

含スカンジウム鉱床

岸本文男(地質相談所)

Fumio KISHIMOTO

はじめに

先端技術に関連してスカンジウムが必要になりだしてからすでに10年は経過した。1956年以前には誰も顧みなかった元素であったのにここ10年ばかりのその消費量の増大状況は注目に価する。でもその供給源である鉱床についてはまだ本誌で紹介されたことがない。そこで一言のつもりがこの一文である。執筆に当って使用した資料は日本アメリカソ連の代表的な「大百科事典」中国の「中国地質報」紙と「中国地質科学院鉱床地質研究所分刊」誌とくに同誌第一巻第一号の張濤石の論文「論含鈾鉱床」(1980)である。

スカンジウムについて

スカンジウムは元素記号がScメンデレーエフの周期律でⅢ群に属し原子番号が21原子量が44.9559空気に触れると特有の黄色を示す軽金属である。

天然にはただ1種の安定同位体⁴⁵Scが知られているだけである。人工放射性同位体10種のうちでは半減期84日の⁴⁶Scがもっとも重要である。Scは1870年にD. I. メンデレーエフによって存在が予見され1879年にスカンジナビア半島のガドリナイトとユークセナイトからL. F. ニルソンによって実際に発見・抽出された。スカンジウムの名はこの産地からとられたものである。

自然界での分布：地殻中のSc平均含有率(クラーク数)は質量で $2.2 \times 10^{-3}\%$ である。岩石中のSc含有率はさまざまに超塩基性岩類では同じく $5 \times 10^{-4}\%$ 塩基性岩類では $2.4 \times 10^{-3}\%$ 花崗岩類と閃長岩類では $3 \times 10^{-4}\%$ 堆積岩類では $(1-1.3) \times 10^{-4}\%$ である。地殻中ではScはマグマ分化作用熱水作用表成作用によって濃集される。本来のスカンジウム鉱物としては3種の鉱物(ソートベイタイト(Sc, Y)₂Si₂O₇ステレタイトAl₆(PO₄)₄(OH)₆·5H₂O)バザイト((Sc, Fe)₂Be₃(Si₁₈)₂)₂が知られているがいずれもきわめて稀れにしか産出しない。全体としてScは典型的な分散元素であるが

その中では移動性の弱い物質である。なお海水中のSc含有率は $4 \times 10^{-4}\%$ である。

物理的性質と化学的性質：Scにはα型とβ型の2種の結晶態があり常温では六方格子($a=3.3080\text{Å}$ $c=5.2653\text{Å}$)を備えたα態が安定で1,350℃以上では等軸体心格子を備えたβ態が安定である。α態のScの比重は3.020(25℃)原子半径は1.64Åイオン半径は0.75Å融点は $1,539 \pm 5^\circ\text{C}$ 沸点は $2,700^\circ\text{C}$ で $1,600^\circ\text{C}$ を越えると揮発し始める。25℃における比熱容量は $25.158\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ [$6.01\text{ Kcal}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$]比電気抵抗は $(54-70.7) \times 10^{-6}\text{ohm}\cdot\text{cm}$ である。またScは弱常磁性体でその原子磁化率は $236 \times 10^{-6}(20^\circ\text{C})$ である。Scは1個の3d電子を持った遷移元素で原子の外電子配置は $3d^1 4s^2$ である。

Scは軟らかい金属で純粋なものは打ち出し圧延打ち抜きといった加工が容易である。

Scは+3価で化学的な挙動は他の遷移元素(たとえばTi³⁺ Fe³⁺ Mn³⁺)と類似しAl・Be亜群の元素ともYt亜群の元素とも似ていてときにはYt亜群の元素と一緒に稀土類元素に入れられることもある。大気中ではScは厚さ最大600Åの酸化保護被膜に覆われ顕著な酸化が始まるのは250℃からである。Scは水素と反応(450℃)して水素化物ScH₂を生じ窒素と反応(600-800℃)して窒素化物ScNをつくりハロゲンと反応(400-600℃)してScCl₃型の化合物をつくる。またScは1,000℃以上で硼素や珪素とも反応する。さらにScは塩酸硝酸硫酸によく溶ける(酸の濃度が低いほどScの溶解速度は急減し0.001N溶液では事実上溶解しなくなる)。Scの硫酸硝酸塩酸酢酸チオシアン酸の塩はいずれも水によく溶け亜磷酸蔞酸弗酸の塩は水に溶け難くアセチルアセトン塩とその弗素誘導体はいくらか揮発性を有する。Scに対してNaOH10%溶液やHNO₃-HF1:1混合物は事実上作用しないと書いてよい。Sc化合物は水中では明瞭に加水分解し塩基性塩を生じる。Sc³⁺イオンは重合しやすく各種のタイプの錯塩をつくり組成は陰イオンの性質と媒体のpHに左右される。たとえばSc(CO₃)₂⁻ Sc(SO₄)₃³⁻といった錯塩である。その溶液中の塩基性塩は結晶質水酸化物に移り変わりやすい。

抽出と用途： Scは主として酸化物の形で タングステン鉱 錫鉱 チタン鉱 ウラン鉱 ボーキサイトの湿式もしくは乾式冶金の副産物として回収される。その酸化物を高温のもとで塩素ないし弗素で処理した後 その塩化物または弗化物を金属カルシウムで熱還元し さらに高真空装置 ($133.3 \times 10^{-6} \text{ n/m}^2$ または 10^{-6} mmHg) 内で $1,600\text{--}1,700^\circ\text{C}$ に加熱し 昇華させれば Scが得られる。

