

第 I 部 序 論

第1章 調査概要

1-1 調査の経緯及び目的

ボリヴィア共和国にとって鉱業は最も重要な基幹産業の一つではあるが、1985年の錫価格の暴落後その経済的位置付けは凋落の一途を辿り、GDPに占める鉱産物の割合は1980年の17.5%から2000年には4.9%にまで低下している。鉱産物の輸出額も4億US\$程度であり、輸出総額の38.7%を占めるに過ぎない。

ボリヴィア共和国は1,098,581 km²の広さを有し、西をペルーおよびチリ共和国、南をアルゼンチンおよびパラグアイ共和国、東および北をブラジル連邦共和国に囲まれた海岸線を持たない内陸国である。地形、地質区分及び金属鉱床生成区はいわゆるアンデストレンドに調和的な概ね北西-南東に平行な帯状の分布を示す。地形区分はチリ共和国との国境をなす西部アンデス山脈を西縁とし、アルティプラノ、東部アンデス山脈および東縁のブラジル盾状地に連なるチャコベニアナ平原の5単元に大別される。金属鉱床生成区は、西部アンデス山脈およびアルティプラノの多金属鉱床生成区、東部アンデス山脈西側の錫鉱床生成区、東部アンデス山脈東側の多金属鉱床生成区およびブラジル盾状地の含金マンガン鉱床生成区に大きく区分される。

調査対象地域は、ペルーと国境を接するボリヴィア北西部の南緯14°37'～16°24'、西経67°35'～69°22'間に位置し、地勢上は、東部アンデス山脈に属する。上述の鉱床生成区と対応させれば、東部アンデス錫鉱床生成区および多金属鉱床生成区に属し、錫、金、タングステン、鉛・亜鉛等の鉱脈鉱床の賦存が知られているが、未だ組織的、系統的な調査・解析は実施されていない地域である。

ボリヴィア政府は、同地域における鉱業投資の促進に資するため、鉱床ポテンシャルの把握を目的とした協力調査の実施を日本政府に要請した。これを受け日本政府は、2002年10月に調査計画協議のための調査団を派遣し、同年10月16日にScope of Workに調印した。

Scope of Workに基づき、本調査は対象地域の衛星画像解析、既存データ解析および地化学探査を実施し、得られた結果を総合的に解析することにより、短期かつ効率的に鉱床賦存有望地区を抽出することを目的とする。同時に、相手国機関であるボリヴィア共和国地質鉱山局（以下、SERGEOMIN; Servicio Nacional de Geología y Minería）に対して調査・解析手法の技術移転を図ることを目的とする。

1-2 第1年次調査の範囲及び作業の概要

Scope of Workで合意された調査対象範囲は、10万分の1地形図13図画にまたがる面積18,400km²の範囲であるが、地形図はその内の8図画が公刊されているのみである。本年度は調査対象範囲全域のASTER画像解析および既存データ解析を実施し、更に既存データ解析により抽出された南緯15°02'～15°50'、西経68°24'～69°06'間の面積2,500km²（第1図参照）を対象として地化学探査を実施した。

調査は以下の手順で実施した。

衛星画像についてはデータ処理済み画像を受領し、日本国内において解析作業を実施した。一方、既存データ解析は既刊の地質図幅および図幅説明書を日本国内で整理・解析し、更にボリヴィア国内において、地質情報と鉱山・鉱徴地の資料を追加入手し、SERGEOMIN技術者と共同で収集資料の総合解析を実施した。

衛星画像解析、既存データ解析および地化学探査を行うことにより、リニアメント解析図、鉱物分布図、既知鉱徴地一覧図、地化学探査異常帯分布図、解析結果総括図等を

調査数量は第3表のとおりである。

第3表 調査数量

調査内容	調査数量	
衛星画像解析	調査面積	18,400km ²
既存データ解析	調査面積	18,400km ²
地化学探査	調査面積	2,500km ²
沢砂試料	424	試料
沢砂重複試料	44	試料
パンニング試料	42	試料
パンニング重複試料	6	試料
鉱石分析試料	50	試料
岩石薄片試料	10	試料
鉱石研磨片試料	13	試料
粉末 X 線回折試料	21	試料
流体包有物均質化温度測定試料	6	試料
全岩化学分析試料	5	試料
放射年代測定分析試料	5	試料

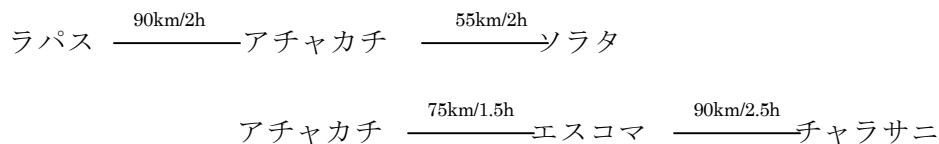
第2章 調査地域の地理

2-1 位置及び交通

Scope of Work に示される調査対象範囲は、首都ラパスの北西に位置し、西経 $67^{\circ} 35' \sim 69^{\circ} 22'$ 間の東西約 190 km、南緯 $14^{\circ} 37' \sim 16^{\circ} 24'$ 間の南北約 190km 間に広がる北西-南東に伸張する多角形で、北西部はペルーとの国境に接する面積約 18,400 km² の範囲である。初年度はその内の面積 2,500 km² を地化学探査地域として調査した(第1図)。

調査地域は行政区ではラパス県に属し、その中央部に位置する。地域内の主要都市は調査地域南東端のソラタ(Sorata)および北西部のチャラサニ(Charazani)で、その他は小規模な村落が点在するのみである。

調査地域へは首都のラパスからチチカカ湖沿いの国道(舗装道)を經由し、前記主要都市に達することが出来るが、前記の両都市間は未架橋のジカ(Llica)川に阻まれ直接往来することは出来ず、一端上述の国道まで戻り、再度入山する必要がある。調査地域内の交通路網は未開発かつ未整備であり、地形の急峻さによる路面への落石、地盤の崩落、泥濘化した路面の悪さ等により、車の進行速度は最大 20km/時、平均 10km/時であり、調査の進捗を妨げる大きな要因となった。調査地域内の主要都市までの主要工程を以下に示す。



2-2 地形及び水系

ボリヴィア共和国の地形区分はチリ共和国との国境をなす西部アンデス山脈を西縁とし、東に向かいアルティプラノ、東部アンデス山脈および東縁のブラジル盾状地に連なるチャコ-ベニアナ平原の5単元に大別される。東部アンデス山脈は更に東部アンデス山系とその東のサブアンデス帯とに区分される。調査対象地域は中央部を東部アンデス山系が占め、西縁および東縁をそれぞれアルティプラノおよびサブアンデス帯の一部が位置する。本年度の地化学探査範囲は、東部アンデス山系脊梁部に位置する。

調査対象地域における西縁のアルティプラノは、湖面海拔 3,810m のチチカカ湖に連なる狭小な丘陵地を形成し、東部の東部アンデス山稜へと連続する。東部アンデス山系は海拔 6429m に達する万年雪に覆われたイヤンプ雪山(Nevado Illampu)を最高峰とし、北西-南東の伸張方向を有する雪山連山よりなる急峻な地形を示す。東縁のサブアンデス帯は、標高 2,500m~1000m を示し、表面的にはなだらかな丘陵地をなすが、谷筋は深く幼年期地形をなす。

調査対象地域の主要河川は東部アンデス山系の脊梁部の西側はほぼ北東から南西方向へ、東側は南西から北東方向へ流下するが、東部では、北西-南東方向のいわゆるアンデス方向への屈曲が顕著に認められる。小河川は樹枝状に北西-南東~南北の方向性を持ち発達する。

2-3 気候及び植生

本地域の気候は、東部アンデス山岳地帯とその山麓地帯とは全く異なる。山岳地帯は高地寒冷型の気候に区分され、年間を通して平均気温の変化は乏しいが、11月から3月までの雨期、4月から10月までが乾季とに明瞭に区分される。雨期は殆ど常に雨雲に覆われ雪や雹・霰を伴

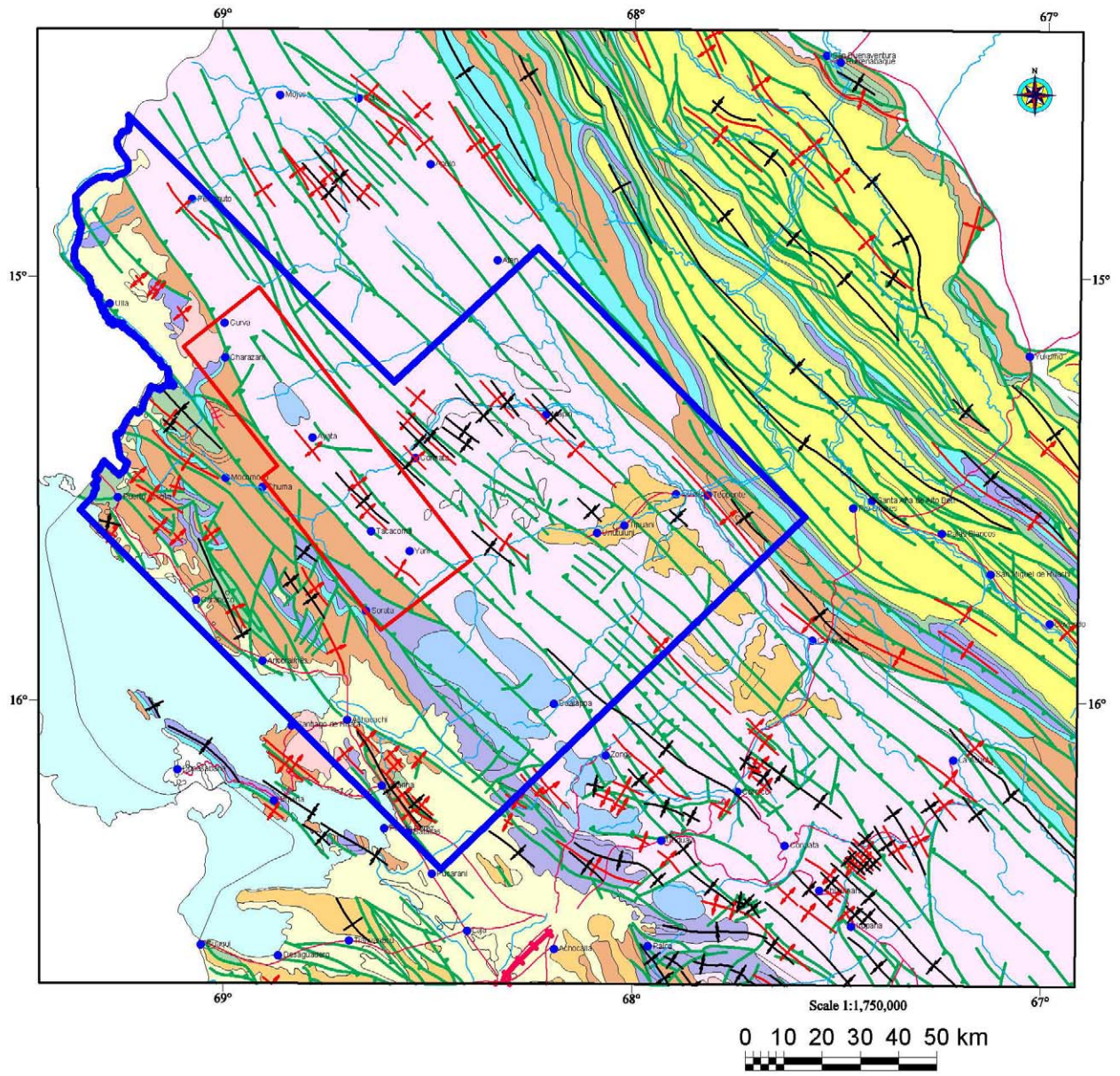
う降雨があり、年間降雨量 1,900mm にも達する。一方山麓部は山稜部の雨雲に覆われ曇天となることはあっても、比較的降雨量は少なく、日照時間も相対的に長く、年間降雨量は 900mm 程度である。気温は山岳部では乾季には日較差が大きく、最高気温は 20℃以上に、最低気温は -10℃以下になることがある。山麓部、特にサブアンデス帯においては気温の変化に乏しく、平均気温は 10℃程度である。地化学探査地域内での主要観測地点の 1992～2001 年の平均降雨データを次表に示す。

第 4 表 月別平均降雨量

月別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
ソラタ	205	160	165	72	15	12	6	15	51	60	68	130	959
キアバヤ	220	176	146	64	33	28	20	34	53	62	75	135	1045
チャラサニ	57	54	46	31	13	13	12	13	32	35	35	34	375

単位 ; mm

調査地域の植生は大部分は二次植生であるが、一部には人跡未踏の山岳ジャングルが覆い茂る。二次植生は、山稜部ではパハと称する針状葉草本類が主体を成し、河川沿いに低灌木が生育する。山麓部では耕作地を除くと、裸子植物の低灌木が主体となる。



Legend

- | | | |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Depositos aluviales, fluvio lacustre, fluvio glaciales, coluvial, lacustre, morrena Complejo volcanico Conglomerado, arenisca, limolita, caliza, marga, diapiro intercalan toba y lava Colada de lava, toba, estrato volcan y sucesion volcan sedimentaria Conglomerado, caliza, arenisca, limolita, marga y basalto intercalado Arenisca Pluton de granitoide Caliza, marga, lutita, arenisca y manto de antracita Diamictita, conglomerado, arenisca y lutita Arenisca, lutita y limolita Lutita, limolita, arenisca, cuarcita y diamictita Arenisca, limolita, cuarcita, pizarra, lutita y lava almohadillada | <ul style="list-style-type: none"> Contacto geologico Eje anticlinal Eje anticlinal inferido Eje sinclinal Eje sinclinal inferido Falla Falla inversa Falla inferida | <ul style="list-style-type: none"> Rio Lago Poblacion Limite internacion Ferrocarril Camino |
|---|---|--|
-
- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Project Area Field Survey Area |
|---|

第 2 図 地質概略図

第3章 調査地域の既存地質情報

3-1 既往調査の概要

調査地域では、インカ時代から貴金属、銅等の採掘が行われていたとされる。その後、植民地時代には貴金属を求めて鉱山の探査が組織的ではないが活発に行われ、多量の金、銀が産出された。

近代的な地質調査は殆どなされておらず、1974年の大統領令 D. S. 11614 により国連回轉基金の協力のもと、SERGEOMIN の前身の GEOBOL (Servicio Geológico de Bolivia) により開始された “Proyecto Cordillera (Proyecto de Prospección Minera en la Cordillera) ”、により、卑金属を対象とした地化学探査が実施された。また、1996年からボリヴィア、ペルー、チリおよびアルゼンチンの四カ国協同による “Multinacional Andean Proyecto” がアンデス山脈の金属鉱床探査を目的に実施された。調査地域を含むボリヴィア全土の 100 万分の 1 の地質図 (SERGEOMIN, 1998) が編纂されてはいるが、これを解説する地質説明書は未整備である。これに替わるものとして “Compendio de Geología de Bolivia (ボリヴィア地質概要)” が YPFB (Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos) の技術報告書として SERGEOMIN との共同執筆の形で 2000 年に公刊されている。

調査対象地域自体についての組織的な地域研究は未だ実施されていないが、リモートセンシングを利用した地質判読図素案が CIASER (Centro de Investigación y Aplicación de Sensores Remotos, 1985) により提案されている。

鉱床生成区については、COMIBOL 設立 25 周年記念出版であるボリヴィアの鉱床生成区 1/150 万概況図 (COMIBOL, 1977) に簡潔に纏められている。また、前述 YPFB (2000) にも鉱床区についての簡単な記載がある。

3-2 地質概要

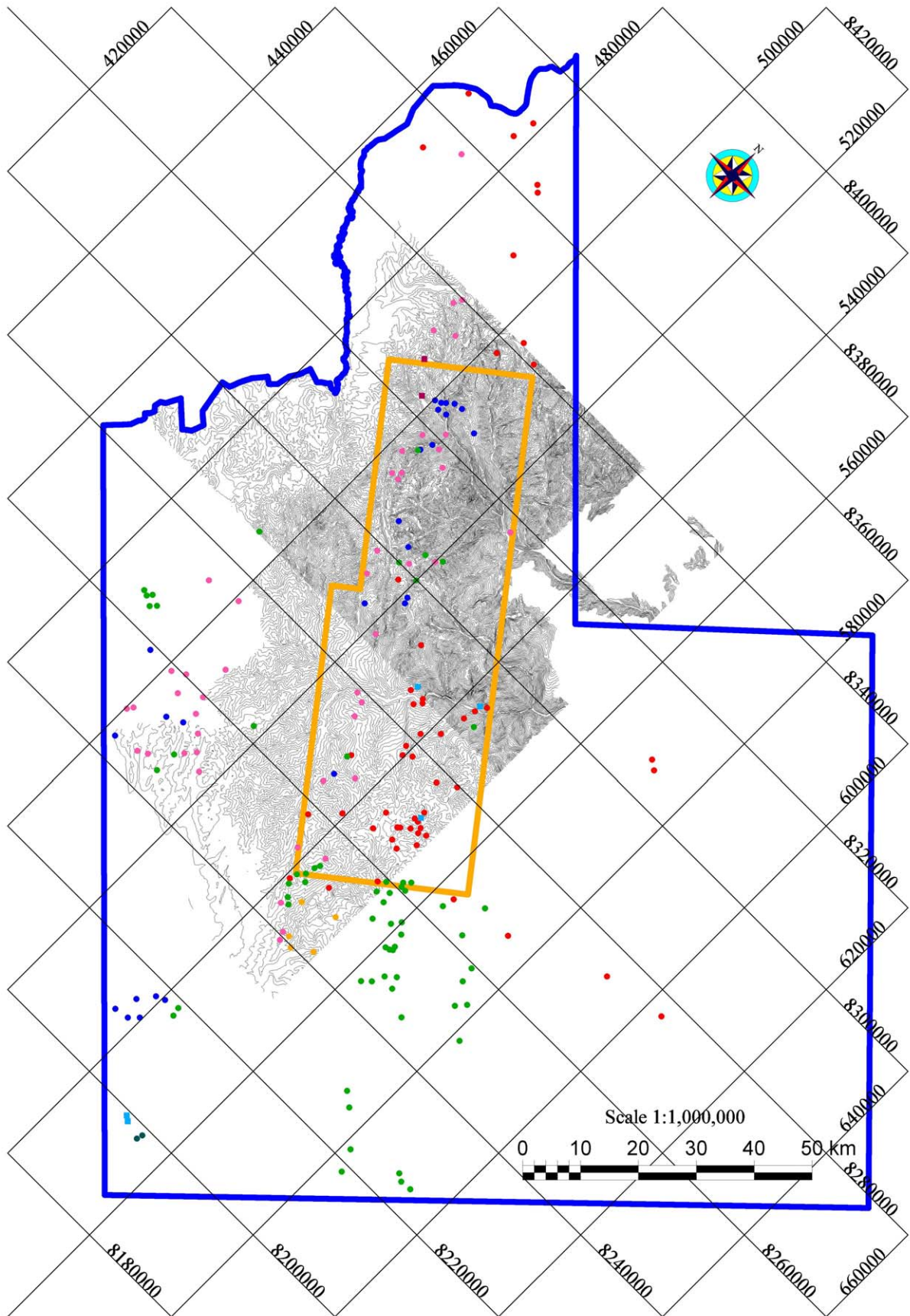
本調査対象地域は古生代から第四紀までの堆積岩類および火山岩類が、北西 - 南東方向に伸張して分布する。これらを貫いてヘルシニアン変動期に貫入したゾンゴ-ヤニ (Zongo-Yani) 底盤、ヘルシニアン変動期後のイヤンプ (Illampu) 底盤およびアマレッテ (Amarete) 岩株、新第三紀初頭のチャラサニ (Charazani) 複合岩体が分布する (第 2 図)。

調査地域の地質は概ねアンデストレンド (北西 - 南東) に平行で、大局的には北東部に古生界の基盤岩類が、南西に向け順次若い地質単元が分布する。褶曲構造はアンデストレンドに調和的な配列をなし、比較的穏やかな複合背斜構造をなす。背斜部では引き摺り褶曲に伴う高角度の逆断層も認められる。断層構造も圧縮応力場に対応する走向断層、特に黒色頁岩中の層内滑り、が顕著に認められる。また展張応力場に対応する横断断層が NE-SW あるいは N-S 方向を持ち走向断層に斜交する。ジュラ紀前期には展張応力場におけるグラーパーン構造運動が生じたと思われるが、現地での確認は出来なかった。

調査対象地域の中央部には、北東部のグアポーレ (Guapole) 剛塊と南西部のアレキーパーワリーナ (Arequipa-Huarina) 地塊とを境する、NW-SE の伸張を有する Cordillera Real 断層帯が分布する。

3-3 既知鉱床・鉱徴概要

調査対象地域は、ボリヴィアの鉱床生成区分に従えば、錫鉱床帯および東部アンデス縁辺多金属鉱床帯に位置する。



Legend

- | | | | |
|------------------------|--------------------|----------------------|--|
| • Au(53 located) | • Sn W(63 located) | • Ba Hg(2 located) |  Project Area |
| • Cu Pb Zn(45 located) | • Mo(5 located) | • Unknown(5 located) |  Field Survey Area |
| • Sb(26 located) | • U(2 located) | | |

第 3 図 既知鉱微分布図

調査対象地域内に記載される既知鉱床および鉱徴(以下鉱徴と総称する)は Cordillera Proyecto の鉱徴地分布図を参照すれば、201 箇所が記載されている(第3図)。その鉱種の内訳は、錫-タングステン鉱徴 63 箇所、金鉱徴 53 箇所、銅・鉛・亜鉛鉱徴 45 箇所、アンチモン鉱徴 26 箇所、モリブデン鉱徴 5 箇所、ウラン鉱徴 2 箇所、バリウム-水銀鉱徴 2 箇所および鉱種不明 5 箇所である。これらの鉱徴の分布は、調査対象地域中央以北に金および銅・鉛・亜鉛鉱徴が、南部に錫-タングステン鉱徴が位置する。アンチモン鉱徴の分布は銅・鉛・亜鉛鉱徴の分布に重なるものが主体をなす。

地化学探査範囲内に分布する鉱徴は、71 箇所が記載されている。これらの鉱徴の鉱種は金銀を含む鉛・亜鉛鉱徴 19 箇所、金鉱徴 18 箇所、アンチモン鉱徴 12 箇所、錫鉱徴 7 箇所、タングステン鉱徴 4 箇所、錫-タングステン鉱徴 4 箇所、ビスマス(-錫-タングステン)鉱徴 1 箇所、錫-鉛鉱徴 1 箇所、ウラン鉱徴 1 箇所および鉱種不明 4 箇所である。これらの鉱徴の所在地を概観すれば金、錫、タングステン鉱徴は地化学探査範囲の南側に主として分布し、鉛・亜鉛、アンチモン鉱徴は地化学探査範囲の中央部およびその北側に主として分布する。

第Ⅱ部 各論

第1章 衛星画像解析

1-1 解析の目的

ASTER 画像データから作成したフォルスカラー画像、比演算処理画像、3D 図を用い、ゴッサン及び変質帯抽出を行い、調査地域における鉱床賦存有望地区抽出のための基礎資料を提供することを目的とした。

1-2 使用データ

衛星画像解析に使用した ASTER データ 14 シーンを第 5 表に示す。解析範囲を第 4 図に示す。

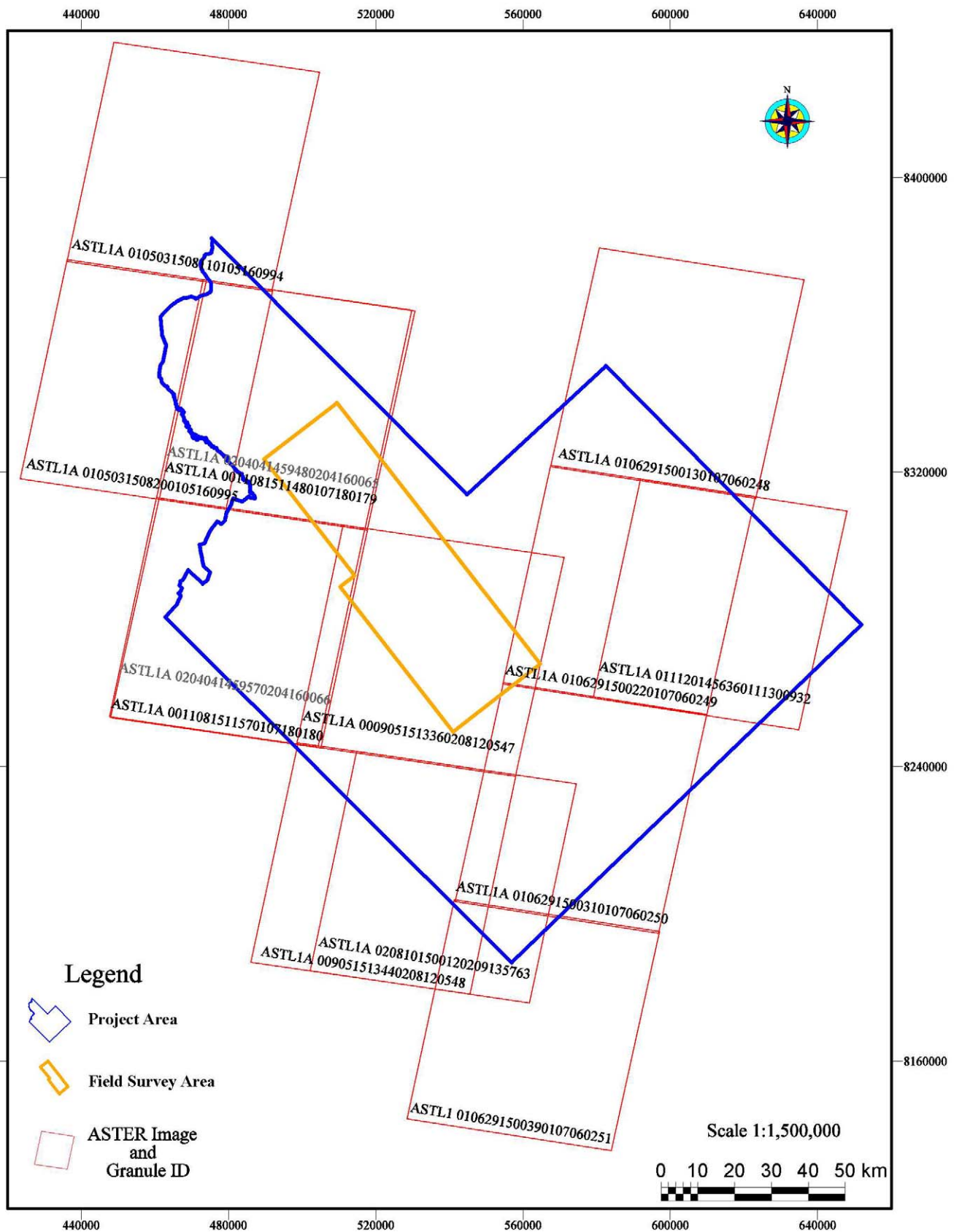
第 5 表 衛星画像データ一覧

	Granule ID	Observation date	Purpose
1	ASTL1A 0009051513360208120547	2000/09/05	Image analysis
2	ASTL1A 0009051513440208120548	2000/09/05	Image analysis
3	ASTL1A 0011081511480107180179	2000/11/08	Image analysis
4	ASTL1A 0011081511570107180180	2000/11/08	Image analysis
5	ASTL1A 0105031508110105160994	2001/05/03	Image analysis
6	ASTL1A 0105031508200105160995	2001/05/03	Image analysis
7	ASTL1A 0106291500130107060248	2001/06/29	Image analysis
8	ASTL1A 0106291500220107060249	2001/06/29	Image analysis
9	ASTL1A 0106291500310107060250	2001/06/29	Image analysis
10	ASTL1A 0208101500120209135763	2002/08/10	Image analysis
11	ASTL1A 0111201456360111300932	2001/11/20	Image analysis
12	ASTL1A 0204041459480204160065	2002/04/04	Image analysis
13	ASTL1A 0204041459570204160066	2002/04/04	Image analysis
14	ASTL1A 0106291500390107060251	2001/06/29	Image analysis

