

## 資 料

553.063=81=956

### 鈹床と貫入岩体(極東地区の南部地域)との成因的関連性に関する 岩石化学的判斷条件について\*

M. G. Rub

小 西 善 次 訳

鈹床と火成作用との成因的結び付きに関して考えられる論拠を検討する場合には、岩石化学的判斷条件が重要な地位を占めることが指摘されている。貫入と熱水現象との岩石化学的近縁性の意義については、特に最近 A.G. Betekhtin, F.N. Volfson, V.S. Koptev-Dvorhikov, S.D. Popov およびその他の人々が特に研究した。

極東の南部地域には、古生代後期の貫入岩系<sup>註1)</sup>が広域に分布している。この岩石系は3貫入相<sup>註2)</sup>の火山岩が逐次貫入して生成されたものである。

第1型貫入相は、ハンレキ岩・閃長岩・モンゾニ岩およびその他の岩石変種が属し、岩脈系列を伴う。第2型貫入相には粗粒黒雲母花崗岩、第3型貫入相は中粒、ときには斑状黒雲母花崗岩が入れられる。第2型、第3型貫入相にも、岩脈岩石を随伴する。

第1型貫入相の火成岩は、古生代前期の堆積物——最も広域に分布する岩石は石灰岩である——中に貫入している。この種岩石の接触部では石灰岩は様々なスカルンに転移し、ときには大理石化作用を蒙っている。

第1型貫入相の火成岩はすでに指摘したように、ハンレキ閃緑岩・閃緑岩・閃緑モンゾニ岩・閃長岩・閃長モンゾニ岩・花崗閃緑岩などで代表される。これらの岩石種は比較的小規模の岩体を構成し、10 km<sup>2</sup>以下の面積を占めている。さらにこの種の貫入岩は、背斜構造の核(軸)部を構成する周辺岩石の褶曲構造に一般に順応して賦存する。現在のデータを基礎におくと、この種岩石は、石灰岩で代表される周辺岩石が花崗岩漿で同化、生成されたことが考えられる。このような現象は、(1)大理石化石灰岩・石灰岩およびスカルンの捕獲岩が多数存在し、混生岩石類からなる岩体中で指摘されていること。(2)特異な岩石化学的特性が認められること。で立証される。混生岩石類は1変種から他変種へ局部的に、かつ迅速に不規則に交代すること。(3)個々の岩石変種自体が相互に、かつ迅速に転移すること。(4)岩石構造が部分的に変わること。(5)造岩鈹物組成が定量的に一定でないこと。(5)普通の岩石組成にはみられない異常な共生関係を示すこと。などで特色付けられる。全混生岩石変種中で特徴的な共生鈹物は、燐灰石と榍石である(第1表参照)。

多くのスペクトル解析によれば、混生岩石は一方ではこの種貫入岩系の一層晩期相の花崗岩に固有な共生元素、Be, Zr, Ga, Sn, Fを含むが、一方では基性岩石に普通にみられる共生元素、Co, Ni, Crを含む。

弗素およびベリリウムの含有量は化学分析で確認されている。

第2型貫入相は、混生岩石類を断ち切つて貫入した粗粒黒雲母花崗岩で代表される。この種花崗岩は、巨大な貫入岩体を構成し、その拡がり、100 kmにわたっている。花崗岩中の雲

\* Rub, M. G.: О петрохимических критериях связи оруденения с интрузиями, Известия академии наук СССР, Серия геологическая, No. 4, 1956

註1) 貫入岩系とは、ここでは G.D. Afanaser が規定しているように、貫入岩およびそれと関連のある後火山作用の生成物を総括したものを意味する。ただし単一岩漿溜の活動に基づく1造礁、火山輪廻期に生成されたものとする。

註2) 貫入相とは、岩漿が時間的に独立に深所岩漿溜から地殻上部へ貫入する現象を意味し、与えられた貫入岩系系では共通な現象が認められる。1造礁火成輪廻期の1岩漿溜の成長と関連性をもつ貫入岩系系の限界範囲では、数貫入相が存在するはずである。

第1表 第1型, 第2型, 第3型貫入岩相の花崗岩中における重鉱物の分布

岩石と貫入相との名称	多量に出会す重鉱物	少量に出会す重鉱物	まれに, かつ少量に出会す重鉱物
第1型貫入相 混生岩石 (花崗閃緑岩・ハンレキ岩・花崗閃緑岩・モンゾニ岩・花崗モンゾニ岩, 変種)	燐灰石 榭石 磁鉄鉱	ジルコン ザクロ石 チタン鉄鉱 黄鉄鉱	螢石 銳錐鉱 金紅石
第2型貫入相 粗粒黒雲母花崗岩	ジルコン 磁鉄鉱	黄鉄鉱 燐灰石 金紅石 螢石 チタン鉄鉱 酸化鉄	錫石 硫砒鉄鉱 灰重石 ザクロ石 榭石 電気石 モナザイト 褐籐石 タンタルニ オビウム
第3貫入相 中粒・しばしば斑状 黒雲母花崗岩	ジルコン 磁鉄鉱	螢石 黄鉄鉱 電気石 酸化鉄	錫石 燐灰石 金紅石 銳錐鉱 灰重石 褐籐石 チタン鉄鉱 榭石 モナザイト ザクロ石

母の含有量は2%, 6~8%にわたり, そのうえ比較的雲母に富む花崗岩からそれを微量含む黒雲母へ転移するのが認められる。

第2貫入相の黒雲母花崗岩は検鏡によつて次の鉱物が認められている。主要造岩鉱物はカリ長石(普通微斜長石)・石英・斜長石(一般には灰曹長石, まれには曹長石・灰曹長石がみられる)および黒雲母である(共生鉱物は第1表参照)。

