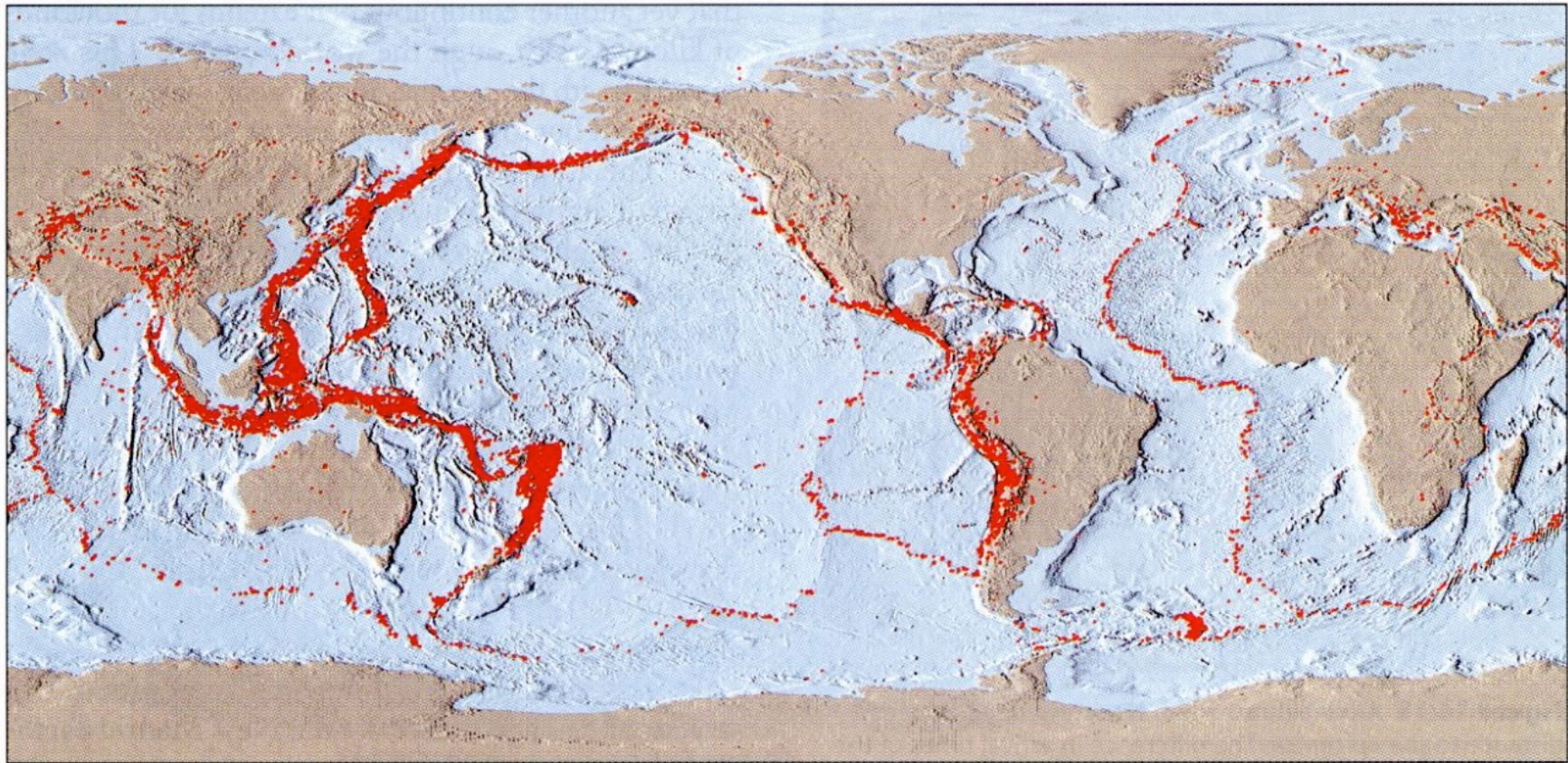


Figure 16.15 Distribution of the 14,229 earthquakes with magnitudes equal to or greater than 5 for the period 1980–1990. (Data from National Geophysical Data Center/NOAA)

深さごとの震源の分布

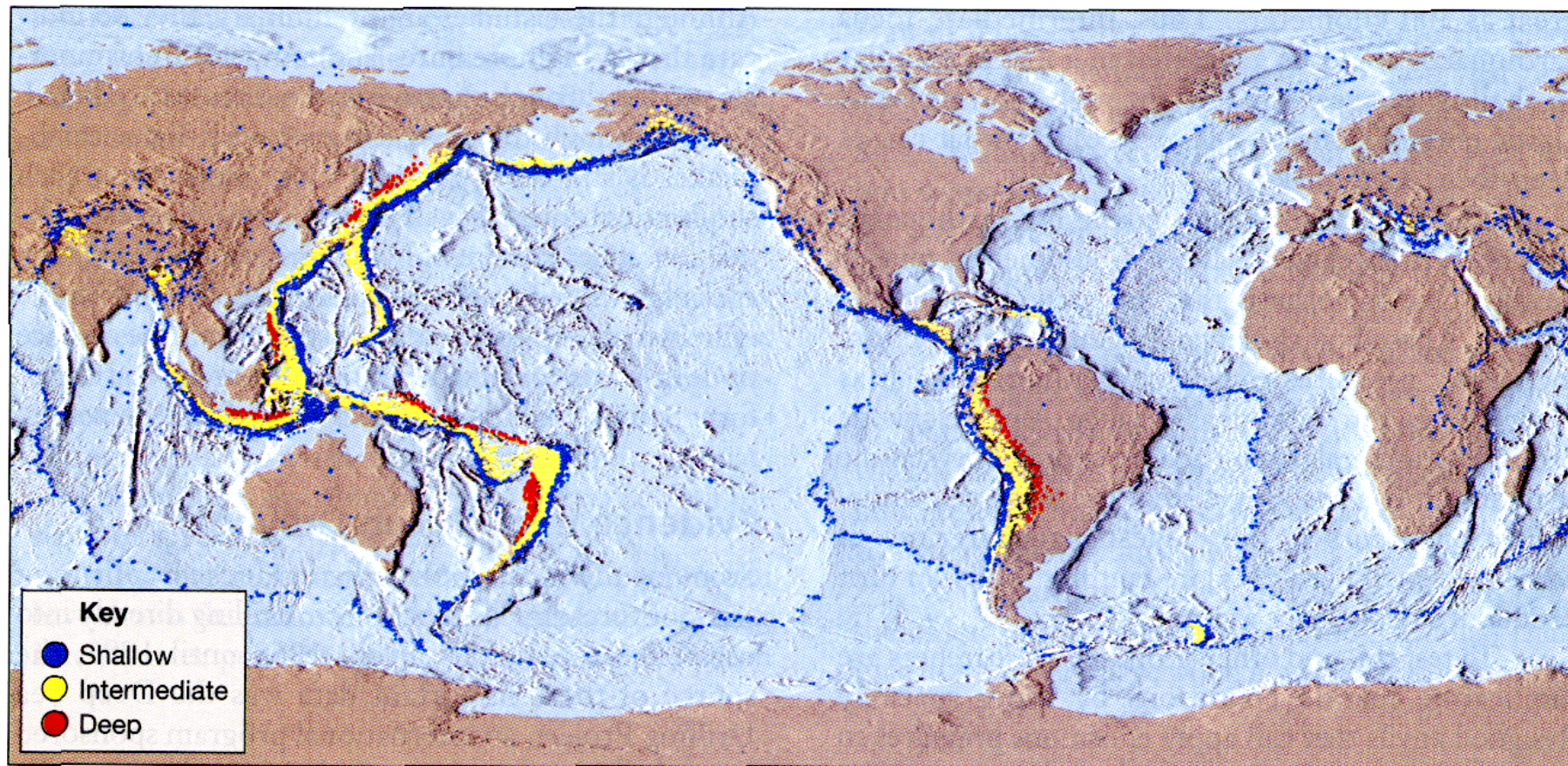


Figure 19.27 Distribution of shallow-, intermediate-, and deep-focus earthquakes. Note that deep-focus earthquakes only occur in association with convergent plate boundaries and subduction zones. (Data from NOAA)

海嶺(正断層型)やトランスフォーム断層(横ずれ断層)に沿って起こる地震の深さは数10 kmより浅い。海溝沿いの震源(逆断層型)は海溝から大陸側に向かって規則的に深くなっていて、もっとも深い震源は650 kmにも達する。

火山の分布

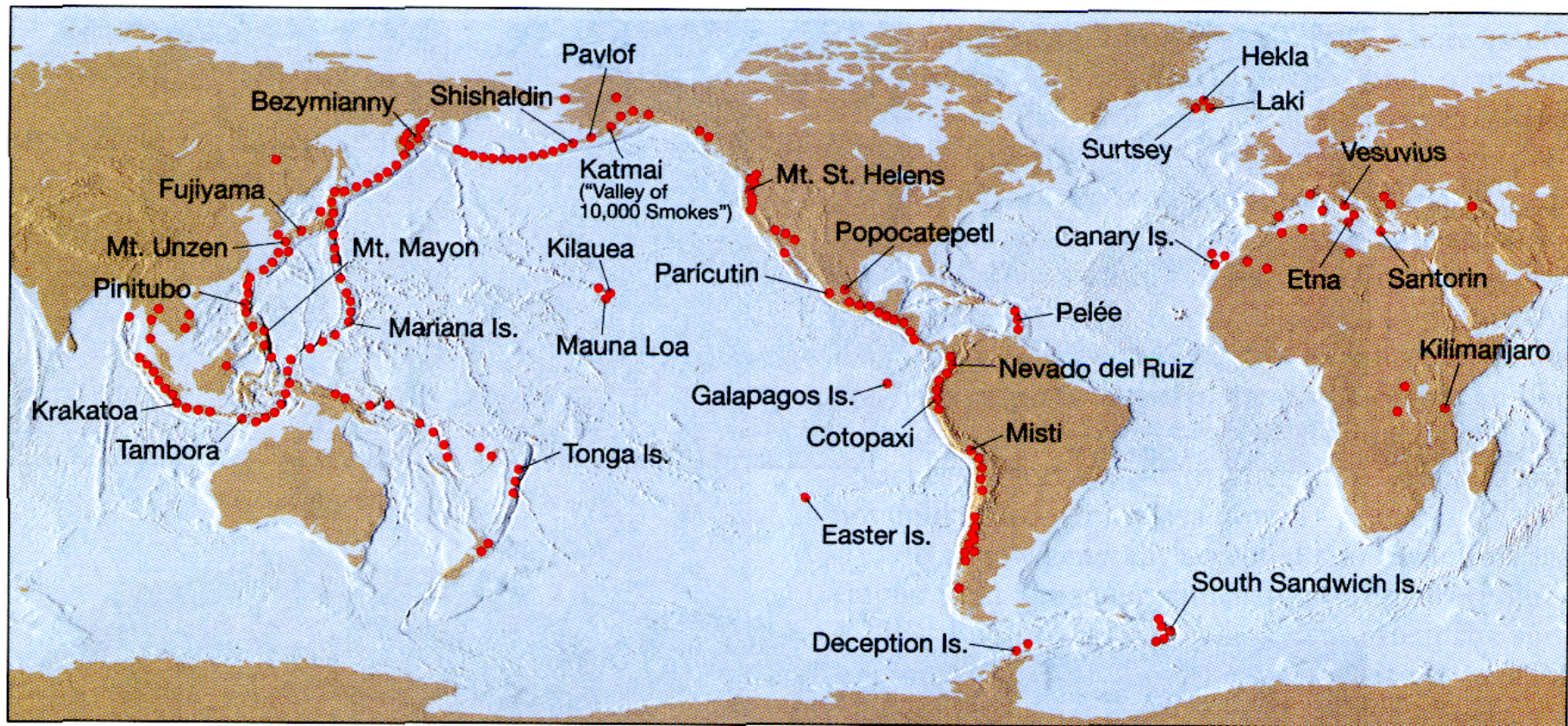


Figure 4.30 Locations of some of Earth's major volcanoes.