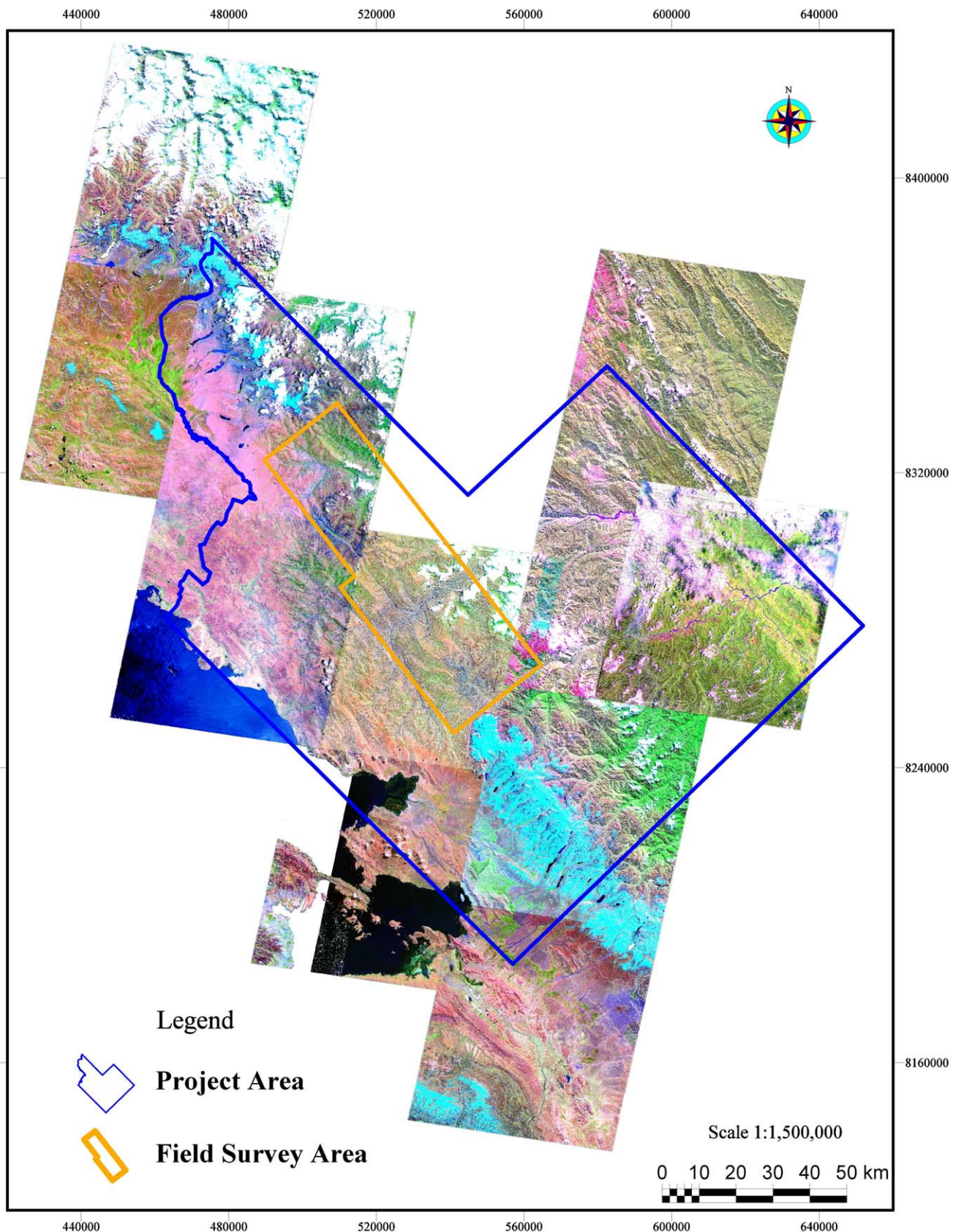
1-3 データ処理

金属鉱業事業団から以下の解析結果の提供を受けた。

- A. 各バンドごとのモザイク処理画像
- B. 各シーンごとのカラー合成画像と地形コンターの合成画像
- C. 各シーンごとの DEM データ
- D. 各シーンごとの鉱物指数画像
 - a) 酸化鉄指数画像
 - b) 石英指数画像
- E. 各シーンごとの鉱物分布画像 (SAM : Spectral Angular Matching 法)
 - a) 褐鉄鉱分布図
 - b) 明礬石分布図
 - c) モンモリロナイト分布図
 - d) カオリナイト分布図
 - e) 絹雲母分布図
 - f) 緑泥石分布図
 - g) 緑簾石分布図



第 4 図 衛星画像解析範囲図



第 5 図 フォルスカラー画像

上記のうち、B～E はモザイク処理がされていなかったため、各処理結果について 14 シーンのモザイク処理を実施した。その際、データに付加されたヘッダーから位置情報を取得したが、3 割程度のデータで画素サイズと画素数に間違いがあったため、正しい数値を推定して入力しなおす必要があった。

その他、①DEM データには雲の影響によるノイズが多く含まれていること、②鉱物指標画像、鉱物分布画像ではシーン間の出力値のヒストグラム調整がされていないため、各シーンの接合部にギャップが生じること、などの問題点が認められた。①はデータに依存する問題であるが、②については今後、技術的改善が必要と考えられる。

作成した各モザイクデータから調査範囲の画像データを切り出し地質解釈に用いた。また、DEM データにから横山ほか(1999)の方法により、61 画素を計算距離とした地上開度を画像化した。カラー合成モザイク画像および地上開度図から縮尺 50 万分の 1 のハードコピーを出力し、リニアメントを判読した。判読したリニアメントはベクターデータ化し、2,000m を単位グリッドとしてそこに含まれるリニアメントの総延長を計算することでリニアメント密度図を作成した。

1-4 解析結果

調査対象範囲 18400km²における解析結果と地化学探査調査範囲における解析結果とに分け、各々に付き記載する。第 5 図に調査対象地域のフォルスカラー画像を、第 6 図に地上開度図を示す。

1-4-1 調査対象範囲

調査対象範囲の解析には第 2 図に示す SERGEOMIN(1998)の 1:100 万地質図(CD-ROM)をもとに実施した。

1) リニアメント

調査対象地域内で抽出されるリニアメントをリニアメント解析図として第 7 図に、抽出されたリニアメントの総延長から計算される密度分布を第 8 図に示す。リニアメントの高密度分布の傾向は、NW-SE 系に卓越し、次いで E-W、NE-SW および N-S 系が認められる。

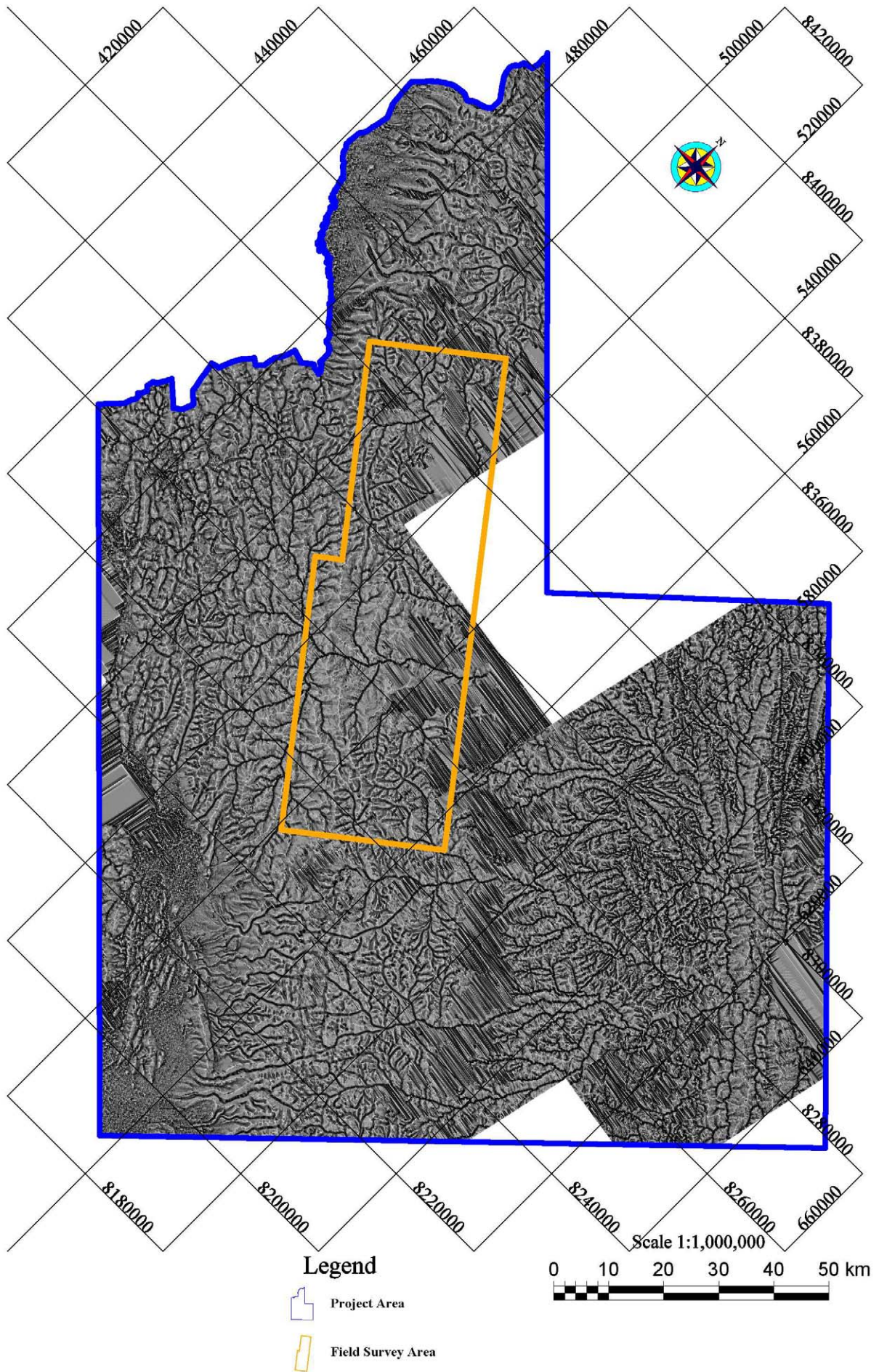
NW-SE 系は調査対象地域中央部を連続性良く縦走するものと、その南西部に併走するものが存在する。前者は Cordillera Real 断層の分布域を示唆するが、既往地質図の記載位置とは対象地域中央部にて一致しない。また南西部のものは既往地質図のデボン系中に記載される断層にほぼ重複して抽出された。

E-W 系は調査対象地域東部のティプアニ(Tipuani)川沿いに抽出されるが、本区域に分布するオルドビス系には本方向の断層は記載されていない。

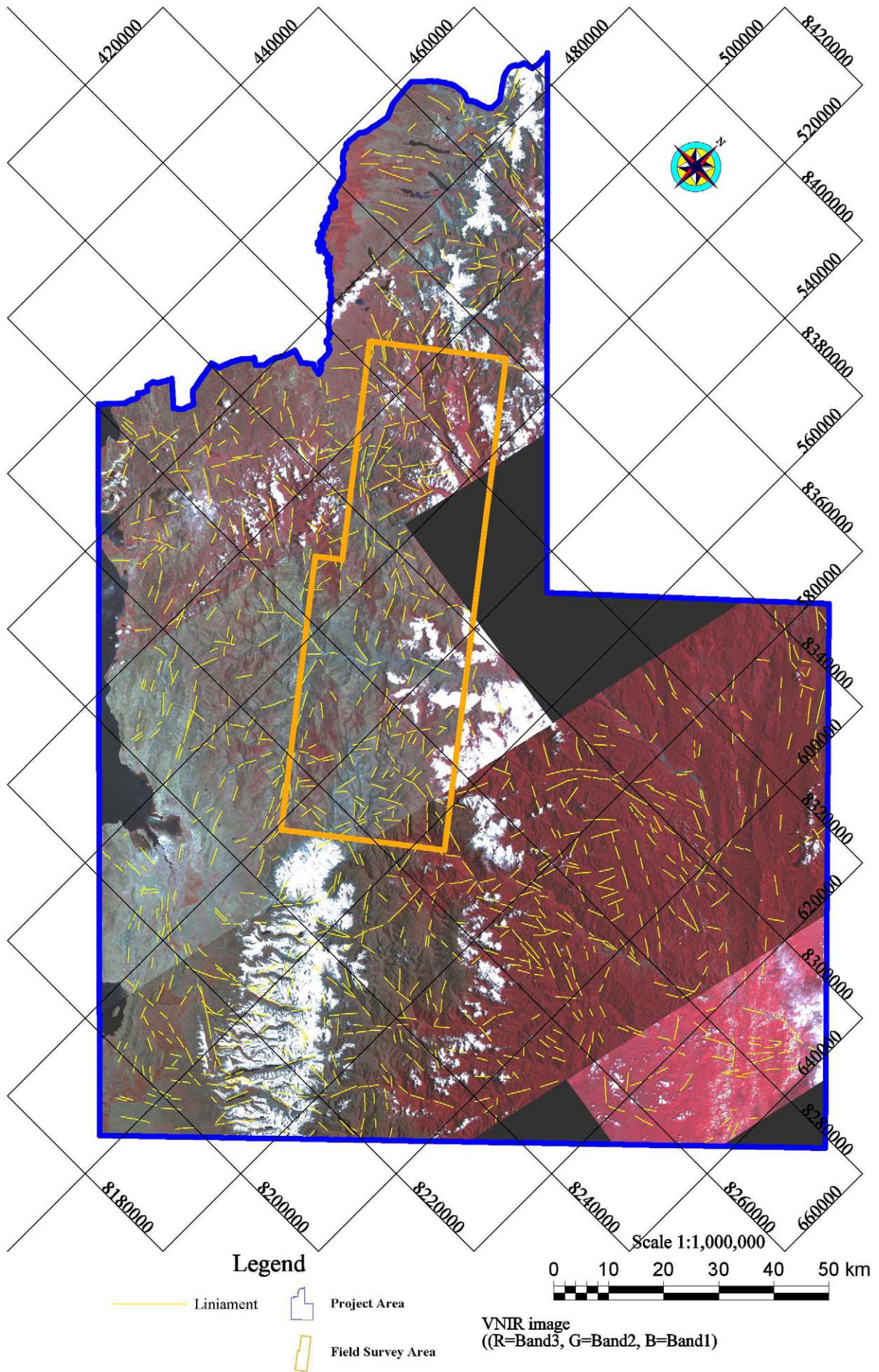
NE-SW 系は調査対象地域南西側の北縁部に分布する。一部は既往地質図に記載される断層に重複し、一部はスチェス(Suches)川沿いに分布する。

N-S 系は調査対象地域中央部の南西側に認められ、一部は既往地質図に記載される断層に重複する。

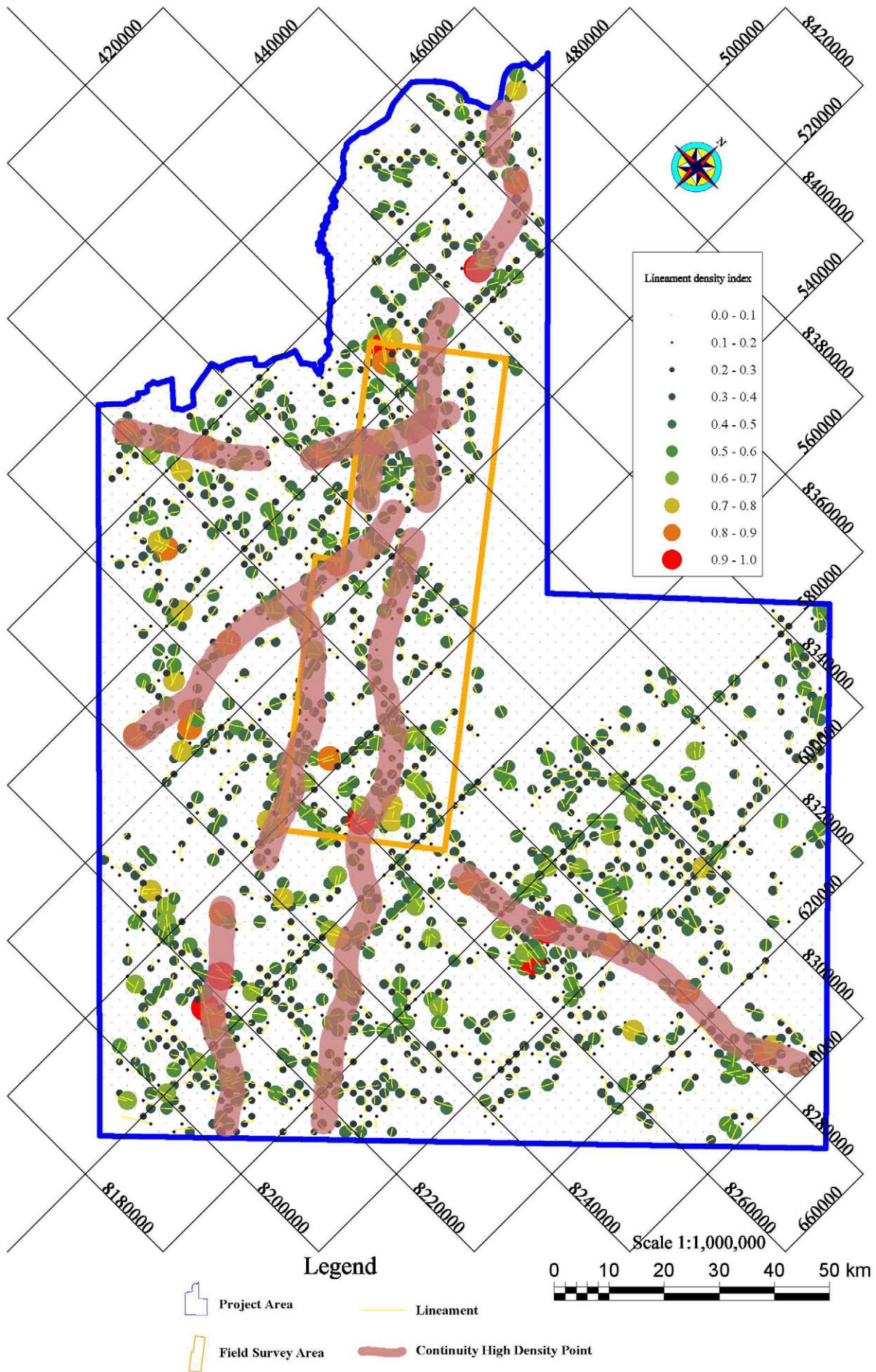
これらのリニアメントの分布と既知鉱徴との関係は明瞭とはいえないが、中央部を縦走する NW-SE 系のリニアメント高密度分布域に、既知鉱徴が配列する傾向が弱いながらも認めることができる。



第 6 図 ASTER DEM による地上開度図



第 7 図 リニアメント密度分布図



第 8 図 リニアメント密度分布図

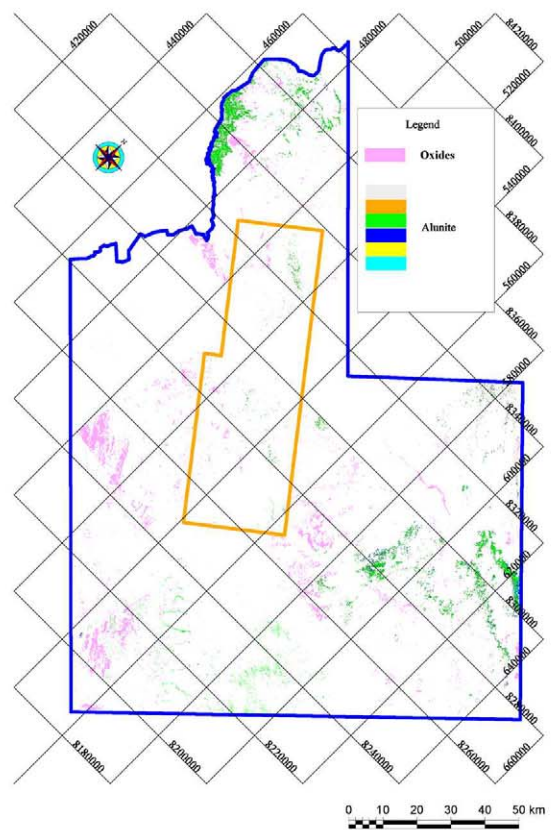
2) 抽出鉱物分布 (第9図)

- ・石英指数;河川沿いあるいは湖岸沿いの沖積層分布域にほぼ重複して高異常帯は分布する。更には、イヤンプ花崗閃緑岩体の南西麓に分布する氷河堆積物あるいは崩積層に重複し分布する。地質単元に対応する分布は認めがたい。
- ・酸化鉄指数;画像間の調整が不十分であり画像境界での不連続が認められるが、河川沿いおよび湖岸に発達する沖積層中に高異常帯が部分的に分布する。既知鉱徴に重複する高異常帯も、北部のチャラサニおよび西縁中央のアンコライメス(Ancoraimes)周辺では認められるが、両者の大部分は重複しない。
- ・褐鉄鉱;全域に散点的に分布し、その分布に明確な特徴は認めがたい。河川沿いの連続がかすかに認められるが顕著ではない。また、調査対象地域北東端にNW-SEに伸張する異常帯の若干集中する部分が認められる。既知鉱徴との関連は読み取れない。
- ・明礬石;調査対象地域北西端のウジャウジャ(Ulla Ulla)および東部のウヌツニ(Unituni)の北とグアナイ(Guanay)の北とに若干まとまった分布が認められるが、地質構造との関係は認めがたい。既知鉱徴とは北部のペレチュコ近辺で重複するものが認められるが、全体としては関連性は認められない。
- ・モンモリロナイト;画像間の調整が不十分であり画像境界での不連続が顕著に認められ、抽出鉱物の連続性に断絶がある。調査対象地域北西端のウジャウジャ、東部のグアナイおよび中央部のモコモコ(Mocomoco)の北に比較的まとまった分布が認められる。また、ヤニ-ゾンゴ花崗岩体およびその北東縁に若干のまとまりが認められる。既知鉱徴とは中央部のコンサタ(Consata)の南西のジカ川およびその支流沿いでの重複が顕著に認められる。
- ・カオリナイト;調査対象地域北西端のウジャウジャおよび東部のグアナイの北とにまとまった分布が認められるが、地質との関係は不明瞭である。またこれらの分布域には既知鉱徴は知られていない。
- ・絹雲母;画像間の調整が不十分であり画像境界での不連続が顕著に認められ、抽出鉱物の連続性に断絶がある。調査対象地域北西端のウジャウジャ、中央部のモコモコからチュマ(Chuma)にかけてとジカ川沿い、東部のグアナイおよび南西部のアチャカチからバタージャス(Batallas)にかけて比較的まとまった分布が認められる。また、ヤニ-ゾンゴ花崗岩体およびその南部延長と北東部に若干のまとまりが認められる。既知鉱徴とは小規模に抽出された分布域に重複するものが多く認められる。
- ・緑泥石;画像間の調整が不十分であり画像境界での不連続が顕著に認められ、抽出鉱物の連続性に断絶があるが、調査対象地域の南西側の河川沿いおよび沖積平野に集中して分布する。また、ヤニ-ゾンゴ花崗岩体およびその周辺にも集中域が認められる。既知鉱徴は、北部のチャラサニ周辺および中央部のジカ川沿いでは鉱物抽出域と重複するが、先述の河川沿いの分布との関連で、鉱化示徴を捕捉したかどうかは判断しがたい。
- ・緑簾石;調査対象地域全域に散点して分布しており、分布の特徴を明確にすることは出来ない。

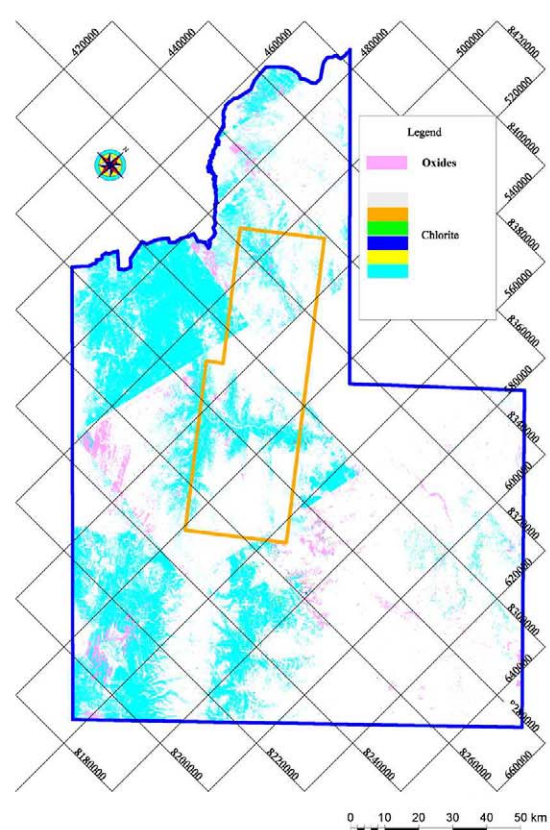
3) 抽出鉱物分布の特徴

画像間の調整が不十分であり抽出鉱物の連続性に付いては各画像の範囲内で判断せざるを得ない。この前提条件のもとに抽出鉱物の分布パターンを概観すれば、次の4グループに分類し得る。

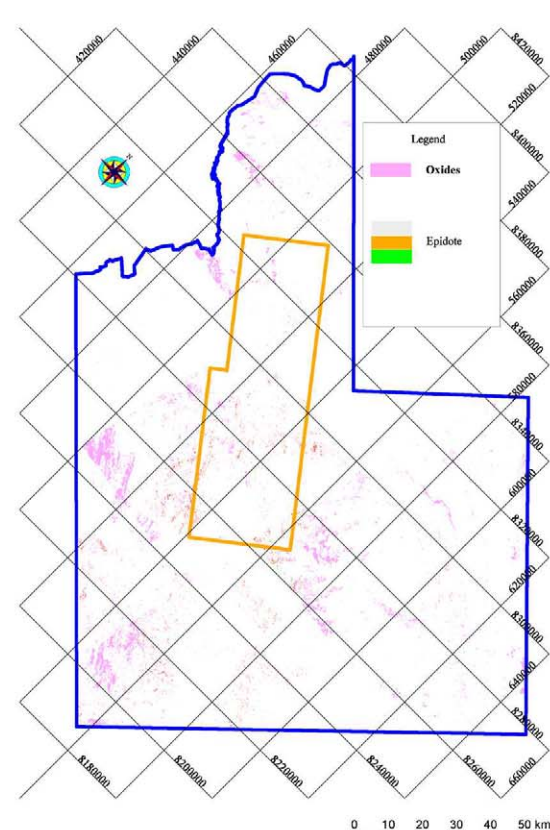
- ①石英指数-絹雲母-モンモリロナイト-緑泥石



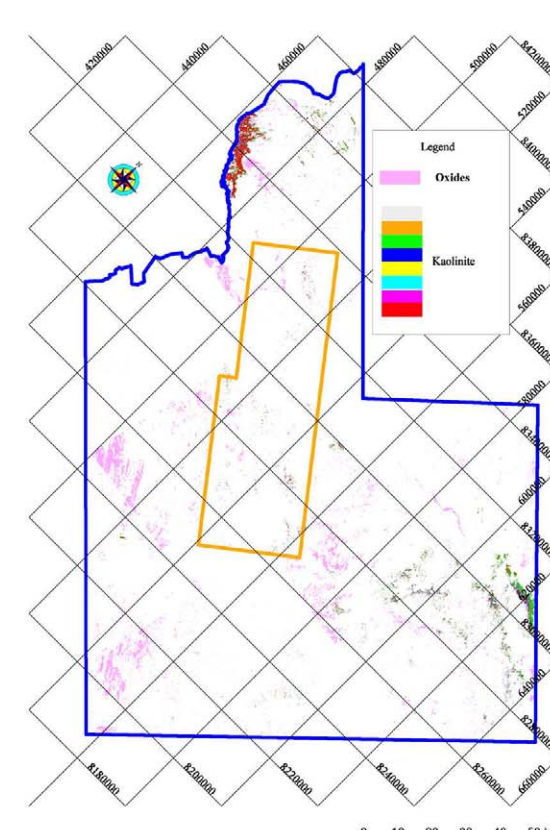
Iron Oxide Index with Alunite Index



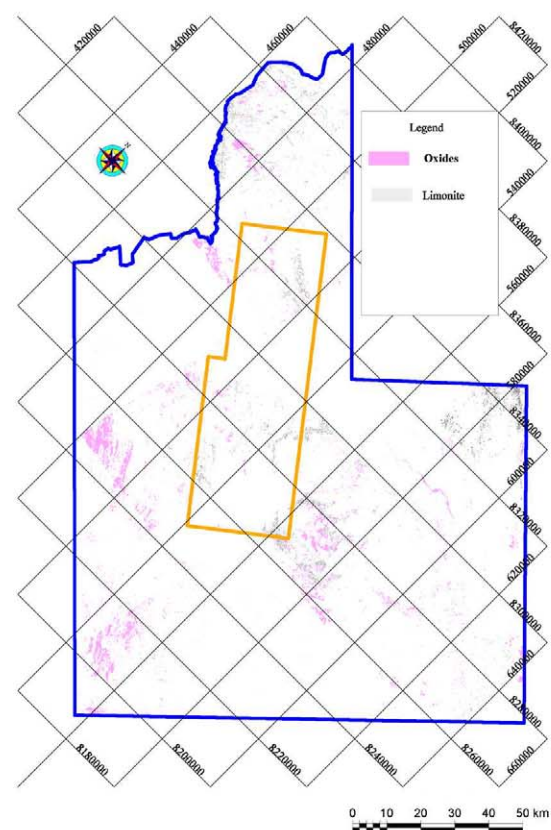
Iron Oxide Index with Chlorite Index



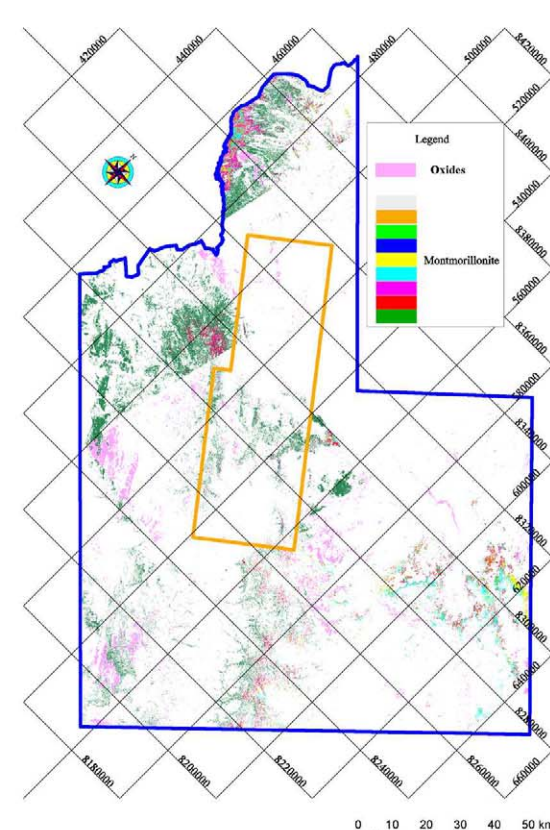
Iron Oxide Index with Epidote Index



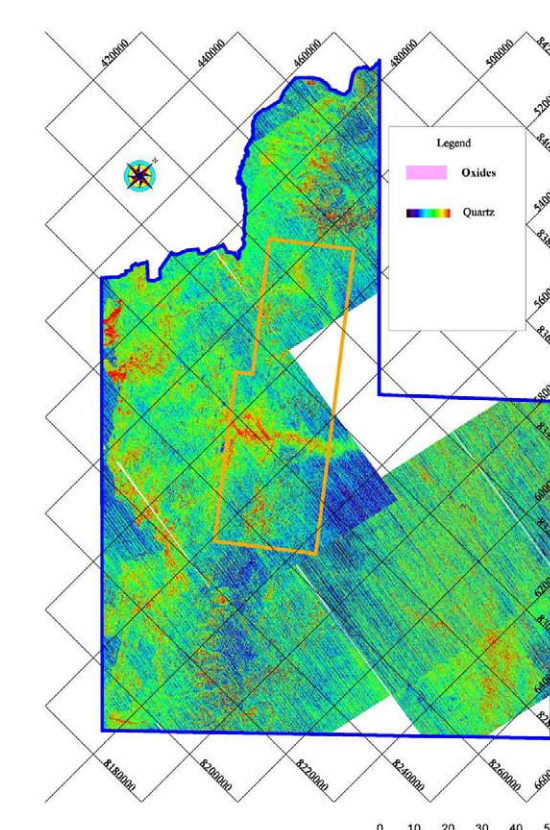
Iron Oxide Index with Kaolinite Index



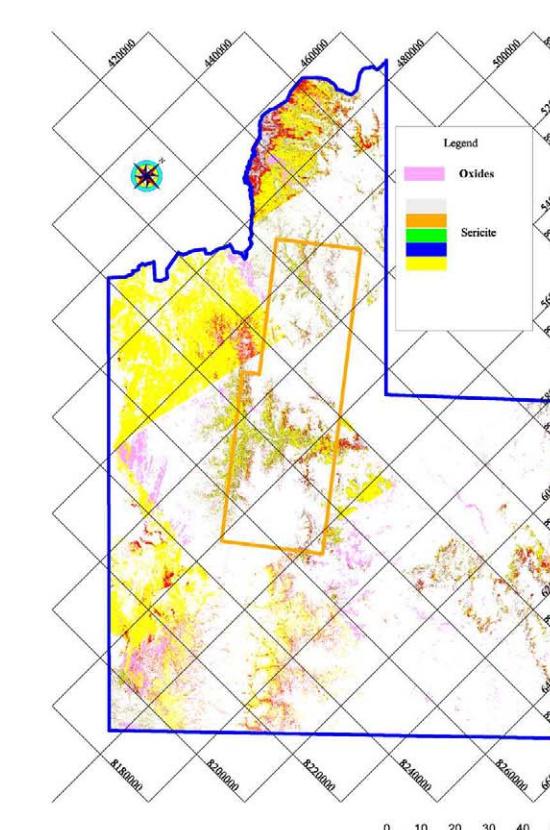
Iron Oxide Index with Limonite Index



Iron Oxide Index with Montmorillonite Index



Iron Oxide Index with Quartz Index



Iron Oxide Index with Sericite Index

第9図 鉱物分布図(調査対象地域)

