

## ゲンテルバイト鉱化体—新型の秀れたベリリウム資源\*

S. L. GALETSKII\*

岸本文男\*\*訳

新型の可採性ベリリウム鉱化体—先カンブリア紀卓状地の断層帯を胚胎位置とするゲンテルバイトに富んだ鉱石—の特徴が報告されている。この鉱化体は後超変交代生成体である。

最近明らかにされた新形式のベリリウム鉱床 (GINZBURG ほか, 1965) は, ベリリウムの原料基地を根本的に変えるものである。伝統的な採掘源—含緑柱石ペグマタイト—は緑柱石, フェナサイト, ベルトランダイトを随伴した, 経済的により有利な熱水性鉱床にとって代えられつつある。ベリリウム鉱床の大部分は地向斜部の部分に分布し, 卓状地の部分にはペグマタイト型のものが知られていただけである。最大のベリリウム濃集体は, 一般に, ヘルシニアン鉱床生成区と新生代鉱床生成区に賦存している (BEUS, 1964; BYKHOVER, 1963)。ヘルバイト族の鉱物, すなわち, デーナライト— $\text{Fe}_4(\text{BeSiO}_4)_3\text{S}$ , ヘルバイト— $\text{Mn}_4(\text{BeSiO}_4)_3\text{S}$ , ゲンテルバイト— $\text{Zn}_4(\text{BeSiO}_4)_3\text{S}$  のうち, 今までのところゲンテルバイトはきわめてまれにしか産出していない。

そこで, 含ゲンテルバイト鉱石からなり, 著者が明らかにした新しい鉱石フォーメーション—ベリリウムに富んだアルカリ交代岩—に属し, フェナサイト—ゲンテルバイト鉱床タイプに属する新しい型式のベリリウム資源 (GALETSKII, 1968) について報告することにする。

ゲンテルバイトに富んだこのタイプの鉱床は高温交代生成体で, ベリリウム鉱化作用としては異常な環境, すなわち卓状地条件下, 先カンブリア紀岩石 (上部原生代の岩石) 中に分布している。曹長石—カリ長石組成および雲母—長石組成の交代岩からなるゲンテルバイト質 鉱石は品質が秀れ, 選鉱などの工学指数も緑柱石質鉱石の場合より高い。

## 鉱床の地質構造上の位置

鉱床は, 先カンブリア紀楯状地縁部の, 上部始生代および原生代の花崗岩類を取りこんだ線状圧碎帯 (深在断層帯) の区域に分布する。その鉱体は, ほぼ東西性の割れ目とほぼ南北性の深在断層との交叉部に支配されている。この構造は, 上部原生代 ( $1,500 \sim 1,000 \times 10^6$ 年) の卓状形成体の地塊運動活化帯のものと考えられる。この時代の卓状形成体は, A. D. SHCHEGLOV が体系化した, 自活化帯に特有の性質を備えている。すなわち, 地質構造の重畳性, とくに陸成火山源陸源層 (continental volcanogenic-terrestrial formation) で満たされた重畳撓下の存在, ナトリウムよりもカリウムがはるかに多い花崗岩類—アルカリコンプレックスの発達, 稀有金属鉱化作用と多金属鉱化作用の共成などである。

ゲンテルバイト質鉱石生成作用は, 花崗岩類—アルカリ岩系の岩石コンプレックスと密接な関係を有する。この岩石コンプレックスを構成しているのは, 本質的にカリウムに富んだ花崗岩, 角閃石—黒雲母閃長岩およびこれらの岩石と関係ある複雑交代生成体である。その特異性はアルカリ (K, Na), 揮発成分 (F, S,  $\text{SO}_2$  など) に富み, さらに稀有元素と分散元素 (dispersion-element) にも富んでいることである。このコンプレックスの岩石の生成にもっとも大きな役割を演じたのが超変成作用である。また, 交代作用も広く影響している。これらの諸作用が働いた原岩石は, 始生代の輝緑岩・片麻岩・ミグマタ

\* Л. С. Галецкий (1971): Гентгельвиновое Орудение—Новый Высококачественный Тип Бериллиевого сырья; Геология Рудных Месторождений, Том. XIII, No. 3, Стр. 21—30, 図1, 表1 (露文)

