

アメリカ西部の金鉱床を訪ねて

富 樫 幸 雄 (鉱物資源部)

Yukio TOGASHI

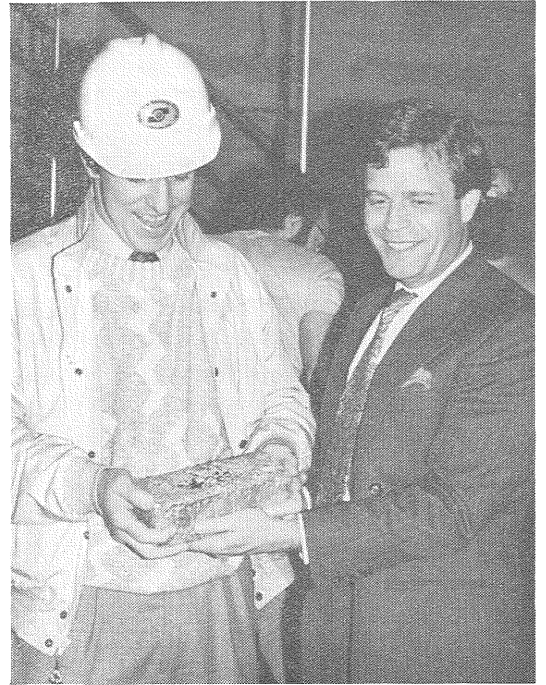
1. はじめに

アメリカは世界でもトップクラスの鉱物資源生産国である。共産圏も含めた全世界の生産量(1986年)では銅は第2位 金と鉛は第3位を誇っている。また埋蔵量についても 銀は第1位 金・銅・鉛・亜鉛はともに第2位である(第1表)。

このうち 金は 近年特に鉱業活動が活発で カリフォルニア州マザーロードでの旧金鉱床再開発の動き(第1図)に象徴されるように 1986年は前年の40%増を示すなど 生産量は急速に伸びている。

このような折 筆者は国際産業技術共同研究協力事業「緊急性希少鉱物資源の探査技術開発に関する研究」に関連して アメリカ地質調査所と交渉するため 1987年10~11月に出張し(第2・3・4図) その際 カリフォルニア州 ネバダ州などの各種の熱水性金鉱床を見学する機会に恵まれた。我が国と異なり 地質条件もバラエティに富むアメリカでは 金鉱床のタイプも多様なので今回実際に接することが出来たのは 全体のほんの一部にすぎない。しかし 一応 次のタイプの鉱床を見学することが出来た:

- (1) ネバダ州北部のいわゆる「カーリン型」鉱床
(Carlin, Gold Quarry, Preble 各鉱床)
- (2) カリフォルニア州中部のマザーロード
(Harvard 鉱床)



第1図 カリフォルニア州中部のマザーロードの再開発の結果 生産された最初のブリオンをかかえて喜ぶ会社首脳。金山開発での成功はアメリカでもまた格別なのかもしれない。(Sonora Gold 社資料より)

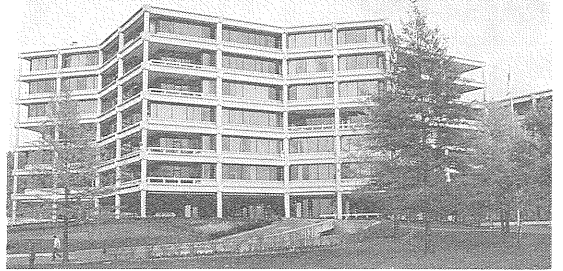
第1表 アメリカ合衆国の主要鉱種別鉱山生産量および埋蔵量(1986年)

鉱種	鉱山生産量			埋蔵量		
		対世界百分率	対世界順位		対世界百分率	対世界順位
金	108.0トン	7.2%	3位	3,732トン	8.1%	2位
銀	1,088.5 "	8.6	5	55,986 "	16.7	1
銅	1,170千トン	14.4	2	90,000千トン	15.9	2
鉛	350 "	10.3	3	26,000 "	18.3	2
亜鉛	210 "	3.2	5	53,000 "	17.7	2

(U. S. Bureau of Mines 発行 Minerals Commodity Summaries 1987 による)



第2図 アメリカ地質調査所(本所)の正面入り口。ワシントン郊外レストンの静かな森の中にある。このたび我が地質調査所と共同して フィリピンの希少鉱物資源をテーマに研究協力を行うこととなった。



第3図 アメリカ地質調査所(本所)の建物。外観からも想像されるように きわめて複雑な内部構造をしている。



第4図 アメリカ地質調査所鉱物資源部長オールコット氏(右)と 対フィリピン共同研究のアメリカ側リーダー カニングハム博士(左)。鉱物資源部長室にて。

現在探査対象として大きな注目を集めているネバダ州の「カーリン型」鉱床の概要と最近の研究を御紹介したい。 たまたま 最近 Bagby and Berger (1985) により 各鉱床の詳細なデータベースも伴った このタイプの鉱化作用の地質的特徴がとりまとめられたので これを参考にしながら筆を進めたい。

アメリカでの鉱山見学のアレンジおよび現地案内はアメリカ地質調査所の C. G. カニングハム博士 D. P. コックス博士 R. G. マドリッド博士他の方達にしていただいた。 また 参考文献のいくつかは金属鉱業事業団の安食恒和調査役および地質調査所海洋地質部の中村光一主任研究官の御教示によるものである。 これらの方々に厚く御礼申し上げたい。 さらに 現地出張の機会は国際産業技術共同研究協力事業の前記プロジェクトの一環として行われたものであり 本プロジェクトの実現に御尽力いただいた工業技術院国際研究協力課はじめ関係者の方々に厚く感謝の意を申し上げる次第である。

- (3) カリフォルニア州東南部の デタッチメント断層 (Detachment Fault) に伴う鉱床 (Mesquite, Picacho 各鉱床)
- (4) オレゴン州南部の温泉型鉱床 (Quartz Mountain 鉱床)

第二のゴールドラッシュにあるといわれるアメリカ西部での金鉱床の探査に積極的な関心を示す日本企業も少ないと思われる今日 とりあえず以上の鉱床の現況を報告しておくことも無意味ではなさそうである。

また 我が国を含め 金の探査意欲は世界的に顕著であり信頼性に富む鉱床探査モデルの確立がさげばれ とくに浅熱水性金鉱床の生成過程については 鉱床学の分野においても 現在 様々な議論がなされている。 上記の各鉱床タイプについても 最近の成因論研究の一端なりとも紹介して御参考に供したい。 まず 今回は

2. ネバダ州の地質区分

ネバダ州の範囲は いわゆる Basin and Range Province の中の Great Basin にほぼ相当し(第5図) 地形的には ほぼ南北方向に延びる標高3,000m程度(ただし比高は1,000~1,500m程度)の多数の山脈(Range)と それをとりまく平地(Basin)とからなっている(第6図)。

基本的な地質構造としては 州の東半分は先カンブリア時代結晶質岩よりなる北アメリカクラトンの西縁の棚部に相当し オルドビス紀の炭酸塩岩を主とするミオ地向斜堆積物により構成される。 一方 州の西半分はジュラ紀~二畳紀の火山性堆積物が卓越するユウ地向斜堆積物よりなる。 Basin and Range 構造は第三紀以降に形成され 基本的には 南北方向の無数の高角度正断

層群に画されたブロックの形成を伴うクラトンスケールの伸長運動によるものとされている。第三紀始新世以降は火山活動が活発となり特に州の西側では第三紀以降の火山岩類が広く分布するとともに現在でも Steamboat Springs, Golconda などの温泉活動が活発である(第7図)。

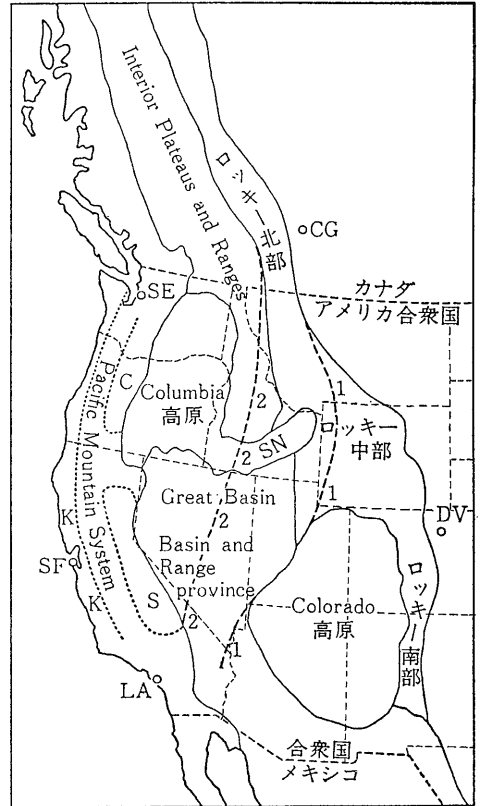
3. ネバダ州の金鉱床

ネバダ州における金の鉱山生産実績は近年急速に伸び1986年には62.7トン Au に達し 全米の58%を占めるに至った。また 1986年現在 州内の稼働中の全鉱山数は197にのぼっている。さらに 可採埋蔵量合計は同年現在 800~900トン Au (金価格が460ドル/オンスとして)といわれているが その後も新鉱床の発見が続いている。

