

# アメリカ西部の金鉱床を訪ねて(4) デタッチメント断層型鉱床について (その2 - 代表的な金鉱床 Mesquite と Picacho)

富樫幸雄<sup>1)</sup>・中村光一<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

前稿(富樫・中村, 1990; 以下「前稿」と略称)ではデタッチメント断層の定義とその分布, そしてそれに伴う鉱化作用の性格などを述べた。さらに, 典型的な鉱化帯の例としてカリフォルニア州とアリゾナ州にまたがる Whipple-Buckskin-Rawhide 山地地域の Cu-Fe-Mn 鉱化作用を紹介した。

本稿ではカリフォルニア州南東部の Chocolate 山地南縁一帯に分布する主要な鉱染状金鉱床である Mesquite (メスキート) 鉱床と Picacho (ピカチャ) 鉱床を紹介したい。Mesquite 鉱床は1980年代になってから発見された大規模鉱床で, 発見と同時に一躍デタッチメント断層型の大型金鉱床として注目を集めることになったが, サンアンドレアス断層に近いこともあって, 最近では“普通の”浅熱水性鉱床であるとする説も出されるなど, 成因

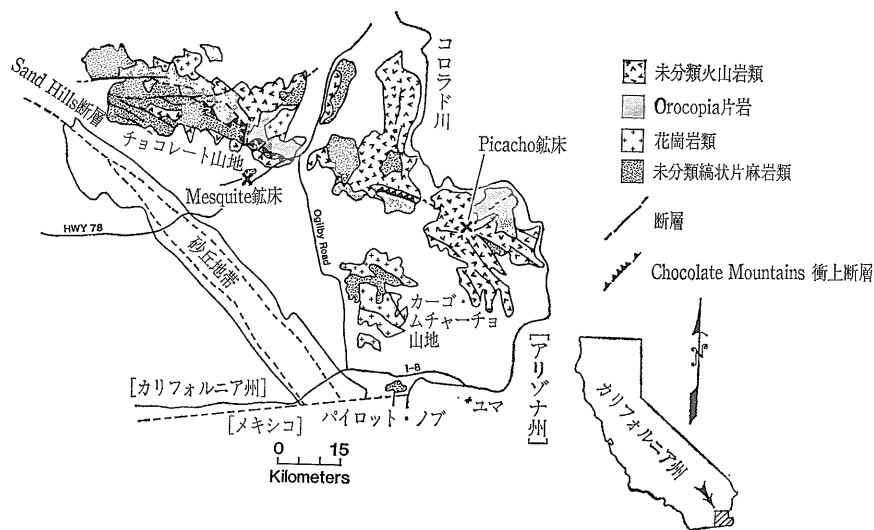
論議が活発である。

一方, Picacho 鉱床は古くからよく研究されている中規模低品位鉱床で, 模式的なデタッチメント断層型金鉱床として位置づけられてきた。

最近の全世界の金ブームを反映して, アメリカ西部一帯, とくに Basin and Range 地域での金探査ラッシュは増々活発である。これに伴って, デタッチメント断層型の金鉱化作用についての研究も進み, その成果の公表も近年はひんばんである。本稿では1987年の現地見学の様子を御報告するほかに, これら最近の研究動向も御紹介したい。なお, 本稿は主に富樫が担当した。

## 2. Chocolate 山地地域の地質セッティング

Mesquite・Picacho 両金鉱床はともにカリフォルニア州南東部の Chocolate 山地南縁に位置する(第1図)。



1) 地質調査所 鉱物資源部  
2) 地質調査所 海洋地質部

キーワード: アメリカ西部, 金鉱床, デタッチメント断層,  
Mesquite 鉱床, Picacho 鉱床

この地域の広域的な地質セッティングは、基本的には、3度にわたる大規模な造構運動が重複して形成されたものとされている (DROBECK ら, 1986; FROST and WATOWICH 1987, ほか)。

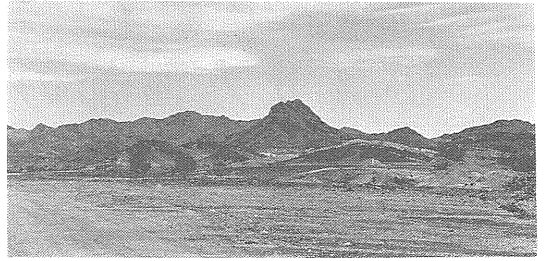
第1はジュラ紀後期から白亜紀にかけての広域変動で、この時の変成作用により片麻岩・片岩類が形成するとともに、各所に酸性岩の貫入も伴った。カリフォルニア州南部一帯では Chocolate Mountains 衝上断層 (CMT) が広く発達した。この衝上断層の下盤には広く基盤をなす Orocopia 片岩が分布し、上盤側には主として片麻岩類が分布する。この片麻岩類は Mesquite・Picacho 両鉱床の主要な鉱床母岩である。

第2は漸〜中新世における地殻スケールの伸張運動で、これは Basin and Range 地域全体に及ぶものであった。この時 Chocolate Mountains デタッチメント断層 (CMDF) が形成され、Picacho 鉱床付近がその模式地となっている。この断層系の角礫帯に伴う鉱物組成は低温のそれを示し、鉱床付近ではせいぜい1 km 程度の浅さで角礫化が行われたものと推定されている (DROBECK ら, 1986)。両鉱床の周辺一帯に認められる溶岩流の噴出を伴う火山活動はこの時期の広域地殻運動がほとんど終了した後のものである。

第3の造構運動は以上2つの時期の低角構造を切る広域的な横ずれ断層系の発達で、カリフォルニア州南部一帯では San Andreas 断層に代表されるものである。この造構運動には高角正断層群の形成が伴われた。時期としては中新世に始まり、現在もお活動中である。

Mesquite・Picacho 両金鉱床の位置は、第1図に示すように、カリフォルニア州南東はずれにあり、同州の太平洋沿いに延びる San Andreas 断層系のちょうど南東延長上にある。また、現在重金属が沈殿しつつある活地熱系として有名な Salton Sea から、その西方約50km ときわめて近い。これらからも、前稿に述べた Whipple-Buckskin-Rawhide 山地地域に比べ、この第3期の造構運動の影響を大きく受けている可能性がある。

2つの金鉱床の北側に、NEE-SWW 方向に連なる Chocolate 山地 (第2図) は同方向の背斜構造の中軸部に位置し、ジュラ紀の Orocopia 片岩、Chuckwalla 片麻岩、及び第三紀の花崗閃緑岩、塩基性火山岩類などからなっている。同山地は全体として南西方向へ傾動しており、その結果、同山地南西側では衝上断層 (CMT) 上盤の片麻岩類が地表に露出している。金鉱床はこの片麻岩類を主要母岩とするので、Chocolate 山地南麓一帯は探査活動の広域的ターゲットとなっている。ただし、広域的に重複する3度の造構運動は、その都度マグマ活動または熱水活動を何らかの形で伴うので、現象的には大変



