

オーストリアのFelbertal層準規制型灰重石鉛床

武内寿久¹⁾・佐藤興平²⁾

1. はじめに

タングステン鉛床は一般に珪長質マグマの活動と成因的関係を持つものが多い。その約20%は古生代(カドニア・ヘルニア造山期), 約70%は中生代ジュラ紀(キンメル造山期), 約10%は中生代末-第三紀(アルプス造山期)に形成されている。鉛床型には鉛脈型・スカルン型・斑岩(鉛染)型・角礫岩型などのほか, 漂砂鉛床があり, 錫石・輝水鉛鉛・自然金などを伴う鉛床もある。これら鉛床の多くは珪長質深成-半深成岩との成因的関係が明かであるが, これらのほかに古生代の火山性堆積岩類に胚胎する層準規制型鉛床がオーストリアや中国で発見されている。

Felbertal 鉛床は, オーストリア Salzburg 州 Mittersill の南約9 km の東アルプス山岳地帯にあり(口絵参照), 世界でも最大級のタングステン鉛床のひとつであ

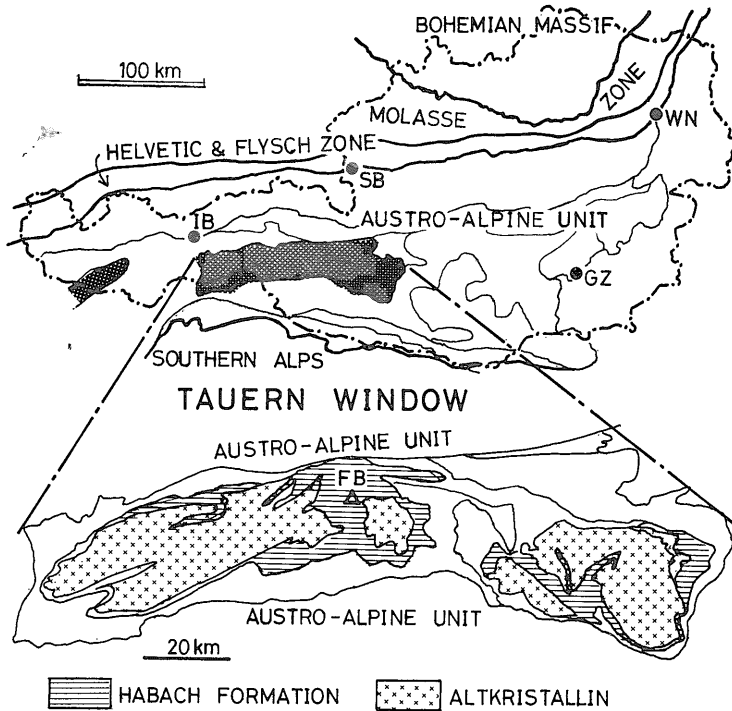
る。また, 1960年代後半に, 西ドイツ ミュンヘン大学の A. Maucher 教授や R. Höll 教授を中心とする鉛床研究者の「層準規制型鉛床説」に基いた組織的探査により発見されたタングステン鉛床としても知られている。1967-1973年の間に, 地表・トレンチ調査, 700mの坑道調査, 6,400mの試錐調査により, 鉛床の概略を把握し, 1975年東鉛体の露天採掘を開始, 1976年中頃に選鉱場の運転開始, そして1977年10月には西鉛体の坑内採掘をトラックレス法により開始した。鉛山の経営は, Wolfram Bergbau und Hüttengesellschaft m. b. H. により行われ, その株式所有比率は, オーストリアの Voest Alpino Corp. 47.5%, 西ドイツの Metallgesellschaft 47.5%, 米国の Teledyne Corp. 5%となっている。埋蔵鉛量は500万t以上とされ, 1978年の粗鉛生産は291,140t (0.65%WO₃)であった。



写真1 Felbertal 鉛山, 鉛石運搬用大型トラック。Wolfram Bergbau- und Hüttengesellschaft m. b. H. のパンフレットより。

