

第 I 部 総論

第1章 序論

1-1 調査の経緯及び目的

ウルグアイ東方共和国(以下、ウルグアイ)の産業は農業・牧畜を主体としていたが、1995年のメルコスールの発足に協力しこれに積極的に参加してきたことでも分かるように、農業を主体とする産業から脱却し、鉱工業の発展を志向する産業の多角化を進めてきた。

1980年代になるとカナダ、アメリカなどの鉱山会社が同国に分布するグリーンストーン帯を世界で最後に残された金鉱床を胚胎する有望な地域の1つとして着目し、探鉱した結果、近年、南部でマホマ(Mahoma)鉱山やサンカルロス(San Carlos)鉱山、北部でサングレゴリオ(San Gregorio)鉱山といった金山を次々に発見し開発した。これを契機に同国は、遅れていた鉱業分野の発展・育成を目指すこととし、その一環として2000年2月10日、鉱物資源に関する資源開発協力基礎調査を日本政府に要請した。

金属鉱業事業団は、ウルグアイにおける鉱床胚胎の潜在性の高さを以前より認知しており、この要請を受け入れて同国の国家鉱山地質局(DINAMIGE: Dirección Nacional de Minería Geología)と2000年11月24日付けでScope of Work(実施細則)を締結した。

本調査は、グリーンストーン帯の分布するサンホセ(San Jose)地域及びアロジョグランデ(Arroyo Grande)地域(Fig.1)において、各種の地質調査を実施し鉱床の賦存状況を解明して新規鉱床の発見を目的とする。また、この調査をとおして、我が国の進んだ探査技術を相手国機関に移転することを目的としている。

1-2 第1年次調査の範囲及び作業の概要

調査対象地域は、ウルグアイの南部に位置するサンホセ地区及びアロジョグランデ地区の2地域で、その面積は合計12,000km²である。調査対象地域をFig.1に示す。第1年次である本年度の主要な調査は、既存データ解析、衛星画像解析、地質調査、土壌地化学探査、岩石地化学探査である(Tab. I-1-1)。室内試験の内容及び数量をTab. I-1-2に示す。

既存データ解析では、地質文献、地質図、地形図、航空写真など既存のデータを収集・整理・解析した。具体的には、調査対象地域の地質・地質構造、鉱床及び地化学探査結果などに係わる既存の資料をコンパイルするとともに解析して、調査対象地域内の地質、地質構造、鉱床及び鉱徴地の概要を把握した。

衛星画像解析では、衛星画像の写真地質学的判読作業を行い、調査地域の広域的な地質構

造を把握するとともに、既存データ解析の結果と合わせ調査対象地域の広域的なポテンシャルを評価するための基本図を作成した。既存データ解析，衛星画像解析により調査対象地域（12,000km²）から，グリーンストーン帯が分布し，現地調査を実施する調査対象地区（約2,500km²）を抽出した。

地質調査では，調査対象地区において地質及び地質構造調査を行い地質図やルートマップを作成した。地質及び地質構造と鉱化作用の関係を把握するため，グリーンストーンの岩質，グリーンストーンと貫入岩の関係，石英の分布・産状，断層と鉱化作用の関係などに着目した。特に，鉱徴地ではスケッチ，鉱石の観察及びサンプリングなど綿密な調査を行い，鉱徴の評価が行えるようにした。

土地化学探査では，現地の地形，水系，風化変質の状況を検討し，試料の採取位置，採取方法を決定した。なお，カウンターパートであるウルグアイ国家鉱山地質局のこれまでの経験を考慮にいれて，河川沿いの堆積土壌を試料とすることとした。

岩石地化学探査では，岩石試料の採取にあたり，グリーンストーン帯を構成する全ての岩石を採取すること，鉱徴地ではサンプルを密に採取すること，火成岩に注意して採取することなどに留意し，特に，石英を数多く採取して，鉱徴地が把握できるように配慮した。

地質調査，土地化学探査，岩石地化学探査の結果を整理，解析し，多数の鉱床が賦存する可能性の高い地域や鉱徴地を抽出した。

1-3 調査団の編成

調査計画策定及び折衝，現地作業監理及び現地調査団の業務実施者は以下のとおりである。

1-3-1 調査計画及び折衝

日 本 側		ウルグアイ東方共和国側	
三平 圭祐	(国際協力事業団)	Dr. Carlos Soares de Lima (DINAMIGE)	
千葉 明	(通商産業省)	Ing. Jorge Spoturno	(DINAMIGE)
鈴木 哲夫	(金属鉱業事業団)	Ing. Humberto Pirelli	(DINAMIGE)
本庄 鉄弥	(金属鉱業事業団)	Ing. Richard Arrighetti	(DINAMIGE)
五十嵐 吉昭	(金属鉱業事業団)	Ing. Javier Techera	(DINAMIGE)

DINAMIGE : Dirección Nacional de Minería Geología

1-3-2 現地作業監理

伊藤 正	(金属鉱業事業団)
------	-----------

1-3-3 現地調査団

日 本 側	ウルグアイ東方共和国側
池田 則生 (団長, 地質調査・地化学探査)	Dr. Carlos Soares de Lima(DINAMIGE)
武田 尚雄 (地質調査・地化学探査)	Ing. Jorge Spoturno (DINAMIGE)
後藤 信博 (地質調査・地化学探査)	Ing. Humberto Pirelli (DINAMIGE)
武田 進 (地質調査・地化学探査)	Ing. Richard Arrighetti (DINAMIGE)
大竹 正巳 (地質調査・地化学探査)	Ing. Eduardo Medina (DINAMIGE)
	Ing. Javier Techera (DINAMIGE)

1-4 調査期間

調査期間は以下のとおりである。

現地調査

地質調査・地化学探査：平成 13 年 1 月 24 日～平成 13 年 3 月 5 日

Table I -1-1 Summary of work amounts

Contents of Survey	Coverage	
Existing data analysis	Surveyed area	12,000 km ²
Geological interpretation of Satellite image data	Surveyed area	12,000 km ²
Geological survey and Geochemical prospecting	Surveyed area	2,580 km ²
	Route length	649 km

Table I -1-2 Work amounts of laboratorial studies

Survey	Laboratory work	sample
Geological survey and Geochemical prospecting	Thin section of rock	67
	Thin section of mineral ore	38
	X-ray diffraction analysis	31
	Whole rock analysis (Al ₂ O ₃ , CaO, Cr ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, MnO, P ₂ O ₅ , K ₂ O, SiO ₂ , Na ₂ O, TiO ₂ , LOI)	61
	Chemical analysis (rock) (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Hg)	607
	Chemical analysis (soil) (Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, B, Cd, Ca, Co, Cu, Ga, Fe, La, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Sc, Ag, Na, Sr, S, Tl, Ti, W, U, V, Zn, Au)	2,021
	Fluid inclusion (homogenization temperatur +salt concentration)	14
	Radiometric dating (K-Ar)	6

第2章 調査対象地域の地理

2-1 位置及び交通

ウルグアイは、南アメリカ大陸の東海岸に位置し大西洋に面している。北はブラジルと国境を接し、南及び西はラプラタ川及びウルグアイ川（ラプラタ川支流）をはさんでアルゼンチンと接している。国土面積は 176,000 k m² で日本の約半分、人口約 316 万人(1996 年時)、首都のモンテヴィデオ(Montevideo)に全人口の半分弱が居住している。

