

## 資 料

553.463.04

### 予測を目的としたタングステン鉱床の分類\*

V. K. Demisenko\*

岸本文男訳\*\*

各種の原則、すなわち成因の原則、鉱物-地球化学的の原則、地質-鉱物学的の原則など (A. D. Shcheglov, G. N. Shcherba, A. M. Bybochkin, Ye. P. Malinovskii, M. M. Povilaitis, D. O. Ontoyev, F. R. Apel'tsin, Ye. S. Pavlov ほか) にもとづいて現在まで提起されてきたタングステン鉱床の分類はそれぞれ分類されている鉱床グループの鉱床の規模を念頭におく、予測を目的とした特別な分類の問題を具体化するものではない。現在、ほとんどの研究者は、予測を目指した合理的な分類がフォーメーションの原理にもとづかないと組み立てられない、という見解 (Tatarinov, 1963) を支持している。しかしながら、その組み立ては複雑であり、複雑さの原因は“鉱石フォーメーション”の定義そのものがあいまいさを残していることにある。

鉱石フォーメーションの分類の基礎となるのは各地方で重なり合っている鉱化作用の中から共通したタイプのをまとめ上げることである。

加えて、多くの場合、フォーメーション解析は鉱床の「内容程度」にもとづいて行われる。すなわち、分類の要素として鉱物組成の類似性と構造の類似性が利用される。さらにまた、ほぼ同時に生じた鉱物共生関係が一つにまとまって、あるいはタイプを異にし、生成時期を異にした鉱物共生関係が組み合せて生成されているという当該鉱床の複雑さの程度もかなり広く判ってきている。

一鉱床田<sup>1)</sup>の範囲で生成期を異にした鉱化生成体が空間的に共存し得ることは、すでに、N. V. Petrovskaya, R. M. Konstantinov, I. Ya. Nekrasov, M. A. Favorskaya, I. N. Thomson, O. P. Ivanov から多くの研究者によって指摘されているところである。しかしながら、今までの分類方式には鉱床の構成に関するこの重要な特徴が全く反映されていなかった。そして、かなり広範なタングステン含有鉱床グループ、たとえばタングステンが副産物となり得る「異種」フォーメーション型の鉱床は落されている。

そこで、鉱石フォーメーションを骨組にすれば分類できるということを前提に、構造および構成物質を取り扱うことによって実際上すべての既知タイプのタングステン鉱床を分類してみた。鉱石フォーメーションは地質生成体の1変種とみることができ、同じタイプの鉱物共生の統計的に一定した組合せおよび当該鉱物共生の空間的な分布上の規則性、すなわち累帯配列によって特徴づけられるものである (Rundkvist, 1971)。「鉱床」という概念は経済地質学的なものであって、鉱物原料市況・規格・製錬条件などの要素に左右されるので、この概念の内容が常に同じ意味をもっているとは限らない。ある場合には「鉱床」は1つの鉱物共生関係で成り立っている鉱体 (例えば、鉱化キューポラ型の鉱床) であり、またある場合には成因的に同属の鉱体系で構成された鉱床田 (例えば、グライゼン型石英鉱脈群) のこともある。さらに、鉱床が空間的に接近して分布する幾つかの鉱床田を内容としている場合もまれではなく、当該鉱床田がそれぞれ鉱石・鉱物構成や構造、生成期を異にすること、すなわち別個の鉱石フォーメーションに属するものであることも少なくない。そのような複雑な鉱床は本質的には幾つかの独立した単純な鉱床が併さったものである。

本質的に地質学的な実態を異にする対象を経済的な見地から一つの「鉱床」という概念にまとめ、鉱石フォーメーションにもとづいて分類すると、「鉱床」は一つないし幾つかの分類単位、すなわち鉱石フォーメーションに相当する対象に細分できることになる。一般に鉱床のフォーメーションの該当性とい

\* V. K. Денисенко (1975): Классификация вольфрамовых месторождений Для целей прогнозирования: Записки Всесоюзного Минералогического Общества, ч. с IV, вып. 5, стр. 526—538

\*\* 鉱床部

1) V. I. Smirnov 著, 渡辺武男監訳, 岸本文男訳 (1976): 「新版鉱床地質学」, p. 30 参照

う観点からすると、主として3つの場合がみられる。すなわち、鉱床が一つの鉱石フォーメーション構成の特徴を備えている場合(単成鉱床もしくは単フォーメーション鉱床)。これは単一の鉱石フォーメーションに相当する。次に、鉱床が幾つかの鉱石フォーメーションの特徴を備えている場合(複合鉱床、多フォーメーション鉱床ないしより正確には鉱床田)。これは幾つかの単成鉱石フォーメーションの複合生成体である。3番目には鉱床が2種の鉱石フォーメーションの中間的な特徴を備えている場合。これは鉱石フォーメーションの言わば「類質同像系」の1メンバーに相当する。

### タングステン鉱床の鉱石フォーメーション

タングステン鉱石フォーメーションに属する単成鉱床は当該鉱石フォーメーション型の各鉱床で同一生成順序が繰り返えされた、同一タイプの鉱物共生関係で成り立っている鉱床である。このような単成鉱床は一般に1生成段階成、すなわち生成作用が後マグマ成鉱液の1進化輪廻で「納まった」ものである。その鉱化作用の持続時間は数万年から数100万年とさまざまである。

いちじるしく濃集するのは、多くの場合、1鉱石構成成分だけである。随伴鉱石成分は比較的少量しか認められないが、重要なことはそれが主要鉱石成分とほぼ同時に生成していることである。各鉱石フォーメーション型の鉱床はそれぞれの鉱石の構成の特徴ないし「外見」で区別することができ、それによって時間・空間その他の地質条件に関係なくかなり客観的に分類することが可能である。

