

ドミニカ共和国 プエブロ・ビエホ温泉型金鉱床

武内 寿久¹⁾

1. はじめに

近年, 南西太平洋地域における活発な鉱床探査により数百万年前以降の若い火成活動に伴う金銀鉱脈や斑岩銅鉱床関連の金鉱床が各所に発見されているが, これら他に, 地表近くに形成された“温泉型”金鉱床も発見されている. Sillitoe (1989) によると, この地域では含金量10 t以上の鉱床が56鉱床発見され, 総含金量は5,350 t以上に達するという. このうち, 含金量400 t以上の鉱床は6(うち斑岩銅鉱床関連の金鉱床は5), 400 t-100 t規模の鉱床は8(斑岩銅鉱床系は4)とされているが, パプア・ニューギニアのリヒール島 Ladolam 鉱床はカルデラ底に30万年前に形成された温泉型金鉱床で, 含金量は1,300 tともいわれている.

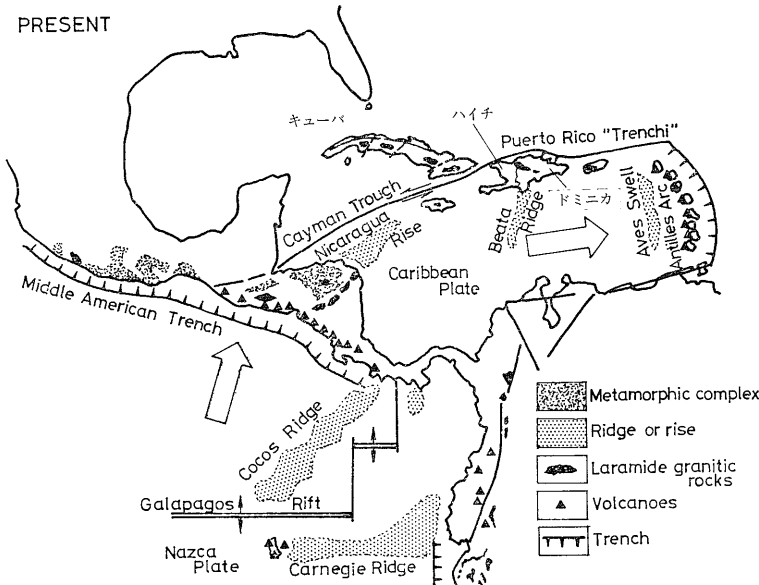
温泉型金鉱床はシリカ・シンターやその下に形成された網状石英脈に数 g/t の金を伴うもので, 低品位ではあるが規模の大きなものがあり, 金鉱化作用と地熱活動

を関連づける地質現象として研究されている. 温泉型金鉱床の一例として, しばしばドミニカ共和国の Pueblo Viejo 鉱床があげられるので, 既報論文を参考にして以下に紹介する.

ドミニカ共和国の Pueblo Viejo 鉱山は, 1975 年以来, 年間約 11 t の金と約 45 t の銀を, Moore と Monte Negro 2 鉱体上部の酸化鉱から生産してきたが, 1990 年に 4,700 万 t の酸化鉱の採掘をはほぼ終了した. これら 2 鉱体の下部にはなお数千 t 以上の含金硫化鉱があるが, 微粒の金が黄鉄鉱中に包含されている難処理鉱(Refractory ore)であるため, 鉱石の処理法が検討されている.

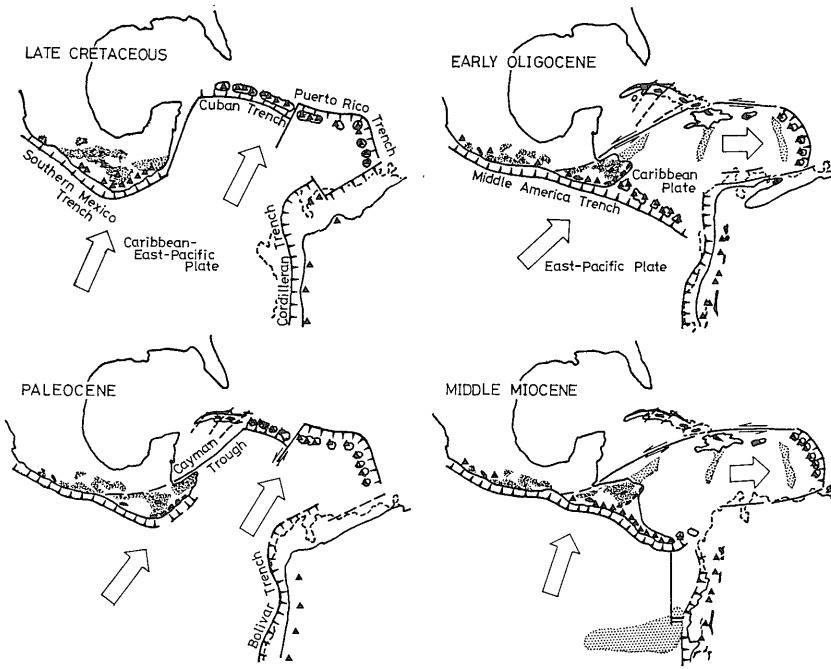
2. ドミニカ共和国中央部の地質

ドミニカ共和国のある Hispaniola 島は, Jamaica, Cuba, Puerto Rico, Virgin 諸島とともに大アンチル列



1) 東京大学名誉教授: 〒154 東京都世田谷区駒沢2-19-19

キーワード: ドミニカ共和国, プエブロ・ビエホ鉱床, 温泉型金鉱床.

