

#### 1-4 まとめ及び考察

対象地域をふくめた周辺地域に確認されている鉱床は、アルカリ玄武岩に伴う銅鉱床、赤色砂岩に胚胎される層状銅鉱床（コロコロ型鉱床）、ボリヴィア型多金属鉱脈鉱床、浅熱水性鉱床および斑岩銅鉱床である。

ボリヴィアのアルカリ玄武岩に伴う銅鉱床や堆積岩中の層状銅鉱床は小規模で当面の探査の対象とならない。

ボリヴィア型多金属鉱脈鉱床は、東アンデスからアルチプレーノにかけて存在しており、大部分が中新世の形成であるが、第三紀以前のものも存在する。西アンデスやアルチプレーノの中新世またはそれ以前の岩石類が存在している地域には、新しい火山岩類で隠されている可能性がある。

西アンデスやアルチプレーノには、第三紀火山岩中に広範囲に及ぶ熱水変質帯の存在が知られている。

一般に、熱水鉱床には高硫化系熱水鉱床、低硫化系熱水鉱床、斑岩型金鉱床、温泉堆積物など多種類の鉱化作用が知られている。また、大部分のボリヴィア型多金属鉱脈鉱床も地表付近に形成された浅熱水起源の鉱床と考えられており同様の熱水変質帯をともなっている。したがって火山岩地域に存在する熱水変質帯はこれらいずれかのタイプの鉱化示徴の可能性があり、深部に鉱床が胚胎している可能性がある。

さらに、ボリヴィア型多金属鉱脈鉱床の模式胚胎図と熱水変質を伴う斑岩銅・金鉱床の模式的な鉱床モデル (Fig. II-1-6 および Fig. II-1-7) から、アルチプレーノに存在するボリヴィア型多金属鉱脈型鉱床の下部には斑岩銅鉱床賦存の可能性が期待される。

また、斑岩型金鉱床も下部は斑岩銅鉱床と関連しているか移行すると考えられる。

高硫化系浅熱水性鉱脈鉱床は明礬石、カオリン、パイロフィライトを含む著しい粘土化を特徴とする熱水変質作用を伴う。明礬石やカオリンは二次的に生成されるがパイロフィライトは初成鉱物で、この鉱物の存在は高硫化系浅熱水性鉱脈鉱床存在の可能性を示唆する。

チョコレリンピエ鉱床は、浸食により露出した成層火山体中心付近の熱水変質帯に存在している。ここから南部のカロールノ地区にいたるまでに分布している変質帯の一部には、中心部付近





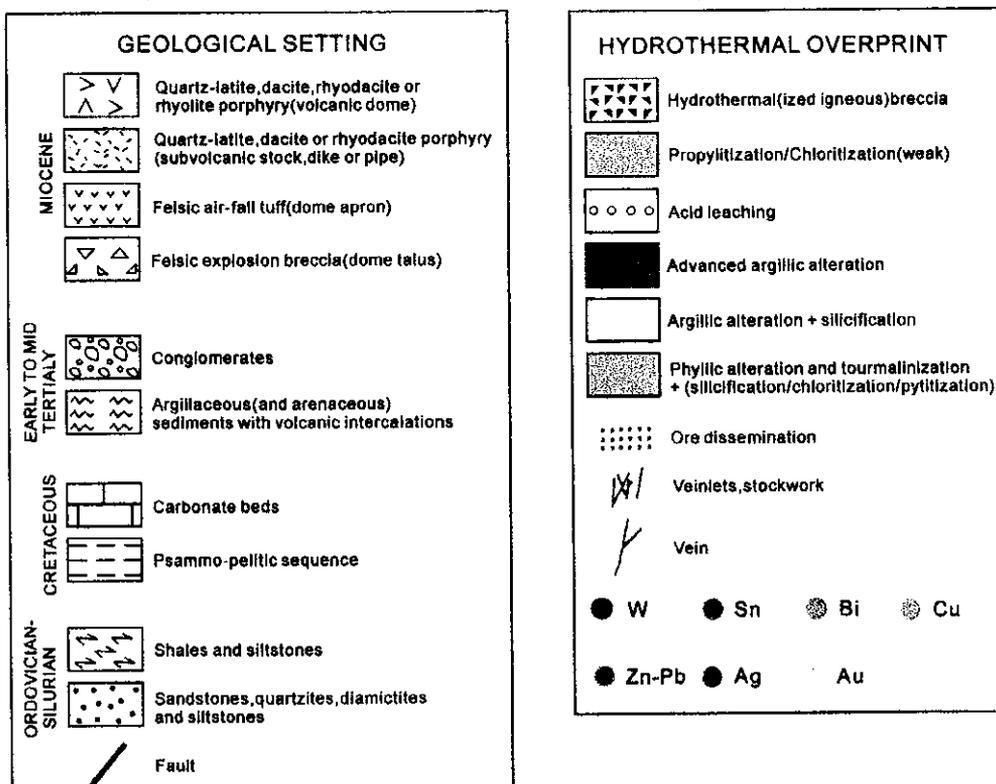
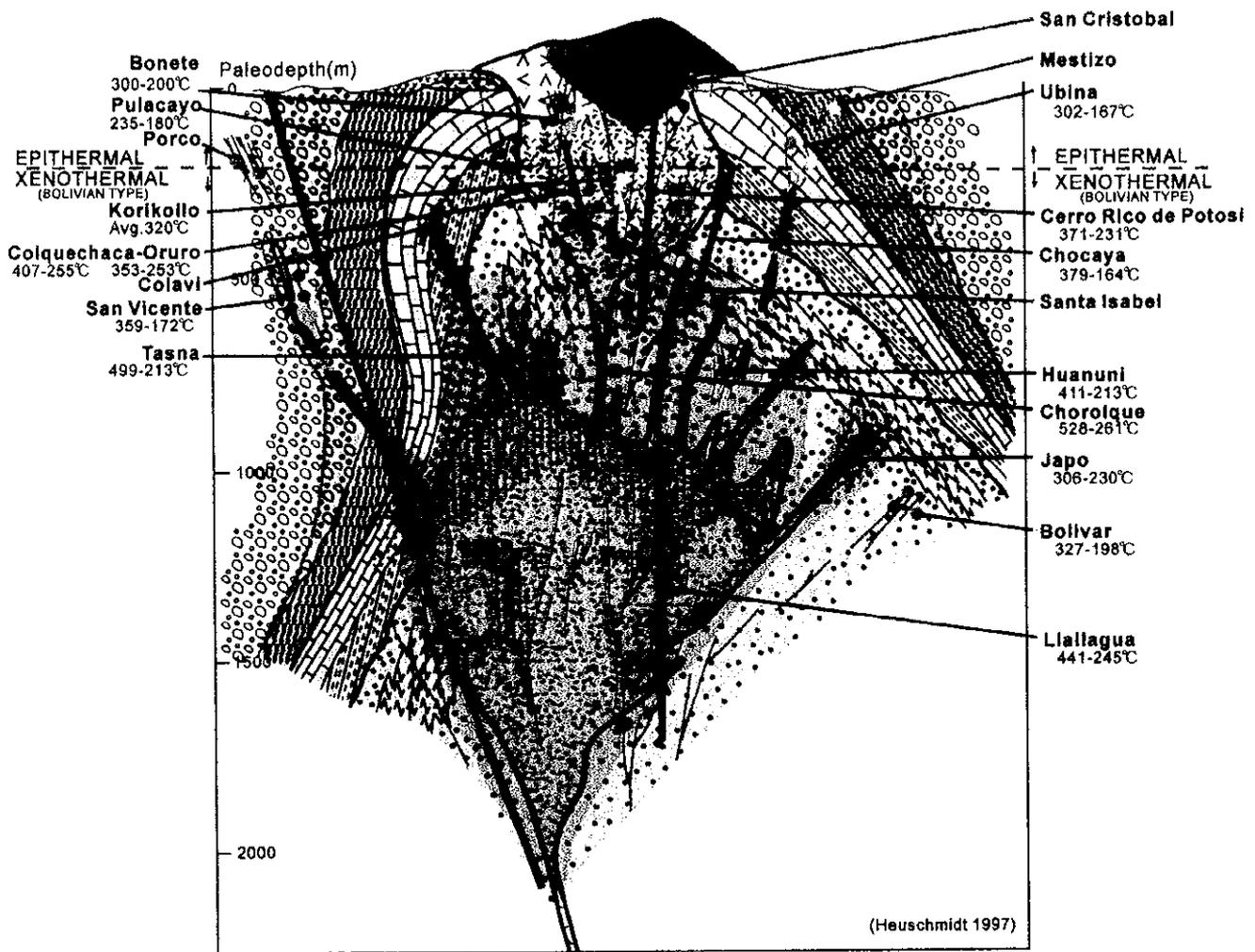
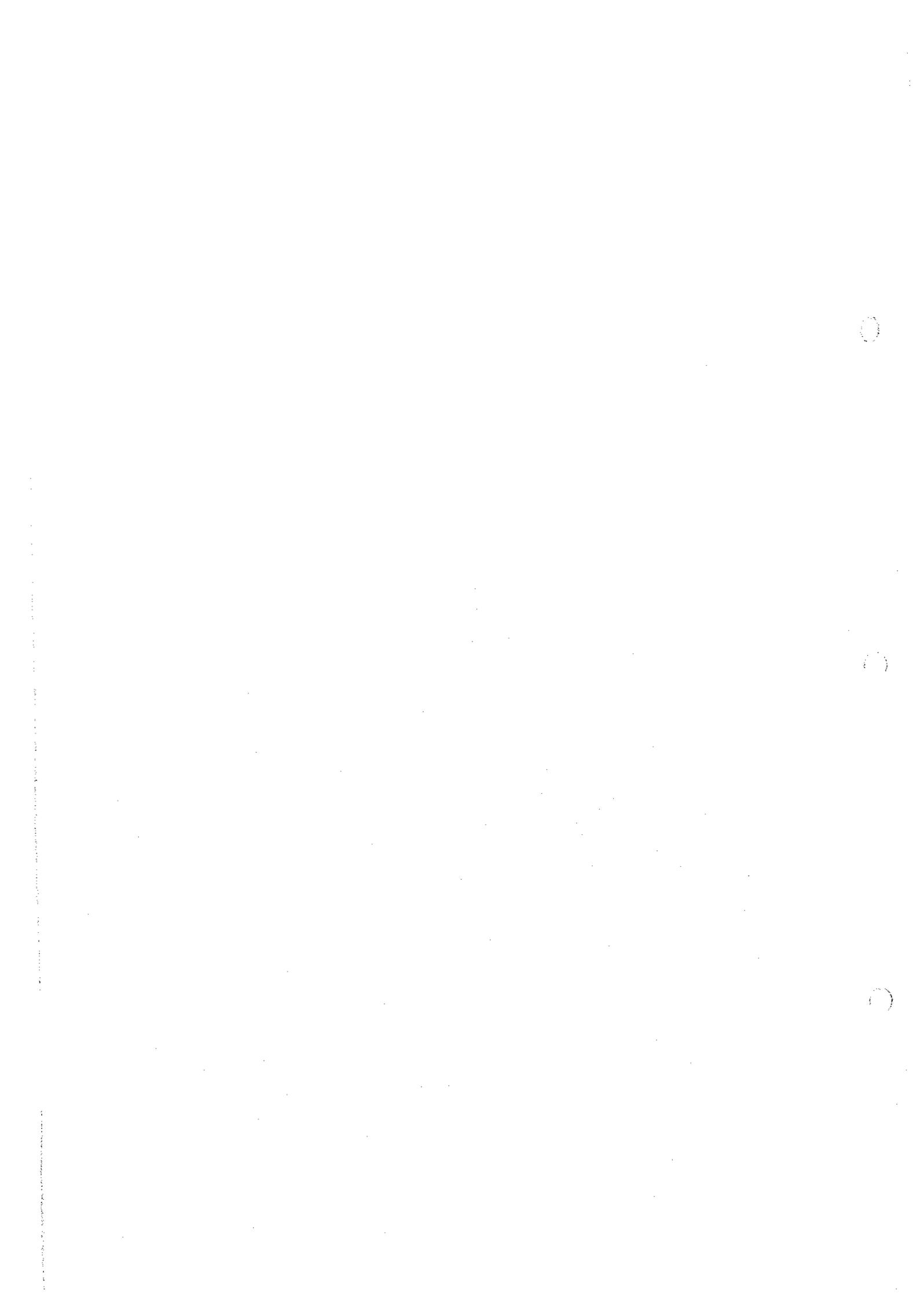
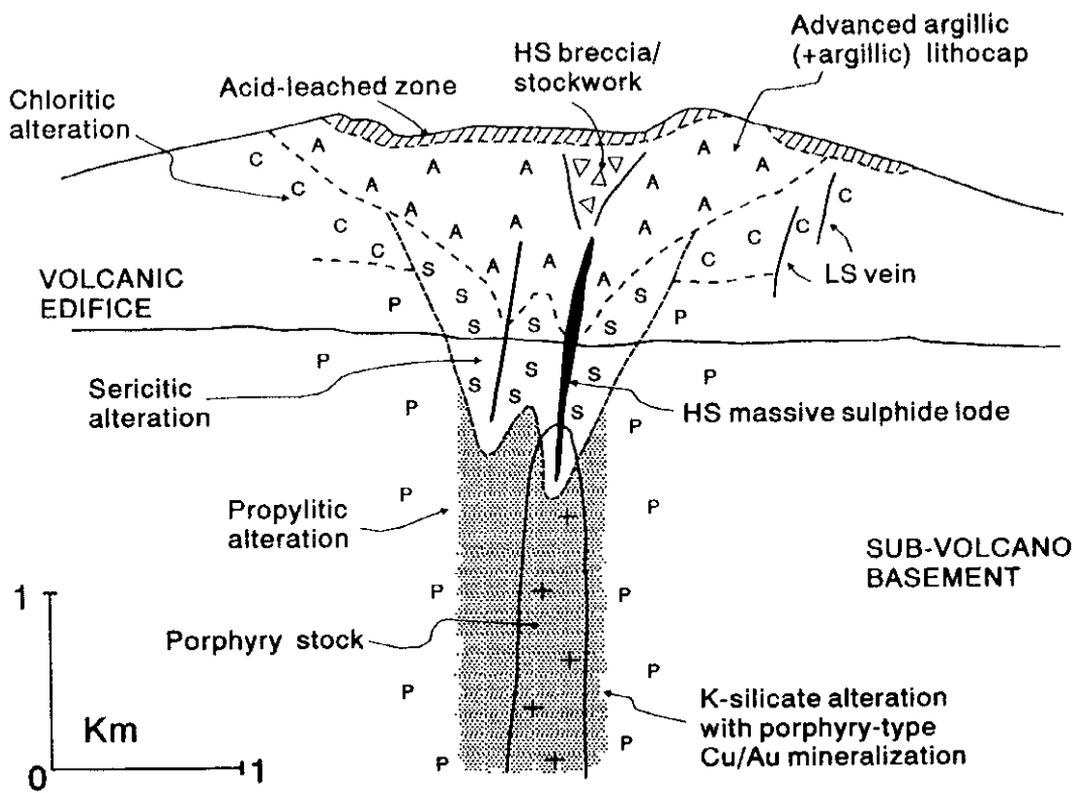


Fig. II -1-6 Idealized Model of Bolivia Type Deposit





HS:High-sulphidation  
 Ls:Low-sulphidation

(After R.Sillitoe, 1995)

Fig. II -1-7 Idealized Lithocap and Underlying Porphyry Cu/Au Deposit

の変質帯が浸食により露出している可能性も十分考えられ、チョケリンピエ鉱床タイプの浅熱水性鉱脈鉱床の存在が期待される。

低硫化系浅熱水性鉱脈鉱床は、石英—氷長石脈が輝銀鉱、四面銅鉱、方鉛鉱や閃亜鉛鉱を伴う。この鉱化作用に伴われる熱水変質は、氷長石や炭酸塩鉱物を伴う絹雲母化変質や粘土化変質で特徴付けられ、明礬石は欠如している。

トラキリ鉱床がこの低硫化系浅熱水性鉱脈鉱床の可能性がある。

低硫化系浅熱水性鉱脈鉱床はカルデラの外側部に存在する可能性がある。

## 第2章 衛星画像解析

### 2-1 解析の目的

衛星データの持つスペクトル情報及びテクスチャー情報を利用し、地質単元区分図、リニアメント図を作成して広域的な地質構造を把握し、併せて鉱化変質帯を示唆すると考えられるスペクトル異常域を抽出することにより、調査地域における鉱物資源賦存ポテンシャル評価のための基礎資料を提供することを目的として解析を実施した。

### 2-2 使用データ

衛星画像解析に使用した LANDSAT TM データ7シーンを Table II-2-1 と Fig. II-2-1 に示す。これらのうち Table II-2-1 に示した Scene No. 1~3 の3シーンが今年度新規に画像作成したものであり、Scene No. 4~7 の4シーンは「平成11年度資源開発協力基礎調査（衛星画像作成）ボリヴィア共和国における衛星画像作成」で作成したものである。

Table II-2-1 List of LANDSAT TM data

Scene No.	Path	Row	Date
1	1	72	1987.05.30
2	2	72	1986.11.10
3	233	75	1986.05.30
4	1	73	1987.05.30
5	1	74	1986.10.02
6	233	73	1986.08.08
7	233	74	1989.07.23

### 2-3 画像処理

新規3シーンについては、以下の処理手順により画像処理を実施し、カラー合成画像と比演算画像を作成した。画像データの処理には、PCI EASI/PACE Ver. 6.3及びAdobe Photoshopのソフトウェアを使用した。

#### 2-3-1 前作業

画像データ処理の前作業として、以下の各作業を実施した。

- (1) データの入力：



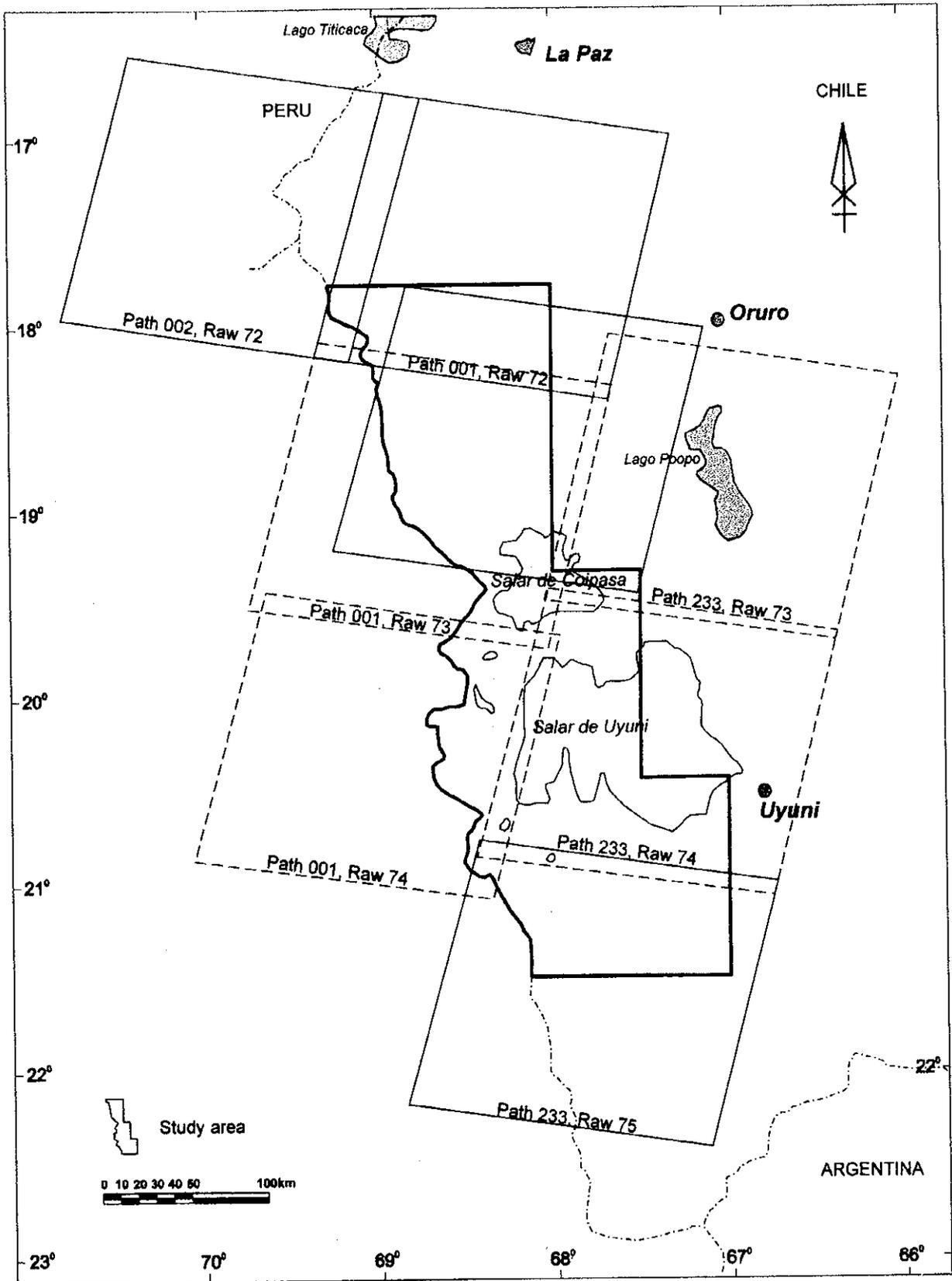


Fig. II -2-1 Area of Satellite Image



提供を受けた CD-ROM から、すべてのファイルを FWS に接続された HDD に転送した。

(2) ヘッダー情報と画像情報の分離：

転送されたファイルから、画像の位置情報等を含むヘッダー部分を分離し、テキストファイルとして保存した。

(3) 付加情報の確認：

ヘッダーファイルから、画像データ四隅の緯度経度、観測日、画像ファイルサイズ（ピクセル数及びライン数）を確認した。

(4) データの変換：

画像情報部分をカナダ PCI 社製の画像処理ソフトウェア PCI/EASI-PACE の標準画像データベース・フォーマットに読み込んだ。

### 2-3-2 幾何補正

50 万分の 1 の地形図（TPC P-26A, B, C, D）を参照し、シーン毎に画像と地形図との対応点を数十点選定し、それらを GCP として二次多項式による幾何補正を行った。この時、変換後の誤差が 1 画素未満になるよう GCP を選定した。幾何補正後の地図投影法は UTM（Zone-19, Row-K）とし、地球楕円体モデルは WGS1984 とした。

### 2-3-3 カラー合成画像作成

以下の手順により、カラー合成画像を作成した。

(1) コントラストの強調：バンド 1, 4, 7 について、地質構造解析に最適な画像となるようコントラストを強調した。

(2) エッジ強調：3×3 の空間フィルターを用いて画像のエッジを強調した。

(3) バンド 1, 4, 7 をそれぞれ青, 緑, 赤に配色し、カラー合成画像を作成した。

(4) スケールバー, タイトル, サブタイトル, 緯度経度, UTM 座標値を付加した。

この時、25 万分の 1 のハードコピー作成用データと、フィルム出力用データの 2 種類のデータを作成し、それぞれについて、文字等の大きさが適切になるよう調整した。

(5) 画像形式を TIFF 形式に変換した。

(6) 画像データの画素数及び分解能を出力デバイスの仕様に合わせて変更した。

(7) 縮尺 25 万分の 1 のハードコピー（レーザーグラフィック出力）及びポジフィルム（8×10 インチ）を作成した。

### 2-3-4 比演算画像作成

以下の手順により、変質帯の判別に効果的な比演算画像を作成した。

#### (1) 計算領域マスクの作成

対象地域の画像データには、変質帯の抽出を目的としたスペクトル解析を実施するにあたり、妨害要素となる地表物質や空白などの画素が含まれている。これらの画素を除外するために適切なしきい値を設定して、マスクを作成した。シーン毎のしきい値を Table II-2-2 に示す。

Table II-2-2 Threshold for Ratioing Analysis

LANDSAT TM Path/Row	Blank, Water body (Band 5)	Cloud, Snow, Playa (Band 1)	Vegetation (*NDVI)
P001/R072	< 5	90 <	0.10 <
P002/R072	< 11	135 <	0.07 <
P233/R075	< 3	100 <	0.10 <

$$*NDVI = (band4 - band3) / (band4 + band3)$$

上記条件に該当する画素を除いた残りの部分を計算領域とした。

#### (2) 比演算

変質帯の判別に最適な比演算として、下記の2通りの計算を実施した。

$$R1 = (band 2 - band 1) / (band 2 + band 1)$$

$$R2 = (band 5 - band 7) / (band 5 + band 7)$$

R1 は酸化鉄鉱物の抽出に、R2 は粘土/炭酸塩鉱物の抽出に有効である。

#### (3) 異常値の決定

シーン毎に比演算結果の統計値を計算し、比演算結果の異常域 (=スペクトル異常域) を抽出するためのしきい値を決定した。Table II-2-3 に各統計値及び設定したしきい値を示す。

#### (4) 異常域の表示画像作成

シーン毎にしきい値を超える画素を抽出し、それぞれのシーンにおけるバンド4のモノクロ画像上にスペクトル異常域として合成した。この時、酸化鉄鉱物の存在による異常を示すと解釈されるR1の異常域を赤色で表示し、粘土/炭酸塩鉱物の存在による異常を示すと解釈されるR2の異常域を緑色で表示した。R1とR2の異常域が重複する箇所は黄

色に表示される。

Table II-2-3 Statistic Value for Ratioing Analysis

Path/Row	Ratioing type*	Mean value (M)	Standard deviation (σ)	Threshold value (M+2σ)
P001/R072	R1	-0.319	0.050	-0.219
	R2	0.299	0.045	0.389
P002/R072	R1	-0.303	0.027	-0.249
	R2	0.253	0.034	0.321
P233/R075	R1	-0.296	0.031	-0.234
	R2	0.215	0.030	0.275

Ratioing Type\*: R1 = (band 2 - band 1) / (band 2 + band 1)

R2 = (band 5 - band 7) / (band 5 + band 7)

(5) スケールバー、タイトル、サブタイトル、緯度経度、UTM座標値を付加した。この時、25万分の1のハードコピー作成用データと、フィルム出力用データの2種類のデータを作成し、それぞれについて、文字等の大きさが適切になるよう調整した。

(6) 画像形式をTIFF形式に変換した。

(7) 画像データの画素数及び分解能を出力デバイスの仕様に合わせて変更した。

(8) 縮尺25万分の1のハードコピー（レーザーグラフィック出力）及びポジフィルム（8×10インチ）を作成した。

## 2-4 画像判読

既作成及び新規作成した合計7シーンのカラー合成画像と比演算結果異常域画像を用いて、各シーン毎に縮尺25万分の1で地質単元、地質構造、変質帯の判読作業を実施した。Fig. II-2-2及びFig. II-2-3に判読に使用したLANDSAT TM7シーンのカラー合成画像のモザイクとスペクトル異常域画像のモザイクを示す。

各作業は以下の方法により実施した。

- (1) 地質単元区分：地表テクスチャーの違い及び地形的特徴に基づき、地質単元を区分した。同時に、各地質単元の写真地質学的特徴と既存地質図との対比を一覧表にまとめた。
- (2) リニアメント及び地質構造判読：微地形等を考慮し、断層・リニアメント及び褶曲構