海洋と大陸内部には大きな火山は無い。海洋での例外はアイスランド、カナリー諸島、ハワイのキラウエアとマウナロア、イースター島などだが、これらの起源はホット・スポットというものだ。これに対し、大部分の火山は海溝のすぐ大陸側に分布している。

日本周辺の地震活動

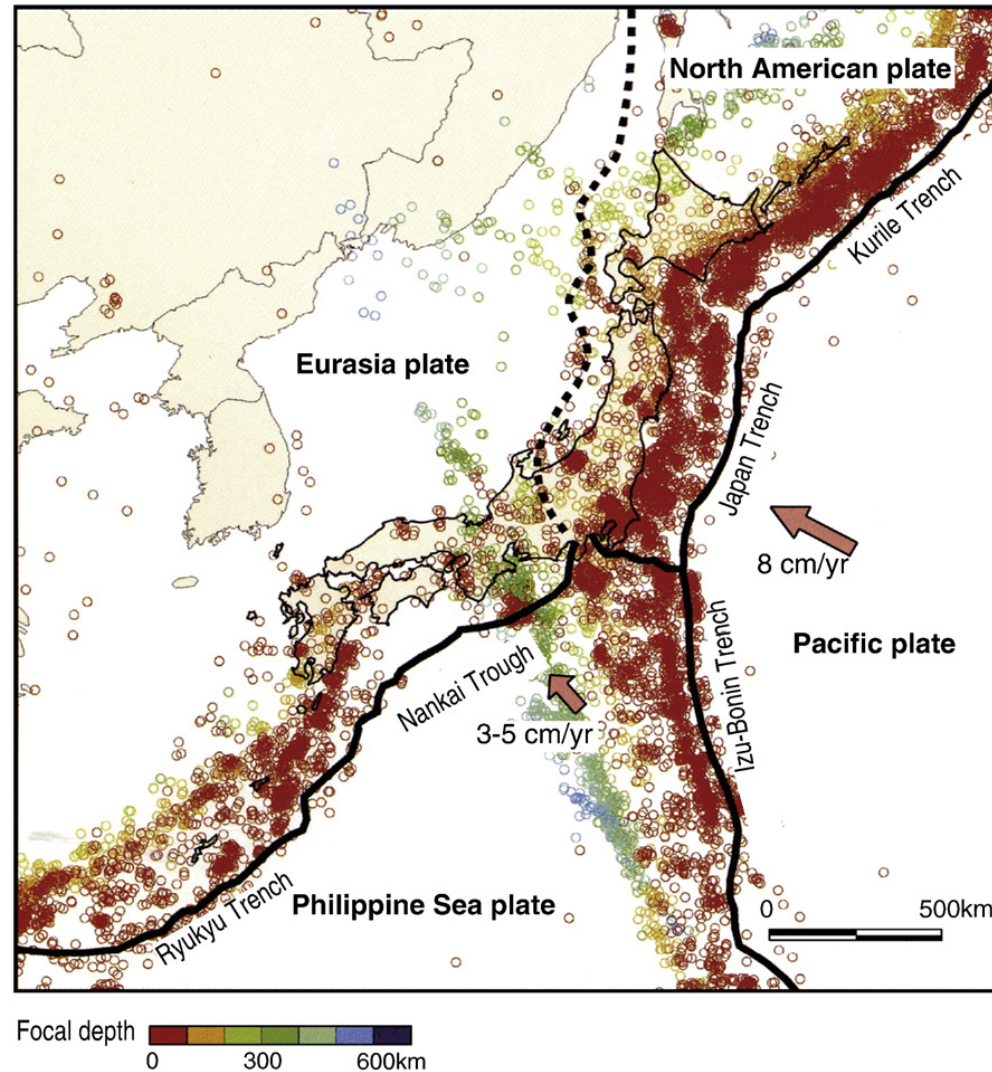
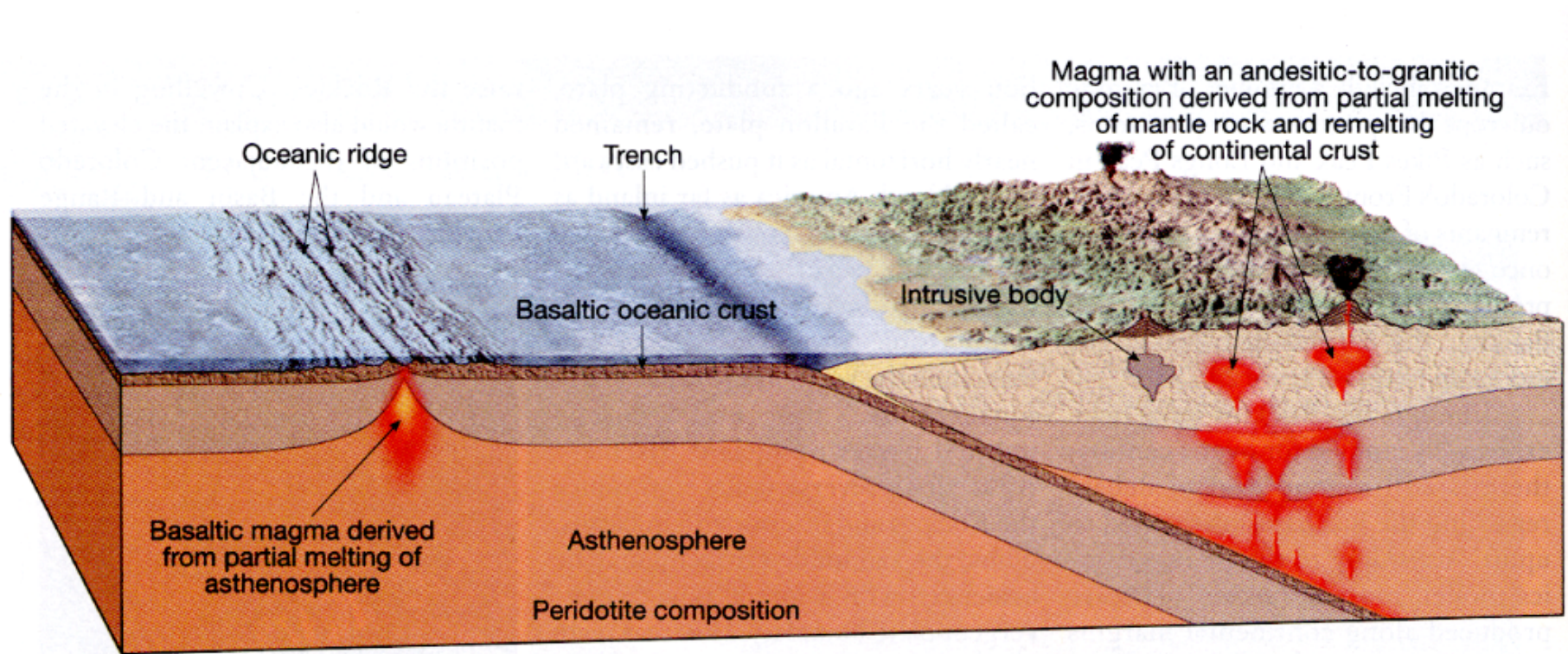


Fig. 2. Epicenter distribution of $M > 4$ earthquakes located by USGS for the period 1995–2005 (Headquarters for Earthquake Research Promotion, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, [http:// www.jishin.go.jp/main/index.html](http://www.jishin.go.jp/main/index.html)). Focal depths are indicated by the color scale.

