

中國各省在日軍佔領區內
（1937年12月1日—1945年8月15日）

調查報告書

（第一卷）

國際協力會
調查部

昭和二十一年
八月
東京

平成7年度資源開発協力基礎調査

(鉱物資源広域調査ペルー共和国東部地域)

調査報告書

平成8年3月

JICA LIBRARY



J 1127900 [7]

国際協力事業団
金属鉱業事業団

は し が き

日本国政府はペルー共和国政府の要請に応え、同国の東部地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、既存データ解析及び衛星画像解析などの鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は、本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。本調査は平成7年度を第1年次とする初年次にあたり、金属鉱業事業団は4名の調査団を編成して平成8年1月21日から平成8年2月17日まで現地に派遣した。

現地調査は、ペルー共和国政府機関、エネルギー・鉱山省所轄の地質・鉱物・冶金研究所の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は、本年度の調査結果をとりまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたペルー共和国政府関係機関ならびに外務省、通商産業省、在ペルー日本国大使館及び関係各位の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

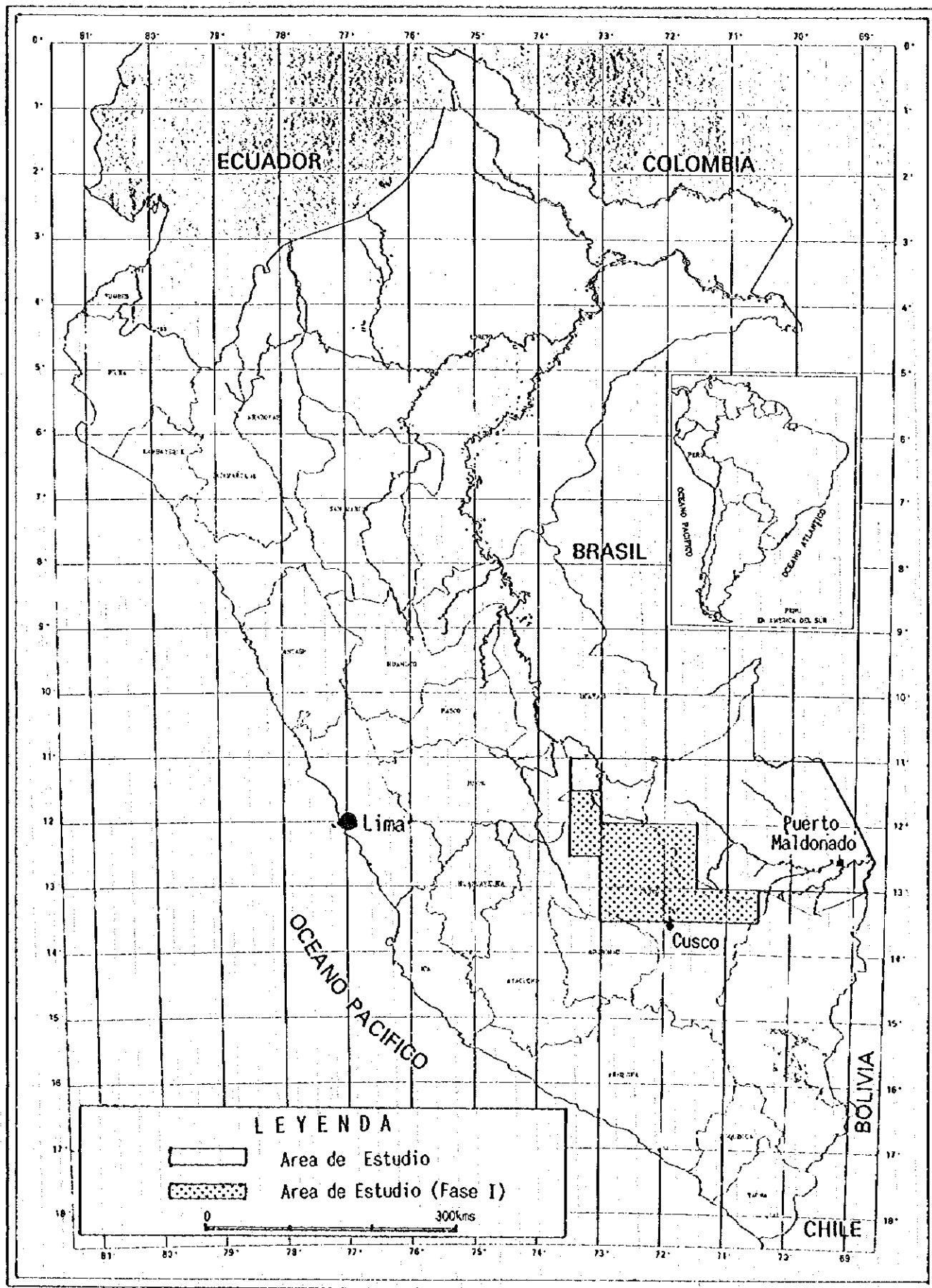
平成8年3月

国際協力事業団

総 裁 藤 田 公 郎

金属鉱業事業団

理事長 清 瀧 昌 三 郎



第1圖 調查地域位置圖



要 約

本報告書はペルー共和国東部地域に於いて実施した資源開発協力基礎調査の第1年次の調査結果をとりまとめたものである。調査の目的はペルー共和国東部の主として東アンデス山岳地帯と、アマゾン川上流の鉱床区分帯の詳細が明らかにされていない地帯において、衛星画像解析及び既存データ解析を実施し、得られた結果を総合的に解析し、短期的かつ効果的に広大な範囲から鉱床賦存有望地区を抽出することを目的とした。現地調査は平成8年1月21日から平成8年2月17日にかけて実施された。

本年度調査は、調査面積120,000km²のうちの45,000km²について、地質・鉱床に関する既存データの収集、解析とJERS-1/SARデータによる写真地質学的地質単元判読と、リニアメント解析及びLANDSAT/TMデータによる変質帯抽出等の衛星画像解析とを実施した。

調査結果を要約すると以下のとおりである。

(1) JERS-1/SARデータによる写真地質学的判読結果は既存の地質図(INGEMMET, 1975)の地質区分より単元が細区分できた。リニアメントは、いわゆる Abancay 屈曲の構造が顕著に現れている。リニアメントの密度は古生層に比べて、中生層、貫入岩類中が高い。

(2) LANDSAT/TMデータによるスペクトル解析結果は、Cusco 北方の山岳地帯では古生層下部層中と Mitu 層群中に変質帯を示すと考えられるスペクトル異常が抽出された。

(3) 既存データの解析結果は、調査地域内の鉱徴地記載の多くは裂隙充填型の金、銀、銅、鉛、亜鉛鉱徴地である。これは高品位鉱体が稼行対象とされたためであろうと推定される。一方、ペルーにおける主要鉱床は、ある特定層準に集中していることが近年の調査で明らかにされた。この観点から考察すると、金の鉱徴が多く存在する Ananea 層に対比される粘板岩類中と銅の鉱徴地が認められる Mitu 層群に対比されるモラッセ堆積岩、火山岩類中に層準規制型の鉱床胚胎の可能性が考えられる。Pucará層群、Santa 層、Casma 層群相当層の分布地域は地理的位置の制約から調査が進んでおらず鉱床、鉱徴地の報告が少ないことから有望地区として抽出はできなかった。

河床堆積物中の重鉱物には、錫、タングステン、チタン等の酸化物の報告がある。このことは、レアメタルを伴うグライゼン化した花崗岩類が存在する可能性があることを示唆している。さらに山岳地帯からセルバ地帯への移行地帯及びセルバ地帯には金の漂砂鉱床の報告があり、今後の調査によっては採掘可能な鉱床が発見される可能性がある。

以上を総合すると以下に挙げる地区が鉱床賦存有望地区として抽出される。

- ・ 古生界下部層の粘板岩類が分布し金の脈状及び漂砂型の鉱徴地が認められる Paucartambo 周辺及び Calca 東方と Calca 北方の金と鉛、亜鉛の鉱徴地が

多く分布する地区で LANDSAT/TM 画像による変質帯が抽出された地区。

・ 二畳紀～三畳紀の Mitu 層群に対比される赤色火山岩類、礫岩中に銀を含む銅、鉛、亜鉛の鉱脈、接触交代型(?)の鉱微地が多く分布し、LANDSAT/TM 画像による変質帯が抽出された Urubamba 北方及び西部地区。

・ Machu Picchu, Quillabamba 周辺に分布するアルカリ岩系花崗岩類中のグライゼン型鉱化作用の期待が持たれ、レアメタルを伴う可能性のある花崗岩類分布地区。

以上の第1年次調査結果を踏まえて第2年次調査は以下の調査が望まれる。

- (1) 衛星画像解析として、2年次調査分の JERS-1/SAR データによる地質単元区分及びリニアメント解析と LANDSAT/TM データによる変質帯抽出。
- (2) 既存データの収集及び解析。
- (3) 図面別地質データのデジタル情報化。
- (4) 第1年次調査及び第2年次調査において抽出された鉱床賦存有望地区に対しての地質単元及び鉱微地確認と岩石地化学探査を目的とするグラウンドトゥールース。

平成7年度資源開発協力基礎調査報告書
(鉄物資源広域調査ペルー共和国東部地域)

目 次

は し が き
調査地域位置図
要 約

第 I 部 序 論

第1章 調査概要	1
1-1 調査の経緯及び目的	1
1-2 第1年次調査の範囲及び作業の概要	1
1-3 調査団の編成	2
1-4 調査期間及び調査量	3
第2章 調査地域の地理	5
2-1 位置及び交通	5
2-2 地形及び水系	5
2-3 気候及び植生	5
第3章 調査地域の既存地質情報	7
3-1 既存調査の概要	7
3-2 地質概要	7
3-3 既知鉄床概要	8

第 II 部 各 論

第1章 衛星画像解析	11
1-1 解析の目的	11
1-2 写真地質学的判読	11
1-3 変質帯抽出	21
1-4 考察	23

第2章 既存データ解析	57
2-1 解析の目的	57
2-2 地質	57
2-3 鉱床	60
2-4 考察	79
第3章 総合解析	81

第 III 部 結 論 及 び 提 言

第1章 結論	85
第2章 第2年次調査への提言	86
参考文献及び収集データ	87

【挿入図目次】

- 第1図 調査地域位置図
- 第2図 地質概略図
- 第3図 衛星画像解析範囲図
- 第4-1図 JERS-1/SAR 画像(図面 26-q)
- 第4-2図 LANDSAT/TM 画像(図面 26-q)
- 第4-3図 地質単元判読図及び変質帯抽出図 (図面 26-q)
- 第4-4図 リニアメント判読図(図面 26-q)
- 第5-1図 JERS-1/SAR 画像(図面 27-q)
- 第5-2図 LANDSAT/TM 画像(図面 27-q)
- 第5-3図 地質単元判読図及び変質帯抽出図 (図面 27-q)
- 第5-4図 リニアメント判読図(図面 27-q)
- 第6-1図 JERS-1/SAR 画像(図面 27-r)
- 第6-2図 LANDSAT/TM 画像(図面 27-r)
- 第6-3図 地質単元判読図及び変質帯抽出図 (図面 27-r)
- 第6-4図 リニアメント判読図(図面 27-r)
- 第7-1図 JERS-1/SAR 画像(図面 27-s)
- 第7-2図 LANDSAT/TM 画像(図面 27-s)
- 第7-3図 地質単元判読図及び変質帯抽出図 (図面 27-s)
- 第7-4図 リニアメント判読図(図面 27-s)
- 第8図 総合ポテンシャル評価図

【挿入表目次】

- 第1表 事前協定・折衝調査団
- 第2表 現地調査団
- 第3表 調査期間
- 第4表 調査数量
- 第5表 調査地域内の気温及び降水量
- 第6表 衛星画像使用データ
- 第7表 JERS-1/SAR 画像判読地質単元総括表
- 第8表 鉱床、鉱微地一覧表
- 第9表 鉱種別、型別の鉱微地数一覧表

【別添図目次】

- P.L. 1 図面別地質単元判読及び変質帯抽出図 (1/200,000)
- P.L. 2 図面別リニアメント判読図 (1/200,000)

第 I 部 序 論

第 1 章 調査概要

1-1 調査の経緯及び目的

ペルー共和国は、世界でも有数の地下資源の豊富な国である。国土はおよそ 1,285,000km² の広さを有し、太平洋側から東に向かって地形、地質区分、金属鉱床区はおおむね平行な帯状分布を示す。これらのうち金属鉱床区は、太平洋岸から 1) 南部海岸山脈鉄鉱床帯、2) 太平洋岸山麓銅鉄床帯、3) 高原地域多金属鉄床帯、4) 東アンデス多金属鉄床帯とその東部のセルバといわれるアマゾン川上流の鉄床区分帯の詳細が明らかにされていない地帯からなる帯状分布を示す。

本調査はペルー政府の要請を受け同国東部の主として東アンデス多金属鉄床帯とアマゾン川上流の鉄床区分帯の詳細が明らかにされていない地域において、衛星画像解析及び既存データ解析を実施し、得られた結果を総合的に解析し、短期的かつ効果的に広大な範囲から鉄床賦存有望地区を抽出することを目的とする。

また、調査期間を通してカウンターパートである INGEMMET (インヘメト：ペルー共和国エネルギー鉱山省地質鉱物冶金研究所； Instituto Geológico Minero y Metalúrgico) に対し調査・解析手法の技術移転を図ることを目的とする。

調査は 1995 年 12 月 14 日付けで調印された Scope of Work に基づき開始された。

1-2 第 1 年次調査の範囲及び作業の概要

国際協力事業団及び金属鉱業事業団と INGEMMET との間にて取り交わされた Scope of Work では調査対象範囲は 120,000km² となっている。本年度調査では衛星画像データの処理は調査対象範囲全体について実施し、既存データ解析と画像解析はこれらの内の南西部の山岳地帯を主とする 45,000km² (第 1 図) の範囲について実施した。

調査は以下の要領で行った。

衛星画像データ処理と画像解析及び判読作業は LANDSAT/TM データ及び JERS-1/SAR データと 100,000 分の 1 地形図 (一部は衛星画像モザイク) を入手後、主として日本国内において実施した。一方、既存データ解析はペルー国内において地質情報と鉱山、鉄微地の資料を入手した後に日本及びペルー国内リマ市において実施した。なお、現地調査期間中には INGEMMET において衛星データの処理技術の技術移転を行った。

衛星画像解析と既存データ解析を行うことによって、リニアメント解析図、変質帯抽出結果図、既知鉄微地一覧、総合ポテンシャル評価図等を成果物として作成した。

1-3 調査団の編成

調査団の編成は、事前協定・折衝調査団と現地調査団からなり、それぞれ第1表と第2表のとおりである。

第1表 事前協定・折衝調査団

日 本 側		ペルー共和国側	
(氏名)	(所属)	(氏名)	(所属)
大迫 次郎	金属鉱業事業団	Ing. Juan Mendoza	M. E. M.
高橋 健一	国際協力事業団	Ing. Hugo Rivera	INGEMMET
五十嵐吉昭	金属鉱業事業団	Ing. José León	INGEMMET
水沢 誠一	金属鉱業事業団	Ing. Oscar Palacios	INGEMMET
		Ing. Francisco Herrera	INGEMMET
		Ing. Manuel Paz	INGEMMET

M. E. M.: エネルギー・鉱山省

第2表 現地調査団

日 本 側			ペルー共和国側		
(氏名)	(役割)	(所属)	(氏名)	(役割)	(所属)
山田 毅	(団長)	MINDECO	Ing. Marco Lara	(地質)	INGEMMET
濱 博也	(地質)	MINDECO	Ing. Washington Larico	(地質)	INGEMMET
柴田 精久	(地質)	MINDECO	Ing. Jorge Chira	(地質)	INGEMMET
渡辺 英久	(画像解析)	MINDECO	Ing. Victor Llipo	(地質)	INGEMMET
			Ing. Raul Asto	(システム)	INGEMMET

MINDECO: 三井金属資源開発株式会社

1-4 調査期間及び調査量

調査期間は第3表のとおりである。

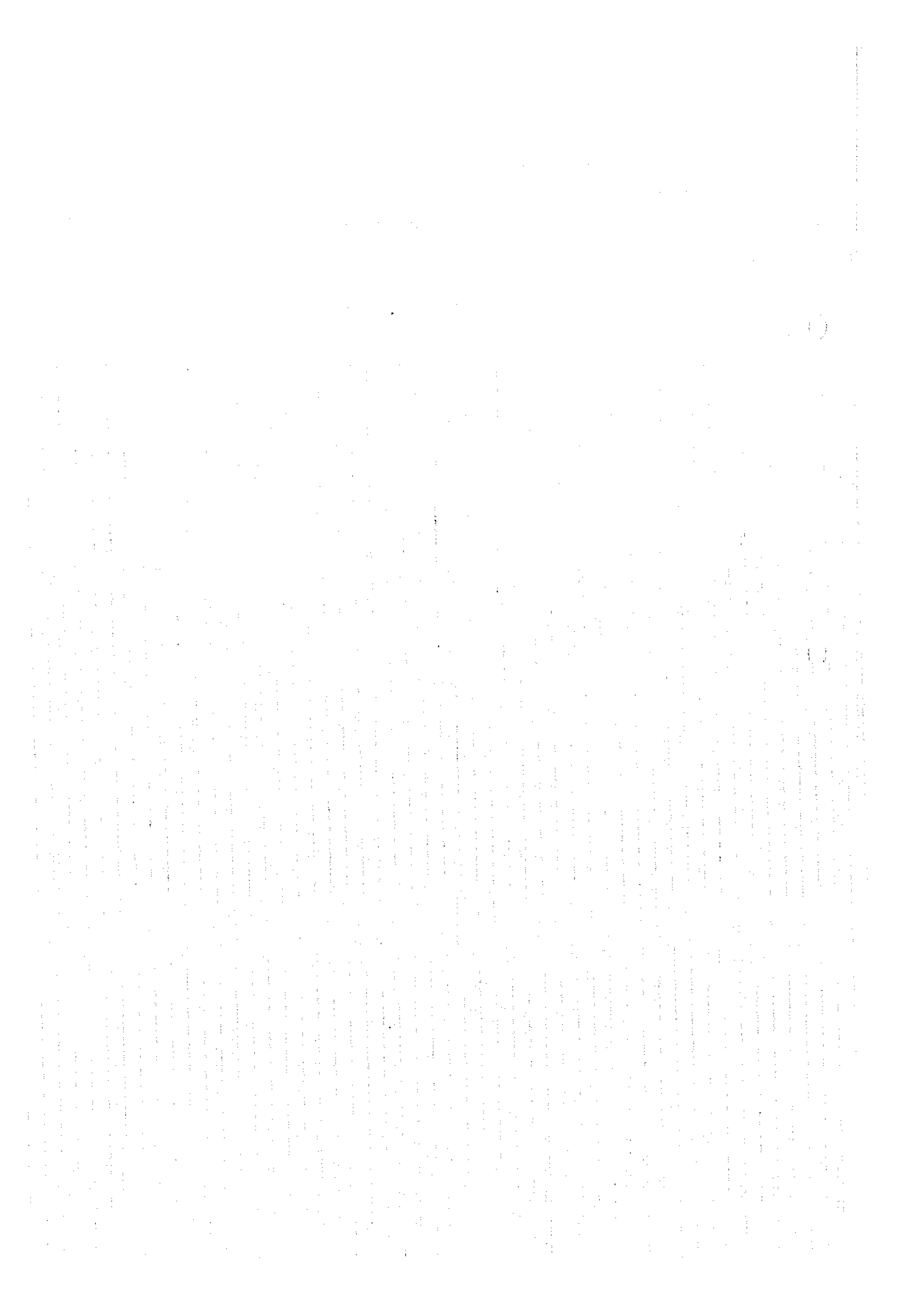
第3表 調査期間

	1995年			1996年				
	12月			1月		2月		
調査準備及び 衛星画像解析				20				
移動(出国)				21	22			
表敬・調査打合				23	24			
既存データ収集 及び解析				25		13		
既存データ収集 (衛星画像関係)				24	3			
調査結果報告					4		14	
移動(帰国)					5	7	15	17
解析・報告書作成 ・納品						8	16	29

調査数量は第4表のとおりである。

第4表 調査数量

調査内容及び調査地区	調査数量
衛星画像解析	調査面積 45,000km ² (但し、画像処理は 120,000km ²)
既存データ解析	調査面積 120,000km ² 調査日数 20日 (1名のみ10日) 調査人員 4人



第2章 調査地域の地理

2-1 位置及び交通

調査対象地域は、東西は首都 Lima(リマ)市の東方約 400km (西経 73 度 30 分) からブラジル国境 (西経 68 度 40 分) までの約 750km, 南北は Cusco(クスコ)周辺 (南緯 13 度 30 分) から北方に約 300km (南緯 11 度) にわたるうちの 120,000k m²である (第1図)。

調査地域内に含まれる主要行政区分と主要都市は Cusco 県と Madre de Dios(マドレ・デ・ディオス) 県であり, それぞれ Cusco(調査地域南縁に接する), Quillabamba(キリャバンバ)と Puerto Maldonado(プエルト・マルドナド), Madre de Dios, Manú(マヌ)等がある。

調査地域に至る交通手段は Lima 市から Cusco または Puerto Maldonado には定期航空路が開設されている。Lima と Cusco 間は約 1 時間, Cusco と Puerto Maldonado 間は約 30 分を要する。

地域内の移動は 4 輪駆動車か小型飛行機またはヘリコプターの借り上げとなる。Cusco と Quillabamba 間は鉄道で 7~8 時間, 4 輪駆動車で約 10 時間を要する。その他の町への移動は陸路は危険も多く, 日数を要することから空路となる。

2-2 地形及び水系

調査地域の地形区分は概略すると西から Cordillera Oriental(コルディエラ・オリエンタル…東部山脈)といわれるアンデス山脈東縁部の山岳地帯から, 東はセルバ地帯として総称されるうちの, Llanura de Madre de Dios(ジャヌラ・デ・マドレ・デ・ディオス)といわれるアマゾン川上流の Río Madre de Dios の低地帯までが含まれる。

山岳地帯の調査地域南西部には標高が海拔 6,271m の Nevado Salcantay(ネバド・サルカントイ)を有する, 地形の急峻な Cordillera Vilcabamba(ビルカバンバ)と Cordillera Urubamba(ウрубアンバ)が Río Urubamba をはさんで北西~南東方向に併走している。この山岳地形は北東ないし西方に進むにつれ高度を下げ, Río Madre de Dios 流域では海拔 500m~300m 程度に下がり, アマゾン河上流の低地となる。

水系は, 調査地域南西部の山岳地帯では山脈の連続方向に平行な北西~南東方向の川が卓越する。Río Madre de Dios 流域は全体的には北西~南東方向の川が卓越するが, 河川の蛇行が顕著に認められる。

2-3 気候及び植生

気候は山岳地帯の Cordillera Oriental とセルバ地帯共に雨期と乾期の区別があり, 5 月から 9 月頃が乾期, 12 月から 3 月頃までが雨期となる。気温は山岳地帯の海拔 4,000m