本調査の対象地域はサンホセ(San Jose)地域とアロジョグランデ(Arroyo Grande)地域の 2 地域からなり、これらはモンテヴィデオの北方に位置し、国土全体からみると南部にあたる。サンホセ地域は、首都モンテヴィデオの北西約 90km の地点を中心に東西約 220km、南北約 50km で、東西に細長い長方形となっている。当地域内には、東側より国道 5, 3, 23, 54 線が南北方向に走り、東部にトリニダ(Trinidad)市、西部にカルドナ(Cardona)市などの県 (department) 庁所在地があり、また、同地域に南接してサンホセデマーヨ(San Jose de Mayo)市が存在する。今年度の現地調査のベースキャンプ地としたサンホセデマーヨ市は、首都モンテヴィデオから国道 1 号線で約 50km 北西に向かい続いて国道 3 号線を 30km ほど北上した位置にあり、所要時間は自動車ですら約 1 時間半である。

アロジョグランデ地域は、首都モンテヴィデオの北西約 140km の地点を中心に東西約 50km、南北約 20km の東西に長い長方形となっている。サンホセデマーヨ市より国道 3 号線を北北西に 90km ほどで当地に至る。モンテヴィデオ市より自動車ですら 2 時間半程度である。国道は全線舗装されており、調査地域には国道のほか県道や農道が網の目のように走り交通の便は極めてよい。

2-2 地形及び水系

ウルグアイは、標高 514 m が最も高い地点であり、国全体が緩やかな傾斜の丘陵地となっている。調査対象地域を含む国の南部は特に平坦に近い丘陵地形を呈しているが、全体として対象地域の東部では南側に、西部では南西側に緩く傾斜している。風化土が広く分布し岩石の露出が少ない。しかし、地形は地質を反映することがあり、花崗岩質岩の貫入岩などはローカルな丘を形成していることがある。

サンホセ地域では、東部をサントルシア (Santa Lucia) 川が、中部をサンホセ川が南流し、西部ではロザリオ (Rosario) 川やサンフアン (San Juan) 川が南西方向に流れ、これ

らの河川が水系の骨格を形成し、いずれの河川もラプラタ川に注いでいる。アロジョグランデ地域では、ネグロ (Neguro) 川が西方にながれウルグアイ川に合流し、当地の主要な水系を構成している。いずれの地域においても、これらの河川の支流は樹枝状・均等に発達し、網の目のような分布を示している。年間の降雨量は日本と比べ少ないが、一度雨が降ると傾斜が緩く粘土質の土壌で透水性が悪いため、支流の合流点付近は湿地帯状になるところが多い。

2-3 気候及び植生

世界の気候区分によれば、ウルグアイは温帯多雨の気候帯に区分される。温暖な気候で年間の平均気温は約 16℃である。冬季の 6 月から 9 月においても平均気温が 10℃を下回ることは少ない。夏季の 12 月から 3 月の平均気温は 23℃である。モンテヴィデオの年間平均雨量は 1000mm 程度であり、多雨地域としては降雨量が少なく、調査対象地域の降水量もほぼこの程度と考えられる。9 月から 12 月が、雨量も少なく気候が安定しフィールド調査に適している。

調査対象地域は、傾斜の緩慢な丘陵地形を活用した牧草地となり、河川に沿いに広葉樹が点在している。西欧人が入植する以前からこの地域は一面草原で、民家の周囲の防風林や街路樹などは輸入したユウカリやパルムなどが植えられている。一部に、パルプの原料とするため、ユウカリが植林されている。

第3章 調査対象地域の地質関連既往情報

3-1 資源に関する既往情報

調査対象地域であるサンホセ地域及びアロジョグランデ地域の資源に関する既往資料の調査を行った。その結果の概要は以下のとおりである。サンホセ地域には、金のほか、タルク、石材などの資源が賦存している。金の鉱床はグリーンストーン帯中に発見され、これらの鉱床はマホマ鉱山及びサンカルロス鉱山として採掘された。この地域に金の鉱床が賦存することは古くから知られ、Maeso による 1882 年の記載がある。しかし、ウルグアイのグリーンストーン帯が金鉱床を胚胎する有望な地域として着目され、海外の資源関連企業が盛んに探鉱するようになったのは 1980 年代以降であり、その結果として、マホマ鉱床及びサンカルロス鉱床が発見された。現在でも多くの鉱区が多数設定され、探鉱が行われているが詳細は不明である。なお、ウルグアイ北部のグリーンストーン帯では、サングレゴリオ鉱床が発見され、現在も稼行されている。

3-2 調査周辺地域の一般地質

南米大陸は、デボン紀以降、大西洋の拡大に伴うパンゲア大陸の分離によって形成された大陸で、大西洋岸に面した南米大陸のブラジル及びウルグアイの地質・鉱物資源は、アフリカ大陸西部と極めて近いものになっている (Fig. I-3-1)。パンゲア大陸の復元によって、ブラジルが中部アフリカからナミビアにかけて、ウルグアイがナミビアから南アフリカ北部の地域に対応し、それぞれの地域においてクラトン、変動帯という見地での地質構造、プレートテクトニクス、地史などの分野で研究がなされている。このことから、ブラジルやウルグアイでの地質・鉱床、ならびに金をはじめとするウラニウム、白金、ニッケル、ダイヤモンド等の探査は、アフリカ西部の地質・鉱床や探査と対比し検討されることが多い。

ウルグアイの地質は、ウルグアイ国土の 40% を占めて同国の南部に広く分布する先カンブリア界の基盤岩類、すなわち広義のリオデラプラタ・クラトン (Rio de la Plata Craton) と、中生代以降の堆積岩類、さらにこれを覆う玄武岩の溶岩台地からなっている。このリオデラプラタ・クラトンを覆うデボン系以降の二畳系堆積岩類、白亜系玄武岩台地がウルグアイの中央部から北部一帯を通りブラジル国境にかけて分布し、新生界が同国東部から大西洋岸にかけての地域と同国の西部と南部に分布している (Fig. I-3-2)。

地表に露出するリオデラプラタ・クラトンは、多様な噴出岩、貫入岩、堆積岩類が集合し

た複合岩体が高度変成作用を受け、マイロナイト化、ミグマタイト化した岩石で構成されている。このリオデラプラタ・クラトンは東西の方向性を有しているが、その西部域の方が時代が古く、始生代から原生代前期～中期である。東部域が原生代後期からカンブリア紀と比較的新しい。構成する岩石は、オーストラリア西部やカナダ、オンタリオ州の地質と類似しており、火成岩としては、塩基性～超塩基性の火山岩類、塩基性貫入岩、珪質火山岩類、火山砕屑岩類であり、堆積岩としては、チャート、頁岩、グレイワック、珪岩等である。

先カンブリア界は、3つのテレーン (Terrane) に大別されている (Fig. I-3-2)。即ち、同国南部のピエダアルタ・テレーン、このテレーンの東側に位置し南北方向の構造を持ったニコペレス・テレーン (Nico Perez Terrane)、さらに同国南東部に分布するクチジャディオニシオ・テレーン (Cuchilla Dionisio Terrane) である。これらのテレーンの境界はマイロナイト化、ミグマタイト化した構造線で接している。これらのテレーンの地質時代は、原生代中期～カンブリア紀前期と考えられており、幾度かの変成作用、構造運動を受けている。

