

ハンガリーのメタロジェニーと金属鉱物資源

鹿園直建¹⁾

ハンガリーの主な金属鉱物資源は、ボーキサイト、ウラン、マンガン、鉄、銅、鉛-亜鉛、貴金属(金、銀) 鉱石である。

この中で、ボーキサイトの生産量は大きく、ハンガリーはヨーロッパ諸国の中で主要なボーキサイトの生産国である。しかし、このほかの金属の生産高は小さい。ウラン鉱石、マンガン鉱石、鉄鉱石も採掘されているが、ほかの金属は、現在では採掘されていない。

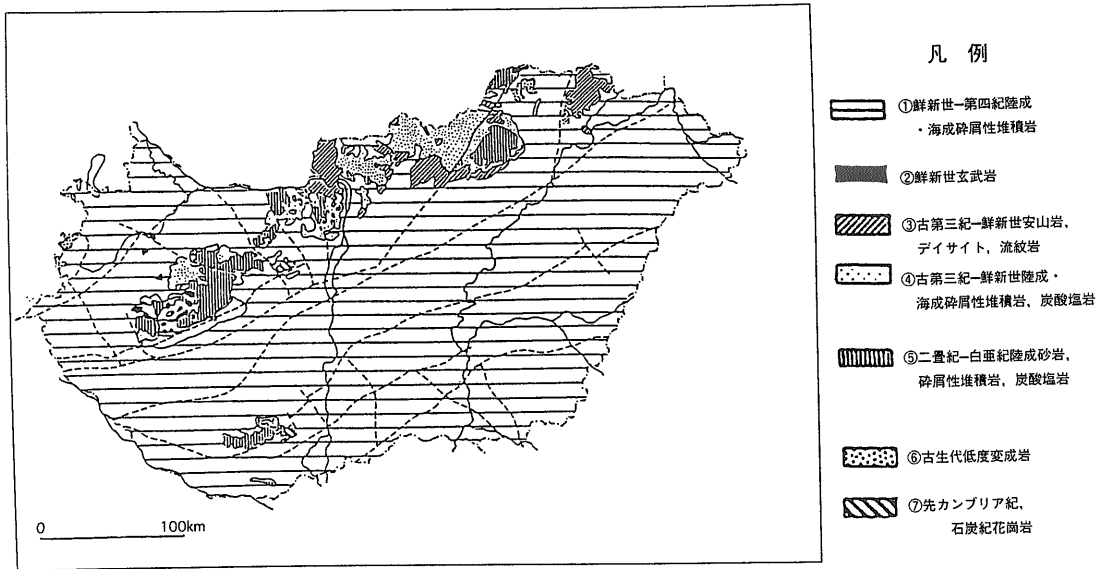
ハンガリーでは、電力における原子力の占める割合が高く(約40%)、そのためにウラン鉱石が採掘されてきた。しかし、1996年で唯一稼働されてきたコバゴスズロス(Kovagoszolos) 鉱山からの採掘は終了した。

以下では、ハンガリーのこれらの金属元素を産する鉱床とメタロジェニーの概要をまとめる。

1. 地質及びメタロジェニーの概要(第1, 2図)

ハンガリーの大部分は、パノニア沈降帯にある。このパノニア沈降帯の北には、アルプス山脈-カルパチア山脈があり、南西部にはジナル山地、南部にヘレナイズ、ロドビ地塊、東部にはモエシク卓状地が分布している。この沈降帯は、新生代後期のモラッセ性沈降帯で、ジュラ紀初期から新生代にかけて起こったアルプス変動帯をつくるアルプス山脈、カルパチア山脈、バルカン半島、ジナル山地等の500~1,000kmの長さを有する弧状地帯の間に出来たものである。この沈降帯は、白亜紀後期-第四紀の厚い堆積物(4,000~5,000m)で埋められている。

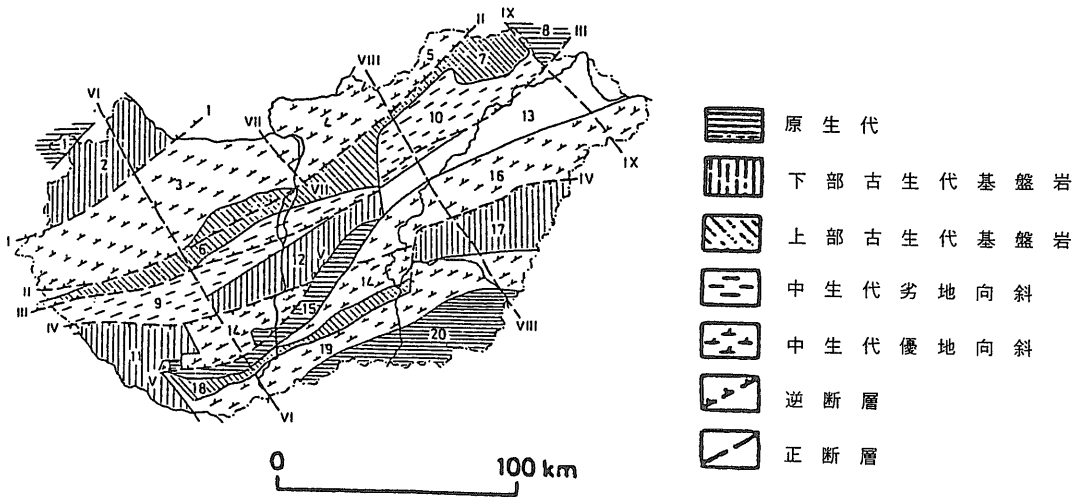
地表の80%は、上部第三系及び第四紀の岩石で占められている。中生代の終わりまでのカルパ



第1図 ハンガリー地質概略図(国際鉱物資源開発協力協会, 1996)。

1) 慶應義塾大学理工学部:
〒2223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1

キーワード: ハンガリー, メタロジェニー, 金属鉱物資源, 金属
鉱床, プレートテクトニクス



- | | |
|--|---|
| 1. Sapon 山脈 (原生代) | 10. Bukle 山脈優地向斜 (古生代 - 中生代) |
| 2. 西部ハンガリア平原の結晶質岩基盤岩 | 11. Drava ベイズン (下部古生代) |
| 3. Transdanubian 中央山脈劣地向斜 (中生代) | 13. Nyikseg (第三紀) |
| 4. Borzsöny - Matra 山脈 (第三紀) | 14. Mecsek 山脈劣地向斜 (中生代) |
| 5. Uppany - Rudabanya - Gomor 劣地向斜 (中生代) | 15. Nyugatszenterzsevet - Moragy - Nagykoros 結晶岩帯 (古生代) |
| 6. Lake Balaton - Valence 山脈 (上部古生代) | 16. Szolnok グラーベン - フリッシュ (白亜紀 - 古第三紀) |
| 7. Szendro 山脈 (上部古生代) | 17. Kozepiszantul 結晶質基盤岩類 (下部古生代) |

第2図 ハンガリー地質構造図 (Moroai, 1982).