1) 東京大学名誉教授: 〒154 東京都世田谷区駒沢2-19-19
2) 地質調査所鉛物資源部

キーワード: オーストリア, アルプス, Felbertal, 層準規制型鉛床, タングステン, 灰重石



第1図 オーストリアの地質構造

WN: Wien, GZ: Graz, SB: Salzburg, IB: Innsbruck, FB: Felbertal

2. オーストリアの地質構造

オーストリアは東アルプス造山帯に属し、東西系の地質構造が発達している。その東は北東にふれてカルパチア山脈に続き、西はスイスアルプスに続いている。地質構造帯は北から南へ、Bohemian Massif (ヘルシニア造山帯), Molasse zone (第三紀漸新世-中新世の砂岩), Helvetic zone (ジュラ紀-第三紀漸新世の石灰岩), Flysch zone (白亜紀-古第三紀の泥灰岩・砂岩), Penninic windows (結晶質基盤岩・古生代-中生代堆積岩の変成岩・ヘルシニア期花崗岩), Austro-Alpine Unit (結晶質基盤岩と後期古生代-中生代の北アルプス石灰岩・中央アルプス変成岩) および Southern Alps zone (古生代-中生代の石灰岩) よりなる (第1図)。Molasse zone, Helvetic zone, Flysch zone, Austro-Alpine Unit 北縁は、東西系南傾斜の衝上断層により接している。Austro-Alpine Unit 南縁と Southern Alps zone の間は東西系の Periadriatic lineament (断層) によって接し、これに沿ってアルプス期の花崗岩・トータル岩が分布している。

Tauern Window

Hohe Tauern 地域に露出する Tauern Window は

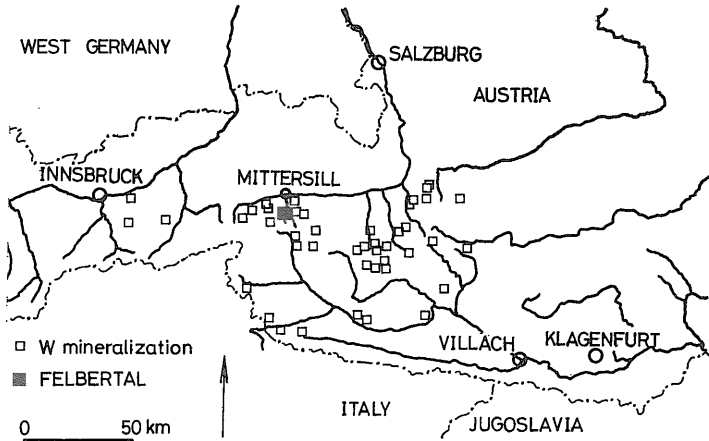
東西に分布する Penninic Windows の一つで、160km × 30km の範囲を占め、東アルプスでは最も下位の地層が露出し、以下のように分類されている (第1図)。

- 1) Altkristallin: 先カンブリア時代-古生代前期の堆積岩・火山岩を原岩とする片麻岩と角閃岩相変成岩。
- 2) Habach Formation: 古生代前期の堆積岩・塩基性火山岩を原岩とする角閃岩-緑色片岩相変成岩で、鉱床を胚胎する。(以前は、Habach Series と呼ばれていた。)
- 3) Zentralgneiss: Altkristallin と Habach Formation に貫入する花崗岩。
- 4) 二畳—三畳系
- 5) ジュラー-白亜系

3. Felbertal 鉱床付近の地質

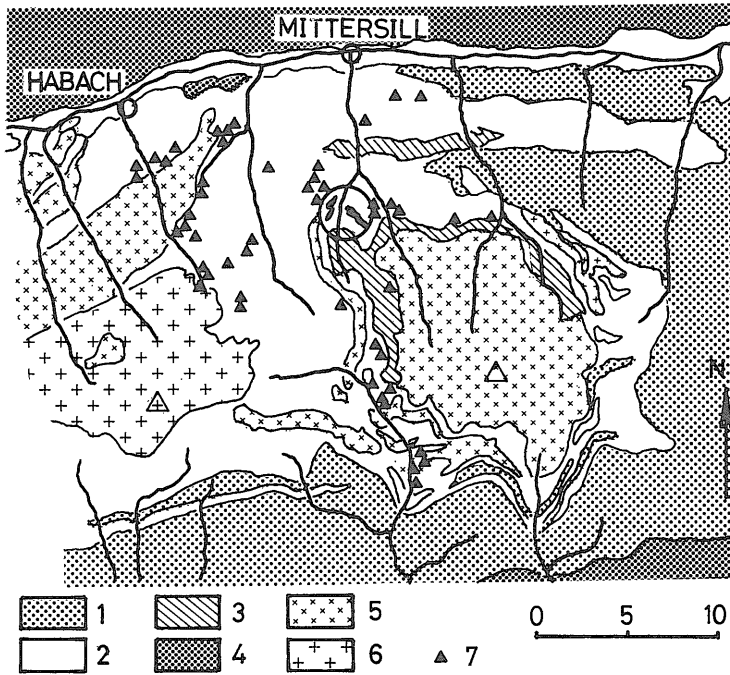
Felbertal 鉱床は、標高1,200-2,240mの東アルプス山中にあり (第1-3図; 口絵1, 3, 5), 東アルプスでは最も下位の Tauern Window の変成岩中に胚胎している。

タングステンの鉱化は、Felbertal を中心に径約17km の範囲にわたって、Habach Formation の中に認められる (第3図)。Habach Formation は下位から以下の3ユニットに分けられる (第4図)。