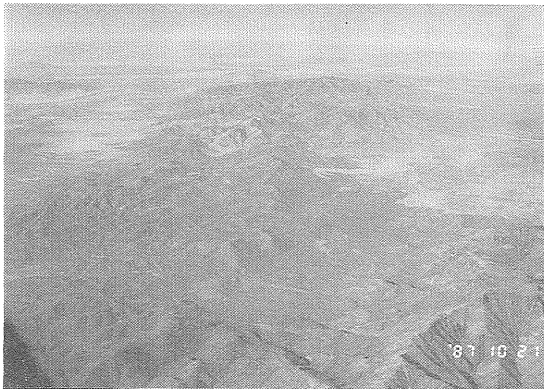
以上の数字に表われている通り ネバダ州はまぎれもなく アメリカの第二のゴールドラッシュの中心地である。

1964年にネバダ州北部で発見され 開発された Carlin 鉱床(11百万トン 9.3g/t Au)(第8図)は 炭酸塩岩中にごく微粒の金が鉱染する大規模鉱床で それまでにより小規模な同タイプの鉱床が発見されてはいたもの、それまでの熱水性金鉱床の概念を大きく覆すきっかけとなった。Carlin 鉱床の発見後 このような 堆積岩中にはい胎する(sediment-hosted)金鉱化作用について探査のための成因モデルの研究が進められる一方 金の微量分析技術の発達にも助けられ その後続々と同様の鉱床が周辺に発見されるようになったのである。

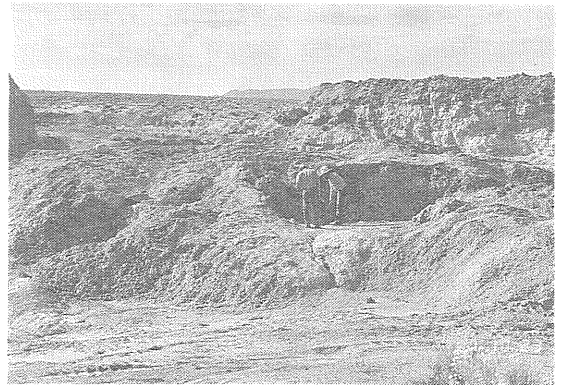
一方 ネバダ州の西半分の 第三紀以降の火山作用の



第5図 北アメリカ・コルディレラの地形区。破線1-1と破線2-2の間が新生代後期以降のミオ地向斜帯で 破線2-2の西側がユウ地向斜帯。破線2-2が Great Basin のほぼ中央を通過していることに注意。(C:カスケード山脈 K:海岸山脈 S:シユラネバダ山脈 SN:スネークリバー玄武岩類)(都城 1979)



第6図 機上から見た Basin and Range の地形。激しい風化にさらされた岩山の山塊が砂漠の中に数多く点在する。



第7図 カーリンの町の西約100キロに位置する Golconda の温泉跡の石灰華。温泉活動は数年前まで活発で タングステンの鉱徴が見られたという。

影響を強くこうむった地域でも 火山岩類を母岩とするところから“volcanic-hosted”と呼ばれる 大規模な鉱染状金鉱床が発見されている。このタイプの代表は Round Mountain 鉱床 (2億トン 1.93g/t Au) である。母岩が堆積岩か火山岩かを問わず 以上の鉱染型鉱床は地表部または地中浅部に分布し 通常 露天掘りされるので これら全体を“bulk minable”という形容詞で呼

ぶことも多い。

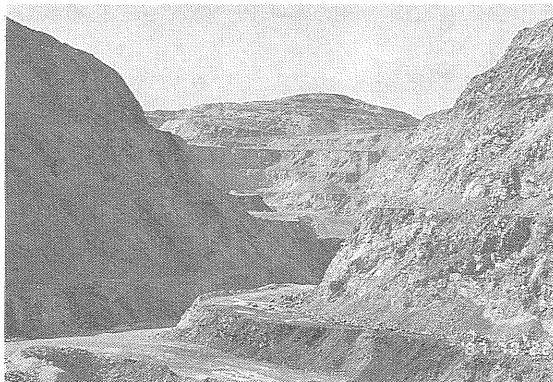
ネバダ州には 以上のタイプの他に 少数ながら 含金石英脈として産するもの (Comstock Lode が代表。総金属量は金280トン 銀6,900トン; Wilkins, 1984) や ポーフィリー銅鉱床に伴って産する場合 (Battle Mountain, Ely など) もある。

Great Basin 地域全体での金鉱床の分布を第9図に示す。なお この図に示される鉱床のうち 最大の量を有するのは浅熱水性鉱床ではなく 巨大なポーフィリー銅鉱床であるユタ州の Bingham 鉱床であることは注目に値する。Bingham 鉱床では ポーフィリー銅鉱床とその周辺の スカルン鉱床を合わせ 総貴金属量 (既採掘量プラス残存量) は金 928トン 銀 13,626トンと計算されており (Wilkins, 1984) 巨大な金銀鉱床でもあることがわかる。

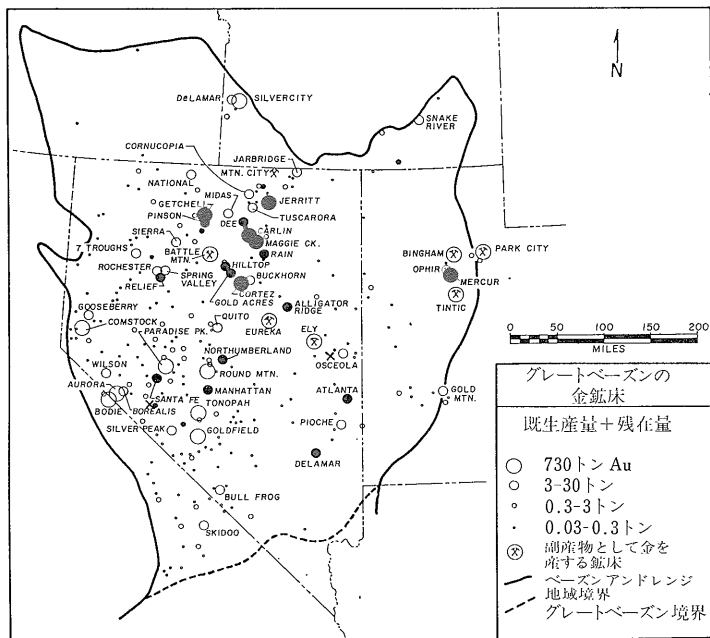
4. 「カーリン型」金鉱床の特徴

基本的な特徴

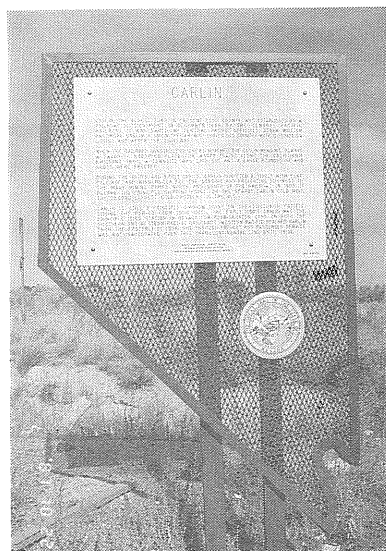
1960年代初頭にネバダ州北部の田舎町カーリン (第10図) の北西約 30km の岩山で発見された大規模な鉱床の名前をとって「カーリン型」と呼ばれる金鉱床は炭酸塩岩などの堆積岩中にはい胎する鉱染状鉱床で すでに40



第8図 Carlin 鉱床露天採掘場。東から西を望む。右手前には特に炭質物に富む部分が見られるが 金の鉱化作用との相関性は認められない。



第9図 Great Basin 地域の含金鉱床の分布。堆積岩はい胎・鉱染型 (「カーリン型」) 金鉱床は黒ぬりです。同型の銀鉱床は×印で位置を示す。(Wilkins, 1984 に加筆)



第10図 カーリンの町はずれに立つ案内板。サンフランシスコとソルトレークシティを結ぶ国道80号線沿いの交通の要衝で 開拓時代はカリフォルニアに向う幌馬車隊の休息地として賑わったという。現在は30キロ東の町 Elko とともに「金山景気」にわいている。

にのぼるこのタイプの鉱床がネバダ州を中心に発見されている (第11図). Bagby and Berger (1985) はこのタイプの鉱床に共通する地質的特徴を次のようにとりまとめている.

