

# 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(I)

佐野 浚一 (海外地質調査協力室)

## 1. はじめに

東アジアにおける海底鉱物資源の探査・開発を促進するための地域協力機構として活動を続けてきた国連アジア太平洋経済社会委員会(エスキャプ)傘下のアジア沿海鉱物資源共同探査調整委員会(CCOP)は1975年8月8—22日東京で第12回会合を開催した。CCOPは設立以来政治的な討議を排除して技術的課題について国際協力を促進し関係各国あるいは関係国際機関よりその活動が高く評価されている。

CCOPの加盟国は日本・インドネシア・韓国・カンボジア・マレーシア・フィリピン・シンガポール・南ベトナムおよびタイであるがインドシナにおける政治情勢の変化によってカンボジアおよび南ベトナムは今回の東京会合に代表を派遣しなかった。一方エスキャプ準加盟国である太平洋信託統治諸島が近くCCOPに加盟する予定である。またCCOPの活動に協力する先進国としてオーストラリア・カナダ・フランス・西独・オランダ・英国および米国が毎年の会合に特別顧問あるいは技術顧問を派遣している。今回の東京会合にはカナダは特別顧問を派遣しなかったがソ連がはじめて参加しノルウェーがCCOPの活動に対する援助を検討中であることが紹介された。

1972年8月CCOPの活動を援助するため日本およびシンガポール以外の加盟国を受益国とする国連開発計画(UNDP)の地域プロジェクトが発足しバンコクにプロジェクト・マネージャー事務所が開設されCCOPの常設事務局としての機能を果している。UNDPの援助資金は主として常設事務局の人件費および事務費にあてられるのでCCOPの主要な活動は先進国による協力と加盟途上国の自主的努力に大きく依存している。

CCOPの活動の分野は年々拡大されその対象とする資源は炭化水素および碎屑重鉱物を中心としているが石炭・建設材料(砂礫)・リン鉱およびマンガング塊あるいは地熱や環境問題にまで討議の範囲が広がっている。しかしCCOPの最近の活動の中心の1つはユネスコの政府間海洋学委員会(IOC)が主催する国際海洋調査10年(IDOE)計画のプロジェクトの1つとして承認された研究計画の推進である。

CCOPの活動全般ならびに炭化水素に関する活動についてはすでにいくつかの雑誌で紹介した(佐野1975a・1975b・1976)のでここでは表題に示すとおりIDOE計画に関する活動について紹介する。本稿(I)では全般的・事務的事項について報告し(II)では具体的・科学的な問題について記述する予定であったが(II)の原稿がかなりおくれる見込みとなったので本稿の後半で研究計画の基本的な問題点にふれることにした。

## 2. CCOPのIDOE計画の発展とCCOP/IOC共同作業グループの設立

IDOE計画は米国が国連総会の承認を経て米国科学財団(NSF)の資金により活動を開始したもので1970年代の初期には米国の事業とみられていたがIOCがその海洋調査長期拡大計画(LEPOR)の1970年代における実行段階として取上げるに至って正式の国際共同研究計画として運営されている。

CCOPでは第8回会合(1971年)で大陸棚に遠の調査がはじめて討議された際深海域での調査を実施する方策として米国の技術顧問によるIDOE計画への参加が提案された。第9回会合(1972年)では研究題目を「東アジアおよび東南アジアにおける地質構造の発達と金属鉱床ならびに炭化水素の生成との関係」とすることを決定し代表研究者にインドネシアのDr. J.A. KATILI(現鉱山総局長)を指名した。Dr. KATILIはこの研究の目的を次のように要約した。

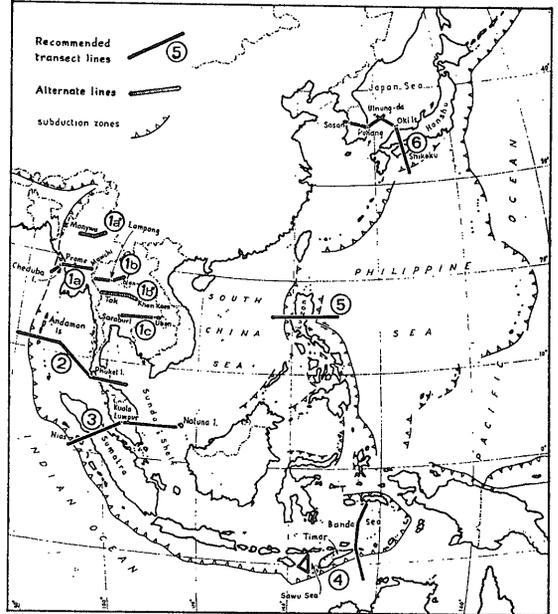
- 1) 東アジア・東南アジアの大陸周縁部の主要な地質構造的特徴の位置・特性を決定すること。
- 2) 金属鉱床を主要な構造的特徴およびプレートの境界と関係づけること。
- 3) いろいろな型の堆積盆地と炭化水素の産出地をプレートの周辺と構造的特徴とについて分析し有機物の炭化水素への転化を支配する地質学的・地球化学的および地球熱史的条件を研究すること。

1973年にはバンコクでIOCと共催でワークショップを開催しCCOP地域内外の専門家数十名を集めて研

究計画について討議した。この会合にわが国から西脇親雄・立見辰雄・石原舜三および安井正が招待をうけて参加した。多くの提案を検討し整理して主要な計画として6つのトランセクトを選定してこれらの代表的な構造要素を横切る帯状の地域にそって総合的研究を実施することが決定された。この会合の報告(CCOP・IOC 1974)は翌年事務局から出版され研究の現状と問題点のすぐれた要約として高く評価されている。

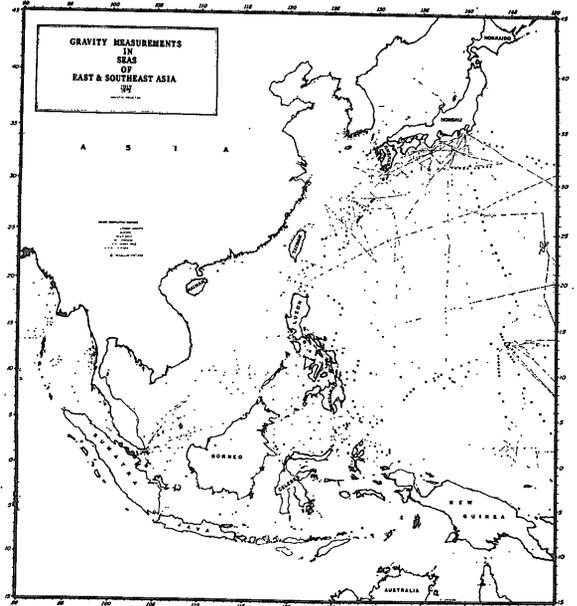
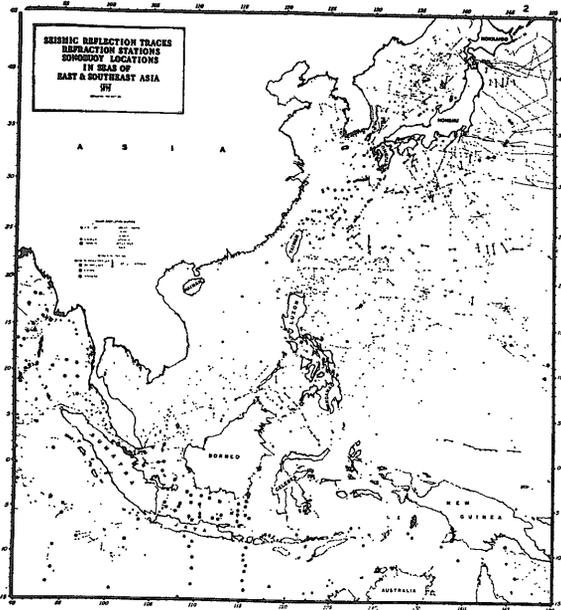
さらに第11回会合(1974年)ではインドネシア・韓国・マレーシア・フィリピンおよびタイから国別のプロジェクトの具体的計画が提出された。米国では国内委員会が組織され既存データ収集と編集・解釈が行なわれていることが報告された。NSFは1976年以降毎年約100万ドルの研究費を米国の研究機関に対して支出する予定でその大部分はフィリピン海南部からインドネシア周辺海域における研究航海の経費にあてられる見込みである。予備的な研究航海や陸域の研究は別項目の研究費によりそれ以前から実施される。石油企業もこの研究に大きな関心を示しUnionおよびMobilなどがマルチチャネル反射地震探査記録の提供を約束している。

