

第5章
プレートテクトニクス

登尾浩助

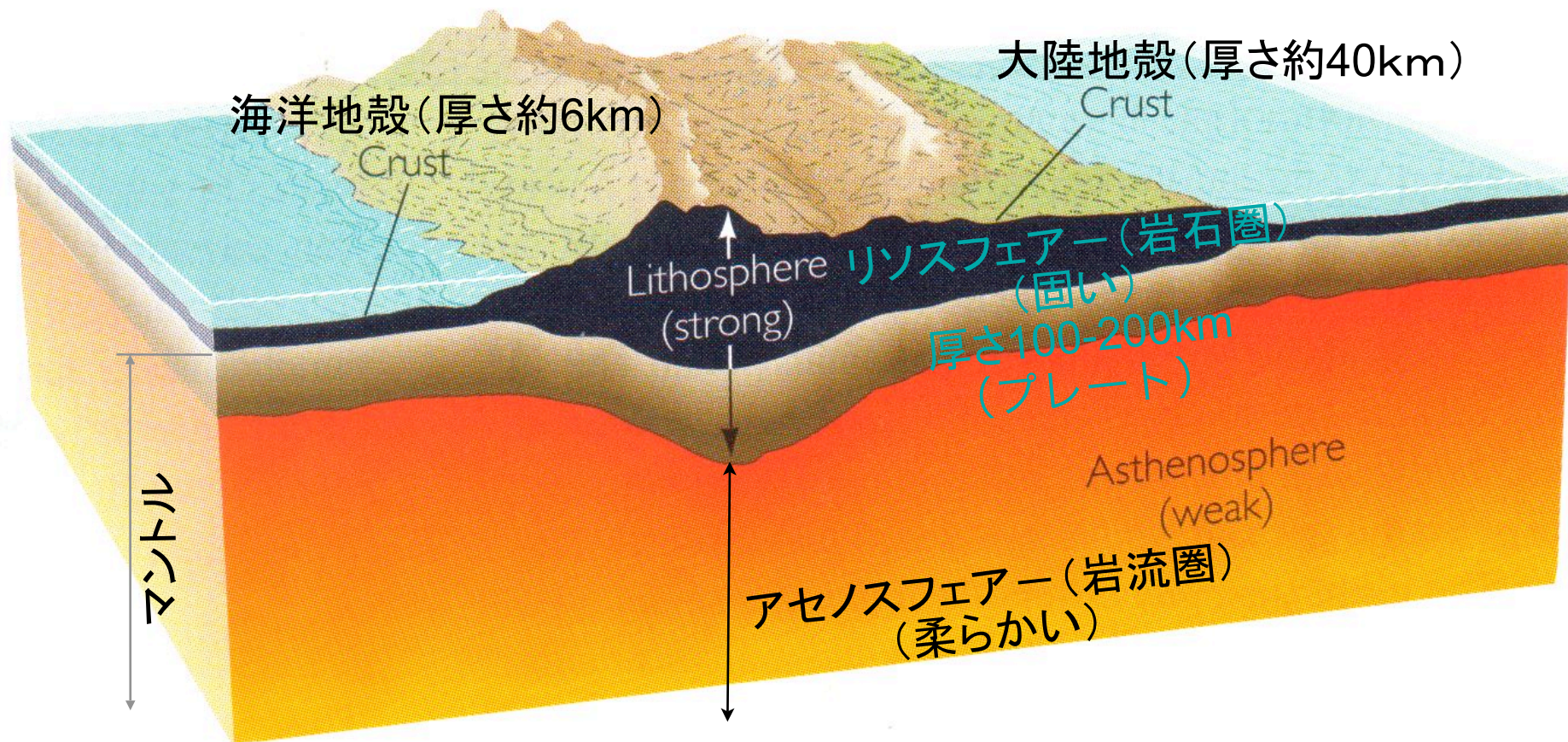
044-934-7156

noboriok@isc.meiji.ac.jp

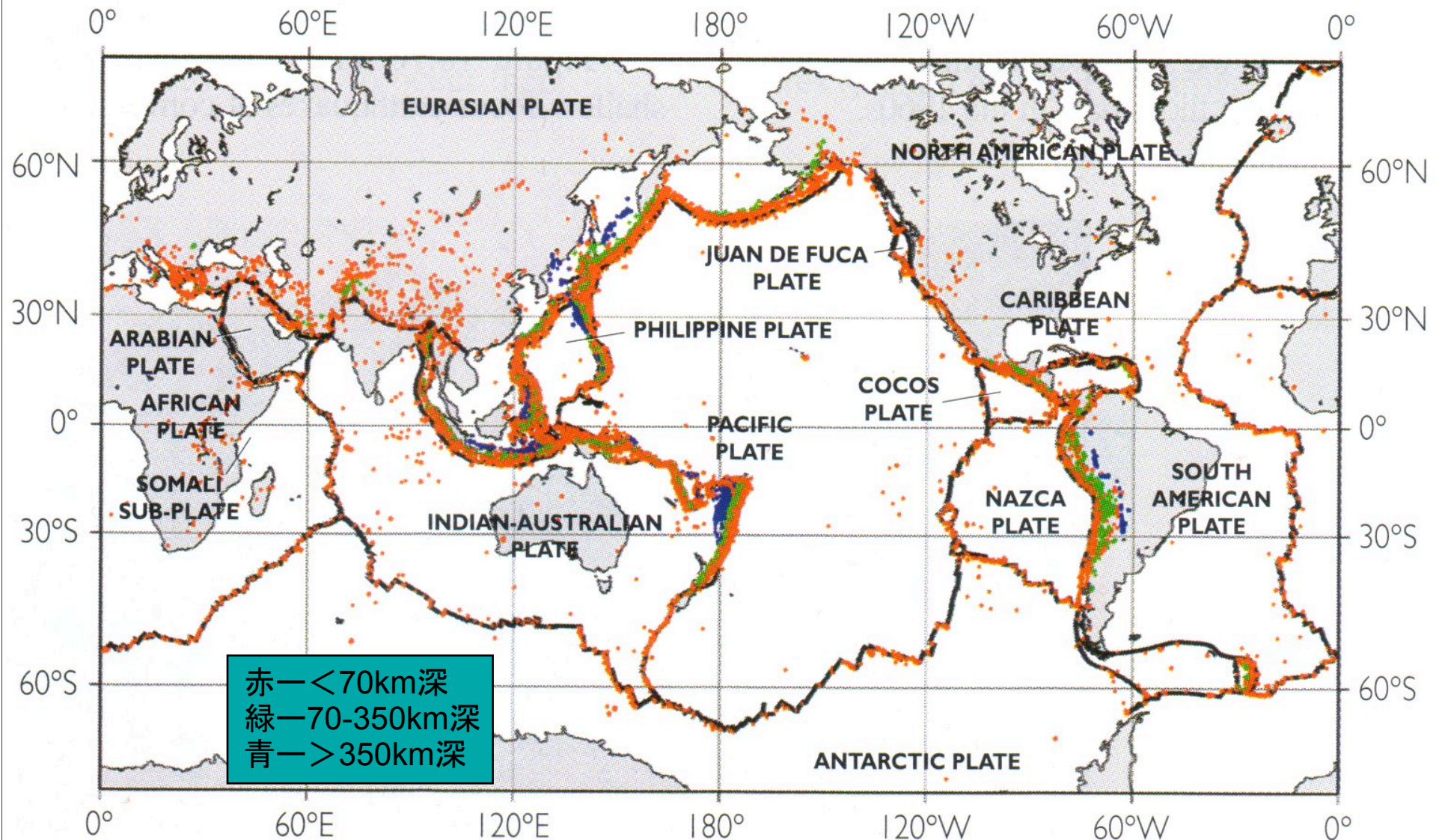
5.1(1) プレートテクトニクス

- リソスフェアー（岩石圏）（プレート）
 - 地殻と最上部マントル
 - 硬い
- アセノスフェアー（岩流圏）
 - 下層部マントル
 - 軟らかい
- 大小のプレートに分かれたリソスフェアーがアセノスフェアーの上を変形しないで移動する

物性から見た地球構造



地震の分布(1963-2000年)

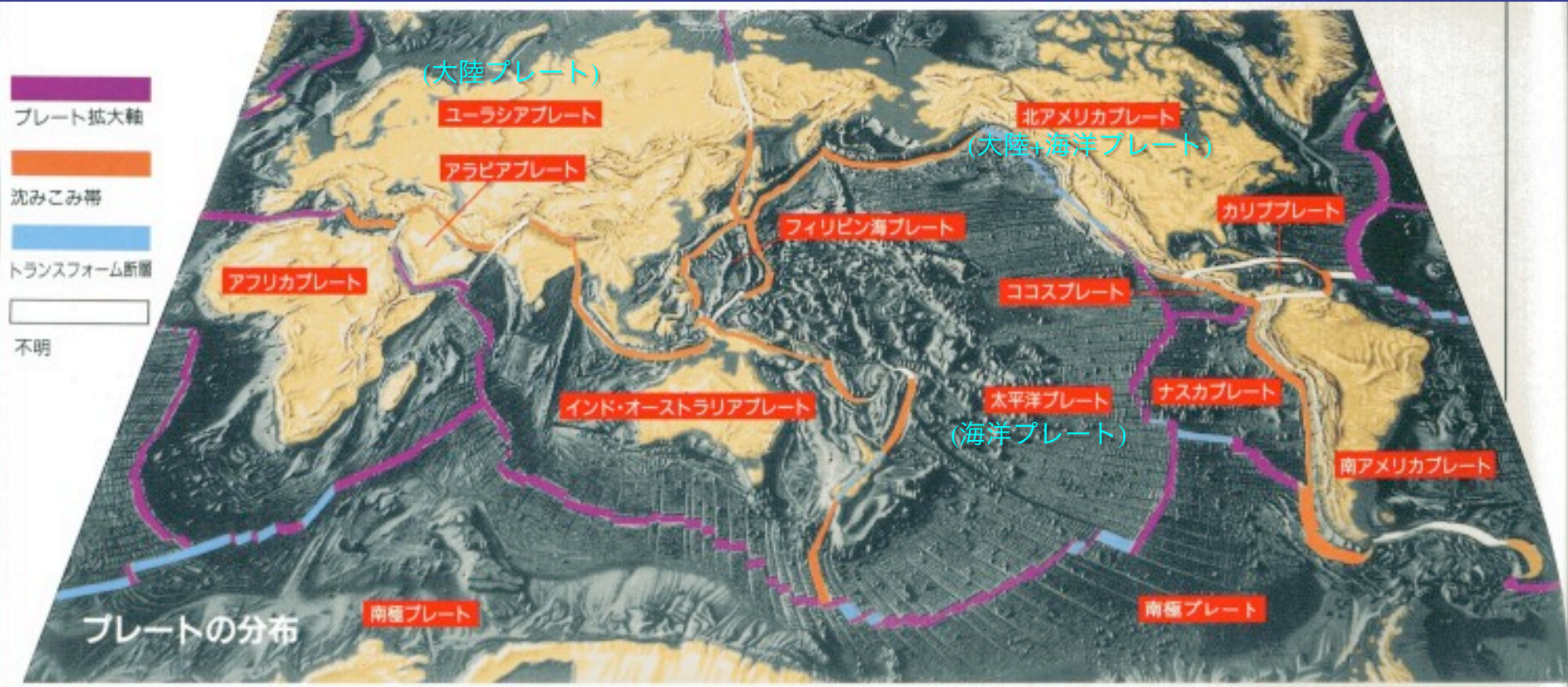


(Press and Siever, 2001)

プレート

- 大陸プレート
 - ユーラシアプレート
- 海洋プレート
 - 太平洋プレート
- 大陸と海洋からなるプレート
 - 北アメリカプレート

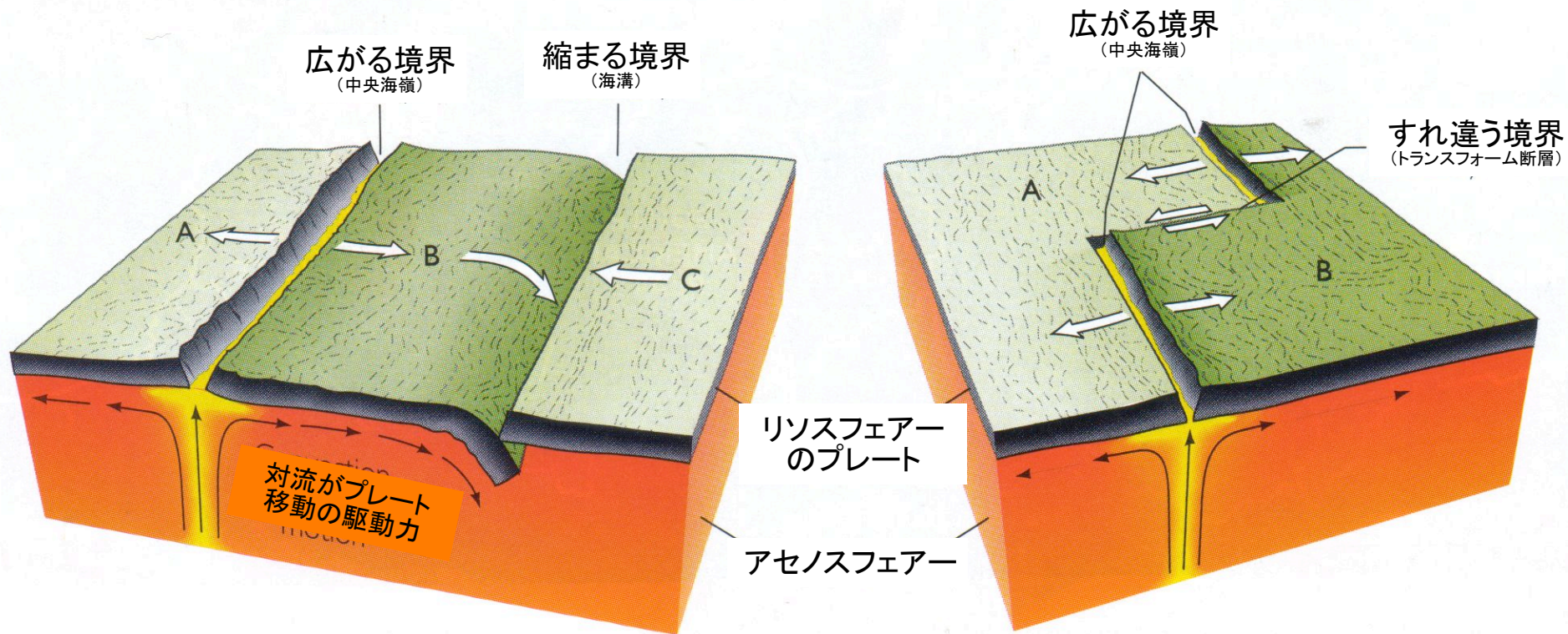
プレートの分布



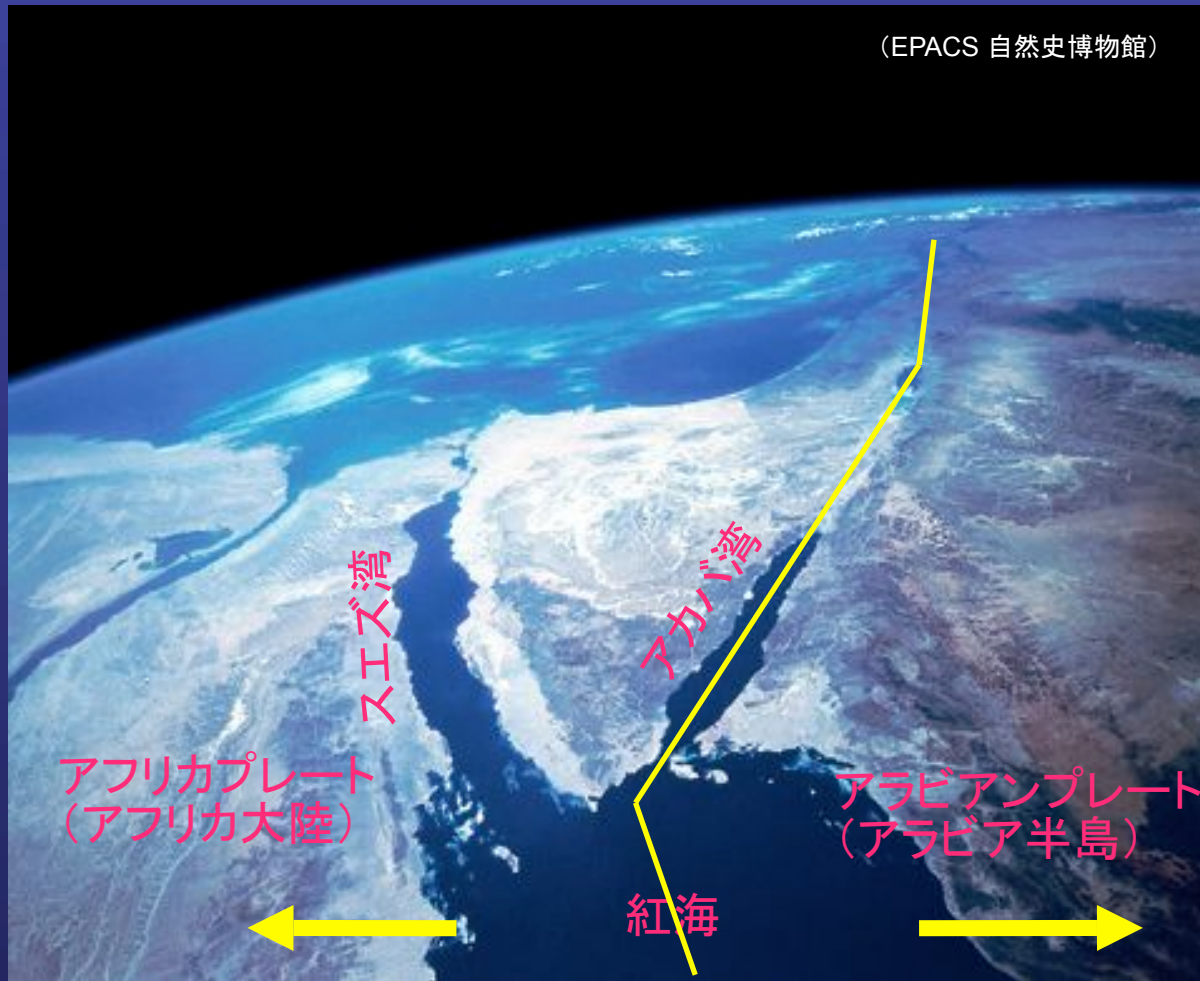
プレートの境界

- 広がる境界（発散境界）
 - 中央海嶺
- 縮まる境界（収縮境界）
 - 海溝
 - 大陸同士が衝突する衝突帯
- すれ違う境界（平行移動境界）
 - トランスフォーム断層