を越える高地では乾期に氷点下になるが、晴れた日の日中は概して暖かい。セルバ地帯では日中の寒暖差はあるが湿度が高く概して暑い。

山岳地帯を代表する Cusco とセルバ地帯を代表する Puerto Maldonado の気温及び降水量を第5表に示す。

第5表 調査地域内の気温及び降水量

(Temperatura)											(°C)	
	Enc.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Cusco	13.6	13.9	13.1	11.4	10.6	10.3	11.1	13.1	14.2	14.5	14.2	12.8
Puerto Maldonado	26.9	26.7	26.3	26.3	25.6	24.4	24.2	26.3	27.3	27.3	27.6	26.7

(Precipitacion)											(mm)	
	Enc.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Cusco	163	150	109	51	15	5	5	10	25	66	76	137
Puerto Maldonado	259	257	274	134	119	63	55	43	90	146	157	301

植生は山岳地帯とセルバ地帯ではその様相を全く異にする。

山岳地帯の海拔 5,000m 以上はほぼ氷河を有し、植生はこけ類を除いて認められない。海拔約 5,000m~3,000m 間は変化に富み、海拔 4,000m 以下の谷や河川の流域ではユウカリや落葉樹の巨木が生え耕地も存在するが、水の供給の乏しい山地では、背丈の低い草本類が疎らに生えている。以下高度が下がるに従って植生は密となり、セルバ地帯では熱帯雨林のジャングルとなる。

第3章 調査地域の既存地質情報

3-1 既存調査の概要

調査地域の地質及び鉱山調査は地形上の制約から、山岳地帯とセルバ地帯では調査経緯が異なる。

山岳地帯は、古くはインカ文明より以前から貴金属、銅等の採掘が行われていた。その後、植民地時代には貴金属を求めて鉱山の探査が組織的ではないが活発に行われ、多量の金、銀が産出された。しかしながら、本調査対象地域は山容が急峻であり、山腹には密な植生があることから、総合的な地質調査は La Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (資源評価庁、略称 ONERN(オネルン)、現在 INRENA (天然資源庁)) による調査地域東部地帯及び西部の Río Urubamba 沿いの天然資源調査、調査地域南部及び南東延長部の分水嶺域に分布する含金鉱床帯及び南西部の山岳地帯で、フランスとの協力調査が実施されたのみで調査地域内での組織的な調査は進展していない。局地的な調査は INGEMMET, Banco Minero del Perú (バンコ・ミノ・デル・ペルー(ペルー鉱業銀行)), Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (クスコ大学)、民間鉱山会社等により実施されている。これらの結果を総合したものととして 100 万分の 1 の地質図が INGEMMET (1973) によって編纂されている。

セルバ地帯は交通の不便さから情報も少ない。地質及び鉱産物の調査は 1950 年代からの石油の調査 (航空写真判読、衛星画像判読及びグランドツルースを主とする石油会社の調査) から始まり、Petroleos del Perú (ペトロロス・デル・ペルー……以下 Petroperú (ペトオペルー) という)、ONERN 等が関与した。漂砂金鉱床を対象とした調査は民間鉱山会社によって進められていたが、零細砂金採掘者の保護、資源の有効活用を目的とした、大統領令 D. S. No. 010-74-EM/DGM に基づき、Banco Minero del Perú による総合評価が実施され、砂鉱床の賦存状況及び本地域における産金量とが解明された。調査地域の地質図としては SIAR 図及び INGEMMET の編纂による 10 万分 1 の地質図及び International Petroleum Company Ltd. (1967) による 10 万分の 1 の地質図がある。後者の範囲は調査地域の約 4 分の 3 をカバーする。

3-2 地質概要

INGEMMET (1995) のペルーの地質 (第 2 図) によれば、調査地域内の山岳地帯を構成する地質は、プレカンブリア紀の変成岩を基盤とし、オルドビス紀の Formación Contaya (コンタヤ層) ~ シルル紀とデボン紀下部の Formación Ananca (アナカ層) の堆積岩、中生代三畳紀の Grupo Pucará (プカラ層群) の石灰岩、白亜紀下部の Grupo Goyllarisquizga (ゴイリスキザ層群) の砂岩、珪岩、粘板岩及び Grupo Oriente (オリエンテ層群) の火山性砕屑岩類等とデボン紀

に対比される Plutones Eohercínicos (ヘルクニアン前期) 花崗岩類, 二疊紀～三疊紀の活動と考えられる Plutones Tardihercínicos (ヘルクニアン後期) 深成岩類の花崗岩, 花崗閃緑岩, 中新世の活動とされる花崗岩類及びこれらを覆う氷河堆積物よりなる。

セルバ地帯を構成する地質単元は, Río Madre de Dios の支流 Río de las Piedras (リオ・デ・ラス・ピエドラス) の北東流域からブラジル国境にかけて古第三紀の Grupo Huayabamba (ウヤバムバ層群) の堆積岩類が分布する他は, Río Madre de Dios 及び Río Urubamba 流域の第四紀の Formación Madre de Dios の河岸堆積物を除けば, 新第三紀の Formación Ipururo (イプーロ層) の堆積岩類からなる。

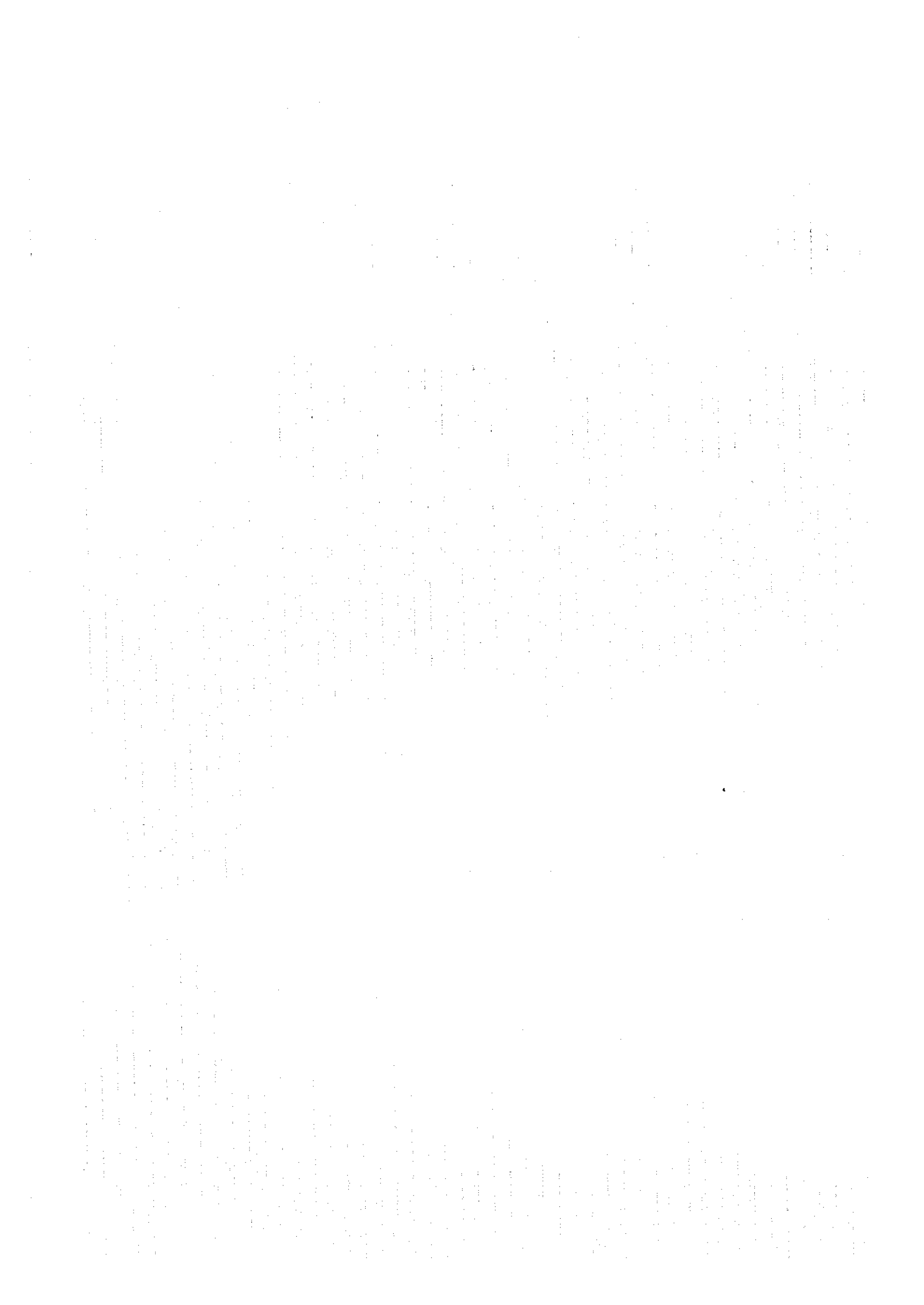
3-3 既知鉱床概要

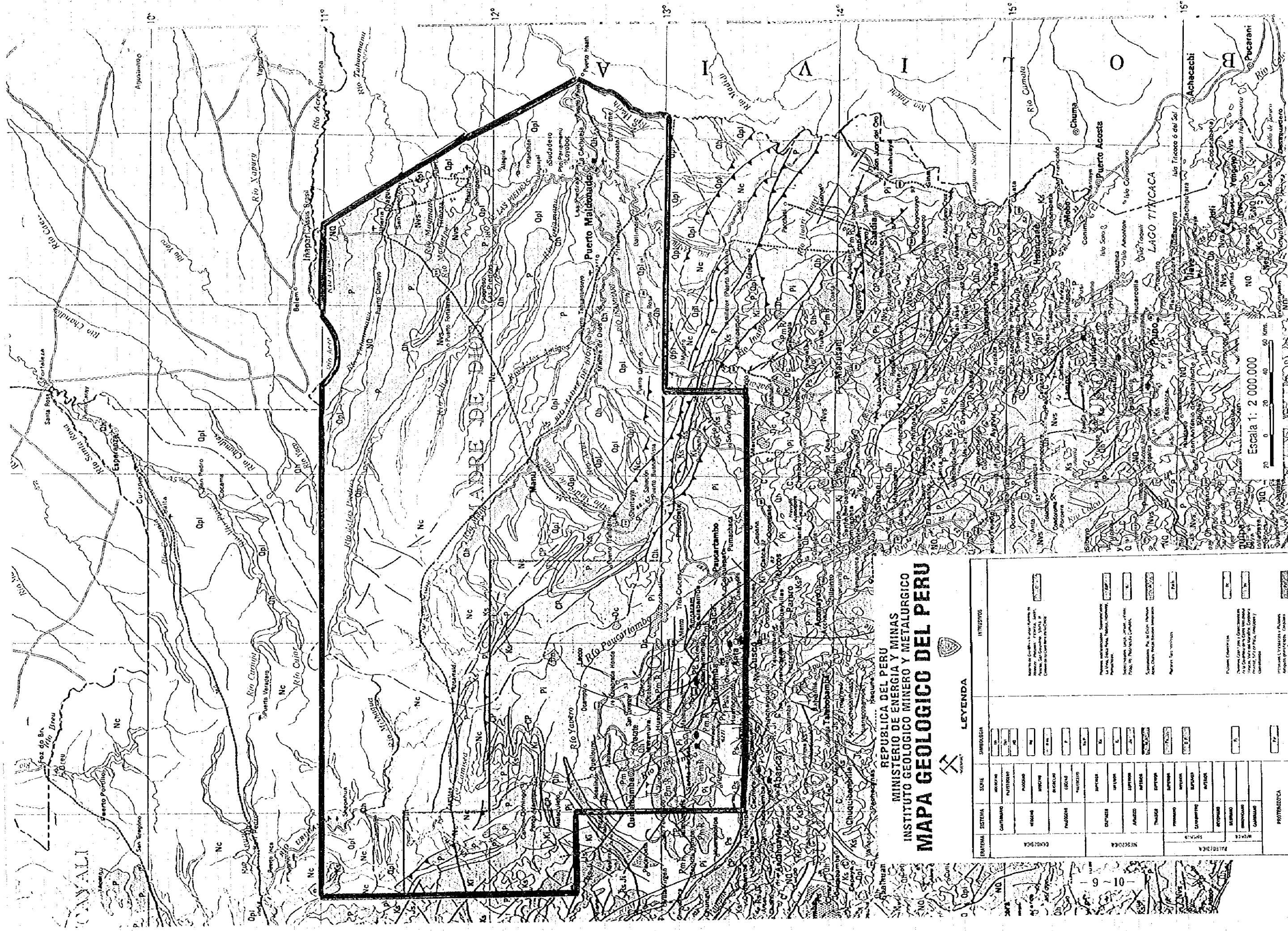
ペルー共和国の地質鉱床区分では, Cordillera Oriental は東アンデス鉱床帯に属し, 古生代から新生代までの地質単元が分布し, 金, 銀を含む銅, 鉛, 亜鉛等の金属鉱床鉱微地及び錫, タングステン, ニッケル, コバルト等のレアメタルの鉱微地が知られている。セルバ地帯は地質鉱床区分では明確に区分されていないがブラジル盾状地の西縁に発達した, 第三紀及び第四紀の堆積岩類が広く分布し, 石油, 天然ガスの示徴や金, レアメタル等の漂砂鉱床が知られている。

山岳地帯の鉱床は一般に小規模ないし中規模の裂隙充填型の鉱床, 鉱微地が知られている。交代鉱床型, 鉱染型, 赤色層型の銅鉱床が存在している場合も見られる。この鉱床区の北部には, 金の濃集を伴った漂砂鉱床の存在が知られている。山岳地帯は金, 銅及び鉛, 亜鉛の新規の鉱床を開発するについて有望な可能性を有している。また, Cordillera Vilcabamba 中には超塩基性岩の存在が指摘され, レンズ状のニッケル, コバルト, 白金の鉱微があると報告されており (INGEMMET, 1969), これらの経済性のある鉱床を発見する可能性もあるとされていたが, 現在では超塩基性岩は本地域には分布しないとされ, これらのレアメタルの鉱微は熱水性鉱化作用に由来するものと解されている。

現時点では当地帯では生産を行っている鉱山の報告はない。

セルバ地帯の鉱床は石油, ガス及び砂金鉱床である。石油, ガスについては, Petroperú 及び石油会社によって 1950 年代から 1970 年代にかけて調査が実施されていたが, 現在は調査活動が下火になっている。調査地域の西部には Camisea (カミセア) ガス田がシェル石油により発見され (1983 年 3 月) ているが, 未だ開発には至っていない。一方, 砂金鉱床については Río Madre de Dios 及びその支流において, 第三紀, 第四紀の河床堆積物中の漂砂鉱床を対象に 1,431 箇所で採掘が行われている。





REPUBLICA DEL PERU
 MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
MAPA GEOLOGICO DEL PERU



LEYENDA

SISTEMA	SUBSISTEMA	SERIE	SYMBOLICIDAD	INTRUSIVOS
ECONOMICA	DISTRIBUCION	AGRICULTURA	[Symbol]	Intrusivos: Granito, Diorita, Gabbro, Basalto, Andesita, Tefrito, Sienita, etc. (Ver el Cuadro de Símbolos de Intrusivos)
		INDUSTRIA	[Symbol]	
		MINAS	[Symbol]	
		PUERTO	[Symbol]	
MESOGENICA	DISTRIBUCION	CUARZO	[Symbol]	Mesozoica: Granito, Diorita, Gabbro, Basalto, Andesita, Tefrito, Sienita, etc. (Ver el Cuadro de Símbolos de Mesozoica)
		ANDESITA	[Symbol]	
		DIORITA	[Symbol]	
		CUARZO	[Symbol]	
PALEOGENICA	DISTRIBUCION	CUARZO	[Symbol]	Paleozoica: Granito, Diorita, Gabbro, Basalto, Andesita, Tefrito, Sienita, etc. (Ver el Cuadro de Símbolos de Paleozoica)
		ANDESITA	[Symbol]	
		DIORITA	[Symbol]	
		CUARZO	[Symbol]	
PROTODIGENICA	DISTRIBUCION	CUARZO	[Symbol]	Protodigénica: Granito, Diorita, Gabbro, Basalto, Andesita, Tefrito, Sienita, etc. (Ver el Cuadro de Símbolos de Protodigénica)
		ANDESITA	[Symbol]	
		DIORITA	[Symbol]	
		CUARZO	[Symbol]	

第2图 地质概略图



第 II 部 各 論

第1章 衛星画像解析

1-1 解析の目的

衛星画像の写真地質学的判読作業を行い、調査地域の広域的な地質構造を把握するとともに、スペクトル解析による変質帯の抽出を行い、地域内西部山岳地帯の広域的なポテンシャル評価のための基本図を作成する。作成する図画は、緯度・経度とも30'の幅を1図画とする Instituto Geográfico Nacional (ベル国土地理院……以下IGNという)の10万分の1地形図区画の24-p, 25-p~s, 26-q~s, 27-q~uの13図画とした。

1-2 写真地質学的判読

1-2-1 使用データ

解析に使用したデータは第3図と第6表に示した JERS-1/SAR データのうち●印を記したものである。

1-2-2 画像処理

(1) ノイズ低減処理：地質構造の判読作業を容易にするために、SAR データに含まれるスペクトルノイズを低減すると同時に、エッジを強調できる選択平均化メディアンフィルター処理を16ビットの生データに施す。

(2) 8ビット再量子化：画像出力を行うために(1)の処理後、そのヒストグラムを基に16ビットデータを8ビットに再量子化する。

(3) デジタル・モザイク画像の作成：各画像データのヘッダーに記録されている、画像四隅の緯度・経度を参照して、対象地域の全域をカバーするように(2)の画像をUTM座標系でデジタル的につなぎ合わせたモザイク画像を作成する。

(4) 画像出力：各図画毎に縮尺20万分の1のモノクロペーパープリントとして画像を出力する。

1-2-3 判読結果

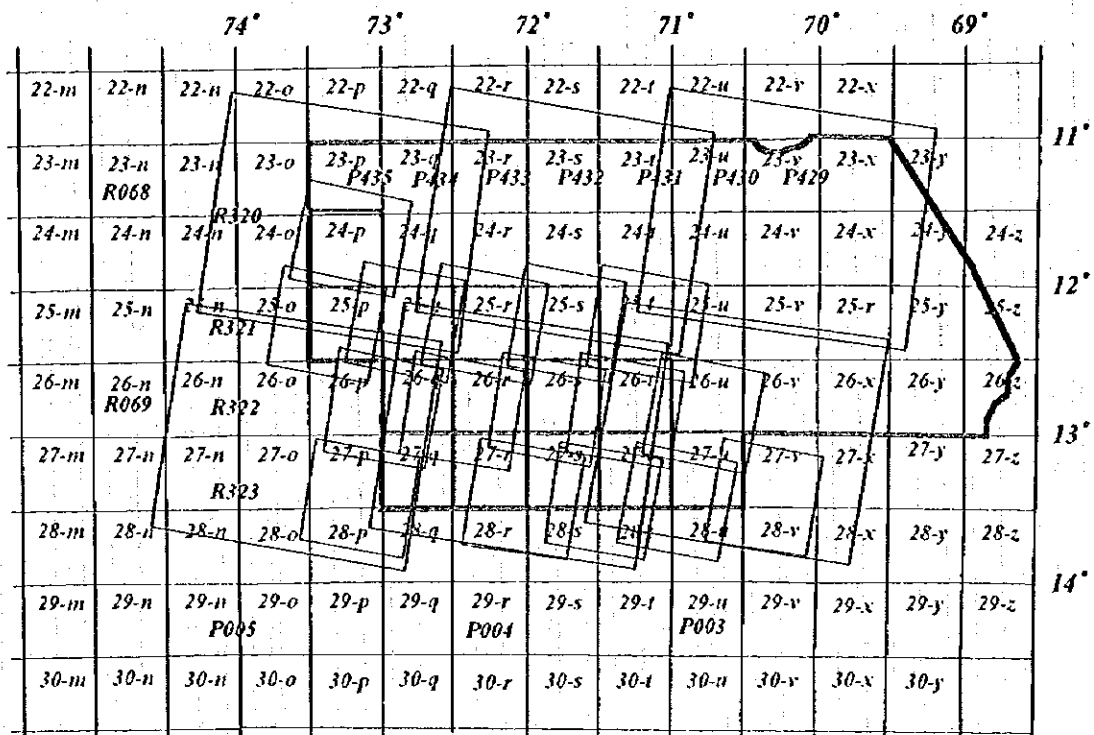
判読作業は、既存の100万分の1地質図(INGEMMET, 1975)を参考として実施した。地質単元の区分は、既存地質図の単元区分を参考として画像から判読される地質情報を可能な限り記入した。各単元の記号は、既存地質図の時代区分記号を参考とし、その中で判読により細分された単元に下位から通し番号(上下関係が不明な場合はアルファベット)を付した。既存地形図を参考として主要道路及び主要都市の位置を記入した。

