

ポーフイリーカップー鉱床

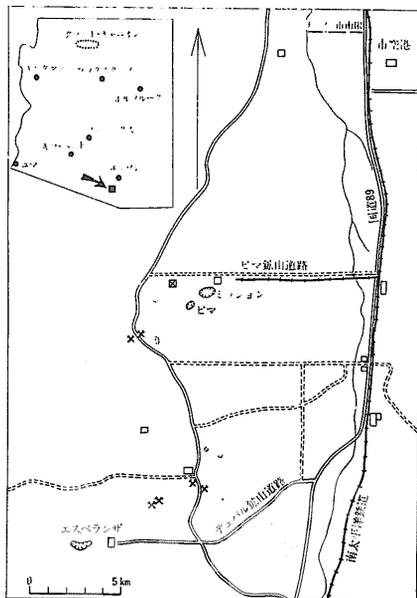
⑥

～初生鉱化作用～

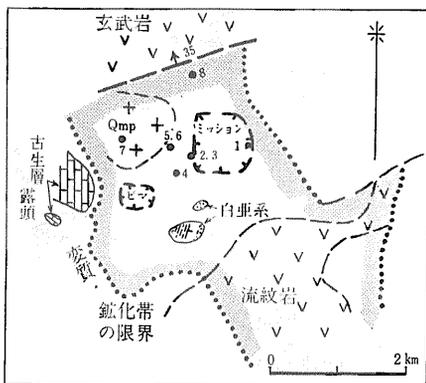
母岩の種類

前回でポーフイリーカップー鉱床の形成には貫入岩の存在が必要なことを述べた。次に密度と高い割れ目の形成と熱水変質作用とが必要である。これらは貫入岩と被貫入岩の双方におよんで初生鉱化作用を伴う。石灰岩などの特殊な岩石を除くと一般に貫入岩中で鉱染状の被貫入岩中で脈状の産状が多く認められる。

石灰質岩：被貫入岩が石灰岩である場合には銅鉛亜鉛鉄などからなる交代鉱床が生ずる。そのような鉱床を伴うものに既報のビンガム ロビンソン サン



第1図
ミッション
ピマ鉱床の位置



第2図 ミッション鉱床内のボーリング資料による貫入岩と変質帯の位置の概要および鉱石品位 Kinnison (1966) 原図

石原 舜三

タ・リタ ビスビー カナネアがありそれが主体をなしているものに クリスマス ミッション ピマなどがある。この種の鉱床は厳密にはポーフイリーカップー鉱床とは呼べない。

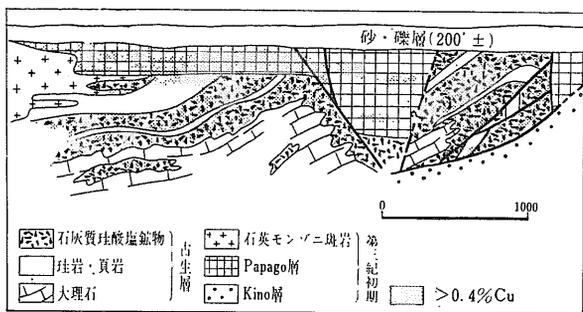
ミッション ピマ両鉱床はチュソン市街のすぐ南方にあつて エスペランサ鉱床に近い(第1図)。これらの鉱床付近には既述の如く貫入岩が露出してない。しかし地表下では石英モンゾニ斑岩があらわれる(第2図)。鉱床付近では まずプレカンブリア紀花崗岩をおおひ層厚約1700mの堆積岩の形成があつた。これは珪岩を夾み おもに石灰岩からなるもので カンプリア紀からペルム紀におよぶ。白亜紀には薄い石灰岩層を伴う頁岩とアルコーズの堆積作用があつて その層厚は少なくとも1700mである (Amole group)。この小露頭がミッション・ピットのすぐ南に分布している(第2図)。

これらの堆積岩類が短期間浸食されたのち 白亜期末または 始新世の局地的な堆積作用があつた (Papago層と Kino 層)。これらの地層は 淘汰が悪くほとんど無層理のシルトと安山岩礫からなる礫岩から構成される。

以上の堆積岩類に石英モンゾニ斑岩が貫入する。鉱化作用は石灰岩中でもっとも著しく スカルン鉱石帯を形成している(第3図)。珪岩や石英モンゾニ斑岩も部分的に鉱化をうける。鉱化以前の衝上断層によって現在では古生層の下位に産出する礫岩を主体とする Kino 層は部分的に おもにシルトからなる Papago 層は広く 鉱化作用をこうむる。

ミッション鉱床で母岩は厳密には石灰岩 チャート質石灰岩とマール (marl 石灰質粘土) とからなる。これらが鉱化作用をうけ つぎの岩石に変質している。

岩石種	試料番号	Cu (%)	硫化物総量	
			重量(%)	容量(%)
石英モンゾニ斑岩	7	0.30	2.7	1.5
スカルン帯 (tactite)	1	1.55	7.2	4.9
	3	1.00	6.2	4.3
白亜紀末～第三紀 Papago 層 (砂岩 頁岩 礫岩など)	6	0.87	4.5	3.0
	2	0.82	6.5	3.8
Papago 層 (砂岩 頁岩 礫岩など)	4	0.65	4.7	2.8
	5	0.94	4.5	2.7
	8	1.20	3.4	1.9



第3図 ミッション鉱床の概念的断面図(北方をみる)
Kinnison (1966) 原図

- 1) おもに灰鉄柘榴石からなる いわゆる tactite.
- 2) 透輝石と方解石からなるホルンフェルス アクチノ閃石を含むことがある この原岩はおそらくドロマイト質であった
- 3) ごく微量の硫化物しか含まない大理石

前二者の境界は漸移が明瞭であるが これらと大理石との間には一般にはっきりしており 所によっては境界付近に珪灰石を生じている。

タクタイトで銅品位がもっとも高く ホルンフェルスがこれにつぐ。硫化物はほとんど黄鉄鉱>黄銅鉱でタクタイトには赤鉄鉱が含まれることがある。硫化物は鉱染状か不規則細脈状で その産状は他の珪長鉱物を主とする母岩の硫化物の産状と同様である。

チュリンの南東方 アリゾナ州の南東端に近いビスビー付近の鉱床はワーレン (Warren) 鉱床帯とよばれ その中心はラベンダー (Lavender) ピットである。ここでは サクラメント岩株の一部である貫入角礫や石英斑岩を中心に鉱化作用がみられる。

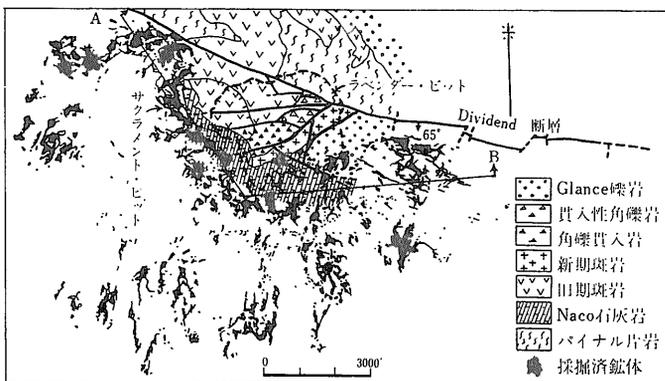
しかし サクラメント岩株の南縁沿いには多くの石灰岩交代鉱床が分布し これはラベンダーピット開発以前の主要な銅資源であって 坑内掘りで採掘された (第4図)。ここでは古生代の石灰岩がすべて 多少とも鉱化をうけるが 厚さ330m 程度のもろい性質の特定の部

