

フィリピンの金鉱床：そのタイプと生成モデル

石原 舜三 (鉱床部)

Shunso ISHIHARA

フィリピンは現在アジア第一の産金国である。産金量の多くは1970年代の活発なポーフイリー銅鉱床の探査成果に負っている。現在では現世の変質帯や地熱系を追跡して新たな金鉱床の探査を実施しておりその探査活動は我が国よりも活発である。その熱意はやがて結実するものと思われる。

1. 金鉱業の歴史と鉱床のタイプ

フィリピンは金 銅 クロムなど金属鉱物資源の宝庫である (BALCE ら 1981)。金の採掘は1521年のスペイン人の入植に始まった。近代的な採掘は19世紀末 イギリス人やアメリカ人がドレッジャーや坑内掘り法を持ち込んだ以後である。鉱業統計によると 1910年代の年産1トンの時代から 第二次大戦が始まる1941年の32トン (41鉱山) へ 金生産量は急速に増加した (第1図)。1907-1941年の総生産量は271トンであった。

第二次大戦後は いち早く復興の努力が払われたが 資本不足 需給関係などから生産はのびず 1952年までに12鉱山が再開されたにすぎない。しかしその後生産は順調に伸び 1982年には年産26トンに達している。1946-1982年の総生産量は532トンであった。

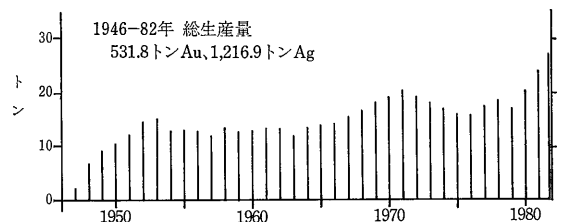
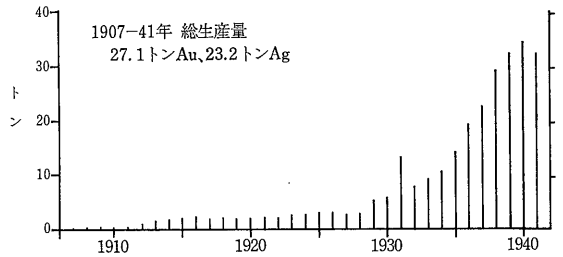
フィリピンの産金地帯は フィリピン断層 (左横ずれ) を中心とする活動帯に位置している。この帯は活発な地熱地帯にも当る。主要な鉱化地域は (i)ルソン中央山塊西翼のバギオ鉱化帯 (ii)ルソン島南東部のパラカレ鉱化域 (iii)マスパテ島北部のマスパテ鉱化域 (iv)ミンダナオ島北部のスリガオ鉱化域 (v)同南東部のマサラ鉱化域である (第2図)。

バギオ地域のものは主に浅成鉱脈型 一部スカルン型であり これについては後で詳しく述べる。パラカレ地域の金はもともと砂金として採掘されたが 現在では先第三紀変成岩と蛇紋岩に貫入する 花崗閃緑岩 (N-S 7 E-W 14km) の 双方に発達する金-石英脈が主対象であり 主体は深成鉱脈型 (石原 1986 a) といえる。一方マスパテ地域のものは火山岩類中の浅熱水性含金石英-方解石脈が主体である。

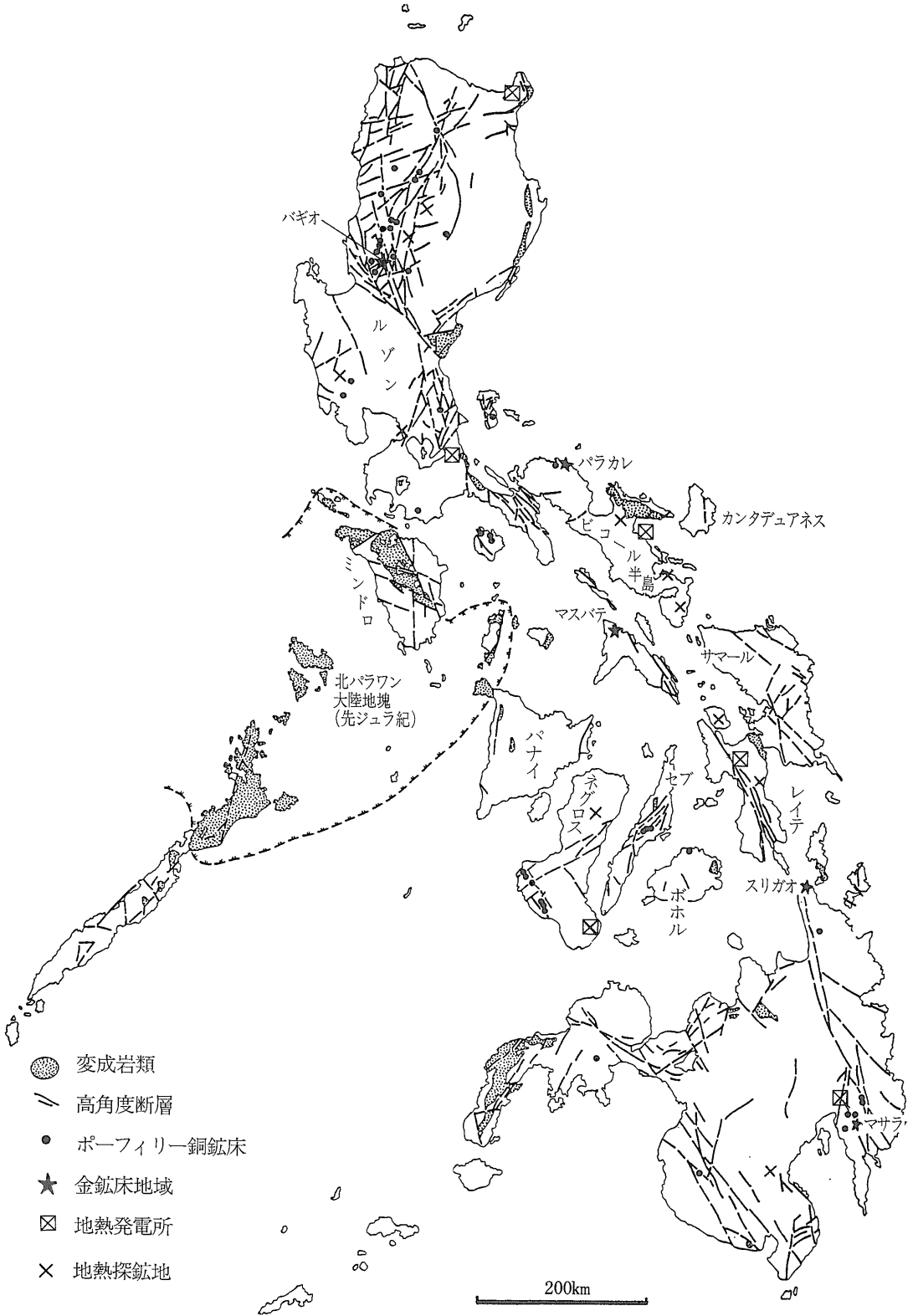
ミンダナオ島のスリガオ地域には 浅熱水性金石英脈のほか特異な鉱床が存在する。それはマント型と呼ばれる炭質物に富む砂岩 石灰岩 頁岩中の金鉱床であり カーリン型鉱床 (浦辺 1985) に酷似する。ダバオ東方

のマサラ地域では浅成鉱脈型のほか 幅 120 m の断層角礫帯に鉱染-網状に金-石英鉱化が見られる 鉱染型鉱床がある。

以上の各タイプの鉱床のうち 過去の生産量からみる限りバギオ地域の浅熱水性鉱脈がとび抜けて大きい。一方 生産量でさらに突出しているのはポーフイリー銅鉱床である。フィリピンの鉱床はポーフイリー銅鉱床としては著しく金含有量が高いため その鉱石処理量の多さと相まって 多量の金を供給している。近年の産金量10指のうち (第1表) 上位 3 鉱山を含め 5 鉱山をポーフイリー銅鉱床が占めている。この副産物としての金は銅鉱山においても死活問題であり たとえば銅生産者として第5位のサントトーマスII 鉱山は (写真 1-3) は1985年1-11月に品位0.5%Cu 1ppm Au 弱の鉱石からそれぞれ銅2.2万トン 金5.3トンを生産したが 価格的には銅約65万米ドル 金75万米ドルであり (1985年12月鉱山配布資料) 金の売上げが銅を上回っている。これが当鉱山の利益を生み 世界的にポーフイリー銅鉱山の閉山が続くなかで健全な操業を維持する原因となっている。



第1図 フィリピンの金生産量の推移 (原データは DOMINGO 1985 による)



第2図 フィリピンの主要産金地域 地熱地帯 ポーフイリー銅鉱床
(SILLITOE ら 1984, DOMINGO 1985 などから作成).

第1表 フィリピンの金鉱床10傑. 1982年生産量.

鉱床名	生産量	鉱床のタイプ
1 サントトーマスII	4,152kg	ポーフイリー銅型
2 デイゾン	3,907kg	同上
3 アトラス	3,836kg	同上
4 ベングェット社*	3,099kg	鉱脈型
5 マスバテ	2,494kg	鉱脈と鉱染型
6 マンカヤン	2,314kg	鉱脈(銅)型
7 マサラ	1,466kg	鉱脈型
8 タピアン	1,112kg	ポーフイリー銅型
9 シアナ	569kg	交代と鉱染型
10 ヒホ	512kg	鉱染型

※バギオ地域のアンタモク アクパン ケリーの3鉱床 (DOMINGO 1986)

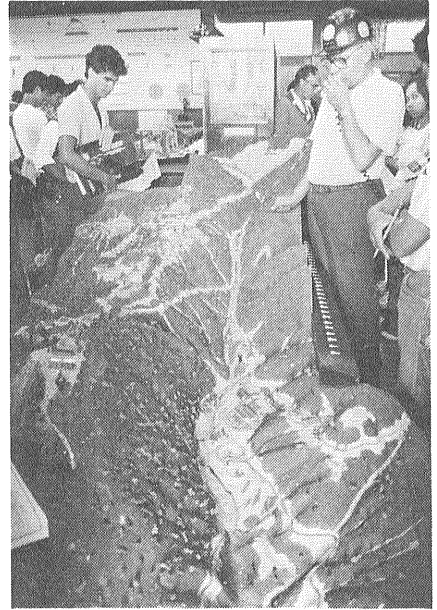


写真 1

サントトーマスII鉱床の鉱山模型. 谷の最上部が鉱床. 下方へ選鉱場 尾鉱場など. 左側尾根は事務所と住宅街.

写真 2 サントトーマスII鉱床の露天堀跡. 現在はこの下部がブロックケービングで採掘中である.

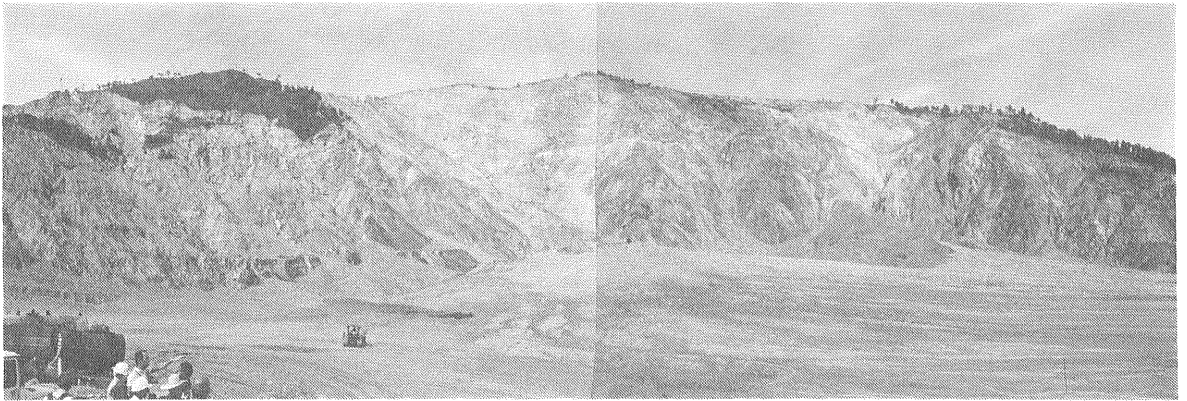
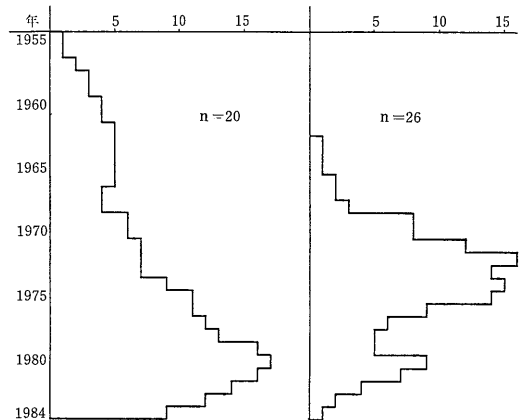


写真 3 サントトーマスII鉱山の選鉱場と尾鉱場. 急峻な山地の谷間に設置されている.

