

モリブデン鉱床の問題点と鉱業の話題

～鉱山地質家のあり方によせる～

石原舜三

モリブデンの需要は近年急速にのび、ここ数年は世界的に品不足の状態にあり、世界のモリブデン鉱業界は活気を呈している。したがって、おもに北米大陸において新鉱床の開発や増産計画が盛んに進められている。しかし、昨年中もケネカットのストライキやクライマックス鉱山の小事故などで、計画通りにはゆかず、政府放出は続き、依然として市況は強い。

モリブデン鉱床の地質および鉱床学的研究は、日本においてはその経済性が小さいこと、世界の主生産国であるアメリカでは、クライマックス鉱床が比較的単純であることから、あまり深く行なわれていない。むしろ、北欧の諸国で小規模なものが、花崗岩の問題と合せて深く研究されている。モリブデンについては、すでに一度国内の問題について、地質ニュース89号(p. 6-11)でとりあげた。しかし、需要が激増するなど情勢がかなり変化しているので、これまでに得た知識をもとに、ふたたびモリブデンを取り上げたいと思う。

I. 鉱床学の問題

いまここではモリブデン鉱床の形成を、モリブデンの発生→地球への分配→地殻での濃縮(1回以上)→鉱床の生成にわたる一つの進化過程の最終物として取り上げる。そしてあと二者を問題にしている。

Re の問題

数あるモリブデン鉱物中で、現在単独に鉱石となりうるのは、輝水鉛鉱だけである。輝水鉛鉱について興味深いのは、この中に含まれる微量のレニウム(Re)である。Reは非常に少ない元素で、天然にはその鉱物はまだ発見されていない。第二次大戦中、ドイツの科学者によって含銅頁岩層から抽出され、初めて製品化されたと聞いている。現在では輝水鉛鉱を焼却し、酸化モリブデンを作る時に、その精錬所の煙道の煤の中に濃縮しているものから、おもに生産されている。

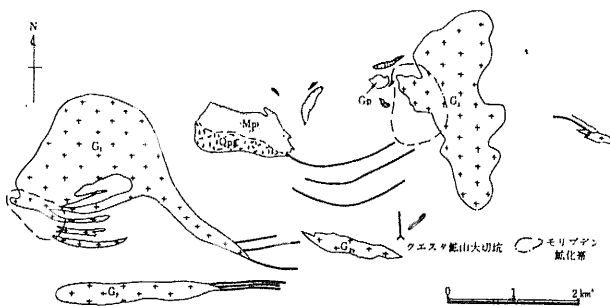
輝水鉛鉱中のReの位置について報告された例を筆者はまだ知らないけれども、両元素の結晶化学的な性格(Mo^{+4} 0.70Å、輝水鉛鉱の場合 Re^{+4} 0.72Å)および ReS_2 も輝水鉛鉱と同じく layer lattice を持つことから、ReはMoを置きかえて輝水鉛鉱の結晶格子中に入っているものと思われる。ではその量は各種の鉱床に

ついでどんなに変化するであろうか。上記の両元素の性格からは、高温の鉱床中の輝水鉛鉱ほどReの含有量が高いとの予想ができる。事実、地質調査所の安藤厚博士によって、数年前になされた分析で、その予想を裏付ける結果が出ている。試料には中国地方のペグマタイト鉱床から中熱水鉱床にわたるものを選んだが、分光分析法で行なわれたために精度に限界があり、相対的な含有量しかわかっていない。しかし私たちがこの予備作業で狙ったのは、実は鉱床区への手がかりであった。今ドイツの含銅頁岩層にReが濃縮していることを思いおこし、またReは海洋の強還元環境に濃集することから考えると、いわゆる火成岩起源の花崗岩と堆積岩起源のそれからもたらされ、同じ物理化学的条件のもとで晶出した輝水鉛鉱のRe含有量には相違があるであろうと予想したのであった。今後より精度の出る方法、たとえば中性子活性化分析法などを用いれば、花崗岩化作用の問題、および鉱床区への解答の一資料となると信じている。またRe-Os法の年代測定法が確立されれば、輝水鉛鉱はその分離がやさしいだけに、鉱化作用の時代決定に有効な鉱物となるであろう。

鉱床生成の必要条件

鉱床を探する場合に構造規制は非常に重要であることは、モリブデン鉱床探査の場合でも同じである。日本の現在の主鉱床である大東、清久、東山、小馬木および平瀬の各鉱床では、二岩体の境界面、節理、断層などは非常に重要である。しかしモリブデンの主生産国であるアメリカの場合はやや様子を異にする。そこでは網状鉱染鉱床で採掘法が大規模であるために、鉱床学的な構造支配よりも地質学的大構造(たとえばクライマックス鉱床、運鉱岩はプレカンブリア系の大きな drag fold の背斜軸の近くに貫入した)と運鉱岩の岩漿・分化の進化度(たとえばクェスタ鉱床、次に説明する)とくに後者が重要であるように考える。なお筆者はクェスタ鉱山で二度の夏休みに鉱床探査に従事した。

クェスタ鉱床はアメリカのニューメキシコ州北部の山岳地帯にあって、地質学的にはプレカンブリア紀の諸岩類が東方に押し上げられた位置にある。そこでは東北東(プレカンブリア系のS面に一致)にのびる陥没帯に安山岩から流紋岩にわたる火山岩および砕屑岩類が噴出し



第1図 クエスタ鉱山地域の貫入岩類 クエスタ鉱山の坑内ではア
 プライトの西縁に沿って約35°の傾斜で約2kmほど鉱床が続いている
 Qp ゴート・ヒル石英斑岩 Gp 花崗斑岩
 Gs クエスタ鉱山アプライト Mp モンゾニ斑岩～石英モ
 G1 アプライト斑岩 ソンゾニ斑岩
 G1 ログ・キャビン花崗岩

それらを買いてモンゾニ岩から花崗岩にいたる岩脈および小岩株が貫入している(第1図)。主鉱床はクエスタ鉱山アプライトの西縁の馬の背部で アプライト自身の中とそれに接する火山岩類中に発達する鉱染一網状一鉱脈鉱床で タングステンを伴わない中～低熱水鉱床である。モリブデンの鉱化帯はその鉱化作用の強い順にクエスタ鉱山アプライト→ゴート・ヒル石英斑岩→ログ・キャビン花崗岩のアプライト相→花崗斑岩によってもたらされている。石英モンゾニ岩より優黒質(塩基性)な岩脈およびプラグには鉱化作用は伴われていない。一般に花崗岩地帯でどの岩体の後火成活動により鉱化作用がもたらされたかは判断しにくいことが多い。しかしここでは貫入された岩石が火山岩およびその碎屑岩類でありモリブデンの鉱化作用が貫入岩自身の周辺部とその周囲の諸岩類にハロとしてみられることから上記の判断を下している。なお各貫入岩の貫入順序は単独に露出しているログ・キャビン花崗石を除いて花

崗斑岩はクエスタ鉱山アプライトにより そのアプライトはゴート・ヒル石英斑岩によって切られている。すなわちより進化的すすんだ岩体ほど後期に貫入している。

以上を要約するとモリブデンの鉱床の形成にはまず第一に運鉱岩自体がモリブデンに富んでいる必要があり(クエスタ鉱山アプライトの一部にはごく少量の輝水鉛鉱が黒雲母の位置をおきかえ造岩鉱物の一部として入っている)濃集の度合はその岩体の進化度に比例している。この進化度はクエスタ鉱床地域の場合にモード組成が珪長鉱物の三角図で斜長石からカリ長石端に進むことやノルム鉱物による分化指数(Thorton・Tuttleによる $qz+or+ab+ne+lc+kp$)の高さや晶出指数(poldervaartによる $an+di+fo$)の低さによって表わされるものをいう。二番目に輝水鉛鉱の晶出に充分な時間的および物理化学的条件は極度のいわゆる forcible type 岩体ではみだされていないことである。しかし岩脈の場合でもその条件がみだされたと考える所には鉱床は存在したたとえば坑内でゴート・ヒル石英斑岩が地表に噴出しなかった部分の尖端部には運鉱岩の大きさと進化度相応に小規模な鉱床がある。

