

又理一、要論、非、以、空、界、事、理、明、矣、一、共、體、與、時

行、功、其、理、與、非、理、在、理、理、之、理、在、理、理

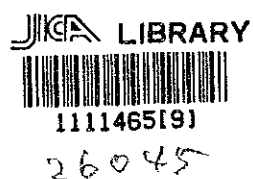
論、理、理、理、理

論、理、理、理、理、理

論、理、理、理、理、理

ペルー共和国パチャピリアーナ地域
資源開発協力基礎調査報告書

第3年次



平成3年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

国際協力事業団

26045

は し が き

日本国政府はペルー共和国政府の要請に応え、同国北部のカハマルカ県及びランパイエツケ県に位置するパチャピリアーナ地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査、地化学探査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、この調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。

本調査は昭和63年度を第1年次とする第3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2年7月9日から平成2年12月7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、鉱山動力省鉱山総局所轄の地質鉱物冶金研究所の協力を得て予定通り完了した。

本報告書は本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ご協力いただいたペルー共和国政府機関ならびに外務省、通商産業省、在ペルー共和国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3年2月

国際協力事業団

総裁 柳谷謙介

金属鉱業事業団

理事長 福原元一

平成2年度資源開発協力基礎調査
資源開発調査 ペルー共和国パチャピリアーナ地域

目 次

は し が き

調査地域位置図

要 約

第I部 総 論

第1章 序 論	1
1-1 調査の経緯	1
1-2 第2年次調査の結論と提言	1
1-3 第3年次調査の概要	3
第2章 調査地域の地理	9
2-1 地形及び水系	9
2-2 気候及び植生	9
第3章 一般地質	11
第4章 調査結果の総合検討	13
4-1 地質構造、鉍化作用の特性と鉍化規制について	13
4-2 鉍床賦存のポテンシャルについて	14
4-3 地化学異常と鉍化作用との関係について	14
第5章 結論及び提言	17
5-1 結 論	17
5-2 第4年次調査への提言	18

第Ⅱ部 各 論	
第1章 チョンタリ地区	19
1-1 物理探査	19
1-2 ボーリング調査	34
1-3 考 察	54
第2章 ヘワマルカ地区	57
2-1 地質調査・地化学探査	57
2-2 ボーリング調査	61
2-3 考 察	77
第Ⅲ部 結論及び提言	
第1章 結 論	79
第2章 第4年次調査への提言	81
参 考 文 献	83

LIST OF FIGURES

- Fig I-1 (1) Location and Accessibility of the Survey Area
Fig I-1 (2) Location of the Survey Area
Fig I-2 Summarized Accessibility of the Survey Area
Fig I-3 Generalized Geological Map of the Survey Area
Fig I-4 Generalized Stratigraphic Column of the Survey Area
Fig I-5 Distribution of Mineralization in the Survey Area
Fig II-1 Gravity Survey Area
Fig II-2 Location of Gravity Stations
Fig II-3 Annular Segment for Terrain Correction
Fig II-4 Division of Terrain Correction Area
Fig II-5 Gravity versus Height Relation
Fig II-6 Energy Spectrum
Fig II-7 Bouguer Anomaly Map ($\rho=2.67\text{g/cm}^3$)
Fig II-8 First-order Residual Gravity Map
Fig II-9 (1) Long-wave Gravity Map
Fig II-9 (2) Short-wave Gravity Map
Fig II-10 (1) Cross Section of A-A'
Fig II-10 (2) Cross Section of B-B'
Fig II-10 (3) Cross Section of C-C'
Fig II-10 (4) Cross Section of D-D'
Fig II-11 Geophysical Interpretation Map
Fig II-12 Location of the Drillings with showing Geophysical
Survey Results in the Chontali Area
Fig II-13 Interpretative Profiles of the Drillings
in the Chontali Area
Fig II-14 Assay Results on the Profiles of the Drillings
in the Chontali Area
Fig II-15 Distribution of Fluid Inclusion Homogenization
Temperature in the Chontali Area
Fig II-16 Histogram and Cumulative Frequency Diagram of
Geochemical Data in the Jehuamarca Area
Fig II-17 Geological Map of the Jehuamarca Area
Fig II-18 Geological Profiles of the Jehuamarca Area
Fig II-19 (1) Distribution of Geochemical Anomaly
in the Jehuamarca Area (Au,Ag)

- Fig II-19 (2) Distribution of Geochemical Anomaly
in the Jehuamarca Area (Cu,Pb and Zn)**
- Fig II-20 Location of the Drilling and Trenching Sites
in the Jehuamarca Area**
- Fig II-21 Assay Results on the Profiles of the Drillings
in the Jehuamarca Area**
- Fig III-1 Location of the Recommened Drilling Sites
in the Chontali Area**

LIST OF TABLES

Table II-1 Calculations of Gravity Standard Value

Table II-2 Rock Properties

Table II-3 List of Gravity Data

Table II-4 Geochemical Threshold of the Jehuamarca Area

Table III-1 Recommended Drilling Sites in the Chontali Area

LIST OF PLATES

PL -1	Location of Gravity Stations	scale 1/10,000
PL -2	Bouguer Anomaly Map ($\rho=2.67\text{g/cm}^3$)	scale 1/10,000
PL -3	First-order Residual Gravity Map	scale 1/10,000
PL -4 (1)	Long-wave Gravity Map	scale 1/10,000
PL -4 (2)	Short-wave Gravity Map	scale 1/10,000
PL -5 (1)	Cross Section of A-A'	scale 1/10,000
PL -5 (2)	Cross Section of B-B'	scale 1/10,000
PL -5 (3)	Cross Section of C-C'	scale 1/10,000
PL -5 (4)	Cross Section of D-D'	scale 1/10,000
PL -6	Geophysical Interpretation Map	scale 1/10,000
PL -7 (1)	Core Log (MJPC-1) Chontali Area	scale 1/200
PL -7 (2)	Core Log (MJPC-2) Chontali Area	scale 1/200
PL -7 (3)	Core Log (MJPC-3) Chontali Area	scale 1/200
PL -7 (4)	Core Log (MJPC-4) Chontali Area	scale 1/200
PL -7 (5)	Core Log (MJPC-5) Chontali Area	scale 1/200
PL -7 (6)	Core Log (MJPC-6) Chontali Area	scale 1/200
PL -8	Geological Map of the Jehuamarca Area	scale 1/2,500
PL -9	Geological Profiles of the Jehuamarca Area	scale 1/2,500
PL -10	Location Map of Samples in the Jehuamarca Area	scale 1/2,500
PL -11 (1)	Distribution of Geochemical Anomaly in the Jehuamarca Area (Au,Ag)	scale 1/2,500
PL -11 (2)	Distribution of Geochemical Anomaly in the Jehuamarca Area (Cu,Pb and Zn)	scale 1/2,500
PL -12 (1)	Core Log (MJPJ-4,5) Jehuamarca Area	scale 1/200
PL -12 (2)	Core Log (MJPJ-6,7) Jehuamarca Area	scale 1/200
PL -12 (3)	Core Log (MJPJ-8,9) Jehuamarca Area	scale 1/200
PL -12 (4)	Core Log (MJPJ-10,11) Jehuamarca Area	scale 1/200
PL -12 (5)	Core Log (MJPJ-12,13) Jehuamarca Area	scale 1/200

LIST OF APPENDIXES

- Apx. 1 Microscopic Observations of Thin Sections
- Apx. 2 Microscopic Photographs of Thin Sections
- Apx. 3 Results of Fluid Inclusion Homogenization Temperature Analysis
- Apx. 4 Results of X-ray diffractive Analysis
- Apx. 5 X-ray Diffraction Chart
- Apx. 6 Microscopic Observations of Polished Sections
- Apx. 7 Microscopic Photographs of Polished Sections
- Apx. 8 Assay Results of Drilling Core in the Chontali Area
- Apx. 9 Assay Results of Drilling Core in the Jehuamaca Area
- Apx. 10 Assay Results of Ore at Trench-1 in the Jehuamaca Area
- Apx. 11 Assay Results of Geochemical Samples
in the Jehuamaca Area
- Apx. 12 Geological Drilling Log in the Chontali Area
- Apx. 13 Geological Drilling Log in the Jehuamaca Area
- Apx. 14 Geological Sketches of Trenches in the Jehuamaca Area
- Apx. 15 Miscellaneous Data for the Drilling Survey

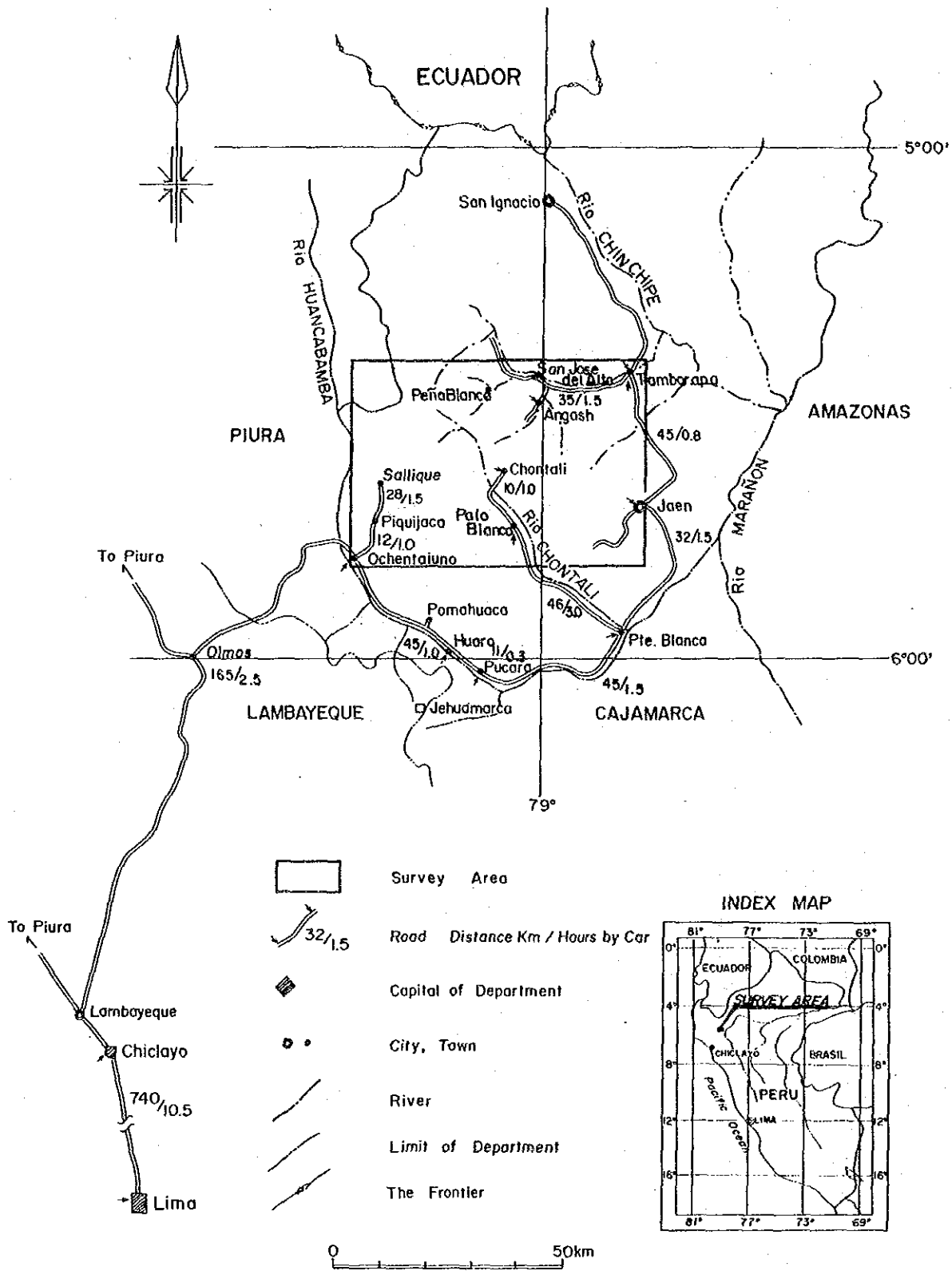


Fig. I-1 (1) Location and Accessibility of the Survey Area

要 約

本報告書は、ペルー共和国パチャピリアーナ地域において実施した資源開発協力基礎調査の第3年次調査結果をとりまとめたものである。本調査の目的は本地域の地質状況を解明することにより、有用鉱物資源の賦存状況を把握することにある。現地調査は平成2年7月から11月にかけて実施された。

第3年次調査はボーリング調査16本合計2334.06m、物理探査（重力探査）33km² 305測点及び地化学探査（岩石試料100試料）を併用した地質精査2.5km²を実施した。

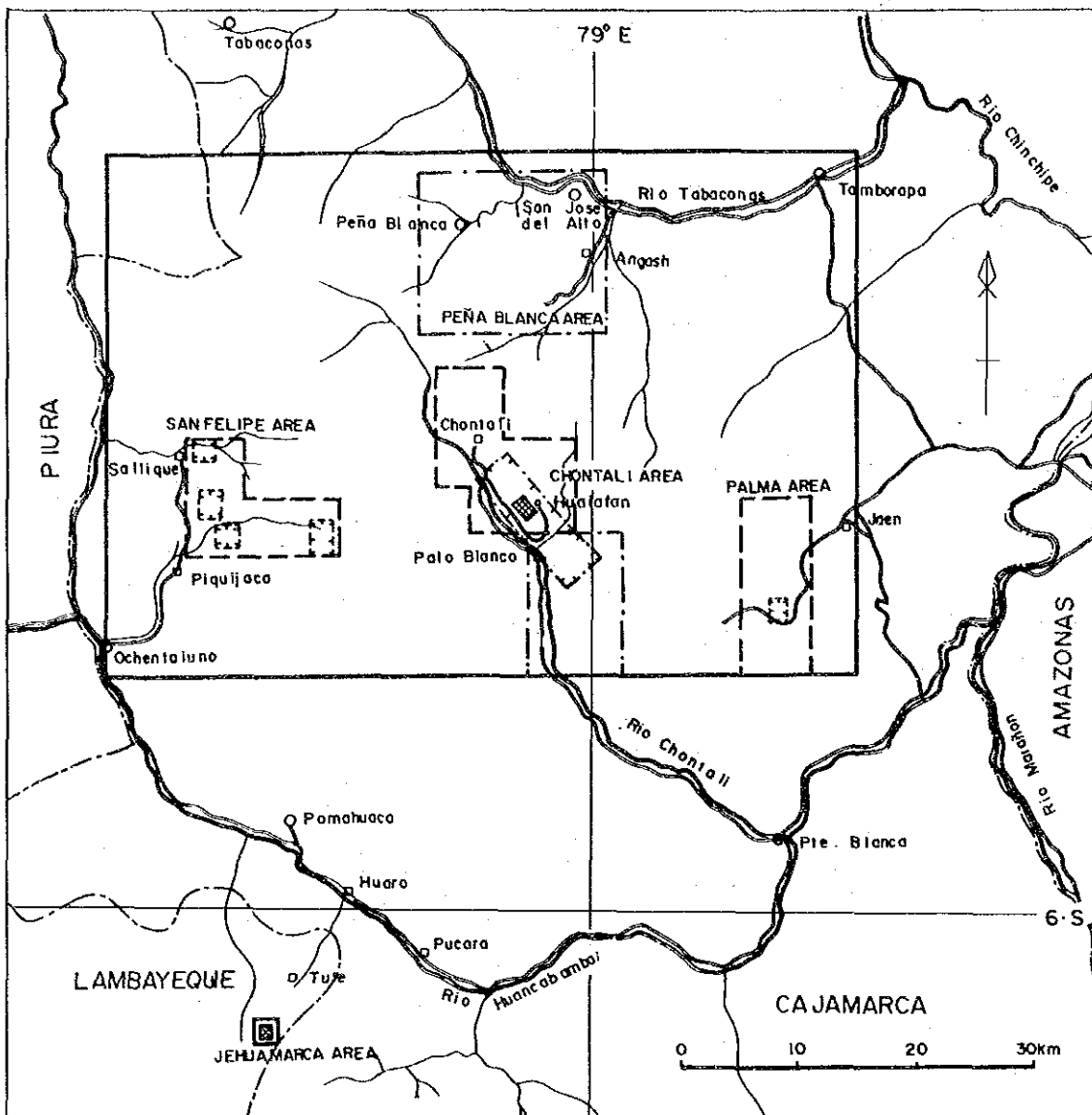
ボーリング調査はチョンタリ地区（6本合計1332.51m）及びヘワマルカ地区（10本合計1001.55m）にて各々珪化角礫岩、石英帯及び大規模石英脈の地下深部における具体的鉱化作用の確認を目的として実施した。物理探査はチョンタリ地区において鉱化作用と密接な関係を有すると考えられる重力基盤構造の解明を目的として実施した。更に地質精査はヘワマルカ地区において珪化角礫岩の産状確認及びボーリングデータ解析に足る地質情報を得る事を目的として実施した。

チョンタリ地区の重力基盤は密度2.8g/cm³の高密度帯として解析され、更にこの基盤の盛り上り部に接する高密度帯が3区域にて抽出された。このうち北部に位置する高密度帯は本年度のボーリング調査により調査されたが、高密度の原因は重金属（Fe, Mn, Mg）を含む炭酸塩化作用に由来するものと解されるに至った。また重力基盤を構成すると考えられる花崗岩質岩が全面的に前述の炭酸塩化変質を受けたと仮定すれば2.84g/cm³の密度が想定され、前記の高密度が裏付けられる。石英脈はボーリング調査によりプランジしている可能性が指摘された。従って鉱化帯もプランジしている可能性が大といえる。石英脈の流体包有物の充填温度分布は102℃～194℃を示し、全般に低温域に優勢であり、金鉱化作用の最適温度領域は本年度調査深度（標高1700m）より更に深部に賦存するものと解される。

ヘワマルカ地区における鉱化変質作用は支配的裂罅系より派生した北東-南西及び北西-南東系の小裂罅及び／または層理面を通路として、中性～アルカリ性環境の粘土化変質期から酸性環境の鉱化作用を伴う珪化変質期へと進行していったと解析された。しかしながら鉱床の胚胎が期待された珪化角礫岩（金・銀鉱化帯）及び石英帯（含金卑金属鉱化帯）は、低品位あるいは連続性に乏しい事より大規模鉱床に発展する可能性は乏しいと結論せざるをえない。

第4年次以降の調査としてはチョンタリ地区の石英脈のプランジ及び鉱況確認のためのボーリング調査による水平展開及び石英脈分布域における石英脈の詳細スケッチ、系統的サンプリングを含む地質精査の実施が望まれる。

第 I 部 総 論



- | | | | |
|--|---|--|----------------------------------|
| | Limits of Department | | Pachapiriana Project Area |
| | River | | Detailed Survey Area in 1988 |
| | Road | | Semidetailed Survey Area in 1988 |
| | Town and/or Village | | Detailed Survey Area in 1989 |
| | Base and/or Supplemental Camp for the field works | | Semidetailed Survey Area in 1989 |
| | | | Detailed Survey Area in 1990 |

Fig. I-1 (2) Location of the Survey Area

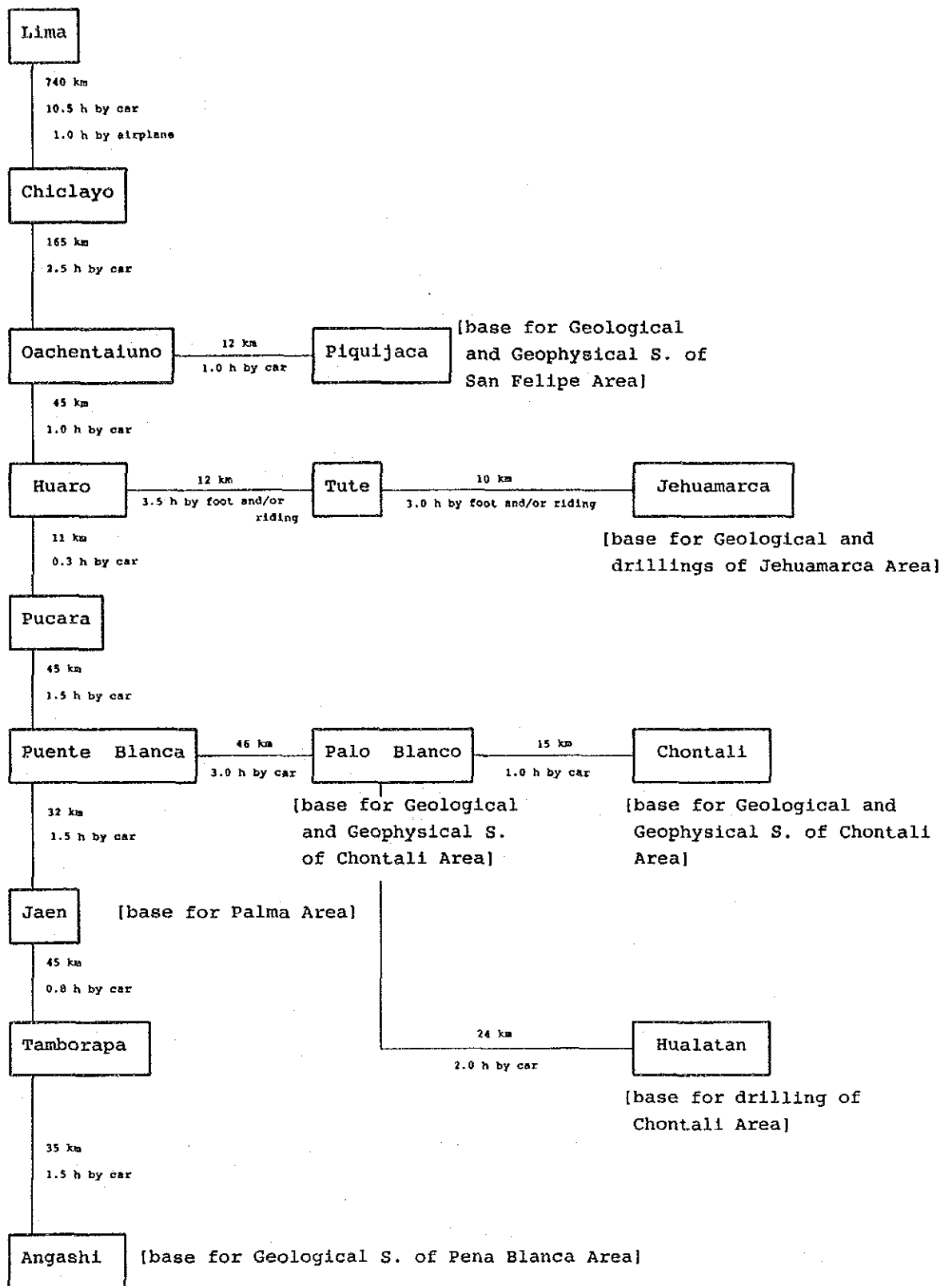


Fig. I-2 Summarized Accessibility of the Survey Area

第1章 序 論

1-1 調査の経緯

本調査地域は、1968年英国の開発援助案件として採択された、北部地化学探査計画 (Proyecto Geoquímico del Norte) により河川堆積物による地化学探査が実施された地域の一部である。本調査を実施した地質鉱物冶金研究所 (INGEMMET; Instituto Geológico Minero y Metalúrgico) は、捕捉した地化学異常帯に対し一部は西独及びフランスとの協力調査及び自力での調査を実施したが、大部分は調査資金不足により調査中断となっていた。

地質鉱物冶金研究所では前述調査のフォローのため、昭和63年3月ペルー共和国外務省を通じ日本国政府に対し協力調査の要請を行なった。同年8月通商産業省、国際協力事業団及び金属鉱業事業団は事前調査協定折衝調査団をペルー共和国へ派遣し、同年8月15日パチャピリアーナ (Pachapiriana) 地域に係る Scope of Work が署名された。

地質鉱物冶金研究所-国際協力事業団及び金属鉱業事業団との間にて取交わされた Scope of Work での調査対象範囲は2,820km²である。

第1年次調査は調査対象範囲全域に対しランドサット画像解析を実施すると共に、地質準精査を地質鉱物冶金研究所が捕捉していた地化学異常帯のうちの3地区合計300km²、地質精査を準精査地区より抽出された5区域計21km²、及び地質鉱物冶金研究所の調査により抽出されていた1区域4km²、合計25km²で実施した。更にCSAMT法による物理探査を2地区合計25km²の範囲で実施した。

