

ポーフィリーカッパー鉱床

②

石原 舜三

サフォード (Safford) 鉱床

多くのポーフィリーカッパー鉱床が露頭部の酸化鉱や二次富化帯の高品位の銅徴候から出発したのに対してサフォード (Safford) 鉱床は 近代的探査方法により造り出されたともいえる鉱床で 注目に値する。1955年ケネカット社の探査部門であるベア・クリーク社 (Bear Creek Mining Co.) はアリゾナ州東南部 ギラ山地のローン・スター (Lone Star) 鉱床地域の探査を行なうこととした。この地域には小規模な銅鉱脈や旧坑が知られているにすぎなかったが 「古期火山岩類」があつて著しい断層破砕帯が走り 石英モンゾニ岩～花崗閃緑岩類の小岩株が貫入していた。これらをおおひ火山岩や堆積岩類に鉱化作用は認められなかったが その下部に鉱床を予想することは容易であつた。熱水変質は広範囲に認められ 銅鉱物を含む黄鉄鉱の鉱染もあつて 潜頭鉱床が期待できる条件はそろつていた。

本格的な試錐探査はすでに1948年に他の2社により実施されていたが 黄鉄鉱鉱染体や低品位鉱を発見したにとどまっていた。ベア・クリーク社は 1955年にまず $1''=1/2\text{ml}$ の地質図の作成を始め 翌1956年には地化探が ついで物探が導入され 1958年末までに延約25,000mの試錐を実施した。1958年に約270mの立坑がおろされ 1,300mレベルで延べ1,000mの坑道が切られ 坑内外でさらに延べ39,000mのボーリングが追加された。北米大陸では珍しい火山岩中のポーフィリーカッパー鉱床が このようにして確認されていった。

地質

サフォード鉱床はアリゾナ州南東部特有の Basin & Range 地形の中で 北西にのびる Gila 山地にある。山地のもっとも高い部分は第三紀層のうち 北または北東にゆるく傾斜する (10—12°) 新期中性火山岩類からなる。山地の南端では 白亜紀と思われる旧期の火山岩類が付随する貫入岩類と共に露出する。この火山岩類は新期火山岩類や新しい堆積物中に地窓としても分布している。

貫入岩：構成岩類の概要は第1表のとおりである。貫入岩類のほとんどは鉱床の母岩である旧期火山岩類まで それより上位に貫入するものはごく一部 (玄武岩

と流紋岩) である。石英閃緑岩～流紋岩質の貫入岩はローン・スター破砕帯中に dike swarm として産する (第1図A)。この一部は流紋岩プラグに由来したものらしく急傾斜で深い噴出口を 500×670m 深さ少なくとも670mにわたつて 各種の碎屑岩類と共に埋めている。そのシリンダー型の形や爆裂性のデブリを伴っていることから これは噴出口 (volcanic vent) の地表面に近い部分と考えられる。これら岩脈は幅約 10cm～70m で その長さは一般に 700～1,300m程度追跡できる。破砕帯の北東側は中期や新期の火山岩類におおわれるが岩脈やプラグは引続いて存在している。たとえば 鉱体内の 1300mL では14～20本のこれら岩脈が走り このレベルの約25%は岩脈で占められる。

サン・ホアン岩株は始新世の貫入岩で 石英モンゾニ斑岩 花崗閃緑斑岩 花崗閃緑岩からなり サン・ホアン鉱山で斑状安山岩に貫入する。330×500mで 長軸は北東—南西である。同じく始新世のローン・スター深成岩はおもに石英閃緑岩で 部分的に花崗閃緑岩と石英モンゾニ岩の岩株状複合岩体で 1.3×2.7kmの大きさ

第1表 サフォード鉱床周辺の構成岩類

時代	堆積岩類			貫入岩類
	岩石単位	岩石種	厚さ	
現世 鮮新世	沖積層 ほか	砂礫 シルトストーン 礫岩	0～ 2500m+	鉱化後玄武岩 流紋岩々脈 鉱化前岩脈とプラグ： 石英ラタイト ラタイト 石英安山岩 石英閃緑岩 サン・ホアン岩株 (5800万年 K-Ar法) 石英モンゾニ斑岩 花崗閃緑斑岩 花崗閃緑岩
晩期 第三紀(?)	新期 火山岩類	上部層：玄武岩熔岩と凝灰岩 下部層：玄武岩熔岩 集塊岩 凝灰岩	0— 1000m	
中 早期 第三紀	中期 火山岩類	上部層：石英安山岩 安山岩 ラタイトの熔岩 熔岩角礫 凝灰岩 下部層：玄武岩熔岩	0— 2000m 0— 600m	
始新世		火山碎屑岩類		
白亜紀(?)	旧期 火山岩類	上部層：安山岩熔岩 熔岩角礫 泥熔岩 下部層：斑状安山岩 熔岩角礫	m+ 2700	
カンブリ	珪岩	珪岩	捕獲岩	

である。斑状安山岩に貫入する。

鉱床をはなれてそれと恐らく無関係に 径18m程度の3本の Breccia pipe がローン・スター岩株中 At Ease 断層の近くに分布する。数本の Pebble dike (幅30cm以下) がこの Breccia pipe から分岐している。サン・ホアン岩株の北西側では 径 130m の Breccia pipe があって その周囲をそれほど厚くない 石英安山岩の Ring dike がとりまいている。

構造：鉱床付近は Basin & Range 地形に属するので 当然のことながら Gila 山地に沿う北西系の断層が広域的に発達する。その著しいものに たえば南西に急傾斜の Butte 断層があって それを境いに新旧火山岩類が上下に 700m 程度ずれている。しかし旧期火山岩類の中にはこれに斜交する断層帯があって 鉱化作用を規制している。

