

むつ科学技術館来館者50万人達成記念報告会

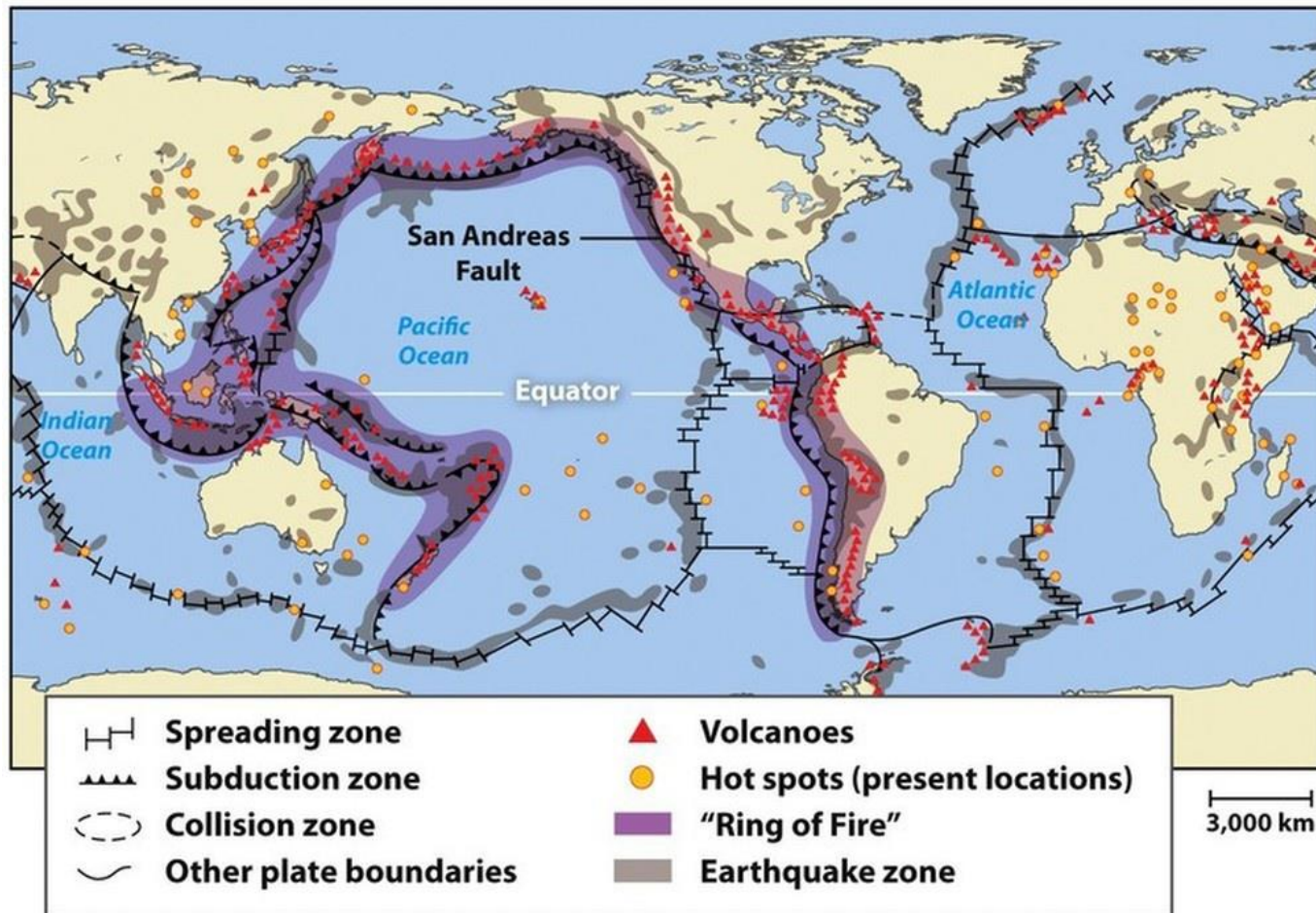
**深部流体が支配する
東北日本と西南日本の地球科学**

2023年1月28日(土)

弘前大学大学院理工学研究科 梅田 浩司

はじめに

- 日本列島は、プレート境界にあたる環太平洋火山帯に位置しています。
- 日本周辺で発生する地震のエネルギーは、世界中で起きている地震の約10%にもなります。また、世界中の活火山のうちの約1割が日本に存在します。
- 自然災害から身を守るためにも地球科学リテラシーの向上を目指しましょう。



1995年兵庫県南部地震



1991年雲仙普賢岳噴火

- ① 東北日本と西南日本の分裂
- ② 海底地形からみたプレートテクトニクス
- ③ 東北日本と西南日本のスラブ(沈み込むプレート)
- ④ 深部流体とは何か？
- ⑤ 深部流体の発生・移動を捉える

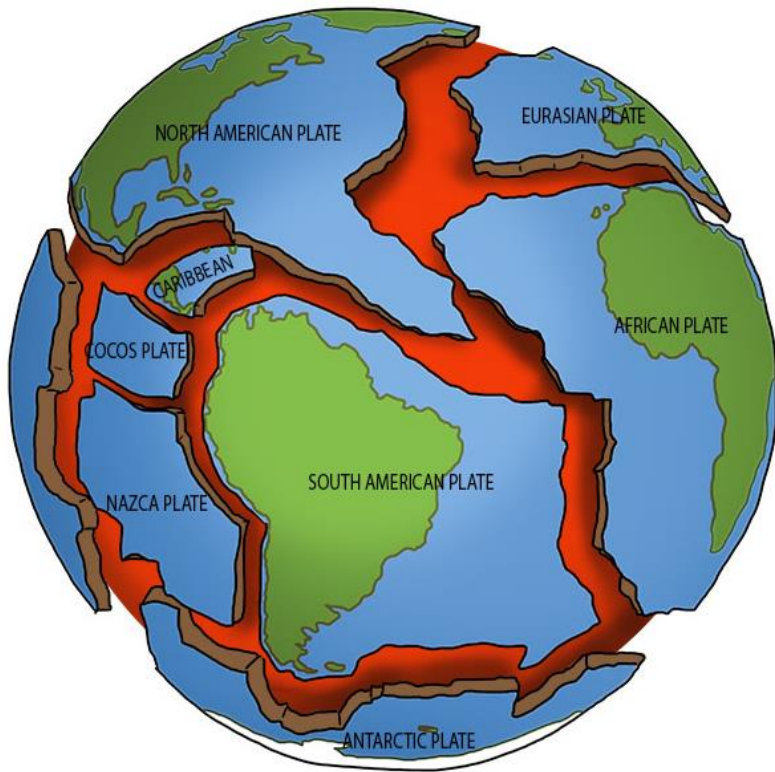
- ① **東北日本と西南日本の分裂**
- ② 海底地形からみたプレートテクトニクス
- ③ 東北日本と西南日本のスラブ(沈み込むプレート)
- ④ 深部流体とは何か？
- ⑤ 深部流体の発生・移動を捉える

プレートテクトニクスとは

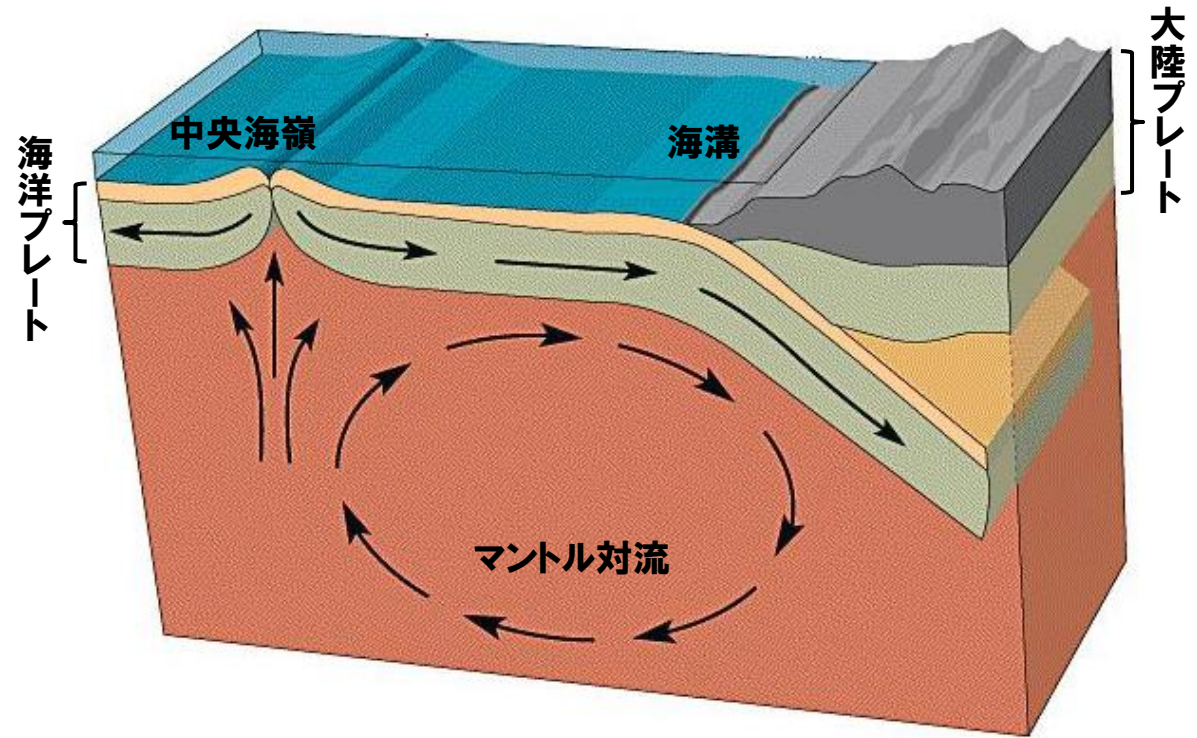
プレートテクトニクスとは、地球の表層にはプレートという十数枚の層があり、それぞれのプレートが別々の方向に動くことで、地球科学的な様々な現象を説明できるという理論。

大陸プレート ☞ あまり拡大しない。沈み込まない。あまり動かない。古い。密度が小さい。

海洋プレート ☞ 海嶺で拡大する。海溝から沈み込む。よく動く。新しい。密度が大きい。

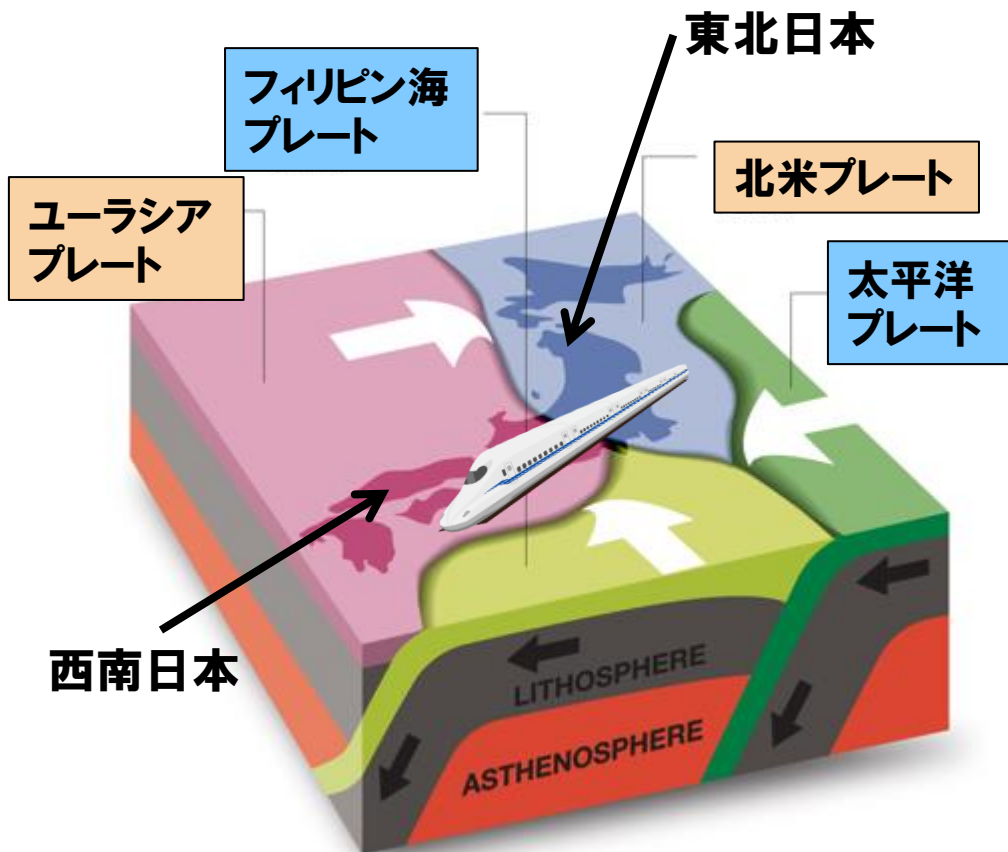


地球表面を覆うプレートとその境界



プレートの発散境界(海嶺)と収束境界(海溝)

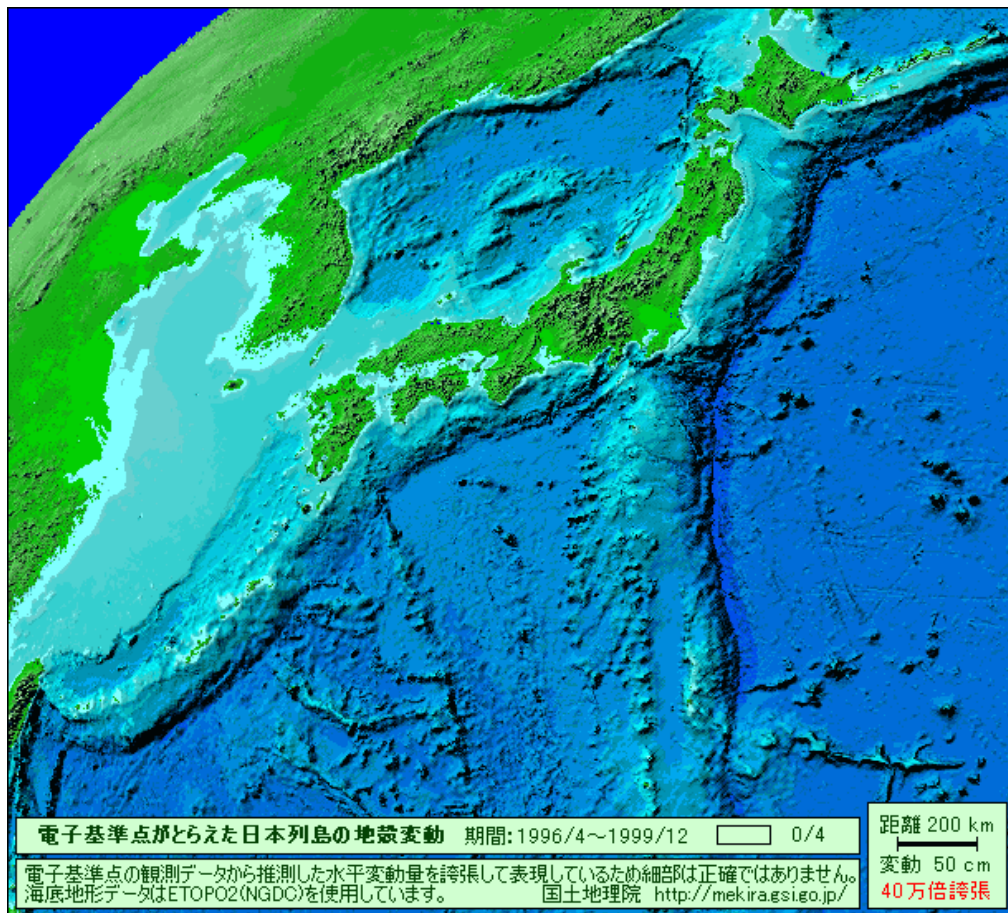
日本列島とプレート境界



日本列島周辺のプレートの配置

大陸プレート

海洋プレート



国土地理院の電子基準点が捉えた日本列島の地殻変動

1996年4月～1999年12月のGPSで観測された日本列島の地殻変動(変動を40万倍に誇張:120万年間に相当)