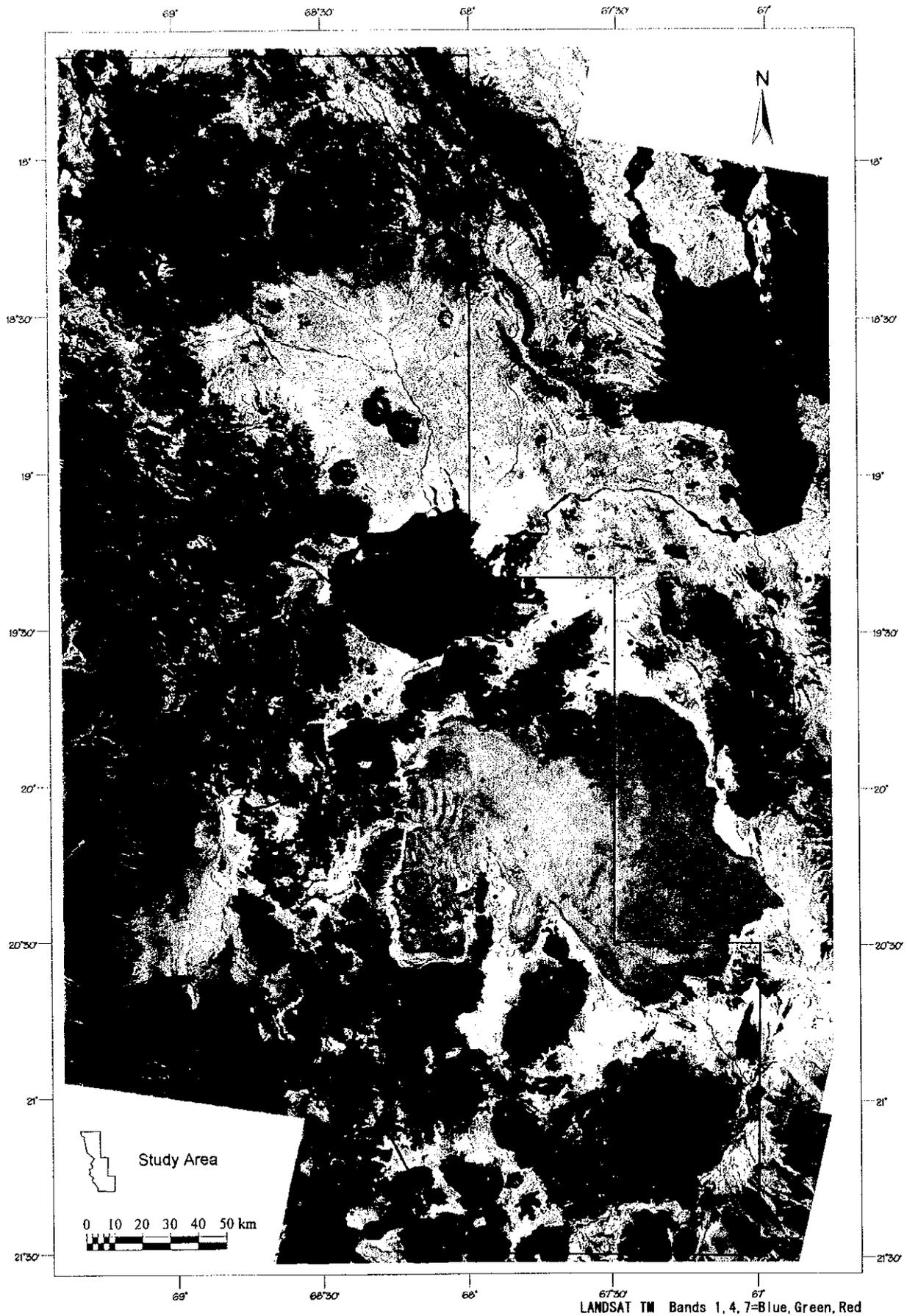


Fig. II-2-2 LANDSAT TM Color Composite Image



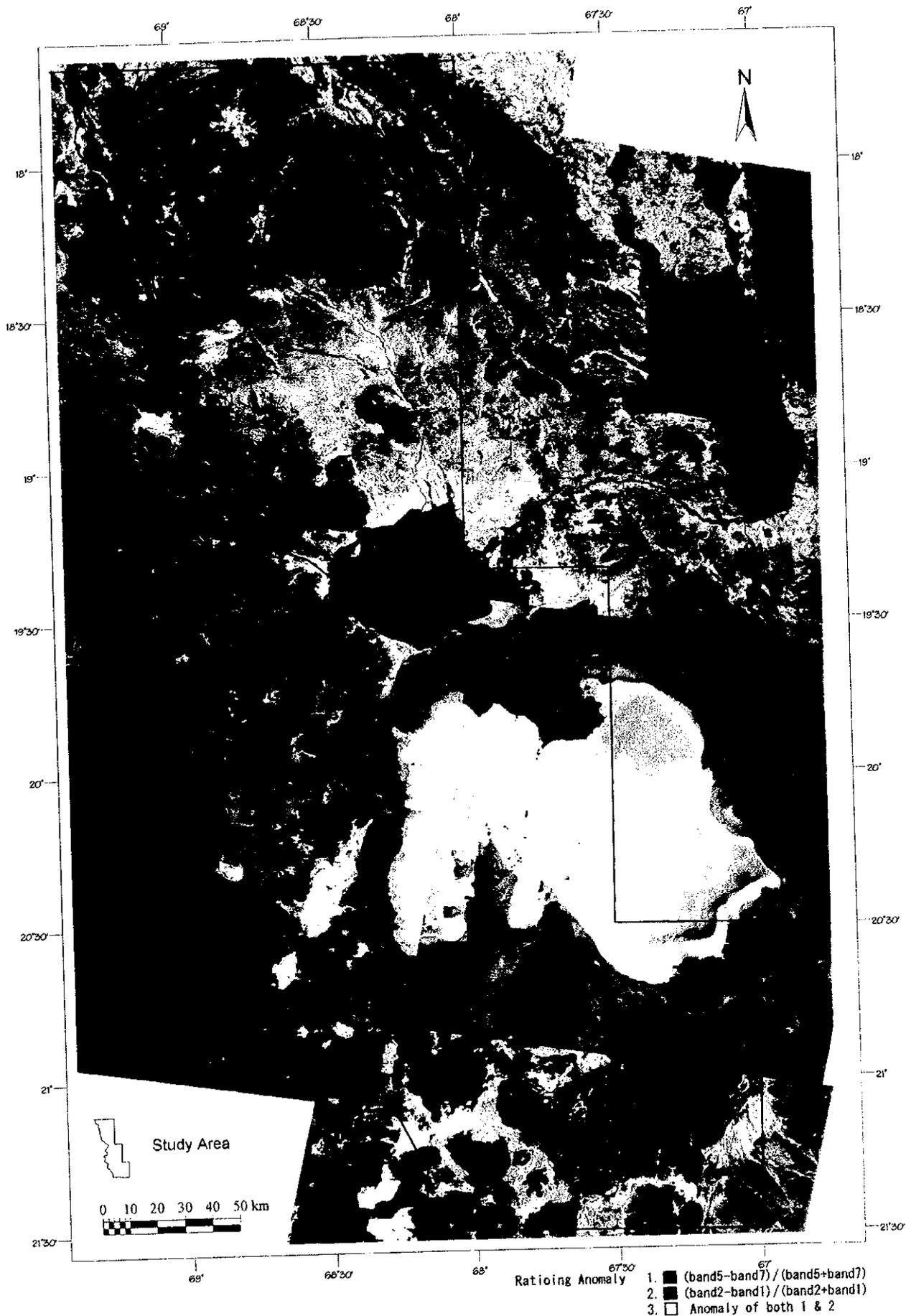


Fig. II-2-3 LANDSAT TM Ratio Anomaly Image



造等の地質構造要素を抽出した。

- (3) 変質帯判読：比演算画像におけるスペクトル異常域の中から、判読された地質単元の情報を考慮し、変質帯を示唆する可能性のある地区を抽出した。
- (4) 各シーン毎の判読結果はつなぎ合わせ、1枚の図としてまとめた。

## 2-5 画像判読結果

### 2-5-1 地質単元

判読作業は、既存の50万分の1の地質図(U.S. Geological survey Bulletin, 1975)を参考として実施した。地質単元の区分は、既存地質図の単元区分を参考として画像から判読される情報を可能な限り記入した。各単元の記号は、既存地質図の時代区分記号を参考とし、その中で判読により細分された単元に下位から通し番号を付した。7シーンの地質単元区分を1つにまとめたものをFig. II-2-4に示す。また、判読図の地質単元と既存地質図の地質単元の対比をTable II-2-4に示す。

以下に各単元について、カラー合成画像上での主な特徴について述べる。

#### (1) 単元 Qc

アルチプラーノの平野部に広く分布している。特にコイパサ塩湖の北の平野部に広範囲に分布している。またアルチプラーノ及び西アンデス山系の山地の斜面から河川にかけても多数分布している。肌理は滑らかで、色調は平野部に広がるものは淡褐色～褐灰が主であるが全体的には灰色～淡褐色を呈し、分布域で異なっている。第四紀の沖積層及び崖錐堆積物からなる表層堆積物に対比される。

#### (2) 単元 Qb2

コイパサ塩湖及びウユニ塩湖の周囲をはじめ、アルチプラーノの平野部に広く分布している。色調は主として白、青白色であり部分的に暗～淡褐色を呈する。肌理は滑らかであり、水系が認められるところがある。更新世～完新世の湖底堆積物に対比される。

#### (3) 単元 Qb1

コイパサ塩湖及びウユニ塩湖に広く分布している。青～水色を呈し、肌理は滑らかである。雨期には湖となる地域に相当すると判断され、水系は認められない。更新世～完新世の湖底堆積物に対比される。

#### (4) 単元 Qa2



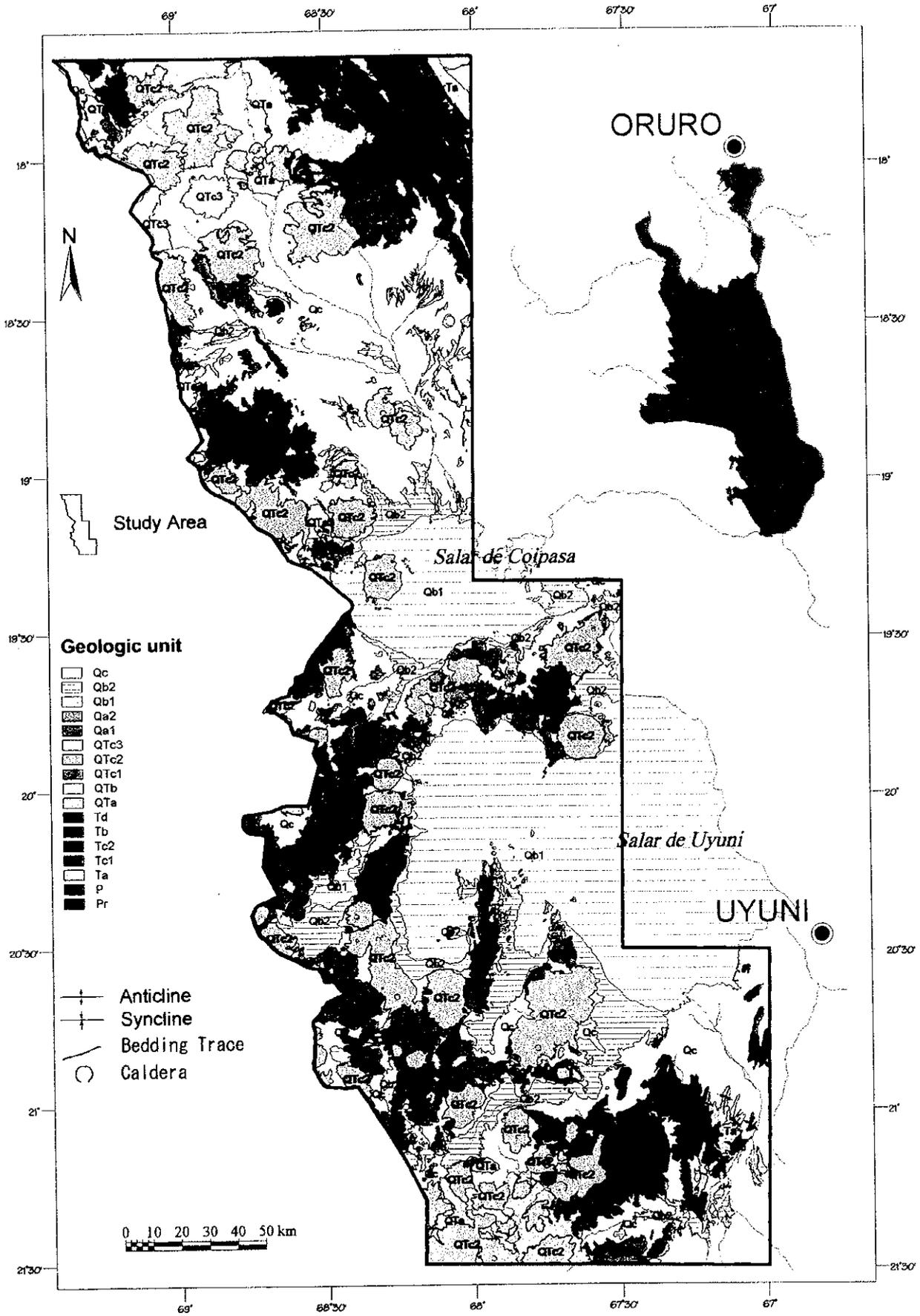


Fig. II-2-4 Geologic Interpretation Map of LANDSAT TM Image



Table II-2-4 List of geologic unit

GEOLOGIC UNIT	COLOR on LANDSAT TM Color Composite Image	TEXTURE	DRAINAGE		ROCK RESISTANCE	BEDDING	LINEAMENT DENSITY	LITHOLOGY	GEOLOGICAL CORRELATION (U. S. Geological Survey Bulletin, 1975)	
			PATTERN	DENSITY						
Qc	brownish gray, dark gray ~ light gray, pale brown	fine	dichotomic, dendritic	low - middle	low	-	rare	alluvium, talus deposit	Qau	Surficial deposits (Holocene and Pleistocene)
Qb2	white, bluish white, dark ~ pale brown	fine	dichotomic	low	low	-	-	salt	Qs	Salt deposits (Holocene and Pleistocene)
Qb1	blue, light blue	fine	-	-	low	-	-			
Qa2	grayish brown, brownish gray	medium	parallel, dendritic	middle - high	high	poor bedded	-	limestone	Ql	Lacustrine deposits (Qa2: Minchin Limestone) (Holocene and Pleistocene)
Qa1	yellowish gray	fine	parallel, dendritic	middle - high	low	poor bedded	-	lake deposit		
QTc3	dark bluish gray, dark green	coarse - medium	radial, sub-dendritic	low	high	-	low	andesite, dacite	QTeV	Stratovolcano deposits (Holocene to Miocene)
QTc2	dark brown ~ brown, dark gray	fine - medium	radial	low	high	-	low	andesite, dacite		
QTc1	dark gray ~ gray, brown	coarse - medium	sub-dendritic	middle - high	high	-	low	andesite, dacite		
QTb	brownish gray ~ light gray, yellowish gray	medium	pinnate	high	middle	-	-	conglomerate, sandstone, shale	QTs	Sedimentary rocks (Pleistocene and Pliocene)
Qta	pale brown, grayish brown	fine	parallel, dendritic, sub-dendritic	high	middle	-	-	ignimbrite	QTig	Ignimbrite (Perez tuff) (Pleistocene to Miocene)
Td	brownish gray, dark ~ light gray, reddish brown	medium	sub-dendritic	middle	high	-	-	dacite	Tl	Intrusive rocks (Pliocene to Oligocene)
Tc2	dark ~ pale brown, dark ~ light gray, grayish green	medium	parallel, dendritic, sub-dendritic, pinnate, radial	middle - high	high - middle	poor bedded - well bedded	low	volcanic rocks, pyroclastic rocks	Tvmnd Tig	Volcanic rocks, Pyroclastic rocks (Tc2: Tagua Formation, Mauni Formation, Carangas Formation, Mummantani Formation) (Tc1: Guemez Formation) (Miocene and Oligocene)
Tc1	pale brown	fine	colinear, dendritic	high	middle	poor bedded	low	ignimbrite		
Tb	dark gray, brown, yellowish brown	medium	parallel, dendritic	high	middle	poor bedded - well bedded	low	conglomerate, sandstone, shale	Ts2	Sedimentary rocks (Pliocene to Oligocene)
Ta	dark brown ~ brown, brownish gray	fine	parallel, dendritic	low - middle	middle	bedded - well bedded	low	conglomerate, sandstone, shale	Ts1	Sedimentary rocks (Oligocene to Paleocene)
P	brown, yellowish brown	medium	trailis	middle	high	bedded - well bedded	low	sandstone, shale	Pzs	Sedimentary rocks (Paleozoic)
Pr	light brown ~ brown, dark gray	coarse - medium	sub-dendritic	middle	high	-	low	gneiss	QTig	Gneiss (Proterozoic)

ウユニ塩湖の西側から北側に点在している。色調は黄灰色、肌理は細であり、抵抗度は低い。更新世～完新世の湖底堆積物と判断される。

(5) 単元 Qa1

ウユニ塩湖の南に点在している。色調は灰褐色～褐色、肌理は中であり、抵抗度は高い。第四紀ミンチン湖石灰岩に対比される。

(6) 単元 QTc3

チリとの国境の西アンデス山系に分布する。暗褐色～褐色及び暗青色を呈しており、肌理は中～粗である。成層火山と溶岩流からなり、爆裂火口や溶岩流の状況が鮮明に判読される。鮮新世～完新世の火山活動に伴う溶岩、火山砕屑岩に対比される。

(7) 単元 QTc2

西アンデス山系に広く分布し、アルチプラーノでは判読範囲の北端部、南端部及びコイパサ塩湖とウユニ塩湖には含まれた地区にも比較的広く分布している。明瞭な成層火山と溶岩からなり、放射状の水系が認められるところがある。暗褐色～褐色及び暗褐色を呈しており、肌理は細～中である。中新世～鮮新世の火山活動に伴う溶岩、火山砕屑岩に対比される。

(8) 単元 QTc1

西アンデス山系とウユニ塩湖の西から南西側に広く分布している。中新世～鮮新世の火山活動に伴う溶岩、火山砕屑岩に対比される。QTc2 と比較し、成層火山の地形は不明瞭もしくは示さない。暗灰色～灰色及び褐色を呈しており、肌理は中～粗であり亜樹枝状の水系が認められる。

(9) 単元 QTb

本単元は、判読範囲の北西端部及び北東端部に分布している。北西端部では QTc1、QTc2 及び Qc の下位に点在している。また北東端部では Ta を覆っている。色調は褐色～明灰色あるいは黄灰色を示し、肌理は中である。松葉状の水系が発達している。礫岩、砂岩、頁岩からなる鮮新世～更新世の堆積岩に対比されるが、画像では層理は認められない。

(10) 単元 QTa

判読範囲南端部及び北端部のアルチプラーノで比較的広く分布し、QTc1、QTc2 に覆われ、Tc2 を覆っている。色調は淡褐色あるいは灰褐色、主として平行状の水系が発達しているのが特徴的である。中新世～鮮新世のイグニンプライトに対比される。

(11) 単元 Td

アルチプレーノに認められるが規模は小さく、多くは直径2～3kmの円形の分布を示している。ただし、ウユニ塩湖の北に分布するTdは比較的広く分布している。色調は主として赤褐色であるが褐灰色、暗～明灰色を呈するところも認められる。抵抗度は高い。Tb及びTc2に貫入しており、デイサイト質の岩株、岩栓あるいは岩脈類である漸新世～鮮新世の貫入岩類に対比される。

#### (12) 単元 Tc2

ウユニ塩湖南方、北方、コイパサ塩湖北西方及び判読範囲北東端部に分布している。本単元は火山岩類あるいは火山砕屑岩類からなり、地区により岩相が異なるためか、画像上での特徴は分布域によって若干異なっている。

ウユニ塩湖南方では、色調は主として暗褐色～褐色を呈しており平行状、亜樹枝状の水系が比較的多く分布している。層理も明瞭であり、北北東方向の褶曲も多く認められる。また直径7kmのカルデラ構造も確認された。

ウユニ塩湖北方では、暗褐色～暗灰色を呈している。亜樹枝状の水系が少数認められる。明瞭な層理は認められない。分布域にはTdが島状に貫いており、そこにはカルデラ構造も認められる。

コイパサ塩湖北西方での色調は、淡褐色～明灰色を呈している。ドーム状の構造を示しており、フラットアイアンも明瞭に認められ、分布域西部での放射状の水系が特徴的である。第三紀カランガス火山岩類に対比される。判読範囲北東端部での色調は、淡褐色～褐色を呈している。樹枝状及び松葉状の水系が発達しており、層理も明瞭で、北北西方向の褶曲が比較的多く認められる。第三紀マウリ累層に対比される。これらその他、判読範囲北西端部やウユニ塩湖北西方にも分布している。ウユニ塩湖北西方ではQTc1、QTc2に覆われた窓状に露出し点在している。ウユニ塩湖北西方の本単元は第三紀ムルムンタニ累層に対比される。

#### (13) 単元 Tc1

ウユニ塩湖の南方～西方にかけて分布している。QTc1、QTc2及びTc2に覆われ、地窓状に小規模に露出している。ただし、ウユニ塩湖西岸では比較的広い分布が認められる。色調は淡褐色を呈しており、肌理は細であり共直線状あるいは樹枝状の水系が発達している。画像上の特徴はQtaに類似している。漸新世～中新世の火山岩類あるいは同火山砕屑岩類に対比される。

#### (14) 単元 Tb

ウユニ塩湖及び判読範囲の北東端に認められる。またウユニ塩湖の南東方にも小規

模に分布している。礫岩、砂岩、頁岩からなる漸新世～鮮新世の堆積岩に対比される。対象地域内では Tc2 に覆われている。色調はウユニ塩湖及びその南東方では主として暗灰色であり、判読範囲の北東端では褐色あるいは黄褐色である。平行状あるいは樹枝状の水系が認められる。層理が明瞭で、褶曲構造も確認されている。

#### (15) 単元 Ta

判読範囲の北東端部及び南東端部に分布し、礫岩、砂岩、頁岩からなる漸新世～漸新世の堆積岩に対比される。両地区で Tc2 に覆われている。色調は主に褐色～暗褐色を呈し、平行状あるいは樹枝状の水系が認められる。層理も明瞭でありその走向は判読範囲の北東端部では北西方向、南東端部では北北東である。

#### (16) 単元 P

判読範囲の南東端部に認められ、デボン系～オルドビス系堆積岩類に対比される。色調は褐色あるいは黄褐色を呈している。格子状の水系が認められ、抵抗度は高く層理が比較的明瞭であり、北北東走向で西に傾斜している。本単元の東側には Tb が、西側には Ta が分布している。Tb とは断層で接している可能性があり、分布域の北ではリニアメントが確認されているが、南ではリニアメントは認められない。西側では Ta によって覆われている。

#### (17) 単元 Pr

コイパサ塩湖の北北西約 100km の平原部に、直径 6km 程の島状に分布している。先カンブリア紀の片麻岩に対比される。色調は明褐色～褐色及び暗灰色を呈しており、肌理は中～粗で抵抗度は高い。亜樹枝状の水系が認められる。

## 2-5-2 地質構造

地質構造の判読結果を Fig. II-2-5 に示す。判読結果は以下の通りである。

### (1) 褶曲

褶曲は判読範囲の南東端部、北東端部、ウユニ塩湖南部及びコイパサ塩湖北西方の Ta, Tb 及び Tc2 の分布域で比較的明瞭に確認されたが、その時代以降の地質単元では確認されなかった。

南東端部及びウユニ塩湖の南では Ta, Tb 及び Tc2 分布域に北北東方向に伸びる開いた背斜及び向斜が確認された。南東端部の褶曲はほぼ対称を示すが、ウユニ塩湖の南の背斜は東翼にくらべ西翼が急傾斜であり非対称褶曲である。

判読範囲北東端部では Tb, Tc2 分布域で北西方向に連続する開いた背斜及び向斜が





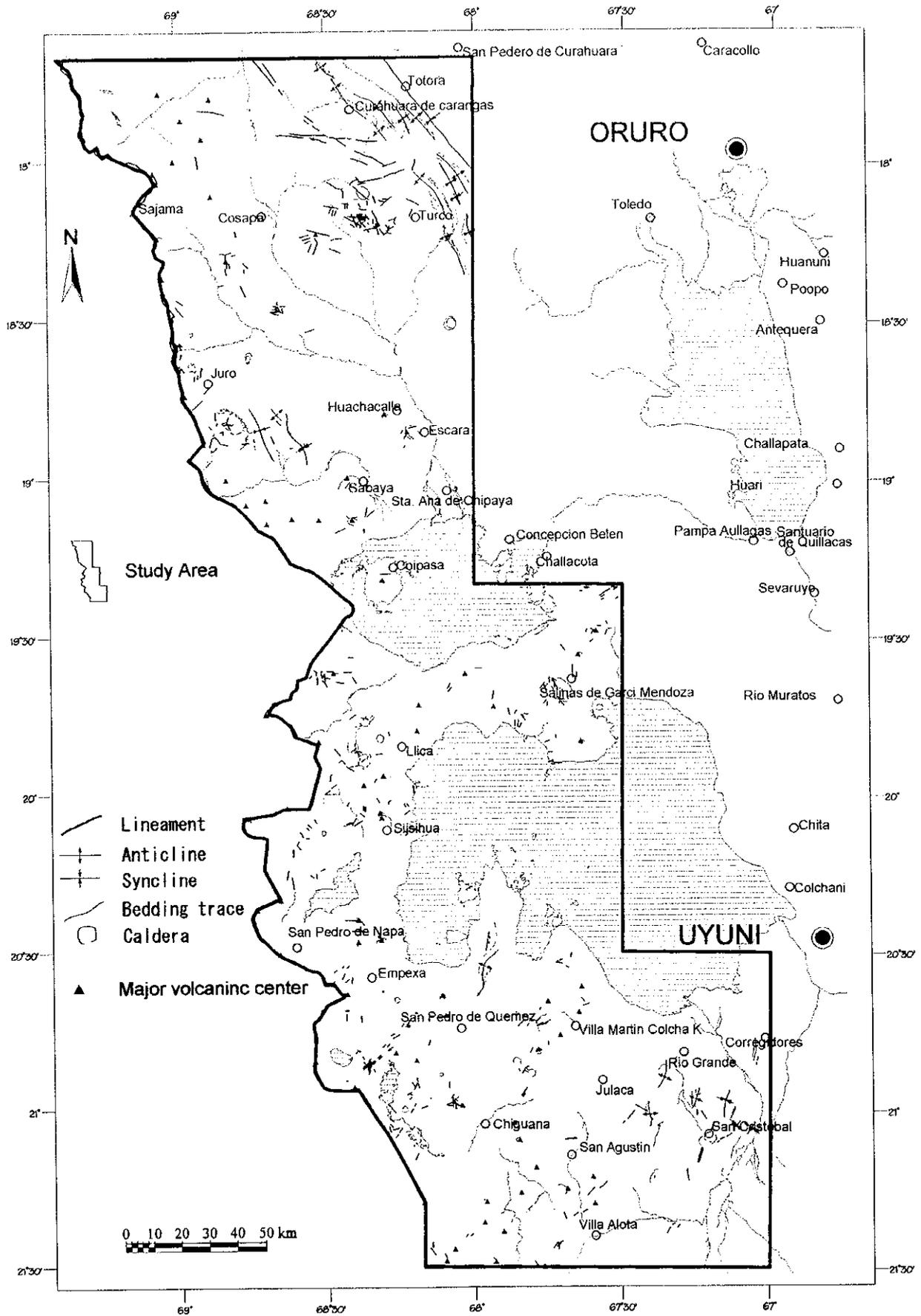


Fig. II-2-5 Extracted Lineament Map of LANDSAT TM Image

0

( )

0

多く確認された。これらは対称褶曲と判断される。

コイパサ塩湖北西方の Tc2 が広く分布する地区ではドーム構造が確認され、その東側では、北西方向にのびた開いた背斜及び向斜が確認された。

## (2) 断層及びリニアメント

判読範囲内でのリニアメントの密度は低く、それらの多くは QTc1 の分布域に認められる。リニアメントの方向性は地区によって異なっており、大まかには南部、西部、北西～北部の3つの地区に区分される。また、本地区で認められたリニアメントの主要な方向は褶曲の方向と調和的である。

判読範囲南部のウユニ塩湖南方地区では Ta, Tb, Tc2, QTc1, QTc2 の分布域でリニアメントが認められる。これらのほとんどは北北東から北東走向である。また、ウユニ塩湖の南には Tb を切る北北東方向で東傾斜の逆断層が確認された。

