

# 東アジアにおける地質構造と炭化水素および金属鉱物資源

## CCOPのIDOE計画について (III) - 1

佐野 俊一 (海外地質調査協力室)

### 1. はじめに

IDOE (国際海洋探査10年) 計画の地域プロジェクトの1つとして 東アジアにおける地質構造と資源との関係を究明するため 国連エスキャップ・アジア沿海鉱物資源共同探査調整委員会 (CCOP) およびユネスコ政府間海洋学委員会 (IOC) は CCOP-IOC 共同作業グループを設立し 上記研究 (SEATAR) 計画を推進している。筆者はこの研究計画を紹介するため CCOP の IDOE 計画について (I) として SEATAR 計画の発足に至る経緯と発足にあたって提起された基本的問題とを述べ (本誌第261号) その (II) において 東南アジアにおける地質構造の発達に関するプレートテクトニクス的解釈について紹介した (本誌第269号)。このシリーズを一応完結するため ここでは鉱物資源探査に対するプレートテクトニクスの適用および CCOP 加盟国および協力国により提案され実施されている研究計画について 概略を述べる。

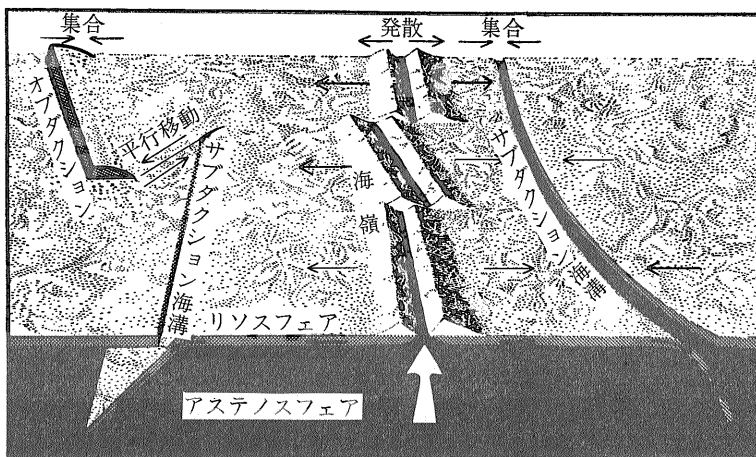
プレートテクトニクスは 主として地球物理学的な証拠によって 現在の地学的現象について確立された概念であるということが出来るが 過去の地質現象に対する適用については 多くの問題が残されている。地質学者によるこの概念の理解も人によってかなり異なっていると思われることがある。したがって プレートテク

トニクスの立場にたつた議論においても 地質現象に対して異なった解釈がなされている場合がある。勿論これは プレートテクトニクス的解釈に必要な事実の調査が十分でないことにも関係がある。

プレートテクトニクス概念にもとづく鉱物資源の生成や分布に関する議論は 既に多くの研究者により提起されているが ここでは詳細な議論はさけて この分野の著名な研究者の1人である RONA (1976) が 国連本部の天然資源・エネルギー・運輸センターにより刊行されている雑誌 Natural Resources Forum の第1号に発表した解説に従って プレートテクトニクスが どのようにして鉱物資源探査の基本的な指針となりうるかを概説することにしよう。むしろ非専門家を対象としたこの解説では RONA は基本的な概念のみを記述している。既に筆者はこのシリーズの (I) で CCOP の IDOE 計画の基本的な問題に関連して いくつかの具体的な研究を紹介したが ここでもより基本的な概念を述べておくことは無駄ではないと考える次第である。

プレートテクトニクスは探査法ではないし 普通の探査法にかわるものではない。それは 既知の鉱床地帯の延長や新しい鉱床地帯を予知する指針を示す概念を提供し 広域探査に対する戦略を指示するものである。

それは鉱物ポテンシャルのみこみのある地域の輪郭を



第1図  
プレートの基本的な運動  
(RONA, 1976による)