収れん型プレート境界の概念図



地震と火山の分布

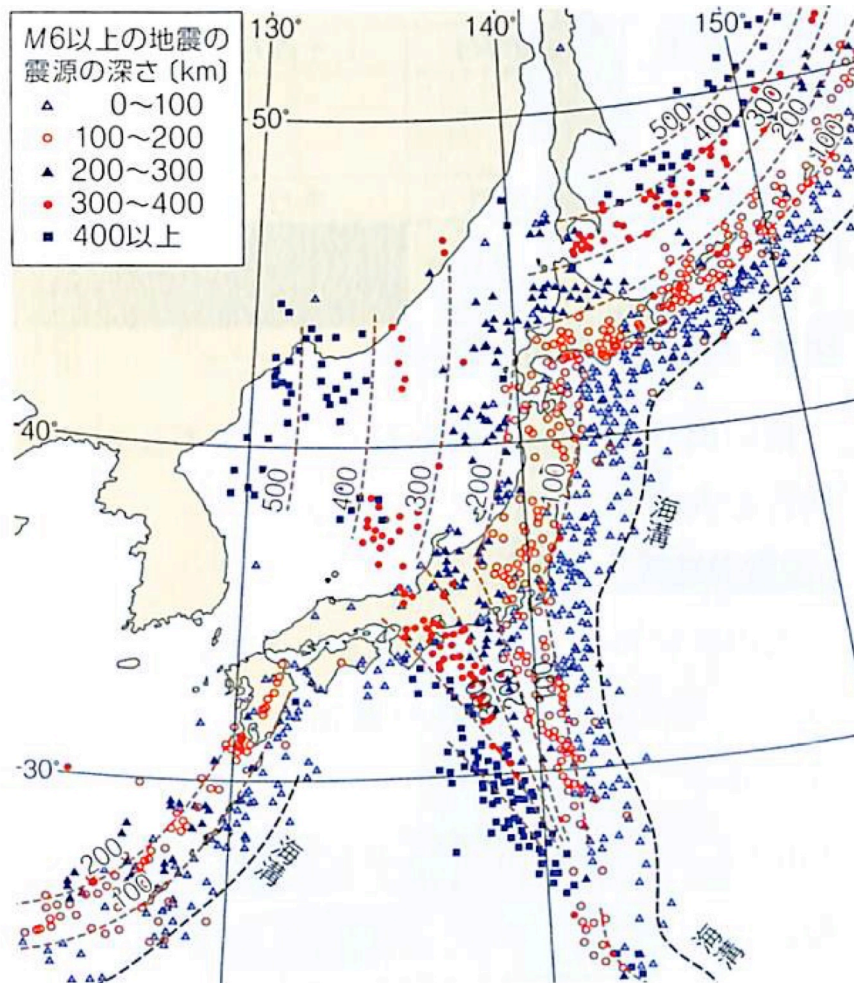


図14 地震の震源の深さの分布

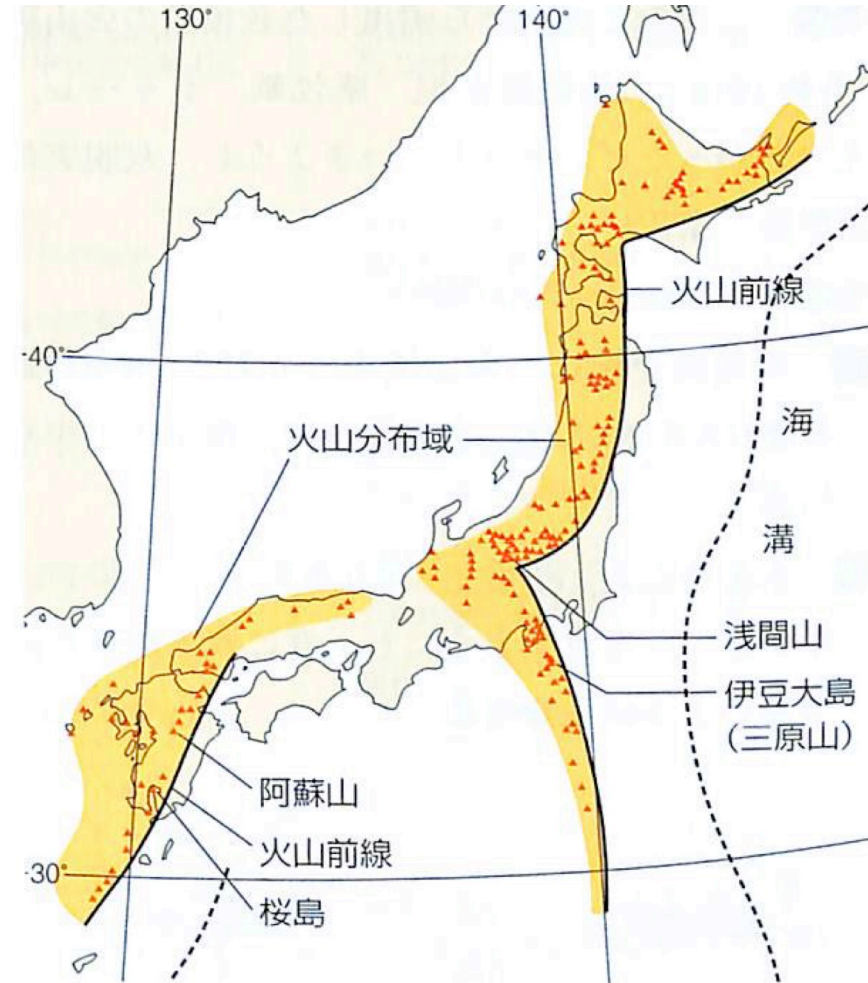
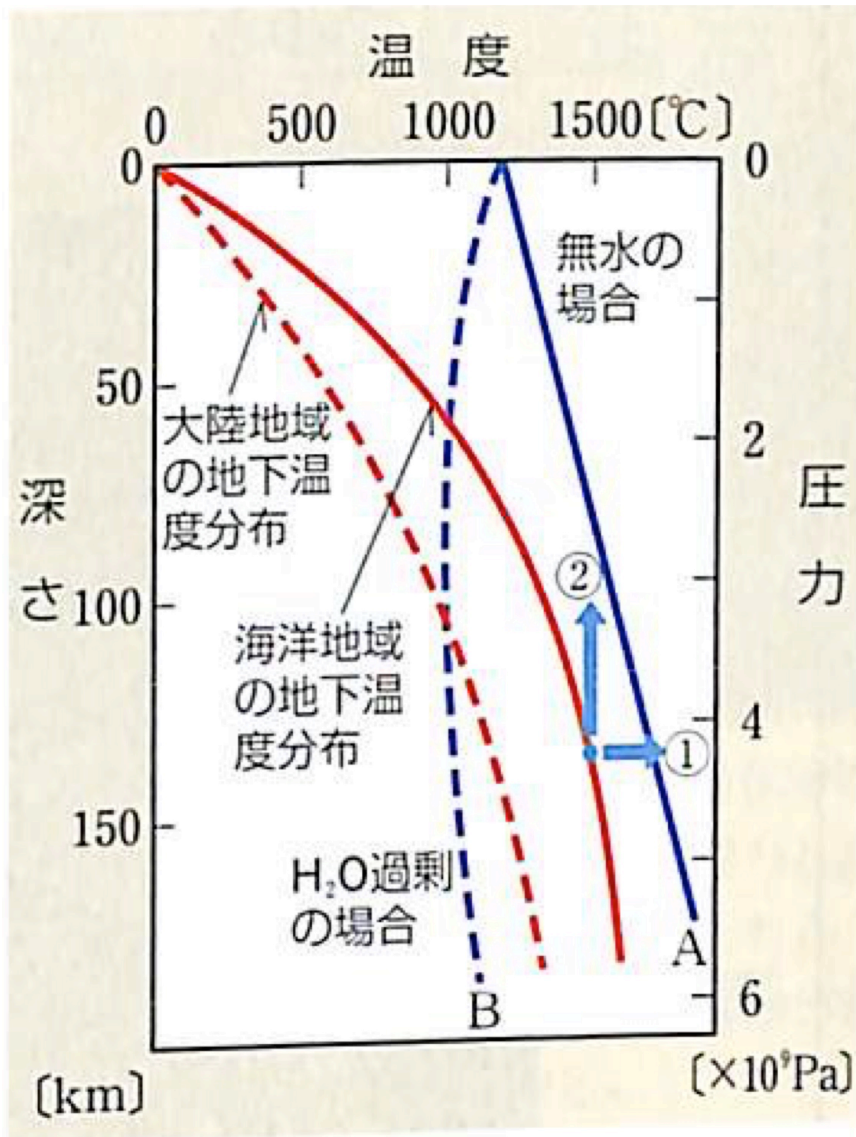


図15 日本の火山の分布



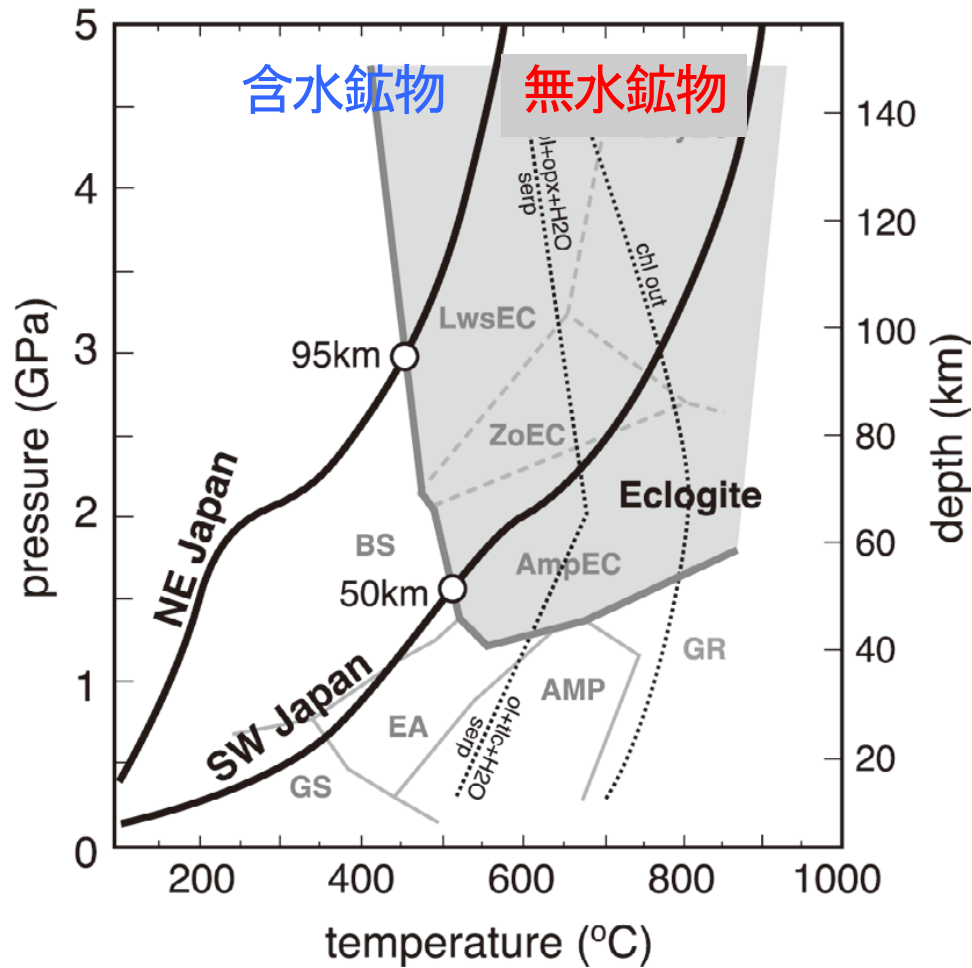
カンラン岩の溶解曲線



マントル+水
→ マグマの発生

Aはマントルに水が存在しないケース
Bはマントルに水が多く存在するケース
①は温度が上昇、②は圧力が低下

鉱物の安定領域と脱水



片山ほか(2010)

