

## 第 196 回地質調査所研究発表会講演要旨\*

### 特集 レアメタル資源と鉱床探査

#### 高取鉱床周辺における鉱脈型スズ・ タングステン鉱床の調査結果

小笠原正継

通産省資源エネルギー庁は昭和 60 年度より、国内のレアメタル賦存状況調査を金属鉱業事業団に委託して実施してきているが、地質調査所鉱物資源部はその中で“笠間地域”について金属鉱業事業団とともに調査を行ってきている。5ヶ年計画のうち4年分の調査を終了している段階ではあるが、いままでの調査経過の概要を紹介し、得られた成果を示す。

笠間地域は八溝山地の鶏足山塊に属し、主にジュラ紀-白亜紀の八溝層群と白亜紀の花崗岩類から成っている。この地域には鉱脈型スズ・タングステン鉱床の高取鉱山及びスカルン型鉱床の加賀田鉱山が含まれる。

調査初年度の昭和 60 年度は地質概査、既存の鉱山の調査等がなされ、有望地域が抽出された。第 2 年度には地質精査、岩石地化学探査、破砕帯充填物地化学探査、重力探査、電気探査等が行われた。これらの主として地表における調査の結果、調査地域の地質構造が明らかになり、また F, Li, Rb 等の元素により示される高取鉱床を中心とした 3.5×1.5 km の顕著な岩石地化学異常域が見い出され、鉱化作用・変質作用の影響を受けた範囲が明確になった。重力探査の結果、高取鉱山南西 1.5 km を中心とする低重力異常域の詳細が明らかになり、その異常は潜在する低密度の花崗岩体に起因している可能性が示された。

第 3 年度及び第 4 年度はボーリング調査を主としており、高取鉱山坑口北東約 1 km で深度 900 m (62 MAK A-1)、北西約 1 km で深度 850 m (63 MAK A-1) のボーリングがなされた。得られたコア試料について詳細な記載、化学分析、石墨化度測定等が行われ、地表で既に行われているデータとを合わせて、この地域の 3 次元的な地質構造、鉱化変質帯分布、熱履歴構造が明らかになった。

特に 63 MAK A-1 のボーリングでは深度 189-204 m の区間でアプライト脈を捕捉した。アプライト脈の周囲

でグライゼン化が著しく、また鉄マンガン重石を含む石英脈も優勢なことから、そのアプライト脈はスズ・タングステン鉱脈形成に関連した花崗岩質岩の一部であると結論された。

以上のように 4 年間の調査で笠間地域、特に高取鉱床周辺の地質構造・鉱化作用等多くのことが明らかになってきたが、スズ・タングステン鉱脈の分布を規制する関連花崗岩体の地下形態等未解明の点については、平成元年度の調査により明らかにされることが期待される。

(鉱物資源部)

#### 笠間地域ボーリングコア に見られる鉱化作用

村尾 智

高取鉱山の西北西 1.2 km でなされたボーリング 63 MAK A-1 によって極めて多種類の鉱脈とアプライトが捕捉された。

鉱脈のうち代表的なものは石英-白雲母脈、石英-フロゴパイト-白雲母脈、石英-トパズ-セリサイト-黄鉄鉱脈、石英-黄鉄鉱脈、炭酸塩脈である。タングステンは鉄マンガン重石として主に石英-フロゴパイト-白雲母脈及び石英-トパズ-セリサイト-黄鉄鉱脈中に見られる。以上の他深度 640 m 付近に方鉛鉱、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱、硫砒鉄鉱を主とする多金属帯が確認された。

アプライトは 188.7-203.9 m と 692.85-692.85 m で認められた。前者は黄白色だが変質部は淡黄褐色でもろくなっている。また網状石英脈を伴う。後者も変質しているが前者ほど強くない。

母岩の変質としてはアプライトの黄褐色化の他、主に微細な割目に緑色化、石英を主構成鉱物とする脈の盤際で脱色化、褐色化が岩型にあまり関係なく観察された。X線回折の結果によると黄褐色化アプライトはカオリナイトとモンモリロナイトを含み、堆積岩の緑色部は緑泥石と他の雲母鉱物から成る。また脱色帯は白雲母(ポリタイプ 2M<sub>1</sub>)、褐色帯はフロゴパイトから成る。

総数 1200 本以上に及ぶ鉱脈の胚胎状況を正確に把握するために鉱脈の種類、本数、深度をコンピュータにイ

\* 平成元年 6 月 13 日本所において開催

ンプリントし処理した。またX線回折結果と記載をもとに変質帯のおおまかな分布についても検討した。その結果、鉍脈はアプライトの胚胎層準で密度の高いセリサイト脈と胚胎層準の上下で密度の高いその他の脈に大別される事が分った。後者は更に(1)アプライトの上部で多いグループ(石英-黄鉄鉍脈など)、(2)アプライトの下部に発達するグループ(タングステンを含む脈など)に分類される。変質帯についてはその分布が(1)ボーリングコア全体にわたるもの(白雲母化、フロゴパイト化)、(2)アプライトの胚胎層準で強いもの(カオリナイト化、モンモリロナイト化)、(3)アプライトの上下で強いもの(緑泥石化)の三通りが区別できた。

以上の鉍脈及び変質帯の示すマクロストラクチャーに基づいて鉍化期の設定を試みた。未だに検討の余地が多分にあるが、(1)変質を伴わない石英脈等の時期、(2)緑泥石化、白雲母化、フロゴパイト化を伴うタングステン鉍化作用の時期、(3)カオリナイト化、モンモリロナイト化を伴う時期、(4)炭酸塩脈中心の時期が考えられる。多金属帯の時期は不明である。

鉍脈構成鉍物としては次のものが鏡下で確認された。

- (1) タングステンを随伴する石英脈: 石英, トパズ, 螢石, 白雲母, フロゴパイト, 鉄マンガン重石, 黄銅鉍, 閃亜鉛鉍, 黄鉄鉍, 硫砒鉄鉍, 磁硫鉄鉍。
- (2) 石英-黄鉄鉍脈: 石英, 黄鉄鉍, 黄銅鉍, 閃亜鉛鉍。
- (3) 石英-閃亜鉛鉍-硫砒鉄鉍脈: 石英, 閃亜鉛鉍, 硫砒鉄鉍, 磁硫鉄鉍。
- (4) 方解石-黄鉄鉍脈: 方解石, 黄鉄鉍, 黄銅鉍。
- (5) 多金属帯のサンプル: 方解石, 石英, 螢石, エビドート, 粘土鉍物, 方鉛鉍, 閃亜鉛鉍, 黄銅鉍, 黄鉄鉍, 硫砒鉄鉍, 磁硫鉄鉍。

