

ポーフィリー・銅鉱床

③

石原舜三

ポーフィリー銅鉱床の紹介も3回目をむかえ、今回を個々の紹介の最後としよう。最初はポーフィリー銅鉱床と密接な関係にある Breccia pipe で、まず話題となるメキシコのカナネアであり、ついで再びオーソドックスな型にもどってサンタ・リタで締めくくりたい。

ついで、低い部分で海拔 2,000m 程度の高所にある。カナネア銅鉱床地帯として、その広がりには約 3.5×10km 延びの方向は山系のそれと同様である。

カナネア (Cananea) 銅鉱床

カナネア銅鉱床地帯はアメリカ合衆国との国境から約 60 km はなれたメキシコ ソノラ州の中央北部にあって重要な銅銅鉱床地帯である。この地帯では部分的には 18 世紀に銅業がおこり、現所有者のカナネア銅山会社 (Compania Minera de Cananea) は 1899 年 9 月に操業を開始した。高品位銅銅鉱床の La Colorada 銅体の発見は 1926 年、それ以降は平均年産 6000 万ポンド (blister copper) の割合いで銅の生産を行なっている。この地方ですでに 25 億ポンド以上の銅、付帯的な Mo、少量の Zn、Pb、Ag、Au などを生産している。

銅鉱床の存在するカナネア山地は北西—南東系山地の一

地質

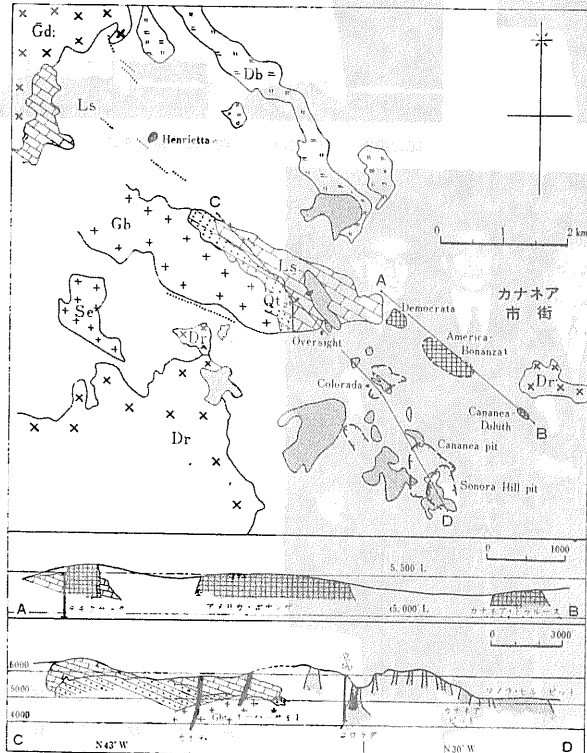
カナネア地方の地質は複雑で、その上著しい変質と銅化作用のために、その原形を明確にしにくい。要約すると次のようである (第 1 図)。

- 1) 一連の整合的な古生層
- 2) その変形運動と長い浸食期
- 3) 厚さ 1000m にもよぶ火山岩類の噴出
- 4) 花崗岩類と浅所での斑状岩類の貫入
- 5) 構造規制をうけた石英斑岩、貫入岩体に密接に関係する石榴石化、変質作用、および銅化作用

カナネアでもっとも古い岩石はアリゾナ州 Bisbee の Bolsa 珪岩に対比できる Capote 珪岩で、その厚さは約 270m といわれる。これは Capote 盆地に分布し、北西走向の北東落ちである。層理面はよく発達し、現在は石英、絹雲母、黄鉄銅などからなる。

厚さ約 870m カンブリア—石炭紀の石灰岩がこの珪岩をおおう。Capote 盆地の北西、東そしておそらく南部でこの石灰岩は火山岩類をその下位に伴う。最下部層はエスペランザ石灰岩と呼ばれる、薄く層理面の発達した石灰岩層で、著しい変質と銅化作用をうける。この層の厚さは約 100m で、上部で層理面間隔が厚くなる、白—灰色の結晶質石灰岩 (厚さ 100~150m) に移行する。

この石灰岩の一単位は 6~7cm~1m の厚さで、一般にごくわずかの銅化作用をうけるのみであるが、最上部で厚さ 17~33m の Chivatera 帯 (下部石炭紀) と呼ばれる部分は多くの銅鉱床を伴う。完全に緑泥石と緑簾石に変質し、その中に多い順に黄銅、閃亜鉛、黄鉄銅、少量の輝銅と斑銅、微量の石英と方解石などを含む、レンズ状の銅体が含まれる。結晶質石灰岩と



第 1 図カナネア地方の地質概略図

Qtz : Capote 珪岩 Ls : 石灰岩 Db : Mariquita 輝緑岩 Se : El Torre 閃長岩 Dr : Tinaja 閃緑岩 Gd : Cutiaqa 花崗閃緑岩 Gb : カナネア花崗岩 点線は Campana 輝緑岩岩脈 網目は石英斑岩 黒と十字模様は Breccia pipe。白地はおもに中生代末火成岩類と新しい堆積物 (Velasco 1966 原図)

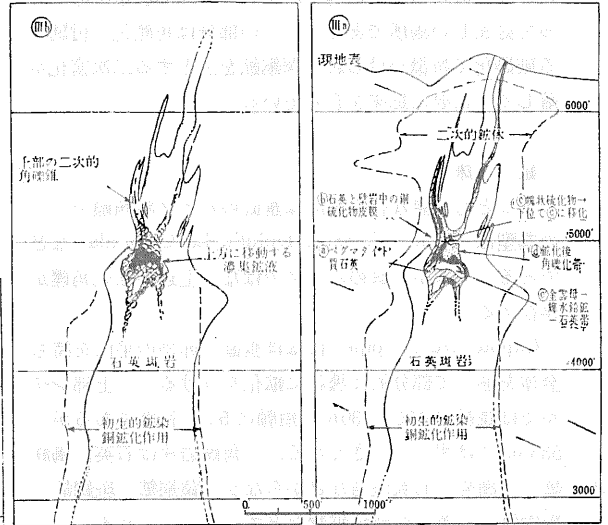
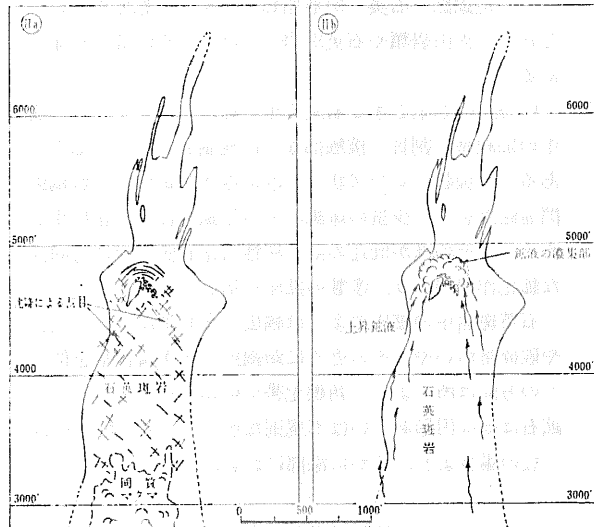
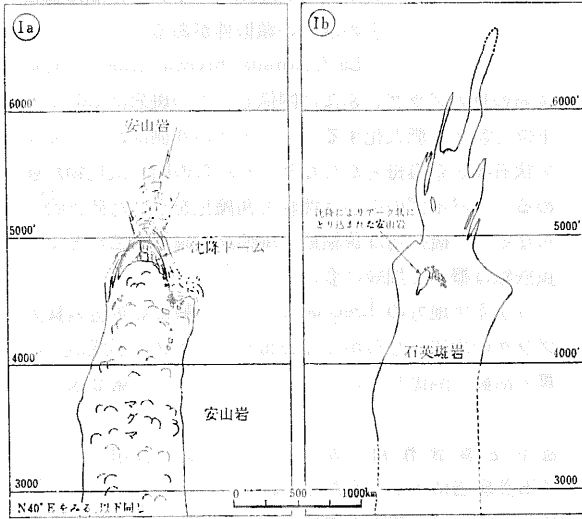
Chivatera 帯の上は 非常に厚い柘榴石化石灰岩で Puertecitos 層と呼ばれる。 この地層は石炭紀で 薄い所で 330m 最高はおそらく 670m 程度の層厚を持つ。 部分的に黄鉄鉱 黄銅鉱 閃亜鉛鉱 少量の方鉛鉱を生ずる鉱化作用をうける。