示すが 個々の鉱床を区別するほどの“分解能”をもたない。通常水平のひろがり数数百mから数千mのオーダーの個々の鉱床とプレートテクトニクスによって指示される数百kmから数千kmの規模での鉱物ポテンシャルのみこみのある地域とのスケールのちがいがこの理論の有効性について意見のわかれるものとなっている。重要な問題は このスケールのちがいが本質的なものであるか 一時的なものであるか ということであろうと思われる。プレートテクトニクスはその初期の段階で 地球的規模でプレートの相互作用を研究するために大まかな一般化や単純化を行なった。しかし 次第にプレートの境界にそご地域的な特徴を認識するようになり プレートテクトニクスが地域的な探鉱の指針を与えるようになった。現在の研究はプレートの相互作用のかなり局所的な特徴を取扱うようになってきているのでかなり限られた範囲での探鉱にプレートテクトニクスが寄与することが期待される。巨大プレートの間にはさまれた多くの小さな要素が相互に作用しあっている東南アジア地域での研究は プレートテクトニクスは局所的な探鉱への応用に対して貢献するものと考えられる。個々の鉱床の探査は探査法または探査技術の問題であって プレートテクトニクスの適用が個々の鉱床を対象とする必要はないと考えられる。

## 2. プレートテクトニクスと炭化水素の探鉱

RONA は炭化水素の探鉱に関して次のように述べている。

炭化水素の根源となる有機物 それを含有する天然の貯りゆう層およびその液体またはガス成分を集中させるトラップが炭化水素の集積に必要である。 根源としての有機物が保存されるような環境とは生命に対して有害な すなわち 有機物が食料とならないようなところであり また 酸素が不足して炭化水素に分解されないところである。

プレートが生成される海嶺で恐らく石油の蓄積に好適な場所が形成され 深海盆での石油資源の可能性が考えられる。 アフリカの大地溝帯のように 大陸の下でプレートの境界がうまれかけているところでは 大陸は2つに分裂し 両側の部分は海洋底拡大によって生成される新しいプレートに押されて互に分離され それらの間に海ができる。 両側の大陸は海水の循環をさまたげる障壁となり 海水の蒸発が補給を上廻るならば岩塩層が有機物とともに堆積する。 両側の大陸地塊は移動を続け 囲まれた海は海洋となり 大陸のはしに接する海洋プレートは徐々に沈降して 有機物と岩塩の層は堆積物にうずめられる。 したがって 有機物は炭化水素となり 岩塩層は石油をとらえるドーム状の塊りとなる。 プレートテクトニクスによって 海嶺のまわりの海洋底拡大によってうまれ 囲まれた海の段階を経て開いた海盆は炭化水素のポテンシャルをもつと考えられるようになった。

一方 海洋プレートによって押されて移動した大陸塊の周縁では 地向斜が形成され 岩塩ドームやその他の構造が発達し 大西 洋型周縁部とよばれる。 現在の 大西 洋の周辺にその代表的な例がみられるが 西太平洋の縁海の周縁のいくつかの部分も大西 洋型と考えられる。

大西 洋型周縁部が炭化水素の高いポテンシャルをもつことは 既によく知られている。

次に海洋プレートが大陸地殻の下にもぐりこんでいるところでは 海溝 島弧および縁海などがみられるが いくつかの点で炭化水素の集積しやすいところがあると考えられる。 第1に 海溝および島弧は大陸や深海盆からの堆積物や有機物をとらえる障害物の働きをする。

第2に 海溝や小海盆は海洋の循環を制限し 海水に酸素が補充されないで 有機物が保存されるようにする。 第3に 堆積物の蓄積および海洋地殻のもぐりこみによる堆積物の変形の結果として発達する地質構造は 石油の集積のための貯りゆう層やトラップを作りだす。

第4に 海溝や縁海での地温の上昇は 有機物の変換を促進する。 西太平洋の縁海は炭化水素の有望地域として 現在探鉱が行なわれている。 現在では 深海底の掘削は経済的ではないが 海溝の地域は将来の探鉱の目標となるであろう。