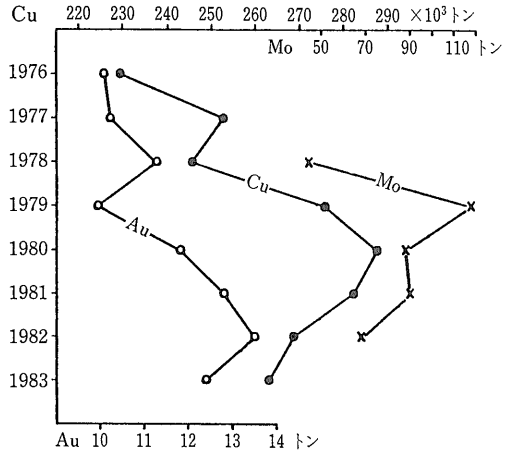


第3図 ポーフイリー銅鉱床と探鉱地の増減 (SILLITOE ら 1984).

そこで最初にフィリピンのポーフイリー銅鉱床について一昨年出版された総括書 (SILLITOE 氏 1984) を中心に紹介してみたい。

2. ポーフイリー銅鉱床

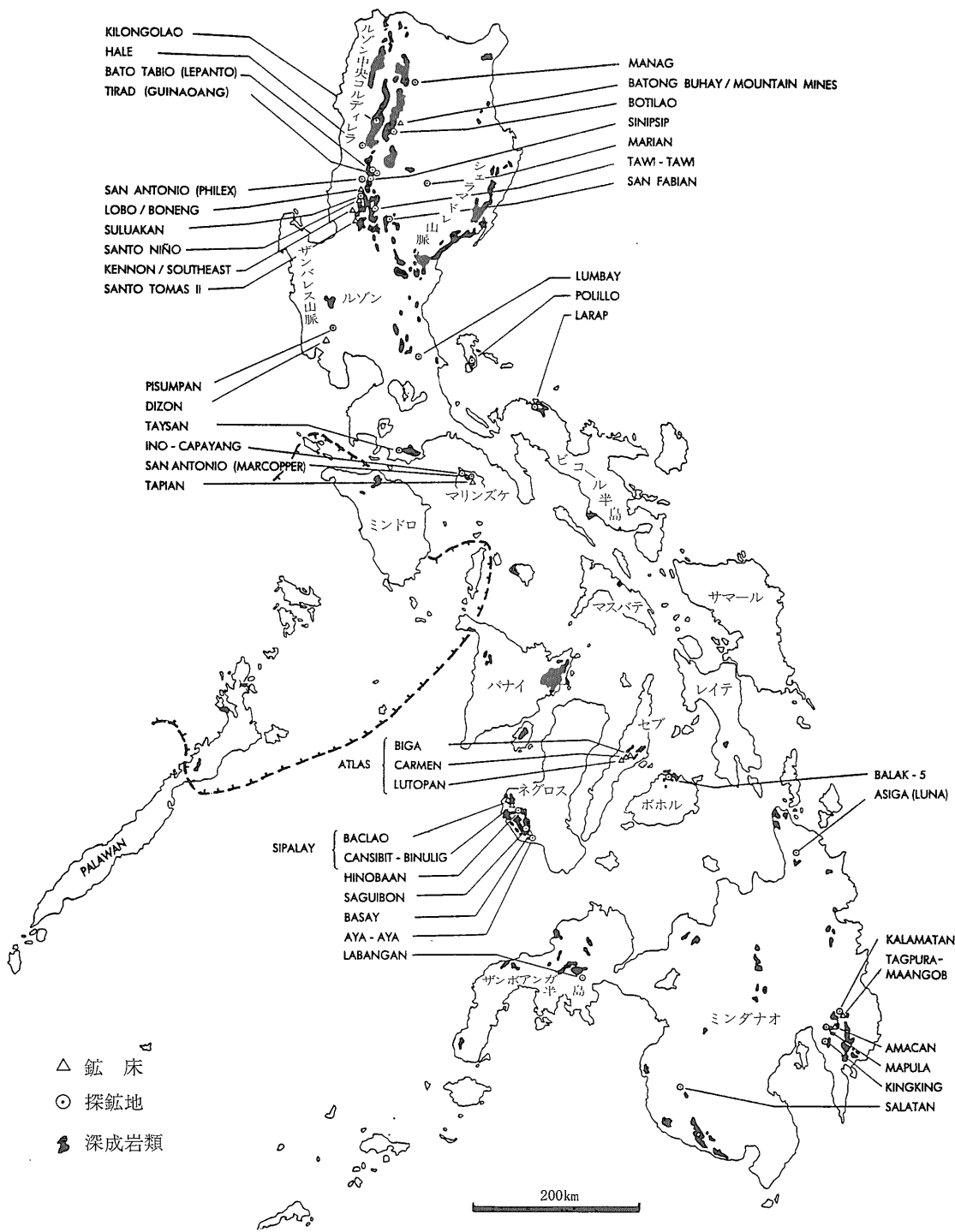
フィリピンのポーフイリー銅鉱床の開発は1955年 セブ島のアトラス鉱山におけるものが最初であり 開発の歴史は比較的新しい。アトラスの成功に刺激されて探査活動は とくに1970年代前半に活発に進められ (第3図) 1980年の最盛期には17鉱山が稼行されていた。最近の世界的経済不況により小鉱山が閉山され 1984年には9鉱山に減少した。年産額の最高は1982年であり (第4図) アトラスを最高として 銅 27.4万トン (国内の93.6%) モリブデン 68トン (同100%) 金 13.5トン (同52.1%) 銀42.5トン (同68.9%) であって 金に関しては総生産量の1/2以上がポーフイリー型鉱床から生産された。そのほか一部で磁鉄鉱 (2鉱床) 黄鉄鉱 (3鉱床) 石膏 (1鉱床) が回収された。



第4図 ポーフイリー銅鉱床からの主および副産物生産量の変化 (SILLITOE 氏 1984)。

第2表 ポーフイリー銅鉱床の稼行鉱床と鉱量1億トン以上の探鉱地 (SILLITOE 氏 1984)。

鉱山名	生産年	鉱量(万トン)	Cu%	品位		Auppm	Agppm
				Mo%	品位		
1 バトングブハイ	1983—現在	6300	0.56		~0.3	~2	
			0.87	<0.005	0.44		
2 ロボ	1974—1982	21000	0.28	<0.005	0.25	4	
3 ボネング	1974—1982	1500	0.33	一部高い	0.44	未分析	
4 スルアカン		12300	0.35	0.007	0.13	2.4	
5 サントニーニョ	1972—1981	12500	0.34	~0.01	0.26	未分析	
6 タウイタウイ		15900	0.39	~0.008	0.16	1.7	
7 ケノン	1969—1983	4700	0.38	0.008-0.018	0.35	4	
8 サウスイースト	1977—1983	1500	0.37	未分析	0.26	4	
9 サントトーマスII	1958—現在	32800	0.34		0.61	~1.5	
			0.47	<0.001	0.93		
10 デイゾン	1980—現在	10500	0.43	~0.003	0.93	2.5	
11 タイサン		11900	0.42	0.003	0.35	~2	
12 イノーカバヤング	1978—1980	~5000	0.35	0.005	0.03	1.3	
13 サンアントニオ		19500	0.57	0.003	0.10	1.0	
14 タビアン	1969—現在	17700	0.52	0.004	0.12	0.4	
15 ビガ アトラス	1962—現在	39500	0.43	0.013	0.25	1.5	
16 カルメン アトラス	1975—現在	39000	0.43	0.010	0.24	2.0	
17 ルトバン アトラス	1955—現在	53300	0.50	0.027	0.31	1.4	
18 バクラオ シバライ	1960—1966	6700	0.29	0.018	未分析	未分析	
19 カンシビットービヌリグ シバライ	1957—現在	74000	0.49	0.015	0.05	1.5	
20 ムホング バサイ	1979—1983	25000	0.44	0.008	0.04	1.5	
21 ナブアングアン—ブクビル バサイ	1979—1981	1200	0.38	0.008	未分析	未分析	
22 タグブラ—マアングブ	1978—1981	2300	0.42	>0.005	0.23	未分析	
23 アマカン	1982—現在	11600	0.37	未分析	0.4	2.5	



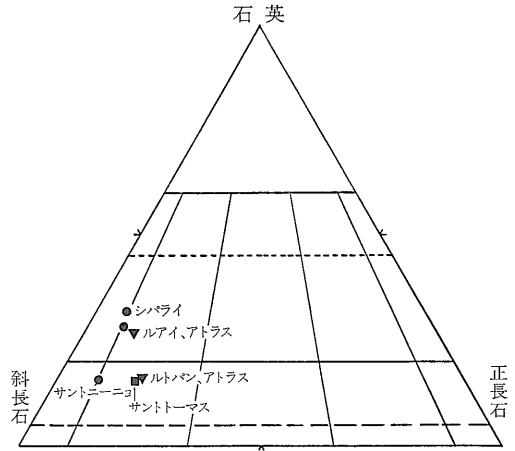
第5図 ポーフリー銅鉱床の分布 (SILLITOE ら 1984).

フィリピンのポーフィリー型鉱床は たとえば北米大陸のコルディレラ型鉱床 (石原 1970) とくらべて その銅品位はやや低いものの 金に富む特色を有する. 粗鉱含有量は0.1-0.9ppm Au であり極めて高く かつ金はほとんど全ての鉱床に含まれる (第2表). ポーフィリー銅鉱床は全国的に広く分布するが 中国大陸の一部であったと思われる古生代後期-中生代初期のチャート石灰岩 砂岩・頁岩からなる 北パラワン大陸地塊 (第5図) には鉱床は分布しない.

母岩: フィリピンで最も一般的な岩石は安山岩質の溶岩 火砕岩などであり これは少量の玄武岩やデイサイトを含む. したがって鉱床付近の構成岩類も主に安山岩類で占められており 鉱床および徴候地48例のうち90%は安山岩を主とする溶岩 火砕岩 火山性碎屑岩などからなる. 溶結凝灰岩は産出しない. 細粒の砂岩・頁岩は10%の鉱床にあらわれ 変成岩は4%の鉱床で見られるにすぎない. 石灰岩はやや多く (17%) の鉱床で観察されている.

これら火山岩類は化石を伴うことがまれであり 時代については確証に乏しいが 一般に白亜紀後期-古第三紀と考えられるものが多い. 火山岩類は広域的に緑泥石化や緑簾石化をうけている.

貫入岩: フィリピンのポーフィリー銅鉱床は小規模貫入岩体に伴われている. 48例中7例が分布規模8~2 km² の岩体に伴われ 残りは1.6km² 以下 多くは0.6 km² 以下の岩体と一緒に産出する. 岩質は伝統的に閃緑岩または石英閃緑岩と呼ばれているが 化学分析値に



第6図 鉱床に關係する貫入岩類のノルム斜長石-正長石-石英比 (石原 未公表資料より作成).

