

米国西部の浅熱水性金鉱床の概要

渡辺 寧¹⁾・久保田喜裕²⁾・林 歳彦³⁾・
吉成 明夫³⁾・Andrew Thomas Comas⁴⁾

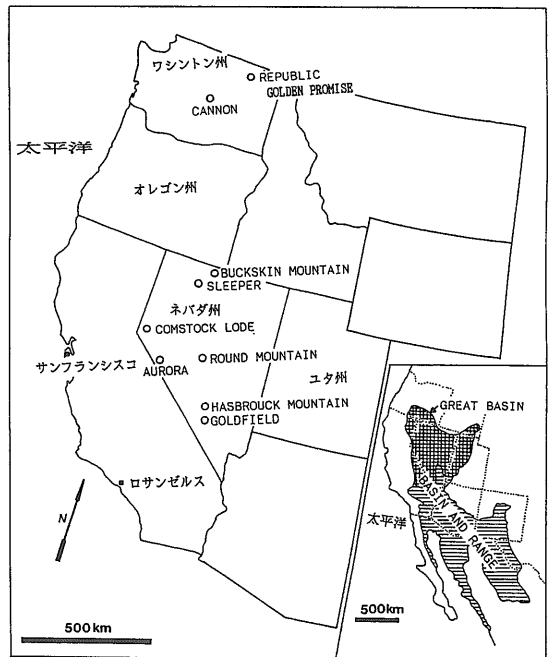
1. はじめに

1993年9月14日から9月25日にかけて金属鉱業事業団の広域地質構造調査業務の一環として、米国西部の浅熱水性金鉱床の巡検が、英国地質コンサルタントのリチャード・シリトー(Richard Sillitoe)氏の案内により行われた。この調査の主要な目的は、米国西部の様々な浅熱水性金鉱床の観察から、鉱床探査に有効な金鉱床形成モデルを作成することであった。1980年代の米国ネバダ州の Sleeper 鉱床、チリの El Indio 鉱床、日本の菱刈鉱床の発見が契機となって、金鉱床探査の主眼は、利益率の大きい大規模・高品位鉱床に向けられてきた。特にこれら3つの鉱床は、いずれも第三紀から第四紀の火山活動に関連した浅熱水性鉱床であり、同様の地質条件が期待される環太平洋の火山地域において、探査活動が活発に行われている。鉱床探査にあたっては、大規模・高品位金鉱床の形成される地質構造場の理解と、潜頭性鉱床の地表部での兆候を、野外調査でいち早く捕らえることが要求される。

本巡検では特に潜頭性鉱床の地表部での示徴と地下の鉱床との関連が良く観察できる鉱床が、見学地選ばれた。訪問した鉱山はワシントン州の Cannon, Golden Promise 鉱床、ネバダ州の Comstock Lode, Aurora, Hasbrouck Mountain, Goldfield, Round Mountain, Buckskin Mountain, Sleeper 鉱床であり(第1図)、Auroraを除く各鉱床の特徴と、それらから帰納される鉱床モデルを2.以下で紹介する。前2者を除くと、いずれの鉱床も Great Basin と呼ばれる地域に分布する(第1図)。

2. Cannon 鉱床

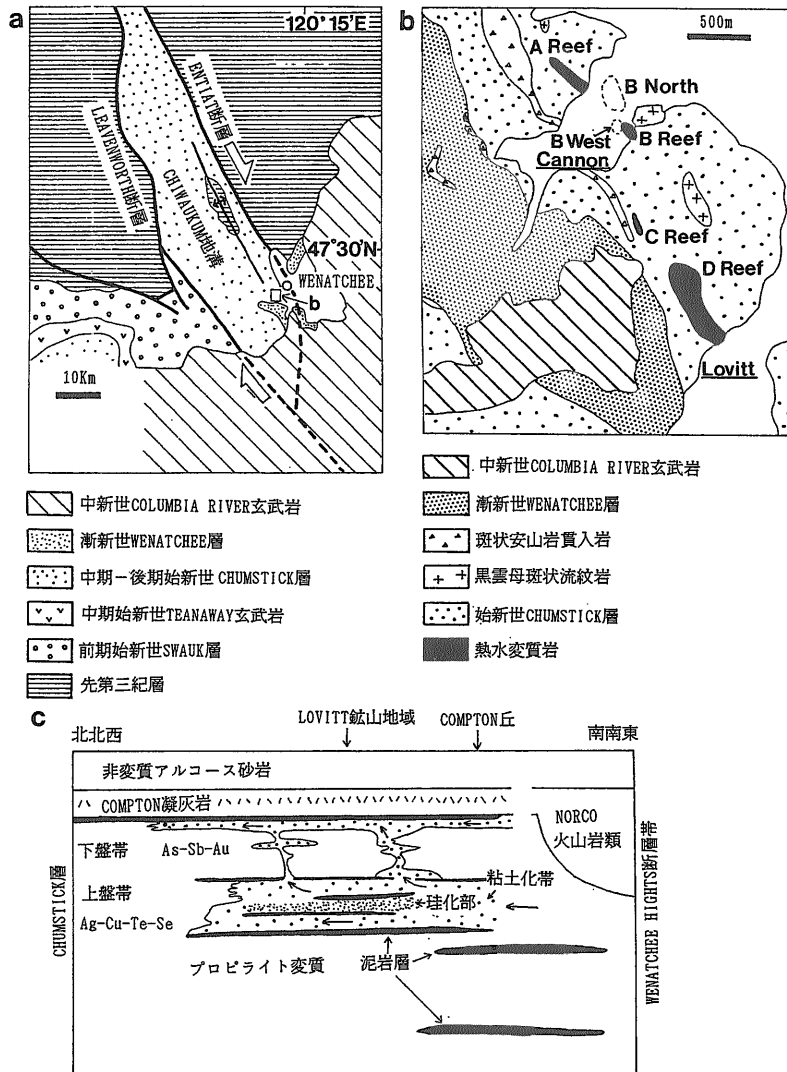
ワシントン州 Chelan County の Wenatchee 地域の鉱床は、1885年の発見以来、約50トン以上の金を生産(確定鉱量を含む)してきた。Cannon 鉱山は、この地域の鉱山の1つで、1984年から ASAMERA MINERALS US 社と BREAKWATER RESOURCES の合弁会社として操業されている。操業開始時の鉱量は5,256,000トン(金品位:6.66 ppm, 銀品位:15.55 ppm)で、これまで約25トンの金を生産してきた。



第1図 Basin and Range, Great Basin 地域と訪問鉱床位置図

キーワード: Cannon, Golden Promise, Comstock Lode, Hasbrouck Mountain, Goldfield, Round Mountain, Buckskin Mountain, Sleeper, western United States

1) 地質調査所 鉱物資源部
2) 金属鉱業事業団技術研究所
3) 金属鉱業事業団調査部
4) 元金属鉱業事業団



第2図 Cannon 鉱床 a: 地質構造図, b: 鉱体分布図(a, bは Ott et al., 1986を簡略化), c: 鉱床生成モデル図(Margolis, 1989).