第2型貫入相に属する粗粒黒雲母花崗岩の構造は, 普通等粒状, 花崗岩状である。

古生代後期の貫入岩累系の第3貫入岩相は中粒構造であつて, しばしば斑状黒雲母花崗岩で代表される。

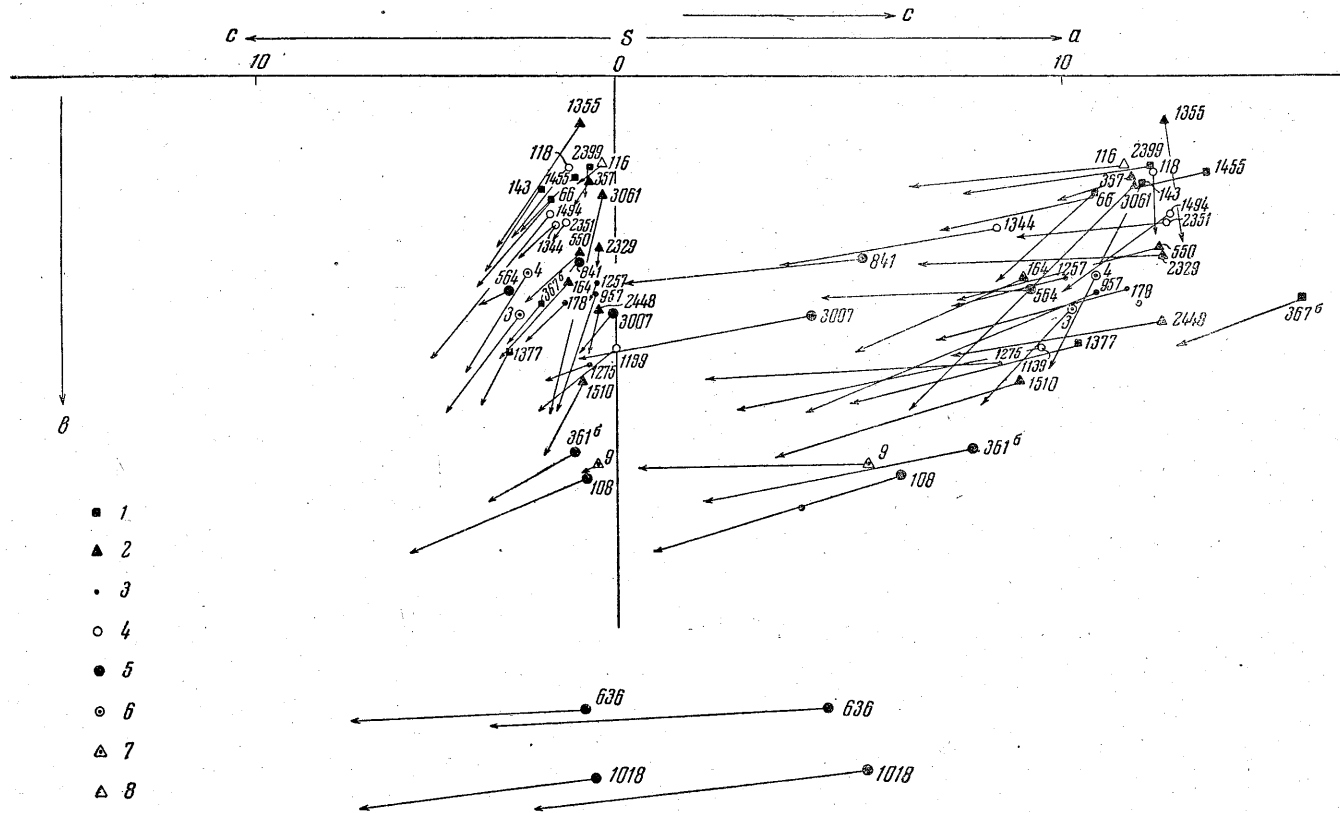
第2型貫入岩相の粗粒黒雲母花崗岩の岩石学的研究, 特にこの種岩石の共生鉱物, 化学組成, および元素の混在状態の特殊研究によつて, 鉱物学的, 岩石化学的特性が明らかにされた。この特性は次のようである。

1. 一般に微斜長石で代表されるカリ長石が斜長石に卓越している。
2. 黒色鉱物, 主として黒雲母が少量含まれている。黒雲母の含有量は局部的に零となり, アラスカ岩が生成されていることがある。
3. 共生鉱物中には, 多量のジルコンおよび少量の電気石, 螢石および錫石が存在する。第2貫入相の粗粒黒雲母花崗岩における重鉱物の分布は第1表に示してある。

本貫入相の花崗岩の主要共生鉱物はジルコン・金紅石・螢石および錫石である。

4. 曹長石化作用がかなり広域にわたつて行われている。二次曹長石は初成の斜長石およびカリ長石に沿つて発達している。
5. 酸化マグネシウムおよび酸化カルシウム含有量が低い場合には, 岩石は酸化アルミニウムで過飽和されている(第1図註3)。
6. アルカリの含有量が増加する。
7. 上述の貫入岩累系の花崗岩のカリ長石ではバリウムの含有量が増加している。さらに鉛・銅・カリウム・ベリリウム・ルビジウムおよび錫が確かめられている。

註3) 投影法については, 当所で刊行予定の Zavartskii の火成岩の岩石化学参照



第1図 古生代貫入累系を構成する花崗状岩石の化学組成図

1. 第2型貫入相の黒雲母花崗岩とアラスカナイト 2. 第3型貫入相の同種岩石 3. 含電氣石花崗岩 4. 花崗岩・斑岩  
 5. 英雲岩・英雲岩化花崗岩 6. Dalyによる平均花崗岩 7. 平均英雲岩 8. Dalyの平均アラスカイト

黒雲母の化学分析値と分析値を化学式に換算した結果によると、この種黒雲母は黒雲母の平均組成に対応している。弗素の存在は、他の指標とともにこの種花崗岩が弗素に富む岩漿から生成されたことを示している。そのほかに黒雲母には少量の錫が常に含まれ、ルビジウムもしばしば認められている。

8. 花崗岩のあらゆる変種には Ba, Sr, Be, Zr, Y, La, Sn, Ga, Pb, Cu, As, V, F, B が常に存在する。ある地域では Li, Rb, Fe, Bi, Mo, W, Nb, Co, Ni, Cr が少量認められている。

これらの元素のなかで Ba, Zr, Y, Sn, Ga, Pb, Be, Li, B は第2型貫入相の花崗岩の主共生元素である。

9. 多くの地域では花崗岩は英雲岩化作用を蒙っている。そのために黒雲母は白雲母で置換されているが、長石は、石英の集合体と淡色の雲母となり、電気石・螢石および螢石の含有量も増加している。ときにはグライゼン化花崗岩では非変成花崗岩に比して F, B, Be, Li, Sn の含有量の増加が認められる。

第3型貫入相の花崗岩は、不等粒状構造をもち、しばしば斑状を示す。その組成は第2型貫入相の花崗岩組成に近似している。しかしカリ長石の含有量が高いが、黒雲母の含有量は低い(共生鉱物は第1表参照)。花崗岩体は比較的小さく、その占める面積は 15 km<sup>2</sup> 以下である。花崗岩は、背斜褶曲の核(軸)部を普通構成している周辺堆積岩の褶曲構造と一致している。

すでに指摘されたように第3型貫入相の花崗岩と第2型貫入相とは、岩石学的組成および岩石化学的特性がきわめて近似している。すなわち第3型の花崗岩は第2型のものと同様に、特に酸化アルミニウムで過飽和され、酸化カルシウムとマグネシウムの含有量が低く、アルカリの含有量が高い(第1図参照)。さらに共生鉱物中では Zr が卓越し、B, F, Be, Li, Sn の存在量は一定である。これらの現象は、第2型、第3型貫入相の花崗岩が成因的に関連性のあることを立証している。