判読図中の地質単元と既存地質図の地質単元の対比を第7表に示す。

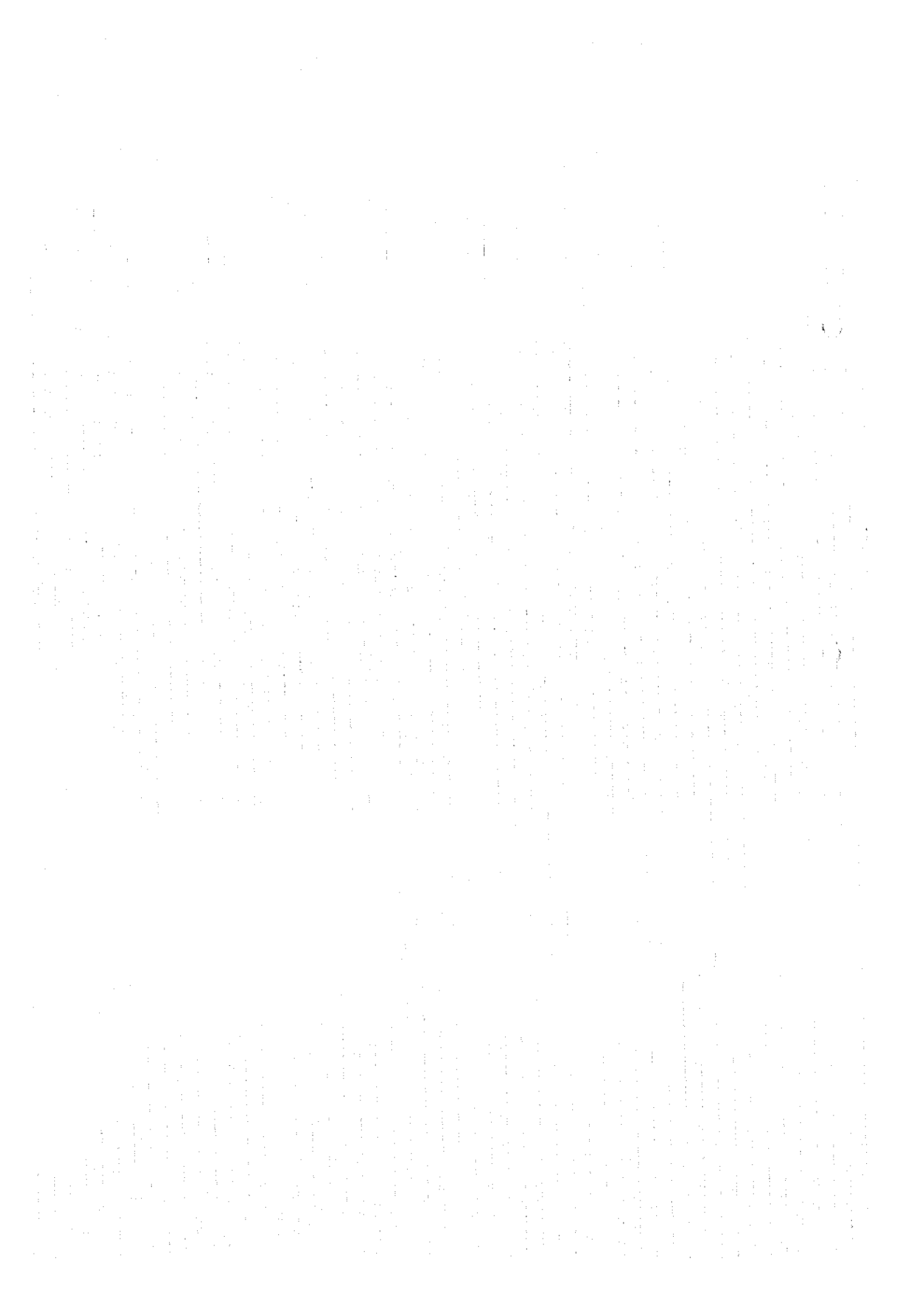
第6表 衛星画像使用データ

Sensor		Path	Row	Observed date	
JERS-1/SAR		427	320	1995-05-22	
		427	321	1995-05-22	
		427	322	1995-05-22	
		428	319	1994-07-06	
		428	320	1994-07-06	
		428	321	1994-07-06	
		428	322	1994-07-06	
		429	319	1995-05-24	
		429	320	1995-05-24	
		429	321	1995-05-24	
		429	322	1995-05-24	
		●	429	323	1995-05-24
			430	319	1992-10-30
			430	320	1992-10-30
		●	430	321	1992-10-30
		●	430	322	1992-10-30
		●	430	323	1992-08-03
			431	319	1992-10-30
			431	320	1992-10-30
		●	431	321	1992-10-30
		●	431	322	1992-10-30
		●	431	323	1994-04-12
			432	319	1992-11-01
		●	432	320	1992-11-01
		●	432	321	1992-11-01
		●	432	322	1992-11-01
		●	432	323	1993-10-19
			433	319	1993-03-14
		●	433	320	1992-11-02
		●	433	321	1992-11-02
		●	433	322	1992-11-02
		●	433	323	1993-03-14
			434	319	1992-11-03
		●	434	320	1992-11-03
	●	434	321	1992-11-03	
	●	434	322	1992-11-03	
		434	323		
	●	435	319	1992-11-04	
	●	435	320	1994-08-26	
		435	321	1994-08-26	
		436	319		
		436	320		
LANDSAT/TM		002	068	1991-07-27	
		002	069	1991-07-27	
		003	068	1991-10-14	
		003	069	1991-10-14	
	★	004	068	1990-09-16	
	★	004	069	1990-09-16	
	★	005	068	1986-07-26	
★	005	069	1986-07-26		

●, ★ 平成7年度使用データ



第3图 卫星画像解析范围图



第7表 JERS-1/SAR両像判読地質単元総括表

No.	判読単元	既往地質図単元	岩相	No.	判読単元	既往地質図単元	岩相
1	Q3	Q-c	沖積層・段丘面	20	J	Jms-c	ジュラ系陸成層
2	Q2			21	TRJ	TRJim	三畳系～ジュラ系 Pucará層群
3	Q1	Qp1-c	第四系堆積層	22	P2	Pms-c	二畳系Mitu層群
4	T3			23	P1	Pms-c	
5	T2	Ts-c	第三系堆積層	24	CP-i	CP-i	石炭系～二畳系 海成層群
6	T1			25	CP	CP	石炭系～二畳系 未区分変成岩
7	Ta	Tms-vs	第三系 Tacaza火山岩類	26	SD1	SD	デボン系
8	Tb	Tim-c	第三系陸成層	27	SD2		Cavanillas層群
9	KT-i	KT-i	白亜系貫入岩	28	O	O	オルドビス系海成層
10	KT3			29	LPi		
11	KT2	KTi-c	白亜系～古第三 系陸成層	30	LPi		
12	KT1			31	LPg		
13	Kb	Kms-c	白亜系陸成層	32	LPf		
14	Ka	Kms	白亜系Yuncaypata, Ferrobamba層	33	LPe		
15	K2	K	白亜系未区分地層	34	LPd		
16	K1			35	LPc		
17	JK	JsKi	白亜系～ジュラ系 海成層	36	LPb		
18	JK-ia	Jk-i	白亜系～ジュラ系 貫入岩	37	LPa		
19	JK-ib						

以下に各地質単元の特徴を述べる。

- (1) 単元Q3： 河川沿いに見られる平坦地，沖積層。
- (2) 単元Q2： 沖積層～洪積層。Q3と特定できないものをQ2と分類した。必ずしも単元Q3に接して現れない。河岸段丘面を示す場合も見られる。
- (3) 単元Q1： 浸食抵抗は中程度で，水系密度も中くらいである。
- (4) 単元T3： 第三紀層の最上位層。台地の平坦面及び緩斜面を形成する。浸食に対する抵抗性があることから，砂礫層を主体とする地層と推定される。
- (5) 単元T2： 単元T3と単元T1に挟在する。層厚は上下の第三紀層よりも薄く分布域も狭い。水系パターンは細かい杉の葉状を呈し密度が高い。地形起伏の比高は小さい。砂質～泥質の地層を主体とするものと推定される。
- (6) 単元T1： 第三紀層の下位層。水系パターンは羽毛状で密度が高い。地形は細かく起伏している。層厚は厚く層理が発達している。主として細粒の泥質岩から成るものと推定される。
- (7) 単元Ta： 第三系上部火山岩類。調査範囲の南にわずかに分布する。表面組織は滑らかで，水系は樹枝状ないし斜面に平行で密度は高い。
- (8) 単元Tb： 第三系下部陸成層で，調査地域の南にわずかに分布する。表面組織の滑らかさは低～中程度であり，水系は羽毛状で斜面に平行で密度は高い。
- (9) 単元KT-i： 26-q図画において見られるローカルな地質単元。基盤L Pa中に孤立して分布している。L Paと同様に全体の地形起伏は大きい，表面組織はL Paより滑らかである。水系は樹枝状ないし斜面に平行で密度は高い。平行状に走る谷は浅く互いに近接して細かい擦り傷模様を呈している。
- (10) 単元KT3： 白亜系から古第三系の陸成層で，水系パターンはほとんど識別できない位に細かい。地表面組織は滑らかから中程度である。泥質岩を主とし，砂岩・礫岩層を挟在する互層と推定される。
- (11) 単元KT2： 山麓部低地において帯状に分布している場合が多い。水系パターンはほとんど識別できない位に細かい。地表面は粗く凸凹しているが，全体として起伏の少ない平坦地を形成している。層厚は厚く，層理が発達している。泥質岩を主とし，砂岩・礫岩層を挟在する互層と推定される。
- (12) 単元KT1： 単元KT2下部に分布し，細かい羽毛状水系パターンで単元KT2と容易に区別できる。表面組織は粗い。
- (13) 単元Kb： 調査地域の南に小さい範囲で分布する。表面組織と水系密度は中程度である。水系は樹枝状ないし斜面に平行で，密度は高い。
- (14) 単元Ka： 調査地域の南にわずかな範囲で分布する。浸食抵抗が低く，水系パターンは画像上では判読できない。盆地を形成し，中央部分に池を造る。層理面は認められない。
- (15) 単元K2： 単元KT-iと同じく図画26-qにおいて見られるローカルな地質単元。水系パターンは細かい樹枝状で密度は高い。表面組織は単元KT-iとよく似ているが，地形起伏はより穏やかである。
- (16) 単元K1： 山麓部において斜面下部を採取するように帯状に分布している。斜面方向に

傾斜しflatiron(フライトン)状の地層面が明瞭に見える。画像上では水系パターンはほとんど識別できない。地表面は滑らかである。層厚は単元K T-iよりは薄いと思われる。砂質岩を主とするものと推定される。

- (17) 単元J K: 図面27-sの南部にわずかに分布する。水系パターンは樹枝状で密度は高い。北東部の単元P1と断層で接し、南西部の単元Kaと不明瞭に接触している。
- (18) 単元J K-ia: 基盤L Paの中に孤立して分布している。L Paと同様に全体の地形起伏は大きい。表面組織はL Paより滑らかである。水系は樹枝状で、密度は中程度である。平行状に走る谷は浅く、互いに近接して細かい擦り傷模様を呈している。表面組織は中程度から粗い。
- (19) 単元J K-ib: 単元J K-iaと同じ基盤L Paの中に孤立して分布している。水系パターンは画像の上でほとんど識別できないことから単元J K-iaと区別される。
- (20) 単元J: 地域北部において、単元C Pを縁取るように帯状に分布する。層理は明瞭でflatiron状の傾斜層が認められる所もある。層厚は厚い。地層面の表面組織は滑らかであるが断面部斜面では粗い。水系は地層面上では少なく、斜面方向に平行なパターンを呈するが、その他の場所では走向方向に平行なパターンを示し、密度は高い。砂質岩を主体とするものと推定される。
- (21) 単元T R J: 図面27-qで狭い範囲に分布する。表面組織は中程度から粗い。水系パターンは樹枝状で、密度は中程度である。西側で単元P2と断層で接する。画像上での分布が非常に小さいため周囲の地層との関係は不明である。
- (22) 単元P2: 単元P1の南西部に単元Kaと接触して分布する。層理はやや不明瞭で全体として塊状ではあるが、層理構造を反映していると思われる平行状の水系が顕著である。
- (23) 単元P1: 判読範囲の南部の大半を占めてNW-SE方向に伸長して広く分布する。層理は不明瞭で塊状である。水系パターンは樹枝状で、密度は高い。長く連続する尾根筋を形成することが特徴で、それに平行する谷も深く長い。礫岩及び砂岩からなると推定される。
- (24) 単元C P-i: 図面27-qの南西部にわずかに分布する。周辺に分布する単元L Paとほとんど同じ粗い表面組織を示し、水系は杉の葉状パターンを呈し、水系密度は中程度である。北側の単元P2と不明瞭な境界で接触している。
- (25) 単元C P: 単元Jの下位に分布する地質単元。層理は分布域の西部では明瞭であるが、東部では不明瞭となり分布域が狭がるとともに塊状を呈する。樹枝状の水系パターンを示す場合が多いが、西部地域では走向方向に平行なパターンを示している。
- (26) 単元S D1: 調査範囲の南側にNW-SE系構造で、単元L Pbの南西部にみられる。周辺の地層よりやや明るいトーンで、水系パターンほとんど識別できないほど細かく、水系密度は中程度から高い。
- (27) 単元S D2: 単元S D1より粗い表面組織を呈し、水系パターンは周辺の大部分に分布する単元L PaおよびL Pbと近い。図面27-rで単元P1の間に挟まれて分布する。
- (28) 単元O: 図面27-qで図面の南西部にわずかに分布する。周辺に見える単元L Paとほとんど同様の粗い表面組織を呈し、水系は杉の葉状パターンを呈し密度は中程度である。単元L Paと東側で断層で接し、北側の境界は不明瞭である。南側の単元P2とは不明瞭な

境界で接している。

- (29) 単元L P i: 表面組織は滑らかで塊状である。層理らしき連続線が見られるが不明瞭である。水系パターンは樹枝状であるが密度は低い。
- (30) 単元L P h: 全体として塊状ではあるが、層理構造を反映していると思われる平行状の水系が顕著である。
- (31) 単元L P g: 水系パターンが細かな樹枝状及び平行状を示す。平行状の水系は斜面方向のものに加えENE-WSW方向のものが卓越しており層理面の存在が推定される。
- (32) 単元L P f: L P bの西側に隣接して分布する。地形起伏の比高がより小さくなり、表面組織はやや滑らかである。樹枝状の水系パターンを呈する。
- (33) 単元L P e: L P dの東～北側に接する。表面組織が比較的滑らかで、水系密度が他のL P単元と比べ目立って低い。水系は樹枝状～平行状パターンを呈する。層理らしき線状模様が見られるところもあるが普遍的ではない。
- (34) 単元L P d: 水系パターンは樹枝状から変化し、平行状～直角状となり密度が高い。全体として塊状で層理構造は見られない。NW～SE方向に流れる主要河川に挟まれ、それと直交するNE～SW方向の支流が発達している。地形起伏は大きい。
- (35) 単元L P c: L P bとよく似た特徴を示すが、地形起伏がより大きくなり、周辺の単元L P dより暗いトーンを示す。斜面に沿って平行に流れる水系パターンが発達している。
- (36) 単元L P b: L P aとよく似た特徴を示すが、地形起伏はより小さい。斜面に沿って平行に流れる水系パターンが発達している。
- (37) 単元L P a: 判読範囲の南部の大半を占めて広く分布する。層理は不明瞭で塊状である。水系パターンは樹枝状で密度は高い。地形起伏の比高は大きい。長く連続する尾根筋を形成することが特徴的で、それに平行する谷も深く長い。

判読結果は第4-3図、第5-3図、第6-3図及び第7-3図に26-q, 27-q, 27-r及び27-s図面の地質単元判読図としてそれぞれ示す。また、第4-4図、第5-4図、第6-4図及び第7-4図に同図面のリニアメント判読図を示す。本年度解析を実施した全図面の地質単元判読図を別添図P L. 1-1～14に、リニアメント判読図を別添図P L. 2-1～14にそれぞれ示す。以下に各図面ごとの判読結果について述べる。

(1) 24-p

第三紀層及び中生層は、西部の単元Jに沿ったところでは緩やかな東傾斜を示すが、東部側では向斜、背斜構造を繰り返しながら地層面が急傾斜を示す。画像の北西隅から中央部にかけて、緩やかな向斜構造が見られるが、東南隅に存在する背斜構造により東西に分かれる形となっている。Rio Urubamba付近にはWNW-ESE方向の軸をもつ背斜構造が見られる。西部の古生層については、地層傾斜が緩やかなためか層理構造が不明瞭で地質構造を判読することは困難である。N-S, E-W系の断層によって切られ、大きなブロック単位に分かれている可能性がある。

(2) 25-p

NWN-SES方向からE-W～ENE-WSW方向に一般走向が大きく屈曲している。屈曲箇所付近にはENE-

WSW方向の断層が明瞭に見られる。画像右上に見られる断層より南側の地域では、第三系～中生界の地質構造も異なり、山麓部ではE-W方向に軸をもつ向斜構造、その北側の盆地内では背斜構造を呈している。古生界の構造は不明瞭であるが、単元L P_g, L P_hの分布状況から前述の大構造と調和的に褶曲しているものと考えられる。

(3) 25-q

図画中央部より北側の地域において、ENE-WSW方向に軸を持つ単元K₁, K₂, J, C Pの褶曲構造と、折り重なるような衝上断層状の断層構造が見られる。断層の走向は、地層の走向とほぼ同じE-W～ENE-WSW方向である。第三紀層～上部中生層も上記褶曲構造と同様のトレンドで褶曲している。Rio Urubambaの蛇行形態は、この地層走向の影響を強く受けている。

(4) 25-r

図画の南半分は単元L P_bで占められている。北半分には、単元L P_cの分布域中に西側から伸びてきたJ及びC Pの各単元がやや分断された形で分布している。この分布形態は、断層によって生じた可能性が高い。層理構造が不明瞭であるが、全体のトレンドはE-W～WNW-ESEであると見られる。J及びC Pの周縁部で環状構造(水系)がみられるが、地層の褶曲構造に影響され水系が屈曲したものかもしれない。

(5) 25-s

図画中央部にNW-SE系の構造が顕著に認められた。同地区ではNW-SE系断層及び同方向のリニアメントが3本、NNW-SSW系断層及び同リニアメントが1本及び同方向に伸張する背斜構造が3つ認められる。NW-SE系構造帯の北東部には、画像の中央部から北東部に向かいK T₂, T₁, T₂が分布する。図画の北部及び東部に単元Q₃が水系に沿って分布する。NW-SE系構造の中で最も南西に位置する断層は、北東部及び南西部にある2つの背斜構造の中央を通過する。南西側から2番目の断層は、西南部にある二つの背斜構造の中央を通り、背斜構造を南部と北部に分割している。画像の南西部は、中程度のトーンと粗い表面の単元L P_dからなり、その上位に明るいトーンと中～粗い表面組織を呈す単元L P_eが分布する。いずれの単元も既存100万分の1地質図の単元Pa₁iに對比される。

(6) 26-q

単元L P_aが全域に広く分布する中で、単元K₂及びK T_iが島状に孤立して見られる。単元K₂は水系模様が細かく、杉の葉状を示すのに対し、K T_iは樹枝状を主体とし、周縁部の起伏が大きいなどの違いが明瞭である。K T_iは出現状況から判断して、貫入岩である可能性があるが、断定できる程の積極的な示徴は見られない。K₂は浸食に対する抵抗性が低いことから、堆積岩である可能性が高い。

(7) 26-r

単元L P_aがほぼ全域に広く分布し、北東部に単元L P_b及びL P_dが帯状に分布する。主要な

河川及び尾根筋はNW-SE方向に整列しており、全体の地質トレンドを反映していると思われる。河川の支流は本流及び斜面上に直角方向に平行状に流れるものが顕著である。

(8) 26-s

南西隅に単元LPb、北東隅に単元LPeが見られる他は、単元LPdがほぼ全域に分布している。LPb及びLPdは塊状で層構造は不明であるがLPeではNW-SE走向の層理が読み取れる。水系模様は、NW-SE方向及びそれと直交するNE-SW方向に並ぶ平行状～直角状のものが顕著である。画像の南東部には、LP単元（時代未詳古生層）の分布域には珍しく第四紀沖積層の発達した盆地が見られる。盆地周辺の山地では、NE-SW系のやや深い谷地形が平行して見られることから、この方向の断層が発達している可能性がある。

(9) 26-t

25-sと同じくNW-SE系の構造が顕著で、東部にNNW-SSE系の2つの背斜構造が抽出された。これらの内、東側の背斜構造は単元CPとK2から構成され、西側の背斜構造は単元CP、K2及びKT2から構成される。東の背斜構造から北東部へ向かい単元KT2、Ta、T1、T2及びQ3が分布する。図画の中央部分のT1中に羽毛状水系模様が認められ、T1よりも地形的に低いため、単元Taとして区分した。画像の南西部分にはLPd、LPeとQ3が分布する。

(10) 27-q

図画の南東部はSARデータが未入手である。画像の中央部東西にかけて白亜系の貫入岩KT-iが分布する。その北側と南側に古生層の単元PLaが分布する。画像の南部に古生層の単元O、P2、CP-iと中生層のTRJが分布する。しかし、これらの単元の境界は不明瞭である。WNW-ESE系の明瞭な断層及びリニアメント及びN-S系のやや不明瞭なリニアメントが認められる。

(11) 27-r

図画の南西部はSARデータが未入手である。中央部を通りWNW-ESE系の構造及びリニアメントが明瞭に認められる。同構造の北部に古生代の単元LPa、SD2、P1、が分布し、北東部には単元LPaとSD2との間に、白亜系の貫入岩KT-iがブロック状に分布する。同構造の中央南部には古生代のP2、東部に白亜紀のKaがブロック状に分布するが、両者の関係は不明である。画像の南部及び南東部に、狭い範囲で白亜系のKb、第三紀のTa及びTbが分布する。

(12) 27-s

図画のほぼ全域を古生代の単元LPa、LPb、LPc、LPd、SD1、SD2、P1、P2が占めている。いずれの単元もNW-SE方向に伸長したブロックに分けられる。リニアメントもNW-SE系が最も多く、次にNE-SW系が多い。単元LPa及びLPb中にNW-SE方向に伸長した細長い形状の盆地が分布する。図画の南西部に中生代の単元JK、Kaと第三紀の単元Taが区分される。古生層及び第三紀の構造は判読できない。

(13) 27-t

NW-SE系の構造帯が図面の北部に認められる。構造帯は単元K2, KT1, KT2, T1などで構成されている。単元KT2以外のものは細かい樹枝状水系パターン, 単元KT2は細かい羽毛状水系パターンを示す。図面の南東部にJK-iaとJK-ibが分布し, これらは100万分の1地質図の貫入岩JK-iに対比される。西側のJK-iaは中程度から暗いトーンが特徴的である。単元Q3は画像の北部に分布する。

(14) 27-u

NW-SE系の構造が図面の北部に認められる。同構造は単元K2, KT1, KT2, T1などから構成される。単元T1以外で水系は樹枝状のパターンを示し, 単元T1では平行状パターンを示す。単元K2, KT1, KT2, T1は既存地質図の単元K, Kti-c, Tscに対比される。図面の中央西部及び南西部に貫入岩状の構造が2箇所認められ, 前者を単元JK-ia, 後者を単元JK-ibと区分した。両者とも既存地質図の単元JK-iに対比される。構造帯の南部には広く単元LPdが分布し, 既存地質図の単元Paliに対比される。現河川沿いに単元Q3とQ2が分布し, 図面の北東に狭い範囲で単元Q1が分布する。

1-3 変質帯抽出

1-3-1 使用データ

解析に使用したデータは第3図と第6表に示すLANDSAT/TM データのうち★印を示したものである。

1-3-2 画像処理

(1) デジタル・モザイク画像の作成: 各画像データのヘッダーに記録されている, 画像四隅の緯度・経度を参照して, 対象地域の全域をカバーするように画像をUTM座標系でデジタル的につなぎ合わせたモザイク画像を作成する。モザイク画像を作成時に以後に行うスペクトル解析においてシーン毎にばらつきが生じないように, 各シーンのDN値のヒストグラムを解析の中心となるPath004/Row069のDN値のヒストグラムに合うように各バンドごとに変換する。

(2) スペクトル解析: (1)にて作成した画像に対して, 既存鉱化変質帯に留意して各種バンド組み合わせによるスペクトル強調処理(Logarithmic residual法)を施し, その中で変質帯抽出に最適となるような処理結果を選択する。

Logarithmic Residual法は反射率に対して乗法因子と仮定する地形効果及び太陽照度等を相乗平均を用いて除去し, 全反射率データの平均からの各データの変動を強調することにより, 地表面反射率パターンを推定する手法である。

画素 i バンド λ の輝度値 $X_{i\lambda}$ が次式で表わされると仮定する。

$$X_{i\lambda} = T_i \times \rho_{i\lambda} \times I_{\lambda}$$

但し、

T_i : 画素 i における地形ファクター

$\rho_{i\lambda}$: 画素 i に対応する地表面のバンド λ における反射率

$I_{i\lambda}$: バンド λ における太陽照度等の影響

ここから、 T_i 及び $I_{i\lambda}$ を以下の手順により消去する。

- (1) 画素 i のバンド間平均 $X_{i\lambda}$ と $X_{i\lambda'}$ との比 a を求める。
- (2) バンド λ の全画素平均 $X_{i\lambda}$ と全バンド、全画素の平均 $X_{i\lambda}$ との比 b を求める。
- (3) a と b との比を求める
- (4) 全体をまとめて対数をとる。

ここで、対数をとるのは計算を多項式に分解して計算速度を早めるためである。

変換後の輝度値 $Y_{i\lambda}$ は次式により算出される。

$$Y_{i\lambda} = \log X_{i\lambda} - \log X_{i\lambda'} - \log X_{i\lambda} + X_{i\lambda}$$