プレートの3境界



広がる境界の例



東アフリカ地溝帯(広がる境界)におけるプレートの裂け目に海水が浸入して紅海、アカバ湾を形成(エジプト、サウジアラビア)

5.1(2) 中央海嶺

- 溶解したマントル物質が噴出する火山性の山脈
 - 中軸谷：中央海嶺の頂上にある深い谷
 - 中央海嶺に働く引っ張り力による正断層
 - 中央海嶺直下で発生する地震の発生機構は正断層型
 - 枕状溶岩の玄武岩が主流：マグマが水中で急冷
 - 地殻熱流量が高い：マントル物質が湧昇
 - 負の異常重力：マグマ溜まり(軽い物質)が中央海嶺下にある

マグマ：岩石(主として地殻)が水による融点の低下や熱異常によって融解したもの

枕状溶岩

三浦枕状溶岩



(三宅康幸)



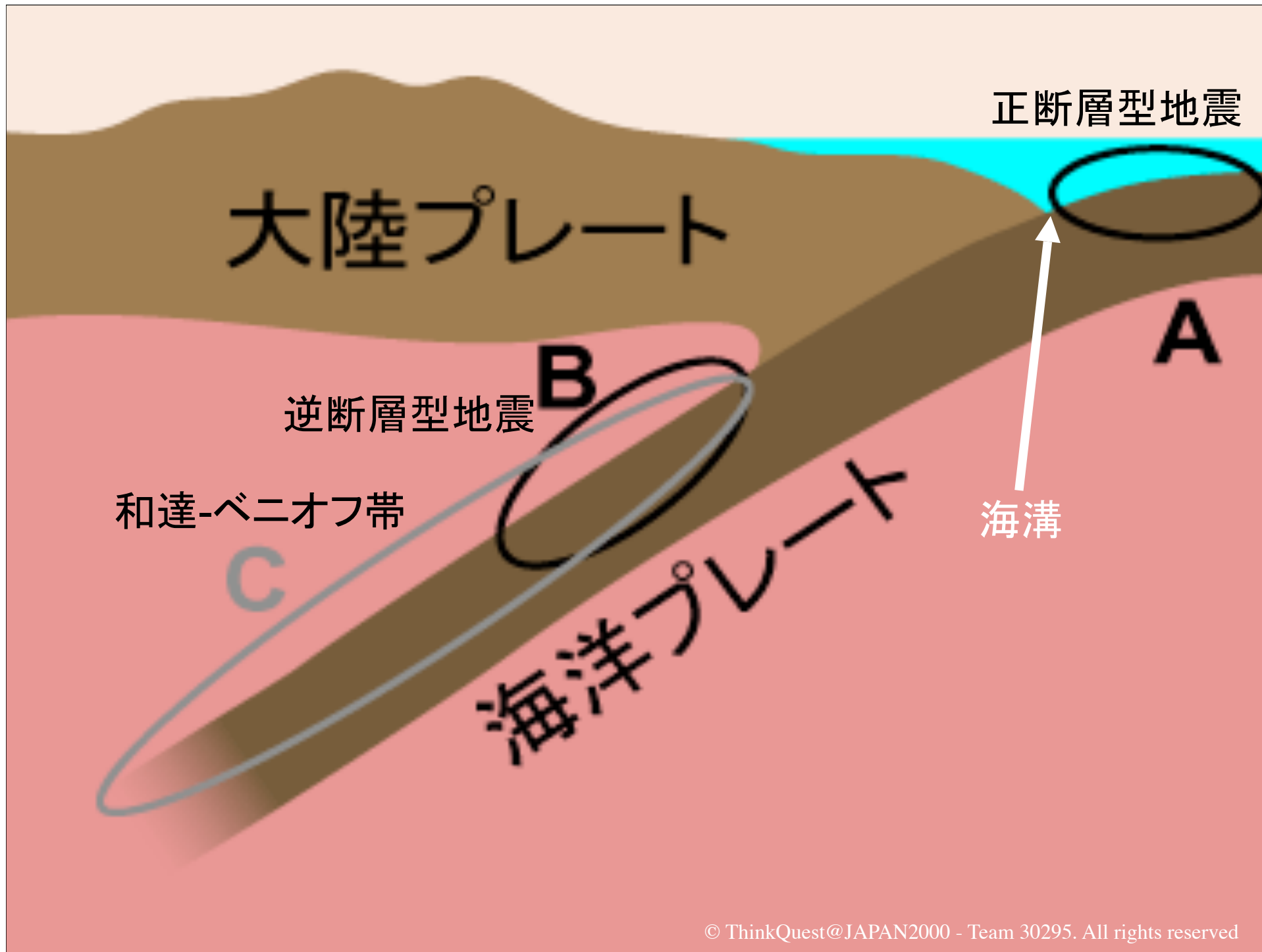
(横須賀市)



(NHK)

5.1(3) 海溝

- 深度6000m以上の溝状の窪地
 - 弧状列島(例、日本列島)に平行に分布
 - 陸弧(例、アンデス山脈)に平行に分布
 - 外側(海側)斜面直下では、引張りによる正断層型地震が発生
 - 内側(陸側)斜面下では、圧縮による逆断層型地震が発生
 - 深発地震面:和達(わだち)-ベニオフ帯
 - 地殻熱流量が低い
 - 負の重力異常:沈み込みプレートによって地形が引き下げられている

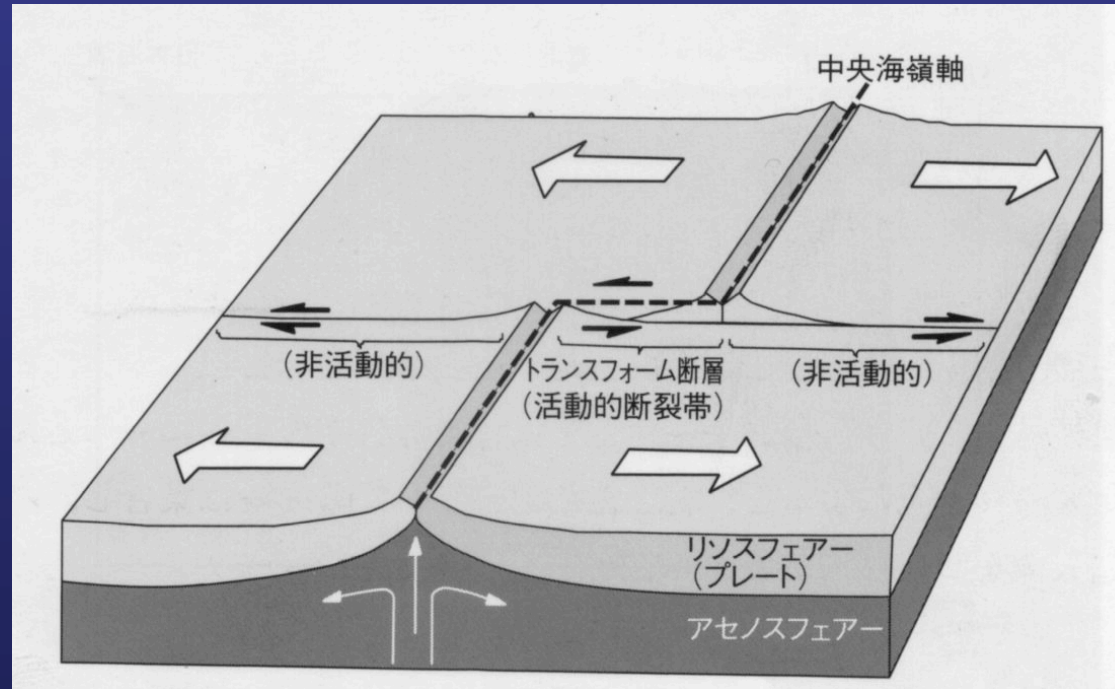


5.1(4) 海洋底

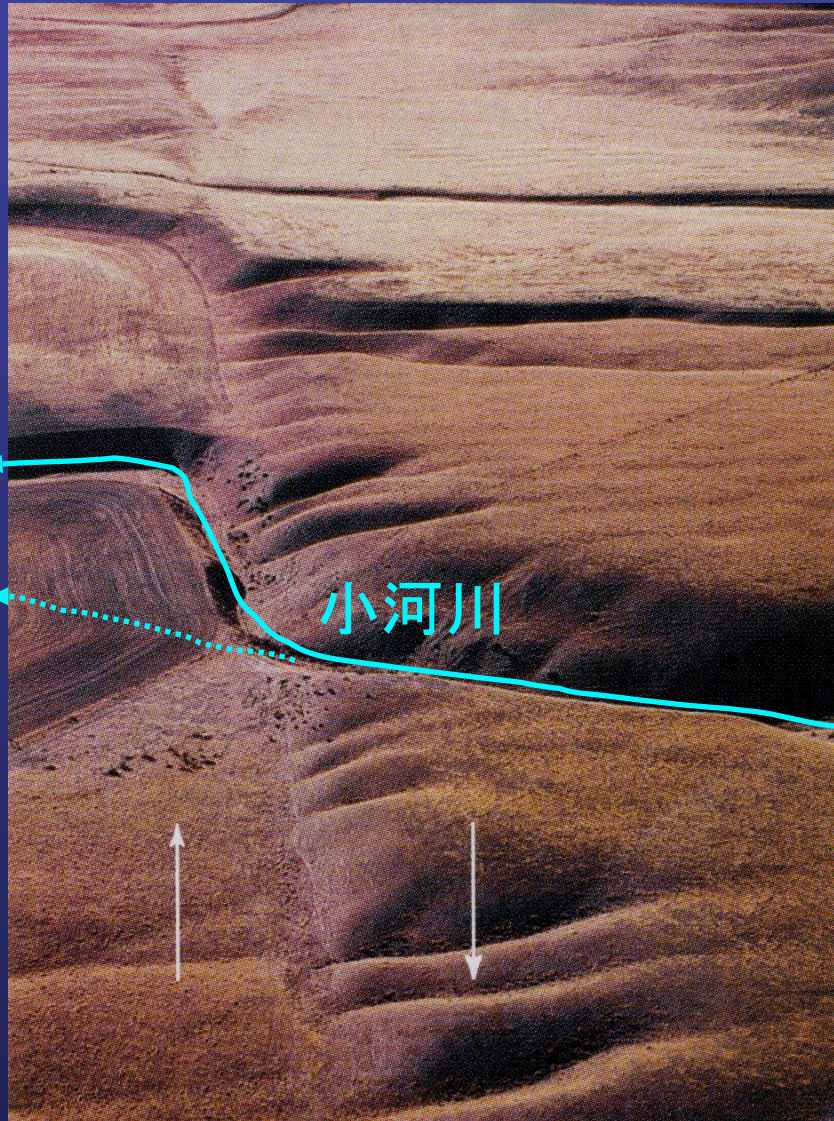
- 太平洋や大西洋などの大洋の底
 - 深さ4000～5000mの平坦面
 - 地殻変動は不活発
 - 最上部は遠洋性堆積物
 - 最上部直下は玄武岩質の枕状溶岩
 - 地殻熱流量：中央海嶺からの距離に比例して小さくなる

5.1(5) トランスフォーム断層

- プレー間の横ずれ運動
 - 海嶺と海嶺、海溝と海溝、海溝と中央海嶺をつないで発生



トランスフォーム断層の例



サンアンドレス断層(アメリカ)

(Press and Siever, 2001)

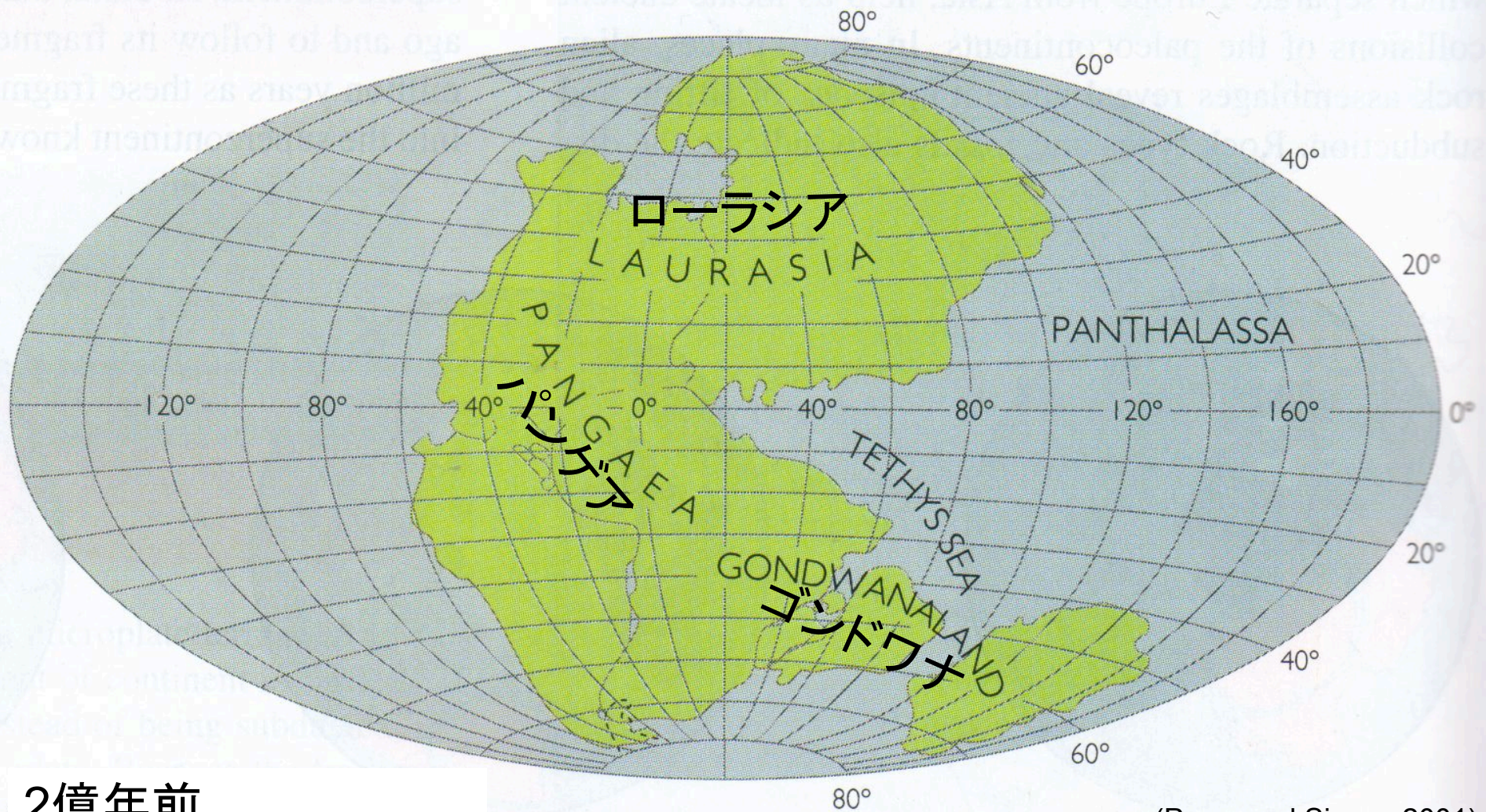
5.2(1) 大陸移動とマントル対流

- アルフレッド・ウェゲナー(1880-1930)
 - 大陸移動説
 - アフリカと南アメリカがジグソーパズルのように合わせられる
 - 化石の類似性から超大陸パンゲアの存在を予測
 - 移動原動力の説明ができなかった