第2型貫入相の粗粒黒雲母花崗岩と、第3型貫入相の中粒斑状黒雲母花崗岩とは、一岩石学的特性がきわめて近似しているが、それ自体の間には次のような差異が認められる。

1) 岩体の規模、第2期相の花崗岩は一般に大規模であるが、第3期相は小さく、15~20 km<sup>2</sup> を超えない。

2) 構造、第2型相は普通粗粒であるが、第3型相は中粒であつて、しばしば斑状を呈する。

3) 曹長石化作用を一層強度に蒙っている。そのために Na の含有量の増加はあらゆる地域を通じて一層晩期の火成作用源の産物中に普遍化されている。この現象は、曹長石岩脈、柱石質、葡萄石質スカルンの発達によつて裏付けられる。

4) 第3型貫入相の花崗岩の共生鉱物中では電気石・螢石・錫石が著しく多量に存在する(第1表参照)。しかし磷灰石・銳錐鉍・金紅石およびチタン鉄鉍は第2期相のものに較べて遙かに少ない。

電気石・螢石および錫石は、第2型貫入相の花崗岩中に少量存在する。しかし第3型貫入相の花崗岩では、若干多いが、同時に少ない場合がある。この種鉱物の含有量の高いのは、第3型貫入相の花崗岩のアラスカ岩相<sup>註4)</sup>および含電気石花崗岩中に認められる。さらに含有量の大きいものは、細粒黒雲母花崗岩・アプライト・花崗斑岩で代表される酸性岩脈中にみられる。錫石・螢石および電気石を最も多量に含むとともに、黄玉およびマンガン鉄重石を多量に含むものは、グライゼン化花崗岩および英雲岩である。

5) 酸性係数  $q$  <sup>註1)</sup> が著しく高く、 $C$  <sup>註2)</sup> 因子が著しく低く 1.4 以下である。第2型貫入

註4) アラスカ岩相とは、岩漿源の貫入岩変種であつて、地層層序の上位の階に位置しているものを意味する。この種貫入体の生成は、周辺岩石との反応状態および凝固期の貫入箇所における熱力学的条件の変化に主として左右される。

註1) Niggli の  $q$  に対応する。

註2) al-alk

相の花崗岩ではC因子は1~2にわたる。

6) B, F, Be, Li, Sn の含有量が高い(第5表, 第8図参照)。

7) グライゼン化作用をさらに広域にわたって蒙っている。そのうえこの地域では, グライゼン化花崗岩とともに, 典型的な英雲岩が広域に分布している。

第3型貫入相の花崗岩の大部分はそれぞれの程度でグライゼン化作用を蒙っている。

花崗岩に伴う岩脈岩石は, 酸性, (細粒黒雲母花崗岩・斑状花崗岩・アプライト・花崗斑岩), 中性, 塩基性(閃緑玢岩・輝緑玢岩) 岩石である。第1型の岩脈に対応する酸性脈状岩石は, 岩石学および岩石化学的特性からみれば, 第3型貫入相の花崗岩にきわめて近似しているが, 一層酸性であつて, さらにカリウムはナトリウムに卓越しているのが明確に認められる。

A.N. Zavaritsukii の方法で化学分析値の換算値を比較すると, 第1型岩脈(第2型)と第3型貫入相の花崗岩では, 第1型の岩脈は C.B.<sup>註5)</sup>, N因子数が低く, q 酸性係数が若干高いのがみられる。そのほかに, この型の岩脈は, 第2型, 第3型貫入相の花崗岩と比較して B, F, Be, Li, Sn が一層多量に濃集しているのが確認されている。

岩脈の岩石化学的特性, 岩脈周辺部の変質特性, 求められた特性と花崗岩周辺にみられる変質状態を比較すると, 第1型岩脈と上述花崗岩との成因的結び付きが確かに考えられる。

第2型岩脈とそれに対応する塩基性, 中性岩石は, Koptev, Dvornikov, Polkovoii によれば, 輝緑玢岩および閃緑玢岩で代表され, そのうち前者が広域に分布している。現在のところ岩脈に関する広範なデータが完全に検討されていない。したがつてこゝでは上述の岩脈中で最も主要な岩種は, 第2図にみられるように, Daly の輝緑岩の平均成分に近いことだけが考えられる。スライムの研究によれば, この岩脈の共生鉱物は, 黄鉄鉱・磷灰石・榍石・チタン鉄鉱・ザクロ石で代表され, 少量の風信子鉄が存在する。共生元素の挙動の研究によると, 一方では輝緑岩および閃緑岩は, 第2型, 第3型貫入相の花崗岩とそれと成因的に関連性のある酸性岩脈とに特徴的な Ba, Zn, F, P, Be, Ga を常に含んでいるが, 他方では, 花崗岩に特徴的でないが, 輝緑岩・閃緑岩に常に存在する元素 Ti, Cu, Va, Cr, Co, Ni が認められる。

第2型, 第3型貫入相花崗岩の共生元素に特徴的な Ba, Zr, B, F, Be, Ga が輝緑岩・閃緑岩に常に一定量存在する点からみて, 花崗岩および輝緑岩・閃緑岩岩脈が生成された岩漿源との共通性を仮定できるであろう。おそらく輝緑岩・閃緑岩は, 一層深所の一花崗岩が生成された一同一岩漿溜と関連性があることが考えられる。

特徴的な貫入岩のほかに, この地域では, 様々な後火成活動産物が広域に分布している。例えば現在多様な成因型で代表される錫鉄床が確認されている。すなわち, 含錫グライゼン型・石英・錫石鉄床型, 石英・錫石型と硫化物, 錫石型の間鉄床型, 錫石・硫化物鉄床型の電気石質型である。

