

# アンデス中部の金鉱床 エル・インディオ

佐藤 興平 (鉱床部)  
SATO Kohei

## 1. はじめに

チリー中央部のアルゼンチン国境に近いアンデス山中にエル・インディオ (El Indio) と呼ばれる金鉱床が発見され、一年余り前から本格的な開発が始まった。この鉱山は金を主要な採掘対象とする稼行鉱山としては現在チリーで唯一のものであり、鉱石の金品位の高さでも注目を集めている。

チリーが銅や鉄に富む国であることは広く知られている。しかし金は太平洋岸側に少量産するだけだというのが大方の見方であった。それだけにエル・インディオ鉱床の発見は鉱業界における最近の大きな話題の一つとなった (たとえば Mining Magazine, 1982年3月号)。

この鉱床は海拔約4000mの山岳地帯にありかつてはpirquinerosと呼ばれる人々が露頭部から金鉱石を小規模に採掘しラバを使って搬出していたという。1974年から1976年にかけてこの地域の予察調査がチリーの鉱業公社 (Empresa Nacional de Minería 略称 ENAMI) によって行われ、ひきつづきアメリカ合州国の鉱山会社 St. Joe が鉱区を買収して本格的な探鉱を開始した。ボーリングと探鉱坑道による調査で1978年までに金13.4 g/tの鉱石180万トン捕捉し、さらに探鉱や試掘を進め1979年から鉱山としての開発を始めた。1日1250トンの鉱石を処理する選鉱場が1981年から運転を開始し、鉱山全体としては約1200人の人が働いている。1981年10月の時点で見積られた埋蔵鉱量を表1に示した。

多くの人の注目を集めている割にはこの鉱床について公表された資料は少ない。簡単に手に入る資料としては鉱山の地質屋 R. Araneda による記載がほとんどで

表1 エル・インディオ鉱床の埋蔵鉱量\* (Araneda, 1982)

鉱石の種類	量(t)	品位		
		Au(g/t)	Ag(g/t)	Cu(%)
“DSO”**	7,0200	277.0	116	2.24
選鉱場用鉱石	329,0500	12.3	141	3.98

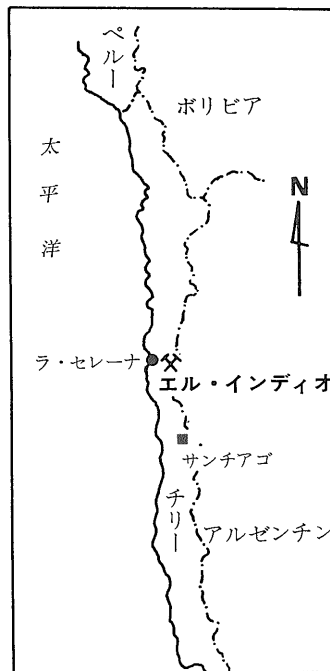
\* 1981年10月での見積り。確定+推定鉱量

\*\* Direct Shipping Ore (そのまま輸出される高品位鉱石)

一のものである。鉱山見学の許可が得られることは稀で、これまで日本人がこの鉱山を訪問したという話も聞かれない。工業技術院 ITIT 特別研究の一環として1983年2月から3月にかけて約一か月間実施したチリー中央部での地質調査の間にも筆者はついに見学の機会に恵まれなかった。得られた資料はわずかであるがここではAranedaの報告をもとにエル・インディオを含む地域の地質図作成に携わるチリー地質鉱物調査所 (Servicio Nacional de Geología y Minería, 略称 SERNA-GEOMIN) の V. Maksaeв の話や彼の試料の観察結果も合わせこの鉱床の概略を紹介したい。

## 2. エル・インディオ鉱床の地質

エル・インディオ鉱床はラ・セレーナ (La Serena) 市の東方125kmのアルゼンチン国境に近いアンデス山脈の高所にある (第1図)。海拔4000m附近にある鉱床