多くの巨大油田や巨大ガス田は 大陸プレートの内部に存在する。 これらの盆地に集積した堆積物および有機物の性質は海水準や気候に影響され これらの条件はプレートテクトニクスに関係している。 現在の安定した大陸の内部でも 過去にはプレートの境界であった場合もある。 堆積盆地それ自身は大陸地殻の上昇・沈降を含む地殻の垂直運動によって生成されたものであるが このような運動は必ずしもプレートテクトニクスによって説明されていなかった。 しかし 少なくとも大陸周辺での堆積盆地の形成を プレートの相互作用による垂直断層群や横ずれ断層群で説明しようとする傾向が強くなっている。

海洋プレートのサブダクションで特徴づけられる大陸周辺は 太平洋型周縁部とよばれ その構造は大西 洋型周縁部に比べて複雑で はなはだしい断層運動や褶曲運動をうけている。 太平洋型周縁部における石油の探鉱は大西 洋型周縁部に比べておこなわれている。

MURPHY (1975) は東南アジアの堆積盆地を 現在のプレートテクトニクスの要素に対する地理的關係に従って次のように分類した(第2図)。

陸棚型(Shelfal)盆地——両側に大陸地殻のあるもので一般的に 基盤に支配された構造パターンが発達している。

大陸周縁型(Continental margin)盆地——片側に大陸地殻反対側に海洋地殻のあるもので 陸側から堆積が進み 海側に及んでいる。 断面は非対象で 堆積物は 大陸起源の碎屑物安山岩質火山砕屑物および焦または卓状地上につみあげられた炭酸塩岩からなる。 堆積層の変形は圧縮および横ずれの相互作用の結果である。

群島(Archipelagic)型盆地——ほぼ平行な島弧系の間に形成

される海洋間島弧盆地複合体で 焦石灰岩をともなう安山岩質火山砕屑物が盆地の周縁相を特徴づけるが 一方 盆地の中心相は海底泥流堆積物をはさむ厚い火山砕屑物タービダイトの系列を含む。構造形態はいちじるしく複雑である。縁海 (Marginal seas) 型盆地——島弧間の海洋底拡大または大陸周縁と新しく生じた島弧の間での海洋地殻のとりこみによって作られた小海盆であって コンティネンタル・ライズにタービダイトの堆積がみられる。

これらの型の盆地のうち 現在までに炭化水素の鉱床が発見され開発された堆積盆地は 陸棚型か 太陸棚が発達している部分に位置する大陸周縁型である。群島型盆地の一部 (フィリピン) では長年探鉱が行なわれてきたが 経済的な鉱床は発見されていない。

さらに RONA および NEWMAN (1976) は次のような興味ある仮説を述べている。

陸上の産油地帯は空間的にプレートの境界に関係がないが 時間的には これらの堆積盆地の堆積層の発達 は 海嶺の可逆的な容積変化の海水準に対する汎地球的な影響を通じて 時間的にプレートの境界に関係している。世界的な海嶺系の容積増加は海盆の容量を減少させ すべての大陸への海進と 有機物および貯りゆう層岩を含む堆積層の堆積をもたらし、逆に海嶺系の容積減少は海盆の容量を増加させ すべての大陸からの海退と 石油の集積のためのトラップの生成をともなう広域にわたる不整合の発達をもたらし。

世界的な海嶺系の可逆的な容積変化は数千万年の時間的スケールでおこったが これは北アメリカの顕生代の層序において重要な不整合面によってわけられる6つの堆積系列が存在することによって証明される。海嶺系の体積変化の堆積層序および不整合に対する想定された関係は層序トラップの探鉱に有益である。

筆者には しかし 大陸内部の堆積盆地がいかに過去のプレートの境界に関係していたかを復元することの方が プレートテクトニクスの適用としては本筋であるように思われる。