- (3) 画像出力：各図画毎に縮尺 20 万分の 1 のカラーペーパープリントとして画像を出力した。

1-3-3 抽出結果

Logarithmic Residual 処理を施した LANDSAT/TM データについて、バンド 1, 2, 3 をそれぞれ青、緑、赤に配色したカラー合成画像を作成した。第 4-2 図、5-2 図、6-2 図、7-2 図に 26-q, 27-q, 27-r 及び 27-s 図画の Logarithmic Residual 処理画像をそれぞれ示す。

磁鉄鉱、赤鉄鉱、針鉄鉱等の酸化鉄鉱物は 600nm 以下の波長域 (TM のバンド 1 からバンド 2 に対応) に広い吸収特性を有するため、酸化鉄鉱物を多く含むゴッサンは、これらの画像において黄色から橙色の発色を示すと推定される。しかし、処理画像について検討すると、鉄化変質とは明らかに無関係な要因によって同様の色調を呈している部分が認められた。従って、以下のものをスペクトル異常の抽出対象から除外した。

画像中、雲が黄色に発色しているが、これは分布形状と、常に白色の影を伴うことから容易に区別することが可能である。標高の高い部分には、白色を呈する氷河あるいは万年雪が分布し、それを取り囲む形で黄色域が分布する。また、急峻な尾根付近、あるいは急傾斜の谷の内部に、稜線あるいは水系に平行な黄色の発色域が分布する。これらは明らかに地形的な要素が反射スペクトルに異常を与えていると判断されるため、抽出対象から除外した。

上記以外に黄色から橙色を呈するゾーンはゴッサンの分布を反映する可能性があるものと判断し、スペクトル異常として抽出した。抽出されたスペクトル異常の分布範囲を、JERS-1/SAR 画像による地質単元区分に重ねて示した。第 4-3 図、5-3 図、6-3 図、7-3 図に 26-q, 27-q, 27-r 及び 27-s 図画の地質単元判読及び変質帯抽出図を示す。抽出されたスペクトル異常は大部分 27-r 及び 27-s 図画に含まれる。27-r 図画では中央やや東の小尾根上に直径 2km 程度の 2ヶ所の異常が、また、南西部にやや広い異常が抽出された。27-s 図画では南

東部の稜線上及び中央北西寄りの稜線上にやや広い異常が抽出された。これらの内、27-s 図画中央北西寄りのものは地層の走向に平行に伸張する傾向を示している。

1-4 考察

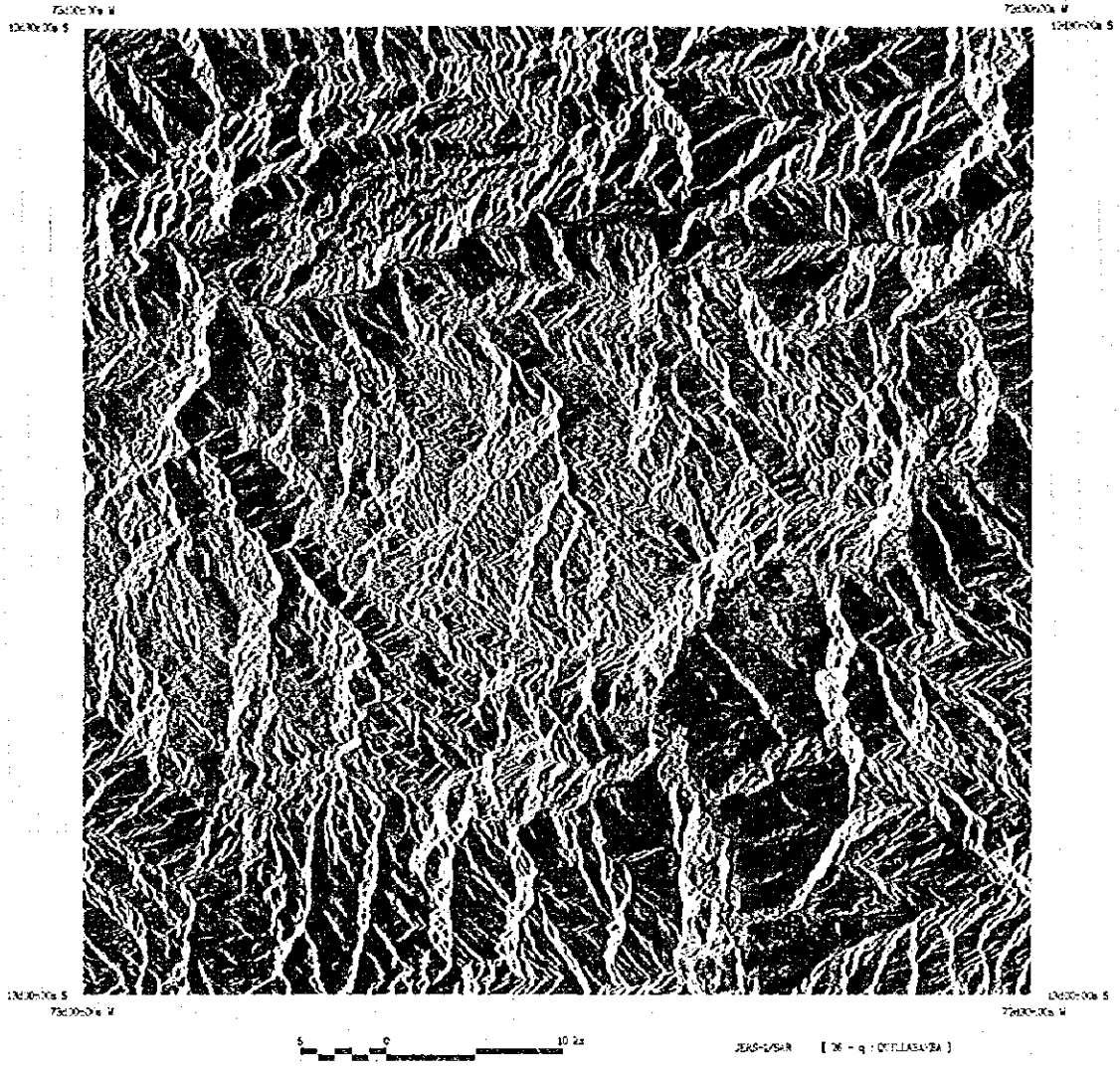
JERS-1/SAR データによる写真地質学的判読は地質単元区分とリニアメント判読を実施した。

地質単元区分は既存の地質図(INGEMMET, 1975)を参考として実施した。判読は INGEMMET (1975) の地質図では第四紀層(Q-c)が沖積層(Q-3),と沖積層または洪積層に区分できないものをQ-2として再分できた。第三紀層は水系パターンの相違によりT1からT3の3単元に細分できた。白亜紀層ないし第三紀層(地質図KT i-e)は地表面の組織,水系パターンからKT1からKT-3に細分された。ジュラ紀ないし白亜紀の貫入岩類(地質図J k-I)は水系パターンからJK-iaとJK-ibに区分された。Mitu層群は平行状の水系パターンと樹枝状パターンの特徴からP1とP2に区分された。シルル紀ないしデボン紀の堆積岩(地質図SD)は表面組織の差からSD1, SD2に区分できた。更に,時代未詳古生層は水系パターン,表面組織,明暗等からLP aからLP iの9単元に細区分された。

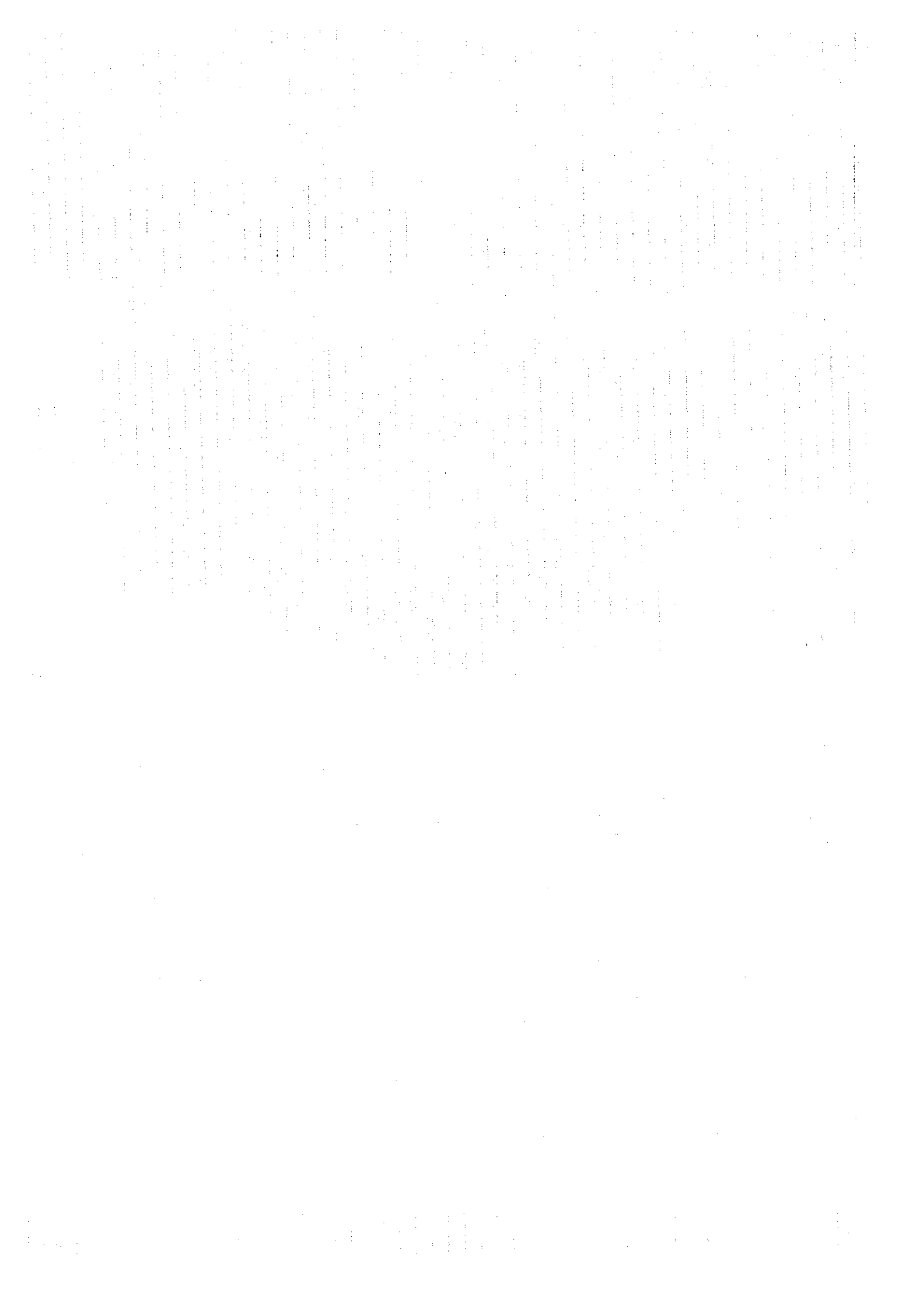
リニアメントは,いわゆる Abancay 屈曲といわれるアンデストレンドがNW-SE方向からE-W方向へ変化するものが調査地区の北部で顕著に判読できた。これに対して調査地区南部ではN-S系のリニアメントが多く判読できた。リニアメントは古生層中では層理面方向のものが卓越する特徴があるが,中生層及び貫入岩類中ではN-S系とNW-SE系が卓越し,前者に比べて判読されるリニアメントの密度が高い。

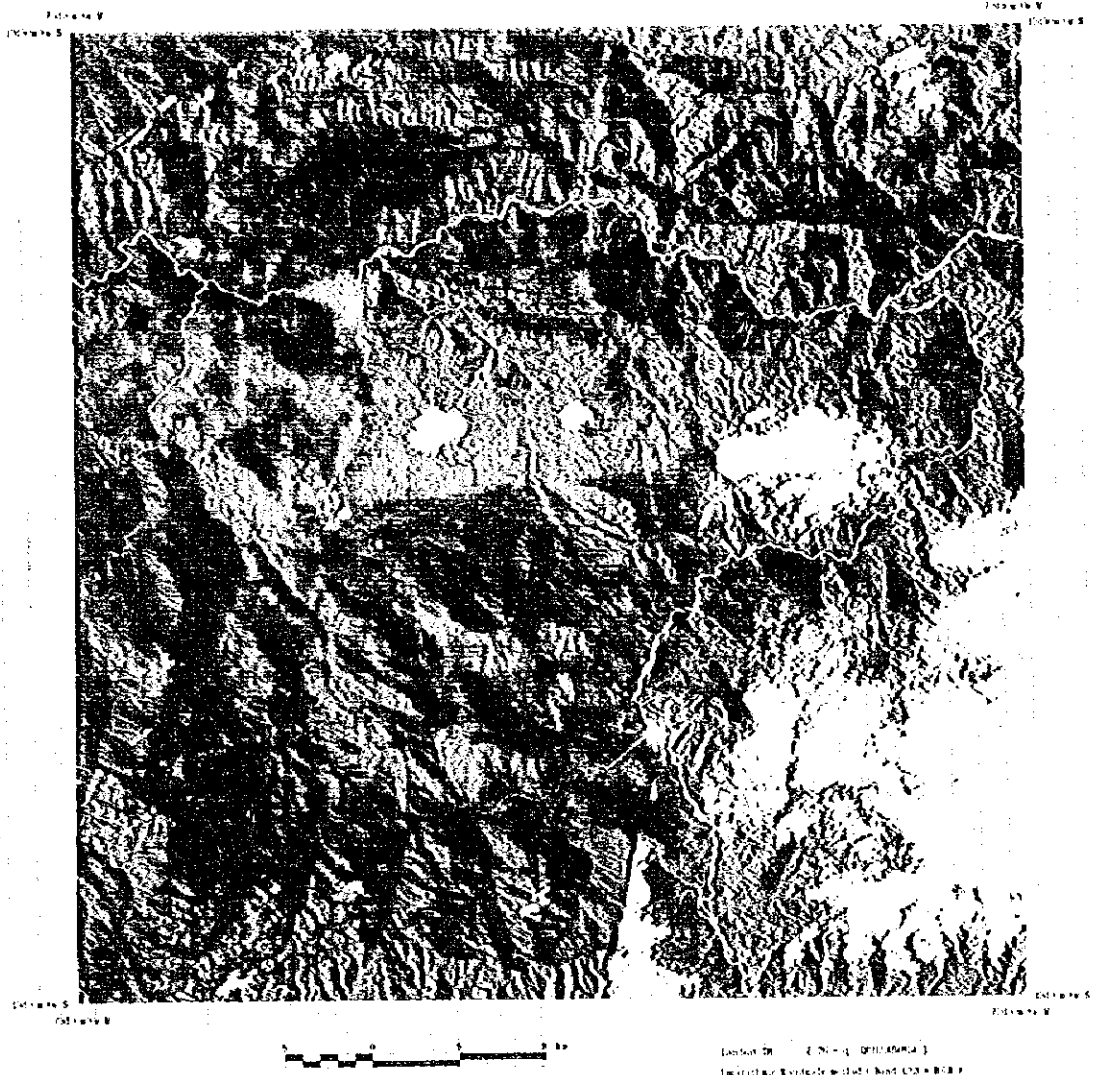
LANDSAT/TM データによるスペクトル解析結果では,古生層の地質単元SD1, SD2, O及び時代未詳の古生層中とMitu層群中においてスペクトル異常が認められ,変質帯分布の可能性のある地区として抽出された。



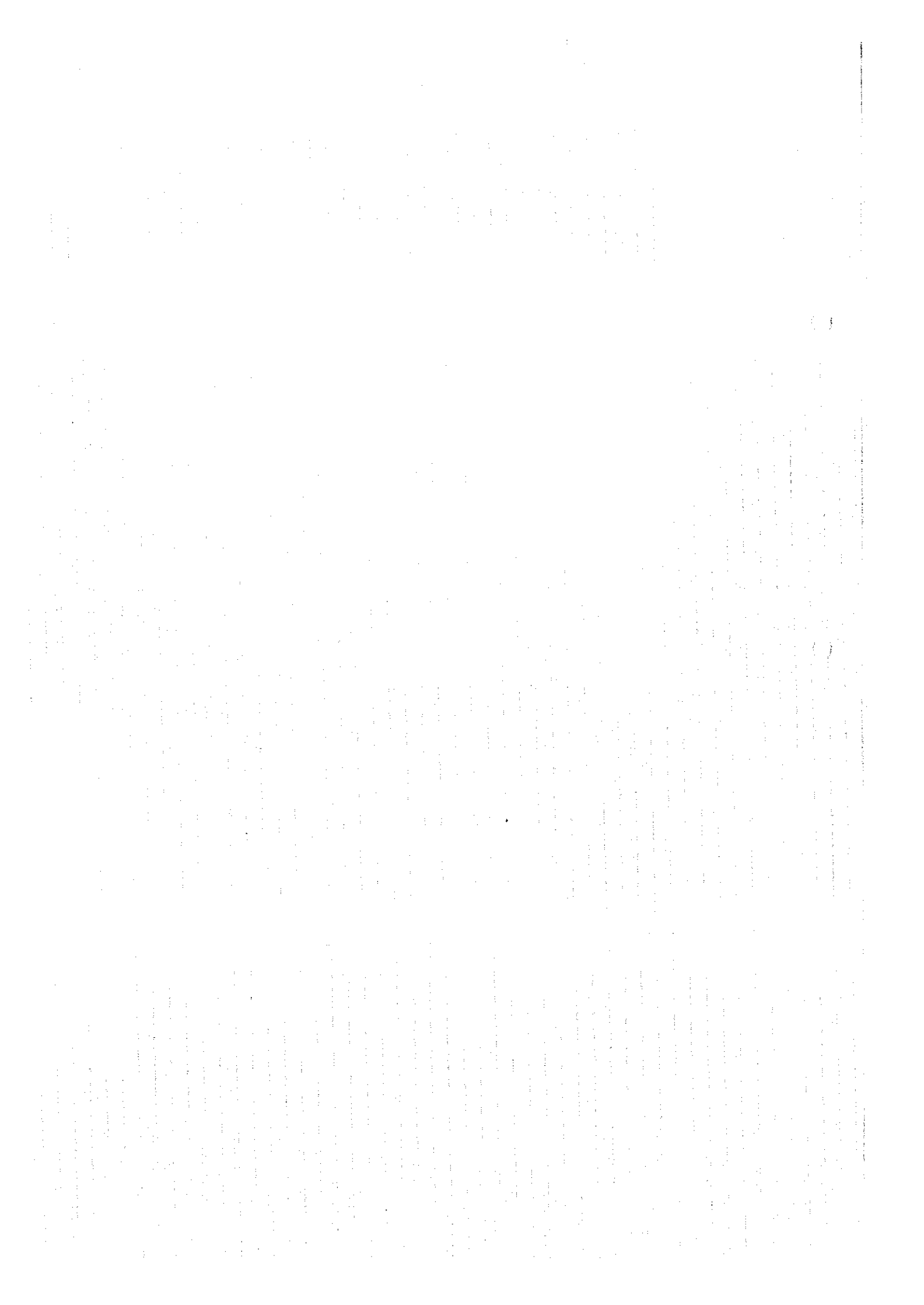


第 4 - 1 図 JERS-1/SAR 画像 (図画 26-q)

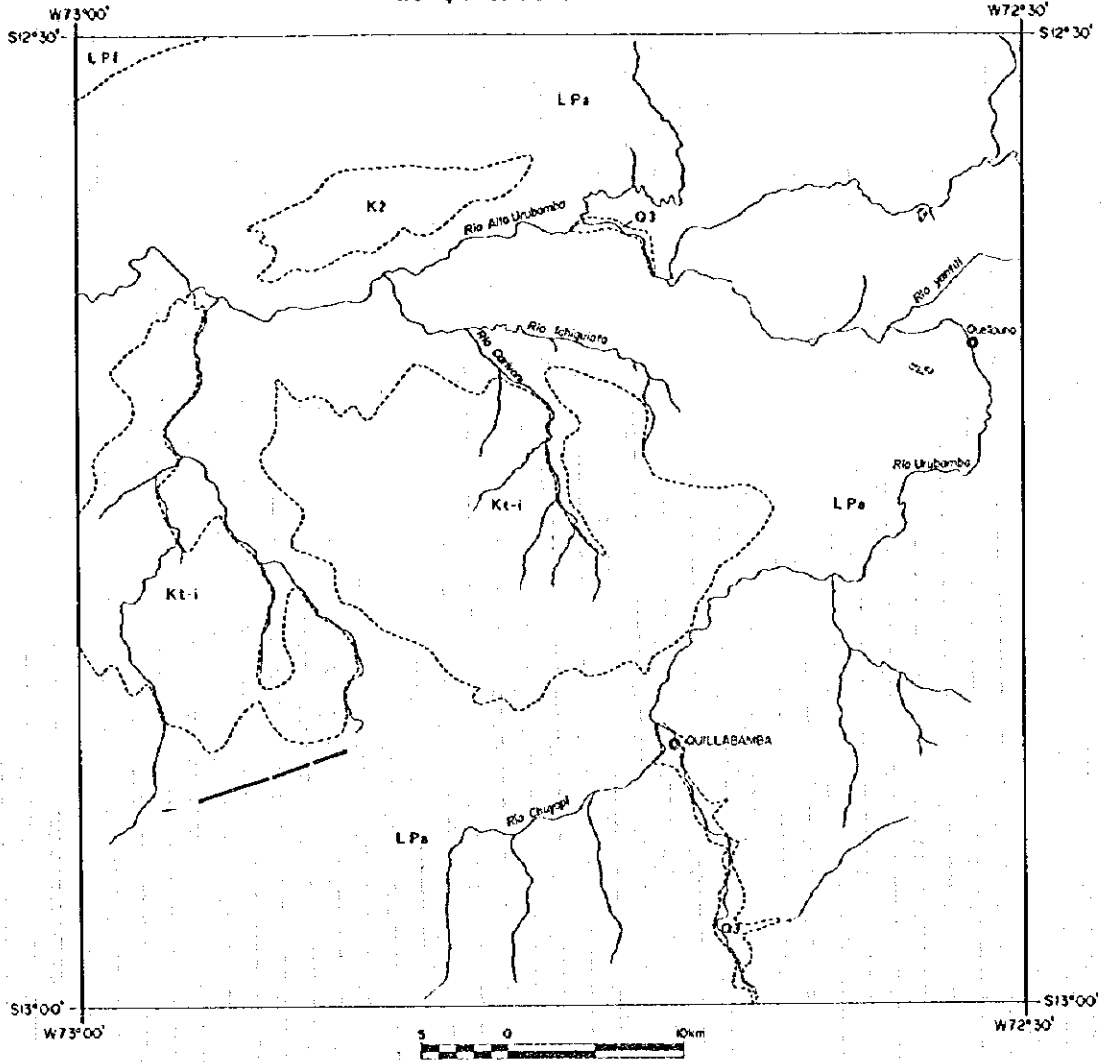




第 4 - 2 图 LANDSAT/TM 画像 (图画 26-q)