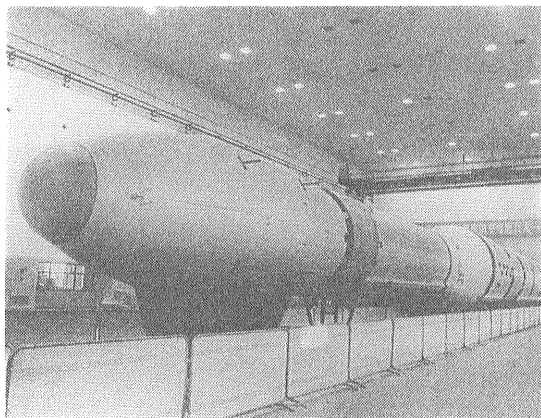
Scの用途は まだかなり特殊である。たとえば Sc酸化物は高速コンピュータの記憶素子用フェライトの製造に供される。放射性同位体 ^{46}Sc は中性子活化分析や医学分野で使われ 高熔点・小比重であるSc合金はロケット・航空機製造の材料として非常に有望であり 一連のSc化合物は蛍光剤や酸化物被覆電極の製造 あるいはガラス工業 窯業 化学工業 (触媒として) などに用いられている。

含スカンジウム鉱床

すでに述べたように スカンジウムは地殻中に主として分散状態で存在し 既知の3種のスカンジウム鉱物は自然界においては稀にしか産出しない。一般にScを $0.00\text{n--}0.0\text{n}\%$ 含有した鉱物・鉱石・火山灰 あるいは“からみ”などの製錬屑から副産物として回収されているだけである。したがって スカンジウム原料資源の確保という課題の解決は Scの自然界に分布する状態をどれだけ深く研究できるかにかかっている。

スカンジウムの発見以来このかた ソートペイタイト 錫石 鉄マンガン重石がその重要な供給源鉱物となつてはきたが 少量ながら U-Th 鉱物 ガドリナイト さらにユークセナイトなど稀土類珪酸塩鉱物 緑柱石 Nb-Ta 鉱物 アンブリゴナイトからも ウラン・燐の製錬副産物 石油の精製副産物からも回収されている。この数年来 鉄鉱石からのScの回収が注目を浴びつつある。現在のところ Scだけを稼行の対象にすることができる鉱床は発見されていない。比較的高品位のSc鉱石 ($\text{Sc}_2\text{O}_3 > 0.05\%$) の埋蔵量は ごく限られている。稼行価値を備えたSc鉱物としては ノルウエー マダガスカル モザンビークの花崗岩ペグマタイト中のソートペイタイト アメリカ合衆国ユタ州のアンブリゴナイト鉱床中のステレッタイトが知られているが いずれも産出量は少ない。

多くの研究者がそれぞれに含スカンジウム鉱床を分類しているが その分類法はさまざまである。たとえばアルハンゲリスカヤ (1963) は Scを含有する他種可採鉱床の性質にもとづいて 含Sc鉱床を 1) ウラン鉱床 (内因性含チタン・セリウム鉱床型ウラン鉱床 堆積生物吸着型ウラン鉱床 含チタン・ウラン鉱床 トリウム-瀝青ウラン鉱床型ウラン鉱床 古変成岩中のウラン鉱床) 2) 風化殻型ボーキサイト鉱床 3) 熱水性稀土類鉱床 4) ジルコン漂砂鉱床 5) 含ベリリウム-グライゼン型鉱床 6) 鉄鉱床 (これをさらに幾つかに細分している) などに分類し コーガンとカズバノーフは含Sc鉱を ウラン-トリウム鉱



第1図 1986年2月1日 中国西昌の衛星発射センターから通信衛星「長征3号」が打ち上げられ 東経103度の赤道上空の静止軌道に乗せられた。この衛星もその打ち上げ用ロケットも 中国が独自に開発したもので ロケットは輸出されるとのことである。このロケットにもスカンジウム合金が使われている。
 (“中国画報” 1986. 5)



第2図 砂漠の中での位置の測定。タリム砂漠の総面積は 56 万 km^2 で 日本の総面積の1.5倍もある。使用しているのは 今では世界の常識となっている 衛星定位計と呼ばれる非常に精度の高いもの。これにもコンピュータが そしてスカンジウムが使われている。 (“中国画報” 1986. 4)