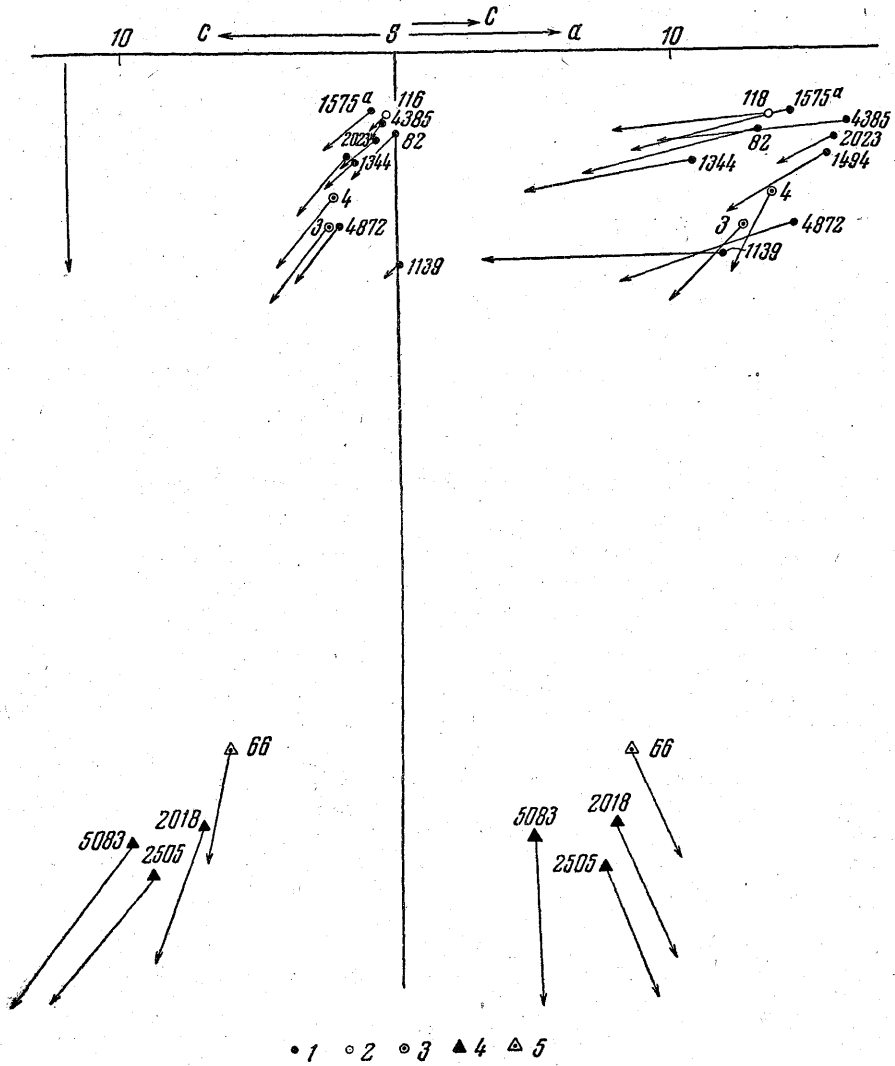
そのほかにこの地域では, 鉄マンガン重石・錫石・雲母・螢石質岩石とを伴う石英・黄玉質グライゼンが知られている。著者のデータによれば, この種グライゼンは, 石灰岩の接触部に沿つて発達し, 花崗岩体には石英・黄玉質グライゼンが同時に生成されている。したがつてこの種のグライゼンは石英岩に沿つて生成された特異のグライゼンである。

現在のデータによれば, 様々な岩脈の貫入と鉄床の生成とは以下のような逐次性(Succession)が考えられる。

1. 細粒黒雲母花崗岩・斑状花崗岩・アプライト・花崗斑岩——ベグマタイトは著しく少ない——で代表される第1型の岩脈が最初に貫入した。この岩脈は第2型, 第3型貫入相の花崗岩を切っているが, 岩脈自体は, グライゼン化作用を蒙り, この地域に分布するあらゆる型の鉄床型で切られている。

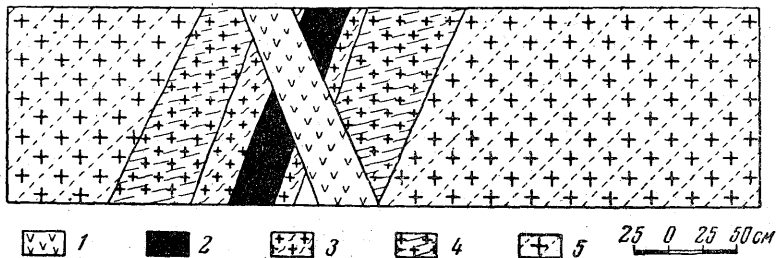
2. 第2型の岩脈岩石は, 閃緑玢岩・輝緑玢岩で代表され, 様々な鉄床型の生成期間の中間期に出現したものである。例えば, この種岩脈は, 石英・錫石鉄床を切り, 石英・電気石型錫

註5) femic 組成に特徴的な原子数を表わす。



第2図 第1型、第2型岩脈の化学組成図表

1. 第1型岩脈 2. Dalyの平均アラスカ岩 3. Dalyの平均花崗岩  
4. 第2型岩脈 5. Dalyの平均輝綠岩



第3図 含鈦石英脈が輝綠玢岩で切られている

1. 輝綠玢岩 2. 含鈦石英脈 3. 石英雲母がアプライトに沿ってグライゼン化している  
4. グライゼン化アプライト 5. 著しくグライゼン化した花崗岩

鉍脈および硫化物・電気石・石英質鉍脈で交代されている(第3図)。

この種岩脈は花崗岩と直接成因的関連性をもっていないことが考えられる。しかし共生関係的な結び付きからみれば、この種岩脈の花崗岩とあらゆる型の鉍床型との源泉はおそらく単一の岩漿溜であったことが想定される。

全岩石に含まれている共生元素の挙動研究がスペクトル解析、X線解析および化学分析によつて行われた。さらにスライムの特殊研究もすすめられた。

この地域の貫入岩および後火成作用産物で明らかにされた共生元素は3群に大きく区分できる。

第1群：あらゆる花崗岩種、酸性岩脈、花崗岩の造岩鉍物、グライゼンおよび種々の鉍床型で認められる浸透元素(permeation element)したがつて第1群の浸透元素には、花崗岩の晶出の際に岩漿溜の初期発達階梯で析出して造岩鉍物の結晶格子にはいるような元素が属する。しかしこの種元素の濃集は、晩期——後火成作用過程と関連性のあるこの岩漿の溜りの最終発達階梯——に生じる。この群に属する元素は Rb, Ba, Y, La, Sc, B, F, Be, Li, Sn, Ga および Pb である。

この種元素の存在は、岩漿の溜りの単一性(共通性)——この溜りから花崗岩、酸性岩脈が生成され、螢石・稀有金属が出現した——を立証している。したがつて岩漿の溜りと花崗岩およびその誘導物との成因的結び付きを示している。

第2群：花崗岩および酸性岩脈岩石にのみ特徴的な元素、すなわち本来岩漿階梯だけで晶出するような岩石類にみられる元素である。グライゼンおよび鉍床中では、欠乏しているかあるいはきわめてまれであるが、微量含有していることがある。第2群の元素は Zr, Hf, Th である。

第3群：花崗岩および酸性岩脈岩石類の特性となつていないが、グライゼンおよび鉍床には常に一定量が存在する元素である。この種元素の遊離(析出)および濃集は、後火成活動——熱水溶液の上昇期——と関連性のある岩漿の溜りの最終発達階梯に生じる。この種元素には Ta, Nb, Mo, Ge, Ag, Sb, Zn があげられる。

