

第26図 アウカパタ地区地質図
 Fig. 26 Mapa geológico del sector Aucapata

2) 鉱化・変質作用

鉱化作用としてマント型金鉱床、鉱脈型鉱床、鉱染型鉱床および砂鉱床が認められる。

マント型金鉱床は本地区のパカヒ山南斜面に認められ、頂上付近にはパカヒ鉱山とロハン・ブンコ(Lojan Punco) 鉱山が、斜面にはマウカ・ジャフタ(Mauca Llajta) 鉱山とサンタ・バルバラ(Santa Barbara) 鉱山が存在する(いずれも休山中)。マウカ・ジャフタ鉱山上方には、インカ時代の旧坑が確認された(詳細不明)。鉱床は、パカヒ鉱山やロハン・ブンコ鉱山では約200mの範囲に、またマウカ・ジャフタ鉱山やサンタ・バルバラ鉱山では約300mの範囲に分布している。パカヒで採取されたマント型の石英には、多量の黄鉄鉱と微量の黄銅鉱が認められた。

さらに南部には、スアマニ(Suamani) 鉱山、ヘスアニ(Jesuani) 鉱山(いずれも閉山中) が存在している。スアマニ鉱山は厚さ10cm~60cmのマント状含金石英を採掘していたが、一部に小規模の脈状石英やネットワーク状石英も認められる。ジーカ川を挟んで対岸にはチャカワジャ(Chacahualla) 鉱山が存在し、同じ層準?のマント型石英を採掘していたが現在は閉山中である。

鉱脈型鉱床は、パカヒ山西斜面のワリスタカニ(Waristakani) 鉱山で、幅20cmの黄銅鉱層を下盤側に挟む幅約1.5mの石英脈を約60mひ押し掘進している。坑内と坑口の貯鉱から採取された試料は、Au0.987-1.55g/t, Ag2.64-11.1 g/t, Cu0.095%-3.57%を示す。

ワンコ区域には、(金) - 銅石英脈が認められる。またハンコ・カラニ(Janko Kalani) 山南斜面では、広く分布する砂岩および割れ目を通路として優勢な珪化作用が認められ、脈状または塊状を呈す。その内の1脈は走向N10E-N15W、傾斜50-70Eを示し、脈幅は12m以上、分布延長は300m以上に達する。黄鉄鉱を一部に伴い、最大Au0.17g/t, Cu0.36%(採取幅6m)を示す。

ルクマヨ(Lucumayo) 川西岸のコンパニア(Compañia) 部落北方には最大幅5mの石英脈が2箇所で確認されているが、化学分析の結果顕著な鉱化作用を伴っていない。

鉱染型鉱床は、ワンコ区域のハンコ・カラニ山南斜面に鉱脈型と一緒に認められる。頁岩中に鉱染状を呈するものから多量の黄鉄鉱を伴い塊状を呈するものまでである。

頁岩に挟まれた砂岩は珪化作用を被り、網状石英脈や黄鉄鉱鉱染を伴っている。

アウカパタ集落近傍の層厚80cmの珪化砂岩は、X線では石英の他に少量の滑石や微量の絹雲母、緑泥石を伴っており、鉱石鉱物として鏡下では黄鉄鉱の他に微量の閃亜鉛鉱が認められる。化学分析結果では弱い金鉱化作用(Au0.85g/t)が確認された。

同じ珪化砂岩でも、地区中央南部の道路のカッティングでは金品位は極めて低い。周囲の頁岩は強い珪化と緑泥石化を被っている。

南東部には、幅約3kmに亘って、NW方向の酸化・褐鉄鉱化帯が分布している。イスカンワヤ(Iskanwaya) 遺跡北東約500mの地点ではフェロクリート様を呈する。この変質帯の北西延長部の沢には酸性水が流出しており、沢の合流点では酸化鉄が沈殿しているが、北西延長方向の分布は植生とアクセス不良で不明である。

南部のプカパンパ(Pucapampa)鉱山は、小規模に稼行中で、崖錐～河成堆積物中に含有される二次成金を回収している。

アウカパタ地区の硫化物を含有する石英脈の研磨片観察結果では、すべての試料で黄鉄鉱が主体をなして認められ、少量の黄銅鉱を伴うものが多い。ほかに少量の硫砒鉄鉱、微量の磁硫鉄鉱、コペリンおよび砒四面銅鉱を含有している。

地区中央南部の道路のカッティングに認められた珪化・粘土脈(走向 N30W 傾斜 50NE、幅 60-90cm)の年代測定結果は、 $289.3 \pm 15.8\text{Ma}$ (石炭紀後期～ペルム紀前期)を示す。

3) 沢砂地化学探査結果

第2年次の調査で、地区北西部と南西部の小沢に比較的高い金品位(最高金 0.968g/t)が確認された。

特にパンニング試料では、北西部の沢で金 4.72g/t、南西部の沢で金 1.805g/t および 5.08g/t が得られている。スアマニ鉱山試料では金 149.5g/t と高い値を示す。

金の異常以外の砒素や水銀の異常は弱い。

4) 土壌地化学探査結果

本地区には比較的植生が発達し露頭が少ないことから、第3年次に土壌地化学探査が実施された。

合計 330 試料、51 成分の分析データを使用して主成分分析を実施した結果、金鉱化作用はアンチモンと、また銅鉱化作用は砒素、銀、インジウム、ビスマスおよびモリブデンと関係が深い。鉛、亜鉛は単独で他の元素との関連がない。

第8グループ(金鉱化作用)と第5グループ(銅鉱化作用)の因子得点分布図によれば、金はパカヒ山周辺で高得点を示すが、銅はワンコ区域周辺で高い(第27図、第28図)。

5) ワンコ区域(精密調査)

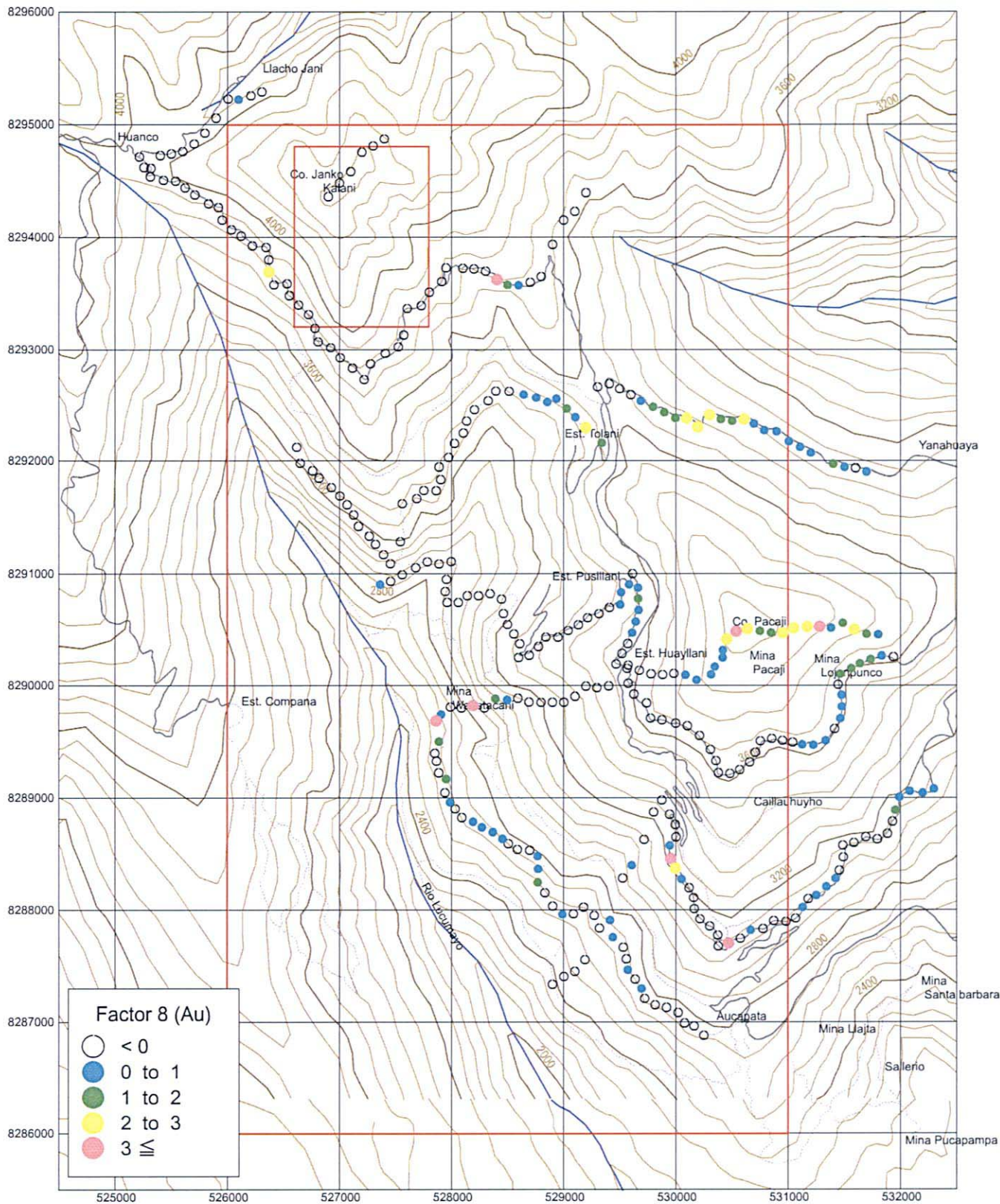
本区域の北部には個人の銅鉱山が存在するが(第2年次の調査で $\text{Cu}11.7\%$ 、 $\text{Au}0.2\text{g/t}$ を確認)、本区域内にも最大 $\text{Cu}0.18\%$ を示す褐鉄鉱-石英脈が存在し、さらに第3年次の土壌地化探によっても銅鉱床賦存の期待が示された。また黄鉄鉱を多量に含む幅 0.8m の脈状石英が最大金品位 9.29g/t を示したほか、幅 3m の褐鉄鉱-黄鉄鉱脈が $\text{Au}1.74\text{g/t}$ また幅 3m の褐鉄鉱脈が $\text{Au}1.24\text{g/t}$ を示し、金鉱化作用も認められたことから、地質構造と鉱化作用の解明のために精密調査が実施された。

