

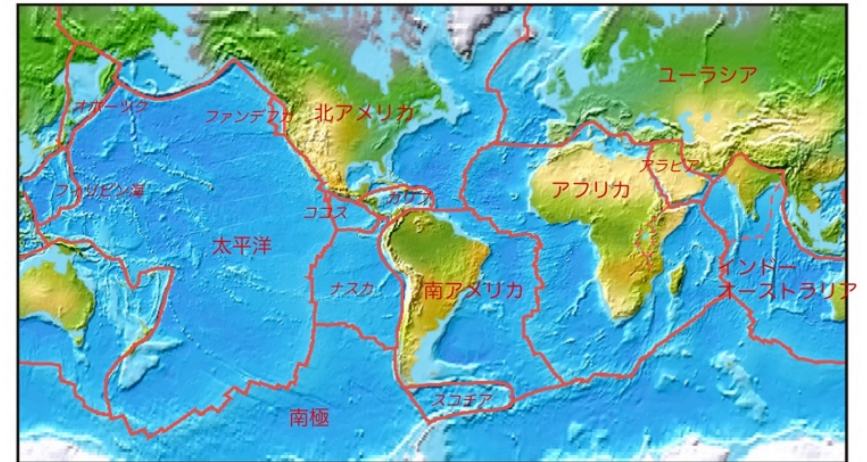
固体地球圏（岩圏）・岩圏での循環作用

プレート運動 [プレートテクトニクス]

プレートテクトニクス：基礎概念

1. 地球表面は何枚かの「プレート」に分かれる。
内部変形をしない（剛体的）地球表面の板状（球殻）の岩塊
2. プレートは互いに運動している。
プレート境界：3種
 - ・発散境界：中央海嶺、地溝帯
 - ・収束境界：沈み込み帯、衝突帯
 - ・横ずれ境界：トランスフォーム断層地球表面（球面）上での球殻の回転運動：オイラー極、角速度
 - ・相対運動：トランスフォーム断層・断層帯、地震のスリップベクトル、地磁気縞状異常
 - ・絶対運動：ホットスポット
3. 造構運動（地学現象）は隣り合うプレートとプレートの境界で起きる。
 - ・発散境界・中央海嶺：地震（浅発）、火山（圧力低下）、海洋地殻の形成
 - ・収束境界・沈み込み帯：地震（浅発、深発）、火山（融点降下）、付加体の形成
 - 衝突帯：大陸の変形・成長
 - ・横ずれ境界・トランスフォーム断層：地震（浅発、横ずれ）

プレートの分布



(瀬野, 1995; 岩波講座地球惑星科学10, 1997)

地球の層構造—プレート

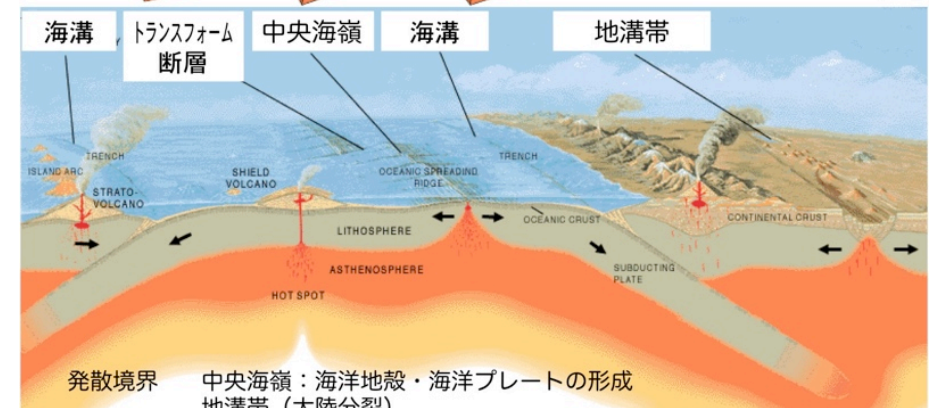
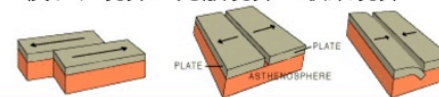
- ・リソスフェア・地殻+最上部マントル：「硬い」→ プレート
- ・アセノスフェア・低速度層：「軟らかい」

・海洋：6km ・大陸：30-60km (上部・下部)	地殻	斜長石、カリ長石、石英、 黒雲母、角閃石 (Na, K, Ca, Mg, Fe, Al, Si)	リソスフェア →「プレート」
低速度層 海洋：70-200km 大陸：150-200km	上部 マントル	かんらん石、輝石、ザクロ石 (Mg, Fe, Ca, Al, Si)	アセノスフェア
400km 670km	遷移層	↓ 高压型	メソスフェア
	下部 マントル		
2900km	外核	Fe, Ni + 軽元素 (O, S) [液体]	外核
5100km	内核	Fe, Ni (5~10%) [固体]	内核
6370km			

プレート境界

cross section illustrating the main types of plate boundaries produced by USGS
URL: <http://pubs.usgs.gov/publications/text/Vigil.html>

横ずれ境界 発散境界 収束境界



発散境界 中央海嶺：海洋地殻・海洋プレートの形成
地溝帯（大陸分裂）
収束境界 沈み込み帯：海溝・海洋プレートの沈み込み
衝突帯：大陸の接合、山脈・大陸（大陸地殻）の形成、成長
横ずれ境界 トランスフォーム断層

発散境界

中央海嶺・火成活動 → 海洋地殻の形成

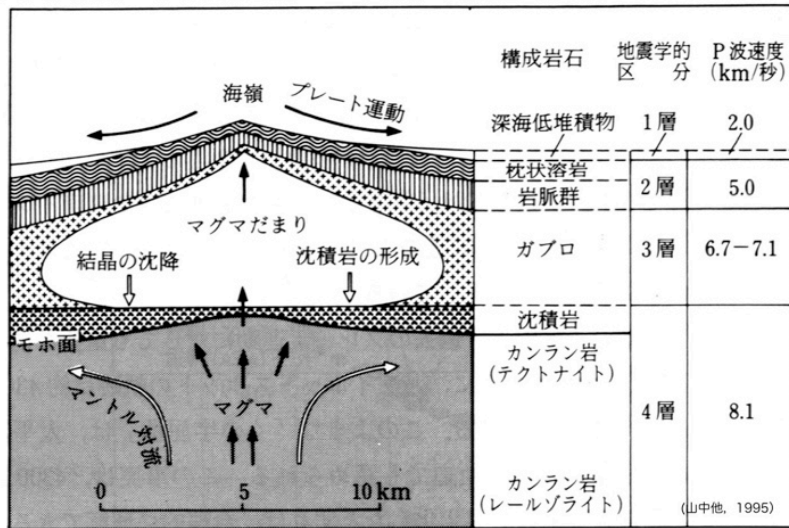
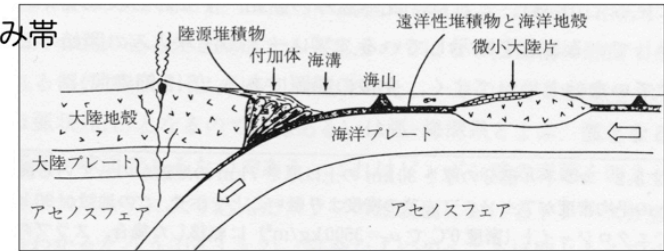


