

# 国際鉱床学連合 ( I A G O D ) 第 5 回 総 会 に 出 席 して

石 原 舜 三 ( 鉱 床 部 )

## ま え が き

上記の会合は4年に一回開催される鉱床学部門の最大の国際集會であり第3回の東京(1970年)前回のバルナ(1974年 本誌128号 437-440頁参照)に引続き1978年8月13日(日)―8月19日(土)にアメリカ合衆国ユタ州のスノーバードで開催された。会合にはアメリカ全域にわたる各種の巡検が含まれており資源大国にふさわしい豪華な内容を持つものであった。筆者は残念ながら巡検には参加できなかったが7日間の学術講演会に総理府科学技術庁から派遣された。以下に会合の内容や出席した感想などについてのべてみたい。

スノーバードはユタ州のソルトレイク市の南方約50kmワサッチ山脈の山中にある。この付近は非常に乾燥している地域であり今年も3か月雨雪の無い日が続いたとのことであるが筆者が到着した7月12日の午後は雷雲が山地を覆い着陸の前に搭乗機は激しくゆれた。天候は到着後も回復せず8月14日の朝には雪の薄化粧をみることになったのである。スノーバードは海拔2700mの高所にありワサッチ山地を西に流れる溪流に沿って開発された夏の避暑地 冬のスキー場である。

学会はスノーバードセンターで開かれ私たちは周囲の林間に建てられたロッジに宿泊した。夏は音楽会 テニス ハイキングなどが盛んでありなお多く的一般アメリカ市民が滞在していた。

さて 今回の IAGOD には日本側から下記の12名の参加があった。すなわち長老格の立見辰雄 宮沢俊弥 両教授をはじめとして 中村威 佐々木昭 武内寿久 堀越勲と筆者そして若手の上野宏共 井沢英二 吉田哲雄 円城寺守 服部恵子の諸氏である。この人数は前回の7名にくらべて日本の国力にふさわしい感じを持たせるものであり年齢層からもバランスがとれている。やっとな経済的実力に学術交流面でも近づいたことを思わせるものであるが日本政府から正式に派遣された出席者は2名にすぎない。さいわい国際協力事業団の理解によってそのボリビアにおける本務の終了の帰途出席された上野氏 また北米大陸滞在のため個人的に参加された佐々木・服部両氏などによって会は盛り上ったのである。特筆すべきはこれまでの現状をみかねて日本鉱山地質学会が井沢・円城寺両氏を派遣したことであり政府機関ベースや日本の給与制度では出席しにくい若手研究者の問題を考慮した点である。今後の一層の配慮を関係者に望みたいのであるが5回目にしてはじめて満足できる日本からの出席者を得たことは筆者にとってはうれしい誤算でありかつ初日からのびのびと活躍することができた次第である。

## 集 会 の 印 象

開会式はこのリゾートの集会場であるコトウッドコンベンションセンターで組織委員長の歓迎の辞に始まり型通りにおこなわれた。余興として弦楽四重奏



写真1 ワサッチ山地風景 遠方のオフィア山地にはビンガム鉱山がみえる



写真2 スノーバードスキー場付景 ワサッチ山地の中へ上部にある先カンブリア時代変成岩の露出が美しい

団の演奏が選ばれた。印象として残ることは元地質調査所所長のマックルベイ氏と現国立科学財団地球科学部長のプレット氏が昨今急激に重大性を増した資源問題の状況下でこの会合の意義現在の鉱床学における意義を強調した点にある。両者とも依然として第一線の感覚を失なうことなく純学問的会合に登壇できることはマックルベイ氏が現在ではリサーチオロジストに戻っておりプレット氏も現職の前には地質調査所その他で第一線の研究活動をしていたためである。アメリカの科学振興政策が老化しないのはこのように指導者がつねに第一線のレベルが保てるような制度のもとに選ばれておりかつそのような専門家が政策決定の中軸に入り込んでいる点にある。この点は固定管理職制度の日本の地質調査所の場合と様子を著しく異にしている。

さて学術講演会はアメリカ大陸の西部を舞台におこなわれたこともあって大陸的環境下の火成鉱床講演討論会によって開幕された。講演はあるテーマのもとに集められ表1に示すように一般講演が少なかったのが特色である。講演数は約150件に及び時には深夜近くにその日の日程を終了した。また後半はワーキンググループが始められ会場がいくつかに分れたため興味ある話だけを聞くためにもかなり気苦労であった。この程度の規模が会としての限界であろうと感じられた。講演には地元アメリカのものがやはり多くその中で圧感地質調査所を中心とする国を挙げての資源開発の成果の公表である。いずれも野外研究のほか同位体測定を含む室内研究や実験的考察を含めた組織的なものでこの国の資源問題に対する並々ならぬ意欲が感じら

