

第II部 各 論

第1章 既存データ解析

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

本調査地域では、金鉱床はグリーンストーン中に発見され、花崗閃緑岩類と密接に関連するものと推定される。これらの知見を基に、既存データ解析、衛星画像解析により、調査対象地域（12,000km²）から、グリーンストーン帯が分布し、現地調査を実施する調査対象地区（約 2,500km²）を抽出した。解析の詳細は、第I部・第3章に示す。また、収集データは参考文献に示す。

第2章 衛星画像解析

2-1 重点課題

衛星画像の写真地質学的判読作業を行い、調査地域の広域な地質構造を把握するとともに、調査対象地域の広域的な鉱床胚胎のポテンシャルを評価するための基本図を作成する。

2-2 対象地域

衛星画像解析の対象地域はサンホセ及びアロジョグランデの2地域であり、その総面積は12,000km²である。対象地域の位置をカバーする衛星画像の位置と共に Fig.II-2-1 に示した。

2-3 使用画像データ

本調査に使用した画像データリストを Tab.II-2-1 に示した。

2-4 画像作成

本調査で作成した画像データリストを Tab.II-2-2 に示した。

2-4-1 モザイクキング

モザイクキングは JERS-1/SAR 画像データ及び LANDSAT/TM データに適用した。その主要な処理手法を以下に列挙する。作成した JERS-1/SAR モザイク画像を Fig.II-2-2 に示した。

(1) JERS-1/SAR 画像データ

- ・ビット変換処理
- ・アンテナパターン除去
- ・ノイズ除去 (メディアンフィルター)

(2) LANDSAT/TM データ

- ・画像検品

(3) 両データ共通

- ・画像間相対位置情報抽出
- ・濃度調整

- ・画像接合
- ・濃度強調処理
- ・幾何変換 (UTM, Zone21, WGS84)
- ・アノテーション

2-4-2 TM フォールスカラー画像

バンド組合せは対象地域を最も良く表現する B : G : R = バンド 1 : バンド 4 : バンド 5 のフォールスカラー合成とした。作成した TM フォールスカラー画像を Fig. II-2-3 に示した。

2-4-3 TM 比演算画像

バンド組合せは従来から変質帯の抽出に最も適切と考えられている B : G : R = バンド 3/1 : バンド 5/4 : バンド 5/7 のフォールスカラー合成とした。それぞれの比演算を色合成した場合の色調は次の鉱物の判定に利用できる。作成した TM 比演算画像を Fig. II-2-4 に示した。

色調	B=3/1	G=5/4	R=5/7	判 定
赤色	△	△	○	粘土
黄色～褐色	△	○	○	粘土+赤鉄鉱
緑色	△	○	△	赤鉄鉱
緑～青色	○	○	△	鉄鉱物
青色	○	△	△	鉄鉱物
赤紫色	○	△	○	粘土+針鉄鉱
白色	○	○	○	粘土+鉄鉱物

脚注) ○ : 判定可能性大, △ : 判定可能性中～小

2-5 画像判読の内容

画像判読は写真地質学的判読手法に従い、縮尺 1:250,000 のペーパープリントを利用して実施した。判読の基準は画像の色調あるいは階調、水系パターン及び密度、岩石の浸食に対

する抵抗性，ベディングあるいはレイヤリング，植生及び土地利用等である。また，地質ユニットの対比に用いた既存地質図は，縮尺 1:500,000 の「Carta Geologica"procuded by Ministerio de Industria y Energia (1980)」である。その他，リニアメント抽出を含む地質構造の抽出及び変質帯の抽出を行った。

2-6 画像判読結果

2-6-1 JERS-1/SAR 画像データ

(1) 画像の特徴

画像データは良好であるが，当該 SAR が使用する Lバンドと対象とする地表のターゲットとの関係で次の特徴が認められた。

- ・対象地域は極めて平坦であるため，SAR データの幾何学的歪みによる地形強調の効果が少ない。
- ・地表は耕作地として広く利用されているため，作物の種類や生育状態により，モザイク状のテクスチャを示し判読の支障となった。
- ・マイクロ波の照射は東より西方向であるため，これと直交する道路あるいはそれに沿う電線やフェンス等が強調される傾向にある。
- ・水系の表現は概ね良好に表現することができたが，1次水系等の抽出は困難な地域も見られる。また，水系が高い輝度となるのは，水系沿いの灌木の育成や灌木と水面の2回反射による影響と考えられ，水系のかなりの部分で水域の存在が推定できる。

(2) 地質単元の区分

地質単元の区分として，以下の事項を行った。

- ・先ず，原生代の片麻岩類(1:50 万地質図幅中の地質ユニット pCCcb シリーズ)と中生代以降の堆積岩類(同図幅中の K, T, Q シリーズ)は，地質図幅上の分布及び土地利用の観点からの区分が可能である。前者には多少の地形起伏と水系の発達する特徴があり，後者ではテラス状の分布し，激しい土地利用と水系の未発達で特徴付けられる。
- ・原生代の片麻岩類では，対象地域全域での区分は困難であるが特定の地域において，片麻岩(pCCcb)，その中の古期花崗岩類(pCCG)，グリーンストーン(pCCps)，新期花崗岩(pCC)を区分することが可能である。古期花崗岩(pCCG)と新期花崗岩(pCC)は片麻岩(pCCcb)とグリーンストーン(pCCps)に較べるとやや粗い地形を示し，画像上の輝度が

高い傾向にある。片麻岩(pCCcb)とグリーンストーン(pCCps)は極めて類似した特徴を示すが、グリーンストーン(pCCps)は層状構造をトレースすることができる。

- ・グリーンストーン(pCCps)の分布は概略的には対象地域の東部と西部に分けられるが、両者の中間の位置に地質図幅に示されていないが分布する可能性がある。
- ・対象地域東部では片麻岩(pCCcb)とグリーンストーン(pCCps)の区分をつけ難いが、地質図幅と概ね同じような分布である。

(3) 地質構造の抽出

以下の地質構造を判読した。

- ・サンホセ地域南部では、断層はENE-WSW方向とNW-SE方向に発達する傾向がある。これらの断層は前者が古く後者はそれを切断して対象地域をNW-SE方向にブロック化する構造を形成する。
- ・花崗岩類(pCCG,pCC)の一部はENE-WSW方向の断層と関連して分布しており、これらの断層形成前後の貫入と推定される。
- ・リニアメントは中程度の密度でNW-SE方向とNE-SW方向に発達する傾向にある。

(4) 変質帯の抽出

本画像では旧鉱山あるいは鉱徴地周辺でリニアメント密度が高くなる傾向にあるが、直接的に変質帯そのものを抽出することは困難であった。

2-6-2 LANDSAT/TM データ

上記の JERS-1/SAR 画像データの判読結果を踏まえ、対象地域をカバーする TM 画像の画像判読を実施した。その画像特徴及び地質特徴を以下に記述する。

(1) 画像の特徴

画像データは良好であり、次の特徴が認められた。

- ・画像取得時の太陽高度と太陽方位角（真北より時計回り）は、それぞれ 34°、53°であった。太陽高度は対象地域の地形起伏が小さいため低角が望ましいが、当該地域の冬至の時期で太陽高度は 20° 前後となるため、その値と比較すると比較的好条件といえる。太陽方位は対象地域の地質トレンドと全般的に斜交する関係にあり、地質判読に適切な条件といえる。

- ・地形は対象地域全般を通じて平坦であるが細かな地表起伏が表現されているため、地形の織り成すテクスチャや浸食に対する岩石の抵抗性等の地形特徴の抽出、及び水系模様やその密度等の水系特徴の抽出には好適である。
- ・地表は耕作地として広く利用されているため、植生被覆地域では岩石・土壌のスペクトル特徴の抽出には植生が大きな障害となる。

(2)地質単元の区分

地質単元区分図を Fig.II-2-5 に、また地質判読チャートを JERS-1/SAR 画像の判読結果と共に Tab.II-2-3 に示した。以下に各地質単元の特徴を述べる。

【地質ユニット gn1】

本地質ユニットはマジェンタの色調を示し、樹枝状(dendritic)の水系パターン、極めて高い水系密度を示す。岩石の浸食に対する抵抗性は高く、粗いテクスチャを特徴とする。ベディングが発達し、中程度の土地利用である。対象地域全般に広く分布し、原生代の片麻岩 pCCcb に相当する。

【地質ユニット g】

本地質ユニットはマジェンタの色調を示し、平行状(parallel)の水系パターン、極めて高い水系密度を特徴とする。岩石の浸食に対する抵抗性は高く、配列(lineated)したテクスチャを特徴とする。ベディングが発達し、中程度の土地利用である。アロジョグランデ地域南部及びサンホセ地域南部に広く分布し、原生代の片麻岩(pCCG)に相当する。

【地質ユニット gs】

本地質ユニットは緑色と赤のパッチ状の色調を示し、亜平行状(Sub-parallel)の水系パターン、高い水系密度を示す。岩石の浸食に対する抵抗性は高く、配列したテクスチャを特徴とする。ベディングが極めて良く発達し、激しい土地利用である。アロジョグランデ地域中央部及びサンホセ地域中央部で東西方向に分布し、原生代のグリーンストーン(pCCp.s.s.j.)に相当する。

【地質ユニット sh】

本地質ユニットはマジェンタの色調を示し、亜樹枝状(Sub-dendritic)の水系パターン、高い水系密度を示す。岩石の浸食に対する抵抗性は中程度で、粗いテクスチャを特徴とする。ベディングが発達し、高い土地利用である。アロジョグランデ地域南部で東西方向に延長するように分布し、原生代の片麻岩類(pCCApd.)に相当する。

[地質ユニット gn2]

本地質ユニットは緑色と赤のパッチ状の色調を示し、垂樹枝状の水系パターン、高い水系密度を示す。岩石の浸食に対する抵抗性は中程度で、滑らかなテクスチャを特徴とする。ベディングが中程度に発達し、高い土地利用である。アロジョグランデ地域南部で東西方向に延長するように分布し、原生代の片麻岩(pCCcb)に相当する。本地質ユニットは上述の地質ユニット g, gs, sh を境いとして地質ユニット gn1 から区分される。アロジョグランデ地域南西部では、地質ユニット gn1 と gn2 の区分が困難な箇所も存在する。

[地質ユニット Ka]

本地質ユニットはマジェンタの色調を示し、垂平行状の水系パターン、高い水系密度を示す。岩石の浸食に対する抵抗性は中程度で、粗いテクスチャを特徴とする。ベディングがあまり発達せず、植生も少ない傾向にある。アロジョグランデ地域南東部に分布し、白亜紀の堆積岩類 Ksm, Kla1 に相当する。

[地質ユニット Kb]

本地質ユニットは緑色と赤のパッチ状の色調を示し、樹枝状の水系パターン、高い水系密度を示す。岩石の浸食に対する抵抗性は中程度で、粗いテクスチャを特徴とする。ベディングがあまり発達せず、高い土地利用である。サンホセ地域北部に分布し、白亜紀の堆積岩類 Klm に相当する。

[地質ユニット T-K]

本地質ユニットは緑色と赤のパッチ状の色調を示し、樹枝状の水系パターン、低い水系密度を示す。岩石の浸食に対する抵抗性は低く、平坦なテラス状のテクスチャを特徴とする。ベディングがあまり発達せず、高い土地利用である。アロジョグランデ地区西部並びにサンホセ地区西部に分布し、白亜紀の堆積岩類 Ksa に相当する。

[地質ユニット Q]

本地質ユニットは緑色と赤のパッチ状の色調を示し、樹枝状の水系パターン、低い水系密度を示す。岩石の浸食に対する抵抗性は低く、平坦なテラス状のテクスチャを特徴とする。ベディングが発達せず、高い土地利用である。アロジョグランデ地域南部に分布し、第四紀の堆積層 Q1 に相当する。地形特徴は地質ユニット T-K に類似する。

[地質ユニット a]

本地質ユニットは黒色の色調を示し、縄状(braided)の水系パターン、低い水系密度を示す。岩石の浸食に対する抵抗性は極めて低く、平坦なテクスチャを特徴とする。植生密度は高く、

第四紀の沖積層(Q)に相当する。

[地質ユニット G]

本地質ユニットは紫色の色調を示し、垂樹枝状の水系パターン、極めて高い水系密度を示す。岩石の浸食に対する抵抗性は極めて高く、極めて粗いテクスチャを特徴とする。サンホセ地域において起伏のある地形を示し、土地利用はほとんど見られない。対象地域全般に貫入し、花崗岩類(pCCG,pCC)に相当する。

(3) 地質構造の抽出

以下の地質構造を判読した。

- ・対象地域南部では、断層は ENE-WSW 方向と NW-SE 方向に発達する傾向がある。これらの断層は前者が古く後者はそれを切断して対象地域を NW-SE 方向にブロック化する構造を形成する。
- ・花崗岩類(pCCG,pCC:地質判読ユニット G に相当)の一部は ENE-WSW 方向の断層と関連して分布しており、これらの断層形成前後の貫入と推定される。
- ・褶曲構造は局所地域の構造を支配する小規模なもので、地域全体の構造を支配するものではない。

2-7 リニアメント解析結果

2-7-1 リニアメント抽出

リニアメントは JERS-1/SAR 画像データと LANDSAT/TM 画像データの双方を利用して抽出を行った。これらのリニアメントを比較した結果、前者では道路や植生境界等をリニアメントと誤認したケースが多く、リニアメント抽出の精度に大きく影響を与えた。したがって、JERS-1/SAR 画像データで抽出したもの各リニアメントについて LANDSAT/TM 画像データ上で確認を行い、さらに同画像で抽出できるものを追加して最終のリニアメント図として作成した。リニアメントの抽出結果を Fig.II-2-6 に示した。

2-7-2 リニアメント解析

一般的に、リニアメントの発達方向には際立った傾向は見られないが、アロジョグランデ地区東部及びサンホセ地区では N-S 方向のリニアメントが発達する。全地域を通じて E-W 方向のリニアメントは発達しない。

一方、リニアメントの集中する箇所は Mahoma 鉱山北部地区で、環状に配列するリニアメントが高密度帯を形成する。アロジョグランデ地区東部は他の地区に較べてリニアメント密度が高い。リニアメント密度図をリニアメント抽出結果に重ねて Fig.II-2-6 に示した。

2-8 変質帯の抽出

TM 比演算画像の発色を見ると大局的には赤紫色（マゼンタ）と青緑色（シアン）に大別される。前者は青色と赤色の合成色であり、比演算バンド 3/1 と比演算バンド 5/7 のピクセル値が高いことが判る。この色調は粘土と針鉄鉱の存在を示唆するが、対象地域全般に広がり変質帯の可能性を抽出するには至らなかった。一方、後者は青色と緑色の合成色であり、比演算バンド 3/1 と比演算バンド 5/4 のピクセル値が高いことが判る。この色調は鉄鉱物の存在を示唆し、対象地域全般に広がると共に地質ユニット G の分布と良い相関を示している。特に地質ユニット G との相関はリニアメントの高密度帯とも一致しているため、直接的に変質帯を反映している訳ではないが、変質の可能性を有する地域として重要と考えられる。これらの分布を Fig.II-2-7 の判読結果の解析図中に示した。

2-9 画像解析結果

上記の結果から判断できる現段階での鉱床賦存の可能性は、鉱床タイプを考慮すると次の項目を必要条件とすると考えられる。

- ①ENE-WSW 方向と NW-SE 方向に発達する断層が存在すること。
- ②地質ユニット gs 並びに G の分布地域及びその近傍であること。
- ③断層とはスケールを異にするが、地質構造を示すと考えられるリニアメントが集中すること。

①については③と共に鉱床胚胎の場を提供すると考えられるが、地質ユニット G との活動時期の解明が必要となる。②については、熱水の供給源として地質ユニット gs と熱源となる地質ユニット G の重要性が指摘できる。これらをまとめた判読結果の解析図を Fig.II-2-7 に示した。これらの要件を満足する地域として次の 2 地域が選定できる。