第2年次調査は、第1年次調査の提言に従いチョンタリ (Chontali) 地区において地質精査42km²、地質準精査80km²、CSAMT法による物理探査35km²、ヘワマルカ (Jhuamarca) 地区においてボーリング調査3本816.25m及びペーニャ・ブランカ (Pena Blanca) 地区において地質準精査220km²を実施した。

1-2 第2年次調査の結論と提言

1-2-1 第2年次調査の結論

第2年次調査の結論を要約すれば以下の通りである。

- 1) 本調査地域には先カンブリア系より新生界までの地質単元が出現する。
- 2) 鉱化・変質作用は中生界であるレーチェ累層とオヨトゥン火山岩類及び新生界であるポルクーヤ火山岩類中に生じている。
- 3) 鉱化・変質作用は北東-南西系断層及びこれより派生したと考えられる北西-南東系の小裂罅に規制されて生じ、スカルン化作用及び浅熱水性鉱化・変質作用より成る。

- 4) スカルン化作用は含金卑金属交代鉱床の、浅熱水性鉱化・変質作用は浅熱水性金・銀鉱脈鉱床及び浅熱水性含金卑金属鉱脈鉱床をそれぞれ形成させた可能性を示している。
- 5) 浅熱水性金・銀鉱脈鉱床賦存の可能性の高い区域として抽出されたチョンタリ地区ワラタン(Hualatan)西部区域では、変質帯は物理探査により低比抵抗帯として抽出され、石英脈の密集する珪化及び珪化・粘土化変質帯は低比抵抗帯中の高比抵抗帯として抽出された。
- 6) この高比抵抗帯は、地下深部にまで連続すると共に地下深部に潜在する高比抵抗基盤の盛り上り構造に連続し、かつ石英脈密集帯中の大規模石英脈分布域に重複する。
- 7) この盛り上り構造は、本地区の地質条件及び石英脈中の流体包有物の充填温度分布よりみて花崗岩質岩の貫入形態を反映しているものと考えられる。
- 8) 大規模石英脈分布域の石英脈の露頭規模は、6脈平均脈幅3.04m、延長80mであり、平均品位はAu 2.54 g/t、Ag 13.99 g/t、流体包有物の充填温度は150℃以下を示す。
- 9) ヘワマルカ地区の珪化変質帯では、金・銀・銅・鉛・亜鉛の鉱染鉱化作用が普遍的に生じており、かつ、この珪化変質帯は予想通り“きのこ状構造”を有する可能性が高い事が判明した。
- 10) 更に珪化変質帯中には層状の高品位金・銀・鉛・亜鉛鉱体(石英帯)が、また地表に広く分布する珪化角礫岩には高品位金・銀鉱化帯が確認された。

1-2-2 第2年次調査の提言

第2年次調査の結論を論拠として第3年次調査への提言は次の通りであった。

1) ヘワマルカ地区

- ① 高品位層状石英帯を胚胎する珪化変質帯及び珪化角礫岩に対するボーリング調査の実施
- ② ボーリング調査実施区域に対する、より精度の高い地質調査(例えば縮尺1/2,000)の実施

2) チョンタリ地区

- ① 大規模高品位金鉱床の賦存の可能性の高いワラタン西部区域に対するボーリング調査の実施
- ② ボーリング調査実施区域に対する、より精度の高い地質調査(例えば縮尺1/2,000)の実施
- ③ ワラタン西部区域を包含する地区の基盤構造解明のための物理探査(例えば重力探

査)の実施

3) トーナ地区

① 地質鉱物冶金研究所により捕捉された地化学異常帯に対する地質準精査の実施

4) ペーニャ・ブランカ地区

① オヨトゥン火山岩類中に捕捉された鉱化変質帯に対する地質精査の実施

② 同区域に対する物理探査(例えばCSAMT法)の実施

1-3 第3年次調査の概要

1-3-1 調査範囲及び目的

第3年次調査は前年度提言の優先度の高い順に以下の通り実施された。

1) ヘワマルカ地区

第2年次調査により確認された硫化鉱物を多量に伴う石英帯及び地表高所に広く分布する珪化角礫岩に対し、具体的鉱化状況確認のためのボーリング調査を10本合計1,001.55m実施した。(提言1-①)

各ボーリング孔の掘削目的は次の通りである。

MJPJ-4, 5, 6, 7及び12; MJPJ-3にて捕捉した珪化角礫岩中の金・銀鉱化作用の具体的拡がり及び地下深部における珪化変質岩の鉱況確認

MJPJ-8, 9, 10, 11; MJPJ-1及び-2にて捕捉した石英帯の拡がり及び地下深部における珪化変質岩の鉱況確認

MJPJ-13; MJPJ-3にて捕捉した断層に伴う珪化角礫岩の具体的拡がり及び鉱況確認

更にボーリング調査結果の解析に供するに足る地表地質図作成のための縮尺1/2,000のルートマップによる地化学探査を併用した地質精査を2.5km²実施した。(提言1-②)

2) チョントリ地区

第2年次調査により抽出されたワラタン西部区域において、大規模石英脈の地下深部における具体的鉱化状況確認のためのボーリング調査を6本合計1,332.51m実施した。(提言2-①)

このボーリング調査にあたっては地下深部における鉱況の変化及び鉱化温度変化を知るために3ヶ所の試錐座で各2本ずつ掘削する垂直方向扇形調査を実施した。

更に変質帯中に賦存する石英脈の分布は比抵抗基盤の盛り上り構造に比較的良く一致す

る事より基盤構造と鈹化変質作用とは密接な関係を有する可能性が指摘されており、この基盤構造解明のために重力探査を305測点実施した。(提言2-③)

1-3-2 調査方法

調査手法別に調査方法を概述すれば次の通りである。

1) 地質精査

本年度の地質精査はヘワマルカ地区のみで実施した。調査基本図はINGEMMET作成の縮尺1/2,500調査図を利用した。調査は間縄及びポケットコンパスを利用し、縮尺1/2,000の簡易測量を実施しつつ、測線に沿った地質調査を同時併行的に行なった。測線は外縁部の極く一部を除きすべて閉合し、水平距離による誤差修正を行なった。標高はINGEMMETによる三角測量点J-2の標高3,230.0mを基準点とし、垂直距離による誤差修正を行なった。更に珪化角礫岩の産状確認のためのトレンチ調査を実施し、縮尺1/100のトレンチ調査図を作成した。縮尺1/2,000のルートマップは縮尺1/2,500の地質図として取りまとめた。

2) 地化学探査

本年度の地化学探査は、ヘワマルカ地区のみで地質精査と併行して実施した。試料は岩石試料とし、原則として測線長100m毎に採取したが、珪化帯及び珪化角礫岩においては若干採取密度を上げた。

3) 物理探査

チョンタリ地区にて重力探査を実施した。調査は、ラコステ重力計を用い実施した。調査測点は、調査範囲全域をカバーする網状の測線上に配置し、調査地区中央部では測点間隔100m、その周辺地区では測点間隔200~300mを標準に、計305点の測点を設置した。

重力測定の基本点重力値は、既設の重力点との往復観測によって定め、測定精度は1回の閉塞誤差0.2 mgal以下とした。

測点高度の測量は、測器舎製自動レベルによる水準測量を実施し、その精度は、閉合距離D (km) に対して $200\sqrt{D}$ (mm) 以内とした。また、測点位置の決定が困難な地区においては、スタジア測量またはエスロン・テープ使用による距離測量を併用し、位置の精度の向上に努めた。

測定された重力値に対し、潮汐・地形・緯度・高度(ブーゲ)等の補正を施した。ま

た、岩石密度測定結果及びG-H相関法によって最適仮定密度の等重力線図を作成し、これを基に解析を実施した。

解析は、等重力線図の特性に応じて、フィルター解析、2次元及び3次元定量解析を行ない、その結果を縮尺1/10,000の平面図及び断面図として表示した。

4) ボーリング調査

本年度はヘワマルカ地区及びチョンタリ地区にて、ボーリング調査を実施した。ボーリング掘削作業は現地業者GEOTEC S. A. を起用し実施した。

ヘワマルカ地区

掘削機材類は自動車道がないためペルー第3空軍のヘリコプターをチャーターし運搬した。ベースキャンプはヘワマルカ山頂に設定した。また物資補給キャンプをプカラ(Pucara)、ワロ(Huaro)及びトゥテ(Tute)の3ヶ所に設置し、修理部品・油脂燃料・泥材・セメント・食料等の補給を行なった。ワロからヘワマルカまでの運搬作業は地形が急峻なため往路2日、復路1~2日を要した。

チョンタリ地区

ベースキャンプをワラタンに設定すると共に中継基地を国道からの分岐点であるプエンテ・ブランコ(Puente Blanco)及び積載重量制限のある橋のたもとのペーニャ・ブランカ(Pena Blanca)の2ヶ所に設け、修理部品・油脂燃料・泥材・セメント・食料等の補給を行なった。

5) 調査実績

本年度実施した調査量を総括すれば次の通りである。

	地質調査・地化学探査			物理探査		ボーリング調査	
	面積	踏査長	地化探試料	面積	測点数	孔数	穿孔長
ヘワマルカ	2.5km ²	22.176km	100個			10孔	1,001.55m
チョンタリ				33km ²	305点	6孔	1,332.51m
計	2.5	22.176	100	33	305	16	2,334.06

また採取した鉱物試験用試料は次の通りである。

	鉍石分析	流体包有物	X線回折	薄片	研磨片	比重測定
ハワマルカ精査	12		23	5	2	
ハワマルカボーリング	153		5	4	5	
チョンタリ重力						35
チョンタリボーリング	162	12	20	16	15	
計	327	12	48	25	22	35

1-3-3 調査団の編成及び調査期間

第3年次調査の実行計画の打合せは平成2年7月3日から7月6日までの間に次のメンバーで実施された。

日本側

目次英哉 (METSUGI Hideya) 金属鉍業事業団

ペルー側

Guillermo BALCAZAR RIOJA 地質鉍物冶金研究所

Gregorio FLORES NANES "

更に調査の進捗及び今後の対応協議のため、平成2年11月22日から11月26日まで次のメンバーにて会議がもたれた。

日本側

横川勝美 (YOKOKAWA Katsumi) 金属鉍業事業団

目次英哉 (METSUGI Hideya) "

ペルー側

Juana Rosa Del CASTILLO 地質鉍物冶金研究所

Rafael Del AGUILA Del AGUILA "

Nestor CHACON ABAD "

現地調査団は地質調査・地化学探査班、物理探査班及びボーリング調査班で編成された。地質調査・地化学探査班は平成2年7月9日から同年12月7日まで、物理探査班は平成2年

7月9日から同年8月24日まで、ボーリング調査班は平成2年7月9日から同年11月16日まで現地に派遣された。

調査団員及びペルー側カウンターパートは次の通りである。

日本側

濱 博也 (HAMA Hiroshi)	総括・地質調査・地化学 探査・ボーリング調査	三井属資源開発株式会社
木下和彦 (KINOSHITA Kazuhiko)	物理探査	〃
斉藤光義 (SAITO Mitsuyoshi)	〃	〃
原田陽夫 (HARADA Haruo)	ボーリング調査	〃

ペルー側

Carlos JIMENEZ VELASCO	総括・地質調査・地化学 探査・ボーリング調査 (ハマカ)	地質鉱物冶金研究所
Carlos A. GAMARRA ROMERO	物理探査	〃
Walter PARI PINTO	〃	〃
Luis QUISPE ARANDA	ボーリング調査 (フォンタ)	〃

第2章 調査地域の地理

2-1 地形及び水系

第3年次調査はFig. I-1(2)に示す通り、調査対象地域のほぼ中央部において実施された。

チョンタリ地区では、チョンタリ川（地形図幅によってはワイジャバンバ(Huayllabamba)又はチュンチュカ(Chunchuca)川と記載される)が調査地区の西側を、北西から南東へ流下する。チョンタリ川に注ぐ支流は本流にほぼ直交する方向、すなわち北東-南西の配列を示す。

ヘワマルカ地区では、北西方向に開口部を有する準盆状地形であるため、北西方向に流下する主河川を幹とした樹枝状水系を形成している。

地形は両地区共に非常に急峻であり、チョンタリ地区では、チョンタリ川で標高1,050m、最高峰で2,700mであり、比高差1,650mに達する。また、ヘワマルカ地区では、中央部西端の川面で3,085 m、北部中央部の最高峰で3,405 mであり、狭い調査範囲内でも比高差320mに達する。調査地区の北部及び東部は平均傾斜60°以上にもなる絶壁となっており、局所的気候条件を規制する要因の一つとなっている。

2-2 気候及び植生

調査地域の植生は、前年度報告した通り標高差による変化が顕著であるが、更に決定的影響を示すのは開墾されているか、否かである。基本的には本地域は熱帯~亜熱帯性雨林帯であり、樹高15~20mに達する原生林が繁茂する地域であるが、開墾が進むにつれて砂漠化が進み、灌漑が行きとどいたところは農地として残り、そうでない場所は乾燥性低灌木林となっている。

チョンタリ地区は全域開墾されており、かつ農地あるいは牧草地として利用されている。

ヘワマルカ地区については寒冷気候のため開墾はされてはいないが、植生はパハ(Paja)と称する針状植物よりなり、天然の放牧地となっている。調査地区の北部、東部及び南部の大部分は原生林に覆われており、地形の急峻さと相俟って踏査は難渋を極めた。

調査対象地域内の気象条件は場所により相当の差異が感じられるが、気象観測拠点が非常に少なく、また観測データも不揃いであり、明確に本区域全域を定義付けする事は出来ない。

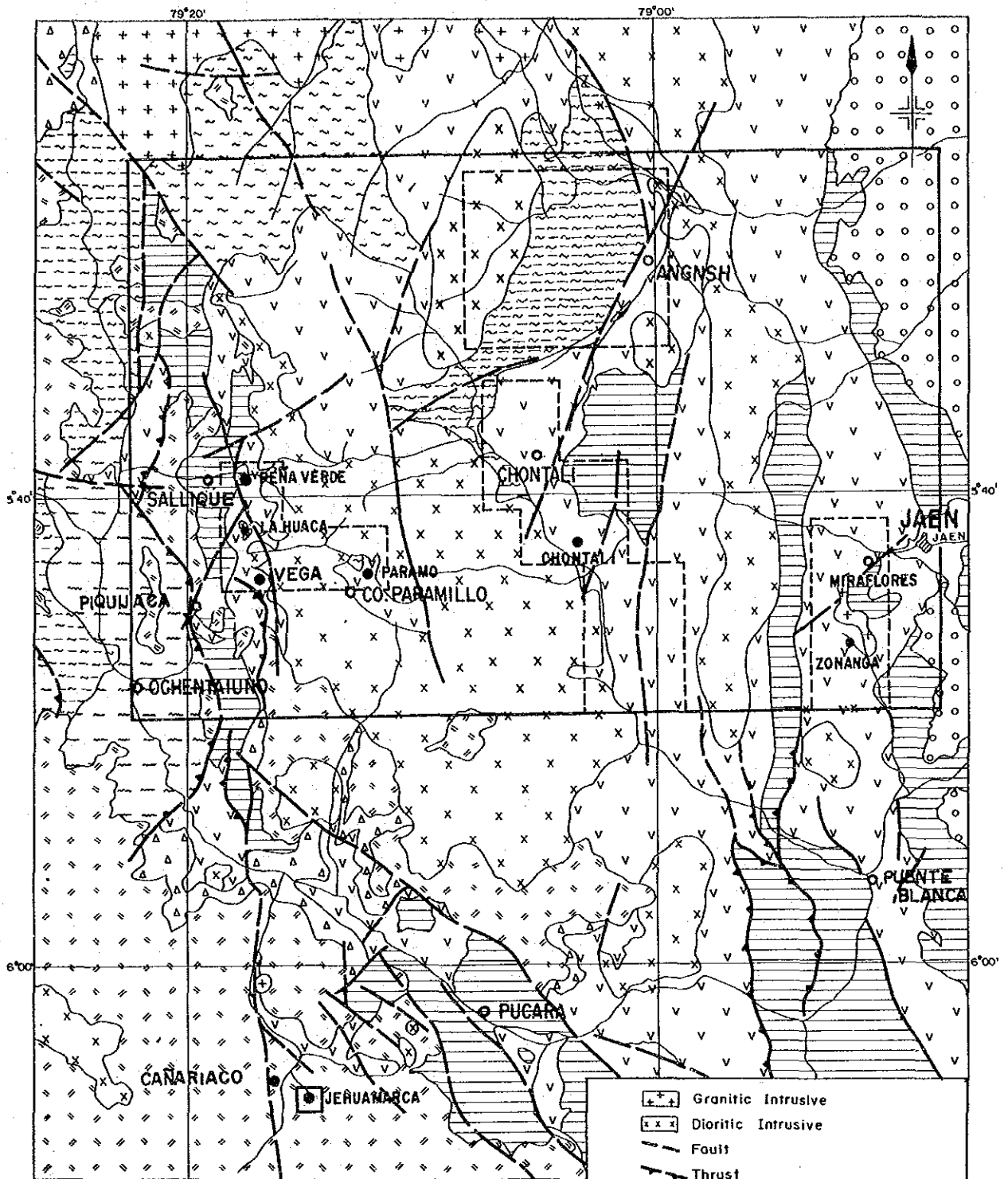
気温は、標高を如実に反映し、高度が上るに従い平均気温は低下する。月別平均気温の変化は僅少であり、季節の変化は微々たるものであると言える。しかしながら月別の最高気温と最低気温の温度差はいずれの地点でも10℃以上の差が認められ、日較差はかなり大きい。

相対湿度は気温とは逆に高地ほど高くなる傾向を示す。月別の平均湿度を眺めれば、湿度

の高低は雨期・乾期とは関係なく、平均気温の高低に比較的よく一致している。

降水量は標高とは関係なく、むしろ周辺区域の原生林の有無に相当影響をうけているものと考えられる。降雨は年中認められ、乾期及び雨期の区分は明瞭でないが、平均100mm/月以上降る月を雨期と定義づければ、12月～5月が雨期、6月～11月が乾期という事ができよう。この中でも1月～4月が特に雨の多い月、7月～9月が特に雨の少ない月とみる事ができる。

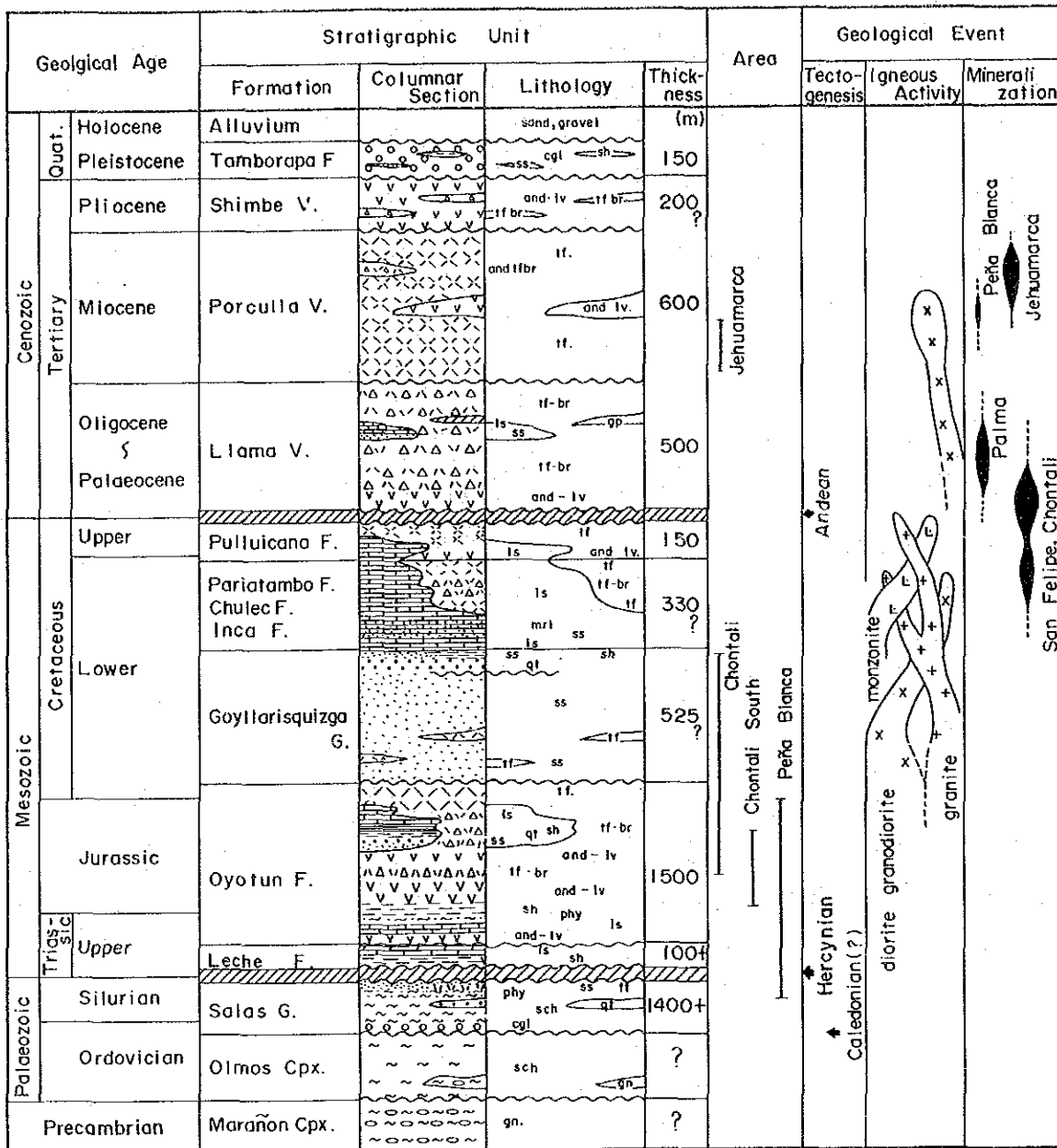
ヘワマルカ地区は気象観測データは無いが、北部及び東部の低地にある原生林から供給された湿気に富む空気が北部及び東部の絶壁にぶつかり上昇気流を生じ、これが雨雲となり調査地区を常に覆っており典型的な局所気候を形成している。



Quaternary	Tamborapa Formation		Shale, sandstone, conglomerate
Tertiary	Porculla Volcanics		Andesite, tuff, tuff breccia
	Llama Volcanics		tuff breccia, sandstone, limestone, gypsum
Cretaceous	Goyllarisquizga Group		Quartzite, shale, sandstone, limestone
Jurassic Triassic	Oyotun Volcanics		Andesite, tuff, tuff breccia, shale, limestone
Silurian Ordovician	Salas Group		Phyllite, schist, quartzite, conglomerate
Cambrian	Olmos Complex		Schist, gneiss,
Proterozoic	Marañon Complex		Gneiss

Fig. 1— 3 Generalized Geological Map of The Survey Area

modified from Wilson (1984), Reyes et al (1987) and Davila et al (unpubl)



Abbreviations.

and	andesite	gn	gneiss	md	mudstone	sch	schist
acd	acidic	gp	gypsum	mrl	marl	sh	shale
br	breccia	ls	limestone	phy	phyllite	ss	sandstone
cgl	conglomerate	lv	lava	qt	quartzite	tf	tuff
F.	Formation	V.	Volcanics	G.	Group.	Cpx.	Complex

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

第3章 一般地質

調査対象地域は地質構造擾乱帯であるいわゆるワンカバンバ(Huancabamba)屈曲帯南端部に位置するため、各地質単元の岩相の変化が著しく、従来の調査では地層の対比に相当の混乱が認められる。更に本地域は未開の土地が広範に広がるため、調査のルート確保も極く限られ、地質層序の対比も不十分であり、今後の更なる調査・研究が必要である。

第2年次調査までの広域地質調査により得られた知見をもとに、Wilson (1984)、Reyes y Caldas (1987) 及び Davila et al (未公開) の図幅を集約し修正すれば、本地域の地質は Fig. 1-3 の如く取りまとめる事ができ、更にこれに対応する模式的地質層序は Fig. 1-4 に示す通りとなる。

本地域は大別すれば、先カンブリア系ないし古生界に対比される変成岩類、中生界の火山岩類及び堆積岩類、新生界の火山岩類及び貫入岩類が分布する。

変成岩類は、本地域の基盤岩である先カンブリア系に対比されるマラニョン複合岩体(Maranon Complex)、オルドビス系に対比されるオルモス(Olmos)複合岩体及びシルル系に対比されるサラス(Salas)層群であり、片麻岩から片岩ないし千枚岩までの岩相変化を示す。これらの変成岩類は対象地域中央部以西に分布する。