Wの指示元素を知るため17個の鉍石サンプルを分析し検討したところ Ta と Mn が良い相関を示した( $\gamma_{\text{W}_3\text{-Ta}}=0.9487$ ,  $\gamma_{\text{W}_3\text{-Mn}}=0.9548$ )。Mn と Ta の間にも良い相関があるので( $\gamma_{\text{Mn-Ta}}=0.9334$ ) Ta は鉄マンガン重石に入っていると思われる。確認のため EPMA で鉄マンガン重石の定性分析を行ったが Ta のピークは他の元素のピークと重なってしまい、その存在状態を明らかにする事はできなかった。

(鉍物資源部)

## 流体包有物からみた高取鉍床の生成環境

円城寺守

茨城県高取鉍山の鉍床は、八溝層群中に胚胎する数条

の鉄マンガン重石-石英脈群である。「横鍾」と通称される緩傾斜の鉍脈は、急傾斜の「縦鍾」に切られていることが多く、前期のタングステン-錫鉍化期の内、やや早い時期に生成したと推定される。しかし、鉍物組合せや流体包有物の性質からみて、これらに本質的な違いは認められない。鉍脈の中央部や盤際に沿って、後期の硫化物鉍化期生成の脈が、複成脈をなしたり既存の鉍脈を切って生じている。

前期のタングステン-錫鉍化期には、鉄マンガン重石・錫石に伴って、石英・螢石・黄玉・金雲母などが生じている。鉍物中の流体包有物は、本質的に気液2相であるが、とくに螢石・石英中には娘鉍物と推定される微小な固相も含まれている。冷却に際しては、二酸化炭素水和物の生成が認められる。流体包有物は 265-330°C で液相に均質化する。また、包有流体の凝固点より推定した塩濃度は、2-10 wt.% (NaCl eq.) を示す。鉍体の走向・傾斜方向におけるこれらの値の変化はとくに認められない。

後期の硫化物鉍化期には、黄鉄鉍・黄銅鉍・硫砒鉄鉍などに伴って、石英・菱マンガン鉍などが生じている。鉍物中の流体包有物は、本質的に気液2相であるが、室温で液体二酸化炭素を含むものも多い。流体包有物は 230-300°C で液相に均質化する。また、包有流体の凝固点より推定した塩濃度は、0-5 wt.% (NaCl eq.) 程度である。

鉍床の近傍において実施されたボーリング(62 MAKA-1 及び 63 MAKA-1) のコアには、深部の数箇所から、タングステン-石英脈、硫化物-石英脈が認められる。これらは高取鉍床の各鉍化期に相当する一連のものと推定される。タングステン-石英脈からの試料中の流体包有物の均質化温度は 275-330°C、塩濃度は 3-10 wt.% (NaCl eq.) と、鉍床本体についての値とほぼ等しい。これに対し、硫化物-石英脈からの試料中の流体包有物の均質化温度は 280-320°C、塩濃度は 1-5 wt.% (NaCl eq.) と、鉍床本体中でみられるよりも幾分高い。

これらのことは、タングステン-錫鉍化作用は、深所で起こったため鉍化溶液の物理化学的性質にあまり大きな変化がなかったこと、その後起こった硫化物鉍化期にあつては、温度勾配を与えるような生成環境の変化があつたことを物語っている。すなわち、タングステン-錫鉍床の生成した後に、浸食によって自加重圧があるいは裂開によって被加重圧が小さくなった時点で、硫化物鉍化作用があつた可能性が暗示される。

鉍床の生成深度は知られていないが、もしも、タングステン-錫鉍床が 1000 atm の被圧下で塩濃度 10 wt.%

(NaCl eq.) の溶液から生成し、硫化物が 300 atm の被圧下で塩濃度 5 wt.% (NaCl eq.) の溶液から沈殿したとすると、前者はおおよそ 360-430°C で、後者は、下部では 280-320°C、上部では 230-300°C で生成したことになる。

(筑波大学)

## ストロンチウム同位体からみた 高取鉍山産螢石の成因

中野孝教

① 高取鉍山産螢石の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比は 0.726-0.727 の狭い範囲に入っており、鉍床形成に関与したと考えられる筑波地域花崗岩類の Sr 同位体初生値 0.708-0.714 とは著しく異なる組成を示している。一方、筑波地域の堆積岩類の高取鉍床形成時 (60-70 Ma) の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比は、頁岩 0.712-0.729、砂岩 0.725-0.728、石灰岩 0.7080 である。このように、Sr 同位体組成及びその変動の程度は、螢石の Sr が砂岩の Sr に由来することを強く示唆している。

② 高取鉍山の鉍脈は厚い砂岩層に胚胎し、かつ鉍脈周辺では熱水変質を被っている。砂岩中の石英は変質の程度に拘らず 40% 前後とほぼ一定であるのに対し、長石類は一般に鉍脈に近づくにつれ 50% から 2% まで減少し、これとほぼ相補的にマトリックスや長石を交代する絹雲母量は 5% から 60% に増加している。母岩の砂岩の Sr 量は、長石の絹雲母化が進むにつれ、200 ppm から 50 ppm に減少している。

③ ①、②の事実は、螢石の Sr は長石が絹雲母化する過程で放出した Sr である、と考えることにより最もよく説明できるように思われる。一方、鉍脈中の鉄マンガン重石や硫化鉍物を構成するタングステン・鉄・銅などの元素が、母岩の長石からもたらされたとは考えられない。従って、鉍石元素をもたらした鉍液を“初期”鉍液とすると、鉍脈を形成した鉍液は“初期”鉍液そのものではなく、それが母岩との反応の結果生じた“変質”鉍液であったと考えることができる。

④ 初期鉍液の実体を知るには、他の条件を加味して考察しなければならないため容易ではない。Sr 同位体から要請されることは、初期鉍液の Sr 濃度が母岩に比べ小さかったことである。一方母岩の長石は Na に富んでおり、斜長石はほぼ完全なアルバイトになっている。従って初期鉍液は Na に富み且つ Ca, Sr に乏しいことが要請される。

初期鉍液として、最も考えやすいのはマグマ水だろう。マグマ水の組成は圧力・塩素濃度など様々な因子が関与

するため試算が難しいが、HOLLAND (1972) や浦辺 (1982) らのモデルに基づき、筑波地域の花崗岩と同一組成のメルト (Na : 25000, Ca : 12000, Sr : 200 ppm) から 1 Kbar の圧力下で発生した場合のマグマ水の平均組成を求めてみた。マグマの初期に含まれていた塩素濃度 1000 ppm の場合、マグマ水の Na, Ca, Sr 濃度はそれぞれ 9300, 620, 14 ppm、塩素濃度 250 ppm の場合には 2400, 40, 1 ppm となり、濃度は塩素濃度により変化するが、マグマ水の特徴として Na に富み Ca, Sr に乏しいことがわかる。このような特徴は圧力が多少変化しても変わらず、Sr 同位体や長石組成から要請されることと矛盾しない。従って高取鉍床における鉍化作用は、マグマ水が母岩と反応しながら進行していったと考えることができるだろう。