サンホセ地域

- (1) マホマ鉱山周辺
- (2) マホマ鉱山より西方約 20km の地区

アロジョグランデ地域

(1) 地域北西部以西

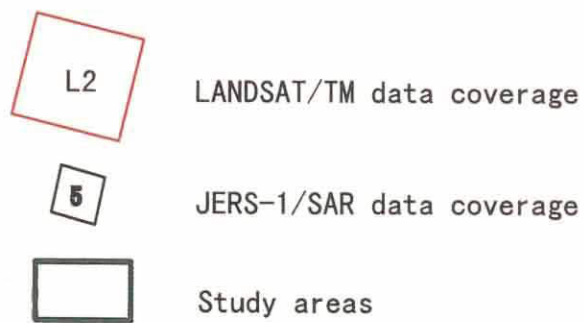
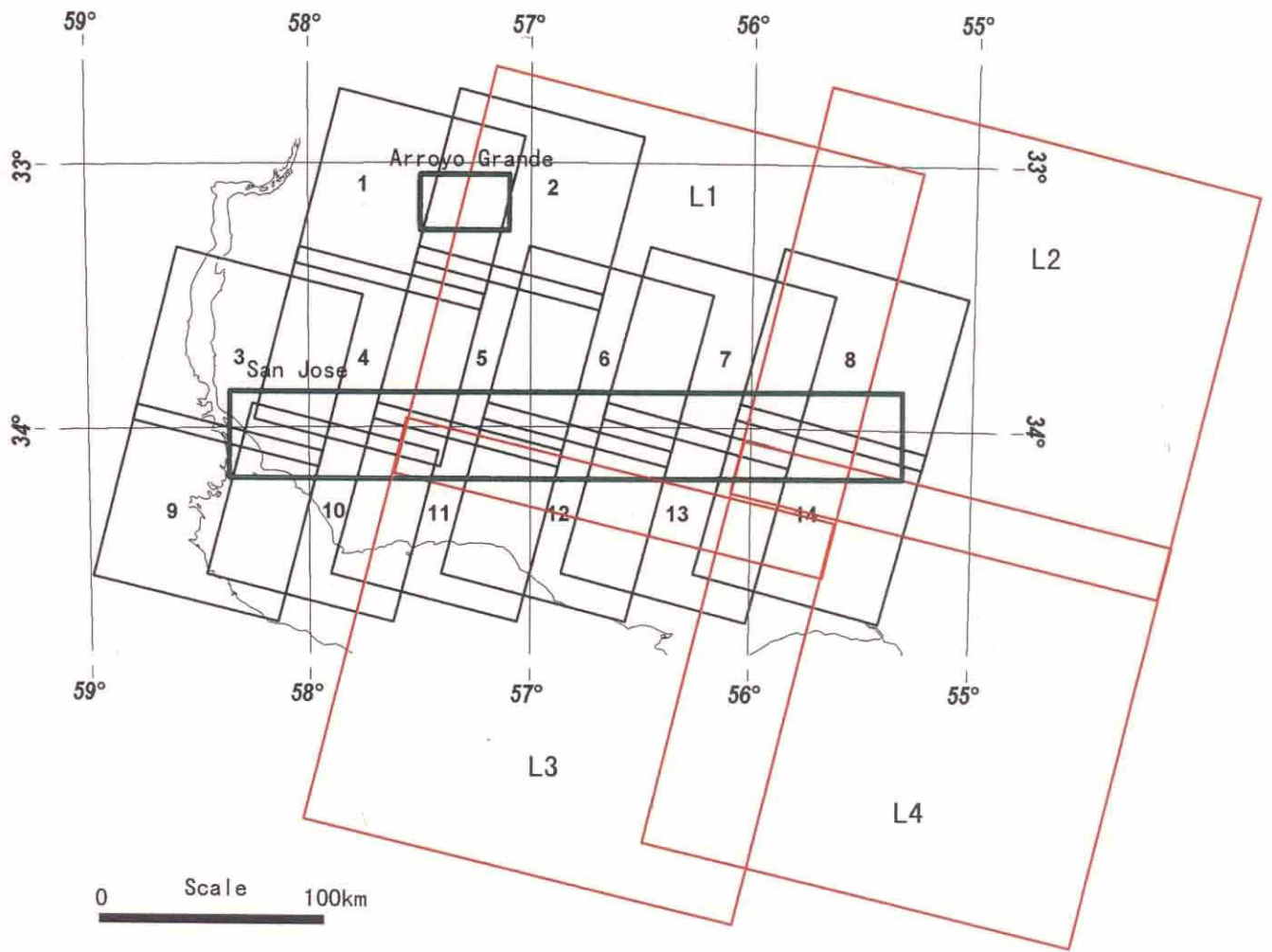


