

〔特別講演〕 プレート・テクトニクスについて

東京大学地震研究所 上田誠也

序論

大陸移動説に端を発し、海洋拡大説さらにはプレート・テクトニクスと発展してきた一連の考えは大規模な地球上の諸現象のからくりについて、一つの首尾一貫した論理的説明を与えるものである。これらの点については最近数々の総合報告や解説書がでているから、詳しくはそれら¹⁾を参照していただく。

現在世界的にみてプレート・テクトニクスに相反する考え方としては、Belousovによって代表されるものがある。²⁾ いずれがより真実に近いかということは次の世代に課せられた問題ともいえよう。いずれの考えも地表上の現象が単に地表上のことのみではなく、マントルとの深いかわりあいによって生ずるという見地に立っている。この点は共通であるが、一方が大規模な水平運動をその基本としているのに対し、他方が大規模な上下運動を基調としている点に大きな差がある。上下運動の存在自体は疑う余地はないのであるから、これを無視する議論は不完全である。筆者のみところでは、すでにプレート・テクトニクスに軍配は上っている。しかし、これに反する学説のなかにももっともな点もあるのだから、それらをとり入れてゆくのが真の意味で“今後の課題”であろう。

プレート論では海洋底が、つねに新しく生れ、陸に向かって拡大し、陸がこれらを迎えうちながら、次第に成長していくというパターンを主張しているのに対し、Belousov学派では、そもそも昔から存在した陸地が、次第に海洋化していくのだという。同じ現象に対して、このように全く相反する見解が成立つわけではない。学問の発展は、このように深刻な矛盾をぎりぎりまで追いつめていくことから、始めて可能となるのではないだろうか。行きがかりや感情的なものに眼をくらまされることなく、素直に現実を直視する態度こそがのぞましい。

I 大陸移動から海洋底拡大へ

Wegener(1912)が主張した大陸移動説は、本質的には海岸線の形のパズルあわせに基づく現象論ではあったが、褶曲山脈生成のからくりに対する解釈を含めて、造山作用論としても大きな意味をもつものであった。その後、この考え(大陸移動説)がいかにして衰え、第二次大戦後1950年代になって、古地磁気学的根拠に基づいて大きな復活をみた事は、現在ではよく知られている。問題はなぜか大陸移動が行なわれえなかったかというメカニズムにあった。それを支えるものは現在のところマントル対流論であり、その発展が海洋底拡大とプレート・テクトニクスである。マントル対流論には、非常に多くの異ったタイプのものが考えられ、そのいずれが真実をとらえているかについては、問題は全く今後に残されている。しかし、この点についてもプレート・テクトニクスは後述のような一つの解釈を提供しつつある。

マントル内には、全地球のスケールの対流があり、諸大陸はこれに乗って受動的に動くという考えを明白に述べた先駆者の一人は、Holmes(1928)であった。この考えは1960年初頭に改めて、HessやDietzによって海洋底拡大説という装いの下に提出された。

1) 例えば拙著、“新しい地球観”岩波新書。大陸移動説、海底拡大説、プレート・テクトニクスについての主な文献は、“科学”1971年4月号、p.243にまとめている。

2) 例えば、“大洋の地殻と上部マントル”ベロウソフ著、地団研出版より和訳出版あり(1971)。“大陸地殻の上部マントルと地殻”も同様。

その根幹は次のごとくいえるだろう。世界をとりまく中央海嶺 (Mid-Oceanic Ridges) はマントルからの高温物質が地表にあらわれるところであって、そこでは新しい海底が生れ、両側に広がっていく。例えば、大西洋中央海嶺 (Mid-Atlantic Ridge) から広がる新しい海底の上によって南北米大陸、およびヨーロッパ・アメリカ大陸は移動してきた。太平洋では、East Pacific Rise から発して拡大する海底は環太平洋の海溝において、再びマントルへもぐりこんでいく (Subduction)。Subductionこそが、深発地震や広義の弧状列島活動の原動力である。この一連の仮説を証拠づけたのが、1960年代の地球物理学であったといえよう (地質学からの貢献は二次的なものであった)、その最も典型的なものが、海上地磁気縞模様の発見、およびこれに対する Vine-Matthews の仮説 (1963) であった。第1図はそのメカニズムを示すものである。すなわち、海嶺頂上で新たに生成される海底は地球磁場によって磁化されるが、地磁気の方が、数10万年という時間スケールで逆転を繰返しているの、結果として、海底は正逆交互に帯磁した縞状構造をもつことになる。テープレコーダーになぞらえられるこの考えは、世界の多くの Ridge 上での縞模様と古地磁気学的研究から得られる Magnetic chronology (Cox & Doell) との定量的一致によって、いやがうえにも確められた。これは、海底堆積物の古地磁気学 (Opdykeら、1965) による Magnetic chronology の検証とあいまって海底拡大、地磁気反転の両現象を強力に主張する根拠となった。

もう一つの大きな事件は、Wilson (1965) による transform 断層仮説の提唱、および Sykes (1966) による、その地震学的検証であった。海嶺は、しばしば多くの断層によって断ち切られている。これらは、破砕帯 (fracture zone) と呼ばれてきたが、この断層がそもそも Vacquier ら (1961) によって主張されたような、普通の水平ずれ断層ではなく、ずれた海嶺の拡大に伴う新しいタイプの断層である事が Wilson の主張であった。

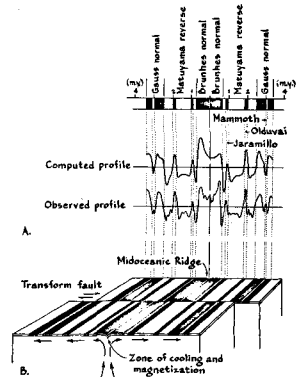
この仮説によれば、有名なサン・アンドレアス断層もまた、transform断層となる。transform断層ではみかけのずれと逆向きの相対的運動が起るはずであるが、Sykesはそのことを、地震の初動分布に基づいて検証したのであった。