分で鉱況がよい (第5図)。また鉱床は断層にも規制され 第4図で岩株をはずれる鉱床は断層に規制されている。

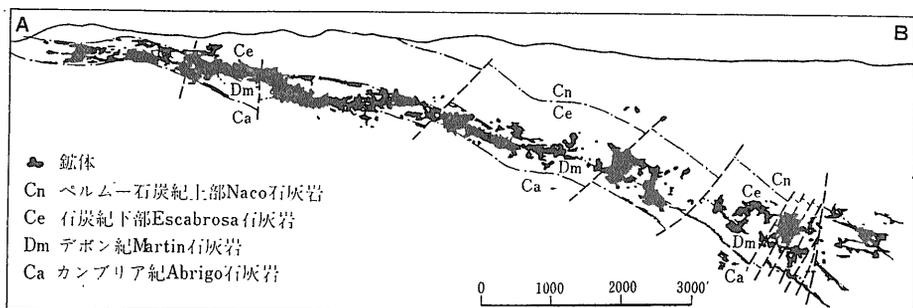
石灰質岩や珪岩などを除く一般の砂岩 頁岩質の堆積岩類と 同質のたとえばプレカンブリア紀の変成岩類や花崗岩類とを比較する場合に それらの鉱物組成が類似しているために 初生鉱化作用の共通の特異性を浮きぼりにすることは困難であって 片理面その他の割れ目の形成に貢献する物理的性質の方が鉱化作用に影響を与えているように思われる。

また 岩質の相違は変質鉱物の組み合わせに反映しそれは二次富化作用に影響する。一般に鉱化帯は Cu 品位で表現される。鉱化作用を区別して詳細に解析した報告が各鉱床についてそろわない限り 初生鉱化作用のこまかな岩質の差への影響は一般法則化しにくい。

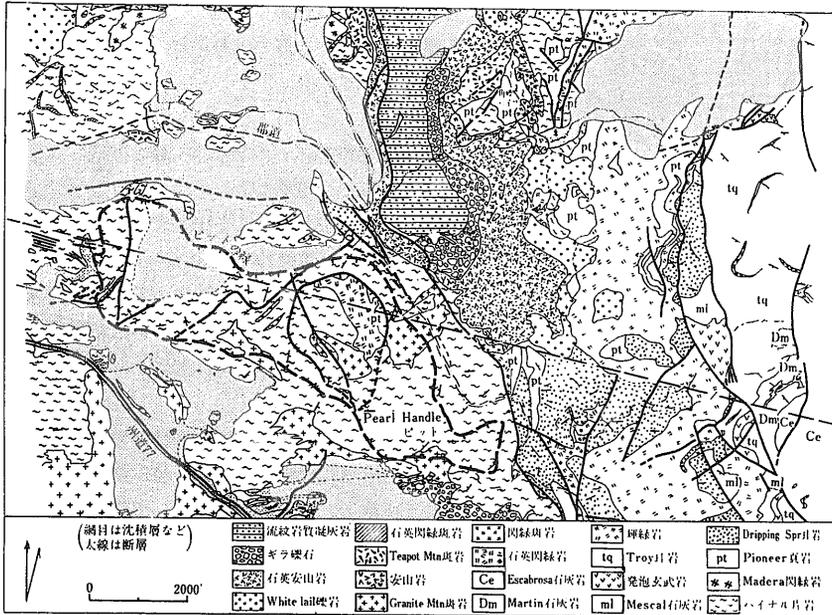
輝緑岩：レイ鉱床は プレカンブリア紀の諸岩石中に貫入する石英モンゾニ斑岩 (=Granite Mtn porphyry) の周辺が鉱化をうける 東西約3km 南北2.5km 深さ400m の鉱床である(第6図)。この鉱床は 貫入岩よりも被貫入岩中が広く鉱化をうけた鉱床として知られ 過去の鉱石は パイナ片岩中の二次富化帯(その初生品位は



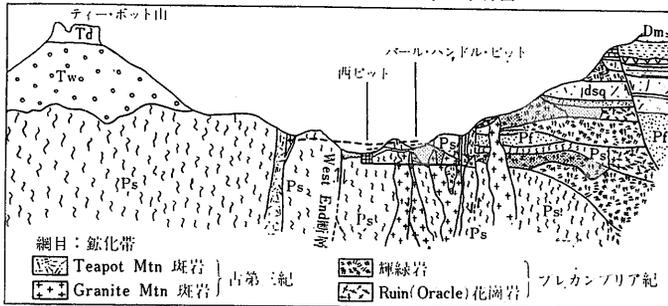
第4図 ワーレン鉱床地帯の地質と交代鉱床 Bryant & Metz (1966) 原図



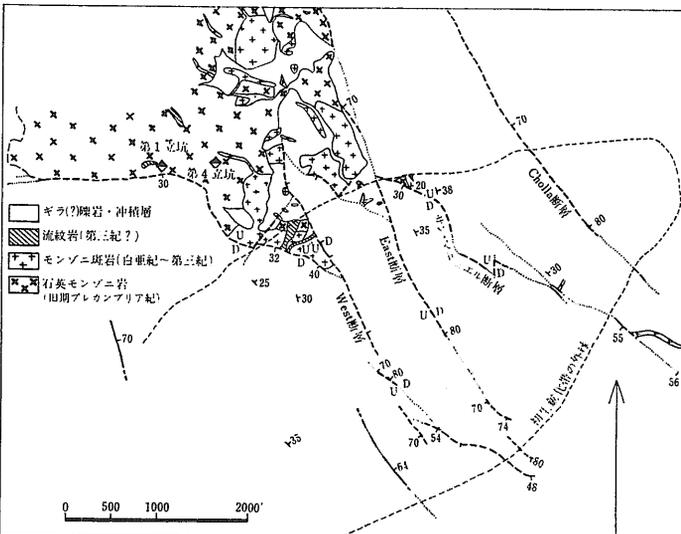
第5図 石灰岩交代鉱床の断面
Bryant & Metz (1966) 原図



第6図 レイ鉱床周辺地質図 Metz & Rose (1966) 原図



第7図 レイ鉱床付近の概念的な断面図(北東をみる)
 PS: バイナル片岩 Pf: バイオニア頁岩 dsq: ドリッピング・スプリング珪岩
 (以上プレカンブリア紀) Dm: マーチン石灰岩(デボン紀)
 Tw: ホワイト・テール礫岩 Td: 石英安山岩 (以上第三紀)
 Metz & Rose (1966) 原図



第8図 サン・マニエル鉱床付近の地表地質 Thomas (1966) 原図

0.1~0.2% Cu) から出鉱された。

しかし 開発が進むにつれて鉱化作用が同じくプレカンブリア紀の輝緑岩シルに広くおよぶことが判明している(第7図)。かつての地表近くの鉱化輝緑岩には二次富化が認められたが 下部ではほとんど認められない。ボーリング資料によると母岩が輝緑岩で銅品位が上昇し 前後の他の岩石は鉱化をうけない。したがって レイ鉱床では初生鉱化作用が輝緑岩に選択的におよんだことが明瞭である。レイ鉱床以外では(インスピレーション カッパー・シティーズ キャスル・ドーム サン・マニエルなど)輝緑岩は母岩としても重要ではない。

レイ鉱床は黄鉄鉱と黄銅鉱 少量の斑銅鉱と輝水鉛鉱 ごく微量の方鉛鉱と閃亜鉛鉱(周辺に分布) などからなり これらが貫入岩が貫入した基盤の弱線帯や断層などに規制された鉱染~細脈状の鉱床であるが 硫化物の産状には輝緑岩とその他の母岩との間でとくに顕著な差が認められない。Metz & Rose(1966)は輝緑岩が周囲の岩石より より透水性であったから(その形が脈状を呈しているから?) 富鉱部となったと考えたがその理由をのべていない。

プレカンブリアの諸岩石に貫入岩が貫入する 比較的単純な母岩からなる鉱床には 第2報のマイアミ・インスピレーション鉱床があり 初生鉱化作用は貫入岩の境界のほかに片理面と断層に規制されているとのべた。同様な単純な母岩からなるものにバグダード ティローンなどの小鉱床地域があるが サン・マニエル鉱床が重要である。この鉱床で

は二次富化帯の発達が悪く 初生鉱化作用の性格が把握しやうい。

サン・マニュエル鉱床は第三系(?)のギラ礫岩や沖積層におおわれた潜頭鉱床であったために(第8図)その発見は比較的新しい。第二次大戦後に組織的にボーリングが実施され1958年から本格的操業(35000t/日)が開始された。この鉱山は坑内掘りである点でも珍しい。