Fig.II-2-1 Coverage map of satellite imagery

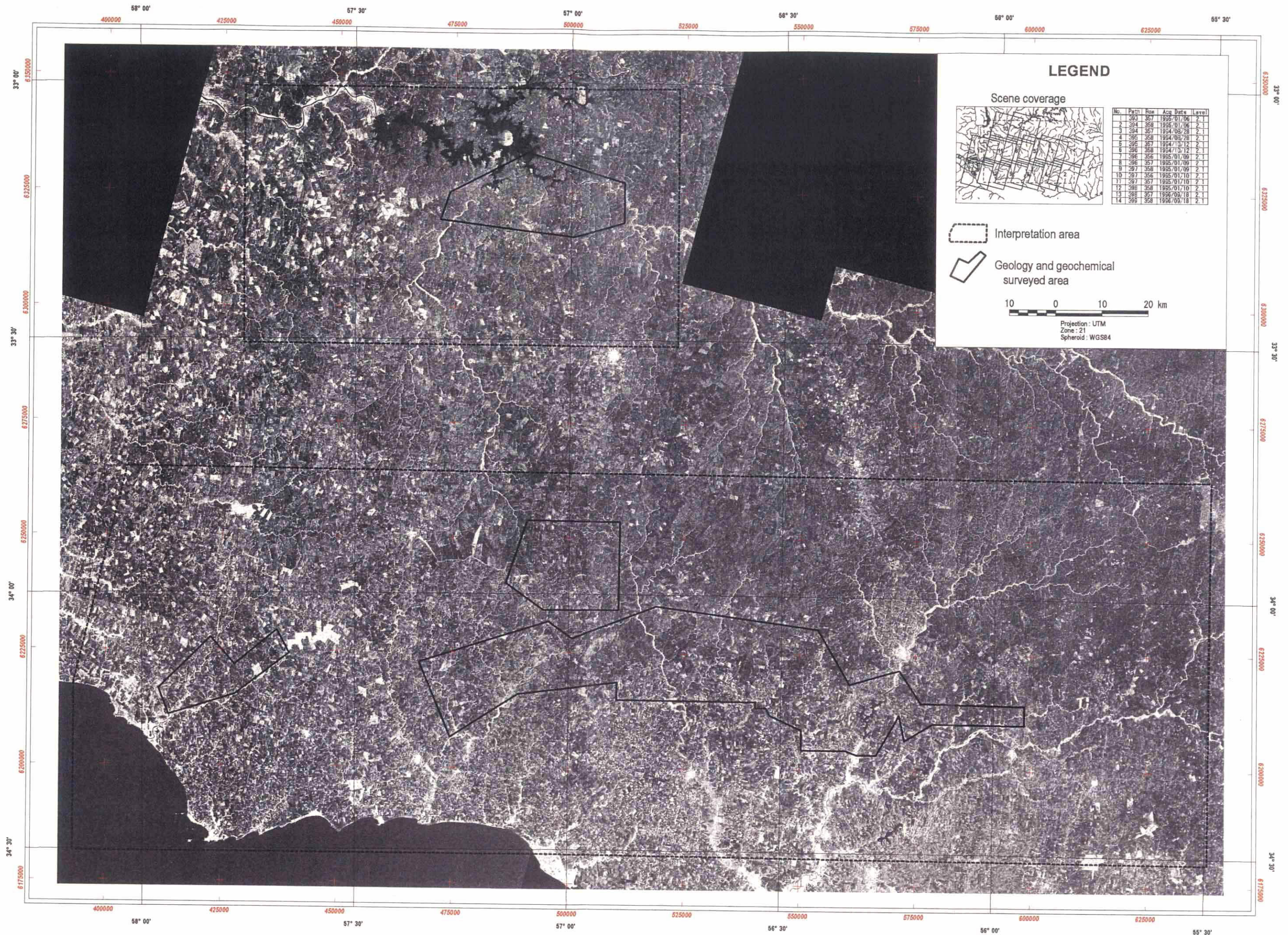


Fig.II-2-2 Digital mosaic of JERS-1/SAR imagery

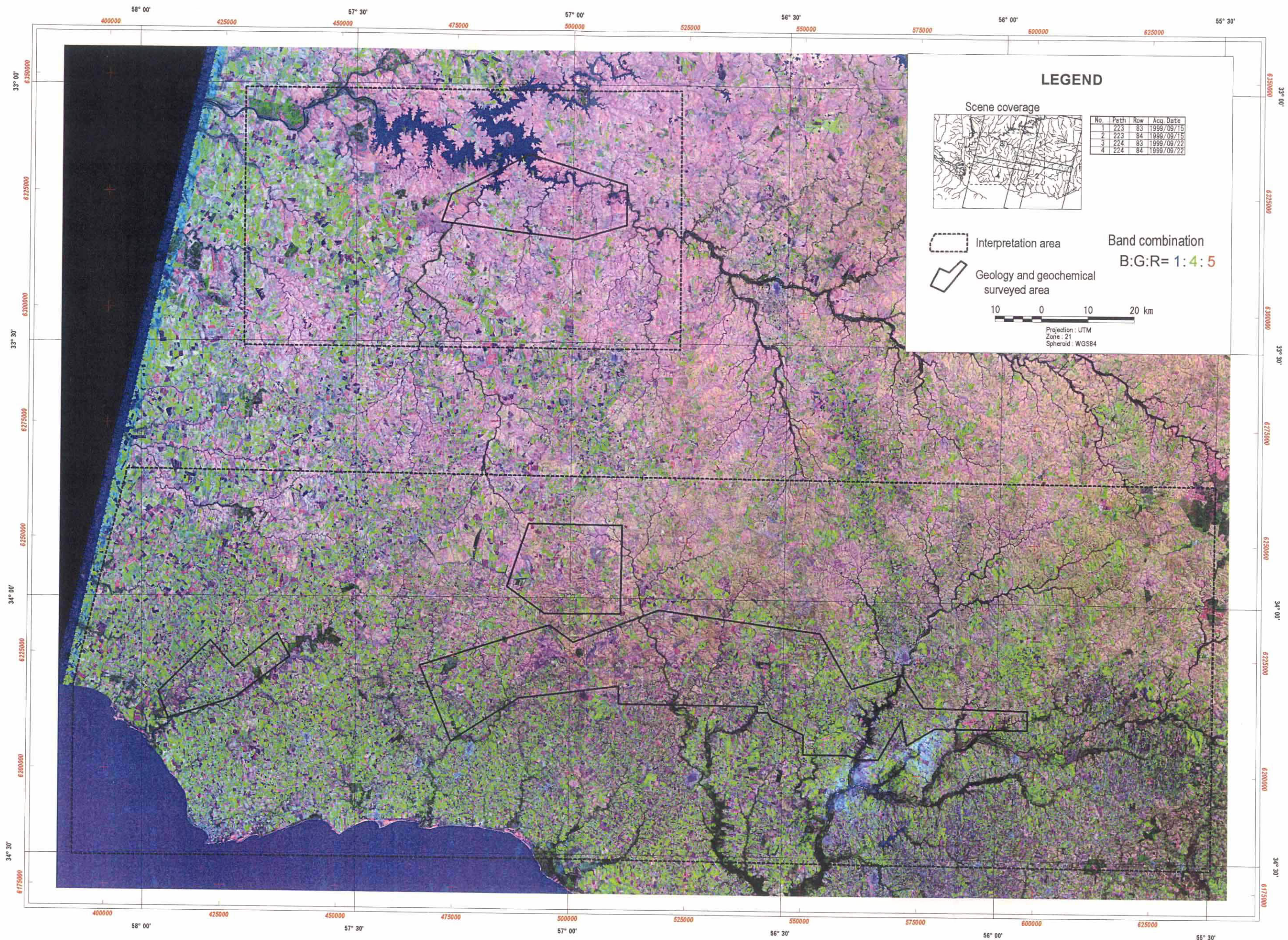


Fig.II-2-3 Digital mosaic of LANDSAT/TM imagery

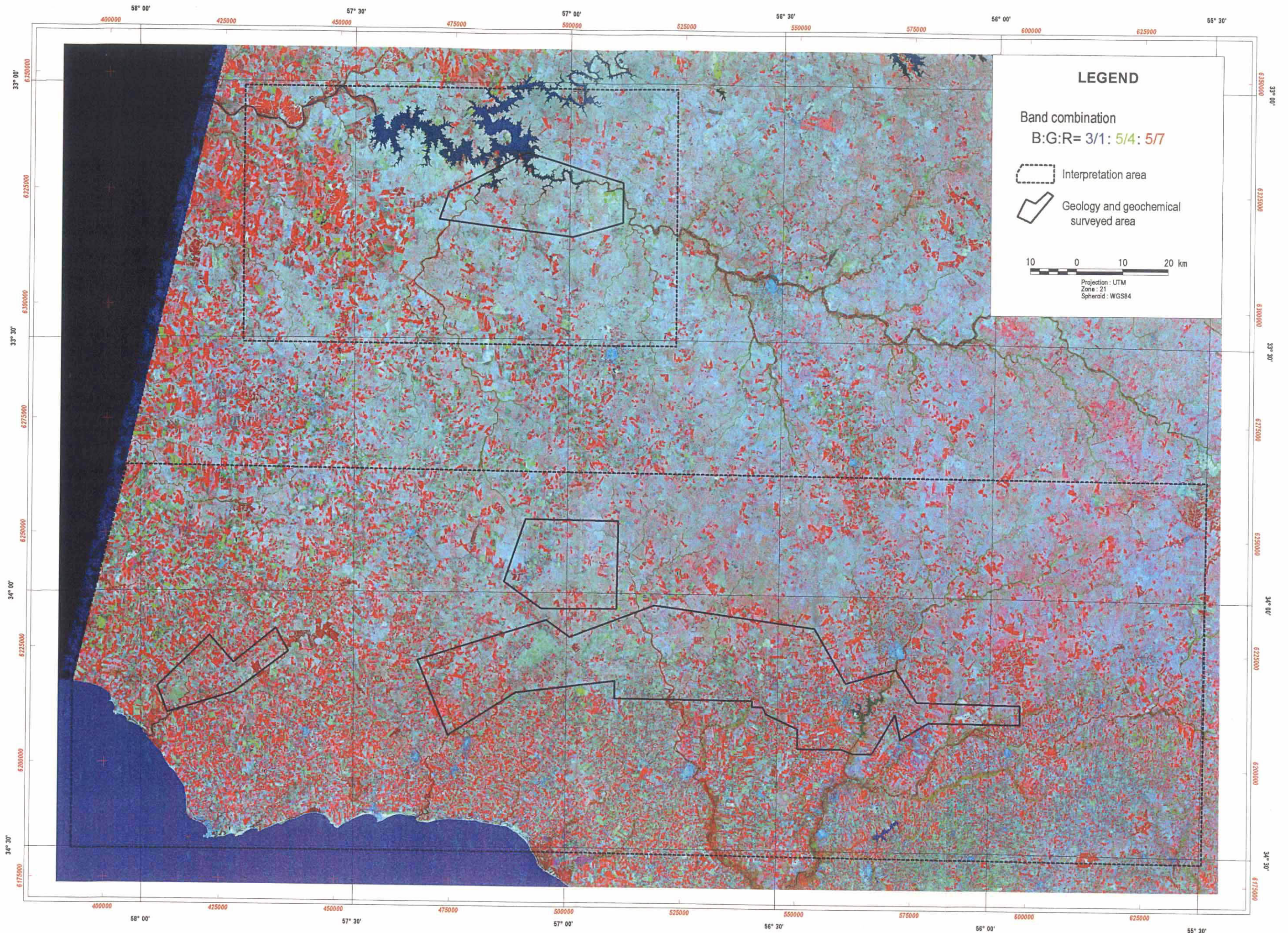


Fig.II-2-4 Band ratio imagery of LANDSAT/TM data

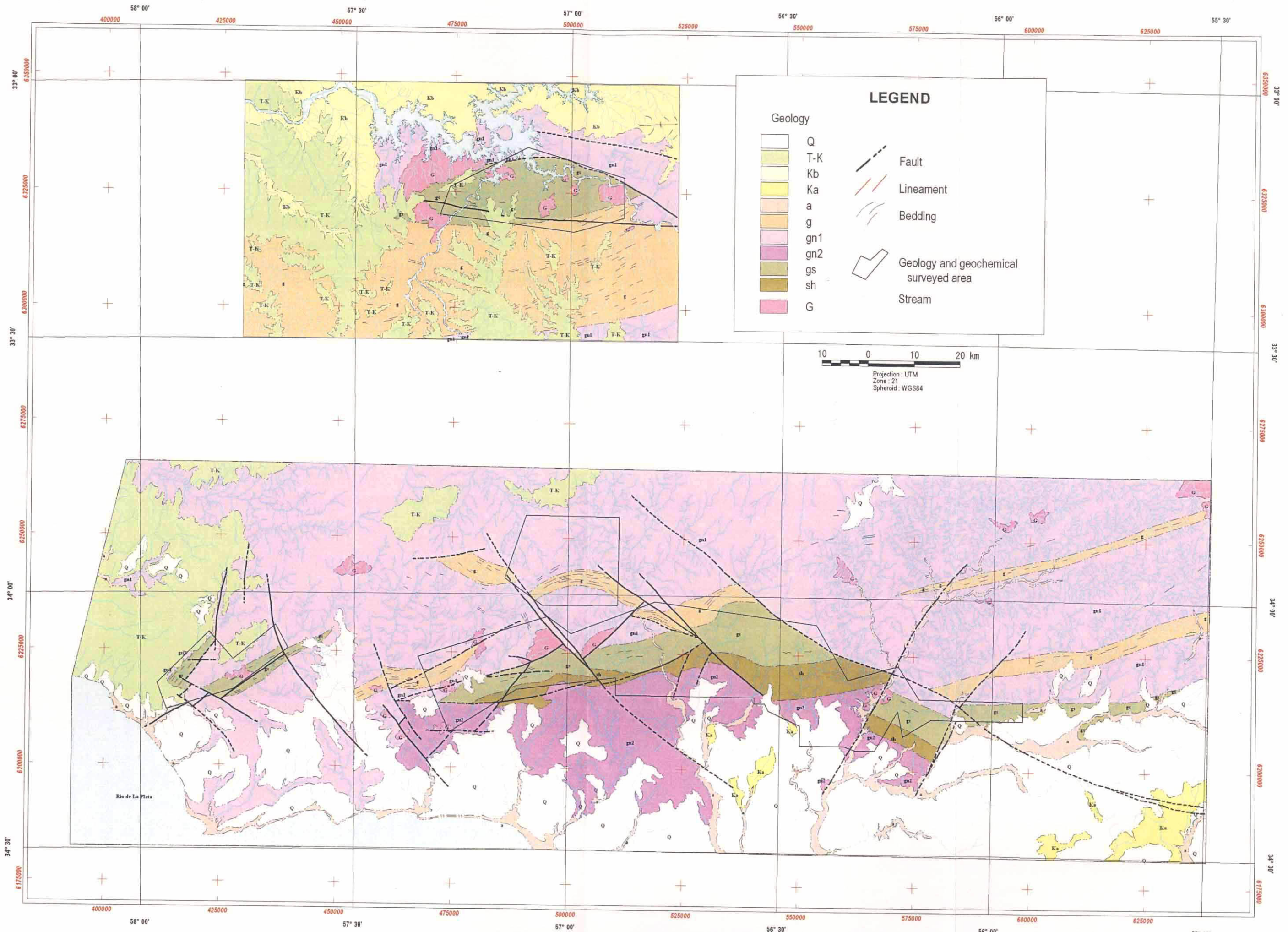


Fig.II-2-5 Geologic interpretation map

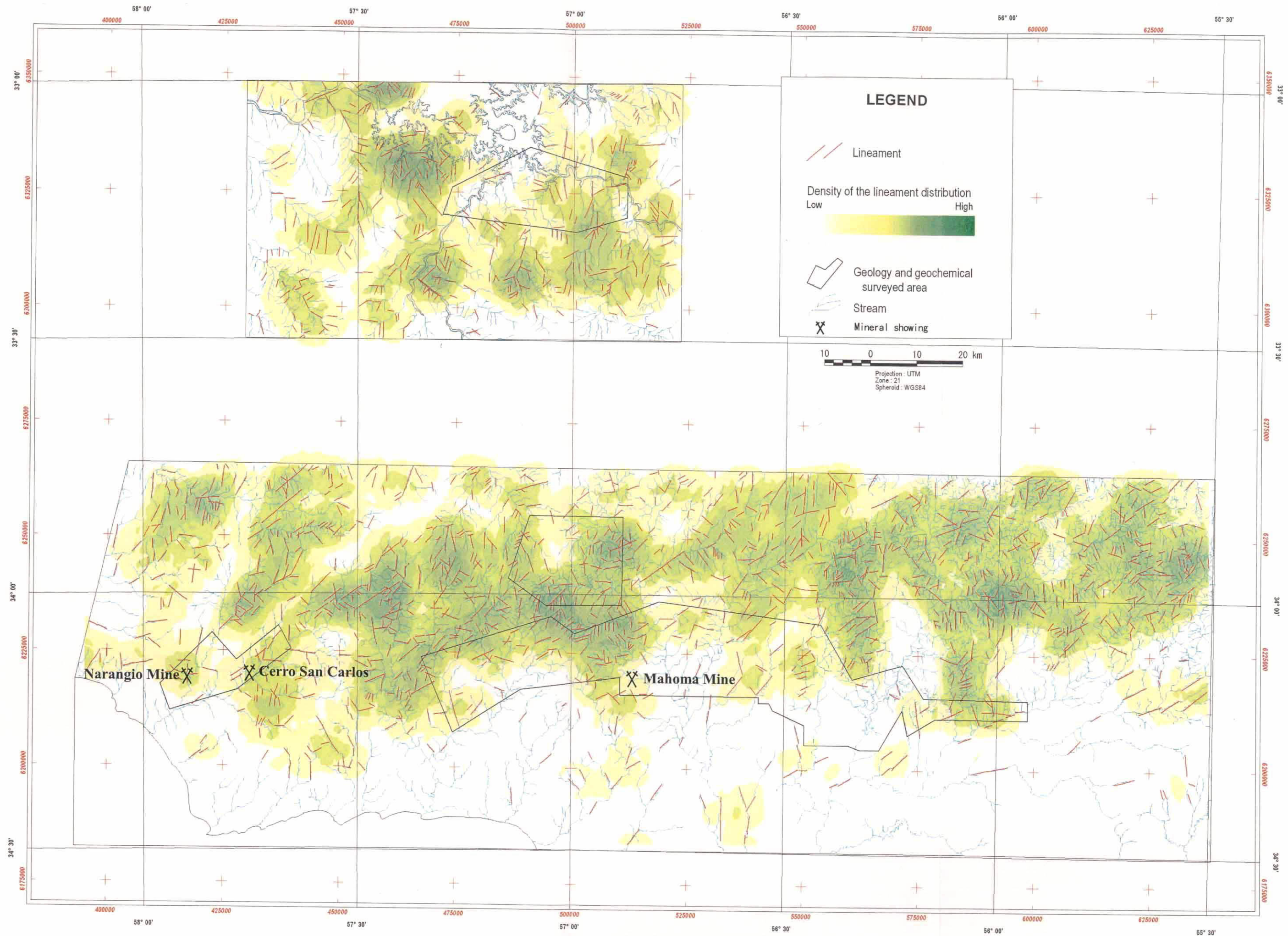


Fig. II-2-6 Lineament extraction and its density map

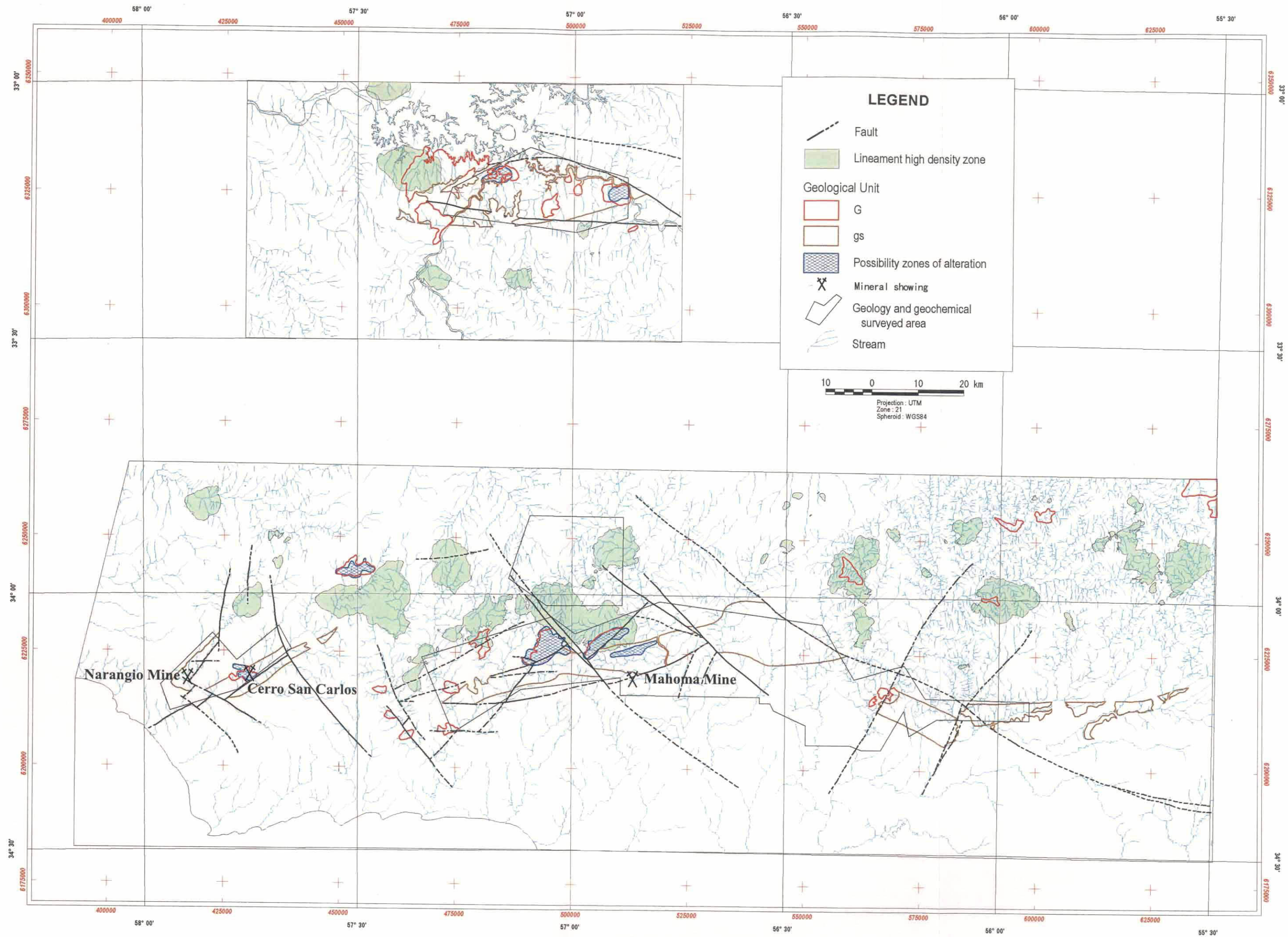


Fig. II -2-7 Interpretation map of satellite imagery

Tab.II-2-1 Image data used

JERS-1/SAR Imagery

Path-Row	Date	Processed Level	Spatial Resolusion	Band used	Off-nadir Angle	Polarization	Projection
P397-R356	10/01/95	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P396-R356	09/01/95	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P398-R357	18/09/96	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P397-R357	10/01/95	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P396-R357	09/01/95	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P395-R357	12/10/94	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P394-R357	28/08/94	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P393-R357	06/01/95	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P399-R358	18/09/96	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P398-R358	10/01/95	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P397-R358	09/01/95	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P396-R358	12/10/94	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P395-R358	28/08/94	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM
P394-R358	06/01/95	L2.1	18.0m	L-Band	35°	HH	UTM

LANDSAT/ETM+ Imagery

Path-Row	Date	Processed Level	Bands	Spatial Resolution			Projection
P224-R083	22/09/99	L1G	Band 1 to 7 & P	30m(VNIR & SWIR)	60m(TIR)	15m(Pan)	UTM
P223-R083	15/09/99	L1G	Band 1 to 7 & P	30m(VNIR & SWIR)	60m(TIR)	15m(Pan)	UTM
P224-R084	22/09/99	L1G	Band 1 to 7 & P	30m(VNIR & SWIR)	60m(TIR)	15m(Pan)	UTM
P223-R084	15/09/99	L1G	Band 1 to 7 & P	30m(VNIR & SWIR)	60m(TIR)	15m(Pan)	UTM

Tab.II-2-2 Image products

Products	Image data used	Scene number	Band used	Scale for interpretation	Projection	Spheroid	Zone
Digital mosaic of SAR	JERS-1/SAR	14	L	1:250,000	UTM	WGS84	21
Digital mosaic of TM	LAMDSAT/ETM+	4	B:G:R=1:4:5	1:250,000	UTM	WGS84	21
TM band ratio	LAMDSAT/ETM+	4	B:G:R=3/1.5/4.5/7	1:250,000	UTM	WGS84	21
Investigation areas - San Jose east area - San Jose west area - Arroyo Grande area							

Tab.II-2-3 Geologic interpretation chart

LANDSAT/TM mosaic

Geologic units	Color	Drainage		Resistance	Texture	Bedding(layering)	Vegetation/Landuse	Remarks	Comparison
		Pattern	Density						
a	black	braided	low	very low	even	-	dense		Q
Q	green/red	dendritic	low	low	even	none	strong use	terrace-like	Q1
T-K	green/red	dendritic	low	low	even	poor	strong use		Ksa
Kb	green/red	dendritic	high	intermediate	rough	poor	strong use	San Jose area	Klm
Ka	magenta	sub-parallel	high	intermediate	rough	poor	less	Arroyo Grande area	Ksm, Kla1
gn2	green/red	sub-dendritic	high	intermediate	smooth	commom	strong use		pCCcb
sh	magenta	sub-dendritic	high	intermediate	rough	developed	strong use		pCCApd
	gs	green/red	sub-parallel	high	high	lineated	strong use		pCCp.s.-sj.
	g	magenta	parallel	very high	high	lineated	common use	very layered	pCCG
gn1	magenta	dendritic	very high	high	rough	developed	common use		pCCcb
G	purple	sub-dendritic	very high	very high	very rough	none	low use	intrusives	pCC γ

Footnote : comparison with existing map "Carta Geologica" procuded by Ministerio de Industria y Energia (1980), in scale of 1:500,000.

