

資 料

553.2

垂直および水平帯状構造の型について*

E. A. Radkevich

小 西 善 治 訳

帯状構造の問題は古くから普及されていた Emmons の底盤学説——鉱床と花崗岩底盤との普遍的な結びつきに関する考え方——を初めて反ばくした Smirnov の名と緊密に結びついている。観念論的な抽象的な図式として Emmons 図式を批判している Smirnov は帯状構造が“不安定構造”であると述べているリンドグレンを引証している。

“初成鉱床への変化”と題する Emmons の最初の著作は、現代ではやゝ素朴すぎるが著者の見解では単純すぎる。しかしこの著作の意義を客観的に評価するためには、歴史的に追跡することが必要である。Emmons の著作は、鉱床学説の発展の1つの重要階梯においてきわめて重要な役割をなしたことは、疑いの余地がない。Emmons 学説は、長い間無批判的に受け入れられていた。したがって Emmons 学説の欠点を指摘し、鉱床生成過程の時間的発展につれて帯状構造が出現するという考え方を補完した Smirnov の功績は、きわめて大きい。

主として空間的にのみ造構要素が分化し、単一のマグマ溜から上昇する溶液から沈殿するという Emmons の考え方に対して、Smirnov は次のような新しい考え方を提唱した。Smirnov の考え方によれば、鉱床が時間的に発展し新しい割れ目の生成に伴なつて、溶液（上昇）の脈動供給が行なわれる。この考え方は、Smirnov の脈動帯状生成仮説と呼ばれ、ソ連では広く普及された。その後、やゝおくれで割れ目のてい増的発達とそれに関連性のある貫入岩体の帯状構造とに関する問題をとりあげた新しい著作が出版された。

しかしこの興味ある著作は、鉱床生成過程の重要な一面を明らかにしているが、ある部分では一面的である。この著書の著者は貫入岩塊に対するさまざまな共生鉱物型の分布における造構要因の意義を誇張し、帯状構造の出現における温度要因を完全に除外するような状態に落ち入っている。この著者はこの点においては、Smirnov の考え方から著しく離れているといえよう。したがって Smirnov——著作“鉱床分布の帯状構造に関する問題について”と題する論文——の脈動説の源泉にたちかえつて、その著作のテキストを注意深く味読することが必要である。Smirnov はこの著作では、温度要因の意義を全く否定しないで、活性火成岩塊を圍繞する地熱被膜 (geothermal film) の存在を認めている。さらに Smirnov は温度帯状分布に関する考え方だけでは現在みられる鉱床分布の合法則性を解明するには充分でないことを指摘している。さらに Smirnov は単一底盤と多様な鉱床との結びつきに関する Emmons の考え方に対して、分化貫入岩体 (specification intrusion) の平行、独立系列の完全鉱物系——この系列に固有の鉱物生成物を伴なう——に関する考え方を提唱している。

このように Smirnov が指摘しているように、単一の連続帯状構造系列でなく、独立、平行系列の完全鉱物系が存在する。このような Emmons 図式の本質的な第一の修正は忘れられ、Smirnov の第二の結論、すなわち鉱床の時間的発展と含金属溶液の連続、脈動供給とに関する考え方のみが重視された。

* E. A. Радкевич : О Типах вертикальной и горизонтальной зональности, Советская геология, 9, Госгеолтехиздат, p. 70~85, 1959

本論文では著者は多くの研究者が不当に忘却している帯状構造の出現に及ぼす温度要因を強調する。すなわち温度要因は、貫入岩体に対する鉍床分布の主要要因の1つである。すべての他の要因、たとえば造構要因、岩石学的要因等は、火成活動の中心部を圍繞する広域地熱輪 (thermal aureole) ——まず第一にさまざまな鉍化地帯または鉍石集合帯における鉍化作用の特性をあらかじめ決定する——の background に作用を及ぼす。

それぞれの鉍物共生の出現を温度条件にのみ帰することができないことは、いうまでもないことである。(こゝで“最初”という言葉は多くの原因に左右されるマグマの始期組成とその地球化学的特性とをさす)。しかし Smirnov がまず第一に鉍床の組成が貫入岩体の鉍床生成的分化程には温度に左右されないという Emmons の見解を指摘して批判を展開しているのはたしかに正しい。したがってそれぞれの特定のマグマ型の出現を決定する共通の広域合法則性から始まって帯状構造を検討しよう。

共通の広域合法則性に関する問題を取りあげる場合には、Smirnov が帯状構造に関する問題をさまざまな角度からみていることを想起することが必要である。すなわち Smirnov は巨鉍床区における鉍床地帯の帯状構造および各鉍床個々の鉍体の帯状構造を述べ、さまざまな角度からこの帯状構造型を検討している。この説を發展させると次のような帯状構造の範ちをあげることができる。

1) 地殻の初成不均一性を反映する巨鉍床区の帯状構造、この種の帯状構造では、Smirnov が提起したような意味における太平洋鉍床地帯の外帯および内帯の相関関係が検討できる。

2) 複雑な多種金属鉍床地区のさまざまな鉍床要素の分布帯にみられる鉍床地帯の帯状構造、この種の帯状構造はさまざまな地質構造および個々の造構・火成活動帯のさまざまな發展履歴によつて条件付けられる。

3) 鉍床地域の帯状構造、この種帯状構造では、長期間にわたつて活動を続けた火成活動の中心に対して配列する生成温度の異なる鉍床の分布が合法則性を示す。

4) 個々の鉍床および鉍脈の鉍石埋藏帯の帯状構造、この種帯状構造は凝結貫入岩体を圍繞するさまざまな濃集 (鉍石) 帯におけるさまざまな原因、とくに鉍石生成温度の不均一性によつて形成されるとともに、さまざまな鉍化作用階梯の不均等分布——変化する組成溶液から生成される鉍物を伴う——を伴う逐次的、かつ不均等的発達をなす割れ目を充填する鉍床の生成温度の不均一性によつても左右される。鉍床および鉍体の部分要素としては局部的に現われる他の帯状構造、すなわち地体構造、“岩石—組成の帯状構造”が区分できる。

