

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

PHYSICS 311

PHYSICS 311

PHYSICS 311

PHYSICS 311

エクアドル共和国 ボリバル地域
資源開発協力基礎調査報告書

第 1 年 次

JICA LIBRARY

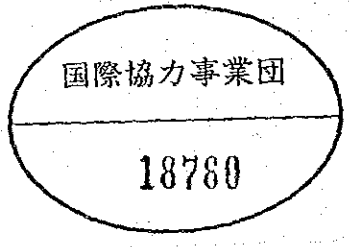


1072313[8]

18780

平成元年 3 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団



国際協力事業団

18780

は し が き

日本国政府はエクアドル共和国政府の要請に応え、同国の中央西部に位置するポリバール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、物理探査及びボーリング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とした。本調査は、昭和63年度を第1年次とする初年次にあたり、金属鉱業事業団は9名の調査団を編成して昭和63年8月2日から昭和63年12月1日まで現地に派遣した。

現地調査は、エクアドル共和国政府機関、エクアドル鉱業庁の協力を得て予定どおり完了した。

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御協力いただいたエクアドル共和国政府関係機関ならびに外務省、通商産業省、在エクアドル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ものである。

平成元年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 佐 藤 淳一郎

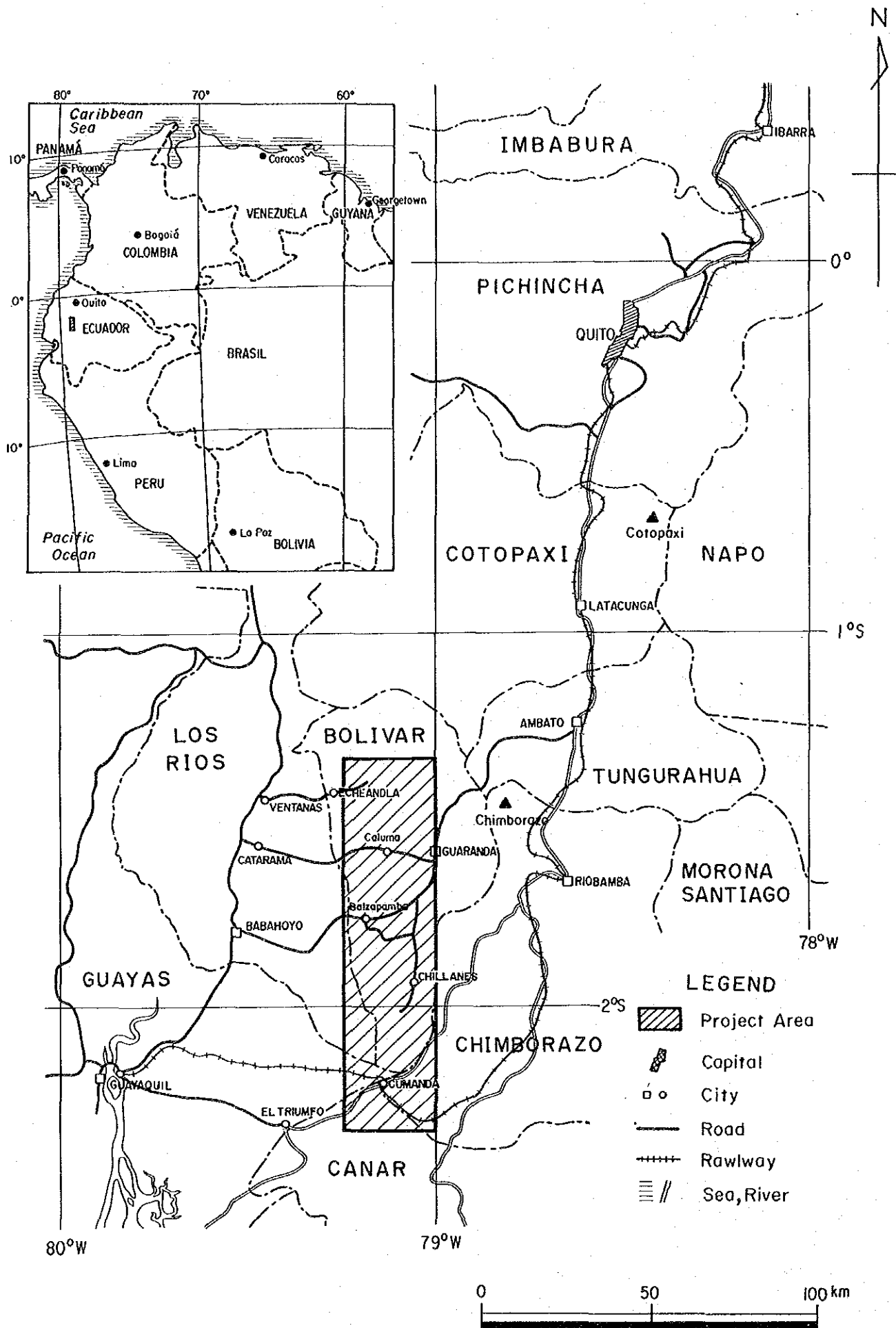


Fig. 1 Location Map of the Project Area.

要 約

エクアドル共和国ポリバール地域資源開発協力基礎調査の第1年次調査は、エクアドル側の過去の調査により抽出された探査有望地区(Fig. I-1-1)において、地質状況を解明することにより、鉱床の賦存状況を把握することを目的として実施された。バルサパンバ地区では、地質精査・地化学探査、物理探査(CSAMT法)及びボーリング調査、その他の11地区(Chaso Juan, La Industria-Yatubi, Tres Hermanas, Telimbela, San Miguel, Las Guardias, Sicota, Tambillo, Tablas Pamba, Balaron, Chilcales Alto 地区)では、地質準精査・地化学探査を実施した。調査結果は次のとおりである。

1. バルサパンバ地区

本地区の地質は、白亜紀後期のMacuchi層とそれに貫入する漸新世～中新世花崗岩類から成る(Plate II-1-1)。鉱化作用は、主として花崗岩類の中及びそれに近接するMacuchi層に胚胎されるポーフイリーカッパー型、Macuchi層に認められる鉱脈型及び温泉型鉱化作用が存在する。最前者にはEl Torneado, Osohuayco, Las Juntas 鉱化帯、第二者にはEl Cristal 鉱化帯、最後者にはLas Palmas, Cochapamba 変質帯がそれぞれ該当する。ポーフイリーカッパー型のEl Torneado 鉱化帯は、約400m×400mの範囲に、幅20～70mのNNE～SSW方向に伸長する5条の主要鉱化帯が存在する(Fig. II-1-38)。これらの鉱化帯は、鉱染状鉱化帯と網状脈鉱化帯とに分類される。鉱石品位は最高Au0.2g/t, Ag7.7/t, Cu0.66%, Mo0.42%である。帯磁率測定の結果、鉱化作用に伴う消磁現象が確認され、上記鉱化帯の分布と一致した低帯磁率異常帯が抽出された(Fig. II-1-6)。岩石地化学探査では、因子分析の結果、鉱化作用に関連すると考えられる因子及び母岩の特性を反映した因子等が得られた。特に、El Torneado, Osohuayco, Las Juntas 及びEl Cristal 鉱化帯に、Cu及びMo 鉱化作用に関連する因子が抽出された(Fig. II-1-7)。

物理探査の結果、各鉱化帯及び変質帯の分布域に、低比抵抗帯が抽出された。特にEl Torneado 鉱化帯下部の126～560Ωmの低比抵抗帯(Fig. II-1-22)及びOsohuayco 鉱化帯の下部の159～788Ωmの幅約300mで南東下部へ約500m連続する低比抵抗帯(Fig. II-1-18)など、探査上興味のある低比抵抗帯が検出された。