JERS-1/SAR mosaic

Geologic units	Tone	Drainage		Resistance	Texture	Bedding(layering)	Vegetation/Landuse	Remarks	Comparison
		Pattern	Density						
a	light grey	braided	low	very low	even	-	dense		Q
Q	grey	dendritic	low	low	even	none	strong use	terrace-like	Q1
T-K	grey/white	dendritic	low	low	even	poor	intense use		Ksa
Kb	grey	dendritic	high	intermediate	rough	poor	strong use	San Jose area	Klm
Ka	dark grey	sub-parallel	high	intermediate	rough	poor	less	Arroyo Grande area	Ksm, Kla1
gn2	grey	sub-dendritic	high	intermediate	smooth	commom	strong		pCCcb
sh	dark grey	sub-dendritic	high	intermediate	rough	commom	strong use		pCCApd
	gs	dark grey	sub-parallel	high	high	lineated	strong use		pCCp.s.-sj.
	g	grey	parallel	very high	high	lineated	common	very layered	pCCG
gn1	grey	dendritic	very high	high	rough	developed	common		pCCcb
G	light grey	sub-dendritic	very high	very high	very rough	none	poor	intrusives	pCC γ

Footnote : comparison with existing map "Carta Geologica" procuded by Ministerio de Industria y Energia (1980), in scale of 1:500,000.

第3章 地質調査

3-1 調査位置及び目的

調査地域の地質及び地質構造と鉱化作用の関係を把握するために、サンホセ地域主要地区、サンホセ地域西部地区及びアロジョグランデ地域の3地域において地質調査を実施した。調査地域を Fig.II-3-1 に示す。

サンホセ地域主要地区は、首都モンテヴィデオの北西約 80km、サンホセ県の県都サンホセ (San Jose de Mayo) を中心とする地域である。サンホセ地域西部地区は、ラプラタ川に面するコロニア県の県都コロニア (Colonia) の北東方に位置する。アロジョグランデ地域は、モンテヴィデオの北西約 200km のリオネグロ県南部に位置する。いずれの地域も起伏の小さな準平原地形が連続し、牧草地が広がる。

3-2 調査方法

地質調査では、露頭及び転石を対象に地質記載、写真撮影、岩石試料採取を行い、必要に応じて露頭スケッチを実施した。特に、鉱化帯においては簡易測量を実施して詳細なスケッチを作成した。調査にあたっては縮尺5万分の1地形図を拡大したもの及び4万分の1空中写真を携行し、地形図には露頭位置、地質分布、岩石試料採取位置、片理・脈石の走向傾斜等を記入してルートマップを作成した。岩石試料は、調査地域における代表的な岩種、岩相及び相互関係を明らかにすることに留意して採取した。露頭及び転石位置の確認には GPS を利用し、緯度・経度を求めた。

3-3 室内試験結果

地質調査で採取した岩石試料を対象として、調査地域の解析に供するために室内試験を実施した。室内試験の項目は、岩石薄片の鑑定、鉱石研磨片の鑑定、X線回折試験、全岩分析、化学分析、流体包有物試験（均質化温度+塩濃度）、放射年代測定（K-Ar 法）である。ここでは、岩石薄片の鑑定、全岩分析及び放射年代測定の結果を Tab.II-3-1,2,3 に示し、他の試験項目は後述する。なお、岩石試料の採取位置及び室内試験項目は、Plate II-3-1,2,3,4 の地質図に示した。

3-4 地質調査結果

3-4-1 地質層序

本地域の地質は、基盤の複合岩類(pCCcb, pCCanf)及びグリーンストーン(pCCsjo, pCCsj, pCCps, pCCag)を主体とし、これらに貫入する古期花崗岩類(pCCG)及び新期花崗岩類(pCC)等の貫入岩から構成される。上位には白亜系、新第三系、第四系が不整合に被覆する。地質図及び模式柱状図を Fig.II-3-2,3,4 に示す。

(1) 基盤の複合岩類

基盤の複合岩類は、サンホセ地域主要地区の西縁部及び東部、サンホセ地域西部地区の北側、アロジョグランデ地域の南縁部に分布する。上位層とは、サンホセ地域西部地区では北西-南東方向の断層で、アロジョグランデ地域では東西方向の断層でそれぞれ接している。主として、片岩類、片麻岩、珪岩、角閃岩、花崗岩類等の岩石からなり、ミグマタイト、ホルンフェルス化等を伴う。花崗岩類は、変成作用により弱く流理構造が発達する。サンホセ地域西部は、石英片岩、変砂岩、珪化岩などが卓越する。なお、角閃岩は比較的まとまった分布範囲を示すので、地質図では角閃岩(pCCanf)とその他の岩相(pCCcb)とに分けて表示した。

顕微鏡下における石英片岩(AR022; 試料番号を示す)は、著しく片理の発達した石英、黒雲母、白雲母からなる基質中に石英の残晶が残るポーフィロクラスティック組織を示す。緑レン石角閃岩(AR059)は、角閃石、緑レン石、石英、チタン石から構成され、長柱状～粒状の角閃石の斑状変晶を含む。花崗岩(FR010)は、斑晶として石英、カリ長石、斜長石、黒雲母を含み、弱い流理が発達する。

年代測定に供した試料(AR126: 角閃岩)は、石英、斜長石、角閃石、緑レン石から構成され、弱い片理が発達する。石英はまれに斜長石を伴う小さな残晶として産する。

(2) グリーンストーン

グリーンストーンを構成する地層は、比較的高度の変成作用を被った San Jose (サンホセ)層(pCCsjo)、弱変成作用を被った Paso Severino (ポソセベリノ)層(pCCps)、Cerros de San Juan 層(pCCsj)及び Arroyo Grande (アロジョグランデ)層(pCCag)よりなる。

サンホセ地域主要地区では、主として東西方向の断層を境して、南側に比較的高度の変成作用を被った San Jose 層が、北側に弱変成作用を被った Paso Severino 層が分布する。サンホセ地域西部地区には、一部基盤の複合岩類と断層を境して弱変成作用を被った Cerros

de San Juan (セロデサンファン) 層が分布する。アロジョグランデ地域には、弱～中程度の変成作用を被った Arroyo Grande 層が広く分布する。

グリーンストーンを構成する4層に共通する岩相は、片岩類(緑色片岩、雲母片岩、石英片岩)、変火山岩類、変堆積岩類等である。

(i) San Jose 層

San Jose 層は、主として緑色片岩、雲母片岩、石英片岩、片麻岩、変流紋岩、変玄武岩、緑色岩、珪岩、変砂岩、粘板岩、千枚岩、角閃岩等から構成される。

石英片岩(DR034)は、片理の発達した斜長石、白雲母及び石英からなる基質中に、石英及び斜長石の残晶が残るポーフィロクラスティック組織を示す。角閃岩(CR006)は、石英、斜長石、緑レン石、角閃石、アクチノ閃石等から構成され、石英が斑状変晶を示すことがある。塊状もしくは板状鉱物の弱い定向配列が認められる。緑色岩(BR029)は、細粒の緑レン石、チタン石、緑泥石、石英、曹長石、炭酸塩鉱物、磁鉄鉱などから構成される塊状の岩石である。その変成鉱物の組合せにより、塩基性火山岩を原岩とする低変成度の緑色岩と判断される。

(ii) Paso Severino 層

Paso Severino 層は、緑色片岩、雲母片岩、石英片岩、変玄武岩、変ハンレイ岩、変砂岩、粘板岩、千枚岩、角閃岩等から構成される。

緑色片岩(AR026)は、石英、曹長石、緑泥石、アクチノ閃石、緑レン石等の緑色片岩相に特徴づける鉱物組合せから構成されるが、それらの配列には定向性は認められない。石英片岩(ER003)は、石英、斜長石、方解石、緑泥石、白雲母等の細粒の変成鉱物から構成される塊状組織を示す。変玄武岩(BR039)は、カンラン石を斑晶とする玄武岩の斑状組織が残存しているが、曹長石、アクチノ閃石、緑泥石、緑レン石等の変成鉱物によって完全に再結晶化している。変ハンレイ岩(CR010)は、緑泥石、方解石、緑レン石、チタン石、ブドウ石、アクチノ閃石等の変成鉱物によって原岩組織の大部分が消失している。角閃岩(CR018)は、角閃石、石英、斜長石、磁鉄鉱等の変成鉱物から構成され、原岩組織は完全に失われている。角閃石の定向配列によって弱い流理が認められる。

(iii) Cerros de San Juan 層

Cerros de San Juan 層は、緑色片岩、雲母片岩、石英片岩、滑石、ドロマイト、変玄武岩、変流紋岩、変砂岩、粘板岩、千枚岩、角閃岩、ドレライト等から構成される。

ドレライト(AR106)は、細粒の斜長石、普通輝石からなる石基中にカンラン石が斑晶と

して含まれる。変質鉱物として蛇紋石、緑泥石、アクチノ閃石、滑石、磁鉄鉱等を含む。

(iv) Arroyo Grande 層

Arroyo Grande 層は、緑色片岩、雲母片岩、石英片岩、片麻岩、変玄武岩、変流紋岩、変砂岩、粘板岩、千枚岩、角閃岩等から構成される。

変流紋岩 (ER077) は、石英、斜長石、カリ長石、白雲母等の変成鉱物から構成され、まれに細粒の変成鉱物を基質とする中に石英及びカリ長石の残斑晶が残るポーフィロクラスティック組織を示す。弱い流理が認められる。

(3) 白亜系

白亜系(Ksa)は、アロジョ・グランデ地域において下位層を不整合に被覆する。主として珪化岩、めのう化した地層、細粒砂岩等から構成される。

(4) 新第三系

新第三系(Tr)は、サンホセ地域主要地区の東部、サンホセ地域西部地区の中央部に散在し、下位層を不整合に被覆する。主として泥岩、細粒砂岩、円礫岩、角礫岩等から構成される。

(5) 第四系

第四系(Q)は、礫、砂、粘土等から構成される。

3-4-2 貫入岩類

(1) 古期花崗岩類

古期花崗岩類(pCCG)は、サンホセ地域主要地区の西部～中東部、サンホセ地域西部地区、アロジョグランデ地域の中央部及び北部においてそれぞれストックとして分布する。主として中粒～粗粒の等粒状もしくは斑状の黒雲母花崗岩、白雲母花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、石英閃緑岩等から構成され、変成作用を受けている。全体的に風化が著しく、褐鉄鉱で鉱染されている。一般に塊状であるが、断層近傍では圧砕作用を被ることが多い。特に、サンホセ地域主要地区の中西部における東-西、北西-南東方向の断層付近では、断層の方向と調和的なマイロナイト化による面構造の発達が著しい。

顕微鏡下における黒雲母花崗岩 (GR004) は、斑晶として石英、カリ長石、斜長石、黒雲母を含み、斜長石とカリ長石の残晶が残るブラストポーフィリティック組織を示す。白雲母

花崗岩 (AR056) は、斑晶として石英、カリ長石、斜長石、白雲母及び少量の黒雲母を含み、石英はモザイク状を示す。花崗閃緑岩 (CR001) は、斑晶として石英、斜長石、角閃石及び少量の磁鉄鉱を含む。石英は波動消光を示し、斑晶にはわずかに変形構造が認められる。サンホセ地区中西部、東西方向の断層近傍の花崗岩 (BR012) は、再結晶化した細粒石英からなる基質中にカリ長石、斜長石、黒雲母、磁鉄鉱の残晶が認められ、マイロナイト化を被る。古期花崗岩類の多くは、変質鉱物として白雲母、緑泥石、緑レン石、炭酸塩鉱物等を含む。

年代測定に供した試料 (BR001: 黒雲母花崗岩) は、石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、少量の白雲母、燐灰石、磁鉄鉱、チタン鉄鉱からなり、白雲母、緑泥石、緑レン石、炭酸塩鉱物、チタン石等の変質鉱物を伴う。マイロナイト化を被り、再結晶化した細粒石英からなる基質中にカリ長石、斜長石の残晶が残る。

(2) 新期花崗岩類

新期花崗岩類(pCC)は、サンホセ地域主要地区、サンホセ地域西部地区及びアロジョグランデ地域の全域においてストックとして散在する。主として中粒～粗粒の等粒状もしくは斑状の黒雲母花崗岩、白雲母花崗岩、両雲母花崗岩、角閃石花崗岩、優白質花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、トーナル岩等の岩相を示し、部分的にアブライトを伴う。古期花崗岩類 (pCCG) と比較してやや不均質である。新期花崗岩類は周囲の平坦地形に比べて数 10m 程度の小丘を形成することが多く、周辺地域よりも露出状況が良好である。その外観は一般に塊状であるが、マイロナイト化により面構造が発達することがある。顕微鏡下における新期花崗岩類は、斑晶として石英、カリ長石、斜長石を主体とし、有色鉱物として黒雲母及び白雲母もしくは角閃石及び黒雲母を伴い、微量の燐灰石、ジルコン、チタン石、磁鉄鉱を含む。

年代測定に供した試料の顕微鏡下での特徴は以下のとおりである。AR125 (両雲母花崗岩) は、石英、カリ長石、斜長石、白雲母、黒雲母を主体とし、微量のザクロ石及びチタン鉄鉱を伴う。炭酸塩化及び褐鉄鉱化を被る。マイロナイト化を被り、石英、カリ長石及び斜長石の残晶が残るポーフィロクラスティック組織を示す。

AR128 (白雲母花崗岩) は、石英、カリ長石、斜長石、白雲母を主体とし、微量の磁鉄鉱を伴う。緑泥石化及び褐鉄鉱化を被る。マイロナイト化を被り、石英、カリ長石、斜長石及び白雲母の残晶が残るポーフィロクラスティック組織を示す。再結晶化石英の粒子の相違により、複数回の圧碎作用を被ったことが推定される。

AR129 (黒雲母花崗岩) は、石英、カリ長石、斜長石、黒雲母を主体とし、微量のジルコ

ン、燐灰石、磁鉄鉱を伴う。緑泥石化及び褐鉄鉱化を被る。AR127 (優白質花崗岩) は、石英、カリ長石、斜長石を主体とし、変成鉱物として白雲母を含む。

(3) 貫入岩：ドレライト

ドレライト(dd)は、サンホセ地域主要地区の中央部及び西縁部において北東-南西方向の岩脈として分布し、主に新期花崗岩 (pCC) を貫く。

緑色塊状の岩質を特徴とする。顕微鏡下におけるドレライト (CR048) は、主として角閃石、斜長石、緑レン石、磁鉄鉱等の変成鉱物から構成される塊状の緑レン石角閃岩相を示す。

(4) 貫入岩：ハンレイ岩

ハンレイ岩(gb)は、主にサンホセ地域主要地区の中西部において San Jose 層及び Paso Severino 層を貫き、ストック状に露出する。

暗緑灰色の堅硬、緻密な岩質を特徴とする。顕微鏡下でのハンレイ岩 (BR006, BR015) は、主にカンラン石、普通輝石、斜長石、磁鉄鉱等から構成され、変成鉱物として滑石、緑泥石、緑レン石、炭酸塩鉱物、蛇紋石等を含む。

(5) 化学組成

花崗岩質貫入岩類(pCCG,pCC)の $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 図及びハーカー図を Fig. II-3-5,6 に示す。

花崗岩質貫入岩類の SiO_2 量は約 47~78% の範囲にある。 $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 図では大部分の試料が非アルカリ岩類に分類され、花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩及びハンレイ岩の領域にプロットされる。ハーカー図では、 SiO_2 量約 60% 以上の試料の TiO_2 量、 Al_2O_3 量、 Fe_2O_3 量、 MnO 量、 MgO 量、 CaO 量は SiO_2 量と負の相関が認められる。これに対し、 SiO_2 量約 60% 以下の試料ではばらつきが大きく、明瞭なトレンドを示さない。 K_2O 量と SiO_2 量は正の相関を示す。

(6) 年代値

古期花崗岩類 (pCCG) は、サンホセ地域主要地区の中西部、マホマ鉱山の母岩に相当する黒雲母花崗岩 (BR001) より $1960 \pm 140 \text{Ma}$ の K-Ar 年代値を得た。この値は既存資料の 22 億年以前の年代値に比べて有意に若い値である。これは、マイロナイト化による再結晶