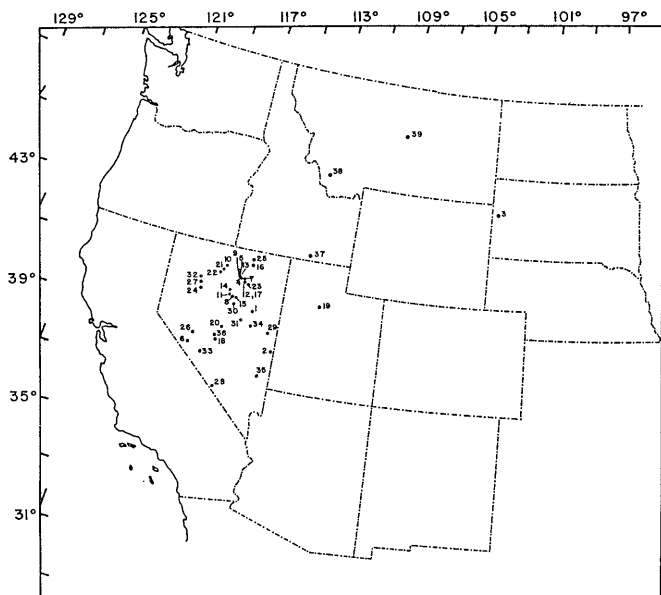
- (1) シルト質ドロマイト・石灰岩・石灰質シルト岩・泥岩などにはい胎する.
- (2) 金の鉱化は母岩の堆積岩中に鉱染状に行われている.
- (3) 金粒はきわめて微細で 未酸化帯では径が1ミクロン以下である.
- (4) 初生変質はけい化・脱Ca化・粘土化・炭酸塩化である.
- (5) 表成変質としては酸化作用が卓越している. これにより 多数の酸化物と硫酸塩が形成されるとともに 硫化物中に含まれる金が遊離した.
- (6) 随伴する微量元素は As・Hg・Sb・Tl である.

また 最近アメリカ地質調査所が出版した“Mineral Deposit Model” (Cox and Singer 編 1986) では このタイプの鉱床は“Carbonate-Hosted Au-Ag”として分類され その Grade and Tonnage Model によれば全体の平均は鉱体規模が5.1百万トン 品位が2.5g/t Au

である (第12図). ただし 最近 Carlin 鉱床の北西約10kmで探査中の Post 鉱床においては 試錐コア143mにわたり 平均品位 32g/t Au という このタイプの鉱床としてはきわめて高い品位の鉱体を捕捉したと伝えられており (Mining Magazine, March 1988, p.166) 今後も新鉱床が発見される度にこれらの平均値は修正されてゆくことだろう.

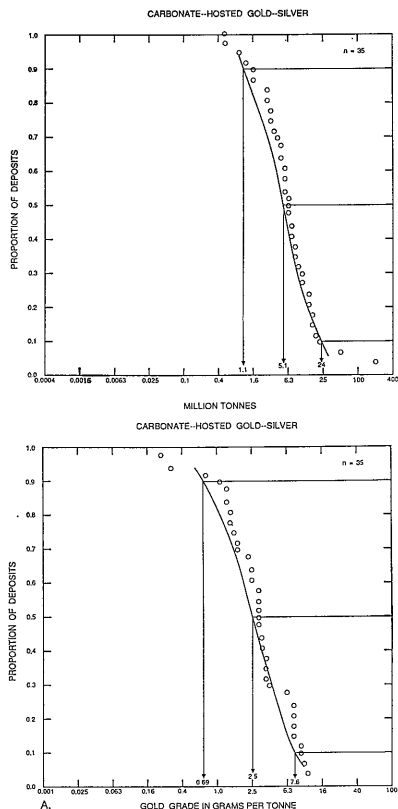
2つのサブタイプ

さて Carlin 鉱床の発見に先立って実は 既に Getchell, Mercur など いくつかの「カーリン型」鉱床が知られていた. この事実にも示唆されているようにその後発見された数多くの鉱床の様相がわかるにつれてこのタイプの鉱床もかなりバラエティに富んでいることが明らかになってきた. つまり 少々ややこしいが Carlin 鉱床は「カーリン型」鉱床の1つのエンドメンバーにすぎず Carlin 鉱床の持つ様相が必ずしも他のすべての「カーリン型」鉱床の様相にあてはまらないということがわかってきたのである. このことをふまえて Bagby and Berger (1985) は 従来 ひとまとめに「カーリン型」と呼ばれてきた鉱床群を「堆積岩はい胎・鉱染型金銀鉱床」(Sediment-host, Disseminated Precious Metal Deposits) と呼びかえることを提唱している.



第11図 アメリカ西部の堆積岩はい胎・鉱染型金銀鉱床の分布. ネバダ州の特に北部に密集して分布するが、そこから1千キロも遠く離れたモンタナ州やサウスダコタ州にも分布する. (Bagby and Berger, 1985) (もっと開ける) 鉱床名は次の通り: (1) Alligator Ridge (2) Atlanta* (3) Bald Mountain* (4) Blue Star (5) Bootstrap (6) Candelaria** (7) Carlin (8) Cortez (9) Dee (10) Getchell (11) Gold Acres (12) Gold Quarry (13) Gold Strike (14) Hilltop (15) Horse Canyon (16) Jerritt Canyon (17) Maggie Creek (18) Manhattan (19) Mercur (20) Northumberland (21) Pinson (22) Preble (23) Rain (24) Relief Canyon (25) Sammy Creek (26) Santa Fe* (27) Standard* (28) Sterling (29) Taylor** (30) Tonkin Springs (31) Windfall (32) Florida Canyon (33) Weepah (34) Hamilton (35) De Lamar (36) Shale Pit (37) Tallman (38) Ermont (39) Kendall

* は金・銀ともに産する鉱床 **は銀のみを産する鉱床. 他は金のみを産する. ゴチックは既生産量プラス残存量において 金20トン以上 または銀800トン以上の鉱床. ただし (32)~(39)についてはデータがない. なお これら以外にも最近 Ivanhoe, 'Post' などの新鉱床が発見されている.



第12図 “Mineral Deposit Model” の炭酸塩岩はい胎金銀鉱床における鉱量および金品位の累積分布。解析対象となった35の鉱床の平均は5.1百万トン 金品位2.5g/tである。(Bagby ほか, 1986)

そして それをさらに分けて

- サブタイプ I ……ジャスペロイド・石英細脈型
(Jasperoidal, quartz-veinlet type)
- サブタイプ II ……鉱染状・豆ざや型
(Disseminated, pod-like type)

の2つのサブタイプを設定している。両サブタイプの地質的特徴を比較すると第2表のようになる。ただし両者は漸移的で 例えば サブタイプ II に属する Carlin や Gold Quarry の各鉱床の一部にもジャスペロイドは伴う。ただ これらの鉱床ではジャスペロイドの分布は限られており かつ鉱化作用は伴わない。

ジャスペロイドとは

ここで ジャスペロイド (Jasperoid) とは ほとんど
1988年11月号

の日本人地質家には余り耳慣れない用語と思われる。しかし アメリカ西部の乾燥地帯で野外調査を行う地質家達の間ではごく普通に使われる しかも重要な用語である。字義としては「碧玉 (Jasper) 様のもの」であるが 定義としては

“多くは潜晶質ないし細粒の石英の形で存在するシリカが組成として卓越する塊状集合体で 周囲の岩石を交代して形成されたもの”
(Bagby and Berger, 1985, p.172)

とされている。そして 普遍的に硫化鉄あるいは酸化鉄を含み 岩体の大きさ・形態・内部構造・地質条件などには特に規則性は認められない。第13図に示すのは Gold Quarry 鉱床で採取したジャスペロイドで 何の変哲もない暗灰色でち密なけい質岩である。乾燥地帯では ジャスペロイドは激しい風化作用によく耐え 残丘を作るなどして しばしば探査活動の重要な指標となっている。

Au-Ag 比の問題

「堆積岩はい胎・鉱染型金銀鉱床」をさらに分類する場合のもう一つの重要な指標は Au-Ag 比であろう。ただし 一般には 銀生産を伴わない鉱床がほとんどで これらの鉱床の場合は銀品位のデータそれ自体が見られない。

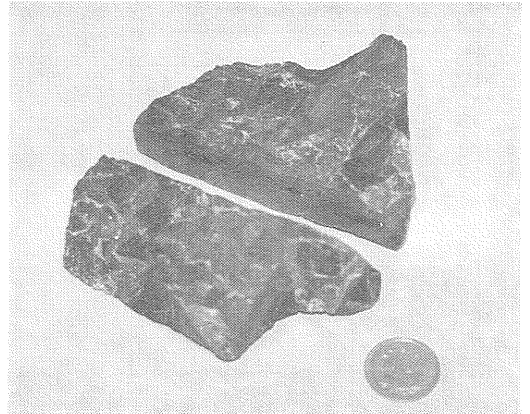
この中で ネバダ州東部の Taylor 鉱床と同州西南部の Candelaria 鉱床は「堆積岩はい胎・鉱染型銀鉱床」として知られている。Taylor 鉱床の鉱量は9百万トン 平均品位は 109 g/t Ag である。金については最大 10ppm 程度の異常が局部的に認められるのみで 稼行の対象となっていない (Bagby and Berger, 1985)。また Candelaria 鉱床は鉱量が4.5百万トン 銀品位は 137 g/t Ag である。この鉱床の金については 平均品位 0.2 g/t Au という記載があるが 実際に回収されているかどうか不明である。

Bagby and Berger (1985) では合計31の「堆積岩はい胎・鉱染型金銀鉱床」について 鉱量と金・銀の品位をあげているが これらの鉱床の金属量の合計は金量が 897トン 銀量が1,747トンである。ただし 全銀量の89%は Taylor, Candelaria 両鉱床からのものである。そしてこのタイプの鉱床が最も密集して分布するネバダ州北部の3つのトレンド(後述)においては 銀生産は全く報告されていない。