(筑波大学)

## 方鉛鉍の鉛同位体比から見た高取鉍床の特徴

佐々木昭

金属鉍業事業団による、昭和 62 年度笠間地域希少金属鉍物資源の賦存状況調査で得られた、ポーリングコア試料 (62 MAKA-1 : 430.60-430.70 m) 中の方鉛鉍の鉛同位体比を測定した。試料の方鉛鉍は、国見山層の頁岩-細粒砂岩質角れき岩中に、黄銅鉍と共に鉍染する。また付近の頁岩中には黄鉄鉍・硫砒鉄鉍を含む方解石・石英細脈も認められている (通産省・資源エネルギー庁, 1988)。得られた同位体比は  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.307$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.641$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.875$  を示し、既に高取鉍山産硫化物鉍石中の鉛について報告されている値,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.430$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.653$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.933$  (佐々木ほか, 1982) と同様、日本列島の鉍床鉛の中では相対的に見て、U 起源の鉛に比べ Th 起源鉛に富む特徴を持つ。プランボテクトニクス (ZARTMAN & DOE, 1981) の言葉をかれば、高取地区の鉛は、飛騨地域を中心とする本州中部域の鉛と共に、その主たる同位体進化環境に下部大陸地殻的要素が存在したということになる。鉍化作用を含めた八溝・鶏足山地の地史を組み立てるに当たって、この情報は無視する訳にはゆかぬであろう。

## 文 献

- 佐々木昭・佐藤和郎・カミング, G. L. (1982) 日本列島の鉍床鉛同位体比。鉍山地質, vol. 32, p. 457-474.  
通産省・資源エネルギー庁 (1988) 希少金属鉍

物資源の賦存状況調査報告書—笠間地域,  
昭和62年度. p. 95.

ZARTMAN, R. E. & DOE, B. R. (1981) Plumbotectonics—the model. *Tectonophysics*, vol. 75, p. 135-162.

(茨城大学)

## 高取鉾山周辺地域における元素の地表分布例

上岡 晃・今井 登・伊藤司郎

はじめに 演者らは、昭和60年度より5年計画で、茨城県北部を中心とする約4000 km<sup>2</sup>の地域をモデルフィールドとして地球化学図作成法の研究を進めている。地球化学図は、元素の地表における濃度分布図であり、地表での元素の移動・拡散等を解析する基礎的資料となる。

高取鉾山は、このモデルフィールドの南西部に位置しており、本講演ではその周辺地域(国土地理院1/2万5千地形図、茂木・野口・中飯・徳蔵を合わせた範囲)につき、主として微量元素の分布例を紹介する。

試料と分析法 試料は、河川中央部の堆積物のうち、80メッシュ(180 μm)以下の粒径を持つものとした。また、採取位置は河川の分岐点付近の支流側とし、採取密度が約1個/km<sup>2</sup>となるように定めた。このような河床堆積物は、その上流域の物質を平均化したものと考えられる。

これらの試料は、主にICP発光分光分析及び機器中性子放射法によって分析された。そして、それらのデータをもとに、コンピュータによる統計処理・画像処理を行い、元素の地表分布図を作成した。

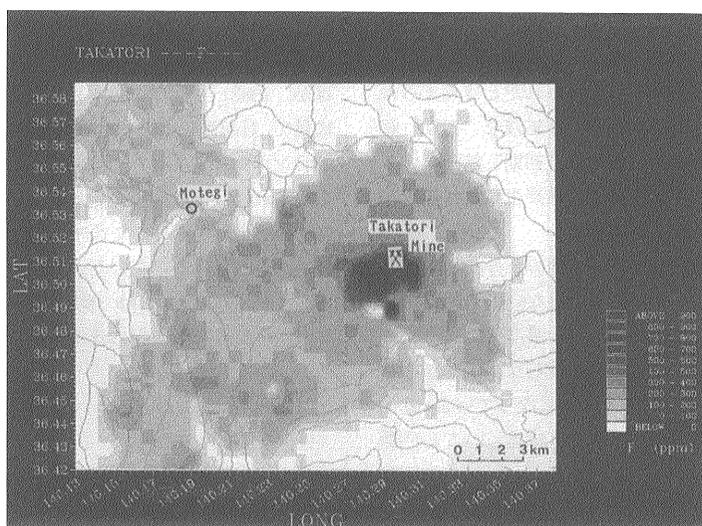
元素の地表分布例 高取鉾山周辺地域は、大部分、八溝層群に属する中生代の堆積岩で、本地域北西部には新第三紀の堆積岩及び火山岩等も存在する。

第1図は、この地域におけるFの分布である。図中には高取鉾山の位置も示されており、鉾床周辺でのFの濃集が明らかである。Fは、Wを含む石英脈中に螢石として、また周辺の砂岩中に螢石や雲母類として存在しており、それらの風化生成物として河床堆積物中にもたらされたのであろう。なお、F以外の元素では、W, Cu, Be, Cs, Pbの分布に、鉾床周辺での異常濃集が明確に見られた。

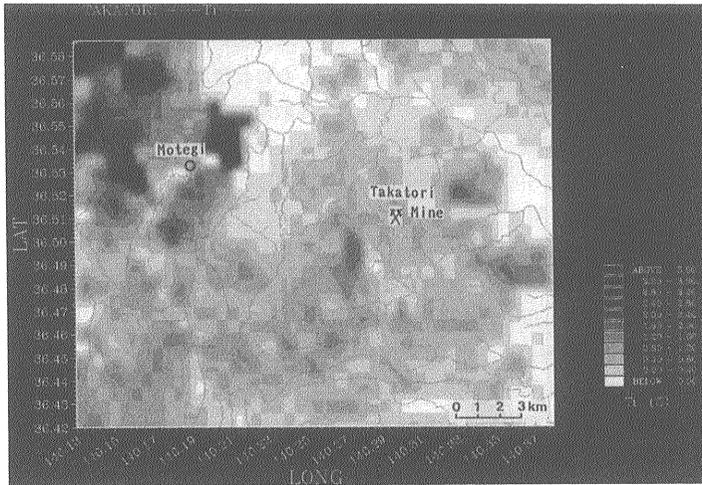
一方、第2図に示すTiの分布では、鉾床周辺での濃集は見られず、北西部の領域で高濃度となっている。この地域ではTi含有量の特によく玄武岩の存在が知られており、試料にもそれが反映されたのであろう。ただ、濃集の度合は、前述の鉾床に起因するものほど高くない。Tiと同様な分布は、V, Cr, Co, Feにも見られ、いずれも新第三紀火山岩に由来するものと考えられる。