- アーサー・ホームズ(1890-1965)
 - マントル対流説
 - 大陸移動の原動力

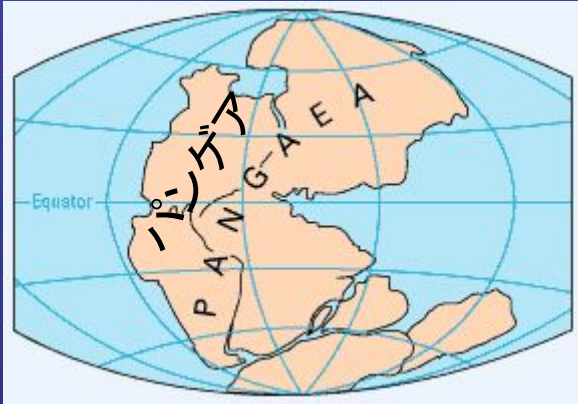


パンゲア超大陸

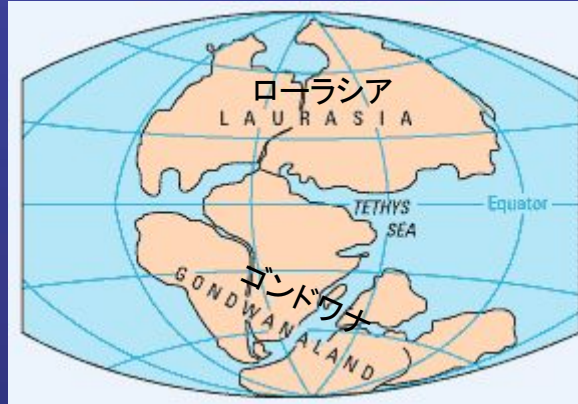


(Press and Siever, 2001)

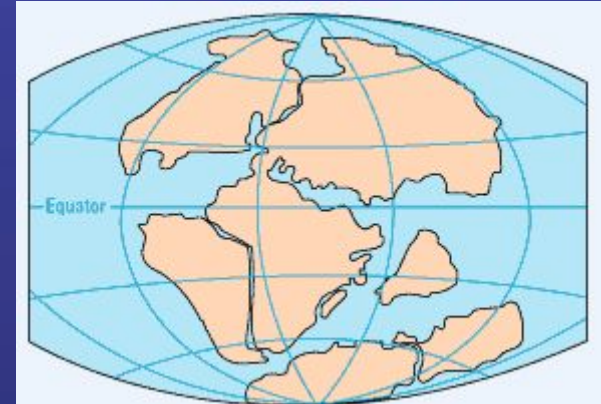
パンゲア超大陸から現在



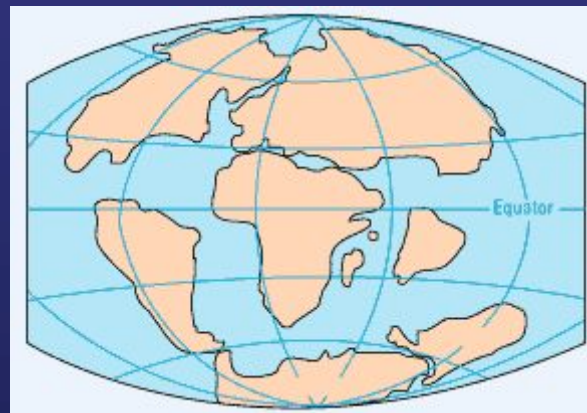
二畳紀
2.25億年前



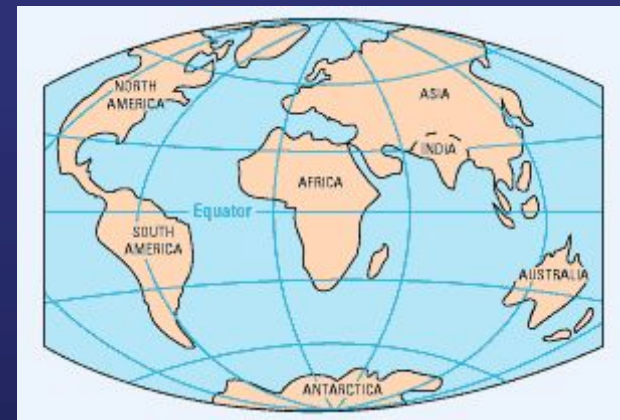
三畳紀
2.00億年前



ジュラ紀
1.35億年前

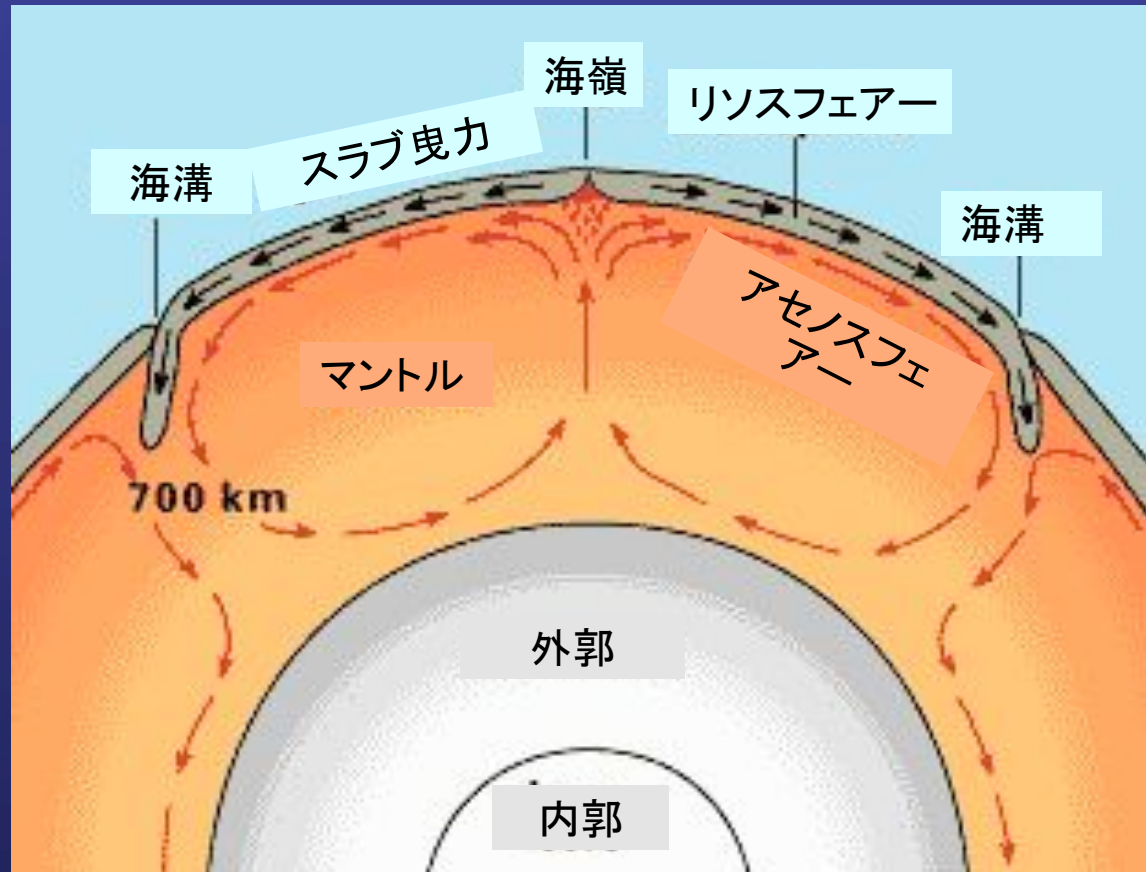


白亜紀
6千5百万年前



現在

マントル対流による プレートの移動



プレート運動の原動力

- エッジメカニズム
 - プレートそのものがマントル対流の一部であって、プレートはその周縁(エッジ)に働く力の釣り合いで運動する。
 - エッジに働く力
 - 中央海嶺における押しの力 – マントル物質の浮力が横方向に働いたもの。
 - スラブ曳力 – 海溝でのスラブの沈み込みによって起こるスラブが引く力。
 - スラブ: マントル内に沈み込んだプレート

5.2(2) 海洋底拡大説

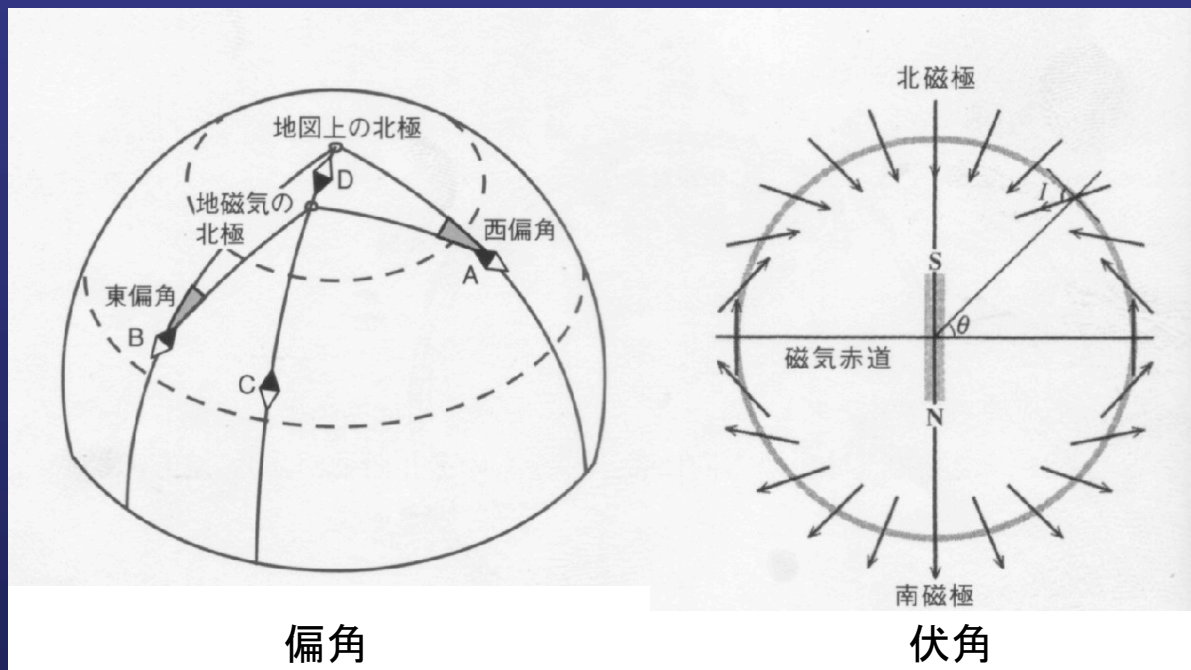
- ハリー・ヘス(1906-1969)
 - 中央海嶺: マントルの湧き口
 - 海溝: マントルの沈み口
 - 海洋底の拡大速度を数cm/年と推定
 - 1962年の論文

- R. S. ディーツ
 - リソスフェアがアセノスフェアの上を動いている
 - 1961年の論文



5.2(3) 古地磁気学的証拠

- 地球には外殻流体の流れによる磁場がある
- 地磁気の3要素
 - 偏角、伏角(ふっかく)、磁場の強度



(酒井, 2003)

熱残留磁気

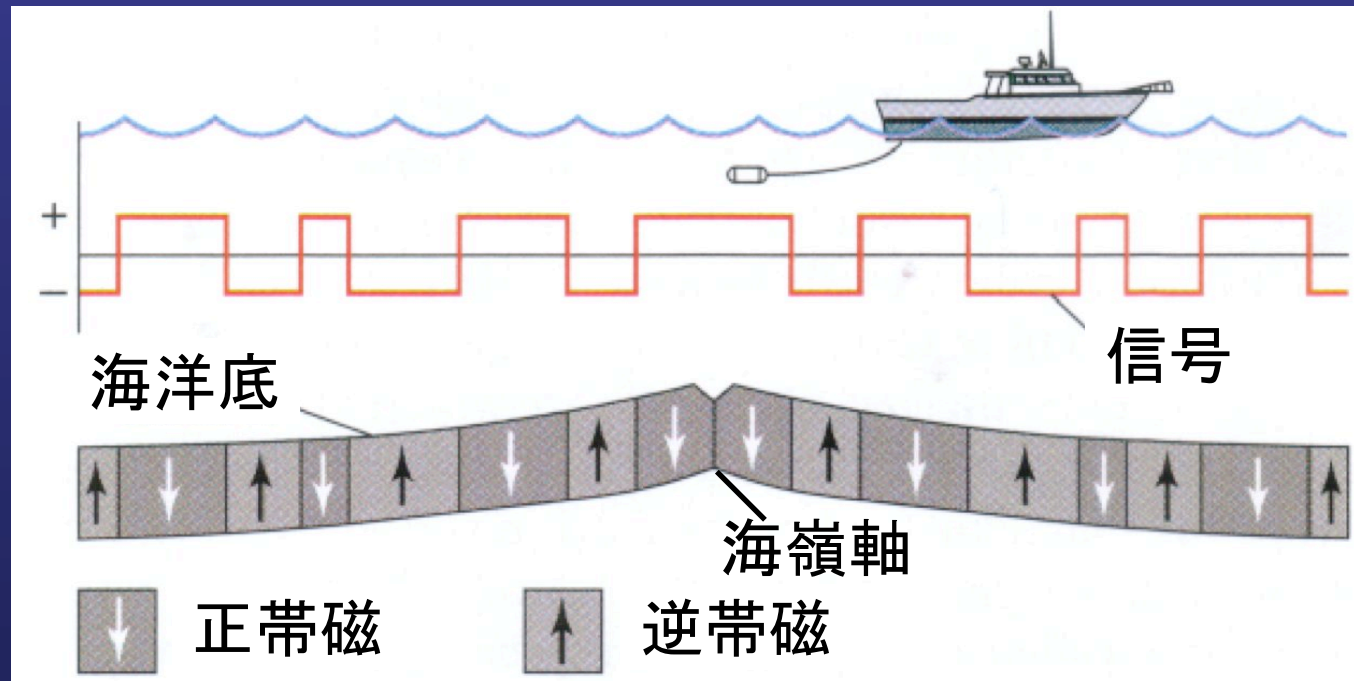
- 岩石中の磁性鉱物
 - 一定の温度を超えると磁性を失う
 - 溶岩が地球磁場の中で冷える時
 - ある温度以下に冷えた際にその場所の地球磁場に従って磁気を得る---熱残留磁気
 - キューリー温度: 磁気を得る温度
 - 磁鉄鉱のキューリー温度 = 575°C

地磁気極性逆転

- 過去に地球磁場が逆転
 - 正帯磁
 - 現在の地球磁場方向の帯磁
 - 逆帯磁
 - 現在の地球磁場と逆方向の帯磁
 - ジュラ紀(約1億6600万年前)以降70回以上地磁気は逆転