中生界は、下部より石灰岩を主体とするレーチェ(Leche)累層、火山砕屑岩を主体とするオヨトゥン(Oyotun)火山岩類、凝灰質岩を挟在する砂質堆積物より成るティナホネス(Tinajones)累層、珪岩を主体とするゴイアリススキスガ(Goyllarisquizga)層群、石灰質岩を主体とするインカ(Inca)累層、チュレック(Chulec)累層、パリアタンボ(Pariatambo)累層及びプレイカーナ(Pullucana)累層より成り、本調査対象地域の主要地質単位である。

新生界は火山岩類の活動により特徴付けられ、下部よりヤーマ(Llama)火山岩類、ポルクーヤ(Porculla)火山岩類、シンベ(Shimbe)火山岩類より成り、調査対象地域西部ないし南西部に出現する。更に第四系に対比される固結度の低い礫岩層であるタンボラーパ(Tamborapa)累層が調査対象地域東部縁に分布する。

貫入岩類は斑礫岩類、閃緑岩類及び花崗岩類より成る。一般に塩基性岩類は花崗岩類より古く、花崗岩類はポルクーヤ火山岩類までを貫く。K-Ar法による絶対年代測定によれば、石英閃緑岩 119 ± 6 百万年、石英モンソニ岩 106 ± 5 百万年、花崗閃緑岩 82.5 ± 4 百万年、モンソニ閃長岩 78 ± 3.9 百万年、アダメロ岩 47.6 ± 2.4 百万年を示す。貫入岩の分布トレンドは本地域の地質構造を反映し、北西-南東及び南北の伸長方向を示す岩体が多い。

本調査対象地域における地質構造上の特徴はアンデス構造帯の一般方向の変異帯の南縁に位置することである。本変異帯はいわゆるワンカバンバ屈曲帯と呼称され、アンデスの基本

構造である北北西-南南東の一般方向がコロンビア～ベネズエラの基本構造である北東-南西に変化する地域に相当する。本屈曲帯は中生代の構造運動発展過程に形成されたとされている。

本地域における断層構造は東西の圧縮力により生じた東西及び北東-南西の組合せと北西-南東の圧縮力による南北及び北北西-南南東の組合せの二系統があり、これらの断層系列はいずれもワンカバンバ屈曲帯形成時の構造運動を反映しているものとされている。

第4章 調査結果の総合検討

4-1 地質構造、鉱化作用の特性と鉱化規制について

本調査地域は広域的にはいわゆるワンカパンバ屈曲帯に位置する。すなわちアンデストレンドである北北西-南南東を示す一般走向が、北東-南西のエクアドル-コロンビアトレンドに方向転換する転移帯の南端部を占めている。

(1) チョントリ地区

昨年度調査により支配的裂罅系である北東-南西の裂罅系には含まれた区域内における二次的に派生した北西-南東系の小裂罅に密接に関係し、変質帯及び石英脈は生成していると結論された。本年度のボーリング調査により得られた試錐コアの顕微鏡観察の結果、石英脈及び石英脈の延長線上の破碎帯における石英粒には普遍的に波動消光が認められることから、石英脈生成後も造構運動が継続しているものと推定される。石英脈を胚胎しない破碎帯は規模も大きくかつ連続性もよい事、更に大規模石英脈は破碎帯の中で尖滅(M J P C-2)あるいは分化(M J P C-4)する事より、石英脈は大きな破碎帯の中で破碎帯の屈曲(現状では未確認)に規制されながら消長する事が予想される。換言すれば石英脈は垂直に連続するのではなくプランジを有しているものと解される。従って石英脈中に胚胎するであろう鉱化帯もプランジを有するものと推定される。

鉱化変質作用は金・銀・亜鉛・銅・鉛等の有価金属を含む諸鉱物が常に共存する事よりゼノサーマル的地質環境にあったと推定される。また変質作用に目を向ければ、中性~アルカリ性環境を特徴づける炭酸塩鉱物が多量に検出されており、かつ炭酸塩鉱物はFe, Mn, Mg等の重金属を主体とした鉱物組合せを示す特徴を有する事が特筆される。

(2) ヘワマルカ地区

北東-南西及び北西-南東系の裂罅系が顕著に認められるが、その転移量は数mないし10数mであり、かつ連続性も極めて乏しいので、これらは支配的裂罅系より派生した二次ないし三次的裂罅系であろうと推定される。これらの裂罅系による転移は概念的には南側及び東側が下方に移動したとみる事ができる。

変質環境については、全体としては中性~アルカリ性環境(粘土化変質期)で特徴付けられる。この変質帯中に前述の裂罅系及び層理面を通路として酸性の鉱化変質作用が進行したと考えられる。従って鉱化帯が層状に分布するのもこの鉱化形式に由来するものと推定される。

4-2 鉱床賦存のポテンシャルについて

本調査地域は地質鉱物冶金研究所により実施された“北部地化学探査計画”及び“チンチッペ総合計画”(Project Integral Chinchipe)の河川堆積物による地化学探査により捕捉された多数の地化学異常帯を包含する地域であり、昨年度までその地化学異常の本源を探ることを目的として地質準精査が実施された。その結果地化学異常の記載された河川の後背地においてはいずれの地区においても明らかな鉱化変質作用が確認された。従って、地質鉱物冶金研究所の調査により捕捉された地化学異常は、いずれも何らかの鉱化示徴の存在を意味していたと結論づける事ができる。

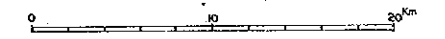
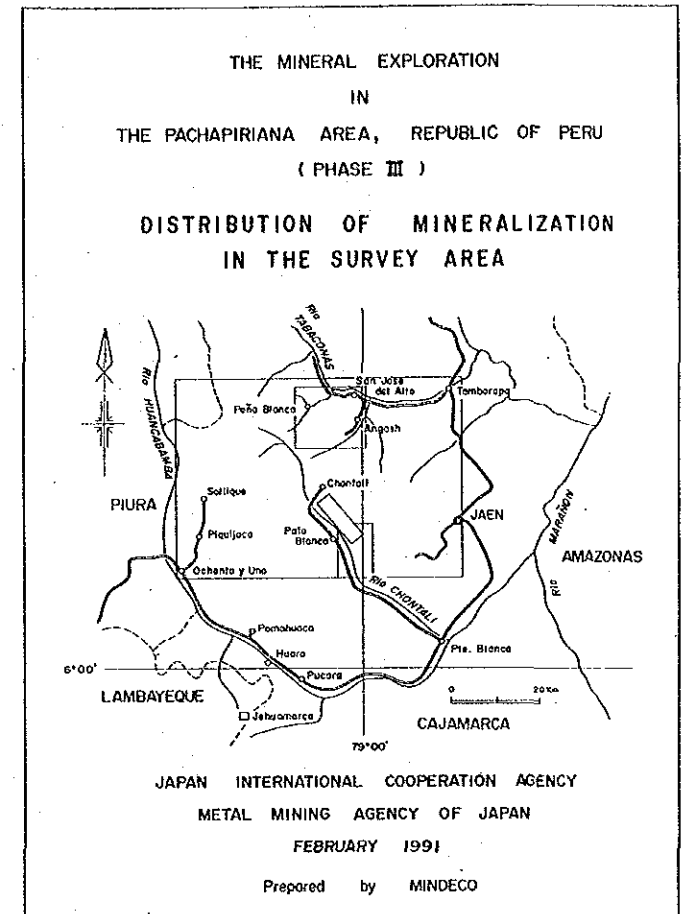
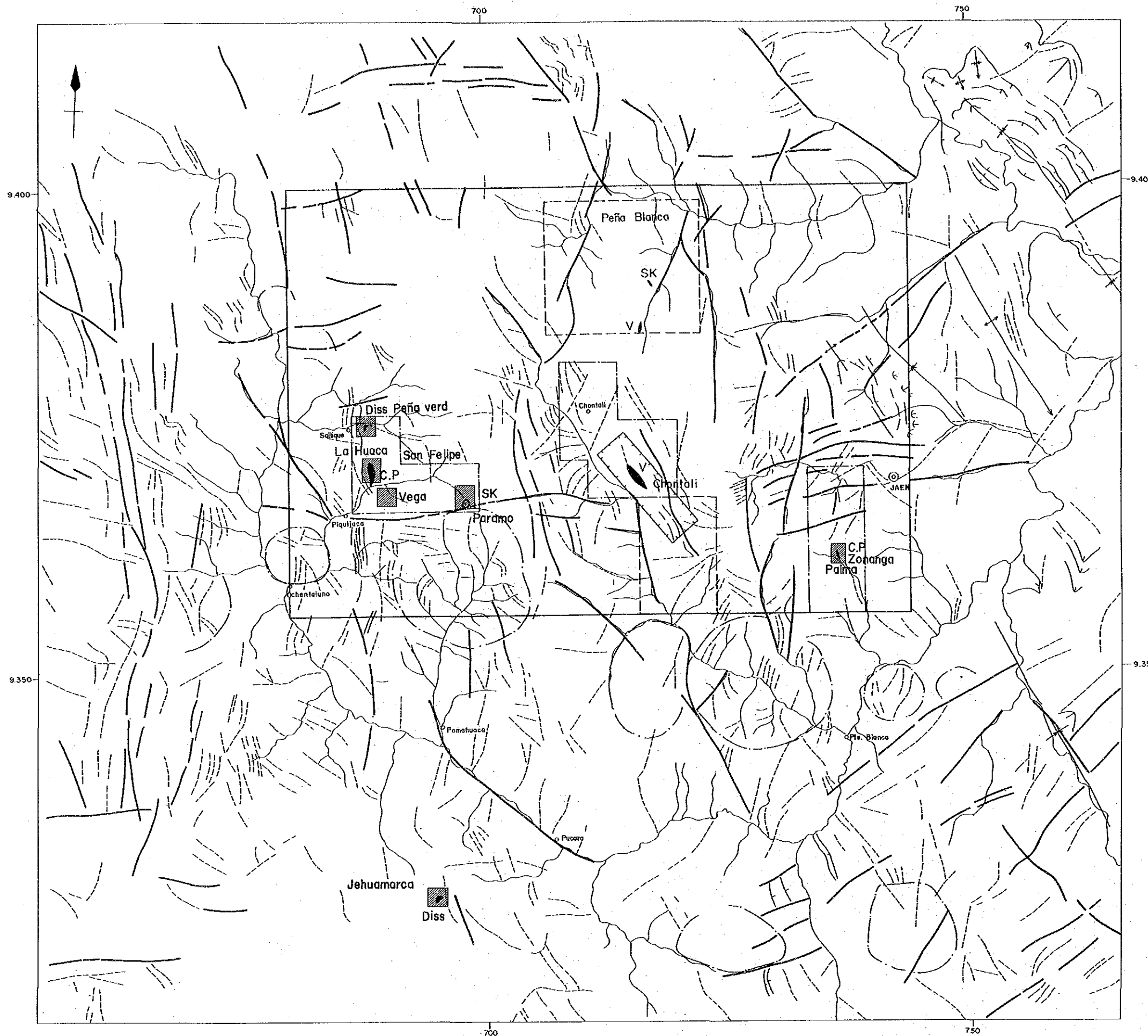
調査地域内においては未だ経済的に稼行対象となり得る鉱床は確認されていないが、調査地域外では前記諸計画の継続調査によってラ・グランハ(La Granja)及びカニャリアコ(Canariaco)等の鉱床が確認され、更に本調査地域北部地域にて進行中の“チンチッペ総合計画コンドル山系地域”では層状金鉱床及び浅熱水性金鉱床の発見が報告されており、調査地域周辺は有望な鉱床地帯であるといえる。

第1年度調査により捕捉されたチョンタリ変質帯において昨年度実施した地質精査では大規模な石英脈及び石英細脈を包含する優勢な珪化変質帯の存在が明らかになると同時に、物理探査により石英脈を包含する変質帯の立体的拡がりも明らかとなった。また本年度のボーリング調査により地下深部に潜在する大規模な破碎帯(地表部では未確認)が捕捉され、かつ石英脈には自然金の存在も確認されており、本地区における有望鉱床賦存の可能性はより一層高まったと判断される。

更に昨年度までの調査により鉱化変質帯の立体的拡がりも推定されたヘワマルカ変質帯において本年度実施したボーリング調査及びトレンチ調査では、小規模ではあるが顕著な鉱化作用が随所に確認された。が、鉱化変質帯を全体としてみれば平均品位は低く、現状では大規模鉱床に発展する可能性は少ないものの、未来資源としてあるいは小規模採鉱の対象鉱山としてのポテンシャルは残っていると言えよう。

4-3 地化学異常と鉱化作用との関係について

昨年度までの調査においては本調査地域に分布する地化学異常は鉱化変質示徴を示唆するもの及び特定層準を示唆するものとして分類されるとし、後者については第1年次に調査したチョンタリ地区サラス層群中に分布する地化学異常をその例とした。本年度実施したヘワマルカ地区での地化学探査では、南西部に分布する安山岩岩床に沿って亜鉛異常が抽出されており、特定岩種に由来する示徴であると言えよう。因みに、安山岩自体の亜鉛品位は5045ppm(2試料、算術平均)であり非常に高い値を示す。



LEGEND

- MAJOR LINEAMENTS
- MINOR LINEAMENTS
- CIRCULAR FEATURE
- BEDDING
- ANTICLINAL AXIS
- SYNCLINAL AXIS
- Pachapiriana Project Area
- Detailed Survey Area in 1988
- Semidetailed Survey Area in 1988
- Detailed Survey Area in 1989
- Semidetailed Survey Area in 1989
- Mineral Indication
- C.P. : Porphyry Copper Type
- Diss : Dissemination of Base Metal Type
- V : Vein Type
- Sk : Skarn Type

Fig. I-5 Distribution of Mineralization in the Survey Area

今年度調査により捕捉された地化学異常は、前述の一部の亜鉛を除き、珪化角礫岩近傍及び小裂隙に重複して分布する。

珪化角礫岩は地表部においては風化作用により硫化物を認める事は少ないが、本年度のボーリング調査のための試錐座掘さく時（M J P J - 5 孔），珪化角礫岩基底部にて閃亜鉛鉱を多量に含み四面銅鉱を随伴する硫化鉱体を確認しており，現在みられる金・銀鉱化帯は二次的なものであり，初生的には金・銀を随伴する卑金属鉱化作用に由来するものと判断し得る。従って本調査地区における地化学異常は初生鉱化作用を如実に反映しているとみる事ができる。また成分別の地化学異常の分布をみれば，金を中心とし，銀，鉛，亜鉛が順次そのまわりをとりまく形を示しており，これは鉱化作用の温度勾配を暗示しているとみる事もできる。

第5章 結論及び提言

5-1 結 論

(1) チョントリ地区

本年度実施した重力調査では、密度 2.8g/cm^3 の高密度基盤が普遍的に分布する基盤構造が把握された。これは実際に基盤を構成すると思われる花崗岩質岩の実測値平均 2.68g/cm^3 に比しかなり大きな値である。一方昨年度までの地表調査では確認し得なかった重金属を含む炭酸塩化変質作用が今年度のボーリングコアでは普遍的に認められた。地表の岩石試料とボーリングコアの岩石試料との密度単純平均は各々 2.56g/cm^3 及び 2.71g/cm^3 であり、 5.9% の差異が認められる。従って想定される基盤岩である花崗岩質岩においても広範に炭酸塩化変質が及んでいると仮定すれば、その密度は 2.84g/cm^3 と計算され、高密度基盤は炭酸塩化変質をうけた花崗岩質岩であるとも考えることも可能である。

前年度実施されたCSAMT法調査による高比抵抗基盤と本年度の重力調査による高密度基盤（重力基盤）とを比較すれば、両者の大局的起伏はほぼ一致するものの、基盤深度に若干の差異が認められる。これは重力基盤の相対深度を規制するコントロール・ポイントが皆無である事による。

重力基盤直上に推定された高密度帯のうち、最北部に抽出されたものは正に今年度のボーリング調査域に位置する。すなわちこの高密度帯は炭酸塩化作用等の局所的鉍化変質帯を抽出している可能性が非常に高い。

ボーリング調査で捕捉された石英脈は波動消光を顕著に示す石英粒を含む角礫帯（破碎帯）中に存在し、石英脈が尖滅してもこの角礫帯は連続する事が確認された。今年度のボーリング調査では地表の富鉍部が直下に連続するとの仮定に基き実施されたが、石英脈が破碎帯の中で尖滅又は分化する事は、石英脈はプランジしている可能性がある事を示唆している。石英脈がプランジするのであれば、その中に賦存する鉍化帯富鉍部も当然プランジしていると考えべきである。本年度調査による石英脈の分析結果は期待した品位に達しなかったが、検鏡結果、自然金を確認した箇所もあり高品位金鉍化帯賦存の可能性は高いと言え、更に銀、銅、亜鉛、鉛の金属鉍物が密に共生しているのが観察されており、鉍化作用をもたらした地質環境はゼノサーマル的であったと推定される。すなわち地下深部においては卑金属鉍床に変化する可能性を有しているとも言える。

石英脈の流体包有物の充填温度は $102\sim 194^\circ\text{C}$ までの範囲に分布し、平均 137°C と非常に低い。金鉍化作用の最適温度範囲 ($180\sim 230^\circ\text{C}$) は本年度調査深度（標高 1700m ）よりも更に深部に賦存するものと思われる。断面図上の温度分布 (Fig. II-15) は西部に高

温部、東部に低温部が分布しており、調査域の西部に分布する花崗岩質岩を熱源とした昨年度の調査結果を肯定する。

(2) ヘワマルカ地区

本年度実施した地質精査及びボーリング調査により本調査地区の鉱化変質モデルは次の通り推定されるに至った。すなわち、支配的裂罅系より派生した二次あるいは三次的な北西-南東及び北東-南西系の小さな転移を伴う小裂罅及び層理面を通路とし、中性ないしアルカリ性環境により粘土化変質作用が進行し、続いて酸性環境に変化し、鉱化作用を伴う珪化変質作用が生じた。昨年度提唱した3種の鉱化形式、すなわち珪化作用に伴う卑金属鉱染鉱化、石英帯に伴う高品位層状卑金属鉱化及び珪化角礫岩に伴う金・銀鉱化は本質的には一連の鉱化作用に由来するものであると解析される。すなわち珪化角礫岩中の金・銀鉱化帯は含金・銀卑金属鉱化作用の天水性変質作用による残留鉱床的性格を有するものであると解する事ができ、石英帯に伴う高品位卑金属鉱化帯は、珪化作用に伴う卑金属鉱化作用の典型例とみなす事ができる。

珪化角礫岩は層状に連続性よく分布するが、賦存が期待された金・銀鉱化帯は品位の変動が非常に激しく、局部的に賦存するにすぎない。すなわち全体としてみれば低品位であると結論付けざるを得ない。更に高品位卑金属鉱体の賦存が期待された石英帯は膨縮激しく、鉱床規模での連続性に乏しく、かつ品位変動も大きく、大規模高品位鉱床に発展する可能性は乏しいと言えよう。

5-2 第4年次調査への提言

本年度調査結果を踏まえ、第4年次調査について優先度の高い順に調査地区及び方法を記せば次の通りとなる。

1) チョントリ地区

- ① 石英脈及びその中に賦存する鉱化帯のプランジ確認のための2本以上のボーリングによる水平展開の実施
- ② 石英脈分布域における石英脈露頭の詳細スケッチ及び系統的サンプリングを含むより精度の高い地質調査(例えば縮尺1/2000)の実施

第Ⅱ部 各 論

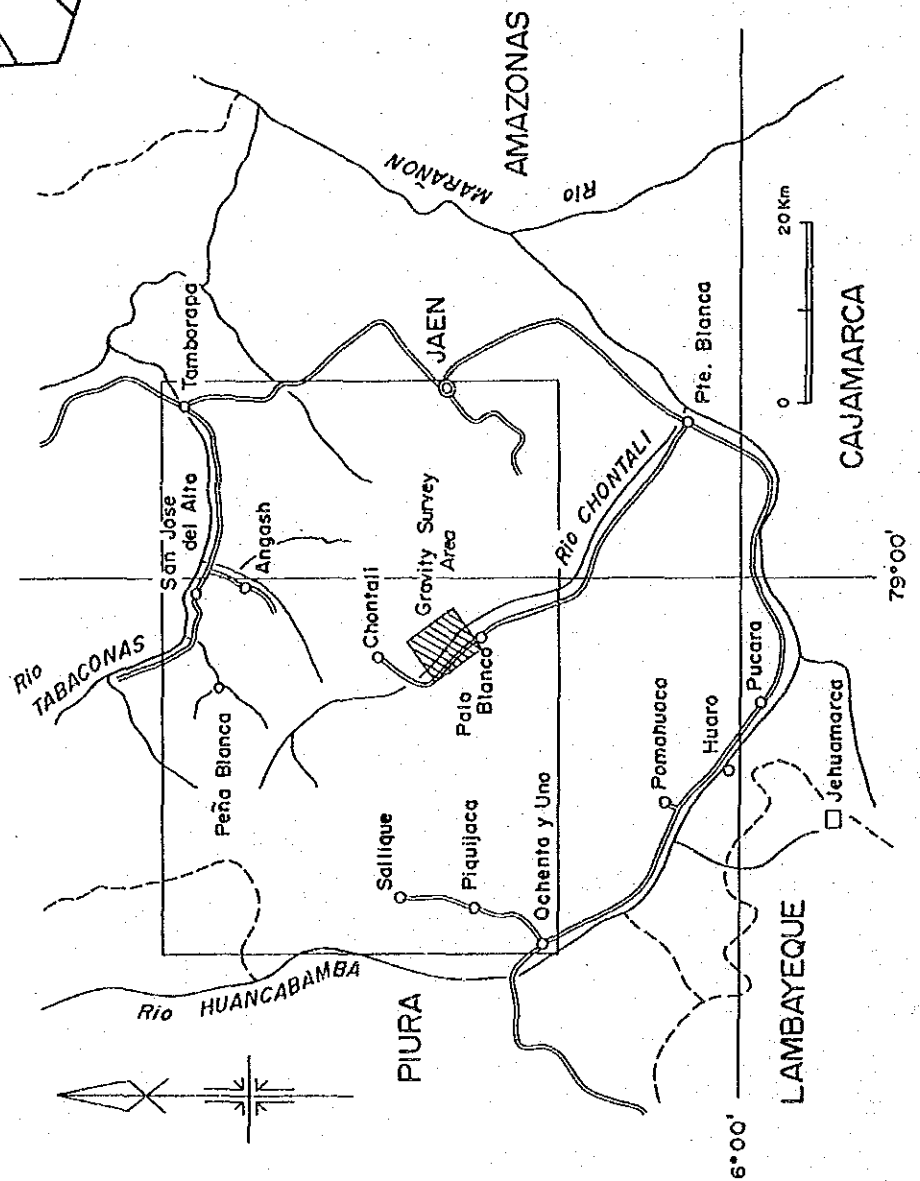
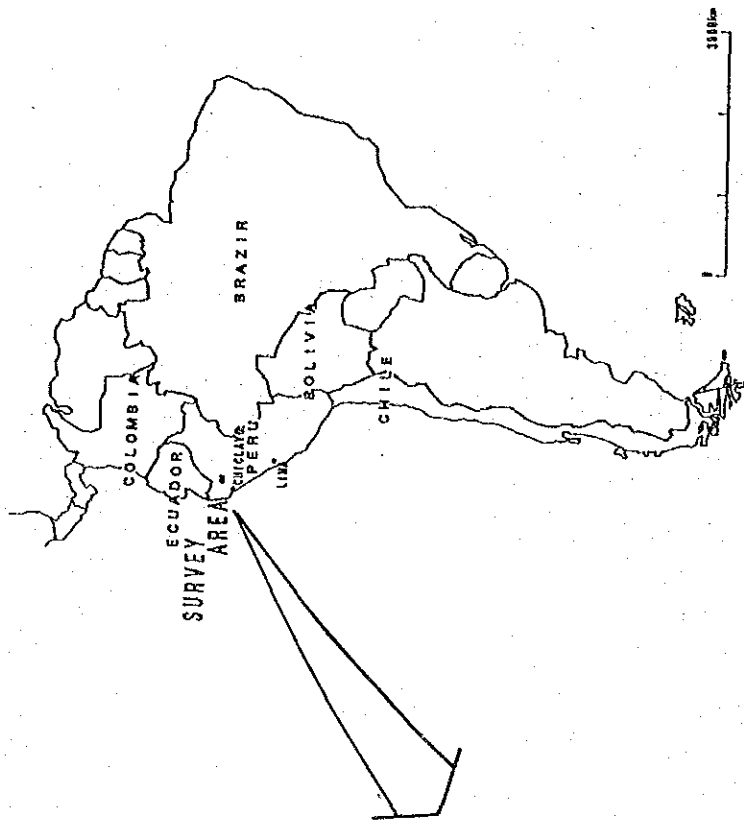
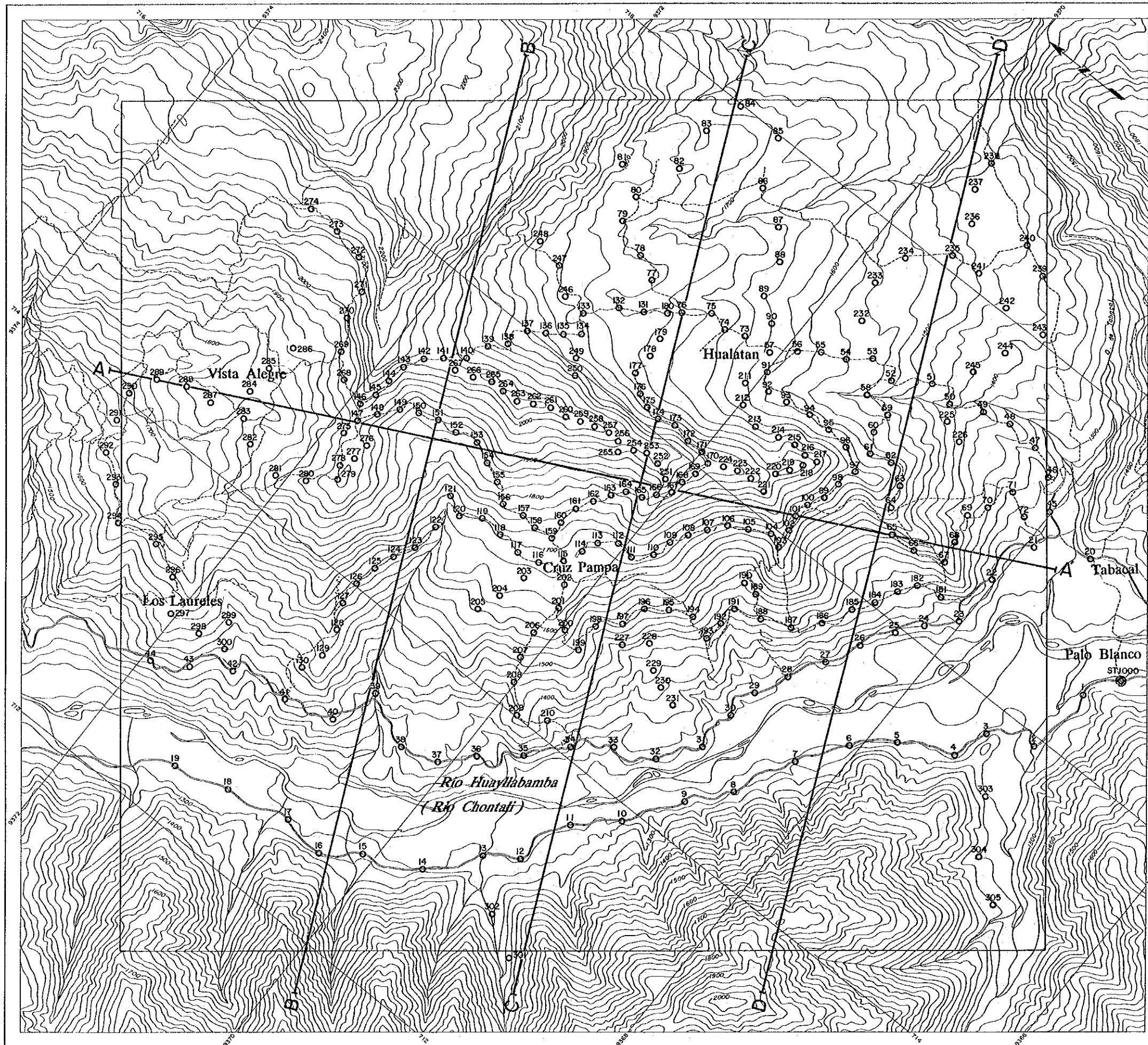