本区域内には頁岩卓越層、砂岩頁岩互層および砂岩卓越層が分布している(第29図)。

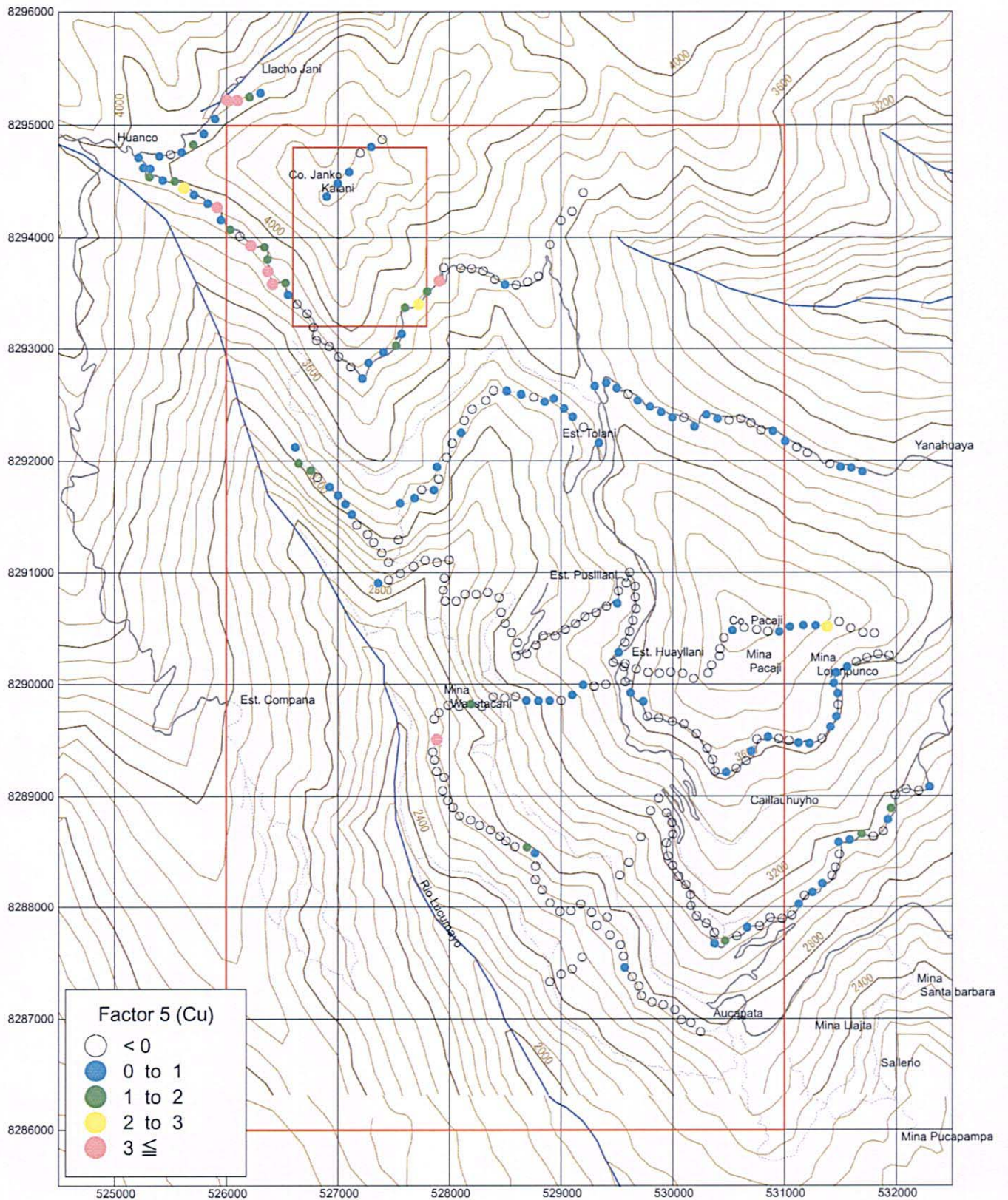
地層は、著しく褶曲し、構造線によって切断されているが、褶曲軸の一般方向は南北である(第30図)。

また構造が単調に見える場合でも詳細に観察すれば、同斜褶曲をしている場合が多く、構造は極めて複雑になっている。断層が明瞭な箇所では、断層による引きずり褶曲が認められる。

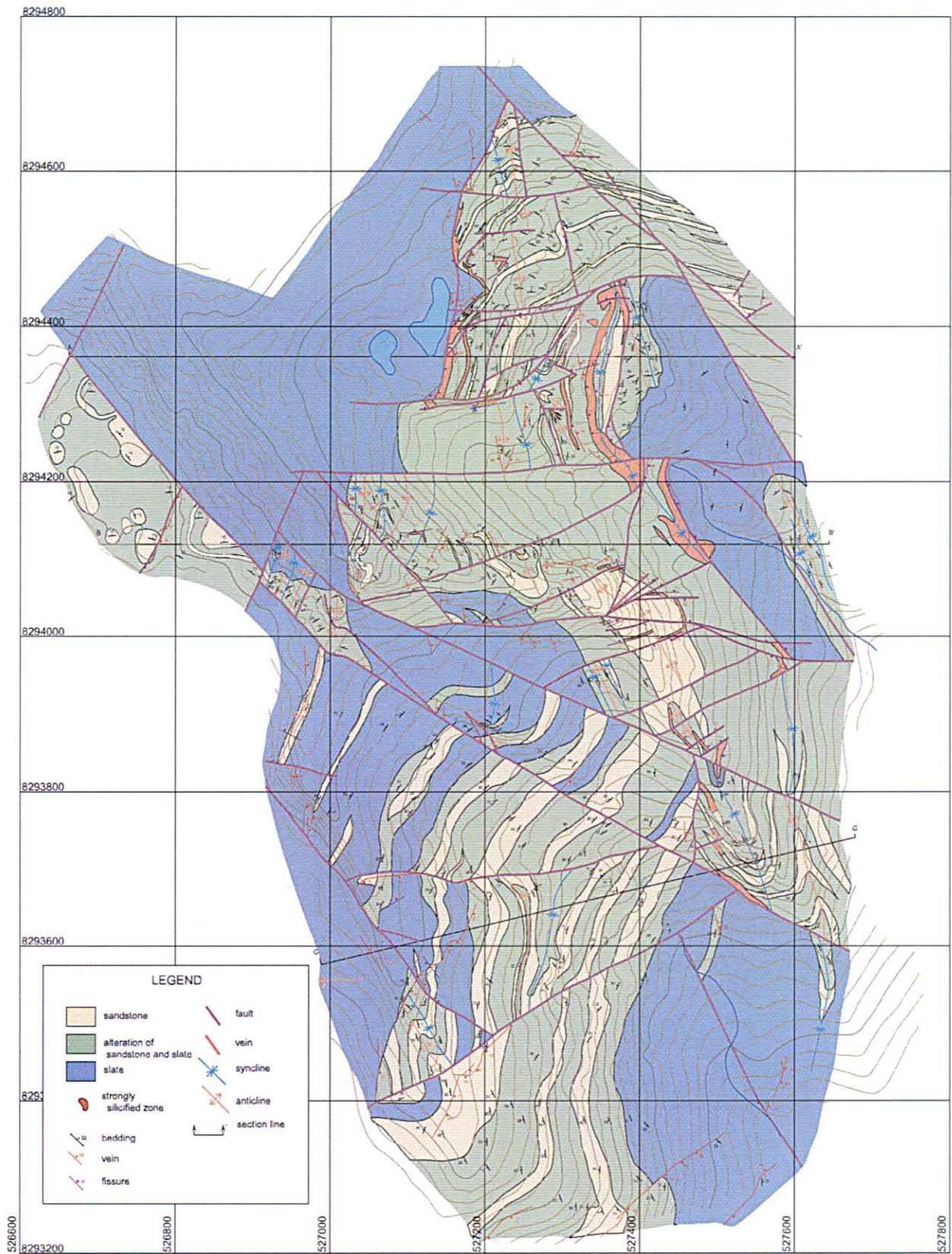
区域の北半分では、東西系の構造線が卓越し、南部では北西-南東系および北東-南西系の



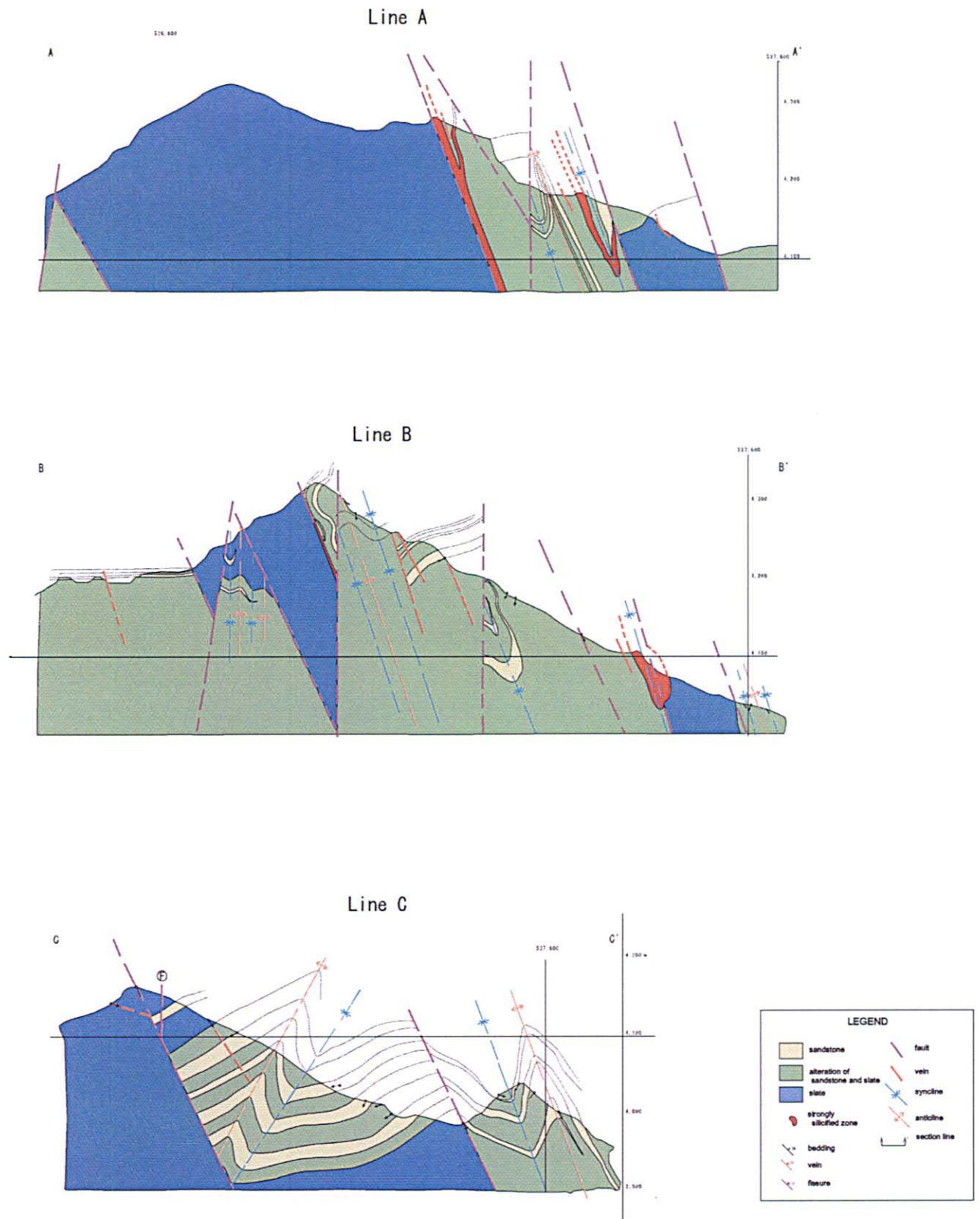
第27図 アウカパタ地区土壤地化学探査因子得点分布図(Auグループ)
 Fig.27 Distribucion caracterizacion geoquimica de suelos (Au ; Aucapata)