表1 第5回 IAGOD 総会の学術講演会の内容

		討 論 会 名	発 表 論 文 数
8月14日	午前	大陸性火山—亜火山作用に関する鉱床[I]	9
	午後	プレートテクニクスと鉱床	9
8月15日	午前	大陸性火山—亜火山作用に関する鉱床[II]	8
	午後	層準規制鉱床[I]	9
		ポスターセッション	4
8月16日	夜	ポーフィリー銅—銅—銅	7
8月17日	午前	地球化学	6
	午後	会長講演：鉱床の生成—ある展望	
"	"	包有物中の鉱化流体[I]	10
		鉱床のテクニクス[I] ワーキンググループ報告	
	"	マンガン鉱床	6
	"	リモートセンシングと鉱床探査	8
	"	ホタル石—パライト鉱床	8
	夜	一般講演部門[I]	7
	8月18日	午前	一般講演部門[II]
8月18日	(金) 午後	包有物中の鉱化流体[II]	9
		鉱床のテクニクス[II]	6
	"	マンガン鉱床[II]	7
	"	スカルン鉱床	9
	"	鉱物共生	
	"	探査の基礎としての鉱床の成因	7
8月19日	午前	層準規制硫化物鉱床[II]	11
	(土) 午後	火山性塊状硫化物鉱床	7
		閉会講演：流体包有物の走査電顕の世界 —小人国への招待—	



写真3  
日本人参加者  
後列左より 中村 威 服部恵子 宮沢俊弥  
上野宏共 佐々木昭 円城寺守  
前列左より 武内寿久 吉田 哲雄  
井沢 英二 堀越 敏 筆者

れた。この様な傾向は最初アメリカの金保有高の減少に伴い、金鉱床の探査研究にあらわれ、その成果は過去数年間に一般誌に公表されはじめていたのであるが、石油危機以後はそれが他のすべての金属元素にも向けられている感じをうけた。

アメリカ地質調査所においては他の大きな柱として地熱開発や地震対策があり、これらも近年急速に拡大された分野であるが、金属鉱物資源に対しても多大の努力を果していることは、自国の将来を自から保証しようとする自立意識の強さにあるものと思われる。ひるがえってわが国の地質調査所においては地熱・地震に対しては国力に応じた努力がなされているものの、他の鉱物資源対策としては石油危機以後むしろ予算縮小の傾向にあるとみてよい。その背景には自国の自給度が低く、結局は輸入に頼らざるを得ない現実があるが、私たちが大量の鉱物資源を消費する以上、その発見確保に関する応分の国際的な協力をしなければならない。たとえば今後主対象となるであろう金属鉱物資源の潜頭鉱床探査においては、探査の基礎となる鉱床成因論の研究が非常に重要であって、その様な問題解決のためには高度の研究レベルが必要であり、これは資源消費先進工業国の担当課題である。その成果を資源保有国に移殖し、資源を購入することも日本が歩む一つの道であろう。

ところで今回の会合にはアメリカの実験的・理論的研究手法による研究者があまり出席しておらず、アメリカの鉱床学研究の縮小版をみることはできなかった。逆に言えば手法を揃えた真の国際的にバランスのとれた会合であったとみることができる。したがっていろんな発想による種々のテーマの論文が発表された。その多くは筆者の感想では、今後の鉱床学研究に重要な命題を

含んでおらず、この推測が正しければ日本の鉱床学研究は国際的に高い水準にあるとみてよい。傾聴に値する発表はやはりアメリカのものに多かった。

特筆すべきは元ペンシルバニア州立大学のリッチ教授による会長講演がおこなわれたことであり、これまでの総会で最初ではないかと思われる。硫化物鉱床に一般的な鉱物について22の反応式を挙げ、それぞれについてイオウ・酸素の同位体をもとにその反応条件から鉱床の生成条件を推定しようとしたものである。まとめの講演と言うより院生が演習問題に取組んだ形のものであり、同教授の若さといまだに衰えない研究意欲がうかがえたのであった。一方閉会時のミシガン州立大学のケリー教授の講演は、流体包有物を走査電顕により直接に眼で確かめようとする点で意欲的なものである。多くの比喻を混え、豊富なスライドを用意して普及講演的なものであり、夫人連も同席の晩さん会に恰好のものであったが、同氏の完璧さが若干の疲れを覚えさせた。