東北日本と西南日本の地質

- 完新統
- 更新統
- 第四紀火山岩類
- 新第三紀堆積岩類
- 新第三紀火山岩類
- 新第三紀深成岩類
-
- 先新第三系

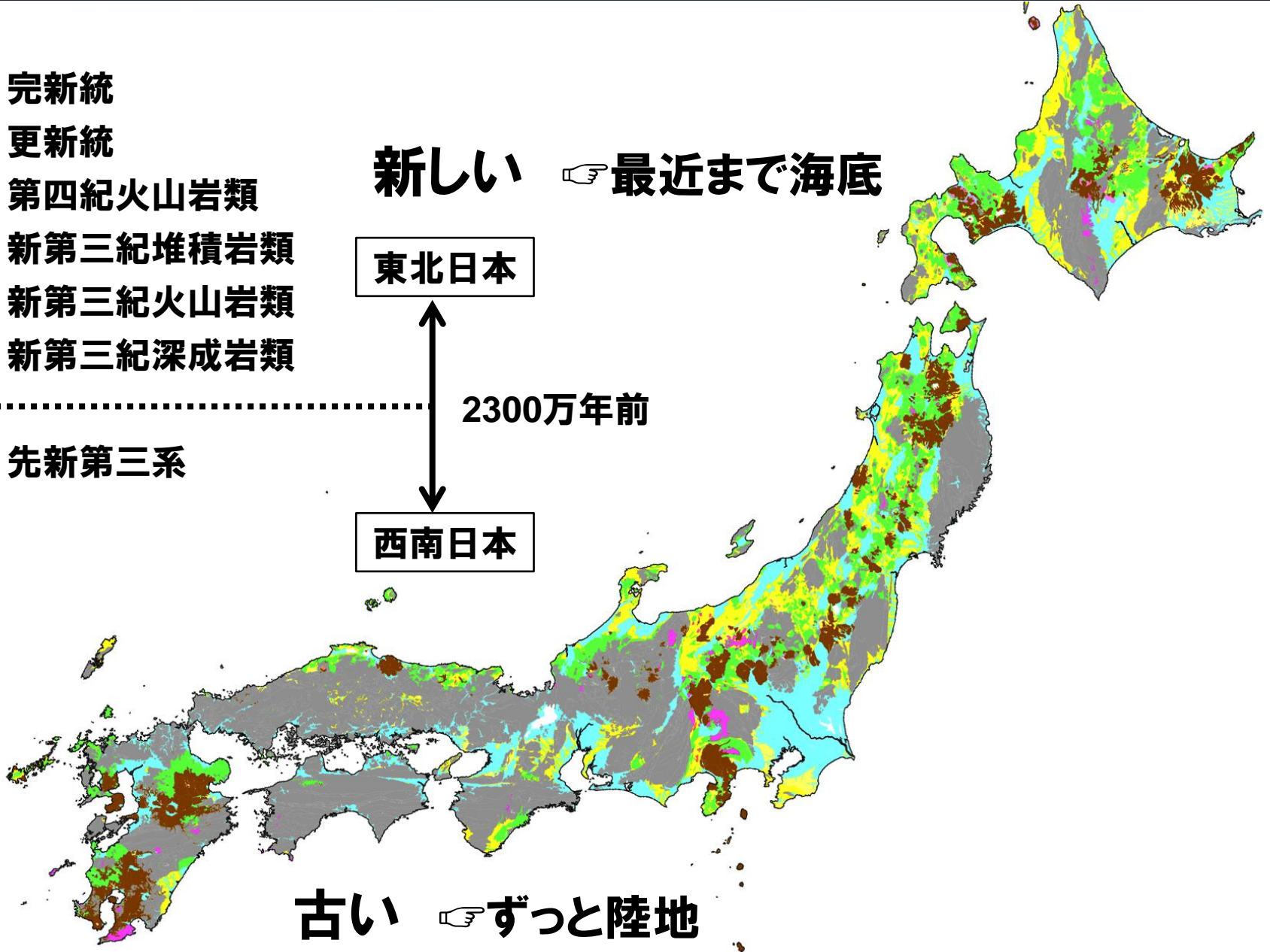
新しい 最近まで海底

東北日本

2300万年前

西南日本

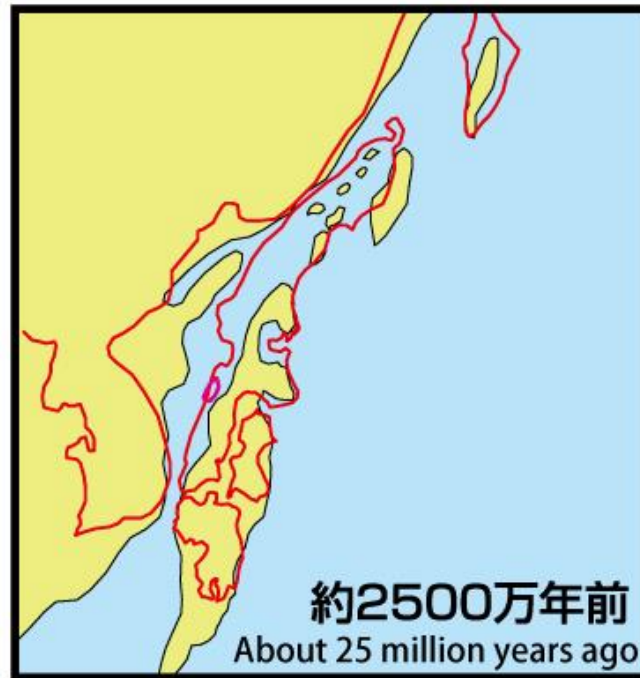
古い ずっと陸地



日本列島の形成



約7000万年前、日本列島はユーラシア大陸の一部であった。

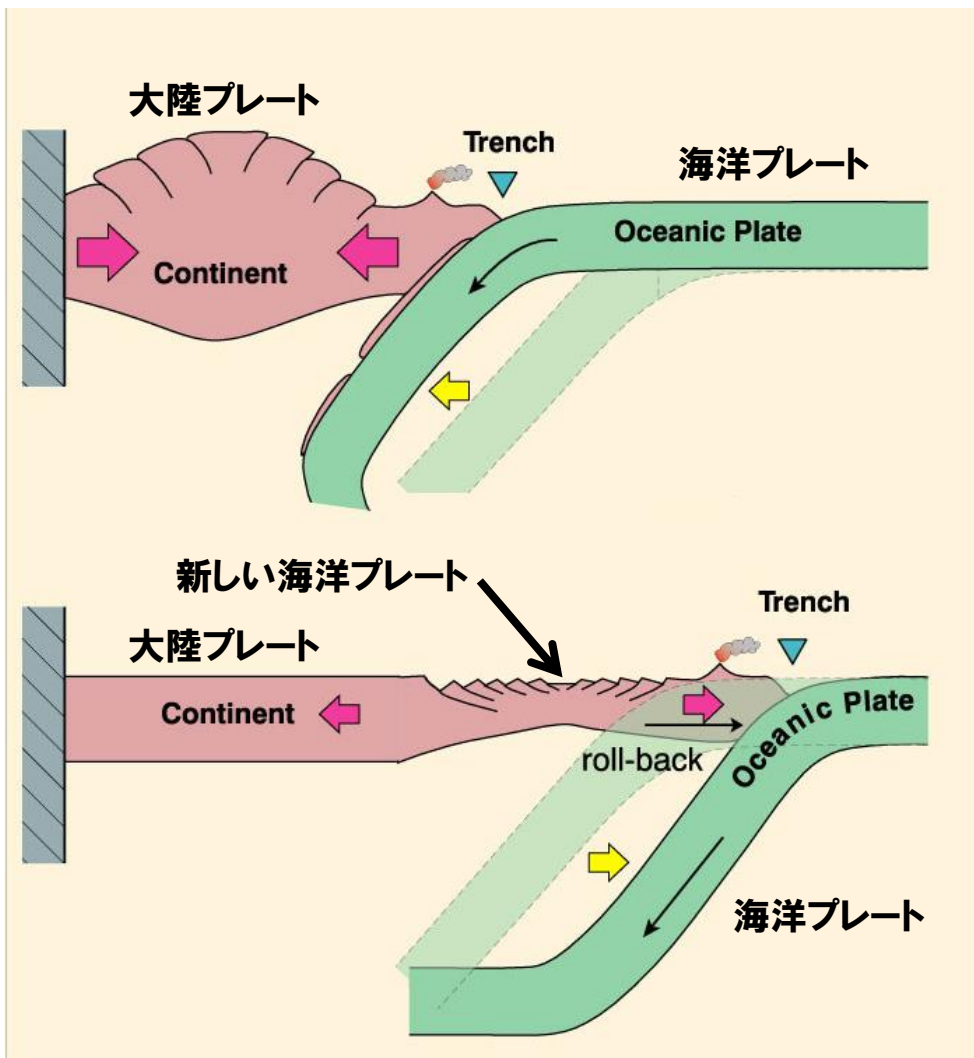


約2500万年前、大陸の縁でリフティング(分裂)が始まった。

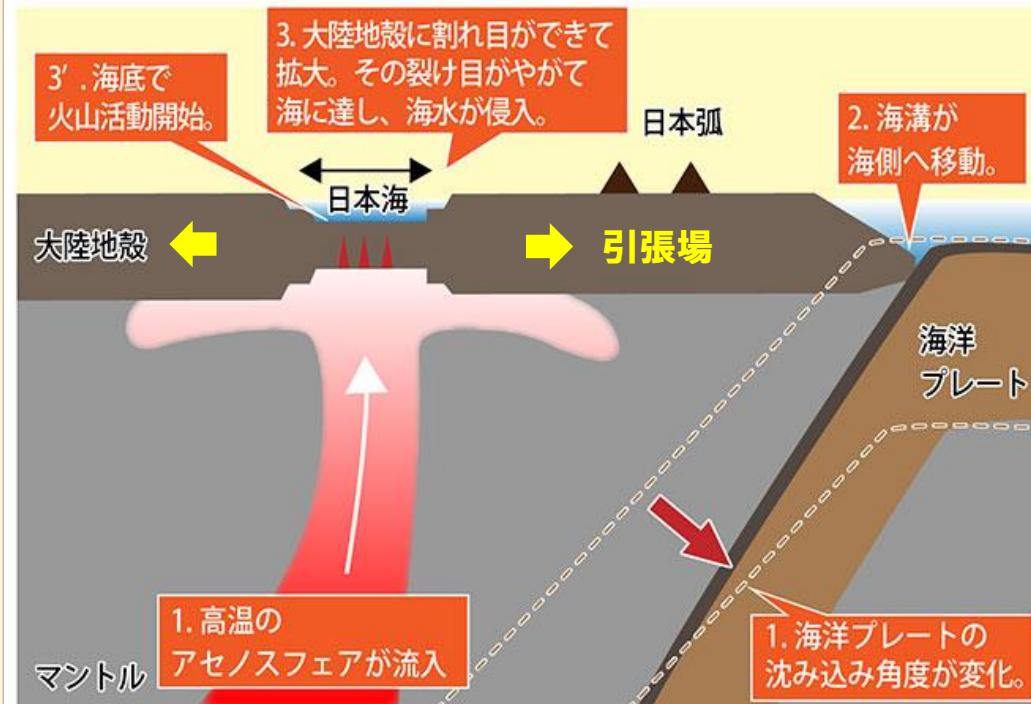


約1500万年前、東北日本は反時計回りに、西南日本は時計回りに回転した。

日本列島の形成



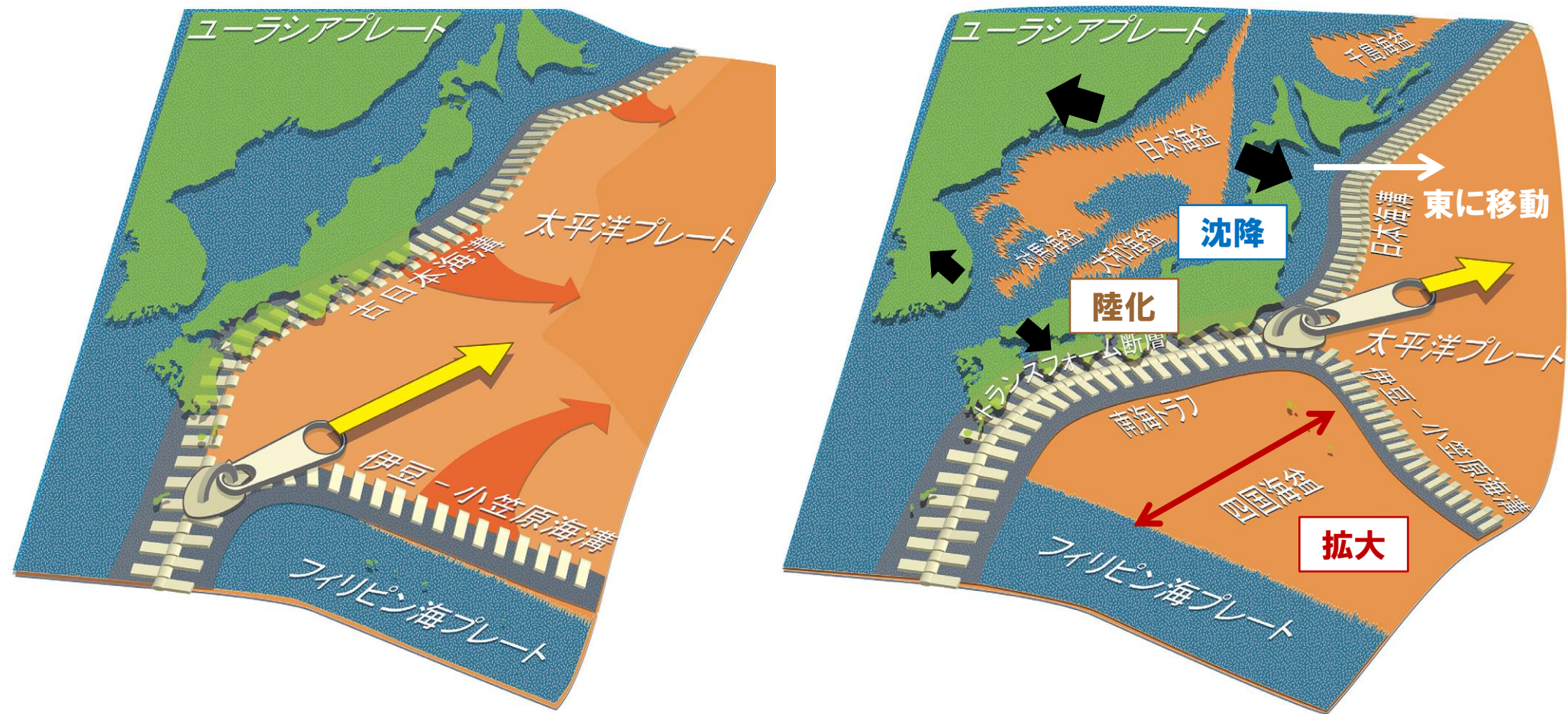
収束境界における背弧拡大(新たな海洋プレートの形成)



日本列島の形成
(海洋研究開発機構HPより)

日本海の拡大に伴い高温のマントルが上昇し、海底で火山活動が始まる。

日本列島の形成



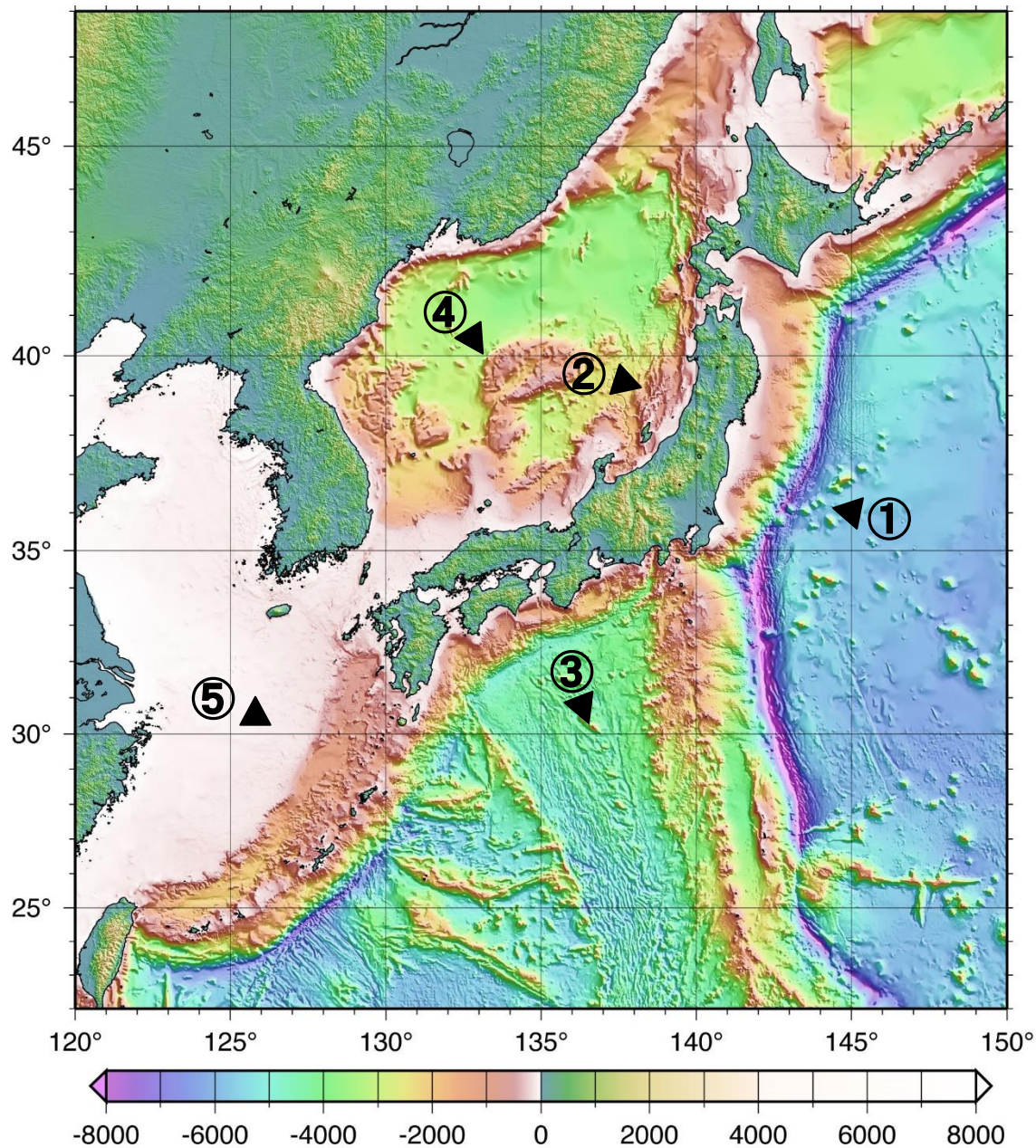
日本海拡大と同時にフィリピン海プレートの一部が拡大して現在の四国海盆ができた。

東北日本の下には太平洋プレートが、西南日本にはフィリピン海プレート(四国海盆)が沈み込むことになった。

日本海拡大に関するジッパーモデル(高橋, 2017)

- ① 東北日本と西南日本の分裂
- ② **海底地形からみたプレートテクトニクス**
- ③ 東北日本と西南日本のスラブ(沈み込むプレート)
- ④ 深部流体とは何か？
- ⑤ 深部流体の発生・移動を捉える