第2図

オーストリア Felbertal 鉱床位置図
河川堆積物中に灰重石が産するかどうかを紫外線の照射によってチェックし、鉱産地を追跡・発見した。灰重石の発する蛍光を見るため、夜間の探査が有効であったという。



第3図

Felbertal 鉱床付近の地質略図
(図中央の円内が Felbertal 鉱床)

1. 二疊系-三疊系の結晶片岩
2. Habach Formation
3. Basal 角閃岩
4. 東アルプス ユニット(ナッペ)
5. 花崗岩質片麻岩
6. 石英閃緑岩質片麻岩
7. タングステン鉱徴地

1) Basal schist sequence (厚さ400m) : 一部に礫岩および火山岩の互層を伴う砂質-泥質岩。

2) Volcanic rock sequence (または Eruptive rock sequence, Felbertal では厚さ 1,500m, ほかでは 3,000m を越えるところもある) : 一部に 砂質-泥質岩, 石英・熱水変質岩の挟みと再堆積火山岩礫を伴うカルクアルカリ岩系火山岩。

3) Habach Phyllites: 少量の砂質岩・含石墨珪岩・火山岩を伴う千枚岩。

Habach Formation は、ヘルシニア期・アルプス期の

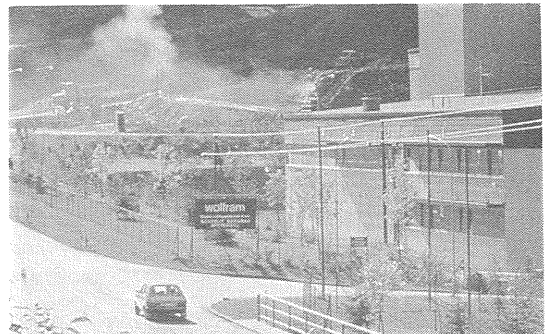
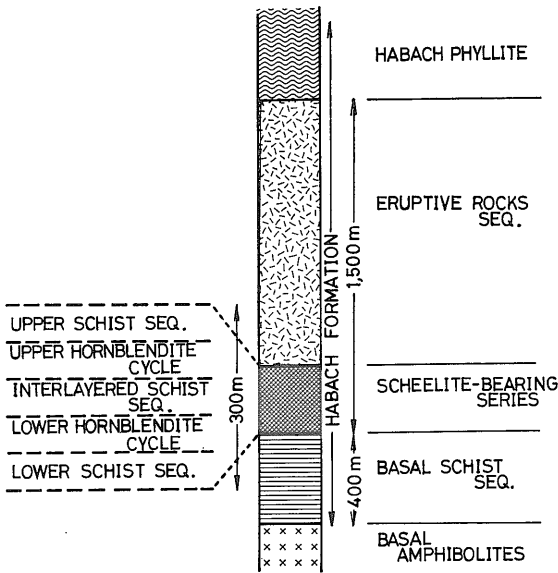


写真2 Mittersill にある灰重石選鉱場。パンフレットより。



第4図 Habach Formation の模式柱状図 (Felbertal 鉱床付近)

変成作用と構造運動を受けている。アルプス期変成作用は北から南に向かって強くなり、広範な再結晶作用と片理形成を生じている。鉱床の受けた変成条件は温度約 570°C、圧力 5.5 kb と推定されている。

Volcanic rock sequence の最下部約 300m に灰重石の鉱化が認められ、Felber 溪谷の東斜面と西斜面に鉱体

が露出している (写真3)。鉱化帯では薄層の互層と指交が著しい (口絵 4, 6; 写真 4)。Felbertal では、Volcanic rock sequence は漸移する 3 ユニットに分けられる。

- 1) (緑簾石-) 曹長石-角閃岩と角閃石片岩, 緑泥石-黒雲母-角閃石片岩, 緑泥石片岩, 緑泥石-曹長石片岩。
- 2) 暗緑色粗粒角閃岩。
- 3) (緑簾石-緑泥石-ざくろ石-) 黒雲母-曹長石片岩, 片麻岩と粗粒-細粒優白質片麻岩 (黒雲母-白雲母片麻岩, 白雲母-微斜長石片麻岩)。

タングステン鉱化帯は、上位から (1) Upper schist sequence, (2) Upper Hornblendite Cycle, (3) Interlayered schist sequence, (4) Lower Hornblendite Cycle, (5) Lower schist sequence に分けられる (第4図)。