Vine-Matthews の仮説によると、縞模様は海底の isochron を表わすものである。この線に沿って全世界の海底の生成年代を決めようという試みは、Lamont グループによって精力的に進められ、第2図のような結果が報告されるに到った (1968)。

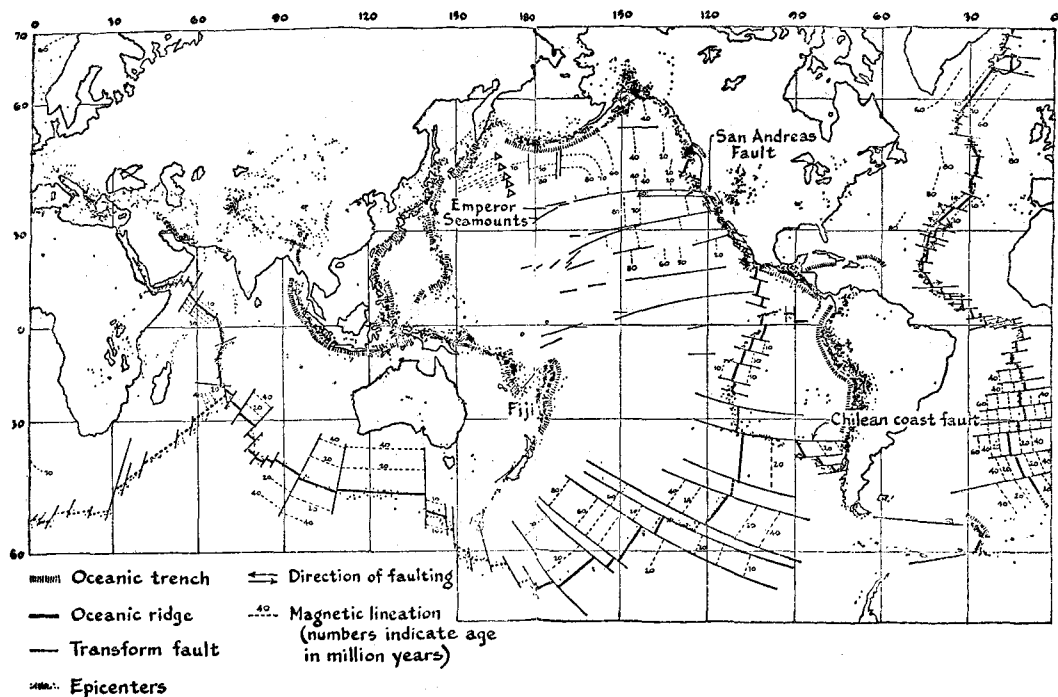
II プレート・テクトニクスの登場

海洋底地学の発展に呼応して、地震学も大きな成果をあげはじめた。第2図に示されているように世界の地震はいたるところに起るものではなく、中央海嶺系、島弧系、並びにアルプス・ヒマラヤ造山帯に集中して起っている。そしてそこで起っている地震の波動の研究から、地震の際に行なわれた断層運動の向きや moment が計算されるようになった。それらの結果は、地震に伴う運動が海洋底拡大に伴う運動と一致する事を示した。ここに、プレート・テクトニクスの考えが登場したのであった (1967)。

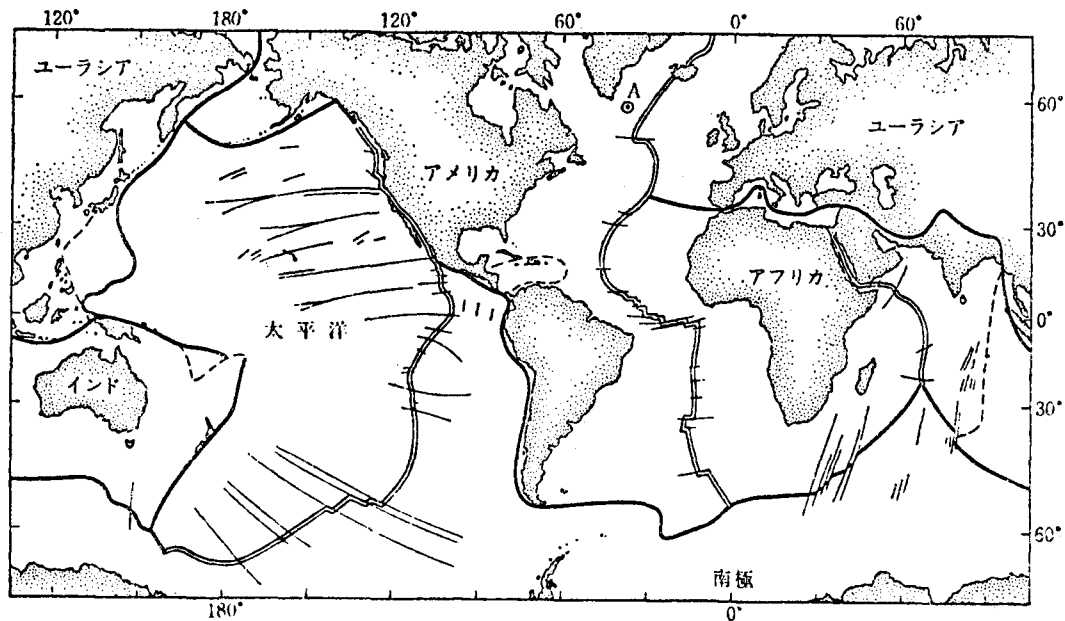
Le Pichon, Morgan, McKenzie, Parker 等がほぼ同時にその考えを提唱したのである。すなわち、世界は少数個の unit に別れていて、その unit の各々は一枚の板 (プレート) のように振舞うという考えである。プレートは中央海嶺で生産され、両側へ広がり、海溝・島弧系の下でマントルへもぐり込んでいく。プレートの境界は、1) プレートを生産する中央海嶺系、2) プレートを消費する海溝・島弧系および、3) 二つのプレートが平行運動を行なう transform断層系の三種類に分類される。この事は、地震をプレート間の相互作用とみる見地からは、地震にも大きく分けて、三種類存在する事を意味する。世界の主要なプレートの分布は第3図に示す通りである。