一方CCOPのIDOE計画はIOCの第4回執行理事会(1974年)で承認されたが実施機構の設立につい



第1図 1973年のワークショップ(バンコク)で勧告されたCCOPのIDOE計画の総合的研究のためのトランセクトの位置(CCOP・IOC 1974)。

て問題がありCCOPおよびIOCの事務局間で協議した結果IOCの第5回執行理事会(1975年)においてCCOP-IOC共同作業グループJoint CCOP-IOC Working Group for East Asian Transects Studies)の設立



第2図 米国内運営委員会においてCCOPのIDOE計画の研究計画を検討するためDennis E. Hayes (Lamont-Doherty Geological Observatory)によって作成された既存の海底調査データ測線・測点図(1975年7月 全6枚 ここではそのうち2枚を示す)。  
 A. 屈折地震探査・反射地震(音波)探査およびソノブイ探査 測線・測点図 B. 重力測線・測点図

が決議された。この作業グループは CCOP の IDOE 計画を推進し評価するための CCOP 加盟国および CCOP に協力する先進国をメンバーとする独立の政府間機構であるが CCOP の主導権を認めて CCOP 事務局が共同作業グループの事務局を兼ねる。

CCOP-IOC 共同作業グループの第1回会合は 第12回会合の期間中1975年8月13・14日に開催され わが国からは CCOP に対する代表・代表顧問のほか 日本ユネスコ国内委員会海洋学分科会・日本学術会議海洋学研究連絡委員会・国際地質科学連合海洋地質学委員会 (CMG/IUGS)・政府間海洋学委員会海洋研究科学委員会 (SCOR/IOC)・国際地質対比計画 (IGCP) および国際地球ダイナミクス計画 (ICG) を代表して数名の研究者が参加した。共同作業グループの議長には この計画の代表研究者である Dr. KATILI が選ばれた。

この会合では 各国の計画および活動の状況が報告された。インドネシアでは IDOE 計画調整グループが組織され 陸域での研究が進められているが さらにバンドラ海における研究を1975年末に実施するよう準備を進めている。韓国でも IDOE 計画作業グループが組織された。フィリピンでは陸域の研究が開始された。CCOP加盟国以外では 米国のほか オーストラリア・西独および英国がこの研究に参加するよう計画している。

わが国としては 現在のところ 国内委員会等の国内対応組織体がなく 本計画個有のプロジェクト実施のための予算が認められていないため 十分な協力が可能である状態に至っていないという態度であったが この研究計画の内容に関連した国内関係研究機関の活動が紹介され 会合の参加者に実質的に大きな寄与をしつつあるという強い印象を与えた。すなわち

- 1) わが国の研究機関は関係の陸海域で活発な研究活動を行っているので その成果は CCOP の IDOE 計画にも寄与するところが大きい。また 今回の会合で東大海洋研究所の調査船白鳳丸により 1976年以降に フィリピン北部を通るトランセクトの延長線上で研究航海を実施する可能性があることが わが国研究者により表明された。
- 2) 工業技術院の国際産業技術研究事業 (ITIT) の一部として地質調査所がインドネシア地質調査所とジャワの地質構造について共同研究を実施しているが このプロジェクトはインドネシアの国内 IDOE 計画の1つとなっているので CCOP の IDOE 計画に対する実質的な協力となっている。
- 3) CCOP 事務局の要請により 国際協力事業団 (JICA) 経費により地殻熱流量専門家を派遣して 加盟途上国における研究を援助することを表明した。1975年末にこの分野

の世界的権威である上田誠也東大教授が東南アジア諸国に短期間派遣された。

- 4) 通産省の基礎調査によるマルチチャネル反射地震探鉱記録のうち 西南日本トランセクトに関係する部分をこの研究計画のため提供することが可能である旨を既に第11回会合 (1974年) で表明した。

さてこの会合での討議のなかで 米国代表は この研究計画は特定の測線に限るものではないので IOC の執行理事会で定められた共同作業グループの名称は研究内容について誤解を与えるおそれがあり 改名してはどうかと提案した。大陸周縁部の地質過程を理解する上にトランセクトの概念が重要であることが強調されたが一方 トランセクトを一定の地理的位置に限定することは好ましいことではなく また 研究の地域を構造が複雑でないところに設定することは かならずしも正確な結論を得るために好ましいことではないとの意見が出された。共同作業グループの名称に関しては IOC 総会に CCOP-IOC Working Group on IDOE Studies of East Asia Tectonics and Resources (SEATAR) と改称するよう提案することが決定された。

CCOP の IDOE 計画の特色の1つは 大陸周縁部における鉱床生成機構の解明を最終目標とし また発展途上国の参加を重視しているため 陸域の調査研究のウェイトが大きいことであって 陸域の研究と海域のそれとは互に相補うべきものであることが強調されている。

NSF の代表は 他の IDOE 計画では海域に研究が集中しているが このプロジェクトでは研究費の20%を陸域での研究に割当る方針であることを明らかにした。CCOP の加盟途上国は陸域の研究をなるべく自主的に実施し 海域の研究に対して先進国が援助することを希望している。

共同作業グループの第1回会合は 2日間の討議の結果 下記の勧告を承認した。

- 1) 既存のデータおよびこの研究計画によって集められたデータの交換を保証するために 研究計画を主催している CCOP および IOC とくに IOC の 国際海洋学データ交換作業委員会 (IODE) の援助を要求すること。
- 2) 共同作業グループの加盟国は既存および将来のデータに関する情報を ユネスコおよび IUGS によって同意された国際地質学地球物理学グループ・インベントリイ・フォームによって ワシントンの 世界データセンターA に送付すること。

- 3) 2つの主催機関およびユネスコの海洋科学部はこの計画に関する科学的な能力を強化するためにこの地域の発展途上国に訓練・教育および相互援助に関して支援することを考慮すること。
- 4) 東アジアにおいて地質学的地球物理学的研究を実施する研究機関は他の国の科学者とくにこの地域の発展途上国の科学者にそれらの研究プロジェクトに参加するように十分な機会を与えること。
- 5) 2つの主催機関および共同作業グループの加盟国は上述の研究の結果の出版を支援するよう考慮すること。
- 6) 地域内の加盟国はこの計画のもとに実施される研究に便宜を与えること。
- 7) 国際深海掘削計画 IPOD は西太平洋地域における掘削地点の決定にあたって東アジア IDOE 計画の科学的な目的および IDOE の研究のために提案された地域においていくつかの掘削地点を選択することによる利益を考慮に入れること。ここでは掘削地点の調査が IDOE 計画によって可能である。
- 8) 東アジア IDOE 計画の目的に直接貢献する可能性がある日本によって計画されている広汎な研究と海洋地質学地球物理学の研究における日本の優秀性と長い経験とを考慮して事務局は日本を活発な参加国としてこの計画に引入れる努力を続けること。
- 9) この計画の目的に貢献し相互に関心ある他の国際計画と密接な関係と協力を保つこと。
- 10) 2つの主催機関がこのグループの名称を CCOP-IOC Working Group on IDOE Studies of East Asia Tectonics and Resources (SEATAR) と変えることに同意すること。
- 11) 加盟国はこのグループの他の加盟国および事務局にそれぞれの国内でのこの計画に関する新しい発展を報告すること。