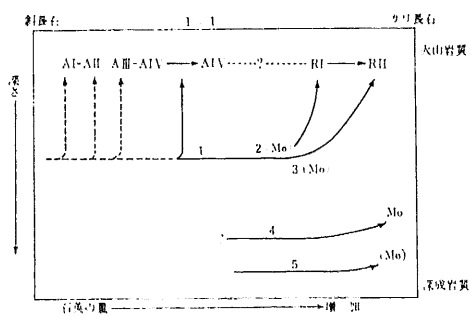
以上の地質および鉱化作用を概念的にまとめたものが第2図である。A-I A-IIおよびA-IIIをもたらしたと思われる岩脈(またはプラグ)は現在の浸食面では発見されていないので破線で記してある。

クエスタ鉱床にも鉱山地質家のいう構造規制はあってそれはNE系とE-W系の局地的断層および節理などである。それらは1930年頃に富鉱部の鉱脈のみを稼行していた当時には非常に重要であったけれども現在のように需要が増し鉱石の価格が上り0.3%Moでも多量に採掘すれば稼行出来る情勢のもとではその重要性を

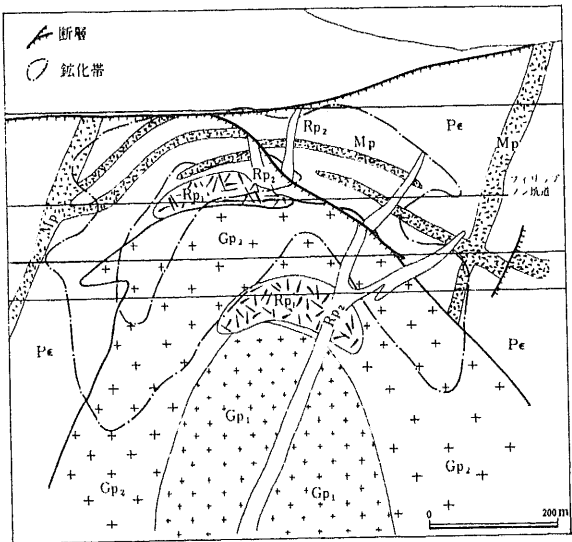


①クエスタ鉱山はロッキー山脈に南にのびる支脈の1つ サングレ・ド・クリスト山脈中にある山腹中の白色部は強い熱水変質のために不毛の地となった所 中央は赤い河と呼ばれるが歌にある Red River Valley ではない アメリカには17の赤い河がある この谷は夏はテキサスとオクラホマからの避暑客で 冬はスキー客でにぎわう

②赤い河の谷間にある古い鉱山部落 約2,500mの高所にあつて涼しく 夏休みの仕事場として絶好であった 私たち9人の学生はこの中に住み新しくきた鉱山の人たちはおもにトレーラーハウスに住んでいた 広い白っぽい所はかつて尾鉱をすてた所で われわれにはゴルフやアメリカンフットボールの練習場であつた



第2図 ケスタ鉱山地域の火成活動模式図
 5. ログキャビン花崗岩 RII 流紋岩質熔結凝灰岩
 4. ケスタ鉱山アブライト RI 斑状流紋岩
 3. ゴートヒル石英斑岩 AIV 斑状黒雲母ラタイトとその碎屑岩
 2. 花崗斑岩 AIII 斑状閃雲ラタイト
 1. モンゾニ斑岩へ石英モンゾニ斑岩 AII 細粒安山岩質凝灰岩
 Mo はモリブデンの鉱化伴用を表わす () はそれぞれが弱いことを示す AI 細粒角閃石安山岩



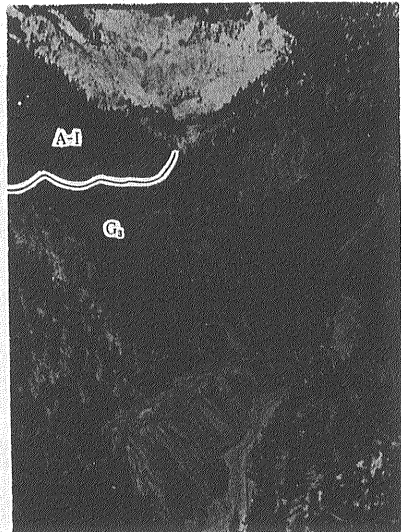
第3図 クライマックス鉱床 240断面(N22.5°W)概略図
 Rp2 後鉱化期流紋斑岩 Gp2 クライマックス斑岩
 Rp1 鉱化期貫入流紋斑岩 Gp1 斑岩花崗岩
 Mp 石英モンゾニ斑岩 Pt プレカンブリア系

失いつつある。現在のケスタ鉱山は再出鉱の準備中である。これまで世界の50%以上を生産してきたクライマックス鉱床は位置的にはケスタ鉱山の北方約450kmでコロラド州の中西部にあるが地質的には非常に似た環境におかれている。ただプレカンブリア系の構造が異なるためにその地域の貫入岩の一般方向もこれに従い北40°東にのびる。この貫入岩の周辺に種々の金属鉱床が分布し有名なコロラド鉱化帯を作る。クライマックス鉱床はこの鉱化帯の南西部に位置している。ここでは古第三紀とされている貫入岩類がプレカンブリア紀の諸岩類に貫入している。貫入岩類は優黒質のものから優白質(酸性)に閃緑斑岩 モンゾニ斑岩 斑状花崗岩 クライマックス斑岩 流紋斑岩の順で活動し鉱化作用はおもにクライマックス斑岩によってもたらされた(第3図)。その最も強い所はこの斑岩株の頂上部周辺中で岩株の側面や中心部に行くにつれて鉱化作用は弱まる。流紋斑岩は少量の輝水鉛鉱をもたらして

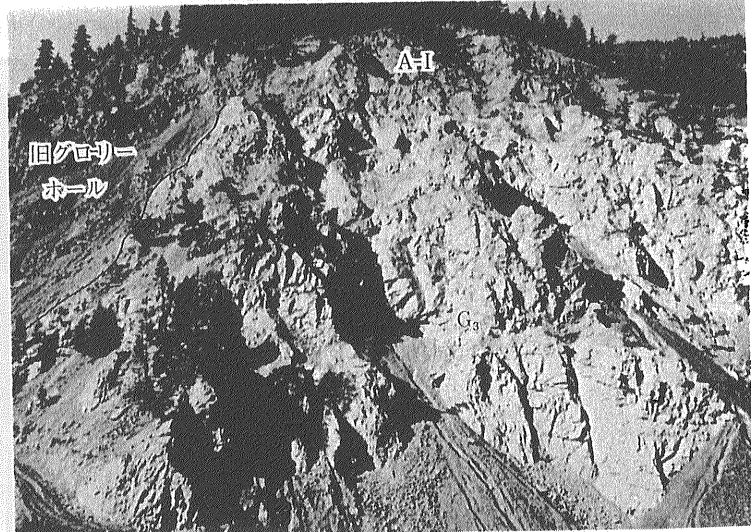
いる。新しく開発されているセレスコ鉱床は本鉱床の南方約1.2kmありクライマックス岩株より離れるが地質的にはクライマックス斑岩の小分岐岩株にもたらされた鉱床で基本的には本鉱床と同じ地質環境に形成されている。

このようにクライマックス鉱床はケスタ鉱床とほぼ同様な過程をへて形成されている。なおクライマックス鉱床はケスタ鉱床と違って少量の錫石 マンガン重石 トパズをも産し高温の熱水鉱床に属する。