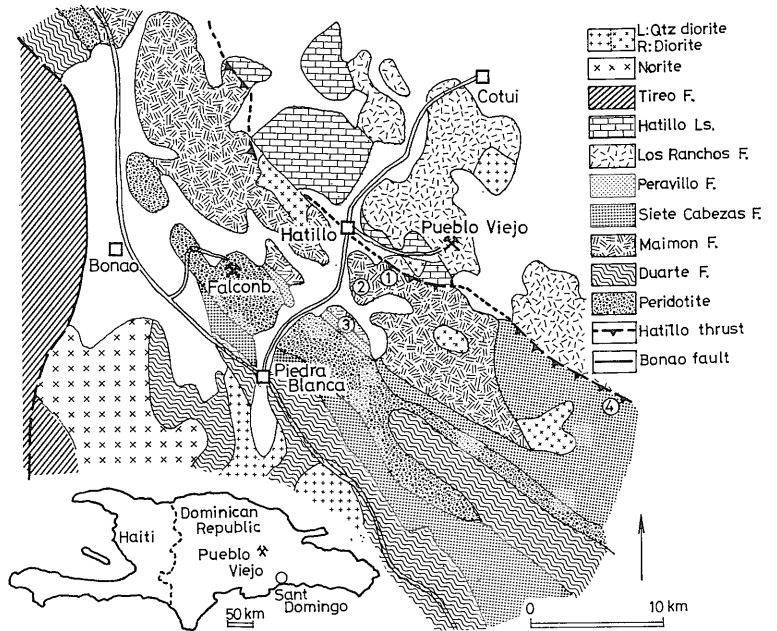


第2図(左)
白亜紀後期以降の東太平洋・カリブ・プレートの変遷 (Malfait and Dinkelman, 1972).

島を形成(第1図)しているが、この列島には現世の火山活動は無い。Malfait and Dinkelman (1972)によると、白亜紀後期に東太平洋プレートの一部が、南北アメリカプレートとの間を北東方向に移動し、カリブ・プレートを形成した。第2図に示すように、当時はカリブ・プレートの北東縁にも沈み込み帯があったが、その後カリブ・プレートの移動が東向きに変わり、沈み込み帯は東縁の小アンチル島弧地帯に移動した。この為、Hispaniola島の火山活動は終息したのであろう。

ドミニカの中央部にある Cordillera Central は白亜紀の火山岩類からなり、最高峰の Pico Duarte は 3,175m ある。山脈の両側は第三系・第四系が占めている。ドミニカの南西部にある Enriquillo 湖の水面は海面下 -44m である。最古の変火山岩は blueschist-greenschist 対をなし、白亜紀に南向きのプレートのサブダクションがあったことを示唆している。化石による最古の地層は Hatillo-Cotui 間の Los Ranchos 累層中の白亜紀前期の石灰岩である。中央変成帯 (Median Metamorphic Belt) と Los

第3図(下)
ドミニカ共和国中部の地質 (S. E. G., 1982)。Maimon 累層中の塊状硫化物鉱床：1 Loma la Mina, 2 Barbuico, 3 Cerro de Maimon, 4 Los Hojanchos。F.: 累層, Ls: 石灰岩。



Ranchos 累層の火山岩は主として溶岩であるが、Bonao 断層で接している Tiroe 累層の白亜紀後期火山岩はほとんどが火山碎屑岩である。白亜紀末には碎屑物の堆積が盛んとなり、漸新世末には火山活動は終息した。この時期に北東方向への衝上 (Hatillo 衝上断層) が生じ、中央変成帯が白亜紀堆積物の上に衝上した (第3図)。

中央変成帯と Los Ranchos 累層は重要な鉱床地帯をなしている。中央変成帯の蛇紋岩化かんらん岩は含ニッケル・ラテライトの源岩であり、Maimon 累層には含銅塊状硫化物鉱床が胚胎している。Los Ranchos 累層には Pueblo Viejo 温泉型金鉱床が形成されている。

2.1 中央変成帯

中央変成帯の変火山岩類は蛇紋岩化かんらん岩より Duarte 累層と Maimon 累層とに分けられている。Duarte 累層：Greenschist 相の変塩基性岩で、変成された海洋地殻とされている。貫入岩には石英閃緑岩、ノーライト、角閃岩などがある。

Maimon 累層：ケラトファイヤー源岩の曹長石-石英-絹雲母片岩と、凝灰岩源岩の緑泥石-緑簾石片岩からなる。Loma la Mina, Cerro de Maimon, Barbuito などに塊状硫化物鉱床が発見されている。

非変成火山岩：安山岩質溶岩・凝灰岩からなる Pervillo 累層は Maimon 層を不整合に覆い、塩基性溶岩からなる Siete Cabezas 累層は Duarte 累層を不整合に覆う。これらは白亜紀後期のほぼ同じ火山活動期のものであるとされている。

2.2 Los Ranchos 累層

Los Ranchos 累層は島弧発達の前期を示す地層と考えられ、大アンチル諸島では最も古い地層であり、火山岩と火山砕屑岩からなる。地質時代は 105-130Ma (Kesler et al., 1981) とされている。同累層の厚さは約 1,500m あり、走向 NW-SE、傾斜 25°SW で、下位から上位へ向かってケラトファイヤー質からスピライト質へ変化し

ている。下位から次の 4 部層に分けられている(第 4 図)。

1) Quita Sueno 部層：ケラトファイヤーの溶岩・凝灰岩と石英ケラトファイヤーからなり、層厚は約 300m、緩傾斜である。ケラトファイヤー溶岩は多孔質で、一部に枕状構造がみられ、上部には凝灰岩が多い。石英ケラトファイヤーは塊状で貫入岩とされている。

