

ペルー共和国コタウアシ地域
資源開発協力基礎調査報告書

第1年次

昭和61年2月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

ペルー共和国コタウアシ地域
資源開発協力基礎調査報告書

第1年次

昭和61年2月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

709
66.1
MPN
L.S.A. ④

総計
CR(3)
86-44



100

100
66
100

100
66
100

JICA LIBRARY



1030371[7]

ペルー共和国コタウアシ地域 資源開発協力基礎調査報告書

第1年次

昭和61年2月

国際協力事業団

金属鉱業事業団

国際協力事業団		
受入 月日	61. 8. 12	709
登録 No.	15151	66.1 MPN

は し が き

日本国政府は、ペルー共和国政府の要請に応え、同国南部に位置するコタウアシ地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査等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、この調査の実施を金属鉱業事業団に委託することにした。

本調査は昭和60年度が第1年次にあたり、金属鉱業事業団は6名の調査団を編成して、昭和60年9月30日から同年12月27日まで現地に派遣した。

現地調査はペルー共和国政府関係機関、特に動力鉱山省地質鉱物冶金研究所(INGEMMET)の協力を得て予定どおりに実施した。

本報告書は第1年次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御協力をいただいたペルー共和国政府関係者並びに外務省・通商産業省・在ペルー日本国大使館及び関係各位に対し衷心より感謝の意を表するものである。

昭和61年2月

国際協力事業団

総裁 有田圭輔

金属鉱業事業団

理事長 西家正起

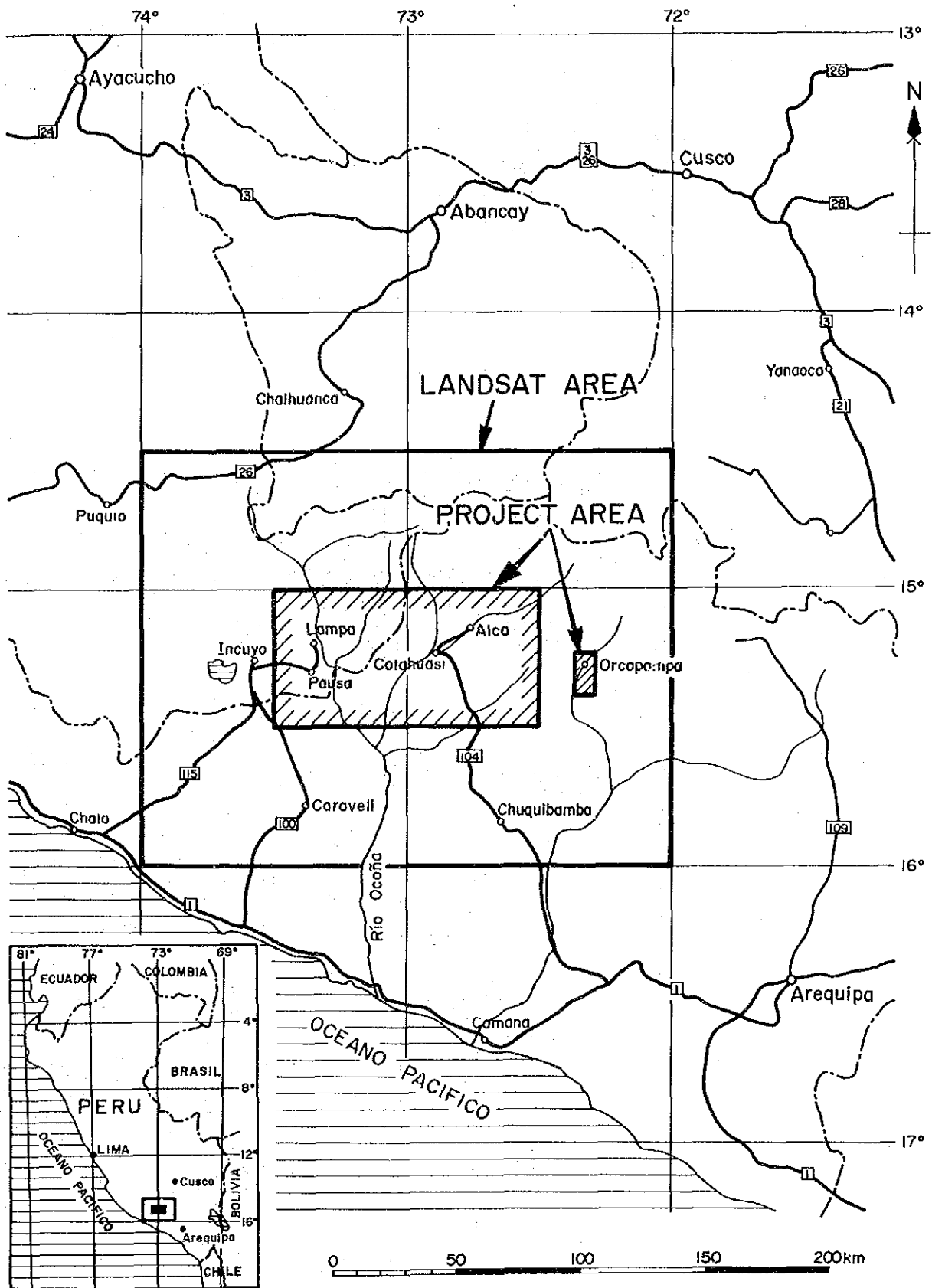


Fig.G-1 Location Map of the Project Area

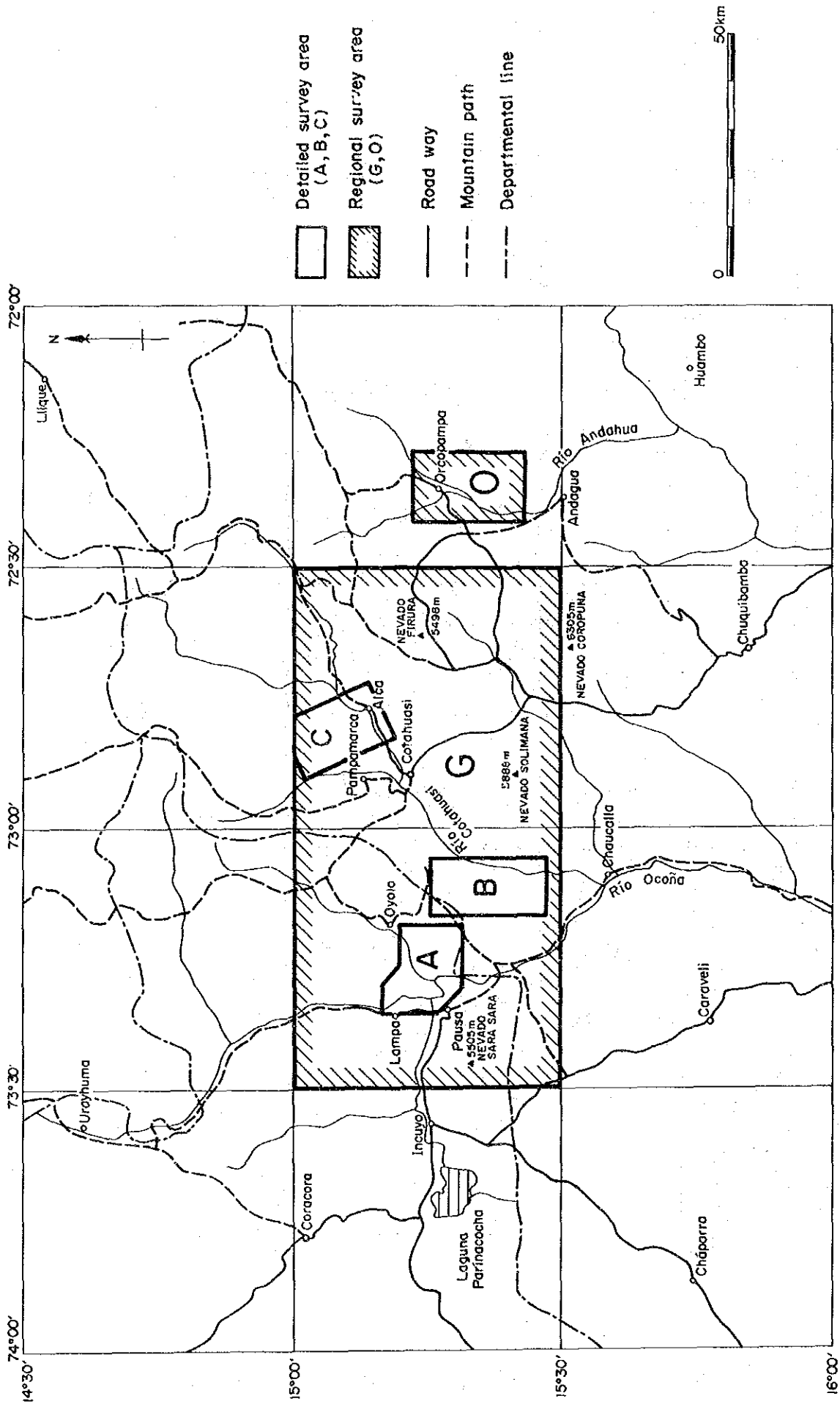


Fig.G-2 Location Map of the Survey Area

要 約

ペルー共和国コタウアン地域の東方には Arcata 鉱山や Orcopampa 鉱山、南部には Nazca-Ocoña 帯に属する金銀鉱脈型鉱床が知られている。従って、調査地域内にもこれらと同様の鉱床が賦存する可能性があり、本調査が計画された。

調査地域における第1年次の調査は、現地でのランドサット画像解析、地質調査及び地化学探査からなる。また、鉱床モデル調査のため、Orcopampa 鉱床周辺でも地化学探査を行った。これらの調査は、該当地域の地質・地質構造、鉱化変質帯、地化学的特性等を総合的に考察することにより、鉱床賦存有望地区を抽出することを目的とした。

調査地域は、アンデス山脈の南西側斜面に位置する標高4,000~5,000mの高地高原地帯にあり、当地区には太平洋に注ぐOcoña水系に属する比高1,000~2,500mの大峡谷が発達する。また、高地高原地帯に聳えて標高6,000m内外の第四紀の火山が分布する。

地質は、先カンブリア時代の片麻状花崗岩~閃緑岩を基盤として、その上位に砕屑岩類及び石灰質岩類からなるジュラ系及び白亜系が厚く堆積し、これらを不整合に覆って火山岩類を主体とした第三系及び第四系が広く分布する。貫入岩類として閃緑岩質底盤及び閃緑岩や安山岩の岩株や岩脈が多数存在し、局部的にスカルンや変質帯を伴っている。

新第三系下部以前の地層は一般に強く褶曲し、断層によって地塊化している。しかし、火山岩類を主体とする新第三系中、上部及び第四系には褶曲は認められず、断層は極く小規模なものである。

調査地域内では数多くの変質帯が確認されたが、地化学異常帯と重複して現われる変質帯は、新第三系下部以前の地層中のみ認められる。

鉱化作用は、石英脈及び破碎帯や節理に沿った酸化帯に金銀が含まれる含金銀鉱脈型の鉱化が大半で、一部にスカルン中に胚胎する小規模な接触交代型の金・銀・銅・鉛・亜鉛の鉱化がある。

本年次の調査結果によって有望地区を選出すれば、(1)含金銀石英脈を主とする Mina Pararapa, (2) Au の地化学異常帯と重複する Tanisca 変質帯, (3) 含金石英細脈及び酸化帯からなる Mina Luicho, (4) Zn, Ag の地化学異常帯と重複する Pirca 変質帯などが鉱床賦存有望地区と考えられる。このほか、調査地域外南西の Chururo Pampa 地区には、石英細脈を伴う含金石英-粘土脈鉱床を採掘している Cruz Vuelto の鉱山があり、周辺に広がる平坦地に潜頭の鉱化帯が予想される。

目 次

はしがき	
要 約	
目 次	
第1章 序 論	1
1-1 調査目的	1
1-2 調査内容	1
1-3 調査日程	2
1-4 調査団の編成	3
第2章 一般事情	5
2-1 ベルギー共和国の概況	5
2-2 調査地域の位置及び交通	5
2-3 地 形	7
2-4 気候・植生	7
2-5 調査地域周辺の既往調査	8
2-6 調査地域周辺の地質鉱床の概要	9
第3章 ランドサット画像解析	11
3-1 解析方法	11
3-2 解析結果	11
3-2-1 写真地質的判読	11
3-2-2 線形構造	11
3-2-3 円形構造	11
3-2-4 変質帯	11
3-2-5 その他の判読要素	11
第4章 地質調査	13
4-1 調査方法	13
4-2 調査結果	13
4-2-1 層 序	14
4-2-2 貫入岩類	23

4-2-3	岩石の化学組成	25
4-2-4	地質構造と地史	28
4-2-5	変質作用と鈹化作用	30
第5章	地化学探査	47
5-1	探査方法	47
5-1-1	試料採取及び採取試料数	47
5-1-2	試料調整及び分析方法	47
5-1-3	データ処理	47
5-2	探査結果	50
5-2-1	単一変量解析	50
5-2-1-(1)	標準統計量	50
5-2-1-(2)	指示元素間の相関	51
5-2-1-(3)	累積頻度分布図	51
5-2-1-(4)	濃度区分及びシキイ値	64
5-2-2	主成分分析	64
5-2-2-(1)	標準統計量	64
5-2-2-(2)	主成分の意味	64
5-2-2-(3)	累積頻度分布及びシキイ値	65
5-2-3	地化学異常帯	71
5-2-4	地化学異常帯と地質との関係	72
第6章	総括及び提言	77
6-1	総括	77
6-2	提言	81

参考文献

巻末資料

LIST OF ILLUSTRATIONS

- Fig.G- 1 Location Map of the Project Area
- Fig.G- 2 Location Map of the Survey Area
- Fig.2- 1 Accessibility Map to the Survey Area
- Fig.3- 1 Index Map of Landsat Data
- Fig.3- 2 Interpretation Map of Landsat False Color Images
- Fig.4- 1 Geological Map of the Cotahuasi Area
- Fig.4- 2 Generalized Stratigraphic Column of the Survey Area
- Fig.4- 3 SiO_2 - $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ Variation Diagram of Volcanic Rocks
- Fig.4- 4 K_2O - MgO Variation Diagram of Volcanic Rocks
- Fig.4- 5 Normative Quartz-Orthoclase-(Albite+Anorthite)
Triangular Diagram of Some Igneous Rocks
- Fig.4- 6 Location Map of Alteration and Mineralized Zones
- Fig.4- 7 Location Map of Adits in the Mina Pararapa
- Fig.4- 8 Location Map of Adits in the Minas de Huayllura
- Fig.4- 9 Location Map of Quartz Vein in the Pararapa Mine
- Fig.4-10 Geological Sketch of Adit in the Mina Pararapa
- Fig.4-11 Geological Sketch of Adit in the Minas de Huayllura
(Copacahuana Mine)
- Fig.5- 1 Correlation of Au-Ag, Au-As, Au-Cu, Au-Pb, Au-Zn,
(1-15) Ag-As, Ag-Cu, Ag-Pb, Ag-Zn, As-Cu, As-Pb, As-Zn,
Cu-Pb, Cu-Zn and Pb-Zn in Logarithm
- Fig.5- 2 Histogram and Cumulative Frequency Diagram
(1- 6) Au, Ag, As, Cu, Pb and Zn
- Fig.5- 3 Unrotated Factor Loadings
- Fig.5- 4 Histogram and Cumulative Frequency Diagram of
(1- 3) First, Second and Third Principal Components
- Fig.5- 5 Geochemical Interpretation Map (Composit Data)
- Fig.6- 1 Interpretation Map of the Cotahuasi Area

LIST OF TABLES

Table 1- 1	Outline of the Survey
Table 1- 2	Quantity of Laboratory Works
Table 1- 3	Schedule of Survey
Table 3- 1	Standard of Classification for Geological Unit by Landsat False Color Image
Table 4- 1	Stratigraphic Correlation of Geological Units around the Cotahuasi Area
Table 4- 2	List of Alteration and Mineralized Zones (Main)
Table 4- 3	List of Alteration and Mineralized Zones (Others)
Table 4- 4	Chemical Analyses of Ore Samples in the Mina Pararapa
Table 4- 5	Mineral Assemblage of Ore Samples in the Mina Pararapa
Table 4- 6	Chemical Analyses of Ore Samples in the Minas de Huayllura
Tabel 4- 7	Mineral Assemblage of Ore Samples of the Minas de Huayllura
Table 4- 8	Chemical Analyses of Altered Rock in the West of Tanisca
Table 4- 9	Mineral Assemblage and Chemical Analyses of Ore Samples in the Mina Luicho
Table 4-10	Mineral Assemblage and Chemical Analyses of Iron Oxides in the Pirca Alteration Zone
Table 4-11	Mineral Assemblage of Altered Rocks in the Pirca Alteration Zone
Table 4-12	Mineral Assemblage and Chemical Analyses of Ore Sample in the South of Maran
Table 4-13	Mineral Assemblage and Chemical Analyses of Altered Rock in the Oyolo Alteration Zone
Table 4-14	Chemical Analyses of Ore Samples in the Mina Picha

