

## 資 料

551.24 : 553

### ベニオフ帯とマグマ源鉱床\*

V. I. SMIRNOV\*

岸 本 文 男\*\*訳

ベニオフ帯 (Benioff zones) と称されているのは太平洋側から大陸の下に潜り、可塑性を有する地殻下の空間に深く入りこんだ滑動変形帯のことである。これは、今世紀の50年代に太平洋縁部における深発地震の分布を解析して当該滑動変形帯の位置を決定した H. BENIOFF の功績 (H. BENIOFF, 1957) を讀えてつけられた名称である。

ベニオフ帯は特有の地質および地球物理上の構成要素系に伴われて分布し、その地球表面における露頭部は大陸の縁部に沿って長く伸びた狭長な深海海溝に位置する。また、同帯は現世の活火山作用帯でもある。したがって、海溝と大陸の間には水面上に頂部を出した水面下の火山山脈である花綫列島弧が配列する。

ベニオフ帯に沿って、活地震帯が走っている。ベニオフ帯の滑動面は大陸側に30-60°、平均45°の角度でもってつつこんでいる。これは、深発地震の震源をプロットして得られる面のデータである。この帯の地震には、1) 深度 60 km 前後に震源がある通常地震、2) 深度 250 km 前後に震源がある中間地震、3) 深度 700 km 前後に震源がある深発地震、の3種 (class) がある。そのほか、ベニオフ帯は重力場、磁場、熱流場の狭長なプラス異常 (plus anomaly) 帯でもある (ISLAND arc, 1952)。

ベニオフ帯面の重要な特性となっているのは、その傾斜角が地殻下の部分に入るところで急激に大きくなることである。そのような傾斜の屈折部位では、ベニオフ帯面に沿ったある衝上転位ないし衝下転位が上部マントルや地殻中に存在する緩斜部分に隙間を作り、地球の深部から表面に移動能力のある内因性生成物が上昇するのを助けるであろう。

ベニオフ帯の位置を模式的に示したのが第1図である。

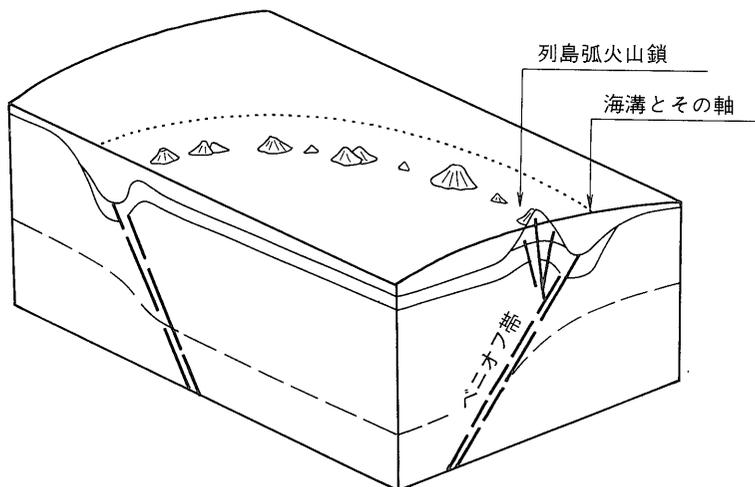
大陸と太平洋の間を区切る地質構造については、広範な学者たちが強い関心を抱いている。このことは G. GÁMBURTSEV から V. MAGNITSKII にいたる地球物理学者の論文、たとえば A. ZAVARITSKII や A. MARAKUSHEV などの岩石学者の論文、E. ARGAND, H. STILLE から M. KEY, F. KING まで、V. BELOUSSOV から A. PEIVE にいたる構造地質学者の著作にみることができる。

最近では、ベニオフ帯を中心として大陸と太平洋を境する地質構造が鉱床分野の専門家の注目を集めるようになり、すでにソ連の地質学者 (KOVALEV, 1972; IVANOV and others, 1972; ZONENSHAIN and others, 1973; SMIRNOV, 1973)、オーストラリアの地質学者 (PETRASCHECK, 1968, 1972)、アメリカの地質学者 (GUILBERG, 1971; GUILD, 1972, 1973; WALKER, 1972; その他)、イギリスの地質学者 (PEREIRA, DIXON, 1971)、フランスの地質学者 (PELISSONNIER, 1972)、日本の地質学者 (西脇, 1972)、ポーランドの地質学者 (HARANCZYK, 1973) の論文が出されている。これらの論文の中では、ベニオフ帯が、過去の鉱床生成期において地球の深部から火成岩とそれに随伴するマグマ源鉱床の形成される上部レベルに造マグマ物質と造鉱物質を供給する通路となり得た地質構造の現世のものである、とされている。

さらにまた、優地向斜のマグマ作用と列島弧のマグマ作用の関係が U. HAMILTON (1970) によって研

\* V. I. Смирнов (1974) : Зоны Бенъофа и магматогенное рудообразование : Геология рудных месторождений, том XVI, no. 1, стр. 3-17.

\*\* 鉱床部



第1図 ベニオフ帯, 海溝, 列島弧火山鎖の関係模式図 (J. UMBREGG原図)

究された。

応力変形に特有の、典型的な滑動構造として生じたベニオフ帯は地球深部生成物の透過に適した張力環境下でも、内因性物質の供給を困難にする圧縮条件下でも、長期にわたって成長し続けている。

本論文では、ベニオフ帯の鉱床生成への役割に関する概念の総括が試みられている。

そのため、実際に即して太平洋沿岸帯の新期鉱床生成区からカフカス・ウラル両地方の古生代鉱床生成区までを例にベニオフ帯を含むモデルによってマグマ源鉱床の生成過程が説明される。すなわち、ベニオフ帯モデルの分布位置から始めて、本論文でマグマ源鉱床の形成に論及した鉱床生成区は日本の現世と新第三紀、アジアの太平洋沿岸の新生代と中生代、カフカスの新生代・中生代・古生代、ウラルの古生代のものである。そして、ベニオフ帯モデルの鉱床成因論的解析への応用に関する最終結論を含めて上記鉱床生成区の総まとめが行われている。

