

中国の鉱物資源④ —— タングステン鉱床 ——

石原 舜三 (鉱床部)
Shunso ISHIHARA

1. まえがき

中国と言えはすぐにタングステンを思い出すほどこの国のタングステンは古くから世界的に有名である。中国は これまでに多い年では世界の年間生産量の65%を供給し 現在でも国別の生産量は世界第1位である。鉱石の生産は過去から現在まで華南の南嶺山地一帯で得られており この地域にタングステン鉱を生ずる特殊性があったことを暗示する。

タングステン鉱は 18世紀の中項 ボヘミア地方でスズ鉱に伴い スズ製錬の邪魔をすることから「狼」または貧欲の意味で“wolfram”と名付けられ またスエーデンでは「重い石」の意味で“tungsten”とよばれたと言われる。1781年に SCHEELE が灰重石から 1783年には DE EKHUYER が鉄マンガ重石から元素タングステンを抽出した (中本 1954)。

タングステンの利用は20世紀はじめから注目されはじめ 第一次世界大戦で兵器用の特殊鋼用に使用されてその需要が急激に増大した。以後 タングステンは「戦争元素」という不名誉な名のもとに 戦争と共に価格が急騰し その需要と生産とをのばしてきた。特に第一次と第二次世界大戦の需要増が顕著である (第1図)。しかし 現在では特殊鋼の用途のほかに 工業製品の多用化と共に超硬工具などに用いられる金属タングステンの需要が先進工業国では伸びている。我が国ではこの方面の利用量の方が鉄鋼添加剤としての利用量よりも多

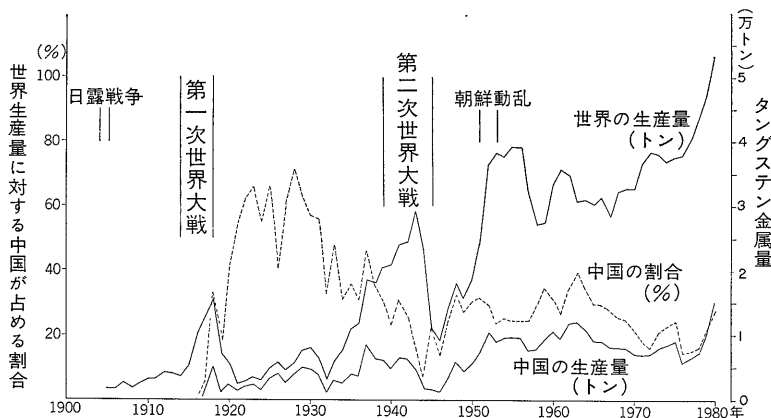
い。そして タングステン鉱のほとんどは 上記の金属タングステンと鉄鋼添加剤として用いられている。

中国におけるタングステンの生産は日本とほぼ同じく第一次世界大戦を契機として始められた (第1図)。大戦後の不需要期においては 世界の生産量は低下したが中国における生産は継続しておこなわれた。このことは当時露頭から非常に高品位の鉱石が安価に世界市場に供給されたことを物語っている。1920年代に中国は世界の約60パーセントものタングステン鉱を供給し続けた。

タングステンは現在でこそ灰重石スカルン鉱床の比重が高まっているが かつては主に鉱脈型の鉄マンガ重石から得られていた。この種の鉱脈は深部へは発展せず ポーフイリー型 スカルン型などに比べて鉱床規模が小さい。露頭鉱石が潤渇して急激に生産量が低下した例に ビルマ—マレー半島など多くの地域の鉱床がある。

中国においても同様な状況が推察されていたが 革命後の積極的な探査によって いくつかの重要な潜頭鉱床あるいは新しいタイプの鉱床が発見され これらが最近の生産量増加を支えている。たとえば佐藤 (1982) によって本誌に紹介された柿竹園スカルン鉱床は金属量 100万トンと公表されている。中国のこれまで (1905—1980年) の総生産量が金属量で約40万トンであるから この鉱床がいかに大きいかがよくわかる。

中国ではまた 世界の他地域ではみられない特殊なタ



第1図
世界のタングステン生産量の変遷と中国が占める割合。
Mineral's Yearbook から作成。

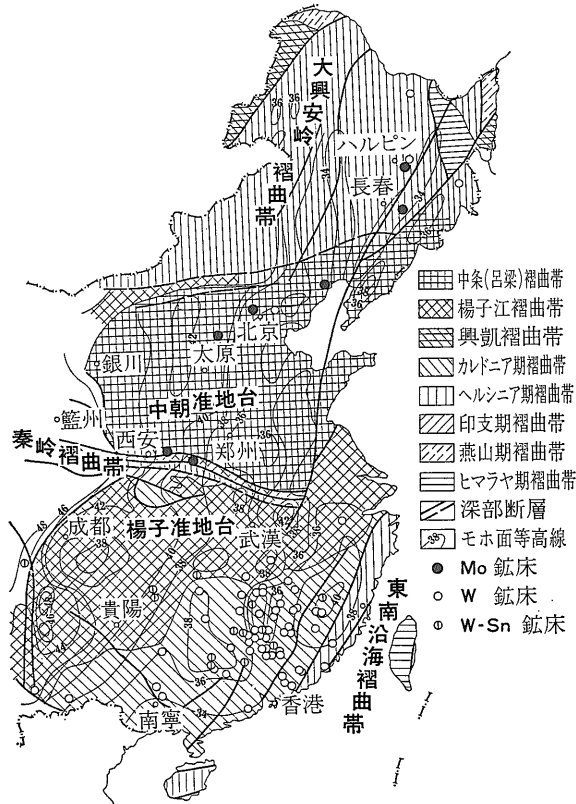
ングステン鉱床が発見されている。古典的な鉄マンガン重石-石英脈鉱床に加えて新しいタイプの鉱床があり非常に多様な形でタングステンは産出する。したがってタングステン鉱床の分類ひとつをとってもいろいろな提案がなされている。中国のタングステン鉱床については佐藤(1982)が詳しく紹介しているがここでは中国における特殊性を強調しながらこの豊かなタングステン資源についてのべてみたい。

2. タングステン鉱床の分布

中国のタングステン鉱床は江西-湖南省南部から広東省北部にかけての省境を走る南嶺山脈を中心に分布している。主要生産地域がこの地方であることは昔も今も同じである。新鉱床のうち大きいものはこの地方に発見されている。しかし広西壮族自治区の比重が最近では若干高まっている。ポーフィリー型や層状タングステン鉱床などの新しいタイプの鉱床はこの主要鉱化帯の周辺地域で発見されている。

タングステンが多産する華南地方は広域構造的にはカレドニア期褶曲帯に相当し下部古生層が厚く(<10,000m)堆積しそれが古生代中期に褶曲作用をうけた地域である。この堆積岩類はカレドニア期とヘルシニア期花崗岩類の貫入をうける。両岩は局部的にはほぼ同程度の露出規模で現在みられる。以上の諸岩石は広範囲にわたって燕山期花崗岩類により貫入される。燕山期以降には内陸盆地の赤色砂岩などの陸成層の堆積やごく小規模な新生代の玄武岩活動があるのみでこの地域はカレドニア期以降はほぼ一方的に隆起浸食されたものと考えられる。

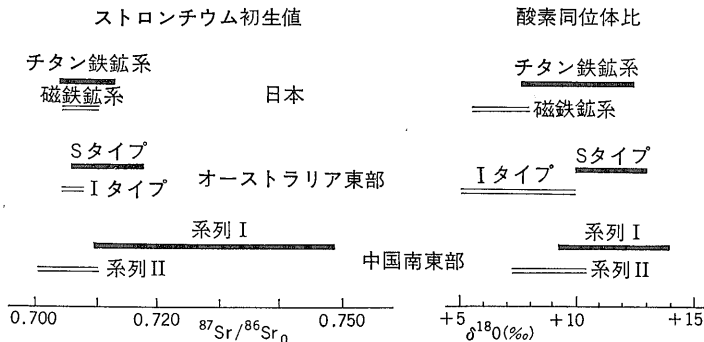
タングステン鉱床は燕山期花崗岩類に関係してみられる。この花崗岩類は主にチタン鉄鉱系に属しとくにタングステン鉱化帯で最も還元的事であることについては前報(石原・佐藤 1982)でのべた。チタン鉄鉱系マグ