- 沈み込みによって、温度圧力が変化し、鉱物の安定条件が変化
- 含水鉱物が脱水(-OHが抜ける)し、水が発生

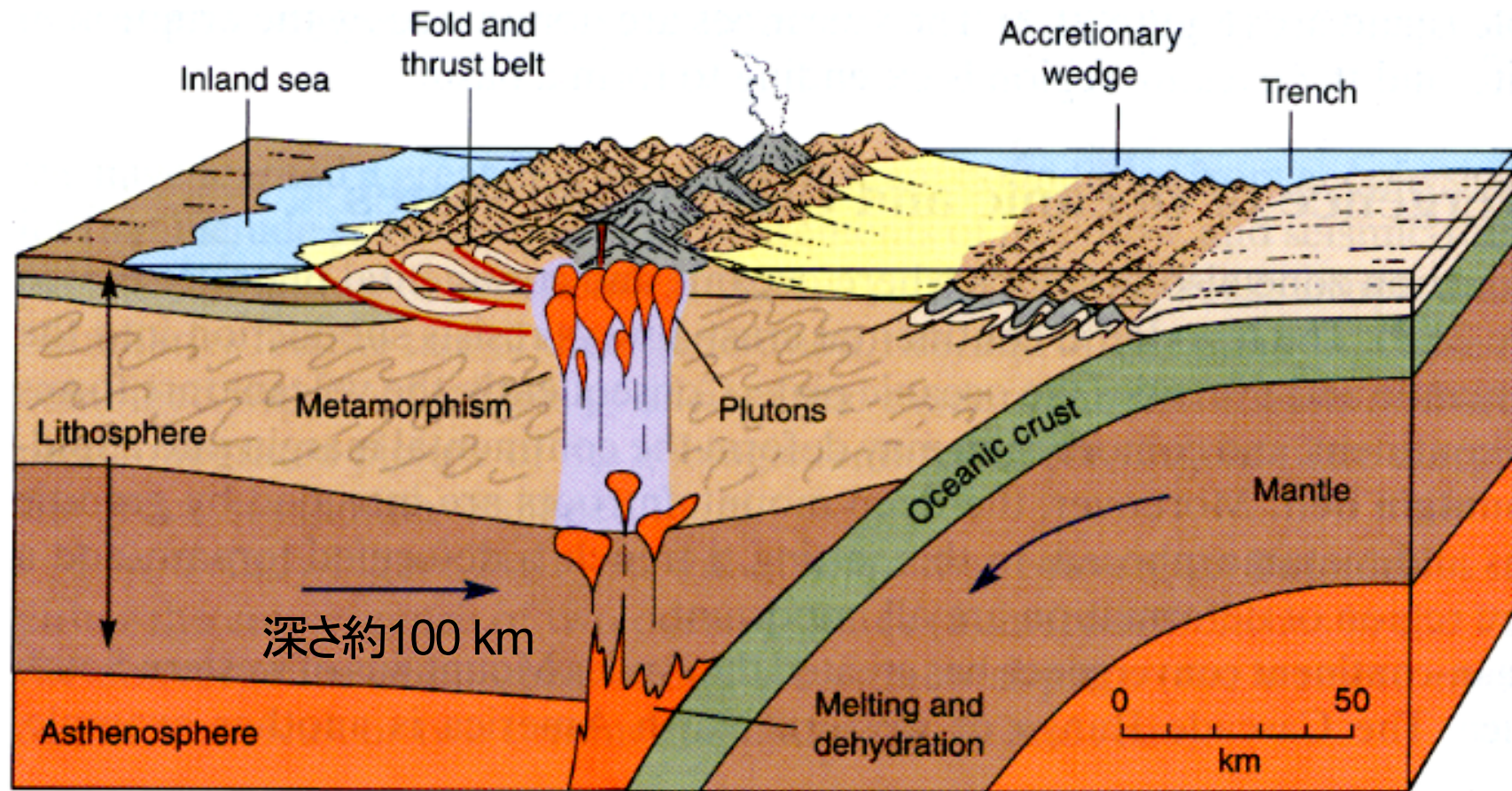
たとえば、
緑泥石



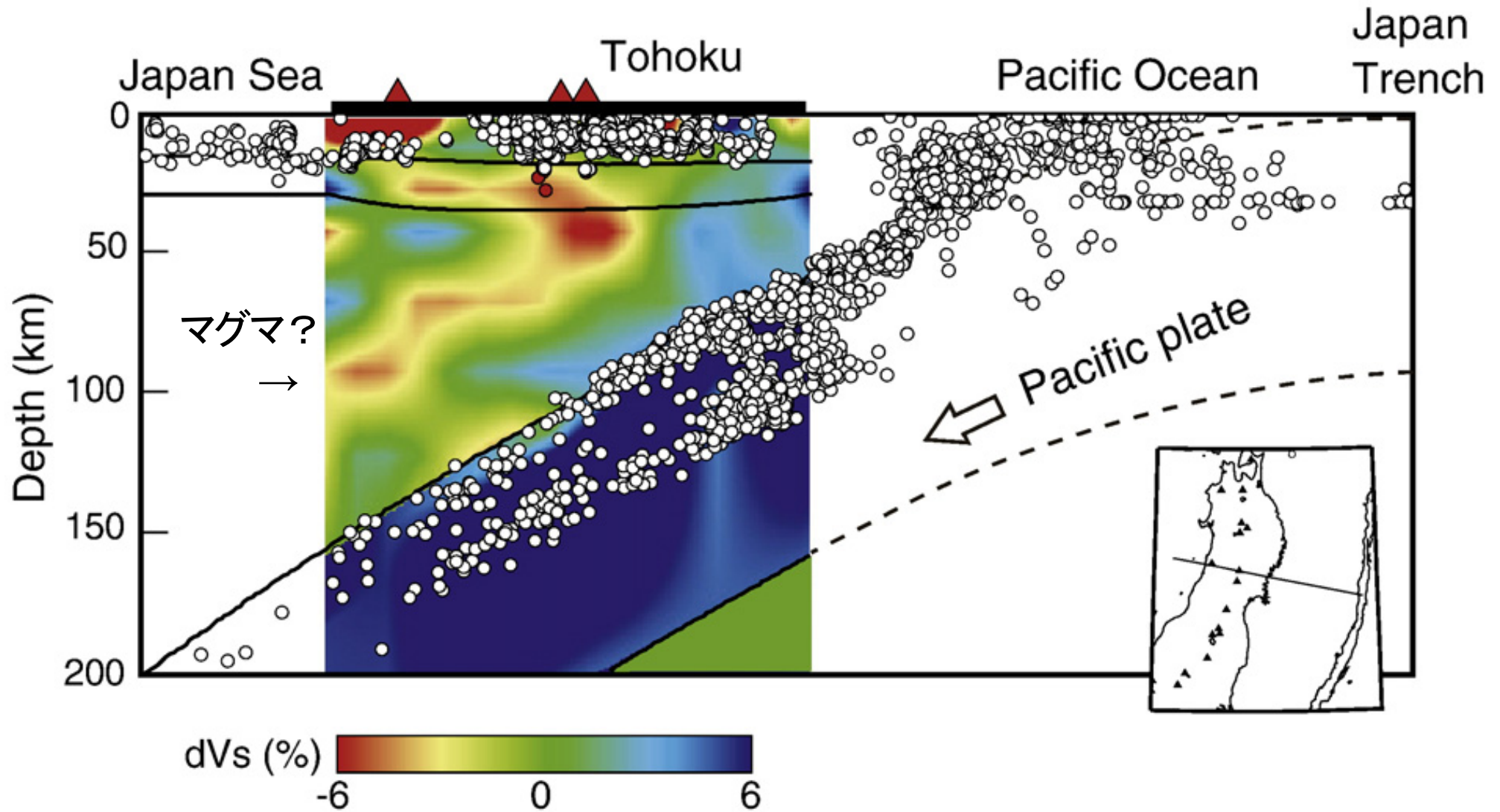
蛇紋石



島弧地殻とウェッジマンタルの模式図



東北日本弧の地震波速度構造



Nakajima et al. (2001)

火山の構造と噴火のタイプ

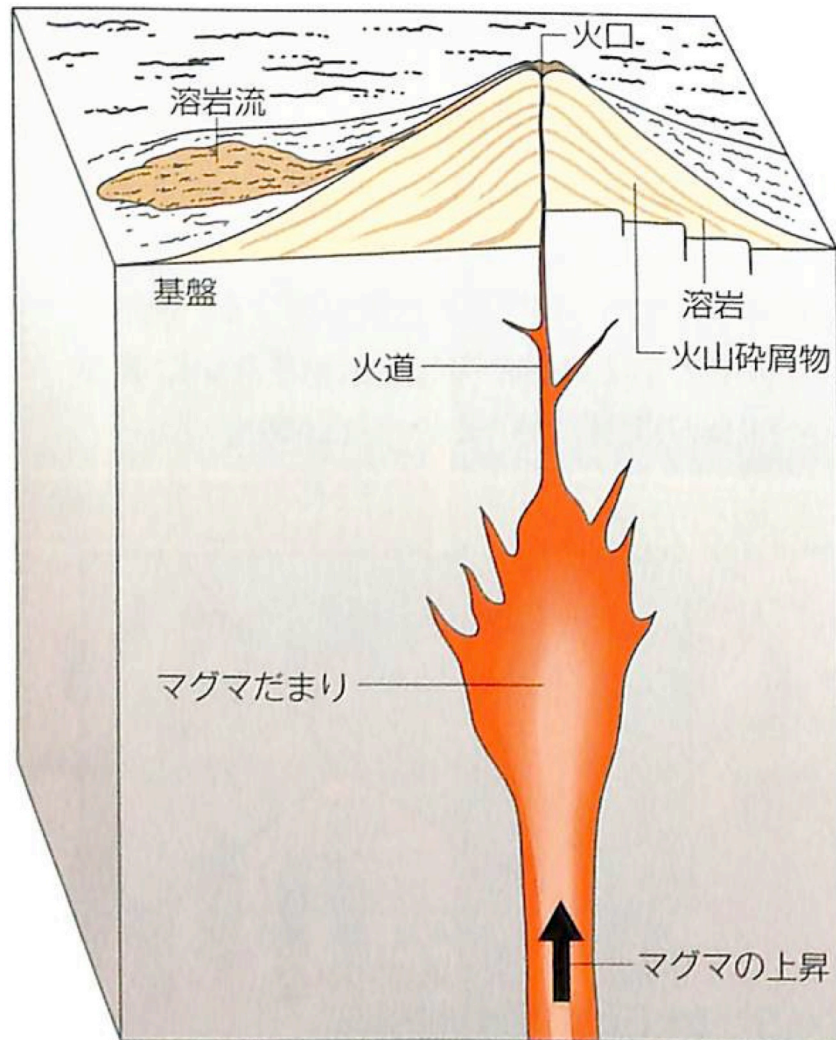


図1 火山の構造(成層火山と地下のようす)



伊豆大島の三原山は、赤熱した溶岩の破片をしかけ花火のように噴き上げる。

図2 SiO_2 の少ない玄武岩質マグマによる噴火



雲仙普賢岳で発生した火砕流。

図3 SiO_2 の多いデーサイト質マグマによる噴火

火山の噴火様式

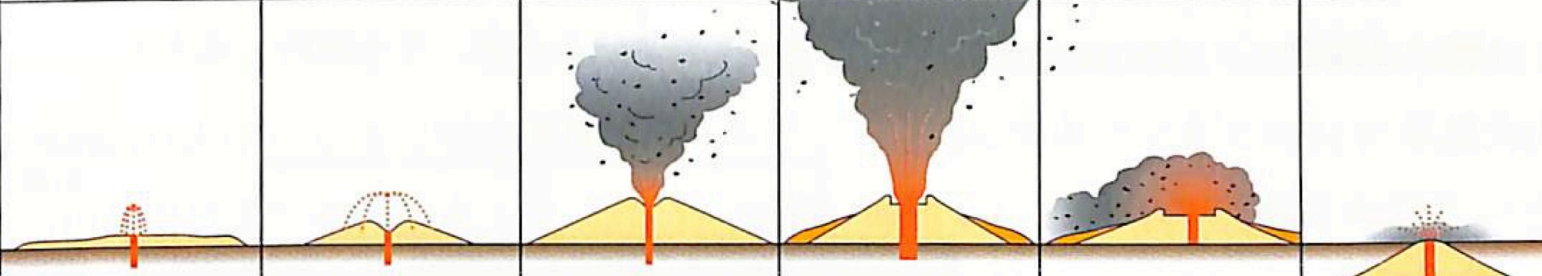
マグマの粘性						
マグマの温度 (噴出直後)						
噴火の様式						
	① アイスランド・ ハワイ式 割れ目から大量の 溶岩を流出させる。	② ストロンボリ式 中心火口から断続 的に溶けた赤熱マ グマを打ち上げる。	③ ブルカノ式 火口底で固化した溶 岩が、下方からのガ ス噴出により岩片と なって激しく噴き上 がる。	④ プリニー式 火道内でマグマが急 激に発泡・膨張し、 ガスとマグマの混合 物を高く噴き上げる。	⑤ プレー式 火砕流を発生。固ま った溶岩を火口か ら突き上げ、溶岩円 頂丘をつくることが ある。	マグマ水蒸気爆発 上昇してきたマグ マが地下や海底で 水にふれて多量の 水蒸気を発生し、 爆発を引き起こす。
マグマの 性質	玄武岩質	玄武岩質 ～安山岩質	安山岩質	安山岩～流紋岩質		
代表的な 火山と噴火	クラブラ(アイス ランド, 1984) キラウエア (ハワイ, 1997) 伊豆大島(1986～87)	ストロンボリ (イタリア, 1985) 秋田駒岳 (1970～71) 伊豆大島(1986～87)	ブルカノ (イタリア, 1988 ～90) 浅間山(2004) 阿蘇山(1979)	セントヘレンズ (アメリカ, 1980) ピナツボ (フィリピン, 1991) 浅間山(1783)	プレー (フランス領, 1902) 雲仙普賢岳 (1990～95)	スルツェイ (アイスランド, 1963) 三宅島(2000)

