

ネバダ州の金銀鉱床

—そのタイプとモデル—

浦 辺 徹 郎 (鉱床部)
Tetsuro URABE

1. はじめに

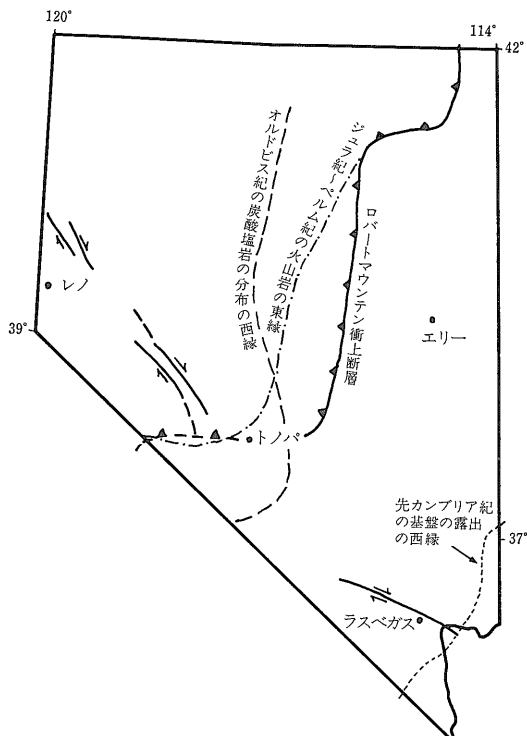
アメリカ西部ネバダ州と言えばまず思い出されるのがギャンブルの町ラスベガスである。州の大半はベーズン アンド レンジ地域に特有の砂漠と岩山のくり返しで人口密度も低く観光収入に多くを依存している。最近では州の中央部に広がる原爆実験場の風下にあたる町々の住民の高いガン発生率が明らかにされて話題となった。一方地質学的には種々のタイプの金銀鉱床やポーフィリー・銅鉱床が数多く分布していることで知られている。筆者は数年前約一週間に亘ってこれらの鉱床を見学する機会に恵まれたのでその折の写真も交えてネバダ州の金銀鉱床の特徴を簡単に紹介しその成因について思いをめぐらせてみたい。というのもそれらの鉱床は島弧的テクトニクス下で生成したものであり 振り返って日本の第三紀の金銀鉱床の成因を考える上で多くの示唆を与えてくれるからである。

2. ネバダ州の地質史

ネバダ州は永い間大陸の西縁を占めていた。州の東半部には先カンブリア紀の基盤が広がっていると推定されているが露出はラスベガス東南方にのみ知られている。そこでの岩相は石英長石質片麻岩および結晶片岩で17億年の変成年代を示し部分的に14億年前のラパキピ型花崗岩によって貫入を受けている。

それらを不整合に被ってコルディレラ地向斜のミオ地向斜性の堆積物が乗って来る。新しい考え方で言えばこれらは後期先カンブリア紀から後期デボン紀にかけて大陸棚の上に発達した堆積物ウェッジということになる (BURCHFIEL, 1979)。海進のため不整合面直上の堆積物の年代は東に行く程新しくなりかつ海深が東に向って浅くなるため州東部ほど堆積物中の炭酸塩岩の割合が増加し頁岩の割合が減少している (第1図)。後に述べる様にこの石灰質頁岩中には金銀鉱床が数多く知られているがその分布が州東半部に偏在している理由の一つはここにあると考えて良い。

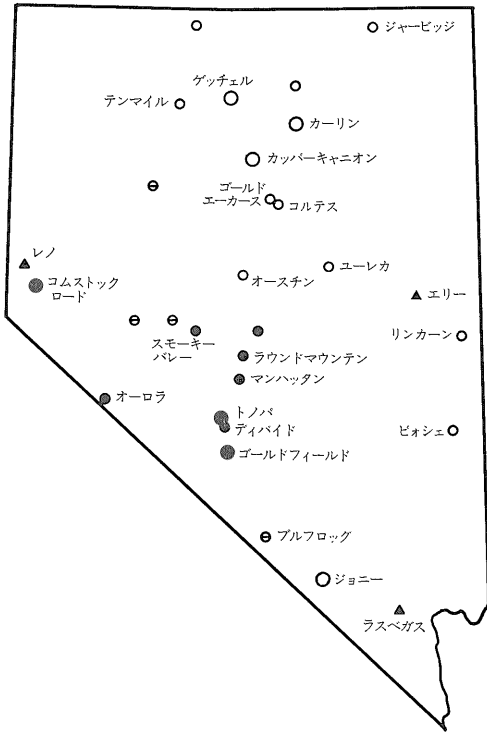
古生代前・中期に更に西側の大陸斜面に堆積したと考えられるチャート 頁岩 緑色岩の類も又異地性ナツペ



第1図 ネバダ州の地質概略 (BURCHFIEL, 1979 その他より簡略化)。Older Devonian 紀の炭酸塩岩の分布の西縁はほぼ推定される先カンブリア紀の基盤の西縁と一致する。

として 前期石炭紀に起ったスラスト運動により運ばれて来ている。後期石炭紀の地塊運動を経験した後北米大陸の西端は古生代末期から中生代初期にかけて活発なテクトニクスのもとに化したが、ペルム紀には火山性島弧の衝突がありその後の中生代を通じて海洋プレートの沈み込みがあったと推定されている。これに伴ないアンデス型の火成活動が起りオフィオライトの付加体も形成された (BURCHFIEL 1979)。

その後ネバダ州は背弧部に位置していたらしく白亜紀末期から第三紀初期にかけてより東側のワイオミング州を中心に発達した収縮テクトニクスのララマイド変動の余波を受けている。コロラド州ではこの変動に伴う火成岩によりコロラド ミネラルベルトが形成され



第2図 ネバダ州の金銀鉱床の分布。黒丸は火山岩に関係の深いもの 白丸は堆積岩中 横線は不明。

多くの金鉱床やポーフリー・銅鉱床の鉱化作用が起っている。7千万年前に始まったこの変動も5千万年前には終結しネバダ州は再び4千万年前から2千万年間島弧型火山活動の場となった。しかしこの活動も1700万年前に突然終わり背弧海盆に見られる拡張テクトニクスにとってかわられることになる(SNYDER et al., 1976)。このベーズン アンド レンジを作り上げたテクトニクス場は現在まで継続しており玄武岩一流紋岩のいわゆるパイモダル火山活動が特徴的に見られる。この活動はそれ以前のカルク・アルカリ火山活動と対照的であり後に鉱化作用の年代を考える上で重要なポイントになってくる。

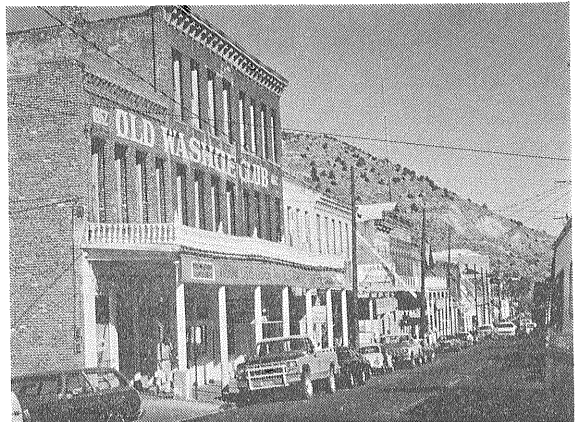
3. 金銀鉱床の概観

ネバダ州の金銀鉱床は前世紀の半ば頃相次いで発見されその都度ゴールドラッシュが起ったという。多くの場合まず砂金が見つかりその付近の露頭を採鉱している内に初生の鉱床が発見されるという過程がくり返されている。今回は砂金の話は一切省略して固い岩石中

に胚胎される鉱床についてのみ考えることにしよう。この頃発見されたそれらの鉱床は高品位であるばかりでなく金銀鉱物粒が比較的大きくかつ地表に露頭のあるものばかりであった。中でもコムストック・ロードは産銀量5,000トンを越える大鉱床で付近のバージニアシティ(第3図)には多くの産銀王の邸宅が今も残されておりテレビドラマ「ボナンザ」の舞台として我々日本人にもなじみが深い。