日本列島周辺の海底地形



① 海洋プレートの沈み込み

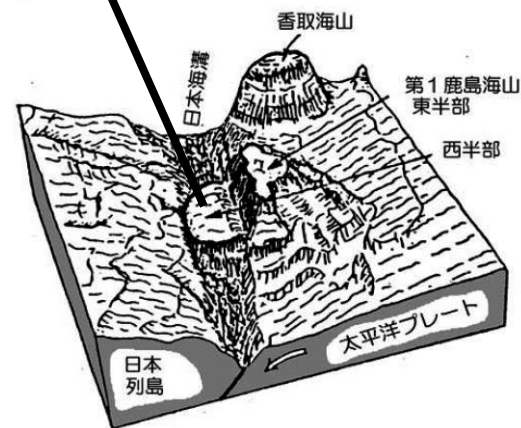
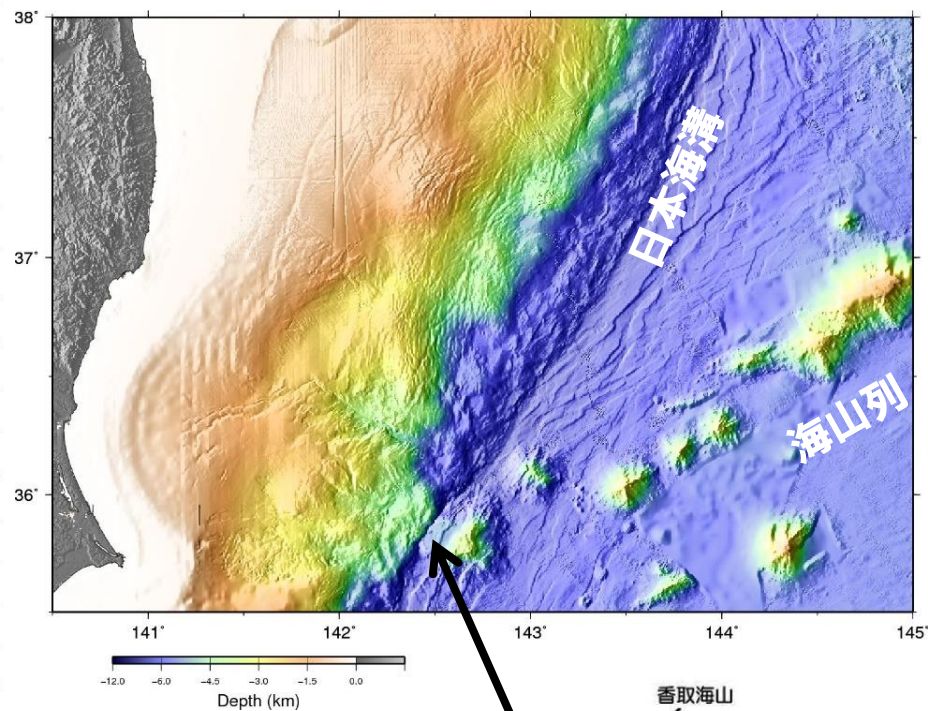
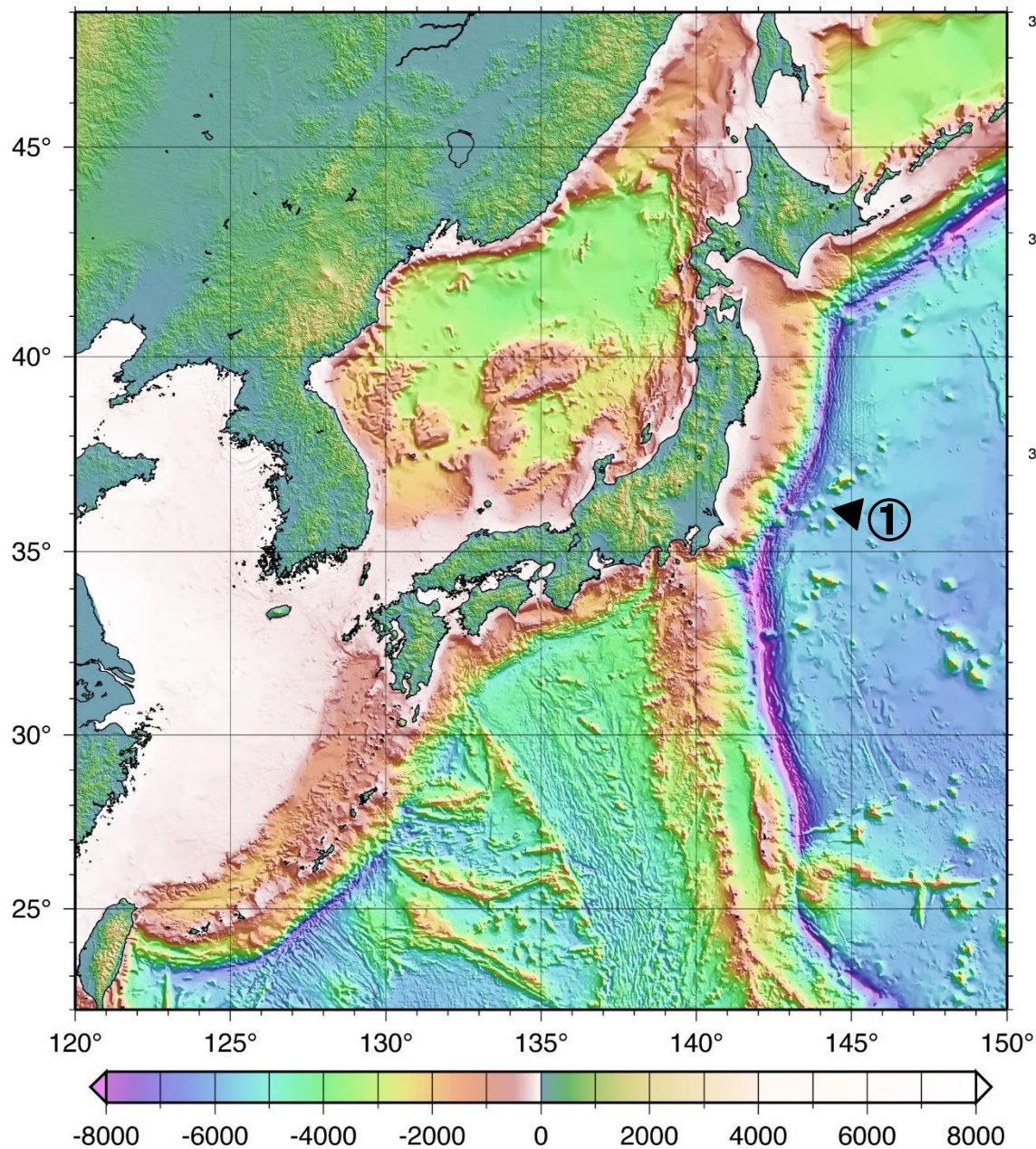
② 大陸プレート同士の衝突

③ 四国海盆(背弧海盆)の拡大

④ 引き延ばされた大陸地殻の破片

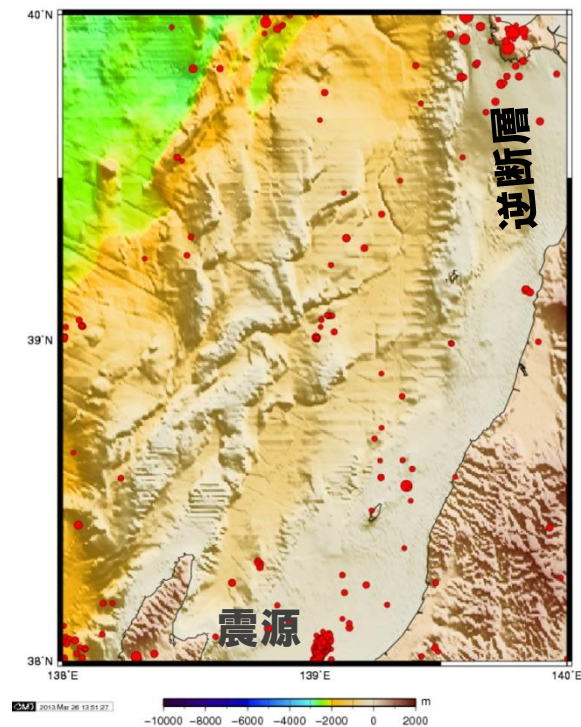
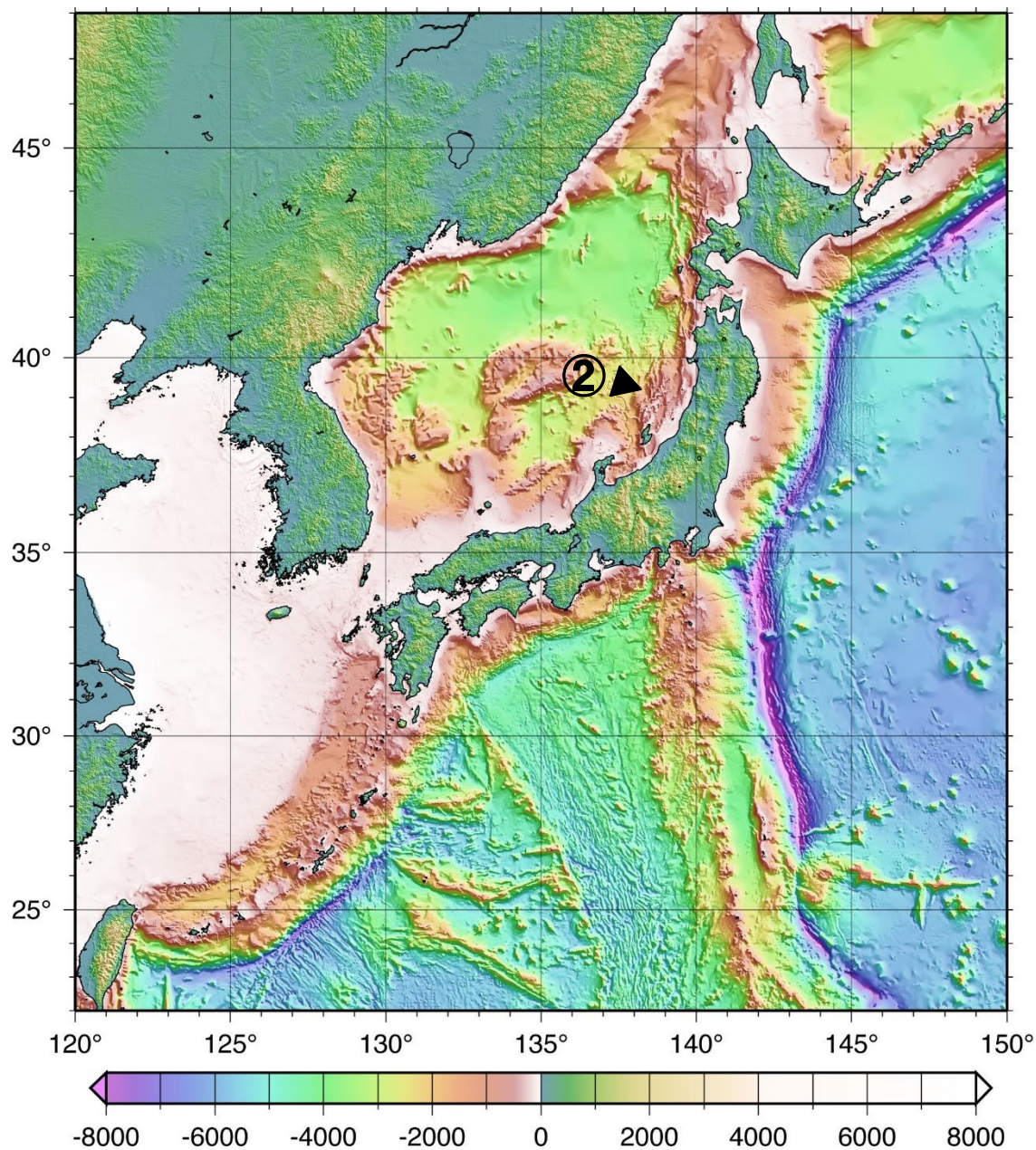
⑤ 大陸棚(氷期の平野部)

日本列島周辺の海底地形

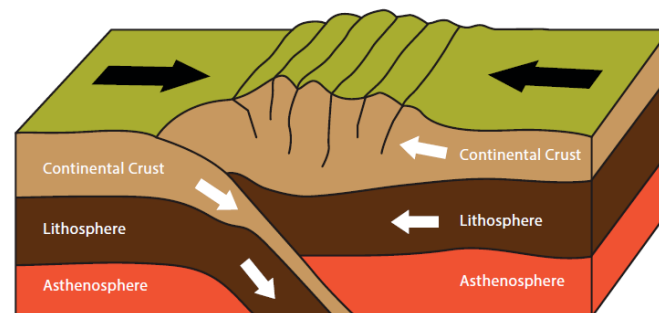


比高約3,000mの第1鹿島海山は太平洋プレートの沈み込みに伴って、海溝軸のところで2つに割れ、西半分が先に海溝にずり込んでいる。

日本列島周辺の海底地形



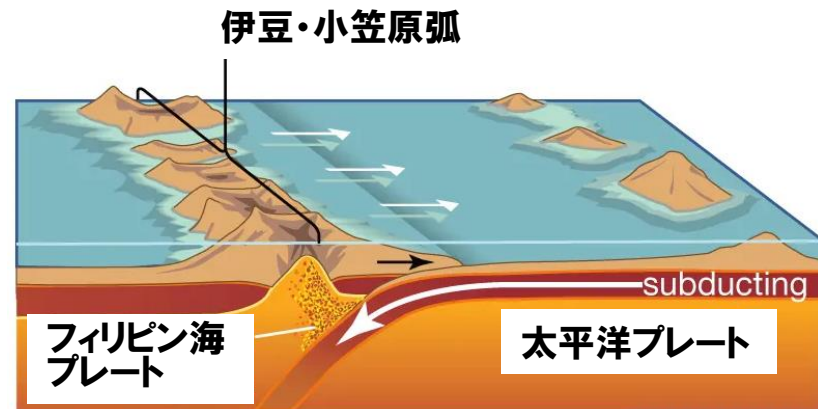
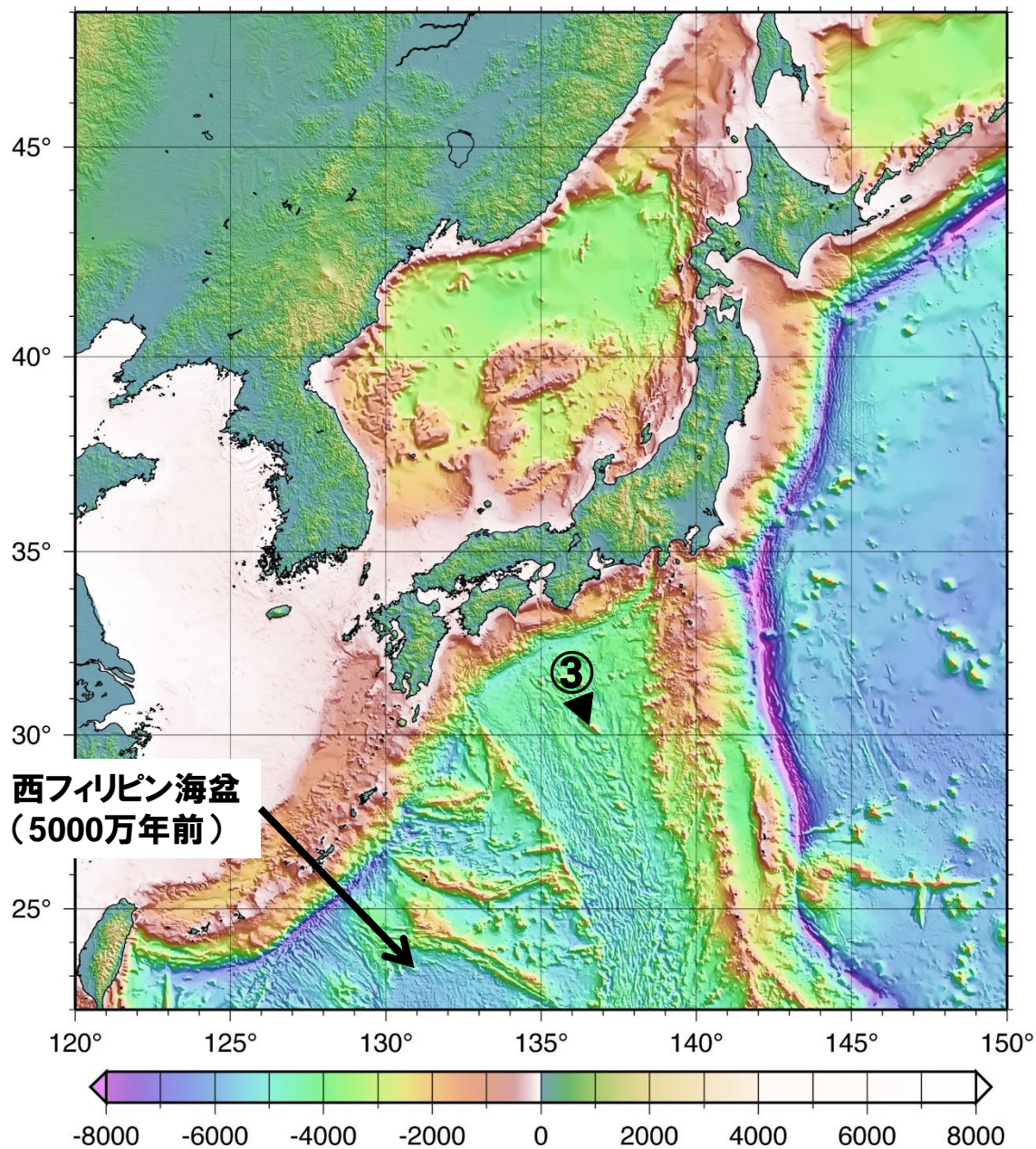
日本海東縁変動帯と震源分布