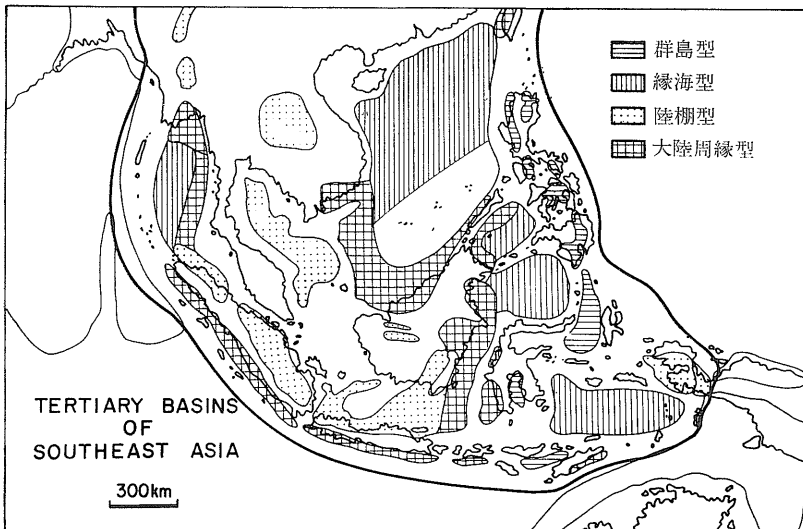
欧米の主要な石油会社はプレートテクトニクスの探鉱への重要性を認識し その研究を推進してきた。それはこれらの企業が十分な研究スタッフを擁しているからであると考えられる。先進石油企業は海溝を含む深海底まで基礎的な調査を行ない 豊富な物理探査データを用いて研究を進め プレートの境界における地質構造の発達についての研究においては 企業の研究者が先導的な立場に立っているといえることができる。

### 3. プレートテクトニクスと金属の探鉱

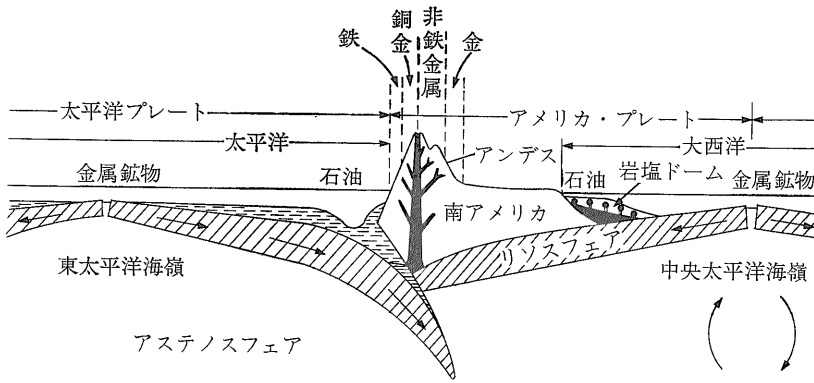
RONA (1976) は金属の探鉱について次のように書いている。

近年まで 濃縮された金属の鉱床は 海洋プレートが生成される海嶺には存在しないと考えられていた。海嶺で作られる岩石は玄武岩で 世界のすべての海盆の底に分布するこの岩石は一樣で経済的に興味のないものであるからであった。ところが2つの重大な発見がこの定説をくつがえした。

この2つの発見の最初は 国際インド洋探査 (1963—1965) に参加した地球化学者による紅海底の含金属堆積物の発見である。紅海はアフリカとアラビア半島を引裂くプレートの境界により作られる海盆の開きはじめの段階にあると考えられる。含金属堆積物は海面下約2,000mの深さにある紅海の長軸にそういくつかの海盆に存在する。最大の海盆の堆積物の上部10mのサンプリングによって 平均して 鉄29% 亜鉛3.4% 銅1.3% 鉛0.1% 銀50ppm および金0.5ppmを含む 乾燥重量で8千万トンの堆積物が存在し この金属の価格は2.5億ドルと推定された (BISCHOFF および MANHEIM, 1969)。勿論



第2図 東南アジア第三紀堆積盆地の分類 (MURPHY, 1975)



第3図 プレートの境界と鉱床 (RONAによる) 島弧の発達に伴う鉱床生成の詳細なモデルは 本誌第267号 (P.52~53 第3図) 参照

この評価は採掘と製錬の費用を考慮していないので この含金属堆積物が鉱床として価値があることを意味してはいない。紅海の堆積物より含有量は低いがこのような含金属堆積物はグラマーチャレンジャー号による深探掘削計画 (DSDP) によってすべての深海盆で採取され 含金属堆積物が海嶺でのプロセスで作られることが確められた。