さまざまな帯状構造型を研究した Smirnov は鉍床の帯状構造と個々の鉍体の帯状構造との著しい対比を提唱し、後者の型の帯状構造のみを検討している。本論文では鉍床分布の広域合法則性をとりあげる。これはこの種の合法則性が個々の鉍体の発達範囲内に出現する地域的合法則と切り離せないからである。さらに本論文では帯状構造の出現に及ぼすさまざまな要因の影響を徹底的に検討する。

初めには鉍床地帯の帯状構造とその形成をあらかじめ決定する原因に関する問題を述べ、次いで鉍石濃集帯鉍床、鉍脈の帯状性に移り火成活動および鉍床生成過程の時間的進化を background として帯状構造を検討しよう。

広域帯状構造 (巨鉍床区)

広域合法則性は、こゝで取りあげられる問題の枠を逸脱し、鉍石埋藏帯および鉍床地帯の帯状構造に対して関連性が薄い。しかし鉍化作用の特性がまず第一に含鉍石地域および鉍床地帯の広域特性に左右されることを示すためには、広域帯状構造を取りあげることが必要である。さまざまな鉍化作用の特性として貫入活動の鉍床成因的 (特殊化) 分化とみなす考え方は、まず第一に Emmons の底盤学説をくつがえしている。しかし鉍床地帯の帯状構造における温度の重要な意味について述べたが、鉍床の生成は一温度条件によるものでないということを強調

しておこう。すなわち温度条件によつて、錫・タングステン・亜鉛または鉛の出現が決定されるものではない。それぞれの金属系生成の第一原因は、地殻の不均等性ならびに各鉱床地帯の造構運動および火成活動の特性によつて条件付けられる個々の鉱床地域の地球化学的特殊化 (specification) にある。

貫入活動の鉱床成因的分化および鉱化作用の特性をあらかじめ決定する第一順位 (1st order) の要素としてはさまざまな元素分布に対して地殻の初成不均一性をとりあげるべきである。例えばこの種の不均一性としては太平洋鉱床地帯の特定金属の成因の特性がとくに強調されている。すなわちこの鉱床地帯ではさまざまな鉱床生成時代における錫の反覆出現がとくに特徴となつている。このような太平洋鉱床地帯の特性を始めて指摘したのは、この問題に関する特殊の研究を発表した Smirnov である。

この地域では錫は高温鉱床ばかりでなく、中温・低温鉱床にも含まれ Emmons の帯状構造図式を明らかにくつがえし、鉱石沈殿の局部的温度条件の変化に比較して貫入活動の鉱床成因的分化 (特殊化) の重要な役割を強調した Smirnov の考え方を裏付けている。

しかし貫入活動の鉱床成因的分化は、広域的、惑星的特性を帯びているばかりでなく、巨尺度の一般的原因によつても条件付けられる。さらにこの種分化現象は、マグマの地域的生成条件の特性によつても左右される。複雑な多種金属鉱床区では、さまざまな型の分化貫入現象は、さまざまな造構、鉱床成因地帯 (帯) に分布し、その地帯の出現自体が鉱床地帯の発達の特長となつている。

この種の諸問題は、鉱石集合帯および鉱床地帯の帯状性問題に直接関連性をもっている。いま、これらの諸問題を検討すれば、鉱床地帯の鉱化作用の特性は、まず第一に地域的溫度条件や造構様式で決定されるものでなく、一層広範な合法則性、すなわち、第一に地球化学的原因——鉱床発展の地質学的環境によつてそれぞれ条件付けられる——によつて左右されるものであることが明らかとなるからである。

鉱床地帯の帯状構造 巨金属成因 (的) 単位を金属成因帯に分つと、その鉱化作用の第一次原因的差異が造構帯の発達さまざまな履歴によるものであることが不可避的に誘導される。たとえば内地向斜帯および内地背斜帯では、地向斜盆地に分化される発達の初期に、さまざまな金属成因帯の基礎が与えられる。長期間にわたつて発達する内地向斜地帯は、著しく厚層の砂質・粘土質組成の堆積物で特徴付けられ、含錫地帯では、錫・タングステン地帯の基盤が与えられるが、長期間隆起運動を持続した内地背斜地帯では、炭酸塩相および火山源堆積相が集積し、さらに発達が進むと、多種金属鉱化作用帯に転移する。(沿海州、ザバイカル、アルタイ)

この地帯の鉱化作用差の原因は、火成活動および鉱床出現の岩石学的、造構環境等によるものである。以前の内地向斜性沈降地帯では、転化過程において複背斜にしばしば転移するが、酸性花崗岩塊が生成される。この地帯では、逐次分化作用は周辺粘土質岩石の組成が花崗岩のそれと著しく異なつていないので、堆積物層の同化作用によつて顕著に乱されない。貫入岩体の生成は比較的静穏な造構環境下で行なわれるので晩期の超酸性残留物 (ultra acid residual) が完全に遊離され、まず逐次分化作用が進行する可能性がある。残留物としてはタングステンおよび錫が普通濃集する。この種の分化過程型は“自動分化作用”と名付けられるであろう。この種の分化作用は分化過程の“優白質”の発展、すなわち特定の含錫花崗岩およびそれと関連性のある錫・タングステン鉱床を誘導する。

陸源成素材の搬出源泉から離れた浅水地域で代表される内地背斜地域では、異なる分化過程が行なわれ、厚層の炭酸塩岩石層の発達が他の火成活動型を運命付ける。このような条件下では、原生岩——塩基度の高い花崗岩状岩石がしばしば生成されることがある——が発達し、固有の金属系を伴う。この地帯ではマグマが地表と連絡し、地表面に放出されるので、厚層の火山源堆積物が生成される条件がつくられる。さらにまたこの地域では、破碎帯の回春がしばしば起るので、花崗岩マグマの逐次自動分化作用が乱され、超酸性の火山活動残留物、鉱体の“優

