

5) 鉍徴・変質

衛星画像の特徴参照。

6) 衛星画像の特徴

ASTER 画像では kaolin と sericite からなる変質帯および針鉄鉍が抽出される（変質帯 No.40）。kaolin は局所的に濃集する。sericite からなる変質帯はフォールスカラー画像（Fig.II-5-2-34-2）では茶色を呈し変質帯として明瞭に認識できないが、比演算画像では明瞭な白色を呈している。その他、本鉍徴地の北方 1.5~4km 付近にも同様に小規模な変質が見られる（変質帯 No.48、52 等）。

7) コント

Bajo de la Alumbreira 鉍山の近傍で企業探鉍が進んでおり次年度調査の必要はないと思われる。

8) 参考資料

5-2-38 Agua Rica 鉍床 (Zone-43)

1) 位置

南緯 27° 22' 15.3"、西経 66° 16' 48.0"、標高約 3,000~3,200m。Catamarca 州、Angalgal 郡、Andalgalá の北北東 25km、Aconquija 山脈の南西端に位置する。

2) 交通

Angalgalá の町から四輪駆動車で北上し、30 分程で Aqua Rica(BHP)の私有地ゲートをくぐり、未舗装の鉍山専用道路を 1 時間ほど走ると到着する。

3) 既往調査

- ・ 1918 年：鉍床発見。
- ・ 1950~60 年代：いくつかの地質学的、資源地質学的調査・研究。
- ・ 1969 年：Grupo Mutio 社が本地区を含む 8 つの鉍業権を獲得。他社と共同出資で Compania Minera Agua Rica S.A.社を設立。予備調査的に 5 本の浅所ボーリングを実施、鉍染状鉍化作用と二次富化帯を確認。
- ・ 1970-1972 年：オプション契約によって Cities Service Argentina S.A.社が地質調査、地化学探、熱水変質帯の解析、ボーリング（36 本、計 7,927m）を実施。オプション権の終了によって所有権は Agua Rica S.A.社に戻る。
- ・ 1993 年：Recursos Americanos Argentinos 社は Agua Rica S.A.社との合意を得て BHP Minerals 社と JV を設立
- ・ 1994 年：6 本のボーリングによって二次富化帯を捕捉したが、経済的レベルには至らず。
- ・ 1995 年：Northern Orion Exploration 社は R.A.A.社の権利を買い取り、BHP 社との JV に加わり現在まで至る。
- ・ 1999 年：プレフィージビリティースタディー完了、ボーリング計 67,700m、冶金学および環境

学的な目的の坑道2本(計350m)を掘削。

・2001年:BHP-Billiton社が70%、Northern Orion社が30%の権益を保有している。

3) 地質・構造

本鉱床周辺の地質は、原生界上部～カンブリア紀下部の変成基盤岩類(Ambato Complex、Sierra de Aconquija Complex、Sunco Formation)、オルドビス紀花崗岩類(Aconquija BatholithおよびCapillitas Granite)、新第三紀の堆積岩-火山岩コンプレックスおよび関連する貫入岩から構成されている(Fig.II-5-2-38-1)。

新第三紀堆積岩-火山岩コンプレックスおよび関連する貫入岩は変成岩類とオルドビス紀花崗岩類との境界部付近に分布している。堆積岩類(Calchaquenses層)はその上部では火山岩起源の赤色砂岩が優勢であり、Farallon Negro地区の中新世El Morteritos累層に対比される。火山岩コンプレックスおよび貫入岩(Farallon Negro Volcanic Complex)はいくつかの火山センターに伴って、または堆積岩類を覆って分布している。岩質は酸性(～塩基性)のカルクアルカリ岩系であり、岩相は貫入岩体、角礫岩、凝灰岩、溶岩流、岩脈である。

貫入岩類は主としてMelcho貫入コンプレックス、Seca斑岩、Trampeadero斑岩などに分類されており、中新世後期(8.6～5.87Ma)に既存の岩石中へ貫入した。

Melchoコンプレックスは地区南部に2km×2kmにわたって分布し、多様な斑状貫入岩から構成されている。主として石英モンゾ閃緑岩、石英モンゾン岩、モンゾ閃緑岩から構成されており、その他、閃緑岩、花崗閃緑岩、花崗岩などを伴う。鉱化は弱く、変質は主としてプロピライト変質を受けている。貫入年代は角閃石のAr/Ar法で $8.56 \pm 0.48\text{Ma}$ が得られている(Sasso y Clark,1998)。

Seca斑岩は地区西部のSeca谷の北側に550m×550mにわたって分布する。変質が強く原岩の組織は残っていない。二次黒雲母のK-Ar年代は $5.1 \pm 0.05\text{Ma}$ を示す(Amdel,1995)。強いフィリック変質(石英-セリサイト-紅柱石)がそれ以前の黒雲母-磁鉄鉱変質にオーバープリントしている。強い鉱化作用を受けている。

Trampeadero斑岩は地区東部のTrampeaderoにSeca斑岩と同様な規模で分布している。原岩の組織はSeca斑岩よりは残存している。フィリック変質の上部には明礬石-パイロフィライトなどからなる高度粘土変質帯が見られる。強い鉱化作用を受けている。

角礫岩類は、熱水角礫岩、Igneous角礫岩、ダイアトリーム角礫岩などに分けられ、上記斑岩の間を埋めるように分布している。

熱水角礫岩は本地区中央から東部にかけて分布し、地表範囲約700m×500m、深さ700m程の主要岩体とより小規模な角礫岩パイプとがある。単源角礫岩(変堆積岩や斑岩)で基質が少なく、原岩からほとんど移動していないものから、多源角礫岩(変堆積岩、珪質変成岩、花崗岩、斑岩、石英脈、角礫岩)で基質が多く、円礫を含むものまで様々なタイプが存在する。基質は熱水性鉱物(粘土、硫化物)や細粒岩片などで構成されている。高度粘土変質(一部フィリック変質)を示し、強い硫化物鉱化作用を受けている。

Igneous角礫岩はTrampeadero斑岩および熱水角礫岩の主要岩体の北側に凡そ北西-南東方向に分布している。広がりや走向方向に450m、南北方向に100～250mで変化する。角礫は多源的で、変

堆積岩、花崗岩、鈳化斑岩、熱水角礫岩、石英脈岩片、バギー石英、珪質變成岩など。基質の量は0~50%まで変化する。変質は主として高度粘土変質であるが、一部に溶脱型の珪化変質を伴う。硫化物の鈳化作用は浅成起源の細脈や二次富化帯に関連して出現し、一方深成の硫化物鈳化作用は欠如している。

ダイアトリーム角礫岩は、本地区北西部に直径約700mでほぼ環状に分布している。岩石の60%が基質の基質支持であり、粒度はシルト~砂粒で黄鉄鈳が鈳染、粘土で膠結されている。角礫は多源的であり、変堆積岩、花崗岩、鈳化斑岩、石英脈岩片などが含まれる。

3) 鈳微・変質

本地区の鈳化作用はBHP-Billiton社の報告書によれば、次の3つの異なるステージに分けられている。

①初期のポーフイリー型の鈳化作用はSeca斑岩とTrampeadero斑岩に関連しており、石英ストックワーク状および鈳染状形態を示す。このステージでの鈳化作用は黄鉄鈳、輝水鉛鈳、黄銅鈳および少量の斑銅鈳と磁鉄鈳から構成されている。鈳床主要部の南側のMelchoコンプレックスでは、黄鉄鈳、黄銅鈳および少量の斑銅鈳を伴った石英細脈に関連する早期の深成鈳化作用が見られる。Melchoコンプレックスでは二次黒雲母から $7.03 \pm 0.10\text{Ma}$ 、 $6.29 \pm 0.06\text{Ma}$ およびセリサイトから $6.10 \pm 0.04\text{Ma}$ のK-Ar年代が得られている。

②ポーフイリーイベントに引き続き、浅熱水性ステージの鈳化作用が起こった。これは中央部の熱水角礫岩およびTrampeadero斑岩のフィリック帯および高度粘土変質帯で観察される。構成鈳物は黄鉄鈳、銅藍、斑銅鈳、硫砒銅鈳、輝水鉛鈳、方鉛鈳、閃亜鉛鈳、白鉄鈳、菱マンガン鈳および自然硫黄が鈳染状、脈状または角礫の空隙を充填するように胚胎している。本地区には深成の銅藍が広く分布する。これらはポーフイリーステージの黄銅鈳・斑銅鈳が深成リーチングを受けたものと考えられる。

③深成黄銅鈳-銅藍の未成熟な浅成富化作用によって浅成輝銅鈳-銅藍が形成された。かつての連続した富化ブランケットの残存物がSecaとTrampeaderoの両斑岩を覆うように分布している。酸化帯の厚さは50~150mであり、西部では260mに達する。酸化帯では鉄明礬石、針鉄鈳が優勢であり、少量の赤鉄鈳を伴う。酸化帯の下側には未成熟な不規則な形態の二次富化帯が存在し、最大厚さ200mに達する。二次富化帯の上部は粉末状の薄暗い輝銅鈳が優勢であるが、下部に向かって浅成の銅藍に徐々に移り変わる。二次富化帯の銅含有量は0.5~1%であるが、局所的に1.5%に達する。

Fig.II-5-2-38-2に変質分帯図を示す。本地区では他の多くのポーフイリーシステムとは異なり、K-silicate変質帯が顕著ではない。銅異常の高くない地区南部の地表下には熱水性黒雲母-磁鉄鈳/赤鉄鈳の核が残存しているが、ほとんどの黒雲母、カリ長石および磁鉄鈳は、その後のフィリック変質・高度粘土変質の激しいオーバープリントによって消去されてしまったと考えられている。

高度粘土変質帯は本地区中心部の熱水角礫岩パイプを取り囲むように配置している。地表の広がりには $800 \times 1,000\text{m}$ 程度で高低差は約800mである。周りは広いフィリック帯に囲まれ、内部には珪

化帯も見られる。変質鉱物は明礬石-パイロフィライトに代表され、ダイアスポア、ディッカイト、カオリナイト、ズニ石、黄玉を伴う。

フィリック変質帯はセリサイト-石英-黄鉄鉱タイプであり、分布範囲が広く、Seca谷でよく発達している。一方Trampeaderoでは上に位置する高度粘土変質のため、まとまりがなく不規則である。sericiteは斑岩の斑晶を交代して鉱染状にまたは細脈状に発達する。随伴する鉱物としては紅柱石、コランダム、ルチル、ジルコンなどを伴う。

プロピライト変質帯はフィリック変質帯の外側の縁に沿った部分に局所的に分布し、特にMelchoコンプレックスで顕著である。変質鉱物は緑泥石-緑簾石-黄鉄鉱-方解石の組み合わせであり、Fig.II-5-2-38-2 Hydrothermal alteration in Agua Rica district (taken from Roco y Koukharsky, 1999) 緑泥石はさらにホルンブレンド、黒雲母に交代されていることが多い。方解石細脈は主要変質帯の外側の変堆積岩中にも認められる。縁辺部の斑岩ではsericite-chlorite粘土タイプの変質も見られる。

現地調査で検討した南部のMelchoモンゾニ斑岩(A01RT008)は新鮮なモンゾニ斑岩で、A01RT009は同岩石がセリサイト化を受けて粘土状になったものである。

強い石英-明礬石化作用を受けたTrampeadero斑岩の露頭では、ストックワーク状の石英脈や酸性溶脱を受けたバギー石英が観察された。試料(A01RT010)は強い珪化を受けたTrampeadero斑岩であり、石英脈と白色~ピンク色~黄白色の明礬石脈が発達している。X線回折によって多量の石英、パイロフィライト、中量のNa明礬石が同定された。

坑内で採取された鉱石試料(A01RT011)は、黄鉄鉱、黄銅鉱、輝水鉛鉱、銅藍、孔雀石などが鉱染している。研磨片鑑定では、細粒片状セリサイト、微粒方解石が認められ、極多量の石英、不透明鉱物では、多量の黄鉄鉱、少量の銅藍、極少量の閃亜鉛鉱、黄銅鉱、黄錫鉱？が鑑定された。化学分析ではCu:4510ppm、Au:0.11g/t、Mo:1,050ppmなどが得られた。

高度粘土変質を受けた熱水角礫岩の露頭では、石英、花崗岩、斑岩などの角礫~円礫が基質支持になっており、強く珪化している。熱水角礫岩パイプ試料(A01RT012)はX線回折によって多量の石英、明礬石、中量のパイロフィライトが同定された。

典型的なフィリック変質を受けたSeca斑岩試料(A01RT013)は、X線回折によって多量の石英、セリサイトが同定された。

4) 衛星画像の特徴

当鉱床は、Landsat TM画像解析では変質帯は抽出されてないが、ASTER衛星画像解析では比較的植生が多く見えるものの変質帯が抽出されている。鉱物同定処理の結果ではAlunite+Sericititeを検出しており、北東側にKaoliniteの濃集部が存在する(Fig.II-5-2-38-3)。

5) コメント

本プロジェクトは、フィージビリティスタディーが終了しており、開発が検討されている模様であるが、開発の着手には銅価格の回復が必須である。

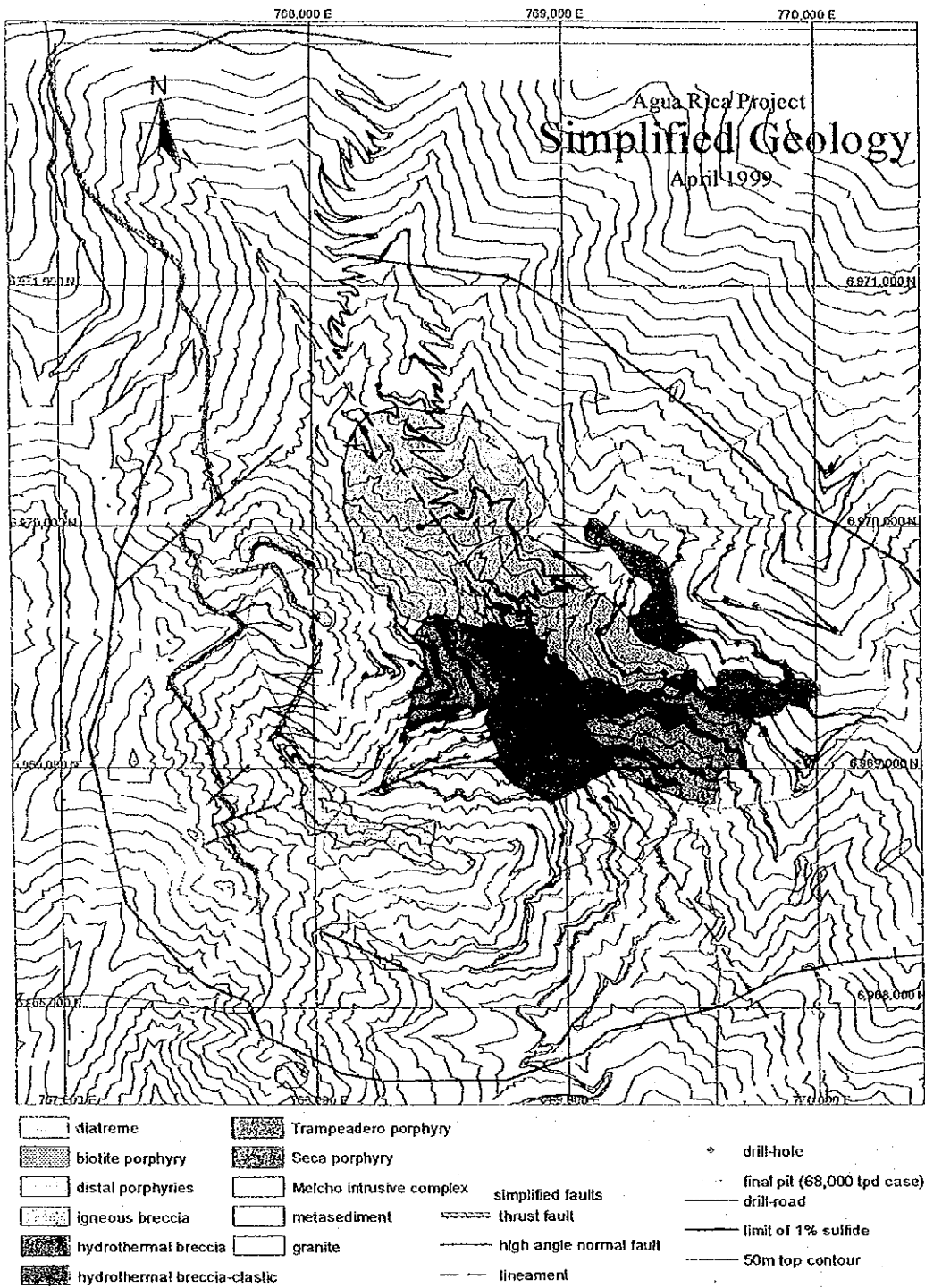


Fig. II-5-2-38-1 Simplified geological map of Agua Rica district.
(after BHP-Billiton and Northern Orion, 2001)