第2図 Mesquite 鉱床付近から望むチョコレート山地。第三紀塩基性火山岩類が独特のチョコレート色を呈し、名前の由来になったという。

複雑で、鉱化作用全体の時期や性格の解釈をきわめて困難なものとしている。

### 3. Mesquite 鉱床

Mesquite 鉱床はこれまでに知られている デタッチメント断層型 (ないしはデタッチメント断層に何らかの関連をもつと考えられている) 金鉱床の中で最大のものである (前稿第1表)。この鉱床は次に述べる Picacho 鉱床とは対照的に開発の歴史が浅く、公表された研究成果もまだ少ない。この鉱床の成因については研究が進みつつあるものの、まだ様々な意見が出されている段階で、特に、デタッチメント断層の形成と鉱化作用が成因的に関連するか否かについては様々の立場からの意見が出されている。本稿では、一応、従来の考え方の大勢に従い、デタッチメント断層関連鉱床として扱うことにする。

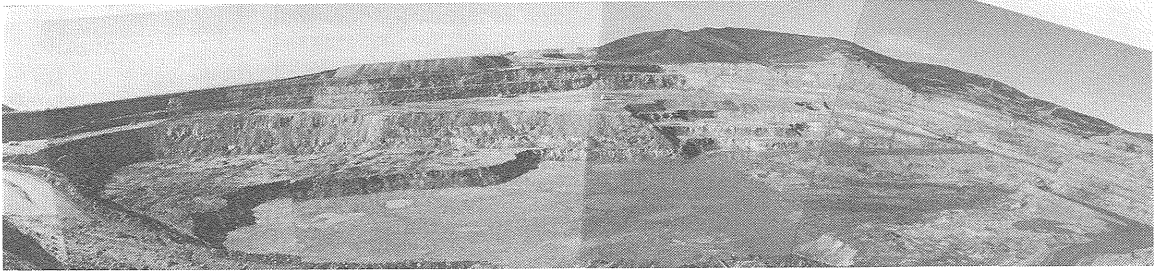
以下の記述はいくつかの巡検案内書 (FROST ら, 1986; FROST ら, 1987; FROST and WATOWICH, 1987, など)、LIEBLER (1988) および現地での見聞をもとに書かれたものである。

#### 位置・沿革

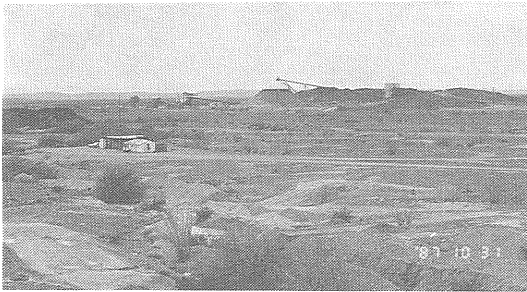
Mesquite 鉱床はカリフォルニア州南東端の Imperial 郡にあり、メキシコとの国境までが約40km の乾燥地帯に位置している。我が国の某プロ野球団のキャンプ地として知られるアリゾナ州 Yuma (人口28,000人) が直近の主要都市で、コロラド川をはさみ、鉱床はその北西約50kmに位置している。

コロラド川下流一帯では1780年頃から、当時この地域を領有していたスペイン人達が金の探査を行い、何ヶ所かで金の採掘を行っていたことが知られている。

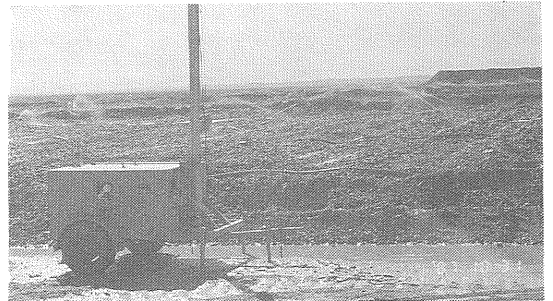
Mesquite 鉱床区域でも長い間断続的に探査が行われていたが、成功したものはなく、近代的な金鉱業の対象となるような鉱床が発見されたのは、つい最近、1982年になってからである。この年、Gold Fields Mining 社は Big Chief 鉱体 (埋蔵量4,150万トン、平均品位1.74g/t Au)



第3図 Mesquite 鉱床の Big Chief 鉱体露天採掘場全景.



第4図 Mesquite 鉱山の粗砕プラント遠景.



第5図 Mesquite 鉱山のヒーブリーチングサイト. 沢山のスプリンクラーでシアンを噴霧している. 手前はコンプレッサー.

(第3図)を発見したと公表したのである。

1985年にはヒーブリーチング法により、この鉱体からの露天採掘による生産が開始された(第4図, 第5図, 第6図)。さらに、1986年には、より小規模な3つの鉱体(埋蔵量合計1,500万トン, 平均品位1.56g/t Au)が確認され、Mesquite 鉱床はアメリカ南西部の大金山として脚光を浴びることになったのである。

#### 鉱床周辺の地質

Mesquite 鉱床の主要鉱体である Big Chief 鉱体の母岩は Chuckwalla 片麻岩類とよばれるジュラ紀の角閃石黒雲母片麻岩, 黒雲母片麻岩, 白雲母片麻岩などと、それを貫く白亜紀の優白質花崗岩やペグマタイトである(第7図, 第8図)。

この片麻岩類はこの一帯では、Chocolate Mountains 衝上断層(CMT)の上盤に位置し、かつ、Chocolate Mountains デタッチメント断層(CMDF)の下盤に位置するとされている。マイロナイト質角礫岩を伴う低角構造が鉱床周辺で認められているが(第9図)、鉱化作用は伴っていない。従って、それがCMTなのかCMDFなのか、それとも、本当は有意の広域的低角構造ではないのか、確認されていない。

以上の岩層および低角構造は、主にNE-SW方向の高角正断層に切られ、岩層全体としてはSW側へ傾いている。また、この高角断層群は鉱化作用を基本的に規制し

ている(第7図)。さらに、鉱体は最大60mの厚さの中新世扇状地礫岩に覆われるほか、鉱床周辺部一帯では第三紀の薄い玄武岩溶岩流が地表を覆っている。

San Andreas 断層に関連する横ずれ断層系については、WILLIS ら(1987)は Big Chief 鉱化帯の北限と南限を画する相互にサブパラレルな右横ずれ断層の存在を確認したとし、このことから、鉱化作用は横ずれ断層活動に伴う浅熱水性のものであることを強調している。WILLIS (1988) はさらに、Mesquite には低角構造それ自体が存在しないとさえいい切って自分の立場を明確にしている。