ローン・スター破砕帯は Lone Star 断層と At Ease

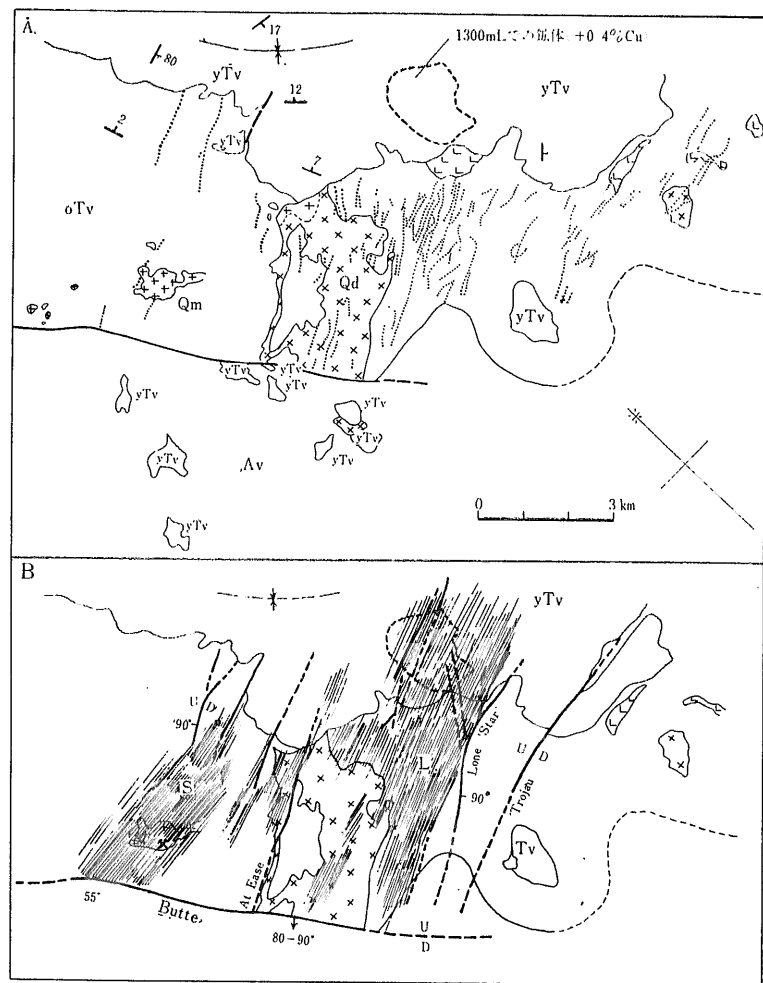
断層との間にあつて その幅約 2 km である(第1図B)。走向延長に少なくとも 5.3 km は続いているが そのうち約 1.7 km は新～中期の火山岩類などにおおわれている。走向 50°~60° E 垂直または北に急斜する。この破砕帯は無数の断層 破砕部 割れ目などからなり その北東部に鉱床を胚胎する。全体としてその周囲から盛り上っており 西北側のサン・ホアン破砕帯とのずれは 270m 程度と推察される。Lone Star 断層の南 1 km の所に同系列の Trojan 正断層が 南東側の新期火山岩類を相対的に60m程度おとしている。

ローン・スター破砕帯から北西に 1~1.3 km の破砕化の少ない地層をへだてて サン・ホアン破砕帯が存在する。これは幅 1 km 走向延長に 3 km ほど確認され サン・ホアン鉱床を胚胎する。この破砕帯の走向と傾斜は前述のローン・スター破砕帯のもの類似しており その破砕化はサン・ホアン石英モンゾニ斑岩岩株の近くでもっとも著しい。この岩株の近くには北西 東西北東系などの弱破砕部分があつて これらは石英モンゾニ斑岩の貫入を規制したと思われる。

鉱床

サフォード鉱床は旧期火山岩類の斑状安山岩に破砕帯や断層が発達し それに酸～中性の岩脈 プラグ 噴出口などが存在する所に存在する。安山岩と岩脈類の双方が鉱化をうけ 破砕作用が著しく無数の小岩脈が貫入する所で鉱況がよい(第2図)。この破砕帯は噴出口とそれを埋めるデブリ(地表近くでの現象)にもみられるので 鉱床は浅所 低温 低圧の条件のもとで形成されたと思われる。

多くのポーフィリー・銅鉱床



第1図 サフォード鉱床周辺の地質と構造 (Robinson ほか1966原図)

A. 地質図

- oTv: 旧期火山岩類
- yTv: 新～中期火山岩類
- Qd: ローン・スター岩体
- Gm: サン・ホアン岩体
- L字模様は中～酸性火山岩質プラグ噴出口
- 点線は同質岩脈

B. 断層(太線)と破砕帯(細線)

- S: サン・ホアン破砕帯
- L: ローン・スター破砕帯
- 鉱床付近の構造は坑内資料を投影

と違って深成岩には著しい鉱化作用がみられない。ローン・スター岩体は破砕化からとり残され その両翼で破砕化をうけるのみといえる。一方 サン・ホアン岩体の周辺では破砕化や熱水変質が著しく 鉄 銅 モリブデンなどの硫化物が多少とも伴われる。サン・ホアン鉱床はそれら鉱化作用がもっとも著しい部分で これはサン・ホアン岩株と周囲の安山岩類との接触部で破砕化の激しい部分にあたる。

黄鉄鉱鉱染帯を含めると サフォード鉱床周辺の鉱化部は平面的に 2×4 km におよぶが銅鉱床 (+0.4% Cu) は最大の部分でこの 1/4 であり 最大厚さは 530 m である (第 3 図 B)。鉱床は新しい火山岩類におおわれた潜頭鉱床である。初生鉱物はおもに黄鉄鉱と黄銅鉱で 少量の斑銅鉱と輝水鉛鉱 微量の四面銅鉱 方鉛鉱 閃亜鉛鉱などである。

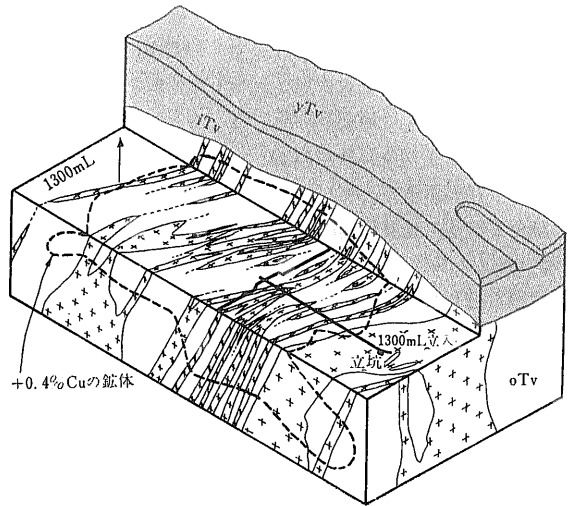
黄鉄鉱は容量比で 0.2~1.0% 鉱床周辺の黄鉄鉱鉱化帯で 4~8% 脈状や鉱染状に産し 黄銅鉱に比べて輝銅鉱やコペリンに交代されにくく また褐鉄鉱化も受けにくい。黄銅鉱も脈状や鉱染状に産出し 2% 程度に達することもあるが一般に 0.7% に下がる。黄鉄鉱鉱化帯では平均 0.4% の黄銅鉱が存在する。斑銅鉱も同様な産状を呈するが 輝水鉛鉱は石英細脈中に産し 深所ほどその量は多い。