- ②カオリナイト-明礬石
- ③酸化鉄指数
- ④褐鉄鉱-緑簾石

グループ①は湖岸沿いあるいは河川沿いの沖積層、崩積層、崖錐等の分布にほぼ一致するものであり、全体としては連続性良く抽出され、調査対象範囲全域に分布する。グループ②は特定区域に抽出鉱物分布が集中するが、地質構造との関係は不明瞭である。グループ③はただ 1 個の例でありその特徴を一般化することは出来ないが、①と②の性格を兼ね備えたものと見なされる。即ち、大局的には断続する河川沿いの分布に加え、特定区域に分布が集中するパターンであると解される。グループ④は調査対象範囲全域に散点状に分布し、広域的分布の特徴が掴めないものである。

1-4-2 地化学探査地域

1) リニアメント

地化学探査地域内で抽出されるリニアメントおよびリニアメントのローズダイアグラムを第 10 図に示す。ローズダイアグラムから読み取れるリニアメントの方向性は、NW-SE 系に卓越し NNE-SSW 系、E-W 系がこれに次ぐ。

第 14 図に示す地化学探査により得られた地質図と対比すれば、調査地域中央部を縦走する Cordillera Real 断層に重複するリニアメントは少なく、その両側に若干連続するリニアメントが抽出されるにすぎない。調査地域南西縁に推定された古生界と中生界を境する断層は、前節にて記載したデボン系に分布する NW-SE 系のリニアメント高密度分布域に重複する。その一部のリニアメントがソラタの北西および南東部に抽出される。NE-SW 系および N-S 系のリニアメント高密度分布域として抽出された区域にはそれぞれ推定断層が記載され、Cordillera Real 断層を転移させている。

これらのリニアメントと既知鉱微分布との間には明瞭な関係は認められず、本地域における鉱脈型の鉱化作用は小規模な裂罅系に依存するものであろうと推定される。

2) 抽出鉱物分布 (第 11 図)

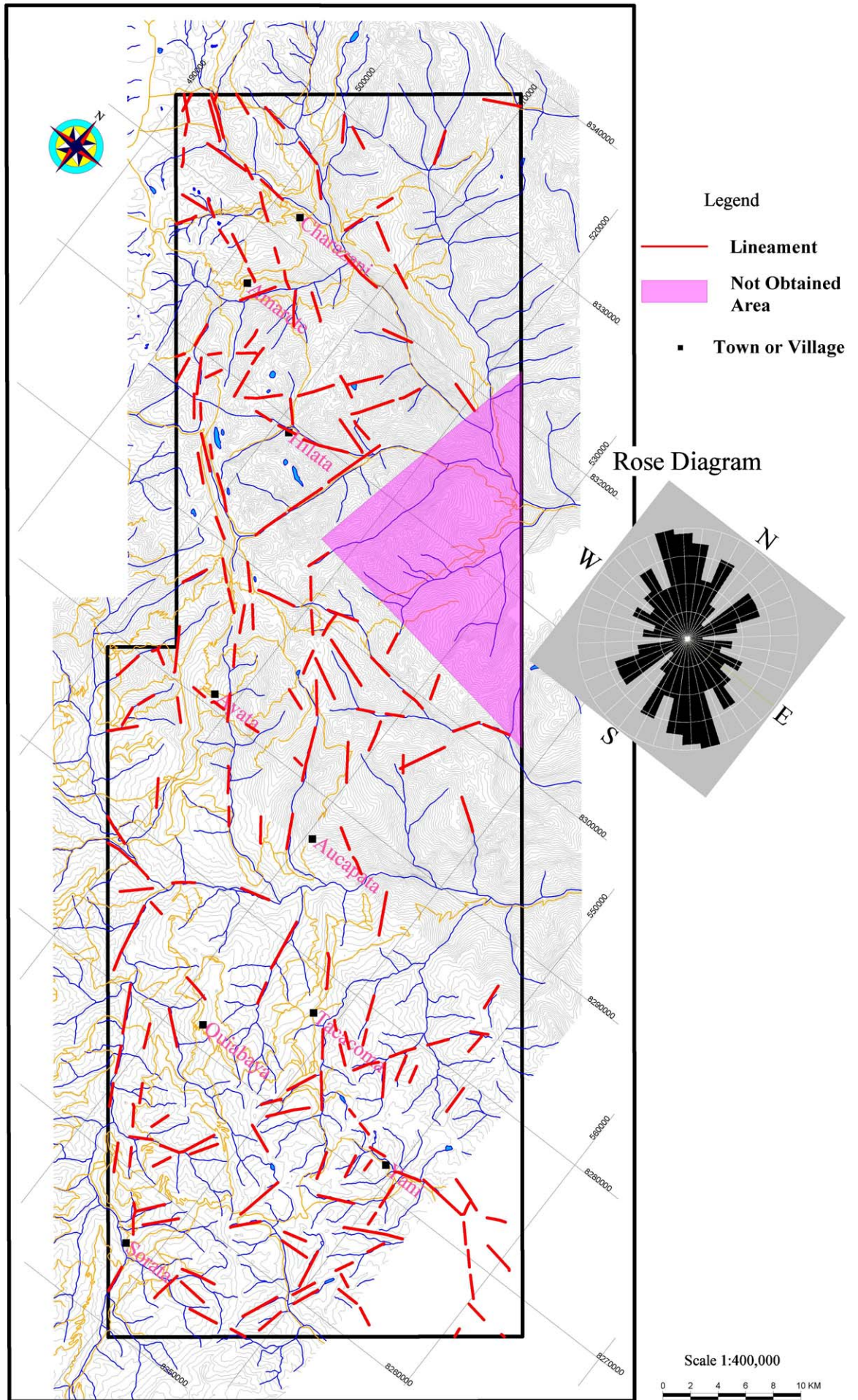
- ・石英指数；河川沿い、特にジカ川とその支流およびこれらを構成する山腹斜面に高抽出部が分布する。更に、ソラタの北の山稜部に若干集中して分布する。既知鉱微との関係は不明瞭である。

- ・酸化鉄指数；チャラサニ～アマレッテ周辺、アヤタ～タカコマ間および調査地南西外縁部に断続的に分布する。これらは推定構造線、褐鉄鉱染帯および中成層分布域にほぼ重複する。既知鉱微とも一部は重複するが、大多数は重複しない。

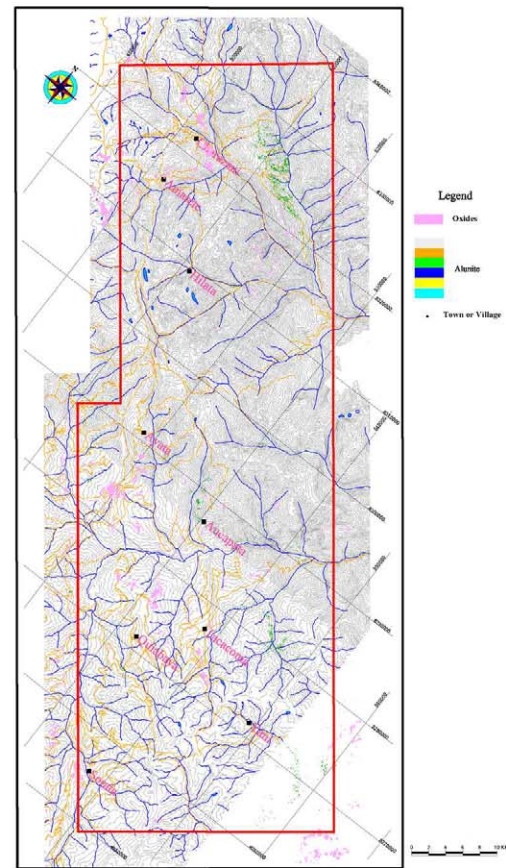
- ・褐鉄鉱；チャラサニ東部、ジカ川南岸部、ヤニ東部およびキアバヤ南西部に若干まとまりが認められる。これらは褐鉄鉱ヤケ帯～赤紫色変色帯分布域にほぼ一致する。また、これらの分布域には一部の既知鉱微も分布するが、大多数は既知鉱微分布と一致しない。

- ・明礬石；チャラサニ東部、アウカパタ周辺、タカコマ北東部およびヤニ東部に若干まとまりが認められるが、地質構造との関係は不明瞭である。既知鉱微分布とも一致しない。

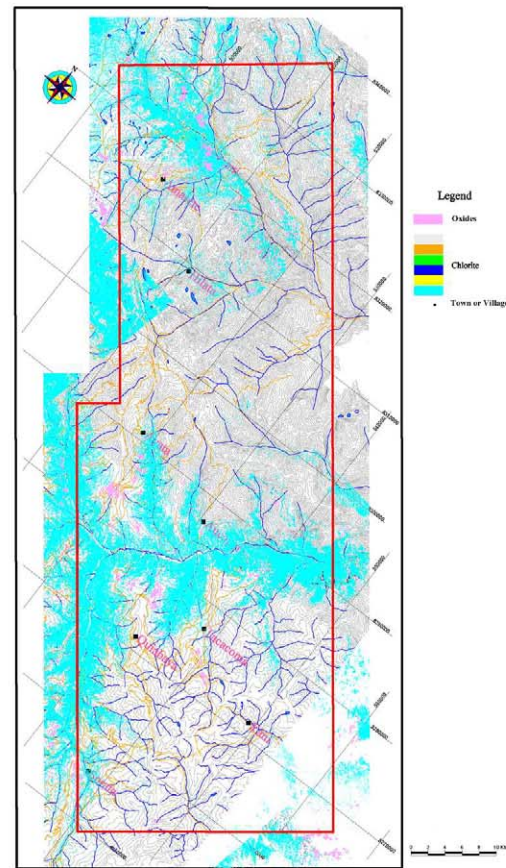
- ・モンモリロナイト；河川沿いの分布をなす。特に、開墾が進み植生に乏しいジカ川の両岸の崩積層および崖錐分布域にほぼ一致する。既知鉱微とも一部重複するが、全



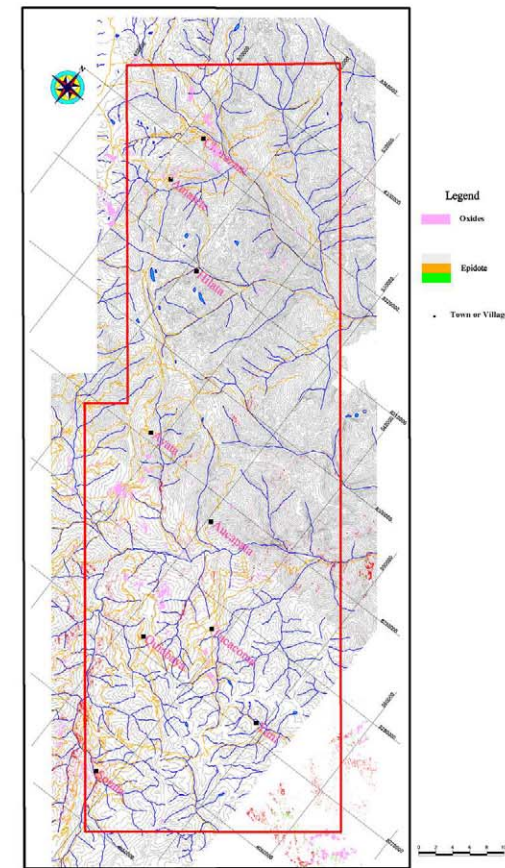
第 10 図 リニアメント解析図 (地化学探査範囲)



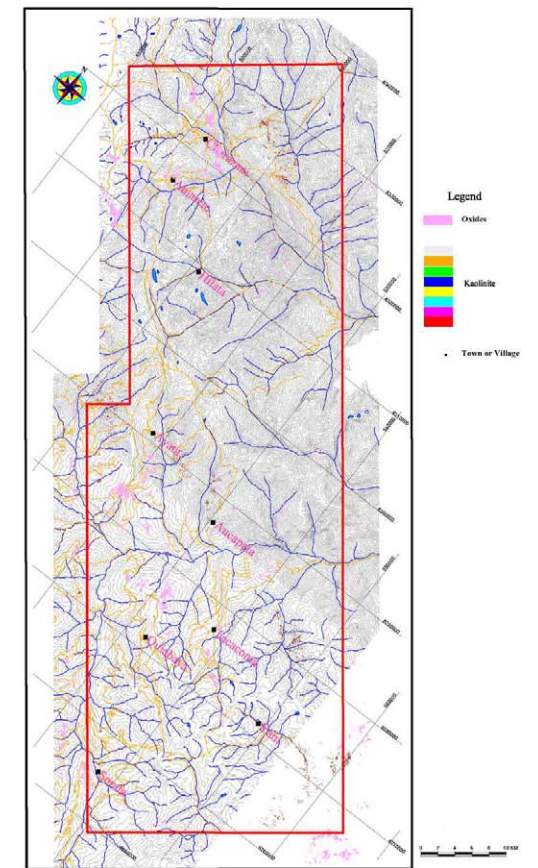
Iron Oxide Index With Alunite Index



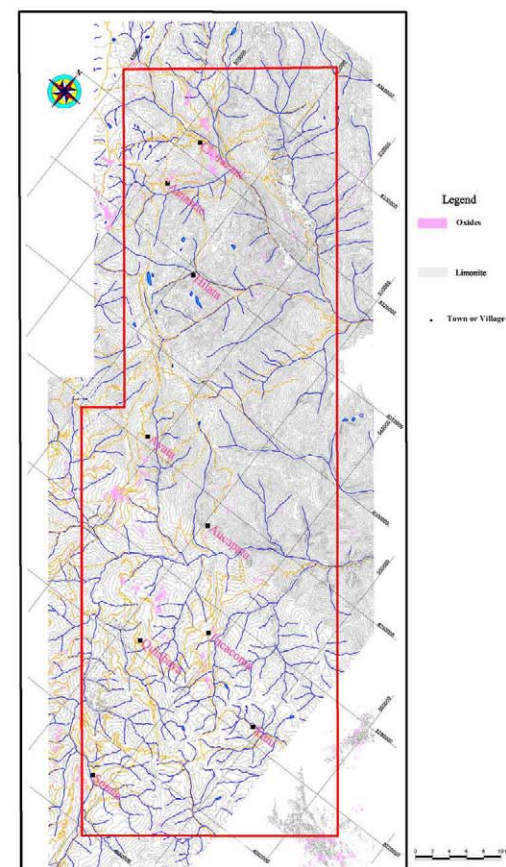
Iron Oxide Index With Chlorite Index



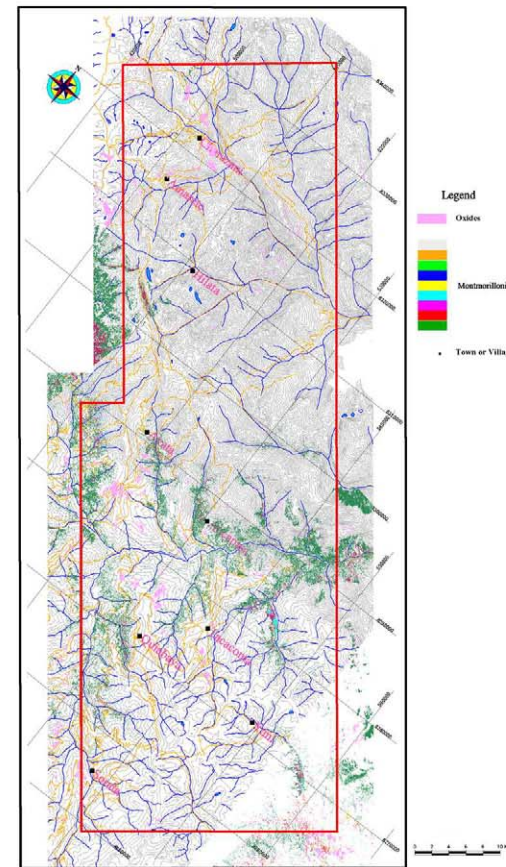
Iron Oxide Index With Epidote Index



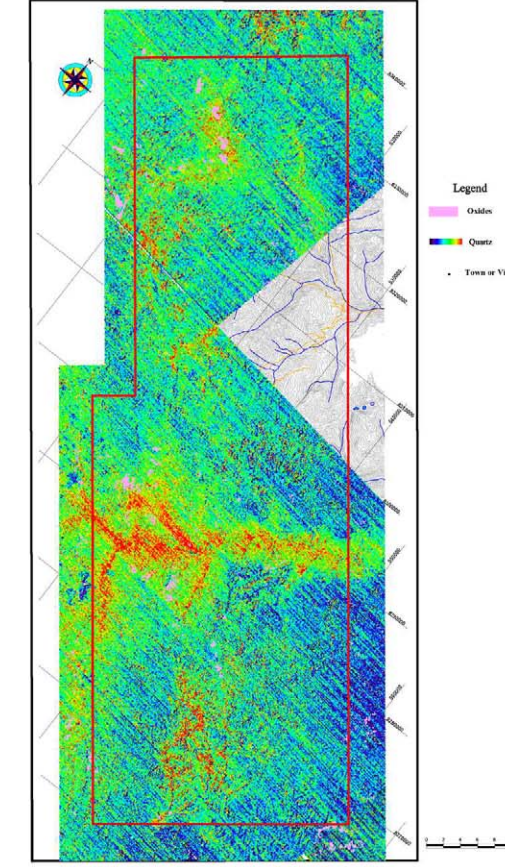
Iron Oxide Index With Kaolinite Index



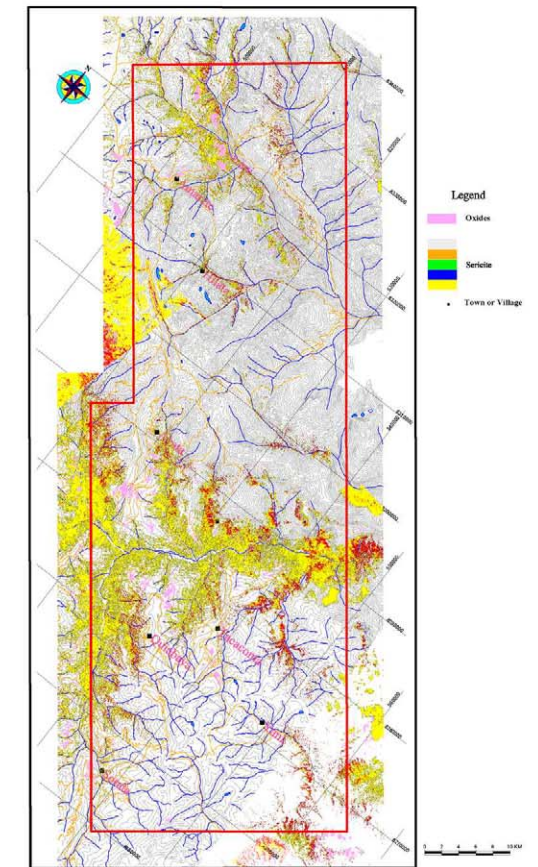
Iron Oxide Index With Limonite Index



Iron Oxide Index With Montmorillonite Index



Iron Oxide Index With Quartz Index



Iron Oxide Index With Sericite Index

第 11 図 鉱物分布図 (地化学探査地域)

体としては関連性に乏しいが、タカコマ北部の高異常帯およびヤニ川下流域に連続する異常帯は、現在稼行しているカルガニ(Cargani)鉱山およびドスデマヨ共同組合等の漂砂鉱床採掘場にほぼ一致する。

・カオリナイト；チャラサニ北東部、アヤタ周辺、タカコマ北東部およびヤニ東部に若干まとまった分布をなす。これらの分布と地質構造との関係は不明瞭であり、既知鉱徴との関連性も認めがたい。

・絹雲母；全体としては河川沿いの分布をなす。特に、開墾が進み植生に乏しいジカ川の兩岸の崩積層および崖錐分布域にほぼ一致する。その中でも高異常抽出域がアヤタ周辺、アウカパタ周辺、タカコマ北部およびキアバヤ西部に認められる。これらの高異常抽出域には既知鉱徴位置と一致するものが多い。

・緑泥石；河川沿いの分布をなし、山腹の崩積層および崖錐分布域にほぼ一致する。地質構造および既知鉱徴の分布との関係は不明瞭である。

・緑簾石；不明瞭では有るが、調査地中央部以南のジカ川およびその支流に沿って散点状に抽出される。また、ヤニ東部にも散点するが、本地点には地形図が無く特徴は掴めない。これらの分布と地質構造および既知鉱徴分布との関連性は認めがたい。

3) 抽出鉱物分布の特徴

抽出鉱物の分布パターンを概観すれば、次の3グループに分類し得る。

①石英指数-緑泥石-絹雲母-モンモリロナイト-緑簾石

②カオリナイト-明礬石-褐鉄鉱

③酸化鉄指数

グループ①は河川沿いの沖積層、崩積層、崖錐等の分布にほぼ一致するものであり、全体としては連続性良く抽出されている。が、地質母岩との関係、既知鉱徴との関係は不明瞭である。グループ②は特定区域に抽出鉱物分布が集中することから、鉱化示徴を示唆する可能性を秘めている。グループ③はただ1個の例でありその特徴を一般化することは出来ないが、①と②の性格を兼ね備えたものと見なされる。即ち、大局的には断続する河川沿いの分布に加え、特定区域に分布が集中するパターンであると解される。

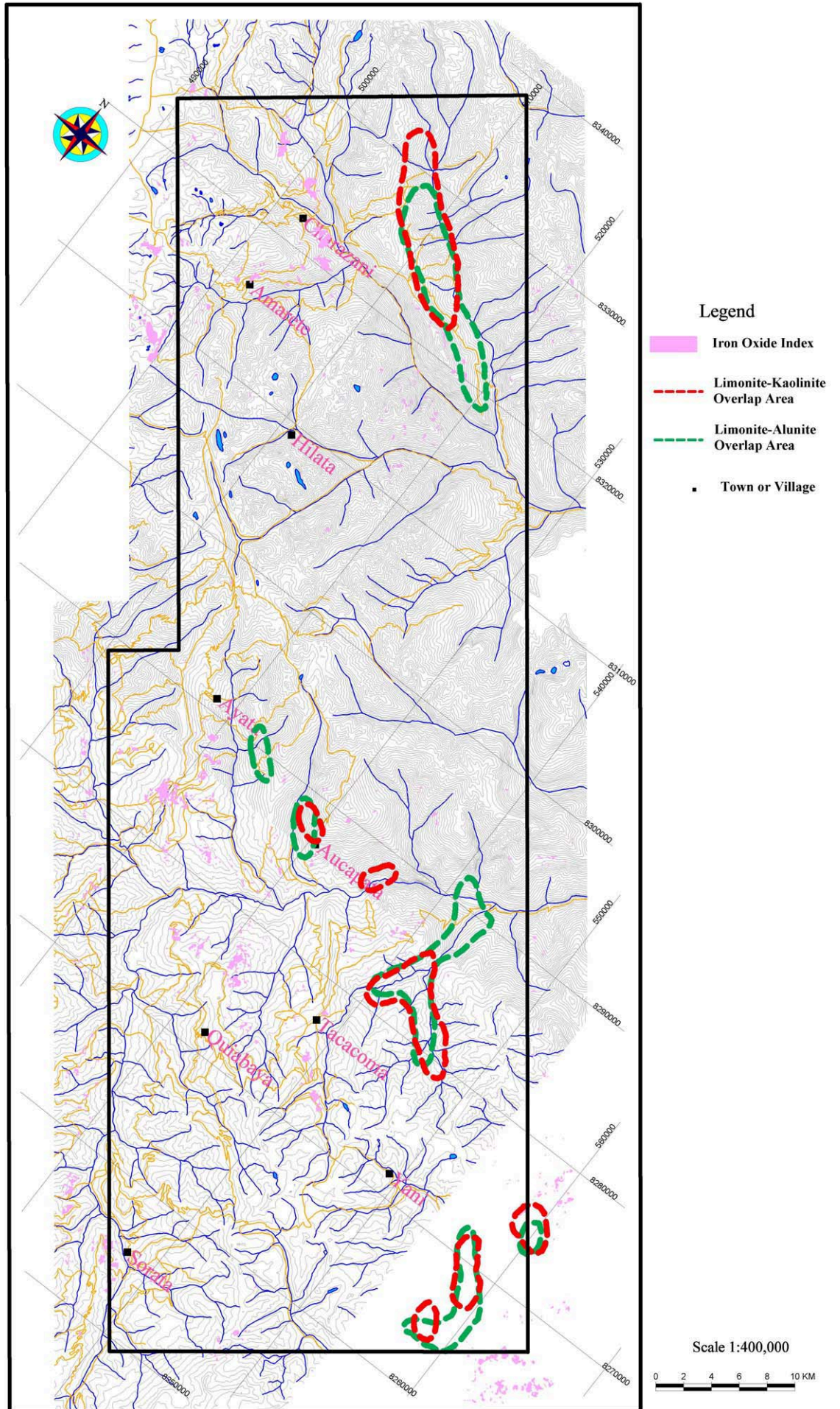
1-5 考察

広域的な調査対象範囲における解析結果と局所的な地化学探査範囲における解析結果とは、基本的には同一の結果が出るべきであるが、解析に供した地質図の精度、既知鉱徴位置の精度などにより解析結果に若干の差異が生じる可能性が有る。

既存資料の解析により得たデータは、ASTER 画像解析に供するには精度的に合致していないと考えられる。また、既知鉱徴位置を引用した Cordillera Proyecto にて作成された河川図における河川の屈曲と緯距経距の関係も画像から解析される河川の屈曲と緯距経距の関係とが一致しない等の問題点が存在する。したがって、地質に関しては ASTER 画像の地質判読を実施し、画像処理・解析結果との照合を行うべきであろう。

地化学探査範囲についても、今年度調査は予察調査程度の精度しかなく、十分な地質調査が実施されていない。地質層序および地質構造の把握が不十分であり、今後のデータの補完が望まれる。

これらの欠陥を考慮して画像解析結果を考察すれば、広域的な抽出鉱物の分布パターンと局所的な抽出鉱物の分布パターンとは、基本的にはほぼ一致すると見なすことがで



第 12 図 要調査区域抽出図 (画像解析)

きる。広域分布パターンのグループ①～③は局所分布パターンのグループ①～③に、抽出鉱物の組み合わせは異なるが、その分布の特徴は一致する。

これらの分布パターンの内、鉱化変質作用の示徴として使用可能と考えられるのは、既存資料解析において‘調査が必要’と判断される区域抽出のための条件として結論された褐鉄鉱ヤケ賦存域の抽出になぞらえると、グループ③の酸化鉄指標がまず挙げられる。次いで広域分布パターンでは不明瞭であったが、局所分布パターンで褐鉄鉱を含むグループ②が注目される。この二つのグループの重複部が今後の要調査区域として抽出されるべきであると考えられるが、酸化鉄指標とグループ②とは殆ど重複しない。従って、グループ②と褐鉄鉱との重複部を要調査区域とする(第12図)。

なお、後述するヤニ型金鉱床の再配列に関与したとされる熱変成作用による変成鉱物の累帯配列が存在するとすれば、珪線石および堇青石にはASTERの6バンドに吸収帯があり、変成相の抽出・分帯の可能性が存在しており、今後の検討課題となる。

第2章 既存データ解析

2-1 解析の目的

既存資料を収集、整理、解析することにより、調査対象地域内の鉱床及び鉱微地の概要及び賦存状況を把握することを目的とする。収集、解析に供した資料は巻末の参考資料に示す。

2-2 地質

地質層序を概観すれば、古生代オルドビス紀から第四紀までの堆積岩類および火山岩類が、北西-南東方向に伸張して分布する。これらを用いて、上部デボン紀～下部石炭紀、上部三畳紀～下部ジュラ紀および新第三紀初頭の貫入岩類が分布する。地域北東部に古生界が分布し、南西部に向かい次第に若い時代の堆積岩類および火山岩類が分布する。

以下に、CIASER(1985)の地質層序区分に従い、YPFB(2000)による東部アンデス山脈地質構造区の記載を基に、堆積岩類および貫入岩類について、時代順に述べる。

2-2-1 古生界

1) オルドビス系

東部アンデス山脈の北部域では、上部オルドビス系のみが分布する。最も古い地質単元はコロイコ(Coroico)累層で深海性の泥質岩よりなる。主として黒色泥岩・頁岩であるが、詳細に見れば、基底部は褐灰色の成層した細粒砂岩であり、上部に向かい徐々に細粒化し、頂部では炭質黒色頁岩となる。Trilobite、graptolite、brachiopod等によりLlanvirnianに同定されている。コロイコ累層は砂質層が漸増しつつ上位のアムタラ累層に漸移する。アムタラ累層は数100mの層厚を有する砂岩-珪岩の互層よりなる。時に泥質岩を挟むことがある。オルドビス系の最上部は浸食作用により欠層し、不整合にてシルル系に覆われる。