図4 噴火の様式

広域火山灰の分布図



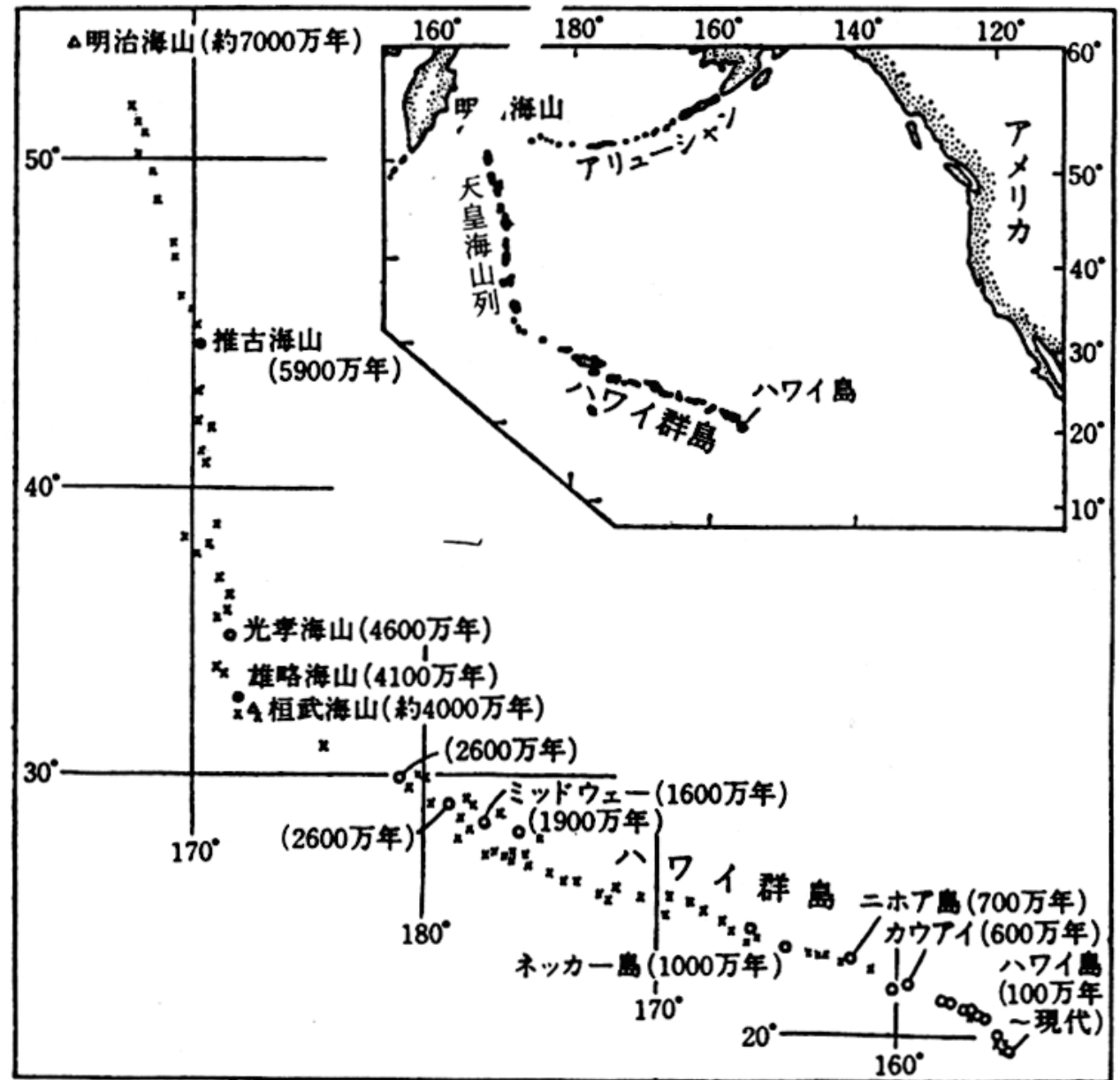
鬼界カルデラ(7300年前): 四国で30cm

プレートの 絶対運動： ハワイ海山列

海山は何故並んでいる？

東端のキラウエアだけが
活火山で、西ほど古くなる。

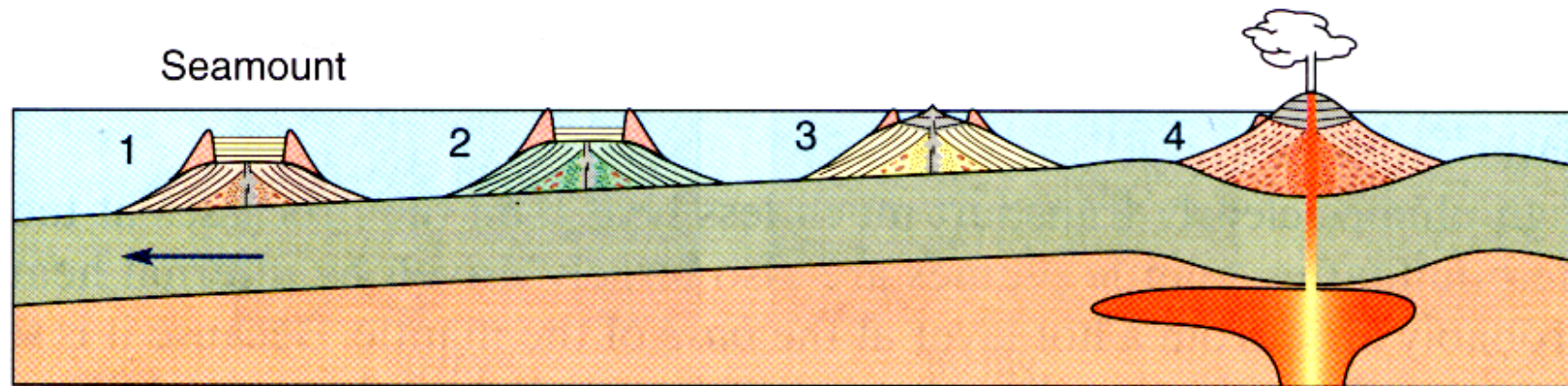
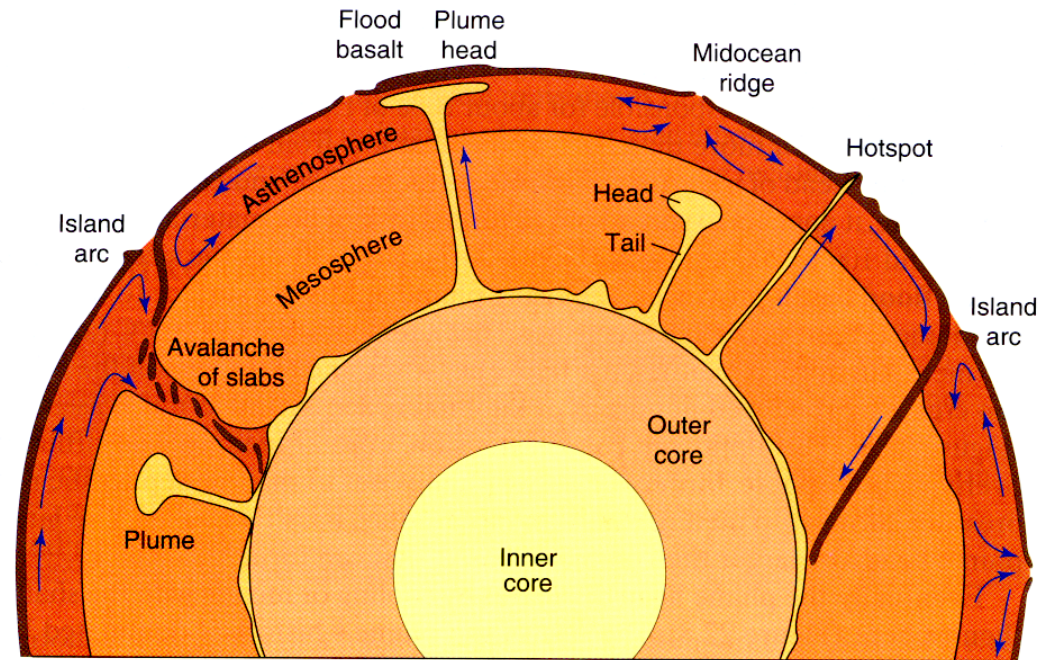
雄略海山(41My)あたりで
折れ曲がっているのは何
故？



