

## 火成岩と鉍脈との中間生成としてのペグマタイト\*

A. N. Zavaritskii

小西善治訳

1. 多くの研究者は、ペグマタイトをある意味において、火成岩の生成期の中間期を占める鉍物生成物とみなしている（この種火成岩は鉍脈と密接な関連性をもっている）。この種の考え方は、ペグマタイトが鉍脈と同様に、重金属の採取源となつている状態からまず起つてきたものである。この場合には、ペグマタイト岩脈の構成物質は、鉍脈の脈石としばしば比較されている。

岩石と鉍石との境界線は、周知のように、地球化学的指標によれば容易に引ける。岩石の組成中には“岩石源元素” (petrogenetic element) と名づけられている元素がはいっている。鉍石中に本質的に干渉しているものは、はるかに稀有な重金属元素である。しかし膨大な量の鉍石中——普通、全体として鉍脈をみてるならば——では、金属源元素はすべて副次的量を含んでいる。すなわち金属源元素は、岩石に比較して例外的に高濃集状態に達しているにすぎない。それとともに、鉍脈の構成物質の量は、岩石と比較して少なく、消滅状態にある。

ペグマタイトはこの条件を満足している。すなわちペグマタイト中では、まれには鉍脈と同様に稀有元素が濃集し、ある場合には、重元素が鉍脈を構成する固有な物質となつている。

たしかにペグマタイトは稀有の場合である。われわれの知つていようなペグマタイトでは、金属源でない固有な元素が濃集しているのが特色となつている。しかし随伴元素、または稀有元素は、稀土類およびそれに隣接する元素およびその構造が、典型的な岩石源元素に近い稀有元素で代表される。あらゆる場合を通じて、この種稀有元素類——構造からみれば原子——は、ダイメションについてみれば、自然界に最も普及している岩石の元素の原子と異なつている。

2. ペグマタイトと鉍脈と他の相似指標は、火成岩に対する比である。他の指標は、量的に少ない生成物で現わされるが、それとともに、一層晩期生成物であることである。火成岩よりはるかに晩期のペグマタイト生成物は、重要な意味をもつ特性が附加された指標である。すなわち地球化学的スケール (Fersman) では、ペグマタイトは残存溶液から生成される産物としてまず決定される。すなわち—残存溶液の産物—このような地質物体の主要な指標と考えられる。Fersman はすべての残存溶液についてはいえないが、残存溶液とそれから求められる鉍物集合体がペグマタイトであると、ペグマタイトの第3巻で執拗に指摘し、ペグマタイトの規定に、母岩と相似の指標——反対に岩石学上で重要である——を導入している。

3. ペグマタイトの生成期が、火成岩と鉍脈構成物質の生成期との中間の位置を占めていることは、ペグマタイトの推定生成様式——いわゆる揮発性物質が重要な役割を占める——と関連性をもっている。

マグマ：すなわち揮発性物質が、そのなかに溶解している珪酸塩熔融液であることは、火山地方の直接観察により、さまざまな鉍床研究の膨大な経験データにより、あるいは火成岩周辺の接触変質現象によつて立証される。

ペグマタイトは、直接観察が示しているように、岩石の晶出と関連性がある晩期のマグマ晶出産物である。したがつてマグマの晶出期には、揮発成分が残存溶液中に集まつているという考え方がでてくるのは当然である。しかし直接観察によらないから、ペグマタイト・マグマの

\* Заварицкий, А. Н. : О пегматитах как образованиях, промежуточных между изверженными горными породами и рудными жилами, Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях, Москва, 1955

観念については、とくに揮発性物質で富化された残漿として考えるべきである。他の論証としては、ペグマタイトは稀有鉱物類および稀有元素で富化され、その生成物中で、きわめて重要な意味をもっていることである（このために他の一連の考え方ができてきている）。最後にときにはペグマタイト中で出会う成長核（潜晶、ミアロライト）は、ペグマタイトの晶出期に放出された気体（ガス）の役割を直接示すものとみなされている。

粗粒構造・文象構造等は揮発性物質が熔融液中に存在することを直接示すものとみなすことができない。しかしこの指標も、溶液の粘性度を著しく低め、結晶作用を促進させる物質が溶液中に存在するという説に関連性がある。

ペグマタイトの物質的組成と母岩の火成岩との類似、構造の類似性とは考えられるようである。両者のおもな差異としては、粗粒であつて、見掛け上脈状賦存形態を示すことが、ペグマタイト・マグマの考え方の基礎となつている。ペグマタイトと関連性のある細脈型態の貫入現象とペグマタイト物質の周辺岩石への浸透性が高いこと——直接野外で観察される——とは、ペグマタイト・マグマの特殊の性質——高移動性と側壁岩石に活発に作用する能力——によることが考えられる。

このようにして揮発性物質に富む“熱水”ペグマタイト・マグマに関する考え方や、H. Scheiderhöhn (1941) の教科書でみられるような“liquidmagmatisch-pneumatolytische Mischgestein”としてペグマタイトをみる考え方がでてくるようである。

このような考え方は、現在の教科書 (Bateman 1941) にもみられる。Bateman によれば、いわゆる熱水階梯、すなわち純粋のマグマ階梯と熱水階梯——多くは前者に近い——との移行期であつて、ペグマタイト階梯に属すると述べている。