ボーリング調査の結果、El Torneadoの鉱化帯Aは、南東方向に傾斜約60°で下方に連続し、下部の方でより規模が大きくなっていること、及び下部に別の潜頭状網状脈鉱化帯が存在すること等が確認された(Fig. II-1-39)。前者の規模は、露頭付近で幅30～50m、これより約120m南東方で幅約100mである。後者は、鉱化帯Aより150～200m下位に存在する幅60mの鉱化帯である。これらの鉱化帯の品位は全体的に低く最高品位でCu0.36%である。

2. その他の地区

その他の地区の地質は、白亜紀後期の Macuchi 層から成り、漸新世～中新世に花崗岩類の貫入を受けている (Plate II-2-1~11)。部分的に鮮新世～更新世の Lourdes 火山岩類が分布する。

本地区には、巨視的には、主として花崗岩類周縁部及びその周辺の Macuchi 層に胚胎されるポーフイリーカッパー型、Lourdes 火山岩類に胚胎される鉱脈型、及び花崗岩類及び Lourdes 火山岩類に認められる温泉型の3つの鉱化作用が存在する。

ポーフイリーカッパー型鉱化作用は、Chaso Juan, Telimbela 及び Las Guardias 地区、鉱脈型鉱化作用は San Miguel 地区、温泉型鉱化作用は La Industria-Yatubi 及び San Miguel 地区に分布する。

Chaso Juan, Telimbela 及び Las Guardias 地区の鉱化帯は、比較的規模が大きい。

Chaso Juan 地区には北部、東部、南部鉱化帯があり、幅10~300mのものが10箇所含まれ、鉱石品位は、最高 Au1.5g/t, Ag160.9g/t, Cu9.03%, 代表的品位 Ag1.2~1.8g/t, Cu0.24~0.44%である。Telimbela 地区では、4箇所において500m×350m~450m×200m 及び幅150mの鉱化帯の広がりを確認した。鉱石品位は最高 Cu1.60%である。Las Guardias 地区には400×100m~350m×50m 及び幅50mの鉱化帯が3箇所ある。Chaso Juan 地区の鉱化帯は黄銅鉱/黄鉄鉱比が高く、灰重石の報告がある。鉱化帯の伸びの方向は、Chaso Juan 地区で N-S 系、Telimbela 地区で NE-SW 系、Las Guardias 地区で NW-SE 系、San Miguel 地区で NNW-SSE 系である。

帯磁率測定結果では、Chaso Juan 地区において 1 km×1 kmの異常帯を、又、Telimbela 地区において 2 km×750mの低帯磁率異常帯が確認された (Fig. II-2-3, 8)。岩石地化学探査では、バルサパンバ地区同様、因子分析を行なった結果、Cu 及び Mo 鉱化作用を特徴づける因子が Chaso Juan, Telimbela 及び Las Guardias 地区で抽出された (Fig. II-2-3, 8, 13)。

以上の結果を検討し、第2年次調査として以下の調査が提言される (Fig. III-2-1, 2)。

1. バルサパンバ地区

- (1) EL Torneado 鉱化帯の詳細な賦存状況把握のために、ボーリング孔を利用した物理探査 (IP) 及びボーリング調査。
- (2) Osohuayco 鉱化帯下部の低比抵抗帯における鉱化帯富鉱部解明のための物理探査 (IP 又は SIP)。

2. その他の地区

- (1) ポーフイリーカッパー型鉱床が期待される Chaso Juam, Telimbela 及び Las Guardias 地区の鉱化帯の詳細な賦存状況把握のための地質精査及び物理探査 (IP 又は SIP)。
- (2) La Industria-Yatubi 地区の温泉型金鉱床の可能性のある南西部を中心として土壌地化学探査。

- (3) San Miguel 地区の銅鉍脈型鉍化帯の賦存状況把握のための物理探査 (SIP) 及び温泉型金鉍床の可能性のある鉍化帯追跡のための地質精査。

目 次

はしがき

調査地域位置図

要約

目次

第 I 部 総 論

第 1 章 序論	1
1-1 調査の経緯及び目的	1
1-2 第 1 年次調査の範囲、目的及び作業の概要	1
1-3 調査団の編成	7
1-4 調査期間	7
第 2 章 調査地域の地理	9
2-1 位置及び交通	9
2-2 地形及び水系	9
2-3 気候及び植生	10
第 3 章 調査地域の既存地質情報	11
3-1 既往調査の概要	11
3-2 ポリバール地域の一般地質と地質的位置付け	12
3-3 ポリバール地域の鉱業略史	13
第 4 章 調査結果の総合検討	21
4-1 バルサパンバ地区	21
4-1-1 地質構造及び鉱化作用の特性	21
4-1-2 帯磁率測定結果・地化学探査結果・物理探査結果と鉱化作用との関係	25
4-1-3 ボーリング調査	26
4-1-4 考察	26

4-2	その他の地区	27
4-2-1	地質構造及び鉱化作用の特性	27
4-2-2	帯磁率測定結果・地化学探査結果と鉱化作用との関係	29
4-2-3	考察	30
第5章	結論及び提言	33
5-1	結論	33
5-2	第2年次調査への提言	34

第II部 各 論

第1章	バルサパンバ地区	35
1-1	地質調査・地化学探査	35
1-1-1	調査目的及び調査方法	35
1-1-2	地質	35
1-1-3	鉱化作用及び変質作用	46
1-1-4	帯磁率測定	50
1-1-5	地化学探査	53
1-1-6	調査結果の考察	55
1-2	物理探査	60
1-2-1	調査目的	60
1-2-2	調査方法	60
1-2-3	解析方法	65
1-2-4	調査・解析結果	67
1-3	ボーリング調査	111
1-3-1	調査目的	111
1-3-2	調査工事内容	111
1-3-3	調査結果	118
1-3-4	調査結果の考察	125
第2章	その他の地区	127
2-1	地質調査・地化学探査	127

2-1-1	調査目的及び調査方法	127
2-1-2	Chaso Juan 地区	127
2-1-3	La Industria-Yatubi 地区	135
2-1-4	Tres Hermanas 地区	139
2-1-5	Telimbela 地区	144
2-1-6	San Miguel 地区	148
2-1-7	Las Guardias 地区	157
2-1-8	Sicota 地区	161
2-1-9	Tambillo 地区	165
2-1-10	Tablas Pamba 地区	167
2-1-11	Balaron 地区	169
2-1-12	Chilcales Alto 地区	171

第III部 結論及び提言

第1章	結論	173
第2章	第2年次調査への提言	175
参考文献		181
添付図表類		183
卷末		

第I部 総論

第1章 序論

1-1 調査の経緯及び目的

エクアドルの西部アンデス山脈西縁部には、北米から南米に至るポーフイリーカッパーベルトが縦走り、Bolivar(ポリバル)地域はこのベルトの中に位置している (Fig. 1)。本地域及び周辺地域は、DGGM*とイギリスとの技術協力によって、1975~1982年に San Miguel プロジェクトとして面積 6,100 km²を対象として実施され、幾つかの有望なポーフイリーカッパー及びモリブデン鉱化帯が提言された。しかし当国では石油開発に重点が置かれていたことや、逼迫した経済状況から、その後のフォローができないまま放置されていた。このような状況から、エクアドル政府は国家経済再建のために輸出の振興を図るべく、金属資源の開発を重点課題として取り上げ、日本国政府にポリバル地域の資源開発協力基礎調査の要請状を1984年に提出した。日本国政府はこの要請に応じて、国際協力事業団 (JICA) 及び金属鉱業事業団 (MMAJ) のミッションを1988年5月15~24日にエクアドルに派遣し、同5月20日 INEMIN との間でポリバル地域の資源開発協力基礎調査の作業協定 (Scope of Work) に署名した。