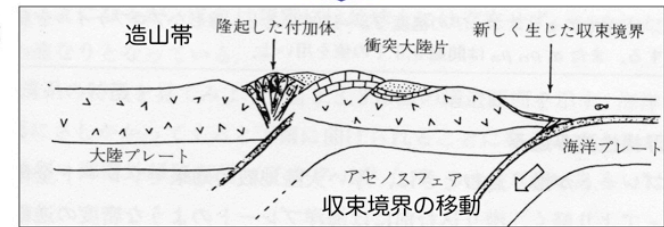
図 IV-6 模式的な海嶺の地震学的・岩石学的構造

収束境界

沈み込み帯



衝突帯



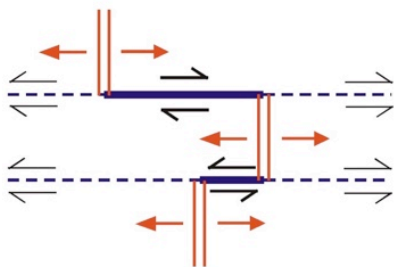
海洋プレートの沈み込みに伴い・・・

地震・火山活動, 付加体の形成, 変成作用, 大陸の形成・成長

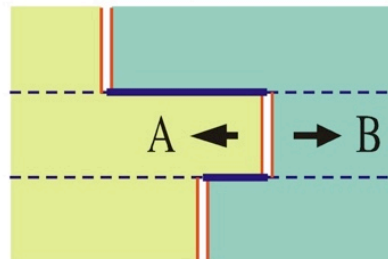
(瀬野, 1995)

横ずれ境界

トランスフォーム断層 (Wilson, 1965)



端で消滅することなく、
他の線状構造
(断裂帯、海嶺、海溝)
に変容 (transform) する断層



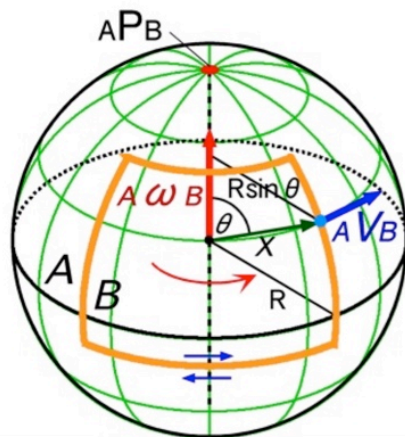
地球表面は、海嶺-海溝-
トランスフォーム断層の
連結によりブロック化して
いる。

[海嶺軸のずれと横ずれ運動の方向が違う]

プレート境界



プレートの相対運動：剛体球殻の運動



- ・オイラー極：APB
- ・相対角速度： $A\omega B$

相対角速度ベクトル： $A\omega B$

◆相対運動の方向：
APBを極とする小円方向

◆相対速度の大きさ：

相対速度ベクトル

$$AVB = A\omega B \times X \dots (\text{外積})$$

$$AVB = A\omega B \cdot R \sin \theta$$

● オイラー極

相対運動方向 — オイラー極からみて小円

- ・トランスフォーム断層・断裂帯の走向
- ・地震のスリップベクトル

(相対運動方向に直交する大円上にオイラー極)

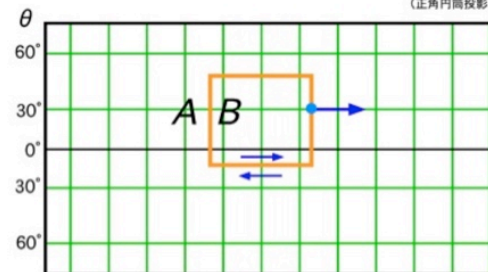
● 相対角速度

海洋底拡大速度

…地磁気縞状異常の解析

プレートの相対運動

APBを極とするメルカトル図法による投影
(正角円筒投影)



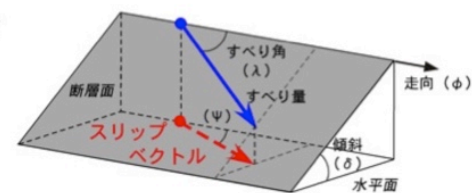
◆相対運動の方向：APBを極とする小円方向

プレートの運動方向

- ・トランスフォーム断層，断裂帯の走向
- ・地震のスリップベクトル

地震の断層パラメータ

地震のスリップベクトル

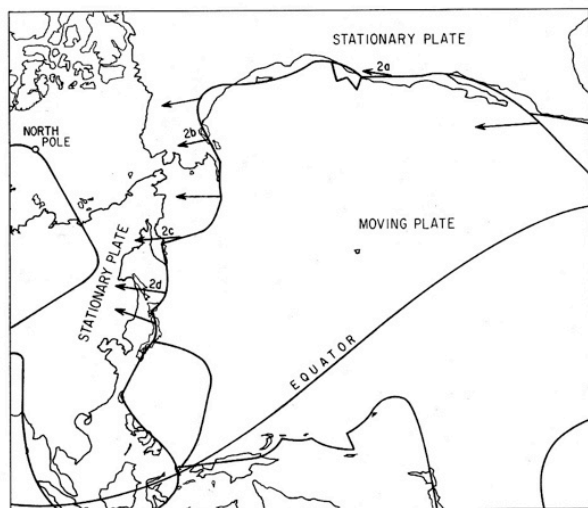


スリップベクトルの方向 = $\phi + \psi$

McKenzie & Parker (1967)