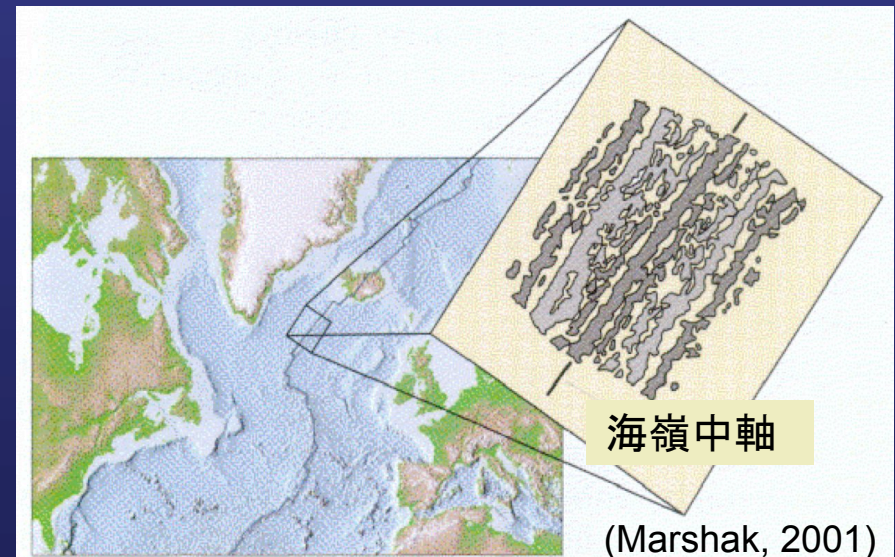
逆転地磁気から拡大速度推定

- バインとマッシュューズ(1963)
 - 地磁気のテープレコーダーモデル

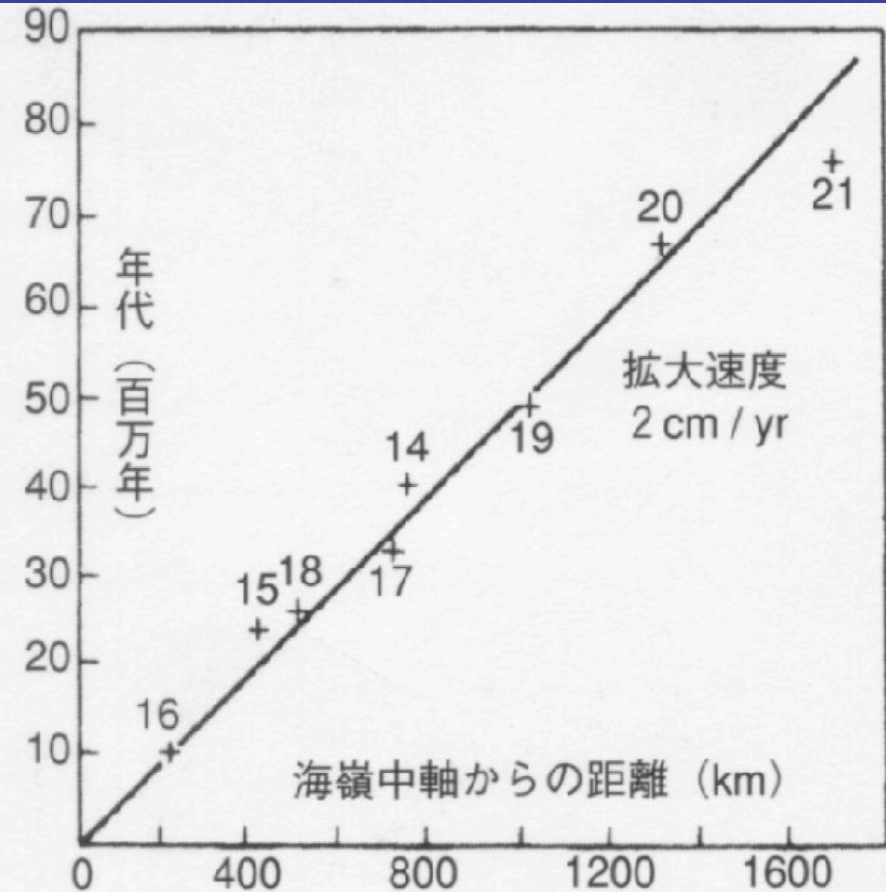
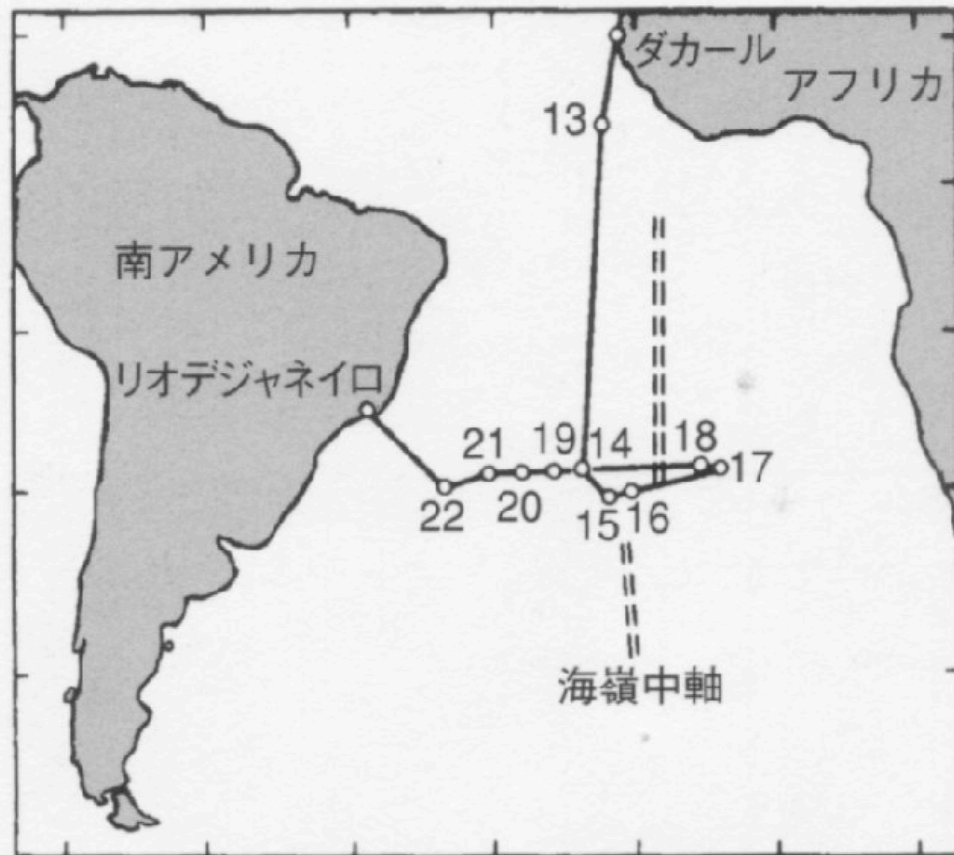


海洋底の拡大速度

- バインとマッシュューズ(1966)
 - 陸上で得られた地磁気逆転データを使って
 - 海洋底拡大速度
 - 北大西洋: 約1cm/年
 - 東太平洋: 約4.6cm/年



5.2(4) 深海掘削



- 南大西洋海洋底の拡大速度＝約2cm/年

国際海洋掘削計画 (ODP)

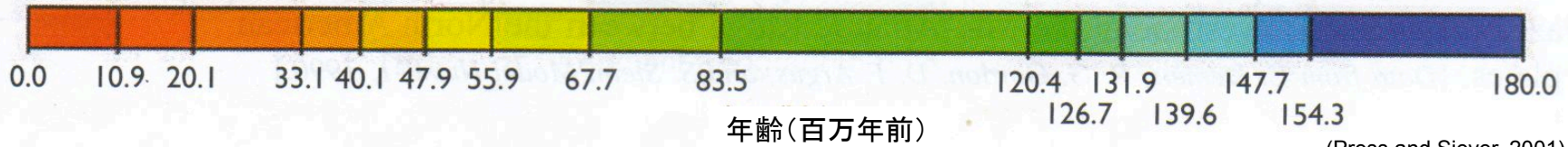
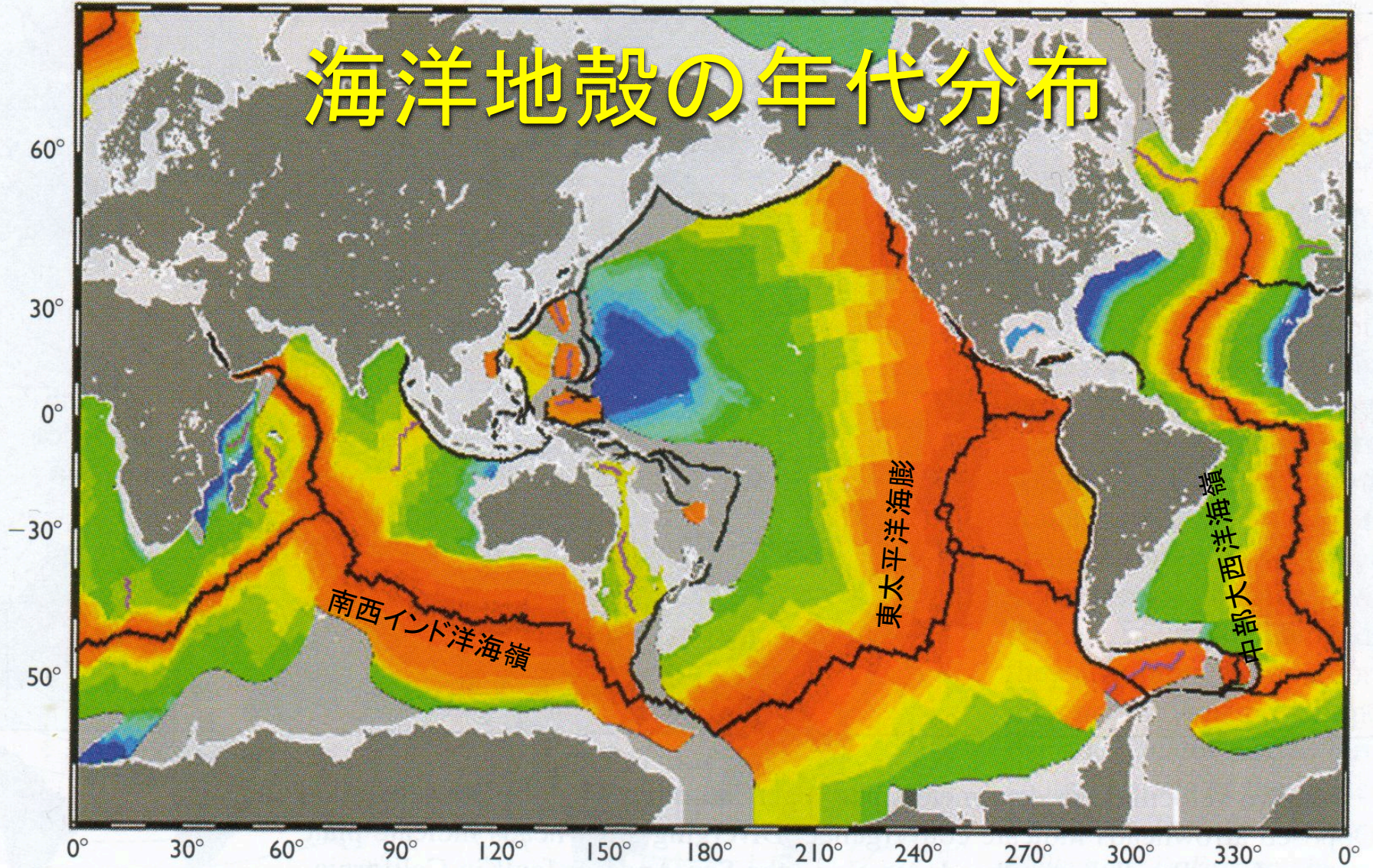


グロマーチャレンジャー号 (1960年代)
—引退—



ジョイディスレゾリューション号 (1990年代)
—現役—

海洋地殻の年代分布



(Press and Siever, 2001)

統合国際深海掘削計画 (IODP)

地球深部探査船「ちきゅう」

(撮影: 西村屋、2004年10月25日)

南海トラフで掘削開始 地球深部探査船「ちきゅう」

2007年09月26日08時01分 www.asahi.com

巨大地震の巣「南海トラフ」における地震の発生メカニズムを解明しようと海洋研究開発機構の地球深部探査船「ちきゅう」が24日、和歌山県・新宮港南東約70キロの熊野灘で、海底下の掘削作業に着手した。一帯は、海側のプレート（岩板）が陸側のプレートの下にもぐりこむプレート境界にあたり、過去にマグニチュード8クラスの海溝型地震を繰り返している。

「ちきゅう」は全長210メートル、総トン数5万7087トン。高さ約70メートルもある掘削やぐらが特徴で、千本以上のドリルパイプなどを積み込んでいる。5年計画で最深海底下6000メートルまで掘削し、地殻や断層の地質を採取する。今回は来年2月までに1000メートル掘削する。



洋上掘削作業を開始した地球深部探査船「ちきゅう」=24
日午後、和歌山県新宮市沖の熊野灘で、本社機から

海底深成岩：1.5キロ掘り抜き、地殻の最下層採取

米カリフォルニア大などの国際プロジェクト「統合国際深海掘削計画(IODP)」が、東太平洋の中米コスタリカ沖で、海底を深さ約1.5キロまで掘り抜き、地殻の最下層の深成岩を採取することに初めて成功した。20日付の米科学誌「サイエンス」電子版で発表した。

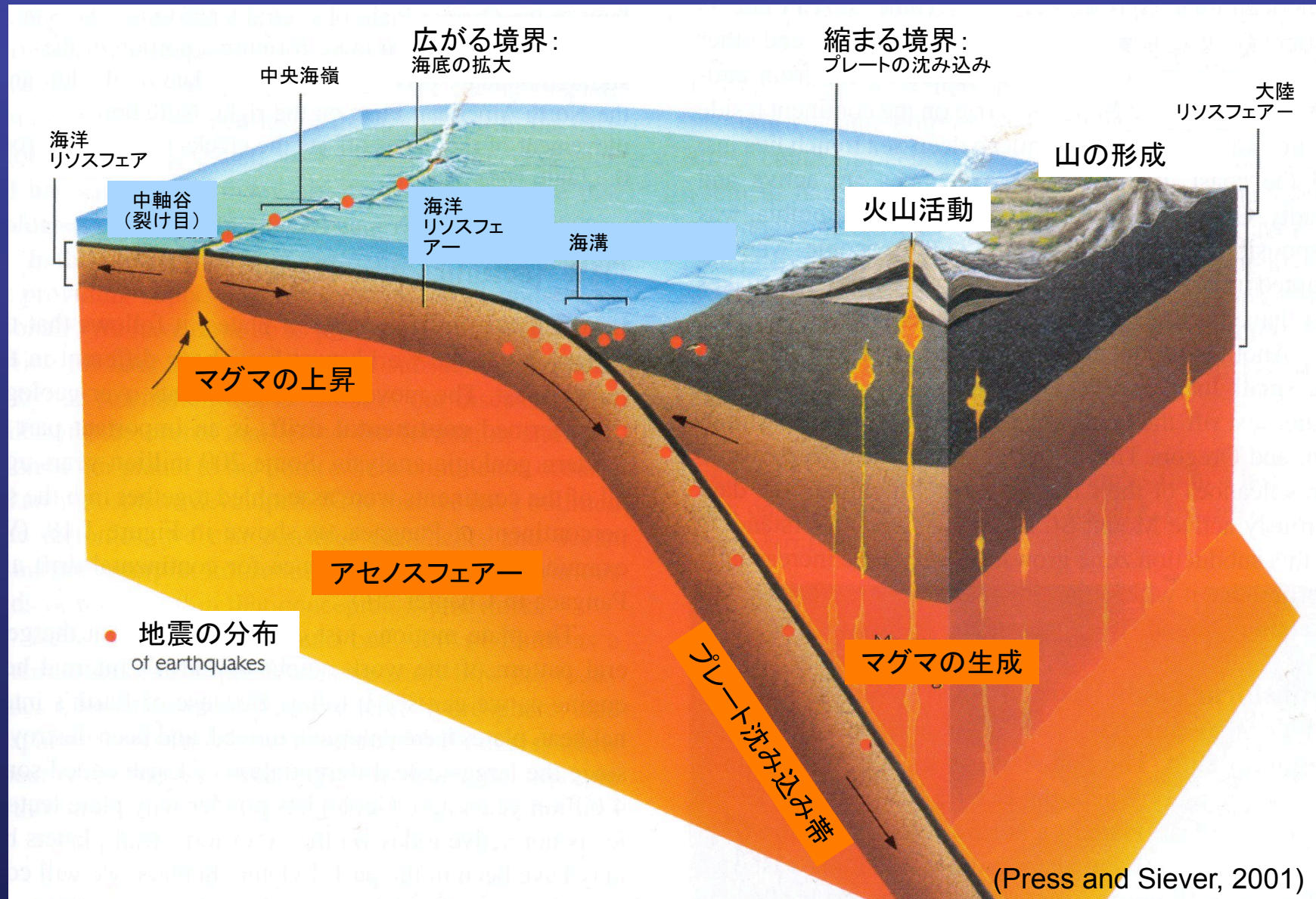
深成岩は「マグマだまりの化石」とも呼ばれ、地殻形成のメカニズムを知る上で重要。40年以上に及ぶ海底掘削の歴史で、深成岩まで到達した例はなかった。