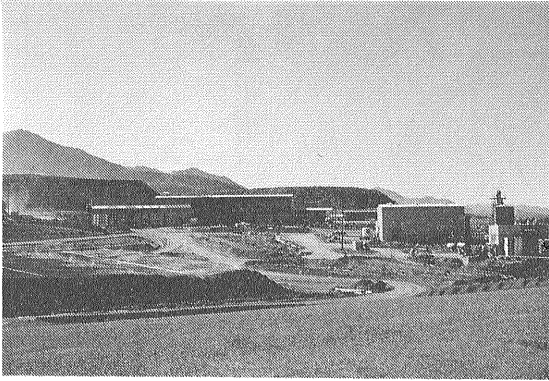
「山師」たちが発見したそれらの鉱床のほとんどは1930年頃までに掘り尽されてしまいその後ゴーストタウン化した所も多い。今世紀中頃になって再び企業による探鉱が行なわれた結果いくつかの鉱床が新たに発見されたが共通して言える事は金粒がサブミクロンサイズで決して肉眼では見えないことである。その例としては後述するCarlin 鉱床や Smokey Valley Mountain 鉱床がある(第4図)。この両者の鉱床タイプは全く異なるが特に後者の鉱山では会社の研究所で何百ものポリッシュを作って見たものの金粒は一粒も発見できなかったそうである。第5図にあるようにこの鉱床は第三系の基底をなす酸性熔結凝灰岩(26m. y. *)中の鉱染状鉱で所々石英の細脈が入っているが肉眼的には何の変哲もないセリサイト化した凝灰岩である。鉱山の地質屋さんもどこが鉱石か分析結果を見るまで分らないので計画が立てづらいとこぼしていた。

日本にもこの様なカルデラ生成に伴なう熔結凝灰岩は数多く知られている。よって同様のinvisible goldの発見の可能性が残されているのではなからうか。ともかく次節では州南西部の火山岩に伴なう鉱床から州北東



第3図 バージニアシティの古い街並み。史跡として保存されている。テレビ映画ボナンザのモデル地でもある。

* m. y. 百万年前。特に指定が無ければ全岩のカリウム・アルゴン法で求めた値である。



第4図 スモーキーバレーマウンテン鉱山の青酸リーチングの様子。豆粒大に砕かれた鉱石中の約65パーセントの金がこの方法で回収されるという。日産7,000トンである。



第5図 同鉱山の熔結凝灰岩中の石英細脈。母岩はセリサイト化を受けており金の品位はトン当たり1.5グラムであるが金粒は顕微鏡でも確認されていない。この石を見て金鉱石だと分る地質学者は数少ないと思われる。つまり一見普通の石なのである。

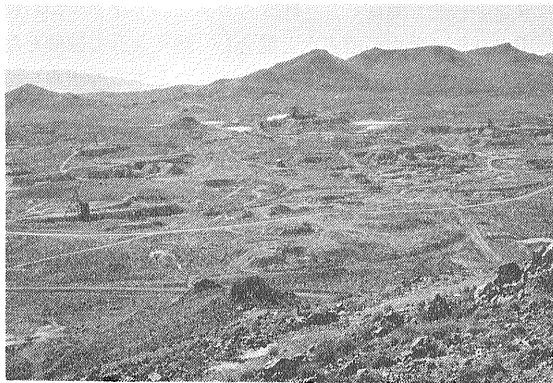
部の堆積岩中のものという順序で 実例を見て行きたいと思う。

3-1. Goldfield (ゴールドフィールド)

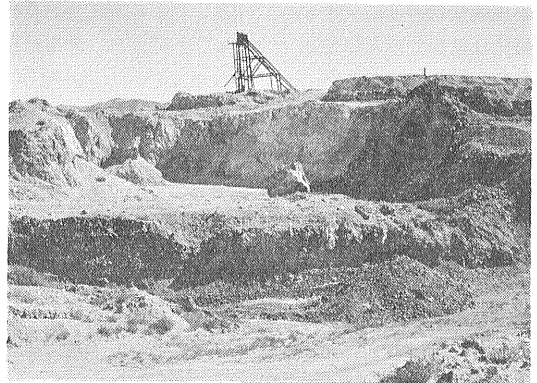
ゴールドフィールドは浅熱水性金鉱床の代表例として EMMONS, LINDGREN 等の古典的な鉱床学の教科書にくり返し取り上げられている。又鉱物好きの人には goldfieldite というテルル四面銅鉱の模式地としても知られている。この鉱床は1902年に発見されゴールドラッシュを引き起したがほぼ130トンの金を産出した後1917年頃にはすでに終堀を迎えている(第6, 7図)。その間の金の平均品位は上に述べたスモーキーバレーマウンテン鉱床の150倍の210グラム/トンであったという。又1つの富鉱の分析値は Au 20,000グラム/トン

Ag 2,500グラム/トン Te 2.42パーセント Bi 0.35パーセント Cu 2.08パーセントに達している (LINDGREN, 1933)。

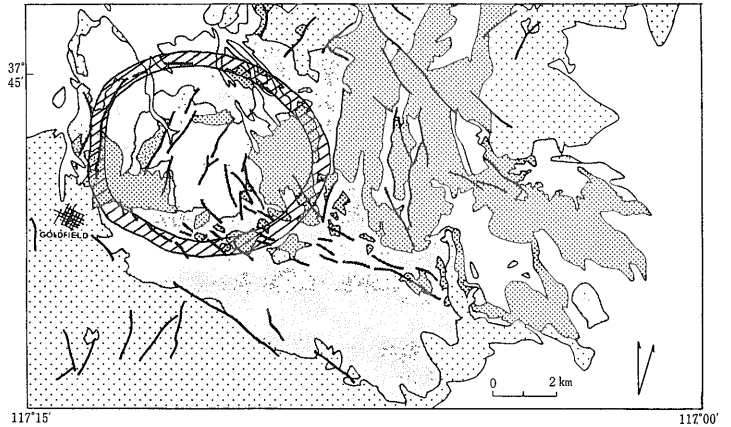
この地域の基盤は170 m. y. の優白質石英モンゾニ岩およびオルドビス紀の頁岩を主とし、その上を不整合に漸新世の酸性火山灰流(27.7 m. y. ~ 33.5 m. y.)がおおっている。この火山灰流はこの地域に広く分布して第三紀のカルクアルカリ火山活動のさきがけとなっている。これをおおって中新世のカリウムに富む安山岩(25 m. y.)次いで斑状流紋岩(22 m. y.)が発達し鉱床の母岩となっている。これら鉱化に先立つ火山岩類と鉱床を切って後から貫入している流紋岩の年代測定をくわしく行なった結果、鉱床生成の時間幅は20.3~21.6 m. y. と最大130万年以内であることが分っている (ASHLEY and SIL-



第6図 ゴールドフィールド鉱山のゴールドラッシュの廃墟。小山の見えるのはズリ。そこら中に旧坑の口が開いていて気をつけないと危険である。

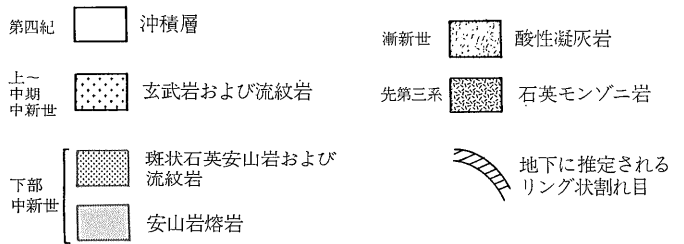


第7図 ゴールドフィールド鉱山の最初の露頭と堅坑。白っぽく見える所が酸性変質帯。



凡 例

第 8 図
 ゴールドフィールドの地質とリング状の割れ目
 ゾーン。 鉱床はこの割れ目の西側に伴って
 いる。



BERMAN, 1976). 一方変質鉱物であるセリサイトの年代として 20~21 m. y. 明ばん石のそれとして 21±0.4 m. y. が得られており 全岩の年代測定の値と調和的である。