白質”型の担体——錫・タングステン等の鉱床——の分離も妨げられる。

鉱床地帯の出現における本質的な役割は、広域深所破砕帯が演じる。この破砕帯は内地向斜帯および内背斜帯の外形をあらかじめ決定し、さらにさまざまな型の鉱床成因的地帯の端緒となる。この種地帯では、火成岩、とくに塩基性および超塩基性岩石類が線状に分布を示し、クロム・白金・チタン磁鉄鉱(ウラル)の出現で特徴付けられる特殊の鉱床系——明白な鉱床地帯を造成する——を随伴する。

最後に、深所破砕現象は、貫入活動地域から離れた鉱床地帯、例えばアンチモニー・水銀鉱床、金・銀鉱床地帯の局所化を決定する。このような火成岩塊の分化度は第一の場合に比較して低くないが、分化過程型自体はすでに本質的に異なってくる。この分化過程は第一の場合と区別して“捕獲分化作用”(xenodifferentiation)と名付けることができるであろう。この場合には後火成活動過程は異なる型で発達する。この種型の地域はスカルン鉱床、さまざまな硫化物鉱脈、とくに多種金属鉱脈の発達していることで特色付けられる。鉱体を圍繞する石灰岩は化学的に最も活性な岩石として鉱化作用の性質に本質的な影響を及ぼし、その組成の分化(特殊化)特性および鉱床の型態を決定する。

他の面では内背斜地帯は特殊の造構様式で特徴付けられる。この地帯では褶曲運動が繰り返して出現したために堆積物の薄化と多重変形(multiple deformation)とが起り、地体構造が著しく剛性となつたのは、この地域で深所破砕帯が発達していることで解明される。さらにこの地帯ではマグマは地表と連絡してこの種破砕現象が帯状構造の出現原因のような状態を示す。

本論文では鉱化作用の特性が鉱床発達の全条件の総和で決定されることを立証する帯状地帯のデータのみをかゝげる。このような鉱床発達の全条件の総和はまた初期地向斜海盆の地向斜帯およびその亜帯に解体する早期の発達階梯から始まる同源鉱床成因地帯の発達特性をそれぞれ決定する。

このような表象による貫入活動の鉱床成因的の考え方は地質学的・歴史的に解明されている。しかし鉱石集合帯——鉱化作用の帯状分布をあらかじめ決定する主要な要因の一つである——の地域内の鉱床分布の帯状性または鉱脈内のさまざまな共生鉱物の分布の問題をとりあげると、鉱石の集積を誘導した温度を検討することが必要となる。ここでは Emmons の帯状構造系の(生成)要素が有効となる。Emmons の考え方は現在では造構要因および他の要因の影響に関するデータおよび鉱床発達の持続期間に関するデータが手に入るようになってきたので変わってきている。

鉱床地域の帯状構造

Emmons の誤りは、周知のようにすべての多様な鉱床を一つの底盤の火成活動の結果であるとみなしていることである。同一地域で出会う鉱床自体も(地質)時間的にも異なり、そのうえさまざまなマグマ溜から誘導されたものである。

鉱床の時間的進化に関する問題は Bilivín が研究している。造構、火成活動地帯および鉱床区のさまざまな発達段階では帯状構造はさまざまな型をとつて出現する。例えば塩基性および超塩基性岩石中における原生鉱床の発達の初期段階では鉱床は火成岩自体に局在化されているから、垂直帯状構造の著しい特徴は認められないが、明白な帯状構造は巨底盤および一層晩期小貫入体——残留マグマの分化作用産物——の生成によつて指摘できる可動性地帯(movable zone)の中期発展段階の鉱床中に認められる。晩期の鉱床中では帯状構造はさらに明確に認められる。中期および晩期の階梯の火成活動および鉱床について述べる場合には、単一マグマ溜(同源マグマ)と関連性のある火成活動および鉱石生成現象が長期間の発達産物であり、火成活動(貫入、進入(溢流)・大規模・小規模の貫入活動が交互に行なわれる)およびそれと鉱体の結び付きも時間的に変わり、そのために帯状構造も変わってくることに注目することが必要である。長期間にわたつて発達する火成活動の中心部の周辺に形成されるさまざまな鉱床の帯

状分布の終極像は多時間的過程の累積産物である。

含金属溶液の活性源は貫入岩体の凝結が進むに従って深度が深まることも明らかとなる。この場合鉍体と火成活動と結合型態は時間的に変わってくる。

上述の鉍床は4グループに区分される。

- 1) 活性貫入活動地帯内部に区分し、周辺岩石と成因的結び付きをもつもの（錫石・花崗岩のミアロリティック空隙・ペグマタイト）
- 2) 接触地帯に賦存するもの（スカルン・錫石・石英質鉍床）
- 3) 貫入活動地帯から離れた地域に賦存するもの（錫石・硫化物・多種金属鉍床）
- 4) 活性の含鉍石貫入活動地域と見掛け上の結び付きをもたないもの（アンチモニー・水銀・若干の多種金属鉍床）