- Table 5- 1 Method of Chemical Analysis (by CHEMEX LABS. LTD.)
- Table 5- 2 Statistical Values and Crastal Aboundance of Indicator Elements
- Table 5- 3 Correlation Coeficients in Logarithm
- Table 5- 4 Classification of Anomalous Values and Thresholds
- Table 5- 5 Results of Principal Component Analysis
- Table 5- 6 Classification of Principle Components and Thresholds
- Table 5- 7 List of Anomalous Zones

LIST OF APPENDICES

- Apx.- 1 Microscopic Observations of Rock Thin Sections
- Apx.- 2 Photomicrographs of Rock Thin Sections
- Apx.- 3 Results of Whole-Rock Chemical Analyses
- Apx.- 4 Whole Rock K-Ar Datings
- Apx.- 5 X-ray Diffractive Analyses
- Apx.- 6 Microscopic Observations of Polished Sections
- Apx.- 7 Photomicrographs of Polished Sections
- Apx.- 8 Results of Chemical Analyses of Ore Samples
- Apx.- 9 X-ray Powder Diffraction Charts
- Apx.-10 Assay Results of Geochemical Samples
- Apx.-11 Geological Map of the Orcopampa Area
- Apx.-12 Histogram and Cumulative Frequency Diagram (Au) of Orcopampa Area
- Apx.-13 Histogram and Cumulative Frequency Diagram (Ag) of Orcopampa Area
- Apx.-14 Geochemical Anomaly Map (Au) of Orcopampa Area
- Apx.-15 Geochemical Anomaly Map (Ag) of Orcopampa Area
- Apx.-16 Geochemical Anomaly Map (As) of Orcopampa Area
- Apx.-17 Geochemical Anomaly Map (Cu) of Orcopampa Area
- Apx.-18 Geochemical Anomaly Map (Pb) of Orcopampa Area
- Apx.-19 Geochemical Anomaly Map (Zn) of Orcopampa Area
- Apx.-20 Geochemical Interpretation Map of Elements of Orcopampa Area
- Apx.-21 First Principal Component Map of Orcopampa Area
- Apx.-22 Second Principal Component Map of Orcopampa Area
- Apx.-23 Third Principal Component Map of Orcopampa Area
- Apx.-24 Interpretation Map of Principal Components of Orcopampa Area

- Apx.-25 Geochemical Interpretation Map (Composite) of Orcopampa Area
- Apx.-26 Sample Location Map of Geochemical Stream Sediment of Orcopampa Area Scale 1:100,000
- Apex.-27 Location Map of the Chururo Pampa
- Apx. 28 The Spot Photographs

LIST OF PLATES

PL. 1	Interpretation Map of Landsat False Color Images	Scale 1:250,000
PL. 2	Geological Map of the Cotahuasi Area	Scale 1:100,000
PL. 3 (1)-(8)	Geological Map of the Regional Survey Area (1)-(8) 8 Sheets	Scale 1: 50,000
PL. 4	Geological Map of the Detailed Survey Area (A)	Scale 1: 25,000
PL. 5	Geological Profiles of the Detailed Survey Area (A)	Scale 1: 25,000
PL. 6	Geological Map of the Detailed Survey Area (B)	Scale 1: 25,000
PL. 7	Geological Profiles of the Detailed Survey Area (B)	Scale 1: 25,000
PL. 8	Geological Map of the Detailed Survey Area (C)	Scale 1: 25,000
PL. 9	Geological Profiles of the Detailed Survey Area (C)	Scale 1: 25,000
PL. 10	Location Map of Alteration and Mineralized Zones	Scale 1:100,000
PL. 11	Location Map of Rock and Ore Samples	Scale 1:100,000
PL. 12 (1)-(6)	Geochemical Anomaly Map (Au), (Ag), (As), (Cu), (Pb), and (Zn) 6 Sheets	Scale 1:100,000
PL. 13	Geochemical Interpretation Map (6 Elements)	Scale 1:100,000
PL. 14 (1)-(3)	Geochemical Principal Component Map (First, Second and Third) 3 Sheets	Scale 1:100,000
PL. 15	Geochemical Interpretation Map of Principal Component	Scale 1:100,000
PL. 16	Geochemical Interpretation Map (Composite Data)	Scale 1:100,000
PL. 17	Sample Location Map of Geochemical Stream Sediment	Scale 1:100,000

PL. 18 Interpretation Map of the Cotahuasi Area Scale 1:100,000

第1章 序 論

第1章 序 論

1-1 調査目的

ペルー共和国コウタアシ地域における資源開発協力基礎調査の第1年次は、地質調査、地化学探査及びランドサット画像解析からなる。これらの調査は、該当地域の地質状況を解明することによって鉱床賦存状況を把握することを目的としており、その重点課題は地質構造と鉱化作用の関連性、地球化学的特性を総合的に考察することによって有望地区を抽出することである。

1-2 調査内容

第1年次の調査内容をTable 1-1に示し、これに付随して実施された各種の室内試験数をTable 1-2に示す。

Table 1- 1 Outline of the Survey (調査量)

調査内容及び地区	調 査 量
地質調査・地化学探査	
(1) 概査地区	調査面積； 5,200 km ² 踏査延長； 1,493 km 地化学探査資料採取； 1,309個
(2) 精査地区	調査面積； 800 km ² 踏査延長； 643 km 地化学探査資料採取； 815個
(3) オルコパンバ地区	地化学探査試料採取； 50個
(4) 全地区	年代測定試料採取； 5個
ランドサット画像解析	写真地質学的判読作業； 30,000 km ²

Table 1-2 Quantity of Laboratory Works (室内試験数量)

分析項目及び成分	数 量
岩石薄片作成	50 枚
鉍石研磨片作成	22 枚
X線回折	25 件
化学分析	
岩石； SiO_2 , TiO_2 , FeO , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , K_2O , BaO , Na_2O , Al_2O_3 , P_2O_5 , LOI	20 件 (260 成分)
鉍石； Au , Ag , Cu , Pb , Zn	24 件 (120 成分)
年代測定 (K - Ar 法)	5 件
地化学探査試料分析	
河床堆積物； Au , Ag , Cu , Pb , Zn , As	2,174 個 (13,044 成分)

1-3 調査日程

本調査は、作業手順上、計画準備・動員・現地調査・撤収・室内試験・データ解析及び報告書作成の順で行われた。その日程の概要は次のとおりで、その詳細を Table 1-3 に示す。

計画準備；昭和60年 9月25日～同年10月19日

現地調査；昭和60年 9月30日～同年12月27日

内業解析；昭和60年12月28日～昭和61年 2月28日

Table 1-3 Scadule of Survey (調査日程表)

日 順 項目	日 数 年月日	昭和 60 年				昭和 61 年	
		9月	10月	11月	12月	1月	2月
(1) 計画・準備		5 2	19				
(2) 現地調査		30			27		
第1陣		30	4				
第2陣			14				
第3陣			21	25			
地質調査・地化学探査現地作業			15		19		
ランドサットデータ解析				31	19		
撤 収					20	27	
(3) 内業解析				29			28
地化探分析				29	20		
年代測定					9	10	
各種室内試験					10	10	
データ解析・原図作成					8	23	
トレース・製図					16	25	
報告書原稿作成					11	24	9
英文翻訳、校正						25	25
印刷・製本							26

1-4 調査団の編成

本調査の実施にあたって、協定・計画・現地折衝調査団及び現地調査団に参加した人員は下記のとおりである。

(1) 協定・計画・現地折衝

日本側

石田 真	金属鉱業事業団
武富義和	通商産業省 資源エネルギー庁
觸 純宏	金属鉱業事業団 リマ事務所
江沢忠昭	金属鉱業事業団
上木隆司	//

ペルー側

Juan Zagarra Wuest	Instituto Geologico Minero y Metalurgico
Gregorio Flores Nãnes	//
Erick Soriano Bernardini	//

(2) 現地調査団

日本側

宮島 弘	団長	住鉱コンサルタント株式会社
中島清治	団員	"
酒井正嗣	"	"
土田清治	"	"
名取二郎	"	"
長尾尚顕	"	"

ペルー側

Cesar Vilca Neira	団長	Instituto Geologico Minero y Metalurgico
Hector Zarate Olazagal	団員	"
Walter Rodriguez Olaete	"	"
Carlos Jimenez Velasco	"	"
Emilio Rojas Rivera	"	"

現地調査に際しては、原則として、日本人地質技師1名とペルー人地質技師1名に調査助手数名、馬匹数頭を加えて1班とし、常時5～6班編成で調査を行った。

第2章 一般事情

第2章 一般事情

2-1 ペルー共和国の概況

ペルー共和国(以下単に「ペルー」という)は、南米大陸の大太平洋岸に面した南緯 $0^{\circ}\sim 18^{\circ}20'$ にかけての国土面積 $1,285,215\text{ km}^2$ (日本の約3.4倍)の国で、総人口1,871万人(1983年推計)で、首都はリマ市である。ボリビアと共に最もインディオの多い国の一つで、人口の47%を占め、約40%がメスティソ(インディオと白人の混血)で、白人は12%である。公用語はスペイン語で、ペルー全土で用いられているが、インディオの間ではケチュア語も広く用いられており、ボリビアに近い所では一部アイマラ語も話されている。

ペルーの国民総生産は、1982年の統計で220億3,000万US\$で、1人当りGNPは1,260US\$である。1次エネルギーの国内生産量は石油換算で1,108万tで、消費量766万tを上回っている。鉱産資源は豊富で、銀鉱は世界第2位(1981年 1,458t)、亜鉛鉱は世界第4位(1981年、約50万t)、鉛鉱は世界第5位(1981年、18.7万t)、銅鉱は世界第7位(1983年、33.6万t)を誇っており、また、原油や天然ガスにも恵まれている。

輸出入総額は、1983年統計で輸出30億1500万US\$、輸入26億8800万US\$で、3億2700万US\$の黒字を示し、公的対外債務残高は114億8400万US\$(1982年)である。対日貿易は亜鉛鉱、銀、銅鉱など4億726万us\$輸出し、自動車、鉄鋼、機械など1億6011万US\$を輸入しており(1984年)、対日貿易は黒字を示している(統計数値は朝日新聞社1986による)。

1984年以前は極めて高率のインフレに見舞われ、経済がかなり混乱したが、現政権に交替後、為替レートの固定化、物価統制を行っている。現在の為替レートは、銀行レートで17300ソール/1US\$、公式レートで14000ソール/1US\$で、この為替レート及び石油価格は1986年上半期まで凍結することが政府から公表されている。

2-2 調査地域の位置及び交通

調査地域はペルー共和国の南部に位置し、ランドサット画像解析地域はArequipa(アレキパー)県、Ayacucho(アヤクチュ)県、Apurimac(アプリマック)県、Puno(プノ)県の4県にまたがり、南緯 $14^{\circ}30'$ と $16^{\circ}00'$ 及び西経 $72^{\circ}00'$ と $74^{\circ}00'$ の4線に囲まれる長方形の面積約 $30,000\text{ km}^2$ の範囲である(Fig G-1)。

地質調査及び地化学探査地域はランドサット画像解析地域のほぼ中央に位置しており、概査地区はArequipa県とAyacucho県の県境付近に位置し、南緯 $15^{\circ}00'$ と $15^{\circ}30'$ 及び西経 $72^{\circ}30'$ と $73^{\circ}30'$ の4線に囲まれた面積約 $6,000\text{ km}^2$ のうち、精査地区を除く約 $5,200\text{ km}^2$ の範囲である。精査地区はA、B、C地区に分れており、各地区の範囲は次表に示す地点に囲まれた地区である。

A 地区 (南 緯) (西 経)		B 地区 (南 緯) (西 経)		C 地区 (南 緯) (西 経)	
15°09'	73°11'	15°14'	73°03'	15°00'	72°47'
15°09'	73°16'	15°14'	73°10'	15°00'	72°52'
15°07'	73°18'	15°29'	73°10'	15°01'	72°54'
15°07'	73°21'	15°29'	73°03'	15°11'	72°50'
15°13'	73°21'			15°08'	72°43'
15°17'	73°18'				
15°17'	73°11'				
面積 約250 km ²		面積 約340 km ²		面積 約210 km ²	

Orcopampa (オルコパンパ) 地区は概査地区の東方に位置し、南緯 15°11' と 15°25' 及び西経 72°17' と 72°25' の 4 線に囲まれた約 550 km² の範囲である。

調査地域内で車輛通行可能な道路のある主要部落は、ほぼ中央の Cotahuasi (コタウアシ) 及び Pausa (パウサ) で、両部落への進入路は、ペルー第 2 の都市 Arequipa が起点となり、両部落間に直接通ずる車道はない (Fig. 2-1)。

Cotahuasi に至る径路は、Arequipa から Tambillo (タンビージョ) まで国道 1 号線を利用し、そこから北西方向に通じる県道 103 号線に沿って Pta Colorada (プタコロラーダ), Aplao (アブラオ), Chuquibamba (チュキバンバ) を経て Cotahuasi に至る。この間の走行距離は約 410 km で、所要時間は 8~10 時間である。道路状況は Arequipa から Pta Colorada までの約 180 km 間が舗装されており、その先 Cotahuasi までの約 230 km 間は未舗装の砂利道である。

Pausa に至る径路は、Arequipa から Pta Tinaja (プタチナッハ) まで海岸沿いの国道 1 号線を利用し、そこから北上して Caraveli (カラベリ) を通り、その先は県道 100 号線を利用して Pausa に至る。この間の走行距離は約 490 km で、所要時間は 10~12 時間である。道路状況は Arequipa から Pta Tinaja までの約 280 km 間が舗装されており、その先 Pausa までの約 210 km 間は砂利道で、路面は Cotahuasi に通ずる道路に比べて悪路である。

この他、Pausa に至る道路は、国道沿いの Atica (アティカ) から国道 100 号線、Chala (チャラ) から県道 115 号線を利用する径路はあるが、所要時間はさらに長くなる。

調査地区内で車輛通行可能な道路は、進入路を除けば Cotahuasi から Alca (アルカ) に通ずる約 20 km, Pausa から Lampa (ランバ) に通ずる約 15 km 間の河川沿いの砂利道と、Pausa から南方へ約 8 km の砂利道がある。これらの他には車道が無いため、移動や運搬はすべて馬匹によるしかない。

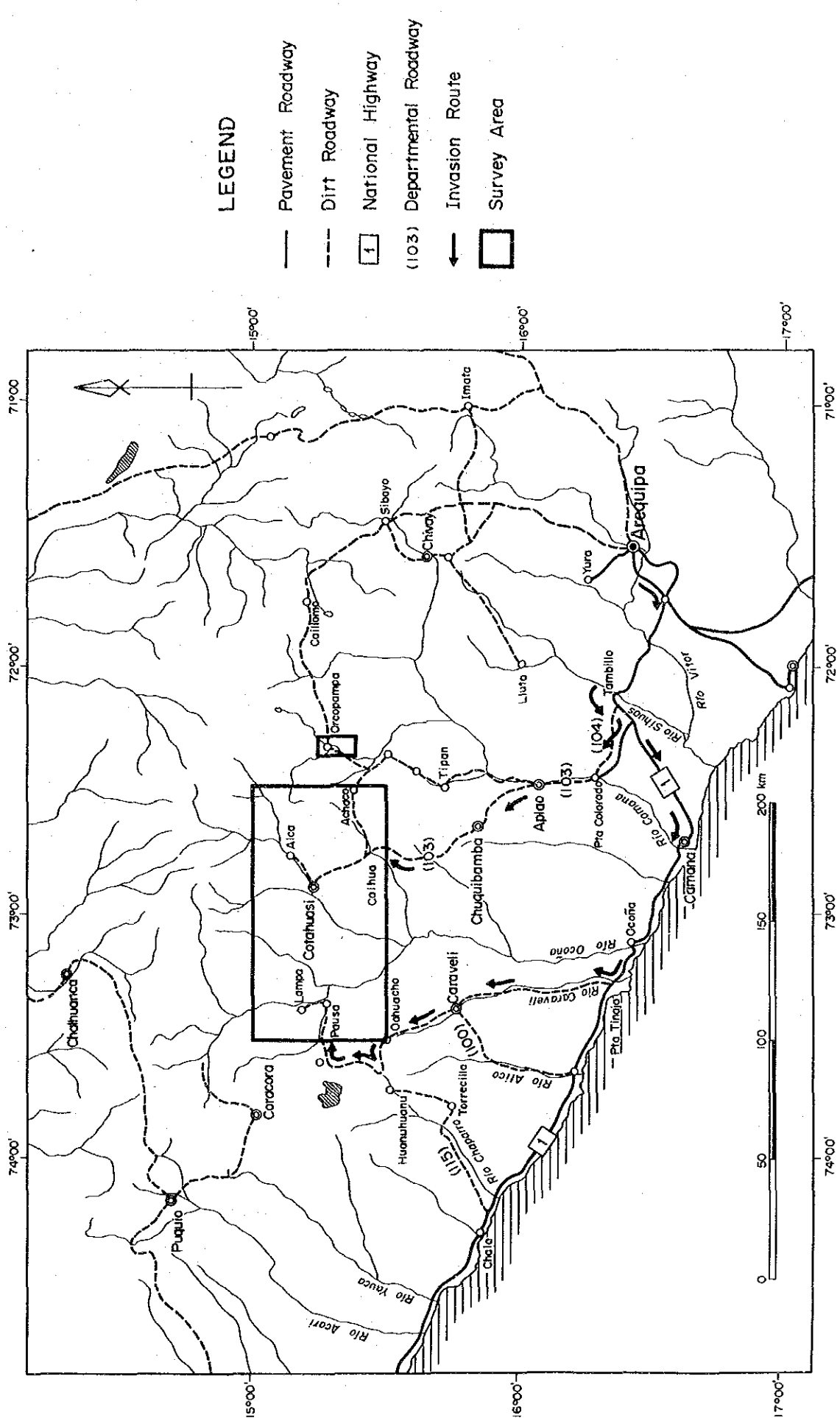


Fig. 2-1 Accessibility Map to the Survey Area

2-3 地 形

調査地域は、アンデス山脈の標高4,000~5,000mに発達するアルチプラノと称される高原地帯の南西部に位置する。このアルチプラノを深く削り込んで第三紀末期以降に開析された比高1,000~2,500mのグランドキャニオン状の峡谷として、Rio Maran (マラン川)、Rio Cotahuasi (コタウアシ川)があり、これらが合流してRio Ocoña (オコーニャ川)となって、南方の太平洋に注ぐ。

