

太平洋の土台と変動

根 建 心 具

太平洋は地球表面積の約35%を占める最大の海洋である。洋上には数千の島々が点在していて、その自然環境は多様性に富んでいる。

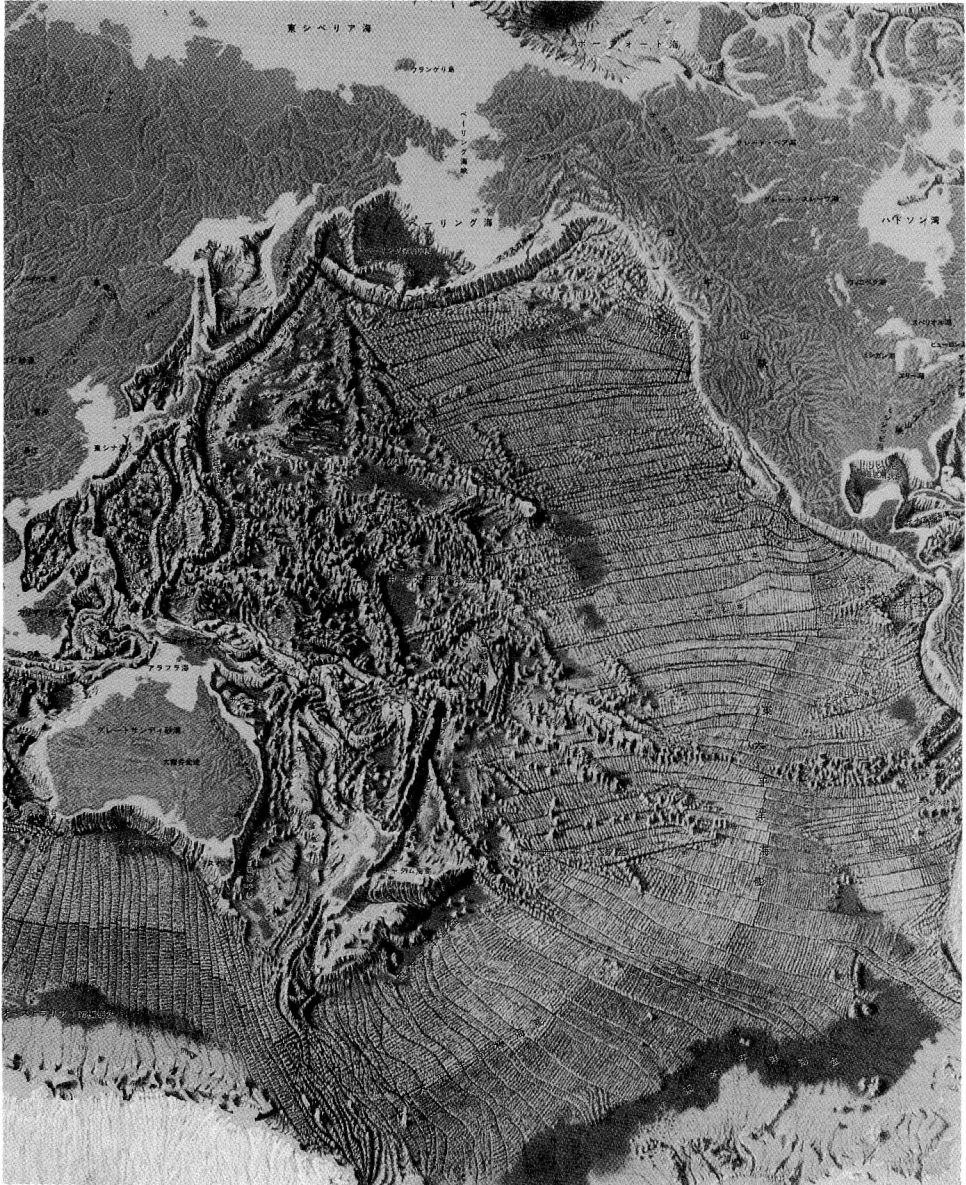
日本からマリアナ諸島、ソロモン諸島、トンガ、ニュージーランドを結んだ線より西側の島々は火山活動や地震が頻繁に起こり、地下資源に恵まれている。このうち、パプアニューギニアやニューカレドニア等では飛べない鳥カグーや、有袋類、ユーカリなど生物相においてオーストラリア大陸との類似性が高い。他方、東側の島々は火山島、環礁、隆起珊瑚礁からなり、火山島は地形が急峻で平野の少ない島が多い。赤道付近で海鳥が作ったグアノと呼ばれる磷鉱石以外は地下資源が皆無の島々である。生物相はサンゴ類を除くと、各々の島で固有の性質を示す。

このように自然環境が異なり、従って人々の文化や習慣も異なる島々も、地球科学的にはいずれも同じ地球進化の産物として理解できる。本講義では、南太平洋の人々の土台となっている太平洋の地下の構造とその歴史を紹介する。