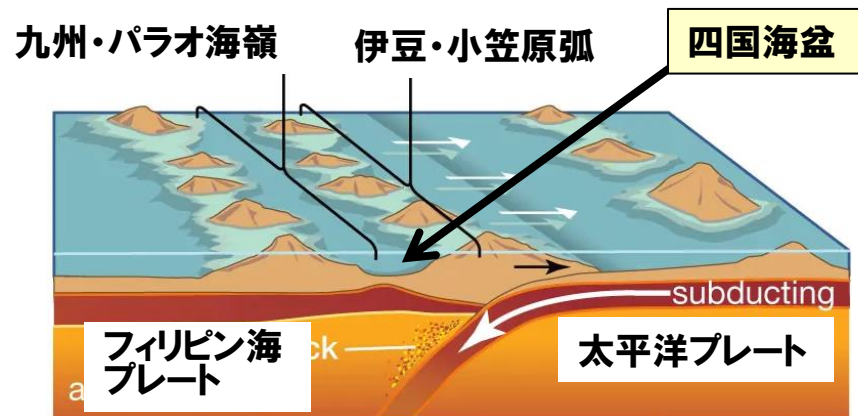
大陸プレートと大陸プレートの衝突

日本海東縁変動帯は北米プレートとユーラシアプレートの衝突によって形成

日本列島周辺の海底地形



四国海盆(背弧海盆)の拡大前

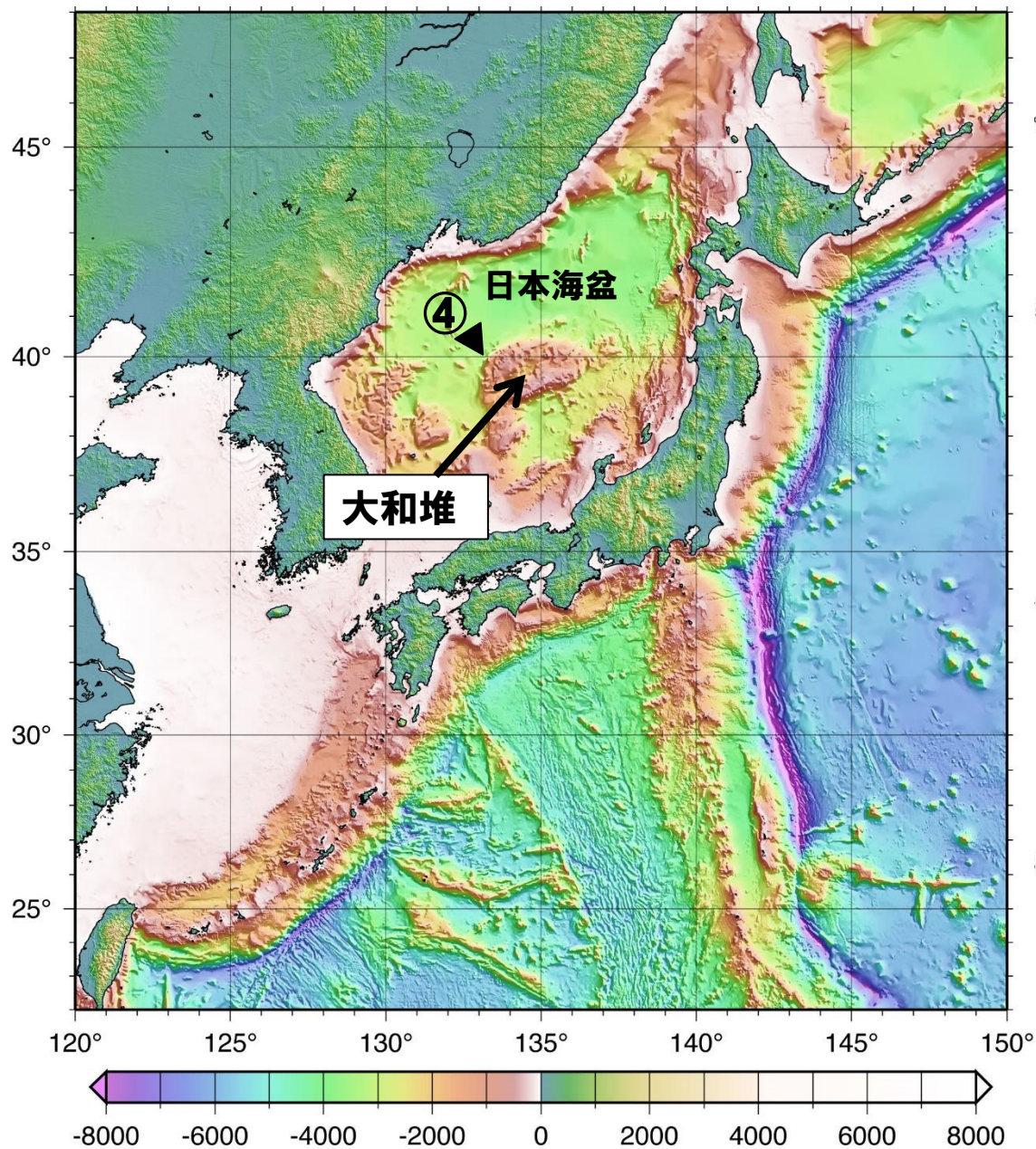


四国海盆(背弧海盆)の拡大後

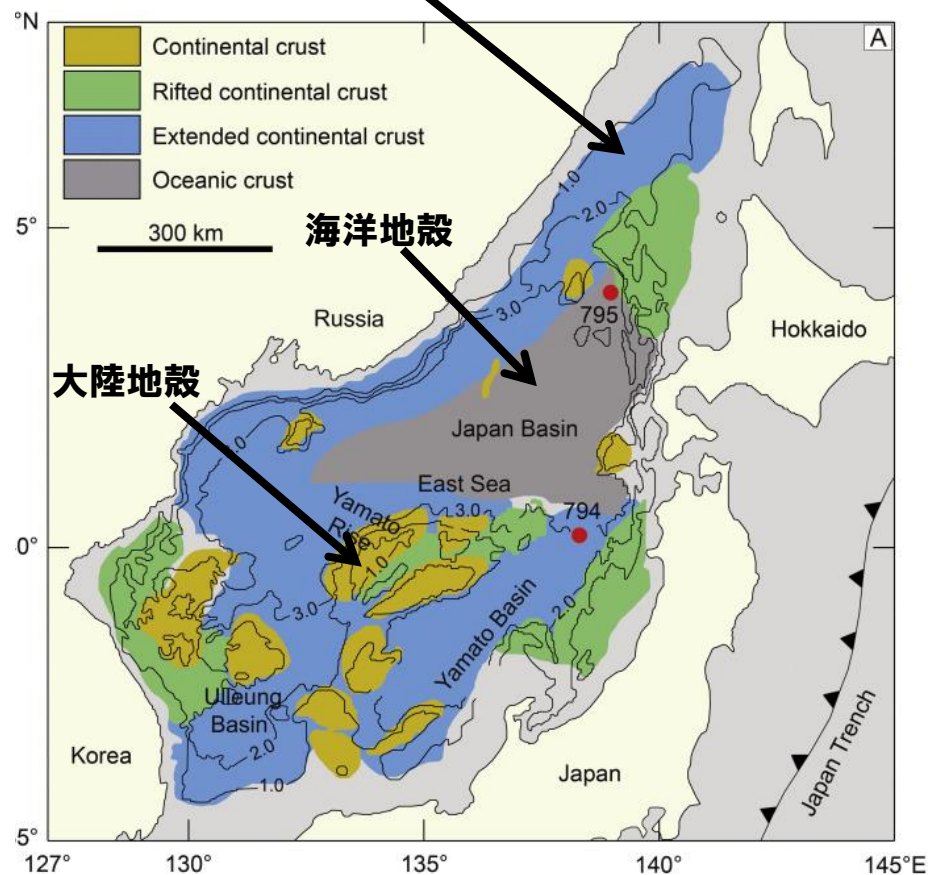
四国海盆は2500～1500万年前にフィリピン海プレートの一部に新しくできた海洋プレート

☞ 以降の話は四国海盆が沈み込んでいる場所を西南日本と呼ぶ

日本列島周辺の海底地形



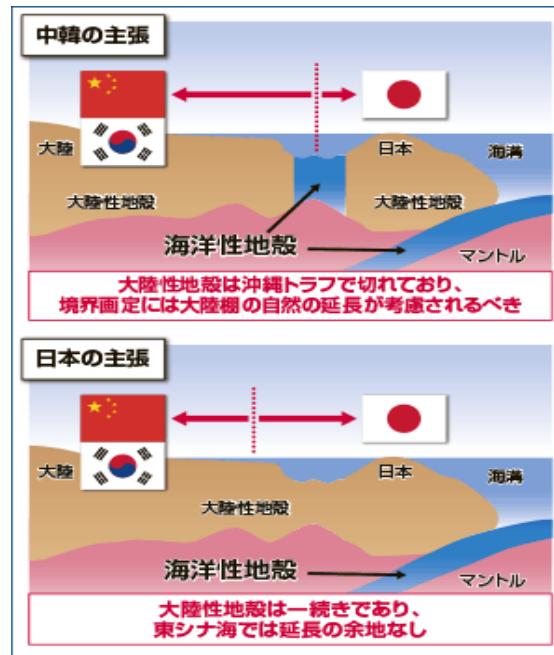
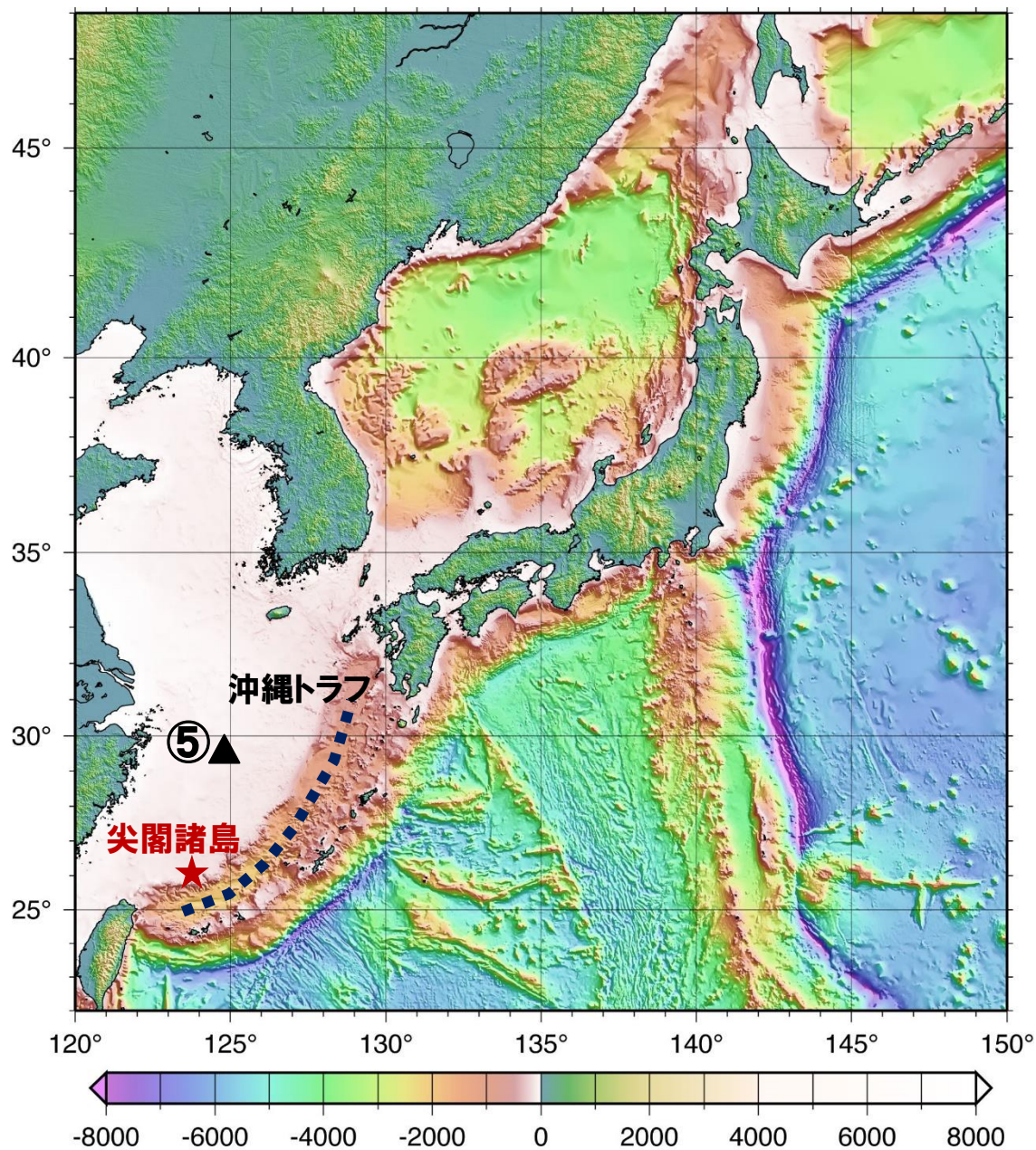
大陸地殻が引き延ばされたもの



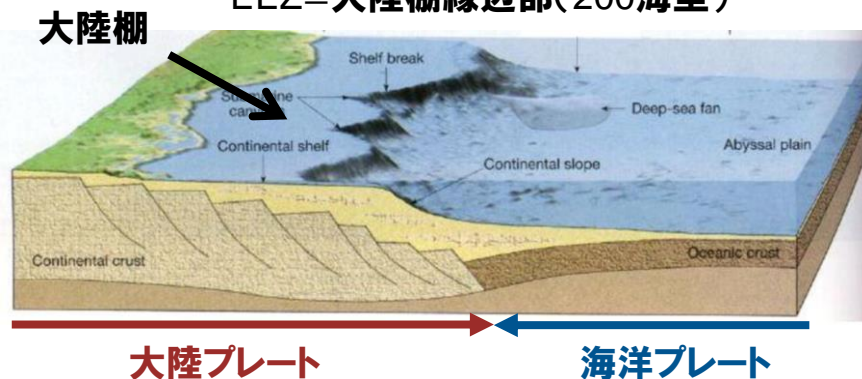
日本海の海底地質(Yoon et al., 2014)

大和堆は日本海が拡大した際に取り残された大陸地殻の破片。日本海盆はは2000～1500万年前にユーラシアプレートの一部に新しくできた海洋地殻

日本列島周辺の海底地形



排他的経済水域(EEZ)に関する主張
EEZ ≈ 大陸棚縁辺部(200海里)



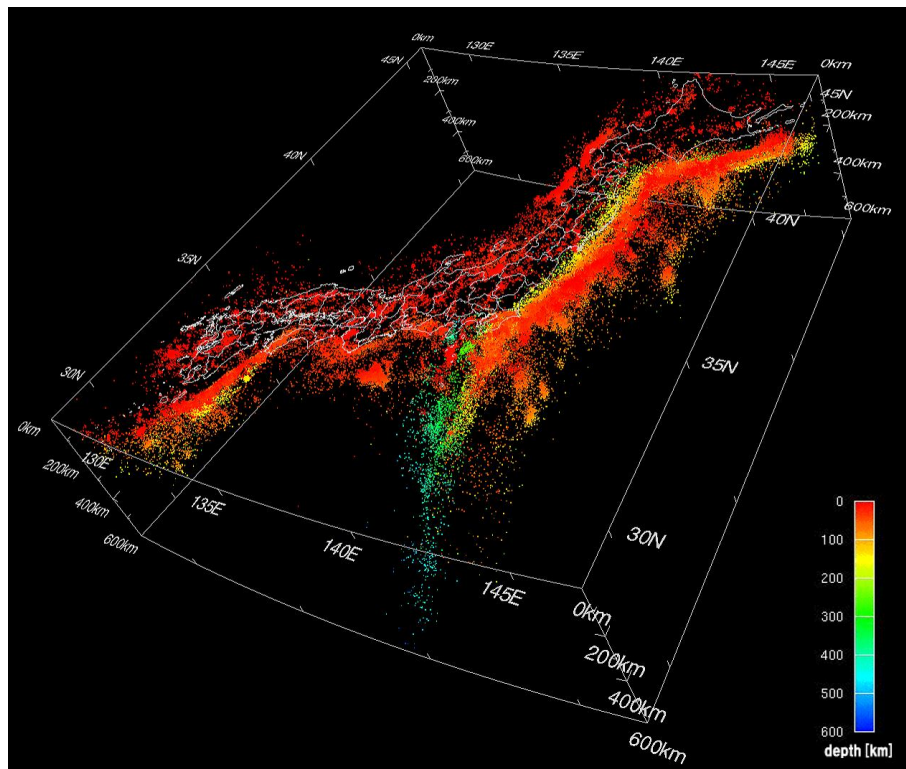
大陸縁辺部のイメージ

大陸棚は海面が現在よりも百数十m低かった水期の海水準変動期に堆積平野として形成

本日の講演内容

- ① 東北日本と西南日本の分裂
- ② 海底地形からみたプレートテクトニクス
- ③ 東北日本と西南日本のスラブ(沈み込むプレート)**
- ④ 深部流体とは何か？
- ⑤ 深部流体の発生・移動を捉える

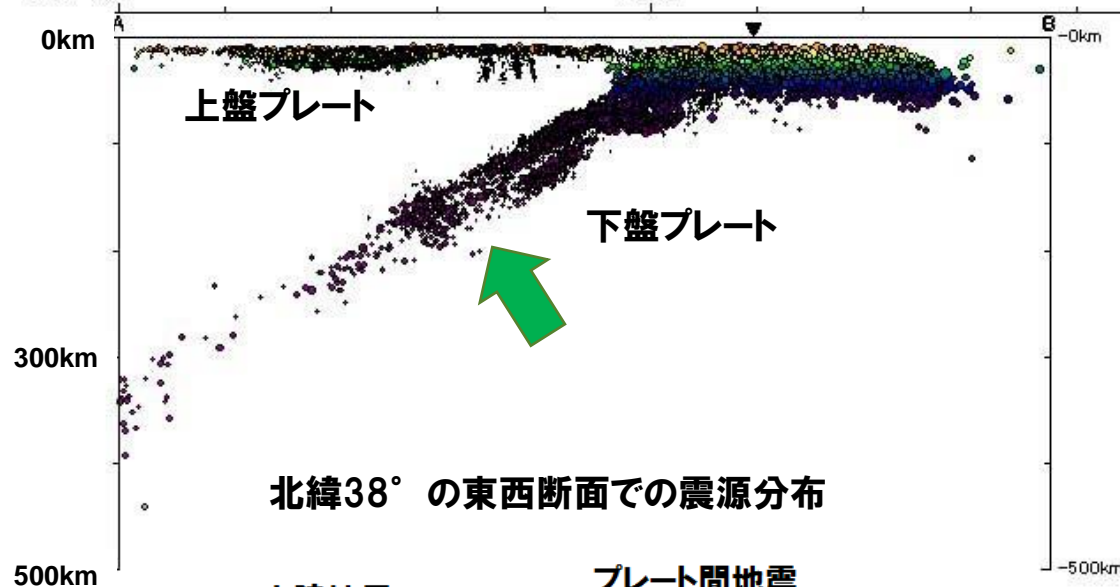
日本列島周辺の震源分布



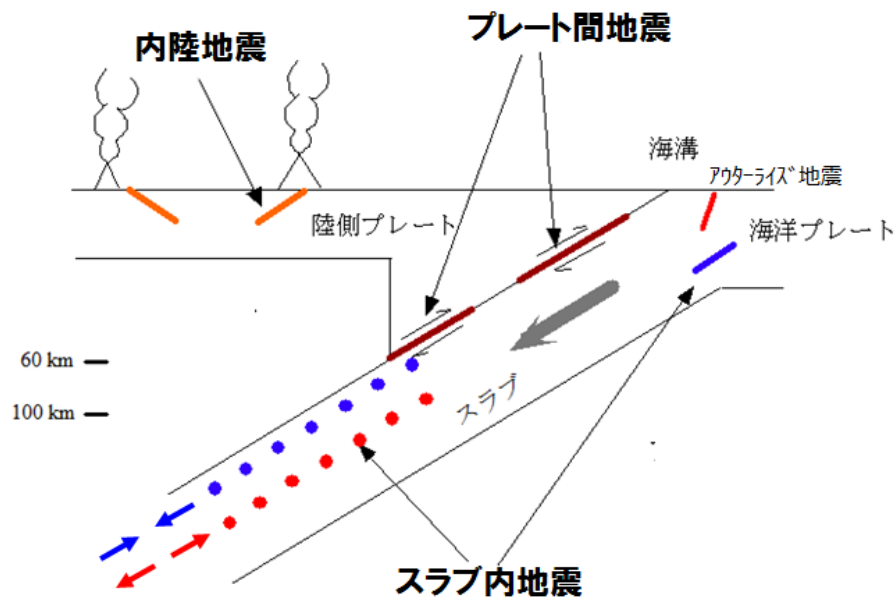
日本列島周辺の地震の3次元分布

<https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/ThreeJS/?LANG=ja>

Data Area: (38.480°, 136.031°)-(38.491°, 146.025°)-(37.509°, 146.028°)-(37.498°, 136.033°) 断面線: N89.9° E
 伏角: 0° km 500km