よるとシバライ サントニーニョ アトラスのルアイ閃緑岩はノルム鉱物比で閃緑岩-トナル岩の分化線に乗るものの サントトーマスIIやアトラスのルトバン閃緑岩はややアルカリ岩的な性質を示す (第6図). 閃長岩などのアルカリ岩に伴われる鉱床もマリアンなどの2ヶ所で見られる. 組織は細粒完晶質岩から斑岩 (写真4) に及ぶ. 時代は主に新第三紀である. かつて60Maと報告されたアトラスも最近の年代決定では新第三紀に変更された (R. H. SILLITOE 談 1985).

貫入活動は数時期にわたり 鉱化前の主要岩株と鉱化期貫入岩の早期のものとは組織 岩質ともに類似しているが 鉱化後期貫入岩は岩脈状で珪長質 (主にデイサイト斑岩) であり 前2者とは明らかに異なる性質を示す. 鉱化後貫入岩は一般に安山岩斑岩であり 銅硫化物を伴わず 識別し易い. 深部で鉱化期貫入岩に出会うと 鉱化帯が消滅することがあり 各時期の貫入関係を明らかにすることは重要である (第7図).

フィリピンの鉱床には熱水性角礫岩がしばしばみられ また近年は鉱化後のダイアトリームが7鉱床で確認されている. 後者はこれまで堆積性角礫岩と誤認されていたものであるが 鉱床の採掘が進むと共にその形などがわかってきて確められた. またさらに末期に鉱脈が形成されることが一般的である (第8図).

変質: 鉱床に伴う変質作用として SILLITOE ら (1984) は既存のカリウム珪酸塩化 プロピライト化 絹雲母化 (フィリック) 酸性粘土化 (advanced argillic) スカルン化に加えて 新たにSCC (絹雲母-粘土-緑泥石) を提案している.

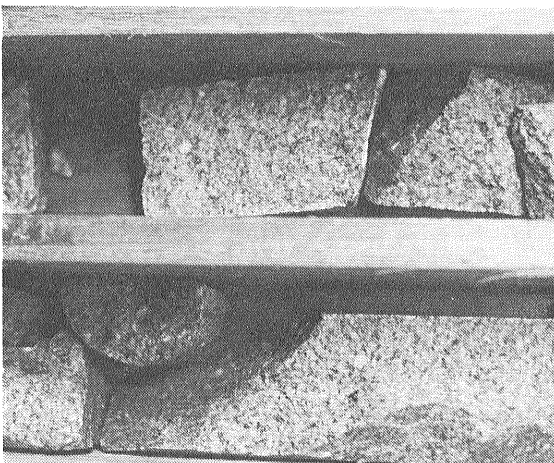
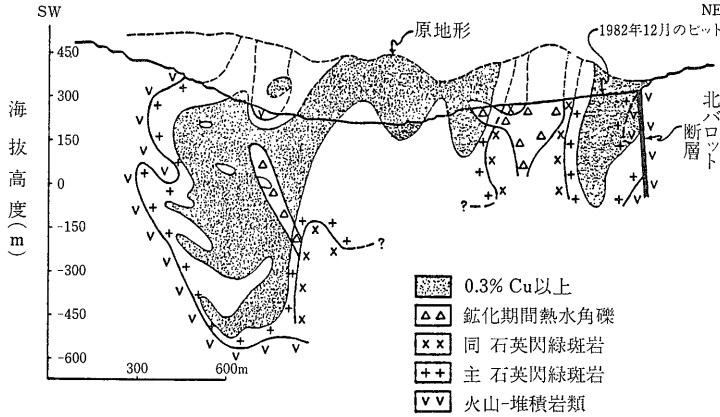


写真4 サントトーマスII鉱床深部の閃緑斑岩. 細粒であるが花崗岩組織を示す.



第7図
アトラス ビガ鉱床の長軸断面。 鉱
化期貫入岩が低品位である点に注目
(SILLITOE ら 1984)。

カリウム珪酸塩化は最も普遍的で 48鉱床または探鉱地
の60%で広範囲に 21%で部分的に認められる。

黒雲母が一般的でカリウム長石は一部の鉱床で産出する。
少量のアクノチ閃石 緑泥石 緑簾石も 伴われる。 硫化物総量は一般に1-3容量% 黄鉄鉱/黄銅鉱
+斑銅鉱比は2より小さく サントトマスII鉱床では
同比が1/8に達し 黄鉄鉱が著しく少ない。 磁鉄鉱

の産出も特徴的で 8容量%に達することがある。

SCC変質は次に普遍的な変質で 半数以上の鉱床に
あらわれる。 一般にカリウム珪酸塩変質岩を交代して
みられる。 黒雲母は緑泥石に変質し 斜長石斑晶は絹
雲母とカオリナイトに交代される。 方解石や緑簾石も
少量伴われる。 銅硫化物としては黄銅鉱 斑銅鉱が共
にあらわれ 前者の方が多い。 磁鉄鉱もみられるが
著しい特徴は鉱床の特に上部のSCC変質帯で鏡鉄鉱に
置換されることである。

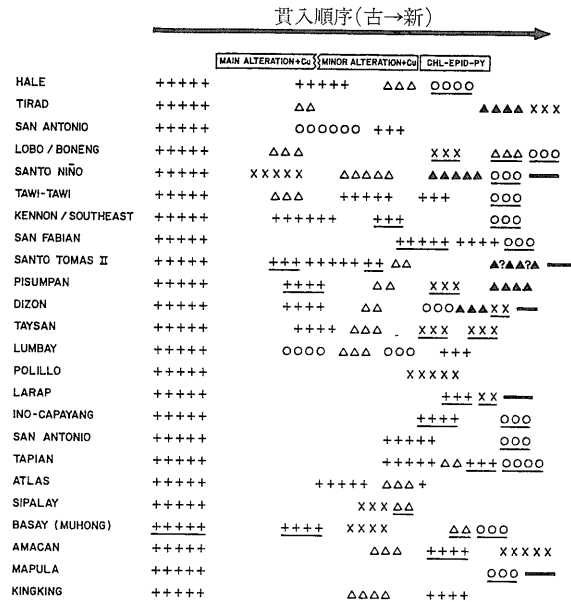
酸性粘土化変質はポーフィリー銅鉱床に関連してみら
れるのは2例にすぎない。 しかし周辺部に離れてしま
えばあらわれ 広く発達する場合には4×10kmにも及
ぶ。 これは後述の金石英脈のものに関連して重要であ
るから 以下に紹介しておこう。

この変質帯の鉱物組合せは下記の2つに分けられる。

- (i) 粘土卓越型：カオリナイト ディッカイト 部分
的に葉ろう石 黄鉄鉱1-4容量%。
- (ii) 明礬石-シリカ型：明礬石 玉髄質石英 硫化物
5-20容量% (主に黄鉄鉱 他に白鉄
鉱 硫砒銅鉱 ルゾン鉱 コペライト)。

硫化物は鉱染状かパッチ状で 細脈状である場合は少
なく その巨大な塊状硫砒銅鉱-黄鉄鉱体は銅や金を対
象として稼行されることがある。

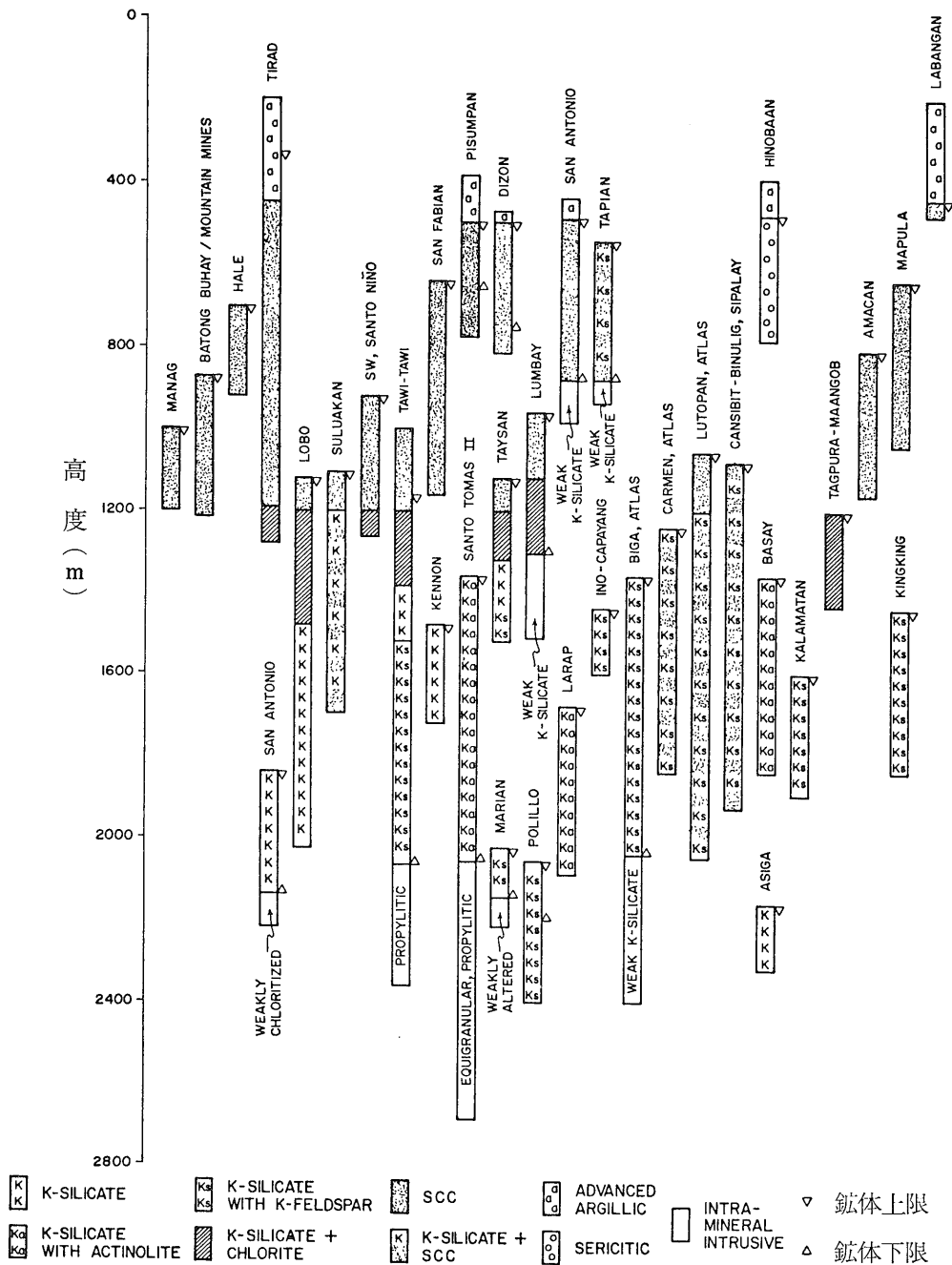
以上の変質帯は探鉱地では400m程度であるが 稼行
鉱床では850-1300m以上にわたって垂直分布を示すこと
が知られている (第9図)。 一般に酸性粘土化変質が最
上部を占め 下方へSCC カリウム珪酸塩と続く。 これ
は時期的変化とも対応し 上部の変質帯が若く 下部
のものが早期に形成された。



凡 例：+++ 閃緑岩または石英閃緑斑岩(ボリジョはモンソ花崗岩)
XXX デイサイト斑岩
○○○ 安山岩斑岩
△△△ 熱水性角礫
▲▲▲ グイアトリーム
—— 鉱脈
—— 岩脈としてのみ産出