1. 太平洋の海底地形

第1図は海水を取り除いた太平洋の地形である。この海底地形には私達が陸上では経験しない幾つかの特徴がある。太平洋の東側は比較的平坦である。水深約4000mのこの平坦な海底を海洋底と呼ぶが、よく見るとアメリカのカリフォルニア半島付近から南に下り、南極大陸の北を通してインド洋に抜けるゆるやかな高まりがある。東太平洋海膨と呼ばれる海底山脈である。さらにこの海膨には2つの方向の溝の様な地形が見える。1つは山脈に平行で、ちょっと分かりにくいが高膨の最も高い部分に最も深い溝がある。これをリフトバレーと呼んでいる。リフトバレーは長く続かず頻繁に横にずれている。この横ずれ断層をトランスホーム断層と呼んでいる。トランスホーム断層は延々と伸びているように見えるがほとんどは横ずれの傷跡であって、海底のため侵食を免れ、また陸地から離れているため土砂に埋ることもなく延々と残っているのである。太平洋とアメリカ大陸の境界には深く長い溝がある。海溝と呼ばれ、大陸側にはアンデス山脈などの長い山脈が横たわり火山や地震を伴う。

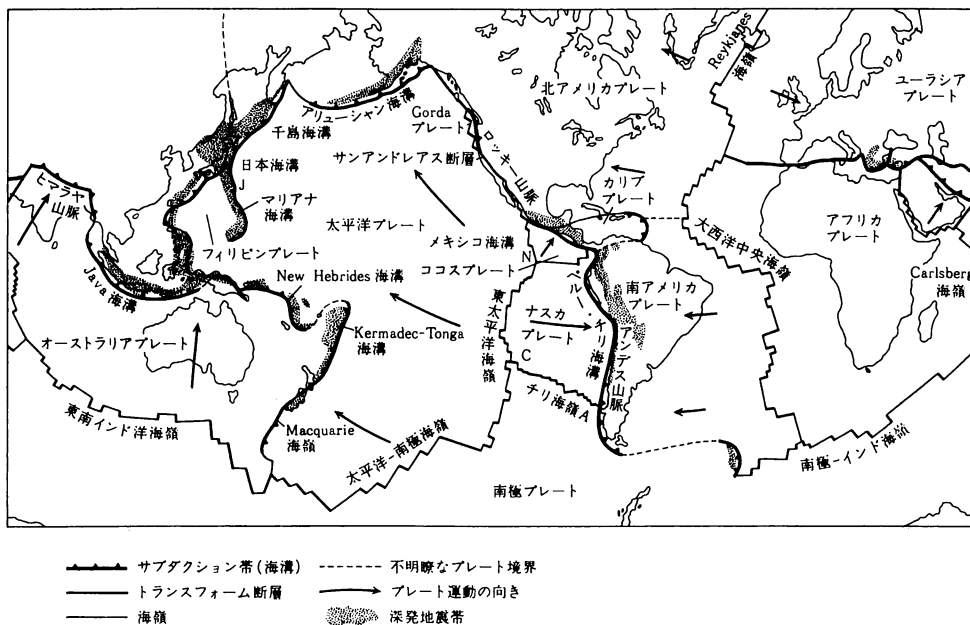
太平洋の中央からやや西側一帯は無数の突起部があり、玄武岩と呼ばれる岩石でできた火山である。海水準より高い火山を海洋性の火山島と呼び、低いものを海山と呼ぶ。一部の地域では火山島や海山が列をなして分布している。わかりやすい例はハワイ諸島から天皇海山にかけての列である。この火山列のうち現在でも活動している火山は東端のハワイ島だけで、他は活動を終えた古い火山である。進化論で有名なダーウインは19世紀に火山島は古くなると珊瑚で囲まれるようになり、ついには環礁となってしまうことに気づいていたが、現代科学は海山を含めてハワイ島からの距離が



第1図 太平洋の海底地形図（小学館，1997）

火山の年齢に比例することを明らかにした。

太平洋の西縁では皺のような地形が目につく。この皺は海溝とそれに沿う火山がからなり、地震の多発が特徴である。多くの活火山や死火山が弧状に並び島弧と呼ばれている。島弧には安山岩と呼ばれる岩石が多く、上述の海洋性火山とは性質が異なって島弧型と言われている。島弧の概して西側には海盆とか背弧海と呼ばれる小さな海がある。この地域には海溝—島弧—背弧海がセットと



第2図 地球上のプレート分布 (上田, 1990)
 アフリカプレートを不動とした時の各プレートの動き

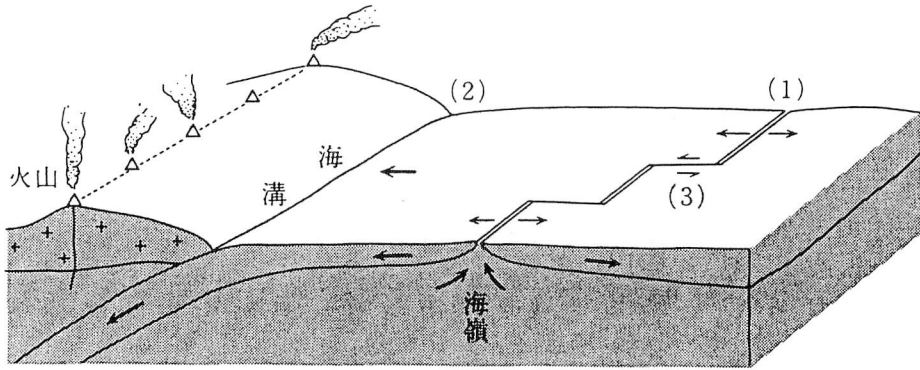
して多く分布するが、後述のように1つあるいは2つの地形を欠いているものもあり皺模様を更に複雑にしている。