ピエダアルタ・テレーンの北縁部と南縁部には、東西に方向性を有し始生代～原生代前期の通称グリーンストーン帯と呼ばれる玄武岩類・火山砕屑岩類・堆積岩類を主とし、花崗岩類の貫入岩を伴った複合岩体から成るベルトが分布している。北縁部に分布するのがアロージョグランデ・ベルト、南縁部に現出するのがサンホセ・ベルトである。

なお、ニコペレス・テレーン内に属し、同国北部に分布するイスラクリスタリーナデリベラ (Isla Cristallina de Rivera) と同国中央部のバレンチネス累層 (Valentines Formation) もグリーンストーン帯であると考えられており、これらのグリーンストーン帯はウルグアイ国内の非鉄金属鉱床を胚胎する有望な地域と考えられている。

3-3 調査地域の地質的位置付けと鉱化作用

(1) 地質的位置付け

ウルグアイは国土の約 40% を先カンブリア時代、つまり始生代 (25 億年以前) ～原生代 (25～5.5 億年前) の岩石で占められており、この中で火山性堆積物と火成岩を主要な原岩とする通称“グリーンストーン帯”に金及び銅、鉛、亜鉛などの非鉄金属鉱床の鉱化作用が多数認められ、主な有望地域は以下の 5 地域である (Fig. I-3-3, Tab. I-3-1)。

- ①イスラクリスタリーナデリヴェラ (Isla Cristallina de Rivera) 地域
- ②テリエンタ／トレス (Trienta y Tres) 地域

③アロジョグランデ(Arroyo Grande)地域

④サンホセ(San Jose)地域

⑤ミナス(Minas)南部地域

本調査では、これらの有望地域のうち、ピエダアルタ・テレーンの北部及び南部に分布しグリーンストーン帯を包含する③及び④の地域を調査対象地域としている。

(2) 鉱化作用

(i) サンホセベルト地域

サンホセ地域のグリーンストーン帯には、マホマ鉱床やサンカルロス鉱床などの金の鉱床が分布する。これらの鉱床は採掘期間が短く、地質構造、鉱床形態や鉱床の成因などを記した報告は無い。これらの鉱床は共にグリーンストーン帯中の花崗閃緑岩類と密接に関連するものとおもわれ、石英に随伴する鉱床であるが、詳しいことは不明である。

(a) マホマ鉱山

マホマ鉱山は、主要な鉱床の採掘を終了し現在は休止中で、カナダのレアゴールド(Rea Gold)社が鉱業権者である。マホマ鉱床は、モンテヴィデオの北西約 130km、サンホセ県にあり、サンホセ・グリーンストーン帯のほぼ中央部に位置する。同鉱床は、1986 年～1990 年にラクミネラル(Lac Mineral)社によって近代的な調査が実施され発見された。探鉱手法は、地化学探査(沢砂、続いて土壌)を主体とし、地質構造推定図の作成と空中電磁探査を組み合わせたものである。ボーリング調査により鉱量が確認された後、F/S が作成され、1992 年にレアゴールド社の子会社、アメリカンリソース(American Resources Corp.:ARC)社によって採掘が開始された。当時の生産量は 330 トン/日であった。1993 年、洪水と建設業者の変更等があり一時中断したが、1994 年に再開され、1995 年 12 月に鉱量の枯渇から操業を停止し今日に至っている。金は脈状の石英に付随し、露天掘りで採掘され、採掘跡は幅 20～50 m、延長数百 m と細長い形状で現在は水没している。

JMEC(2000)には同鉱山に関し以下のような記載がある。「鉱床は、含金石英脈鉱床で、東西方向の破碎帯に沿って配列する 3 条の鉱脈から成り、走向 N70°E、傾斜 75°N で母岩の花崗閃緑岩を切っている。可能採掘量は 169～330 千トン、品位 8.9～11.8g/t、と見積もられている。鉱石鉱物は、エレクトラムのほか、硫化物鉱物として、黄鉄鉱、黄銅鉱、方鉛鉱、セン垂鉛鉱、二次鉱物としてコベリン、輝銅鉱である。硫化物鉱物は石英に付随して産し細脈、鉱染状に産するが、時に方鉛鉱(ごく微量のセン垂鉛鉱を伴って)は不規則な形状の凝集体

で産する」

(b) サンカルロス鉱山

サンカルロス鉱山は、サンホセベルトの西端近くに位置し、マホマ鉱山と同様にラクミネラル社によって探査、開発された。脈状ないしは鉱染状の石英に伴う小規模な鉱床で、露天掘りで採掘され、終掘した採掘跡は埋め戻されている。

(c) ナランジオ鉱山

ナランジオ(Narangio)鉱山では、タルクが採掘されている。花崗岩はビルの床や壁の建材用として、花崗閃緑岩は骨材用として採掘されている。

(ii) ミーナス地域

サンホセ地域の東方にミーナス (Minas) 市がある。ミーナス市は、その名から想定されるように、18世紀後半～19世紀初頭にかけて採掘された多数の鉱山の中心地であった。地質は原生界中期からカンブリア紀の岩石で構成されている。本地域に現在稼行中の鉱山はないが、20世紀初頭まで英国人、スペイン人によって多数の鉱山が経営された。銅、鉛、銀、亜鉛の主な鉱床としてアポロニア(Apolonia)、チャペ(Chape)、エウリチナ(Euritina)、ルエス(Rues)、オリエンタル(Oriental)、ヴァレンシア(Valencia)などがあり、また、このほか多くの鉱徴地が知られている。

(iii) アロジョグランデ地域

アロジョグランデ地域では、現在まで金鉱床は発見されていない。国道3号線沿いに超塩基性岩、斑れい岩が露出しており、この超塩基性岩を数年前に米国地質調査所が白金鉱床の探査を目的として短期間の現地調査を実施しているが、詳細は不明である。

3-4 地質調査・地化学探査の対象地域の抽出

本調査地域では、金鉱床はグリーンストーン帯中に発見され、これらの鉱床はマホマ鉱山及びサンカルロス鉱山として採掘された。それらは花崗閃緑岩類と密接に関連するものとおもわれ、石英に随伴する鉱床である。Fig. I-3-4には、調査地域の地質図を示す。地質図凡例では、グリーンストーンは pCCsj0・pCCsj・pCCps で、花崗閃緑岩類は pCCG・pCCである。

これらの見知を基に、既存データ解析、衛星画像解析により調査対象地域：12,000km²から、グリーンストーン帯が分布し、花崗閃緑岩類の岩体が多数貫入している地区を、現地調査対象地区（約2,500km²）として抽出した（Fig. I-3-4）。