鉱石フォーメーションにもとづいて組立てた単成タングステン鉱床の分類(第1表)では9種の鉱石フォーメーションが区分され、その鉱石フォーメーションはそれぞれさらに一連の鉱物タイプに細分できる筈である。それぞれの鉱石フォーメーションの場合について、何らかの交代岩生成体に属する側岩の主な熱水変質タイプも挙げてある(Rundkvist, Pavlova, 1974)。熱水交代生成体内帯の組成は脈および細脈の主な脈石鉱物共生関係を現わし、したがって、同時に各鉱石フォーメーション型の鉱床の鉱体の脈充填体組成に関する知識も与えてくれる。

深度相、マグマ作用との関係、予想できる成因によって鉱石フォーメーションは3群、すなわち深成群、深成-火山成群、堆積-変成群(第1表)の3群に分けることができる。前2者は内因性鉱床群に、後1者は外因性鉱床群にまとめることもできるが、とくに後1者は成因に関連して一定の条件を付し(調査研究内容の程度を考慮)、堆積鉱床(タングステン-ハロゲンフォーメーション)、浸透鉱床(タングステン-サイロメレーン鉱石フォーメーション)、変成源鉱床(灰重石-硫化物-石英フォーメーション)に細分することも可能である。以下、分類してみたタングステン鉱石フォーメーションの主な特徴について述べることにする。

#### 深成鉱石フォーメーション群

この群のタングステン鉱石フォーメーションの一般的特徴といえるのはほとんどの場合貫入マグマ作用と空間的に明瞭な結びつきがあり、しかも関係研究者の大部分が1.5-2.5 kmと見積っているような相対的生成深度であることである。同時に、含鉱貫入岩の組成、生成時代、地質条件、鉱化作用の特徴などに関しては、この群の鉱石フォーメーション相互に大きな差異が認められる。

すなわち、スカルン 灰重石-ざくろ石-輝石フォーメーション(A)は比較的塩基度の高い花崗岩類と関連して生成し、一般に当該貫入岩にもっとも近接した外接接触帯の炭酸塩層中に分布する。鉱体の位置は貫入花崗岩質岩体のルーフの形態もしくは炭酸塩組成およびアルミナ珪酸塩組成の地層の接触面に規制される。生成時期からすると、この鉱石フォーメーションは一般にもっとも早期のもので、他の鉱石フォーメーション型の鉱化体と共に生成している事例では他の鉱石フォーメーション型の鉱化体に切られている。鉱体が層状ないし鉱筒状を呈すること、鉱石中に磁鉄鉱と硫化物が広く発達すること、タングステン鉱物としては灰重石ないしモリブデン灰重石が卓越することが特徴である。灰重石はスカルン鉱物集合体中に均一な鉱染体を形作るか、あるいは石英とともに鉱のう、レンズ、細脈の形で各スカルン体を価値あるものにしていく。一方では石灰岩からも含鉱花崗岩を含めたアルミナ珪酸塩岩からも

予測を目的としたタングステン鉱床の分類 (岸本文男訳)

第1表 タングステン鉱床の鉱石フォーメーション

フォーメーション・グループ	鉱石フォーメーション	熱水交代生成 体内帯の組成	鉱床 例
深成群	A—スカルン 灰重石—ざくろ石—輝石	Py, Py-Gr, Gr-Ep, Q-Ep-Gr	インギェケ (中央アジア), プリトニンスコエ (ゴルヌイ—アルタイ), アルイフスコエ (サヤン), キング (キング島)
	B—電気石—緑泥石—金—灰重石—石英	Turm, Q-Turm, Turm-Chl, Turm-Ser, Q-Ca-Chl	ヴェリコペトロフスコエ, アイドイルリンスコエ (ウラル), ベシユコフスコエ, カザコフスコエ (ザバイカル), グレノーチ (ニュージーランド)
	C—グライゼン 鉄マンガン重石—石英	Q, Q-Top, Q-Mu, Mu, Fl-Mu, Ep-Mu	アクチャタウ (中部カザフ), アントノヴォゴルスコエ (東ザバイカル), イウリチン (チュコトカ), チグリノエ (沿海州)
深成・火山成群	D—ゲンベアイト 灰重石—石英—長石	Ort, Q-Ort, Q-Ser-Ort, Q-Ca-Ort, Chl-Ser-Q	ヴェルフネー=カイラクトイ, バトイスタウ (中部カザフ), ウルザルサイ (ゴルヌイ—アルタイ)
	E—ベリョーサイト—マンガン重石—硫化物—石英	Q-Ser, Ser-Q, Ca-Q-Ser, Q-Fl-Ser	ホルタソン, プクカ, バルハ (ザバイカル), サルガルドン (中央アジア), クチ=テベルダ (カフカス), ウカマラニ (ボリビア), オゴビテ (ペルー), 大吉山 (中国)
	F—アージリサイト—鉄重石—輝石—鉄—玉髄	Ab-Mnt-Chl-Q, Gidr-Caol-KFp-Q, Q-Caol-Gidr, Q-Caol	バルン=シヴェインスコエ (ザバイカル), ノツァリ (カフカス), ヒルグロヴ (オーストラリア)
堆積—変成群	G—スカルノイド 灰重石—硫化物—石英		オリンピアジンスコエ (エニセイ山稜), マガナト (クズネツキー—アラタウ), アルトウルクスコエ (ゴルヌイ—アルタイ), イゴヘレン, バゲトルブ (スウェーデン)
	H—タングステン—サイロメレーン—鉱		トソル, アクサイ (中央アジア), ゴルコンダ, ソーダヴィル (アメリカ), ウンシア (ボリビア)
	I—タングステン—ハロゲン		サールスレイク (アメリカ)