第8図 24鉱床についての貫入および熱水活動史
(SILLITOE ら 1984)。

鉱化：フィリピンのポーフィリー銅鉱床のうち60%は
地質ニュース 384号



第9図 鉱化変質時の垂直変化。垂直位置は任意 (SILLITOE 1984)。

シリンダー型の形態を示し 18%が卓状～シート状でかなり傾いている。一例を第10図に示す。鉱床は貫入岩体の外形に規制されている。半数以上の鉱床は鉱石の70%以上が貫入岩体中に 残りの鉱床では50-90%が被貫入岩中に分布している。

鉱石鉱物は主に鉱染状 一部網状石英脈に伴われて産出する (写真5)。銅鉱物は主に斑銅鉱と黄銅鉱とであり 鉱体は著しい黄鉄鉱ハロに伴われる。他の有用鉱物としては金が多く モリブデンが少ないのがフィリピンの鉱床の特徴であり (第11図) 金が多いものはサント

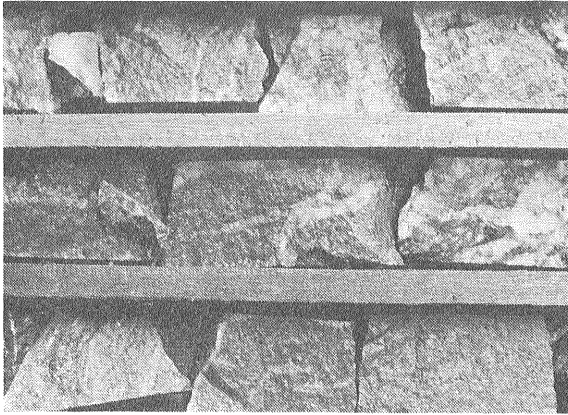


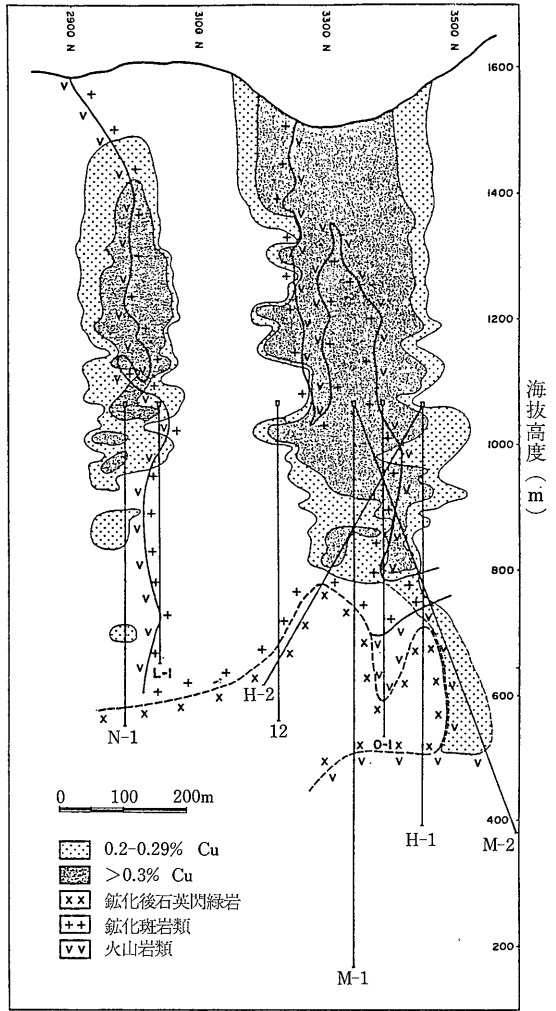
写真5 サントトーマス鉱床深部の代表的網状銅鉛銅鉱石。母岩は変質安山岩。

トーマスII デイゾンで代表される。 サントトーマスIIでは1,300万トンの粗銅量をとれば 2 ppm Au の部分が存在する。

金に富む鉱床は 地域的にはルソン島の中央山脈やザンパレス山脈 ミンダナオ島南東部に分布する。 モリブデンに富み 金に乏しい鉱床はネグロス島南西部で代表される。 アトラス鉱床群は両者に富み 逆にマリンズケ島の鉱床は両成分に乏しい。

鉱床中の金は銅硫化物と密接な分布を示し たとえばデイゾンでは両者は共に中心で高品位であり 周辺へその含有量が低下する (第12図)。 金は自然金またはエレクトラムとして産出し テルル化物は周辺部の鉱脈型鉱床にしかあらわれない。 金粒は一般に10 μ m 以下 粗粒なサントトーマスIIの場合に10-100 μ m である。 金は鏡下で斑銅鉱や黄銅鉱とからまって産出し 一部のものは石英に伴われるが 黄鉄鉱と共存するものは非常に少ない。 また全体的にみれば鉱床中の磁鉄鉱量との相関性も指摘されている (第13図)。

金含有量と他の諸条件との関連性は必ずしも明確ではない。 貫入岩との関係では 金はより苦鉄質な貫入岩を伴う鉱床で高く モリブデンは逆に珪長質岩に伴われる傾向がある。 被貫入岩や基盤との関係は更に不明瞭である。 まず第一に被貫入岩の多くは火山岩か火山性碎屑物であるが 金含有量は同一母岩でも鉱床によって著しく変化している。 フィリピンの鉱床の基盤は恐らく低変成の火山岩 堆積岩またはオフィオライトと考えられるが 地殻変動が激しく対応する基盤との関係はわかっていない。 共に金に富みかつ基盤が鉱床近傍に見られるサントトーマスIIとデイゾンは それぞれ異なる基盤 ジュラ紀の緑色片岩相の火山岩・堆積岩 始新世

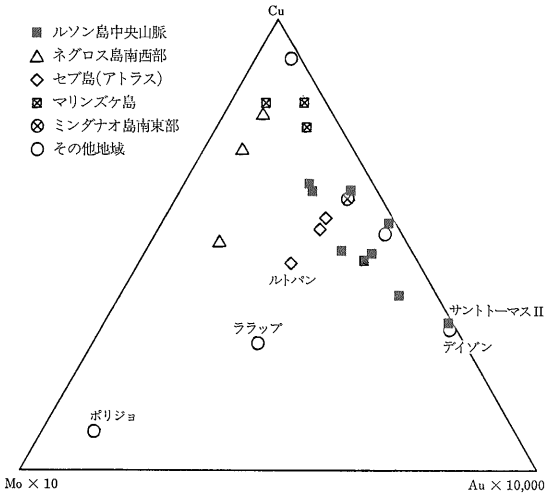


第10図 サントトーマスII鉱床の断面図 (SILLITOE ら 1984)。

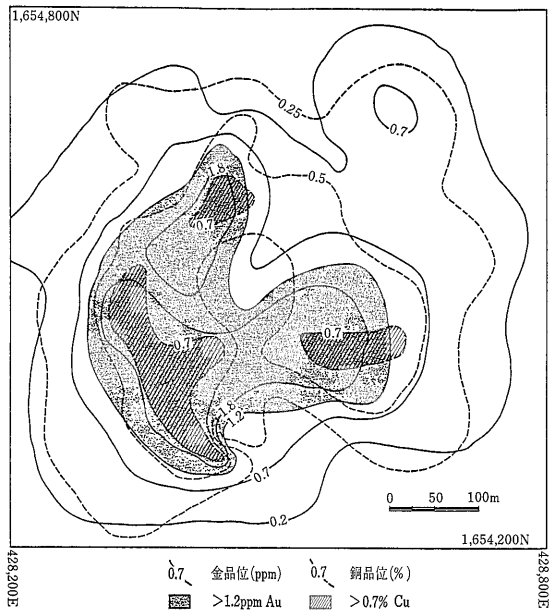
後期のオフィオライトを有しているものと思われ 基盤との関連性を示唆しない。

金含有量と浸食レベルとの関連性も考えられる。 サントトーマスIIとデイゾンは これまで深所 浅所をあらゆる好例と考えられているが 共に金含有量は高い。 また ティラドでは上下1,000 m以上にわたり 金含有量に変化がないことも知られている。

金はまた生成時の酸素フュガシティが高い鉱床に沈澱する可能性がある。 フィリピンの鉱床の岩石硫黄と鉱石硫黄の硫黄同位体比にみられる差は 8%に達し (第14図) 鉱床が酸化的环境下で生成したことを指示するが 環太平洋地域を広くみれば チリのポーフィリー銅鉱床も同様であって 必ずしも金の有無を指示しない。



第11図 ポーフイリー銅鉱床の Cu-Mo (×10)-Au (×10,000) 図 (SILLITOE ら 1984).



第12図 デイゾン鉱床 287.5mベンチにおける Cu Au 品位分布 (SILLITOE ら 1984).

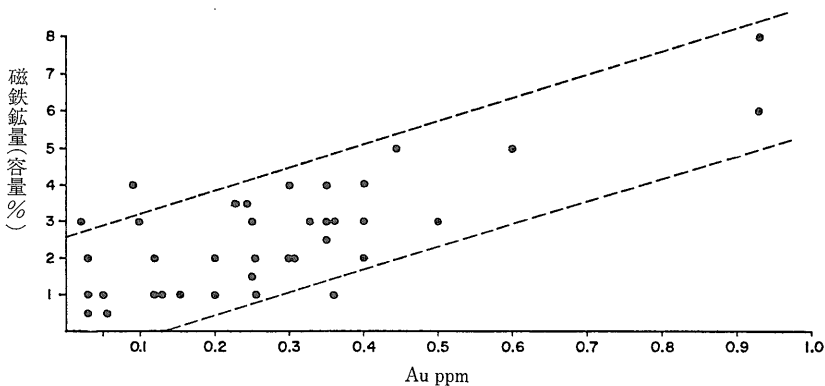
3. 浅熱水性金 - 石英脈

フィリピンにおける本来の金鉱床は浅熱水性金石英脈であり そのうち重要な鉱床は左横ずれのレンチ断層と考えられている群島中央部を走る断層帯の近傍に分布しており ポーフイリー型よりも断層帯に対する集中度が高い (第2図). この事実は 主要鉱床が新第三紀のなかでも非常に若い年代をもつであろうこと またその断層運動が鉱脈を生成せしめた裂かひの発達に不可欠であったであろうことを暗示している.

バギオ付近の鉱床は古くから最も著名であり アンタモク アクバン ケリー (以上 ベンゲット社) イトゴン バギオゴールド アトクなどがある (写真6-10). 南方にはサントトーマスII 北方にはサント ニーニョの含金ポーフイリー銅鉱床が分布する (第15図).

この地域の地質は基本的には白亜紀-古第三紀の火山一堆积岩類が中新世アグノバソリスの貫入を受ける. 前者は玄武岩質溶岩 火砕岩 グレイワッケ チャート質シルト岩 礫岩 石灰岩からなる. これらは著しいプロピライト化を受けている. 新第三紀閃緑岩~花崗閃緑岩質の完晶質岩や斑岩が バソリス ストック 岩脈 プラグなどとして産出する. 鮮新世-第四紀にはプラグやダイアトリームのみみられる.

断層は無数に発達し それはN-S NW-SE N E-SW E-Wの4系統に分けられる. N-S系は広域的に連続するもので正断層が多く NWとNE系は剪断性 E-W系は張力性であると一般に考えられてい



第13図 ポーフイリー銅鉱床中の磁鉄鉱と金含有量との関係 (SILLITOE ら 1984).