本調査の目的は、エクアドル共和国ポリバル地域において地質状況を解明することにより、鉱床の賦存状況を把握することである。

1-2 第1年次調査の範囲、目的及び作業の概要

本年次調査の範囲は、エクアドル側の過去の調査により抽出されたバルサパンバ (Balzapamba) 地区及びその他の11地区からなる (Fig. I-1-1)。

バルサパンバ地区では地質調査・地化学探査の精査、物理探査 (CSAMT 法) 及びボーリング調査を実施し、その他の11地区 (Chaso Juan, La Industria-Yatubi, Tres Hermanas, Telimbela, San Miguel, Las Guardias, Sicota, Tambillo, Tablas Pamba, Balaron, Chilcales Alto) では地質調査・地化学探査の準精査を実施した (Table I-1-1, 2)。

地質調査・地化学探査の目的は、鉱化作用と地質構造及び火成活動等の関係を解明し、本調査結果と既存の地化学探査資料とを総合的に考察し、鉱化帯の分布特徴を明らかにすることにより、更に有望な鉱徴地を抽出することにある。

* DGGM (Dirección General de Geología y Minas : 地質鉱山総局、INEMIN (Instituto Ecuatoriano de Minería : エクアドル鉱業庁) の前身)

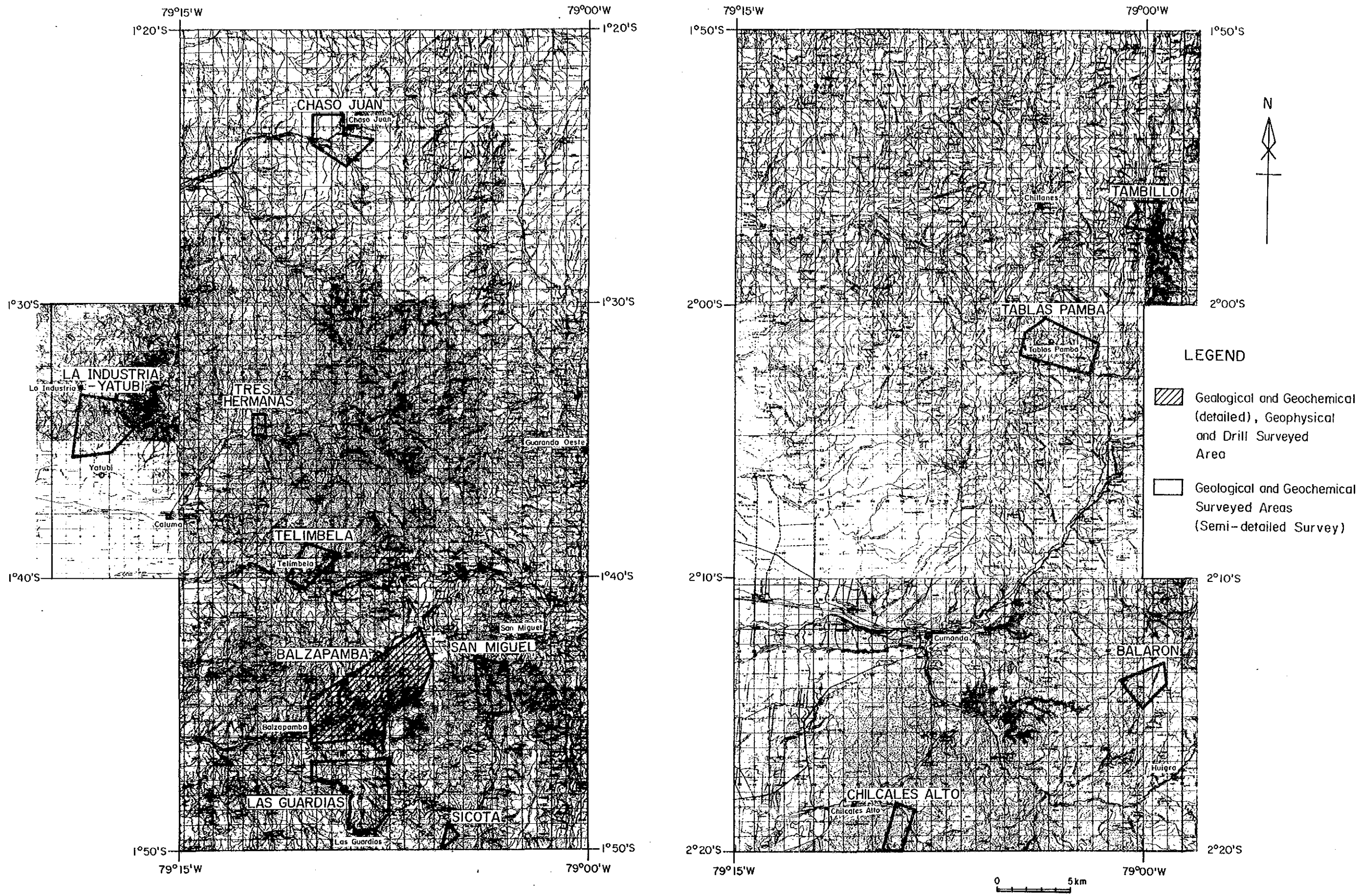


Fig. I - 1 - 1 Location Map of the Surveyed Area

Table I - 1 - 1 List of Survey Amounts

Item	Quantity
1. Geological Survey · Geochemical Survey (1) Balzapamba (detail)	Survey area 36 Km ² Survey route length 84.8 Km Geochemical rock sample number 33
(2) The others (semi-detail survey)	Survey area 80 Km ² Survey route length 157.5 Km Geochemical rock sample number 34
2. Geophysical Survey (CSAMT) Balzapamba	Survey area 36 Km ² Measurement points 104
3. Drilling MJE-1 Balzapamba MJE-2 MJE-3	Depth 305.40m Dip -90° Depth 305.40m Dip -90° Depth 303.30m Dip -90°

Table I - 1 - 2 Items Analysed and Numbers

Method Area	Thin Section	Polished Section	Dating (K-Ar Method)	Chemical Analysis (Whole Rock)	Ore Analysis (Au,Ag,Cu,Pb, Zn,Mo,W)	Geochemical Analysis (Ag,Cu,Pb,Zn, Mo,Co,Ni)	X-ray Diffractive Analysis	Resistivity Measure- ment
Balzapamba	8	4	1	1	24	33	20	20
Drill Core	-	10	-	-	42	-	-	9
Chaso Juan	3	2	1	1	10	5	6	-
La Industria -Yatubi	2	-	1	1	6	4	4	-
Tres Hermanas	-	-	-	-	1	-	-	-
Telimbela	3	2	1	1	11	6	7	-
San Miguel	-	-	-	-	3	4	6	-
Las Guardias	2	1	1	1	9	6	5	-
Sicota	-	-	-	-	1	-	1	-
Tambillo	-	-	-	-	1	3	2	-
Tablas Pamba	2	-	-	-	2	3	2	-
Balaron	-	-	-	-	1	1	1	-
Chilcales Alto	-	-	-	-	1	2	1	-
Total	20	19	5	5	112	67	55	29