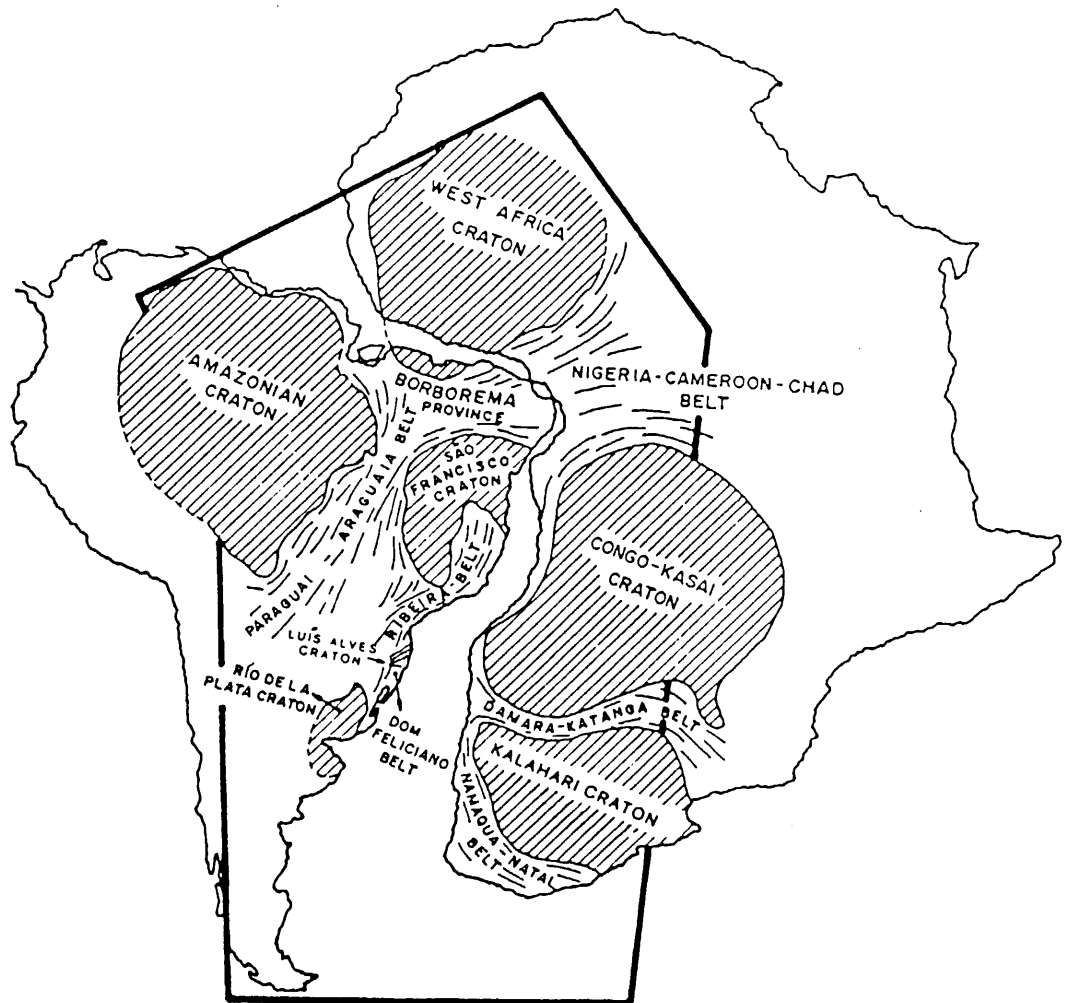


Fig.I-3-1 Major tectonic features of South America and Africa

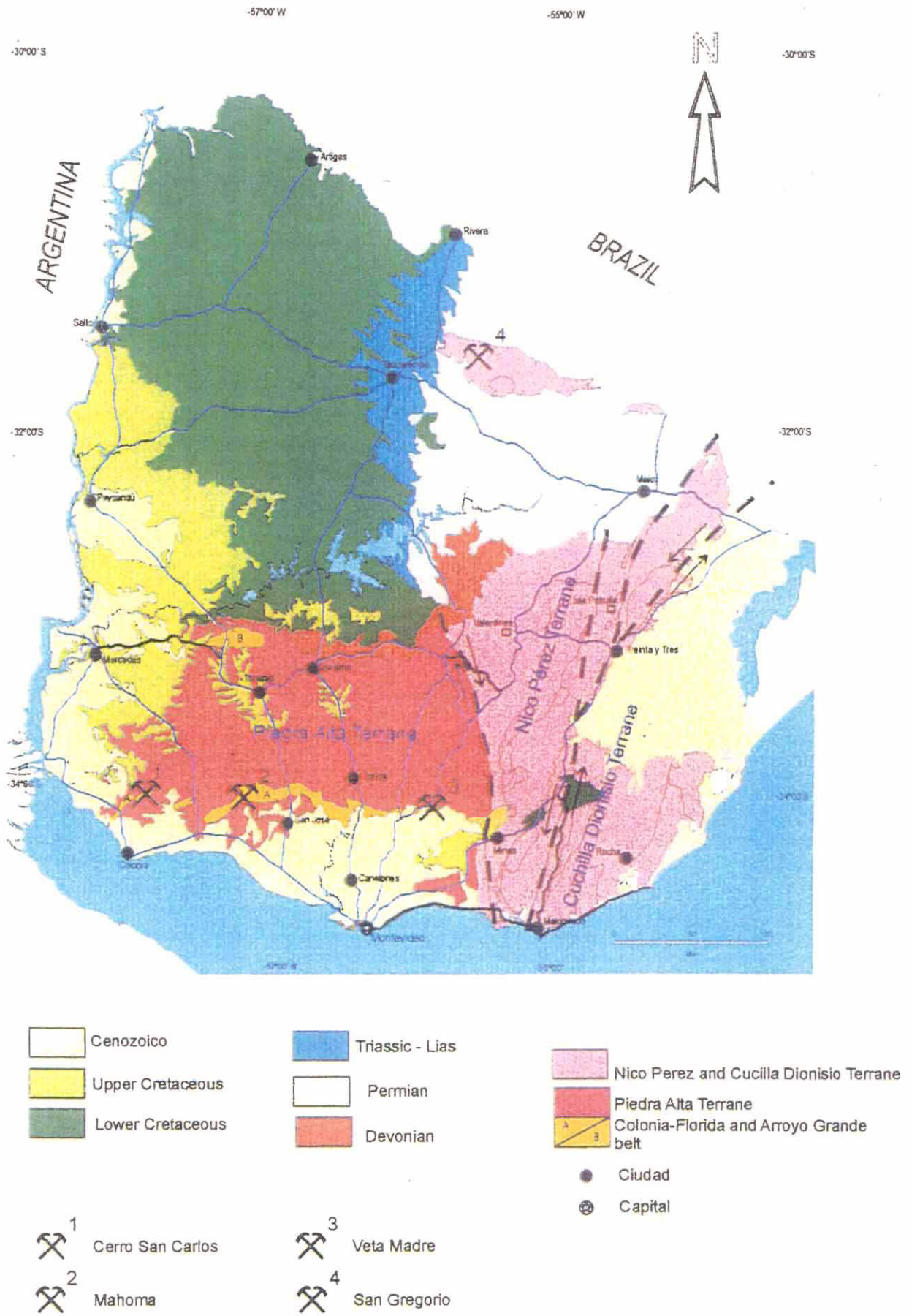


Fig.I-3-2 Geological map of Uruguay



- ① Isla Cristallina de Rivera(Rivera Belt)地域
(San Gregorio 鉦山、Mina de Corrales 地区)
- ② Trienta y Tres 地域 (Isla Patrulla 地区、Valentines 地区)
- ③ Arroyo Grande Belt 地域
- ④ San Jose Belt 地域 (Mahoma 鉦山)
- ⑤ Minas 南部地域 (Oriental 鉦山)