オルドビス系は調査対象地域の北西部に広く分布する。泥質堆積岩類よりなり、一部は弱い広域変成作用を受ける。これらは黒色頁岩を主体とし、千枚岩、珪岩、シルト岩、砂岩等からなる。

2) シルル系

東部アンデス山脈の北部域では、基底部は浸食作用により欠層し、不整合にてオルドビス系を覆う。基底層はカンカニイリ(Cancañiri)累層と呼称される無層理塊状のダイアミクタイト層である。その上位に整合的に淡灰色～褐色珪岩、砂岩、シルト岩および緑灰色頁岩からなるヤヤグア(Llallagua)累層が分布する。更にその上位に浅海性の泥質堆積物よりなるウンシア(Uncia)累層が分布する。本累層からは稀にはあるがLudlovian(上部シルル系)を支持する化石が見いだされている。上部に向かい徐々に砂質層の挟みが多くなり、最初の砂岩層からカタビ(Catavi)累層と呼称される。本累層は陸成環境の影響を受けた浅海性堆積物よりなり、化石から上部シルル系(Pridolian)に同定される。

調査対象地域においては、基底部はダイアミクタイトよりなり、成層した珪岩、千枚岩、頁岩が墨重し、頂部は砂岩-シルト岩の互層となる。

3) デボン系

東部アンデス山脈の北部域では、基底部はカタビ累層を整合に覆うビラビラ(Vila Vila)累層と呼称される沿海性～デルタ性堆積物である偽層の発達する砂岩層とりなる。この上位に整合

的に深海性から浅海性堆積物よりなるベレン(Belén)累層が整合的に分布し、次いで浅海成～デルタ性の堆積物である砂岩層よりなるシカシカ(Sicasica)累層に漸移する。包含する化石から中部デボン系に対比される。更にその上位に同様の堆積環境における堆積物よりなるコジュパクチョ(Collpacucho)累層が整合関係で覆う。本累層の下部は砂岩を挟在する頁岩およびシルト岩よりなり上部は砂岩となる。産出する化石から上部デボン系～下部石炭系に対比される。

調査地においては頁岩、砂岩およびシルト岩よりなる。前述の記載に対応する層準は明確ではない。

4) 石炭系

東部アンデス山脈の北部域では、アンボ(Ambo)層群と呼称され、下位よりクマナ(Cumaná)累層、カサ(Kasa)累層、シリパカ(Siripaca)累層の3層に区分される。クマナ累層は氷河堆積物でありダイアミクタイト、砂岩、礫岩からなる。カサ累層は浅海～デルタ性堆積物であり小規模なダイアミクタイトを挟在する砂岩および頁岩よりなる。シリパカ累層は陸性～デルタ性堆積物で石炭層および植物破片を多量に含む砂岩からなる。これらの堆積物は何れも整合関係で累重する。産出する化石により Tournaisian～Serpukhovian(下部石炭系)に同定される。次いで整合的に海進期堆積物である礫岩薄層および頁岩を挟在する砂岩層よりなるヤウリチャンビ(Yaurichambi)累層が覆う。本累層の頂部に向チャートおよび苦灰岩薄層を挟在するようになり、沿海性～浅海性堆積環境へと変化し、コパカバーナ(Copacabana)累層に漸移する。本累層は珪質団塊や泥灰岩を伴う石灰岩からなり、時に砂岩および頁岩を挟在する。産出する化石により Bashkirian(上部石炭系)～Kungurian(下部二畳系)に対比される。

調査地域の東部アンデス山系ではダイアミクタイトの薄層を挟む砂岩・シルト岩の互層からなり、サブアンデスではダイアミクタイト、シルト岩、砂岩、砂質礫岩、最上部に砂岩および礫岩を挟むダイアミクタイトよりなる。前述の記載に対比すれば、記載される岩相から下部石炭系に相当すると解される。

5) 二畳系

東部アンデス山脈の北部域では、コパカバーナ累層に引続き風成層や河川堆積物を含むデルタ性～浅海性堆積物からなるチュタニ(Chutani)累層が累重する。本累層は長石質砂岩、石灰質シルト岩および苦灰岩の互層よりなる。産出する化石から上部二畳系～下部三畳系に対比される。

調査地域の東部アンデス山系では石灰質な頁岩および砂岩と互層する化石に富む石灰岩からなり、サブアンデスでは泥灰岩、頁岩、砂岩を挟在する化石に富む珪化石灰岩よりなる。前述の記載に対比すれば、記載される岩相からコパカバーナ累層に相当すると解される。

2-2-2 中生界

1) 白亜系

東部アンデス山脈の北部域では、下位層を不整合に覆い浅海性、沿海性、デルタ性、河川性、湖沼性、陸成の堆積物が分布する。下位よりプエルトアコスタ(Puerto Acosta)累層、パコバンバ(Pacobamba)累層、カラブコ(Carabuco)累層、マチルデ(Matilde)累層、アンコライメス(Ancoraimés)累層、ワラチャニ(Huarachani)累層およびオココヤ(Ococoya)累層等が記載されるが、層準の時代記載が少ないので全累層を簡単に記載する。

プエルトアコスタ累層は下部が石灰岩および砂岩を挟在する泥岩あるいは頁岩、上部が砂岩

よりなるデルタ性～沿海性環境が混在する浅海性堆積物で特徴付けられる。パコバンバ累層は基底部の礫岩相から順次細粒化し、細粒砂岩、泥岩と変化する河川堆積物よりなる。カラブコ累層は砂質岩であるが、下部は上部に向け粗粒となり、上部は逆に細粒化する河川堆積物である。マチルデ累層は石灰岩および苦灰岩よりなる石灰質岩で特徴付けられ、包含する化石により Cenomanian(上部白亜系)に対比される。アンコライメス累層は砂岩および石膏層よりなり、陸成湖沼堆積物および河川堆積物の特徴を有する。ワラチャニ累層は石灰岩および石灰質砂岩を挟在する頁岩で特徴付けられ、オココヤ累層は珪岩を挟在する珪質頁岩からなる。

調査地域の東部アンデス山系では礫岩、砂岩、泥岩、石灰岩および泥灰岩からなる。サブアンデスでは、基底部は赤色砂岩、団塊を含む礫質砂岩よりなり、頂部は泥灰岩や泥岩を挟む石灰岩よりなる。前述の記載に対比すれば、パコバンバ累層～マチルデ累層までの層準に対比できるが、サブアンデスの赤色砂岩については該当する記載が見当たらない。

2-2-3 新生界

1) 第三系

東部アンデス山脈の北部域では、下位層を不整合に覆い Cangalli 累層が分布する。サブアンデスの構造堆積盆を満たす礫岩層より成り、小規模な砂岩層および頁岩層を挟在する。また挟在する凝灰岩からは 9^{m} の放射年代が得られている。

CIASER(1985)図で第三紀溶岩として記載されるチャラサニの北部に分布する火山岩類は本文ではチャラサニ複合岩体として貫入岩類の項にて記載する。

2) 第四系

氷河堆積物、湖沼堆積物、段丘堆積物、地滑り崩落堆積物等が記載される。調査地域においては、急峻な地形と軟弱な地盤とが相俟って、地質図上に記載されない小規模な地滑り崩落堆積物が、至る所で観察される。

3) 現世堆積物

現世堆積物は谷、盆地、平原を小規模に満たす沖積層、崖錐が分布する。

2-2-4 貫入岩類

調査地域にはバソリスを形成する上部古生界および下部中生界の貫入岩類と新第三紀初頭の貫入岩類とが分布する。その年代と組成から以下のように区分できる。

(1) 上部古生界貫入岩

上部デボン紀から下部石炭紀にかけてのヘルシニアン変動期に貫入した貫入岩類で、ゾンゴヤニ花崗岩類と呼称され、調査地域南東部に花崗岩底盤の北西端が分布する。

角閃石を主体とする有色鉱物の弱い葉理構造を有する。更に、割目系を中心に金雲母が生成しており、後期の熱水～気成変質作用を蒙った形跡が強く残存する。K/Ar 年代は $40\sim 157^{\text{m}}$ (上部ジュラ紀～始新世)が得られているが、地質現象とは一致せず、後の熱変成作用による若返り年代を与えているものと考えられている。この火成活動期はチリグアナ期(Chiriguana Phase)と呼称される。

本貫入岩体周辺の母岩には、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属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する(Tistil, M. 1990)。

(2) 下部中生界貫入岩類

上部三畳紀から下部ジュラ紀にかけてのヘルシニアン変動期の後に貫入した貫入岩類で、東部アンデス山系の中軸部に貫入するNW-SEの伸張方向を有する底盤を形成する。調査地域においては、ゾンゴ-ヤニ花崗岩類の西側に位置するイヤンプ花崗閃緑岩体および北西延長に分布するアマレッテ花崗閃緑岩体が分布する。

これらの岩体は比較的新鮮であり、その周辺に対する変質作用は極微弱であるが、本調査地域の錫-タングステン鉱化作用に関与したと考えられている。K/Ar年代は219~204^{my}が得られており、上部三畳紀に対応する。この火成活動期はコーヤ期(Kolla Phase)と呼称されている。

(3) 新第三紀貫入岩類

新第三紀初頭のアンデス造山期に貫入した花崗閃緑岩質半深成岩類で岩株を形成し、チャラサニ複合岩体と呼称される。調査地域においては、その北端に岩株の南半分が分布する。岩質は流紋岩質、デイサイト質、花崗閃緑斑岩質、花崗閃緑岩質と変化に富む。

本岩体の絶対年代の測定はなされていないが、調査地域南方の類似岩体でのK/Ar年代は28~19^{my}(漸新世~下部中新世)が得られている。これらの岩体は本調査地域の錫-タングステン鉱化作用に関与したと考えられている。

2-3 地質構造

本調査地域の地質構造は、いわゆるアンデストレンドに調和的なNW-SE方向が顕著に認められる。褶曲構造は比較的穏やかであり、一部には引き摺り褶曲を伴うが、大局的には500~1000mの周期を持つ背斜-向斜を繰り返す複合背斜構造を成すものと考えられる。背斜部では引き摺り褶曲に伴う高角度の逆断層が時に認められるが連続性に乏しい。断層構造も圧縮応力場に対応する走向断層、特に黒色頁岩中の層内滑り、が極めて普遍的に認められる。また展張応力場に対応する横断断層がNE-SWあるいはN-S方向を持ち走向断層に斜交する。ジュラ紀前期には展張応力場でのグラールベン等の垂直構造運動が惹起された。

調査対象地域の中央部にはブラジル盾状地に属するグアポーレ剛塊とアンデス造山帯を包含するアレキパーワリーナ地塊とを境するNW-SEの伸張を有するCordillera Real断層帯が分布するとされるが、図幅によりその位置は異なり、断層帯の位置の確定には今後の詳細調査が必要となる。

2-4 鉱床

ボリヴィアの鉱床生成区を概観すれば、西側から西部アンデス・アルティプラノ多金属鉱床帯、錫鉱床帯、東部アンデス縁辺多金属鉱床帯がアンデス山脈沿いに並行し、ベニアナ-チャコ平原では北部のアマゾン川沿いにアマゾン砂金堆積盆が知られるのみである。ブラジル盾状地の一面を成すグアポーレ剛塊では西縁部にスンサス(Sunsas)多金属鉱床帯、その南にムツンツカバカ(Mutun-Tucavaca)鉄-マグネシア鉱床帯、東縁に含金マンガン鉱床帯が分布する。調査対象地域は、この区分に従えば、錫鉱床帯および東部アンデス縁辺多金属鉱床帯に位置する。

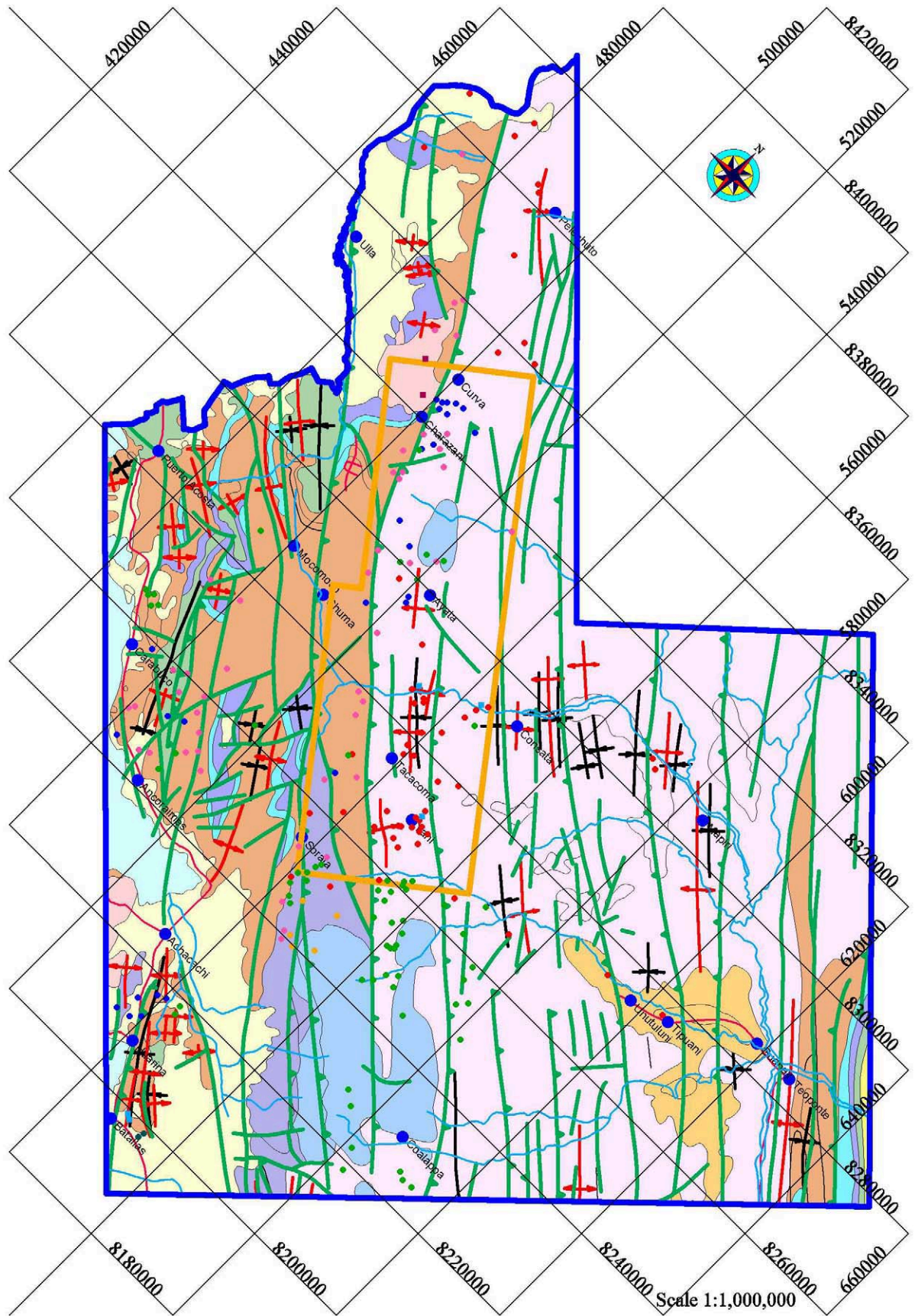
調査対象地域内に記載される既知鉱床および鉱徴はCordillera Proyectoの鉱徴地分布図を

参照すれば、201 箇所が記載されている(第 3 図)。その鉱種の内訳は、錫-タングステン鉱徴 63 箇所、金鉱徴 53 箇所、銅・鉛・亜鉛鉱徴 45 箇所、アンチモン鉱徴 26 箇所、モリブデン鉱徴 5 箇所、ウラン鉱徴 2 箇所、バリウム-水銀鉱徴 2 箇所および鉱種不明 5 箇所である。これらの鉱徴の分布は、調査対象地域中央以北に金および銅・鉛・亜鉛鉱徴が、南部に錫-タングステン鉱徴が位置する。アンチモン鉱徴の分布は銅・鉛・亜鉛鉱徴の分布に重なるものが主体をなす。地化学探査地域に分布する既知鉱床および鉱徴を鉱種別に分類すれば、金銀を含む鉛・亜鉛鉱徴 19 箇所、金鉱徴 18 箇所、アンチモン鉱徴 12 箇所、錫鉱徴 7 箇所、タングステン鉱徴 4 箇所、錫-タングステン鉱徴 4 箇所、ビスマス(-錫-タングステン)鉱徴 1 箇所、錫-鉛鉱徴 1 箇所、ウラン鉱徴 1 箇所および鉱種不明 4 箇所の合計 71 鉱徴が記載される。これらの鉱徴の賦存位置を概括すれば、金鉱徴は調査地域を二分するジカ川の南部に主として分布する。特にヤニ周辺に密集する分布を成す。鉛亜鉛鉱徴は金鉱徴ほどには偏在せず、調査地域全域に分布するが、北部域に若干偏った分布を成すと見ることが出来る。アンチモン鉱徴はジカ川の南部には 2 カ所に認められるのみであり、大半は北部域に分布する。錫およびタングステン鉱徴はそれぞれ 1 カ所の記載しかないビスマス(-錫-タングステン)鉱徴および錫-鉛鉱徴を含め、北部および南部共に貫入岩類、特に花崗閃緑岩類、の周辺に分布していると見ることが出来る(第 13 図)。

金鉱徴がヤニ周辺に偏在することは、新たな知見に基づく解釈とも相俟って興味深い。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、硫化物中の金がヤニ-ゾンゴ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)。ヤニ-ゾンゴ花崗岩類は貫入母岩に接触変成作用をもたらす変成鉱物の累帯配列が認められることは前述した通りである。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。

金の鉱化に関与する硫化物層準は上部オルドビス系(Caradocian)のアムタラ(Amutara)累層中の変砂岩中に胚胎する 30~50m の層厚を有する黒色頁岩中に位置する。鉱化層準には層状に鉱染した比較的多量の細粒黄鉄鉱が認められ、その硫化物を含むレンズの厚さは 1~2m に達する。露頭部では酸化し褐鉄鉱化したヤケ帯(ゴッサン帯)を形成する。マント型金鉱化作用は非常に不規則であり、その層厚は数 cm~1m の範囲にあり、平均すると 10~20cm である。含金石英レンズの走向方向は一般に母岩の走向と調和的であるが、傾斜は変化に富む。構成鉱物は石英が 96 vol. %以上を占め最も多く、少量の黄鉄鉱、硫砒鉄鉱および緑泥石を伴う。時に、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、磁硫鉄鉱および曹長石を伴う。灰重石が早期晶出鉱物として認められることがあるが、錫石や鉄マン重石は認められない。金鉱物は自然金のみであり、葉状または片状に石英と共生するか、石英粒の縁辺部に晶出している。

錫鉱化作用については従来より東部アンデス中軸部に貫入した下部中生代の花崗閃緑岩質貫入岩に由来するとされているが、鉱脈型の鉱化作用のみならず、シルル系の珪岩中のマント型鉱化作用についても、首都ラパスの北東部に位置するケジュワニ(Kellhuani)鉱山において、随伴する白雲母の K/Ar 年代で 213 ± 5^{my} (McBride, et al., 1983) が得られており、同時期の鉱化作用であることが確認された。マント型錫鉱床は珪岩中に発達する網状石英細脈に伴われるとされており、砂岩・珪岩等の硬質岩の珪化変質帯に伴われる鉱化作用であると解することが出来る。調査地域内のアマレットに所在する San José 鉱山も同種の鉱化作用であると記載される (Lehmann, B., 1990)。



Legend

- | | | | |
|------------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| • Au(53 located) | • Sn W(63 located) | • Ba Hg(2 located) | Project Area |
| • Cu Pb Zn(45 located) | • Mo(5 located) | • Unknown(5 located) | Field Survey Area |
| • Sb(26 located) | • U(2 located) | | |

第 13 図 既存データ解析図

2-5 考 察

調査地域には、オルドビス紀から第四紀までの堆積岩類が、北西-南東方向に伸張して分布する。これらを貫いて、上部古生界および下部中生界の貫入岩類と新第三紀初頭の貫入岩類とが分布する。大局的には調査地域北東部にオルドビス紀の泥質岩を主体とする堆積岩類が分布し、南西部に向かい次第に若い時代の堆積岩類が分布する配列を成すと見ることが出来る。

本調査地域は鉱床生成区分では、錫鉱床帯および東部アンデス縁辺多金属鉱床帯に位置する。近年になり東部アンデス山系の東斜面およびサブアンデス以東の河川沿いにおいて砂金が採掘され始め砂金鉱床地帯として脚光を浴びるに至った。河川沿いには隙間無く砂金採掘鉱区が設定されており、その盛況ぶりが窺える。砂金の源は従来西部に分布する多金属鉱床帯に由来するとされていたが、ヤニ地区における金鉱床の胚胎形式が明らかになるにつれ、新たな源が想定されるに至った。含金卑金属鉱化帯は先述の通り調査地域の北部域に主として分布しており、南部域下流部に分布する砂金鉱床帯との関連は付けがたい。南部域の中心にあるヤニ地区の金鉱化帯が砂金鉱床の源の一つであるとする考え方は、また同様の鉱化作用が北部域にも存在しうる可能性を指摘しうる。

ヤニ地区の金鉱化作用に最も関与したとされるヘルシニアン変動期に貫入した花崗岩類はヤニ南方にのみ記載されているが、鉱床胚胎母岩であるオルドビス系は広範に分布しており、潜在する同種岩体が存在するかどうかは今後の北方域における広域的探査には重要となる。南方域については、花崗岩体本体が連続し、かつオルドビス系の低変成域も記載されている(Schneider, H. J., 1990)ことから、本年度の調査範囲のみならず、調査対象地域全域が要調査範囲として抽出しうる。

珪化硬質岩に胚胎するマント型錫鉱床は、興味深い調査対象ではあるが、錫市場の低迷を考慮すれば、高品位鉱床あるいは大規模鉱床の可能性が無い限り、調査対象としての順位は低いものと判断される。

以上を総括すれば、既存資料解析から得られる‘調査が必要’と判断される区域を抽出するための要件は、次の2項目に要約することができる。

- ①低変成度オルドビス系の分布域抽出
- ②低変成度黒色頁岩分布域中の褐鉄鉱ヤケ賦存域抽出

第3章 地化学探査

3-1 調査の目的

調査地域内の地質・地質構造と多金属鉱脈鉱床および中熱水性金鉱床の鉱化作用との関係を把握し、変質帯の特性および地化学探査における元素の分布状況を考慮し、鉱床賦存の可能性の高い有望地域の抽出を行うことを目的とする。

3-2 調査の方法

3-2-1 調査範囲の選定

調査対象範囲の面積 18,400km²の中から日本国内で入手できた調査地域の地質・鉱床データ解析により、以下の判定基準で第1年次調査範囲 2,500km²を抽出した。

- ① 既知鉱床・鉱徴の分布が卓越する区域、
- ② 層状金鉱床および層状錫鉱床胚胎の可能性の高い区域、
- ③ 道路密度の高い区域および
- ④ 万年雪に覆われていない区域

本判定基準に照らせば、②に該当する古生界オルドビス系およびシルル系分布域である東部アンデス中軸部およびサブアンデスに対象地域が限定されるが、①および③からサブアンデスが除外され、④から調査対象地域中央部が抽出された。

3-2-2 試料採取位置の選定

抽出した地化学探査範囲の縮尺 1/10 万地形図を基に調査密度が均一になる様な採取地点配置を予め日本国内で行い、ボリヴィア側の採取地点計画との擦り合わせを現地入山前にラパスにて行い実行案とした。実行案は縮尺 1/10 万地形図を拡大した縮尺 1/5 万地形図に転記し、調査の基本図とした。

実行案は現地の道路状況、地形状況および植生状況等を勘案すれば、限られた調査期間では実行不可能なことが調査実施の前半に判明したため、主要河川沿いの試料採取を優先する修正案を作製し実施した。

3-2-3 調査班の編成

調査団は日本人7名、ボリヴィア側カウンターパート名の総勢14名であり、当初日本-ボリヴィア各1名に現地案内人兼助手として1~3名の現地雇員を1班として、7班体制で調査開始したが、提供されたDEMに記載される道路は車道と人馬のみが通行可能な小道との区別無く記載されていたため、予定した試料採取地点へのアクセスに多大の時間が割かれる事となった。

これを解消するため、1名1班の道路状況確認および前進キャンプ地確保班を編成し、調査地域全域を先行踏破させた。

ベースキャンプを設けた南部のソラタからは、ヤニ、タカコマ(Tacacoma)、キアバヤ(Quiabaya)、カスカベル(Cascabel)およびムルムタニ(Murmutani)に、また北部のチャラサニからは、アヤタ(Ayata)およびアウカパタ(Aucapata)等の前進キャンプに日-ボ各1名からなる調査班2~3班を各地1~2泊の予定で派遣し調査効率の上昇を目指した。

また、車道が無く馬・ロバによるキャラバン調査を余儀なくされる区域の内、調査地域北東部のケジュワコタ(Quellhuacota)川沿いは、ボリビア側カウンターパートのみからなる調査班を編成し、地化学探査試料採取空白地帯の解消に努めた。

3-2-4 試料採取方法

沢砂地化学探査試料は、主要河川と枝沢の合流点の直上流部で、両者から沢砂試料を採取することを原則とした。各試料採取地点では、原則常時作動させている GPS のポインティングを行い、UTM 座標および標高を確定記録し、河床状況、転石の種類、川幅、流速・流量、試料採取位置、河川水の温度・pH 等各種データを記録しつつ、分析源試料として ASTM30 メッシュの篩分け下を最低 2kg を目安に採取した。これらの作業には、1 地点あたりほぼ 1 時間を要した。更に、20 地点にほぼ 1 個の割合で、同一地点の沢砂重複試料を採取した。

パンニング地化学探査試料は、沢砂試料のほぼ 10 地点に 1 個の割合で採取し、更に 10 個に 1 個を目安にパンニング重複試料を採取した。

3-2-4 試料調整および分析

現地で採取した分析元試料を定められた分析供試料とするためには、風乾後 ASTM150 メッシュの篩分けが必要であるが、現地は雨季であり天火乾燥することが出来ず、かつベースキャンプで風乾するための場所を確保することも出来なかったため、分析元試料そのものをオルロ (Oruro) にある Chemex 分析所に送付し、分析試料調整を依頼した。

Chemex-Oruro で風乾後篩分けした試料は、カナダの Chemex 分析所へ直送し、所定の分析を実施した。

3-2-5 地質調査

沢砂試料採取地点への移動には常時 GPS を作動させ、携行する 1/5 万地形図と照合し、地点の確認を行いつつ地質状況を観察・記録し、1/10 万の地形図に転記しルート調査図とした。本調査では、選定された調査地域がオルドビス紀～シルル紀の泥質堆積岩分布域であり、両者の岩相が非常に類似しているため、更に時代対比に必要な化石採取の時間的余裕も無かったため、貫入岩分布域を除き、殆どの区域が砂岩を挟む泥質岩一色の岩相分布図となる。

その中で、鉍化作用の目安となる鉄焼け帯は、出きるだけ洩らさぬように記載した。更に、石英脈ないし石英細脈を含む地点では、露頭の産状確認のための写真撮影をすると共に、鉍石分析試料採取を行った。

代表的な地質單元および鉍石試料に付いては、試料採取を行い 6×4×2cm に整形し、保管した。これらの中から薄片作製試料、鉍石研磨片試料、X 線回折分析試料、流体包有物温度測定試料等の室内試験用試料を調整した。

3-3 調査結果

地化学探査結果を把握するためには、地質状況の把握が前提条件となる。したがって、本年度調査により判明した地質状況をまず始めに記述し、地化学探査結果を解析することとする。

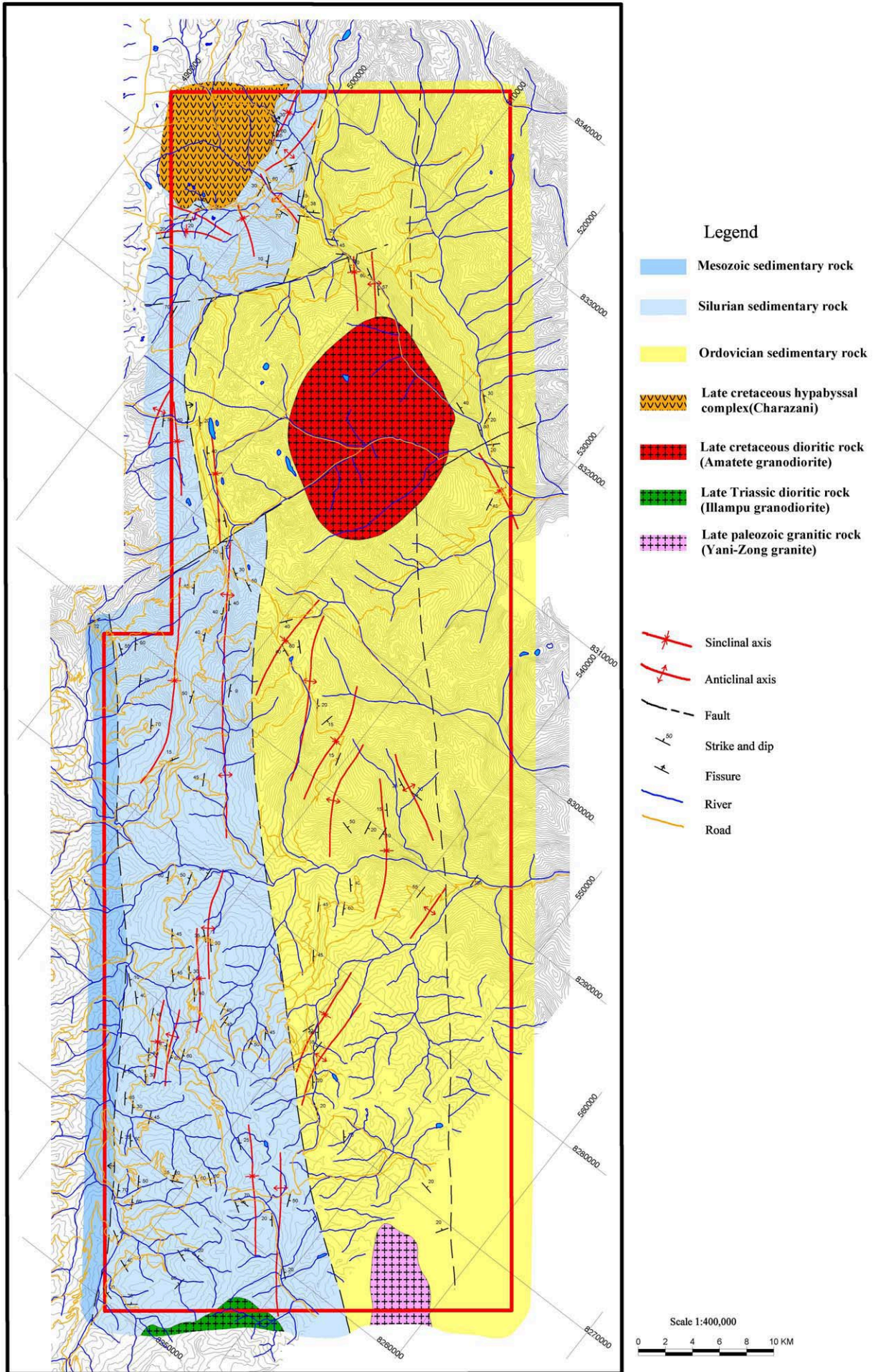
3-3-1 地質調査

本年度調査により得られたルートマップを別添資料 1 に、これを基に既存資料と合わせ作製した地質図を Pl. 1 および第 14 図に、模式層序表を第 6 表に示す。