判読範囲西部のウユニ塩湖西部～コイパサ塩湖西部地区では Tc2, QTc1, QTc2 の分布域にリニアメントが認められる。リニアメントの走向は、北東、北西、南北及び東西方向を示し多方向であるがいずれも密度は低い。

判読範囲北西～北部のコイパサ塩湖以北地区では Tb, Tc2, QTa, QTc1, QTc2 の分布域でリニアメントが確認された。リニアメントの走向は北西方向および東西～北東方向が主体であり、北端部では両方向のリニアメントが連続して認められる。北西走向で東傾斜の逆断層も確認された。また、コサパ (Cosapa) 東方には環状構造が確認され、その南部にまとまって東西系のリニアメントが認められる。

### 2-5-3 変質帯

Fig. II-2-3 のスペクトル異常域画像の判読作業により変質帯として抽出した箇所を Fig. II-2-6 に示す。変質帯の抽出作業では、沖積層分布域及び急峻な西南向き斜面にみられる太陽光の陰の部分等に表れるスペクトル異常域は除外した。以下に変質帯の分布概要状況について記す。なお、個々の変質帯分布の内、探鉱有望地と考えられるものについてのみ、次項にて解説を行う。

- (1) 粘土化・炭酸塩化変質帯の存在を示唆すると解釈されるスペクトル異常域：(Fig. II-2-6 中で緑色部)

ウユニ塩湖の北及び西の地質単元 Tc2 中と、ウユニ塩湖の西及び南の地質単元 QTc1 及び QTc2 中に認められる。これらの内、Tc2 中と QTc1 中の変質帯は分布範囲が広い。



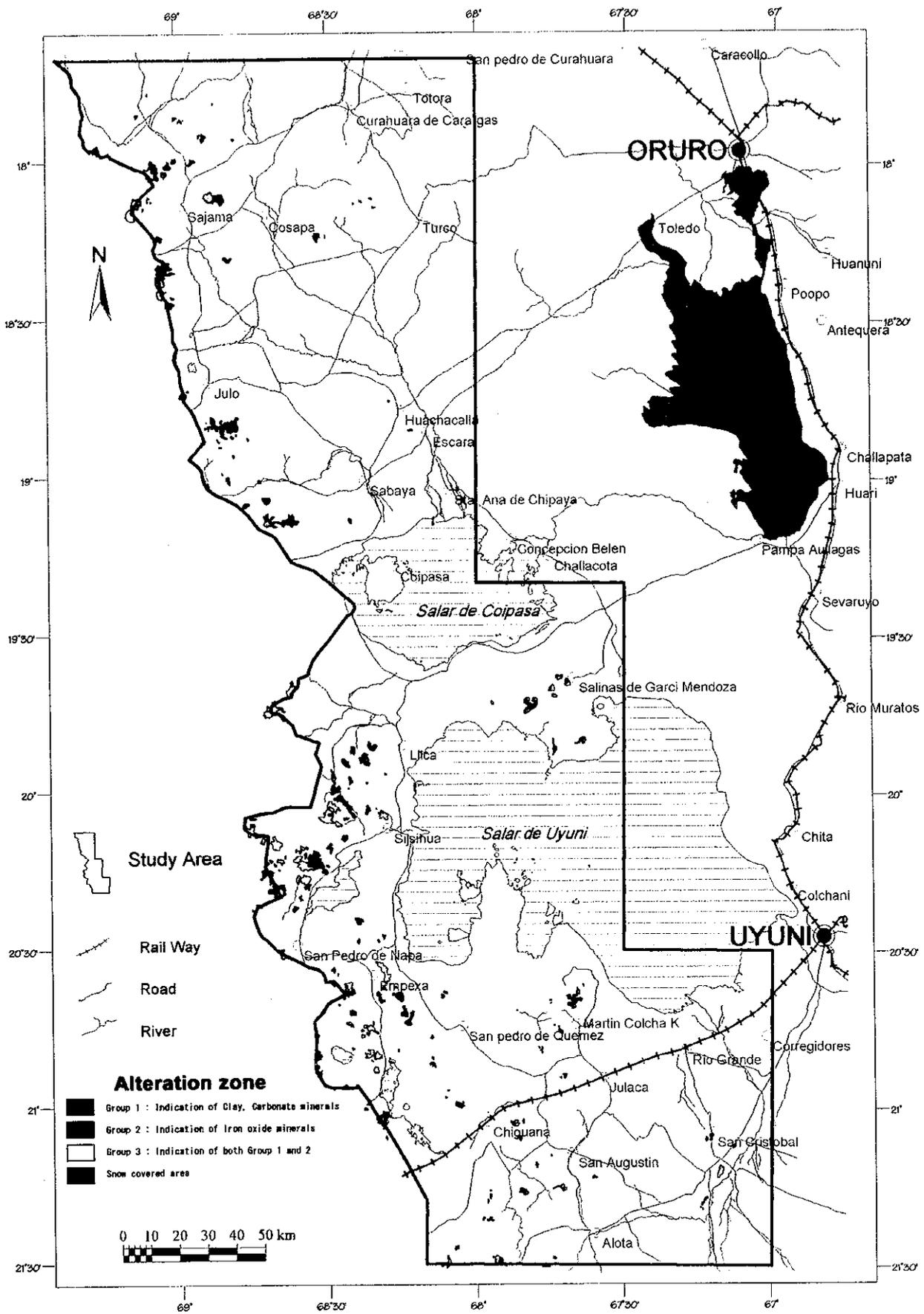


Fig. II-2-6 Extracted Alteration Map of LANDSAT TM Image

0

0

0

- (2) 鉄酸化物変質帯の存在を示唆すると解釈されるスペクトル異常域：(Fig. II-2-6 中で赤色部)

コイパサ塩湖以北及びウユニ塩湖南方の地質単元 Tc2, QTc1, QTc2 及び QTc3 中に認められる。QTc2 及び QTc3 中の鉄酸化物変質帯は、そのほとんどが成層火山の山頂付近に分布している。

- (3) 粘土化・炭酸塩化変質帯と酸化鉄帯の両方の存在を示唆すると解釈されるスペクトル異常域：(Fig. II-2-6 中で黄色部)

ウユニ塩湖の西部と南西部の地質単元 QTc1 及び QTc2 中に認められる。これらの内、QTc1 中に認められるの変質帯は分布範囲が広い。

## 2-6 まとめ及び考察

解析結果の総括を下記に記す。

- (1) カラー合成画像の判読の結果、鉍化作用に関係するとされる中新世～完新世の火山活動に伴う溶岩、火山砕屑岩は、本解析では QTc1, QTc2, QTc3 の3つの地質単元に区分された。QTc2 及び QTc3 は明瞭な成層火山の地形を示すのが特徴で、QTc3 ではさらに爆裂火口や溶岩流の形跡がはっきりと認められる。これらに対し QTc1 は成層構造は浸食作用の影響により不明瞭である。
- (2) 変質帯を示唆すると考えられるスペクトルの異常域は、地質単元 Tc2, QTc1, QTc2 及び QTc3 に認められた。地質単元 Tc2 と QTc1 では、浸食の進んだ火山岩・火山砕屑岩中に変質帯が抽出された。一方、地質単元 QTc2, QTc3 では成層火山の火口内部やその周辺に抽出された。現世の火山と推定される地質単元 QTc3 中に抽出された変質帯は、鉍化帯を胚胎するには新しすぎるので、探鉍有望地からは除外した。
- (3) リニアメントの判読結果は対象地域の構造運動史を反映しており、アンデス造山期以前の地質単元 P, Ta, Tb, Tc2 中には褶曲や衝上断層が認められるが、それ以降の地質単元中のリニアメントは疎であり、短く連続性がない。また、抽出された変質帯とリニアメントの関連性ははっきりしない。
- (4) 地質単元 QTc2 中に抽出された変質帯のうち成層火山の山頂付近に分布するもので、噴気性硫黄堆積物のあるものは探鉍有望地の候補から除外した。
- (5) 地質単元 QTc2 中に抽出された変質帯のうち成層火山の山頂付近に分布するものでチリとの国境にまたがって分布する変質帯は探鉍有望地の候補から除外した。

(6) 単独に分布する2平方キロ未満の変質帯は探鉱有望地の候補から除外した。

解析結果総括図を Fig. II-2-7 に示す。上記考察結果から選定した探鉱有望地と考えられる変質帯分布地区を図示するとともに、変質帯に関係する第三紀の火山岩類(単元 Tc2, QTc1, QTc2) の分布、変質帯分布、リニアメント分布、既知鉱床・鉱徴地・堆積成硫黄鉱床分布を図中に重ね合わせて表示した。

探鉱有望地として選んだ地区の変質帯の分布規模は、各地区での分布面積の合計が2~10平方キロを小、10~20平方キロを中、20平方キロ以上を大とした。

以下に Fig. II-2-7 中に図示した探鉱有望地の説明を記す(Table II-2-5)。

● ブランカ・ニエベス (Blanca Nieves) 地区

国境に位置する成層火山の東斜面中腹に分布、地質単元 QTc2 中、鉄酸化物変質、規模小(約9.5平方キロ)

● チュルカニ (Chullcani) 地区

成層火山山頂付近に分布、地質単元 QTc2 中、鉄酸化物変質、規模小(約3平方キロ)

● アス・アスニ (Asu Asuni) 地区

浸食の進んだ成層火山山頂付近に分布、地質単元 QTc2 中、鉄酸化物変質、規模小(約4平方キロ)

● ソニア・スサーナ (Sonia Susana) 地区

浸食の進んだドーム状構造の内側に分布、地質単元 Tc2 中、鉄酸化物変質、規模大(約28平方キロ)

● セロ・クレブラ (Cerro Culebra) 地区

浸食の進んだ成層火山山頂付近に分布、地質単元 QTc2 中、鉄酸化物変質、規模小(約5平方キロ)

● サリナス・デ・ガルシ・メンドーサ (Salinas de Garci Mendoza) 地区, イニエクサ(llicxa), 地区, アニョ・ヌエボ(Año Nuevo)地区

浸食の進んだ地質単元 Tc2 中に分布、粘土化変質、規模大(約26平方キロ)

● セロ・ピカチョ (Cerro Picacho) 地区

浸食の進んだ地質単元 QTc1 中に分布、粘土化変質、規模大(約22平方キロ)

● セロ・パニソ (Cerro Panizo) 地区, セロ・プキッサ(Co. Puquisa)地区

浸食の進んだ地質単元 QTc1 中に分布、粘土化変質及び鉄酸化物変質、規模大(約40平方キロ)





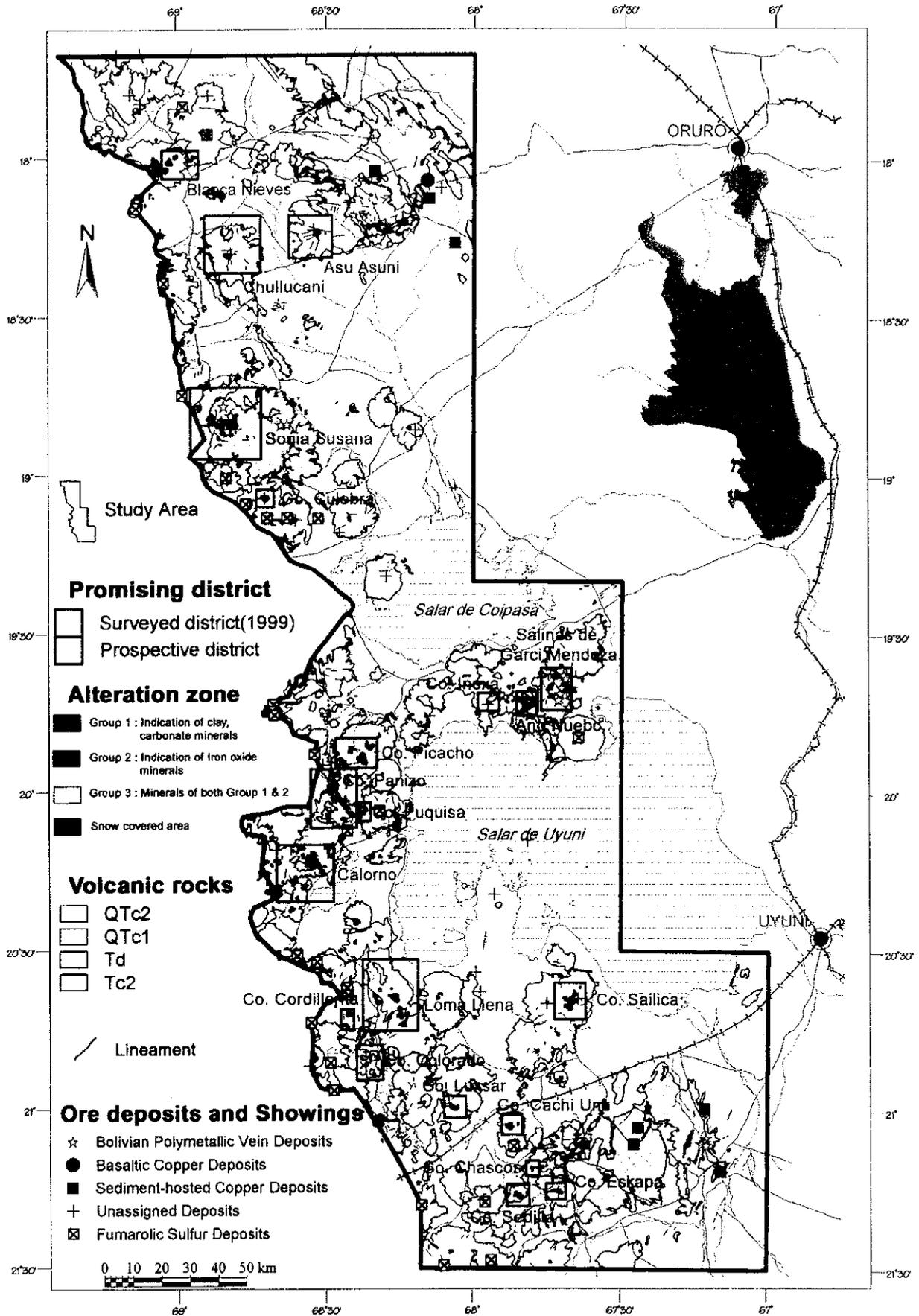


Fig. 11-2-7 Integrated Map of Satellite Image Analysis



- カロールノ (Calorno) 地区

浸食の進んだ地質単元 QTc1 中に分布、粘土化変質及び鉄酸化物変質、規模大 (約 30 平方キロ)

- ロマ・ジエーナ (Loma Llana) 地区

浸食の進んだ地質単元 QTc1 中に分布、粘土化変質及び鉄酸化物変質、規模大 (約 27 平方キロ)

- セロ・コルディジェリータ (Cerro Cordillerita) 地区

浸食の進んだ地質単元 QTc1 中に分布、粘土化変質及び鉄酸化物変質、規模小 (約 4 平方キロ)

- セロ・コロラド (Cerro Colorado) 地区

浸食の進んだ地質単元 QTc1 中に分布、粘土化変質及び鉄酸化物変質、規模中 (約 12 平方キロ)

- セロ・サイリカ (Cerro Sailica) 地区

浸食の進んだ地質単元 QTc2 中に分布、粘土化変質及び鉄酸化物変質、規模中 (約 10 平方キロ)

- セロ・ルクサル (Cerro Luxsar) 地区

浸食の進んだ地質単元 QTc2 中 (成層火山山頂付近) に分布、粘土化変質及び鉄酸化物変質、規模小 (約 4 平方キロ)

- セロ・カチ・ウヌ (Cerro CachiUnu) 地区

浸食の進んだ地質単元 QTc2 中 (成層火山山頂付近) に分布、粘土化変質、規模小 (約 4 平方キロ)

- セロ・セディージャ (Cerro Sedilla) 地区, セロ・チャスコス (Co. Chascos) 地区

浸食の進んだ地質単元 QTc2 中 (成層火山山頂付近) に分布、粘土化変質及び鉄酸化物変質、規模小 (約 4 平方キロ)

- セロ・エスカパ (Cerro Es kapa) 地区

浸食の進んだ地質単元 QTc2 中 (成層火山山頂火口内) に分布、粘土化変質、規模小 (約 2 平方キロ)

Table II-2-5 Summary of Prospective District

District	Location of alteration zone	Geologic unit of alteration zone	Indicated mineral	Scale of alteration zone (km <sup>2</sup> )
Blanca Nieves	Slope	QTc2	Iron oxide	9
Chullicani	Top of the Mt.	QTc2	Iron oxide	3
Asu Asuni	Top of the Mt.	QTc2	Iron oxide	4
Sonia Susana	Centre of Dome Struct.	Tc2	Iron oxide	28
Cerro Culebra	Top of the Mt.	QTc2	Iron oxide	5
Salinas de Garci Mendoza, Año Nuevo, Iñixa	Top of the Mt.	Tc2	Clay, Carbonate	26
Cerro Picacho	Widely distr.	QTc1	Clay, Carbonate	22
Cerro Panizo Cerro Puquiza	Widely distr.	QTc1	Iron oxide, Clay, Carbonate	40
Calorno	Widely distr.	QTc1	Iron oxide, Clay, Carbonate	30
Loma Llena	Widely distr.	QTc1	Iron oxide, Clay, Carbonate	27
Cerro Cordillerita	Slope	QTc1	Iron oxide, Clay, Carbonate	4
Cerro Colorado	Top of the Mt.	QTc1	Iron oxide, Clay, Carbonate	12
Cerro Sailica	Top of the Mt.	QTc2	Iron oxide, Clay, Carbonate	10
Cerro Luxsar	Top of the Mt.	QTc2	Iron oxide, Clay, Carbonate	4
Cerro Cachi Unu	Top of the Mt	QTc2	Clay, Carbonate	4
Cerro Sedilla Cerro Chascos	Top of the Mt	QTc2	Iron oxide, Clay, Carbonate	4
Cerro Es k apa	Slope	QTc2	Clay, Carbonate	2

## 第3章 地質・地化学探査

### 3-1 調査方法

既存データ解析及び衛星画像解析により抽出した有望地区について Table I-1-1 に示す調査量の地質調査および地化学探査を行った。

踏査にあたっては、縮尺5万分の1の地形図を拡大したものを利用してルートマップを作成した。調査ルートは既存データ解析および衛星画像解析結果を反映して設定した。

現位置の確認にはGPSを活用し、鉱化帯露頭の位置は必要に応じて簡易測量により求めた。

ルートマップは、できるだけ具体的に諸観察事項を記入し、特に重要な露頭及び鉱徴は縮尺100～200分の1のスケッチおよびカラー写真撮影を行った。

地化学探査のサンプルメディアは岩石とし、現場で採取した岩石はオルロに送付し、ASA (Alex Stewart Assayers) 分析所で粉碎、試料調整を行った後、英国ASA分析所で分析した。

本調査で採取した803個の地化探試料の分析結果について統計処理を行った。統計処理により正規確率紙に累積度数分布図を描いた。分布図の屈曲点をバックグラウンドと異常値とを区分する「しきい値」として求めた。

地質調査結果は10万分の1の地質図にまとめた(Fig. II-3-1(1)～(6))。

### 3-2 トラキリ地区 (Fig. II-3-1(1), Fig. II-3-2(1), Fig. II-3-3(1))

#### 3-2-1 地質

凝灰岩、火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩(火山角礫岩)およびデイサイトが分布する。

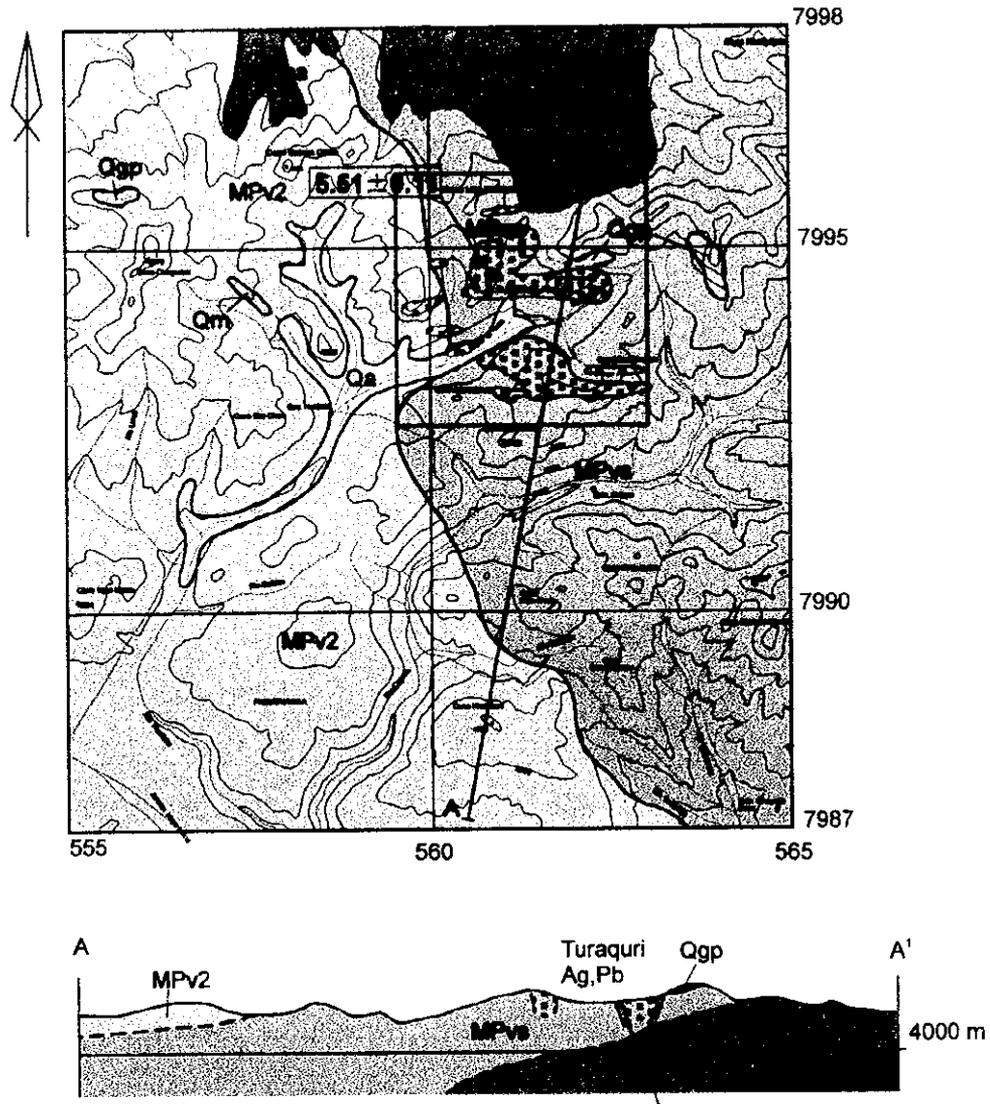
凝灰岩は淡灰色を呈し、一部に弱い溶結(No. 2112)が認められる。デイサイト、安山岩、凝灰岩の岩片を含むほか、石英、黒雲母、角閃石を含みデイサイト質である。非変質試料(No. 2112)のK-Ar年代測定結果、 $5.51 \pm 0.11\text{Ma}$ が得られた。

火山礫凝灰岩は灰白色ないし灰緑色を呈し、亜円礫～亜角礫を含んでいる。礫種は安山岩で最大径1～20cm、含有率は10%～30%である。

凝灰角礫岩(火山角礫岩)は灰白色ないし灰緑色を呈し、亜角礫を主体に含んでいる。岩片は最大径5～30cm、含有率は25%～75%である。



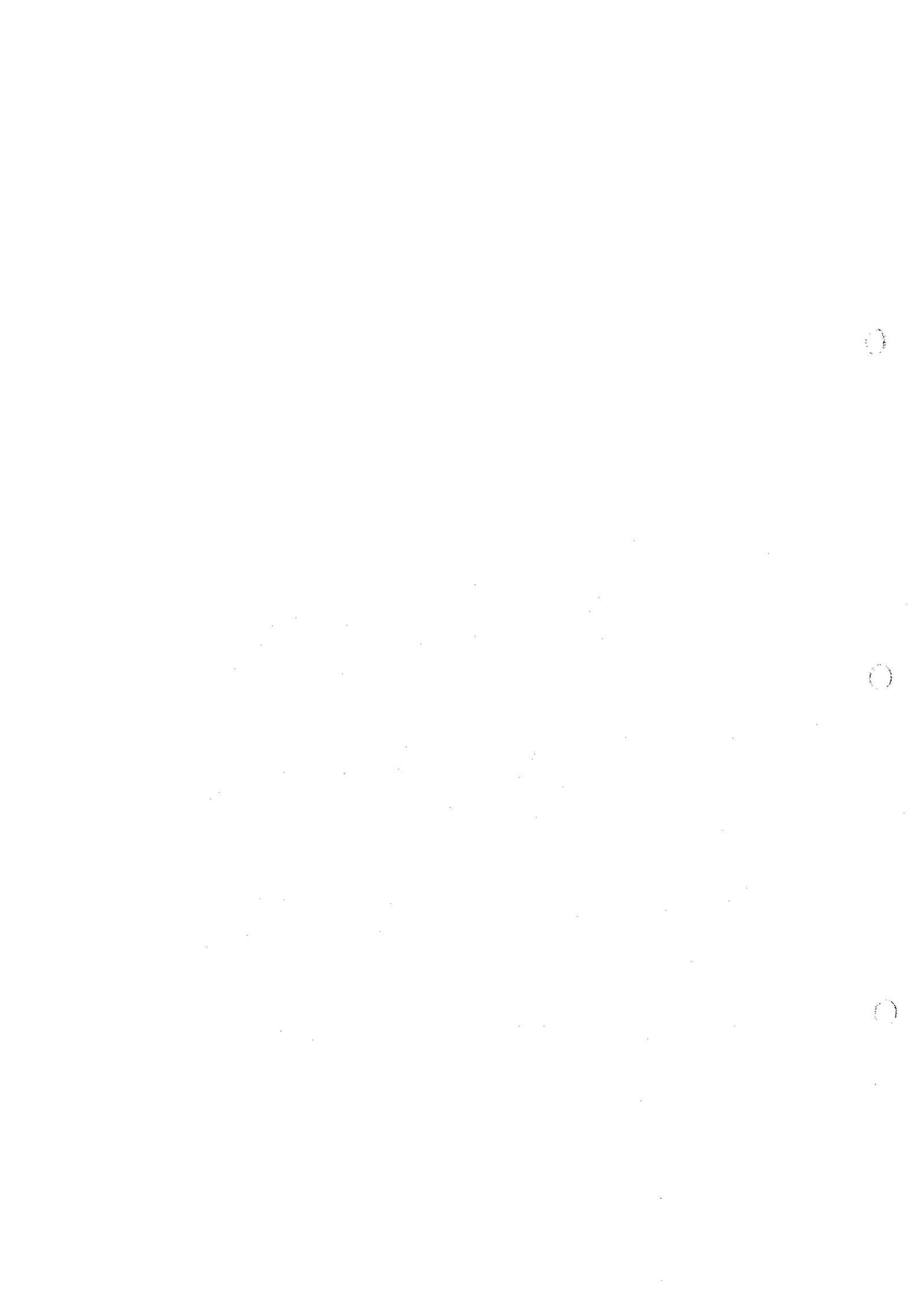
# TURAQUIRI DISTRICT



## LEGEND

Quaternary		Qa	alluvial deposit	Intrusive rocks		Qi	Quaternary intrusive rocks
		Qaa	alluvial fan deposit			MP <sub>v</sub>	Miocene to Pliocene volcanic to sub-volcanic rocks (domes & stocks)
		Qcf	colluvial - fluvial deposit			M <sub>v</sub>	Miocene sub-volcanic rocks (dikes, sills, stocks)
		Qt	terrace deposit			M <sub>m</sub>	Lower Miocene volcanic to sub-volcanic rocks (domes, stocks & necks)
		Qm	moraine			G	Gracial
		Qgp	glacial deposit				One vein
Tertiary		PH <sub>v</sub>	Pleistocene to Holocene volcanic rocks			Strike and dip	
		PP <sub>v</sub>	Pliocene to Pleistocene volcanics (Perez F.)			Alteration zone	
		MP <sub>v2</sub> MP <sub>v1</sub>	Upper Miocene to Pliocene volcanic rocks			K-Ar Age (Me)	
		MP <sub>v</sub> MP <sub>m</sub>	Upper Miocene to Pliocene volcano - sedimentary rocks (MP <sub>v</sub> : Pultutuma F., MP <sub>m</sub> : Mauri F.)			Geochemical survey area	
		Totorá F.	Upper Miocene to Pliocene sedimentary rocks				
		M <sub>v</sub>	Lower to middle Miocene volcanic rocks (Carangas F.)				
		OM <sub>v</sub>	Upper Oligocene to lower Miocene volcanic rocks (Negrillos F.)				