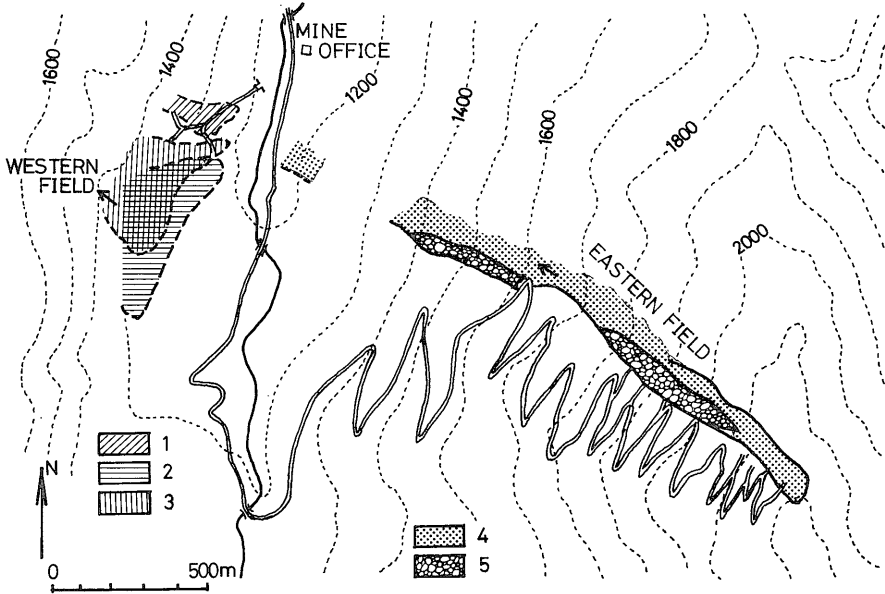
4. 鉱 床

鉱床は火山岩源変成岩からなる Habach Formation の下部層に胚胎している。この下部層は角閃岩・緑色片岩・片麻岩・珪岩よりなり、火山活動には Lower Hornblendite Cycle と Upper Hornblendite Cycle があり、それぞれのサイクルは、次ページの第1表に示すように、超苦鉄質溶岩の噴出に始まり、珪質溶岩の活動に続いて生ずるタングステンを伴う珪質噴出物の堆積で終わる一連の活動により特徴づけられる、とされている。

鉱床層準の典型的な地層は火山岩類と細粒珪質岩の細



写真3 Felbertal 鉱床東鉱体付近の遠景。SCHENK & HÖLL (1988) より。



第5図

Felbertal 鉱床の東鉱体と西鉱体

1. 西鉱体の上部覆瓦構造中の上部鉱体
2. 西鉱体の上部覆瓦構造中の下部鉱体
3. 西鉱体の下部覆瓦構造中の主要鉱体
4. 下部角閃岩サイクル中の東鉱体
5. 鉱石の崖状堆積物

かい互層で(例えば、口絵4, 6; 写真4), タングステン品位と石英量とは相関し, 鉱化帯以外では珪質岩は認められていない。鉱床はN-S系の深い谷によって東鉱体と西鉱体に分けられ, 山腹に鉱体の一部が露出する(第5図; 写真3)。

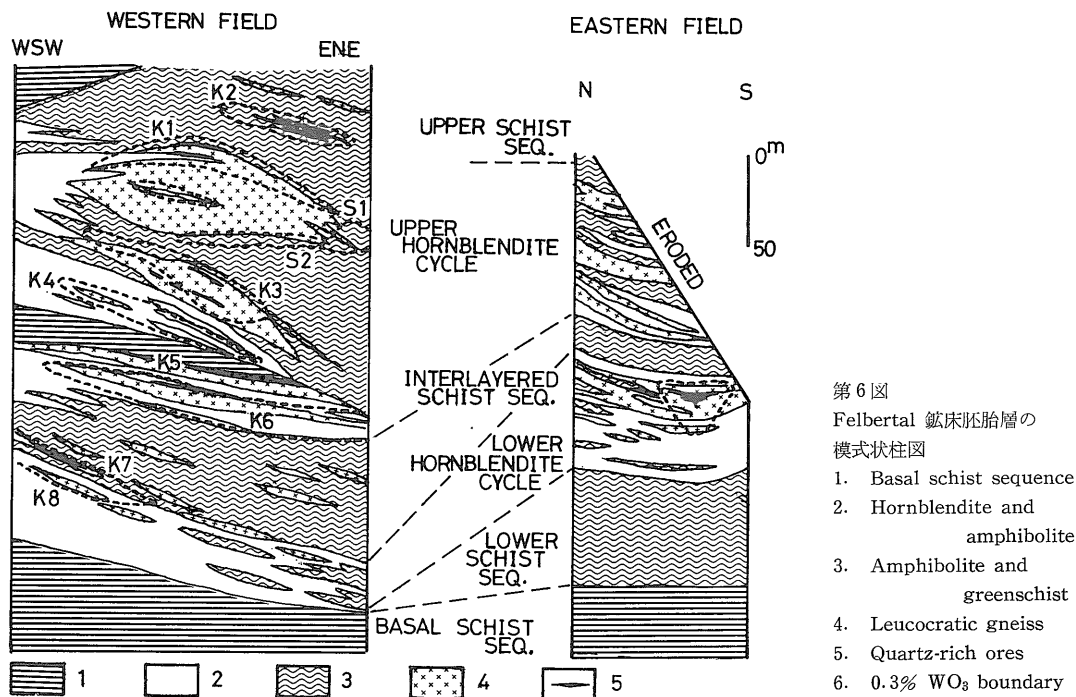
東鉱体は厚さ50-100mの Lower Hornblendite Cycle の層準にあり, 走行 N S, 傾斜30°W, 鉱体の大きさは約2,500×200mである。鉱体の傾斜が谷の斜面とほぼ平行なので, 鉱石の90%以上は露天採掘が可能である(口絵3; 写真5)。鉱体の一部は削剥され, 谷の斜面に沿っ