含灰重石スカルンが生成・発達していること、また一方では石灰岩中に雲母-グライゼン鉱床や黄玉-螢石グライゼン鉱床 (極東, ザバイカル, アラスカ) が存在することがスカルン鉱床を独立した鉱石フォーメーション型に分類することを不合理とする一連の研究者の見解に合わないのである。

電気石-緑泥石—金-灰重石フォーメーション(B)は前記スカルンフォーメーションの場合と同じように、塩基度の高い花崗岩類と密接な関係を有する。このフォーメーションの鉱床は直接花崗岩類中にも、ルーフの岩石中にも分布する鉱脈系で、ルーフの岩石中の場合、鉱床は空間的にははんれい岩-輝緑岩、閃緑玢岩、花崗閃緑斑岩などの岩脈と共存する。鉱脈中には、石英と灰重石のほか、通常、長石、自然金、硫砒鉄鉱が、ときには電気石、緑簾石、黄鉄鉱、黄銅鉱、輝着鉛鉱などが存在する。側岩の変質は弱く、緑泥石化帯、絹雲母化帯、電気石化帯、ときには角閃石化帯、炭酸塩化帯が代表的な変質帯となることがある。

グライゼン 鉄マンガン重石-石英フォーメーション(C)の鉱床は他の鉱石フォーメーション型のタングステン鉱床よりも広く分布し、多くは空間的にはアラスカイト質花崗岩山塊の頂部に胚胎されている。鉱床の構成の主な特徴、鉱床田の構造、累帯配列、鉱石組成、鉱脈と交代岩の関係、岩脈の発達範囲・方向などに関する主な特徴は、多くの点で、アラスカイト質花崗岩山塊に対応した鉱床分布位置に規則されている。もっとも多いのは石英脈と本来のグライゼン型の鉱床で、しかも主として直接花崗岩中に賦存するものである。さらに、盲目潜頭花崗岩キューボラ上のルーフをなす岩石中に発達している含タングステン網状鉱床も知られている。鉱床の深度延長は当該鉱床の形態上の型式に左右されるが、一般的には 350-450m を越えない。タングステン鉱床も含めた、さらに詳しいグライゼン鉱床の特徴はす

でに幾つかの著作 (Rundkvist, Denisenko, 1970; Rundkvist et al, 1971) に記載されている。

#### 深成-火山成鉍石フォーメーション群

この群の鉍石フォーメーションのいちじるしい特徴は一般にはっきりした貫入マグマ作用との関係がみられないこと、さまざまな組成のサブボルカニック岩体と岩脈に分布上密接な関係を示すことにある。多くの場合、この鉍石フォーメーションの鉍床は地下浅所の生成条件を示す直接的な指標を備え、各種の硫化物、玉髄様の石英、螢石、炭酸塩鉍物との中温-低温性鉍物共生関係が広く発達している。

ゲンベアイト 灰重石-石英-長石フォーメーション(D)は多くの研究者がグライゼン鉍床の1変種ないし1鉍物的タイプとみなしているものである。しかしながら、組成、構造、地質学的賦存位置条件をはっきりと異にする多くの特徴があることはこのフォーメーションの鉍床を独立したフォーメーション型のタングステン鉍床に分類するのが合理的であることを示している。当該鉍床はさまざまな組成の岩脈が発達する地区の火山源-陸源層中に分布する。花崗岩とはっきりした結びつきをもっていないのが特徴的で、当該花崗岩の存在は1,200-1,500mを越えるきわめて深いところに考えられるにすぎない。この鉍石フォーメーションの鉍床は傾斜延長の方が長い網状鉍床か細脈-鉍脈帯である。細脈および側岩の変質には、さまざまな鉍物のタイプが認められる。鉍床および熱水変質岩の鉍石鉍物沈殿段階の細脈の場合、石英-絹雲母-カリ長石共生が卓越し、硫化物の割合が高いことを特徴とする。稼行上もっとも重要な鉍物となるのは灰重石で、鉍床は一般に鉍石中の $WO_3$ 含有率が高くないが、網状鉍床の規模が大きく、鉍体が深部に長く延長しているのでその鉍量は大きい。

ペリョーサイト マンガン重石-硫化物-石英フォーメーション(E)の鉍床は他のフォーメーション型のものに較べて何よりも第一にSとFの含有率が高いことを特徴とするが、それはCu, Ag, Pbの複雑な硫塩鉍物も含めた多様な硫化物および螢石が鉍石中に広く分布するためである。硫化物の2, 3のもの、とくに黄鉄鉍は変質側岩中にも存在し、変質側岩としてはペリョーサイトと螢石-黄鉄鉍-雲母質交代岩が卓越している。鉍床によってはタングステン酸塩の類質同僚系の各種タングステン鉍物、それに灰重石が存在することもあるが、全体としてはこの鉍石フォーメーションの場合にはマンガン重石の方が代表的である。タングステン酸塩鉍物の組成と当該タングステン酸塩鉍物が生成している硫化物共生系の「鉄含有度」との間には一定の相関性が認められるようである。とくに、鉄の硫化物が広く分布するほど、類質同僚タングステン系列のマンガンに富んだマンガン重石種の鉍物が多く生成している(Denisenko, 1971)。鉍体は、一般に、縞状構造や帯状構造を作って繰り返し開口した割れ目の証跡を備えている。厚さ・延長ともにいちじるしい石英脈、石英-炭酸塩脈、石英-長石脈の集合体である。硫化物鉍物の共生関係からこの鉍石フォーメーションの鉍床は2種の鉍物的タイプのもの、すなわち、閃亜鉛鉍-方鉛鉍-黄銅鉍-マンガン重石タイプ(例えば、ザバイカル地方のホルタソン鉍床、プクタ鉍床、ベルハ鉍床)と硫砒鉄鉍(磁流鉄鉍)-灰重石タイプないし鉄重石タイプ(カフカス地方のクチ=テベルダ鉍床、ボリビアのチョコテ=グランデ鉍床とチョイラ鉍床)に分類できる。