第1図 Vine-Matthews仮説とトランスフォーム断層の説明

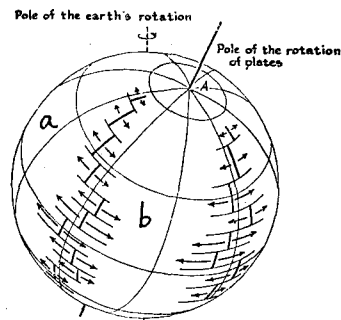


第2図 海底の isochron 図(主としてHeirtzlerら(1968)による)



第3図 Le Pichon (1968)による、地球上の六つのプレートとその名前。プレートの境界線のなかで、その運動の速度が測定されている部分は二重線で示し、それ以外の部分は一重の太い実線で示してある(それよりほかの可能な境界をダッシュ線で示した)。Aはアメリカとアフリカとの間の回転の極である。

地球上のプレートの動き及びその相互作用が、現在の諸活動や大陸移動の根源をなしているという立場に立つと、かなりのことが幾何学的考察の対象となりうる。球面状の剛体運動は、特に複雑な運動ではない限り、ある軸の周りの回転 (rotation) で表現することができる (Euler の定理)。プレート a とプレート b (第4図) の運動は一つの軸 A を中心とする相対的回転で表現されるというわけである。回転の極に近い部分では相対速度は小さく、赤道近くでは大きいはずである。そこでは、相対速度と緯度との間に数学的な関係が成立するのである。また、二つのプレートの相対運動の向きは、当然その場合の経度方向になり、それが transform 断層と平行となるはずである。したがって地磁気縞模様の幅によって表現される拡大速度の緯度分布、および transform 断層の方向の分布の二つから独立に相対運動の極が求められる。二つの方法で求めた極がほぼ一致することが Le Pichon らによって示されたのである。これがプレート・テクトニクスの誕生であった。

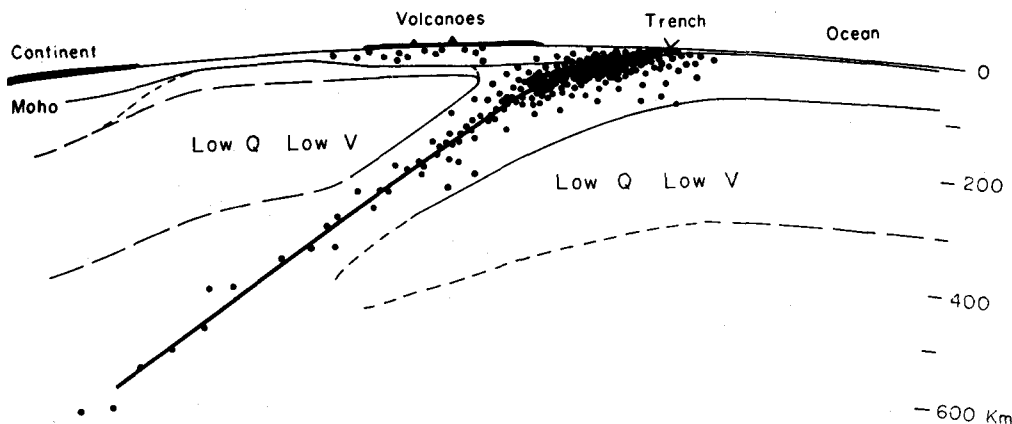


第4図 プレートの相対運動

現在のプレート運動が地磁気縞模様からはっきりわかるのは、中央海嶺系であって、そこでの運動からプレート仮説に基づいて海溝系での運動を数学的に推測する事も可能である。その結果も、また現在の島弧活動から推察されている運動の向きと一致するものであった。