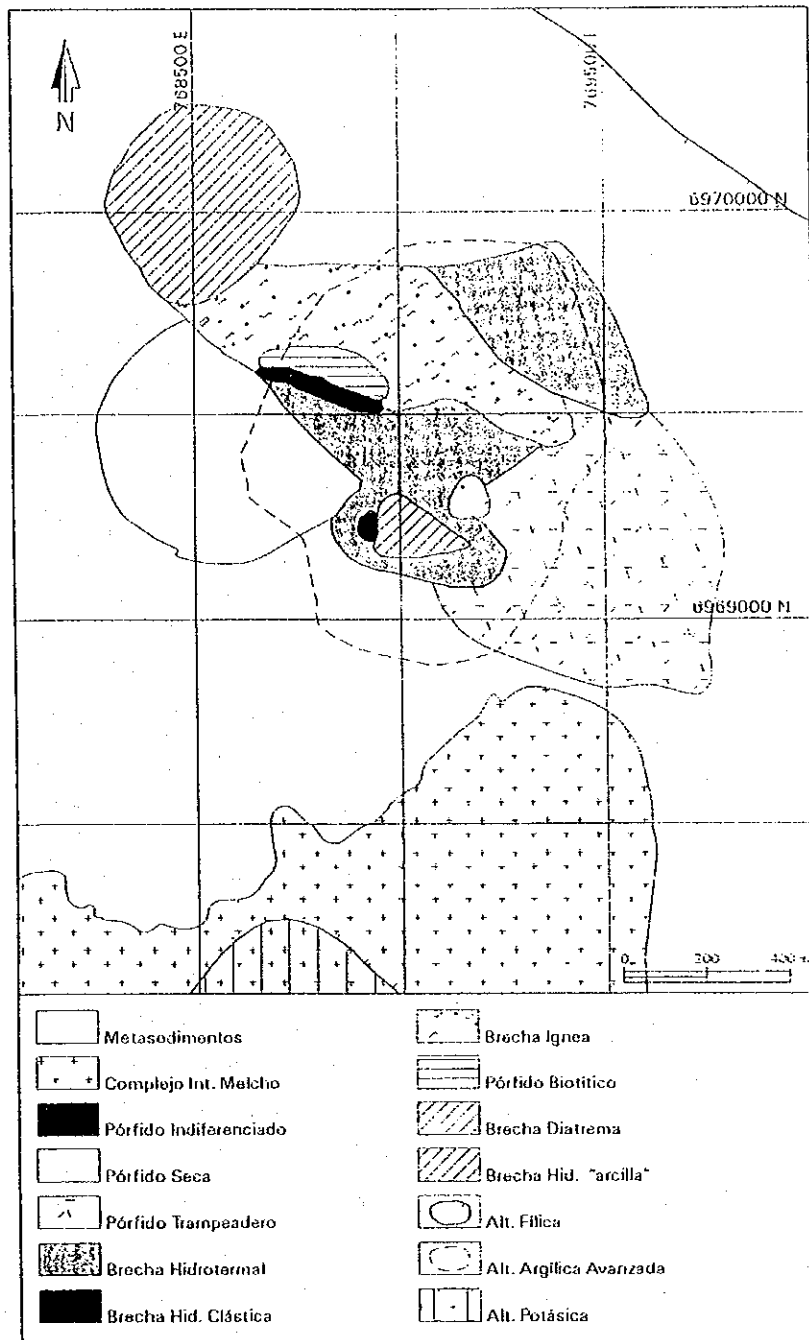


Fig.II-5-2-38-2 Hydrothermal alteration in Agua Rica district.
(taken from Roco,R. y Koukharsky,1999)

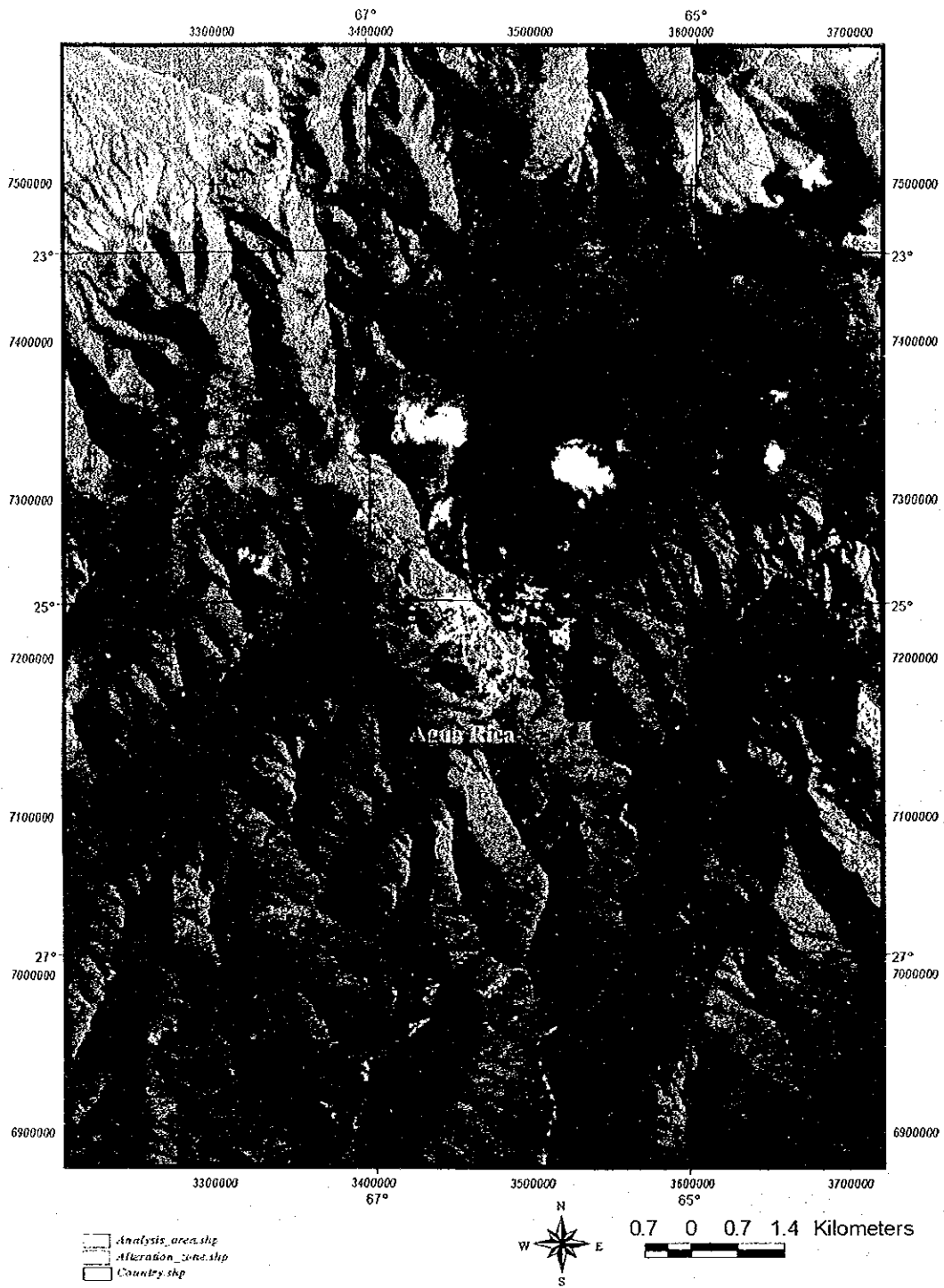


Fig.II-5-2-38-3 Agua Rica deposit(ASTER BGR=123)

3) 参考資料

- Amdel Report (1995). G896800G/96. K-Ar Dating of five rock samples. (inedited)
- Roco, R. y M. Koukharsky, (1999). El pórfiro cupro - molibdenífero Agua Rica y las manifestaciones epitermales asociadas, Catamarca. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E.O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1479-1492, Buenos Aires.
- Sasso, A.M. and A.H. Clark, (1998.) The Parallón Negro Group, Northwest Argentina: Magmatic, Hydrothermal and Tectonic Evolution and Implications for Cu-Au Metallogeny in Andean Back-arc : SEG NEWSLETTER, No.34, July, 1998, p.7-18.
- BHP-Billiton and Northern Orion, (2001) inedited. Agua Rica.

5-2-39 Capillitas 鉱徴地 (Zone-43)

1) 位置

南緯 27° 20′ 29.8″、西経 66° 22′ 52.7″、標高約 2,900m。Catamarca 州、Angalgalá 郡、Andalgalá の北北西 28km、Capillitas 山脈の東斜面に位置する。

2) 交通

Angalgalá から州道 47 号を四輪駆動車で約 60km 北上し、約 3 時間で至る。

3) 既往調査

- 植民地時代以前：断続的に金を採掘。
- 1950 年代以降：宝飾用の菱マンガン鉱の採掘
- 1940 年代：陸軍工廠が坑道掘削、ボーリング (5 孔, 221m) を実施。鉱量は確定: 42,118t (Au: 5.7g/t, Ag: 250g/t, Cu: 4.4%)、推定 58,632t (Au: 4.1g/t, Ag: 196g/t, Cu: 3.8%)、予想 120,000t と算定された。
- 1948~49 年：1km の坑道掘削、ボーリング (2 孔, 80m) を実施、金属量で確定 Au: 878.6kg, Ag: 33,614kg, Cu: 6,991t、推定 Cu: 2,931t, Au: 322.6kg, Ag: 10290kg と算定された。
- 1978-81 年：JICA は旧坑の調査、物探 (IP、電磁)、地化学探査、ボーリング (4 孔, 1,724.8m) を実施し、確定鉱量 387,000t (Au: 2.6g/t, Ag: 108g/t, Cu: 2.31%)、推定鉱量 675,000t と算出した。
- 1988 年以降：Minera Andina 社が権益を貸与され、小規模に宝飾用の菱マンガン鉱を採掘。

4) 地質・構造

本鉱徴地付近の地質は、オールドビスーシル紀の花崗岩質基盤岩（Capillitas花崗岩）、中新世 El Morterito 累層、中新世上部－鮮新世下部の火山岩コンプレックス（Farallon Negro Volcanic Complex）よりなる（Fig.II-5-2-39-1）。

Capillitas 花崗岩は、北東－南西系の 2 本の断層によって境される長さ 15km、幅 5km の基盤ブロックを形成している。岩種はアダメロ斑岩が優勢であり、結晶片岩やペグマタイトの捕獲岩をししば伴う。貫入年代は K-Ar 年代で 471Ma および 414Ma が得られている（Aceñolaza et al., 1982）。

中新世 El Morterito 累層は Farallon Negro 地区と同様に赤色砂岩を主とし、分布範囲は限られている。

中新世上部－鮮新世下部の火山岩コンプレックスは Aconquija 山脈の西側で、El Morterito 累層の上位を覆い、また花崗岩類に囲まれている。これらコンプレックスは NE-SW に伸びた長軸約 1,500m の楕円形のダイアトリームを形成している。岩種は流紋岩、角礫化流紋岩、流紋岩－花崗岩質角礫岩、デイサイト斑岩、流紋岩－粗面岩質酸性岩脈、玄武岩質塩基性岩脈などから構成される。これらは本地区の鉱床母岩となり、変質作用を受けている。JICA(1978-81)はこの火山岩コンプレックス中のデイサイトと流紋岩の K-Ar 年代を $5 \pm 0.5\text{Ma}$ としている。

5) 鉱徴・変質：

本鉱徴地周辺の鉱床は、高硫化系タイプの多金属鉱脈鉱床とされている。19 の鉱脈が花崗岩、火山岩中に胚胎する。鉱脈は、ENE-WSW と WNW-ESE の 2 方向がある。鉱脈はレンズ状から板状で幅 50～70cm、地表では直線状、波状および網状を呈する。脈の組織は縞状を呈することが多く、その構成鉱物の多さから様々な色のバンドが見られる。鉱脈の鉱石鉱物は多岐にわたり 120 種類の鉱物が含まれるが、一次鉱物は主として黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、白鉄鉱、磁硫鉄鉱、黄銅鉱、安－砒四面銅鉱、硫砒銅鉱、斑銅鉱、金などからなり、二次鉱物は輝銅鉱、銅藍、斑銅鉱、孔雀石、青鉛鉱、褐鉄鉱、クリプトメレン、軟マンガン鉱などである。脈石鉱物は主として石英、菱マンガン鉱および明礬石から構成される。脈の晶洞にはしばしば自形の方鉛鉱、黄鉄鉱、硫砒銅鉱、マンガン重石、石英および重晶石などの結晶を伴う。

石英脈（および菱マンガン鉱）の流体包有物の均質化温度、塩濃度研究によれば、均質化温度は 2 つの集団に分かれ、少数の二次包有物および擬二次包有物は 160～210℃、多数の一次包有物は 220～290℃（平均 240～260℃）を示した。また沸騰現象が起きていたことが示唆されている。塩濃度については NaCl 重量%で 6.5～1.1%（平均 4.2～1.3%）と推定されている（Márquez-Zavalía, M.F., 1999）。

本鉱徴地周辺では広範囲に熱水変質帯が分布しているが、岩相によって変質のタイプと強度が異なる。珪化変質は広く発達しており、ダイアトリームの中央～西部では晶洞を充填する石英が多量に観察される。空隙充填型の石英は塊状で硫化物や硫塩鉱物を含む場合もある。花崗岩質岩石では珪化変質は脈とのコンタクトから数 m に限られる。高度粘土変質も花崗岩質岩石よりも火山岩類によく発達している。中間粘土変質は脈と母岩のコンタクトに沿って広く発達している。セリサイト変質は弱く、主として流紋岩と玄武岩岩脈にみられる。プロピライト変質は縁辺部に僅かに分布する。