以上の他、八溝層群中、高取鉾山の南西方向3-4 km付近で、Fe, Mg, Cr, Sc, V, Co, Mnが、また、さらにその西方4 km付近で、U, Th, Hf, La, Smが、比較的高濃度となっていることもわかった。

(地殻化学部)



第1図 高取鉾山周辺のフッ素の分布



第 2 図 高取鉱山周辺のチタンの分布

### 鉱脈型スズ・タングステン鉱床における フッ素を用いた水地化学探査

関 陽児

高取スズ・タングステン鉱床周辺では、母岩中に F, Li, Rb などの元素の高濃度異常が知られている (資工庁, 1987)。中でも F は含有量 (鉱化変質域内平均 4068 ppm, 非鉱化変質域平均 307 ppm), 濃集比 ( $4068/307=13.2$  倍) とともに最高であり, 最も明瞭な地化学探査指標となっている。このように岩石中に含まれている高濃度の F が, 降雨水や地下水に溶出し周辺の水系に流出するとすれば, 表流水中の  $F^-$  濃度分布にも, 岩石中の F 含有量分布と同様に, 高取鉱床をとり囲む高濃度異常域が現れるはずである。

今回, 高取鉱床周辺の  $5 \times 6$  km の範囲内の小河川 (流域面積  $0.1 \text{ km}^2 \pm$ ) 上の 116 地点より表流水を採取し, pH, 導電率,  $F^-$  及び主要溶存成分を分析した。その結果, 同鉱床を中心とした南北  $2 \text{ km} \times$  東西  $4 \text{ km}$  の範囲に, 明瞭な表流水中の  $F^-$  の高濃度領域が認められた。この  $F^-$  の高濃度領域は, 前述した同鉱床を中心とする南北  $1.5 \text{ km} \times$  東西  $3.5 \text{ km}$  の範囲の F, Li, Rb などの岩石地化学ハローとほぼ一致する。したがって, 表流水中の  $F^-$  の高濃度領域は, 岩石地化学ハロー内の岩石中に含まれる F が溶出することにより形成された, 2 次的地化学ハローと考えられる。

そこで, 岩石中の F 含有量と岩石より溶出する  $F^-$  濃

度の関係を知るために, 同鉱床周辺の砂岩を用いて溶出実験を行った。60 mesh 以下に粉碎した試料  $0.5 \text{ g}$  に純水  $100 \text{ g}$  を加え, 栓付  $200 \text{ cc}$  ポリびんに入れ 6 日間連続振とうして得た溶液をろ過し, ろ液の pH,  $F^-$  濃度を測定した。その結果, F 含有鉱物として螢石 ( $\text{CaF}_2$ ) を含む岩石からは, 螢石の溶解度 ( $8.7 \text{ mg/l} \cdot F^-$ ) に近い濃度の  $F^-$  が溶出した。岩石中の F 含有鉱物が白雲母のみの場合は, 溶出する  $F^-$  濃度は螢石を含む場合の数 10 分の 1 程度であった。

螢石と白雲母は, 高取鉱床周辺の変質母岩中に含まれる主要な F 含有鉱物である。このうち螢石は, F 含有量  $1000 \text{ ppm}$  以上の岩石に限り認められ, その領域内では表流水中の  $F^-$  濃度が後背域に比べ著しく高くなっていることから, 野外の現象と実験結果はよく一致しているといえる。

以上のことから, 鉱化作用に伴い周辺の母岩に F が付加される場合, F 含有鉱物が螢石のように比較的溶解しやすい鉱物であるならば, 表流水や地下水中の  $F^-$  を指標とした水地化学探査が有効と考えられる。そのような鉱床タイプとしては, グライゼン型スズ・タングステン鉱床, クライマックス型モリブデン鉱床, スズ・多金属鉱脈鉱床などが挙げられる。

(鉱物資源部)

## 笠間地域での石墨化度に基づく温度構造モデル

田切美智雄

笠間地域の地表試料について、初年度(60年)は広域的に、第2年度(61年)は高取鉱山を中心に、石墨化度の測定を行った。第3年度(62年)・第4年度(63年)には、ボーリング試料(62 MAKA-1及び63 MAKA-1)について石墨化度の測定を行った。これまでの結果を総合すると、石墨化度の変化について、以下の結論が得られた。(1)八溝層群は花崗岩類との接触部を除いて、広域的に低い石墨化度である。(2)高取鉱山周辺に極めて高い石墨化度の地域があり、1 km×2 kmの台形状の広がりをもつ。(3)この高石墨化度域は  $d_{002}=3.35$ ,  $L_c>500$  の値をもち、周囲に向かって100 m以内の距離で急激に低石墨化度値( $d_{002}>3.43$ ,  $L_c<30$ )に移化する。(4)この高石墨化度域に連続する、やや高い石墨化度域が北西-西方に広がっている。(5)62 MAKA-1のボーリング試料では、約300 m深度の高取層まで地表と同じ高石墨化度を示し、より深部の国見山層では不連続的に低石墨化度となる。(6)800 m以深で、国見山層の石墨化度は再び上昇するが( $d_{002}=3.35$ ,  $L_c\approx 300$ )、まだ地表部と同じ高石墨化度に達していない。(7)63 MAKA-1のボーリング試料では、高取層の中間、深度約400-500 mまでは地表と同じ高石墨化度である。(8)より深部の高取層及び国見山層は中程度の石墨化度( $d_{002}=3.35$ ,  $L_c\approx 100$ )である。アプライトや石英脈の多い場所で不連続的に高石墨化度が生じている。(9)孔底近くで、より高い石墨化度に達する( $d_{002}=3.35$ ,  $L_c\approx 350$ )。(10)高石墨化度域は地化学異常域と一致する。

地質断面図をもとに、地表と2本のボーリング試料の石墨化度を用いて、等石墨化度分帯を行った。石墨化度が温度に依存することから、この分帯は温度構造モデルを示すと考えられる。このモデルでも、地表で見られたのと同じように、高取鉱山深部に幅2 km深さ400 mにわたって高石墨化帯が存在することが確認された。以下の理由により、この高石墨化帯は、潜在する花崗岩体の接触変成作用ではなく、高温熱水流体による鉱化変質に伴って生じたものと結論された。(1)高石墨化帯は周囲に累進的に変化の中-低度の石墨化帯を伴わず、不連続的に低石墨化帯と接する。(2)高石墨化帯が浅部にあり、より深部の低石墨化帯とスラストで接している。(3)高石墨化帯は地化学異常域であり、炭質物含有量も同じ層準のものとして著しく減少している。(4)アプライトや石英