50°N, 85°Wを極とするメルカトル図

地震のスリップベクトル (矢印) ……小円 (緯度線) 方向



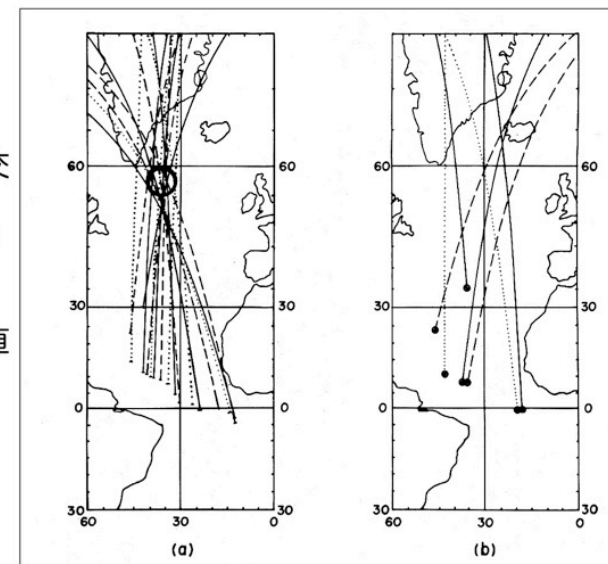
プレートの相対運動の方向

Morgan (1968)

(a)
断裂帯の走向に直交する大円
(交点：58°N, 32°W)

(b)
スリップベクトルに直交する大円

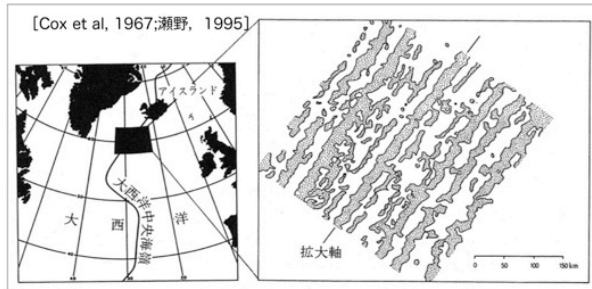
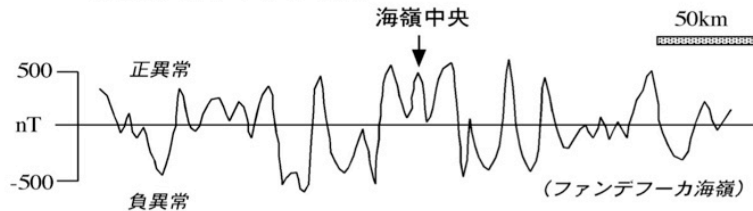
大円の交点
→ オイラー極



相対速度・地磁気縞状異常

海洋底の地磁気縞状異常

「磁気異常」＝〔観測値〕－〔標準磁場分布による値（位置の関数）〕
（全磁力、X-, Y-, Z-成分）

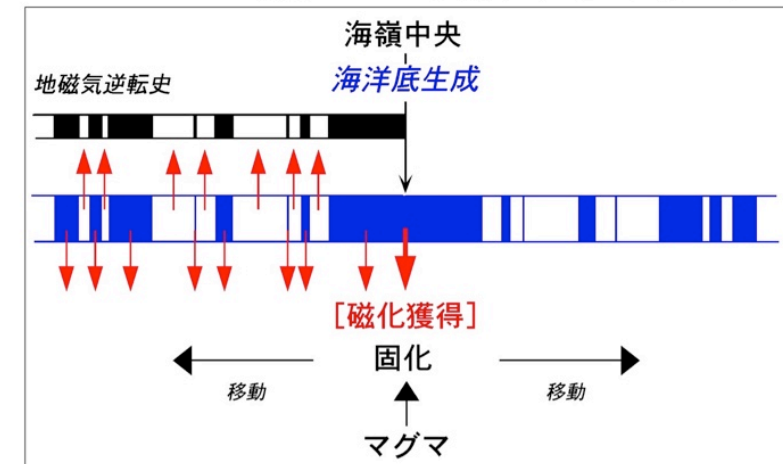


* 磁気異常：
観測点近傍を
起源とする
磁場の影響

海洋底の持つ磁化
による磁場

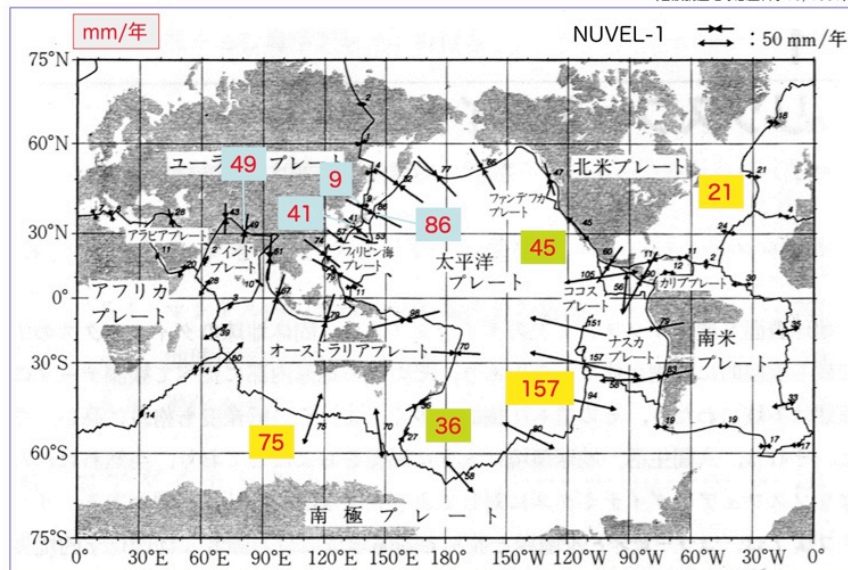
ヴァイン・マッシューズ仮説 (1963)