\*\* 鉱床部

イト・花崗岩である。

### 鉱床田と鉱床の構造

鉱床田を胚胎している構造帯の境界は線状貫入岩帯（北部でははんれい岩，はんれい岩質ノーライト，南部では石英斑岩）で境されている。この構造帯内部の構造の特徴となっているのは，構成岩石の縞 (bandding, gneissosity, schistosity)，構造割れ目帯，捕獲岩の長軸方向のオリエンテーション，噴出岩体の走向など各種の構造要素がいたるところで北東-南西の方向性を示すことである。これらの諸構造要素が北東-南西の方向性を示すことは，この構造帯自身の一般方向と一致している。この構造帯内におけるマグマ分化岩および変成岩の生成作用は，一定面の長期にわたる激しい構造張力作用下で行なわれたものと考えられる。この構造帯のすべての岩石は強いカタクラシスを受け，広く gneissosity・bandding・カタクラシック構造が発達している。そして，普通のカタクラシスを受けた岩石を背景にして，より強い構造作用による，狭長な（幅 20～200 m，延長数 100 m）線状の分帯，すなわち，ミロナイト化帯・片岩化帯・角礫化帯がくっきりと浮き出ている。

岩石の再結晶作用を伴った交代変質作用が広く発達した地区では，その岩石の片麻状および縞状構造を残しながらも，カタクラシスの直接の証拠が失なわれている。この現象は，なによりもまず第一に，この地区の主要な再生-交代生成体，すなわち片麻状構造を特徴とするシデロフィライト-カリ長石-パーサイト花崗岩に代表的に現われている。

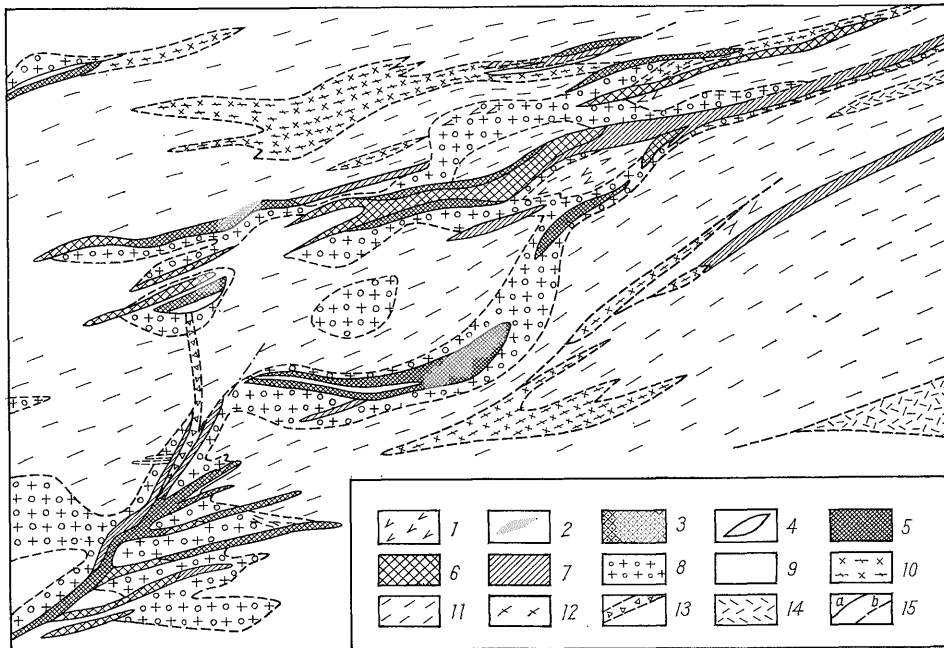
鉱床田の範囲では，構造帯北側境界に鋭い湾曲が，また南側境界から鉱床田の西部にかけて同様な湾曲が認められるが，これは交代作用およびそれと密接な関連のある鉱化作用の発達に適した環境を組み立てている切断地塊型および共役割れ目型構造の形成の原因となっている。

鉱床はゲンテルバイト質鉱石とフェナサイト質鉱石からなり，両者が共存することも互いに独立して賦存する場合もある。根本的に大きな意義をもっているのは，一般にわずかなフェナサイト鉱化作用を随伴した高品位ゲンテルバイト質鉱石である。このゲンテルバイト鉱化作用とフェナサイト鉱化作用は，交代性花崗岩が発達する部分に働いている。この種の花崗岩はいたる所で鉱化体を胚胎しているのである。

ゲンテルバイト質鉱石は，主として N 60～80°E 走向，NW 40～70° 傾斜というこの地帯の支配的な構造要素と一致した走向・傾斜を示す構造帯の特定部分に位置している（第 1 図参照）。地表に露出した含ゲンテルバイト質鉱石帯のほか，潜頭含ゲンテルバイト質鉱石帯もある。それぞれの鉱石帯は，雁行状ないし連鎖状に分布して鉱石周縁の変質岩ハローにとり囲まれた，交代岩の調和性体である。各鉱体は複雑な形の脈状およびレンズ状を呈している。