含スカンジウム鉱床分類表

鉱床のタイプ	母岩	主な含 Sc 鉱物	共生鉱物	産地
内因性含 Sc 鉱床				
1. 花崗岩ベグマタイト型	角閃岩と輝岩, 塩基性岩, 塩基性片麻岩	ソートベイト, パゼイト, ニオブータンタル酸塩鉱物, ガドリナイト, 緑柱石, ユークセナイト・ポリクレスなどの稀土類珪酸塩鉱物, プラネライト, チタン鉄鉱, 白雲母	石英, 長石, 黒雲母, リンア雲母, 螢石, 黄玉, 電気石	ノルウエー, ソ連カレリア地方, モザンビーク, マダガスカル
2. 気成-熱水型				
(1) 曹長石化花崗岩	花崗岩, 花崗斑岩, アブライト	コロンバイト, サマルスカイト, フェルグソナイト, パデレライト, ジルコン, 燐灰石	曹長石, 微斜長石, 石英, 雲母	ソ連カザフ地方
(2) グライゼン型及びグライゼンと関係ある石英脈	花崗岩, 花崗斑岩, アブライト, その他のアルミナ珪酸塩岩類	鉄マンガン重石, 錫石, ソートベイト, 緑柱石, アンケライト	石英, 雲母, 螢石, 黄玉, 電気石	ソ連カザフ地方 中国浙江省
(3) 高温石英脈型	花崗岩及びそれと側岩との接触帯	鉄マンガン重石, 錫石, コロンバイト-タンタライト, ガドリナイト, 緑柱石	石英, 長石, 雲母, 硫化物	中国江西省 中国福建省
(4) スカルン型	花崗岩と石灰岩との接触帯	チタン鉄鉱-磁鉄鉱, 緑柱石, アンケライト, 透輝石, 透角閃石, ざくろ石	石英, 長石, 螢石, 黄玉, 電気石	米国ニュージャージー州 ソ連カザフ中部 中国福建省
(5) カーボナタイト型				
① カーボナタイト	超塩基性岩, アルカリ岩	バイロクロア, コロンバイト, 灰チタン石, ジルコン, 燐灰石	エジリン輝石, 霞石, 黄長石, かんらん石, 黒雲母, 方解石	カナダ国ケベック州 ソ連コラ半島
② カーボナタイトと関係ある螢石鉱床	粗粒黒雲母-斜長石花崗岩	ソートベイト, ユークセナイト, ポリクレス	方トリウム石, 稀土燐灰石, 螢石, 黄玉, 電気石, スフェーン, 黒雲母, 角閃石	米国ラバリーカウンティ
③ 変カーボナタイト(?)	泥質岩類, 炭酸塩岩類	Y-バストネサイトなどの稀土類鉱物, コロンバイト, 輝石, 角閃石	磁鉄鉱, 重晶石, 方解石など	中国内蒙古自治区 (バヤンオボ?)
3. 古期変成岩類中のダビダイト鉱床	片麻岩, 珪岩, 角閃岩	ダビダイト, プラネライト, トリウム澀青ウラン鉱	黒雲母, チタン鉄鉱, 金紅石, 赤鉄鉱	オーストラリアのレイマウント
外因性含 Sc 鉱床				
1. 漂砂鉱床	各種の砂岩, 礫岩	プラネライト-トルタイト, コロンバイト, フェルグソナイト, タンタライト, 鉄マンガン重石, 錫石, ジルコン, パデレライト, ユークセナイト-ポリクレス	石英, 長石, ざくろ石, 電気石, 磁鉄鉱	米国ブランデ河流域 中国広東省
2. 風化浸透型燐酸塩鉱床	礫状一角礫状石灰岩, 頁岩	コルベッカイト, クランダライト, ゴヤザイト, 銀星石, パリスカイト	明礬石, 褐鉄鉱, カオリン, 方解石, 石英	米国ユタ州フェアフィールド
3. 堆積吸着型鉱床	生物源堆積岩, 燐酸塩岩, 粘土, ラテライト, 砂岩, シルト岩	褐鉄鉱, 赤鉄鉱, 二次ウラン鉱物, 二次燐鉱物, モンモロロナイト, ギブサイト, ボーキサイト, 稀土類水酸化物	カオリン, 長石, 石英, アスボライトなど	ソ連 南アメリカ

石 錫石-鉄マンガン重石鉱石 カルボナタイト 鉱石
軽金属主体の鉱石 軽金属鉱石 重金属鉱石などに分類
している。

含スカンジウム鉱床の成因による分類

張壽石(1980)によると 含スカンジウム 鉱床には
内因性鉱床と外因性鉱床がある(第1表)。 この第1表
にしたがって 鉱床の内容を説明する。

I. 内因性含Sc鉱床

内因性含 Sc 鉱床は カルボナタイトを除けば その
圧倒的大部分が酸性もしくは超酸性深成含タンタル花崗
岩と成因的に深い関係を有する。 地殻中の大部分のSc
は塩基性岩と超塩基性岩中に分布するが Scの結晶化学
的な性質および地球化学的な性質が Fe^{3+} Al さらに
 Fe^{2+} Mg とよく似ているため 塩基性岩ないし超塩基
性岩の固結段階で Scは主に Fe-Mg 鉱物中に同形置換
元素として存在し 同鉱物とともに分散分布することを
指摘しておきたい。 そのため 塩基性岩や超塩基性岩
と関係のあるペグマタイトおよび後マagma分化期の生成
体には 一般に 大量に Scが濃集することはない。

それでも主な内因性含Sc鉱床は 現在のところ ペグ
マタイト型鉱床と後マagma分化期の気成-熱水性鉱床の
2タイプである。 では この両タイプなどいくつかの
有望タイプの内因性含 Sc 鉱床について解説してみよう。

(1) 花崗岩ペグマタイト型含 Sc 鉱床

このタイプの鉱床が今なお 引き続き Scの重要な供
給源になっている。 このタイプの鉱床でも Scが独立
鉱物として産出することはきわめて稀で 主に同形置換
成分として ガドリナイト サマルスカイト フェルグ
ソナイト ユークセナイト ポリクレス コロンバイ



第3図 湖北省の北西部に周屈が約400kmほどの山
塊がある。武当山という。この山塊中に
最近有名になってきた廟壺のカルボナタイト
鉱床がある。写真は「真武帝」が仙人に
なったところという伝説のある武当山の飛身
岩。(“中国画報”1985.4)

トなどの鉱物中に存在する。 マダガスカル島の花崗岩
ペグマタイトでは 鉱物中のSc含有率がコロンバイト・
タンタライト→白雲母・黒雲母→ざくろ石→緑柱石→電
気石→磁鉄鉱・チタン鉄鉱の順に低くなっている。 同
ペグマタイト中の Sc含有率をもっとも高い 鉱物は コロ
ンバイトで そのSc含有率は Sc_2O_3 の形で6.10% それ
に次ぐのがスカンジウム-ニオブ-タンタル酸塩鉱物で
その Sc含有率は同じく6.00% そしてスカンジウムイ
キシオライト(同じく5.04%)である。



第4図

中国の地質学が得意とする分野は古生物学と構造地質
学 それに地震地質学であろう。写真は構造地質学
説の中で「地窪説」と呼ばれる学説を提起した陳国達
教授が湖南省で鉱床探査中の地質技師たちにアドバイ
スしている場面。「地窪説」は構造地質学ととくに鉱
床地質学を結ぶ学説といえる。(“中国画報”1984.3)