中生代末～第三紀初期に総計 5.3km の厚さを持つ火山岩類が噴出した。 これは古い方から Elenita Henrietta Mesa の 3 つに分けられる。 Elenita 層は安山岩 粗面岩 流紋岩質の熔岩および碎屑岩類からなる。 Henrietta 層は Capote 盆地の両翼に分布し安山岩 石英安山岩 流紋岩質の熔岩と碎屑岩類からなる。 Mesa 層は安山岩 粗面岩質の碎屑岩類からなり カナネア山地の東側に広く分布する。

以上の諸岩石に貫入する火成岩類は 2 種類あって その一つ 深所貫入の花崗岩類は底盤状の Cuitaca 花崗閃緑岩で 鉱床地帯の北西部にのみ分布するもの 南部の El Torre 閃長岩 南東部のカナネア花崗岩などである。 カナネア花崗岩が 3 者のうち最末期の貫入岩であろう。

いま一つの斑状貫入岩は岩脈状の Campana 輝緑岩と斑岩 および岩株またはプラグ状の La Colorada 石英斑岩である。 これらは構造上の弱線に沿って貫入したものと考えられ その分布は北西—南東を示す。 La Colorada 石英斑岩とそのやや岩漿分化した相は 周囲の岩石の角礫からなる breccia zone を伴ったり 周辺の一部に碎屑物をマトリックスとして 石英斑岩が入る岩石を随伴したりすることから 高圧下で上昇してきたものと思われる。 鉱液はこの石英斑岩の貫入に関連し まず母岩に変質作用をおよぼし ついで銅鉱化作用をこの地方にもたらしたのであろう。

構造： カナネア地方の断層などの主要構造は深成岩類貫入前か同時と思われる この貫入により不明確となっている。 北西系の Ricketts 断層は Capote 鉱床内で約 270m のずれがあり カナネア花崗岩により閉ざされている。 上に乗る若い火山岩類をずらせてはいない。 Capote 盆地の南東方向に並ぶ石英斑岩貫入岩体はこの

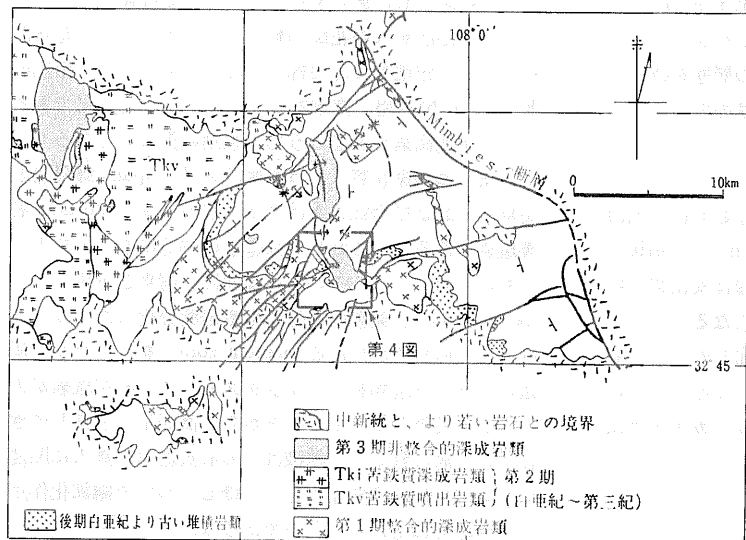


第2図 ラ・コロラダ鉱床に Perry (1962) が与えたモデル

第I期 石英斑岩マグマが弱線に沿って上昇し 下からの圧力の増減による上下運動で円形状の割れ目を頂部に生ずる (Ia) 貫入マグマの頂部が固結する (Ib)

第II期 収縮 沈降などによる割れ目の発達と斑岩貫入前裂かドームの再活動 (IIa) 熱水鉱液が上昇しドームの頂部に濃集する (IIb)

第III期 ドーム頂部における鉱液の分化 変質 破砕化と ついにはアーキ状割れ目をつき破って 円錐状の角礫帯を形成する (IIIa) 局所的な銅鉱物の再移動による高品位部の形成 鉱化後角礫地帯近くでの二次的富化作用など (IIIb)



第3図 サンタ・リタ鉱床付近の広域地質略図
Rose & Baltosser(1966)原図 以下同様

断層に沿ったものと思われ 南東に潜在する花崗岩体の分岐脈の頂部かも知れない。若い断層に南北系 急傾斜の破碎帯などがある。

カナネア地方には脈構造は発達せず Breccia pipe があって鉱化をうける。火山岩類と石英斑岩との境界部付近は一般に著しく破碎されていて 鉱染状銅鉱床にとって好ましい場所である。この部分は角礫化と付随する破碎化で特徴づけられ 輝銅鉱を主とする二次富化が著しく 重要な鉱床を含んでいる。

鉱床

もっとも重要な初生鉱床は垂直のパイプ状角礫で その典型は Capote, Cananea-Duluth, La Colorado などである。ほかに真のパイプではない上述の鉱化角礫が存在する。

Capote breccia pipe はほぼ垂直 卵型の平面を持ち全体を通して部分的に塊状に鉱化をうける。上部レベルでは長軸に 100~130m 短軸に 55m 程度であるが 533mLではずっと小さくなる。角礫岩片は石英 褐鉄鉱 花崗岩 石英斑岩などからなり 黄銅鉱 斑銅鉱 輝銅鉱 石英 炭酸塩鉱物などでセメントされる。