さらに大陸近くになるともう太平洋と呼べないが、例えば東シナ海の大半やインドネシアのジャワ海、パプアニューギニア南のアラフラ海は大陸棚と呼ばれる浅い海である。オーストラリア東方にも島弧の間を縫って浅い海が分布する。氷河期に海面がさがると簡単に陸地になり、人類や他の生物相が移住できたかも知れない。

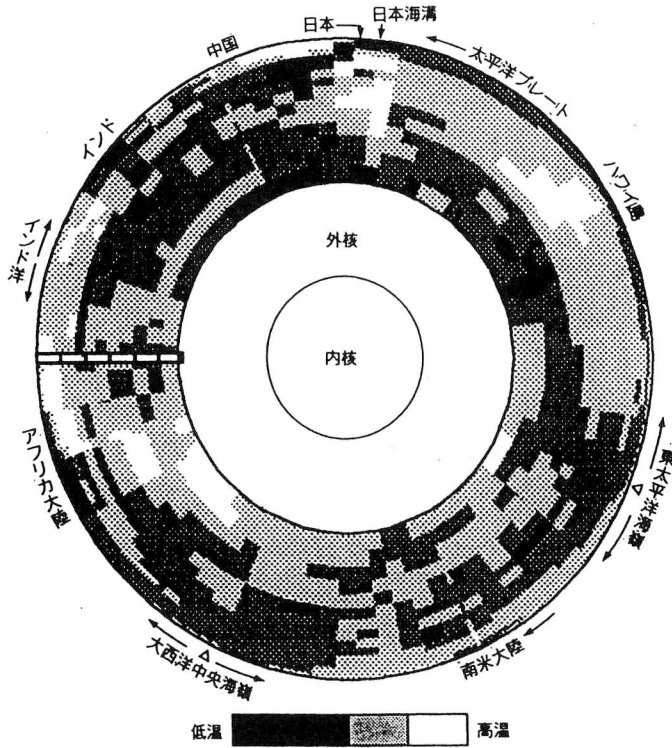
2. 地球の進化 (グローバルテクトニクス)

1960年代、他の大洋を含めこれらの地形と地球内部の性質の因果関係を明らかにしようと多くの人々が興奮の渦に包まれながらプレートテクトニクス理論を生み出していった。この興奮は従来の学問体制を変えてしまうほどの勢いで、学問の境界を越えて学際化・総合化の必要性が説かれた。1960年代から1970年代にかけ、この理論の構築と修正で地球感が飛躍的に進歩した。その後この論理が完成されたかのようにしばらくは静かであったが、1990年代に入り生物学者や惑星科学者とも一体になって地球が再び見直されている。

地球は構成物質のちがいによる層状構造が存在し、中心には金属鉄でできた半径3500kmの核があり、その外側に岩石で構成される厚さ約2900kmのマントルがある。地球の表層部の数kmから数10kmは地殻と呼ばれ、密度の小さい別の岩石で覆われている。1960年代には物理的な性質の違いから地



第3図 3種類のプレート境界。(1)プレートが離れる境界(中央海嶺),(2)プレートが近づく境界(海溝),(3)プレートがすれちがう境界(トランスフォーム断層)。(丸山, 1993)



第4図 地震波トモグラフィーによるマンツルの画像(井上, 1993)
黒い部分が低温部(地震波電波速度が速い), 白い部分が高温部

殻とマントルに存在する3つの層状構造が強調されるようになった。地表からおよそ100kmないし300kmまではリソスフェア（岩石圏）と呼ばれ、固くて脆い普通の岩石である。それより深部は岩石でありながらほんのわずかに流動性をもったアセノスフェア（岩流圏）が存在する。さらに深部はメソスフェアと呼ばれる。

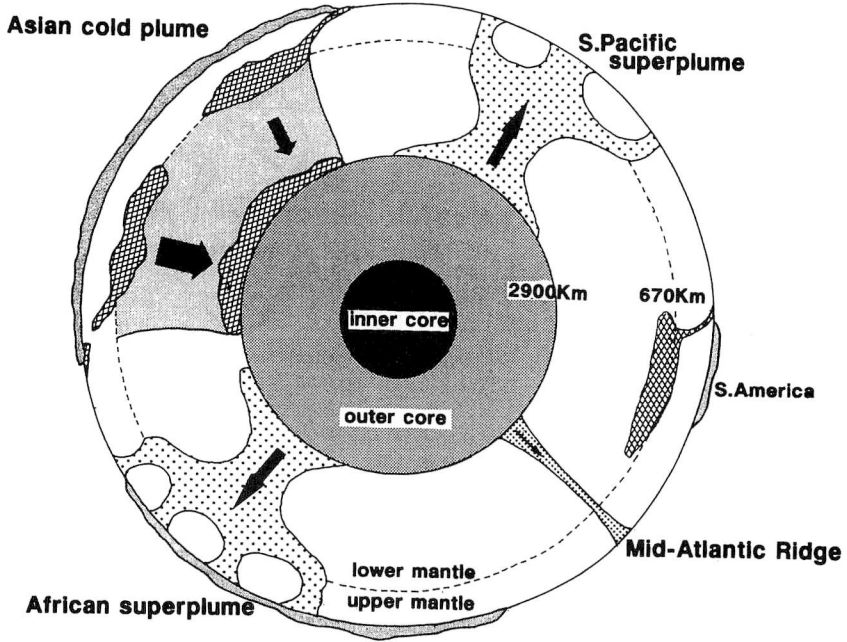
リソスフェアは地球の半径6400kmからすれば薄いのでプレート（板）とすることができる。表面から見ると第2図に示したように、巨視的には約10枚に分かれ、各々のプレートは柔らかいアセノスフェアの上を別々の方向に移動している。プレート同士は海嶺（海膨も含む）や海溝、トランスホーム断層で境される（第3図）。プレートが別々の動きをするために、地球上に様々な地質現象が起こるとするのがプレートテクトニクス理論である。