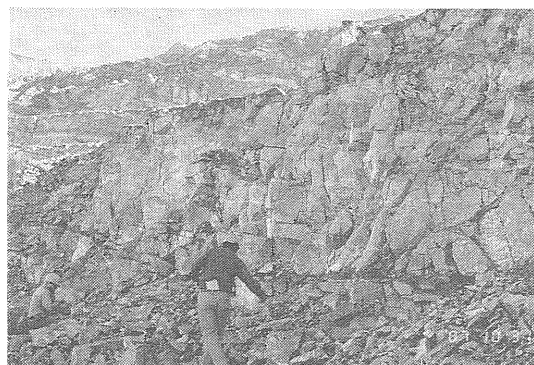
#### 鉱化作用

Big Chief 鉱体では、鉱化作用の大半は片麻岩中の様々な方向の割れ目や角礫帯、粘土化帯に伴われる。第7図にも明らかのように、鉱化作用を基本的に規制しているのは明らかに高角断層群である。

鉱化作用は鉱染状で、珪化や他の変質作用はほとんど見られない。鉱石の Au : Ag 比は約3 : 1と報告されているが、金品位自体がかなり低いので、銀品位の多くは検出限界以下である。金は硫化物と密接に相関するが、鉱体内では硫化物はほとんど酸化されている。従って、金の多くは酸化帯の微小な割れ目に沿って、径40~50 μm の自然金粒として産する。未酸化帯では、金は硫化



第6図 Mesquite 鉱山のヒーブリーチ後の貴液ポンド。運動会のような沢山の小旗は鳥除けのためのもの。



第8図 Mesquite 鉱床 Big Chief 鉱体の鉱化された片麻岩。ただし品位は1~2g/t Au 程度。

物に包有されるものも認められるほか、黒雲母のブックに含まれる場合もある。酸化帯の基底部での二次濃集は認められない。また、金が方解石集合体に顕著に伴う場合もある(最高90ppm Au)。

硫化物は黄鉄鉱が最も多く、少量の黄銅鉱・閃亜鉛鉱・方鉛鉱をも伴うほか、ゲルスドルファイト (NiAsS)・辰砂・カーノタイトなども報告されている。赤鉄鉱を起源とする針鉄鉱も多く産する。

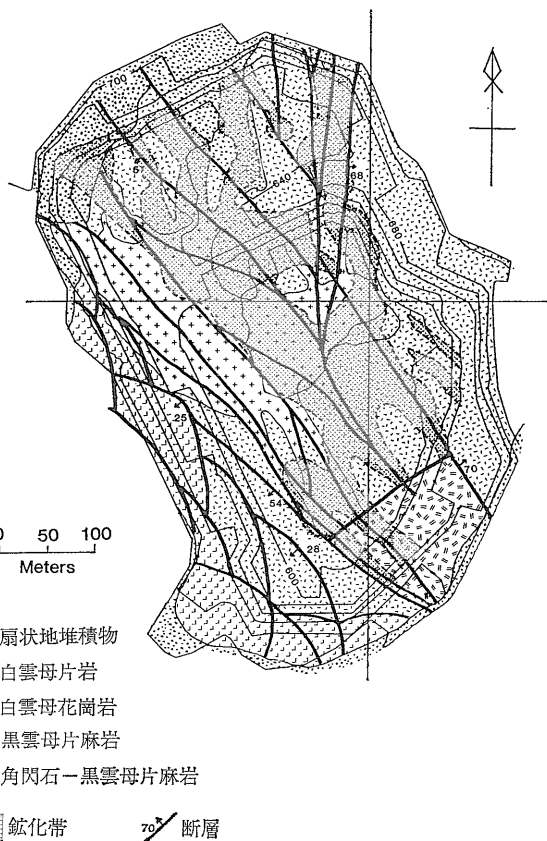
鉱化時期については、WILLIS (1988) は珪化角礫石の K-Ar 年代が32 Ma (漸新世) であることから、鉱化作用はその後に行われたと考えている。

**微量元素**

鉱化作用に伴う地化学異常としては、As が特に顕著である。しかし、鉱山側は Au それ自体を探査の指示元素としているという。その他、Uの異常も認められるが、ベースメタルと Sb のレベルは非常に低い。

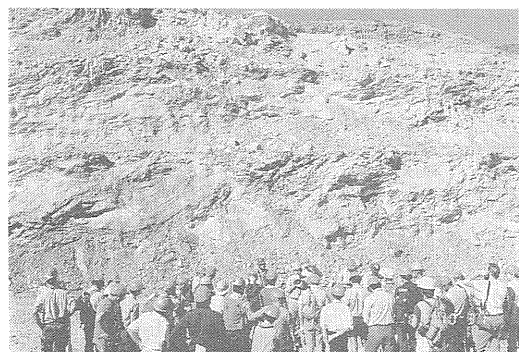
**鉱化溶液**

流体包有物や安定同位体を対象とした鉱化溶液の条件や起源についての研究はまだ始まったばかりであるが、Big Chief 鉱体の流体包有物については次のような事実



- 扇状地堆積物
- 白雲母片岩
- 白雲母花崗岩
- 黒雲母片麻岩
- 角閃石-黒雲母片麻岩
- 鉱化帯
- 70° 断層

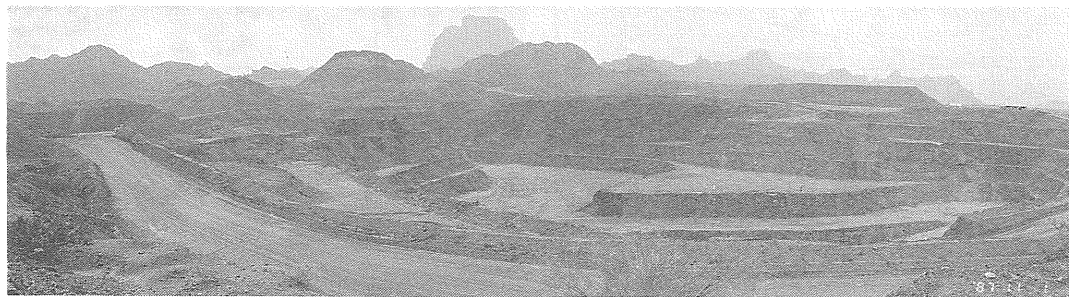
第7図 Mesquite 鉱床 Big Chief 鉱体の地質図および鉱化範囲 (WILLIS, 1988に加筆)



第9図 Mesquite 鉱床付近で低角断層帯を見学中の巡検参加者。しかし、この部分には鉱化作用は伴わず、データメント断層かどうかは確認されなかった。

がわかっている (MANSKE, 1990, など)。

- (1)均質化温度は210~230℃。
- (2)塩濃度 (NaCl 相当) は1重量%以下。
- (3)鉱液中で沸とうが生じた (気相と液相が共存する)。
- (4)鉱化深度は300m かそれ以下。