第28図 アウカパタ地区土壤地化学探査因子得点分布図(Cuグループ)
 Fig.28 Distribucion caracterizacion geoquimica de suelos (Cu ; Aucapata)



第29図 アウカパタ地区ワンコ区域地質図
 Fig. 29 Mapa geológico del area Huanco



第30図 アウカパタ地区ワンコ区域地質断面図
 Fig. 30 Perfil geológico del area Huanco

構造線が推定される。

中央部から北部にかけての砂岩や構造線に沿って珪化作用が強く行われ、砂岩は原岩の組織が確認できない程度に変質している場合がある。

本区域内で 113 試料が追加分析され、その結果、金は黄鉄鉱の鉱染した幅 5m の頁岩が最大 2.73g/t を示した以外は優勢な鉱化箇所は確認できなかった。

6) 考 察

土壌地化探結果、地表で確認された鉱化作用と同様、ワンコ区域に銅鉱化作用（鉱脈型）が、またパカヒーロハン・プンコ区域に金鉱化作用（マント型）が存在することが明瞭になった。

パカヒーロハン・プンコ区域の頂上から北斜面にかけては、露頭が少なく畑地となっているが、下部にマント型金鉱化帯が連続している可能性がある。しかしロハン・プンコ鉱山の流体包有物の均質化温度が、平均で 181°C と低い値を示し、周辺の浅熱水石英脈に近い値を示す（第 6 表）ことから、マント型鉱化圏の北端に近いものと解釈され、存在しても鉱床の連続性や規模に問題が考えられる。

ワリスタカニ鉱床（金—銅鉱脈型鉱床）は、延長方向の土壌の因子得点が低いことから規模的に問題があるものと判断される。

ワンコ区域は（金）—銅鉱脈型鉱床が期待されるが、地化探結果ではマント型金鉱床は重複していないと判断される。

アウカパタ各所で発見された貝化石は、地区がシルル紀—デボン紀の地層であるとともに、従来デボン系に胚胎されるとしていた（Schneider 1990）マント型金鉱床はシルル系—デボン系堆積岩中にも胚胎していることが判明した。

4-7 タカコマ地区

1) 地質・地質構造

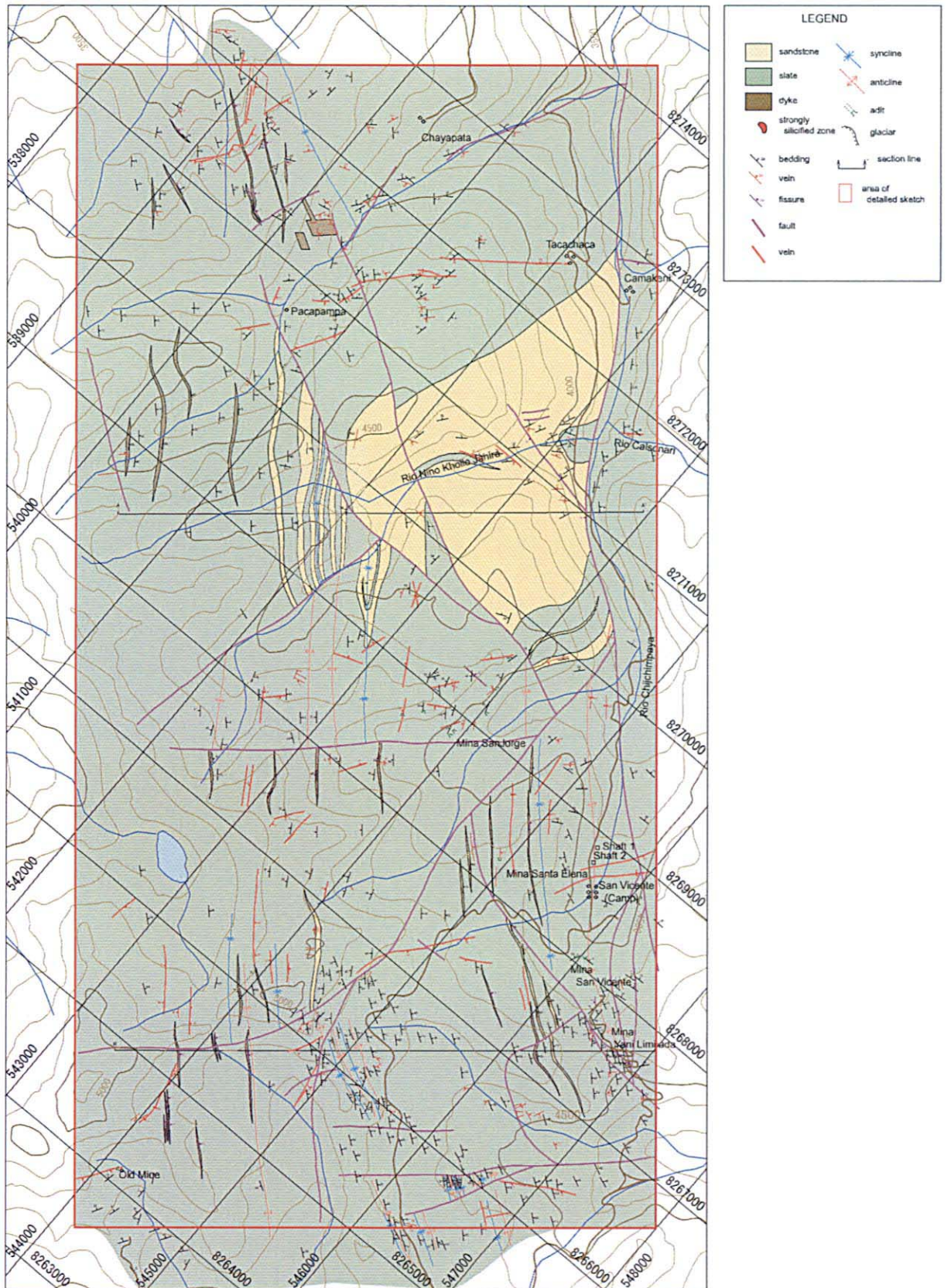
全域に亘って頁岩が分布し、砂岩の薄層を挟んでいる。地区中央部のニョニョ・コージョ・ハウイラ（Ñoño Khollo Jahuirá）川流域には、緩傾斜の砂岩卓越層が広く露出している（第 31 図、第 17 図）。

調査地の南部と北部には安山岩？質岩脈が地層に調和的に、また地層を切って分布している。

全域に多数の背斜構造や向斜構造が認められるほか、割れ目や断層によって地質構造は複雑に乱されている。特に南部では局部的に著しい小褶曲が発達している。

また、チフチンパヤ（Chijchimpaya）川右岸は単純な構造を示すが、左岸は複雑に褶曲しており、谷に沿って N50W 方向の構造線（断層）が考えられる。

地区中央部のチフチンパヤ川左岸の支谷には幅 1.5m の断層破碎帯を伴う NE 系の断層および背斜軸が、また南部の谷には NW 系の左横ずれ断層が存在し、さらに調査地南方には NNE 系の断層が推定される。



第31図 タカコマ地区地質図
 Fig. 31 Mapa geológico del sector Tacacoma

安山岩質岩は、検鏡結果、全試料が多かれ少なかれ変質作用（珪化作用、炭酸塩化作用、セリサイト化作用、緑泥石化作用）を被っている。K-Ar 年代値は、 83.8 ± 2.3 Ma(セリサイト) ~ 175.5 ± 4.9 Ma(黒雲母)を示した。

2) 鉱化・変質作用

地区内の鉱化作用には、マント型金鉱床と鉱脈鉱床及び砂鉱床が認められる。

マント型金鉱床は、サン・ビセンテ(San Vicente)鉱山のほか、サン・ホルヘ(San Jorge)鉱山、ヤニ・リミターダ(Yani Limitada)鉱山が操業しており、サンタ・エレナ(Santa Elena)鉱山が休山中である。鉱床は、サン・ホルヘ鉱山では約1kmの範囲に分布するが、サン・ビセンテ鉱山やヤニ・リミターダ鉱山では背斜軸周辺の約200mと狭い。

サン・ビセンテ鉱山の金鉱化作用は石英脈およびマント状石英で、石英脈はNW系方向を示し、マント状石英は背斜軸部の緩傾斜層理面に発達している。マント状石英は一部に層理を切る箇所も認められる。

チフチンパヤ川右岸の崖沿い中腹に3鉱山（詳細不明、1鉱山は少なくとも4レベルの坑道を開削）が存在するほか、川に沿って共同体経営で砂金を採掘している。

鉱脈鉱床は、北部のチャジャパタ(Challapata)区域に銅の示徴を伴う比較的優勢な石英脈が2箇所確認された。

チャジャパタ部落の南西約1.5kmにある石英脈は、南部ではNE-SW系とNNW-SSE系の組み合わせとなっているが、北部では方向をNW-SEに変える。脈幅は中石を含め最大10mを示し、走向延長は800mに達する。脈は金0.002g/t~4.64g/t、銀0.03g/t~7.42g/t、銅0.001%~0.812%を示す。

堀場跡で採取された試料の研磨片検鏡結果では、中量の黄鉄鉱が微量の黄銅鉱と磁硫鉄鉱を随伴している。石英脈群はこの脈を中心として放射状に分布している傾向がある。

さらに部落の南東約2km地点には、黄銅鉱(約30cm)を伴う幅2.5mのNE-SW系石英脈が確認された。採取された試料の分析結果、銅(10.5%)、銀(20.9g/t)を含むが金は0.063g/tと低い。この石英脈は急斜面で確認されており、延長方向については不明である。採取された試料の研磨片検鏡結果では多量の黄銅鉱が、少量の輝銅鉱、微量の黄鉄鉱、閃亜鉛鉱および孔雀石を伴っている。

大部分の石英脈は走向NE-SW乃至NNE-SSWを示し、金鉱化作用は微弱である。鏡下ではほとんど硫化物を含んでなく、わずかに微量の黄鉄鉱と針鉄鉱を確認したにすぎない。

石英脈の周辺の頁岩は著しい珪化、緑泥石化と絹雲母化を被っている。

南部の小褶曲群が発達する頁岩砂岩互層中に最大幅20cmの硫化物層が挟まれている。採取された試料は、金(<0.001g/t)やその他の金属を伴っていない。研磨片の検鏡結果では、黄鉄鉱以外には微量の磁硫鉄鉱だけが確認されている。

3) 沢砂地化学探査結果

第2年次の結果では、チフチンパヤ川沿いの川砂中には金が認められるが、右岸の沢には異常がみられない。左岸では金の濃集は顕著でないが、南部の沢に0.102-0.337g/tの金が確認されている。

金の異常部の一部に砒素と水銀の異常が重複している。

4) 考 察

チフチンパヤ川で確認されている砂金鉱床は、大部分が上流のサン・ビセンテ鉱山、サン・ホルヘ鉱山およびサンタ・エレナ鉱山からの供給とみられる。本流に近い箇所の支流に認められる金の異常は、大半は谷沿いに付着している金を含有する古い段丘堆積物によるものと考えられる。ジャチャニ(Llachani)部落北の対岸(右岸)の鉱山は、この段丘堆積物を採掘しているようである。