Fig.I-3-3 Main promising areas

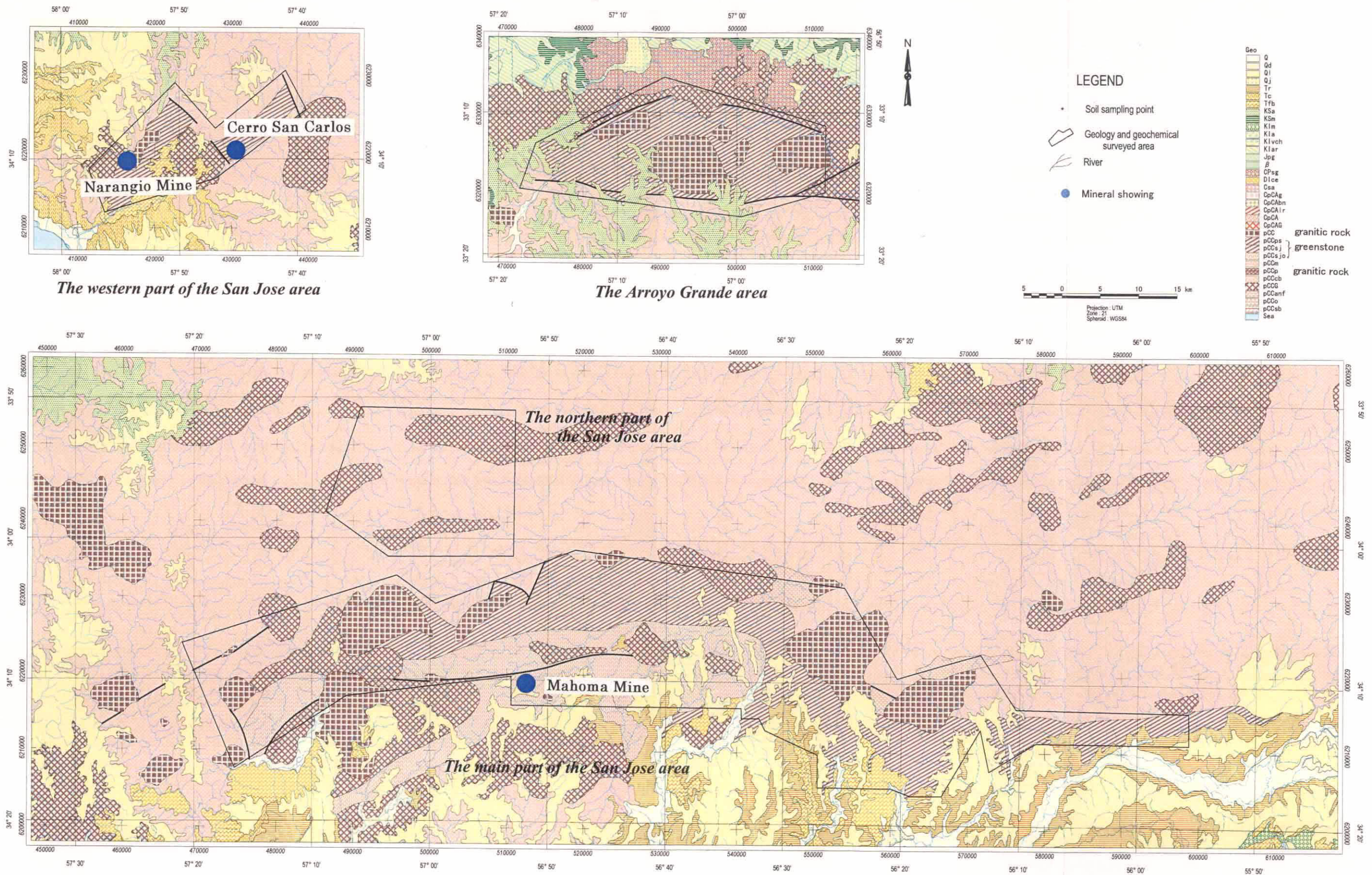


Fig.I-3-4 Location map of geology and geochemical survey areas

Tab.I-3-1 List of mineral showings

Name of ore deposit	Minerals	Location	Mineralization	Present Status
Mahoma	Gold	In the central south of the Main Part of San Jose area.	Quartz vein in the granodiorite intruded greenstones.	Main ore deposit was mined out. (Suspending)
Cerro San Carlos	Gold	In the west of the Western Part of San Jose area.	Quartz vein and/or quartz network in the granodiorite intruded greenstones	Mined out.
Narangio	Talc	In the east of the Western Part of San Jose area.	Vein type mineralization in white dolomite in mafic rock.	Operating: 50ton/mon of production.

* Listed ore deposits are already mined out or operating ones, while there are many mineralized zones in the San Jose greenstone belt : Colla , Mal Abligo, Amanda zone etc, and Arroyo Grande greenstone belt : Palacios zone.

第4章 調査結果の総合検討

4-1 地質構造、鉱化作用の特性と鉱化規制について

本調査地域内でこれまでに確認されている鉱床のタイプは、基盤岩類 (pCCcb) , 古期花崗岩類 (pCCG) 及びグリーンストーン (pCCps, pCCsj, pCCag, pCCsjo) に発達する含金石英脈鉱床である。

母岩の変質については、石英脈脈際から外側に向かって、石英-セリサイト-(黄鉄鉱)帯、緑泥石-緑レン石-(アルバイト)帯の帯状分布が確認された。

石英脈の脈幅は、基盤岩類、グリーンストーン及び古期花崗岩類中では数m~数10mに達するが、新期花崗岩類 (pCC) 中では数mm~数cmと極端に縮小する。pCCは、金の鉱化に関与していたものと考えられており、同岩体の周辺部の被貫入岩類では石英脈が発達しているが、直接の関係火成岩類としての地質情報は得られてはいない。一連の鉱化を前提とすると、pCC中の石英脈の脈幅が小さくなる原因として以下のことが推定される。

- ・ pCCG に比べて岩質が不均質である。
- ・ ダクティリティが大きかったため、流動変形となり大きな割れ目ができなかった。逆に、ダクティリティが小さすぎたため、脆性変形となり適度の脈幅を有するフラクチャーを形成するには至らなかった。

石英脈の卓越する方向はNE-SW~E-W系及びNW-SE系であり、前者は本地域で卓越する左横ズレを示す大規模な破砕帯とほぼ調和的である。一方、後者のNW-SE系はその雁行配列から右横ズレのセンスが予想され、同じセンスの断層も発達することから、両者は共役な関係にある可能性が考えられる。

石英脈及び鉱床母岩の鉱石研磨片観察結果によれば、石英脈中には少量の褐鉄鉱、一部のごく微量の黄鉄鉱以外の鉱石鉱物はほとんど認められなかった。グリーンストーン及び一部の石英脈に微量の黄鉄鉱-(黄銅鉱) 鉱染が認められた。

鉱石分析の結果、Auの最大値は19,890ppbを示した。石英脈の脈質は、①乳白色の半透明石英、②無色~白色透明な石英及び③暗灰色透明石英に分類される。石英脈内部に局部的に認められる帯状分布やその産状から、①、②、③の順に新しくなる関係が推定される。

流体包有物測定の結果、均質化温度は最大447.7℃、最低85.6℃を示した。均質化温度のピークは300℃、250℃、200~150℃の3つがあり、それぞれ①乳白色半透明石英、②無色~白色透明石英、③暗灰色透明石英に対応する傾向が認められる。塩濃度は4.2~35%を示

し、高い圧力下で生じたものと、低い圧力下で生じたものが混在していることがわかる。

Au の鉍化と石英の脈質との関係については鉍化帯ごとの差異はなく、一般に無色～白色透明石英、暗灰色透明石英に伴われる場合が多いようである。上記の脈質のほかに、黒色を呈し同定が困難な粘土鉍物（フィロ珪酸塩）を含有する石英も存在するので、Au を伴う鉍化ステージの検討には、より詳細な分析が必要である。