プレートの動きは無秩序ではなく、地球にまだ残っている熱エネルギーでコントロールされている。つまり、地球は内部ほど高温であるため対流が起こる。核とマントルは物質が違いすぎるため核内とマントル内では別々の対流が起こる。マントルは固体にもかかわらず長期的には対流を起こすと考えたのは近代地質学の父と呼ばれるアーサーホームズである。彼は海嶺でマントル対流が沸き上がってくると考えた。海嶺直下では部分的に溶融して新しい海洋底（海洋プレート）をつくる。海洋プレートはマントル対流に乗ってトランスホーム断層をつくりながら東西に分かれてゆく。海溝まで水平移動した後、地球深部に再び沈んで行く。沈み込んだプレートをスラブと呼ぶ。

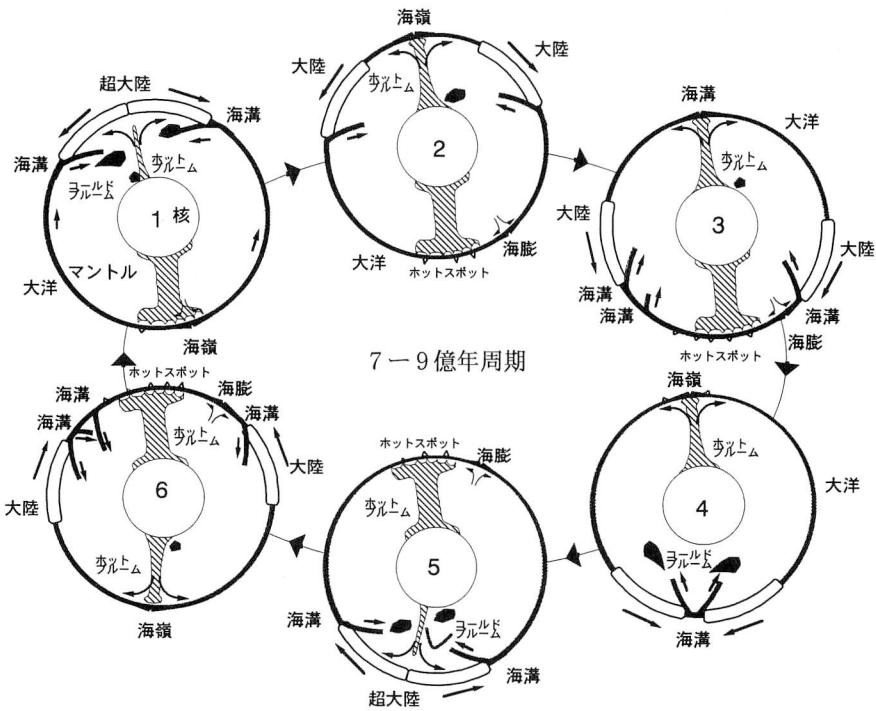
最近5年間、マントルの対流の様子がかなり詳しくわかるようになり、ブルームテクトニクスという考えが提唱されている。これは日本の研究者達によって精力的に完成されつつある。第4図は地震波の精密解析から得られたマントルの温度分布である。日本からユーラシア大陸の下に向かって冷たいマントル領域がありスラブが沈み込んでいる様子が見えている。マントルの下部まで連続して緩やかに下がっているのではなく途中で浮かんでいるように見える。一方、南太平洋の下部はかなり広い範囲に渡って高温になっている。

丸山（1994）らはこの温度分布からマントルの構造を第5図のようにモデル化した。大西洋の海嶺下では細い高温の部分は柱ようになって存在し、南太平洋下には核の表面に根をはり上部で再び広がっている高温部がある。まるでキノコ雲のようで、これをホットブルームと呼ぶことが提案された。ただし、東太平洋海膨の下には高温のマントルではない。一方、ユーラシア大陸の下部には低温の塊が存在する。プレートが沈み込み670kmの深さに塊状となって停留しており、その直下で核の表面にやはり冷たい塊がある。このように、マントルの温度分布は、昔アーサーホームズが提唱し、多くの人々が想像していたものとは大変ちがっていた。