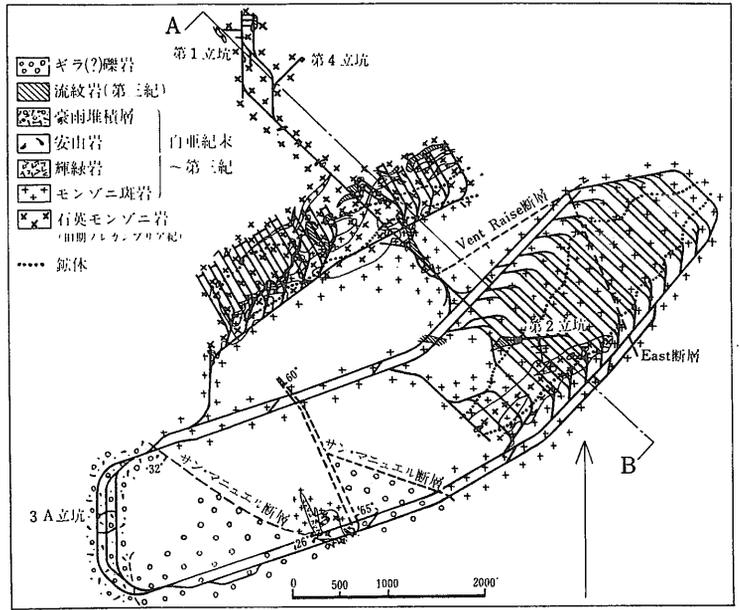
鉱床はプレカンブリア紀の石英モンゾニ岩(Oracle花崗岩)に貫入する石英モンゾニ斑岩の境界部に位置する。この貫入岩は広域的には岩株状であるが 鉱床内では岩株状 岩床状 岩脈などの種々の形態を示す。主貫入岩体周辺の岩脈部で鉱況がよく この岩脈は一般に北東系で(第9図)これは 鉱床周辺の広域的な2系列(NWとNE)の断層の1つと同じである。

黄銅鉱がほぼ等量の黄鉄鉱と共に 鉱染状 細脈状を呈する。少量の斑銅鉱と輝水鉛鉱も存在し 輝水鉛鉱は石英細脈に伴われ 南部鉱体のとくに南縁に多い。微量の金が鉱床全般に知られ 局部的に自然銀も産出する。

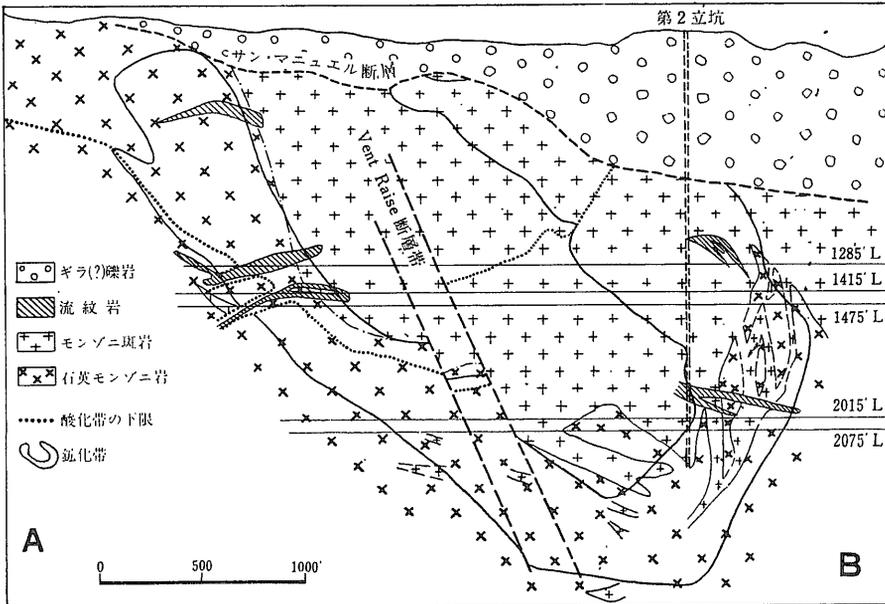
鉱床の母岩として プレカンブリ

ア紀の石英モンゾニ岩は石英モンゾニ斑岩貫入岩体よりすぐれている(第10図)。これは貫入岩の方がよりち密で割れ目が生じにくかった結果によると思われる。

火山岩：火山岩を母岩とする鉱床は比較的に少ないが第2報(No.163 p.1-5)のサフォード鉱床は安山岩や同質角礫岩中の破砕帯にみられる鉱染～細脈状鉱床である。アホに近いニュー・コルネリア鉱床の一部は おもに流紋岩質溶岩 角礫岩などからなる火山岩を 母岩とする(第2報 p.6-9)。メキシコのカナネア付近で



↑第9図
サン・マニュエル鉱床
1475' 大切レベルの地質
Thomas (1966) 原図



←第10図
サン・マニュエル鉱床の概
念的な断面(北東を望む)
Thomas (1966) 原図

第1表 バグダード鉱床周辺の方向性

N60—70° E	N40°W	N20°W	N10—20° R
石英モンゾニ 岩岩株	アプライト岩脈	石英モンゾニ 斑岩岩脈	鉱 脈 小 割 目 断 層
閃緑斑岩岩脈			

Anderson ほか (1955)

も安山岩～流紋岩質の各種の火山岩類は石英斑岩に接する付近で 著しい破碎化をうけ 鉱化作用をうける (第3報 No. 165 p. 22～24).

エスペランザ鉱床付近には 貫入活動に先立って流紋岩質溶結凝灰岩の噴出があり これが鉱床の母岩の一部を形成する。しかし 鉱床近辺に分布する火成岩類のうち (第11図) 初生鉱化作用にとって石英モンゾニ斑岩がもっとも好ましい母岩で 噴出岩類は重要な母岩ではない。なお 二次富化作用は母岩が安山岩斑岩の場合にもっとも著しく 現在のエスペランザ鉱床では鉱染～脈状の一次と二次鉱化の混合鉱が採掘されている。

初生 鉱 石 の 産 状

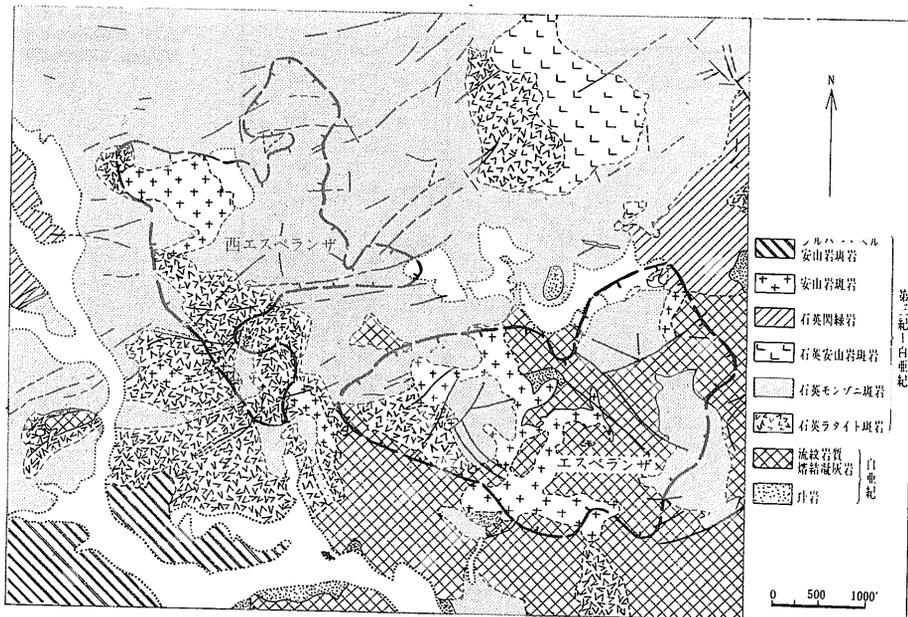
これまでの記述で明らかのように 初生硫化物の産状は一般に鉱染 網状 細脈状などである。母岩が石灰質岩の場合には 鉱体の形は塊状 すみ流し状などを示すが スカルン鉱物中の硫化鉱物の産状はやはり鉱染 不規則細脈状である。