本地区内にはマント型金鉱床以外に多数の石英脈が分布し、北部では(金)―銅鉱化作用を伴っている。

マント型のサン・ホルヘ鉱床の均質化温度は平均185°Cを示し、北方約4kmから5kmにあるチャジャパタ部落付近の(金)―銅石英脈の均質化温度の207°Cおよび233°Cより低い。サン・ホルヘ鉱床の南東約2kmにあるサン・ビセンテ鉱床(マント)の均質化温度が346°Cおよび343°Cであることを考慮すればサン・ホルヘ鉱床の値は極めて低く、浅熱水鉱床の生成温度と同じである。このことは、サン・ホルヘ鉱床がサン・ビセンテからのびるマント型鉱化圏の北端にあたるものと解釈される(第6表)。

(金)―銅石英脈はマント型より年代が若く、チャジャパタ部落付近を中心とした別の鉱化圏(温度分布)を形成している可能性がある。

4-8 チュチュ・ハウイラ地区

1) 地質・地質構造

地区東部(チュチュ・ハウイラ川下流部)をソンゴヤニ花崗岩類が占め、西部を頁岩主体の堆積岩類が占める。

堆積岩の構造は、一部に微褶曲が認められるものの、全体の走向はほぼNW-SEでNE傾斜の単調な構造を示している。

2) 鉱化・変質作用

花崗岩接触部の頁岩はホルンフェルス化変質を被っている。

数箇所で黄鉄鉱鉱染を伴う弱い珪化作用を確認した。その中の1試料で化学分析が行われたが顕著な濃集は認められない(金<0.005g/t)。

参考のために調査地区北方約10kmにあるリピチ(Lipichi)鉱山周辺で採取された2試料のうち、黄鉄鉱鉱染の強い試料は金0.204g/tを示し、1%以上の砒素を含有している。

3) 沢砂地化学探査結果

花崗岩分布域で金は最大3.67g/tを示し、特に堆積岩類との境界部でやや高い値を示すものが多い。

チュチュ・ハウイラ川上流部では顕著な濃集は見られない。

金以外では顕著な異常を示す元素はなく、砒素、水銀も異常を示さない

4) 考 察

黄鉄鉱の鉱染した頁岩の存在から噴気性堆積鉱床(SEDEX)の期待が持たれたが、鉱床賦存の可能性は低い。

本地区では、花崗岩と堆積岩類の境界部（の堆積岩）が金探鉱の対象区域と考えられるが、鉱床はタングステンや錫を伴う脈状タイプと推察され、小規模と考えられる。

第5章 調査結果の総合検討

5-1 地質・地質構造

広域調査地域は古生界オルドビス系およびシルル系の泥質岩が卓越して分布し、既存の地質図では、地域中央部を縦走するコルディレラ・リアル断層により両者は境されていた。しかし、3年間の調査では、コルディレラ・リアル断層を確認する事ができなかった。

さらに、第3年次調査地区のアウカパタ地区で貝化石が発見され、その鑑定結果から、従来オルドビス系とされていた地層が上部シルル系-下部デボン系と判定された。

それにしたがって、オルドビス系との境界は北東へ移動し、シルル系-デボン系の分布範囲が拡大した(第11図)。

なお、チャラサニ部落下流の道路(カマタ(Camata)部落から約2km上流)でオルドビス紀の筆石が採取され、リニアメント等から推察すれば、境界線はカマタ部落の西側を通り、ジーカ川のムルムンタニ部落に至ることが考えられる。

ジーカ川南のブロックでは、ジーカ川沿いに構造線が考えられ転移している可能性があるが、境界線は明瞭でない。なお、第1年次にもタカコマ部落の北斜面で、上部シルル系-下部デボン系と考えられる貝化石が採取されている。

第7表 化石鑑定結果

àrea	periodo	especie
Aucapata	Devònico inferior (Lochkoviano)	Pustulatia curuspira Australocoelia sp.
	Silùrico superior (Pridoliano)	Heterorthella sp. Ostracoda. Zygobolboiedes changollaensis sp n Tentaculites crotalinus Anabaia sp. Australocoelia tourteloti Crionoidea indet. Pustulatia curuspira Bivalvo indet.
	Silùrico mediano (Wenlockiano)	Chonetido Anabaia sp. Tentaculites Heterorthella
Camata	Ordovìcico inferior - mediano (Arenigiano-Llanvirniano)	Dicranograptus sp. Didymograptus artus

広域調査地南西側にはシルル系と断層で接する火山性堆積岩である赤色岩層が分布する。赤色岩層は小規模な石膏層に不整合で覆われる。また、チャラサニ地区北西側には二疊系と不整合?で接する陸性堆積岩である赤色砂岩層が分布する。これらは既往文献にも記載が無く、地

質時代は明らかではないが、ボリビア中央部の地質層序に対比すれば前者が白亜紀前、後者が白亜紀の堆積物であろうと推定される。

5-2 火成活動

調査地域にはソングーヤニ花崗岩、イリャンプ花崗閃緑岩、ウウト花崗閃緑岩およびチャラサニ半深成複合岩体の4つの火成岩体が分布している(第11図、)。

第1年次には、最も古いヘルシニアン変動期の貫入とされるソングーヤニ花崗岩体の黒雲母 K/Ar 年代として $35.3 \pm 1.0\text{Ma}$ が得られた。

ヘルシニアン変動後の貫入とされるイリャンプ花崗閃緑岩体の黒雲母 K/Ar 年代として $210.7 \pm 5.8\text{Ma}$ が得られたが、これらは既存資料の記載とほぼ一致する(第32図、)。

しかし、イリャンプ花崗閃緑岩体と同時期の貫入であると推定されていたウウト花崗閃緑岩体の黒雲母 K/Ar 年代は $93.4 \pm 2.6\text{Ma}$ であり、上部白亜紀初頭の年代を示した。

一方、チャラサニ複合半深成岩体は、新第三系の貫入岩であると推定されていたが、第1年次に東側貫入岩の年代として $97.7 \pm 2.5\text{Ma}$ および $94.9 \pm 2.6\text{Ma}$ が得られ、第2年次調査では西側の貫入岩が $47.1 \pm 1.0\text{Ma}$ 、火山岩が $56.8 \pm 1.5\text{Ma}$ と前年度より若い値が得られた。このことから本岩体は白亜紀ガリック世に東側で始まった火成活動が古第三紀始新世頃は西側に移動したと推察される。

これらの K-Ar 年代および貫入岩の産状から、従来から推定されていた3期の火成活動期に、新たに上部白亜紀初頭の火成活動が確認されたことになる。また、イリャンプ花崗閃緑岩体以外は、かなり幅を有する火成活動、熱水活動が考えられ、最も新しい火成活動はソングーヤニ花崗岩類の若返りを促進した活動であることになり、若返り年代から見れば古第三紀の活動であると見なされる。

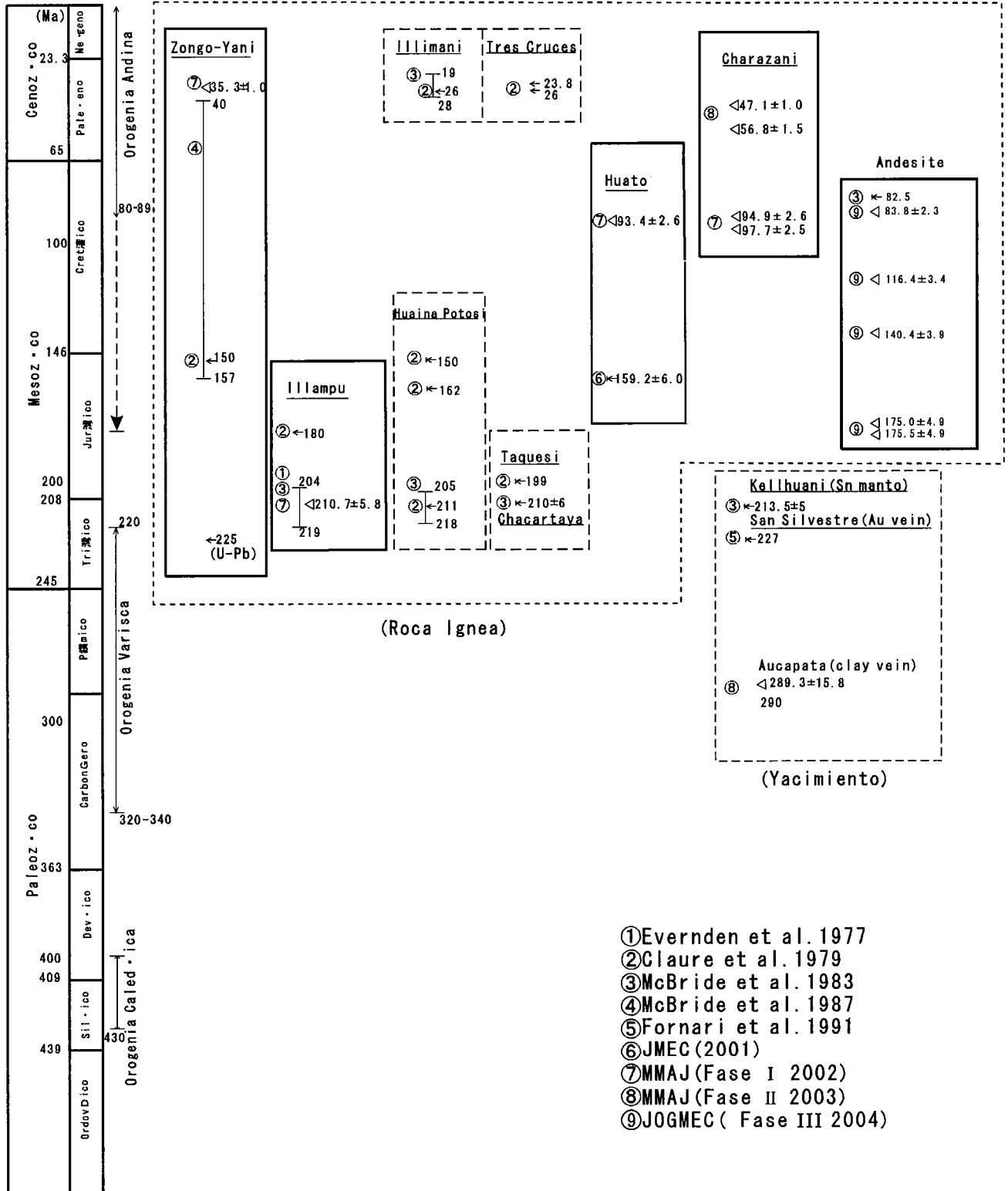
第3年次にはタカコマ地区で安山岩質の貫入岩およびシート状岩脈が多数確認され、6試料で年代測定(K-Ar法)が実施された。年代値は、 $175.5 \pm 4.9\text{Ma}$ ~ $83.8 \pm 2.3\text{Ma}$ を示した。