第2図 中国の地域区分とタングステン モリブデン鉱床の分布。

マは炭素を含む地殻物質との反応により生ずるが華南地方では酸素同位体比は日本の同種岩石と同様であるがストロンチウム初生値が著しく高く(<0.750)先カンブリア時代の基盤を含めた地殻物質をその起源に持つものと考えられる(第3図)。

一方これに対してモリブデン鉱床は前々報で報告したように(石原 1982)華北および東北部のとくに先カンブリア地塊に生じた燕山期花崗岩類に関係して産出する。佐藤(1982)の第19図には華南地方にも多くの産地が画かれているがこれはタングステン鉱床の副産物と



第3図 花崗岩系列と酸素・ストロンチウム同位体比(王ほか 1982原図)。

して得られるもので 鉱床中の Mo/W にさし戻すとこの比は著しく低い。華北の燕山期花崗岩類は磁鉄鉱系に属し 酸素同位体比やストロンチウム初生値もまだ断片的にしか知られていないが 華南より低い値を持っている。したがって 日本におけると同様に この花崗岩系列の相違が基本的にはこの明瞭な鉱床生成区を規制している。

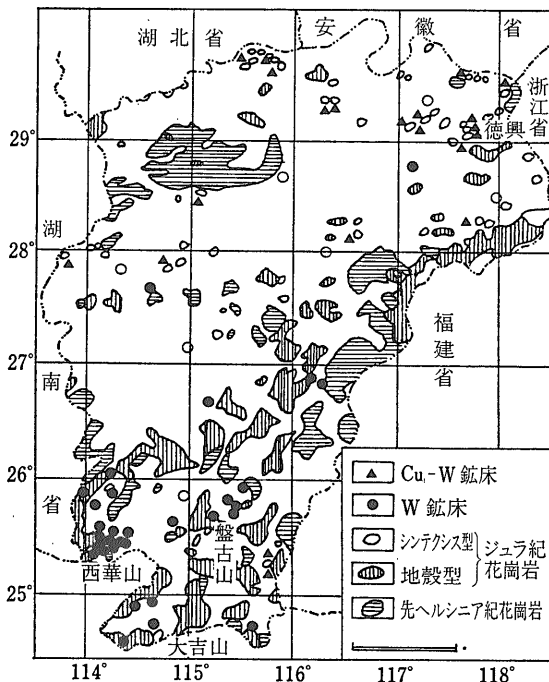
磁鉄鉱系/チタン鉄鉱系花崗岩類による鉱化規制は華南地方の基本的にはチタン鉄鉱系花崗岩帯においてもみられる。たとえば LIU・SHEN (1982) によると 江西省では燕山期花崗岩類はシテクス型と地殻型に分けられ 前者は小規模ストックとして火山岩類を伴って分布し 磁鉄鉱-燐灰石-ジルコンまたは柘榴石-ジルコン-燐灰石の組合せを持ち 黒雲母の $Mg/Mg+Fe=0.45-0.60$ である。これは明らかに筆者の磁鉄鉱系に相当するものである。付随する鉱床は硫化物が主体で Cu Mo Pb Zn Fe Au などを含む。

地殻型は広範囲に分布し チタン鉄鉱-柘榴石-モナズ石 またはモナズ石-ゼノタイム-ジルコンの組合せを持ち 黒雲母の $Mg/Mg+Fe < 0.25$ である。これは筆者のチタン鉄鉱系に相当する。付随する鉱床は W Sn Nb Ta Be Bi REE U などで ここにも我が国のチタン鉄鉱系に伴う鉱床と共通の性質が認められる。

3. 鉱脈型タンゲステン鉱床

中国のタンゲステン鉱床は 鉱脈型 スカルク型 層状型 ポーフイリー型などに分けられる。かつてはほとんどすべて江西省南部の鉱脈型から鉱石が採掘された。現在でも同様で生産量の $\frac{2}{3}$ はここから得られている。スカルク型や層状鉱床に近い将来に大きな比率を持つものと考えられる。

この様な背景からこれまで国際会議などで示された模式図には この地域の鉱脈を例に下部で太く不毛で 上方へ組脈化して鉱石を伴う 竹箒きを逆に立てた形の鉱脈鉱化作用として単的に表わされている (口絵参照)。これは西華山-漂塘 (佐藤 1982 第11図) をモデルとしている。林 (1983) の分類は同じ系統のもので 鉱脈を大脈型 細脈型 細脈鉱染型に分類した。これは岸本文男氏によってほん訳されている。これら鉱脈は江西省最南部に無数に発達すると言ってよく 主要鉱山は大余近くの西華山 蕩坪 大龍山 漂塘 すぐ西方の生竜口 洪水寨 東方に約 100km はなれて盤古山 坪上 江西省最南端の大吉山 歸美山などである。



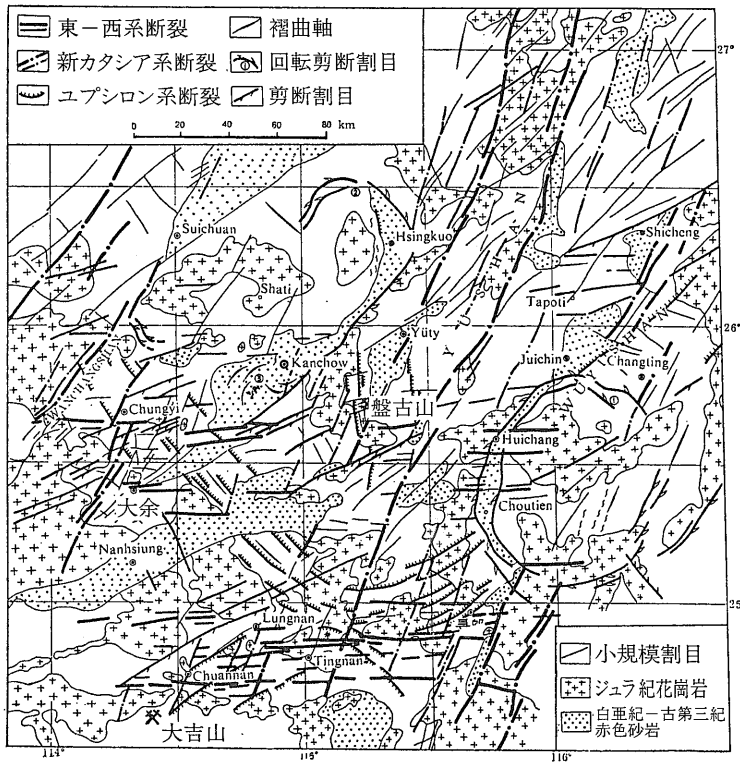
第4図 江西省における2系列の花崗岩類の分布 (LIU・SHEN 1982原図)。

鉱脈鉱床の生成条件のうち最も重要な条件の一つは割目の発達である。江西省南部から南方にかけては 三疊紀後期以降 東西系 エプシロン系 北北東系の3方向の割目が発達した (第5図)。東西系割目は広く発達するが 北緯 $24^{\circ}50'$ 付近と大余を通る $25^{\circ}30'$ 付近に密集部分がある。これは圧縮応力により生じたものと思われる。また 花崗岩類がミロナイト化をうけることから 花崗岩活動に前後してこの広域割目は活動したものであると思われる。

また地域南部には西側を頭にし北方へ開いたユプシロン形の構造がみられる。これは圧縮性割目の集合体からなり白亜紀-古第三紀の赤色砂岩には覆われていることが多い。また地域東部には $70 \times 85 \text{ km}$ の大きさを持つリング構造があり これは赤色砂岩の分布を規制している。

新カタシア系の北北東系断層はエシヨロン状の圧縮-剪断割目の集合体からなり 左横ずれの性格を持つ。赤色砂岩層の分布を著しく規制し もっとも新しい断層群と思われるが 一部では花崗岩体がこの方向に伸びており 局部時にはジュラ紀にも活動し 全体的には白亜紀以降 活動あるいは再活動した可能性が考えられる。

タンゲステン鉱脈は上記の広域構造運動に明らかに関係する。たとえば大余のタンゲステン鉱化中心地は上



第5図
江西省南部地域の広域構造図
(RGSKTS 1976 原図).