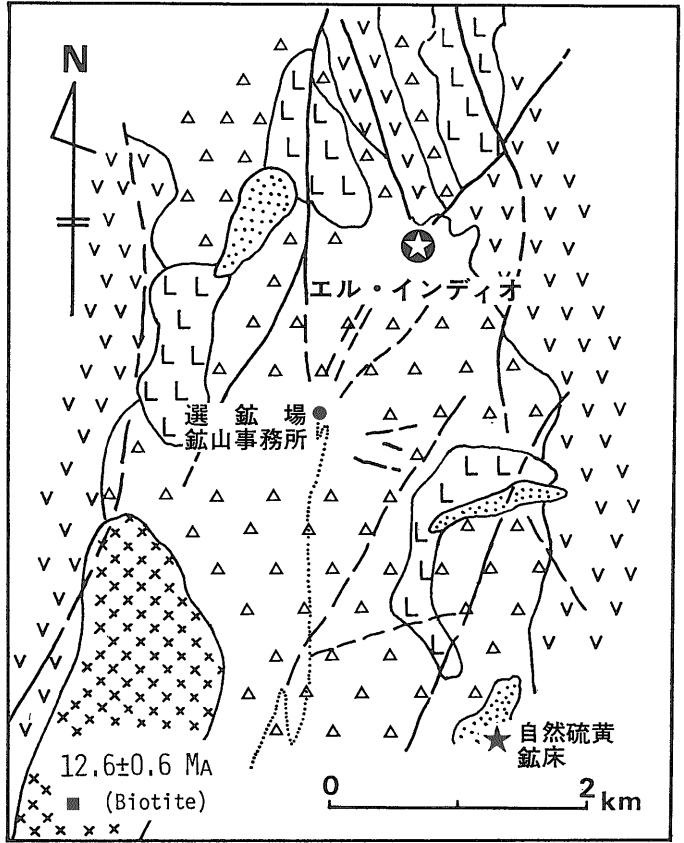
第1図 エル・インディオ (El Indio) 鉱床の位置。  
緯度 29°45' S 経度 69°59' W.

の周辺には 標高6320mの Cerro Las Tortolasをはじめとする高い山塊がそびえまた深い谷が刻まれて けわしい地形を形づくっている (写真1).

鉱床周辺には 第三紀の火山岩類がアンデス山脈の方向と平行に南北に伸びて広く分布し 中新世後期の花崗岩類の小岩体がこれを貫く (第2図). 鉱床を胚胎する火山岩類は主に安山岩~流紋岩組成の凝灰岩や集塊岩からなるが 鉱床の近くでは熱水変質のため源岩の組織はわからなくなっている. 熱水変質帯はエル・インディオを中心に幅1~10 km・南北に200kmにわたって断続的に見られるという (写真2). 第2図の西側には二疊紀~三疊紀とみられる古い火山岩・花崗岩類が広く露出し アンデス山脈の骨格をなしている (写真3). この古い火成岩類と上記の第三紀火山岩類との間には ジュラ紀もしくは白亜紀と推定される強く変形した堆積岩類が小規模に露出する. 化石が発見されていないためこの年代は不確かなものであるが 二疊紀~三疊紀の火成岩類とともに 鉱床を胚胎する第三紀火山岩類の基盤が西側で地表に現われているものと解されよう.

この地域には南北系の多数の断層がアンデス山脈の伸びの方向に走り 部分的には北東-南西あるいは北西-南東方向の小構造もみられる. これらのあるものは鉱化期あるいはそれ以前にも活動し 溶岩や熱水の通路として重要な役割を果たしたと考えられる. ラ・セレーナ市から鉱山に至る道路は ビクーニャ (Vicuña) の東方で およそ40 kmにわたって二疊紀~三疊紀の花崗岩バソリスを横断する (写真4). 道路の両側に切り立った花崗岩の岩壁には いたるところに暗色の岩脈がみられ 基盤の割目を伝わってマグマが上昇していった様子が明瞭にみられる (写真5). その一部は地表にまで達したかもしれない.