アージリサイト 鉄重石-輝安鉍-玉髄フォーメーション(F)の既知鉍床の大部分は中生代後期と新生代の後変動時酸性火山作用が働いた地域に胚胎されている。このフォーメーションの鉍床は主としてSb鉍床、Sb-Hg鉍床、Au-Ag鉍床からなる単位鉍床帯に入れられることが多い。そのような鉍床帯内ではタングステン鉍床は、通常、褶曲した基盤の変成岩中に、ときには上位に分布する火山岩中に賦存している。これらの鉍床と貫入岩との関係ははっきりしないが、空間的に安山岩-石英安山岩の岩脈および噴出岩と共存する場合が少なくない。鉍床は鉄重石、ときには灰重石、輝安鉍、辰砂と硫化物(黄鉄鉍、黄銅鉍、硫砒鉄鉍など)を伴う楕円構造の、玉髄様石英で構成された鉍脈ないし鉍化帯である。鉍石の構造は角礫状、晶洞状、シンター状といった多様さが特徴的である。外国にはこのタイプの可採鉍床が知られている(アメリカのボールダー カウンティ、チャンス、イエロー パインなどの鉍床)。鉍石の物質組成が多様なことおよび浅熱水鉍化作用との空間的・時間的関連性を考えると、このタイプの多くの鉍床がさまざまな鉍石フォーメーションの「交配」の結果生成した可能性は全くないというわけでもない。さらに、日本とメキシコの含錫流紋岩中にタングステンが存在しているという情報は火山成

鉱石フォーメーション群に新しいタイプのタングステン鉱石フォーメーション, すなわち含タングステン流紋岩フォーメーションを加えなくてはならないかも知れないことを示唆している。

#### 堆積-変成鉱石フォーメーション群

このフォーメーション群に入るのは, 上記の「伝統的」なタイプのタングステン鉱床とは多くの性質を本質的に異にした, 比較的新しいタイプのタングステン鉱床である。現在までのところ, このタイプの鉱床は研究者の十分な関心と呼んでいないし, 多くの研究者はこれを稀有なものとして放置している。しかし, 偶然発見されたこのタイプの鉱床の数は増しており, その全面的な調査, 探査指標・評価規準の研究が緊急な課題となってきている。この鉱床の成因に関する問題は未解決のまま, 一方では鉱床の分布と構造の特徴もマグマ作用との空間的結びつきの欠除も, 多くが特定層面に胚胎されること, 堆積過程で濃集した特徴を備えていること(灰重石に富んだ含銅砂岩や石墨片岩, 塩湖・温泉・風化殻のタングステンに富んだ堆積層)もこのタイプの鉱床が堆積成および変成源のものであることを示している。また一方, 花崗岩類マグマ作用に関連して生じた熱水生成体に特有なものと考えられる特徴も認められている。すなわち, 典型的な熱水成鉱物共生が存在し, 高温鉱物共生も交代変質岩(珪化岩, 緑泥石化岩, 絹雲母化岩など)も存在するのである。

スカルノイド 灰重石-硫化物-石英フォーメーション(G)は延長に富んだ(数 km)鉱石鉱物鉱染帯もしくは鉱化破碎帯で, 多くは先古生代の, 各種変成岩中に賦存している。当該鉱化帯の空間的な位置は各種累層の境界(アルタイ地方南東域), 黒色千枚岩層(エニセイ山脈), 瀝青頁岩の境界(スエーデン)に規制されている場合が少なくない。鉱石鉱物鉱染帯ないし鉱化破碎帯内の岩石は一般に交代変質作用を受け, もっとも強く作用しているのは珪化で, そのためこのタイプの鉱化体は文献で「含灰重石珪岩」と記載されていることが少なくない(Rafienko, Zolotarev, 1963)。またある場合には産状が含鉄珪岩の場合によく似た灰重石鉱化作用が透輝石を含む緑泥石化片麻岩, 絹雲母化片麻岩, さらに黄鉄鉱化大理石の岩層中に発達している(Krasny et al, 1972)。また, 実際上変質していない母岩中に灰重石の濃集体が発達する例も知られている。たとえば, ゴルヌイ・アルタイ地方のアルトゥルク含銅砂岩鉱床では灰重石が含銅砂岩中だけでなく, 銅鉱を含んでいない側岩の砂岩や頁岩中にも存在している(Sotnikov, Nikitina, 1971)。ウガンダのルイザ鉱山とニアモリロ鉱山の鉱床中には, 実際上変質していない頁岩中の層面に沿ったノジュールの形で鉄重石鉱化体が発達している(Hosking, 1973)。非変質岩の含灰重石岩層はスエーデンにも知られている(Hubner, 1971)。

タングステン-サイロメレーン鉱石フォーメーション(H)の鉱床の例はアメリカ, ボリビア, 中央アジアに知られている(第1表)。このタイプ最大級のネバダ州ゴルコンダの鉱床は1940年代に採掘しつくされたが, 同鉱床のタングステンは品位が1-7%に達し, コロイド状を呈して分布し, 化学的方法を用いて抽出されていた。鉱床は鉄とマンガンに富んだ含タングステン礫岩層で, 厚さは数m, 石灰質凝灰岩に被覆された千枚岩質頁岩の削削面上に水平に分布する。このゴルコンダでは, 風化殻の含タングステン褐鉄鉱も知られており(ビッグ・フォー鉱床), その鉱体の厚さは平均品位  $WO_3$  約3%としておよそ10mに達している。よく似たタイプのタングステン-マンガン鉱化体はソ連天山地方北部(トソル鉱床, アクサイ鉱床, トクソンプラク鉱床など)にもあり, その鉱床は古生代後期の花崗岩中の広域破碎帯およびそれを覆う新第三系堆積角礫岩に胚胎されている(Turchinskii, 1965)。破碎帯中では含タングステン・サイロメレーン鉱(tungomelane) およびサイロメレーン鉱とパイロルーサイトとの微細混合物が花崗岩角礫を膠結している。新第三系堆積角礫岩中では構造帯近辺にレンズ状の再堆積タングステン-マンガン鉱体が賦存する。鉱石中のタングステンとマンガンの含有率の間には正比例関係が認められる。