その第2は 米国海洋大気庁 (NOAA) の TAG (Trans Atlantic Geotraverse) プロジェクトによって 1973年に発見された TAG 熱水フィールドである。これは大西洋中央海嶺上の緯度 26°N 付近の少なくとも10平方 km の場所で 種々の金属に富んだ熱水が海底から湧出し 5cmの厚さのほとんど純粋な酸化マンガン固体を沈澱している。現在の技術でマンガン層の下の岩石を調べることは不可能であるが 経済的に重要な鉱床である金属硫化鉱床が存在すると推定される。

海嶺での海洋プレートの生成にともなう鉱床のタイプは この2つの発見によって

- (1) 含金属堆積物
- (2) 金属酸化物層
- (3) 金属硫化物

の3つであると結論される。これらの鉱床のタイプは熱水鉱床 すなわち熱水溶液からの金属の沈澱によって作られる鉱床として 共通の起源をもっている。

これらの3つのタイプの金属鉱床は海嶺にそって連続的に存在せず 好ましい条件がととのっているときのみ生ずるが その場所は現在のところ確定することはできない。もし一度 海嶺で生成されれば これらの鉱床は海嶺で生成される海洋プレートにともなわれて コンペアベルトで運ばれるように 移動する。したがって これらの鉱床は海嶺からはるか遠くのしかし 海洋プレートが露出する場所で発見される。この海洋プレートにともなう金属鉱床は 鉱物の探査において 長期的および短期的な観点から意義がある。長期的には 深海盆からの鉱物の採掘であるが 技術開発が必要であり 膨大なコストがかかるため 現在稼行できる鉱床が枯渇したときのみ利用できるであろう。短期的な意義は 現在の技術で採掘可能な陸上に海洋プレートの大きな断片が発見されるという事実にもとづいている。

プレートテクトニクスの鉱物探査に対する適用の第2の条件は 既存の大陸の鉱床分布地帯が 大陸が分裂し海洋が海嶺のまわりの海洋底拡大によって成長するとき 分割されて分離されることである。1つの大陸塊を横切る方向にのびる鉱床地帯の位置に関する知識は 大陸塊の分裂前の配置をはめえバズルの

ように再現すれば 他の大陸塊の鉱床地帯への連続性を見出すであろう。このような例として 太平洋の両側の大陸での錫金およびダイヤモンドの鉱床などがよく知られている。鉱床地帯が分裂した大陸の周辺や島弧を横切る方向に 分裂の前に生成されたところでは 新しい鉱床の発見の可能性が存在する。海洋プレートと大陸プレートとの境界の付近では 既に鉱床の探査および開発が進んでいるが プレートテクトニクスによって さらに鉱床未発見地域の組織的な探鉱計画をたてることが可能である。プレートテクトニクスによれば 海洋プレートの衝上 (オブダクション) ともぐりこみ (サブダクション) との2つの場合に対応して 2つの基本的なプロセスによって 鉱床が生成される。

オブダクションの場合には 1つのプレートの端が衝上し他のプレートの上に覆いかぶさる。プレートテクトニクスではオブダクションの構造は 恐らく数 100 kmの長さで10kmの厚さの海洋プレートの断片が深海底から追いついて陸上に出現すると考える。この結果 海嶺の付近で形成された前述の3つのタイプの鉱床が陸上に露出し 探鉱の目標となる。この最も代表的な例は東地中海のキプロスのトルードス鉱床の金属硫化鉱床であり 西太平洋周辺の火山島弧にそって海洋プレートの断片 (オフィオライト) が露出している。このような露出は金属探鉱上重要な意味をもつ。

サブダクションの場合には 非鉄金属・貴金属・鉄および鉄合金金属の既知鉱床の大部分が プレートの境界にそって 大陸または島弧に存在する。海嶺で作られた海洋プレートが大陸プレートの端に遭遇すると 一般的には 前者は後者より重い ため大陸の下にもぐりこむ。海洋プレートの岩石は 下降中に 徐々に上昇する温度および圧力の下で 含有する金属を溶出する。海洋プレートから溶解した 溶融した岩石およびその他の液体・ガスは上部の大陸プレートの中を上昇し さらに金属を溶解して地球表面に噴出し 西太平洋周辺の火山島弧や南アメリカの西端のアンデスのような火山脈を形成する。金属は 岩石の固化の一次的なプロセスにより また固化後の二次的なプロセスによって 火山弧や火山脈のなかに鉱床として濃縮される。

