

テネシー州のミシシッピバレー型鉛床

石原 舜三 (鉛床部)
Shunso ISHIHARA

1. まえがき

ミシシッピバレー型鉛亜鉛鉛床は日本にはまだ発見されていず 我々にはなじみが少ない型の鉛床の一つである。しかし 近年 たとえば典型的なスカルン型鉛亜鉛鉛床とされていた日本最大の鉛亜鉛鉛床である神岡鉛床が 本来は (ミシシッピバレー型の様な) 炭酸塩岩ホストの鉛床であり それが後年の褶曲変成作用や火成活動による修正を受けた可能性が指摘される (秋山 1981) におよんで にわかに関心が高まって来た。また中嶋・陶 (1985) は中華人民共和国との共同研究において 南京に近い栖霞山鉛床のミシシッピバレー型鉛床としての可能性を詳細に検討している。

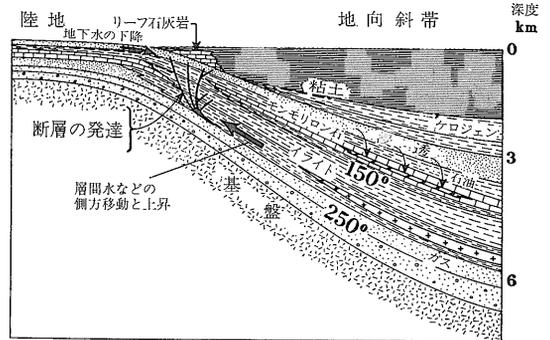
筆者は約2年前になるが アトランタの AIME-SEG 合同年會に招待された際に 用意された巡検にも参加し テネシー州のミシシッピバレー型鉛床を訪ねることができた。またその研究の中心の一つであるバージニア工科大学の地球科学教室にも数日滞在したことがある。ここでは小雪降る早春3月のアパラチア山地で見聞したものを中心に ミシシッピバレー型鉛床の紹介をしたい。

2. ミシシッピバレー型鉛床とは

この鉛床はアメリカのミシシッピバレーを中心に分布する一群の鉛亜鉛鉛床に対して名付けられたもので 中央ヨーロッパを中心に分布する類似鉛床はアルパイン型鉛床と呼ばれている。いずれも石炭岩やドロマイトを母岩としているため Carbonate-hosted Pb-Zn 鉛床と総称されることもある (SANGSTER, 1976)。

ミシシッピバレー型鉛床は下記の特徴を有する。

- (1) 古生代の一部砂岩頁岩を含む炭酸塩岩中に基本的には層準規制をうけて胚胎するが、個々の鉛床の場合は溶解角礫 古カルスト リーフ 断層 節理などの規制をうける。
- (2) 鉛石鉛物は主に閃亜鉛鉱と方鉛鉱 銅鉛物は少ない。重晶石 螢石 黄鉄鉱 白鉄鉱などを伴う。
- (3) 母岩の変質はドロマイト化が顕著である。
- (4) 閃亜鉛鉱は淡色で高塩濃度包流体包有物を含み、そ



第1図 ミシシッピバレー型鉛床の概念的生成環境。BARNESら (1981) 原図。

の充填温度は250°C以下 一般には160-70°Cである。

(5) S同位体は一般に重く Pb同位体比は異常で 一般には母岩より若いか時には古い年代を示す。

鉛床は一般に厚い堆積盆の周辺に分布している。その中にはしばしば石油や蒸発岩が含まれることから 鉛床の成因は次の様に考えられる。

蒸発により濃縮をうけた海水が層間水として碎屑岩にトラップされる。圧密の過程で層間水は盆地周辺に移動し、また堆積盆地下部の温度上昇により碎屑岩の脱水反応が生じ、頁岩類からは Zn カリ長石を含む砂岩からは Pb が溶出する。これらも盆地周辺に移動する。また碎屑岩に含まれる炭化水素も移動する (第1図)。周辺部の石灰岩では初期地下水移動により 断層 節理 不整合面などに規制された溶解角礫や陥没角礫が存在していた。側方移動した古層間水はこれら空隙部分に流入し、その場の地下水と混合し、冷却 希釈化、さらにはその場に存在した H₂S のため還元され、重金属の溶解度が低下して鉛床が形成されたものと思われる。

ミシシッピバレー型鉛床は資源大国アメリカの鉛のほとんどを供給するほか Zn Cd Ga In Ba Fなどの主要な供給源である。その発見量は20億トン以上にも達し (第1表) 今回見学したテネシー州の鉛床で代表されるように、近年でも次々に新鉛床が発見されており、前途有望な鉛床のタイプである。硫化鉛石 (方鉛鉱と閃亜鉛鉱) と脈石 (方解石とドロマイト) の鉱物組合せが単純で、かつ物性が明らかに異なるため選鉱が容易であ

表1 アメリカの主要なミシシッピバレー型鉛床の規模と品位

地 域	規 模	生産量+残存 鉛 量	平均品位 (%)	
			Pb	Zn
オースチンビル, Va	延長 10km	2,500万トン	0.7	3.7
テネシー東部	延長 25km	5,000万トン	少量	4.0
イリノイ-ウイコンシン ミズーリ南東部	10,000km ²	1億トン	0.5	5.0
A. Old Lead Belt	400km ² ±	3.4億トン	3.0	少量
B. Virburnum Trend	72×5km	4億トン±	6.0	1.0
3州地域 (Tri-State)	5,000km ²	5億トン	0.6	2.3

BARNES ら (1981) による

り低品位で稼げられる利点がある。また硫化物組合せが単調なため微量成分 とくにハイツク関係で注目を集めている Cd Ga In などの回収が容易である。

アメリカには主要な鉛床地域として 最も著名なミズーリ-カンサス-オクラホマ3州地域のほか 第1表の5地域がある。テネシー州の鉛床は巨大ではないが近年の成因論の進歩から 石油あるいは鉛脈鉛床との関連性に基づき処女地に発見されたエルムウッド地区の鉛床があり大変興味深い。

3. テネシー州の鉛垂鉛鉛床

テネシー州は古生代早期のアパラチア-カレドニア褶曲帯を横切って東西に位置しており この州ではこの褶曲帯の西側断面が見事に観察できる。地形的には東側が山地 西方へ Valley & Ridge プラトー 盆地などがあって ミシシッピ河主流部の平原に移る(第2図)。地質的には東側に古い岩石 先カンブリア時代の変成岩類が分布し 西方へ古生代以降の堆積岩類が分布し 平

原部ではメキシコ湾に続く中生代-新生代の若い堆積岩類が露出している(第2図)。

アパラチア褶曲帯には3種類の層状硫化物鉛床がありそれぞれ特徴的な地質帯に産出する。少量の銅・鉛・亜鉛を伴う塊状磁硫鉄鉛床は褶曲帯中軸部の先カンブリア時代の変成堆積岩類中に含まれ 別子型と類似の塊状-鉛染銅鉛亜鉛-黄鉄鉛床は山地西麓の古生代初期の変成火成岩や堆積岩類中に分布している。ミシシッピバレー型もほぼ同じゾーンのカンブローールドビス 紀炭酸塩岩に胚胎している。

ミシシッピバレー型鉛床は2群に分けられ イーストテネシー鉛床群は筆者が見学したヤング鉛床が含まれるマスコット-ジェファーソンシティ カッパーリッジ スウィートウータ地区からなり 衝上断層が著しく発達する Valley & Ridge の特定層準に分布する。セントラルテネシー鉛床群は中央盆地に潜在するゆるい背斜構造 シンシナティアークの軸部に沿って胚胎する(第2図)。ここではエルムウッド鉛床を見学した。