磁鉄鉱は硫化物と共に鉱脈中にかなり一般的に認められる。四面銅鉱 方鉛鉱 閃亜鉛鉱は細脈中と鉱床周辺の黄鉄鉱化帯で知られている。金は鉱床内でなく 南東方約 700 m の安山岩中の破砕帯 (幅 1.5 m) 中の割れ目に産出する。銀鉱物は未確認である。

変質作用: 変質作用は既述の鉱化部 (2×4 km) の全域におよぶが 鉱床が存在する北東部の約半分は中〜新期火山岩類におおわれる。

変質作用の中心ともいえる強変質部は石英—絹雲母帯で これは地域の南西部に発達し 一般に黒雲母帯に隣接し 北東部でそれに重複する (第 3 図 A)。鉱床は両変質帯中であって その周囲にはほぼ同心円的に緑泥石帯とプロピライト帯とが分布する。石英—絹雲母帯と緑泥石帯の一部は黄鉄鉱鉱化部に存在するが プロピライト帯は破砕帯 鉱脈 岩脈などが横断する部分を除いて硫化物を伴わない。

各変質帯の境界は不明瞭で とくに斑状安山岩中では漸移あるいは重複の関係で変質帯を明確にしにくい。母岩の種類や構造は重要で たとえば石英—絹雲母帯はおもに安山岩後の貫入岩類 (岩脈) 結晶質凝灰岩 噴出口デブリなどに一致している。絹雲母は岩脈中のみならず 鉱床の南西方約 3 km もはなれた緑泥石化帯とプ



第 2 図 サフォード鉱床の立体地質図
 十字は中〜酸性貫入岩脈とプラグ
 網目は中期 (ITv) と新期 (yTv) 火山岩類

ロピライト化帯中で 岩脈の両壁で斑状安山岩に接する部分にも産出する。絹雲母化は大局的に黒雲母化 (とその他の変質) より明らかに後期である。黒雲母化岩は鉱脈 破砕帯 接触部などに沿って絹雲母化をうける。この前後関係は鏡下観察でも裏付けられている。

石英—絹雲母帯は 1.7×2.3 km の範囲におよび 白〜灰白色を呈する。母岩が貫入岩類の場合に 斑晶や石英の斜長石がおもに細脈に沿ってほぼ完全に石英と絹雲母に変質している。黒雲母化安山岩も断層その他の割れ目に沿って その苦鉄鉱物と斜長石とが石英 絹雲母 絹石に変質している。この絹雲母は K-Ar 年代測定で 5,300 万年で この値はサン・ホアンとローン・スター両岩株より若い。

黒雲母化はおもに斑状安山岩がこうむり 角閃石や普通輝石が褐色黒雲母に交代される。その産状は鱗片状 クロット状で まれに細脈状で硫化物を伴う。黒雲母化のもっとも著しい部分は鉱床近辺の岩脈 プラグなどの周囲で 黒雲母量は 10~50% (平均 20%) である。酸〜中性貫入岩類中のこの二次的黒雲母はごく少量 (2~3%) で 石英細脈に沿っている。その他の産状も存在したかも知れないが より後期の絹雲母化で分解されたであろう。サン・ホアン鉱床は同岩株の周りで 幅約 700 m の黒雲母化斑状安山岩中に存在する。

緑泥石は各段階でもっとも一般的に現われる変質鉱物であるが 緑泥石化帯と呼べるものは 300~700 m の幅で 前述の二変質帯の外帯に存在する。プロピライト化帯

は広範囲に広がり 緑泥石とこれに次ぐ緑簾石とで代表される。 鉱化作用や他の変質作用との関係は明らかでないが おそらく自変質作用によるものであろう。

貫入岩類(おもに岩脈)の多くは その石基に15~20%のカリ長石を初生的に含むが ある場合には鉱脈に沿ってカリ長石が濃集している これは鉱脈から母岩への添加あるいは 変質作用時に初生カリ長石が移動した segregation vein と考えられる。 二次的カリ長石は石英や絹雲母と共に安山岩中を鉱脈に沿ってしばしば産出する。 絹雲母化作用に先立って安山岩中の斜長石(andesine)は オリゴクレスカ曹長石に変質された。 貫入岩類(おもに岩脈中)でも曹長石化は初期の段階で生じている。 変質作用と鉱化作用を通じて S が添加された。 Kはほぼ2倍程度に Siもやや増加している。 減少した元素は Ca と少量の Na Mg Al などである。 Fe^{3+} の増加が Fe^{2+} の減少分をうめ 鉄全体としては変化していない。

二次富化と酸化: 初生鉱化作用後に鉱床はおそらく浸蝕を受け 酸化 溶脱 富化などが生じた。 溶脱帯は0~300mで平均150m程度 その中における黄銅鉱/黄鉄鉱初生比は容量比で2/1 これは Cu の溶脱に好ま

しい比率であったと考えられ 現在の溶脱帯にはより多くの黄鉄鉱が残存している。

移動した Cu は黄銅鉱/黄鉄鉱比が高い初生鉱床の上に二次硫化富銅部(chalcocite blanket)を形成した。 この黄鉄鉱がやや少ない部分の説明は Butte 断層に伴う上昇地塊運動の末期に一次または二次的銅鉱物から少量の Cu が動いたことで可能であろう。 二次的銅鉱物は輝銅鉱とコペリンで 輝銅鉱は黄銅鉱 斑銅鉱 またはコペリンとなら完全に交代するが 黄鉄鉱に対しては皮殻状にとり巻くにすぎない。 肉眼的に「スチール状」と「煤状」の外観を呈する2種類がある。

珪孔雀石とプロシヤン銅鉱とが酸化帯鉱物の代表的なもので 二次硫化物富銅帯との混在部分で輝銅鉱やコペリンを交代する。 酸化作用と二次硫化物富化作用とは第三紀後期の火山岩類が鉱床をおおう前に始まっていたと思われ 酸化鉱石がこの火山岩類の基盤の礫岩中にみられる。 現在 鉱床付近に地下水面は知られていないがその当時には存在していたに違いない。