この鉱床は、還元硫黄型の浅熱水性金鉱床で、北北西—南南東に伸びる Chiwaukum 地溝(延長約90 km, 幅約20 km)中の東縁に位置する(第2図a)。この地溝は Entiat 断層と Leavenworth 断層に挟まれた始新世の右横ずれ堆積盆で(Johnson, 1985), 中期—後期始新世の Chumstick 層が地溝を埋積している。Chumstick 層は陸成層で、主としてアルコース砂岩からなり、泥岩・シルト岩・礫岩を挟在する。この地層に含まれる凝灰岩は49~41 Maの年代を示すが、最上部は始新世—漸新世の境界年代に近いと推定される(Tabor et al., 1982)。Chumstick 層は広域的に褶曲しており、変形を受けてい

ない漸新世の Wenatchee 層に不整合で覆われる。鉱化作用は約44 Maに起こっており、鉱化作用以前の角閃石安山岩(51 Ma)と鉱化作用以後と推定される流紋岩—デイサイト(41-43 Ma)が Chumstick 層に北北西—南南東に貫入している(第2図b)(Ott et al., 1986)。

鉱床は Chumstick 層中の珪化したレンズ状の堆積岩, A Reef(写真1), B North, B Reef, B West, C Reef, D Reef からなり、このうち B North と B West は潜頭鉱床である(第2図b)。これらは北北西—南南東に並び、いずれも層理面に平行な鉱体である。Cannon 鉱山で採掘している B North 鉱体は

厚さ約40 mの砂岩層であり、薄いシルト岩・泥岩を挟在する。石灰質泥岩層が鉱体の上下盤の境界となっている。鉱体中には、石英・カルセドニー・氷長石からなる連続性の悪い石英細脈が見られる。鉱体の上部ほど角礫化が進み、方解石脈に富む。株状の石英脈や角礫岩は流紋岩—デイサイトドーム付近で最も顕著となり、石灰質泥岩層付近では急激に石英脈が消滅する。石英の流体包有物の温度は185°~285°Cを示す。鉱石鉱物はエレクトラム・濃紅銀鉱・極少量の硫銀鉱で、黄鉄鉱・黄銅鉱を伴う。熱水変質の中心は石英・氷長石からなる珪化部で、周囲をカオリナイト・氷長石・イライトからなる粘土化帯が取り巻く。金・銀の量は珪化部に近づくほど多くなる(Margolis, 1989)。

Cannon 鉱床の鉱化作用の特徴は、母岩の Chumstick 層が堆積中に起こったことである。そのため熱水は地表近くで、地層に平行に砂岩層中を流れ、泥岩に封じ込められた(Margolis, 1989) (第2図c)。すなわち本鉱床では、横ずれ堆積盆の形成—Chumstick 層の堆積および流紋岩—デイサイトの侵入—金鉱化作用が一連の過程で生じている。引き続いた断層運動—堆積作用のために、鉱体上方には厚く碎屑物が堆積し、その後の削剝を免れている。

3. Golden Promise 鉱床

ワシントン州 Ferry County の Republic 地域は1987年までに73.5トンの金、420トンの銀を生産し、ワシントン州最大の金の生産地となっている。Golden Promise 鉱山は、Republic 地域の鉱山の1つで、1986年から Hecla Mining 社により操業されている。残存埋蔵鉱量は185,000トン(金品位: 16.3 ppm)で、これまでに12.5トンの金を生産している。

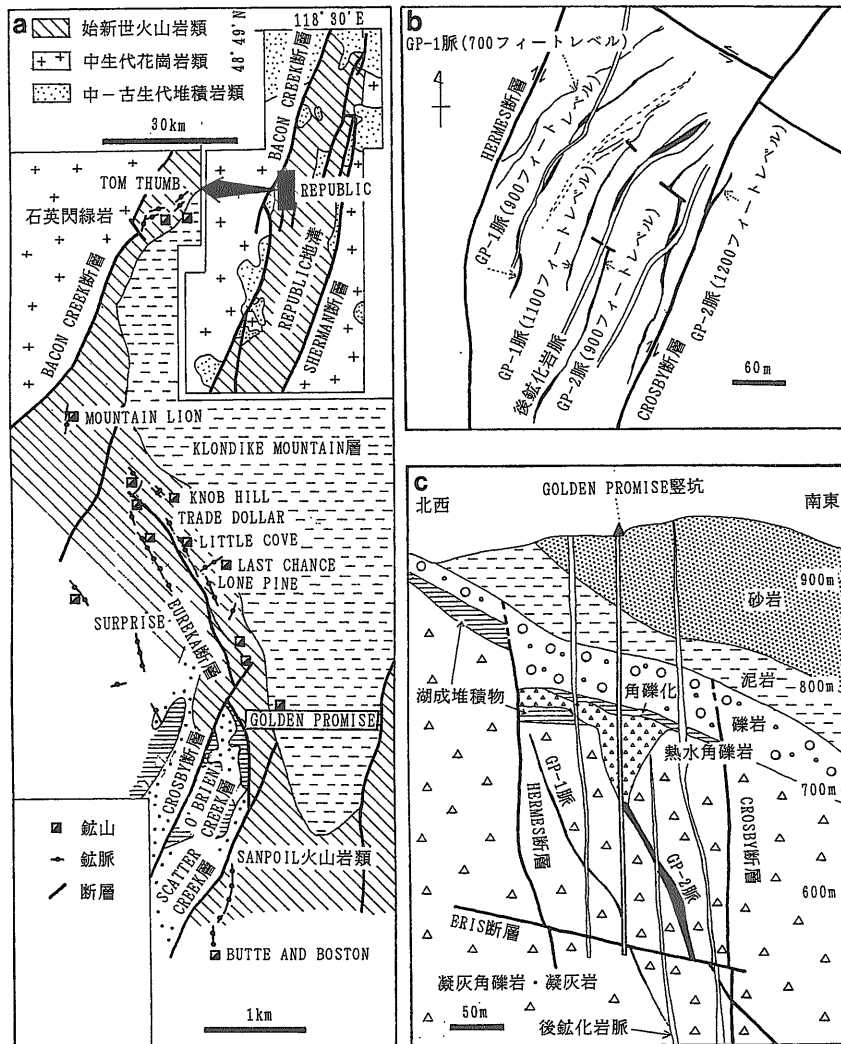
この鉱床は、還元硫黄型の浅熱水性鉱脈鉱床で、N20°E に伸びる Republic 地溝(延長約84 km, 幅6 km~16 km)中にある(第3図a)。この地溝は中—古生代の花崗岩・変成岩の中に第三紀初期に形成され、地溝の中は始新世の珪長質火山岩類で埋積されている。地溝の東西縁は両方とも正断層で境されており、Republic 付近の地溝の深さは少なくとも2,000 m 以上である(Staatz, 1960)。地溝を埋積する火山岩類は下位から O'Brien Creek 層・Sanpoil



写真1 珪化した熱水角礫岩からなる A Reef の地表露頭。下盤側に断層を伴う。

火山岩類, Scatter Creek 層, Klondike Mountain 層に区分される(Pearson and Obradovich, 1977)。この中で約52 Maの流紋岩—デイサイト溶岩・石英粗面岩および角礫岩からなる Sanipoil 火山岩類の噴出が地溝の沈降をもたらしたと推定されており、また Republic 地域の鉱床の母岩となっている(第3図a)(Staatz and Pearson, 1990)。鉱化作用は Sanipoil 火山岩類の活動の終末期に起こっている。

Republic 地域の鉱床は N30°W の Eureka 断層(第3図a)の上盤に分布しており、鉱脈の方向も Golden Promise を除くところの断層に平行である。Golden Promise 鉱山の主脈である GP-1, GP-2 脈は、北北東—南南西の走向を持ち、右横ずれ正断層の Hermes 断層と Crosby 断層に挟まれている(第3図b, c)。鉱床母岩は Sanipoil 火山岩類の凝灰角礫岩で、銀黒部を含む石英—氷長石脈は、上部では網状石英脈、逆円錐状の淘汰の悪い礫からなる熱水角礫に移り変わる(第3図c)。鉱脈の富鉱部は走向延長約600 m, 傾斜延長約300 m, 最大幅は約15 m で、金品位は30 ppm に達する。熱水角礫岩は、縞状脈・珪化した凝灰岩・砂岩の礫を含み、基質はシリカで膠結されている。約10 mの厚さを持つ珪化した湖成堆積物が125 m×100 mの範囲で熱水角礫岩を覆っており、さらに厚い河川堆積性の礫岩・泥岩およびシルト岩・砂岩に覆われている(第3図c)。鉱石鉱物はエレクトラム・ナウマン鉱・銀硫酸塩・濃紅銀鉱で黄鉄鉱・白鉄鉱・四面銅鉱・黄銅鉱・閃亜鉛鉱・方鉛鉱を伴う。脈石鉱物は石英・カルセドニー・方解石で、稀に氷長石を伴う。母岩の変質は珪化帯・粘土化帯・プロピライト帯へと変化



第3図 Golden Promise 鉍床。a: 地質図 (Staatz and Pearson, 1990; Devlin, 1993を修正), b: 鉍脈図, c: 鉍床断面図 (b, cは Devlin, 1993を簡略化)。