Niggli は最近の論文“花崗岩” (1942) 中で液体状熔融液からペグマタイト・水溶液・気相へ確かに移行することについて述べている。

4. Vogt, Niggli はとくにいわゆる熱水性ペグマタイト・マグマに関する考え方を物理・化学的に裏付けようとした。周知のように、ペグマタイトの生成解釈に対して、模式的な2成分系——非揮発性成分+揮発性成分——図を適用し、高圧力下では、この種成分は、相互に無限の溶解度をもつことができると考えた。この種の成分系図の利用にみられるある種の不合理性は、Vogt が許容し、次で Fersman の著書にも認められるが、現在なんらの意味をもっていない。この点については、Zavaritskii (1944) が以前に研究し、2つの状態について指摘しているのは重要である。これらの著者が名づけているペグマタイト・マグマに対しては、純粋のマグマ過程、ペグマタイト鉱脈の初期生成階梯から出発して取扱つている。Fersman がとくに強調しているように、この解釈による場合にはペグマタイト鉱脈は、物理化学的閉系の生成産物とみなされている。

高圧下のマグマにおける揮発性物質の溶解度の無限性——地質過程で達成される——は、このような解釈様式の必要条件となつている。ペグマタイト鉱床のような生成階梯 (geoface) の交番性の主要要因としては、温度の低下が考えられる。

高圧下では揮発性物質が珪酸塩熔融液にほとんど無限に近い溶解性を示すという考え方は、さしあたり実験データと矛盾しなかつた。すなわち Niggli と Vogt とがペグマタイト生成の解釈を提案した当時には、実験データがなかつたので、この成分系図表は地質家を満足させていた。

しかし Goranson は、花崗岩熔融液中における水の溶解度を解明し、この溶解度がきわめて制約を受けることを明らかにした。したがつて地質条件下では、あらゆる確率を考えても、ペグマタイト過程の解釈の図式として、上述の成分系の適用を裏付けるような前提が顕在化しない。

5. 同時に、稀有鉱物および稀有元素としてまず出発しているアメリカのペグマタイトの研究者は、鉱物の置換 (交代) 現象に留意していない。この交代置換は、とくにペグマタイトの初期生成階梯自体の特色となつていないが、次階梯に特徴的に現われ、ペグマタイトに特徴的

な稀有鉱物類の出現と関連性がある。類似の置換はとくによく知られ、鉍脈中にいたるまで研究されている。

ペグマタイトの生成は、鉍石を含む——溶解している場合に起るような——流動溶液の発達と関連性があるという考え方が起きてくるのは当然である。したがって、ペグマタイトの生成は開系として取扱うべきである。

ペグマタイト鉍脈の交代置換現象は、きわめて明白で、至る所で認められている。とくに特徴的な、かつ重要な過程は、交代現象の出現時に普通認められる曹長石化作用である。この種の転移と置換とは、鉍脈を形成するペグマタイトの発達を助長する溶液の影響によつて起る。

この考え方を発展させた Sheller は、さらに一方を進めて主要ペグマタイト鉍物——そのなかに microcline を含む——の形成における既知の役割をこの種溶液にきしている。

この種溶液がポタシウム、アルミナ、シリカ以外に、少量の他種鉍物物質を含んでいるならば、この種溶液は、初期の（火成）長石と平衡状態にあつて、転移作用を蒙つた細粒の正長石に及ばされた特異な slacking および再結晶作用のみが認められ、それとともに現在みられるきわめて多量の微斜長石結晶が形成される。

6. Ilimskii 山を研究した (Zavaritskii 1939) ときには、再結晶作用によるペグマタイトの生成現象は、さまざまな形をなして観察された。典型的な型はミアスク岩中に賦存するミアスク岩質組成のペグマタイトである。横切鉍脈中では、ミアスカイトの relict 中に出会い、そのなかでは片麻岩構造の跡が保存され、鉍脈の走向に沿つて追跡された。縦切鉍脈ではペグマタイトの構造転移が漸移的に起るのがとくに特色となつている。類似の現象は、花崗片麻岩地帯でも認められるが、明確性を欠き、一層複雑な関係を示している。閃長岩——横切岩脈——が分布しているのは——霞石閃長岩と片麻岩質側壁岩石との反応産物を確かに示すものである——複雑な関係を現わしている。

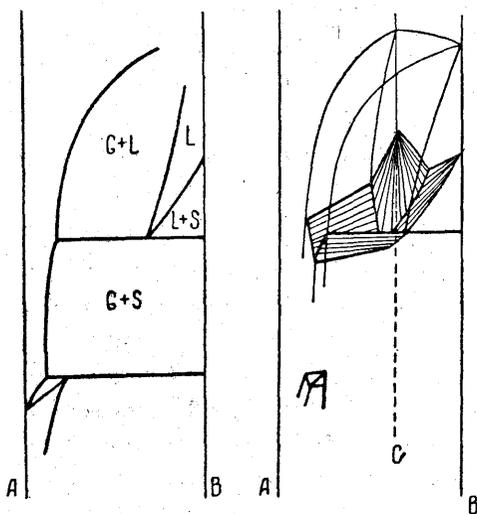
花崗岩質ペグマタイト中では両盤岩石と同一配位方向に排列する捕虜岩が、ときには特徴となつている。