脈の貫入部で不連続的に高石墨化帯が生じている。(5)接触変成作用によって2 kmの広がりをもつ高石墨化帯が生じるためには、直径数10 kmのバソリスの接触部を想定しなければならない。

高取層中に貫入するアプライト岩脈が熱水流体を供給した一部と考えられ、より深部(1000 m以深)に花崗岩体が推定される。熱水流体は還元的で、流体包有物から推定された温度(約450°C以下)で浸透し、石墨化が進行したものと考えられる。

(茨城大学)

高取鉱床をモデルとした鉱脈型  
スズ・タングステン鉱床探査法

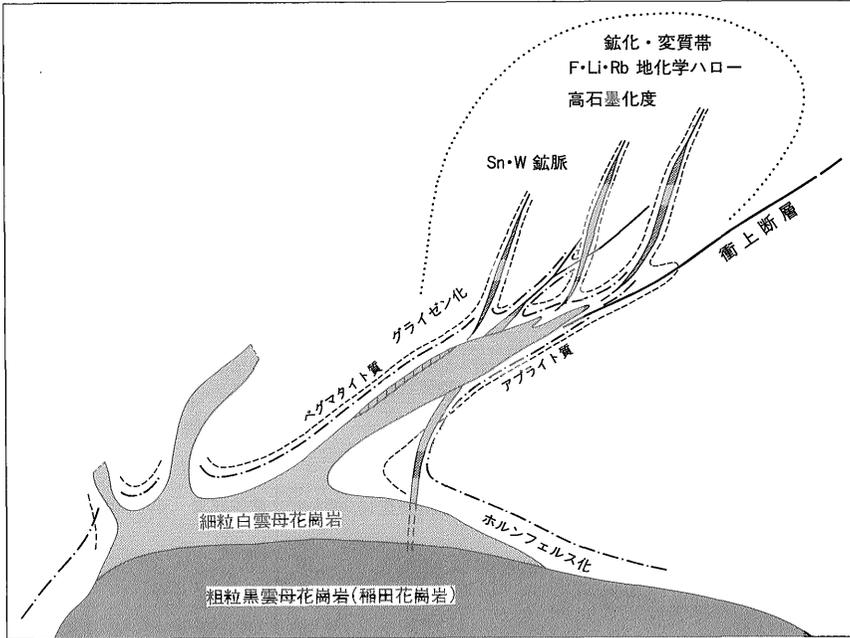
中嶋輝允

高取鉱床は八溝帯の中生界堆積岩類を母岩として白亜紀末に形成された鉱脈型 Sn・W 鉱床である。八溝帯の堆積岩類は中期ジュラ紀-前期白亜紀に西南日本の外帯側に付加されたメランジュで、足尾・美濃・丹波帯のものと同様の地史をもつ。付加帯形成後、白亜紀の中頃から古第三紀の初め(60-110 Ma)にわたり八溝花崗岩類の活動が生じた。高取鉱床は、この花崗岩類の末期のものに伴って形成されている。

高取鉱床を形成した花崗岩類は細粒優白質で、その周囲に顕著なグライゼン変質を及ぼし、白雲母・螢石・トパズ・錫石を生じている。高取 Sn・W 鉱床は母岩の構造に規制されつつ、この細粒花崗岩類の斜め上方に形成されている。鉱床の周囲は水平距離 2×4 km の範囲にわたって母岩が変質し、花崗岩周辺と同様に白雲母・螢石・電気石などが生じ、F・Li・Rb・Be等の地化学ハローが認められる。また、同様の範囲で石墨化が高くなっている。これらの現象を鉱床モデルとして示すと第1図のようになる。Sn・W 鉱床は、中国西華山やイギリス南西イングランド等の同種鉱床と同じように、花崗岩キュボラ上方に形成されたと推定され、キュボラ上部での花崗岩マグマの分化・揮発性成分の多量の分離が鉱化作用を生じた原因と考えられる。

この鉱床モデルに従って潜頭性鉱脈型 Sn・W 鉱床の探査法が組み立てられるが、その主な骨子についてまとめると次のようになる。

- 1) 鉱床上部の変質帯・地化学ハローの捕捉。
- 2) 鉱化作用及び花崗岩の貫入によって生じた高石墨化帯の捕捉。
- 3) 花崗岩キュボラの位置推定のための重力・地震探



第 1 図 鉱脈型 Sn・W 鉱床モデル

査.

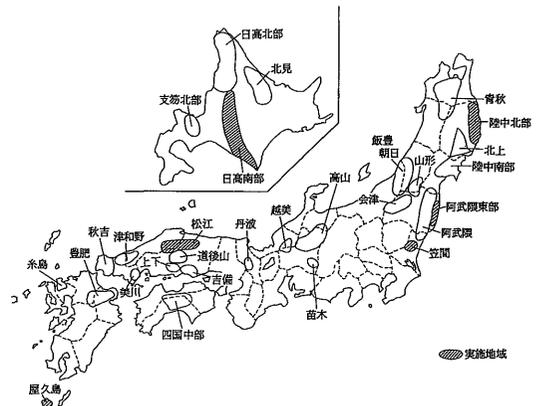
4) 地質構造・地下地化学構造・化石熱構造についてのデータを得るための試錐調査。

(鉱物資源部)

### 日本国内におけるレアメタル資源調査

迫田昌敏

金属鉱業事業団は、昭和 60 年度から国の委託を受けて「希少金属鉱物資源の賦存状況調査」を実施している。本調査は、レアメタル総合対策の一環として脆弱な供給構造を改善するため、国内に賦存可能性のあるレアメタル資源を採鉱開発するための基礎的調査である。調査地域は、地質鉱床学的見地ならびに過去の生産実績等から鉱業審議会鉱山部会探鉱分科会の審議の結果、全国で 29 地域が選定された(第 1 図)。一地域における調査は、5 年間で調査を終了する計画をもって実施されている。5 年間のうち、最初の 1 年間は予察調査、後の 4 年間は概査が実施される。予察調査においては主として文献調査と現地予察、概査においては地質調査・地化学探査・物理探査(重力探査・電気探査等)・ボーリングなどの手法を用いている。



第 1 図 希少金属鉱物資源の賦存状況調査対象地域位置図

平成元年度は全国で 6 地域(日高南部・陸中北部・阿武隈東部・笠間・松江・屋久島)の調査を実施する予定である。平成元年度計画調査量を、過去の実績調査量も含め第 1 表に示す。

(金属鉱業事業団)