既存資料解析の項で記載した Cordillera Real 断層は、本年度調査では確認することが出来なかったため、1/100 万地質図 (SERGEOMIN, 1998) を参考に想定し記載した。また、各地層の地質時代区分も同資料を優先的に、CIASER (1985) を補助的に参照し作製した。

第6表 模式層序表

System	Series	Stratigraphic Unit		Igneous Activity		
		Fomations	Lithology			
CENOZOIC	Quarternary	Holocene		glacial sediments, lacustrine deposit, colluvium, alluvium	Hydrothermal activity in Yani-Zongo area 35.3±1.0 ^{my} K/Ar (biotite)	
		Pleistocene				
	Tertiary	Neogene	Pliocene			
			Miocene	Cangallí F.		conglomerate with sandstone and shale
		Paleogene	Oligocene			
			Eocene			
			Paleocene			
MESOZOIC	Cretaceous	Upper	Ococoya F.	siliceous shale with quartzite	Amarete granodiorite 93.4±2.6 ^{my} K/Ar (biotite) Charazani hypabyssal complex 94.9±2.6 ^{my} K/Ar (biotite) 97.7±2.5 ^{my} K/Ar (whole rock)	
			Huarachani F.	shale with limestone and calcareous sandstone		
			Ancoraimes F.	sandstone with gypsum		
			Matilde F.	limestone and dolomite		
		Lower	Carabuco F.	psamitic rocks		
			Pacobamba F.	conglomerate, sandstone, mudstone		
			Puerto Acosta F.	shale and sandstone		
	Jurassic	Upper				
		Middle				
		Lower				
	Triassic	Upper				
		Middle				
		Lower				
	PALEOZOIC	Permian	Upper	Chutani F.	alternation of feldspathic sandstone, calcareous shale and dolomite	Illampu granodiorite 210.7±5.8 ^{my} K/Ar (biotite) Yani-Zongo granite [35.3±1.0 ^{my} K/Ar (biotite)]
Lower			Copacabana F.	limestone with siliceous nodule and dolomite		
Carboniferous		Upper		Yaurichambi F.	sandstone with chert, dolomite, conglomerate, shale	
			Lower	Ambo G.	Siripaca F.	sandstone with limestone and abundant plant fragments
		Kasa F.			sandstone and shale with small scaled diamict	
		Cumaná F.	diamict, sandstone and conglomerate			
Devonian		Upper		Collpacucho F.	sandstone and shale and siltstone with sandstone	
		Middle		Sicasica F.	shallow marine to delta sediments	
		Lower		Belén F.	deep to shallow marine sediments	
				Vila Vila F.	sandstone with cross bedding	
Silurian		Pridolian		Catavi F.	sandstone	
		Ludlovian		Uncía F.	shallow marine pelitic sediments	
		Wenlockian		Llallagua F.	pale gray to brown quartzite, sandstone, siltstone and greenish gray shale	
		Llandoveryan		Cancañiri F.	diamict	
Ordovician		Ashgillian		Amarete F.	alternation of sandstone and quartzite	
		Caradocian				
		Llandeilan		Coroico F.	black mudstone and shale fine grained sandstone	
	Llanvirnian					
	Arenigian					
	Tremadocian					



第 14 图 地化学探查地域地質図

1) 地質

前項の3-2-5で記載した様に、地質時代を明確に指示する地質層準が本地域においては見られず、かつ地質時代確認のための調査も実施していないので、既存図を基に地質図は編纂した。本図を基に本地域を概観すれば、調査地域の伸張方向に調和的な北東部に本地域の基盤岩となるオールドビス系が分布し、南西部にその上位のシルル系が分布する。典型的な千枚岩質黒色頁岩の鏡下での観察(試料 007HH)では、微粒黒鉛が微細な絹雲母と縞状に配列し、その縞状配列に調和的な紡錘状の曹長石が分布する。この縞状構造に斜交し石英-曹長石細脈が認められ、脈際には縞状配列をなすものより比較的大晶の絹雲母を産し、黒鉛量が減少する。

調査地域南西縁辺部に沿って赤色岩層が分布し、その高所に小規模な石膏層(147HH、巻末資料11-写真193)が不整合にて分布する。赤色岩層は既存資料によれば、CIASER(1985)ではサブアンデス帯の白亜系に記載され、YPFB(2000)では、東部アンデス中部地域のジュラ～白亜系であるポトシ(Potosí)層群中に胚胎するとされる。本調査地域において石膏層は白亜紀のアンコライメス累層に記載されており、白亜系に不整合に覆われる赤色岩層が存在するのか、あるいは白亜系の赤色岩層を不整合に覆う石膏層が存在するのか、の何れなのかは今回の調査では確定できなかった。

本赤色岩層は、火山礫凝灰岩、集塊岩(146HH)、砂岩等の岩相変化を示すが、火山性堆積物であり、調査対象地域の西部域にはかなり広範囲に分布するのが認められたことから、地質層序対比のための鍵層の役割を果たす可能性を持つ層準であると判断される。試料146HHの鏡下での観察では、安山岩質～デイサイト質岩片を多量に含む火山碎屑岩であり赤鉄鉱、褐鉄鉱等の酸化鉄および炭酸塩化作用で特徴付けられる。

2) 地質構造

調査地域の褶曲構造については、ルート調査が不十分であり、対応する層準を明確に把握したわけではないので、断層による傾斜方向の変化をも褶曲構造の一部であると解釈している可能性は否定できない。褶曲はNW-SE系を主体とし、一部調査地域中央部にN-S系が認められる。北西端のチャラサニ複合岩体の周辺では、岩体の貫入縁に調和的な褶曲軸の配列、岩体南端ではE-W系、岩体東縁ではN-S系、が認められる。また、南西端に貫入するイヤンプ花崗閃緑岩体の北縁では岩体縁に調和的な走向変化をしているが、褶曲構造として抽出するには至っていない。地層の傾斜方向の変化のみから判断した褶曲の周期は2～5kmとなり、既存資料に記載される500～1000mの周期に比し、大幅に周期は大きくなる。これは調査精度の差によるものと考えられ、複合同-背斜構造の周期である可能性が有る。

調査地域の断層構造は、小規模な地層のズレは各所で確認できたが、地質図に記載したオールドビス系とシルル系を境するいわゆるCordillera Real断層は確認できなかった。本断層位置の推定には砂質岩が卓越する区域を一つの目安とし、既存地質図を参考に設定した。更に、調査地域南西縁に設定したアンデストレンドに調和的なNW-SE系断層は、前述の赤色岩層の下盤側に予測したものである。断層の傾斜は赤色岩の分布から急傾斜の南西向きと判断され、本地域の展張応力場に生じたとされるグラーベン構造の名残である可能性が考えられる。

小規模な断層は一般にNE-SW系のいわゆるアンデストレンド、換言すれば地層走向、に斜交するものが顕著に認められる。更に、黒色頁岩層、特にシルトあるいは砂岩等の硬質岩に挟まれた層準、では層内滑り(巻末資料11-写真87)を認めることができる。層準の連続性も比較的良好、走向断層である可能性も否定できないが、本年度調査ではその詳細を調査することは出来

なかった。

3) 火成岩類

火成岩類に付いては既存資料解析の項において3期の火成活動により貫入した4岩体が本調査地域に分布することを記載した。本4岩体につき産状、肉眼観察結果および室内試験結果に付き以下に記載する。岩石薄片観察結果、年代測定結果および全岩分析結果は巻末資料1、2および3に示す。

a) ヤニ-ゾンゴ花崗岩

本岩体の母岩との関係は関係は確認できなかった。構成する岩石は肉眼的には比較的新鮮な花崗岩である。しかしながら角閃石を主体とする有色鉱物は、葉理構造を持ち配列しているのが明瞭に認められ、かつこの構造を切って発達する節理系を通路とする、熱水変質作用によると思われる幅1cm程度の白色変質帯が随所に認められ、かつ金雲母の班晶もこの変質帯を中心にその外側に向け減少するのが認められる。したがって、本岩体は少なくとも2度の変成あるいは変質作用を蒙ったことが明かである。

本岩体から採取した岩石試料164HHは年代測定、全岩分析および薄片鑑定を行った。薄片観察結果は、再結晶化した石英班晶と黒雲母-白雲母による葉理構造に特徴付けられる白雲母-黒雲母片麻岩質花崗岩と判定された。分析値から計算されるノルムによるAb+AN-Or-Q図にプロットすればモンゾニ花崗岩の領域を占め、ACF図においてはS-型花崗岩の領域に位置する(巻末資料3、付図)。抽出された黒雲母のK/Ar年代は 35.3 ± 1.0^{my} (始新世)が得られ、既存資料による最も若い年代(40^{my})より更に若い年代となった。薄片観察では比較的新鮮な岩相を示すことより、本岩体は再結晶化をもたらした変成期に完全な若返り現象を蒙ったことを示しているものと解釈される。

b) イヤンプ花崗閃緑岩

本岩体は底盤を形成し調査地域南西端に、その北縁が顔を出すとの既存地質図の記載であったが、露頭を確認することはできなかった。したがって調査地域南端の河川に数多存在する転石から比較的新鮮な花崗閃緑岩を採取し、本岩体の岩石試料165HHとし、年代測定、全岩分析および薄片鑑定を行った。

薄片観察結果は、石英は弱い波動消光をなし、有色鉱物類が凝集して産する特徴を有し、卓越して産する斜長石の中心部には絹雲母の核が見とめられる。岩石学的には角閃石-黒雲母花崗閃緑岩と判定された。ノルムによるAb+AN-Or-Q図にプロットすればモンゾニ花崗岩の花崗閃緑岩領域隣接部に位置し、ACF図においてはI-型花崗岩の領域に位置する。抽出された黒雲母のK/Ar年代は 210.7 ± 5.8^{my} であり、既存資料に示されるK/Ar年代と一致し、上部三畳紀の貫入活動であることが確認された。

c) アマレッテ花崗閃緑岩

本岩体は調査地域北部に分布する岩株状岩体である。記載される岩体の中心部へは道路無く、到達することが出来ないため、岩体の北縁を流れるカラヤ(Calaya)川沿いの露頭で、年代測定、全岩分析、薄片鑑定およびX線回折分析のための岩石試料004HHを採取した。母岩との関係は露頭状況悪く、確認することは出来なかった。露頭では有色鉱物のうち黒雲母は比較的新鮮であるが、角閃石は殆ど緑泥石化しており、その中心部に僅かに残存するのが確認された。また

有色鉱物の一部には、黒色不透明鉱物が稀に認められた。

前述の岩石試料は年代測定、全岩分析、薄片鑑定およびX線回折分析を行った。薄片観察結果は、肉眼で緑泥石化した角閃石と判定した有色鉱物は緑色絹雲母であり、角閃石を欠く特徴を有し、弱い波動消光をなす石英、斜長石およびカリ長石、黒雲母、白雲母よりなり、岩石学的には白雲母-黒雲母花崗岩である。比較的少量のスフェンを伴う。鏡下ではS-型花崗岩と判定できる。ノルムによるAb+AN-Or-Q図にプロットすればモンゾニ花崗岩の領域を占め、ACF図においてはS-型花崗岩の領域に位置し検鏡結果と一致するが、これらの三角図上の位置は前項のイヤンプ花崗閃緑岩と近接しており両者の類縁関係が推測できる。

一方抽出された黒雲母のK/Ar年代は 93.4 ± 2.6 my (上部白亜紀初頭)であり、従来イヤンプ花崗閃緑岩と同時期であるとされていた貫入時期が大幅に若返り、上部白亜紀の貫入活動であることになる。鏡下では比較的新鮮で、イヤンプ花崗閃緑岩の試料よりも絹雲母化変質作用は弱いことから、後の変質作用による若返り年代を示しているとは考えられず、本岩体は若い時期の貫入であるとせざるを得ない。X線回折分析でも変質鉱物は検出されていない。

d) チャラサニ複合半深成岩

本岩体は調査地域北部ベースキャンプであるチャラサニ以北に分布する岩株状岩体である。貫入縁を数ヶ所にて観察することが出来たが、何れの地点においても岩相が異なり、流紋岩質、石英斑岩質、デイサイト質、流紋デイサイト質、花崗閃緑斑岩質と変化に富むが、単なる岩相変化なのか、複数回の貫入活動によるものなのかは、今回の調査では確認できなかった。岩相変化は、例えば地点(497370E, 8325977N)では、頁岩層に貫入するデイサイト質火山角礫岩(018HH)が認められ(巻末資料11-写真163)、谷を挟んだ対面の地点(496817E, 8326766N)では、砂岩層に貫入する石英閃緑岩斑岩と変化する(巻末資料11-写真171)。更に、尾根を挟んで地点(497878E, 8322459N)では、貫入面は観察できないが、頁岩層に貫入する流理構造の明瞭な流紋デイサイト(020HH)が観察される(巻末資料11-写真173)。

鏡下でこれらの試料は、試料018HHでは流紋岩質溶結凝灰岩と判定されたが、母岩である砂岩、泥岩の岩片を取り巻き流動構造状の軽石片が認められ、新鮮な石英、斜長石の破片が班晶状に存在し、貫入境界部における母岩の取り込みや急冷相を示しているものと解される。また、試料020HHは斑状組織を持ち流理構造を示す流紋岩と判定され、班晶の周辺および流理構造に沿って赤鉄鉱の微粒結晶の配列が認められる。

本岩体は母岩に熱水変質作用を与えており、いずこでも強い珪化作用がみとめられる。更に、貫入岩体自体も比較的強い緑泥石化作用を受け、有色鉱物はその形骸を残存するのみとなることもある。更に、場所により母岩のみならず貫入岩自体も赤鉄鉱化を蒙ることもある。前述の流紋デイサイト(020HH)にその典型を示す。

年代測定試料は調査地域における岩体の中心部の花崗閃緑岩(021HH)と前述の東縁部の石英閃緑岩斑岩(019HH)との2箇所採取した。これらの試料は班晶のみならず石基部分も緑泥石化し、淡緑色を呈しており、後の熱水変質を多々蒙っていることを示している。これらの試料は合わせて全岩分析、薄片観察およびX線回折分析を行った。

試料019HHは鏡下では融食を受けた石英、絹雲母化した斜長石とカリ長石および緑泥石化した黒雲母の班晶と石基からなり黒雲母花崗斑岩と判定された。鏡下では絹雲母化変質および炭酸塩化作用が顕著に認められたが、X線回折分析では緑泥石が比較的少量に検出された。抽出された黒雲母のK/Ar年代は 97.7 ± 2.5 my (下部白亜紀末)である。

試料021HHは鏡下では絹雲母化した斜長石、融食を受けた石英、絹雲母化した黒雲母および

カリ長石の班晶および石基よりなる絹雲母化変質の卓越した角閃石-黒雲母花崗閃緑斑岩と判定された。黒雲母の抽出が出来なかったため、全岩で実施した K/Ar 年代は 94.9 ± 2.6 my(上部白亜紀初頭)が得られ、前記の黒雲母年代とほぼ同じ値を示す。したがって、本岩体は上部白亜紀初頭の貫入岩であると結論することが出来る。分析値から計算されるノルムによる Ab+AN-Or-Q 図にプロットすれば何れの試料もモンゾニ花崗岩の領域を占め、ACF 図においては S-型花崗岩の領域に位置する。

4) 鉍化・変質作用

室内試験結果の鉍石研磨片観察結果、X 線回折分析結果、流体包有物充填温度測定結果および鉍石分析結果を巻末資料 4、5、6 および 7 に示す。

本調査地域における変質作用は、前述の貫入岩に伴う熱水変質作用および断層あるいは裂罅を通路とする熱水変質作用とが顕著に認められるが、貫入岩に伴う熱水変質作用では、貫入岩自体および貫入母岩中に鉍化作用に関連すると思われる硫化鉍物およびその痕跡をも確認することは出来なかった。また、既存地質図でチャラサニ複合岩体の南縁部に記載されていた二畳系の石灰岩は調査地域内では確認できず、接触変成に伴う鉍化作用を期待することも出来ない。

一方、裂罅を通路とする熱水変質帯は N-S ないし NE-SW 系の小規模な断層あるいは裂罅系において、石英細脈(例えば、試料 016HH、巻末資料 11-写真 159)あるいは黄鉄鉍の鉍染を伴い随所に出現する。鉍染する黄鉄鉍は一般には酸化され褐鉄鉍に変化しており、褐色変色帯あるいはゴッサン帯を形成する。通常は幅数 10cm から 1m 程度の規模を有するにすぎない。最も優勢な裂罅性のゴッサン帯は NW-SE 系の断層に挟まれた地点(540928E, 8250696N)の試料(141HH)であり、試料採取長 12.2m(実幅約 10m)であった(巻末資料 11-写真 185)。

本調査地域において最も興味深い鉍化変質示徴と考えられるのは地質構造の項で記載した硬質岩に挟まれた黒色頁岩中に認められる層内滑りである。一般に層内滑りが認められる地点には、その中に両盤に調和的ないわゆるマントと呼称されるレンズ状石英脈が認められ、加えて石英網状脈が発達する部分も場所により観察される。更に加えて、ほぼ普遍的に黄鉄鉍を鉍染しているのが認められる。酸化した部分では、露頭部全域が褐鉄鉍にて着色され、黄褐色を呈することもある。最も良く観察できるのは、現在道路開削中である調査地域中央部のアウカパタ西部域であり、走向方向に平行ではあるが、道路沿いの約 2km 間に亘り黄褐色を呈するヤケ帯が断続する。本地点の詳細調査は未実施であるが、概観すれば、層内滑りに加え地層の走向方向に斜交する小規模な裂罅が存在し、層内滑りに伴う鉍化・変質作用と裂罅充填型の鉍化・変質作用とが重複して存在する可能性が認められる。

また、アウカパタ北西部の地点(527730E, 8293626N)を中心として等高線方向の幅約 80m、傾斜方向延長約 500m に亘る石英および含石英細脈・珪化岩転石帯(巻末資料 11-写真 10)が確認された。最下部には黒色頁岩中に、厚さ 60cm に達する石英レンズ脈が認められる(巻末資料 11-写真 147)。前述の層内滑りと重複する裂罅系に伴う珪化変質帯である可能性も否定し得ない。なおこの珪化転石帯の上部には、遠望ながら、若干黄褐色を呈する砂岩様硬質岩が分布しており、相当広範囲の変質帯を形成している可能性も存在する。

鉍石試料分析結果(巻末資料 7)を鉍質別に取り纏めると第 7 表の通りである。砂金原鉍は Yana Orcko 鉍山の採掘現場の破碎鉍から採取したもので、千枚岩中に黒色珪質層が縞状に胚胎し、時に金粒を認める高品位金鉍石である。閃亜鉛鉍脈は脈幅 10cm 未満の母岩の層理に調和的な形態を示す細脈で、若干の坑道が残存するが、現在は放置されている。検鏡結果、

閃亜鉛鉱脈(試料 002、518、巻末資料 11-写真 72)は閃亜鉛鉱を主体とし黄鉄鉱、方鉛鉱、白鉄鉱、磁硫鉄鉱を伴い、微量の輝安鉱、淡紅銀鉱、黄銅鉱、緑色銅鉱、ルチルを随伴する。X線回折分析により脈石として石英および緑泥石が確認された。ゴッサン鉱石(試料 029)は赤鉄鉱を主体とし、黄鉄鉱、緑色銅鉱、黄銅鉱、輝銅鉱、コヴェリンおよび輝安鉱を伴う。X線回折分析により前記の赤鉄鉱は針鉄鉱と判定された。

第 7 表 鉱質別平均品位

鉱質別	試料数	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Ga	In
		ppm	ppm	%	%	%	ppm	ppm
砂金原鉱	1	126			0.07	0.01	2.20	0.03
閃亜鉛鉱脈	2	0.200	119.5	0.02	3.30	27.2	7.45	4.02
石英脈(Py)	15	0.365	11.7	0.10	0.22	0.09	5.37	1.38
石英脈	13	0.039	0.7			0.01	8.99	0.04
ゴッサン鉱石	1	0.445	650	3.59	0.02	0.34	3.55	7.13
ゴッサン	8	0.009	0.3			0.01	15.94	0.10
鉄ヤケ頁岩	5	0.002	0.4			0.01	19.05	0.07
頁岩(砂岩)	5	0.005	0.2		0.01	0.02	14.39	0.04

注；検出限界以下は品位 0%で算出した。

石英脈のうち硫化物が認められるものは殆ど全て、15 試料中 13 試料、Au が検出されるが、硫化物を認めず褐鉄鉱化した石英脈では殆ど全て、13 試料中 12 試料、Au は検出限界以下であり、石英脈に付いては硫化物の存在が金鉱床探査の手懸りとなる。頁岩類に付いては鉄ヤケの有無で分類したが、平均値で見れば両者に差異は認められない。各 5 試料の内 Au を検出したのは各 1 試料であり、硫化物が確認されている。検鏡結果、硫化鉱物としては黄鉄鉱を主体とし、黄銅鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱、輝安鉱、磁硫鉄鉱、硫砒鉄鉱、白鉄鉱、輝銅鉱、コヴェリン等が確認された。X線回折分析により脈石として石英、絹雲母、緑泥石等が確認された。また、試料 659 および 818 では菱鉄鉱が確認された。試料 733 では検鏡により輝安鉱を主体としベルチエ鉱(berthierite;FeSb₂S₄)およびブーランジェ鉱(boulangerite;Pb₅Sb₄S₁₁)等の Sb 鉱物が確認された。

微量成分のインジュウムはクラーク数 0.05ppm に対しゴッサン鉱石で 7.13ppm、閃亜鉛鉱脈で 4.02ppm、含硫化物石英脈で 1.38ppm と非常に高い値を示すが、他の成分を参照すれば銀品位との強い関連性が認められ、後述する沢砂試料分析値の主成分分析の結果(第 3 主成分を構成)と一致する。ガリウムはクラーク数 18ppm に対し、鉱石と目される試料では値が低く、鉱化作用に伴う金属成分の離散減少が想定される。

流体包有物の充填温度測定結果を巻末資料 6 に示す。前記の分析結果に準えて含硫化物石英脈(試料 217、659、732)と単純石英脈(試料 005、016)に分類すれば、平均的には前者は充填温度および塩濃度が後者より低いという特徴が認められる。しかしながら測定試料の内、最も Au 品位の高い試料 732(0.400ppm)の充填温度は平均 349℃であり単純石英脈の充填温度(平均 352℃)とほぼ同じである。但し塩濃度は 13.7%で他の含硫化物石英脈に比し若干高いが、単純石英脈に比し格段に低い値を示す。

5) まとめ

現地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、調査地域中

央部を縦走する Cordillera real 断層により両者は境される。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にて覆われる。これらは既往文献にも記載無く、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白亜紀前の堆積物であろうと推定される。

火成岩類は3期の火成活動による4岩帯が分布するが、最も古いヘルシニアン変動期の貫入とされるヤニーゾゴ花崗岩体の黒雲母 K/Ar 年代として 35.3 ± 1.0^{my} が得られ、次いでヘルシニアン変動後の貫入とされるイヤンプ花崗閃緑岩体の黒雲母 K/Ar 年代として 210.7 ± 5.8^{my} が得られたが、これらは既存資料の記載とほぼ一致する。イ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アマレッテ花崗閃緑岩体の黒雲母 K/Ar 年代は 93.4 ± 2.6^{my} であり、本岩体は上部白亜紀初頭の貫入岩であることが判明した。更に、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の黒雲母 K/Ar 年代として 97.7 ± 2.5^{my} 、全岩 K/Ar 年代として 94.9 ± 2.6^{my} がそれぞれ得られ、本岩体も下部白亜紀末ないし上部白亜紀初頭の貫入岩であることが判明した。これらの K/Ar 年代および貫入岩の産状を概観すれば、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。最も新しい火成活動はヤニーゾゴ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6表)。

貫入岩類に伴う鉍化変質作用は、接触部において小規模な熱水変質帯は見とめられるが、鉍化作用を暗示する硫化物およびその痕跡を見とめることは出来なかったことから、ポテンシャルは低いものと考えられる。

裂罅系を通路とする熱水変質帯は N-S ないし NE-SW 系の小規模な断層あるいは裂罅系において、石英細脈あるいは黄鉄鉍の鉍染を伴い小規模では有るが随所に出現するが、大規模鉍床に発展する可能性は低い。

古生界の黒色頁岩、特に硬質岩に挟まれた黒色頁岩中、には一般に層内滑りが認められ、その中に両盤に調和的なレンズ状石英脈が網状石英脈を伴い認められる部分も場所により観察される。更に鉍染状に黄鉄鉍、硫砒鉄鉍等の硫化物が認められることも有る。鉍染する黄鉄鉍は一般には酸化され褐鉄鉍に変化しており、褐色変色帯あるいはゴッサン帯を形成する。これに前述の裂罅系の鉍化・変質作用が重複すれば、大規模な褐色変色帯が形成される。

鉍石分析にて実施した頁岩類の分析結果は褐色変色頁岩および石英差異脈入り頁岩共に ppb オーダーの値であったが、石英脈の場合硫化物を含むものは褐鉄鉍化した試料より平均で一桁高い値を示すことから、硫化物の存在が鉍化帯捕捉の手懸りとなるものと考えられる。

3-3-2 地化学探査

本年度調査による地化学探査試料および室内試験試料採取位置を PL. 2 に、試料採取地点の諸データを巻末資料 8 に示す。

1) 沢砂試料

沢砂分析試料は重複分析試料 44 試料を含む 424 試料を採取した。沢砂試料の分析結果および累積頻度分布図を巻末資料 9 に、沢砂試料のうち重複試料を除いた 380 試料について記述統計結果(幾何平均、標準偏差、最小、最大)を第 8 表に示す。

沢砂分析結果のうち重複試料を除く 380 試料、49 成分について SPSS 統計パッケージを用いた主成分分析を行った。主成分分析結果 (Factor Matrix) を第 9 表に示す。分析対象は化学成分間の相関 matrix であり、主成分抽出基準には主成分 (Principal Component) の Eigenvalue ≥ 1 、抽出した Factor matrix には Varimax 回転を施した。Eigenvalue ≥ 1 以上では 10 主成

第8表 沢砂分析値記述統計結果

Element	Mean	σ	Min.	Max.	Unit
Au	12.674	14.200	<1	42300	ppb
Ag	0.113	2.649	<0.02	7.01	ppm
Al	7.511	1.258	3.28	11.35	%
As	36.610	3.533	3.8	>10000	ppm
Ba	486.295	1.483	20	3700	ppm
Be	2.937	1.286	0.98	5.57	ppm
Bi	0.527	2.812	0.04	447	ppm
Ca	0.224	2.337	0.03	7.9	%
Cd	0.096	2.867	0.01	11.7	ppm
Ce	119.729	1.485	40.3	411	ppm
Co	15.570	1.881	1.7	135	ppm
Cr	34.682	1.635	3	69	ppm
Cs	11.665	1.692	2.76	91.1	ppm
Cu	31.275	1.960	4.3	682	ppm
Fe	4.175	1.552	0.83	17.4	%
Ga	20.692	1.301	7.64	34.2	ppm
Ge	0.351	1.362	0.14	0.88	ppm
Hf	0.605	1.827	0.1	1.8	ppm
Hg	0.064	5.598	<0.01	>100	ppm
In	0.080	1.629	0.023	1.235	ppm
K	2.077	1.212	0.99	3.02	%
La	61.930	1.477	21.4	207	ppm
Li	69.502	1.507	18.5	170.5	ppm
Mg	0.643	1.414	0.12	1.85	%
Mn	477.969	1.586	90	2480	ppm
Mo	0.985	2.337	<0.05	28	ppm
Na	0.665	1.582	0.15	>10	%
Nb	7.239	1.645	0.2	18.8	ppm
Ni	30.542	1.875	2.4	306	ppm
P	734.852	1.442	240	>10000	ppm
Pb	31.754	1.748	6.6	621	ppm
Rb	131.009	1.312	47.8	224	ppm
Re	0.002	1.898	0.001	0.113	ppm
S	0.072	2.861	0.01	7.21	%
Sb	1.468	3.255	0.025	81.8	ppm
Se	2.014	1.534	<1	11	ppm
Sn	3.571	1.536	0.6	69.8	ppm
Sr	85.803	1.351	34.1	384	ppm
Ta	0.227	2.339	0.025	1.22	ppm
Te	0.058	1.989	0.025	1.73	ppm
Th	18.767	1.363	7.7	84.4	ppm
Ti	0.278	1.424	0.05	0.87	%
Tl	0.735	1.362	0.25	1.51	ppm
U	2.606	1.764	1	69.9	ppm
V	82.928	1.663	7	184	ppm
W	1.843	4.140	0.05	2030	ppm
Y	13.627	1.425	6.1	47.7	ppm
Zn	98.197	1.734	11	1345	ppm
Zr	17.195	1.973	0.6	63.7	ppm