ペグマタイトの貫入現象は、長石化作用と両盤岩石への長石の鉍染作用と密接な関係をもつている。この種現象は、変質作用による鉍物結晶の交代性発達ときわめてよく類似している。

7. 単純化された2成分系および3成分系——成分の一つは揮発性成分である——の理論的吟味は、ペグマタイトの生成方法を理解するうえにおいて最も重要な意味をもつていることが考えられる (Zavaritskii 1944)。

V. A. Nikolaev (1945) は、珪酸塩マグマでは揮発性成分の溶解度が著しく制約されることを主張している。Goranson の実験を引用し、その実験データが自然現象の量的面的評価に、どの程度利用できるかを吟味していないが、揮発成分を含むマグマ系が冷却した場合には、臨界現象が起らないことを裏付けている。したがって凝固は、気相の分離によつて完成する。この場合、きわめて重要な状態は、この新気相が晶出する固体状鉍物と平衡状態をなして出現することである。この種気相は、それで飽和されている溶液を代表する。

もちろん、気相中には、“分子”状



第 1 図

態をとらないで溶解しているカリ長石と石英とが共存する。すなわち水で飽和された食塩溶液では、塩化ナトリウム分子が存在しないで、食塩がナトリウムイオンと塩素イオンとに解離するがこのような状態で気相中の組成成分が存在する。

しかしマグマの凝固の際に析出される気相は、その特異な生成様式によつて造岩鉱物に対して飽和された溶液である。

岩石を構成する鉱物で飽和された、このような気体溶液のマグマの発達が、一定の階梯で出現することを必要とするのは、理論的解釈では新しいペグマタイト生成過程を必要とすることである。この過程は、すでに引用された Sheller の仮説、および多くのペグマタイト研究者の観察の物理・化学的基礎をなすものである。

8. 系一鉱物類+それに飽和された溶液は、同一鉱物からなる一層細粒岩石の再結晶作用によつて、粗粒ペグマタイトが生成される源泉である。これは、Sheller が上述の引用中で述べているペグマタイトの巨結晶の生成される経路である。この種現象は、本質的には、沈殿物を一層粗粒とするために求められた沈殿物を、飽和溶液中に放置する分析学者の取扱かう現象である。細粒鉱物集合体が一層粗粒集合体に転移する過程では、エネルギーの放出がある程度起り、好都合な条件下では自然に構造変形が出現する。

このような考え方によればペグマタイトの主要鉱物の生成——特異な集合晶出作用過程——は、変質過程に出現するものであつて、特殊の溶液または熔融液が晶出するものではない。

そのために必要な条件は次のようである。

(1) 鉱物集合体とその飽和溶液との共存、この種溶液の生成(出現)方法の必然的な結果である。

(2) 晶出作用に必要な時間、すなわち求められる溶液が疎外されないで、大規模なペグマタイト体中に保存されるために必要な条件、この条件は、外圧と不浸透性側盤——溶液の移動を阻げる——と関連性があるはずである。すなわち圧は深度によつて異なってくるから、この考え方は、ペグマタイトが、比較深所で定着する貫入に伴うという既知の事実が説明できるであろう。上述の経路でペグマタイトが生成される場合には、マグマの凝固の際に出現するガス質溶液の飽和鉱物は、溶液から離れないから、反応系は、依然として閉系状態にある。

模式的な2成分系では、非揮発性成分+揮発成分、気体相の分離、系の転移である。すなわち結晶+流体→結晶→気体は、逆行沸騰 (retrogressive boiling) の不変 (invariant) 点に対応する。一層複雑な天然系では、沸騰間隔があつて、その沸騰間隔の範囲内では、流動気相と沈殿物——多数の固相を形成する——の組成は、ある範囲内で変わるが、この場合流動相は、ペグマタイトの主要な鉱物類と平衡状態にある。気体溶液は鉱物で飽和されているからである (Zavaritskii 1944)。

9. このようにしてペグマタイト体は、再結晶(物質)体——鉱脈状、パイプ状、層状型態——か、あるいは母岩部分からなつている。すなわち花崗岩・アプライト・閃長岩・霞石閃長岩・閃緑岩あるいはハンレキ岩である。鉱物組成からみれば、ペグマタイトは母岩に対応するという基礎的事実は、この観点からまったく明らかである。すなわちペグマタイトは、この種岩石の再結晶によつてのみ生成され、この過程では、組成の主要特性は本質的には変わらない。

このようにして気相(流動体)は、晶出マグマの凝固階梯に生じるから、ペグマタイトへの転移過程では、晶出マグマの晩期分化作用を受けるはずである。このような晩期分化作用の産物には、ほとんど共融関係に近い状態にある岩石類が属している。この種の岩石類は、花崗岩と霞石閃長岩である。この種組成のペグマタイトはとくに典型的である。ハンレキペグマタイトは、出現頻度が乏しい。閃長岩ペグマタイトは、多くの場合複雑な反応産物を代表している。

晩期分化物が揮発性成分に富んでいることは、当然考えられる。しかしこの富化度は、その組成が普通の花崗岩マグマ・霞石閃長岩マグマおよびその他のマグマと本質的に異なる特殊のいわゆる“熱水性”マグマとみられるほどには大きくない。揮発性成分(流動状態)を含む熔