一方、アルチプラノの上に聳える第四紀の火山として、Nevado Sara Sara (サラサラ山 5,505m)、Nevado Solimana (ソリマーナ山 6,093m)、Nevado Firura (フィルラ山 5,498m)、Nevado Coropuna (コロプナ山 6,377m)などの標高5,500~6,000m級の高山がWNW-ESEの方向に配列しており、さらに地域外の東南東方向へNevado Anpato (アンパト山 6,288m)を初めとする高山が連なり、第四紀の火山フロントを構成している。

アルチプラノの地形は一般に緩傾斜の丘陵とその間に広がる平坦地からなり、盆地状の所では、Pampa (パンパ)と呼ばれる湿地または草原地帯及びLaguna (ラグーナ)と呼ばれる沼や池が発達する。

グランドキャニオン状の峡谷では、傾斜が40°を越える急斜面が大半で、しばしば60°~70°の急峻な地形と垂直に近い断崖絶壁を形成している。主要河川沿いには小規模な沖積平坦地が断続的に連なり、急斜面の中腹には小規模な緩傾斜平坦地が点在する。

2-4 気候・植生

広域的には、調査地域の南西端付近から太平洋岸にかけてが、南米太平洋岸の乾燥地帯に属し、ほとんど植生の認められない砂漠型気候からなる。一方、調査地域を含む付近一帯の標高4,000~5,000mに発達するアルチプラノ地域は、半乾燥型気候からなり、草原に覆われた寒冷な高原や盆地が発達する地帯と一般に言われている。

調査地域内では、最低標高がRio Cotahuasi及びRio Maranの南部河床付近で約1,150m、最高標高がNevado Coropunaの6,377mで、その比高差は約5,200mに及ぶ。従って、調査地域の気候や植生は標高に依存して著しく変化する。

標高約2,300mより低いRio CotahuasiやRio Maran沿いの気候は高温で、パパイヤ、バナナ、ぶどう、パカイ等の果実類が栽培されているほか、多種類の草木が成育している。

標高約2,300~3,500m付近は温暖な半乾燥型の気候で、トウモロコシ、小麦、ソラマメなどが栽培されるが、果実類はほとんどない。山地には数種類のサボテンと灌木が比較的密集して生えている。ベースキャンプを設置したCotahuasi及びPausaを初めとする集落の大半はこの気候帯に集中している。

標高約3,500~5,000m付近は冷涼~寒冷な半乾燥型気候で、標高約4,000m付近までの山地斜面には数種のサボテンや灌木がまだらに成育するが、標高4,000m~5,000m付近のアルチプ

ラノではこれらが非常に少なく，パンパに繁茂する多種多様の苔類のほか，低灌木が点在するのみで，大半は砂漠である。

標高約 5,000 m 以上の所では山頂付近に万年雪を伴い，非常に寒冷な気候で，全く植生は認められない。

アルチブラノの降雨は一般に少なく，時期的には 4 月～9 月が乾期，10 月～3 月が雨期である。調査地域では東側程雨期が早く，10 月頃から降雨をみるが，西側では半月～1 ヶ月遅れて始まる傾向がみられる。雨期には標高 4,000 m 以上では降雪，これ以下の所では降雨になる。

2-5 調査地域周辺の既往調査

地質・鉱床に関する既往調査報告書の主要なものは次のとおりである。

- (1) Mario J.A.F., (1975) : Geologia de la Mina Orcopampa y Alrededores, Arequipa, Boletin de la Sociedad Geologica del Peru Tomo 46
P. 9-24
- (2) Julio C. V., (1975) : Geologia de los Cuadrangulos de Huambo y Orcopampa, Ministerio de Energia y Minas Direccion General de Minería Servicio de Geologia y Minería
- (3) Victor P. G., (1983) : Geologia de Los Cuadrangulos de Pausa y Caraveli, INGEMMET Bol. No. 37 Serie A., Lima
- (4) Carlos G.R., David D.M. (1983) : Estratigrafia y Tectonica Terciaria del Area Coracora Pacapausa, INGEMMET Bol. Sociedad Geologica del Peru No. 71, 1983
- (5) Onuma N. (1985) : Collected Paper on Geochemical Investigation of the Central Andes Volcanic Zone, Southern Peru, 1980-1981, Orerseas Scientific Research (Nos. 504112 and 56043012)

これらの他に INGEMMET の未公表資料として，Cotahuasi 地区の縮尺 1:50,000 の地質図幅がある。

既往調査資料のうち，(1)は Orcopampa 鉱山の鉱床と変質について，(2)は Humbo (ユンボ) 及び Orcopampa 地区の縮尺 1:100,000 の地質図幅及びこの地区の地質・地質構造について詳細な記載がある。(3)は Pausa 及び Caraveli (カラベリ) 地区の縮尺 1:100,000 の地質図幅，同断面図及びこの説明書がある。(4)は Pausa 図幅の北部と西部の主に第三系の地質層序と地質構造についての研究報告である。(5)は調査地域を含むペルー南部の第三紀及び第四紀の火山岩の年代測定を初め，化学成分，放射性元素の挙動などについて詳細な記載がある。

これらの報告書はランドサット画像判読や現地調査計画の策定の基礎資料として活用された。

2-6 調査地域周辺の地質鉱床の概要

調査地域付近の地質は基盤が先カンブリア系の片麻岩及び閃緑岩を主体とする複合岩体からなり、調査地域の南部に分布する。これらを不整合に覆うジュラ系は、下部は緑色または茶褐色の安山岩質火山岩類からなり、最下部付近の一部では片状構造がみられる。中部から上位には灰～黒色の石灰岩、さらに暗灰～緑灰色の頁岩層及び厚い砂岩が累重する。白亜系は下部が淡灰～灰色の厚い珪質砂岩を主とし、その上部に砂岩を伴う頁岩主体層、化石を伴う灰～暗灰色の石灰岩などが重なる。これらのジュラ系や白亜系には褶曲構造や断層構造が著しく発達する。これらの地層は不整合で第三系に覆われる。

第三系は下部が砂岩や礫岩を主とする堆積岩類からなり、この上部に岩相変化の著しい安山岩質及び石英安山岩質の火山岩類、さらに流紋岩質火山碎屑岩類などが累重する。このうち下位に当る堆積岩類や安山岩質火山岩類には局部的に褶曲構造が認められる。

第四系は、Nevado Solimana を初めとする 5,000m 級以上の火山帯を含み、アルチブラノの高原地帯に広く分布する安山岩質火山岩類を最下位層とし、この上位に氷河堆積物、さらに局部的に噴出した玄武岩～安山岩質の火山岩類が分布する。沖積層は、全般に凝灰質な堆積物からなり、主要河川沿い、緩傾斜地、アルチブラノの盆地部などに分布する。

調査地域の主要な貫入岩類は、海岸パソリスに相当する白亜紀の花崗岩質貫入岩類、第三紀の微閃緑岩質及び安山岩質の貫入岩類などで、岩株状～底盤状を成して、地区南部から中央部にかけて分布する。これらの貫入岩類の配列方向は、海岸パソリスがWNW-ESEの方向性を示すが、第三紀貫入岩類の配列方向は第四系に覆われて明らかでない。しかし大局的にはNW-SE及びNE-SWの二方向に配列する傾向を示す。

地質構造では、第三紀中新統以前(Tacaza層の安山岩質火山岩類活動以前)の地層は褶曲と断層構造が発達して地塊化されているが、中新統以降(Alpabamba層の石英安山岩質火山岩類の活動以降)の地層では、一部の小規模断層を除いて、褶曲や断層構造は認められない。褶曲はNW-SEまたはWNW-ESE方向の軸をもつ背斜及び向斜からなる。断層はNW-SE方向が顕著で、これに斜交するE-W、NE-SW及びN-S方向のものがある。

変質帯及び鉱徴は、白亜系以前の主に堆積岩の分布域では、石灰岩や珪質砂岩が多いため変質帯の発達は大規模である。しかし、中新統以降の火山岩類の分布域ではしばしば褐色汚染を伴った比較的規模の大きい変質帯がみられる。変質帯は、精査地区ではA地区北東部のOyolo及び南西部のMina Luicho付近、B地区西部のTanisca及び北東部のMina Picha付近、C地区中央北部のMina Pararapa付近など、概査地区では地区南西部のSara Sara南部付近、Pirca付近、Maran南部付近などに分布するものが主なものである。

これらの変質帯のうち、Tanisca変質帯は調査地区では最も規模が大きく、変質帯の幅は1～

3 km あり、南北方向へ約 10 km 連続する。この変質帯は安山岩質火山岩類(Tacaza 層群)中の粘土化変質帯で、その一部に弱い珪化帯を伴う。この変質帯の下部に分布する珪質砂岩(Yura 層)中には金を伴う酸化粘土脈や石英細脈があり、過去小規模に探鉱されている。

Mina Pararapa 変質帯は、NNW-SSE 方向に貫入した斑状変質安山岩岩脈とその周辺の安山岩質火山岩類(Tacaza 層)が酸化鉄に汚染された褐色変質帯で、ここには N20°W・80°NE の方向に含金銀石英脈が胚胎する。この鉱脈型鉱床はごく最近まで坑道探鉱が行なわれ、局所的に Au 40 g/t の高品位部を伴うが、品位はばらついており、鉱脈約 200 m 間の平均品位は Au 4.61 g/t である(鉱山資料による)。この鉱脈の規模は、脈幅 0.5 ~ 1.5 m で延長約 1.3 km に渡って追跡される他、平行脈も予想される。また、変質帯の規模は NNW-SSE 方向に幅約 1 km、延長約 2.5 km である。

これらのほか、金の鉱化作用を伴う変質帯には、Mina Luicho 及び Maran 南部の変質帯があるが、いずれも鉱化帯の規模はやや小さいものと思われる。

Mina Picha 変質帯は、白亜系の石灰岩(Arcurquina 層)とこれに貫入した閃緑岩との接触部付近の変質帯で、スカルン中には小規模なレンズ状銅・鉛・亜鉛の塊状鉱体を伴う接触交代鉱床がある。

他の変質帯は大半が褐鉄鉱に汚染された褐色変質帯で、鉱化作用は貧弱である。

ランドサット画像から判読された概査地域外の変質帯は、南東の Nevado Coropuna 南西付近北西の Nasama 付近、北東の Nevado Firura 北東付近などの変質帯が比較的大規模で、これらは主に白色粘土化変質帯と予想される。

第3章 ランドット画像解析

第3章 ランドサット画像解析

調査地域を含む30,000km²の範囲について、ランドサット画像による広域的な写真地質学的判読作業が現地において実施され、その結果は地表地質踏査の指針及び室内解析に利用した。

3-1 解析方法

(1) 使用データ

多波長帯域走査計MSS (Multi Spectral Scanner) データから、調査範囲に該当する最適なMSSデータを選出し、以下のものを作成した。

フォールスカラー画像(4, 5, 7バンド)	縮尺 1/250,000	4枚
白黒画像(7バンド)	縮尺 1/250,000	4枚
CCT (Computer Compatible Tape)		1式

なお、調査地域は4枚の画像でカバーされている (Fig. 3-1)。

判読に使用した既存地質資料は以下のとおりである。

Mapa Geologico del Cuadranglo de Pausa 1:100,000 (INGEMMET)

Mapa Geologico del Cuadranglo de Caraveli 1:100,000 (INGEMMET)

Mapa Geologico del Cuadranglo de Cotahuasi 1:100,000 (Inside data of INGEMMET)

(2) 写真地質的判読

判読作業ではフォールスカラー画像及び白黒画像を使用した。判読に際して、既存資料に用いられている地質単元を分類整理して、各地質単元に対応する判読要素を定めた。これらの判読要素を全域に適用して地質区分を行うと共に、地層の走向・傾斜の方向、線形構造及び褶曲構造などの判読を行った。判読結果は既存の25万分の1及び10万分の1を縮小した25万分の1地形図から作成した25万分の1水系図に整理され、地質調査に供した。

3-2 解析結果

ランドサットの解析結果は一括してランドサット解析図 (PL.1) に示した。

3-2-1 写真地質的判読

フォールスカラー画像から識別される地質区分の判読要素は、色調、地肌、水系、地形等が主要で、これらの諸要素の特徴から、調査地の地質は大きく12区分された。各地質単元の判読要素の特徴及び推定される岩石はTable 3-1にまとめた。

本地区では中生代以前の地質区分は困難であったが、第三紀以降の地質区分は比較的明瞭に区分された。貫入岩類には特に顕著な特徴がないため、判読区分は不可能であった。

3-2-2 線形構造

線形構造 (以下「リニアメント」という。) の特徴は南半部と北半部ではその方向性及び密度

に大きな違いが認められる。

南半部の主として第三系以前の分布域では、NW-SE系の密集したリニアメントが顕著にみられるほか、連続性の良いE-W系のものがある。

一方、北半部の第四系の分布域では、線構造の発達が比較的悪く、その方向性はNE-SW系のほか、一部にN-S系のものが認められる。

リニアメントの各々の長さは5 km~10 kmのものが顕著で、南西部のE-W系のものでは延長が約20 kmに及ぶものがある。

3-2-3 円形構造

円形及び半円形を示す円形構造が発達しており、その大きさは直径2 km~5 kmのものが最も顕著で、一部に直径10 kmに及ぶものがある。それらの円形構造の多くはNW-SE及びNE-SWの2方向にほぼ配列して分布する。前者は地区北西のNasama (ナサマ) 付近から南部のPotrero (ポトレロ) にかけて最も顕著にみられるほか、この南西側ではMarchante (マルチャンテ) から南東方向へReparticion (レパルティション) にかけて分布する。また後者は地区北東のOcaque (オカケ) から地区中央のCotahuasi (コタウアシ) にかけて顕著に分布する。これらの円形構造の配列方向はリニアメントのNW-SE及びNE-SWの方向性とほぼ一致した方向性を示している。これらの他に地区南東及び北北西に分布するものがある。