以上のべたようにモリブデンの濃縮と火成岩の進化度とは密接な関係がある。これは火成岩中の微量のMo



③ 鉱床の露頭のある硫黄谷 1916年にこの鉱床が発見された時に土地の人々は水鉛華を硫黄と信じ、このように呼び始めたというこの谷では上流の白色部(hydrothermal pipe)の手前まで鉱化作用を受けている。鉱化作用と熱水変質の強度は必ずしも一致しない。ずりは1930年頃の坑内崩りによるもの
 AI: 安山岩 G3: ケスタ鉱山アブライト



④ 硫黄谷中部 鉱化作用は安山岩との境界部のアブライト側で著しい。とくにE-W系の局地的断層に沿って最も強く高品位の輝水鉛鉱脈(写真の中央部で急傾斜に走る割れ目)を形成する。上部の暗色部がAI安山岩 下部の白色部がケスタ鉱山アブライト(G3)である

についても同様である成分の花崗質岩以上になるとその含有量は急激に高くなる。これは理論的に考えても火成岩の造岩鉱物中に Mo が置換しうる元素(たとえば $Ti^{+0.68}$ $Fe^{+0.64}$) が普遍的にないことから当然予測出来る。こうしてのけ者にされた Mo は進化の進んだ岩石に集められ一部は上記元素をおきかえ他の一部は結晶格子の比較的ルーズな鉱物中に陽元素をおきかえないで入り込む(たとえば Framework 鉱物中のカリ長石)。また一部には造岩鉱物の接合面に付着しているものもあるかも知れない。残りは輝水鉛鉱となり特殊な場合には造岩鉱物としての産状を示しながらアブライト中に一般的には割れ目に沿って鉱床を作るものと思われその最終段階で経済性を持つものをわれわれはモリブデン鉱床と呼んでいる。

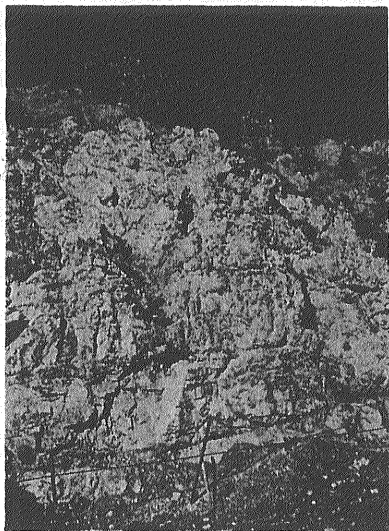
鉱床区の問題

このようなモリブデンの濃縮機構が岩漿分化の過程だけでおこなわれたとすると当然のことながらモリブデン($Mo^{+0.62}$ $W^{+0.70}$)と結晶化学的性質の似たタングステン($W^{+0.62}$ $W^{+0.70}$)も同様に濃縮されて鉱床を作るべきとの推定が成り立つ。この場合に Mo は硫化物として W は酸化物としてよい安定であるという晶出時の熱力学的な違いは当然考慮されなければならない。事実上記の条件をみたしたと思われる気成～高温熱水鉱床では単独の鉱床で両者が共存する場合が普通で日本 アメリカ 中国 オーストラリア ソ連などで多く知られている。

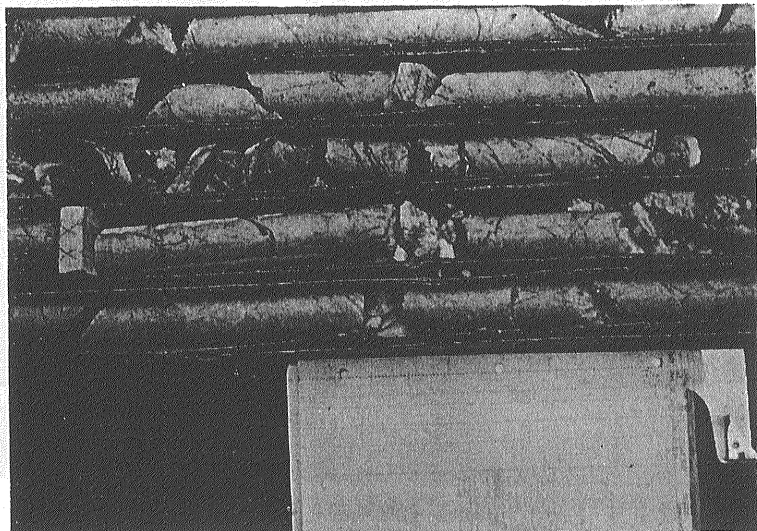
いま両元素の鉱床に至る濃縮を地殻の形成以後と仮定しその後の地質時代に岩漿分化作用のみで濃縮が行なわれたと仮定すればペグマタイトから低温熱水鉱床

にいたる各段階の鉱床がみられ両元素の晶出時の諸条件の相違が無視出来る一鉱床区では現在地殻にみられる諸岩石の両元素の分布比を反映して両元素の比率はほぼ 1:1 になるべきと考えられる。しかし山陰地方のモリブデン鉱床区には一部にはペグマタイト期から高温熱水期にわたる鉱化期があるにもかかわらずタングステン鉱物は発見されていない。その説明に Cosmic abundance の両元素比 5/1 が地殻でほぼ 1/1 になっていることへの一般的解釈であるマントル内部(モホロビッチ不連続面直下の玄武岩質部でなくもつと内部の意味である)への Mo の地球創成期での濃集を借りてそこに山陰地方花崗岩の原岩石を求めるような冒険をしなければ地殻形成以後の地質時代の地球化学的輪廻のどこかで両元素の濃縮に差を生ずる機構があったものと考えなければならない。

岩石圏でその差が現われなければ水圏での両元素挙動を考える必要がありそうである。地球上に水が現われはじめ大陸塊での風化浸食作用で両元素が溶出され運ばれる場合にタングステンはおもに河口付近でコロイド状灰重石となり一部は酸化鉱物として沈殿することが知られている。もしすでに鉄マンガン重石として大陸に存在していたものがあれば砂鉱として同じく河口付近に堆積するものもあるであろう。いずれにしてもタングstenはゴールドシュミットの Hydrosate Zone の中におもに濃集する。一方モリブデンはその一部が同じ所に酸化鉱物として沈殿するかも知れないがその多くはさらに沖に流され酸素の供給のない特殊な環元環境をみつけて硫化鉱物(多分 jordisite であろう)として Re などほかの金属元素と共に堆積する。現世の海では黒海やノルウェーの入江がこのような環境の代

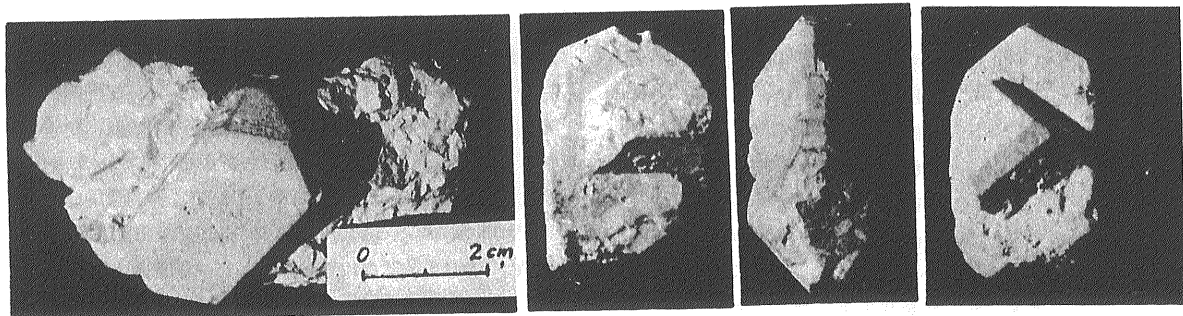


⑤ 硫黄谷上部 ここでは鉱化作用はおもにNE系の小断層とアブライトの周辺部に発達しゆるく外側に傾斜する節理によって規制されている。上部の層は花崗斑岩 そのすぐ下の暗色部は AI 安山岩 白色はアブライト。下にボーリング用の水を送るパイプやロッドなどがみえる