この含鉱交代岩は累帯配列構造が一つの特徴である（第 1 図参照）。すなわち，含鉱交代岩の縁辺部には鉱体を取りまく変質帯-石英の緻密な眼球状新生分離体を有する交代性花崗岩が認められる。この変質花崗岩は鉱体を取り囲んだ幅 5～30 m の緻密な分帯を形作っている。さらに外側の，幅 20～50 m の花崗岩帯部分には厚さ 0.5～3 m の脈状カリ長石-石英質交代岩岩体，石英脈・石英細脈が分布し，花崗岩自体もいろいろな程度に変質しているが，その多くは珪化作用と鉄富化作用 (ferruginization) である。この花崗岩が低品位のゲンテルバイト-フェナサイト鉱化作用を伴っていることもまれではない。

含鉱石帯内側部分に各種の交代岩からなる鉱体が分布している。全体として鉱体および含鉱石帯の最上部にも，また測定されたピッチからみて鉱体・含鉱石帯の相対的高位部分にも，高品位のゲンテルバイト鉱化作用を伴った主としてカリ長石-曹長石交代岩が分布する。グライゼン交代岩（雲母質交代岩）はおもに鉱体の下部および含鉱石帯のピッチ沿い下位部分に発達している。それとは別に，グライゼンはカリ長石-曹長石交代岩中の鉱体内構造割れ目沿いにも生成している。ときには，カリ長石-曹長石交代岩がグライゼン化された部分にとり囲まれ，グライゼン生成体中に通常鉱化作用に富んだ「stalky remnant」を形作っていることもある。鉱体の中央部には，複雑な組み合わせを示す長石質交代岩と雲母質交代岩が存在する。



第1図 鉱床範囲の地質図

1—石英脈, 2—ゲンテルバイトを随伴したアマゾナイト-石英およびアマゾナイト-微斜長石脈状・ペグマタイト状体, 3—長石-ゲンテルバイト-石英交代岩(曹長石), 4—シデロフィライト-石英グライゼン, 5—雲母質交代岩, 6—カリ長石-曹長石交代岩, 7—長石-石英交代岩, 8—眼球状石英分離体を随伴した交代性花崗岩, 9—交代性花崗岩, 10—変質細粒花崗岩, 花崗斑岩, 11—gneissosityの方向, 12—カタクラシス, 13—角礫化帯, 14—割れ目発達帯, 15—岩石の境: a—明瞭, b—不明瞭, 漸移

鉱体の外帯部分, とくにその肥大した部分には, 長石-石英質交代岩が分布する. そこには, 一般に石英質脈状体も胚胎されている.

もっとも鉱石鉱物が濃集しているのは, 鉱体の上部レベルである. その場合の特徴は, 肥大し, 徐々に縮少し, 形態が複雑なことである. 鉱体下部は徐々に尖滅して比較的明瞭な脈状の形を呈する.

フェナサイト鉱化体は, 交代性花崗岩, 細粒質花崗岩, 花崗斑岩中の鉱化帯中にみられ, 一般にゲンテルバイト鉱化体部分の縁辺部に分布している.

鉱石帯 (ore zone) の出鉱力 (productivity) はまず第一に交代作用の強さと発達規模に左右され, 含鉱交代生成体は比較的緩やかな構造地質環境をバックにした広範な変質岩ハローの部分の, 主として「潜頭性」構造割れ目に胚胎され, 交代性変質岩の分布範囲外に広く発達する透過性の大きい開口構造帯は一般に稀少金属鉱化体を胚胎していない.

また, このベリリウム鉱化体は主として非等方性環境条件の部分, すなわち中粒質花崗岩中の細粒質組織の岩石 (変質細粒質花崗岩・花崗斑岩) ブロック近辺に位置・分布している.

### 鉱石の鉱物組成

ベリリウム鉱化作用を伴った交代生成体のおもなタイプは, 次のとおりである.

1. 石英-長石から長石-石英組成までの交代岩.
2. 主として長石 (曹長石-カリ長石からカリ長石-曹長石) 組成の交代岩.
3. 雲母質 (長石-雲母-石英, とくに長石-雲母組成) 交代岩.
4. 石英-雲母から雲母-石英組成の交代岩 (グライゼン).
5. 長石 (主として曹長石)-ゲンテルバイト-石英からゲンテルバイト-長石-石英組成の強鉱化交代岩.

6. 珪酸亜鉛鉱-ゲンテルバイト-石英組成の交代岩.
7. ゲンテルバイト-石英脈.
8. 含フェナサイト花崗岩.