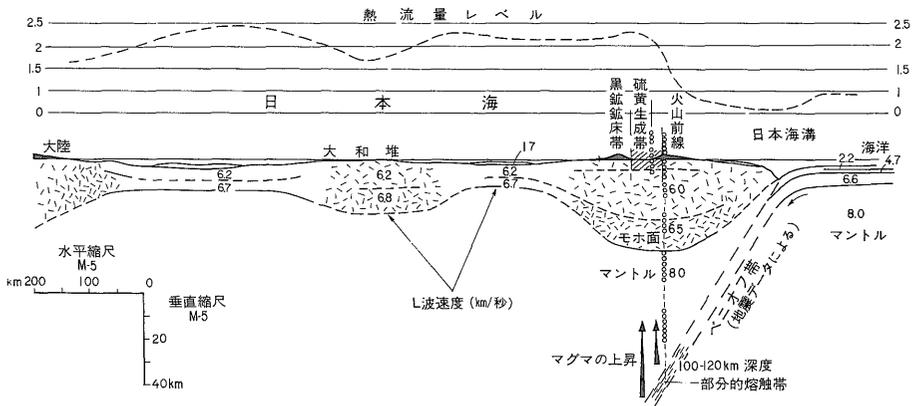
#### 広域的概観

日本の新第三紀と現世の鉱床 太平洋西部ではベニオフ帯の露頭が、周知のように、列島弧前縁部の沿岸凹地列によって十分追跡でき、深部での同帯の位置は現世火山脈と震源の分布にピントを合せればよく判る。西脇親雄 (NISHIWAKI, 1972) は太平洋沿岸部列島弧の上記すべての特殊な地質構成要素と日本における鉱床の分布に密接な関係があることに注目した。その相関関係は、中新世中期火山岩と共存する有名な日本の「黒鉱」型硫化鉄鉱床が現世の火山前線に平行に連なり、しかもベニオフ帯露頭線から大陸側に 250 km 前後離れた部分、同帯深部潜入部から直上 100-120 km に位置すること (第2図) にある。このような状況は、ベニオフ帯が地質時代 (いずれにしても新第三紀) にすでに存在し、そのために硫化鉄鉱・酸化鉄マン鉱その他の火山源堆積鉱床形成の場となった当該地質時代の緑色岩帯が火山物質の供給を受け得たのだ、という結論を可能にしている。これらと同じ地質時代および幾らか遅れて生成している火山源熱水性金・銀鉱床も硫化鉄鉱床の連鎖状分布に平行する分布帯として帯状に伸び、新第三紀ベニオフ帯との関係は上記の場合と同様である。硫化物や自然硫黄の最も若い火山源鉱床は最新期火山岩帯内に分布し、現世のベニオフ帯の位置に直接規制されている。

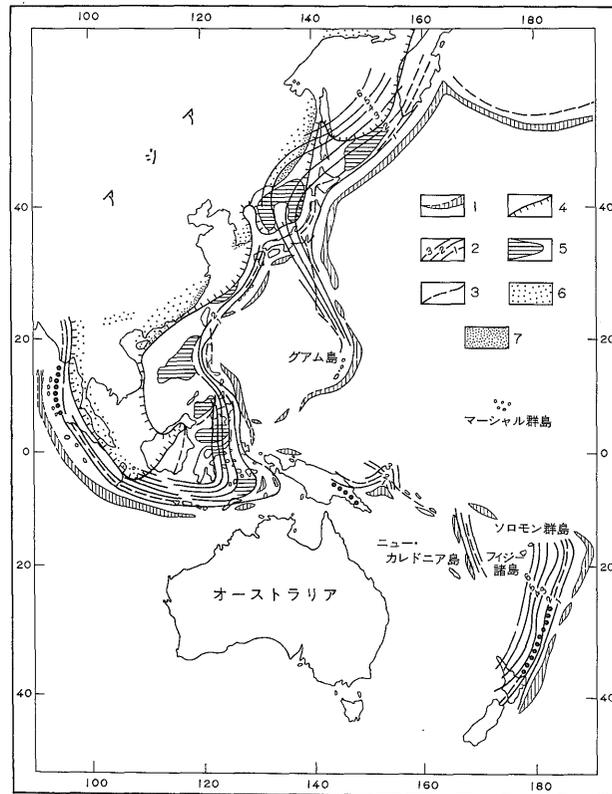
西脇親雄は、古生代火山帯に胚胎されている硫化鉄鉱床の連鎖状分布が形成された古生代にすでに上記に類似する状態が存在し得た、と推論している。

そして西脇親雄は、太平洋西岸地域全域に対する考察を展開しながら、列島弧・海盆・ベニオフ帯の位置を結びつけて鉱床の分布状況を再現させている (第3図)。この図式によると、海洋部には玄武岩質火山岩と共存する鉱床の分布帯が列島弧にほぼ平行に伸びている。その背後には、大陸縁辺部に沿って

ベニオフ帯とマグマ源鉱床 (岸本文男訳)



第2図 ベニオフ帯と日本の硫化鉄鉱床の関係模式図 (西脇親雄原図)



1—海盆  
 2—ベニオフ帯の深さ (1. 2. 3…はそれぞれ100km, 200km, 300kmを現わす)  
 3—平行する火山源鉱床帯と新生代火山鎮  
 4—白亜紀と第三紀初期における大陸岸の推定位置  
 5—大陸・列島弧間の縁海海洋地震部分  
 6—錳・タングステン鉱床区  
 7—第三紀火山作用を伴う錳・タングステン鉱床区

第3図 太平洋—大陸移過帯の地質学的要素と鉱床帯との関係模式図

花崗岩質マグマ作用に伴う幅広い錫鉛床・タングステン鉛床帯が伸びている。西脇親雄はアメリカ大陸の海岸帯に沿った太平洋東縁部にもコルディレラ鉛床生成帯・アンデス鉛床生成帯の一部として、それと同じような相関関係が認められる状況にも注目している。大陸から海洋への移過帯のグローバルな地質構成要素との関係に照したアメリカ大陸の内因性鉛床の分布規則性に関する情報は、P. GUILD (1972), R. SILLITOE (1972) らの論文にみることができる。