変質の程度から、安山岩質の活動は少なくとも 175Ma 以前の生成年代と言える。この年代はイリャンプ花崗閃緑岩類等の活動年代に相当する。

一方、測定値 $83.8 \pm 2.3\text{Ma}$ を示す安山岩質岩は、石英脈の貫入によって転移、熱水変質を受けていることから、石英脈の貫入した年代を示唆している。ソラタ西部では、安山岩の活動時期が 82.5Ma (McBride et al.1983)であることが報告されており、この値に調和的であることから、タカコマ地区の(金)-銅をもたらした熱水活動も白亜紀後期と考えられる。また、本プロジェクトで得られたのウウト花崗閃緑岩($93.4 \pm 2.6\text{Ma}$)やチャラサニ複合岩体($94.9 \pm 2.6\text{Ma}$, $97.7 \pm 2.5\text{Ma}$)の年代値にも近い。

なお、火成岩の活動は、北部のイロ・イロ地区およびペレチュコ地区では確認されていない。

Eventos Magmaticos



第32図 マグマ活動期と鉱化・変質作用時期

Fig.32 Periodos de actividad magmatica y mineralizacion / alteracion

5-3 変成作用（石墨化度、X線回折）

調査地域全体については3-3で述べたので、ここでは、第3年次の調査結果を述べる。

北部地域では、地表に火成岩が確認されていないことから、詳細な熱履歴を解析し、熱的分布を明らかにすることにより、鉱化作用の中心、規模、方向および貫入岩存在の有無等の推定を行うために、岩石地化探で採取された試料を使用して石墨化度(GD)の測定が実施された。さらにX線回折解析により変成度のチェックも同じ試料で実施された。

調査地域内のGD値は最低12から最高238を示し、南部地域に比べて全体的に高い値を示す範囲が広い。

田切(1986)は鉱物相などにより温度圧力とGD値の比較から、GD=30が圧力に関係なく約400°Cに対応することを述べている。

ソングーヤニ花崗岩は、中心から外に向かって珪線石帯、堇青石帯、紅柱石帯、緑泥石帯へと変成鉱物が分布しているとされている(Avila-Salinas, 1989)。北部地域はGD=30以上の高温域が広く分布しているが、地域一帯の変成相は緑色片岩相の緑泥石帯にあたり、珪線石、堇青石、紅柱石のいずれも確認されておらず、黒雲母アイソグラッドにも達していない。

流体包有物の均質化温度から、イロ・イロ地区の深部に火成岩が潜在している可能性が示唆されるが、石墨化度の分布状況からは明瞭でない。もし、イロ・イロ地区に潜在するなら地区中央部のGD値の高いゾーンとなろう。さらに南部地区のマント型石英の流体包有物温度やソングーヤニ花崗岩周辺の変成相と比較するなら、その場所はかなり深いことを示唆している。

しかし、北部地域全体では、石墨化度の高い値を示すものが多く、温度分布が不規則であることから、石墨化度は、火成岩の熱によるものよりは広域変成作用による変成度を反映しているものと解釈する方が説明が付きやすい。

これらの検証には、さらに東部の熱履歴を確認する必要がある。

5-4 鉱化作用の特性

調査地域内の確認された鉱化作用は、マント型金鉱床、(金)―銅石英脈の鉱脈型鉱床、多金属鉱脈型鉱床及び氷河成（融氷流水～河川堆積成）砂金鉱床である。

マント型金鉱床は一部の金―銅石英脈の鉱脈型鉱床とともに成因的にポリピア型オロジェニック金鉱床と仮称する。

5-4-1 ポリピア型オロジェニック金鉱化作用

当初花崗岩類の貫入に伴う熱水活動のハローとして捉えられていた金鉱化作用を、地層に調和的な鉱化形態を有するマント型鉱床として捉える考え方が1980年代になり提起された。更に、その鉱化作用の根元を、母岩となったオルドビス系に包含される硫化物を含む火山堆積性層準に結びつけ、硫化物中の金がソングーヤニ花崗岩類の貫入に伴い再編成され、黒色頁岩中に選択的にマント型金鉱床が形成されたとした（例えば、Schneider, H.J. 1990）。

ソングーヤニ花崗岩類は貫入母岩に接触変成作用をもたらし、熱変成作用による変成鉱物の類帯構造が認められ、岩体を取り巻く中心部に珪線石帯、次いで堇青石帯、紅柱石帯および緑泥石帯と外側に向け分布するとしている(Arturo, W. 1989)。これらの熱変成作用が既存の金鉱化作用の再濃集を促し、低変成帯にマント型金鉱床を再編したとされる(Tistl, M. 1990)。

従って、マント型金鉱床は選択的に本地域における低変成帯に重複して分布するとしている。

本プロジェクトの3年間の調査結果を総括すれば、マント型金鉱床は、南部地区では花崗岩の関与の可能性はあるが、本質的にはヘルシニア造山活動時に広域変成・変形と同時に生成されたオロジェニック金 (orogenic gold) 鉱床(または syn-orogenic gold)と同様の鉱床である可能性が高いとの結論に達した。しかし、マント型金鉱床をオロジェニック金鉱床と定義づけるには、まだ不十分な検討項目が多い。また、Sillitoe et al (1998)が指摘しているようにオロジェニック金鉱床と定義されている項目のいくらかまたはすべては、他の貫入岩起源の金鉱床にも当てはまることから、この定義を適用してオロジェニック金鉱床とすることに警鐘をならしている。ボリビアの鉱床について今後のさらなる研究が望まれる。

Bierlein et al. (2000) は、顕生代の orogenic lode gold の特徴を 11 の基準(key criterion)で示している。それらを概略すると以下の通り。

- 1) 空間的、時間的に衝突造山帯と関連：後期古生代と中生代～新生代の2時期に形成
- 2) 造山帯中の大規模乃至それに次ぐ付加的地質構造境界 (付加的造山帯)
- 3) 生成時期は接する母岩の変成作用のピーク時：一時的に造山帯の剥離型浸食と肥大クラストへの熱の付加を随伴
- 4) タービダイト質岩の低～中緑色片岩相中に胚胎：一般的にはマグマ活動の前期。多くの場合、空間的にフェルシクな貫入岩に関連。一部花崗岩中または貫入岩を切る。
- 5) 一般に脆性～延性の漸移帯に限定：典型的には深度 2～6Km、1～3kbar
- 6) 地質構造に強く規制：剪断帯に伴われ、多くは高角度の逆断層中に胚胎
- 7) 熱水流体は深部の変成作用による液化反応で生成：同一鉱床生成区内での一定の安定同位体組成と放射同位体組成
- 8) 数 km にわたる垂直方向への連続性：鉱物帯状分布や鉱石帯状分布の顕著な欠如。鉱床内での一定の同位体比。浅成鉱床は Au·Sb
- 9) 鉱石形成流体は、C·O·H±N、中性～低 PH、低塩濃度：50 mol%までの CO₂ 含有、通常 ≤6wt%の NaCl、流体温度は 150° ～450°Cまで変化 (典型的な鉱床：275° ～350°C)。金のキャリアーは二硫化錯体
- 10) 単純な鉱物構成と共生：石英主体で炭酸塩鉱物、長石、雲母、黄鉄鉱、硫砒鉄鉱、自然金、Cu·Pb·Zn·Sb 硫化物、トーマリン。初成の変成金鉱床：Au 単味±As、後期マグマ成金鉱床：Mo·Te·Cu·Sb·Bi·W の共生
- 11) 広大な母岩の変質：熱水変質は主に SiO₂、K₂O、Na₂O、CO₂、As、Au 及び S 含有。変質作用は、炭酸塩化作用、(脱)珪化作用、セリサイト化作用、緑泥石化作用

本プロジェクトで関連している、1)～3)及び 7)を除く項目について比較検討を行った。各項目ともオロジェニック金鉱床に関する特徴を先に述べ、次に本調査地域の特徴を述べる。

(1) 母岩の特徴

オロジェニック金鉱床はタービダイト質岩の低～中緑色片岩相中に胚胎する (Bierlein et al. 2000)。

調査地域一帯の岩石は弱変成した頁岩ないし千枚岩で、変成作用の項で述べたが、薄片観察およびX線回折解析結果から、緑色片岩相の(曹長石)-緑泥石帯に相当する。

構成鉱物は、石英—曹長石—セリサイト—緑泥石で、パンペリー石、ぶどう石、沸石類、緑簾石および黒雲母は確認されていない。

南部では造山期のソングーヤニ花崗岩は存在するが、花崗岩中には鉱床は胚胎していない。

(2) 胚胎の場合

オロジェニック金鉱床は、一般に脆性—延性の漸移帯に限定され、典型的には深度 2~6Km、1~3kbar で生成された (Bierlein et al. 2000)。

本調査地域では、イロ・イロ地区のワイナ・スンチュリ鉱山で、マント型石英にブーディン構造が認められる。石英が母岩より延性が低いため、広域変形作用の間に生成されたことを反映している。

また、ヤニ地区のマント型鉱化作用は、流体包有物の研究によれば圧力 1.8-2.7kbar の範囲で起こったとされている (Tistl 1985)。

(3) 地質構造による規制

オロジェニック金鉱床の典型的な鉱床は、多くの場合剪断帯に伴われ、高角度の逆断層中に胚胎するが、一部の鉱床では、泥質岩中の背斜軸部に層理に平行な脈、層理を切る脈、ストックワーク脈および鞍状鉱脈 (saddle reefs) が発達する。さらに鉱染状鉱床も報告されている (Bierlein et al. 2000)。

本地域の調査結果では、判明している大部分の鉱床は層理に平行なマント型金鉱床で、明確に判明した箇所では背斜軸部に胚胎している。そのため背斜構造の開き具合によって傾斜は様々である (第8表) が、開いた褶曲に胚胎する鉱床の方が閉じた褶曲に胚胎する鉱床より規模的にやや大きい傾向が感じられる (鉱量等のデータがないので正確には言えない)。

第8表 マント型鉱床の地区別・鉱床別の鉱体の傾斜

area	structure		
	flat	moderate	Steep-sub vertical
Pelechuco	Quisanani (25±)	Rayo Rojo Lavanderani (40±)	Rayo Rojo Soratera (60-70)
Hilo Hilo	Virgen del Rosario Ruinas (20±) San Martin (5-10) Khoru Huari (25±) Lagunas (20-30)	Caballo Blanco (20-45) Huayna Sunchuli (40)	Kope (60-80) Las Minas (65-75)
Aucapata	Pacaji (20-30)	Lojan Punco (-40) Santa Barbara (10-65) Suamani (40-60)	
Tacacoma	San Jorge (20-30) San Vicente (30±)	Santa Elena (45)	Yani Limitada (50-70?)