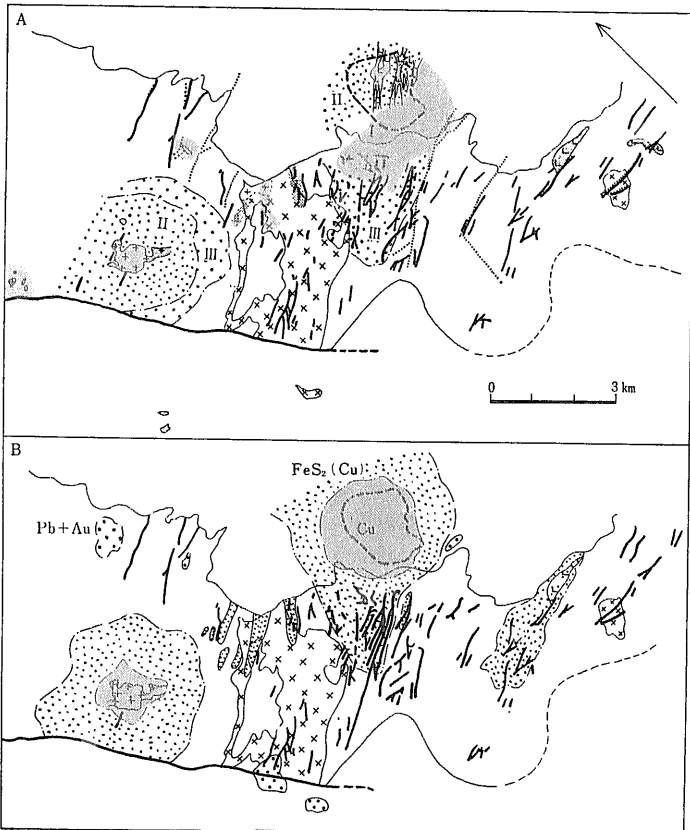
この地下水の作用による鉱物として 針鉄鉱と赤鉄鉱とが顕著で 鉱床をおおう部分に多く 鉄明ばん石と明ばん石とは黄鉄鉱化帯の上で多い。 カオリン 明ばん石 モンモリロン石は大規模な破碎帯 断層 接触部で耳たぶ状にとり囲まれた部分などに生じている。 カオリンはとくに酸性地下水の通路であったと思われる部分に著しく発達している。 この地下水による変質作用は鉱床の上部で平均深度150mにわたって進行し 局部的にはチャンネル状に深さ670mにおよぶことがある。 これらに比べて地表に露出している黄鉄鉱化帯では平均90m程度で やや浅い。

総 括

広域的な北東方向の弱線を持つプレカンブリア系に 白亜紀と思われるころサフォード地域で安山岩と同質の集塊岩などの噴出があった。 おそらく基盤の弱線を反映して第三紀初期に北東系の破碎および断層運動が生じて その著しい部分にローン・スターとサン

第3図 サフォード鉱床の変質と鉱化作用

- A. 変 質 太線と点線は岩脈と断層に沿う石英・絹雲母帯 網目(I)は一般の石英・絹雲母化帯 II 二次的黒雲母帯 III 緑泥石帯 その他の古期火山岩類はすべてプロピライト化をうける
- B. 鉱 化 太線は破碎化周縁に銅鉱化作用を伴う岩脈類 鉱化帯は中心から外側に銅硫化物+黄鉄鉱 黄鉄鉱(銅硫化物) 方鉛鉱+金の変化を示す



・ホアンの両岩株が貫入した。北東系の運動は引続きそれに沿って岩脈 プラグなどが貫入し 噴出口も生じた。これらが繰返された後鉱液が上昇し 岩脈 プラグ それらに接する安山岩類が変質と鉱化作用をこうむった。酸化 溶脱 二次硫化物富化などの作用が生じそれらは一回以上の上昇運動に伴われて引続いた。その運動の主たるものは Basin & Range 式の Butte 断層によったものであろう。これらの期間のある時期に中期火山岩類が噴出した。その当時のギラ山地の嶺線は現在よりも西よりであったらしい。わずかな時間において 新期火山岩類が噴出した。これらは後期第三紀までに生じた。

この2回の火山活動後 Butte 断層に沿う最大の動きが生じ 上盤側の南東側を約700m 低下させた。その後浸蝕が進み 部分的には北東系に沿う隆起や浸蝕もあって 現在にみる地形を形成したものとと思われる。

なお 原著の最後の2ページには 探査過程が記述されていてその発見が新しいだけに鉱床と物探 化探結果などとの比較資料の保存がよく 探査関係者に一読をおすすめできる。サフォード鉱床は火山岩中に存在することで北米大陸では特異であった。次に北米大陸でごく普通のおもにプレカンブリア系に貫入するものを紹介しよう。

インスピレーション (Inspiration) 鉱床

この鉱床はアリゾナ州の首都 フェニックスの東方約 100km 前述のサフォード鉱床の北西約 130km にあって アリゾナ州の多くのポーフィリー銅床中でコロラド高原にもっとも近いものに属する。

インスピレーション鉱床はギラ地方 (Gila County) のマイアミ鉱床地帯に位置し Glove 町の西北西約 10km にある。この鉱床はアパッチインディアン討伐隊の軍人により発見され 1827年に初めて採鉱家が入った。1896年に酸化鉱の採掘を開始し 1904年から低品位鉱染銅鉱石が稼行されはじめた。1915年には大きく拡張され 18,000トン処理の選鉱場が完成された。採掘

法はブロックケービングと露天掘りで 1915~1962年間に現所有者の Inspiration Consolidated Copper Co. が採掘した粗鉱は約 1.8 億トン (1.1% Cu) である。

地質

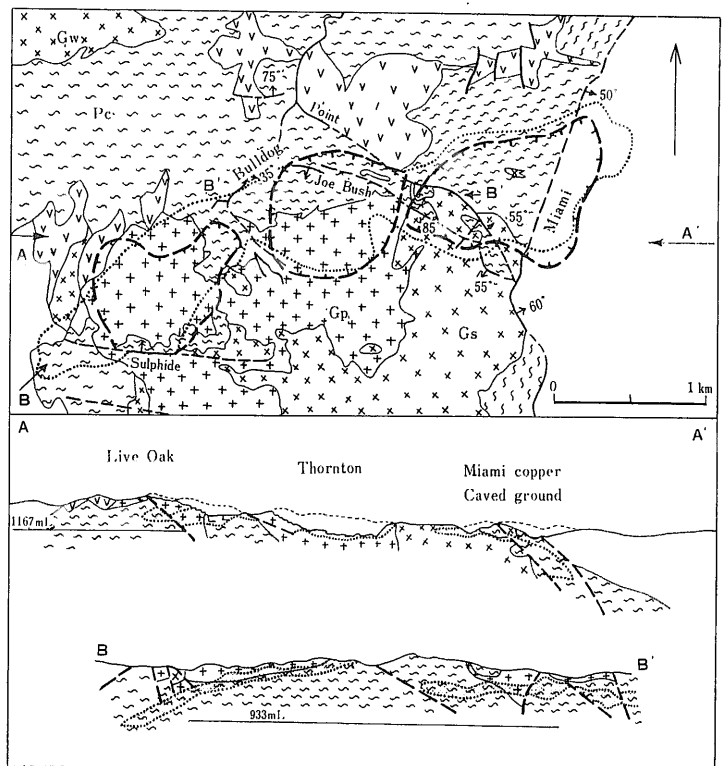
鉱床付近にはプレカンブリア系と第三紀の噴出および貫入岩類が分布し 古生代の堆積物は存在しない。