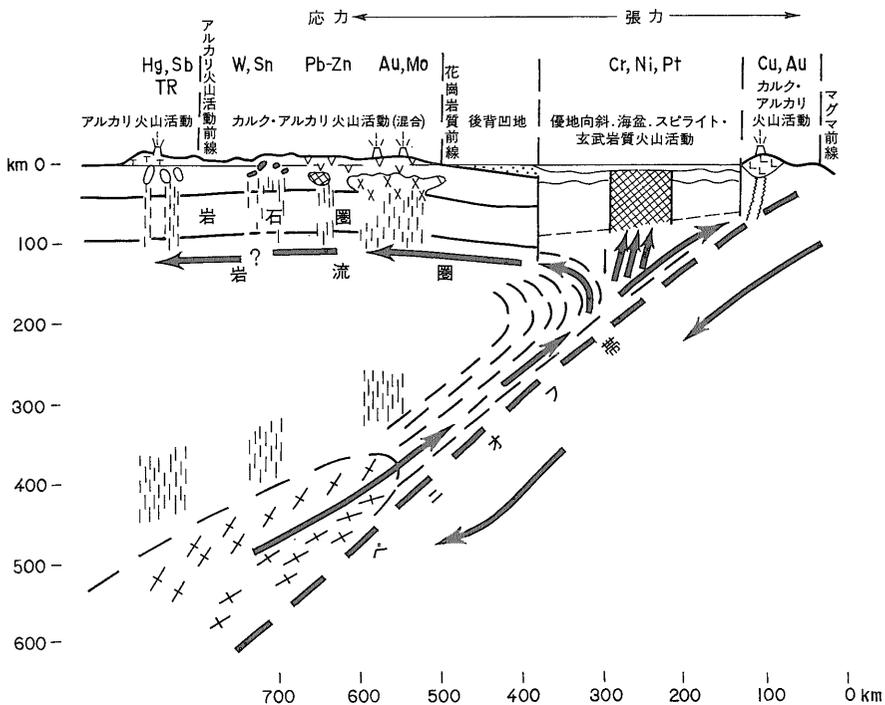
**太平洋帯西部の中生代・新生代の鉛床** ベニオフ帯と日本の新生代・中生代の鉛床との関係に関する概念は L. P. ZONENSHAIN のグループによるソ連領内の太平洋鉛床帯の中生代・新生代における構造地質・マグマ作用・鉛床生成分布の研究結果 (ZONENSHAIN, 1973) とよく一致する。L. P. ZONENSHAIN はシベリア卓状地の下に潜ってからひき続いて東方、太平洋の方向に転位しているベニオフ帯の初生運動期を3期に区分した。

第1期は中生代前期ないし三畳-ジュラ紀で、おそらくキンメリア期といえるだろう。この時代のベニオフ帯の露頭線はソ連北東辺区のアヌイ帯からシホテ=アリン地方、さらに台湾、カリマンタンに抜ける優地向斜性マグマ岩帯となって現われている。

第2期は中生代後期またはジュラ紀後期-白亜紀前期で、アルプス構造輪廻に相当する。この時代のベニオフ帯は第1期の部分から東に、ベンジナ=アナディル帯、さらにサハリン、北海道、そして日本本州にシフトした優地向斜性火山岩帯として現われている。

第3期は中生代後期-新生代前期で、この時代のベニオフ帯はさらに東を通り、コリヤーク帯からカムチャツカ、そして日本列島東半を経てフィリピンにシフトした優地向斜性火山岩帯となって現われている。

これらはすべての玄武岩質火山源生成体を特徴づけるものとして鉄、銅、亜鉛の典型的な火山源堆積および火山源交代硫化鉄鉛床と鉄およびマンガンの火山源堆積、火山源交代酸化鉛床が賦存し、同じ部分にマグマ源のクロム鉄鉛床やチタン磁鉄鉛床も知られている。L. P. ZONENSHAIN は、優地向



第4図 ベニオフ帯と太平洋帯西部のマグマ作用・鉛床生成作用の関係 (L. P. ZONENSHAIN 原図)

斜性火山岩帯とそれに相応する鉱床帯となって現われているベニオフ帯の露頭線に関連して、特有の地質構成要素、それと関係あるマグマ岩、随伴するマグマ源鉱床の累帯分布が認められることを強調している。

この累帯は1地質時代から次の時代に繰り返し現われ、そのために累帯形成時代に関係なく鉱床生成分布状況が安定してくることになる。当該累帯はベニオフ帯の後方に向かって次のように配列している。

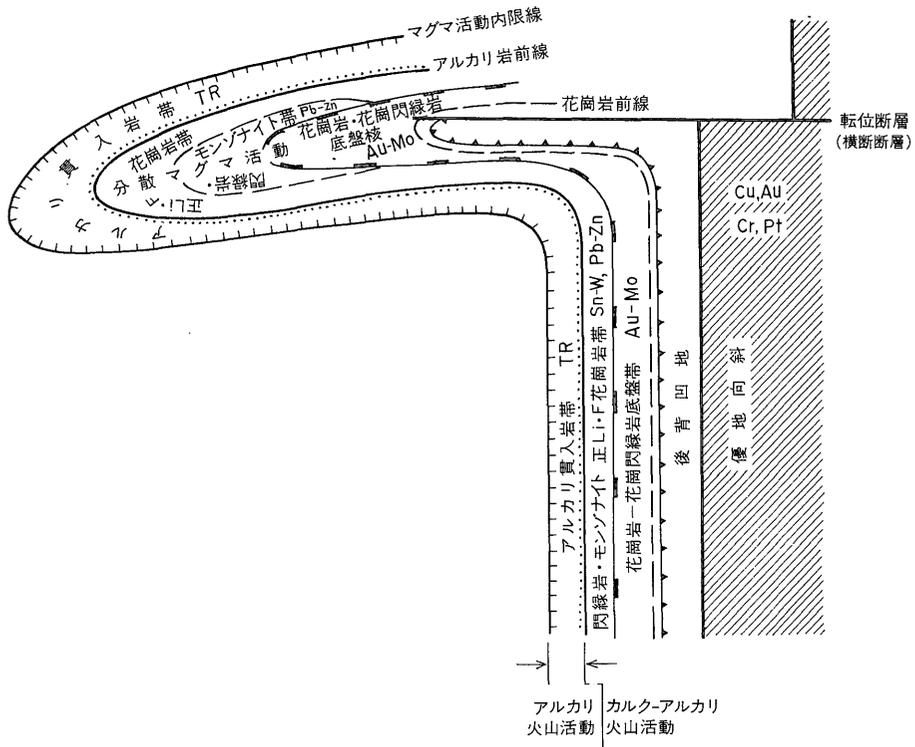
1. 上述の火山源交代鉱床、火山源堆積鉱床、マグマ分化鉱床を随伴した玄武岩質マグマの火山岩・深成岩を伴う優地向斜帯。
2. マグマ作用と内因性鉱化作用の現われが弱い後背凹地帯。
3. 花崗岩質マグマの深成岩・火山岩と同マグマによって生ずる錫とタングステンの後マグマ鉱床、鉛と亜鉛、モリブデンと金の後マグマ鉱床が発達した花崗岩類帯。
4. 稀有金属の後マグマ鉱床を伴ったアルカリ深成岩・火山岩帯。
5. 砒素・アンチモン・水銀の鉱床で画き出される遠熱水性帯。