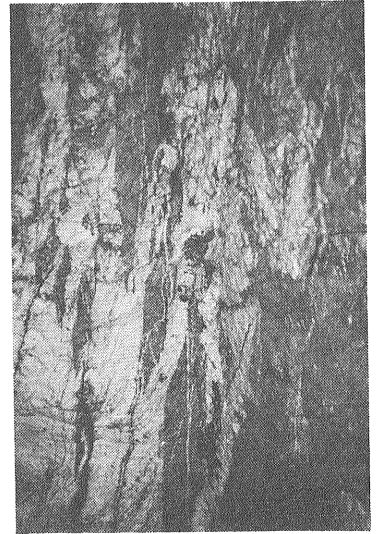


写真1 西華山鉍床 594 mL における
剪断性を示す鉍脈。

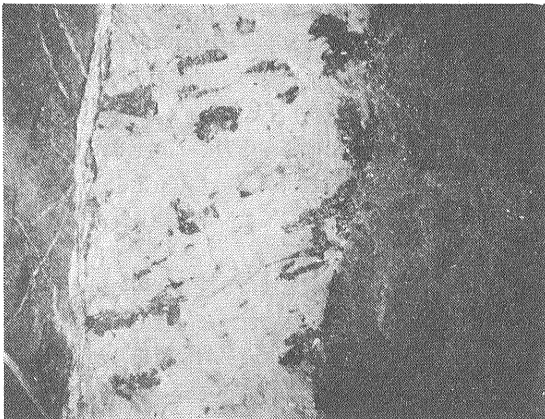


写真2 蕩坪鉍床 560mLにおける斜配列を示す石英脈中の
鉄マンガン重石と白雲母。



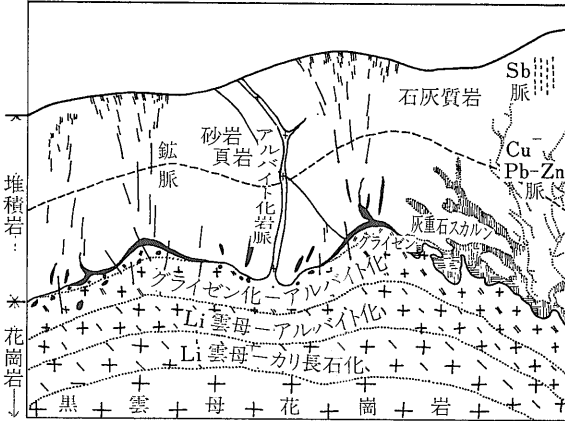
写真3 蕩坪 560mLにおける雁行性石英細脈。

記3構造が交差錯綜する部分にあたる。また鉍床は東西に数100 km 以上にわたって分布するが そのほとんどは東西系の走向を持ち 上記の広域的東西系断裂をみたしたものと考えられる。

鉍脈の観察によると 東西系断裂は主として剪断性の性質を持っており上記の広域的観察と一致する。鉍脈はしばしば破砕帯に沿って貫入した分岐状態を示し (写真1) 張力裂かをみたした単純脈の産状はまれであ

る。したがって鉄マンガン重石も 盤際から中心に楕状に発達することはまれであり 鉍脈形成中にもひずみをうけた産状を示すことが多い (写真 2・3)。また鉍脈の生成期は数期以上に分けられ 鉍化期間中に若干の応力場の転換があったことが明らかである。

第5図には断裂系錯綜部は大余のほか何ヶ所かで認められるが タングステン鉍脈の分布は限られている。タングステン鉍脈の生成にはタングステン鉍液を濃集し



第6図 タングステンを伴う花崗岩体の頂部の模式図 (莫ほか 1980に加筆).

た花崗岩質マグマが断裂帯と出合うことが必要である。すなわち 結晶分化が進みWやFに富むチタン鉄鋳系マグマが浅所に貫入する条件が必要である。 その様な花崗岩は優白色な黒雲母花崗岩で しばしば白雲母や Li雲母を含む種類のタイプである。

タングステンを伴う花崗岩体は模式的には第6図のようにあらわされる。 花崗岩は基本的には黒雲母花崗岩であって その最頂部が薄皮状に内部から外側へ向ってカリ長石化 アルバイト化をうけ Li雲母やツィンワルダイトなどの変質鋳物が増加し 花崗岩体の最外縁で

グライゼン (白雲母-Li鋳物-F鋳物-石英) になる。 接断面ぞいにペグマタイトが発達する。

このような変化はかつて本誌で紹介したように (石原 1975) エルツゲビルゲで一般的なもので Li Fに富むチタン鉄鋳系マグマの固結最終過程を示すものである。我が国の鋳床では Li F含有鋳物の発達が悪く またペグマタイトも一般に乏しい。 このことはマグマの Li F濃度が我が国では低かったことを意味していると考えられる。 なお接触面沿いのペグマタイトキャップは エルツゲビルゲではシュトックシャイダーと呼ばれ大陸地域の Sn-W鋳床地帯で特有なものである。

シュトックシャイダーの見事なものは大吉山鋳床にみられる。 ここでは露出面積 92 km²の黒雲母花崗岩体の一部に白雲母を含む花崗岩が周縁相としてあらわれ その上部に N 60-80°W 急傾斜の黒マンガン重石-石英脈が発達する。 花崗岩は下部から上部へ粗粒黒雲母花崗岩 中粒両雲母花崗岩 細粒白雲母花崗岩へと漸移的に変化する。 白雲母花崗岩の一部はペレー帽状に堆積岩類に貫入するが この派生岩脈の頂部にペグマタイトがペグマタイト性石英キャップと共に見事に発達している (第7図)。 なお 流体包有物の均質化および爆裂温度は黒雲母花崗岩の 640°Cから 鋳脈中の鉄マンガン重石-石英鋳石の 260°Cへ漸減する (盧ほか 1974)。

タングステン鋳物は花崗岩中の鋳脈 グライゼン中 また堆積岩中の割目に産出して鋳脈を形成するが 被貫入岩が石灰質岩の場合にはスカルン鋳床として胚胎される。 巨視的には更に外側へ Cu-Pb-Zn鋳脈とスカルン Sb鋳脈が分布する。

タングステンが花崗岩岩体の内外に分布する割合は 1918-1935年の生産統計によれば (江西地質鋳業調査所 1936) 岩体内 75% 岩体外 25%の比率である。 そして岩体の内外にまたがって産出する鋳脈は非常にまれである。 また副産物として回収されるスズ石はすべて花崗岩体内に限られており W/Sn比は約50であった。 しかし革命後の探査活動によって発見された潜頭鋳床は堆積岩露頭のグライゼン変質示徴などを手掛りとして探査され主として堆積岩中で発見されたために現在では岩体外鋳床の比率が高いようである。

YAN ほか (1980) はタングステン鋳

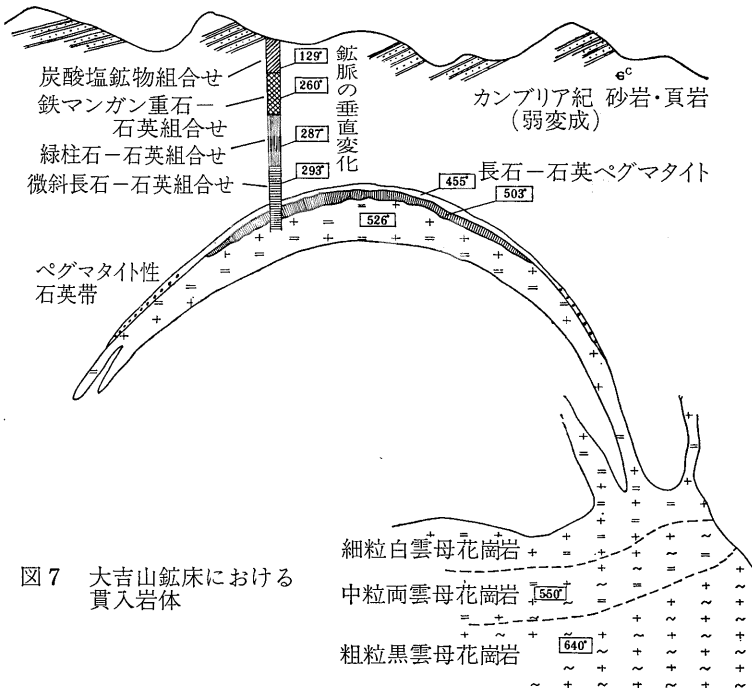


図7 大吉山鋳床における貫入岩体

脈を第8図のように 垂直的に5つのゾーンに分けた。
 鉱脈は全脈幅 1m 当りの脈幅 タングステン品位共に
 花崗岩をはなれホルンフェルス帯からホルンフェルス化
 帯にかけて最大の値を示し 上下に漸減する。 鉱脈の
 最先端は弱ホルンフェルス化堆積岩で終息する。