世界の大多数のペグマタイト生成区におけるペグマタイトのSc含有率は低く 変化幅も非常に大きい。ただ幾つかの生成区や地区では そのペグマタイト中にScが濃集している その濃集が当該生成区・地区の地球化学的特徴と密接な関係がある と言われている。V. M. ゴールドシュミット C. フロンデル L. F. ポリセニコといった人々がかつて ペグマタイトの形成過程で行われた同化作用がスカンジウムの濃集に重要な役割を果たしていることを力説したが その結論はまず間違いないだろう。含Scペグマタイトの側岩は 一般にSc含有率が比較的高い輝岩 角閃石岩 塩基性岩 塩基性片麻岩であり Scの含有率が比較的高いペグマタイト岩体内でその側岩の捕獲岩が認められることもある。

含Sc花崗岩ペグマタイトは 多くが稀有金属ペグマタイトに属するものである。この種のペグマタイトは一般にさまざまな地質時代の黒雲母-微斜長石花崗岩と直接成因的な関係を有する。ソ連の地質学者ロジオノフは 含Scペグマタイトの生成にとって有利な環境は形成深度が深い稀土類ペグマタイトが生成することであると考えている。

含Scペグマタイトの大部分は脈状を示し 一般に分化が進み 帯状構造を備えている。

ノルウェーのアイブランド (Iveland) 花崗岩ペグマタイト岩体は この種の鉱床の代表的なものである。この岩体は 一般に角閃岩中に分布する。同岩体の累帯配列 (帯状構造) は鮮明で 側岩との接触帯から内方に向かって次第に文象花崗岩ペグマタイト→微斜長石・灰

曹長石花崗岩ペグマタイト→石英質ペグマタイトに変わっている。ソートベタイトは同岩体から初めて発見された鉱物で 尖った長柱状の結晶を形作り 長さ35 mm 幅4 mm に達するものも産出した。この鉱物は稀有鉱物であるユークセナイトや金紅石 モナズ石 緑柱石などと共生し 文象花崗岩帯と微斜長石・灰曹長石花崗岩帯の接触部に存在する。

また 一般に花崗岩ペグマタイトの晶洞から ごく稀れながらバザイトが発見されることがあり その場合バザイトは長柱状もしくは針状の集合体として螢石や石英と共生している。

(2) 気成-熱水性含 Sc 鉱床

マグマ分化期後の鉱化作用の中で スカンジウムの大部分はかなり高い温度と圧力のもとで形成された岩脈・グライゼン・スカルンなどの中に集中する。このような含スカンジウム鉱床の主なものとしては 曹長石化花崗岩型 グライゼン型 高温石英脈型 カーボナタイト型 スカルン型 変成岩中のダビダイト型 (高温熱水型) がある。

(i) 曹長石化花崗岩型含 Sc 鉱床

このタイプの含スカンジウム鉱床はニオブとジルコニウムの強い鉱化作用を受けている。その主な含Sc鉱物はコロンバイトとジルコン (変軟風信子鉱) で 両者の Sc_2O_3 含有率が0.04-0.06%に達していることもある。その鉱体は岩株状を示す事が多く 鉱体の中心部から頂部に向かってコロンバイトとジルコンの量が多くなる傾向をもっている。このタイプの鉱床の鉱化規模は大きく 有用元素の種類も多い。

ソ連カザフ共和国のテレンチンスク山塊中の含Sc曹長石化花崗斑岩は 同山塊の雑粒質黒雲母花崗岩中に一部はアプライト中に存在する。この曹長石化花崗斑岩が雑粒質黒雲母花崗岩の頂部で接触する場合 その接触面は一般に鮮明であり 1-30mmの急冷周縁相を伴っていることもある。同花崗斑岩は淡灰色または紫灰色を示し 石基の粒度は1 mmを越えず 斑晶の大きさは3-5mmである。その構成鉱物は 主に石英 (25%前後) 曹長石 (5%前後) 斜長石 (20-30%) 黒雲母 (5%前後) で 少量の磁鉄鉱・コロンバイト・変軟風信子鉱などを伴っている。そのコロンバイトと変軟風信子鉱の Sc_2O_3 の含有率は0.05%に達している。

(ii) グライゼン型およびグライゼン化と関係のある石英脈型含 Sc タングステン・錫鉱床と同含 Sc タングステン・ベリリウム鉱床

グライゼン型の表記鉱床の鉄マンガン重石と錫石は今もスカンジウムの重要な供給源になっている。それ



第5図 最近 鉱物資源の宝庫として脚光を浴びてきた横断山脈。雪を頂いた姿は美しいが 地質調査を行うには厳しい。この山脈の最高峰は標高7,590mの貢嶼山 (ミニヤ・コンカ) である。 (“中国画報” 1982. 1)

に対し 中-低温熱水型鉱床の鉄マンガン重石と錫石は一般にスカンジウムを含んでいないか、さもなければその含有率が非常に低く、硫化物を主とする熱水性鉱脈でスカンジウムが認められる場合はきわめて稀である。

グライゼン型の含Scタングステン・錫鉱床は、通常アルカリに富んだ超酸性ないし酸性花崗岩と成因上密接な関係をもっている。その鉱物構成上のいちじるしい特徴は、含Sc鉱物である鉄マンガン重石と錫石、さらに緑柱石が螢石、黄玉、電気石などの弗素に富んだ鉱物と共生することである。この場合の鉱物中のSc含有率は一般に鉄マンガン重石(錫石)→緑柱石→白雲母の順に低くなる。そして鉄マンガン重石と錫石の Sc_2O_3 含有率は0.1%に達することもあるが、一般的には0.01%かそれ以下である。

中国浙江省の一鉱床のタングステン・ベリリウム石英脈群はスカンジウムを含んでいるとのことであるが、肝心な場所は明らかにされていない。この鉱脈群は強くグライゼン化された燕山期の花崗岩中に胚胎されている。グライゼン化帯の幅は脈壁から数mないし10数mで、脈壁の近くに幅0.2-0.5mmの苦灰石化帯を伴うこともある。鉱石鉱物は緑柱石、鉄マンガン重石と後期の硫化物(輝水鉛鉱、黄鉄鉱、硫砒鉄鉱、黄銅鉱、斑銅鉱、輝蒼鉛鉱)からなり、スカンジウムは主に鉄マンガン重石中に存在する。鉱石のタイプが違ると、その鉄マ