石灰岩の発達が特色となつている鉍床地域における最初期の高温鉍床グループには多様な鉍化作用を伴なう反応・複交代作用型のスカルン鉍床が普通入れられる。花崗岩質貫入岩体と石灰岩との接触部に分布するこの種鉍床は一般には後火成活動産物であつて、底盤体の深い部分から供給される溶液と関連性をもっている。Korzhinskij が指摘しているようにこの種鉍床は貫入岩体の接触部に賦存しているが、石灰岩に及ぼす火成岩塊の貫入作用の直接産物でなく、その貫入溶液に及ぼす作用下で行なわれる珪酸塩岩石と炭酸塩岩石との相互反応によるものである。スカルン鉍床は現代の考え方によると、後火成活動産物と考えられている。しかしこの種鉍床は他の鉍床生成物よりもはるかに賦存地帯付近の花崗岩と直接成因的關係をもっている。ある種の鉍床では半花崗岩質岩脈——スカルン鉍床付近に分布する同一花崗岩塊の誘導物である——で切られているのが確認されている。この事実はスカルン鉍体と花崗岩との直接、成因的結び付きに関する考え方を裏付けている。他の多くの鉍床出現地域ではスカルン鉍床は未凝結火成岩体付近に局在しているから、一般には最初期に生成され、最高温生成物である。したがつてスカルン鉍床の出現は石灰岩の発達地域にのみ発見され、この意味においては周辺媒質に依存する鉍体の特殊化の一出現例を示すものである。

複雑な、かつ多様な鉍化作用を伴なう鉍床地帯ではスカルンは一般に最高温であり最初期生成物である。貫入岩体の直接接触部に分布するこの種鉍床は、さまざまな鉍化作用型の分布中に帯状性が判然と認められるが、すでに指摘したように時間の経過に伴つて、後鉍化生成物から引き離され、それ自体 Emmons の系列中に入らない。この種鉍床自体の垂直帯状構造は接触地帯の全延長にわたつて熱変成様式が同種のために明らかに認められない。

さらに火成活動の晩期は揮発性分、稀有元素に本来富む酸性花崗岩の小貫入体で代表される。この段階は錫石および鉄マンガ重石、石英質鉍床の生成と関連性をもち、普遍的にはみられないが、一定の地質型の地域、すなわち含鉍石マグマの連続“自動分化作用”に対して好ましい条件が存在する地域にのみ分布する。このような特殊の含銀貫入岩体は地向斜沈降地帯——転化によつて複背斜地帯および活性貫入火成活動地域に転移する——の軸部に認められる砂岩・頁岩層中にしばしば賦存する。

この種グループの鉍床にはペグマタイトおよび含錫ペグマタイトが属する。この種鉍床では、錫石はミアロリティック空隙中に錫石を含む。鉍体とマグマ自体との成因的結び付きについては何らの疑問の余地がない。この種生成物を研究すると火成岩塊内における鉍石組成の分布特性に関する問題に近づくことができる。例えばミアロリティック花崗岩の場合には以下のことが相当の確率で推定できる。すなわち鉍化流体は凝固化岩石の間粒空隙（間）中に侵透、鉍染し、あるいは初期ガス胞の発生位置に誘発された空隙を充填し、次いでペグマタイト容貌を附与し、空所には長石・石英・電気石および錫石の結晶が沈殿して、既晶出岩石の置換が行なわれる。しかしこの場合鉍床自体にどのような帯状構造を示すかについては述べられない。これは鉍化流体が含鉍物流体の源泉として全容積にわたつて鉍染する周辺岩石自体が鉍床であるからである。鉍石集合地帯ではこの種鉍化作用は中心位置を占め、鉍床生成の最初期、ほとんど

岩漿期に属するから最高温段階の産物である。

鉱床生成のやゝ一層晩期型のもは、上述型に成因的に近く、グライゼン・石英脈・網状鉱床で代表され、花崗岩質鐘状貫入岩および岩塊の頂部に発達する。この型の鉱床と上述型と異なる点は、含鉱物溶液の源泉が浅所に分布するが、鉱物生成物が、岩石の既剛性破碎割れ目中に発達し、貫入岩塊自体の頂部に局在し、外接触帯 (exocontact) に僅か分布している点である。さらにこの種鉱床は、有名な鉱床地区 (アルテンベルク・チンワルド) および東部ザバイカルのある種鉱床に知られているように、母岩の花崗岩とも密接な関連性をもっている。

活性花崗岩との直接接触部に局在化する鉱床の特徴は、垂直鉱化作用帯の延長が短いことである。Rudnykh Gor では、この種現象は、Kreiter が指摘しているように、花崗岩貫入体における活性含鉱物源の近接分布で説明できる。垂直ならびに水平に (しばしば) みられる鉱化作用帯の延長の短い他の原因としては、好発達を示す巨割目——鉱体が充填、生成される——の欠失があげられる。花崗岩中では、岩石の冷却、固化と関連する内割目 (endofissure) がしばしば発達する。堆積岩中では、岩石塊の容積縮少で岩石の沈降が起り、その天盤に割れ目が形成されることがしばしばある。このような型の鉱床中における割れ目の形態に対応して延長のきかない鉱脈が発達する。この種鉱脈は、裂け割れ目の中に賦存するか、剪断割れ目の発達を伴う緩傾斜層状鉱層 (Fletz) 中に認められる。

ときには、集合して網状鉱床を形成する自動裂か充填細脈群が発生することがある。この種鉱床にあつては、1細脈が他細脈を次々と切つているのは、鉱液溜が長期間にわたつて活動したことを示している。ときには、錫石および鉄マンガン重石を伴う鉱脈は、岩脈、花崗岩脈、石英斑岩脈および半花崗岩脈で繰り返し切られていることがある。その生成が長期間にわたるこの種の鉱物、マグマ生成物群は、全体としてみれば、すでに指摘したように、比較的浅所に分布し、長期間にわたつて作用し、かついまだ凝固状態に達していないマグマ溜と関連性をもっている。上述の鉱床群は、揮発性元素化合物、錫・タングステン・ベリリウムおよび他の稀有元素を含む花崗岩マグマの晩期分化生成物のみられる地域に発達し、浅所に賦存している。