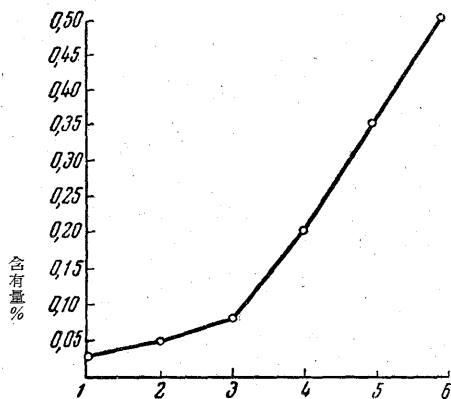
Ta および W は第1群と第2群との中間の位置を占める。

鉍床と岩脈貫入との関連性からみて、最も興味あるものは第1群であるから、次にこの群に属する元素を検討しよう。

Ba の含有量の増加は、第2型ならびに第3型貫入相の花崗岩中に認められる。そのほかに各種の花崗岩のカリ長石および黒雲母中でも Ba の含有量の増加が現われている。さらにグライゼン化花崗岩と種々のグライゼン組成および含錫石電気石・螢石岩石中のカリ長石にも、Ba の含有量の上昇がみられる。Ba が最低量を示すものは酸性脈状岩石である(第2表・第3表参照)。

したがつて Ba は本来岩漿階梯で晶出する造鉍鉍物の結晶格子中に類質同像混合物の型ではいる。しかし少量の Ba は、後火成活動(熱水溶液)と関連性のある一層晩期の階梯で析出する。

Rb は、X線解析によつて少量(0.03%)が第2型・第3型貫入相花崗岩のカリ長石で明らかにされている。微斜長石・螢石質岩石および電気石・螢石質岩石では、一層高含有量(0.3~0.5%)の Rb が確認されている。そのほかに少量の Rb (0.03%) は、第2型貫入相の花崗岩から採取した黒雲母中で認められている。さらに第3型貫入相の花崗岩の黒雲母でも少量(0.05%)が抽出されている。平均0.08%に達する一層高い Rb の含有量は、白雲母およびグライゼン化岩石の含 Li 白雲母中にみられる。石英・雲母質、石英・雲母・電気石質および石英・雲母・黄玉質グライゼンの白雲母では一層高い含有量(平均0.2%)を示す。上述のグライゼン中のリシア雲母および Proto lithionite では、Rb の存在量は平均0.35%まで増加する。0.7%に達する Rb の極大量(平均0.5%)は、雲母・螢石質岩石および電気石・含錫螢石質岩石の白雲母とリシウム質雲母中に認められる。さらにこの種の岩石類を切る一層晩期の脈状岩



第4図 黒雲母花崗岩および淡色雲母質グライゼンにおける Rb の含有量の変化を示す

1. 第2型貫入相の花崗岩の黒雲母
2. 第3型貫入相の花崗岩の黒雲母
3. グライゼン化岩石に含まれている 白雲母および含リシウム白雲母
4. グライゼンの白雲母およびリシウム白雲母
5. リシア雲母と Pruto lithionite
6. 雲母・螢石質岩石に含まれている 白雲母とリシウム質雲母

石でも同様な現象が現われている(第4図)。

したがって黒雲母の結晶格子に同質異像混合物で少量はいる Rb は、岩漿の溜りの発達初期階梯——黒雲母花崗岩が晶出する岩漿分化階梯——に析出し、その濃集は後火成活動過程と関連性のある一層晩期に起きる。この期には花崗岩および砂質頁岩はグライゼン化作用を蒙つて石英・黄玉質岩石および石英・黄玉質グライゼンに石灰岩は雲母・螢石質岩石にそれぞれ変質している。

Yt はときには第2型貫入相花崗岩に少量出会うが、一層出現頻度が高く、かつ量的にも多量に含まれているのは、第3型貫入相花崗岩および酸性脈状岩石である。この元素は上述の花崗岩の組成に入るジルコンの混合物およびグライゼン化花崗岩およびグライゼンの螢石中常に含まれている。

さらに電気石中でもしばしば Yt が指摘されている。グライゼン化花崗岩、様々なグライゼンおよび石英・螢石質岩石中には、Yt が少量含まれていることがある。

含錫石石英・電気石質岩石および電気石・螢石質岩石中では、Yt の出現頻度は高いが、少量含まれている。

したがって Yt は、黒雲母花崗岩の生成された岩漿の溜りの発達初期に少量析出し、析出はアラスカ岩質岩石・含電気石花崗岩および酸性脈状岩石の晶出した一層晩期まで続き、その期にいくらか多量に析出している。さらに Yt の析出(遊離)は、岩漿の溜りの発達の一層晩期の階梯、すなわちグライゼンおよび鉍体が生成された瞬間まで停止していない。

Yt は上述諸点からみて岩漿階梯ならびに後火成活動産物に特徴的な透過元素に属する。

Sc は、含電気石花崗岩の個々の試料、第2型、第3型貫入相の黒雲母質花崗岩およびカリ長石・黒雲母花崗岩中で少量(痕跡)明らかにされている。そのほかに Sc はグライゼン化花崗岩の錫石およびマンガン鉄重石の混合物(第4表参照)、石英質鉍脈、含錫石電気石螢石質岩石、および石英電気石質岩にも常に含まれている。

したがって Sc は、黒雲母の結晶格子中に同質異像混合物の型で少量はいる、その析出(遊離)は、第3型貫入相の花崗岩が晶出した岩漿の溜りの発達初期階梯で生じ、Sc の濃集は一層晩期に行われグライゼンが生成した後火成活動(熱水溶液の上昇)と関連性をもっている。

B, F は常に少量(痕跡または0.001%, まれには0.1%)が、第2型、第3型貫入相の花崗岩、酸性脈状岩石(第1型岩脈)に存在しているが、第3型貫入相の花崗岩および酸性脈状岩石では、その含有量が増加する。例えば、第2型貫入相花崗岩の平均下の含有量(5試料)は0.03%であるが、Bは0.01%である。しかし第3型貫入相花崗岩では、Fは0.05%, Bは0.03%に達する。酸性脈状岩石では、Fの平均含有量0.27%, Bは0.04%である。Voznesensk 花崗岩の黒雲母でもこれらの元素が認められている(B, 0.05%, F, 0.23~0.24%)。