華南の鉱脈型タングステン鉱床は以上のように

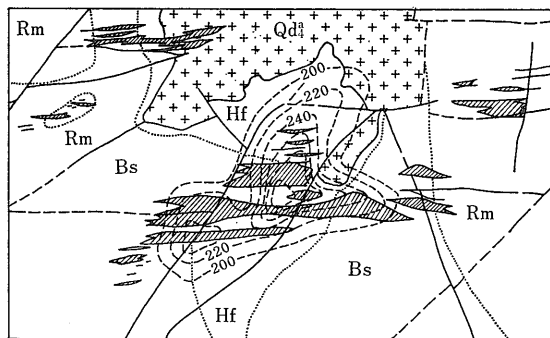
(i) 広域的な割目 とくに剪断割目の発達

(ii) W-Li-F に富むチタン鉄鉱系の存在

の2点により基本的な規制をうける。 したがってこれ
 らの性質が潜頭鉱床の探査に活用されている。

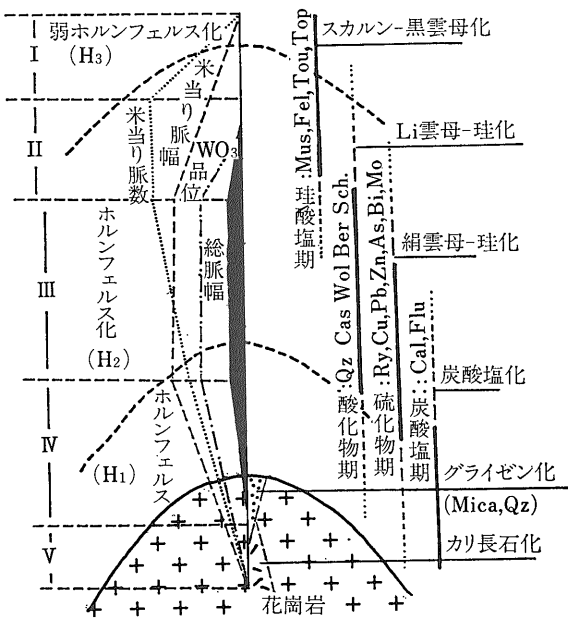
中国でも花崗岩露出地域に新鉱床が発見される確率は
 少なく 革命後発見された大規模な鉱床は鉱脈 スカ
 ルン型共に被貫入岩 とくに堆積岩中のものである。 漂
 塘における発見例を第9図に示す。 漂塘では 粘板岩
 が黒雲母点紋を持つ弱ホルンフェルス化堆積岩に 割目
 に沿ってグライゼン変質をうける所がある。 この部分
 が後日 潜頭花崗岩体の直上に相当すると判明したわ
 けであるが 変質あるいは鉱石鉱物の確認はトレンチを
 掘っておこなわれている(写真4) 変質細脈は一般には
 数mに1本程度で トレンチ作業なしでは見落す可能性
 がある。 花崗岩体は地表下600mの海拔240-300m付
 近に存在する。

我が国では1950年代の広島県瀬戸田鉱山の発見を最後
 に いわゆる新地域での新鉱床は発見されていない。
 日本のタングステン鉱床は 岩石学的には山陽帯のスト
 ロンチウム初生値が高いチタン鉄鉱系花崗岩域に分布
 しており 茨城県高取鉱山から山陽地方に至るこの地域
 で 中国のような組織的探査をおこなえば 新鉱床への
 期待が高まるであろう。



Qd1 ヘルシニア期石英閃緑岩 Hf 白雲母-黒雲母ホルンフェルス帯
 Bs 黒雲母斑点粘板岩帯 Rm 広域変成砂岩頁岩
 〰️ タングステン石英細脈帯 200 潜在花崗岩体等高線
 〰️ 断 裂 (海拔m)

第9図 漂塘鉱床の東西系鉱脈群とジュラ紀潜在岩体との
 関係(山峰 1976原図)。



第8図 江西省南部タングステン鉱脈の模式的变化(YANG
 ほか 1980原図)。

4. ポーフイリー型鉱床

ポーフイリー型鉱床は磁鉄鉱系花崗岩質マグマが垂火
 山性の環境へ貫入し 溶存水溶液相(鉱液)が急激に分
 離・発泡して生じたもので 斑状花崗岩 角礫岩の存在
 垂直的に大きくかつゾーニングを使うなどの特徴を持つ。
 1980年の日本鉱山地質学会の国際討議会で陽儲嶺のポー
 フィリー型タングステン鉱床が初めて発表された時に

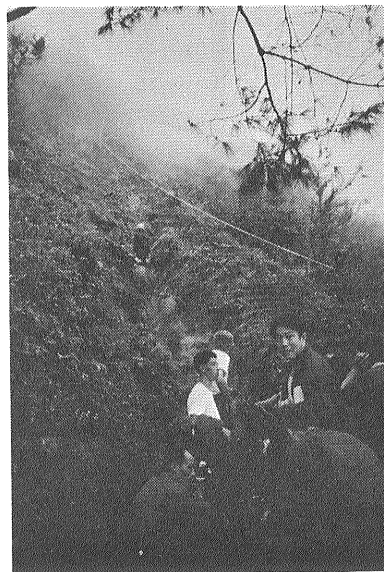
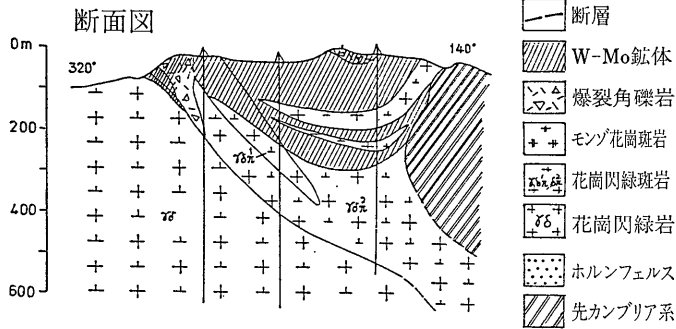
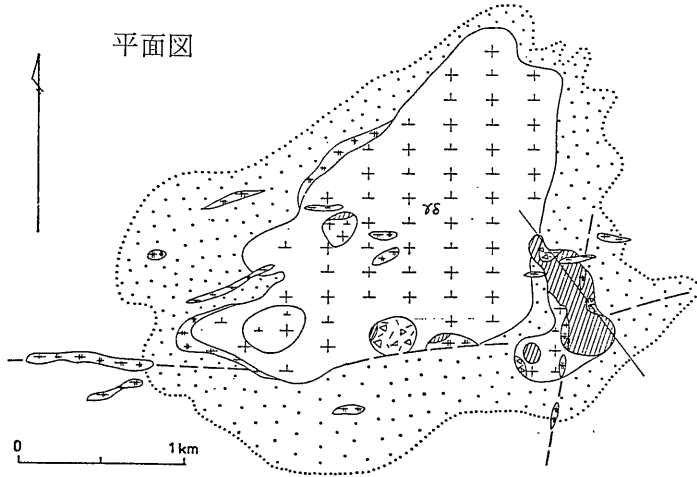


写真4 漂塘 地表部における探鉱用トレンチ。



第10図
陽儲嶺鉍床の地質図
(YANG ほか 1980原図).

このニュースはかなり衝撃的であったが 厳密な意味でのポーフィリー型鉍床がタングステン資源として重要であるか否かの評価は今日に至るもまだ確立されていない。

中国で最初にポーフィリー型と呼ばれたものは広東省東部にある連花山鉍床で 1975年に報告された (LI ほか 1982). これは上部ジュラ紀 (135 Ma) の夾炭層 流紋岩類に黒雲母花崗岩 (137 Ma) 石英斑岩 玢岩類が貫入する地域で 砂岩と岩脈様石英斑岩との境界部に 網状角礫状鉍化作用がみられるものである. 変質は絹雲母化 珪化 緑泥石が主体で ゾーニングは不明瞭である. 鉍石鉍物は細粒 (1-2 mm) の鉄マンガン重石と灰重石で鉄重石をも伴う特色がある. 全般的に硫化物に富み 磁硫鉄鉍 黄鉄鉍 硫砒鉄鉍 サフロライト (CoFe) As₂ などが産出する.