Fig II-1 Gravity Survey Area



LEGEND

- ⊙ Base station
- 305 Station number
- Gravity station
- A-A' Cross section

THE MINERAL EXPLORATION
 IN
 THE PACHAPIRIANA AREA
 REPUBLIC OF PERU
 (PHASE III)

GRAVITY SURVEY

Fig. II-2
 Location of
 Gravity Stations

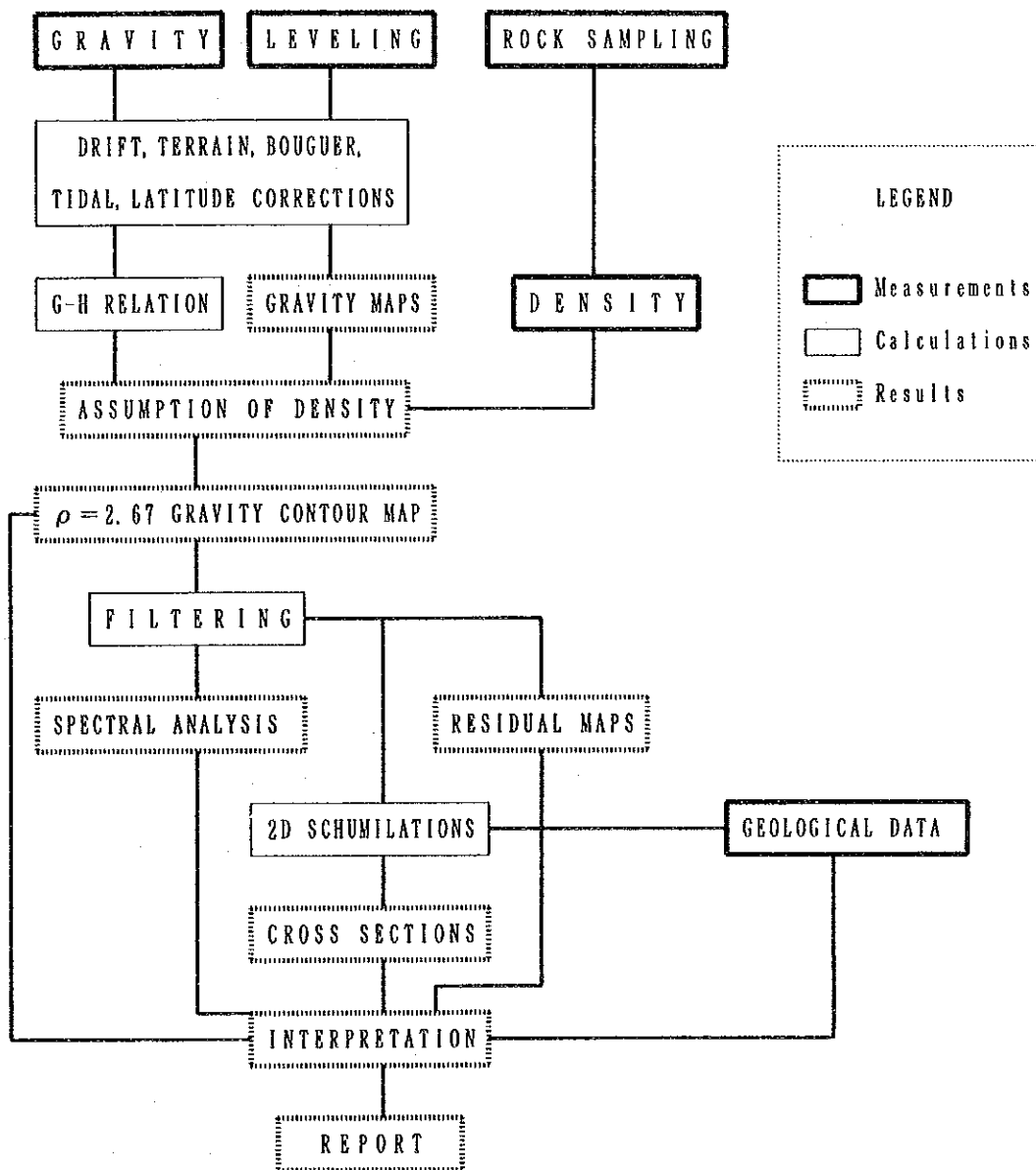
FEBRUARY 1991



第1章 チョンタリ地区

1-1 物理探査

本物理探査（重力探査）の重力観測から報告書作成までの工程は、次の「重力探査フローチャート」に示すとおりである。



1-1-1 測定点

調査位置及び測定点位置をそれぞれ「Fig. II-1 Gravity Survey Area」及び「Fig. II-2 Location of Gravity Stations」に示す。調査範囲は、前年度(1989)実施の第2年次精査範

田から鉱床賦存が有望とされるワラタン地区を抽出し、この地区を取り囲む面積33km²の範囲とした。測定点は調査範囲をネット状に覆う様に配点し、特にワラタン地区を中心に配点を密にした。測定点数は305点である。

1-1-2 測定方法

1) 重力計

本調査に用いた重力計は、La Coste & Romberg社製G-283である。重力計の仕様は次のとおりである。

TYPE	La Coste & Romberg, INC. Model G Geodetic Gravimeter
No.	283
Operation Range	0~7,386.54mgal
Temperature	51.7 °C
Reading Line	2.80
Date of Production	Jan., 1972
Dimensions	14×15×20 (cm)
Meter Weight	8.6 kg

この重力計は読取目盛が0から7,000まであり、0mgalから約7,000mgalまでの重力値を測定することができる。測定精度は±0.01mgalと高精度であり、またドリフト率も1mgal/1箇月以下と極めて小さいので、1日1回の閉塞で十分高精度の測定が可能である。

2) 重力基準

重力基準点は、ハエン市南方チャンマヤ近くのCQCH-1(977,853.54mgal)を採用した。

また、本調査の重力基準点として、調査地南端パーロ・ブランコ部落内のベースキャンプ前に新たにST.1000を設置した。その重力値は、CQCH-1との閉塞観測を行い「Table II-1 Calculation of Gravity Standard Value」に示す各観測結果を平均して、次のように決定した。

ST.1000: 977,687.179mgal

Table II-1 Calculations of Gravity Standard Value

Observer : K.KINOSHITA

date of observation station number	time	reading value	x constant (mgal)	height of gravitometer (m)	H.G. correction (mgal)	tide correction (mgal)	drift correction (mgal)	total correction (mgal)	difference from Base (mgal)	absolute gravity (mgal)
1990.07.27 ST.1000	9:15	1301.588	1372.134	0.27	0.083	0.069	0.0	1372.286	0.0	977,687.165
1990.07.30 CQCH-1	12:11	1459.415	1538.550	0.27	0.083	0.066	-0.038	1538.661	+166.375	977,853.54
CQCH-1	12:28	1459.393	1538.527	0.27	0.083	0.062	-0.038	1538.634	+166.348	977,853.54
ST.1000	18:04	1301.705	1372.258	0.27	0.083	-0.014	-0.041	1372.286	0.0	977,687.192

absolute gravity of ST.1000(average) : 977,687.179 mgal

この重力基準点CQCH-1はポツダム系の重力基準網と結ばれているため、本調査の重力値はポツダム系の重力基準網と結合されたことになる。

1-1-3 測点標高測量

測点高度の決定には、測器舎製B-2型自動レベルを用いて水準測量を実施した。また、周辺地形補正のための断面測量も行った。測点標高の決定は、全調査地をカバーする88点の測量高度（ST.1000を高度0mと仮定して実施）と地形図からの読み取り標高との差の平均を求め、その平均値1214.95mをシフト量として全測点に加えて標高を算出した。水準測量は次の精度で行った。

$$\epsilon \leq 20 \sqrt{D} \quad \text{ただし、} \quad \epsilon : \text{許容誤差 (単位 cm)} \\ D : \text{閉合距離 (単位 km)}$$

水平距離に対して配分し、その結果を各測定点の決定標高とした。

1-1-4 補正とデータ処理

重力観測値には、時間・位置・標高・相対地形・その他の、各測点に対する不均一な要素が多く影響している。それらの要素を補正して同一条件のもとでの重力値とするために、潮汐・器高・ドリフト・緯度・地形・Free Air・Bouguer・大気などの各補正を施す必要がある。これらの計算結果は「Table II-3 List of Gravity Data」にまとめられている。

以下に主な補正とデータ処理方法について述べる。

1) 潮汐補正

潮汐補正は、月・太陽の位置変化が重力測定に及ぼす影響を取り除く補正で、時間及び測点の緯度・高度によって変化する。

月及び太陽と各測点との位置関係から、次の補正式を用いて計算を行っている。

$$\Delta g = -3/2 G M a / r^3 \{ 3 (\sin^2 \delta - 1/3) (\sin^2 \delta - 1/3) \\ + \sin 2\delta \sin 2\phi \cos \theta + \cos^2 \delta \cos^2 \phi \cos 2\theta \} \times 1.2 \text{ (gal)}$$

ただし、

$$G : \text{万有引力定数} = 6.67 \times 10^{-11} \text{ (m}^3 \text{ / kg} \cdot \text{sec}^2 \text{)}$$

M : 天体の質量 (月 : 7.348×10^{22} kg, 太陽 : 1.9891×10^{30} kg)

a : 地球の中心から測点までの距離

$$= 6378388 (0.99832 + 1.6835 \times 10^{-3} \cos 2\phi - 3.5 \times 10^{-6} \cos 4\phi) + \text{測点標高 (m)}$$

r : 地球の中心から天体までの距離 (月 : 3.844×10^8 m, 太陽 : 1.496×10^{11} m)

ϕ : 観測点の緯度

δ : 天体の赤緯 (赤道から南北に計った角度)

θ : 天体の時角 (天体の子午面と測点の子午面との間の角度)

2) ドリフト補正

スプリング式の重力計では、バネ材のクリープによる読み取り値の時間的変化、即ちドリフトが生ずる。ドリフト補正は、重力計のドリフトが経過時間に比例するものとして補正を行った。Table II-3に示すように、ドリフト値は 0.2 mgal/day 以下である。

3) 地形補正

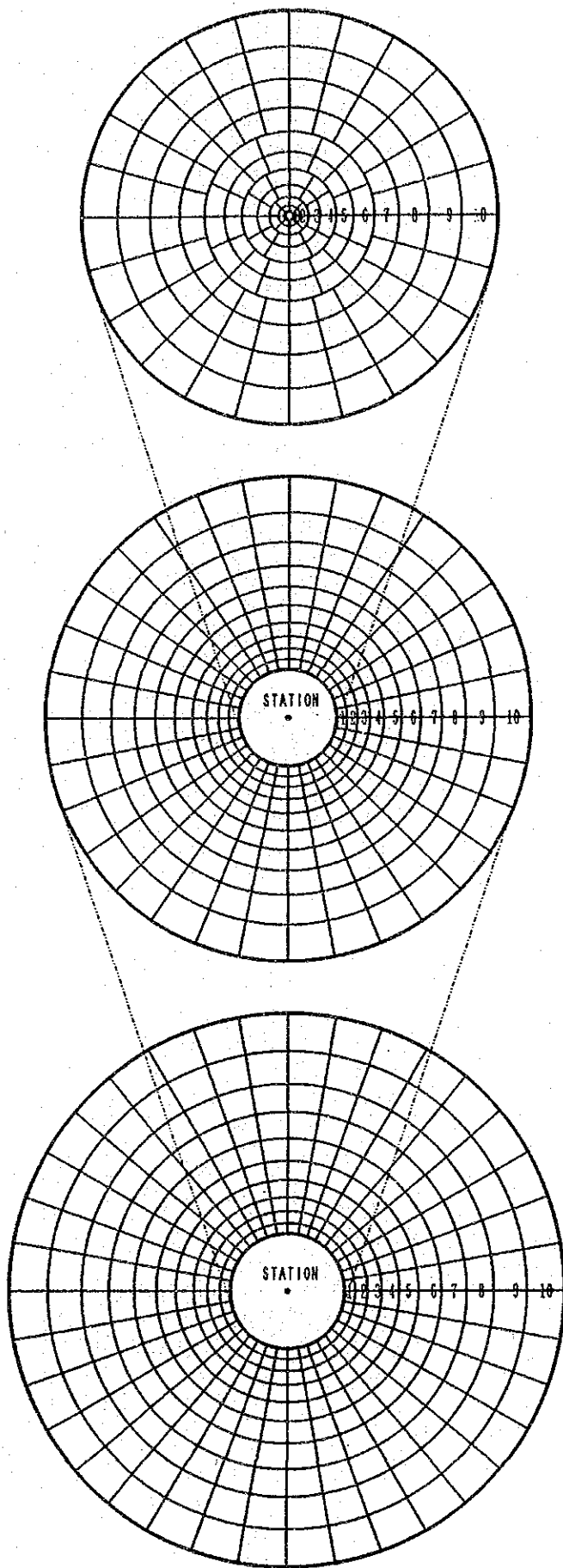
地形補正は、測点の周囲地形の凹凸が重力におよぼす影響を取り除くための補正である。地形図を格子間隔で区分けして、その中心点の標高を読み取り、測点との相対的な起伏を一定の形状に近似させる。それらの補正区画に影響される重力値を合計したものが地形補正值となる。

測点に近い範囲では高い精度の地形補正を行い、遠い範囲では粗い補正を行った。遠方・中間・近傍に使用する各地形データは、1/10,000, 1/25,000, 及び1/100,000 地形図を編集したものから直接読み取り、「Fig. II-3 Annular Segment for Terrain Correction」に示す各補正領域の地形メッシュデータを作成した。

(1) 円盤補正 - 遠方・中間・近傍

遠方・中間・近傍の各補正は、測点周囲の地形を「Fig. II-4 Division of Terrain Correction Area」に示す同心円柱に区分けし、次式に示すHammerの方法を用いて計算を行った。

$$\Delta g = 2\pi G \rho / n \{ R_2 - R_1 + (R_1^2 + H^2)^{1/2} - (R_2^2 + H^2)^{1/2} \}$$



[NEAR]

Data Grid Interval = 100 m

No.	Distance from Station	Number of Block
1	30 ~ 90 ^m	8
2	90 ~ 180	8
3	180 ~ 300	12
4	300 ~ 450	12
5	450 ~ 600	16
6	600 ~ 800	16
7	800 ~ 1,050	24
8	1,050 ~ 1,350	24
9	1,350 ~ 1,650	24
10	1,650 ~ 2,000	24

$\Sigma=168$

[MIDDLE]

Data Grid Interval = 500 m

No.	Distance from Station	Number of Block
1	2.0 ~ 2.4 ^{km}	32
2	2.4 ~ 2.8	32
3	2.8 ~ 3.3	32
4	3.3 ~ 3.9	32
5	3.9 ~ 4.6	32
6	4.6 ~ 5.4	32
7	5.4 ~ 6.3	32
8	6.3 ~ 7.3	32
9	7.3 ~ 8.5	32
10	8.5 ~ 10.0	32

$\Sigma=320$

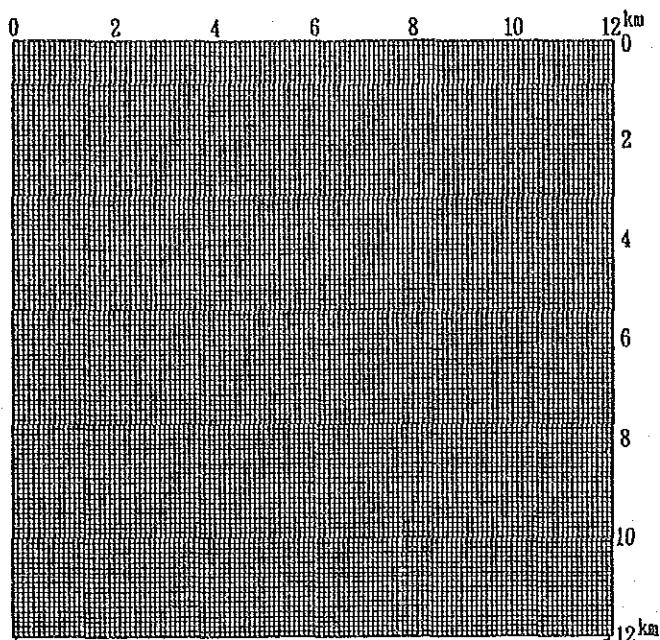
[FAR]

Data Grid Interval = 3,000 m

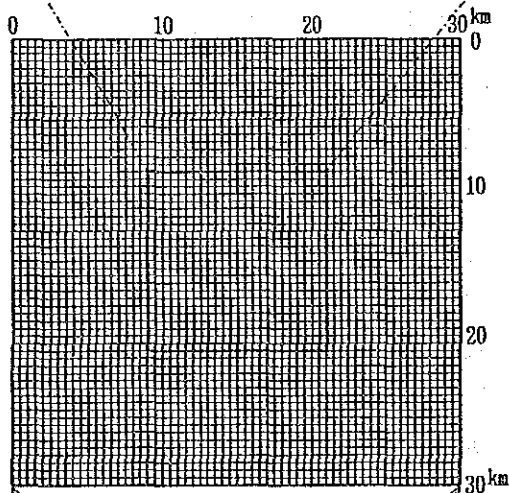
No.	Distance from Station	Number of Block
1	10.0 ~ 12.0 ^{km}	36
2	12.0 ~ 14.5	36
3	14.5 ~ 17.0	36
4	17.0 ~ 20.0	36
5	20.0 ~ 23.5	36
6	23.5 ~ 27.5	36
7	27.5 ~ 32.0	36
8	32.0 ~ 37.0	36
9	37.0 ~ 43.0	36
10	43.0 ~ 50.0	36

$\Sigma=360$

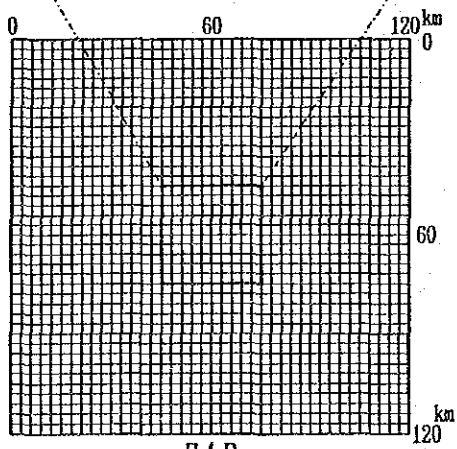
Fig II-3 Annular Segment for Terrain Correction



NEAR

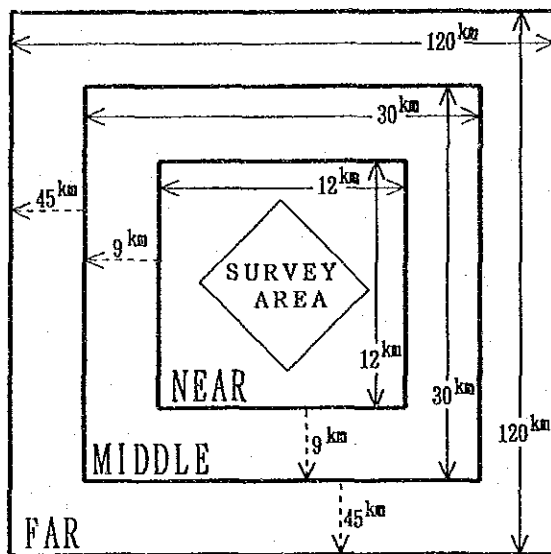


MIDDLE



FAR

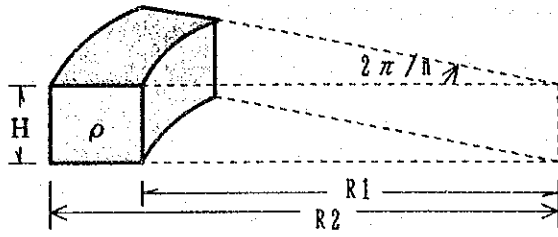
DIVISION OF CORRECTION AREA



	NEAR	MIDDLE	FAR
Area	12×12 =144 km ²	30×30 =900 km ²	120×120 =14,400 km ²
Grid interval	100 m	500 m	3,000 m
Number of grids	120×120 = 14,400	60×60 = 3,600	40×40 = 1,600
Scale of map	1:25,000	1:100,000	1:100,000