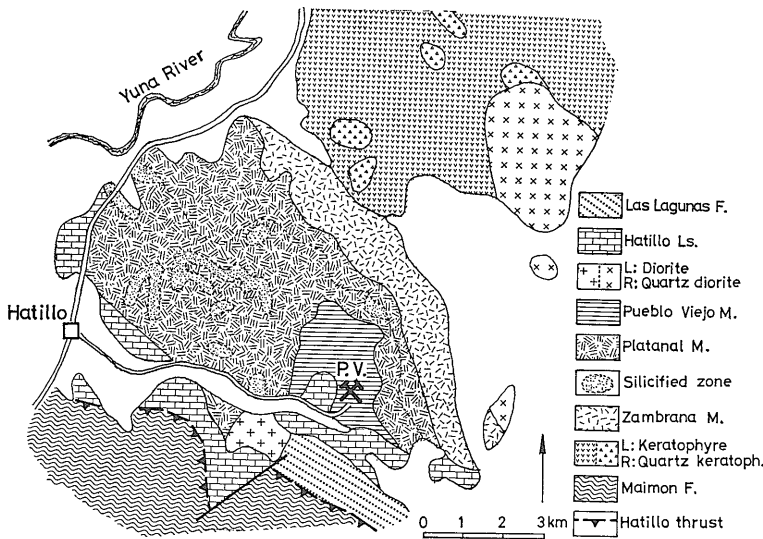
2) Zambrana 部層：層厚は約 200m、主として火山砕屑岩からなり、数枚の熔結凝灰岩層を挟む。下部は主として Quita Sueno 部層起源の岩屑からなり、ケラトファイヤー・石英ケラトファイヤーの岩片が多い。上部の溶結凝灰岩には珪質石基中に火山ガラスの扁平レンズを挟んでいる。鉱床地域の東では、溶結凝灰岩の一部がパイロフィライト化、微量の金を伴う珪化など、金鉱化に伴う熱水変質を受けている。

3) Platanal 部層：スピライト質溶岩および火山砕屑岩からなり、下底部に白亜紀前期の植物化石を含む黒色細粒石灰岩の小レンズを伴う。スピライト質溶岩は流理構造・枕状構造を欠く暗緑色岩で、低変成度の変成作用を受けており、鉱床付近では火山砕屑岩・スピライト起源の礫岩と指交している。熱水変質を受けたスピライトは淡灰色となり、パイロフィライト、イライト、カオリナイトが種々の割合で形成されている。スピライト質礫岩は鉱床付近に多く、Pueblo Viejo 部層と同じ堆積盆に堆積したものである。

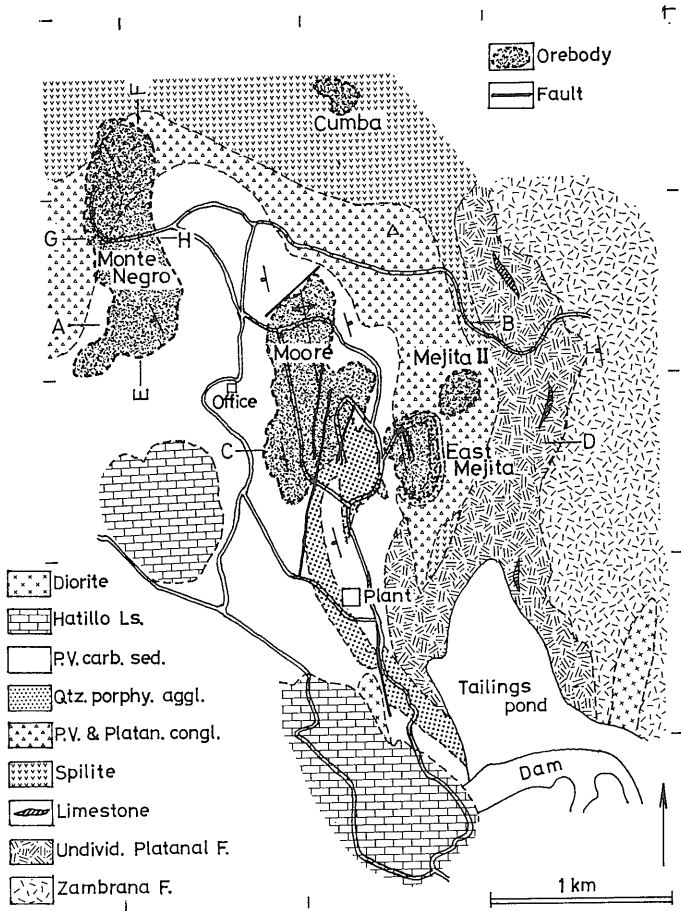
4) Pueblo Viejo 部層：主として含炭質物堆積岩からなり、下部は粗粒の礫岩であるが、上部は細粒の炭質物・黄鉄鉱を含む泥岩となる。スピライト層を挟んでいる。堆積盆の北部・東部に分布する樹幹化石を含む沿岸礫岩から盆地中心へ向けて、木の葉化石を含む含炭質物泥岩へと急速な水平方向の変化がみられるので、限られた盆地に堆積したものと考えられている。鉱床地域の南では、Pueblo Viejo 部層は Hatillo 石灰岩に不整合に覆われており、堆積盆の南延長は不明である。

3. 鉱床付近の地質 (第 5 図)

スピライトは、一部で集塊岩質組織を示す所があるが、一般に塊状で堆積時の状態を示す明瞭な組織や構造を示していない。このスピライトは、鉱化帯の北では、スピライト起源の砕屑マトリックス中にスピライ



第 4 図 プエブロ・ビエホ鉱山付近の地質 (S. E. G., 1982).
M.: 部層, P. V.: プエブロ・ビエホ鉱山.



第5図 プエブロ・ビエホ鉱床地質図 (Kesler et al., 1981 に加筆). P. V. carb. sed.: プエブロ・ビエホ含炭質物堆積岩, Qtz. porphy. aggl.: 石英斑岩集塊岩, P. V. & Platan. congl.: プエブロ・ビエホ礫岩とプラタナル礫岩.