写真 6-1 バギオの鉱山展望台から東方へアクパン鉱床地を望む。谷間に坑口などがある。

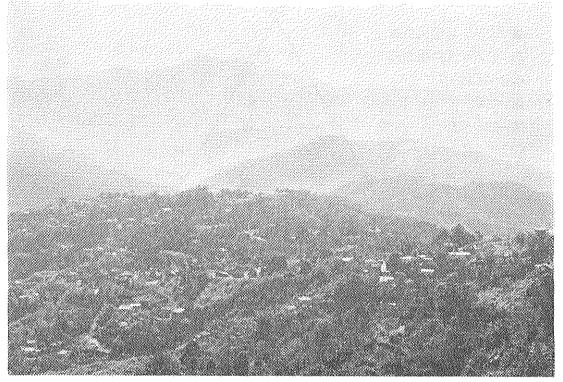
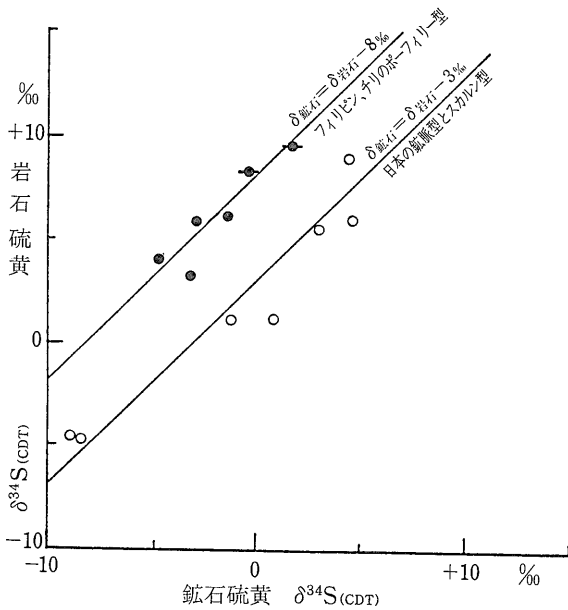


写真 6-2 同じく右側を見る 手前の家屋は別荘・民家など。



第14図 日本 フィリピンなどの鉱石と関連花崗岩の硫黄同位体比 (SASAKI ら 1984).



写真 7 アンタモク鉱床付近。イトゴンにおける露天堀。



写真 8 アンタモク露頭部からみるケリー鉱山。

る。

アンタモク鉱床

この鉱床はフィリピンで最も古く、かつ長く稼働されている金鉱床である。1916-41と1948-52年間に89.4トン Au、1955-82年間に16.8トン Au と149.6トン Agを生産した。残存鉱量は320万トン(品位5.37ppm 含有量17.2トン Au)といわれている(DOMINGO, 1985)。

鉱床はバギオ東方の産地にある。この地域の主構成岩類はグレイワッケを主体とし、礫岩、シルト岩、泥岩、安山岩質、玄武岩質火山岩類を挟むジグザグ層。これに貫入するアグノバソリスであるが、鉱床の母岩は主に安

山岩類であり、アグノバソリスはここでは安山岩-斑岩質の“アンタモク閃緑岩”である。両者を切る安山岩斑岩の岩脈、岩床などがある。

鉱脈は基本的にはNW—SE系、南急傾斜である(第

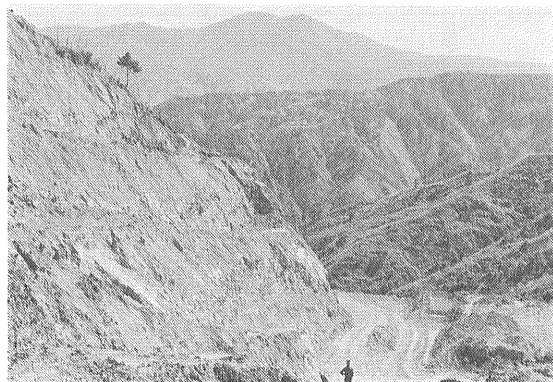


写真 9 アンタモク鉱床キーストン脈の露天堀.

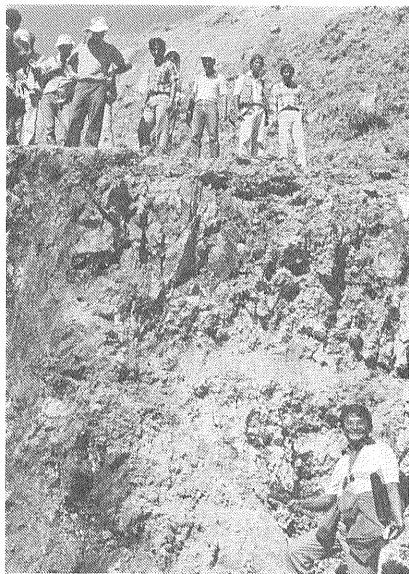
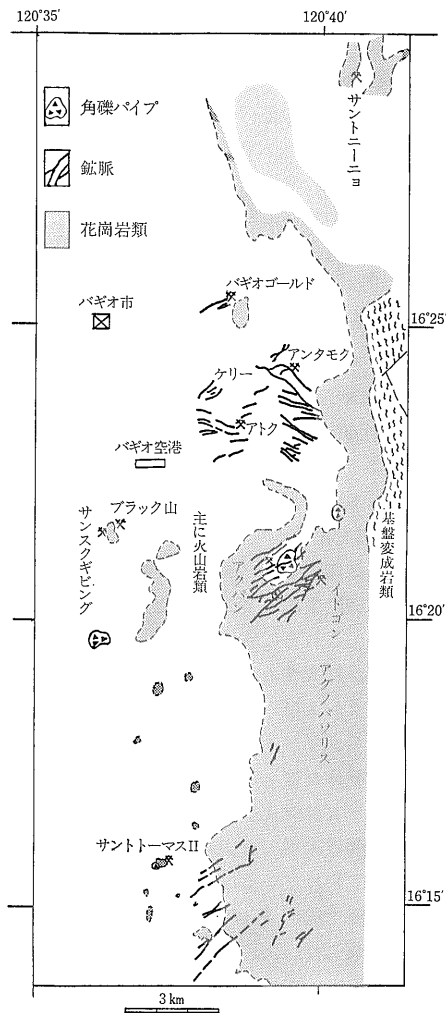


写真 10 同上採掘切羽と親日家バルセ氏 (下段).



第15図 バギオ地域の金鉱床とアグノバソリス。 FERNANDEZ ら (1979) と Philex 社資料から作成。

16図). ジグザグ層を母岩とし 東方の閃緑岩中では劣化する. 主鉱脈は北部の440脈と南部のキーストン脈でこれらは走向延長約3 km 深度600 m以上 脈幅は1—6 mである.

鉱脈は角礫化された白—灰色の石英—オパール質石英からなり 母岩角礫をしばしば含む. 北部鉱脈群では石英のみであるが 南部へ方解石が増加し 最南部ではほとんど方解石脈である. 硬石膏も南部と深部で増加する傾向がある. 鉱物の沈澱は次の3時期に分けられる (FERNANDEZ ら 1979).

第一期は交代作用と破砕帯充填の鉱化作用で 灰—白色石英がばら輝石を伴って形成された. 鉱脈中には閃亜鉛鉱 黄銅鉱 黄鉄鉱 方鉛鉱が島状—鉱染状に産し

金はとくに灰色石英中に独立粒としてみられる. 石英角礫充填部や母岩を交代する金は硫化物やテルル化物に伴われる.

第二期は白—ピンク石英—方解石脈の形成で これは白色の後期石英 ばら輝石 菱マンガン鉱 硫化物 二酸化マンガン 少量の硬石膏—方解石を伴う. 金の産状は第一期のものと同様であるが 富鉱部は ばら輝石—菱マンガン鉱含有量が高い鉱脈にあらわれる傾向がある.

第三期は硬石膏脈の形成で これはセレン化合物 白色石英 ばら輝石を含み 縞状構造を持つ. 金は一般には含まれない.

母岩の変質は基本的には緑泥石化であるが 一部には

絹雲母化もみられる。変質は場所によって異なり規則的変化を示さない。この点は脈際変質の場合も同様でほとんど未変質の部分から緑泥石—絹雲母(±緑簾石)にはほぼ完全に置換されているものまでである。北方バギオ寄りの地形的高所には石英—明礬石変質がみられる。

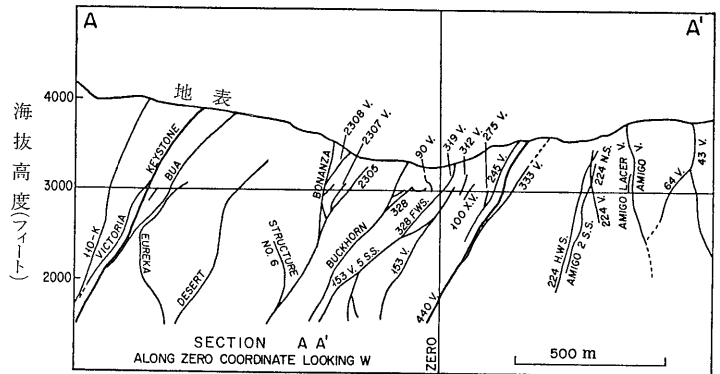
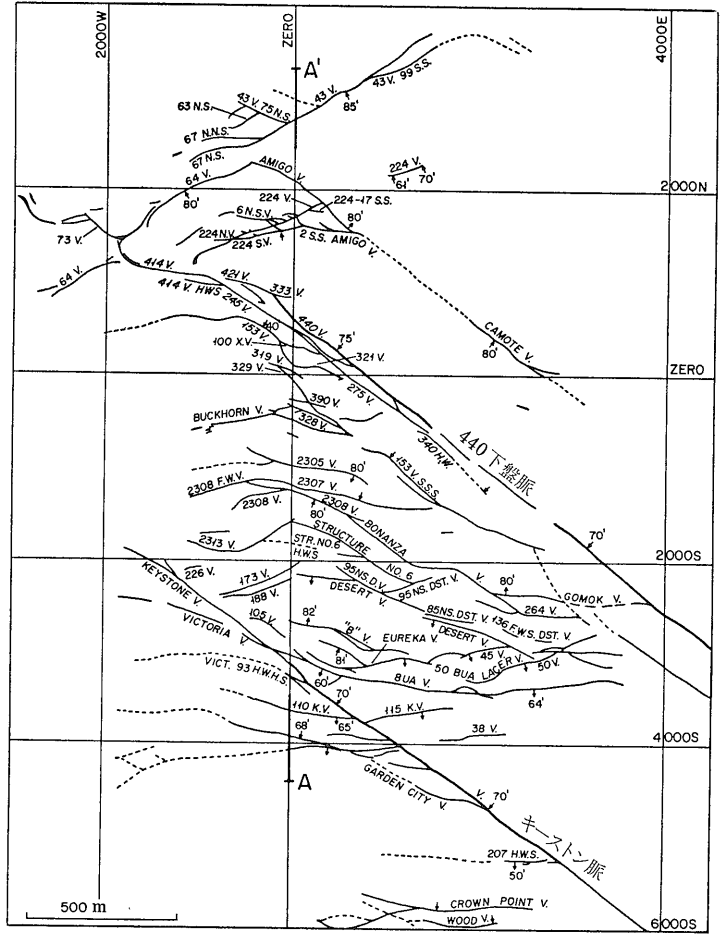
アケパン鉱床

この鉱床はアンタモク鉱床の南方に位置する(第15図)。1929-41年 および1948-58年間に83.9トン Auを生産した。現在は アンタモク鉱山と同程度の1,200-1,500トン/日 品位4-6 ppmの鉱石を出鉱している。

鉱床付近の構成岩類はアンタモク鉱床の場合と同様に主にジグザグ層と深成岩類であり これらに安山岩〜デイサイト斑岩類が貫入するものであるがパラトクブラグおよびハートウェルブラグと呼ばれるダイアトリームがあって 特異な富鉱体を伴っている。

パラトクブラグは鉱化域の北部にあって 火成活動最末期の火山性ダイアトリームと考えられている。形はほぼ楕円形 地表で600×1,000mの水平的拡がりを持ち 少なくとも深度1kmまで続いている。これは細粒粘土質マトリックスに 時には直径2mに達する大小様々な角礫が含まれるもので 礫種は閃緑岩 石英閃緑岩 花崗閃緑岩 石英斑岩 長石 角閃石 安山岩 斑岩 砂質頁岩などである。まれではあるが年輪がわかる炭化木が角礫として発見されており これは古代の森林が安山岩の噴火時にとり込まれたものと思われている。ハートウェルブラグは上記の南方約600mに位置し その角礫は主に安山岩斑岩 まれに閃緑岩や脈石英からなる。さらに南方500mにも小規模な角礫パイプがある。