ンガン重石中のSc含有率も異なり、タングステン錫型鉱石の鉄マンガン重石の場合はSc含有率が平均0.021%、タングステン-ベリリウム型鉱石の鉄マンガン重石の場合は平均0.038%、硫化物-鉄マンガン重石型鉱石の鉄マンガン重石の場合は僅か0.001-0.01%にすぎない。

なおグライゼン型ベリリウム鉱床と同じくニオブ・タンタル鉱床も、ときにはスカンジウムに富むものがある。その場合のスカンジウムは主として緑柱石とニオブ-タンタル鉱物に含まれている。

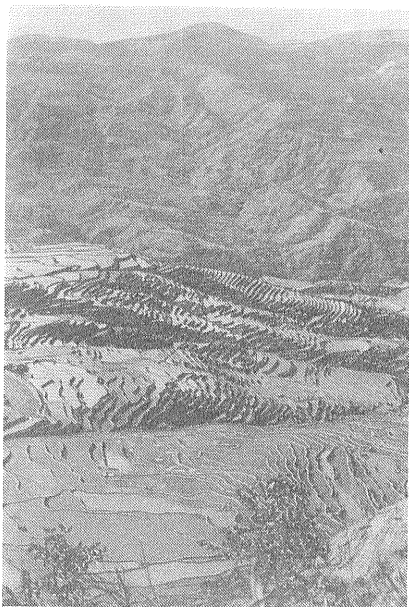
(iii) 高温石英脈型含Scタングステン・錫鉱床

この種の含Sc鉱床は、たとえば中国のいわゆる華南地方にあり、江西省のタングステン・錫鉱床、タングステン鉱床、福建省のタングステン・錫鉱床の中にその例が多い。

江西省のタングステン・錫鉱床での例の場合は、多種類の有用金属元素を含有した規模の大きい錫石-鉄マンガン重石鉱床である。その鉱床は主としてホルンフェルス化した弱変成砂岩と同頁岩に胚胎され、深部に燕山期前期の黒雲母花崗岩が分布している。鉱化帯はその花崗岩体の付近から内部にも及んでいる。主な鉱石鉱物は鉄マンガン重石と錫石で、少量の緑柱石、輝水鉛鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、輝蒼鉛鉱を伴っている。スカンジウムは主に鉄マンガン重石と錫石中に存在し、それぞれの Sc_2O_3 含有率は一般に0.000n-0.01%であるが、花崗岩中の鉄マンガン重石の方がタングステン-錫可採鉱体中の鉄マンガン重石の場合よりもSc含有率は高い。タングステン-錫可採鉱体の鉄マンガン重石では、脈壁近くの下端付近のものがスカンジウムに富んでいる。福建省のタングステン・錫鉱床の例では第一世代の鉄マンガン重石の方が第二世代のものよりもSc含有率は高い。このことはスカンジウムが鉄マンガン重石の早期生成段階に濃集しやすいことを物語っている。

(iv) スカルン型含Sc鉱床

スカンジウムがスカルン鉱床中に存在する例は、現在のところあまり知られていない。スカルン型磁鉄鉱鉱床にその例が認められている程度である。その場合の含Sc鉱物は、磁鉄鉱、チタン鉄鉱、チタン磁鉄鉱、そして透輝石、透角閃石、ざくろ石などのスカルン鉱物であり、後者の方が前者の3金属鉱物よりもSc含有率は高い。地域によっては、スカルン鉱物中のSc含有率の幅が非常に広い。このタイプの含Sc鉱床はグライゼン型鉱床とよく似た点があり、たとえば含Scスカルンの共生鉱物中にも大量の含弗素鉱物(黄玉、螢石、白雲母、電気石)が存在している。ソ連カザフ地方の含Scスカルン型磁鉄鉱鉱床中の鉄白雲母は Sc_2O_3 を最高0.62%



第6図 雲南省の哀牢山山区。この山地も一つの鉱山地帯である。それにしてもハニ族が開墾した段々畑はすばらしい。(“中国画報”1964.9)



第7図

内蒙古自治区白雲鄂博ニオブ-稀土類-鉄鉱床の主鉱体露天掘りの現場。協議しているのは採鉱の責任者たち。それにしても 大きな機械が使われているものだ。機械化が進んでいると言うことか。この鉱山は稀土類としては世界一の埋蔵量を誇っている。（“中国画報” 1982.8）

含み その鉄白雲母は黄玉を伴った雲母-螢石-ざくろ石組み合せのスカルンから産出する。このような事実からすると 弗素イオンがスカンジウムの移動と濃集に対して重要な役割を果たしているように思われる。

張濤石 (1980) の分析データによると 中国福建省の一地方 (正確な位置は判らない) のスカルン型 磁鉄鉱鉱床もスカンジウムを含有しており その磁鉄鉱中でのSc含有率の変化は鉱石のタイプと密接な関係があって 透輝石-磁鉄鉱鉱石中の磁鉄鉱は Sc 含有率が高い。1974年の L. F. ポリセンコの論文によると ソ連のスカルン型磁鉄鉱鉱床の場合はその他の成因の鉄鉱石の磁鉄鉱よりも Sc 含有率が低い。