RONA および NEWMAN (1976) は西太平洋地域の鉱物分布について次のように要約している。

西太平洋地域において 貴金属の鉱床はプレートの境界に位置する日本 フィリピンおよびインドネシア等の島弧に存在した 活動的なプレートの境界から分離された東アジアやオーストラリアにも存在する。海洋プレートが並列に存在し島弧が発達してないようなところ たとえばフィリピン海の東側やニュージーランドとサモアの間では貴金属の鉱床は発見されていない。

非鉄金属の鉱床ももぐりこむプレートの境界にそう島弧で発見された。微量の蒼鉛およびモリブデンを伴う錫 タングステンおよび螢石の鉱床は アラスカおよびアジア大陸の東縁にそう中生代の花崗岩類や酸性噴出岩が卓越する地帯に存在する。非鉄金属はまた活動的なプレートの境界から分離された東アジアやオーストラリアにも存在する。海嶺の頂点でのコアリングや 深海掘削によって頂点からはなれたところで回収された堆積物のサンプルは 太平洋海盆の玄武岩を直接覆っている堆積物のなかにひろく非鉄金属の濃縮されていることを明らかにした。これらの金属はアンチモン 銅 鉛 水銀および亜鉛が錫はない。非鉄金属の濃縮が玄武岩上の基底堆積物にかざられるという発見は 海嶺における海洋底拡大による玄武岩の生成の直後に金属の濃縮がおこることを意味している。

鉄および鉄合金元素の鉱床は やはり プレートの境界にそう島弧および活動的なプレートの境界から分離された東アジアやオーストラリアに存在する。また 海洋プレートが並列的に存在し島弧の発達が見られないプレートの境界には存在しない。いろいろなパーセンテージで マンガン 銅 ニッケルおよびコバルトを含む団塊は太平洋の海底の約3分の2にわたって存在する。銅およびニッケル含有量が異常に高く(1.5—2.0%)分布面密度が高い(海底の20—50%)団塊の地域は 東西太平洋をまたいで 緯度5°—20°Nの範囲にひろがっている。団塊の全般的な分布も濃集した地域もプレートの境界とは関係がない。アルミニウム ベリリウム リチウムおよびチタンなどの軽金属の鉱床は 熱帯風化のプロセスによって 大陸の花崗岩から二次的に濃集されたものであって みかけ上プレートの境界とは関係がない。しかし 風化のプロセスを決定する気候は大陸の地理的位置に関係し これは大陸移動に支配される。

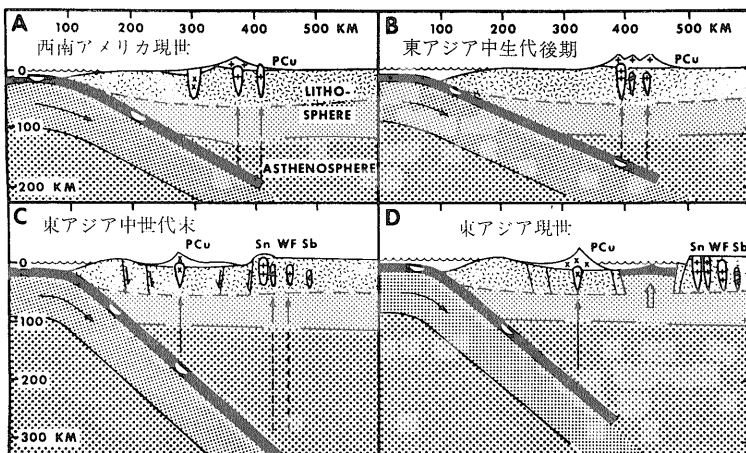
このように 太平洋型周縁部の金属鉱床の分布の研究が進んでいるが RONA および NEUMAN (1976) は 環太平洋地域の鉱物分布の特徴と太平洋プレートのサブダクションの速度との関係に注目して 次のように述べている。