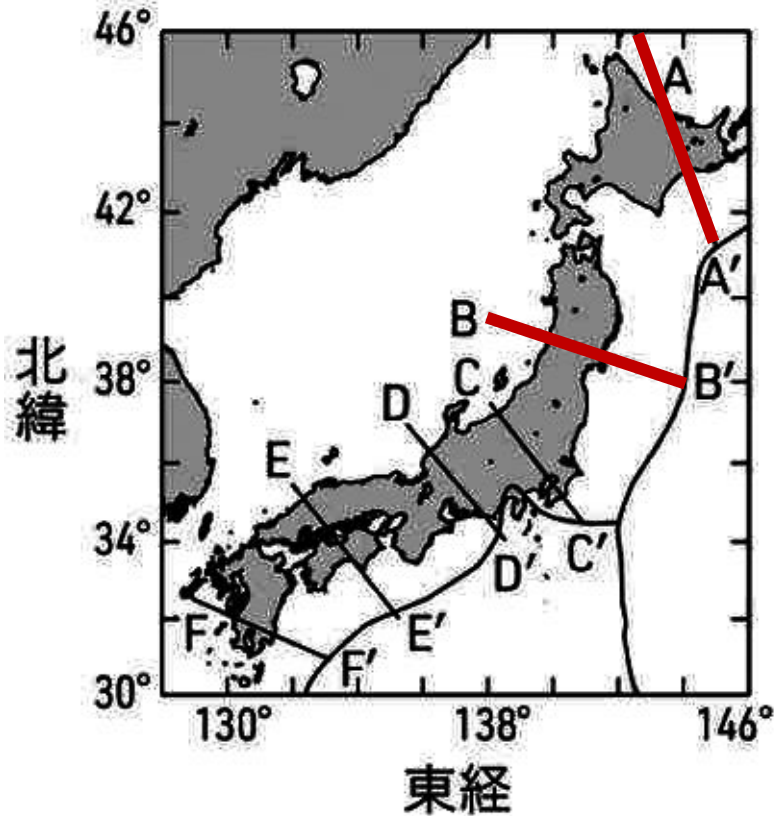


北緯38°の東西断面での震源分布

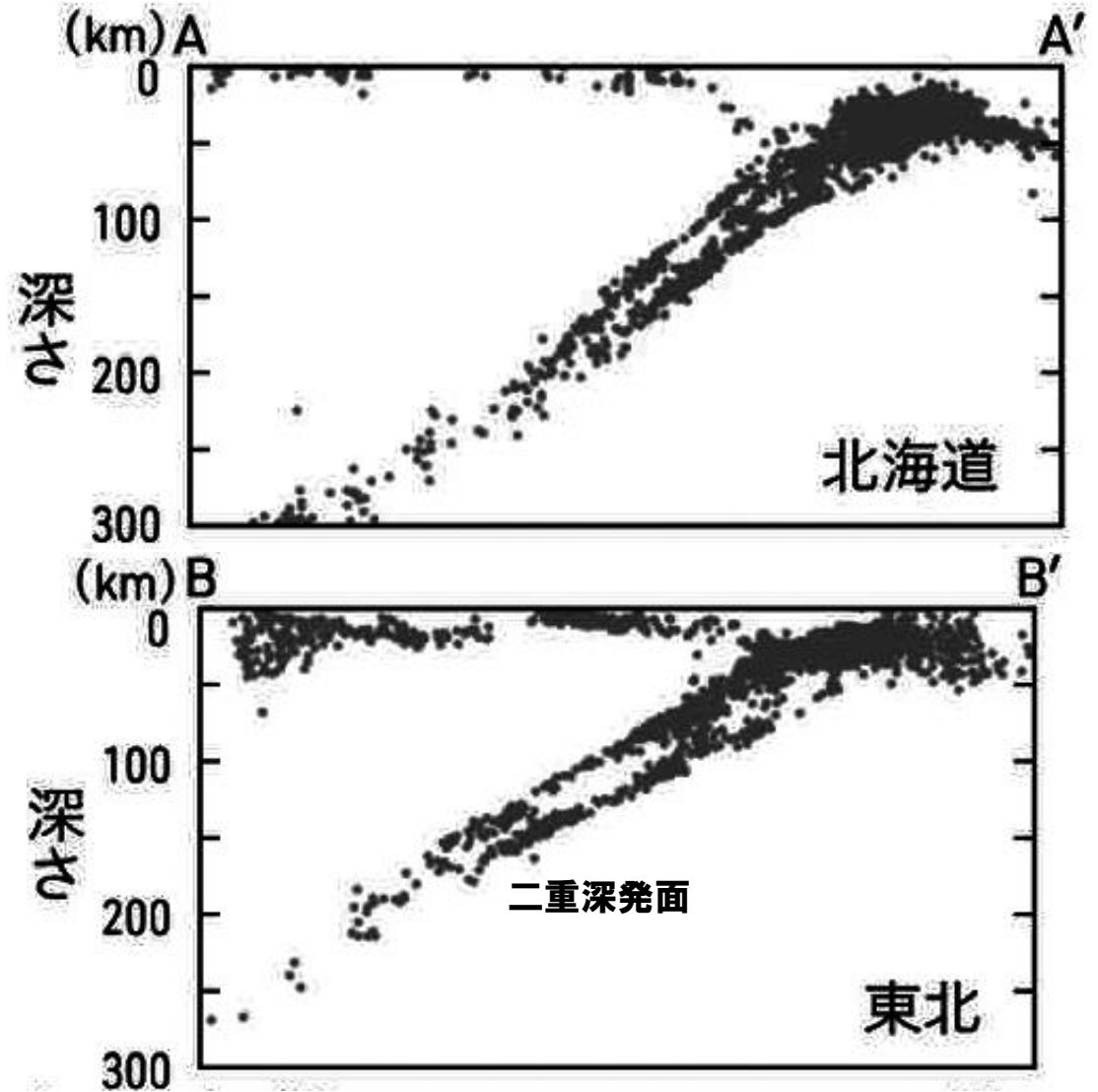


沈み込み帯で発生する地震のタイプ

東北日本のスラブ内地震

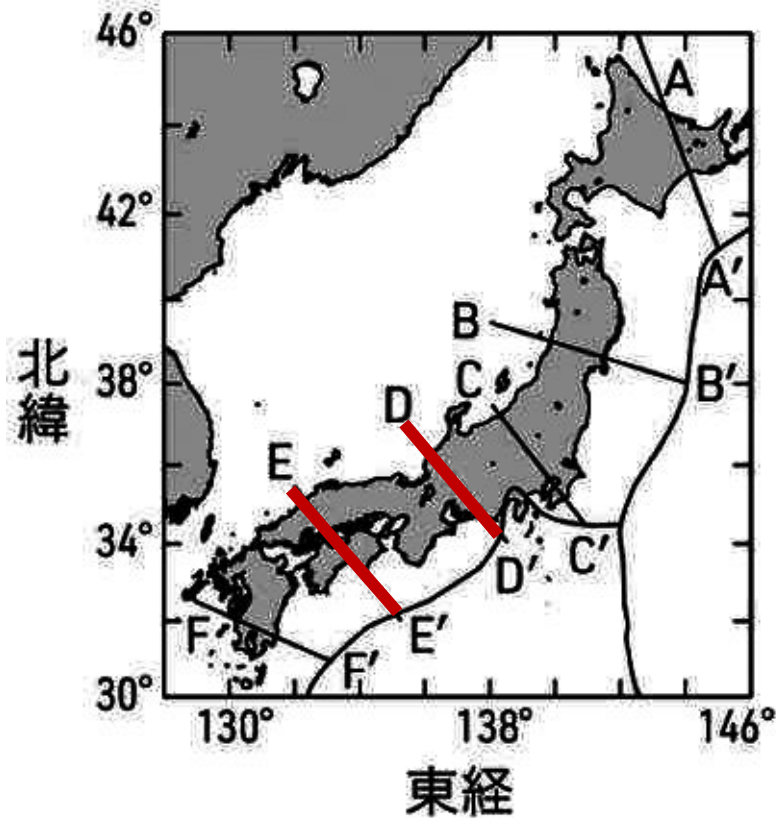


太平洋プレートのスラブ内地震は、深さ300km以上まで発生しており、地震面は30~40度の傾斜で大陸に向かって深くなっている。

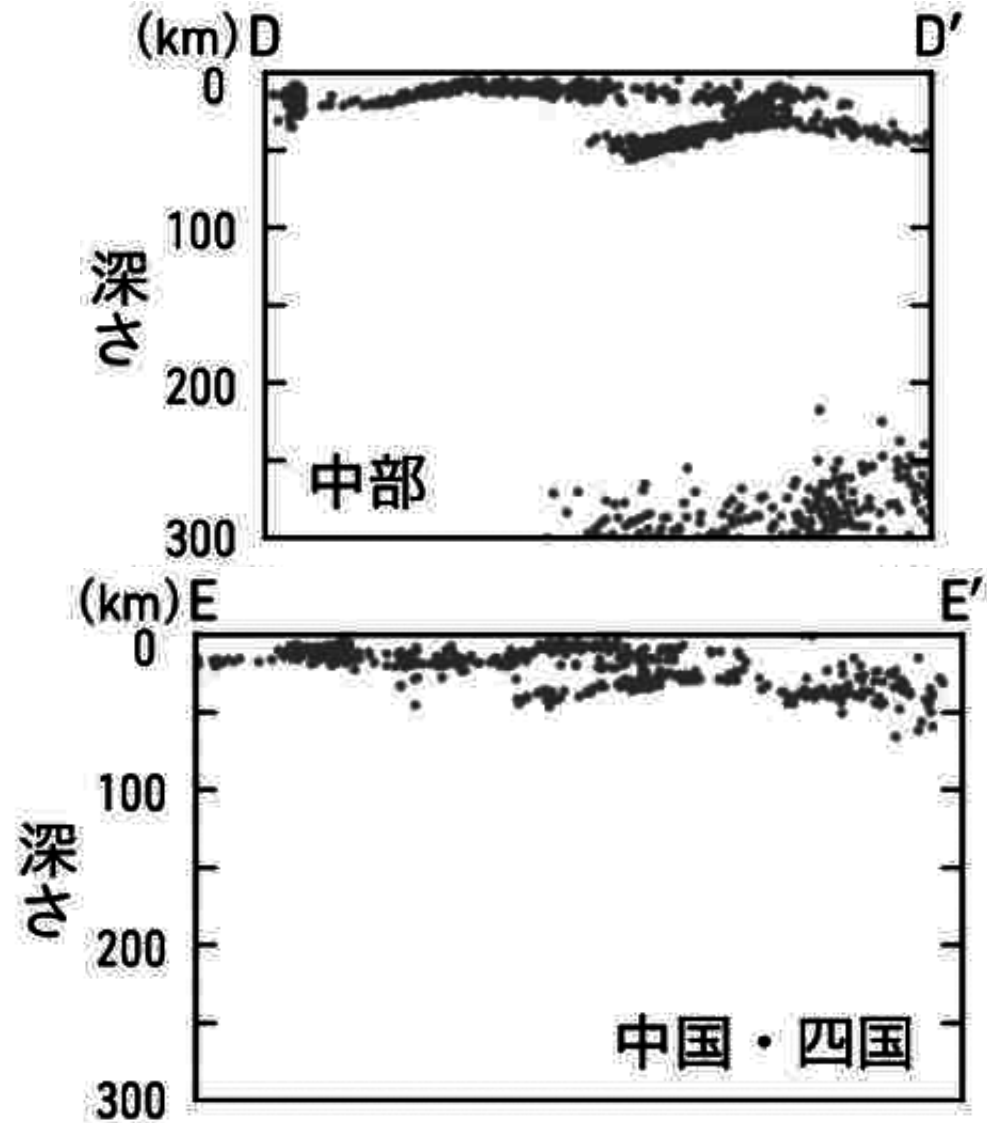


スラブ内地震の分布

西南日本のスラブ内地震

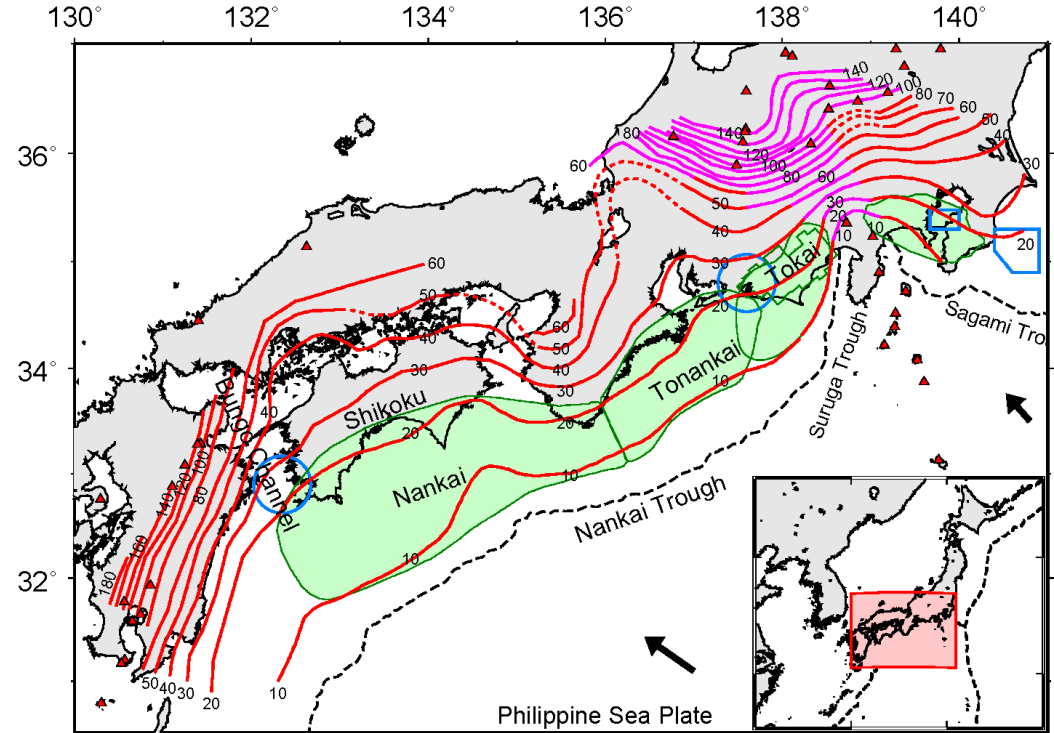
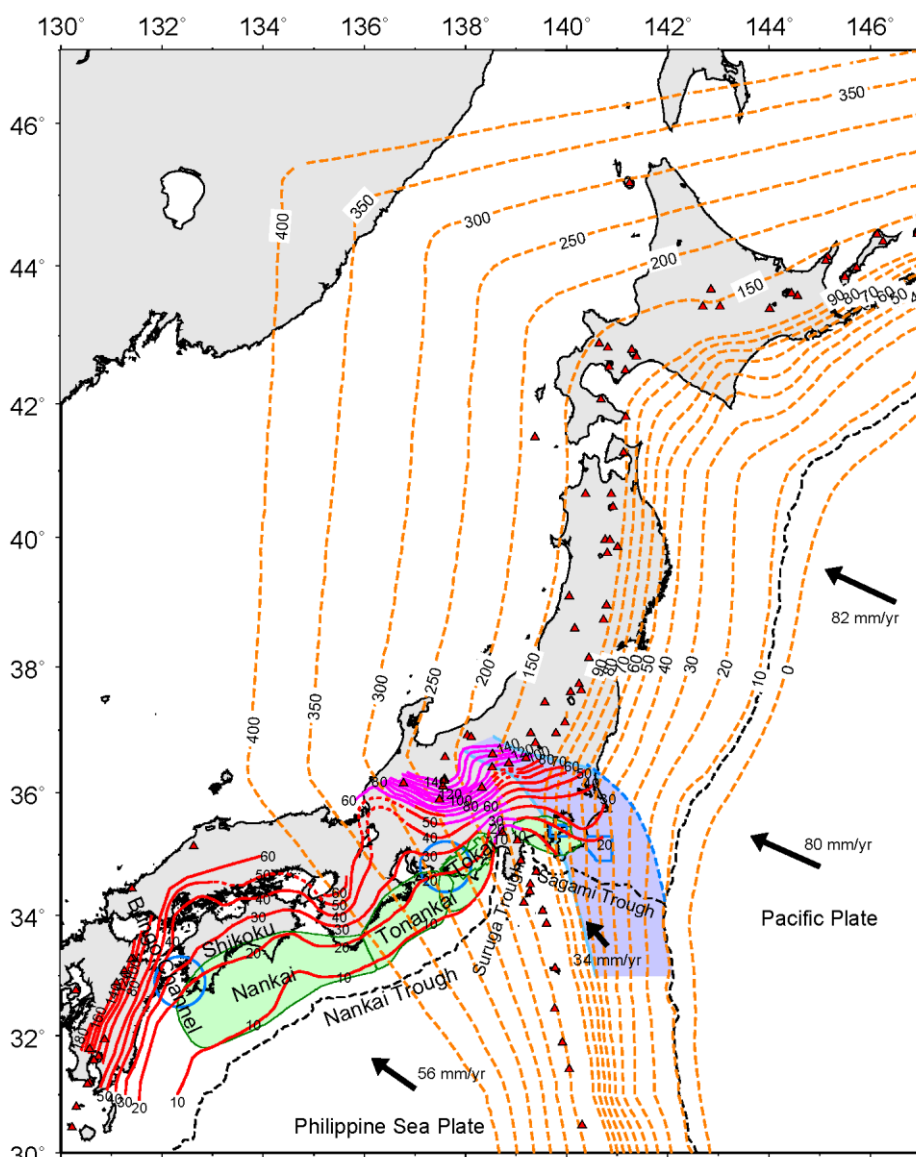