第1表 希少金属鉱物資源の賦存状況調査調査量一覧表

地域名	昭和60年度	昭和61年度	昭和62年度	昭和63年度	平成元年度(計画)
阿武隈東部	予察調査 950 km <sup>2</sup>	地質概査 320 km <sup>2</sup>	地質精査 20 km <sup>2</sup> 地化学探査 20 km <sup>2</sup> 重力探査 28 km <sup>2</sup> 電気探査 28 km <sup>2</sup> (CSAMT 法)	重力探査 30 km <sup>2</sup> 電気探査 20 km <sup>2</sup> ボーリング 300 m×1 孔 ボーリング 700 m×1 孔 (検層 2 孔)	地化学探査 20 km <sup>2</sup> ボーリング 500 m×2 孔 (検層 2 孔)
笠間	予察調査 600 km <sup>2</sup>	地質概査 270 km <sup>2</sup> 動力調査 170 km <sup>2</sup> 電気探査 50 km <sup>2</sup> (CSAMT 法)	ボーリング 900 m×1 孔 (検層 1 孔)	ボーリング 850 m×1 孔 (検層 1 孔)	地震探査 3 km×2 測線 ボーリング 600 m×1 孔 (検層 1 孔)
松江	予察調査 3,000 km <sup>2</sup>	地質概査 400 km <sup>2</sup>	地質概査 100 km <sup>2</sup> 地質精査 35 km <sup>2</sup>	地化学探査 25 km <sup>2</sup> ボーリング 700 m×1 孔 (検層 1 孔)	地化学探査 25 km <sup>2</sup> ボーリング 500 m×1 孔 ボーリング 400 m×1 孔 (検層 2 孔)
日高南部			予察調査 13,000 km <sup>2</sup>	地質概査 400 km <sup>2</sup>	地質精査 100 km <sup>2</sup> 地化学探査 200 km <sup>2</sup> ボーリング 300 m×2 孔 500 m×1 孔
陸中北部			予察調査 2,400 km <sup>2</sup>	地化学探査 100 km <sup>2</sup> ボーリング 800 m×1 孔 (検層 1 孔)	地化学探査 100 km <sup>2</sup> ボーリング 700 m×1 孔 600 m×1 孔 (検層 2 孔)
屋久島				予察調査 500 km <sup>2</sup>	地質精査 300 km <sup>2</sup>

岩手県大川目鉱床の黒雲母トータル斑岩による  
モリブデン鉱化作用について

永井保弘\* 岡崎正次\*\* 門馬忠彦\*\* 上田英之\*

大川目鉱山は岩手県久慈市西方約 6 km に位置するスカルン型モリブデン鉱床である。昭和 33 年までに主としてスカルン中に発達する石英-輝水鉛鉱脈を対象に採掘され、現在は閉山している。

金属鉱業事業団は、昭和 63 年度レアメタル賦存状況調査陸中北部地域の一環として久慈市周辺の面積 100 km<sup>2</sup> に対し地化学探査を実施した。この調査と平行して本地域の代表的スカルン鉱床である大川目鉱床下部のボーリング調査(800 m1 孔)を行い、モリブデンの鉱化をもたらしたと見なされる関係火成岩としての黒雲母トータル斑岩を捕捉した。

この黒雲母トータル斑岩は、深度 240.95-312.30 m 間に岩脈状に粘板岩、塩基性凝灰岩中に貫入した産状を示し、この上下盤には石英-輝水鉛鉱ストックワーク脈が黒雲母トータル斑岩を中心に発達する。K-Ar 年代測定を行った結果、この斑岩の黒雲母による放射性年代は 103.7-114.9±3.5 Ma の測定結果を示し、付近に分布する

滝の沢、階上花崗岩とほぼ同じ前期白亜紀後期の活動であることが判明した。また、変質鉱物として黒雲母トータル斑岩中に多量に存在する絹雲母の放射性年代測定結果は 119.5±3.7 Ma の測定値を得た。

一方、全岩分析の結果からは、この黒雲母トータル斑岩の K<sub>2</sub>O 重量パーセントは、0.5 wt.% と極めて低く K/Na 比も低いことが特徴としてあげられる。

スカルン鉱床としてのザクロ石-輝石スカルン帯は地表下約 92 m 以浅に分布し、閃亜鉛鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、灰重石等の鉱石鉱物を伴い、石英-輝水鉛鉱脈に切られる産状を示す。スカルン鉱物の EPMA 分析によるザクロ石、輝石、角閃石はそれぞれグラングイト系ザクロ石(Andradite 18, grossular 70 mol%-Andradite 45, grossular 46 mol% の組成領域)、ヘデン輝石(Hedenbergite 94-100 mol%)及び鉄アクチノ閃石であった。また、このスカルン中の灰重石の EPMA 分析結果からは、モリブデン成分は最大 0.43 wt.% 含まれる。

流体包有物の充填温度測定結果からは、大川目鉱床のスカルン形成温度と石英-輝水鉛鉱ストックワーク脈の測定温度は、それぞれ 275°C、250°C となり、後者がやや低温側にシフトする結果となった。このことは、スカルン帯を切って発達する輝水鉛鉱脈の産状と矛盾せず、ス

カルン形成後モリブデン鉱化作用が行われたことを示す。

一方、塩濃度の測定結果からは、スカルン帯では 4.21-7.83 wt.%, 石英-輝水鉛鉱脈では 3.44-5.56 wt.% であり、予想された高塩濃度の流体包有物は確認されなかった。

一般に、輝水鉛鉱は、斑岩モリブデン鉱床、斑岩銅鉱床に伴われ、スカルン型、鉱脈型、あるいはペグマタイト-アプライト鉱床に付随する。この分類からすれば、大川目鉱床は、いわゆるスカルン型と斑岩モリブデン型の両者の性格を合わせ持ち、低い K/Na 値をもつ黒雲母トータル斑岩を関係火成岩とする特殊なモリブデン鉱床として注目される。

(\*金属鉱業事業団 \*\*大手開発株式会社)

### 中竜鉱山のモリブデン鉱化作用に伴われる地化学異常について

村尾 智

中竜鉱山のポーフィリーモリブデン鉱床について MURAO *et al.* (1988) は鉱化作用に特徴的な地化学異常の分布を示した。また通産省・資源エネルギー庁 (1988) は前者よりやや広い範囲にわたって採取した試料について前者が行ったのと同様の化学分析を実施している。そこで両者のデータをコンパイルして処理し、鉱化作用に特徴的な元素群を再検討した。また手持ちの坑内データを検討したところ鉱床生成に関係したと思われる火成岩類についても従来の研究とは若干異なる結論を得たので合わせて示した。

コンパイルした各元素の分析値はその濃度の頻度分布様式を検討し正規分布、対数正規分布かそれに近い分布を示す元素のみについて Mo と Ca に対する相関係数を計算した。有意水準 0.01 の場合、サンプル数 365 に対する相関係数の critical value は 0.134 であるが、これより大きい値を持つ組み合わせは第 1 表の通りである。