母岩が非石灰質岩の場合に ポーフィリー銅-鉛-亜鉛鉱床を中心にして分布する他元素からなる周辺の鉱床を含めると 周辺の鉱床がより鉱脈性である。ポーフィリー銅-鉛-亜鉛鉱床の近辺に限っても 貫入岩中で鉱染～網状 周辺で細脈～鉱脈状となる傾向が一般的に認められる。しかし 貫入岩の中に存在しても 比較的に地域的な割れ目に支配された鉱床があって 下記の2例が代表的である。ともに鉱床の規模は比較的小さいものに属する。

バグダード鉱床は プレカンブリア紀の諸岩石に東北東の方向を示して貫入する石英モンゾニ岩岩株中の低品位初生鉱床が 二次富化作用で稼行品位に達した鉱床であって 初生硫化物の産状は鉱染～脈状である。鉱床付近の岩株 岩脈 鉱脈 断層などの方向は ENEとNNWの2系列に卓越している (第5報 No.168 第6図)。Anderson ほか (1955) はこれを Conjugate shear と鉱化作用をもっとも規制する小割れ目はその二次割れ目とみなした。諸構造は第1表のようにまとめられる。

Anderson ほかは 1943—44 当時の坑内調査から 断層粘土と破碎帯の 836 点 (第12図A) と石英脈の 367 点 (第12図B) とを等面積図に投影した。鉱化小割れ目は坑内では識別しにくい が 地表では硫化物が酸化して識別しやすい。彼らは地表の鉱化小割れ目の 472 点をも投影した (第13図)。

断層では N70°E 急傾斜のものが圧倒的である。NW系急傾斜断層はNE系にくらべてわずかで 野外でそ



第11図
エスペランザ鉱床付近
地質図 Lynch(1966)
原 図

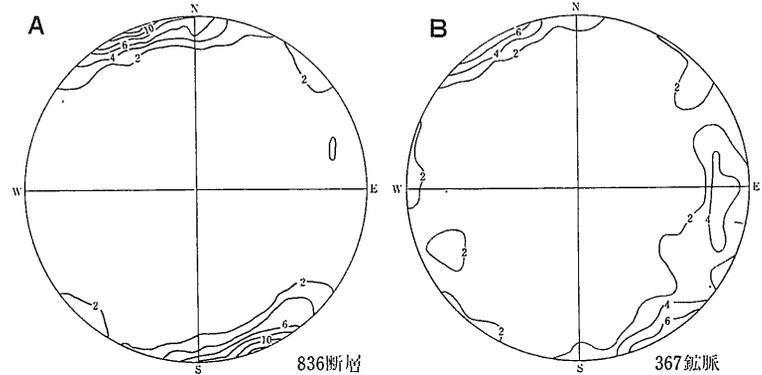
の連続性も乏しい。 鉱脈では 上記2方向の中間規模の濃集度でN10°E 西に急斜するものがあらわれる。 輝水鉛鉱—石英脈の多くは25°程度に緩傾斜であるがその数が少なくこの図にあらわれていない。 2本の黄銅鉱—黄鉄鉱—石英脈はN40°W 65—70°SWを示す。 鉱化小割れ目はいわゆる網状の外観を呈するものであるから 多くの目玉がみられるが ENE系急傾斜に最大の濃集が認められる。 以上のように バグダード鉱床では鉱染状の産状のほかに ENE系の割れ目に規制さ

れた初生鉱化作用が明白である。

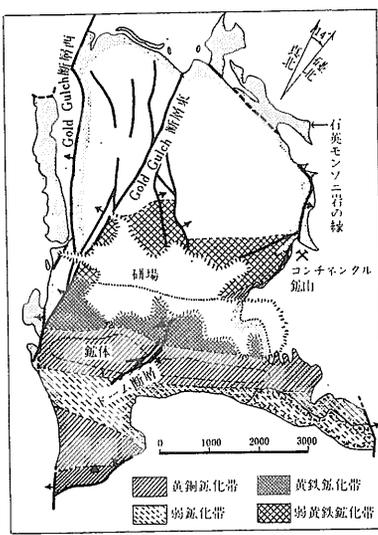
キャスル・ドーム鉱床はマイアミ地方にあって 既述のインスピレーション鉱床の西方 約7kmに位置する。 おもにプレカンブリア紀の諸岩石に貫入する石英モンゾニ岩 (1.6×2.4km) の南縁に近い部分に Dome 断層が あって (第14図) 黄鉄鉱と黄銅鉱とを主とし 少量の輝水鉛鉱 閃亜鉛鉱などからなる初生硫化物が鉱染状にあるいは密な石英脈に伴われる。

初生硫化物は明らかな累帯分布を示し それは変質鉱物の組み合わせに関係している。 粘土鉱物は黄鉄鉱帯と黄銅鉱帯の双方にあらわれ 石英—絹雲母相は黄鉄鉱脈と密接で黄鉄鉱帯で著しい。 鉱化帯をはなれるとこれらはプロピライト化帯に移行する (第15図)。

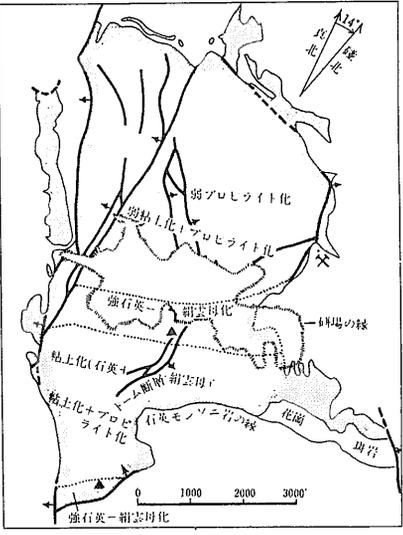
Petersonほか (1951) は開発当初比較的浅い部分で 不毛の節理と鉱脈とをステレオネットに投影し 鉱



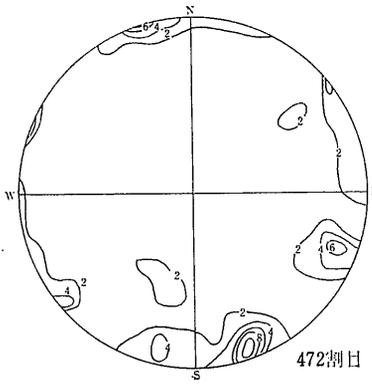
第12図 バグダード鉱床坑内の断層(A)と石英脈(B)の投影 数字はパーセント 南半球



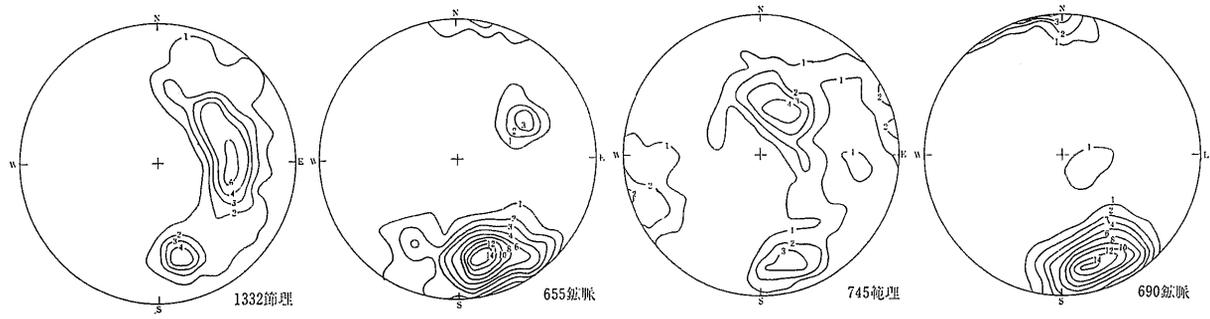
第14図 キャスル・ドーム鉱床の貫入岩と鉱化帯 Peterson ほか (1951) 原図