第10図 Picacho 鉱床 Dulcina 鉱体露天採掘場全景. 背後の特異な山容の山は Picacho Peak と呼ばれる漸新世のデイサイト(岩脈?)で、昔から旅行者の良い目印となってきた。

温度や塩濃度については、デタッチメント断層型 Cu-Fe-Mn 鉱化作用の模式地の Whipple 山地地域の場合と比べ、ともに非常に低いのが特徴的である(前稿第12図)。

金や熱水の起源、および流体系をドライブした熱構造の性格などを総合した Mesquite 鉱床独自の鉱化モデルはまだ確立されていない。

#### 4. Picacho 鉱床

Picacho 鉱床は規模の点では Mesquite 鉱床に及ばないが、開発の歴史は古く、また、鉱山側の方針で研究活動に対して常にオープンにされてきたため、比較的多くの研究成果が公表されてきた。従って、鉱化作用の性格もかなり明らかにされてきており、この意味で、デタッチメント断層型金鉱床の模式地とされてきた。また、Picacho 鉱床付近は Chocolate Mountains デタッチメント断層の模式地としても有名である。

以下の記述は巡検案内書 (Frost ら, 1986; Frost ら, 1987; Frost and Watowich, 1987), TOSDAL (1986), LIEBLER (1988) などと現地での見聞によっている。

##### 位置・沿革

Picacho 鉱床は Mesquite 鉱床の東南東約40km, コロラド川右岸に近く位置している(第1図)。この周辺でも1780年代にスペイン人達による金の探査が始まり、その後スペイン人・メキシコ人・インディアンらにより小規模な砂金採掘が続けられたという。

Picacho 鉱床で近代的な操業が行われるのは1890年代になってからで、20世紀初頭にかけて、坑内採掘により大規模に稼行された。1910年に精錬所の事故のため操業が中止されるまでの金の生産額は約2百万ドルと報告され (CLARK, 1970), これは当時の金価格から、約10トンと推定される。

1990年6月号

その後、1930年から第二次大戦開始時まで一時的に操業されたが、現行の操業が開始されたのは1971年からで、目下 Chemgold 社が露天採掘とヒープリーチングにより稼行している(第10図)。

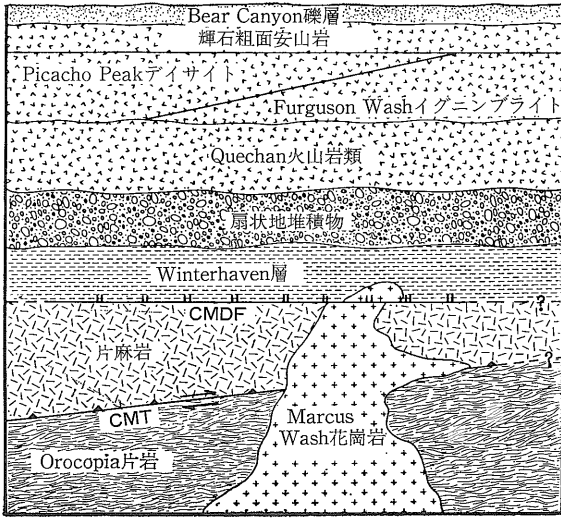
鉱床は Dulcina・Apache・San George・Diablo の4つの鉱体からなり、この内、Dulcina 鉱体が最大で、現在稼行中の唯一の鉱体である。Picacho 鉱床全体についての現埋蔵量は970万トン、平均品位1.37 g/t Au (LIEBLER, 1988) で、これから計算される金量は約13トンである。ただし、現在の採掘品位は0.9 g/t Au, カットオフ品位は0.3 g/t Au である。これは我が国では到底稼行対象となり得ない極低品位であるが、後に述べるように、鉱石が地質的に既に破碎を受けているため(g“round preparation”)人工的な破碎の必要がなく、かつ、ヒープリーチングの効率も良いため、十分に採算はとれているという。

##### 鉱床周辺の地質

Picacho 鉱床の母岩をなすのはジュラ紀の石英一長石質眼球片麻岩と、それを貫く中生代後期の Marcus Wash 花崗岩である。これらの岩層は Chocolate Mountains デタッチメント断層 (CMDF) の下盤を構成すると同時に、片麻岩は Chocolate Mountains 衝上断層 (CMT) の上盤をも構成する(第11図)。

CMDF の上盤には、古い順に、ジュラ紀の変堆積岩・変火山岩類 (Winterhaven 層), 漸新世の扇状地堆積物、同時期の Quechan 火山岩類, 流紋岩質イブニンブライトなどが分布する。なお、地形的に付近一帯のよい目標となっている Picacho Peak (第10図) は漸新世のデイサイトである。

Dulcina Pit の北方約800mの地表部には、まさに CMDF の断層面の露頭として案内される地点があり、低角の構造面を持つ微角礫岩の小露頭が認められる(第12図, 第13図)。

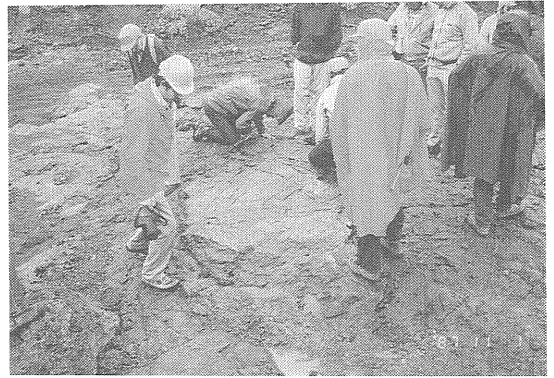


第11図 Picacho 地域の地質層序概念図。CMT: Chocolate Mountains 衝上断層。CMDF: Chocolate Mountains デタッチメント断層。(LIEBLER, 1988)

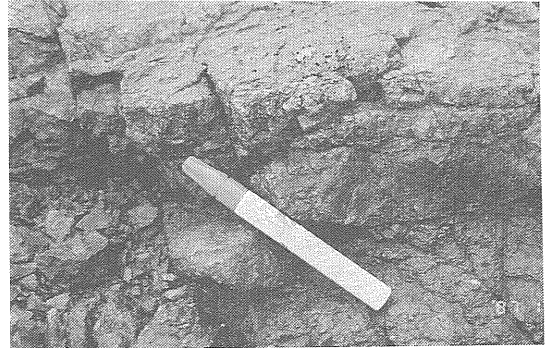
広域低角断層の活動時期としては、CMT は中生代後期、CMDF は第三紀中期と考えられている (LIEBLER, 1988)。ただし、CMDF については、Picacho 鉱床の産状の解釈から、少なくとも2つの時期のものがあるとするモデルも考えられている (第14図)。このモデルは最初 WILKINS (1984) により提案されたが、その後、LIEBLER (1988) もそれを支持している。