Ⅱ 弧状列島³⁾

プレート・テクトニクスでは、海溝および島弧、火山列、深発地震を含む地震活動、内海 (縁海) 等の諸

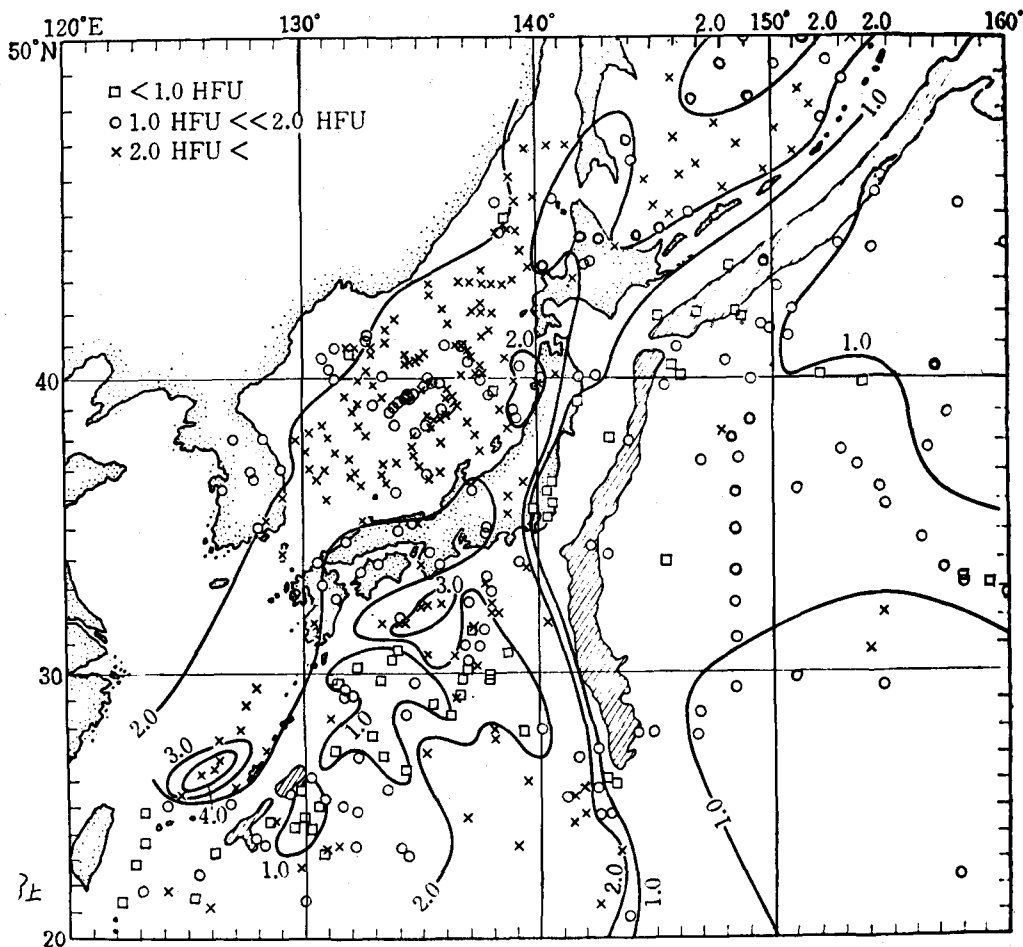


日本島弧に直角な鉛直断面で示した上部マントルの大局的な構造モデル。黒丸は震源。太い実線は震源面。low Q, low V と記してない部分は high Q, high V。島弧の内側の low Q, low V 層の上半分は日本海の下を含めとくに著しく low Q, low V である可能性がある。外側 low Q, low V 層の下面は図よりも数十 km 深いかも知れない。

第5図 日本の下の構造 (主に宇津徳治による)

特徴をもつ弧状列島系は、プレートの Subduction の行なわれる場所という事になる。深発、浅発地震の分布や島弧下の上部マントルにおける high Q, high V zone の存在 (宇津徳治、1967) などは、この考えを支持する。日本の地下には地震波伝はん速度が異常に早く、且、吸収のすくない層が斜めに存在しているのであって、これは低温の太平洋プレートが subduction を行ないつつあると考えてはじめて合理的説明がつくのである。

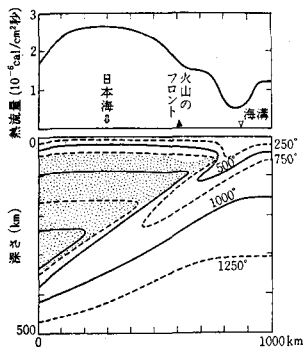
3) 上田誠也・杉村新 (1970)、“弧状列島”岩波書店。



第6図 日本およびその付近の地殻熱流量(数値は単位 HFU = $10^{-6} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$)
(上田・宝来・安井・渡部・水谷らによる)

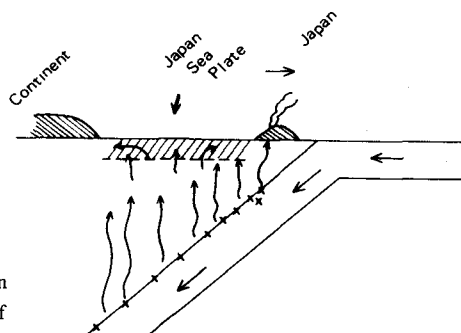
弧状列島にとって大きな問題となるのは、地殻熱流量の分布(第6図)、および活火山であろう。実測によると地殻熱流量は弧状列島の海側では低い、陸側から、縁海(日本海・オホック海など)において高い。活火山はこの熱流量の高い地域の最も海側に近い zone に集中して存在する。このような分布は弧状列島にとってかなり一般的であるが、その説明はなかなか容易ではない。冷たいプレートのもぐり込む場所でいかにしてマグマが生まれ、高い熱流量が発生しうるのか。熱流量や火山の分布がうまく説明ができないうして、プレート・テクトニクスを否定し去る立場もあるが、その他の面での利点を重視して、プレート・テクトニクスでは、このような現象がどうしたら説明できるかを検討する立場もあろう。

筆者ら(1970)、OxburghおよびTurcotte(1970)はそのような立場から、沈み込むプレートと沈み込まれるプレートとの間の摩擦熱が高い地殻熱流量やマグマの原因と考える。島弧活動の期間を 10^8 yr のオーダーとみて、その間に地下深所からの熱やマグマが、地表に到達する条件を数値的にあたってみると、深発地震面から上昇してくるマグマの量は相当に大きい事が結論され、またそのように多量のマグマを収納する為には、弧状列島の大陸側に、日本海のような縁海の形成が行なわれるであろう事も示唆された(第7図および第8図参照)。



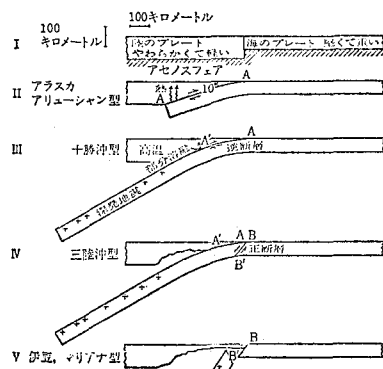
第7図

Heat-flow and temperature distribution at 10^8 years after commencement of downgoing of lithosphere (HASEBE *et al.*, 1970). Shaded area represents the partially molten region. The symbols ∇ and $\blacktriangle$ express trench and volcanic front respectively. The solid lines are 500°C , $1,000^\circ\text{C}$ and $1,500^\circ\text{C}$ isotherms. The broken lines show 250°C , 750°C and $1,250^\circ\text{C}$ isotherms.



第8図 Formation of Japan Sea by reproduction of marginal sea plate.