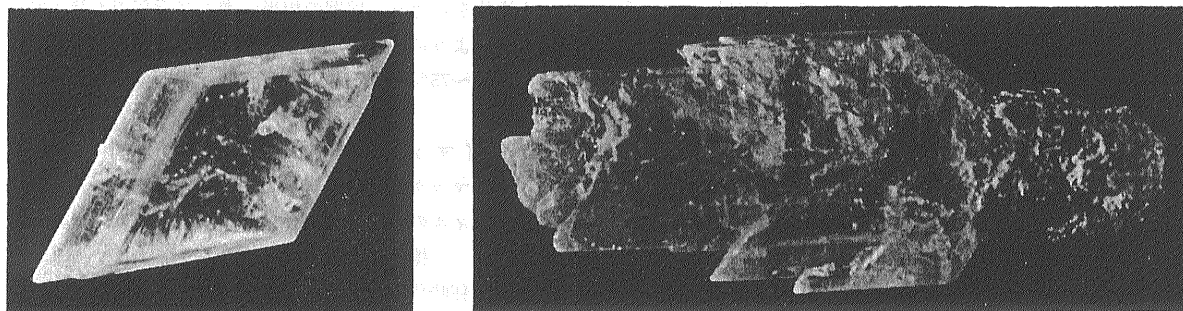


⑥ 網状鉱染鉱石の一例 クェスタ鉱山ではクライマックス鉱床以上に裂か充墳鉱脈が多い。しかしこの写真のような鉱石が最も普通である。下はコアを記載する用紙である

(D D H XX. 715フィート付近のコアより)



⑦ a) マネパツハ b) カールスバッド c) パベノ d) プライハウプト
 石英モンゾニ斑岩は熱水変質をうけて石基がもろくなり 斑晶のサニディンの大きな単結晶がえられる 写真は其中で双晶したものである



⑧ また半乾燥地帯であるために Hydrothermal pipe 中の上壤の中に石膏の変種であるセレナイト(celenite)がいたる所にみられる
 その中の断層破砕帯中では 完全に成長した結晶(左)や swallow tail 双晶をもつものがあつた

表とされているが パルチック海やカリフォルニア沖の一部の海底盆地にも このような特殊環境があり 各種の金属元素が濃縮されていることを最近の海洋地質学者は報告している。 したがってもしも siderophile 帯の堆積物の再熔融から出発した岩漿 あるいはその特殊な Mo に富む堆積物を上昇の途中でとり込み 二次岩漿となった原岩漿があれば 出発点で Mo の濃集がすでに行なわれており その最終物での Mo/W 比は非常に高想出来る。 その結果としてモリブデン鉱床区を作るかいと予も知れない。 造山帯付近の花崗質岩中ではとくに このような可能性を持つものがあると思われる。

このように岩漿中と堆積時の濃縮を基本的な二つの要因としてモリブデン鉱床にいたる過程を考えると 楯状地より造山帯の花崗岩に またより新しい地質時代の花崗岩により濃縮度の高い部分 すなわち鉱床が伴われる可能性がある。 これは現在までに私たちが知っている事実と一致しているようにみえる。 しかし現在のプレカンブリア系はその深部が露出しており 白亜記から新第三紀にわたる世界のモリブデンの主鉱化期に関する花崗岩類の露出面と違っているので 現在までにプレカンブリア系中に発見されている鉱床のみをもとに断定することは危険かも知れない。

II. モリブデン鉱業の話題

供給

日本はアメリカと共に かつてはモリブデンの生産および消費国でもあつた。 しかし戦後は生産量が世界の2%をこえないくらいに少なく かつ消費が増大したために常に輸入鉱にたよっている。 その上現在では戦後国内鉱の約90%を生産してきた山陰地方の諸鉱山は 既知鉱床に関する限りすでに峠をこしている。 鉱山局資料によると1964年4月現在の日本の埋蔵量は僅か 4,000トンといわれ 10年分にもみたくない。 消費量の増加した現在では その約80%を輸入鉱にたよっており 国内および国外での新鉱床の開発と輸入鉱石確保のために国の対策が急がれる。 民間ではフェロメーカー11社からなる「日本モリブデン懇話会」を1962年に発足させ 昨年度は鉱石確保のための調査団を二月月にわたってアメリカとカナダに派遣している。 そしてカナダのエンダコ鉱山と今年の9月以降五ヵ年間 毎月110トンほど輸入する契約を結んでおり 現在の市況の緩和に期待されている。 これまでのおもな輸入鉱石は世界最大のクライマックス鉱床からのもので その種類は硫化鉱(MoS_2 85~90%)と酸化鉱(MoO_3 90%)がほぼ4:6の割合であつた。 この製品には二つの利点がある。 それは現在世界市況の基準になっているクライマックス鉱床をもつアマックス社 (AMAX, American Metal Climax, Inc)

の建値はコスト計算に基づくもので 需給関係による価格の変動が少なく 品不足の時でもプレミアムがつかない。また銅鉱床からの副産物と違って 銅の含有量が少なく品質がよい。これはこの鉱床がモリブデン単味の鉱床であること および高温熱水鉱床であることと関係しており 同じく単味の鉱床で構成鉱物の比較的単純なクェスタ鉱山の鉱石の場合には これがより低温性であるために輝水鉛鉱の結晶度が悪く細粒であり 結果として品位が劣るものと予想される。この関係は山陰地方のペグマタイト～高温熱水性の小馬木鉱床と 中～低温熱水性の清久・東山鉱床の鉱石の關係に似ている。

アメリカでのモリブデン鉱石の不足は1961年後半から現われはじめ その翌年6月にアメリカ政府は手持ちストックより500万ポンドの民間払下げを認めざるを得ない事態となった。しかしその直後の1962年7月15日より1961年1月7日にわたって クライマックス鉱山でも賃金問題をめぐってストライキがあり 年間の全体の生産量は1961年度より23%も低下した。余談だがアマックス社はシブチンとして学生間では一般に悪名が高かった。また当時クェスタ鉱山にいた筆者は ストライキで仕事のできなくなったボーリング会社の連中が急場しのぎに南下して来て お陰で筆者の方は予定より早くボーリングを終えることができ その恩恵に浴した。その鉱石不足の折から アメリカ政府の一般調達局(General Service Administration, GSA)は1964年4月に必要備蓄(3,400万ポンド)の余剰分 2,100万ポンドを払下げるよう議会に再び要請し 16ヵ月わたっておこなわれるべきことを決定している。

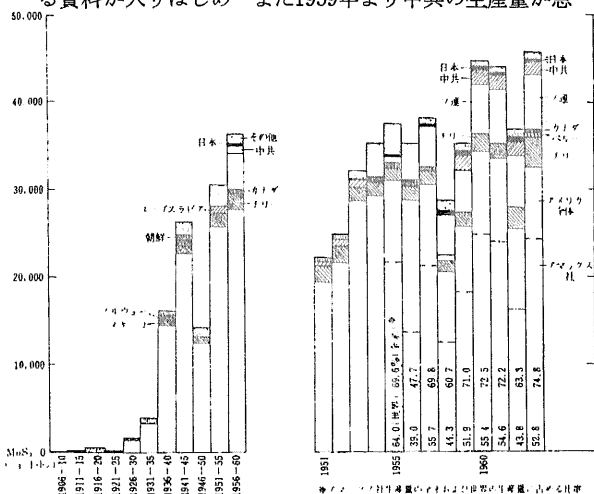
アメリカのモリブデン生産量は 第4図に示したように 世界のとくに自由諸国の需要の大半を供給して来た。1957年よりソ連の生産量が上昇していることの信頼しうる資料が入りはじめ また1959年より中共の生産量が急