### 3. CCOP の IDOE 計画の基本的な問題

東アジアの大陸周辺部は太平洋・インド洋—オーストラリアおよびユーラシアの3つの巨大なプレートが相接するところであって地球上の比較的小さな区域のなかでプレートの境界における相互作用に関するほとんどすべての重要なプロセスを大陸に近く比較的堆積速度がはやい水域において研究することができるという特色をもっている。この地域では海洋地質学地球物理学的研究があるところでは詳細に行なわれまたあるところではほとんど行なわれていないというギャップがみられるが一方この地域の多くの部分で鉱物資源

の探査が急速に進められつつあり新しい資料が蓄積されはじめています。この地域の発展途上国の政府機関は基礎的研究に集中するための時間的ならびに資金的余裕をもっていないが先進国の科学者と協力して多くの有益な研究が遂行され基礎的な科学研究と鉱床探査との関連について認識が深められつつある。

東南アジア地域は世界的な錫の産地であり銅その他の非鉄金属も開発されつつある。これらの鉱床の多くが過去および現在の構造運動と密接に結びついている。

この地域の堆積盆地では石油・天然ガスの生産が増加しつつあり地質構造過程の研究によってこれらの盆地の性質の理解が深められる。このような地質構造と鉱床との関係が天然資源の開発にもとづく経済発展の促進の必要性とともにこの地域の地質構造とその発達史を金属鉱物および炭化水素の生成に関連づけるように研究努力を集中するべきであることを促したのであった。

CCOP の IDOE 計画は科学的な知識を鉱物資源の探査に効果的に役立てるための作戦とプログラムを展開することを最終的な目標とするものである。

東アジアの地質および鉱物分布の理解のための基本的な問題として1973年開催されたワークショップにあたって Dr. KATILI は下記のような7項目をあげた(CCOP・IOC 1974)。さらに1975年の共同作業グループ第1回会合にいくつかのコメント(KATILI 1975)を提出したが充分討議される時間がなかった。ここではこれらのコメントとともに基本的なプロセスに対する代表的なモデルを紹介することとしたい。

- 1) 鉱床生成のプロセスと
  - (a) 海洋的および大陸の構造要素がともに変形に関係している地殻のもぐりこみ(サブダクション)の地帯
  - (b) 島弧間盆地あるいは島弧背面(前陸)盆地のような高熱流量域
  - (c) 主要プレート内の小さな海洋底拡大中心とはどのように関係しているか?

金属鉱床とプレートの運動の関係については多くの研究者により論ぜられている。キプロスのトルドス岩体の硫化銅鉱床で代表されるオフィオライトに伴う鉱床は太洋中央の海嶺で生成された海洋プレートがその上に沈積した堆積物とともに上昇したオフィオライト中に胚胎し海洋底の拡大に最も明瞭な関係をもつタイプであるといえることができる。この型の鉱床には海底噴火により生成された枕状溶岩中にみられる銅・鉄あるいは亜鉛の硫化物の鉱床オフィオライトの最下部を

構成する超苦鉄質層の上端に存在するさやひ（英鍾）状クローム鉱床などが含まれている。また超苦鉄質層が露出し風化して生成されたニッケル・ラテライト鉱床もこの型に属し、南西太平洋の周辺の島弧にも分布している。

海洋プレートの沈みこみによる大規模な火成活動に伴う鉱床として、アンデス地域のポーフィリー・銅・カッパー鉱床に代表される銅およびモリブデン、また時に金および銀も含むポーフィリー式鉱床は、東南アジアの火山島にも発見されている。ある研究者は、大洋中央の海嶺で海洋性地殻が作られるときに金属成分が添加され、海洋底拡大により水平に運ばれ、海洋プレートが大陸の下にもぐりこんで熱せられ部分熔融されるとき分離されて上昇すると考えている。

島弧に特徴的なマッシュ・サルファイド式鉱床の1つのタイプは、東北日本に代表例のみられる黒鉱型鉱床であり、他は西南日本の別子鉱山で代表される別子型含銅硫化鉄鉱床である。黒鉱型鉱床はポリメタリックで銅・亜鉛・鉛・金および銀を含み、別子型鉱床とともに海底火山活動により生成されたが、前者は沿岸近くの浅い海での噴出により、後者は火山の海底斜面に噴出物が沈積したものと考えられる。

海溝および火山弧の形成と発達、小海盆の形成と拡大、非火山性外弧の発達および2つの島弧の衝突による複式弧の形成など、島弧系の発展の段階に対応して、島弧およびその周辺において生成され移動させられた鉱床の分布を説明するために、MITCHELL および BELL (1973) は1つのモデルを提出した（第3図）。このモデルには黒鉱型鉱床・別子型鉱床・ポーフィリー式鉱床および島弧の外で生成され運ばれてきたオフィオライトに伴う鉱床などが含まれ、さらに島弧系の発達の末期に活動する花崗岩の進入に伴う錫—タングステン—モリブデン—蒼鉛型の鉱化作用が示されている。東アジアの島弧では、この型の鉱床は西南日本においてのみ顕著であるが、大陸の周辺では、錫—タングステンの濃集がビルマ・マレイ半島・インドネシアのバンカおよびビロン島からタイ・中国南部および韓国を経て沿海州以北に至るベルトを形成し、東南アジアでは花崗岩の風化による錫の漂砂鉱床が経済的にも重要な地位を占めている。CCOP の IDOE 計画の地域で行なわれている鉱床探査の資料の蓄積と基礎的研究の実施によって上記のようなモデルを検討し、さらに発展させることが期待される。

2) 東南アジアはどのようにして大陸移動のパターンにあてはめられるか？ 地質時代における個々の地殻の要素の空間的關係について互に矛盾するいくつかの復元がいろいろな文献によって示されている。これらは重要な仮説であるが、すべてが正しいとはいえない。この矛盾を解決するには多くのデータが必要であろう。

何人かの研究者は、マレイ半島は古生代に北緯15°の位置にあったと指適したが、マレイ半島が Gondwana の一部として形成され、インドあるいはオーストラリアと相接していたという他の研究者の説と矛盾する。最近、西部インドネシアの新生代の高アルカリ玄武岩がマントル対流の上昇部とみなすことができるホットスポットであったと指適されたが、このことは少なくとも約1千万年の間、この部分はマントルに対して静止した大陸プレートであったことを意味している。KATILI (1974) は主として火成岩の時代的・空間的分布にもとづいて西インドネシア—スダセルフ地域の海溝—島弧系の復元を行ない、マレイ半島からカリマンタン南東部に至る地域を中心として三疊紀以来、その外側にむかって対称的により若い海溝—島弧系が発達してきたことを示した（第4図）。HAMILTON (1973) および HUTCHISON (1973) も同じような結論を得ている。これはこの地域の大陸地塊が古生代に既に固定された位置に到達したことを示していると考えられる（KATILI 1975）。