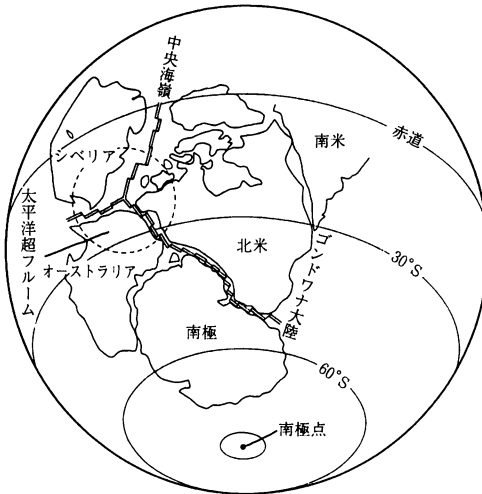
これらに時間スケールを入れると、第6図のような地球進化のストーリーができる。今から約7億年前簡略化した地球が1である。当時あった Gondwana 超大陸（第7図）の下に沈み込んだスラブはしばらく停留し化学変化した後、核表面まで断続的に落下する。落下の刺激によって高温の下部マントルが上昇を開始する。最初は柱ようになって超大陸の中央部に沸き上がる。すると2に示したように、超大陸は分裂し太平洋が誕生する。太平洋によって押し退けられた大陸は第6図の



第5図 プルームテクトニクス模式図 (丸山, 1994)



第6図 簡略化した地球の進化

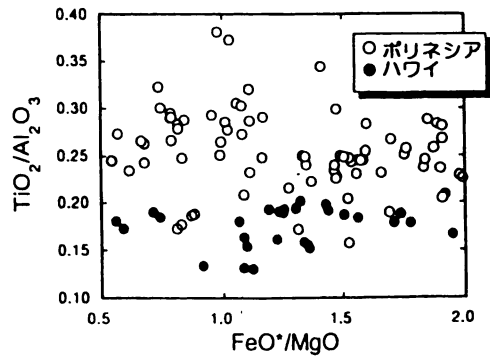


第7図 6～7億年前の Gondwana 超大陸と太平洋の誕生 (Dalziel, 1993)

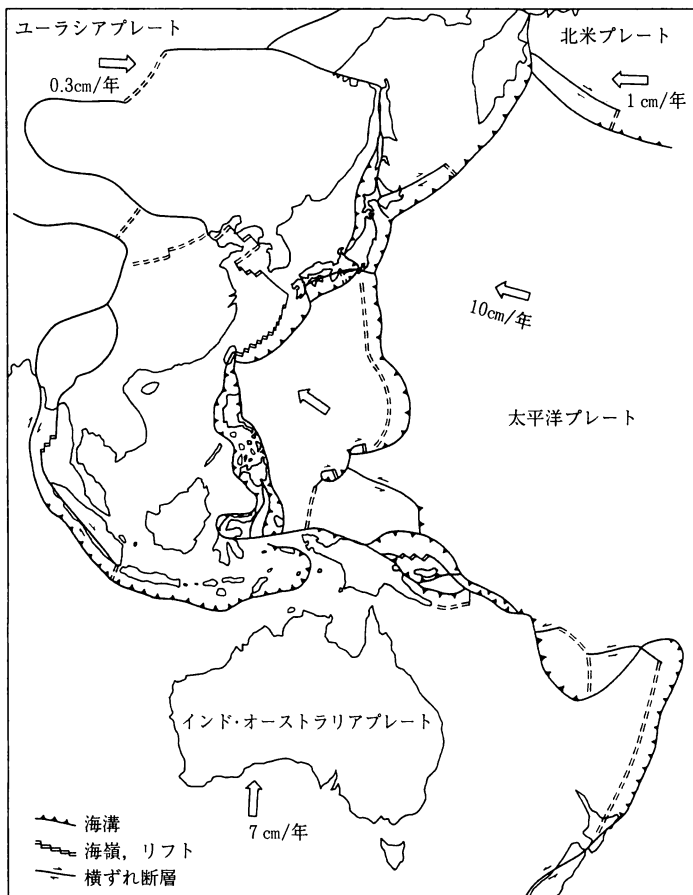
3から4に示したようにどんどん分散するが、地球の反対側からみれば一箇所に集まることになる。こうして約3億年前太平洋の反対側にできたのがパンゲア超大陸である(第6図5)。大陸を押し続けた太平洋はこれ以上大陸を移動させることができず、第6図5のように海洋プレートは大陸をのせたプレートの下に沈み込む。一旦沈み込み帯ができると太平洋のプレートに働く力学がそれまでと変わり、海嶺の拡大によって動いていたプレートは、地球内部に沈降する重力によって動くようになる。この結果、海嶺はホットプルームと関係のない分裂の場となり、ホットプルームと海嶺の位置は離れてしまう。ホットプルームの先端は幾つにも分かれてホットスポットと呼ばれるマグマ溜まりを作り、そこからリソスフェアを突き破って火山島となりホットプルームの熱を地球外へ放出している。第6図5の上にその様子を示した。一方、パンゲア超大陸の中央部には新たにできたホットプルームによって大西洋がつくられ現在に至っている。第6図では5と6の中間が現在の地球に相当する。大西洋の拡大は結果的に太平洋を狭め、2億年後にはこれを消滅させ第6図1にもどる。このような大陸の離合集散は約20億年も前から多分3回は繰り返されたろうと言われている。

3. 再び太平洋の島々

太平洋では巨大化したホットプルームが海嶺からずれ、まだ残っている熱によって各所にホットスポットをつくる。ここからプレートの亀裂を通して断続的に溶岩が噴出して火山島を作り、火山はプレートというベルトコンベアーに乗って移動する。ベルトコンベアーの移動速度がわかり、火山の年令がわかれば、その火山島がどこで発生したかは確かめることができる。現在、多くの人々が各々のホットスポットから噴出してきた、時代の異なる岩石を調べて時間的に位置的にどのよう