()はマントの傾斜角度

剪断断層帯および高角度の逆断層の存在は、明確には確認されていない。

唯一南部のリピチ鉱山に剪断破砕帯中に胚胎する金鉱床が存在する(JMEC 2002)。マント型鉱床と空間的に密接に認められることから同時期の鉱化作用と考えられる。

ほかにイロ・イロ地区のカバジョ・ブランコ鉱山にも、マント型金鉱床に近接した地質構造擾乱帯中に胚胎する鉱床が存在する。

鉱床の形態がマント型であることは、世界のオロジェニック金鉱床ではマイナーな現象だが、Nova Scotia の Megma 地域(terrane)や Buller 地域の Waiuta および Lyell 金鉱床区(ニューゼーランド)に認められている。地殻短縮(crustal shortning)の度合いが低い場合や開いた褶曲(open folding)に関連しているとされる(Christie et al, 1999)。

(4) 鉱床の連続性と鉱物変化

オロジェニック金鉱床は、数 km にわたる垂直方向への良好な連続性がみられ、鉱物や鉱石の目立った帯状分布を示さない。鉱床内では一定の同位体比を示し、一般に胚胎場が浅くなると Au-Ag 鉱床から Au-Sb 鉱床、さらに Sb-Hg 鉱床に変化するとされる。鉱体の脈幅は 1mm~数m、水平・垂直への連続性は数m~数 100mだが、走向方向へ 1km 連続するものもあるとの報告がある(Bierlein et al. 2000)。

本地域では、走向方向へは 2-3m から数 100m 連続する(Fornari, 1991)。また、脈幅は最大約 1 m で大部分 20-30cm 以下を示す。組織的な観察やサンプリングはされていないが、鉱物や鉱石の帯状分布は認められない。なお、東部山脈にはオルロから南部に Au-Sb 鉱床が分布し、カンデラリアーサン・ファン(Candelaria-San Juan)鉱山のような鞍状鉱脈(saddle reefs)が存在している(Lehrberger 1988)。上記基準からすればオロジェニック鉱床の浅部相を示すものかも知れない。

(5) 鉱石形成流体の特徴

オロジェニック金鉱床の熱水流体は 50 mol% までの CO₂ を含有し、通常 6wt% 以下の NaCl 相当塩濃度を示す。また流体温度は 150° ~450°C まで変化する(典型的な鉱床:275° ~350°) (Bierlein et al. 2000)。

調査地域では、マント型金鉱床が CO₂ を含有していることはすでに知られているが(Tistl 1985)、本研究でも特に北部地域で多量の CO₂ を含有しているのが確認された。マント型金鉱床より後期と推定される未鉱化の石英脈でも認められており、中には 90% の流体包有物中に CO₂ が含有されている脈もある。N の含有に関してはデータがなく不明。

塩濃度に関しては上記基準と著しく異なり、マント型鉱床では 6.3.%~21.3% の範囲を示したほか、(金)-銅石英脈が 5.3.%~14.5%、さらに未鉱化石英脈も 5.9~20.9.% を示した。(金)-銅石英脈が若干低い値を示している。マント型鉱床も未鉱化石英脈も地域差は認められない(第 9 表)(第 33-1 図、第 33-2 図)。

均質化温度に関しては、マント型鉱床は 181°C~346°C を示し、上記基準内に入る。

ちなみに(金)-銅石英脈は 167°C~233°C、未鉱化の石英脈が 154°C~326°C を示す。

第9表 金鉱床のタイプ別流体包有物測定値比較

Area		Fluid Inclusion				
		Homo. Temp. (°C)		Salinity (wt%)		
		range	Ave.	range	Ave.	
Manto-type (orogenic?)	Pelechuco- Hilo Hilo	198-311	258	6.3-21.3	15.3	
	Aucapata- Tacacoma	181-346	238	8.4-20.8	14.5	
Vein-type	(Au)-Cu vein	Aucapata- Tacacoma	167-233	198	5.3-12.4	9.3
	Barren vein	Pelechuco- Hilo Hilo	156-326	231	5.9-19.8	12.7
		Aucapata- Tacacoma	154-236	201	5.9-20.9	11.5

(6) 単純な鉱物構成と共生

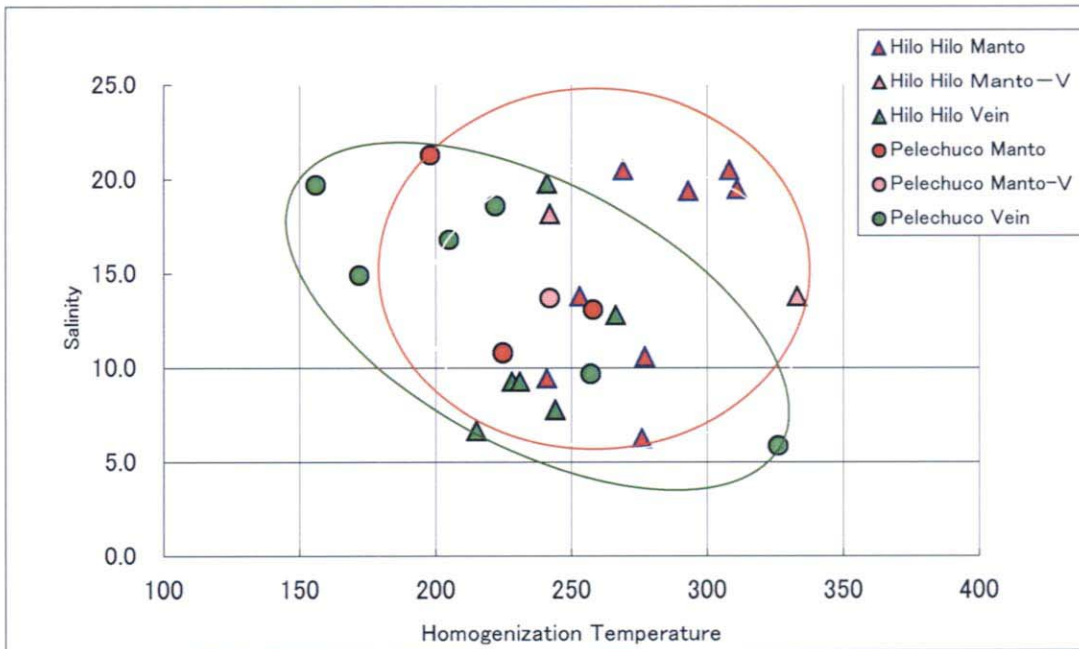
オロジェニック金鉱床は、石英主体(70-95vol%)で、副次的に炭酸塩鉱物、長石、雲母、黄鉄鉱、硫砒鉄鉱、自然金、Cu-Pb-Zn-Sb 硫化物、トーマリンが認められる。初成の変成金鉱床はAu単味かAsを伴う。自然金は非常に純粋で90%以上を示し、平均的にAg 2-5wt%を含む。また、火成岩類の影響を受けた後期マグマ成金鉱床はMo-Te-Cu-Sb-Bi-Wの共生が重複するとされる。さらに薄い石英が母岩から剥離した泥質岩の薄層を挟むラミナ状(Laminated vein)脈も存在する。一般に初期の石英はミルクイー～淡灰色で後期脈は透明を呈する。(Bierlein et al. 2000)。

調査地域では、マント型鉱床は石英が96vol%以上を占め少量の黄鉄鉱、硫砒鉄鉱および緑泥石を随伴し、時に黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、磁硫鉄鉱、灰重石および曹長石が存在する(Schneider 1990, Fornari et al 1991)。本プロジェクトの研究結果でも量的には変化するものの同様な結果が得られており、北部地域ではさらに炭酸塩鉱物も認められている。

ヤニ地区の金は純度88%以上で最大97.5%に達し、銀含有量はほとんど変化しない(Fornari et al 1991)。

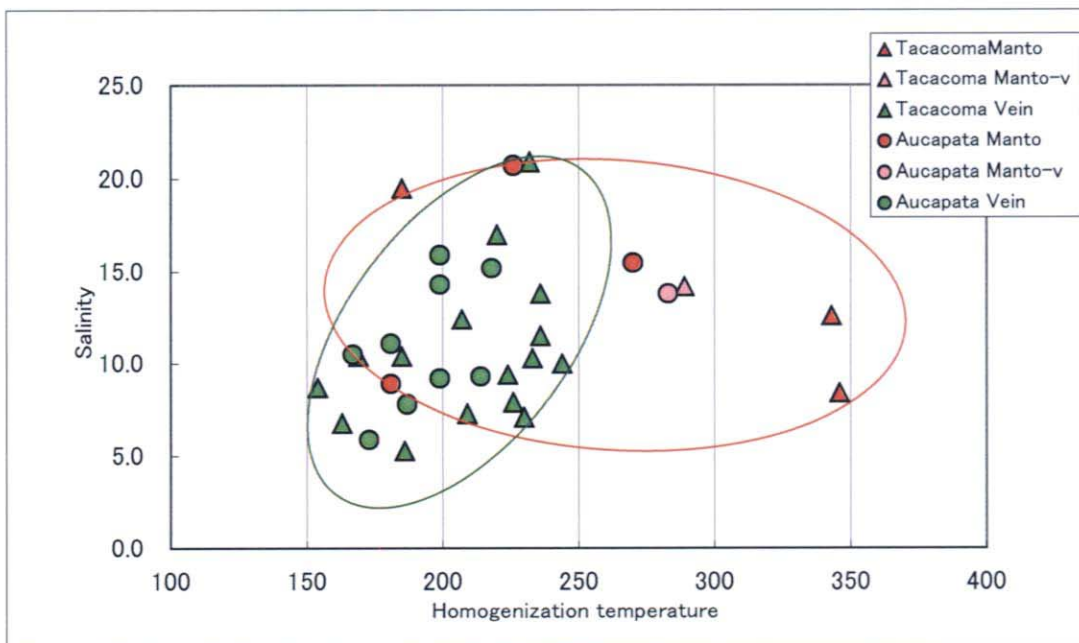
本プロジェクトでは確認されていないが、一部にBi-Teの鉱物が自然金に接して認められている(Fornari et al 1991)。この事実は上記基準に従えば火成岩類の影響を受けたことを示唆している。

石英の性状は、青灰色～帯青灰白色を呈するものが多く、変形作用を被ったためか石英粒は鏡下で波動消光する。また流体包有物も測定の際に加熱によって破壊するものが多い。さらに特にイロ・イロ地区では、泥質岩の薄層(ラミナ)を挟むバンド状石英が認められ、白色石英より高品位となっている。



第 33-1 図 流体包有物の均質化温度と塩濃度の関係図(ペレチュコ～イロ・イロ地区)

Fig.33-1 Relación entre salinidad y temperatura (Pelechuco - Hilo Hilo)



第 33-2 図 流体包有物の均質化温度と塩濃度の関係図(アウカパタ～タカコマ地区)

Fig.33-2 Relación entre salinidad y temperatura (Aucapata - Tacacoma)

(7) 母岩の変質

すべてのオロジェニック金鉱床は変質ハローを伴っている。熱水変質は主に SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 、 CO_2 、As、Au 及び S を含有し、結果として炭酸塩化作用、(脱)珪化作用、セリサイト化作用、セリサイト化作用、緑泥石化作用を及ぼしている。一般に変質帯の幅は脈から 2-3cm から数 10m に及ぶ。Bendigo 金帯では、Nell Gwynne 背斜軸の鞍状脈(saddle reefs)の上方 80 m まで熱水性硫化物が、また 150m までセリサイト化作用が及んでいる。硫化物は一般に脈から 20-30m まで認められ、硫砒鉄鉱が脈から数 m まで、また黄鉄鉱は数 10m まで分布が及ぶ場合がある (Bierlein et al. 2000)。

調査地域では、ビルヘン・デル・ロサリオ鉱山のマント型石英脈の脈際 1.5cm が炭酸塩化、セリサイト化、珪化? を被っており、磁硫鉄鉱、硫砒鉄鉱の鉱染を伴っているのが観察された。一般に変質は弱い。