閉会の夕食時には、また今回の発表講演中優秀作品賞が5件発表された(図1)。これもこの5回目の総会にしてはじめてのことであり、さすが勤務評定の厳しいアメリカのことだと思わせるものである。受賞者はソ連1件、日本1件、アメリカ2件、南ア1件であり、内容的には個人として「よくやった」感じのものと発想と手法において新しいものであった。こく明な野外調査から近代的手法による室内結果に至るほぼ完全な調査がいくつか公表されたが、賞としては選ばれなかった。

夕食会の最後には、大会実行委員長のペリー教授が一通の電報を披露された。「最近の鉱物資源問題の緊迫性にかんがみ、鉱床関係の諸研究の公表と情報・意見の国際的な交換を密にし、次世代の人類のための貢献を願う」とするもので、サインド ジミー カーターと読上



写真4 スノーパードは氷河によるU字谷にある U字谷はかなり急斜面である



写真5 コトウッド コンベンションセンターとケーブルカー駅(右) 3階屋上ではコンサートなどが開かれる

げられた。

講演の全内容については2冊の出版物として 一つはアメリカ 他はヨーロッパで1か年以内に出版される。また日本の幹事学会誌である「鉱山地質」にも詳細が報告されると聞いているので ここでは筆者が個人的に興味を持った若干の講演について紹介してみたい。

### 火山—亜火山作用に関係する鉱床

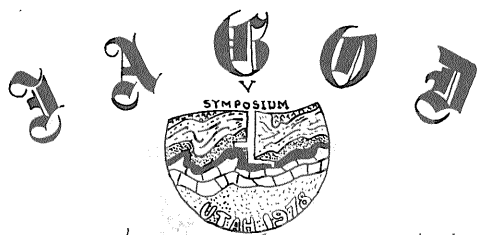
アメリカ西部にはコルディレラの造山帯から内側にてベーズン・レンヂ コロラドプラトー ロッキー褶曲帯と幅数千kmにわたり 他大陸にはみられない複雑な地質体があり 火山活動が幅広く存在しており 魅力的な鉱床を伴っている。今回は会場がその真只中にあるから この表題も主要テーマとして取上げられたのであるが このアメリカ西部を舞台とする地質の講演を聞く時2つの興味が筆者には湧く。一つは「この複雑な地質体が歴史的にどの様にまとめられるか」であり 他の一つは、我々造山帯内生活者には特異な鉱床がしばしば発見されているから「今度は何がみつきり どの様に成因が説明されているか」の点である。

このセクションの冒頭には それぞれに45分の時間を与えて2つの招待講演がおこなわれた。まずマサチューセッツ工科大のパーチフィール教授による「アメリカ中西部の地史」は先カンブリア時代から現在までの構造発達史を解くものである。まず>25億の地塊がモンタナ州にあって それは西側に変成作用が重複し 南に18

億くらいのものであるが これは島弧が北方のアーケアンにぶつかったためである。17—8億年間に著しい堆積作用が上記の周辺に生じ 断層地溝帯が発達し 当集会の会場が位置するウインタ地溝帯を含めてオーラクジンが3か所で生じたのは14億年前である。現在のワシントン州 オレゴン州 カリフォルニア州に当る部分ができたのは14億年以降である。新古の先カンブリア系は 北東系のモレイクグリーンナッシュフロア破砕帯でほぼ分けられる。その南方には同方向 同性格のコロラド破砕帯があり これは繰返し火成活動と鉱化作用をうけ クライマックス鉱床などを含む コロラド鉱化帯を形成している。

先カンブリア時代末から古生代に入ると アメリカ西部は今の西太平洋の如き地勢を示した。すなわち東方にクラトンがあり 西方に浅成堆積物 その西側には局部的だが優地向斜堆積物があつて その西方に古生代初期には島弧が南北に並んでいた。この環境は石炭紀の“アントラー造山期”の衝上断層運動などにより若干の修正をうけた。中生代初期に古生代島弧はクラトンに付加された。

三疊紀初めにクラトンの南西部が切断されて新しい大陸縁が生じ それに沿って三疊紀中期にサブダクションが発生した。これは間欠的に後期白亜紀まで続き この間(240Ma以降)アンデス型のマグマ活動をもたらした。30Ma以降はこの中生代火成岩の場がベーズン・レンヂ地域によって代表される 張力場に転換し パイ



in recognition of the presentation of  
an outstanding paper at the 1978 IAGOD  
symposium at Salt Lake City, Utah, USA  
this award is made to: ← AKIRA SASAKI & SHUNSO ISHIHARA →