タングステン-ハロゲンフォーメーション(I)に属するのは含タングステン塩水および蒸発岩で, 乾燥気候地域の現世湖沼ないし古湖沼堆積層中に賦存する。これがもっとも発達しているのは米国カリフォルニア州のサールズ湖である。この乾湖は面積約  $50 \text{ km}^2$ , 厚さ最大50mの固い蒸発岩層2層からなり, 当該蒸発岩の  $WO_3$  の含有率は数1,000分の1%であるが,  $WO_3$  総含有量は170,000 tに達してい

る (Hosking, 1973). これはアメリカ最大のタングステン鉱床である。

### タングステン鉱床鉱石フォーメーションの共存関係

1 鉱石フォーメーション構成という特徴を備えたタングステン鉱床のほか、タイプ・生成期を異にする各鉱石鉱物共生系が空間的に共存しているタングステン鉱床 (地質学的にはタングステン鉱床田) もある。そのような共存関係にはそれぞれ一般に後マグマ鉱液の完全な進化輪廻がみられることを特徴とし、鉱体の累帯分布、平面配列構成、形態、内部構造、鉱床の鉱物学的・地球化学的な性質に特徴を与えている。鉱物の共存体は一般に「内鉱化」(より正確には「間鉱化」) マグマ作用現象が働いた時期で分類され、この分類がそのマグマ作用現象と独立したマグマ活動との結びつきを明らかにできる根拠となる。鉱物共存体間の関係経過時間は基本的には  $(5-10) \times 10^6$  年から数1000万年、さらに数億年もの範囲の変化があり得る。以上のように、各鉱物共存体はそれぞれ本質的には独立した鉱石フォーメーションとしてのすべての指標を備えている。すなわち、上記のような長期にわたって生成した多期成の鉱床 (鉱床田) はそれ自体の構成の「複雑度」に応じた鉱石フォーメーション群共存体、換言すれば多鉱石フォーメーション生成体である。その場合、空間的共存鉱石フォーメーションのタイプ、数、出現強度はいちじるしく変化に富み、そのため鉱床は互いに似ても似つかぬ、いちじるしく「個性的」なものとなっている。

結果として、この場合の分類はきわめて困難であり、そのことが現在の分類様式での対立となって現われている。すなわち、ある研究者は多鉱石フォーメーションのタングステン鉱床を主に発達した或るタイプの鉱化作用にもとづいて1つの鉱石フォーメーションに入れ、ある研究者は複合多鉱石フォーメーションに入れ、またある研究者は新タイプの鉱石フォーメーションに分類している。筆者の見解では、この場合の分類は多鉱石フォーメーション (鉱石フォーメーション共存体) を単鉱石フォーメーションの組合せとして分類する方式で行なわなくてはならない。換言すれば、分類の骨組になるのは鉱石フォーメーションで、そのさまざまな組合せが該当する複合鉱床もしくは鉱床田の或るタイプに相当する。9種の鉱石フォーメーションから組合せた理論上可能な場合の数は非常に多いものとなる。しかし、実際に自然界に存在するタングステン鉱石フォーメーションのタイプの数は限られているし (地質条件をいちじるしく異にするタイプの鉱石フォーメーションもしくはその大部分 $\frac{2}{3}$ 以上のものが空間的に共存する可能性が小さいことを考えると)、経験的にも確かめ得ることはまず間違いないだろう。なお、今後、多鉱石フォーメーションを単鉱石フォーメーションの組合せにかえる法則が把握されることによって新しいタイプの類似多鉱石フォーメーションが予測可能になることはあり得よう。

以下、多鉱石フォーメーションのタングステン鉱床 (鉱床田) を形成している鉱石フォーメーション共存体の既知例について述べる。

#### 鉱石フォーメーション共存

A + C — スカルナーグライゼン  
(W, Mo-W)

トイルヌィ=アウス (北カフカス), アギルキン  
スコエ (ヤクート)

G + E — グライゼン=ペリョー  
サイト (Mo-W, Sn-W)

ジダー, ブクカ, ベルハ (ザバイカル), カラオバ  
(中部カザフ), カルグトイ (ゴルノイアルタイ),  
マウントプレザント (カナダ), (ボリビア)

A + C + E — スカルナーグラ  
イゼン=ペリョーサイト (W, Au-W)

ヴォストーク-2, レルモントフスコエ (沿海州)

このような複合鉱床の例をみてみよう。ジダー鉱床の形成史には、3期の時代を異にした鉱化期が認められている (Denisenko, 1974)。その鉱化期はそれぞれ特有の鉱石鉱物鉱化作用で特徴づけることができ (第1期ではモリブデン鉱化作用, 第2期では稀少金属-タングステン鉱化作用, 第3期ではマンガン重石-硫化物鉱化作用), 鉱体の分布・形態上の独自性 (第1期では花崗岩中の網状鉱床, 第2期では花