Cananea-Duluth breccia pipe は緩~急傾斜の火山岩類(Mesa Series)を切るほぼ垂直のパイプで 卵型をし長軸に 400 m 短軸に 83mである。弱い酸化作用をうける火山岩類がとり込まれている。鉱石はパイプの周囲やリング状に産出し 著しい角礫化岩石が黄銅鉱 閃亜鉛鉱 石英 少量の方鉛鉱 炭酸塩鉱物 氷長石などでセメントされたものからなる。

このパイプは 85°NW に傾斜し その形や大きさがほとんど変化せず安定である。これは比較的擾乱の少ない地域に形成されたためであろう。鉱石の垂直的累帯分布が明瞭で 上部レベルでは多量の Ag と Pb・Zn 少量の Cu からなり 5L から 12L に下る間に Pb が消え Cu が増加し Zn が著しく減少する。ボーリングによると 12 L 以下では Cu/Zn 比がやや変化している。この Cananea-Duluth パイプに類似しているものに America-Bonanza Democrata Henrietta などがある。また Sonora 地方 Nacozari の Pilares パイプとの間に構造上の著しい類似性がある。

La Colorado breccia pipe は石英斑岩の貫入プラグと密接に関係し この斑岩は 13L より下位で急激に肥大化する。パイプの外側はおもにガラス状石英と金雲母とからなり それらの間を硫化物が埋める。パイプの中心は塊状と角礫化をうけた硫化物からなる。硫化物は黄銅鉱 斑銅鉱 輝水鉛鉱などで黄鉄鉱は概して周縁に多い。

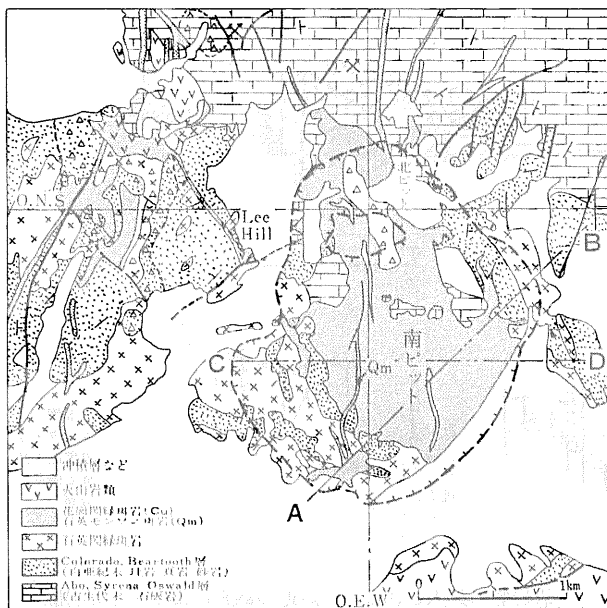
カナネア地方の breccia pipe は一般に石英斑岩貫入プラグの周辺にむらがって分布し パイプの形成がその貫入活動に関係していることを示している(第2図)。

鉱化と変質作用: カナネア地方の鉱化作用はおそらく石英斑岩によってもたらされ 数回にわたっている。Breccia pipe の初生鉱作用は一般に黄鉄鉱と黄銅鉱を主とし 斑銅鉱 石英 閃亜鉛鉱 少量の方鉛鉱をもたらした。火山岩類や石英斑岩中には 二次的硫化鉱床がある。

Cu と Zn を主とする石灰岩中の鉱床は 好ましい母層中の弱線帯 割目 接触部などに規制された交代鉱床である。塊状 レンズ状 しみ込み状に黄鉄鉱 黄銅鉱 閃亜鉛鉱を主に少量の斑銅鉱と方鉛鉱を伴う鉱化作用がある。そのほか既述の如く柘榴石化石灰岩中にも同様な鉱化作用があり 多数の鉱床を形成している。

石英斑岩中の鉱床の多くは幅広い南北系急傾斜の割目や破碎帯沿いや その近くに輝銅鉱の二次富化帯を伴う。この方向は所によって角礫化帯で横切られ その部分の鉱石はほぼ円形あるいは不規則な形状を示し 酸化帯は一般の場合よりはるかに深部におよぶ。

一般に石英と黄鉄鉱がもっとも初期で 石英は細脈状



第4図 サンタ・リタ 鉱床付 近地 質 図

黄鉄鉱は均等に全体に鉱染する。黄鉄鉱は黄銅鉱と四面銅鉱にとり込まれることがある。硫化物もまた細脈状や石英細脈中に産出し その場合に黄鉄鉱と黄銅鉱が主で 前者はつねに後者に交代される。これら硫化物の間をうめる産状で少量の輝水鉛鉱 斑銅鉱 四面銅鉱などがある。閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄銅鉱細脈は最末期の晶出物である。石英と alunite とが一般的な脈石鉱物である。

重要な熱水変質作用はまず絹雲母化 ついでカオリン系の粘土鉱物化 珪化などである。石灰岩中の鉱床の母岩である柘榴石化石灰岩の少なくとも一部は 熱水変質作用により生じたものであろう。

サンタ・リタ(Santa Rita) 鉱床

サンタ・リタ鉱床はニューメキシコ州の南西部にあって Silver City の東方約20kmにある。アリゾナ州南東部に密集するポーフィリー・銅鉱床のうち最東縁に位置する。また Zn Pb-Zn 鉱脈鉱床や Fe Cu-Fe 接触交代鉱床が分布する大鉱床地域 (Central Mining District) の東側に当る。

サンタ・リタ鉱床はアメリカインディアンが露頭の自然銅を利用したこと

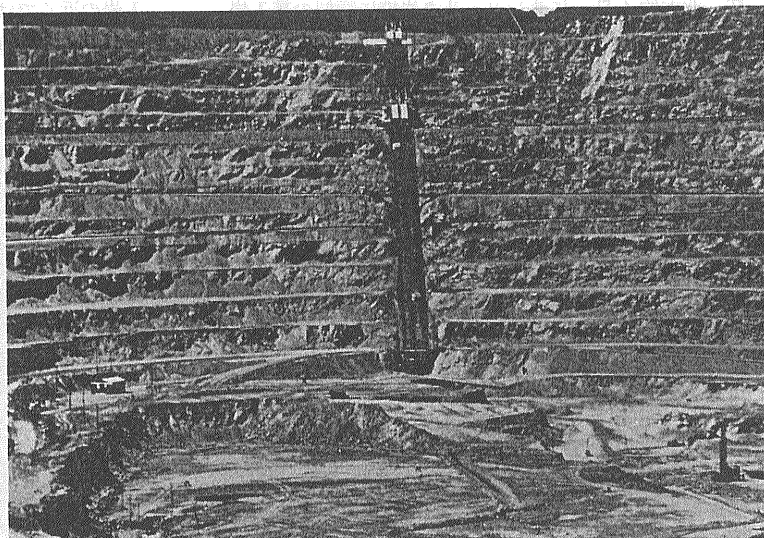
に始まる。1801年に最初の所有者が決まり 1873年まで酸化帯の鉱石をアパッチインディアンに悩まされながら採掘した。その初期にはニューメキシコ州はまだ米国の領土ではなく この地域が合併されたのは1848年である。1891年にサンタフェ鉄道が敷かれて運搬の問題が解決され 1899年にこの鉱床はアナコンダ社に属する一派に買われた。1904年までの出鉱量は銅量約40,000トンと推定されている。