エル・インディオ鉱床は 上に述べた第三紀火山岩類の変質帯に胚胎する多数の鉱脈からなる. 変質および鉱化の時期は K-Ar 年代測定法により800~1100 万年位前と推定されている. 測定結果は第4図に示した. 鉱床の南西3~5 kmに露出する花崗閃緑岩の小岩体についても 黒雲母の K-Ar 年代が得られている (第2図). この結果 (1260±60万年) がエル・インディオの鉱化年代



第2図 エル・インディオ地域の地質概略図. Araneda (1982)を簡略化. 1:玄武岩質安山岩 2:流紋岩~石英安山岩質角れき岩 3:安山岩および流紋岩質凝灰岩など 4:凝灰岩と火砕流堆積物 5:花崗閃緑岩 6:断層

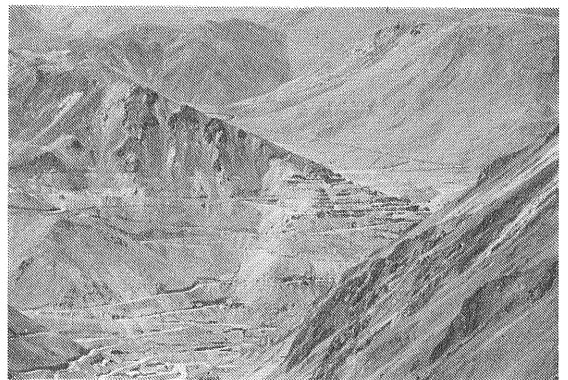


写真1 エル・インディオ鉱山の景観. 中央右よりが露天掘り部分. 1982年V. MaksaeV 撮影.

にきわめて近いことが注目される。 鉱化作用はこのような花崗岩類の活動と密接に関係した可能性があろう。

鉱山で現在探掘対象となっている鉱脈は 400m×100mの北東—南西に伸びた区域に分布するが その周辺でも探鉱が行われている。 開発が進んでいる上記の区域は北西側を北インカ断層で 南東側を南インカ断層で区切られ この間に多数の鉱脈が分布している (第3図)。 この2つの断層の間にも多数の小断層があって鉱脈の方向や連続性を支配している。 断層中にもしばしば鉱石が含まれ これらの断層が鉱化期にも活動して鉱液の通路 および鉱石沈澱の場として重要な役割を果たしたことを示している。

### 3. 鉱 脈

鉱脈は金を含む石英脈と少量の黄鉄鉱・石英・金を含む硫砒銅鉱 (Enargite  $Cu_3As_2S_4$ ) 脈とからなる (第3・4図)。 両者が交差するところでは石英脈が硫砒銅鉱脈を切ることから この硫化物脈は石英脈に先だって生成したと考えられる。 この硫砒銅鉱脈に金が含まれる場合 金は後期の石英細脈に産する (写真6)。

これら2種の鉱脈と変質との関係は複雑で完全に解明されたわけではないが 含金石英脈は石英—絹雲母変質帯にあり硫砒銅鉱脈には粘土変質帯を伴うという傾向がある (第4図)。 変質岩の産状から 金の沈澱には珪化

変質が密接に関係したと推定される。

#### 硫砒銅鉱脈

硫砒銅鉱脈は石英脈に比べて脈幅が広く傾斜がゆるやかである (平均45°)。 脈幅は広いところで10mを越えるという。 鉱石は硫砒銅鉱の他に黄鉄鉱・黄銅鉱・石英も含み 深部では四面銅鉱—砒四面銅鉱 (Tetrahedritennantite  $(Cu, Fe)_{12}(Sb, As)_4Si_{12-13}$ )・閃亜鉛鉱・方鉛鉱もごく少量みられる。 平均品位は銅 8~14%・金 8~10g/t・銀 160g/tである。 この鉱脈の地表部から地下120m位までは溶脱されてシリカ分の多いガサガサの鉱石になっている。 部分的に硫砒銅鉱が残りスコロダイト (Scorodite  $Fe(AsO_4) \cdot 2H_2O$ )・マッケイ鉱 (Mackayite  $FeTeO_5$ )・自然硫黄などの2次鉱物がみられることがあるが 銅品位はきわめて低く平均0.1~0.5%である。 金と銀の平均品位はそれぞれ 15g/t・500g/tで 溶脱されていない硫砒銅鉱脈に比べ Ag/Au比が2倍程度に



