

ポーフイリー銅床

⑤

～貫入岩の諸性質と貫入の場～

石原舜三

構造的な背景

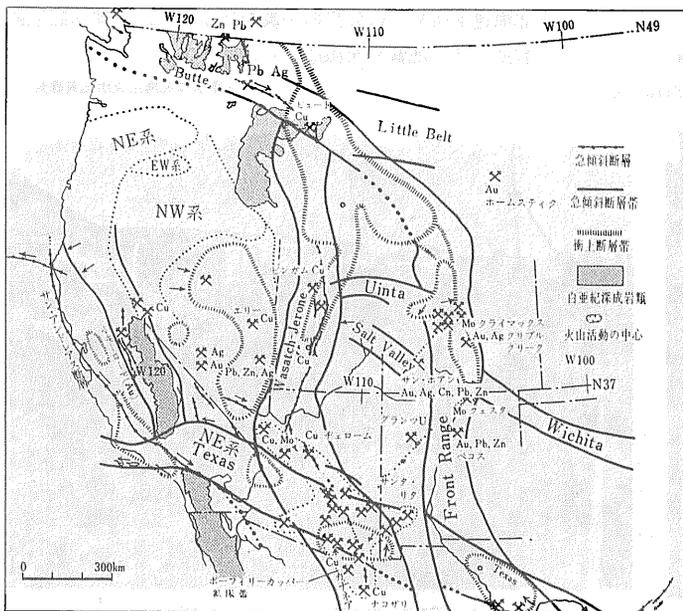
前回で記述した如く アメリカ合衆国のポーフイリー銅床は大陸と大洋との間に発達したコルディレラ造山帯の東側周縁部に分布している。それを中生代中頃から現在までのコルディレラ造山運動に位置づけると銅床はこの造山運動の中頃の形成とみることができる。しかし銅床はこの時期のすべての貫入岩に伴われているわけではなく、ごく一部に認められるにすぎない。銅床は大きな構造が交差する部分の貫入岩の一部に伴われると一般に信じられている。

Schmitt (1966) は合衆国西部の構造的要素を つぎのように分けた。

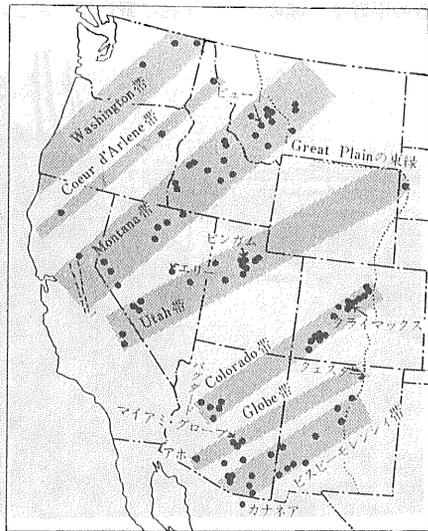
- 1) 北東系の片理構造を形成するような旧期プレカンブリア紀の Compression の作用
- 2) 新期プレカンブリア紀に始まり 現在の南北～北西系山地で示される構造運動。これには ロッキー山地で代表される Front Range 帯 (この帯に平行～亜平行な衝上断層急傾斜断層 褶曲 衝き上げと沈降など) 約400km 西方で類似の性格の Wasatch-Jerome 帯 さらに Sierra Nevada 帯と現在まで動いているカリフォルニア州の San Andreas 断層なども含まれる
- 3) 東西～北西北系の横断帯。これはおもに断層と褶曲運動とからなり 北から Butte-Little 帯 Uinta-Wichita 帯 Salt Valley 帯 Texas 帯などである (第1図)

合衆国西部の主要銅床地帯はこれらの構造帯に関係し、その出会い とくに2つ以上の複雑な部分にある。ポーフイリー銅床の密集しているアリゾナ州南東部は Wasatch-Jerome 帯と Texas 帯との交差部である。ビンガムやビュートも2つの構造帯の交点付近に存在する。Schmitt はこれら弱線帯に沿ってマントルか地殻下部から地球創成期に分化していた銅に富む物質が上昇して銅銅床を形成し、より浅い部分から上昇したマグマは銅に乏しく銅銅床をもたらさなかったか、あるいは他の元素に富む銅床をもたらしたと考えた。

大局的な構造的要素がマグマの上昇を規制した点については、一般に異論が少ないが Schmitt の区分がほとんどの地質家に支持されているとはいえない。前回でのべた如く、アリゾナ州のポーフイリー銅床密集部分の南北系の衝上断層帯は、たとえばユタ州におけるほど明確でないし、またその帯は、北方の Wasatch-Jerome 帯の南方延長上をややはずれる。Wasatch-Jerome 帯に含めなくてもよいかも知れない。もっと大きな異論は Texas 帯にあって、この帯を構造的な一単位として確立させることには異論がある (Prof. Jenks, Prof. Carpenter 講義録)。Schmitt 自身も前報 (1959) には Texas 帯を設定していない。



第1図 アメリカ合衆国西部の主要構造帯と主要銅床 Schmitt (1966) 原図



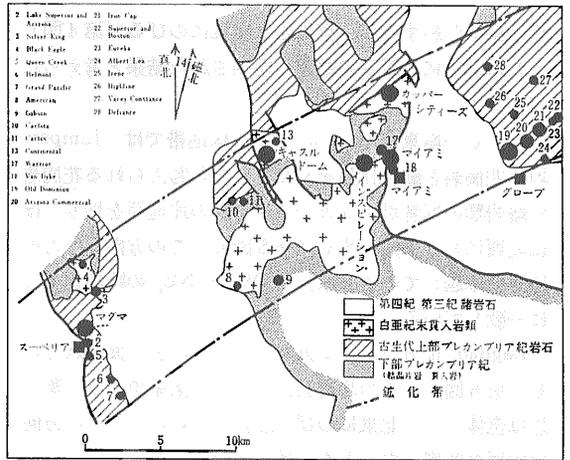
第2図 合衆国西部の主要銅地帯 Landwehr (1967) 原図

Landwehr (1967) は合衆国西部の熱水性鉱脈やそれに関係する貫入岩類 岩脈などが 大局的にみて北東系の分布を示すとし 7つの鉱化帯を設定し それぞれに名前を与えた(第2図)。これら諸鉱床の主要鉱化時期はプレカンブリア紀 白亜紀後期～第三紀初期(Nevadamide) 新第三紀の3時期に大別できるといわれる。

一例として Landwehr のグローブ帯に属し小～中規模のポーフリー・銅・鉱床である インスピレーション・銅・鉱床・シティーズ・キャスル・ドーム・マグマなどが分布する グローブ・マイアミ地方の鉱床の分布を第3図に示す。鉱床 鉱脈 交代鉱床などからなり 種々の元素に富むこの地方の諸鉱床は北東にのびる幅約10kmの範囲に分布している。

北東系の方向は基盤のプレカンブリア界の基本構造に大局的には一致しており Landwehr はこの基本的構造に関する弱線帯が地殻に生じていて マグマ溜りやマグマの上昇を規制し 地殻に何らかの事件が生じた時に上昇したマグマが鉱床を形成したもの と推察している。

ポーフリー・銅・鉱床の個々について観察すると 鉱床の形成にもっとも関係の深い貫入岩を規制した要素はさまざまである。第1報にあげたビンガム鉱床では貫入岩は南北系の Wasatch-Jerome 帯の諸構造より 東西性の Uinta 構造に支配されている。ロビンソン