第15図 キャスル・ドーム鉱床の変質帯

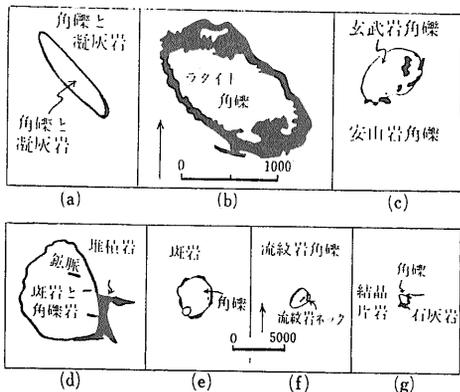


第13図 バグダード鉱床地表面の鉱化小割目



第16図 キャスル・ドーム鉱床 Dome 断層東側の節理と鉱脈

第17図 キャスル・ドーム鉱床 Dome 断層西側の節理と鉱脈



第18図 角礫パイプの例 Emmons (1940) 原因

a) Duluth パイプ カナネア b) Pilares パイプ ソノラ(以上メキシコ) c) Cresson パイプ コロラド d) Cerro de Pasco ペルー e) Braden チリー f) Nagy Kirmik ルーマニア g) Stan Trg ユーゴスラビア

脈が節理のほぼ同じ大円上で著しい濃集を示すことを図にした(第16 17図)。最大の目玉は Dome 断層の東側でN75°E 60°S 西側でN75°E 72°Sである。このような傾向は周辺の鉱脈鉱床や より広域的にマイアミ地方の多くの鉱床で共通であるといわれる。キャスル・ドーム鉱床は広域的な構造運動の影響を受けて脈状を呈したと思われる。

角礫パイプ

既述のように ポーフイリーカップー鉱床の初生鉱化作用は 貫入岩が冷却する過程で 広域あるいは局地的な構造運動に規制された割れ目のうち 密度の高い部分にもっとも著しくおよび 結果として鉱染 網状 脈状などの鉱石をもたらした。割れ目のでき方には別の過程のものがあって 鉱化をうけることが多い。それは角礫パイプ (breccia pipe) とよばれ 円筒状を呈し 有用鉱物は マトリックスの部分埋めて産出する。第3報 (No.165) のメキシコのカナネアがこの種の鉱床としてもっとも代表的である。Emmons (1940) は彼の教科書で パイプ状の鉱床 (ore pipes) を下記のように分けた。

- 1) 密に割れ目が生じたパイプが円 岩片の転位が少ないもの Emmons はこれに多くのポーフイリーカップー鉱床を含めた
- 2) パイプ形状で 岩片の転位が著しく 部分的には円礫化しているもの 結果として 流体の移動が生じた
- 3) 2と密接に関連するものでパイプの外殻に鉱石を伴う (第18図A)。火山の噴出源とはならなかった メキシコ ソノラ地方の Los Pilares (ナオザリ) ドウルース (カナネア) コロラド州クリブル・クリークの Cresson など
- 4) 鉱化火口または vent 火成物質がこの通路を通り上昇

した ペルーの Cerro de Pasco チリーの Braden ルーマニアの Nagy Kirmik ユーゴスラビアの Stan Trg 上記の Cresson など (第18図)

ここで取り上げているポーフイリーカップー鉱床には後述のように上記のすべてが産出している。3と4とが一般に角礫パイプと呼ばれ 2は経済的に重要でないことから 立体的にその形状その他が明瞭でなく 角礫パイプ 角礫 (岩) などの名称で呼ばれている。

Perry (1961) はカナネア周辺を角礫パイプの標式地とし その産状からそれを3つに分けた。

Cananea Duluth 型 : パイプの中やその近くに貫入岩が存在せず より深所のマグマの活動でもたらされたと考えられるもの。このパイプは 低角度の凝灰岩 火山岩類中に急斜するもので 100×400mの平面を示し ボーリングで670mまで確認されている。鉱化作用はパイプの周辺にリング状にみられ 著しく角礫化された母岩が少量の方鉛鉱 閃亜鉛鉱 黄銅鉱 石英 炭酸塩 鉱物 氷長石にうめられる。

硫化物の垂直分布が明らかで 深部で黄銅鉱が増加し 方鉛鉱が減少し 閃亜鉛鉱は変化しない。鉱石帯から内側に向って角礫は粗粒となり 角礫化が弱まっている。しかし しばしば石英と炭酸塩鉱物でみたまわっている空隙 (vug) が中心でもみられる。

パイプは広域的な構造的弱線の交差部に生じたもので 深部ではこれら弱線に規制されて やや角ばった 多角形の外形を示す。しかし 交差部の角がけずられ 全体としてその形は ほぼだ円形である。

Capote 型 : これはカナネア付近で最初に発見された高品位鉱体である。これは 上部では東にゆるく傾斜する石灰岩交代鉱床で 下方に進むにつれて下位の珪岩中に発達する卵型の角礫パイプに変わり さらに花崗岩に続く。最下位レベル (1600' L) とその下位200mまでのボーリング資料によると そこでは花崗岩中に 亜角礫～円礫形状の花崗岩と珪岩の岩片がみられる。パイプの外側で珪岩の底は地表から1100フィートの所であるから 珪岩岩片はパイプ中でかなり落ち込んだことを示している。これらの岩片は黄銅鉱 斑銅鉱 輝銅鉱 石英 炭酸塩鉱物などより固く埋められている。

現在の地表下数百フィートの交代鉱床 (Esperanza 石灰岩) は比較的角礫をうけていないから このレベル以下の岩片の slumping と熱水鉱液の上昇とがあって この型の鉱床を形成したのであろう。同様な現象はモンタナ州のビュートやアリゾナ州のピスビーに知られている。カポテパイプの南東方 670mの Oversight 鉱

体はこの型に属するもので 270m 地表下のパイプ内に 数百フィート上位の地層の石灰岩の角～円礫が落ち込ん でいる。

301 Breccia もこの型に属する。これはこの地方の南 東部に位置する。石英斑岩と火山岩類が混在する角礫 を黄鉄鉱と石英とがうめ 一般にマトリックスは晶洞性 である。角礫帯は壁岩とは明瞭に区別でき その形は 三角帽子状で 地表上数百フィートの高さ屋根状に残存 していた。この角礫帯は最末期の斑岩岩脈に切られる。 これ自身は低品位であったが 周辺のパイプや著しい卵 型の破碎部の二次富化鉱と合わせて 最大の露天掘り採 掘がおこなわれた (第3報 No.165 第1図)。

East Breccia 型：この型に属するもののうち 最初に 発見された East Breccia 鉱床は La Colorada パイプ のすぐ北東にある。火山岩類中に貫入する岩脈状や舌 状の石英モンゾニ斑岩と火山岩類との接触部にこの型は 産出する。

East Breccia の特徴は 角礫化をうけない岩石を尾根 として 2つの潜頭部を有することである。東側のもの はドーム状の頭を示し 現在の地表下 130m の火山岩 の下で終わっている。西側の頭は地表下 270m 下位で 石英モンゾニ斑岩中で終わっている。双方は下位に向 かって広がり地表下 400m でつながり その下位では単 一のパイプとなり 100×270mの平面的な広がりを示す。

岩片は角礫～亜角礫の著しく絹雲母化をうける斑岩と 火山岩類からなり ガラス質石英 黄鉄鉱 黄銅鉱 輝 水鉛鉱からなるち密なマトリックスに埋められる。深 部では 黄銅鉱-輝水鉛鉱鉱石が東側周縁にのみ限られ るようになり これは下方向に向かってさらに品位を下 げる。しかし角礫構造はより下位まで続いている。

パイプの上部やその上の網状に小割れ目を生じた非角 礫帯では 二次富化による輝銅鉱が多い。East Breccia 型の構造はほかに数カ所以上で確認されている。

La Colorada パイプ：カナネア付近には上述のよう に多くの角礫パイプが分布するが 銅出鉱量からみると ラ・コロラダパイプが 1/2 近くを占めて 経済的にはも っとも重要である。このパイプは角礫化をうけている が 第3報でのべたごとくそれは副次的なもので これは基本的には 貫入岩がパイプ状の形を示すポーフィリ ーカップル鉱床そのものとみなした方がよい。