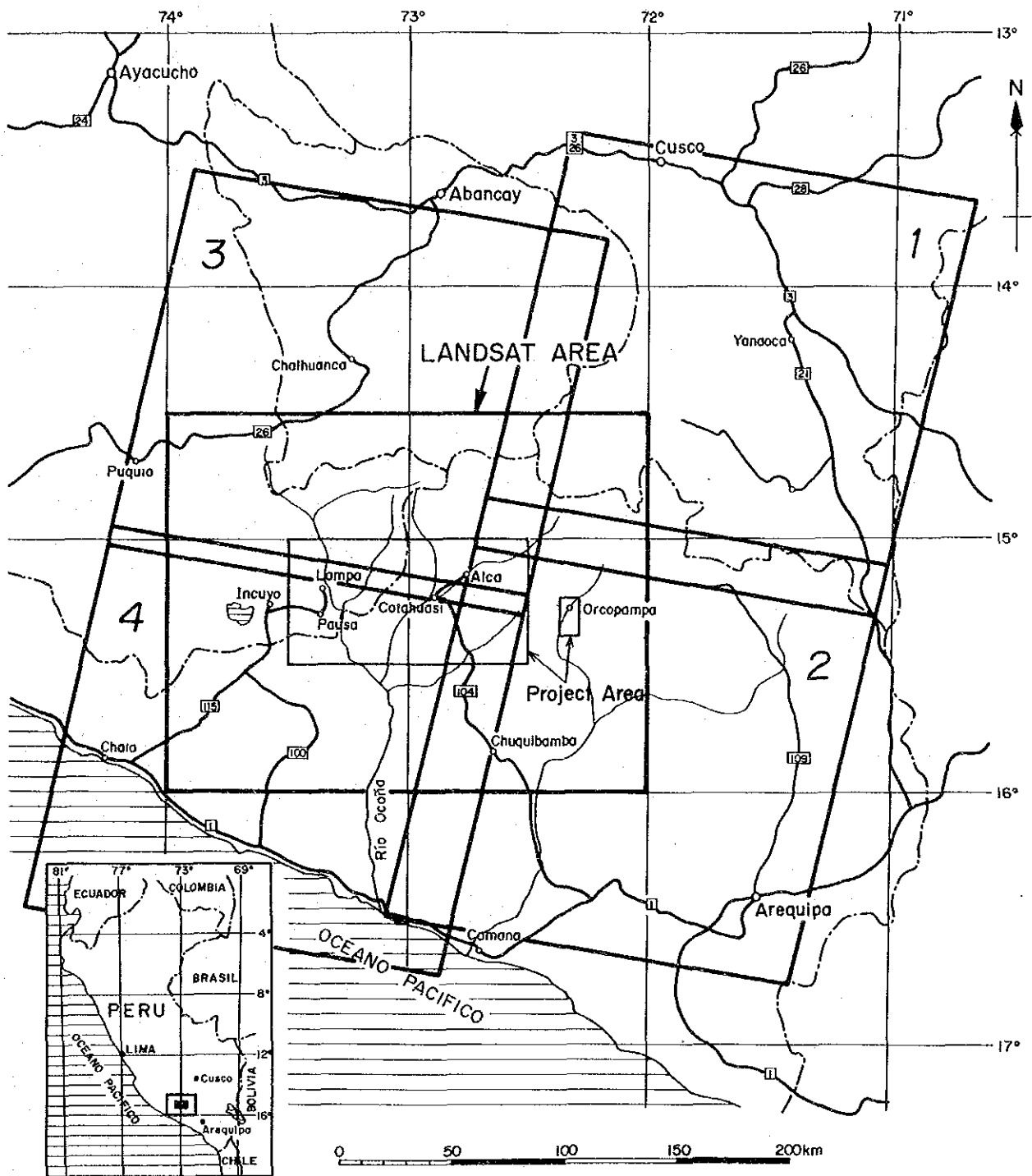
3-2-4 変質帯

フォールスカラー画像上で、やや緑色味を帯びた白色部がみられ、これらは褐鉄鉱の汚染を伴う変質帯に対応している。その主なものは北西部のNasama (ナサマ) 付近、Nevado Sara Sara (ネバトサラサラ) 南部、Tanisca (タニスカ)、Nevado Coropuna (ネバドコロボナ) 南西、Nevado Firura (ネバドフィルラ) 北東付近などに分布する。このうち、Tanisca変質帯では金の鉱化作用を伴う変質帯と一致する。

ランドサット画像解析範囲に含まれる鉱床は、東部のOrcopampa (オルコパンパ)、Arcata (アルカタ) をはじめとする複雑型鉱床及びNazca (ナスカ) 金鉱床帯に含まれる鉱床が中央部、南部、南西部に多く知られている。これらの鉱床の分布状況と線形や円形構造の方向性及び配列方向との間に対応性はないが、一部の鉱床には線形や円形構造に接近して分布するものがある。

3-2-5 その他の判読要素

西部及び南部の第三系の地層中で、地層の走向及び傾斜の方向性及び背斜構造が認められる。地区北半部に分布する第三系から第四系に含まれる火山活動の中では、火山砕屑岩と溶岩流の境界が明瞭に区分されることが多いが、地質区分では第四紀の最も新しい溶岩流と思われるもの(Qr-2に区分)についてのみ区分した。

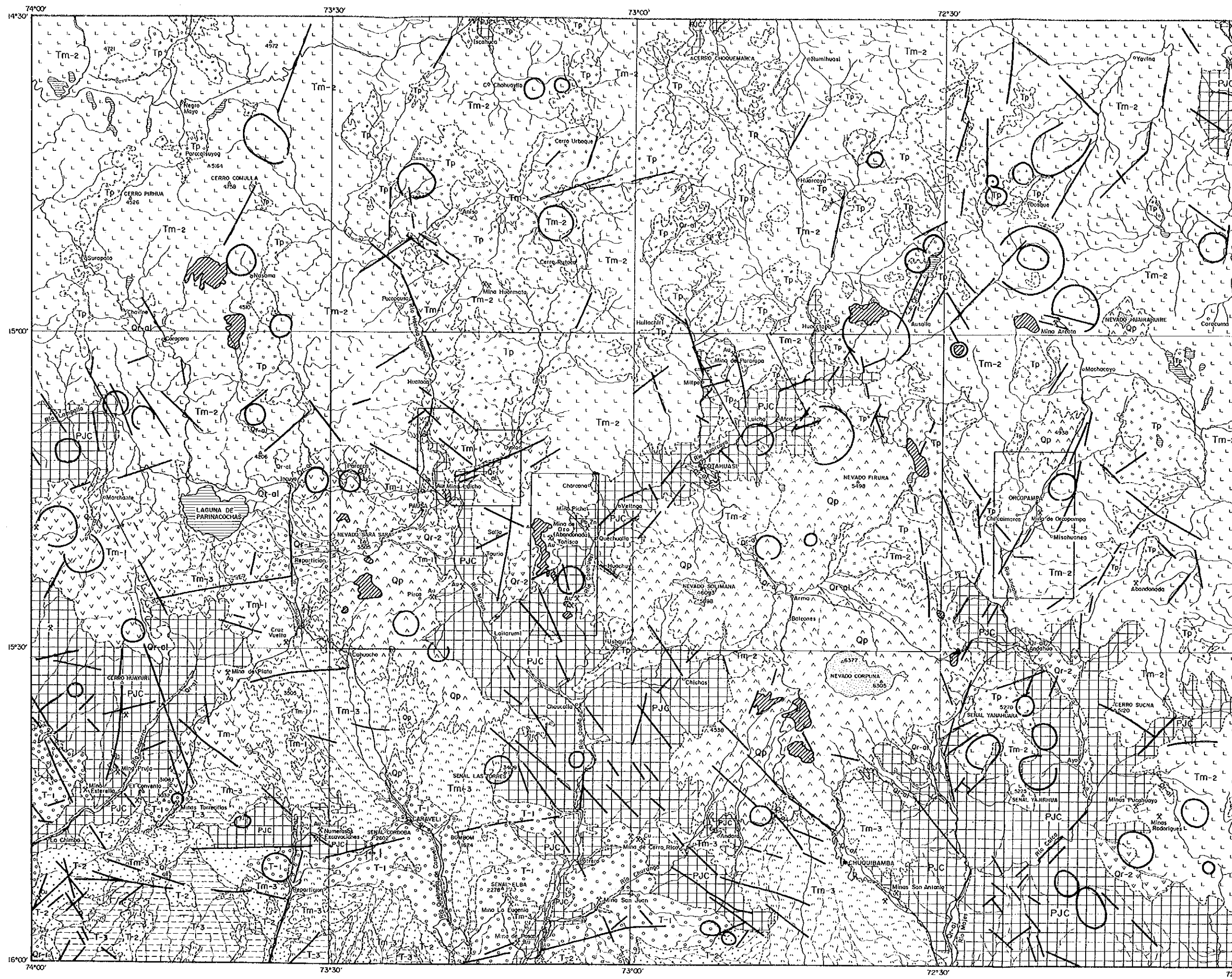


- 1 20927-13452 , 06 AUG 77 , S14-18 , W071-37 , PO03 R70 , SICUANI PERU
- 2 20279-14073 , 28 OCT 75 , S15-48 , W072-03 , PO03 R71 , AREQUIPA PERU
- 3 22116-14134 , 07 NOV 80 , S14-24 , W073-12 , PO04 R70 , SANTO TOMAS PERU
- 4 22116-14141 , 07 NOV 80 , S15-50 , W073-33 , PO04 R71 , RIO OCONA PERU

Fig.3-1 Index Map of Landsat Data

Table 3-1 Standard of Classification for Geological Unit by LANDSAT False Color Image

Geological unit	Color	Photographic texture	Drainage			Resistivity	Topography			Others	Probable lithology	Known geologic data*		
			Pattern	Density	Length		Form	Section						
								Valley	Ridge					
Cretaceous Jurassic Precambrian	PJC	Bluish grey, Whitish blue, Light purplish brown	Rugged to smooth	Parallel, dendritic	Medium	Short to medium	Weak-medium	Medium-long range	V	^		Sedimentary rocks, Intrusive rocks	Gneiss of Precambrian Jura Group (volcanic rocks, limestone, quartzite, shale, sandstone)	
Tertiary	T-1	Greyish green	Coarsely rugged, partially smooth	Reticular, Dendritic	Dense to medium	Short to medium	Medium	Short-medium range	v	^		Sedimentary rocks	Coasto batholith (composite rocks) Caraveli Formation (conglomerate, shale)	
	T-2	Dark greyish green to greenish grey	Rugged	Reticular	Dense	Short	Medium	Short range	v	^		Sedimentary rocks	Paracas Formation (sandstone, shale, limestone)	
	T-3	Light greenish grey	Fine rugged	Dendritic, reticular	Dense	Medium	Medium	Medium range	v	^	Partially bedded	Sedimentary rocks	Gamana Formation (thick bedded sandstone)	
	Tm-1	Brown, reddish brown, Brownish grey	Smooth partially rugged	Dendritic, irregular	Poor to medium	Medium to long	Medium	Medium-strong	Long-medium range	v	^	Partially bedded	Pyroclastic rocks and lava	Tacaza Formation (andesitic ~ dacitic flow with pyroclastics)
	Tm-2	Blue, Light blue Bluish grey, Greyish brown, Brown, Reddish brown	Rugged, Dappled, partially smooth	Irregular	Poor to medium	Medium	Strong	Medium range	Medium range	v	^	Red and reddish brown color is assumed to show dense vegetation	Pyroclastic rocks and lava	Alpabamba volcanics (tuff breccia, dacitic tuff, barrier beach)
	Tm-3	Pale orange, Cream yellow, Whitish yellow	Fine rugged	Parallel, Dendritic	Medium	Long	Weak	Long range	Long range	v	^		Pyroclastic rocks	Huaylillas Formation (mainly dacitic ~ rhyolitic tuff)
	Tp	White, Bluish white, Partially light grey	Fine smooth, and fine rugged	Irregular	Poor (flat part) Medium (rugged)	Medium to short	Medium	Flat Circular	v	^		Pyroclastic rocks	Seneca volcanics Barroso group (upper) (dacitic tuff)	
Quaternary	Qp	Dark grey to grey, Dark greyish brown, Brown	Smooth and fine rugged	Parallel and radial	Medium	Long	Strong	Long range	v	^		Mainly lava flow partially pyroclastic rocks	Barroso group (lower) (lava with intercalation of tuff, conglomerate, breccia)	
	Qr-1	Light purplish grey	Fine rugged	Irregular	Poor	Long	Weak	Flat	v	^		Pyroclastic rocks, Sedimentary rocks	Volcanic rocks of Sara Sara (pyroclastic rocks and sediment)	
	Qr-2	Dark brownish grey	Rugged	Irregular	Poor	Medium	Medium	Flat	v	^		Lava flow	Mollebamba volcanism (basaltic lava)	
	Qr-a1	Red, Bluish grey	Smooth and fine rugged		Poor	Medium	Weak	Flat	v	^	Red color is assumed to show dense vegetation	Sediment	Alluvium deposits	



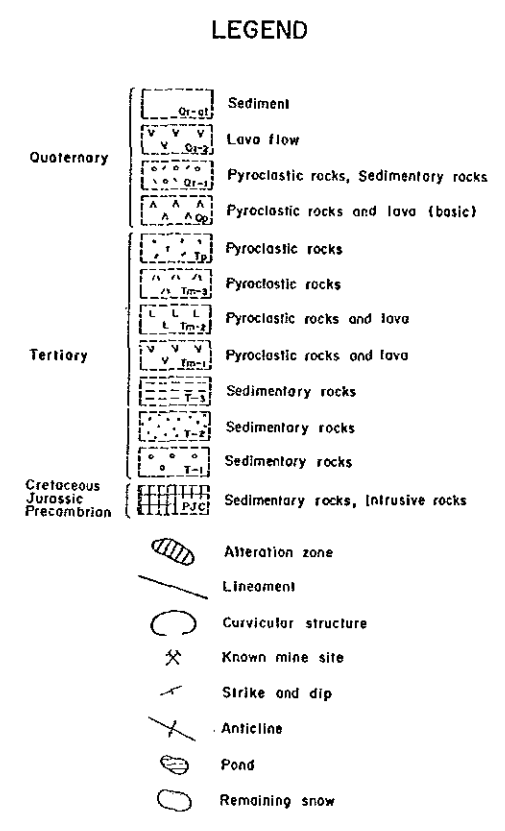
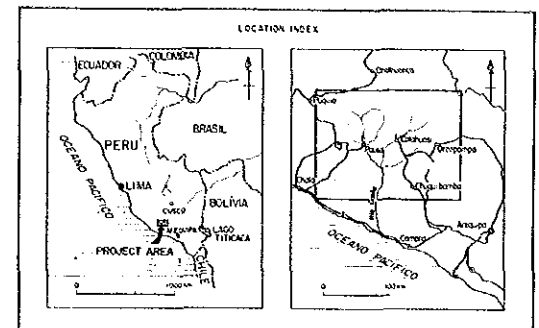
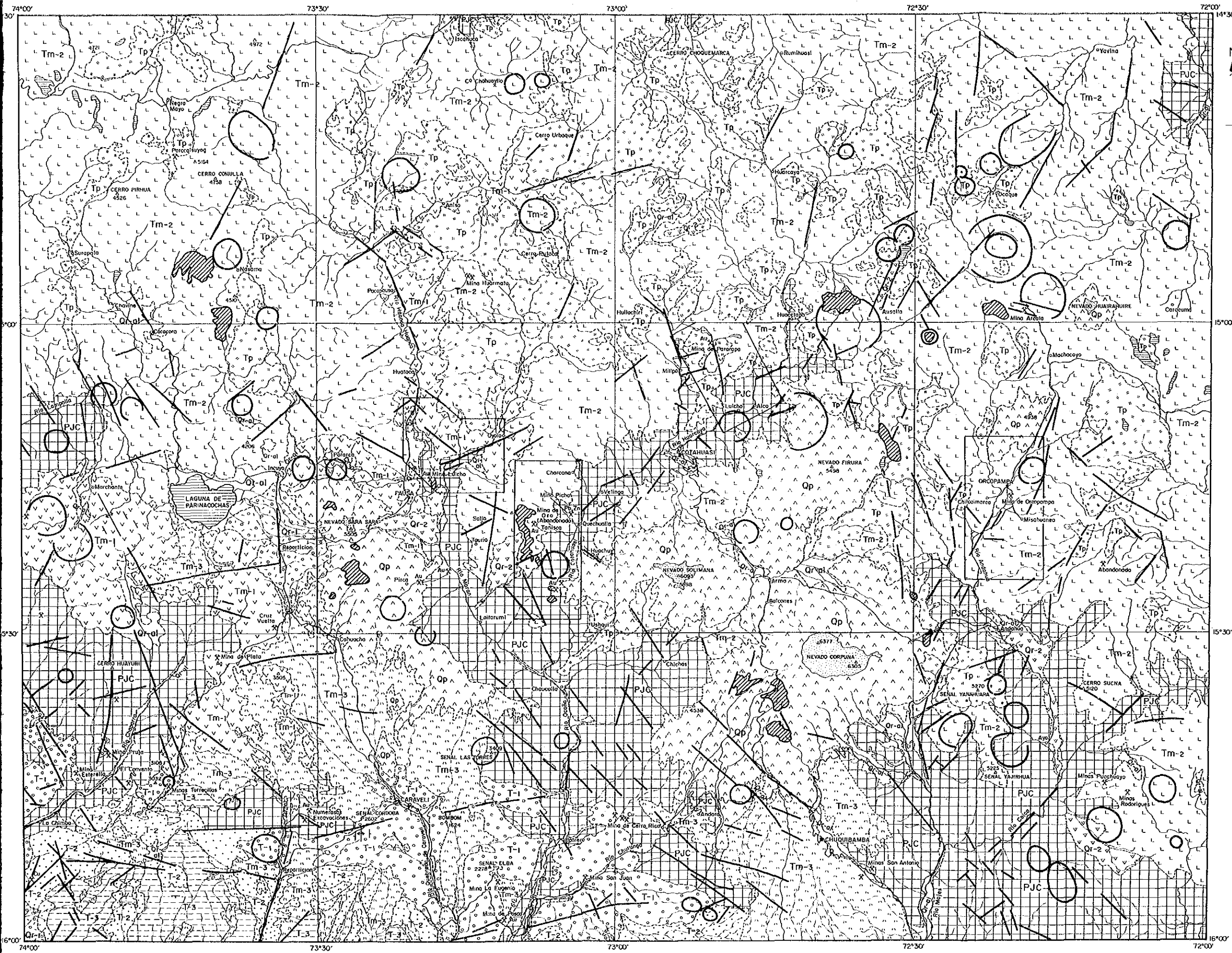