Mo のみと相関のある W, P, Ti, Sr 及び MURAO *et al.* (1988) が Mo の指示元素とした V についてそれぞれの地化学濃度分布を調べたところ、W の高濃度域及び P, Ti, Sr, V の低濃度域は Mo の高濃度とほぼ一致することが判明した。以上より中竜地域のモリブデン鉱化作用は Mo, W, F の濃集と P, Ti, Sr, V の減少という地化学的特徴を持つことが明らかである。

中竜鉱山では従来地化学異常のパターンから石英斑岩がモリブデン鉱化作用に重要であるとされてきた。しかし石英斑岩の近傍に斜長石斑岩も存在する事が確認されたので火成岩類とモリブデン鉱化作用の関係をより詳しく

第 1 表 中竜の鉱化作用に特徴的な元素群と Mo 及び Ca の相関係数

Mo に対する各元素の相関係数		Ca に対する各元素の相関係数	
F*	0.3326 n=71		
Cd	0.2571 n=365		
Zn	0.2291 ditto	Zn	0.1359 n=365
Cr	0.1949 ditto	Cr	-0.1790 ditto
V	-0.1717 ditto	V	-0.2323 ditto
Ba	-0.1717 ditto	Ba	-0.4246 ditto
P	-0.1539 ditto		
Ti	-0.1453 ditto		
W	0.1406 ditto		
Sr	-0.1403 ditto		
		Be	-0.2579 ditto
		Mn	0.2442 ditto

\* MURAO *et al.* (1988) のみのデータ

く検討する必要が生じた。そこで石英斑岩に向けて伸びている坑道 (仙翁丸丸山坑口向かい) と斜長石斑岩へ向けて掘進された坑道 (北向モリブデン探鉱坑道) にそった Mo, F, W の濃度変化を調べた。その結果両方の坑道でこれらの濃度は高いがとくに斜長石斑岩に近づくにつれて Mo の濃度が上昇することが分かった。従って両者ともポーフィリー型モリブデン鉱化作用の関係火成岩と推定されるが斜長石斑岩の方が特に重要であると結論された。(鉱物資源部)

### フィリピンの金・銅・クロム鉱化作用に伴う微量元素について

富樫幸雄\* 中川 充\*\* E. G. ドミンゴ\*\*

1987 年よりフィリピンとの間に行われている ITIT 事業「緊急希少鉱物資源の探査技術開発に関する研究」に伴い、フィリピンの浅熱水性金鉱床、ポーフィリー銅・金鉱床、オフィオライト関連クロム鉱床などから系統的に採取された約 100 個の試料について多元素分析を行った。対象となった元素は Au, Pt, Pd, ベースメタルなど 58 元素である。鉱床タイプ別に次のような特徴が明らかになった。

#### (1) 浅熱水性金鉱床

10 の鉱床の平均値は Au 3.3 ppm, Ag 16.9 ppm (Ag/Au 比 5.1), Cu, Pb, Zn は各々 500-800 ppm で、これらの元素の地域的な変化は小さい。また、Pt は 5 ppb 以下、Pd は 2.5 ppb と低い。バギオ地域の Keystone 鉱床では Pt 15 ppb, Pd 50 ppb の最大値を示した。Mn は平均 1770 ppm と高いが、特にバギオ地域の Acupan 鉱床

の平均は 4000 ppm と最大であった。地域毎の地化学的特徴が多く元素について認められた。バギオ地域では Pd, Pt, Mn, W, Y に、パラカレ地域では As, Bi, Sb, Co, Cr, Ni に、スリガオ地域では Te, Hg, Mo に、それぞれ富む傾向が認められた。

### (2) ポーフィリー銅・金鉱床

フィリピン全体において Cu-Au 間の正相関が明瞭に認められた。Au/Cu 比は Santo Tomas II, Dizon 両鉱床で  $1.6-1.8 \times 10^{-4}$  と最大。銅精鉱中の白金族元素については、Santo Tomas II では Pt < 50 ppb (ただし、高品位鉱中の Pt の最大値は 130 ppb), Pd 680 ppb, Dizon では Pt < 50 ppb, Pd 48 ppb, Atlas では Pt 10 ppb, Pd 230 ppb。これら鉱床を全体的に比較すると、Santo Tomas II は Pt, Pd, Hg に、Dizon は Au, Pb, Zn, As, Cd, Mn, Sb, Tl に、Atlas は Se, Co, Ni に、それぞれ相対的に富む。なお、Au-Pt 間、Au-Pd 間にもそれぞれ正相関が認められた。

### (3) オフィオライト関連クロム鉱床

Acoje 鉱床のクロム鉄鉱精鉱中には Cr 以外の濃集は特に認められないが、同鉱床の硫化物濃集体(ラボスケール)には Au 1.4 ppm, Pd 12 ppm, Pt 5.4 ppm, Ag 13 ppm, Cu 2.3%, Ni 12.4%, Co 0.24% などが含まれる。また、Se 1.8 ppm, Te 8.0 ppm が伴われる。

以上の鉱床タイプに関する限り、現下の経済的条件の下で明らかに商業的回収の対象となり得るような希少元素はまだ確認されていない。しかし、ある種の元素はフィリピンにおける各鉱床タイプ相互間の成因的関連を示唆するものと考えられ、フィリピンの地質体に適合した有効な探査指針を確立するための地化学的指標となり得る。(\*鉱物資源部 \*\*北海道支所 \*\*\*フィリピン鉱山地球科学局)

## タイ国アマン中のレアメタル資源

### 金沢康夫

アマンは錫の選鉱廃砂を意味するが、この中には Nb, Ta 等のレアメタル及び Y, La 等のレアアース元素(REE)を含む鉱物が多く存在し、未利用有用資源として選鉱開発が進められている。アマンの選鉱に伴い、その鉱物学的性質の解明は重要である。発表者は金属鉱業事業団と共同でタイ国アマン選鉱の研究を実施した。ここでは、アマンに含まれる鉱物種の量比、粒径分布、電顕観察、EPMA による分析結果及び鉱物学の立場からの選鉱への支援について報告する。

研究に使用したアマンサンプルは 4 種あり、いずれもタイ国ブーケット島周辺地域の漂砂鉱床(陸域、沿海)とペグマタイト鉱床からのものである。

X線回析法による同定では多くの鉱物種が認められた。鉱物としては量的にみて、およそ Ilmenite > Zircon > Nb, Ta-rutile > Cassitelite > Anatase > Monazite > Xenotime > Columbite > Microlite の順で少なくなる。この中で Nb, Ta-rutile (Ilmenorutile, Struverite) と Columbite が Nb, Ta の資源鉱物として、また REE 資源鉱物としては Monazite と Xenotime が重要である。