この種鉱床群中では、水平帯状構造が出現している。しかし、垂直断面にみられる鉱化作用の延長が一般には限られているにもかかわらず、ときには、垂直帯状構造がみられることがある。この種鉱床群では、鉱床の組成に依存して、1鉱物帯から他鉱物帯へ異なる移行を示すが観察されるのは、興味がある。例えば本来含錫石英鉱脈にあつては、錫の含量の増加とタングステン含量の減少が特色となつているが、タングステンが多量にみられる同種鉱脈にあつては、反対の関係が観察される。こゝでは、鉱液中の造鉱元素の濃集度差によつて決定される沈殿の帯状性が出現しているといえよう。含錫酸性貫入岩体の発達地域では、グライゼン型の錫鉱化作用は、ときには、石英鉱脈およびグライゼン (接触部の周辺に発達する) の“接触帯”型のみその出現が限られることがある。

すでに著しく晩期に、かつ本質的に異なる造構環境の下で生成された錫石・硫化物鉱床または硫化物がみられる地域では、普通、水平帯状構造が出現している。例えば、Ertzberg および沿海州の錫鉱床地区では、錫石・石英鉱床とともに、一層晩期の硫化物鉱床に出会す。この種硫化物鉱床は、花崗岩塊の周辺部に分布し、著しく深所に延びている大規模の裂か帯中に賦存している。Ertzberg では、この型の鉱床には、Freiberg, Annaberg, Yoachimstal, その他の鉱床群が属する。極東では、Yaroslavsk 鉱床の錫・電気石鉱脈および錫石・硫化物鉱脈があげられる。この種晩期鉱物体の一般的な特性は、垂直に著しく延長がきき、鉱液の活動源が深所に賦存していることを示すと同時に、花崗岩体から若干離れた鉱化帯 (ore aureole) の周辺部にも分布していることである。したがつて、本鉱床はわれわれの分類の第3型に属している。

Yaroslavsk 鉱床をみると、錫石・硫化物鉱脈は花崗岩塊の凝固後長時間経つて生成されるときともに、それと密接な関連性のある錫石・石英鉱床が生成されていることが明らかである。鉱床の生成以前の花崗岩塊の貫入は、周辺堆積岩とともに、大規模な造構裂か帯で仕切られ、そ

の裂かに沿つてスカルン体の移動が起り、次いで時間的に異なる酸性塩基性岩脈が生成された。鉱床生成時には、著しい(時間的)中断があつたにもかかわらず、錫石・石英鉱脈およびその付近に分布する鉛石・硫化物鉱脈は、本質的には同一元素系で特色付けられる地球化学的共通性をもっている。したがつてこのような異なる(逐次)鉛石出現現象は、1成因系列に入れることができる。一層晩期の電気石・錫石鉱脈および錫石・硫化物鉱脈は、錫石・石英鉱脈と同一鉱溜と関連性をもち、この種鉱溜のみは、著しく深所に分布していたが、含鉛石構成体の活発な分離中心は、貫入岩体の一層深い部分にあつたことが考えられる。

晩期硫化物鉱脈が花崗岩体から若干離れた地帯に普通分布しているのは、興味がある。この種現象は、チェコスロバカイヤの鉱床地区 Ertzberg, コンウォル, ボリビヤおよびその他の多くの鉱床地区で観察されている。このような現象は、さまざまな地帯における鉛化作用の特性を決定する初期加熱接触変質帯 (aureole of Initial heating) または等温膜 (isothermal film) が、すでに凝固した貫入岩体を中心として長期間存在していたことで明らかに説明される。

鉱床地区における水平構造は稀しいという考え方をとりあげても、自然が示す事実は、他の考え方を物語っている。Emmons が、貫入岩体に対して鉛床が帯状分布するという多くの例をあげてから、この種の実例は倍加している。例えば、花崗閃緑岩塊に対するきわめて明白な帯状構造(鉛床)は、北部ボリビヤおよび南部支那において観察されている。コンウォル, Ertzberg, メキシコ等の有名な鉛床地区については、こゝでとりあげるまでもない。貫入岩体を中心とする元素の帯状分布の Emmons 図式にみられる個々の元素も、確証的事実にぶつかっている。

上述のデータの立場からこのような帯状性の発生を説明すると、次のような結論に達する。すなわち貫入岩体に対して帯状分布をなすさまざまな金属鉛床は、逐次的に生成されたものであつて、さまざまな深所にあるマグマ溜と関連性をもっている。しかしこの種鉛床は、共通の初期加熱環境 (initial heating environment) の下で発達したものであつて、そのために長期間にわたつて凝固化した貫入岩塊を中心とする多様な等温帯にみられる多様な共生鉛物の出現が運命付けられている。

このような多階梯含鉛石集合体系列 (multiple-stage ore bearing assemble) 内における最晩期鉛石の出現は、われわれの分類による第4型への移行を示すものである。この種の型の鉛床は、活性化火成岩と見掛上関連性をもっていない。この種熱水鉛床型は、初期侵食階梯にある新期鉛床生成地区に主として発達している。さらにこの型の鉛床は、火山活動が盛んに行なわれた後火山作用地帯に特徴的にみられる。この型の鉛床の最も代表的なものは、Smirnov によつて分類された太平洋鉛床帯で知られている。

新期褶曲地域の鉛床は、ときには火山岩と空間的に密接に結び付きを明らかにしている。この型の鉛床は空間的には、火山岩中に挟在し、時間的には、新期噴出活動の噴火口相および半深成小貫入活動とに関連性をもっている。鉛体とこの種マグマ物体との結び付きは、Bilivin が明らかにしているように、もちろん成因的なものでなく、むしろ共生的なものである。

比較的鉛体の性質が変わらないで、垂直に鉛化作用が著しく延長(1 km以上)しているのは、この距離では熱様式が安定していたことを物語っていると同時に、間接には、鉛化溶液源の鉛床の深所分布を裏付けている。

この型の鉛床には、深度1,400 mまで追跡されるメキシコの多種金属鉛床、南部沿海州、日本、ボリビヤの諸鉛床およびその他の新期鉛床生成地域の鉛床があげられる。この型の鉛床の上部は、しばしば地表近くの水準に達しているもので、精確な名称ではないが、“地表近接鉛床”(near surface ore deposit) という名称がソ連では、根をおろしている。すでに述べたように、この種鉛床の“根”は、きわめて深所にあるから、このような名称を使用することは、鉛体上部の生成条件をあらわす場合のみ可能である。