Fig.3-2 Interpretation Map of Landsat False Color Images

第 4 章 地 質 調 査

第4章 地質調査

4-1 調査方法

調査地域には比高1,000～2,500mの峡谷が発達しており、主な集落は峡谷内に点在する小さな平坦面にある。従って、これらの集落やベースキャンプからの日帰り調査によって全域をカバーする事は不可能である。また、標高が5,000mに達する高地も広く、高地障害も懸念された。これらの事を考慮して、現地では入山後約1週間はベースキャンプ周辺の日帰り調査を行って高地順応を計り、次いで小型軽量キャンプ装備の移動キャラバン方式による広域調査を行った。移動キャラバン方式による調査の際、物資及び人員の移動は馬匹によって行なうと共に、集落では山道の状況、鉱化帯や探採掘跡の有無、地形状況、飲料水のある適当なキャンプ地などの情報を得ながら移動した。

なお、これらの調査を実施するに当って、調査地の東半分は Cotahuasi、西半分は Pausa にベースキャンプを設置し、キャンプに必要な食料の大半は Arequipa で調達した。

概査地区の調査は、El Instituto Geografico Militar, Lima-Peru 発行の縮尺1:100,000地形図を基本図として用い、同地形図を拡大した縮尺1:50,000の地形図を踏査に用いた。踏査ルートは既存地質図(Pausa及びCotahuasi)を参考とし、地質構造を把握し易いルートを選定した。この際、空中写真及びランドサット画像の判読結果も参考に用いた。地質踏査は地化学探査試料の採取と同時に行なわれ、縮尺1:50,000のルートマップを作成し、縮尺1:50,000の地質図にまとめた。

精査地区の調査は、縮尺1:100,000の地形図を拡大した縮尺1:25,000の地形図から、新たに作成した同縮尺の地形図を用いて地質踏査及鉱床調査を行って、縮尺1:25,000の地質図にまとめた。

4-2 調査結果

調査地域西半部は INGEMMET から刊行されている Pausa 図幅(縮尺1:100,000)、東半部は未公表の Cotahuasi 図幅(縮尺1:100,000)が作成されている。

現地調査の結果では、Cotahuasi 図幅の Tacaza 層群の分布範囲に大幅な変更をみたが、地質層序には大幅な変更を要する所はなく、層序の大勢と地層名は両図幅の層序に準ずることとした。

なお、調査地域は概査地区と精査地区(3地区)に分れているが、各地区とも一連の地

質環境に含まれるため、調査結果は一括して述べる。

4-2-1 層 序

調査地域内に分布する地層は先カンブリア系を基盤岩類とし、ジュラ系、白亜系、第三系とこれらを一貫して貫入岩類及びアルチプラノに広く分布する第四系などで構成される (Fig.4-1, Fig.4-2, PL.2~PL.9)。

調査地域の地質を模式柱状図 (Fig.4-2) に従って、下位層から順次記載する。

〔1〕 基盤岩類 (Gn)

調査地域内に分布する最も古い地層は、岩相変化に富む片麻状花崗岩～閃緑岩の複合岩体からなる。

分布 調査地域南部に位置する Cotahuasi 川右岸付近から、この西方にある Maran 川にかけて急峻な地形を形成して分布する。この岩体はさらに地域外南方に連続して広く分布する。

岩相 緑灰色の片麻状構造の発達した花崗岩～閃緑岩からなり、一般に白濁した長石類が不規則レンズ状を呈し、この周辺には緑色～暗緑色の細粒角閃石の集合が縞状に配列する片麻状閃緑岩及びカリ長石を含み、黒雲母の細粒結晶が集合して暗灰色の縞状を呈する片麻状花崗岩からなる。Cotahuasi 川の南部で採取した試料は緑灰色の片麻岩で、2～4mmの柱状～卓状斜長石を残し、その間を長柱状角閃石 (1～2.5 mm) が集合体を成して一方向に配列する。これらの間を充填して石英 (0.5～1.5 mm のグラノプラスチック) が交代している。残存斜長石は An 33～38 で、一般に曹長石化作用、絹雲母化作用、緑簾石化作用を受けている。本岩は花崗閃緑岩源の片麻岩と考えられる。

層厚 本地区の基盤を成すため層厚は不明である。分布状況から 3,000 m 以上の厚さが予想される。

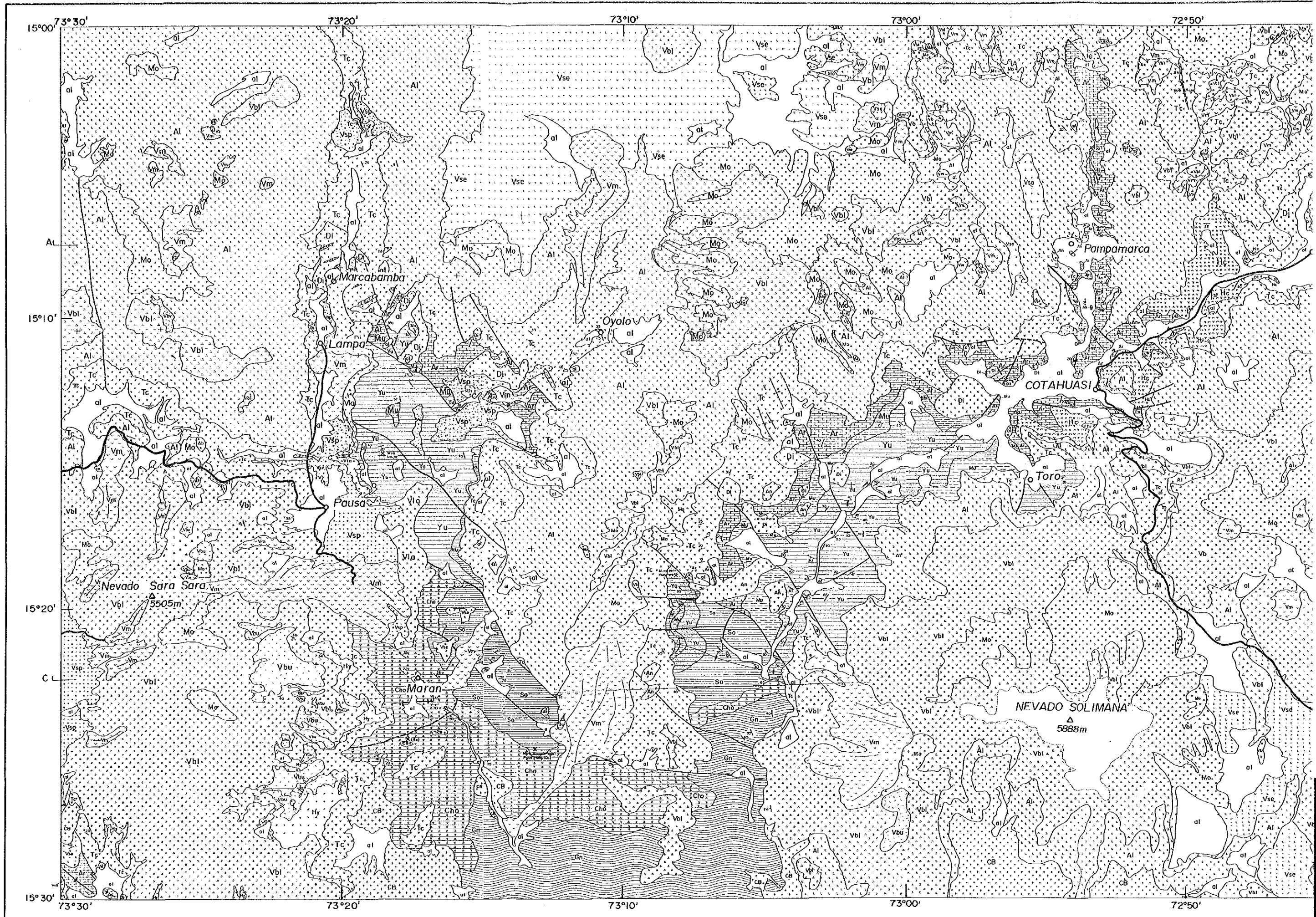
時代 本調査では年代測定を実施していないが、Pausa & Caraveli 図幅説明書によれば、Rb/Sr 法による年代測定結果は 600～2,000 Ma で、先カンブリア時代とされている。

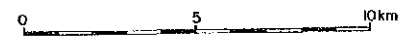
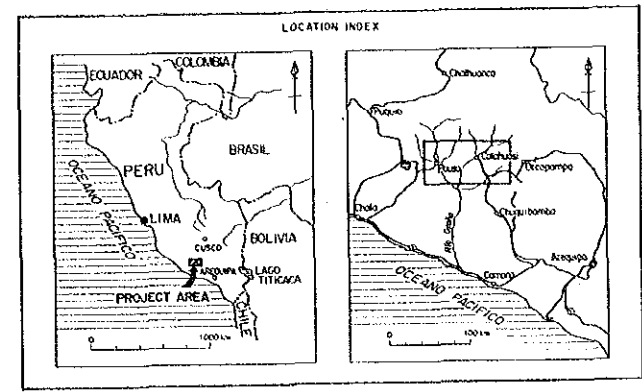
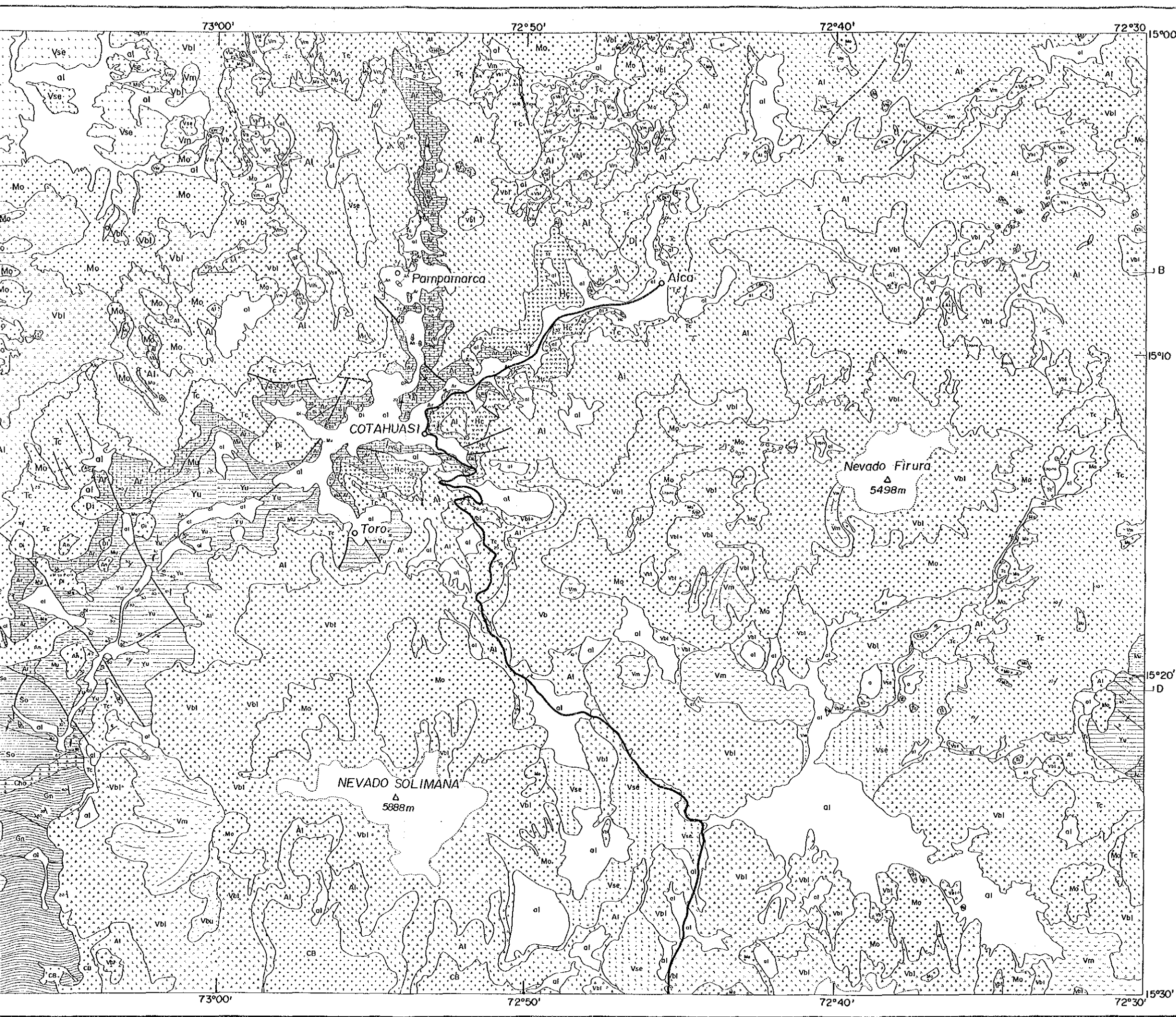
〔2〕 ジュラ系

ジュラ系は、Chocolate 火山岩類 (Cho)、Socosani 層 (So)、Yura 層群 (Yu) などで構成される。このうち Yura 層群の上部は白亜系とされているが、本項で記載する。

(1) Chocolate 火山岩類 (Cho)