現地を案内してくれた ネバダ州鉱山地質局の H. F. BONHAM 博士によれば カリウムに富む安山岩はもともとカルデラの一部と考えられ(第8図)斑状流紋岩がその凹地を埋めたのではないかとのことであった。 鉱床はカルデラにそって円形の割れ目にそって南北に延びており その割れ目の両側の熱水変質を受けた火山岩中に不規則板状の鉱染状鉱として分布している。 この交代鉱床は鉱脈ではないため “ledge” と呼ばれ 非常に高品位で 金粒が黄色いバンドをつくっていたという。

鉱物組合わせの特徴は上に示した鉱石の高いテルル含有量からも推察できるように テルル化合物を多産し いわゆる gold-telluride (金-テルル化合物) 型の鉱床に分類される。 鉱石鉱物としては自然金の他 黄鉄鉱 白鉄鉱 ピスマスナイト ファマチナイト ゴールドフィールドナイト等が産する。 又鉱床は進行した粘土化変質を受けており 多量の明ばん石 カオリン 石英により代表される鉱物組合わせを示す。 ちなみにこの様な変質はボーフィリー・カップー鉱床の頂部に特徴的に見られるものであり 又鉱石中の高いスズ含有量 (50ppm) と考え合わせると BONHAM 博士の考えているように

ゴールドフィールド鉱床を深くボーリングすればボーフィリー・カップー鉱床に当たる可能性がある。

ところで鉱床中の硫化鉱物のイオウ同位体比は $\delta^{34}\text{S} = 0$ パーミル*付近に集中し イオウがマグマ起源であることを示唆している (JENSEN et al., 1971)。 一方鉱液の酸素同位体比は $\delta^{18}\text{O} = -12.4$ パーミルと計算され恐らくほとんどすべて天水 (雨水) 起源と考えられる (O'NEIL and SILBERMAN, 1974)。 RANSOM (1909) は鉱床生成後の被ふく層の厚さがきわめて薄いことより 鉱床は地表下ごく浅い所でできた主張している。 これらのデータを合わせて考えると H_2S のガスとしてマグマから放出されたイオウが地表水と混合し 酸化されて硫酸となり 明ばん石等の変質鉱物を生成したとするモデルが考えられる。

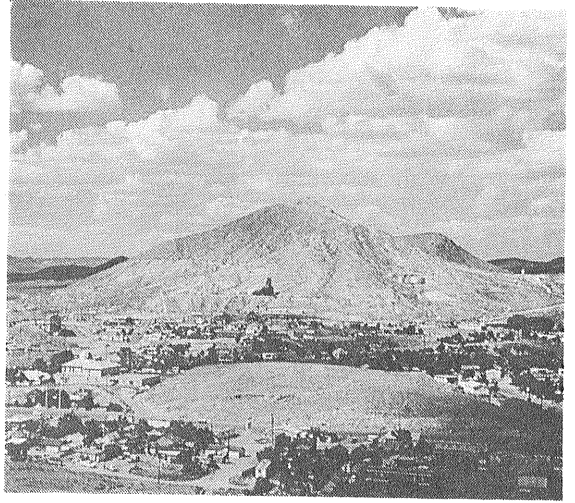
3-2. Tonopah (トノパ)

トノパは1900年に発見され1961年に終堀を迎えるまでネバダ州ではコムストック・ロードに次ぐ産銀量である 4,940 トンが記録されている (第9図)。 一方産金量は 53 トンで 金銀比は約 1:100 となっている。 トノパに関しては BONHAM and GARSIDE (1979) の詳細な記載があり 以下はほとんどそれからの要約である。

*パーミル表示その他の解説は松久 (1978) 参照のこと。

第1表 トノパ付近の火成活動史 (BONHAM and GARSIDE, 1979を簡略化)

1000万年	火山活動の終えん
1500万年～	拡張テクトニクス、流紋岩およびトラキ安山岩の噴出。
1700万年～	花崗岩の局所的活動、ペーズン・アンド・レンジ活動の始まりに伴ない各種の火山岩の活動。
2200万年～	花崗閃緑岩の広域的活動(浅所貫入)。この上部に主要な火山活動の中心が形成された。鉱床の生成の時期でもある。
2600万年～	花崗岩質岩の深所貫入、流紋岩の活動。
3400万年～	トノパ層の火山灰流の噴火。
それ以前	花崗岩質岩の深所貫入。



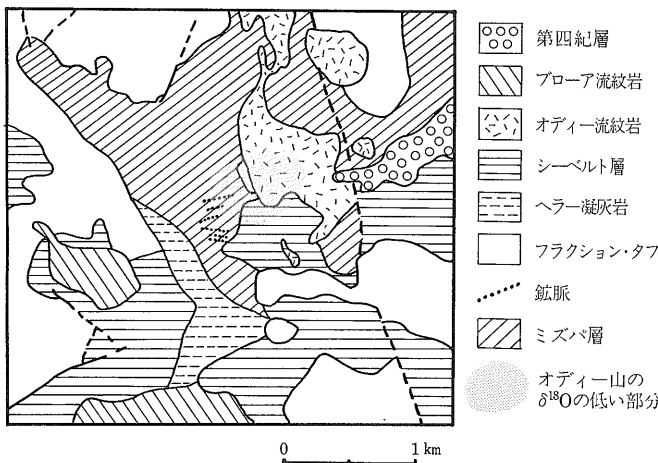
第9図 トノパの町の全景、正面に見えるオディー山の西南のふもとに鉱脈が分布していた。

この地域の第三紀火山活動史は第1表にまとめてある。1700万年前の拡張テクトニクス以前の火山活動はすべて陸上で行われたが それ以後の地層中には水中堆積物が見られるようになる。興味深いことにここでは鉱化作用はカルク・アルカリ型火山活動にのみ伴っている。

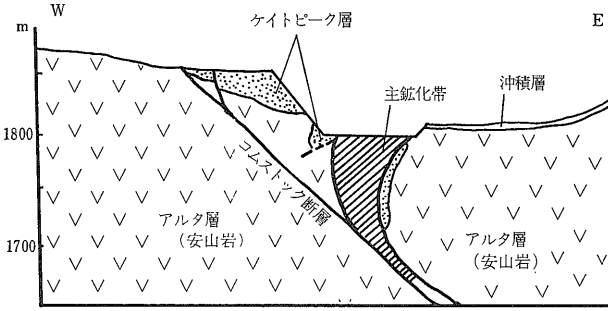
鉱床の母岩はトノパ層の流紋岩質熔結凝灰岩(～24m.y.) ミズパ層の安山岩～流紋岩質熔岩(20.5m.y.) およびフラクシオンタフ(流紋岩質熔結凝灰岩; 20.5～18m.y.)である(第10図)。鉱床中の氷長石の年代が18.1～19.1m.y.なので 関係火成岩としてはフラクシオンタフが最も考えやすい。第10図を見てもこの地域にカルデラ構造が有ったかどうか明解には分らないが BONHAM and GARSIDE (1979) はフラクシオンタフがこの地域に存在したカルデラの生成に伴って噴出した火山灰流であったと推定している。

鉱床は最大幅13メートルの石英脈で 金銀鉱物として自然金 輝銀鉱 ポリバサイト ピラーライト 他に方鉛鉱 閃亜鉛鉱 黄銅鉱等を含む。母岩の変質としては脈際からカリウム変質(セリサイト 氷長石 黄鉄鉱 石英) 粘土化変質(カオリン ハロイサイト および外側をとり囲むモンモリロン石)と漸移し 合わせて1～40メートルの幅を示している。最も外側の変質は曹長石 方解石 緑泥石 沸石等で特徴づけられるプロピライト変質であり広くこの地域に見られる。

トノパの石英 氷長石中の流体包有物は日本の新第三紀の金銀鉱脈型鉱床とよく似た性質を持っており 充填温度が250度C前後で NaCl 相当濃度も1パーセント以下である。後述する様に鉱液は100パーセント天水起