この種類の鉱床の最上部が高温生成の鉱物系でしばしば特徴付けられるのは、きわめて興味がある。例えば沿海州の Tetiukhen グループの鉱床、メキシコおよび日本の若干の鉱床では、灰鉄輝石が鉱床の最上部まで続いている。(Tetiukhen では、以前の地表面から約500までみられる) 鉱化作用が相当な垂直距離にわたって比較的安定な下で、高温生成の鉱物がこのように広範囲に分布しているのは、鉱石生成過程において特定の熱条件が存在していたことを裏付けている。すなわち新期の火山活動地域では、鉱化作用の特性および鉱体の垂直分布に本質的な影響を及ぼした要因としては、活性化火山活動源上の全岩石層の pre-heating 現象が考えられる。新期火山活動地域、とくに火山活動の中心地域の地下増温率は、明らかに、急激に低下している。このことは、現在の火山地帯の実例で裏付けられる。例えば、メキシコの鉱山では、現在の地表面から300~400 mの深部で気温は40°、裂か水の温度は57°に達している。地表水と混合しているこの種上昇水からは、現在石膏の巨晶が(空所に)析出している。鉱物生成階梯が長期にわたったことは、鉱床の生成が長期間にわたったことを示すものである。ある種の第三紀鉱床にあつては、鉱石の生成がこんにちまで続いているものがある。このような条件は、鉱体生成期に直接先行する時期に、活発な火山活動が行なわれた沿海州の Tetiukhen 鉱床地区が第三紀の時代に存在していたことが考えられる。しかし現在では鉱物は、鉱床の深部地並の還元環境の下ですでに冷水化した鉱液から生成されている。ゲル状物質塊からなる空所には、方解石が晶出し、ヒツシゲル石や、その形態が熱水生成鉱物にしばしば類似している他の鉱物類が析出している。

新期火山地帯では、鉱体が貫入活動の中心に対して帯状分布をなしているのが観察されている。例えばメキシコのパラル地域では、モンゾナイト岩瘤を中心として、数濃集帯が認められている。すなわちモンゾナイトの付近では、銅・亜鉛を多量に含む鉱床が分布し、鉱化帯の周辺部の鉱床では銀・鉛の含量が増大し、外縁部ではアンチモニーを含んでいる。この場合には、鉱脈がモンゾナイト中に賦存するので、モンゾナイト岩瘤を、鉱液の直接誘導源と考えることは難しい。こゝでは早期に凝固した底盤の周辺に分布する鉱脈の場合のように、岩瘤の貫入影響を受けて、長期間にわたって保存された等温被膜がまず形成され、そのために、深所のマグマ溜と直接結び付いて、モンゾナイト岩瘤自体の凝固後遙か晩期に出現した鉱化作用の特性が運命付けられたことが考えられる。

メキシコの同一の第三紀鉱床地区では、鉱床が花崗岩塊に対して帯状分布しているのは、興味がある。例えば、サン・アントニオ鉱床は、多種金属鉱床および他の鉱床で代表され、花崗岩体付近の花崗岩塊の外接触帯にある石灰岩中には、銅・亜鉛鉱化作用が出現し、鉱床生成前のスカルンに累重している。花崗岩体から若干離れて、銀・鉛脈、さらにそれより離れてアンチモン脈がみられる。高温生成鉱脈には、灰重石および黄玉が存在しているので、鉱化作用が花崗岩体——その付近に鉱体が集中している——と関連性をもっていることが考えられる。花崗岩と直接関連性をもつ鉱床型には、サンタ・コウラリヤ周辺の錫石・石英鉱床が入れられる。この地域では、花崗岩中に発達する石英脈およびグライゼンは分解を起して砂鉱床が形成されている。

このようにメキシコでは、花崗岩体から離れた鉱床とともに、花崗岩体と成因的にもまた空間的にも、密接な関連性をもつ鉱化現象が存在し、同種の造鉱元素系が現われている。最後に、この地域で広域に発達する鉱床は、酸性侵入岩(いわゆる流紋岩層)にみられる方錫石で代表される“固有の火山源”鉱床である。メキシコの鉱床は、鉱体と火山活動との結び付き形態が多様であり、同一地域でも、時代が新しくなると、それぞれのマグマ物質系と多様な結び付きをもつ多様な鉱物生成型が誘導されることを示している。

若干の多種金属鉱床(サン・アントニオ鉱山)中では、含錫花崗岩・含錫流紋岩および錫が出現しているのは、(1) 深所マグマ溜がとくに帯錫性であり、(2) 進入相および貫入相と成因的に関連性もち、(3) さらに深所に分布するマグマ溜——火山活動の中心から離れた多種金

属鉱床が生成されたさいにそこから鉱液が上昇してきた——とも結び付いていることを裏付けている。このような成因型のものは、北部・南部ポリビヤの鉱床にもみられ、Smirnov は、原則的に異なる“正規系列と非正規系列”(normal, abnormal display)のあらわれとして対比している。

ポリビヤおよびメキシコの鉱床例は次のことを示している。すなわち鉱床区では多様な相のマグマは、造鉱元素を含み、鉱化作用と活性化マグマ溜との結び付き形態が、異なる時代においてまた異なる地域において異なっている。さらに沿海州の鉱床区のデータと同一のこの種実例は、鉱液の起源と無関係に、鉱化作用型を決定する温度要因が無視できないことを明らかにしている。すなわち温度条件は、鉱化作用を運命付ける主 background であるから、それぞれの鉱化作用型の現出は、この条件によつて左右される。