**鉱化作用**

Picacho 鉱床の金鉱化は主に、第三紀火山岩類と先第三紀片麻岩とを境する低角断層と高角断層の双方に沿って発達する断層角礫岩に伴われる。主な母岩は低角断層下盤に位置する微破碎をこうむった石英-長石質眼球片



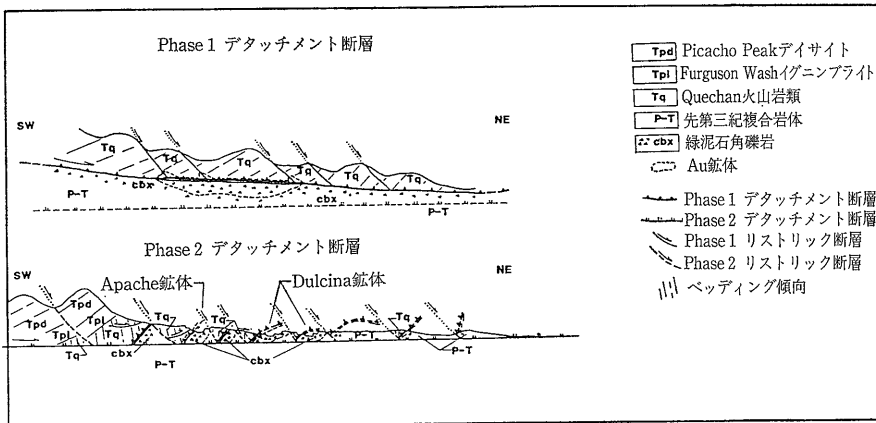
第12図 Picacho 鉱床北方に近接して露出する Chocolate Mountains デタッチメント断層の微角礫岩。直接デタッチメント断層系を観察出来る貴重な露頭とあって、ハンマーの使用は厳禁であった。



第13図 第12図の微角礫岩の接写。

麻岩である (第15図)。

鉱体の形状はそれぞれ板状ないしレンズ状で、規模に



第14図 Picacho 鉱床が二度のデタッチメント断層活動によって形成されたとするモデル (WILKINS, 1984)





第15図 Picacho 鉱床 Dulcinea 鉱体の典型的な鉱化片麻岩の外観。よく発達した微細なクラック沿いに緑泥石化が著しい。

つについては正確なデータはないが、現在採掘されている露天掘りの拡がりは Dulcinea Pit が 450m×200m, Apache Pit が 300m×100m である。鉱体の厚さはほぼ 30~60m またはそれ以上と推定される (第16図)。

鉱化作用に関連する鉱物は自然金 (エレクトラム)・石英・黄鉄鉱・赤鉄鉱・針鉄鉱・方解石などで、これらは基本的には母岩中の小孔隙を充填して産する。LIEBLER (1988) によるこれらの鉱物の生成順序を第17図に示す。

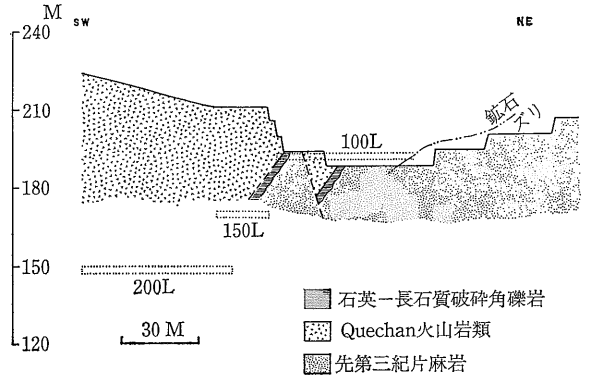
金は自然金 (又はエレクトラム) として未酸化の黄鉄鉱や、石英細脈、けい質角礫岩のマトリックスに伴って産する。また、黄鉄鉱の酸化によって形成された赤鉄鉱 (土状)・鏡鉄鉱・針鉄鉱などにも伴われる。自然金は最大径 1 mm 程度の不規則粒状で、エレクトラムの Au : Ag 比は (1~2) : 1 程度である。鉱石の金品位は角礫化の程度や、赤鉄鉱プラス針鉄鉱の量と正の相関を示している。

第17図にも示すように、hypogene の熱水作用の最末期には方解石が孔隙を充填して沈殿したが、その過程でも黄鉄鉱の酸化が行われて赤鉄鉱・鏡鉄鉱・針鉄鉱が形成した。このように鉱化作用に顕著な酸化作用を伴うのがデタッチメント断層型鉱化作用の特徴である。なお、金の再移動をもたらした supergene 過程においても、これらの鉄酸化物が形成されている。

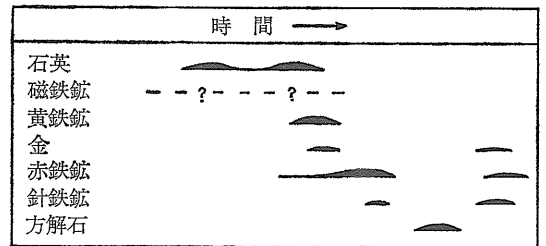
母岩変質はきわめて弱く、少量の緑泥石が主に黒雲母を交代して産するほか、若干のけい化が認められる程度である。けい化は鉱化帯の北方あるいは西方へ向けて強まる傾向がある。

鉱化時期については、直接の証拠となる放射性年代はまだ得られていない。しかし、全体的な解釈からは、DROBECK ら (1986) に代表されるように、第三紀の Chocolate Mountains デタッチメント断層 (CMDF) の活動に関連するものであるとする意見が大勢である。た

1990年 6 月号



第16図 Picacho 鉱床 Apache 鉱体の断面図。点線は19世紀末から20世紀初頭にかけて坑内掘りで稼行された頃の坑道で、ほぼ鉱化帯の位置を示す。2点鎖線が示す現在の稼行品位限界は 0.25 g/t Au (LIEBLER, 1988に加筆)



第17図 Picacho 鉱床の鉱物生成順序。方解石後の金鉱化作用はおそらく表成作用によるもの (LIEBLER, 1988)

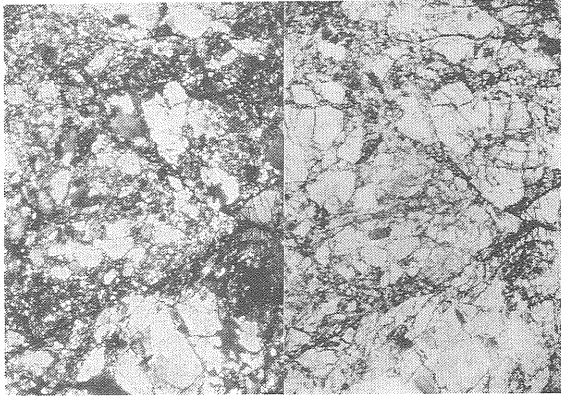
だし、最近では、LIEBLER (1988) のように、CMDF 後の火山活動 (漸新世) が直接的な熱源であったとする考えが多くなりつつある。さらに、鉱山側の地質家である KEITH 氏は Marcus Wash 花崗岩の貫入 (中世代後期) が鉱化作用のもたらしたと考えていると報告されている (LIEBLER, 1988)。