チア盆地の地質は、アルプス山脈、ジナル山地系の変動により支配され、新生代の地質は、カルパチア山脈を造った変動によって支配されていた。

中生代以前の岩石の露出は非常に少ないが、19世紀から天然ガスと石油の探査が行われ、1957～1966年にハンガリー地質調査所により詳しいボーリング調査が行われ、古生代、中生代の地層の分布が明らかにされている (Darkほか, 1967)。先第四系の地質は、地下水、温泉水探査のために掘削された500本以上のボーリング調査によって明らかにされている。その結果、温泉水 (35℃以上) が多く存在していることがわかった。このような温泉水が存在しているのは、地殻が薄い (24～30km) ためと考えられている。このようなベイズンは、ほかの東ヨーロッパ諸国 (ポーランド等) にも存在し、地熱資源胚胎の場として重要と考えられている (金原, 1991)。

ベイズンでは、パリスカン、シメリアン (Cimmerian) (アルプス変動前期) 深部フラクチャー線といった構造パターンがみられる。中生代以降の地層

は、南北または東西方向を持つアルプス断層系の発達によって特徴づけられる。

古生代の地層は非常に狭い範囲に分布している。この時代に、バラトン (Balaton) 高地 - ベレンス (Vence) 山地、スゼンドロ (Szendro) 山地、メチェク (Mecsek) 山地に碎屑性堆積物がたまった。中生代になって初めて、4つの狭いトラフの構造体が出来た。ハンガリア中央山地、メチェク - ビラニイ (Mecsek - Villany) ベルトに主として炭酸塩質堆積物から成る、数1,000mの厚さを持つ堆積作用が起こった。イガールブク (Igal - Bukk) とスゾルノク (Szolnok) では、塩基性アルカリ性火成作用を伴う堆積作用がなされた。

カルパチアベイズンの中生代の岩石中には、多くの金属鉱床と、非金属鉱床が存在している。三疊紀のはじめに蒸発岩が生成し、それに続いて三疊紀中期にリン鉱床、鉄鉱床が生成した。ジュラ紀にはマンガン鉱床、白亜紀にはポーキサイト鉱床、鉄鉱床が生成した。中期 - 後期白亜紀、古第三紀には、ポーキサイト鉱床、石炭鉱床が生成をした。

中期白亜紀は、アルカリ-カルクアルカリ塩基性火成岩の活動で特徴づけられる。古第三紀には安山岩類の火成活動があった。新生代には、カルパチアの中央部地域で沈降が起こり、1,000~1,600mの厚さを持つモラッセタイプの堆積物がたまった。新生代のはじめに、2,000m以上の厚さを持つ酸性-中性火山岩類が国の北東部でたまった。この第三紀の火成作用に伴われ、ハンガリア中央部山地で金属(銅, 多金属, 貴金属) 鉱床が生成した。

次に、Rainscak (1988)により大陸地殻の発達とプレートテクトニクスの観点からハンガリーのメタロジェネシスがまとめられているので、以下に紹介をしたい。

Rainscak (1988)は、鉱床区を以下の3つに分けた。

- I. 始生代大陸地殻のフラグメントに関連した鉱床区。
- II. テーチス海の生成に関連した鉱床区。大陸地殻の分裂により生じ、ジュラ紀の浅海性堆積物がたまった。その後白亜紀の火成活動がみられる。
- III. 新しい大陸地殻の生成、テーチス海の縮小、消失に関連した鉱床区。この時、テーチス系の山脈(アルプス、ヒマラヤ系)が出来ている(De Jong, 1973)。テーチス海の消失後、古第三紀-新第三紀の海成堆積物、新第三紀後期に海成-淡水-河成堆積物がたまった。

Iは、ヘルシニアテクトニックサイクル前とヘルシニアテクトニックサイクルに分けられている。例えば、鉄-チタン-クロム鉱床、鉄-マンガン鉱床、二畳紀-三畳紀の堆積性銅鉱床、蒸発岩、ウラン鉱床、二畳紀、前期三畳紀の鉛-亜鉛-銅鉱床、二畳紀の含銅頁岩 銅鉱床、二畳紀の火成作用に関連した銅、多金属鉱床がある。

IIは、前期アルプステクトニックサイクルに生成した鉱床区である。この時代には、中-後期三畳紀の堆積性リン鉱床、ジュラ紀の堆積性マンガン鉱床、ジュラ紀の堆積性鉄鉱床、ジュラ紀のチタン-鉄、クロム鉱床、熱水性(ウラン)-鉛-亜鉛-銅鉱床、白亜紀のオフィオライトに関連した磁鉄鉱床、白亜紀上部のリチウム-トリウム-希土類鉱床、前期-中期白亜紀のボーキサイト鉱床が例としてあげられる。

IIIは、後期アルプステクトニックサイクル、後アルプスプロセス、先第三紀構造ユニットに生成した鉱床区に分けられる。

後期アルプステクトニックサイクルの例として、後期白亜紀-古第三紀の隆起によって出来たボーキサイト鉱床、古第三紀のプレートの沈み込みに関係して出来た鉛-亜鉛-銅多金属鉱脈鉱床、ポーフィリー-銅-モリブデン鉱床、スカルン鉱床、銅-鉛-亜鉛-鉄鉱脈鉱床、鉱染状銅-砒素-アンチモン-鉛-亜鉛鉱床、銅-鉄-砒素-アンチモン-金-銀塊状硫化物鉱床、新生代のモラッセ堆積物地域のマンガン鉱床、蒸発岩、カルパチアのプレートの沈み込みに関係した鉛-亜鉛-銅-ビスマス-砒素-(銀, 金) 鉱脈鉱床、金-銀-黄鉄鉱脈鉱床があげられる。後アルプスプロセスの例として、17の砂金、リモナイト鉱床がある。

この様に、I, II, IIIで明瞭な鉱化作用の違いがあり、これは、プレートテクトニクスによって説明されている。

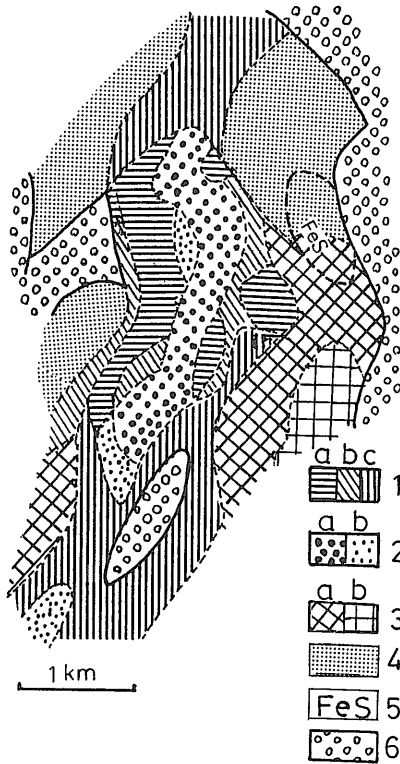
2. 金属鉱床各論

A. ポーフィリー-銅-多金属銅鉱床, スカルン鉱床

ポーフィリー-銅-多金属銅鉱床が、アルプス-カルパチア造山帯に生じた第三紀火山活動に伴われ生じている。これらの鉱床は、カルパチア造山帯の縁部のダルノールダバニヤ(Daro-Rudabanya)構造線に規制されている。この構造線は、南部及び北部アルプス間におきた沈み込み帯である(Molnar, 1994)。時代的には、始新世の火成活動に伴うようである。Jankovic (1977)は、テーチス-ヨーロッパメタロジェニックベルト(ポーフィリー-銅-多金属銅鉱床、塊状硫化物鉱床)についてまとめている。これによると、このベルトは、10,000kmの長さにわたり、ヨーロッパのアルプスメタロジェニックシステムと太平洋システムをつなぐものである。ハンガリー-カルパチアは、この西端にあたると思われる。