第1表 Felbertal 鉱床の火山活動 Hornblendite Cycle の時間変化

早期	超苦鉄質岩(現在:粗粒角閃岩) ソレイアイト(現在:角閃石片岩, 緑簾石-角閃石-片岩) 石英ケラトファイアー(現在:曹長石片麻岩) 流紋岩-石英安山岩(現在:斑状片麻岩)
後期	珪質噴出物(現在:珪質岩) - Wの鉱化



写真4 東鉱体の鉱石=角閃石-黒雲母-石英片岩。細粒の灰重石結晶が, 石英に富む白色部に鉱染している。光って見える小斑点は黒雲母の結晶。口絵4, 6参照。



第6図
Felbertal 鉱床胚胎層の
模式状柱図
1. Basal schist sequence
2. Hornblende and
amphibolite
3. Amphibolite and
greenschist
4. Leucocratic gneiss
5. Quartz-rich ores
6. 0.3% WO₃ boundary

て延長約 400 m にわたる多量の崖錐となっており、開発初期の主要な採掘対象となった。鉱石の平均品位は 0.75 % WO₃、最高は 7 % と報じられている。

西鉱体は Upper Hornblende Cycle 内および上盤の角閃石片岩中に胚胎し、走向 N 60° E、傾斜 50° N W、走向延長は約 200 m で、落しは N 75° W ~ 35° である(写真 6)。鉱化帯の厚さは 150-250 m あり、この間に 6 枚の鉱体が確認されている。最も厚い鉱体は 25 m の厚さがある。鉱石の平均品位は 0.45 % WO₃ であるが、品位は漸移的に変化し、各鉱体間の母岩にも 0.15-0.2 % WO₃ 程度の

鉱化が認められる。

東鉱体では、灰重石は粒径 50 μm 以下のものが 95 % を占め、層理に平行な珪質部に厚さ 10-30 mm の多数の薄い層として産するが(口絵 4, 6; 写真 4)、西鉱体では、上記の産状のほか不規則石英脈や石英層中に粒径 1-20 mm の灰重石が硫化鉱物と共に産する(口絵 2; 写真 7)。また、石英脈の晶洞部には灰重石結晶(最大径 20 cm)が、炭酸塩鉱物・長石・石英と共に産することがある。

口絵 7 と写真 8-9 に代表的な鉱石の顕微鏡写真を示した。



写真 5 東鉱体 2200 m レベル 鉱石積み込み作業。

5. 鉱石 鉱物

主要鉱物は、灰重石(部分的に少量の Mo を含む)・輝水鉛鉱・輝蒼鉛鉱・磁硫鉄鉱・黄銅鉱などであるが、硫化鉱物は東鉱体では少なく、西鉱体では約 5 % に達することがある。

灰重石の生成は 3 期に分けられる。第 1 期は海底熱水活動により沈澱・堆積し、その後続成作用を受けた鉱染細粒灰重石、第 2 期は広域変成作用中の再結晶化による含 Mo 灰重石の斑状変晶、第 3 期は変成作用の主活動後に生成した分泌石英脈中の Mo を含まない灰重石結晶である。

6. 変成熱水爆裂角礫

Felbertal 鉱床には、角礫状の鉱石を含む特異な鉱体が見出されている。このK2 鉱体は西鉱体の最上位にあり、1175, 1164, 1132, 1110mL の各坑道により開発されており、鉱体の厚さは平均4-5 m、部分的には6 mに達し、長軸が45°-50°NNW に落とす回転楕円体の形をしている。鉱体は黒雲母-曹長石片麻岩、石英-曹長石-黒雲母片岩からなり、上盤および下盤をなす角閃岩とは互層ないし指交する。石英-曹長石-黒雲母片岩は含 Mo 灰重石の鉱化を受け、品位はトレースから1% WO₃ 以上であり、鉱量は約40万 t に達する。下部への延長が確認されており、(1)鉱体の断面は鉢状を呈し、(2)鉱石は不均質で、肉眼的に3ユニットに分けられ、(3)鉱体の上部は、長石・雲母薄層と石英薄層からなる縞状・ラミナ状の珪質岩体で、細粒灰重石の鉱化を受けている。