*William D. Berry*  
President of IAGOD  
*William Berry*  
Chairman - Technical Symposium

*Samuel Bodin*  
General Chairman - V Symposium  
*Ernest L. Cline*  
Chairman - Awards Committee

図1 第5回 IAGOD 総会優秀講演賞 すべて手書きであつて これは佐々木昭・筆者による「日本の花崗岩類と関連鉱床のイオウ同位体特性」に対して与えられたものである

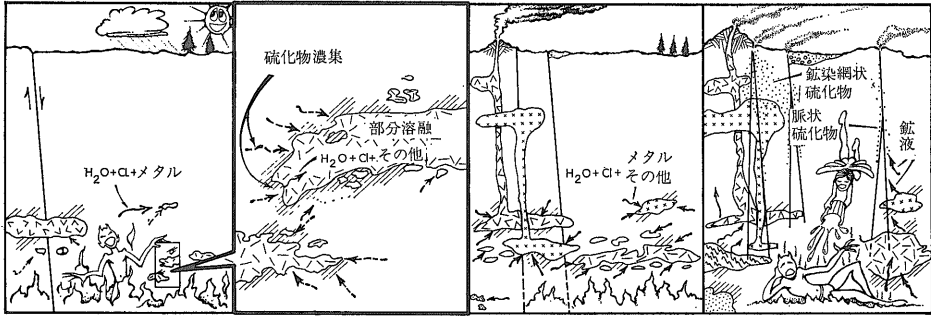


図2 レイ 鉱床の形成史 (N.G. パンクス N.J. ペイジ 1978 による)  
 A. 地殻下部か上部マントルで熱の上昇と構造運動によりマグマが発生する  
 B. A図の部分拡大。Cl, F がマグマに入り S, Cu, Cu・Pb・Zn, Au・Ag はマグマ中にポケットに主に硫化物として濃集する  
 C. マグマは成長し合体する 構造運動か熱上昇による張力環境下でマグマが上昇する  
 D. 水がマグマから開放され 上部に鉱床を形成する

モーダル型の火成活動に変化した。コロラド高原—ロッキー山塊が隆起したのもこの時期である。

バーチフィールド氏の話は これまで不明な点が多かった中西部の先カンブリア系を 近年追加した年代資料のもとに詳細に地史を組立てた点 および同じく不明瞭であった古生層の発達史を 西太平洋型からアンデス型地向斜への移行として明確に説明した点で 筆者には新鮮であった。最終論文を期待したい。一方 若手登場で期待した二番手の鉱床関係の総括 プロフィット氏の「アメリカ西部の鉱床」は 一般的な鉱床概説に アナコンダ社系ポーフリー—カッパー—鉱床の形成モデルを追加したもので 期待を裏切った。

ネバダ州を中心として分布する金 ベリル ウランなどの特異な浅成鉱床に関する最近の進歩は火山岩の研究であろうかと思われる。各鉱床の性格はそれが主目的であったから かなりの事実が明らかにされていたが 火山岩の研究がシェラネバタからコロラド州にかけて

かなり進展している印象をうけた。

### ポーフリー型鉱床のモデリング

アメリカ大陸の鉱床を語る場合にやはりポーフリー型鉱床の研究を削除することはできない。西オンタリオ大のホダー氏はカナダのコーストレンジバソリスの東縁で カルデラに伴う銅—モリブデン鉱床があることを示した。ポーフリー型鉱床は一般に成層火山に伴われているとみなされていた。日本のグリンタフ帯にポーフリー型鉱床が存在しないことも カルデラ式火成活動により説明できるのではないかと考えていた筆者には 同氏の発表は非常に新鮮に思えた。

アメリカ地質調査所のパンクス氏はアリゾナ州のレイ鉱床を長年研究しており 昨年秋にハワイの火山観測所に転勤した人であるが 研究のしめ繰りとして面白い講演をした。スライドはアメリカの通例としてカラーでマンガ風画に画かれており その一部を図2に示す。