第8図 フレンチポリネシアとハワイの両ホットスポットに産する玄武岩の化学組成 (巽, 1995)



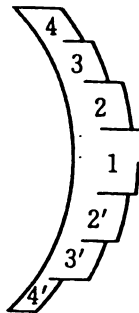
第9図 太平洋西縁地域の小規模海洋プレート群 (丸山, 1994)
ユーラシア, オーストラリア, 太平洋にはさまれて15のプレートが分布している

に変化してきたか比較している。例えば、第8図から南太平洋ホットプルームの中心に近いフレンチポリネシア地域の火山岩とホットプルームの端にあるハワイの岩石には化学的に違いがあることがよくわかる。ホットプルームは下部マントル物質が上昇したものであるが、時間がたつにつれ周辺に熱だけが伝わって巨大なプルームに成長していると考えると、下部マントル物質や上部マントル物質を反映した化学組成を示していることになる。ホットプルームの進化を知るために大変興味ある性質である。

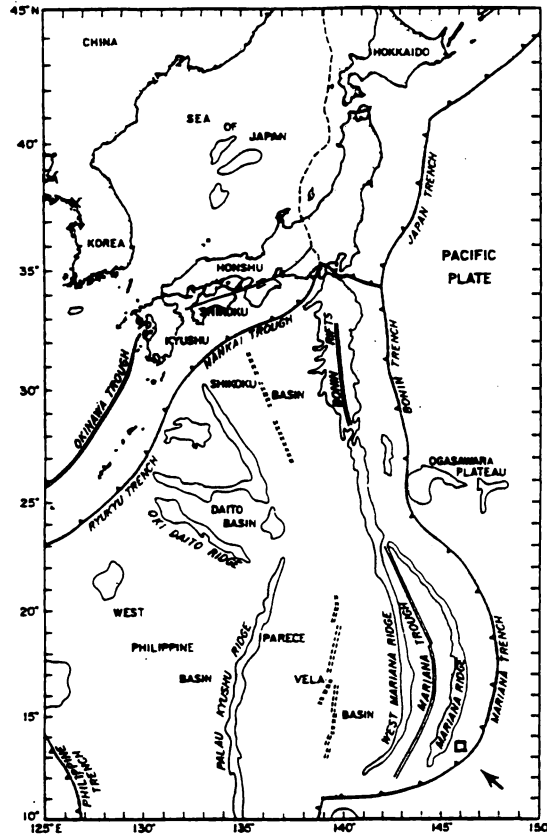
日本やその南には幾つかの島弧と海溝が複雑に分布し、第9図に示したように、10数枚の小規模プレートが分布する。

前節で海溝のでき方を大まかに紹介したが、背弧海が何故できるかについては色々な説がある。古いプレートが自重で海溝から地球深部に落下して行く場合、海溝は海洋プレート側に移動する。島弧の特に海溝側は同じ方向に引っぱられ、その背後に亀裂ができる。この亀裂はマントル物質が沸き上がることにより埋められる。マントル物質からできるのは海洋地殻であるため新しい海底が広がることになる。例えば、第11図のようにマリアナには2列の山脈がある。太平洋プレートの落下によって海溝は東へ移動したために島弧が2列になり、間に背弧海が広がっている。類似のことが九州でも起っている。フィリピンプレートが沈み込むため九州から西南諸島の東側、つまり大隅半島や種子島—奄美大島—沖縄本島は太平洋方向に引かれる。その結果薩摩半島や東シナ海の大陸棚の間が割れて拡大し鹿児島湾や沖縄海盆（トラフ）が生じていると解釈できる。鹿児島大学はじめ、琉球大学や高地大学の地質学者や地球物理学者が次々に証拠を発見している。

このように島弧が前進するとき、島弧の全域に渡って一様に移動することはなく、所々にずれを生じる場合が多いようである。島弧は弓なりにになっている理由と関連し、弓なりの中央部では島弧もスラブも海溝も移動しやすいが、島弧と島弧の繋ぎ目の部分（例えば北九州は西南日本弧と九州—琉球弧の繋ぎ目）は2つの島弧がお互いにひっかかって前進しにくい。また、海洋プレート側に火山島が乗っていると、これが島弧の太平洋方向への前進を邪魔をしていることも考えられる。同じ島弧であっても場所によって移動のしやすさが異なるため、何本かの断列帯がスラブや島弧を横切