### “Ground Preparation”

Picacho 鉱床で典型的に見られるように、鉱化溶液の通路を用意し、かつ、金の沈殿の場となったのは、肉眼的にそれとわかる破砕帯・角礫化帯だけではなく、微視的なレベルでの岩石中の微破砕構造であった。Picacho 鉱床では外観に角礫構造が認められるか否かを問わず、鏡下では微破砕構造が普通に認められる (第18図)。

このような地質的条件を、アメリカの地質家達は “ground preparation” と呼ぶ。日本人地質家には耳慣れない言葉ではあるが、何となく納得し易い用語ではある。

このような微破砕作用を受けた鉱石は金品位が相対的に高いのみならず、採掘が容易であり、さらに、ヒーブリチング法で通常必要とされる事前の人工的破砕工程



第18図 Picacho 鉱床の典型的鉱石の鏡下写真。石英や長石が微細部分にわたって破碎されている様子がわかる。マイクロクラックは主に緑泥石と針鉄鉱が充填している。左右とも同一視野を撮影。左：クロスニコル，右：平行ニコル。倍率11倍。

が、Picacho 鉱山では不要となってさえている。

#### 微量元素

Picacho 鉱床で認められる重要な指示元素は Au・As・Sb の3つである。このうち、特に、Au と As の間に強い相関が認められる。

これら3元素の分布はデタッチメント断層角礫帯に強く規制されており、この帯に伴い鉱床周辺の何平方キロにもわたり濃集が認められる。ただし、ごくまれには、上盤側 Quechan 火山岩類の高角断層に沿って 0.3~1 ppm Au 程度の金の濃集が局部的に伴われることがある。また、この火山岩類には、しばしば最高 30ppm 程度の As の濃集も認められる。As は特に、金鉱化帯において高い濃集（時に 300ppm As 以上）を示す。一方、Sb はデタッチメント断層帯に沿って最も広い有意の分散ハーローを形成し、最高 200ppm Sb 程度の濃集を示す。Ag は多くの試料で検出限界以下である。

#### 鉱化溶液

鉱化作用に伴う石英の流体包有物は、DROBECK ら (1986) および LIEBLER (1988) により、

(1)均質化温度 210~230°C

(2)塩濃度 (NaCl 相当) 0.5~0.7重量%

と報告されている。鉱化作用の深度は 1 km 以浅と推定されるので、温度補正は 30°C 以下であるとされる。いずれにしても、Mesquite 鉱床の場合と同様、温度は比較的低温で、塩濃度はきわめて低いのが特徴的である。このことはまた、Picacho 鉱床の場合も、デタッチメント型 Cu-Fe-Mn 鉱化作用の模式地である Whipple 山地一帯の場合とは大きな差があることを示している（前稿第12図参照）。

## 5. Chocolate 山地の金鉱化作用の特徴と比較

### Mesquite, Picacho 両金鉱床の共通点

以上に述べた2つの金鉱床に共通した特徴としては、次のような点があげられる (FROST and WATOWICH, 1987, ほか)。

- (1)母岩は強度の変形をこうむっている。
- (2)その変形には激しいカタクラシス（脆性破断）を伴う。
- (3)鉱化作用の多くは変成岩類中に限られる。
- (4)鉱床母岩としては石英—長石質岩が好まれる。
- (5)有意の脈形成や珪化作用が認められない。
- (6)母岩の変質は小規模であるのみならず、ほとんど未変質の母岩にも鉱化作用が伴われる。
- (7)赤鉄鉱を有意に伴う。

以上の野外観察事実のほか、次のような点もあげられる。

- (8)鉱液の均質化温度が 210°~230°C と比較的低い。
- (9)鉱液の塩濃度 (NaCl 相当) は 1% 以下と非常に低い。
- (10)Au に密接に伴う微量元素は As である。
- (11)Ag : Au 比は低く、Ag は多くの試料で検出限界以下である。

以上を要約すると、鉱化作用の「容器」は、何らかの広域的造構運動による微破碎 (“ground preparation”) をこうむった石英—長石質岩（片麻岩類と花崗岩類）である。鉱液の温度や塩濃度、随判する微量元素のパターンなどは浅熱水性の金鉱化作用の特徴をよく表わしているが、金の沈殿は酸化条件と密接に結びついて行われたと考えられる。

### Cu-Fe-Mn 鉱化作用との比較

典型的なデタッチメント断層型鉱化作用とされている Whipple-Buckskin-Rawhide 山地地域での Cu-Fe-Mn 鉱化作用と、Chocolate 山地南縁地域での Au 鉱化作用について、これまでに知られている特徴を比較すると第1表のようになる。

従来の一般的な説明としては、包括的なデタッチメント断層のフレームの中で、Whipple 山地周辺地域は比較的深いフェーズを表わし、一方、Chocolate 山地地域は比較的浅いフェーズを表わすものとされている (FROST and WATOWICH, 1987, など)。

既に述べたように、前者の Cu-Fe-Mn 鉱化作用には Au と Ag、特に Au はほとんど伴われず、一方、後者の Au 鉱化作用にはベースメタルは全く伴わない。また、流体包有物についても、温度、塩濃度ともに、両者はかなり大きく異なっている（前稿第12図）。両地域が互



第1表 2つのデタッチメント断層型鉱化地域の比較

	Whipple-Buckskin-Rawhide 山 地 地 域	Chocolate 山地南縁地域
鉱 種	Cu, Fe, Mn (Au, Ag)	Au (Ag)
鉱化作用を規制する 主な構造	デタッチメント断層の低角角礫化帯と上盤側の高角断 層周辺	低角角礫化帯, 高角破砕帯
鉱石鉱物	クリソコラ, 赤鉄鉱, サイロメレーン, 黄鉄鉱ほか	黄鉄鉱, 赤鉄鉱, 針鉄鉱 (磁鉄鉱)
変質作用	緑泥石化, カリウム交代作用 (炭酸塩化)	緑泥石化 (けい化)
流体包有物均質化温 度	200°~325°C	210°~230°C
同 塩濃度 (NaCl 相当)	10~23重量%	0.5~0.7重量%
随伴微量元素	Pb, Zn, U, Ag, Ba	As, Sb (U)
熱 源	下盤岩層の潜熱 (?)	第三紀火山活動 (?)
鉱液の起源	半グラーベン堆積物中のブラインと深部流体	天水 (?)
メタルの起源	半グラーベン堆積物および断層角礫化帯	断層角礫化帯 (?) または原生代基盤岩類 (?)
主要な鉱床	Swansea, Planet, Artillery	Picacho, Mesquite
文 献	WILKINS ら (1986) ほか	WILLIS (1988), LIEBLER (1988) ほか

いに 150km も距っていること自体は, Basin and Range 地域のほぼ全域にわたるデタッチメント断層系の分布の規模 (前稿第1図) から見れば, あまり重要ではないとは思われるものの, 両地域の連続性はどうも乏しいと言わざるを得ない. 本稿の冒頭に述べたように, Chocolate 山地が San Andreas 断層系に近いことが, やはり, 2つの地域間のギャップが意味のあるものであることを示すのかも知れない.