プロジェクトには、海野進・静岡大教授や宮下純夫・新潟大教授ら日本人研究者11人も参加。02～05年の3回にわたり、地殻が薄いと推定されるコスタリカ沖で掘削船「ジョイデス・レゾリューション」を使ってボーリングした。泥などの堆積(たいせき)層、溶岩層、岩脈群を貫き、海底から約1407メートルの地点で深成岩層に到達。さらに約100メートル掘り進め岩石を採取した。

海野教授は「海底からたった1～2キロの深さでさえ、実際どうなっているのかわかっていなかった。1500万年前に地殻が形成された当時、マグマだまりが活発に活動していたとみられることなど、初めて分かることも多かった」と話している。【須田桃子】

毎日新聞 2006年4月21日 3時00分

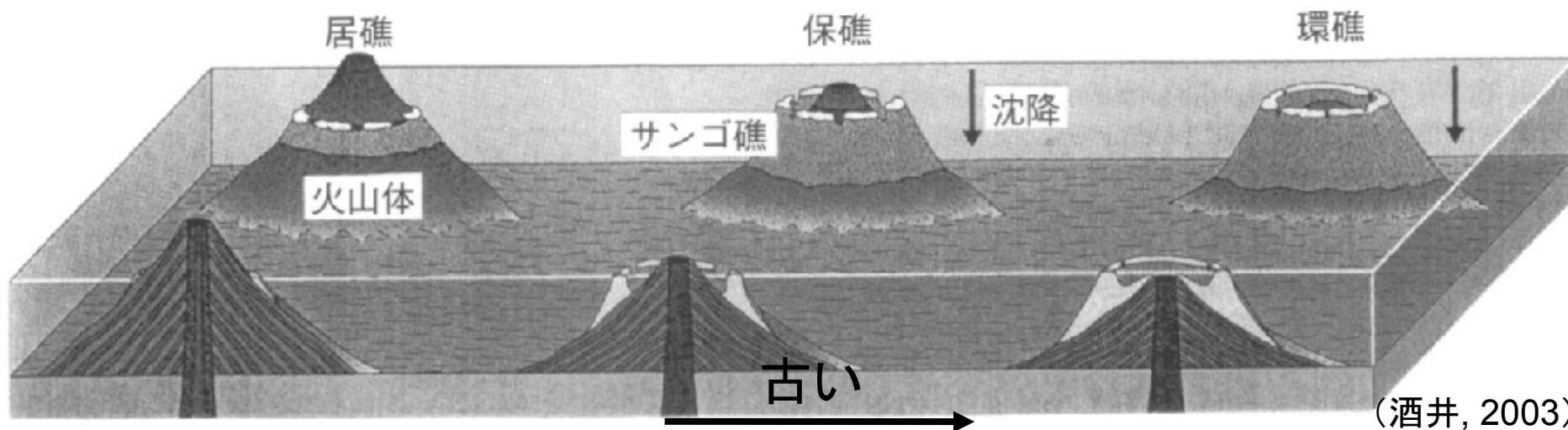
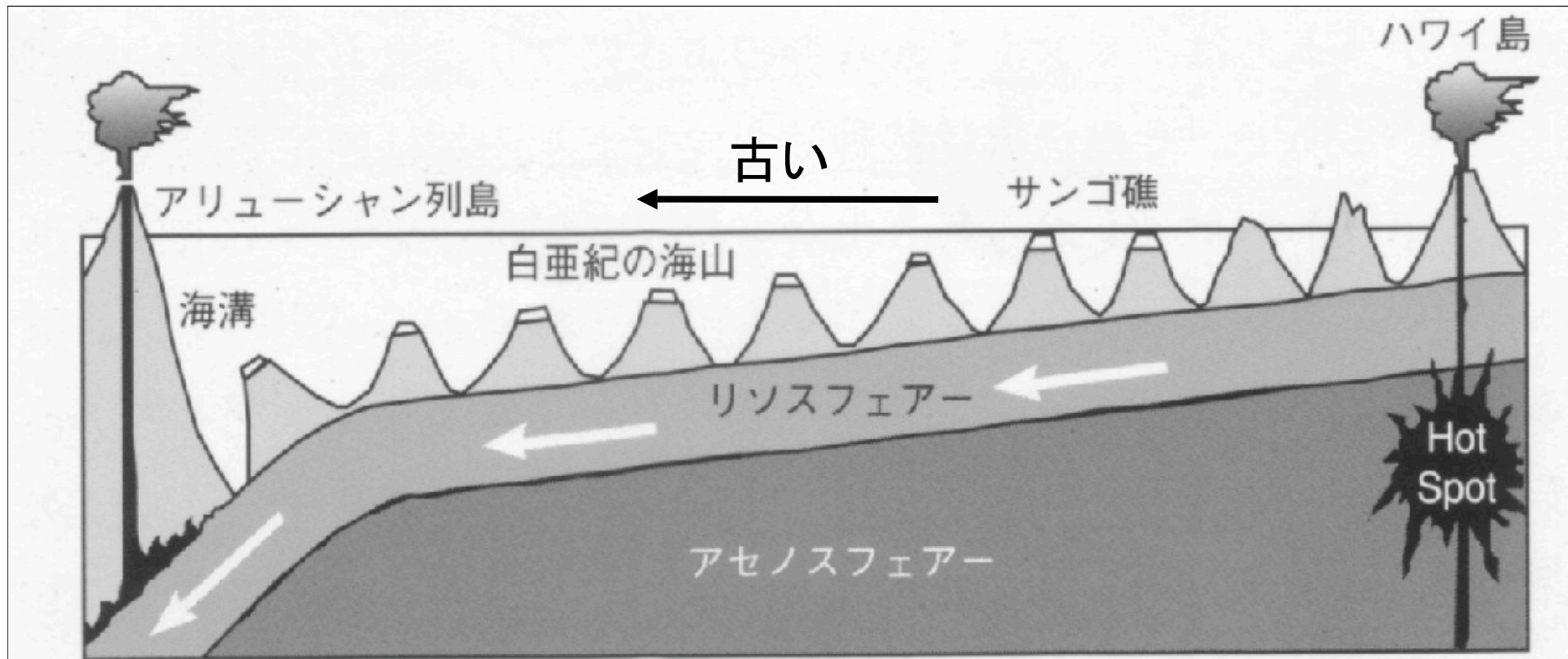
プレート境界における活動



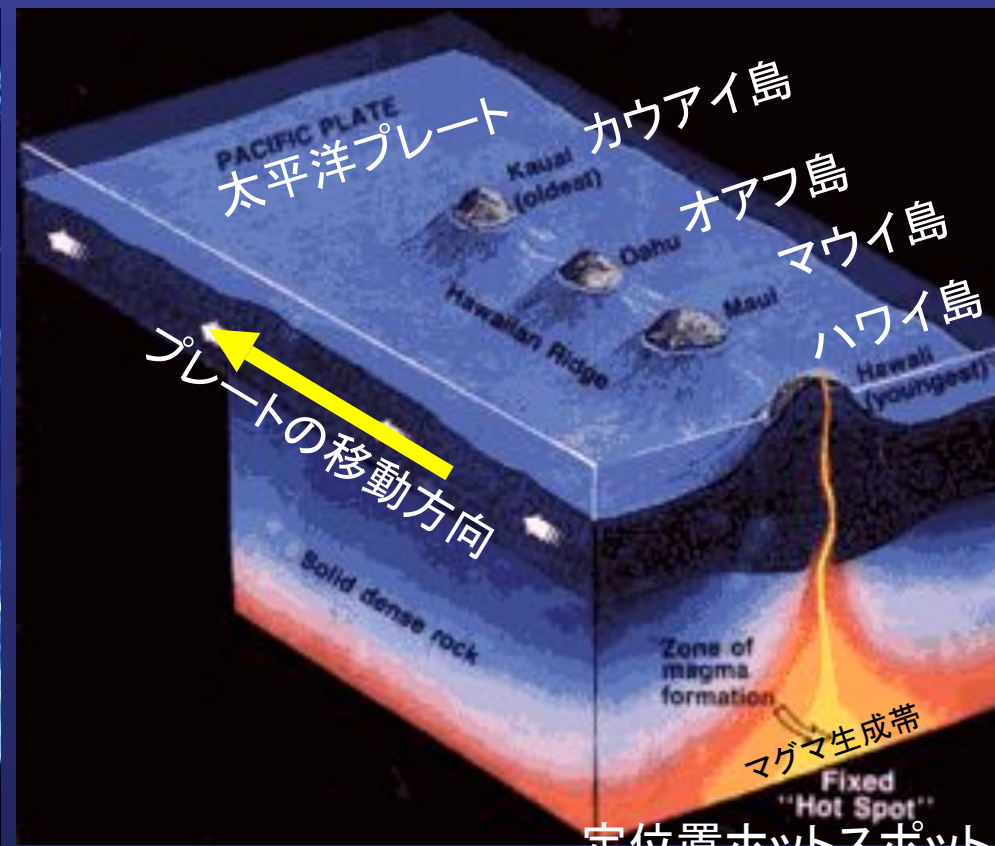
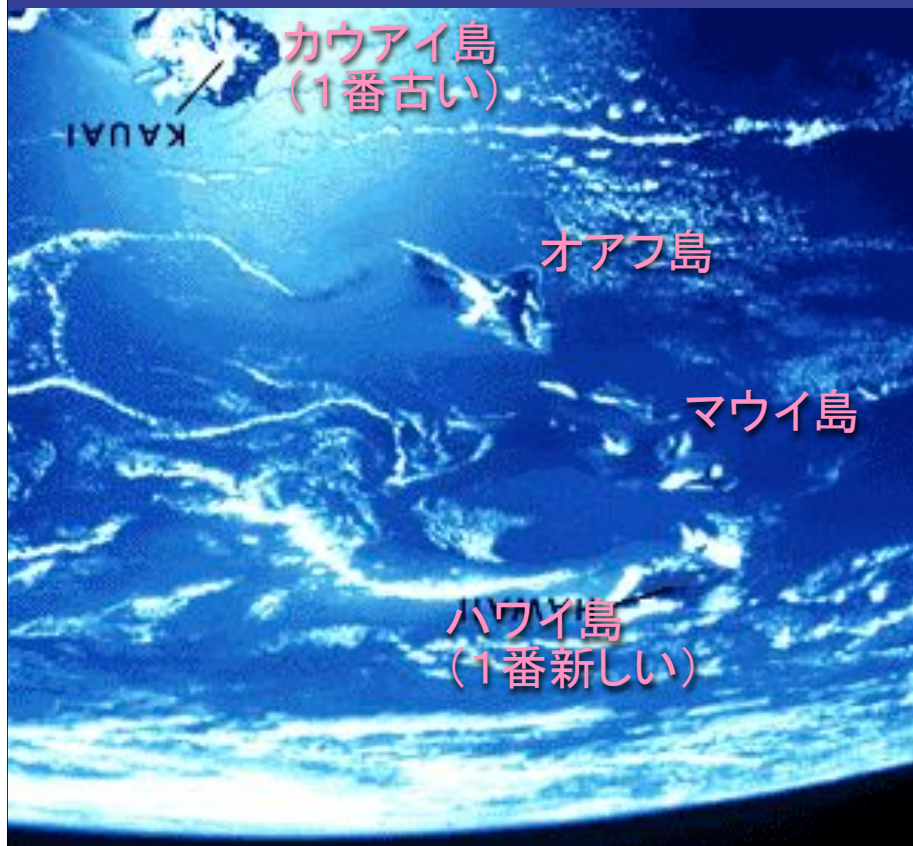
5.2(5) ホットスポット

- 1963年 ツゾー・ウィルソン
 - 大洋の真中にある火山の説明
 - ホットスポット仮説: 海洋底のさらに下の定位置からマグマが上昇する場所で移動しない



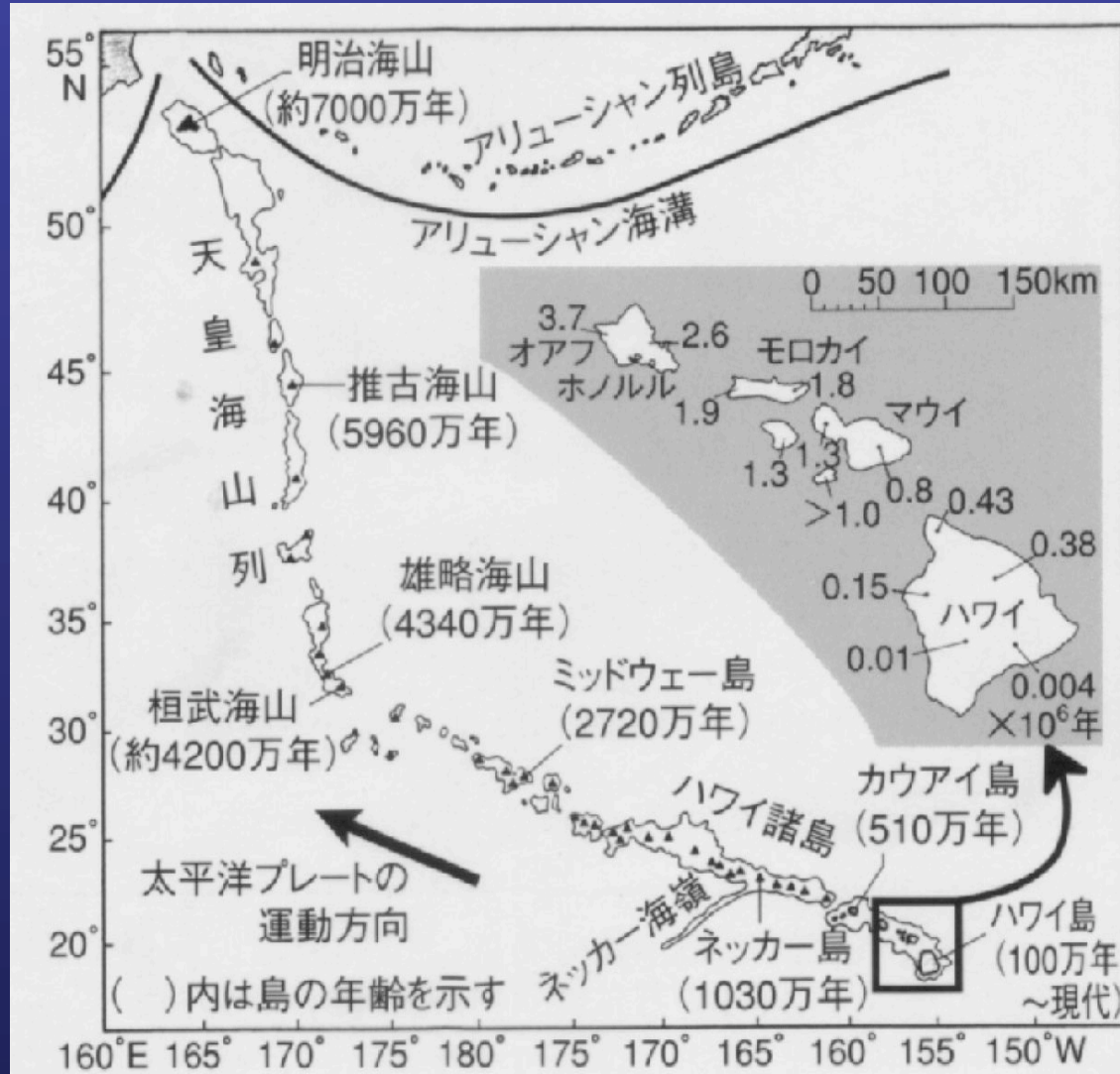


ホットスポット上のハワイ諸島



定位置ホットスポット

海山列



太平洋プレートの移動速度
= 約9cm/年

(酒井, 2003)