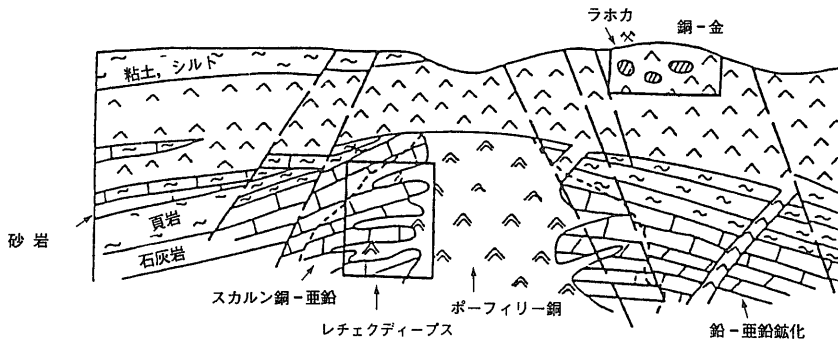
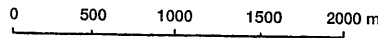
(1) レチェク(Recsk) 銅・金鉱染状鉱床

18世紀にマトラ(Matra)山地山麓部で銅の鉱徴が発見された。1926年以来220万トンの銅鉱石が発見されている。ブダペスト北東約75km, マトラ山脈北東部ケケス山東南山麓に位置するこの鉱床



- 1. スカルン鉱床
 - a. 富銅鉱体
 - b. 貧銅鉱体
 - c. 多金属鉱体
- 2. ポーフイリー・銅-亜鉛鉱床
 - a. 富銅鉱体
 - b. 貧銅鉱体
- 3. 熱水性多金属 (鉛, 銅, 亜鉛鉱床)
 - a. 富銅鉱体
 - b. 貧銅鉱体
- 4. 多金属鉱床
- 5. 硫酸銅鉱体
- 6. 母岩

第3図 レチェック鉱床における各タイプの鉱床の分布状況 (Zelenka, 1973).



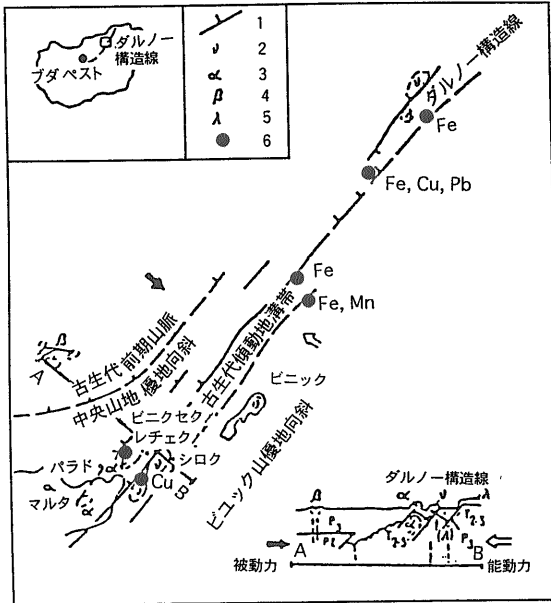
第4図 レチェック鉱床付近模式断面 (国際鉱物資源開発協力協会, 1996).

は、ハンガリア中央山地の走向北東-南西を持つ古生代-中生代堆積岩ベルト、北西-南東走向の第三紀火山岩類の東端に位置している。この鉱床地域には、ポーフイリー・銅-亜鉛鉱床、スカルン銅-亜鉛鉱床、鉛-亜鉛脈銅鉱床があり、浅部には、鉱染状銅-金鉱床 (高硫化系タイプ) (ラホカ(Lahoca)) がみられる (第3, 4図)。

この地域の地質は、中部-上部三畳紀の堆積岩 (石灰岩, ドロマイト, 頁岩), 珪質片岩, 上部始新世火山岩類, 漸新世, 中新世の堆積性・火山性堆積物より成る。三畳紀の堆積物の厚さは1,000mを超え, 上部始新世層の厚さは400~700mである。漸新世-中新世層の厚さは, 200~1,000mである。この火山岩類から成る層の下位は, 上部始新世のリソサニウム (Lithothamnium) 石灰岩に覆われている。この火山岩類は, ホルンブレンド-黒雲母安山岩熔岩, 火砕岩類, 石英-黒雲母-ホルンブレンド安山岩熔岩, 集塊岩類, 黒雲母-ホルンブレンド安山岩類である。

安山岩の貫入岩の周りには, 接触変成作用がみられ, スカルン化している。150~250mにわたってガーネット-輝石-ホルンブレンド-エピドートスカルンがみられる。この安山岩貫入の後, ビュクチュク (Bukkszek) のラホカ山の第三紀下部のところに鉱化作用がみられている (第5図)。この鉱化作用には以下がある。

- (i) ポーフイリー・銅-モリブデン鉱床
- (ii) スカルン鉱床
- (iii) 熱水性多金属鉱床
- (iv) 貴金属銅鉱床



第5図 ダルノー構造線などとレチェック鉱床などの位置関係。

レチェックの鉱化帯の深部には、安山岩貫入岩を取り囲んだ鉱染状の黄銅鉱・黄鉄鉱鉱床がある。平均銅品位は、0.2%である。このポーフィリーカップパー鉱床の生成は、輝緑岩の貫入に関係している。鉱床は、ダルノー構造線の近くに分布している(第5図, Baksa, 1986)。

スカルン帯には、磁鉄鉱-磁硫鉄鉱, 黄銅鉱-黄鉄鉱から成る鉱石が認められる。銅鉄鉱の銅含有量は0.8~3%である。鉱石鉱物は、黄銅鉱, 黄鉄鉱, 磁硫鉄鉱, 磁鉄鉱, 硫砒銅鉱, 斑銅鉱, 閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 輝蒼鉛鉱である。非金属鉱物は、ガーネット, 輝石, ホルンブレンド, 蛇紋石, 緑泥石, 硬石膏, 石英, 方解石とドロマイトである。熱水性多金属鉱床は亜鉛に富んでいる。このタイプの鉱床の金属含有量は、銅0.4%, 鉛0.6%, 亜鉛6%, 黄鉄鉱8%である。深部の鉱石は、磁硫鉄鉱, 磁鉄鉱で特徴づけられる。

熱水性交代鉱床は、石灰岩(三畳紀)中のスカルン帯の外側にみられる。鉱石鉱物は閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 黄銅鉱, 黄鉄鉱, 硫砒銅鉱である。非金属鉱物は、石英, 方解石, ドロマイト, 硬石膏, 石膏から成る。深部で閃亜鉛鉱, 黄鉄鉱, 黄銅鉱の量が多くなる(銅0.6~1%, 亜鉛6~8%, 黄鉄鉱20~25%)。地表近くでは、方鉛鉱の量が増える(鉛

1~2%)が閃亜鉛鉱の量は減る(亜鉛3~4%)。ラホカ山の鉱化帯は、1kmの長さ、0.5kmの幅を持つ北北西-南南東方向に伸びた珪化帯につながっている。この珪化帯では、不規則な形を持つ11のストック(半径10~120m)があり、この中に硫砒銅鉱, ルソン銅鉱, 黄鉄鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 黄銅鉱, 斑銅鉱, コベリン, 自然金, 車骨鉱, プーランジェ鉱, ウィッチェーン鉱, エンプレクト鉱等が含まれている。非金属鉱物は、石英, 方解石, ドロマイト, 重晶石, 石膏, 自然硫黄である。