写真1 アパラチア山地炭酸塩岩地域の弱いドリネ地形 (ブラックスバーク)。

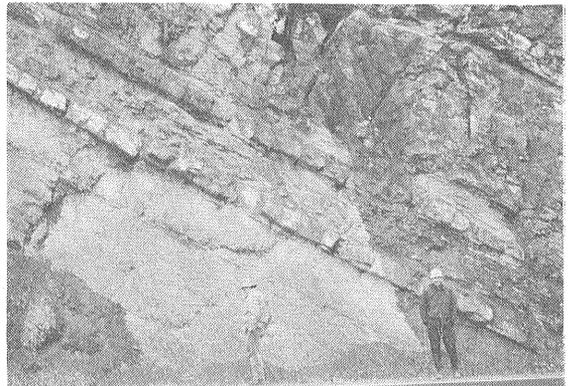
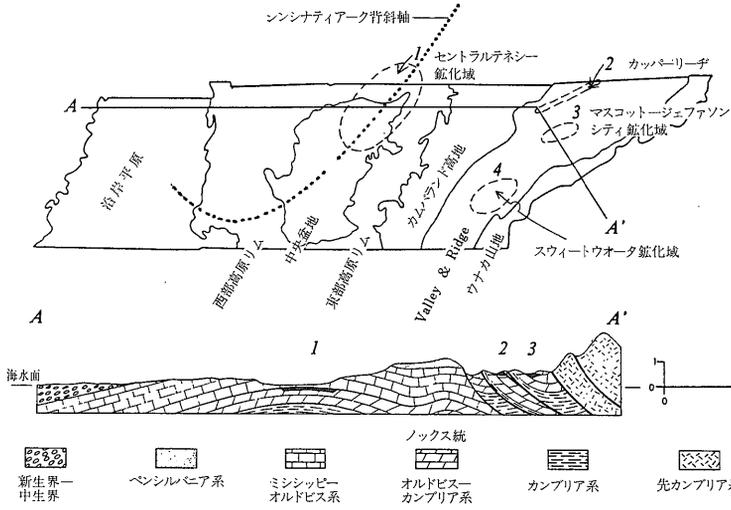
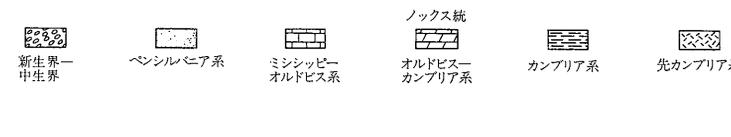


写真2 東方へ単調に傾斜する炭酸塩岩。 Valley and Ridge 地域。



第2図
テネシー州の地形 構造と鉱床の分布。
KYLE (1976) 原図



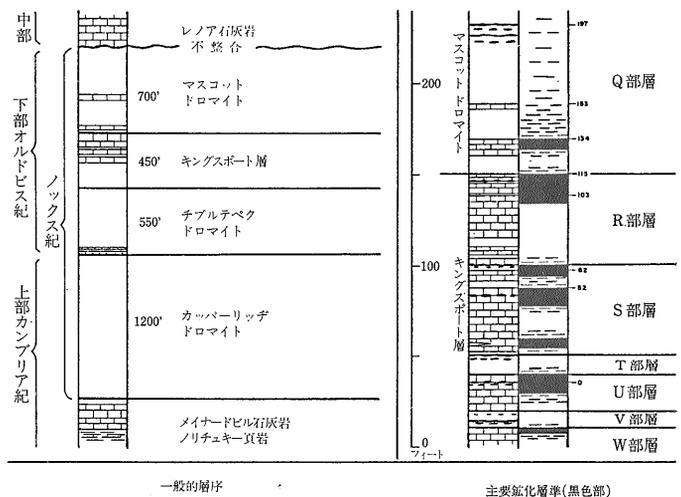
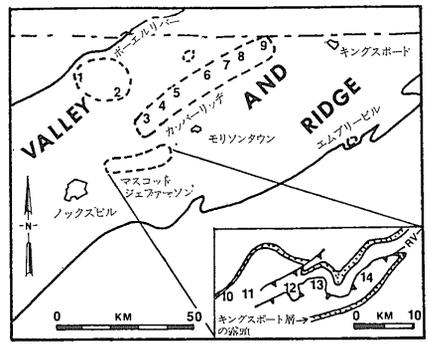
第3図
イーストテネシー-鉱床群の分布図。
代表的鉱山名: マスコット (10)
ヤング (12) ジェファーソンシティ (14)。
MISRA (1983) 原図

4. イーストテネシー地域

イーストテネシー-鉱床群の探掘は1854年の Jefferson City における亜鉛鉱石の露天掘りに始まる。その後多数の鉱床が発見されて 現在では第3図に示すように14 鉱床群のほか 多数の重要な徴候地がある。ヤング鉱床は ASARCO に属し 1955年に生産を開始した。現在では4,500トン/日の粗鉱を坑内掘りで採掘している。

この地区の鉱床は カンブロー-オールドビス紀のノックス統 (Knox Group) に属する 下部オールドビス紀の中-上部層であるキングスポート層とマスコットドロマイト層中に主要な7層としてみられる (第4図)。 鉱床胚胎層はいずれも整合的に重なるW~Q部層に分けられ下位から上位へ下記の特徴を持つ。

- W部層: 褐色石灰岩に細-中粒結晶質ドロマイトが夾在。縞状チャートやチャートノジュールが多い。
- V部層: 暗灰色細粒 結晶質ドロマイトにチャートノジュールが散在。
- U部層 (厚さ約8m): 褐色石灰岩。
- S部層 (厚さ21m): 褐色石灰岩を主体に 上部では灰色細-中粒結晶質ドロマイトが夾在。
- R部層 (厚さ20m): 暗灰色 細-中粒結晶質ドロマイトに褐色石灰岩が夾在。ドロマイトはノジュール状チャートの縞を含む。
- Q部層 (厚さ28m): 灰色 細粒結晶質ドロマイト 全体にノジュール状チャート砂岩 頁岩の薄層が散在。



第4図 マスコット-ジェファーソンシティ地区の層序と鉱化層準 (黒色部)。
CROWFORD ら (1969) 原図。

鉱体は角礫化部分に著しく規制されると共に 上記の層準規制をうける (第5図)。前者はブレイクスルー型鉱体 後者は層状鉱床と呼ばれる。

ブレイクスルー型鉱床は次の2種類の角礫のマトリックスを閃亜鉛鉱と方鉛鉱がみたまものである。

Crackle breccia: 角礫の母岩からの分離や回転が少し

Rubble breccia: 角礫が母岩から離れ 回転し 移動したもの。

ラブル角礫はさらに次の4つに分けられる。

ドロマイト-マトリックス角礫: 変質鉱物としてのドロマイトが角礫間を埋めるもの。

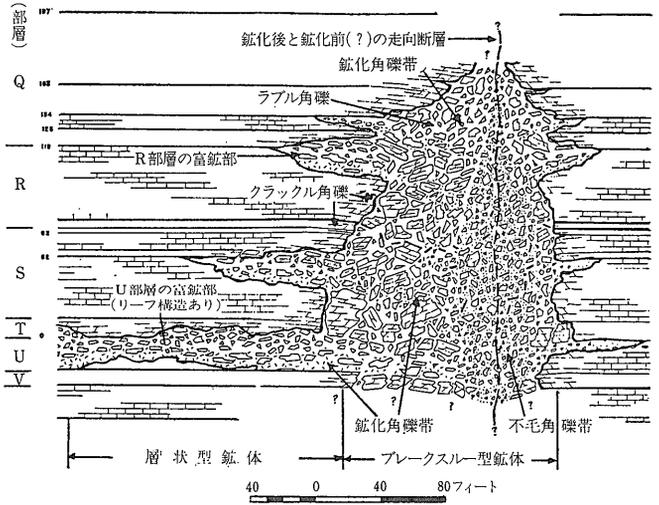
鉱石マトリックス角礫: 硫化物がマトリックスを埋めるもの。

細粒岩石-マトリックス角礫: 細粒岩片がマトリックスを埋めるもの。

粗粒岩石-マトリックス角礫: 粗粒岩片がマトリックスを埋めるもの。

ブレイクスルー型鉱体は方向性を持って分布し その幅は10~150mと狭いが 走向方向には1km以上に達する。 垂直方向には1~70mであるにすぎない。 角礫化は鉱化前断層や節理に沿って発達したものであるが 鉱化作用と鉱化後の断層運動によって初生の状態は不明確となっている。 他に炭酸塩岩の溶解によるもの 空洞が押潰されて生じた角礫も考えられる。

角礫鉱体内部の構造は非常に複雑で 時代が異なる数部層のラブル角礫が混在していることが多い。 一方クラックル角礫は大きな角礫鉱床の頂部や側面に限られて分布するにすぎないが マスコット鉱床では主要な鉱



第5図 ジェファーソンシティ鉱床の模式的断層図。CROWFORD ら (1969) 原図。

化部分である。

経済的により重要な鉱体は小規模 ラブル角礫鉱体を含み層状に広がるものである。これは一般には 石灰岩中に手の指のようにドロマイト化 角礫化 鉱化がみられ ブレイクスルー型の角礫鉱体で切られるものである (第5図)。層準的には U S R部層の最上部で最も発達する。これらの富鉱部は平面的には実に複雑な形を示す (第6図)。その他の層状鉱体としては リーフ様構造チャンネル構造および密な褶曲構造に規制されたもの等がある。