当該累帯とそれに伴われる鉱床の一般的配列図式は、第4図に示す通りである。

この累帯が各地質輪廻の枠内で一度に生じたものでないことを述べておきたい。

すなわち、地質輪廻の初期にはベニオフ帯の露頭線に沿って優地向斜性の玄武岩質岩帯とそれに関係ある鉱床帯が形成され、輪廻末期に花崗岩質マグマ作用・アルカリマグマ作用とそれに起因する鉱化作用が発達している。L. P. ZONENSHAIN は、ベニオフ帯の上盤側に分岐し、かつ第5図に示したように、花崗岩質マグマ作用・アルカリマグマ作用の浸透とそれに結びつく後マグマ性鉱床の配列を規制した大規模なトランスフォーム型横断断層に大きな意味を与えている。

カフカス地方古生代、中生代、新生代の鉱床 ベニオフ・モデルをカフカス地方のマグマ作用と鉱



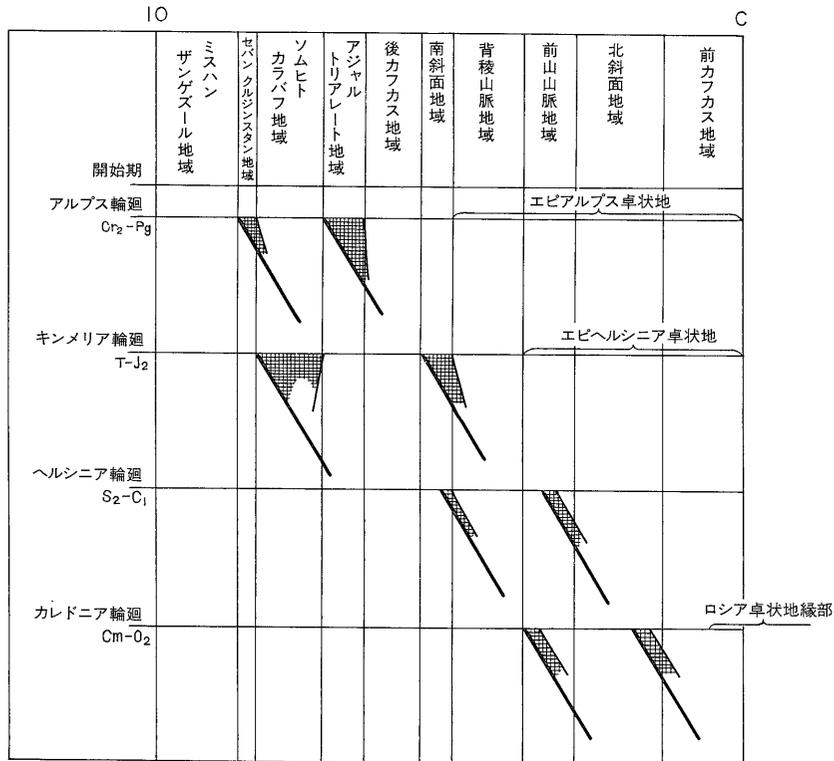
第5図 花崗岩質マグマ活動・アルカリマグマ活動およびそれと関係した鉱床生成作用の転位断層に沿った滲透模式図

化作用に拡大しようという筆者の試みは、地質史の進行の中で北から南に規則的に玄武岩質の主として火山岩帯、ときに深成岩帯、それらに伴われた硫化鉄鉱床に代表される金属鉱床帯が生成・変化するという、厚いカフカス褶曲帯のよく知られた特徴にもとづいている。これらの分帯はカレドニア、ヘルシニア、キンメリア、アルプス各輪廻の初期に連続的に生成・発展・消滅し、その際発展を終えた先行輪廻の火山源岩帯に代って南側に次輪廻の同じような岩帯が生じることを示唆している (第 6 図)。

カレドニア輪廻に入るのが北斜面とペレドボイ山脈の被変成火山岩帯である。北斜面帯における火山活動は古生代前期に止み、ペレドボイ山脈ではヘルシニア輪廻初期に再開され、その部分にウールプ、フーデスなど硫化鉄鉱床が生じた。これと同じ時代に南斜面の火山帯の形成が始まり、ペレドボイ山脈帯における火山作用の終了後キンメリア輪廻初期の段階で成長し、この成長時代に厚いソムヒト=カラバフ火山帯が生成した。そして、アルプス輪廻の開始期には火山作用はさらに南に移動し、セパン=クルジスタンマグマ源岩帯が形成された。これらの諸岩帯を代表する鉱床はアラベルダー、カファー、マドネウーリなどのような硫化鉄鉱床、ときに磁鉄鉱スカルン鉱床 (ダシュケサーン) やクロム鉄鉱、チタン磁鉄鉱のマグマ分化鉱床 (ショルジャー、アラマザートなど) である。

上記すべての岩帯のマグマ岩は地殻下の派生玄武岩質マグマに由来し、その中で火山相としては海底玢岩質岩系とスピライト-ケラトファイア岩系が卓越している。上に挙げた鉱床帯の硫化鉄鉱床産硫化物の同位体分析結果は当該鉱床が地殻下の均一な初生源のものであることを証明している (GRINENKO, 1973)。