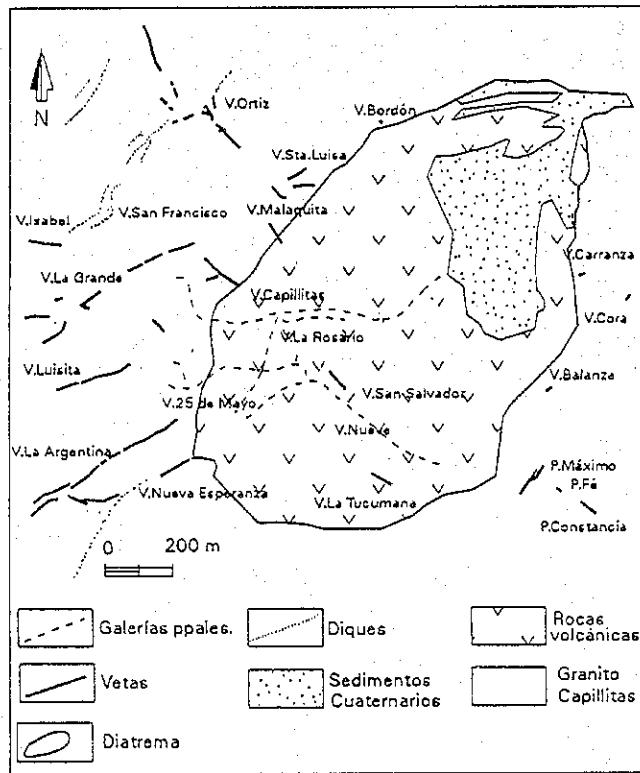


Fig.II-5-2-39-1(a) Mayor lithologic units and location of the veins in Capillitas mine.(taken from Márquez-Zavalía, M.F.,1999)

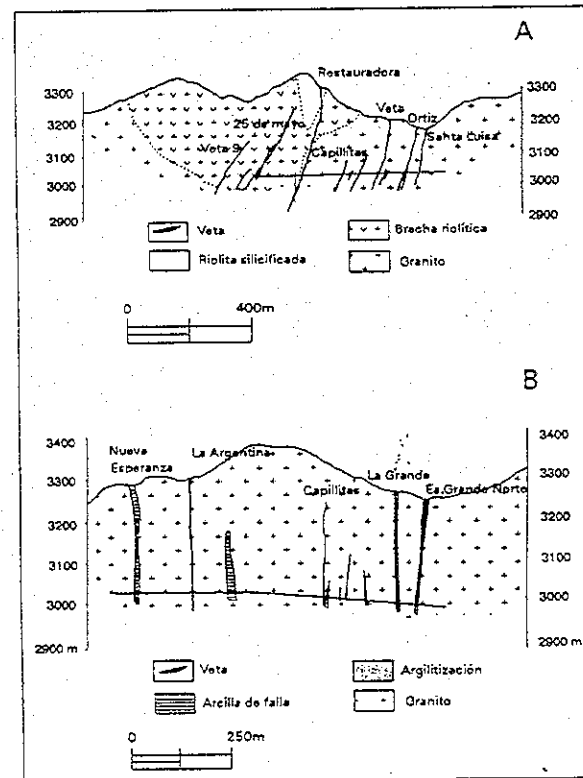


Fig.II-5-2-39-1(b) Schematic profiles.
A: from Nueva Esperanza vein to Isabel vein.
B: from Nueva vein to Santa Luisa vein.
(taken from Márquez-Zavalía, M.F.,1999)

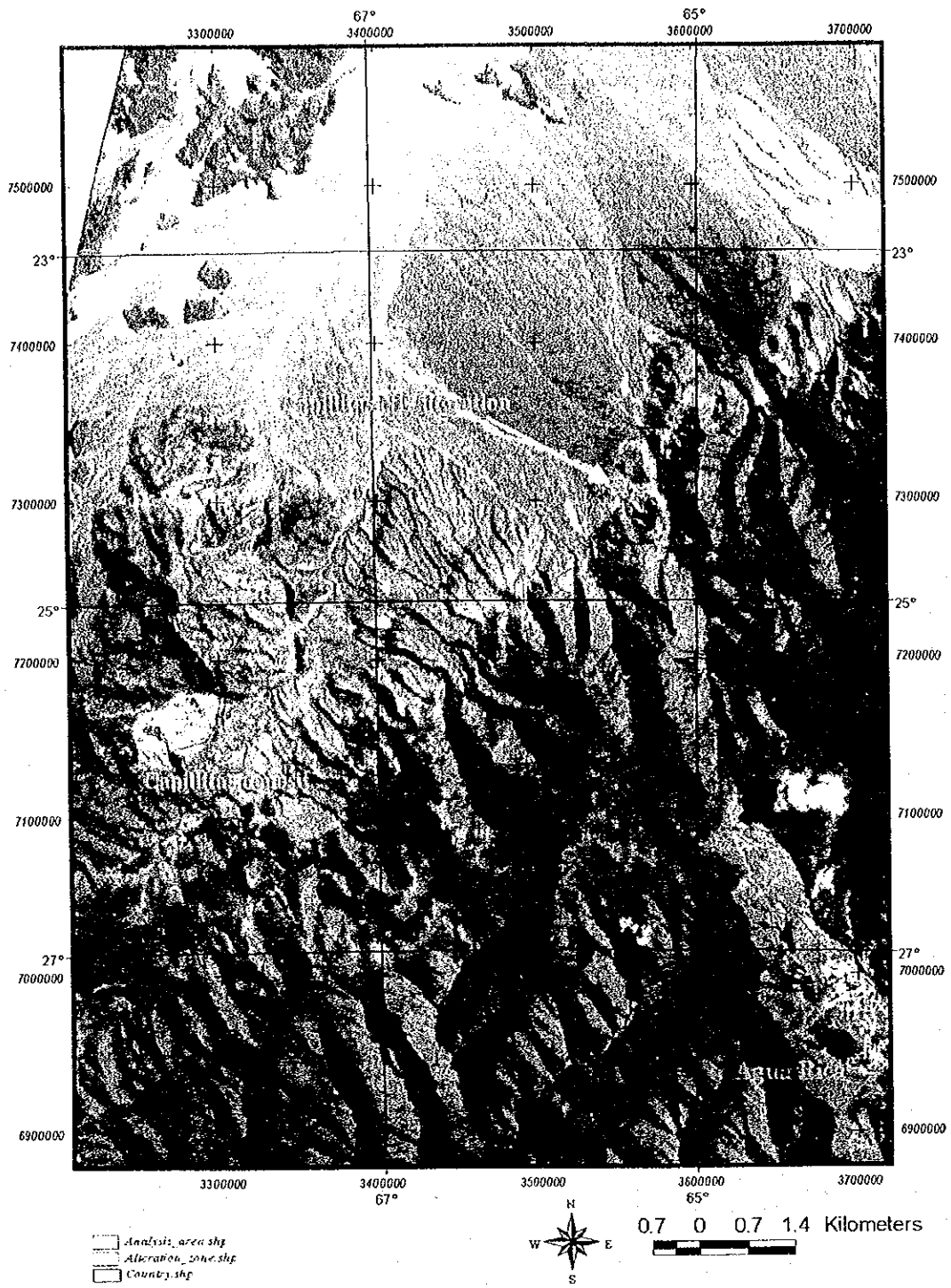


Fig.II-5-2-39-2 Capillitas deposit and Capillitas NE alteration zone(ASTER BGR=123)

現地調査では、標高約 2860m に南西向きの坑口が存在し、坑道は流紋岩～デイサイト斑岩脈（幅約 5～10m）に沿っている。岩脈の母岩は火山角礫岩であり、岩脈とともに強く粘土化・珪化を受けて白色になっている。岩脈表面には黒色のマンガン焼けも見られる。岩脈からの試料

(A01RT014) は白色珪化・粘土化を受けており、X 線回折によって多量の石英、少量のパイロフイライトが同定された。

6) 衛星画像の特徴

ASTER 画像では約 1.7 km×0.8km の変質帯として抽出されている (Fig.II-5-2-39-2)。

Alunite+Kaolinite+Sericite が分布するが明瞭な変質帯中心は不明瞭。Hematite や Goethite を欠く。

7) コメント

8) 参考資料

- Aceñolaza F.G., A.J.Toselli, F.R.Durand y R.Díaz Tadei,(1982):. Geología y estructura de la región norte de Andalgalá, provincia de Catamarca. *Acta Geológica Lilloana*, 16(1):121-139.
- Márquez-Zavalía, M.F. (1999.) El yacimiento Capillitas, Catamarca. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E.O.Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1643-1652, Buenos Aires.
- Sasso, A.M. and A.H.Clark, 1998. The Farallón Negro Group, Northwest Argentina: Magmatic, Hydrothermal and Tectonic Evolution and Implications for Cu-Au Metallogeny in Andean Back-arc : SEG NEWSLETTER, No.34, July, 1998, p.7-18.
- JICA (1978-1981) :. Informe de estudios básicos sobre la explotación de recursos minerales en la zona norte de la República Argentina. Cuatro etapas. *Dirección General de Fabricaciones Militares*, informe inédito. Buenos Aires.

5-2-40 Capillitas NE 変質帯

1) 位置

南緯 27° 18′ 34.8″、西経 66° 19′ 16.2″、標高約 2,800m。Catamarca 州 Andalgalá 郡、Andalgalá の北約 30km に位置する。

2) 交通

州道 47 号沿いを Capillitas 鉱山から車で北東に 15km ほどで至る。

3) 既往調査

ASTER 画像解析から抽出された変質帯で既往調査なし。

4) 地質・構造

本変質帯の地質は、Capillitas 鉱床付近と地質構成要素はほぼ同じであるが、第三紀火山岩類は分布していない。本変質帯の南東側の Aconquija 山脈には原生界上部～カンブリア紀下部の片麻岩、

角閃岩、ミグマタイトなどの変成岩類およびオルドビス紀 Capillitas 花崗岩が、北西側には砂丘が広がる。Aconquija 山脈の北西側山麓に沿って NE-SW 形断層が発達する。

5) 鉱徴・変質

ASTER 画像によって抽出された本変質帯は花崗岩中に発達する断層に沿った白色粘土化で鉱化作用は認められない。断層付近の花崗岩類は幅 10~20m にわたって白色粘土化している。白色粘土化花崗岩 (A01TK001、A01TK002) は POSAM ではいずれもセリサイトが同定された。X 線回折によると A01TK001 では多量の石英、多量の斜長石、中量のカリ長石、中量のセリサイト、微量のカオリナイトが同定された。A01TK002 では多量の石英、多量の斜長石、多量のセリサイトが同定された。これらのセリサイトは断層に沿った天水の循環、もしくは花崗岩の造岩鉱物の白雲母に由来するものと考えられる。

6) 衛星画像の特徴

Capillitas NE 山麓にそって小規模な変質帯が分布する (Fig.II-5-2-39-3)。Alunite+Sericite の小規模な変質帯が多い。わずかに Goethite を伴っている。フォールスカラー、比演算では識別できない。

7) コメント

本地区には鉱化作用、熱水性の変質作用は観察されず、また付近に第三紀火山岩類も分布していない。ASTER 画像解析により抽出された変質帯は、断層付近の花崗岩類の風化作用によるものと考えられる。

8) 参考資料

なし

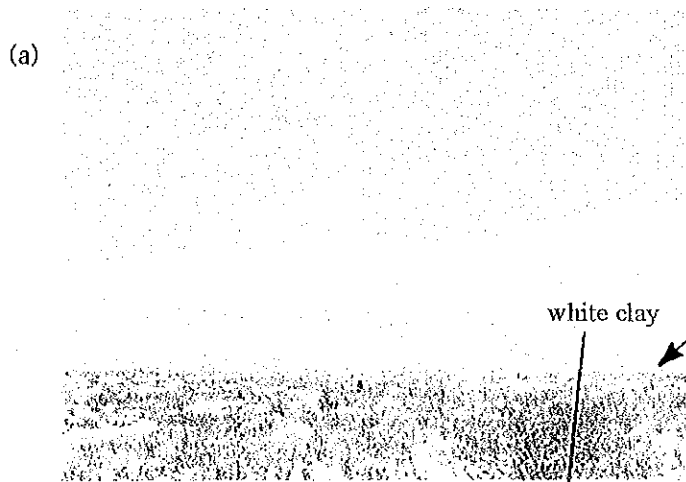


Fig. II-5-2-40-1
Capillitas NE alteration
zone.

- (a) Distant view
- (b) Closed view
- (c) Outcrop of the
fault zone

Fault

white clay

5-3 岩石地化学（判別分析）による鉱床層準推定の予備的検討

5-3-1 目的

Mina Esperanza の SEDEX 鉱化帯を貫くボーリング・コア試料に対して実施した判別分析の結果、SEDEX 鉱化帯およびその上・下位層を群分けする判別係数が高い精度（正判別率 96.1%）で得られている。

2 孔のボーリング・コアの判別分析結果が、水平的な変化も予想される 100km 以上離れた広域でも適用できるものか、下部オルドビス系（Cardonal 層・Lampazar 層・Padrioc 層）中の深度範囲 500m 程度で判定された上位層（G1）の地化学的特性が上部オルドビス系でも保持されるような普遍性をもっているものかなど、この判別分析結果を広範囲に適用するには多くの不明な点がある。

ここでは、広範囲に適用した場合、既存情報や現地調査結果との関わりでどのような結果が得られ、今後、どのようなアプローチが可能かを予備的に検討する目的で、調査地域北部一帯で採取したオルドビス系堆積岩類計 61 試料(Table II-5-3-1)について判別分析を試みた。

5-3-2 判別式の構築

先に得られた判別係数マトリックス（Table II-5-2-12-4 前出）を用いて、上位層と鉱化帯（G1-G2）、上位層と下位層（G1-G3）および鉱化帯と下位層（G2-G3）をそれぞれ判別する 3 つの判別式（線型判別関数 $z=a_1x+a_2x+\dots+a_0$ ）を構築した。

5-3-3 判別結果

オルドビス系堆積岩類 61 試料について、上位層と鉱化帯（G1-G2）、上位層と下位層（G1-G3）および鉱化帯と下位層（G2-G3）各々の判別値と、これらから推定される群分け結果を Table II-5-3-2 および Fig. II-5-3-1 に示す。

この表から次のことが明らかになった。

- ① SEDEX 鉱化帯（G2）に相当すると判定された試料は Zone-15 の La Candelaria で採取されたシルト岩（A01YH047）1 試料のみである。La Candelaria で採取された他の 2 試料はいずれも上位層（G1）と判定されている。
- ② 同じ Zone-15 の Mina Esperanza 北方の探鉱地 Rio Grande では、計 9 試料のうち、5 試料が上位層（G1）、4 試料が下位層（G3）と判定されている。
- ③ Pumahuasi を含む Zone-2 では、計 4 試料のすべてが上位層（G1）に判定されている。
- ④ La Gateada を含む Zone-1 では、計 10 試料中 9 試料が上位層（G1）と判定され、下位層（G3）と判定されたものは北部の Cienagillas 付近で採取された珪質シルト岩 1 試料のみである。
- ⑤ Santa Victoria 山脈およびその東方である Zone-3 および Zone-5 では、計 13 試料のうち 9 試料が上位層（G1）、4 試料が下位層（G3）と判定されている。