Fig. II -3-1 (1) Geological Map of the Turaquiri District



デイサイトは白色変質～緑色変質を被っている。少量の黒雲母、角閃石が認められ、鏡下ではセリサイトやスメクタイトの変質鉱物が生成している。

本地区の断層、鉱脈、割れ目はE-W方向が卓越し、一部にN-S方向が存在する。

### 3-2-2 変質作用

熱水変質帯はほぼ3km×3kmの範囲に小規模に点在する。

珪化変質、粘土化変質およびプロピライト化変質が認められる。

珪化変質はおおむね東西方向の鉱脈や割れ目に沿って各所に認められるが分布範囲は狭い。

粘土化変質は一般に珪化変質を取り囲む様に分布している。変質鉱物として、石英、カオリン、緑泥石、セリサイト、スメクタイトおよび明礬石が認められる。

プロピライト化変質は局部的に認められ、デイサイト、火山礫凝灰岩および凝灰角礫岩が炭酸塩化、緑泥石化を被っている。

### 3-2-3 鉱化作用

トラキリ鉱床は、スペイン統治時代から採掘されたとされ、主として火山礫凝灰岩や凝灰角礫岩中の含銀鉛-重晶石-石英脈である。

鉱脈はおおむね東西方向で傾斜は南側の鉱脈が約75°N、北側の鉱脈が約75°Sを示す。この2本の脈をN70°E方向(傾斜70°N)の脈がつかないでいる。

脈幅30cmから3m程度の脈が地表部の採掘跡の残壁で観察される。最大の採掘跡は幅20mで延長140mに及ぶ(付帯資料スケッチ1)。

鏡下では、鉱石鉱物として方鉛鉱、黄鉄鉱、黄銅鉱、針鉄鉱、赤鉄鉱が認められ、脈石鉱物としては石英、重晶石が一般的で、一部に菱鉄鉱(No. 1800, 1795)、緑泥石(No. 1484, 1797, 1798)、明礬石(No. 1796)、ザクロ石(No. 1800)を随伴している。

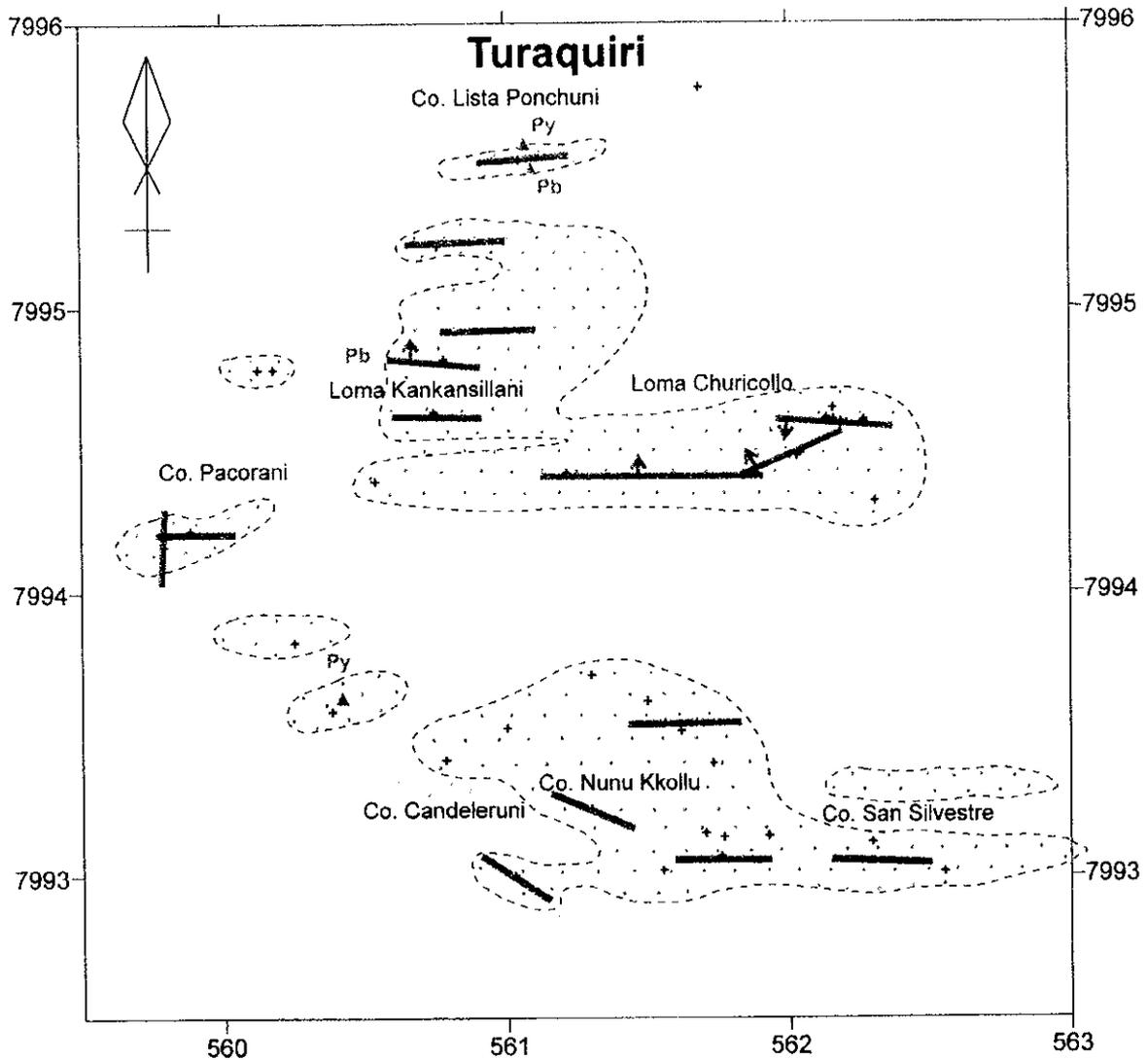
Loma Churicollo 西の谷から東に向かうスペイン統治時代の坑道は約40cm大の石のブロックで組まれており、抗口から150m以上掘進している。鉱脈は粘土脈となり、粘土化した母岩との区別が困難である(付帯資料スケッチ2)。坑内で採取した17試料の平均値は金5ppb、銀27ppm、銅80ppm、鉛4,147ppm、亜鉛3,641ppmを示したが、肉眼では鉱石鉱物は確認されなかった。

貯鉱を除く鉱脈試料37個の分析結果は、最大値で金31ppb(No. 1965)、銀877ppm(No. 1396)、銅535ppm(No. 1299)、鉛25,000ppm(No. 1492)、亜鉛15,639ppm(No. 1965)、で平均は、金5ppb、銀136ppm、銅83ppm、鉛4,067ppm、亜鉛2,626ppmである。

3

0

0



**LEGEND**

- + geochemical sampling point
- ⊙ hydrothermal alteration zone
- ⊖ propylitic alteration zone
- ore vein
- vein, fracture, fault, fissure
- ▲ Py pyrite impregnation
- ⊞ goethite gossan
- ⚡ diatreme, breccia pipe
- ⊖ rhyolite dome

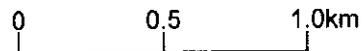


Fig. II-3-2 (1) Alteration Map of the Turaquiri District



鉍化作用の温度的性質と鉍化流体の化学的性質を検討するために、7試料の流体包有物の均質化温度と溶解温度（冷却温度）を測定した。その結果をTable II 3-2に示す。

測定した鉍物は7試料とも石英で、均質化温度の分布は146°C~280°Cを示し、各試料の平均温度は168°C~227°Cを示した。

また、溶解温度の分布は-15.0°C~0.4°Cで、各試料の平均温度は-14.0°C~-1.9°Cを示した。この値から求められたNaCl相当塩濃度は3.1wt%~17.9wt%である。

Table II-3-1 Homogenization Temperature and Melting Temperature

Sample No.	Mineral	Homogenization Temperature			Melting Temperature			Salinity (wt%)
		Inc. No.	Range (°C)	Ave. (°C)	Inc. No.	Range (°C)	Ave. (°C)	
1299	Qz	26	173 ~ 247	200	19	-6.9 ~ -5.0	-5.8	8.9
1396	Qz	36	178 ~ 280	227	24	-10.8 ~ -4.8	-7.9	11.5
1487	Qz	24	149 ~ 215	168	19	-2.4 ~ -0.4	-1.9	3.1
1488	Qz	37	161 ~ 227	197	21	-8.0 ~ -5.5	-6.8	10.3
1489	Qz	24	146 ~ 227	190	22	-12.6 ~ -4.3	-9.0	12.8
1576	Qz	14	181 ~ 230	213	16	-9.9 ~ -7.0	-7.6	11.3
1623	Qz	16	163 ~ 232	203	16	-15.0 ~ -13.4	-14.0	17.9
Average			146 ~ 280	200			-7.6	10.8

トラキリ坑内では数メートル間隔で石組が取り除かれてサンプリングされた跡が残されている。また、坑口付近には最近実施されたと思われる試錐探鉍の痕跡が認められる。

この鉍床の他に、南部のCo. Candelaruni~Co. San Silvestreの北斜面に旧坑跡が存在する。また、西部にもLoma Kankansillaniの尾根には東西系の鉛・亜鉛を伴う重晶石-石英脈が存在する。

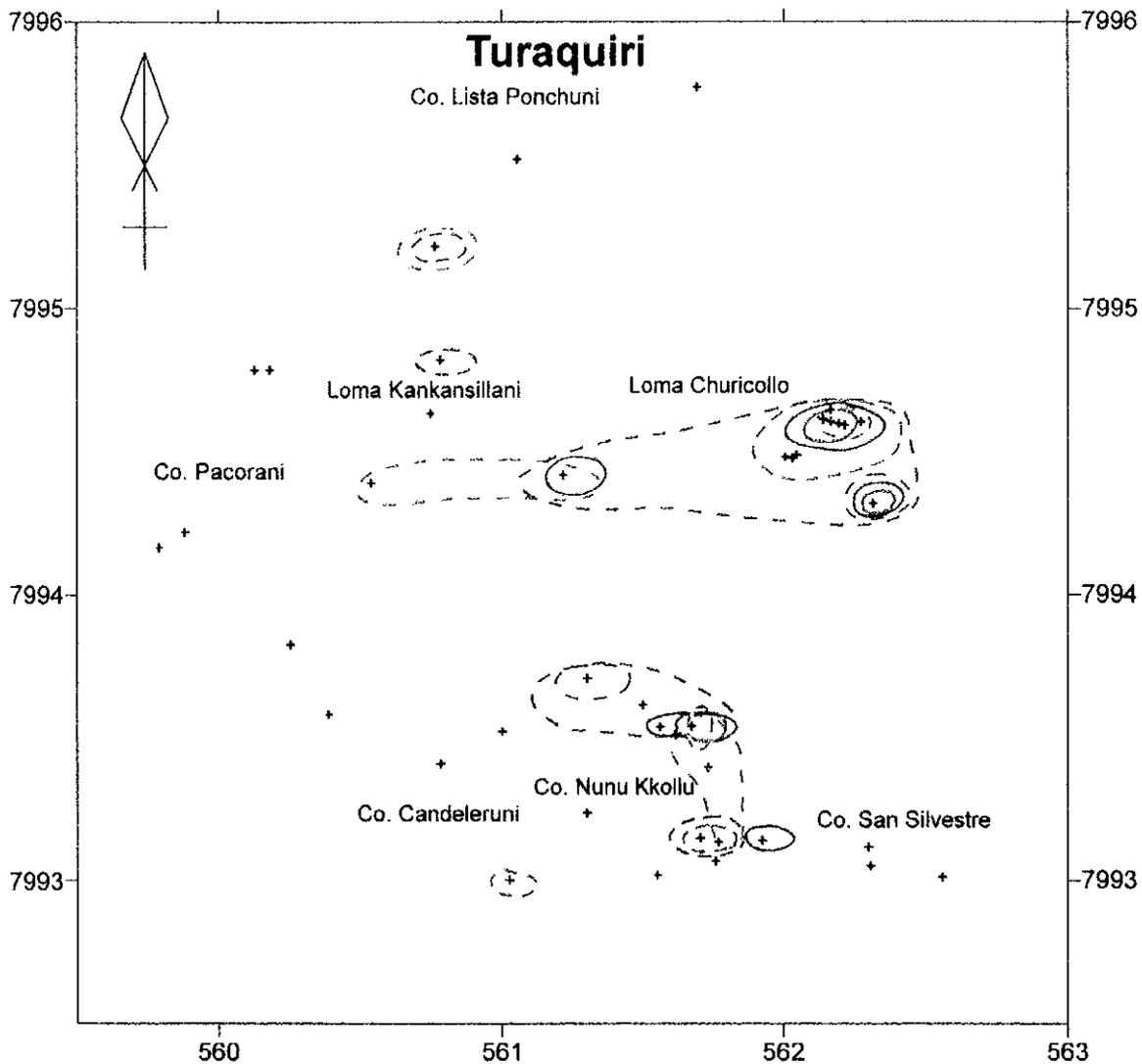
黄鉄鉍の鉍染が北部Co. Lista Ponchuniと南部Rio Virgen de Penasの右岸に認められ、Co. Lista Ponchuniには方鉛鉍と赤鉄鉍の鉍染が認められる。

### 3-2-4 地化学探査分析結果

本地区で岩石試料46個採取した。

各元素毎の最低値、最高値、平均値は順にAu : <2ppb, 20ppb, <2ppb, Ag : <0.5ppm, 583ppm, 34ppm, Cu : <2ppm, 790ppm, 41ppm, Pb : <3ppm, 5, 534ppm, 701ppm, Zn : 16ppm, 3, 801ppm, 596ppm,





**LEGEND**

+ geochemical sampling point

0 0.5 1.0km

**Geochemical Anomaly**

- Au > 70 ppb
- Ag > 30 ppm
- Cu > 90 ppm
- Pb > 400 ppm
- - - Zn > 230 ppm
- - - As > 140 ppm
- - - Sb > 10 ppm
- - - Hg > 200 ppm
- · · Mo > 40 ppm
- · - Be > 800ppm
- · - Sn > 10 ppm

Fig. II -3-3 (1) Geochemical Anomaly Map of the Turaquiri District

0

0

0

As : <5ppm, 650ppm, 36ppm, Sb : <5ppm, 6ppm, <5ppm, Hg : 10ppm, 770ppm, 178ppm, Mo : <1ppm, 8ppm, 2ppm, Ba : 40ppm, 5,260ppm, 1,064ppm, Sn : <5ppm, <5ppm, <5ppm を示した。

各元素の地化学異常を Fig. II-3-3(1)に示す。

金 : 分析値の最高値は 20ppb を示したが、ほとんどの試料が検出限界値以下でまとまった分布や異常値を示さない。

銀 : 分析値の最高値は 583ppm を示し、10ppm 以上を示す部分は Loma Churicollo の既存の鉱脈部 (Turaquiri 鉱床) に集中している。この他には、南部の Co. Ñuñu Kkollu の北斜面にある鉱徴地に局部的に 30ppm 以上の異常値が認められる。

銅 : Turaquiri 鉱床鉱脈部の地表部および南部の Co. Ñuñu Kkollu の北斜面にある鉱徴地に 90ppm 以上の異常部が認められるが局部的でまとまっていない。

鉛 : Turaquiri 鉱床鉱脈部の地表部から坑内にかけて 400ppm 以上の異常帯が認められるほか南部の Co. Ñuñu Kkollu の北斜面にある鉱徴地に異常部が局部的認められる。

亜鉛 : Turaquiri 鉱床鉱脈部の地表部から坑内にかけて 230ppm 以上の異常帯が認められるほか南部の Co. Ñuñu Kkollu の北斜面にある鉱徴地にも異常帯が分布する。その他に Turaquiri 鉱床鉱脈西方延長部に 1 箇所認められ、そこには WNW 方向の重晶石鉱脈の存在が知られている。

砒素 : Turaquiri 鉱床鉱脈部の地表部から坑内にかけてやや高い値を示すほか、南部の Co. Ñuñu Kkollu の北斜面にある鉱徴地や Turaquiri 鉱床北西部 Co. Llista Ponchuni 東斜面にも 1 箇所ずつ 140ppm 以上の異常値が捕捉されている。

アンチモン : 1 箇所 6 ppm を示した他はすべて検出限界値以下であった。

水銀 : Turaquiri 鉱床鉱脈部の地表部から坑内にかけて 200ppm 以上の異常帯が認められるほか南部の Co. Ñuñu Kkollu の北斜面にある鉱徴地にも異常帯が認められる。

モリブデン : Turaquiri 鉱床鉱脈部の地表部に 8 ppm の値が確認されたが、40ppm 以上の異常値はない。

バリウム : Turaquiri 鉱床鉱脈部の地表部から南部の Co. Ñuñu Kkollu の北斜面に 800ppm 以上の異常帯が認められる。

錫 : すべて検出限界以下を示した。

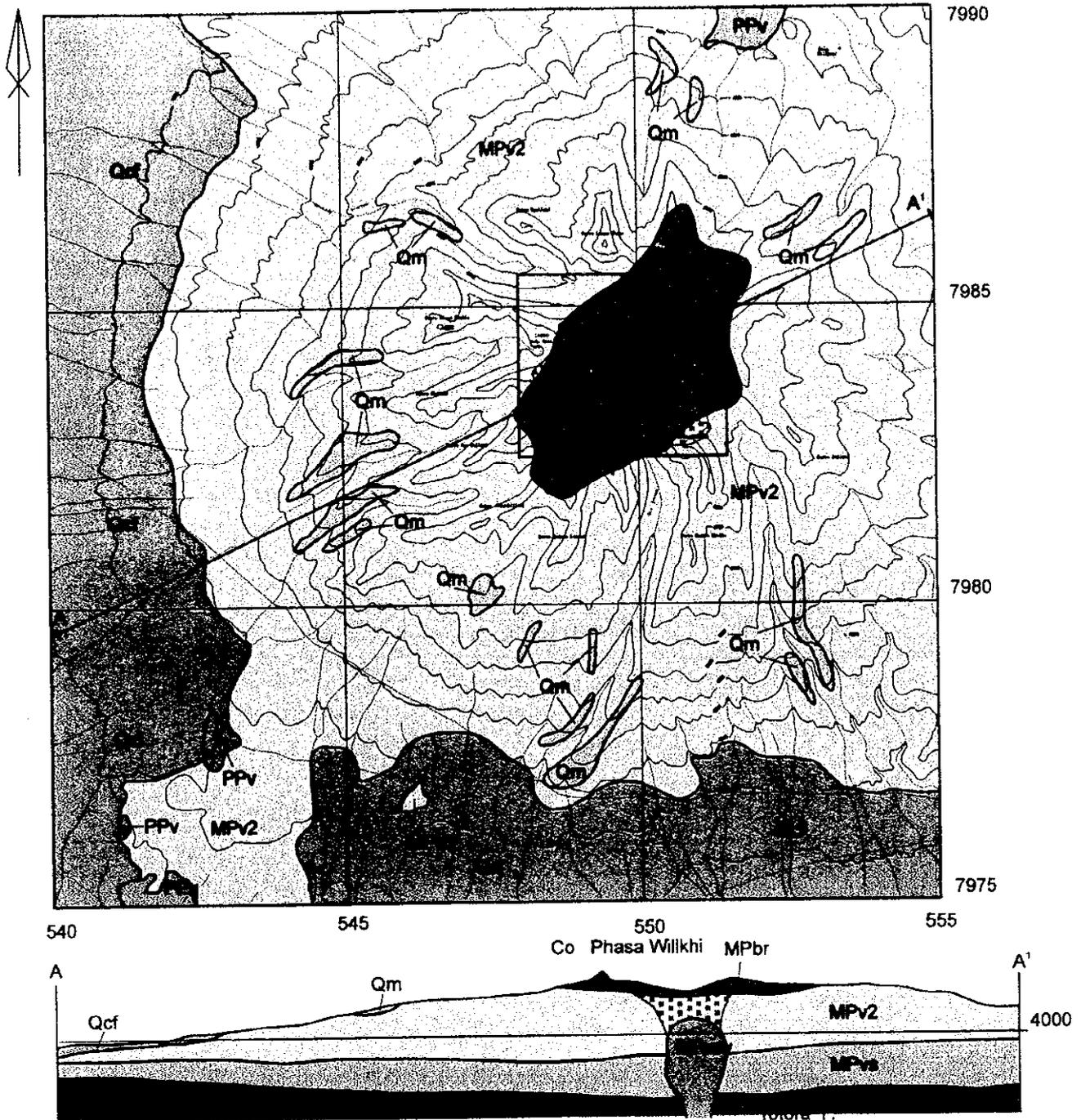
### 3-3 アス・アスニ地区 (Fig. II-3-1(2), Fig. II-3-2(2), Fig. II-3-3(2))

#### 3-3-1 地質

火山礫凝灰岩, 凝灰角礫岩 (火山角礫岩), 安山岩およびデイサイトが分布する。



# ASU ASUNI DISTRICT

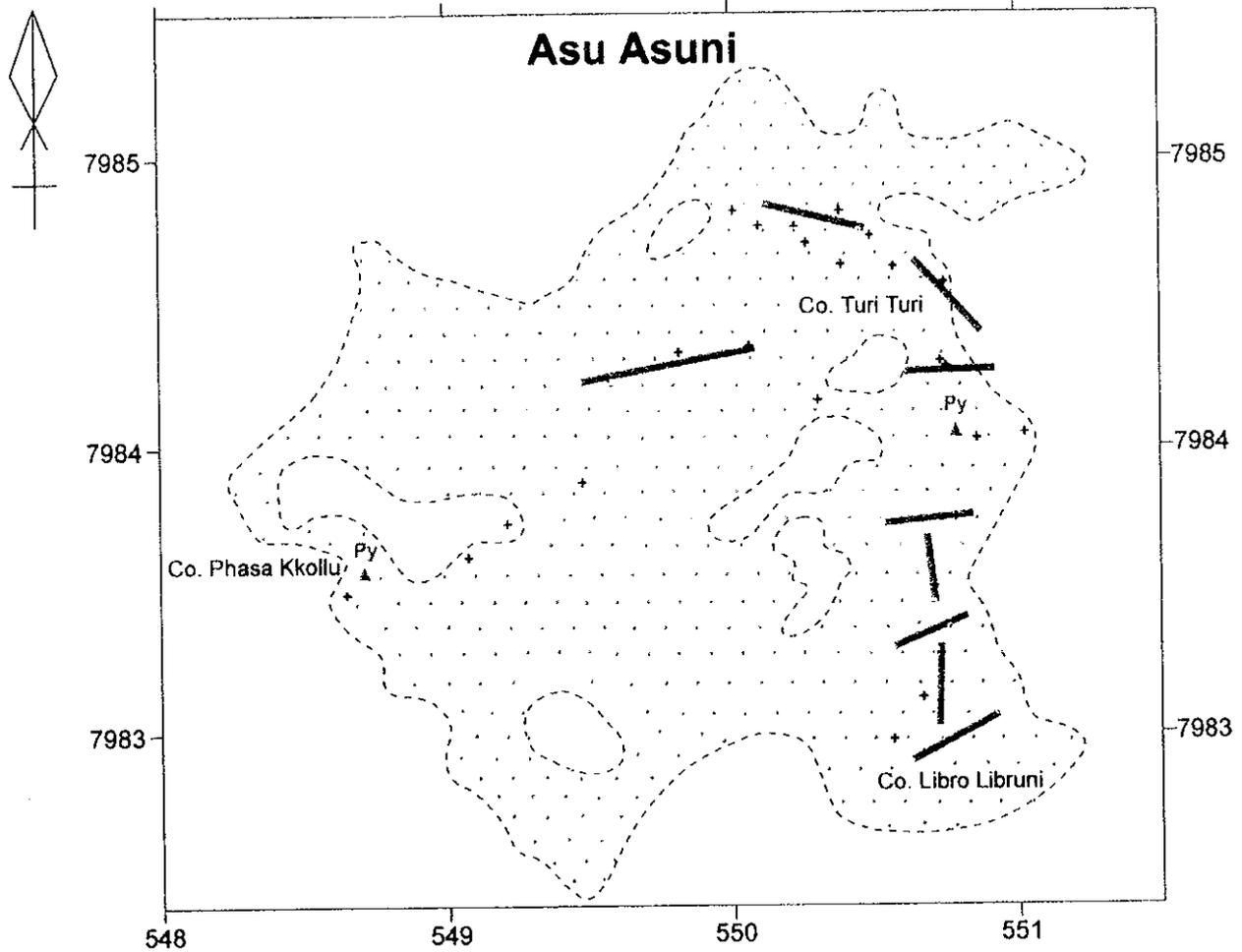


## LEGEND

Quaternary		Qa	alluvial deposit	Intrusive rocks		Qi	Quaternary intrusive rocks
		Qaa	alluvial fan deposit			MP <sub>u</sub>	Miocene to Pliocene volcanic to sub-volcanic rocks (domes & stocks)
		Qcf	colluvial - fluvial deposit			M <sub>u</sub>	Miocene sub-volcanic rocks (dikes, sills, stocks)
		Qt	terrace deposit			M <sub>l</sub>	Lower Miocene volcanic to sub-volcanic rocks (domes, stocks & necks)
		Qm	moraine				
		Qgp	glacial deposit				
Tertiary		PH <sub>u</sub>	Pleistocene to Holocene volcanic rocks		G	Gracial	
		PP <sub>u</sub>	Pliocene to Pleistocene volcanics (Perez F.)			Ore vein	
		MP <sub>u</sub>	Upper Miocene to Pliocene volcanic rocks			Strike and dip	
		MP <sub>l</sub>	Upper Miocene to Pliocene volcano - sedimentary rocks (MP <sub>u</sub> : Puilituma F., MP <sub>l</sub> : Mauri F.)			Alteration zone	
		MP <sub>u</sub>	Upper Miocene to Pliocene volcanic to sub-volcanic rocks (MP <sub>u</sub> : Puilituma F., MP <sub>l</sub> : Mauri F.)			K-Ar Age (Ma)	
		Totora F.	Upper Miocene to Pliocene sedimentary rocks			Geochemical survey area	
		M <sub>u</sub>	Lower to middle Miocene volcanic rocks (Carangas F.)				
		OM <sub>u</sub>	Upper Oligocene to lower Miocene volcanic rocks (Negritos F.)				