第10図
トノパの地質概略。点線が鉱脈で オディー山はその北東300メートルの所にある。この山を中心に $\delta^{18}\text{O}$ の低い部分があり(TAYLOR, 1973) 熱源の直上ではないかと思われている。
(BONHAM and GARSIDE, 1979)



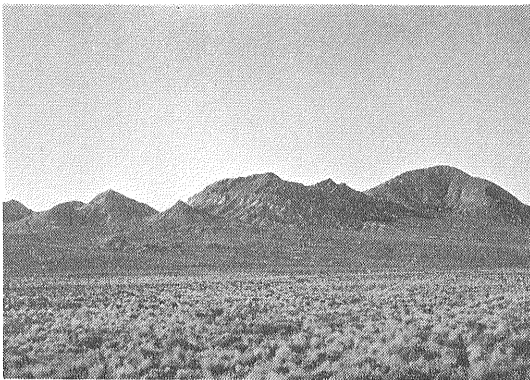
第12図
コムストック・ロードで唯一残っているコンインペリアル
鉱床の地質断面図。コムストック断層およびその上盤側
に鉱脈群がみられる。

源と考えられ マグマ水の寄与がもし有ったとしても5パーセントを越えることはなかったであろう。

トノパ南方 9 km にある Divide (ディバイド) 鉱床は1920年に発見された幅 1 メートルの石英鉱脈で ネバダ州最後のシルバーラッシュとなった所である (第11図)。産銀量は約 100 トンで 金銀比はトノパと同じである。鉱床の特徴も又トノパと類似しているが 母岩がトノパの鉱脈を不整合におおるオディ流紋岩 (第1表) の貫入岩体であり 母岩および鉱脈中の氷長石の年代がともに 16.3~16.4 m. y. と若い。もう一つ異なる点は鉱脈の周囲にモリブデナイトが散見されることで やはりポーフリー型銅モリブデン鉱床の頂部に酷似しているように見えた。

3-3. Comstock Lode (コムストック・ロード)

ここでロードというのは英国を代表する 鉱床地帯のコーンウォール地方の鉱山用語で鉱脈のことである。実際このコムストックにはコーンウォール人が移住して来て鉱山運営に当たったことが知られている。1850年



第11図 ディバイド鉱山跡の遠景。侵食を受けた流紋岩質の熔岩ドームで 金およびモリブデンの鉱染がみられる。

代に発見されたこの大銀山も1880年には坑内温泉の湧出のため斜陽となり 現在は低品位の銀鉱石を対象とした露天堀が一ヶ所行われているだけである。これまでの金産出量は砂金を除外しても金250トン 銀5,760トンに達し 当時の経済価値に直すと 3億9,000万ドルにもなったという (BONHAM, 1969)。そのデータから平均品位を計算してみると 金 14グラム/トン 銀 330グラム/トンとなりかなり高品位である。

この地域の基盤は変成した三疊紀の火山岩および堆積岩で その中に白亜紀の花崗閃緑岩が貫入している。これらを不整合におおって 23 m. y. の流紋岩質火砕流が発達し 更にその上位に輝石角閃石安山岩 (アルタ層) および凝灰岩がくる。鉱床はアルタ層中を南北ないし北東-南西に走るコムストック断層の割れ目中ないし断層上盤側のプロピライト化したアルタ層の安山岩中に石英脈として存在する (第12図)。図にもある様にアルタ層は流紋岩質から安山岩質の凝灰角礫岩 (ケイトピーク層) および頁岩によりおおわれる。

BONHAM (1969) によれば鉱脈中の氷長石の年代は 12.2 ± 0.6 m. y. でケイトピーク層の曹長石の年代 12.9 ± 0.8 m. y. と誤差の範囲で一致する。この様にコムストックの鉱化は非常に新しいが その操業を中止に追い込んだ原因が深部における温泉 (40度) の湧出であったことを合わせて考えると興味深い。

更に注目に値するのは この鉱床のあるバージニア山地から急な坂をかけ降りた西方 20 km の低地に 金 銀 水銀 アンチモン等を沈澱しつつあることで有名な Steamboat Springs (スチームボート温泉) があることである (第13 14図)。この温泉は恐らく 3m. y. 前頃から間欠的に活動していたと考えられ 玄武岩熔岩 (2.5 m. y.) と流紋岩ドーム (1.2~1.5 m. y.) のパイモダル火山活動に深く関係していると考えられる (WHITE et al., 1964)。WHITE (1968) は温泉水中にヒ素やリチウムといった通常堆積岩中にはあまり含まれない元素が濃集していることから 温泉の直下に大きな酸性マグマの存在

を推定したが 酸素水素の同位体の研究からは温泉水中にマグマ水の寄与は認められていない。

同じくコムストック鉱床上部から採取された石英や氷長石中の流体包有物も天水起源であることが分っている (O'NEIL and SILBERMAN, 1974)。しかし後に述べる様に鉱床深部から得られた試料中の流体包有物は80パーセントのマグマ水の寄与が考えられる。その包有物の充填温度および塩濃度は 295°C 3.1 重量パーセントであった (同 1974)。この鉱床の鉱物組合わせは石英の他方解石 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄銅鉱 輝銀鉱 自然金 ポリバサイトという具合で特に他の貴金属鉱床と相異点がある訳ではない。マグマ水の寄与は地表水によって簡単にかき消されほとんどの鉱床でその痕跡を見ることが出来なくなっているのではないだろうか。

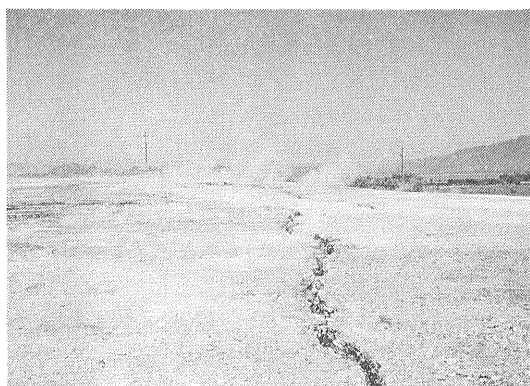
3-4. Johnnie (ジョニー)

この鉱床は今回取り上げた中ではケタはずれに小さく約 2.6 トンの金の産出が記録されているに過ぎない。この地域には 2 章で述べた上部先カンブリア紀から中期カンブリア紀の大陸棚堆積物が広く分布し その厚さは 4,000 メートルに達している。それらは上位の地層から下位に向って カララ層 ザプリスキー層 ウッドキャニオン層 および下部カンブリア紀のスターリング層と重なっている (第15図)。この地域の鉱床は二種類に分けられ 一つは図中に示してあるようにザプリスキー層を高角に切る自然金 黄銅鉱 方鉛鉱 黄鉄鉱を含む石英脈である。もう一つは下位のスターリング層のコーツァイト中の黄銅鉱 赤鉄鉱を含むバンドである。残念ながら筆者はここを訪門することができなかったので 二種の鉱床の関係を観察することができなかったが

ポイントとなるのはスターリング層中の鉱床が周囲の母岩と一連に堆積した同生鉱床かあるいは石英脈の生成と同時期に母岩の層理に平行に交代されてできた鉱床かという所である。スターリング層中の鉱床は品位が低く経済的には重要でないとのことであるが もし交代でできたのなら鉱脈同様第三紀の鉱化 (IVOSEVIC, 1977) であろう。

このジョニーも含めて ネバダ州の南部および東部にはカンブリア系の最下底の炭酸塩岩中のみ見られる一群の小規模金鉱床が分布している (WOODWARD, 1972)。彼は Pioche (ピオシェ) Lincoln (リンカーン) といったこのタイプの鉱床は 地下深所から上昇して来た鉱液が炭酸塩岩と反応して金を沈澱させたというモデルを考えている。しかし 逆にカンブリア系の一部の炭酸塩岩にはもともと金の濃度が高いものがあったとは考えられないだろうか。つまりジョニー鉱床の層状鉱床は鉱脈鉱床が第三紀に生成した (IVOSEVIC, 1977) 時に同時に形成されたのではなくて 逆に鉱脈へ金を供給したのではないかという仮説である。この可能性については更にいくつかの鉱床の紹介をしてから又論じてみよう。