KATILI (1974) は東インドネシアの第三紀はじめ以降の海溝—島弧系の復元も行ない（第4図）、HAMILTON (1973) とほぼ同様な結論に達している。東インドネシアの非火山性外弧は2つの部分、すなわちチモール・チナバー・セラム・ブルおよびプートの諸島からなるバンダ外弧サブダクション・ゾーンおよびスラウエシの南東枝および東枝・マユ海底隆起帯およびタラウト諸島からなるスラウエシ・サブダクション・ゾーンに分れる。バンダ弧はインド洋プレートのもぐりこみにより形成されたが、スラウエシ弧はそれよりやや早い時期にはじまった太平洋プレートのもぐりこみにより形成された。東西方向にのびていたバンダ弧と南北方向にのびていたスラウエシ弧の成長は、鮮新世にニューギニアの反時計まわりの回転と優勢なトランスフォーム断層にそう西方へのつっこみとを伴うオーストラリアの北進に阻まれて、バンダ弧は西側がおりまげられ、スラウエシおよびハルマヘラはアジア大陸の方へ押しやられた。

フィリピン群島は漸進世後期までに合体した、少な

くとも4つの島弧からなる構造体と考えられ 漸進世より古い構造的に混合された「基盤」層が 大きな超塩基性の岩体とともに 群島中に散見される。これらの島弧系の具体的な復元は十分に手がつけられていない。

さらに北に上って 台湾は構造的に2つの新生代の島弧からなり それらは互にまた中国大陸地塊と衝突した。KARIG (1973) は 第三紀中期の造山運動によって西側に傾斜するナツペ構造を示す台湾の主要部は 東にむいた島弧系として第三期初期または中生期末期に形成され後に中国大陸地塊の上におしかぶさって 現在のチャイナ・ペーズン(東シナ海)の北方への延長であった小海盆を閉じさせたと考えた。東海岸の山脈は主島弧の上におしあげられたもう1つの島弧で おそらく西ルソン島弧の延長であると考えられる。MURPHY (1973) も同様な復元を行なっているが 西方へもぐりこんでいるミンダナオ海溝およびそれと反対方向のもぐりこみを示すマニラ海溝の延長に過去のサブダクション・ゾーンを推定し 鮮新世に西側のサブダクション・ゾーンが活動して ナツペ構造の形成と2つの島弧の衝突が起ったと考えた。

このように 地質時代における地殻構造要素の復元はこの数年間にかなり進められてきたが さらに多くの資料の集積と精密な研究とが必要であり とくに 海域では小海盆の研究が推進されるべきであると思われる。

- 3) 鉱物の帯状分布の不連続はどのように説明されるか? フィリピンおよびそれより南にのびる島弧でのポーフィリー・銅-鉄床の発見に対して 日本でのこの型の鉱床の欠除とか ビルマからインドネシアの錫の島々に至る錫・タングステン・ベルトの ビリトン島の南での突然の消失など いくつかの例がある。
- 4) 銅-タングステンの濃縮は 大陸が前進し海洋プレートが静止しているような 大陸の中のコルディレラ型の造山運動に限られるか? 大陸プレートが動かないで海洋プレートが前進している場合に大陸から離れている島弧に特徴的な金属は何か?

鉱床の生成は母岩・局所的な構造・断裂系・変質および風化などいろいろな要因に関係するが プレート・テクトニクスの概念が該当するような地質環境は、鉱床分布の理解の上に 重要であると考えられる。ポーフィリー・銅-鉄床の不連続は フィリピンからスラウェシに至る島弧と日本列島弧との形成の時代の相異によって 説明が可能であるかもしれない。銅-タングステン・ベルトの終端は第三紀以前の西インドネシアスダダシエルフ島弧系の末端とほぼ一致する。

銅-タングステンの濃集は花崗岩の進入に関係し 島

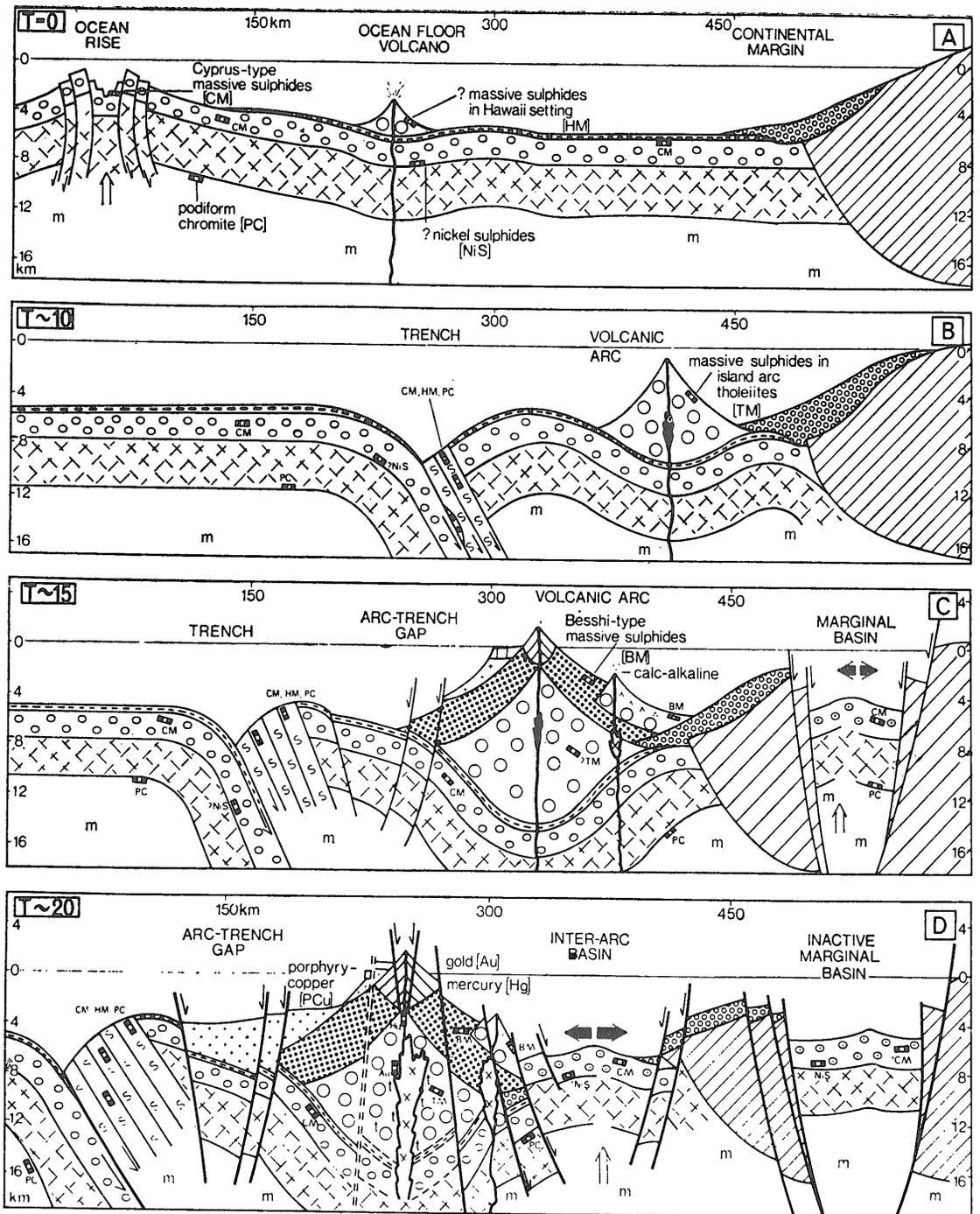
弧においてもみられることは 前に紹介した島弧における鉱床生成のモデルに示されている。さらに 石原(1974)は 西南日本の花崗岩に伴う 銅-タングステン鉱床の研究によって その鉱化作用が島弧の方向に垂直な花崗岩の主成分および微量成分の変化に密接に関係することを示した。東アジアの大陸周辺における銅-タングステンの濃集は 海洋プレートのもぐりこみによる火成活動により あるいは銅-タングステン鉱床をもつ古い島弧の衝突により 説明することができるであろう。