Fig. II -3-1 (2) Geological Map of the Asu Asuni District





**LEGEND**

- + geochemical sampling point
- hydrothermal alteration zone
- propylitic alteration zone
- ore vein
- vein, fracture, fault, fissure
- Py pyrite impregnation
- goethite goosan
- diatreme, breccia pipe
- rhyolite dome

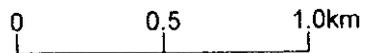
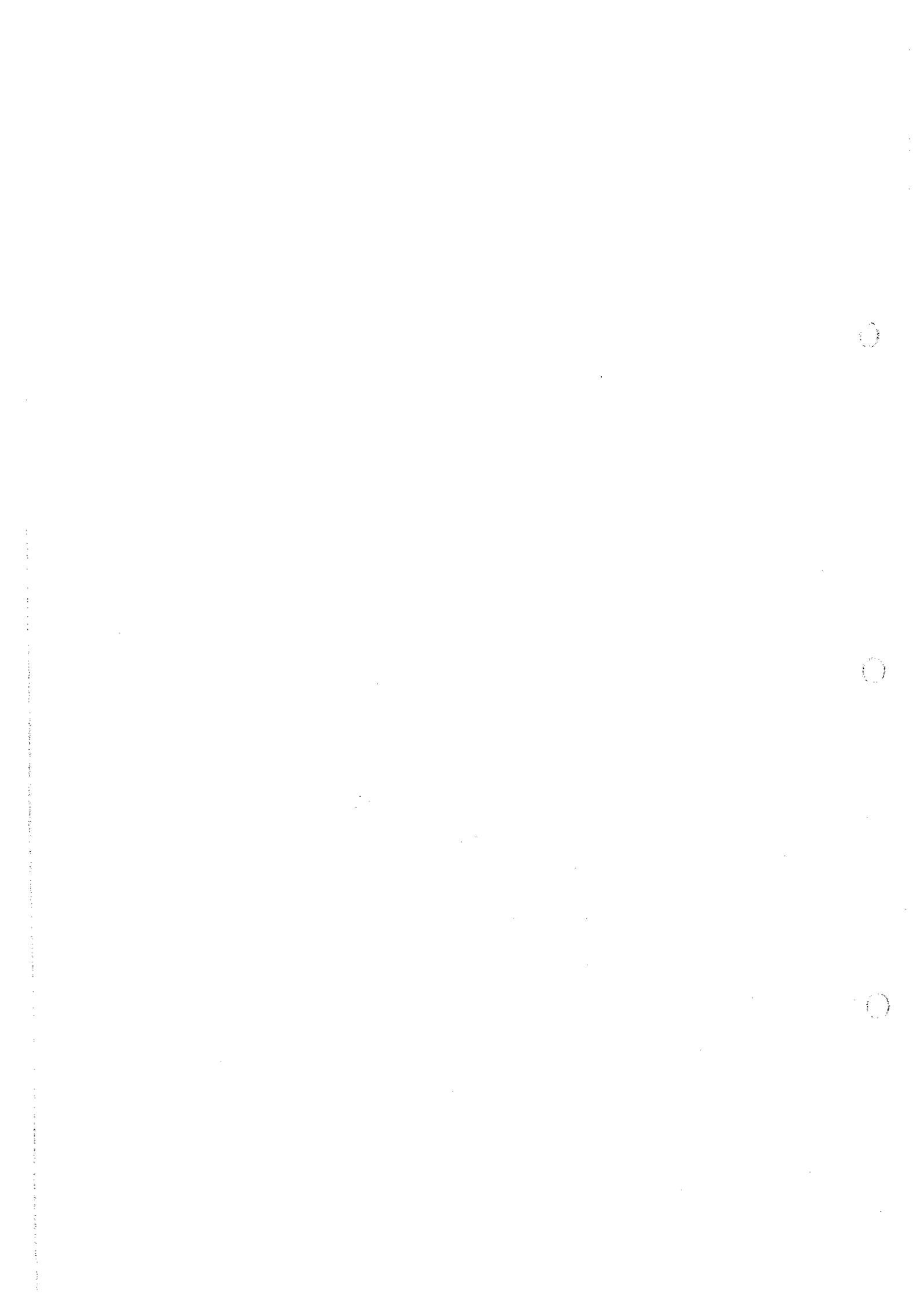


Fig. II -3-2 (2) Alteration I Map of the Asu Asuni District



火山礫凝灰岩および凝灰角礫岩は安山岩礫を含んでおり、変質を被っている。

安山岩は両輝石安山岩、角閃石安山岩および輝石・角閃石安山岩で、尾根の部分には変質を免れた新鮮な岩石が残されている。

本地区の断層、脈、割れ目はE-W方向が優勢である。

### 3-3-2 変質作用

熱水変質帯は約2.5km×2.5kmのほぼ正方形を呈する。

珪化変質、粘土化変質およびプロピライト化変質が認められる。

変質鉱物として石英、明礬石、鉄明礬石、スメクタイトおよび緑簾石が認められる。

### 3-3-3 鉱化作用

一部安山岩中にわずかに黄鉄鉱と赤鉄鉱の鉱染が認められる。

鏡下では、鉱石鉱物として黄鉄鉱、赤鉄鉱および針鉄鉱が認められる。

### 3-3-4 地化学探査分析結果

本地区で岩石試料27個採取した。

各元素毎の最低値、最高値、平均値は順に Au : <2ppb, 3ppb, <2ppb, Ag : <0.5ppm, 1ppm, <0.5ppm, Cu : <2ppm, 51ppm, 12ppm, Pb : <3ppm, 28ppm, 5ppm, Zn : <2ppm, 433ppm, 31ppm, As : <5ppm, 39ppm, 4ppm, Sb : <5ppm, <5ppm, <5ppm, Hg : <10ppm, 100ppm, 27ppm, Mo : <1ppm, 12ppm, 2ppm, Ba : 114ppm, 1,191ppm, 300ppm, Sn : <5ppm, <5ppm, <5ppm を示した。

各元素の地化学異常を Fig. II-3-3(2) に示す。

金 : 1箇所 3ppb を示した他はすべて検出限界値以下であった。

銀 : 1箇所 1ppb を示した他はすべて検出限界値以下であった。

銅 : 顕著な濃集部はなく 90ppm 以上の異常値は認められない。

鉛 : 全体に低く、顕著な濃集部は認められない。

亜鉛 : Co. Libro Libruni に 1箇所 433ppm の異常値が認められるが顕著な濃集部は認められない。

砒素 : 1箇所 39ppm を示した他はすべて検出限界値以下であった。

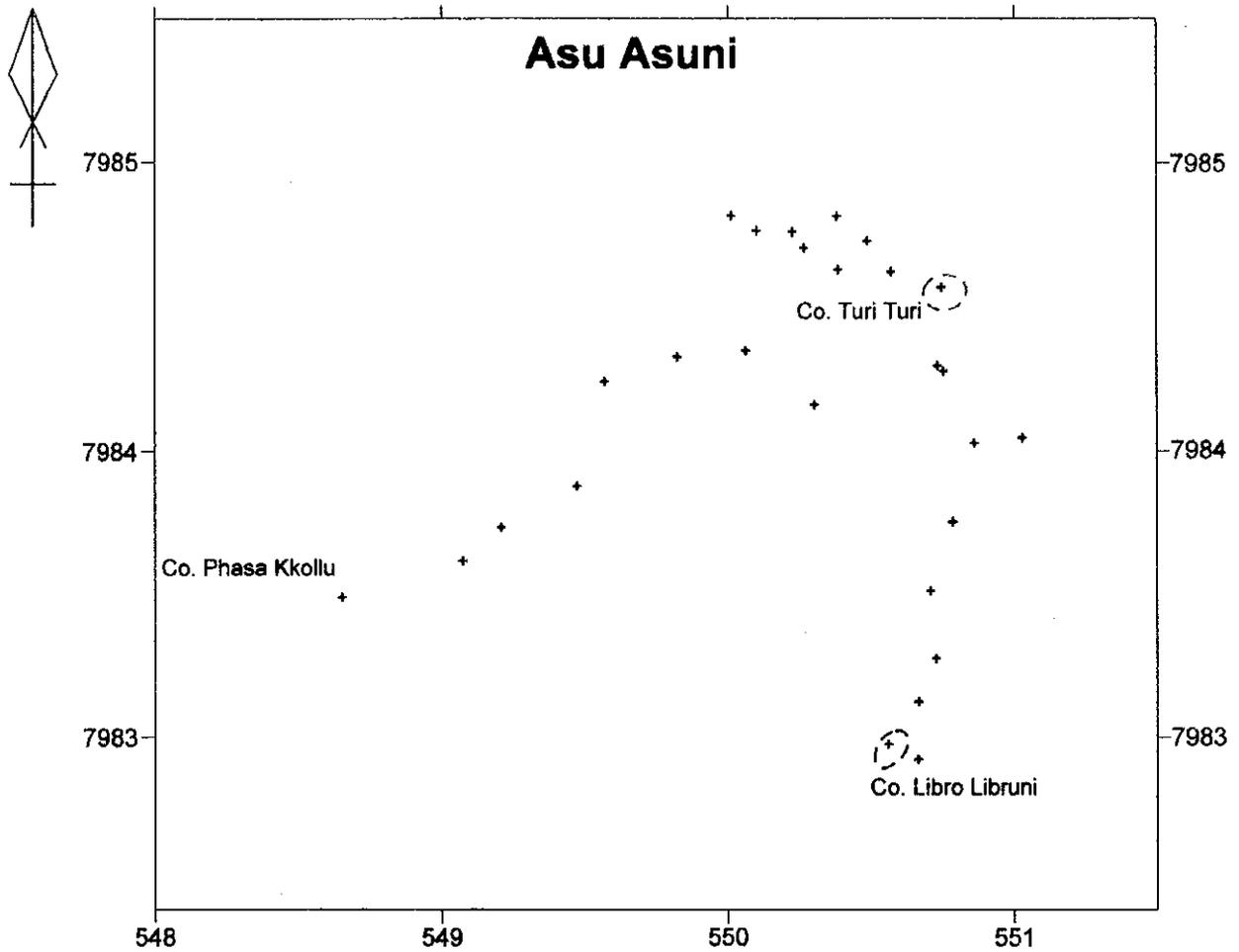
アンチモン : すべて検出限界値以下であった。

水銀 : 1箇所 100ppm を示した他は 60ppm 以下だった。

0

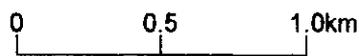
0

0



**LEGEND**

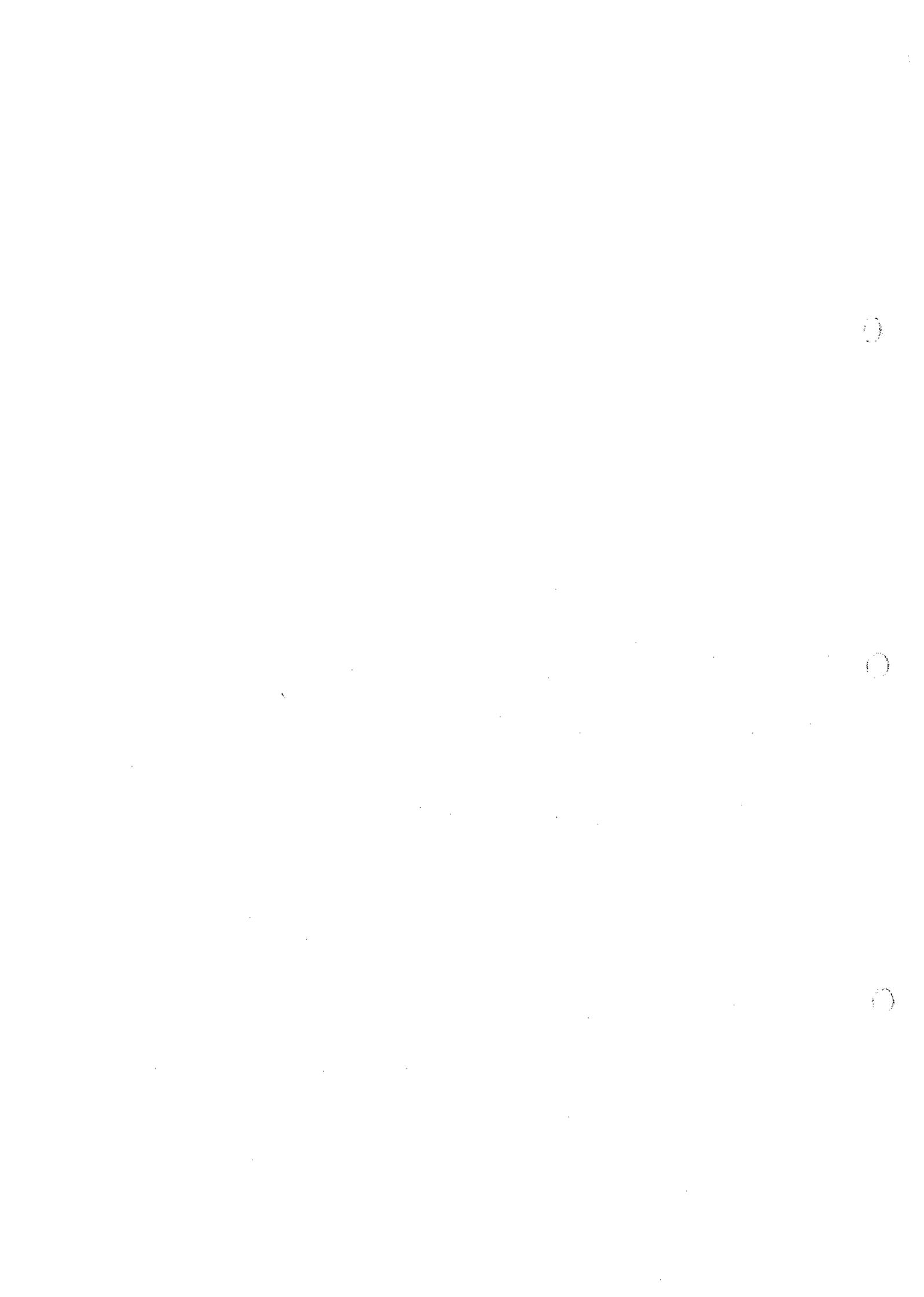
+ geochemical sampling point



**Geochemical Anomaly**

- Au > 70 ppb
- Ag > 30 ppm
- Cu > 90 ppm
- Pb > 400 ppm
- Zn > 230 ppm
- As > 140 ppm
- Sb > 10 ppm
- Hg > 200 ppm
- Mo > 40 ppm
- Ba > 800ppm
- Sn > 10 ppm

Fig. II -3-3 (2) Geochemical Anomaly Map of the Asu Asuni District



モリブデン：1箇所12ppmを示した他は7ppm以下で、40ppm以上の異常値はない。

バリウム：Co. Turi Turiで1箇所1,191ppmの異常値が認められ、Co. Phasa Kkolluに向かってやや高い値の分布がみられる。

錫：すべて検出限界以下を示した。

### 3-4 チュルカニ地区 (Fig. II-3-1(3), Fig. II-3-2(3), Fig. II-3-3(3))

#### 3-4-1 地質

火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩（火山角礫岩）および安山岩が分布する。

火山礫凝灰岩ないし凝灰角礫岩はデイサイト質で変質を被っている。

安山岩の一部は変質を被っている。新鮮な安山岩(No. 2113)は両輝石、黒雲母を含む角閃石安山岩で、K-Ar年代測定結果は $6.13 \pm 0.12$ Ma(No. 2113)を示す。

直径約300mと推定されるダイアトリームが存在する。

本地区の断層、脈、割れ目はNE-SW～ENE-WSW方向が卓越し、N-S方向が続いて優勢である。

#### 3-4-2 変質作用

熱水変質帯は、ほぼ4km×4kmに分布し程度でやや不規則状を呈す。

珪化変質および粘土化変質が認められる。

変質鉱物として石英、明礬石、鉄明礬石？、ス멕タイト、カオリナイトおよび菱鉄鉱が認められる。

#### 3-4-3 鉱化作用

安山岩およびデイサイト質火山礫凝灰岩中に黄鉄鉱が鉱染している。

鏡下では、鉱石鉱物として、黄鉄鉱、針鉄鉱が認められ、一部に重晶石を伴う。

#### 3-4-4 地化学探査分析結果

本地区で岩石試料28個採取した。

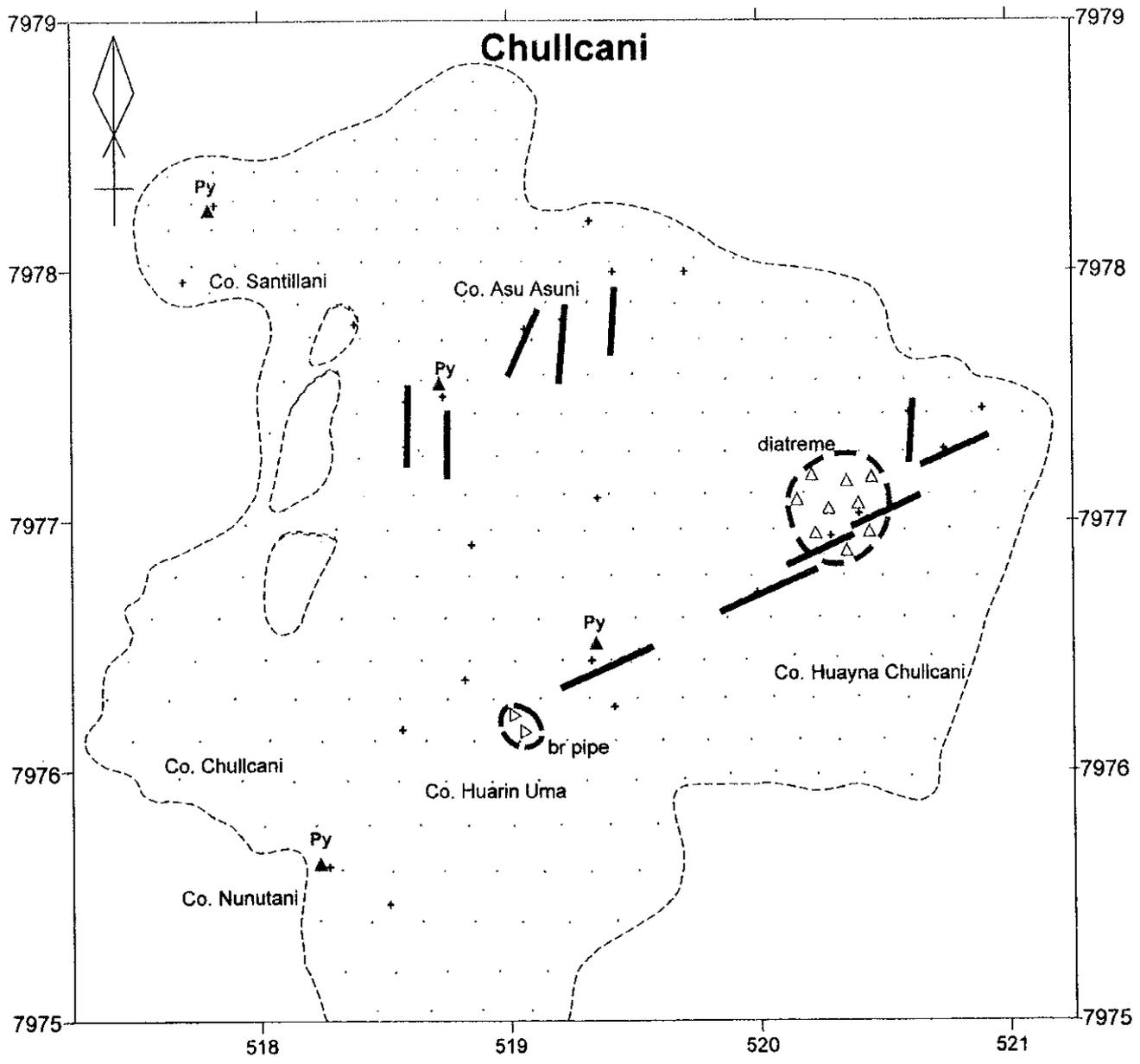
各元素毎の最低値、最高値、平均値は順に Au : <2ppb, 408ppb, 38ppb, Ag : <0.5ppm, 4ppm, 1ppm, Cu : <2ppm, 124ppm, 21ppm, Pb : <3ppm, 2,569ppm, 121ppm, Zn : <2ppm, 75ppm, 20ppm,











**LEGEND**

- + geochemical sampling point
- ⊙ hydrothermal alteration zone
- ⊖ propylitic alteration zone
- ▬ ore vein
- ▬ vein, fracture, fault, fissure
- ▲ Py pyrite impregnation
- ⊘ goethite gossan
- ⊙ diatreme, breccia pipe
- ⊙ rhyolite dome

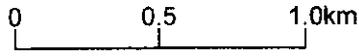
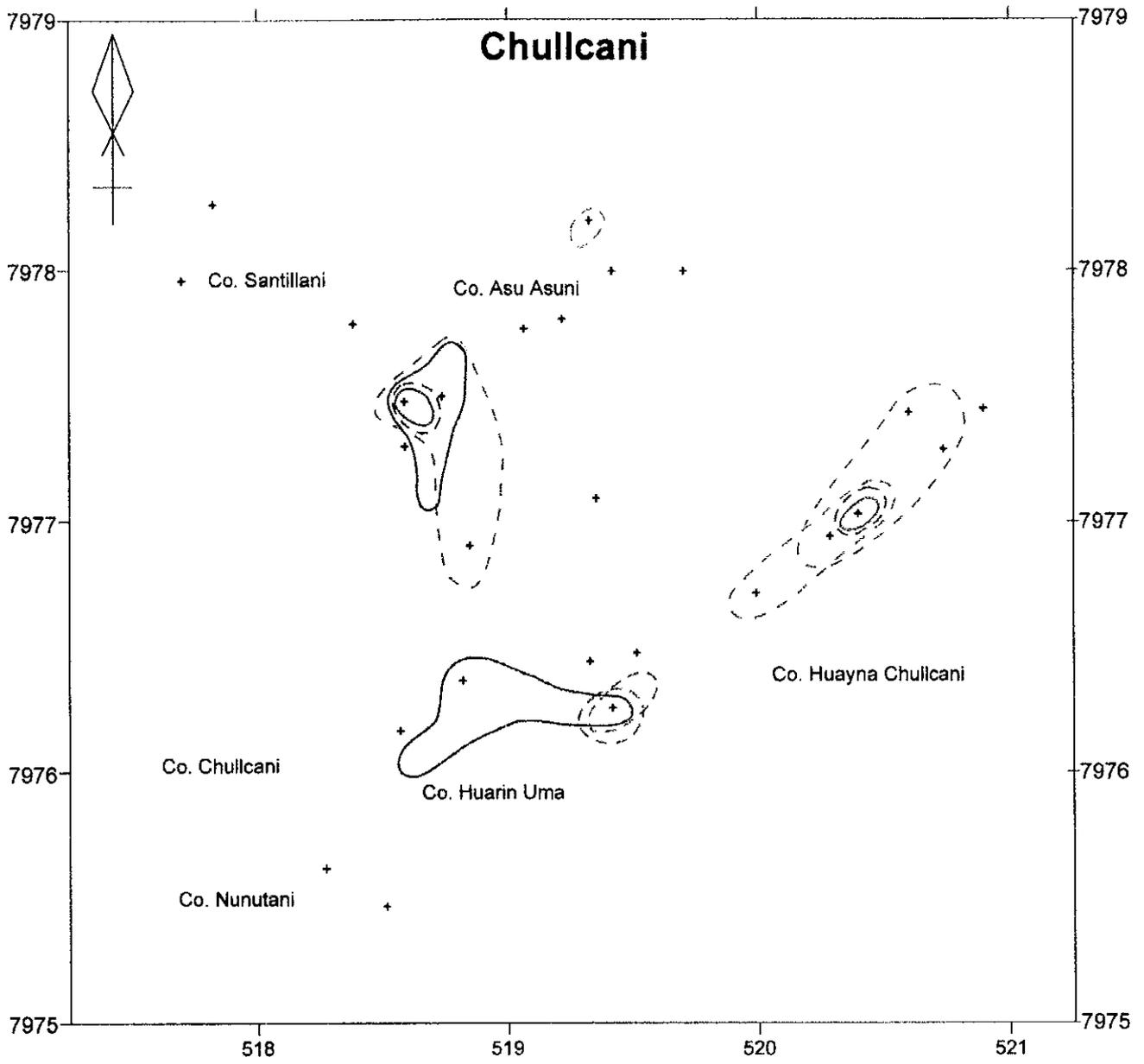


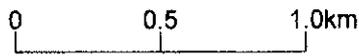
Fig. II -3-2 (3) Alteration Map of the Chullcani District





**LEGEND**

+ geochemical sampling point



**Geochemical Anomaly**

- Au > 70 ppb
- Ag > 30 ppm
- Cu > 90 ppm
- Pb > 400 ppm
- Zn > 230 ppm
- As > 140 ppm
- Sb > 10 ppm
- Hg > 200 ppm
- Mo > 40 ppm
- Ba > 800ppm
- Sn > 10 ppm

Fig. II -3-3 (3) Geochemical Anomaly Map of the Chullcani District

0

0

0

As : <5ppm, 373ppm, 29ppm, Sb : <5ppm, 10ppm, <5ppm, Hg : 10ppm, 860ppm, 143ppm, Mo : <1ppm, 58ppm, 6ppm, Ba : 108ppm, 3, 165ppm, 715ppm, Sn : <5ppm, <5ppm, <5ppm を示した。

各元素の地化学異常を Fig. II-3-3(3)に示す。

金 : 分析値の最高値は 408ppb に達し, Co. Asu Asuni と Co. Huarin Uma の 2 箇所 100ppb 以上の異常帯が分布する。

銀 : ほとんどの値が検出限界以下を示す。

銅 : Co. Huayna Chullcani の北西に 1 箇所 124ppm の異常値が認められる。金の異常帯では 13 ~ 69ppm の値を示している。

鉛 : Co. Asu Asuni の金異常帯に, 2, 569ppm の異常値を含むやや高い値が重複して分布するが, Co. Huarin Uma の金異常帯では低い。

亜鉛 : Co. Santillani 北方の強粘土化部で 52~75ppm の値を示す他は低い。

砒素 : Co. Asu Asuni の金 344ppb を示す箇所に 373ppm の異常値が重複する。Co. Ñuñu Kkollu の北斜面にある鉱徴地やに Turaquiri 鉱床北西部 Co. Llista Ponchuni 東斜面にも 1 箇所 140ppm 以上の異常値が捕捉されている。

アンチモン : 1 箇所 6 ppm を示した他はすべて検出限界値以下であった。

水銀 : Co. Huayna Chullcani の北西に北東~南西方向に 200ppm 以上の異常帯が認められるほか Co. Asu Asuni 北斜面に 1 箇所 380ppm の異常値が認められる。

モリブデン : Co. Huarin Uma の金 120ppb を示す箇所に 58ppm の異常値が確認されたが, その北方で 26ppm の値を示した他は 10ppm 以下である。