写真2 エル・インディオ鉱山の南約20km 熱水変質を受けた第三紀の火山岩類を深い谷が刻む。 遠景の山は標高6000mを越え 降雪のため山頂は見えない。 1983年3月2日(夏期)海拔3700m附近から。

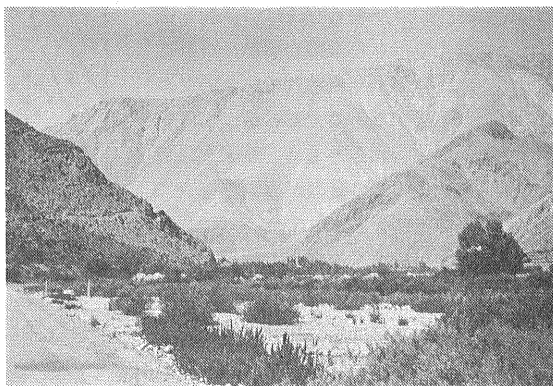
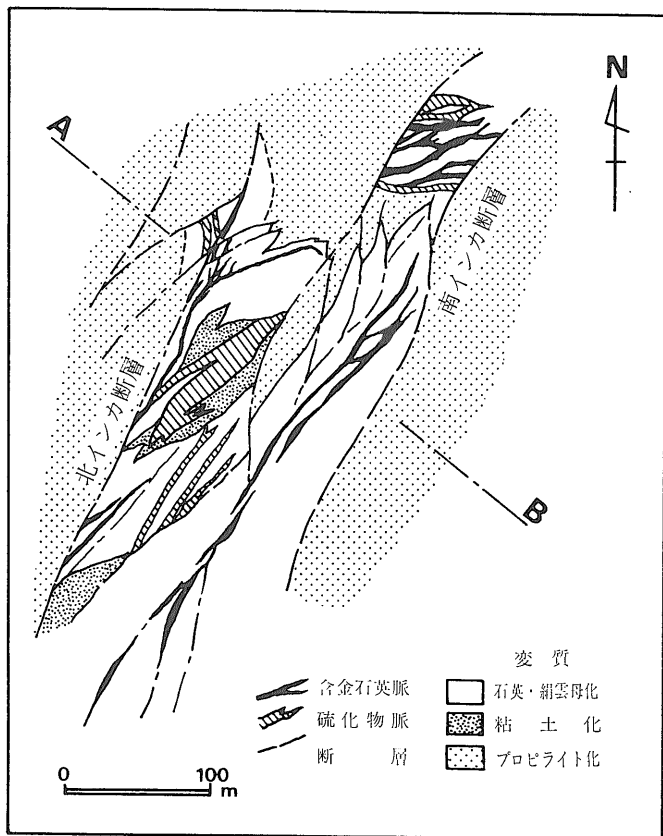


写真3 ビクーニヤから東に向う谷の正面に立ちはだかる古生代の花崗岩の山塊。 Rivadavia 附近にて。



写真4 エル・インディオに至る道路。 谷の両側に古生代の花崗岩類の露出が続く。 その一部からは三疊紀の年代データも得られている。 Rivadavia 北東方にて。



第3図 エル・インディオ鉱床4050mレベルにおける鉱脈と変質帯の分布 (Araneda, 1982).