激に増加したことも裏付けられ その後はその独占率がやや下っているが 依然として大半を供給している。すなわち1951～55年間は世界の84.7% 自由諸国間の87% 1956～60年間は世界の86% 自由諸国の88.3%を供給した。1961年以降は 世界の75.8%(‘61年度)・69.2%(‘62年度)・71.0%(‘63年度)・そして自由諸国の91.7%(‘61年度)86.9%(‘62年度)・85.7%(63年度)を生産した。そのアメリカにおいては アマックス社がクライマックス鉱床の発見以来 アメリカのモリブデン鉱業界の主導権をにぎり 採掘の相当に進んだ近年でも第4図に示したように1955年以降 世界の約40～65% アメリカの約50～75%の鉱石を供給しつづけている。

クライマックス鉱山の生い立ち

クライマックス鉱山は コロラド鉱化帯中のココモとレッドヴィルの中間にあり19世紀後半には鉄道が敷かれたために 一攫千金を夢みるやま師達が カルフォルニアの黄金狂時代を再現すべくこの地に集まっていた。この鉄道に一つの駅がもうけられ ここでは彼らの町レッドヴィルに向う途中で 当時の小さな蒸気機関車が長い登りをあえぎ 最高潮に達するためにクライマックス駅と名付けられた。1879年に彼らの一人センターはこの駅の東方約800mのパーレット山腹で鉛のように光る青く灰色の鉱物に初めて鉱区を設定した。1900年にコロラド鉱山大学でモリブデンであることが確認され 1902年にリールが金鉱目あてに初めて坑道掘りをおこなったが 輝水鉛鉱のみつけたのみに終わった。その後この地域は何か金目のものが出そうな所としてやま師達の活躍の場であり 1911年から16年にかけてデンバーの連中が再び坑道探鉱をおこなった。そこへ40才のアメリカン・メタル社(American Metal Co.)のマックス・シヨットが現われた。彼は17才で渡米したドイツ人で ニューヨーク本社に給仕として入ったが 仕事への熱意と向学心からめきめきと頭角をあらわし 1907年にはデンバー支社を作るために西部に派遣されていたのであった。その当時モリブデンの市場性はなかったけれども 彼は将来きっと利用出来ることを信じ まず鉱区を買いとることに着手した。やがて第一次世界大戦となり ドイツ軍がモリブデンを含む特殊鋼で作られた武器で優秀さを発揮したことからアメリカでも需要が開けてきた。

欧米の一般の人にはスウェーデン鋼の優秀さを鉱石の中に偶然にもとり込まれた少量の輝水鉛鉱から人々の気付かぬうちに特殊鋼になったとして説明する人があり また一部の人は それに気付いたドイツの科学者がモリ

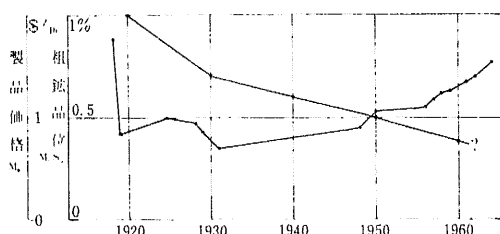


第4図 世界のモリブデン生産量 (Fischer と King による AIME 1963の発表資料を一部改訂新資料を加える)

ブデン鋼を作りはじめたという。この話のもっともらしいがうますぎて筆者にはあとで作られた話のように思える。フランスにおいては1894年に純度99.98%のモリブデンが電気炉で作られ、同じ年にモリブデン鋼を装甲板に使用している。

戦争で市場の開けてきたアメリカン・メタル社では1917年5月に選鉱場を建設しはじめ、その翌年には日に250トンの粗鉱を処理しはじめた。しかしこの需要も長くは続かず、第一次世界大戦休戦記念日(11月11日)から5ヵ月後の1919年の3月にクライマックス鉱山は再び閉じられた。しかしショットとその仲間達は研究所を設立し、平時での新用途を求めて研究をはじめ、市場の開拓に積極的にのり出した。五年の歳月の後、ついに当時発展途上にあつた自動車工業に市場を開拓し1924年に鉱山は再開されたのである。そして日産処理量250トンから今日にみる35,000トンにまで成長し、なお意欲的に前進している。クライマックス鉱床は、現在ではAmerican Metal Climax, Inc (AMAX)の一部門であるClimax Molybdenum Co.によって運営されている。このアマックス社の市場開拓の後に、クエスタ鉱山(1925年)その他の小規模なモリブデン鉱山 Breccia Pipe の特異な形態の鉱山として有名なメキシコはソラのカナネア銅鉱山(1933年)、アメリカ最大の露天掘り銅鉱床であるビンガム銅鉱山(1936年)が副産物としてモリブデンを生産し始め、現在の諸鉱山にまで及んでいる。

クライマックス鉱山では採掘が進むにつれて完全採掘のために品位をおとし出鉱量でおぎない、また鉱床の性格からして下部に進むにしたがって当然品位は下った。その変化は漸移的で、その製品の価格の変動と共に第5図に示してある。現在では24時間、週7日制で0.3% MoS₂ 品位の鉱石を35,000トン/日ほど処理している。価格は昨年の4月3日に15セントに値上げされ、現在の1.55ドル(FOB 山許渡し、MoS₂のMo純分1ポンド当り)となっている。この鉱山は0.37MoS₂品位で4億五千万トンの鉱量を持つと1961年に発表されており



第5図 アマックス社の粗鉱品位と建値の変化

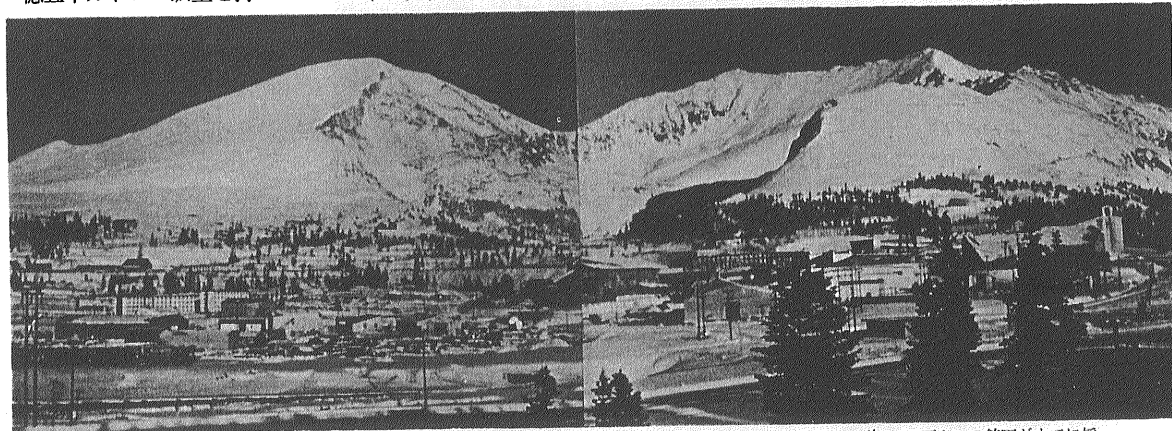
今後40~50年間は現在の生産量を維持出来るものとされている。

銅鉱床からのモリブデン

アメリカでは銅鉱床の二次鉱物、黄鉛鉱や(1900年に少量、1914年~1948年間6712トン生産)タングステン鉱床の副産物としての輝水鉛鉱が稼行されたこともあったが、これまでの生産量の99%まではクライマックス鉱床と銅鉱床からのものである。現在の主要な鉱床は第1表に記してある。