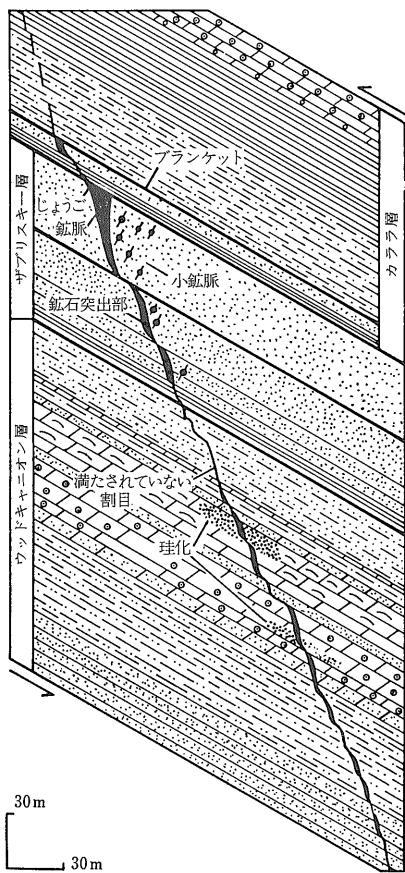
このジョニーに似た鉱床の側としてもう一つ Manhattan (マンハッタン) のを上げておく。これも金 5.8 トン 銀 3.5 トンの産出しか知られていない比較的小規模の鉱床で カンブリア紀のゴールドヒル層の石灰岩中に網状脈ないし鉱脈として産し 一部第三紀層中にも脈が延びている。鉱床は氷長石を含む石英脈で 特徴的に硫砒鉄鉱 輝安鉱 鶏冠石 石黄 辰砂を産する。鉱床が中生代の花崗岩と接している所には鉱床が見られず又氷長石の年代として 16 m. y. が得られていることから



第13図 コムストック西方にある活動中の地熱地帯 スチームボートスプリングス。割目の中には沸煮した湯泉水がありゴボゴボと音をたてている。



第14図 スチームボートで地熱開発用に掘られたボーリング。酸性が強いため栓をしたにもかかわらずパイプが腐食され 自然水銀が滴下している。(画面中央やや下のパイプの穴より)



第15図 ジョニー鉱床の模式柱状図 (IVOCEVIC, 1978 による)

鉱化は中新世に起ったと考えられる (KLEINHANPL and ZIANY, 1984). これと一連の鉱化作用でできた北隣の Round Mountain (ラウンドマウンテン) 鉱床中の流体包有物の充填温度 NaCl 相当濃度はそれぞれ 250~260 度 0.2~1.4 重量パーセントであった (NASH, 1972). この値は火山岩中に産する第三紀鉱脈型鉱床の値とほぼ同じで 鉱液そのものの性質は母岩の違いによらない様に思われる.

3-5. Carlin (カーリン)

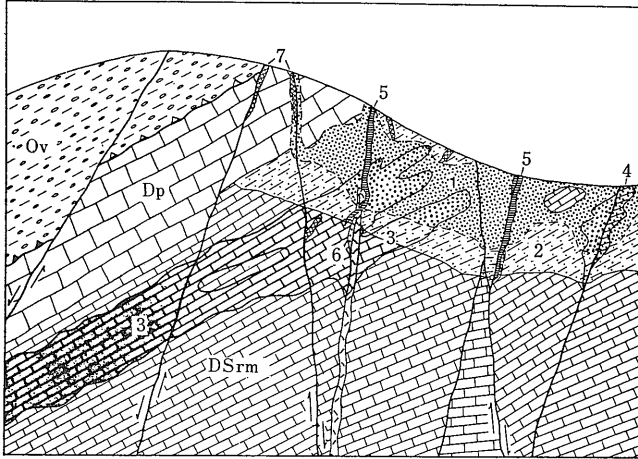
カーリン鉱床はアメリカ最大の鉱染型金鉱床で 1965 年の開始以来 既に 125 トン以上の金を産出している. 現在のオープンピットからの出鉱品位は 6.7 グラム/トンで他に水銀も回収している. 先に述べた様に この鉱石は一見何の変哲も無い炭質物を含んだ石灰質頁岩で その中にミクロンサイズの金粒が鉱染しているもので肉眼では鉱石と母岩の区別は不可能である. 話が横道にそれるが著者がカナダのトロント大学の一行とともに

に本鉱床を訪山した折 探査係の人が母岩の所ばかり見せて鉱石を見せようとしないので押し問答となった. 後で「ごくありふれた石」が鉱石であると聞いた 鉱山のマネージャーが 企業秘密をタテに 鉱石の露出している場所へ案内することを厳禁したためと判り 探査係 (この人もカナダ人であった) の奥歯に物のはさまった様な言い方の原因も納得できたのである. 彼等が汲々としてその鉱区を囲い込んでいる間に 他の鉱山会社がその周囲により大きな鉱体を発見したことを知った時 思わず快哉(?) を叫んだことを思い出す.

さてカーリントイプと総称される類似の金鉱床は ネバダ州だけでも Gold Acres (ゴールドエーカーズ) Cortez (コルテス) Eureka (ユレカ) などいくつか挙げられ 又上に述べたマンハッタン等も広い意味でこのタイプに入るのかも知れない. これらは相互に共通の性質をもっているのだから 成因的にはカーリンと同様の機構が考えられると思われる (RADTKE et al., 1980).

カーリン鉱床はシルル・デボン紀のロバートマウンテン層中に胚胎しており (第16図) 位置的にはデボン紀末期のアントラー変動に伴なうロバートマウンテン衝上の断層面直下に発達している. この衝上断層直下に後述する銅・キャニオン鉱床が発見されていることから この断層面がドーム状に変形している所に鉱床があるとする ROBERTS の説が一時もてはやされ いくつかの成功を収めた. しかし探査セオリーの多くがそうであったように 今ではその説には科学的な根拠が無いという評価を受けている. 鉱床より下位および上位の地層も又石灰岩やドロマイト岩を主体としており 文献からだけでは何故ロバートマウンテン層の石灰質頁岩にのみ鉱床が存在するのか理解できない. 鉱体の近傍および 4 km 北には 121~128 m. y. の花崗閃緑岩の岩体が知られているが 鉱床はベーズン・アンド・レンジの正断層をも交代しており第三紀 (14m. y.) の流紋岩を熱源とした熱水活動によりできたのではないかと考えられている (RADTKE et al., 1980).

鉱床には自然金 黄鉄鉱 重晶石の他 水銀 砒素 アンチモン タリウム等を含む鉱物が見られ 数種の新鉱物も報告されている. 母岩の変質は単純で 珪化 セリサイト化 カオリン化を主としており 鉱床中には 2~5 パーセントの炭質物を含むものもある. 新鮮な母岩中の炭素量は 0.25 パーセント以下なので炭素は何らかの形で供給されたものと思われる. RADTKE et al. (1980) は同鉱床の流体包有物を詳しく調べ 金鉱化の行われた主鉱化期の平均温度は 182°C 鉱液の NaCl 相当濃度は約 3.7 パーセントであったとしている (第17図). その後鉱液に沸とうが生じた形跡があるが それから考



第16図
カーリン鉱床の模式断面図。 Dp の上面が ロバートマウンテン衝上断層に相当する。 Ov: ピニニ層, Dp: ポゴピッチ層, D Srm: ロバートマウンテン層, 1: 溶脱・変質帯, 2: 後の風化帯, 3: 主鉱化帯 (上部は酸化鉱になっている), 4: めのう様の部分, 5: (横線) 重晶石脈, 6 (黒点): 石英脈 7 (網目): 方解石脈 (RADTKE et al., 1980)