物理探査の目的は、鉱化作用による異常帯を抽出し、ボーリング調査実施位置の選定に必要な資料を提供することにある。

ボーリング調査の目的は、鉱化帯の地化学的特性及び詳細な地質構造を解明することにより、鉱化帯の形成機構及び賦存状況を考察することにある。

1-3 調査団の編成

調査計画及び折衝と、現地調査に参加した団員は以下のとおりである。

調査計画及び折衝

日本側		エクアドル共和国側	
松川圭男	金属鉱業事業団	Leonardo Elizalde	INEMIN
磯田由幸	外務省	Guillermo Bixby Garcia	INEMIN
篠川秀育	通商産業省	Wilson Santamaria Lopez	INEMIN
貝沼弘康	国際協力事業団	Marco Marin	INEMIN
安達直隆	金属鉱業事業団	Edgar Lopez	INEMIN
		Luis Quevedo	INEMIN

現地調査団

日本側			エクアドル共和国側		
黒田英夫	団長、地質・地化学	大手開発(株)	Vicente Fiallos	地質・地化学	INEMIN
谷口洋文	地質・地化学	大手開発(株)	Guillermo Aguilera	地質・地化学	INEMIN
池田則生	地質・地化学	大手開発(株)	Alfredo Zamora	地質・地化学	INEMIN
田島俊雅	物理探査	大手開発(株)	Xavier Bermudez	地質・地化学	INEMIN
賀来 学	物理探査	大手開発(株)	Edgar Lopez	物理探査	INEMIN
土屋 真	物理探査	大手開発(株)	Cesar Cardenas	ボーリング	INEMIN
工藤康治	ボーリング調査	大手開発(株)	Luis de La Torre	ボーリング	INEMIN
松岡孝志	ボーリング調査	大手開発(株)	Alfonso Vaca	ボーリング	INEMIN
安保 司	ボーリング調査	大手開発(株)			

1-4 調査期間

調査計画及び折衝

昭和63年5月15日～昭和63年5月24日

現地調査

地質調査・地化学探査：昭和63年8月2日～昭和63年9月30日

物理探査 : 昭和63年 8 月17日～昭和63年 9 月30日

ボーリング調査 : 昭和63年 9 月12日～昭和63年12月 1 日

報告書作成

昭和63年10月 1 日～平成元年 2 月10日

第2章 調査地域の地理

2-1 位置及び交通

本調査地域は、エクアドル共和国の中央西部に位置し、ほとんどがボリバール州に含まれる (Fig. 1)。又、精査地区のバルサパンバ地区は、本調査地域のほぼ中央部に位置する (Fig. I-1-1)。

本調査の拠点となったバルサパンバへは、首都のキトから南南西へ約190 km、アンバト (Ambato)、グァランダ (Guaranda) を経て車で約7時間、又、南西のグァヤキル (Guayaquil) から北東へ約130 km、ババオヨ (Babahoyo) を経て車で約3時間で到達する。

本地域の道路網は、東西の横断ルートは発達しているもののほとんどが未舗装道路であり、南北の縦断ルートはグァランダ~Chillanes間のみである。したがって、北部及び南部の準精査地区の調査は、バルサパンバからババオヨ経由でキャンプを移動せざるを得なかった。特に、南部の Tambillo, Tablas Pamba 及び Balaron 地区のアクセスは非常に悪く、馬及び河の渡し籠を利用した。バルサパンバから各地区への距離及び所要時間は以下のとおりである。

Chaso Juan 地区	車 (150km, 3.0時間)
La Industria-Yatubi 地区	車 (125km, 2.5時間)
Tres Hermanas 地区	車 (130km, 2.5時間)
Telimbela 地区	車 (135km, 3.0時間)
San Miguel 地区	車 (45km, 1.0時間)
Las Guardias 地区	車 (5km, 0.5時間)
Sicota 地区	車 (35km, 1.0時間)
Tambillo 地区	車 (70km, 2.0時間)、馬・渡し籠 (1.5時間)
Tablas Pamba 地区	車 (80km, 2.5時間)、馬 (2.0時間)
Balaron 地区	車 (230km, 3.5時間)、馬 (3.0時間)
Chilcales Alto 地区	車 (170km, 2.5時間)

2-2 地形及び水系

本地域は、前述したように西部アンデス山脈の西縁部に位置し、各地区は標高150m~3,200m間に位置する。地域外北東部にはエクアドルの最高峰 Chimboraso (6,267m) が聳え立つ。地形は急峻で、各調査地区における標高差は500m~2,000mに達する。特に、Tambillo 及び Tablas Pamba 地区の山腹斜面又は沢の平均斜度は40度で、後者には標高差にして400m間に滝が連続している沢もある。又、地質の違いによる浸食の程度の差は、地形によく反映しており、花崗岩類では比較的なだらかな

地形を呈するが、Macuchi層では尖った山嶺を呈する。

本地域の主要河川は、アンデス山脈に源を発し、北東～東から南西～西に向かって流れ、これにNW-SE系及びN-S系が錯綜する。又、南部では本地域最大のRio Chimboが南流する。

2-3 気候及び植生

本地域の気候は、資料によると低地では熱帯性多湿気候、高地では温暖乾燥気候である。雨季は通常12月から4月とされているが、本年次の調査期間では全般に気温は低く、雨天の日が多かった。資料によると、年間の温度変化は15～29℃、湿度変化は65～85%である。

最近の月平均気温及び月平均降雨量を次表に示す。

	1984		1985		1986	
	Temperature (°C)	Precipitation (mm)	Temperature (°C)	Precipitation (mm)	Temperature (°C)	Precipitation (mm)
January	20.8	101.7	19.8	155.6	20.4	4.18
February	20.9	406.4	20.4	113.6	21.2	4.42
March	21.1	462.6	20.8	243.2	21.1	6.00
April	20.9	370.4	20.5	124.4	22.3	1.85
May	20.6	18.6	20.4	54.3	20.9	1.65
June	20.5	22.8	20.0	19.0	19.7	—
July	19.1	5.1	19.5	2.1	20.4	0.4
August	20.0	4.2	19.8	13.1	20.1	—
September	20.1	33.5	—	—	20.6	—
October	20.4	33.1	20.1	12.5	20.4	0.5
November	20.1	41.5	19.9	8.1	21.8	0.83
December	20.3	117.5	20.2	151.0	20.1	—

植生は密林が多いが、低地では砂糖きび、オレンジ、バナナ、コーヒー及びカカオ等の農園が、一方高地ではとうもろこし畑あるいは牧場等が、部分的に発達する。

第3章 調査地域の既存地質情報

3-1 既往調査の概要

1975年～1982年、イギリスの技術協力のもとに、本調査地域を含む面積6,100km²の San Miguel プロジェクトが実施された。このうち前半の1975年～1979年には、広域地化学探査が実施され、河川堆積物及び重鉱物からなる2,500個の試料が採取され、原子吸光法でCu, Pb, Zn, Co及びNi, 比色分析法でCxCu及びCxHM*について分析された。試料の分析の結果、38地区でCu, Pb, Zn, Niの地化学異常がそれぞれ検出された。このうち17地区はCu 鉱化帯、6地区はPb-Zn 鉱化帯、3地区はCu-Ni 鉱化帯、1地区はZn 鉱化帯に関連し、残りの11地区は母岩の地化学特性を反映したものであった。1976年～1982年に4地区（バルサパンバ、Chaso Juan, Telimbela, San Miguel）でより詳細な調査及び提言がなされ、他の異常地域の調査実施が提言された。以下に4地区の概要を表に示す。バルサパンバ地区では、地質準精査又は精査により、El Torneado, Osohuayco, Las Juntas, El Cristal, Las Palmas 及び Cochabamba の鉱徴地が抽出された。