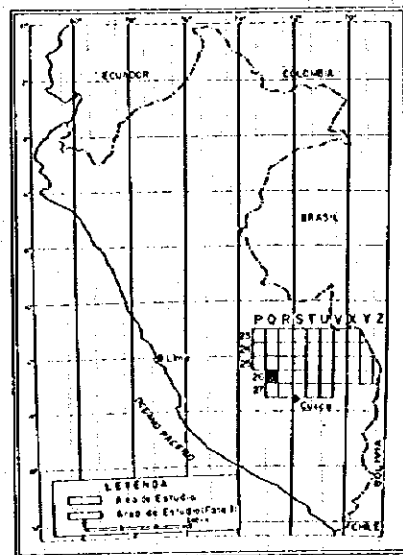
26-q : QUILLABAMBA



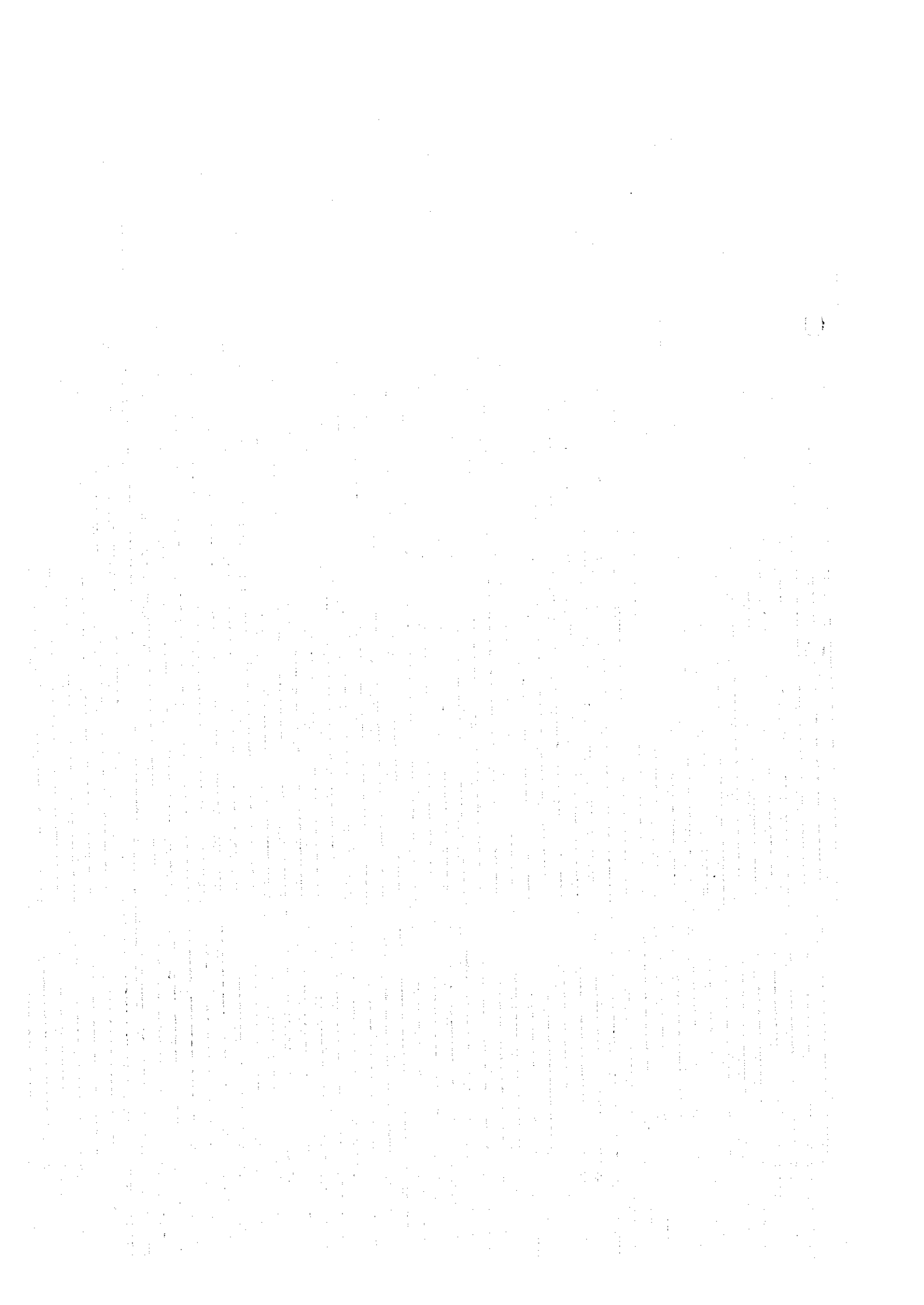
LEYENDA

- LPI — contacto y nombre de unidad
- - - LPa - - - contacto inferido y nombre de unidad
- r — rumbo y buzamiento de foliación
- e — eje de pliegue anticlinal y su plonge
- s — eje de pliegue sinclinal y su plonge
- f — falla transcorriente
- p — falla probable
- l — lineamiento
- — pueblo
- r — río, quebrada
- l — laguna
- c — camino
- a — anomalía espectral (LANDSAT/TM)

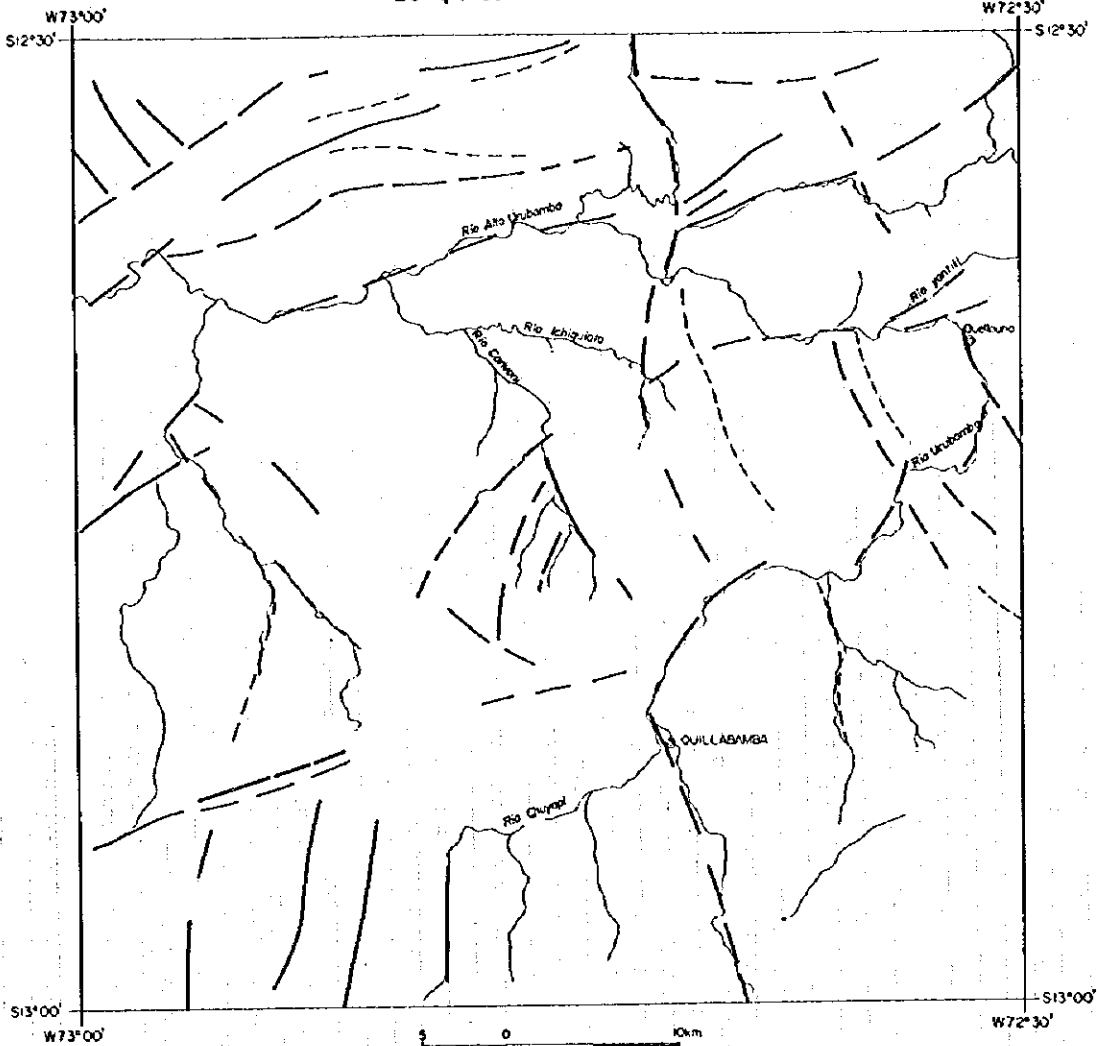
INDICE DE UBICACION



第 4 - 3 図 地質單元判読図及び変質帯抽出図 (図面 26-q)



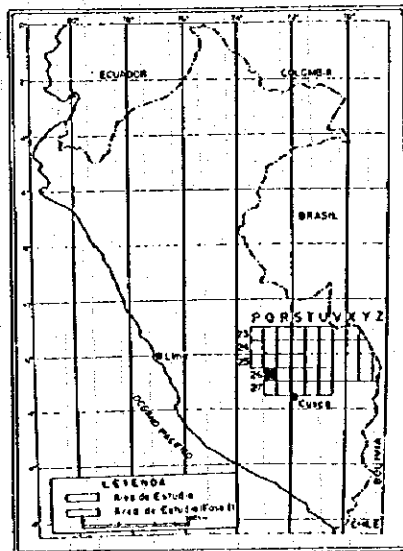
26-q : OUIILLABAMBA



LEYENDA

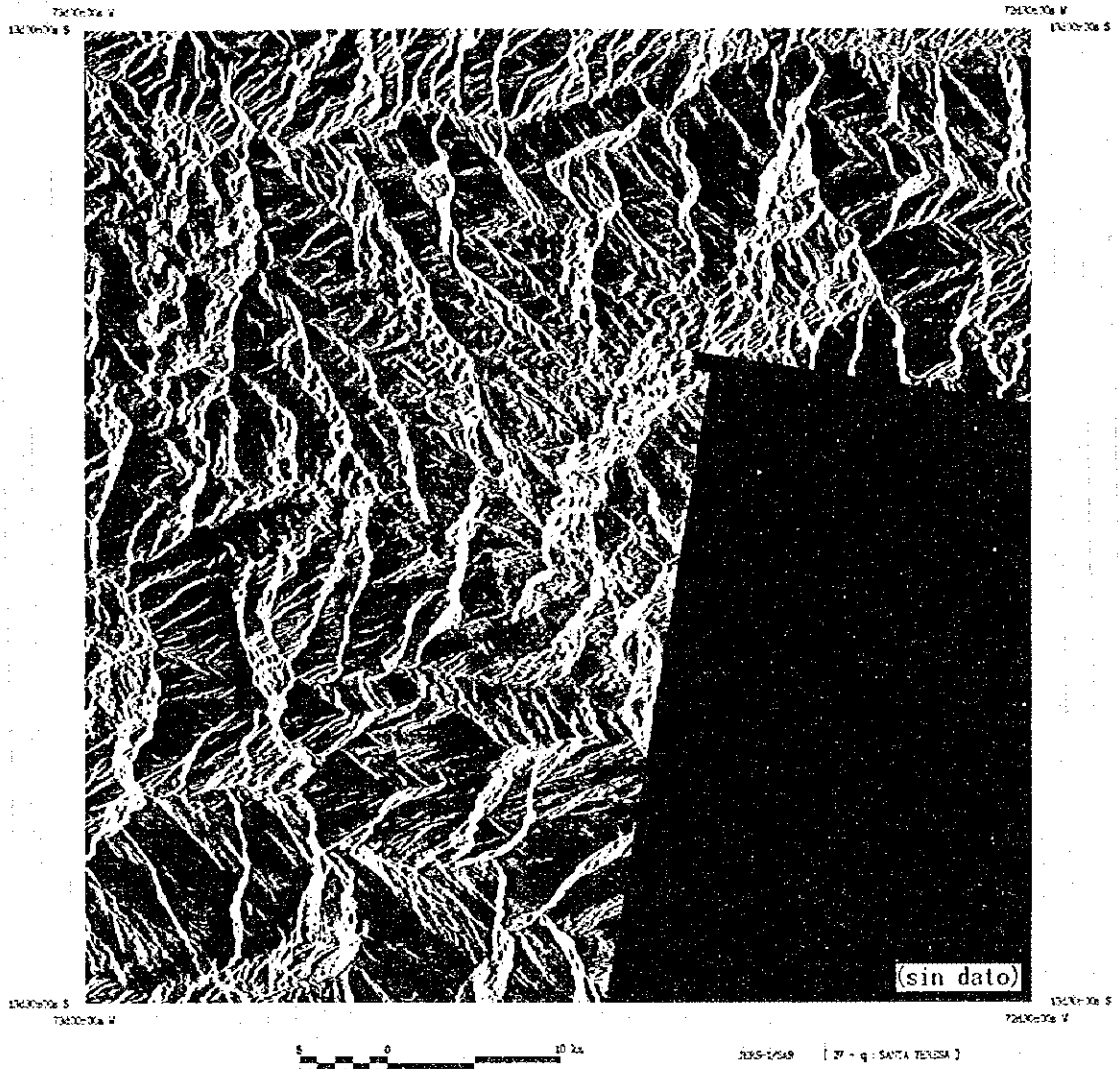
- SP4 — contacto y nombre de unidad
- SP5 — contacto inferido y nombre de unidad
- rumbo y buzamiento de foliación
- eje de pliegue anticlinal y su plonge
- eje de pliegue sinclinal y su plonge
- falla trascurrente
- falla probable
- lineamiento
- pueblo
- río, quebrada
- lago
- camino

INDICE DE UBICACION

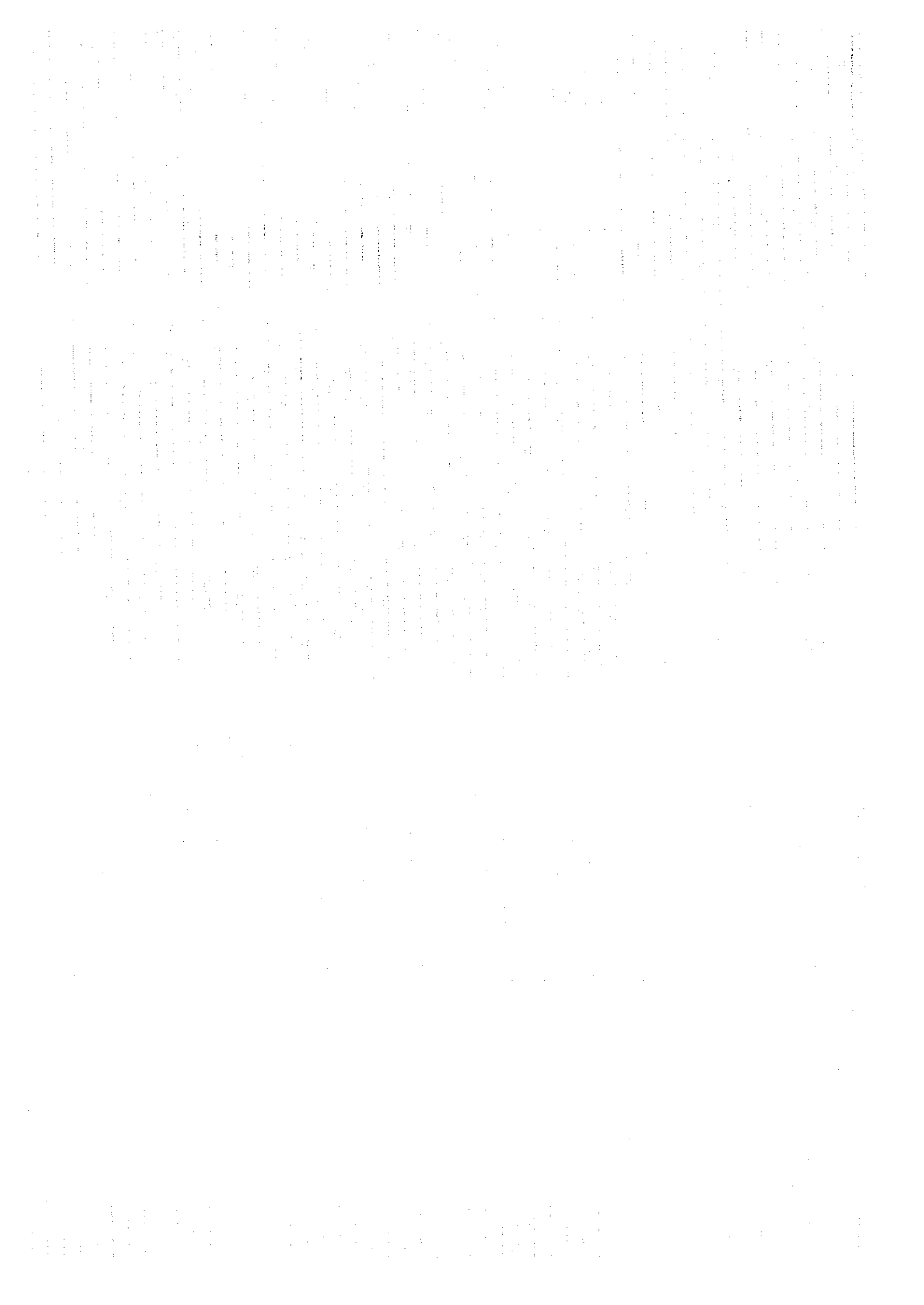


第 4-4 図 リニアメント判読図 (図面 26-q)



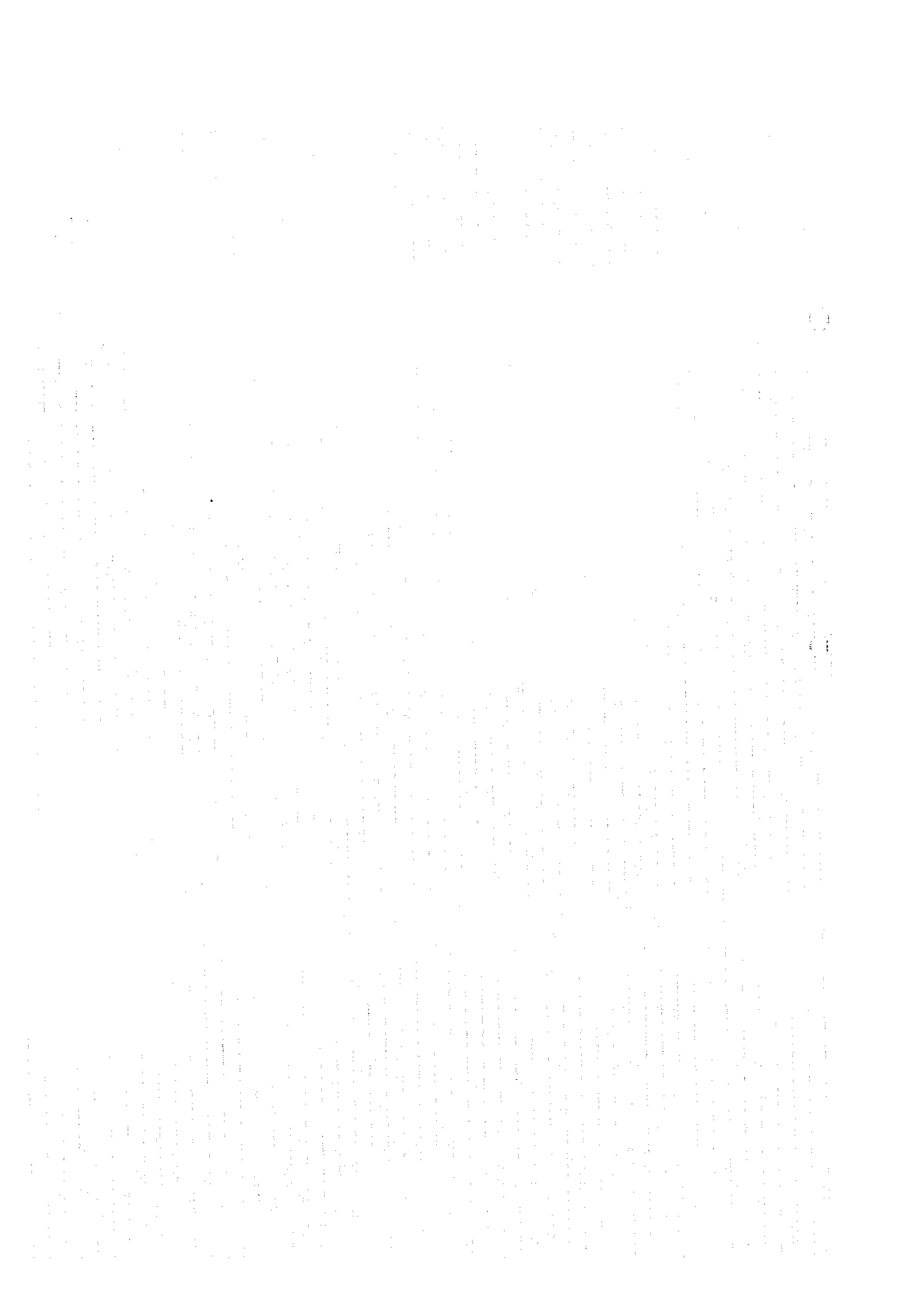


第 5 - 1 図 JERS-1/SAR 画像 (図画 27-q)

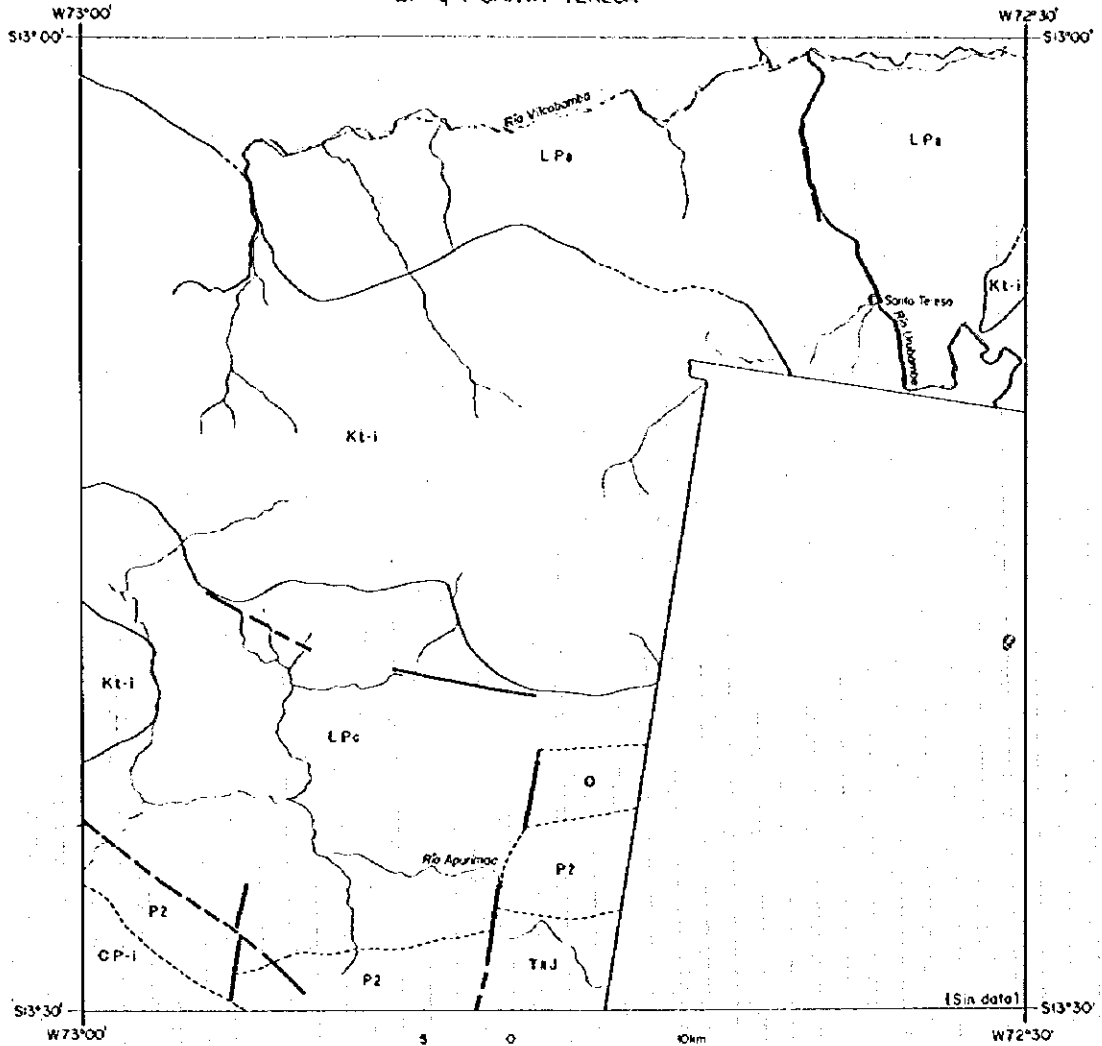




第5-2图 LANDSAT/TM 画像(图画 27-q)