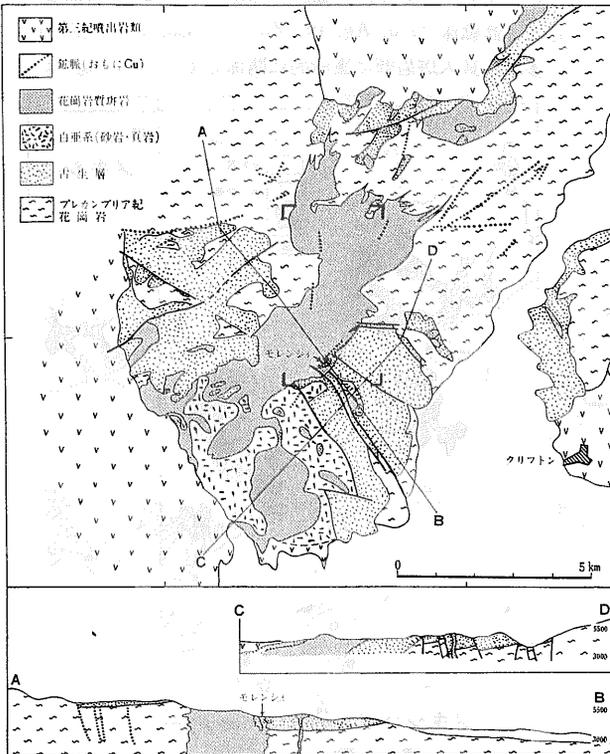


第3図 グローブ・マイアミ地方の鉱床分布
黒円は出鉱量の残存鉱量から推定された相対的な鉱床の規模
Peterson (1962) 原図

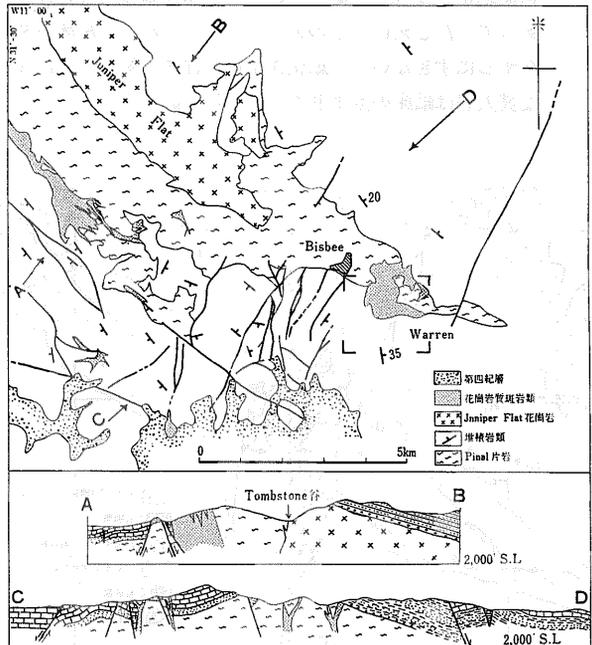
(エリー) 鉱床地帯でも同様に 東西に並ぶ貫入岩に鉱床が伴われる。これらの東西性構造はプレカンブリア界諸構造を反映していると考えられるが 鉱床付近では古生代以降の堆積岩が厚く その証拠は確認されていない。

堆積岩類に乏しいか欠ける地域では基盤と貫入岩との関係が明らかにされやすい。既述のマイアミ地方の貫入岩は北東系のプレカンブリア界の片理面に沿ってのびる形を示すが 部分的には大小の断層などに乱され 不規則な形態を示している。

モレンシ地方ではプレカンブリア界の片理面が東西



第4図 モレンシ地方の貫入岩の形態 Lindgren (1905) 原図



第5図 ビスビー地方の貫入岩の形態 Ransome (1904) 原図

性 南に急斜するが 貫入岩は北東にのびる (第4図)。これはおもに北東系の断層に規制された結果と考えられている。

ビスビー南東方の Warren 鉱床地帯では Juniper Flat 花崗岩と鉱化作用をもたらしたと考えられる花崗岩質斑岩類の両者がプレカンブリア界の片理面を切り ほぼ北西にのびて露出する (第5図)。この方向は この地方で卓越している2系列 (NW と NE) の断層の1つに一致している。

Bagdad 地方ではプレカンブリア界が広く知られている (第6図)。その片理面は一般に北東系であり 貫入岩は全体として北東にのびて点在している。この方向は主要な断層の方向とも一致している。

以上のように鉱床周辺の観察では 鉱化作用に関係すると思われる貫入岩は 基盤の片理面 (褶曲軸) 広域的な断層 局地的な断層など種々の構造的要素に規制されている。鉱床が現在みられる付近の貫入岩の状態はそのマグマが上昇 固結する過程で最末期の状態を示しているが より以前の たとえば深所におけるマグマの通路をも忠実に示しているとはいえない。マグマはたしかに基盤の弱線にもっとも規制されたであろうが この問題はより多面的に (たとえば同位体地質学も考慮して) 取りあげられるべきものと思われる。

鉱床を伴う貫入岩の諸性質

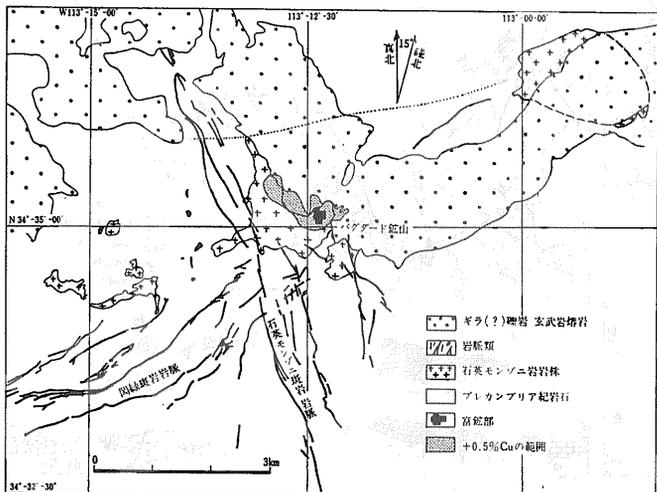
さきにアリゾナ州南東部のポーフィリー・カップパー・鉱床密集地帯と表現したが これはあくまで広域的な意味であって たとえば日本の大きさにくらべれば 鉱床は散在するにすぎない。鉱化作用に関係する貫入岩と同様な貫入岩は鉱床の数よりも多い (第7図)。

これら貫入岩類のうち鉱床を伴う貫入岩が共通の特性を示すのであれば それは鉱床探査に非常に有効であるし 学問的に興味深い。一般に鉱床を伴う貫入岩の記載は多いが それを鉱床を伴わない同様な貫入岩の諸性質に比較させ 一般的法則を導くことは 非常に困難で (あるいは両者に差が認められない) その種の論文も少ない。

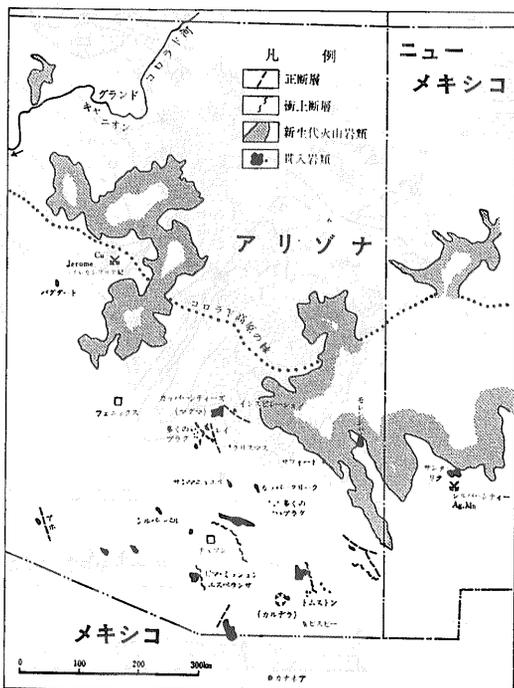
ポーフィリー・カップパー・鉱床開発の初期の頃 レイ・マイアミ地方の鉱床報告で Ransome (1919) は石英モンゾニ斑岩や関連する中性の斑岩類が つねに鉱床に関係しているとのべた。しかし現在みられる岩体は直接には鉱化作用に関係せず 下部に潜在するより大きな火成岩体が直接的にはより重要であった。Ransome はより詳細に議論を深めていないが アリゾナ州南東部付近で上述の貫入岩類が熱水変質を伴う場合には 多少とも (たとえ現在鉱床と呼ばれていなくとも) 銅鉱化作用を伴うことは事実のようである。