σ : Standard Deviation for logarithmic values of contents of each element

第9表 主成分分析結果

	Factor Loading										Communality
	PC* 1	PC* 2	PC* 3	PC* 4	PC* 5	PC* 6	PC* 7	PC* 8	PC* 9	PC* 10	
logAu	-0.149	0.049	0.169	-0.004	0.264	[0.751]	-0.150	-0.109	-0.132	0.034	0.74051
logAg	-0.085	0.106	0.697	0.121	0.038	0.286	-0.017	-0.010	-0.078	-0.062	0.61289
logAl	[0.875]	0.244	-0.065	0.268	-0.003	-0.009	0.112	-0.134	-0.005	0.051	0.93369
logAs	-0.053	0.090	0.481	0.188	0.146	[0.724]	-0.007	0.063	-0.011	0.006	0.82791
logBa	0.098	-0.220	0.002	0.132	0.195	-0.425	0.236	-0.140	-0.460	0.432	0.76664
logBe	[0.849]	0.087	0.031	-0.034	0.295	-0.047	0.062	-0.163	0.082	0.016	0.85757
logBi	0.353	0.046	0.681	0.133	-0.004	0.170	0.144	-0.040	0.121	-0.007	0.67384
logCa	-0.422	-0.004	0.101	-0.525	-0.031	-0.145	0.063	0.312	0.219	0.413	0.80486
logCd	-0.096	0.317	0.673	-0.239	0.177	-0.048	-0.145	0.281	0.045	-0.012	0.75534
logCe	0.101	-0.112	-0.018	0.069	[0.893]	0.195	-0.164	0.054	0.056	0.040	0.89789
logCo	0.312	[0.772]	0.145	0.245	0.018	0.234	0.094	-0.041	-0.016	-0.096	0.85015
logCr	0.336	0.518	0.064	0.609	-0.272	-0.007	0.073	-0.153	-0.159	-0.004	0.88377
logCs	[0.761]	0.229	0.241	0.043	-0.089	-0.115	0.173	-0.060	-0.133	-0.091	0.77195
logCu	0.359	0.239	0.503	0.540	-0.049	0.110	0.034	0.024	0.105	0.054	0.76048
logFe	0.402	0.363	0.110	[0.768]	-0.017	0.107	-0.065	0.026	-0.061	-0.007	0.91641
logGa	[0.864]	0.265	-0.072	0.292	0.010	0.074	0.098	-0.102	-0.037	0.022	0.93503
logGe	0.173	0.227	0.062	0.683	0.357	-0.091	-0.037	0.213	-0.002	-0.089	0.74205
logHf	0.164	0.168	-0.041	0.049	-0.160	-0.047	[0.826]	-0.103	-0.181	-0.170	0.84153
logHg	-0.230	0.131	0.114	0.019	-0.058	[0.755]	0.078	0.061	0.007	-0.026	0.66628
logIn	0.516	0.134	0.624	0.322	-0.021	-0.046	0.076	-0.110	0.013	-0.069	0.80227
logK	[0.752]	-0.063	-0.043	-0.018	0.029	-0.308	0.091	0.087	-0.011	0.016	0.68264
logLa	0.115	-0.117	0.005	0.039	[0.891]	0.209	-0.153	0.046	0.051	0.073	0.89958
logLi	[0.793]	0.286	0.133	0.115	-0.088	-0.016	0.083	0.025	-0.073	0.001	0.76259
logMg	0.096	[0.700]	0.022	0.032	-0.254	-0.084	0.013	0.094	-0.021	0.318	0.68333
logMn	0.136	[0.735]	0.132	-0.001	0.097	-0.019	0.060	-0.211	0.042	-0.011	0.63538
logMo	0.100	-0.283	0.241	0.477	0.047	-0.124	-0.012	0.500	0.040	0.174	0.67544
logNa	-0.176	-0.183	-0.167	-0.353	0.164	-0.044	-0.012	-0.049	0.660	0.191	0.72098
logNb	0.136	-0.102	0.071	-0.143	-0.020	0.052	[0.787]	0.028	0.130	0.168	0.72261
logNi	0.318	[0.797]	0.076	0.306	-0.139	0.216	0.103	0.010	-0.052	-0.082	0.92238
logP	0.011	-0.057	0.187	0.193	0.324	-0.071	-0.066	0.137	[0.744]	0.041	0.76359
logPb	0.173	0.371	0.660	0.241	-0.140	0.123	-0.059	0.114	0.010	0.012	0.71350
logRb	[0.899]	0.139	0.062	0.185	-0.040	-0.197	0.085	-0.055	-0.038	-0.076	0.92337
logRe	-0.122	-0.039	0.118	-0.088	0.068	0.039	0.068	[0.784]	0.017	0.041	0.66563
logS	-0.030	0.016	0.307	0.387	-0.125	0.284	0.024	0.523	0.043	0.085	0.62469
logSb	0.069	-0.068	0.566	0.165	0.017	0.324	0.116	0.337	-0.166	-0.065	0.62060
logSe	-0.205	0.017	-0.022	0.114	0.264	-0.014	-0.188	0.619	0.022	-0.214	0.59138
logSn	0.554	-0.002	0.510	-0.204	0.150	0.074	0.213	-0.123	0.082	-0.115	0.71769
logSr	-0.067	0.114	-0.103	-0.046	0.162	0.071	-0.048	-0.040	0.114	[0.841]	0.78531
logTa	0.427	0.038	0.119	0.127	0.035	0.128	0.615	-0.004	0.282	0.237	0.74498
logTe	0.091	0.076	0.457	0.669	0.039	0.153	-0.057	0.158	0.086	-0.009	0.73084
logTh	0.240	-0.479	-0.082	-0.049	0.657	-0.176	-0.055	0.236	0.133	0.034	0.83573
logTi	-0.027	0.457	0.109	-0.026	-0.067	0.016	0.378	-0.549	-0.202	0.032	0.71349
logTl	[0.885]	0.004	0.224	0.222	0.006	-0.094	-0.025	0.063	-0.050	-0.025	0.89944
logU	-0.142	-0.552	0.043	-0.390	0.466	-0.086	0.083	0.143	0.221	0.015	0.77943
logV	0.516	0.477	0.058	0.500	-0.310	0.014	0.174	-0.170	-0.151	0.034	0.92596
logW	-0.100	-0.192	0.492	0.042	0.190	0.533	0.066	0.160	0.236	0.188	0.73160
logY	-0.332	0.051	0.274	-0.038	0.646	-0.036	-0.038	0.038	0.275	0.160	0.71284
logZn	0.303	0.699	0.427	0.126	-0.119	-0.034	-0.042	0.104	-0.015	0.027	0.80771
logZr	0.090	0.144	-0.020	-0.006	-0.255	-0.144	[0.793]	-0.046	-0.217	-0.159	0.81812
Eigenvalue	12.900	6.368	5.109	3.098	2.631	2.168	1.817	1.343	1.307	1.112	

*1 : Principal Component

[] : $-0.7 \leq$ factor loading or factor loading ≥ 0.7

分が抽出され、第1主成分はRb、Tl、Al、Ga、Be、Li、CsおよびKで、第2主成分はNi、Co、MnおよびMg、第4主成分はFe、第5主成分はLaおよびCe、第6主成分はHg、AuおよびAs、第7主成分はRe、第8主成分はHf、ZrおよびNb、第9主成分はP、第10主成分はSrで特徴付けられる。第3主成分を構成する各成分の因子負荷量は何れも0.7未満であり、特徴を定義付けることは難しい。0.6以上の因子負荷量を有する成分は、Ag、Bi、Cd、Pb、Inである。

本地域の鉱化作用として知られる金・鉛以外の成分のZn、Sn、W、Cuはコムナリティ(Communality)が何れも0.7を超えているが、Znを除く他の成分の個々の主成分における因子負荷量は0.6未満である。即ち、これら3成分の挙動には、複数の主成分が関わっている。錫は第1および第3主成分に、タングステン第6および第3主成分に、銅は第4および第3主成分に支配されていると言える。亜鉛は第2主成分に強く支配されるが、第3主成分にも支配される。

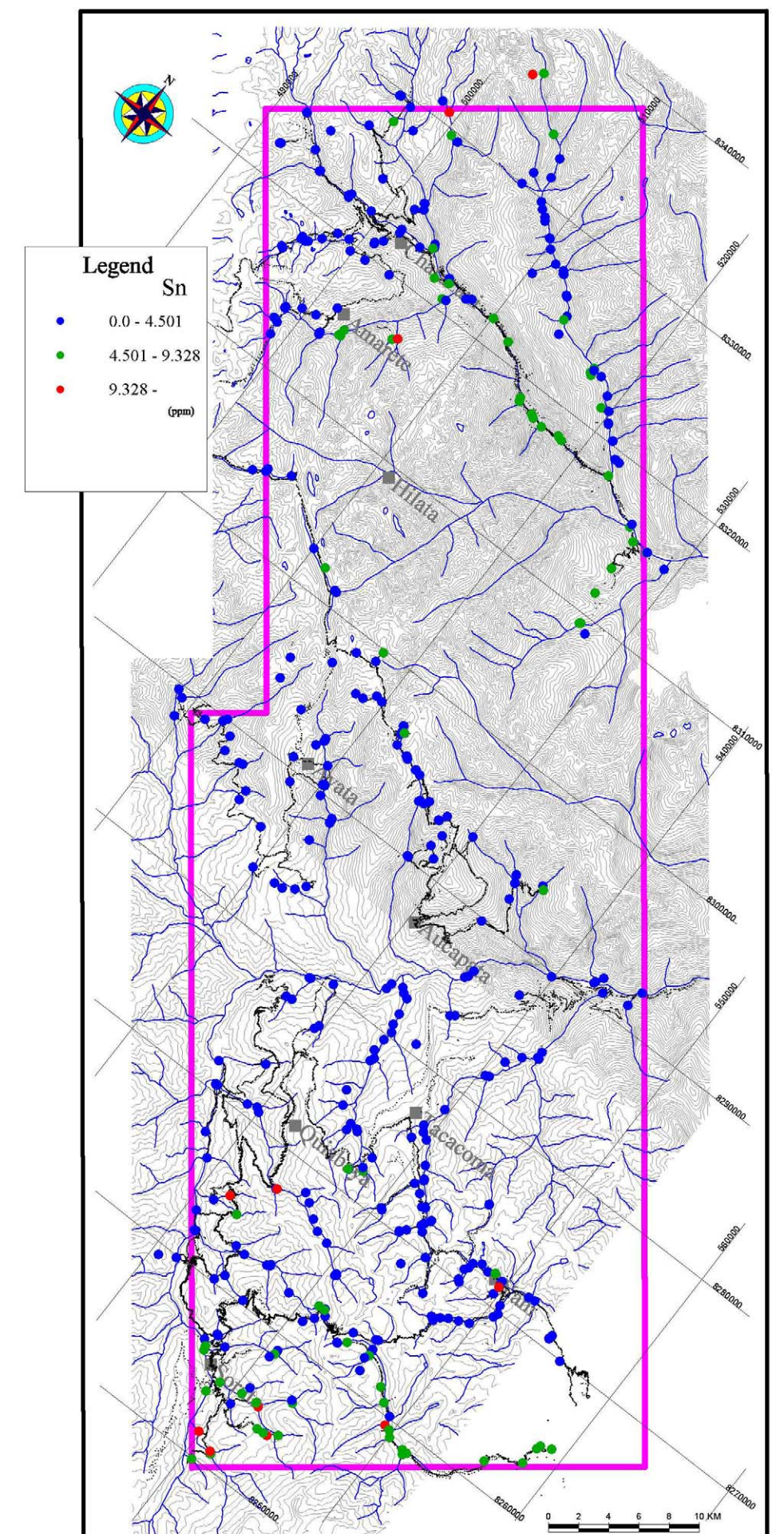
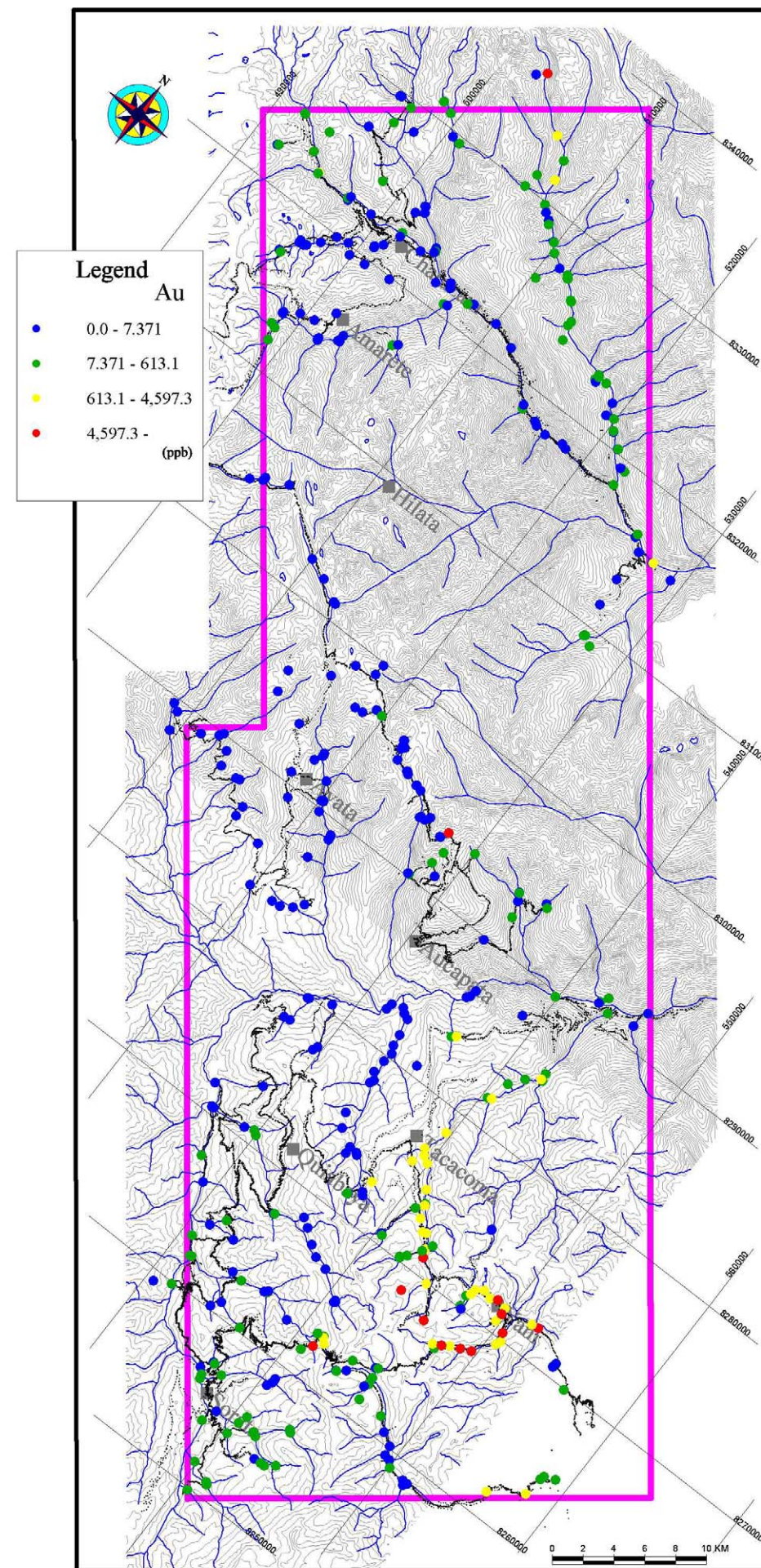
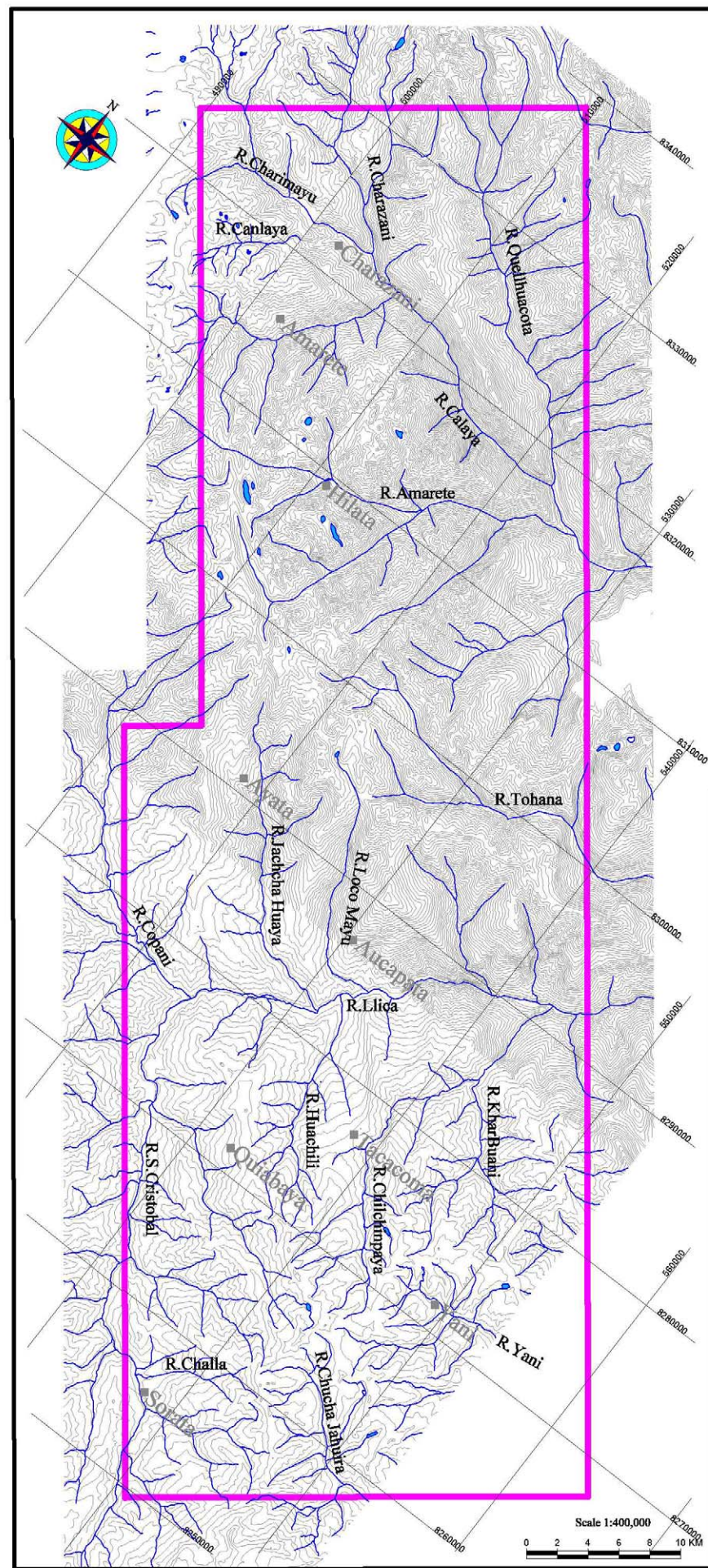
本地域を特徴付ける金、錫、タングステン、亜鉛および鉛につき異常値とバックグラウンド値とを分けるしきい値および強度区分を、累積頻度分布図における屈曲点から求め、地化学異常地点分布図を作成し第15図に示した。

金の分析値のレンジは検出限界(1ppb)以下から42.3ppmまでと非常に広いが、累積頻度分布図より求めたしきい値は、7.371ppbであり、第8表に示す平均値12.674ppbより大幅に低い値を示す。これは分析品位の高い試料が多産したことにより平均品位が上昇したと考えることが出来、金のクラーク数が3ppbであることを考慮すれば、累積頻度分布図より求めたしきい値を使用し得るものとして解析する。地化学異常地点の分布を見れば、ヤニ谷およびその南北に位置するチュチャハウィラ川下流およびチルチンパヤ川に強異常地点が連続する。更にソラタ付近、ケジュワコタ川およびアウカパタに中～弱異常地点が集中する。第13図に示す地質図に対比すると、地化学異常地点の大部分はソラタ付近を除きオールドビス系分布域に位置する。また、チルチンパヤ川にて捕捉された一連の地化学異常地点は既知鉱徴不在地帯である。

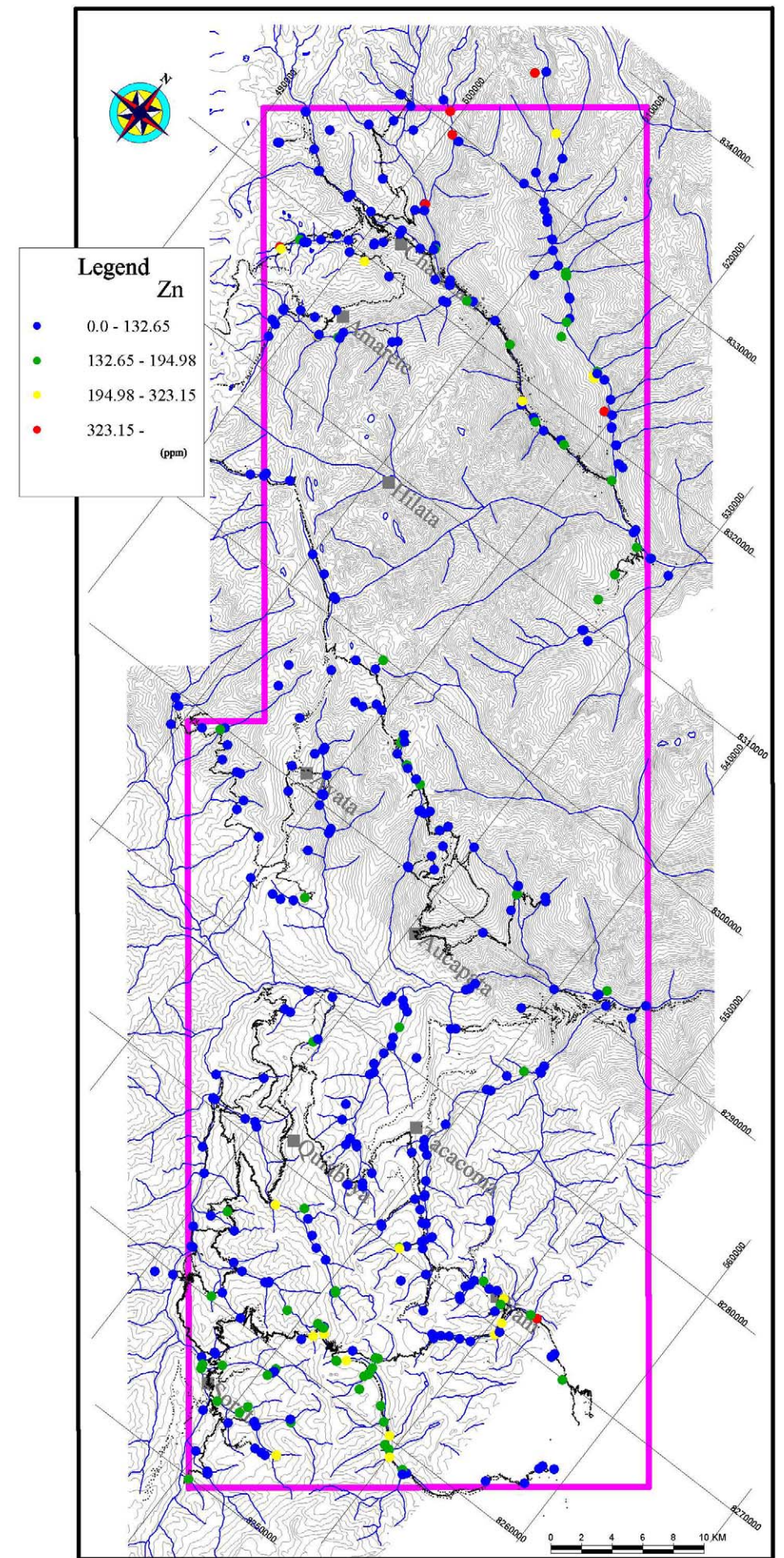
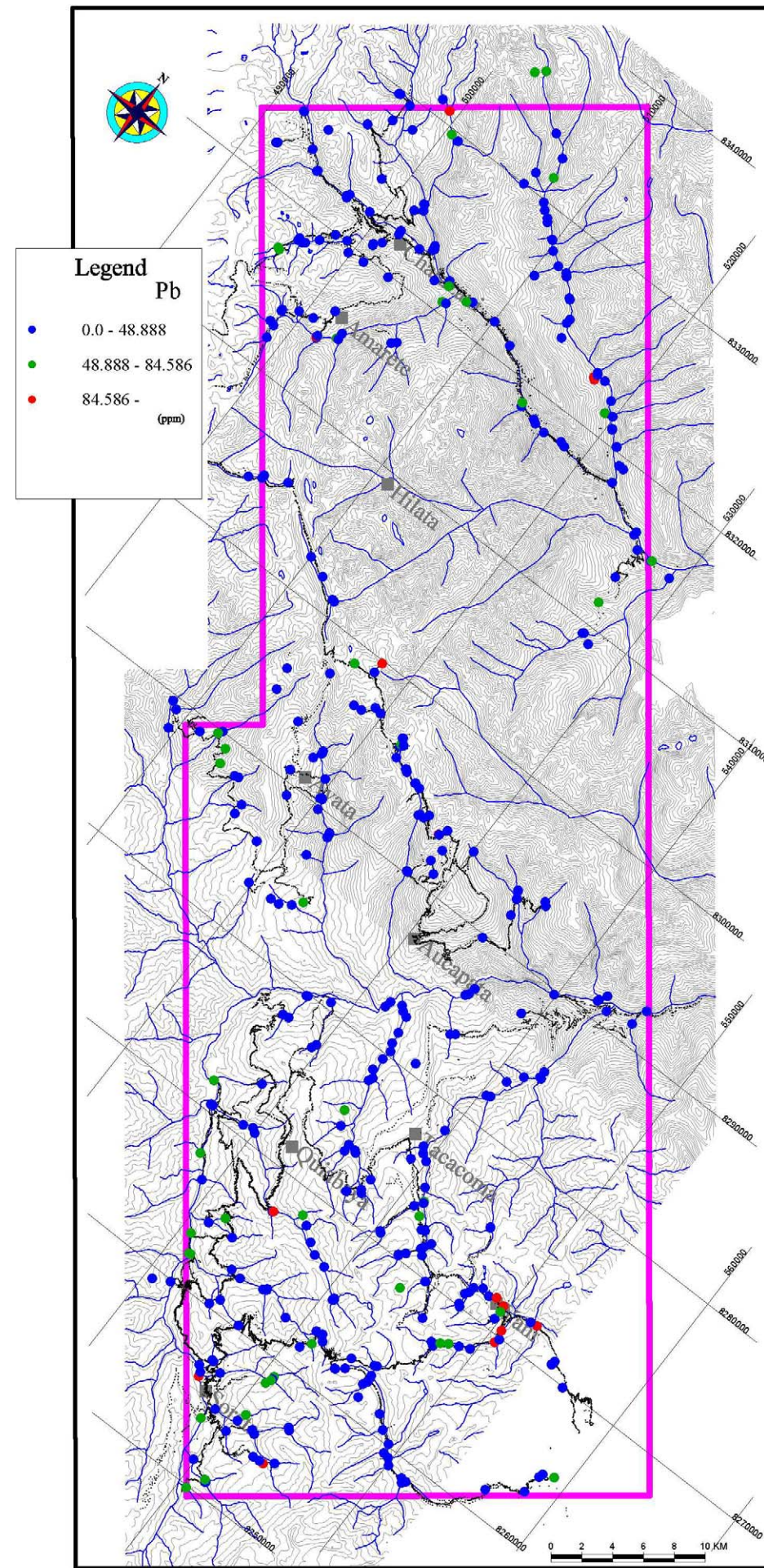
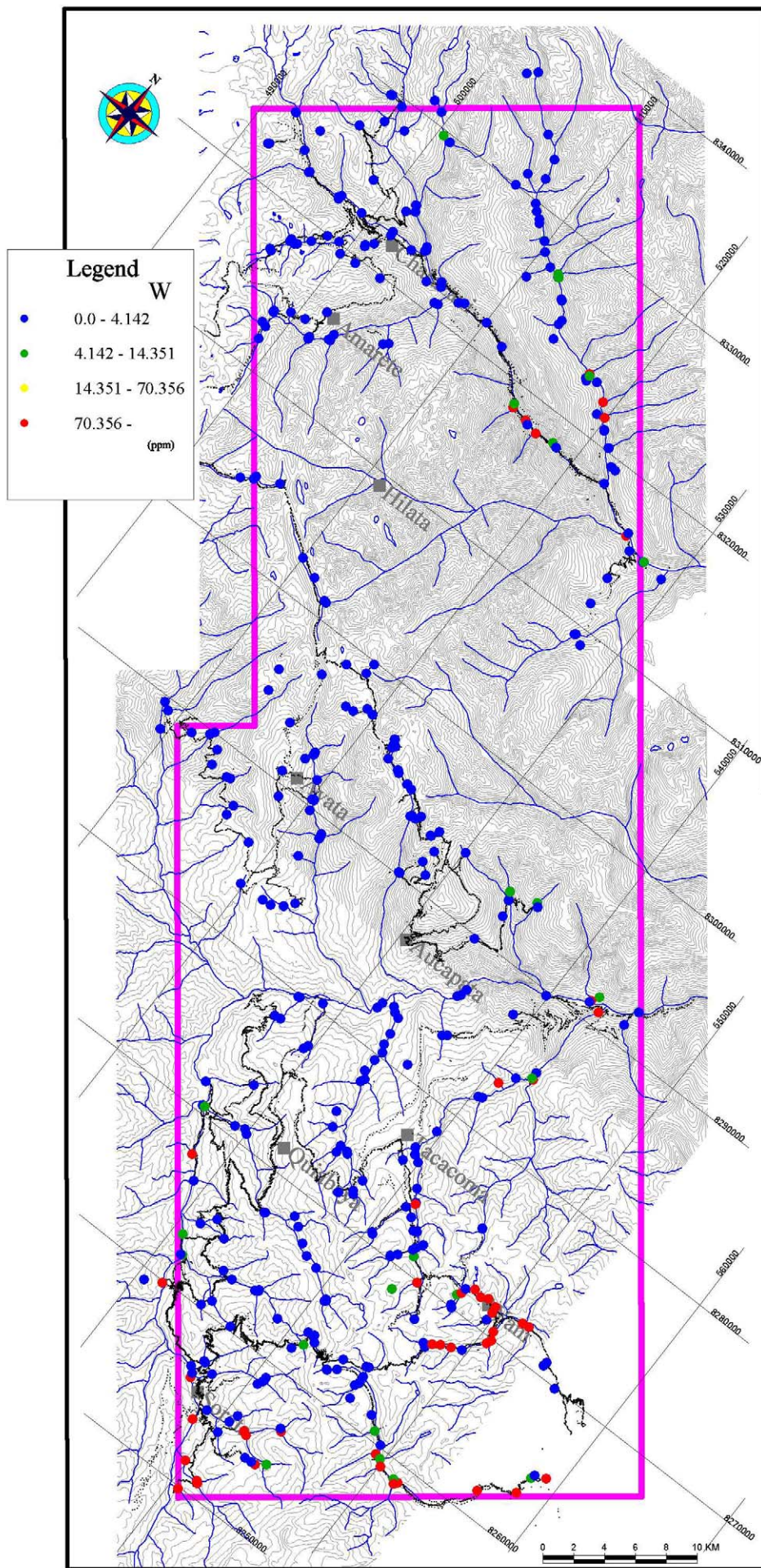
主成分分析にて金と同じ第6主成分を構成するヒ素および水銀のしきい値は各々47.929ppmおよび81.7ppbと算出される。ヒ素はクラーク数(1ppm)に比し非常に高いしきい値であるが、水銀はクラーク数(80ppb)とほぼ同じ値である。平均値で見れば前者は36.610ppmであり、後者は64ppbである。両者の異常地点の分布は大局的には金の異常地点分布に一致する。