鉱体の縁や上部は破碎されている。この角礫化は珪質岩体形成直後で、上盤の形成以前であり、水蒸気爆裂か地震で生じたものであろうと推定されている。角礫岩は周囲の岩石と同様変成作用を受けている。長さは少なくとも100m あるが、厚さは一般に60cm 以下で変化に富

む。角礫は珪質岩・角閃岩(玄武岩質)・片麻岩(珪長質)の岩片からなり、礫の選別は悪く、種々のサイズと円磨度を示している。マトリックスは細粒の黒雲母-曹長石片麻岩と石英-曹長石-黒雲母片岩からなり、W・Sn・Mo・Li・Be・Au・Bi・As・Sb・F・P・Ba・Th・U に富んでいる。玄武岩質・珪長岩質岩片の化学組成は下部や周囲の相当岩に良く似ており、珪長岩質岩片の周縁には熱水変質と推定される白色部が認められる。

マトリックスには灰重石の鉱染が広く認められるが、礫中の灰重石量とは無関係である。K2 鉱体の形成後少なくとも一回の熱水爆裂があり、K2 鉱体上部に角礫が堆積したのであろう。角礫の角閃岩と片麻岩の大部分には灰重石が肉眼的には認められないが、珪質岩礫は著しく鉱化を受けている。鉱化は鉱染と薄層によるもので、下部の珪質岩体と似ているが、珪質岩礫中の灰重石層の方向と周囲の岩石の片理方向とは一致していない。熱水爆裂の前にはこれらの礫は下部の珪質岩体の一部であったものと考えられている。

7. ま と め

東アルプスの灰重石鉱化帯の特徴は次の通りである。

- (1) 灰重石の産出は、デッケ構造を基本とする東アル



写真6 東鉱体より、西鉱体の1,175mレベル坑口を望む。

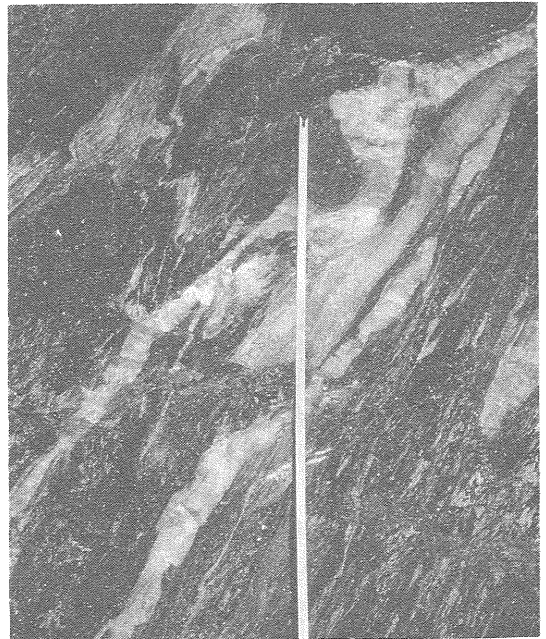


写真7 西鉱体の坑内で見られた分泌石英脈。左側白い物差しは幅は1.5cm。

プス地質構造の深い構造単元が露出する Tauern Window の Habach Formation に限られている。Habach Formation は下部古生代の泥岩・砂岩・苦鉄質海底火山岩類を原岩とする結晶片岩である。

(2) タングステン (灰重石) は, Habach Formation の苦鉄質海底火山活動に伴う熱水からシリカに富む堆積物と共に沈澱したと考えられる。

(3) 鉱化時期はオルドビス-シルル紀と推定されているが, 変成作用を受けているため, 特定されていない。二疊紀以降の地層にはタングステンの濃集は知られていない。

(4) 古生代以降の造山運動, 特にアルプス造山運動の影響を受けて変成し, 層理を切る灰重石石英脈が形成された。

(5) タングステン鉱化地点では, Sb・Sn・Mo・Be・Cu・Bi・P など ppm 単位で濃集している。輝水鉛鉱・緑柱石などが産することがある。

8. おわりに

以上, Felbertal 灰重石鉱床の概略を, 主にミュンヘン大学のグループの研究結果を基に紹介したが, その成因に関してはまだ議論の余地を残しているように思われる。高変成度の変成作用を受けて, 鉱床の初成的な特徴が分かりにくくなっている事が, 成因の解釈に曖昧さを残す原因であるが, 変成作用を受けていないか変成度の弱い地域で同種の鉱床が発見・記載されれば, この曖昧さも解消されよう。Felbertal 地域について第3図を見ると, 鉱床あるいは鉱微地が花崗岩質岩体 (片麻岩になっている) の近傍に分布する傾向が読み取れる。これは