(v) 含 Sc カーボナタイト鉱床

張濤石 (1980) によると 含 Sc カーボナタイト鉱床は「純粋な」カーボナタイト鉱床 カーボナタイトと関係のある螢石鉱脈鉱床 変カーボナタイト鉱床の3種に分類できる。

a) 「純粋な」含 Sc カーボナタイト鉱床

多くの産出状態から見ると カーボナタイト鉱床は空間的にも時間的にも 超塩基性-アルカリ岩と密接な関係を持っている。カーボナタイトは 一般に脈状 塊状あるいは不規則な形態で超塩基性-アルカリ岩岩体中に分布する。同岩体は同心円状の構造を備え その中心部がカーボナタイト 縁部がアイヨライト-ウルタイトなどで構成されていることが多い。側岩は強くフェナイト化されている。含Scカーボナタイトは多くが灰色 粗粒質である。同カーボナタイトの構成鉱物は主に方解石で 少量の黒雲母 金雲母 白雲母 角閃石 かんらん石などを伴い 副成鉱物として 燐灰石 磁鉄鉱 チタン鉄鉱 灰チタン石 パイロクロア バデレアイト ジルコンなどなど多くの種類の鉱物を随伴する。

スカンジウムは 主に副成鉱物中に含有され その含

有量は数10ppmから数100ppmである。たとえば G. N. エビー (1973) の研究によると カナダのケベック州オカ地区のカーボナタイト中のパイロクロア 燐灰石 灰チタン石には それぞれ Sc_2O_3 が 103ppm 91.1ppm 52ppm含まれ しかも揮発成分に富んだ黒雲母カーボナタイト中にスカンジウムが集まる傾向が強く さらにSc含有率は稀土類の含有率とほぼ正比例する。

b) カーボナタイトと関係のある含 Sc 螢石鉱脈

この種の含Sc鉱床は アメリカのモンタナ州ラバリーカウンティで初めて発見され R. L. パーカーと R. G. ヘブンを1963年にこれをカーボナタイト鉱床に入れたという経過がある。

この鉱床は 粗粒黒雲母花崗岩中の板状螢石鉱体群で構成されている。その黒雲母花崗岩中には 黒雲母-石英-斜長石片麻岩 角閃石-斜長石片麻岩 ペグマタイトの捕獲岩が認められる。螢石主鉱体の暗紫色螢石と密接に共生してソートベイタイトが存在し そのソートベイタイトは長柱状の自形または半自形を示し 多くは長さが3mmに達している。このソートベイタイトが少量の石英 スフェーン 灰曹長石 含稀土類燐灰石などを伴うこともある。

c) 含Sc変カーボナタイト鉱床

変カーボナタイト鉱床とは 前述の張濤石 (1980) が疑問符を付して分類した含 Sc 鉱床の1タイプである。分類に当って 彼が念頭に置いたこのタイプの鉱床は 中国内蒙古自治区の白雲鄂博鉱床と思われる。同鉱床の成因については 彼も認めているように 目下盛んに論争中であって 確定されていない (その論争の内容はすでに“地学雑誌”第94巻 第4号 (1985) で 筆者が詳しく紹介・説明済み)。もしこの分類の 標式鉱床が白雲鄂博鉱床であれば このようなタイプの設定は正しくないかあるいはまだ早すぎる。したがって ここでは 変カ

一ボナタイト型含スカンジウム鉱床を「仮」のタイプとして取扱うことにする。

張濤石(1980)はこのタイプの鉱床の存在地を内蒙古自治区であると述べ、同鉱床がジルコニウムとスカンジウムを伴ったニオブ-セリウム族稀土類-鉄鉱床で、露天掘りによる稼行中の鉱床と説明している。主な含Sc鉱物はバストネサイトその他の稀産鉱物で、たとえば螢石-重晶石脈中の「バリウム苦土石」(原名鉬鎂石)は Sc_2O_3 を最高2.1%含んでいる。鉱床の鉱化規模は非常に大きく、この鉱床が中国のスカンジウム原料鉱物の主な供給源の一つになっている。

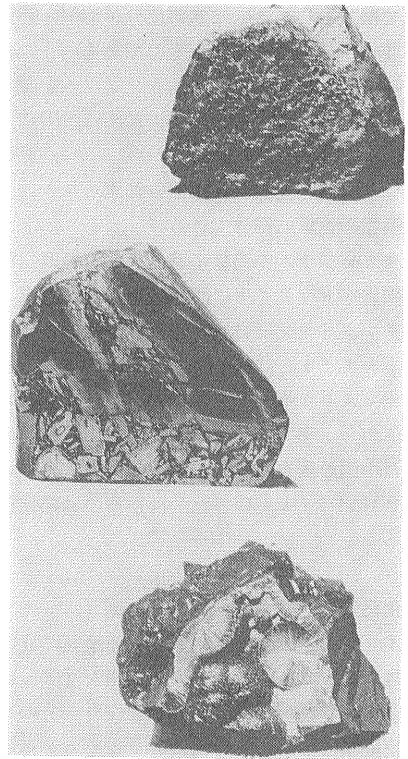
(3) 古期変成コンプレックス中の含Scダビダイト鉱床

この種の含Sc鉱床は古期変成コンプレックス中に限られ、鉱化現象は複雑である。オーストラリアのレイマウント鉱床の場合、そのダビダイトの Sc_2O_3 含有率は0.3%に達している。鉱石は主に磁鉄鉱、チタン鉄鉱、黒雲母、石英、金紅石からなり、ダビダイトは鉱体中心部の限られた部分に集中している。鉱体は先カンブリア時代の片麻岩・角閃岩および珪岩中にほぼ平行して分布し、今のところ3体の大型鉱体と5体の小型鉱体が知られ、これらの鉱体の総厚度は数1,000フィートとのことである。

II. 外因性含スカンジウム鉱床

外因性含Sc鉱床は将来スカンジウムの重要な原料鉱物の供給源になる可能性が大きい。現在すでにソ連中国などの諸国では、漂砂鉱床や堆積燐酸塩鉱床からスカンジウムを酸化物の形で抽出しているし、とくにソ連での鉱床学および地球化学的な研究は世界的に一頭地を抜いているように見受けられる。この点に関連して言えば、中国がソ連と科学技術協力協定、科学技術情報交換協定など、幾つかの科学技術上の協力協同に関する国際協定を結び直してから、すでに3年。昨年の両国代表による協議の結果は、さらに内容を広げ、深めた。交換学生の数にしても、3年前の10人が今年には200人にふえた。来年は、それが4桁の台に乗るかも知れない。両国の貿易額も、着実というよりも、飛躍的と言えるほど伸びている。