鉱化作用は一般的に閃亜鉛鉱が角礫間の間隙をみたした形でみられる。閃亜鉛鉱は同じく間隙をみたす多時期のドロマイトと共に産出する。このドロマイトは粗粒白色で“Sparry”ドロマイドと呼ばれ 母岩の細粒ド



写真3 ヤング鉱山の堅坑。

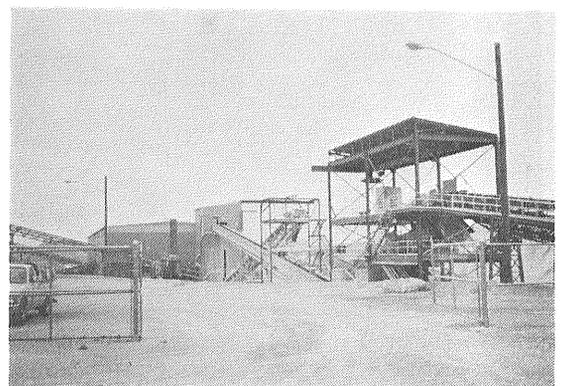


写真4 ヤング鉱山のざり処理。ざりはガラスとして販売される。



写真5 ブレックスルー鉱体周辺部の鉱化。矢印しの上層薄い層が緻密質初生ドロマイイト層。その上位と下位の石灰岩が角礫化をうけマトリックスを閃亜鉛鉱が埋める。上位のドロマイイト層の左半分は角礫化で消滅している(ヤング 420/L)。



写真6 上記鉱体を側方にはなれた鉱床。葉理石灰岩(中央)が原形を保ちその上位の炭酸塩岩に割目の発達があり若干の鉱化(脈状白色部)をうける。角礫化も鉱化も弱く鉱化は層状にみられる(ヤング 420/L)。



写真7 凹部の富鉱部。層状鉱床でも地下水の通路で溶脱が激しくそのため落ち込んだ部分では鉱化が著しい。上部黒色部が緻密質ドロマイイト(23-24層)(ヤング 420/L)。



写真8 代表的なラブル角礫(ヤング 420/L)。

ロマイト（マスコット層）や中-粗粒ドロマイト（キングストーン層）とは明らかに異った外観を示す。閃亜鉛鉱の分布は不均一で典型的にはブレイクスルー鉱体の中心では細粒のドロストーン角礫が細粒ドロマイト中にセットされ（細粒岩石-マトリックス角礫）ほとんど閃亜鉛鉱を伴わず 外側ではドロマイト化石灰岩のブロックが粗粒ドロマイトマトリックスにうめられ（粗粒岩石-マトリックス角礫）この部分に閃亜鉛鉱と白色ドロマイトが角礫間隙をみたくす“鉛石-マトリックス角礫”すなわち鉛石が産出する。

イーストテネシー地域の亜鉛鉛床は この様につねに角礫化とドロマイト化に伴われるものの この逆は成立しない。すなわち鉛床と類似層準における角礫化やドロマイト化は非常に多くの箇所で知られている。鉛化作用の広域的規制要因を探る努力はなされており 試錐孔を用いた母岩の厚さ変化からは石灰層岩が薄化した所（多分鉛液の流動による溶脱のため）の上位の角礫岩に鉛床が分布するなどの提案もあるが まだ全体的な鉛化規制要因とは認められていない。また岩石学的性質や微量元素の分布にも規則性がなく カゾードルミネッセンスによる変質ドロマイトの性質にも統一の見解は得られていない。

鉛石鉛物は非常に単純で ほとんど閃亜鉛鉱のみからなる。方鉛鉱はわずかに数鉛山から報告されているにすぎない。黄鉄鉛や白鉄鉛は母岩 鉛体の両岩に産出するがごく少量である。黄銅鉛もごく稀で 重晶石



写真9 ブレイクスルー鉛体の最頂部 崩落した様子が一目瞭然である。角礫の回転は少ない（ヤング 420°L）。

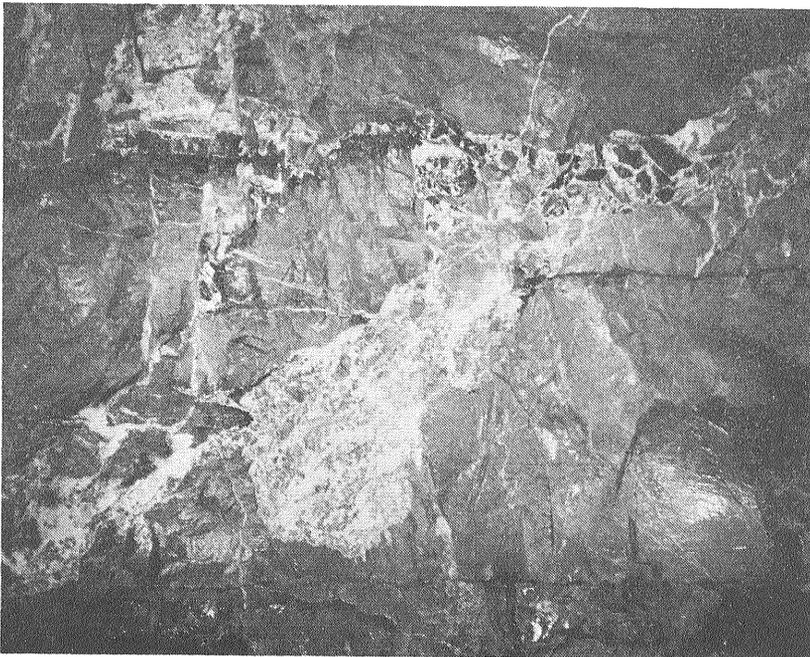
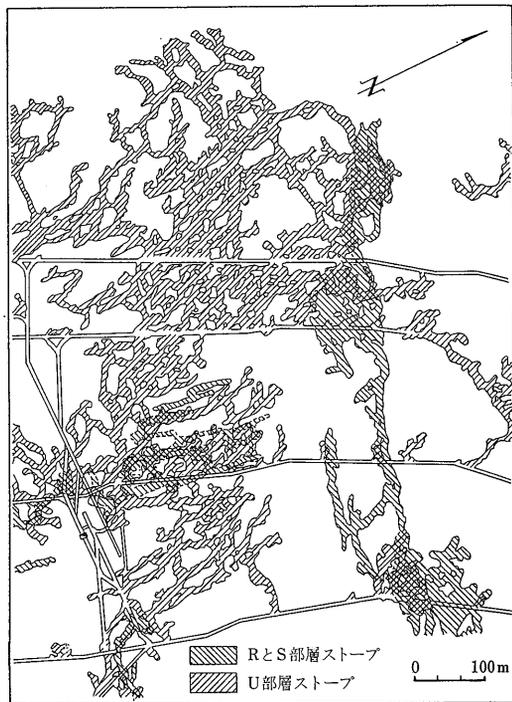


写真10 同周辺部。若干の割目が発達し 角礫化と鉛化をうける（ヤング 490°L, 420°Lより70フィート上位）。



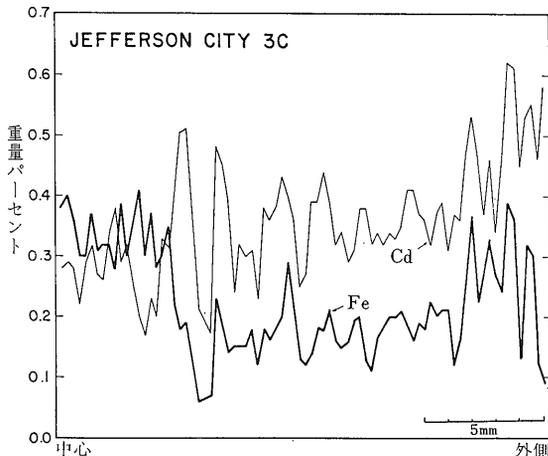
第6図 ジェファーソンシティ鉱床富鉱部の平面図。
CROWFORD and HOAGLAND (1968) 原図。

螢石はスイートウォーター地区にはやや多い。珪化はドロマイト化に次ぐ母岩の変質であるが 石英はスパリードロマイトにくらべるとごく少量しか産出ししない。

閃亜鉛鉱は著しく淡色で ミリ単位のやや暗色のカラーバンディングが認められる。鉄含有量は変化するが 一般には0.5%Fe 以下である。ジェファーソンシティの例を第7図に示す。Cdの含有量は高く 平均約0.15% 3%に達することがある。色変化と Fe 含有量との関係には否定的見解が多く むしろ Cd 含有量との関係や ZnS 理論値に対する硫黄の過不足 閃亜鉛鉱中の固相または流体包有物との関係などが 色変化を起しうる可能性として考察されている。