陽儲嶺鉍床は江西省北部に位置し 楊子江褶曲帯の南縁 江南地塊の先カンブリア系に貫入する小規模ストック (露出面積3km²) に伴われる. 貫入活動は早期燕山期第3期 (142 Ma) に属し 東西系と北北東系の断裂交差部に 石英閃緑岩→花崗閃緑岩→モンゾ花崗斑岩の順で生じた. 周囲に火山岩はみられず 岩体の大きさにくらべてホルンフェルス化が幅広い (第10図).

鉍化作用は斑岩類の頂部で最も著しいが 花崗閃緑岩やホルンフェルス中にもみられる. 鉍石鉍物は角礫岩ではマトリックスに産出する. 鉍石は鉍染網状 角礫状 一部塊状の組織を示し 灰重石 (0.1-2 mm) を主とし 比較的多量の輝水鉛鉍 Mo 灰重石を伴うほか 黄銅鉍 輝着鉛鉍 磁硫鉄鉍 黄鉄鉍 閃亜鉛鉍などの硫化物もみられる. 鉄マンガン重石もまれに認められる. 輝水鉛鉍が下方へ増加する若干の垂直ゾーニングがみられる (YANG ほか 1980).

変質作用にはポーフィリー型で一般的なものがすべてみられる. カリウム質変質は最早期で 少量の灰重石鉍化を伴っている. 主たる鉍化作用は次の絹雲母-石英組合せ すなわちフィリック変質に伴われる. カオリン化 緑泥石-緑簾石化は 以上に重複して広く ホルンフェルス中にも及んでいる. したがって 若干の平面的な変質ゾーニングがみられることになるが 垂直ゾーニングは不明瞭である. その原因の一つとして この鉍体の主要部分がすでに削剝されている可能性が考えられる.

陽儲嶺の花崗閃緑岩は磁鉄鉍系/チタン鉄鉍系の中間的な Fe₂O₃/FeO 比を持っている (YANG ほか 1980).

第1表 陽儲嶺の花崗岩の同位体組成

産地	Sr初生値	$\delta^{18}O(‰)$	$\delta^{34}S(‰)$
陽儲嶺 Liu & SHAN (1982)	0.7086 (142 Ma)	全岩平均: +9.8 (花崗閃緑岩: +10~+8) (モンゾ花崗岩: +12)	+4~+1
蓮花山 (Li & ほか, 1982)	0.7070 (137 Ma) (流紋岩 0.7061)		全岩: +2 (磁硫鉄鉱: +3.4~-0.1) (黄鉄鉱: +4.1~-0.3)

また黒雲母の Mg/(Mg+Fe) 比も中間的である (洪大衛私信)。同位体組成については第1表の様である。

これらの値も典型的な磁鉄鉱系/チタン鉄鉱系の岩石鉱床のそれぞれと比較して中間的である。また鉄鉱床についても ビスマス鉱物や磁硫鉄鉱で代表されるように チタン鉄鉱系タングステン鉱床の特徴を備えており このポーフィリー型鉱床は典型的なポーフィリー銅鉱床とは 若干 性格を異にしている。

なお 福建省の行洛坑^{フンロウケン}タングステン鉱床は 中国ではポーフィリー型に含める人もいるが これは筆者が鉄石をみた限りでは 一般のグライゼン型の鉱床で グライゼンに鉱染状に含まれる鉄マンガン重石の比率が高く かつ鉱脈に細脈状のものが多いタイプのように思われる。

5. 層状タングステン鉱床

黒鉄鉱床などの火山性塊状硫化物鉱床の成因論の展開に刺激されて 海底火山熱水噴気活動による「共生説」がタングステンあるいはスズなどの「深成鉄種」に押しよせてきたのは 1960年代の中頃以降である。タングステンに対するこの考え方は ミュンヘン大学の故マウファー教授により熱心に提唱され 韓国の上東^{ソドン}スカルン鉱床にこの仮説が提示されるに及んで (MAUCHER 1972) この説は私達に身近なものとなった。

Albert MAUCHER は 1907年 鉱山町 フライベルグで鉱物収集専門家を父として生れた。父は 1909年にミュンヘンで自営の会社を設立し そのためアルバートは学業終了後1934年まで この鉱物社を引継いだ。彼の博士論文は1932年に ボーデンマイスの層状変成硫化物鉱床の成因について書かれたもので これが火山性タングステン鉱床の提案にも 後日大きな影響を与えることになる。彼はミュンヘン大学の復興 火山堆積性起源説の提案 ミネラルウムデポジタの編集 (1972-80年) に力をそそぎ 1981年4月1日 イタリアでかつてコンサートピアニストであった妻 ナデナにみとられて他界した。

マウファー教授のタングステン鉱床共生説はアルプス

を中心とする層状鉛亜鉛鉄床の研究に端を発する。その後の南部ヨーロッパ トルコ MTA のアドバイザー時代を通じてみた地向斜堆積物の特定層準に灰重石がみられることに注目したが 彼がすぐれていた点は実際に層準追跡をおこなってオーストラリアのフェルベートルをはじめ 50ヶ所以上で灰重石濃集層をみつけた点にある。灰重石は母岩の変苦鉄質火山岩類と同時期に その活動最末期のシリカに富む海底熱水活動によって周囲の堆積物と同生的に生じたとする考えは 1960年代中途に Sb Hg をも含めて完成された。筆者がお会いしたのもその頃である。この灰重石は主としてオルドビス-シルル紀の火山岩類に伴われ この一次濃集タングステンが後の花崗岩化作用によって エルツゲビルグその他の著名なタングステン産出地の鉄脈に再生されたとも彼は考えた (MAUCHER 1972)。

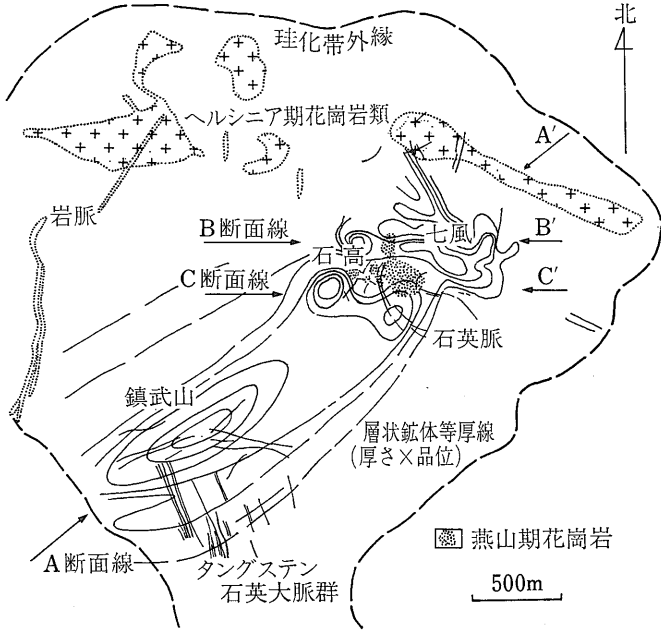
ヨーロッパの灰重石層含有堆積岩類は一般に緑色片岩相 角閃岩相などの広域変成作用をうけている。これに対して中国の層状堆積性タングステン鉱床は未変成堆積岩に胚胎しており 上述の共生-後生成因論に重要な手掛りを与えてくれる可能性があって意味深い。

フンリン 楓林鉄床 (朱・張 1981)

この鉄床は江西省の東郷県にあって 非常に単純な地質からなる。先カンブリア時代の千枚岩を不整合に覆って石炭系 (層厚400 m) が発達し それを上部白亜紀の赤色砂礫岩が不整合に覆う。火成岩類は非常に小規模なストック 岩脈として花崗岩質斑岩が貫入するにすぎない。石炭系は走向 N 55°E 45°SE の単斜構造を持つ。

石炭系は下部石炭系と上-中部石炭系に2分される。下部層は浅海成と思われる粗-細粒の一般の碎屑岩に始まり 上部で火山岩類を夾在する。火山岩類は厚さ20 m以上のデイサイト 流紋岩質溶岩 凝灰角礫岩 凝灰岩からなる。それと密接に 数枚の層状黄銅鉄-菱鉄鉄-黄鉄鉄層がみられ 若干の閃亜鉛鉄 方鉛鉄を含みこれは銅鉄床として稼行されている。

含銅硫化鉄鉄床の上には珪質赤鉄鉄層 (厚さ13m) や含赤鉄鉄チャート (20-30m) が発達する。これらは中部石炭紀石灰岩に不整合に覆われる。タングステンは珪質赤鉄鉄層に含まれ 平均 0.3-0.4% WO₃ の富鉄部は厚さ8 m程度である。タングステンには鉄酸化物に吸着の形で含まれている。花崗閃緑斑岩の分岐岩脈の近くでは微粒の鉄重石もみられる。以上の産状からこの鉄床は初生的には海底火山活動の熱水活動により母岩と同生的に生成したもので 燕山期の花崗岩活動時に局部的



第11図
大明山鉄床の地質略図 (WAN 1982原図).