本岩類は変質した安山岩質火山岩類からなり、本地区のジュラ系では最下部層に相当する。

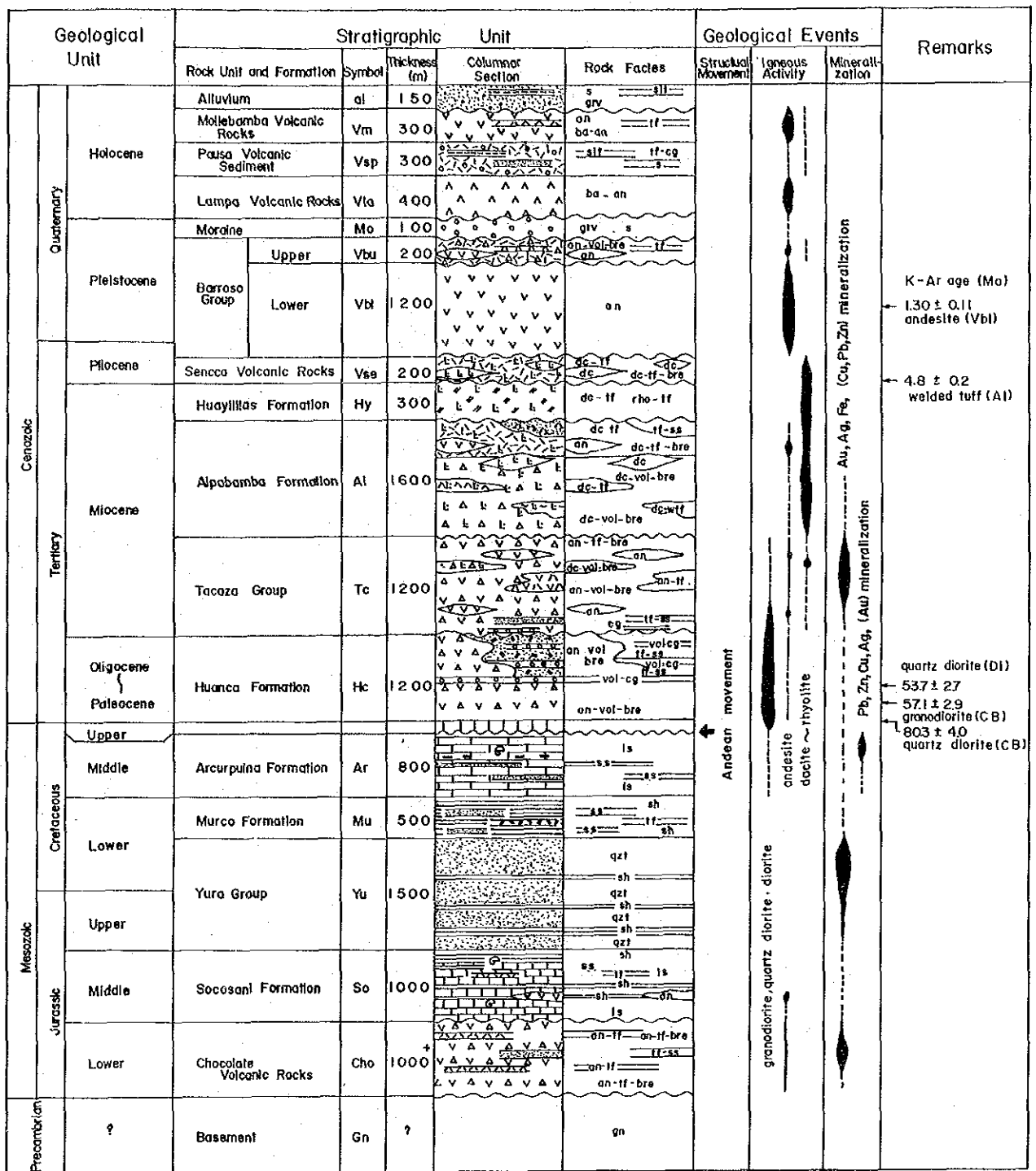




LEGEND

Cenozoic	Quaternary	Alluvium	al	Sand, mud and gravel	
		Mollebomba Volcanic Rocks	Vm	Andesite lava and volcanic ash	
		Volcanic Sediment of Pausa	o-vsp	Volcanic ash, sand and gravel	
		Lampo Volcanic Rocks	A-Vl	Andesite (basaltic), volcanic breccia	
	Pleistocene	Moraine Sediment	Mo	Gravel, sand and mud	
		Barroso Group	Upper	Vb	Acidic tuff
	Lower		Vbl	Andesite lava and pyroclastic rocks	
	Pliocene	Sanca Volcanic Rocks	Vse	Hornblende-biotite dacite lava, welded tuff and tuff	
		Huayllillas Formation	Hyl	Dacitic tuff (partly pumice bearing)	
		Alpabamba Formation	Al	Dacitic tuff, lapilli tuff, tuff breccia and welded tuff (partly with dacite lava or andesite lava)	
	Tocaza Group		Tc	Andesitic tuff breccia, Andesite, tuff and dacitic tuff breccia (greenish grey)	
	Palaiozoic	Huanca Formation	Hc	Andesitic volcanic conglomerate, tuff breccia and tuffaceous sandstone (greenish grey)	
		Arcuquina Formation	Ar	Limestone and marl with sandstone and chert nodule	
	Mesozoic		Cretaceous	Marco Formation	M
		Yura Group		Yu	Quartzite, siliceous sandstone, black shale and alternation of quartzite and shale
Jurassic		Sacosani Formation	So	Black shale, limestone with sandstone and tuff	
		Chocolate volcanic rocks	Cho	Andesitic tuff breccia, tuff, andesite and tuffaceous sandstone	
Precambrian	Gneiss, gneissose granite and diorite	Gn			
Tertiary	Intrusive Rocks	Stack and Dyke	An	Hornblende andesite, andesite	
		Accha Stock	AD	Diorite and quartz diorite	
	Cretaceous	La Costa Batholith	CB	Quartz diorite and granodiorite	
<p>— Fault</p> <p>- - - Inferred fault</p> <p>∧ Anticline</p> <p>∨ Syncline</p> <p>○ Geological boundary</p> <p>A-B Geological profile line</p> <p>30° Strike and dip of bedding</p> <p>50° Strike and dip of foliation</p> <p>↘ Strike and dip of flow structure</p> <p>X Mine (working or closed)</p> <p>⊕ Hot spring</p>					

Fig. 4-1 Geological Map of the Cotahuasi Area



Abbreviations

gn	gnels, gnelssose diorite	qzt	quartzite	ba-an	basaltic andesite lava
an-tf-bre	andesitic tuff breccia	vol-cg	volcanic conglomerate	tf-cg	tuffaceous conglomerate
an-tf	andesitic tuff	cg	conglomerate	sil	silt
tf-s.s.	tuffaceous sandstone	dc-vol-bre	dacitic volcanic breccia	grv	gravel
ls	limestone	an-tf-bre	andesitic tuff breccia		
on	andesite lava	dc-wif	dacitic welded tuff		
sh	shale	dc-tf	dacitic tuff		
tf	tuff	dc	dacitic lava		
s.s.	sandstone	rho-tf	rhyolitic tuff		

Fig.4-2 Generalized Stratigraphic Column of the Survey Area

Table 4-1 Stratigraphic Correlation of Geological Units around the Cotahuasi Area

Geological Unit	Area	Caravel : Area (Victor Pecho G.1983)	Fausa : Area (Victor Pecho G.1983)	Cotahuasi : Area (JICA and MMAJ 1986)	Cotahuasi : Area (Unpublication data, INGENMET)	Orcopampa:Area (Jurio Caldas V.1975)	Huambo:Area (Jurio Caldas V.1975)
Quaternary	Holocene	Alluvium	Alluvium	Alluvium	Recent V. Alluvium	Andahuag Group Alluvium	Andahuag Group Alluvium
			Mollebamba V. Pausa V. Sed Lampa V. Morain Deposits	Mollebamba V. Pausa V. Sed Lampa V. Morain Deposits			
Pleistocene		Barroso Group	Barroso Group	Barroso Group	Barroso Group	Barroso Group	Barroso Group
			Upper Lower	Upper Lower	Barroso V. Chila V.		
Pliocene		Sencca V.	Sencca V.	Sencca V.	Sencca V.	Sencca V.	Sencca V.
			Huayllillas Fm.	Huayllillas Fm.	Millo Fm.		Millo Fm.
Miocene		Camana Fm.	Alpabamba Fm.	Alpabamba Fm.	Tacaza Group	Tacaza Group	Tacaza Group
			Tacaza Group	Tacaza Group		Tacaza Group	Orcopampa Series
Oligocene							
Eocene		Paracas Fm.					
Paleocene		Caraveli Fm.					
Upper		San José Fm.					
Middle		Arcuquina Fm.	Arcuquina Fm.	Arcuquina Fm.	Arcuquina Fm.	Arcuquina Fm.	Arcuquina Fm.
Lower		Yura Group	Murco Fm.	Murco Fm.	Murco Fm.	Murco Fm.	Murco Fm.
			Huachuani Fm. Lara Cochab Fm.	Yura Group	Yura Group	Yura Group	Yura Group
Middle			Socosani Fm.	Socosani Fm.			Socosani Fm.
			Chocolate Fm.	Chocolate Fm.			
Lower							
Upper Lower							
?							

分布 調査地南西の Maran 部落付近から南東にかけて、Maran 川とその周辺の急崖地に広く分布するほか、精査 B 地区の南部で、Ccorihuayrachina 山の南斜面、Jatun-nasa 山付近に分布する。

岩相 本層は一般に緑色～灰緑色の安山岩質凝灰角礫岩及び凝灰岩を主体とし、一部に変質安山岩、安山岩質火山角礫岩、凝灰岩、凝灰質砂岩及び頁岩等が挟まれ、比較的岩相変化に富む。下部から中部にかけて広域変成作用を受けて片状構造が発達しており、局部的に緑色準片岩や黒色準片岩様を呈するほか、安山岩源の塊状緑色岩には曹長石が斑点状に観察される。これらの変成作用は上部に相当する所では弱く、源岩構造が明瞭になる。

本層の下位付近で採取した暗灰緑色の準片岩は、絹雲母-石英-準片岩からなり、残晶の斜長石は An % 30～38 の眼球状を成す。絹雲母は破碎された所に網状～ネマトプラスチック (nematoblastic) に多量に形成され、石英の微粒は絹雲母と共にモルタル状に観察される。

中部から上部にかけて最も一般的に観察される変質安山岩質凝灰角礫岩は、暗緑灰色を呈し、本質礫の安山岩片を多量に含むほか、異質礫としてチャートや流紋岩質岩の岩片を含み、基質は同質の微岩片と安山岩質な凝灰質物質からなる。

上部付近で採取した変質安山岩は、緑泥石化作用を強く受けた濃緑色斑状変質安山岩である。

凝灰岩は暗緑色～緑色で、しばしば淡緑灰色の凝灰質砂岩や暗灰色の凝灰質頁岩と互層を成して凝灰角礫岩に挟まれる。

構造 本層の走向・傾斜は場所により乱れるが、一般に南部では $N60^{\circ}\sim70^{\circ}SE$ 、北部 (Maran 付近) では $N50^{\circ}\sim55^{\circ}W \cdot 20^{\circ}NW$ を示す。

層厚 本層は断層による地塊化と一部の褶曲によって地層が乱され、全層厚は不明であるが、分布と地質構造から 1,000 m 以上の層厚が推定される。

層序関係 本層が基盤岩と直接接する所は確認していないが、分布状況から基盤岩を不整合に覆うものと推定される。

本層の生成時期は明らかでないが、Pausa 及び Caraveli 図幅説明書によれば、確証はないものの、層序対比からジュラ紀前期に対比している。

(2) Socosani 層 (So)

分布 調査地域南西に当る Maran 川東部の Punacullaca 山から南東の Puca Puca 山付近及び精査 B 地区中央部の Tanisca 山から南部の Ccorihuayrachina 山にかけて分

布する。

岩相 本層の下部は灰色～黒色石灰岩と淡灰色砂岩の互層が卓越し、これに黒色頁岩の薄層が挟まれる。中部から上部にかけては、黒色の石灰質頁岩が優勢となり、一部に珪岩、灰色石灰岩、砂質凝灰岩などの薄層が挟まれる。本調査では確認していないが、一部に安山岩溶岩の挟みが報告されている。

層厚 分布及び地質構造から約1,000mの層厚が予想される。

層序関係 下位のChocolate火山岩類を不整合関係で覆う。本調査では化石を採取していないが、Pausa及びCaraveli図幅によれば、*Bostra escuttiana* (DOUGLAS), *Bositra radiata* (GOLDF), *Trebratula cf. T. perovilis* SOW, *Senninidae*などの化石を報告し、ジュラ紀中期に対比している。

(3) Yura層群 (Yu)

Pausa図幅によれば、本層群はLabra-Cachios層とHualhuani層に区分されている。しかし、本調査の結果、いずれも砂岩～珪岩の優勢な地層からなり、両者を区別することが不可能であった。従って、本報告書ではYura層群として一括した。

分布 本層は精査A地区南西のHuanca Huanca川からこの東方のUchubamba川にかけて広く分布するほか、精査B地区東部付近から北東のPampa Echunga付近にかけて、Cotahuasi川に沿って広く分布する。

岩相 本層は淡灰色～淡褐色の細粒～中粒砂岩の厚層を主体とし、一部に暗灰色頁岩の薄層を伴う。Velinga部落の南西約1.5km付近のCotahuasi川では、層厚約50mの暗灰色～黒色頁岩の優勢な所があり、ここでは板状～千枚岩質の頁岩と淡黄灰色の砂岩薄層とが互層する。

砂岩は鏡下に、等粒状の中粒アルコーズ砂岩で、亜円形の石英粒を主体とする緻密な堆積構造を示し、異質岩片は認められない。基質はほとんどないが、石英及び斜長石の微片と少量の泥質物からなる。

厚層砂岩には一般に酸化鉄の汚染を伴った節理や割れ目が発達しており、露頭は全般に淡褐色～黄褐色を呈し、これに挟まれる黒色頁岩の薄層が縞状を成す。

構造 本層の走向・傾斜は、Huanca Huanca川沿いでは $N30^{\circ} \sim 40^{\circ} E \cdot 20^{\circ} NW$, Cotahuasi川沿いでは走向が $N10^{\circ} \sim 30^{\circ} E$, 傾斜は右岸が $10^{\circ} \sim 20^{\circ} NW$ で左岸が $10^{\circ} \sim 20^{\circ} SE$ を示す。また、本層にはNW-SE方向の断層があり、局部的に地層の走向・傾斜が乱れる。

層厚 分布と地質構造から 1,500 m 以上の層厚が推定される。

層序関係 本層は下位の Socosani 層と断層関係で接しており、両者の層序関係は明らかではない。従来の報告では、不整合関係とされている。

本層の堆積時期は、Pausa 及び Caraveli 図幅によれば、本層下部 (Labra・Cachios 層相当層) がオクスフォード階～チトニアン階、本層上部 (Hualhuani 層相当層) が下部白亜紀に相当するネオコム階下部に対比している。

(3) 白亜系

白亜系は、前述の Yura 層群の上部、Murco 層 (Mu)、Arcurquina 層 (Ar) からなる。

(1) Murco 層 (Mu)

分布 Cotahuasi 部落の南西の Cotahuasi 川に沿った両岸急斜面の山腹で、下位の Yura 層群を覆って NE-SW 方向に帯状に分布し、さらに精査 B 地区中央東部の Tanisca 山東部斜面に連続して分布する。また、精査 A 地区では Yura 層群を覆って 8ヶ所に分れて小分布する。

岩相 本層は全般に赤褐色～茶褐色の色調を特徴とする。下部では黄褐色珪岩と赤褐色～茶褐色の砂岩、泥灰岩、頁岩などの互層からなる。上部では赤褐色頁岩～石灰質頁岩及び赤色砂岩の薄互層が卓越し、一部に亜円礫 (大きさ 5 cm 以下) からなる礫岩層が挟まれる。

赤褐色泥灰岩は、砂泥部と泥灰岩部の極く薄い互層からなり、砂泥部は石英、斜長石の微粒を主とし、イライト、方解石、褐鉄鉱、炭化物などが充填しており、泥灰岩部は方解石の微粒が多い。

本層には淡灰色～淡緑色の薄い凝灰岩が挟まれるほか、転石からみて石膏を伴う層がある。

層厚 約 500 m の層厚が推定される。

層序関係 下位の Yura 層群を整合関係で覆う。本層から化石を産出しないため、堆積時期は明らかでないが、下位の Yura 層群と上位の Arcurquina 層に挟まれることからネオコム階上部に対比されている。

(2) Arcurquina 層 (Ar)

分布 Cotahuasi 川の右岸に主として分布し、北は Taurisma から南西方向に、Mungui, Charcana などの部落を経て Tanisca 山の急斜面上部付近まで帯状に分布する。

さらに Mungui の北東で Cotahuasi 川から北方へ分岐する Pampamarca 川に沿って、調査地域の北端付近まで分布する。これらのほかに、精査 A 地区の Accha 山付近とこの北西及び南東の 3ヶ所に分布する。

岩相 暗灰色の厚層理（2～5 m の単層）からなる石灰岩を主体とする。下部付近では褐色の石灰質砂岩、礫岩及び頁岩などの薄層が挟まれる。上部では淡灰色の石灰岩で比較的層理面が顕著にみられ、一部に破砕質～礫質石灰岩を伴う。塊状石灰岩部には、しばしば 5～20 cm の不規則レンズ状のチャート団塊が含まれる。

精査 C 地区の Huaynacotas 北西約 3 km の沢に小分布する石灰岩層には有孔虫化石が含まれる。

構造 本層の走向・傾斜は褶曲により変化するが、全体的には NE の走向で北西方向に緩く傾斜する。

層厚 本層上部は侵食されて第三系に不整合で覆われるため、全層厚は不明であるが、少なくとも 800 m 以上の厚さが推定される。

層序関係 下位の Murco 層を整合で覆う。本調査で有孔虫を採取したが、時代決定はできなかった。Pausa 及び Caraveli 図幅説明書によれば、本層の下部から *Cerithium* cf. *C. sergipensis* MAURY, *Epitonium* sp., *Exogyra* sp., *Cardita* cf. *C. subparallela* GERHARDT などを報告し、本層の堆積時期はアルビアン階～チューロン階に対比している。

〔4〕 第三系

第三系は Huanca 層 (Hc), Tacaza 層群 (Tc), Alpabamba 層 (Al), Hyllillas 層 (Hy), Sencca 層 (Vse) などから構成される。

(1) Huanca 層 (Hc)

分布 Cotahuasi 部落付近から北東の Huaynacotas 部落付近にかけて、Cotahuasi 川の両岸斜面に分布するほか、Cotahuasi 部落南方の山腹で帯状に分布する。

岩相 Cotahuasi 川の左岸に分布する本層は、緑灰色の凝灰質礫岩と赤褐色または緑灰色の凝灰質砂岩の互層からなる。礫岩は緑灰色凝灰岩、凝灰質砂岩、変質安山岩などの亜円礫～円礫を含み、基質は凝灰質砂岩と同質である。互層をなすこれらの砂岩や礫岩の単層厚は一般に 10～50 cm の薄いものである。

一方、右岸の Huaynacotas 付近では左岸と岩相を異にし、褐色～赤褐色の凝灰質礫岩を主体とし、砂岩の挟みはごくまれである。

Tomemampa 部落の対岸にある小沢では、緑灰色の凝灰質細粒砂岩及び中粒砂岩の互層帯に岩塩の薄層が挟まれる。

構造 本層の走行・傾斜は、西部で $N10^{\circ} \sim 40^{\circ}W \cdot 35^{\circ} \sim 40^{\circ}NE$ を示すが、北東部では $N30^{\circ} \sim 50^{\circ}E \cdot 30^{\circ} \sim 40^{\circ}SE$ を示し、南西から北東へ除々に走向が変化する。

層厚 本層の層厚は約1,200mと推定される。

層序関係 下位の Arcurquina 層を不整合に覆う。Huambo 及び Orcopampa 図幅説明書によれば、本層の堆積時期は暁新世～漸新世に対比している。

(2) Tacaza 層群 (Tc)

分布 本層は下位の基盤岩類、ジュラ系、白亜系、第三系の Huanca 層などを不整合に覆って、アルチプラノ地帯の最下部層を形成しており、その分布は、調査地域の中央部から北東にかけて、Cotahuasi 川及びその上流の Huarcaya 川、支流の Pampamarca 川及び Sumana 川に沿って分布する。また、調査地域西部では Maran 川に沿って急斜面の上部、Maran 川の上流に当る Oyolo 川の中流域、Huanca Huanca 川の中流から上流、西方に分岐する Pararea 川などに分布する。このほか調査地域の東端部付近で広い分布を示す。