大規模な低品位鉱体が確認されたのは1906年であって 2~3%Cu の鉱石が900万トン以上と推定された。この鉱床は1909年にChino Copper Co に買われ 1933年にはケネカット社のもとなった。この間 1911年に蒸気シャベルが投入され 3,000トン/日の採掘が開始されたが これは既述のビンガム鉱床より5年後のことであった。

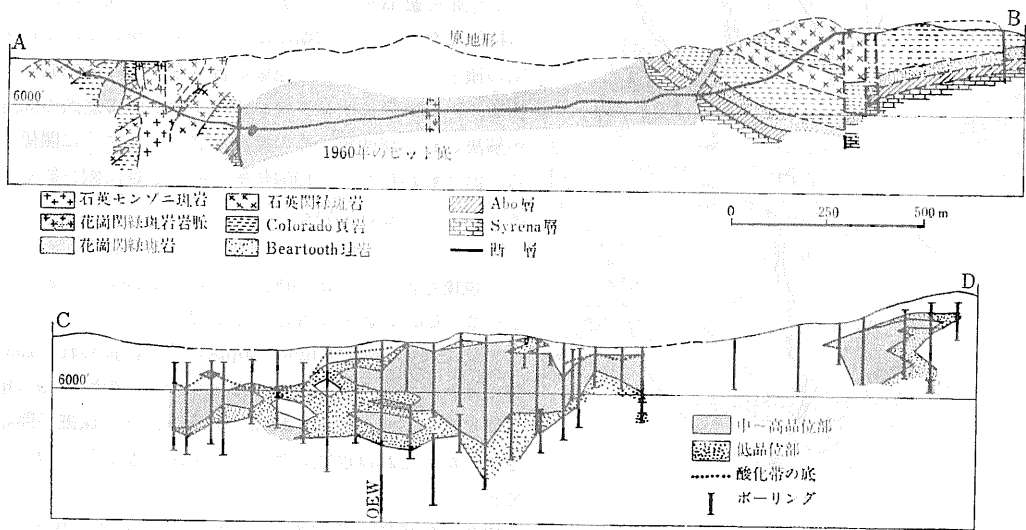
現在の生産量は23,000トン/日 (0.91%Cu 1962年の平均) 銅精鉱のうち約1/3は研からの沈澱銅である。1911~1962年間に2.3億トンの粗鉱から215万トンの銅を生産している。輝水鉛鉱は1937年から回収され 1954年までの総額は2,400万ポンドであった。

地 質

サンタ・リタ鉱床は Basin & Range 地域にあって 古生層 中生層 第三紀火山岩などが北東系の断層に切られて露出する。基盤はプレカンブリア紀の変成岩類や花崗岩であるが 鉱床近辺にはほとんど露出しない (第3図)。この地域は東西にのびるソノラ地相斜 (Sonoran geosynclise) の東北端にあたり カンブリア紀の砂岩 オルドビス紀~シルル紀の苦灰岩と苦灰質石灰岩



南側ピットの底からみたサンタ・リタ鉱山 中央はインクライン(1962. 8. 撮影)



第5図
サンタ・リタ鉱床の断面と銅品位分布

デボン紀の頁岩 上部古生代の石灰岩や石灰質頁岩などが おもに不整合関係で約 930m にわたり堆積している。白亜紀末には珪岩 砂岩 頁岩などが約1300mの厚さで堆積した。その後火成活動が始まり 鉱化作用でその頂点に達する。最初は石英閃緑岩の貫入 (sill と laccolith) で これには2時期が認められる。その後安山岩と同質角礫岩が噴出した。

サンタ・リタでは閃雲花崗閃緑斑岩が石英閃緑岩と堆積岩類に岩株状に貫入する(63×10⁶年 K-Ar 法) この貫入岩は不均一な岩相を示し 石英モンゾニ岩質の所も多い。この岩株が鉱床の形成にもっとも関係している。

2本の岩脈が岩株から北に分岐し 同質の岩脈は南部にもあって いずれも主岩体を切る。サンタ・リタ鉱床 北方約4.5km にサンタ・リタ岩株に類似の貫入岩 (Fierro-Hanover intrusive) があって これも花崗閃緑

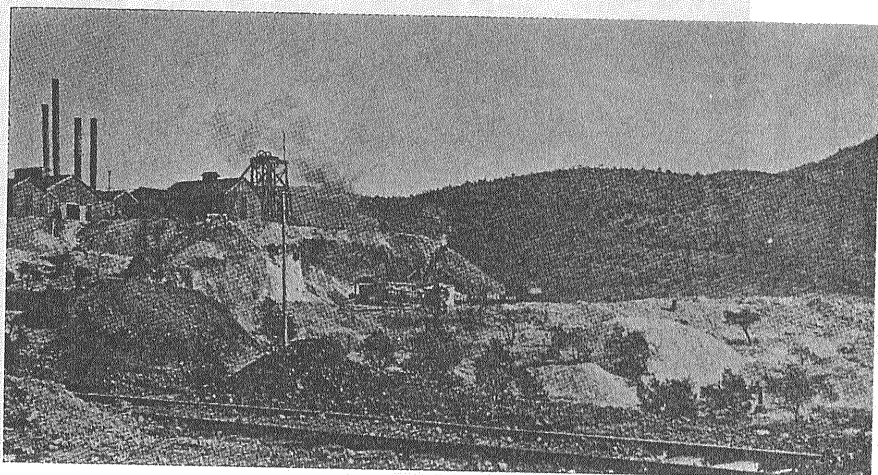
岩岩脈に貫入される。最近の調査によるとこの岩脈には数回の貫入時期があり あるものは鉱化作用より後期ともいわれている。

石英モンゾニ斑岩岩脈はサンタ・リタ岩株に南北に貫入する。一部の銅鉱化作用はこの岩脈貫入後であるがこの地域の銅と亜鉛鉱化作用の主時期は岩脈以前である。鉱床から北西にのびる他の石英モンゾニ岩岩脈 (“Turnerville dike”) もまた主鉱化期より後期である。その後小規模な(カルデラ)火口内堆積物 ラタイト～石英ラタイト岩脈(中新世?) 玄武岩岩脈と流紋岩熔岩および岩脈などの活動があった。

構造：セントラル地方の堆積岩類は広域的には向斜軸に向って南西にゆるく傾斜するが 鉱床付近のとくに貫入岩の近くではそれが著しく乱されている。Fierro-Hanover 貫入岩体の北側^{1/3}では堆積岩類が押し上げられ