これらの含モリブデン銅鉱床は Porphyry Copper と呼ばれるものに属する。これは狭義には巨大な斑岩中に鉱染する銅鉱床を意味するが、一般には、斑岩になくとも大規模とくに平面的に大きく、低品位の鉱染状銅鉱床に対してこの言葉を使っている。鉱床は普通石英モンゾニ岩またはその斑岩に関係し、それ自身の中と一部その周囲の諸岩類中にある。網状に走る細脈中とその細脈間の鉱染部には黄銅鉱、輝銅鉱、コペリン、斑銅鉱、黄鉄鉱、輝水鉛鉱および石英などが含まれる。輝水鉛鉱の濃集部はある種の構造規制をうけていたり、鉱体中不規則に分布したりする。濃集部でもそれが細粒で微量なために鉱石を手にした時に肉眼で認められないのが普通である。一般に銅品位は0.8%、MoS₂品位は0.02%である。最初の浮遊選鉱で銅30%、輝水鉛鉱0.50~0.90%にし、再処理をして85~90% MoS₂、銅1%以下の製品にする。

Utah Copper (いわゆるビンガム鉱山)は、ユタ州の



⑨ 鉱山町 クライマックスの中心部 中央左のくずれた所はバーレット山の山腹で採掘によって生じ、1億6,000万トンの鉱石がすでに採掘されたことを物語っている。クライマックスは鉱山のためにできた町で、3,300mの高所にある。11月に入ると雪でおおわれ反対側のチョーク山にはリフトが設けられスキー場となっている(1961年11月下旬撮影)

第1表 アメリカのモリブデン鉱山

会社名	鉱山名	産物	
		主	副
American Metal Climax, Inc	Climax Mine (Colo.)	Mo	W Sn
Kennecott Copper Corp.	Bingham Pit (Utah)	Cu	Mo
	Santa Rita Pit (N.Mex)	Cu	Mo
	Liberty Pit (Nev.)	Cu	Mo
	Braden Mine (S.Amer.)	Cu	Mo
Duval Corp.	Kingman Pit (Ariz.)	Cu	Mo
	Esperanza (Ariz.)	Cu	Mo
	Ithaca Peak Pit (Ariz.)	Cu	Mo
American Smelting & Refining Co. (ASARCO)	Mission Pit (Ariz.)	Cu	Mo
	Silverbell Pit (Ariz.)	Cu	Mo
Pima Mining Co.	Pima Pit (Ariz.)	Cu	Mo
Union Carbide Corp.	Pine Creek Mine (Calif.)	W	Mo

首都ソールトレイク市の南西部のビンガム峡谷にあってアメリカ最大の銅鉱床であり またクライマックス鉱山に次ぐモリブデン鉱山でもある。 鉱床はモンゾニ斑岩中にある。 銅1%に0.045%の輝水鉛鉛を含む鉱石を日に約90,000トン処理している。 輝水鉛鉛は鉱染部よりも鉱脈部に含まれている。 Santa Rita 鉱床はニューメキシコ州の南西部にある。 鉱床は花崗閃緑岩株の頂部に分布している。 1937年より輝水鉛鉛をとりはじめ 現在 銅0.85% 輝水鉛鉛0.01~0.016%の鉱石を日に23,000トン処理している。 輝水鉛鉛は 主鉱体西縁の石英モンゾニ岩々脈の周辺に濃集している。 第1表以外の鉱床でも Porphyry Copper の場合は多少とも輝水鉛鉛を含んでいる。 それらには大きなものだけでも Bagdad Castle Dome Copper Cities Miami-inspration New Cornelia San Manuel Ray Morenci (以上アリゾナ州) Con. Copper Mines-Nevada Mines (ケネカット社側) Yerington (以上ネバダ州)などがある。

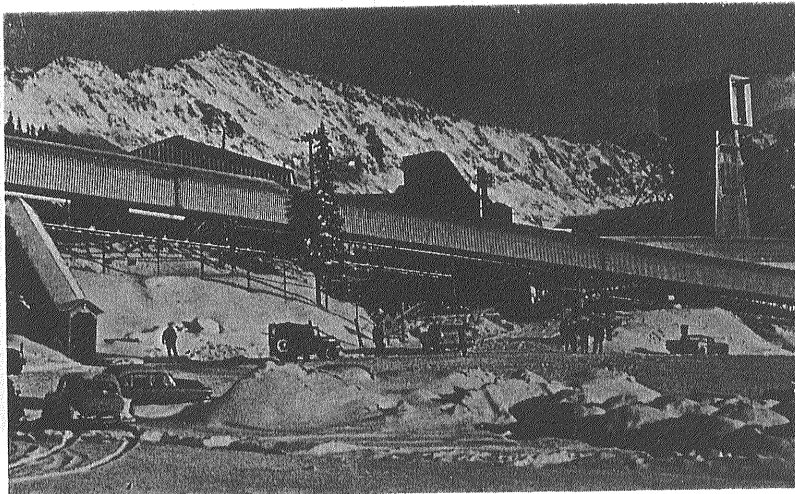
増産計画と将来の鉱石

既述のように ここ数年間のモリブデンの品不足は各社の探鉱計画を促進させた。 おもなものを第2表に

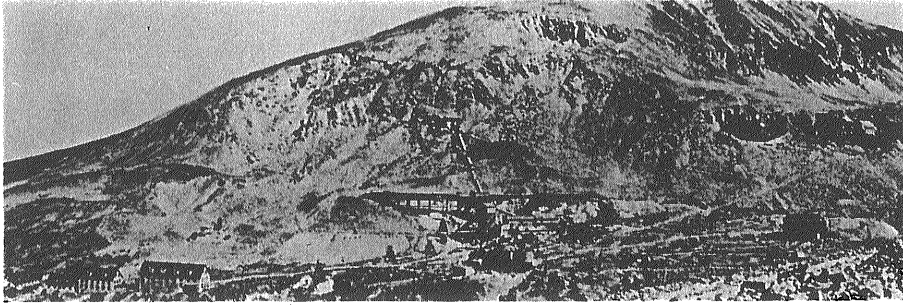
第2表 北米でのモリブデンの増産計画

国	鉱床および生産社名	年間増産額	稼行対象	稼動の年
アメリカ	アマックス社 クライマックス鉱床 セレスコ鉱床 ユラド鉱床	1500	酸化鉛物	1966
		1250	輝水鉛鉛	1965
		3000~3500	〃	1967
リカ	クエスタ鉱床 デュヴァルおよびアサルコ社の合計 (アリゾナの数鉱床より)	5000	輝水鉛鉛	1966
		1500	輝水鉛鉛と酸化鉛物	1965
カナダ	エンダコ鉱床 アングロアメリカンモリ社	4250	輝水鉛鉛	1965
		1250	〃	1965

記している。 このほかアメリカやカナダの地方新聞などに掲載されたものがいくつかあるが 一般に政策的なものはかなり含まれている。 これらのうちで やはりアマックス社の動向が注目される。 アマックス社は探査部を独立させて持っており この地質家はクライマックス鉱床の仕事には関係せず 全米 ときにはアメリカ大陸広く探査している。 現在まで発見された新鉱床のセレスコ およびユラドの開発に またこれまで選鉱の過程で採取出来なかった輝水鉛鉛 (現在までに捨てられた尾鉱でこれから利用できるものは1億7千万トンと見積られている) 地表付近に存在する水鉛華をとることによって年大体一割の増産を見込んでいる。 この中で最も市場に影響すると思われるユラドの鉱床はクライマックス鉱床の北東にあり ルート6がロッキー山脈をこえるラブランド峠の下にある。 セレスコ鉱床と違って独立した鉱床で 流紋斑岩に近い変質花崗岩中にある鉱床で 地質環境はクライマックス鉱床に 鉱床の性格はクエスタ鉱床に似ている。 ただ熱水変質は非常に広範囲にわたっている。 これまでにいろんな会社により探鉱され二度ほど出鉱されたが あまりに品位が低いために(鉱脈中で0.2~2%)長続きせず 今度大資本による鉱石の大量処理で陽の目を見ようとしている。



⑩ クライマックスでは採掘から選鉱まで行なわれており 製鉛所はペンシルベニアにある 当然のことながらすべての過程で非常に機械化されている設備の特色の1つは雪のために 堅固に保護されたベルトコンベアで その総延長は1.2kmに及ぶという