5. セントラルテネシー地域

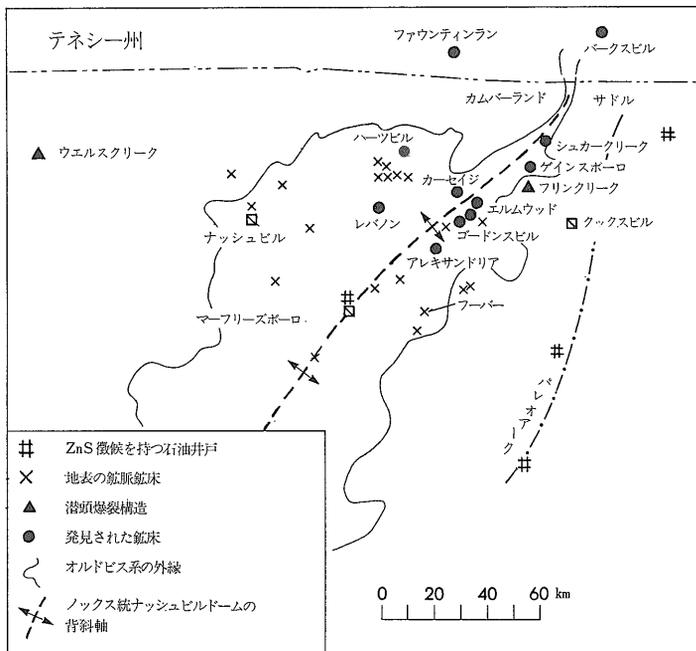
この地域の鉱床は テネシー州中央部のセントラルバズンに位置し (第2図) 既述の様に比較的新しく発見されたものであり 古生層が北東-南西方向に隆起



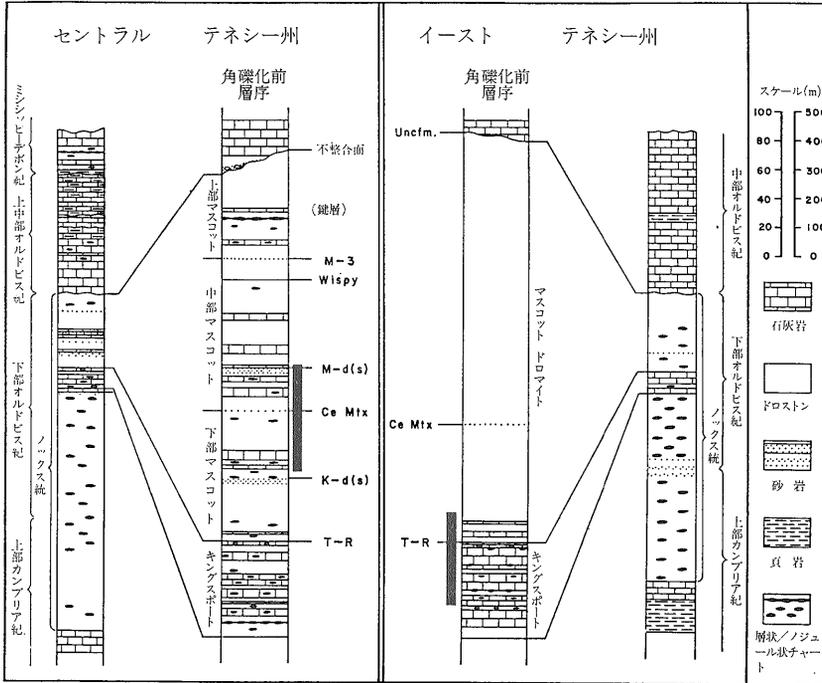
第7図 ジェファーソンシティ鉱床産閃亜鉛鉱の鉄とカドミウム含有量の変化。CRAIG (1893) 原図

によるドーム構造を示すシンシナティアークに沿って分布するものである。このドームの傾斜は数 m/km で非常にゆるい。中心部はナツシュビルドームと呼ばれる (第8図)。

この地域の鉱床の発見は ニュージャージー亜鉛社の地質家が1963年9月にこの地域を探索のターゲットとして選択したことに始まる。それは下記の理由によるも



第8図 セントラルテネシー鉱床群の位置。GAYLORD and BRISKEY (1983) 原図。



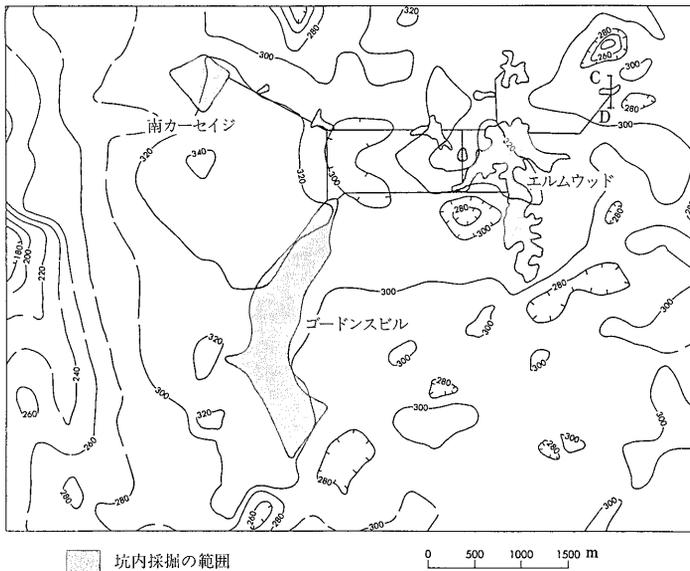
第9図 セントラルテネシーとイーストテネシー両地域の層序の比較。 KYLE (1976) 原図

のであった。

- (i) 石油探査井(4ヶ所第8図)で下部オールドビス紀炭酸塩岩に少量の閃亜鉛鉱を捕捉していた。
- (ii) この炭酸塩岩層は地表には露出していないが 厚

さ600m以下の表土下に 18,000km²の拡がりを持って存在することが予想されており 大きな探査ターゲットとなりうることを予測された。

- (iii) 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 重晶石 螢石の鉛脈が中部オールドビス紀の岩石中に露出していた (第8図)。



第10図 セントラルテネシー主要鉛床の分布と中部オールドビス紀前岩石の高まりとの関係。大きい数字(フィート)が高所を示す。 GAYLORD and BRISKEY (1983) 原図。

最初の試錐は1964年5月におろされ少量の閃亜鉛鉱を捕え 第2 3孔目で角礫岩と二次的ドロマイトを発見した。しかし 最初の稼行価値がある鉛石は第79孔で得られ 厚さ1.5m 16.5%Znの鉛石に深度421.8mで遭遇したのは1967年2月であった。この時点までの総探査費は約2.2億円であったといわれる。この試錐孔の近くの追加試錐によってエルムウッド鉛床が発見され その鉛量は1978年に4,500—7,000万トン(3.5—5.2%Zn)と発表された。この発見に刺激されて 金属鉛山および石油会社がこの地域の探査にさっとうし 現在10ヶ所以上で鉛床が発見されている (第8図)。

地質

シンシナティアークは広域的には3つの構造 北部のケンタッキー州のジャスミ

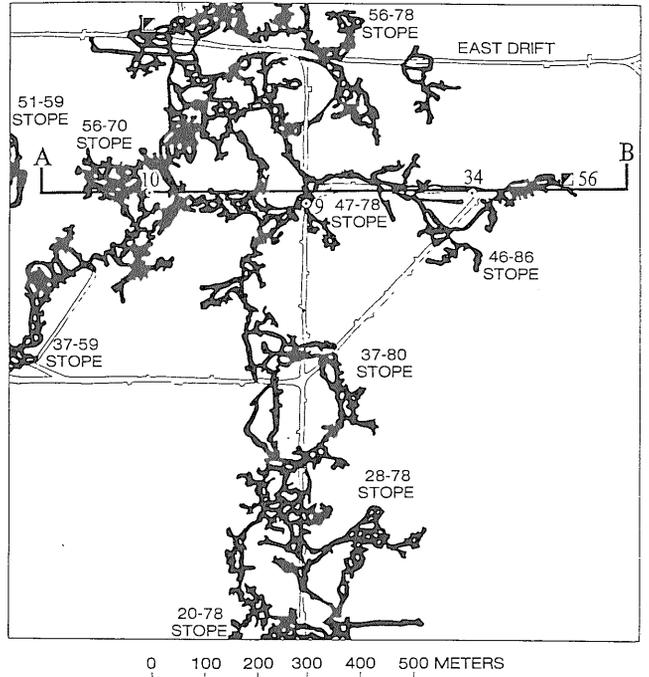
ンドーム 当地のナツシュビルドーム その中間のカムバーランドサドルを持つ (第8図).