太平洋周辺のサブダクションを伴うプレートの境界での貴金属 非金属 鉄および鉄合金金属の鉱床分布を説明する1つのモデルを 次の諸概念にもとづいて提出する。

- (1) ベニオフ・ゾーンの傾斜は海洋プレートのサブダクションの速度に逆比例する (LUYENDYK, 1970)。
- (2) 縁海盆はベニオフゾーンの傾斜が約35°をこえるところで発達する。
- (3) カルク・アルカリ安山岩質火山岩およびトータル岩(酸性石英閃緑岩)質深成岩体は傾斜の急なベニオフ・ゾーン上に生成される (MITCHELL, 1973)。
- (4) 珪質火山岩および花崗岩質深成岩体は傾斜のゆるいベニオフ・ゾーン上に生成される (MITCHELL, 1973)。
- (5) サブダクションをとまなうプレートの境界にそう鉱床の中の金属は 第一に ベニオフゾーンにそって下降する海洋プレートおよび大陸プレートから供給される (SAWKINS, 1972; SILLITOE, 1972)。物質の起源としてのマンツルの役割の評価は定まっていない。
- (6) ベニオフゾーンにそって下降する海洋プレートから放出される揮発性物質の性質と分量とは金属の抽出 運搬および沈澱に影響する。

このモデルは東西太平洋周縁のプレートの境界にそう鉱床の分布を次のように説明する。

- (1) 海洋底拡大およびサブダクションの速度が相対的に早い場合には ベニオフ・ゾーンが浅く 珪質火山岩および花崗質深成岩体が生成される(第4図 a b)。珪質火山岩の岩体の上部にポーフィリー銅—鉛—亜鉛—錫—タングステン—蒼鉛—螢石およびモリブデンが



第4図 太平洋プレートの境界での鉱床生成モデル (RONA および NEUMAN, 1976 による) 黒い海洋地殻の中の白抜き部分は 含金属堆積物や塊状金属硫化物を 矢印は上昇するマグマ そしてその点線部分は揮発性物質を示す。

+ : 花崗岩体  
 × : トータル岩体  
 PCu : ポーフィリー銅—鉛—亜鉛—錫—タングステン—蒼鉛—螢石  
 Sn : 錫  
 W : タングステン  
 F : 螢石  
 Sb : アンチモン

花崗岩の岩体中の下部に濃縮される。銅は第一にベニオフ・ゾーンにそって下降する海洋プレートの含金属堆積物および塊状成層硫化物鉱床から供給される。花崗岩の一部に含まれる錫とそれに伴う金属は大陸地殻により供給され (STERN および WYLLIE, 1933) その分泌は海洋プレートから放出された揮発性物質により促進される。この例は現在の南アメリカおよび中生代後期の東アジアである。

- (2) 海洋底拡大とサブダクションがおそい場合にはベニオフ・ゾーンの傾斜が急で縁海が発達しカルク・アルカリ火山岩とポーフィリイ銅-鉛-鋅床を伴うトータル岩が生成される(第4図 c d)。カルク・アルカリ岩と銅は第一にベニオフ・ゾーンにそって下降する海洋プレートから供給される (JAKES および WHITE, 1972)。トータル岩質深成岩体と銅の一部は大陸または島弧の地殻から供給される (JAKES および WHITE, 1971; BROWN, 1973)。

(1)に述べた型の活動期間中に生成された花崗岩質深成岩体(第4図b)は浸食によって削りとられ錫とそれに伴う金属を露出させる。縁海の発達(第4図 c d)は大陸と島弧とを分離し東アジアやオーストラリアと西太平洋の活動しているプレートの境界との間のギャップを作った。この例は中生代末および現在の東アジアである。