## 6. おわりに

以上, 2回にわたって日本ではなじみのないデタッチメント断層型といわれる金鉱床を御紹介した. 成因についてはまだ色々議論が残されているものの, 地殻スケールでの伸張的造構運動である Basin and Range 地域の形成とその進化の過程に伴われた鉱化作用であることに違いはない.

すでに御紹介した堆積岩はい胎・鉱染型 (「カーリン型」) 金鉱床 (富樫, 1988a, b) については, その後, クラトン周縁部における地殻内部の熱構造のギャップが鉱化作用の主な原因であったとする考え (CUNNINGHAM, 1989) が公表された. その意味では, このデタッチメント断層型といわれる鉱化作用も, Basin and Range 地域に分布する他の多様な鉱化作用とともに, 一つの大きな枠組みの中で総括的に論じる日が来ることだろう.

また, 本文で示したように, Mesquite 鉱床の平均品位は1.7 g/t Au, Picacho 鉱床に至っては0.9 g/t Auと, 日本人の地質家には信じられないくらいに低い. このように低品位の鉱床が稼行出来るのは, ひとえに, 自然が恵んでくれた “ground preparation” と, 人間の知

恵の成果であるヒープリーチング法のたまものである. ただし, 広大なモハーベ砂漠に見渡す限り野積みにされたヒープリーチング現場 (第5図) で, 砂漠を渡る風に乗って吹きつけるシアンの霧を浴びながら, このようなタイプの鉱山開発は, やはり日本ではとても不可能だろうという実感を持ったことも事実である.

いずれにしても, 金という元素がいかに様々な地質環境の下で移動し, かつ濃集するものであるかということ, 我々人間がいかに金という元素に強く執着する動物であるかということを印象づけられた巡検旅行であった.

### <追記>

筆者のひとり, 中村は本年3月から4月にかけて渡米し, アリゾナ州ツーソンで開かれた米国地質学会コルディラ部会1990年会とネバダ州スパークスで開かれたグレート・ベースン・シンポジウムに参加し, 学会の間に Buckskin 山地 (アリゾナ州) などを巡検した. その間に得られた知見を中心に, 最近の Mesquite, Picacho 両鉱床をめぐる議論を紹介する.

Mesquite 鉱床については, 同鉱山の地質家たちが第三紀の横ずれ断層活動に伴う熱水活動によると考えており (WILLIS et al., 1987, WILLIS 1988), その考え方が多くの人々に受け入れられている. 何よりも Big Chief pit を掘り進むにつれ, 低角断層の構造が見られなくなったこと (WILLIS 1988, 第7図), 低角断層に伴う鉱体は存在しないことなどがそうした理解の基礎を与えている. 鉱床の詳細な研究に基づいて MANSKE (1990) は Mesquite は gold-rich quartz-adularia-sericite epithermal deposit に分類できるであろうと述べている. 注目すべき研究としては, D. M. FROST (1990; 彼女は, ERIC FROST

夫人) が金粒の中に含まれる鉛の同位体を測定して、金の起源は Proterozoic の地殻であるという結果を出しているものがある。

Picacho 鉱床についてはコーネル大学のグループ (Losh et al. 1990) が研究を開始した。彼らは鉱体の一部になっている Precambrian の岩石が不整合に第三紀の火山岩に被われているところがあること、他の地域では両者の関係は Chocolate Mountains Detachment fault (CMDF) で境されているので、鉱床の形成は CMDF の活動と同時またはそれ以前と考えた。また、pit の地質を説明するために、より深部にもうひとつ別のデータッチメント断層を推定し、鉱床は CMDF とこのデータッチメント断層の間にある middle plate 内に存在するとしている。これはより北方の Whipple-Buckskin 山地のデータッチメント断層に伴う鉱床のモデルとして、WILKINS and HEIDRICK (1982) が考えたものと構造的関係はよく似ている。しかし、かなり多くの地質家たちは、Picacho 鉱床が Mesquite 鉱床と同一の構造単元に属すること、Whipple-Buckskin 山地のデータッチメント断層は、Picacho 鉱床の北の Riverside 山地の南で地表と交差し (break-away zone)、Picacho 鉱床は大局的に見て、アリゾナ—カリフォルニアのデータッチメント断層による伸張地質区に属さないことなどから、Picacho 鉱床が本当にデータッチメント断層に伴うかどうか懐疑的である。しかし、WILKINSON et al. (1988) は Riverside 山地中に Picacho 鉱床とよく似た鉱床を発見しており、議論は今後も続くと思われる。

SAWKINS (1989) は彼の有名な著書の第2版で 'gold deposits related to low-angle detachment fault' に1ページを割り、Mesquite・American Girl・Padre y Madre 鉱床を代表的鉱床として揚げ、WILLIS らの論文に基づいて記載している。しかし、以上述べてきたように Mesquite 鉱床がデータッチメント断層に伴うかどうか疑わしく、今後、データッチメント断層に伴う金鉱床という新しいタイプ分けのし方が、適切で有効かということを含めて議論が続くと考えられる (中村)。