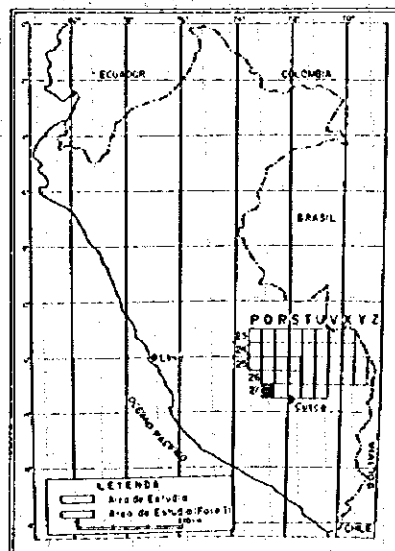
27-q : SANTA TERESA



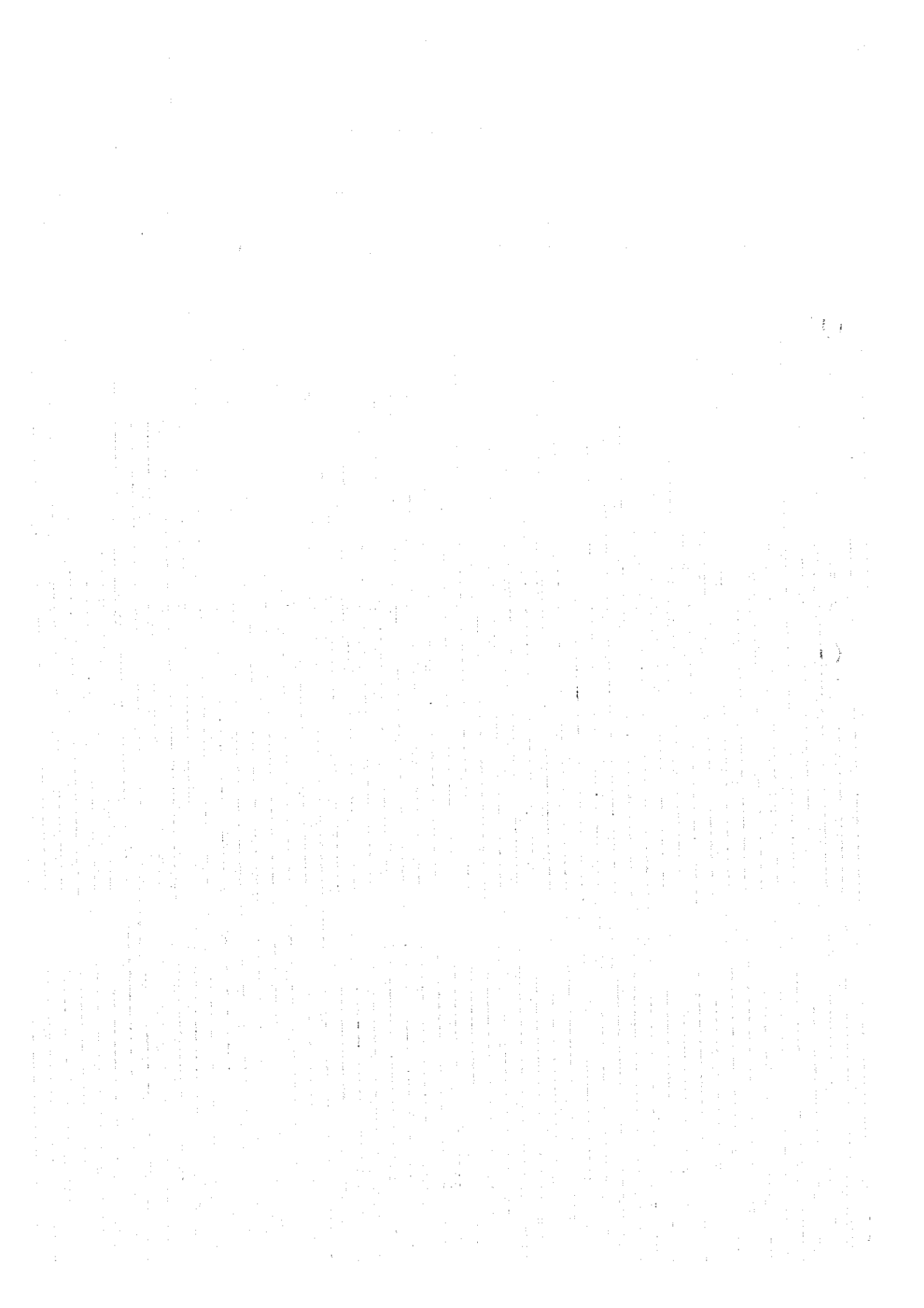
LEYENDA

- LPa — contacto y nombre de unidad
- LPc — contacto inferido y nombre de unidad
- rumbo y buzamiento de foliación
- eje de pliegue anticlinal y su plangé
- eje de pliegue sinclinal y su plangé
- falla transcurriente
- falla probable
- lineamiento
- pueblo
- río, quebrada
- laguna
- camino
- anomalía espectral (LANDSAT/TM)

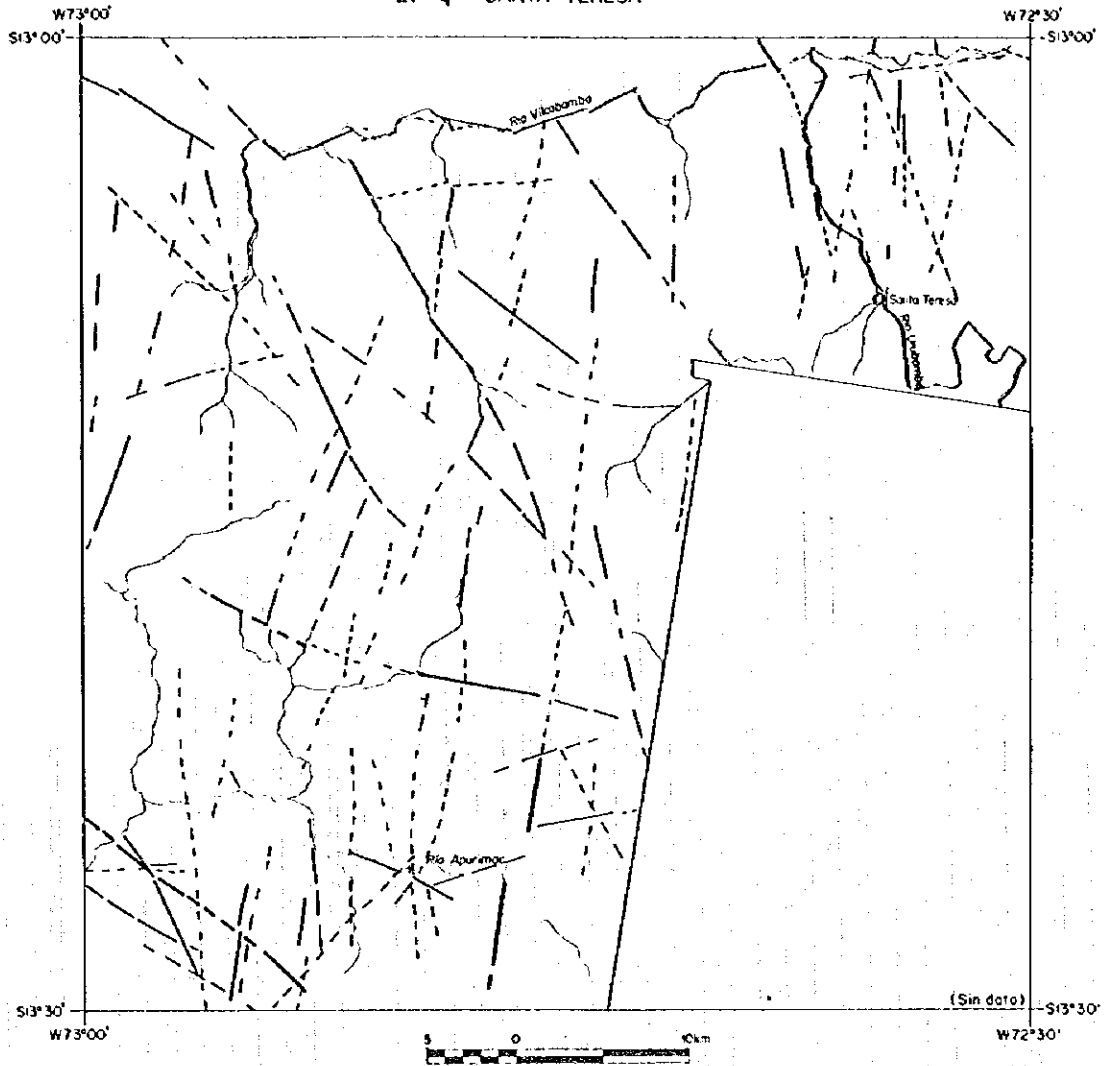
INDICE DE UBICACION



第5-3図 地質單元判読図及び変質帯抽出図 (図面 27-q)

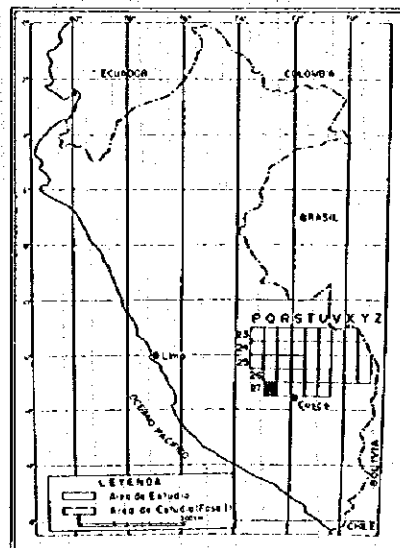


27-q SANTA TERESA

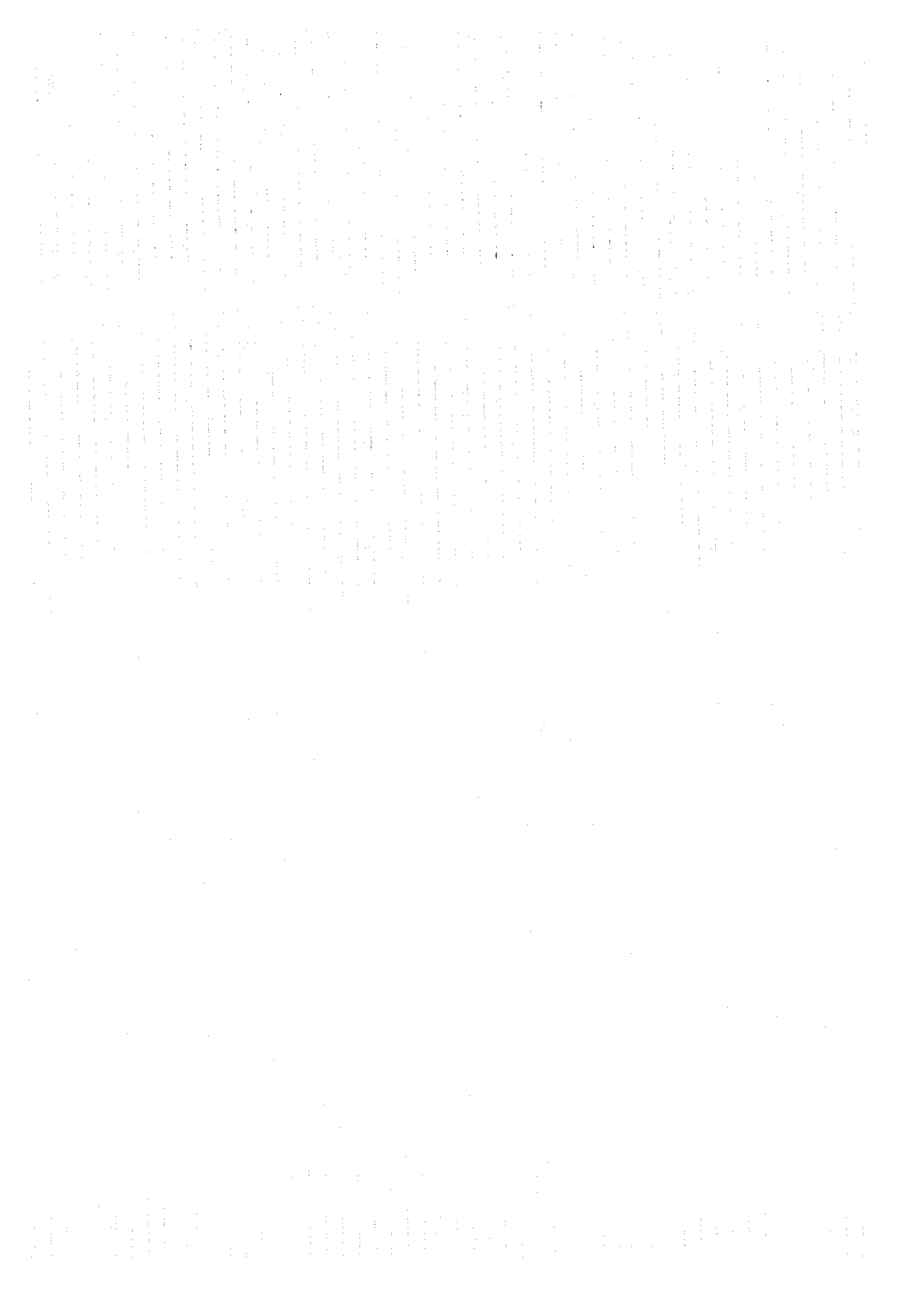


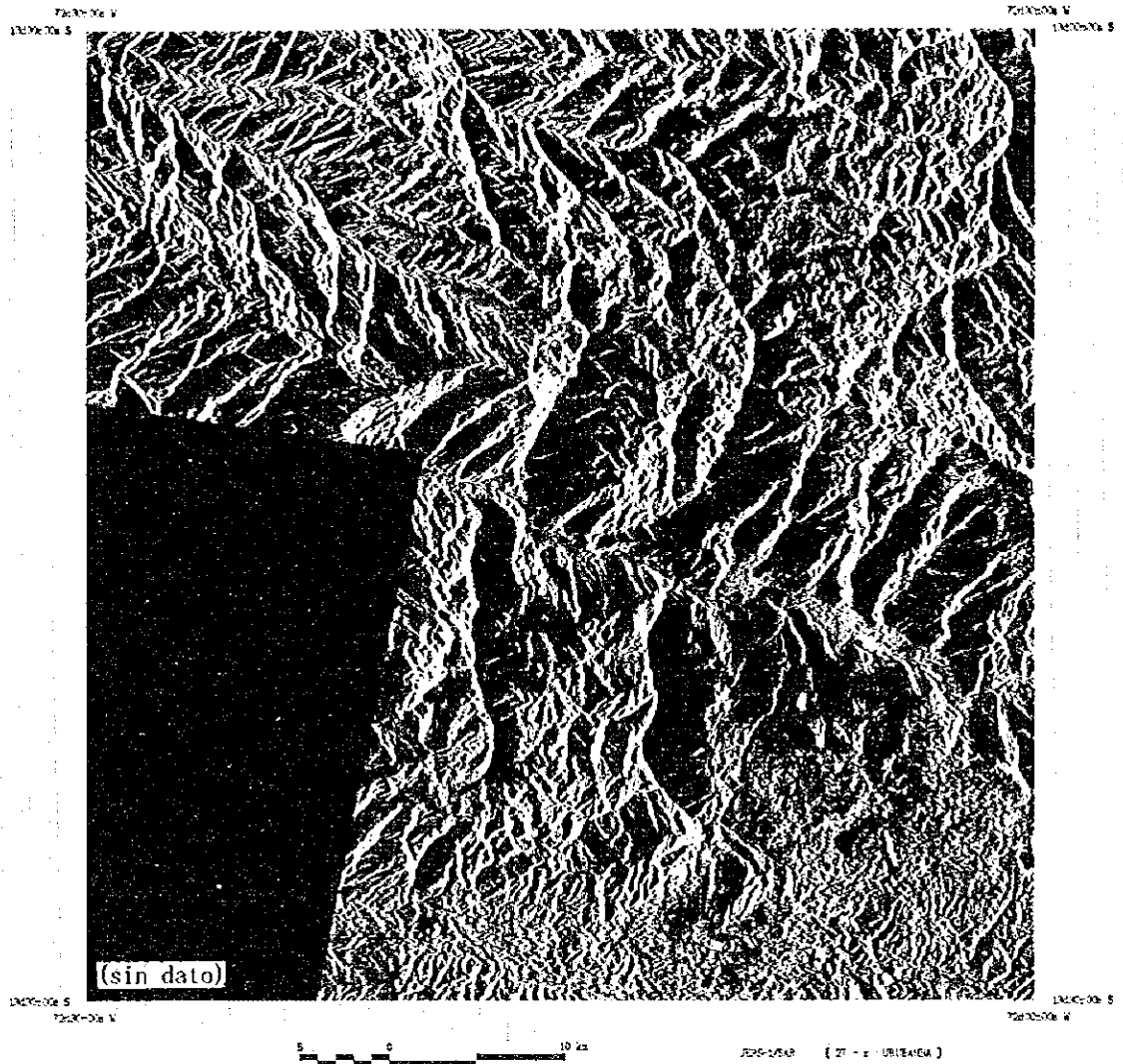
- LEYENDA**
- L.P.6 — contacto y nombre de unidad
 - - - L.P.5 - - - contacto inferido y nombre de unidad
 - - - rumba y buzamiento de foliación
 - ← → eje de plegue anticlinal y su plonge
 - ← → eje de plegue sinclinal y su plonge
 - +— falla transcurrente
 - +— falla probable
 - - - lineamiento
 - pueblo
 - río, quebrada
 - laguna
 - camino

INDICE DE UBICACIÓN



第5-4図 リニアメント判読図(図画 27-q)