バリウム : 金の異常帯と水銀の異常帯に大半重複して, 800ppm 以上の異常帯が 3 箇所認められる。

錫 : すべて検出限界以下を示した。

### 3-5 ソニア~スサーナ地区 (Fig. II-3-1(4), Fig. II-3-2(4), Fig. II-3-3(4))

#### 3-5-1 地質

凝灰岩, 火山礫凝灰岩, 凝灰角礫岩 (火山角礫岩) の火山砕屑岩類および安山岩, デイサイト, 流紋岩, 玄武岩の溶岩類に粗粒玄武岩の貫入岩が分布する。

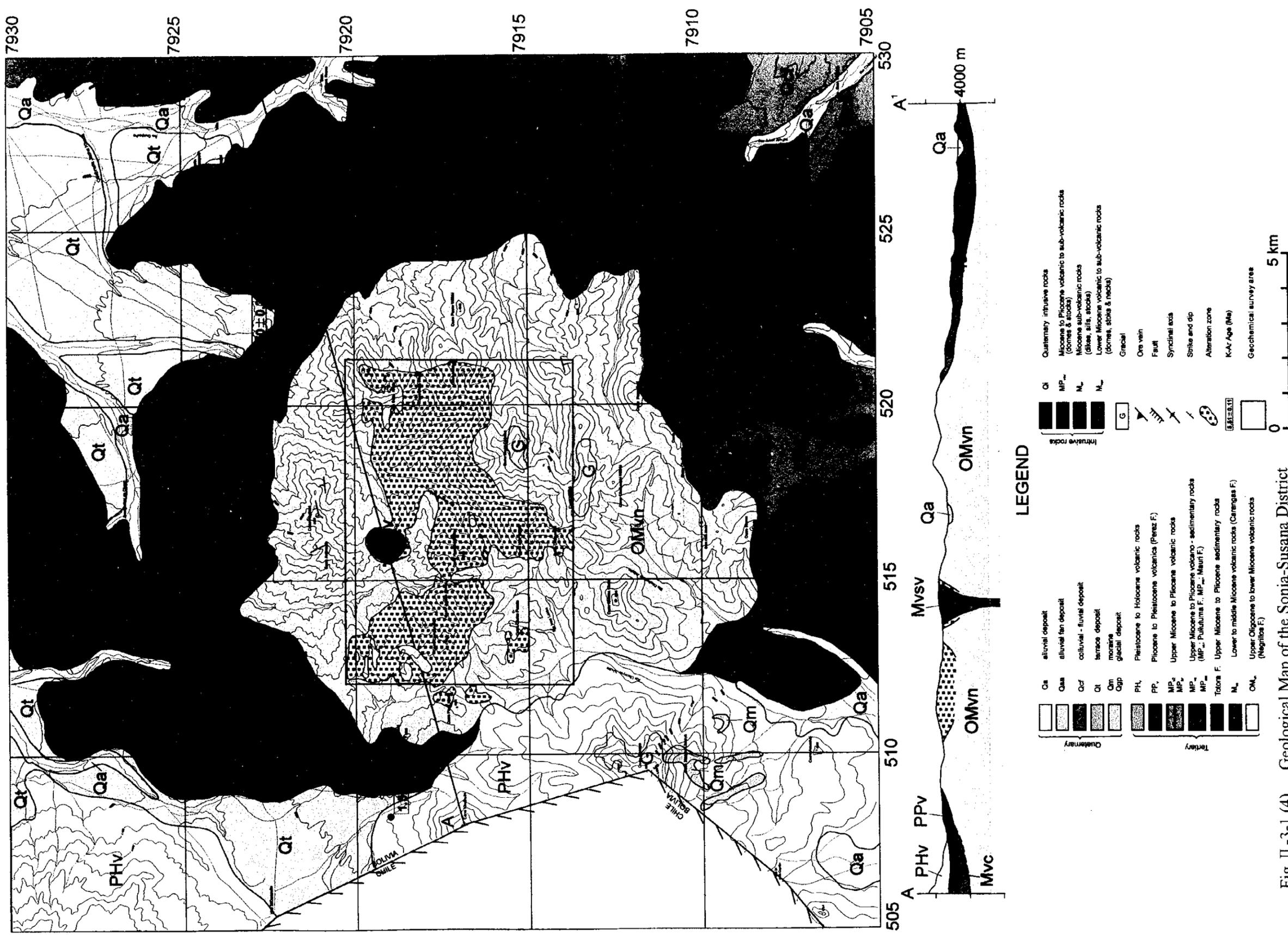
凝灰岩は地区の中央部から西部に広く分布し, 安山岩質, デイサイト質, 流紋岩質 (No. 1370, No. 2107) である。環状に分布する流紋岩質凝灰岩 (No. 2107) には溶結が見られ, K-Ar 年代測定の結果  $17.70 \pm 0.35\text{Ma}$  (No. 2107) の値が得られた。

火山礫凝灰岩および凝灰角礫岩は緑白色ないし褐灰色を呈し, 亜円礫~亜角礫の岩片を含ん





# SONIA SUSANA DISTRICT



## LEGEND

- |                                 |   |                        |  |
|---------------------------------|---|------------------------|--|
| <b>Quaternary</b>               | <b>Tertiary</b>   | <b>Intrusive rocks</b> | <b>Quaternary intrusive rocks</b>                                    |
| Qa alluvial deposit             | PH Pleistocene to Holocene volcanic rocks   | Qi                     | Miocene to Pliocene volcanic to sub-volcanic rocks (cones & stocks)  |
| Qaa alluvial fan deposit        | PP Pleistocene to Pleistocene volcanics (Perez F.)  | MP <sub>u</sub>        | Miocene sub-volcanic rocks (dikes, sills, stocks)                    |
| Qcf colluvial - fluvial deposit | MP <sub>m</sub> Upper Miocene to Pliocene volcanic rocks  | M <sub>u</sub>         | Lower Miocene volcanic to sub-volcanic rocks (cones, stocks & necks) |
| Qi terraces deposit             | MP <sub>m</sub> Upper Miocene to Pliocene volcano - sedimentary rocks (MP <sub>u</sub> , Pukuhuna F., MP <sub>m</sub> , Mauni F.) | M <sub>m</sub>         | Gracial  |
| Qm moraine                      | Totora F. Upper Miocene to Pliocene sedimentary rocks   | G                      | Ore vein   |
| Qgp glacial deposit             | M <sub>u</sub> Lower to middle Miocene volcanic rocks (Carangas F.)   |                        | Fault  |
|                                 | M <sub>m</sub> Upper Oligocene to lower Miocene volcanic rocks (Negritica F.)   |                        | Synclinal axis   |
|                                 |   |                        | Strike and dip   |
|                                 |   |                        | Alteration zone  |
|                                 |   |                        | K-Ar Age (Ma)  |
|                                 |   |                        | Geochemical survey area  |

Fig. II-3-1 (4) Geological Map of the Sonia-Susana District



でいる。礫種は安山岩、流紋岩で最大径1~20cm、含有率は10%~20%程度である。

安山岩は(角閃石)-輝石安山岩で、一部に非常に堅硬な灰色を呈し層状に分布する無斑晶安山岩も存在する(No. 1923)。

流紋岩は灰白色で流理構造を有し、地区中央北部の Co. Entre Campanani を中心に直径約1kmのドーム状に分布するものと推定される。鏡下では石英、カリ長石、斜長石の他、微量の黒雲母、磁鉄鉱、針鉄鉱、赤鉄鉱が認められる(No. 1949)。環状構造を示す流紋岩質凝灰岩等を被覆する流紋岩が地区の北西部~北部に分布している。黒雲母を伴う球果状を示し(No. 2108)、K-Ar年代測定の結果  $1.73 \pm 0.03\text{Ma}$  (No. 2108) が得られた。

非変質のデイサイトが西部の国境周辺に分布し、K-Ar年代測定の結果、 $1.52 \pm 0.03\text{Ma}$  (No. 2109) が得られた。

玄武岩は調査地の中央部に1箇所、黄鉄鉱の鉱染を伴う変質を被って認められ(No. 1958)、鏡下では緑泥石、セリサイト、緑簾石および方解石が生じている。

粗粒玄武岩は全域にわたって5箇所を確認されている。Co. Jankho Kkollu 南斜面やさらに南の尾根の北斜面では、東西方向に貫入している。鏡下では斜長石、輝石の他にカンラン石(No. 1794)を伴うほか、変質鉱物として緑泥石や方解石が生じている。

本地区の断層、脈、割れ目は東部ではE-W方向が卓越し、その西の Santa Catalina Loma ではNW-SE方向がやや優勢で、中央部はNE-SW方向が顕著で、西部ではE-W方向が主体でN-S方向、NW-SE方向も認められる。

### 3-5-2 変質作用

熱水変質帯は4km×9kmの不規則な長方形を呈して分布する。

珪化変質、粘土化変質およびプロピライト化変質が認められる。

全体的に粘土化変質帯が広く分布する中に脈状に珪化作用が認められる。プロピライト化変質は粘土化変質帯中に島状に残されているほか、外部にやや広く分布している。

変質鉱物として石英、明礬石、鉄明礬石、セリサイト、スメクタイト、カオリナイト、セリサイト/スメクタイト混合層鉱物、方解石、緑泥石および緑簾石が認められる。

### 3-5-3 鉱化作用

黄鉄鉱の鉱染が各所に各所に認められたほか、ベースメタル、貴金属を伴う脈状鉱化作用が

確認された。

金を含む石英脈は、Co. Llica Khaua の北斜面の粘土化火山礫凝灰岩中に認められる。脈幅は 30cm で走向 N45° W, 傾斜 75° SW を示す (No. 1933)。石英脈は金 2.97g/t, 銀 24g/t を示したがベースメタルの品位は低い。周辺に試錐跡や旧坑が残されており、旧坑は石英脈の下方に 30° の傾斜で掘り下がって深度 7m で崩落している。

石英脈の下盤側には幅 40cm の緑色銅鉱の染み込みがみられ、銅 1.38%, 鉛 0.12%, 亜鉛 0.55% を示す (No. 1931)。鏡下では、黄鉄鉱、針鉄鉱の他に、微量の赤鉄鉱、藍銅鉱および閃亜鉛鉱が見られる。

石英脈、重晶石脈が Co. Jankho Kkollu の南方にある山の斜面から尾根にかけて認められる。脈幅は 30cm まで変化し、膨縮が激しく連続性は悪い。走向 N-S, 傾斜 75° E を示す脈は鉛を含み、銀 18g/t, 鉛 4.24%, 亜鉛 0.97% を示す (No. 1611)。また、走向 N30W, 傾斜 83° SW を示す石英脈は亜鉛 1.21% を含む (No. 1609)。いずれの脈も金品位は低い。

鉱化作用の温度的性質と鉱化流体の化学的性質を検討するために、3 試料の流体包有物の均質化温度と溶解温度 (冷却温度) を測定した。その結果を Table II-3-2 に示す。

Table II-3-2 Homogenization Temperature and Melting Temperature

Sample No.	Mineral	Homogenization Temperature			Melting Temperature			
		Inc. No.	Range (°C)	Ave (°C)	Inc. No.	Range (°C)	Ave (°C)	Salinity (wt%)
1609	Qz	14	149 ~ 249	201	15	-4.8 ~ -3.3	-4.1	6.6
1617	Qz	18	151 ~ 258	179	12	-3.5 ~ -1.1	-2.2	3.7
1920	Qz	15	139 ~ 249	205	17	-4.2 ~ -1.3	-2.3	3.9
Average			139 ~ 258	195		-4.8 ~ -1.1	-2.9	4.7

測定した鉱物は 3 試料とも石英で、均質化温度の分布は 139°C~258°C を示し、平均温度は 179°C, 201°C および 205°C を示した。

また、溶解温度の分布は -4.8°C~-1.1°C で、平均温度は -4.1°C, -2.3°C および -2.2°C を示した。この値から求められた NaCl 相当塩濃度は 6.6wt%, 3.9wt% および 3.7wt% である。

本地区では鉱山会社 (COMINCO Bolivia) が試錐 10 本を含む、地化探、IP 調査を実施しており、各所に試錐座、アクセス道路、トレンチ、チャンネルサンプリング跡、測点が残されている。



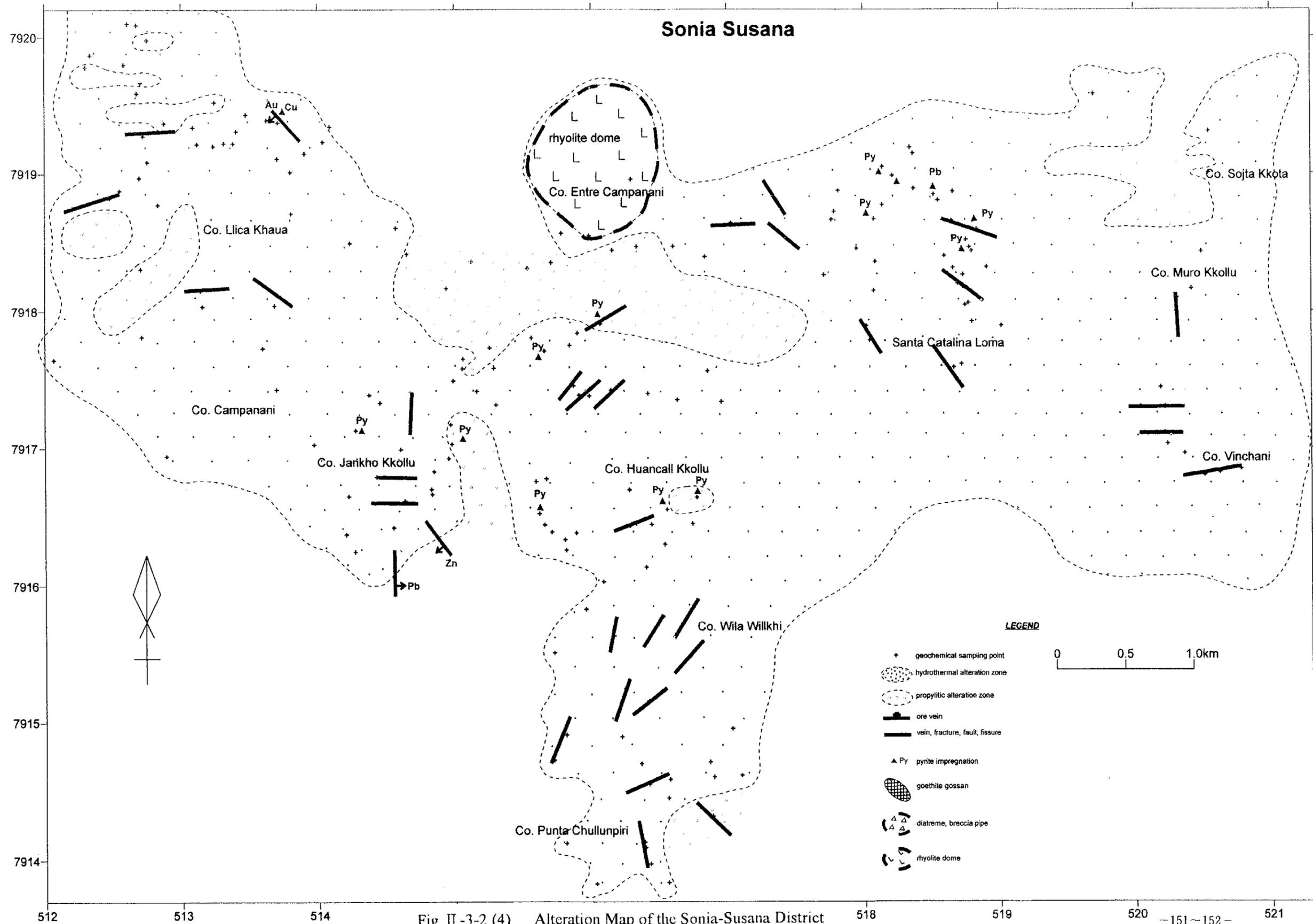


Fig. II-3-2 (4) Alteration Map of the Sonia-Susana District



る。

#### 3-5-4 地化学探査分析結果

本地区で岩石試料 194 個採取した。

各元素毎の最低値, 最高値, 平均値は順に Au : <2ppb, 504ppb, 12ppb, Ag : <0.5ppm, 57ppm, 2ppm, Cu : <2ppm, 700ppm, 43ppm, Pb : <3ppm, 1,672ppm, 121ppm, Zn : <2ppm, 4,660ppm, 141ppm, As : <5ppm, 3,210ppm, 40ppm, Sb : <5ppm, 93ppm, <5ppm, Hg : <10ppm, 22,230ppm, 170ppm, Mo : <1ppm, 238ppm, 7ppm, Ba : 15ppm, 2,690ppm, 272ppm, Sn : <5ppm, 44ppm, <5ppm を示した。

各元素の地化学異常を Fig. II-3-3(4)に示す。

金:分析値の最高値は 504ppb に達し, Santa Catalina Loma と Co. Campanani の 2 箇所 に 100ppb 以上の異常帯が分布する。特に Santa Catalina Loma には 10ppb 以上の範囲が広く分布している。

銀: Santa Catalina Loma の 1 箇所 に 57ppm の異常値を示し, 周辺部は 27ppm 以下の値が広く分布している。Co. Vinchani 周辺にも 18ppm までのやや高い値を示す部分が存在する。

銅: Santa Catalina Loma に 90ppm 以上の値を示す異常帯が広く分布している。また, Co. Entre Campanani の南方にも異常帯が存在する他, 5 箇所 で 90ppm 以上の異常値が確認されているがまとまっていない。

鉛: Santa Catalina Loma に 400ppm 以上の値を示す異常帯が分布している他, 5 箇所 で 90ppm 以上の異常値が確認されているがまとまっていない。

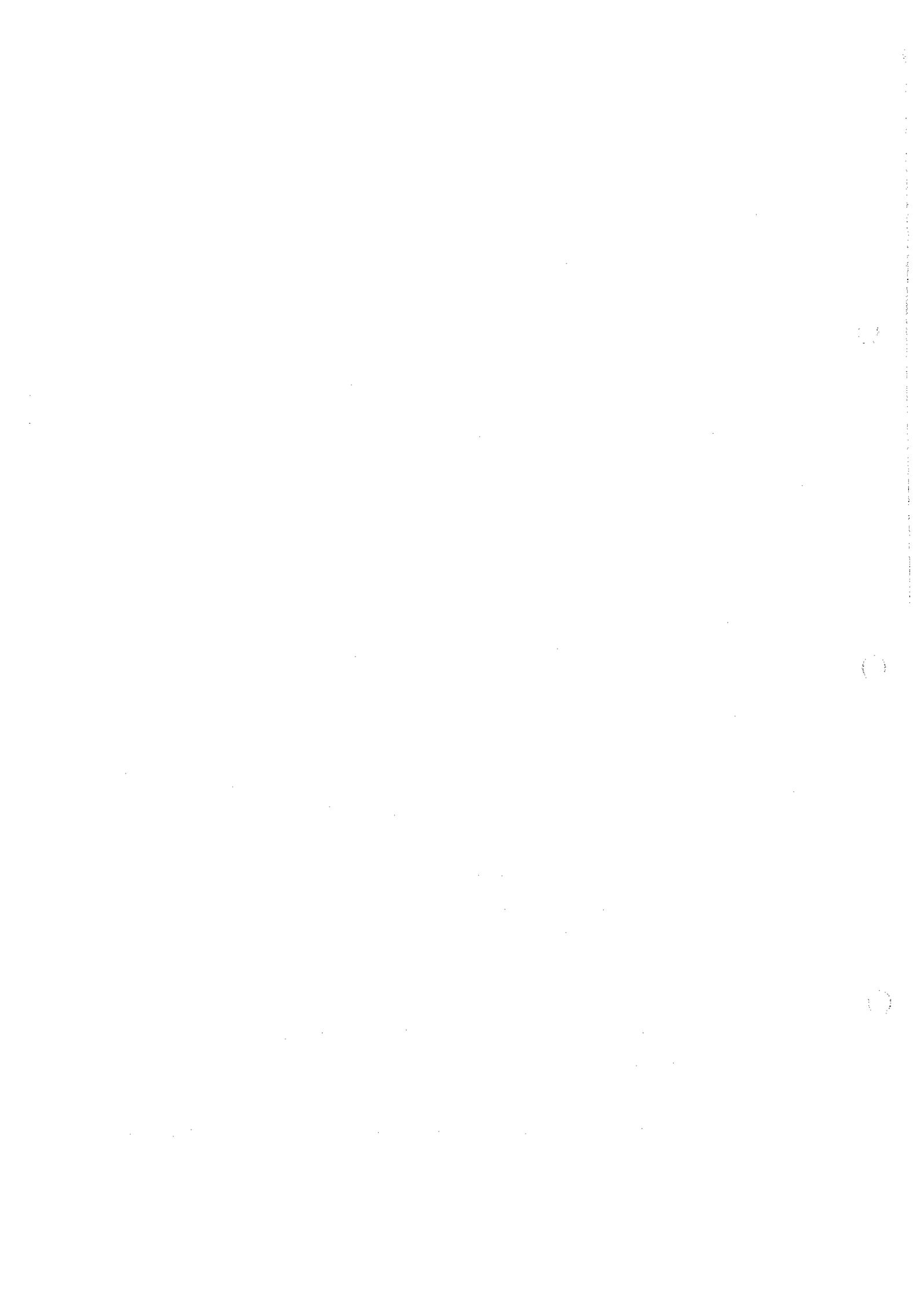
亜鉛: Santa Catalina Loma に 230ppm 以上の値を示す異常帯が分布している。また, Co. Huancall Kkollu にも小規模の異常帯が分布するほか, 5 箇所 で 230ppm 以上の異常値が確認されているがまとまっていない。

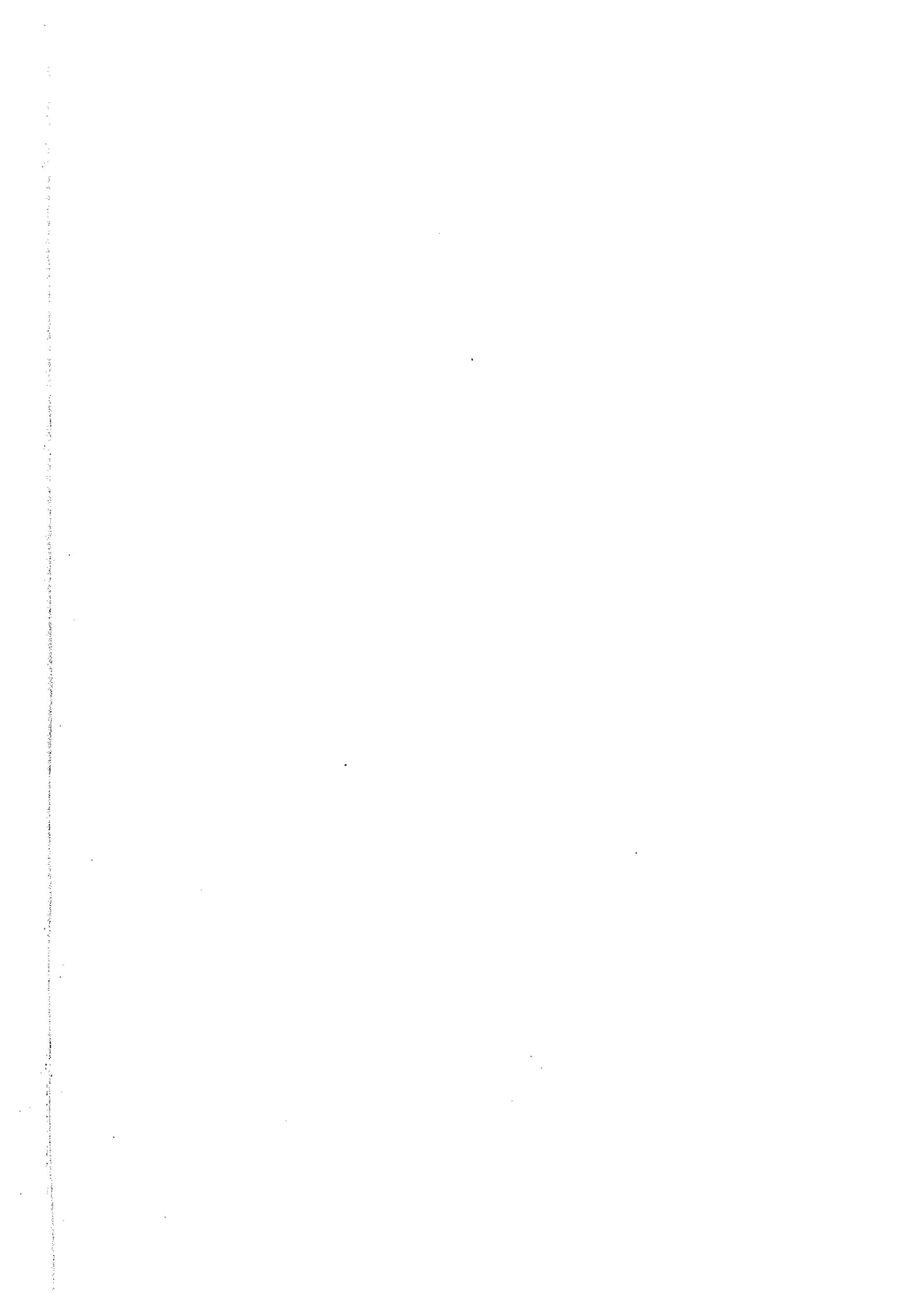
砒素: Co. Entre Campanani の金異常帯に重複して 140ppm 以上の値を示す異常帯が分布する。他に Santa Catalina Loma の 2 箇所 に異常値が確認されているが, まとまっていない。

アンチモン: 大部分が検出限界値以下を示すなか, Co. Entre Campanani の金異常帯に重複して 26~93ppm の値の異常帯が分布している。他に Co. Llica Khaua に 1 箇所 14ppm の値を示す箇所が認められる。

水銀: Co. Llica Khaua に 200ppm 以上の値を示す異常帯が小規模に点在して認められるほか Co. Punta Chullumpiri および Co. Entre Campanani には局部的に 200ppm 以上の異常値が認められている。

モリブデン: 40ppm 以上の値を示す小規模な異常部が Co. Huancall Kkollu, Co. Entre Campanani,





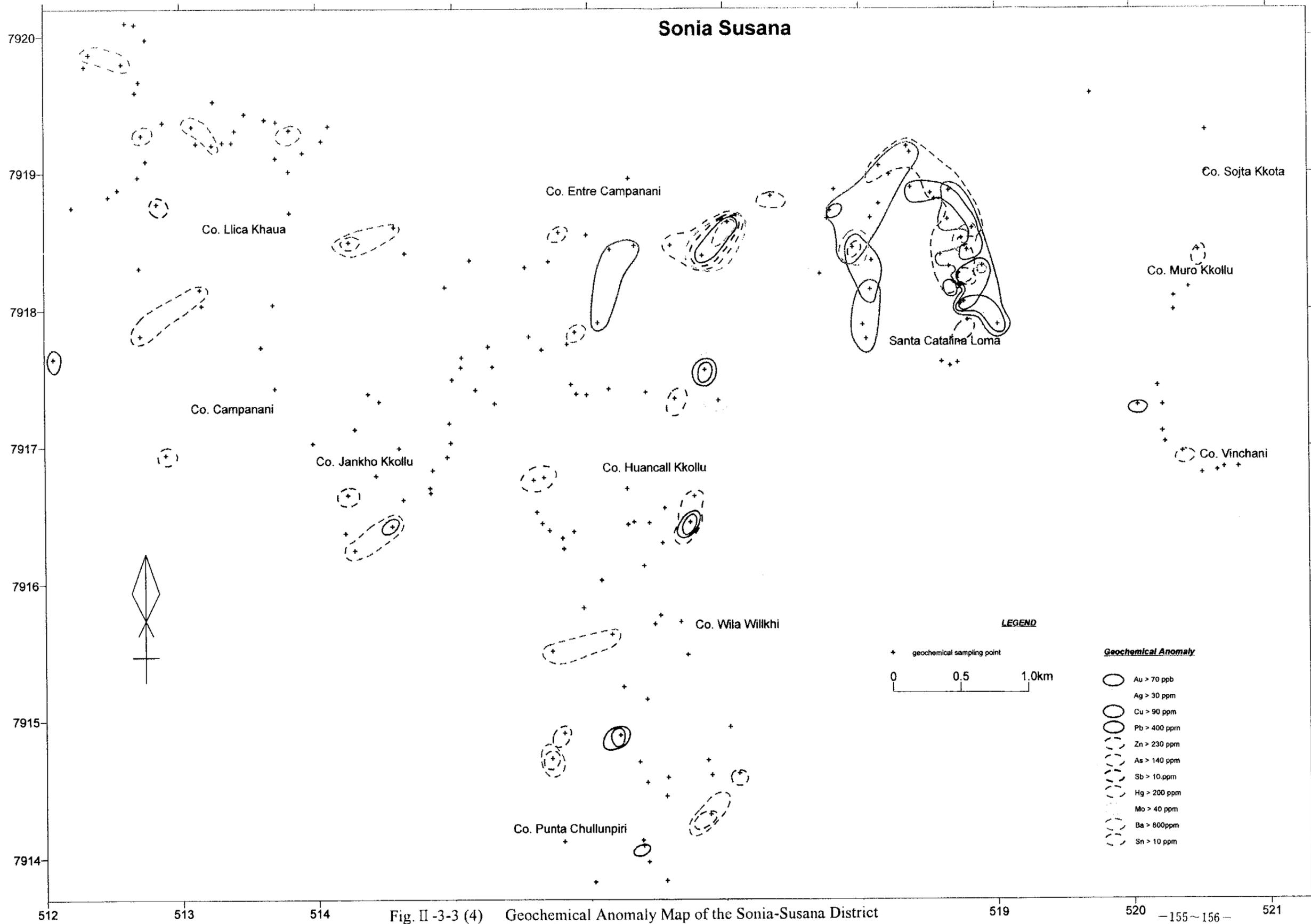


Fig. II -3-3 (4) Geochemical Anomaly Map of the Sonia-Susana District



Santa Catalina Loma および Co. Vichani に点在する。

バリウム：800ppm 以上の値を示す異常部が全域にわたって小規模に点在して認められる。

錫：大部分が検出限界値以下を示すなか、Co. Entre Campanani と Santa Catalina Loma の金異常帯に重複して 10ppm 以上の値を示す異常部が存在する。