ラホカ鉱床の母岩は、 $37 \pm 1.0\text{Ma}$ (ここでMa; 100万年)というストロンチウム同位体年代を示す。鉛同位体から鉱床の年代として、 $35 \pm 1.0\text{Ma}$ が得られている。

(2) ナダブ(Nadap)

ベレンセ(Velence)山地の東部でパリスカン花崗岩が上部始新世の角閃石安山岩によって貫かれている。

ナダブとパズマンド(Pazmand)の間の地表に強い変質(カオリン化, プロピライト化, 黄鉄鉱化, 明ばん石化)を受けた安山岩(北北東方向を持つ)が露出をしている。この安山岩とフィライトを貫いたボーリングコアに鉱徴がみられる。花崗岩中及び花崗岩とフィライトの接触部の角礫帯に金と銅の鉱化作用がみられる。花崗岩が安山岩脈に切られている東部に輝蒼鉛鉱の鉱化作用がみられる。

B. 貴金属を伴う石英-多金属脈鉱床

40~90kmの幅を持つ第三紀火山岩ベルトが、小ハンガリア平野とスロバク山地の間に140~150kmの長さにわたって北西-南東へ走っている。この火山岩の時代は、西から東へかけて若くなっている。すなわち、ボルズソニ(Borzsony)山地; 14~16Ma, 西マトラ(W-Matra)山地; 13~15Ma, トカジ(Tokaji)山地; 10~13Ma。さらに、ルーマニアに行くと時代はもっと若くなる。これらの火山岩に伴われて脈脈鉱床が分布する。例えば、ナギボルズニー(Nagyborzsony)(金-銀-ビスマス-鉛-亜鉛)(ボルズニー山地), 西マトラ山地(ギョンギョソロスジ(Gyongyosoroszi))(多金属), トカジ山地(テルキパニヤ(Telkibanya))(多金属・貴金属)に鉱床が分布する。

a) ギョングヨソロスジ

西マトラ山地の後期アルプス鉱化作用の中心に鉱山がある。この鉱山は、18世紀に探鉱が始められていたが、貴金属が低品位のため採掘はほとんどされなかった。1949年に鉱山開発が始まり、1954年から出鉱が始まった。1975年までに、250万トンの鉱石を出している。

鉱床内には垂直的帯状配列がみられる。すなわち、浅部から深部にかけて、石英-重晶石、不毛石英、石英-アンチモナイト、方鉛鉱、方鉛鉱-閃亜鉛鉱-ウルツァイト、閃亜鉛鉱-黄銅鉱、黄銅鉱帯となっている。

鉱脈の走向は、西北西-東南東、または、南北を西北西-南南東、北北西-南南西の組み合わせである。鉱脈の長さは、数100mから1kmで、幅は普通1~2mで、時として4~5mとなる。

主な鉱石鉱物は、方鉛鉱、閃亜鉛鉱、ウルツァイト、黄銅鉱、硫砒銅鉱、自然金、黄錫鉱、車骨鉱、プーランジェ鉱、毛鉱、黄鉄鉱、白鉄鉱、アンチモナイトである。非金属鉱物は、石英、カルセドニー、紫水晶、方解石、マンガン方解石、ドロマイト、重晶石、螢石、石膏、緑泥石、粘土鉱物である。鉱床は15±3Maに形成された。

b) ナギボルゾニー

ブタベスト北方、スロバキア共和国との国境をなすイポリ川に、西側と北側を画されるボルゾニー-ピセグラド(Borzny-Visegrad)山地の西端部に位置する。ボルゾニー山地、ピセグラド山地は、南北に50km、西に20~25kmにわたって存在している。この地域は南西-北東に走る2つのベルト、すなわち、北の結晶質岩からなるベルトと南の中生代の炭酸塩岩のベルトに分けられる。基盤岩類は、漸新世の堆積岩に覆われている。これは、後期漸新世-中期中新世の火山岩に覆われている。これらはカルデラ構造をとり、この外側に鉱化作用がみられる。また、鉱化作用は北西-南東に走る断層帯に関係し、分布している。

ここの代表的な鉱床がナギボルゾニー鉱床である。ここにみられる金、銀、鉛、亜鉛、銅、ビスマス、砒素鉱化作用は、北北東方向に走る中新世のプロピライト化した角閃石輝石安山岩、黒雲母-角

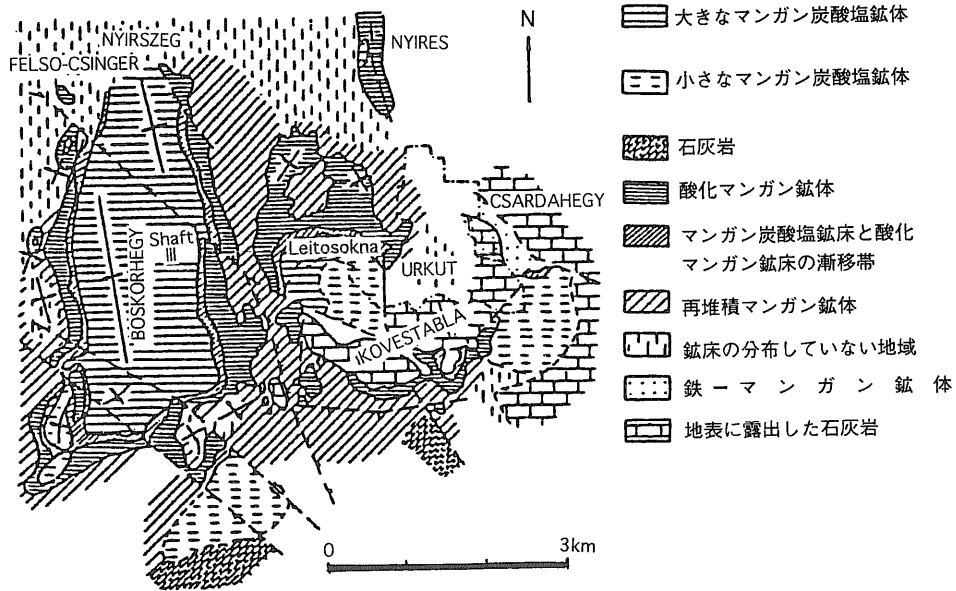
閃石デイサイト中にみられる。鉱床は主にプロピライト化したデイサイト角礫パイプ中のストックワークである(Panto and Miko; Nagy, 1983a,b)。早期には磁硫鉄鉱の沈澱が起こり、後期には多金属鉱化作用が起こった。早期の鉱物として、このほかに黄鉄鉱、硫砒鉄鉱、閃亜鉛鉱、黄銅鉱がみられる。下部では、鉱染状の磁硫鉄鉱、硫砒鉄鉱がみられる(Dubosi and Wagy, 1989)。

c) テルキバニヤ

トカジ山地は北北東方向に50kmにわたっており、東-西方向に25~30kmの幅を持つ。酸性火山岩が南部と北部に多く、中央部では中性火山岩が多い。南端部では、二畳紀-三畳紀の炭酸塩堆積物が存在している。