含電気石花崗岩では、Bは一層含有量が高く、0.11から0.3%を示すが、この種花崗岩から採取された電気石では、Bの含有量は11.3%に達している。

グライゼン化岩石およびグライゼンでは、B(電気石の組成中にはいつている)およびFの含



第4表 錫石のスペクトル解析

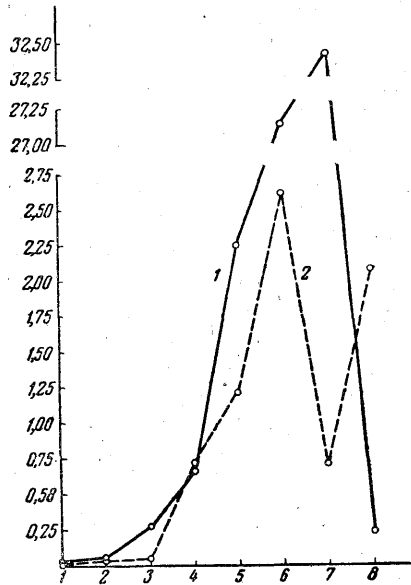
線の強度	試 料						
	1458 石英鉍脈	1642 石英・雲母 グライゼン	567 電気石螢 石質錫石	9 グライゼ ン化斑状 花崗岩	85 石英雲母 電気石質 グライゼ ン	5027 石英黄玉 グライゼ ン	4513 石英雲母 黄石グ ライゼ ン
きわめて強 い線	Sn	Sn	Sn	Sn	Sn	Sn	Sn
強 い 線				Nb		Nb	Nb
平均線 (中 央線) を越 える	Nb	Nb	Fe		Nb	Ta	Ta
弱 い 線	Be, Ta, Sc, W, Fe, Ti, Mn	Ta, Sc, In, W, Fe, Ti, Mn	Be, Ti	Ta	Ta, Sc	Fe, Sc	Sc, W, Fe
きわめて弱 い線	Zr, Bi	Be, Zr, Pb	Rb, W, Mn	Zr, Sc, W, Fe, Ti	Be, Pb, In, W, Fe	Zr, W, Ti	Be, In, Ti, Mn
痕 跡	Cu, Mo	Cu, Bi, Ga	Cu, Sn, Ag	Be, Bi, Mo, Mn	Zr, Cu, Ga, Ti	Be, Cu, Pb, In, Bi	Zr

有量が一層高く、グライゼン化作用が進行するに従って常に増大を示す。例えば、グライゼン化岩石中では、電気石の組成にはいるBの量は0.22~1.1%にわたるが、Fは0.32~1.35%である。グライゼン中のBは0~3.8%、Fは0.36~6.6%である。平均成分(5試料)は前者0.65%、後者0.71%である。石英・雲母質グライゼン・石英・雲母・電気石質グライゼンおよび石英・雲母・黄玉質グライゼン中では、電気石中に存在するBは0.8%、F、0.83%(平均含有量)、石英・電気石質グライゼンでは、3化学分析の平均含有量は、F、0.26%、B、3.6%(電気石中に含まれている)である。石英・黄玉グライゼンではF、6.3%、B、0.01%である。

石灰岩が変質して生成された雲母・螢石質岩石中では電気石のBの含有量は0.001~0.69%にわたるが、Fの含有量は10%を超える。含錫石・電気石・螢石質岩石では、電気石のBは2.61%に達し、Fは10%を超える。含錫石・電気石質岩石では、Bは1.5~3.5%に、Fは0.23~0.5%にわたる(電気石の部分)。

電気石組成に含まれるBとFとの含有量は、グライゼン化作用が進行するに従って徐々に増加する(第5図)。

グライゼン化花崗岩とグライゼンのチンワルド雲母族と Protolitionite 中の白雲母, phen-



第5図 花崗石・酸性脈状岩石および後火成作用産物におけるF、Bの含有量変化の偏差図

1. 第2型貫入相の花崗岩
2. 第3型貫入相の花崗岩
3. 酸性脈状岩石
4. グライゼン化岩石
5. 種々のグライゼン種
6. 中間生成物の錫鉱石の出現頻度
7. 雲母・螢石質岩石
8. 錫石・硫化物鉱床の錫の出現頻度

実線は F、破線は B

gite リシニウム質白雲母およびリシニウム質雲母には F, B が常に一定量存在し, Bは0.05~1%, Fは1.75~2.5%にわたっている。

石英・電気石質グライゼンから採取された電気石ではBの含有量は11.20%に達するが, Fは欠如するか, 少量(0.25%まで)存在する石英, 黄玉質グライゼンの黄玉中では, Fの含有量は15.9%に達する。

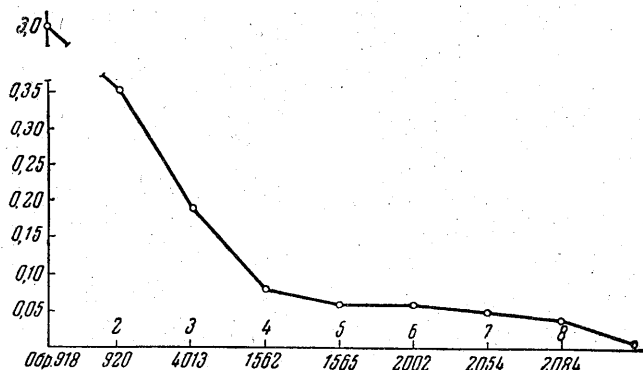
この地域でも次のような興味のある現象が認められる。すなわちFの含有量のきわめて高い地域では, Bは従属的な関係を示し, 反対にBの存在量の高い地域ではFの含有量は著しく低い。この現象<sup>1)</sup>はグライゼン化岩石およびグライゼンの造岩鉱物の定量計算結果ならびに<sup>2)</sup>F, B富化地域が島状に分布していることで裏付けられる。電気石が花崗岩中に存在する地域ではBの含有量が高い。しかし黄玉がグライゼン化度の低い花崗岩に存在する地域——一層晩期に生成されたもの——ではFの含有量が高い。例えば, 黒雲母花崗岩のスライム中では, 電気石の単粒が若干の花崗岩塊中に認められる。電気石は, グライゼン化度の低い花崗岩中に多量に存在し, この種花崗岩の分布範囲およびその外変質帯(exomorphic zone)で明らかにされたグライゼンの主要組成成分となつている。電気石は, この種花崗岩塊およびその岩枝の外変質帯か内変質帯(endomorphic zone)かに分布する様々な型の錫鉱物の濃集帯にみられる定随伴鉱物である。

他の花崗岩(スライム)塊では, 黄玉の単粒が明らかにされている。黄玉はグライゼン化花崗岩中に存在し, この種花崗岩塊の分布範囲に広く発達する石英・黄玉質グライゼンの主要組成成分となつている。しかし石灰岩が変質して生成されたこの種花崗岩の外変質帯では, 雲母・螢石質岩石が分布している。

したがつてある地域では B, 他の地域では Fe の濃集を誘導する花崗岩マグマのある分化(specialization)が認められる。このようなマグマの分化現象は, 一層晩期の後火成作用産物, すなわちグライゼンおよび鉱体にもみられる。顕著な承継性(succession)は, 他の要因とともに, マグマの溜りの——花崗岩, グライゼンおよび鉱体が生成された——単一性を立証している。