化及びマホマ鉱山の鉱化変質作用による若返りの影響が考えられる。

新期花崗岩類 (pCC) は、サンホセ地域西部地区の両雲母花崗岩 (AR125 : Miguelete granite) より $1690 \pm 120\text{Ma}$, サンホセ地域主要地区の中西部に分布する白雲母花崗岩 (AR128 : Mal Abrigo granite) 及び黒雲母花崗岩 (AR129 : Mahoma granite) よりそれぞれ $1240 \pm 100\text{Ma}$, $1750 \pm 120\text{Ma}$, アロジョグランデ地域の優白質花崗岩 (AR127) より $1980 \pm 130\text{Ma}$ の値が得られた。既存資料による新期花崗岩類 (pCC) の形成年代は約 18~20 億年を示し、トランスアマゾン造山運動 (Transamazonian orogenesis) 時の火成活動に関連づけられている。

サンホセ地域西部地区の両雲母花崗岩 (AR125), サンホセ地域主要地区の黒雲母花崗岩 (AR129), 及びアロジョグランデ地域の優白質花崗岩 (AR127) の年代値は、誤差の範囲内で既存資料の年代値に一致している。若い年代値が得られたサンホセ地域主要地区の白雲母花崗岩 (AR128) は、鏡下において著しいマイロナイト化を被っていることから、再結晶化による年代値の若返りが考えられる。

サンホセ地域主要地区の東部の角閃岩 (AR126) の年代値は $2000 \pm 280\text{Ma}$ を示す。この岩石は既存資料のうち 50 万分の 1 地質図では基盤岩の複合岩類に、JMEC(2001) では新期貫入岩類として扱われている。

3-4-3 変成作用

グリーンストーンを構成する San Jose 層 (pCCsjo), Paso Severino 層 (pCCps), Cerros de San Juan 層 (pCCsj) 及び Arroyo Grande 層 (pCCag) はいずれも変成作用を被っており、主として変堆積岩類, 変火山岩類等の岩相を示す。

変堆積岩類は顕微鏡観察結果によると白雲母石英片岩及び泥質片岩からなり、変成鉱物は石英, 斜長石, 白雲母, 炭酸塩鉱物, 燐灰石, チタン石, 褐鉄鉱, 不透明鉱物等である。

変火山岩類は、酸性~塩基性岩起源のものが含まれるが、アロジョグランデ地域を除く地域では変玄武岩や変ハンレイ岩等の塩基性変成岩類が卓越する。これらは主として緑色片岩相, 緑レン石角閃岩相及び角閃岩相の変成相を示す。緑色片岩 (AR026, BR029, BR039, GR017) は、アクチノ閃石, 緑泥石及び緑レン石の組合せで特徴づけられ、石英, 曹長石, 炭酸塩鉱物, チタン石, 褐鉄鉱等を伴う。緑レン石角閃岩 (AR033, CR009) は、曹長石, 角閃石及び緑レン石の組合せで特徴づけられる。角閃岩 (CR018) は、角閃石, 斜長石及び石英を主成分鉱物とし、緑泥石や緑レン石を含まない。このような緑色片岩, 緑レン石角閃

岩及び角閃岩からなる変成相を含む本地域のグリーンストーンは、比較的低下から中圧の変成作用によって形成されたと判断される。

3-4-4 地質構造

本調査地域の地質構造は、東-西、北西-南東方向の断層によって特徴づけられる。東-西方向の断層は、サンホセ地域主要地区の南部においては、南側の San Jose 層と北側の Paso Severino 層とを境している。サンホセ地域主要地区の中央では、この東-西方向の断層と調和的に San Jose 層と Paso Severino 層の境界線が並行する。変成岩の片理の方向は、この東-西方向の断層と概ね調和している。アロジョグランデ地域では、連続性の良い東-西方向の断層が南側の基盤の複合岩類と北側のアロジョグランデ層とを境している。

北西-南東方向の断層は、サンホセ地域西部地区においては、古期花崗岩類、基盤の複合岩類及び Cerros de San Juan 層の分布域を規制している。サンホセ地域主要部の中西部では、断層周辺の片理構造が北西-南東方向に規制されると共に、新期花崗岩 (pCC) が著しいマイロナイト化を被っている。露頭単位では断層の変位は確認されないが、周辺地域の地質分布を考慮すると北西-南東方向の断層は、右横ズレの成分をもっていると判断される。

3-4-5 鉱床

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

① サンホセ地域主要地区 (10 箇所)

A: マホマ鉱山周辺 (東西 20km×南北 15km), B: Nueva Helvecia (地域西端部: 10km×18km), C: Arroy del Medio (6km×15km), D: Canada de Cabrera (8km×4km), E: Arroyo Charruzo (10km×12km), F: Tala I (3km×4km), G: Tala II (9km×14km), H: West of 25 de Mayo (6km×8km), I: South of 25 de Mayo (10km×10km), J: San Ramon (地域東端部: 10km×5km)

② サンホセ地域西部 (1 箇所)

K: San Carlos (21km×13km)

③ アロジョグランデ地域 (2 箇所)

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

含金石英脈は、基盤の複合岩類 (pCCcb), 古期花崗岩類 (pCCG), グリーンストーン

(pCCps, pCCsj, pCCag, pCCsjo) に発達する。

母岩の変質：露頭の発達状況が不良のため、マホマ鉱山の露天掘採掘跡や限られた露頭の観察結果を基に母岩の変質を類推すると次のようになる。石英脈の脈際の母岩中には、花崗岩類、グリーンストーン共に珪化が肉眼的に認められ、その範囲は脈幅に比例しており、脈幅が大きいほど広い範囲に珪化が広がる傾向が認められる。また、ほとんどの緑色岩類及び一部の花崗岩類中には、緑泥石化及び緑レン石化が認められる。X線回折の結果を Tab.II-3-4 に示す。このデータの解析結果では、石英脈脈際から外側に向かって、石英-セリサイト-（黄鉄鉱）帯、緑泥石-緑レン石-（アルバイト）帯の帯状分布が推定される。

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

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

石英脈の配列パターン：石英脈の卓越する方向はNE-SW～E-W系及びNW-SE系であり、前者は断層及び片理面等で代表される地質構造とほぼ調和的である。ほとんどの既存資料には、本地域に卓越するE-W系の地質構造として、左横ズレを示す大規模な破碎帯が記載されている。一方、後者のNW-SE系に関して、アロジョグランデ地域のRio Negro II 鉱化帯において、NW-SE系の石英脈が雁行配列を呈し、その配列パターンは「杉の字」配列である。つまり、NW-SE系は右横ズレのセンスとなり、サンホセ地域主要地区及びサンホセ地域西部地区に断層として発達する。このNW-SE系の断層は本地域ではもっとも新しい構造であるが、NE-SW～E-W系とは共役なセットの可能性が考えられる。

鉱化作用：石英脈及び鉱床母岩の鉱石研磨片の観察結果では、石英脈中には少量の褐鉄鉱、一部のごく微量の黄鉄鉱以外、鉱石鉱物はほとんど認められなかった（Tab.II-3-5）。緑色岩類及び一部の石英脈に微量の黄鉄鉱-（黄銅鉱）鉱染が認められた。鉱石分析の結果は、第5章で記述するが、Auの最大値は19.890ppbであった（Appendix 4）。

石英脈の脈質については、乳白色砂糖状の半透明石英、無色～白色透明な石英及び暗灰色透明石英に分類される。これらのステージの違いについては、局部的に認められる帯状分布や産状から、これらの順に新しくなる関係が推定される。しかしながら、露頭状況が一般には悪く、これらが混在するために鉱化のステージ分けを決めることは難しい。

鉱化帯 A, C, E, G, M から、石英をそれぞれ 2 個, 1 個, 5 個, 4 個, 2 個を採取し、流体包有物測定をした結果、均質化温度は最大 447.7°C, 最低 85.6°C を示した (Fig.II-3-8, Tab.II-3-6, Appendix1)。均質化温度のピークは 300°C, 250°C, 200～150°C の 3 つがあり、この順で乳白色半透明石英、無色～白色透明石英、暗灰色透明石英に対応する傾向が認められる。塩濃度の測定結果では、4.2～35% を示し、高い圧力下で生じたものと、低い圧力下で生じたものが混在していることがわかる。

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

次に、本地域の代表的なマホマ鉱山について記載する。マホマ鉱山はサンホセ地域主要地区中央やや西の鉱化帯 A に属し、サンホセの北西約 30km に位置し、車で約 35 分を要する。既存資料には、1986～1990 年に探鉱がなされ、1992～1995 年に稼行され、過去約 2～3kg の金が生産されたと記載されている。鉱床母岩は、緑泥石化した閃緑岩～花崗閃緑岩である。

現在 3 箇所の露天掘採掘跡があり、そのうちの 1 箇所は、西側引立て面の観察が可能であったので、詳細な鉱床調査を実施した。同露天掘採掘跡は東西約 350m, 南北約 30m～50m, 深さ約 10m でそれ以深は水没している。往時は約 100m まで掘り下がったとのことである。Fig.II-3-9 に示すように、脈幅 15cm～70cm の白色透明石英脈と、脈幅 2～5 cm の赤褐色褐鉄鉱－石英脈が認められる。走向 80° E, 傾斜 87° S を示す。

鉱石鉱物は褐鉄鉱のみ認められるが、既存資料によると石英脈中の石英粒間に 20～40 μ m の自然金が単独に認められるものと、黄鉄鉱中に 15～20 μ m の自然金が認められるものが記載されている。

鉱石分析の結果、脈石英試料は Au:1,520ppb, 鉱床母岩は Au:291ppb～111ppb で、脈から離れるにしたがって含有量が減少している。また、褐鉄鉱－石英脈中には X 線回折の結果、セリサイトが含まれていることがわかった。

サンホセ地域西部地区の鉱化帯 K の東部、古期花崗岩類(pCCG)中にサンカルロス鉱山の

採掘跡が残っているが、詳細は不明である。鉍石分析の結果、石英脈の転石は Au:1,548ppb, 鉍床母岩の転石は Au:115ppb を示した。

同鉍化帯 K の西部に、現在稼行中のナランジオ滑石鉍山が分布する。1904年に露天掘鉍山として開山し、1972年からは坑内掘りに移行した。現在、地下約70m レベルまで採掘し、月産量50トンである。白色部はセラミックに、緑色部は顔料に用途があるとのことである。グリーストーンに属する pCCsj 中の暗灰色苦鉄質岩類に挟まれた白色ドロマイト(地表には露出しない)を母岩とし、走向 N10° E~N45° E, 傾斜 80° E~85° NW の鉍脈鉍床である。脈幅は 2m~20m である。

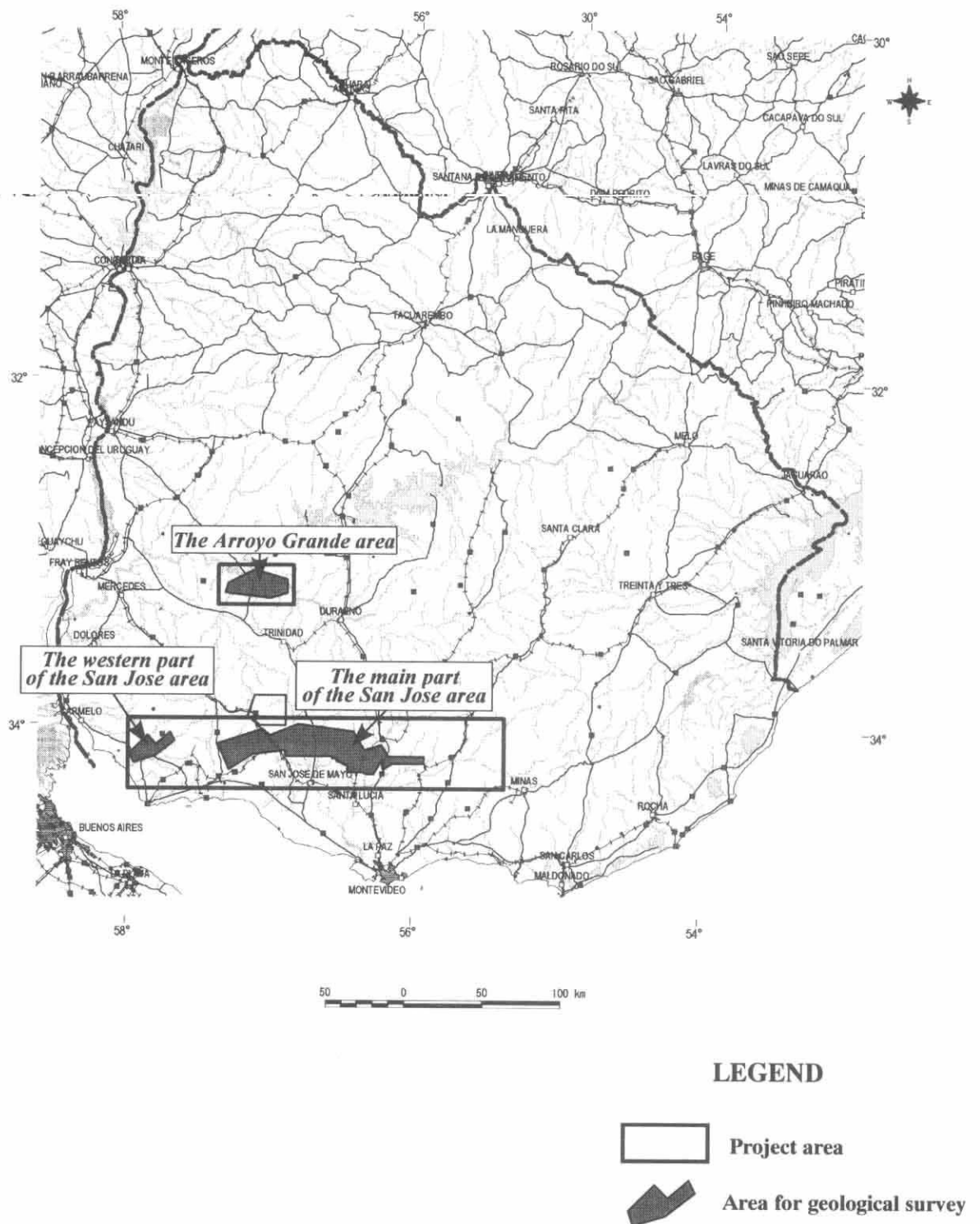
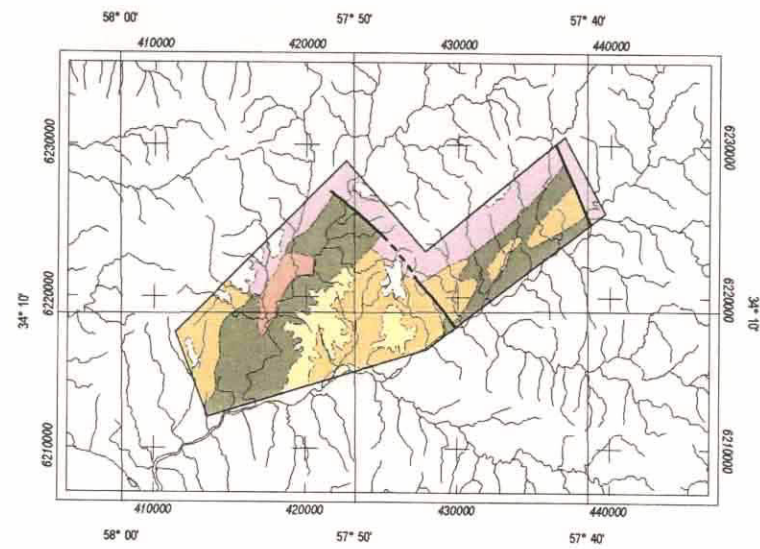
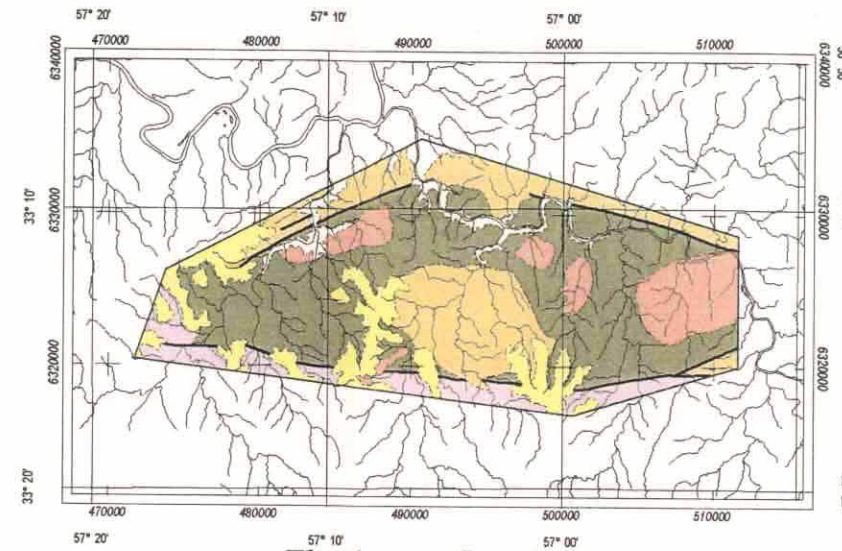