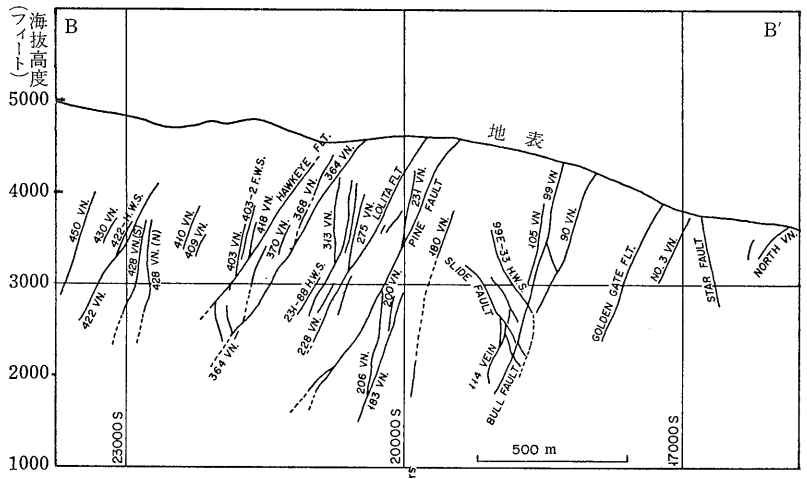
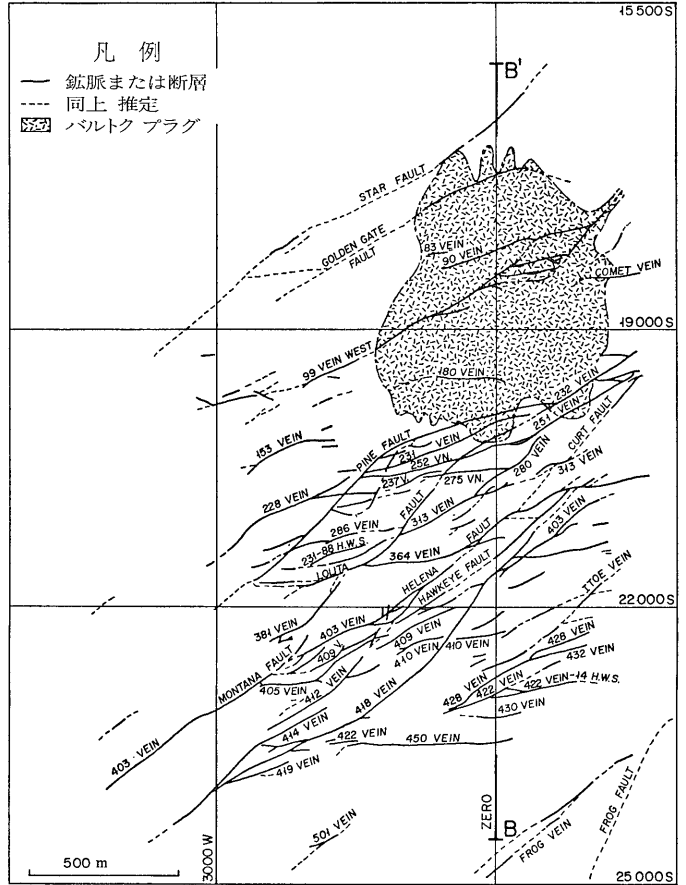
鉱脈は一般にNE-SW系 安山岩と閃緑岩—花崗閃緑岩を母岩とする。約300m間隔で鉱脈が密集し それらは北からスター, 99, 231, 364, 400, 500系統と呼ばれている(第17図)。これら鉱脈—断層系は走行方向



第16図 アンタモク鉱床の鉱脈図 (SAWKINS ら 1979)。

に500-2,000m連続するが 鉱化部分はスター脈の150mから231脈の900m程度まで変化する。傾斜方向へは300-500m 脈幅は一般に1~1.5m 鉱脈密集部では20mにも達する。

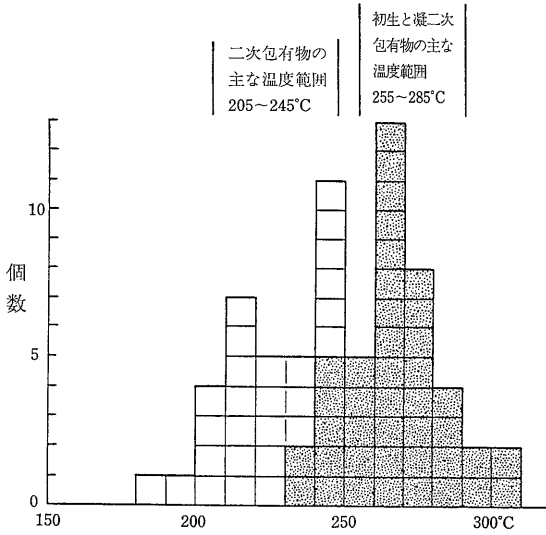
鉱脈は晶洞性 かつ綺状構造が明瞭である。鉱脈は



第17図
アクバン鉱床の鉱脈図 (SAWKINSら 1979).

しばしば再活動し 石英脈や母岩が角礫化して鉱脈と平行に角礫脈を形成する。 鉱脈は主に石英と方解石 硬石膏と石膏も伴われ 少量の菱マンガン鉱 ばら輝石 Mn-方解石 重晶石も含まれる。 鉱石鉱物は黄鉄鉱 白鉄鉱 硫砒鉄鉱 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄銅鉱 四面銅

鉱 濃紅銀鉱 淡紅銀鉱 ファマチナイト 斑銅鉱 輝安鉱 辰砂 赤鉄鉱 テルル金銀鉱 テルル鉛鉱 針状テルル金鉱 カラベライト コロラドイトなどである。 金は独立粒として石英 方解石 卑金属硫化物テルル化物中に含まれる。 晶洞性石英には葉片状の金



第18図 アンタモク アクパン石英脈の充填温度 (SAWKINS ら 1979).

が認められる。

金粒の銀含有量は低く DOMINGO ら (1981) はアンタモク鉱床で Au/Ag=90/10 アクパン 鉱床で同 89/11 (共に重量%) の平均値を与えている。また石英の流体包有物は250-300°C (第18図) の充填温度 塩濃度は0-6重量% NaCl であることを示す (SAWKINS ら 1979)。

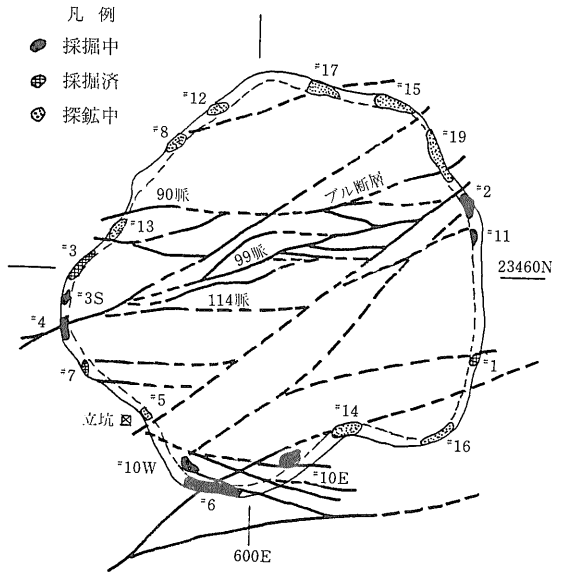
アクパン鉱床には特異な富鉱部 “GW” 鉱体がある。これはバラストプラグの縁に沿って分布する (第19図)。この鉱体を規制する要素として次の3つが挙げられる。

- (i) ダイアトリーム外縁と主鉱脈との交点 (例 GW 2, 4, 6 鉱体)
- (ii) 同じく金-石英網状鉱化部との交点 (GW 1, 3, 7, 9)
- (iii) “N-S フィーダ” との交点 (GW 1, 2, 11の一部 DE GUZMAN 1985)。

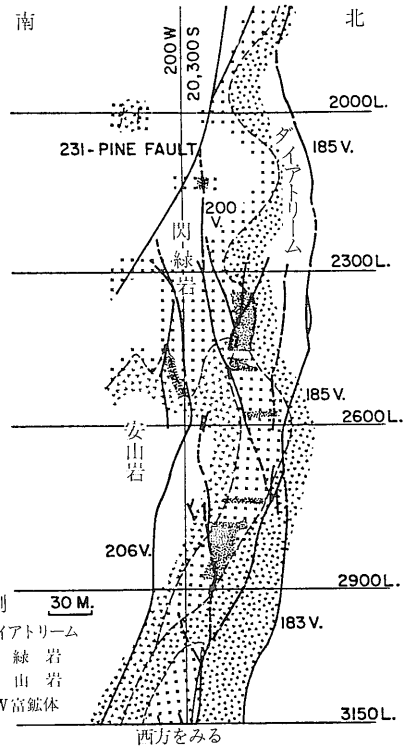
鉱体の規模は直径1~60mであるが (i)の条件の鉱体が大きく (GW 4, 6) かつ高品位 (GW 2) であった。鉱体はほぼ垂直 パイプ状であり おおむね鉱脈とダイアトリームの外壁に沿っている (第20図)。

変質は珪化 緑泥石化 絹雲母化 緑簾石化などで 鉱石鉱物も鉱脈のものと同様。金も同様に自然金で マトリックスの石英や珪化部に多くは含まれる。

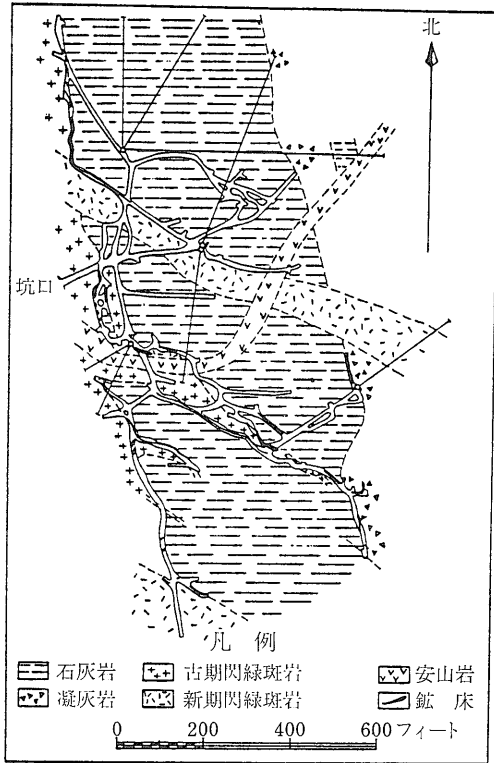
この事実はダイアトリーム形成時の熱水爆裂作用で金が富化されたことを示している。微粒自然金は時に灰色石英中の黄鉄鉱や白鉄鉱と共存する。まれに金粒を包有する卑金属硫化物が白色石英に含まれる。これらは



第19図 アクパン 2600 LにおけるGW鉱体の分布 (DE GUZMAN 1985).



第20図 アクパン GW 6 鉱体の南北断面 (SAWKINS ら 1979).



第21図 サンクスギビング鉱床 1,000 レベルの坑内地質図 (CALLOW 1967).