偶然であろうか。彼らの鉱床生成モデルでは花崗岩質岩体の役割は度外視されているのであるが, 大方の納得を得るためにはこの問題をより明確にしておく必要がある。

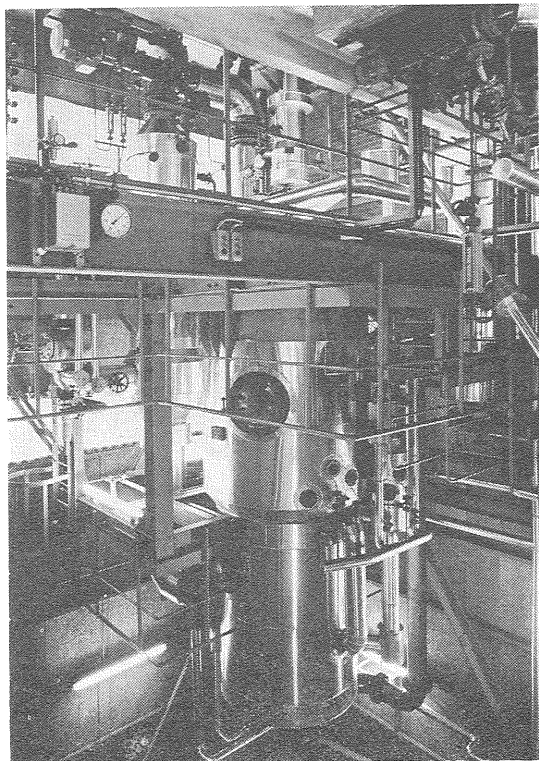


写真8 APT (ammonium paratungstate) 合成装置。鉱山のパンフレットから。

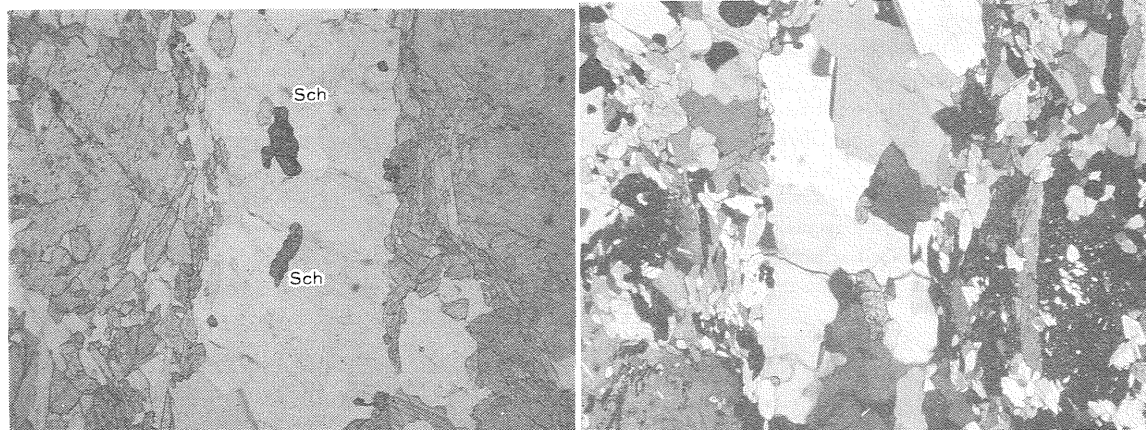


写真9 角閃岩を切る石英細脈中の灰重石結晶 (Sch)。左: 平行ニコル; 右: 十字ニコル。写真の長辺 0.7mm。

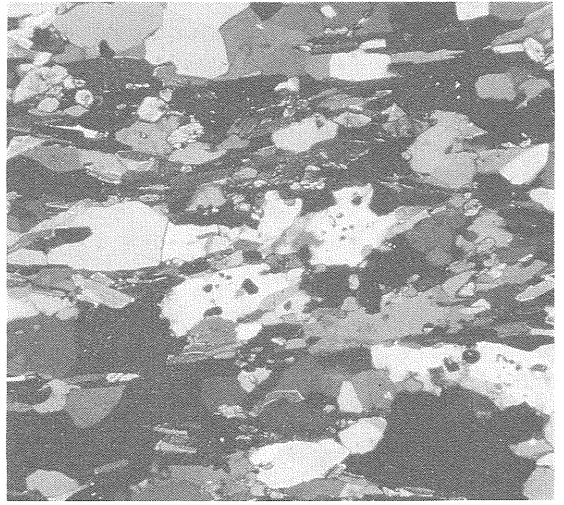
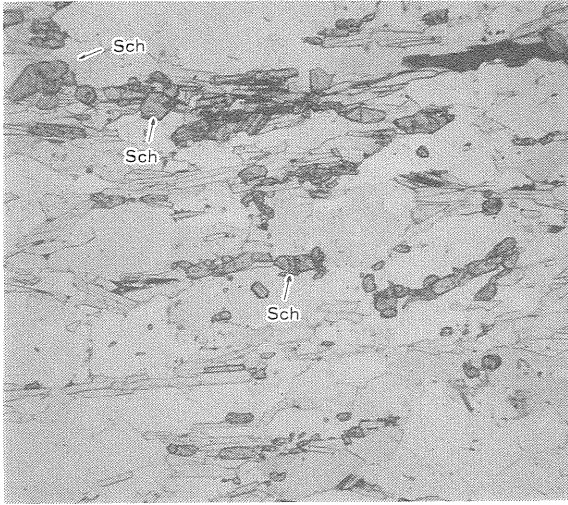