日本及びその周辺に発生する地震は、災害科学的な見地からも重視され、地震予知は社会の関心をあつめている。しかしなぜ日本に地震が起るのかということから出発しなければ真の地震予知は達成されないであろう。弧状列島地域には、多くの地震が発生しているが、そのエネルギーの主要部分を荷なうのは何年に一回位しか起らない、いわゆる巨大地震である。このような巨大地震（マグニチュード之8）は弧状列島系に特徴的なものであって、中央海嶺系や transform 断層系では起らない。金森 (1971)⁵⁾によれば、アラスカ地震を始め、十勝沖地震、関東地震、南海地震などの巨大地震の多くは沈み込む海洋プレートと陸側プレートの間の弾性反発的なものであるが、ときには、三陸沖地震のように、海洋プレートが沈み込みに伴って完全に折れることによる地震もあらうという。第9図は北西大西洋の沿岸における巨大地震の起り方が、アラスカ、アリ



第9図 海のリソスフェアのもぐり込み（金森モデル）

ーシャン、千島、日本、伊豆、マリアナにかけて系統的に異っており、それがテクトニクスの段階を示すものであらうという金森の解釈を説明するものである。筆者は各弧状列島での地震のおこり方の差異を、島弧の発達段階と対応させることには今のところ、いささかためらいを感じるがいずれにしても、このように、プレート・テクトニクスの立場からは、地震現象そのものの根源に対する理解が、ある程度進められ得るよう

4) 渡部暉彦他 (1970)、Tectonophysics, 10, 205-224。

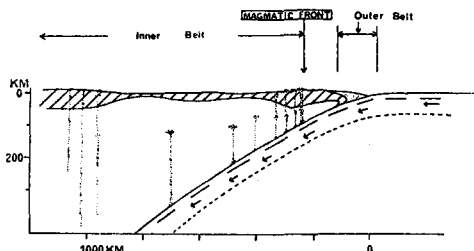
5) 金森博雄 (1971)、海洋科学, 22, p. 14。

Ⅳ 造山作用論としてのプレート・テクトニクス

現在及び現在からすくなくとも数千万年前迄の間は、プレート・テクトニクスが主張するようなプレート運動が行なわれてきたというのが、地球物理学的な根拠からの推論である。換言すれば、それが狭義のプレート・テクトニクスの主張のすべてである。しかし、このような運動が地震・火山活動等の原因である事から一歩進んで、造山作用そのものの原動力であるという立場にたつと、それが行なわれてきたのは現代(地質学的)だけではなく、長い地質年代にわたって常に成立してきたのではないかという立場が生れる。広義のプレート・テクトニクスである。これに対して現在の運動はプレート・テクトニクスの主張するとおりであるかもしれないが、地質時代の過去にそれを拡張するには証拠がうすいとか、太古には全く異質的な現象が起ったのであり、現在を過去へ引き伸ばして考える事は誤りでであろうという考えもある。

地質学が斉一説(uniformitarianism)とこれに相反する思想との戦いによって発展してきた事を考えれば、プレート・テクトニクスを時間的空間的に拡大し、斉一説的な立場をとることが、必ずしも誤りではないことは明らかである。同じようなプロセスが支配した事はまちがいはないが、各地質時代にはそれぞれ特徴的現象があった。その原因はどこにあったのかという立場をこそとるべきなのではないだろうか。もっとも、地球の真の意味での原始時代にはプレート・テクトニクスは適用されないだろう。となると、どこかに限界はある筈である。その限界をきわめ、限界の限界たるゆえんを明かにするのが極めて重要なことはいうまでもない。

例えば日本列島については、現在の島弧活動が造山作用そのものをあらわすという立場がある。これは都城秋穂(1961)以来の考えであって、杉村・松田・竹内および筆者らはその立場をとっている。われわれ⁶⁾は今の島弧活動が太平洋型造山作用の現在進行形であるというふうに規定する。太平洋型造山作用とは第10図にその概略を示したように、そこには内帯と外帯が存在し、外帯は常に低温、内帯は常に高温によって代表される。低温高压型、高温低压型の二種類の変成作用や熱流量の分布等はこれによって説明される。



第10図 A schematic profile of the Pacific-type orogenic belt.

外帯はEu-地向斜、内帯はmio-地向斜というふうにもとらえられよう。このような立場に立つとgreen-tuff活動の意義について、従来とはやや異なる見解に達する。この辺りが今後の大きな問題の一つであろう。

造山作用における“地向斜”なるものの概念は古典的なもので、中学や高校の地学の教科書にもとりあげられていることは周知のとおりである。アルプス山脈などの研究にもとづいて、造山帯形成の初期には厚い堆積の行なわれる場としての沈降帯が想定されたのである。そして、その沈降の場では初期から塩基性火成岩や超塩基性火成岩も存在するので火成作用がさかんに行なわれた(Eu-地向斜)とされた。このEu-地向斜はそのとりに火成岩を伴わないMio-地向斜をもつこともあるが、いずれ、沈降の場は酸性火成活動や隆起の場に転じ大山脈を生むに至るという。このような教科書的“地向斜造山論”は、一体、プレート・テクトニクスの立場から見直すと、何をあらわしているのだろうか? 第10図で主張した太平洋型造山作用の場では外帯は低温、内帯は高温であるが、それはあくまでも空間的には“別”の場所である。前者には火成活動は“有り得そうもない”のである。ではEu-地向斜での古典的な塩基性・超塩基性火成岩はどうして生れたのか? 筆者はそれはSubductionの際にとりのこされた海底地殻や海底のマントルであろうと思う。

造山帯ではしばしばオフィオライトという岩石の集合もみることがある。それはチャート、枕状熔岩、超塩基性岩という三種の岩石の集まりである。それは正に海底の堆積物、地殻及び上部マントルそのものではないだろうかというのがプレート論者の主張である。私はEu-地向斜における基性火成岩はすべからく、海

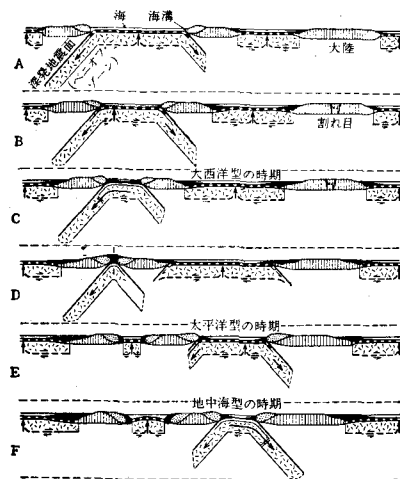
6) 松田時彦・上田誠也(1971)、Tectonophysics, 11, 5-27。