する。鉍脈近傍の母岩には金・銀・アンチモンが濃集しており、部分的に水銀と砒素の地化学異常を伴う (Devlin, 1993)。

地表では、鉍化作用最上部の特徴が保存されている。地表でレリーフを作っているのは、酸性溶脱を受けた残留シリカ層で、白色の脆いクリストバライトからなる。クリストバライトは縁辺部ではオパールに漸移する。この層準は古地下水面で浅に位置したと考えられる。その直下には古地下水面を意味する“シリカキャップ”があり、さらに下位には付加型の珪化を受けた湖沼堆積層が分布する。この堆積層中にはカオリナイトの浸透が著しい。これは上位

の地層が酸性溶脱を受けたときに形成されたと考えられ、“drain-back”カオリナイトと呼ばれている。このカオリナイトは坑内の縞状石英脈のレベルでも認められる。古地下水面から石英脈の最上部までの深度は約100 mである。

本鉍床は、カルクアルカリ質の Sanpoil 火山岩の活動が弱まる時期に、Republic 地溝の沈降に伴い形成された割れ目に沿って、熱水が上昇し、鉍物を沈澱したと考えられる。地表付近まで達した熱水は急激な減圧のために沸騰・爆発し、熱水角礫岩を形成した。鉍化作用後も引き続いた正断層運動は、この鉍床の上位に河川堆積物を厚く堆積させ、鉍床

を削剝から防いでいる。

4. Comstock Lode 鉱床

ネバダ州 Virginia 山脈にある Comstock Lode 地域は1850年に発見され、以来312トンの金と7,260トンの銀が生産された。この鉱山が位置する Virginia City と、東の Austin, 南東の Tonopah を結ぶ三角形はシルバー・トライアングルと呼ばれている。この鉱山は1860年～1880年にかけて最盛期を迎え、以来生産高が減少したが、1955年まで坑内で生産が続けられた。現在でも鉱山のずり山が州の記念物としてそのまま残されている(写真2)。Virginia City は現在観光の名所となっており、西部開拓時代の面影を残す市街を SL 列車が走っている。

Comstock 地域は先第三系の堆積岩を覆って、28 Ma～20 Ma の珪長質火山灰流凝灰岩が分布する。さらに不整合で、1,000 m 以上の層厚をもつ前期中新世の安山岩溶岩・安山岩質角礫岩・泥流角礫・湖成堆積物からなる Alta 層が覆っている。Alta 層の年代は20 Ma～14 Ma を示す(Vikre et al., 1988)。これらの地層は角閃石安山岩の岩脈と岩株、閃緑岩岩脈および岩株に貫かれている。Kate Peak 層は Alta 層を覆い、岩脈や岩株を伴う安山岩～デイサイト質の溶岩からなる(第4図 a)。この地層は14 Ma～12 Ma の年代を示し、下部層の貫入岩は17 Ma～12 Ma の年代を示す(Vikre et al., 1988)。この地層の下部層の火成活動の間に、正断層・鉱化作用と変質作用が生じている(Hudson, 1987)。

この地域には、酸化硫黄型と還元硫黄型の2つのタイプの熱水変質作用が混在するが、前者の変質は約16 Ma、後者は14-13 Ma に起こっている(Vikre et al., 1988)。この変質作用の時期は Kate Peak 層下部層の貫入岩の年代と一致する。このうち金・銀の鉱化作用を伴うのは還元硫黄型熱水変質である。

鉱化作用に先立つ、または鉱化作用時の主要な構造は、カムストック、シルバーシティ、オキシデンタルの3つの正断層である(第4図 a,b)。既知のほとんどの鉱体は南北約5 km にわたって、カムストック断層とシルバーシティ断層に胚胎する。個々の鉱体の垂直分布範囲は稀に150 m を越え、走

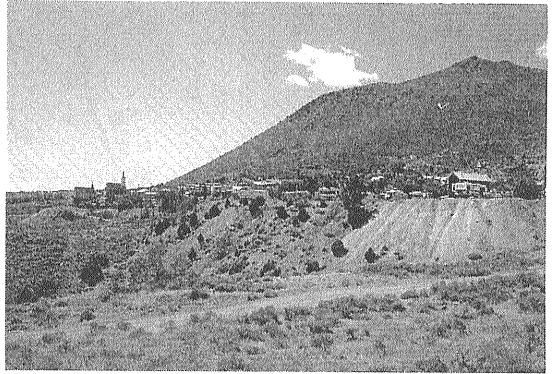
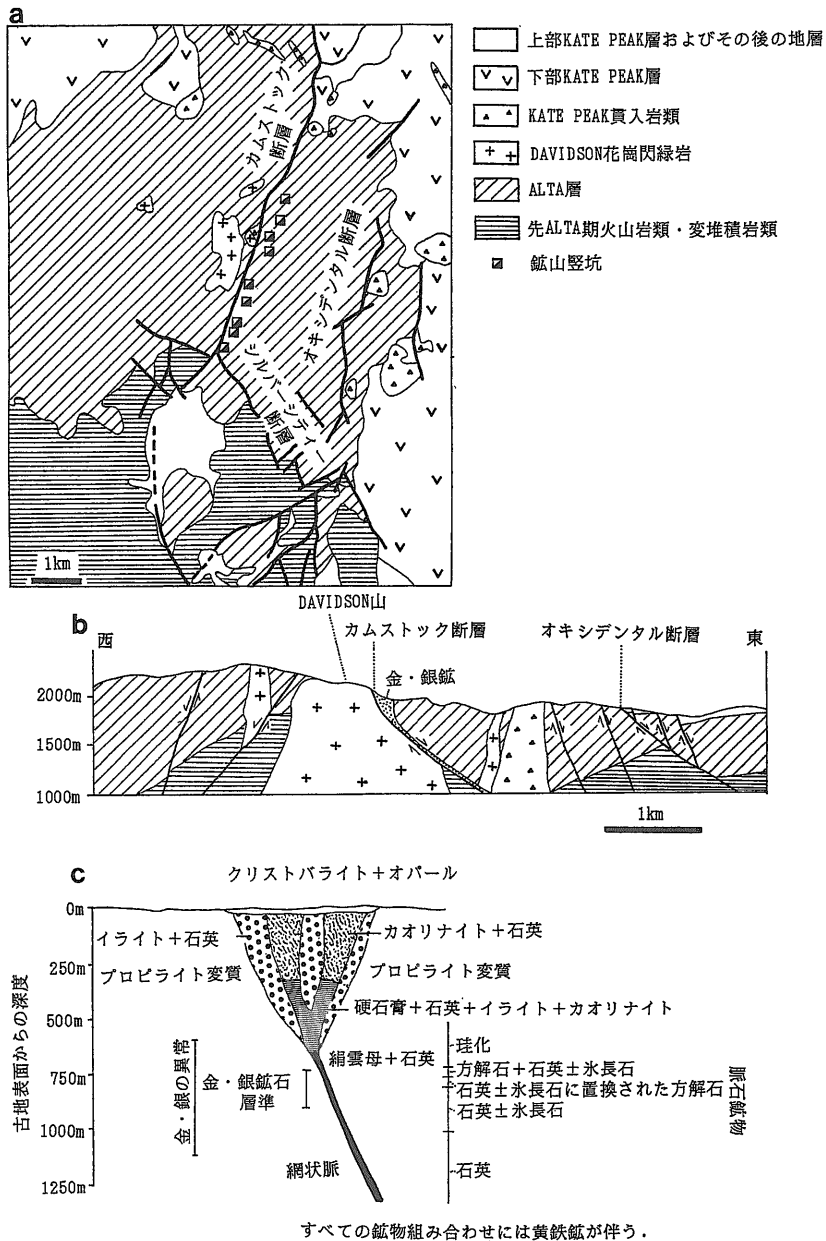