さらに周辺堆積岩の B, F の化学分析結果は, 第6図の偏差図表に投影されている。

Bの含有量はこの図からみられるように, 花崗岩体から離れるに従つて減滅する。例えば花崗岩の直接接触部に発達する石英・電気石質グライゼン——粘土質板岩の変質によつて生成された——は電気石のB含有量は3%, 接触部から50mのグライゼン片岩では0.35%, 75mでは0.19%となり, 200mの変成作用を蒙っている板岩では0.06%, 500mの粘土質片岩で



第6図 花崗岩接触部 離れるにしたがつて変わる岩石中における B の含有量の偏差図表

1. 直接接触部で採取された強度のグライゼン化片岩
2. 接触部から 50 m のグライゼン化片岩
3. 75 m の同一片岩
4. 接触部から 150 m の弱グライゼン化片岩
5. 接触部から 200 m の同一片岩
6. 接触部から 250 m の片岩
7. 接触部から 400 m の片岩
8. 接触部から 500 m の片岩
9. 花崗岩の接触部から 4 km の片岩

は0.06%, 500 m の粘土質板岩では0.04%, 3 km の(粘土質)板岩では0.01%である。

したがってBの含有量は花崗岩の直接接触部では、極大量を示すが接触部から4~5 km 離れた地域に分布する非変質板岩中でも、少量(0.001~0.01%)のBを含有し、その含有量はGoldschmit の頁岩中におけるBの平均存在量にほぼ対応している。

上述の諸現象からみて、多量のBがマグマの溜りから運ばれてきたことが明らかであるが、少量は周辺の粘土質岩石から取り入れられた(borrow)可能性も考えられる。これが、主として頁岩(まれには石灰岩)と接触する花崗岩塊中でBの濃集度がきわめて高い原因の1つであろう。

周辺の砂質・頁岩中におけるFの含有量は次のようである。板岩の変質で生成された花崗岩体の直接接触部の石英・黄玉質グライゼンでは、Fの含有量は4.2%であるが、接触部から250 m の地域にみられる変質板岩中では0.02%となつている。400 m の地域に露出する板岩中では、Fは認められない。これらの諸点を考慮に入れると、Fの全量はマグマの溜りから運ばれてきたことが考えられる。

石灰岩のB, Fの含有量に関しては、次のような現象が認められる。花崗岩の直接接触部では、Fの含有量は数地域では10%以上に達するが、電気石組成にはいるBは0.69~2.61%にわたつている。第3型貫入相の花崗岩の接触部から離れるに従がつて、F, Bの存在量は減減し、接触部から2 km 離れた大理石化石灰岩中では、F, Bは認められない。

Beは第2型、第3型貫入相の花崗岩およびそれと関連性のある酸性岩石、さらにこの種岩石類の組成中にみられるカリ長石と黒雲母中にも存在する。Beの存在量は、第2型貫入相の粗粒黒雲母花崗岩——少量含まれている——から斑状黒雲母・含電気石花崗岩・アラスカイトおよび酸性岩脈に向かうに従がつて通増する。Beはグライゼンの組成中にみられるほとんどあらゆる鉱物、すなわち電気石・淡色雲母・黄玉・螢石・錫石・マンガン鉄重石中に常に混在する。Beは、花崗岩の石英・黄玉質グライゼン化を同時に伴う——石灰岩が変質して生成された——雲母・螢石質岩石中でも認められる。

Beは本地域では錫鉱石が出現する地帯に存在する。

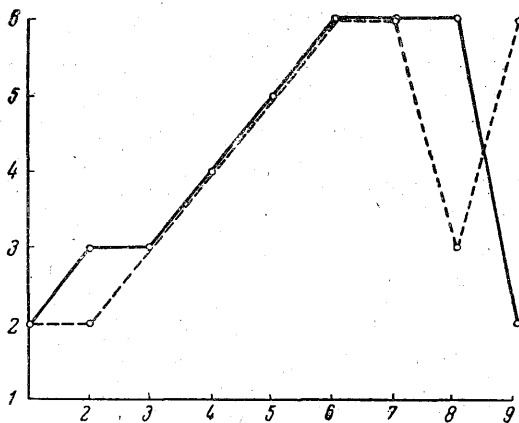
Beは、類質同像混合物の型で黒雲母およびカリ長石の結晶格子中にはいつている。したがってBeの析出は、黒雲母質花崗岩の晶出した本源マグマの分別晶出階梯に始まつている。しかしBeの濃集は、石英・雲母質グライゼン、Beの含有量の高い雲母・螢石質岩石の晶出を導く(後火成活動と関連性のある)一層晩期のマグマの溜りの発達階梯——熱水溶液の作用期——に起きている。

Be, Rb, Ba, Yt, La および Sc にみられる晶出挙動は、マグマの溜り——これから花崗岩および様々な鉱物が晶出した——の単一性を立証している。

Liは、第2型、第3型貫入相の花崗岩の個々サンプルおよび黒雲母花崗岩中で少量(痕跡)が認められている。含電気石花崗岩、アラスカイトおよび酸性岩脈中ではLiの含有量は若干高い(きわめて弱いか、弱い線(スペクトル))。グライゼン化花崗岩およびグライゼンではLiの含有量はさらに一層高い。そのうえLiの存在量はBeと同様に、グライゼン化作用が進むに従がつて増加する。Liの極大量は、石英・雲母質グライゼンおよび雲母質グライゼン——Liは雲母の組成中にはいつている——中で認められる。また雲母・螢石質岩石では、Liの含有量が高いことが指摘されている。

錫は、上述の花崗岩の主要な共生元素である。錫は、第2型の貫入相の花崗岩から採取された数試料で少量(痕跡)が明らかにされているが、第3型貫入相の花崗岩および酸性岩脈中ではしばしば若干多量に認められる(第1表参照)。

スペクトル解析によれば、第2型、第3型貫入相の花崗岩のスライムでは、痕跡から中央線の錫の存在を示している。特に興味があるのは、花崗岩の造岩鉱物(カリ質長石および黒雲母)中には錫が常に少量存在する。したがって錫は、カリ長石および黒雲母の結晶格子に同質異像の型で少量はいつている。一層高い錫の含有量はグライゼン化岩石およびあらゆる型のグライ



第7図 花崗岩・岩脈岩石・後火成産物におけるベリリウムおよび錫の変化図

縦軸は数値

1. 無 2. 痕跡 3. きわめて弱い線 4. 弱い線  
5. 平均線 6. 強い線

横軸は数値

1. 第2型貫入相花崗岩 2. 第3型貫入相花崗岩  
3. 酸性岩脈岩石 4. グライゼン化岩石 5. グライゼン  
6. 石英・錫石を含む鉱床 7. 中間期の鉱床  
8. 雲母・螢石質岩石 9. 錫硫化物鉱石