写真 11 マニラにおける鉱床生成モデリング討論会。

発達する。鉱体はスカルン中にボッドあるいは不規則レンズ状 一部石灰岩中に不規則脈状に産出する (第21図)。閃亜鉛鉱と黄鉄鉱が主要な硫化物であり 他の構成鉱物は黄銅鉱 方鉛鉱 硫砒鉄鉱 赤鉄鉱 磁鉄鉱 緑泥石 方解石 柘榴石 石英などである。方鉛鉱は上部に多かった記録がある。

金はテルル鉛鉱 テルル銀鉱 テルル金銀鉱 針状テルル金鉱と共に微晶として産出するほか 硫化物や時には緑泥石 方解石中にも微粒として含まれる (CALLOW 1967)。自然金はまれにテルル化合物や黄鉄鉱中に認められることがある。

鉱脈形成時に晶出したものと思われる。

サンクスギビング鉱床

この鉱床はバギオへ至る急峻な谷間の道 ケノン道路の途中にあり バギオ周辺の金鉱化作用の一環とみることが出来る (第15図)。1918年から断続的に稼行され 1982年までに10.6トン Au, 15.4トン Ag を生産した。残存鉱量は86,000トン (6.41ppm Au, 40.6ppm Ag) と推定されている。

鉱床付近は第三紀堆積岩地域であり 弱変成の礫岩 砂岩 赤～緑色頁岩 凝灰石 石灰岩などが厚く発達する。石灰岩は黒～灰色 120m 以上の厚さを有し 下盤側に凝灰岩を伴う。

古期閃緑岩斑岩が西側 石灰岩の上側に貫入する (第21図)。新期閃緑岩斑岩 (幅30m以下) がこれらを切り さらに安山岩岩脈が最末期に貫入する。新期閃緑岩斑岩は古期斑岩より淡色で緑簾石が少なく また角閃石が目立つなどの特徴を持つ。

石灰岩と閃緑岩斑岩との境界には柘榴石一ゆう簾石スカルンがレンズ状 (長さ18m 厚さ1.5m以下) や脈状に

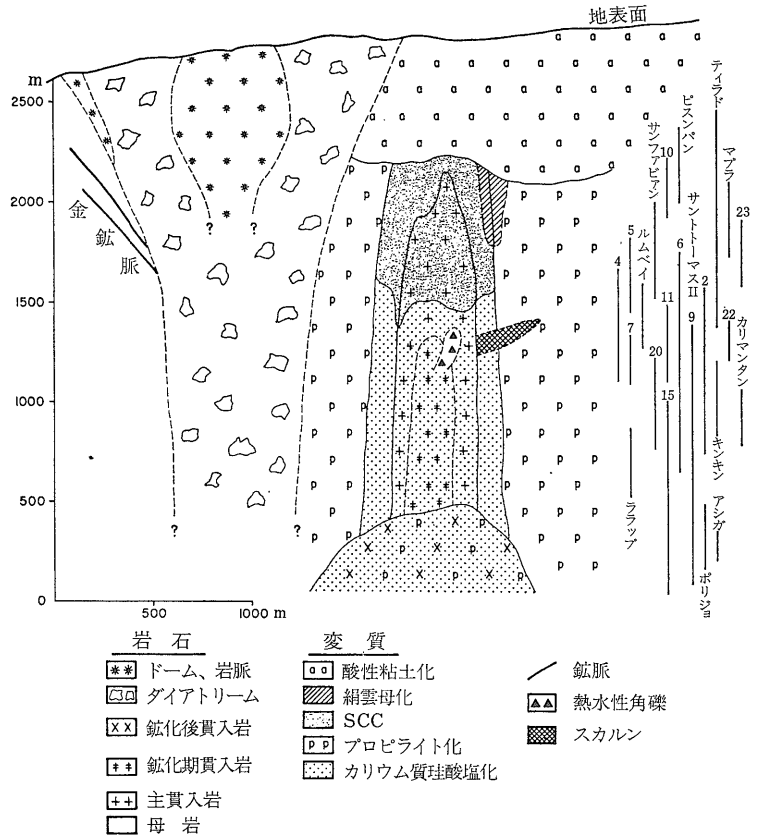
4. 生成モデリングとその適用

昨年の12月5—14日 フィリピンのマニラで鉱床生成モデリングの国際討論会が開かれた (写真11), テーマはポーフィリー銅鉱床 塊状硫化物鉱床 浅熱水性金鉱床それにオフィオライトに伴うクロマイト鉱床の生成モデルであったが フィリピンでは数年前から地熱変質帯を応用して浅熱水性金鉱床探査を UNDP プロジェクトとして実行していることや アメリカを中心に参加した Key person にこの分野の専門家が多かったこともあって 金鉱床について白熱した議論がみられた。また今年初めの大統領選挙に向けて副大統領の指名時期にも当り この方面でも熱い日々であった。

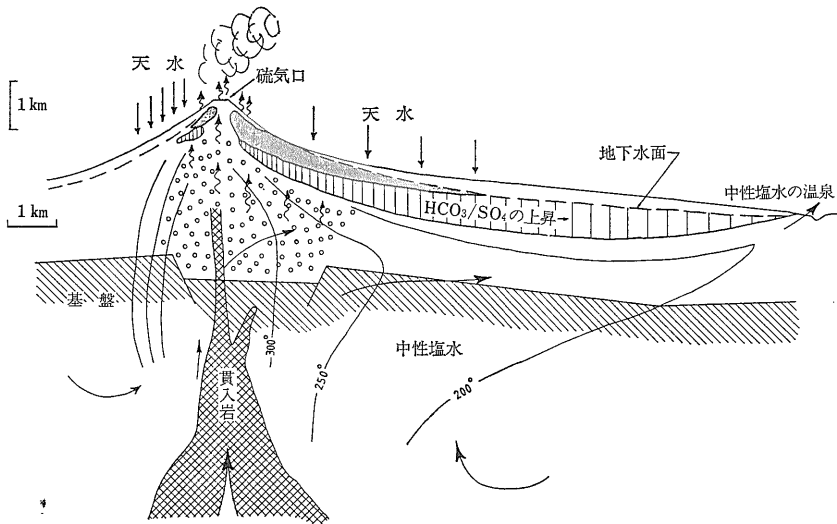
討論会は最初の3日間はマニラで鉱床タイプ別のモデルのプレゼンテーションが行われ ついでザンパレスからバギオへ至る巡検と共に現地討論の機会が5日間にわたり用意され 最後に帰って総括が2日間行われた。この間の様子は井沢 (1986) に詳しいが 筆者の感想をバギオ地域の鉱床を中心に述べてみたい。

フィリピンの金鉱床の特徴は何と
言ってもポーフィリー銅鉱床と一般
の金-石英脈鉱床として産出する点
にある。前者は周知のように垂直
方向に大きく かつ深所で生成し
後者は平面的に広く かつ浅所で生
成するタイプの典型例であって 両
者がどの様に関連するかは大変興味
深い点である。

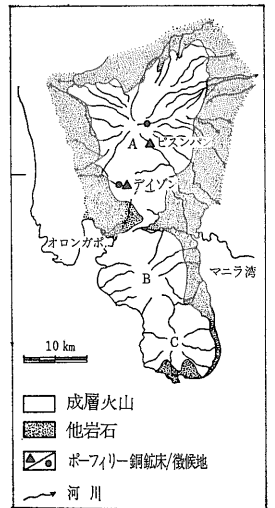
フィリピンのポーフィリー銅鉱床
について SILLITOE ら(1984)は第22図
の模式断面図を提案しており これ
は次のように解釈できる。プロピ
ライト安山岩類に成層火山に関連した
(例 デイゾン ビスパン 第23図)
閃緑岩質マグマがプラグ状に複数回
に亘って貫入し 各ステージに多少
とも銅鉱化を伴う。その鉱化作用
は地表下1 km 以深で生じ 鉱化後
はより後期の貫入岩活動のため下部
は不毛となる。また同じく主鉱化
期以後にダイアトリームや関連する
小貫入岩体が貫入している。酸性
粘土化変質は最末期の生成で 下位
の硫化物鉱体と反応上昇した熱水溶
液により生じたものであろう。

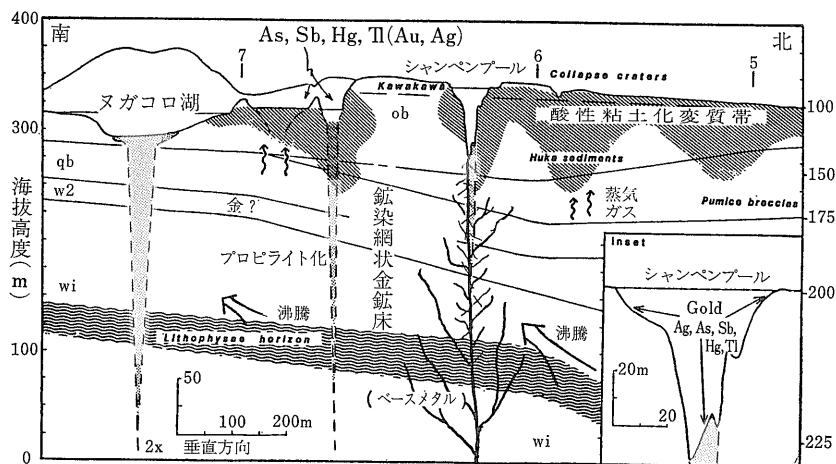


第22図 フィリピンのポーフィリー銅鉱床の生成モデル (SILLITOE ら 1984).
右側鉱床例の番号は第2表の番号と一致



第23図 島弧火山における地熱系のモデル (HENLEY ら 1983) と島弧火山に伴うポーフィリー銅鉱床の実
例 (SILLITOE ら 1984). ビスパンとデイゾンはピナツボ複合成層火山(A)のほぼ中心と周辺部に産
出する。 Bナティブ山 Cマリバレス山複合コーン。





第24図 ニューゼaland北島ワイオタポ地熱地帯の模式断面図 (HEDENQUIST 1985). シャンベンプール熱水湧出口の沈澱物には 80 ppm Au, 17 ppm Ag, 2% As, 2% Sbなどが含まれ 数100mの地下には沸騰面上で現在金鉱床ができつつあるものと思われる。

主要鉱床における流体包有物は高塩濃度 高均質化温度の多相包有物で特色づけられ マグマ水の高温沸騰が考えられ 周辺部や一部の鉱床では塩濃度と共に均質化温度も低く 地表水などの混入が考えられている (TAKE-NOUCHI, 1981). ダイアトリームや金-石英脈鉱床では水に関してほとんど地表水と考えられる (SAWKINS 1979). SILLITOE (談 1985) は 鉱脈型は巨視的には成層火山底で生成したポーフィリー型の“周辺相”ではなからうかと考えている。

ポーフィリー銅鉱床と金鉱床との水平的距離はバギオ地域において 8-9 km程度である。島弧の安山岩火山に関連する下降熱水系は一般に水平的に数10km に及ぶであろうと考えられている (第23図)。アンタモクーアクバン地域には ダイアトリームに関連してデイサイト貫入岩も認められている (第15図)。これらはポーフィリー銅鉱床をもたらした閃緑岩質貫入岩より後期の派生火成活動によるものと思われる。このような広い意味で金鉱脈はポーフィリー銅鉱床に対して周辺相的であると言ってよからうが 厳密には時間的な関係を明確にしなければはっきりしたことは言えない。

一方 鉱脈型鉱床の立場からアンタモクーアクバン鉱床を考えてみよう。井沢 (1986) にも紹介されているように アメリカ ニューゼalandの研究者には浅熱水性鉱床を低硫黄系 (または石英-氷長石型 還元S種卓越型など) と高硫黄系 (硫砒銅鉱-明礬石型 酸化S種卓越型など) に二分し それぞれは裂かに沿って活動した地熱系の化石であるが 熱水の沸騰の開始と共に金の沈澱が生じ 地表の近くで酸性粘土化変質帯が生成したと考える人が多い。因みに現在金鉱床が出来つつあると思われる シャンベンプールの模式断面図を第24図に示す (説明は石原 1986 b 参照)。

低硫黄系では氷長石 絹雲母などが特徴的な脈際変質

鉱物であり 高硫黄系はパイロフィライト・カオリナイトなどが特徴的である。余分のシリカは熱水通路の最上部にセンターとして沈澱するであろう。井沢 (1986) は南九州における地熱系と金鉱床の研究に基づき 鉱化変質帯を下位から上方へ雲母-緑泥石化帯 カオリナイト-雲母化帯に分けたモデルを提唱している。