5-3-4 鉱床層準の推定

判別分析の結果によると、La Candelaria で採取されたシルト岩（A01YH047）が SEDEX 鉱化帯（G2）に位置付けられている。現地調査結果によると、成層したシルト・泥岩の細互層で初生の黄

Table II-5-3-2 Result of discriminant analysis applied for 61 samples from the Ordovician sedimentary rocks

Serial No.	Sample No.	Latitude			Longitude			Altitude (m)	Zone	Locality	Rock	Discriminant function values			Discriminant group
		Degree	Minute	Second	Degree	Minute	Second					G1-G2	G1-G3	G2-G3	
1	A01YH033	22	21	30.6	65	47	58.7	3,701	Zone-01	Chocoite	Siltstone	36.18	4.94	-31.24	G1
2	A01YH034	22	20	5.9	65	48	10.8	3,744	Zone-01	Chocoite	Siliceous siltstone	29.73	-11.35	-41.07	G3
3	A01YH036	22	19	37.0	65	48	29.9		Zone-01	Chocoite	Black shale	23.73	0.73	-23.00	G1
4	A01KN072	22	6	15.7	65	46	6.2		Zone-01	Cienaguillas	Slate	14.64	14.42	-0.22	G1
5	A01YH038	22	6	0.0	65	48	55.3	3,774	Zone-01	Cienaguillas	Black shale	19.34	7.25	-12.09	G1
6	A01YH039	22	6	21.0	65	47	58.0	3,776	Zone-01	Cienaguillas	Black shale	16.07	7.63	-8.44	G1
7	A01YH040	22	6	30.6	65	46	48.4	3,748	Zone-01	Cienaguillas	Slate	11.48	8.74	-2.75	G1
8	A01YH041	22	7	55.8	65	44	41.5	3,623	Zone-01	Cienaguillas	Slate	25.08	2.92	-22.16	G1
9	A01KN071	22	19	37.5	65	48	30.6		Zone-01	La Gateada	Slate	20.25	3.62	-16.63	G1
10	A01YH037	22	19	50.0	65	49	34.8		Zone-01	La Gateada	Black shale	14.14	5.78	-8.36	G1
11	A01YH019	22	22	16.7	65	36	40.6	3,665	Zone-02	La Bergica	Siltstone	11.52	23.83	12.32	G1
12	A01YH020	22	22	19.7	65	36	37.9	3,670	Zone-02	La Bergica	Siltstone	7.14	7.60	0.45	G1
13	A01YH021	22	17	12.0	65	36	18.3	3,687	Zone-02	Pumahuasi	Siltstone	19.87	0.45	-19.42	G1
14	A01YH022	22	18	6.8	65	36	19.2	3,685	Zone-02	Sol de Mayo	Siltstone	32.49	7.63	-24.86	G1
15	A01YH023	22	23	50.9	65	17	3.2	4,530	Zone-03	Abrá del Condor	Sandstone	8.55	10.40	1.86	G1
16	A01YH030	22	24	18.6	65	14	14.3	4,154	Zone-03	San Francisco	Grey slate	16.97	-0.52	-17.49	G3
17	A01YH031	22	23	52.8	65	15	37.0	4,260	Zone-03	San Francisco	Phyllitic slate	19.45	4.55	-14.90	G1
18	A01KN070	22	23	54.2	65	15	40.3		Zone-03	Santa Rosa	Slate	23.99	-0.36	-24.35	G3
19	A01YH032	22	24	4.8	65	15	33.9	4,262	Zone-03	Santa Rosa	Phyllitic slate	4.21	14.87	10.66	G1
20	A01YH027	22	24	20.6	65	6	7.1	3,950	Zone-05	Cerro Morado	Siltstone	19.32	3.76	-15.56	G1
21	A01YH028	22	24	24.5	65	7	27.7		Zone-05	Cerro Morado	Siltstone	19.62	-0.57	-20.19	G3
22	A01YH029	22	24	57.1	65	10	22.1	4,680	Zone-05	Cerro Morado	Siltstone	23.51	-3.99	-27.50	G3
23	A01KN062	22	23	24.1	65	5	29		Zone-05	La Cienaga	Slate	19.25	1.65	-17.60	G1
24	A01KN067	22	23	17.6	65	4	24.2		Zone-05	La Cienaga	Slate	17.60	0.44	-17.16	G1
25	A01YH025	22	23	18.0	65	4	25.4	3,903	Zone-05	La Cienaga	Siltstone	29.08	7.39	-21.69	G1
26	A01YH024	22	23	4.9	65	5	20.0	3,607	Zone-05	Paltoroa	Black shale	16.94	0.27	-16.67	G1
27	A01YH026	22	23	45.9	65	4	56.4	3,886	Zone-05	Paltoroa	Siltstone	20.69	1.45	-19.25	G1
28	A01KN075	22	42	24.2	66	5	58.8		Zone-07	Tupiza	Slate	19.86	2.95	-16.91	G1
29	A01YH043	22	45	49.9	66	5	55.3	3,794	Zone-08	Tupiza	Slate	13.01	1.34	-11.67	G1
30	A01KN079	22	49	35.8	65	32	23.9		Zone-11	La Purisima	Slate	15.47	1.17	-14.30	G1
31	A01YH044	22	49	32.0	65	32	10.1	4,030	Zone-11	La Purisima	Slate	6.83	3.23	-3.59	G1
32	A01YH045	22	49	26.2	65	32	8.0	4,019	Zone-11	La Purisima	Black slate	17.15	0.95	-16.20	G1
33	A01RT080	22	52	39.6	65	43	38.8	3,600	Zone-15	La Candelaria	Shale/fine sand	21.85	6.67	-15.18	G1
34	A01YH046	22	52	43.7	65	43	40.1	3,816	Zone-15	La Candelaria	Siltstone	20.78	8.77	-12.00	G1
35	A01YH047	22	52	38.5	65	43	37.4	3,609	Zone-15	La Candelaria	Siltstone	-6.27	7.47	13.74	G2
36	A01AG078	169.5m							Zone-15	Mina Aguilar	Slate	20.83	5.59	-15.24	G1
37	A01AG081	422.0m							Zone-15	Mina Aguilar	Slate	23.57	-1.82	-25.39	G3
38	A01KN048	23	7	7	65	40	47		Zone-15	Rio Grande	Slate	11.58	5.11	-6.47	G1
39	A01KN051	23	7	51.2	65	41	17.3		Zone-15	Rio Grande	Slate	38.99	-8.35	-47.33	G3
40	A01RT062	23	7	51.2	65	41	16.4	3950	Zone-15	Rio Grande	Shale	53.38	-4.67	-58.04	G3
41	A01YH013	23	8	4.0	65	40	53.7	3,910	Zone-15	Rio Grande	Black shale	12.13	0.86	-11.27	G1
42	A01YH014	23	7	58.3	65	41	3.2	3,912	Zone-15	Rio Grande	Black shale	14.03	-12.89	-26.92	G3
43	A01YH015	23	7	46.9	65	41	27.3	3,950	Zone-15	Rio Grande	Black shale	12.61	0.03	-12.58	G1
44	A01YH016	23	7	49.9	65	41	33.2	3,963	Zone-15	Rio Grande	Black shale and s.s.	32.22	8.05	-24.17	G1
45	A01YH017	23	7	51.2	65	41	16.5	3,935	Zone-15	Rio Grande	Black shale	14.75	-4.98	-19.73	G3
46	A01YH018	23	7	49.5	65	41	20.7	3,947	Zone-15	Rio Grande	Black shale	14.66	8.87	-5.80	G1
47	A01YH051	23	38	48.4	66	17	25.0	3,668	Zone-18	La Colorada	Schistose rock	6.95	-14.42	-21.37	G3
48	A01YH052	23	38	49.1	66	17	25.5	3,660	Zone-18	La Colorada	Schistose rock	27.87	-15.65	-43.52	G3
49	A01YH053	23	38	50	66	17	25.8	3,659	Zone-18	La Colorada	Sandstone hornfels	18.66	4.13	-14.53	G1
50	A01YH054	23	38	50.7	66	17	23.4	3,619	Zone-18	La Colorada	Sandstone	21.18	14.08	-7.10	G1
51	A01YH055	23	38	51.5	66	17	19.8	3,602	Zone-18	La Colorada	Schistose rock	28.06	4.21	-23.85	G1
52	A01YH056	23	38	52.5	66	17	16.9	3,608	Zone-18	La Colorada	Sandstone hornfels	31.71	3.25	-28.46	G1
53	A01KN094	23	41	19.2	66	20	29.2		Zone-18	Limeca	Sandstone/slate	12.44	1.19	-11.24	G1
54	A01YH057	23	41	21.7	66	20	26.3	3,718	Zone-18	Limeca	Phyllitic slate	10.65	-2.01	-12.66	G3
55	A01YH058	23	41	25.3	66	20	11.0	3,696	Zone-18	Limeca	Phyllitic slate	18.42	-6.96	-25.39	G3
56	A01YH059	23	41	26.6	66	20	3.1	3,666	Zone-18	Limeca	Siliceous slate	9.29	-2.33	-11.62	G3
57	A01YH060	23	41	22.1	66	19	57.1	3,672	Zone-18	Limeca	Phyllitic slate	18.40	-4.14	-22.54	G3
58	A01YH061	23	41	16.2	66	19	50.9	3,661	Zone-18	Limeca	Shale	25.66	6.23	-19.43	G1
59	A01YH062	23	41	10.9	66	19	44.3		Zone-18	Limeca	Shale	17.82	0.52	-17.30	G1
60	A01YH063	23	41	7.8	66	19	39.9		Zone-18	Limeca	Shale	18.24	-0.68	-18.92	G3
61	A01YH064	23	39	59	65	42	0.2	4,068	Zone-22	Tusca	Shale	22.08	-0.83	-22.91	G3

Remarks: G1 : hangingwall of the mineralized zone.

G2 : the mineralized zone(SEDEX).

G3 : footwall of the mineralized zone

Mina Esperanza のボーリング・コア分析値をベースにして構築された判別式には問題は多いものの、以上のように、得られた結果は既知情報や現地調査結果と著しく矛盾するものではない。

ただし、検討対象範囲に比べて分析試料数が過少であるために、現時点ではこの判別式適用の是非を判断するのは早計である。

できれば対象のボーリング孔に近い Rio Grande 鉱微地周辺を含む北部一帯で組織的な採試・分析を実施して判別分析を適用し、この結果を踏まえて南西方の La Colorada および Limeca を含む Zone-18、さらに、北東方の Santa Victoria 山脈 (Zone-3) およびその東方 (Zone-5) へと段階的に対象を拡げて調査することが望まれる。

その際、地化学的な検討だけでなく、鉱床層準推定に必要な岩石学的、古生物学的検討も合わせて実施することが望まれる。

判別式構築には、SEDEX 鉱化帯を貫いた Mina Esperanza のボーリング・コアだけでなく、さらに VMS かあるいは SEDEX かで議論が分かれている La Colorada の同様のボーリング・コア (Pacific Rim が掘削し Salta 州鉱山局に保管されている) も対象とすることも検討すべきであろう。

5-4 泥質岩の地球化学的特徴

当地域オルドビス系泥質堆積岩類の化学組成(Appendix Table A-4 参照)と平均的地殻組成(PAAS)、海溝充填物、熱水性堆積物(赤色頁岩)およびアンバー(Fujinaga and Kato, 1999)との比較を Fig.II-5-4-1-1 および Fig.II-5-4-1-2 に示す。当地域の SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床近傍以外の泥質岩は、平均的地殻組成(PAAS)に類似した組成を示し、熱水活動の影響は見られない。

5-5 SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床および鉱脈型多金属鉱床の硫黄同位体比

当地域北部のオルドビス系中には Pumahuasi 鉱床で代表されるような多数の鉛・亜鉛、鉛・亜鉛・重晶石鉱脈鉱床が存在する。これら鉱脈鉱床の鉛・亜鉛の起源を SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床に求める仮説がある (Martin, 1989)。この仮説を検証するため両タイプならびに新第三紀の鉱脈型鉛・亜鉛鉱床の硫黄同位体比を測定した。その結果を Fig.II-5-5-1 および Appendix に示す。

硫黄は、天然において、 H_2S (-2 ‰), HS^- (0 ‰), S^{2-} (4 ‰), HSO_4^- (6 ‰) の化学種をとり、酸化・還元反応により大きな同位体分別が生じるほか硫酸還元バクテリアなどの生物学的反応によっても同位体比の変動が生じる。 H_2S (-2 ‰) は重金属イオンの担体および沈降剤として働き金属の移送と濃集を行う。

Goodfellow et al. (1993) は、SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床の形成に関し、地殻起源の金属塩化物錯体と嫌気性環境で還元された H_2S に富む海水との混合によるとしている(Fig.II-6-)。El Aguilar 鉱床の硫化物の硫黄同位体比は+10.3~+26.8‰、硫酸塩鉱物はデータなし。オルドビス紀前期の marine evaporite の硫黄同位体比は+25~+30‰であり、鉱石硫黄の起源が Goodfellow et al. (1993) のとおり海水起源であることを示唆している。

ちなみに黒鉱鉱床の場合、硫化鉱物の硫黄同位体比が+5~+8‰、硫酸塩鉱物が+22~+24‰である。硫化物硫黄はマグマ起源、硫酸塩のほとんどが海水からの沈殿とされている (Sasaki and Ishihara, 1979)。

一方、オルドビス系中の鉱脈型多金属鉱床の鉛・亜鉛および重晶石の硫黄同位体比は、それぞれ -2.5~+12.8‰で、+10.5~+25.6‰Aguilar 鉱床のものに比べ明らかに軽い同位体比を示しむしろ Rachaite や Pan de Azucar のような近隣の新第三紀熱水鉱床、あるいは上記黒鉱鉱床の硫化物硫黄同位体比と類似している。このことから、オルドビス紀前期に形成された SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床が単純に後次の構造運動のみで再移動し鉱脈鉱床を形成したと考えることは難しい。