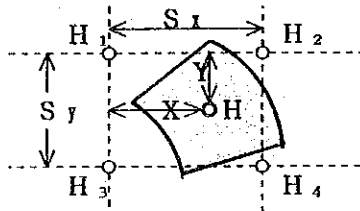
Fig II-4 Division of Terrain Correction Area

ただし、



- Δg : 地形補正值 (mgal)
- G : 重力定数 (6.67×10^{-8} dyne cm^2/g^2)
- ρ : 補正密度 (g/cm^3)
- R_1 : 同心円柱内径 (m)
- R_2 : 同心円柱外径 (m)
- H : 測点標高 (m)
- n : 補正区画の等分数

また、各補正区画の平均高度は、周囲の四つの地形メッシュ標高を用いて次式により計算される。

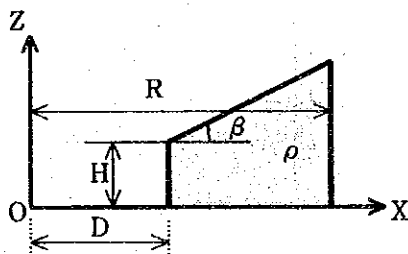


$$H = H_1 + (H_2 - H_1) X / S_x + (H_3 - H_1) Y / S_y + (H_1 + H_4 - H_2 - H_3) XY / S_x S_y$$

(2) 周辺補正

周辺補正は、測点より30mまでのスケッチの地形の凹凸を測点から2方向の断面に表示し、次に示す周辺地形補正の方法を用いた。

$$\Delta g = 2 G \rho \int_D^R \left[\frac{\tanh^{-1} \sqrt{R^2 - X^2}}{R^2 + h^2} - \frac{\tanh^{-1} \sqrt{R^2 - X^2}}{\{R^2 + X \tan \beta + H - h - D \tan \beta\}^2} \right] dx$$



- Δg : 地形補正值 (mgal)
- G : 重力定数 (6.67×10^{-8} dyne cm^2/g^2)
- ρ : 補正密度 (g/cm^3)
- D : 測点から崖までの距離 (m)
- H : 崖の高さ (m)
- β : 崖の傾斜角 ($^\circ$)
- R : 補正範囲 (=30m)
- h : 重力計の重錘の高さ (=0.15m)

4) 高度補正

この補正には単に高度差に伴う重力値の補正であるフリーエア補正と、地下の岩石の密度が影響するブーゲ補正、及び大気の影響を去除く大気補正が含まれる。

フリーエア補正值： Δg_1 は地球表面における平均的な重力鉛直勾配を使って次の式で表わされる。

$$\Delta g_1 = g_0 \left\{ 1 - R^2 / (R+H)^2 \right\} = (2 g_0 H R + g_0 H^2) / (R+H)^2 \approx 0.3086 H \text{ (mgal)}$$

ただし、 g_0 : 平均海水面重力値、 H : 測点標高 (m)、 R : 地球の平均半径

ブーゲ補正值： Δg_2 は、厚さ H 、密度 ρ の無限に広い水平板が、地表とジオイドに挟まれているものとして計算され、次式で表わされる。

$$\Delta g_2 = -2 \pi G \rho H \approx -0.0419 \rho \cdot H \text{ (mgal)}$$

ただし、 G : 重力定数、 H : 測点標高 (m)、 ρ : 密度

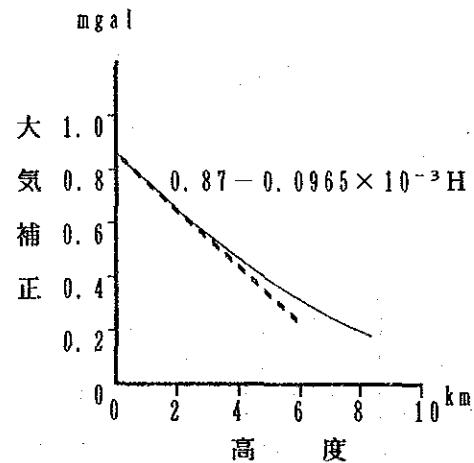
大気補正值： Δg_3 は、大気の密度分布として標準大気模型を仮定して補正量を算出する。次図に示すように、補正量の変化は標高3 km以下ではほぼ一次関数に近似できるため、次式によって補正を行っている。

$$\Delta g_3 = 0.87 - 0.0965 \times 10^{-3} H \text{ (mgal)}$$

ただし、 H : 測点標高 (m)

フリーエア補正值、ブーゲ補正值及び大気補正值は共に測点標高の関数であるから、ひとまとめにして高度補正值とよび次式で計算する。

$$\begin{aligned} \text{高度補正值: } \Delta g &= \Delta g_1 + \Delta g_2 + \Delta g_3 \\ &= (0.3086 - 0.0419 \cdot \rho - 0.0965 \times 10^{-3}) H + 0.87 \text{ (mgal)} \end{aligned}$$



5) 緯度補正

地球は完全な球形ではなく、回転楕円体であることと、自転による遠心力のために地表での重力値は赤道付近で最小、両極で最大となる。そこで、測点の緯度： ϕ の相違による重力差を補正するために、次式に示す正規重力： γ を求め、これを緯度補正值とする。

$$\gamma = (a \gamma_E \cos^2 \phi + b \gamma_P \sin^2 \phi) / (a^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi)^{1/2} \text{ (mgal)}$$

ただし、 a : 回転楕円体の赤道半径 (6,378.14km)

b : 回転楕円体の極半径 (6,356.18km)

γ_E : 回転楕円体の赤道正規重力 (978.032 gal)

γ_P : 回転楕円体の極正規重力 (983.218 gal)

上式は、1967年 IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics : 国際測地学および地球物理学連合) が、測地基準系1967の中で標準的な地球重力を与えるものとして公認しているものである。

重力調査では、実用上便利のように、正規重力式を次の近似式 (正規重力の実用式という) に展開して使用している。

$$\gamma = 978.031.85 (1 + 0.005278895 \sin^2 \phi + 0.000023462 \sin^4 \phi) \text{ (mgal)}$$

6) 岩石試料の密度測定

重力異常は地下の密度変化の分布を反映している。したがって重力異常から地下構造を解析するためには、調査地域及びその周辺に分布する岩石や地層の密度を知る必要がある。本調査では地表の岩石試料及びボーリングコアを採取し密度測定を実施した。試料数は計35個である。採取に際しては、地質図に示された各地層を構成する岩石を採取した。

密度測定は、1昼夜水浸させた後に表面水を拭き取った湿潤状態での測定を行い、次の式を用いて密度を算出した。

$$\rho = \frac{W_a}{W_a - W_w}$$

ただし、 ρ : 比重 (=密度 g/cm³とする)

W_a : 空中重量

W_w : 水中重量

全35試料の密度測定結果を「Table II-2 Rock Properties」に主な岩石別の平均密度として表現した。

7) 補正密度の仮定

重力計算の補正密度の仮定は重力探査の結果に大きな影響を及ぼす。Table II-2に示した地表付近の各岩石の密度平均は2.43~2.70g/cm³の間に分布しているが、深度方向に変化する地層の密度を、地表付近の岩石試料の密度実測値のみから決定することは難しい。

本重力探査では、次の諸項目について検討し補正密度の決定を行った。

- ① 地形補正及びブーゲ補正に必要な補正密度を4種類 ($\rho = 2.5, 2.6, 2.67, 2.8$ g/cm³) に変化させた等重力線図を作成し、それぞれの重力分布と測点標高との相関を検討した結果、次表に示す関係が得られた。

	補正密度別の地形-重力異常相関頻度			
	$\rho = 2.5$	$\rho = 2.6$	$\rho = 2.67$	$\rho = 2.8$
高地形と高重力異常、または、 低地形と低重力異常が一致する場合	9	7	4	0
高地形と低重力異常、または、 低地形と高重力異常が一致する場合	0	3	6	9

地形（測点標高）の変化に対して、重力異常が消滅するか無関係な分布となる場合が最適な補正密度であり、上表の上段及び下段における相関頻度が均衡する $\rho = 2.67$ g/cm³ が最も適切な補正密度とみなせる。

- ② Table II-2に示した岩石試料密度から全35試料の平均密度は次のように求められた。

$$\text{岩石試料の平均密度 } \rho = 2.60 \text{ g/cm}^3$$

- ③ 「Fig. II-5 Gravity versus Height Relation」に例を示すように、測点標高：H と、緯度補正済ブーゲ異常値に地形補正及び傾向面補正を考慮した重力値：Gとの関係から、次の補正密度が計算された。

Table II-2 Rock Properties

classifi- cation rock name	altered or unaltered		mineralized or nonmineralized		core sample or field sample		total average
	alt.	unalt.	min.	nonmin.	core	field	
tuff	2.18(1)	2.49(4)	2.62(1)	2.38(4)	—	2.43(5)	2.43(5)
lapilli tuff	2.73(5)	2.51(6)	—	2.59(9)	2.73(5)	2.51(6)	2.61(11)
tuff breccia	2.76(2)	2.58(1)	—	2.70(3)	2.76(2)	2.58(1)	2.70(3)
andesite	—	2.71(4)	—	2.71(4)	2.75(1)	2.70(3)	2.71(4)
monzonite	2.36(1)	2.53(2)	—	2.47(3)	—	2.47(3)	2.47(3)
granodiorite	—	2.68(2)	—	2.68(2)	—	2.68(2)	2.68(2)
quartz vein	—	2.61(7)	2.68(3)	2.57(4)	2.67(5)	2.48(2)	2.61(7)
							2.60(35)

GRAVIM. SURVEY OF PERU (G-H RELATION, ZERO ORDER TREND) SEP. 12, 1990
DENSITY = 2.673

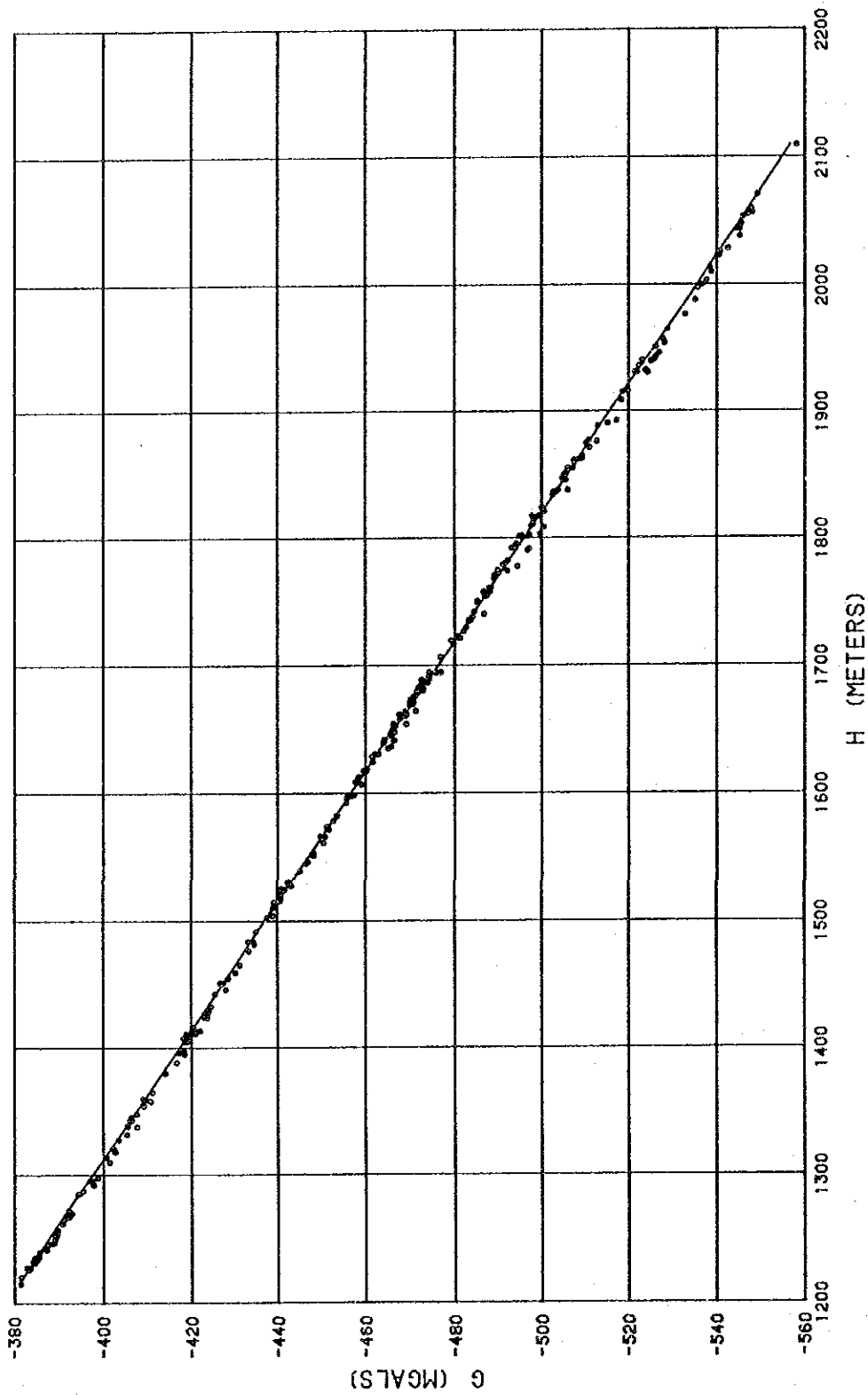


Fig II-5 Gravity versus Height Relation

一次傾向面補正による $\rho = 2.673 \text{ g/cm}^3$

以上を参考にして補正密度 $\rho = 2.67 \text{ g/cm}^3$ の等重力線図「Fig. II-7 Bouguer Anomaly Map ($\rho = 2.67 \text{ g/cm}^3$)」を作成し、これを用いて解析を行うことに決定した。

1-1-5 解析方法

等重力線図は、広域的な地下構造や地域的で小規模な地下構造を反映して、種々の波長の重力異常が組み合わさっているため、重力探査では目的の地下構造の影響を抽出するためにフィルター処理を施すことが多い。本調査では、等重力線図 ($\rho = 2.67 \text{ g/cm}^3$) の特性からみて、以下に述べる傾向面解析、スペクトル解析等のフィルター解析を実施し、さらに、多層構造による二次元シミュレーションの定量解析を行った。

1) 傾向面解析

等重力線図には調査地の地下構造を反映する重力異常のみならず、周辺の広域的構造に起因する重力トレンドが含まれる場合が多い。本調査地域の重力分布は、南西から北東方向へ重力値を増す重力トレンドが認められる。

こうした広域的重力分布を取り除いて、比較的浅部の構造を明らかにするため、一次傾向面解析を実施した。

X-Y座標系に配列された格子点重力値 $G(X, Y)$ をX・Y座標に関する関数とみなし、最小2乗法によって一次近似平面 $Z(X, Y)$ を求める。各格子点の一次近似重力値を格子点重力値から差し引いたものが残差値となる。その計算式は次のとおりである。

$$Z(X, Y) = -141.85129 - 0.0403031 X + 0.0455303 Y$$

$$\text{残差 (Residual Value)} = G(X, Y) - Z(X, Y)$$

この計算結果は、「Fig. II-8 First-Order Residual Gravity Map」として図化した。

2) スペクトル解析 (Power Spectrum)

本調査の等重力線図には短波長の重力異常と極めて長波長の重力異常が組み合わさっている。こうした特性を周波数領域において解析することにより、重力異常をもたらす異常源の平均的深度を推定し、さらに任意の平均深度を反映する重力異常を抽出することが可能である (Spector and Grant, 1970)。

「Fig. II-6 Energy Spectrum」において種々の周波数 f (cycle/km) に対して計算された対数エネルギー・スペクトル (Logarithmic Energy Spectrums) : $\log E$ の分布を見ると、2~3本の直線に近似することができる。この回帰直線の勾配から、本地域の重力異常をもたらす異常源の平均深度： H が次式によって求められる。

$$H = - \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\Delta \log E}{\Delta f}$$

即ち、本調査地内の重力構造は、平均深度： $H_R = 1,240$ mの Regional 成分と、平均深度 $H_N = 170$ mの Near-Surface 成分、さらに平均深度340mの中間成分に大別される。

以上、等重力線図に対して行われたスペクトル解析の結果、深部構造と浅部構造とが識別できると判断されたため、深部 (Regional) 成分と浅部 (Near-Surface) 成分を分離してスペクトル解析図を作成した。深部成分： G_R を求めるためのフィルター演算に必要な変数は、Fig. II-6から求められた二つの平均深度 H_R , H_N と、2本の回帰直線と対数エネルギー・スペクトル軸との交点における差： K_x であり、次式を用いて加重函数と重力データの Convolutionによって行われる。

$$G_R (X, Y) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G(\xi, \eta) \cdot W(X-\xi, Y-\eta) d\xi d\eta}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W(\xi, \eta) d\xi d\eta}$$

ここで、加重函数： W は次式を用いて計算される。

$$W(X, Y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{f \cdot J_0(P \cdot f)}{1 + K_1 \cdot e^{(H_R - H_N) \cdot f}} df$$

ただし, $P^2 = X^2 + Y^2$

J_0 : ベッセル函数

こうして得られた深部構造成分「Fig. II-9 Long-wave Gravity Map」: $G_R(X, Y)$ を等重力線図 (Fig. II-7) : $G(X, Y)$ から差し引けば, 浅部構造 (Near-Surface) 成分「Fig. II-10 Short-wave Gravity Map」: $G_N(X, Y)$ が求められる。

$$G_N(X, Y) = G(X, Y) - G_R(X, Y)$$

3) 二次元シミュレーション

地下構造を推定するため, 等重力線図 (Fig. II-7) を用いて二次元シミュレーションを行った。

地下構造を多層構造として密度の異なる多角形で表現し, これに影響される地表での重力値を算出して実測値と比較する。次に, 多角形の密度及び多角形を構成する座標を変数とみなし, 最小2乗法により実測値と計算値がほぼ一致するまでこれらの変数を変化させて密度構造を算出した。

密度構造モデルに対応する重力値の算出には, Talwani et al. (1959) の方法を変形した次の方法を用いた。次図に示す密度 ρ の多角形 (紙面に垂直無限) によって受けるO点 (地表上の任意の点) での重力値の垂直成分 g_v は次式で与えられる。

$$g_v = 2\rho G \sum_{i=1}^n \int_{z_i}^{z_{i+1}} \int_0^x \frac{z}{x^2 + z^2} dx \cdot dz$$

ただし, ρ : 密度
 G : 重力定数

計算結果による構造を断面図「Fig. II-10(1) Cross Section of A-A' ~ Fig. II-10(4) Cross Section of D-D'」に表示し、地質構造の解釈を行った。

1-1-6 解析結果

解析は、1-1-5解析方法にしたがって行い、次に示す図面を作成した。

「Fig. II-7 Bouguer Anomaly Map($\rho = 2.67\text{g/cm}^3$)」

「Fig. II-8 First-order Residual Gravity Map」

「Fig. II-9(1) Long-wave Gravity Map」

「Fig. II-9(2) Short-wave Gravity Map」

「Fig. II-10(1) Cross Section of A-A'」

「Fig. II-10(2) Cross Section of B-B'」

「Fig. II-10(3) Cross Section of C-C'」

「Fig. II-10(4) Cross Section of C-C'」

「Fig. II-11 Geophysical Interpretation Map」

以下に各図の特徴を述べる。

1) Fig. II-7 Bouguer Anomaly Map($\rho = 2.67\text{g/cm}^3$)」

本地域のブーゲ異常は最高 -136mgal から -141mgal の範囲に分布し、その差は 5mgal と少なく、重力勾配も緩かでビスタ・アレグレ付近の 3mgal/km が最大である。

大局的な重力分布は、高ブーゲ異常が調査地北東部から中央部を経て北西部及び南東部へ伸び、これを取り囲むように低ブーゲ異常が発達する。ほとんどの高ブーゲ異常は尾根付近に集中しているが、ロス・ラウレス及びその南東では沢付近にも見られる。重力コンターの粗密と地形の起伏はほぼ一致しており、地形が急峻なほど重力コンターが密になる。調査地西部を南東方向に流れるワジャバンバ川と重力コンターの走行は一致する。

調査地の南西から北東へ向かってブーゲ異常が次第に増加する傾向が認められ、これは地下深部或いは広域的な構造の影響を反映する一元的な重力トレンドと考えられる。

2) Fig. II-8 First-order Residual Gravity Map」

本図はFig. II-7において認められた南西から北東への一次元重力トレンド分をブーゲ異常値から差し引いたものであり、広域的な影響が取り除かれ、本調査地域における地下浅部の特徴を良く表す。残差値は $-2.4 \sim 2.0\text{mgal}$ の間に分布するが、大局的には上述の等重

LOGARITHMIC ENERGY SPECTRUMS

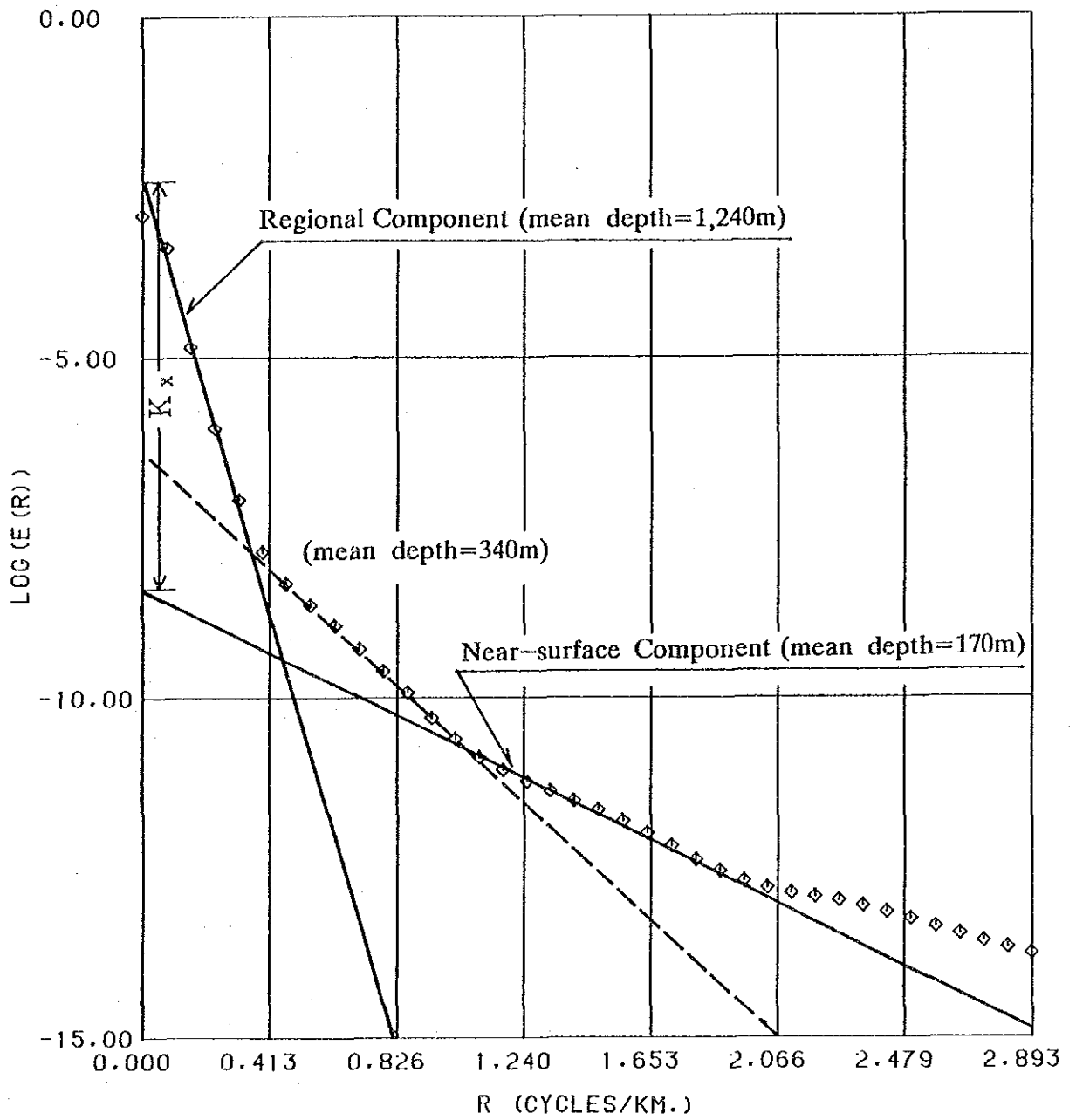


Fig II-6 Energy Spectrum

Table II-3 List of Gravity Data

(density for correction $\rho = 2.67 \text{ g/cm}^3$)