堆積岩層序は基本的にはイーストテネシー地域と同じであり 鉱床胚胎層であるノックス統は地表から90m以深で得られる.

ノックス統は下位から銅リッチドロマイト チプルテペクドロマイト キングスポート層 マスコットドロマイトからなり 全体として層厚915mである. これらの地層は主にドロマイトからなり 少量の石灰岩 砂岩 チャートを伴う. この地域の鉱床は第9図に示す様に マスコット層に胚胎する.

マスコットドロマイトは褐色~灰色の微粒のドロストンが主体で 少量の石灰岩と粗粒の二次的ドロストンを夾む. 18の鍵層が発見されており 主要な6鍵層を第9図に示す. このドロマイトは上 中 下の3部層に分けられる. 上部層はノックス統最上部の不整合面からM-3鍵層まで その層厚は41~69mである. 中部層はM-3から Chert-Matrix (Ce-Mtx) 鍵層まで 角礫化の影響がない所では安定した層厚を持ち96mである. 下部層は Ce-Mtx 鍵層からキングスポート層の最上部を示す T-R 鍵層間の82mである. マスコット層に夾在する石灰岩は層厚 1-6 m M-ds K-ds 鍵層である 2枚の夾在する砂岩層は部分的には層厚6 mに達する.

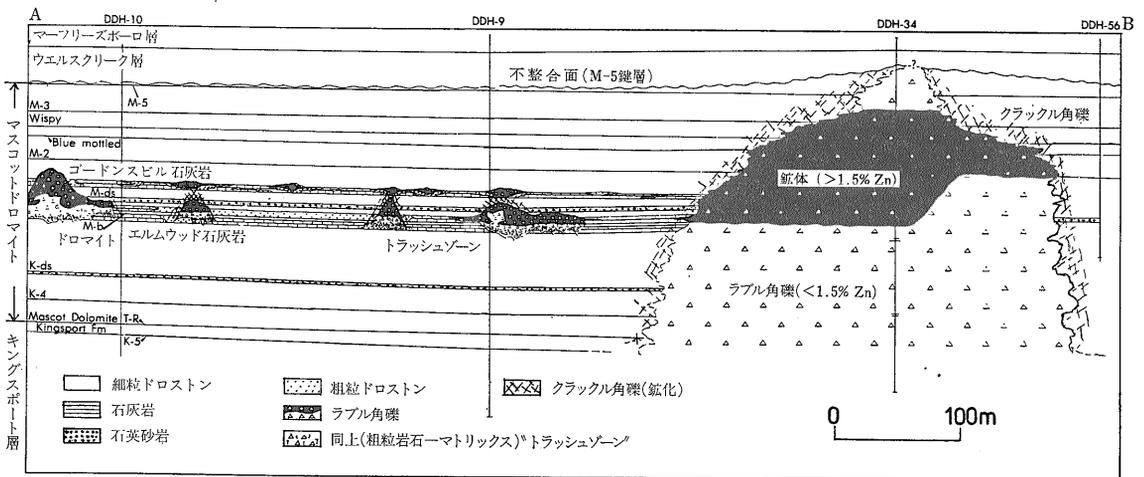
キングスポート層は主に厚い石灰岩からなり ドロマイト化石灰岩 細粒ドロストンを夾在するが 鉱化がマスコット層に限られるためにキングスポート層を貫通した試錐は少なく 詳細は不明な部分がある.



第11図 エルムウッド鉱床中心部の稼行鉱体の平面図. A—Bは第12図の断面線. GAYLORD and BRISKEY (1983) 原図.

鉱床一角礫岩

鉱床の分布はノックス統にみられる中部オールドビス紀以前の構造に規制されており 主要鉱体はゆるいドーム状の隆起部の頂部が側面に位置している (第10図). 富鉱部は角礫岩と層準に規制され 平面的には長方形あるいは不規則脈状に合体した形を示す (第11図). 富鉱部はもともと断層 節理 層理面などに規制されたもので



第12図 エルムウッド鉱床中心部の断面図. GAYLORD and BRISKEY (1983) 原図.



写真11 テネシー中央盆地付近の平坦な地形。

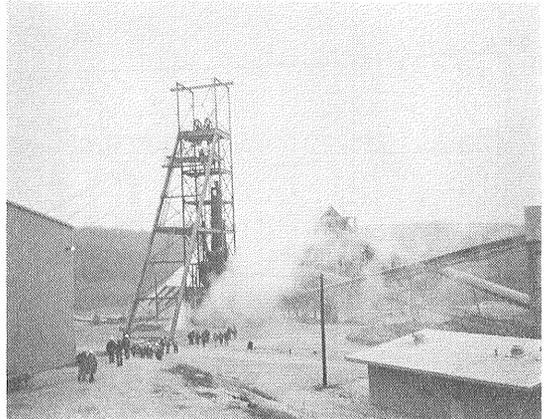


写真12 エルムウッド鉛山堅坑。

あろう。

エルムウッド鉛床ではマスコットドロマイト中のエルムウッド石灰岩とゴードンスビル石灰岩との間で Mds 鍵層(砂岩)を中心として角礫岩に伴われて鉛床が胚胎する。鉛床東部に存在する巨大なブレイクスルー角礫岩はマスコット層の全層準のみならず 下位のキングスポート層にも達する巨大なものである(第12図)。

角礫岩は一般に最下位に粗粒岩石マトリックス角礫に難溶物が伴われる“Trash zone” その上位に主として粗粒岩石マトリックス角礫 その上部が 1.5% Zn 以上の鉛石マトリックス角礫 すなわち稼行鉛体である。ラブル角礫の周辺は一般にクラックル角礫に包まれる。

角礫岩はマスコットドロマイトの堆積以後 ウェルスクリーク層堆積以前の浸食時に発達したカルストに伴う地下水の移動により母岩が弱線沿いに溶解し 空洞の崩落によって生じたものと思われ その生成時期は大きく

2 時期に分類される。

早期角礫 (Early breccias) は角礫岩の最下位にあられ 角礫は細粒および粗粒の結晶質ドロストンである。マトリックスは粗粒ドロストン チャート 少量の石英砂粒と粘土鉛物からなり(粗粒岩石マトリックス ラブル角礫) 母岩の石灰岩から CaCO_3 が溶出した際の残渣が多く含まれるために“Trash zone”とみなされている。この早期角礫は量的には多くはない。また より後期に割目に切られる部分を除いて 鉛化は伴わない。

後期角礫 (Late breccias) は鉛床を構成するものでマトリックスの種類により2分される。後期角礫の下部相は細粒-粗粒結晶質ドロストン チャート角礫 粘土 石英の砂-シルト粒が中粒-粗粒結晶質ドロマイトローム菱面体に埋められる。すなわち 粗粒岩石マトリックス ラブル角礫である。