以上のことから このタイプの鉱床は金に富むサブタイプと銀に富むサブタイプがあることと 比率では金に

富むものがほとんどを占めることがわかる。また第2表に示すように 銀に富むものはサブタイプⅠ（ジャスペロイド・石英細脈型）に多く サブタイプⅡ（鉱染状・豆ぎや型）のものは銀に乏しい。ジャスペロイドなど風化に強いけい質岩体中の銀は風化作用によって溶出されずに残存している可能性も考えられるが 上述のようにネバダ州北部の3つのトレンドでは ジャスペロイドや石英細脈に富む鉱床においても稼行品位の銀は伴わない。

以上のように このタイプの鉱床の金・銀の問題はまだわからないことが多いようである。



第13図 ジャスペロイドの外観。 Gold Quarry 鉱床産。水酸化鉄にコートされた若干の晶洞を伴い、X線回折によれば石英のみからなる硬質 ち密なけい質岩である。

5. 「堆積岩はい胎・鉱染型」鉱化作用の地質条件

ここで 先にあげたこのタイプの鉱床のいくつかの基本的な特徴をもとに 鉱化作用の特徴をもう少し具体的にみてみよう。

広域的な地質構造

このタイプの鉱床が密集しているネバダ州中北部では

第2表 堆積岩はい胎・鉱染型金銀鉱床の2つのサブタイプの地質的特徴の比較

タイプ名		堆積岩はい胎・鉱染型金銀鉱床 Sediment-Hosted Disseminated Precious-Metal Deposits	
サブタイプ名		ジャスペロイド・石英細脈型 (サブタイプⅠ) Jasperoidal, quartz-veinlet type	鉱染・豆ぎや様型 (サブタイプⅡ) Disseminated, pod-like type
地質的 特 徴	石 英 脈	普遍的	普遍的ではない
	鉱床とけい化作用の関係	主な鉱石タイプはけい化岩中に分布	主な鉱石タイプはけい化されていない
	鉱床と断層の関係	鉱体の分布は基本的には断層帯に限られる	豆ぎや状鉱体が断層帯から離れた場所にも分布
	けい化作用の程度	けい化作用はいくつものステージにわたって行われた	ジャスペロイドが伴うこともある
	金・銀の随伴	金に富む鉱床と銀に富む鉱床がともにある	金に富む鉱床がほとんど
	母 岩	けい質岩（頁岩 シルト岩など）が普遍的	炭酸塩岩が普遍的
代表的 鉱床名		Preble, Pinson, Rain, Taylor (銀) など	Carlin, Alligator Ridge, Jerritt Canyon など

(Bagby and Berger, 1985 に一部加筆)

鉱床が3つのゾーンにほぼ線状に配列する傾向が認められる。それらを東から Carlin トレンド・Cortez トレンド・Getchell トレンドと呼んでいる(第14図)。ただしこれらのトレンドに属さない「堆積岩はい胎・鉱染型」鉱床も数多く発見されており第11図に示すようにあるものは東北方に1千キロ以上も離れたモンタナ州やサウスダコタ州にまで知られている。

これら3つのトレンドは広域的には白亜紀の珪長質岩の貫入に伴う隆起軸を示している。この貫入に先立ち古生代後半(デボン紀～石炭紀)には現在のネバダ州中央部のほぼ南北方向のゾーンに Antler 造山運動が起りそれに伴ってこの中軸部から東側へ向けて低角の Roberts Mountains 衝上断層が形成された。これにより オルドビス系の珪質岩層(チャート・頁岩など)が150キロ以上も東へ移動しシルル系～デボン系の炭酸塩岩層の上へ押しかぶせることとなった。その後白亜紀の深成岩貫入に続く隆起運動により Roberts Mountains 衝上断層の上位の異地性岩層(“Upper Plate”)は削はくされ同断層下位の同地性岩層(“Lower Plate”)が地窓として地表に露出することとなった。Carlin と

Cortez の両トレンドの基本的構造はこのようなもので両トレンドの鉱床の大部分はこうして出来た地窓周辺で発見されている(第15・16図)。なお Carlin 鉱床が分布する Lynn Window では空中磁気異常を伴うことが知られている。

一方最も西側の Getchell トレンドは Antler 造山帯中軸部の西側に位置していたためその地質構成は他の2つとは異っている(第17図)。このトレンドが位置する Osgood 山脈は珪岩・千枚岩質頁岩などのカンブリア系や炭酸塩岩・頁岩などを主とするより後期の古生層とそれらに貫入する白亜紀深成岩さらに第三紀以降の火山岩類よりなっている。この地域の地史は比較的複雑で Antler 造山運動以外に Sonoma 造山運動(二疊紀)やそれ以外の造山運動の影響も受けているといわれている。いずれにしても Getchell トレンドの鉱床は Osgood 山脈の東縁沿いに NNE-SSW 方向に走る断層帯に規制されて分布している。

関連火成岩

ほとんどの鉱床において鉱体内部またはその周辺に中性～珪長質の岩脈・プラグ・ドーム・岩株などが分布している。その貫入時期は白亜紀から第三紀と幅広いがこれら火成作用と金鉱化作用の関連性はきわめて密接であると考えられるものの詳細はまだ明らかではない。

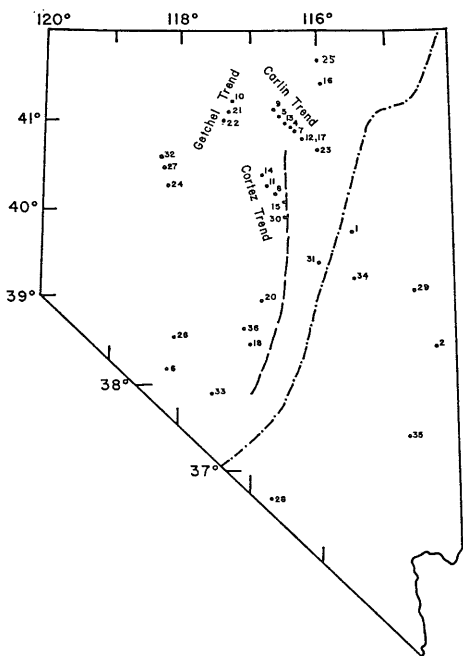
鉱床周辺の地質構造

どの鉱床にも高角の正断層または横ずれ断層が伴われているが断層活動の時期は鉱化の時期とは直接関係しない。前述の衝上断層は鉱化作用を規制するものではないようである。褶曲は広域的にもあるいは鉱体規模でも認められるが鉱化作用が広域的な背斜構造の頂部に分布する傾向が認められるのみで局部的な褶曲構造が鉱化作用の位置をどのように規制するのかはまだよくわかっていない。

変質作用と酸化作用

このタイプの鉱床に伴う初生変質の共通的な特徴はまず脱 Ca 作用があり続いてけい化作用が見られることである。先に述べた2つのサブタイプの内 鉱染型・豆ざや型のは一般にけい化作用が弱く一方 ジャスペロイド・石英細脈型のはけい化作用と鉱化作用が密接に関係している。換言すればけい質岩体中に有意の鉱化作用が認められる。

その他の変質作用として普遍的なものは粘土化作用と炭質物の局所的な再移動である。またすべての鉱



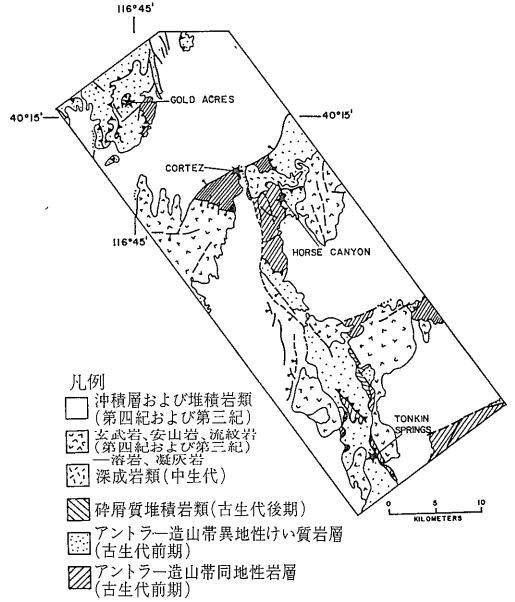
第14図 ネバダ州の堆積岩はい胎・鉱染型金銀鉱床の分布と3つのトレンド。鉱床の番号は第11図に示したものと同一。一点鎖線は Roberts Mountains 衝上断層で運ばれた“Upper Plate”の分布の東限。破線は先カンブリア結晶質基盤の西限を示すストロンチウム同位体比 0.7080の線。(Bagby and Berger, 1985)

床は多少なりとも酸化作用をこうむっている。酸化された鉱体は漂白され 酸化鉄・硫酸塩鉱物を含んでいる。一般に アメリカ西部の鉱床は 他の乾燥地域と同様に地表部を厚い風化殻が覆うため 初生変質ゾーニングの研究は困難であったが Carlin 鉱床においては最近 Kuehn and Rose (1987) により詳細な研究がなされた(後述)。