融液の結晶作用では、実験結果で明らかなように、一層粗粒の集合体が生成される。しかし残存珪酸塩熔融液——ペグマタイトが生成される——中には、多量の揮発性成分を含んでいるならば、粗粒ペグマタイト構造の初期発生はきわめて疑わしい。この種の初期結晶作用過程を明らかに示しているような事実は、われわれが述べた上述の結晶作用のように、多くの構造的指標を確認した場合に知られる。

長石と石英とで飽和されたガス溶液——花崗岩マグマから誘導される——と側壁岩石との反応が起ると、すでに溶液中に存在する構成部分を媒介として石英および長石が生成されるばかりでなく、石英・長石からなる部分、すなわち側壁岩石の組成中を含み、石英・長石の生成のためにそれらから借りる珪酸、アルミナ、アルカリ——後者は附加される——からなる組成部分を媒介として長石・石英が生成される。

このようにしてよく知られている側壁岩石の花崗岩化作用が行われる。したがって上述のような生成様式にペグマタイトの成因を帰しえられるならば、花崗岩化作用とペグマタイト化作用の結び付きが明らかとなる。この種の現象は、最近述べられている片麻岩化作用の交代性(生成)様式に関する考え方に答えるものである。しかし著者はこゝではふれないが、特殊の問題である。

10. このようにして特殊のペグマタイト・マグマまたは特殊のペグマタイト熔融液はまったく考えられなくなる。

主要鉱物類の生成は、この種鉱物類と平衡状態にある“分離揮発成分相”の作用下で、同一鉱物類の再結晶作用によるものである。この種の再結晶作用現象は、実際上閉(反応)系内で起る。

特殊のペグマタイト・マグマまたは特殊のペグマタイト溶液の存在は、否定するが、著者は、再結晶作用で発生するペグマタイト生成溶液を考えたい。この種溶液は、鉱床を形成する元素がマグマから運び出される溶液そのものである。

溶液が分離された初期モーメントには、溶液は主造岩鉱物で飽和されているが、ペグマタイト鉱物および鉛石に固有な稀有鉱物では飽和されていない。したがってこの初期モーメントでは、稀有鉱物は、溶液からまだ遊離、沈殿しない。

その後のこの種溶液の挙動は知られている。

この種の遊離揮発成分相——ガス溶液——は、側壁岩石を通つて拡散し、そのために溶液は複雑な組成となり、分溜作用(fractional distillation)を受ける。“ペグマタイト化”の要因となる溶液の組成は変わり、そのためには一方では溶媒の組成変化が始まり、溶解物質が沈殿するが、他方ではそれと(揮発性成分)平衡状態にある鉱物類は溶液の組成変化で不安定となり、すでに平衡状態で他の鉱物類(元素)と存在しなくなり、新たに溶解を受け、新鉱物類による置換が起る。

閉系は、溶液から若干の構成成分が遊離、沈殿するので開系となる。この種の現象は、鉱物の交代性置換が出現するペグマタイトの生成に反映している。

このようにして物理化学的観点から、また構造関係の著しい変化をみれば、ペグマタイト鉱脈内における鉱物生成の初期階梯——造岩鉱物の再結晶作用が主として起る——と次階梯——主として初期鉱物の置換によつて一層稀有鉱物類が生成される——との間に明確な境界面が引かれる。最も初期に出現し、普遍的にみられる鉱物——交代置換階梯系列の成立へのみちを開く——は、曹長石(cleavelandite)としばしば微斜長石内にみられるペルト曹長石である。

カリ長石の置換によつて曹長石が生成されるのは、溶液からカリウムが運び出されることと関連性がある(Bowen 1937)。すなわち溶液中におけるナトリウムの濃度が相対的に上昇すると、カリ長石は溶解し、ナトリウムが沈殿する。カリウムがペグマタイトから運び出されることは、直接の観察によつて確かめられる。ペグマタイト体から流れでる溶液と側壁岩石とが反応を起す箇所——そこに礫岩・蛇紋岩および塩基性岩石類が存在する場合——では、カリ質溶液と反応して、ペグマタイトの周辺部に黒雲母の岩枝が生成される。

11. このようにしてペグマタイトに曹長石が生成されていることは、既形成晶質塊 (crystalline mass) で飽和された溶液組成の変化を示すものである。曹長石化作用のほかに、この種の組成変化が起ると他の鉱物類の沈殿を誘導する。實際上、ペグマタイト中でみられる稀有鉱物類——tantaloniobate, ザクロ石, トバズ・ベリリウムのような鉱物類等——が出現しているのは、明らかに曹長石化作用と関連性がある。しばしばこの種の結び付きは、曹長石化作用を蒙った部位に、この種鉱物類が定着しているので明確に認められる。

著者は、曹長石化作用が所によつては、強度に発達し、ペグマタイト体の大部分が曹長石の結晶状 (構造) 集合体が葉状集合体にまったく転移し、そのなかに稀有鉱物 (ペグマタイト) の混在している場合を知っている。このような部位にみられる曹長石の鉱物集合体は、ペグマタイトと呼ばない方がすでに適切である。この種集合体は、曹長石岩である。

このような曹長石岩体中では、少量の微斜長石または ichthyoglypts 型の石英が残存している部分がある。このような鉱物によれば、ペグマタイトの初期の性質を知ることが可能である。ときには曹長石とともに、雲母、ザクロ石およびその他の鉱物類が発達していることがある。