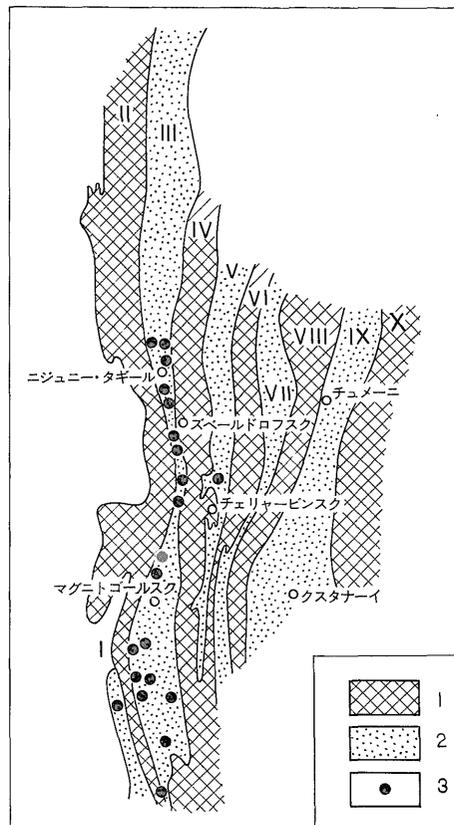
筆者はカフカス火山帯とそれに関係ある鉱床の形成を規制した断層の倒角について信頼できるデータをもっていない。しかし、カフカス地方における地殻浅所へのマントル物質の供給を保証した当該断層の深在性に注目し、さらにベニオフ帯の当時の位置を考えると、ベニオフ帯はまずロシア卓状地端部の下に没入し、次いで若いエビヘルシニア卓状地区とエビアルプス卓状地区のロシア卓状地から分れた圧



第 6 図 ベニオフ帯モデルによるカレドニア期からアルプス期までのカフカス地方含鉱床火山帯移動模式図

密構造縁部の下に入りこんで北に傾斜していた、と解することができない。各地質輪廻の火山帯がペアで存在した状況、すなわち、北側の火山帯の休止に伴って南側の火山帯が次の地質輪廻でさらに南に第2の火山帯の基礎を作りながら活化し、再びペアの火山帯を作る状況は注目に値する。この場合、地向斜性マグマ作用と鉱床生成作用は一足跳びに南に移動し、ロシア卓状地の長く伸びる縁端部に若い卓状地の褶曲作用終了地域に内因性鉱床の形成をもたらした構造作用・マグマ作用・鉱化作用の活化過程が現われている (TVALCHRELIDZE, 1972)。

**ウラル地方古生代の鉱床** ウラル地方古生層発達部には、玄武岩質起源の被変成火山岩・深成岩からなる4帯の緑色岩帯が知られている (第7図)。最新の資料によると、この緑色岩帯群柱状断面の下部には輝緑岩質岩系とそれにオーバーラップする曹長斑岩質岩系が、上部には列島弧の安山岩-玄武岩に類似する岩石系が卓越している (IVANOV ほか, 1972)。緑色岩帯内には、周知のように、銅および亜鉛のすぐれた硫化鉄鉱床や磁鉄鉱のスカルン鉱床も胚胎されている。これらの鉱床はカンブリア紀から石炭紀前期 (を含め) までの長期間に形成され、その間に火山活動とそれに伴われる鉱化作用の強い部分は西から東に移動している。これに関連して、ウラルの西部には、たとえばシルル紀の、中部にはデボン紀の、東部には石炭紀前期の各硫化鉄鉱床が知られている。したがって、火山作用とそれに伴って鉱床生成作用が発達する場合のベニオフ帯のモデルを考えると、上記の累帯は初めにウラル西部に始まり



第7図 ウラル地方の硫化鉄鉱床と地向斜性火山源地質帯の配列模式図

- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| I—ザライール凹地             | VIII—シャドリントロイツク隆起部    |
| II—中ウラル隆起部            | IX—チュメーニオクスタナイ凹地      |
| III—タギール-マグニトゴールスク凹地  | X—トボリスクコクシュムルン隆起部     |
| IV—東ウラル隆起部            | 1—隆起部                 |
| V—東ウラル凹地              | 2—火山源・堆積コンプレックスからなる凹地 |
| VI—カムイシュロフスク-マリンスク隆起部 | 3—硫化鉄鉱床               |
| VII—タリツク-ジェティガラー凹地    |                       |

続いて時代を追って東に向かって発達した、と解することができる。この種の見解は S. N. IVANOV ら (1972), M. B. BORODAEVSKAYA と A. I. KRIVTSOV (1974) も述べているところである。上記の累帯の最初の傾斜方向ははっきりしない。ベニオフ帯が一般に当該累帯の傾斜の逆方向に移動することから判断すれば、上記の累帯は西に、ロシア卓状地縁部の下に潜りこんでいたとしなくてはならない。このことはベニオフ帯の一般構成によく一致する。この場合、ベニオフ帯後期の上盤側からのウラル地方古生代後期花崗岩類の位置は全く当然といえるものである。

他方、上記方向の反対方向に発達する広域衝上断層 (IVANOV ほか, 1972) はベニオフ帯の上述の推定オリエンテーションに合わない。このように、ウラルにおけるベニオフ帯の状態が完全に明らかになったとすることはできない。

K. DIXON と J. PEREIRA (1973) は、ウラルの火山源岩帯とそれに関連する鉱床が構造楕状地端部に生じた幅広い帯を構成し、その延長部はイラン領内に求めなくてはならない、と推論している。

### 一般的発達様式

ベニオフ・モデルのマグマ源鉱床成因論への適用は、褶曲区内でのマグマ作用と鉱床生成作用の一般の発達様式に関する現在の認識に重要な修正を加えることになっても、それを崩すものでない。従来通りに褶曲区とその鉱化作用の3期の主要発達段階、すなわち初期・中期・後期の3段階についての理念はその本質を保っている。