プレカンブリア系のうちでは Pinal 片岩が著しい鉱化作用をうけ重要である。この片岩はプレカンブリア紀初期の堆積岩と火山岩を原岩とし 粗粒の白雲母-石英片岩 粗粒石英-絹雲母-緑泥石片岩 少量の角閃石片岩からなる。一般に N50° E 南東に急斜する。鉱床の外形と貫入岩の形は片理面にほぼ平行である。ほかにプレカンブリア紀末期と思われる礫岩 その他の堆積岩類がある。

以上の諸岩類に貫入して普通輝石-角閃石輝緑岩々脈がある。これは第三紀貫入岩と思われるが プレカンブリア紀の可能性もある。この岩脈は鉱体を規制していない。

Willow Springs 花崗閃緑岩は石英モンゾニ岩質の部分もある おそらく 第三紀の貫入岩であって 後述の Schultze 花崗岩より早期である。鉱床の西北方に N75° E にのびて分布し 鉱体と無関係である (第4図)

Schultze 花崗岩は鉱床の西と南から続く 不規則形状



第4図
インスピレーション鉱床の地質図Pc: プレカンブリア系 Gw: Willow-Springs 花崗閃緑岩 Gs: Schultze 花崗閃緑岩 ~石英モンゾニ岩 Gp: 花崗斑岩 Tv: 石英安山岩と礫岩 (第三紀)
無記号: 第四系 (Olmstead & Johnson 1966 原図)

の岩株 (chonolithic stock) で 鉱化作用と密接な関係を持つ。 鉱床付近では花崗閃緑岩 石英モンゾニ岩 斑状石英モンゾニ岩などからなるが 斜長石/カリ長石比の変化が激しく とくに鉱床の近くで著しい。 これは変質作用によるカリウムの添加の結果と思われる。

K-Ar 法による絶対年代は 6200 万年である。

Schultze 花崗岩の末期相 (K-Ar 法による黒雲母年代 5800 万年) と思われる花崗斑岩は もっとも重要な運鉱岩で重要な鉱床母岩でもある。 Schlutze 花崗岩の周辺にプラグ状に また Pinal 片岩中に舌状に貫入する。 分岐小岩脈も多い。 この斑岩の特徴は自形の石英斑晶で鏡下では斜長石がカリ長石に著しく交代される。

その他の岩石として 局部的に発達する Whitetail 礫岩とそれをおおう石英安山岩と同質の凝灰岩とがある。 この石英安山岩は低い丸い丘を形成し 第三紀火成活動の最末期 (2000 万年前 K-Ar 法) の産物と思われる。 第四紀の堆積物が以上の諸岩石をおおう。

構造： 鉱床地域の諸構造は基本的にはプレカンブリア紀結晶片岩の片理面に支配されているが 部分的にはゆがめられている。 運鉱岩と思われる花崗斑岩を規制する要素に断層がある。 マイアミ断層は N25°E 50°E であり 東側の第四紀層を 700~1000m 落している。 Schlutze 花崗岩の東縁を制しているの貫入岩の貫入以前から存在した弱線帯の一部と思われる。 Sulphide 断層も古い断層の一つで 東-西にのび北に急斜する。 一部では花崗斑岩と結晶片岩との境界を走る。 鉱体はこの断層で動かされていない。 この断層は鉱液の通路であったと思われるが 花崗斑岩中にはほとんど追跡できない。 その南方約 300m の Southwestern 断層は花崗斑岩中に追跡でき 鉱体をずらしている。 Pinto 断層は NW 45°NE で Miami 鉱体と他の 2 鉱体とを分ける正断層である。 この断層は断層粘土を伴う角礫帯で 鉱石のひきずりを伴い また微弱な鉱化作用をうける。 この断層の下盤側 (Inspiration 側) では品位が良くなる。 また Miami 鉱体側の Pinto と Miami 断層とが鋭角に交差する部分でも鉱況が良い。 以上の諸断層のほかにも多くの小断層があるが落差 100m 以下 いずれも小規模である。

鉱 床

インスピレーション鉱床は かつては二次富化輝銅鉱を主目的とする “Blanket 型” 鉱床であったが 現在では初生の鉱染鉱床を採掘して 品位の上昇は二次富化帯の採掘によって行っている。 インスピレーション鉱体は両者の混合鉱で 1% Cu 以下 0.02% MoS₂ Au Ag の

根跡 の含有量を持つ。

鉱床は約 800×2800m に広がり 厚さは最大 230m 平均 100m である。 N72°E にのび 富鉱部の落しは一般に南西である。 鉱床の母岩はおもに花崗斑岩と Pinal 片岩 一部で Schlutze 花崗岩で 貫入岩とプレカンブリア系の比率はほぼ 1:1 である。 鉱床は Pinal 片岩と花崗斑岩との境界面や断層に支配され Miami, Pinto 両断層に沿って縞状に また Joe Bush と Bull Dog 断層間でも縞状に高品位部がみられる。

初生鉱物は黄鉄鉱 黄銅鉱 輝水鉛鉱 微量の斑銅鉱と輝銅鉱で ごく微量の閃亜鉛鉱と方鉛鉱のほか 金銀も確認されている。 産状は鉱染および細脈状である。 黄銅鉱-石英脈が数ヶ所で黄鉄鉱-石英脈を切り 輝水鉛鉱-石英脈はそれらのすべてを切るので最末期の晶出物と思われる。

花崗斑岩が銅硫化物をもたらす そのもっとも分化した岩相が石英 黄鉄鉱と輝水鉛鉱をおもにもたらしたと思われる。 変質鉱物のうち カリ長石化と珪化の一部は鉱化作用に先立ち 主部はほぼ同時期であった。 銅鉱化作用に伴う変質鉱物にはほかに絹雲母 黒雲母粘土鉱物などがある。 緑簾石は鉱床の北と東縁に産出する。