底の残骸であってEu-地向斜その場での火成作用によるものではあるまいと思う。もち論、現実の観察によって“真理”はきわめられねばならないが、“余程”のことがない限り冷たい subduction 帯におけるEu-地向斜では火成作用はおこり得ないと判断されるからである。(しかし、後述のように海嶺自体が海溝と衝突し、もぐり込んでゆく場合にはそれは可能かもしれない。)このような点については、日本も1975年度より正式に参加した国際深海掘削計画による日本海溝内側斜面などでの深い掘削が重要なデータをもたしらしてくれることであろう。DeweyやBirdらはこのような考えを全地球、全地質時代に拡大した。例えば大西洋は現在は開かれた海であるが、現在の大西洋が生れる前には、ここにはひと続きの大陸があった。しかし更にその前には現在の形とほぼ似てはいるが、いく分異った形での“古大西洋”があり、そこでは現在太平洋にみられるような造山作用がおこっていたとした。大西洋の両岸にみられるいわゆるカレドニア造山帯の機構はこれであるとしたのである。彼らによれば、拡大し、ひろがる大西洋型の海と、拡大はするがせめめられていく太平洋型の海とは交互にその役割を演じつつ、地史が繰り返られる(第11-(a)図参照)。この考えはまことにもっともである。地球のサイズは一定であるのだから、第11-(b)図に示すように、大西洋が現在のようにひろがれば、しまいに太平洋は閉じてしまう筈である。こうして第11-(a)図の“太平洋型と大西洋型の交替”がおこるのである。このような大胆な一般化はあまりにも粗雑すぎるとか、現状をよく知る人からみると正しくないという批判も生れる。その詳細はさておき、このような考えは基本的に正しいとおもわれる。

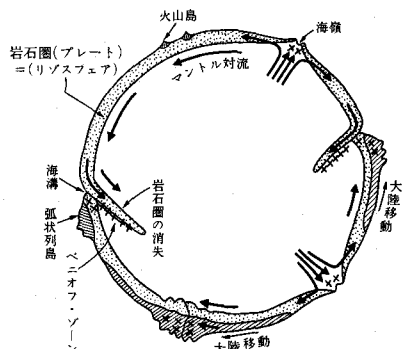
現在、プレート・テクトニクスの考えで世界の多くの変動帯がどのように説明され得るであろうかという試みは非常に活発に行なわれている(岩波版“世界の変動帯”⁷⁾)。地中海、アフリカ地溝帯、紅海、中南米、ヒマラヤ、インドネシア、ミクロネシア、更には北アメリカの西海岸の問題等である。新しい考えを大陸に応用しようとすると多くの新しい問題が生れるようであるが、最近ではユーラシア大陸の真中にあるウラル山脈などもかつての太平洋型造山作用のなごりであろうという検討も進められている(Hamilton 1970)。

地球物理学的なデータと地質学的知見の組み合わせから、議論がやや現実的に進行してきたのは、北米大陸西岸部、アリゾナからカリフォルニアまでの地史であろう(関・上田、1971参照⁸⁾)。環太平洋地域のうち北米大陸西岸にはいわゆる海溝、島弧の性質がなく、現在の運動はサン・アンドレアス断層による水平ずれ運動が支配的である。しかしこの地域には過去に島弧、海溝性の活動があったことを示す多くの証拠がある。

フランスカン層の研究から最近では多くの地質学者がそのような主張を行ない、かつては太平洋プレートの Subduction が東側に向って行なわれていたとしている。そのような地質学的な推論と東部太平洋に於ける



第11-(a) 図 地球を大円で切ったときの断面で示すプレート・テクトニクス(デューイによる)。Aは現在に近い。左が太平洋、右が大西洋に相当する。



第11-(b) 図 海底拡大説およびプレート・テクトニクスのモデル(×は地震を示す)

7) “世界の変動帯”(1973)、上田・杉村編、岩波書店

8) 関陽太郎・上田誠也(1973)、“世界の変動帯”、p.132-143。

る地磁気縞模様の分布の研究によると、中生代から新生代初期を通じて北米の沖には現在の南米の沖のような海嶺系が存在しSubductionが盛んに行なわれていた。しかも、そのような海嶺系の幾何学的配置の必然性から海嶺自体が北米大陸の下へ中新世の頃に沈み込んでいったのである (Atwater, 1971⁹⁾)。

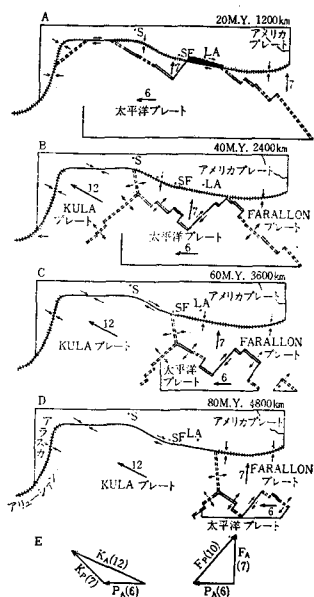
第12図はその状況を示す。すなわち北米沖には三つの活動的海嶺が会合した点があったとするのである。このような三つのプレートとの会合点は triple junction と呼ばれる (McKenzie & Morgan, 1969¹⁰⁾)。剛体板の球面上における運動という幾何学的条件のもとでは、このような triple junction の性質には相当の制約がある。三つの海嶺からなる triple junction の場合には各々のプレートに対して triple junction が静止したまま活動が続ける事は不可能であって、triple junction も海嶺自体も運動をする事になる。このような海嶺自体の運動、すなわち移動する海嶺 (migrating ridge) の概念は幾何学的考察からも、またカリフォルニア沖の地史からも推定されるに至った。