鉱石鉱物

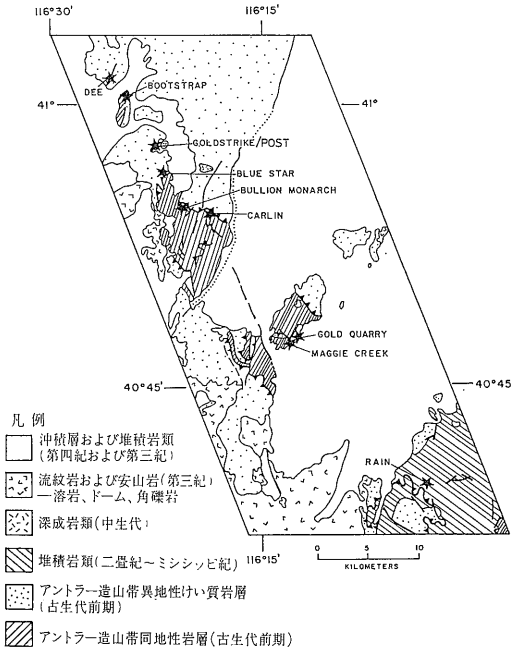
このタイプのすべての鉱床に普遍的に伴われる鉱石鉱物は黄鉄鉱である。その形態の多くは cubic であるが 時にはフランボイダルな集合体として産することがある。他に普遍的に伴われる鉱物は 辰砂・輝安鉱・硫砒鉄鉱・螢石・重晶石・方解石・種々のタリウム硫化物・砒素硫化物・硫酸塩鉱物などである。これらの鉱物はいわゆる「テレスコーピング」の産状を示し 限られた範囲に雑多に産出するので このような部分は 研究者から“garbage can (ごみバケツ) 鉱体”などというニックネームを頂だいすることになる。

また Tl-As-Sb-S 系の稀少鉱物が数多く産するのも特徴で その中にはカーリン鉱 Carlinite (Tl₂S) ゲッ

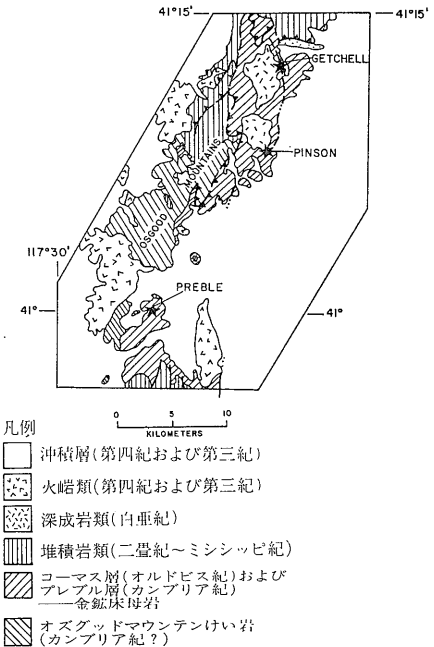


第16図 Cortez トレンドの地質概略図。このトレンドに分布する鉱床の総金量は82トンである。(Bagby and Berger, 1985)

★-IVANHOE



第15図 Carlin トレンドの地質概略図。Bagby and Berger (1985) に加筆。このトレンド全体で 総金量は400トンを超える大産金地帯で 最近ほ さらに Post や Ivanhoe などの新鉱床の発見が続いている。



第17図 Getchell トレンドの地質概略図。このトレンドに分布する鉱床の総金量は110トンである。(Bagby and Berger, 1985)

チュル鉱 Getchellite (AsSbS₃) クリスタイト Christite (TlHgAsS₃) ほかの新鉱物も含まれる。

金の産状

金粒のサイズがきわめて小さいのはこのタイプの金鉱床の特徴の1つである。直径は通常最大5ミクロン程度 しばしば1ミクロン以下である。このサイズでは肉眼ではもちろん 普通の反射顕微鏡によっても確認は難しく 電子顕微鏡の助けを借りなければならない(第18図)。

Carlin 鉱床をきわめて詳細に研究した Radtke (1985) によれば この鉱床での金の産状のタイプには少くとも次の6つがあげられる：

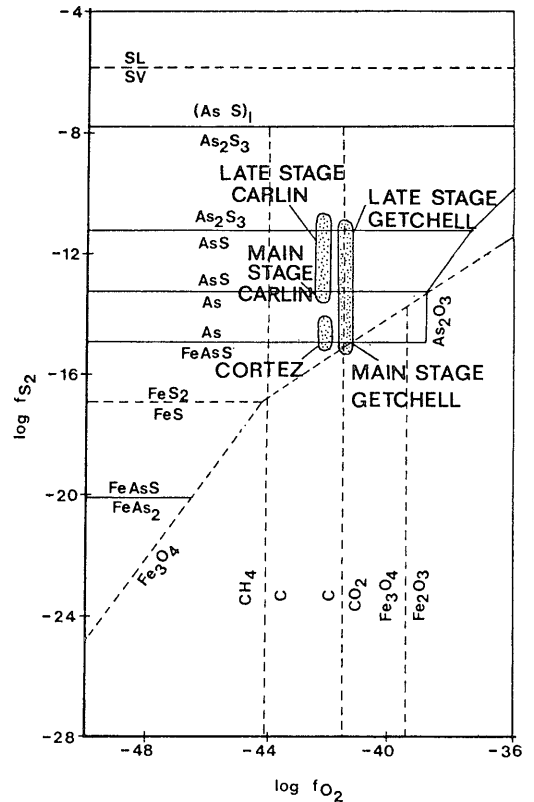
- (1) 黄鉄鉱上のコーティングまたは薄いフィルムとして。
- (2) 非晶質炭素粒の表面に散点して。
- (3) 有機酸と結びついた金-有機物化合物として。
- (4) 自然金粒として。
- (5) 鶏冠石中の自然金包有物として または 鶏冠石中の固溶体として。
- (6) 自然砒素中の固溶体として。

金の存在形態をきちんと把握することは 学問的にも回収技術上も大変重要なことであるが 上述のように手法が大変面倒であるため 限られた鉱床の場合以外はよくわかっていないのが実情である。しかし 上述の Carlin 鉱床の研究では Au と As が 単に地球化学的な相関性だけでなく 鉱物相レベルでもきわめて密接に伴われることが明らかになっている。Rytuba (1985) は いわゆる「カーリン型」金鉱床におけるこのような金と砒素の密接な関係をもとに 自然砒素・鶏冠石・石

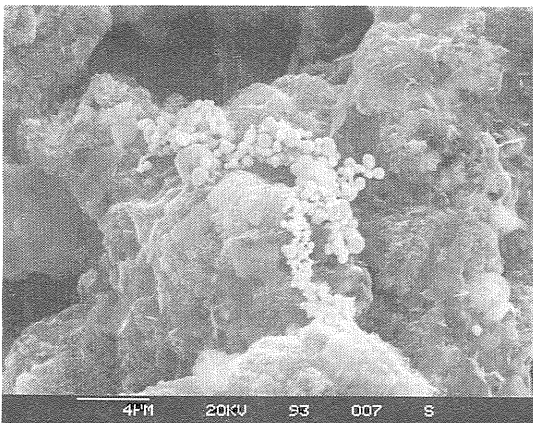
黄などの Fe-As-S 系鉱物がよく fs₂ (硫黄フュガシティー) を反映することに注目し Carlin・Cortez・Getchell などの鉱床における金の沈殿条件を fs₂-fo₂ ダイアグラムの上で論じている(第19図)。

鉱化作用の時期

このタイプの鉱床のうち Getchell 鉱床は 鉱化作用に伴うセリサイトの K-Ar 年代が 89 m. y. であることから 白亜紀に形成されたことがはっきりしている。ただし 白亜紀に形成されたことがはっきりしているのは 今のところ この鉱床だけである。他の鉱床では 変質作用や 時には鉱化作用をこうむった第三紀の火山岩脈などが分布しており 鉱化作用末期の酸溶脱ステージで形成された明ばん石がほぼ 10~20 m. y. (中新世初~中期) の K-Ar 年代を示すことから 第三紀に何らかの形で鉱化作用が行われたことはほぼ間違いない。ただし 1つの鉱床がただ1回の熱水活動で形成された と



第19図 Carlin, Cortez, Getchell 各鉱床の砒素鉱物組合せから求めた鉱化作用の領域(打点部)。それぞれの鉱床においては酸素フュガシティー(fo₂)の変化が乏しいのに対し 硫黄フュガシティー(fs₂)は大きく変化していることがわかる。(Rytuba, 1985)



第18図 走査型電子顕微鏡下で観察された Preble 鉱床産の金粒。ほとんどが1ミクロン以下と きわめて細かい。(写真は USGS の R. マドリッド博士の提供による)

単純に割り切ることが出来ない場合もある。例えば Carlin 鉱床については Radtke (1985) のまとめでは第三紀となっているが Bagby and Berger (1985, p.186) は各種のデータを総合的に検討すると 白亜紀にベースメタルの小規模な鉱化作用があり のちに 第三紀の金鉱化作用が重複して行われた 可能性がある としている。

結論的には アメリカ西部の「堆積岩は胎・鉱染型」金銀鉱床の形成時期としては 白亜紀中期～第三紀(中新世)となるが 一般的には このタイプの 鉱化作用に 特定の 鉱化時期 というものがなければならぬ という理由はありそうにない。むしろ 地質条件さえ整えば いつの地質時代に形成されてもおかしくはないもの のようである。