比較的大きな断層の近くに弱い角礫化はみられるが 著しいもの (たとえば Breccia pipe) は認められない。

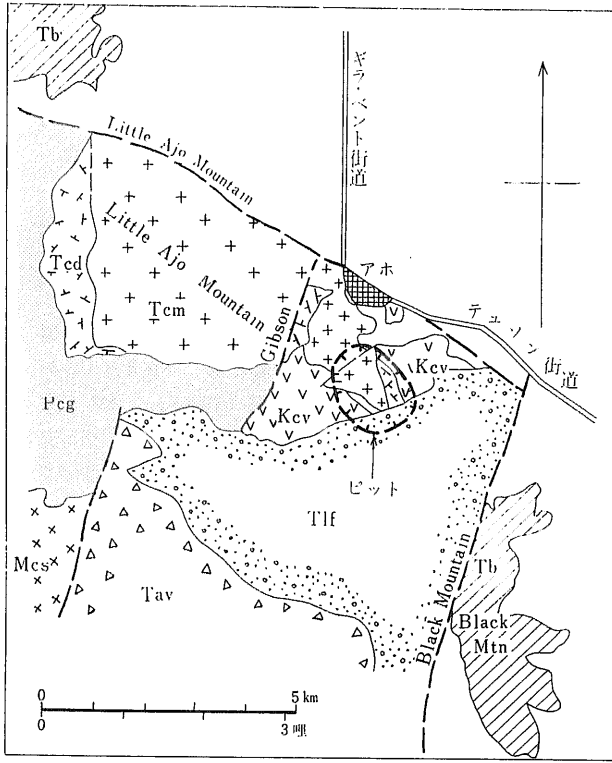
鉱床は溶脱帯をキャップとして伴い その厚さは 0~330m 以上 平均して 130m 程度であり 最頂部では Cu 含量が数 ppm をこえないこともある。 その下位の酸化帯は 厚さが平均 70m 程度で比較的一定しているが断層その他の透水層の部分では変化する。 二次硫化富化帯は平均 70m 程度 厚い場合には 150m にも達する。

二次富化帯の銅鉱物は輝銅鉱 斑銅鉱 コペリン 黄銅鉱などで 輝銅鉱は初生の黄鉄鉱 黄銅鉱を完全に交代するか黄鉄鉱をフィルム状に包む。 輝銅鉱ブランケット (blanket) の下位に比較的安定に黄銅鉱に富む部分があり この黄銅鉱は非常に薄いフィルムとして黄鉄鉱の表面をおおう。 これらからこの黄銅鉱は降水によると考えられるが 異論も多い。

珪孔雀石 孔雀石 らん銅鉱が主要な酸化帯の鉱物である。 酸化 溶脱 二次富化などの作用は第三紀中に著しく進行し 現世まで引続いたと思われる。

ニュー・コーネリア (New Cornelia) 鉱床

今回の最後は アリゾナ東南部の鉱床群中で西方に孤立するニュー・コーネリア鉱床である。 これは アホ (Ajo) の名でも親しまれ フェニックスの西南方 テュソン (Tucson) の西方に当り メキシコに近い。 この鉱床はアリゾナ州ピマ地方 (Pima Co.) アホに位置し



第5図 ニュー・コルネリア鉱床周辺の地質
 Pcg: Cordigan 片麻岩 Kcv: Concentrator 火山岩類
 Mcs: Chico Shunite 石英モンゾニ岩
 Tcd: コルネリア石英閃緑岩
 Tcm: コルネリア石英モンゾニ岩
 Tlf: Locomotive 扇状地礫岩 Tav: アホ火山岩類
 Tb: Batamote 安山岩 破線に固有名詞は断層 (Dixon 1966 原因)

Basin & Range 地形のソノラ砂漠に含まれる。

この地方の鉱業の始まりは不明確であるが1702年後であろう。1750年にスペイン人の探鉱家が高品位銅鉱脈を採掘し アホの丘の自然銅脈を稼行した根拠がある。探鉱は1853年以降に本格化し 高品位銅鉱がその対象となったが 輸送と水の両方で困難を伴った。ビンガム鉱床の成功で低品位銅染状銅鉱が注目され始め 1911年の秋以降にボーリングが活発化し 2年のうちに約百万トンの銅鉱を確認した。3年間の試験の後 1917年に5000トン処理の leaching plant が作られ 炭酸塩銅鉱が処理され 1930年にその採掘は終了した。

下に横たわる硫化鉱の採掘は 5000トン/日処理の選鉱場でもって1924年に開始され 1962年末までに 2.55億トン(銅量41億ポンド)の粗鉱と2.7億トンの研とを採掘した。1962年の処理量は31,000トン/日 研は47,000トンである。

地 質

アホの南西側には Little Ajo 山地があり 西北西に

のびその東端に鉱床がある。山地付近の構成岩類はプレカンブリア紀の片麻岩 これは貫入する酸～中性深成岩類 メサを形成する熔岩類 谷間を埋める扇状地堆積物などである(第5図)。

Little Ajo 山地は断層地塊からなり 北東系と北西系の2系列の断層がある。Gibson 断層(北東系)がもっとも古く 正断層で Cardigan 片麻岩に対して Concentrator 火山岩を約 1.3 km ほど落している。この動きはコーネリア石英モンゾニ岩後と思われる。次は山地の北東線を画する Little Ajo 断層(N60°W)で北に急斜し 3.3 km の垂直ずれのほか回転運動も生じている。この断層はその東端を Black Mtn 断層(北東系)によって切られる。

鉱床付近の構成岩類のうち Concentrator 火山岩類はカンブリア紀以降の諸岩石のうちもっとも古く ピットの東西両側に分布する。熔岩 熔岩角礫 凝灰岩よりなり 塊状の熔岩は分布の中心や鉱床の北に露出する。岩質は安山岩～流紋岩質で 鉱床や分布の西端は多数の不規則安山岩質パッチを含む流紋岩である。