貫入斑岩類が花崗岩体の形成と銅鉱化作用の中間的な物体であることには Sales (1954) も同意して 一般に異論が少ないと思われる。しかし斑岩を単なる場として たとえば ore magma の如き起源物体から上昇した鉱液が鉱床を形成した概念には異論が生ずるのであろう。この問題にはあとでふれる。

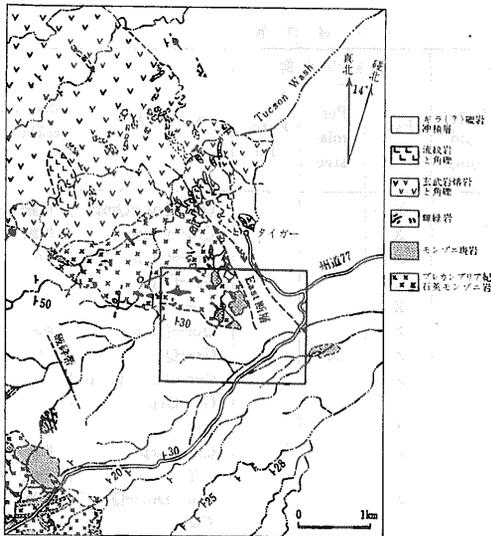
ポーフィリー・カップパー・鉱床のみならず Basin & Range 地方の諸鉱床 (Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, W, Hg, U) の多くは貫入斑岩類に場所的に関係して (Stringham



第6図 バグダード地方の貫入岩の形態 Anderson ほか (1955) 原図



第7図 アリゾナ州南東部を中心とする貫入岩と鉱床の分布 (Jenks, 1962 渡辺武男教授の好意による)



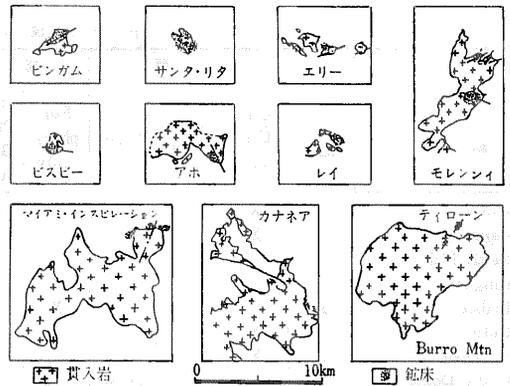
1958) おそらく成因的にも関係しているのであろう。Stringham はポーフィリー・銅-鉄床付近に露出する貫入岩類について多く記載している。

露出規模：ポーフィリー・銅-鉄床に関する貫入岩類は、岩脈、シル、岩株、その他のさまざまな形を示すが、その露出面積は 10mls² をこえない。アメリカ合衆国では一般に 40mls² を境に岩株と底盤とを分けるので、この定義によるとポーフィリー・銅-鉄床の岩株は比較的小さいものに属する。

貫入岩は被貫入岩中に頭を出した形で一般に分布するが(第8図) その大きさはいろいろである。Emmons (1940) は縮尺を同一にして貫入岩の大きさを表わした(第9図)。広く露出する貫入岩体には少なくとも大規模鉄床は存在しない傾向が、この図から読みとれる。

この図の貫入岩には同一地質時代のものが含まれている。その中で鉄化作用にもっとも密接に関係する貫入岩の大きさはこの図のものより非常に小さくなることが多い。たとえば第2報のマイアミ・インスピレーション鉄床の花崗斑岩は北東端の一部に限られる (No. 163, p. 5)。第3報のカナネア鉄床の石英斑岩も東端でごく一部を占めるにすぎない。(No. 165, p. 22)。

ポーフィリー・銅-鉄床ではほとんどつねに貫入岩が関係しているが、ピマ・ミッション鉄床付近の地表にはその露出がない(第10図)。しかし、坑内の一



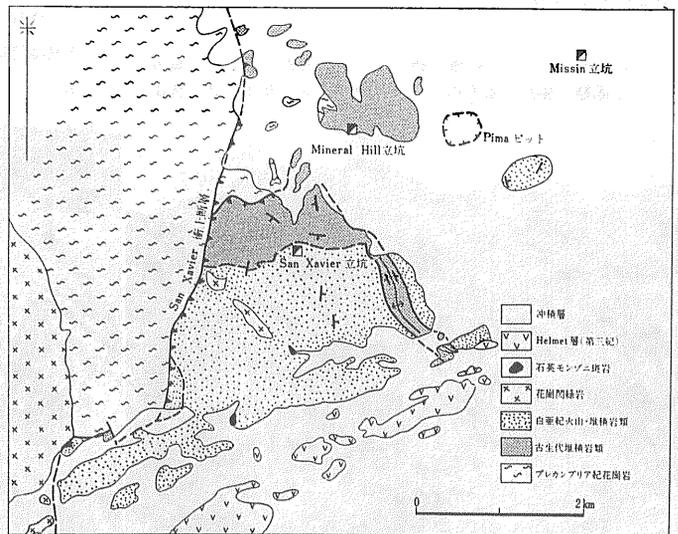
第9図 鉄床に関する貫入岩の大きさ Emmons (1940) 原図

第8図 貫入岩の産状の一例 サン・マヌエル鉄床付近 Schwartz (1953) 原図

部にシル状の貫入岩が分布し、また両鉄床の南方に弱い鉄化作用を伴う貫入岩も地表に露出している。鉄床の形成に貫入岩が必要であったことを暗示している。

Stringham の記載：鉄床に関する貫入岩類の一般的な性質は Stringham (1966) によりまとめられた(第1表)。まず組織については、貫入岩類は一般に斑状組織を示す。これを Von Leonhard (1823) にしたがってつぎのように分けた。

- 斑状花崗岩：斑晶(おもに微斜長石)あり 石基の構成鉱物は肉眼的に識別可能
- 花崗斑岩：>50%の斑晶量 石基の構成鉱物の外形などは肉眼で識別できず
- 流紋斑岩：<50%の斑晶量 同上
- 流紋岩：<5%の斑晶量 同上



第10図 ピマ・ミッション鉄床付近の地質図 Cooper (1962) 原図

第1表 鉱床に關係する貫入岩の諸性質

地方と 鉱床名	岩 質				組 織			壁岩の状態			貫入順序	花崗岩質岩と関連岩脈との關係
	Gr Rhy	Qm Grd etc	Dio And	Basic	Por- phyry only	Por- Phyry Grani- toid	Grani- toid only	Pas- sive	Per- mis- sive	Force- ful		
Ajo		X				X		X			Qd→Qm→Qmp	明瞭～漸移
Bagdad		X				X		X			Qm→Qmp	明瞭
Battle Mth.						X		X			Qm→Qmp	〃
Bingham	X					X		X			Gr→Grp	〃
Bisbee	X				X			X			—	—
Butte		X				X		X			Qm→Qmp	明瞭
Cananea	X	X				X		X	X		Gr→Qp	〃
Castle Dome		X		Diab.		X		X			Grd→Qm→Qmp	〃
											Gr→Grp	〃
Christmas		X			X			X			—	—
Copper Cities	X			Diab.		X		X			Qm→Grp	明瞭
Ely		X				X		X			?	明瞭～漸移
Esperanza		X	X			X		X			Qm→Dio→Qmp	明瞭
											And	
Inspiration	X			Diab.		X		X			Gr→Grp	明瞭～漸移
Mineral Park	X					X		X			Gr→Qp	〃～〃
Mission		X			X			X			—	—
Morenci	X				X			X			—	—
Pima		X				X		X			Gr→Grp	?
Ray		X		Diab.		X		X			Qd→Qmp	明瞭
Safford		X				X		X			Gr→Qmp	〃
San Manuel		X			X			X			—	—
Santa Rita		X	X			X			X		Qd→Qdp→Grdp	明瞭
Silver Bell	X	X				X		X			Alaskite→Dap	〃
											Mz	
Tyrone		X				X		X			Qm→Qmp	明瞭
Yerington		X				X		X			Gr→Grp	〃

Stringham はこの分類で 斑岩だけが存在する鉱床はビスビー クリスマス ミッション モレンシイ サン・マニュアルの5 鉱床だけであるし 残りはすべて花崗岩組織を示す斑状の貫入岩であるとしている(第1表)。