三陸沖にマグマしみ出し型の新型火山 海洋機構など発見

2006年07月28日06時05分 www.asahi.com

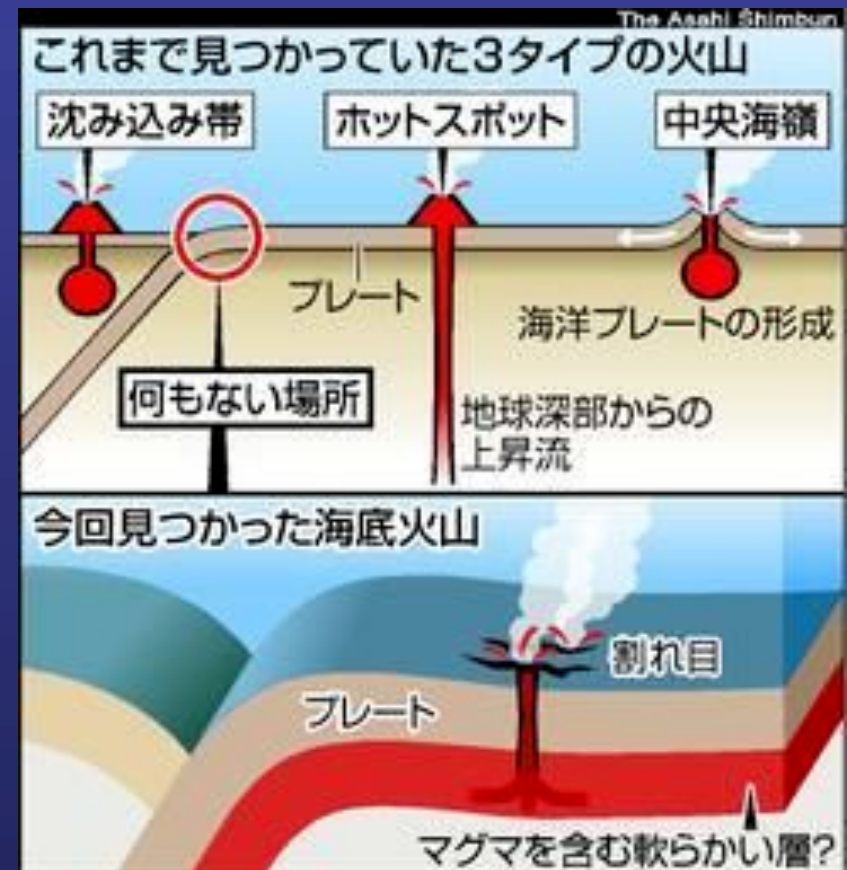
岩手・三陸沖800キロの太平洋の海底に、海洋研究開発機構と東京工業大のグループが小さな火山群を見つけた。従来の理論では火山はできないはずの場所で、研究グループは海底のプレート(岩板)にできた小さな亀裂を通してマグマがじわじわしみ出す新タイプの火山としている。米科学誌サイエンス(電子版)で発表する。

グループは03~05年、水深6000メートルのこの海域を潜水調査船「しんかい6500」などで調べ、高さ50~100メートルの盛り上がった地形を見つけた。付近で火山噴出物が採取され、その地形は103万~5万年前に噴火した三つの火山と分かった。

火山ができる場所は従来、(1)海洋プレートが生まれる場所(大西洋の中央海嶺(かいらい)など)(2)プレートが沈み込む先(日本列島など)(3)地下深くからの局所的な上昇流があるホットスポット(ハワイなどの大規模火山)——と考えられてきたが、今回はどれにも該当しない。

地下構造の音波探査や周辺の地形調査などから、プレートにできた亀裂を通してマグマがしみ出したとみられることが分かった。プレート直下に、溶けたマグマを含む軟らかい層が広がっていると考えると説明がつくという。

プレート理論では、ベルトコンベヤーのように硬いプレートがゴムのように軟らかい層に載って運ばれると説明されているが、軟らかい層が部分的に溶けているかどうかは未確認だった。グループの高橋栄一・東工大教授は「今回の研究で一つの証拠が得られた」と言い、他の海底でも同様の火山を探すことにしている。



これまで見つかった3タイプの火山

新タイプの海底火山発見＝三陸東方沖、水深6000メートルー海洋機構など

三陸東方沖約800キロの深海底で、新タイプの海底火山が3つ発見された。海洋研究開発機構や東京工業大などの研究チームが昨年5月、有人探査機「しんかい6500」で溶岩を採取して確認し、米科学誌サイエンスの電子版に28日発表した。

これらの火山は、水深6000メートル前後の深海底にあり、底面の直径は約1キロ、高さは50～100メートル。太平洋プレートがゆっくり移動して日本海溝に沈み込む手前で、屈曲して亀裂が生じ、マグマがわき出たできたと考えられる。形成年代は、溶岩に交ざっている微生物化石の分析から、5万～103万年前と推定された。

このような形成メカニズムの海底火山が見つかったのは初めて。今後、世界各地の海底で見つかる可能性があるという。

(時事通信) - 2006年7月28日5時0分更新

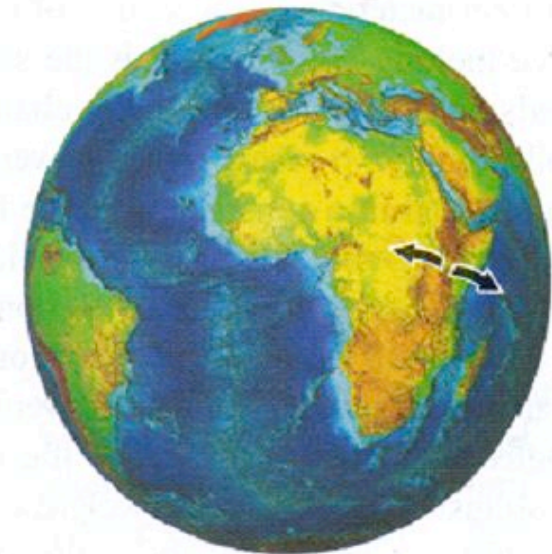
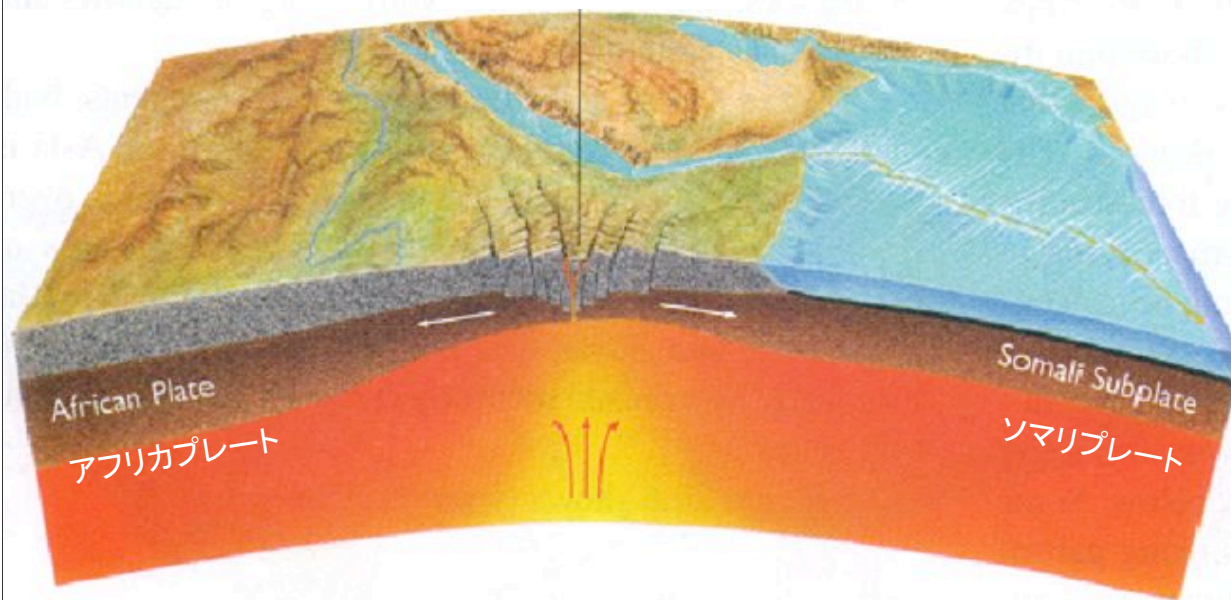


5.3 海洋のライフサイクル

- ウィルソンサイクル(教科書 図5.23)
 - 第1期:大陸の分裂—東アフリカ地溝帯
 - 第2期:分裂した大陸間に海洋底—紅海
 - 第3期:大陸間隔が広がる—大西洋
 - 第4期:海洋底の沈み込み—西太平洋
 - 第5期:海洋を挟む2大陸が近づく—地中海
 - 第6期:2大陸の衝突—ヒマラヤ・チベット地域
- 大陸はいつまでも地球表層にありつづける

ウィルソンサイクル第1期

東アフリカ地溝帯

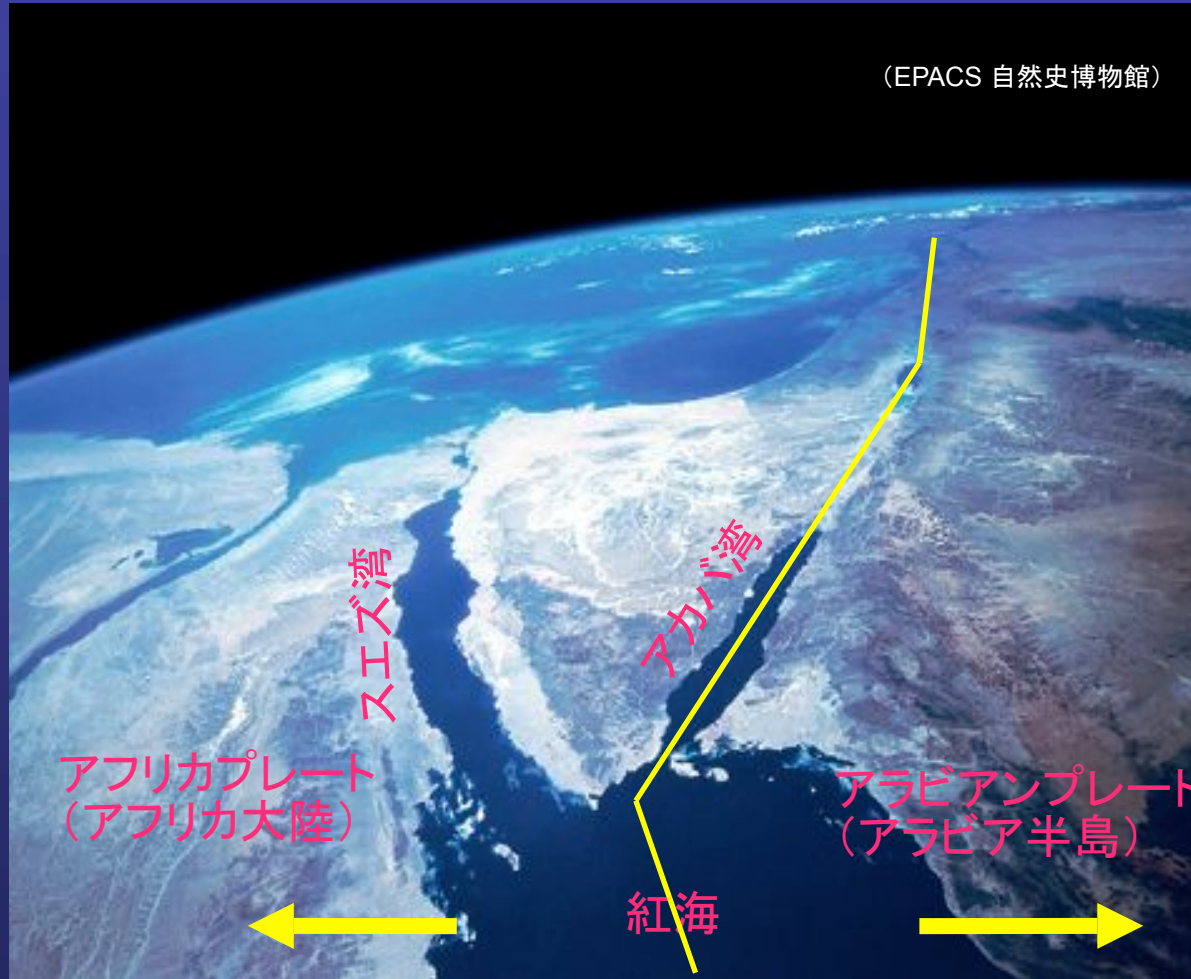


東アフリカ地溝帯



エチオピア高原

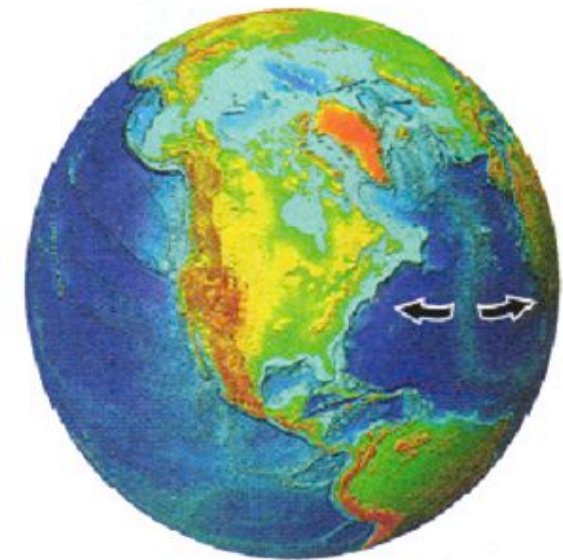
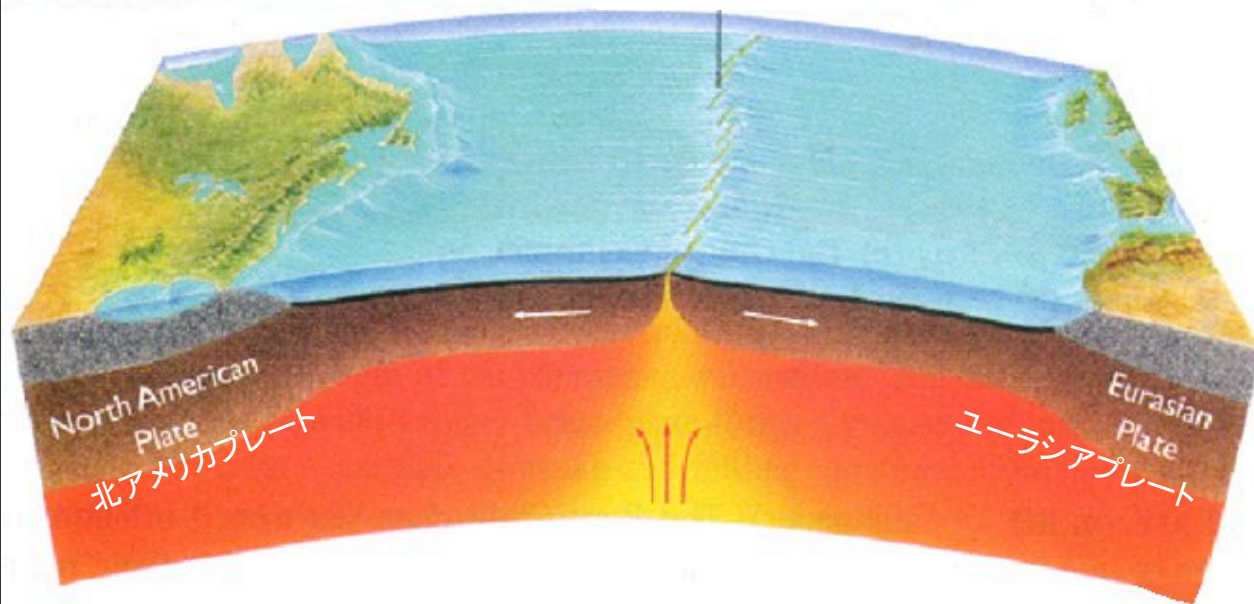
ウィルソンサイクル第2期



東アフリカ地溝帯(広がる境界)におけるプレートの裂け目に海水が浸入して紅海、アカバ湾を形成(エジプト、サウジアラビア)