### 3-6 カロールノ地区 (Fig. II-3-1(5), Fig. II-3-2(5), Fig. II-3-3(5))

#### 3-6-1 地質

凝灰岩、火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩（火山角礫岩）、安山岩およびデイサイトが分布する。

一般に山頂部を溶岩類が占め、その下部に火山砕屑岩類が分布する。

凝灰岩は、淡灰色を呈し、局部的に分布する。

火山礫凝灰岩は、淡灰色ないし灰白色を呈する。含有礫は亜円礫～亜角礫からなり、最大径 1～20cm、含有率 10～20%程度である。

凝灰角礫岩（火山角礫岩）は淡灰色ないし灰白色を呈する。含有礫は亜角礫を主とし、最大径 5～30cm、含有率 20～70%程度である。

安山岩は堅硬な灰色ないし緑灰色を呈する。斑晶に黒雲母および／または角閃石が認められ、一部に輝石類、カンラン石 (No. 1863, 2101) を伴う。K-Ar 年代測定の結果  $11.69 \pm 0.23\text{Ma}$  (No. 1863), および  $9.01 \pm 0.18\text{Ma}$  (No. 2101) が得られた。

本地区の断層、脈、割れ目は北部の Co. Sancarata では N-S 方向が優勢で E-W 系を伴い、中央部は NW-SE 方向が顕著で N-S 系や E-W 系も小規模に認められる。南部では ENE-WSW ないし WNW-ESE 方向が優勢となっている。

#### 3-6-2 変質作用

熱水変質帯は大きく北東部 (I)、北西～中央部 (II)、南部 (III) および南端部 (IV) の 4 箇所に分布している。

規模はそれぞれ、2.5km×2.5km, 3km×11km, 3km×4km, 1km×3km で不規則状を呈する。

珪化変質および粘土化変質が認められ、広範な粘土化変質帯中に脈状の珪化部が存在する。

山頂部には新鮮な岩石が残されている。

変質帯 (II) の Co. Irun Laque 北方ではバギー・シリカが認められる。

変質鉱物として石英、明礬石、カオリナイト、ハロイサイト、カリ長石、セリサイトが認めら

3

0

1



CALORNO DISTRICT

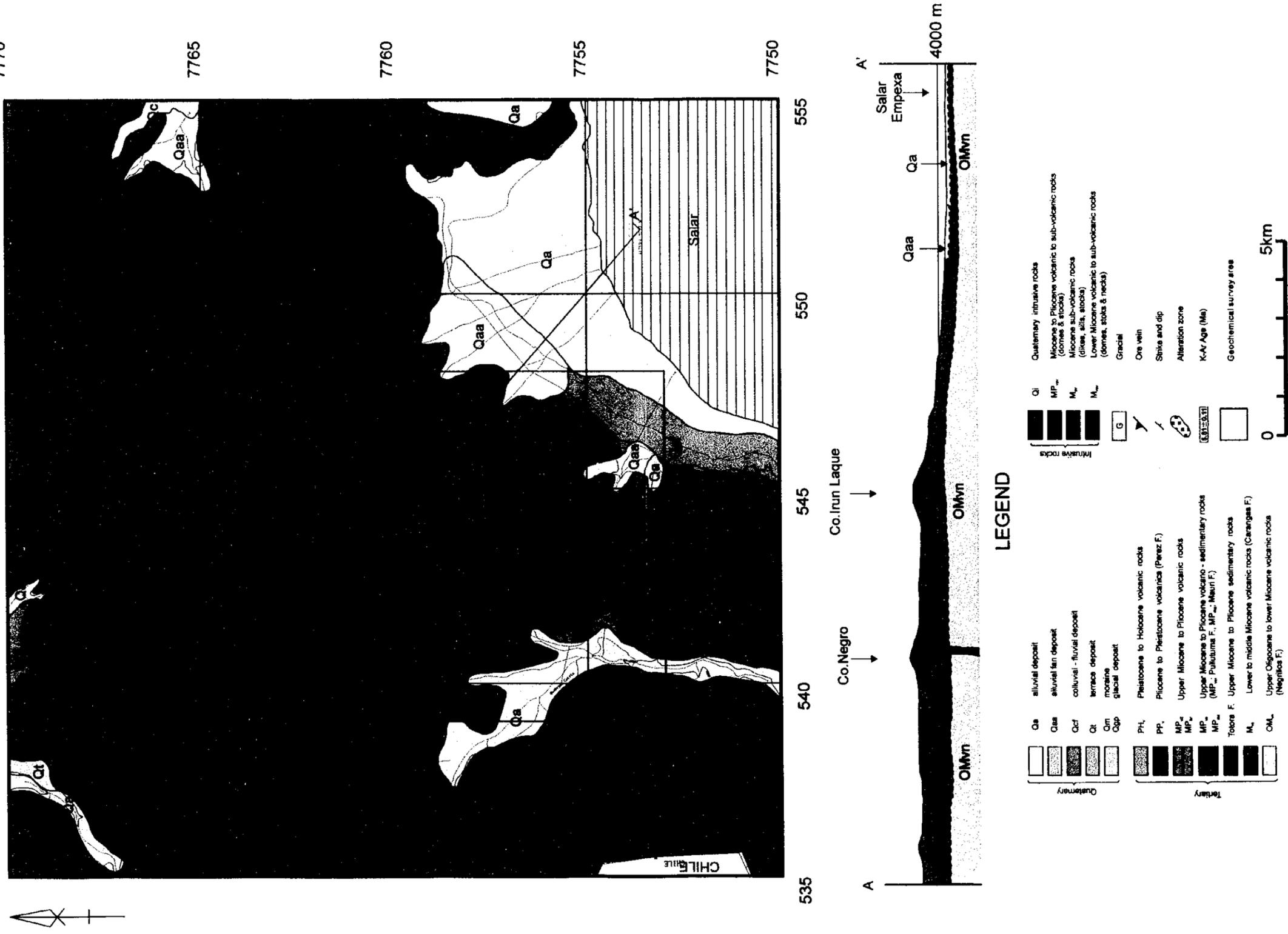


Fig. II-3-1 (5) Geological Map of the Calorno District



れ、一部に緑泥石、セリサイト/スメクタイト混合層鉱物(No. 1748)およびパイロフィライト(No. 1431)が認められる。

### 3-6-3 鉱化作用

珪化脈、石英脈が存在するが、これらの脈に金属鉱物の示徴は認められなかった。

黄鉄鉱が変質帯(Ⅱ)中に鉱染して認められる。

変質帯(Ⅱ)南東部の Rio Agua Milagro の川床沿いに延長約 800mにわたって針鉄鉱のゴッサンが露出している。南端は N45° E, 傾斜 22° S の境界で、火山礫凝灰岩と接している。右岸には深さ 11m の旧坑が残されている。坑内は火山礫凝灰岩が強く針鉄鉱化されている。旧坑内および川沿いの露頭の分析結果、最高値は鉛 245ppm(No. 1903), 亜鉛 201ppm(No. 1913)を示したが、金・銀は検出されなかった。砒素はやや高い値をしめし、ゴッサンの最上流部(No. 1777)では 7,810ppm の異常値を示した。ここではアンチモンも 357ppm と高い値を示した。

### 3-6-4 地化学探査分析結果

本地区で岩石試料 343 個採取した。

各元素毎の最低値, 最高値, 平均値は順に Au : <2ppb, 12ppb, <2ppb, Ag : <0.5ppm, 2ppm, <0.5ppm, Cu : <2ppm, 190ppm, 18ppm, Pb : <3ppm, 289ppm, 10ppm, Zn : <2ppm, 224ppm, 10ppm, As : <5ppm, 11, 388ppm, 135ppm, Sb : <5ppm, 357ppm, <5ppm, Hg : <10ppm, 5, 260ppm, 154ppm, Mo : <1ppm, 191ppm, 5ppm, Ba : 11ppm, 1,678ppm, 288ppm, Sn : <5ppm, 7ppm, <5ppm を示した。

各元素の地化学異常を Fig. II-3-3(5)に示す。

金 : 顕著な濃集部や, 30ppb 以上の異常値は認められてなく, 1~12ppb の値を示す部分が局部的に点在する。

銀 : 1 箇所 2ppm を示した他はすべて検出限界値以下であった。

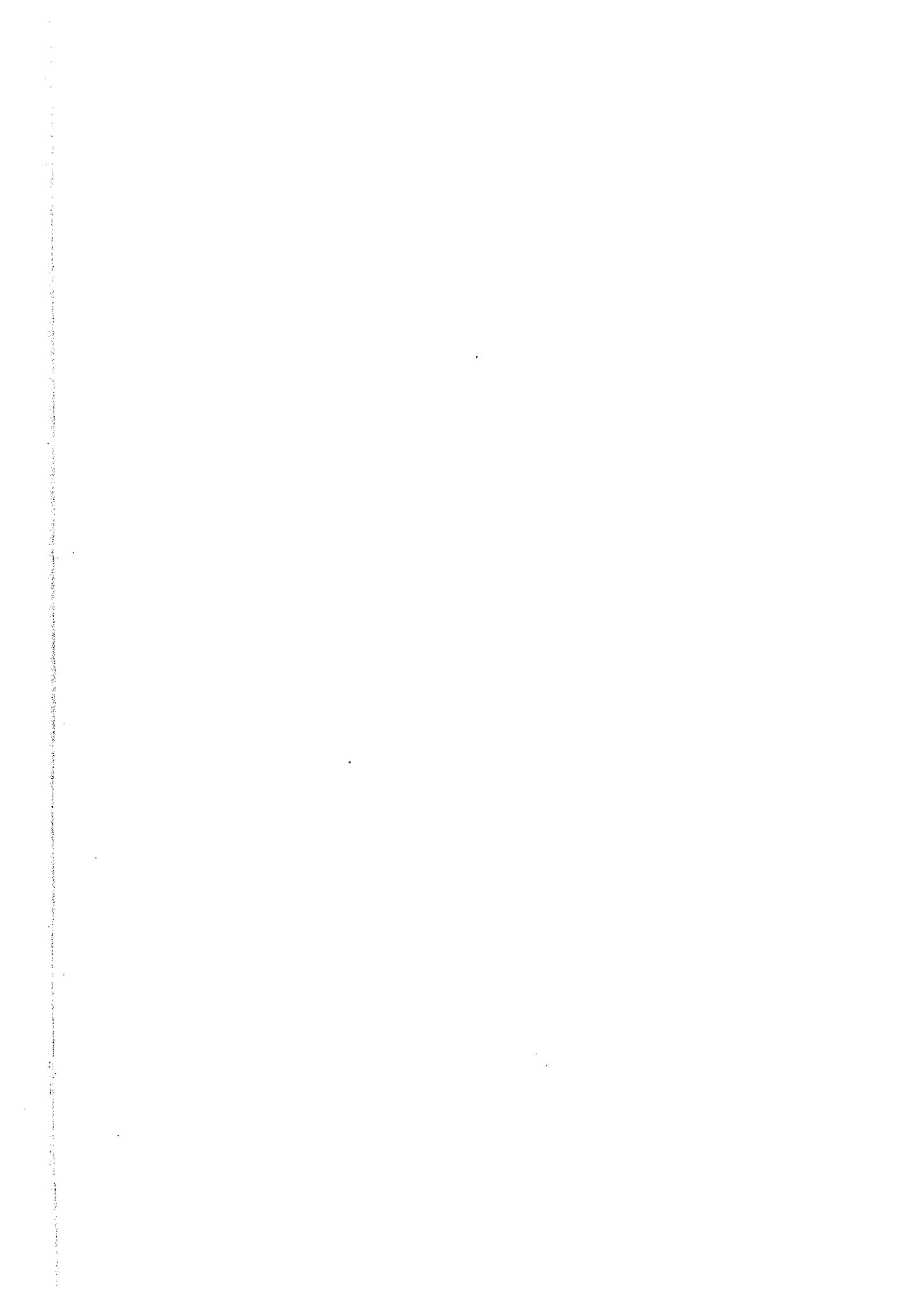
銅 : 90ppm 以上の値を示す異常部が局部的に 4 箇所確認されているがまとまっていない。

鉛 : 100ppm 以上の値を示す箇所が 4 箇所, 400ppm の値を示す異常部は存在しない。

亜鉛 : 顕著な濃集部や, 230ppm 以上の異常値は確認されていない。2 箇所 201ppm, 224ppm の値を示すほかはすべて 89ppm 以下。

砒素 : 変質帯(Ⅰ)の Co. Sancarata 南部, 変質帯(Ⅱ)の Rio Agua Milagro および変質帯(Ⅳ)の Co. Tres Tetas に 140ppm 以上の値を示す異常帯が分布する。Rio Agua Milagro では針鉄鉱を主体とするゴッサン分布域に相当し, Co. Tres Tetas では 11,388ppm にも達している。他に局部的に異常部が数箇所点在するがまとまっていない。





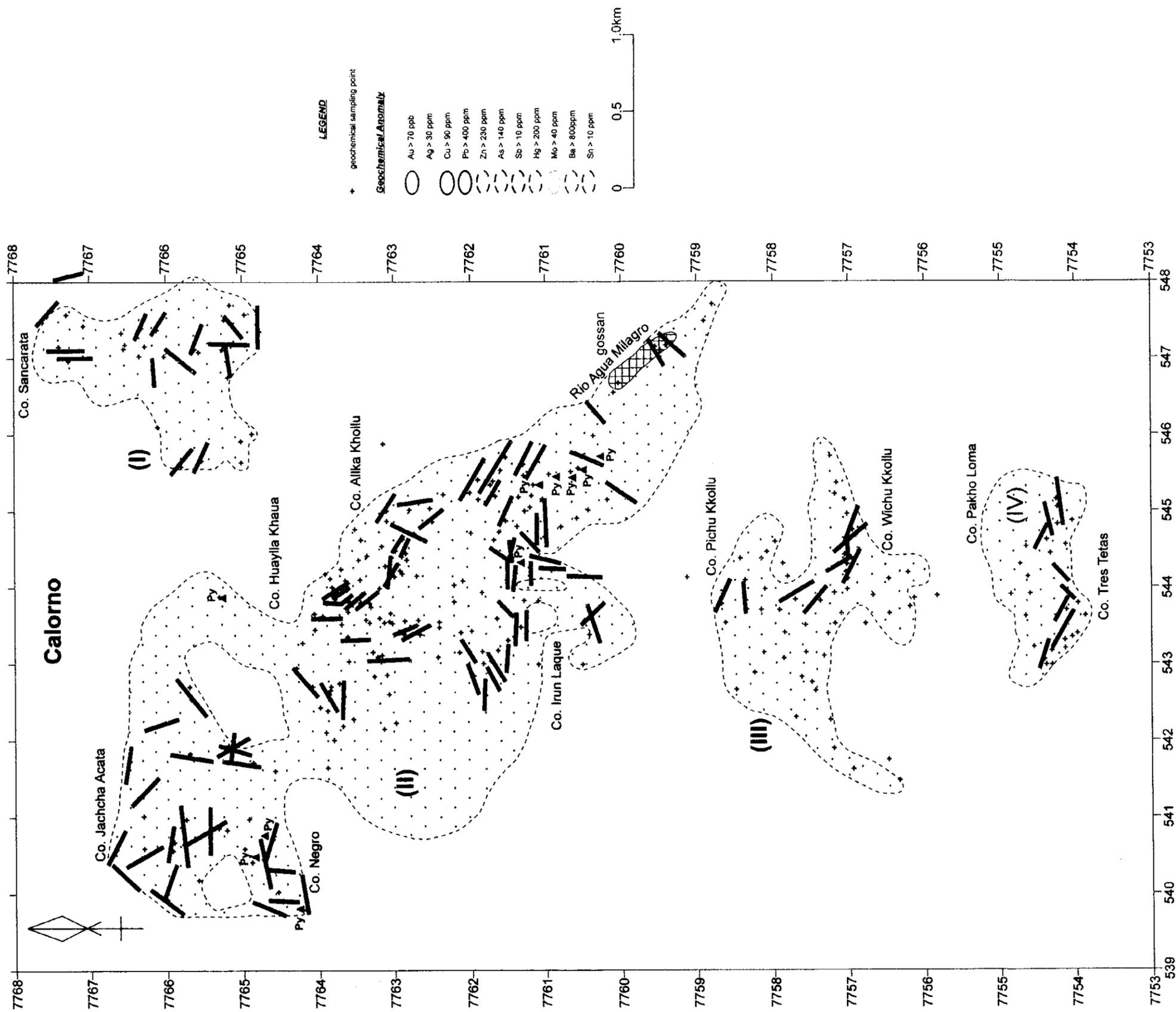


Fig. II -3-2 (5) Alteration Map of the Calorno District

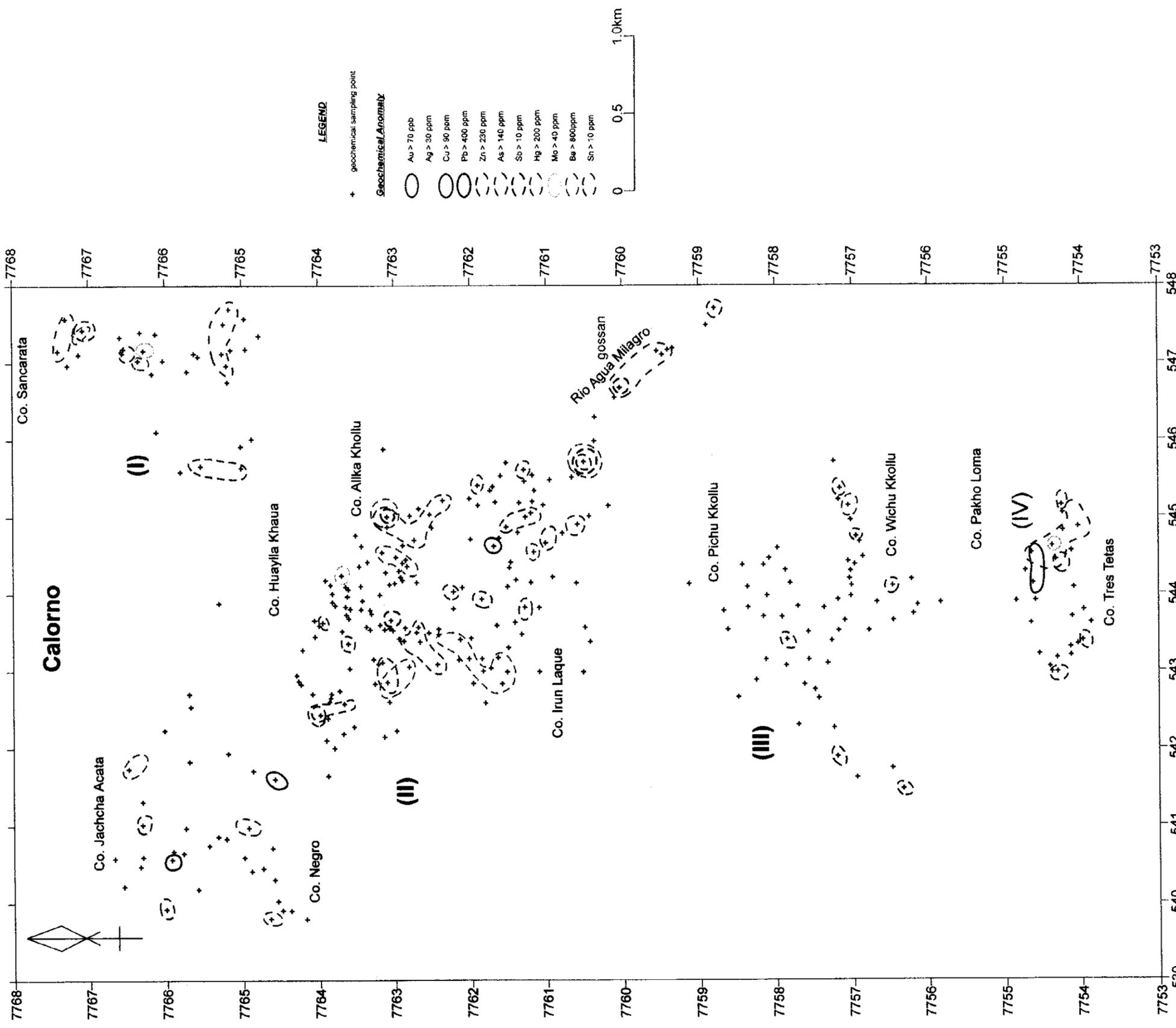


Fig. II -3-3 (5) Geochemical Anomaly Map of the Calorno District



アンチモン：大部分が検出限界値以下を示すなか、10ppm以上の値を示す箇所が4箇所存在する。その中で、最高の357ppmを示すゴッサンは砒素の値も7,810ppmと高い。

水銀：200ppm以上の値を示す異常帯が小規模に点在して分布し変質帯(Ⅱ)の, Co. Allka Kholliu ~Co. Irun Laque には数多く存在する。

モリブデン：40ppm以上の値を示す異常部が3箇所、局部的に存在する。

バリウム：800ppm以上の値を示す異常部が変質帯(Ⅱ)の Co. Allka Kholliu ~Co. Irun Laque に小規模に分布するほか、数箇所に局部的に点在する。

錫：1箇所7ppmを示した他はすべて検出限界値以下であった。

### 3-7 ロマ・ジェーナ地区 (Fig.Ⅱ-3-1(6), Fig.Ⅱ-3-2(6)(7), Fig.Ⅱ-3-3(6)(7))

#### 3-7-1 地質

地区は北からロマ・ジェーナ(Ⅰ), (Ⅱ), (Ⅲ)の3区域に分かれる。

凝灰岩, 火山礫凝灰岩, 凝灰角礫岩(火山角礫岩)の火山砕屑岩類, および安山岩, デイサイト, 玄武岩が分布する。

凝灰岩は局部的に存在する。

火山礫凝灰岩および凝灰角礫岩は安山岩礫を含んでおり変質を被っている。

デイサイトは区域(Ⅰ)に分布し, 鏡下では斜長石のほか, 石英, 角閃石, 黒雲母の斑晶が認められ, カオリナイト変質を被っている(No. 1719)。

安山岩は紫蘇輝石安山岩, 両輝石安山岩, 角閃石両輝石安山岩, 黒雲母両輝石安山岩, 角閃石普通輝石安山岩および角閃石安山岩が確認されている。K-Ar年代測定の結果,  $6.24 \pm 0.12\text{Ma}$ (No. 1043),  $4.07 \pm 0.08\text{Ma}$ (No. 1042)及び $3.75 \pm 0.08\text{Ma}$ (No. 1142)が得られた。

玄武岩は, 区域(Ⅰ)南部の Co. Tirani(5,216m)や区域(Ⅲ)の Co. Gordo(4,784m)の山体を構成している。鏡下ではカンラン石両輝石玄武岩(No. 1791)および普通輝石カンラン石玄武岩(No. 1802)である。

本地区の断層, 脈, 割れ目は, 区域(Ⅰ)ではNW-SE方向とN-S方向が優勢で, 区域(Ⅱ)ではNW-SE方向が卓越する。

#### 3-7-2 変質作用

熱水変質帯は, 区域(Ⅰ)では1~3km×6.5km, 区域(Ⅱ)では0.5km×1km以下の小規模3箇所,







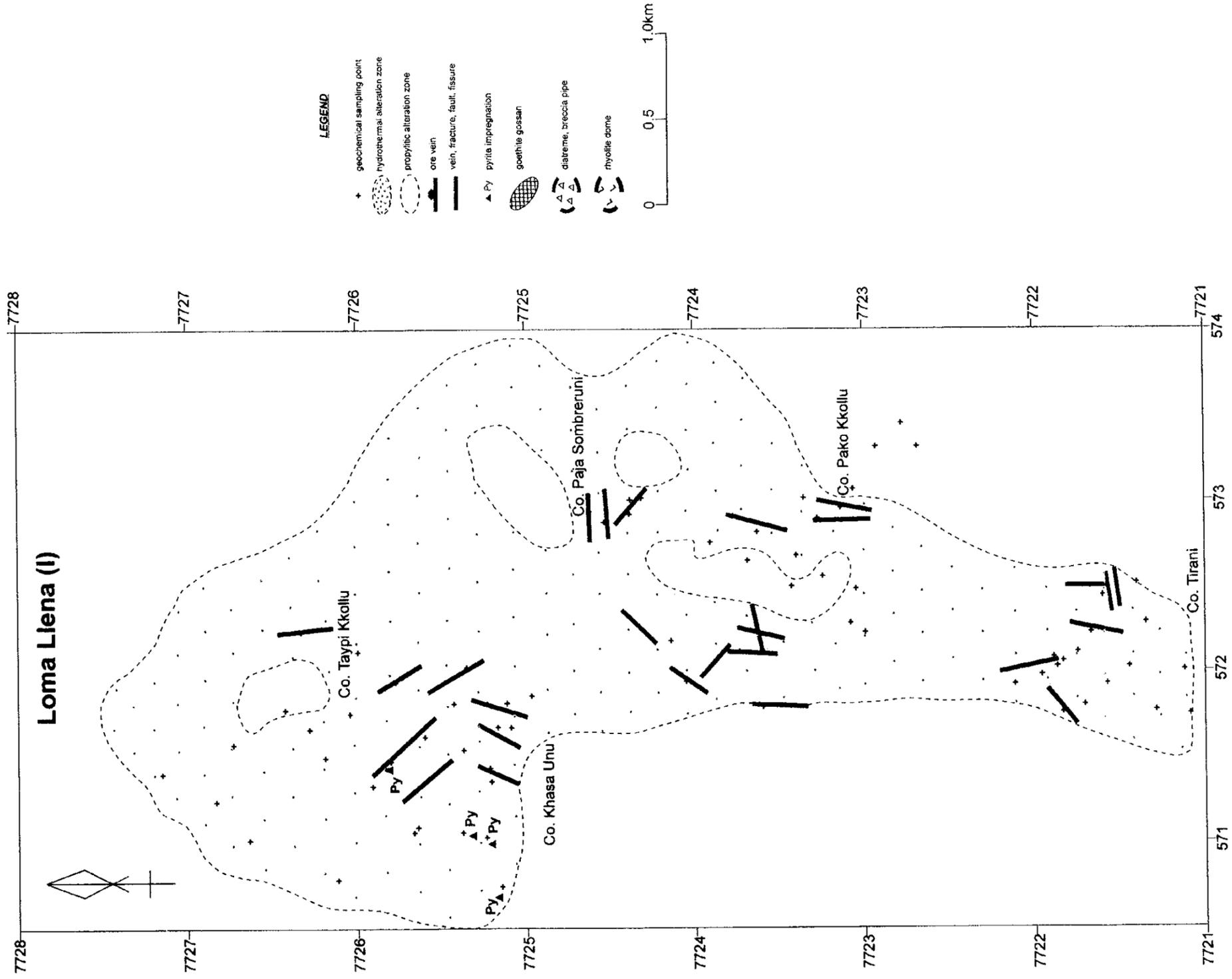


Fig. II -3-2 (6) Alteration Map of the Loma Llena District (I)