LEGEND

ST. NO	OBS. DAY	LAT.	LONG.	LEVEL	ABS. G	C. 30M	ETC	TERR. C.F.E.C	B.G.C	NORM. G	ANOM. F	ANOM. B
		latitude	longitude	altitude of station (m)	absolute gravity (gal)	sketch correction (mgal)	leveling method and gravimeter L: leveling LG: L&R G-type	total terrain correction (mgal)	Bouguer correction (mgal)	normal gravity (mgal)	Free-air anomaly (mgal)	Bouguer anomaly (mgal)

ST.NO	OBS.DAY	LAT.	LONG.	LEVEL	ABS.G	C.20M	ETC	TERR.C	F.E.C	B.G.C	NORM.G	ANOM.F	ANOM.B
201	90 724	-541.73	-79 3.67	1648.93	977.606194	0.013	L	10.520	509.571	-181.430	978.082701	43.584	-137.846
202	90 724	-541.70	-79 3.59	1680.39	977.600526	0.013	L	9.754	519.276	-184.832	978.082692	46.863	-137.969
203	90 724	-541.57	-79 3.66	1661.89	977.604698	0.027	L	8.646	513.569	-182.832	978.082654	44.259	-138.573
204	90 724	-541.54	-79 3.76	1645.15	977.607358	0.147	L	9.616	508.405	-181.021	978.082645	42.733	-138.288
205	90 724	-541.51	-79 3.85	1617.72	977.613615	0.093	L	9.443	499.942	-178.052	978.082636	40.364	-137.689
206	90 724	-541.71	-79 3.79	1582.36	977.619268	0.040	L	10.094	489.034	-174.223	978.082695	35.700	-138.523
207	90 724	-541.73	-79 3.88	1510.60	977.632738	0.107	L	10.856	466.895	-166.443	978.082701	27.788	-138.655
208	90 724	-541.77	-79 3.97	1454.42	977.643107	0.107	L	11.281	449.564	-160.344	978.082713	21.238	-139.106
209	90 724	-541.85	-79 4.05	1424.22	977.647983	0.107	L	11.774	440.247	-157.063	978.082737	17.267	-139.796
210	90 724	-541.95	-79 4.00	1358.97	977.660363	0.174	L	12.836	420.117	-149.966	978.082767	10.550	-139.417
211	90 725	-541.74	-79 2.65	1650.57	977.608841	0.027	L	7.610	510.077	-181.607	978.082704	43.824	-137.783
212	90 725	-541.79	-79 2.70	1660.81	977.604013	0.320	L	8.435	513.236	-182.715	978.082719	44.965	-137.750
213	90 725	-541.87	-79 2.74	1691.68	977.599303	0.374	L	9.227	522.759	-186.053	978.082743	48.546	-137.507
214	90 725	-541.95	-79 2.72	1726.75	977.599991	0.280	L	9.670	533.578	-189.842	978.082767	51.473	-138.369
215	90 725	-542.01	-79 2.70	1754.01	977.584439	0.174	L	11.013	541.988	-192.786	978.082784	54.656	-138.130
216	90 725	-542.07	-79 2.71	1774.19	977.577410	0.200	L	13.164	548.214	-194.964	978.082802	55.986	-138.977
217	90 725	-542.11	-79 2.70	1756.37	977.580737	0.147	L	14.523	542.716	-193.040	978.082814	55.163	-137.877
218	90 725	-542.08	-79 2.74	1800.91	977.571421	0.053	L	15.391	556.457	-197.846	978.082805	60.464	-137.382
219	90 725	-542.06	-79 2.78	1809.83	977.569845	0.107	L	15.325	559.209	-198.808	978.082790	61.580	-137.228
220	90 725	-542.03	-79 2.82	1802.12	977.573311	0.227	L	12.226	556.830	-197.977	978.082799	59.578	-138.399
221	90 725	-542.04	-79 2.90	1820.50	977.567383	0.307	L	14.779	562.624	-200.301	978.082793	61.993	-138.008
222	90 725	-541.97	-79 2.89	1836.54	977.559530	0.200	L	13.728	575.449	-201.687	978.082773	63.935	-137.752
223	90 725	-541.92	-79 2.92	1862.59	977.559098	0.120	L	14.251	575.516	-204.505	978.082758	66.107	-138.398
224	90 725	-541.87	-79 2.92	1871.41	977.557818	0.294	L	13.924	578.216	-205.444	978.082743	67.205	-138.238
225	90 725	-542.38	-79 2.30	1432.73	977.648454	0.280	L	9.907	442.872	-157.988	978.082894	18.340	-139.648
226	90 725	-542.45	-79 2.34	1412.65	977.651797	0.040	L	10.235	436.677	-155.805	978.082915	15.794	-140.011
227	90 725	-541.98	-79 3.62	1442.93	977.644420	0.093	L	12.890	446.019	-159.096	978.082976	20.553	-138.543
228	90 725	-542.06	-79 3.56	1411.08	977.650241	0.040	L	13.686	436.193	-155.635	978.082799	17.320	-138.314
229	90 725	-542.13	-79 3.63	1379.74	977.656325	0.067	L	12.442	426.525	-152.226	978.082820	12.471	-139.755
230	90 725	-542.18	-79 3.66	1354.04	977.661105	0.013	L	12.604	418.596	-149.430	978.082835	9.470	-139.960
231	90 725	-542.26	-79 3.68	1331.64	977.665134	0.0	L	12.508	411.686	-146.991	978.082859	6.470	-140.522
232	90 731	-541.92	-79 2.22	1533.82	977.627647	0.013	L	7.156	480.229	-171.130	978.082758	32.274	-138.856
233	90 731	-541.87	-79 2.08	1545.50	977.629031	0.027	L	7.386	477.662	-170.328	978.082743	31.356	-138.892
234	90 731	-541.90	-79 1.95	1546.47	977.628382	0.0	L	7.681	477.961	-170.333	978.082752	31.273	-139.061
235	90 731	-542.03	-79 1.84	1504.17	977.635623	0.0	L	8.136	464.912	-165.745	978.082790	25.880	-139.866
236	90 731	-542.00	-79 1.71	1476.55	977.640457	0.013	L	8.978	456.391	-162.748	978.082781	23.044	-139.703
237	90 731	-541.94	-79 1.61	1483.41	977.638795	0.0	L	9.419	458.507	-163.492	978.082764	23.958	-139.535
238	90 731	-541.93	-79 1.51	1459.60	977.642408	0.0	L	10.126	445.162	-160.907	978.082761	20.935	-139.972
239	90 731	-542.31	-79 1.71	1424.13	977.648825	0.013	L	10.401	440.219	-157.053	978.082874	16.572	-140.481
240	90 731	-542.20	-79 1.66	1446.19	977.644881	0.013	L	10.020	447.025	-159.450	978.082841	19.085	-140.365
241	90 731	-542.13	-79 1.83	1481.87	977.639435	0.0	L	8.711	458.032	-163.325	978.082820	23.358	-139.967
242	90 731	-542.29	-79 1.87	1413.53	977.651578	0.0	L	9.254	436.949	-155.901	978.082868	14.914	-140.987
243	90 731	-542.44	-79 1.87	1397.09	977.654367	0.0	L	10.152	441.877	-154.113	978.082912	13.483	-140.630
244	90 731	-542.38	-79 2.00	1395.15	977.654829	0.037	L	9.585	431.279	-153.902	978.082894	12.798	-141.104
245	90 731	-542.33	-79 2.12	1411.24	977.652595	0.013	L	9.379	436.242	-155.652	978.082879	15.337	-140.315
246	90 731	-541.06	-79 2.80	1792.04	977.581157	0.093	L	8.232	553.721	-196.889	978.082503	60.606	-136.283
247	90 731	-540.98	-79 2.73	1801.29	977.579242	0.040	L	8.262	556.574	-197.887	978.082479	61.599	-136.288
248	90 731	-540.87	-79 2.71	1817.54	977.575024	0.0	L	9.597	561.587	-199.639	978.082447	63.760	-135.877
249	90 731	-541.23	-79 2.94	1816.28	977.575552	0.013	L	8.662	561.199	-199.503	978.082533	62.860	-136.643
250	90 731	-541.26	-79 2.99	1874.93	977.562782	0.040	L	9.530	579.292	-205.823	978.082522	69.042	-136.780

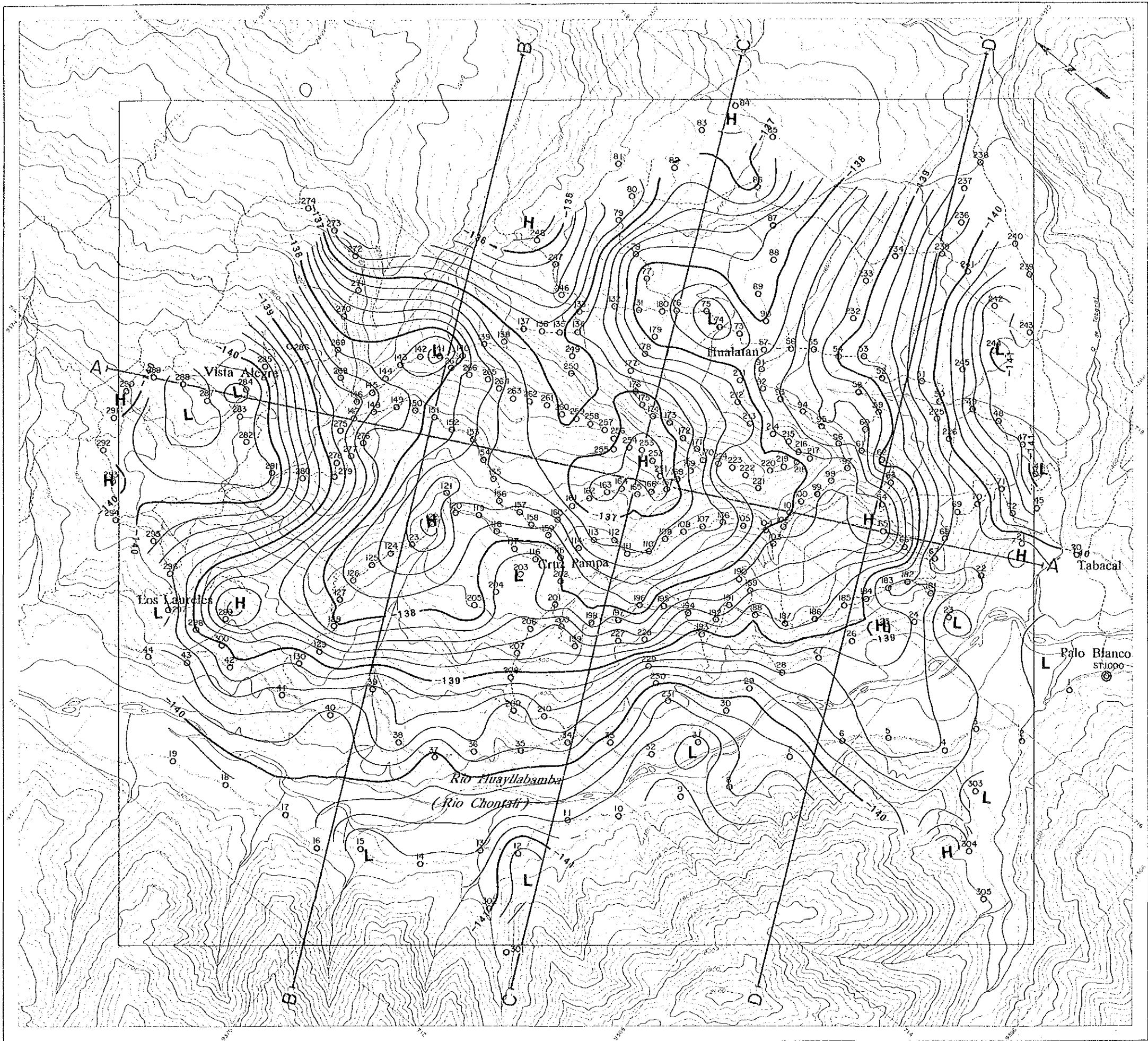
DENSITY = 2.67 (G/CM**3)

***** THE LIST OF GRAVITY SURVEY (PERU90) *****

90<YEAR>

ST.NO	OBS.DAY	LAT.	LONG.	LEVEL	ABS.G	C.20M	ETC	TERR.C	F.E.C	B.G.C	NORM.G	ANOM.F	ANOM.B
251	90 8 1	-541.74	-79 3.08	1888.57	977.555036	0.320	L	14.650	583.531	-207.302	978.082704	70.513	-136.789
252	90 8 1	-541.68	-79 3.06	1935.83	977.544390	0.160	L	16.061	598.080	-212.376	978.082687	75.845	-136.531
253	90 8 1	-541.63	-79 3.05	1940.23	977.545076	0.133	L	14.557	599.444	-212.852	978.082672	76.405	-136.447
254	90 8 1	-541.59	-79 3.07	1931.00	977.548700	0.320	L	12.581	596.590	-211.857	978.082660	75.211	-136.646
255	90 8 1	-541.55	-79 3.11	1931.22	977.548521	0.374	L	12.315	596.658	-211.881	978.082648	74.847	-137.034
256	90 8 1	-541.53	-79 3.08	1964.67	977.540247	0.227	L	13.743	606.978	-215.477	978.082642	78.326	-137.151
257	90 8 1	-541.48	-79 3.08	1997.62	977.531512	0.254	L	15.477	617.143	-219.017	978.082627	81.605	-137.412
258	90 8 1	-541.42	-79 3.09	2013.19	977.527874	0.307	L	16.311	621.946	-220.689	978.082609	83.522	-137.167
259	90 8 1	-541.38	-79 3.11	2023.06	977.526355	0.254	L	16.083	624.991	-221.749	978.082598	84.831	-136.918
260	90 8 1	-541.33	-79 3.13	2025.72	977.526888	0.160	L	14.961	625.812	-222.035	978.082583	85.078	-136.956
261	90 8 1	-541.26	-79 3.14	2043.90	977.522557	0.214	L	15.519	631.420	-223.986	978.082562	86.934	-137.052
262	90 8 1	-541.21	-79 3.17	2055.42	977.519466	0.187	L	15.910	634.974	-225.222	978.082547	87.983	-137.238
263	90 8 1	-541.16	-79 3.20	2059.61	977.519057	0.227	L	15.635	636.267	-225.671	978.082532	88.426	-137.245
264	90 8 1	-541.10	-79 3.20	2047.85	977.523068	0.254	L	13.911	632.639	-224.409	978.082515	87.103	-137.307
265	90 8 1	-541.05	-79 3.20	2056.76	977.520827	0.320	L	13.838	635.388	-225.365	978.082500	87.353	-138.012
266	90 8 1	-540.99	-79 3.22	2044.46	977.524580	0.227	L	12.774	631.593	-224.046	978.082482	86.465	-137.581
267	90 8 1	-540.92	-79 3.25	2043.98	977.524873	0.280	L	12.407	631.445	-223.994	978.082461	86.264	-137.730
268	90 8 1	-540.84	-79 3.32	1939.58	977.547846	0.374	L	9.637	599.237	-212.780	978.082379	74.342	-138.438
269	90 8 1	-540.56	-79 3.45	1908.70	977.554553	0.200	L	10.476	589.711	-209.458	978.082355	76.839	-138.124
270	90 8 1	-540.51	-79 3.34	1956.59	977.544219	0.320	L	11.325	624.939	-221.731	978.082334	84.356	-137.375
271	90 8 1	-540.49	-79 3.24	2022.89	977.530426	0.414	L	10.815	634.373	-225.012	978.082311	88.402	-136.611
272	90 8 1	-540.41	-79 3.16	2053.47	977.525534	0.040	L	10.880	639.1556	-226.884	978.082275	90.430	-136.454
273	90 8 1	-540.29	-79 3.13	2070.92	977.522069	0.374	L	11.604	651.756	-230.590	978.082240	93.346	-137.638
274	90 8 1	-540.17	-79 3.13	2109.17	977.512425	0.093	L	9.431	597.072	-212.025	978.082411	73.387	-138.638
275	90 8 3	-540.75	-79 3.66	1932.56	977.549296	0.093	L	9.864	592.148	-210.308	978.082438	75.508	-137.800
276	90 8 3	-540.84	-79 3.65	1916.60	977.552934	0.013	L	11.343	603.615	-214.305	978.082438	75.645	-138.661
277	90 8 3	-540.84	-79 3.71	1953.77	977.543125	0.187	L	10.479	599.771	-212.966	978.082429	73.991	-138.974
278	90 8 3	-540.81	-79 3.76	1941.31	977.546170	0.093	L	11.508	601.249	-213.481	978.082435	74.491	-138.990
279	90 8 3	-540.83	-79 3.80	1946.10	977.544159	0.013	L	12.069	596.538	-211.839	978.082411	72.300	-139.539
280	90 8 3	-540.75	-79 3.88	1930.83	977.546103	0.080	L	10.392	584.747	-207.726	978.082384	67.448	-140.279
281	90 8 3	-540.66	-79 3.93	1892.61	977.554693	0.280	L	7.847	558.888	-198.629	978.082343	58.422	-140.273
282	90 8 3	-540.52	-79 3.90	1808.79	977.574030	0.067	L	7.322	553.252	-196.725	978.082322	56.418	-140.307
283	90 8 3	-540.45	-79 3.85	1790.52	977.578167	0.013	L	7.632	557.244	-198.121	978.082308	57.554	-140.537
284	90 8 3	-540.40	-79 3.76	1803.46	977.575016	0.280	L	7.752	567.890	-201.841	978.082308	61.925	-139.916
285	90 8 3	-540.40	-79 3.65	1837.97	977.568590	0.040	L	8.206	579.715	-205.970	978.082313	66.939	-139.032
286	90 8 3	-540.42	-79 3.55	1876.30	977.561332	0.067	L	8.056	553.548	-196.829	978.082284	56.442	-140.387
287	90 8 3	-540.32	-79 3.88	1791.48	977.577132	0.067	L	8.001	549.331	-195.354	978.082254	54.739	-140.556
288	90 8 3	-540.22	-79 3.89	1777.81	977.579721	0.067	L	8.403	537.731	-191.296	978.082254	50.970	-140.325
289	90 8 3	-540.12	-79 4.03	1694.21	977.587061	0.053	L	9.374	523.648	-186.364	978.082210	46.765	-139.599
290	90 8 3	-540.07	-79 4.03	1740.56	977.595954	0.147	L	9.392	511.212	-182.005	978.082219	42.051	-139.954
291	90 8 3	-540.10	-79 4.13	1654.25	977.603667	0.067	L	9.712	514.359	-183.109	978.082231	43.086	-140.022
292	90 8 3	-540.14	-79 4.25	1664.45	977.601247	0.174	L	9.353	507.257	-180.618	978.082260	40.698	-139.920
293	90 8 3	-540.24	-79 4.31	1641.43	977.606349	0.027	L	10.543	505.754	-180.091	978.082287	39.917	-140.174
294	90 8 3	-540.33	-79 4.41	1636.56	977.605904	0.067	L	10.072	505.363	-179.954	978.082231	40.094	-139.860
295	90 8 3	-540.48	-79 4.38	1635.29	977.606991	0.200	L	10.661	496.586	-176.874	978.082267	37.476	-139.399
296	90 8 3	-540.60	-79 4.44	1606.84	977.612595	0.080	L	10.838	482.589	-171.959	978.082390	32.304	-139.656
297	90 8 3	-540.68	-79 4.54	1561.47	977.621267	0.013	L	12.036	468.941	-167.162	978.082426	28.233	-138.929
298	90 8 3	-540.80	-79 4.53	1517.23	977.629683	0.200	L	12.032	458.674	-163.551	978.082441	25.392	-138.159
299	90 8 3	-540.85	-79 4.44	1483.95	977.637127	0.107	L	11.802	449.770	-160.417	978.082455	21.256	-139.161
300	90 8 3	-540.90	-79 4.52	1455.09	977.642139	0.147	L						

ST.NO	OBS.DAY	LAT.	LONG.	LEVEL	ABS.G	C.20M	ETC.	* LG *	TERR.C	F.E.C	B.G.C	NORM.G	ANCM.F	ANOM.B
301	90 718	-542.37	-79 4.73	1337.70	977.658242	0.227	L	LG *	17.046	413.555	-147.651	978.082891	5.952	-141.699
302	90 718	-542.22	-79 4.65	1297.68	977.666747	0.187	L	LG *	17.276	401.209	-143.292	978.082847	2.385	-140.907
303	90 718	-543.31	-79 3.24	1264.67	977.678049	0.013	L	LG *	13.868	391.025	-139.693	978.083171	-0.229	-139.922
304	90 718	-543.42	-79 3.43	1285.06	977.672693	0.027	L	LG *	15.778	397.316	-141.916	978.083204	2.582	-139.335
305	90 718	-543.57	-79 3.52	1309.75	977.667435	0.027	L	LG *	14.375	404.932	-144.607	978.083249	3.494	-141.113



LEGEND

- O Gravity station
- A-A' Cross section
- 1.0 mgal interval
- - - 0.2 mgal interval
- H High gravity zone
- L Low gravity zone

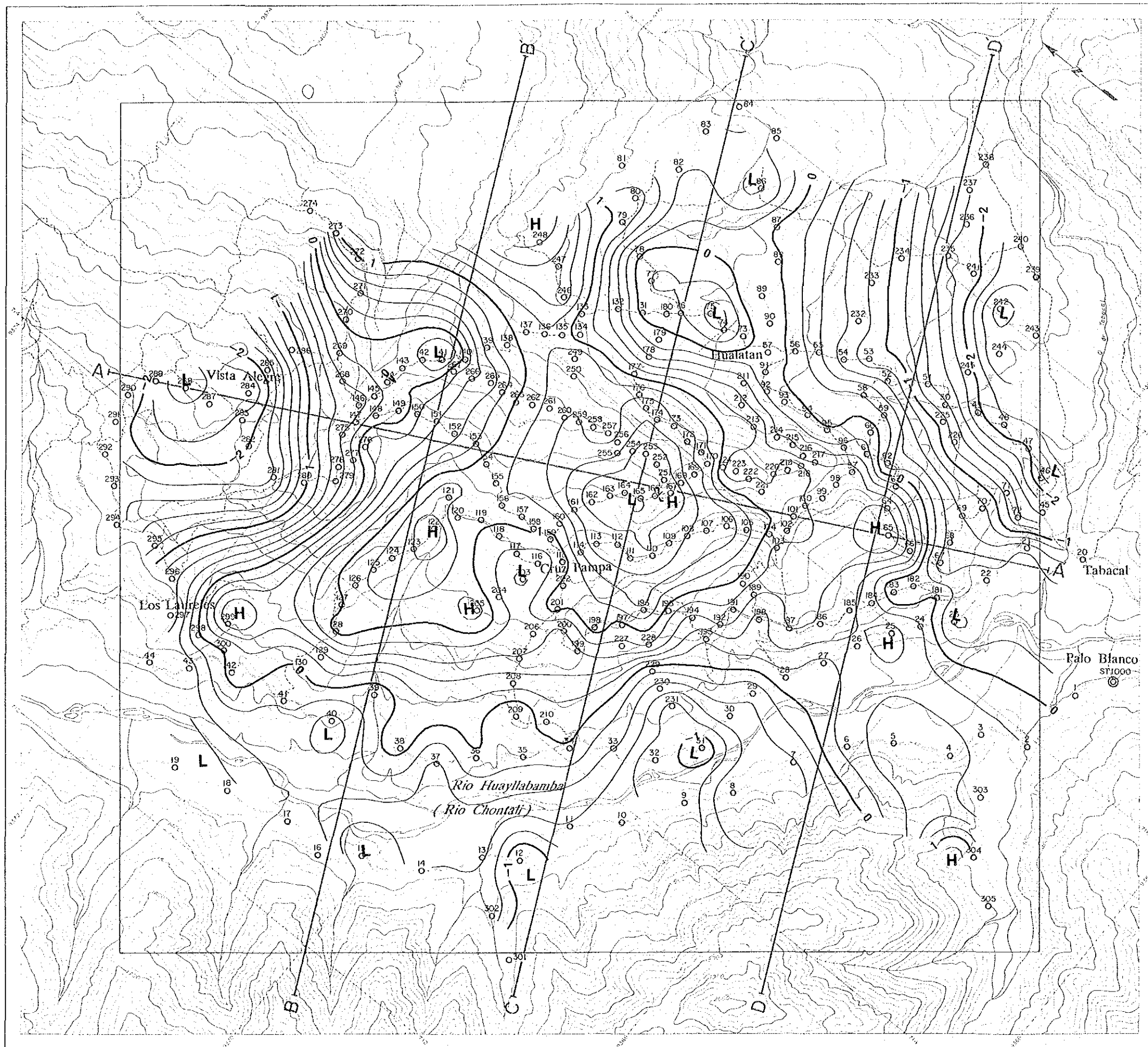
THE MINERAL EXPLORATION
 IN
 THE PACHAPIRIANA AREA
 REPUBLIC OF PERU
 (PHASE III)