Fig.II-3-1 Location of the area for geological survey



The western part of the San Jose area



The Arroyo Grande area



LEGEND

- Geology**
- Quaternary: Q
 - Tertiary: Tr
 - Cretaceous: KSa
 - Greenstone: pCCag, pCCsj, pCCps, pCCsjo
 - Basement complex: pCCcb, pCCanf
 - Granite intrusive rock (Transamazonian and Pre-transamazonian): pCC
 - Granite intrusive rock (Pre-transamazonian): pCCG
 - Dyke rock: dd, gb
- Geology and geochemical surveyed area (indicated by a dashed line)
- River (indicated by a blue line)
- Fault (indicated by a dashed line with ticks)
- Scale: 0 to 15 km
- Projection: UTM Zone 21 Spheroid: WGS84

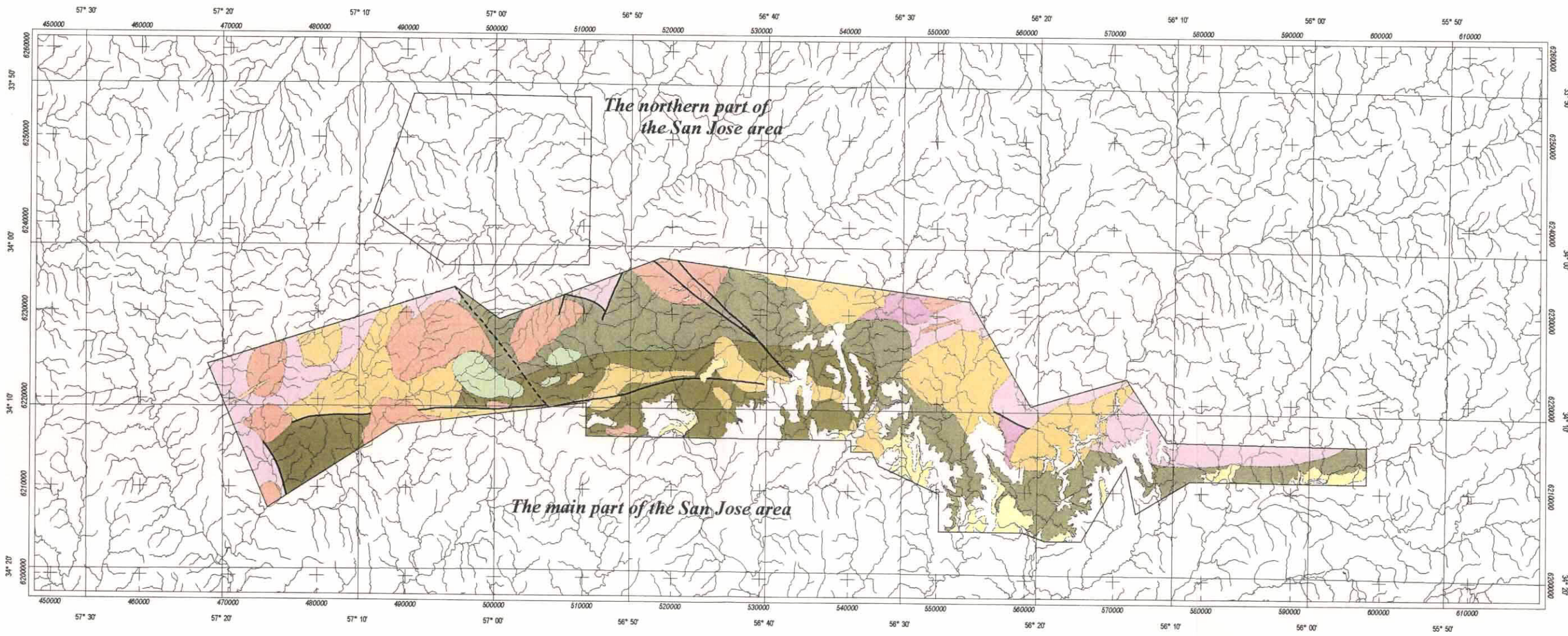


Fig.II-3-2 Geological map

AGE (Ma)		UNITS	EVENTS	DOMAIN	
1400? - 1800	<i>pCC</i> <i>(pECy)*</i>	Doleritic dykes	Distensive environments	<i>TRANSAMAZONIAN</i> <i>OROGENESIS</i>	
1894 - 1925					<i>CRATONIZATION</i>
		Pintos granite (1845 Ma) Aplites and granitic dykes of A° de la Virgen			
2000		Mahoma granite (1930 Ma) Conchillas granite (1970 Ma) Granite - Gneissic Complex Minuano granite (2000 Ma) Carmelo granite (2015 Ma) Florida granite (2030 Ma)			
2040		Granitic dyke of Isla Mala Gabbroic Complex Mahoma - Guaycurú			
2070 - 2100			Metamorphism migmatization, granitization and folding		
2225		A° de la Virgen leucogranite	Late - orogenic		<i>PRE</i> <i>TRANSAMAZONIAN</i>
2290					<i>MILONITIZATION</i>
		Isla Mala leucogranite			
2450		Isla Mala Granodiorite			
2500	<i>pCCps</i> <i>(pECps)*</i> <i>pCCsjo</i> <i>(pECsjo)*</i>	San José metamorphism belt with first big deformation phase older than 2500 Ma		<i>ARCHEAN</i>	
?	<i>pCCcb</i> <i>(pECps)*</i>	Complejo Basal			

* nomenclature used in the Carta Geológica del Uruguay. Escala 1:500,000 (1985)
Modified from Preciozzi, F. (1999). Petrography and Geochemistry of five Granitic Plutons from South - Central Uruguay: Contribution to the knowledge of the Piedra alta Terrane. Thesis, Universidad Quebec - Canadá.

Fig.II-3-3 Schematic stratigraphic column of the San Jose are

AGE (Ma)		UNITS	EVENTS	DOMAIN
1969	<i>pCC</i> <i>(pECy)*</i>	Leucogranite dykes		<i>TRANSAMAZONIAN</i>
2067		Leucogranite	III Deformational phase	
2180		South Granite	Contemporaneous with Paso del Lugo Fault	<i>PRE</i> <i>TRANSAMAZONIAN</i>
2275 - 2386		Marincho main Granodiorite	II Deformational Phase	
2501 - 2557	<i>pCCag</i> <i>(pECag)*</i>	Alkaline - Granite Blocks Arroyo Grande Belt Metamorphic Rocks	I Deformation Phase	<i>ARCHEAN</i>

* nomenclature used in the Carta Geológica del Uruguay. Escala 1:500,000 (1985)

Modified from Preciozzi, F.(1999). Petrography and Geochemistry of five Granitic Plutons from South - Central Uruguay: Contribution to the knowledge of the Piedra alta Terrane. Thesis, Universidad Quebec - Canadá.

Fig.II-3-4 Schematic stratigraphic column of the Arroyo Grande are

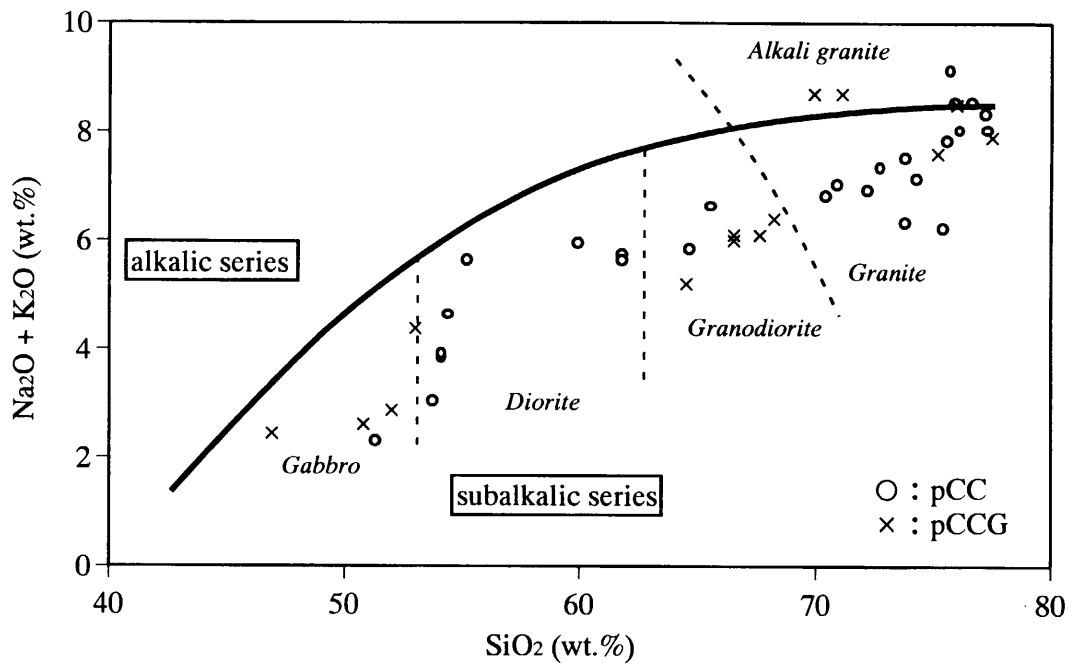


Fig.II-3-5 TAS diagram for granitic rocks

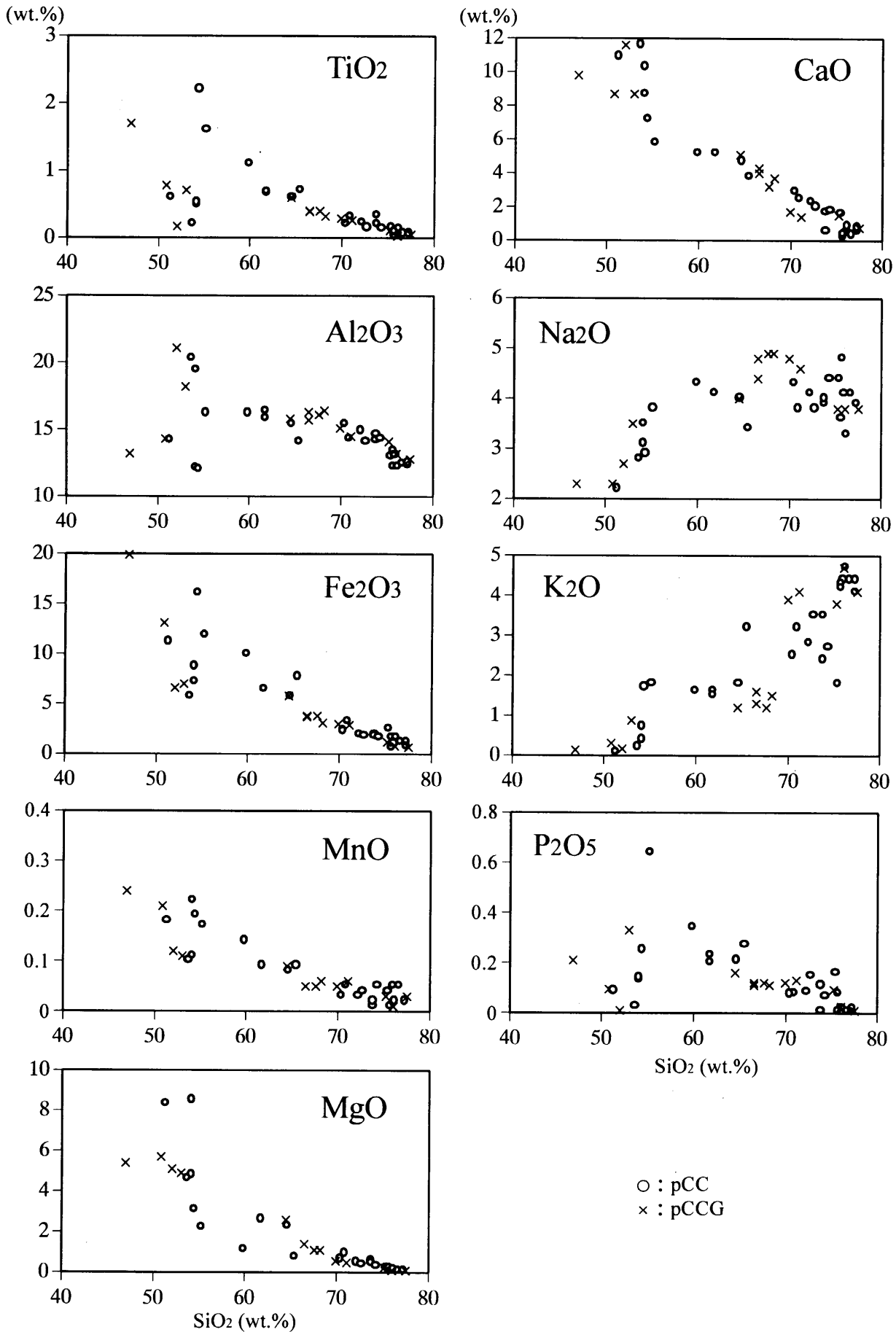


Fig.II-3-6 Harker variation diagrams for granitic rocks

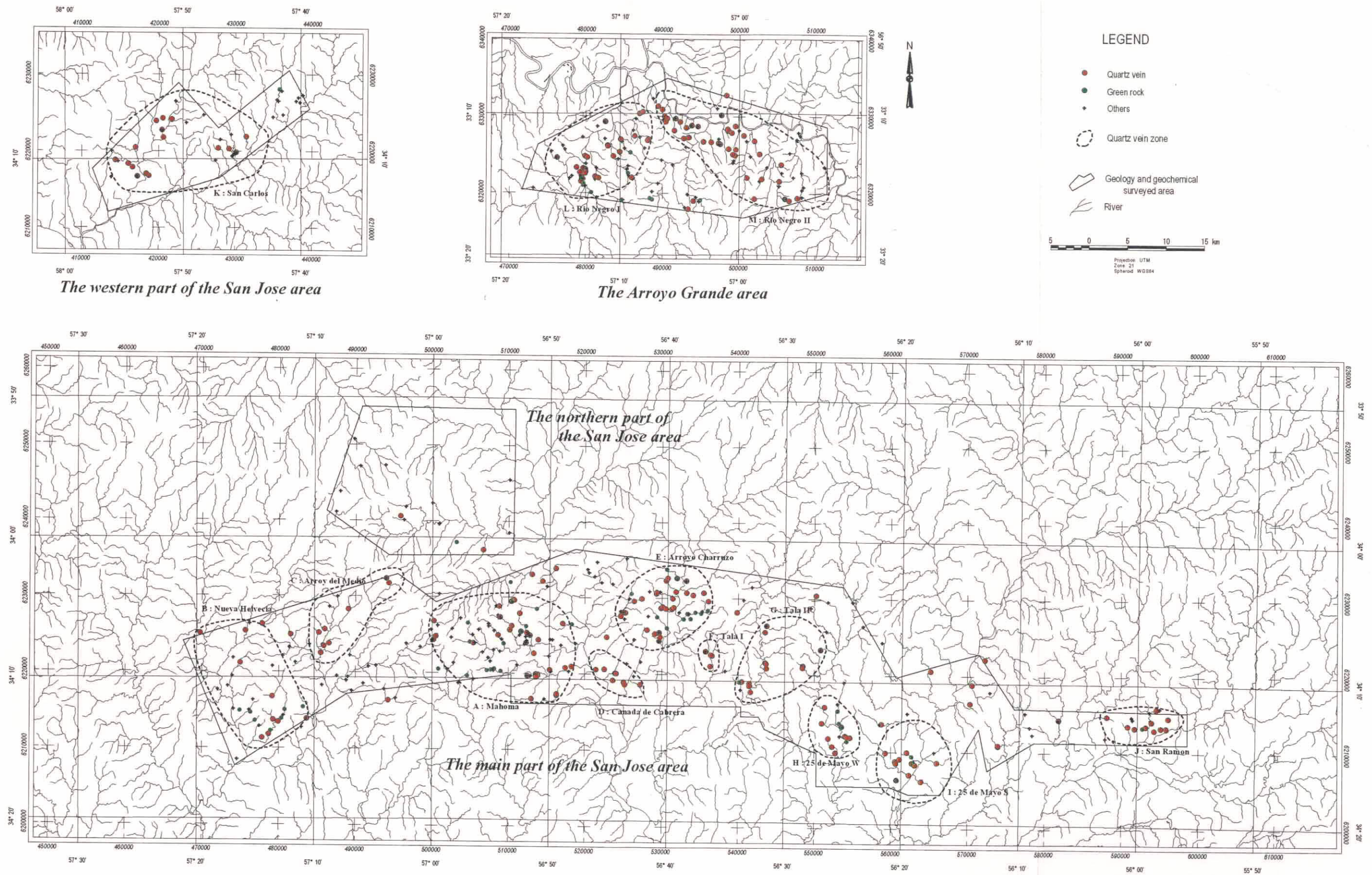


Fig.II-3-7 Location map of the quartz vein zones with location of geochemical rock samples