ある種の場合には、石英の ichthyoglypts 型は、ペルト長石のレンズを切つているので、ペルト長石よりも新しい時期に生成されたという仮説が述べられている。cleavelandite 質自形曹長石とペルト長石も区別され、微斜長石および長石より一層早期に生成されたと考えられているが、これは信頼度の低い指標によつている。多くの場合、石英の曹長石化作用および葉状 cleavelandite 曹長石の集合体による石英の置換は、疑がないようである。

12. ペグマタイトの生成によつて生じる再結晶作用化像は、ときには、ペグマタイトがとくに aplite と共存している箇所に発達する多くの鉱脈中で相当明確にみられることがある。このような箇所では、鉱染状態で晶出した長石の巨大な単結晶が細粒 aplite 塊中に判然と認められるような形をとつて、aplite がペグマタイトに転移する場合が知られている。この種の長石の数が増すと、石英の粗粒結晶とともに、aplite 塊に置き変わる。ある種の aplite (Bastine) は、粗粒構造よりも、不均一粒状構造をペグマタイトの一層特徴的な指標と考えている。ときには aplite の再結晶化作用は、例えば盤壁の一定の中心部に始まり、きわめて明瞭に認められることがある。aplite の側壁に成長する長石結晶は、Uspenskii が記載したような特徴的な形態を示すことがある。

ペグマタイトは、文象構造で特色付けられる。Fersmanによれば、この種構造が生成される場合には、石英に対して長石の結晶格子の誘導 (induced influence) 影響が起る。

Fersmanはこの種の誘導影響が長石と石英が同時晶出する場合に起ると考えている。この場合、早期生成の長石の配位影響の跡を石英の文象状排列に認めるのには、なんら妨げられない。さらに石英によつて長石が置換されている場合でも、この種の影響が認められる。

きわめて重要な構造は ichthyoglypts 構造である。この種構造は、粒状石英集合体で代表され、A石英のB石英への転移が起ると述べられている。したがつてペグマタイトの再結晶化作用の初期階梯は、575°以上の温度でおそらく発生するようである。

さらに粗粒集合体に再結晶している場合には、さまざまな鉱物物質の分結がすでに起る。分結はときには著しく高度に発達していることがある。すなわち長石および石英の型態で独立の集合体を形成している。Shellerによれば、長石が鉱脈の側部に、石英が中心部——またその反対現象——に集積している箇所にみられるペグマタイトの分帯現象は、この種分結作用の最終階梯を示すものと考えられることができる。

13. (残存ガス溶液の干与下での) 再結晶作用を媒介とする、ペグマタイトの生成に関する進歩した考え方と関連して、とくに興味をひく現象は、ある種の塊状火成岩の全塊についてみられる現象であり、一定の鉱脈、塊状鉱床または割れ目の周辺部に集中的にはみられないが、類似の再結晶化作用とまた関連性をもっている現象である。この種現象としては、まず一般に

一層粗粒結晶を縁取るミアロ構造の周辺部の再結晶作用の跡である。さらにこの種の興味ある現象としては、ある種花崗岩塊中に普遍的にみられる小ペグマタイト質シユリーレンがあげられる。普通にみられるこの種岩石種中に粗粒のミアスカイの徴集合帯およびペグマタイト状線状帯が発達しているのも、この種の現象群に属する。このようなペグマタイトの nest, 小シユリーレンおよび集合帯中では、典型的なペグマタイト鉱脈に特徴的なペグマタイトの稀有鉱物類に出会す。

14. ペグマタイトを生成するガス溶液は、全塊にわたって母岩の結晶作用によつて生じると同一のガス溶液である。著者は、珪酸塩熔融液のように、マグマが岩石に転移後も残存するから残存溶液と名づける。造岩鉱物に（溶液中に飽和されて）対するこの種溶液の作用は、任意の箇所不起り、ペグマタイトの生成に好都合な箇所に濃集、集中し、目にみうる明確な結果を生じる。したがってペグマタイトの生成とさらにその成長を誘導する諸現象は、多くの箇所でもた母岩の任意の箇所ではほとんど常に痕跡の形態で認められることが期待される。

実際上まったくこのような状態が起つてくる。ときには、注目をひかないが、岩石の検鏡によつて、ときには認められるような構造特性（全系列）が、例えば火成岩の鉱物の生成期より一層晩期の再結晶化作用、または集合結晶化作用の現象を示すことがある。多くの場合、花崗岩の構造（霞石閃長岩）と類似している確率が多いが、全変晶質的（crystalloblastic）な容貌は、このような再結晶作用の出現によるものである。ポイキロフィチック構造を示す他の鉱物類を伴う斜長石の粗斑状変晶は、再結晶化（作用）現象を示すものである。

花崗岩および霞石閃長岩中に誘導鉱物類、例えば曹長石・白雲母が発達しているのは、ペグマタイト中における同種鉱物類の出現と多くの点において共通性をもっている。最後に同種鉱物が多く火成岩中に稀有随伴鉱物——この岩石のペグマタイトの特徴的な鉱物、混合物として出現する——として存在しているのは、この種鉱物類の源が同一溶液であることを示している。両者の違いは、主として誘導岩石からの分結様式にある。

15. ペグマタイトの母溶液は、母岩の造岩鉱物と平衡状態にある。この事実がこの種の作用の原因となつている。結晶作用下のガス残漿のほか、類似の現象を呈する他の場合を指摘できる。後火成期型の鉱床において、いわゆる正岩漿質鉱石が生成される場合である。