**初期段階** この段階はもっとも長く、地向斜輪廻全期間のほぼ $\frac{3}{4}$ が費やされている。この段階の地質過程は深在するメルトとその生成物の地殻上部レベルへの上昇を保証できる張力が卓越した環境の中で進行した。この期間に卓状地の縁部に沿って海洋型地殻の上にベニオフ帯型の大型断層が走り、断層に沿って火山性物質も含め玄武岩質マグマ生成体に相当するメルトの貫入を伴った海底広域火山作用が発達した。その際に生成した火山性層の総層厚は数1,000mに達し、火山岩類に埋められた帯状構造底部の沈降を物語っている。この期間に1系の大規模な火山岩系と3系の深成マグマ岩系がタイポモーフな鉱床を伴って生成している。これらの岩系 (formation) は次の通りである。

1. 海底火山源スピライト-ケラトファイア岩および玢岩系、銅・鉛・亜鉛の硫化鉄鉱、重晶石の硫化鉄鉱、鉄・マンガンの酸化鉱石型の火山源-交代鉱床と火山源-堆積鉱床を伴う。
2. かんらん岩系、クロム鉄鉱、オスミウム、イリジウムのマグマ分化鉱床を伴う。
3. はんれい岩-輝岩系、チタン磁鉄鉱、白金、パラジウムのマグマ分化鉱床を伴う。
4. 斜長花崗岩-閃長岩系、鉄鉱および銅鉱のスカルン鉱床を伴う。

マグマ分化岩とそれに伴われた鉱床が同一初生源であることに関連して、上記の岩系と鉱床の関係は生成した地質時代に関わりなく上述のすべての火山源含鉱床帯で不思議なくらいよく一致し、ただ新时期の鉱床に比較して古期の鉱床の場合に強い変成の程度の違いがあるにすぎない。

上に挙げたすべての含鉱床岩系の岩石は、すでに述べたように、深在する玄武岩質マグマに由来する。それが集中・形成されるのはマントル起源のマグマ物質が直接供給されることによるもので、おそらくは中間のマグマ溜である程度分化過程を経ており、多くはひき続いて後マグマ性造進アルカリ鉱液の作用下での他変成作用および自変成作用を伴ったに違いない。そして、火山性溝底 (bed of volcanic trench) のウォーピングがマグマ物質を吐き出して空になった中間マグマ溜上部岩石の沈降運動によってひき起されたと解される。このウォーピングは本初期段階の後半に隣接空間をベニオフ帯の上盤側からまきこみ、それに接する卓状地端部にひきこんだ。しかし初期段階の火山作用は一般に卓状地地域まで及ばず、前陸盆地は陸源堆積物と化学的沈殿物の厚い地層で埋められた。このようにして地向斜の初期段階では、鉱床生成・分布に最後まで大きく影響することとなる優地向斜ないし親玄武岩性海洋帯と劣地向斜ないし親花崗岩性大陸帯が生じた。

**中期段階** 主褶曲相が比較的短期間に形成された点で中期段階は初期段階の場合と大きく異なっているが、褶曲区の発達には同じくらい大きな役割を果たしている。

この中期段階には、地質条件と地向斜発達過程の大転回が行われている。すなわち、地殻の張力が主

であった状態が圧縮を主とする状態に変わり、比較的静かな深成岩・火山岩・堆積岩の形成条件が激しい変形作用を受ける条件に変わっている。その際、劣地向斜帯と優地向斜帯は全く異なった挙動をしている。たとえば、劣地向斜帯中の褶曲はしばしば複背斜構造体中に複向斜構造体が反転した形の過褶曲を形成しているが、優地向斜帯中ではそのような反転は一般に認められず、構造運動圧力はいわゆる *melange* の形成を伴った衝上断層帯、圧碎帯、急斜褶曲帯の大規模な発達となって現われている (PEIVE ほか, 1972)。この中期段階では優地向斜部にあらゆる種類のマグマ作用が集中し、劣地向斜帯にはカリ-ナトリウム岩の底盤の形成に限られた花崗岩類質マグマ作用が働いているにすぎない。

初期段階の優地向斜帯に特有のマグマ源鉱床はその母岩とともに広域変成作用と変形作用を受けているが、中期段階の劣地向斜帯に特有のマグマ源鉱床は生成したままで、中期段階の強い変形作用を受けていない。

当該地向斜輪廻の中期段階に地質状態が逆転した原因の説明で満足できるものはまだ見当たらない。同段階で玄武岩質マグマ作用が中断し、さらに活可動区の劣地向斜部分に優地向斜部分からのマグマ活動の転換によって花崗岩質マグマ作用が働らくようになった原因についても十分満足できる説明はまだなされていない。しかし、初期段階の玄武岩質マグマ作用がベニオフ帯に沿う初成マントル・メルトの上昇に起因するといえるなら、当該花崗岩質マグマ作用は隣接地域のとくにベニオフ帯上盤側からのアルカリ熱水溶液の上昇に由来するパリンジェネシス過程に原因があると解される。おそらく、このようなマグマ活動の転換は地向斜輪廻中期段階における圧縮力が卓越した環境下ではベニオフ帯が当然なくてはならない透水性を奪われ、深在物質とエネルギーの流れがベニオフ帯から離れた（主として上盤側の共役構造に向かって）ことに起因する現象であろう。

花崗岩化作用が発達する傾向はすでに初期段階末に始まっている。この時期には後火山性アルカリ溶液の作用下で優地向斜の火山源その他の地層に明瞭なアルカリ交代現象が認められる。しかし、典型的な花崗岩はその際の玄武岩質岩の花崗岩化による生成体ではなく、劣地向斜の主として陸層中に初期段階末の後で生成したもので、当該花崗岩の化学組成はそのような程過の場合によく一致している。その際に生成した地向斜輪廻中期段階のカリ-ナトリウム花崗岩類は花崗岩質マグマのパリンジェネシスによって生じたもので、初期段階の初生玄武岩質マグマによって作られたナトリウム花崗岩類とは厳密に区別しなくてはならない。これら2種の花崗岩類と関係する鉱床の様相もしたがって異なる。初期段階の斜長花崗岩の場合には鉄および銅の各スカルン鉱床が特徴である。中期段階の花崗岩類のもっともタイポモーフ的な鉱床となるのは錫およびタングステンのペグマタイト鉱床、グライゼン鉱床、高温熱水鉱床である。また随伴する鉱床として鉱床生成区の褶曲区によって組成を異にするスカルンおよび熱水性金属鉱床もあり、このことは場所を異にすると各鉱床構成元素含有量も異なる堆積層を同化したという劣地向斜性花崗岩類のパリンジェネシス性に関する概念と十分に結びつく。