貫入岩類の貫入形式は 周囲の被貫入岩の状況からつぎの3つに分けられた。

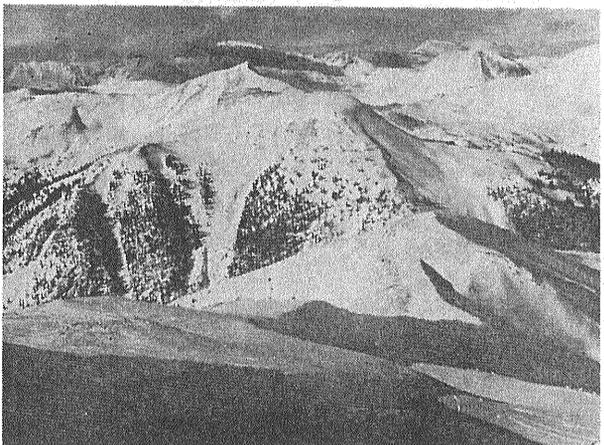
1) Forceful: マグマは強く押し上げる力と共に貫入し 自分で固結の場を作るもの シル ラコリス ラボリス 火山

パイプなど 急冷周縁相 斑晶量の変化などが認められる

2) Passive: 被貫入岩の諸構造を乱さないで貫入し 固結したものの

3) Permissive: 前2者の中間型。 被貫入岩を持ち上げるが諸構造たとえば堆積岩の層理面などを切るもの

一般に比較的大きい貫入岩は被貫入岩を切って貫入しその諸構造を乱さず 小さな岩体は Forceful 型である。ポーフィリー・カッパー・鉱床はサンタ・リタの例外を除き



ロッキー山地周辺の風物誌 ①—④

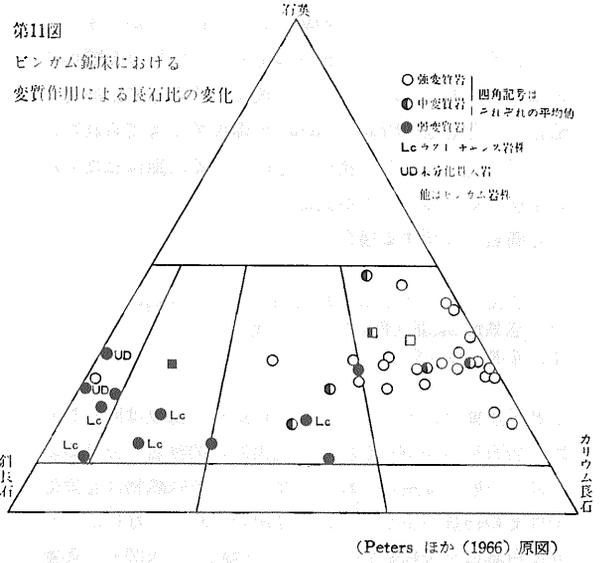
①Front Range 帯の構造運動で生じたロッキー山脈主要部の冬(右)と夏(左)コロラド州ラブランド峠付近

すべて Passive 型である。貫入場所は断層などにより局部的にブロック化していて 過重が低かった個所と考えられる。

貫入岩類の岩質は つぎの4つに分けられた。石英閃緑岩(石英安山岩)—花崗閃緑岩(流紋-石英安山岩)—石英モンゾニ岩(石英ラタイト)—花崗岩(流紋岩)。第1表でわかるように 貫入岩類の岩質には花崗閃緑岩～石英モンゾニ岩質のものが多い。このことは石英に乏しい閃緑岩—モンゾニ岩の系列よりも 石英に富む岩系が鉱床形成に必要であったことをも示しているようである。

輝緑岩その他の苦鉄質貫入岩類は鉱床近辺にしばしば貫入するが 鉱床と成因的に関係しない。

岩石名称上の問題点: ポーフイリーカップ—鉱床に關係する貫入岩の岩質は 結論的に石英モンゾニ岩よりの花崗閃緑岩 あるいは表現をかえて その岩質の長石比をもつ組成のものがほとんどといえる。一般に貫入岩の岩質と周囲の鉱床中の有用元素種との間には特定の關係が經驗的に知られているから 岩質を適格に表現することが望ましい。ポーフイリーカップ—鉱床の記載を読むと 調査者や書かれた時代によって 貫入岩の名称が不統一なことがある。その原因は単に命名法の違いにもとづくものと思われるが この種の鉱床には別の困難な問題も存在している。それは変質作用の扱いである。ポーフイリーカップ—鉱床の変質帯には正長石 黒雲母 絹雲母(白雲母) 石英などが多量に産出し とくに前2鉱物について初生のものとの判定が容易でない。ビンガム鉱床の例で強変質岩はほとんど花崗岩の範囲におちる(第11図)。多くの鉱床を通じて 変質作用で K⁺ の添加が明らかで それは正長石量を増大させる。現在の命名法では長石比が決定的である。



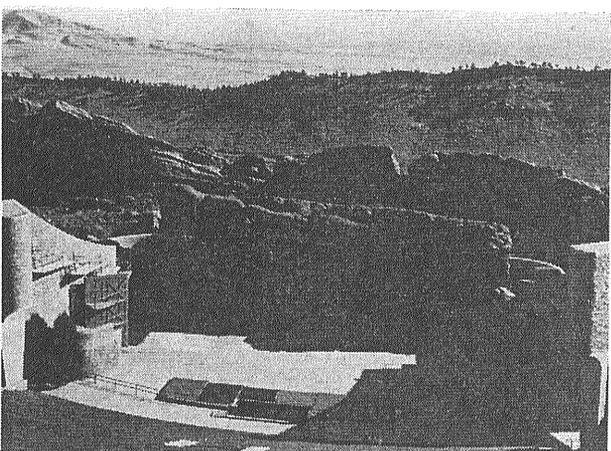
銅・鉛・亜鉛鉱床は DI 値80前後 モリブデン鉱床は同95付近の花崗岩に關係する の表現には マグマ期に固結した岩質の意味を持たせていると思われる。ポーフイリーカップ—鉱床では deuteritic な時期にかけて正長石が漸増していることが多く マグマ期の状態を知りにくい。

火成岩の分類法でよく知られているものに Johannsen (1931) がある。第2次大戦後では Williams ほか (1958) が出版され その本は合衆国で地質の講義をうけた学生に大きな影響をおよぼした。これは学部学生用の教科書の内容をもつから合衆国内では幅広い層に知られ逆に外国のプロの地質家に知られにくい性格をもった。

筆者がコロンビア大学にいた頃 故 Poldervaart 教授はこの本について 戦後の岩石の本の中で唯一の秀れた本だ と笑って評価されたことがある。この人独特の



②プレカンブリア界が東方に衝き上げられ 東方に傾斜する 古生代—中生代の堆積岩類 右側1/6の円味をおびた所がプレカンブリア紀の変成岩類 モリソ付近



③堆積岩の傾斜を利用して造られた劇場 (Red Rock Theater) アイデアはアテネアクロポリス丘の圓形劇場と同じ

アイロニーがあって その真意を掴みにくいから すぐに消え去る学説よりも人に役立つもの の気持は日頃のことばによくあらわれていた。 彼はごく晩年に合衆国に帰化し 有名な Pragmatism の環境では育てられなかったが 大学と社会の結び付きに対する認識は私たちが日常接するものとどこか異なっていた。

花崗岩を分類する場合に

- 1) 主要3鉱物(斜長石 カリ長石 石英)の容量比
- 2) 苦鉄鉱物総量(色指数)とその種類
- 3) 斜長石の組成

などが重要である。しかし 斜長石の組成は同じ長石比の岩石を An 50 を境に 斑禰岩と閃緑岩に分ける以外に 一般には用いられていない。 苦鉄鉱物は花崗岩ではその総量が少なく分類には用いられていないが かりに白雲母を苦鉄鉱物に含めて(輝石) 角閃石 黒雲母 白雲母の どの組み合わせがあらわれるかは重要である。 類似の化学組成でこれらの鉱物組み合わせが異なることがあり また角閃石と白雲母とは共存しない。 このような問題を扱った論文に たとえば鈴木(1967)がある。