もともと海嶺とはマントル内の対流の上昇する部分であるという考えからみると、その上昇部分そのものが、下降するプレートと共に海溝の中へ沈み込んでしまうという考えは、受け取りがたいように見える。すなわち、ここには思想と現実との間に矛盾が生じてきたのである。このような場合、常に重視されるべきは現実のほうであろう。もし現実が、海嶺の移動および海嶺自体の Subduction を強く示すならば変えなければいけないのは、思想のほうであろう。北太平洋の地磁気縞模様の精密な調査が重要な役割を果すのはこの点にある。北西太平洋、すなわち日本列島、千島沖の地磁気縞模様の研究は太平洋のこの部分にかつて triple junction が存在した事を示している (伊勢崎ほか, 1971, Hilde, 1973)。そうすれば、千島弧や日本列島弧への海嶺の沈み込みもあった事になり、それが日本列島の地史にどのような影響を及ぼしたかは、重要な問題点である。第13図は、ridgeの沈み込みの様子を模式的に示した想像図 (Atwater による) である。

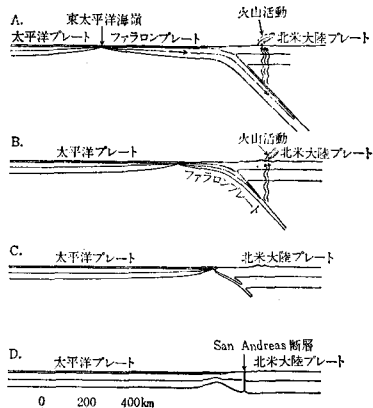
V プレート・テクトニクスと日本列島

日本列島を一つの典型とする弧状列島の現状を狭義のプレート・テクトニクスから見る場合についてはⅢについてのべた。これを広義のプレート・テクトニクスから見ると太平洋型造山 (Ⅳ) となるが、具体的に日本列島の地史を、そのような見地から組立てるためには未だに解決しなければならない問題が多い。

上田・都城 (1973)¹¹⁾ は当時明らかにされつつあった太平洋のプ



第12図 太平洋プレート、アメリカプレート、Kulaプレートの新生代における運動、Eの $P_A(6)$ などは、アメリカプレート(A)に対する太平洋プレートPの運動のベクトル (cm/年) を示す。(Atwaterによる)



第13図 東太平洋海嶺および海洋底プレートの東への移動と大陸プレートとの衝突、およびそののちのSan Andreas断層の形成史を示す断面モデル。(A): 白亜紀から第3紀初期まで、(B)(C): 第3紀中期、(D): 現在。(Atwaterによる)

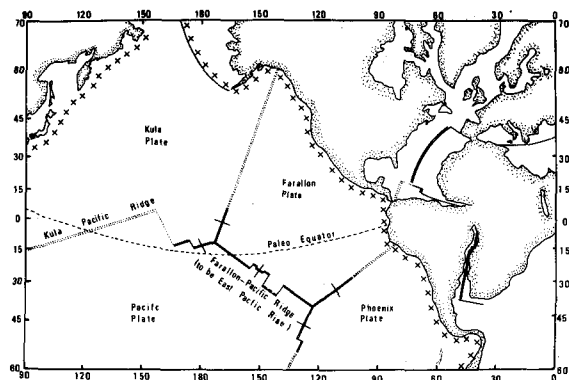
9) T. Atwater (1970), *Geol. Soc. Amer. Bull.* vol. 81, no. 3513.

10) D. McKenzie & W. J. Morgan (1969), Evolution of Triple-junction. *Nature*, vol. 224, no. 125.

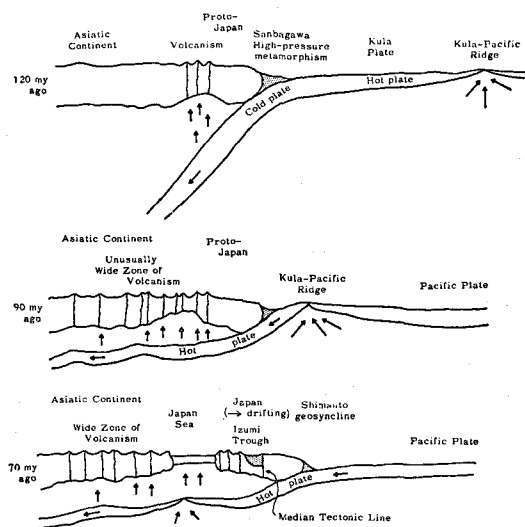
11) 上田誠也・都城秋穂 (1973), “世界の変動帯”, p.370-380.

プレート運動の歴史を利用して、アジアプレートと太平洋プレートとの相対運動の変せんと、中生代後期以降の日本の地史とを結びつける試みを行った。すなわち、Larsonら(1972)によれば、約110m.y.前の太平洋のプレートの配置は第14図のごとくであり、日本列島は、この時以来、Kulaプレートの北向き沈み込み、Kula-Pacific海嶺の沈み込み(約80-90m.y.前)、及び太平洋プレートの沈み込みを経験したことになる。又、Morgan(1972)のいわゆるHot Spot説からの推論によれば、太平洋プレートは約40m.y.前にその運動方向を北北西向きから、西北西向きに転じたとらしい。上田・都城は、約80-90m.y.前の海嶺の沈み込みが日本列島のみならずアジア東部の火成活動や日本海の起源などに重要な働きをなしたのではないかとしている。又、40m.y.前の太平洋プレートの運動の変化が、いわゆるミズホ造山又はグリーン・タフ活動の起源であろうとみている。そしてこの活動がフィリピン海の生成に重要な働きをしたと考えている(第16図)。