写真2 Virginia City の風景。鉱山のずり堆積場の上に町が広がっている。

向方向に300 m を越える。最大の幅は45 m に達する(Becker, 1882)。Comstock Lode のほとんどの鉱体は網状の石英脈からなる。個々の脈は普通2-30 cm で、稀に30 cm を越える。網状石英脈を構成する主要鉱物は、下部の石英帯から中部の石英—水長石帯、上部の方解石—石英(—水長石)帯へと変化する。中部から上部への漸移部では石英に置換された方解石が認められる。金・銀は主として石英—水長石帯の上部で沈澱している(第4図 c)。主要な鉱石鉱物は輝銀鉱・エレクトラム・方鉛鉱・黄銅鉱・閃亜鉛鉱・黄鉄鉱である。鉱体上部には珪化帯が広がり、その上部にはカオリナイト—石英帯が分布し、地表部のクリストバライト—オパール帯に覆われる。これらの変質帯はプロピライト変質帯に包まれる(Hudson, 1987)(第4図 c)。鉱化作用をもたらした鉱液は300°C以上から225°C以下までの温度範囲を示し、天水とマグマ水の複合したものと考えられる(Vikre, 1989)。

5. Hasbrouck Mountain 鉱床

ネバダ州 Esmeralda County の Divide 地域は Tonopah の南方約9 km に位置する。この地域の主要な金・銀の生産は、Gold Mountain の北側に位置する Tonopah Divide 鉱山で行われ、そこには多くの堅坑が掘られている(第5図 a)。この地域では1902年に金が発見され、その後から1917年まで Gold Mountain で採掘が行われた。1917年には銀脈が発見され、ネバダ州最後の主要なゴールドラッシュをもたらした。1920年から1929年にか

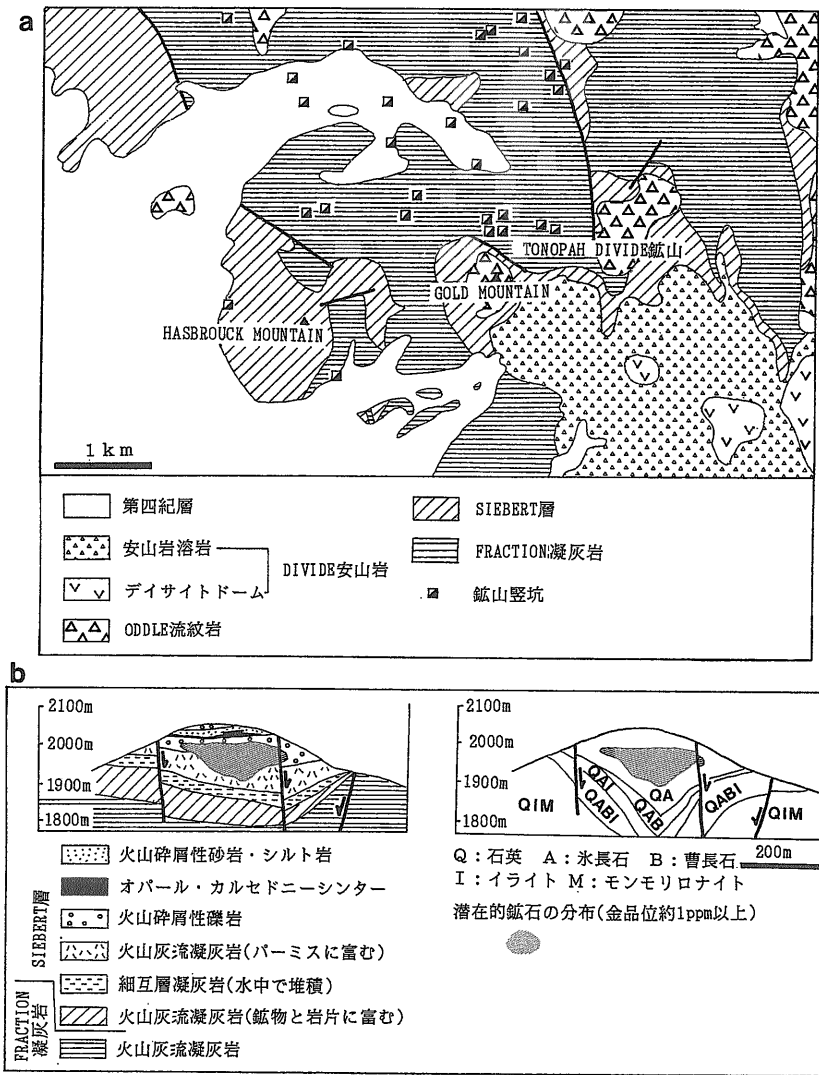


第4図 Comstock Lode 鉱床. a: 地質概略図(Vikre, 1989を一部改変), b: 地質断面図(Hudson, 1987), c: 模式変質鉱化作用図(Hudson, 1987).

て、この地域では93トンの銀と0.9トンの金が生産された。1976年以降、この地域で数々の探鉱が行われ、Falcon Exploration社は1982年から1983年にかけて、Divide 鉱山を再開発し、11トンの銀と85 kgの金を生産した。また1970年代中頃に Cordex Exploration社は、この地域の西端に位置する Hasbrouck Mountain (第5図 a) をボーリングし、

金品位1.1 ppm、銀品位20 ppmの鉱石500万トンを発見した。その後 Corona社が探査を実施し、鉱量は1,000万トンに拡大したが金品位は依然1 ppm前後で、現在開発されずに残されている。

この地域には、20-18 Maの流紋岩質火山灰流凝灰岩からなる Fraction 凝灰岩が最も下位に分布する。この凝灰岩は Divide 地域に中心を持つ中新世



第5図 Hasbrouck Mountain 鉱床. a: Divide 地域の地質図(Bonham and Garside, 1979), b: Hasbrouck Mountain の地質・変質断面図(Graney, 1987).

前期のカルデラの形成に関連していると考えられている(Bonham and Garside, 1979). この地域での Basin and Range 伸張断層は約17 Ma に始まり, 河川堆積物・湖成堆積物からなる Siebert 層が沈降部に堆積した. Gold Mountain では16.4-16.9 Ma の Oddle 流紋岩と Divide 安山岩が Fraction 凝灰岩と Siebert 層に貫入し, 熱水変質を与えている. このうち Oddle 流紋岩が, この地域の鉱化作用をもたらした火成岩と考えられている.

Hasbrouck Mountain には, 火山灰流凝灰岩・降下火山灰凝灰岩・火山碎屑堆積岩・シリカシンター

からなる Siebert 層が分布している(第5図 b). これらの岩石は還元硫黄型の熱水変質を受けており, 鉱染状金・銀鉱化作用はシンター下部 30 m~150 m の火山碎屑岩および火山灰流凝灰岩に認められる. 鉱体の大きさは200 m×250 m×100 m である. 鉱石鉱物はエレクトラム・硫銀鉱・濃紅銀鉱からなり, 黄鉄鉱を伴う. 鉱化作用の年代は16.3 Ma である. 鉱体を包む変質帯はじょうご状の形態を示し, 内側から外側に向かい, (1)石英—氷長石, (2)石英—氷長石—イライト, (3)石英—氷長石—曹長石—イライト, (4)石英—イライト—モンモリロナイトと

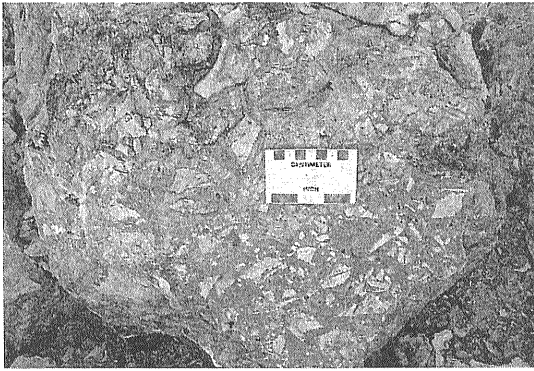


写真3 Hasbrouck Mountainの熱水角礫岩

変化する(第5図b)。熱水角礫岩(写真3)は、レンズ状またはパイプ状を呈し、高品位部を伴い、角礫岩に沿って採掘されている(Graney, 1987)。

17-16 Maの流紋岩の貫入に伴い形成された熱水系は、透水性の低い水中で堆積した凝灰岩や火山灰流凝灰岩の上位の、透水性の高い角礫凝灰岩と火山砕屑岩層中で、側方へ流動し、それと同時に沸騰し、古地表面下30-150 mで、金を沈澱したと考えられる。