火山作用は、中期中新世-鮮新世に終了した。トルトニアン(Tortonian)では、流紋岩質凝灰岩が海底に堆積した。サマチアン(Samatian)に安山岩質火山活動が始まり、続いてイグニンプライト、流紋岩質火砕岩類が陸上にたまった。北部では多くの流紋岩とパーライトコーンが出来た。この火山活動は、カリウム変質作用で終わっている。

テルキバニヤは、13~14世紀では、重要な鉱山町であり、18世紀~19世紀まで栄えていた。1950~60年代には多くの鉱山が開かれた。鉱脈はホルンブレンド安山岩、カリウムトラカイト中に胚胎されている。南北方向に走る鉱脈の上部で、黄鉄鉱、金に富む粘土が多い。下部では金は少なく、935~949m間に非金属鉱石が存在している。鉱化作用に早期には、カリウム変質、黄鉄鉱化、非金属鉱化作用が起こった第2ステージには、インジウム、錫、ガリウム、カドミウムを含む鉱石が生成された。第3ステージには、石英、コロイド状黄鉄鉱、白鉄鉱の沈澱が起こった。酸化帯中で金は、0.3~3.0g/t、銀は、40~50g/tである。初生鉱化帯では、金0.03~0.3g/t、銀5~20g/t、鉛0.1~0.3%、亜鉛0.2~0.6%、銅0.02~0.2%である。鉱石鉱物は、黄鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、硫砒銅鉱、輝銀鉱、濃紅銀鉱である。脈石鉱物は、氷長石、石英、緑泥石、絹雲母、方解石、ドロマイト、菱鉄鉱、石膏、明パン石、イライト、カオリナイト、モンモリロナイトである。



第6図・ウルクート鉱床の位置と地質。

C. 堆積性マンガン鉱床

a) ウルクート (Urkut)

1917年に発見され、80年代初期までの採掘量は、酸化鉱450万トン、炭酸鉱135万トンである。

ハンガリア西部のパコニ (Bakony) 山地に位置している (第6図)。鉱床はウルクート盆地にある。南北性の断層によって陥没し、ここに三疊紀後期、ジュラ紀の堆積物がたまっている。鉱床は、海洋底拡大が東西方向に起こり、テーチス海が拡大したジュラ紀初期に生成した。

ジュラ紀の堆積物が70kmの長さ、8~10kmの幅を持ち、トランスダヌビアン (Transdanubian) 中央山地に分布している。これは、南北と北東-南西方向に伸びたパコニ山地の三疊紀の地層の間に分布している。

このジュラ紀の堆積岩中にウルクートマンガン鉱床が胚胎されている。鉱床は、北西-南東方向に伸び、幅4~6km、北西-南東方向に12kmのベイズン状の地域に分布している。鉱床の下部の地層は、二疊紀 (Norian) のドロマイトとロエチアン (Roetian) 石灰岩である (第7図)。少量の鉱床が胚胎する。上部リアシック (Liassic) では、炭酸マンガノ塩と粘土-マール層の互層となっている。マンガノ鉱床はチャート質石灰岩に覆われている。マンガノ鉱床の胚胎するジュラ紀の地層は、500mの厚

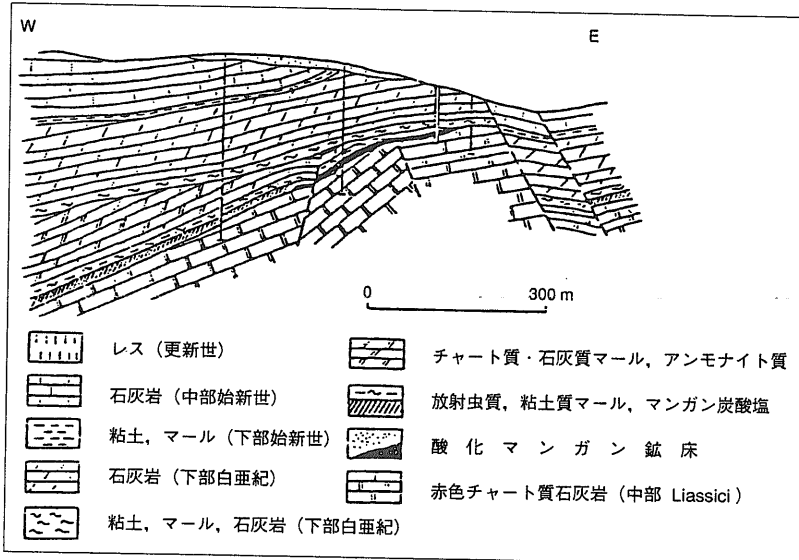
さを持つ。

マンガノ鉱床は、北東-南西の方向12kmの長さ、幅4~6kmの範囲に存在する。鉱床は下位と上位の2つの鉱体より成る。下位は8~12mの厚さがあり、上部は、2~4mの厚さである。鉱体の下位は有機物に富み、黄鉄鉱、放散虫、粘土を含むマールストーンで、コバルト、ニッケル含有量が高い。このマールストーンとその下の石灰岩の境には、リン酸塩の薄層がある。菱マンガノ鉱石は、菱マンガノ鉱と粘土鉱物の混合物である。鉱石品位は下部で14%、上部で22%である。

鉱床構成鉱物として菱マンガノ鉱、マンガノ方解石、グローコナイト、鉄水酸化物 (ゲータイト)、方解石、ドロマイト、黄鉄鉱、粘土鉱物がみられている。炭酸マンガノ鉱が酸化し、マンガノジュールとなり、マンガノが再沈澱している。この酸化は、黄鉄鉱の酸化で出来た硫酸により起こると考えられる。再堆積したマンガノ鉱も多くみられる。

酸化マンガノ鉱のマンガノ含有量は、22~25%である。再堆積した鉱石はマンガノ18~20%で、鉄は16~20%である。

この鉱床の成因については2つの考えがある。1つは、結晶質基盤岩からの風化浸食により運ばれたマンガノが低温で堆積したという考えである。この考えが従来は広く受け入れられていた。この説



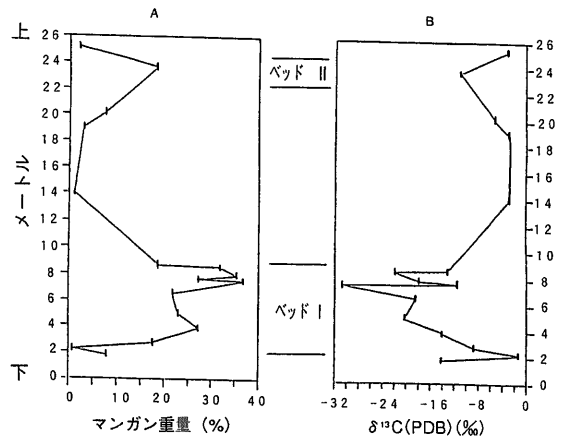
第7図
ウルクートマンガン鉱床の地質断面図 (Moroai, 1982).