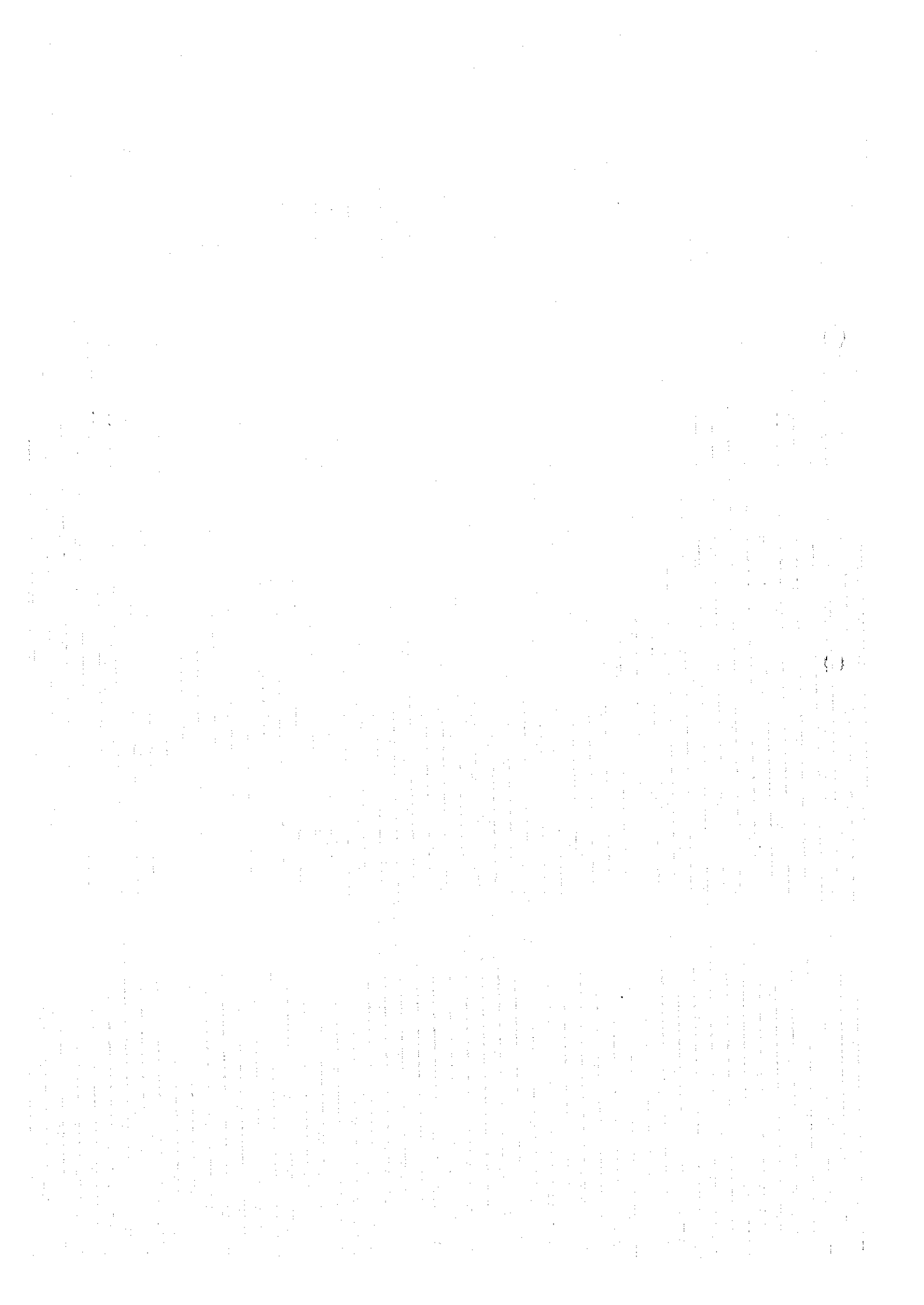




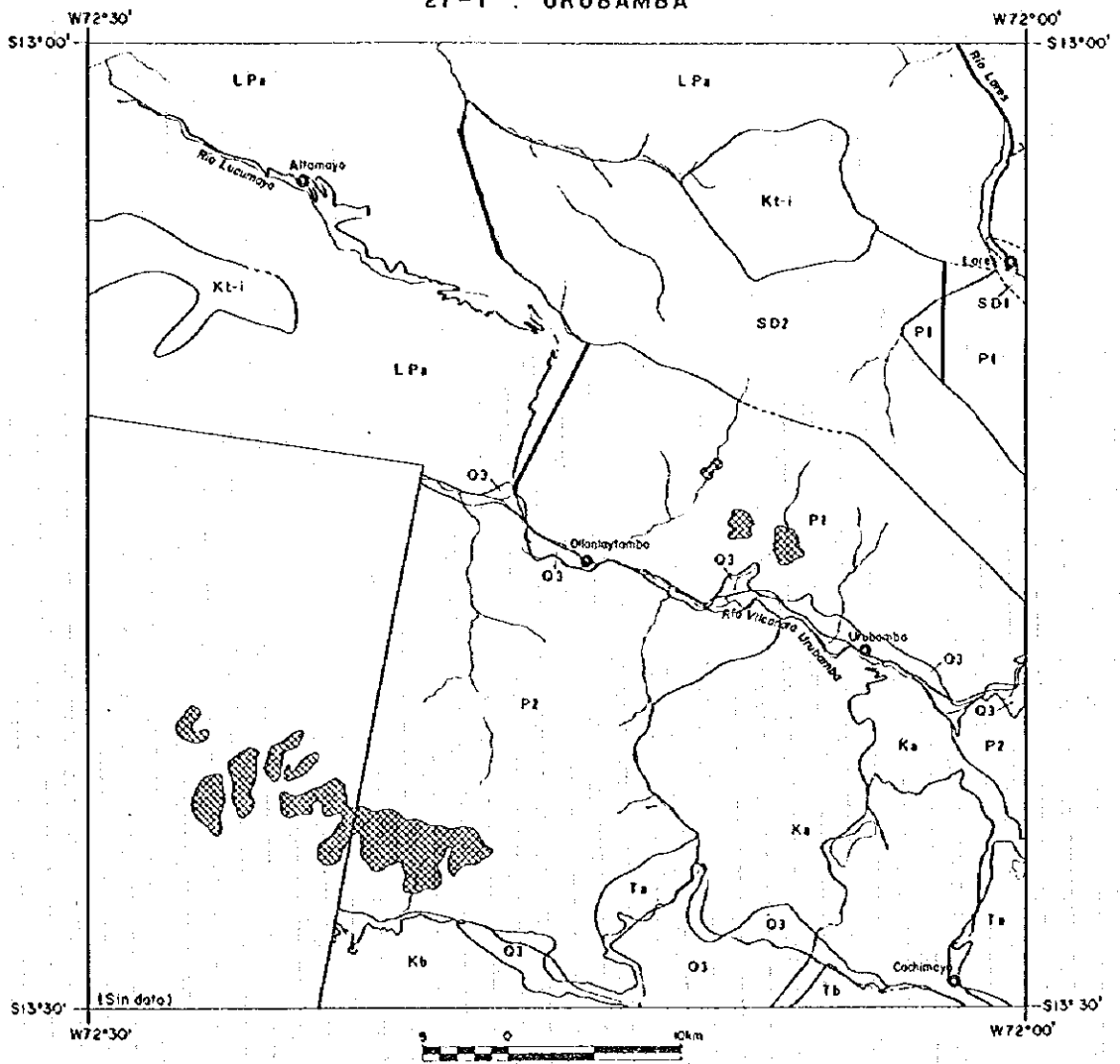
第6-1図 JERS-1/SAR画像(図画27-j)



第 6 - 2 図 LANDSAT/TM 画像 (図画 27-r)



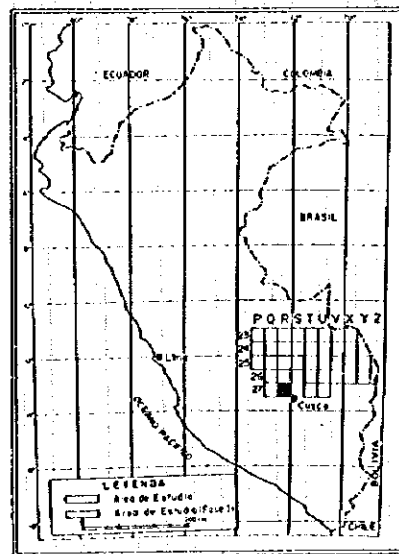
27-r : URUBAMBA



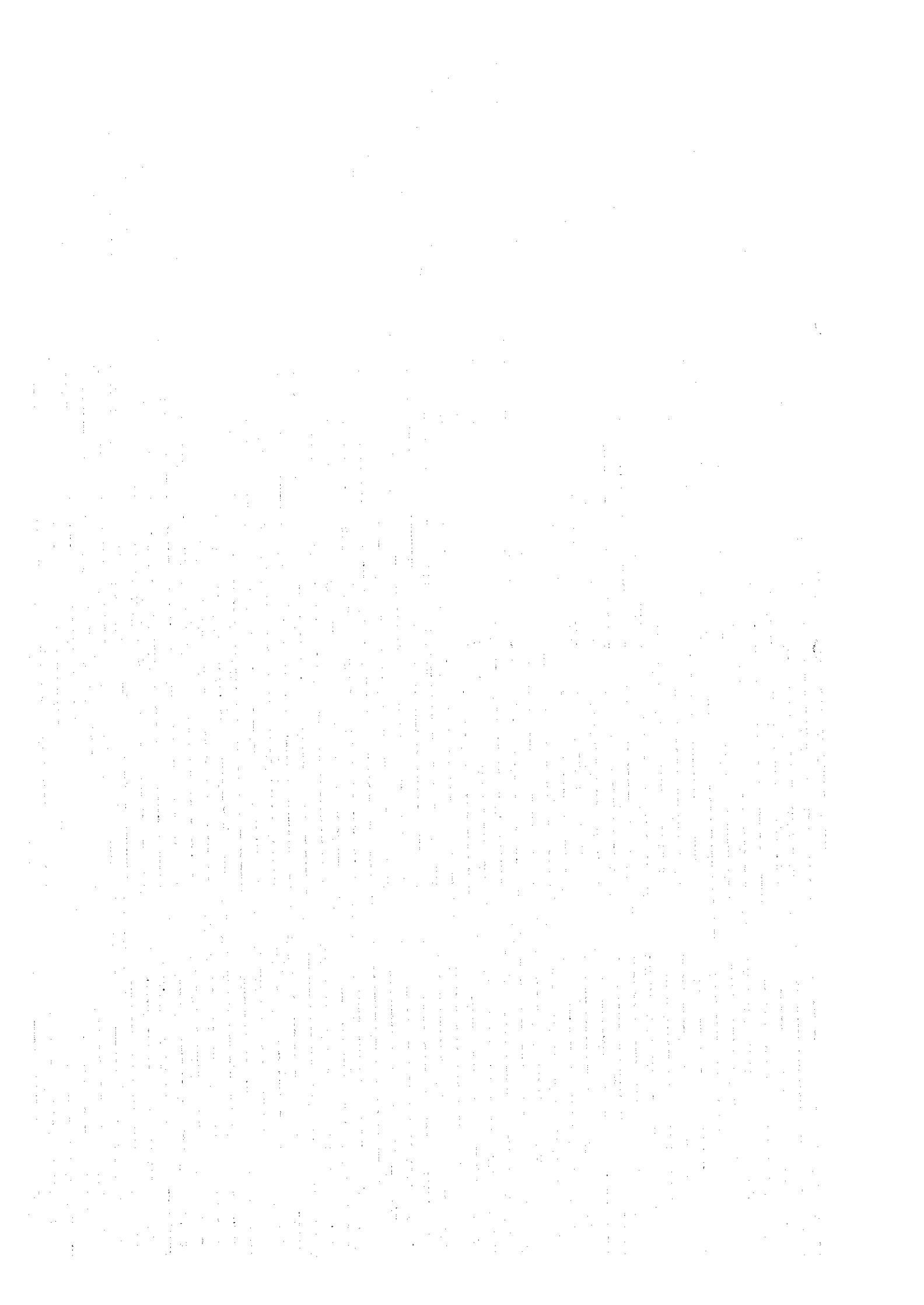
LEYENDA

- LPa — contacto y nombre de unidad
- - - LPa - - - contacto inferido y nombre de unidad
- - - rumbo y buzamiento de fallación
- + — eje de pliegue anticlinal y su plonge
- - — eje de pliegue sinclinal y su plonge
- / — falla trascurrente
- / — falla probable
- - - lineamiento
- pueblo
- río, quebrada
- laguna
- camino
- 8 anomalía espectral (LANDSAT/TM)

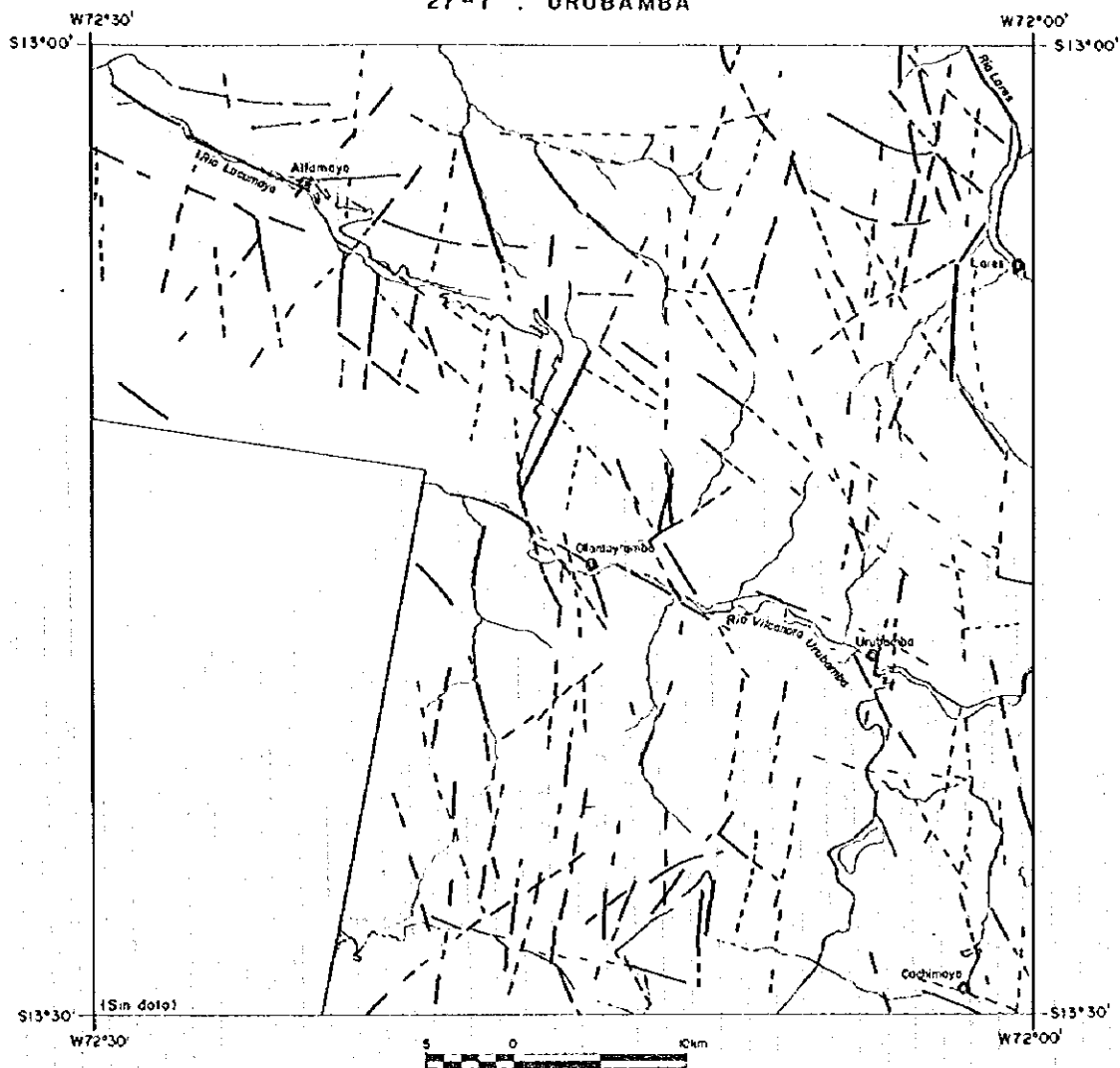
INDICE DE UBICACION



第6-3図 地質單元判読図及び変質帯抽出図 (図面 27-r)

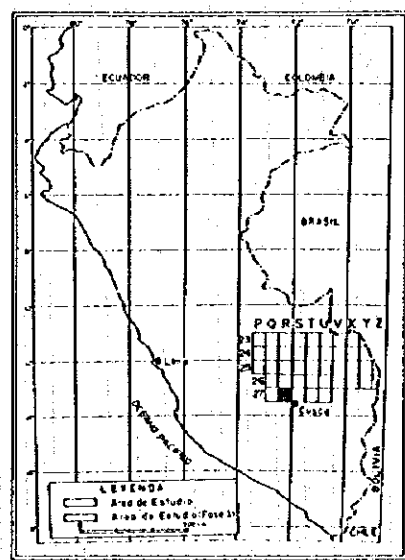


27-r : URUBAMBA

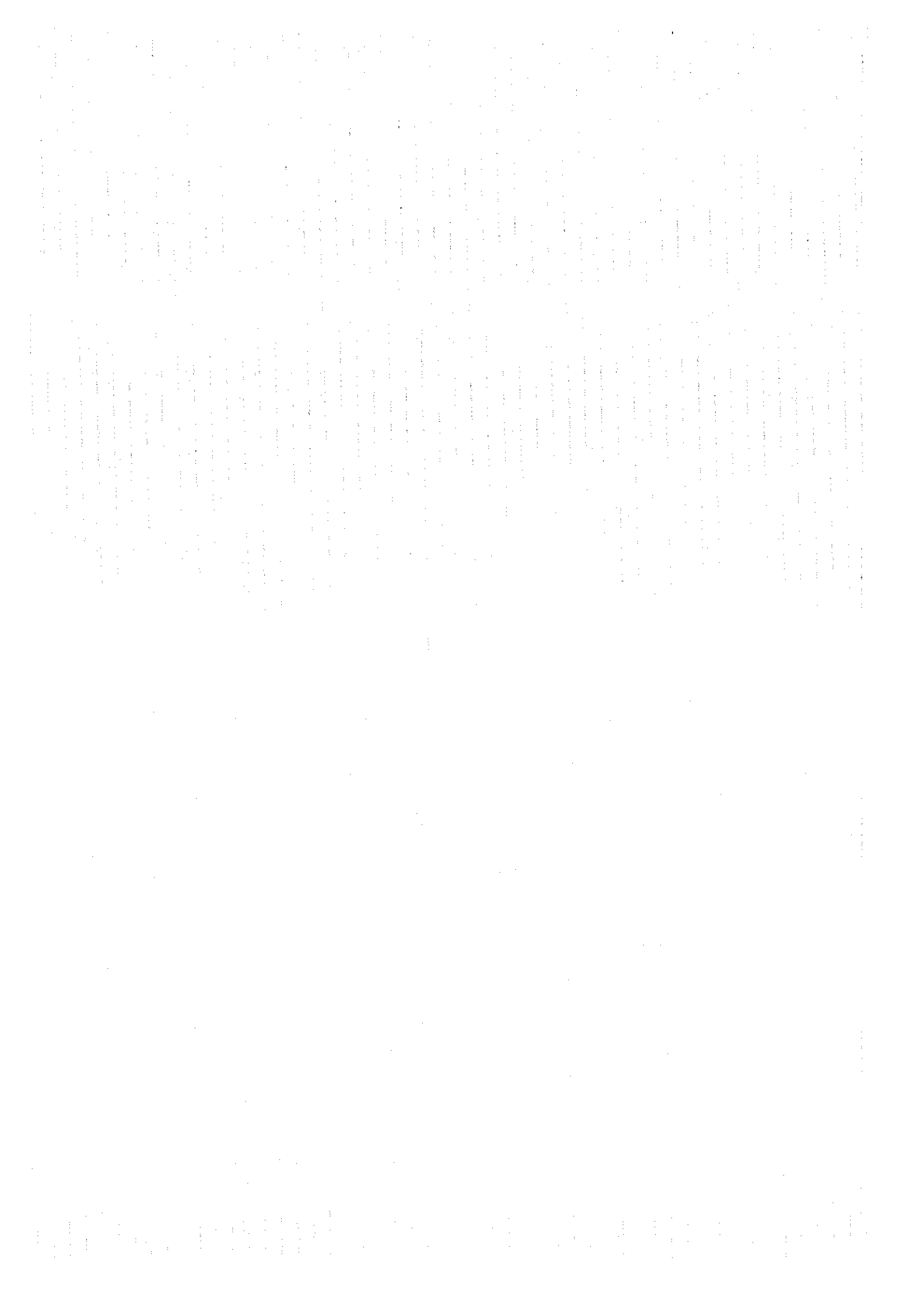


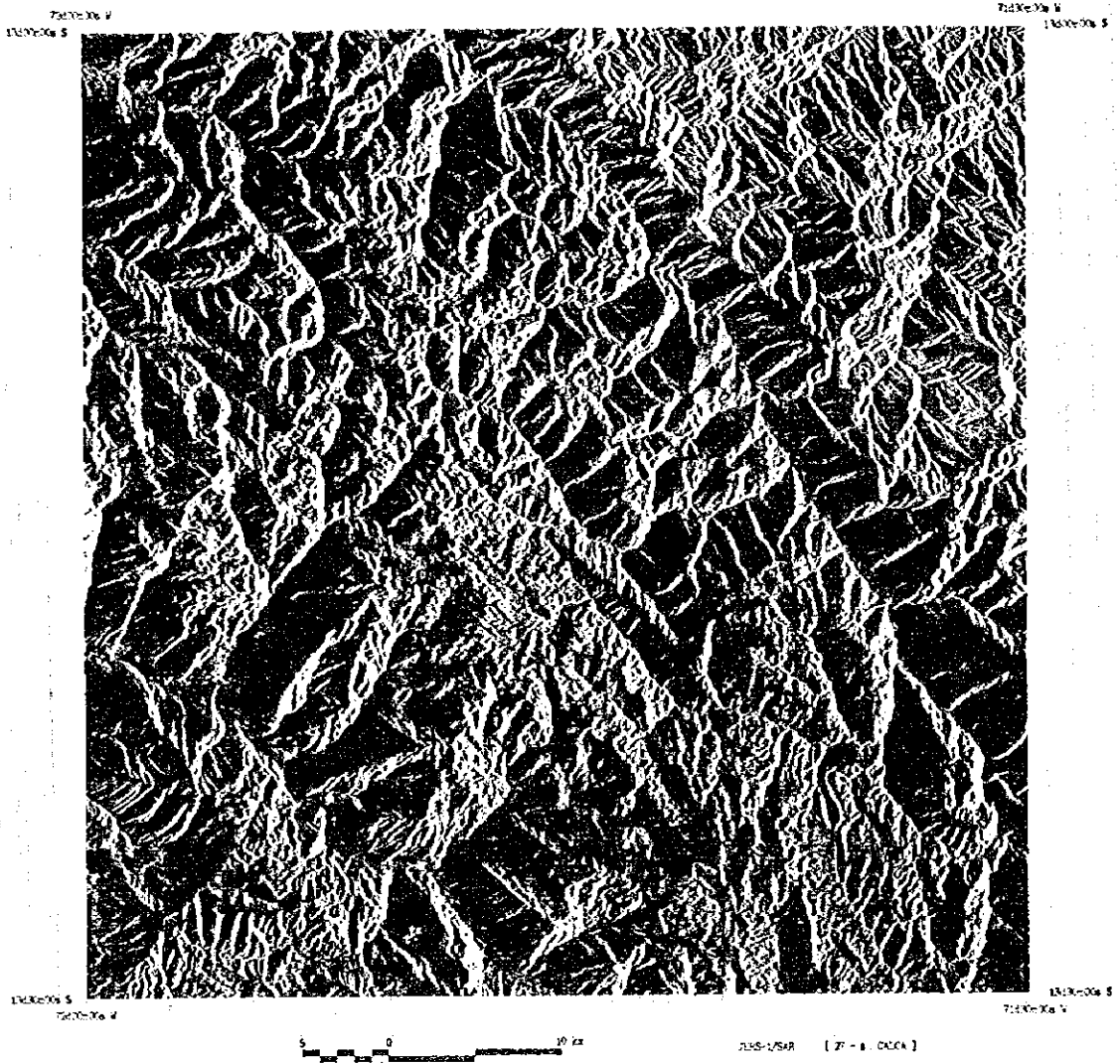
- LEYENDA**
- contacto y nombre de unidad
 - contacto inferido y nombre de unidad
 - rumbo y buzamiento de foliación
 - eje de pliegue anticlinal y su plonge
 - eje de pliegue sinclinal y su plonge
 - falla transcorriente
 - falla probable
 - lineamiento
 - pueblo
 - río, quebrada
 - camino

INDICE DE UBICACION



第6-4図 リニアメント判読図(図面 27-r)



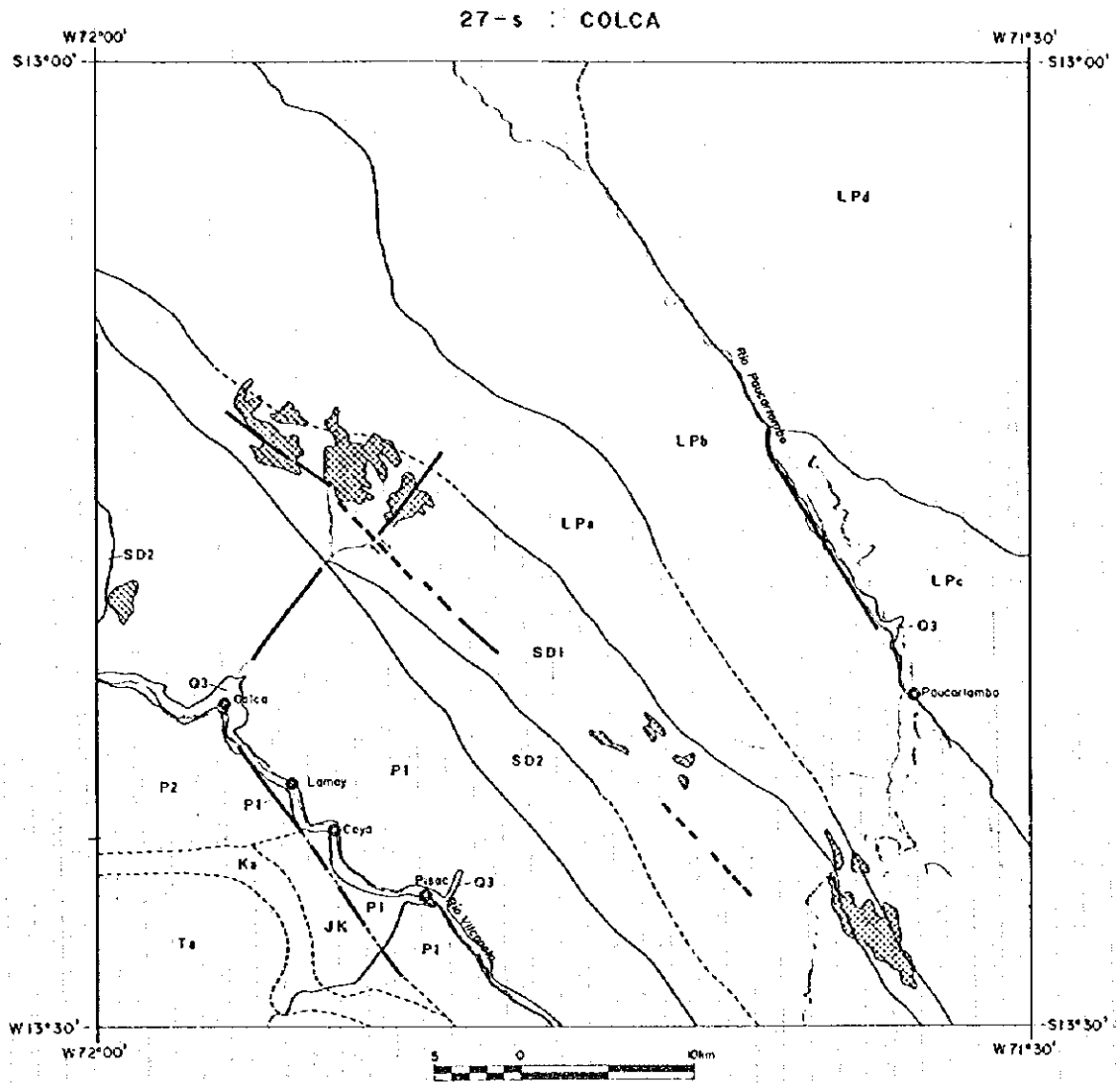


第 7 - 1 图 JERS-1/SAR 画像 (图面 27-s)