6. Goldfield 鉱床

Goldfield 地域はネバダ州 Tonopah の南約40 kmに位置する。1902年に金がこの地域で発見され、1906年に Goldfield Consolidated Mines 社が本格的に操業を開始し、1910年に最高年間生産を記録したが、1919年から生産が縮小された。1980年代初頭に Blackhawk Mine 社が試錐調査により鉱量206万トン(金品位: 2.17 ppm)を確認した。1981年～1987年に同社が露天掘りの操業を断続的に行った。総生産高は金: 130トン、銀: 45トン、銅: 3,420トンであり、酸化硫黄型の鉱床では、世界的にも有数の規模をもつ。

この鉱床は、漸新世に形成されたカルデラ構造の南西縁に形成されている。この地域にはチャート・泥岩・石灰岩からなるオルドビス紀の Palmetto 層およびジュラ紀の石英モンゾナイトが基盤岩として分布する。これらを覆う第三紀の火山岩類は、漸新世と前期中新世の2期のカルクアルカリ火山岩類からなる。漸新世の火山岩類は、石英粗面岩溶岩・流紋岩溶岩および凝灰岩からなり、直径約6 km

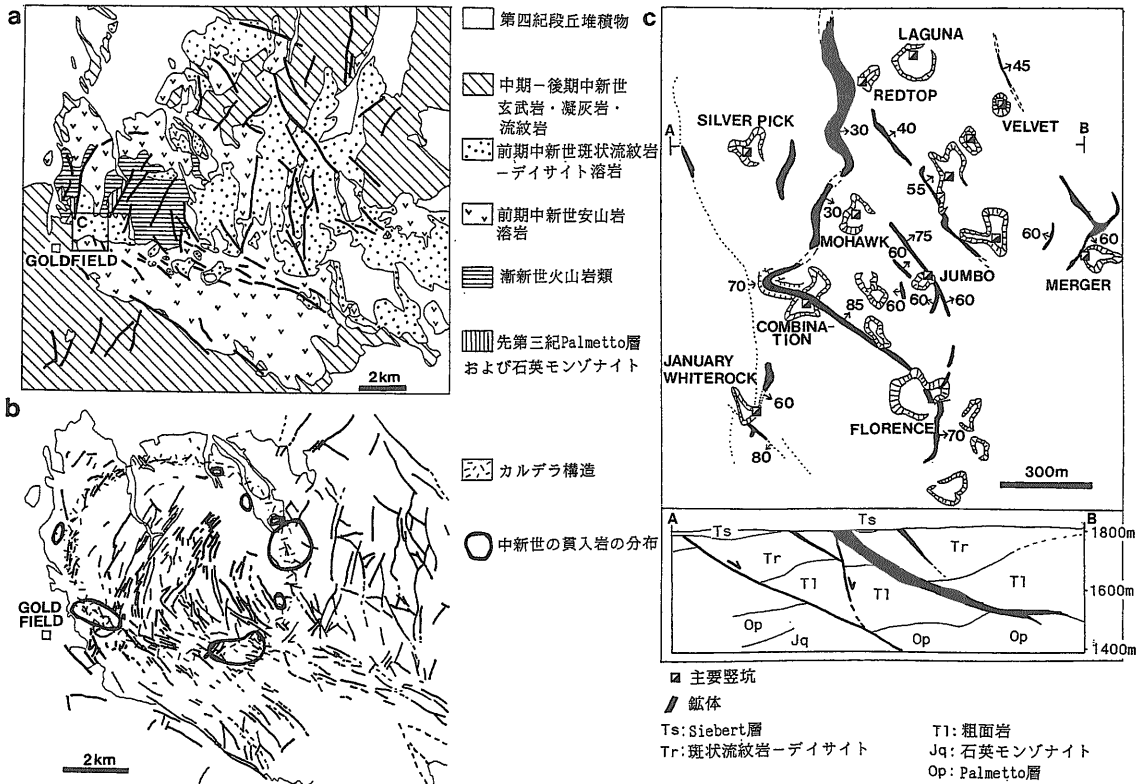
のカルデラを形成した。その後、広域的な削剝を受けた。前期中新世の火山岩類は22 Maから20.5 Maの年代で(Ashley and Silberman, 1976)、トラカイト質安山岩・流紋岩・デイサイト溶岩からなる。これらの火山岩類はカルデラ構造の縁に沿って貫入し、溶岩ドームを形成した(第6図a, b) (Ashley, 1990)。このうち Goldfield 市街のすぐ東に分布する流紋岩質貫入岩が、関係火成岩と推定される。

Goldfield の熱水変質はリング構造に沿って広がっており、中心部から縁辺部にかけて、(1)石英—明ばん石±カオリナイト±パイロフィライト±絹雲母±ダイアスポア+白チタン石+黄鉄鉱、(2)石英+カオリナイト+絹雲母±氷長石±オパール+黄鉄鉱、(3)石英+モンモリロナイト+イライト±カオリナイト+黄鉄鉱、(4)緑泥石+曹長石±緑廉石±モンモリロナイト±方解石±沸石±黄鉄鉱に区分される。鉱体は(1)の変質帯中にある。この熱水変質作用は約20.5 Maに生じている(Ashley, 1990)。

主要な鉱体は Goldfield の市街地の北東にあり、不規則な盤状の珪化帯の中にシートまたはパイプ状を呈する。これらのシートはカルデラの中央に向かって傾斜する正断層に平行であり、カルデラ構造と調和的な走向を持つ(第6図c)。主要な鉱体の規模は1.8 km(走向延長)×305 m(傾斜延長)×100 m(最大幅)である。比較的低品位の鉱石では、金は珪化岩に鉱染している。硫化鉱物としては黄鉄鉱・ファマチナイト(Cu_3SbS_4)が認められる。高品位鉱では、珪化岩の角礫部や断裂部を石英・黄鉄鉱・ファマチナイト・四面銅鉱—砒四面銅鉱・ビスマスナイト・自然金・金—テルル化合物が埋めている。金銀比は3:1で、銀の多くは四面銅鉱—砒四面銅鉱に含まれる。黄鉄鉱の硫黄の同位体比は、硫黄がマグマ起源であることを示し、地表部の流体包有物充填温度は200°Cから300°C、地下300 m以深では300°Cから400°Cを示す。塩濃度は24%と高い(Ashley, 1990)。

7. Round Mountain 鉱床

Round Mountain 鉱床はネバダ州 Nye County の Smokey 谷に位置する。この鉱床は、1906年に地表部で金が発見され、最初は砂金掘りが行われた。



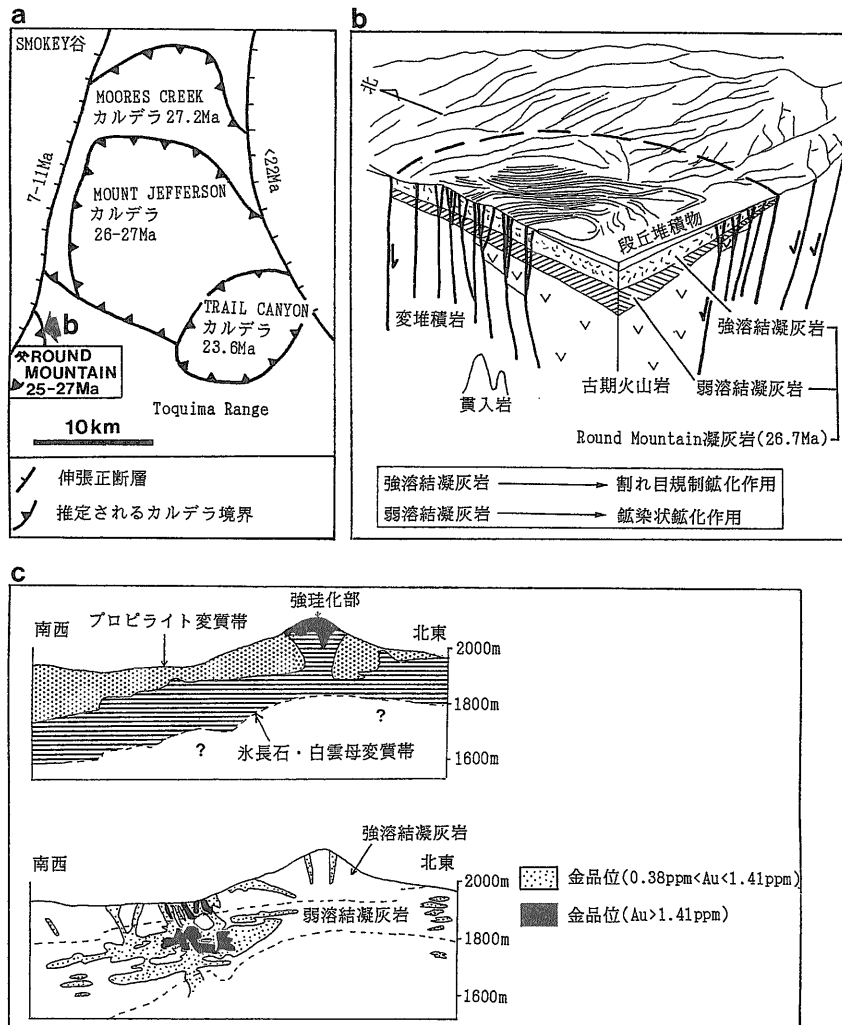
第6図 Goldfield 鉱床. a: Goldfield 地域の地質概略図, b: Goldfield 地域の推定カルデラ構造と貫入岩の分布(a, bは Ashley, 1979を簡略化), c: 鉱床分布図(Ruetz, 1987).