南一北を背斜軸に層理面は両側に傾斜する。南側^{1/3}では堆積岩類が外側に押されて複雑な褶曲構造を呈し 褶曲はこわれて部分的には衝上断層となる。

サンタ・リタ岩株の周辺でも同様に 層理面は外側に向って傾斜し その走向は北～北西である。しかしサンタ・リタでは褶曲よりも断層運動が卓越していたようである。



開発当初の北ピット全景(1910, 12)
蒸気シャベルが稼働した直後(ケネカット社資料から)

サンタ・リタ岩株は外側に 45~90° 傾斜している。

多くの断層が発達し一般走向NEであるが 厳密には南西部で N40° Eの断層が顕著で また北東部の Barringer 断層もこの方向である。 サンタ・リタの北東や東部 他の2~3断片的地域では N75°-E 系断層が発達する。 これらNE系断層は Hanover の近くを中心に地塁を形成させ その北端は Barringer 断層 南東端は地域南側の断層群である。

サンタ・リタ付近にはN~NNW系の断層や割目も存在する。 サンタ・リタおよび Fierro-Hanover 貫入岩体の延びの方向と伴われる断層や鉱脈の方向 両者間に分布する花崗閃緑斑岩 石英閃緑斑岩 第三紀中期石英モンゾニ岩 第三紀ラタイトなどの岩脈 および角礫岩のあるものなどはこの方向とほぼ同一である。 サンタ・リタ鉱床の南には火成活動後の南北系の断層がある。

これらのN~NW系は構造上の弱線を意味し これとNE系との交差部にサンタ・リタ岩株と鉱床とは形成された。 NE系は広域にわたり確認されており 基盤の構造を反映しているものであるが NW系はセントラル地方のみ見出され より局地的なものである。

角 礫 岩 : 鉱床近辺には角礫岩が存在する。 それらのうち露天掘りの北部で北々西にのびる Whim Hill Breccia がもっとも有名である。 これは花崗閃緑斑岩の角礫岩片を石英 正長石 黒雲母 磁鉄鉱などに交代される細粒の岩片が埋めるもので 硫化物が角礫間の空隙をみたす。 少数の Colorado 頁岩や岩株後のアプライト岩片もみられる。 ボーリングによると この角礫岩は深度130~170m付近で 角礫化をうけない花崗閃緑斑岩に変わるので もしこれが breccia pipe の如く垂直に続くのであれば その根は細いはずである。

Lower's Lane Breccia は鉱床の西と北西方にあって北

西に伸長する。 これはおもに Colorado と Beartooth 層の諸岩石からなり 晩期石英閃緑斑岩に沿っており 角礫化は一般に弱い。 含銅磁鉄鉱が角礫の中に見出されているので 角礫化は鉱化作用のあるものより後期である。 部分的には花崗閃緑斑岩が角礫のマトリックスを占める。 石英モンゾニ斑岩岩脈に切られる部分がある。 ボーリングによるとこの角礫岩は少なくとも深さ330mで その東側の境界は西落ちである。

堆積岩や花崗閃緑斑岩からなる小さな Breccia pipe が Kearney 鉱山のすぐ西にあって これは深部で Zn の鉱化作用をうけ 石英ラタイト岩脈に切られる。 少数の pebble dike が南側ピットにあって 数時期にわたる。 あるものは変質—鉱化岩を pebble とし 別の一つに第三紀の火山活動によると思われるラタイトの岩片を含む。

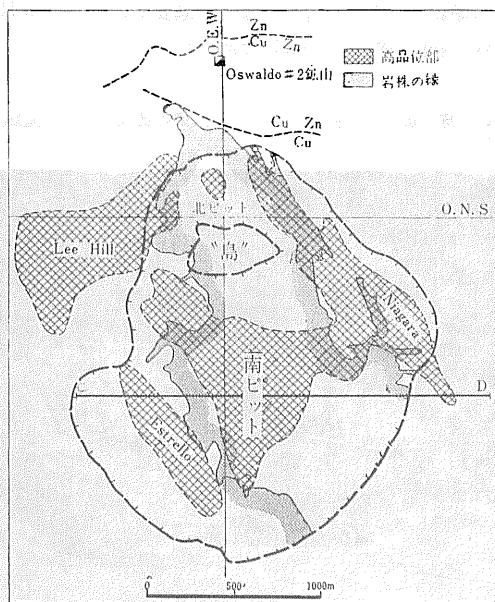
鉱 床

地 質 概 況 : ピットの岩石は石炭紀(ペンシルバニア)の Oswald と Syrena 石灰岩層 二疊紀の Abo 層 白亜紀の Beartooth 珪岩と Colorado 層 加えてより後期の貫入岩と火山岩類である(第4図)。 既述の如くサンタ・リタ岩株の周囲の堆積岩類は その走向が岩株の延びにほぼ沿い 外側に 50° 以下で傾斜する(第5図)。 この持上げられた地層はN~NE系断層で落ち込み 全体として岩株を中心に伴う部分的に崩落した背斜構造を示すといえる。

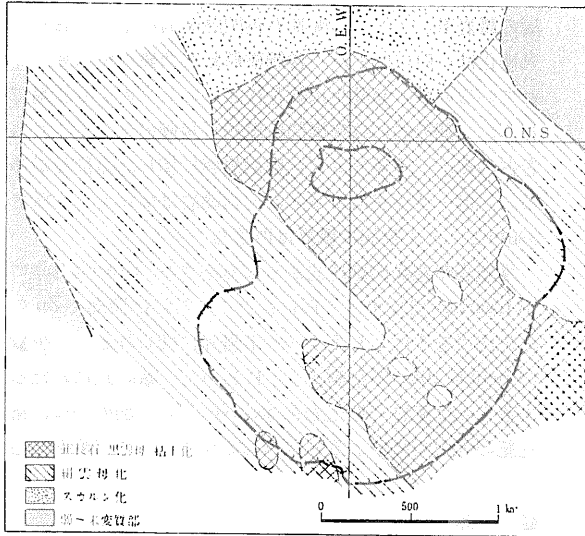
石英閃緑斑岩には早 晩の2期があって 早期は大局的に Colorado 層中のシル(sill)であるが 細部にわたるとその層理面を切り また同層のブロックをとり込む。



南側ピットの高品位銅 網状に走る輝銅鉱が この写真でも認められるが 黒鉄鉱などに比べると銅石の感じがしない



第6図 サンタ・リタ鉱床の高品位部



第7図 サンタ・リタ鉱床の変質帯の分布

晩期は一般には同層中のシルであるが 一部は層面に斜交した岩脈として頁岩や早期のものに貫入する。

サンタ・リタ岩株は岩相変化に富む。一般に石英斑晶はよく発達するが北側ピットではまれである。北西側の一部に細粒な部分があり “島”では苦鉄鉱物に富み花崗閃緑岩岩脈に類似する。岩株の後期相と思われるアプライト岩脈が北側ピットその他に貫入する。

岩株のほぼ中央を横切って堆積岩類がルーフ状に残りこの岩株は2つの頭を持っていたと思われる。岩株の東西両側は急傾斜で 分岐岩脈を伴う。北側は約 45°の傾斜で かなり深部ではその延長上の Fierro-Hanover 岩株に続いているのであろう。