トの角礫・亜角礫を含む無層理礫岩によって覆われている。このユニット中の碎屑物の組成変化は、熱水活動がスピライト礫岩の堆積前に始まっていたことを示している。パイロフィライト質マトリックス中のパイロフィライト礫からなる礫岩は堆積前か堆積後に変質を受けたものであろうが、石英-パイロフィライト・マトリックス中に珪化礫・黄鉄鉱化礫を含む礫岩はおそらく変質スピライト起源のものであろう。Monte Negro 鉱体付近では、スピライト礫岩は北西から南東へ向かって層状礫岩へ移行し、堆積盆中心部では層状礫岩は塊状スピライトの上に直接堆積している。礫岩層の上位は炭質物に富む厚い砂岩が特徴の粗粒堆積物であるが、礫岩から砂岩への移行は急である。

炭質物に富む黒色泥岩層は時に黄鉄鉱薄層を挟み、南東に向かって薄くなる。泥岩層は粗粒のスピライト起源

堆積物で覆われている。泥岩から上部の粗粒堆積物への移行は急激で、堆積盆の堆積速度が急に変ったことを示している。パイロフィライト化した細粒堆積岩には所により小規模の水平断層がある。断層に沿って小規模の褶曲が伴うが、このような褶曲はPueblo Viejo地域の軟らかいパイロフィライト化した泥岩ではよくみられ、特に硬い珪化岩との接触部では明瞭である。粗粒珪化堆積岩には南北系の褶曲があり、その一つは鉱化をもたらした断層と一致する。

第三紀閃緑岩の岩栓は多い。小規模な閃緑岩岩脈が Monte Negro 鉱体を切っている。鉱化後の活動によるもので、変質も鉱化も受けていない。

Monte Negro 鉱体の西のスピライト礫岩中に多量の円磨された珪化礫が含まれていることから、この堆積盆は水蒸気爆発かマグマ爆発のような爆発的火山活動により形成されたマールであろうとされている (Russell et al., 1986)。

4. 鉱床概要

鉱床は Moore, Monte Negro の2主要鉱体と East Mejita, Mejita II, Cumba の3小鉱体からなる (第5図, 第6図)。

Moore 鉱体は、上部の酸化鉱と下部の初成硫化鉱とからなる。酸化鉱は 1,200m × 500m の規模で、North Hill と South Hill に分けられる。酸化鉱の厚さは最大80m、

珪化を受け、破碎された堆積岩の中でよく発達している (第7図) が、下部にパイロフィライトが発達している所では酸化は深くまでは及んでいない。酸化鉱と硫化鉱の境界は比較的シャープで、層理面や小断層により規制されている。East Mejita, Mejita II 鉱体は以前は Moore 鉱体と連続していたもので、堆積盆の東側に分布し、East Mejita 鉱体は炭質物に富む堆積岩中にあるが、Mejita II 鉱体はスピライト礫岩中にある。

Monte Negro 鉱体は Moore 鉱体の北西約 500m、堆積盆の北西縁近くにあり、鉱体の大部分は礫岩と粗粒堆積岩中にある (第8図)。鉱体規模は約 1,500m × 400m、Moore 鉱体とは炭質物に乏しい泥岩により隔てられている。鉱化に伴う激しい熱水変質は Platanal 部層の上部 2/3 と Pueblo Viejo 部層全部に及んでいる。鉱床の北西部には塊状スピライトが露出し、スピライト-堆積

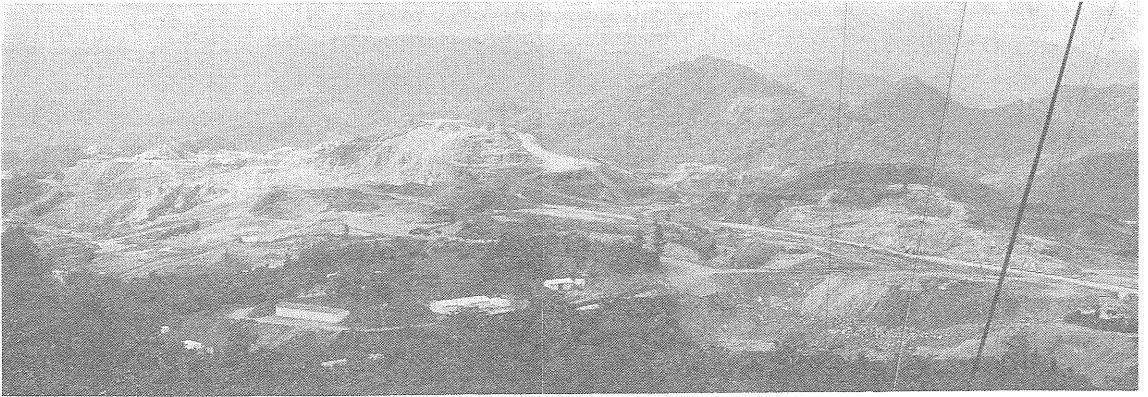
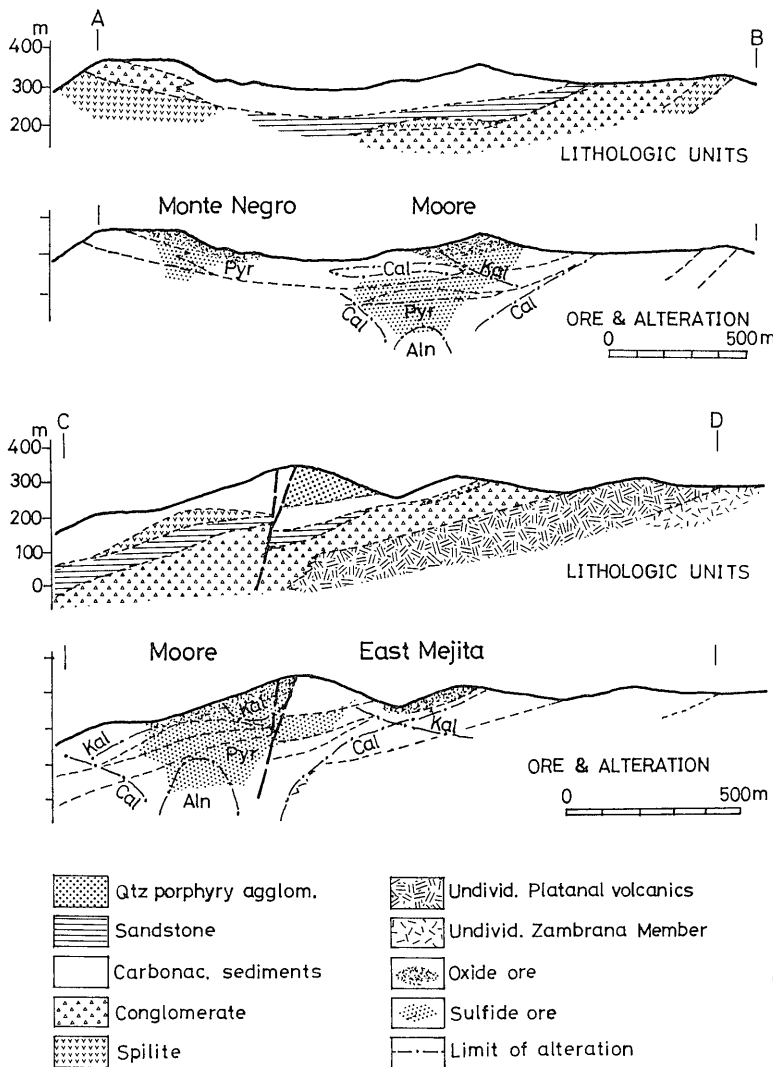