ホットスポットの起源

海山列のマグマの起源は少なくとも数100kmも深い所にある。マントルと核との境界付近らしい証拠もあって、このような火山をホットスポットという。

だから、下図のように、ホットスポットの上をプレートが移動し、海山列(ホットスポット・トラック)ができると考えればよい。

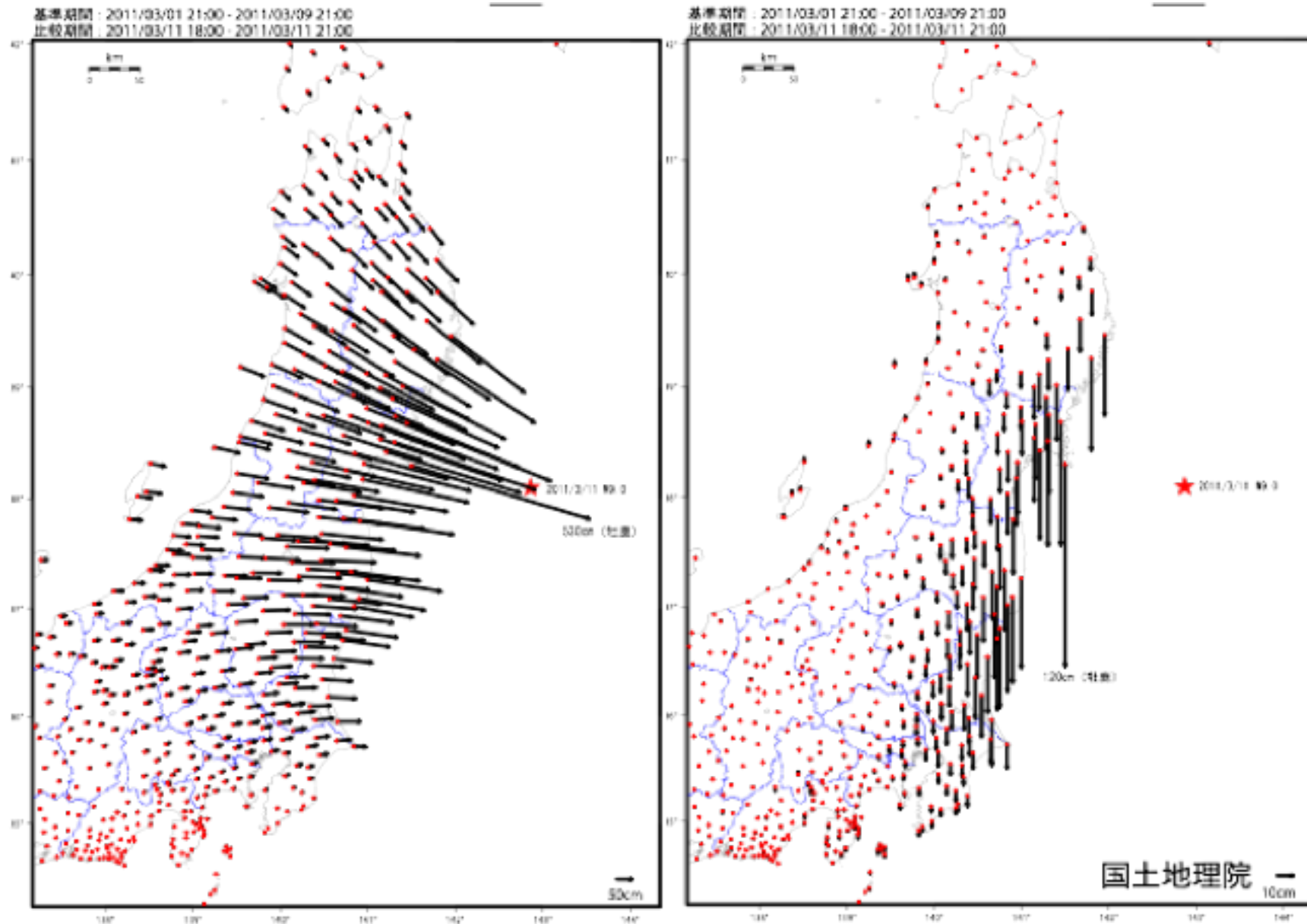


2016年1月13日現在



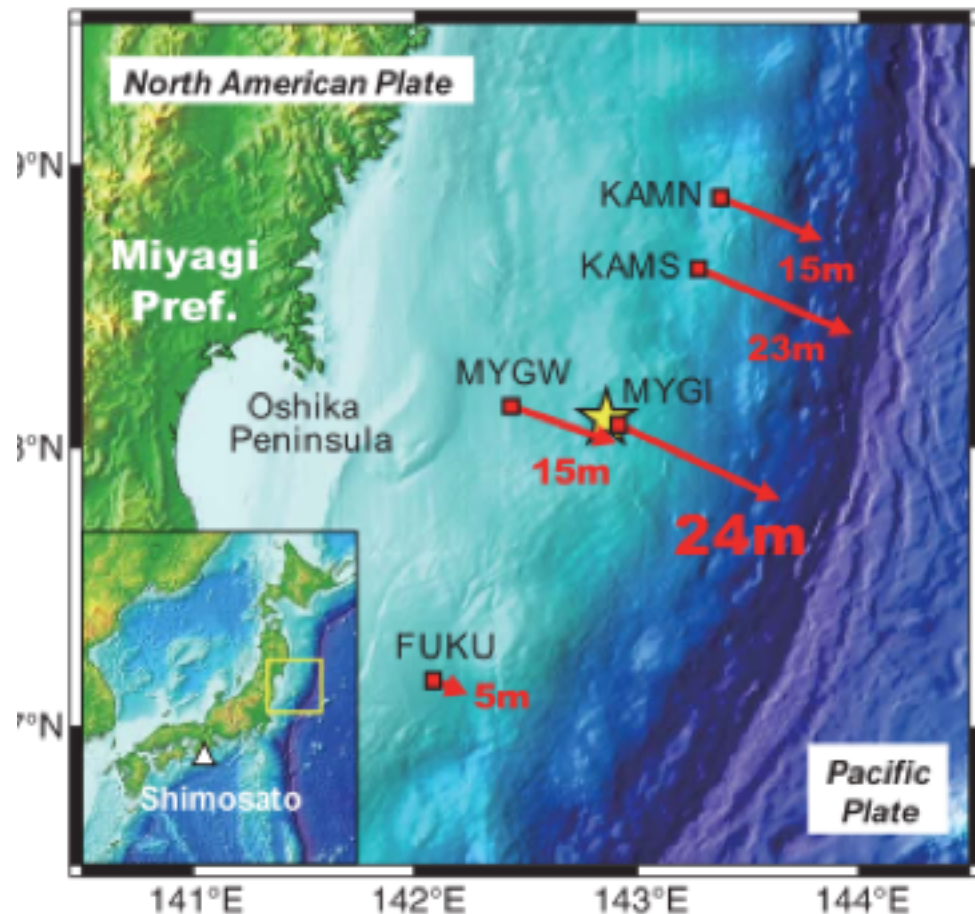
- プレート境界での逆断層を想定

巨大地震と関連する現象：東北沖地震を例に

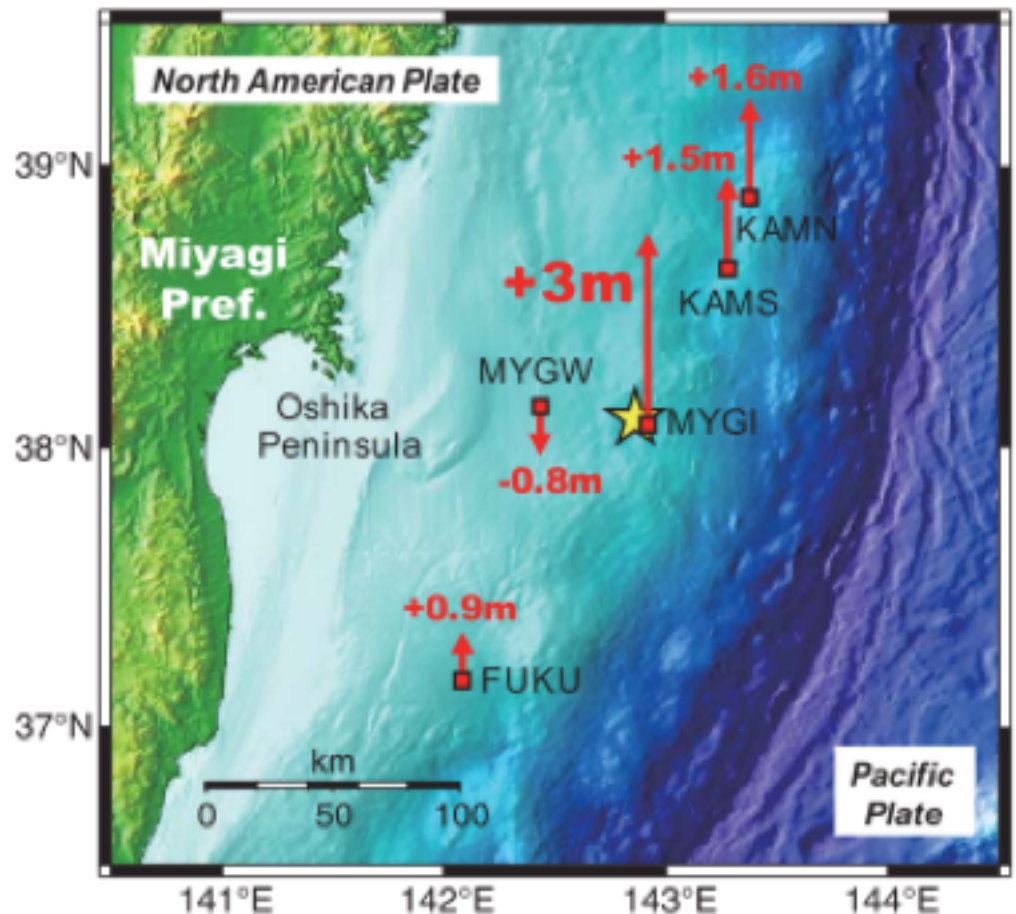


海底観測で本震時の大すべりを観測

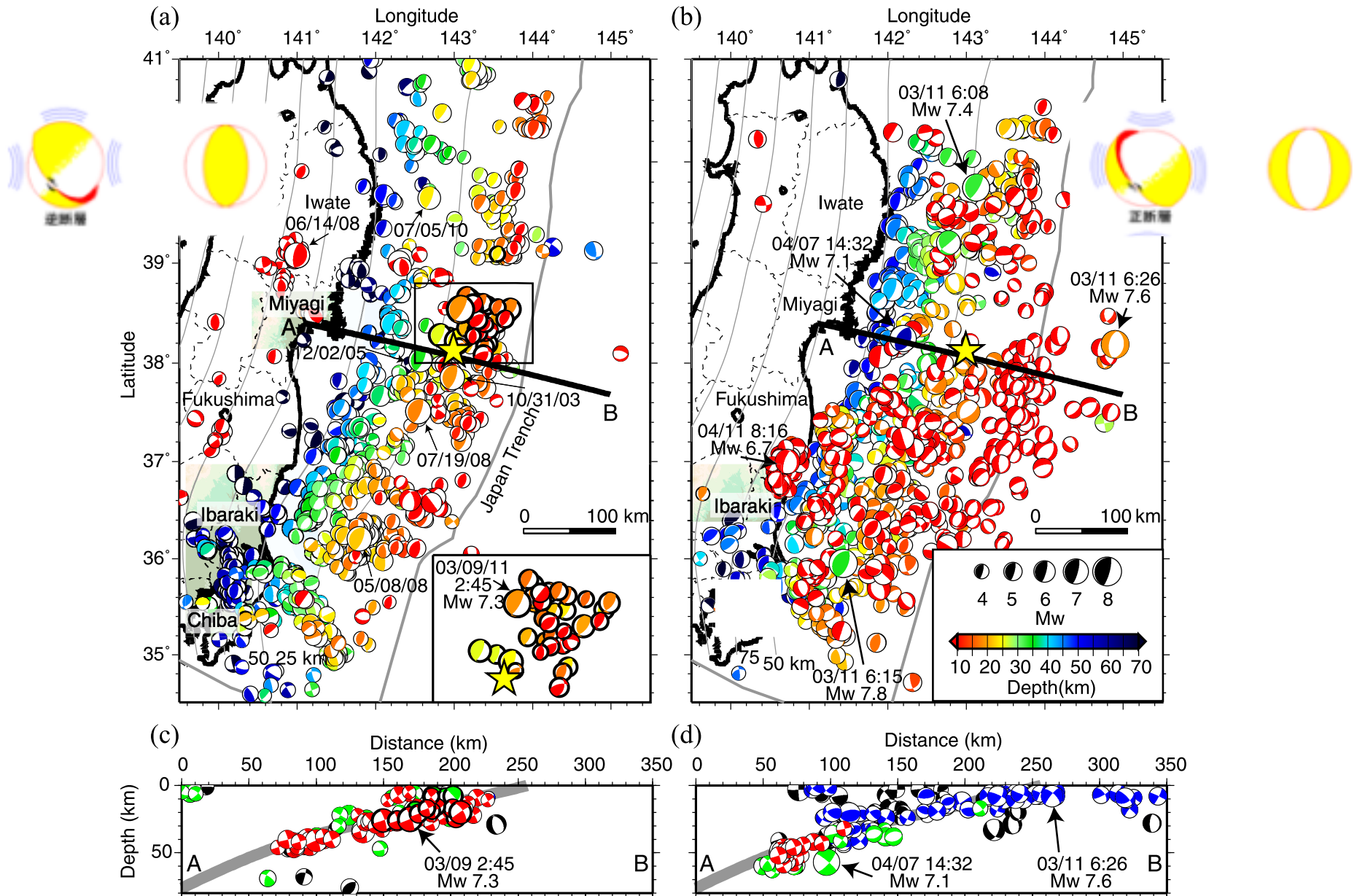
A Horizontal displacements



B Vertical displacements



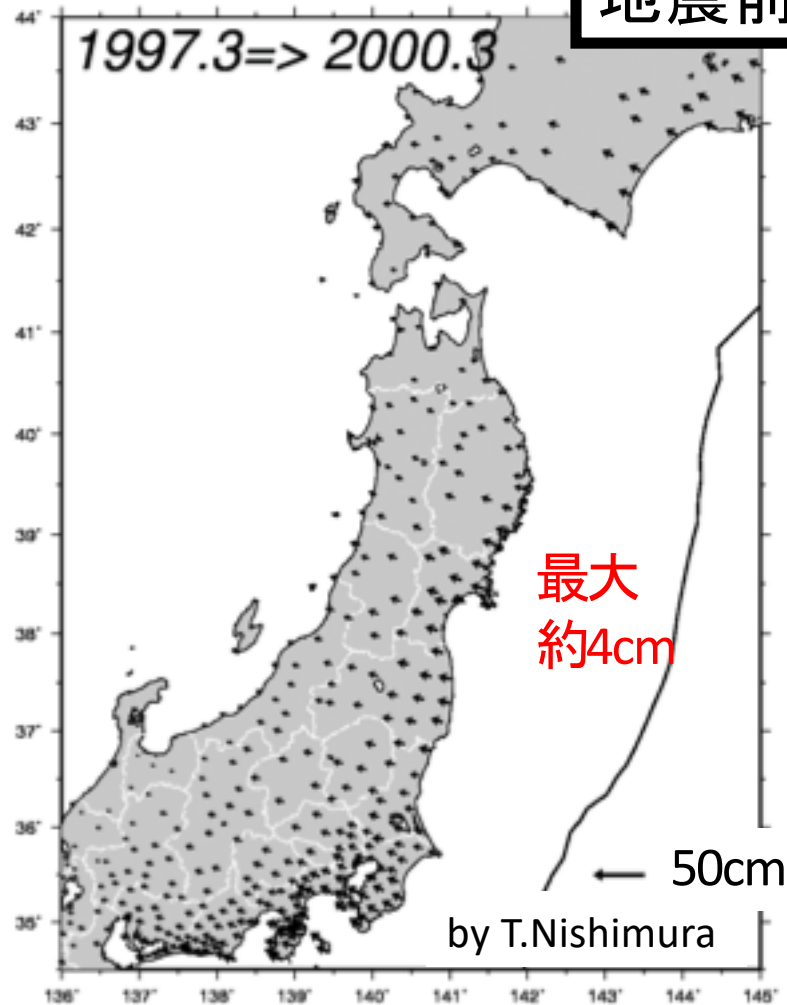