長石-石英質交代岩は広く分布し、花崗岩中に厚さ1~2mの独立脈状体を形作るか、さもなければ複雑交代岩体の縁辺帯に賦存する。組織-石英集合体のグラノプラスチック組織を伴ったヘテロプラスチック組織、ときにグラノプラスチック組織。鉱物組成-量的に互換的な石英・カリ長石-パーサイト(通常、カリ長石が多量)、少量の曹長石・微斜長石・黒雲母・白雲母、それにジルコン・シルトライト(cyrtolite)・螢石・錫石・ゲンテルバイト・フェナサイト・コロンバイト・マータイト(martite)・磁鉄鉱・鉄水酸化物が賦存している。酸化ベリリウムの品位は0.01~0.3%の範囲である。

主として長石組成の交代岩は鉱体を胚胎している重要な交代岩で、貫入岩の潜自形および全自形粒状組織を思わせる交代組織を特徴とした優白質の、主として中粒質の岩石である。カリ長石-パーサイトが卓越し(最大95%)、いろいろな程度に曹長石化し、少量の曹長石・石英・黒雲母・白雲母が存在し、ゲンテルバイト・シルトライト・黄鉄鉱・錫石・コロンバイト・磁鉄鉱・螢石・鉄水酸化物が、まれには炭酸塩鉱物も認められる。ベリリウム鉱石の構造は鉱染状、ときに鉱のう状で、微脈状の部分もある。最高の富鉱は、角礫状構造を呈している。

雲母質交代岩はいろいろな程度でグライゼン化した、塊状・片麻岩状の岩石である。顕微鏡下では、プラストカタクプラスチック組織およびプラストモルタル組織、まれにはポーフィロプラスチック組織を呈する。ポーフィロクラストはカリ長石-パーサイトからなり、膠結物は細粒の石英・雲母・曹長石・微斜長石からなっている。鉱物組成としては、カリ長石-パーサイト、石英、シデロフィライト、白雲母が主で、次いで曹長石と後期の微斜長石、さらにゲンテルバイト・フェナサイト・螢石・シルトライト・錫石・コロンバイト・鉄マンガン重石・バストネサイト・磁鉄鉱・マータイト・黄鉄鉱・方鉛鉱・閃亜鉛鉱も賦存している。鉱石の構造は、塊状、鉱染状、ときに片麻岩状。

グライゼンは、暗灰色・細粒の岩石で、片麻岩状構造を呈する。分布は限られていて、グライゼン化作用の最終生成物として雲母質交代岩中に薄い(0.1~1m)帯状体を形作っている。主としてシデロフィライト質グライゼンが発達することが特徴である。岩石の構造は、レピドグラノプラスチック、ときに石基のレピドグラノプラスチック構造を伴ったポーフィロプラスチック。鉱物組成(%)；石英-45~60、雲母(シデロフィライトないしフェロマスコバイト) -30~50、カリ長石-パーサイト-5~10、それに少量の曹長石・微斜長石・螢石・ゲンテルバイト・フェナサイト・シルトライト・コロンバイト・錫石・バストネサイト・トーライト・方鉛鉱・磁鉄鉱・鉄マンガン重石・鉄水酸化物。

珪酸亜鉛鉱-ゲンテルバイト-石英質交代岩はグライゼン化作用の最終石英相生成体で、いちじるしい特異性をもっている。石英(30%)・珪酸亜鉛鉱・ゲンテルバイト・黒雲母・緑泥石・炭酸塩鉱物からなる。シデロフィライト質グライゼン中に薄い(0.1~0.5m)帯状体として賦存する。

長石-ゲンテルバイト-石英質交代岩(曹長岩)は少量しか分布していないが、交代岩の中でもっとも強く鉱化されている。これは、曹長石化作用もしくは珪化作用が卓越した後期交代過程の強分化生成物である。その岩石組織は交代組織が明瞭で、残存鉱物粒としてカリ長石-パーサイトが認められる。鉱物組成；石英・曹長石・カリ長石-パーサイト・ゲンテルバイト(3~30%)・錫石(最大濃集部分で20~30%)、少量の後期微斜長石・白雲母・螢石・シルトライト・フェナサイト。富鉱の構造は微脈状、ときに角礫状のものも認められる。

分化度の高い交代岩の中心部には微斜長石・アマゾナイト・曹長石・石英・螢石・ゲンテルバイト・炭酸塩鉱物(アンケライト)・緑泥石からなるアマゾナイト-石英脈と同ベグマイト質分離体が生成していることが多い。