4-2 地化学異常と鉍化作用との関連について

地質調査の結果、石英脈が発達する 13 箇所の鉍化帯を捕捉した。土壤地化学探査の単変量解析の結果、Au 異常帯を鉍化帯 H , L において捕捉した。また、As 異常帯を鉍化帯 B, E, G, G 北方, H, I, K 東方 L 及び M で捕捉した。多変量解析（因子分析）により、Au 鉍化作用に関連すると考えられる因子（Factor4: Au,As,K,V）を抽出し、土壤地化学異常と鉍化帯との関係を検討した結果、Au, As 及び Factor4 が重複する箇所は、鉍化帯 A, B, E, G, H 及び L と重なることが判明した。

岩石地化学探査の単変量解析の結果、Au 異常帯はマホマ鉍山周辺の鉍化帯 A のほかに、鉍化帯 B, E, G, J, K, L 及び M において抽出された。多変量解析（因子分析）により、Au 鉍化作用に関連した因子（Factor2: Au,Ag）を抽出した。岩石地化学異常と鉍化帯との関係を検討した結果、Au, As 及び Factor2 が重複する箇所は、鉍化帯 A, E, G, H, K 及び L と重なることが判明した。

4-3 鉍床賦存のポテンシャルについて

鉍床には断裂に伴う構造規制が認められること、複数の鉍化ステージが存在すること、岩石の種類と Au の含有量との間に関係が認められないこと、関係火成岩が特定しにくいこと等から、破碎帯に関連した含金石英脈鉍床が期待される。つまり、共役なセットとしての NE-SW～E-W 系及び NW-SE 系の断裂帯に沿って、Au を含有する鉍化流体が上昇し、ある酸化還元条件で Au が沈殿した可能性が考えられる。

岩石地化学探査結果から、マホマ鉍山を含む鉍化帯 A の石英脈中に Au 含有量の特により高い試料が得られた。このほか、鉍化帯 B, E, G, J, K, L, M にも地化学異常が抽出された。土壤分析結果から、鉍化帯 A, B, E, H, L 中の試料に Au,As 異常を示す試料が多い。各鉍化帯の産状、規模等の地質的記載、室内試験・分析結果、総合的な評価について Tab.I-5-1 にまとめた。各鉍化帯の位置を Au 異常とともに地質図上に示した（Fig.I-5-1）。

その結果、鉍化帯 A では剪断帯に沿った Au の地化学異常が抽出されている。また、鉍化帯 B, E, K 及び L においても剪断帯の近傍に Au の地化学異常が抽出されている。したがって、このことから剪断帯に沿った金鉍床の賦存する可能性が十分考えられる。

第5章 結論及び提言

5-1 結 論

5-1-1 地質鉱床

本地域の地質は、主として基盤の複合岩類 (pCCcb) 及び緑色岩類を含むグリーンストーン (pCCps, pCCsj, pCCag, pCCsjo), 古期花崗岩類 (pCCG), 新期花崗岩類 (pCC) からなる (Fig.II-3-2, PlateII-3-1~PlateII-3-4)。基盤の複合岩類は、片麻岩、片岩類、ミグマタイト、角閃岩等から成る。

花崗岩類は、pCCG 及び pCC 共に、中粒～粗粒で等粒状の角閃石－黒雲母花崗閃緑岩、中粒で斑状の角閃石－黒雲母花崗閃緑岩、中粒～粗粒の優白質花崗岩から成る。後者が多少不均質である。それぞれ、部分的にマイロナイト化を被り、面構造が認められる。

年代測定の結果、pCC は Mal Abrigo (12 億年) を除いて約 17～20 億年の年代値を示し、既存資料にある Transamazonian (トランスアマゾン) 造山運動に関連したものと一致する。一方、pCCG の代表としての Mahoma (マホマ) 鉱山の母岩 (閃緑岩～花崗閃緑岩) は約 20 億年を示し、既存資料の 22 億年以前の年代値に比べて、鉱化変質によると考えられる若返りが推定される。

グリーンストーンのうち、調査地域の主体を成すサンホセ地域主要地区は、弱変成作用を被った中～東部の Paso Severino 層 (pCCps) 及び比較的高度の変成作用を被った西～南部の San Jose 層 (pCCsjo) から成る。サンホセ地域西部地区の Cerros de San Juan 層 (pCCsj) は弱変成作用を受けている。北部のアロジョグランデ地域の Arroyo Grande 層 (pCCag) は、弱～中程度の変成作用を被っている。

グリーンストーンは変火山岩類及び変堆積岩類からなる。変火山岩類は、変玄武岩や緑色片岩を主体とし、角閃岩、変流紋岩を伴う。変堆積岩類は、石英片岩、珪岩、変砂岩、スレート～千枚岩から成る。San Jose 層 及び Arroyo Grande 層にはこれらのほかに片麻岩を、また、Cerros de San Juan 層には石灰岩及びドロマイトを僅かに挟在する。

現地調査の結果、石英脈が発達する箇所は、次の 13 箇所である (Fig.II-3-7)。それぞれの記載は、Tab.I-5-1 に示した。

① サンホセ地域主要地区 (10 箇所)

A: マホマ鉱山周辺 (東西 20km×南北 15km), B: Nueva Helvecia (地域西端部: 10km×18km), C: Arroy del Medio (6km×15km), D: Canada de

Cabrera(8km×4km), E: Arroyo Charruzo (10km×12km), F: Tala I (3km×4km),
G: Tala II (9km×14km), H: West of 25 de Mayo (6km×8km), I: South of 25 de
Mayo (10km×10km), J: San Ramon (地域東端部: 10km×5km)

② サンホセ地域西部 (1箇所)

K: San Carlos (21km×13km)

③ アロジョグランデ地域 (2箇所)

L: Rio Negro I (10km×15km), M: Rio Negro II (25km×10km)

含金石英脈は、基盤岩類 (pCCcb), 古期花崗岩類 (pCCG), グリーンストーン (pCCps,
pCCsj, pCCag, pCCsjo) に発達する。

母岩の変質については、石英脈の脈際の母岩中には、花崗岩類、グリーンストーン共に肉
眼的には珪化、緑泥石化及び緑レン石化が認められる。X線回折の結果、石英脈脈際から外
側に向かって、石英-セリサイト-(黄鉄鉱)帯、緑泥石-緑レン石-(アルバイト)帯の帯状
分布が確認された。

石英脈の脈幅は、基盤岩類、グリーンストーン及び古期花崗岩類中では数m~数10mに
達するが、新期花崗岩類 (pCC) 中では数mm~数cmと極端に縮小する。pCCは、金の鉱
化に関与していたものと考えられており、同岩体の周辺部の被貫入岩類では石英脈が発達し
ているが、直接の関連火成岩類としての地質情報は得られてはいない。一連の鉱化を前提と
すると、pCC中の石英脈の脈幅が小さくなる原因として以下のことが推定される。

- ・pCCGに比べて岩質が不均質である。
- ・ダクティリティが大きかったため、流動変形とり大きな割れ目が形成されにくい。逆
に、ダクティリティが小さすぎたため、脆性変形となり、適度の脈幅を有するフラク
チャーを形成するには至らなかった。