フィリピン海プレートのスラブ内地震の発生は、深さ60km以浅に限られ、地震面の傾斜は10~15度と緩くなっている。



スラブ内地震の分布

東北日本, 西南日本に沈み込むスラブの形状



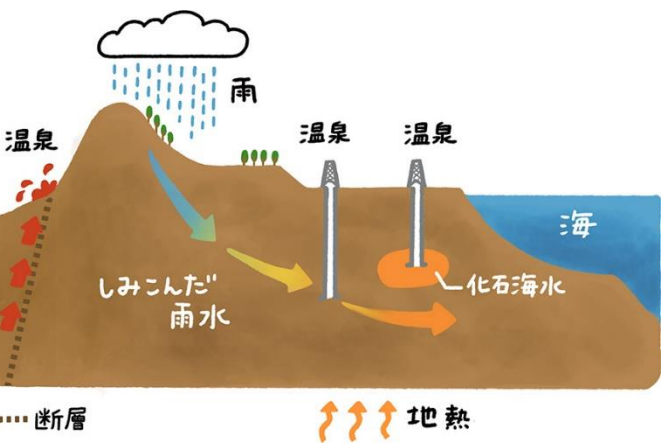
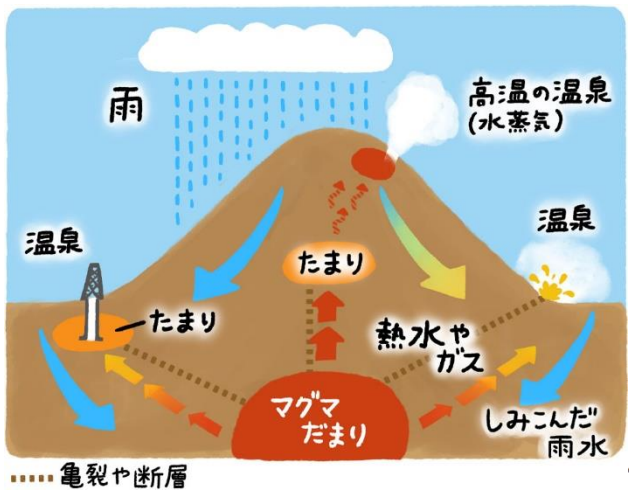
- ✓ 太平洋スラブは深さ100km付近から傾斜がやや緩くなり、深さ400kmまで達している。
- ✓ フィリピン海スラブは湾曲しながら沈み込み、深さ50~60kmまでしか達していない。
- ⇒ 非震性スラブとして山陰地方まで達しているという説もある。

地震の分布, 地震波速度構造から推定した日本列島下に沈み込むスラブ(海洋プレート)の形状(等深度線図)

<https://www.mri-jma.go.jp/Dep/sei/fhirose/plate/index.html>

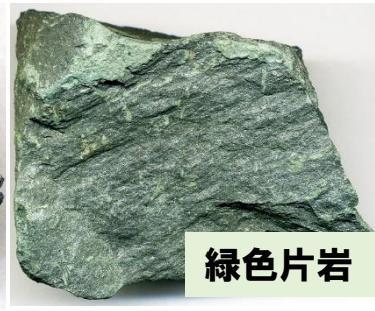
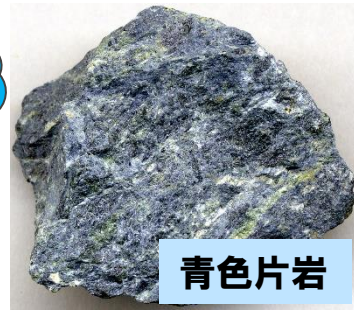
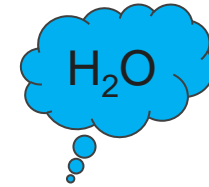
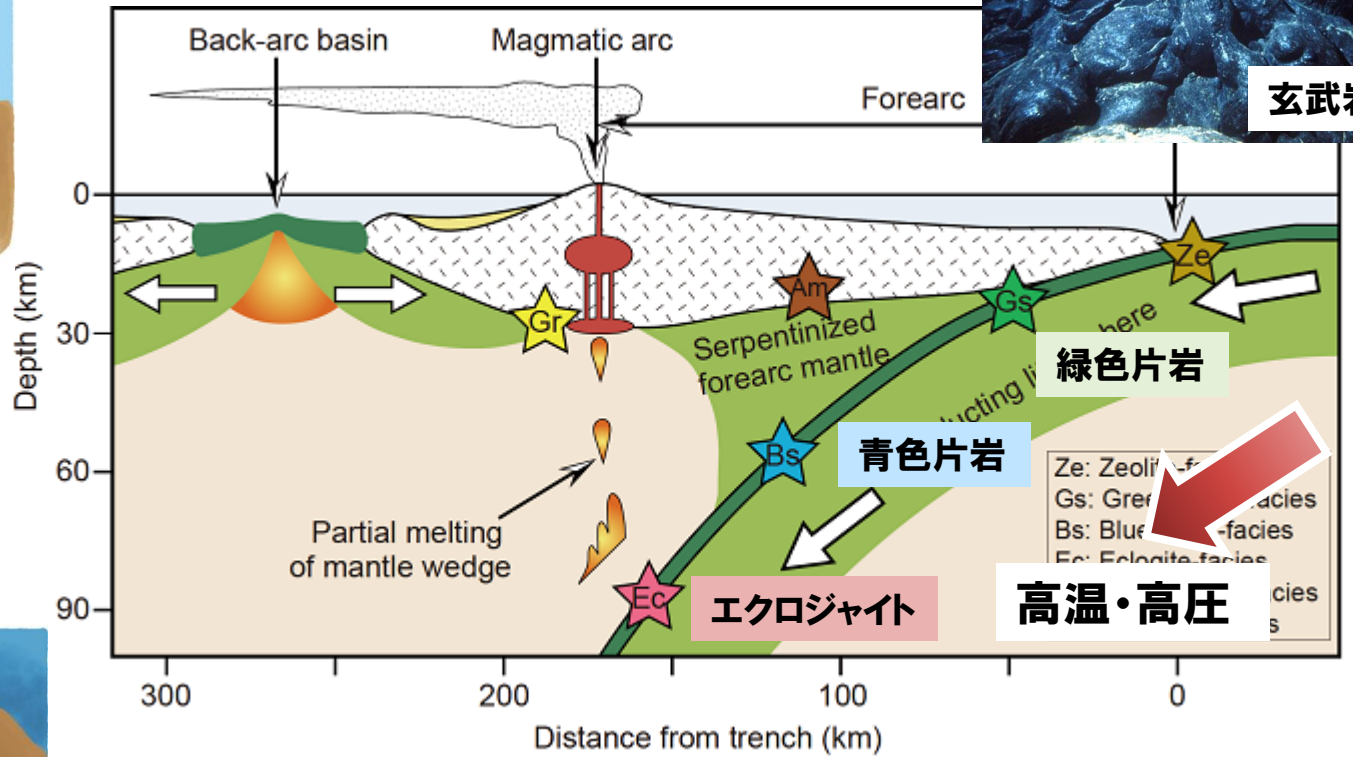
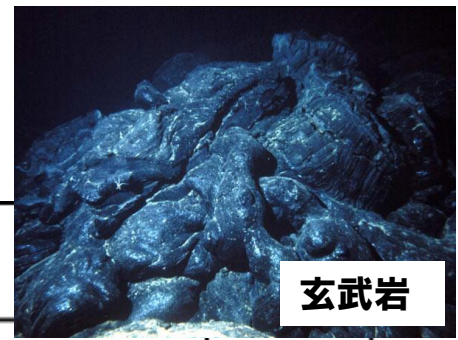
- ① 東北日本と西南日本の分裂
- ② 海底地形からみたプレートテクトニクス
- ③ 東北日本と西南日本のスラブ(沈み込むプレート)
- ④ 深部流体とは何か？**
- ⑤ 深部流体の発生・移動を捉える

深部流体とは何か？



火山性・非火山性温泉の成因(本田技研HP)

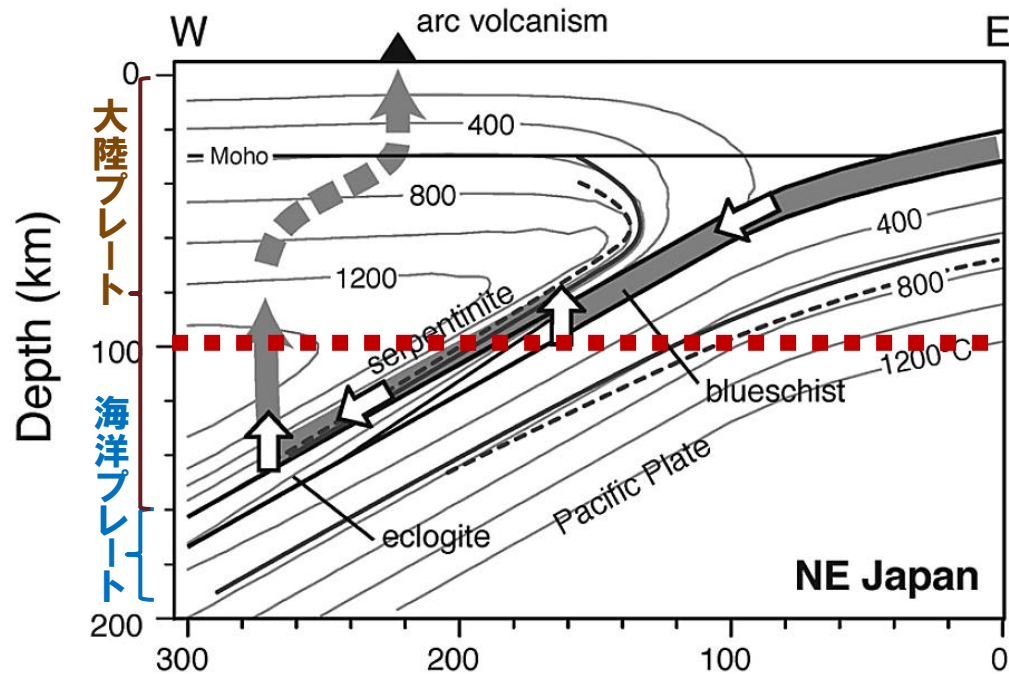
含水鉱物
⇒ 水酸基(OH)含む鉱物



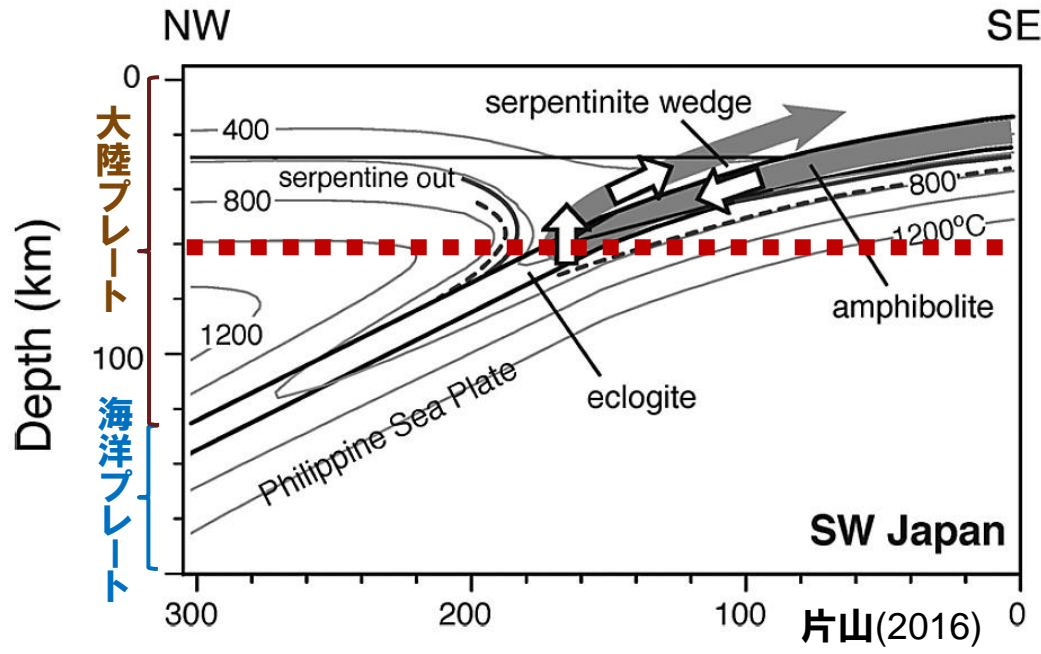
スラブからの脱水と深部流体の移動(東北日本 vs 西南日本)

プレート速度(10cm/y.) > 流体上昇速度(7cm/y.)

プレート速度(4cm/y.) < 流体上昇速度(7cm/y.)



東北日本の沈み込み帯の温度構造



西南日本の沈み込み帯の温度構造

古くて冷たい太平洋プレートが沈み込む

若くて温かいフィリピン海プレートが沈み込む

脱水した流体はマンテル対流によって深部まで移動

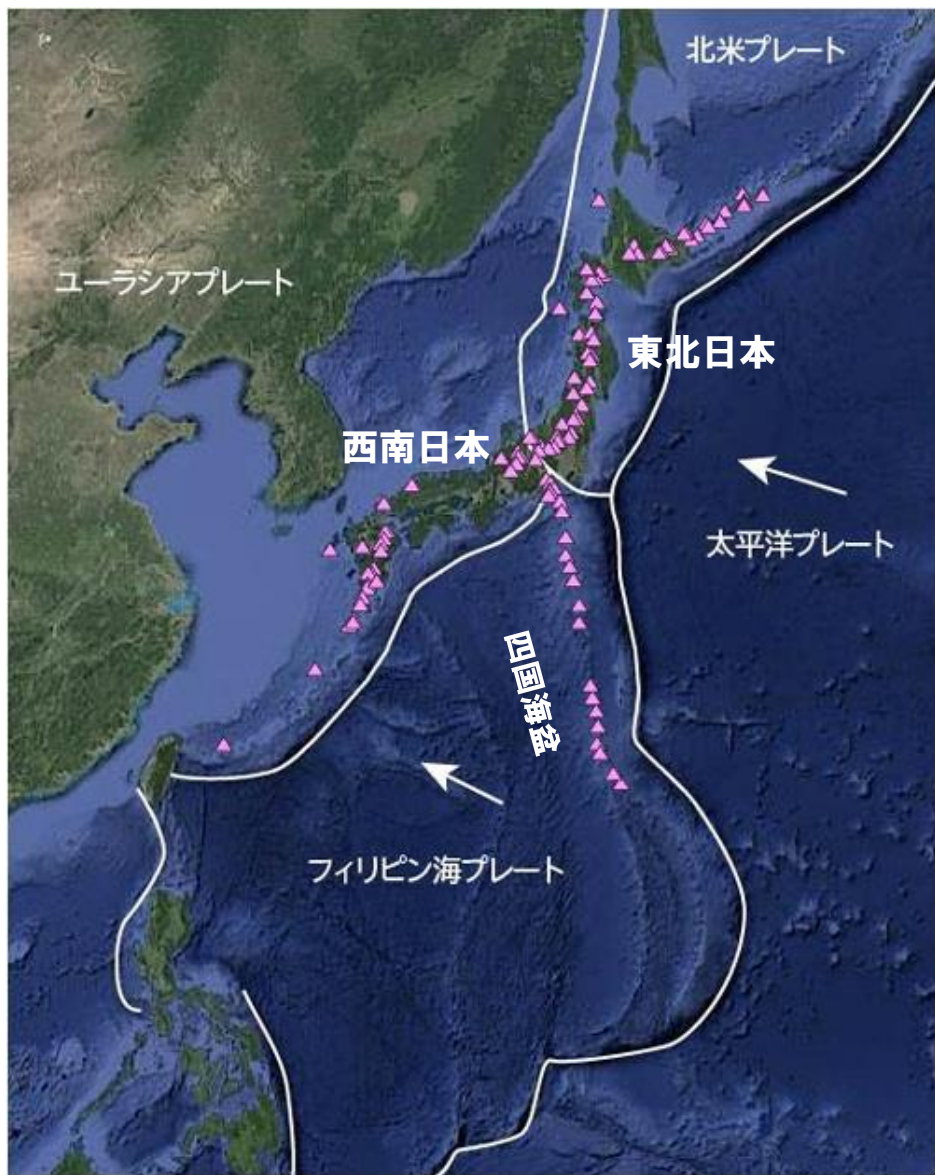
脱水した流体はプレート境界に沿って移動

☞ 脱水した水はマンテルの融点を下げマグマが発生

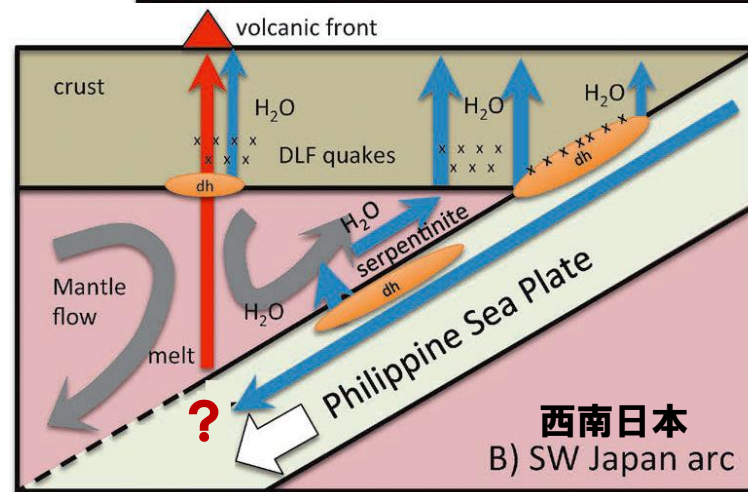
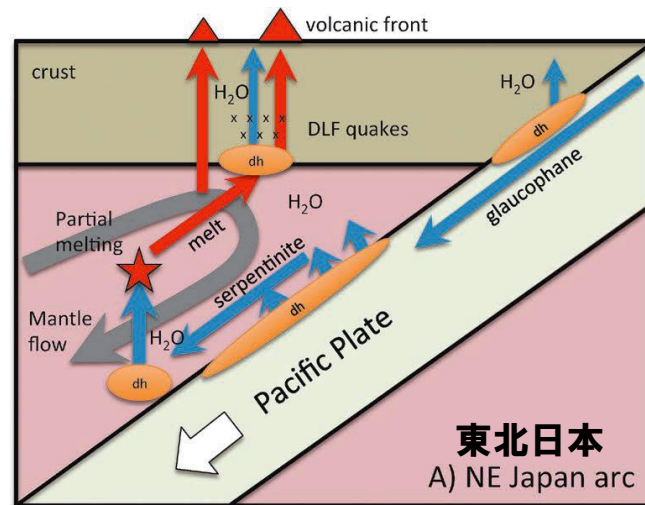
☞ 脱水した水は地殻浅所まで上昇

※深部に水が供給されないためマグマが発生しない

活火山と深部低周波地震(東北日本 vs 西南日本)