流体型態へ（liquefaction）溶解（流体相と非混合性）すると、珪酸塩熔融液が消失し、凝固岩石へ転移後に、珪酸塩類で飽和された（流体状）鉱液が残留し、晶出作用はその溶液から引き続いて行われる。この種鉱液は、岩石の再結晶化作用と層粗粒質のペグマタイト相の生成とを促進する（好都合な状態の下では促進されるはずである）。このように考えれば、S. A. Kashin が詳しく述べている Vorkovsk 鉱床の興味ある特性と、ハンレキ岩中にみられるチタン硫鉄鉱——ハンレキ岩のタキサイト質変種中に鉱石が賦存しているといわれている——とを簡単に解明できる。さらにまたシヤンタン・マグネトクのチタン磁鉄鉱鉱床中で長石・角閃石のペグマタイト質粗粒分結現象がしばしばみられるのも解明できるであろう。

L. F. Murashov の記載している Pudozhgor 鉱床は、鉱床の賦存しているハンレキ岩・輝緑岩が単純な存在状態を示すので、この関係に対してとくに教訓的である。鉱体の上半部では、輝緑岩は粗粒構造を示すが、上盤側では、輝緑岩は、ペグマタイトに近似の粗粒、優白質変種に移行する。

現在の考え方によれば、あらゆる類似の鉱床における鉱物物質は、珪酸塩物質の晶出によつて流動、液体相の形態で遊離される。この過程では、流動、液体状鉱液と平衡状態にある固体珪酸塩相の共存によつて完了する。この過程では、晶出鉱物で飽和された溶液とともに珪酸塩岩石が“滯溜”しているので、再結晶化作用が行われ、鉱物粒の不均衡肥大が起る。したがってタキサイト状構造が出現する。

16. ペグマタイトのある種の稀有鉱物類は、蒸溜によつて溶液の組成変化が起るので、きわめて早期に沈殿する。おそらく微斜長石と石英の溶液との平衡が乱されない状態のときに沈殿

するであろう。この種鉱物類は、一層初期の析出物として微斜長石・石英の包有鉱物となる。したがって初期析出産物は、交代産物と混同してはならない。

初期析出鉱物類にはベリリウムが属している。ベリリウムは微斜長石および石英とともにしばしば曹長石化作用を蒙っている。この種鉱物（微斜長石・石英）は、曹長石化作用と同時期に生成されることが考えられる。同一現象は白雲母、ある場合、黒電気石・ザクロ石・ニオブ・タンタル酸塩系列が考えられる。

リチウム鉱物類、おそらく錫石は、一層後期の階梯で沈殿する鉱物類である。この場合このような沈殿はリチウムおよび錫が初期階梯でカリウムが運び出されるようペグマタイト体から運び出されないときには可能である。

ペグマタイト中において一層晩期の鉱物類としては、硫化物および炭酸塩が存在する。しかしこの種鉱物がこのような生成状態をとることはまれである。硫化物物質は、一層早期階梯でペグマタイトから運び出され、例外的な場合にだけ、岩石中に吸収される溶液中に残存するから、溶液の冷却によつて、上述の鉱物類の沈殿が可能となる。

このようにして物質の分化階梯では、鉱化溶液は、鉱脈中におけると同一の反応経路をとる。すなわち一鉱物は沈殿し、溶液は流動を起し、他の箇所に移動し、組成が変わり、新しい条件の下で新鉱物の沈殿が始まる。等

蒸溜進行行程と、それに引き続いて熱水溶液が置換によつてペグマタイトから追い出されること——ガス溶液の冷却によつて求められる——は、稀有であるが、ペグマタイトの特徴的な随伴鉱物の共生関係を決定する要因となる。すなわち一方では、ほとんど稀有元素が運び出されるが、他の場合には、冷却階梯が著しく進行する。まず溶液中に抑制され、初期階梯に欠く鉱物類が出現する。一方においては、圧力の大きさとその変化と、他方では冷却速度は、蒸溜進行過程を決定する最も重要な原因となる。

17. もちろん、さまざまなマグマ中における揮発成分が異なる。したがって主要鉱物で飽和され、鉱物がペグマタイトに転移する場合の誘因となるガス残液は、さまざまな岩石中で異なってくる（この残液がペグマタイト中に集まる）。

したがって鉱化作用の観点からペグマタイトを系統づける場合には、*mineralizer* の含有量に対するマグマの差異を考慮に入れるべきである。この指標がいわゆる火成岩区または火成岩体層を形成する。個々のペグマタイト岩体を検討する場合に、われわれはガス溶液におけるそれぞれの、元素の存在、または非存在について自信をもつていいうことは不可能である。この種溶液中に存在した元素は、一方では、溶液とともにペグマタイトから追い出されるが、他方では溶液から沈殿する（ペグマタイトの生成条件に左右される）。

したがって鉱物の共生関係を基礎にして、ペグマタイトの成因的系統づけを行うことは、きわめて困難で、かつ複雑である。この場合には、まずマグマ組成における端初差の可能性を考慮に入れるべきである。この場合基礎となるのは、岩石学的生成物体——ペグマタイトが含まれる——の広範囲にわたる *metallo-genetic* 研究である。他方においては、ガス溶液の分化過程——母岩のペグマタイトへの転移手段となる——を考慮することが必要である。ペグマタイト自体における鉱物の共生関係、*wall rock alteration* およびペグマタイトと地質学的に結びついている鉱床の特性との詳細な研究は、この関係に対して助けとなる。現在ペグマタイトとその *Geological setting* との総合的な対比的研究は、系統的にまだ行われていない。