写真 1 北東の岡より Moore 鉱体を望む。



岩境界は鉱体の中を傾斜している。1g/t Au のコンターで描いた Monte Negro 鉱化帯は、上下約 250m の漏斗形をしている。塊状スピライトの中では鉱化は比較的狭い頸部に限られているが、上部の礫岩中では側方へ広がっている。

3g/t Au のコンターに囲まれる高品位部は、スピライト直上の層状礫岩や粗粒堆積岩の中にある。高品位鉱を含む傘の部分には、層状礫岩層に沿って傾斜にさからって北に非対称に伸びている。

Cumba 鉱体は小規模ではあるが高品位で塊状スピライト中にあり、Moore, Monte Negro 鉱体の下部と同様に、ほぼ円柱状の鉱体であるが、恐らく最も深く浸蝕された鉱体であろう。

初成硫化鉱体は層状、網状、鉱染状を示し、炭質物を含む堆積岩中では横に拡がり、漏斗状を呈する。黄鉄鉱の鉱染は変質帯中ではどの岩石にも認められるが、黄鉄鉱層は炭質物を含む堆積岩中で顕著であり、厚さは通常 2 cm 以下、しばしば級化層理を示し、上に向

第 6 図 Moore 鉱体の東西地質断面図 (断面 A-B, C-D の位置は第 5 図を参照) (Kesler et al., 1981 に加筆)。変質帯略記 Pyr: パイロフィライト, Kal: カオリナイト, Aln: 明ばん石, Cal: 方解石。

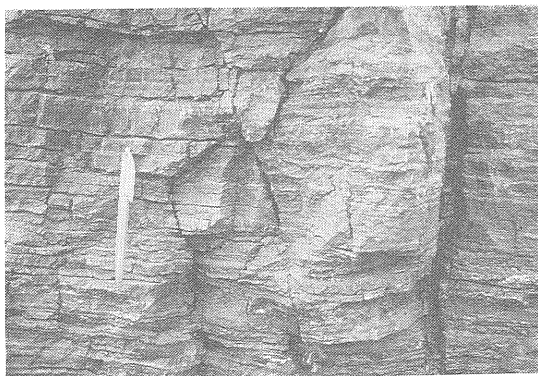


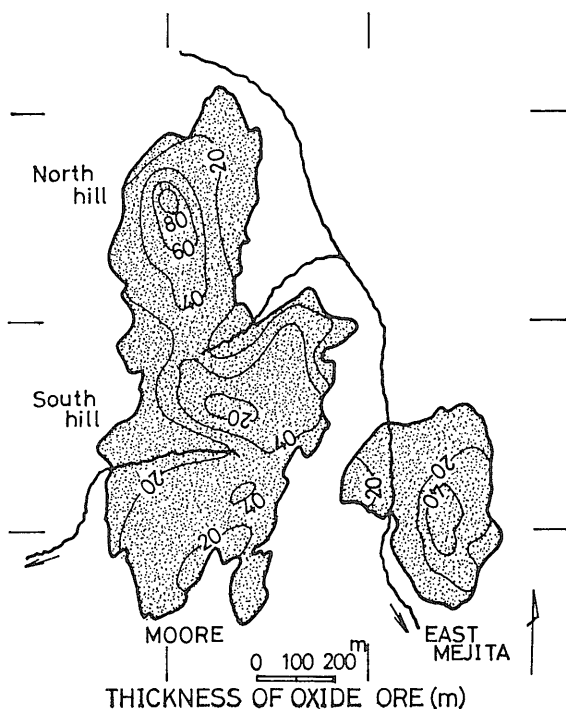
写真 2 炭質物を含む泥岩薄層中の層状，鉍染状，細脈状黄鉄鉍 (Moore 鉍体)。



写真 4 酸化帯と硫化帯の境界付近 (Moore 鉍体)。ここでは、境界は比較的に明瞭である。右下側暗色部が硫化帯。



写真 3 泥岩の層理を切る不規則黄鉄鉍脈のクローズアップ (Moore 鉍体)。



第7図 Moore 鉍体酸化鉍の等厚線図 (Russell et al., 1981).