錫の分析値のレンジは0.6～69.8ppmと非常に分布範囲は狭い。しきい値は4.501ppmが求められ、第8表に示す平均値3.571ppmより若干高い値であるが、クラーク数は2.5ppmであり、本しきい値を用い解析する。地化学異常地点の分布はソラタ近辺、チュチュハウィラ川およびチラヤ川に連続集中し、ワチリ川、ケジュワコタ川およびアウカパタ北方に異常地点が点在する。地質図と対比すれば、異常地点は南部のソラタおよびチュチャハウィラ川ではシルル系分布域に主に位置する。更に、イヤンプ花崗閃緑岩体およびヤニ-ゾンゴ花崗岩体近傍に異常地点が分布する傾向が認められる。北部のチラヤ川ではアマレッテ花崗閃緑岩体に重複して強異常地点が分布する。なお、調査地域北縁にも異常地点の小規模な連続があるが、後背地の詳細な地質環境は不明である。

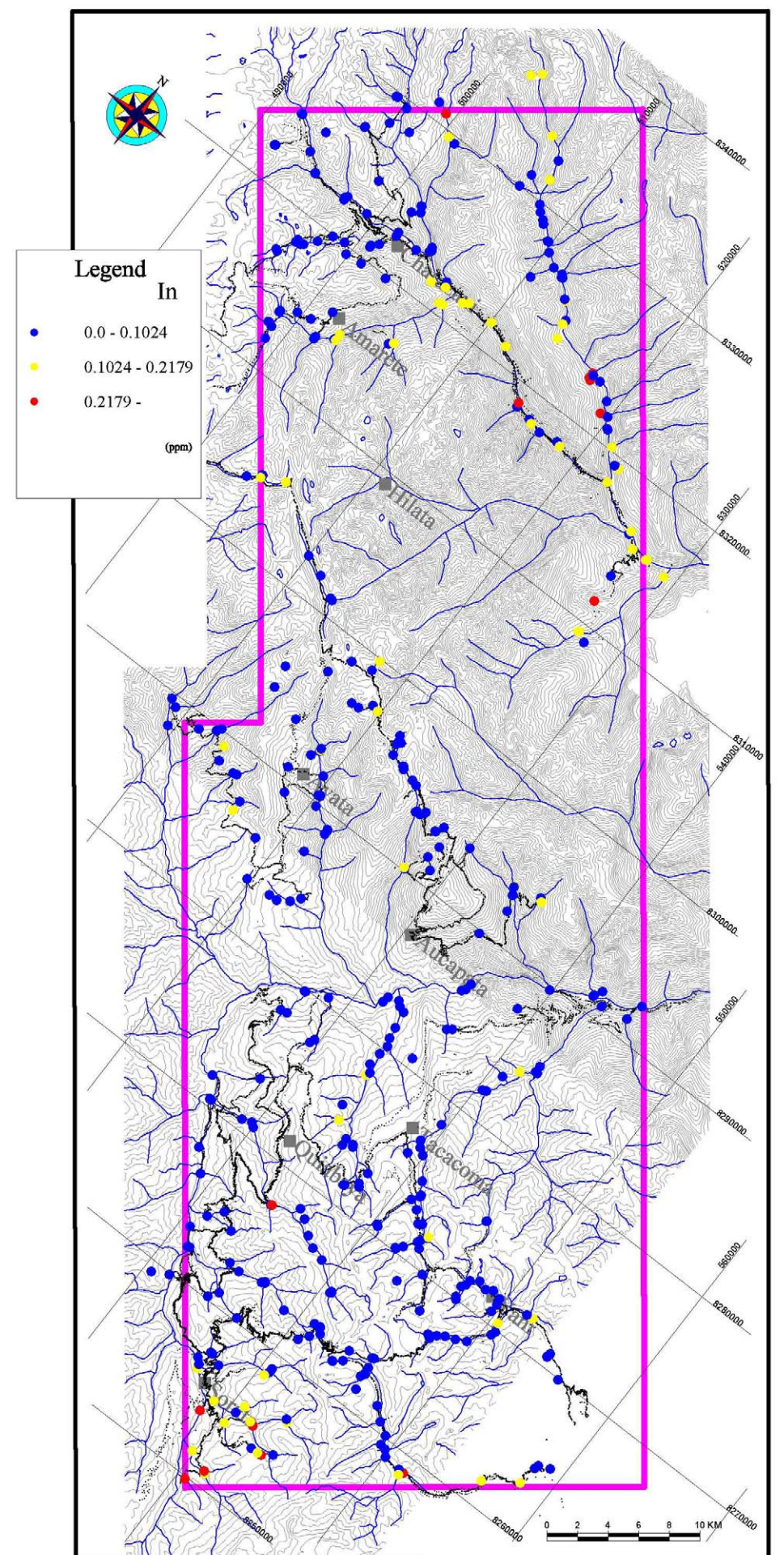
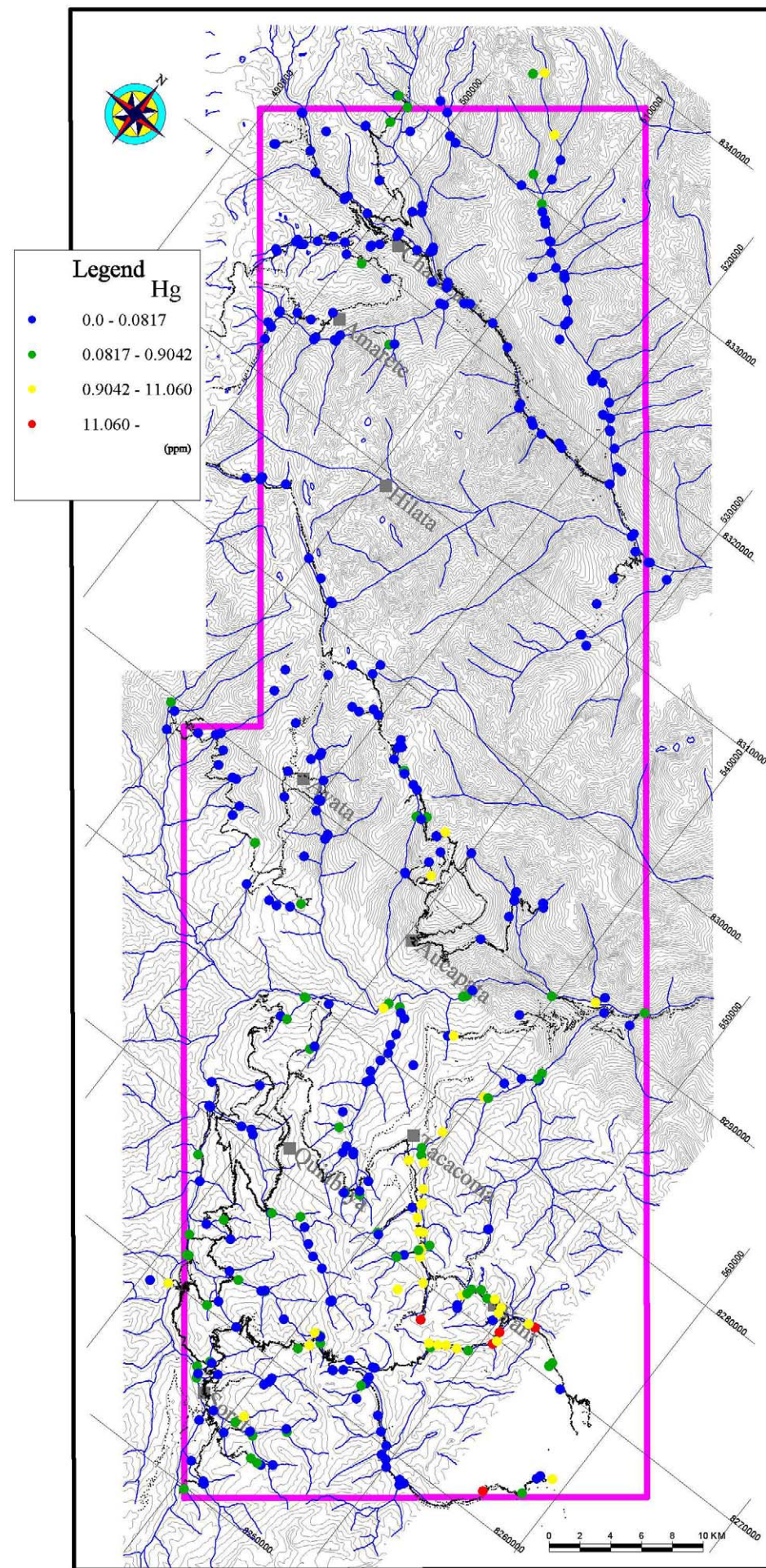
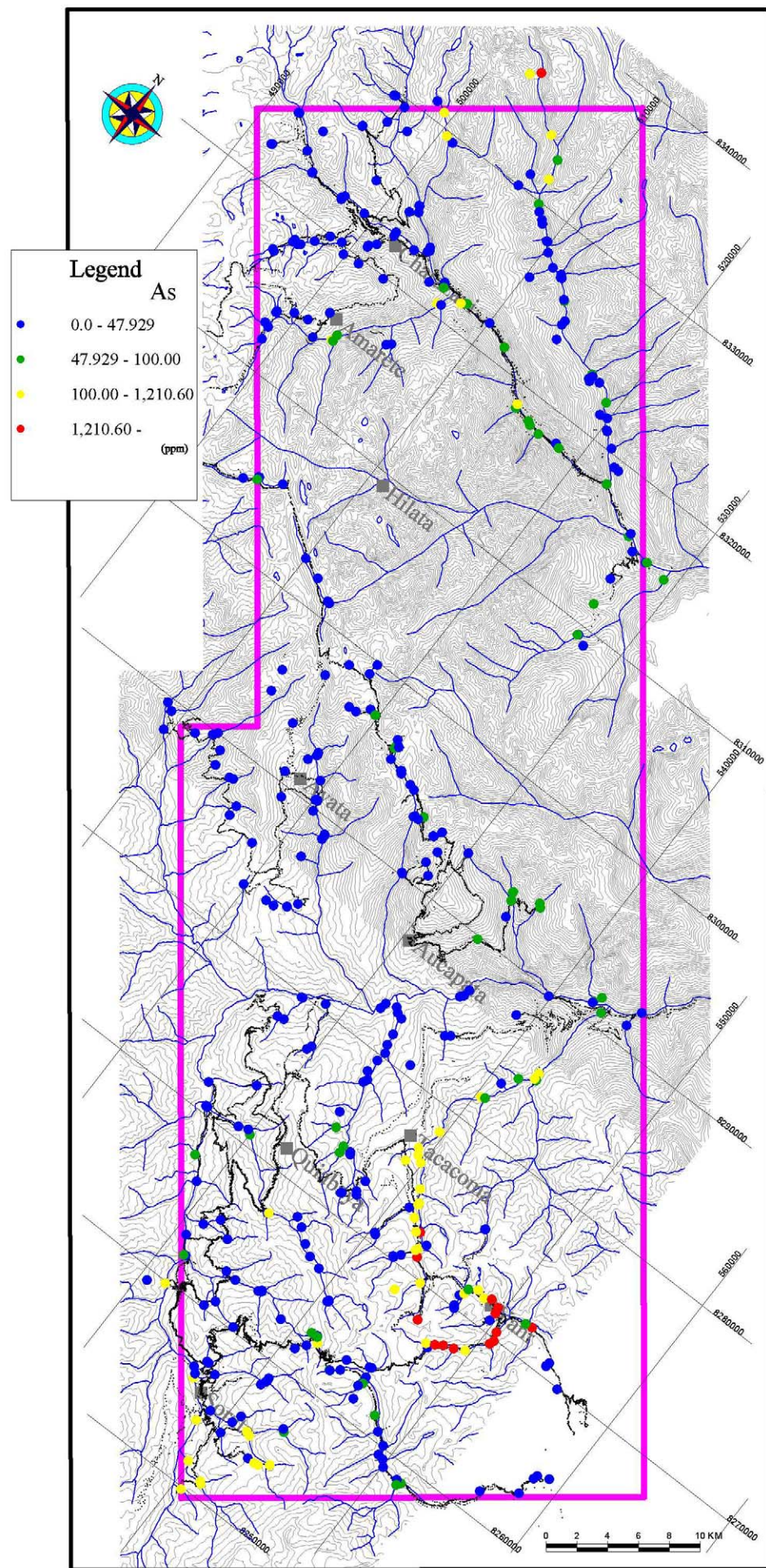
タングステンの分析値のレンジは0.05～2030ppmと比較的広い分布範囲を示す。しきい値は4.142ppmであり、平均値1.843ppmより十分に高い値となった。因みにタングステンのクラーク数は1ppmである。地化学異常地点の分布はソラタを中心とするサンクリストバル(San Cristóbal)川、チュチャハウィラ川およびヤニ谷に強～中異常地点の連続集中が見られ、チラヤ川下流部、ケジュワコタ川下流部に小規模な纏まりが見とめられる。チルチンパヤ川では強～弱異常地点が点在する。概観すればジカ川南部に異常地点は集中すると見ることもできる。



第 15 図 沢砂試料解析図(1)



第 15 図 沢砂試料解析図 (2)



第 15 図 沢砂試料解析図 (3)

地質図と対応すれば、南部域はシルル系を主体とするがオールドビス系分布域にも異常地点は分布しており、貫入岩体であるイヤンプ花崗閃緑岩体およびヤニ-ゾンゴ花崗岩体との関連が強く示唆され、既知鉍微分布とも整合する。北部域に小規模に分布する異常地点でもアマレット花崗閃緑岩体との関連が推定されるが、この区域では既知鉍微の記載はない。

鉛の分析値は 6.6~621ppm の分布範囲を持ち、平均値は 31.6ppm と成る。しきい値は 48.888ppm が得られた。異常地点はヤニに集中するのを除きその他の分布に特徴は無い。

亜鉛の分析値のレンジは 11~1345ppm であり、平均値は 98.2ppm である。しきい値は 132.65ppm が得られた。異常地点はチュチャハウィラ、ヤニおよびソラタ付近に若干の集中が認められる。

鉍石分析で第3主成分を構成する銀の鉍化作用との強い関連性が認められたインジュウムのしきい値は 0.102ppm となり、その異常地点の分布はソラタ周辺、カラヤ川およびケジュワコタ川下流部に集中しており、イヤンプ花崗閃緑岩体およびアマレット花崗閃緑岩体との関連が推測される。また、この異常地点分布はインジュウムと同じに第1主成分および第3主成分に規制される錫の分布に類似する。

2) パンニング試料

パンニング分析試料は重複分析試料6試料を含む49試料を採取した。重砂試料の分析結果を巻末資料10に、重複試料を除いた43試料について記述統計結果(幾何平均、標準偏差、最小、最大)を第10表に示す。

重砂分析結果のうち重複試料を除く43試料、49成分について主成分分析を行った。主成分分析結果(Factor Matrix)を第11表に示す。分析方法は前述した沢砂試料と同じである。10主成分が抽出され、第1主成分はNi、Zn、Pb、Co、Mn、Fe、SeおよびS、第2主成分はRb、Al、K、Ga、Li、Be、CsおよびTl、第3主成分はTh、La、Ce、Y、UおよびGe、第4主成分はBi、InおよびCu、第5主成分はMoおよびNb、第6主成分はHfおよびZr、第7主成分はCaおよびSr、第8主成分はAu、第9主成分はTiで特徴付けられるが、第10主成分は各成分とも因子負荷量低く特徴付けられない。本地域を特徴付ける錫は第2主成分で最大因子負荷量を示すものの0.5未満であり、コムナリティも0.7に達しておらず、今回の主成分分析では十分にその挙動を説明し得ていない。タングステンは第4および第5主成分の2つの主成分で説明される。

重複分析試料6試料を含む49パンニング試料の分析結果の内、本地域を特徴付ける金、錫およびタングステンを以下に記載する。本記載は単に重鉍物に対するAu、Sn、W品位であることに留意しておく必要がある。各々の分析値スペクトルを第16図に示す。なお、6地点での重複試料の分析値は、分布範囲の狭いものを除き比較的高い相関を示し再現性が確認された。分布範囲が狭いものも分析値は近接しており、試料採取・処理には問題無いと判断される。

金の分析値の分布範囲は検出限界(1ppb)以下から10.25ppmまでの幅広い分布を示し平均値は20.282ppbと高い値を示す。パンニング試料採取地点密度にばらつきがあるが、1ppm Au以上の分析値を得た区域は、北からケジュワコタ川、アウカパタ谷、ヤニ谷およびチュチュハウィラ川の4箇所、何れも調査地域の東側に位置する。これらの区域は相対的に他区域に比し分析品位は高い。特にヤニ谷では重複試料を含め9試料を得たが、26.20ppm Auの最高値を含み1ppm Au以上が6試料有り最も高品位な区域である。調査地域の西側に位置するソラタ付近も、その他の区域に比し若干高い傾向が認められる。

錫の分析値の分布範囲は0.4~113.5ppmであるが、10ppm以上を示す試料は3試料のみで概して低品位である。平均値は3.578ppmである。従って、重鉍物品位分布の特徴を明確にするこ

第10表 重砂分析値記述統計結果

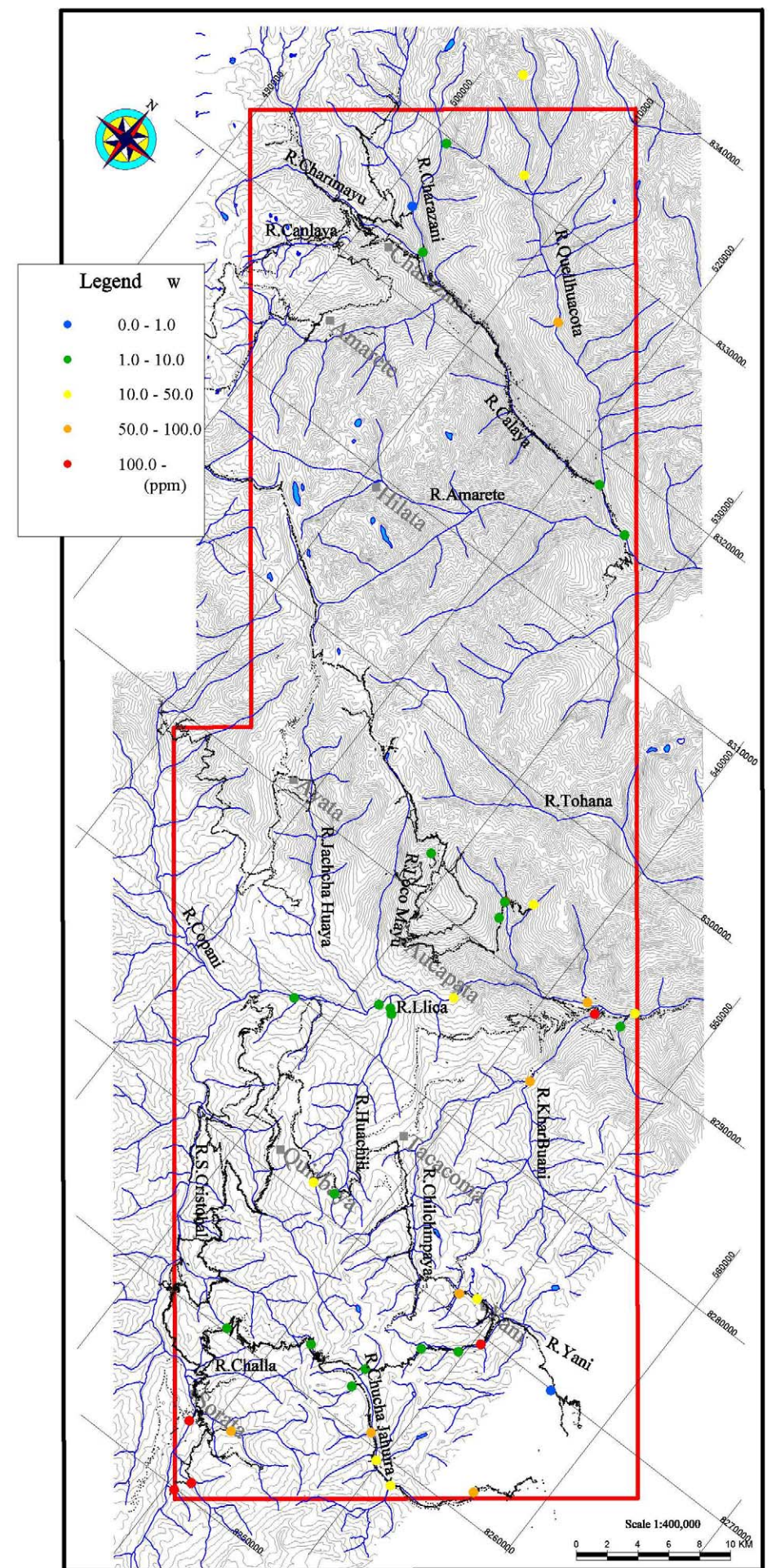
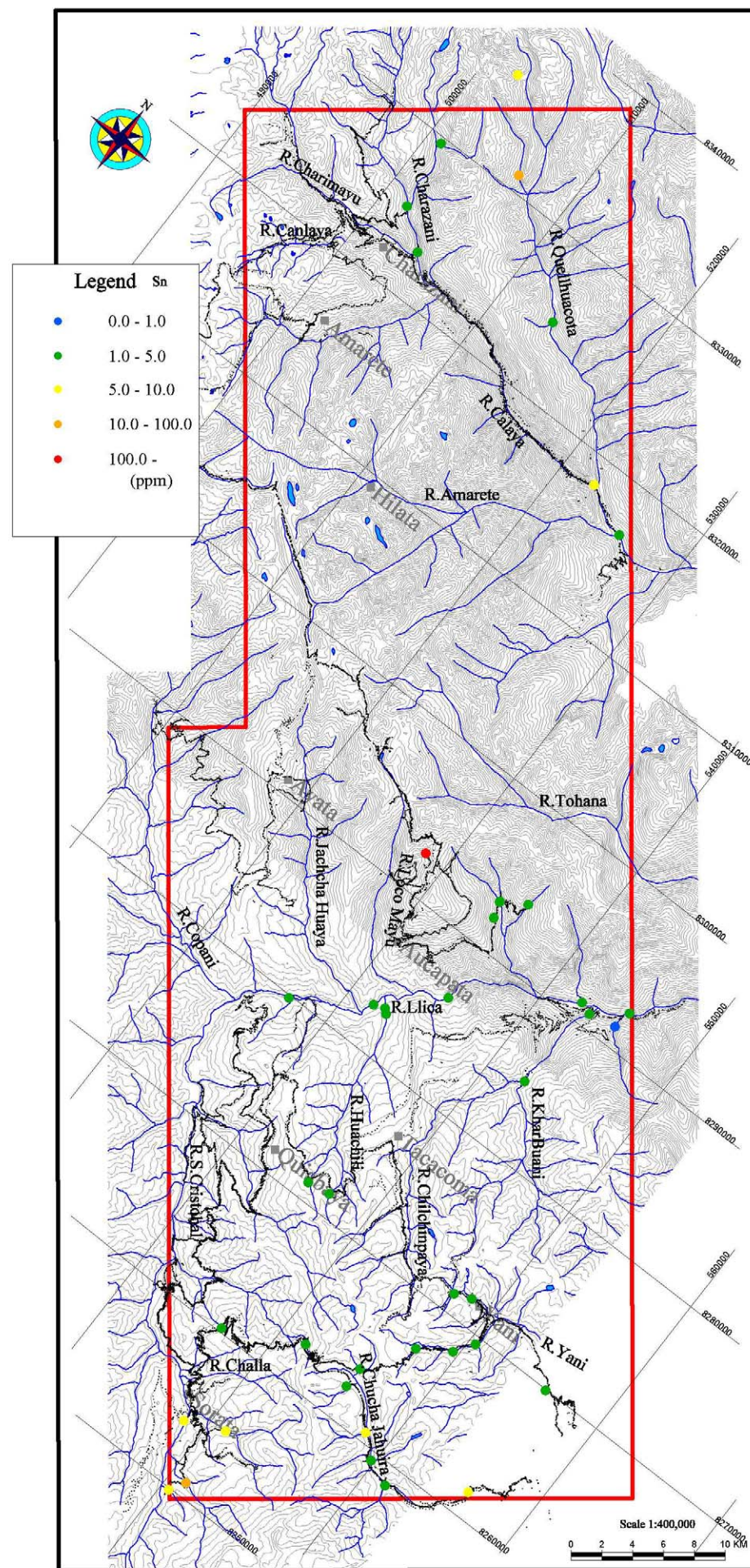
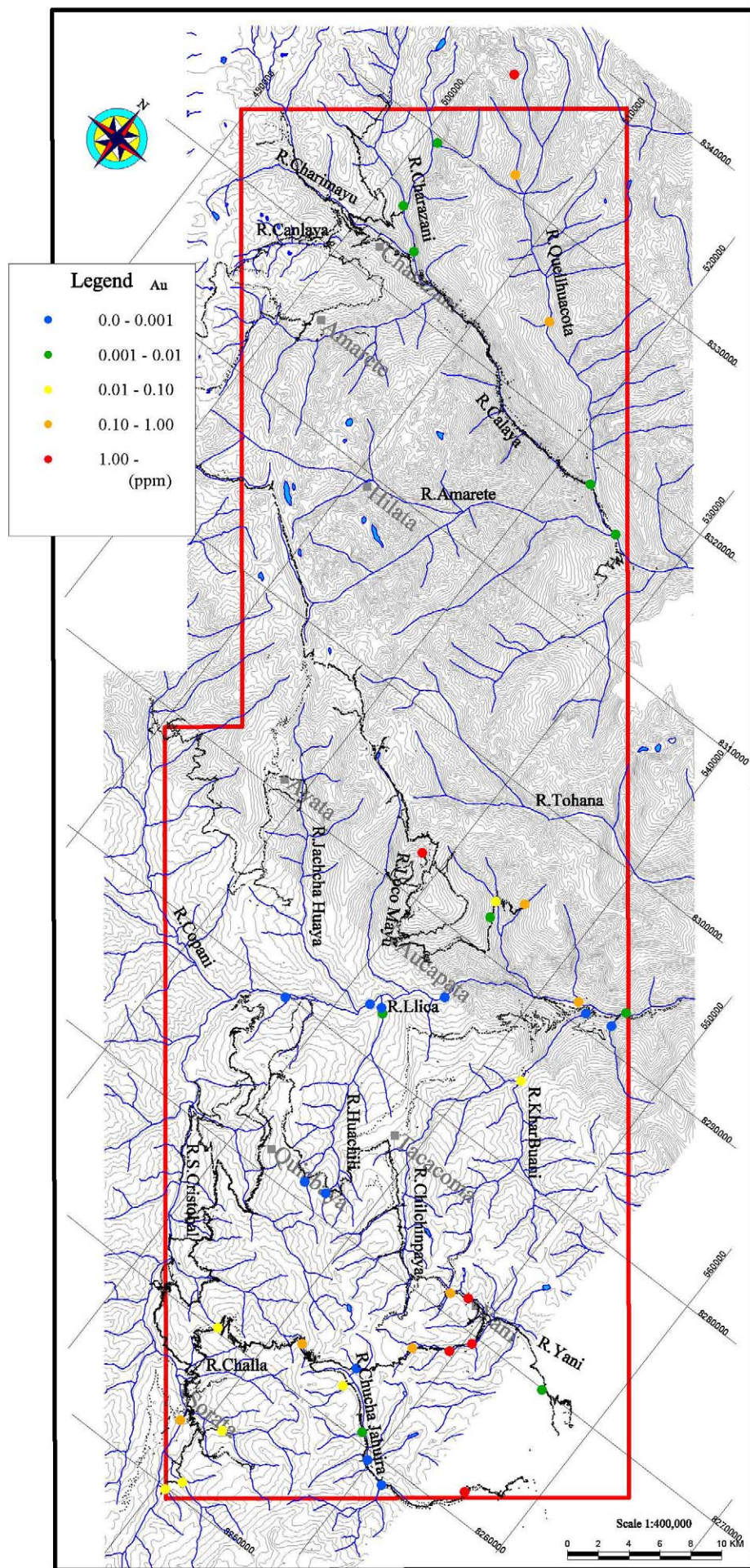
Element	Mean	σ	Min.	Max.	Unit
Au	20.282	23.957	<1	1025	ppb
Ag	0.185	4.348	0.001	3.16	ppm
Al	7.182	1.432	2.05	10.7	%
As	95.796	4.215	7.8	2630	ppm
Ba	394.947	3.042	8.5	1510	ppm
Be	2.888	1.371	1.2	4.4	ppm
Bi	1.368	6.457	0.16	776	ppm
Ca	0.207	2.455	0.04	1.4	%
Cd	0.104	3.891	<0.02	8.7	ppm
Ce	197.034	2.057	48.4	>500	ppm
Co	22.520	2.225	3	179	ppm
Cr	90.892	1.603	19	210	ppm
Cs	8.875	1.711	3.45	22.2	ppm
Cu	70.549	2.887	17.8	1675	ppm
Fe	7.110	1.863	1.11	25	%
Ga	19.162	1.427	6.9	33	ppm
Ge	0.416	1.953	0.15	2.25	ppm
Hf	0.506	2.351	0.1	3.8	ppm
Hg	0.205	7.603	0.01	41.3	ppm
In	0.116	2.122	0.04	1.975	ppm
K	1.931	1.429	0.59	2.98	%
La	103.984	2.429	23	>500	ppm
Li	65.968	1.572	25.6	136.5	ppm
Mg	0.699	1.387	0.26	1.17	%
Mn	690.436	1.926	150	5230	ppm
Mo	1.446	4.154	<0.05	24.4	ppm
Na	0.562	1.757	0.16	2.6	%
Nb	4.796	2.792	0.2	23.1	ppm
Ni	39.290	1.775	7.4	210	ppm
P	797.096	1.644	300	2720	ppm
Pb	38.077	2.468	10.5	1220	ppm
Rb	111.818	1.488	33.5	194.5	ppm
Re	0.002	2.695	<0.002	0.024	ppm
S	0.242	5.462	0.01	10	%
Sb	2.756	4.236	0.05	32.2	ppm
Se	1.335	2.277	<1	19	ppm
Sn	3.578	2.491	0.4	113.5	ppm
Sr	85.934	1.480	42.2	388	ppm
Ta	0.151	3.475	<0.05	1.7	ppm
Te	0.075	3.028	0.025	1.35	ppm
Th	20.926	1.701	9	83.2	ppm
Ti	0.253	2.040	0.04	1.38	%
Tl	0.748	1.426	0.28	1.24	ppm
U	3.010	1.856	1.3	26.5	ppm
V	86.599	1.618	21	224	ppm
W	11.806	7.589	0.4	764	ppm
Y	18.777	1.519	9.6	45.1	ppm
Zn	144.991	1.928	48	2510	ppm
Zr	10.107	3.427	<0.5	121	ppm