崗岩の外接触帯中の網状鉱床、第3期では前2期の鉱体に重なる長い脈状鉱体、鉱体の垂直延長範囲(第1期では100-150m、第2期では300-400m、第3期では600-700m)、後マagma溶液の完全な進化輪廻の存在(鉱化期それぞれに母岩や貫入岩脈の微斜長石化作用や曹長石化作用に現われている前期アルカリ段階が石英脈の生成や鉱石鉱物鉱化作用の発達をもたらしている酸性溶脱段階に変わる現象、そしてさらに岩石・鉱脈中の後期微斜長石化にみられる後期アルカリ段階に移化する現象が認められる)によって特徴づけることができる。鉱化期は内鉱化性の微花崗岩とアプライトの岩脈(第1期と第2期の場合)およびケルサンタイトとスペッサルタイトの岩脈(第2期と第3期の場合)によって分けることができる。鉱化期と鉱化期の間の時間的な「ハイエタス」は、雲母の絶対地質年代測定の資料(全所地質研究所、K-Ar法)によると、約 $10 \times 10^6$ 年(第1期の場合が $140 \times 10^6$ 年、第2期の場合が $132 \times 10^6$ 年、第3期の場合が $123 \times 10^6$ 年)である。概して鉱化期それぞれの鉱化体は独自の鉱石フォーメーションに左右される、本質的にはきわめて重要な特徴を備え、それに結びつけて当該鉱床内にグライゼン輝水鉛鉱-石英フォーメーション、グライゼン鉄マンガン重石-石英フォーメーション、ペリョーサイトマンガン重石-硫化物-石英フォーメーションが空間的に共存する現象を説明することは可能である。

これとよく似た地質学的な産状を呈するものに中部カザフのカラオバ鉱床がある。すでに報告されているように(Denisenko, 1965)、カラオバ鉱床でもそれぞれ独立した鉱石フォーメーション構成の特徴を備える3期の鉱化期が認められている。当該鉱化期はそれぞれ $10 \times 10^6$ 年づつ間をおいて活動した内鉱化期マagma作用で区分されている。この鉱床の複雑な鉱化作用発達史は2期、すなわちヘルシニア後期とキンメリア前期に形成された含鉱花崗岩山塊の多期的(ポリクロニック)な産状によく対応している。

トイルヌイ=アウス Mo-W 鉱床の範囲では、O.V. Kononovら(1971)やA.F. Sviridenkoら(1971)の資料によると、少なくとも2種の異なる鉱石フォーメーション型の鉱化作用が空間的に混り合っていて、そのそれぞれが別個のマagma活動期のもので、それぞれ特有の構造形態条件と鉱物共生関係を備えている。すなわち、前期の混成花崗岩類に関して灰重石スカルン鉱が生成し、優白質花崗岩の貫入期に相当する後期鉱化期にはモリブデン鉱石が生成しており、そのモリブデン鉱体は含鉱スカルンも含めたさまざまな岩石中の細長い網状鉱化帯系を形作っている。さらに、スカルン鉱体やモリブデン-石英脈を切る新第三紀エリジュルチンスキー花崗岩山塊の貫入と結びついた最終の鉱化期の存在も推論されている。この鉱化期には、先に生成した鉱体が破砕帯中で熱水変質作用を受け、同時に灰重石と硫化物が沈殿したものと思われる。

時代を異にする3期の鉱化期を備えた、上記の場合とよく似た鉱床生成史は第2ヴォストーク鉱床でも認められている。しかし、この場合にはトイルヌイ=アウス鉱床と違ってタングステン鉱化作用の大部分(鉱量の約70%)が前2期の鉱化期でなく、最終の灰重石-硫化物鉱化期に結びついている(Shcheglov, Butkevich, 1974)。

#### タングステン鉱床鉱石フォーメーションの「アイソモーフ」的系列

狭義のタングステン鉱床のほかに、タングステンはSn, Mo, Au, Sb, Hg, Pb, Znなどの鉱石中にも存在することがあり、既知の含タングステン鉱床のタイプがきわめて多様なことを反映している(第2表)。第2表で明らかなように、「アイソモーフ」的系列のタングステン鉱床のうちもっとも多く分布するのはSn-W 鉱床とMo-W 鉱床(Be-W 鉱床は考えに入れなかった)で、その割合は掲げた対象総数(1/15,000,000「世界陸地鉱物資源分布図」、1970に記載されている115鉱床)の52%を占めている。

このような比率はおそらく偶然のものではなくて、元素間の地球化学的な親和性の程度を示しているのであろう。タングステンの地球化学的な結合度についての情報は元素のクラーク数および「濃集クラーク」(V.I. Vernadskiiによる)の分析から入手することができる。すなわち、含タングステン鉱床中に比較的多く賦存する元素を地殻中でのそのクラーク数の高い順に並べれば、次のようになる。

第 2 表 タングステン鉱床の主要鉱石元素

主要鉱石元素	鉱床の数	鉱床総数に対する比率 (%)
W	36	32.0
W-Sn	43	38.0
W-Mo	16	14.0
W-Bi	5	4.0
W-Sn-Ti	3	2.4
W-Sb	3	2.4
W-Au	2	1.6
W-Sn-Bi	2	1.6
W-Bi-Mo	1	0.8
W-Sn-Mo	1	0.8
W-Sn-Sb	1	0.8
W-Pb-Zn-Mo	1	0.8
W-Pb-Zn-Sn	1	0.8
計	115	100

クラーク数	4.65	0.1	$8.3 \times 10^{-3}$	$4.7 \times 10^{-3}$	$1.6 \times 10^{-3}$	$3.8 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-4}$
	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Be	Sn	W
濃集クラーク数	9.8	300	891	320	935	1316	2800	6153
		$1.1 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-5}$	$8.3 \times 10^{-6}$	$9 \times 10^{-7}$	$4.3 \times 10^{-7}$		
		Mo	Sb	Hg	Bi	Au		
		6368	64000	96385	1700000	1628		