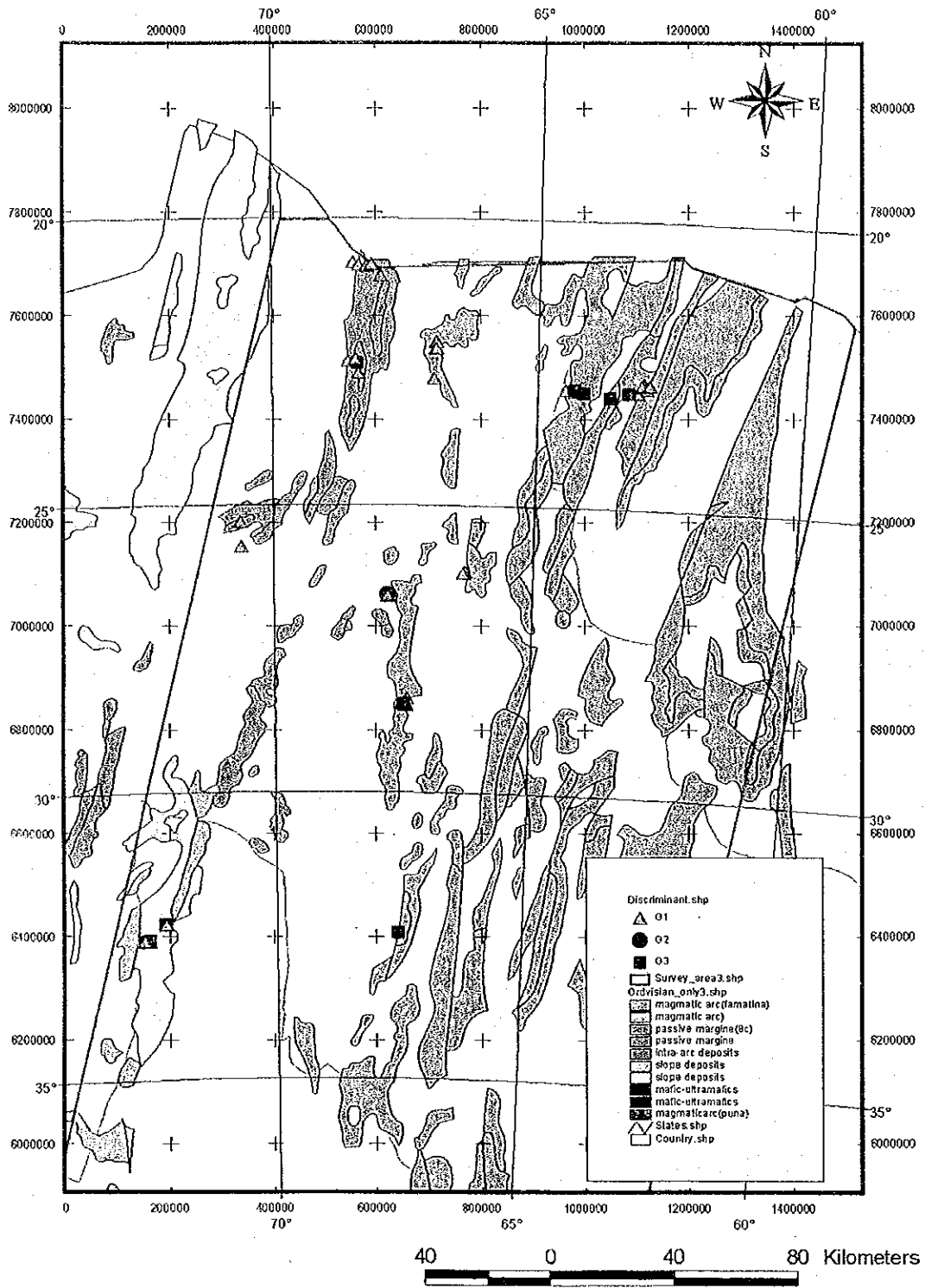


Fig. II-5-3-1. Distribution of the Ordovician rock samples discriminated to 3 groups

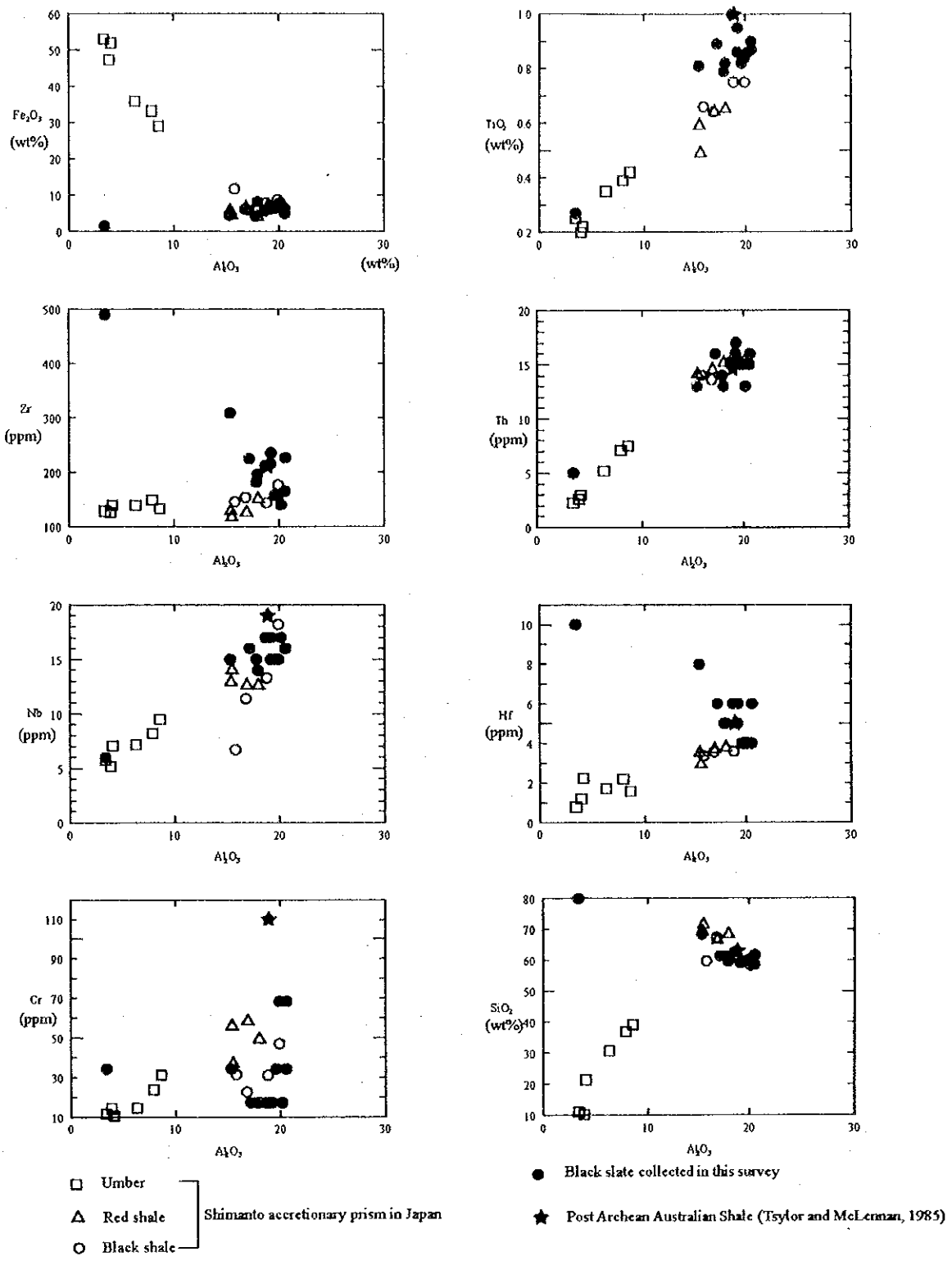


Fig. II-5-4-1-1 Chemical comparison slate in the survey area with the Shimanto accretionary prism (Fujinaga and Kato, 2001)

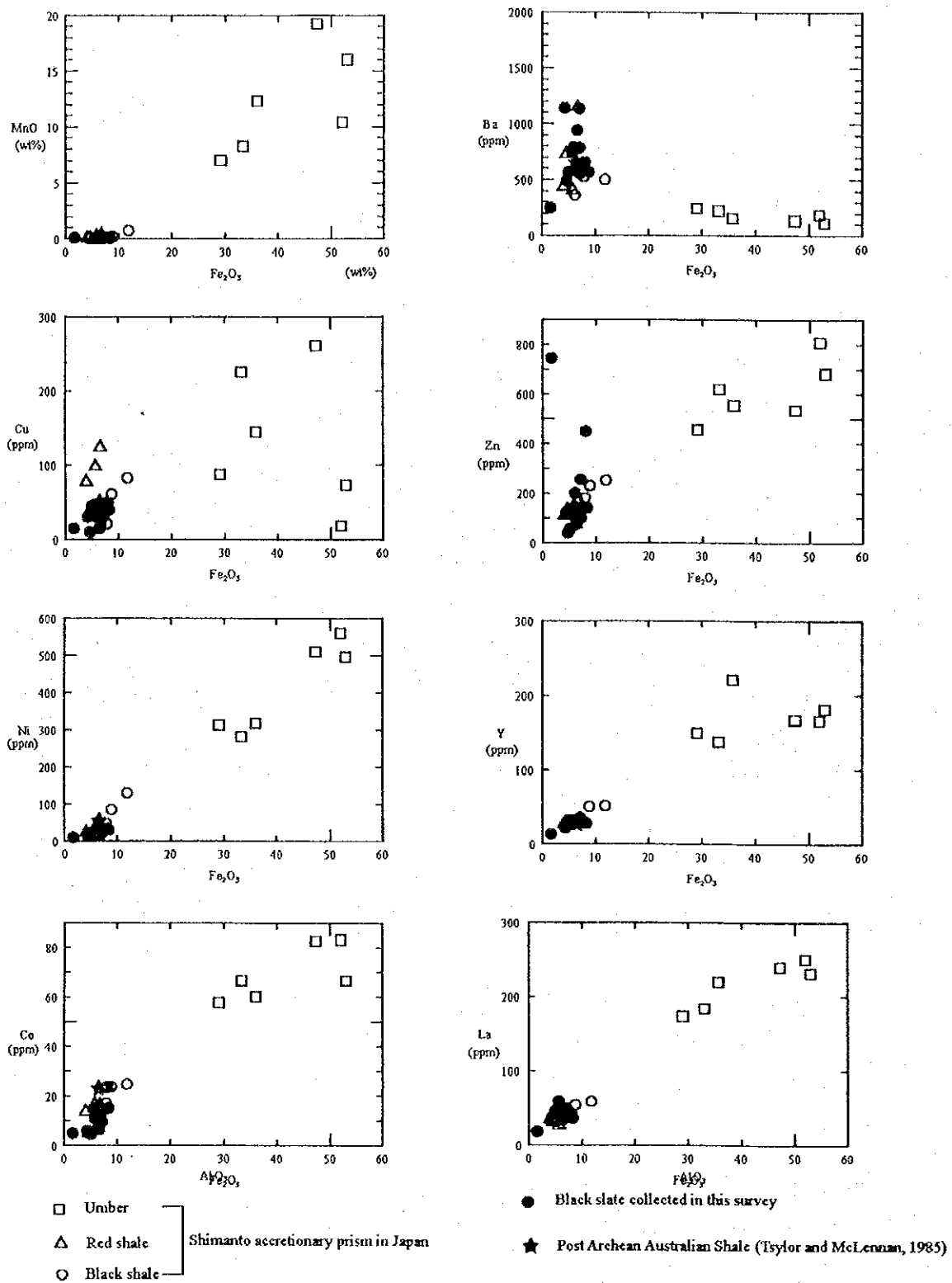
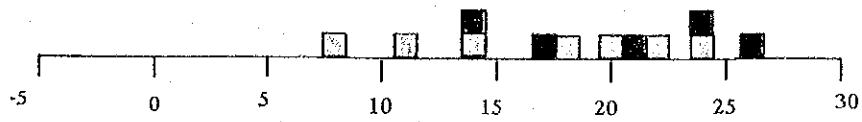
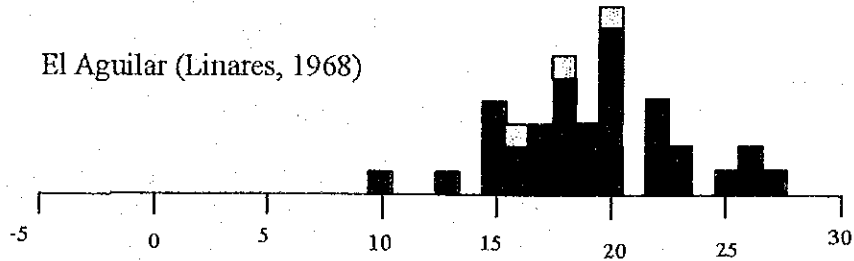


Fig. II-5-4-1-2. Chemical comparison slate in the survey area with the Shimanto accretionary prism (Fujinaga and Kato, 2001)

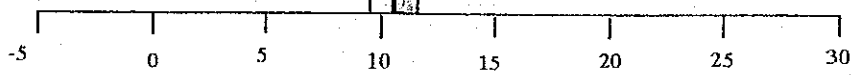
El Aguilar (this survey)



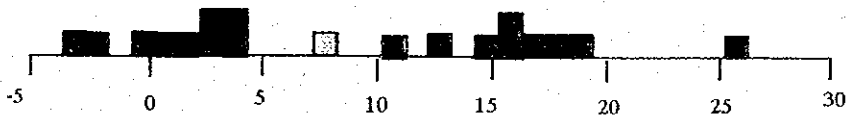
El Aguilar (Linares, 1968)



La Colorada



Vein type deposits



- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Ordovician | <input checked="" type="checkbox"/> Tertiary |
| <input checked="" type="checkbox"/> galena | <input checked="" type="checkbox"/> galena > sphalerite |
| <input checked="" type="checkbox"/> sphalerite | <input checked="" type="checkbox"/> pyrrhotite |
| | <input checked="" type="checkbox"/> barite |

第6章 考察

6-1 地質構造および鉱化作用の特性と鉱化規制

アルゼンティン北西部の地質構造は、第1部第3章で述べたとおり、先カンブリア時代後期から古生代前期の Gondwana 大陸南西縁での微小大陸の衝突・付加および古生代後期から現世に至る西側からの海洋プレートのサブダクションによるコルディレラ型造山運動により形成された。

当地域に発達する先カンブリア紀から第四紀の地質体には、それぞれ構造発達史と密接に関係した時代別に特徴ある鉱床が存在する。なかでも、オールドビス系には SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床および火山性塊状硫化物鉱床が、新第三系にはポーフイリー型銅・銅・金鉱床および浅熱水性金・銀鉱床といった経済性を有する鉱床賦存のポテンシャルが高いと考えられる。以下、地質構造発達史とこれら鉱床との時間空間的關係およびそこから導き出される探査上の課題について述べる。

1) SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床および火山性塊状硫化物鉱床

[Zappettini (1999) の分類コード 8. b. Tipo Kuroko, 8. c. SEDEX (Pb-Ag-Zn-Cu), 8. d. SEDEX Ba に相当]

南米大陸の北部のベネズエラからアルゼンティン北部にかけて、アマゾンおよびアマゾニアクラトンを取り巻くように下部古生界の非活動的大陸縁辺部のプラットフォーム堆積物が広く発達する (Ramos and Aleman, 2000)。その中に SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床としては唯一 El Aguilar 鉱床が存在する。

アルゼンティン北西部からチリ西部 Puna に発達するオールドビス系には多数の鉱脈型鉛・亜鉛・重晶石鉱床が知られており、その起源を SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床に求める考えがある (例えば、Marlin, 1989)。

SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床は、passive margin, intracontinental rift あるいは continental margin のような厚い堆積盆のなかの更に小規模な 2 次~3 次オーダーの堆積盆で形成されたと考えられている (Fig. II-6-1-1)。特に嫌気性の環境が鉱床の生成と保存に重要とされている。火山活動の直接的関与は明確でないが鉱床近辺に火山岩の存在することもあり熱源と考えられている (Goodfellow et al., 1993)。