Area	Geol. Surv.	Geochem. Surv.				Geophy. Surv.				Remarks	
		Stream Sedi. (sps)		Soil (sps)	Rock (sps)	IP (km)	MG (km)	SP (km)	EM (km)		
		Regional	Detail								
Balzapamba	El Torneado	D	—	759	85	11.2	2.75	5.95	—	60 pits, 18 trenches	
	Osohuayco	SD	—	—		—	—	—	—	—	
	Las Juntas	SD	189	269		379	8.8	—	—	—	—
	El Cristal	SD		—		444	—	—	—	—	—
	Las Palmas	SD		—		—	—	—	—	—	—
	Cochabamba	SD		79		—	390	—	1.05	*	—
Chaso Juan	SD	241	221	2,039	—	31.4	*	—	—		
Telimbela	SD	—	126	814	85	10.2	10.2	—	—	4 drill holes, 9 short holes	
San Miguel	SD	475	—	2,182	54 38(D/D)	14.0	2.0	—	*	1 drill hole	

Abbreviation

- D : Detail
- SD : Semi-detail
- * : Work amounts are unavailable

* CxCu : 冷酸抽出銅

CxHM : ディチゾンによる重金属の分析

バルサパンバ、Chaso Juan 及び Telimbela 地区では、酸性～中性の貫入岩類の中やこれに接触する Macuchi 層の中にポーフイリーカッパー型の銅鉱化作用が認められ、地質精査、土壤地化学探査、物理探査等の実施が提言された。又、バルサパンバ地区では前述の調査と共にボーリング調査(5本、1,125m)の実施も提言された。

San Miguel 地区では、より新期の Lourdes 火山岩類の熱水変質帯中に硫化鉱物の鉱染及び鉱脈が認められ、地質精査、土壤地化学探査の実施が提言されたが、上記の3地区よりは実施の優先順位が低い。

3-2 ポリバル地域周辺の一般地質と地質的位置付け

エクアドルは、地質構造的にはギアナ及びブラジルシールドの西側に狭長に形成された、いわゆるアンデス地向斜の変動帯に属し、Eugeosyncline で特徴づけられる断層及び褶曲運動と激しい火山活動を伴う複雑な地質構造を有する地域である。エクアドル共和国の地質は、先カンブリア系から第四系までの地質から構成される。主要な地質構造は NNE-SSW~NE-SW 方向で、地質構造区は海岸地帯、山岳地帯及び東部地帯の3つに区分され、それぞれ地形上に反映されている。

海岸地帯の地質は中生代の海成層 (Pinón 層)、第三系及び更新統から成る。

山岳地帯の地質は、西から東へ西部山脈、アンデス内陸地溝帯及び東部山脈の3つの単元に区分される。西部山脈は、主として白亜紀後期の火山岩類 (Macuchi 層) が発達する地域であるが、南西部は古生代及び先カンブリア時代の基盤が分布する。アンデス内陸地溝帯は、多くの堆積盆地があり河川や湖沼堆積物及び火山性堆積物を伴っている。東部山脈は、時代未詳(先カンブリア時代～中生代)の変成岩類や火山岩類から成る。

東部地帯の地質は、石炭系～第四系より成る。

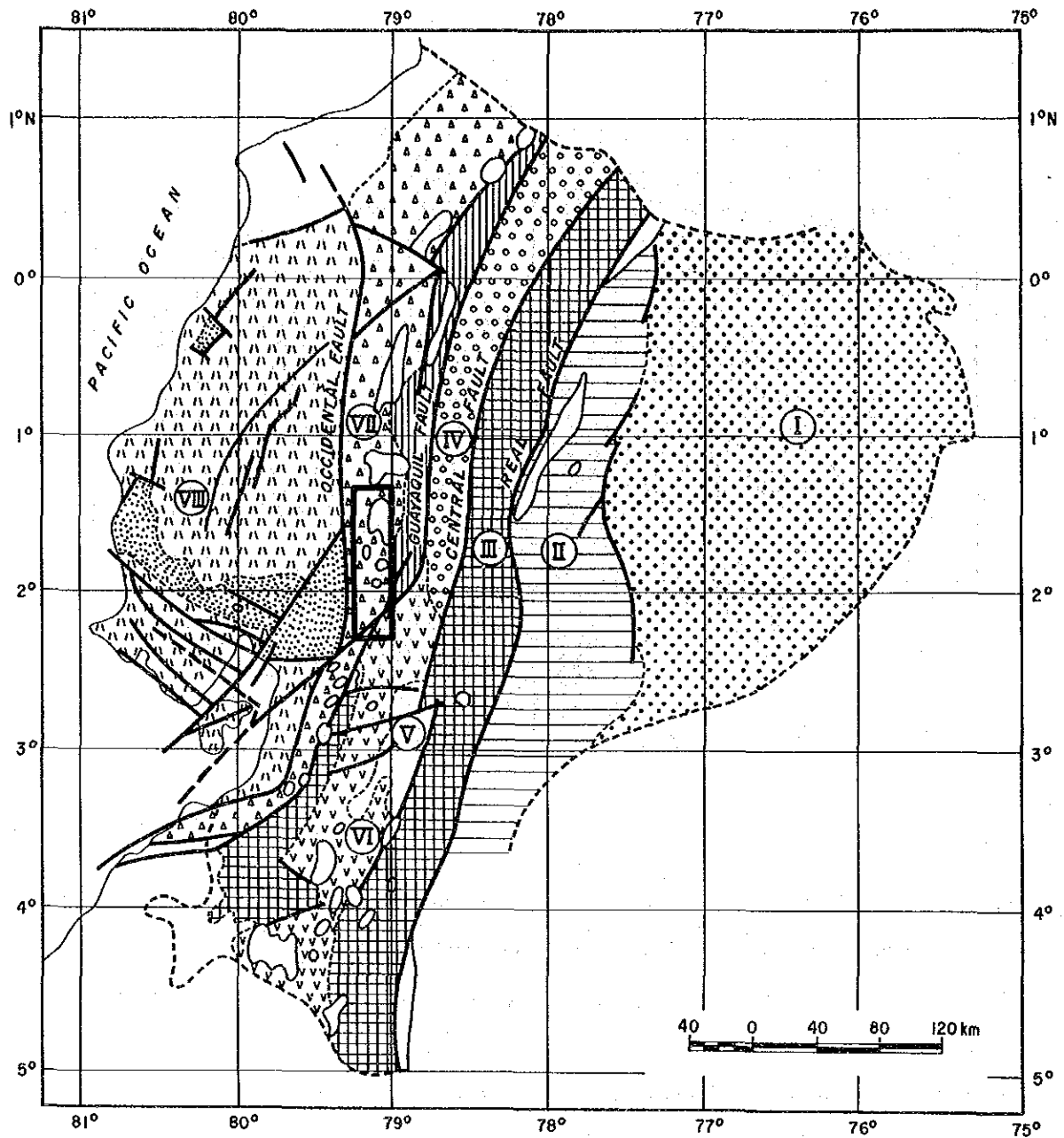
同国の鉱床区は東部及び西部の2つの鉱床区に、更にこれらの2つの鉱床区は8つの鉱床帯にそれぞれ区分される。各鉱床帯の位置を Fig. I-3-1 に、各鉱床帯の特性を下表にそれぞれ示す。

ポリバル地域は、このうち重要なポーフイリーカッパーベルト帯である西部山脈の複背斜-複向斜鉱床帯に属する。本鉱床帯は北はコロンビアの Piedrancha 鉱床/50 Ma (JICA-MMAJ, 1983) に、南はエクアドルの Chaucha 鉱床/Eocene (OMRD, 1972)、更にペルーの Michiquillay 鉱床/46, 21 Ma (Stewart et al. 1974) に、それぞれ連続する。Piedrancha 鉱床近傍には後期の Au 鉱化作用も重複して認められる。又、本地域北方には La Plata 及び Macuchi 塊状硫化鉱床、南方には Portovello 多金属鉱脈鉱床が存在する。本地域はポーフイリーカッパー鉱床等の鉱床賦存の可能性が高い地域である。(Fig. I-3-2)