北部地域で実施された X 線回折では、セリサイト化作用、緑泥石化作用、炭酸塩化作用 (菱鉄鉱、マグネサイト、方解石) が既知鉱床と関係なく分布している。これらの作用は広域変性作用を示すとみられるが、一部では未鉱化石英の貫入に伴われるものも存在するかも知れない。

以上、既存のデータも合わせて、類似点、相違点について述べたが、これらの観点では、ボリビアのマント型鉱床がオロジェニック金鉱床とは断定できない。しかし、少なくともボリビア北部のマント型を中心とする金鉱化作用を説明するには好都合な概念と考える。

さらにはペルーのクスコ近辺のビルカバンバ(Vilcabamba)山脈からボリビアのラ・パス周辺までの約 600km に延びる古生代金鉱床区の鉱化作用も説明可能かも知れない。

5-4-2 多金属型鉱化作用

チャラサニ複合岩体の北東側には、アカマニ多金属型鉱化地が確認されている。この鉱化作用は、チャラサニ南西約十数 km にあるウト花崗閃緑岩周辺に認められる多金属鉱化作用に類似している。さらにチャラサニ複合岩体の示す古い年代は、ウト花崗閃緑岩の若い年代と一致していることから、アカマニ鉱化地やウト花崗閃緑岩周辺の多金属鉱化作用は、白亜紀中期のガリック世の時期と考えられる。

ウト花崗岩類は 2001 年の JMEC のプロジェクト選定調査では K-Ar 年代測定で、 $159.2 \pm 6.0\text{Ma}$ の値が得られており、周辺には錫・鉛・亜鉛の鉱化作用が認められる。しかし第 1 年次調査の K-Ar 年代測定では $93.4 \pm 2.6\text{Ma}$ を示し、この値はチャラサニ貫入岩の第 1 年次調査の K-Ar 年代測定値に近い。このことから類推すると、アカマニのベースメタル鉱化作用はこの時期の貫入に起因すると考えられる。

南部地域の(金)-銅石英脈の生成時期は、5-2 火成活動で述べたように 83Ma 前後と推定され、ウト花崗閃緑岩やチャラサニ複合岩体の活動時期に近いことから、それに関連する多金属鉱化作用とほぼ同じ時期の白亜紀後期のガリック世~セノニアン世と考えられる。

不毛の浅熱水石英脈は時代的には不明だが、さらに後期の可能性がある。

脈型石英（未鉱化石英も含む）は、北部地域では、温度が下がるにつれて塩濃度が上昇しているように見える（第 33-1 図）。一方、南部地域では温度が下がるにつれて塩濃度が下降しており、浅部に上昇して来た流体が地表水と混合し、温度及び塩濃度が下降したことを示すものとする（第 33-2 図）。両地域の違いは、脈の生成時期の違いを示すものとする。

まとめ

本年度の調査結果、南部地域（タカコマ地区お跳びアウカパタ地区）ではマント型金鉱床以外に金-銅鉱脈型鉱床が確認された。

北部地域（ペレチュコ地区及びイロ・イロ地区）では、ペルー国リコナダ鉱床のような噴気堆積鉱床(SEDEX)及びそれに関連した金鉱化作用が期待されたが、ヤニと同様のマント型金鉱床であることが判明し、さらにイロ・イロ地区の一部には金-銅石英脈の鉱脈型鉱床も認められた。

また、アウカパタ地区で貝化石が発見され、シルル紀-デボン紀と同定されたことから、シルル系-デボン系分布域が北東に広がった。

現地調査や室内試験の結果、ヤニ・ペレチュコ地域の鉱化作用について依然不明な点が多く残されたが、以下のことが明らかとなった。

1) マント型金鉱床

マント型金鉱床は、第 2 年次までの調査で、岩相的には低熱変成の堆積岩中に胚胎し、地質構造的には背斜軸部に多く胚胎しており、その発達には背斜軸の存在が重要であると結論付けられた。

本年度、北部地域でもマント型金鉱床は地質構造的には背斜軸部に胚胎されていることが確認され、背斜軸の重要性が再確認された。しかし火成岩の存在は確認できなかった。

北部地域と南部地域のマント型鉱化作用には若干の差がみられ、南部地域のマント型金鉱床が、シルル系-デボン系に胚胎され、北部地域ではオルドビス系に胚胎される。また、北部地域の鉱液は、南部地域の鉱液に比べて、二酸化炭素に富む。

北部地域のマント型鉱床の成因としては以下の 2 つが考えられる。

①流体包有物の温度の分布からは、イロ・イロ地区の深部に火成岩体の潜在が推察され、従来通り火成岩の熱により金鉱床が再編された。

この場合、火成岩の位置はかなり深いものと推定される。

②共生鉱物の組み合わせ、流体包有物の塩濃度の不規則性、石墨化度の分布状況及び石英の形態（ブーディン構造）から、金は造山運動に伴われ生成(oro-genic gold または syn-oro-genic gold)した。

北部地域の可能性としては後者の成因の方が考えやすい。

さらに、南部地域のマント型金鉱床も orogenic gold が生成し、後の花崗岩の関与を受けた

と考えることも可能であろう。

2) 金-銅鉱脈型鉱床

金-銅鉱脈型鉱床は、タカコマ地区北西部およびアウカパタ地区北東部に分布し、生成年代は多金属生成年代にほぼ近い白亜紀後期ガリック世～セノニアン世と考えられる。多金属鉱床の生成時代に調和的であることから、多金属鉱化作用と関連しているものと思われる。

イロ・イロ地区では、カバジョ・ブランコ鉱山で、多量の硫化物（硫砒鉄鉱-磁硫鉄鉱）を随伴する含金石英脈が地質擾乱帯中に確認され、リンコナダ鉱床の噴気堆積鉱床(SEDEX)と同じ鉱物共生を示すことから、噴気堆積鉱床(SEDEX)からの再編が考えられる。しかし、この鉱床もマント型金鉱床と空間的に密接に認められ、マント型金鉱床と同様の *orogenic gold* と考えられる。

以上、調査地域にわたって分布するマント型金鉱床と同質の脈状鉱床は、オールドビス系～シルル系-デボン系堆積岩類が造山運動による広域変成・変形作用を被っている時に同時に生成されたと考えられる。南部では、引き続き花崗岩類の貫入にも影響を受けたものと推察される。

第Ⅲ部 結論及び将来への提言

第1章 結論

ヤニ-ペレチュコ地域には、オルドビス紀から第四紀までの堆積岩が北西-南東方向に伸張し、北東部にオルドビス紀の泥質岩を主体とする堆積岩類、南西部に向かい若い時代の堆積岩類が分布する配列を成し、これらを買いて貫入岩類が分布している。

鉱床生成区分では、錫鉱床帯、東部アンデス縁辺多金属鉱床帯に位置し、東部アンデス山系の東斜面以東は砂金鉱床帯となっている。

この砂金鉱床の源は、従来西部に分布する多金属鉱床帯に由来されるとされていたが、1980年代になると、ヤニ地区の金鉱床の胚胎形式が明らかになるにつれて、ヤニ地区の金鉱化帯がその源の一つであると指摘された。しかし、それ以降も調査地域では、組織的・系統的な調査や解析が実施されておらず、広大な地域に同種の鉱床が期待された。

第1年次に ASTER 衛星画像解析、既存資料解析、さらに広域沢砂地化学探査が実施された。その結果、ヤニ型金鉱化作用（マント型）が主要な金鉱化作用であるとの結論を得た。

これらの結論を受けて、第2年次からは、抽出された5地区でさらに詳細な地質調査および沢砂地化学探査が実施され、加えて、低変成度の堆積岩分布領域を確認するために石墨化度調査が新たに導入され、第3年次は、さらに絞り込まれた2地区と、SERGEOMIN(現 SERGEOTECMIN)実施の補足調査を参考にして抽出された、ペルーとの国境に近い2地区で実施された。

調査結果

目標だった新鉱床の発見には至らなく、マント型金鉱床についても依然不明な点が多く残されたが、以下のことが明らかとなった。

地質

- 1) アウカパタ地区で貝化石が発見され、シルル紀-デボン紀と同定されたことから、シルル系-デボン系分布域が北東に広がった。
- 2) チャラサニ地区に赤色砂岩層が、調査地域南西端に赤色の火山性堆積物が確認されたが、時代は決定できなかった。後者は地質層序対比のための鍵層の役割を果たす可能性がある。

火成作用

放射年代測定(K-Ar法)により、新たに以下のことが判明した。

- 1) イリヤンプ花崗閃緑岩体と同時期の貫入であると推定されていたウウト花崗閃緑岩体の黒雲母 K/Ar 年代は 93.4 ± 2.6 Ma であり、上部白亜紀初頭の年代を示した。
- 2) 新第三系の貫入岩であると推定されていたチャラサニ複合半深成岩体は、東側の貫入岩が 97.7 ± 2.5 Ma および 94.9 ± 2.6 Ma、西側の貫入岩が 47.1 ± 1.0 Ma、火山岩が 56.8 ± 1.5 Ma の値を示した。白亜紀ガリック世に東側から始まった火成活動が、古第三紀始新世頃は西側に移動したことを暗示している。
- 3) タカコマ地区の安山岩質貫入岩およびシート状岩脈は、 175.5 ± 4.9 Ma ~ 83.8 ± 2.3 Ma を示した。変質の程度から、安山質岩類の活動は少なくとも 175Ma 以前の生成年代と言

える。この年代はイリヤンプ花崗閃緑岩類等の活動年代に相当する。

変成作用

- 1) 地域一帯の変成相は緑色片岩相の緑泥石帯にあたり、黒雲母アイソグラッドにも達していない。本調査では珪線石、堇青石、紅柱石のいずれも確認されていない。
- 2) 石墨化度による温度分布の方向はイリヤンプ花崗岩体やソンゴ-ヤニ花崗岩体から伸びるアンデス方向を示している。イロ・イロ地区及びペレチュコ地区でもアンデスの方向を示すが、南部地域に比べ高温域がはるかに広い。

鉱化作用

- 1) 調査地域内の確認された鉱化作用は、マント型金鉱床、(金)－銅石英脈の鉱脈型鉱床、多金属鉱脈型鉱床及び氷河成（融氷流水～河川堆積成）砂金鉱床である。
- 2) マント型金鉱床は、地質構造が明瞭に確認された箇所では背斜軸部に胚胎しており、背斜構造が重要である。
- 3) マント型金鉱床は、石墨化度で 15～30（約 400℃以下）の範囲の堆積岩中に胚胎することが確認された。
- 4) マント型金鉱床は、従来オールドビス系に胚胎されるとされていたが、シルル系－デボン系堆積岩中にも胚胎していることが判明した。
- 5) マント型金鉱床は、一部の金－銅石英脈の鉱脈型鉱床とともに成因的に造山活動時に広域変成・変形と同時に生成されたオロジェニック金鉱床と同種の鉱床である可能性が高い（ポリビア型オロジェニック金鉱床と仮称）。
- 6) アカマニ鉱徴地やウワト花崗閃緑岩周辺の多金属鉱化作用は、白亜紀中期のガリック世の時期と考えられる。
- 7) 南部地域の(金)－銅石英脈の生成時期は、多金属鉱化作用とほぼ同じ時期の白亜紀後期のガリック世～セノニアン世と考えられる