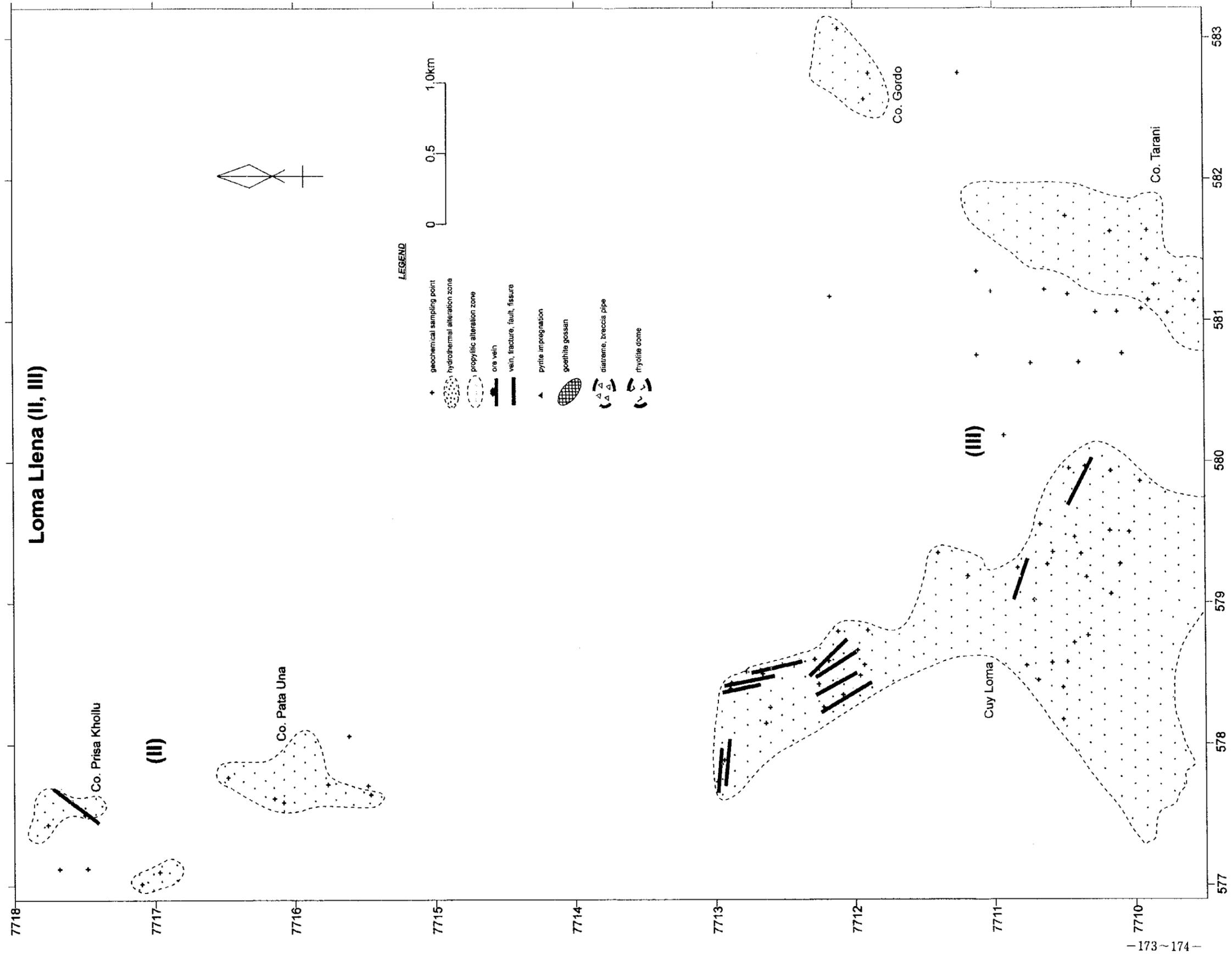


Fig. II -3-2 (7) Alteration Map of the Loma Lena District(II)(III)



区域(Ⅲ)では0.5~3km×4km, 0.5km×1.5km および0.5km×0.8kmの3箇所に分布している。

珪化変質および粘土化変質が認められ、広範な粘土化変質帯中に脈状の珪化部が存在する。山頂部には新鮮な岩石が残されている。

変質鉱物として石英、明礬石、カオリナイト、カリ長石、セリサイトが認められる。

### 3-7-3 鉱化作用

黄鉄鉱が区域(Ⅰ)の北部 Co. Khasa Unu の北西斜面に鉱染状、細脈状に認められる以外に、顕著な金属鉱物の示徴は認められない。

### 3-7-4 地化学探査分析結果

本地区で岩石試料165個採取した。

各元素毎の最低値、最高値、平均値は順に Au : <2ppb, 11ppb, <2ppb, Ag : <0.5ppm, 1ppm, <0.5ppm, Cu : <2ppm, 96ppm, 18ppm, Pb : <3ppm, 98ppm, 6ppm, Zn : <2ppm, 164ppm, 18ppm, As : <5ppm, 152ppm, 12ppm, Sb : <5ppm, <5ppm, <5ppm, Hg : <10ppm, 5,750ppm, 139ppm, Mo : <1ppm, 86ppm, 4ppm, Ba : 12ppm, 1,494ppm, 296ppm, Sn : <5ppm, 16ppm, <5ppm を示した。

各元素の地化学異常を Fig. II-3-3(6), Fig. II-3-3(7)に示す。

金 : 顕著な濃集部や、30ppb 以上の異常値は認められてなく、1~11ppb の値を示す部分が9箇所点存在する。

銀 : 1箇所1ppmを示した他はすべて検出限界値以下であった。

銅 : 90ppm 以上の値を示す異常部が区域(Ⅰ)の Co. Taypi Kkollu に2箇所確認されているがまとまっていない。区域(Ⅲ)の Co. Gordo 南西部には17~50ppmを示す部分が広く分布し、玄武岩や安山岩の新鮮な溶岩の分布域と一致している。本地区では南部の区域(Ⅲ)より北部の区域(Ⅰ)の方がより高い濃度を示す。

鉛 : 最高98ppmの値を示し、顕著な濃集部や400ppmの値を示す異常部は存在しない。区域(Ⅰ)の北部の Co. Taypi Kkollu に30ppm以上の値を示す部分が小規模に分布している。

亜鉛 : 100ppm 以上の値を示し部分は4箇所だけで、顕著な濃集部や230ppm以上の異常値は確認されてない。区域(Ⅲ)の Co. Gordo 南西部には37~109ppmを示す部分が広く分布し、玄武岩や安山岩の新鮮な溶岩の分布域と一致している。

砒素 : 区域(Ⅰ)の Co. Taypi Kkollu に1箇所152ppmの異常値が認められる他は91ppm以下で、顕著な濃集部は確認されていない。本地区では南部より北部の方がより高い濃度を示す。

す。

アンチモン：すべて検出限界値以下であった。

水銀：200ppm以上の値を示す異常帯が区域(III)の Cuy Loma に小規模に分布している他は、10箇所で異常部が点在する。

モリブデン：40ppm以上の値を示す異常部が3箇所、局部的に存在する。

バリウム：800ppm以上の値を示す異常帯が区域(I)の Co. Taypi Kkollu と Co. Khasa Unu に小規模に分布するほか、異常部が4箇所に局部的に点在する。

錫：区域(III)の Cuy Loma で2箇所 5ppm と 16ppm を示した他はすべて検出限界値以下であった。



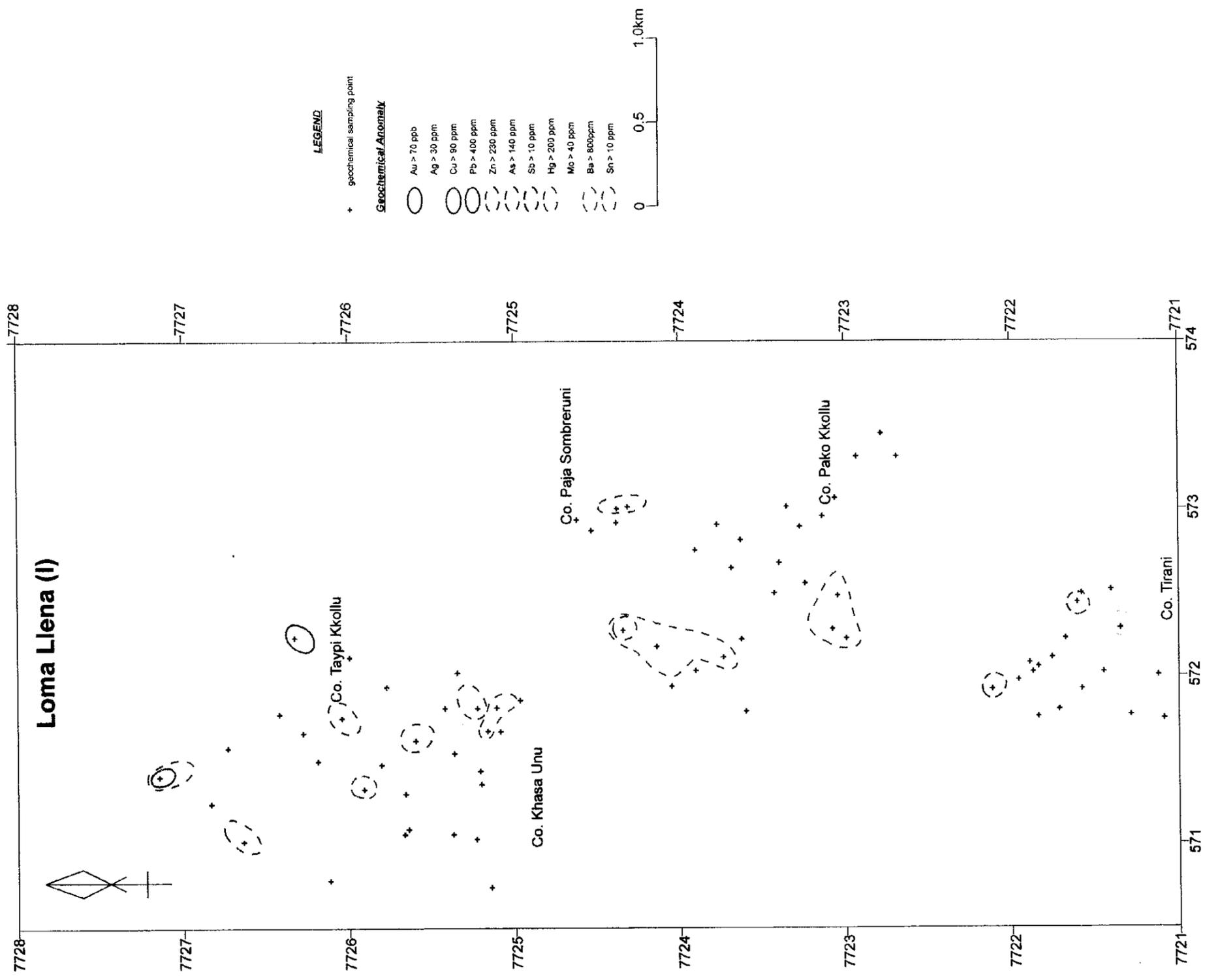


Fig II -3-3 (6) Geochemical Anomaly Map of the Loma Llena District (I)

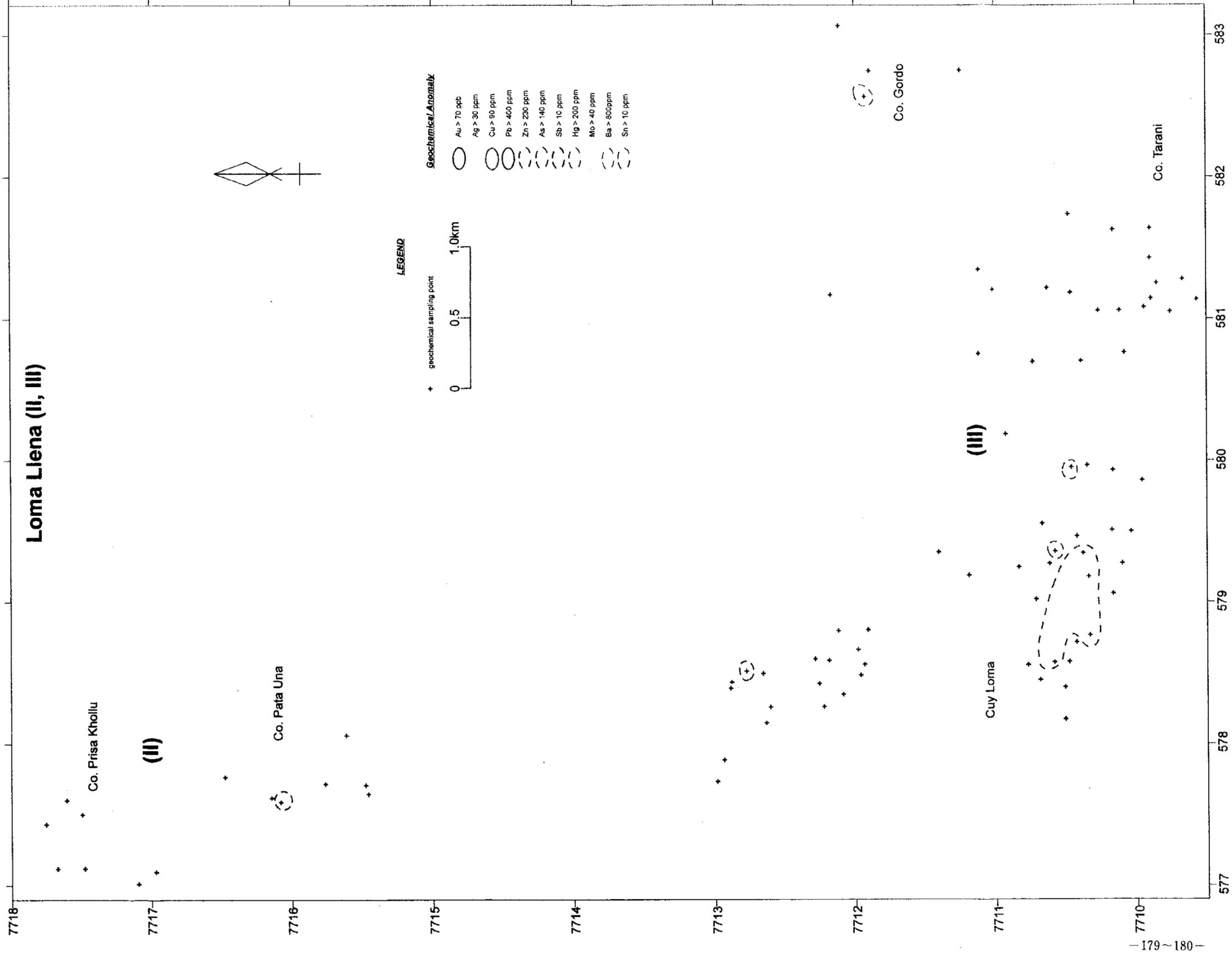


Fig. II -3-3 (7) Geochemical Anomaly Map of the Loma Llena District (II)(III)



### 3-8 まとめ

本年度抽出された地区での調査結果、以下のことが判明した。

#### トラキリ地区

火山砕屑岩類およびデイサイト溶岩が分布する。

非変質なデイサイト質凝灰岩の K-Ar 年代測定結果、 $5.51 \pm 0.11$ Ma が得られ後期中新世を示す。

断層、脈、割れ目の方向は E-W 系が卓越する。

珪化・粘土化変質帯が脈際に発達し小規模である。一部に緑泥石化変質部（プロピライト化）が存在する。

トラキリ鉱床はデイサイト質火山礫凝灰岩、デイサイト中の鉛—重晶石—石英脈鉱床である。

走向はほぼ E-W で、傾斜は北側の鉱脈が  $75^\circ$  S、南の鉱脈が  $75^\circ$  N を示す。脈は幅 2 m で、走向延長は 2 km 以上に達し、垂直方向には 100 m 以上連続（最大採掘跡は幅 20 m × 延長 140 m）する。検鏡結果、鉱石鉱物は方鉛鉱が主体で、黄銅鉱、黄鉄鉱、針鉄鉱および赤鉄鉱を伴う。脈石鉱物は、重晶石と石英が一般的で、一部に菱鉄鉱、緑泥石、明礬石およびザクロ石を随伴している。

7 試料の脈石英の流体包有物の均質化温度は平均  $200^\circ\text{C}$  で、塩濃度は 10.8 wt% を示す。

黄鉄鉱の鉱染と方鉛鉱の鉱染が一部に認められる。

既知鉱脈部に銀、銅、鉛、亜鉛の地化学異常がまた、南部の鉱徴地には銅、鉛、銀、亜鉛等の常が存在する。

#### アス・アスニ地区

火山砕屑岩類および安山岩、デイサイト溶岩が分布する。

脈や割れ目は E-W 系が卓越する。

珪化・粘土化変質帯が中規模に分布し、プロピライト化変質部もかなり認められる。

一部に黄鉄鉱の鉱染が認められる。

顕著な地化学異常は認められない。

#### チュルカニ地区

火山砕屑岩類および安山岩溶岩が分布する。

新鮮な安山岩の K-Ar 年代測定結果  $6.13 \pm 0.12$ Ma が得られ、後期中新世を示す。

直径約 1 km と推定されるダイアトリームが存在する。

脈や割れ目はNE—SSW～ENE—WSW 方向が卓越し、N—S系も存在する。

珪化・粘土化変質帯が中規模に分布し、一部にプロピライト化(?)が存在する。

黄鉄鉱の鉱染が点在して認められ、一部に重晶石が生じている。

地化学探査の結果、金を伴う地化学異常部 2箇所(最高 4,008ppb を示し、部分的に鉛、水銀、砒素異常と重複)と金を伴わない地化学異常部(銅、砒素、水銀)が確認された。

### ソニア～スサーナ地区

火山砕屑岩類と安山岩、デイサイト、流紋岩および玄武岩溶岩類、粗粒玄武岩の貫入岩が分布する。

K-Ar 年代測定の結果、環状に分布する流紋岩質凝灰岩は  $17.70 \pm 0.35\text{Ma}$ 、黒雲母流紋岩は  $1.73 \pm 0.03\text{Ma}$ 、チリ国境周辺のデイサイトは  $1.52 \pm 0.03\text{Ma}$  が得られた。

割れ目や脈は東部ではE—W方向が卓越し、その西の Santa Catalina Loma ではNW—SE 方向がやや優勢で、中央部はNE—SW 方向が顕著で、西部ではE—W方向が主体でN—S方向、NW—SE 方向も認められる。

珪化・粘土化変質帯およびプロピライト化変質帯が広範囲に分布し、白色変質した流紋岩は直径約 1 km のドームを形成する。

黄鉄鉱の鉱染が各所に認められたほか、ベースメタル(銅、鉛、亜鉛)や貴金属を伴う石英、重晶石脈も確認した。Co. Llica Khaua の石英脈(走向 N45W、傾斜 70SW、幅 30cm)は金 2.97g/t、銀 24g/t を示した。この脈そばの粘土化部分には緑色酸化銅鉱、藍銅鉱の染み込み(銅 1.38%、鉛 0.12%、亜鉛 0.55%)が認められる。また、ベースメタルを含む重晶石脈は鉛 4.24%、亜鉛 0.97% を、石英脈は亜鉛 1.21% を示した。

3箇所では採取した石英脈の流体包有物の均質化温度は平均で  $195^\circ\text{C}$ 、塩濃度は 4.7wt% を示す。

Santa Catalina Loma および Co. Entre Campanani に金、銅、鉛、亜鉛、錫の地化学異常が重複して認められる。

### カロールノ地区

火山砕屑岩類および安山岩、デイサイト溶岩が分布する。

K-Ar 年代測定結果、 $11.69 \pm 0.23\text{Ma}$  及び  $9.01 \pm 0.18\text{Ma}$  が得られ、中期中新世～後期中新世を示す。

珪化・粘土化変質帯が広範囲に分布するが、山頂部には新鮮な岩石が残存する。

Co. Irun Laque 北部にはバギー・シリカが見られる。

Co. Jachacha Acata にはX線回折解析結果パイロフィライトが確認されている。

割れ目や脈は、北部の Co. Sancarata では N-S 系が、中央部の Co. Irun Laque では NW-SE 系が、南部では E-W 系が優勢となっている。

Rio Agua Milagro 沿いに坑道を含む針鉄鉱帯が延長 800m に亘って存在する。また黄鉄鉱が Rio Agua Milagro 沿いの珪化帯及び北部の Co. Jachacha Acata に数カ所鉱染する。

地化探の結果、金、銀、銅、鉛、亜鉛のまとまった異常帯はないが、Co. Irun Laque~Co. Huaylla Khaua にかけて水銀、バリウム、砒素、アンチモンの異常部が点在する。

### ロマ・ジェーナ地区

火山砕屑岩類および安山岩、デイサイト、玄武岩溶岩が分布する。

安山岩の K-Ar 年代測定の結果、 $6.24 \pm 0.12\text{Ma}$ 、 $4.07 \pm 0.08\text{Ma}$  及び  $3.75 \pm 0.08\text{Ma}$  が得られ、後期中新世~前期鮮新世を示す。

珪化・粘土化変質帯が広範囲に分布するが、山頂部には新鮮な岩石が残存する。

割れ目や脈は区域(I)の Co. Taypi Kkollu~Co. Tirani では NW-SE 系と N-S 系が、区域(III)の Cuy Loma~Co. Tarani では NW-SE 系が優勢である。

区域(I)の北部の Co. Taypi Kkollu では黄鉄鉱が鉱染状および細脈状に認められる。

地化学異常は少なく、バリウムの地化学異常帯が区域(I)の Co. Paja Sombreruni に水銀の地化学異常帯が区域(III)の Cuy Loma に分布する。

3-9 考 察

トラキリ地区

トラキリ鉱床はカルデラの発達に伴って形成されたと考えられている。鉱脈構成鉱物からは、ベースメタルや貴金属鉱化作用を伴う浅熱水性鉱脈鉱床と解釈される。

鉱床を胚胎する母岩の年代は今回  $5.51 \pm 0.11\text{Ma}$  が得られ、既存のデータ  $5.3\text{Ma}$  と良く一致している。

また、鉱脈から採取した7試料の石英中の流体包有物の均質化温度は、平均で  $168^\circ\text{C} \sim 227^\circ\text{C}$  を示し、鉱石が浅熱水領域で沈殿したことを示唆している。NaCl 相当塩濃度は  $3.1\text{wt}\% \sim 17.9\text{wt}\%$  を示し、ケチスラ(Quechisla)地区のポリヴィア型多金属鉱床の錫、タングステン鉱脈の塩濃度に匹敵するが、均質化温度は錫、タングステン鉱脈の温度よりはるかに低温を示す (Table II-3-4)。

Co. Lista Ponchuni には方鉛鉱と赤鉄鉱の鉱染が認められる。過去の採掘が、脈の部分を対象にしていることを考慮すると、低品位、大鉱量の網状、あるいは鉱染型の鉱床が残されている可能性がある。

また変質帯や割れ目の分布等から、南部の鉱徴地を含め、トラキリ鉱床に調和的な平行脈の存在が期待できる。

Table II-3-3 Homogenization Temperature and Salinity of Fluid Inclusions from Some Bolivian Ore Deposits

MINERALIZATION TYPE	MINERAL ZONE	QUECHISLA DISTRICT *				SUD LIPEZ DISTRICT *		SAJAMA DISTRICT		CARANGAS DISTRICT	
		TASNA MINE		ANIMAS, SIETE SUYOS GRAN CHOCAYA, MINES		BUENA VISTA, SAN ANTONIO DE LIPEZ MINES		TURAQUIRI		SONIA SUSANA	
		HT °C	NaCl Wt%	HT C	NaCl Wt%	HT °C	NaCl Wt%	HT °C	NaCl Wt%	HT °C	NaCl Wt%
POLYMETALLIC	W	499 - 250	50.4 - 12.4	---	---	---	---	---	---	---	---
	Sn	---	---	379 - 228	11.9 - 4.6	---	---	---	---	---	---
	Sn - Ag	437 - 213	34.9 - 9.9	277 - 178	4.9 - 3.8	---	---	---	---	---	---
	Ag-Pb-Zn	377 - 202	8.6 - 7.4	268 - 176	5.2 - 3.7	---	---	---	---	---	---
EPITHERMAL	Pb-Zn	---	---	---	---	317 - 157	16.1 - 1.2	227 - 168	17.9 - 3.1	205 - 179	6.6 - 3.7

\* After Sugaki A. et al.(1985)

#### アス・アスニ地区

すでにプロピライト化した安山岩が分布しているにも拘わらず、熱水変質帯中に優勢な鉱化示徴を捕捉していない。このことは、鉱床が深部に賦存するのか、または鉱化作用が弱いために、変質だけで地化学異常が存在していない可能性が考えられる。

#### チュルカニ地区

本年度の地化探結果、金を伴う地化学異常帯2箇所と、金を伴わない地化学異常帯の2種類の異常が確認された。

金を伴う異常部には、一部鉛、水銀、砒素の異常と、鉛、亜鉛の弱い異常が重複する。既存資料によれば、この異常帯はさらに広がる可能性がある。

また、金を伴わない地化学異常はダイアトリームに関連しているとみられ、銅、砒素、水銀の異常に、鉛、亜鉛の弱い異常が重複する。

これらの鉱化作用が同一のものか別のものかは判断できないが、これら異常帯の深部には、貴金属やベースメタルを伴う鉱床が賦存する可能性が高い。

母岩の年代測定の結果得られた値は  $6.13 \pm 0.12\text{Ma}$  でトラキリの母岩の年代に近いことから、トラキリ鉱床と関連する一連の鉱化作用が考えられる。

#### ソニア～スサーナ地区

Santa Catalina Loma に金、銅、鉛、亜鉛の地化学異常が重複し、東部のカラングス地区の鉱床と類似の浅熱水性多金属鉱床の存在が期待される。

Co. Entre Campanani は流紋岩のドームと考えられ、南東部に隣接して金、錫、アンチモン、砒素の地化学異常が重複しており、錫の存在から深部にはボリヴィア型多金属鉱床が期待される。

Co. Llica Khaua には銅を伴う金鉱脈が捕捉され、下部に浅熱水金・銀（銅）鉱床が期待される。

カウンターパートの情報では本地区で鉱山会社（COMINCO）が試錐（10本 2,000m）を実施したが顕著な鉱化を捕捉していないという。試錐箇所が不明だが、可能なら情報を入手し検討する必要がある。

#### カロールノ地区

2試料の母岩は、年代測定結果  $11.7 \pm 0.23\text{Ma}$  と  $9.01 \pm 0.18\text{Ma}$  を示し、中期中新世～後期中

新世に相当し、従来言われていた鮮新世～更新世に比べて古いことが判明した。したがって、この母岩中に広範囲に分布する変質帯もその時代に形成されたものと考えられる。

山頂には非変質の岩石が残されており、また、プロピライトの存在も知られていないことから、本地区の熱水変質帯は変質帯の最上部（最外側）に位置するものと見られる。

Rio Agua Milagro にある針鉄鉱を主体とするゴッサンは、上流の開始点で砒素とアンチモン  
の異常を示しており、その付近から熱水が噴出し、流下した可能性が考えられる。

地化学異常としてまとまりはないが、変質帯(II)の Co. Huaylla～Co. Irun Laque に水銀、バリウム、砒素、アンチモンの異常部が点在する。また、1箇所ではあるが、やや高温の酸性変質鉱物である、パイロフィライトが確認されている。熱水変質帯が強酸性溶液から生成したと考えられ、深部に高硫化系浅熱水性鉱床またはボリヴィア型多金属鉱床賦存の可能性もある。

一方、南東部のゴッサン周辺の下部には低硫化系熱水鉱床賦存の可能性も考えられる。

#### ロマ・ジェーナ地区

3箇所の母岩の年代測定結果は  $6.24 \pm 0.12\text{Ma}$  ,  $4.07 \pm 0.08\text{Ma}$  及び  $3.75 \pm 0.08\text{Ma}$  で、後期中新世～前期鮮新世に相当する。この値は周辺のデータと調和的である。変質作用もその年代に近いと推定される。

山頂には非変質の岩石が残されており、プロピライトの存在も知られていないことから、本地区の熱水変質帯もカロールノ地区と同様、変質帯の最上部（最外側）に位置するものと見られる。

しかし、地化学異常も優勢でないことから、鉱化作用が存在しても弱いのか、賦存箇所が深い可能性が高い。

以上の結果、今年度の調査地で有望と考えられる地区は、優先順に①チュルカニ地区②トラキリ地区③カロールノ地区④ソニア～スサーナ地区があげられる。