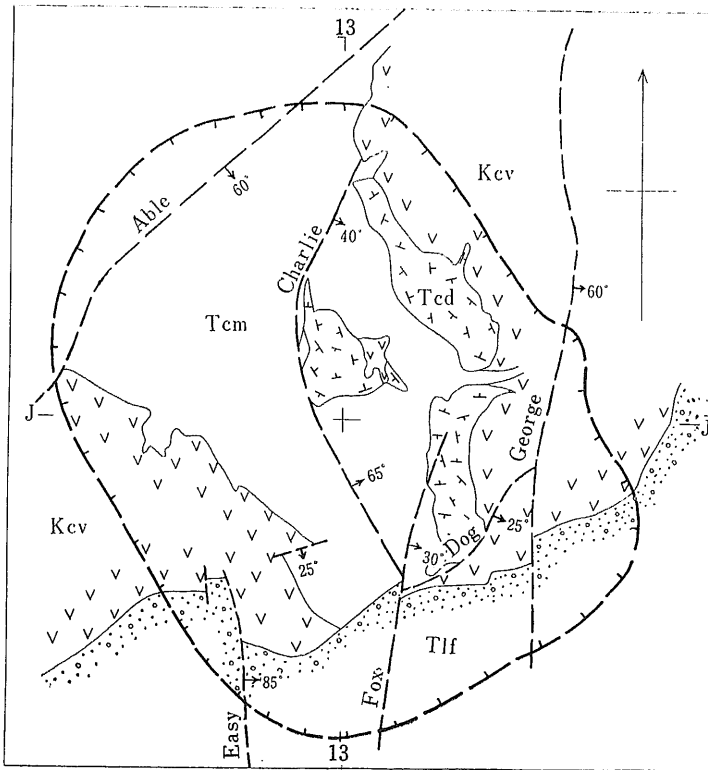
コーネリア石英モンゾニ岩は Little Ajo 山地の主岩体や鉱床のすぐ北や西では新鮮であるが 鉱床内ではピット西部の著しい珪化と長石に弱い絹雲母化をうける斑状石英モンゾニ岩と 東部の著しい絹雲母化と弱い粘土化を伴う斑状石英モンゾニ岩との2種類がある。

コーネリア石英閃緑岩は前記の石英モンゾニ岩の周縁相と考えられ 鉱床付近に2種類がある。一つは東部の 433mL より上にあり 中粒-等粒の石英閃緑岩で他の一つは西部の上部にあり細粒で 石英モンゾニ岩の周縁相である。433mLより下では石英閃緑岩が石英モンゾニ岩中に島状にとり込まれ ピットの中心に露出している(第6図)。これは西部の石英閃緑岩に酷似するが 非常に細粒である。

Locomotive 扇状地礫岩は沖積世の礫岩で その礫は種々のより古い岩石からなり 後述のアホ火山岩類をしばしば夾み またおおわれる。アホ火山岩類は古第三紀の浸蝕面をおおって厚く発達する安山岩質の角礫 熔岩 凝灰岩などからなる。

鉱 床

ニュー・コーネリア鉱床は西方の Chico Shunite 石英モンゾニ岩々株の分岐脈の先端にあたり 鉱化範囲は 1.2×2 km におよぶ。この鉱床はほぼ楕円形の平面を持つ露天掘り(pit) 採掘で稼行され 長軸はN30°W深さは海拔670m付近から285mである。ピットは鉱化石英モンゾニ岩とその貫入をうける Concentrator 火山岩類中の流紋岩を含むほか 周縁相の細～中粒石英閃緑岩を



第6図 ニュー・コルネリア 鉱床の地質

両側に伴う。

鉱床の品位分布は第7図の通りで 品位は石英モンゾニ岩中でよく 石英閃緑岩中でやや落ち 流紋岩中では鉱化が微細な割目のみに限られ すぐ不毛となる。深部で石英モンゾニ岩が流紋岩や安山岩に接する所が採算品位の限界である。

構造：鉱床付近には多くの断層があり 形成順に次の通りである。 Able 断層は鉱化前の著しい断層で $N40^{\circ}E 60^{\circ}SE$ 断層の上盤側が鉱床側で 下盤側(北西側)は微量の銅を含むにすぎない。幅約7mの著しい熱水変質帯が断層に沿う。 Baker 断層は鉱床の南西部を走る小断層で $N80^{\circ}E 25^{\circ}SE$ 流紋岩と石英モンゾニ岩との境界を130mほど西にずらせ 次の Charlie 断層に切られる。

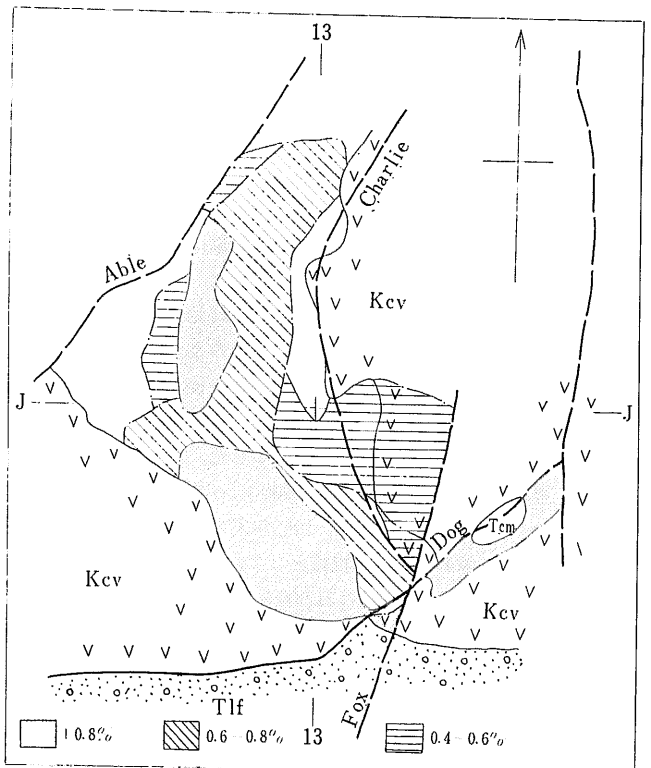
Charlie 断層はほぼ南北に走る主要な断層で $40\sim 65^{\circ}E$ に傾斜する。下盤側は塊状の石英モンゾニ岩で 一般に黄銅鉱一斑銅鉱 少量の黄鉄鉱の鉱化をうけ 断層近くでは部分的に破碎されている。南端では石英モンゾニ岩角礫の部分もある。その上盤側はより柔らかく 熱水変質もより著しい。黄鉄鉱—黄銅鉱の鉱化作用をうけ 斑銅鉱は微量である。主断

層にはほぼ平行な小断層群や岩床を伴う。

Dog 断層は第三紀中期に酸化 溶脱 二次富化がおこなわれた後 当時の浸蝕面にほぼ平行に生じた緩傾斜 (25°) の断層である。南に約400mの輝銅鉱ブランクットを伴い その下部に断層はもぐり込む。このほか南北系の断層に Easy, Fox, George などがある (第6図)。

初生鉱化作用はまずピットの長軸に沿う断裂化に規制されたと思われる $+0.8\%$ Cu の富鉱部はこの方向に沿っている。ただし東へずらされた部分を除く。石英モンゾニ岩の先端部のほぼ中心に生じたこの断裂部に沿って鉱化作用が広がり その上は流紋岩の帽岩でおおわれていたであろう。その部分の流紋岩中には100m以上にわたって斑銅鉱がみられる。