える。と鉱床生成は地表下300~500メートルで起ったと推定される。

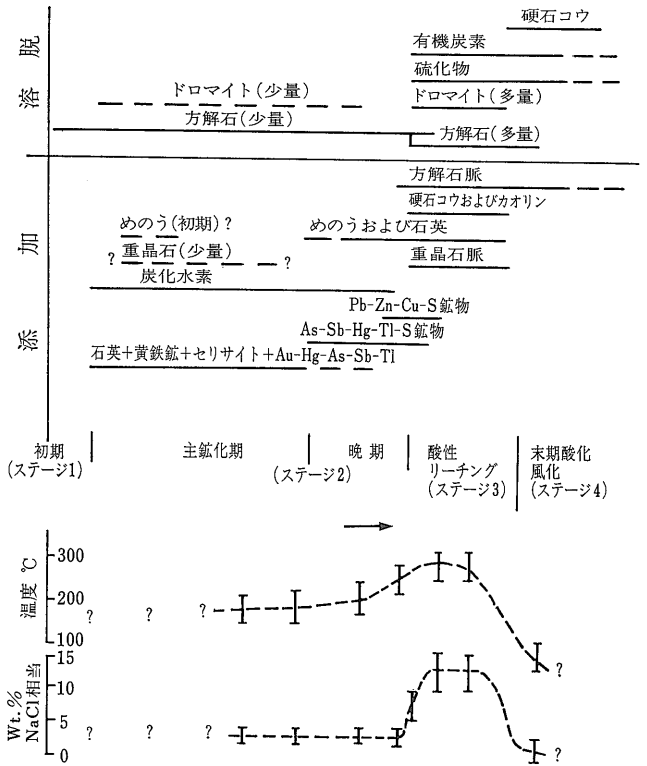
一方安定同位体から得られた情報をまとめてみると炭素は石灰質の母岩より 鉛も又堆積岩よりもたらされたものであることが推定される。 硫黄は+4.2~+16.1パーミルとばらつき ロバートマウンテン層中の値+11.4~14.3パーミルを内包して広がっていることよりやはり堆積物起源と考えられる (RADTKE et al., 1980)。 又鉱液中にマグマ水の寄与は認知できず 天水起源であると思われる。 これらのデータより第三紀に流紋岩質マグマを熱源とした地熱系ができ 循環地下水が周囲の岩石より金属や硫黄を抽出し 断層ぞいに上昇 ロバートマウンテン層に到ってそれらを交代したものとモデルが提案されている。

3-6. Battle Mountain

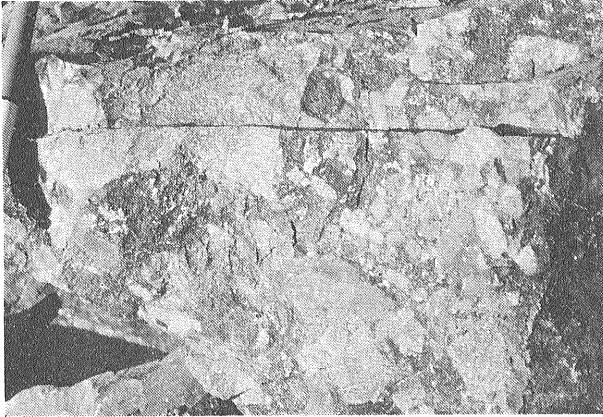
(バトル マウンテン)

ネバダ州の金銀鉱床のもう一つのタイプとしてポーフリーカッパー鉱床に伴うものがあげられる。 これは石英モンゾニ岩ないし花崗閃緑岩の貫入岩体の周囲にある卑金属のスカルン鉱床を取り巻いて外側に発達した金銀の交代鉱床で 一般に品位は高くない (ROBERTS et al., 1971)。 前節でカーリントイプとして上げたユーレカ ゴールドエーカーズ コルテスおよびここで紹介するバトル マウンテンがこのタイプに属する (同上)。 一つの鉱床が二つのタイプの代表例として使われるのは好ましく無いが RADTKE et al. (1980) と ROBERTS et al. (1971) の間の意見の相異と考えて頂きたい。

筆者の見解では上記四鉱床をカーリントイプとするのは少なくとも鉱床の目掛けの上からは当たっていないと思われる。 手元にある記載を読んだ限りではそれら四鉱床は互いに類似しているし 成因的にも別のモデルが成立しうるからである。 ここでは実際に見学する機会の



第17図 カーリン鉱床の鉱化ステージ。 主要鉱化期のあとに酸性溶脱期および地表酸化期がある。 下方の図は流体包有物の充填温度と塩濃度。 (同上による)



第18図 カッパー・キャニオン鉱床トムボーイ鉱体のスカルン化したバトルマウンテン層の石灰質礫岩。白っぽく見える礫はチャートでありスカルン化されていない。

あったバトルマウンテン地域のCopper Canyon (カッパー・キャニオン) 鉱床を紹介することにする。この鉱床はカーリン鉱床同様金銀比が高く現在の採鉱品位が金3グラム/トン 銀0.18グラム/トン 銅0.5~1パーセントで発見された1860年代から1961年までの産出量は金4.3トンおよび銀62トンである (BLAKE et al., 1980)。

地質は非常に複雑で上に述べたロバートマウンテン衝上で飛ばされて来たカンブリア紀の頁岩 緑色岩といった大陸斜面堆積物その他の上に不整合に乗ってくる現地性の堆積物 (デボン紀末~石炭紀初期) が鉱床母岩である。鉱床は不整合面直上のバトルマウンテン層の石灰質礫岩中に限られているがこれらは38 m. y. の花崗閃緑岩の貫入を受けスカルン化している (第18図)。この貫入岩体中には最高0.02パーセントのモリブデンが含まれポ-

フリー型銅モリブデン鉱床の見掛けを呈している (第19図)。低品位で全硫化物を合わせても平均1.65%にすぎず又その内黄銅鉱の占める割合は1/8である。一方スカルンは一般に赤鉄鉱に富むが金の濃集帯では黄鉄鉱か磁硫鉄鉱に変わっており金粒は磁硫鉄鉱と密接に伴っている (BLAKE et al., 1980)。

ユーレカその他の鉱床の地質もここに紹介したカッパー・キャニオン鉱床と類似しているののでくり返さないが伴う貫入岩の年代が大きく異なることは注目に値する。例えばユーレカでは100又は152 m. y. (ROBERTS et al., 1971) ゴールドエーカーズでは94ないし99 m. y. (SILBERMAN and MCKEE, 1974) およびコルテスでは34~35 m. y. となっている (WELLS et al., 1971)。この様に時代が大きく異なる貫入岩により生成した鉱床が近接して存在し

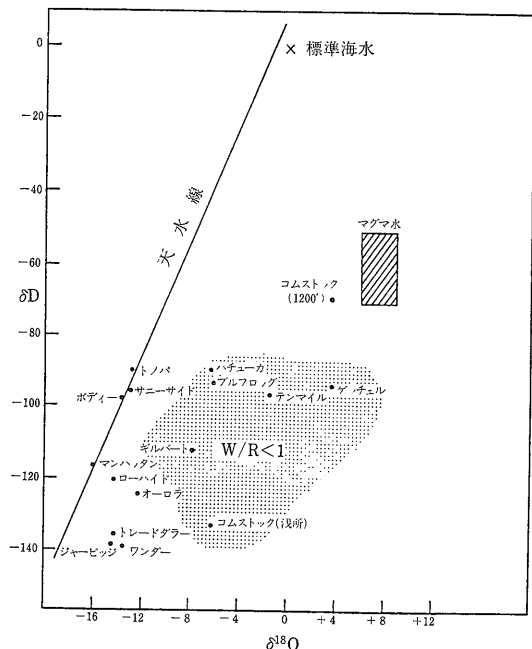
かつその特徴が類似するということは金の交代起源説では説明しづらいのではなからうか。筆者の受けた印象ではこれらの鉱床はもともと周囲の石灰質頁岩や礫岩と同時代に生成した同生鉱床で後に花崗閃緑岩の貫入を受けスカルン化したものではないかと思われる。更に想像をたくましくするとカーリン鉱床は後の花崗岩体によりスカルン化を受けていない生 (なま) の鉱床でもし受けていればこのカッパー・キャニオンタイプになっていたのではないだろうか。もしこの考えが正しければカーリン鉱床はもと同生鉱床であり第三紀に修飾を受けたということになる。