アンタモクーアクバン鉱脈は上記の諸モデルに必ずしも合致しない。脈際変質鉱物には絹雲母 緑泥石が産出し南九州のものに似るが 氷長石はみられずダイアトリームの産出が特徴的である。また方解石がとくに南方へ向けて多く産出する。深部には硬石膏が多く酸化S種に富むが 硫化物は非常に少ない。鉱脈鉱床の上部に酸性粘土化帯はみられないが 鉱床直上のは浸蝕されてしまったのかも知れない。含金珪化帯は高所の一部に残っている。

バギオからアクバンに続く尾根 (写真6) には 植生が密なこの熱帯雨林地域で樹木が育たない変質帯が上部にならんでいる (写真12)。その一部には含金 (1-2ppm) 珪化帯 (写真13) があり 南方へアンタモク アクバンへと続く。地形的には最上部のバギオ市街南東端の鉱山展望台 (Mine's View Park) を構成する安山岩類は石英-明礬石変質を受けている。明礬石で特徴づけられる酸性変質帯は一般に金鉱脈の上部 地下水面にしばしばあらわれ 深部探査の手掛りを与えてくれて重要である。

SILLITOE はフィリピン 南米の経験のもとに酸性粘土化変質帯の明礬石には粗粒 細粒の2種類があると主張する。前者が鉱脈型鉱床の場合の上昇鉱液と地下水との混合やポーフィリー Cu 鉱床における高温ガスと地下水との反応で生じたもので鉱化作用と関連して生成したものである。後者は鉱化作用と無関係に地表の風化作用で母岩に含まれる硫化物の分解によっても生じるもの

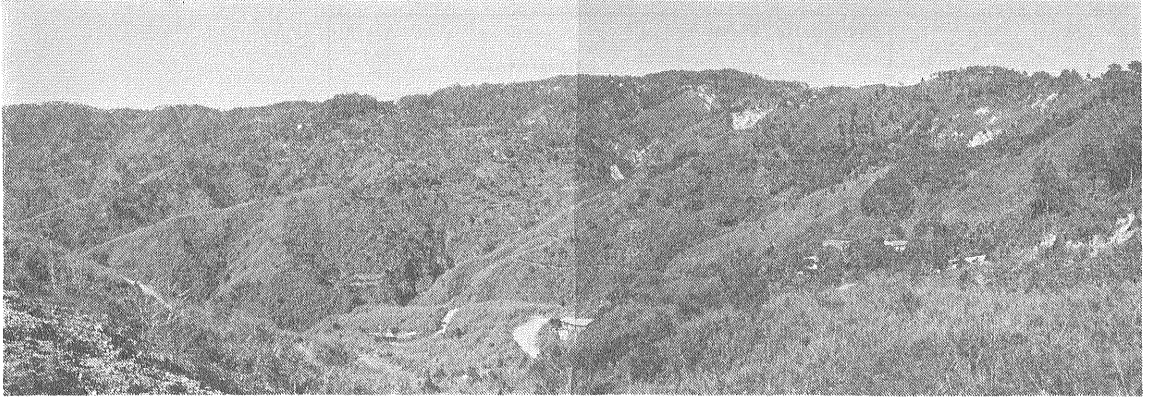


写真 12 アンタモク鉱床から西方へバギオをみる。
高所の樹木がない変質帯に注目。

で鉱山展望台の変質帯もこれに属するものと主張した。SILLITOEの判断の正当性は今後の試錐に待つほかはないが、変質帯と地形的関係からは後者の可能性が高く、参加者には支持者が多かった。高所の一般の粘土化変質帯にも同様な成因のものもあるかも知れない。

含金珪化帯は多孔質な性質からみて、地表付近で生成したものであろう。金は中性—弱アルカリ性熱水溶液に最も溶け易いから、たとえば $Au(HS)_2^-$ で運ばれた金が地表近くで地下水と遍遇して沸騰し、硫黄が H_2S として気相に移れば金を沈澱せしめる。 H_2S は地表付近では直ちに H_2SO_4 に酸化され、母岩と反応して鉱体周辺の粘土化帯を生ぜしめる。シリカはこの様な酸化酸性条件下では溶解度が低いから沈澱し、容易に珪化帯を形成する。

アンタモク—アクパン鉱脈群は上記より明らかに深所で生成している。炭酸塩鉱物が多く含まれ、 CO_2 に富む熱水溶液により鉱脈は生成されたものと思われる。こ

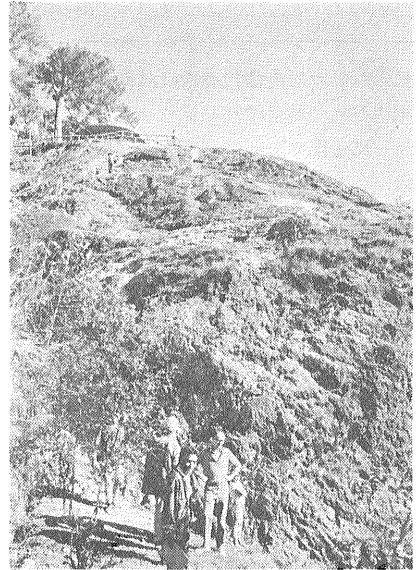


写真 13 変質帯の一つ。鉱山展望台直下の石英—粘土—明礬石変質帯。

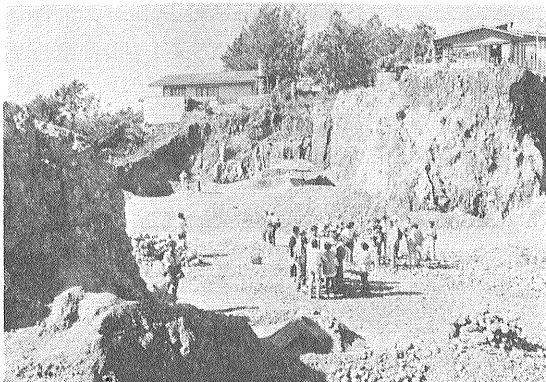


写真 14 アンタモク鉱床西部の“南薩型”金鉱床。
75×150m 厚さ20-30m 品位1-4ppm Au.

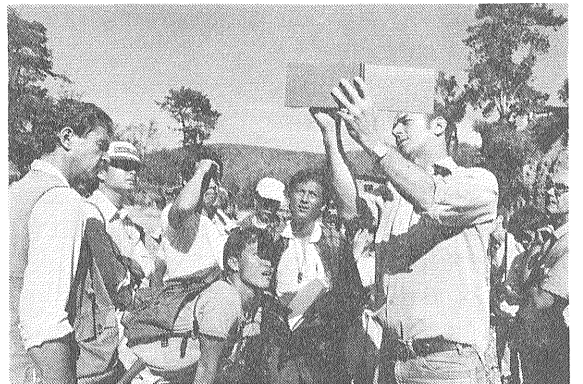


写真 15 熱心に討議する巡検参加者。説明者は C. G. CUNNINGHAM (USGS) 左端は R. H. SILLITOE (イギリス コンサルタント)。

れまでに得られているデータから判断するとここでは裂か系が深く発達していたために地表水が深所に及び上昇熱水と地表水との混合による温度低下および沸騰により CO₂ の気相への移動による溶液中 pH の上昇などによって金は沈澱したものであろう。

今回の討論会で提出された各地域からの生成モデルにより多数参加した現地の地質家は得るところが多かったものと思われる。事実ここで紹介したようにモデルを使って実際に鉱床を探索する立場から活発な質問が出され主催者の意図は十分に達せられたものと思われる。探鉱面からは鉱化に関連した変質帯の垂直変化と個々の変質帯の成因を確立することがまず重要である。

そのためにはフィリピンの代表的金鉱床の生成モデルを確立することが必要でここでは浅成から深成に至る含金珪化帯 含金石英脈 ポーフイリー型鉱床の金の沈澱を最近ポピュラーな熱水の沸騰 (boiling) あるいは泡立ち (effervescence) で説明しようとしたがどのような地質環境が沸騰面深度を規制するかについては明確にできなかった。今回の討論会を契機としてフィリピンの金鉱床についても基礎的研究が継続され生成モデルが確立されることを期待したい。

今回の外国からの参加者は浅熱水性金鉱床の大家であったが金鉱床は鉱脈型のみについても古典的に浅中深熱水性と分けられておりマザーロード (本誌 379号) で紹介したように花崗岩に伴う深熱水性鉱脈にも大規模なものが存在する。ポーフイリー型は上下に大きく連続するタイプの鉱床であり金は圧力に関してかなり幅広く沈澱することを示している。フィリピンの鉱床の場合にはこれら熱水性鉱床全体を広く捕えたモデルの作成が必要であらう。

謝辞 この小文を終えるに当たり多くの有益な情報と討論とを惜しまれなかった G.R. BALCE, E.G. DOMINGO, R. H. SILLITOE, C. G. CUNNINGHAM, A. H. G. MITCHELL, 井沢英二の諸氏に心からお礼申し上げたい。

文 献

BALCE G. R., CRISPIN O. A., SAMANIEQ GOC. M. and MIRANDA C. R. (1981) Metallogensis in the Philippines: Explanatory text for the CGMW metallogenic map of the Philippines Rept. Geol. Surv. Japan, no. 261, p. 125-148.

CALLOW K. J. (1967) Geology of the Thanksgiving mine.

Philippines. Econ. Geol., vol. 62, p. 472-241.

DE GUZMAN (1985) An up-to-date study on the geology of the Baltoc plug and GW orebodies of Acupan mine, Benguet Corporation. Ore Deposit Modelling 討論会配布資料

DOMINGO E. G. (1985) Gold and silver of the Philippines. Geol. Mineral Res. Philippines, B. M. R., (in press).

——— and SATO J. (1981) Gold-silver deposits of the Philippines and Japan: A comparative study of their geology, ore mineralogy and fluid inclusions. Proc. 4th Reg. Conf. Geol. Mineral. Energy Res. SW Asia, Manila, p. 547-566.

FERNANDEZ H. E. and DASMASCO F. V. (1979) Gold deposition in the Baguio gold district and its relationship to regional geology. Econ. Geol., vol. 74, p. 1852-1868.

HEDENQVIST J. W. and HENLEY R. W. (1985) Hydrothermal eruptions in the Waiotapu geothermal System, New Zealand: Their origin, associated breccias, and relation to precious metal mineralization. Econ. Geol., vol. 80, p. 1640-1668.

HENLEY R. W. and ELLIS A. J. (1983) Geothermal systems ancient and modern: A geochemical review, Earth Sci. Rev, vol. 19, p. 1-50.

石原舜三 (1970) ポーフイリー-カッパー-鉱床入門 [I] 実例編 (260p.) [II] 総括編 (252p.), ラテイス.

——— (1986 a) カリフォルニアの金鉱床. 地質ニュース 379号 p. 5-21,

——— (1986 b) 天の贈りもの: 菱刈金山はなぜこんなに高品位なのか. レアメタル no. 89, p. 52-55.

井沢英二 (1986) 鉱床モデルに関するシンポジウム (マニラ) 報告一特に熱水性金鉱床モデルについて一. 鉱山地質 36巻 p. 237-241.

SASAKI A., ULRIKSEN C. E., SATO K. and ISHIHARA S. (1984) Sulfur isotope reconnaissance of porphyry copper and manto-type deposits in Chile and the Philippines. Bull. Geol. Surv. Japan, vol. 35, p. 615-622.

SAWKINS F. J., O'NEIL J. R. and THOMPSON J. M. (1970) Fluid inclusion studies of vein gold deposits, Baguio district, Philippines. Econ. Geol., vol. 74, p. 1420-34.

SILLITOE R. H. and GAPPE Jr., I.M. (1984) Philippine porphyry copper deposits: Geologic setting and characteristics. CCOP Tech. Bull., no. 14, 89p.

TAKENOUCHI S. (1981) Fluid inclusion studies of several Philippine porphyry copper deposits. Rept. Geol. Surv. Japan, no. 261, p. 149-167.

浦辺徹郎 (1985) ネバダ州の金銀鉱床—そのタイプとモデル. 地質ニュース 373号. p. 25-37.