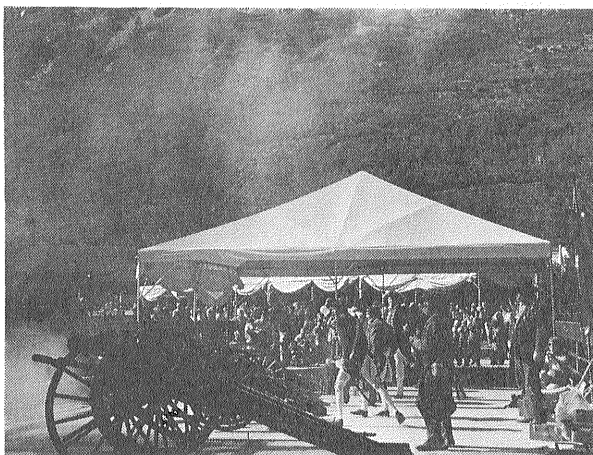
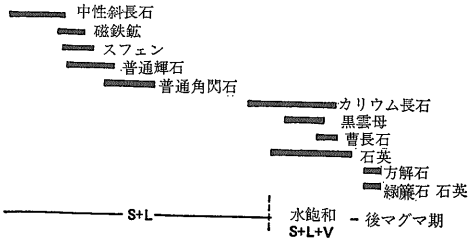


写真6 チャコフスキー「序曲 1812年」の演奏で実際に用いられた大砲 午後の講演に空砲の音が飛び 最初は驚かされた 指揮者は大砲の傍で耳を押えながら指揮している

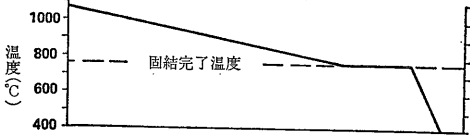


写真7 観光客用に正装をこらした衛兵

石英モソニ岩構成鉱物の晶出順序



石英モソニ岩の冷却史



マグマ中の晶出鉱物量

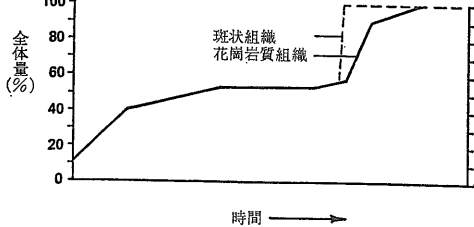


図3 イリー鉱床 石英モソニ岩の冷却史 (G. ウェストラによる)

レイ鉱床に関する彼のモデルは マグマ分化作用で塩素が濃集し、メタルを濃集するのではなく、地殻下部かマントル上部でマグマの発生時に Cu S Cu・Pb・Zn Au・Ag がポケット状に濃集していたとするものである (図1, A, B)。この考えは鉱化作用を伴う貫入岩が不毛の斑岩と同様な化学的性質を持つことに基づいている。

マグマの一部が地殻上部に移動すると (図2, C) マグマの冷却によりマグマは水に飽和し、その水がメタル成分をマグマから溶出させ、鉱床の場へ移動してレイ鉱床を形成したとするものである (図2, D)。

一方、ケネカット社に勤務し、現在はエクソン社に転属しているオランダ人のウェストラは、ケネカット社時代のイリー鉱床の研究成果をまとめ、鉱床の形成を定量的に明らかにしようとした。彼の解釈ではイリー鉱床 (図3) は次の5段階を経て形成された。この鉱床は別に記したように (石原舜三 1969: ポーフイリー-カッパー-鉱床入門 [I] ラテイス社 東京 p.25-35) 東西方向の小貫入岩体の頂部に形成されたアメリカで典型的なポーフイリー型鉱床である。

1. まず石英モソニ岩質マグマが地表下 2 km に貫入した。このマグマは 900—1000°C に過熱化したものであり、水に不飽和 (1.4 重量%) であった。このマグマが 300°C 以上の温度差のもとで (図3) 最終固結時に至るまでに 10—25°C の温度差で段階的に固結した。マグマの推定銅濃度は 115—145ppm であった。貫入マグマの頂部では 400m 厚さの水に飽和したメルトが存在した。

2. 圧力の急激な減少による この水に飽和したメルトの固結が初期石英モソニ斑岩の形成であり、広大なカリウム質変質をもたらした。冷却に伴う突然的な水の放出が斑岩自身とその周辺の堆積岩類に網状の割れ目を発達せしめ、斑岩を中心とする急な温度勾配が地下水の注入をもたらした。マグマの頂部を更に冷却せしめ、これにより水飽和線は斑岩基底部から 330m 低下した。