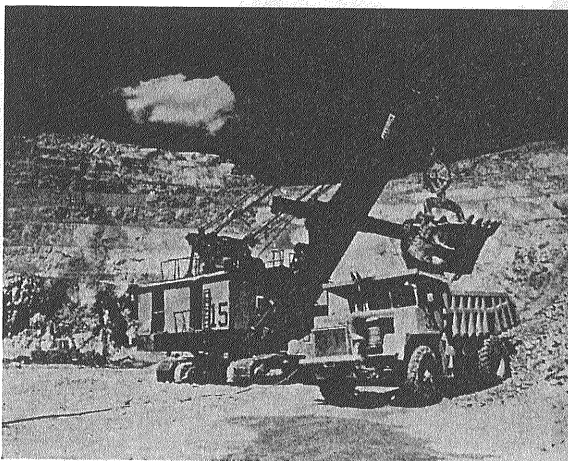
鉱床の性格：サンタ・リタの鉱床には2種類あつ

て 1つはポーフィリー銅-鉛-亜鉛-銀-硫黄鉱床特有の二次硫化物富化鉱床で 輝銅鉱が多量の黄鉄鉱に伴われる。これは南側ピットから出鉱された。第2の型は石灰岩交代鉱床で 二次富化をほとんどうけない。黄銅鉱が多量の磁鉄鉱 黄鉄鉱 石英 石灰質珪酸塩鉱物と共に産出する。この種は過去において北側ピットと南側ピット北部の変質石灰岩の部分から出鉱された。Lee Hill 地域の同様な鉱床は将来の重要な鉱量となるであろう。

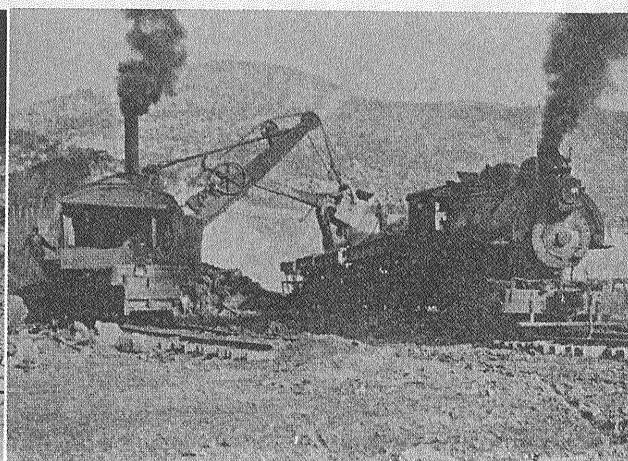
大局的にみて高品位鉱はNW方向に存在していた(第6図)。そのうち北東側高品位部の約半分は 堆積岩と石英閃緑岩を母岩とし 残りはおもに花崗閃緑斑岩を母岩とした。北部の一部を除き この高品位鉱部は輝銅型であった。もっとも幅広い高品位部は南側ピットの中央から北西へ Lee Hill にのび 花崗閃緑斑岩内で輝銅型 南側ピット北西部で堆積岩と石英閃緑岩を母岩とし そこでは少量の交代型も存在する。3番目の南西側高品位部 (Estrella)はおもに堆積岩と石英閃緑岩とを母岩とし すべて輝銅型である。これら3つの高品位部の間は一般により低品位でその厚さも薄いが かなりの量が可採品位に達する。南北ピット間の “島”は一般に不毛で 同様な小塊は各所にみられる。

溶脱帯はキャップとして二次富化帯をおおい 厚さ0~200 mである。一般にそれは北側ピットで薄く 南側で厚くなる。富銅帯の厚さは変化に富み 最高 200 mであるが 局部的にはかなり多量の輝銅鉱がより深くまで産出している。輝銅鉱は一般に元の地表から 200~270 m下位に多く分布する。

初生銅化作用：サンタ・リタ鉱床は一般には二次富化鉱床としてよく知られているが 近年のボーリングにより初生銅化作用も明らかにされている。黄銅鉱がもっとも豊富な初生銅鉱物で 少量の斑銅鉱も南側ピット



採掘現場 容量6ヤード立方の電気シャベルで採掘し 20トン積み のダンプ車に積み込む



1911年頃の採掘風景 蒸気シャベルと蒸気機関車 燃料の石炭を十分に確保することが重要な課題であったといわれる(ケネカット社資料から)

Lee Hill 地域などに知られている。少量の輝水鉛鉱とより少ない白鉄鉱と磁硫鉄鉱も存在する。黄鉄鉱は普遍的に存在し、黄銅鉱の量よりはるかに多く、粗鉱中約4%(重量)である。

黄銅鉱はかつて考えられていたほど南側ピットで稀ではない。しかし南側ピットの底からのボーリングでもある程度の輝銅鉱があらわれ、初生鉱化作用の性質を明確にすることは困難である。南側ピットにおける花崗閃緑斑岩中の初生鉱化作用は、おそらく0.1~0.3%程度の銅をもたらす。北側ピットでは0.1%かそれ以下であったと思われる。黄銅鉱は斑岩中鉱染あるいは細脈状で一般に黄鉄鉱に伴われる。黄銅鉱は黄鉄鉱よりもより鉱染状を呈する傾向があり、黄鉄鉱には細脈網状のものが多い。斑銅鉱は黄銅鉱と離溶組織を示すことがある。Lee Hill 地域やその他サンタ・リタ岩株周辺に多い変質石灰岩や石灰質頁岩中の交代(スカルン)鉱床では、黄銅鉱が細脈中や鉱染状に磁鉄鉱、石英、黄鉄鉱、柘榴石、緑簾石、緑泥石、輝石類、角閃石類と共に産出する。石灰質でない頁岩や砂岩、石英閃緑岩シル中の初生鉱化作用は一般に花崗閃緑斑岩中と同様に低品位で硫化物は脈状に産出する。

閃亜鉛鉱と少量の方鉛鉱とは石灰岩中で銅鉱体の周縁に分布する。北側ピットのすぐ北方のOswaldo No.2 亜鉛鉱山では(第4図)北と西方にCu-Cu-Zn-Znの累帯分布が知られている。Lee Hill 鉱床の西側でも同様な傾向がみられ、そのさらに西方のGroundhogとBullfrog 鉱山の鉛の鉱脈と交代鉱床を含めるとPb帯はZn帯よりさらに外帯とみることができる。

二次硫化物富化作用：二次富化作用では輝銅鉱がもっとも普遍的で少量のコペリンも存在する。自然銅、珪孔雀石、赤銅鉱、孔雀石、藍銅鉱などは一般に地表

近くで多く、鉱山の初期段階では重要であったが、現在では局部的にみられるにすぎない。自然銅と赤銅鉱とがいっしょに400mの深所で発見された例がある。

自然銅の多くは地表近くに存在し、輝銅鉱も地表から10cm程度の所に知られている。研中の酸化銅鉱物や輝銅鉱は沈殿銅をとるために重要な資源である。輝銅鉱にはスチール状と煤状の2種類がある。これらは細脈状粒状、黄鉄鉱の皮膜として産出し、深部のもは黄銅鉱をその割目に沿って交代したり、包んだりする。研究者によっては初生輝銅鉱の存在が報告されたが、一般に深さと共に黄銅鉱/輝銅鉱比があがる事実や組織などから、輝銅鉱はすべて二次的なものと思われる。