一方 上部のものは鉛石マトリックス ラブル角礫で

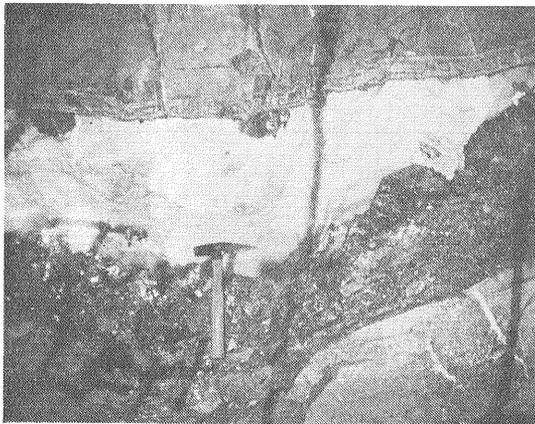


写真13 エルムウッド 10サウス. 小チャンネルを埋める二次的方解石(白色)と赤褐色閃亜鉛鉛。

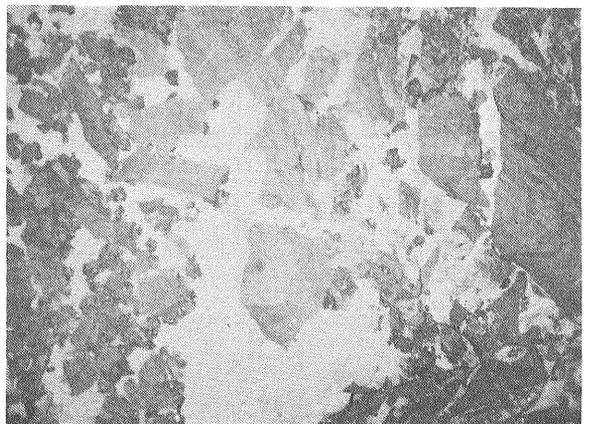
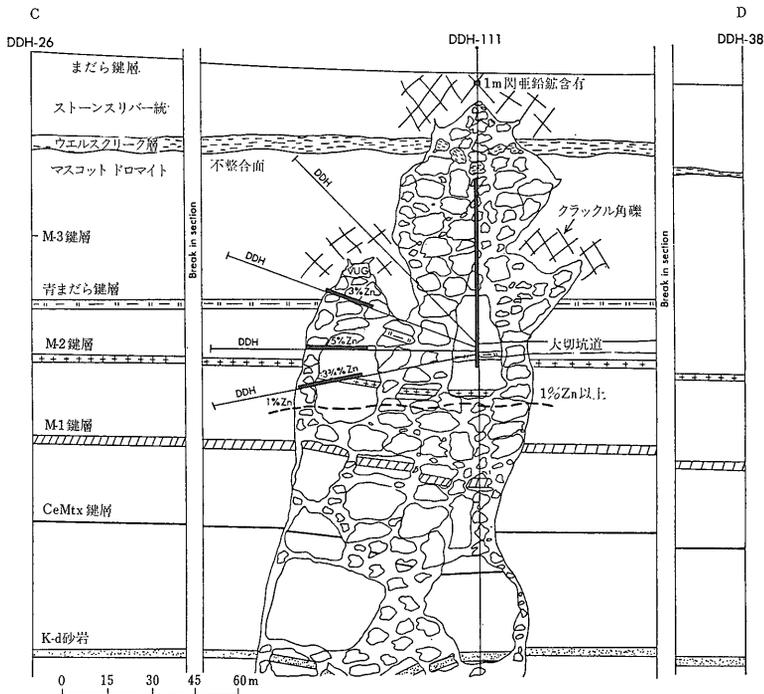
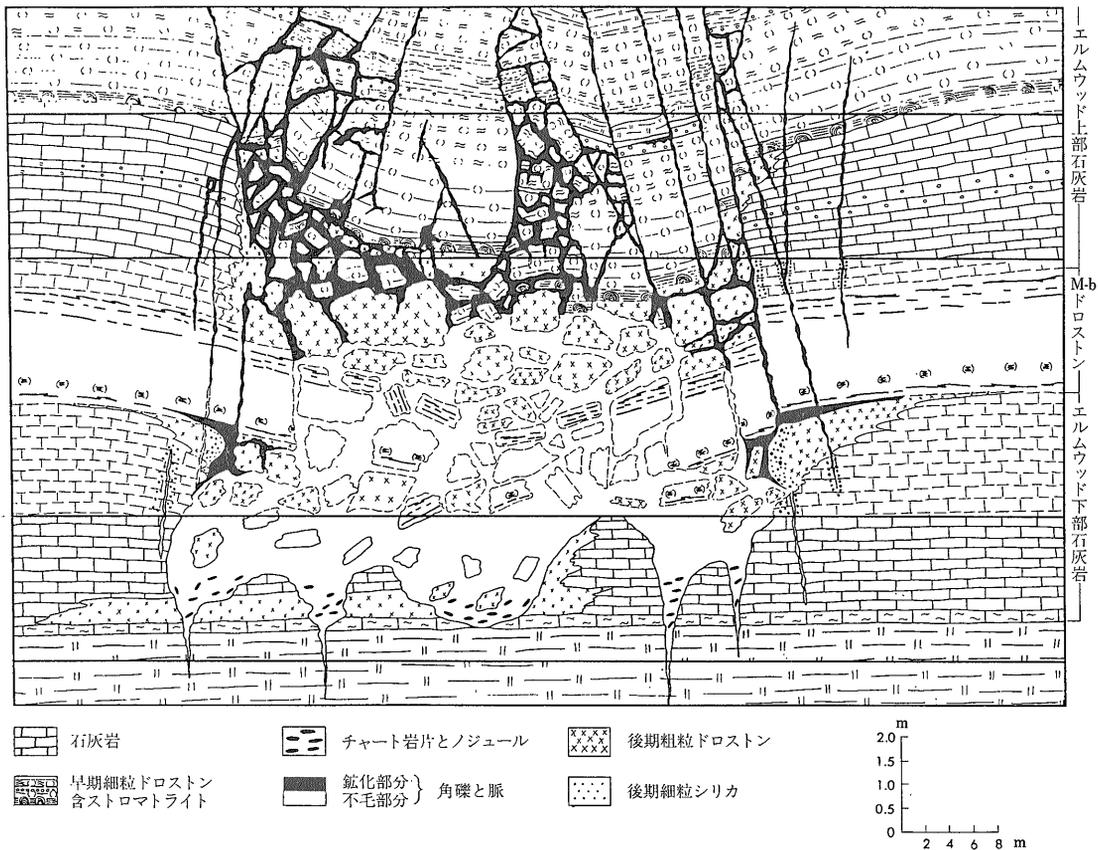


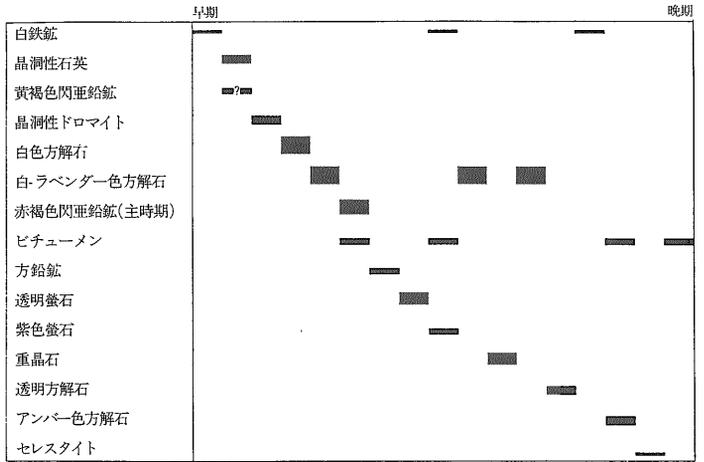
写真14 同左. 空洞部を満たす母岩の角礫 閃亜鉛鉛と二次的方解石(白色)。



第13図
 エルムウッド鉱床北東部. 111 プレークスルーストープの南北断面. 断面線位置は第10図参照.
 GAYLORD and BRISKEY (1983) 原図.



第14図 エルムウッド鉱床37-80ストープにおける変質鉍化作用. GAYLORD and BRISKEY (1983) 原図.



第15図

エルムウッド-ゴードンズビル鉱床の鉱物晶出順序. GAYLORD and BRISKEY (1983) 原図.

あり 量的にはこちらの方が多い。マトリックスは主に白色脈石方解石で 部分的に閃亜鉛鉱 方鉛鉱 螢石 重晶石を伴い また少量の白鉄鉱 黄鉄鉱 石英 白色脈石ドロマイトを含む(写真13 14)。

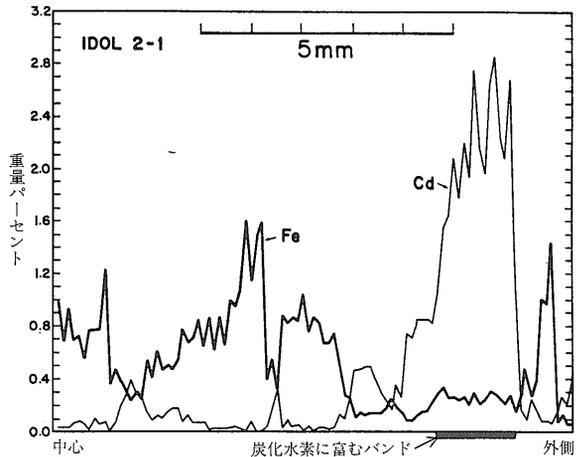
後期角礫岩は場所によっては ノックス不整合面をつき破り その上位の中部オルドビス紀の地層に少なくとも15mは貫入している(第13図)。したがって この時期かより後期に古帯水層の再活動があったことは明瞭である。中部オルドビス系の2つの非整合面や上部オルドビス系と その上のデボン-ミシシッピ紀のチャタヌンガ頁岩を分ける非整合面の存在は 広域的な隆起運動の期間を示すと共に これらがノックス古帯水層に対するリチャージゾーンであったことを示している。