Topography		Geology	Metallogenetic Province	Metallogenetic Zone	Metallogenetic Sub-Province
Galapagos Islands		Pliocene ~ Quaternary			Cu-Ni-Co Sub-Province of Ocean Floor (Quaternary)
Coast		Pre-Cretaceous ~ Pleistocene (Pinlon Formation)	Occidental (Ocean Crust, Eugeosyncline)	VIII. Coastal Zone	Fe-Ti-Pt Sub-Province of Coast (Jura ~ Early Cretaceous)
Mountain Range	Occidental Cordillera	Cretaceous ~ Paleocene (flysh) (Macuchi Formation)		VII. Anticlinorium-Synclinorium of Occidental Cordillera	Cu Sub-Province of Occidental Cordillera (Cretaceous ~ Miocene)
	Interandean Depression	Neogene ~ Holocene		VI. Catamayo Synclinorium Graben	Polymetallic Sub-Province of High Plateau (Paleocene ~ Quaternary)
				V. Azuay Basin	
		IV. Quito Graben			
	Real Cordillera	Metamorphic Rocks of Paleozoic and Mesozoic	Oriental (Continental Crust, Miogeosyncline)	III. Anticlinorium of Real, Moromoro and Mullepungo Cordillera	Sr-W-U Sub-Province of Real Cordillera (Later Paleozoic)
Orient		Carboniferous ~ Cretaceous		II. Oriental Pre-Andean Zone	Au Sub-Province of Orient Basin (Mesozoic ~ Cenozoic)
		Tertiary ~ Quaternary		I. Iquitos Basin	

ボリバル地域の地質は、主として白亜紀後期の Macuchi 層の塩基性～中性の火山岩類から成り、層厚は約5,000mと見積もられている (MRNE/DGGM (1979, 1982))。これらは酸性～中性の深成岩類により貫入されている。Henderson (1979) は、他地域の Macuchi 層において、上部白亜紀を示す海生の動物化石 (*Inoceramus peruanus*) 及び有孔虫化石 (*Globotruncana* sp.) と、始新世を示す有孔虫化石 (*Nummulites nummulitiformis* Rutten, *Amphistegina* spp.) が同定されていること、K-Ar 法によって 51.5 ± 2.5 Ma (下部始新世) の同位体年代が得られていることを述べている。又、深成岩類に関しては、Las Guardias 岩体から、 19.2 ± 3 Ma と 30.8 ± 1 Ma の K-Ar 同位体年代値が得られている。主要な線構造は Guayaquil-Pallatanga 断層で代表される NNE-SSW～NE-SW 方向である。本地域周辺の地質対比表を Fig. I-3-3 に示す。

本地域の鉱化作用には3つのタイプがある。すなわち、①ポーフイリーカッパー型：貫入岩類中及びこれと接触する Macuchi 層の中に部分的に認められる Cu-Mo 鉱化作用 (バルサパンバ、Chaso Juan、Telimbela 及び Las Guardias 地区)、②鉱脈型：Macuchi 層中の硫化鉱物-石英脈 (El Cristal) 及び Lourdes 層中の硫化鉱物-石英脈 (San Miguel)、③温泉型鉱化作用：Lourdes 層中に認められる酸性変質を伴う赤鉄鉱-シリカシンター網状脈 (San Miguel) や、貫入岩類中の赤鉄鉱-石英網状脈 (La Industria-Yatubi) 等である。



LEGEND











- | | | | |
|-----|---|---|---|
| I |  Iquitos Basin | VII |  Anticlinorium-Synclorium of Occidental Cordillera |
| II |  Oriental Pre-Andean Zone | VIII |  Coastal Zone |
| III |  Anticlinorium of Real, Moromoro and Mullepungo Cordillera | — | Fault |
| IV |  Quito Graben |  | Intrusive rocks |
| V |  Azuay Basin |  | Anticlinal and Synclinal Axis (INEMIN) |
| VI |  Catamayo Synclorium Graben | | |