**後期段階** 褶曲区形成史中でのこの段階は地質年代の幅からいっても地質作用の性質からいっても特定し難い。いずれの場合もその場合に特有な示徴によって判断される。すなわち、この段階は主褶曲相の完結から次の地質輪廻の開始までの間である。この時期に活可動帯の岩石は擾乱され、圧密され、石化される。構造変形は主として大型断層の形で出現し、その中で主な役割を果し始めるのは縦走断層だけでなく横断断層もそうで、横断断層は褶曲完了直後に褶曲区全域にわたって形成され、同褶曲区外の卓状地縁部まで入りこみ、構造活化とそれに関係あるマグマ作用の活化と金属鉱化作用の活化の諸過程をそこに集中させる。そして、地塊・ドームの隆起や積載盆地を形成しながら、構造地質全体が複雑になる。この段階には主として2相のマグマ岩とそれに関連したマグマ源鉱床が形成されている。

1. 深成源のグライゼン鉱床、スカルン鉱床、熱水鉱床を伴った複雑組成の半深成貫入岩のフォーメーション。
2. 火山源熱水鉱床を伴った主として安山岩-石英安山岩と流紋岩組成の噴出岩フォーメーション。後期段階のこのフォーメーションと関係するのは後マグマ性鉱床、とくに非鉄金属・稀有金属・貴金属・放射性金属の熱水鉱床である。

この時期にはベニオフ帯はマグマ作用と鉱化作用を規制する最高の地質構造という意義を失なってい

る。そしてマグマ作用と鉍化作用はいろいろな深度や組成を備えたマグマ溜を開口させて後期段階の多様なマグマ岩と鉍床の組成を規制した多数の小規模な構造によって拡がっている。

**広域累帯** 比較的安定した褶曲区における活可動性地向斜の再形成過程では、マグマ源鉍床の広域生成・分布累帯性を現わす整然とした配列が生じている。その詳細についてはすでに明らかにされている (SMIRNOV, 1965)。この場合、地向斜の発達過程で生じ、かつ鉍床の広域配列順序を規制する次の3要素の存在が重視されなくてはならない。すなわち、1) 優地向斜帯もしくは褶曲の初期段階、2) 劣地向斜帯もしくは褶曲の中期段階、3) 褶曲後期段階の鉍床規制断層系、の3要素である。

海洋型地殻上の地向斜発達開始期に生じ、かつ初生マントルの玄武岩質マグマの岩石を特徴とする優地向斜帯は当該玄武岩質マグマ成の岩石に特有のマグマ分化鉍床と後火山性鉍床を伴い、世界の褶曲区の圧倒的大部分できわめてはっきりと認められるところである。

大陸型地殻上の主として主褶曲相発達期に形成され、かつ後マグマ性鉍床を伴う再生花崗岩質マグマの火成岩を生じている劣地向斜帯はその境界があまりはっきりしないが、多くの褶曲区である程度識別できる。

褶曲区形成の最終段階で生ずるさまざまな規模・方向・傾斜の断層とその断層系は優地向斜帯にも劣地向斜帯にも形成され、隣接卓状地の縁部にも入りこんでいる。この断層系は別の鉍床生成分布帯と累帯する厳密に限定された単一の狭長な分帯をつくるのではなく、褶曲区全域と卓状地縁部に拡がった断層網の形で現われている。そのため、研究者の中にはこの種の断層系を褶曲帯中の地向斜形成史からきり離して考える人もいる (KARPOVA, 1968)。しかしながら、この種の鉍床規制断層は地史的にみて褶曲帯中における地向斜の変形を終え、褶曲区の中で群を作り、次の地向斜輪廻の開始前までに形成するものであるから、これを当該期間内の後マグマ性鉍化作用にとってきわめて重要かつ特別に綿密な鉍床生成分布の解析を必要とする地向斜輪廻最末期の形成物と考えるのが一番妥当であろう。

大部分の褶曲区は何回かの地向斜輪廻を経て、多地向斜形成体 (polygeosyncline formations) に該当する。しかし通常その場合には次輪廻の地向斜が前輪廻の褶曲終了地域だけに生ずるとは限らず、例えば太平洋帯・カフカス帯その他の鉍床生成区で指摘したように、原始ベニオフ帯前縁部に移動して前輪廻部分を拡げることもある。そのため、次輪廻の地向斜過程が前輪廻の地向斜区を新たに形成し直さず、新しい新期基盤上にかつて生じたような構造要素を繰り返し形成しながら地向斜を拡げていく。このようにして類似組成の鉍床帯が累帯した多地向斜褶曲区が形成されるが、当該累帯は継続的な鉍床生成期を備え、連続的に若返る形の地向斜輪廻を反映している。多地向斜褶曲区の広域累帯性の一般様式が乱れるのは、当該地向斜輪廻の褶曲終了区に拡がるだけでなく、前地向斜輪廻の褶曲帯中にも入りこんで地向斜輪廻後期段階の鉍床規制断層が発達する場合だけである。

**旧メタロジェニー図式との関係** ここに提起した、ベニオフ帯に一定の意義をもたせた鉍床生成発展図式は全地球的地質学・地球物理学の分野における新たな成果にもとづいた一つのモデルにすぎず、他のモデル、なかでも地向斜性マグマ作用とメタロジェニー、その変種と反種の古典的な図式の解析結果を導入していない。とはいえ、上述のすべてのことから明らかなように、ベニオフ帯とのモデルによって素描したメタロジェニー図式は地向斜性マグマ作用とメタロジェニーの古典的な図式の基本的な内容を打ち砕くものではなく、地質学と地球物理学の現状に応じて拡大されたものである。おそらく、ある場合には長期にわたる地向斜性マグマ作用・鉍化作用を規制した一般構造としてベニオフ帯の典型例を挙げることはできないであろうし、別の凡地球的要素や分化作用、それらの分類は研究の現段階ではまだ困難であろう。