スラウェシ・ハルマヘラおよび西イリアンの第三紀の鉱化作用 特に銅およびニッケルのそれはスマトラ・ジャワおよび小スンダ列島に比較して顕著である。このことは太平洋プレートにより生成される地殻要素が インド洋プレートによるものよりも金属成分に富むからであると考えられ さらに 太平洋の海底には多金属ノジュールが多く分布し インド洋の海底には少ないということに関係しているかもしれない。スラウェシから西イリアンに至る地域に豊富なニッケル・ラテライト鉱床は やはり 太平洋プレートのサブダクション・ゾーンに起因する超苦鉄岩に由来し この地域は海洋プレートが島弧の上に押し上げられたスラウェシーモルッカ衝突地帯と一致する。フィリピン・北および中央スラウェシ・および西イリアンのポーフィリー・銅-鉄床の存在についても スマトラおよびジャワと比較して同様な推論ができる (KATILI 1975)。

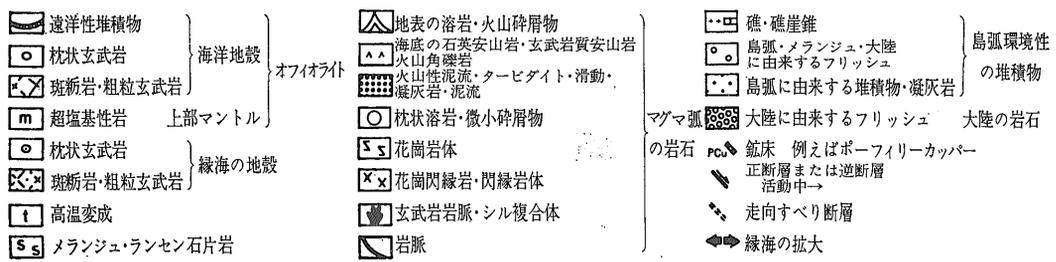
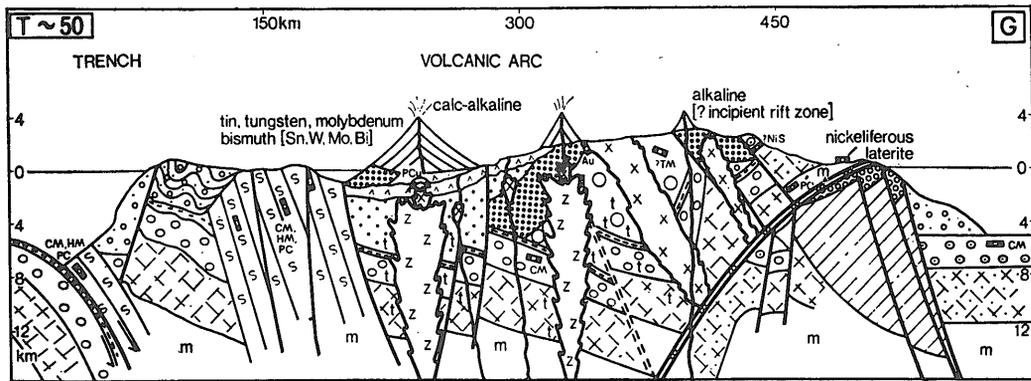
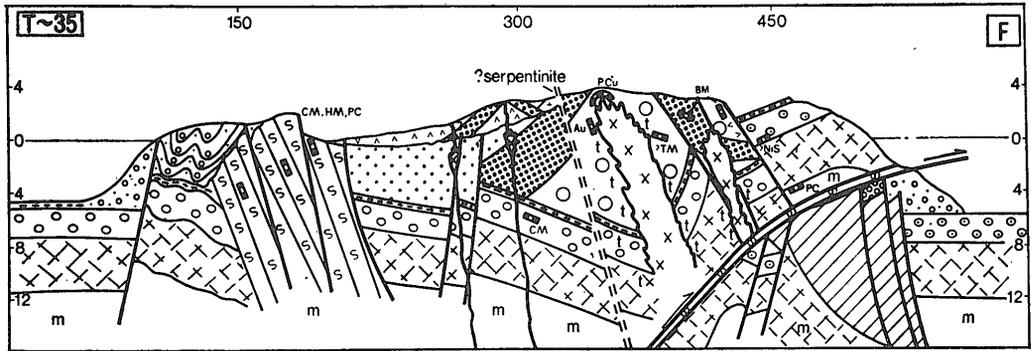
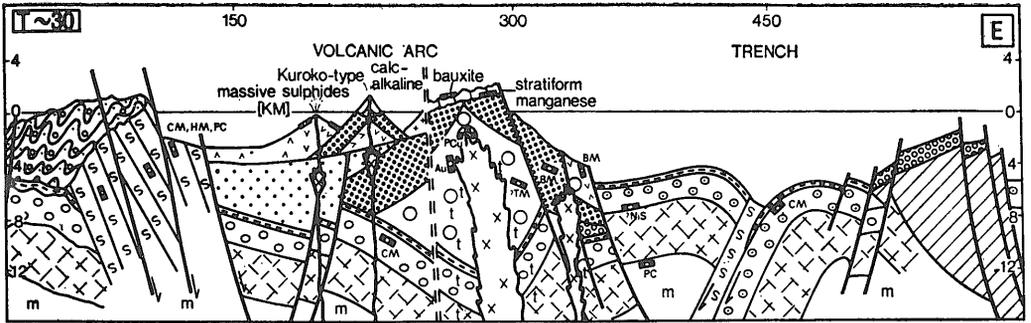
- 5) もぐりこむプレート上の堆積物のどの部分が サブダクションゾーンで下に運ばれ 変成され消費されるのか? そしてどの部分がかきとられて インドネシア群島のメンタワイ群島やチモールのような 外弧の島々につけ加えられ隆起させられるか? これは地質学的に重要な問題であるとともに 鉱床生成および炭化水素の集積の両方に重要な意味をもっている。

大陸棚以遠の炭化水素資源の基礎的調査のため 海溝を横切る測線での物理探査が企業によって行なわれている。最近急速な技術的進歩をとげたマルチチャネル反射地震探査の記録上で 海洋プレートの上部を示すと解釈される反射面が海溝から水平方向に数十km にわたり海溝陸側斜面の約15 km 下まで追跡され 海溝両側の斜面下の構造が読取れるようになった。この結果石油企業の地質学者によって 海溝陸側斜面の構造とその発達について いくつかの研究が発表されているが SEELY ら (1974) はマルチチャネル反射地震記録を基礎にして1つのモデルを提案した(第5図)。