ところでカッパー・キャニオン鉱床の花崗閃緑岩体中のモリブデンを伴う石英脈中の流体包有物は300~400度の充填温度を示し0.7~21.8重量パーセント相当のNaClを含む。又その水素酸素同位体化はそれぞれ-118~-77パーミル +5.8~+9.6パーミル (計算値) でありマグマ水起源と考えられる (BLAKE et al., 1980)。



第19図

カッパー・キャニオン鉱床のカッパー・キャニオン花崗岩体中にみられるクリソコラの鉱染 (白い斑点部がクリソコラとセリサイトの混合物)。銅は500 ppmしかふくまれないが他にモリブデン・石英脈がみられポーフィリー型銅モリブデン鉱床に酷似する。左下はカメラのキャップ。



第20図 ネバダ州の金鉱床の鉱液の水素同位体比。コムストック 1200フィート レベルのものだけにマグマ水の寄与が認められる (O'NEIL and SILBERMAN, 1974, より加筆)。この地域の地下水のδDは-90.1~-138.5パーミルで鉱液のそれとほとんど一致する。点々を打った部分は天水が多量の岩石と反応した時に獲得する同位体比を示す。

このスカルンタイプの金鉱床の1つの変型がGetchell (ゲッチェル) 鉱床であろう。この鉱床は白亜紀の花崗閃緑岩の貫入によりカンブリア紀の泥質石灰岩が熱変成を受け 灰重石スカルンとなったものである。ただし金鉱床は更にそれを切って入るゲッチェル断層の断層破碎帯中にあり 石英 非晶質炭素 鶏冠石を伴なう。品位は8グラム/トンで全体の産量量は13トン程度であるがカーリン鉱床と同じく金銀比が高いという特徴を持っている。このゲッチェル断層は SILBERMAN et al., (1974) により90m. y. と年代決定され 従来考えられていた第三紀の鉱化が一挙に古くなった。よってこのゲッチェル鉱床は断層中に巻き込まれた第三紀のカーリンタイプの鉱床 (ROBERTS et al., 1971) ではなく 白亜紀の構造運動により断層中に巻き込まれたカンブリア紀の同生鉱床と考えられるように思う。

4. 鉱液の起源

第20図に O'NEIL and SILBERMAN (1974) が測定した流体包有物の水素同位体比と包有物を含む石英 氷長石 1985年 9月号

の酸素同位体比より推定した鉱液の水素酸素同位体組成がプロットしてある。これにはコロラド州サニーサイドおよびカリフォルニア州ボディー両鉱床のデータもふくまれているが その両者およびトノパ マンハッタン鉱床の鉱液はほぼ100パーセント天水であったことがこれから判る。これ以外のほとんどの鉱床も天水が地下水となって周囲の岩石と反応し 同位体組成が変わったものを鉱液としていることが読みとれる。日本の第三紀の金銀脈型鉱床においても同様の研究がなされており (HATTORI and SAKAI, 1975) やはり鉱液は天水起源であるとの結果が出されている。ここで注意が必要なのはたとえマグマ水が系の中に混入していても その量が5パーセント以下なら 分析精度上判別できないということである。つまり 金はすべてマグマ水に溶存してマグマからもたらされていたとしても 地表水により20倍以上希釈された後に沈澱したならば証拠は残らないということになるのである。

このマグマ水の寄与が知られている唯二の例外は先の銅・キャニオンとコムストック・ロードの深部より採集された石英脈中の含有物である。これは図中にもある様にマグマ水の範囲に近く 約80パーセントの水はマグマ起源であると考えられる。一方第20図には同鉱床上部より得られた試料もプロットされているが これは岩石と反応した雨水の値を示している。この結果をもとに考えてみると マグマから放出された鉱液は上昇過程で速やかに地下水により希釈され その過程で金銀を沈澱するということになる。もしこのモデルが他の鉱床にも適用できるとするならば 現存する金銀鉱床の直下をボーリングで掘りぬけば「何か」がある可能性が高いと思われる (O'NEIL and SILBERMAN, 1974)。

5. 金鉱床の生成

これまで概説してきたネバダ州の金銀鉱床の地質をふり返ってみると 三つの岩石ユニットがしばしば登場したのに気付く。まず最初にあげられるのがカルデラ活動に伴った ないし再生カルデラ中の中～酸性火山岩である。BONHAM 博士によれば ネバダ州には30~6m. y. のカルデラと思われる構造体が約100程認められ その内約半数のものに金 銀 銅など何らかの鉱化作用が及んでいるとのことである。今回取り上げた例でもゴールドフィールド トノパ ディパイドなどは再生カルデラないしそれに引き続く火成活動に伴っていると考えて良いであろう。またコロラド・ミネラルベルトにも同様の金鉱床が多数知られている。

次に花崗閃緑岩があげられる。この中にはカラデル

の地下のマグマ溜りがそのまま固結した火山底性のものとそうでないものがあるであろう。これらの深成岩が単に熱源として地下水の加熱と循環にのみ寄与したのか金属の供給にも寄与したのかは議論の分かれる所である。ただゲッチェル鉱山付近の白亜紀の花崗閃緑岩のようにバックグラウンド値の10倍から100倍高い金の含有量を示すものがあり (SILBERMAN et al., 1974) マグマ起源の金鉱床も存在しうるのであろう。

最後に炭質物を少量含む石灰質頁岩もしばしば登場した岩相である。銅・ニッケル・コバルト・ウラン・鉛の母岩は後の貫入岩よりスカン化を受けているがその原岩はカーリンやジョニー鉱床でみられた様な石灰質の地層であった事は疑う余地がない。この種の地層には局所的にもともと金が濃集していた可能性があることは既に述べた通りである。その様な地層中に熱水活動が起ると金の移動再濃集が達成されることがありいわゆる再生鉱床が形成される。これはもともと存在した異常帯(鉱床)を消費して新しい鉱床を作るプロセスなのでイギリスの女性鉱床学者WATSONによりカンニバリステイク(食人主義的)と名付けられているものである。

筆者はこの再生鉱床の最も良い例はカナダ南部のロッキーマウンテンの西側のコートネイアーク地域ではないかと思っている。この地域の基盤はパーセル超群で14億年前に生成された世界最大級の鉛・亜鉛鉱床であるサリバンを胚胎している。この基盤を不整合におおうカンブリア紀の石灰中にはモナーク HB 等のミシシッピバレー型鉛・亜鉛鉱床が多数存在する。更にその上位の中古生層中にもいくつかの鉱脈鉱床があり最も新しい鉛・亜鉛の鉱化作用は第三紀に及んでいる。これらの鉱床の鉛の同位体比は新しいものほど放射性元素起源の鉛に富みまた鉱床中の銀の品位が時代とともに着実に増加している。つまり地層中のウラン等が壊変してできた鉛が古い鉱床中の鉛につけ加わってより若い鉱床を作ったと考えればうまく説明できるのである。

このモデルをネバダ州の金鉱床に当てはめてみよう。アメリカ最大の始生代層状金鉱床であるサウスダコタ州のホームステイク鉱山は後に金の再移動再沈澱を広く受けてはいるものの元々は初期始生代の炭酸塩岩の堆積と同時に海底温泉作用により生成したものとのが受け入れられて来ている。もしこの地層の延長がネバダ州にも有ればコートネイアーク地域でのサリバン鉱床の様な“食べられる側”の鉱床があった可能性が生じる。しかし第2章にも述べた様に初期始生代の基盤はこの地域には知られていない。ネバダ州の基盤岩中に有る可能性のある鉱床はアリゾナ州ジェロームの日本の黒鉱に似た火山成塊状硫化物鉱床のみである。よってネバダ