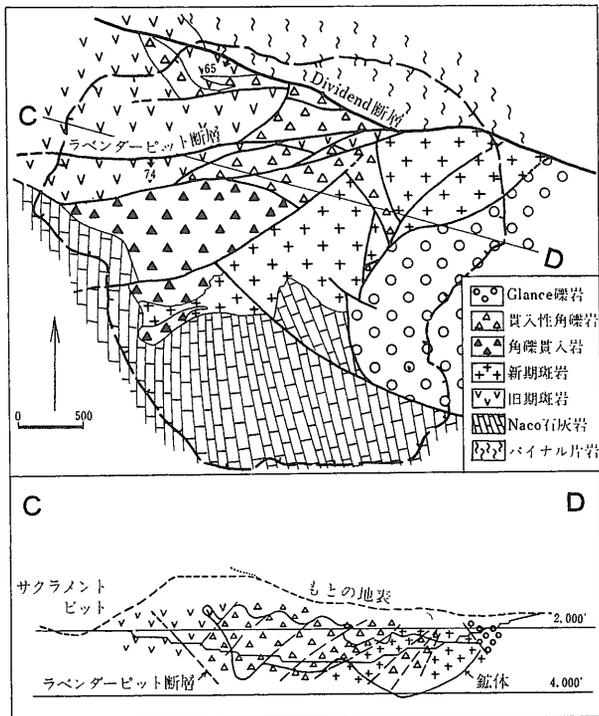
カナネア付近でみられるごとく あるいはふたたび Emmono の分類にもどってその(4)のような 貫入岩に 密接に関連するパイプで 沈殿している金属量は多い傾 向がある。その一例に合衆国内ではビスビー付近のラ

ベンダーピットがある。

ラベンダーピット (ワーレン鉱床地帯)：ワーレン鉱 床地帯で現在重要な鉱床は サクラメント岩株中に分布 する一次および二次の銅鉱石である。初生鉱化作用を もたらしたこの貫入岩株は この地域で最大の Dividend 断層の horsetail 状構造に規制され それ自身は種々の 貫入岩の複合体であって 新期と旧期の貫入岩とそれら に続く角礫岩とに分けられた (第19図)。

角礫岩は下に横たわる貫入以前のすべての岩石の岩片 を含み より新期の岩石を含まない。角礫岩はさらに 2分された。角礫貫入岩体 (intrusion breccia) は早 期の石英斑岩に密接に関係し それとほぼ同時期に同様 にして形成されたものと思われ 岩株の南部に分布する。

これは結晶片岩 珪岩 石灰岩 石英斑岩などの岩片 が不均質に混在するもので これらの岩片は著しい絹雲 母化と黄鉄鉱化とをうける。マトリックスは同様な岩 石の細粉であって 両者の境界は一般に不明確である。 石英斑岩と比較した場合に 珪化と黄鉄鉱化とはほぼ同 程度に進行しているが より小さな塊状硫化物鉱体がこ の角礫貫入岩体中に多い。しかし全体として硫化物総 量は同程度である。この貫入体はある種の流理構造を 示し また岩片は円味をおびているから 深所から押し



第19図 ラベンダーピットの地質図 Bryant & Metz (1966) 原図

上げられて貫入したものであろう。そして 変質鉱物の縞が複雑な微褶曲様構造を示すから 変質作用後も活動していたものと思われる。

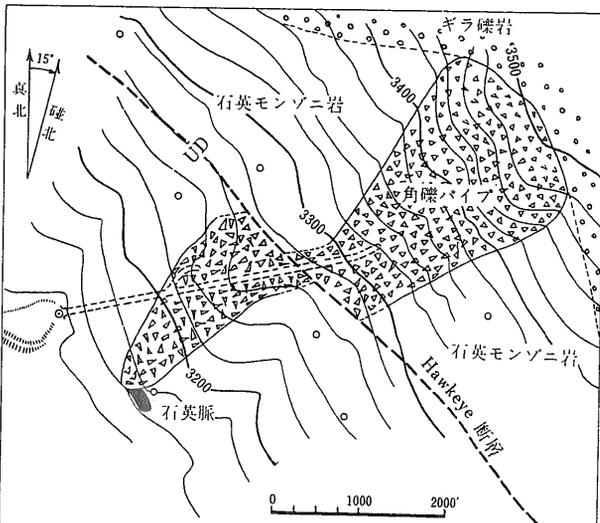
他の一つは貫入性角礫岩 (Intrusive breccia) である。これはビスビー地方でペルム紀の地層を切って広く分布している。その形は岩脈～シル状で その幅は数百フィートから数cmである。この角礫岩は既存構造の強い影響をうけ 全体として不規則な形を示すが 一般に岩脈として貫入し 層理面や他の割れ目に接して それらに従う。

壁岩との境界は明瞭で その近くで岩片がならび 流理構造を示すことが多いが 一般に岩片の方向に一定性がない。岩片には白亜紀以前のすべての岩石のほか 旧期石英斑岩 貫入角礫岩 黄鉄鉱石英塊 石英 新期長石-石英斑岩などまで含まれる。これらの岩片は最大数mに達し 大きいものは珪岩 珪化斑岩類 結晶片岩などで 円味をおびる。これらの礫が数cmからkm単位で 上方あるいは水平的に移動したと推定できる根拠がある。

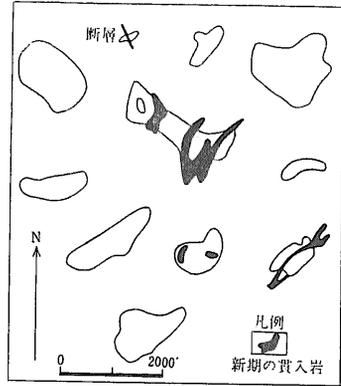
マトリックスはより小さな岩片とそれをセメントする方解石 石英 黄鉄鉱 銅硫化物などから構成される。ラベンダーピット内のこの角礫岩は斑岩類の岩片からなっている。岩片がうける変質作用は著しく弱い。

ラベンダーピットで 鉱化作用はつぎの4つで著しい。

- 1) 貫入性角礫岩
- 2) 角礫貫入岩体
- 3) 粘土化をうける新期の長石 石英斑岩
- 4) 珪質の旧期石英斑岩の破碎部分



第21図 Black Mesa パイプの産状 Anderson ほか (1955) 原図



第20図
バグダード鉱床付近の
角礫パイプの形状
Anderson ほか
(1955) 原図

貫入性角礫岩は 二次富化による煤状輝銅鉱が鉱染状に産するために重要で その銅品位はピット全体の値より高い。これに対して 角礫貫入岩体中の鉱体は黄銅鉱と斑銅鉱に非常に富む不規則なレンズ状を呈し 鉱体形成後の割れ目の発達が悪かったために 二次富化はほとんど認められない。

新期斑岩中の鉱床は ピットの東部の貫入性角礫岩近くで 二次的な輝銅鉱の鉱染に起因するもので 著しい粘土化が二次富化作用を促進せしめたと思われる。著しい破碎部を除き この鉱石は一般に低品位である。旧期石英斑岩はサクラメント岩株中でもっとも銅鉱物に乏しい。部分的には十数パーセントの黄鉄鉱が含まれるが 銅品位に関する限りほとんどの部分で稼行品位に達しない。一般に初生銅鉱化作用以前に多量の黄鉄鉱と石英とをもたらした時期が想定されている。

以上のように 初生銅鉱化作用に関する限り ラベンダーピットでは 角礫貫入岩体がもっとも重要である。その高品位部は局部的であって その性格は一般の岩株状岩体に伴われる鉱床よりも カナネア付近のラ・コロラダ鉱床に類似している。

その他の地域：アリゾナ州のバグダード鉱床の周辺には 北～北東にのびる3×10kmの範囲に 数多くの角礫パイプや岩脈が知られている。これらは 大きいもので170×770m+ 小さいもので径30～70mである。これらは周囲あるいはより下位の種々の角礫から構成され その外縁が不明瞭で なかには角礫化帯とよべるものがある。一部には石英モンゾニ斑岩や流紋岩などが貫入する (第20図)。

小さいものの一つである Black Mesaパイプは 石英モンゾニ岩中のパイプで 数cm～1m (平均22cm前後)の角礫はすべて石英モンゾニ岩からなる。晶洞が多く 石英が黄鉄鉱 黄銅鉱 輝水鉛鉱などがそれをみだす。部分的に珪化作用がみられ そこでは網状に石英細脈が