海溝の陸側斜面では 海溝の堆積物・深海底の堆積物



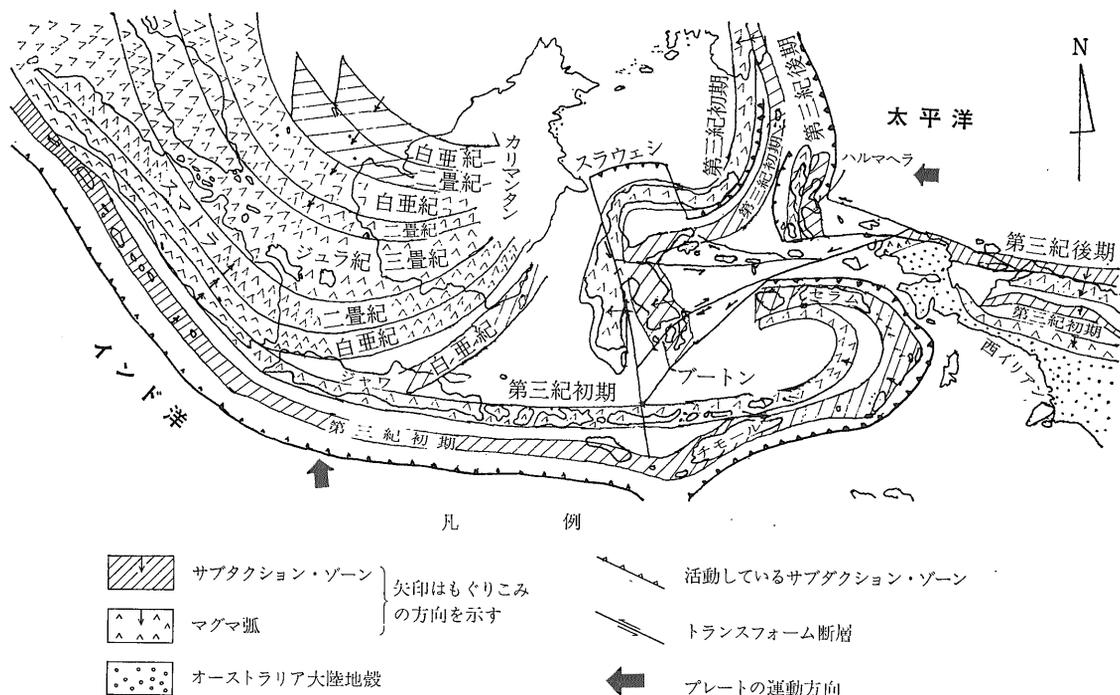
第3図 発達する島弧の図式断面と鉱床 T~15等は島弧の発達の起点からの年数を100万年単位で示す。  
 A. 第1段階 島弧出現以前の海洋地殻と上部マントル 静止している大陸縁からみて拡大中心である海嶺がはなれるように移動する キプロス型およびハワイ型のマッシブ・サルファイド・さび型クロームおよびおそらく硫化ニッケルの生成  
 B. 第2段階 海底火山活動と初期の島弧の発達 大陸縁付近で海洋地殻上に島弧が発達する おそらく島弧ソレイアイト熔岩中でのマッシブ・サルファイドの生成  
 C. 第3段階 海底火山を含む火山活動 火山弧が海面上に成長する 火山弧の側面に形成される別子型マッシブ・サルファイド 大陸縁付近の地溝帯形成と鈳化作用を伴う小海盆の発達  
 D. 第4段階 深成活動 斜面での火山活動 断層および島弧の隆起 火山弧における花園閃緑岩深成岩体の上昇 ポーフィリー・銅・金および水銀鉱床を伴うカルデラの発達 海溝-島弧間ギャップにおける堆積 島弧間堆積盆地の発達(ポーフィリー・銅 [PCu] は水銀 [Hg] 鉱床の下位になるように示されなければならない)



E. 第5段階 島弧の反転と新しい火山弧の発達 ベニオフ・ゾーンの反転と小海盆の地殻のめぐりこみによる縮少 石英安山岩中の黒鉱型マッシュ・サルファイドの形成および金の鉱化作用 海溝堆積物の上昇 火山弧上でのボーキサイトおよびマンガン鉄床の生成

F. 第6段階 島弧間の衝突にもなる小海盆の地殻の消失 つきあげ(オブダクション)られたオフィオライト中のキプロス型ニッケル・サルファイド・さびり状クロムおよび硫化ニッケルの出現

G. 第7段階 新しい火山弧の発達と花崗岩の出現 上部マントル岩石の露出をもたらすつきあげられた海底の浸蝕 ベア変成帯の露出をもたらすメラランジュおよび古い火山弧の隆起と浸蝕 新しい火山弧および海溝の発達 小海盆の発達に先立つ初期地溝帯におけるアルカリ性火山活動 古い火山弧においても生成されるある型の鉄体の形成 錫-タングステン-モリブデン-蒼鉛の鉱化作用を伴う花崗岩深成岩体の上昇(この鉱化作用 [Sn, W, Mo, Bi] は花崗岩体の頂点に存在しなければならない) (MITCHELL and BELL 1973)



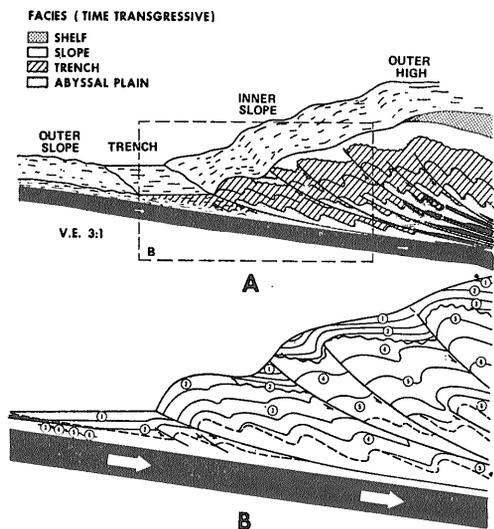
第4図 インドネシア群島の海溝—島弧系 (KATLI 1974)

および海洋地殻が陸側にむかって時代が古くなるようにかさなりあい 強い圧縮によって複雑に褶曲し衝上運動をうけて覆瓦状構造を呈し 著しく乱された堆積層の集合 すなわち メランジュ をなしている。深海掘削計画 (DSDP) によって海溝付近で行なわれたボーリングの結果もこのモデルに適合する。このように 海溝の陸側斜面は 海洋プレートのもぐりこみに起因する圧

縮により 堆積物を含む海洋プレートの上面がくさび形変形をうけて 厚くかさあげられ隆起することによって形成されると考えられるが 圧縮変形に関しては海側・陸側のいずれから力が働いてもかまわない (第6図)。海溝の陸側斜面にかさあげられた堆積層は もぐりこむ海洋プレートに余分な荷重を与えてこれを下方にたわませ 結果として海溝を海側へ移動させることになる。これが事実とすれば さらに もぐりこみによって隆起が生ずるにもかかわらず 海溝が継続して存在することも説明できる。

このモデルに示された海溝の陸側斜面に生長する堆積物の隆起は非火山性外弧を形成し 海洋性地殻の生成にもなって形成された鉱床のあるものは非火山性外弧にとりこまれ その隆起と浸蝕の結果露出する。また 非火山性外弧と火山弧との間の凹地では 海水の循環が制限され有機物に富む堆積物の保存に適した条件で 堆積が進行する。

海洋プレートのもぐりこみに伴う顕著な現象の1つは海溝付近において働く強い圧力による 高压変成作用 と



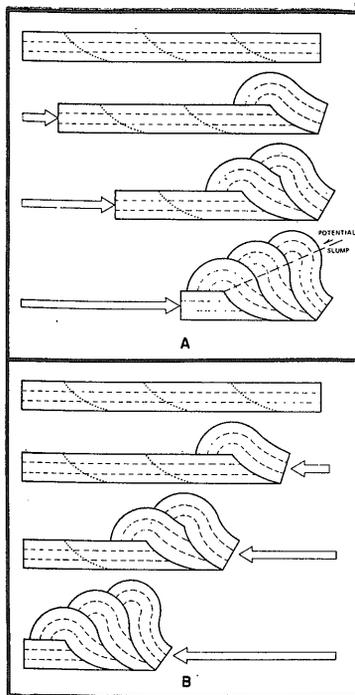
第5図 海溝陸側斜面のモデル (A)岩相パターン (B)時間的關係 (若い単位から古い単位へ数字の順序で示される。点線は海溝のタービダイトと深海底堆積物との境界を示す。衝上断面での海溝タービダイトのせん断は古い海溝の外側端である。) (SEELY 1974)