交代タイプに属するゲンテルバイト-石英脈は、一般に含鉱交代岩の外方帯に分布している。ゲンテルバイトは自形四面体結晶の集合からなる集積体か、もしくは緻密な塊を形成している。結晶の大きさは、最大1~1.5cmに達する。

上記諸交代岩の場合、基本的に3世代のゲンテルバイトがある。すなわち、第1期ゲンテルバイト-

先グライゼン化期ゲンテルバイトはカリ長石-曹長石質交代岩中に通常自形帯状の銅黄色・鮮黄色・肉桂色の鉱物として賦存し、第2期ゲンテルバイト—グライゼン化期 ゲンテルバイトは長石-雲母質交代岩と同グライゼン中に存在する淡ばら色・肉桂色・褐色の不規則な粒である。第3期のゲンテルバイト—後グライゼン化期のゲンテルバイトは石英脈・石英微脈中に自形暗ばら色の鉱物として存在している。雲母質交代岩と同グライゼン中には、通常、第1期(残存鉱物)と第2期(新生鉱物)という2世代のゲンテルバイトが賦存している。

鉱石中のゲンテルバイト粒の大きさは0.01~1 mm, 多くは0.1~0.5 mm, ときには2~3 mmに達している。石英脈中の単結晶は1~1.5 cmに達している。このゲンテルバイトの詳しい記載は、S. I. GURVICHら(1965)によってすでに行なわれている。

含フェナサイト花崗岩は低品位ベリリウム鉱型(BeO 0.01~0.3%)に属し、強く珪化・曹長石化されて普通の交代性花崗岩とは異なっている(色が薄い)。鉱物組成;カリ長石—パーサイト・石英・曹長石・黒雲母・ジルコン・フェナサイト・ゲンテルバイト・コロンバイト・モナズ石・錫石・パリサイト・トーライト。フェナサイトは、カリ長石-パーサイト粒と石英粒の境に分布する無色他形の単粒として賦存している。

鉱石生成過程の性質

この稀有金属鉱化作用は2段階、すなわち第1段階の広域自交代過程と第2段階のほとんどが滲透性の局地交代過程において進行する交代作用と密接な関係がある(第1表参照)。

第1段階の生成体に属するのは、カリ長石-パーサイト・曹長石・石英・シデロフィライトからなり、

第1表 交代過程の発達様式

期	交代過程の性質	基本生成型式	代表的造岩鉱物	主要鉱石鉱物
第1段階—広域自交代過程(早期アルカリ—酸性段階の後期マグマ分化・後マグマ分化過程)				
I	高温性早期カリ交代作用	交代性花崗岩	カリ長石—パーサイト	ジルコン
II	曹長石化作用		曹長石	錫石 コロンバイト
III	酸性溶脱—高温性珪化作用とグライゼン化作用		石英, シデロフィライト, 白雲母	鉄マンガン重石 ジルコン トーライト フェナサイト 螢石
第2段階—局地交代過程 後期アルカリ交代作用				
I	カリ長石化作用	カリ長石—曹長石質交代岩	カリ長石—パーサイト	錫石, コロンバイト, 第1期ゲンテルバイト
II	曹長石化作用		曹長石, 石英	
III	グライゼン化作用	シデロフィライト質グライゼン ↓ 白雲母—石英質グライゼン	シデロフィライト, カリ長石—パーサイト, 石英 ↓ 石英, 白雲母	鉄マンガン重石, 磁鉄鉱, 第2期ゲンテルバイト, 珪酸亜鉛鉱, シルトライト ↓ フェナサイト, 黄玉
IV	後グライゼン化アルカリ交代作用(共役沈殿帯)	曹長岩	曹長石, 潜パーサイト	錫石, 第2期ゲンテルバイト, 螢石
V	真正熱水期: 脈状珪化作用 炭酸塩化作用 緑泥石化作用, カオリン化作用, 鉄富化作用	石英脈, 石英細脈 炭酸塩鉱物細脈, 塊岩石変質帯	石英, 黒雲母, 微斜長石, アマゾナイト 菱鉄鉱, アンケライト, 方解石 緑泥石, カオリナイト, 加水雲母, 鉄水酸化物	第3期ゲンテルバイト, 閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 螢石 ↓ バストネサイト 黄鉄鉱

分散稀有金属鉍化作用 (コロンバイト・錳石・ジルコン・フェナサイトなど) を受け、組成が花崗岩に対応した交代生成体である。この花崗岩質組成の岩石は主としてマグマ分化性花崗岩から、まれには片麻岩、閃長岩、輝緑岩などから発達している。それと同時に各種の源体から発達している複雑な再生交代生成作用の最終生成体の組成もそれに酷似し、Beus ら (1962) が分類した曹長石化花崗岩とグライゼン化花崗岩のタイプ (アポ花崗岩) に相当する。