正負の磁気異常は、海洋底の磁化がそれぞれ正逆に帯磁していることに対応。それは地磁気の逆転の記録である

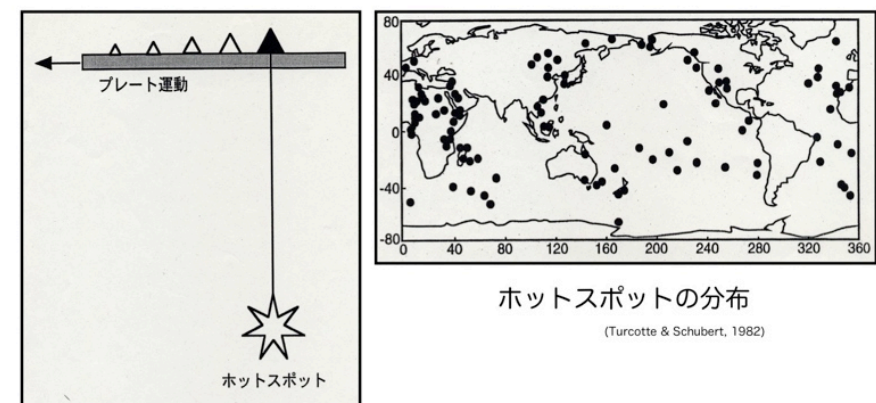


プレート運動：相対速度

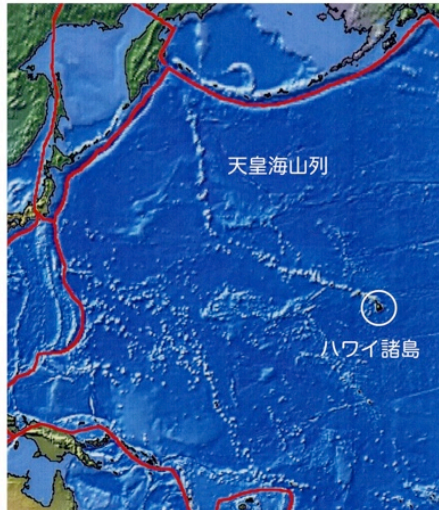
(岩波講座地球惑星科学10, 1997)



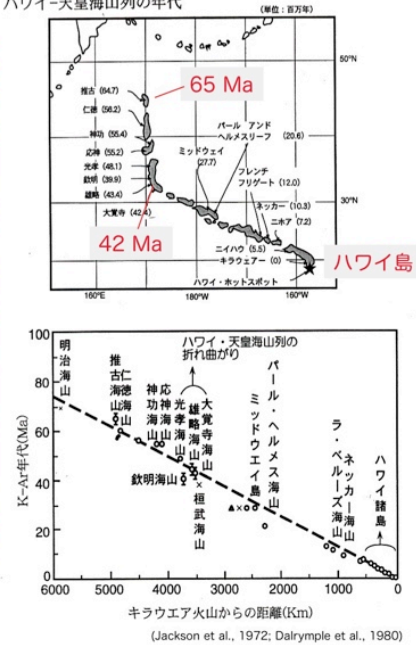
絶対運動の推定：ホットスポット



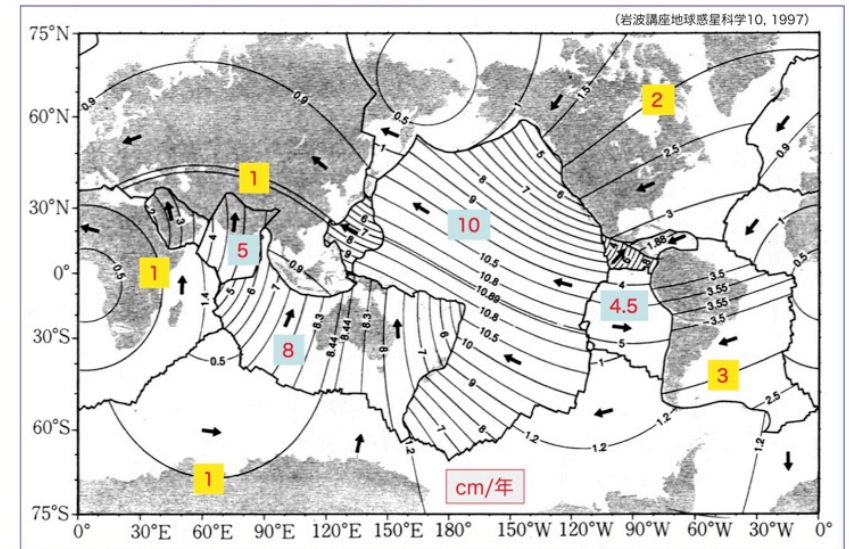
ハワイ-天皇海山列



ハワイ-天皇海山列の年代



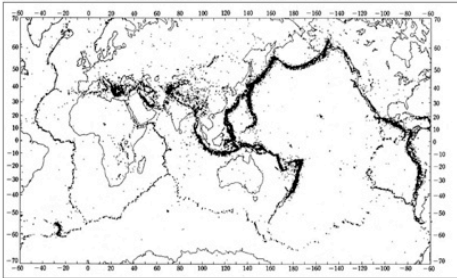
プレート運動：絶対速度（ホットスポット系）



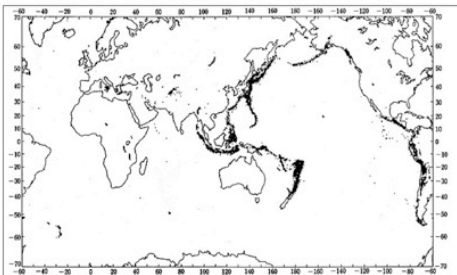
プレート境界での地学現象

地震の分布 (理科年表, 1998)

● M4以上、100km以浅 (1970-1985年)



● M4以上、100km以深 (1970-1985年)