を支持する証拠として、1) 火成作用が認められない、2) 鉱床生成時、近くに陸があり、風化・浸食が盛んであった、ことがあげられる。このほかに最近、地球化学的データが得られ、これらもこの考えを支持するので、以下に紹介をする。

マンガン炭酸塩鉱物の炭素同位体組成 ($\delta^{13}\text{C}$) は、 $-1.24 \sim -30.78\%$ と広い範囲を持ち、マンガン含有量、有機物含量と負の関係を持っている。マンガン鉱体の $\delta^{13}\text{C}$ 値が非常に低い (-31%) (第8図) ことが注目される (Polgariほか, 1991)。これらのデータにより Polgariほか (1991) は、マンガン鉱物は、バクテリアにより有機物が酸化されることによる水溶液中のマンガンの還元反応、または、FeSの酸化に伴うマンガン還元によって出来たと考えた (Okita, 1987; Okita and Shanks, 1988)。 $\delta^{13}\text{C}$ が低い値を持つことから炭素の起源は、有機物が考えられ、閉鎖系において酸化が起こった。鉱床から離れたところの方解石の $\delta^{13}\text{C}$ は、 0% に近く、これはジュラ紀の海水の $\delta^{13}\text{C}$ の値に近い。これらのデータ及びほかの鉱床の研究をもとに、次のような沈殿・続成条件が考えられる (Polgariほか, 1991)。

まず、大陸地殻リフト近くの海域の狭いテーチスベイズンで、有機物に富む炭酸塩堆積物がたまった。底層水は還元的で、表層では生物生産性が高かった。海洋の酸化-還元境界で、マンガン酸化物、水酸化物が出来、マンガン含有量が高かった。

これらが海底の還元下で還元され、続成作用の



第8図 ウルクート鉱床No.1レベルのサンプルのマンガン含有量と $\delta^{13}\text{C}$ の変化 (Polgariほか, 1991)。

初期の海底近くで菱マンガン鉱に変わったと思われる。炭酸塩鉱物の酸素同位体組成 ($\delta^{18}\text{O}$) は、 $-5.84 \sim +1.61\%$ の値を持ち、 $\delta^{13}\text{C}$ とは異なり、マンガン含有量とは関係ない。このことは、炭酸塩鉱物が低温で生成されたことを示唆し、ピトリナイトの反射率データと調和的である。以上の考えは、“bathtubing”モデルといわれている (Cannon and Force, 1983, 1988; Okitaほか, 1988)。

Grasselly and Panto (1988) は、希土類元素含有量が鉱体下部から上部にかけ減少をすることを明らかにした。粘土に富む層ではセリウムの正の異常があり、希土類元素含有量に富み、これは海水からの粘土鉱物への希土類元素の吸着と思われる

る。陸源の希土類元素によってもセリウムの正の異常がもたらされたことが明らかにされた。セリウム/ランタン比が2.5~3.2であることも希土類元素の多くが陸源であることを示している。マンガンの起源については言及されていないが、これらのデータはマンガンが陸源であることを示唆する。

Varentsovほか(1988)は、主な構成鉱物が、1. 鉄雲母(セラドナイトタイプの1M型;普通20%までの鉄スメクタイト(ノントロナイト)を含む混合層)、2. 鉄スメクタイト(ノントロナイト)、3. マンガン炭酸塩鉱物、であることを明らかにした。

このほかに鉄水酸化物(ゲータイト)、マンガン水酸化物(マンガナイト)がある。現在のガラパゴスリフトや紅海の堆積物の研究より比較的還元的環境で、ノントロナイト-セラドナイトタイプの粘土鉱物が同定されている。このような堆積物は、比較的低温の熱水から出来たと考えられている。このリアシク(Liassic)ベイズンでは、海水起源の熱水と変成岩、火山岩との反応により鉱化作用が起こったのであろう。

セラドナイト鉱物の生成に関しては、今までに多くの研究がなされ、これを含む堆積物は熱水起源と考えられている。例えば、セラドナイトを含むいわゆる“緑色粘土”が、ガラパゴスリフト、東太平洋海膨、パウアー低地、カリフォルニア湾の拡大軸、タグ(TAG)、フェイマス(Famous)、紅海で見つかっている。この緑色粘土中のセラドナイトは、鉄スメクタイトの続成生成物である。

鉄-マンガン含有量、チタン、アルミニウム含有量からウルケート鉱床は熱水起源で、これに陸源物質が多少混合したものと考えられる。(セリウム+ニッケル+銅+鉛)-(鉄+マンガン)/チタン関係、ニッケルに比べて、コバルトが比較的高いこともこの考えを支持する。この種の低温の熱水性マンガン鉱床は、オーストラリア、ババリア、イタリア、スイスでもあり、テーチス海の両端に生成した。この熱水説を支持するものとして、ジュラ紀のテーチス海において、海底熱水・火山活動が盛んであった(Jenkyns, 1985, 1988)ということもあげられよう。セラドナイト-グロコナイトの熱水起源説は、最近出されてきた考えであるが、従来は、続成過程の還元環境下でFeが Fe^{2+} となり、これが粘土鉱物と反応をして出来たと考えている(Polgari, 1993)。

b) エプレニイ(Epleny)

エプレニイ鉱床は、パコニイ(Bakony)山地のベズプレルン(Veszpreln)の12km北にある。1928年に鉱床探査が始まり、1932年に採掘が始まり、1975年に閉山した。鉱床は三畳紀の岩石に取り囲まれたベイズンに位置している。8~10mの厚さを持った鉱体が下部-中部リアシク堆積岩中に胚胎している。

鉱床地域の北西部で初生酸化マンガン鉱がみられ、この下に粘土層がある。この上は、放散虫を含む粘土質のマールで、この中にマンガン炭酸塩のバンドとレンズがある。この上はチャート質の石灰岩である。

マンガン鉱体は、1.6~5.0mである。鉱床の上部では、ピソライト質のマンガン鉱が黄色い粘土に取り囲まれている。マンガン炭酸塩鉱物を含む粘土質マールは、ウルケートのものに似ている。主な鉱物は、菱マンガン鉱、グロコナイト、ゲータイト、方解石、黄鉄鉱、粘土鉱物である。鉱床の南東部には、再堆積したマンガン鉱がある。この品位は、17~31%である。

以上のジュラ紀のマンガン鉱床の特徴は、以下のようにまとめられるが、これらは、モランゴ(Molango)(メキシコ)(Okita, 1991; Okitaほか, 1988; Okita and Shanks, 1988)、モアンダ(Moanda)(ガボン)(Heinほか, 1989)の特徴と似ている。1)ほとんど菱マンガン鉱から成る、2)鉱床中に黄鉄鉱がない、3)鉱体中に化石が見つからない、4)マンガン含量と、 $\delta^{13}C$ 、TOCとの負の関係がある、5)テーチス海拡大時のリフトの浅海域にたまった炭酸塩の上部に存在する、6)時代的には、ジュラ紀はじめに生成をした。

D. 堆積性鉄鉱床

a) ピース-コムロ(Pees-Komlo)

この鉱床は、メチェク(Mecsek)山地の上部三畳紀砂岩とリアシク石灰層の基底部に胚胎されている層状鉱床である。片岩質粘土層と砂岩の間に、球状、レンズ状に産する。鉄含有量は20~25%である。厚さが2m以下の灰色-黒色のシャモサイト質の鉄鉱石がみられる。このほかに豆状-杏仁状のシドライト質砂岩も認められ、この鉄含有量は、28~40%である。主要鉱石鉱物と形態からミ

ネット型鉄鉱床と考えられる。

b) スゾコリヤ (Szokolya)

ノグラード (Nograd) とスゾコリヤの間のボルゾニー (Borzsony) 山地の南東部に位置する。レンズ状-層状の鉱体で、リモナイト、ゲータイト、赤鉄鉱より成る。鉱体は、0.25～3.00mの厚さを持つ。鉄含有量は28～58%である。SiO₂含有量が高い。