同位体組成

従来 同位体研究の対象となったのは Cortez・Carlin・Mercur など少数の鉱床にすぎず その共通した結論としては

- (1) 鉱床形成には天水が重要な役割を果たした。
- (2) 硫化物の硫黄は堆積性硫黄を起源とする。

の2点が明らかになっているのみである。最近では Carlin 鉱床や Jerritt Canyon 鉱床においても さらに 系統的な同位体研究が進められてきており それらの成果も公表されるようになってきている(後述)。流体包有物研究の成果もあわせたこれらの研究の結論に共通する点は 深部からの熱水が浅部の天水とそう遇し 混合した場において金が沈殿したという点である。

有機物質

すべての既知鉱床では 未酸化鉱体の部分に炭質物が存在している。これらは非晶質炭質物・焦性れき青(パイロピチュメン)・石墨・ケロジェンなどとして分布している。また Mercur 鉱床では炭化水素の存在も確認されている。鉱化作用とこれら炭質物の成因的関連性については長い間議論的的で 炭質物が還元剤として働き 金の沈殿に重要な役割を果たした とする意見もあった。しかし 最近の研究では 鉱化作用の時点で炭質物はすでに不活性となっており 金の濃集にはほとんど影響を与えなかったとする見解が多い。

微量元素

このタイプの鉱床に普遍的に伴う微量元素は Au・As・Sb・Hg および Tl である。濃度のばらつきはあるもの これら5元素はすべての鉱床に伴って認められる。また Ba・W・Te・Se・F など地化学異常としてし

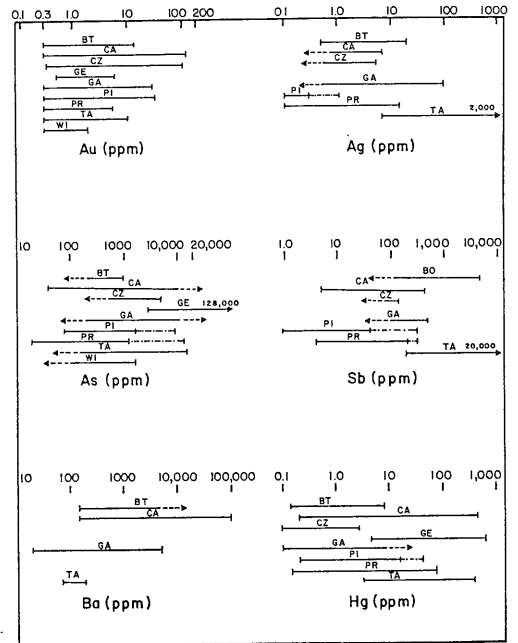
ばしば伴われる。第20図に いくつかの鉱床における各元素の濃度範囲を示す。

鉱床形成の場

古くから開発されている Getchell や Carlin などの 鉱床を対象とした1960年代およびそれ以前の研究では これらの 鉱床は 浅熱水性鉱床ないしテレサーマル(遠熱水性) 鉱床とされていた。

“テレサーマル (Telethermal)”とは 1930年代にアメリカの Graton が提唱した分類名で 構成鉱物がいわゆるテレスコーピングを示すことから 熱水が急冷する温泉など 地表にきわめて近い場所での熱水条件に対して与えられたものである。

Getchell 鉱床では 1950年代の研究時に 金・鶏冠石・石雄・辰砂などが限られた垂直範囲内に一緒に産するなどのテレスコーピングが認められること 晶洞の大きいものが見られること 鉱化帯がザクザクと破碎されていること などから すでに浅熱水性鉱床とみなされて



第20図 いくつかの堆積岩は胎・鉱染型金銀鉱床の微量元素変化の範囲。すべて 金を 0.30 ppm 以上含む 試料についての分析値にもとづく。Pinson, Preble 両鉱床の一点鎖線の部分は酸化鉄濃集部の値を示す。矢印つきの破線は分析限界を越える値があることを示す。 鉱床名 BT: Bootstrop, CA: Carlin, CZ: Cortez, GE: Getchell, GA: Gold Acres, PI: Pinson, PR: Preble, TA: Taylor, WI: Windfall. (Bagby and Berger, 1985)

いた (Joralemon, 1951). また Carlin 鉱床では 晶洞はみられず 縞状石英脈も見られないが けい化帯は珪質シンターの外観を呈するので 初期の研究では“テレサーマル型にきわめて近い低温浅熱水性鉱床”とされた。随伴する微量元素 (Hg・Sb・Au・Ag など) が Steamboat Hot Springs などの温泉に伴う微量元素組成と類似していることも これらの推論に大きくあずかっていた。

しかし 後述するように 最近の流体包有物研究などの結果では このタイプの鉱化作用は従来考えられていたよりは深い場所で行われたらしい。まだ すべての鉱床にあてはまる結論は得られていないが 今後 次第に具体的な鉱床形成条件が明らかになってゆくことだろう。アメリカ地質調査所の Radtke 博士が Carlin 鉱床での多年にわたる精力的な研究をとりまとめた報文 (Radtke, 1985) の末尾に示した 同鉱床の形成過程のモデルを第21図に示す。

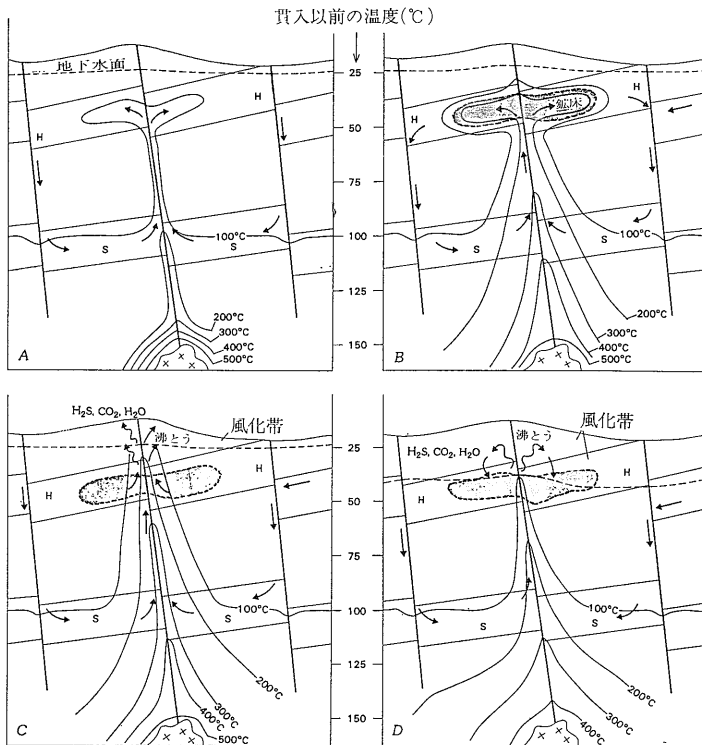
6. 最近の研究トピック

——第99回全米地質学会から——

1987年10月にアリゾナ州フェニックスで開かれた第99回全米地質学会 (G. S. A.) は5,000人以上もの参加者があり大変な盛況であった (第22・23・24図)。鉱床学のセッションでも多数の講演がなされた中で 「堆積岩はい胎・鉱染型」金鉱床についても Carlin 鉱床3件 Jerritt Canyon 鉱床5件 Alligator Ridge 鉱床1件の計9件の発表があった。とくに Carlin と Jerritt Canyon 両鉱床については 鉱床モデルの確立に直接関わる研究成果が発表されて 大変な注目を浴びた。ここに その発表内容を要約して御紹介しよう。

Carlin 鉱床の形成過程——Kuehn らの研究——

Carlin 鉱床については ペンシルバニア州立大学の Kuehn・Rose 両氏の講演が特に注目をひいた。彼等はず 同鉱床の未酸化母岩における初生変質帯の分布



第21図 Carlin 鉱床について提唱されている最新の熱水活動進化モデル (Radtke, 1985)。基本的には 第三紀の貫入岩体 (×印) によって天水起源の熱水の系が形成され 根源岩 (S) から運び上げられた組成が 鉱床母岩 (H) において 鉱石鉱物 脈石鉱物として沈殿・濃集した。A: 熱水ステージ初期 (深成岩の貫入; 熱水系の形成) B: 同ステージ主要期 (きのこ状の熱水系の発達; 鉱化作用) C: 酸溶脱酸化ステージ主要期 (熱水系は地表部に達する; 沸とう; 酸化; 酸溶脱) D: 同ステージ末期 (流体温度の低下; 地下水面の低下; 熱水流体と地下水の混合; 鉱体の一部の溶脱・破壊)

を調査し 鉱床縁部から 鉱液通路であったと考えられる高角断層へ向けて

- (A) 石英+方解石+ドロマイト+(2M₁) イライト+カリ長石
- (B) 石英+ドロマイト+イライト (+方解石)
- (C) 石英+ドロマイト+イライト/カリ雲母
- (D) 石英+ディッカイト/カオリナイト ± カリ雲母 (イライト)
- (E) 石英+ディッカイト/カオリナイト