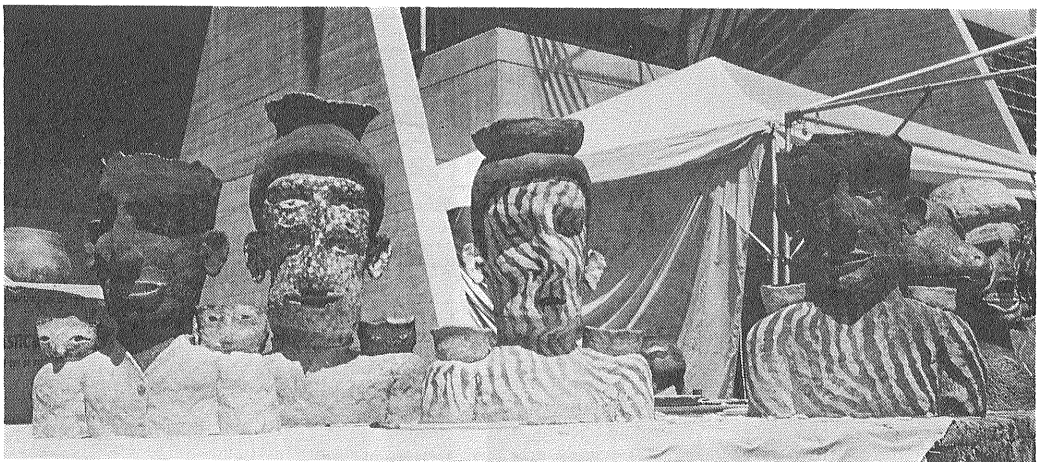


写真8

日曜陶芸家が仕上げた作品 作者は難解な思想を筆者に語ってくれた

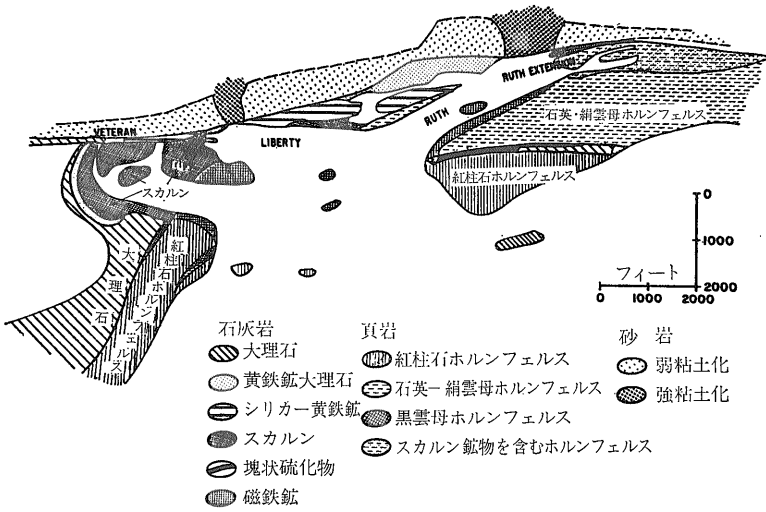


図4  
イリー鉱床における東西断面図(A)と  
主鉱化期における熱水鉱化作用の概念図(B)  
(G. ウェストラによる)

図4  
(A)

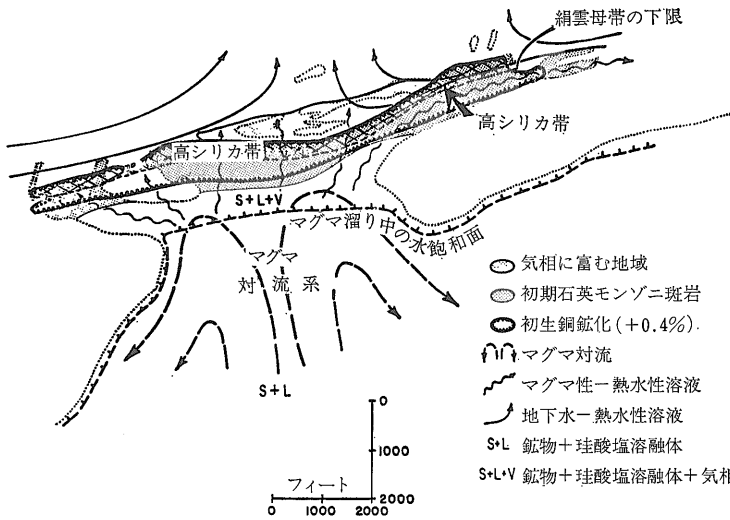


図4  
(B)