当地域が非活動的大陸縁辺であった (あるいは、Arequipa-Antofalla massif と Gondwana 大陸との間に存在した堆積盆) という地質環境は SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床形成の必要条件を満たすものである。当地域のオールドビス系は、調査地域中央部から南東部にかけての先カンブリア時代の基盤 (Pampian Craton) を取り巻くように Cordillera Oriental から Puna にかけて広く分布する (Fig. II-6-1-2)。これは、東側の火山活動を伴わない堆積体と西側の火山活動を伴う堆積体に分けられる。これら堆積体は、Famatinian Event (古生代中期) および Andean Event (新生代) の構造運動による強い変形を受けている。これまで、詳細な堆積相の解析および堆積盆の復元は行なわれていないが、Zappettini (1999) によると、火山活動を伴わない東側の堆積体を passive margin、火山活動を伴う西側の堆積体を intra-arc deposits および slope deposits に、また Bahlburg (1990) は、前者を pelites and sandstones, rare conglomerates 後者を turbidites and rare

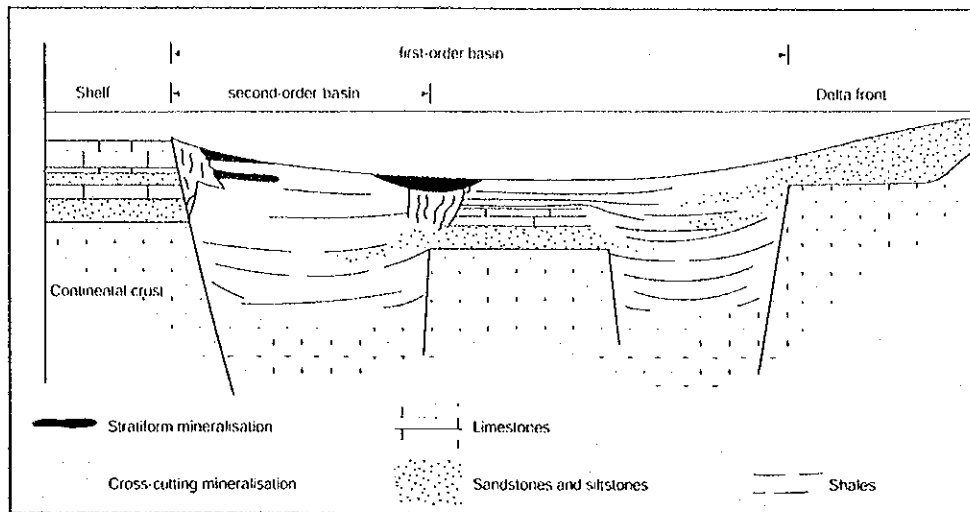


Fig. II-6-1-1 Environment of formation of SEDEX deposits (take from Sangster and MacIntyre, 1983).

volcanoclastic mass flow with granitoids of the "Faja Eruptiva de la Puna Oriental" に区分した。El Aguilar 鉱床は前者に、La Colorada 鉱床は後者の地質体に属する。

Sureda and Martin (1990) および Sureda (1999) によると、El Aguilar 鉱床は、第1次オーダー Santa Victoria Basin 内の、2つの高まりに挟まれた第3次オーダー Padrioc Basin 内のオルドビス紀 Tremadoc 世の海底における熱水活動により形成されたものと考えられる。第3次オーダー堆積盆の形成および熱水活動はオルドビス紀 Santa Victoria グループ堆積時の "Iruyic diastrophic phase" の引張テクトニクスに関連したものと推定されている。

西側堆積体の火山活動は、パイモーダルな火山岩および石英安山岩質～安山岩質斑岩よりなるカルクアルカリ岩系列に属する "Faja Eruptiva de la Puna Oriental" で、Arequipa-Antofalla massif の東進にともなう西側からのプレートサブダクションにより形成された火山弧環境での産物と考えられている (Bahlburg, 1990)。この堆積体中には、La Colorada 鉱床が存在する。La Colorada 鉱床の成因に関しては火山性塊状硫化物鉱床 (Pacific Rim 社談) とする考えと SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床とする考え (例えば Mayon et al., 1999) がある。一般にパイモーダルな海底火山活動の旺盛な島弧や背弧に形成される黒鉱鉱床や堆積物のない MORB 玄武岩火山活動の旺盛な拡大軸で形成されるキプロス型鉱床では、海底火山熱水系が鉱床生成に重要な役割を果たす。埋積海嶺である Juan de Fuca Ridge Middle Valley の塊状硫化物鉱床 (Goodfellow and Frasnkin, 1993) は、厚い堆積体中に存在するものの深部には海洋地殻が存在し、拡大軸での火山熱水活動に起因する。しかし鉱床付近のみをみれば火山活動はないとみなされる。La Colorada 鉱床周辺には火山岩類の分布が少ないという現象で SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床と判断することは出来ない。角礫化した火山岩間隙を充填する硫化物、典型的な SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床の鉛・亜鉛品位に対し銅品位が高いことから、今回火山性塊状硫化物鉱床とみなして調査を行なった。成因については更に検討を要する。火山岩分布ゾーンに塊状硫化物鉱床が存在するという事実は、このゾーンに類似の鉱床が期待

されることになるが、現時点では、La Corolada 鉱床とほぼ同一層準に Limeca 鉱微地があり、層準規制型鉱床であるということ以外の鉱床生成を規定する束縛条件は明らかになってない。

2) 鉱脈型多金属鉱床

[Zappetini (1999) の分類コード 14. a. Polimetálicos ricos en As-Ni-Co (Ag-Ni-Co-Bi-U-As), 14 c. Polimetálicos simples (Pb-Ag-Zn-Ba-Cu) に相当]

調査地域北部には多数の鉱脈型鉱床が存在する。これらは、鉛・亜鉛・重晶石を含むもの (14. a.) と鉛・亜鉛・銅・ニッケル・ウランを含むもの (14. c.) に区分される。いずれも先カンブリア紀 Puncovicana 層からオールドビス紀 McCoyta 層までを母岩としており、白亜系を貫くことはない。今回観察した限りでは、鉱脈の形態は、明らかに粘板岩の層理面を切るもの (Rumicruz) から粘板岩の層面へき開面に平行なもの (Santa Rosa)、短波長の褶曲 (Famatinian event 時期) の軸面裂隙を充填するもの (La Cienaga) まで変化する。鉱脈形成時期は定かでないが、Famatinian Event 以降、白亜紀以前ということになる。これら鉱脈型鉱床は小規模で経済性はないと判断される。記述のように、これら鉱脈型鉱床を構成する鉛・亜鉛は、SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床から再移動したという仮説があるが、SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床の硫化物硫黄の同位体比は 15~25% を示すのに対し、鉱脈型鉱床の硫化物硫黄の同位体比は 3~4% を示し、両者の硫黄の起源は異なったものと思われる。El Aguilar 鉱床の硫化物硫黄の同位体比は Goodfellow et al. (1993) の解釈のとおり海水起源とみなした方がより妥当性があると思われる (Fig. II-6-1-6)。

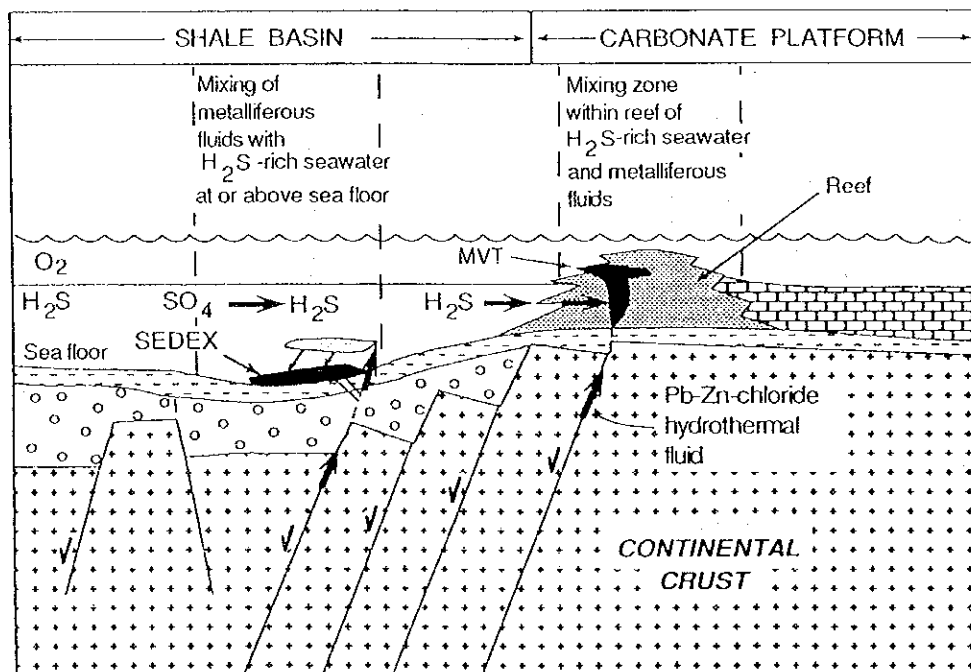


Fig. II-6-1-6 Genetic models of SEDEX and MVT representing the mixing of basal metalliferous fluids with ambient anoxic waters at the sea floor (taken from Goodfellow et al, 1993).

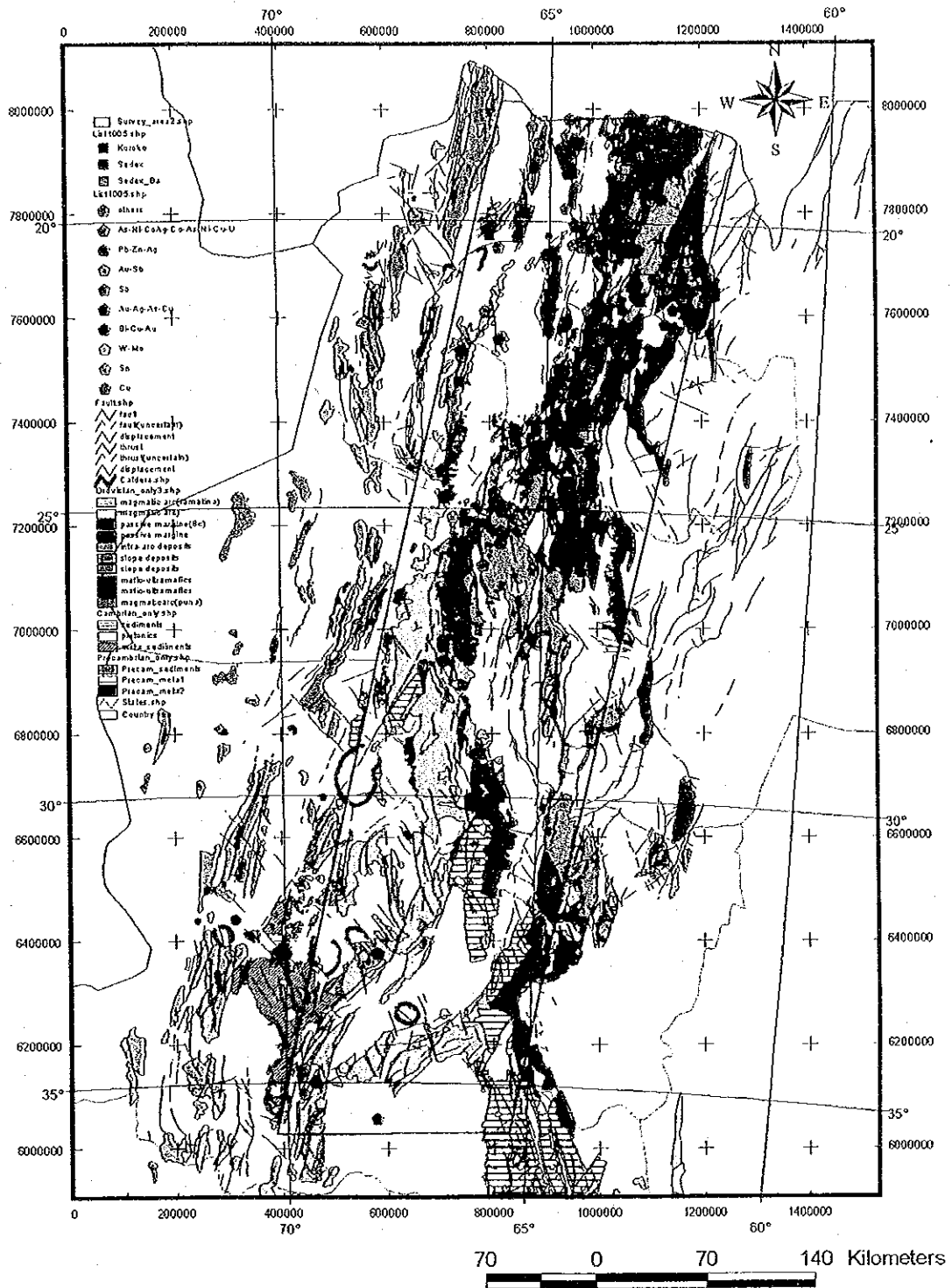


Fig.II-6-1-2 Distribution of the Ordovician systems, Precambrian Puncoviscana Formation, SEDEX type deposits and volcanogenic massive sulfide deposits.