の変質分帯を確認した。ちなみに 金の主要な濃集帯は(C)のゾーンである。

さらに 彼等は Carlin 鉱床の流体包有物と安定同位体の研究を行い 鉱床は“深い”熱水流体が“浅い”天水とそそ遇して形成されたと結論している。このとき“深い”流体は CO₂ に飽和しており 500~800 気圧 210°±25°C を示し 推定される深さは約 3 km である。この流体の起源は天水で 塩濃度は 0.2 モル以下 (NaCl 相当)と低い。CO₂ の起源は さらに深部での接触変成作用によると推定される。この流体が“浅い”天水と混合したことの根拠としては δ¹⁸O の変動幅が大きいこと 大量の石英が沈殿していること 鶏冠石や重晶石を含む上盤側の方解石脈では δ¹⁸O が小さいこと さらに 重晶石・方解石などの流体包有物が常に 0.5°C 以下の氷点降下しか示さないこと などがあげられている。

また “深い”流体の pH は溶存する大量の CO₂ のために 3.5 と低く 前述の変質分帯を形成するとともに 広範囲にわたり母岩中の炭酸塩を溶解した。流体中の Au の状態は AuHS⁺ だけでなく Au⁺+Cl⁻ 錯体 Au-As 固溶体など 変化に 富んでいたと考えられる。有機物については 鉱化作用の時点で 既に焦性レキ青として熟成されており 鉱化作用にはほとんど影響を与

えなかったであろう。 鉱化作用の場を局部的に規制したのは 最初の段階では生物碎屑岩質の石灰砂層のような多孔質のゾーンであったが 続いて 広範囲に炭酸塩が溶解して崩壊が生じたり 高い CO₂ 圧や 2 相分離により 鉱化帯が膨張したことによって 構造的崩壊や角礫化が生じたことも重要であったろうと推定している。

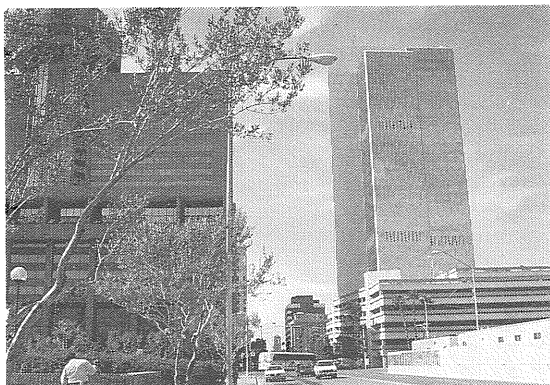
Jerritt Canyon 鉱床の形成過程

—Northrop らの研究—

Jerritt Canyon 鉱床は Carlin 鉱床の北東約 50km に位置し 既に述べた 3 つのトレンドには位置しないものの埋蔵量 12.8 百万トン 平均品位 8.3g/t Au (金量 106 トン) の Carlin 鉱床に匹敵する大鉱床である。規模の大きいわりには これまで公表された研究成果はきわめて少なく それも 地質と鉱化作用の基礎的な記載にとどまっていた。しかし 近年 アメリカ地質調査所 (デンバー) の Northrop 氏らのグループが鉱山側 (Fre-



第23図 GSA年会の会場正面。参加者は5千名を越え大変な盛況であった。



第22図 第99回全米地質学会 (GSA) 年会が開かれたアリゾナ州フェニックス市の中心部。人口は約 200 万。アメリカ南西部のビジネスセンターの 1 つとして発展を続けている。



第24図 GSA年会に伴って会場内に開設された企業展示場。機器メーカー 出版社 標本販売店など数多くがコーナーを設け その活況は 残念ながら 我が国の地質関係学会の場合と大いに異なるものがある。

eport McMoRan Gold 社) と共同研究を進め 今回の GSA でその成果を連続した5件の講演として発表したものである。

この鉱床の地質と鉱床の産状を紹介した Hawkins (1984) によれば 地質構造は基本的には Carlin・Cortez 両トレンドと同じで Roberts Mountains 衝上断層により西から運ばれたオールドビス系のチャート・泥岩・頁岩など (Snow Canyon 層) が 同じくオールドビス系の Hansen Creek 層 (含有有機物石灰岩・ドロマイト・チャートなど) やシルル系の Roberts Mountains 層 (石灰質シルト岩・ドロマイトなど) を覆い のちに鉱床付近が隆起したため 衝上断層より下位の “Lower Plate” が地窓として地表に露出したものである (第25図)。鉱床は高角断層の周辺に分布するが 側方へ向けては層厚に規制され Bell 鉱体はじめいくつかの鉱体は Hansen Creek 層上部の縞状石灰岩や Roberts Mountains 層最下部の葉理状シルト岩などには胎する (第26図)。

さて GSA で Northrop 氏らのグループによりなされた講演のテーマは

- (1) ジャスペロイドの分布と産状
- (2) ジャスペロイドの形成時期と鉱化作用の関連
- (3) 有機炭素の役割
- (4) 鉱化流体の地球化学
- (5) 安定同位体と鉱床形成モデル

の5つである。

(1)と(2)の講演では ジャスペロイドが鉱化作用を含む地史を構築するための有力な手がかりになるとして その形成時期を詳しく解析している。 その結果 ジャスペロイドの形成を含む広義のけい化作用は計16回にわたって行われ これらのシリカの沈殿をもたらした熱水活動は 大きく次の3回のイベントとして行われたとしている。

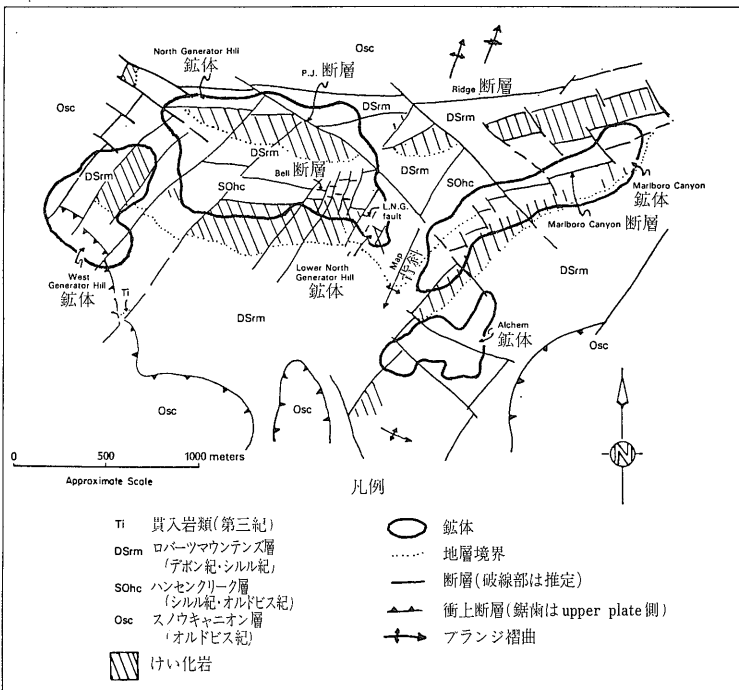
イベント I ……広域続成/変成作用 (Antler 造山運動)

イベント II A ……鉱化作用を伴う局地的熱水活動 (第三紀褶曲運動)

イベント II B ……広範囲にわたるポスト鉱化作用の熱水活動 (第三紀褶曲運動)

このうち イベント II A のジャスペロイドは比較的小規模で 高角正断層付近に分布が限られ 時に鉱石品位の金を伴う。 黄鉄鉱を置換した赤鉄鉱と Au の存在がこのイベントのジャスペロイドの特徴で これに伴う金粒のサイズは 10~0.1 ミクロンときわめて微細である。金は石英および重晶石中に鉱染状に分布するほか しばしば石墨や赤鉄鉱の粒子にも含まれる。しかし 黄鉄鉱中には認められない。

(3)の講演では 従来 いわゆる「カーリン型」鉱化作用において有機物の果たした役割がどれ程のものであったか いまだに明確な結論が得れていないことを前提としている。 Jerritt Canyon 鉱床では 鉱体から遠く離れ



第25図 Jerritt Canyon 鉱床の地質平面図。(Birak and Hawkins, 1985)

た未鉱化域での堆積岩中の有機物含量が0.1%以下であるのに対し 鉱床周辺では鉱化帯・未鉱化帯を含め0.3~5%に及ぶことがまず指摘されている。しかしこの有機物の熟成度を種々の手法で測定する一方 その起源を同位体的に検討した結果 普通の海成有機物を起源とするものが熟成し 移動したことに異論をさしはさむ余地はないとしている。

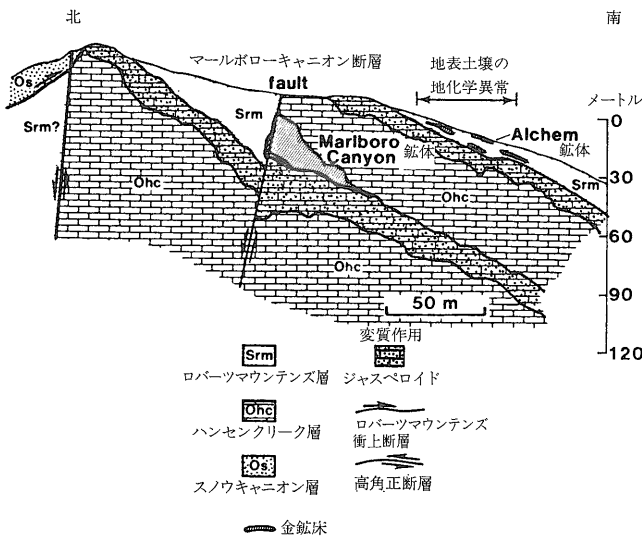
即ち 前述のイベントII Aの鉱化作用に先立ち イベントIの時点で有機物はもたらされたが この際に微晶質の石墨に熟成してしまった。金鉱化作用の時点では有機物質はすでに不活性となっており 金の移動には何の役割も果たさなかった というのが結論である。事実有機物の含有量や黒っぽい外観は含金量と特に相関はしていないという。