かって粒径，量が減少する。層厚は時に10mに達し，層理に平行なレンズ状を示すことがある。黄鉄鉍脈は炭質物を含む堆積岩中では良く発達し，脈幅10cmに達することもある。不規則脈で層理に沿う分岐脈が多くみられる。脈の側壁側に黄鉄鉍，中心に閃亜鉛鉍の対称縞状構造を示すことがある。黄鉄鉍には，堆積岩と同生的なもの，熱水活動による後生的なものがあり，フランボイド，立方体，八面体，十二面体と様々な形態を示す。金は自然金およびテルル化金が，粒径2-1 μ mの極微粒子として後生的黄鉄鉍中に含まれているが，同生的黄鉄

鉍にはほとんど含まれていない。銀は，boulangerite-group 鉍物に含まれているが，enargite-group にはほとんど含まれていない。

Au, Ag, Hg, Te は類似の分布を示し，スピライトー堆積岩境界面で最も高い値を示す (第9図)。Cu は金の高品位部の下漏斗の頸部に多い。銅鉍物として enargite, bournonite, chalcostibite, tennantite-tetrahedrite などがある。Sb は高品位部に多く，漏斗の頸部で最高値



写真 5 酸化帯—硫化帯境界付近のクローズアップ。硫化鉱の酸化は部分的に、層理面や割れ目により規制されている。



写真 7 酸化帯—硫化帯の不規則境界のクローズアップ (Monte Negro 鉱体)。



写真 6 酸化帯—硫化帯境界付近 (I) (Monte Negro 鉱体, 口絵写真 2 の左部)。酸化は割れ目に規制されて酸化鉱と硫化鉱が不規則に入り乱れている。

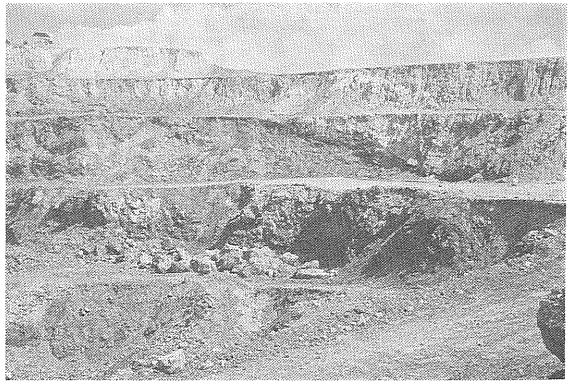
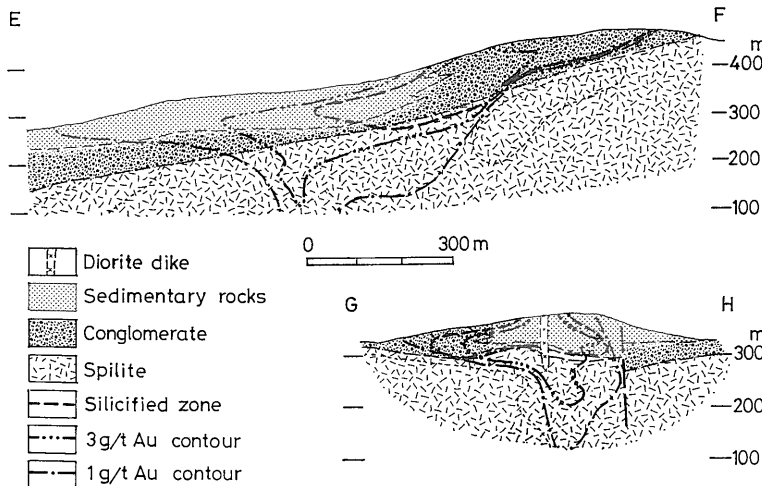


写真 8 酸化帯—硫化帯境界付近 (II) (Monte Negro 鉱体, 口絵写真 2 の右部)。境界はシャープである。黒色部は黄鉄鉱の鉱染した変質スピリット、ピット最上段の白色部はカオリナイト帯。



第 8 図 Monte Negro 鉱体の東西, 南北地質断面図 (Russell et al., 1986). 珩化帯と金品位 3g/t, 1g/t のコンターを示す。

を示す。Zn は Monte Negro 鉱体では高品位部を囲むハローを形成し、中程度の珩化帯で閃亜鉛鉱の縞として含まれる。Moore 鉱体では、Zn ハローはなく、黄鉄鉱—閃亜鉛鉱脈で金品位が高く Au-Zn に強い相関が認められる。Ba は Monte Negro 鉱体では珩化帯外側で最も高く、金の高品位部では最低値を示す。

Monte Negro 鉱体と Moore 鉱体とでは、鉱石の垂直帯状分布に相違がある。Moore 鉱体の品位は、酸化珩から硫化珩へ下に向かって減少するが、Monte Negro 鉱体の高品位硫化珩は低品位珩に覆われている。この相違は硫化物脈の分布に