GRAVITY SURVEY

Fig. II-7
 Bouguer Anomaly Map
 ($\rho = 2.67 \text{g/cm}^3$)

FEBRUARY 1991





LEGEND

- Gravity station
- A-A' Cross section
- 1.0 mgal interval
- 0.2 mgal interval
- H High gravity zone
- L Low gravity zone

THE MINERAL EXPLORATION
 IN
 THE PACHAPIRIANA AREA
 REPUBLIC OF PERU
 (PHASE II)

GRAVITY SURVEY

Fig. II-8
 First-order
 Residual Gravity
 Map

FEBRUARY 1991



力線と似通った分布を示している。高重力異常域が調査地中央部にて広範囲に発達し、その周囲には低重力異常が分布する。中央部ではNNE-S SW系及びNW-SE系の伸長・配列が顕著に見られる。

本図に見られる局所的な高重力異常及び低重力異常の特徴は以下のようにまとめられる。

- ① 高重力異常は調査地中央、ワラタンとクルス・パンパとの中間部を中心として塊状に広がりその残差値は調査地内で最高の2.0mgalに達する。この高重力異常はワラタン北方、パロ・ブランコ西方、及びクルス・パンパ北西方へと放射状に派生し、その延長部において再び局所的な高重力異常を形成する。
- ② 低重力異常はビスタ・アレグレ、タバカル北東方、及びワジャバンバ川一帯に広く分布している。ワジャバンバ川西側には花崗岩類が分布するので当初高重力異常を形成すると予想されたが、逆に低重力異常が捕捉された。

3) スペクトル解析

Fig. II-5は、等重力線図に見られる重力異常を周波数領域 (cycle/km) に変換し、各周波数での重力変化の強さを対数エネルギー・スペクトルとして表現したものである。等重力線図における重力分布の波長特性は、Fig. II-6に示す回帰直線の勾配から、深部成分 (Regional Component, 平均深度1,240m) 及び浅部成分 (Near-surface Component, 平均深度170m) とに2大別される。平均深度とは、地下に複数の台形上構造が存在する場合、この構造の頂部 (または底部) の深度の平均的な値を示すもので、実際の地下構造の深度はこの平均深度を中心として相当の幅をもつ。

(1) 「Fig. II-9(1) Long-wave Gravity Map」

本図の重力値は-140.6~-136.8mgalの範囲に分布する。調査地域内における重力基盤のおおまかな分布状況を示し、北東部で重力基盤が浅い傾向が見られる。調査地北東部から中央部にかけて高異常の盛り上がりが見られ、次第に減少しながら南方及び北西方に伸びワジャバンバ川付近ではほぼ消滅する。ワジャバンバ川西側は-140mgal以下と低異常を示す。

(2) 「Fig. II-9(2) Short-wave Gravity Map」

調査地全域にわたり多数の高・低異常が散在している。これらは、地表から地表下-170m程度までの地表近くにおける局所的な密度異常を選択的に抽出したものと考えられる。高異常域に着目すると、Fig. II-8で見られた高重力異常の盛り上がり部分位置に一致

してみられ、特に際立つものとして、ワラタンとクルス・パンパとの中間部付近、タバカル北西方付近、及びロス・ラウレス付近の高異常があげられる。これらのうち、前2カ所は地表地質調査で判明している石英脈密集帯と一致しており、高異常と鈹化作用との密接な関係が指摘される。

低異常はワラタン、ビスタアレグレ、及びクルスパンパ周辺などに卓越し、これらは地表付近における低密度異常の存在を示すものである。

4) 二次元シュミレーション

二次元シュミレーションを4断面について行い、その結果をブーゲ異常、長・短波長重力、二次元多層解析構造図及び推定地下構造図と共に示した。解析に用いた重力値はブーゲ異常から試行錯誤的に1次トレンドを差し引いたものを使用した。解析にあたり、定量解析に必要な地下構造に関する情報が欠落し、各解析構造（特に重力基盤）の深度決定に有効なコントロールポイントとして、各断面の交点での解析結果を比較してシュミレーションを繰り返した。

全断面とも、大局的に上部層（ $2.67\text{g}/\text{cm}^3$ ）と重力基盤（ $2.80\text{g}/\text{cm}^3$ ）の二層構造として解析された。ただし、短波長重力異常に対応して局所的な低密度層（ $2.53\sim 2.57\text{g}/\text{cm}^3$ ）及び高密度帯（ $2.80\text{g}/\text{cm}^3$ ）が表層部あるいは重力基盤上に抽出された。これらのうち、重力基盤及び高密度帯は $2.80\text{g}/\text{cm}^3$ の高密度に解析されたが、岩石試料密度測定結果からこの高密度に相当する岩石は見当たらない。しかし、岩石が何らかの高密度化作用等の影響により高密度になる可能性も考えられる。

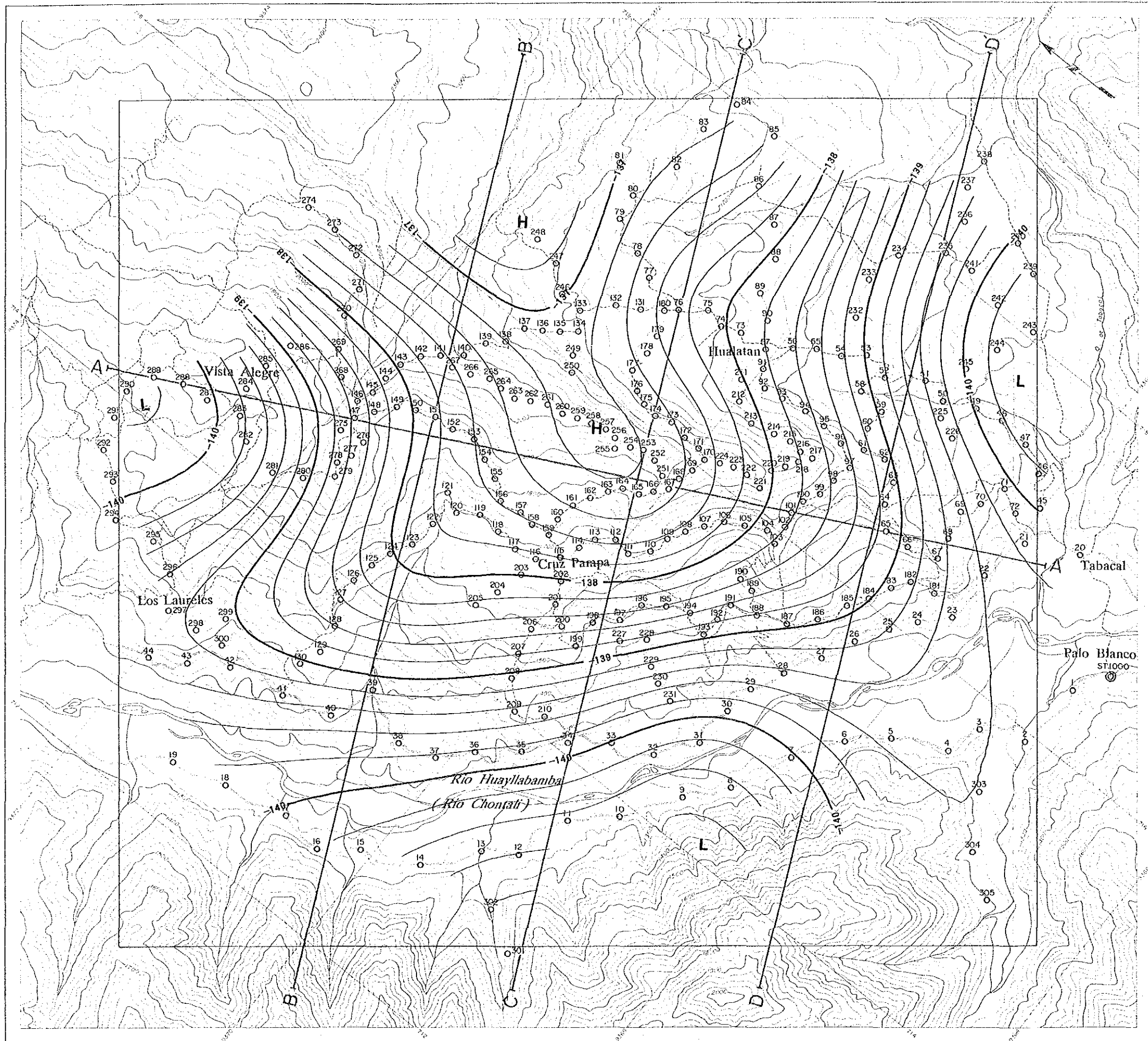
(1) 「Fig. II-10(1) Cross Section of A-A'」

A-A'断面は調査地北部からビスタ・アレグレ西方を通りタバカルまで、北西-南東方向に切る断面である。

重力基盤はC-C'断面線位置付近を中心として著しいドーム状の盛り上りを示す。ビスタ・アレグレ付近では急激な落ち込みが見られ、地表下-800m程度の凹地を形成している。C-C'断面線位置およびD-D'断面線位置では、重力基盤上に高密度帯が解析され、特に後者の位置ではそれが地表まで達する。ビスタ・アレグレ付近では低密度層が表層部を覆っている。

(2) 「Fig. II-10(2) Cross Section of B-B'」

B-B'断面は調査地北部を南南西-北北東方向に切る断面である。



LEGEND

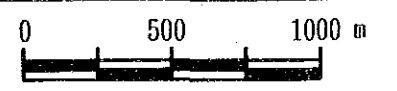
- O Gravity station
- A-A' Cross section
- 1.0 mgal interval
- 0.2 mgal interval
- H High gravity zone
- L Low gravity zone

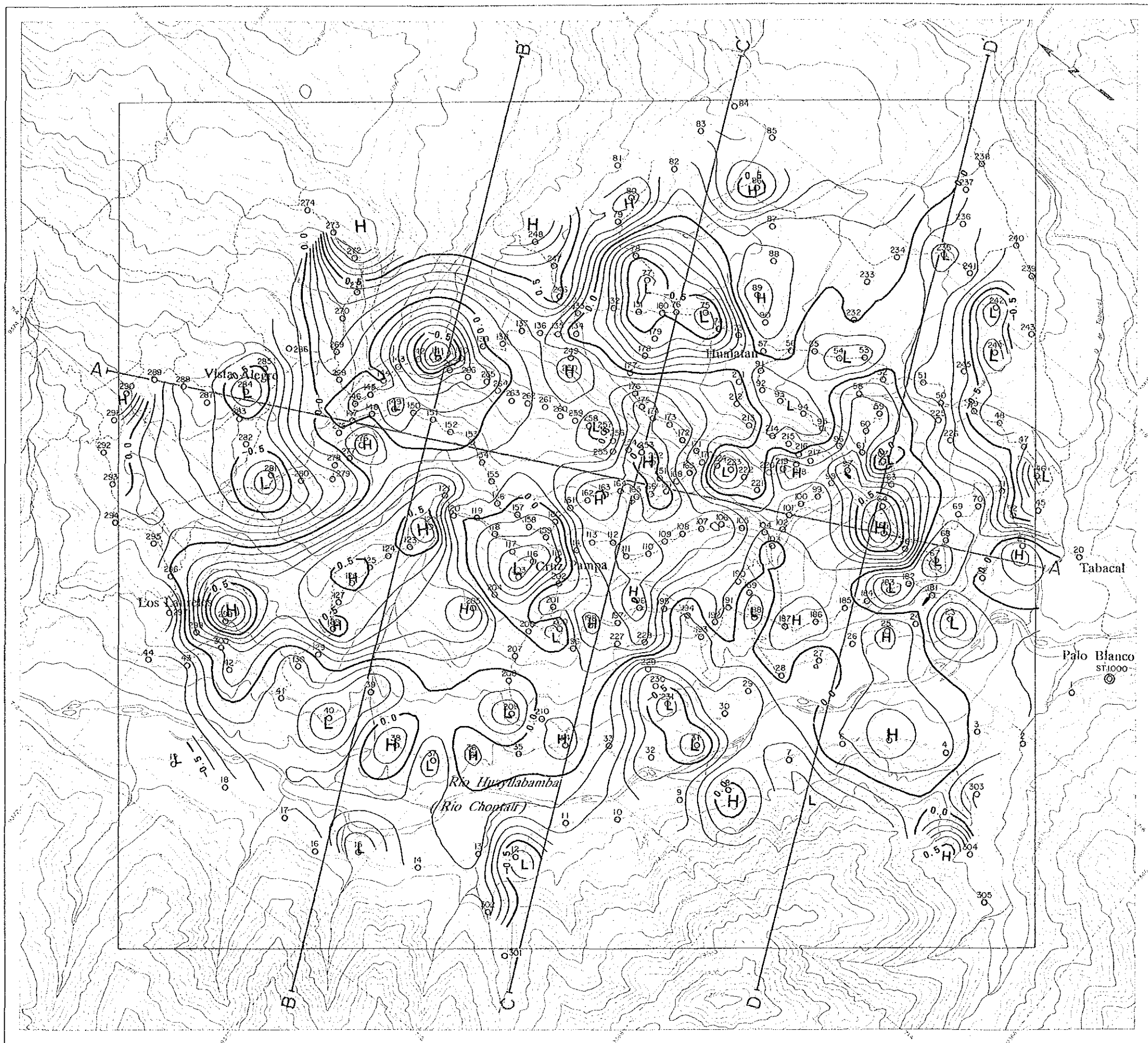
THE MINERAL EXPLOATION
 IN
 THE PACHAPIRIANA AREA
 REPUBLIC OF PERU
 (PHASE III)

GRAVITY SURVEY

Fig. II-9 (1)
 Long-wave
 Gravity Map

FEBRUARY 1991





LEGEND

- O Gravity station
- A-A' Cross section
- 0.5 mgal interval
- 0.1 mgal interval
- H High gravity zone
- L Low gravity zone

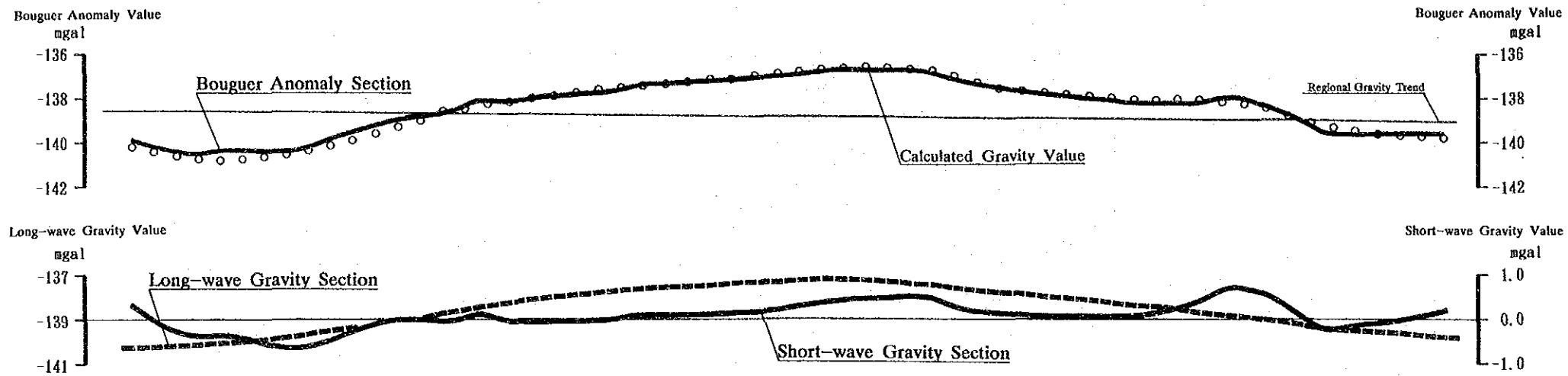
THE MINERAL EXPLORATION
 IN
 THE PACHAPIRIANA AREA
 REPUBLIC OF PERU
 (PHASE III)

GRAVITY SURVEY

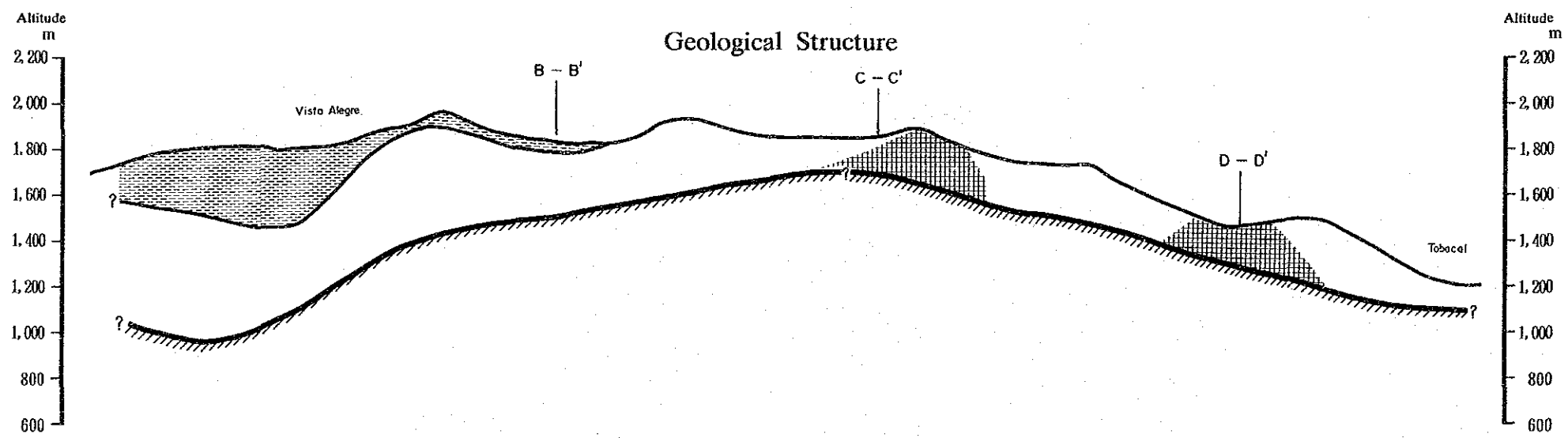
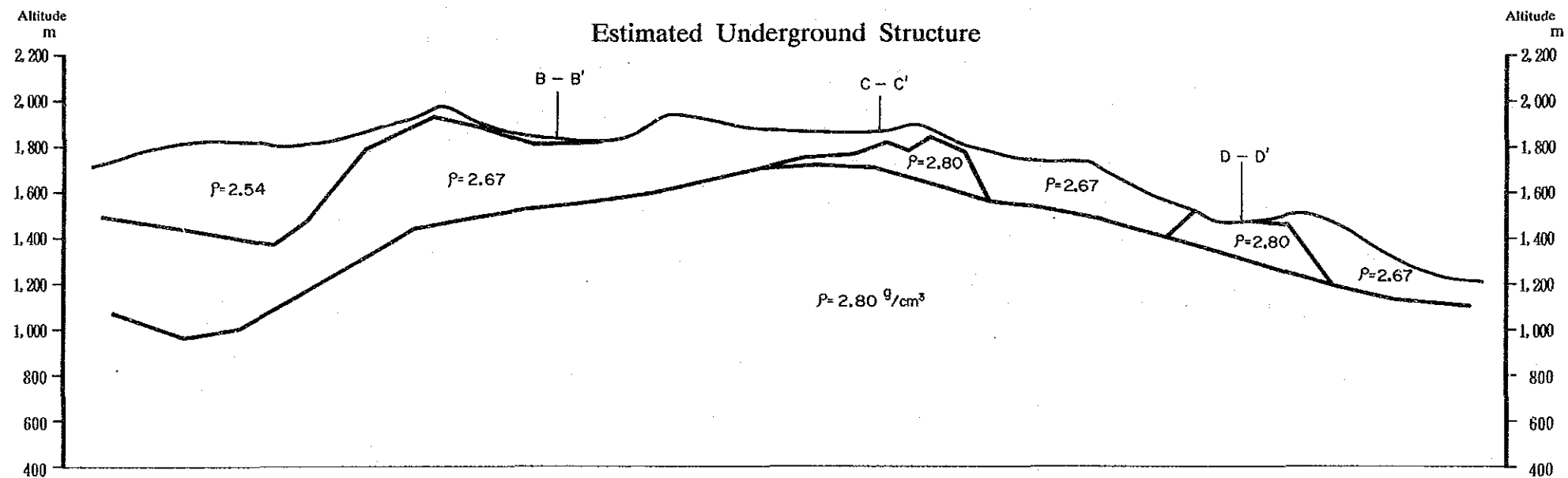
Fig. II-9 (2)
 Short-wave
 Gravity Map

FEBRUARY 1991





- LEGEND**
- Gravity basement
 - High density zone on basement
 - Low density layer