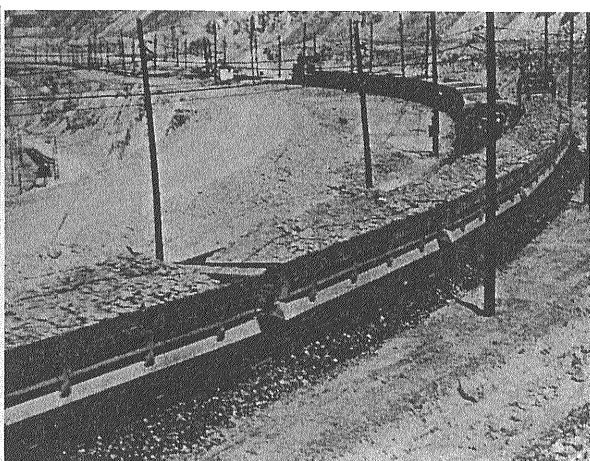
鉱化作用の規制：サンタ・リタで初生鉱液の主要な通路は岩株の周辺で、これに北西系の構造などが重複したと思われる。Lee Hill 地域の鉱床の幅の広さから、その下位にも著しい通路があったであろう。強力な変質作用と黄鉄鉱から、南側ピットの花崗閃緑岩中にも好ましい通路が想定できる。

このようにしてもたらされた初生鉱化作用は、二次富化を受けるが、その場合に次の要素が重要であった。

- 1) 初生銅品位。南側ピット中央部の如く局部的には0.5% Cuに達する高品位部では二次富化帯も良く、北側ピットや島の部分のように初生品位が0.1%Cu以下の部分では二次富化帯の発達が悪い。
- 2) 黄鉄鉱の量。これは溶脱作用に重要で、それが多いほど溶脱銅量が多く、溶脱キャップの下に多量の二次富化銅鉱をもたらす。
- 3) 変質鉱物。著しく珪化および網雲母化をうける母岩はより低変質で粘土化や炭酸塩鉱物を含む母岩より銅の溶脱を進行させる。火成岩類と非石灰質堆積岩類中の鉱床は石灰岩交代鉱床より二次富化銅に富む。
- 4) 構造。断層帯や破砕化の著しい部分は透水性がよく、二



鉱石運搬用のスキップに落ちるところ。ピットが深くなるとインクラインで捲き上げる方が経済的である。



しかし90トン積み鉱石車を電気機関車でひっぱり、ループ線で鉱石を運搬する従来の方法もまだ用いられていた。

次富化を強めた。 サンタ・リク岩株の東西接触部や北西方向の高品位部はこの例である。

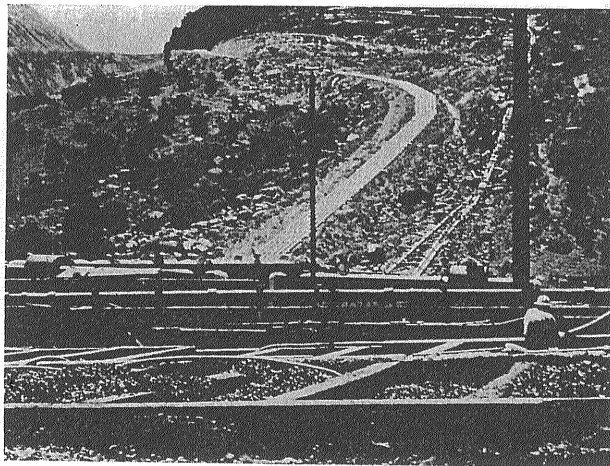
- 5) 地下水面。 地下水面はおそらく酸化帯の下限をほぼ示すものと思われ 一部にはその例がある。 しかし、酸化帯の下盤面が急斜する部分や二次富化帯の上盤面の高さが急激に変化する事実は、二次富化帯の上限が別の要素によっても支配されることを示している。

変質

サンタ・リク鉱床に関する諸研究のうち、変質作用がもつともよく取上げられている。 変質作用は初生的変質と天水による二次的変質とに分けることができる。

初生変質：初生的変質作用が石炭紀の高純度の石灰岩におよぶ場合に、石英、柘榴石、磁鉄鉱、黄鉄鉱が多量に生ずる。石灰岩が不純で頁岩質な Syrena 層（上部石炭紀）では、上記諸鉱物のほかに、多量の緑簾石、透閃石—アクチノ閃石、緑泥石が生ずる。石灰質堆積岩類全般を通じて、赤鉄鉱、正長石、黒雲母、絹雲母などが上記の諸鉱物に続く変質鉱物であり、少量の菱鉄鉱、燐灰石—ヘデン輝石、Ilvaite などがあらわれる。以上のいわゆるスカルン化から残存する石灰岩は、とくに鉱床の周辺で著しく再結晶化をうける。

母岩が火成岩や非石灰質の堆積岩類の場合に、絹雲母と粘土鉱物が普遍的で、正長石、黒雲母、緑簾石、石英、緑泥石なども多い。 鉱床のほぼ中央を占める花崗閃緑岩岩株で顕著な変質鉱物は、正長石、黒雲母、石英、粘土鉱物と少量の絹雲母である(第7図)。 粘土鉱物は南側ピットに概して多い。 北側ピットの一部は未変質で他の部分は一般には緑泥石や少量の粘土鉱物を生ずるのみであるが、これら弱変質帯は、再結晶化をうける正長石が細脈状や既存鉱物を交代する形で現われる。角閃石



沈澱銅を附着させるくず鉄(手前)と研に水を送る6本の大きなパイプ

が黒雲母に変質する。硫化物を伴った黒雲母細脈が生じているなどを示す。同様な変質作用は南側ピットにも生じているが、より後期の粘土化のためわかりにくい。

正長石は多くの場合に石英や硫化物と共に細脈状、斜長石斑晶の輪隔や全体を交代、石英といっしょにアプライト組織を示して石基を形成するなどの産状を示す。

正長石は花崗閃緑岩固結の末期から少なくとも一部の硫化物が晶出する段階まで安定であったらしい。

黒雲母のあるものは硫化物の晶出と同時期であるものはより早期であった。黒雲母は岩株以外でも、接触部に近い一部の石灰質堆積岩中にあらわれる。黒雲母はおもに北側ピットや南側ピットにかけて岩株の中心沿いに認められる。南側ピットでとくに多い粘土鉱物では、カオリンがもつとも多量である。南側ピットの北側にはモンモリロン石があらわれる。絹雲母は1M、1Md、3Tなどの構造を示すものに属する。以上の変質鉱物はおもに斜長石の斑晶を交代する。黒雲母が加水雲母に変質している例もある。