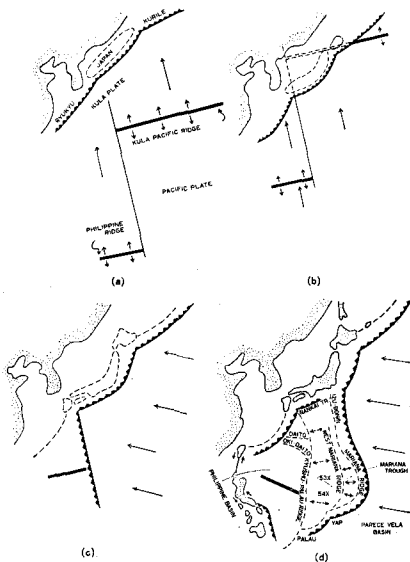
更に古い時代の日本列島はどうであったか、という問題については、海洋プレート側の歴史は“沈み込んで”しまっているので分析が困難である。むしろ、広義のプレート・テクトニクス立場から、陸上にみられる情報を解釈してゆくほかはないだろう。それは地史学そのものともいえるのだが、日本では、例えば杉崎・水谷(1973)¹²⁾らの古生代の火山岩の研究などが将来性を秘めている。古生代地相斜にみられる火成岩は、海嶺上でつくられるものと類似しているという彼等の結論からは、筆者の推論は唯一である。それは、これらの火成岩は“海底”の名残りであるということで、更に具体的にはa)はるか太平洋上で生れ、拡大してきた海嶺がSubductionにあたってとりのこされたか、b)日本海の縁海の海底で生れておなじく地相斜にとりの



第14図 110 M Y 前の太平洋のプレート配置図
(Larson and Pitman, 1972)



第15図 海嶺がもぐり込む場合の模式図
(上田・都城, 1973)



第16図 フィリピン海形成モデル
(Uyeda and Ben Avraham, 1972)

12) 杉崎隆・水谷伸治郎(1973)、“世界の変動帯”、岩波書店、p.339-349。

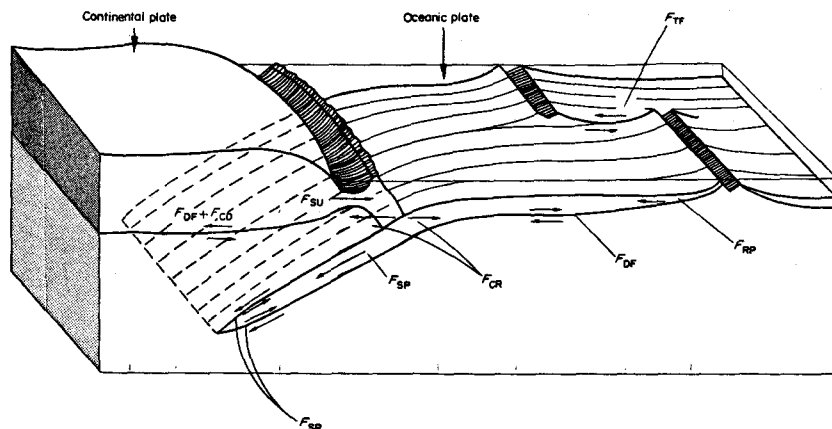
こされたか、あるいは、c)沈み込んだ海嶺の“化石”であるか、などの可能性があろう。合理的且首尾一貫した“地史”の建設はまさにこれからのわが国の地学者にとっての活躍の場なのである。この場合、ひとり日本にのみ視野を制限することなく、ひろく、東南アジア全体、ひいては全世界もみはるかす視野に立ってそれを進めたいと思う。

Ⅶ 原動力

海底拡大やプレート

・テクトニクスは、
原動力として有力なのは、
大陸移動の唯一の可能
な原動力と考えられて
きたマントル対流である。
マントル対流論の
基礎は Rayleigh,

Chandrasekhar らによ
る粘性流体の熱対流の
理論であるが、地球内



第17図 プレート運動の原動力モデル

部の状態がこのような理論の適用範囲にあるか否かについては大きな問題がある。最近では粘性が一様でない場合のマントル対流論（竹内ら、1970）や、Rayleigh数の非常に大きい場合のマントル対流論（Foster, 1969; Turcotte ら、1969）も行なわれている。しかし、地球のように粘性の縦方向の変化が大きく、材質自体のなかに熱源を含み、かつその中では単なる熱対流のみではなく、相変化や対流に伴う化学的分化作用などがおこる場合の理論は容易ではない。しかもその粘性自体がニュートンの粘性であるのか、そうでないのかもはっきりしていないというのが現状である。この意味でマントル対流論はきわめて初歩的な段階にあることは事実である。だからその理論的帰結がどうであろうとそれに基づいて壮大な議論を展開するのは、適当ではないだろう。破砕帯で大きく切られた海嶺系の下での運動が単純な流体力学的なイメージとは結びつきが悪いのも事実である。このため、マントル対流はプレート・テクトニクスの直接の原動力ではないという点を強調した論文も多くみられるようになった。もともと大陸移動の原因論として、マントル対流論しか生き残らなかった事情を考えると、現在プレート・テクトニクスの機構としてのマントル対流論への否定的態度は、原因論が原点にもどった感を与える。

最近、筆者ら（1975）¹³⁾はこの問題について少々立入った研究を行なった。すなわち、第17図にみられるような種々の力を想定し、世界の各プレートがこれらの力をうけて定常運動を行なっていると仮定する。次に観測される各プレートの運動から、上記の各種の力の相対的強さを“inverse problem”として解くことを行なったのである。紙面の都合でその詳細は略するが、結論としては、考えられる種々のプレート運動の原動力のうちで、海溝からもぐり込む subducting slab の“重力”による引張りが、断然支配的につよいということが見出された。このような運動システムも一種の“対流”であることはまちがいないのではあるが、ふつうの意味のものとは異なる点は興味深くおもわれる。

Ⅷ おわりに

プレート・テクトニクスはもはや、どこか遠くの外国の学者のいい出した異端の説で、おっかなびっくり、その所論を検討してみようという時代ではなくなった。これを使うにも、しりぞけるにも、とにかく基本的なことは理解していないとどうにもならない時代になったのである。

13) 上田誠也・D. Forsyth (1975): “科学”, p. 66-74, 岩波書店。