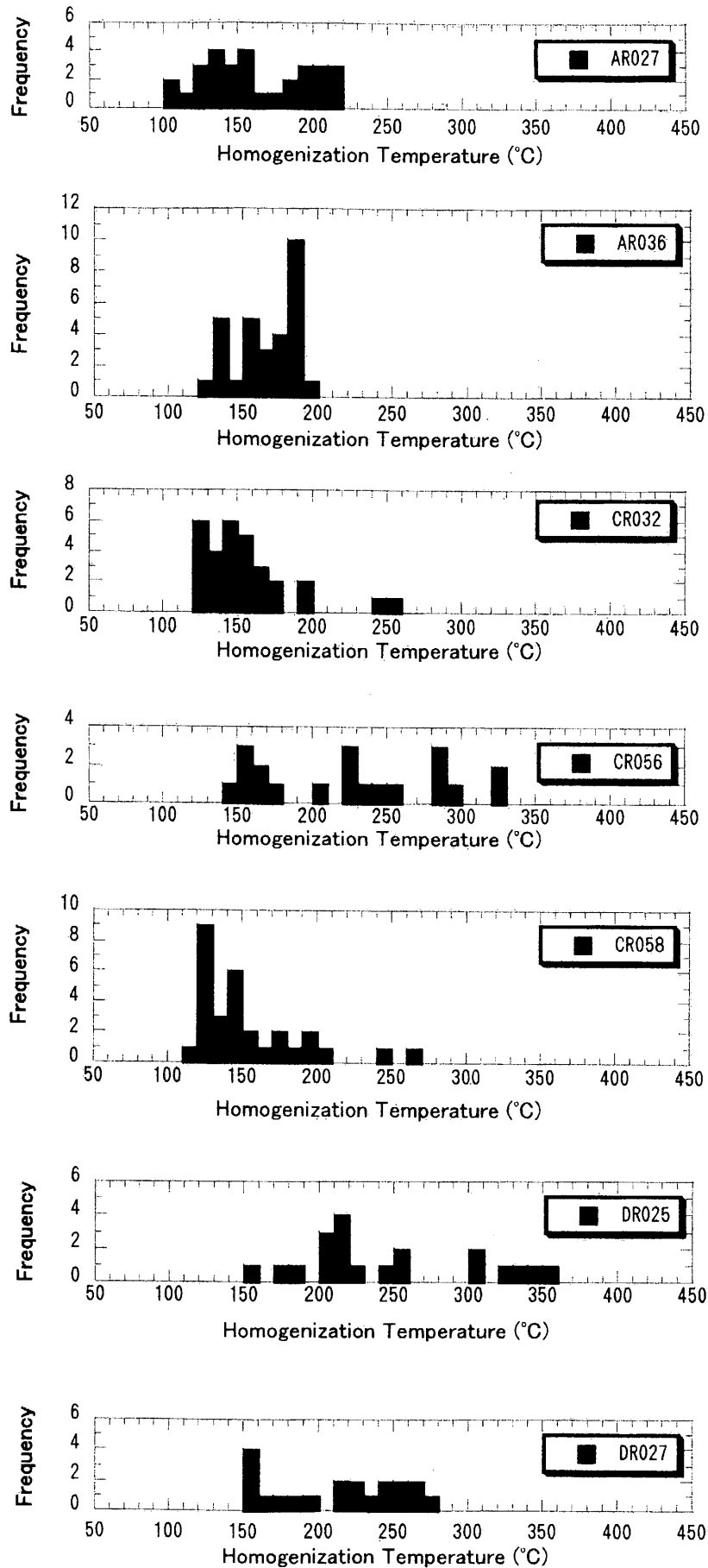


Fig.II-3-8 Histogram of fluid inclusions of quartz veins (1)

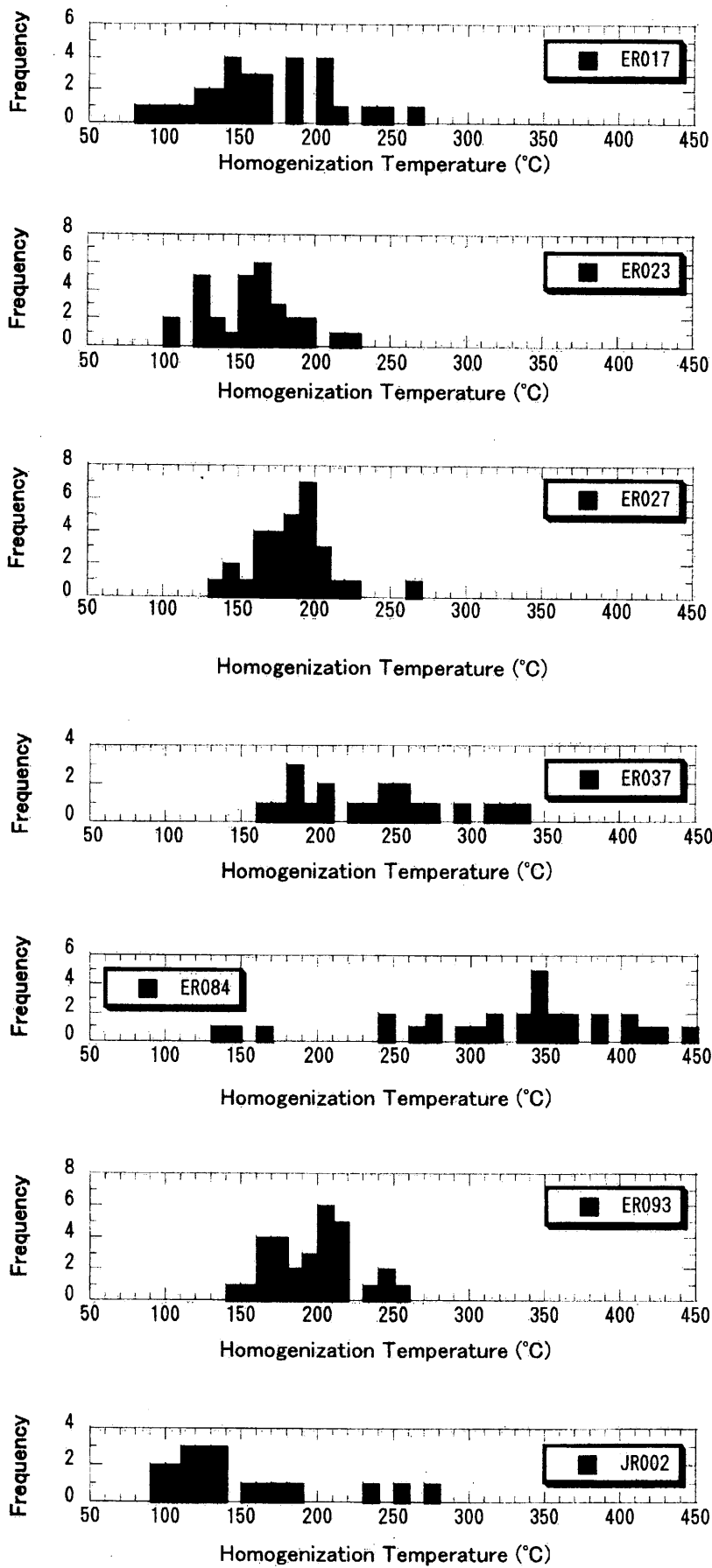
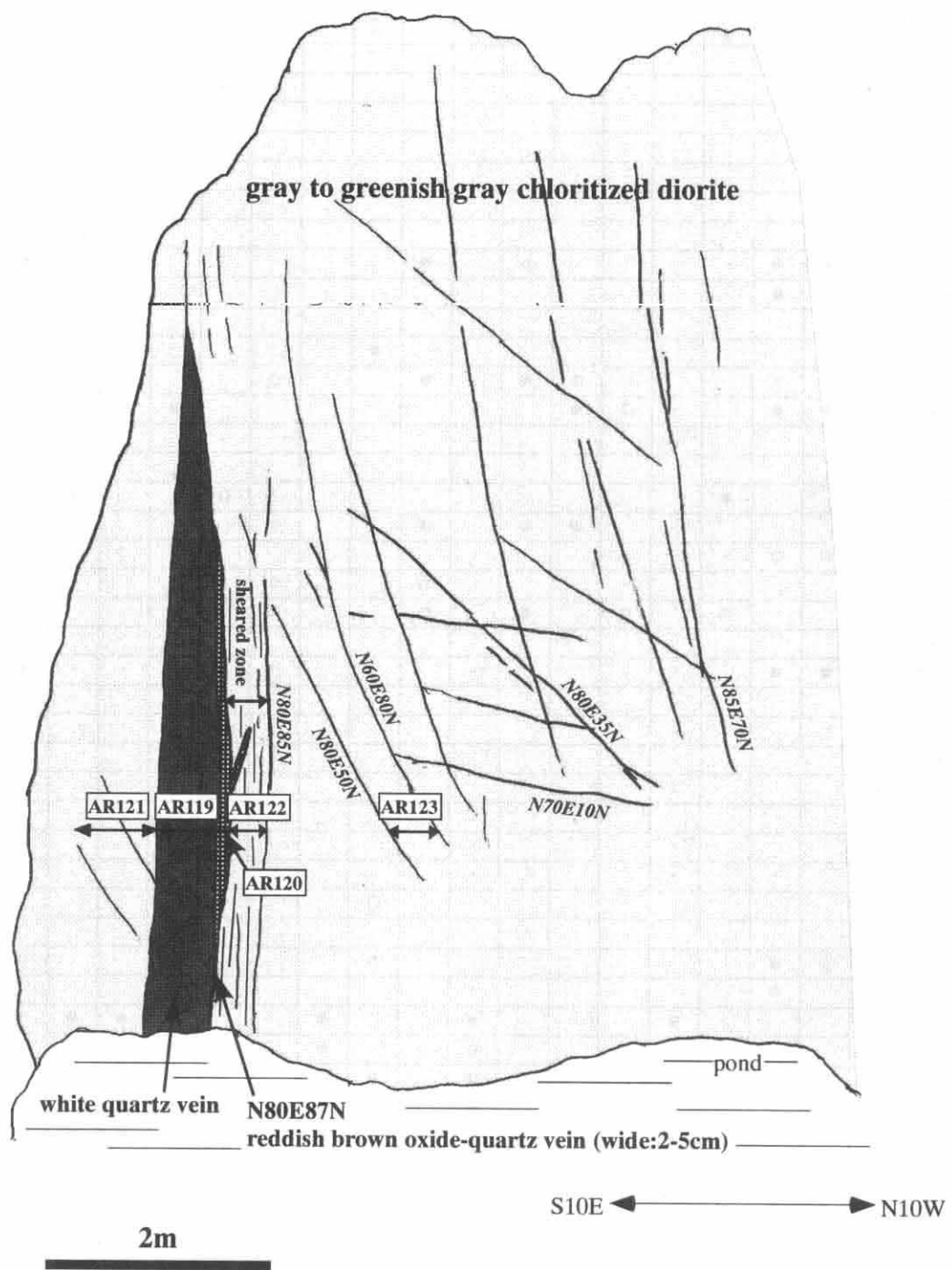


Fig.II-3-8 Histogram of fluid inclusions of quartz veins (2)



Sample No.	Au (ppb)
AR119	1520
AR120	1550
AR121	143
AR122	291
AR123	111

Fig.II-3-9 Geological sketch of quartz vein of the Mahoma mine

Tab. II -3-2 Results of whole rock analysis (1)

Ser. No.	Sample No.	Area	Rock Name	Geol. Unit	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	LOI	Total
1	AR014	MSJ	diorite	gb	65.40	0.36	16.80	3.80	0.05	1.50	4.70	4.50	1.40	< 0.01	0.130	0.78	99.42
2	AR019	MSJ	diorite	pCCG	46.90	1.70	13.20	19.90	0.24	5.40	9.80	2.30	0.14	< 0.01	0.210	0.26	100.05
3	AR026	MSJ	green schist	pCCps	53.80	1.30	16.00	11.60	0.17	5.30	5.50	3.60	0.03	0.02	0.400	3.17	100.89
4	AR033	MSJ	amphibolite	pCCps	49.20	0.94	14.00	13.20	0.19	6.90	11.40	1.80	0.10	0.03	0.083	2.36	100.20
5	AR042	MSJ	granodiorite	pCC	75.50	0.15	13.00	2.50	0.04	0.22	1.60	4.40	1.80	< 0.01	0.160	0.87	100.24
6	AR043	MSJ	amphibolite	dd	61.50	0.82	10.30	11.80	0.11	3.20	11.30	0.46	0.04	0.05	0.310	0.37	100.26
7	AR045	MSJ	granodiorite	pCC	61.90	0.66	15.80	6.40	0.09	2.60	5.20	4.10	1.60	0.03	0.230	0.61	99.22
8	AR055	MSJ	leucocratic granite	pCCG	77.50	0.05	12.80	0.69	0.03	< 0.10	0.75	3.80	4.10	< 0.01	< 0.010	0.22	99.94
9	AR056	MSJ	leucocratic granite	pCCG	76.00	0.03	13.20	0.81	0.01	0.11	0.47	3.80	4.70	< 0.01	0.026	0.36	99.52
10	AR059	MSJ	amphibolite	pCCcb	48.90	0.78	16.20	12.40	0.21	5.50	13.60	1.50	0.12	0.01	0.094	0.45	99.76
11	AR080	AG	granodiorite	pCC	65.60	0.71	14.10	7.70	0.09	0.76	3.80	3.40	3.20	0.03	0.270	0.37	100.03
12	AR125	WSJ	granite(mylonite)	pCC	76.70	0.06	12.40	1.20	0.05	< 0.10	0.33	4.10	4.40	< 0.01	< 0.010	0.40	99.64
13	AR126	MSJ	amphibolite	pCCanf	57.10	0.81	16.60	8.00	0.13	2.70	9.90	3.10	0.25	< 0.01	0.240	0.39	99.22
14	AR127	AG	granite	pCC	73.90	0.34	14.60	1.90	0.01	0.56	0.53	3.90	2.40	< 0.01	< 0.010	1.65	99.79
15	AR128	MSJ	granite(mylonite)	pCC	76.00	0.04	13.10	0.98	0.05	0.10	0.49	4.10	4.40	< 0.01	0.018	0.58	99.86
16	AR129	MSJ	granite	pCC	77.30	0.06	12.30	1.20	0.02	< 0.10	0.52	3.90	4.40	< 0.01	< 0.010	0.48	100.18
17	BR001	MSJ	granite(mylonite)	pCCG	66.50	0.39	15.70	3.70	0.05	1.40	4.00	4.40	1.60	0.02	0.110	1.85	99.72
18	BR012	MSJ	granite(mylonite)	pCCG	67.60	0.40	16.10	3.80	0.05	1.10	3.20	4.90	1.20	0.01	0.120	1.51	99.99
19	BR015	MSJ	gabbro	gb	50.00	0.51	13.00	11.10	0.18	9.80	10.40	1.40	1.20	0.12	0.066	2.20	99.98
20	BR020	MSJ	granite	pCC	71.00	0.31	14.30	3.20	0.05	0.93	2.50	3.80	3.20	0.03	0.080	0.34	99.74
21	BR029	MSJ	green rock	pCCsjo	49.00	1.30	14.80	13.20	0.18	5.20	8.60	2.00	0.03	0.01	0.200	5.10	99.62
22	BR035	MSJ	granite	pCC	73.90	0.21	14.20	1.80	0.02	0.44	1.70	4.00	3.50	< 0.01	0.110	0.24	100.12
23	BR042	MSJ	granodiorite	pCC	54.20	0.49	12.10	8.70	0.22	8.50	10.30	3.10	0.72	0.05	0.130	1.31	99.82
24	BR043	MSJ	granite	pCC	75.80	0.04	13.40	0.67	0.01	< 0.10	0.22	4.80	4.30	< 0.01	< 0.010	0.28	99.52
25	CR001	MSJ	granodiorite	pCCG	50.80	0.78	14.30	13.10	0.21	5.70	8.70	2.30	0.31	< 0.01	0.095	2.99	99.29
26	CR010	MSJ	metagabbro	pCCps	49.90	0.83	14.20	12.00	0.18	7.50	5.20	2.10	0.12	0.06	0.093	7.54	99.72
27	CR016	MSJ	granite(mylonite)	pCC	51.40	0.60	14.20	11.20	0.18	8.30	10.90	2.20	0.08	0.04	0.087	0.33	99.52
28	CR017	MSJ	granite	pCC	75.70	0.10	12.20	1.60	0.01	0.23	0.39	3.60	4.20	< 0.01	0.080	0.56	98.67
29	CR018	MSJ	amphibolite	pCCps	57.30	1.40	11.70	16.70	0.22	2.00	7.00	2.00	0.51	0.01	0.550	0.33	99.72
30	CR024	MSJ	gabbro	gb	49.30	0.19	20.30	8.40	0.11	8.40	10.00	2.80	0.13	0.02	0.017	0.02	99.69