走る (第21図)。

野外調査から これらの角礫パイプの成因が 流紋岩 石英モンゾニ岩 閃緑斑岩 石英モンゾニ斑岩などの貫入に密接に関係している また一部のパイプの角礫は明らかに上に動いた ことなどが明白である。

合衆国内には ラベンダーピットを除き 稼行されている角礫パイプの類似の鉱床は存在しない。しかし 小規模な角礫パイプや角礫岩は多くのポーフィリーカップル鉱床の近辺に産出している。上記のバグダード地域のほか 既報の鉱床記載のうち サンタ・リタ鉱床の Whin Hill 角礫岩と Lover's Lane 角礫岩 ロビンソン鉱床地帯の鉱化後の diatreme (hole through の意) などがそれである。

角礫パイプ式の銅鉱床は ポーフィリーカップル鉱床全般に比較すると 経済的には重要でない。広域的な分布も 北米大陸に限れば アリゾナ州の密集地帯を南方にはずれるビスビーソノラ地方に限られている。しかし その産状のおもしろさは多くの地質家の興味をひきつけ これまでに多くの論文が発表された。

成因: 角礫パイプは 既述のように断層帯の交線上など弱線帯に規制され また貫入火成岩と密接に関係しているから 構造運動により著しく角礫化をうけた部分が マグマの上昇運動や上昇熱水液のガス爆発などにより さらに角礫化あるいは角がすりへられ 熱水液との反応により新しい鉱物をそのマトリックスに生じて最終的にできあがったものであろう。たとえば Burbank (1941 p.177) はサン・ホアン山地の角礫パイプにつきのような説明を与えた。

弱線沿いに上昇したマグマ起源の水蒸気はその通路沿いに既存岩石と部分的に反応し それを弱め 新たに割れ目を生ぜしめた 角礫化岩片は周囲に広がって リング状やシリンドラー型の形を示すようになる 貫入岩の貫入などにより 角礫は動かされ割れ目はパイプの外側にさらに発達する

角礫化の弱い たんに角礫岩とみなしうるものや 角礫の転位が少なく その移動が上方に向かっている角礫パイプは以上の考え方で説明できる。たとえばバグダード付近の角礫パイプはそのような例である。

しかし カナネア付近の角礫パイプで説明したごとく角礫パイプのあるものでは パイプ内岩片がかなり沈降した形跡がある。角礫化によりパイプ内の容量は増加し 結果として上方に向かう力は容易に発生するであろうし 火成物質も一般には上昇するから 岩片の上昇は説明しやすい。パイプ内に晶洞が多いことで示されるように 最終的にはパイプの空隙率は高くなっている。したがって 角礫化後にかなりのパイプ内物質の除去が

必要である。

Locke (1926) は その除去が初期段階で上昇した溶液が Corrosion によりパイプ内物質を溶解し 結果として沈降をもたらしたと考えた。この考え方には 比較的溶解しやすい既存の岩石 溶解力の大きい性質の溶液の2つが必要で またとかされた物質が運び出されなければならないから 角礫パイプは地表に通じている必要がある。

Perry (1961) は 石灰岩中に環状構造が生じて溶液が反応する場合に 上記の可能性がありうるとしながらも カナネア地方の角礫パイプに説明困難なつぎの2点をあげた。

- 1) 既述のように ある種のパイプでは角礫の沈降が著しい たとえば Capote パイプで 珪岩岩片は少なくとも 1100 フィート 落ち込んでいる このような大きな沈降を生ずるには 多量のパイプ内物質をとり去る必要がある 溶解されて運び出される量はそれほど多量とはならないであろう
- 2) カナネア付近には 既述のごとく明らかにパイプの頂部が閉じられたものがある

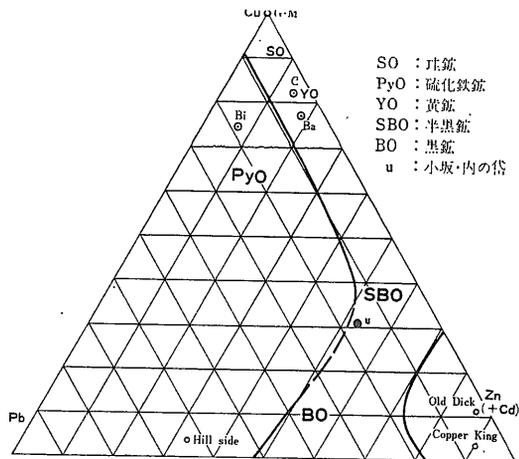
カナネア付近の角礫パイプでは パイプの底からパイプ内物質が除かれたと考えた方が妥当なようである。角礫パイプは石英斑岩プラグのまわりに群がるから それはマグマの運動に関係しているらしい。

Perry はサン・ホアン山地で角礫パイプが Silverton カルデラに密接に関係している事実や Williams (1941) のカルデラの成因を参考にし 角礫パイプを火山作用と結びつけた。そして深所でバソリスを形成しつつあるマグマの動きで その頂部の弱線部が落ち込んだと考えた。上昇しつつあるマグマが引き下がると 圧力のバランスがくずれ そのくずれはルーフの弱線部に集中的に反映して その物質の沈降を促進させる。その沈降量は次の諸条件で決定される。

- 1) 支えを失なったルーフの水平的な広がりとその強度
- 2) 引き下がったマグマの量とその引き下がり速度
- 3) マグマサイクルにおける角礫化の時期
- 4) キュボラの地表からの深度と角礫パイプの上限の深度
- 5) マグマから吐き出された揮発性成分の総量と地表に逃げ出した総量

Perry はこれら諸条件が集約された結果として 次の2つを挙げている。

- 1) 鉱化斑岩構造: 比較的大きいキュボラの頂部で わずかだが急速な圧力の減少が火成活動の初期の段階に固い岩石からなるルーフのもとで生じた結果 薄くて広いが深くて狭いドーム状の殻に網状の鉱床を生ずる 1~数回の貫入活動のあとで生じたもの



第22図 鉱床別のCu-Pb-Zn比の比較 実線破線内は立見・大島(1966)が採用した鉱床の領域 G-M: グローブ・マイアミ地域 C: Central 鉱床地帯(サンタ・リタを含む) Ba: バグダド地域 B: ビンガム地域 いずれも30年以上の過去の生産量に基づく 白小円で個有名詞はグローブ・マイアミ地方の鉛・亜鉛鉱床

2) 鉱化角礫パイプ: まず局部的な角礫化があり急傾斜の角礫柱を生じた これは構造的な弱線帯に規制されていることもある 火成活動の後期の段階でゆるやかに連続的なマグマの減圧が小範囲に限られて 中程度からより深い所で生じた結果

カナネアの角礫パイプはすべて 2) に属する。 1) のうち 薄くて広い殻の例は一般のポーフィリーカップー鉱床やクライマックス Mo 鉱床で 深くて狭いドームの例は第3報に図示したカナネアのラ・コロラダパイプと思われる。

角礫パイプの成因には以上のような定性的な概念が与えられている。 カナネア付近には既述のごとく 地表に通じていないパイプがあり 付近の層序とパイプ内の鉱床の累帯分布とが採掘により明らかにされているものがある。 これらにある仮定を設定すると その形成深度を定量的に推定することができると思われるが そのような扱いはまだされていないし その推定に十分な記載も公表されていないようである。

累帯分布と有用元素比

ポーフィリーカップー鉱床のいわゆる初生鉱石鉱物はおもに黄鉄鉱と黄銅鉱 少量の斑銅鉱 輝水鉛鉱 閃亜鉛鉱 方鉛鉱などである。 これらの鉱物は既述のごとく貫入岩を中心に累帯分布を示していることがある。 貫入岩の近辺の小範囲内で 黄鉄鉱は一般に黄銅鉱帯の外帯に多い。 しかしこれが熱水液から沈澱した総量があつても多い部分の周囲に 黄鉄鉱が多いことを意味しているか否かは(多分そうであろう)疑問である。 少量の硫化物では 輝水鉛鉱は深部に 閃亜鉛鉱と方鉛