3. 水不飽和マグマと飽和マグマ間に生じた熱対流により揮発性成分 銅鉛亜鉛 イオウなどが放出された。このマグマ性熱水溶液は臨界状態にあって 4—5%NaCl 相当濃度 2000—4000ppmCu の性質を持った。上方移動によりこの溶液は沸騰し この沸騰部は地下水優勢領域直下のシリカー黄鉄鉱帯に当る。沸騰現象により高塩濃度流体と低密度酸性蒸気が生ずるが これらが貫入岩類や堆積岩類と反応して 石英—絹雲母—黄鉄鉱変質やシリカー黄鉄鉱変質を形成した(図4)。外縁部では中性化した鉱液が斑岩中に粘土化変質をもたらした。

4. 粘土化変質やシリカ帯の出現によって その下位の水飽和マグマ層が流体に関して過圧状態となり その圧

力の開放により生じたのが後期石英モンゾニ斑岩の形成とそれに伴う弱変質と鉱化などである。 マグマ対流の停止後にはアルカリと揮発性成分の拡散により 斑岩類直下にカリウムの濃集(カリウム質変質)が生じた。引続き侵入した地下水が 前述の沸騰帯に全般的な粘土化変質を及ぼした。

5. 主要マグマが石英モンゾニ岩として固結した後の地下水が 石英 沸石類 方解石からなる細脈を生成した。

ウェストラの総括は アメリカのポーフィリー型鉱床に対する最も一般的見方を代表するものであり 花崗岩質マグマの最頂部の現象を具体的に 現場における産状

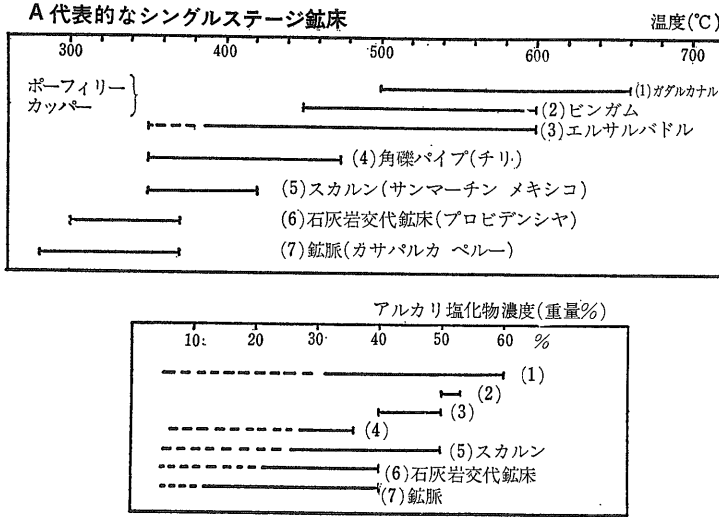


図5  
両タイプ鉱床の生成温度と塩濃度  
(F.J.ソーキンスによる)

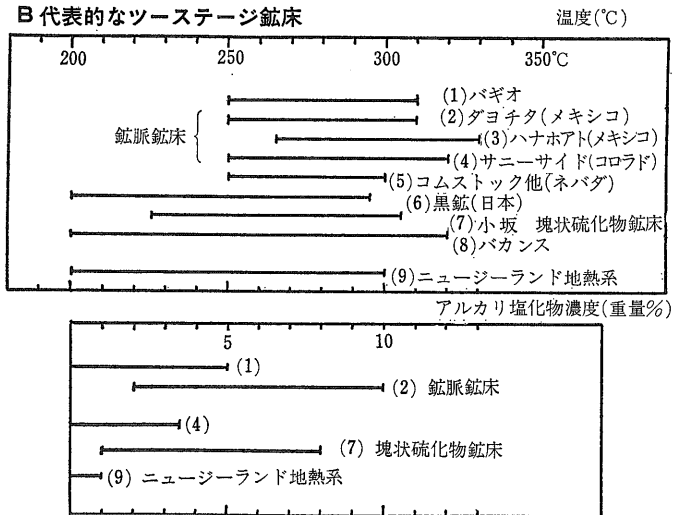
と合せて説明しようとした点に非常に価値がある。

**島弧の金属硫化物鉱床—2つのタイプ**

ミネソタ大学のソーキンス氏は一般の島弧の鉱床を2つに分ける次の講演をおこなった。 “Single stage versus two stage ore deposition in subduction related volcanoplutonic arcs” この講演は今回の講演賞のうちの一つであり 内容的には前述のウエストラの講演よりかなり軽いものであるが 古くから知られている素材を使って聴衆に新たな印象を残させるあたりに 演者の着想の良さがうかがえたものであり ここに紹介したい。