◆地震

海嶺：

浅発地震，正断層系

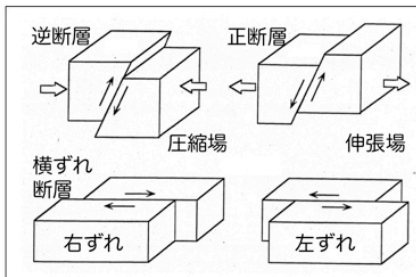
海溝：

深発地震あり，逆断層系-正断層系

トランスフォーム断層：

浅発地震，横ずれ断層

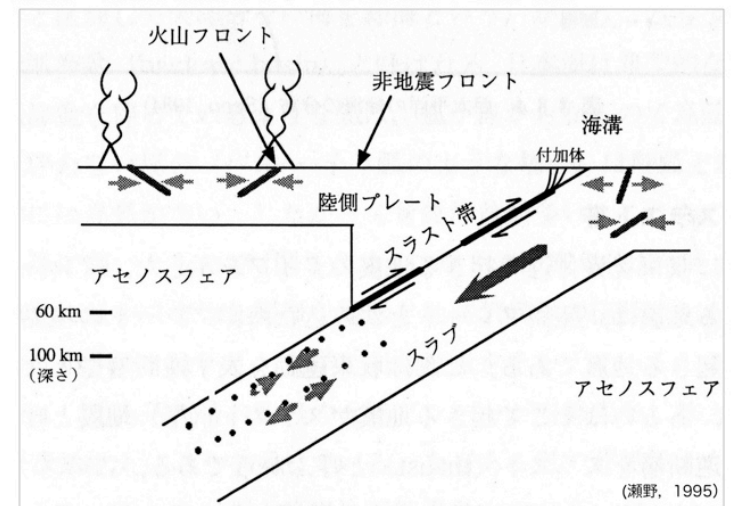
断層の種類

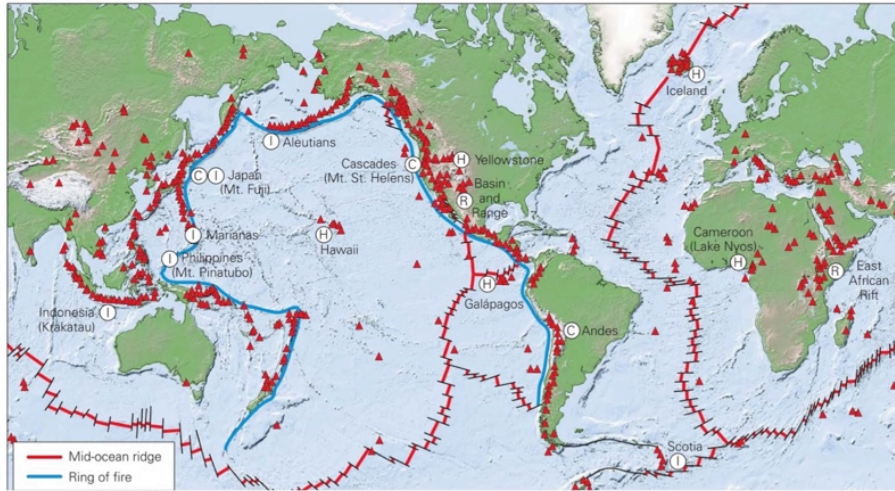


プレート境界での地学現象

◆地震

・海溝：深発地震あり，逆断層系-正断層系

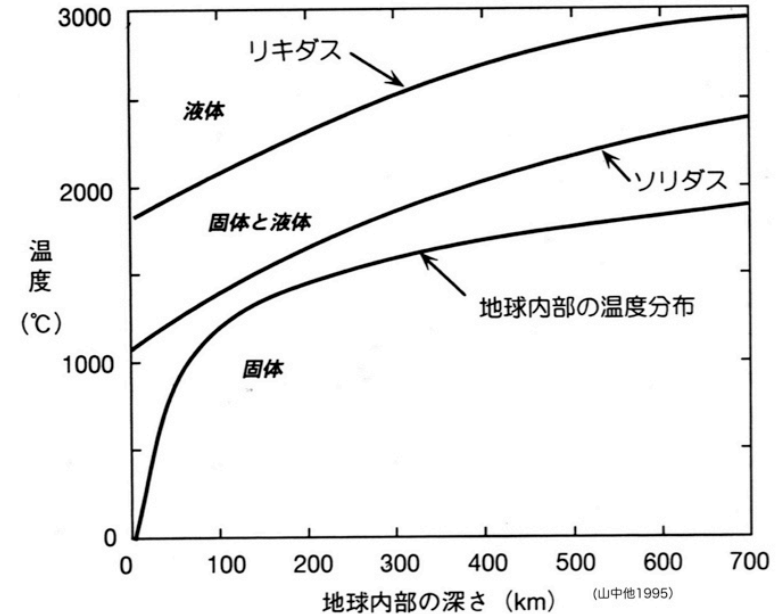




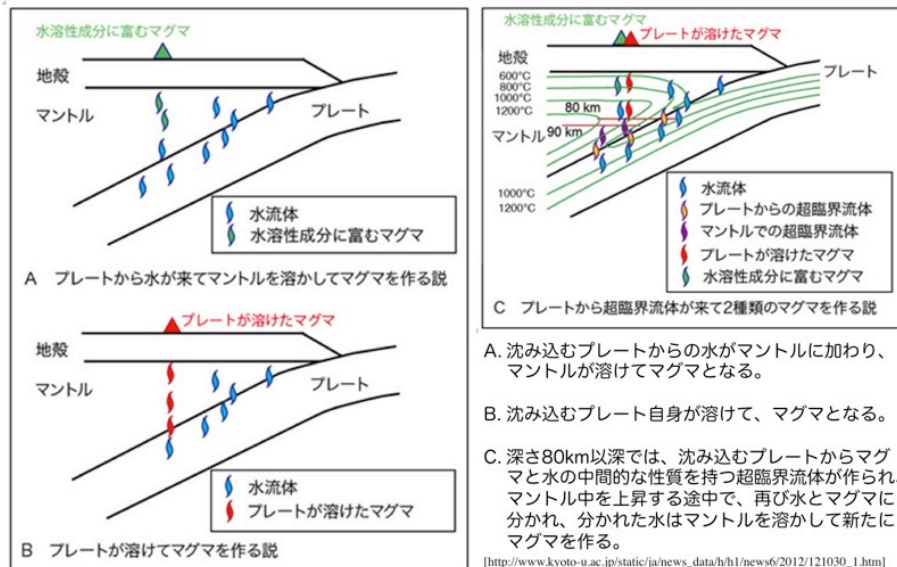
火山ガス (陸上：Stoiber, 1995)

水蒸気：715、二酸化炭素：65、二酸化硫黄：19、塩化水素：3、フッ化水素：0.9 (10⁹kg/年)