主要3鉱物に基づく分類で Johanssen は斜長石=カリ長石で大きく2分し Williams ほかに斜長石/アルカリ長石比=1/3, 2/3 で大きく3分した(第12図)。 アルカリ長石は定義として曹長石を含む。 カリ長石の扱いにはペルト長石 微斜長石中の Ab 分子が含まれている。 アルカリ長石の場合には 鉱物間隙中や自形の斜長石の周縁を交代する Ab 分子をも含まなければならない。 このような Ab 分子は末期固結相では岩石の分類に影響するほど多量となることがある。

鏡下観察や実験結果から Ab や Or 分子は An 分子より低温側で晶出し 岩体形成の末期に固結する。 だ

から An/Ab+Or 比で分類できれば それは成因的な意味をも含んでいるから もっとも好ましい分類法といえる。 しかし これには Ab 分子を鏡下で定量化しにくい困難さがある。

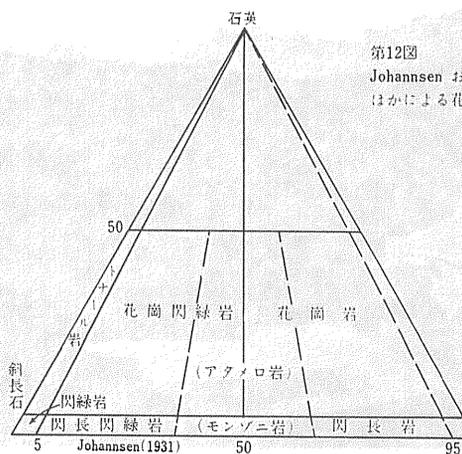
鉱物容量比の測定は 一般にカリ長石をコバルチ亜硝酸ナトリウム (Na₃ Co(NO₂)₆) で染色したのちに ポイントカウンターを用いておこなわれている。 測定を機械的におこなう過程で 前述の鉱物間隙やすでに固結していた斜長石を交代する Ab 分子の測定は非常に困難である。 ペルト長石中の Ab 葉片の発達がよく場合が Ab 分子をモード分析の効率を損うことなく測定できる最良の条件であろう。(これとても測定に用いられた顕微鏡の倍率(一般に100倍)で人為的に Ab 葉片を2分する難点がある)。

花崗岩の場合に 測定技術上は正長石 ペルト長石 微斜長石からなるカリ長石-斜長石-石英の組み合わせがもっとも妥当である。 この方法に Williams などの大きく3分する分類を適用すると 花崗岩とよべる岩石は日本のみならず 大陸地方でも非常に少なくなる。

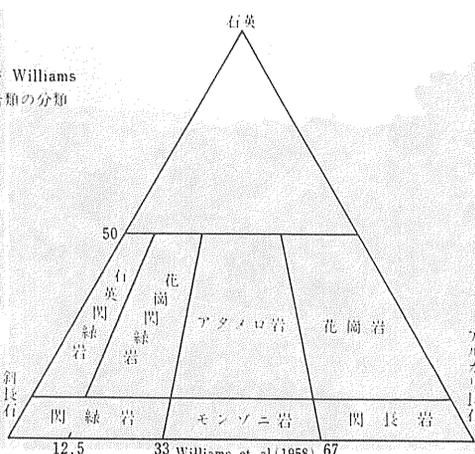
Chayes (1957) は花崗岩の再区分を提案した。 彼の提案のうち つぎの事がらが重要である。

- 1) 花崗岩のことばは いわゆる完晶質岩で 色指数が20以下 石英量20~40%の塊状か弱い片状構造を示す岩石の総称として残し 個々の従来の岩石名には用いない
- 2) 鉱物組成を記号と数字で示し 苦鉄鉱物種と量とをも一目瞭然とさせた

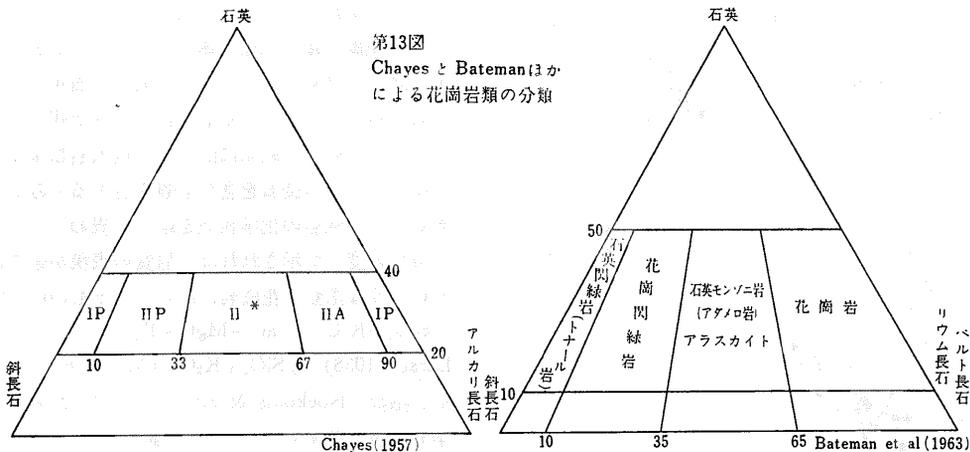
Chayes は石英量 20~40%間を 斜長石/アルカリ長石比で5つに区分し 両長石端に近いものを one-feldspar granites 間のものを two-feldspar granites と名付け それぞれに記号を与えた(第13図左)。 Chayes は



第12図
Johanssen および Williams
ほかによる花崗岩類の分類



Williams et al (1958) 67



IP granite のように記載し 岩石名は不必要の意見を持っているが トロニウム岩= IP 花崗閃緑岩= IIP アダメロ岩= II* だけは認め IIA IA は必要ならば新しい名前にすべきだとのべている。

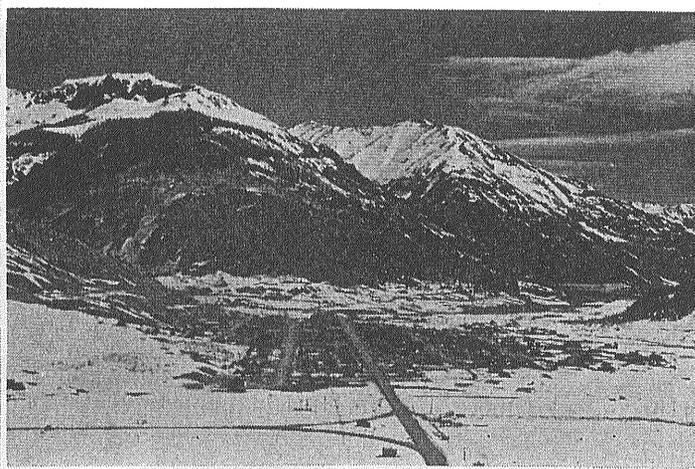
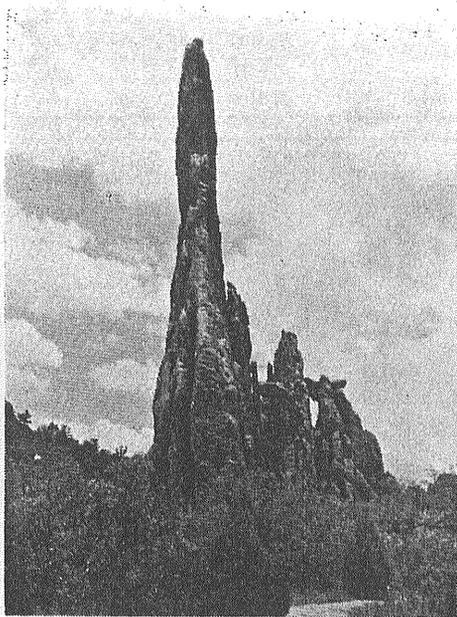
これらの岩石記号に苦鉄鉱物種と総量をつける。たとえば b/h IIP₁₀ は色指数が10 そのうち角閃石は5%より少なく 黒雲母が5~10%間である。