母岩と産状：母岩は厳密には次の3つ 石英モンゾニ斑岩 流紋岩 石英閃緑岩からなる。石英モンゾニ斑岩では硫化物は おもに斑銅鉱と黄銅鉱で 径1mm以下の鉱染状を示す。部分的には この鉱染状硫化物が 緑泥石の配列に続き 細脈状も呈する。流



第7図 ニュー・コルネリア 鉱床の銅品位分布 (340mL)
 網目は $+0.8\%$ 斜線 $0.6\sim 0.8\%$
 横線 $0.4\sim 0.6\%$

紋岩は斑状で（斑晶 2 mm 以下）斑銅鉱と黄銅鉱とが小さな割目に鉱染する。また緑泥石細脈が多い。石英閃緑岩は石英細脈（幅 4 mm 以下）を特徴的に伴い硫化物は斑銅鉱と黄銅鉱で鉱染状に産出し緑泥石と共に微脈に伴われたり石英細脈にがい晶状を呈したりする。

石英モンゾニ岩はもっとも重要な母岩でその場合に硫化物の産状は一義的には鉱染状である。硫化物は最末期固結物である石英正長石マトリックスに伴われ斜長石や緑泥石の斑晶に伴われることはまれである。

鉱床の S/Cu 比は断層に一致した累帯分布を示す（第 8 図）。この比は黄鉄鉱帯を浮きぼりにするが（たとえば Charlie 断層の上盤側）Cu 品位の非常に低い場合にはそのようでない。

11 個の鉱石試験によると 鉱石は西側と東側のグループに二大別できる。西側グループは Cherlie 断層下盤側鉱石の典型で平均して斑銅鉱 51% 黄銅鉱 16% 黄鉄鉱 11% の比率を持つ。東側グループは上盤側鉱石の典型で珪酸塩鉱物では正長石量が西側のものより 2 倍程度多く平均 45% の黄鉄鉱 42% の黄銅鉱 4% の斑銅鉱の比率を示す。

二次硫化物富化作用：酸化と二次富化作用とは 2 回にわたって生じた。第 1 回は第三紀中期で流紋岩の帽岩が約 200 m にわたり酸化され弱い初生鉱化作用をうける流紋岩中に少量の輝銅鉱を生じた。しかし既述の如く石英モンゾニ斑岩先端部直上の流紋岩で多量の斑銅鉱を含む部分では厚い輝銅鉱富化部が生じた。

流紋岩帽岩が断層（Dog）により動かされた後に石英モンゾニ斑岩中の初生の斑銅鉱と黄銅鉱は再び露出して酸化が進み浅所に多量の赤鉄鉱と少量の赤銅鉱が深部で輝銅鉱が生じた。また銅の炭酸塩鉱物珪酸塩鉱物なども酸化帯に生じた。

第 2 回目は現在の浸蝕面に沿ってみられるもので孔雀石—珪孔雀石帯は平均 17m 石英モンゾニ斑岩中の鉱床では銅の下降はごくわずかで流紋岩の場合に少量の移動があって煤状輝銅鉱を生じている。

総括

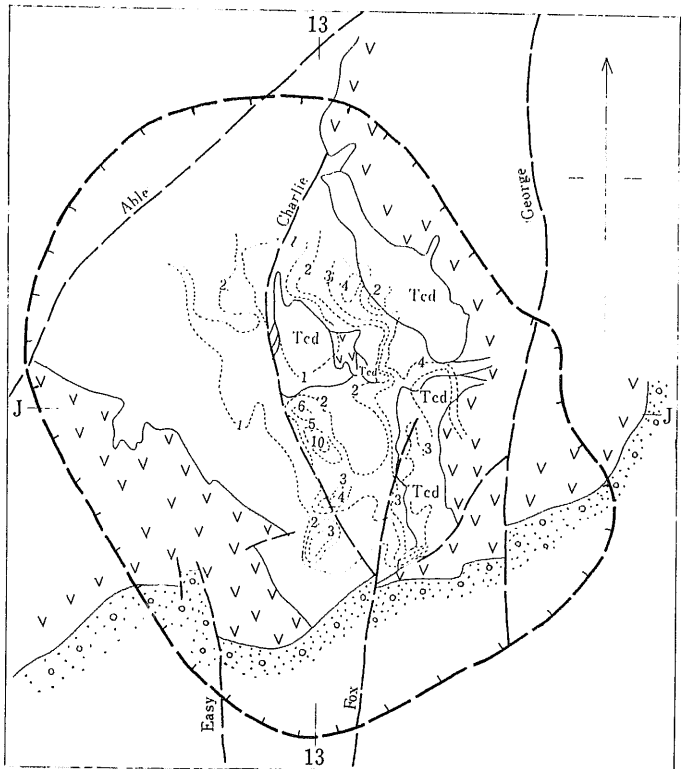
プレカンブリア紀の変成岩類を基盤とし白亜紀に火山活動が生じた。それが自変質作用をうけた後第三紀初期にコーネリア石英モンゾニ岩が貫入した。東にのびるその

分岐部は石英閃緑岩質の周縁相を伴い固結した。その直後に南北系の割目が発達し正長石に富むペグマタイトがそれを埋め緑泥石化や絹雲母化などの熱水変質を伴う鉱化作用があって硫化物を分岐部の先端に沈澱させた。この初生鉱床の性格は南北系の Charlie 断層を境に大きく異なり下盤側の西側は堅い塊状石英モンゾニ斑岩で斑銅鉱—黄銅鉱鉱化作用と弱い熱水変質を伴い東側は柔かい 3 種類の火成岩と多くの岩床を母岩として著しい熱水変質と黄鉄鉱—黄銅鉱に富んだ。

この鉱化作用後 Gibson 断層は鉱床のある上盤側を km 単位で相対的に落下させた。長い浸蝕時期の後流紋岩帽岩は断層によりずらされ（170m 以下）溶脱は深さ 200m にもおよび流紋岩中に輝銅鉱ブランケットを形成した。低角度断層が流紋岩帽岩を 400m 南東に移動させ分岐部の先端に当る石英モンゾニ斑岩を一部露出させた。この場合の溶脱は 50m 程度であった。鉱化石英モンゾニ斑岩が扇状地礫岩におおわれる場合に二次富化は礫岩中やアホ火山岩類におよんだりもした。

この礫岩堆積後北西系の Little Ajo Mtn. 断層が発達しこの山地を持ち上げ南に 50° 以下で傾動させた。その後浸蝕作用は続き鉱化石英モンゾニ斑岩は限られた範囲に酸化作用を受け今日に至っている。

（筆者は鉱床部）



第 8 図 ニュー・コルネリア鉱床の S/Cu 比分布図