このような両国の結び付きの強まる中でスカンジウム鉱物資源の分野では、中国はソ連から多くの知識を得て、大きくその研究を進展させることができるようになるだろう。一方、ソ連は中国が開発した、たとえばチタン白の廃液からの Sc_2O_3 回収技術を習得し、活用することができるようになるだろう。国際関係の在り方とはこういったもので、角を突き合わせるなんていうことは愚



第8図 湖南省-江西省省境地域の丘陵地帯のウラン鉱床を構成するウラン鉱石。カラー写真でないため見えにくい。もとの写真(カラー)では二枚貝が含まれている状態ははっきり認められる。ウラン鉱物の鑑定に長けた方々にもとのカラー写真を見ていただければ幸いである。(“中国画報”1986.2)

の骨頂なのである。それにつけても、中国がスカンジウムなどの稀土類鉱物資源の調査や探査に関して、日本にそれほど興味を示していないことは、寂しい限りである。この資源に関して、中国が日本に熱いまなざしを向けているのは、新たな用途と加工技術、そして品質管理にあるように思われる。

話を本論に戻し、外因性含スカンジウム鉱床の内容について触れてみよう。外因性含スカンジウム鉱床には、漂砂鉱床(堆積砂鉱床)、風化浸透堆積型燐酸塩鉱床、堆積吸着型鉱床の3種のものがある。

(1) 含Sc漂砂鉱床

このタイプの含スカンジウム鉱床は、風化作用が働く環境下で、錫石、燐酸イットリウム鉱、ざくろ石、鉄マンガン重石、ジルコン(バデライト)、パイロクロア、プラネライト、ユークセナイト(ポリクレーズ)、トーライト、金紅石、Nb-Ta鉱物などが、河川・海流・波浪など

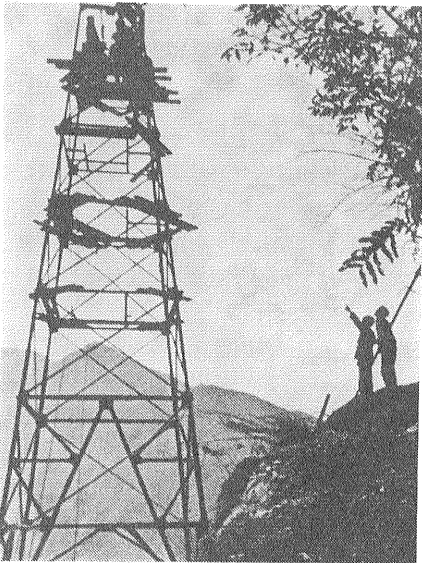
で運ばれて濃集しあるいは水溶成分が溶解・運搬・除去されて残留・濃集してできたものである。これらの鉱物は一般に多かれ少なかれスカンジウムを含んでいる。このタイプの含スカンジウム鉱床は成因によってモナズ石-錫石沖積漂砂鉱床 パイロクロー-パデリアイト-ユークセナイト-褐簾石残留漂砂鉱床 ジルコン-ざくろ石海浜漂砂鉱床に細分できる。

とくにスカンジウムの濃集に適しているのは花崗岩または花崗岩ペグマタイトに関係のある漂砂鉱床 グライゼン型タングステン-錫鉱床と関係のある漂砂鉱床およびカーボナタイトと関係のある漂砂鉱床である。アメリカのオンタリオ州ブランツ川流域の変成漂砂鉱床のダビダイトからすでにスカンジウムが回収されている。また中国の広東省にはスカンジウム含有率がかなり高いコロンバイトを伴った沖積型の砂錫鉱床が知られている。

(2) 風化浸透堆積型含 Sc 磷酸塩鉱床

このタイプの含スカンジウム鉱床は地表に近い環境下で含スカンジウム磷酸塩が風化作用を受け地下に浸透して含 Sc・スカンジウム地下水を作りその地下水と側岩が反応することによってスカンジウムが再沈澱し鉱床を形作ったものである。

この代表例であるアメリカのユタ州フェアフィールド



第9図 四川省での磷鉱探査の一駒。実施しているのは四川省地質局。10億を越える人々の食糧確保のためだけでなくスカンジウムの供給源としても磷鉱は大切である。(“中国画報”1963.2)

含Scパリスカイト鉱床はすでにスカンジウム鉱石の採掘を行っている。同鉱床はスカンジウムの独立鉱物であるコルベッカイト(ステレタイト)と Sc_2O_3 を0.1%含有したハムリナイトが初めて発見された所でもある。この鉱床は二疊系石灰岩層群の上部層に胚胎され、鉱床地域は激しい構造運動を受けていてその運動は古生代から断続して第三紀に及んでいる。鉱床は地表下の比較的浅い角礫化石灰岩帯中に存在し、鉱石は主に破碎-膠結構造を示し、主な鉱石鉱物はパリスカイトと克蘭ダライト(パリスカイトの二次鉱物)およびミリサイトで、それらが結核状、土状、緻密塊状の集合体を作っている。この鉱石中の含Sc鉱物とその生成順序・ Sc_2O_3 含有率はパリスカイト(0.01-0.1%)→克蘭ダライト(0.01-0.8%)→ワーダイト(0.5%)→ハムリナイト(0.3%)→コルベッカイト(39.2%)となっている。大体のところスカンジウム含有率は鉱化過程の後期になるほど高くなるようである。