Fig. I - 3 - 1 Geotectonic and Metallogenic Zone Map of Ecuador

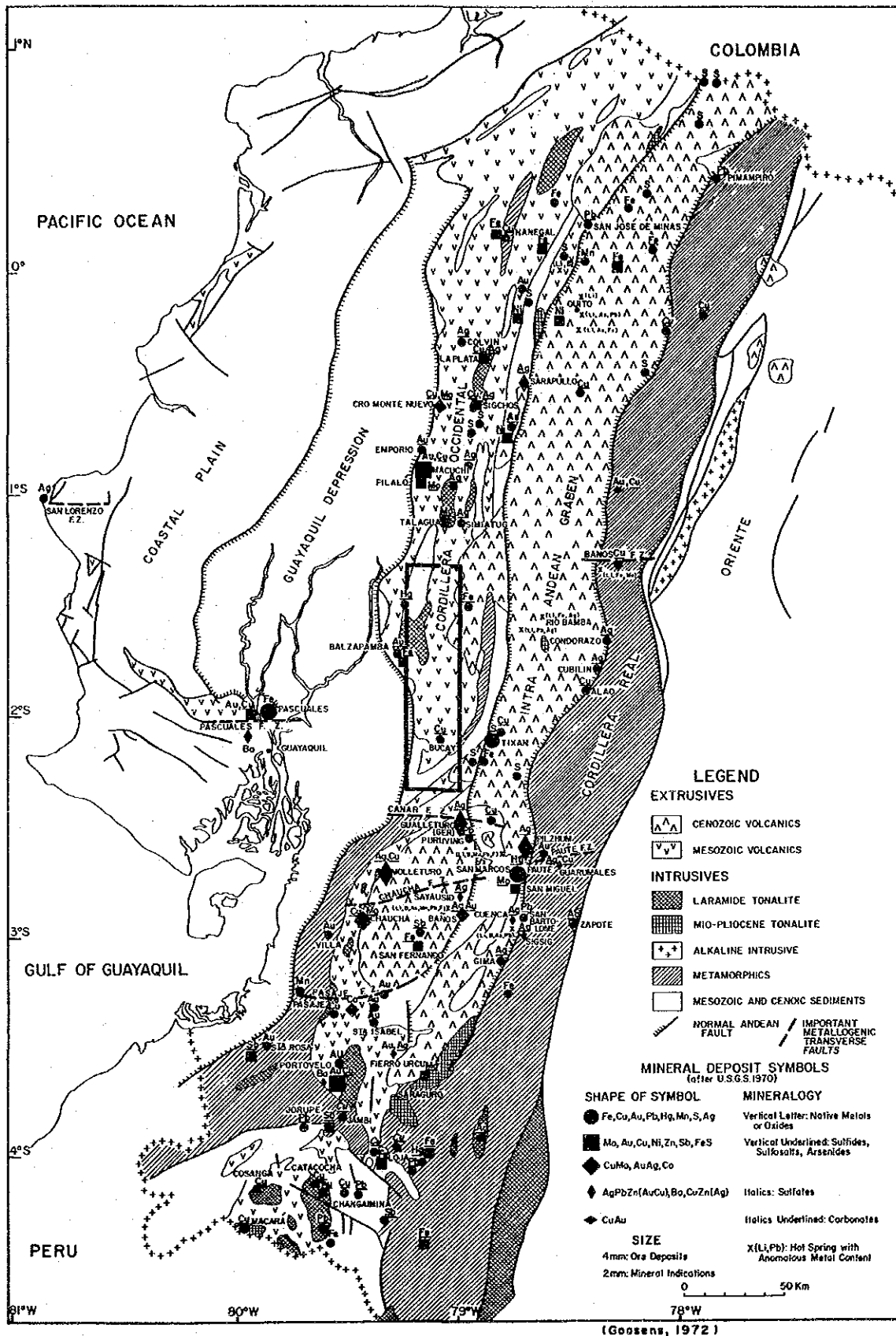


Fig. I - 3 - 2 Metallogenic Map of Ecuador

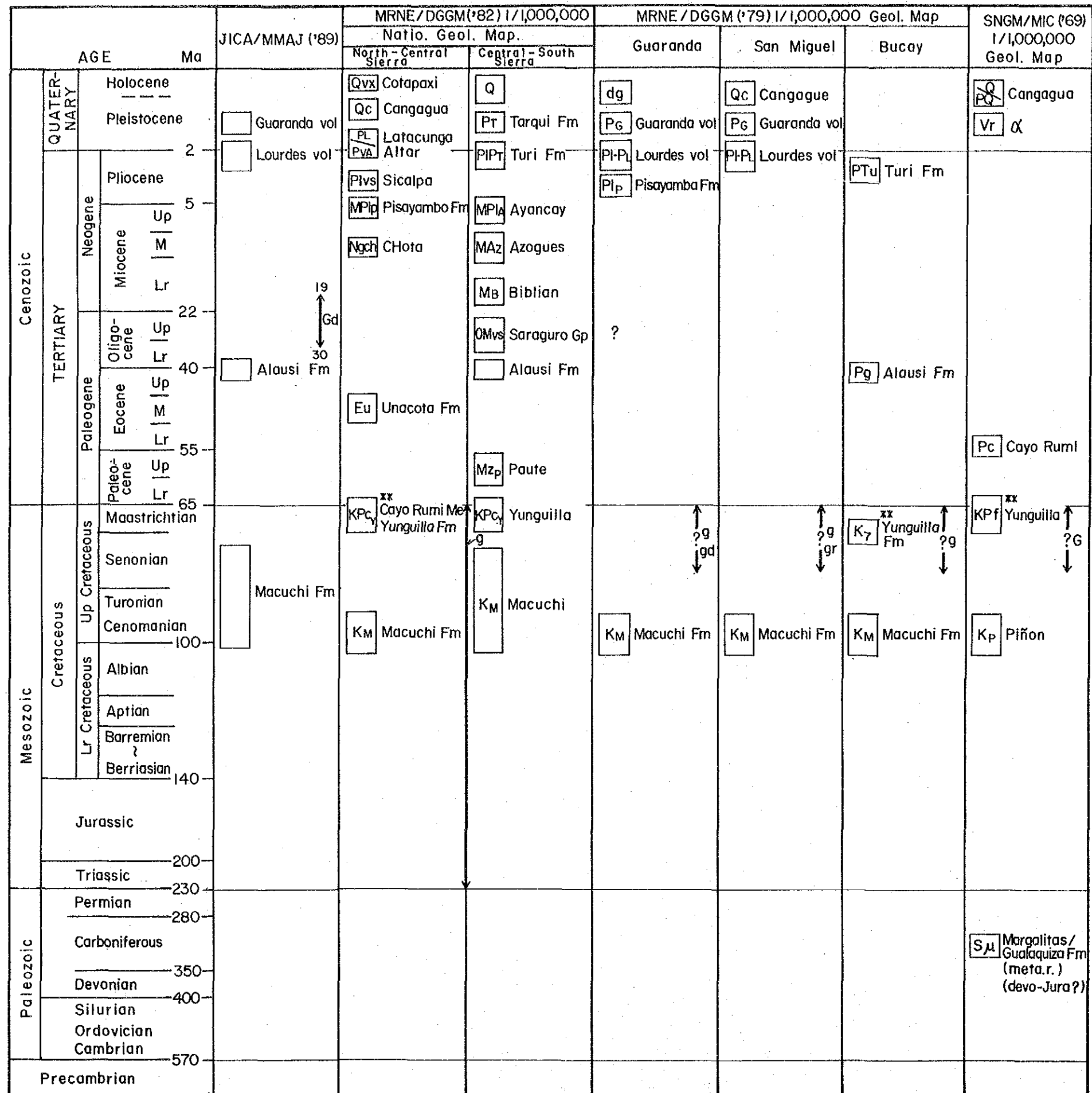


Fig. 1-3-3 Stratigraphic Correlation around the Project Area

3-3 ポリバル地域の鉱業略史

エクアドルにおける鉱業資源の開発は、従来東部・海岸地帯に産する石油の開発に重点が置かれていた。鉱物資源に関しては、同国内には多種多様な金属・非金属鉱物資源が散在し、地質的にも鉱物資源が存在すると言われているが、開発は遅れている。鉱山として開発されたのは、金・銅・鉛・亜鉛脈鉱床の Portovello 鉱山、銅・亜鉛塊状鉱床の La Plata 鉱山及び Macuchi 鉱山くらいで、小規模である。Portovello 鉱山は民間により開発され、粗鉱量は1950年以前、500t/日（金品位10g/t）、1953～1968年の統計80万t以上であったが、不況により1979年以降は政府によって買収された。現在の埋蔵鉱量は25万t（Cu1.09%、Zn1.74%、Au6.8g/t、Ag63g/t）である。La Plata 鉱山の埋蔵鉱量は23.3万tで、品位はCu4.77%、Zn2.35%、Au2.49g/t、Ag39g/tである。Macuchi 鉱山は、1940～1950年Cu精鉱で約26,000tを生産し、埋蔵鉱量は13.9万tである。その他、探鉱中の鉱床として、ポーフィリー銅型（Porphyry Copper）の Chaucha 鉱床があり、同鉱床の埋蔵鉱量は6,000万t、品位はCu0.47%、Mo0.03%である。

同国に対する鉱物資源分野に分ける技術援助としては、国連、イギリス、スペイン、ベルギー、西ドイツ及びイタリアの調査があげられる。このうち、本地域周辺ではイギリスの協力によって、1975年～1982年地質調査、広域地化学探査、物理探査及びボーリング調査が実施された。

第4章 調査結果の総合検討

4-1 バルサパンバ地区

4-1-1 地質構造及び鉱化作用の特性

本地区の地質は、白亜紀後期の Macuchi 層の火山岩類から構成され、これに花崗岩類及び粗面安山岩が貫入している (Fig. I-4-1)。

Macuchi 層は、安山岩質溶岩、同質火山碎屑岩類、含石英安山岩質溶岩及び同質火山碎屑岩類から成り、6部層に細分される。

貫入岩類は、バソリス状の花崗閃緑岩岩体、優黒質閃緑岩小貫入岩体及び粗面安山岩・アプライト岩脈から成る。花崗閃緑岩の同位体年代値は $25.7 \pm 0.9\text{Ma}$ である。

地質構造は、N-S 系の褶曲構造と、NE-SW 系及び NNW-SSE 系の断層構造と、NE-SW 系の鉱化帯及び小貫入岩岩体の伸びの方向が特徴的である。

本地区の鉱化作用は、ポーフィリー・カッパー型・鉱脈型及び温泉型鉱化作用の3つに分類される。最前者には El Torneado, Osohuayco, Las Juntas 鉱化帯、第2者には El Cristal 鉱化帯、最後者には Las Palmas, Cochapamba 変質帯が、該当する (Table I-4-1, Fig. II-1-1)。