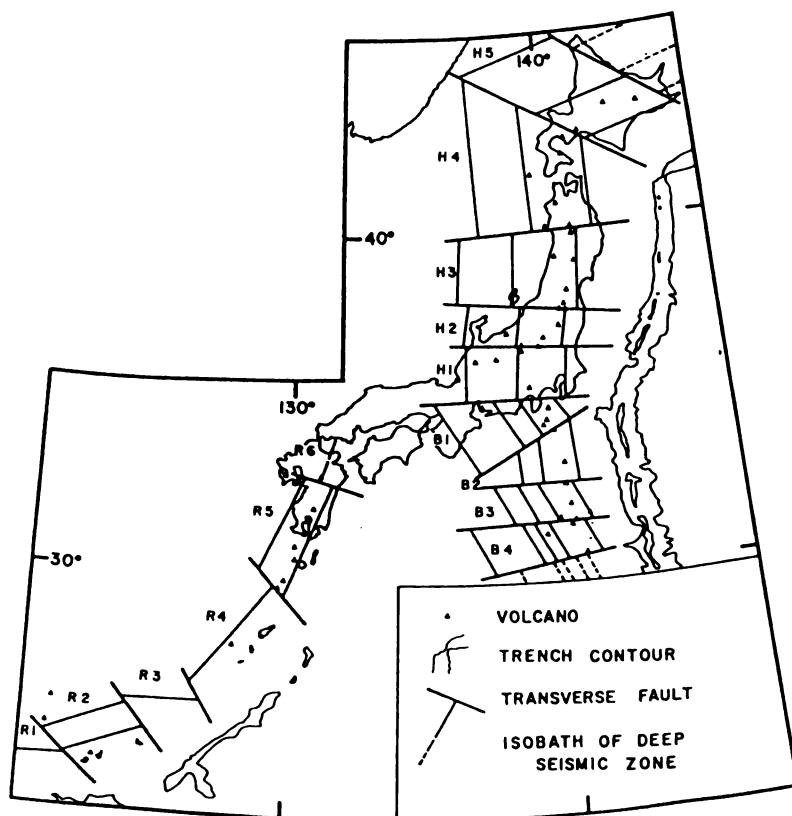
第10図 マリアナ島弧の形成モデル (Bracey and Ogden, 1972)



第11図 フィリピンプレートの海底地形 (Fryer, 1993)

図の右下は2列のマリアナ島弧 (Mariana RidgeとWest Mariana Ridge) とマリアナ海盆 (Mariana Trough). 図の中央から南にのびた高まりは九州—パラオ海嶺 (Kyushu-Palau Ridge)

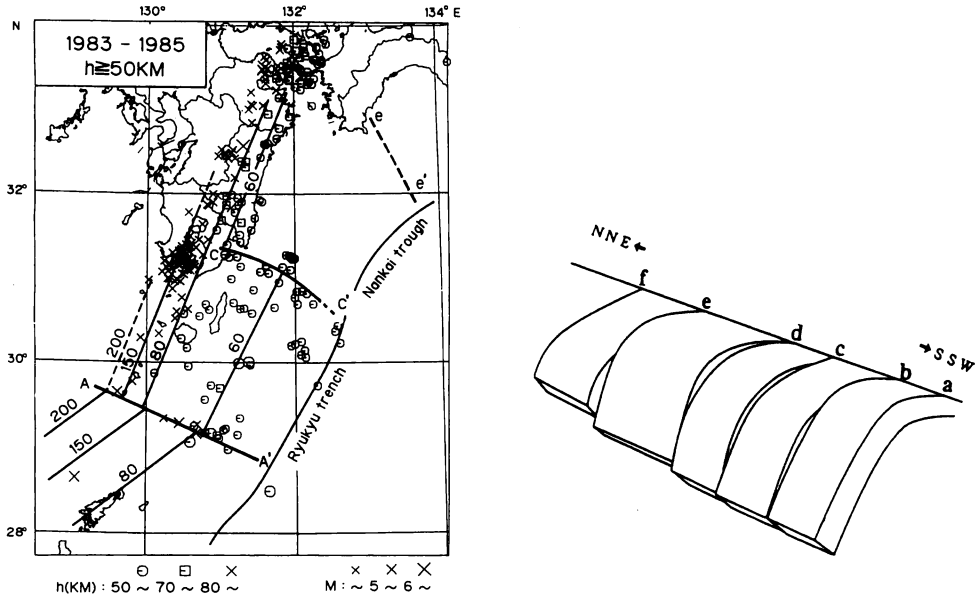
る。この発想は古くはブラッセイ・オグデン (1972) やカールほか (1973) によって提案され、交差断層と呼ばれた。第10図はマリアナ島弧のモデル例で、第12図は地震の震源の分布から求めた日本付近の交差断層の例である。後者については最近では鹿児島大学の理学部地球環境学科の人達によってさらに詳細に調べられている (第13図; 角田ほか, 1995)。大口や出水で起った最近起った地震はいずれも左横ずれがを起し、基本的にはプレートの沈み込みと交差断層に起因していると思われる。この運動は現在だけでなくもっと昔から起っている。マリアナは海の中を調べなければならないのでまだ充分ではないが最近の深海底調査船「しんかい2000」等で幾つかの交差断層らしきずれが見つかってきている。余談であるが太平洋の海底の調査は大変費用と時間がかかる。調査船で出かけてもちょっと波が荒いともう潜水することはできない。何の成果もなしに下船することが多い。しかし、海洋は地球の70%を占め、地球の解明するための情報が詰まっている。



第12図 日本列島及び琉球弧を横断する交差断層 (Transverse Fault) (Carr et al., 1973)

環太平洋地域には地下資源が豊富である。しかも資源形成がこんな交差断層付近に集中して起ることも分かってきた。断層に沿って海水が入りやすく海水は周囲の岩石から金や銅等の金属資源を地球深部から地表近くまで運び出してくれる。大分県や鹿児島県は他より地下資源の豊富な地域で、ここには少し古い時代に交差断層があったと思われる。(第14図)。第10, 12図から交差断層はある程度等間隔で生じると考えると、日本全域にわたって、またパプアニューギニアやフィリピン等他の島弧でも同じ様なことが言えそうである。