エルムウッド鉱床の角礫岩の伸長方向は一般にN60°EとN25°Wに集中する。マスコットドロマイトの節理が卓越する方向もN60°EとN25°Wである。したがって古帯水層の移動チャンネルは節理規制をうけている。これらの方向は地表の中部オルドビス系の節理 N30°EとN55°Wとは異なるので マスコットドロマイト中の節理は ノックス統堆積直後に発達したものと考えられる。

変質作用と硫化物

セントラルテネシー地域においては 上部ノックス統の石灰岩は部分的あるいは完全に 中-粗粒結晶質で晶洞性ドロストンおよび細粒微晶質石英による交代作用をうけている(第14図)。変質が著しい所では溶解による崩落角礫 空洞が多く ドロマイト変質が空隙率や透水性が高かった所で生じたことを示している。

ドロマイト化は石灰岩の溶解と共に始まり 多くは溶解後に生じたものと思われる。ドロマイト化で加わっ



第16図 アイドル鉱床産閃亜鉛鉱の鉄, カドミウム含有量変化. CRAIG (1983) 原図.

た Mg はケンタッキー東部や ウェストバージニア南西部を含む 広域的規模の隆起によるカルストの発達 および既存のドロマイト溶解により供給されたものと考えられる。

珪化作用は一般に局部的にみられるにすぎないが ゴードンズビルでは卓越する。珪化は一般的には石灰岩中の割目に沿って幅15cm以下の脈際変質としてみられる(第14図)。珪化石灰岩は多くの場合 10-30cm間隔の亜平行の割目で境されている。珪化作用は鉱化以前であるが 少量の黄褐色閃亜鉛鉱は珪化石灰岩に鉱染することがあり 一部は鉱化と同時期であったと思われる。

鉱石の特徴は粗粒の赤褐色閃亜鉛鉱が含まれることでこれが黄褐色閃亜鉛鉱 方解石 螢石 重晶石 方鉛鉱と共存する。晶洞性白色ドロマイトの産出は局部的で

ある。白鉄鉱 セレスタイトがごく稀に産出する。ピチューメンや液体炭化水素が場所によっては鉱石に伴われまた閃亜鉛鉱が多量の炭質物を含有することがある。エナージェイトが地域の北部に産出する。螢石は一般に無色透明であるが紫色結晶がその上に薄く成長することがある。晶出順序を第15図に示す。閃亜鉛鉱のFe含有量は低いが炭化水素含有物に関連してCdが多く含まれることがある(第16図)。

閃亜鉛鉱は既述の様に角礫岩の上部側方に主として分布しすべて角礫化 変質化後に空隙を中心に晶出したものである。エルムウッド-ゴードンスビル地区では角礫化鉱石は知られていない。閃亜鉛鉱は角礫変質岩に伴われるもの。不毛の角礫変質岩は非常に広く知られている。閃亜鉛鉱と脈石鉱物量との間にも正の相関性はない。重晶石と螢石は閃亜鉛鉱帯の外側に分布する傾向があり また3者が共存する場合は重晶石と螢石はつねに後期に晶出しており(第15図) 酸化 還元条件の変化が推察される。

鉱脈鉱床と生成年代

セントラルテネシーの鉛亜鉛脈鉱床は主に中部オルドビス紀炭酸塩岩にも産出するが 一部は下部ミシシッピ紀のワルソウ石灰岩にみられる。一般に脈幅2m以下走向延長は最大3.2kmに達する。走向はN40-45°E急斜する。鉱脈は複雑なバンディングを示す重晶石 螢石と方解石からなり 少量の閃亜鉛鉱と方鉛鉱を伴う。下位の角礫鉱体と連続するものは知られていないが 下記から関連性を暗示する。

- (i) 鉱物組合せが類似する。
- (ii) 角礫鉱体は鉱脈鉱床の分布域内に限られる。
- (iii) 角礫鉱体では 重晶石 螢石は上方へ多くなる。
- (iv) エルムウッド鉱床近くの脈状螢石は鉱床から離れるほど その均質化温度が低下する。
- (v) 閃亜鉛鉱の微量成分が類似する。
- (vi) 鉱脈走向と角礫鉱体の伸びがほぼ一致する。

以上の事実からもし両者に関連があるとすれば 角礫鉱化作用もミシシッピ紀まで続いた可能性が考えられる。

6. セントラル/イーストテネシー地域の比較と成因

以上のべたテネシー州の中央と東部の2地域の鉱床には多くの共通点がみられる。すなわち

- (1) オルドビス紀のほぼ水平な石灰岩 ドロストン中に鉱床が胚胎する。
- (2) 鉱化は主に空隙をみたく形でみられる。

- (3) 溶解角礫岩は中-下部オルドビス系を分ける不整合面に関係する同じ層準の間隙間に発達する。
- (4) 角礫岩は複合性で 早期の弱鉱化岩中核が後期の稼行品位角礫岩に交代される。
- (5) 閃亜鉛鉱の含有量が低い。
- (6) 量比は異なるが 白色脈石ドロマイトと方解石 方鉛鉱 黄鉄鉱 白鉄鉱 螢石 重晶石など 随伴鉱物が共通する。
- (7) 50°-150°Cの充填温度と高塩濃度の流体含有物。
- (8) 類似の同位体比。

一方 セントラルテネシー地域の鉱床は下記の点でイーストテネシー地域のものとは異っている。

- (1) イーストテネシーでは構造的に乱れているが セントラルテネシーではほぼ原位置で若干隆起しているのみである。
- (2) ドロマイトよりも方解石が主たる脈石鉱物である。
- (3) 方鉛鉱 重晶石 螢石 有機物に富んでいる。
- (4) 閃亜鉛鉱は黄色であるよりも赤褐色である。
- (5) 空隙が多く残っており 自形鉱物が豊富である。
- (6) 珪化作用が比較的強く ドロマイト化が弱い。
- (7) 閃亜鉛鉱化が下部ミシシッピ紀まで及ぶ(イーストテネシーでは中部オルドビス紀の下部まで)。
- (8) 閃亜鉛鉱は Ba Cu Ga Ge Hg Pb(?)に富んでおり Mn Ag(?) Mg(?)に乏しい。

テネシー州の鉛亜鉛鉱床はアパラチア盆地の頁岩層が圧密をうけ脱水されて生れたメタル含有塩水に起因するものと考えられている。たとえばイーストテネシー地域のすぐ東方には厚い(2.4-2.9km)中部オルドビス紀頁岩があつて 150,000 km³以上がノックス古帯水層形成直後から塩水供給源として可能であった。脱水は構造運動に伴われて複数回に亘って生じたものと思われ 塩水は圧密によって盆地の周辺に移動したものと考えられる。

エルムウッド-ゴードンスビル地区の様な構造的高所は塩水のみならず 炭化水素のトラップとしての役割りを果し これは還元的環境を生成するので硫化物沈殿の場としては好ましい。しかし この地区のピチューメンの生成時期は閃亜鉛鉱より後期であることが一般的で(第15図) 移動し易い炭化水素は鉱化後にも濃集したことを示している。