なタングステンの再移動 再結晶を伴ったものと解釈されている。

ターミンサン
大明山鉄床 (WAN 1982)

大明山鉄床は広壮族自治区 省都南寧の北方にあって露天ぼりで稼行中の鉄床である。鉄床は下部古生層中に層準規制をうけて胚胎し 低品位ではあるが金属量が約50万トンと推定されている大規模な鉄床である。鉄石は平均して鉄マンガン重石/灰重石 = 2/1 のタングステン鉱物比を持つ。

この地域では カンブリア紀の弱変成砂岩>頁岩が最も古く これに不整合でデボン紀堆積岩類が覆う。デボン系は下部デボン紀 (D₁) の沿岸性堆積物であり 下部から砂岩礫岩を主とする D_{1l} 主に砂岩の D_{1n} 砂岩頁岩互層の D_{1y} の3部層に分けられる。これらは一般に北西系の構造を有する (第11図)。

これらに貫入して 印支期と思われる花崗閃緑岩 (220 Ma 黒雲母) が古生層の背斜軸沿いに貫入するほか 同時代の石英斑岩岩脈もみられる。また燕山期と思われる細粒白雲母花崗岩ストック (86—110 Ma) や石英脈なども部分的に貫入する。

鉄床は不整合面沿いにみられ とくにデボン系の下部で発達が著しい (第12図)。稼行対象鉄体は 厚さ0.7-10 m の5層からなるが 平均品位を 0.18% WO₃ に下げると鉄体は14層である。鉄体は厳密には D_{1l} 層の小礫を含む石英砂岩と細粒石英砂岩 D_{1n} 層のシルト・砂質頁岩 D_{1y} 層の砂岩・頁岩に発達する。鉄体は堆積構造と整合的で 走向方向に1—2 km 傾斜方向に3

km まで知られている。

鉄体の厚さは D_{1l} 層の変化にほぼ比例する。たとえば北東部では D_{1l} 層は 100 m で鉄体は 39 m と厚く それらが中央部から南西部へ 85/32 m 70/29 m 60/20 m と減少する。鉄床は沿岸性の沈降部を中心に生成したものと考えられている。鉄体の厚さは白雲母花崗岩から遠ざかるに従って 薄くなるとみることできる。白雲母花崗岩に近いほど石英の再結晶化が著しく粗粒化している。

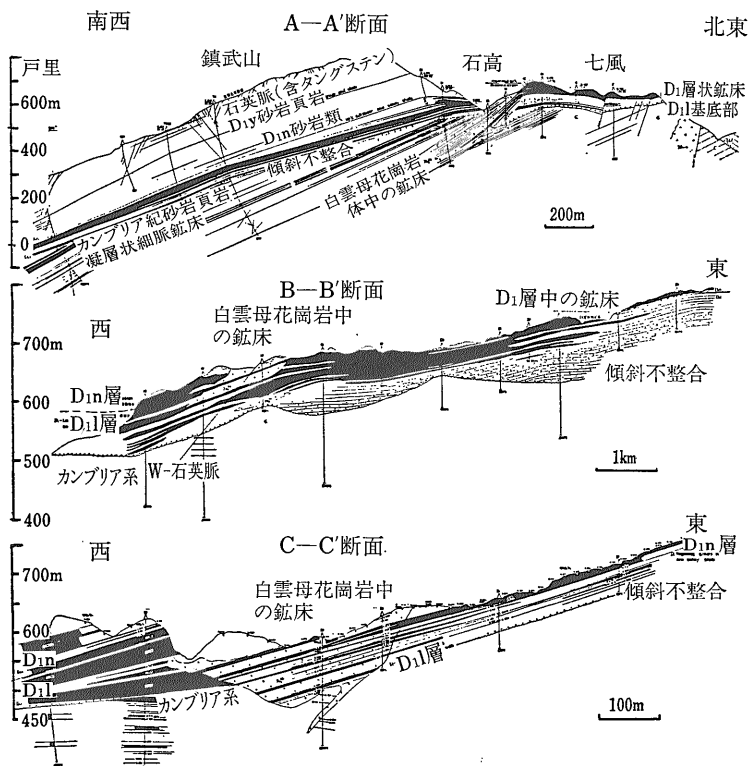
鉄石には偽層理 ラミナ構造 (一般に幅 1 cm) が発達し 品位は比較的一定している。鉄石は石英を主としタングステン鉱物のほか 絹雲母や輝水鉛鉱を含む。鉄マンガン重石は母岩の粒度と関係し 砂岩中で粗粒で 0.05 mm 前後 頁岩中では 0.01 mm 程度である。鉄マンガン重石は MnO/FeO=0.22 の平均組成を示し 鉄重石に近い。鉄体の平均品位は 0.26% WO₃ 他に 0.15% S 0.02% Cu 0.14% Mo 0.01% Pb などを含む。

鉄化作用にはこのほか次の3つのタイプがある。

- (i) 白雲母花崗岩中の鉄マンガン重石 - 石英網状細脈。
- (ii) カンブリア系とデボン系中の鉄マンガン重石 - 石英脈。
- (iii) カンブリア系中の潜頭鉄マンガン重石 - 石英網状細脈。

石英脈鉄床は北東部の花崗斑岩付近と南西部の鎮武山付近に集中してみられ 一般に NNW の方向性を持つ (第11—13図)。

ターフン
花崗岩は北東部の七風背斜軸付近に貫入する小岩体からなり (第13図) 細粒斑状の白雲母花崗岩である。こ



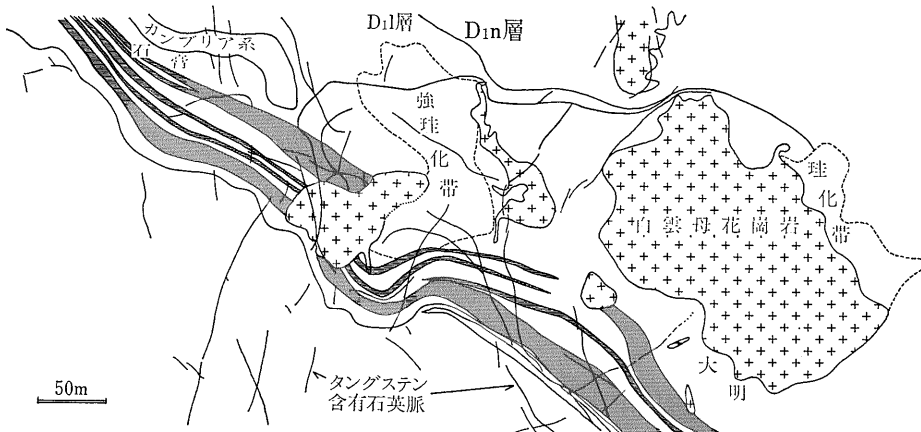
第12図
大明山鉍床の断面図
(WAN 1982原図).