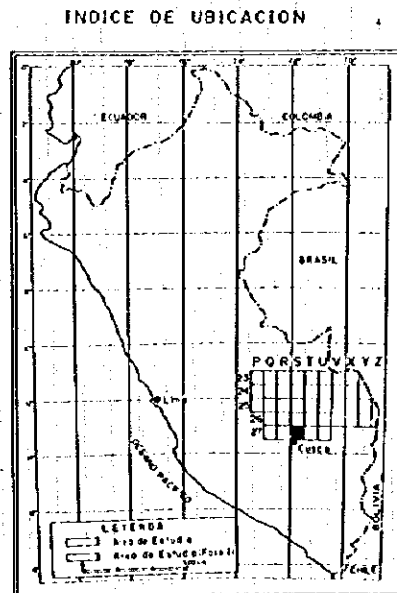


第7-2图 LANDSAT/TM 图像(图例 27-s)

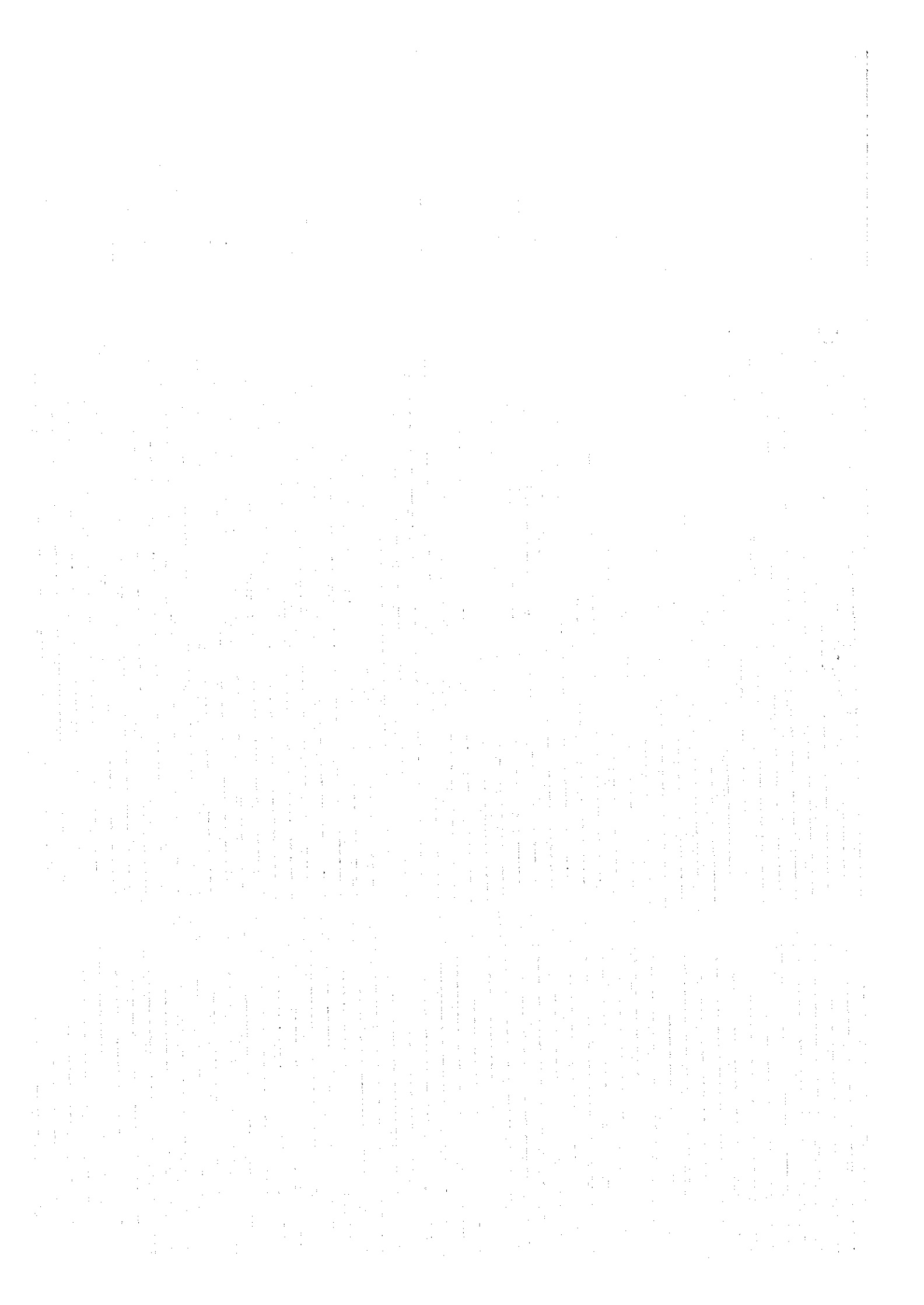


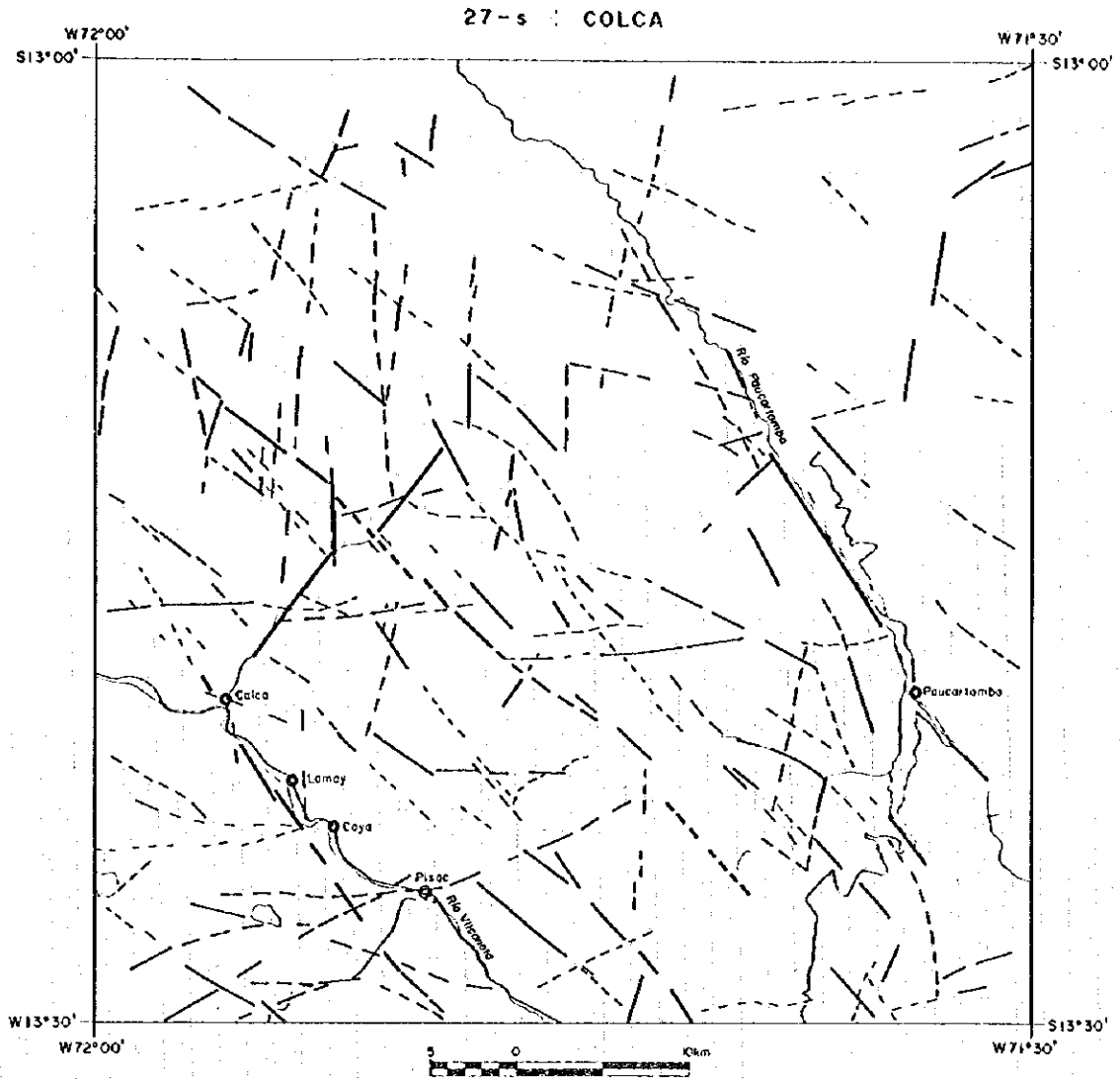


- LEYENDA**
- LPa contacto y nombre de unidad
 - LPb contacto afilado y nombre de unidad
 - rumbo y buzamiento de foliación
 - ↔ eje de plegue anticlinal y su plonge
 - ↔ eje de plegue sinclinal y su plonge
 - ↔ falla trascorrente
 - ↔ falla probable
 - lineamiento
 - ⊙ pueblo
 - ~ río, quebrada
 - laguna
 - camino
 - ⊗ anomalía espectral (LANDSAT/TM)

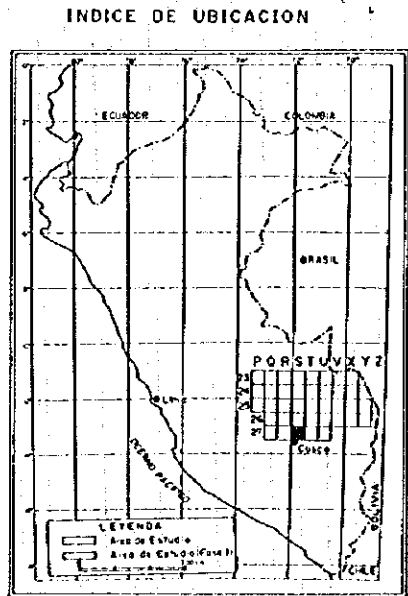


第 7 -- 3 図 地質單元判読図及び変質帯抽出図 (図面 27-s)

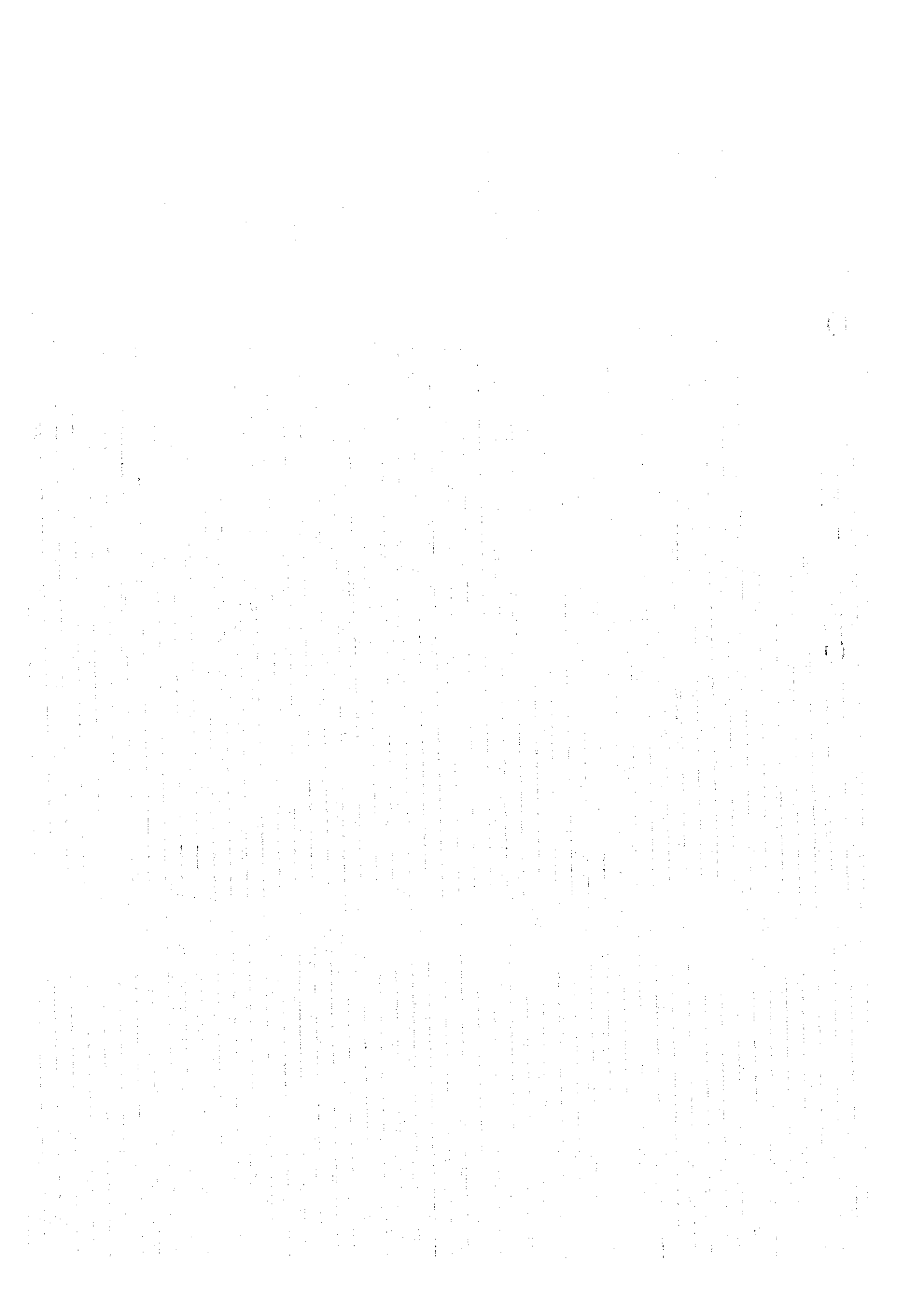




- LEYENDA**
- SP4 contacto y nombre de unidad
 - SP5 contacto infento y nombre de unidad
 - rumbo y buzamiento de foliación
 - ↖ ↗ eje de pliegue anticlinal y su plonge
 - ↖ ↗ eje de pliegue sinclinal y su plonge
 - falla trascorrente
 - falla probable
 - lineamiento
 - pueblo
 - río, quebrada
 - laguna
 - camino



第7-4図 リニアメント判読図(図面 27-s)



第2章 既存データ解析

2-1 解析の目的

既存データを収集、整理、解析することにより、調査対象地域内の鉱床及び鉱微地の概要及び賦存状況を把握する。

2-2 地質

2-2-1 収集データ

収集データは INGEMMET 地質報告書, Banco Minero del Perú, Petroperú 編纂地質図, Cusco 大学卒業論文及び技術士資格取得論文, ONERN 調査報告書, ペルー地質学会誌等を収集した。収集データ詳細は巻末参考文献及び収集データに示す。

2-2-2 地質概説

(1) 層序

調査地域を構成する地質単元は古生界下部層, 上部層, 中生界及び新生界と貫入岩類からなる。

古生界下部層は調査地域の中央部に広く分布する。本下部層は Cusco 周辺の 27-r と 27-s 図画において詳細に調査されている (Carlotta 他, 1995)。

【Formación Ollantaytambo (オリヤンタイambo 層)】

本層は 27-r 図画の Ollantaytambo 周辺に分布し調査地域の最も古い地層と考えられる。岩相は礫岩, 砂岩, 珪岩と火山岩類 (イグニンプライト) 等からなる層理の発達した変成岩類で地質時代はカンブリア紀と考えられる。層厚は 1,000m 程度である。

【Formación Ordovícica (オドビス紀層)】

本層は 27-r, 27-s 図画では Ollantaytambo 北方, Paucartambo (パウカタンボ) 北方に分布し, 礫岩を主とする下部層, 粘板岩, 珪岩を主とする中部層, 珪岩を主とする上部層に区分され, 全層厚 4,500m に達する。

【Formación Zapla (ザプラ層)】

本層は 27-s 図画では Calca (カルカ), Paucartambo の北方に小規模に分布する。岩相は海成の細粒礫岩よりなる氷河堆積物である。層厚は 100m~200m である。地質時代はシルル紀と考えられている。

【Formación Unidad Superior(上部層)】

本層は 27-r 図画では Ollantaytambo 北方に小規模に分布し、27-s 図画では Calca, Paucartambo の北方に分布する。岩相は層理面の発達した粘板岩、片岩、珪岩等からなる。層厚は 4,000m である。地質時代は化石の同定からシルル紀-デボン紀と考えられている。

本層は下部層と上部層に再区分され、下部層は層理の発達した化石を含む灰色粘板岩が卓越し、層厚は 2,500m~3,000m である。上部層は Mendivil, S. (1978) による Formación Cctca (トカ層), Formación Urcos (ウロス層) に相当し、泥質片岩、泥岩、砂岩、珪岩等からなる。層厚は 1,000m~1,500m である。Formación Urcos は Puno (プーノ) の Formación Ananea (アナネア層) に対比され、層理に斜交する石英細脈が多く認められる。

【Grupo Copacabana(コパカバナ層群)】 (Douglas, J. A., 1914)

本層は Limatambo (リマトンボ) 周辺に分布する。岩相は石灰岩と海成の頁岩からなり、層厚は 600m~700m である。地質時代は化石の同定から二疊紀とされている。Grupo Copacabana は 4 層に細分される。4 層は珪質砂岩を主とする層厚 50m の Formación Tinta (tinta 層) (Dávila, D., 1987), 石灰岩、頁岩、砂質頁岩の互層からなる層厚 100m の Formación Chuquicahuana (チュキカワナ層) (Mendivil, S., 1978), 頁岩を少量はさむ石灰岩層からなる層厚 400m~500m の Formación San Salvador (サン・サルバドル層) (Mendivil, S., 1978), 下部が赤色砂岩、頁岩、上部が石灰岩、砂岩の互層からなる、層厚 50m~300m の Formación Yaucat (ヤウカ層) (Dávila, D., 1987) である。不整合関係で Grupo Mitu (ミトゥ層群) に覆われる。

【Grupo Mitu】 (Mc. Laughlin D. H., 1924)

本層は 27-r 図画では Urubamba 北方、27-s 図画では Calca 周辺に分布する。岩相は 2 層に区分され Formación Pisac (ピサク層) (Gabelman, J. 他, 1984) は礫岩、砂岩、泥岩と火山岩類からなり、Formación Pachatusan (パチャツサン層) (Gregory, H., 1916) は赤色の凝灰岩、角礫岩、集塊岩、玄武岩、流紋岩、イグニブライト等の層厚の厚い塊状の火山岩類からなる。層厚は 600m~2,000m と変化に富む。地質時代は二疊紀後期から三疊紀とされている。Grupo Pucará (プカラ層群) 相当層に不整合で被われる。

【Grupo Pucará相当層】

本層は 25-p, 25-q, 26-q 図画中の古生界周辺部に分布する。岩相は石灰岩が卓越する。調査地区内での地質状況の詳細は不明であるが、地質時代は三疊紀後期~ジュラ紀前期である。同時代に対比される Formación Huambutio (フンブティオ層) (Dávila, D., 1987) は珪質砂岩、赤色泥岩、石膏を伴い、層厚は 200m である。

【Grupo Goyllarisquizga(コイリスキズガ層群)相当層】

本層は 24-p, 25-p, 25-q 及び 27-r, 27-s 図面中に分布する。岩相は礫岩, 珪岩, 石灰岩, 頁岩層を主とする。地質時代は白亜紀前期である。27-r, 27-s 図面中では層群中の一部に珪質砂岩, 礫岩, 泥岩, 頁岩からなる Formación Iluancané(ワカカ層) (Cabrera 他, 1936) に対比される。Urubamba 周辺では礫岩, 礫岩質砂岩, 珪質砂岩からなり, 層厚は 30m~150m である。

【白亜紀上部層】

本層は 25-q, 25-s, 26-s 及び 27-r, 27-s 図面に分布する。27-r, 27-s 図面では Formación Yuncaypata(ウカカ層) に対比される。岩相は石灰質頁岩, 石灰岩が卓越する下部層と赤色頁岩, 石灰岩, 泥灰岩, 黒色ないし緑色頁岩からなる上部層に分かれる。

【古第三紀層】

本層は 24-p, 25-p, 25-q, 25-s, 26-s 及び 27-r 図面中に分布する。27-r 図面中では Formación Quilque(キルク層), Grupo San Jerónimo(サンヘロニモ層群)として区分されている。岩相は前者は頁岩, 赤色砂岩, 礫岩からなり, 層厚 250m である。後者は陸性の堆積物で赤色岩相を呈し, 層厚は 6,000m に達するとされている。

【新第三紀層】

本層は 27-r 図面南部に分布し主として火山岩類からなる。層厚は 100m~500m である。

【第四紀層】

河川の流域には洪積層, 沖積層が認められる。また高所の氷河の認められる付近ではモレーンが認められる。

(2) 貫入岩類

貫入岩類には 2 種類のバソリスが分布する。

二疊紀~三疊紀に貫入したと考えられる花崗岩, アグメロ岩, モンゾニ閃緑岩等からなる, Rb/Sr 年代測定結果が $246 \pm 10\text{Ma}$. を示すアルカリ岩系の Machu Picchu(マチュピチュ)バソリスと古第三紀に貫入したと考えられる花崗閃緑岩, 斑れい岩, 閃緑岩, 石英閃緑岩等からなる, 年代測定結果が $32.6 \pm 1.0 \sim 37.0 \pm 1.5\text{Ma}$. と $52.7 \pm 2.0\text{Ma}$. を示すカルク-アルカリ岩系の Andahuaylas-Yauri(アンダウイラス-ヤウリ)バソリスがある。

この他には小規模のシヨシヨナイト質火山岩が 27-r 図面中で認められる。