頁岩に由来する鉱液は一般的な地温勾配や割目に沿う循環によって温度の上昇を伴い それがノックス統の古帯水層に遭遇し鉱床を形成したものと考えられる。鉱床は

- (1) 重金属や硫黄を伴う鉱液と古帯水層のゆっくりした混合

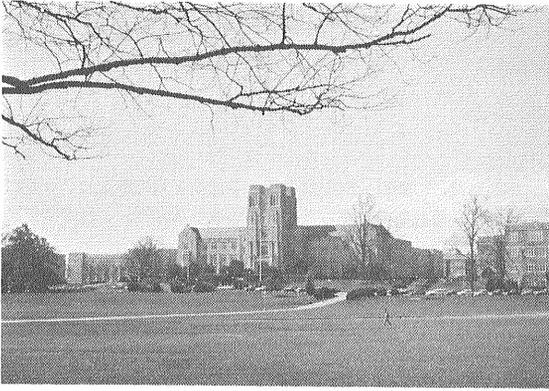


写真15 パージニア工科大の本部。

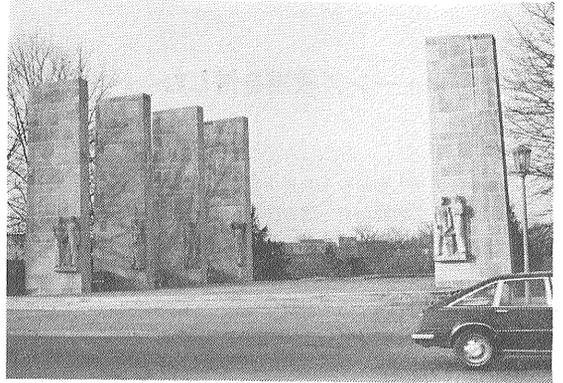


写真16 パージニア工科大キャンパスのウォームモリアル。

(2)恐らく炭化水素による硫酸塩含有混合塩水の漸移的な還元作用

(3)pH の上昇 冷却または鉱液の希釈によって生成した。テネシーの鉱床にはミシシッピバレー型の一つの原形をみる事ができる。

7. パージニア工科大学

アパラチア山地のミシシッピバレー型鉱床に近いバージニア州のブラックスバークには 州立のパージニア工科大学があり 巡検の帰路立ち寄って講演と情報交換などをおこなった。ここではミシシッピバレー型鉱床の研究者として著名な J. R. CRAIG 教授 花崗岩研究の第一人者である故 D. R. WONES 教授が教鞭をとっていたが、日本にはなじみが薄いので簡単に紹介しておきたい。

この大学は正式には Virginia Polytechnic Institute & State University と呼ばれ アメリカで最も名前が長い大学ではなからうか。略して VPI ここでは略号を参照してパージニア工科大学と呼ぶことにする。大学はアパラチア山地の豊かな農業地帯の小さな町 ブラックスバークにある。

創立は1872年 リンカーン時代の教育普及政策に基づいて設立された。当時の奨励策は国有地を無償で地方政府に払下げ その代償として大学を設立させる方法であり 同時に学生に1-2年の兵役の義務が課せられた。この兵役義務は1964年には廃止されている。

大学は最初農業が中心で ついで工学 1901年に現名称に変更された。地質学部は1902年にもうけられ 1947年までは毎年学士を3-4人卒業させる小規模なもの

であったが 1947年に学部長に就任したB. COOPER 教授は学部の拡大を図り 1964年までに鉱物3名 地物3名 堆積1名を増員させ14名スタッフを確立し その後岩石2名 鉱床1名を追加して 1971年に学長と面談中に心臓発作で倒れるまで 地質学部の発展につくした。

1983年当時の地質学部は教授14名 準教授6名 助教授1名であり 専門別のスタッフ数は 鉱物学3名 岩石地球化学4名 鉱床地球化学2名 広域地質-構造-堆積学4名 古生物学2名 地球物理学4名であった。学生数は学部が毎年地質専攻50人 地物専攻14人。1-4年生の合計は約250人 大学院は博士過程25人 修士過程55人 合計80人の規模であった。

引用文献

- 秋山伸一(1981) 神岡地域の鉱化に関する最近の知見 一神岡鉱山の地質鉱床に関する広域的研究(その2) — 鉱山地質 31巻 157-168頁
- 中嶋輝充・陶奎元(1985) Geology of Qixiashan, A carbonate-hosted lead-zinc deposit, Jiangsu Province, Southeast China. ITIT プロジェクト No.8113 終了報告書 49-84頁 工業技術院国際研究協力課
- SANGSTER, D. F. (1976) Carbonate-hosted lead-zinc deposits. Hand-book of stratabound and stratiform ore deposits. Vol.6, p.447-456, Elsevier, N. Y.
- 図表は下記の2冊から引用した。
- (1) Tennessee zinc deposits field trip guide book. March 9-11, 1983. Virginia Tech. Rept. Geol. Sci., Guide Book No.9, 164p.
 - (2) Mineral resources : Genetic understanding for practical applications. National Acad. Press, Washington, 1981, 115p.

デイブ ウォーンズ教授を惜しむ

バージニア工科大を訪ねてから1年半後の昨年11月 同大学のジム クレイグ教授から一通の手紙を受けとった。それは友人デイブの突然の死を告げるものであった。Dr. David R. WONES (1932.7.3-1984. 10.25) 原因は古くからの友人を空港に迎えに行く途中の交通事故であった。

デイブの業績のうち 我が国で著名なものは WONES & EUGSTER (1965) による「黒雲母の相関係 その実験 理論と応用」である。この論文は現在まで繰返し引用されている秀作である。

デイブはテキサスに生まれ 学部 大学院はマサチューセッツ工科大 (MIT) で教育をうけた。博士課程は指導教授のすすめで カーネギー研究所に住み込み 黒雲母の相関係を実験的に求めた。その集大成が上記論文である。

MIT を卒業後 デイブは1959年に地質調査所 (U.S.G.S.) に入所した。そこでは雲母や長石などの実験的研究を続ける一方で シエラ・ネバダやメキシコの花崗岩の野外研究に従事した。

1967年 MIT に迎えられ 鉱物学 相平衡 物理地質学を教えた。1971年には実験地球化学鉱物学のプランチーフとして再び U.S.G.S に招かれた。日常業務のかたわら 彼はアパラチヤ造山帯の花崗岩類の研究を開始した。そして研究が進んでいたシエラ・ネバダとの比較像をポールペイトマンの要請もあって書き出そうとした。

この研究は1977年にバージニア工科大に移ってからも続けられ IGCP プロジェクトの Caledonides の総括書としてまと

められた。1981-84年は大学の学部長として奉仕し 9月にその任を離れ研究に戻った直後の事故であった。この間アメリカ鉱物学会会長もつとめた。

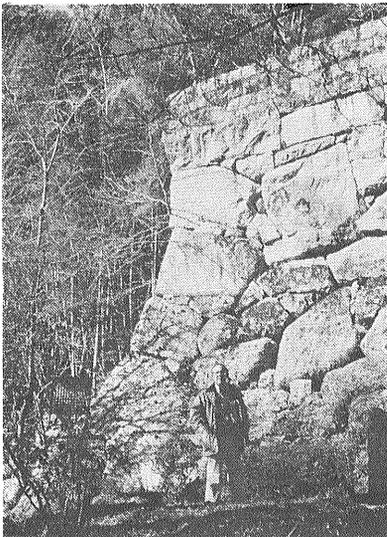
デイブは2度来日し 一度は火山学会 20年後の再来日は日本鉱山地質学会の招待によるもので1980年の冬であった。日本の花崗岩をみて楽しみ 日本の変りように驚いていた。愛妻と4人の子供達にささやかなおみやげを探し求めた姿は忘れられない。

デイブの業績は黒雲母の実験的研究と考えられがちである。

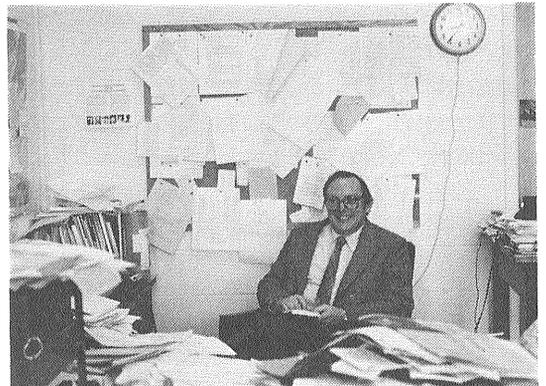
しかし彼は自然を とくに花崗岩と小鳥を愛し 実験室に居る以上に野外で作業をおこなった。そして両者の観察をフィールドノートに記帳した。

彼はつねに相手の立場でテーマを考え 議論した。だから人をひきつけ 多くの友人を持った。1981年には Wonesite (Na-phlogopite) を友人から寄贈されている。デイブはサイエンティストとして有名であるが アドミニストレーターとしても数度の重責を果している。

デイブは終生 雲母と酸素フュガシティ そして花崗岩を愛した。サイエンティストの理想が理論 実験 野外観察にあるとすれば まさに彼はバランスがとれていた。私達は彼の花崗岩に関する集大成を期待していたが 今やかなえられない。さいわい2度目の来日で彼が残した「花崗岩質マグマにおける重要変数指示鉱物としての苦鉄質珪酸塩」鉱山地質31巻191-212頁 (1981年) は私達に多くの道標を与えてくれる。ご冥福をお祈りしたい。



1981年冬 愛知県下の古城を訪ねる



1983年春 学部長時代のデイブ