その後いくつかの会社が採鉱を繰り返した後、1977年からヒーブリーチングによる生産が開始され、1985年以降、Round Mountain Gold 共同出資会社により、操業が行われている。1977年以降、1992年までに62トンの金が生産され、1992年現在約255トンの金の確定鉱量がある。私たちが訪問したときの驚きは、オープンピットの規模の大きさとともに、鉱山事務所で見せられた金のナゲットと、採掘現場で見せられた何の変哲もない変質した凝灰岩鉱石の落差であった。

Round Mountain 鉱床の位置する Toquima Range には、古生代の堆積岩および変堆積岩・白亜紀花崗岩が基盤として分布し、その中に第三紀のカルデラ群が形成されている。北側から27.2 Maの Moores Creek, 26-27 Maの Mount Jefferson, 23.6 Maの Trail Canyon カルデラが分布し、鉱床母岩となる凝灰岩を噴出している(Sander, 1988) (第7図a)。Round Mountain 鉱床の鉱化作用は Jefferson カルデラの南西に位置する小さなカルデラに関連してい

る(第7図a, b) (Eco Bay Mines Inc. et al., 1991)。カルデラ群の形成後、広域的な伸張運動により南北方向の正断層が形成された。これらの正断層の時期は、Toquima Range の西側が7-11 Ma, 東側が22 Ma以降と推定されており(Sander, 1988), Round Mountain 鉱床の位置するカルデラは、西半分が正断層に切られ落ちている(第7図a)。鉱化作用は還元硫黄型で、主として26.7 Maの Round Mountain 凝灰岩を母岩としている。層厚は約300 mで、東に向かうほど薄くなり消滅する。これらの凝灰岩の上部には薄い湖成層が分布し、最上部に熱水角礫岩が分布する。

鉱床は、Round Mountain 凝灰岩上部の強溶結凝灰岩と、下部の弱または非溶結凝灰岩中で形態が異なっている。上部の強溶結凝灰岩中では、岩石中の割れ目に沿って鉱化作用が生じているのに対し、下部の非溶結凝灰岩では鉱染状鉱床となっている(第7図b)。鉱化作用の時期は25-27 Maで、母岩の凝灰岩の年代とほぼ同時期である。鉱石は高品位鉱と



第7図 Round Mountain 鉱床。a: Toquima Range に分布するカルデラ群(Sander, 1988を一部改変), b: Round Mountain 鉱床鳥瞰図(Eco Bay Mines Inc. et al., 1991), c: Round Mountain 鉱床の鉱石分布および変質断面図(Sander, 1988を改変)。

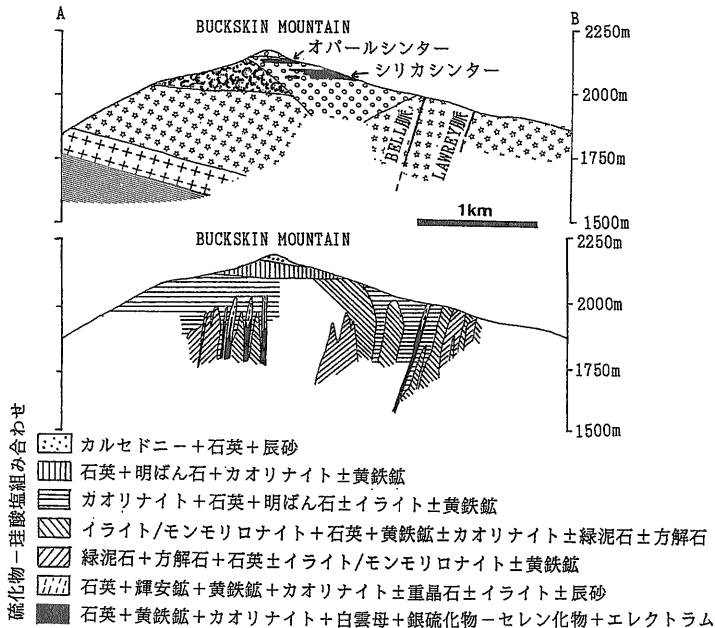
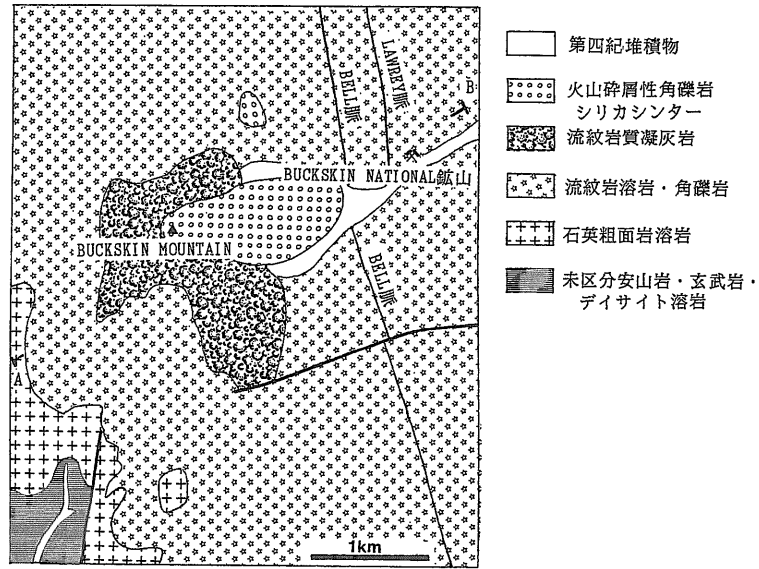
低品位鉱に分けられる。高品位鉱は石英—氷長石脈で、強溶結凝灰岩中の節理または低角正断層に胚胎する。自然金の他に黄鉄鉱が含まれ、微量の閃亜鉛鉱・方鉛鉱・黄銅鉱等を伴う。低品位鉱は石英や褐鉄鉱の細脈を含む凝灰岩で、自然金を含む。低品位鉱の分布範囲は3.2 km(走向延長)×2.4 km(幅)×0.8 km(傾斜延長)である。

変質帯の中央上部には強珪化部があり、その周りを氷長石と白雲母で特徴づけられる粘土化帯が取り巻く。この粘土化帯は、下部で側方に広がっている。さらにその外側には氷長石・曹長石・緑泥石からなるプロピライト帯が取り巻く(第7図c)(San-

der, 1988)。その後の風化により、硫化鉱物は酸化を受け、針鉄鉱・赤鉄鉱・鉄・マンガン酸化物が形成され、酸化の過程で発生した硫酸酸性溶液は、ジャロサイトや明ばん石を形成した。この時、鉄酸化物や明ばん石と共に金の一部も移動・再沈澱している。明ばん石の年代は9-16 Maを示し、カルデラ群の形成後の正断層運動が、この酸化の要因と考えられている(Fifarek and Gerike, 1991)。