火山弧における大規模な火成活動に伴う高温変成作用とである。ERNST (1974) は最近の研究にもとづいて大陸周辺部における変成岩の生成と分布のモデルを示した(第7図)。日本列島弧では高压・高温変成帯のペアの顕著な露出が指適されている。東南アジアではブルーシストなどの高压変成岩の分布が地質時代におけるサブダクション・ゾーン的位置を示すとして注目されている。

6) なぜ スラウェシの東部枝のようなある隆起した島弧の地域は ニッケル・クロームおよび銅鉛床の賦存可能性をもつ 海洋性地殻に由来するオフィオライトを含み チモールやセラムのような他の島弧の部分は炭化水素の示徴のある堆積層からなるのか？

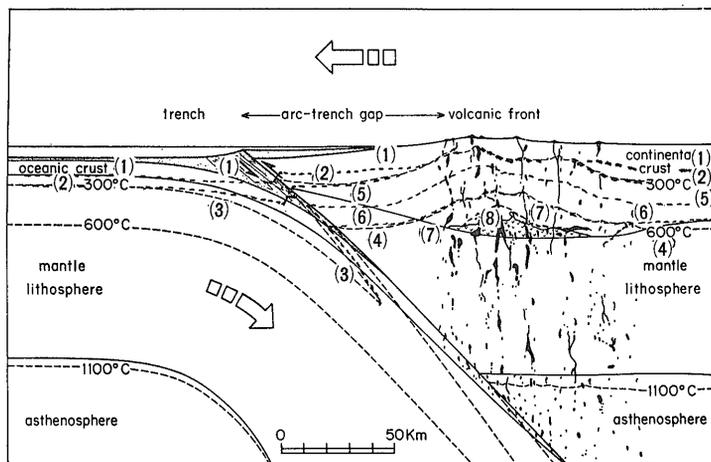
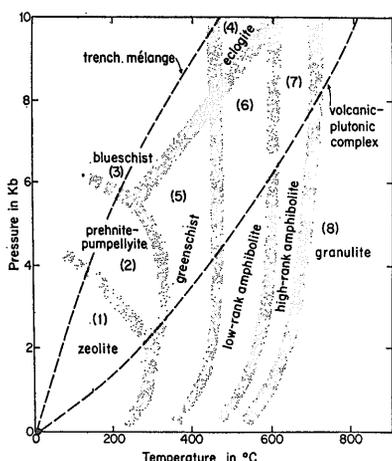
オフィオライトの出現をもたらした海洋プレートのつきあげ(オバダクション)を単一のモデルで説明することはできない。おそらくいくつかのメカニズムを含むプロセスを考えることが必要であり それらのメカニズムの野外での証拠のあるものは既に失われているとしても 多くの野外研究の資料が問題の解決のために収集されなければならない。

さて ここでバンダ弧のサブダクション・ゾーンに関する論争に言及しておく必要があると思われる。オーストラリア大陸プレートは オーストラリアとチモールとの間の チモール舟状海盆とその東への延長線において バンダ外弧の下にもぐりこみ チモールの北方の



第6図 衝上断層斜面上のくさび効果と扇状構造の発達。Aは海溝陸側斜面上にBは造山帯に対応する。運動は相対的だからこの対応は交換可能である。くさび状変形による回転量はスラストの間の間隔・スラスト面の傾斜と形状およびこれらの面上の運動の量に關係する。(SEELY ら 1974)

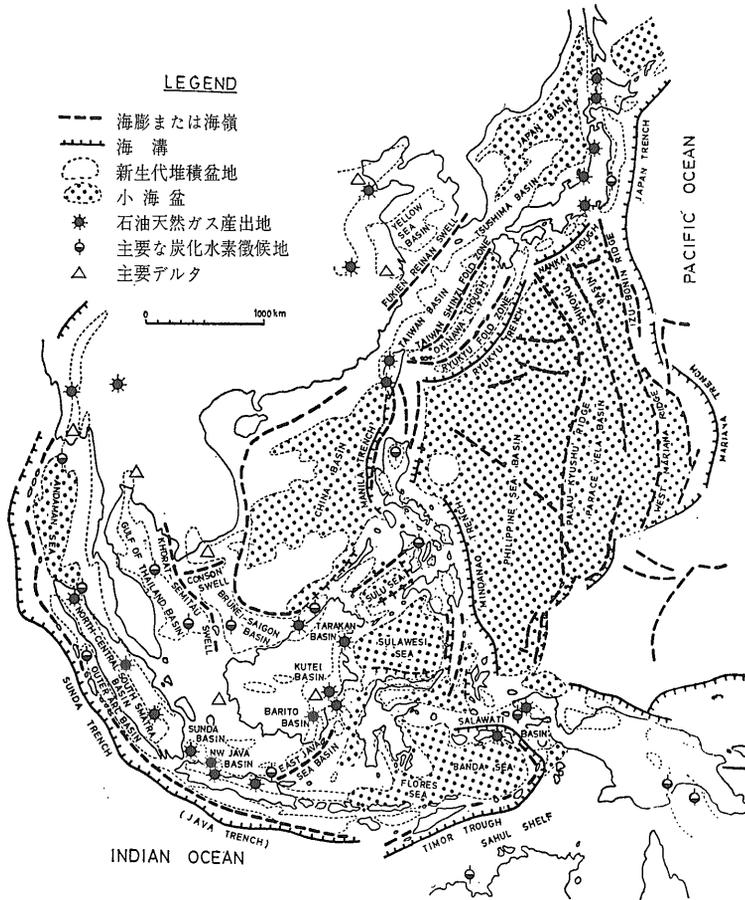
舟状海盆は火山弧と非火山性外弧との間に形成される海溝-島弧間盆地であり このサブダクションは Shell・Mobil および Gulf などによって調査されたマルチチャンネル反射地震探査の記録に明瞭に示されているといわれている。ところが AUDLEY-CHARLES ら (1974) はチモールの北で北方にもぐりこんでいると主張し もしチ



第7図 活動的なプレートの境界の付近における地殻および上部マントル中の変成相の空間的分布(ERNST 1974)。

A. 酸素同位体実験データから導かれた変成相の圧力-温度ダイアグラム。 低圧ホルンブレンダ相はこのプロットでは区別されない。

B. 一般化されたサブダクション・ゾーンの地質構造モデル(縦横比1)と A. のダイアグラムから導かれた変成相の近似的分布。 アンフィボライト/エクロジヤイトに変成した海洋性地殻の部分熔融によるカルクアルカリ・マグマ およびアステノフィアの初期熔融による苦鉄質マグマはいずれも黒いハッチで示されている。 H<sub>2</sub>O に富むシアル地殻の厚くなった基底部分の部分熔融はVで示されている。 変成層の境界はかなりの量をもつゾーンである。 低圧反応の不活発のため 地表近くの環境では 低変成度変成岩の集合体が空間的に広く発達することなく 原岩石が準安定的に残存することができる。



第8図  
東アジアにおける主要な地形・地質学的特徴および炭化水素産出地。CCOP から出版された資料にもつづいて筆者が作成した(佐野 1975b)。石油天然ガスの産出地には生産規模が僅少でも地質学的に注目されるどころ 例え 相良油田やチェンマイ油田も含まれている。一方 主要な炭化水素徴候地は 原則として単なるショーイングでなく 試掘井の試油・試ガスにより 生産が期待される ところである。東南アジアでの産出地は マレー半島からカリマンタンに至る地域をかこむようなベルトと オーストラリア大陸プレート周辺のベルトとの上に 配列しているように見える。