実線はベリリウム、破線は錫を表わす

ゼン中で常に指摘されている。そのうえに極大量は、石英・電気石質グライゼンおよび石英・雲母・電気石質グライゼン中で認められている。錫は、グライゼンを構成するあらゆる鉱物中でもみられる。すなわち淡色雲母の錫存在量は黒雲母の含有量に比較して高い。ほとんどすべての電気石では、弱い線から中央線にわたっている。黄玉では痕跡および弱い線を示す。

鉛は、雲母・螢石質～鉛巢および磁鉄鉛質鉛巢中に少量存在する。第2型・第3型貫入相の花崗岩、酸性岩脈および後火山作用産物における錫の含有量の変化は、第7図に示されてある。したがって錫は、花崗岩の晶出した本源マグマの分別晶出階梯ですでに遊離(析出)が始まっているが、その濃

集は、他の元素と同様に、後火成作用期、様々な錫の鉛巢の生成を導いた——熱水階梯——と関連性のある一層晩期に起きている。

Ga は、第2型、第3型貫入相の花崗岩の混合物、この種花崗岩と関連性がある酸性岩脈岩石および既知の鉛体中に存在する。この種元素は、黒雲母花崗岩・斑状黒雲母花崗岩・アススカ岩のあらゆる試料、アプライト・細粒黒雲母花崗岩・花崗斑岩・グライゼン化岩石・石英・雲母・黄玉質グライゼンおよび石英・黄玉質グライゼン中に少量(痕跡、弱い線)が認められる。さらに Ga は黒雲母花崗岩および黄玉花崗岩中にきわめて少量(痕跡、きわめて弱い線)存在する。一層高い Ga の含有量(きわめて弱い線、中線)は、あらゆる種類の花崗岩類の長石、グライゼン化花崗岩、グライゼン中の雲母、含リチウム雲母と電気石、石英、雲母質グライゼンおよび石英・雲母・電気石グライゼン中で確認されている。

したがって Ga は、造岩鉱物(カリ質長石および雲母)の結晶格子中に同質異像混合物の型ではいつているから、花崗岩が晶出した本源マグマの分別晶出階梯で Ga の遊離が始まり、次いでグライゼン化作用期と鉛生成期と関連がある一層晩期まで一層多量の Ga の遊離が持続したことが考えられる。鉛生成の終期相には、Ga の遊離量はふたたび減少し、一層低温鉛石からなる鉛巢中では、Ga は僅か(痕跡)存在している。

鉛は、第2型、第3型貫入相の花崗岩の数試料中ではきわめて弱い線であるが、しばしば少量(痕跡)出会う。しかし含電気石花崗岩および酸性岩脈——細粒黒雲母花崗岩・斑状花崗岩・花崗斑岩——でもほぼ同量含まれている。

Pb カリ長石および雲母中にも常に存在するが、その含有量は痕跡から弱い線にわたっている。グライゼン化花崗岩、グライゼン化堆積物、種々の型のグライゼンおよびこの種岩石の造岩鉱物類にも少量——痕跡から弱い線、中線——が認められる。

含錫石電気石・螢石質岩石および石英・電気石質岩石中では、鉛の濃集度(中線と弱い線)が一層高い。しかし鉛の極大量は、錫石、様々な鉛巢を構成する硫化鉛石および多種金属鉛石中で認められている。

したがって鉛は、花崗岩の晶出する際に析出が始まる長石および黒雲母の組成にはいること

が考えられる。次で鉛の少量は、後火山活動——熱水溶液作用期——と関連性があるマグマの溜りの一層晩期に遊離する。鉛の濃集は、マグマの溜りの最終発達階梯——一層低温鉛石からなる鉛の生成期——に生じる。

Pb が周辺堆積岩中にならなく認められないのは、Pb が堆積岩から取り入れられたものでなく、マグマの溜りから運ばれてきたことを立証している。

結論として次のことがいえよう。花崗岩と鉛と地球化学的近縁性以外に希金属・螢石質鉛と黒雲母花崗岩——古生代後期貫入系の花崗岩状岩石の第3型相にあたる——と成因的關係を示す多数の指標がみられる。

例えば花崗岩との接触部の堆積岩は、強度の電氣石化作用（電氣石質グライゼンに転移している）、螢石化作用を蒙り、錫石を含む。すなわち周辺地層中には、接触変質作用によつて上述の鉛に特徴的な元素、B, F が運ばれているばかりでなく、錫も直接附加される。さらに花崗岩自体は、多くの箇所初期自気成作用によつて著しくグライゼン化作用を蒙り、含F, B, 含リチウム鉛物——電氣石、螢石、ときには黄玉——が漸に生成される。一層晩期の2次グライゼン階梯——本来鉛の生成過程と密接な関係がある——に属する標式的なグライゼン質産物の分布特性は特徴的である。この種グライゼンは、第3型貫入相花崗岩で構成される貫入岩体と密接な分布（空間）關係を示して発達し、cupola 状突出部か、内成接触変質帯（*endo-contact zone*）の緩傾斜地域かに規則的に賦存している傾向がある。

石灰岩が変質している花崗岩の接触部にみられる雲母、螢石質岩石は、花崗岩中に石英・黄玉質グライゼンの生成を同時に伴ない、特異なグライゼン化作用を示す。この種岩石組成の特性は、石灰質環境の影響によることは明らかである。

第3型貫入相花崗岩との最も密接な分布（空間）關係を示す現象は、あらゆる鉛（区）で明らかに認められる。例えば現在既知の鉛（床）は、第3型貫入相花崗岩で構成されている花崗岩塊の内成、外成変質帯に分布しているか、これらの花崗岩と成因的に関連性がある酸性岩脈と共存している。

上述の花崗岩と鉛ととの成因的関連性を立証する補足的要因としては、花崗岩とそれと成因的関連性のある酸性岩脈——母岩の変質を伴なう——の接触部で観察される変質の同一性（同型）である。例えばこれらの貫入岩石類の接触部に認められる周辺堆積岩の変質と母岩の変質とを比較すると、後者は変質過程の強度だけで識別されることを示す。花崗岩・アブライト・花崗斑岩の接触部では周辺の砂質粘土質岩石が、グライゼン化されると、鉛の周辺部ではこの種岩石類は、石英・雲母質、石英・雲母・電氣石質、あるいは石英・電氣石質グライゼンに転移している。

したがって火成岩類と後火山活動産物の地質学的・岩石学的・岩石化学的研究によると、極東南部地域では、古生代後期の新しい（特異な）*metallo-genetic epoch* を区別することができる。