ベニオフ帯がプレート・テクトニクス説のもっとも重要な要素として登場したことに関連し、ベニオフ帯とのモデルにもとづいたメタロジェニーの解析に関する上述のすべてのことはグローバルな地質学上の最新理論の概念を利用し、同理論の地位を固めているという印象が深いかも知れない。このような受けとり方を防ぐため、このベニオフ帯に鉍床規制の意義を与えた地向斜性メタロジェニーの図式がプレート・テクトニクス説から、とくにその極端な概念の部分から出てこないこと、この最も新しい地質学的潮流を弁護する論証を何も与えるものでないこと、当該学説の原理に触れないで十分成り立ち

得ることを卒直、明解に述べておきたい。

## 結 論

1. ベニオフ帯は太平洋からアジア大陸の下に潜りこみ、深発地震の震源、重力場・磁場・地熱場の異常点で書き出され、火山列島弧に沿って分布する深海溝を伴っている。このベニオフ帯は地球上部帯中への内因性深在物質の移動を保証する、深く入りこんだ通路と考えられる。
2. ベニオフ帯は、太平洋帯、カフカス地方、ウラル地方の例で指摘したように、古生代・中生代・新生代の地向斜区のマグマ作用とメタロジェニーを規制した凡地球的構造の代表例とすることができる。
3. 海洋型地殻に生じた地向斜の発達初期段階にはベニオフ帯型構造に沿って優地向斜帯が形成されて、それに特有の玄武岩質マグマ作用と鉱化作用を伴い、中期段階には大陸型地殻にベニオフ帯の上盤側から花崗岩質マグマ作用と鉱化作用を伴った劣地向斜帯が生じ、後期段階には優地向斜帯にも劣地向斜帯にも拮がり、さらに卓状地縁部にまで入りこんだオリエンテーションのさまざまな鉱床規制断層系が形作られた。
4. ベニオフ帯を導入しての地向斜性マグマ作用と鉱化作用の解析は凡地球的鉱床生成モデルのごく一部にすぎず、別のタイプのモデルの研究も有望かもしれない。

## 文 献

- BENIOFF H. (1957): 地殻構造と構造運動に関する地震学的データ. 論文集「地殻」, 外国文献翻訳出版所, モスクワ.
- BORODAEVSKAYA M. B., KRIVTSEV A. I. (1974): ヘルシニア期前期におけるウラル地方の構造のおよび地質時代的非対称性について. Докл. АН СССР.
- HAMILTON W. (1970): 優地向斜と列島弧の火山岩の起源. 論文集「大陸縁部と列島弧」, ミール出版所, モスクワ.
- GRINENKO L. N., GIRIN Yu. P., SEVUNTS A. G. ほか (1973): アラベルツク区産岩石・鉱石中の硫黄同位体. Геол. рудн. месторожд, no. 5.
- ZONENSHAIN L. P. ほか (1973): 太平洋帯西部の地質構造・マグマ岩累帯とメタロジェニー. Геотектоника, no. 5.
- IVANOV S. N., YEFIMOV A. A. ほか (1972): ウラル地向斜の性質. Докл. АН СССР, т. 206, No. 5.
- KARPOVA Ye. D. (1968): ドーム地塊区とそのメタロジェニー. 論文集「広域メタロジェニーと内因性鉱化作用の問題」, レニングラード.
- KOVALEV A. A. (1972): 卓状地の構造運動とメタロジェニー解析の諸見地. Геол. рудн. месторожд, No. 5.
- ISLAND arc (1952): 論文集. 外国文献翻訳出版所, モスクワ.
- REIVE A. V. ほか (1972): ユーラシア大陸の古生代山地と地向斜過程進化の問題. Сов. геология, No. 12.
- SMIRNOV V. I. (1965): 内因性メタロジェニーの問題. ナウカ出版所, モスクワ.
- SMIRNOV V. I. (1973): ベニオフ帯と地向斜性メタロジェニー. 「凡地球的構造地質の新理念に照したメタロジェニーの問題」, 会議報告集, レニングラード.
- TVALCHRELIძE G. A. (1972): 褶曲区のメタロジェニー解析の原則について. Геол. рудн. месторожд, No. 6.
- DIXON C., PEREIRA J. (1973): Plate tectonics and mineralization in the Middle East. *Econ. Geol.*, No. 1.
- GUILBERG J. (1971): Known interactions of tectonics and ore deposits in the content of new global tectonics. *Am. Inst. Min. Metal. Pet. Eng. Soc. Min. Eng.*, Preprint, 71-5-91, c. 19.
- GUILD P. (1972): Metallogeny and the new Global Tectonics. IGC, XXIV session, Section 4, *Mineral Deposit Montreal*, c. 17-24.

- GUILD P. (1973): Massive sulfide deposits as indicators of former plate boundaries. *Econ. Geol.*, No. 1.
- HARANCZYK C. (1973): Epeirophoresis and origin of ore deposits. *Acta geol. polon.*, v. 23, No. 2.
- 西脇親雄 (1972): Fundamental aspects required to localire the formation of mineral deposits. Part II, Soc. of Mining Geologists of Japan. *Special volume*, c. 297-322, No. 4.
- PELISSONNIER H. (1972): Les dimensions des gisements de cuivre du monde. *Memoires du BRGM*. No. 57, Paris.
- PEREIRA J., DIXON C. (1971): Mineralisation and Plate Tectonics. *Mineralium Deposita*, v. 6, No. 4, c. 404-405.
- PETRASCHECK W. (1968): Kontinentalverschiebung und Ergprovinzen. *Mineralium Deposita*, No. 3, c. 57-65
- PETRASCHECK W. (1972): Kontinentalverschiebung. Zerteilung und Neuschaffung von Erzprovinzen. *Umschau*, 72, No. 21. c. 677-680.
- SILLITOE R. (1972): Plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits. *Econ. Geol.* v. 67, No. 2, c. 184-197.
- WALKER W. (1972): Mantle cells and mineralization. *Trans. Soc. Mining Eug AIME*, No. 3, c. 314-327.