第2段階の生成体とは稀有金属に富んだ交代岩で、その中にカリ長石-曹長石質、長石-雲母質、シデロフィライト-石英質交代岩という主要な含ゲンテルバイト交代岩が含まれている。稀有金属に富んだ交代岩は主として花崗岩から、ときに閃長岩・変質閃緑岩・輝緑岩から発達している。後マグマ作用の進化は (おそらく後超変成作用の進化も) 概して規則的で、D. S. KORZHINSKII (1955), A. A. BEUS ら (1962), V. A. ZHARIKOV (1966) が明らかにした図式とよく一致している。

これら諸過程のうちでもっとも本質的な特殊性をもっているのは後期アルカリ交代作用の2つの期で、その1つは高温性広域グライゼン化作用後のものであり、もう1つは狭長な構造割れ目帯に現われているいちじるしく強い局地グライゼン化作用後のものである。また、各種の最終生成物を生じた2系のグライゼン化過程、すなわち白雲母-石英質グライゼンとシデロフィライト質グライゼンの発達も一つの特徴である。このうちの白雲母-石英質型グライゼンは一般に花崗岩質岩石中に発達し、シデロフィライト質型グライゼンはアルカリ系列の岩石 (閃長岩・アルカリ交代岩) 中に発達している。そして、ゲンテルバイト鉍化体はアルカリ交代岩およびシデロフィライト質グライゼンと密接な関係をもっている。

鉍石生成過程は、数期にわたって発達・進行している。

すなわち、初期の広域カリ長石化作用期 (第1段階交代作用) には稀有金属鉍物は晶出していないが、被交代鉍物 (斜長石・黒雲母・角閃石) から一連の稀有金属成分が移動する作用は伴われている。

初期の広域曹長石化・珪化作用期には、コロンバイト・錳石・ジルコン・フェナサイトが晶出している。そして、これらの鉍物が均質に分散・鉍染した広大な鉍化帯—コロンバイトに富んだ花崗岩やフェナサイトに富んだ花崗岩が生じている。

次の広域グライゼン化作用期には、上記の花崗岩から稀有金属元素と火成源元素 (カリウム) が部分的に溶脱されている。

その後の鉍石生成過程は局地的性質を帯びようになり、最大の物質濃集作用がみられるようになる (第2段階交代作用)。

後期アルカリ交代作用期末には曹長石化作用が珪化作用に変わり、その際、第1世代の自形ゲンテルバイトとそれに錳石・コロンバイト・磁鉄鉍・ジルコン・フェナサイトが晶出している。

その次の局地グライゼン化作用期は、鉍石生成過程の中でも特別な役割を果たしている。すなわち、その後背地では第1世代のゲンテルバイトを伴ったカリ長石-曹長石質含鉍交代岩を含めて、岩石がいちじるしく溶脱され、その鉍石成分に富んだ溶液がグライゼン化作用前面で中和され、第2世代のゲンテルバイトの形で、またおそらく雲母質グライゼンとシデロフィライト質グライゼン中の他の稀有金属鉍物の形で、溶液中の有用成分が遊離・沈殿している。とくにいちじるしい鉍石鉍物の濃集作用は、上部レベルでこの溶液と早期に生成した交代岩とが相互作用を行なった場合に認められる。その場合の急激な酸性—アルカリ性条件の変化は、鉍石生成作用の局地化 (localization) にもっとも適した条件を作り出している。その際、アルカリ交代岩のベリリウムによって最大の富化作用が行なわれている。上述の鉍石生成作用の特徴は交代岩中における鉍化体の分布の規則性を規制し、もっとも大きな鉍化体となっているのはアルカリ交代岩とグライゼン生成体との接触帯であり、下部レベルおよびアルカリ交代岩から遠く離れたグライゼン生成体部分は一様に鉍化作用が弱いか、もしくは全く鉍化されていない。第2世代ゲンテルバイトの晶出は後グライゼン化期曹長岩中でも行なわれ、そのベリリウム品位は最高の値を示す。

真正熱水期には、脈状生成体として、第3世代のばら色のゲンテルバイトが晶出し、フェナサイト・螢石・鉄マンガン重石・閃亜鉛鉍・方鉛鉍・輝水鉛鉍・赤鉄鉍も晶出している。

鉍物の共生関係は、鉍石生成過程にベリリウムが長期にわたって関与したことを示している。

前述の主要なタイプの岩石中における火成岩源 (petrogenic) 成分と鉱石成分の分布と挙動に関する研究の結果は、本地域における稀有金属鉱石濃集体がアルカリと揮発成分の活発な関与の下に進行した超変成過程と交代過程と密接な結び付きのある場所で、主として、移動と再配分によって生じたことを証明している。