各種複合タングステン鉱床のタイプ分布 (第 2 表) と上記元素系列とを比較した結果からは、当該元素のクラーク数がタングステンのクラーク数に近ければ近いほど、鉱床中でタングステンと一緒に賦存しやすいとすることができる。タングステンが Sn, Mo などの元素と「親和性」が高いことはそれぞれイオン半径が似ていることから証明できる。濃集クラーク数からも同様な順序で上記元素群が並んでくる (例外は Au で、Au は Sn と同じように W と強い「親和性」を備えている)。D. V. Rundkvist<sup>†</sup> (1971) が指摘したように、諸元素の濃集クラーク数の増大順序は当該元素の可採濃集体の時間的な生成系列に相当し、したがって当該濃集体は各鉱化期 (鉱床生成期) の特徴をあらわすものとなる。

以上のような観点から上記の元素列を解析すると、W との高い「親和性」を備えた元素 (Sn, Mo, Be, Au) が可採濃集体を作るには、1,000 倍も高くならなくてはならない同じ桁数の濃集クラーク数をも有し、したがって主として同じ鉱化期 (中生代) に入るものといえる。他の元素は上下 1-2 桁違っている。だから、他の元素が W と共存する頻度が低いのは全く当り前のことであろう。しかし、上記諸元素の鉱床が相互にほとんど連続的に移行している場合も少なくない。基本的には以上の事実から鉱石フォーメーションの「アイソモーフ」的系列 (Rundkvist, 1971), すなわち、ある鉱石フォーメーションの鉱床が移過型の鉱床を経て別の鉱石フォーメーションの鉱床に変わっている鉱石フォーメーション系列が論じられているのである。上記元素系列のタングステン以外の元素の鉱床にはタングステン以外の元素の混在物としてしか存在し得ない。例外はアンチモン鉱床 (一般に水銀を随伴) で、しばしばタングステン鉱床はこれと相互に移りかわる鉱床も形作っている。タングステン鉱床の特徴ある「アイソモーフ」的鉱石フォーメーション系列は第 3 表に示した通りである。

この場合、鉱床は鉱石鉱物組合せの度合によれば 1 つの鉱石フォーメーションに入るが、構造・組織からすれば 2 種の鉱石フォーメーションの特徴を備えている。そのため、鉱床が似かよった「アイソモーフ」的系列群内の或る 1 つの鉱石フォーメーションに入るかどうかを決めることは、鉱物の類質同像中で特定の鉱物種を分類する場合と同じように、困難な問題である。どうしても決定しなければなら



第3表 タングステン鉱床特有の「アイソモーフ」的鉱石フォーメーション系列

熱水変質岩生成体	鉱石フォーメーション系列			
	Sn ↔ W	Mo ↔ W	Au ↔ W	Sb ↔ W
A—スカルン	+	+		
B—電気石-緑泥石			+	
C—グライゼン	+	+		
D—ペリョーサイト	+			
E—粘土化				+

い場合には、その区分は金属元素の、ある与えられた限界濃度を規準にすれば不可能ではない。

例を挙げてみよう。東ザバイカル地方に広く発達する錫とタングステンの各グライゼン鉱床群は鉱石中の Sn と W の含有率からすると、本来の錫鉱床 (ズン=ウンドゥル鉱床, オノン鉱床など) から錫-タングステン鉱床 (モロジョーシ鉱床, ストゥデント鉱床など) を経てタングステン鉱床 (バルン=ウンドゥル鉱床, アントノヴォゴラー鉱床, デドヴォゴラー鉱床など) に事実上完全に漸移している。これと同じような錫-タングステン鉱床系列がガルバ=ナルィム鉱床生成域, 北東鉱床生成域などでも認められる。モリブデン鉱床とタングステン鉱床との移過関係は中部カザフ地方にもはっきり現われていて、そこにはモリブデン鉱床 (東クウンラト鉱床, イユーリ鉱床など), タングステン-モリブデン鉱床 (コクテンコリ鉱床, ジャネト鉱床, サラン鉱床など), 本来のタングステン鉱床 (アクチャタウ鉱床, ダラト鉱床など) が広く分布している。ウラル山脈東斜面, 西バイカル, ゴルヌイ アルタイの各鉱床生成域の場合もこれとよく似た漸移図式が画かれている。また, エンドメンバーを灰重石-石英脈鉱床と金-石英脈鉱床とするタングステン-金鉱床の漸移配列がザバイカル地方, 北東地方, チュコトカ地方を例に A. D. Shcheglov (1973) によって記載されている。そのようなタングステン-金鉱床系列はカナダ, オーストラリア, ニュージーランド, アフリカの鉱床生成域にも広く分布している。

アンチモン鉱床と鉄重石鉱床の逐次漸移のもっともよい例となり得るのが大カフカス山脈南面のゴルナヤ ラチャ鉱床生成域である。この鉱床生成域ではジュラ系炭酸塩-頁岩層中に 15 以上のアンチモンとタングステンの鉱床があり, いずれも NW-SE 走向の押しかぶせ断層に沿って断続している (Togonidze, 1957)。当該鉱床規制断層帯内では, 西から東に向かってアンチモン鉱床 (ザプヒト鉱床など), アンチモン-鉄重石鉱床 (ノツァリ鉱床など), 鉄重石鉱床 (マミノニ鉱床) という逐次的な変化が確認されている。

#### タングステン鉱床の各種フォーメーション型の実際的意義

1. もっとも大きな実用価値をもっているのは単純な鉱石フォーメーションの組合せで構成された, 複雑な複合「鉱床」(鉱床田) である。その長い形成史, 数鉱化期にわたる形成史は, 多くの場合, 大量ないし巨大な量の鉱量をもたらしている。加えて, 鉱化作用の規模と鉱石の複雑さは本質的には作用した鉱化期の数, その作用の強さ, 鉱石フォーメーションの属性に規制されている。複合鉱床は構造運動-マグマ作用のアクチビゼーション区に特有なものである。なお, グンペアイト 灰重石-石英-長石フォーメーションの単純鉱床も重要な可採価値をもっていて, きわめて大規模なタングステン鉱濃集体を作っている場合が少なくない。