れは SiO_2 K_2O F Rb (平均 $\text{K/Rb}=69$) W (100—800 ppm) Sn Cs にとみ マグマ分化作用が進んだ岩石である。鉍化作用は網状細脈あるいは鉍染状に岩体頂部に認められる。

花崗岩中の鉍床は明らかに花崗岩活動に関係するものであるが 層状鉍床に対しては対立する2つの見解が提案されている。MA・FENG (1982) は母岩の一次濃集の再移動を含めて 花崗岩活動による後生的な熱水鉍床説を主張するが WAN (1982) は砂鉍を含めた純堆積性の起源を重視する。彼 (写真5) はその根拠として次の

諸点を挙げている。

- (1) 鉍体が km 単位にわたり堆積層準の規制をうける。
- (2) 鉍体の厚さは母層の厚さと比例的である (D₁層)。
- (3) 鉄マンガン重石のサイズは母岩の石英粒度と比例する。
- (4) 鉍石は堆積岩特有のラミナ構造を示す。
- (5) タングステン鉍物の品位のばらつきが少ない。
- (6) 鉄マンガン重石の微量成分 Nb Ta 希元素などは 一般の鉍床のものより著しく低い。



第13図
大明山層状鉍床と花崗岩との関係。
(WAN 1982原図)

(7)大明山の南部や北部の鉍床を離れた一般の砂岩頁岩は著しくタングステンに富む(第2表)。

(8)後生鉍床だと仮定するとカンブリア系/デボン系不整合面に鉍化がないことが説明しにくい。この面は印支期の北東-南東の圧縮運動で構造的弱線となっていたはずである。

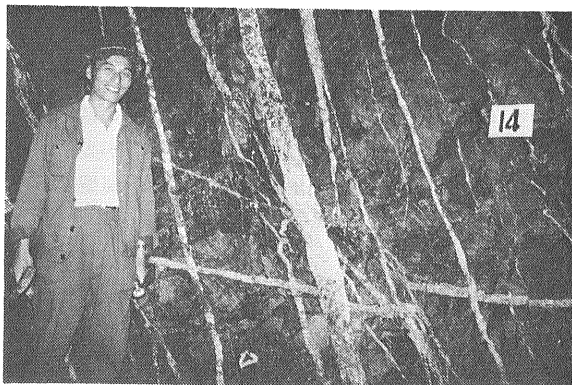


写真5 大明山堆積性鉍床成因説を力説する萬兵氏。

以上の諸点からWAN(1982)は大明山鉍床について堆積源を中心に考え次のようなモデルを提唱している。

カレドニア期の初め 応西壮族自治区全般にわたり浅海が広がっていた。しかしすぐ北方には江南古陸があり西方にはベトナム地塊や東方にはカタシア地塊があってカンブリア紀の浅海に碎屑物をもたらし一部の鉍床を形成した。カレドニア造山運動により褶曲や花崗岩活動が生じ1億年以上にわたりこれらは浸食をうけた。

デボン紀の初め この地域は再度南方からの海進をうけ碎屑物の多くは北方の江南陸地からまた一部はその場のカレドニア褶曲帯の岩石から供給された。そしてD₁層のタングステン鉍床が形成された。その一部は砂鉍床であったかも知れない。引続く続成作用 印

支期や早期燕山期の褶曲作用 断層運動によりD₁層の鉍石は若干の再移動をうけた。

燕山期後期には白雲母花崗岩がこの地域に貫入しE層やD₁層のタングステンを含む岩石を同化した。とくに花崗岩体直上の岩石を著しく同化しとり込まれたタングステンは引続く隆起と花崗岩の上昇の間に割目に放出されて脈状鉍床を形成した。

WAN(1982)が挙げた8つの根拠のうち(1)-(6)は後生説すなわち潜在する花崗岩に鉍液が由来する低温熱水性鉍液起源説でも説明可能であり事実他地域でも低温性であれば大明山と似た鉍石の性質を持つ(たとえばタイ南部のカオ・スン角礫パイプ鉄重石鉍床)。しかし(7)と(8)とは後生説では説明しにくい。とくに(7)の一般の砂岩頁岩でもタングステンに著しく富むことは中国の豊かなタングステン資源に決定的な意味付けをしているものと考えられる。

第2表 大明山周辺における一般堆積岩のタングステン含有量(ppm)。

時代と岩石	地域	分析数	範囲	平均
〔沿海性堆積物〕				
デボン紀 Diy層 砂岩頁岩	南東7km	64	0.5-92	14
Din層 頁岩	南東7km	62	5.8-79	21
Dil層 砂岩	南東7km	50	3.8-56	17
Di層 砂岩	南東10km	23	0.5-100	34
カンブリア紀 E層 砂岩	南東10km	22	40-160	72
デボン紀 D層 砂岩頁岩	南東30km	60	0.5-17	8.8
D層 砂岩	すぐ北方	25	50-620	193
カンブリア紀 E層 砂岩	すぐ北方	20	100-400	194
E層 砂岩	北東30km	59	0.5-12	6.1
〔海成層〕				
中部三疊紀 砂岩頁岩	南20km	34	1.8-7.6	5.0
上部ペルム紀 砂岩頁岩	南20km	37	0.1-21.8	4.4
石炭紀 炭酸塩岩	南15km	50	0.1-1.3	0.4
中部デボン紀 炭酸塩岩	北10km	61	0.1-0.8	0.3

WAN(1982)による

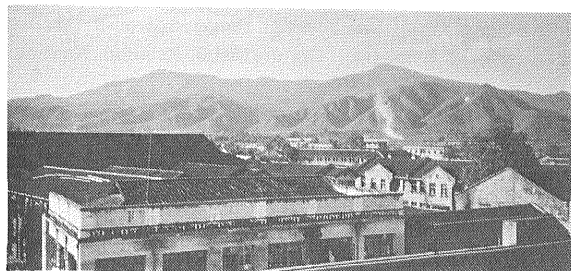


写真6 江西省南部のタングステン基地 大余のゲストハウスからみる西華山の山波。

7. むすび

タングステン鉍床はその形成深度によって表成 浅成 深成の3種に大別される。表成鉍床は既述の様に(i)熱水噴気型鉍床 (ii)化石鉍床または化学的沈澱鉍床 に分類される。

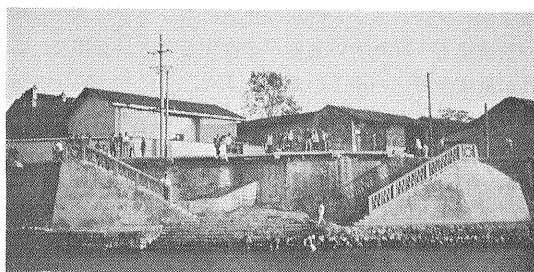


写真7 大余、のどかな街並みと水に生きる華南の人達。

熱水噴気鉱床のうち MAUCHER (1972) が主張するアルプスにおけるものは磁鉄鉱系の苦鉄質火山活動に由来するものと思われるが この系列のマグマ活動ではタングステンの著しい濃集は期待できないので この種の鉱床は鉱業的に重要なものには発展しない可能性が大きい。楓林で代表される斑長質火山活動に伴う熱水噴気型鉱床も チタン鉄鉱系マグマは一般には地表に達しない可能性が高いので 重要なタングステン鉱床に発展しがたいものと思われる。(ii)の堆積型鉱床の鉱業的重要性はひとえに大明山鉱床の成因論にかかっている。大余の一夜 筆者は萬馬両氏に來室を願ひ大明山成因論の説明をうけたが たちまち両者が自説を中国語でやり合うことがしばしば その内容に深く立入れなかったことが残念でならなかった。

華南のタングステン鉱床の多くは一般にある深度で形成されており 鉱床は生成深度によっていくつかに分離できるが 鉱床の生成に最も基本的な条件は次の2点に集約される。

- (i) タングステン高含有基盤の存在
- (ii) チタン鉄鉱系マグマ活動の存在

華南の堆積岩・変成岩類が世界の一般のそれぞれよりも微量成分としてのタングステんに富むことは各地で知られており (HEPWORTH & YU 編, 1982) 大明山地域では海成砕屑物でも高いが 海陸移行型の沿岸堆積物で著しい異常が認められる。この事実はこの地域の先カンブリア紀基盤にタングステン異常があったことを示しており 事実 江南古陸には異常な含有量を持つ弱変成岩類や小規模ながらも灰重石 (-Sb-Au) 層状鉱床が知られている。

華南のタングステン鉱化地帯はカレドニア褶曲帯に含められるものの 基本的には先カンブリア系を基盤としている。韓半島でもタングステン鉱床は先カンブリア系基盤中に産出する。我が国でも主要な鉱床は先カンブリア系基盤存在の可能性が大きい西南日本にあって古くから島弧的であった東北日本には分布しない。またストロンチウム初生値とタングステン鉱量との間には正の相関性がある (ISHIHARA 1982)。すなわち主要な顕生代のタングステン鉱床の生成には タングステンの一次濃集をうけた古い基盤が存在することが必要でこれが鉱床生成上の第1の条件である。