ソーキンスの話は実はまことに単純である。 近年安定同位体の研究によって従来のマグマ性鉱床にも多量の地表水・地下水が関与していることがわかってきた。 また浅熱水性鉱床はほとんど地下水からなる熱水溶液から生じたいことも知られていた。 彼は地下水などの地表起源水に関連して生じた鉱床をツーステージ鉱化と呼び 一方主に“マグマ水”から生成した鉱床をシングルステージ鉱化と呼んだのである。

シングルステージ鉱床は貫入岩と密接である。 ボーフィリー-カッパー 同モリブデン 角礫パイプ鉱床 銅鉛亜鉛スカルン 銀鉛亜鉛(銅)石灰岩交代鉱床や一部の鉱脈鉱床などがこのタイプに含まれる。 鉱化温度が



高く (>600°C~300°C) 鉱液の塩濃度も高い (>50—5重量%, 図5)。 この様な温度 塩濃度は地表水起源熱水には期待できず 結局主たる鉱化期にはマグマ水が活動したもので 地下水の関与は主鉱化期以後に付随するものであった。

シングルステージ鉱床の垂直方向の広がり は 大きく かつ変化する。 一般に700mより大きい(表3)。 鉱床は貫入岩体に密接するから 鉱床の分布は現世の火山の活動中心と関係しているかも知れない。 一例として火山間の距離をとってみよう。 ヴォークトによると島弧で火山活動が活発であった2地域間の距離は平均58kmと得られている。 シングルステージ型鉱床では主要鉱床間の距離が60~90kmであることが多い。 この間隔に



表2 鉱床のタイプ別による鉱体上下幅の相違 (F.J. ソーキンスによる)

シングルステージ型		ツーステージ型	
ポーフィリー銅鉱床	2,000m	タヨチタ Au-Ag 鉱脈	600m
プロビデンシヤ石灰岩交代パイプ	> 800m	ハナホアト Au-Ag 鉱脈	500m
カサパルカ鉱脈	1,200m	ボディー Au-Ag 鉱脈	400m
ディズプタダ Cu 角礫パイプ	> 700m	黒鉱下部珪鉱体	< 300m
セロドパスコ鉱脈	> 900m	パカンス網状鉱体	< 300m

規則性が得られれば鉱床探査に有効である。

ツーステージ型の鉱床は その熱源は潜在するマグマにあらうが 一般には貫入岩と離れて分布する。その例は層状塊状硫化物鉱床 金銀鉱脈などである。生成温度は低く (200—300°C) 塩濃度も低い (<10重量%)。水の起源は海水 (層状鉱床) か その地域の地下水である (鉱脈型)。

この型の場合に鉱床の間隔は一鉱床の熱水溶液対流圏の規模で決まるはずである。タスマニアの層状鉱床では10鉱床の平均が5kmであり 鉱脈鉱床の場合も一般に

5—6kmの間隔であるようである。すなわち 前者より一桁小さい。鉱床の上下幅は一般に小さく 鉱床が深部まで続くことがない。

ソーキンスの話は近年どこにおいても通聞できる鉱液の主成分である水の起源の話である。別に新しいデータはなく また個々のデータ集めも十分におこなわれたとは言えない講演であったが このように2つのタイプに分けて個別に説明されると新鮮な印象が生れる。この講演では鉱床探査の問題に具体的な解答を出そうとした。この点に価値を認めた聴衆も多かったものと思われる。(了)



写真9  
スキー場最上部の雪渓  
ここでは標高が4000m近い

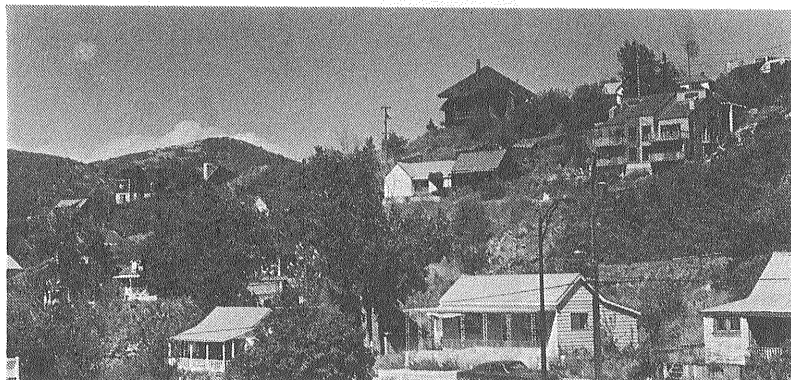


写真10  
古くから著名なパークシティの  
鉱山町 会場の北方直十数 km  
同じワサッチ山地にある