8. Buckskin Mountain 鉱床

Buckskin Mountain 鉱床はネバダ州北部 Hum-



第8図 Buckskin Mountain 鉱床の地質図・断面図および変質分帯図(Vikre, 1985を改変)

boldt County に位置する還元硫黄型の浅熱水性金鉱床である。1906年に発見され、1909年に操業が開始された。この地域には National と Buckskin National の2つの鉱山があり、金銀は主として、National 鉱山で生産された。1909年～1941年に約5.4トンの金(金品位約10 ppm)、17.1トンの銀が生産された。Buckskin National 鉱山西方の Buckskin Mountain(第8図)では、1980年以降 Asarco

社が試錐を行い、1992年からは Canadian Jr. 社が試錐探鉱を行っている。

Buckskin National 鉱床は Goosey Lake Depression の北西縁に位置する。この地域には中新世の火山岩類が約900 m の厚さで分布している。最下部は安山岩・玄武岩・デイサイト溶岩からなり、その上部を20 Ma の石英粗面岩溶岩が覆う。その上位には18 Ma～15 Ma の流紋岩溶岩が広く分布して

おり(第8図), 15.6 Maの鉱化作用の関連火成岩と考えられている(Vikre, 1985). Buckskin National 鉱床の主脈は南北方向のBell脈で, 75°西傾斜で平均の脈幅は30 cmである. この脈は走向方向に1,125 m, 傾斜方向に175 m開発された. Vikre (1985)は鉱脈を(1)石英, (2)縞状石英・銀硫化物・エレクトラム, (3)塊状硫化物・カルセドニー, (4)石英・輝安鉱の4ステージに区分している. 脈に沿う変質鉱物は石英・カオリナイト・白雲母またはイライトである.

Buckskin Mountain(写真4)には, この鉱化作用に伴う浅部の変質帯が残されている. 山頂付近には流紋岩質凝灰岩, その下部には流紋岩溶岩が広がり, 山頂から東側には火山砕屑性礫岩が分布する. この火山砕屑性礫岩と指交関係で, 上部にオパールシンター(写真5), 下部にシリカシンターが挟在する(第8図). 上部のオパールシンターには変辰砂の層が含まれ, かつては水銀が掘られた. 山頂付近の流紋岩溶岩は溶脱を受け, 球顆組織の部分に大きな空隙ができています. 山頂直下の岩石には石英・明ばん石・カオリナイトの変質鉱物が形成され, そのさらに下部にはイライト・モンモリロナイトや緑泥石・方解石で特徴づけられる変質帯が広がる(第8図).

これらの変質鉱物の中で, Vikre (1985)は, 明ばん石やカオリナイトは一連の熱水の進化の中で形成したと考えた. もともとpH=4程度の熱水が金を沈澱し, 地表付近で中性に変わり, シンターを形成したとしている. これに対し, Hedenquist(1986)は, Vikreの示した条件では金の沈澱は起こり得ず, 中性の深部熱水が金を沈澱した後, 地表付近の蒸気で熱せられた酸性溶液が垂れ下がり, 明ばん石やカオリナイトを形成したと推定している.

9. Sleeper 鉱床

ネバダ州北部Humboldt Countyに位置するSleeper 鉱床はSluberring HillsとDesert Valleyの境界付近で発見された還元硫黄型の浅熱水性金鉱床である. 1982年にAMEX Exploration社により沖積層中のレリーフで低品位露頭が発見され, 1986年に生産が開始された. 72トンの金鉱量が見込まれ, 1986年~1988年の2年間に約15トンの金が生

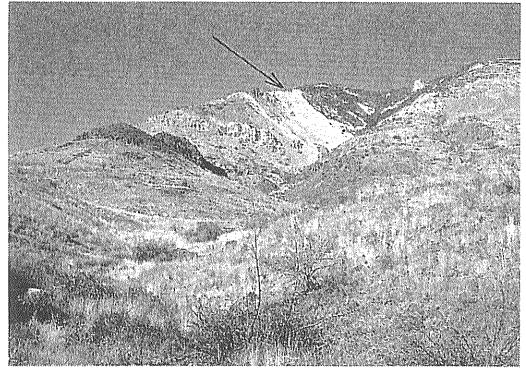


写真4 Buckskin Mountainの全景. 矢印で示した上部の白色部がカオリナイト・明ばん石変質帯. 中部の黒色部が火山砕屑岩.

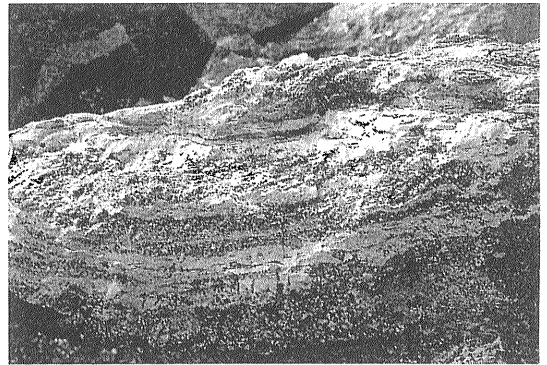
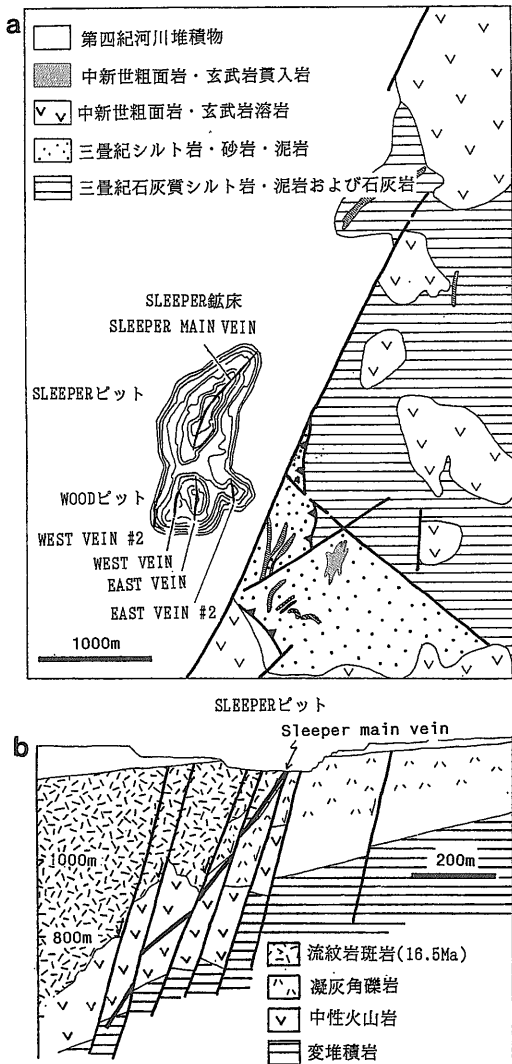


写真5 Buckskin Mountainのオパールシンター. 黒色層状部は変辰砂を含む. 白色部はオパール.

産された. 現在SleeperピットとWoodピットの2箇所で露天掘りが行われており, 高品位鉱はシアン粉砕法で, 低品位鉱はヒーリーチ法で金が回収されている.

Slubering Hillsの基盤は, 三畳紀~ジュラ紀の泥岩・石灰質泥岩であり, 白亜期に花崗閃緑岩とモンズナイトが貫入し, 緑色片岩相の变成を与えている. Sleeper 鉱床付近では, 約16 Maの玄武岩および粗面岩溶岩・火山砕屑岩が三畳紀の堆積岩を覆い, さらに流紋岩斑岩が上位を覆っている(第9図a, b). これらの岩石は16 Ma~8 Maの伸張運動に伴う北北東-南南西のステップ状正断層で切られ, Basin and Range地形を形成する.