一方フィリピンプレートの中には幾つかの山脈状の高まりがある(第11図)。例えば、九州からパラオにかけて海底山脈が続く。山脈を構成する岩石は約5000万年前から1500年前に形成された島弧特有の安山岩であるが、現在は地震はなく海溝らしき地形も見当たらない。最近最南端のパラオ諸島を調査する機会があった。火山活動の時代は北に伸びる海底山脈と似ているが、岩石の化学的性質から海溝が極めて急角度で落下していたことが予想される(根建, 1996)。また島で見つかった鉛の鉱石からおよそ2000万年前頃に1000m以上も沈降したことがわかり、これも海底山脈と非常に似ている(小嶋ほか, 1977)。ただパラオはその後隆起をして標高200mに隆起珊瑚が見られる。

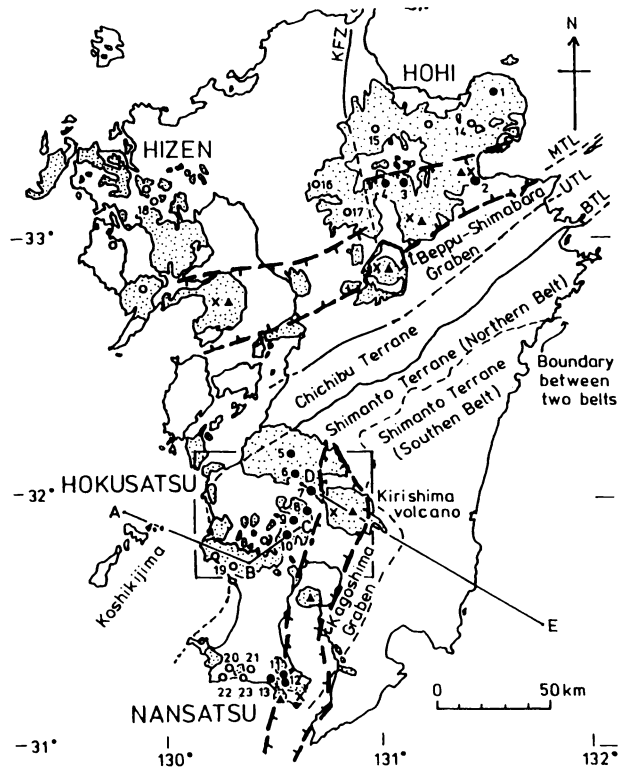


第13図 左：九州の震源（長宗，1988）
右：南西島弧でのプレートの交差断層（角田ほか，1995）

昔は活動的な島弧であったが、太平洋プレートが急傾斜で沈み込むためまだ表層部にあるプレートと地下にもぐったスラブが切断された。その結果海溝の前後が接合してしまいプレート境界でなくなってしまうと思われる。プレート境界活動がなくなると島はどんどん低くなる。アイソスタシーの原理というアルキメデスの浮力の原理だけが働くからである。マリアナ海溝の影響だと思われるが、パラオだけは再び隆起している。このような古い島弧はフィリピンプレートやその南に続く小規模プレート中に多数存在している。

島弧の活動が終わる原因には大陸の乗せたプレートが海洋プレートの下に沈み込むこともある。オーストラリアプレート北東部の海洋底が対面する海洋のプレートの下に沈み込み、大陸塊までが沈み込み始めた。しかし、大陸性のスラブはあまりに軽すぎ、遂には沈み込んでしまった海洋性のスラブだけが切断されて落下して行き、沈み込み運動は停止してしまう。海洋プレートの下に沈みかけた大陸性のスラブはその上に海洋プレートを乗せたまま浮上する。一般に海洋底を観察することはできないが、ニューギニア島の東岸やニューカレドニアでは海洋プレートの断面がそのまま露出している。日本でも北海道の日高山地はこのようにして浮上した海洋プレートであろうと考えられている。このような地域はニッケルやコバルト、白金等の資源に恵まれている。

このように小規模の島弧を伴うプレートは基本的には古くなった太平洋プレートがその端で能動的に沈降するために起る現象と考えられる。しかし、詳細はまだまだ解明されていない。近い将来もっと統一的に、かつすっきりした解釈ができるようになるであろう。



第14図 九州の金鉱床 ○と●は浅熱水性金鉱床金鉱床 (井沢, 1988)
鹿兒島県と大分県に鉱床が集中して産出する

普及版的な参考図書

- 丸山茂徳『46億年地球は何をしてきたか?』(地球を丸ごと考える2) 岩波書店, 1994
- 宮本貢『最新・地球学』(朝日ワンテーママガジン1) 朝日新聞社, 1993

専門的な参考図書

- 上田誠也『プレートテクトニクス』岩波書店, 1990
- 上田誠也ほか『変動する地球 II—海洋底—』(岩波講座地球科学11) 岩波書店, 1979
- 巽 好幸『沈み込み帯のマグマ学』東京大学出版会, 1995
- 鳥海光弘ほか『地球内部ダイナミクス』(岩波講座地球惑星科学10) 岩波書店, 1997