(wt. %)

AG: The Arroyo Grande area, WSJ: The western part of the San Jose area, MSJ: The main part of the San Jose area, NSJ: The northern part of the San Jose area

Tab. II -3-2 Results of whole rock analysis (2)

Ser. No.	Sample No.	Area	Rock Name	Geol. Unit	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	LOI	Total
31	CR026	MSJ	gabbro	gb	51.10	0.24	17.10	5.50	0.11	7.60	14.60	2.30	0.12	0.05	<0.010	1.23	99.95
32	CR027	MSJ	gabbro	gb	75.70	0.03	12.90	1.10	0.06	<0.10	0.50	4.10	4.50	0.02	0.023	0.47	99.40
33	CR029	MSJ	granodiorite	pCC	70.50	0.21	15.40	2.30	0.03	0.65	2.90	4.30	2.50	0.02	0.075	0.39	99.28
34	CR036	MSJ	granite	pCC	76.20	0.14	12.20	1.60	0.02	0.16	0.86	3.30	4.70	<0.01	0.020	0.22	99.42
35	CR037	MSJ	diorite	pCC	55.30	1.60	16.20	11.80	0.17	2.20	5.80	3.80	1.80	<0.01	0.640	0.41	99.72
36	CR040	MSJ	micro gabbro	dd	53.10	2.20	12.10	17.00	0.20	3.10	7.30	2.60	1.60	<0.01	0.240	<0.01	99.44
37	CR045	MSJ	gabbro	pCC	54.50	2.20	12.00	16.10	0.19	3.10	7.20	2.90	1.70	0.01	0.250	<0.01	100.15
38	CR046	MSJ	granite(tonalite)	pCC	60.00	1.10	16.20	9.90	0.14	1.10	5.20	4.30	1.60	<0.01	0.340	0.02	99.90
39	CR047	MSJ	granite	pCC	64.70	0.60	15.40	5.70	0.08	2.30	4.70	4.00	1.80	<0.01	0.210	0.72	100.21
40	CR048	MSJ	amphibolite	dd	49.70	0.94	14.80	14.00	0.20	7.60	11.20	1.00	0.04	0.03	0.070	0.63	100.21
41	CR051	MSJ	granite	pCC	54.20	0.52	19.40	7.20	0.11	4.80	8.70	3.50	0.39	0.01	0.140	1.00	99.97
42	CR055	MSJ	granite	pCCG	71.10	0.26	14.50	2.90	0.06	0.48	1.40	4.60	4.10	<0.01	0.130	0.49	100.02
43	CR057	MSJ	granite	pCCG	69.90	0.29	15.10	3.00	0.05	0.56	1.70	4.80	3.90	<0.01	0.120	0.44	99.86
44	CR059	MSJ	granite	pCC	77.40	0.05	12.50	0.80	0.02	<0.10	0.77	3.90	4.10	<0.01	0.021	0.23	99.79
45	CR060	MSJ	granite	pCCG	75.20	0.11	14.10	1.20	0.03	0.25	1.50	3.80	3.80	<0.01	0.093	0.43	100.51
46	CR061	MSJ	granite(mylonite)	pCCeb	77.30	0.06	12.90	0.68	0.02	<0.10	0.61	4.10	4.00	<0.01	0.018	0.20	99.89
47	CR125	WSJ	granodiorite	pCC	53.80	0.21	20.30	5.70	0.10	4.60	11.60	2.80	0.21	<0.01	0.025	0.80	100.15
48	CR126	WSJ	gabbro	pCCG	52.00	0.17	21.10	6.60	0.12	5.10	11.60	2.70	0.17	<0.01	<0.010	0.29	99.85
49	DR028	MSJ	porphyry	pCCps	76.30	0.02	13.90	0.87	0.01	<0.10	0.10	3.70	4.40	<0.01	0.026	0.73	100.06
50	ER003	MSJ	quartz schhist	pCCps	57.70	0.61	14.80	6.30	0.08	3.20	5.90	0.97	1.80	<0.01	0.150	7.77	99.28
51	ER030	MSJ	granite	pCCG	64.50	0.60	15.80	5.80	0.09	2.60	5.10	4.00	1.20	<0.01	0.160	0.53	100.36
52	ER051	MSJ	granodiorite	pCCG	66.50	0.40	16.30	3.80	0.05	1.40	4.30	4.80	1.30	<0.01	0.120	1.20	100.17
53	ER058	MSJ	gabbro	pCCsjo	41.70	2.60	17.30	18.90	0.23	7.00	8.10	1.50	2.30	0.07	0.490	0.50	100.69
54	ER076	AG	granite	pCC	72.30	0.22	14.90	1.90	0.03	0.49	2.30	4.10	2.80	0.03	0.083	0.39	99.54
55	ER077	AG	meta rhyolite	pCCag	75.50	0.03	13.50	1.50	0.06	0.10	0.70	4.10	3.60	0.02	0.048	0.39	99.55
56	FR008	MSJ	granite	pCC	61.90	0.69	16.40	6.40	0.09	2.60	5.20	4.10	1.50	<0.01	0.200	0.67	99.75
57	FR010	MSJ	granite	pCCbc	67.00	0.56	15.60	5.90	0.26	2.40	1.60	2.10	2.20	0.03	0.140	1.71	99.50
58	FR011	MSJ	granite(mylonite)	pCC	72.80	0.15	14.10	1.80	0.04	0.37	2.00	3.80	3.50	<0.01	0.150	0.52	99.23
59	FR012	MSJ	granite	pCC	74.40	0.14	14.30	1.60	0.05	0.31	1.80	4.40	2.70	<0.01	0.066	0.72	100.49
60	GR021	MSJ	gabbro	pCCG	53.00	0.71	18.20	7.00	0.11	4.90	8.70	3.50	0.88	0.03	0.330	1.87	99.23
61	GR055	NSJ	granodiorite	pCCG	68.20	0.32	16.40	3.10	0.06	1.10	3.70	4.90	1.50	0.03	0.110	0.56	99.98

AG: The Arroyo Grande area, WSJ: The western part of the San Jose area, MSJ: The main part of the San Jose area, NSJ: The northern part of the San Jose area (wt. %)

Tab. II -3-3 Results of radiometric dating

Ser. No.	Sample No.	Area	Rock Name	Geol. Unit	Sample Type	Potassium (K wt%)	Rad. ⁴⁰ Ar (10 ⁻⁸ cc/g)	K-Ar age (Ma)	Air Cont. (%)
1	AR125	The western part of the San Jose area	granite	pCC	whole rock	3.12 ± 2	34000 ± 1700	1690 ± 120	1.4
2	AR126	The main part of the San Jose area	amphibolite	pCCanf	whole rock	0.17 ± 10	2420 ± 120	2000 ± 280	1.8
3	AR127	The Arroyo Grande area	granite	pCC	whole rock	1.76 ± 2	24700 ± 1200	1980 ± 130	1.9
4	AR128	The main part of the San Jose area	granite	pCC	whole rock	4.09 ± 2	28200 ± 1400	1240 ± 100	0.9
5	AR129	The main part of the San Jose area	granite	pCC	whole rock	3.41 ± 2	3900 ± 2000	1750 ± 120	0.9
6	BR001	The main part of the San Jose area	granite	pCCG	whole rock	1.16 ± 2	16000 ± 800	1960 ± 140	1.0

$\lambda = 0.581 \times 10^{-10}$ /year, $\lambda \beta = 4.962 \times 10^{-10}$ /year
⁴⁰K/K=0.01167 atom%

Tab. II -3-4 Results of X-ray diffractive analysis (1)

Ser. No.	Sample No.	Area	Rock Name	Geol. Unit	Detected Minerals														
					quartz	K-feldspar	albite	chlorite/smectite	chlorite	sericite	calcite	muscovite	hornblende	epidote	pyrite	hematite	goethite		
1	AR026	The main part of the San Jose area	green schist	pCCps	◎		◎			◎					△				
2	AR032	The main part of the San Jose area	green schist	pCCps	◎		◎			◎	tr								
3	AR039	The main part of the San Jose area	green schist	pCCps	◎		◎			◎	tr	▲			▲				
4	AR041	The main part of the San Jose area	green rock	pCCps	◎		◎			◎	▲								
5	AR047	The main part of the San Jose area	metabasalt	pCCps	◎		○			◎			◎		△				
6	AR054	The main part of the San Jose area	metabasalt	pCCps	○		○			◎			◎		○				
7	AR120	The main part of the San Jose area	quartz vein	pCCG	◎		△			△	◎								
8	BR030	The main part of the San Jose area	green rock	pCCsjo	◎		◎			◎	○								
9	BR031	The main part of the San Jose area	quartz schist	pCCsjo	◎		◎				◎								
10	BR032	The main part of the San Jose area	green rock	pCCsjo	◎		○			◎		△							
11	BR033	The main part of the San Jose area	black schist	pCCsjo	◎		○			◎			◎						
12	BR034	The main part of the San Jose area	green rock	pCCsjo	◎		◎			◎		◎							
13	BR036	The main part of the San Jose area	green schist	pCCsjo	◎		◎						◎						
14	BR037	The main part of the San Jose area	green schist	pCCsjo	◎		◎			△	◎	△							
15	BR038	The main part of the San Jose area	green schist	pCCps	◎		◎			◎	○						○		
16	BR039	The main part of the San Jose area	green schist	pCCps			◎			△			◎						
17	BR040	The main part of the San Jose area	green schist	pCCps	◎		◎			◎	○						○		
18	BR041	The main part of the San Jose area	green schist	pCCps	◎		△			△	◎						△		
19	BR055	The Arroyo Grande area	green schist	pCCag	◎		○				◎								
20	CR019	The main part of the San Jose area	black chert	pCCps	◎													△	tr

◎: >1000 cps, ○: 500-1000 cps, △: 200-500 cps, ▲: 100-200 cps, tr: <100 cps

Tab. II -3-4 Results of X-ray diffractive analysis (2)

Ser. No.	Sample No.	Area	Rock Name	Geol. Unit	Detected Minerals															
					quartz	K-feldspar	albite	chlorite/smectite	chlorite	sericite	calcite	muscovite	hornblende	epidote	pyrite	hematite	goethite			
21	CR048	The main part of the San Jose area	metadiorite	pCC	△	○				tr				◎						
22	CR123	The western part of the San Jose area	granite	pCCG		◎			△					◎						
23	DR037	The main part of the San Jose area	quartz vein	pCCsjo	◎															
24	DR041	The main part of the San Jose area	slate	pCCps	◎	○			○	○									▲	
25	ER029	The main part of the San Jose area	green schist	pCCsjo	◎	△			◎											◎
26	GR013	The main part of the San Jose area	green schist	pCCsjo	◎	◎			◎	○										
27	GR015	The main part of the San Jose area	green schist	pCCps	◎	○			◎	◎				◎						○
28	GR016	The main part of the San Jose area	metabasalt	pCCps	◎	◎					◎									
29	GR018	The main part of the San Jose area	green schist	pCCps	◎	◎			◎											▲
30	GR038	The Arroyo Grande area	quartz vein	pCCag	◎	◎								◎						○
31	JR025	The Arroyo Grande area	green schist	pCCag	◎	◎			◎		△									○

◎: >1000 cps, ○: 500-1000 cps, △: 200-500 cps, ▲: 100-200 cps, tr: <100 cps

Tab. II -3-6 Homogenization temperature and salinity of fluid inclusions

Ser. No.	Sample No.	Area	Mineral Showings	Rock Name	Geol. Unit	Temperature (°C)			Salinity (%)
						Number	Range	Average	
1	AR027	The main part of the San Jose area	Arroyo Charruzo	quartz vein	pCCps	30	102.3 - 216.6	162.1	13.6
2	AR036	The main part of the San Jose area	Arroyo Charruzo	quartz vein	pCCps	30	129.0 - 192.6	165.2	4.8
3	CR032	The main part of the San Jose area	Arroyo del Medio	quartz vein	pCCps	30	122.6 - 250.5	155.8	>23
4	CR056	The main part of the San Jose area	Tala II	quartz vein	pCCG	20	141.7 - 321.3	227.0	4.3
5	CR058	The main part of the San Jose area	Tala II	quartz vein	pCCG	30	115.8 - 267.4	154.3	18.0
6	DR025	The main part of the San Jose area	Mahoma	quartz vein	pCCps	20	157.1 - 357.5	247.5	20.0
7	DR027	The main part of the San Jose area	Mahoma	quartz vein	pCCcb	20	150.9 - 270.3	211.5	21.2
8	ER017	The main part of the San Jose area	Arroyo Charruzo	quartz vein	pCCsjo	30	85.6 - 263.2	166.0	31
9	ER023	The main part of the San Jose area	Arroyo Charruzo	quartz vein	pCCsjo	30	100.2 - 223.2	157.7	32
10	ER027	The main part of the San Jose area	Arroyo Charruzo	quartz vein	pCCsjo	30	133.6 - 223.1	184.3	7.2
11	ER037	The main part of the San Jose area	Tala II	quartz vein	pCCG	20	164.5 - 334.2	237.1	16.9
12	ER084	The Arroyo Grande area	Rio Negro II	quartz vein	pCC	30	141.7 - 447.7	322.2	35
13	ER093	The Arroyo Grande area	Rio Negro II	quartz vein	pCCag	30	140.2 - 258.0	196.7	4.2
14	JR002	The main part of the San Jose area	Tala II	quartz vein	pCCps	20	99.2 - 278.5	148.7	20.1