σ : Standard Deviation for logarithmic values of contents of each element

第11表 主成分分析結果

	Factor Loading										Communality
	PC* 1	PC* 2	PC* 3	PC* 4	PC* 5	PC* 6	PC* 7	PC* 8	PC* 9	PC* 10	
log Au	-0.314	0.168	0.057	0.086	-0.030	-0.047	-0.048	[0.837]	0.050	-0.130	0.86232
log Ag	0.310	-0.066	0.062	0.584	0.139	0.063	-0.079	0.351	0.076	0.441	0.79871
log Al	-0.164	[0.944]	0.020	-0.029	0.034	-0.177	-0.031	0.070	0.003	-0.124	0.97359
log As	0.172	-0.014	0.037	0.663	0.236	0.104	-0.007	0.553	0.087	-0.107	0.86247
log Ba	[-0.780]	0.242	-0.002	-0.225	-0.167	0.105	-0.148	-0.051	0.169	-0.004	0.80985
log Be	0.155	[0.893]	0.135	0.061	-0.003	-0.188	0.082	-0.022	0.059	0.145	0.91039
log Bi	0.165	0.052	0.142	[0.890]	-0.048	0.205	0.083	-0.015	0.086	-0.006	0.90005
log Ca	-0.153	-0.386	-0.237	0.158	0.085	0.117	[0.767]	-0.096	0.067	-0.069	0.88141
log Cd	0.472	0.099	0.028	0.483	0.049	0.023	0.114	-0.170	-0.140	0.379	0.67561
log Ce	0.100	0.271	[0.881]	0.059	-0.069	0.032	-0.045	0.025	0.067	-0.060	0.87904
log Co	[0.781]	0.105	0.029	0.489	0.014	0.099	-0.111	-0.038	0.026	-0.190	0.92147
log Cr	-0.277	0.027	-0.051	0.083	-0.096	-0.459	0.266	0.239	-0.021	-0.201	0.47590
log Cs	0.019	[0.850]	0.085	0.028	-0.006	0.281	-0.212	-0.112	0.048	0.197	0.90902
log Cu	0.499	0.071	0.045	[0.787]	0.114	-0.013	-0.099	-0.051	-0.109	0.097	0.92215
log Fe	[0.766]	0.018	0.326	0.069	0.116	-0.196	-0.356	0.000	-0.138	0.042	0.89680
log Ga	0.023	[0.918]	0.275	-0.062	0.031	-0.133	-0.145	0.044	0.113	-0.063	0.98135
log Ge	0.522	0.111	[0.723]	-0.031	0.022	-0.059	-0.228	-0.165	0.146	0.063	0.91718
log Hf	-0.105	-0.080	0.067	0.231	0.050	[0.856]	0.078	0.115	0.066	-0.012	0.83363
log Hg	0.374	-0.274	-0.204	-0.105	-0.046	0.237	-0.017	0.621	-0.007	0.264	0.78186
log In	0.291	0.292	0.051	[0.840]	0.003	0.160	0.076	0.005	-0.013	0.065	0.91315
log K	-0.287	[0.924]	-0.093	-0.029	-0.015	-0.082	-0.029	0.079	0.008	-0.134	0.97703
log La	0.019	0.211	[0.919]	0.069	-0.017	0.050	-0.071	-0.023	0.094	-0.045	0.91288
log Li	0.105	[0.909]	0.059	0.111	-0.027	0.139	-0.038	-0.103	-0.081	-0.039	0.89251
log Mg	0.062	0.556	-0.268	-0.066	-0.150	0.354	0.243	0.121	0.053	-0.512	0.87617
log Mn	[0.768]	0.090	0.024	-0.016	-0.316	-0.172	0.101	-0.076	0.356	0.016	0.87179
log Mo	0.310	-0.189	-0.041	0.229	[0.834]	0.050	0.053	0.003	-0.245	0.018	0.94696
log Na	-0.528	0.416	-0.041	0.131	0.098	-0.174	0.586	0.125	0.087	-0.088	0.88535
log Nb	0.032	0.113	-0.022	0.089	[0.707]	0.501	-0.021	-0.114	0.366	0.171	0.94985
log Ni	[0.898]	0.152	-0.057	0.118	0.101	0.104	-0.125	0.047	0.036	-0.132	0.90455
log P	0.543	0.074	0.365	0.010	0.548	-0.256	0.008	-0.089	-0.186	0.072	0.84766
log Pb	[0.793]	-0.167	-0.003	0.329	0.116	0.183	0.050	0.044	-0.139	0.303	0.92780
log Rb	-0.153	[0.967]	0.079	0.012	-0.013	-0.004	-0.116	0.040	0.030	-0.043	0.98318
log Re	0.490	-0.128	0.410	0.551	0.151	-0.145	-0.038	-0.159	0.031	-0.099	0.80895
log S	[0.727]	-0.210	0.050	0.393	0.235	0.115	-0.185	-0.001	-0.109	-0.073	0.84886
log Sb	0.253	0.068	-0.120	0.544	0.547	0.285	-0.070	0.290	-0.261	0.020	0.91701
log Se	[0.727]	-0.140	0.451	0.243	0.067	-0.003	-0.203	-0.055	0.068	0.048	0.86575
log Sn	-0.179	0.431	-0.150	0.185	0.325	0.296	0.171	0.414	0.079	0.107	0.68596
log Sr	-0.125	-0.441	0.231	-0.186	-0.083	0.163	[0.712]	-0.034	-0.120	0.083	0.86131
log Ta	0.193	0.307	0.284	0.104	0.468	0.410	0.009	0.012	0.461	0.129	0.83940
log Te	0.561	-0.110	0.224	0.593	0.272	-0.107	-0.049	0.067	0.065	-0.114	0.83913
log Th	0.019	0.115	[0.926]	0.107	0.043	-0.103	-0.103	-0.036	0.009	0.149	0.92902
log Ti	-0.156	-0.002	0.278	0.051	-0.101	0.077	-0.004	0.087	[0.896]	-0.045	0.93318
log Tl	0.287	[0.744]	0.361	0.213	0.074	0.182	-0.043	0.017	-0.157	0.105	0.88889
log U	-0.088	0.002	[0.753]	0.355	0.099	0.070	0.156	-0.060	-0.089	0.190	0.78763
log V	0.428	0.488	-0.100	0.040	0.532	0.283	-0.085	0.129	-0.054	-0.246	0.88271
log W	-0.090	-0.028	0.385	0.552	0.446	0.009	0.091	0.169	0.190	-0.066	0.73786
log Y	0.160	-0.142	[0.802]	-0.066	-0.031	-0.192	0.215	0.138	0.289	-0.185	0.91460
log Zn	[0.880]	0.161	0.002	0.198	0.126	0.072	-0.054	-0.075	-0.047	0.198	0.91036
log Zr	-0.022	-0.010	-0.339	0.171	0.209	[0.803]	0.202	0.141	-0.038	-0.178	0.92629
Eigenvalue	13.026	8.809	5.805	4.461	2.548	2.071	1.902	1.656	1.277	1.103	

*1 : Principal Component
 [] : -0.7 ≥ factor loading



第 16 図 パンニング試料解析図

とは出来ない。

タングステンの分析値の分布範囲は0.4～764ppmで、平均品位は11.806ppmを示す。調査地域南西部に位置するイヤンプ雪山より流下するサンクリストバル川流域に高品位部が集中し、次いでアウカパタ谷、ヤニ谷およびカルブアニ(Khar Buani)川に100ppm以上の地点が点在する。河川流域別に概観すれば、タングステンの高品位地点所在地は、前述の金の高品位分布域とほぼ重複する分布をなすと見ることができる。

3) まとめ

地化学探査沢砂試料分析値の主成分分析結果、本地域の鉍化作用を特徴付ける多金属鉍化作用、金鉍化作用、錫-タングステン鉍化作用において、多金属鉍化作用を特徴付ける鉍物組合せの内、Pbは因子負荷量で特徴付けることの出来ない第3主成分に属し、前掲のAg・Bi・Cd・Inに加え因子負荷量0.5以上を見ればSb・Sn・Cuが更に加わり、高温系と低温系の鉍化作用の特徴が認められる事から累積した鉍化作用を表現しているものと考えられる。Znは第2主成分のNi・Co・Mn・Mgと挙動を同じくする中温系の鉍化作用の特徴が主体と成るが、第3主成分にも若干ながら影響を受ける。したがって、Znについても累積した鉍化作用により形成されたものと考えられる。更に、CuおよびSn、Wについても主成分分析の結果、数次の鉍化作用の重複により形成されたものであろうと考えることができる。

金はHg・Asと挙動を同じくする低温系の鉍化作用の特徴が明瞭に認められ、他の金属成分との関連は非常に弱い。従来多金属鉍化作用の副産物とされていた金鉍化作用は、単独の鉍化作用あるいは鉍化時期の存在を示唆する。即ち、既存資料解析にて指摘されたヤニ型金鉍化作用が、本調査地域の主たる金鉍化作用であると見ることが可能である。

以上を総括すれば、地化学探査により抽出される要調査地域は、金鉍床に付いてはオールドビス系分布域および多金属鉍床および錫・タングステン鉍床については火成活動重複部近傍の地化学異常分布域の後背地ということになる。

3-3-3 考察

本調査地域においては、鉍化作用の重複あるいは繰り返しが存在することが、明かとなった。すなわち、既知鉍床・鉍徴の分布、火成活動時期および地化学探査による金属成分の組合せを総合すれば、本地域の鉍化作用は次の様な変遷をしたと考察することができる。

- ① 錫-タングステン鉍化作用；イヤンプ花崗閃緑岩の貫入に伴う鉍化作用
- ② 多金属鉍化作用；アマレッテ花崗閃緑岩およびチャラサニ複合岩体の貫入に伴う鉍化作用
- ③ 金鉍化作用；ヤニ-ゾンゴ花崗岩の若返りを惹起した熱水変質作用に伴う鉍化作用

既存資料解析でヤニ-ゾンゴ花崗岩の貫入に伴う再編とされるヤニ型金鉍床は、この考えに立てば、ヤニ-ゾンゴ熱水変質期に再度の金の濃集が行われたことになる。従って金鉍化作用は本地域における最後の鉍化作用である。

多金属鉍化作用により形成される鉍床は裂罅充填型の鉍脈鉍床であり、本地域において大規模鉍床に発展する可能性は低く、本プロジェクトにおける直接的な探査ターゲットには成り得ないものと判断され、副次的なターゲットとなる。

錫-タングステン鉍化作用により形成される鉍床もまた裂罅充填型の鉍脈鉍床を主体とするものと考えられ、これらの金属市場を考慮すれば、直接的な探査ターゲットにはなり得ないも

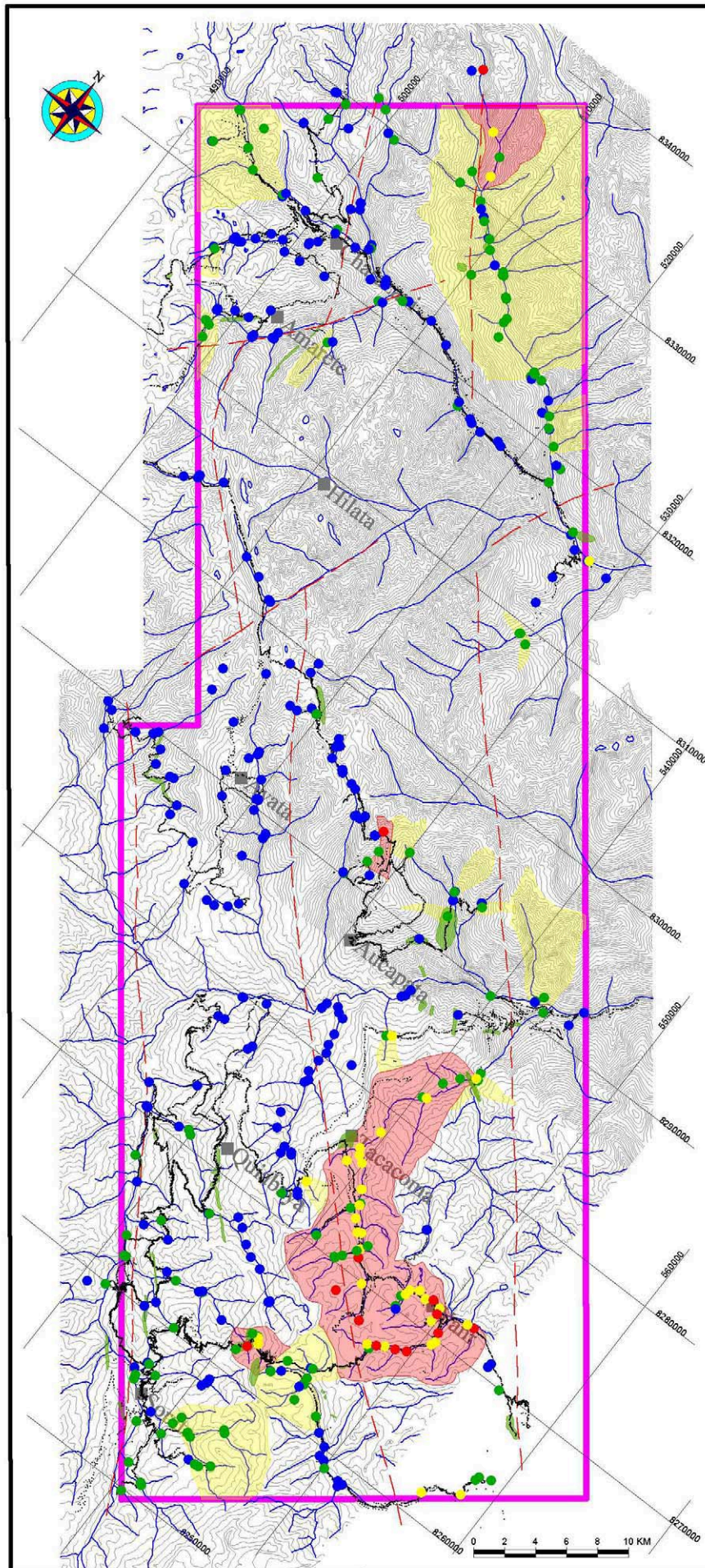
のと判断される。但し、既存資料」解析にて抽出された層状鉱床の可能性についての検討は、今後も行ふ必要がある。その可能性の一つとしてアウカパタ北方にて捕捉された珪化岩転石帯とその上位に遠望された褐鉄鉱ヤケを有する堆積岩分布域が存在する。この区域では錫の地化学異常は捕捉されていないが、詳細な調査により鉱化作用の有無を確認する必要があるものと考えられる。

金鉱化作用により形成される鉱床は、ヤニ区域を除き、裂罅充填型の鉱脈鉱床として認識されているものと考えられる。一方、マント型であるヤニ型金鉱床は、ヤニ-ゾンゴ花崗岩の貫入に伴う熱変成作用の低変成帯に選択的に分布するとされるが、調査地域北縁のヤナオルコ鉱山の採掘現場で得た千枚岩中の黒色珪質層の試料は 126g/t Au と非常に高品位である。即ち、この現象は、マント型金鉱床がヤニ-ゾンゴ花崗岩体の周辺のみが存在するのではなく、更に広範囲に分布し得ることを示しているものと考えられる。

以上を総括すれば、本地域における直接的探査ターゲットとしてはマント型金鉱床となる。そのための有望区域抽出の条件は、

- ① 黒色頁岩分布域
- ② 褐鉄鉱化変色帯分布域
- ③ 硫化物残存帯
- ④ 沢砂地化学異常分布域後背地

である。この考えの基づき要調査地域を抽出し、第 17 図に示す。



第 17 図 要調査地域抽出図 (地化学探査)

第4章 総合解析

4-1 調査結果の要約

調査地域内の地質・地質構造と多金属鉱脈鉱床および中熱水性金鉱床の鉱化作用との関係を把握し、変質帯の特性および地化学探査における元素の分布状況を考慮し、鉱床賦存の可能性の高い有望地域の抽出を行うことを目的として実施した本年度調査により判明した結果を列記すれば以下の通り取り纏めることができる。

1) 衛星画像解析

i. 既存地質データは、ASTER 画像解析に供するには精度的に合致せず、地形情報も未整備であり、既知鉱徴位置の精度にも問題がある。したがって、地質に関してはASTER 画像の地質判読を実施し、画像処理・解析結果との照合を行うべきである。

ii. 地化学探査範囲の今年度調査は予察調査程度の精度しかなく、地質層序および地質構造の把握が不十分であり、画像データの解析には今後のデータの補完が望まれる。

iii. 抽出鉱物の分布パターンは次の3グループに集約できる。

① 石英指数-絹雲母-モンモリロナイト-緑泥石-(緑簾石)

② カオリナイト-明礬石-(褐鉄鉱)

③ 酸化鉄指数

iv. 鉱化変質作用の示徴としては、褐鉄鉱ヤケ賦存域の抽出指標としてグループ③の酸化鉄指標および褐鉄鉱を含むグループ②が注目される。

v. この二つのグループの重複部が今後の要調査区域として抽出されるべきであると考えられるが、酸化鉄指標とグループ②とは殆ど重複しない。従って、グループ②と褐鉄鉱との重複部を要調査区域とする(第12図)。

2) 既存データ解析

i. 調査地域には、オルドビス紀から第四紀までの堆積岩類が北西-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、南西部に向かい次第に若い時代の堆積岩類が分布する配列を成し、これらを貫いて、上部古生界および下部中生界の貫入岩類と新第三紀初頭の貫入岩類とが分布する。

ii. 鉱床生成区分では、錫鉱床帯および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る。

iii. 砂金の源は従来西部に分布する多金属鉱床帯に由来するとされていたが、ヤニ地区における金鉱床の胚胎形式が明らかになるにつれ、ヤニ地区の金鉱化帯が砂金鉱床の源の一つであると指摘される。

iv. ヤニ地区の金鉱化作用に最も関与したとされるヘルシニアン変動期に貫入した花崗岩類はヤニ南方にのみ記載されているが、鉱床胚胎母岩であるオルドビス系は広範に分布しており、潜在する同種岩体が存在するかどうかは今後の北方域における広域的探査には重要となる。

v. 南方域については、花崗岩体本体が連続し、かつオルドビス系の低変成域も記載されていることから、本年度の調査範囲のみならず、調査対象地域全域が要調査範囲として抽出し得る。

vi. 珪化砂質硬質岩に胚胎するマント型錫鉱床は、錫市場の低迷を考慮すれば、高品位鉱床

あるいは大規模鉱床の可能性が無い限り、調査対象としての順位は低いものと判断される。
vii. 以上から、既存資料解析から得られる‘調査が必要’と判断される区域を抽出するための要件は、次の2項目に要約することができる。

- ① 低変成度オルドビス系の分布域抽出
- ② 低変成度黒色頁岩分布域中の褐鉄鉱ヤケ賦存域抽出

3) 地化学探査

i. 本調査地域において、既知鉱床・鉱徴の分布、火成活動時期および地化学探査による金属成分の組合せを総合すれば、

- ① 錫-タングステン鉱化作用;イヤンプ花崗閃緑岩の貫入に伴う鉱化作用
- ② 多金属鉱化作用;アマレッテ花崗閃緑岩およびチャラサニ複合岩体の貫入に伴う鉱化作用
- ③ 金鉱化作用;ヤニー-ゾンゴ花崗岩の若返りを惹起した熱水変質作用に伴う鉱化作用との鉱化作用の変遷が考察される。

ii. 既存資料解析でヤニー-ゾンゴ花崗岩の貫入に伴う再編とされるヤニ型金鉱床は、ヤニー-ゾンゴ花崗岩を若返らせた、熱水変質期に再度の金の濃集が行われたとも解される。

iii. 多金属鉱化作用により形成される鉱床は裂罅充填型の鉱脈鉱床であり、本地域において大規模鉱床に発展する可能性は低く、本プロジェクトにおける直接的な探査ターゲットには成り得ない。

iv. 錫-タングステン鉱化作用により形成される鉱床もまた裂罅充填型の鉱脈鉱床を主体とするものと考えられ、これらの金属市場を考慮すれば、直接的な探査ターゲットにはなり得ないものと判断されるが、層状鉱床の可能性についての検討は、今後行う必要がある。

v. その可能性の一つとしてアウカパタ北方の珪化岩転石帯とその上位に遠望された褐鉄鉱ヤケを有する堆積岩分布域であり、鉱化作用の有無を確認する必要がある。

vi. 金鉱化作用は主成分分析の結果単独の鉱化作用で特徴付けられ、低温系の鉱化作用の特徴を示す。したがって本地域の最後の鉱化作用であるヤニ型金鉱化作用が、本調査地域の主たる金鉱化作用であると見ることが出来る。

vii. マント型であるヤニ型金鉱床は、ヤニー-ゾンゴ花崗岩の貫入に伴う熱変成作用の低変成帯に選択的に分布するとされるが、調査地域北縁のヤナオルコ鉱山の採掘現場で得た千枚岩中の黒色珪質層の試料で 126g/t Au と非常に高品位を得た。

viii. この現象は、マント型金鉱床がヤニー-ゾンゴ花崗岩体周辺のみには存在するのではなく、更に広範囲に分布し得ることを示しているものと考えられる。

ix. 以上を総括すれば、本地域における直接的探査ターゲットとしてはマント型金鉱床となる。そのための有望区域抽出の条件は、

- ① 黒色頁岩分布域
- ② 褐鉄鉱化変色帯分布域
- ③ 沢砂地化学異常分布域後背地

であり、要調査地域が抽出される(第 17 図)。

4-2 有望区域の抽出

衛星画像解析、既存データ解析および地化学探査解析結果を総括し、重複する項目を除外すれば、本調査地域における今後の探査のための有望地域抽出条件を、次の通り取り纏めることが出来る。

- ① 衛星画像データから抽出される褐鉄鉱に重複するカオリナイトおよび明礬石重複域
- ② 低変成度黒色頁岩分布域と褐鉄鉱ヤケ帯重複域
- ③ 沢砂地化学異常地点分布域の後背地

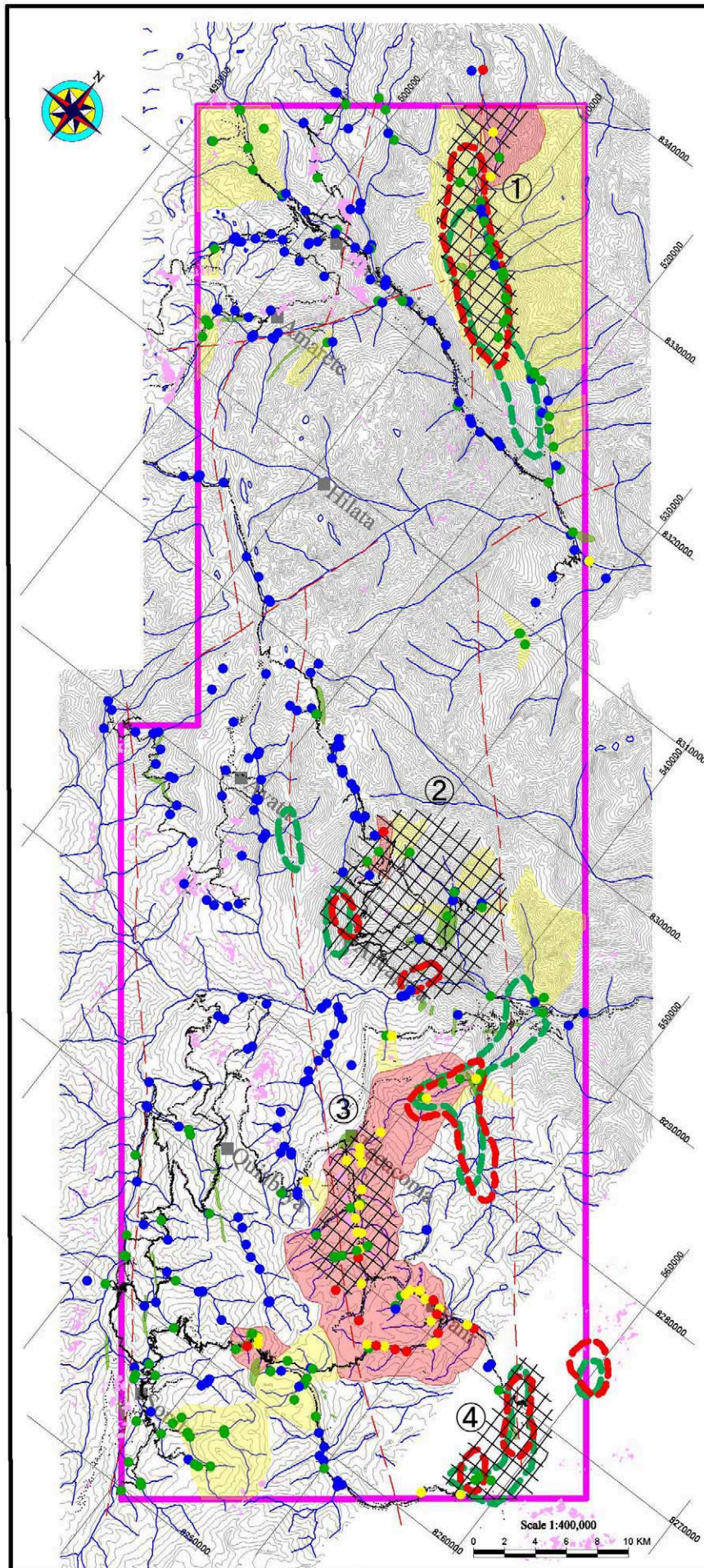
これらの条件の内③の地化学異常を必須条件とし有望地区を抽出すれば、次の6箇所となる。

- 1) ケジュワコタ川流域地区
- 2) アウカパタ地区
- 3) タカコマ(チルチンパヤ川流域)地区
- 4) ヤニ南部地区
- 5) チャラサニ西部地区
- 6) ソラタ東部地区

- 1) ケジュワコタ地区；本地区は上流に、ヤニ型金鉱床の胚胎域を大幅に拡大した根拠となったヤナオルコ鉱山が存在しており、金鉱床を再編した熱源の潜在が期待される地区である。地表調査でも小規模ではあるが褐鉄鉱ヤケ帯が確認された。更に、画像解析による褐鉄鉱-カオリナイト-明礬石の重複が見られる地区であり、3条件とも満たす区域である。但し、本地区に入る車道は無く、調査は馬・ロバによるキャラバン調査となる。
- 2) アウカパタ地区；本地区は小規模な地化学異常が点在する区域であるが、地表調査で大規模な褐鉄鉱ヤケが認められ、かつ画像解析による褐鉄鉱-カオリナイト-明礬石の重複が見られる地区であり、3条件とも満たす区域である。道路開削中であり、開通すれば交通の便に恵まれる。隣接する東部にも地化学異常後背地が抽出され酸化鉄指標も分布するが、データが少ないので除外した。
- 3) タカコマ(チルチンパヤ川流域)地区；本地区は高地化学異常地点が連続して捕捉された区域である。地表調査では高度および雨季の降雨に阻害され褐鉄鉱ヤケ帯は、タカコマ部落付近を除き、捕捉していない。また画像解析での抽出条件とした要件も満たしていないが、連続する酸化鉄指標が認められる地区である。交通の便は比較的良く、北部および南部の両側から本地区に入ることが出来る。
- 4) ヤニ南部地区；本地区は画像解析による褐鉄鉱-カオリナイト-明礬石の重複が見られる地区である。地形図が未刊であり、地化学異常の後背地を決定することは出来ていない。道路は南北両端の川沿いにあるが、具体的調査は馬・ロバによるキャラバン調査となる。
- 5) チャラサニ西部地区；本地区は地化学異常が集中し、3)にて加えた酸化鉄指標が捕捉された区域であるが、チャラサニ複合岩体に重複することから、裂隙充填型金鉱床胚胎が期待される区域である。

6) ソラタ東部地区；本地区はシルル系の砂質卓越岩が分布する区域であり、黒色頁岩の分布は乏しいものと判断される。裂隙充填型金鉱床胚胎が期待される区域である。

以上を纏めれば、今後の調査対象地域としては、ケジュワコタ地区、アウカパタ地区、タカコマ地区およびヤニ南方地区の4地区が、マント型金鉱床胚胎の可能性のある有望区域として抽出される(第18図)。



第 18 図 総合解析図