マントル物質 (かんらん岩) の融け始めと融け終わりの温度



沈み込み帯でのマグマの発生



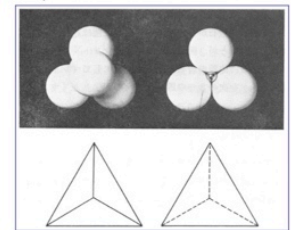
主要造岩鉱物：珪酸塩鉱物・・・SiO₄正四面体構造

◆無色鉱物・・・フェルシック鉱物

石英 SiO₂

長石 カリ長石 KAlSi₃O₈

斜長石 (Na,Ca)AlSi₃O₈



◆有色鉱物・・・マフィック鉱物

雲母 黒雲母 (K,Na,Ca)₂(Al,Mg,Fe)₄₋₆(Si₈O₂₀)(OH)₄

白雲母 KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂

角閃石 (Ca,Na)₂₋₃(Mg,Fe,Al)₅(SiAl)₈O₂₂(OH)₂

輝石 斜方輝石 (Mg,Fe)SiO₃

単斜輝石 Ca(Mg,Fe)Si₂O₆

カンラン石 (Mg,Fe)₂SiO₄

ザクロ石 (Mg,Fe,Ca)Al₂Si₃O₁₂

カンラン石、輝石の熱水変質
→ 蛇紋石
(Mg,Fe)₃Si₄O₁₀(OH)₈
・・・含水鉱物・・・

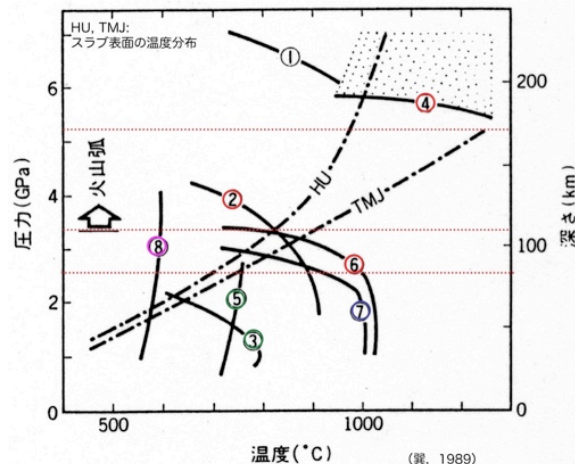
沈み込む海洋プレート（スラブ）内の含水鉱物

堆積岩層・緑泥石，黒雲母，金雲母

玄武岩質層・角閃石

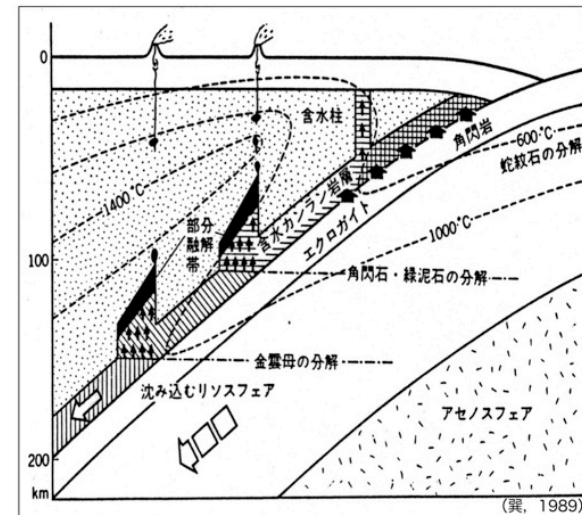
カンラン岩質層・蛇紋石，緑泥石，金雲母

◆含水鉱物の脱水反応



沈み込み帯でのマグマの発生

含水鉱物の脱水→水による融点低下



海洋リソスフェアの沈み込み

A. 海洋リソスフェア内の含水鉱物の脱水
海洋地殻内の蛇紋石 (~600°C)
堆積岩中の緑泥石・金雲母 (<800°C, ~80km深)

B. マントルウェッジ内に含水鉱物の形成
[含水カンラン岩層]
含水カンラン岩層の引きずり込み

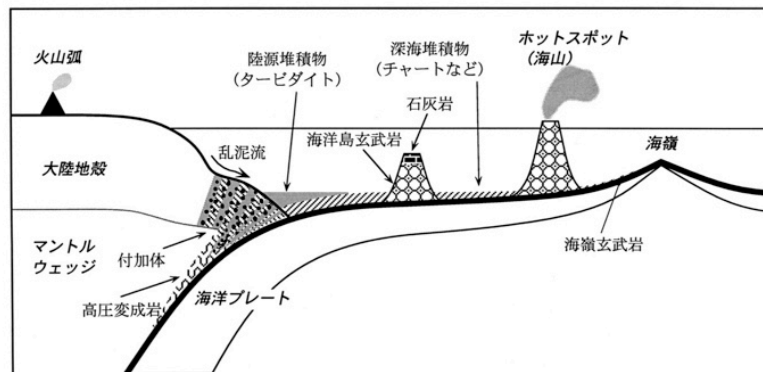
C. カンラン岩中の含水鉱物の脱水 (圧力依存)
(1) 角閃石，緑泥石 (~110km深)
(2) 金雲母 (~170km深)

1000°C< の領域での部分融解
(水による融点低下)

↓
マグマの発生

プレート境界での地学現象

収束境界・沈み込み帯：付加体の形成

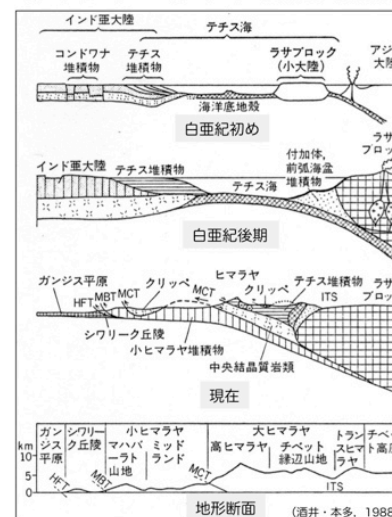


海洋底の堆積物 (チャート，石灰岩など)，海洋地殻，海山
陸源堆積物 (タービダイト)

→ 海洋プレートの沈み込みにより大陸側に付加
“付加体の形成”

収束境界・衝突帯：ヒマラヤ山脈-チベット高原

◆インドアジア大陸の衝突



・テチス海の消滅：55-50Ma頃
・衝突 ラダック地方：約53Ma
ラサ地方：52-48Ma

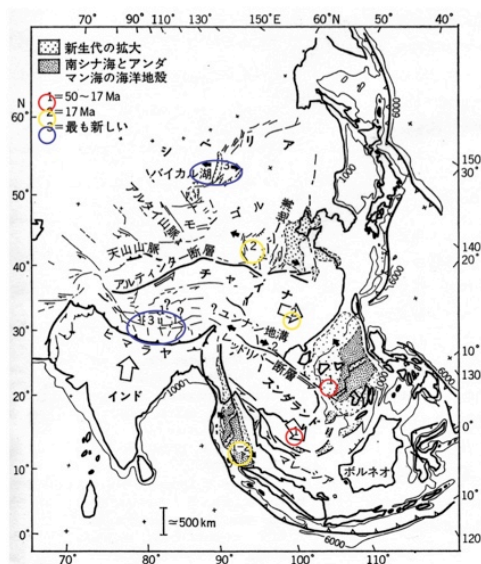


インドプレートの拡大速度の減少
15-20cm/yr
↓
[約52Ma]
インドの衝突
↓
<10cm/yr
↓
[約32Ma]
プレート境界の移動
(ITS→MCT)
↓
~5cm/yr

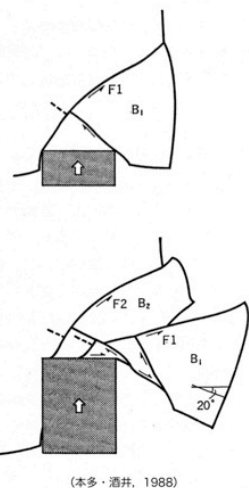
◆アジア大陸の短縮 ~1500km

◆地殻の厚さの増加 チベット高原 55-85km (インド大陸 38km)