次に(4)の講演では 流体包有物研究の結果が報告され 前述の3つのイベントの各々に関連した流体の条件が具体的に述べられた。特に イベントII Aの金鉱化作用に関連した流体の組成は変化の幅が大きいことが強調された。即ち 塩濃度が3~10重量% (NaCl 相当) と高く ガス成分も5モル%と多いものが見られる一方 塩濃度は0.1重量%以下 (NaCl 相当) と低く ガス成分も0.5モル%以下と少ないものが見られる。前者のタイプのガス組成はCO₂ (約4モル%)・CH₄・N₂が主で・これらに少量の炭化水素・H₂S・SO₂・Arなどを伴う。こ

のような流体包有物組成のバイモーダルな分布は 2つの異なった性格の流体が混合したことを示唆するもので 塩およびガスに富むタイプの包有物のミニマムなトラップ条件は 200°~300℃ 0.5~1.0キロバールと推定される。

一方 イベントII Bの流体はイベントII Aの2つの流体の中間的な組成を示し 温度は200°~250℃ 圧力は200バール以下である。これは イベントII Bでは イベントII Aに伴い裂カが形成されたり 角礫化が進んだりした結果 大量の天水が系の中に入りこみ 金の沈殿を終えんさせたことを示唆している。ただし イベントII Bの流体にもある程度の量のH₂S (10⁻²~10⁻³モル%)は含まれており それは金を再移動させるのに十分な量であったと考えられる。

さて 最後の(5)の講演では 3つのイベントで形成したジャスペロイドの各々の安定同位体を比較・検討した結果をもとに 鉱床形成のモデルを提唱している。金鉱化作用を伴うイベントII Aのジャスペロイドは局部的に300ppm程度の金を伴うが 含金量の対数値 (-1.52~2.48) とδ¹⁸O値 (1.1~15.2) (パーミル 以下同じ) はきわめて良い相関を示す。また このイベントII Aの重晶石のδ¹⁸O値は29.3 δ³⁴Sは11.9であり 水のδDは-111であった。これらの結果から 金鉱化作用は 第三紀の断層形成に引き続き 同位体的に進化 (δ¹⁸OH₂O ≥ +4.6) し 若干酸性で Cl-CO₂-H₂Oに富む含金塩水が 交換の行われていない (δ¹⁸O ≤ -9.0) 稀い天水と 深所 (1~3km)において混合した結果 もたらされたと 結論されている。この時 溶液中のAu量は混合量の関数として対数的に減少した。この直後にイベントII Bが重複し それにより大量の石英が沈殿し 同時に流体は塩水から 天水の卓越した希釈水へと変化した。鉱化帯周辺にAs・Sb・Hgなどと共にppbオーダーでハーロー状に分布するAuはこの時に再移動し 沈殿したものであろう。



第26図 Jerritt Canyon 鉱床の模式断面図。ジャスペロイドが石灰岩層の特定層準を交代して広く発達している。しかしジャスペロイドにはほとんど鉱化作用が伴わないことに注意 (Hawkins, 1984)。

7. おわりに

火山国日本で教育を受けた地質屋の本音として 本文で御紹介した 堆積岩はい胎・鉱染型 (いわゆる「カーリン型」) 金鉱床に限らず 「Sediment-hosted の鉱床」と聞くと つい居心地の悪くなるような感じを持ってしまふのは筆者だけだ

ろうか。しかし本文をお読みいただければおわかりのように今回御紹介したアメリカ西部のこのタイプの鉱床は火成作用(多くは第三紀)に関連して形成された可能性がきわめて大きいようでこれを聞いて何となく安心したような気分にもなるのである。さらに本文でも述べたような地質条件等が満たされさえすればいつでもどこでも形成され得ると現地研究者達が考えていることも印象深い。その意味でこのタイプの鉱床が我が火山列島のどこかに眠っている可能性は大きい訳で菱刈鉱床発見以来もうすぐ10年にもなろうというのに後続のビッグニュースが聞かれずにやや意気消沈している鉱床探査関係者達に対し小文が一つのエールともなれば幸いである。特にこのタイプの鉱床に伴う金粒がinvisibleかつsubmicroscopicであることはそれ故に我が国に存在しながらまだ発見されていないにすぎないという可能性をも示すもので浦辺(1985)も強調しているように最近発展の目醒しい超微量貴金属分析技術を駆使した新しい発想の探査活動が始められてもよい時期だろう。小文の後半では少々長くなったが鉱床成因モデルに関わる最新の研究成果を御紹介した。口頭発表の段階なので図表類もなくやや読みにくかったかも知れないがその「新しい発想」の一助にでもなれば幸いである。

今回は筆者が実際に訪問したこのタイプのいくつかの鉱床の現況を御紹介したい。

参 考 文 献

- Bagby, W. C. and Berger, B. R. (1985): Geologic characteristics of sediment-hosted, disseminated precious-metal deposits in the Western United States. *in* Berger, B. R. and Bethke, P. M., eds., *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems. Reviews in Economic Geology*, v. 2, p. 169-202.
- Bagby, W. C., Menzie, W. D., Mosier, D. L. and Singer, D. A. (1986): Grade and tonnage model of carbonate-hosted Au-Ag. *in* Cox, D. P. and Singer, D. A., eds., *Mineral Deposit Model. U.S.G.S. Bull.* 1693, p. 175-177.
- Birak, D. J. and Hawkins, R. B. (1985): The geology of the Enfield Bell Mine and the Jerritt Canyon District, Elko County, Nevada. *in* Tooker, E. W. ed., *Geologic Characteristics of Sediment- and Volcanic-hosted Disseminated Gold Deposits—Search for an Occurrence Model. U.S.G.S. Bull.*, 1646, p. 95-105.
- Hawkins, R. B. (1984): Discovery of the Bell Mine, Jerritt Canyon District, Elko County, Nevada. *in* Wilkins, J., Jr., ed., *Gold and Silver Deposits of the Basin and Range Province, Western U.S.A. Arizona Geol. Soc. Digest*, v. 15, p. 53-58.
- Joralemon, P. (1951): The occurrence of gold at the Getchell mine, Nevada. *Econ. Geol.*, v. 46, p. 267-310.
- 都城秋穂 (1979): 北アメリカ・コルディレラ. 岩波講座地球科学16 世界の地質(都城秋穂編) p. 119-130.
- Radtko, A. S. (1985): *Geology of the Carlin gold deposit, Nevada. U.S.G.S. Prof. Paper* 1267, 124p.
- Rytuba, J. J. (1985): Geochemistry of hydrothermal transport and deposition of gold and sulfide minerals in Carlin-type gold deposits. *in* Tooker, E. W. ed., *Geologic Characteristics of Sediment- and Volcanic-Hosted Disseminated Gold Deposits—Search for an Occurrence Model. U.S.G.S. Bull.* 1646, p. 27-34.
- 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 No. 373 (1985-9) p. 25-37.
- Wilkins, J., Jr. (1984): The distribution of gold- and silver-bearing deposits in the Basin and Range Province, Western United States. *in* *Gold and Silver Deposits of the Basin and Range Province, Western U.S.A. Arizona Geol. Soc. Digest*, v. 15, p. 1-27.

第99回G S A年会(1987年)の関連口答発表は次の通り(“Abstracts with Programs, Vol 19, No. 7, 1987 Annual Meeting”による):

(A) Carlin 鉱床関係

Bakken, B. M., Hochella, M. F., Jr., Einaudi, M. T. and Marshall, A. F.: The quest for gold: High resolution microscopy of ore from the Carlin mine, Nevada.

Kuehn, C. A. and Rose, A. W.: Chemical and mineralogical zonation associated with low pH hydrothermal alteration at the Carlin gold deposit, Nevada.

Rose, A. W. and Kuehn, C. A.: Ore deposition from acidic CO₂-rich solutions at the Carlin gold Eureka Country, Nevada.

(B) Jerritt Canyon 鉱床関係

Birak, D. J., Mancuso, T. K. and Dahl, A. R.: Sediment-hosted disseminated gold mineralization at Jerritt Canyon, Nevada. I—asperoids as the key to the time-space framework.

(以下 メインタイトルは同じなので サブタイトルのみを記す)

Hofftra, A. H. and Rowe, W. A.: II—Jasperoid paragenesis and occurrence of gold.

Leventhal, J. S., Hofstra, A. H., Vuletic, A. K. and Mancuso, T. B.: III—Role of organic carbon.

Hofstra, A. H., Landis, G. P. and Rowe, W. A.: IV—Fluid geochemistry.

Northrop, H. R., Rye, R. O., Landis, G. P., Lustwerk, R., Jones, M. B. and Daly, W. E.: V—Stable isotope geochemistry and model of ore deposition.