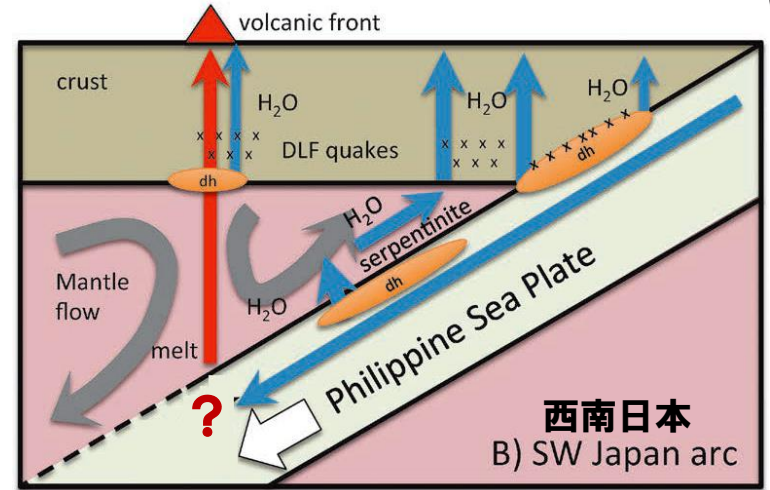
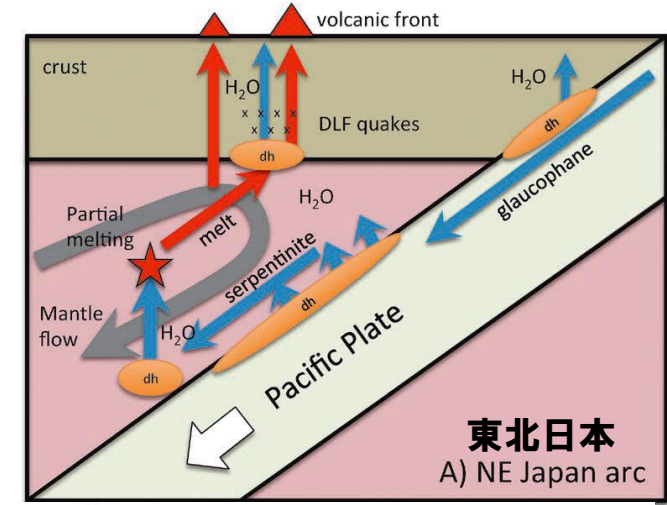
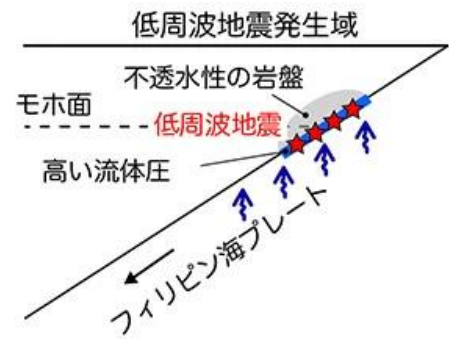
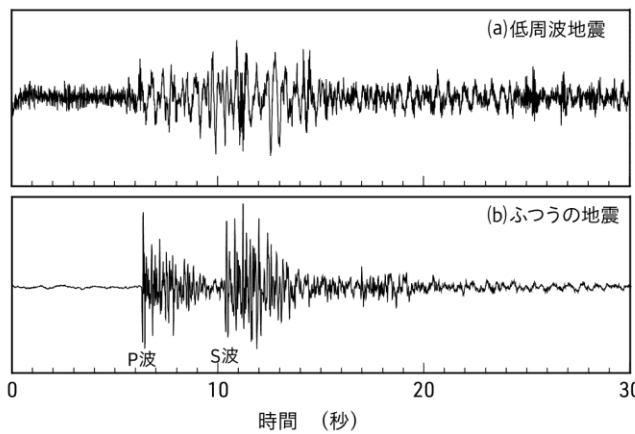
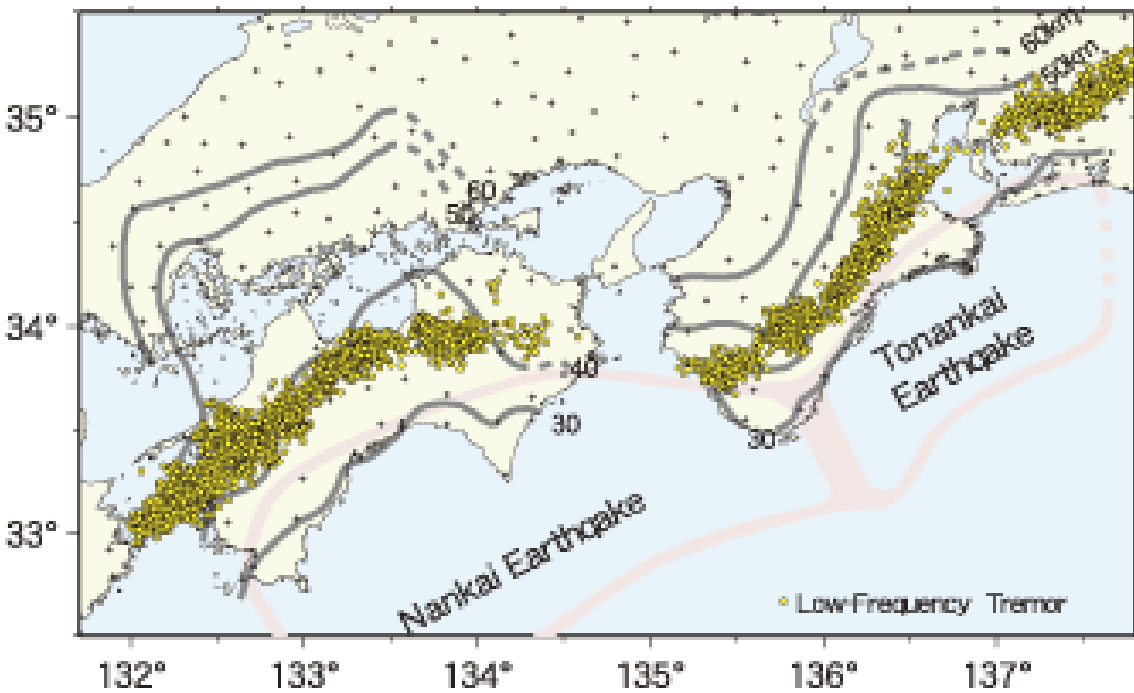
日本列島の活火山の分布とプレート境界



深部流体と地震活動, マグマ活動(風早ほか, 2014)

西南日本に比べて東北日本では活火山が多く分布し、火山活動が活発である。

活火山と深部低周波地震(東北日本 vs 西南日本)



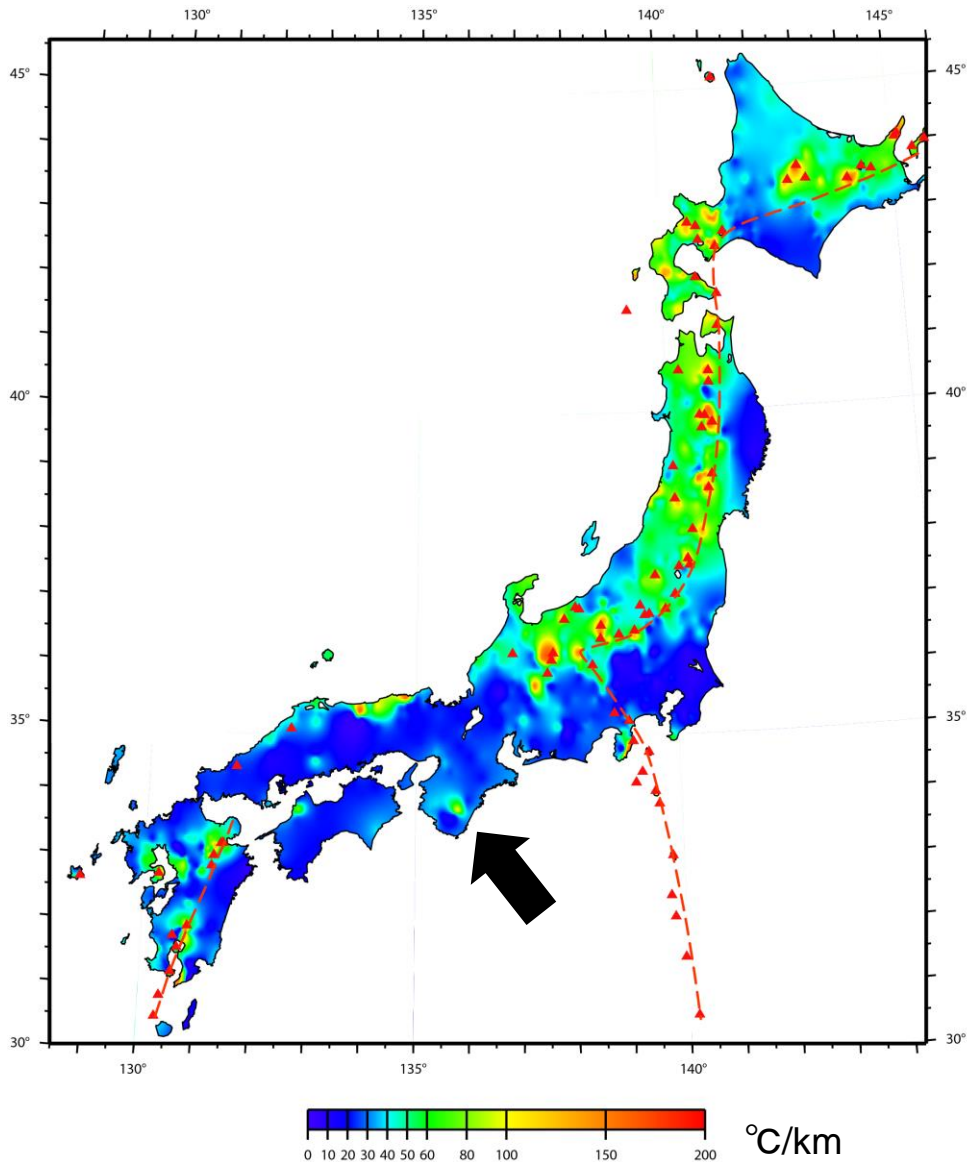
深部流体と地震活動, マグマ活動(風早ほか, 2014)

深部低周波地震の分布および発生のイメージ
Nakajima and Hasegawa (2016)

東北日本に比べて西南日本では深部低周波地震という
高い流体圧で発生する地震活動が活発である。

- ① 東北日本と西南日本の分裂
- ② 海底地形からみたプレートテクトニクス
- ③ 東北日本と西南日本のスラブ(沈み込むプレート)
- ④ 深部流体とは何か？
- ⑤ **深部流体の発生・移動を捉える**

紀伊半島の高温泉の謎



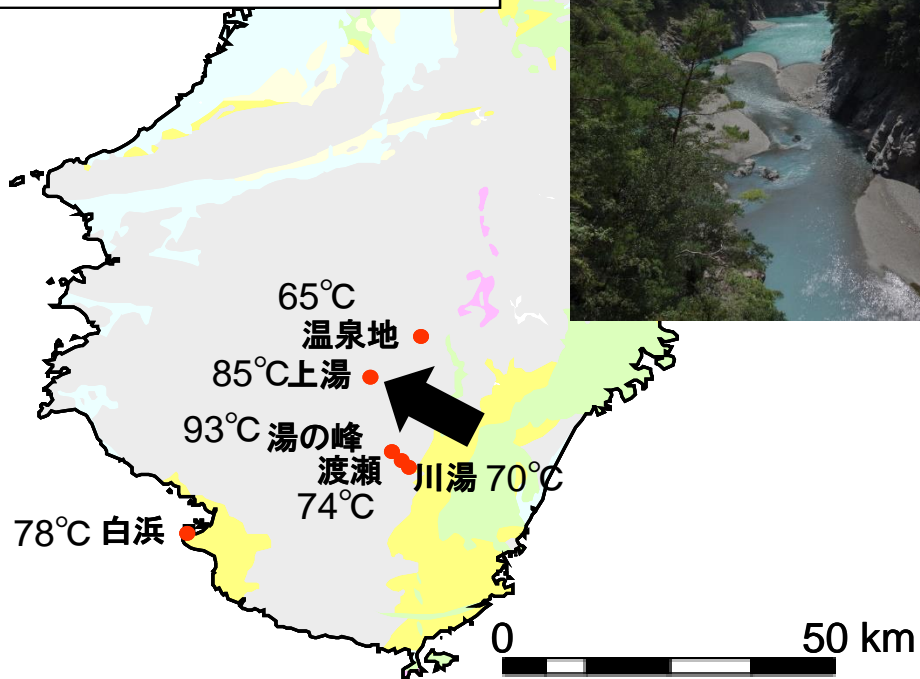
日本列島の地温勾配コンター図



湯の峰温泉(田辺市本宮町)

紀伊半島の高温泉の謎

- 完新統・上部更新統
- 新第三系堆積岩類
- 新第三系火山岩類
- 新第三系深成岩類
- 先新第三系



紀伊半島南部の地質と高温泉(泉温)



上湯温泉(85°C)

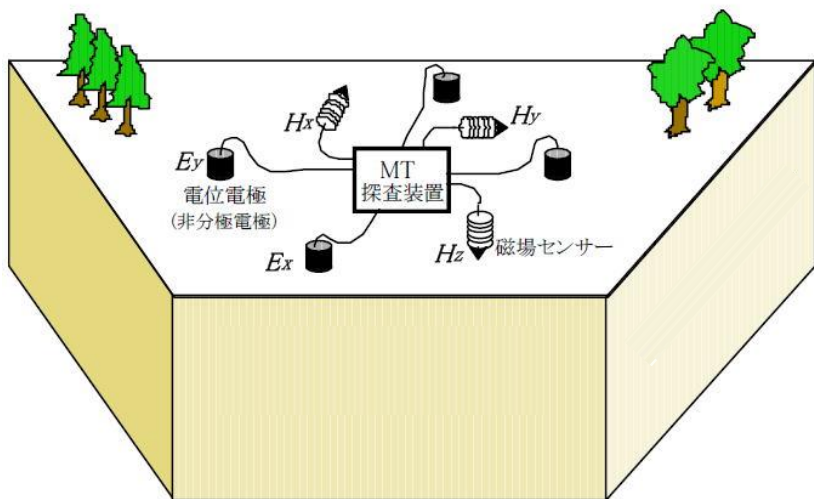
紀伊半島の温泉の熱源に係る研究レビュー

- ✓ 中新世の火成活動に伴う岩体の残熱(中村, 1962)。
- ✓ 断裂系から侵入した天水の広域熱源(若く温かい海洋プレートの沈み込みに起因)による加熱(NEDO, 1994)。
- ✓ 下部地殻に存在するダイアピルから分離・上昇したマグマから放出された熱および火山ガス(Wakita et al., 1987)。
- ✓ スラブから脱水した H_2O がマントルウェッジの部分溶融を引き起こしている初期の段階(Seno et al., 2001)。

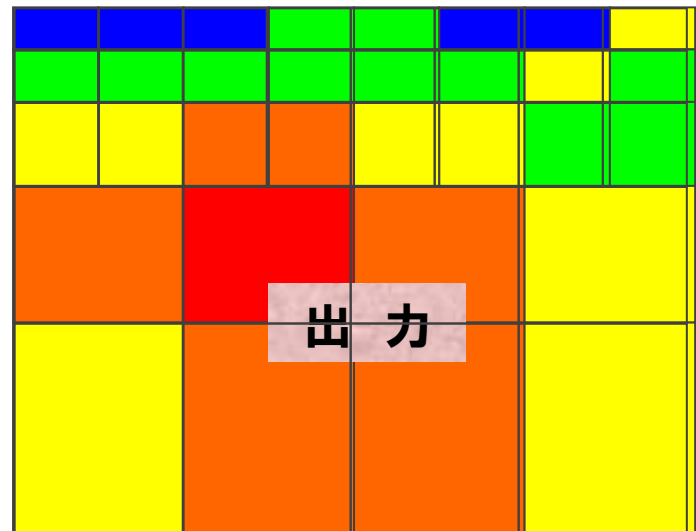
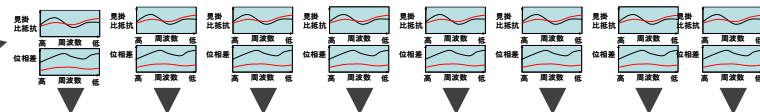
地球物理学手法で捉えた深部流体

自然磁場の変化とそれによって地中に誘導される電流の変化から地下の電気伝導度を測定

電場E($\mu\text{V}/\text{m}$)

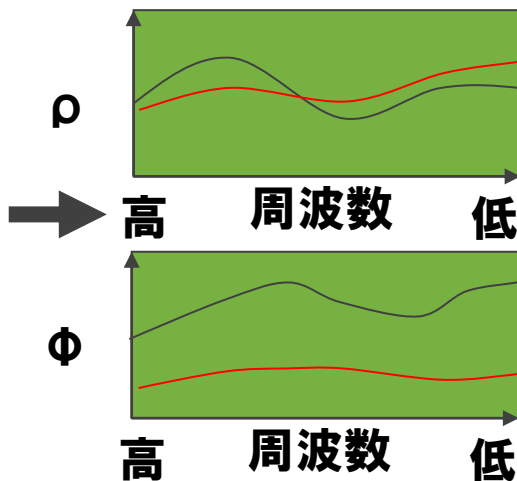
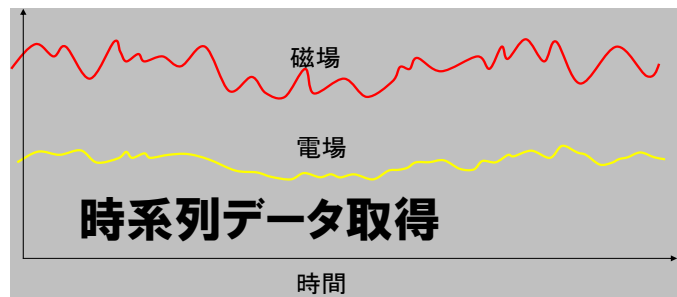


入力



比抵抗構造の把握

磁場H(nT): 電流密度(アンペールの法則)