2. その他何らかのタングステン鉱石フォーメーションに属する単純鉱床 (第1表) は, 一般に, 鉱量が中規模もしくは小規模なことを特徴とする。そのうちでもっとも多く分布するのはグライゼン 鉄マンガン重石-石英フォーメーションの鉱床で, 世界のほとんどのタングステン鉱床生成区に知られているところである。この鉱石フォーメーションの鉱床は鉱量が比較的小規模であるにもかかわらず, 選鉱しやすい鉱石であるため, また多くが多有用鉱物組成の鉱石であるため, 重要な可採価値を備えてい

る。あまり多くは分布していないが、しかし一般に上記のものより鉱量規模が大きいのがベリョーサイト-マンガン重石-硫化物フォーメーションの鉱床である。堆積-変成フォーメーション群の鉱床の実用価値と分布の広さはまだあまり明らかにされていない。当該鉱床にストラタバウンドの性質があることは将来このグループの鉱床から大規模な可採対象がでてくる可能性を示唆していると思われる。

3. 含タングステン鉱床のうち、実用上の関係から大きな関心をもてるのは「アイソモーフ」的鉱石フォーメーション系列の鉱床(第3表)で、それは当該鉱床中でタングステンが可採濃集体を形成していることがあるからである。その場合、2種の金属成分品位がほぼ等しいときには、当該鉱石は複合鉱石として採掘される。Cu, Pb-Zn, Hgなどの含タングステン鉱床は一般に少量のタングステンを鉱石中に混有するにすぎないが、その回収は主要鉱石成分の量がきわめて多い場合には成り立ってくる。

なお、本論文の完成に当たり貴重な批判と有益な意見を給った D. V. Rundkvist 氏に対し深甚な謝意を表する次第である。

## 文 献

- Denisenko V. K. (1965): On the regular appearance of dykes in a formation history of Karaoba ore deposit: DAN of USSR, v. 162, No. 4 (in Russian).
- Denisenko V. K. (1971): On the relation of mineral compositions of ferberite-huebnerite isomorphic system with the paragenesis: in book "Mineralogy and geochemistry of tungsten ore deposits", LGU Press (in Russian).
- Denisenko V. K. (1974): Evaluation criterior of large tungsten and tin ore deposits: "Razv. i okhrana nedr", No. 4 (in Russian).
- Kononov O. V. Naz'mova G.P. et al (1971): Characteristics of geological structure development and geological process staginity at Tyrnyauz molybden-tungsten ore deposit (Northern Caucasus): in book "Mineralogy and geochemistry of tungsten ore deposits". LGU Press (in Russian).
- Krasny L. I., Kogen V. S. et al (1972): Tungsten continity of south-eastern margin of Siberian platform: [Razv. i okhrana nedr], No. 7 (in Russian).
- Rafienko N. N., Zolotarev (1963): Scheelite-containing quartzites—new genetic type of tungsten mineralization in Kuznetskii Alatau: DAN of USSR, v. 153, no. 5 (in Russian).
- Rundkvist D. V. (1971): On the principles of classification and prognosing of ore formations: in articles "Scientific prognosis fundaments of metal and non-metal ore deposits", Tr. VSEGEI, Leningrad (in Russian).
- Rundkvist D. V., Denisenko V. K. (1970): Regional and local distribution regularities of greisen tin-tungsten ore deposits: Material to the congress of "Research of scientific prognosing basis of useful mineral deposits", issue 2. Tr. VSEGEI, Leningrad (in Russian).
- Rundkvist D. V., Denisenko V. K. et al (1971): Greisen ore deposits: Nedra Press (in Russian).
- Rundkvist D. V., Pavlova I. G. (1974): Classification test of hydrothermal-metasomatic rock formations: Zap. Vseso. miner. obshch., part 103, issue 3 (in Russian).
- Sviridenko A. F., Ushakov V. Ya. et al (1971): Geological structure of Tyrnyauz tungsten-molybden ore deposit: in book "Mineralogy and geochemistry of tungsten ore deposits: Nauka Press (in Russian).
- Sotnikov V. I., Nikitina Ye. I. (1971): Molybden-raremetal-tungsten (greisen) formation of Gornyy Altai: Nauka Press (in Russian).
- Tatarinov P. M. (1963): Genetical condition of metal and non-metal ore deposits: Gosgeoltekhizdat (in Russian).
- Togonidze G. I. (1957): Metal ore deposits of Gornaya Racha: Tr. Gruzinsk. politekhn. inst., No. 8 (56) (in Russian).
- Turchinskii V. N. (1965): Manganese-tungsten ore mineralization in northern slope of Terskii Ala-Too

予測を目的としたタングステン鉱床の分類 (岸本文男訳)

- mountain: Zap. Kirgizsk. otd. Vessoyuzn. miner. obsch., issue 5 (in Russian)
- Shcheglov A. D. (1973): Metallogeny of tungsten in the districts of Soviet sector of Pacific ocean ore belt: in book "Distribution regularities of useful minerals", v. 10, Nauka Press (in Russian).
- Shcheglov A. D., Butkevich T. V. (1974): Tungsten ore deposits: in book "Ore deposits of USSR", v. 3, Nedra Press (in Russian).
- Hosking K. F. G. (1973): The search for tungsten deposits: Geol. Soc. Malaysia, bull. No. 5 (in English).
- Hübner H. (1971): Molybdenum and tungsten occurrences in Sweden: Stockholm (in English).