地震のタイプも変化



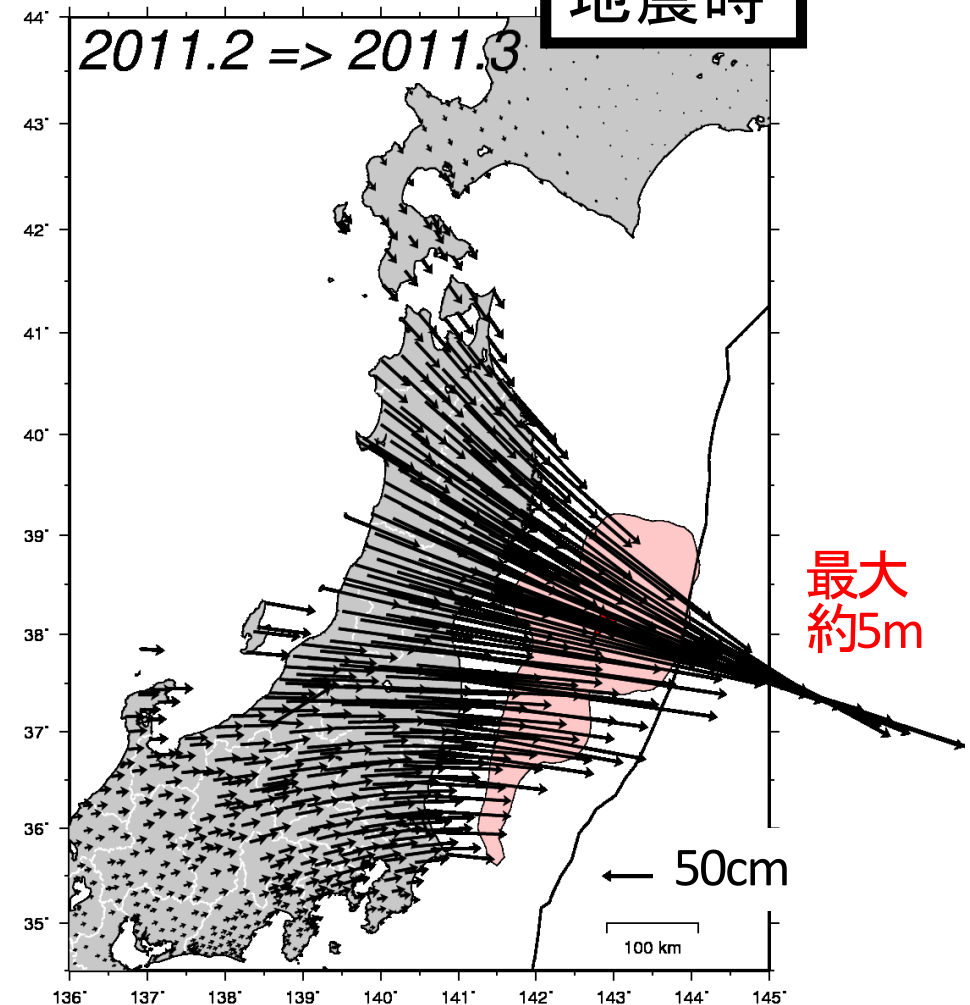
地震前後の地殻変動

水平変動

地震前



地震時

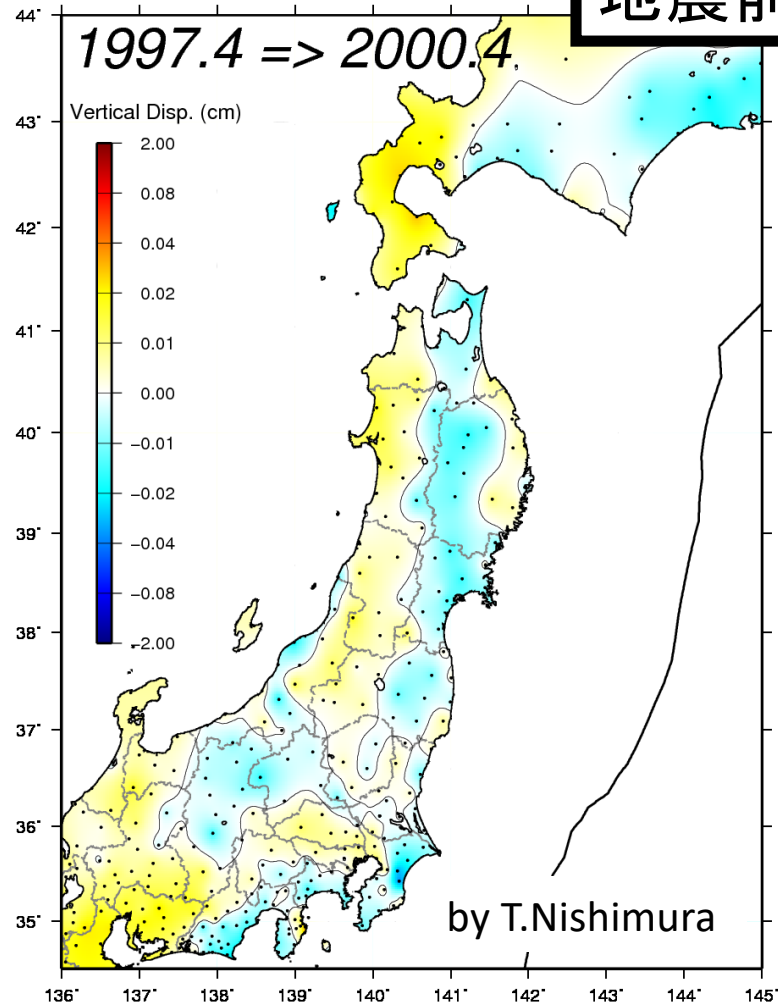


変動がゆっくり遠くへ及んでゆく
(余効変動)

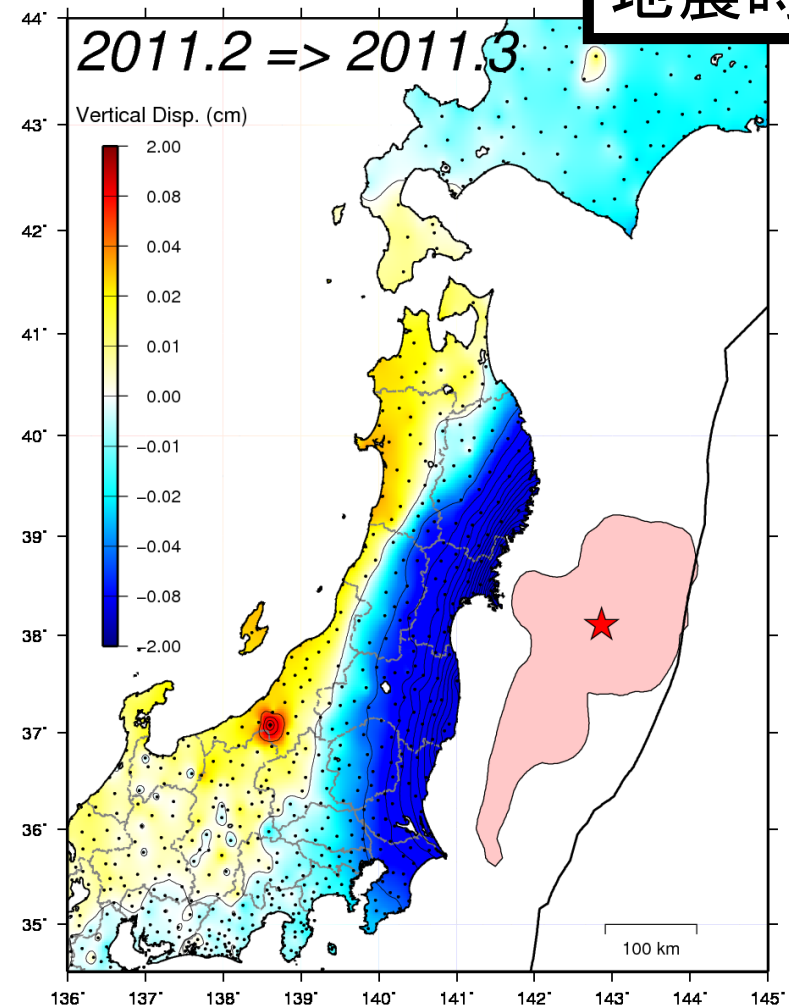
地震前後の地殻変動

上下変動

地震前



地震時



地震後、震源から遠くで大きな変動が起こっている

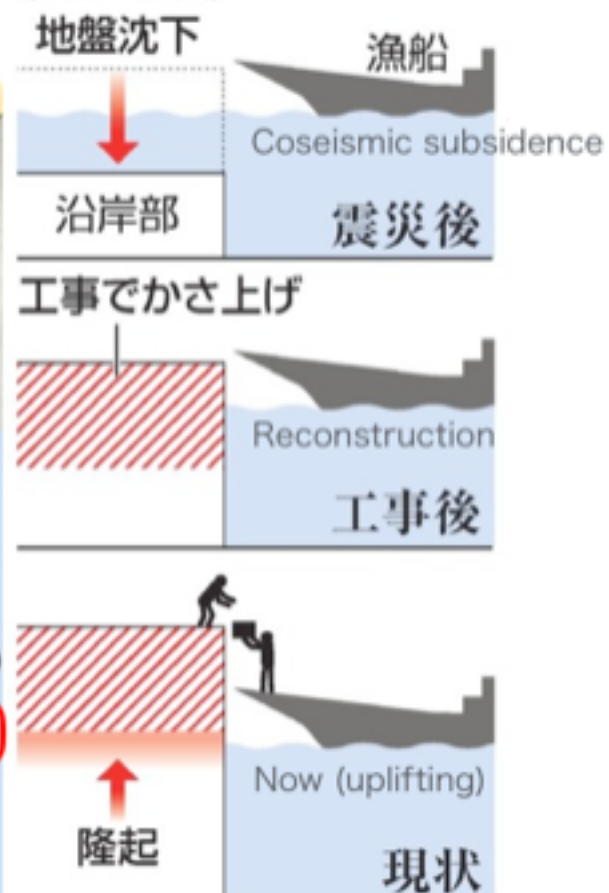
At a fishing port in Ishinomaki



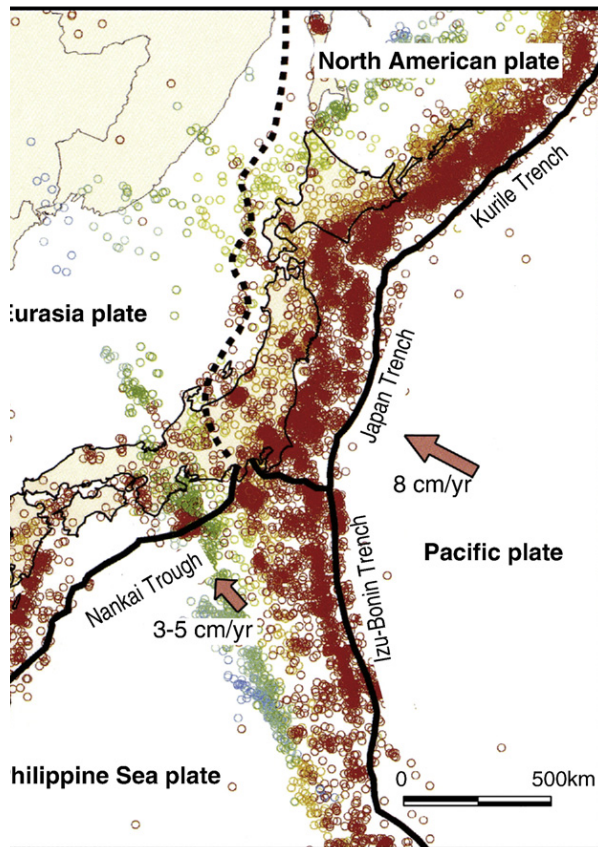
<http://www.asahi.com/articles/photo/AS20161101001080.html>

東日本大震災で沈下した 地盤が隆起に転じた

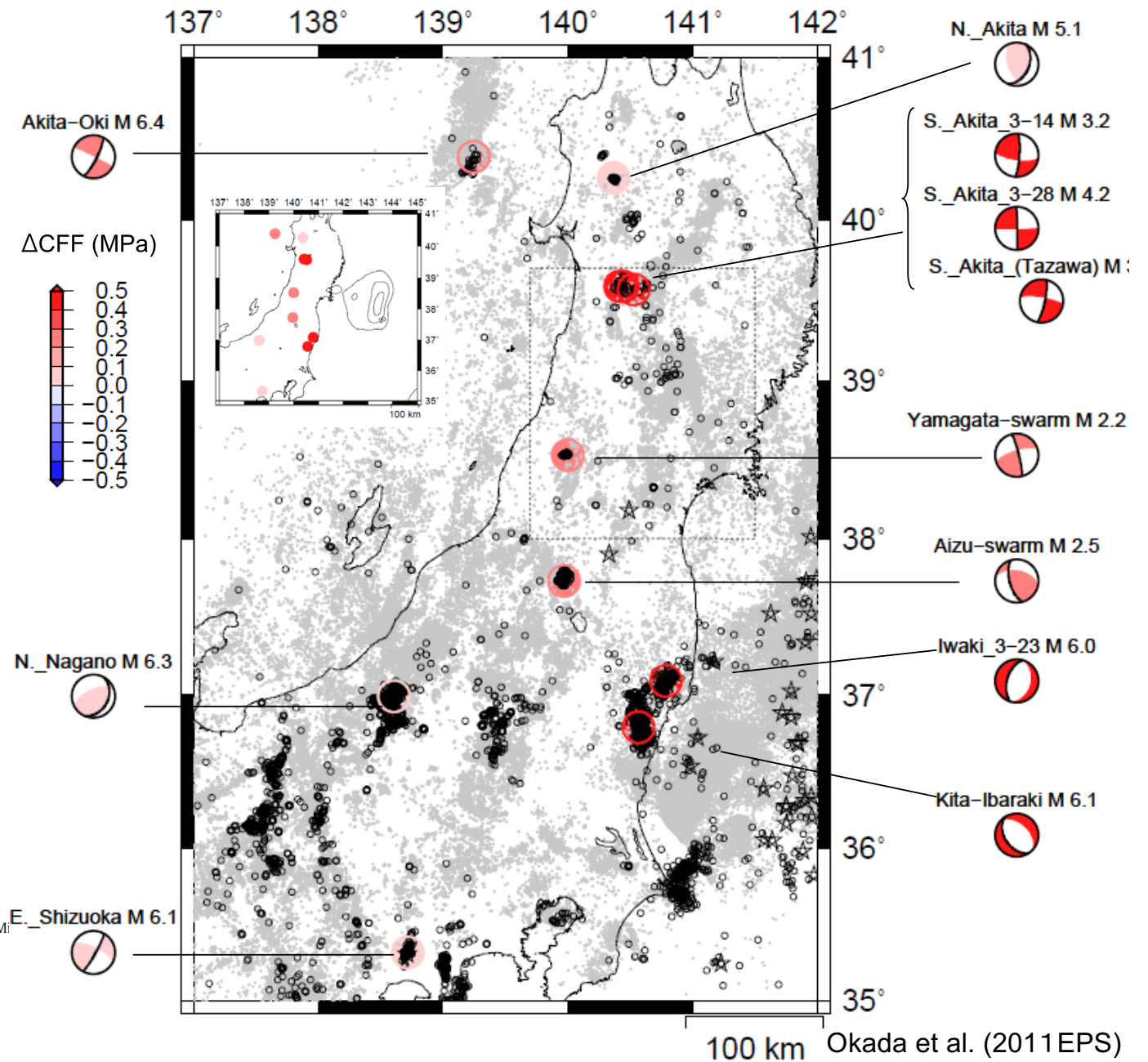
(イメージ図)