鉱脈型鉱床の硫化物硫黄の同位体比は新第三紀の浅熱水性鉱床のものと類似するが、オールドビス系分布域にはオールドビス紀以降の火成活動の痕跡は稀で、これまでのところ鉱脈型多金属鉱床の起源、形成時期については定かでない。

3) ポーフイリー型銅、銅・金および浅熱水性金・銀鉱床

[Zappetini (1999) の分類コード 4.b. Porfiro de Cu (±Mo±Au), 4.c. Porfiro de Cu(-Au), 7.b. Depositos auriferous de baja sulfuracion, 7.c. Depositos auriferous de alta sulfuracion, 7.f. Depositos diseminados distales y hot spring de Ag(-Au-Cu) に相当]

ペルー以南のポーフイリー型銅鉱床は、前期白亜紀、暁新世—後期始新世、中期中新世—鮮新世の4つのグループに分けられる。その分布は、マグマ活動の東側への移動とともに、次第に大陸側（背弧側）に移動する。マグマ活動とポーフイリー型銅鉱床の東側への移動は、浮遊性のある非震性海嶺（Nasca, および Juan Fernandez 海嶺）の沈み込によるスラブの低角化によると考えられている（Wortel, 1986）。Los Pelambres, El Teniente 等のポーフイリー型銅鉱床を伴う中新世—鮮新世のマグマ弧は、チリーアルゼンティン国境付近のアンデス山脈一帯に広く分布する。

調査地域は、このマグマ弧の東側に位置し、南北に伸長するマグマ弧プロパーから分枝してSE方向にアーム状に伸びるように4帯の火山岩類が分布する。北からNo.1, No.2, No.3, No.4アームと仮称する。これらのアームは、それぞれNW-SE系の走行移動断層そのものあるいはその延長部に一致する。

No.1アームはLipez fault zone、No.2アームは、Calama-Olacapato, El Toro faultに、No.3アームはArchibarca faultの延長部に、No.4アームはCulmoia faultにほぼ一致する（Fig. 11-6-1-3）。また火山岩の分布は空中磁気探査結果の短波長磁気異常域と良い一致を示す（Fig. 11-6-1-4）。各アームの火山活動は、再生カルデラ形成に特徴付けられるように噴火を伴うものである。当然ながらカルデラはアームの伸長方向と同じNW-SE方向に配列する。このNW-SE系の断層はマグマ上昇を規制した深部断層を示しているものと推定される。

チリにおける暁新世—後期始新世のQuebrada Blanca, El Abra, Chuquicamata, Zadivar, Chimborazo, Spence, La Escondida, El Sadovador, Potrerillosといった大規模鉱床は、Nazcaプレートのサブダクションゾーンに平行なDomeico断層に沿って分布するが、とくに上記NW-SE系断層との交錯部に集中する傾向がある（Richards, 2000）。当地域の鉱床は、その延長部に存在する傾向が読み取れる（Fig. 11-6-1-5）

当地域のポーフイリー型銅、銅・金鉱床については、No.1アームにはCerro Redondo（ポーフイリー型金鉱床）、No.2アームにはPancho Arias（ポーフイリー型銅・モリブデン鉱床）、Organullo（ポーフイリー型金鉱床）、No.2アームとNo.3アームの間には、Taca Taca（ポーフイリー型銅鉱床）、Cerro Sementa（ポーフイリー型銅鉱床）、Inca Viejo（ポーフイリー型銅・金鉱床）、No.3アームにはEl Arisar（ポーフイリー型銅鉱床）、No.4アームにはBajo de Agua Tapada（ポーフイリー型銅・金鉱床）、Bajo de la Alumbreira（ポーフイリー型銅・金鉱床）、Bajo El Durazno（ポーフイリー型銅・金鉱床）、Bajo de San Lucas（ポーフイリー型

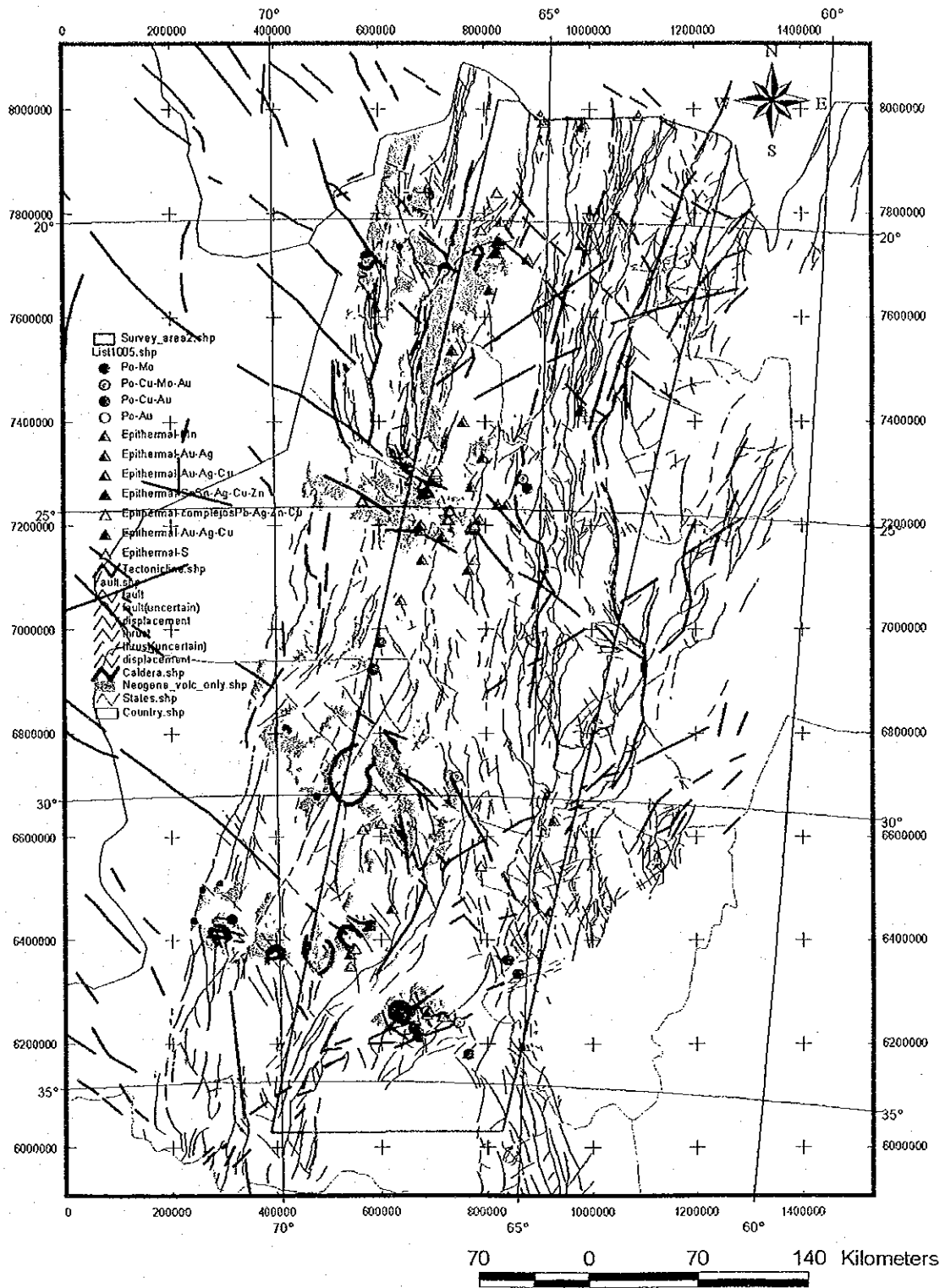


Fig. II-6-1-3 Distribution of Neogene volcanics, porphyry and epithermal type deposits and major faults.

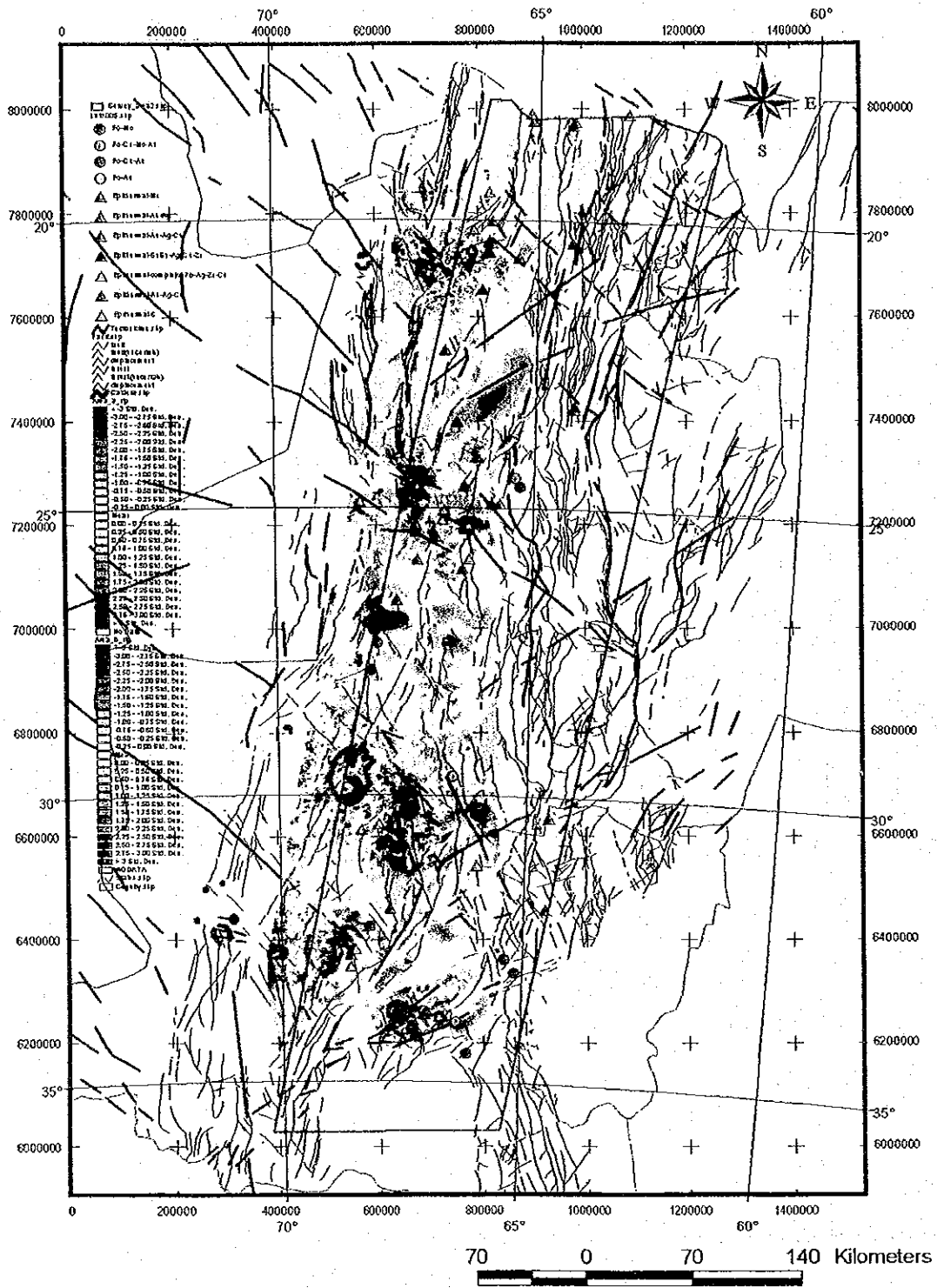


Fig.II-6-1-4 Total magnetic intensity (reduced to the pole) and distribution of porphyry and epithermal type deposits.

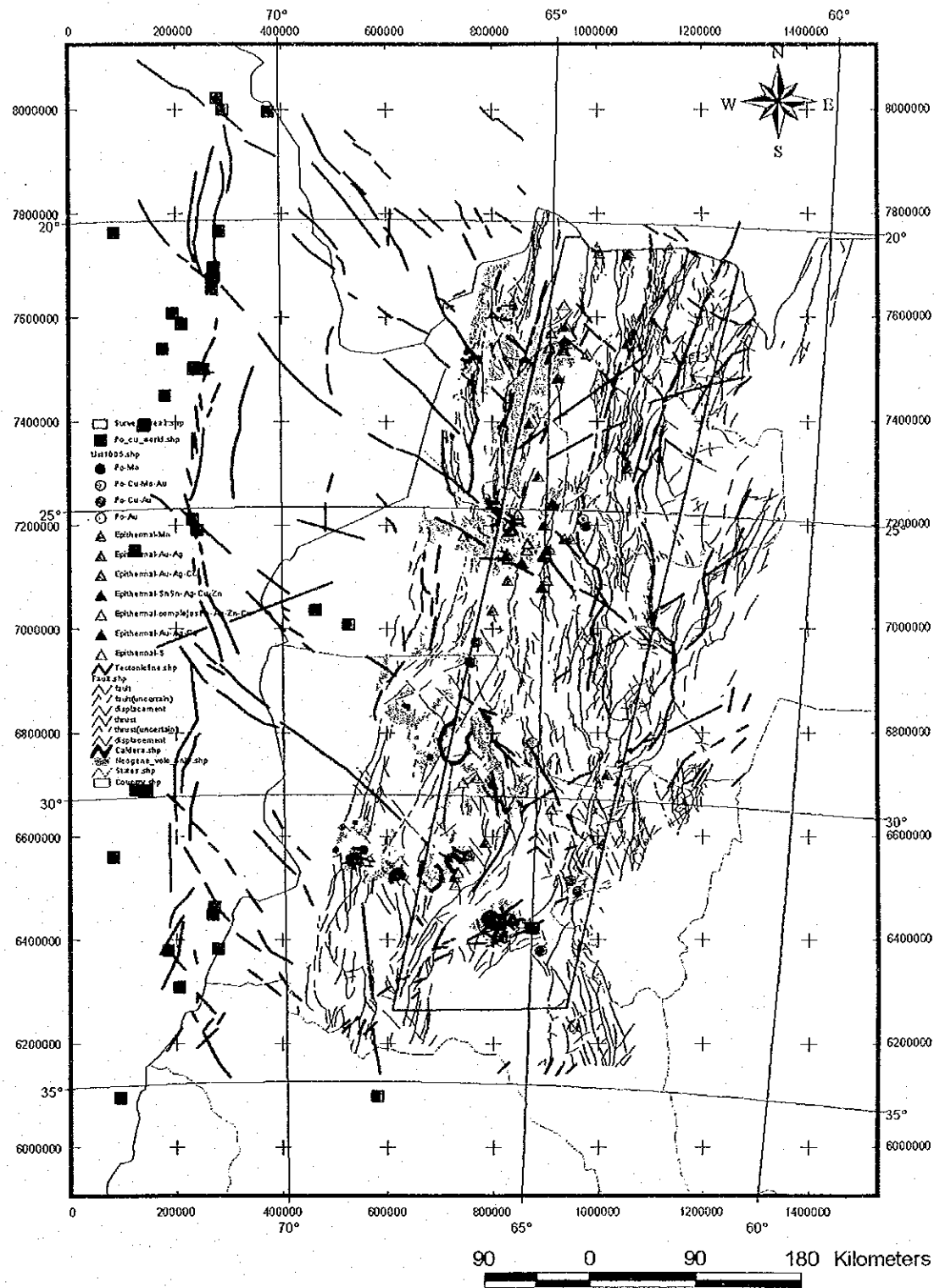


Fig.II-6-1-5 Spatial relationship of major lineaments, and porphyry type deposits and epithermal type deposits in the central Chile and northeastern Argentina..