18. すでに述べたように凝固マグマの析出産物は、鉱床へ転移——この種のマグマと関連性をもっている——する鉱石物質の相体で代表される。この種溶液は、ペグマタイト岩石を生じる岩石塊を離脱する前に、いわゆる岩石塊中に抑止され、割れ目に沿う箇所およびマグマの最終凝固部分によつて生成される鉱脈中に、ペグマタイトが生成される。冷却岩石塊から地表面への通路へ、溶液によつて運び出される物質は、多様な鉱脈・鉱床を形成する。さまざまな貫入現象と関連性があるペグマタイトと鉱脈との間には、周知の対立作用 (*antagonism*) が存

在する。この対立作用は、ペグマタイトと鉍脈とが発生する結果として働く。

上述のことから、ペグマタイトおよび鉍脈中にみられる共通的なものが誘導される。ペグマタイトは、後火山作用期の残滓と岩石——この場合には母岩石——との相互作用産物である。この種溶液は、相互作用が進むにしたがつて、組成変化が起り、さらに岩石との相互作用が持続する。ペグマタイトおよびときには他の火成岩中では、われわれは曹長岩が生成されているのをすでにみた。鉍液が岩石に及ぼす影響がさらに進行すると、グラインゼン、beresite 等が発生する。ペグマタイトで始まる系列の変質作用産物を時間断面における継起性のオーダーと温度低下のオーダーによつて配列すると次のようになる。

ペグマタイト

曹長石・黒雲母質岩石

グラインゼン、およびある種の雲母質岩石

beresite, listvenite

絹雲母化岩石・二次英石・滑石・炭酸塩質岩石・緑泥石質岩石

これは一つの例にすぎない。この種の変質化作用を蒙つた岩石の系統化ははまだ明らかにされていない。しかし field では大きな価値をもっている。したがつて系統化されることが自信をもつていいられるであろう。ペグマタイトは、変質岩石中で特異な位置を占めている。ペグマタイトと熱水鉍脈とを比較する場合には、厳密に言えば、ペグマタイト物質と鉍脈の構成物質とを対比すべきでなく、1 鉍脈に伴う熱水変質を蒙っている wall rock と対比すべきである。

19. ペグマタイトは上述系では最初の位置を占めているから、この点に対して、特別の意義を強調すべきである。ペグマタイトは、火成岩の鉍物と残存溶液との間の平衡が依然として乱されていない条件下で起る変質岩石である。ペグマタイトの生成では、依然として閉系下でこの種鉍物の生成過程が閉状態で進むとともに、一方では開系の下で(原則的に)新現象過程系列が始まる。しかしこのような状態は、火成岩の造岩鉍物と同一のペグマタイトの主要鉍物類の生成環境にのみ成立する。同一ペグマタイト岩体では、他種の変成作用過程が始まり、上述例の初期生成物が形成されることがある。

ペグマタイトにみられる変成置換系列の与えられた階梯では、アルカリ交代作用現象が興味がある。すでに述べたように初期現象の一つは、曹長石化作用である。溶液中におけるナトリウムの相対的濃度が高まると、カリ長石は曹長石で置換される。それとともに、溶液中における稀土類金属の濃度も高まる。すなわち一方では、ルビニウム・セシニウム、他方ではリチウムの含量が増加する。ウラルの有名な天河石ペグマタイト中では、ルビジウム(幾分セシウム)が濃集し、微斜長石の天河石化が行われ、その後ペルト長石構造と微斜石 cleavelandite 質曹長石の包有物が生成された(Zavaritskii 1943)。

溶液中におけるリチウムが集まり、濃度が高まると、曹長石化作用の生成期と時間的に近い時期に生成されるリチウム鉍物類が出現する。この種鉍物中で最も普遍的にみられるものは、リシアン雲母であつて、曹長石・石英・稀有鉍物——例えばタンタル・ニオブ酸塩および錫石——と共生関係をなしてしばしば存在している。ときにはリシアン雲母脈は、ポルツクス石を切り、リチウム交代作用の初期より一層晩期に生成されたことを示していることがある。一般的にいつて、錫鉍床——ペグマタイトと鉍脈とがとくに密接な関係がある——に特徴的にみられるリチウム雲母は、一層晩期に生成される確率が高いようである。

20. リシアン雲母と石英とが発達すると、普通錫鉍床に伴うペグマタイトのグラインゼン化作用が起る。グラインゼンは、錫鉍脈がこの種岩石を切るときには花崗岩・石英斑岩を置換するようにペグマタイトを置換する。

グラインゼン化物質と先ペグマタイト物質との関係は、ときには明確なことがある。ヨーロッパのきわめて明確なペグマタイト鉍脈の例は Scheiderhöhn の教科書にかゝげられている。