石英脈の卓越する方向はNE-SW~E-W系及びNW-SE系であり、前者は本地域で卓越す
る左横ズレを示す大規模な破碎帯とほぼ調和的である。一方、後者のNW-SE系はその雁行
配列から右横ズレのセンスが予想され、同じセンスの断層も発達することから、両者は共役
な関係にある可能性が考えられる。

石英脈及び鉱床母岩の鉱石研磨片観察結果によれば、石英脈中には少量の褐鉄鉱、一部
ごく微量の黄鉄鉱以外の鉱石鉱物はほとんど認められなかった。グリーンストーン及び一部
の石英脈に微量の黄鉄鉱-(黄銅鉱) 鉱染が認められた。

鉱石分析の結果、Auの最大値が19,890ppbを確認した。石英脈の脈質は、①乳白色の

半透明石英、②無色～白色透明な石英及び③暗灰色透明石英に分類される。石英脈内部に局部的に認められる帯状分布やその産状から、①、②、③の順に新しくなる関係が推定される。流体包有物測定の結果、均質化温度は最大 447.7°C、最低 85.6°Cを示した。均質化温度のピークは 300°C、250°C、200～150°Cの3つがあり、それぞれ乳白色半透明石英、無色～白色透明石英、暗灰色透明石英に対応する傾向が認められる。塩濃度は 4.2～35%を示し、高い圧力下で生じたものと、低い圧力下で生じたものが混在していることがわかる。

Au の鉱化と石英の脈質との関係について、鉱化帯ごとの差異はなく、一般に無色～白色透明石英、暗灰色透明石英に伴われる場合が多いようである。上記の脈質のほかに、黒色を呈し同定が困難な粘土鉱物（フィロ珪酸塩）を含有する石英も存在するので、Au を伴う鉱化ステージの検討には、より詳細な分析が必要である。

5-1-2 土地化学探査

河川堆積物が風化土壌化した試料 2,021 件を対象に、Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, B, Cd, Ca, Co, Cu, Ga, Fe, La, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Sc, Ag, Na, Sr, S, Tl, Ti, W, U, V, Zn, Au の 34 元素について、化学分析を行った。

分析結果を統計処理し、基本統計量を求め、単変量解析及び多変量解析を行った。単変量解析の結果、Au 異常帯が鉱化帯 H, L に抽出された。また、As 異常帯が鉱化帯 B, E, G, G 北方, H, I, K 東方 L 及び M に抽出された。

多変量解析（因子分析）の結果、Au 鉱化作用に関連すると考えられる因子、苦鉄質岩や花崗岩類等の岩石特性に関連すると考えられる因子が抽出された。

Factor1: Co,Cr,Cu,Fe,Mg,Ni

Factor2: Ga,Al,Fe,K,Li,Pb,Y,Zn

Factor3: Ca,Na,Sr

Factor4: Au,As,K,V

地化学異常と鉱化帯との関係を検討すると、Au, As, Factor4 が重複する箇所は、鉱化帯 A, B, E, G, H 及び L となる。

5-1-3 岩石地化学探査

石英脈や鉱床母岩、607 件を対象に、Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Hg の 8 元素について、化学分析を行った。

Au の分析の結果、石英脈中では最大値 19,890ppb からなる比較的高品位の鉱石を含む 23 件、塩基性変火山岩類、花崗岩類等の岩石中に含有される比較的低品位の鉱石を含む 18 件を、異常値として抽出した。塩基性火山岩類中の石英脈は 19,890ppb～5ppb、花崗岩類中の石英脈は 5,370ppb～37ppm、その他の岩石中の石英脈は 562ppb～14ppb であった。鉱床母岩では、塩基性変火山岩類が 37ppb～5ppb、花崗岩類が 291ppb～9ppb、その他の岩石が 354ppb～9ppb であった。

単変量解析の結果、Au 異常帯は、マホマ鉱山周辺の鉱化帯 A のほかに、鉱化帯 B,E,G,J,K,L,M に抽出された。

因子分析の結果、岩石特性や Au 鉱化作用に関連した因子が抽出された。

Factor1: Cu,Zn,As

Factor2: Au,Ag

Factor3: Pb,Zn

地化学異常と鉱化帯との関係を検討すると、Au, As, Factor2 が重複する箇所は、鉱化帯 A, E, G, H, K 及び L となる。

5-1-4 鉱床賦存のポテンシャル

鉱床には断裂系に伴う構造規制が認められること、複数の鉱化ステージが存在すること、岩石の種類と Au の含有量との間に関係が認められないこと、関係火成岩が特定しにくいこと等から、破碎帯に関連した含金石英脈鉱床が期待される。つまり、共役なセットとしての NE-SW～E-W 系及び NW-SE 系の断裂帯に沿って、Au を含有する鉱化流体が上昇し、ある酸化還元条件で Au が沈殿した可能性が考えられる。

岩石地化学探査結果から、マホマ鉱山を含む鉱化帯 A の石英脈中に特に高い Au 含有量が得られた。このほか、鉱化帯 B, E, G, J, K, L, M にも地化学異常が抽出された。土壌分析結果から、鉱化帯 A, B, E, H, L 中の試料に Au,As 異常を示す試料が多い。

各鉱化帯の産状、規模等の地質的記載、室内試験・分析結果、総合的な評価の結果を Tab.I-5-1 にまとめた。各鉱化帯の位置を Au 異常とともに地質図上に示した (Fig.I-5-1)。その結果、鉱化帯 A では剪断帯に沿った Au の地化学異常が抽出されている。また、鉱化帯 B, E, K 及び L においても剪断帯の近傍に Au の地化学異常が抽出されている。したがって、このことから剪断帯に沿った金鉱床の賦存する可能性が十分考えられる。

5-2 第2年次調査への提言

上記の対象範囲のうち、土壌及び岩石分析の結果抽出された地化学異常域や、各種試験の結果得られたデータを総合的に解析し、最終的に抽出された鉱床賦存の可能性のある有望地区を、赤枠で示した (Fig.I-5-1)。これらの有望地区に対して、次の探査手法が有効であると考えられる。また、Tab.I-5-1 には、総合評価に A~D の優先順位と探査手法を示してある。

- ①マホマ鉱山周辺を含む鉱化帯 A：地質精査・岩石地化学探査，精密土壌地化学探査
- ②鉱化帯 H~G：地質精査・岩石地化学探査，精密土壌地化学探査
- ③鉱化帯 L~M の一部：地質精査・岩石地化学探査，精密土壌地化学探査
- ④鉱化帯 B：地質精査，精密土壌地化学探査
- ⑤鉱化帯 E：地質精査，精密土壌地化学探査

探査手法の詳細は以下の通りである。

- ①地質精査・岩石地化学探査（露頭状況が悪い箇所では、トレンチ開削による石英脈追跡調査を含む）
- ②精密土壌地化探（10 件/km²：河川沿いは比較的植生が繁茂しているため、グリッドサンプリングに比べてランダムサンプリングが効率的）

初年度の調査は限られた露頭データに基づくものであり、潜頭性の鉱化帯や鉱化規制構造を把握する目的で、空中物理探査により広域調査を実施する必要がある。また、マホマ鉱山南西方へもポテンシャルが広がっており、約 100km² の地域に対して、河川沿いの堆積土壌を対象とした地化学探査の実施を提案する。