Chayes の提案は合衆国西部の鉱床担当者に大きな影響を与えたとは思えないが シエラ・ネバダのまよめの1つである Bateman ほか (1963) の報告はかなり幅広く浸透したようである(第13図右)。この分類では石英量は10と50% 長石比は35 65%など 岩石名ではトロニウム岩に代って石英閃緑岩やトナール岩など 一般に親しまれたものが多く 一般うけしそうな要素が多い。

ポーフィリー・カッパー・鉱床の記載を読む場合に 以上の花崗岩の分類法の変化を知っておく必要がある。合衆国西部では以上のほかコロラド鉱山大学紀要の分類法がよく用いられるし 個々の大学の講義録が持ち出されることもある。また 火山岩の名称は花崗岩の分類の変化をそのまま追従して名付けられていない点も理解しておく必要がある。

最近の分類法の変化は 端的にいつて いわゆる普通の黒雲母花崗岩を 黒雲母アダメロ岩に変えたといえる。角閃石=黒雲母の岩石はやはり閃雲花崗閃緑岩である。両者の中間的な おもに小さな岩体については やや複雑な影響があらわれた。

Adamellite と Quartz monzonite とは同義語であるが合衆国のとくに西部では 後者のみが用いられ 前者は不人気で用いられない。私たちに は 石英モンゾニ岩は石英量が10%前後のモンゾニ岩とうけとれる。わが国の東北地方でかつて石英モンゾニ岩と呼ばれた岩石の化学組成を検討すると その多くは SiO₂ あるいは石英

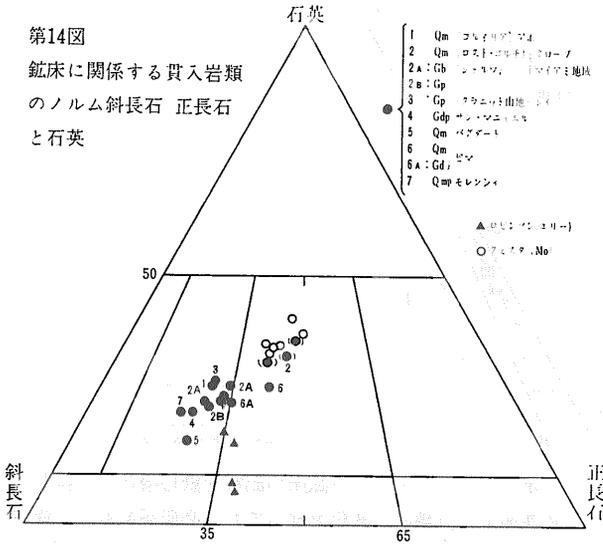


④ブレカンブリア界の近くで断層により直立した堆積岩
コロラド・スプリングに近い Garden of the Gods 公園

⑤サン・ホアン盆地の金銀銅鉛亜鉛鉱床地帯の中心地 古い探鉱家の町 Silvertion

第14図

鉱床に關係する貫入岩類
のノルム斜長石 正長石
と石英



に乏しい。日本で人気のあるアダメロ岩は英連邦系の人によりよく用いられている。

ノルム $An+Ab-Or-Qz$: ポーフリーカッパー鉱床に關係する貫入岩にはマトリックスが微細な斑岩が存在するからモード分析で諸鉱床のものを統一的に表現することは困難であってノルム鉱物比を用いざるを得ない。ノルム計算自身が独断的な計算であるしモード分析値と重量比換算してノルム鉱物と比較すると珪長3鉱物で差を生ずるがこれらの問題は一般には岩石区分を変えるほどの比重を占めないであろう。

公表された分析資料によるとアリゾナ州で鉱床に關係する貫入岩の多くは花崗閃緑岩の石英モンゾニ岩よりに分布する(第14図)。かっこ内のNo.2はグロブーマイア地域のLost Gulch 石英モンゾニ岩でこれは鉱床と直接には關係がないと思われる。

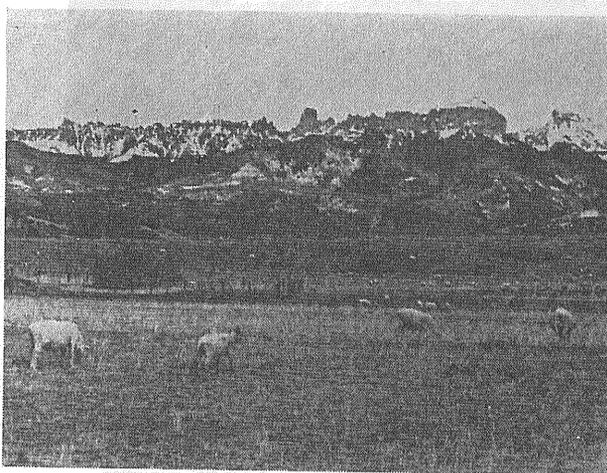
アリゾナ州のこれら貫入岩類が石英の多い一般の造山帯の花崗岩類と同様な領域に分布する事実に対し北方のエリー(ロビンソン)の諸岩石は石英に乏しい領域におちる。しかし長石比はアリゾナ州のものと同差ない。一般に鉱床に關係ある貫入岩類はカリ長石量のほぼ2倍の斜長石を含む岩質を有するとみることができる。火成岩の化学組成を端的に表わししかもマグマ分化の度合が示されれば岩質の表現が楽である。そのような指数で花崗岩に用いられるものに $SiO_2\% / \frac{1}{3}SiO_2+K_2O-(CaO+MgO+K_2O)$ (ラーセン指数 Larsen 1938) $\frac{1}{3}SiO_2+K_2O-(MgO+FeO)$ (改良ラーセン指数 Nockolds & Allen, 1953) などのごとく化学分析値で示すものやノルム鉱物の $ab+or+qz+ne+lc+ks$ (分化指数 D. I. Thornton & Tuttle 1960) がある。

上記のポーフリーカッパー鉱床に關係する貫入岩類のDI値は70~87 平均79である。これはDaly (1914)の花崗岩の平均値(DI=80)や日本の SiO_2 65%以上の平均値(DI=81, Hattori ほか 1960)などに近い値である。参考までに同様な貫入岩でMo 鉱床を伴うクエスタ地域のDI値は93~97でありマグマの分化はるかに進んでいる。

Stringham (1966)によると 鉱床に關係する貫入岩の斜長石の組成はandesine よりも曹長石よりである。カリ長石は正長石一族で 微斜長石は少数のより完晶質の岩体で認められるにすぎない。

第2表 マイアミ周辺貫入岩のカリ長石組成

岩石区分	分析数	Or 平均値	標準 偏差	
Lost Gulch 石英モンゾニ岩	変質帯	17	93(%)	3.97
	未変質帯	15	83	5.97
Schultze 花崗岩とインスピレーション突起部(花崗斑岩)	変質帯	7	85	4.27
	未変質帯	21	78	4.56



⑥奇形を示すサン・ホアン盆地の堆積岩類 Curay 南方



⑦サン・ホアン山地の山嶺部 1962.4. 中旬

第3表 ポーフイリーカップー鉱床に関する貫入岩の年代

鉱床 地方名	貫入岩の種類	Creasey & Kistler (1962) K-Ar 法	会社関係 (GPCD) K-Ar 法 Pba 法	GSA 学会 (Sp. Pap. 67)	Moorbath ほか(1967) Rb-Sr 法
サンタ・リタ	フィロ・ハノーバー岩株 サンタ・リタ岩株		63(Bt)		53±18(Bt) 53±13(Bt)
サフォード	サン・ホアン岩株 石英閃緑岩 (ローン・スター岩株) 同変質部		58(Bt)	58(Bt) 53(Ser)	
ビスビー	Juniper Flat 花崗岩 サクラメント岩株 (鉱床中の閃ウラン鉱の Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶ .85~112 Bain 1952)	163(Bt)			
トムストン	貫入流紋岩 Schieffelin 花崗閃緑岩	63(Bt) 72(Bt)			
ミッションーピマ	花崗閃緑岩 石英モンゾニ斑岩 (弱鉱化)	60(Bt) 56(Bt)			
マイアミ地域	Lost Gulch 石英モンゾニ岩 Schultze 花崗岩	62(Bt) 58(Bt)		69* 60	
レイイ	Granite Mtn 斑岩 " 斑岩	63(Bt)		60(Bt)	70±10(Bt) 61±9(Bt)
周クリスマス 辺カップー リーク	石英閃緑斑岩 花崗閃緑岩	62(Bt) 68(Bt)			
サン・マニユ エル	花崗閃緑斑岩 同変質岩		119(Pba)	97-130(Pba) 65, 69(Bt)	
シルバー・ベル	Cat Mtn 流紋岩		56~70		
アホ	コルネリア石英モンゾニ岩			34?(Bt) 58, 65(Pba)	
ピンガム	ピンガム岩株 ラスト・チャンス岩株		45(Pba) 49(Bt)	45(Pba) 37(Pba)	
ロビンソン (エリー)	リパティビット岩株ほか3岩体の6 個の平均 リパティ, エマの変質岩2個の平均			109±1.5(Hb 5ケ, Bt 1ケ) 110±3(Bt)	