粒径はほぼ 0.1-0.5 mm $\phi$  に分布しており、細粒部には Zircon, 粗粒部には Quartz が濃集している。また、産地別ではペグマタイト鉱床、陸域漂砂鉱床、沿海漂砂鉱床の順で粗粒になる傾向が認められたが、風化の度合や堆積環境が大きく影響していると考えられる。

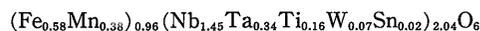
SEM 観察では特に、Nb, Ta-rutile と Columbite はともに著しく不均質な組成像を示した。しばしば、一粒の中に両鉱物が数  $\mu\text{m}$ -数 10  $\mu\text{m}$  の大きさでモザイク的模様で共生しているのが見られる。また、それぞれの鉱物はゾーニングを示し、広い組成幅をもつことがわかる。これらの鉱物を単独選鉱することはかなり困難と考えられる。

Boon Soong 産試料を分析した結果、平均化学組成式は

Nb, Ta-rutile :



Columbite :



Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> と Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の wt.% は Nb, Ta-rutile (Rutile のみを含む) で 0-20.6, 0-23.4, Columbite で 43.4-62.1, 8.7-26.6 の変化があった。

REE 鉱物: Monazite は主として軽希土元素 (Ce, La, Nd) と Th を含有する。Xenotime 中の Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は 41.7-44.5 重量%の範囲にあり、重希土元素をかなり含んでいる。

実際の選鉱にあたっては、各鉱物種がその物性値どおりには分離しないことがよくある。その大きな理由は片刃の存在と鉱物がつもつ元素の固溶領域にあると考えられる。そこで、選鉱に対して鉱物学上の支援を整理してみると以下のことが考えられる。

1. 粒度ごとの鉱物組合せと量比の決定
2. 鉱物種の平均化学組成と固溶領域の決定
3. 鉱物種ごにつきまとう片刃の割合の見積り
4. 各鉱物の外形特徴の観察
5. 各鉱物種の変質状況の観察

以上を総合して、各選鉱実験に係る標準的物性値の設定や化学的性質の幅などが評価できればよい。

(鉱物資源部)

## カーボナタイト鉱床の探査手法について

平野英雄

マラウイとケニアのカーボナタイト鉱床を対象とする資源開発協力基礎調査(3年間計画)を紹介し、それらの探査手法の特徴について述べる。

マラウイ (1986-1988)

(第1年次) カーボナタイトの分布濃集域とされるマラウイ南部地域 30,000 km<sup>2</sup> を対象に、ランドサット画像解析を実施。発見された 220 の環状構造のうち、既存資料(空中放射能調査図を含む)の検討から 25 地点を抽出・グランドトゥルス(地質調査・地化学探査)の後、カーボナタイト鉱床賦存の可能性の高い地区として、ソングエ、ツンズール、カンガンクンデ、チルワ島の 4 地区を抽出した。

(第2年次) ソングエとツンズール地区で地質精査・ショートボーリング調査、カンガンクンデでは地質精査を実施し、ツンズール地区のナターチェ丘において REE, P の濃集部ならびに、ソングエで REE (特に中稀土類)の濃集部を確認した。

(第3年次) ソングエ・ツンズール地区に追加ショートボーリングとチルワ島の地質精査・ショートボーリング調査を実施。この結果、ソングエ、ツンズール、チルワ島地区で、それぞれ、鉱量 50-160 万 t (T. REO 2 wt% 弱)の鉱床を推定した。ツンズール地区のナターチェ丘で確認した P 鉱床埋蔵鉱量(地表下 50 m まで 50 万 t, 17 wt% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)はマラウイ国で消費されるリンの 10 数年分に相当する。

ケニア (1987-1989)

資源衛星探査技術開発(MMAJ, 1981)により発見された高品位 REE 鉱石が縁となりこの地域の協力調査が実現した。

(第1年次) 広域地質図幅調査(1:50,000, 6 シート分)とカーボナタイト岩体 10 地点の地質調査・地化学探査(準精査)を実施。特に高品位鉱石の発見地であるプルヒルはグリットサンプリングによる精査を実施。この結果、プルヒル、クゲルワラ、南北ルリヒル地区の REE, Nb の濃集地を探査有望地として抽出。これらの元素は特にフェロカーボナタイトに濃集していることを確認した。

(第2年次) プルヒルでは、グリットボーリングを合

む探査、他の地区では、地質・地化探の精査を実施。プルヒルのカーボナタイトは、他のカーボナタイト岩体と比べて、一般に REE に富むことを確認した。また、ボーリングデータは、かならずしも地表サンプルの品位分布傾向と一致しないことから、プルヒル岩体は、急傾斜の同心円構造をとらないことが示唆された。3 年次調査の対象地として、REE 品位の高いプルヒルとクゲルワラ地区が選ばれた。

以上の実例から、カーボナタイト鉱床の探査手法の特徴として、①衛星による環状構造の解析、空中物探(放射能・磁気)と、②密なショートボーリング(開発はオープンピットになる)、の 2 点を挙げるができる。

(金属鉱業事業団)

## 世界のレアアース資源の問題点と新鉱床探査

神谷雅晴

レアアース資源(イットリウムを含む)の総埋蔵鉱量は、他のレアメタル資源に比べ、極めて豊富といえる。これはカーボナタイトの 2 大鉱床(Baiyun Obo, China 及び Mountain Pass, USA)に伴う埋蔵鉱量はあまりにも巨大であることによる。その他のタイプの鉱床-海浜砂、風化残留型などに伴う鉱量が全体の 10%に満たない。

一方、レアアースの需要は技術革新の進展につれて大きく変化しつつある。これまで、レアアースの需要はランタン(La)、セリウム(Ce)が中心であり、その大半を占めてきたが、近年ではセリウムの激減に比べ、サマリウム(Sm)、ガドリニウム(Gd)、イットリウム(Y)などの伸びが著しい。

レアアース資源の内訳をみると、カーボナタイト中のバストネサイト、モナサイトが大部分であることにより、軽希土(La-Nd)が全体の 94%を占める。このことはレアアース資源と現在及び将来の需要構造との著しいインバランスを意味する。

したがって、レアアース資源の今後の探査と開発については、岩石・地球化学的調査研究に基いて、中-重希土に富む鉱床の賦存可能性を検討する必要がある。つまり、花崗岩、アルカリ岩質岩のうちで比較的レアアース存在度が高く、かつ、中-重希土に富み、それらが強い風化作用を受けて分解し、厚い風化殻を残留している地質体が適当と考えられる。

(鉱物資源部)