岩相 本層は淡灰色、淡褐色、褐色、紫灰色などの色調を示す変質安山岩質火山岩類からなり、変質安山岩溶岩、火山角礫岩、凝灰角礫岩、などで構成される。

変質安山岩は、暗灰色～紫灰色の塊状緻密質または斑状の塊状岩が一般的で、角閃石安山岩または輝石安山岩などの溶岩流からなる。全般に変質して斜長石は絹雲母化作用を受けて汚濁し、角閃石は緑簾石やゾイサイトに変質して外形を留めた残晶として認められる。また、輝石はすべて緑泥石に変化している。

火山角礫岩や凝灰角礫岩は、一般に茶褐色を成し、礫は安山岩溶岩と同質礫で基質は褐色の凝灰質物質からなる。

本層の下部付近では一部に凝灰質礫岩及び砂岩の薄層が挟まれるほか、中部付近で石英安山岩質火山角礫岩を挟む。

層厚 火山岩類で構成されるため、場所により層厚は異なるが、厚い所で約1,200mと推定される。

層序関係 本層より下位に分布するすべての地層を不整合に覆う。Pausa 及び Caraveli 図幅説明書によれば、Orcopampa 及び Huambo の火山岩類の年代測定 (J. CALDAS の未公表資料) 結果では、本層下部の火山岩類が 19.1 Ma で、中新世前期の活動としてい

る。

(3) Alfabamba 層 (Al)

分布 調査地域の北半分の大半を占めて広い分布を示す。特に Cotahuasi 川水系の上流及び Maran 川水系上流のアルチプラノ地帯を形成して広く分布する。

岩相 褐色，帯褐灰色，紫灰色，淡灰色などの色調を示す流紋岩～石英安山岩質の火山角礫岩，凝灰角礫岩，火山礫凝灰岩，凝灰岩，溶結凝灰岩などで構成され，しばしば流紋岩～石英安山岩の溶岩が挟まれる。

流紋岩～石英安山岩は，斑状構造を示し，流理構造の顕著なものと同状緻密質なものがある。いずれも，斜長石，石英，黒雲母，角閃石などの斑晶を含み，石基はガラスからなり，一部が脱ハリ化作用を受けている。

精査 C 地区南部の Alca 部落付近に分布する溶結凝灰岩は，雑多な岩片を含み，基質には褐色ガラス片の溶結組織が明瞭に認められる。また，溶結組織に平行してレンズ状にモルデン沸石及び玉髓 - クリソバル石の集合を形成している。

火山角礫岩，凝灰角礫岩及び凝灰岩は，黒雲母片を特徴的に含む流紋岩～石英安山岩質岩で，これらに含まれる礫は溶岩と同質である。本層の一部に薄い細粒安山岩溶岩を挟む所がある他，整層した凝灰質砂岩を挟む。

層厚 火山岩類のため，場所により層厚は変化する。厚い所で約 1,600 m の層厚が推定される。

層序関係 下位の Tacaza 層群を不整合に覆うほか，一部で基盤岩類，白亜系，第三系の Huanca 層を直接不整合に覆う所がある。

Alca 南方の本層から採取した試料 (Ca - 13.) による K - Ar 年代測定結果は 4.8 ± 0.2 Ma で鮮新世を示す。

Pausa 及び Caraveli 図幅説明書によれば，本層の活動時期を中新世中期から後期としているが，年代測定結果からみて鮮新世まで活動した可能性がある。尚，年代測定に供した溶結凝灰岩は肉眼的に新鮮に見えるが，鏡下に，基質部の溶結組織に平行してレンズ状のモルデン沸石の集合または玉髓 - クリソバル石の集合等が形成されているほか，脱ハリ化作用が認められるため，年代測定結果がやや新しくなった可能性もある。従って，今後さらに検討する必要がある。

(4) Huaylillas 層 (Hy)

分布 調査地域南西の Maran 部落西方で Tacaza 層群を覆って急斜面の中腹で帯状に

小分布する。

岩相 灰色～灰白色の黒雲母を特徴的に含む石英安山岩質（流紋岩質）凝灰岩からなり、局部的に軽石を含む。

層厚 約300mの層厚が推定される。

層序関係 Tacaza 層群を不整合に覆う。本層と層序的に下位層に相当する Alfabamba 層との直接の関係は不明である。Pausa 及び Caraveli 図幅説明書では、層序関係と地区外の岩相対比から、本層の活動時期は中新世後期としている。

(5) Sencca 火山岩類 (Vse)

分布 調査地域北部やや西寄りの平坦地付近で、Alfabamba 層を覆って広く分布する。

岩相 灰色～淡紫灰色の角閃石 - 黒雲母石英安山岩～流紋岩溶岩、同質の溶結凝灰岩、凝灰岩などで構成される。溶岩はやや空隙質で斜長石と黒雲母の斑晶をもち、石基は淡褐色のガラスを主とし、流理組織を示すほか、脱ハリ化作用が認められる。

層厚 本層は比較的薄く、約200mと推定される。

層序関係 Alfabamba 層を不整合に覆う。Pausa 及び Caraveli 図幅説明書によれば、本層からの年代測定結果は4.3及び2.0 Maで、鮮新世の中期から後期としている。

〔5〕第4系

第四系は Barroso 層群の下部層 (Vb1) と上部層 (Vbu), Moraine (Mo), Lampa 火山岩類 (Vla), Pausa 火山堆積物 (Vsp), Mollebamba 火山岩類 (Vm) 及び Alluvium (al) 等で構成される。

(1) Barroso 層群

分布 本層群の下部層 (Vb1) は調査地域南東では、Solimana 山付近、Firura 山付近一帯に広く分布し、南西では Sara Sara 山付近からその南方にかけて広く分布する。また中央北部のアルチブラノ地帯にも比較的広い分布を示す。

上部層 (Vbu) の分布は、調査地域南西の Potrero 山付近から南方の Pirca 付近にかけて尾根沿いに小分布するほか、Solimana 山南西部に小分布する。

岩相 下部層 (Vb1) は、暗灰色、灰色、一部暗褐色の両輝石安山岩及び暗灰色の玄武岩質角閃石安山岩の溶岩及び同質の火山砕屑岩からなり、一部に石英安山岩質の溶岩を伴う。

最も広く分布する両輝石安山岩は暗灰色の塊状岩で、鏡下に斑状組織を有し、斜長石、

普通輝石、紫蘇輝石、一部に角閃石などの斑晶が含まれ、石基はグラス、斜長石、普通輝石、紫蘇輝石、不透明鉱物などの微晶からなる新鮮岩で、変質及び脱ハリ化作用は認められない。

本層下部から採取した灰色石英安山岩は、鏡下に斑晶の斜長石（1～1.7 mm）、石英（0.4～0.8 mm）、角閃石（0.5～1.7 mm）を含み、石基は斜長石（0.1 mm以下）を包有したグラスからなり、弱い流理性が認められる。

火山砕屑岩類は暗灰色～褐色で岩相変化に富み、溶岩と同質の火山砕屑岩からなる。

上部層は、淡灰色の石英安山岩質凝灰角礫岩を主体とし、一部に凝灰岩及び黒雲母安山岩を挟む。

層厚 下部層の層厚は変化するが、約1,200 mと推定される。上部層は約200 mの薄いものである。

層序関係 本層下部層は下位のHuaylillas層、Alpabamba層を不整合に覆うほか、調査地域南部では基盤岩類を不整合に覆う。

本調査で採取した本層下部層の試料（Gb-58）のK-Ar年代測定結果は 1.30 ± 0.11 Maで更新世に相当する。Pausa及びCaraveli図幅説明書では、本層の活動時期を鮮新世後期から更新世に対比しており、本調査の年代とほぼ一致する。

(2) Moraine (Mo)

分布 アルチプラノに聳える東部のFirura山及び南部のSolimana山付近の緩傾斜地に広く分布するほか、西部のSara Sara山付近の緩傾斜地及び北部の平坦地などに小分布する。

岩相 本層は氷河により運ばれた礫層で、礫の主体はBarroso層群下部層の両輝石安山岩の亜円礫～円礫からなる。この間を埋める細粒部はほぼ同質の小礫か粗砂である。本層には一般の氷堆石にみられる側堆石や末端堆石が顕著に残された所が多い。

層厚 堆積環境によって各々の層厚は変化する。厚いものでは約100 mの層厚が推定される。

層序関係 下位のBarroso下部層を不整合に覆う。本層は更新世末期の氷河期に形成された氷堆石と推定される。

(3) Lampa 火山岩類 (Vla)

分布 Pausa南東のMaran部落北方約2 km付近から北方のMarcabamba部落付近にかけて、Maran川及びこの上流のHuanca Huanca川に沿って帯状に分布する。

岩相 暗灰色～黒灰色の塊状緻密質安山岩を主体とし、一部に同質の火山角礫岩を伴う。

安山岩は肉眼的には玄武岩質の無斑晶安山岩である。鏡下に角閃石と斜長石の微斑晶を持ち、石基は火山ガラスと微粒の斜長石及び角閃石からなる未変質のガラス質角閃石安山岩である。

層厚 場所により層厚は変化するが、厚い所で約400 mに達する。

層序関係 本岩は谷間に流出した溶岩で、下位のジュラ系、白亜系及び第三系の Tacaza 層を非整合に覆う。

(4) Pausa 火山性堆積物 (Vsp)

分布 Pausa 南東の Negro 山一帯から Mirmaca 川の下流にかけて、緩傾斜～平坦地を形成して分布するほか、精査 A 地区中央にある San Jose de Ushua 部落の北西付近に分布する。

岩相 本層の下位は灰褐色の安山岩質火山円礫岩～火山角礫岩からなり、一部に火山泥流が挟まれる。中部から上部にかけては灰色～灰白色の凝灰岩及び凝灰質砂岩～シルト岩からなり、ほぼ水平に堆積する。固結度は一般に悪く、沢沿いや小沢は著しく侵食され、急峻な地形または V 字谷を形成している。

層厚 場所によって異なるが、厚い所で約300 mの層厚が推定される。

層序関係 Negro 山付近では Lampa 火山岩類を整合的に覆うが、San Jose de Ushua 付近では Yura 層群、Murco 層、Arcurquina 層等を不整合に覆う。

(5) Mollebamba 火山岩類 (Vm)

分布 局部的に噴出した溶岩流で、Sara Sara 山の周辺、この西方では Apainunu 山の南西、Solimana 山の西方及び北東の平坦地付近、調査地北東の Acco 山付近、この東方の Auquihuato 山、さらにこの東方で小規模な岩体として分布する。

岩相 暗灰色で流理のある角閃石安山岩または黒灰色～暗灰色の塊状緻密質な無斑晶質安山岩の溶岩流からなる。角閃石安山岩は鏡下に、角閃石(0.1～1.2%)、斜長石(0.5～1.0%)が斑状に含まれ、石基は大半がガラスで斜長石及び角閃石の微晶を含むガラス基流晶質である。無斑晶安山岩はガラスを主とし、斜長石と極く少量の普通輝石の微晶からなる。

層序関係 ほぼ現地地形に沿って流出した溶岩流で、下位の地層を不整合に覆う。

(6) 沖積層 (al)

分布 主要河川沿いに帯状の平坦地を形成して分布するほか、山地の緩傾斜地及びアルチプラノ高原の沢沿いや盆地に小規模に分布する。

岩相 色調は分布域で異なり、付近に分布する岩石から流出した礫、砂、粘土からなる。

4-2-2 貫入岩類

貫入岩類には、海岸バソリス (CB)、Accha 岩株 (Di)、安山岩岩株及び岩脈 (An) がある。

(1) 海岸バソリス (CB)

分布 調査地域南西の Quirhuay 山付近、南部の Cotahuasi 川沿い及び Solimana 山の南部付近に分布する。本岩体は、南米大陸の西縁に沿って分布する海岸バソリスの一端で、調査地域外

南方に連続して広い分布を示す。

岩相 海岸バソリスの組成は、ハンレイ岩から閃緑岩、トナル岩、アダメロ岩をへて花崗岩まで変化する複合岩体で、このうち中間組成の岩石が最も広い分布を示すといわれている (Cobbing & Pitcher 1972)。

本地域内では、南西部に石英閃緑岩、南部に花崗閃緑岩が分布する。前者は緑灰色塊状の中粒完晶質岩で、鏡下に完晶質でやや斑状組織がみられ、斜長石 (0.5~0.8%, An% 40~48), 角閃石 (0.5~1.7%, 一部緑泥石化), 黒雲母 (0.8~1.3%), 石英 (0.5~0.8%) などで構成される。後者は灰色~淡灰色塊状の粗粒完晶質岩で、鏡下に完晶質等粒状~やや斑状組織を示し、斜長石 (2~7%, An% 28~33), 石英 (1~3%), カリ長石 (4~6%の正長石), 角閃石 (0.8~1.7%), 黒雲母 (0.5~1.3%) 及び少量の金紅石からなる角閃石-黒雲母花崗閃緑岩である。

産状及び貫入時期 南西部の石英閃緑岩は、基盤岩類及びジュラ系最下部の Chocolate 火山岩類を貫いており、接触部付近では、本岩体中にレンズ状に伸ばされた多量の捕獲岩や網状~細脈状の緑れん石脈を伴う。また、岩体周辺の Chocolate 火山岩類は、脱色化及び黄鉄鉱化作用を受けて褐色酸化鉄に汚染される。石英閃緑岩の試料 (Gb-110) による K-Ar 年代測定結果は 80.3 ± 4.0 Ma で、白亜紀後期の貫入である。

Solimana 南部の花崗閃緑岩は、第三系の Alpaamba 層に不整合に覆われる。この岩体の試料 (Gd-32) による K-Ar 年代測定結果は、 57.1 ± 2.9 Ma で、第三紀暁新世を示す。

(2) Accha 岩株 (Di)

分布 調査地域には大小合わせて23ヶ所に分かれて分布する岩株がある。中央から北東にかけては、NE-SW 方向に配列する岩株が15ヶ所にあり、Cotahuasi の右岸に沿って分布する。このうち、比較的規模の大きい岩株は、精査 B 地区北部の Pirca, Cotahuasi 西方の Yuca 山, 北東部の Alca 付近などに分布する。北西部では、Marcabamba から南東の Bitama 付近にかけて NW-SE 方向に配列する岩株が8ヶ所に分かれて分布する。ここでは、Marcabamba, Colta, Bitama に分布する岩体が比較的大規模である。

岩相 本岩株は中粒~細粒閃緑岩~石英閃緑岩を主とするが、一部に斜長石や石英を斑状に含む斑状石英閃緑岩の岩株がある。

閃緑岩~石英閃緑岩は、灰色の中粒~細粒完晶質岩で、鏡下に斜長石 (0.5~2%, An% 36~48), 石英 (0.2~0.8%), 角閃石 (0.8~2%) 及び微量の金紅石や不透明鉱物が観察される。Alca 付近の岩体では普通輝石 (0.2~0.8%), Marcabamba の岩体には黒雲母 (0.4~0.8%) が含まれる。

斑状石英閃緑岩は灰色の完晶質岩で、白濁した斜長石が斑状を成す。鏡下に斑状組織がみられ、斑晶は斜長石 (1~4%), 石英 (1~3%), 黒雲母 (0.5~2%) からなる。石基は斜長石と石英のモザイク組織を示す。Cotahuasi 西部の岩体には角閃石 (0.2~0.8%) 及び普通輝

石(0.5~1.3%)が含まれる。この斑状石英閃緑岩の石基は再結晶によると思われ、石英斑岩の可能性もある。

産状及び貫入時期 本岩株は、白亜系のYura層群、Murco層、Arcurquina層、古第三系のHuanca層、新第三系のTacaza層群などを貫き、Alcabamba層に覆われる。本岩株周辺の地層は脱色して灰白色を示すほか、局部的に酸化鉄に汚染される。Arcurquina層の石灰岩では一部で柘榴石スカルンを生じている。また、接触部付近の本岩株にも黄鉄鉱の鉱染する所がある。

Alcaに分布する石英閃緑岩から採取した試料(Ca-4)のK-Ar年代測定結果は 53.7 ± 2.7 Maで、第三紀始新世初期を示す。本岩株はTacaza層群を貫くことから、貫入時期は第三紀中新世に及ぶものと推定される。

(3) 安山岩の岩株及び岩脈(An)

分布 岩株は、精査B地区のPirca北部に2岩株、南部のArarepata山に2岩株、この南西山頂付近の2岩株、また、Catahuasi部落北部のTaurisma及びこの北西のPampamarca付近の小岩株などで、Tacaza層群以前の地層を貫いて分布する。また、岩脈は、NE-SWの方向性をもつ岩脈が北西Marcabamba付近で4ヶ所、N20°Wの方向性をもつ岩脈が北東のPararapa鉱山に、小規模な岩脈がAlca西方の山地にそれぞれ分布する。