ペグマタイトは電気石グライゼン塊に残留物の形態で保存され、次いで石英帯の周辺部では、リシアン雲母質グライゼンで置き変わっている。Strerkin は、興味のある含錫ペグマタイトについて最近記載している。全ペグマタイトは、著しく曹長石化作用を蒙り、グライゼンは、分布度についても、おそらく時間的にみても曹長石化作用に次いでいる。錫石は“曹長石・グライゼン質共生鉱物”中では出会う。次いでこの種ペグマタイト鉱床中で特徴的な黝輝石は、分解して帯緑色雲母で置き変わっている。この種置換は、すでに beresite 階梯に対応するようである。興味があるのは、緩傾斜ペグマタイト鉱脈では、一層晩期の鉱物集合体が急傾斜産のものと比較して粗粒であることである。このような現象は、変質ガス溶液がペグマタイト物体から追い出される速度と関連性があるようである。

21. ペグマタイトの分帯、分化現象、すなわち長石がペグマタイトの中心部を占めているのは、このような分化現象を示す他の変質成鉱脈と比較できる。まず第一に、タングステン、錫鉱床およびグライゼン化作用と beresite 化作用とに関連性のある wall rock に特徴的な周知の雲母質 fring をもつ石英脈が頭に浮んでくる。實際上総鉱物組成からみれば、石英・雲母細脈は、グライゼンまたは beresite に対応するものであるが、この種の変質集合体の鉱物類はこゝでは割れ目の周辺部に帯状分布 (配列) をなしている。ある場合には、雲母の板状結晶の配列 (配向) 状態によつて次のことが推定される。すなわち (雲母はこゝでは石英の沈殿以前に割れ目の壁に成長し、皮殻を形成したものでなく、石英の沈殿と同時に成長し、wall rock を置換し、主として石英鉱脈から誘導されたことが考えられる。このことは、葉片状雲母の配列状態および fring から wall rock への雲母の移動から明らかである。

明らかな例はリシアン雲母の含錫鉱脈である。Berg によると、模式的な鉱脈断面——Scheiderhöhn があげている——は、約1mの厚さ (石英+雲母) をもち、そのうち40%は雲母にあたっている。錫石およびマンガン鉄重石は、雲母と石英との界面に出会う。類似の例は多くの鉄マンガン重石鉱脈でみられる。例えば、Boevke では1鉱脈の厚さは著しく薄く、1m以下で、cm であるがこの種の現象が認められる。

鉱物が分帯現象を示す可能な原因としては、溶液の鉱物構成部分——鉱脈の厚さによる——の濃集度の若干差、おそらくきわめて僅かな差が考えられる。この僅かな差が、例えば、鉱脈の wall rock (壁) を通つて溶液の構成物質の差動 (分化) 拡散を起す原因となつたことが推定される。

Mackey (1946) は、鉱液運動に及ぼす岩石のさまざまな浸透性の影響と浸透性差でできる barrier について最近留意している。このような barrier の形成 (spring 作用) は、鉱石物質の沈殿を誘導する。浸透溶液の類似の barrier 影響は、一層一般的な意味をもつていることを考えておく必要がある。この種の barrier の形成は、拡散条件を変え、そのうえ拡散条件は、溶液のさまざまな成分によつて異なるから、このような成分には barrier を浸透する以前とは異なる濃度の相関関係 (溶液の構成成分間に存在する) が発生する。しかし成分濃度の相関関係の変化は、溶液から若干の鉱物類が沈殿した結果であることに留意することが必要である。

22. Scheiderhöhn の教科書では次のように述べている。現在のペグマタイトから、地下深所の岩石 (grundgebirge) に新しい“アナテキシス”の新熔融が始つているのが認められるペグマタイト類似の細脈、レンズ、シユリーレンが認められる。この例としては、有名なノールウエー、フィンランドおよびその他箇所、南部 Schwarzwald および Freiburg 周辺の (堆積源) 片麻岩があげられる。“このアナテキシス・シユリーレンとペグマタイトと混同すべきでない。この種シユリーレンには、周辺媒質の鉱物類のみを含み、なんら気成の搬入物質が認められない。”

この考え方には賛成できない。本質的には、アナテキシス・シユリーレンと飽和ペグマタイトとは、相互に区別できない。構成物質は、周辺媒質から取り入れ、石英・長石で飽和された溶液から同様に生成される。しかしこの種の飽和鉱物物質は、花崗岩か、変成岩かまたは堆積

岩か——これらの岩石類の組成にはこの種の鉱物を生成するのに必要な珪酸、アルミナおよび（おそらくは）部分的にアルカリを含む——から借り入れる。

“気成鉱物類”は“現在のペグマタイト”に追加的に搬入されたものでなく、ペグマタイト岩体から差動（分化）拡散の下でペグマタイト生成溶液、すなわち石英・長石の飽和溶液から沈殿したものである。

アナテキシス・シユリーレンが生成される場合には、ペグマタイト溶液は膨大な全岩石塊中に浸透する。この場合、本質的には“現在のペグマタイト”のようにペグマタイト岩体が占める限られた空間からこのような差動拡散が行われない。したがってこの場合、量的には差があるが、本質的にはなんら変わらない。アナテキシス・シユリーレンが形成されている岩石類では、その組成がペグマタイトと若干区別される。しかし微斜長石および石英でペグマタイト生成溶液が飽和されている場合には、浸透岩石に作用し、微斜長石と石英脈が沈殿し、Bowenの“反応法則”——花崗岩の包有物の花崗岩化作用が行われる——によつて、この種の岩石が生成される。