Sleeper 鉱床はこれらの正断層およびその近傍に胚胎する高品位含金石英-水長石脈と, 主としてその上盤側に分布する低品位網状鉱石からなる(Nash et al., 1991). 5条の主要な鉱脈が知られており, い



第9図 Sleeper 鉱床。a: 地質概略図(Wood, 1987 に一部加筆), b: 地質断面図(Nash et al., 1991)。

ずれも Sluberring Hill を区切る正断層に平行な走向をもつ(第9図 a)。鉱化作用は流紋岩の進入・溶岩の噴出(16.6-16.1 Ma)の直後(16-15 Ma)に生じており、珪化作用・金銀鉱化作用が複数のステージを持つことは、南北方向の正断層が繰り返し活動したことを示す。これらの正断層は Sleeper 鉱床を 300-600 m 落下させ、後の削剝から鉱床が免れている。高品位縞状石英脈(Sleeper Main 脈)は、走向方向に1,200 m 以上、傾斜方向に500 m 以上ほぼ連続し、鉱脈は最大幅約 3 m である。幅30 m 以上にわたって、多くの平行な分岐脈とその間を埋める角礫帯が存在する。鉱石鉱物は、縞状石英-氷長石

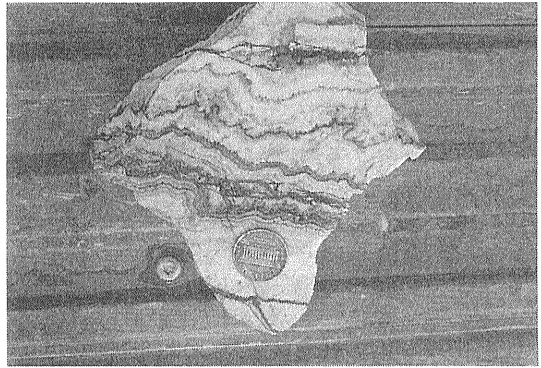


写真6 Sleeper 鉱山の縞状石英脈

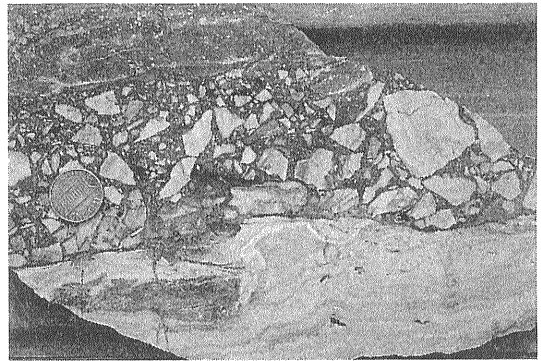


写真7 Sleeper 鉱山の角礫鉱

の部分にエレクトラムが認められ(写真6)、これらが破壊された角礫鉱(写真7)では、ナウマン鉱・輝安鉱・黄鉄鉱が認められる。高品位脈は部分的には脈平均金品位600 ppm を越えることもある。母岩の変質は、鉱脈の部分ではオパール・クリストバライト・黄鉄鉱・白鉄鉱・氷長石またはセリサイトが認められ、その外側ではオパール・石英・セリサイト・明ばん石・カオリナイトが認められる(Nash et al., 1991)。このうち明ばん石・カオリナイト変質は 5-6 Ma の年代を示し、後生的な変質と考えられる(Conard et al., 1993)。

10. おわりに

巡検では、シリトー氏自らワゴン車を運転して、各鉱床を回った。操業中の鉱山では、最初に鉱山の地質技師から鉱床の概要を聞き、質疑応答をした後、採掘現場を観察した。各露頭において、鉱石鉱物・変質鉱物をすばやく同定し、現在見ている露頭

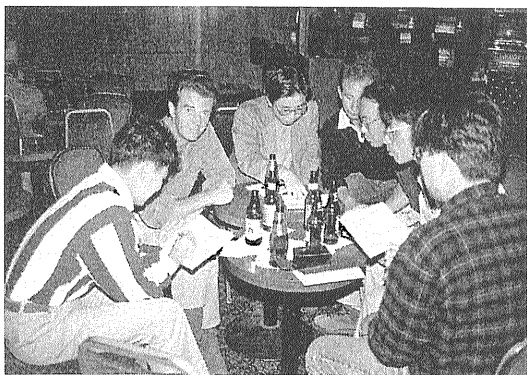


写真8 リノのカジノバーで開かれたシリトー教室の風景。周囲の雑音にもかかわらず、活発な討論が行われた。

が化石熱水系のどの部分に相当するのかや、前に見た露頭との時間的・空間的關係を、その場その場で組み立てていくシリトー氏の豊富な知識と経験に、私たちは驚かされた。夜にはシリトー教室が開かれ、その日見た鉱床のおさらいを行った(写真8)。シリトー氏の説明は必ずしも論文に書かれている解釈や、各鉱山の地質技師の説明と一致しなかったが、なるほどこうならされることが多かった。同時にEPMAやX線回折装置等の機器に日頃頼りがちな私達は、現場観察の重要性を再認識することとなった。

なおこの巡検に先立ち、Great Basin地域の地質・鉱床に関する多様な資料を貸して頂いた地質調査所中村光一、変質帯の植生について教えていただいた土田 聡両主任研究官に感謝いたします。

文 献

- Ashley, R. P. (1979): Nevada Bureau of Mines and Geology Report, 33, 77-86.
 Ashley, R. P. (1990): U.S. Geol. Surv. Bull., 1857, H1-H7.
 Ashley, R. P. and Silverman, M. L. (1976): Econ. Geol., 71, 904-924.
 Becker, G. F. (1882): U.S. Geol. Surv. Mon. 2, 42p.
 Bonham, H. F. Jr. and Garside, L. J. (1979): Nevada Bureau of Mines and Geol. Bull., 92, 142p.

- Conrad, J. E., McKee, E. H. and Rytuba, J. J. (1993): Econ. Geol., 88, 317-327.
 Devlin, B. D. (1993): Geology of the Golden Promise Mine, Republic District, Washington, USA (unpublished), 9p.
 Echo Bay Mines, Inc., Case Pomeroy Co., Inc. and Homestake Mining Company (1991): Round Mountain Gold. 37p.
 Fifarek, R. H. and Gregory, N. G. (1991): Geology and Ore Deposition of the Great Basin, Symposium Proc., 1111-1121.
 Graney, J. R. (1987): Bulk Movable Precious Metal Deposits of the Western United States. Guidebook for field trips, 120-125.
 Hedenquist, J. W. (1986): Econ. Geol., 81, 1020-1023.
 Hudson, D. M. (1987): Bulk Movable Precious Metal Deposits of the Western United States. Guidebook for field trips, 413-418.
 Johnson, S. J. (1985): Soc. Eco. Paleo. Mineral. Spc. Pub., 37, 283-302.
 Margolis, J. (1989): Econ. Geol., 84, 1891-1902.
 Nash, J. T., Utterback, W. C. and Saunders, J. A. (1991): Geology and Ore Deposits of the Great Basin, Symposium Proc., 1063-1084. Geol. Soc. Nevada.
 Ott, L. E., Groody, D., Follis, E. L. and Siems, P. L. (1986): Gold '86: Willowdale, Ontario (MacDonald, A. J. ed.). Konsult Internat. Inc., 425-535.
 Pearson, R. C. and Obradovich, J. D. (1977): U. S. Geol. Surv. Bull., 143, 41p.
 Ruets, J. W. (1987): Bulk Movable Precious Metal Deposits of the western United States. Guidebook for field trips, 114-119.
 Sander, M. V. (1988): Bulk Movable Precious Metal Deposits of the western United States, 375-416. Geol. Soc. Nevada.
 Staatz, M. H. (1960): U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 400-B, 304-306.
 Staatz, M. H. and Pearson, R. C. (1990): U. S. Geol. Surv. Bull., 1857-H, 14-20.
 Tabor, R. W., Waitt, R. B., Frizzel, V. A. Jr., Swanson, D. A., Byerly, C. R. and Bentley, R. D. (1982): U. S. Geol. Surv. Misc. Inv. Map 1-1311, 25p.
 Vikre, P. G. (1985): Econ. Geol., 80, 360-393.
 Vikre, P. G. (1989): Econ. Geol., 84, 1574-1613.
 Vikre, P. G., McKee, F. H. and Silverman, M. L. (1988): Econ. Geol., 83, 864-874.

WATANABE Yasushi, KUBOTA Yoshihiro, HAYASHI Toshihiko, YOSHINARI Akio and Andrew Thomas Comas (1996): Outline of the epithermal gold deposits in the western United States.

〈受付: 1996年1月8日〉