鉱は角礫パイプで上部に 一般の場合は周辺に多い一般的傾向が認められる。

広域的な累帯分布についてはすでにビンガム サンタ・リタ ロビンソンなどでのべた。 ビンガム周辺で代表させると 鉱床内の $Cu + Mo \rightarrow Cu + FeS_2 \rightarrow FeS_2$ の分布に加えて さらに外側に $Pb \cdot Zn \cdot Ag \rightarrow Mn$ の配列が認められる。 累帯分布を示すこれらの元素の量比は定量的に表わされることが望ましい。 ポーフィリーカップー鉱床は環太平洋地域のほぼ全域にわたり分布するから かりに鉱床は深部の銅に富む起源物質からもたらされた考えに立ち 一単位のマグマに由来する貫入岩の周囲の金属量を求める。 この金属量比は起源が同じであるから 異なった地域でも似ているかも知れない。 また この種の鉱床は発見されていないわが国の 銅量として多量で広域的な構造が類似している 東北日本内帯の黒鉛～鉄脈鉱床との比較はどのようであろうか。

立見・大島(1967)は Cu-Pb-Zn 比と黄銅鉱-黄鉄鉱(閃亜鉛鉱+方鉛鉱)比において 黒鉛-鉛・亜鉛鉱脈-カナダ塊状硫化物(Pb・Zn) 鉱床 半黒鉛-銅・鉛・亜鉛鉱脈-含亜鉛層状含銅硫化鉄鉱床-カナダ塊状硫化物(Cu・Zn) 鉱床 黄鉄-珪鉄-銅鉄脈-層状含銅硫化鉄鉱床 のそれぞれの組み合わせに類似性を認め その起源物質は鉱床形成時の諸条件をこえた規則性を有するものとみなした。

ポーフィリーカップー鉱床について この種の議論をおこなう場合に まず一単位の貫入活動によりもたらされた総有用元素量を知る必要があるが それは一般に厳密には困難である。 母岩の種類 とくに石灰質岩の有無に留意する必要もあり また数値の集め方(ある時点での鉱石品位×鉱床規模の総和 ある期間の総生産量など)にも問題がある。 筆者の集めた資料は不十分であるから 第22図に生産量にもとづく4例を示すとどめる。 Cu-Pb-Zn 比を貫入岩付近に限ると すべての鉱床はCu 端から珪鉄の領域におちる。 また 周辺の鉛・亜鉛鉱床には 立見・大島が扱った鉱床の分布領域をはずれるものも存在する。 この図から ポーフィリーカップー鉱床に付随する鉛亜鉛量の占める割合は たとえば黒鉛鉱床に比べて 非常に小さいことがわかる。

少量ではあるがかなり普遍的に存在する輝水鉛鉱は合衆国では一般に0.03%MoS₂以下であり 南アメリカヤソ連のものより少ない(第2表)。 モリブデン鉱床では それをもたらした貫入岩の分化が進んでいることが必要とみなされるから ポーフィリーカップー鉱床の貫入岩の岩質と初生の Cu/Mo 比との間にも 一般的な法則が存在しているであろう。 しかし これにもつぎの

第2表 選鉱元鉱の Cu/MoS₂ 比

地方と鉱山名			Cu %	MoS ₂ %	Cu/MoS ₂	
北 ア メ リ カ	合 衆 国	ビンガム	0.78	0.02	39,32 (過去の生 産量にも とづく)	
		モレンシイ	0.69	0.015	46	
		サン・マニエル	0.73	0.02	37	
		インスピレーション	0.91	0.02	46	
		シルバー・ベル	0.90	0.03	30	
		エスペランザ	0.51	0.028	18	
南 ア メ リ カ	ペ ル ト ケ パ ラ	ペ ル ト ケ パ ラ	1.51	0.04	38	
		チ リ	チュキカマタ	1.40	0.03	47
		エル・サルバドール	1.80	0.04	45	
ソ 連	カザクスタン	Kounradsk	1.10	0.015	73	
		アルメニア	Kodzharan	1.50	0.15	10
		Dastakert	1.50	0.10	15	
		Agarak	1.70	0.08	21	

ビンガムとエスペランザを除き Sutulov (1965) による

問題があつてその初生比を知りにくい。

- 1) 銅は浸食作用で輝銅鉱として残存しているのに対し モリブデンの多くは流出したと思われる
- 2) 副産物として回収しうる MoS₂ %以下の分析値がこの問題に使うようにはなされていない また 貫入岩の分析値も十分でない

以上の問題点が存在しても アメリカ合衆国より南アメリカ ソ連の順に MoS₂ 量の多い鉱床があつて 分布地域によって Mo 量に差があることは明白である。

第3表 ポーフイリー・カッパー・鉱床の Cu/Au・Ag 比

鉱 床 名	Cu/Au	Cu/Ag
ビンガム	40,000	4,000
エリー (ロビンソン)	30,000	10,000
レイイ	1,000,000	15,000
マイアミ	1,000,000	15,000
アホ (ニュー・コルネリア)	70,000	6,500
キャスル・ドーム	840,000	12,400
バグダード	12,000,000	9,000

現時点では 南アメリカ 合衆国 ソ連の順に 鉱石中に二次富化鉱の占める割合が大きいためであらう。 Cu/MoS₂比はその割合に大きく影響される。 たとえばサンタ・リタ鉱床では 初生銅品位は南北両ピットをならしてほぼ0.2%Cuであり 初生の Cu/MoS₂は10程度に低下する。

Locke (1933) と Anderson ほか (1955) はポーフイリー・カッパー・鉱床中の Cu/Au と Cu/Ag とを第3表のように示した。 この数字の意味は原著には記されていないが 金・銀は元素の累帯分布がある場合には 周辺の他種の鉱床に濃集しているから もし起源物質の Cu-Au・Ag 比が同様であれば 同比の相違は鉱床形成時の諸条件の差を反映していると思われる。 Cu/Au比のもっとも低いビンガムとエリーとは母岩に石灰質岩を伴うもので またプレカンブリア界に貫入する鉱床で同比は一般に高い。 鉱床形成時に 化学反応の生じやすさと形成の速度とは 金の沈澱と逸散にもっとも大きく影響したのかも知れない。(つづく) (筆者は鉱床部)



飛騨木曾川国定公園



堀内 恵彦

遠く飛騨の山中に発して岐阜県の中央部を南下する飛騨川の上流にあたる益田川の下呂付近から 木曾川との合流点までの約67kmの間と 丸山蘇水湖から日本ラインの終点である犬山までの約42kmにわたる木曾川の沿岸が この公園の地域で総面積152.80km² にわたります。 この公園は全体が河川流域を主とする 典型的な河川公園で その大部分は岐阜県内にあつて一部分が愛知県に所在します。 大別して 湯ヶ峰 中山七里 飛水峡 丸山蘇水湖 鬼岩 日本ラインの地区にわけられます。

飛騨川は 中流の下呂と木曾川合流点との間60kmの標高落差335mで いたるところ急流激流であり 奇勝に富んでいます。

これらのうち 中山七里といわれる部分は 主として石英斑岩からなる地域で その中を流れる河川に 侵食されて 直立150mにも及ぶ絶壁を形成し 雄大な景観です。 飛水峡は 秩父古生層の中を流れる河水が 河成段丘に大小幾多のオウ穴を作り それらが延々とつらなる荘大な景観です。 丸山蘇水湖は 八百津町に建設された丸山ダムによって作られた人工湖ですが 兩岸に切り立った断崖が迫る流域の景観はよくとくに紅葉の季節はすばらしいものです。 鬼岩地区は 花崗岩の大岩塊で その節理の発達とそれにそって行なわれた風化と侵食によって特異な景観を作ったもので 近くに鬼岩温泉があります。 日本ラインは 美濃太田から犬山までの間の木曾川の流流が ドイツのライン川の風景に似ているというところから名付けられたもので 奇岩怪石をぬっての舟下りは興味があります。

以上要するに高山線の沿線の大部分とそれからわかれた木曾川の一部は 中京地区から比較的簡単に出かけられますから 絶好のレクリエーション地として利用者も多く また全国から観光に訪れる人も多くあります。 公園の指定は昭和39年3月3日 切手は去る7月20日に発行され 日本ライン下りと犬山付近の風景を画く 15円切手2種です。

(筆者は元所員 現科学技術情報センター)