#### 引用文献

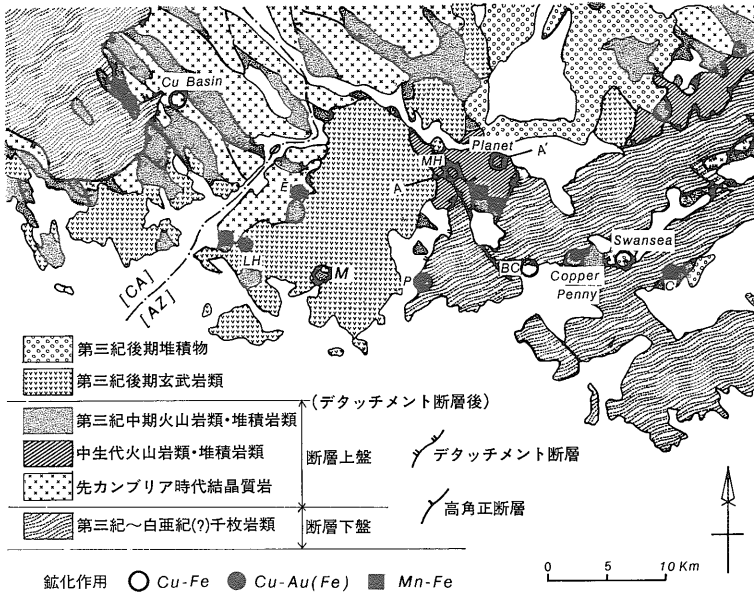
- CLARK, W. B. (1970): Gold Districts of California. California Div. Mines and Geol., Bull. 193, 186p.
- CUNNINGHAM, C. G. (1988): The relationship between some disseminated gold deposits, the western edge of the Precambrian craton, and paleothermal anomalies in Nevada. *in* SCHAFER, R. M., COOPER, J. J. and VIKRE, P. G., eds., *Bulk Mineable Precious Metal Deposits of the Western United States*. Geol. Soc. Nevada, p. 35-48.
- DROBECK, P. A., HILLMEYER, F. L., FROST, E. G. and LIEBLER, G. S. (1986): The Picacho mine: A gold mineralized detachment in southeastern California. *Arizona Geol. Soc. Digest*, vol. 16, p. 187-221.
- FROST, D. M. (1990): Important lead isotopic information contained in gold: implications for gold exploration in highly extended terranes. Great Basin Symp., Program with Abstracts, Reno/Sparks, Nevada, April 1-5, 1990, Geol. Soc. Nevada, p. 109.
- FROST, E. G., DROBECK, P. A. and HILLMEYER, F. L. (1986): Geologic setting of gold and silver mineralization in southeastern California and southwestern Arizona. Guidebook and Volume, Trips 5 and 6, 82nd Ann. Mtg., Cordillera Sec., GSA, Los Angeles, Calif., March 25-28, 1986, p. 71-119.
- FROST, E. G. and WATOWICH, S. N. (1987): The Mesquite and Picacho gold mines: Epithermal mineralization located within Tertiary extensional deformation. Field-Trip Guidebook, GSA 99th Ann. Mtg., Phoenix, Arizona, Oct. 26-29, p. 325-335.
- FROST, E. G., OKAYA, D. A., MCEVILLY, T. V., HAUSER, E. C., GALVAN, G. S., MCCARTHY, J., FUIS, G. S., CONWAY, C. M., BLOM, R. G. and HEIDRICK, T. L. (1987): Crustal transect: Colorado Plateau-Detachment terrane-Salton Trough. *ibid.*, p. 398-422.
- LIEBLER, G. S. (1988): Geology and gold mineralization at the Picacho mine, Imperial County, California. *in* SCHAFER, R. M., COOPER, J. J. and VIKRE, P. G. eds., *Bulk Mineable Precious Metal Deposits of the Western United States*. Geol. Soc. Nevada, p. 453-472.
- LOSH, S., JOWETT, E. C. and SHERLOCK, R. (1990): The detachment-related Picacho gold deposit: structural setting and ore fluid controls. Great Basin Symp., Programs with Abstracts, Reno/Sparks, Nevada, April 1-5, 1990, p. 110.
- MANSKE, S. L. (1990): The relative timing and phase assemblages of vein-controlled hypogene mineralization and alteration in the Mesquite deposit, Imperial County, California. Cordillera Sec., GSA, Abstracts with Programs, vol. 22, p. 63.
- SAWKINS, F. J. (1989): *Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics*, 2nd ed., Springer-Verlag, 461p.
- 富樫幸雄 (1988 a): アメリカ西部の金鉱床を訪ねて, 地質ニュース, no. 411, p. 44-59.
- 富樫幸雄 (1988 b): アメリカ西部の金鉱床を訪ねて(2). 代表的な堆積岩はい胎・鉱染型 (「カーリン型」) 鉱床の鉱化作用. 地質ニュース. no. 412, p. 27-43.
- 富樫幸雄・中村光一 (1990): アメリカ西部の金鉱床を訪ねて(3). データッチメント断層型鉱床について (その1—断層の概念と鉱化作用の特徴). 地質ニュース, no. 429, p. 13-23.
- TOSDAL, R. M. (1986): Gneissic host rocks of gold mineralization at the Picacho mine, southeastern Chocolate Mountains. Guidebook and Volume, Trips 5 and 6, 82nd Ann. Mtg., Cordillera Sec., GSA, Los

Angeles, Calif., March 25-28, 1986, p.143-144.  
 WILKINS, J., Jr. (1984): The distribution of gold- and silver-bearing deposits in the Basin and Range Province, Western United States. *Arizona Geol. Soc. Digest*, vol.15, p.1-27.  
 WILKINS, J., Jr. and HEIDRICK, T. L. (1982): Base and precious metal mineralization related to low-angle tectonic features in the Whipple Mountains, California and the Buckskin Mountains, Arizona. In FROST, E.G. and MARTIN D.L. eds., *Mesozoic-Cenozoic Tectonic Evolution of the Colorado River Region, California, Arizona and Nevada*. p.182-203.  
 WILKINS, J., Jr., BEANE, R. E. and HEIDRICK, T.L.(1986): Mineralization related to detachment faults: A model. *Arizona Geol. Soc. Digest*, vol. 16, p.108-117.  
 WILKINSON, W. H., WENDT C. J. and DENNIS, M. D. (1988): Gold mineralization along the Riverside

Mountains Detachment Fault, Riverside County, California. In SCHAFER, R. W., COOPER, J. J. and VIKRE P. G., eds., *Bulk Mineable Precious Metal Deposits of the Western United States*. Geol. Soc. Nevada, p.487-504.  
 WILLIS, G. F. (1988): Geology and mineralization of the Mesquite open pit gold mine. *ibid.*, p.473-486.  
 WILLIS, G. F., TOSDAL, R. M. and MANSKE, S. L.(1987): The Mesquite mine, southeastern California: Epithermal gold mineralization in a strike-slip fault-system. Abstracts with Programs, 99th GSA Ann. Mtg., Phoenix, Arizona, Oct. 26-29, 1987, p.892.  
 TOGASHI Yukio and NAKAMURA Ko-ichi (1990): Gold deposits in the western United States(4)-Mesquite and Picacho deposits, southeastern California.

<受付: 1989年12月16日>

[編集委員会註] 先月号の富樫・中村両氏の記事で、21ページ第15図は、印刷が不鮮明でしたので、ここに再掲載いたします。



第15図

Whipple-Buckskin-Rawhide 山地地域の地質と鉱床分布。位置については第1図を参照のこと。  
 Artillery, Lincoln, Ranch 両マンガン鉱床は本図東方欄外の第三紀中期火山岩類・堆積岩類中にはい胎する。[AZ]=アリゾナ州, [CA]=カリフォルニア州。鉱床名略号: BC=BCC, C=Clara, E=Empire, LH=Lion Hill, M=Mammon, MH=Mineral Hill, P=Pride。(Spencer and Wetly, 1986 および Frost et al., 1987 をもとに作成)