岩相 岩株は一般に帯緑灰色~灰色の斑状半完晶質塊状角閃石安山岩で、鏡下に斑晶は斜長石(1~3%)、普通輝石(1%)、角閃石(1%)からなり、石基は斜長石と少量のガラスからなる。Taurismaの岩株では、角閃石の斑晶(0.6%前後)を含むが、普通輝石は認められない。

これらの岩株は変質して、有色鉱物には緑泥石、斜長石には曹長石、緑泥石、絹雲母などを生じている。

岩脈は、緑灰色の角閃石安山岩からなり、全般に緑泥石化作用を受けている。Pararapa鉱山でTacaza層群を貫く岩脈は緑色~緑灰色の変質斑状角閃石安山岩で、斜長石(3~5%)と緑泥石化角閃石(1~3%)の斑晶を含む。石基は著しく変質し、黄鉄鉱が鉱染する。本岩脈には含金銀石英脈が胚胎する。

産状及び貫入時期 岩株は半完晶質で、Accha岩株と同様の貫入形態を示し、貫入時期もほぼ同時期と推定される。岩脈は、Accha岩株を貫いているほか、Alcaの西方山地ではAlpabamba層を貫くことから、第三紀中新生中期~後期に貫入したものと推定される。

4-2-3 岩石の化学組成

本調査で採取した20試料について全岩分析(13成分)を実施し、あわせてC.I.P.W. Norm計算を行った。その結果は巻末のApx.3にまとめた。

火山岩類の岩型をSiO₂とNa₂O+K₂Oの含有量に基づいて決める簡単な分類法として、E.A.K Middlmost(1972)による分類法がある。この分類法によって当地域の火山岩類を検討すると次の通りである(Fig 4-3、この表は都城・久城1975の岩石学IIによる)。

Marcabamba 南西に分布する Tacaza 層群 (Tc) から採取した試料 (Ad-1) は, SiO_2 61.97%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 6.32% を示し, 非アルカリ安山岩と石英安山岩の境界付近にプロットされる。検鏡結果では角閃石安山岩である。

Alpabamba 層 (Al) から採取した試料は, Alca 東方及び南方山地のもの (Gc-47, Ca-13), Marcabamba 東方山地のもの (Gb-93), 調査地北東部のもの (Gi-83) の 4 試料で, これらは SiO_2 70.01~75.43%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 7.97~10.17% を示し, いずれも流紋岩に分類される。本層は岩相変化が著しく, 野外では石英安山岩質としたものが多い。分析試料のうち, Ca-13 は溶結凝灰岩, Gc-47 は真珠岩, 他の 2 試料は野外で一般的にみられる石英安山岩~流紋岩としたものに相当する。

Seneca 層 (Vse) から採取した 2 試料のうち, 調査地東部の Arma 北東のもの (Gb-56) は, SiO_2 72.31%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 9.22% を示し, 流紋岩に分類される。一方, 北部の Pampa Huilauro 付近のもの (Gd-46) は SiO_2 58.45%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 6.60% を示し非アルカリ安山岩に分類される。本層の主体は前者に近い成分をもつ流紋岩質~石英安山岩質火山岩類からなり, 後者はこれに挟まれる安山岩溶岩に相当する。

Barroso 下部層 (Vbl) から採取した 5 試料は, SiO_2 が 59.48~67.35%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ が 6.26 ~ 8.19% を示し, 非アルカリ安山岩または石英安山岩に分類される。これらのうち, 調査地域南東部のもの (Gb-58, Gb-72, Gb-75) は, SiO_2 が 59.48~63.97%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ が 6.26~7.18% を示すが, これらに比べて, 東部の Firura 山南西のもの (Gf-36) は $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ が 8.72% 含有され, 石英安山岩と粗面岩の境界付近にプロットされる。また, 南部の Solimana 山西部のもの (Gf-52) は SiO_2 が 67.35% の高い値を示す。これらの成分の違いは, 噴出場所によってマグマの成分に差があったものと思われる。

Sara Sara 山南東に分布する Barroso 上部層 (Vbu) の試料 (Gc-304) は, SiO_2 70.96%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 9.55% を示し, 流紋岩に分類される。

調査地域西部の Marcabamba に分布する Lampa 火山岩類 (Vla) の試料 (Ad-6) は, SiO_2 が 61.97%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ が 7.81% で非アルカリ安山岩に分類される。

Mollebamba 火山岩類 (Vm) の分布域のうち, 調査地域南東の Apainuñu 山から噴出した溶岩の試料 (Gb-108) は, SiO_2 60.73%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 7.83% で非アルカリ安山岩に分類される。

全岩分析 (13成分) の結果から, K_2O と MgO の関係を Fig. 4-4 に示した。これによれば, K_2O 成分の増加に伴って MgO 成分が減少する傾向を示す。しかし, Alpabamba 層 (Al) の流紋岩質岩については, MgO 含有量がほかの岩石に比べて少なく, K_2O 成分の含有量との間に相関関係が認められない。Seneca 層 (Vse) の試料 (Gb-56) は流紋岩質岩で, Alpabamba 層の流紋岩質岩と同様の岩相を示すが, MgO 成分の含有量は Alpabamba 層のものに比べて高い値を示す。

貫入岩類の全岩分析 (13成分) は, 海岸パンリス (CB) の 2 試料 (Gb-110, Gd-32) 及び Accha 岩株の 2 試料 (Af-2, Ca-4) について行った。これらはいずれも花崗岩質岩のため, フェルシッ

ク火成岩類の分類命名法のうち Bateman et al., 1963 の分類を採用し、石英 - (曹長石 + 灰長石) - 正長石の三角図表を作成した (Fig. 4-5)。

4 試料はいずれも花崗閃緑岩に分類される。調査地域南部の海岸パンリスは、Accha 岩株に比べて正長石がわずかに多い傾向がみられる。

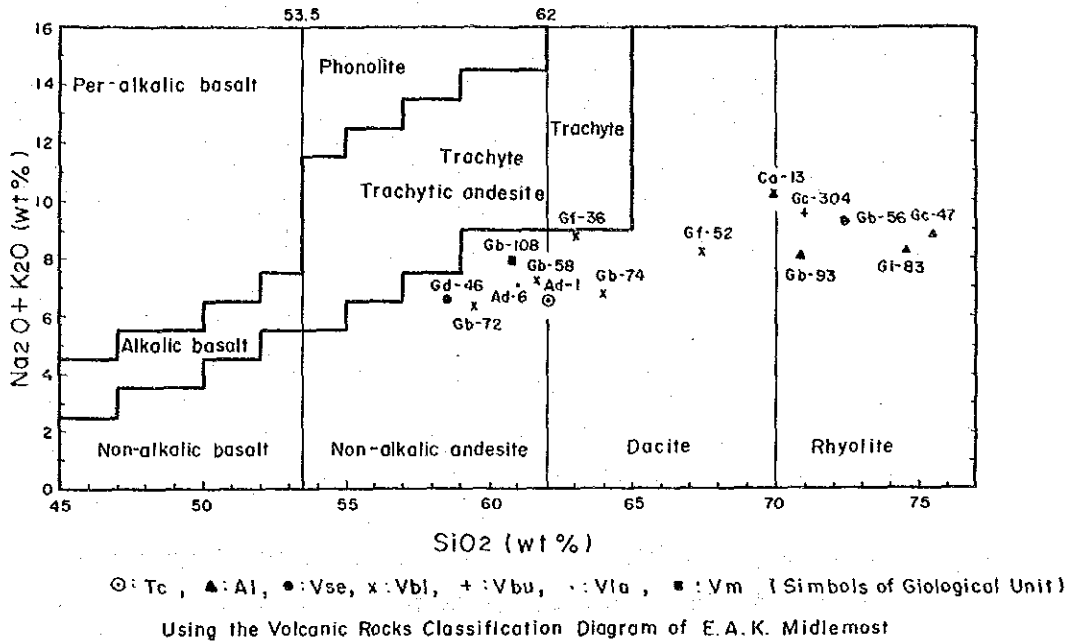


Fig.4-3 SiO₂ - (Na₂O+K₂O) Variation Diagram of Volcanic Rocks

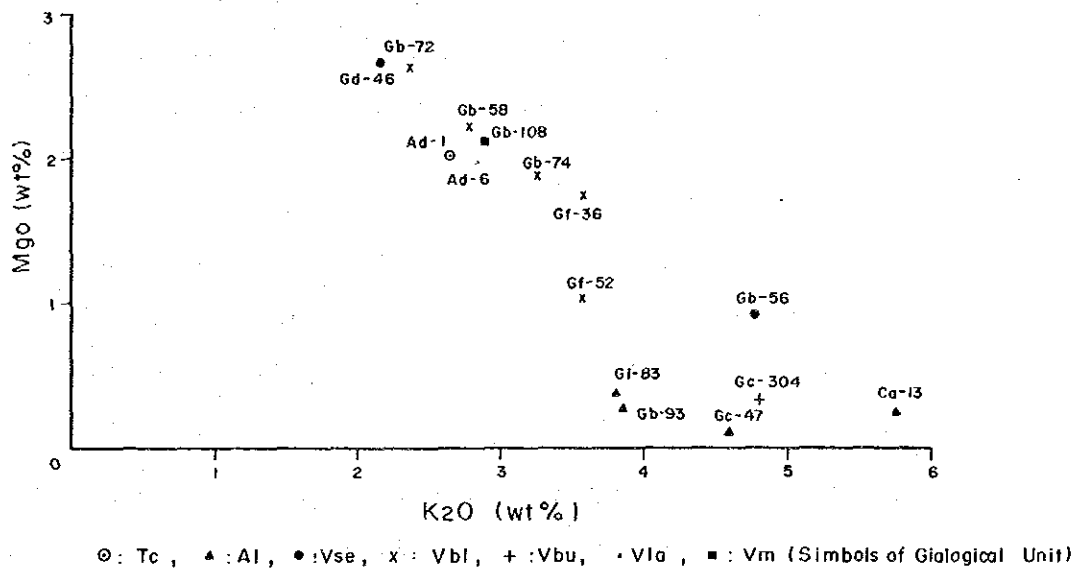


Fig.4-4 K₂O - MgO Variation Diagram of Volcanic Rocks

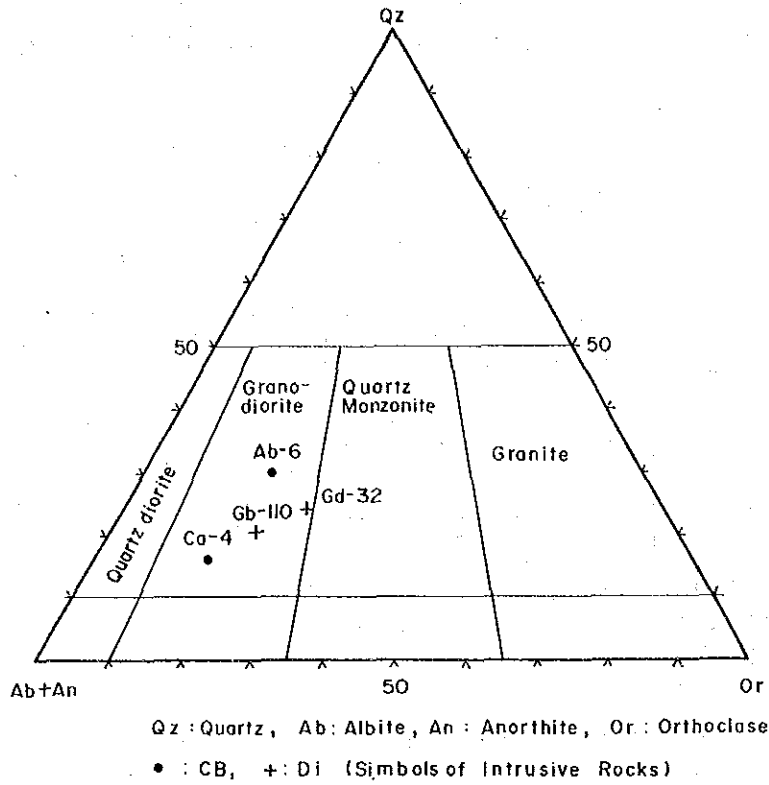


Fig. 4-5 Normative Quartz - Orthoclase-(Albite + Anorthite) Triangular Diagram of Some Igneous Rocks

4-2-4 地質構造と地史

(1) 地質構造

調査地域の地質構造は、アンデス造山運動に起因して、ジュラ系及び白亜系の中に発達する褶曲及び断層構造によって大きく特徴づけられる。第三系中では局部的に地層が緩い傾斜を示すほか、小規模な断層が観察されるが、その規模からみて、著しい構造運動を受けた痕跡はほとんど認められない。(PL.2 Fig.4-1)

ジュラ系及び白亜系中の褶曲構造には、精査B地区中央のTanisca山南部のSocosani層中にあるN70°W方向の軸を持つ大規模な向斜構造、Cotahuasi川に沿ったVelinga部落西方のYura層群中にあるE-W系の向斜構造、Cotahuasi部落西方のLancacollaから北東のTaurismaにかけてのArcurquina層中にあるNW-SE系の背斜及び向斜、N-S系の背斜、NE-SW系の背斜構造などがある。

第三系中の褶曲構造は精査B地区の北方にあるCharcana部落西方のTacaz層群中にみられ、ここではNNW-SSE方向の軸を持つ小規模な背斜及び向斜構造で、この他には第三系以降の褶曲構造は認められない。

断層構造は、第三紀中新世前期以前の地層中に発達する。

大規模な断層はNW-SE方向の断層で、特に精査A地区南方のSaina部落付近を通るNW-SE

方向の断層、この延長に相当する南東の Palmadeas 沢の E-W 方向の断層、北東の Lamapa 東方から南東の San Jose de Ushua の南部を通り、この延長が Tanisca 山付近に連続する NW-SE 方向の断層、Mina Picha の南部の沢に沿った NW-SE 方向の断層などが大規模で、その落差はいずれも 1000m 以上に及ぶと推定される。その他、これらにほぼ平行する断層として、西部では Bitama 北東、Mina Luicho 付近、Puca Puca 付近を通るもの、Cotahuasi 川沿いでは、Ccolapa 沢、Chuquibamba 川を通るものがある。

NNW-SSE 方向の断層は、Colta 西方、Pomacocha 東部、Minas de Huayllura 北東の Anirca 沢などにある。また、NE-SW 方向の断層は、Cotahuasi 川沿いの Quechualla 東方の沢、Cotahuasi 部落の東方、調査地域北東の Puica 付近、この東方の Sumana 付近にみられる。これらの断層は比較的小規模な断層で、一部は Alpabamba 層を切っている。

褶曲軸や断層にみられる NW-SE 及び NE-SW の方向性は、広域的にみて、ランドサット画像解析結果による NW-SE 系及び NE-SW 系のリニアメントや円形構造の配列方向とほぼ一致しており、当地域の基盤構造を反映したものである。

(2) 地 史

調査地域は、地形区分では西コルディレラ山系に属し、地質区分では中部アンデスのペルー南部に位置する。

先カンブリア紀の片麻状花崗岩～閃緑岩の複合岩体が調査地域の基盤をなす。当地域ではカンブリア紀から三疊紀の地層を欠き、ジュラ紀前期に起った活発な火山活動による火山性堆積物 Chocolate 火山岩類 (Cho) が基盤岩類を直接不整合に覆って厚く堆積した。

ジュラ紀後期には、北米のネバタ造山運動に相当する変動が南米にも現われ、チリやアルゼンチンでは著しい褶曲や上昇が起った。しかし、調査地域付近には大きな変動はみられず、ジュラ紀後期から白亜紀前期にかけて、厚層の砂岩を主とする Yura 層群が厚く堆積した。その後も大きな変動はなく、白亜紀中期にかけては褐色の砂岩や頁岩の互層からなる Murco 層 (Mu)、厚層の石灰岩からなる Arcurquina 層 (Ar) などが整合的に堆積した。

白亜紀から新世代前期にかけて、南アメリカ西縁沿いには全域にわたって海岸バソリスが進入し、上昇と褶曲を伴うアンデス運動が起った。この影響が当地域にも強く現われる。

調査地域の海岸バソリス (BC) は白亜紀後期から第三紀暁新世にかけて進入し、これに伴って当地域は著しく上昇して陸化した。この上昇運動によりジュラ系や白亜系は著しく褶曲すると共に断層によって地塊化された。

第三紀暁新世から漸新世にかけては活発な火山活動はみられず、局部的にできた堆積盆に砂、礫が堆積した。当地域では Cotahuasi の北東に分布する Huanca 層 (Hc) がこれに相当する。

中新世に入り火山活動が活発になり、前期には Tacaza 層群を構成する安山岩質火山岩類が大量に噴出し、侵食されたジュラ系及び白亜系を広く不整合に覆った。本層は、Accha 岩株 (Di) や安山岩の岩株 (An) に貫かれるほか、緩い褶曲や小規模な断層を伴っており、アンデス運動