州に金の再生鉱床モデルが適用できるとするとその金の起源は原生代末からカンブリア紀にかけて大陸縁辺部に堆積した炭酸塩岩ということになり第三紀の鉱脈型ないし鉱染型の金銀床は“食べた側”の鉱床ということになる。この再生鉱床モデルを支持する有力な証拠は鉛の同位体の研究から提出されている。ZARTMAN (1974) によればネバダ州の鉱床はほとんどすべて彼のゾーンIIに属し鉱床中および火成岩中の鉛はやや放射性起源の色合いが強く均質でおそらく厚いミオ地向斜の堆積物からもたらされた均質化された鉛であろうと推定されている。

6. おわりに

最初にもお断わりした様に筆者はネバダ州に約一週間滞在しただけで上に紹介した鉱山も長くて一日見学したに過ぎない。その様な短期間の見学で鉱床の成因まで論じるのはおこがましいが常に自分なりの成因モデルを作り上げようとしながら鉱床を見ると理解が深くなるというのも良く経験する所である。巡検中筆者はネバダ州の金鉱床がマグマ起源か再生鉱床かを判定する手がかりの無いものだろうかと考えつづけていた。残念ながらその結論を得ることはできなかったが上に論じた点を総合するとこれらの鉱床は「部分的に金に富んだ古生代頃の石灰質大陸棚堆積物層を貫ぬいて中〜新生代に火成活動特に再生カルデラ活動が起り地熱系が形成されて金の再生鉱床を作った」というものではなからうか。堆積物を取り込んだマグマの金含有量が高くなり金が直接マグマ水によって運ばれたケースも有るだろう。もともと堆積物中の金鉱床は金が微粒で品位も低いが広がり大きく再生鉱床においては品位が2ケタ近く高くなる。鉛についても同様の濃集が起ったらしいことが同位体の研究から推定される。これらの濃集が起るメカニズムは地表水および少量のマグマ水が岩石中から金等を溶脱しより上位の岩石中の割れ目でない岩石中に沈澱させることをくり返すというものであつたらう。

ところで振り返って日本の第三紀の金銀鉱床の地質を思い浮べてみるとネバダ州のそれと多くの共通点を持っていることが分る。日本の鉱床も島弧火山活動に伴って生成したものでそのほとんどがカルクアルカリ火山岩類を母岩とする鉱脈ないし鉱染鉱床である。南九州の金銀鉱床群の様にカルデラ構造に関連している例も知られておりトノパやゴールドフィールドの鉱床に類似したものがほとんどである。浅熱水性鉱床と呼ば

れるこのタイプの鉱床の鉱液はネバダ州のそれと同じく塩濃度が低く温度も200~300程度でほとんど天水起源である。

一方日本ではカーリンやゲッチェルの様なタイプの鉱床は知られていない。又日本にはスカルン型鉱床は数多く知られているがクッパー・キャニオン鉱床の類型の報告はない。ネバタ州同様金鉱床のポテンシャルの高い日本において何故これらの鉱床が無いのであろうか。その一つの原因はこれらの鉱床がすべて細粒で眼に見えない金を含む鉱染型鉱床つまり invisible gold であるという所にあるのではなからうか。この種の鉱床は野外で認知することがほとんど不可能に近く分析によってのみ確認できると言っても過言ではない。これまで岩石中の微量元素の分析を行う際に金が通常の前処理法では溶解しなかったり分析感度が悪かったりしたため金の異常値が見逃がされることが多かった。北米においてもしかりで最近の金鉱床の発見は中性子照射法等の分析法の改良による所が大きいという。

この意味から言っても日本でも鉱染型の金鉱床を探索し直して見る価値は充分残っているのではないだろうか。日本の金鉱床が九州の春日 岩戸鉱床といった南薩型鉱床も含めてすべて visible gold であるというのは少し奇妙ですらある。探索を始めるとすればまず古い砂金鉱床の上流部 鉱脈鉱床の下盤に分布する堆積岩類 凝灰岩類等が最初の候補にあげられる。具体的には 日高層群 四万十帯 秩父帯などが検討に値すると思われる。多数のサンプルの迅速分析により異常値の拾い出しをすることから始めて invisible を visible にする努力をすべきでないかというのがネバダ巡検より得た筆者の感想である。

文 献

- ASHLEY, R. P. and SILBERMAN, M. L. (1976) *Econ. Geol.* v. 71, p. 904-924.
- BLAKE, D. W., THEODORE, T. G., BATCHELDER, J. N., and KRETSCHMER, E. L. (1980) *Nevada Bureau of Mines Geol. Rept.* 33, p. 87-99.
- BONHAM, H. F., JR. (1969) *Nevada Bureau of Mines Geol. Bull.* No. 90, p. 102-107.
- BONHAM, H. F., JR. and GARSIDE, L. J. (1979) *ibid.* No. 92, 142pp.
- BURCHFIE L, B. C. (1979) *Nevada Bureau of Mines Rept No.* 33, p. 1-11.
- IVOCEVIC, S. W. (1978) *Econ. Geol.* V. 73, p. 100-106.
- JENSEN, M. L., ASHLEY, R. P., and ALBERS, J. P. (1971) *Econ. Geol.*, v. 66, p. 618-626.
- KLEINHAMPL, F. J. and ZIONY, J. I. (1984) *Nevada Bureau of Mines Bull.* 99B, 243pp.
- HATTORI, K. and SAKAI, H. (1979) *Econ. Geol.*, v. 74, p.

535-555.

- 松久幸敬 (1978) *地質ニュース* 282号 p. 14, 285号 p. 5, 289号 p. 26.
- NASH, J. T. (1972) *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 800-C, p. C15-C19.
- O'NEIL, J. R. and SILBERMAN, M. L. (1974) *Econ. Geol.*, v. 69, p. 902-909.
- RADTKE, A. S., RYE, R. O., and DICKSON, F. W. (1980) *Econ. Geol.*, v. 75, p. 641-672.
- RANSOM, F. L. (1909) *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 66.
- ROBERTS, R. J., RADTKE, A. S. and COATS, R. R. (1971) *Econ. Geol.*, v. 66, p. 14-33.
- SILBERMAN, M. L. and MCKEE, E. H. (1971) *Isochron/ West*, No. 1, p. 15-32.
- _____, CHESTERMAN, C. W., and KLEINHAMPL, F. J., and GRAY, C. H., JR. (1972) *Econ. Geol.*, v. 67, p. 597-604.
- SNYDER, W. S., DICKINSON, W. R. and SILBERMAN, M. C. (1976) *Earth Planet. Sci. Letters* v. 32, p. 91-106.
- TAYLOR, H. P., JR. (1973) *Econ. Geol.*, v. 68, p. 747-764.
- WELLS, J. D., ELLIOT, J. E., and OBRADOVICH, J. D. (1971) *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 750-C, p. C127-C135.
- WHITE, D. E. (1974) *Econ. Geol.*, v. 69, p. 954-973.
- _____, THOMPSON, G. A., and SANDBERG, C. H. (1964) *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 458-B.
- WOODWARD, L. A. (1972) *Econ. Geol.*, v. 67, p. 677-681.
- ZARTMAN, R. E. (1974) *ibid.*, v. 69, p. 792-805.

学 会 賞 の 受 賞

最近下記の各氏が学会賞を受賞されました。

- 物理探査学会賞 (昭和60年 5月10日)
「赤外線熱映像探査法の研究」
地 殻 熱 部 川 村 政 和
- 物理探査学会賞 (昭和60年 5月10日)
「会話形式屈折法地震データ解析法の研究」
物 理 探 査 部 津 宏 治
- 日本材料学会論文賞 (昭和60年 5月21日)
「一軸圧縮下の大島花崗岩のクリープについて——
第1報 岩石のクリープ時に発生するA Eの震源決定につ
いて
第2報 表面ひずみのマッピングによる岩石のクリープの
研究」
京 都 大 学 工 学 部 柳 谷 俊
江 原 昭 次
寺 田 孚
地 殻 熱 部 西 沢 修
環 境 地 質 部 楠 瀬 勤一郎