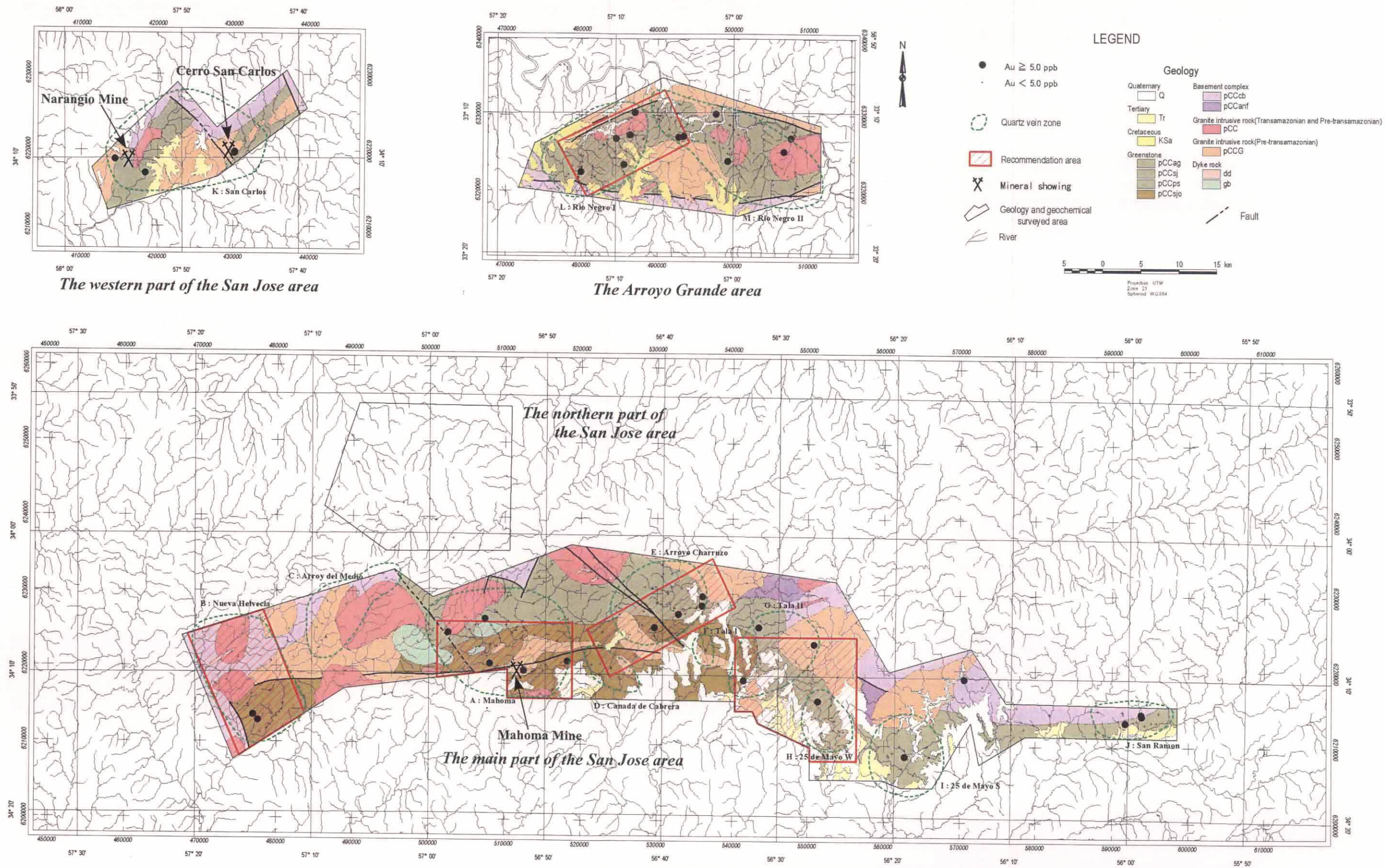


Fig. I-5-1 Survey results and recommendation for future survey

Tab.I-5-1 Survey results and evaluation of mineral showings

Mineral showings	Location	Occurrence	Length, width	Host rock	Alteration mineral	Ore minerals	Gangue minerals	Soil results	Assay results	Evaluation
A Mahoma	Paso del Rey	quartz vein (NWE-WNE) >> floats of quartz	20km x 15km	green schist, metabasalt, quartz schist, granodiorite (pCCG)	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	pyrite, limonite	quartz, clay	Au:23-79ppb, Cu,Pb,Zn, Factor2,Factor3, Factor4	quartz:1520-19890, rock:5-354	A (rock and soil geochem.)
B Nueva Helvecia	Colla-Nueva Helvecia	floats of quartz	10km x 18km	green schist > quartz schist,	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	limonite, (pyrite)	quartz	Au:14-23ppb, As,Cu,Pb,Zn, Factor1,Factor4	rock:32-37	B (soil geochem.)
C Arroy del Medio	Mal Abrigo	quartz vein (NE,E-W) = floats of quartz	6km x 15km	granodiorite (pCCG)	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	limonite	quartz	Cu,Pb,Zn, Factor2,Factor3	-	D
D Canada de Cabrera	Paso del Rey	floats of quartz	8km x 4km	green schist,	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	limonite	quartz	Au:6ppb,Pb,Zn, Factor2	-	C
E Arroyo Charruzo	Paso del Rey	quartz vein (E-W,N-S) = floats of quartz	10km x 12km	green schist > metabasalt, quartz schist,	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	limonite	quartz, clay	Au:14-51ppb, As,Cu,Pb, Factor4	quartz:37-1680, rock:5-23	B (soil geochem.)
F Tala I	Paso del Rey	quartz vein (NE,NW)	3km x 4km	green schist,	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	limonite	quartz	Au:32ppb	-	D
G Tala II	Florida	quartz vein (NE) = floats of quartz	9km x 14km	green schist, granodiorite (pCC-V)	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	limonite, (pyrite)	quartz	As,Factor2, Factor3,Factor4	quartz:18-125	B (soil geochem.)
H West of 25 de Mayo	Florida-Cardal	floats of quartz	6km x 8km	green schist,	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	limonite	quartz	Au:9-11ppb, As,Cu, Factor4	quartz:32	A (rock and soil geochem.)
I South of 25 de Mayo	Cardal	floats of quartz >> quartz vein (NW)	10km x 10km	green schist > quartz schist	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	limonite	quartz	As, Factor4	quartz:23	C
J San Ramon	San Ramon	floats of quartz	10km x 5km	green schist,	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	limonite	quartz	Cu,Pb,Factor3	quartz:5, rock:9-41	C
K San Carlos	Miguelete	quartz vein (NE) > floats of quartz	21km x 13km	green schist > quartz schist	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	limonite	quartz	Au:9-37ppb, Cu,Pb,Zn	quartz:37-1548, rock:115	C
L Rio Negro I	Paso del Puerto	quartz vein (NW,E-W)	10km x 15km	green schist, quartz schist,	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	limonite, (pyrite)	quartz, sericite	Au:14-97ppb, As,Cu,Pb,Zn, Factor3,Factor4	quartz:245-5370, rock:19	A (rock and soil geochem.)
M Rio Negro II	Paso del Puerto	quartz vein (NW) = floats of quartz	25km x 10km	green schist, metabasalt, granodiorite (pCCG)	quartz-(sericite)-(pyrite), chlorite-(epidote)-(albite)	limonite	quartz	Au:9-97ppb, As,Cu,Pb,Zn, Factor1, Factor2,Factor3	quartz:32-826, rock:9-562	C

Evaluation: A > B > C > D