E. ウラン鉱床

コバゴスゾロス (Kovagoszollos) 近くのメチュク (Mecsek) 山地で、1950年代に後期二疊紀の砂岩型ウラン鉱床が発見された。1955年以来稼行され、残りの埋蔵量は7.7Mトン (0.12%, U₃O₈) (1993年時点) である。鉱体は小さく、形態が不規則で、鉱石の品位は、0.07～0.08%と低い (Mining Journal Research Services, 1993)。

F. ボーキサイト鉱床

主要なボーキサイト鉱床は、トランスダヌビアン (Transdanubian) 中央山地にある。1936年以来稼業されているボーキサイト鉱床は、早期アルプス中央山脈地向斜ジュラ紀-白亜紀の軸の両側に分布する。炭酸塩岩が熱帯・亜熱帯気候下で風化して出来たという考えもあるが、塩基性火山岩が風化して出来、これが運搬され、ドロマイトのカルストに集積したという考えもあり、成因ははっきりしていない。鉱床は主にアルビアン (Albian) の時期に出来たが、一部セノニアン (Senonian) の鉱床もあり、始新世の堆積物に覆われたボーキサイトも多い。

ガント (Gant)

ベルテス (Vertes) 山地の南西部に位置する。上部三疊紀ドロマイトに囲まれた下部-中部始新世の堆積物中にある。厚さは、20～25mである。主にゲータイト、赤鉄鉱、カオリナイト、黄鉄鉱、アルミナイトを含むペーサイト質の鉱石である。

イスツカサセントギロルギイ (Iszkaszentgyorgy)

バコニ (Bakony) とベルテス山地を分けるモル (Mor) グラーベン中にある。三疊紀ドロマイトの上部に始新世のボーキサイトがある。これは水平な層状鉱体であるが、断層によって4つの鉱体に分断されている。採掘は1941年に始まった。その数年後

にキンチェス (Kincses) とヨズセフ (Jozsef) のボーキサイトが開発された。1960年代にはラキギ (Rakhegy) 鉱床が開発された。ラキギ鉱床、ビト (Bito) 鉱床は、3～3.5kmの長さ、0.5～0.7kmの幅を持つ。厚さは平均6～7mである。

下盤ドロマイトの上の鉱体の基底部の粘土質ボーキサイトは、Al₂O₃含有量が40～52%で、SiO₂含有量は10～20%である。鉱床の上部は灰色の黄鉄鉱を含む珪質ボーキサイト、紫色、紫-赤色、黄色の珪質ボーキサイトである。ピソリティックで1～3mの厚さがある。

鉱体の上盤は、前期始新世の淡成炭質、黄鉄鉱粘土質である。鉱石鉱物はギブサイトとペーサイトである。鉱石中で、鉄は赤鉄鉱、ゲータイトとして存在する。SiO₂含有量はカオリナイト量に比例する。

ハリムバ (Halimba)

トランスダヌビアン中央山地南東、バコニ山地南部に存在する。

下盤は、上部三疊紀ドロマイトと石灰岩である。鉱床は層状である。鉱床は広がり方が1～7km²で、上盤は、上部白亜紀の礫岩、粘土、石灰岩である。鉱床は50～400mの厚さである。鉱床下部は、赤色粘土、アルミナ質粘土 (30～35% Al₂O₃, 25～35% SiO₂, 4～15% Fe₂O₃, 0～1.5% TiO₂) で、この上に茶色の鉱石 (50～60% Al₂O₃, 0.5～8.0% SiO₂, 20～30% Fe₂O₃, 2.0～3.0% TiO₂) がある。鉱石の平均品位は、50.5% Al₂O₃, 8.7% SiO₂ である。品質の良い鉱石は、56.1% Al₂O₃, 2.7% SiO₂, 24.3% Fe₂O₃, 2.7% TiO₂ である。リン、バナジウム、ジルコニウム、ホウ素、ニオブ、ガリウム含有量が多い。鉱床の生成は、上部三疊紀-上部白亜紀であろう。1920年に鉱床が発見され、1943年以降探査が行われた。

ニアラド (Nyirad)

トランスダヌビアン中央山地南西部バコニ山地南部中に位置する。地質学的にはトランスダヌビア (Transdanubia) のジュラ紀-白亜紀堆積バイズンに存在している。

下盤にはドロマイトがある。鉱床中のココリス (浮遊性石灰岩) より、初期-中期白亜紀に鉱床が生成したと考えられている。上盤は始新世堆積物

である。ポーキサイトは、粘土、マール、石灰岩から成る。中新世、更新世の堆積物が覆うこともある。

鉱体は、不規則なレンズ状を呈する。厚さは、1～30mと変化に富む。

下盤は、赤色-黄色のポーキサイト質粘土に覆われ、この上に品質の良いポーキサイトがある。この上は、ポーキサイト質粘土である。鉱石の平均組成は、51.2% Al_2O_3 、6.0% SiO_2 である。鉱石鉱物はペーサイトとギブサイトである。鉄分は主に赤鉄鉱の量による。少量、ゲータイト、磁鉄鉱、チタン鉄鉱がある。雲母、ガーネット、電気石、エピドート、ゾイサイト、ルチルもあるが、0.1%以下であると考えられている。この鉱床は、ハンガリーのポーキサイト鉱床の中で最も高品質の鉱石を産する。1927年に探査が始まり、1938年に採業が始まった。

3. まとめ

ハンガリーのメタロジェニーと鉱床の特徴を以下のようにまとめることができる。

1. ハンガリーの主な金属鉱物資源は、ポーキサイト、ウラン、マンガン、鉄、鉛-亜鉛、金-銀鉱石である。この中でも、ポーキサイトの生産量は大きい。
2. 鉱床区を以下の3つに分けることができる。

(1) 始生代大陸地殻のフラグメントに関連した鉱床区

(2) テーチス海の生成に関連した鉱床区

(3) 新しい大陸地殻の生成、テーチス海の縮小、消失、プレートの沈み込みに関連した鉱床区

(1) には、鉄-チタン-クロム鉱床、鉄-マンガン鉱床、堆積性銅鉱床、ウラン鉱床、鉛-亜鉛-銅層状鉱床、Kupferschiefer銅鉱床、銅・多金属鉱脈鉱床がある。

(2) には、堆積性マンガン鉱床、堆積性鉄鉱床、チタン-鉄鉱床、クロム鉱床、鉛-亜鉛-銅-(ウラン) 鉱脈鉱床、磁鉄鉱鉱床がある。

(3) として、ポーキサイト鉱床、スカレン鉱床、銅-鉛-亜鉛-鉄脈鉱床、鉱染状銅-砒素、アンチモン、鉛、亜鉛鉱床、銅-鉄-砒素-アンチモン-金-銀塊状硫化物鉱床、マンガン鉱床、多金属(鉛、亜鉛、銅、ビスマス、砒素、銀、金) 鉱脈鉱床、金-銀-黄鉄鉱脈鉱床があげられる。

3. この様に、多くの鉱床がみられるが、その中でもポーフィリー-銅-鉄鉱床、貴金属を伴う石英-多金属脈(エピサーマル) 鉱床、堆積性マンガン鉱床、堆積性鉄鉱床、ウラン鉱床、ポーキサイト鉱床は資源的に重要なので、これらの鉱床の特徴をまとめた。