また、前記岩石の造岩鉱物と副成鉱物中の微量元素組成の研究結果は、鉱石成分の集積を共通した背景として、含有物の分散度を急激に大きくしながら、造岩鉱物（長石・エジリン輝石など）の後期世代における自己浄化（自己分解 autolysis）現象を伴った鉱石成分の反復再配分が行なわれたことを示している。相対的含有量の減少と数種の鉱物の完全な消失を同時に伴った、早期の鉱物共生（類質同像混合能力の大きい優黒質鉱物共生）が後期の鉱物共生（優白質鉱物共生）に変わる過程が広く発達することは、もっとも類質同像混合能力が大きい斜長石・輝石・角閃石・黒雲母・磁鉄鉱などからそれらの鉱物中に分散していた一連の微量元素成分を抜き出したことになる。その際、長石、とくに斜長石は Be・Zr・TR・Sn・Cu・Mo（その含有量は全体として長石の後期世代のものでは減少している）の源となり、優黒色鉱物（輝石・角閃石・かんらん石・黒雲母）は Zn・Li・Cs・V・Sc・Be・Sn・Ba・Sr などの、鉱石鉱物および副成鉱物（チタン石・磁鉄鉱・オーサイト(orthite)・チタン鉄鉱など）は Zn・Zr・TR・Nb・Ta・Sn・Be のそれぞれ源となっている。

塩基性および中性斜長石がカリ長石と曹長石に交代されてほとんど消えていることは、大きな意味もっている。

ごく簡単な計算の結果でも、花崗岩組成の交代岩が生成する過程で斜長石が交代作用を受ける場合には、鉱床の形成に十分な量のベリリウムが遊離することを示している。

ベリリウムの源体から鉱床の形成にいたるまでの鉱石構成物質の集積過程は、有用成分の配分と濃集が数段階に分かれて発達したという複雑かつ多様なものである。

#### ゲンテルバイトの生成条件

ゲンテルバイトの賦存条件の解析結果は、そのおもな成因が次のとおりであることを示唆している。すなわち、

1. 大量の岩石を変質させた交代作用が広く発達して、それが造鉱溶液の移動と富化、とくに交代進化の最終段階における大量の Be・Zn・Fe・Mn・Sn・Nb・Ta・W・Pb・Mo・S・F・CO<sub>2</sub> その他ゲンテルバイトの生成に必要なすべての成分の移動と富化を保証した。

2. 鉱化媒体の主としてアルカリ環境がアルモ珪酸塩中のアルミニウムとそしてアルカリ（余剰のKとNa）との強い結合を保証し、それが緑柱石もしくはその他のベリリウム珪酸塩やベリリウム・アルモ珪酸塩でなく、ゲンテルバイトの生成にもっとも適した条件を作り出した。

3. 硫黄の役割は、比較的少量の弗素が加わったときに大きくなる。含ゲンテルバイト交代岩中の硫黄含有品位は0.15~0.67%、弗素含有品位は0.12~0.72%である。このような割合は弗素が高品位に濃集した（10~70% CaF<sub>2</sub>）、ベリリウムが通常フェナサイト・緑柱石・ベルトランダイトその他のベリリウム珪酸塩鉱物の形で濃集している既知のベリリウム鉱床とはいちじるしく異なる。ゲンテルバイトの構成には比較的少量の硫黄が必要であることに触れておかねばならない（ゲンテルバイトの化学式からすれば、当然のことである）。おそらく、溶液中の硫黄濃度が比較的低いことおよび弱い還元環境下にあることが閃亜鉛鉱などの硫化物でなく、おもにゲンテルバイトを生成した因であるに違いない。閃亜鉛鉱その他の硫化物は後期の段階で硫黄濃度がいちじるしく高くなり、媒体の還元ポテンシャルが強くなったときに生成している。そのような場合にはゲンテルバイト（幾らかより後期）とともに硫化物（方鉛鉱-ゲンテルバイト-石英脈）が、そしてそれに続いてゲンテルバイトを欠く硫化物晶出体（方鉛鉱-石英および閃亜鉛鉱-石英の脈・微脈）が生じている。硫黄の量が不足しているときにはフェナサイト（珪化した交代岩と花崗岩）が、硫黄とベリリウムの含有濃度が不足しているときには珪酸亜鉛鉱（珪酸亜鉛鉱-ゲンテルバイト-石英脈）が生成している。