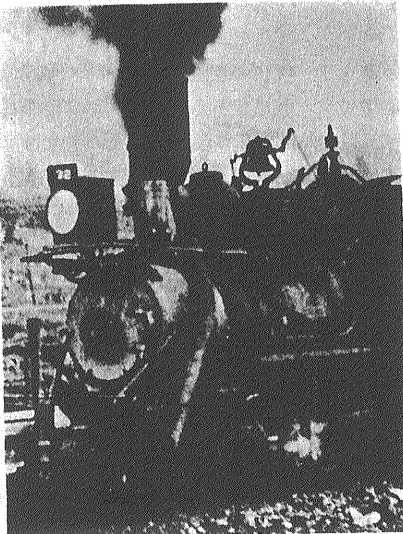
⑩ 開発初期のクライマックス鉱山 ⑨と比較してパーレット山腹の形に注目していただきたい(デンバー公立図書館の好意による)

クエスタ鉱山も市場に相当影響を与えようである。それは手元に入っている私信による選鉱場の規模からして公表生産量よりはるかに多く生産出来る能力があるからである。しかし年間生産量は可採最低品位(Cut-off)をどれくらいにするか同時に鉱山の寿命を何年にするかによって決まってくる。エンダコ鉱床も影響力が大きそうである。品位が少し低い(0.2%MoS₂)のが気がかりだがクライマックス鉱床の粗鉱品位もうわさでは公表されたものより低いであろうと言われており大量に処理し選鉱上の問題がすべて解決出来れば問題はないかもしれない。

モリブデンの現在の開発計画はおもに既鉱石(輝水鉛鉱)の発見にもとづいている。アメリカの既知のモリブデン鉱床と同じユルディレラ造山帯のカナダの太平洋沿いには地質学的にみて非常に将来性がありまたアメリカ西部でも日本的な感覚で探せばまだ見落しがありそうである。その上いわゆる Porphyry Copper には多少なりとも輝水鉛鉱が含まれておりビュート鉱床でもある部分とくに下部にゆけばその含有量は増加しているので価格が上げばここ数十年ないし百年の供給源にはこと欠きそうもない。しかし新しく登場するかもしれない供給源として次の三つを考えておく必要があるようである。

A 水鉛華の処理

モリブデンの酸化鉱物は地下水面の低いアメリカ西部ではモリブデン鉱床の地表近くに多量に存在する。しかし粉状で微細な結晶であるために従来の選鉱方法では実収率が悪くほとんどかえりみられていない。そこでアマックス社は

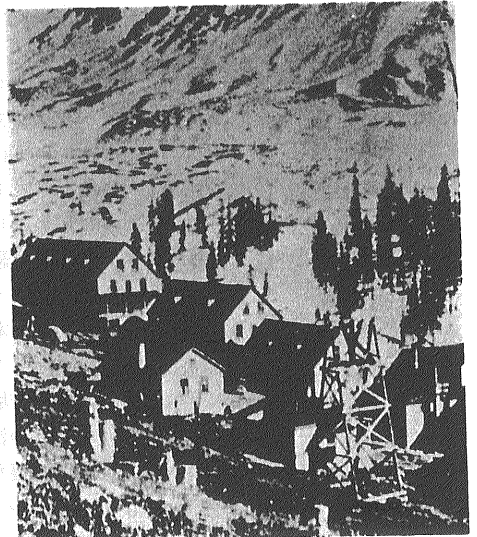


あえぎながらフレモント峠を登ったあわれな蒸気機関車

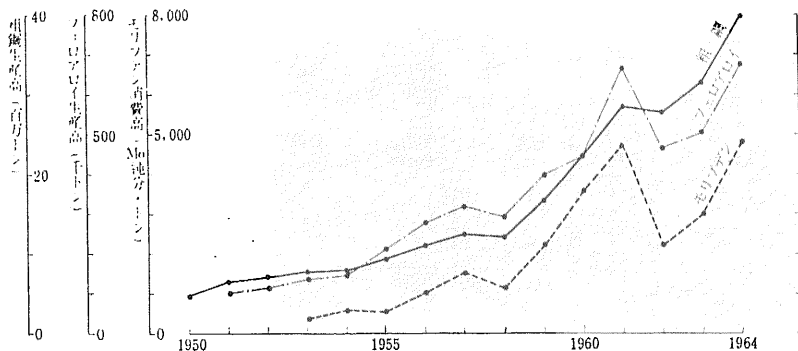
クライマックス鉱山 モリコープ社 (Molybdenum Corporation of America) ではクエスタ鉱山で新しい方法でとることを試験的に実施して来ている。それは一度モリブデンを溶解させてあとでその溶解水液からモリブデンを抽出する方法である。当然のことながらその詳細は公表されていない。しかし鉱石を現地処理出来るかどうかでなければしもも鉱石を輝水鉛鉱と同様に選鉱場に運ぶ場合には採算がとれるかどうかには問題がありそうである。クライマックス鉱山では二年半の研究の後に小さな試験的設備を設けて8ヶ月間試験しこのたび企業化しようとしている。

B 砂岩中のモリブデン

コロラド高原に分布する堆積岩中のバナジン鉱床にはモリブデンに富むものがある。別に同じ型の鉱床で南ダコタ州にあるものは0.5%MoS₂(層厚3mの平均値)の砂岩層が知られている。これは漸新世のWhite River層の下部でチャンネル構造に支配されたレンズ鉱体として発見されている。モリブデン鉱物は水鉛華と ilsemanite で褐鉄鉱と jarosite と共生する。部分的には10%MoS₂ およぶ所もありそこでは非晶質の硫化物 jordisite が存在しているかもしれない。酸化鉱物



当時の家(左・右ともアマックス社資料から)



第6図 日本粗鋼・フェロアロイ生産高とモリブデン消費量

処理が安価に出るようになれば この種の鉱床は規模が大きいだけに 近い将来に稼行されるかも知れない。

C 頁岩および泥質物中のモリブデン

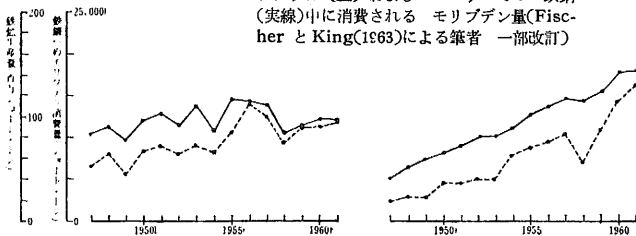
地質時代を通じて ある種の黒色頁岩中には Krauskopf がまとめたように多くの有用金属が含まれている。この中のモリブデン(最高0.1%Mo まで)が他の有用金属と共に抽出される日がくるかも知れないし 同様なことを黒海々底などのような特殊な環境下の現世の泥についても考えておくべきかも知れない。

需給関係の見通し

世界経済の発展と新用途のあいつぐ開発により モリブデンの需要は年々増大している。用途は多方面にわたり 以前の如く「戦争元素」としての時代はすぎ去っているので 需要が激減することは考えられず 宇宙開発や自動車工業の発展と共にこの増大の傾向は 今後も続くものと予想される。ただモリブデンの需要のほとんどは合金元素として鉄鋼添加剤として使われるために (第6図)鉄鋼業界の好不況に左右されるであろう。第7図には参考までにアメリカおよびヨーロッパの鉄鋼生産高と鉄鋼に消費されるモリブデンの消費量を示した。

これらの図からわかることは 両市場において共に両者が平行的に増加しているというより モリブデン消費量の伸びが目立ち ヨーロッパの方がややおくれこの傾向を示しはじめている。そして全体としてヨーロッパで高度成長型で モリブデンの消費量が急増している。筆者は経済のことはよくわからないけれども 恐らくこの安定成長型のアメリカと高度成長型のヨーロッパの消費量の伸びはしばらく続き いずれは後者が日本を含めて安定成長型に移ってゆくものと思われる。この第7図に示されているように いまやヨーロッパ市場はアメリカ大陸のモリブデン生産者にとって 現在の消費量の多さと将来性の二つの意味で 世界で最も重要な市場である。アマックス社ではオランダのロッテルダムに製