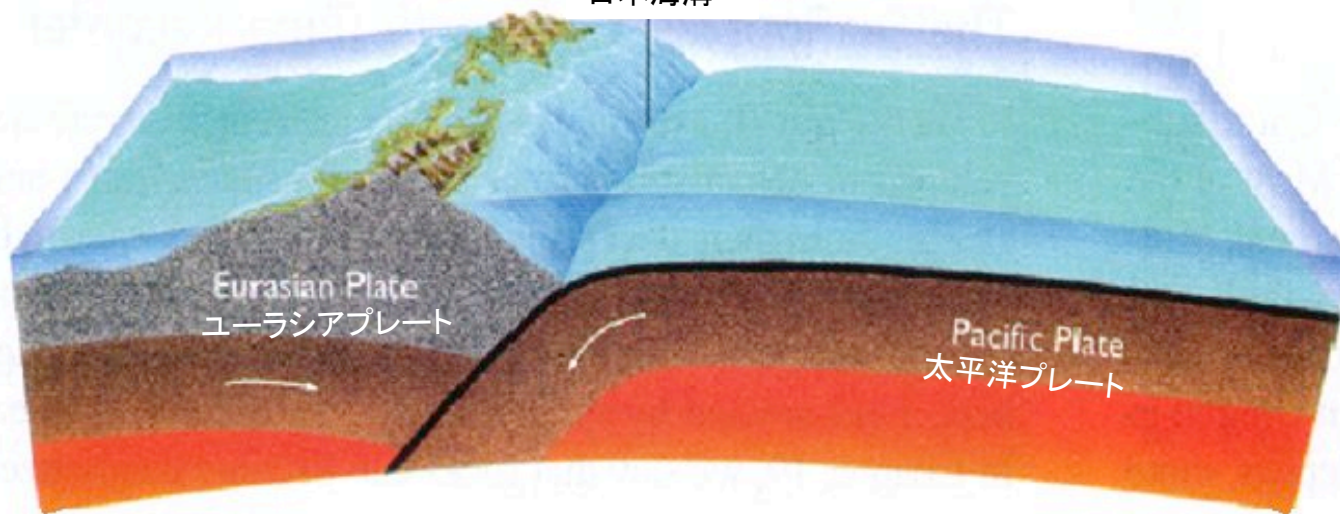
ウィルソンサイクル第3期

中部大西洋海嶺

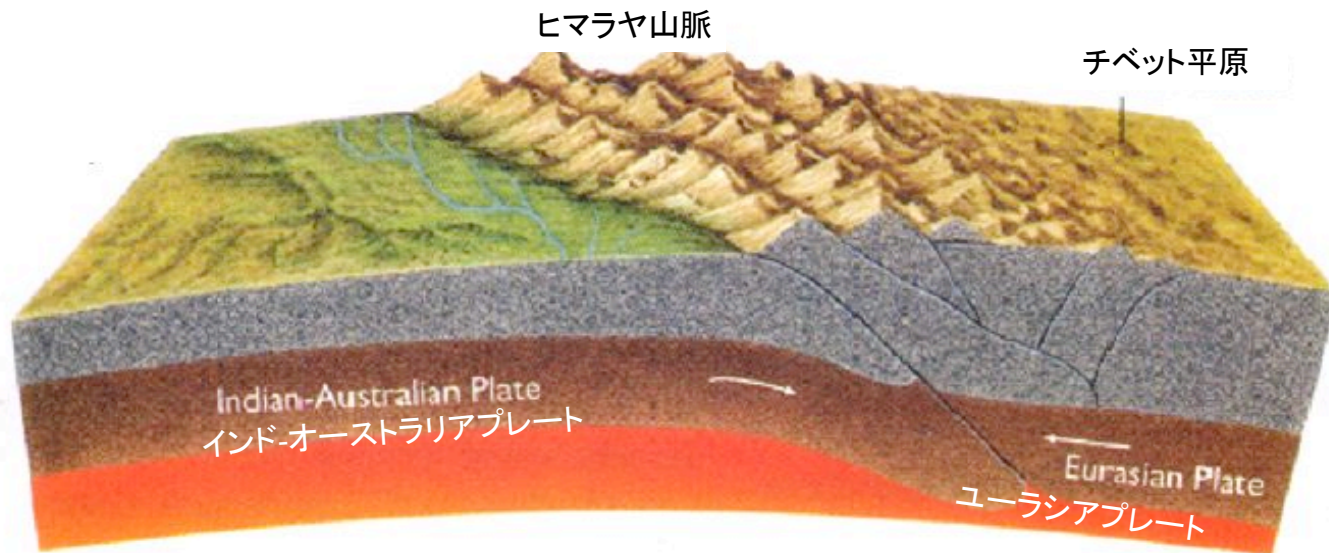


ウィルソンサイクル第4期

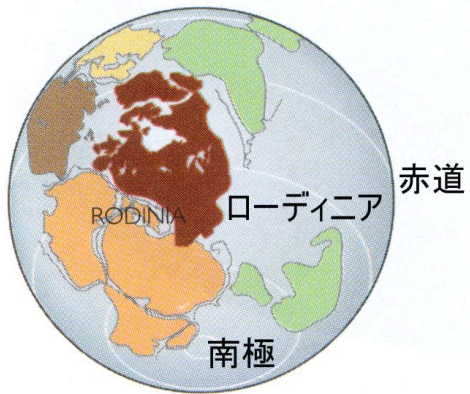
日本海溝



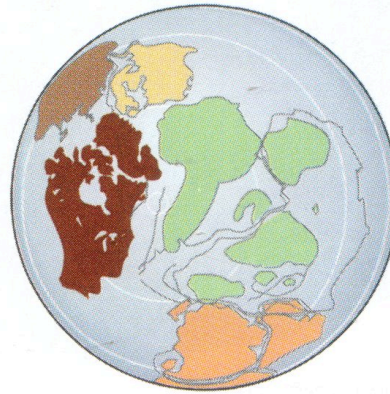
ウィルソンサイクル第6期



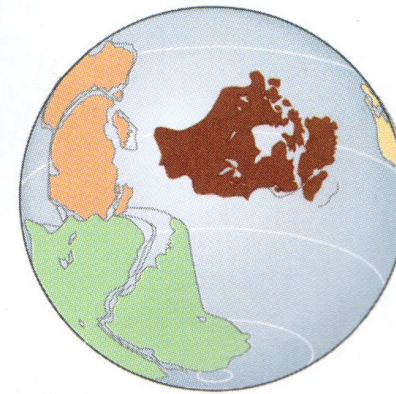
大陸の離合・集散



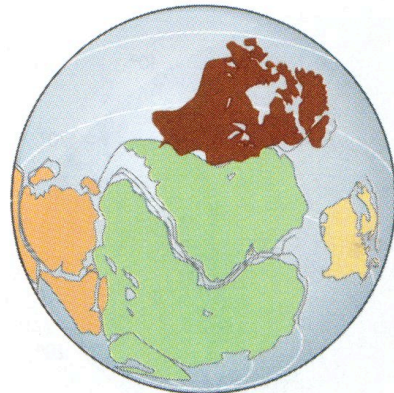
(a) 原生代後期
(7.5億年前)



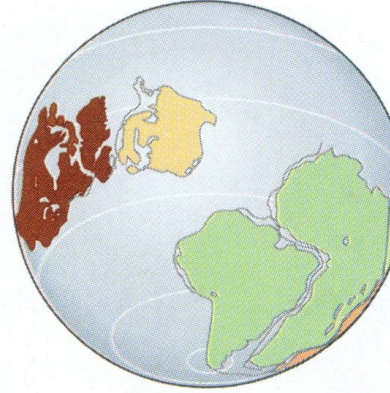
(b) 原生代末期
(5.5億年前)



(c) カンブリア紀中期
(5.3億年前)



(d) オルドビス紀中期
(4.87億年前)



(e) シルル紀中期
(4.22億年前)



(f) 二畳紀初期
(2.60億年前)

南極に5億年前の大陸衝突の決定的証拠、観測隊が発見

第49次南極地域観測隊は14日、3月までの今回の南極観測で、約5億年前に起きた大陸衝突の痕跡を発見したと発表した。

衝突の衝撃で地下深くから地上に現れた特有の岩石の観測に成功したもので、地殻変動による大陸衝突（移動）を裏付ける決定的な証拠としている。

岩石を発見した場所は、南極・昭和基地の西方約600キロ・メートルにある「セールロンダーネ山地」。約5億年前に、「西 Gondwana」（現在の南米とアフリカに相当）、「東 Gondwana」（南極とインド、オーストラリアに相当）の両大陸が衝突して、「Gondwana 超大陸」ができ、同山地はこの衝突の境界にあたるとされていた。

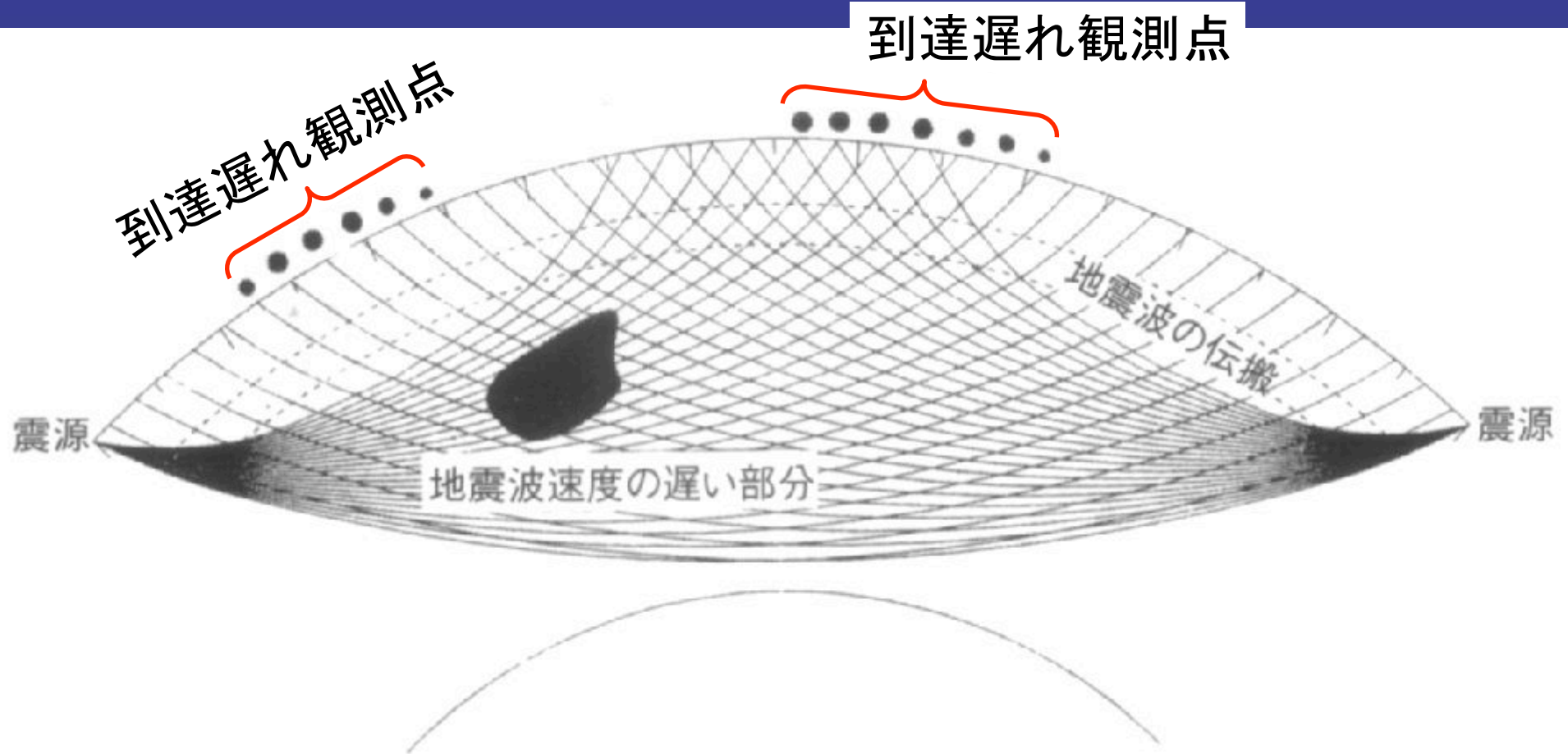
観測隊で調査を担当した小山内康人・九州大教授は「地下約30キロ・メートルでできた岩石が、大陸の衝突で地上にのしあがったものだ」と話している。

（2008年4月14日22時30分 読売新聞）

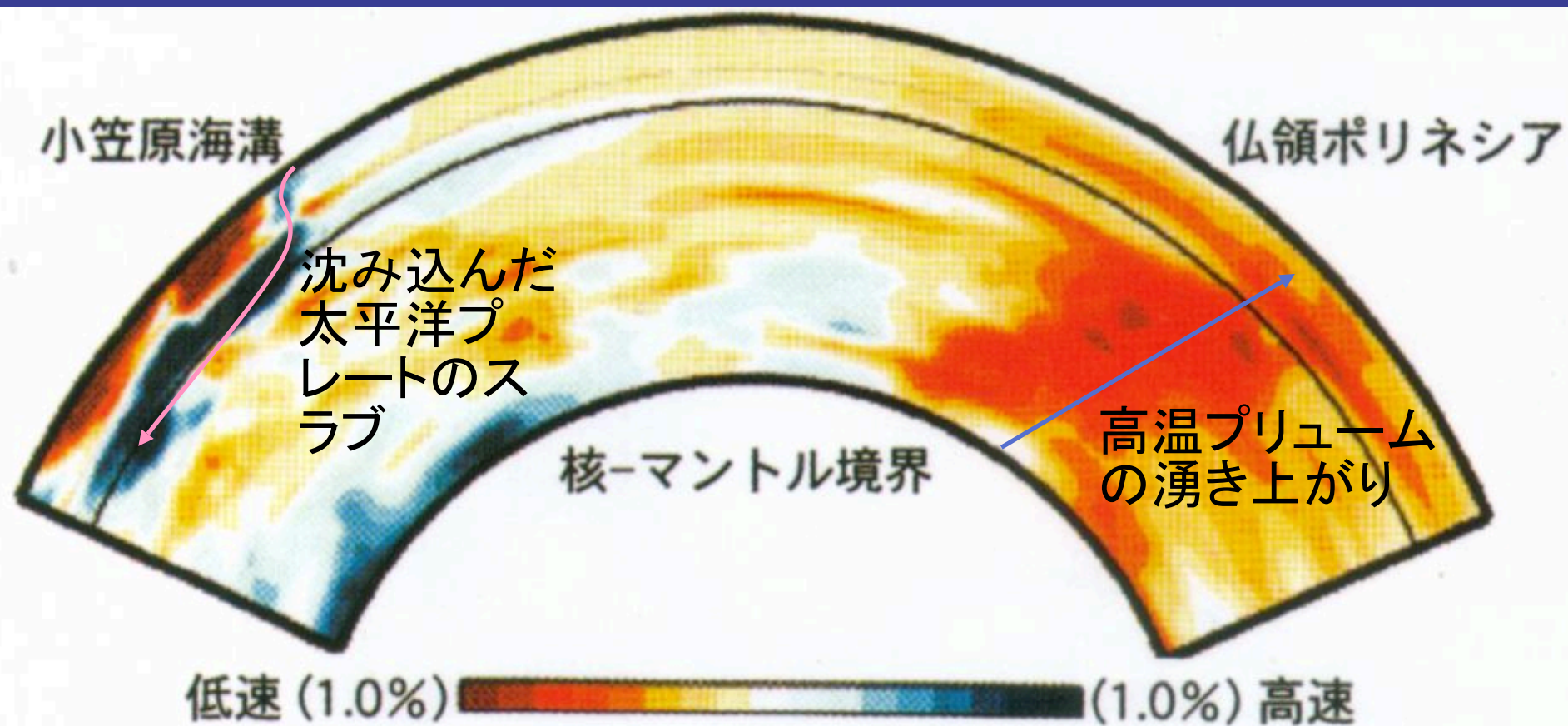
5.4 プリュームテクトニクス

- プレートテクトニクスの原動力の問題に対する答え
- 1980年代後半
 - 地震波トモグラフィ
 - マントルの中の3次元構造がわかるようになった
- マントル全体が関連する巨大な沈み込みや上昇が観測された