## 結 論

1. ベリリウム品位が高く、選鉱性が優れた、ゲンテルバイト質鉱石からなる新しいタイプのベリリウム資源が発見された。ゲンテルバイトの可採性集積体は、世界で初めての発見である。
2. 上部原生代の交代作用と密接な関連をもって、異常な地質環境—卓状地条件の中で生成したベリリウム鉱化体の確認もまた初めてのことである。この稀有金属鉱化体の生成は、アルカリおよび揮発成分に富んだ溶液が加わった、岩石の広範な超変成作用と交代作用による変質を招いた古期楕状地の活化過程と密接に結びついている。重要なモーメントは、カリウムに富んだ花崗岩質アルカリ岩系の複雑分化岩石コンプレックスの出現であり、広範な交代性花崗岩の発達である。そして Ya. N. BELEVTSSEV (BELEVTSSEV ほか, 1966) によると、この稀有金属鉱化体は後超変成型鉱床に属する。
3. この鉱化体は、早期に形成された鉱石フォーメーション—含ベリリウム・アルカリ交代岩—の一構成体である新しいタイプの、ゲンテルバイト-フェナサイト型ベリリウム鉱床である。
4. ゲンテルバイトの生成は、a) 大量の岩石を変質させた広範な交代過程の発達 (この交代過程が造鉱溶液の Be·Zn·Fe·Mn·Sn·Nb·Ta·W·Pb·Mo·S·F などによる富化とその移動を保証する)、b) 鉱化媒体の基本的にアルカリ環境であること、c) 少量の弗素が加わった中での硫黄の活性、に起因している。交代過程が長期にわたり、かつ完全に発達したことは鉱化作用の環境が比較的安定していたため、それがゲンテルバイト高濃集体の生成を可能にし、その多量の分布を促がし、この稀産鉱物の数世代にわたる生成を助けたのである。
5. このベリリウムその他の稀有元素濃集体は、超変成過程と交代過程によってもたらされた岩層中の好適な条件の部分に、主として、鉱石物質が移動・再分配・沈殿してできたものである。鉱化体の生産力 (出鉱力) は、何よりもまず第一に、交代作用の強さと深部発達程度に、交代過程と関連した物質の分化作用に左右されている。最大の鉱石濃集体は交代岩の複鉱物相と単鉱物相のもの (曹長岩、微斜長岩、雲母-石英質グライゼンなど) の中に生じている。
6. 調査・研究によって得られたデータは、交代作用が強く発達し、花崗岩質組成の交代岩やアルカリ交代岩が生成しているような先カンブリア紀卓状地地域という新たな地域で探査すれば、新たなベリリウム鉱床が発見可能であることを証明している。

## 文 献

- BELEVTSSEV Ya. N., MEL'NIK Yu. P., YAROSHCHUK M. A. and others (1966): 鉱石生成作用の理論と実験の諸問題. 「Naukova Dumka」. Kiev. (露文).
- BEUS A. A., SEVEROV E. A., SITNIN A. A., SUBBOTIN K. D. (1962): 曹長石化花崗岩とグライゼン花崗岩 (アポ花崗岩). ソ連科学アカデミー出版所 (露文).
- BEUS A. A. (1964): ベリリウム, 論文集「稀有元素鉱床の地球化学. 鉱物学. 生成形式」第1篇・第2篇. 「Nauka」 (露文).
- BYKHOVER N. A. (1963): 世界の鉱石生成期別鉱物資源鉱量の分布. 「Gosgeoltekhizdat」 (露文).
- GALETSKII L. S. (1968): 新含ベリリウム・フォーメーション. Razvedka and okhrana nedr. no. 5 (露文).
- GINZBURG A. I., ZABOLOTNAYA N. P., KUPRIYANOVA I. I. and others (1965): フェナサイト-ベルトランタイト鉱床—新形式のベリリウム資源. 論文集「稀有元素鉱床の地質学」. 第27集. 「Nedra」 (露文).
- GURVICH S. I., ZUBKOV L. B., GALETSKII L. S. (1965): ゲンテルバイトと関係あるベリリウム鉱化体の地質学的-鉱物学的特徴. Sovietskaya geologiya. No. 2 (露文).
- ZHARIKOV V. A. (1966): 交代過程の諸特徴. 論文集「側岩の交代変質とその鉱石生成作用における役割」. 「Nedra」 (露文).
- KORZHINSKII D. S. (1955): 交代過程の概要. 論文集「マグマ源鉱床学の基本的諸問題」. ソ連科学アカデミー出版所 (露文).
- SHCHEGLOV A. D. (1968): 自活化帯の鉱床成因論. 「Nedra」 (露文).