石英—絹雲母帯は上記の正長石—黒雲母帯の外側で、岩株の周縁、石英閃緑岩シルや堆積岩類中に産出する。この絹雲母は2M₁型で石英は細脈としても認められる。

二次変質：変質鉱物のうちとくに粘土鉱物は、それが初生あるいは二次的変質作用のいずれに起因するものか判断するに困難である。しかし、多くのカオリン、モンモリロン石と明ばん石、一部の絹雲母と石英、そして多分緑泥石の一部も天水による二次的変質作用によったと思われる。サンタ・リクではこれらの鉱物が例外的にかなり深くまで滲透して、既述の如く輝銅帯や一部の銅酸化物についても同様である。硫化物(おもに黄鉄鉱)の酸化により生ずる硫酸水が二次的変質の主因であり、これは輝銅帯の底か、その下位までは中性化しないであろうから、酸性であることは広義の酸化帯の形成を規制しない。

その根拠は明確ではないが、一つに深さによって変質作用の型が異なる点がある。また平衡状態でカオリンと正長石とは両立しがたい点も傍証の一つであろう。

高温の初生変質作用より低温の二次的変質作用時の方がより平衡状態はくずれるであろうから、正長石と共存する多量のカオリンは二次的変質作用に求める方がよいであろう。

明ばん石が石英や輝水鉛鉱と細脈中に産出することから、一部の研究者は明ばん石を初生鉱物であるとしたが、明ばん石は熱水鉱物が存在しない所で普遍的に産出する。

近年のS同位体の研究も含めて サンタ・リタにおける明ばん石の少なくとも一部は二次的変質作用による。

酸化帯中で硫化物の酸化により生じた針鉄鉱 赤鉄鉱 鉄明ばん石などは二次的変質作用による。磁鉄鉱の赤鉄鉱化 少量の石膏なども同様にして生じたものと思われる。

総 括

プレカンブリア系の基盤をおおって東西にのびるソノラ地向斜に古生代の miogeosyncline 堆積物が堆積した。中生代末期に再び堆積作用が生じ 白亜紀のコロラド層堆積後に最初の火成活動が生じ 南—北系の弱線に部分的に規制されて 石英閃緑斑岩が貫入した。主岩体は層理面に沿い シルを形成した。貫入時期は2時期に分けることができる。安山岩角礫の噴出(白亜紀後期～第三紀初期)や閃緑岩や斑岩の貫入が引続いた。北東系断層のあるものはこの時期に活動した。

次いで花崗閃緑岩—石英モンゾニ岩マグマが南北方向に貫入し サンタ・リタとハノーバー・フィロ岩株とを形成した。サンタ・リタ岩株は周辺の堆積岩類 石英閃緑岩などを押し上げ 数回の上下運動(pulsation)を繰り返して貫入した。この運動は Whim Hill 角礫岩をまた岩株ののびにほぼ平行な断層を堆積岩中に生ぜしめた。

引続き石英モンゾニ斑岩や花崗閃緑斑岩の岩脈が貫入し 著しい鉱化と変質作用をもたらした。そのもっとも明瞭な証拠は Whim Hill 角礫岩中のマトリックスに正長石 黒雲母 磁鉄鉱 少量の黄銅鉱 輝水鉛鉱などの鉱床形成鉱物が存在することである。

晶出順序に関する野外観察から鉱化および変質作用は次のようにまとめることができる。主要鉱化および変質時期はサンタ・リタ岩株が固結し 一部の花崗閃緑斑岩岩脈が貫入した後で 磁鉄鉱 正長石とおそらくスカルン鉱物もその早期に晶出した。絹雲母と多くの黄鉄鉱とは晩期で 黄銅鉱は数回にわたり 早いもので磁鉄

鉱晶出直後 遅くは石英モンゾニ斑岩岩脈より後期であった。 Lover's Lane 地域の角礫作用は少なくとも磁鉄鉱と銅鉱物の晶出後で 一部の黄鉄鉱 花崗閃緑斑岩や石英モンゾニ斑岩岩脈などよりも早期であった。

上記の主要鉱化期について Turnerville 石英モンゾニ斑岩岩脈が貫入し 少量の黄鉄鉱を伴った。Wimsattville の噴火があって 多数のラタイトや石英ラタイト岩脈が貫入した。噴火口は砂礫により埋められた(第三期初期)。その後の浸蝕期に酸化や二次富化作用の多くは生じた。中新世にほぼ全域をおおった火山岩類の下位の礫層には鉄の酸化鉱物で固められた礫が見出されている。鮮新世—更新世に山地は上昇し 再び浸蝕が始まった。火山岩類は南にゆるく傾斜し そのため鉱床の南側で厚い。北東系の断層が再活発化し 鉱床を再び露出させた。若干の二次富化作用はその時期から現在まで引続いているのであろう。

サンタ・リタ鉱床はポーフィリーカップ—鉱床として必要な初生的地質条件を持ち 二次硫化物富化作用により稼出品位に達した好例であって その形は典型的に「毛布で包み持ち上げた形(Blanket shape)」を示している(第5図B)。探査が進むにつれて 新期火山岩類の下に化石化された潜頭のブランケット型鉱床が発見されるであろうが 探査の全体的傾向はより低品位の初生鉱床に向うであろう。この意味でサンタ・リタ鉱床は古き良き時代の贈物となるかも知れない。

サンタ・リタ鉱床の周辺には多くのスカルン鉱床が発見されていて これはこの鉱山が将来に進む方向と ポーフィリーカップ—鉱床の寿命に被貫入岩の種類的重要性を暗示していて興味深い。また運鉱岩の種類や地質環境によっては いわゆる接触交代鉱床も高温で高圧の状態を想定する必要がないことも示していて 今後の開発に伴う研究が期待される。(つづく)

(筆者は鉱床部)

地下の科学シリーズ 14

グリーン・タフ(緑色凝灰岩)

理学博士 大澤 稔著

グリーン・タフの研究が本格的に行なわれ出したのは昭和25年以後であって とくに数年前に秋田県の北部で黒鉱々床が発見されて以来 急速にデータが増加してきた。著者は昭和25年以來現在まで20年近く グリーン・タフ地域の地質調査研究に従事してきたベテランである。本書では 昭和25年以後昭和41年までのおもな調査研究論文をたとえ著者と意見をこことにする学説であっても 客観的に紹介している。したがって本書をよめば 昭和41年までのグリーン・タフの研究論文のダイジストをすることがで

きる。この種の科学の紹介書には しばしば 自分の学説を強調する余り 意見をこことにする学説を省略するかも知しくはごく簡単にふれていることがあるが 本書ではそのようなことがない。この点 本書は原著論文をみる機会の少ない地方の人とか 現場の仕事に従事しつこぶる多忙な人などには とくに 便利である。地学関係の方はぜひ1冊座右に置いておかれることをおすすめする。

新書版型 グリーン・タフ(好評再版)

発行 ラテイス 東京都豊島区雑司ヶ谷2—25—4

Tel (03) 987—4748

発売 丸善株式会社

定 価 480円