調査地区における鉱床賦存の可能性からみた結論は以下の通り。

北部地域では、期待されるのはマント型金鉱床で、背斜軸の周辺がポテンシャルの高い箇所と言える。しかし、大部分の軸部の延長は、すでに鉱床が存在していることが多く、新たに発見される可能性は低い。また、マント型鉱床は規模的に小さい。

南部地域のマント型鉱床は、存在してもアウカパタ地区はパカヒ北斜面まで、また、タコマ地区はサン・ホルへ鉱山までで、さらに北西への連続性は見込めない。

また、金－銅鉱化作用は局部的で、連続性に問題があり、大鉱床に発展する可能性は低い。

チャラサニ半深成岩類と二疊系石灰岩との接触部に期待されたスカルン型鉱床は存在しない。沢砂中の金異常は、融氷流水堆積物が、さらに河川の浸食で移動し沈殿したものと考えられ、初成金は存在しない。融氷流水堆積物中の二次金は残存している可能性を残している。

第2章 将来への提言

本年度の調査でも多数の地質的データが蓄積され、地質的理解も深まったが、新鉱床発見に至らなかった。したがって現時点では調査を継続する積極的な成果が得られていない。しかしながら、将来、ヤニ・ペレチュコ地域を含む東アンデスの金属鉱床、特にマント型金鉱床を再評価する場合、以下の点に留意することを提言する。

マント型金鉱床は、オールドビス系だけでなくシルル系—デボン系中にも胚胎しており、造山運動に伴われて形成された鉱床（ポリビア型オロジェニック金鉱床）と考えられるが、不明な点が多く今後の十分な調査が望まれる。

もしマント型金鉱床がこの種の鉱化作用の場合、鉱床賦存のポテンシャルは古生代堆積岩類の分布する東部アンデス山脈の北東斜面にも広がる。

典型的なオロジェニック金鉱床の場合には、鉱液をもたらしたとされる大規模剪断断層帯が存在し鉱床は大規模となるが、ヤニ・ペレチュコ地域では剪断断層帯が確認されてなく、ほとんど背斜構造に伴われ小規模である。

しかし、鉱床賦存の可能性が拡大した北東地域中には、依然剪断断層帯の存在も考えられ、剪断帯に随伴している鉱床も期待される。

したがって、広範囲なエリアからの探査対象の絞り込みには、画像解析による広域的な地質構造の抽出が必要である。引き続き広域的な沢砂地化学探査と熱的分布状況把握のための石墨化度の測定を実施することが有望地区の絞り込みに有効である。併せて、マッピングにより広域的な地質構造、特に背斜構造を確認することが重要である。

露頭が少ない地区や植生に覆われている地区では、土壤地化探も併用することが望ましい。

地質調査にあたっては以下の点に留意して実施することを提言する。

- ① 画像解析によるリニアメントの解析で構造線の推定を行うこと
- ② 発達した劈開に惑わされることなく、真の走向傾斜を把握し地質構造を確認すること
- ③ 大規模背斜軸や大規模剪断断層帯を走向方向に追跡すること
- ④ 噴気堆積鉱床胚胎の可能性もあり、硫化物や酸化帯を確認し化学分析を実施すること
- ⑤ 火成岩の有無（転石も含め）にも注意を払うこと
- ⑥ 断層の把握と転移を確認すること

さらに室内研究にあたっては

- ① 地化学異常の検討
- ② 鉱化の種類（オロジェニック金鉱床 かどうか）の検討（石墨化度、変成相の分帯、流体包有物の均質化温度、鉱物共生 etc）

を十分に行うことが望ましい。

上記調査で絞りこまれたポテンシャルの高い地区については段階的にさらに詳細な地質調査を実施することが望ましい。

参 考 文 献

- Avila Salinas, W. (1989), Prospectivas sobre la exploración y aplicación industrial de los yacimientos de andalucita de Yani-Zongo. CEDOMIN, no.11, pp.6-17.
- Ballon A., R. (1985), Estudio Integrado de los Recursos Naturales del Departamento de La Paz, Geología, Hojas SD19-14 and SD19-15. CIASER-GEOBOL.
- Bard, J.P., Botello, R., Martinez, C. and Subieta, T. (1974), Relations Entre Tectonique, Métamorphisme et Mise en Place D'un Granite Éohercynien a Deux Micas dans la Cordillère Real de Bolivie (Massif de Zongo-Yani). ORSTOM, sér. Géol., vol VI, no. 1, pp.3-18.
- Bierlein, F.P., Crowe, D.E., (2000), Phanerozoic Orogenic Lode Gold Deposits: Economic Geology, v. 13, GOLD IN 2000, p103-139
- Boso, M.A. and Monaldi, C.R. (1990), Oolitic Stratabound Iron Ores in the Silurian of Argentina and Bolivia. in Fontboté L., Amstutz G., Cardozo M., Cedillo E. & Frutos J. (Eds), Stratabound Ore Deposits in the Andes. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp.175-186.
- CIASER-GEOBOL (1985), Mapa de Geología de Sorata, 1: 250,000 in 'Estudio Integrado de los Recursos Naturales del Departamento de La Paz.' (unpubl.)
- COMIBOL (1977), Mapa de los Yacimientos de Minerales de Bolivia con Propiedades de COMIBOL, Escala 1: 1.500.000.
- Evernden JF, Kriz SJ, Cherroni MC (1977), Potassium-argon ages of some Bolivian rocks. Econ Geol 72, pp1042-1061
- Fornari, M. and Bonnernaison, M. (1984), Mantos et arnas sulfo-arsenie a or la Rinconada, premier indice de mineralisation de type exhalative-sedimentaire dans la Cordillere orientale du Perou. Chron.rech.min., 474, pp33-40

- Fornari, M. and Hérail, G. (1991), Lower Paleozoic gold occurrences in the 'Eastern Cordillera' of Southern Peru and Northern Bolivia: A genetic model. BRAZIL GOLD'91, E. A. Ladeira (ed.), pp.135-142, Balkema, Rotterdam.
- GEOBOL-PNUD. (1980), "Proyecto Cordillera", Prospección Minera en Areas Seleccionadas, Area Norte de La Paz, Tomo I, pp.1-188.
- GEOBOL-PNUD. (1990), Yacimientos vetiformes y Detríticos del distrito de Yani. Khrysos, no. 5-6, pp.21-31.
- Heuschmidt, B. and Miranda-Angles, V. (2000), Las Provincias y Epocas Metalogenicas de Bolivia en su Marco Geodinamico. Revista Tecnica de YPF, vol. 18, no. 1-2, pp.167-197.
- Heuschmidt, B. Bellot La Torre, J., Miranda-Angles, V. and Claire Z., M. (2002), Las Areas Prospectivas de Bolivia para Yacimientos Metaliferos. SERGEOMIN, boletin no.30.
- Kelly WC, Turneure FS (1970), mineralogy, paragenesis and geothermometry of the tin and tungsten deposits of the Eastern Andes, Bolivia. Econ Geol 65, pp609-680
- Lehmann, B. (1990), The Stratabound Kellhuani Tin Deposits, Bolivia. in Fontboté L., Amstutz G., Cardozo M., Cedillo E. & Frutos J. (Eds), Stratabound Ore Deposits in the Andes. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp.147-160.
- McBride, B., Robertson, R.C.R., Clark, A.H. and Farrar, E. (1983), Magmatic and metallogenetic episodes in the northern tin belt, Cordillera Real, Bolivia. Geol. Rdsch., vol. 72, no. 2, pp.685-713.
- McBride, B., Clark, A.H. Farrar, E. Archibald D.A. (1987), Delimitation of a cryptic Eocene tectonothermal domain in the Eastern Cordillera of the Bolivia Andes through K-Ar dating and ^{40}Ar - ^{39}Ar step heating. J Geol Soc Lond 144, pp243-255.
- Makepeace, A.J., Stasiuk, M.V., Krauth, R., Hickson, C.J., Ellerbeck, D.M. (2002), Proyecto Multinacional Andino, GeoData CD-ROM. Publicación Geológica Multinacional, no. 3, 2 vol. (Digital).

- Oller V., J. (1996), Cuadro Cronostratigráfico de Bolivia. YPFB, Gerencia de Exploración, P-1, Programa Carta Geológica de Bolivia.
- Redwood, S.D. and Macintyre, R.M. (1989), K-Ar Dating of Miocene Magmatism and Related Epithermal Mineralization of the Northeastern Altiplano of Bolivia. *Econ. Geol.*, vol. 84, pp.618-630.
- Schneider, H.J. (1990), Gold Deposits in Lower Paleozoic Sediments of the Cordillera Real, Bolivia. in Fontboté L., Amstutz G., Cardozo M., Cedillo E. & Frutos J. (Eds), *Stratabound Ore Deposits in the Andes*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp137-146.
- Shimizu, M. (1986), The Tokuwa Batholith, Central Japan – An Example of Occurrence of Ilmenite-Series and Magnetite-Series Granitoids in a Batholith. The University Museum, The Univ. of Tokyo, Bulletin no.28,
- SETMIN (2002), Concesiones y Peticiones Mineras, Area Yani-Pelechuco.
- Sibson, R.H. and Scott J. (1998), Stress/fault controls on the containment and release of overpressured fluids: Examples from gold-quartz vein systems in Juneau, Alaska; Victoria and Otago, New Zealand: *Ore Geology Reviews*, v.13 p293-306.
- Sillitoe, R. H., and Thompson, J. F. H., (1998) Intrusion-Related Vein Gold Deposits: Types, Tectono-Magmatic Settings and Difficulties of Distinction from Orogenic Gold Deposits, *Resource Geology*, vol.48, No.4, p237-250
- Suárez-Soruco, R. (2000), Compendio de Geología de Bolivia. *Revista Técnica de YPFB*, vol. 18, no. 1-2, pp.1-144.
- Sugaki, A., Ueno, H., Kitakaze, A., Hayashi, K., Kojima, S., Shimada, N., Kusachi, I., Sanjines V., O., Velarde V., O.J. and Sanchez, A.C. (1985), Geological and mineralogical Studies on the Polymetallic Hydrothermal Ore Deposits in Andes Area of Bolivia. *Sci. Rept. Tohoku Univ. Ser. 3*, 15, pp.1-338.
- Sureda, R.J. and Martin, J.L. (1990), El Aguilar Mine: An Ordovician

Sediments-Hosted Stratiform Lead-Zinc Deposit in the Central Andes. in Fontboté L., Amstutz G., Cardozo M., Cedillo E. & Frutos J. (Eds), *Stratabound Ore Deposits in the Andes*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp161-174.

Tisl, M. (1990), Los filones «hipotermales» de Yani: ¿un caso de herencia volcano-sedimentaria?. *Khrysos*, no. 5-6, pp.15-21.

Turneaure, F.S. (1971), The Bolovian Tin-Silver Province. *Econ. Geol.* vol 66, pp215-225.

Yokoyama, R., Sirasawa, M. and Kikuchi, Y. (1999), Representation of topographical feature by openness (in Japanese). *Jour. Japan Soc. Photogrammetry and Remote Sensing*, vol.38, no.4, pp.26-34.