多くの内陸地震が誘発

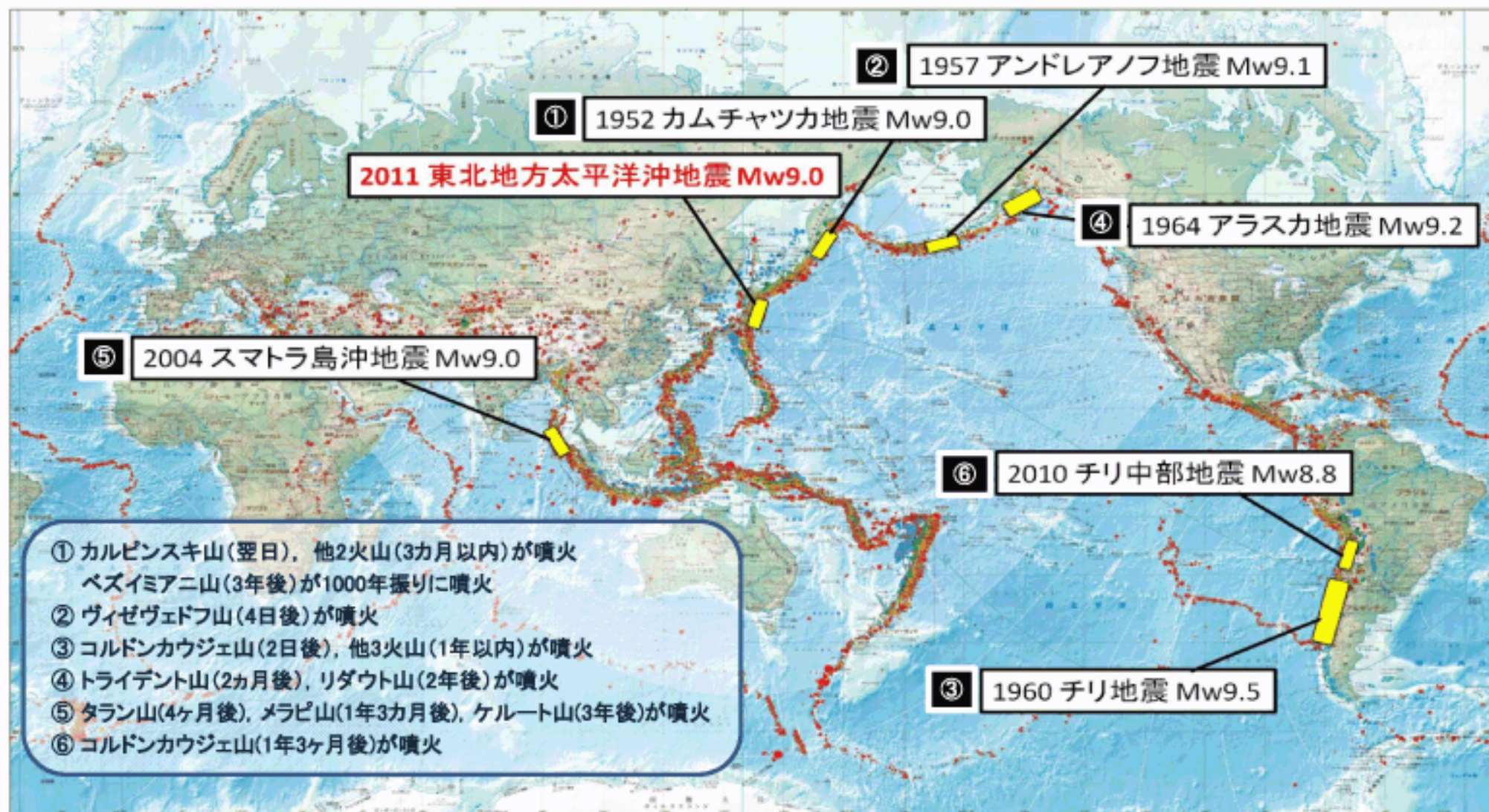


5 for the period 1995–2005 (Headquarters for Earthquake Research Promotion, M
[ex.html](http://www.earthquake-research-promotion.go.jp/eqx.html)). Focal depths are indicated by the color scale.



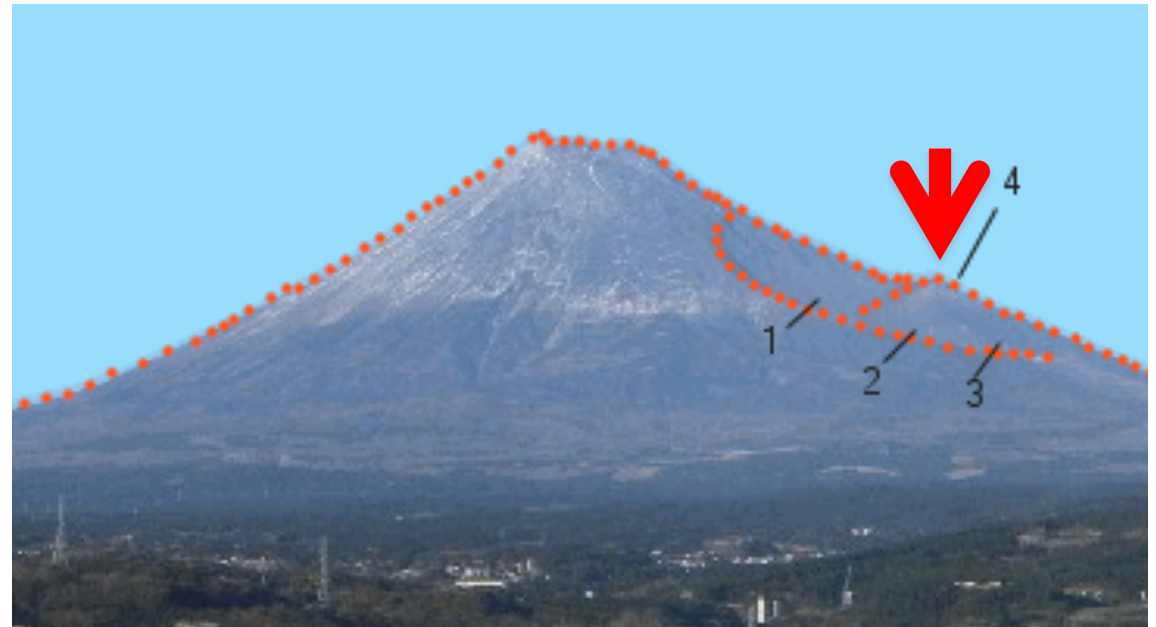
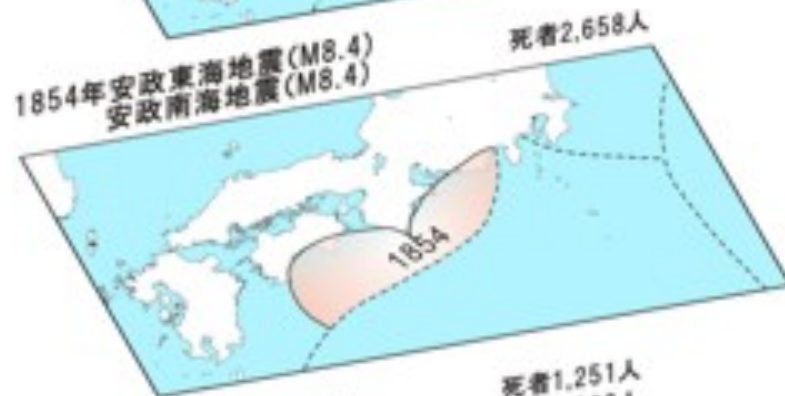
M9巨大地震と火山噴火

図表 1-2-13 世界の巨大地震と火山噴火



マグニチュードは理科年表による

南海地震と富士山の関係



1707年宝永地震の49日後、宝永噴火

まとめ

- 沈み込み帯では、プレートの沈み込みにより、巨大地震や火山噴火が発生する。
- プレートの固着により、巨大地震が発生する。
- 沈み込む水の存在でマグマが発生し、火山が形成される。
- 巨大地震の発生により、周辺での地震活動や火山活動が促進される。

課題：火山前線の形成

- 東北日本の火山前線（火山フロント）が、プレート上面深さ100 kmに相当する鉛直上に南北に配列する理由を述べよ。

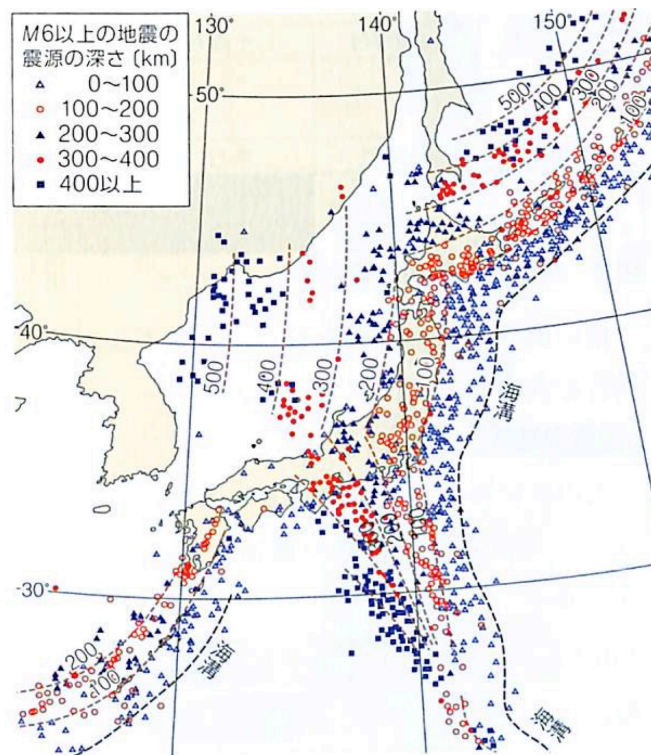


図14 地震の震源の深さの分布

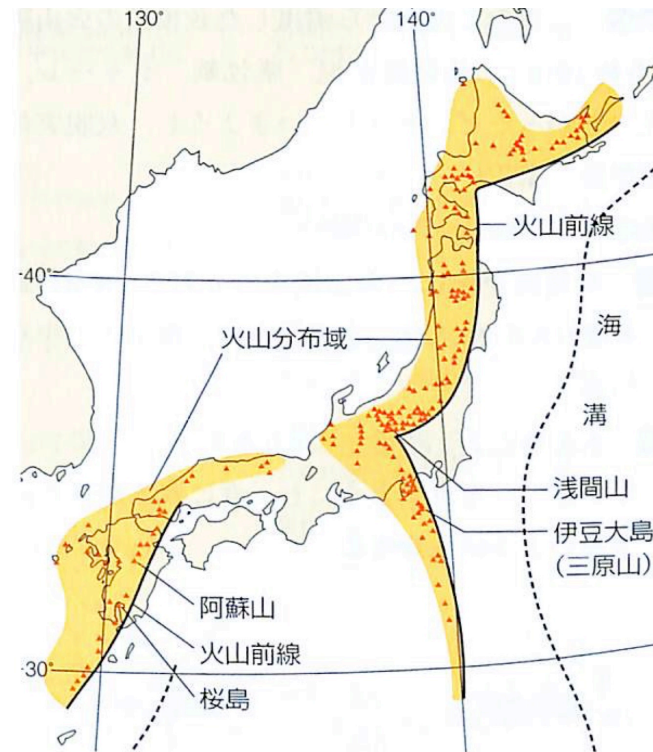


図15 日本の火山の分布