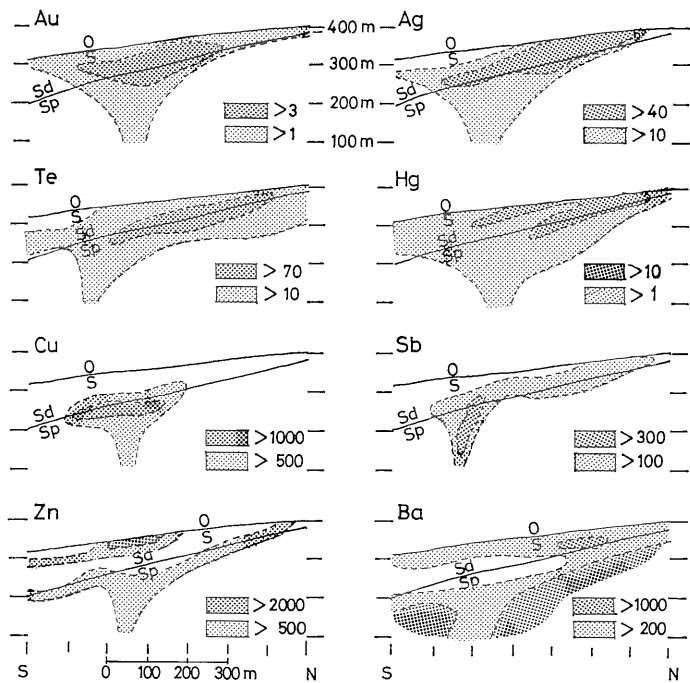
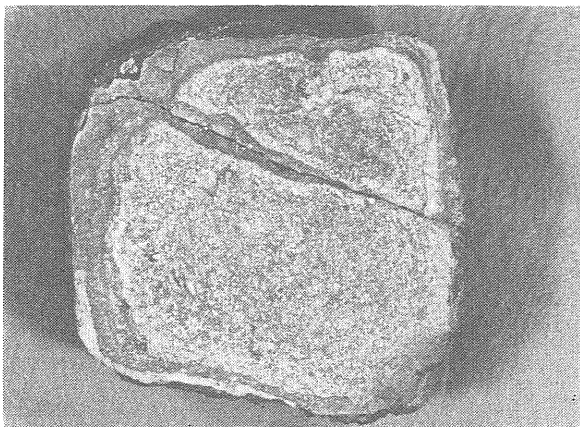
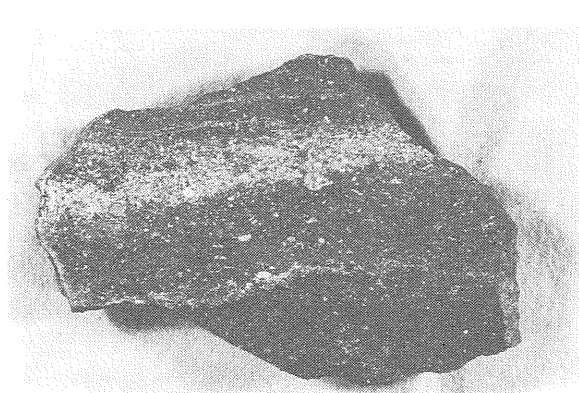
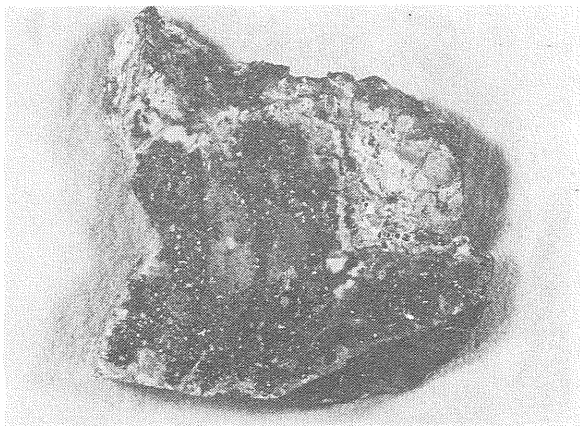
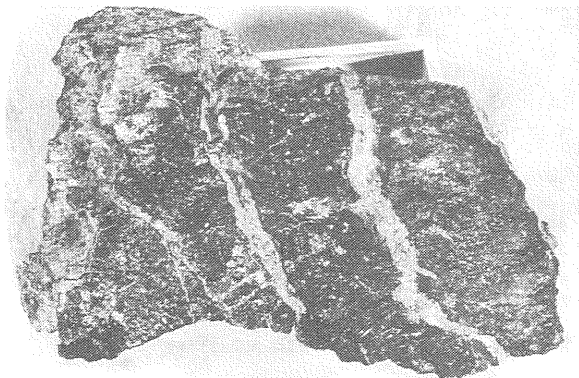


写真 9 (左上)
 珪化含炭質物堆積岩層を切る黄鉄鉱細脈 (Moore 鉱体).
 写真10 (左下)
 黄鉄鉱の鉱染した珪化スピライト (Monte Negro 鉱体).
 写真11 (右上)
 酸化鉱中の珪化岩礫 (Monte Negro 鉱体).
 写真12 (右下)
 酸化鉱中の粘土化・珪化岩礫 (Monte Negro) 鉱体.

第 9 図
 Monte Negro 硫化鉱体の元素分布 (南北断面, 数値単位は ppm) (Russell et al., 1986), O: 酸化鉄, S: 硫化鉄, Sd: 堆積岩, Sp: スピライト.



写真13 Moore 鉱体（左前方のピット）と Monte Negro 鉱体（右手前のピット）

表れている。Monte Negro 鉱体では脈は酸化鉱や硫化鉱上部では少なく、下部の高品位部に多いが、Moore 鉱体では脈は酸化鉱と直下の硫化鉱に多い。金は、Moore 鉱体では脈の黄鉄鉱中にあり、層状堆積岩中の同生的黄鉄鉱の中には無いが、Monte Negro 鉱体の上部では鉱染黄鉄鉱に金が含まれている。硫化物脈は厚さ 10cm 以下で、細粒堆積岩層の中では境界が明瞭であるが、礫岩層とスピライトの中では不規則脈であり、明瞭な境界を示さない。脈は、層理面に沿うか特定の方向を示さない所を除いては、ほぼ垂直である。

熱水変質帯の広域変成鉱物（方解石、緑泥石、曹長石、緑簾石）は明ばん石、カオリナイト、ダイアスポア、パイロフィライト、石英により交代されている。最も多い変質鉱物はパイロフィライトである。Munteau et al. (1990) によると、Monte Negro 鉱体の熱水変質は(1)下部（明ばん石、石英、鉱染黄鉄鉱）と上部（カオリナイト、石英、鉱染

黄鉄鉱）からなる前期変質と、これに重複する(2)下部（パイロフィライト、ダイアスポア）と上部（シリカ・キャップ）からなる後期変質とに分けられている。鉱体中の金の量の60%は前期変質の鉱染黄鉄鉱中に微細な金粒として含まれており、母岩中の鉄の硫化作用に際して金が沈澱したとされている。残り40%の金は、後期変質に伴う黄鉄鉱細脈に含まれており、流体の冷却、シリカ・キャップの水圧破碎により生じた沸騰や地下水との混合によって沈澱したものと推定されている。これに対し、Moore 鉱体では金粒は脈黄鉄鉱の成長帯に沿って分布していることがあるので、金は流体の沸騰時に沈澱し、冷却か地下水との混合時には黄鉄鉱が晶出したとされている。

流体包有物、硫黄の安定同位体組成、変質鉱物の相関係数などから、流体の温度は、前期では 200℃ 前後、後期では 300℃ 前後とされ、後期の流体の方が前期よりもやや還元的であったと考えられている。