インド大陸の衝突による 東アジアの変形



インドーアジア大陸間の短縮
～2500km
・アジア大陸南部の短縮
～1500km
・東方へのねじり出し
～1000km

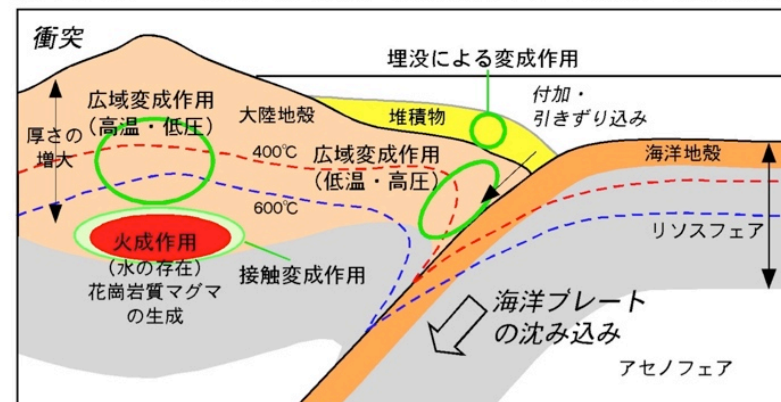


(本多・酒井, 1988)

プレート境界での地学現象

収束境界：付加作用，変成作用，火成作用

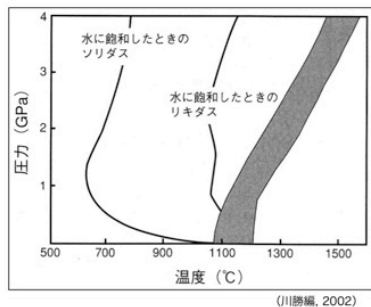
- ◆ 海洋プレートの沈み込み……付加作用，引きずり込み
- ◆ 地塊の衝突……地殻の厚さの増大
- 岩石をより高温・高圧条件へ「変成作用」
- － [水の存在] → 地殻下部の融解（花崗岩質マグマの形成：火成作用）



(Skinner et al., The Blue Planet, 1999)

地殻下部の融解—花崗岩質マグマの形成

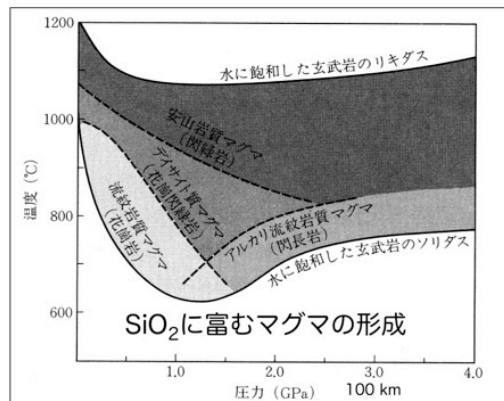
玄武岩の融解温度



(川勝編, 2002)

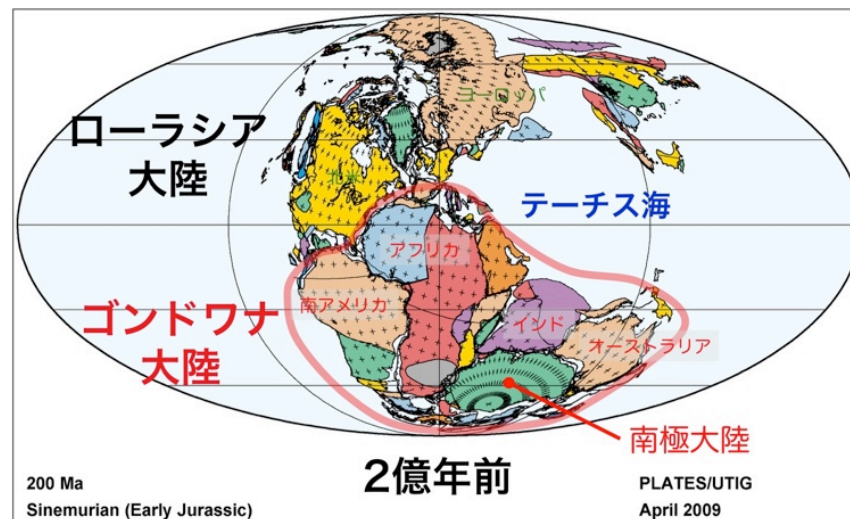
水 (H₂O) の存在
↓
融解温度の低下

H₂Oに飽和した玄武岩の部分融解

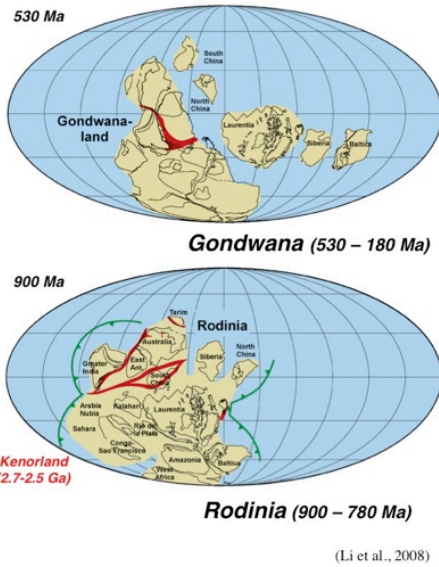
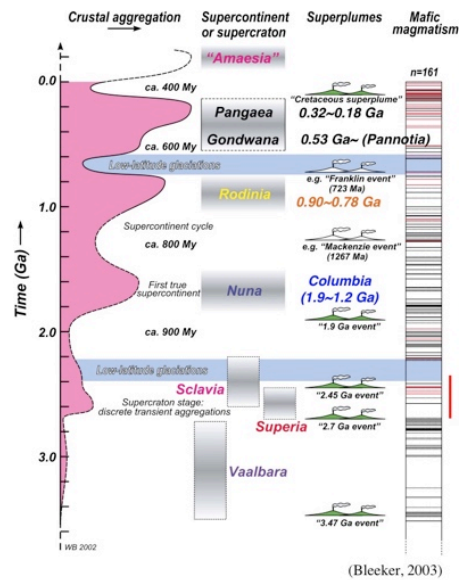


(岩波講座地球惑星科学1, 1996)