写真10 角閃石-黒雲母-石英片岩に鉱染する細粒灰重石結晶 (Sch)。左：平行ニコル；右：十字ニコル。写真の長辺0.7mm。

参 考 文 献

- AUGE, P. (1978): Die neue Scheeliterzaufbereitungsanlage der Wolfram Bergbau- und Hüttengesellschaft mbH im Mittersill/Österreich. *Erzmetall*, **31**, 70-74.
- CARL, R. R. B., HÖLL, R. und SCHROLL, E. (1988): Ein Metadioritvorkommen in der Habachformation westlich der Achselalm/Hollersbachtal (Hohe Tauern, Österreich). *Mitt. österr. geol. Ges.*, **81**, 123-132.
- GILG, H. A., HÖLL, R., KUPFERSCHMIED, M. P., REITZ, E., STÄRK, H. und WEBER-DIEFENBACH, K. (1988): Die basisschieferfolge in der Habachformation im Felber- und Amertal (Tauernfenster, Salzburg). *Mitt. österr. geol. Ges.*, **81**, 65-91.
- HÖLL, R. (1970): Scheelitprospektion und scheelitvorkommen im Bundesland Salzburg/Österreich. *Chem. Erde*, **28**, 185-203.
- HÖLL, R. (1971): Scheelitvorkommen in Österreich. *Erzmetall*, **24**, 273-282.
- HÖLL, R. (1978): Time- and stratabound early Paleozoic scheelite, stibnite and cinnabar deposits in the Eastern Alps. *Verh. Geol. B-A.*, **3**, 369-387.
- HÖLL, R., MAUCHER, A. and WESTERNBERGER, H. (1972): Synsedimentary diagenetic ore fabrics in the strata and time-bound scheelite deposits of Kleinarlital and Felbertal in the Eastern Alps. *Mineral. Deposita*, **7**, 217-226.
- HÖLL, R., DAHMEN, P., SEIDL, A. and WERNER, W. (1985): Tungsten mineralization in the Ennstal phyllite series near Schladming/Eastern Alps. *Monograph Series on Mineral Deposits* no.25, 161-176.
- HÖLL, R., IVANOVA, G. and GRINENKO, V. (1987): Sulfur isotope studies of the Felbertal scheelite deposit, Eastern Alps. *Mineral. Deposita*, **22**, 301-308.
- HÖLL, R. and SCHENK, P. (1988): Metamorphosed hydrothermal eruption breccia (conglomerate) in the Felbertal scheelite deposit, Eastern Alps, Austria. *Marine Geol.*, **84**, 273-282.
- HOLZER, H. F. and STUMPFL, E. F. (1980): Mineral deposits of the Eastern Alps. 26th IGC Guide-book GO5, 171-196.
- JANOSCHECK, W. R. and MATUA, A. (1980): Outline of the geology of Austria. 26th IGC Guide-book GO5, 7-98.
- MAUCHER, A. (1977): Entdeckung und Erschliessung der Scheelitlagerstätte Mittersill Lagerstättenkundliche Theorie als Grundlage praktischen Erfolges. *Erzmetall*, **30**, 15-21.
- PLIMER, I. R. (1980): Exhalative Sn and W deposits associated with mafic volcanism as precursors to Sn and W deposits associated with granites. *Mineral. Deposita*, **15**, 275-289.
- SCHENK, P. und HÖLL, R. (1988): Metamorphe, hydrothermale Eruptionsbrekzien in der Scheelitlagerstätte Felbertal/Ostalpen (Österreich). *Mitt. österr. geol. Ges.*, **81**, 93-107.
- THALHAMMER, O. A. R., STUMPFL, E. F., and JAHODA, R. (1989): The Mittersill scheelite deposit, Austria. *Econ. Geol.*, **84**, 1153-1171.
- TAKENOUCI Sukune and SATO Kohei(1990): Felbertal stratabound scheelite deposit in Austria.

<受付：1989年9月22日>