第7図 アメリカ(左)およびヨーロッパでの鉄鋼(実線)中に消費されるモリブデン量(Fischer & King(1963)による筆者 一部改訂)



錬および加工工場を建設し 将来にそなえようとしている。

さて世界の自由諸国地域の市場で 高度成長型のヨーロッパと日本および安定成長型のアメリカがこのまま発展すると 1970年に鉄鋼産業に上記の三市場で消費されるモリブデンは 純分で約4万3千トンとなる。これまでに公表された北米大陸での増産計画(第2表)からこの種の計画はおくれがちであることと 完全操業に入るまでに時間がかかることから年次を一年下げて その増産量を見積ると 8250/1966 6500/1967 3500/1968 (いずれも Mo 純分・ショート・トン)となり 1970年には年間約4万5千トンが生産される。これは鉄鋼添加剤以外の用途での消費量を考えても 需給のバランスをとるにじゅうぶんな生産量と思われる。

北米大陸以外にも増産する国(たとえばチリー・ペルーなど チリーではアナコンダ系の会社が1970年までに現在の生産量を100%増産することとしている)が現われるであろうが 同時に恐らく減産する国(たとえば日本)もあるであろう。いずれにしてもモリブデン市場に大きな影響を支える生産国は自由諸国間にはなくもしあるとすれば中共であろう。共産圏の中でユーゴスラビアの既知鉱床は 採掘済みとなり ソ連は最大の生産量をもつけれども おもに銅鉱床からの副産物であるので当然に銅の需給関係の制約を受け急激なモリブデンの増産は望めない。中共には地質学的にみても大きな潜在力がある。クライマックス鉱床をしのぐものが発見されたとのうわさは 1961年頃からあり その種の報道は香港系の新聞に時折出ている。しかし かつての日本地質家の報告 中ソ関係がよかった当時のソ連地

質家の記載および中共の学術雑誌から得られる概略的な記載からのみでは 現在中共のモリブデン鉱床および鉱業については多くを語れない。ただ 従来からの記載とこれまで私たちが 自由諸国内とソ連で知っている事実から予想すると これまで中共で知られている小ペグマタイト 接触交代鉱床およびタングステンと共生する気成～高温熱水性鉱脈鉱床でなく Porphyry Copper 式(筆者はクライマックス鉱床を地質時代と環境を異にし Cu/Mo 比が違うのみの一種の Porphyry Copper とみている)の新しい型の鉱床が発見されておれば アメリカの生産量を将来しのごくかも知れない。この文中に出された鉱床学の問題点を含めて鉱床学を発展させるために アメリカ人でなく日本人の地質家でなければでき

ない仕事がこの未知の国には残されているようである。この小文はもともとモリブデンに関する注意を喚起するためのみ書かれた しかし先日 鉱山地質学会で鉱山地質家のあり方が問題になっていて聞き この文には筆者の考える鉱山地質家の幅だけは出しているので副題をつけてみた 筆者は鉱山地質家のそれぞれが 元素の発生から鉱床に至る過程を体系づけ その上将来の鉱業の見通しを持って日常の業務にあたるべきだと思う この前半については余りに幅が広すぎると読者には受とられるかも知れないが たとえば筆者のように宇宙の生成について1958年に発表された Nuclear Synthesis の考えをとり 地球は Astroid material の冷たいものから出発したと仮定すると 岩漿と鉱床の成因関係について従来から言われている いわゆる重層説は大幅に改訂されるか否定されなければならないと言う点で 個々の鉱床の成因を論ずる場合にも 宇宙や地球の成因論は 重大な意味を持つてくと筆者は考えている (筆者は鉱床部)

新刊紹介

The Geologic Development of the Japanese Islands (日本列島の地質構造発達史) (英文)

編集 渡 正雄 牛来 正夫 舟橋 三男
 体裁 B 4変形判 (25.6cm×32cm) 本文 442ページ
 古地理図 30葉 挿図133 表44
 発行 築地書館 発売 丸 善 定価 13,000円(65ドル)

日本列島のおいたちと今日の姿を世界の地球科学関係者に紹介するため 北海道大学の渡正雄教授を中心にして 地学団体研究会に属する約50人ほどの会員が 約4年まえから編集にとりかかり 討論に討論をかさねて書き上げたのが この本である。(なお 地質調査所の職員も 水野・三梨両技官をはじめ 多数が編集・執筆に参加している)。

この本の内容の特徴をまとめると つぎのようである。

- 1) この本では つねに東亜大陸(ときにはオーストラリアから全世界)との関連において 日本列島の発達史がのべられている。第1部から第3部にかけては 戦後わが国で提起されたさまざまな問題 たとえば 列島弧における先カンブリア紀の基盤岩の問題 古生代末期から中生代初期にかけての造山運動に関する問題 中生代末の変動の問題などである。
- 2) 第4部では 現在世界中の地球科学者の関心のまとなっている 島弧と日本海・太平洋の形成に関連した問題を具体的に明らかにしている。これは わが国の地質学者がこの本によってはじめてなし得た 世界的な業績といつてよいであろう。
- 3) 第4部の後半には 日本列島の現在の姿をつくり上げた第四紀(氷河時代)の歴史の詳細を 地質学にかぎらず 地形学・考古学・土壌学などの分野にわたって述べているが これらの内容は境界領域にあたる自然科学者やさらには人文科学者にも 大いに参考となる。
- 4) 第5部では 島弧としての日本列島に典型的にみられる火山・地震・地殻構造・海底地形の問題が論じられており これらは外国の地球科学者に 島弧の特性を理解させるのに欠くことのできないものであろう。
- 5) 巻頭にあつめられた30葉の多色刷の古地理図は これ

のような単なる海陸分布図とちがって 各時代の山の高さ 海の深さ 地層の厚さや火山活動が理解できるように表現された 画期的な古地理図である。この30枚を1枚ずつめくることによって 読者が 日本列島変せんをいながらにしてたどれるように配慮されている。

値段が高いことや 英文のために地名が読みづらいなどの負担はあろうが 以上の内容はもとより 装いでい 図のレイアウトなどは美術書とまがうほどの豪華本で 地球科学の専門家としてはぜひ座右におきたいものである。外国の学者がこの本によって日本の地質を理解する以上 われわれも ここに総合された内容を自分のものにして そこから新しい問題を発見し 追求していきたいところである。この意味でも 大学のゼミナール用とした また高校の図書室などに常備されるようにおすすめしたい。

主要目次

第1部 先シルリア紀 先地向斜時代

1. 島弧の基盤岩 2. 日本列島近隣大陸の先カンブリア界 3. 日本列島の基盤岩類 4. 大陸の古期古生代 4. 日本列島の先地向斜時代

第2部 地向斜時代と本州造山

6. シルリア・下部石炭紀地向斜時代 7. 上部石炭紀地向斜と島弧の内帯における陸地の出現 8. ベルム紀地向斜と山脈の出現 9. 本州造山運動 10. 日本列島変成帯の地質と岩石

第3部 亜大陸時代

11. 中生代—古第三紀の本州不安定帯と外帯地向斜 12. 三疊紀 13. ジュラ紀 14. 白亜紀 15. 本州弧の後期白亜紀変動 16. 古第三紀 17. 北海道の日高造山運動 18. 四万十帯の構造運動

第4部 島弧の時代

19. 新第三紀における島弧の形成の出現 20. 新第三紀 21. 第四紀

第5部 最近の時代における地球化学的・地球物理学的諸問題

22. 第四紀火山岩論 23. 地殻構造 24. 地震 25. 古地磁気 26. 海底地形