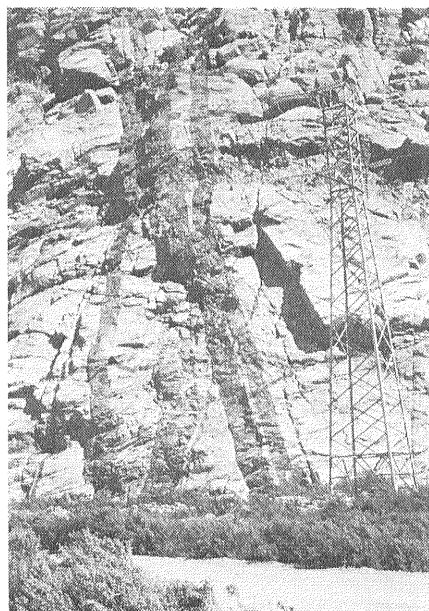


写真5 古生代の花崗岩を切る安山岩の岩脈。右は鉱山に電力を送る高圧線の鉄塔。

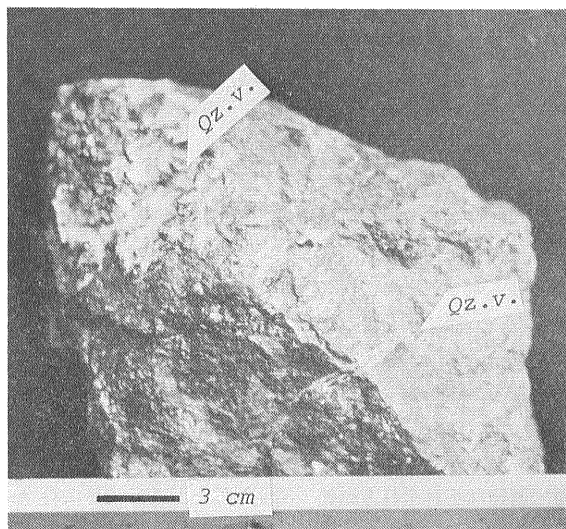


写真6 硫砒銅鉱の鉱石。石英細脈 (Qz.v.) に切られる。

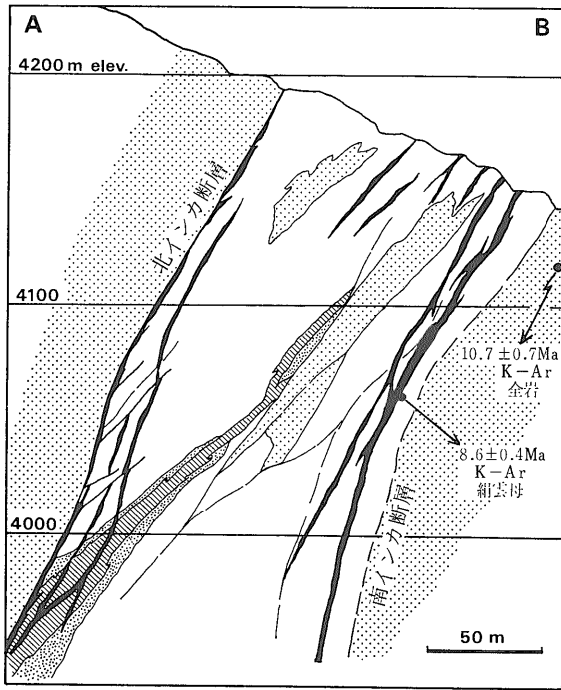
高まっていることが注目される。

### 石英脈

石英脈は硫砒銅鉱脈に比べ脈幅がせまく傾斜も急である。脈幅は一般に1~2mで北西に65°位に傾斜している。鉱脈は母岩の破片を含み金の他に少量の黄鉄鉱や硫砒銅鉱を伴う。金の含有量が100g/tを越える高品位部が脈の下盤ぎわに不規則に分布し通常の鉱石とは別に採掘して選鉱過程を経ないで直接熔鉱炉へ送られている。鉱山ではこれを“DSO”(Direct Shipping Ore)と呼び重要視している。1979年5月から1982年1月までに採掘された“DSO”は合計46500トンでその平均金品位は276g/tであった。すなわちこの期間にこの種の鉱石だけから13トン余りの金を採取したことになり、鉱山開発の初期段階で“DSO”は経済的にきわめて重要な役割を果たした。