火山岩(ポリビヤ)中に局局的に発達する割れ目に沿つて pre-heating 現象が起るといふ考え方は、Alfeld によつて始めて記載された。しかしこの考え方は、深所では、鉱脈が火山岩体の賦存範囲外に現われ、したがつて火山岩自体よりも遙か晩期に生成されることが確かめられたので、まもなく忘れられていた。メキシコの鉱床例をみれば、鉱化作用特性に及ぼす pre-heating 現象の先在影響に関する考え方に戻ることができる。しかし多くの場合熱源としては、具象的な地下火山体でなく、新期火山活動地域に発達する割れ目に沿つて循環する熱水を含めて、全マグマ・熱構成物質系を考えることが可能である。このようにして次のようにみると次のような結論に到達する。温度要因は、鉱化作用型の現出において、貫入活動を中心とする鉱床の分布において、鉱床自体および個々の鉱脈——同一鉱脈の異なる部分を含めて——における鉱化作用型においてきわめて大きな役割をなしている。鉱床および鉱脈の帯状構造に関する問題は、とくに検討することが必要である。

鉱床および鉱体の帯状構造、鉱床および鉱体の帯状構造は、S. S. Smirnov, V. A. Nevskii, F. I. Volson, V. I. Smirnov がとりあげている。したがつて本論文では、個々の鉱床の構造における帯状構造の発生も、主として温度要因によつて条件付けられることのみを指摘しておく。

この場合活性化貫入活動の影響の下では、貫入活動は造鉱物源の冷却に従つて減衰し、緩進化し、裂か発生期には貫入活動によつて供給される溶液(熱水)の組成が変わる。したがつて裂かの発達様式は、鉱液の供給および鉱液の空間内における分布を決定する。この意味においては、鉱液の供給、分布の調整器(regulator)としての造構因子はきわめて重要である。さらに鉱脈の鉱物組成も、鉱液組成の連続的变化特性と鉱液の上昇通路および充填裂かにおける可変(性)温度条件によつて決定される。温度変化は、まず第1に、貫入活動中心およびその周辺の一般熱様式によつて左右される。この場合には、2帯状性型——脈動(造構)型と温変型——は、1型が他型を background として同時に出現する。

鉱体は垂直断面に沿つて安定しているから、鉱化作用が緩変化しても、鉱体はこの方向(深部)に続いていることを指摘せざるをえない。メキシコでは鉱体は、深部に下るにしたがつて、銀・鉛の含量が低下し、銅・亜鉛の含量が一層緩慢に減少する型をとつている。このような垂直帯状現象は、上述の水平帯状現象と全く一致し、鉱体の傾斜に沿つて400~1,000 mの距離にみられる。このような垂直断面の鉱化作用変化は、チエコスロバキヤ(Prishi Bram)および沿海州のTetiukhen 鉱床地区でも指摘されている。したがつてこの種現象は、偶然的なものよりも、むしろ合法的なものである。

上述の帯状型は、Bilivin が確認した沈殿帯状構造である。しかし異なる条件のもとでは各鉱体における鉱物共生が独立に逐次交代し、上部鉱体の亜鉛の“根”の部分の下部に鉛の富鉱が新しい割れ目を充填して賦存している可能性があるという Bilivin 提案には賛成できない。

鉱石沈殿の1階梯の領域内における垂直の鉱化作用変化をみると、上部および深部における鉱物等が、当然同時に沈殿したものでないことは明らかになる。すなわち鉱物沈殿水準は、

環境および鉱液の温度の低下に従って増沈降するから、鉱物の生成は多時間性である。したがってこの考え方によれば、特定の微細な地球化学的差異、例えば、亜鉛に一層富む微細な地球化学的混物性質の変種の代りに、閃亜鉛鉱の含鉄変質が現われることが説明される。さらにまたこの考え方（増沈降説 progressive sinking）によれば、活性化火成活動源から離れた多くの鉱床にみられる鉱化作用が相当深部に続いていることが明らかにされる。

鉱物沈殿水準の沈降によって生成される垂直帯状構造の特性は、環境の温度条件の変化と鉱液自体の連続的可変（性）組成の変化との相関関係によつて決まるようである。この場合、深部では、一層高温鉱物類の出現を伴う正規帯状構造がみられるのが普通である。しかしある場合には、岩石の急冷、凝固によつて、逆の帯状構造が観察される。すなわちこの場合には、晩期の一層低温鉱物類が、鉱床の最深部水準に沈降している。

鉱物堆積物の逐次性の熱条件とともに、鉱床生成には、溶液内における鉱物成分の相対的濃集度が影響を及ぼす。例えば、鉱床中では、砒素に富む硫砒鉄鉱は、最初期鉱物の一つであつて、反対に、硫砒鉄鉱が僅少の鉱物混合物の構成物である場合には、硫砒鉄鉱は晩期混合物の一つとして鉱液から沈殿したものである。晶出時間の相関関係の多様性は、閃亜鉛鉱と磁硫鉄鉱、閃亜鉛鉱と方鉛鉱に対しても確認されている。したがって近似鉱物沈殿条件の下では、逐次晶出鉱物の典型的な系列は、多かれ少なかれ若干乱される。

沈殿の帯状構造は、脈動帯状構造の出現によつて錯雑化する。この脈動帯構造は、鉱物生成が中断され、新鉱物共生および早期沈殿鉱物の共生が分離されるので現われる。この場合新鉱物の晶出は、局在化し、既鉱（岩）脈の盤肌ねばの割れ目または新方向の裂か中にもみられる。しかし鉱液の新脈動の結果として現われる晩期鉱物共生は、同時に、環境の“熱”様式に支配される。この種現象は、晩期の鉱物特性の現われに反映し、ときには、鉱床の上部層準のみみられる。例えば Shervakovsk 鉱床（沿海州）では、毛鉱および石英・アンチモン鉱石は、初期に生成された鉱脈の盤肌ねばの新しい割れ目および鉱脈を切る裂かを充填し、そのうえ鉱床の上部層準のみみられる。晩期方鉛鉱は、Tetiukhen 鉱床と同様に、鉱床の上部にのみ限られている。しかし他の場合には、反対の相関関係、すなわち晩期鉱物生成物は、鉱脈の“根”を膠結し、著しく深部に下つてことがある。例えば、Khapecherang（バイカル）の錫石・硫化物鉱脈は、深所にさがると、晩期方鉛石の無鉛石鉱脈に代わっている。このような現象は、母岩および鉱液の冷却条件下で出現する最晩期鉱物の共生に特有な現象である。