東インドネシアのスラウエシ ハルマヘラおよび西イリアンはスマトラ ジャワおよび小スンダ列島に比較して第三紀の金属鉱化作用がいちじるしい。KATILI (1975)はこれを太平洋プレートおよび印度洋プレートの海洋リソスフェアの性質の差異で説明できると述べているがそれは推定されたインド洋の相対的におそい海洋底拡大の速度とスマトラおよびジャワ前面のベニオフ・ゾーンの急激な傾斜にあらわれているとみることができる。

最後に太平洋周辺の花崗岩類に伴う鉱化作用の研究についてふれておこう。環太平洋地域にはプレートの活動に伴う花崗岩類がほぼ連続的に大陸周辺および島弧に露出しているがそれに関係する鉱床は限られた分布を示した。たとえば錫鉱床は太平洋の東側に乏しく西側でも朝鮮半島には知られていない。ポーフィリイ銅-鉛-鋅床は東側のアメリカ大陸ではほぼ連続的に分布するのに対して西側ではソロモン群島からフィリピンまで知られているがその以北では発見されていない。

石原(1975)は各地の試料の地球化学的研究にもとづいて花崗岩類は酸化性と環元性と2種類にわけられ前者がポーフィリイ銅-鉛-鋅床 後者が錫鉱床をもたらしたことを提案し構成鉱物の組合わせ主成分元素および微量成分元素について両者の差異を明らかに

しこれらの岩体のものであるマグマの発生について考察した。この研究が東アジア地域において組織的に実施されるならば鉱床分布の予測に貢献するとともに2種類の花崗岩類の連続性と配列の検討により地球化学的資料による島弧や縁海のプレート・テクトニクス的発達史の研究に寄与するであろう。

### (III)—1 章 の 文 献

- BISCHOFF, J. L. and MANHEIM, F. T. 1969: Economic potential of the Red Sea Heavy Metal deposits: in DEGENS, E. T. and ROSS, D. A. (eds.), Hot Brines recent heavy metal deposits in the Red Sea, Springer Verlag, New York, p. 535—541.
- BROWN, G. C. 1973: Evolution of granite magmas at destructive plate margins: *Nature, Phys. Sci.*, vol. 241, p. 26—28.
- 石原舜三 1975: 酸性マグマと関連鉱化作用—花崗岩類の酸化—環元性と鉱床の種類: *海洋科学* vol. 7, 757—759.
- JAKES, P. and White, A. J. R. 1971: Comoposition of island arcs and continental growth: *Earth and Planetary Sci. Letters*, vol. 12, p. 224—230.
- JAKES, P. and White, A. J. R. 1972: Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas: *Geol. Soc. America Bull.*, vol. 83, p. 29—39.
- KATILI, J. A. 1975: Geological environment of the Indonesian mineral deposits, a plate tectonic approach: United Nations ESCAP, *CCOP Tech. Bull.*, vol. 9, 39—56.
- LUYENDYK, B. P. 1970: Dips of downgoing lithospheric plates beneath island arcs: *Geol. Soc. America Bull.* vol. 81, p. 3411—3416.
- MITCHELL, A. H. G. 1973: Metallogenic belts and angle of dip of Benioff zones: *Nature, Phys. Sci.*, vol. 245, p. 46—52.
- MURPHY, R. W. 1975: Tertiary basins of southeast Asia: *SEAPEX Proc.*, vol. II, p. 1—36.
- RONA, P. A. 1976: Plate tectonics and mineral exploration: *Natural Resources Form.* vol. 1, p. 17—28.
- RONA, P. A. and NEUMAN, L. D. 1976: Plate tectonics and mineral resources of Circum-Pacific region: in Halbouty, M., et al. (eds), Energy and Mineral resources of Circum-Pacific region, AAPG Memoir 25. p. 48—57.
- SAWKINS, F. J. 1972: Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics: *Jour. Geology*, vol. 80, p. 377—397.
- Sillitoe, R. H. 1972: A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits: *Econ. Geology*. vol. 67, p. 184—197.
- SILLITOE, R. H., 1972: A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits: *Econ. Geology*, vol. 67, p. 184—197.
- STERN, C. R. and Wylse, P. J. 1973: Water-saturated and undersaturated melting solutions of a granite to 35 kilobars: *Earth and Planetary Sci Letters*, vol. 18, p. 163—167.