モール島の南側でサブダクションが行なわれているならば もぐりこみによるはげしい応力のために炭化水素鉱床は破壊されているはずであると述べている。

7) 炭化水素は火山弧の内側に形成される島弧背面(前陸)盆地に発見されやすいのであろうか? あるいは大陸周辺のなかば閉じた海底盆地でも有望であろうか? 後者においては 海水の循環が制限されて溶存酸素量の低下と有機物の保存とを招き 炭化水素の生成の可能性をたかめていると考えられる。

東南アジアにおける石油天然ガス田は スマトラ・ジャワ海・カリマンタン東部の陸海域・ブルネイおよびサラワクの陸海域および西イリアンに分布し 最近シャム湾・スندا・シェルフのナツナ島付近にも油ガス層が発見され 西イリアンを除いて マレー半島から中西部カリマンタンに至る地域の周辺をとりまく1つのベルトを形成しているようにみえる。これらの油ガス田を胚胎

する第三紀堆積盆地は 大部分 現在のサブダクション・ゾーンに対して島弧背面盆地とみなされる。

ところで 最近 Shell はジャワの南方沖合で Union と Amin Oil はスマトラのインド洋沖合で炭化水素の探鉱を行っていたが Shell は何等の成果も得られず 一方 Union はガス層を発見し Amin Oil は油徴を発見したと伝えられている。この発見はインドネシアの海溝-島弧間ギャップにおいて炭化水素の探鉱が有望であることを示すとともに 陸源性堆積物の供給が重要であることを示している。スマトラ西岸沖の諸島はベンガル湾から供給される堆積物に富み 厚いフリッシュ型の堆積層で特徴づけられているが ジャワ沖の海域では大洋に開いた島弧としてわずかに遠海性の堆積物が供給されているにすぎない (KATILI 1975)。

チモールからブートンに至る東インドネシアの海溝-島弧ギャップでは オーストラリア大陸からの陸源性の物質が多量に供給された。ここでは 鮮新-更新世の堆積は完全に堆積岩の性格で オフィオライトはほとん

どみられない。これらの島々での炭化水素の探鉱は有望と考えられ 現在はスラウェシの南へ押しやられているが ブートンでは大きなアスファルト鉱床が知られている (KATILI 1975)。

日本列島の太平洋沿岸沖合では非火山性外弧がみられないが 深海平坦面を表面とする堆積盆地の海側の構造的ダムとなった古期層の高まりは 非火山性外弧に相当するものと考えられる。常盤沖でのガス層はこのような海溝—島弧間盆地に胚胎するものとみなされ その発見は重要な意味をもつものと思われる。

堆積層中での有機物の炭化水素の熟成に対する地層温度の影響も重要であることが明らかとなり 古地層温度の推定が石油企業により開発され 研究が進められるとともに 地温勾配および地殻地熱量の炭化水素資源の探査に対する意義が強調されている。この面からも海溝—島弧ギャップのように高熱流量域の堆積盆地での探鉱が注目されている。日本およびその周辺地域をのぞいて 東アジアの大陸周縁では地殻熱流量の測定がほとんど行われていないので CCOP 加盟国の国内 IDOE プロジェクトとして取上げられ 日本の専門家の指導による地殻熱流量の実施が期待されている。

#### 4. おわりに

前章で CCOP の IDOE 計画 (SEATAR) の研究を進める上で重要と考えられる基本的なプロセスの代表的なモデルを紹介した。これらは プレートテクトニクス概念にもとづくものであるが SEATAR は必ずしもプレート説の立場に立ってこれを推進しようとするものではない。たとえば 島弧における鉱物資源の地域的分布がすべて海洋プレートのもぐり込みによる地下深部のプロセスで説明されるとは考えられない。しかし プレートテクトニクスが最近の地域的地質構造論の発展に大きな刺戟を与えたことは事実であり とくに構造要素が水平的に移動し得ることは鉱床分布の説明にとって魅力的であろう。一方 若干の地質現象の説明のために勝手にマイクロプレートを作るという落し穴におちる可能性もひそんでいる。できる限り多くのデータの集積とそれにもとづく多くの研究者による解釈の提案とによって 討論が繰返えされ 新しい理論が発展することが望まれる。

CCOP では その IDOE 計画の実施を推進するために 絶対年代の測定・リモートセンシング とくに LANDSAT 映像による地質構造解折 あるいは炭化水素の熟成などに関するセミナーやワークショップを組織し

計画して 加盟途上国の関係科学技術者の教育・訓練に力をいれている。また これが CCOP としての IDOE 計画の最大の目的であるといえるであろう。

#### 引用文献

- AUDLEY-CHARLES, H. G. and CARTER, D.J., 1974, Petroleum prospects of the southern part of the Banda Arcs, eastern Indonesia: United Nations ESCAP, *CCOP Tech. Bull.*, vol. 8, p. 55-68.
- CCOP-IOC, 1974, Metallogenesis, hydrocarbons and tectonic patterns in eastern Asia: United Nations Development Programme (CCOP), Bangkok, 158p.
- ERNST, W. G., 1974, Metamorphism and ancient continental margins: in *The geology of continental margins* (Burk, C. A. and Drake, C. L., ed.), Springer-Verlag, New York, p. 907-920.
- HAMILTON, W., 1973, Tectonics of the Indonesian region: *Geol. Soc. Malaysia Bull.*, no. 6, p. 3-10.
- HUTCHISON, C. S., 1973, Tectonic evolution of Sundaland: *Geol. Soc. Malaysia Bull.*, no. 6, p. 61-86.
- ISHIHARA, S., 1974, Metallogenic provinces of the Mo-W-Sn deposits in East Asia: Presented at IGCP Symposium of mineralization associated with acid magmatism at Kar'ovy, Czechoslovakia.
- KARIG, D. E., 1973, Plate convergence between the Philippines and the Ryukyu Islands: *Marine Geol.*, vol. 14, p. 153-168.
- KATILI, 1974, Geological environment of the Indonesian mineral deposits, A plate tectonic approach: *Seri Geologi Ekonomi*, no. 7, Geological Survey of Indonesia, Bandung, 18p. (reprinted in United Nations ESCAP, *CCOP Tech. Bull.*, vol. 9, p.39~56.)
- KATILI, 1975, Plate tectonics in southeast Asia: the state of art: United Nations ESCAP, *Report of twelfth session of CCOP*, Document CCOP (XII)/42 (in press).
- MITCHELL, A.H.G., and J.D. BELL, 1973, Island arc evolution and related mineral deposits: *Jour. Geol.*, vol. 81, p. 381-405.
- MURPHY, R. W., 1973, The Manila Trench-West Taiwan foldbelt: a flipped subduction zone: *Geol. Soc. Malaysia Bull.*, no. 6, p. 19-25.
- 佐野俊一, 1975 a アジア沿海鉱物資源探査調整委員会 (CCOP) の最近の活動と東京会合: 調査資料 日本エスカップ協会 vol. 1, no. 3, p. 1-18.
- 佐野俊一, 1975 b, 国連エスカップ沿海探査調整委員会 (CCOP) の活動について: 石油開発時報 no. 28, p. 35-45.
- 佐野俊一, 1976, 東アジア地域海洋調査の現状—主として大陸縁辺地の地質構造について: 石油技術協会誌 vol 41, P. 25-33.
- SEELY, D.R., VAIL, P. R., and WALTON, G. G., 1974, Trench slope model: in *The geology of continental margins* (Burk, C. A. and Drake, C.L., ed.), Springer-Verlag, New York, p. 249-260.