### 4. 鉱物

すでに述べたようにエル・インディオ鉱床は金を含む石英脈と硫砒銅鉱を主とする硫化物脈とからなる。金は石英脈中に微細粒(5~10ミクロン)の自然金として存在し個々の粒子はルーペでも見えないが金粒の塊りあるいは細脈状の集合体がルーペで見られ



第4図 エル・インディオ鉱床断面図 (Araneda, 1982).  
第3図のA・B断面。 鉱脈と変質帯の区分は第3図と同じ。

ることがしばしばある。この鉱床は金品位の高いことで特徴づけられるが 高品位部のみぞ掘り試料で5~10 kg/t というような分析結果が得られることも稀ではないという。これまで25 kg/t という記録さえ報告されている。写真7には典型的な金鉱石の例を示した。

銀も金とともにこの鉱床の重要な金属であるが その存在形態は良くわかっていない。あるものは極微細粒の自然銀として存在すると推定されている。一部の銀は自然金に固溶している可能性があるが 金粒(エレクトラム)の分析値が公表されていないので 詳細は不明である。

銅はほとんどすべて硫砒銅鉱として鉱化の早期に沈澱し 独自の硫化物脈を形成した。硫砒銅鉱は黒色の塊りとして産し なかには10cmに達する結晶もみられるという。他に銅を含む鉱物として2次鉱物も含め 四面銅鉱一砒四面銅鉱・黄銅鉱・斑銅鉱(Bornite  $Cu_5FeS_4$ )・輝銅鉱(Chalcocite  $Cu_2S$ )・銅藍(Covellite  $CuS$ )・ダイジエナイト(Digenite  $Cu_7S_4$ )・胆礬(Chalcanthite  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )なども産するが その量はごくわずかである。鉛・亜鉛はそれぞれ方鉛鉱・閃亜鉛鉱としてわずかに存在するだけで 鉱床全体としての量は無視できる位に少ない。

このようにエル・インディオ鉱床の鉱石鉱物の組合せや金属の量比はかなり単純なものと言えよう。脈石鉱物はほとんどすべて石英で 硫砒銅脈の溶脱帯で若干のスコロダイト・明礬石( $Alunite KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ )・ジャロサイト(Jarosite  $KFe_3(SO_4)_2(OH)_2$ )・褐鉄鉱(Limonite)・自然硫黄などが見られるだけである。明礬石は周辺のいくつかの探鉱地域には多産するが エル・インディオでは目立たない鉱物である。

以上に挙げた鉱物の他に 少量ながら採鉱上重要なものがある。それは尾去沢鉱(Osarizawaite  $PbCu(Al, Fe)_2(SO_4)_2(OH)_6$ )とマンガン重石(Hübnerite  $MnWO_4$ )である。これらの鉱物の成因は既存の資料からはわからないが 金の高品位鉱石と密接に伴う傾向があるとされている。尾去沢鉱は緑黄色 マンガン重石は赤色を呈し 簡単に同定できるので 坑内の地質調査で“DSO”の分布を決める重要な手がかりになるという。

### 5. 採 鉱

鉱石が脈状に産するため 主に坑内採掘法がとられているが オープンピットによる採掘も行われている。この地域では降雪量が少く また鉱脈が地表部でやや細脈化する傾向のあることから 冬の一時期を除けばオープンピットによる採鉱も可能とのことである。

“DSO”を除く通常の鉱石は浮遊選鉱にかけて硫砒銅鉱を回収し その廃鉱をシアン化合物のリーチング・タンクに送って金を回収する。硫砒銅鉱の精鉱は焼いて砒素を除き Asは $As_2O_3$ として回収されている。焼かれた銅精鉱も金を含むので比較的高く売れるという。これら鉱石を採掘したり処理するための電力は ラ・セレーナ市に近いコキンボ(Coquimbo)からの高圧電線を通じて供給されている(写真5)。いろいろな鉱山設備や道路などの建設に投資された金額はおよそ2億ドルであった。