酸性一硫酸塩型金鉱床の鉱量・品位の向上には、熱水系の活動の衰退過程よりも上昇過程の方が好ましいようである。活動上昇期にはより多くの金が運ばれ、先に形成された低品位鉱化の品位向上をもたらすのであろう。シリカ・キャップは、流体の流出通路を閉塞し、水圧破碎を起こさせ、高品位脈群の形成に貢献している (Munteau et al., 1990)。

5. おわりに

以上のように、Pueblo Viejo 金鉱床は白亜紀のスピライト質火山岩活動の末期に形成された温泉型金鉱床と考えられる。南西太平洋地域で発見されている第四紀—現世に形成されたものに較べると、はるかに古いものであるが、温泉型金鉱床としての形態的特徴を良く保持し

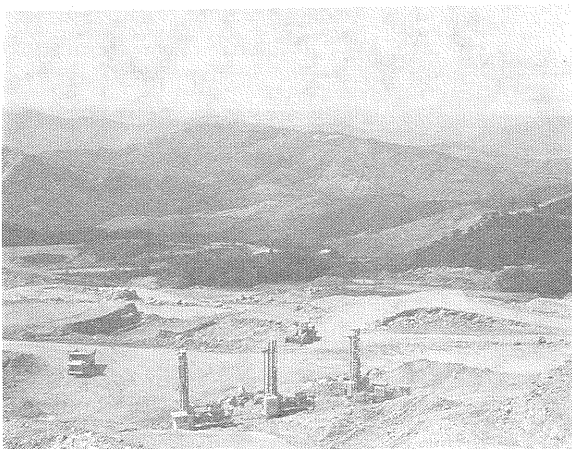
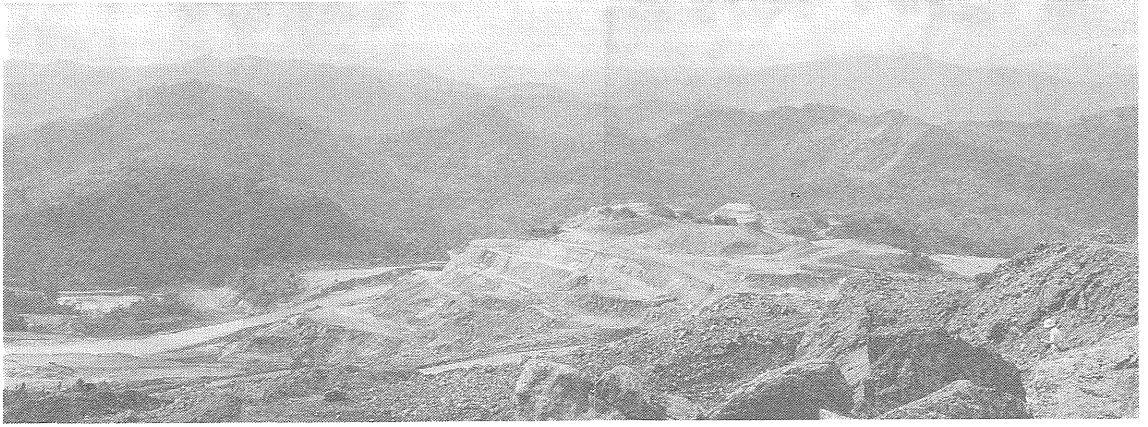


写真14 Monte Negro 鉱体より西を望む。



ている。鉱体上部の酸化鉱は、黄鉄鉱中の金粒が風化により裸にされているので、CIP 青化法により金が回収されてきたが、下部の初成硫化鉱には硫黄が6-8%、堆積岩中の炭質物に由来する炭素が0.5%ほど含まれているので、青化ソーダ消費量が増え、CIP法の金回収率が低下するため、その開発には鉱石の特性に対応する金回収プロセスの採用が必要となろう。

文 献

- Cumming, G. L., Kesler, S. E. and Krstic, D. (1982): Source of lead in sulfide ore at the Pueblo Viejo gold-silver oxide deposit, Dominican Republic. *Econ. Geol.*, 77, 1939-1942.
- Kesler, S. E., Russell, N., Seaward, M., Rivera, J., McCurdy, K., Cumming, G. L., and Sutter, J. F. (1981): Geology and geochemistry of sulfide mineralization underlying the Pueblo Viejo gold-silver oxide deposit, Dominican Republic. *Econ. Geol.*, 76, 1096-1117.
- Malfait, B. T. and Dinkelman, M. G. (1972): Circum-Caribbean tectonic and igneous activity and the evolution of the Caribbean plate. *Bull. G. S. A.*, 83, 251-272.
- Munteau, J. L., Kesler, S. E., Russell, N., and Polanco, J. (1990): Evolution of the Monte Negro acid sulfate Au-Ag deposit, Pueblo Viejo Dominican Republic: Important factors in grade development. *Econ. Geol.*, 85, 1738-1758.
- Russell, N., Seaward, M., Rivera, J. A., McCurdy, K., Kesler, S. E., and Cloke, P. L. (1981): Geology and geochemistry of the Pueblo Viejo gold-silver oxide ore deposit, Dominican Republic. *Trans. I. M. M.*, 90, B153-B162.
- Russell, N., Polanco, J., and Kesler, S. E. (1986): Geology of the Monte Negro gold-silver deposit, Pueblo Viejo district, Dominican Republic. *Proc. Gold '86*, 497-503.
- Sillitoe, R. H. (1989), Gold deposits in Western Pacific island arcs: the magmatic connection. *Econ. Geol. Monograph 6, The Geology of Gold Deposits: Perspective in 1988*, 274-291.
- Sisselman, R. (1975): Rosario Dominicana launches Latin America's largest gold mine. *E. M. J.*, 176, October, 71-78.
- Soc. Econ. Geol. (1982): Economic geology of Central Dominican Republic. Guidebook for Fall Field Trip of S. E. G., 5-66, 86-95.

TAKENOUCHI Sukune (1991): Pueblo Viejo hot spring type gold deposit in Dominican Republic.

<受付: 1991年3月28日>