単位は100万年 指定がない場合は K-Ar 法による. Pba 法の場合はつねにジルコンを使用
★ Creasey (1967)によるもの. 全岩の可能性もあるも詳細不明

Kuellermer (1960) はマイアミ・イスピレーション鉱床付近で 貫入岩のカリ長石の組成を(201)のピークを用いて X線的に検討し第2表の結果をえた.

一般にカリ長石中の Or 分子は変質帯中で高い. また運鉱岩と考えられている Schultze 花崗岩とその末期相 Or の量は Lost Gulch 石英モンゾニ岩のものより 全体として低い. 予備的な加熱実験によると 鉱床帯中のペルト長石 (X線的サイズの) は鉱床地域外のものより容易に混和しはじめ より完全に均質となりやすい.

以上の結果からは 岩体の形成条件により個々のカリ長石の組成があつて それはより低温の熱水変質作用で Or 分の多い組成に移行したことが明白である.

形成の時期: ポーフイリーカップー鉱床に関する貫入岩の形成時期は一般に層序学的には求めにくい. 近年 同位体による年代測定がかなり多数おこなわれている.

Creasey & Kistler (1962) はアリゾナ州の貫入岩の黒雲母年代を K-Ar 法で求め それが5600~7200万年を示すことを見出した. その後 鉱山会社側による若干の資料の公表があり また1965年の合衆国地質学会のカンサスにおける会合 (Geochronology applied to ores) では 多数の測定値が発表され その中には論文として印刷されたものもある (McDowell & Kulp 1967). Sr 初生比の問題に関連して Moorbath ほか (1967) も若干の年代を公表している.

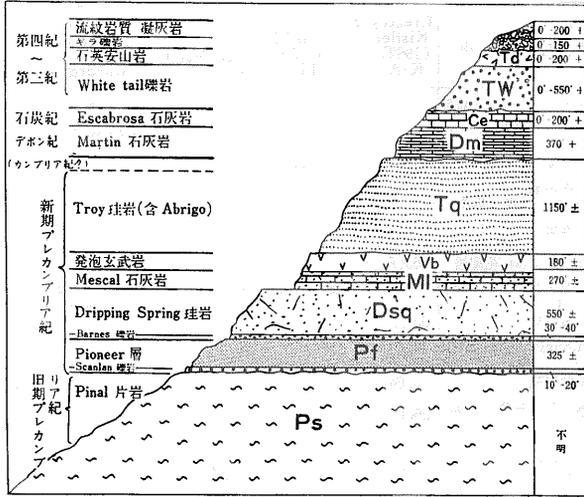
以上の年代測定には 同一試料を異なった核種について検討されたものがなく 測定機関によってはさらに検討を要する値が含まれている. しかし Creasey & Kistler がアリゾナ州の鉱床に与えた値はほぼ確からしいし ロビンソンやピンガム鉱床の値はアリゾナ州のものとは異なることが判明してきた(第3表).

分析試料のほとんどは黒雲母で ついで角閃石や熱水性黒雲母と白雲母. これらは K-Ar 法と Rb-Sr 法で測定された. K-Ar 法と Rb-Sr 法の測定値の間に大きな差は認められない. しかし ジルコンを使用した Pb α法の値は K-Ar 法による値とほぼ同じか古い場合が多い. Arthur ほか (1967) はジルコンに角形と丸味をおびるものが存在することから この原因をより古い岩石から捕獲されたジルコンが分析試料に混在する

結果と考えた.

第3表のうち サンタ・リタとサフォード鉱床の分析試料はすべて鉱化作用に関する. ビスビー (ワーレン) のサクラメント岩株は広域的にはトムストンの貫入流紋岩に岩質その他から対比できる. 6300万年の値はワーレン鉱床の閃ウラン鉱の Pb²⁰⁷/Pb²⁰⁶ の値より正しいであろう. Schieffelin 花崗閃緑岩はトムストン地域の諸種の鉱床をもたらしたと考えられている. トムストン ミッションーピマ マイアミの3地域を通じてポーフイリーカップー鉱床をもたらしたと思われる小貫入岩は ほぼ同時期だが規模の大きい貫入岩よりもやや若い値を示している.

レイ付近で Granite Mtn 斑岩は おそらくレイ鉱床をもたらした. クリスマスでは 石英閃緑斑岩が石灰岩に接する石灰岩中に交代鉱床が存在するから この斑

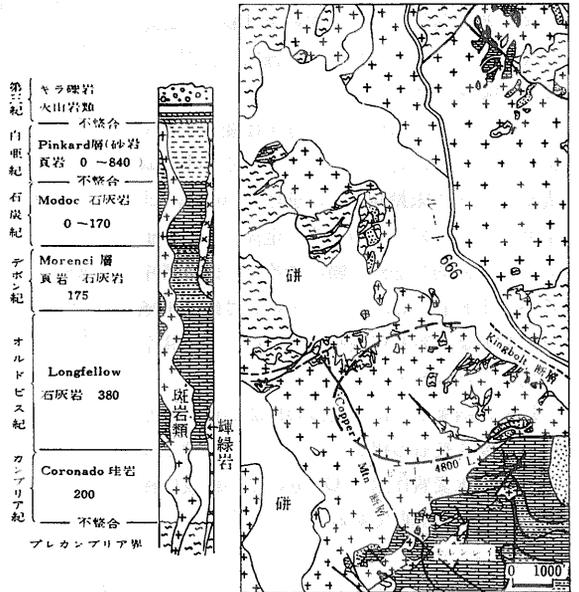


第15図 レイ地域の層序 Metz & Rose (1966) 原図

岩が運鉱岩であろう。 カッパー・クリークの花崗閃緑岩は いくつもの角礫パイプの母岩である。

サン・マニュエルの花崗閃緑斑岩はおそらく鉱山側で石英モンゾニ斑岩と呼んでいるもので これは運鉱岩と思われる。 シルバー・ベルの Cat Mtn 流紋岩は鉱床をもたらした貫入岩の活動より早期の火山岩である。アホで鉱床をもたらしたと思われるコルネリア石英モンゾニ岩の値では 古い方の $Pb\alpha$ 値を用いるように分析岩が指摘している (Arthur ほか 1967)。