### 5. おわりに

以上チリー中部のエル・インディオ鉱床の概略を紹介した。この鉱床は 金に多量の硫砒銅鉱を伴うという点で 九州南薩の春日鉱山(徳永, 1954)や台湾の金瓜石(Chinkuashih)鉱山(Imai, 1978, p.147~148)などの浅熱水性金鉱床とよく似ている。Araneda(1982)の記載によると(第4図) エル・インディオでは金が硫砒銅鉱より後に沈澱したことがはっきりしている。また第2図に示したように 鉱化作用に関係した可能性のある花崗

岩体が鉱床のすぐ近くに露出している点も注目される。鉱山の南側海拔 4600m 附近には エル・インディオとほぼ同時期に生成したとみられる自然硫黄の鉱床があるという。この地域では地形が急峻なために一つの鉱化作用の上下断面がいろいろな形で現われているのかもしれない。この地域の火成活動と鉱化作用についてより詳細な研究結果が公表されることを期待したい。

〈1983年4月7日記〉

参 考 文 献

Araneda, R. (1982): El Indio, yacimiento de oro, plata y cobre. Coquimbo, Chile. *Minerales*, 37, 5~13.  
 Imai, H. (1978): Geological Studies of the Mineral Deposits in Japan and East Asia. Univ. Tokyo Press 392p.  
 徳永正之 (1954): 鹿児島県枕崎地方春日鉱山・赤石鉱山の地質・鉱床, 鉱山地質, 4, 205~212.

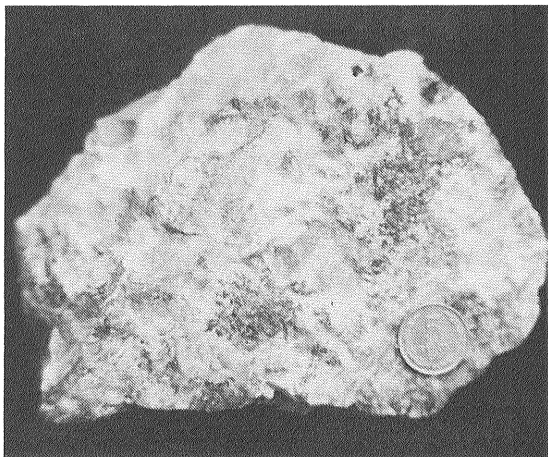


写真7 金鉱石の一例。  
 主に石英からなり微粒 (5~10 $\mu$ ) の金を含む。  
 暗色部は硫砒銅鉱, 5ペソ硬貨は直径 19 mm.

~~~~~ 地学と切手 ~~~~~



中国地質学会成立60周年切手

S. I.

中華人民共和国の地質学会は1922年に創立されたが 昨年60周年を迎え 外国人を招待して盛大な記念事業をおこなった。その一環として“郵政省”は金属鉱物4種 60周年記念切手1種を発売している。鉱物は中国の特産品から選ばれ いずれもチタン鉄鉱系花崗岩帯に特徴的に産出するものである。まず 世界的に最も著名なタングステン資源から鉄マンガン重石 ([Fe, Mn]WO<sub>4</sub>) が選ばれた。これは石英と共存する自形結晶で これは華南の鉱脈鉱床の晶洞性部分から産出したものであろう (20分は約30円)。

辰砂 (HgS) 輝安鉱 (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) 石黄 (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) も中国では華南を中心に多産する。輝安鉱は日本の市之川産の美晶には及ばないが 石黄は美事なものである。なお石黄はかつて雄黄とも呼ばれたが 雄黄は中国では鷄冠石 (AsS) を意味するので 混乱をさける意味で用いない方がよい。