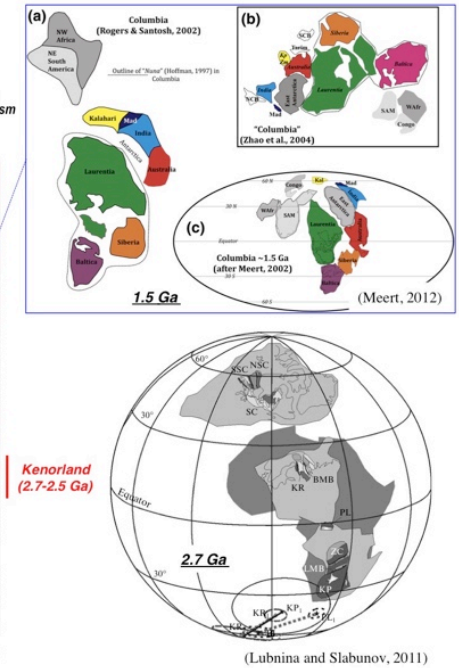
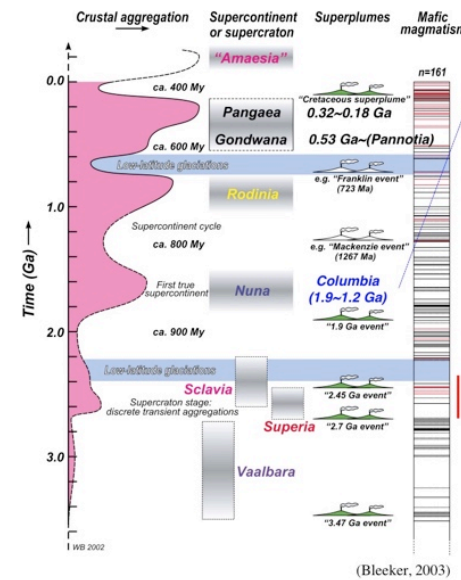
超大陸パンゲア [3.2-1.8億年前]



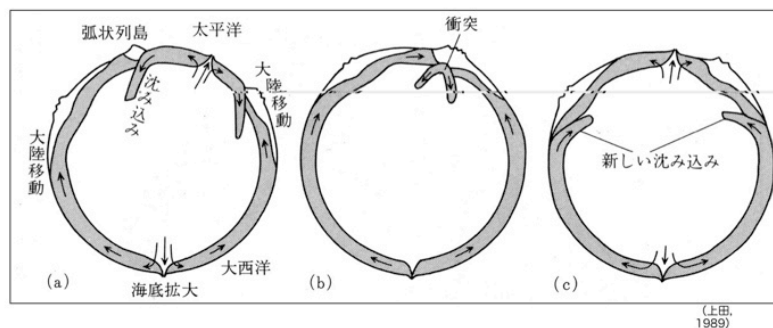
超大陸の変遷



超大陸の変遷



ウィルソン・サイクル (Wilson, 1968)

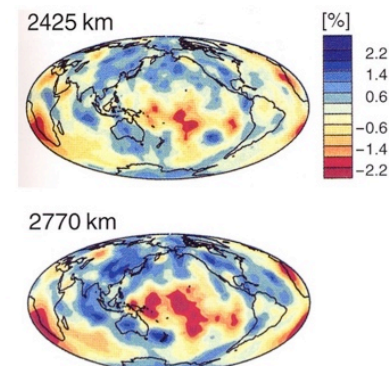


- ◆大陸（超大陸）の分裂—海洋底の形成
- ◆海洋底の拡大／沈み込みによる海洋底の縮小—大陸の移動
- ◆海洋底の消滅—大陸の衝突（超大陸の形成）
- ・・・このサイクルの繰り返し

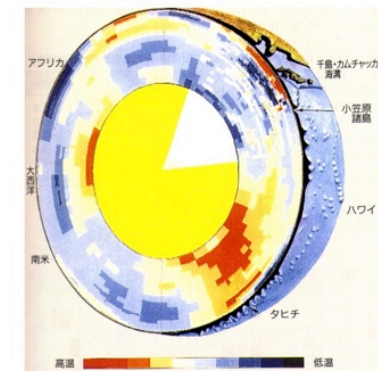
マントル対流

◆地震波トモグラフィー

[最下部マントル]



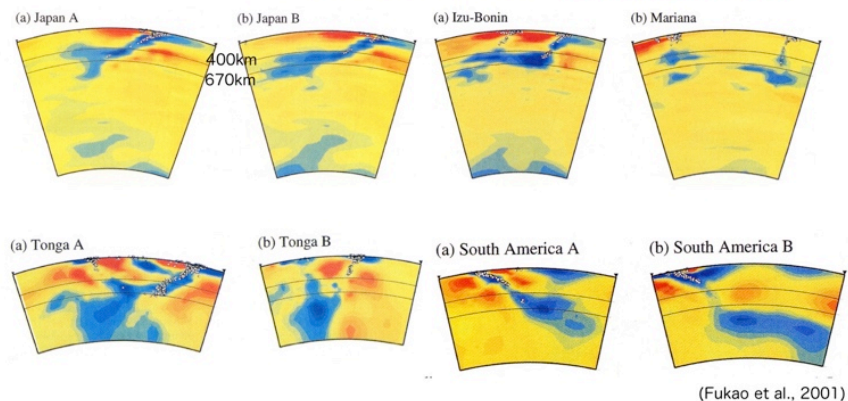
(Masters et al., 2000; 川勝, 2002)



[高速度域（低温域）と低速度域（高温域）]
スーパープレリウム（ホットプレリウム）

沈み込む海洋プレート（スラブ）の行方

[地震波トモグラフィー：高速度域（低温域）と低速度域（高温域）]



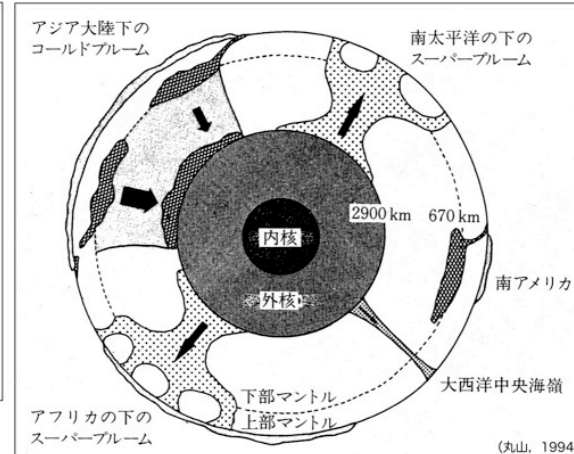
670km不連続面で滞留ーメガリスの形成
メガリスの成長 → 下部マントルへの落下

マントル対流 ◆マントルプリューム

メガリスの落下

↓
コールド
プリューム
の発生

↓
スーパー
プリューム
(ホットプリューム)
の上昇
[一層対流]



マントル対流：通常・二層対流，間欠的一層対流