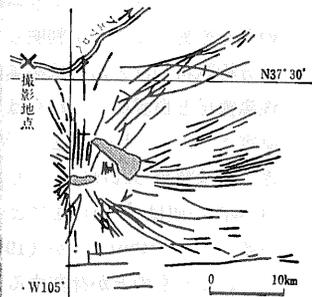
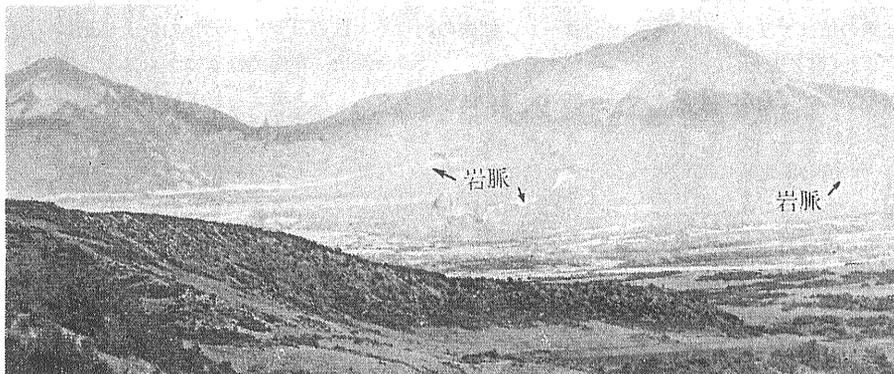
以上のアリゾナ州の諸鉱床における値は前述の Creasey & Kistler (1962) の値や Mauger ほか (1967) が Basin & Range 地方のララマイド期貫入岩に与えた一般的な値 $63 \pm 7.5 (S. D.) \times 10^6$ 年を大きくはずれない。しかし 地域的に遠くはなれるユタ州のビンガム鉱床の値は以上の値よりやや若く ロビンソン鉱床地帯 (エリー) は $103 \sim 115 \times 10^6$ 年でやや古い値を示している。今年の Economic Geology 1号には 前述の地質学会



第16図 モレンシイ・ピット付近の地質 Moolick & Durek (1966) 原図

における講演がさらに公表された (Livingston ほか 1968)。この総括は筆者の第3表よりもより完全であるが 概括的には大差ない。ただ アリゾナ州の密集地帯から北西方にやははずれるバグダードとミネラル・パークの分析値は $71 \sim 72 \times 10^6$ 年を示し ここでも異なった地域の貫入岩と鉱床とは 異なった時期に形成された傾向があらわれている。

貫入岩と変質帯の固結時期のずれについて McDowell & Kulp はロビンソン鉱床の測定結果から 変質帯は貫入岩の固結後ほとんどそれに引続いて (100~200万年単位の差) 形成されたと考えた。Creasey (1967) はカッパー・シティーズ鉱床で 母岩の Lost Gulch 石英モンゾニ岩が 64×10^6 年を 熱水性黒雲母が 63×10^6 年を示したことから 両者は非常に近い時期に形成されたと推察した。しかし同時にサン・マニュエル鉱床に



⑥ スペニッシュ・ピーク (4,236m) から放射状にひろがる岩脈 第三紀初期に貫入 コロラド州南部 ルート 160 より撮影

における Pb α法の値 (97~130×10⁶年) と熱水性黒雲母の K-Ar 法の値 (65, 69×10⁶年) との間の大きな差も指摘している。 Arthur ほか (1968) によるサフォード鉱床の例では ローンスター石英閃緑岩 (58×10⁶年 K-Ar 法) と変質絹雲母 (53×10⁶年 K-Ar 法) との間には大きな差は認められない。

被貫入岩の種類

貫入岩類は 既述のように各種の構造的要素に支配されて より古い岩石に貫入している。 この被貫入岩の種類はプレカンブリア紀~中生代末期の火成岩 変成岩 堆積岩などであるが 基盤をなすプレカンブリア界と古~中生代の堆積岩類とに大別することができる。 ユタやネバタ州では古生代以降の堆積作用が著しかったからビンガム ロビンソン イエリントンなどでは基盤が知られていない。

これに対して アリゾナ州南東部ではプレカンブリア界が直接に貫入をうけることが多い。 第3図のカッパー・シティーズ インスピレーションなど 第6図のバックダード 第8図のサン・マニュエル ほかにミネラル・パーク テイローンなどはその例である。 これらのプレカンブリア界はパイナル結晶片岩や片状花崗岩などの比較的単純な組み合わせから一般に構成されているがレイでは下部層のパイナル片岩を 各種の岩石からなる上部層が不整合におおいプレカンブリア界の Lithology は複雑となる (第15図)。

このレイとモレンシイ (第16図) では 貫入岩は古生代の堆積岩類にも貫入するが これらの堆積岩類は基盤の上に薄く乗っているにすぎない。 アホ付近では白亜紀火山岩類が (第2報 No. 163, p.7) 貫入をうけるが

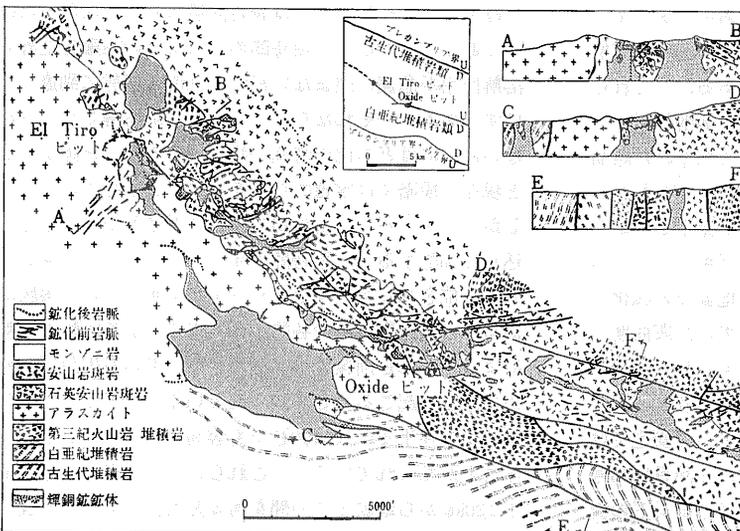
第4表 被貫入岩の種類を鉱床の母岩

地方と鉱床名	被貫入岩の種類	鉱床の母岩
Ajo	Prec gneiss, Cret Sed volc	Qd, Qm, Qmp, volc
Bagdad	Prec complex	Qm, Qmp
Battle Mountain	Pal ls, sh, qzt	Qm, Qmp
Bingham	Penn qzt, ls	Gr, Grp, qzt
Bisbee	Pal Cret sed	Grp
Butte	Pal sed	Qm, Qmp
Cananea	Pal sed, Tert volc	Volc, Qp
Castle Dome	Prec complex, Pal sed?	Qm, Qmp, Grd
Christmas	Meta Pal ls	Meta sed
Copper Cities	Prec schist, Pal sed?	Qm, Qmp
Ely	Pal ls, sh	Qmp, meta ls
Esperanza	Pal? sed, volc	Volc, Qm, Dio, And, Qmp
Inspiration	Prec schist	Schist, Gr, Grp
Mineral Park	Prec complex	Gr, Grp
Mission	Meta Pal ls, sh, qzt	Meta sed, Grp
Morenci	Prec Gr, Pal and Cret sed	Grp, Gr
Pima	Meta Pal ls, sh, and qzt	Meta sed, Grp
Ray	Prec schist, Pal sed	Schist, Qd, Qmp, Diab
Safford	Cret volc	Ql and Lat, Qd, And
San Manuel	Prec Gr	Qmp, Gr
Santa Rita	Pal sed	Qzt, Dio, Qdp
Silver Bell	Pal and Cret sed	Alask, Dap, Mz
Tyrone	Prec Gr	Gr, Qm, Qmp
Yerington	Tri volc and sed	Qmp, Qm

近くにはプレカンブリア界が露出している。 シルバー・ベルでも同様であって 鉱床と変質帯とは古生代と白亜紀の堆積岩類の間に大局的に分布しているが その両側にはプレカンブリア紀の花崗岩類が露出している (第17図)。 ピマーミッション~エスペランザ地域でも 鉱床から数 km の所にはプレカンブリア紀の花崗岩が存在し その地質環境は基本的にはビスビー鉱床付近の環境と同様である (第5図)。

以上のように アリゾナ州南東部周辺のポーフィリーカッパー-鉱床には ほとんどつねにプレカンブリア系があらわれる。 しかし サンタ・リタ サフォード メキシコのカナネア付近では かなり広域的にこの基盤が知られていず 堆積岩類や火山噴出物などの地層が局部的に厚く発達していたことを物語っている。

Stringham (1966) は各鉱床の被貫入岩の種類を第4表のようにまとめた。 鉱化作用は一般に被貫入岩類と貫入岩類の双方に及ぶが 被貫入岩類だけや貫入岩のみに限られることもある。 これらについては 次回に報告しよう。(筆者は鉱床部)



第17図 シルバー・ベル鉱床周辺の地質図 Richard & Conrtright (1966) 原図