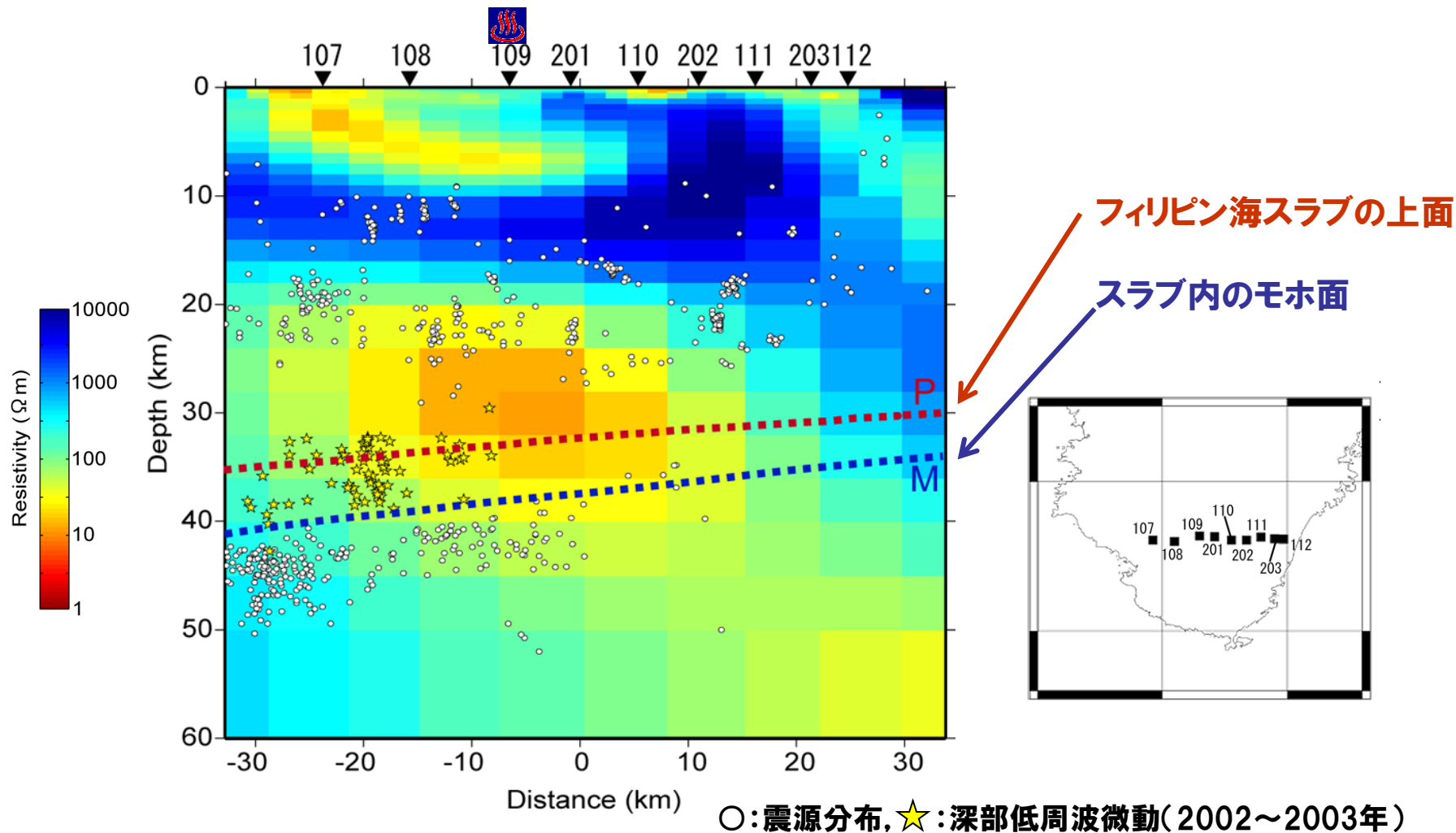


$$\text{比抵抗 } \rho = 0.2 \cdot |E/H|^2 / f$$

$$\text{位相 } \Phi = \arg(E/H)$$



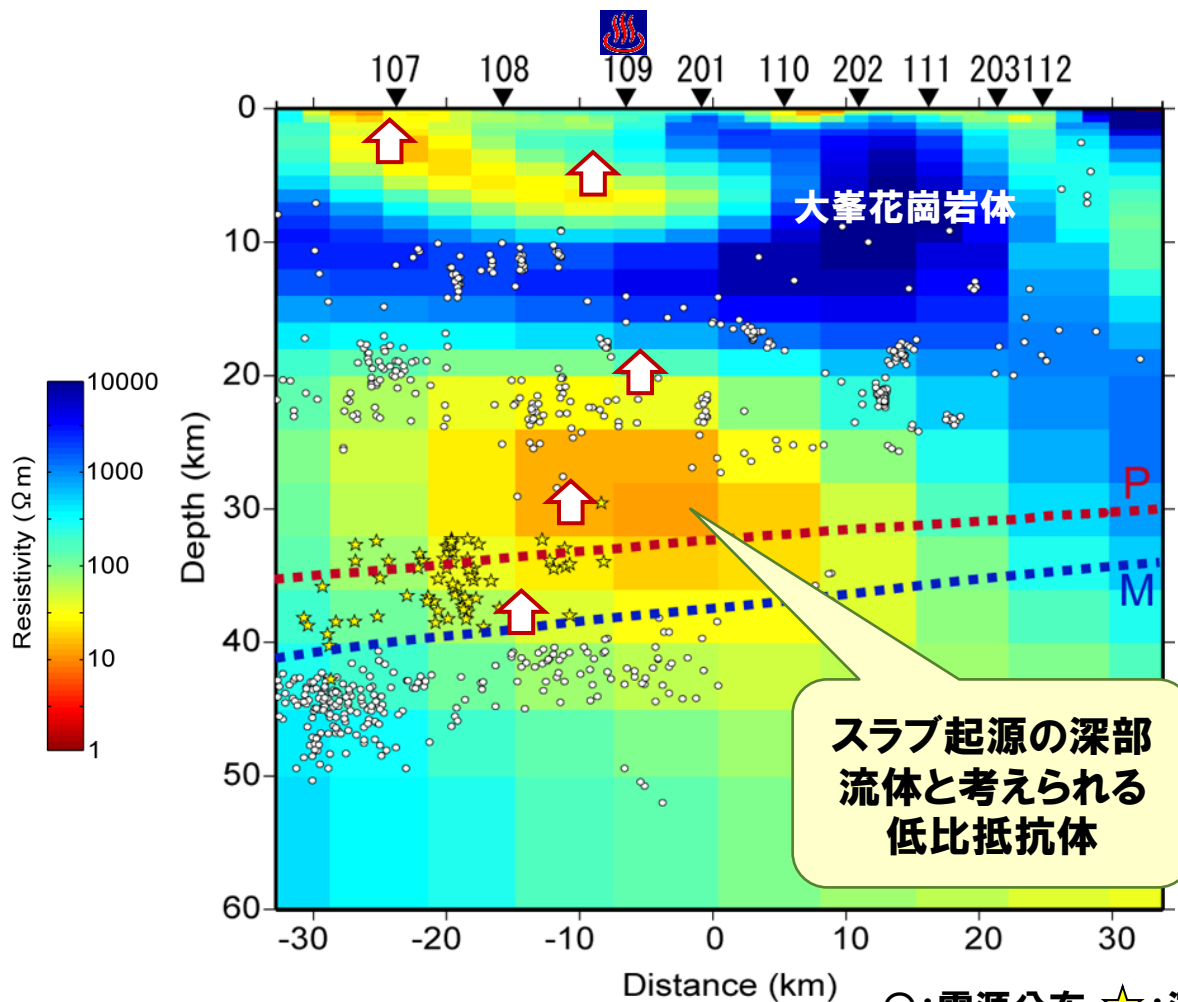
地球物理学手法で捉えた深部流体



MT法による紀伊半島南部(東西断面)の二次元比抵抗構造 (Umeda et al., 2006)

☞ 紀伊半島南部の高温異常域下には地下20~40 km(スラブ上面付近)には、
10 Ωm程度の低比抵抗体が存在する。

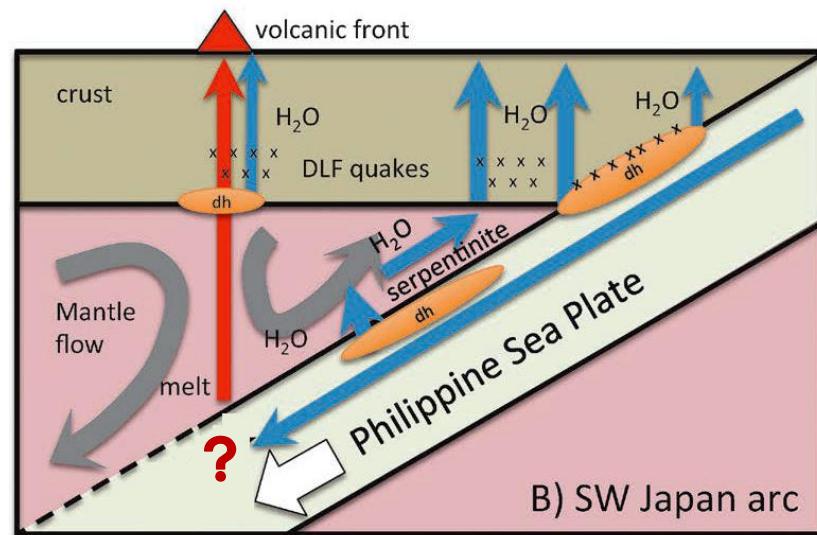
地球物理学手法で捉えた深部流体



○: 震源分布, ☆: 深部低周波地震(2002~2003年)

MT法による紀伊半島南部(東西断面)の二次元比抵抗構造 (Umeda et al., 2006)

低比抵抗構造はスラブから脱水し、地殻中を上昇していった流体を反映している可能性がある。また、この流体が非火山性温泉の起源と考えられる。

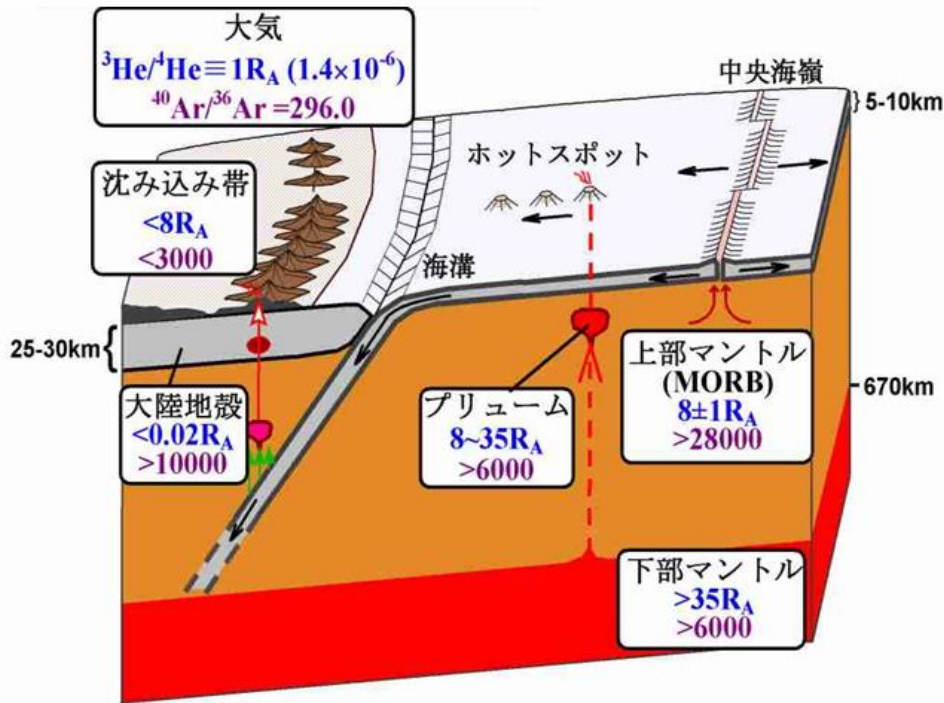


西南日本の深部流体と地震活動, マグマ活動

☞ スラブから脱水した流体が深部低周波地震を引き起こす

地球化学で捉えた深部流体

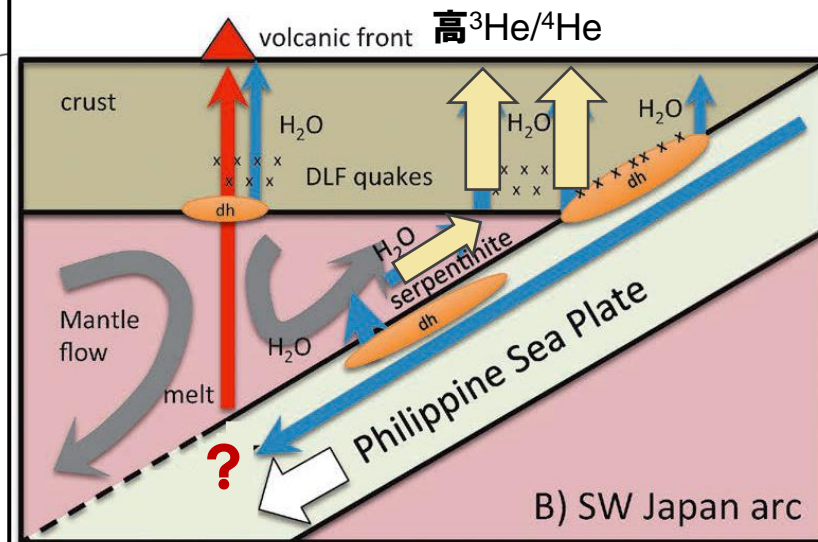
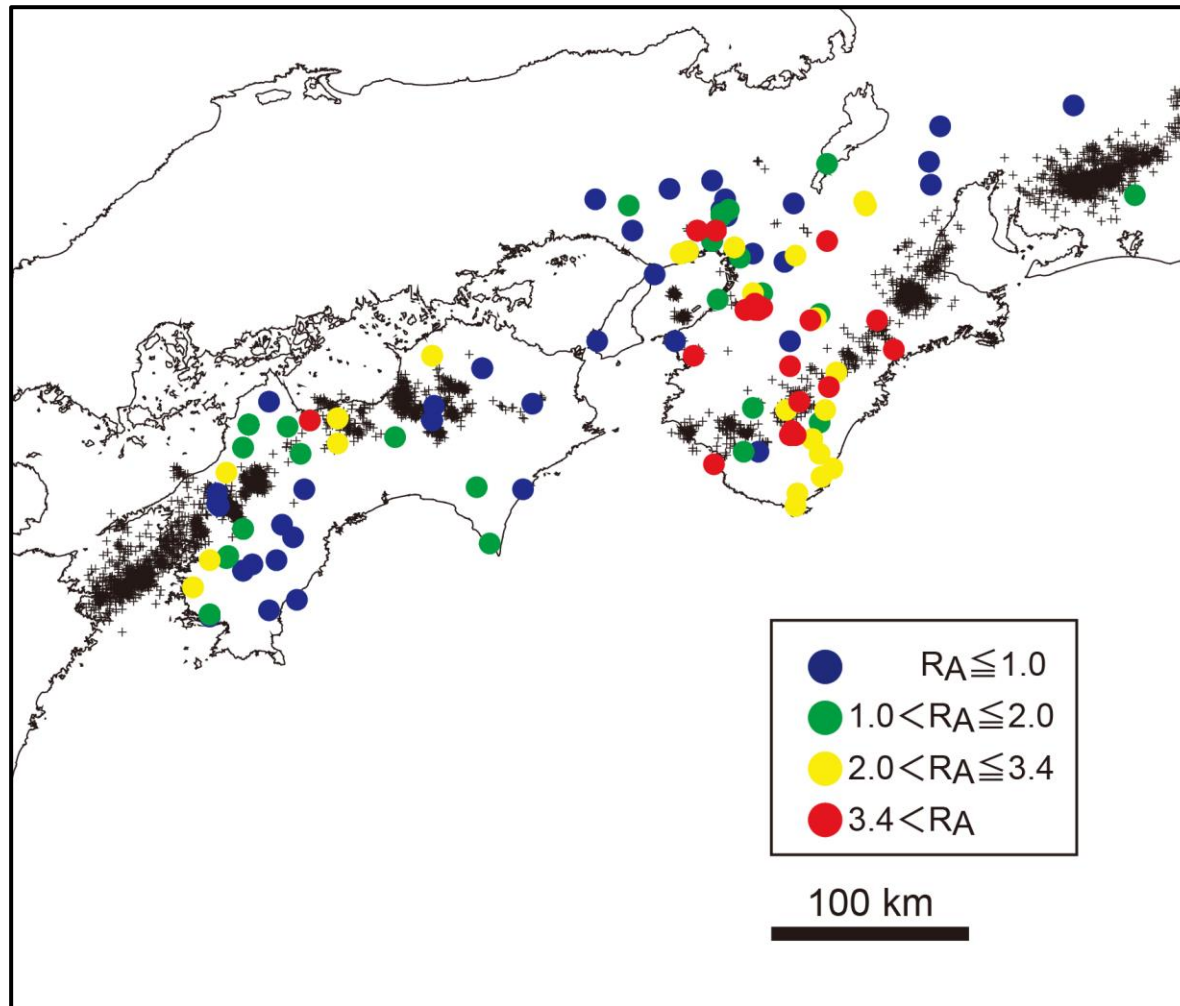
- ✓ ヘリウムの同位体は2つだけ(^3He , ^4He)でさらに両者とも安定同位体。
- ✓ ^3He は地球創生期の始原的なヘリウム, ^4He はU, Thの放射壊変によって生成。
- ✓ マントル起源のHeの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は大気の8倍, 地殻起源のHeは大気の1/50。
- ✓ 不活性の単原子ガスとして存在。拡散率や透水性が大きい。



地球内部のヘリウム・アルゴンの同位体比
(角野ほか, 2005)



地球化学で捉えた深部流体



西南日本の深部流体と地震活動, マグマ活動

深部低周波地震の分布とヘリウム同位体比 (Umeda et al., 2007)

深部低周波地震の分布域で高いヘリウム同位体比が観測される。ヘリウムの供給源は、火山下のマグマのように局所的なものではなく、マントルから深部流体に運ばれて広域的に存在している。

深部流体が支配する東北日本と西南日本の地球科学(まとめ)

	東北日本	西南日本
主要な地質	新第三系～第四系	先新第三系
上盤プレート	北米プレート	ユーラシアプレート
下盤プレート	太平洋プレート	フィリピン海プレート (四国海盆)
形成年代	1億3000万年前	2000万年前
温度	冷たい	温かい
沈み込み速度	10cm/年	3～5cm/年
沈み込み深度	>300km	～60km
深部流体	スラブ起源流体	スラブ起源流体
脱水深度	深さ100km	深さ80km
移動方向	プレート境界に沿って上昇	プレート境界に沿って下降
島弧火山活動	活発	低調
前弧熱水活動 (非火山性温泉)	低調	活発
スロー地震	低調	活発