最後に、晩期鉱物生成物は、初期鉱物の核を中心とする被覆を形成する。

このように、脈動帯状構造は3型に分けられる。(1) 正規帯状構造、(2) 逆転帯状構造、(3) 被覆帯状構造である。それぞれの帯状構造型の出現は、鉱物生成の熱条件ならびに裂かの造構発達様式に左右される。

以上のことから次の結論が得られる。すなわち帯状構造型は、きわめて多様である。したがって垂直・水平断面における鉱化作用の組成変化の合法則性問題を検討する場合には、ある一様式にのみ限定することは、正しくない。帯状構造の多様な型は、別々にまたは同時に現われ、鉱床地帯の長期間にわたる錯雑な発達産物である。鉱体と活性化火成活動源との結び付き形態は、時間とともに変わる。含鉱物溜は、深所から深所へ沈降するが、それと結び付く鉱脈は、一層大規模な、かつ普遍的裂かに裂か構造が進化するにしたがつて発達する。しかし鉱床生成の晩期階梯に及ぼす明白な影響は、火成活動の活動中心の熱様式である。既晶出岩塊の周辺部または潜在火山活動中心上の広域加熱現象は、長期間存在し、どのような原因で、帯状構造が発生するかには無関係に、垂直・水平帯状構造の出現および鉱化作用の特性を決定する。

帯状構造の局部的構成（母岩の帯状構造・構造帯状構造・優透帯状構造）

帯状構造の広域出現を background にして、局部的オーダの現象、例えば岩石の交代による鉱石組成の突変変化（Smirnov の岩石組成の帯状構造）が起る。この型の帯状構造例とし

ては (Tetiukhen) 上部鉍床の主要鉍体があげられる。この地域では、鉍化作用の特性は、著しく変わり、鉍体のみは石炭岩層から下部の珪質岩石類に及んでいる。こゝではスカルの巨葉片状灰鉄輝石に代わつて、陽起石を伴う緻密質スカルンが生成され、諸鉍体の性質自体および変質強度は著しい変化を示している。例えば同一水準の他の鉍体にあつては灰鉄輝石・硫化物組成と本来の石理の特性が保存されている。これらの諸現象およびその他の類似例によると、“岩石組成の帯状性”は、きわめて局所的現象であることが明らかである。岩石の帯状性以外に、structure setting の帯状性が存在する。カイテルによれば、構造型式および裂かの形態は、深所に下るにしたがつて普通変わるので定構造帯状構造について語る事が可能である。母岩の裂かの性質は、帯状変化と平行に、鉍体の形ばかりでなく、その組成がしばしば変わる。例えば、裂か系が一層複雑な鉍床の上部水準にあつては、割れ目が扇状型に（上方に向かつて）発達し、鉍石の組成が著しく変わつていることがある。このような現象は、応力の突変低下に起因するものである。例えば Prishivr 鉍山では、この種の割れ目の発達する箇所では、銀の最富鉍部が存在する。

局所現象には、主鉍脈と異なる枝状鉍脈状鉍体帯が入れる。この種の枝状鉍脈鉍体帯は、鉍床生成以前の巨造構擾乱帯付近地帯にしばしばみられる。この種の微細な割れ目の発達地帯には、主鉍脈と全く異種の鉍体が観察される。例えば、ある種の錫石・硫化物鉍床 (Khapecherang, Stalinsk) では、磁硫鉄鉍および磁硫鉄鉍・閃亜鉛鉍で代表される鉍脈は、割れ目が大規模に発達する地帯から離れると硫化物の分布がみられなくなり、枝状細脈系では、石英・錫石、または石英・炭酸塩・錫石組成の鉍脈が割れ目を充填しているが、ときには、硫化物鉍脈の鉍物組成に近いものがある。こゝではある種の（鉍脈）組成溶液が微側壁割れ目中に特異な選択侵透をしている。このような異なる性質の鉍石を伴う独立ブロックは、当然深所に続かず、空間的には、破碎地帯の範囲内で尖滅する。

ときには、このような破碎帯には、著しい圧低下と関連性のある気成作用の“flash”がみられる。この場合には特殊の鉍物系、例えば Tarbaldzaiskii 鉍山では、微割れ目地帯に石英・黄玉鉍脈が生成されている。

地表地帯の特性は、地表水の循環地域に発達する最新期鉍床にみられる。これら地帯では、上昇水と地下水が合体する箇所では、環境の化学機構は、著しく変わり、鉍体の深部では、みられない鉍物類が出現する。例としてはボリビアのある種鉍床の上部錫石質帯があげられる。この地帯は、酸素に富む水の循環条件の下で発達し、この地帯から僅か離れた箇所では、錫石は、本来の硫錫石に変わつている (Potocy)。以上のような多様な帯状構造型の出現を条件付ける要因中では、主要因と二次要因に分けるべきである。主要因には、温度、圧力、溶液中における造鉍元素の相対的濃度のような物理・化学的要因が確かに含まれる。他の条件、まず第1に、鉍床区（鉍脈を含む）の発達を時間的にそれぞれ決定する造構様式によつて、温度・圧力の広域変化条件を background として出現するそれぞれの帯状構造を誘導する。

帯状構造問題の研究を押し進める際には、鉍石の沈殿の多様な過程および多様な要因の影響を考慮に入れるとともに、その際温度要因を無視しないようにすべきである。