参考文献

- Baksa, C. (1986): Genetic aspects of the Recsk mineralized complex, Hungary. In: *Geology and Metallogeny of Copper Deposits* (eds. Friedrich, G.H. et al.), 280-290, Springer-Verlag.
- Bardossy, G. (1993): Mineral Resources and Exploration. In: *Mineral exploration and investment possibilities in Hungary*, 19-46. Eastern Resources Analysis and the Mining Journal Limited 1993.
- Cannon, W.F. and Force, E.R. (1983): Potential for high-grade shallow-marine manganese deposits in North America. In: *Shanks, W.C. (ed.), Unconventional mineral deposits*. New York, Am. Inst. Mining Metall. Petroleum Engineers, 175-190.
- 地質調査所鉱床部鉱物資源課 (1981): ハンガリーの斑岩銅鉱床。地質ニュース, no.322, 32-33
- Cseh-Nemeth, J., Grasselly, Gy., Konda, J. and Szabo, Z. (1980): Sedimentary manganese deposits of Hungary. In: *Varentsou, I.M. and Grasselly, Gy. (ed.); Geology and Geochemistry of Manganese 2*, Akademia Kiado, 199-221.
- Cze-Nemeth, J. and Grasselly, Gy. (1966): Data on the geology and mineralogy of the manganese ore deposit of Urkut II. *Acta Miner., Petr. Univ. Szegedensis*, 17, 2, 89-114.
- Dank, V. et al. (1967): Geological map of the Paleozoic and Mesozoic formations of Hungary with the post-Mesozoic peded off (Budapest: MAFI) (Hungarian text).
- De Jong, K.A. (1973): 地中海とその周辺の山脈, 「世界の変動帯」, 上田誠也・杉村新編, 岩波書店.
- Eastern Resources Analysts (1993): *Mineral Exploration and Investment Possibilities in Hungary*, by Foldessy, J. (ed.), The Mining Journal Ltd.
- Grasselly, Gy. (1968): On the phosphorus-bearing mineral of the manganese oxide deposits of Epleny and Urkut *Acta Miner. Petr. Szeged.*, XVIII, 2, 73-83.
- Grasselly, Gy. and Cseh-Neeneth, J. (1961): Data on the geology and mineralogy of the manganese ore deposit of Urkut, 1. *Acta Miner. Petr.*, 14, 3-25.
- Grasselly, Gy., Szabo, Z. and Cseh Nemeth, J. (1981): Some conceptual questions regarding the origin of manganese in the Urkut deposit, Hungary. *Chem. Geol.*, 34, 19-29.
- Grasselly, Gy. and Panto, G. (1988): Rare earth elements in the manganese deposit of Urkut (Bakung Mountains, Hungary), *Ore Geology Review*, 4, 115-124.
- Hein, J.R., Bolton, B.R., Nziengui, R., McKirdy, D. and Frakes, L. (1989): Chemical isotopic and lithologic associations within the Moanda Manganese Deposit, Gabon. Abstracts 28th International Geological Congress, Washington, D.C. 2-47.
- 市川浩一郎 (1979): 第1章ヨーロッパ, 岩波講座地球科学16, 世界の地質, 都城秋徳編, 岩波書店.

- Jankovic, S. (1977) : The copper deposits and geotectonic setting of the Thethyan Eurasian Metallogenic belt. *Miner. Deposita*, 12, 37-47.
- Jenkyns, H.C. (1985) : The early Toarcian and Cenomanian-Turonian anoxic events in Europe : comparisons and contrasts. *Geol. Rundschau*, 74, 3, 505-518.
- Jenkyns, H.C. (1988) : The Early Toarcian (Jurassic) Anoxic Event Stratigraphic, Sedimentary, and Geochemical Evidence. *Am. J. Sci.*, 288, 101-151.
- 金原啓司 (1991) : 東ヨーロッパ諸国の地熱資源. *地熱* Vol.28, No.4, (ser, No.119).
- 国際鉱物資源開発協力協会 (1996) : 平成6年度資源開発協力基礎調査プロジェクト選定調査報告書. ハンガリー. 62p.
- Molnar, F. (1994) : Some Characteristics of Tertiary Ore Deposits of Hungary. 第44回年会学術講演要旨, *資源地質* 44 (4), No.246.
- Morvai, G. (1982) : Hungary, In: Dunning, F.W., Mykura, W. and Slater, D. (eds.), *Mineral Deposits of Europe, Volume 2, Southeast Europe*. The Mineralogical Society, The Institution of Mining and Metallurgy, 13-53.
- Nagy, B. (1983a) : Metallogenic mineralogical and geochemical results on ore mineralization in the Borzsony Mountains, North Hungary. *Acta Geol. Hung.*, 26, 149-165.
- Nagy, B. (1983b) : Contribution to the genesis of the Rozsabanya ore mineralization in Nagyborzsony (In Hungarian with English abstract) -Annual report of Hung. Geol. Inst. of 1981, 129-154.
- Okita, P.M. (1987) : Geochemistry and Mineralogy of the Molange Manganese Ore Body, Hidalgo State Mexico. *Doktori ertezes*, 285.
- Okita, P.M., Maynard, J.B., Spiker, E.C. and Force, E.R. (1988) : Isotopic evidence for organic matter oxidation by manganese carbonate ore. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, 2679-2685.
- Okita, P.M. and Shanks, W.C. III. (1988) : $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{34}\text{S}$ trends in sedimentary manganese deposits. Molange (Mexico) and Taojiang (China) : evidence for mineralization in a closed system : Abstracts, International Association of Sedimentologists Symposium on Sedimentology Related to Mineral Deposits, July 30 - August 4, 1988, Beijing, China, 188-189.
- Okita, P.M. (1992) : Manganese - Carbonate mineralization in the Molango District, Mexico : Diagenetic Carbonation of Mn-oxide deposited on a Jurassic stratified basin margin. *Econ. Geol.*, 87, 1345-1366.
- Panto, G. and Panto, Gy. (1972) : Electron-probe check of Fe-distribution in sphalerite grains of the Nagyborzsony hydrothermal ore deposits, Hungary. *Mineral. Deposita*, 7, 126-140.
- Polgari, M. (1993) : Manganese geochemistry-reflected by black shale formation and diagenetic processes. *Interbridge Foundation and Karpat : Publish House*. 211p.
- Polgari, M., Lkita, P.M. and Hein, J.R. (1991) : Stable isotope evidence for the origin of the Urkut manganese ore deposit, Hungary. *Jour. Sed. Petrology*, 61, 3, 384-393.
- Raincsak, G.Y. (1988) : Geotectonic interpretation of the metallogenic units of Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, 31/1-2, 65-80.
- Szabone, Z. and Drubina, M. (1959) : Mn deposits of Hungary. *Econ. Geol.*, 54, 1078-1093.
- Szabone, Z. and Grasselly, Gy. (1980) : Genesis of manganese oxide ores in the Urkut basin, Hungary. In: Varentsov, I.M. and Grasselly, Gy. (ed.), *Geology and Geochemistry of Manganese*, 2, Akademia Kiado, 223-236.
- Varentsov, I.M., Grasselly, G.Y. and Szabo, Z. (1988) : Ore-formation in the early Jurassic basin of central Europe : Aspects of mineralogy, geochemistry, and genesis of the Urkut manganese deposit, Hungary. *Chem. Erde*, 48, 257-304.

SHIKAZONO Naotatsu (1998) : Metallogeny and mineral resources of Hungary.

< 受付 : 1998年9月11日 >