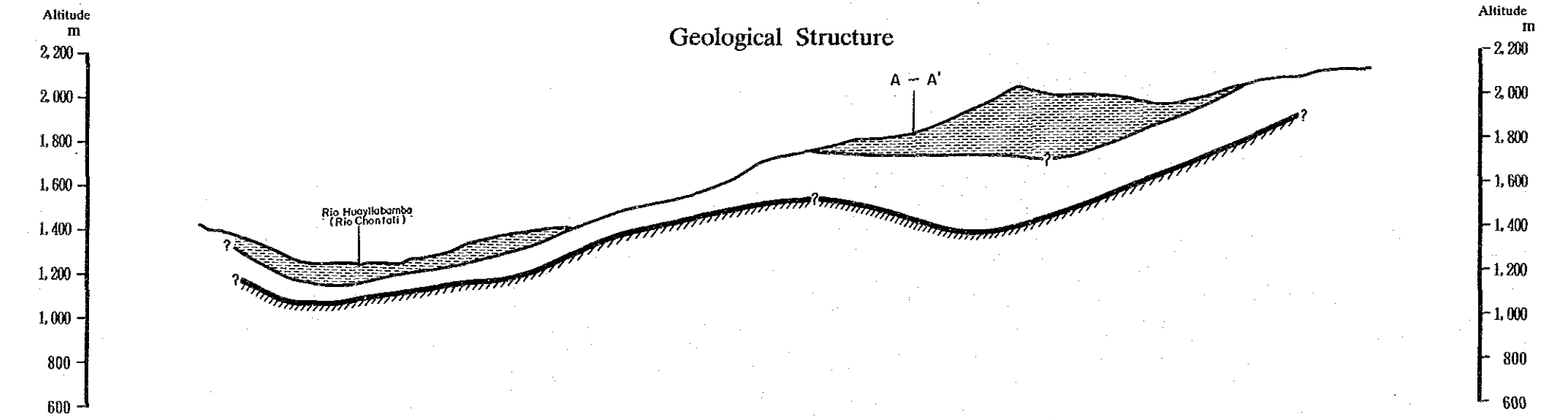
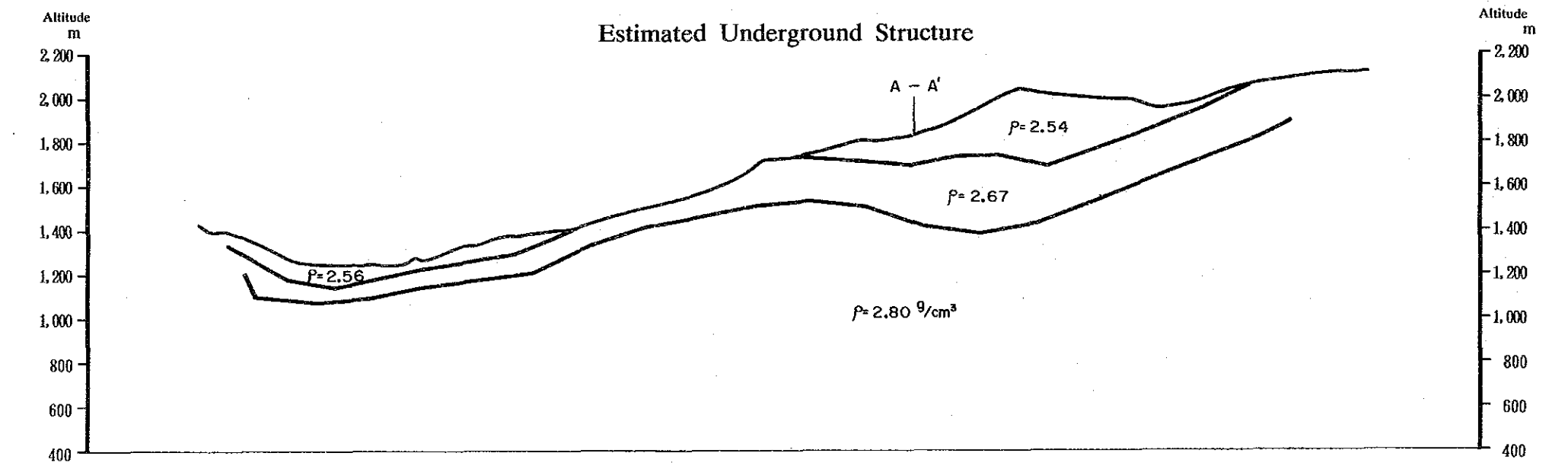
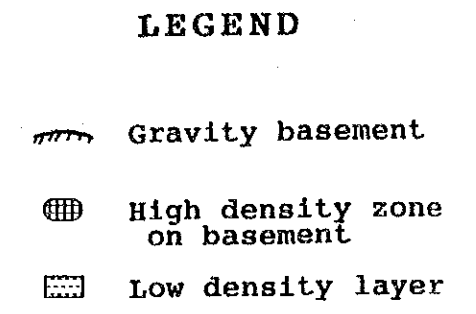
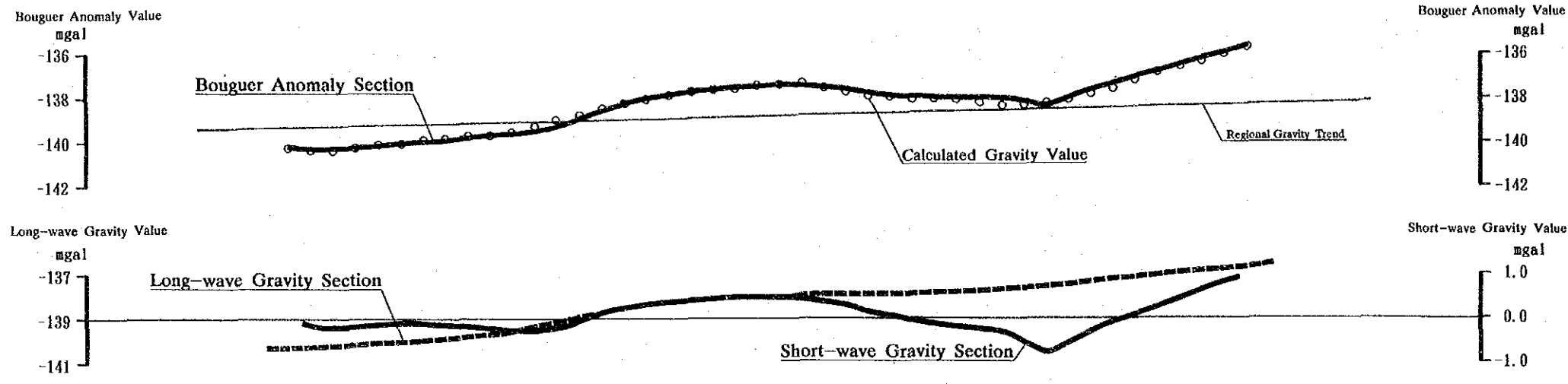
THE MINERAL EXPLORATION
IN
THE PACHAPIRIANA AREA
REPUBLIC OF PERU
(PHASE II)

GRAVITY SURVEY

Fig. II-10 (1)
Cross Section
of A-A'

FEBRUARY 1991





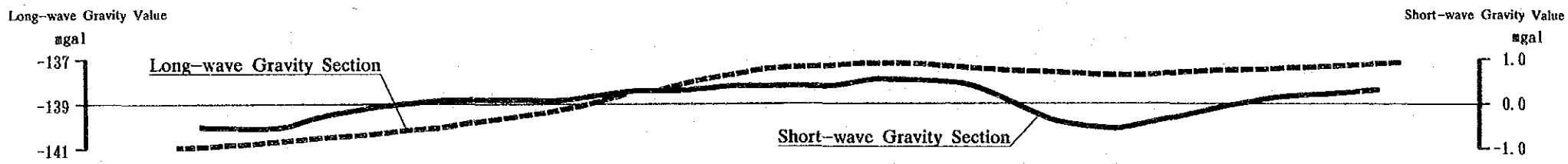
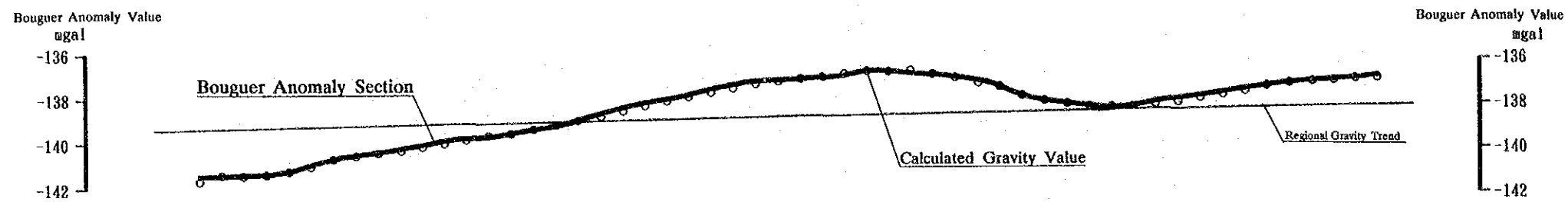
THE MINERAL EXPLORATION
 IN
 THE PACHAPIRIANA AREA
 REPUBLIC OF PERU
 (PHASE III)

GRAVITY SURVEY

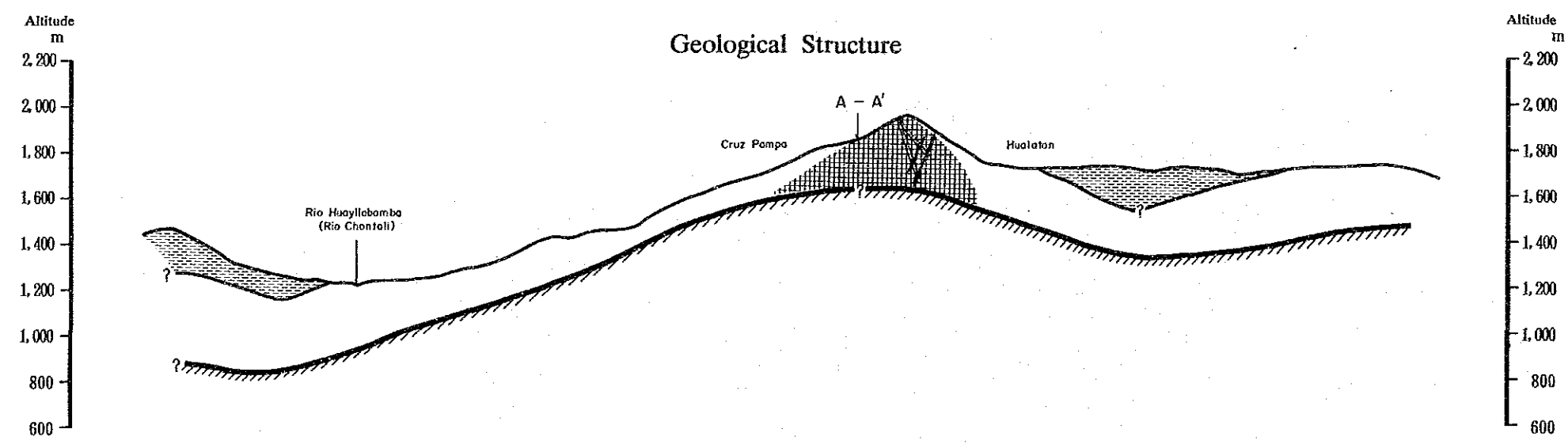
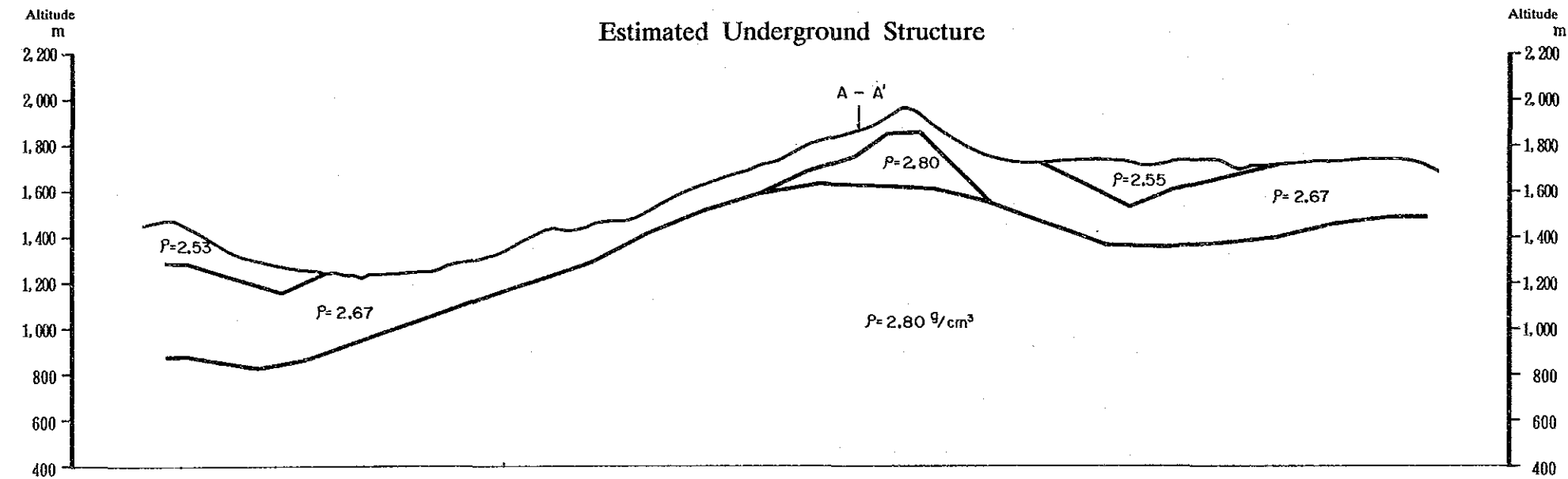
Fig. II-10 (2)
 Cross Section
 of B-B'

FEBRUARY 1991





- LEGEND**
- Boring site
 - Quartz vein
 - Gravity basement
 - High density zone on basement
 - Low density layer



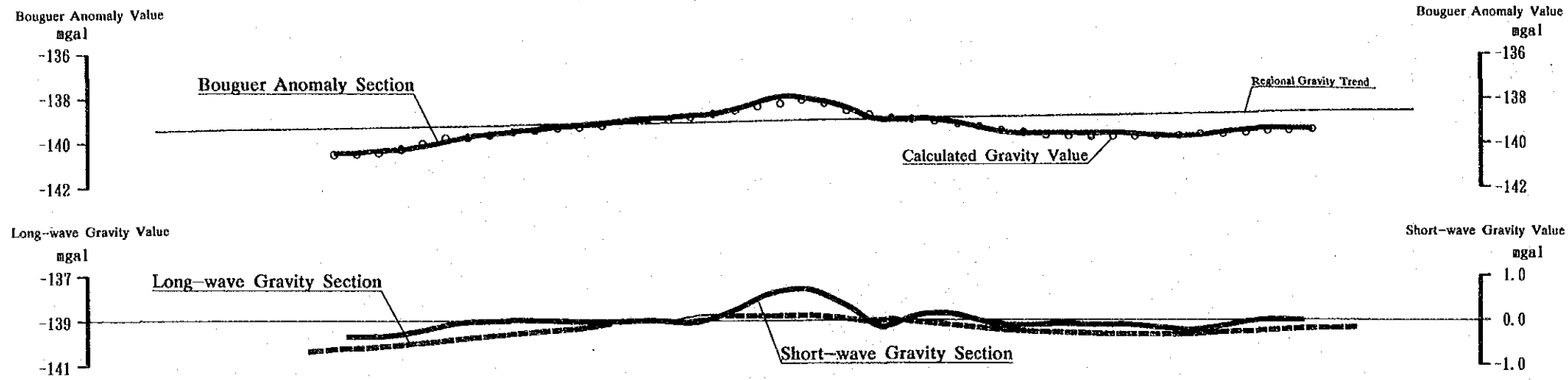
THE MINERAL EXPLORATION
 IN
 THE PACHAPIRIANA AREA
 REPUBLIC OF PERU
 (PHASE III)




GRAVITY SURVEY

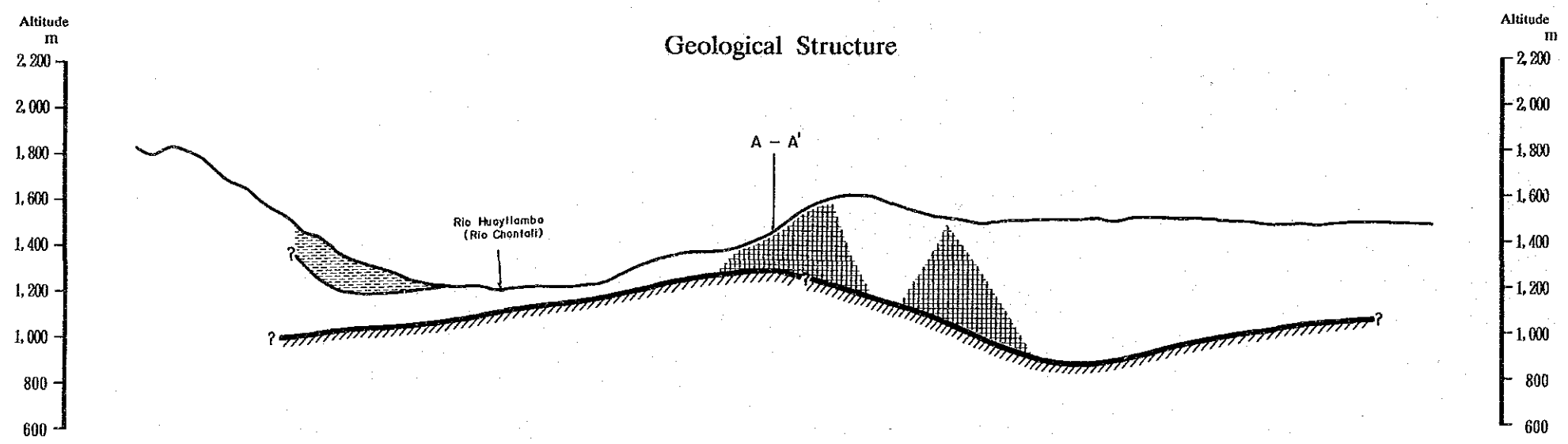
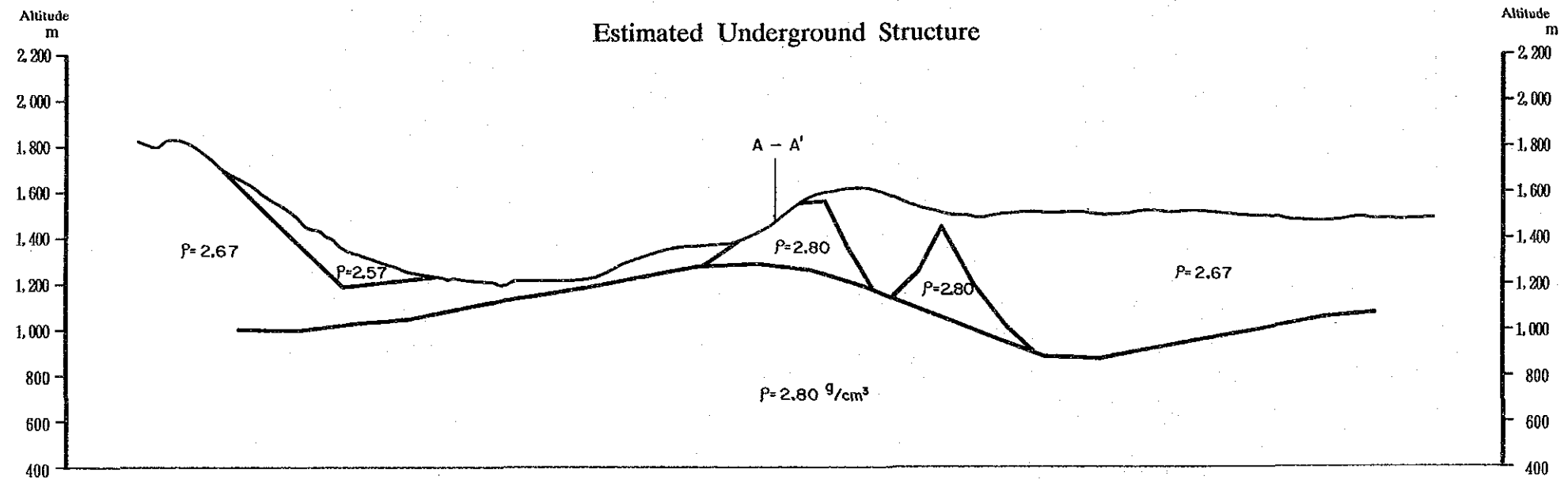
Fig. II-10 (3)
 Cross Section
 of C-C'

FEBRUARY 1991





- LEGEND**
-  Gravity basement
 -  High density zone on basement
 -  Low density layer



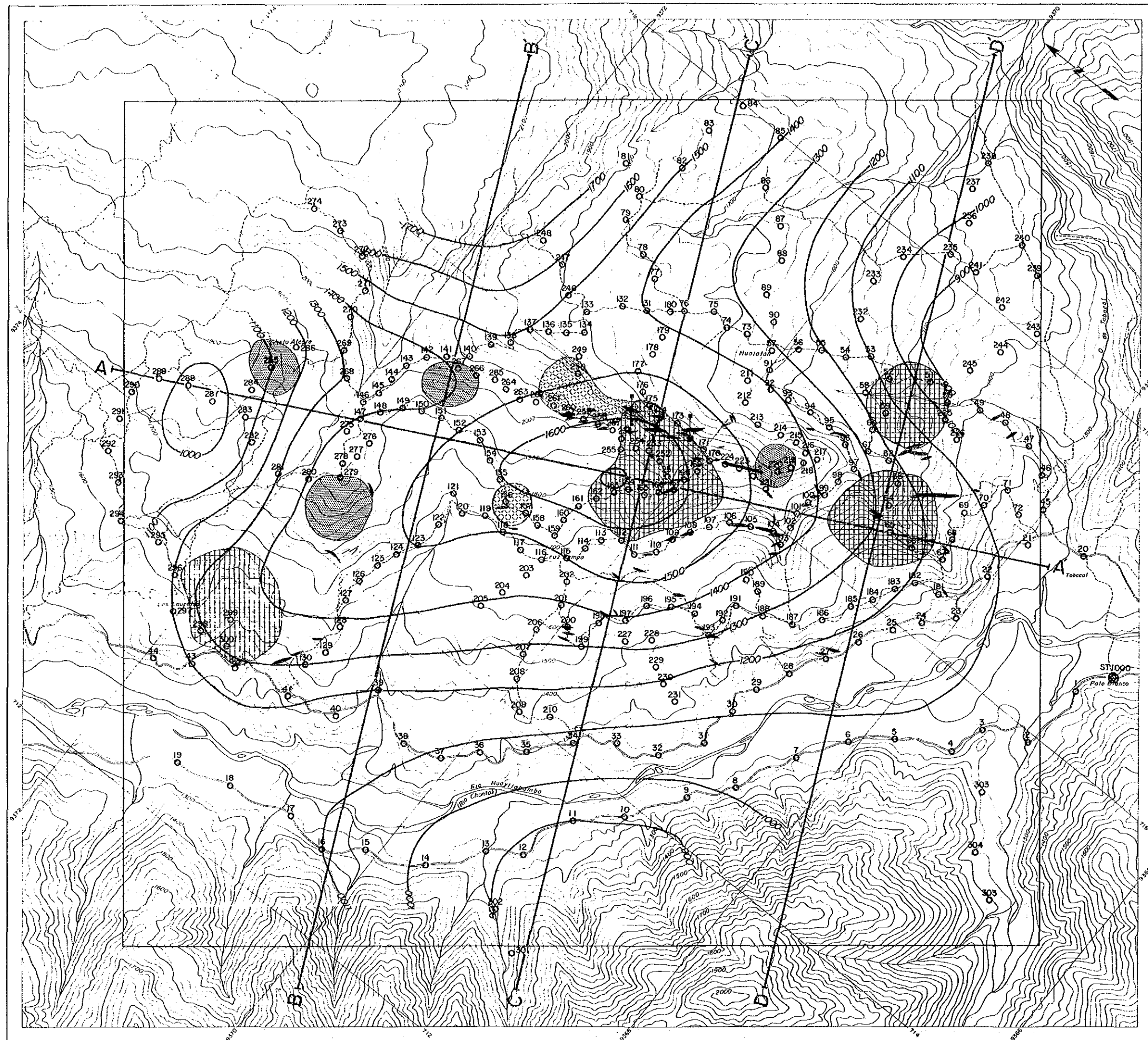
THE MINERAL EXPLORATION
 IN
 THE PACHAPIRIANA AREA
 REPUBLIC OF PERU
 (PHASE III)

GRAVITY SURVEY

Fig. II-10 (4)
 Cross Section
 of D-D'

FEBRUARY 1991





LEGEND

- A-A' Cross section
- Boring site
- Quartz vein
- Contour of basement depth
- 100m interval
- ▨ High density zone on basement
- ▤ Assumed High density zone on basement
- ▧ Low resistivity zone (<20 m)
- ▩ High resistivity zone (>1000 m)

THE MINERAL EXPLORATION
 IN
 THE PACHAPIRIANA AREA
 REPUBLIC OF PERU
 (PHASE II)

GRAVITY SURVEY

Fig. II-11
 Geophysical
 Interpretation Map

FEBRUARY 1991



重力基盤はワジャバンバ川から地形の起伏とほぼ一致した形状を示すが、A-A' 断面線位置付近から北北東方向では一旦地表下約-600m までゆるやかに落ち込み、再び上昇する。ワジャバンバ川及びA-A' 断面線位置では表層部に低密度層が分布し、その厚さはそれぞれ100m、及び300mに達する。本断面では局所的な高密度帯は捕捉されていない。

(3) 「Fig. II-10(3) Cross Section of C-C'」

C-C' 断面は調査地中央部をクルス・パンパ南方及びワラタン西方を通り、南南西-北北東方向に切る断面である。

重力基盤はA-A' 断面線位置付近を中心にドーム状に盛り、その頂部では地表下約-200m 程度に達すると考えられる。A-A' 断面線位置付近で重力基盤上に特徴的な高密度帯が解析された。ワジャバンバ川付近では低密度層が表層部を覆い、その厚さは最高180mに及んでいる。ワラタン側では表層部に低密度層が解析され、その厚さは最高150mと解析された。

(4) 「Fig. II-10(4) Cross Section of C-C'」

D-D' 断面は調査地南部を、南南西-北北東方向に切る断面である。

重力基盤はA-A' 断面線位置付近を中心に盛りを示し、A-A' 断面の北北東側で地表下約-600m まで落ち込む。A-A' 断面線付近では重力基盤の頂部から急傾斜部にかけて高密度帯が捕捉され、それは二つに分離されており規模が大きい。ワジャバンバ川西側では低密度層が表層部を覆い、その厚さは最高150mに及んでいる。

5) 「Fig. II-11 Geophysical Interpretation Map」

二次元シュミレーション結果の重力基盤高度を用い、基盤深度図を作成した。さらに本重力探査及び前年度実施されたCSAMT 法探査により抽出された次の局所的異常を併せて記載し、本物理探査の総合解析図とした。

(推定) 高密度帯：二次元シュミレーションにより比較的地下浅部に捕捉された高密度帯及びFig. II-9(2) より推定される高密度帯である。

高比抵抗帯：標高1,600m準における1,000 $\Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗帯である。これは、比抵抗基盤の盛り上の頂部を示唆する。

低比抵抗帯：標高1,600m準における20 $\Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯であり、比抵抗基盤の上位に分布する低比抵抗部である。