銅・金鉱床), Bajo las Juntas (ポーフイリー型銅・金鉱床), Agua Rica (ポーフイリー型銅鉱床), Filo Colorado (ポーフイリー型銅・金鉱床) が存在する (Fig. II-6-1-3)。

一方浅熱水性金鉱床については, No.1 アームには Chocaya, No.2 アームには Esperanza, Esther, Concoedia, Bajos de Incachule, Organullo, Saturno, No.2 アームと No.3 アームの間には Centenario, No.4 アームには Farallon Negro, Ato de la Blenda, Carmen 鉱床が存在する (Fig. II-6-1-3)。

マグマ活動と鉱化作用の空間的關係をみてみると, ポーフイリー型鉱化作用は No.4 アームの Farallon Negro 周辺にまとまって分布するほか, 縮尺 1/50 万分スケールの地質図には表現されないような基盤岩中の小規模なストックに伴われる (例えば Agua Rica, Pancho Arias, El Pago 等)。後者は, 第三紀火山岩分布範囲の東端部に見られる。これは削剥が進みストックが地表に現れているものと考えられる。

Inca Viejo 周辺には火山岩の分布は少ないが, 比較的波長の長い空中磁気探査異常域に隣接しており, 周辺深部に貫入岩体の潜在が示唆される。また N-S 系の Daibllilos-Cerro Galan 断層と NW-SE 系断層との交錯部付近に Centenario, Inca Viejo, Diablillos, Condor Yacu といった鉱床が配列する。Centenario, Diablillos 鉱床は高硫化系金鉱床で, ポーフイリーシステムの比較的浅い部分を見ている可能性がある (Fig. II-6-1-4)。

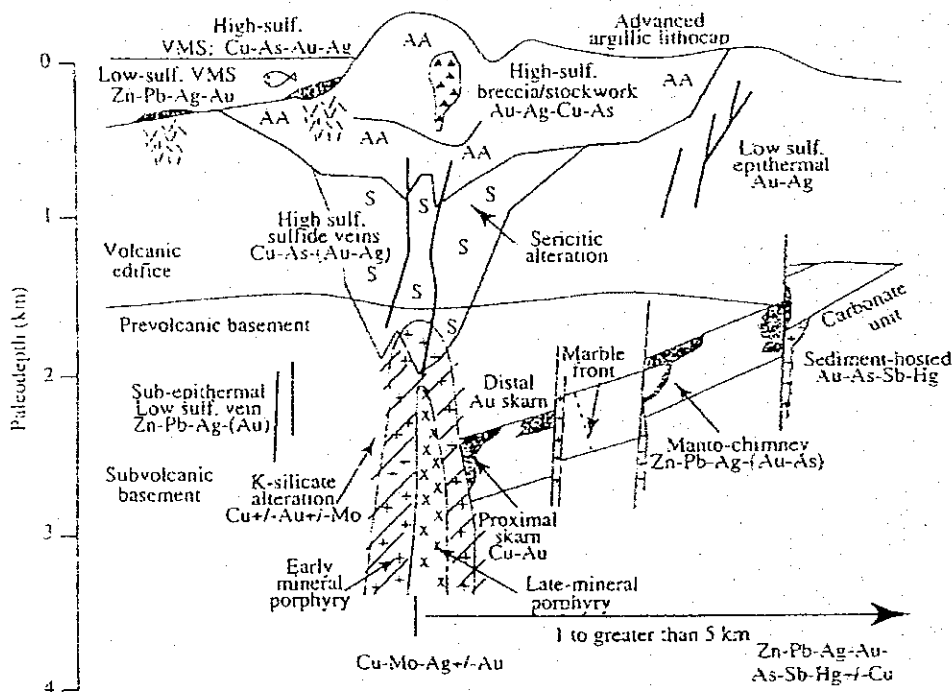


Fig.II-6-1-7 General model of a zoned magmatic hydrothermal system and spatial relationship of porphyry and epithermal system (taken from Richard, 2001).

これに対し、ignimbrite を伴うカルデラを形成する火山岩分布域には、当然ながら剝離レベルが浅いことから、浅熱水鉱床のターゲットにはなるが、ポーフリー型鉱化作用はこのような浅所には期待できない。

今回グランドツルースを行なった、Incahule および Rachaitle 鉱地帯は、いずれもカルデラ壁の内側に位置しており (Fig. II-5-2-9-2, Fig. II-5-2-18-2)、カルデラ壁が熱水の通路になったことを示している (Fig. II-6-1-5)。同じ現象は Galan カルデラにおいてもみられ、ASTER 画像解析により抽出された変質帯がこのタイプの変質に相当するものと考えられる。このタイプの変質帯は中性の変質に特徴付けられ、鉛、亜鉛、アンチモンを伴う。金・銀鉱床そのものは発見されていないが周辺・深部に低硫化系金・銀鉱床の存在が期待される。

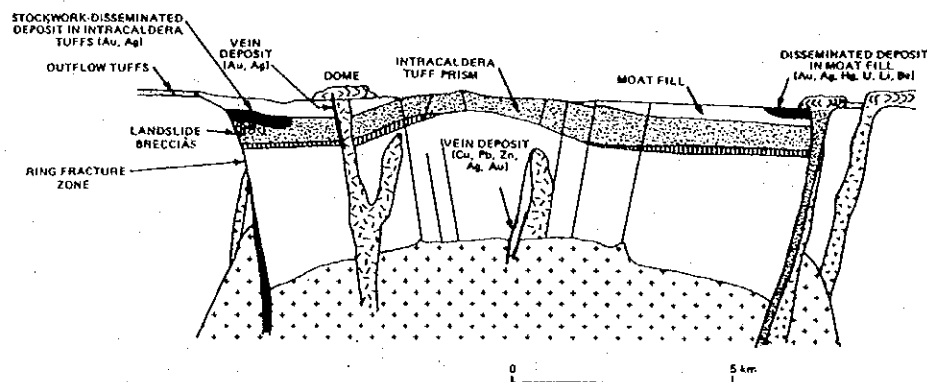


Fig. II-6-1-8 Idealized model of caldera structure and mineralization (taken from Sillitoe, 1984)

6-2 鉱床賦存ポテンシャルおよび有望地区の選定

1) SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床および火山性塊状硫化物鉱床

調査地域北部中央～東側に発達するオルドビス系は、非活動的大陸縁辺部堆積物あるいは Arequipa-Antofalla massif と Gondwana 大陸間の堆積盆堆積物で、これら堆積物の発達する地域一帯には El Aguilar に代表される同タイプ鉱床の賦存する可能性が高いと考えられる。なかでも El Aguilar 鉱床の胚胎するオルドビス紀前期の Acoyte 層の分布域 (Sureda, 1999 の第三次オーダーの Padario basin に一致) である El Aguilar から Pumahuasi を経てポリビアとの国境にかけての Zone-2, 11, 15 が最もポテンシャルが高いと考えられる。また東側の Santa Victoria 層分布域は (Zone-3, 5, 12, 14, 17)、Acoyte 層よりも上部層が卓越していると考えられておりその下部に SEDEX 型鉛・亜鉛鉱床が存在することが期待される。

調査地域北部西側には、火山岩を伴うオルドビス系が発達しており、マグマ弧を形成したと考えられている。このゾーンに火山性塊状硫化物鉱床と考えられる La Colorada 鉱床が存在する。これまでの調査では本鉱床生成を束縛する要因は明らかでない。従って火山岩を伴うオルドビス系分布域に亘って同タイプの鉱床賦存の可能性はあるが、La Colorada 鉱床周辺には既に鉱床胚胎層準が

存在しており、La Colorada 鉱床を含む Zone-18 が優先的に調査をすべき地区と考えられる (Fig. II-6-2-1)。

2) ポーフイリー型銅、銅・金鉱床および浅熱水性金鉱床

当地域のポーフイリー型銅、銅・金鉱床および浅熱水性金鉱床は中新世～鮮新世の火山活動にもなって形成されたもので、第一義的に NW-SE 系に伸長する火山岩アームおよびその延長部が同鉱床の賦存するゾーンかつ賦存ポテンシャルの高いゾーンとして抽出される。

ポーフイリー型銅および銅・金鉱床は、火山岩アームのなかでも削剝の進んだ Farallon Negro 地区 (Zone-43) およびアーム間の貫入岩潜在が推定される Inca Viejo 周辺 (Zone-31) に集中して分布する。これらについては既に詳細な調査が実施されている。残された有望地区としてはアームの延長部である Zone-28, 46 および 46 の南西部の先カンブリア紀基盤岩中の小規模なストック (El Pago) 周辺があげられる (Fig. II-6-2-2)。

浅熱水性金鉱床は、Farallon Negro 鉱床および Diablillos 鉱床周辺を除けば、火山岩アームのなかでも削剝レベルの浅い ignimbrite を伴うカルデラ周辺部 (Zone-7, 9, 16, 27, 39, 42 および Garan カルデラ周辺) に発達する変質帯の周辺・下部に期待される (Fig. II-6-2-2)。

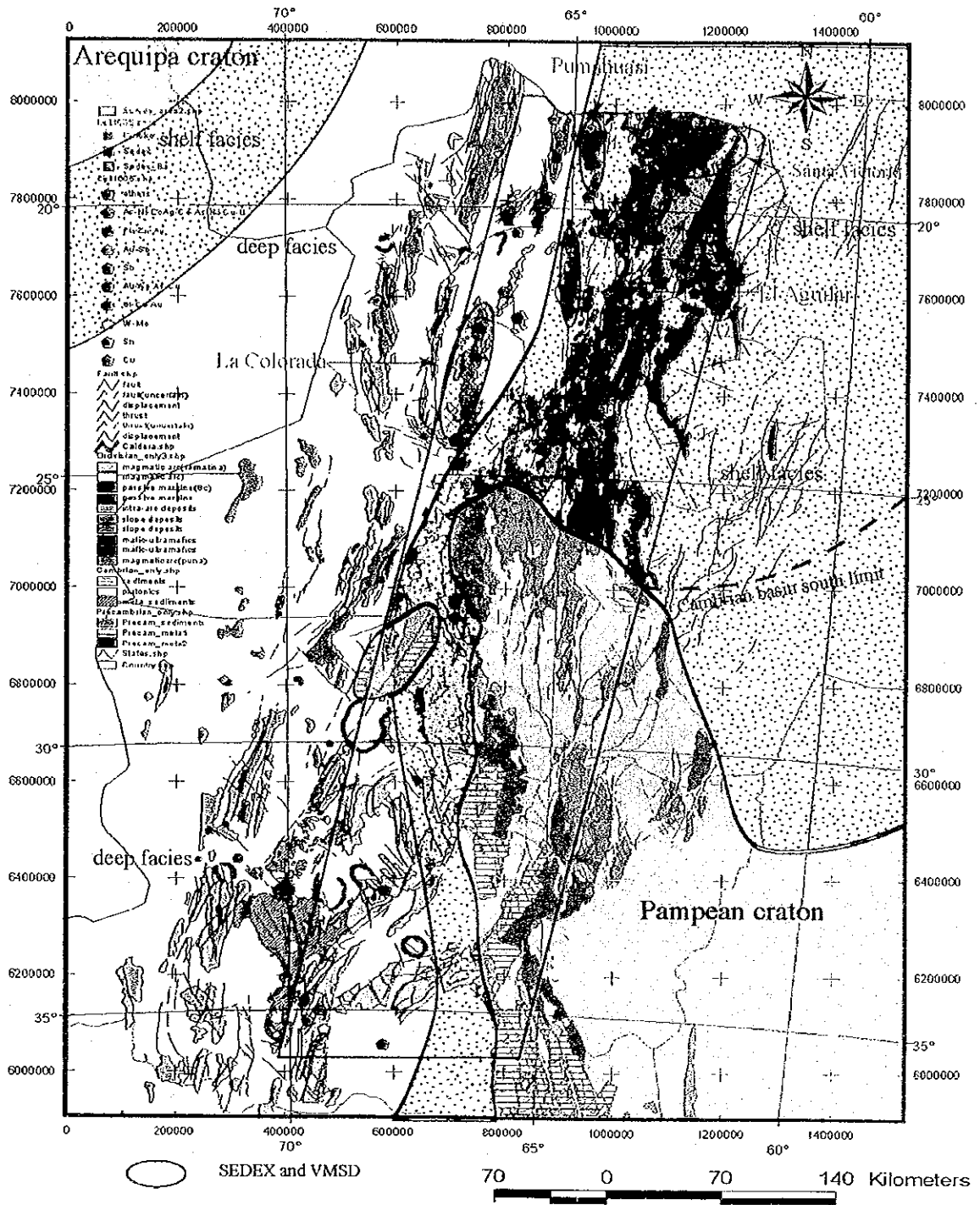


Fig.II-6-2-1 Selected promising area and recommended area for the survey of next year (SEDEX and VMS type deposits).

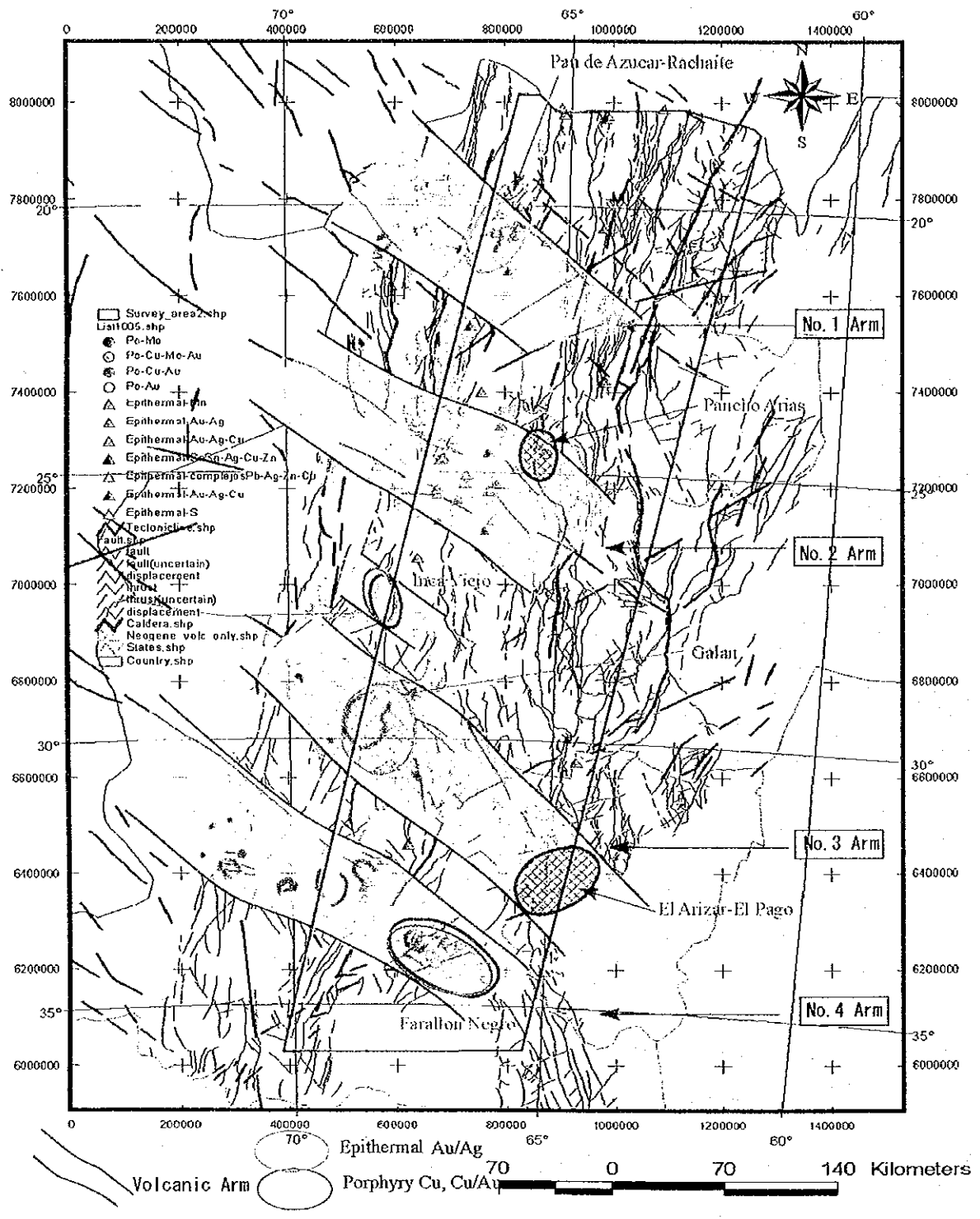


Fig.II-6-2-2 Selected promising area and recommended area for the survey of next year (porphyry and epithermal type deposits).