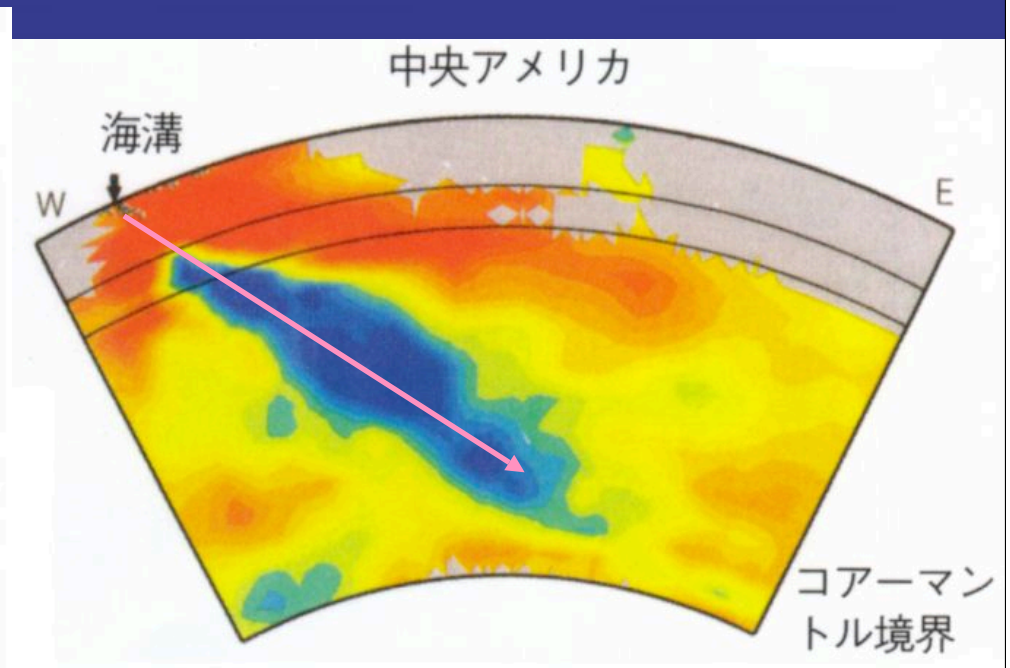
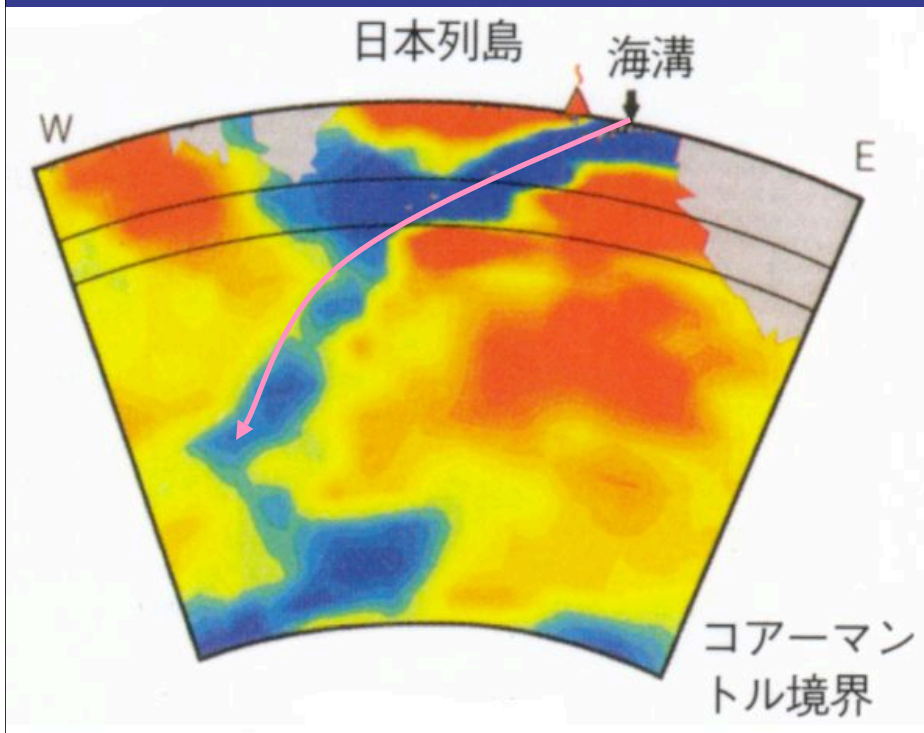
地震波トモグラフィー



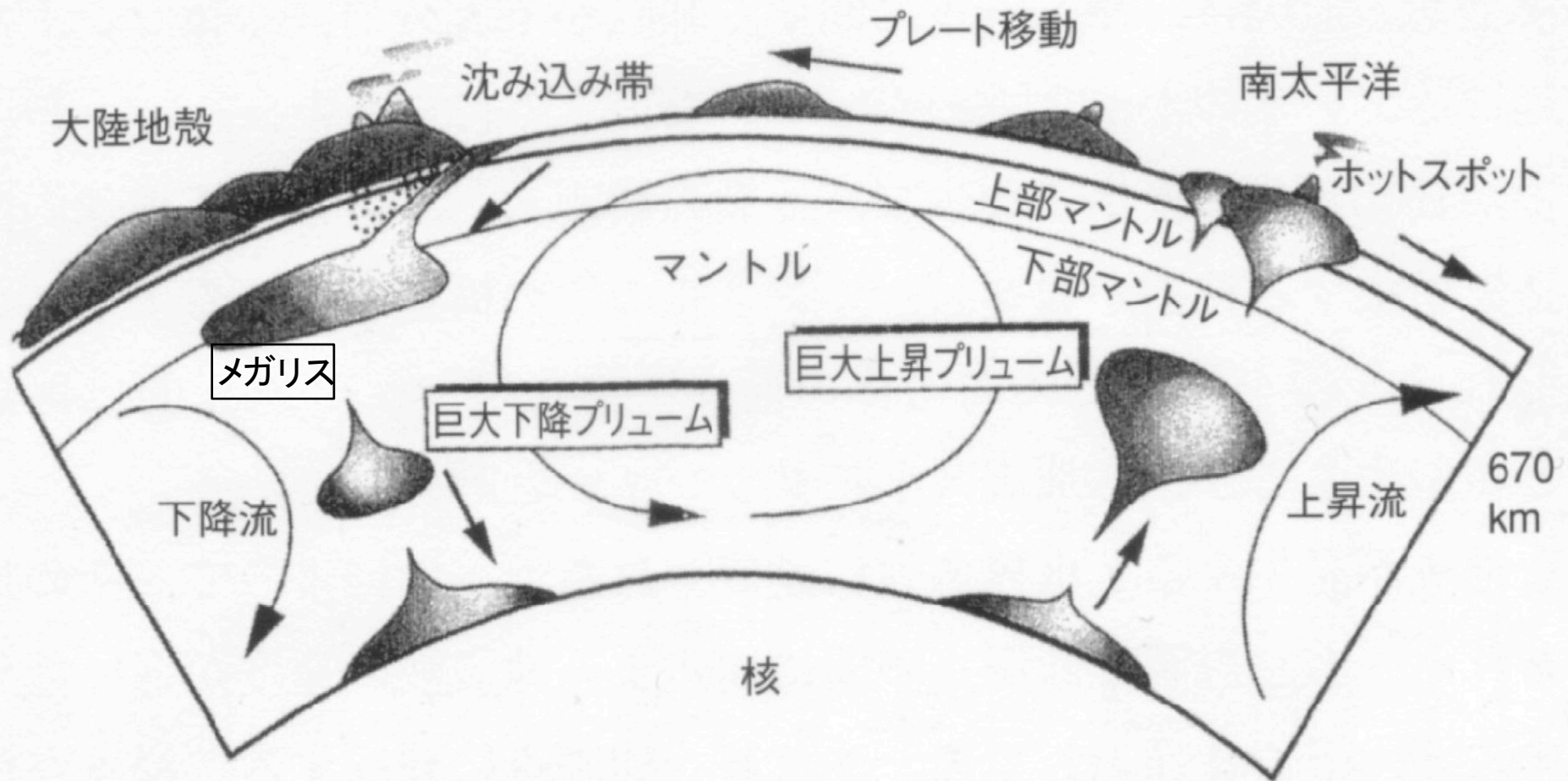
地震波トモグラフィ



沈み込んだプレートの行方



マンテル対流の駆動



<日本沈没> 深部の巨大岩石 が地球規模の大変動に関係

2007年1月15日3時6分配信 毎日新聞

昨年大ヒットした映画「日本沈没」で「沈没」の原因を作った地球深部の巨大な岩石の塊「メガリス」が、地球規模の大変動にかかわった可能性のあることが、海洋研究開発機構や東京大などの共同研究で分かった。アジアの地下でメガリスの崩落が起きたと推定される4000万～5000万年前は、世界中の岩板（プレート）が大きく変化した時期と重なり、日本沈没以上の天変地異が起きたことも否定できないという。

共同研究では▽地震波や電磁波による地球深部の構造探査▽スーパーコンピューター「地球シミュレータ」を使った数値シミュレーション▽高温高圧下での岩石実験——などを実施。世界各地のメガリスの形状が少しずつ異なることなどを突き止めた。

さらに、沈み込んだプレートの行く末をシミュレーションした結果、メガリスが下部マントルへ落下し、たまっていく様子の再現に成功。メガリスが周囲のマントル物質より冷たく重いために重力のバランスが崩れ崩落が起きると推論した。

これらを踏まえ、アジアの地下にあるメガリスが崩落してできたとみられる塊（地下2900キロ付近）は、プレートの沈み込む速度から逆算し、4000万～5000万年前にできたと推定した。この時期は、太平洋プレートの移動方向が北から西に変わったり、インド、オーストラリア両プレートが一体化するなど世界中でプレート運動が激変。伊豆諸島や小笠原諸島が形成され火山活動が始まるなど、地学的な大異変も起きていた。

研究代表を務める海洋機構の深尾良夫・地球内部変動研究センター長は「各分野の成果から、メガリスが落ちる理由が絞り込まれてきた。メガリス崩落によって、日本沈没どころではない全地球規模の天変地異が起きていたかもしれない」と話す。【須田桃子】

▽ **メガリス** 地球表面は厚さ約100キロの硬い岩板（プレート）に覆われている。プレート同士の衝突や潜り込みで、地震や火山活動が起きている。メガリスとは、沈み込んだプレートが地下660キロ付近にたまった部分のこと。映画「日本沈没」では、日本列島の下でメガリスが「崩落」したため、列島が乗った大陸側のプレートが引っ張られて「沈没」が起こるとされた。

日本沈没ない？愛媛大でプレート 落下説を否定する研究成果

巨大地震を起こす原因でもある、地表を覆うプレート（板状の岩盤）は地中に沈み込んでいった後、地下600キロ前後でたまって、それ以上の深さには沈んでいかない可能性が高いことが分かった。

映画の「日本沈没」で、日本列島が海溝に引きずり込まれるという“根拠”となっていた、プレートの地球深部への落下説を否定する成果という。

愛媛大の入船(いりふね)徹男教授（高圧地球科学）らが、14日付の英科学誌「ネイチャー」に報告する。

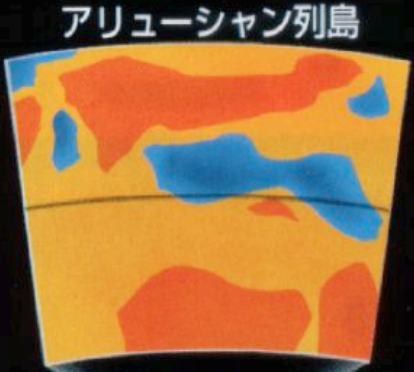
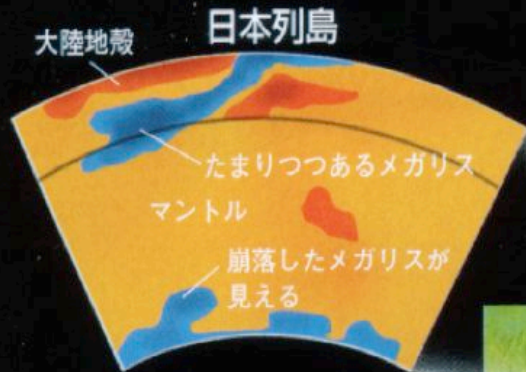
地球内部を構成する岩石の種類は、マグマが運んできた岩石の成分分析などで分かっているが、地下410～3000キロはまだ不明のままという。

入船教授らは、岩石の種類によって、その内部を伝える地震波の速度が異なる点に着目。地球内部と同じ高温・高圧状態を特殊な装置で作製し、その装置の中に数種類の岩石を置き、地震波に見立てた超音波をあてて、その速度を計測。

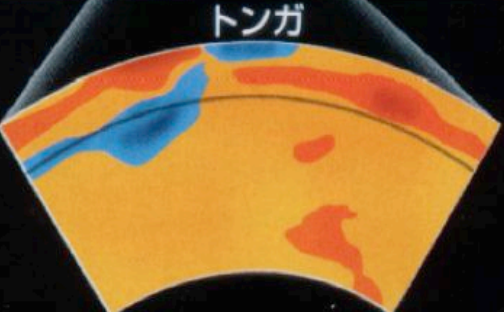
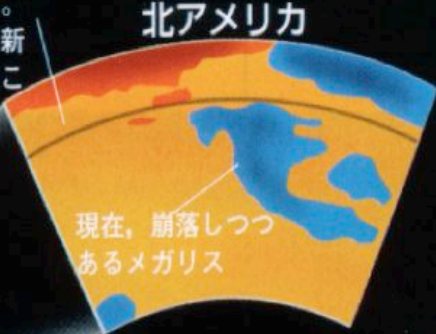
その結果、プレートを構成している岩石の内部を伝える超音波の速度が、地下550～660キロの地中を伝える地震波の速度と一致し、プレートがこれ以上の深さに沈まずにたまっていると推定した。

（2008年2月14日03時14分 読売新聞）

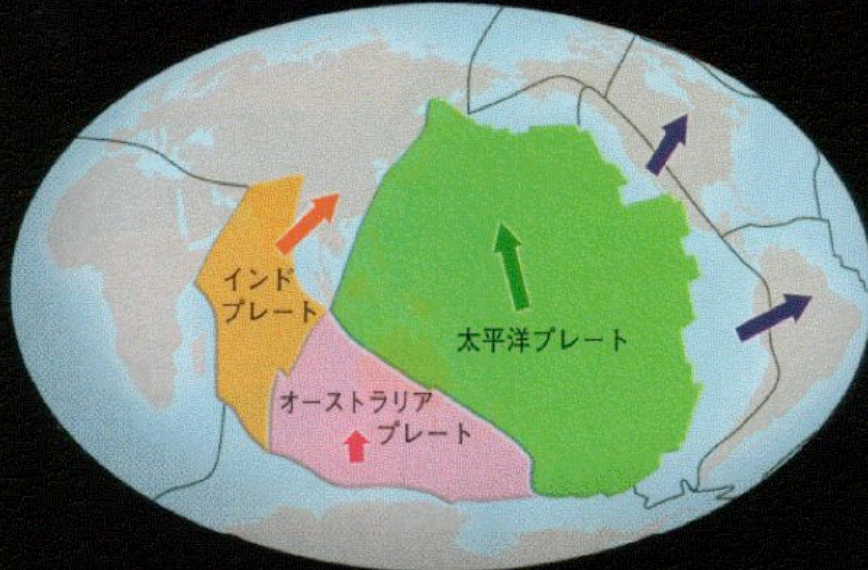
世界のメガリス



かつて海溝のあったとされる場所のあたり。現在は海溝はなく、新たなプレートの沈みこみはない



大再編前 (5000 万年前以前) のプレート配置



太平洋プレートは北へ移動していた

大再編後 (4000 万年前以降) のプレート配置



太平洋プレートは東へ移動するようになった



始新世前期のプレート大再編

5000 万年前以前のプレート運動方向 (左上) と、4000 万年以降のプレートの運動方向 (右上)。図中、色がついているプレートがとくに影響の大きかったとされる太平洋プレート、インドプレート、オーストラリアプレートである。なお、大陸配置は現在のもので、当時の大陸配置はこれとは少しことなる (資料提供: 深尾センター長)。

左下は、プレートの移動方向の変化を示す証拠の一つ、天皇海山群とハワイ諸島の海山の列。途中で方向が大きくかわっている (黄色の矢印)。

おわり