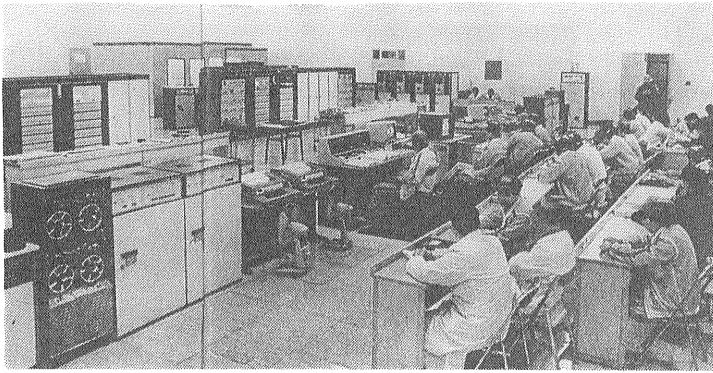
このタイプの含スカンジウム鉱床の生成は、鉱床付近および広域にわたる地球化学的なバックグランド、地下水の化学組成・性質と深い関係をもっている。たとえばフェアフィールド鉱床の場合、その磷酸塩胚胎層の Sc_2O_3 含有率は最高0.05%に達していて、この値は他の地域の同じような磷酸塩胚胎層の通常の値よりも1-2桁高く、さらに鉱床付近の地層構成鉱物の含Sc量も比較的多く、これがスカンジウムが濃集するのに必要な物質的な基礎になったものと思われる。

(3) 堆積吸着型含 Sc 鉱床

このタイプの鉱床は、褐鉄鉱、各種の砂岩と粘土、あるいは魚骨化石中のスカンジウムが供給源となった含スカンジウム鉱床である。その生成にはこれらの堆積物中のスカンジウムのほか、 Fe^{3+} 、Al、そして有機物が関係していると思われる。この場合スカンジウムの含有率は堆積物の表面積に比例し、堆積物の粒径が小さいほど層中のSc含有率は高い。そのスカンジウムの存在形態は水酸化物の形で堆積物の表面に吸着されている可能性が高いが、同形置換の形で結晶格子中に入っている可能性もある。

以上のタイプのほか、外因性含スカンジウム鉱床としては風化残留型のものも重要である。中国には超塩基性岩の風化殻中のカオリン、タコヴァイト、ギブサイトの混合物中で Sc_2O_3 が0.05%以上含まれていることがある。ポーキサイトの風化殻もスカンジウムが比較的濃集する場である。

なおドイツのハルツ山脈中の堆積鉄鉱床には、その赤鉄鉱層が最大0.1%のスカンジウムを含んだものがあ



第10図

中国甘肅省酒泉の衛星発射センター指令・制御室のコンピュータールーム。写真で見ると最新・最高の設備 洗練された配置とはいえないが ここにも稀土類資源の活躍がある。（“中国画報” 1986.5）

り また ソ連の燐酸塩鉱層胚胎層中の鉄マンガン団塊が0.05%の Sc_2O_3 を含有している例もある。

おわりに

以上が 含スカンジウム鉱床についての一言である。長い一言になったが 最後を我が国での含スカンジウム鉱床の展望 と言ったものでしめくりたい。

我が国での広くスカンジウムを含めた稀土類の地球化学的な研究は 現在 主として火成岩の成因や火成岩と広域地質構造・広域構造運動との関係を解明するために進められている段階にある。実際のところ 日本の国土を構成する地質体の 何処の 何に どれだけスカンジウムが含まれているか その含有率は？ その含有量は？ となると 判っていることよりも判っていないことの方がはるかに多いのである。ましてや我が国土の含スカンジウム鉱床の実態に関する知識は 鉱物資源の専門家でも まずはゼロに等しい。

では 予想できるスカンジウムの濃集体は 日本には無いのか？

稀土類全体でいえば 日本では その鉱物を比較的濃集しやすい岩石は過アルミナ花崗岩とアルカリ花崗岩の系列のものと理解されている。ところが 前述の分類や地質条件からすると そのような限定は必ずしも正しくはない。我が国の花崗岩類は中生代白亜紀以降のものが多く そのほとんどがカルク-アルカリ系列の花崗岩であるが 地質調査所の石原舜三氏によると その中の錫とタングステンに富むものは分化が比較的進んだマグマの生成物で ペグマタイトやグライゼンに富むのがその特徴とされている。これは 含スカンジウム鉱床

が日本に存在する可能性を示唆する特徴と言える。さらに 地質調査所の五十嵐俊雄氏 坂巻幸雄氏 当時は地質調査所員であった浜地忠男氏らの苗木地域や阿武隈山地での調査・研究の成果もあり 示唆にも富んでいるのであるが いずれもウラン・希少金属と稀土類の鉱床としての鉱床研究で スカンジウムを対象をしぼったものでなく したがって日本での関係鉱床の研究結果から含スカンジウム鉱床の存在と存在地域を予測することは簡単ではない。

敢えて答えれば 「日本にも存在する条件はある。すでに述べた各タイプのうち 我が国にも存在する可能性がある含スカンジウム鉱床のタイプは 1)花崗岩ペグマタイト型 2)グライゼン型 3)高温石英脈型 4)スカールン型 の4タイプと思われる。その実態を明らかにし スカンジウム原料資源を生産するためには まず既知鉱床の見直し 地質条件と鉱床生成条件に照らした有望地域の正確な選定 合理的探査による量と近代的分析法による品位の把握が不可欠」 ということである。

あるいは 日本独特のタイプが存在するかも知れないのである。眠る資源を掘起こすと言う意味で 日本で産出している あるいは産出した鉱石や鉱化部 母岩の試料を出来るかぎり洩れなく 日本が世界に誇っている最新の機器と技術を駆使して分析すれば スカンジウムはもちろんのこと 他の稀土類資源についても 新たな発見があること そして有望な地域 調査すべき鉱床が正確に選定できることはまず間違いないだろう。かくして 既存の鉱床を見直す日が訪れ その中からいくつかの鉱床がスカンジウムを含む鉱床として再発見し また、新たに登場する鉱床があることを 筆者は大いに期待していると言うわけである。（おわり）