華南の主要な浅-深成鉱脈型 スカルン型などのタングステン鉱床は すべてチタン鉄鉱系花崗岩類と関係している。したがってこれらが高タングステン基盤およびその性質が反映した古生層などを同化して生成したことは明らかであり そのうちマグマ過程におけるタングステンの濃集を繰返したものが大きな火成鉱床をもたら

した。すなわち第2の条件としては地殻発生型あるいは同化型マグマの発生および上昇機構が必要である。

華北においても先カンブリア紀基盤は広く分布するが燕山期花崗岩類はストロンチウム同位体初生値が低い磁鉄鉱系に属するようである。この地方にタングステン鉱床が存在しない事実は 上記2条件のうち後者に原因することは明らかであるが 前者にも一因があるのであろうと筆者は考えている。

花崗岩質マグマが鉱床を形成する場合に 鉱液を濃集するためにキュボラが必要であり また鉱床胚胎の場として割目や反応し易い炭酸塩岩の存在は不可欠な要素である。華南のタングステン鉱脈の原割目は 既述のように太平洋側とインド洋側からの押しによる広域的構造運動によって 2者の構造運動の錯綜部に生じたものであり したがってその規模は大きくかつ密度も高い。すなわち 東-西系と北東系構造運動と基盤に由来するタングステンのチタン鉄鉱系マグマ分化作用における再生濃集作用とがマッチして 華南の豊かなタングステン資源は生成したものと考えられる。

謝辞：中国冶金鉱業部萬兵 同地質鉱産部洪大衛 馬林清諸氏との討論では教わる所が多く また萬氏には講演原稿をみせていただいた。以上の方々ならびに鉱山見学の労をとられた中国地質鉱産部 冶金鉱業部の関係各位に深謝する。

文 献

- 郭文魁・劉藍笙・俞志杰 (1982) 中国東部の鉱床生成区および生成期の基本特性. 鉱床地質 v.1 p.1-14.
江西地質鉱業調査所 (1936) 支那タングステン誌 203p. 生活社
- 石原舜三 (1975) エルツゲビルゲの旅. 地質ニュース no. 249, p.18-35.
- ISHIHARA, S. (1982) Granitoid series and tungsten deposits in Japan. Proc. Sym. Tungsten Geol. Jiangxi, China. p.115-122, RMRDC, Bandung.
- 石原舜三 (1982) 中国の鉱物資源②—ポーフィリー型 Cu Mo 鉱床. 地質ニュース no. 335, p.18-32.
- 石原舜三・佐藤岱生 (1982) 中国の鉱物資源③—華南の花崗岩類一. 地質ニュース no. 340, p.30-45.
- LI, T., MAN, F. S., BAI, Y. Z. and NI, S. B. (1982) Isotope geology of Lianhuashan tungsten deposit (abs). Proc. Sym. Geol. Granite Metal. Relation, Nanjing, p.69-71.
- 林運淮 (岸本文男訳 1983) 中国南部の主要タングステン鉱床の分類. 地調月報, v.34, p.39-45.
- LIU, J. Y. and SHEN, J. L. (1982) Metallogenetic-magmatic systems of tungsten in Jiangxi Province. Proc. Sym. Tungsten Geol. Jiangxi, China. p.313-325, RMRDC, Bandung.
- LIU, J. Y. and SHAN, J. L. (1982) Metallogenetic-magmatic complex of the Yangchuling tungsten (Mo)

- deposits : A genetic model of the transitional (syn-texis) type granitoid. Proc. Sym. Geol. Granite Metal. Relation, Nanjing, p.31-33.
- 盧煥章・施繼錫・喻茨玖 (1974) 華南某鉍區成岩成鉍溫度の研究. 地球化学, no.3, p.145-156.
- MA, L. Q. (1982) The geological characteristics of Damingshan sedimentary-magmatic hydrothermal wolframite deposit, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China. Proc. Sym. Tungsten Geol. Jiangxi, China. p.375-384, RMRDC, Bandung.
- MAUCHER, A. (1972) Time and stratabound ore deposits and the evolution of the earth. Proc. 24th IGC, Sect. 4, p.83-87.
- 莫柱孫ほか (1980) 南嶺花崗岩地質学. 地質出版社 (北京) 421p.
- 中本 明 (1954) タングステン鉍. 日本鉍産誌 I-C, p.216-233.
- RGSKTS (Research Group of South Kiangsi Tectonic Systems, 1976) Tectonic systems and the spatial distribution of tungsten in southern Kiangsi, China. Peking, 13p.
- 佐藤興平 (1982) 中国のタングステン鉍床. 地質ニュース no.333, p.31-44.
- 山峰 (1976) 某石英細脈帯型タングステンスズ鉍床地質の特
性. 地質学報 no.1, p.1-16.
- 朱金初・張承華 (1981) 江西東郷 楓林の石炭紀火山岩と銅—タングステン鉍床の成因. 南京大学学报 (自然科学) no.2, p.269-282.
- WAN, B. (1982) The Damingshan wolfram deposit in Guangxi Zhuang Autonomous Region, China. Proc. Sym. Tungsten Geol. Jiangxi, China. p.403-412, RMRDC, Bandung.
- 王联魁・朱為方・張紹立 (1982) 華南花崗岩における成岩・成鉍2系列の進化. 地球化学 no.4, p.329-339.
- YANG, M. Z., WU, Y. L. and LI, C. Y. (1980) Metallogenic systems of tungsten in Southeast China and their mineralization characteristics. Mining Geol. Spec. Issue, no.8, 215-221.
- 本稿の脱稿後 討論会の論文集が発行され 届けられた (HEP WORTH, J. V. and H. Z. YU edit., 1982, Tungsten Geology, Jiangxi, China, 583p.). これは中国側28件 (248p.) 外国人20件 (232p.) の英論文からなる583頁の大作であり 著者校正がおこなわれなかったために活字の拾いミスが目だつが タングステン地質に関する最も詳しい著作と言える。購入は下記。
- ESCAP-RMRDC (Regional Mineral Resources Development Center), Jl. Jenderal Sudirman 623, Bandung, Indonesia. U. S. \$50 payable to RMRDC.

地学と切手

ボツワナ共和国

銅—ニッケル鉍山切手 P. Q.

ボツワナは面積は日本の1.5倍の所に 人口約80万人からなり立っている国である。もとはベネチアランドといい アフリカ大陸の南部にあって ザンビア ローデシア 南アフリカ ナミビアに取囲まれていて 国土の80%はカラハリ砂漠である。最近のボツワナは鉍業ブームで 世界の大企業が続々と探鉍に入っており 現在はダイヤモンド 銅・ニッケル 石炭が3大鉍産物であるが 期待されるものとして 鉛 亜鉛 金 ウランなどがある。この国は元来牧畜を主とする国であったが 1970年から鉍業を重視するようになり 鉍産額は年々増加している。

ボツワナで銅・ニッケルを産出している唯一の鉍山は Selebi-Phikwe 鉍山で 1978年-79年に高品位の銅・ニッケルマット年約4万t バイプロとして月20tのコバルトを産出している。全てのマットは南アフリカ鉄道経由でアメリカのルイジアナ州のポートニッケル精錬所へ送られている。

Selebi-Pikwe 鉍床は帯状片麻岩中の角閃石片麻岩と灰長岩の互層に挟まれる岩床状角閃岩 (平均厚さ20m)



の上盤と下盤に沿って胚胎する銅・ニッケルの硫化鉍物層状鉍床である。主要鉍石鉍物は磁硫鉄鉍・黄銅鉍・ペントランド鉍などである。

最近の鉍山への投資は目覚ましい。1978年からは Selebi 鉍山における坑内開発 Selebi 鉍山と Phikwe にある選鉍場を結ぶ鉄道建設 Phikwe における貯鉍ビンの建設 Phikwe における830m レベルの第3立坑の建設 精錬所の集塵集取システムの建設 自溶炉への新しい原材料システムの開発などであり この鉍山の経済的将来はさらに明るくなった。

金属鉍業事業団も昭和55年からG-Gベースの調査を開始した。

切手は1970年3月 他のダイヤモンド鉍山2種と共に4種1組で発行された Selebi-Phikwe 鉍山切手。