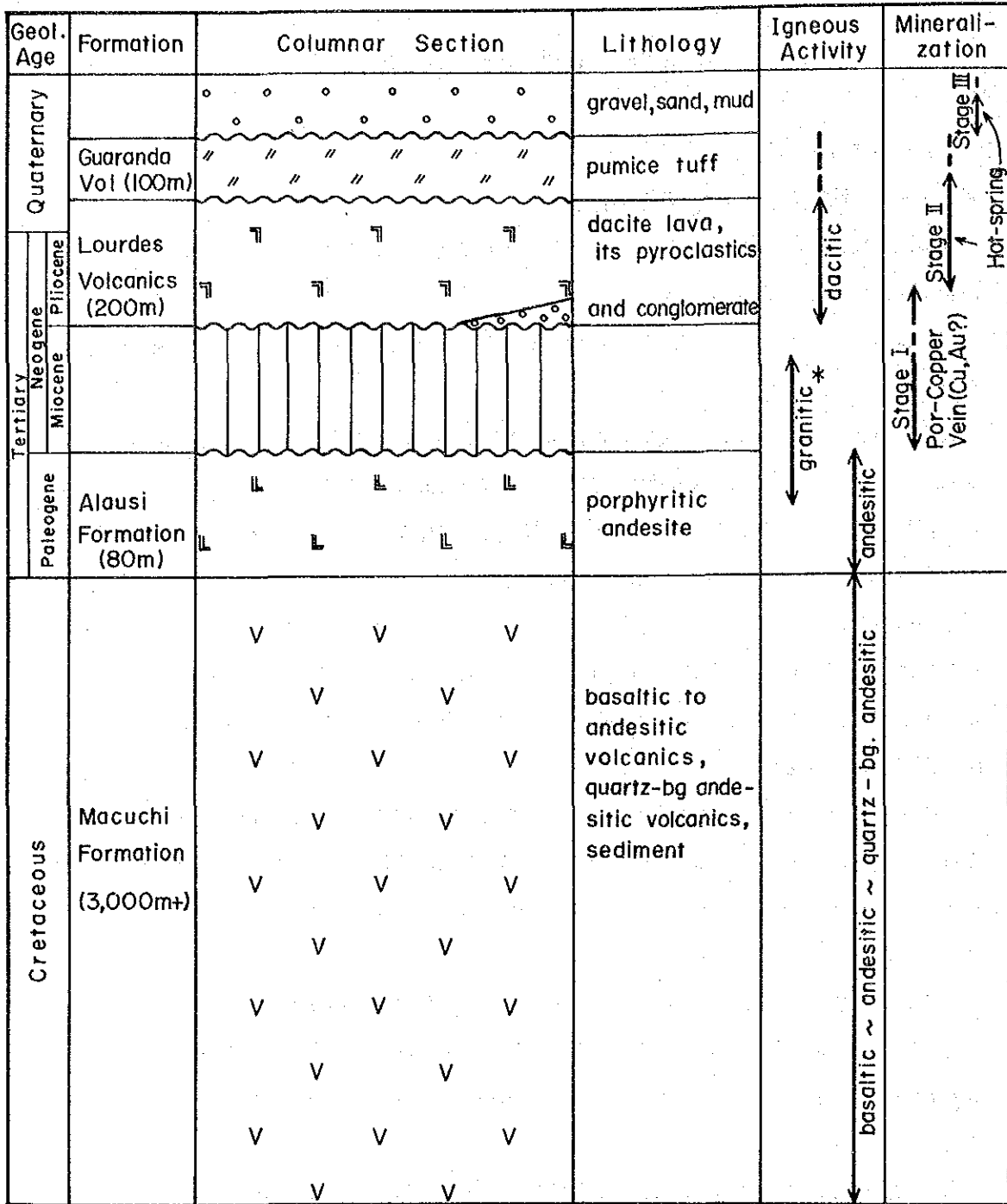
(1) El Torneado 鉱化帯

本鉱化帯は、本地区花崗閃緑岩バソリスの北東周辺部に位置し、約 $400\text{m} \times 400\text{m}$ の範囲に分布する (Fig. II-1-38)。主要な鉱化帯は、NNE-SSW 方向に伸長する5条の黄銅鉱-黄鉄鉱-輝水鉛鉱等の鉱染・網状脈鉱化帯である。産状により鉱染状鉱化帯及び網状脈鉱化帯の2つのタイプに分けられ、前者が後者により切られている。

鉱染状鉱化帯は、花崗閃緑岩の中に黄鉄鉱 > 黄銅鉱・輝水鉛鉱が鉱染状又はフィルム状に存在するものである。母岩の変質は二次黒雲母の生成と弱い緑泥石化である。鉱化帯 B がこれに該当し、黄銅鉱が比較的多く認められる範囲は沢沿いの幅約 20m である。この部分の鉱化帯は $\text{Cu}0.03\%$ である。

網状脈鉱化帯は、主として角礫化した花崗閃緑岩中及び Macuchi 層の中に局部的に認められ、鉱石鉱物及び脈石鉱物が不規則に網状脈を埋めた産状を呈する。鉱石鉱物は黄鉄鉱 > 黄銅鉱・輝水鉛鉱 > 磁鉄鉱・灰重石・磁硫鉄鉱、脈石鉱物は石英、カリ長石、絹雲母、緑泥石、二次黒雲母及び緑レン石が認められる。鉱化帯 A・C・D・E がこれに属する。これらの鉱化帯の規模は、幅 $20 \sim 70\text{m}$ 、延長約 $50 \sim 300\text{m} + \alpha$ で、高品位部の品位は $\text{Cu} : 0.66\%$ である。鉱化帯 A・C・D の鉱石品位は、バラツキがあり、 $\text{Cu}0.01 \sim 0.66\%$ である。鉱化帯 E は黄鉄鉱-緑泥石-石英網状脈である。

(2) Osohuayco 鉱化帯



* Las Guardias batholith (25.7 ± 0.9 Ma) (30.1 ± 1.1 Ma)
 Chaso Juan batholith (20.9 ± 0.7 Ma)
 La Industria batholith (25.5 ± 0.9 Ma)
 Telimbela batholith (19.4 ± 0.6 Ma)

Fig. 1 - 4 - 1 Generalized Stratigraphic Columnar Section in the Project Area

Table I - 4 - 1 Summary of Survey Results with Mineral Showings

Type of Survey	Name of Area Investigated	Area (Km ²)	Geology	Mineralization			Assay Results										Evaluation			
				Name of Zone	Type (Occurrence)	Laterals Extension	Occ. Minerals	Host Rock Alteration	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Mo (%)	W (%)					
Detailed Survey	Balzapamba	36.0	Macuchi Formation of andesite, q-andesite and their pyroclastics, minor calcareous sediments; hornfels near Granodio	El Torneado	Por. Cu (network) (diss)	400x400m	Py, Cp, Moly, Po, Mg, Shee,	granodio, sil, hornfels	0.2	2.0	0.66	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	required further exploration work (geophy. drilling)		
				Osohuayco	Por. Cu (diss)	300x100m	Py, Cp, Moly	granodio, sil, hornfels	Tr	Tr	0.08	0.00	0.00	0.00	-	-	-	required further investigation (geolo, geophy)		
				Las Juntas	Por. Cu-Skarn (vein) (NE-SW/35°S)	350m long 10m wide (max)	Cp, Py, Moly Bn	hornfels sil, skarn	0.4	27.8	2.60	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	very poor interest (no further work)
				El Cristal	Vein (network)	10m wide	Py, lim,	hornfels	0.1	1.1	0.11	0.00	0.03	0.00	0.00	-	-	-	poor interest (no further work)	
				Las Palmas	Hot spring? (diss) (network)	30m (+) long, 17m wide	Py, (Op)	hornfels sil, argill, chl,	0.1	2.1	0.16	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	poor interest (no further work)
Semi-detailed Survey	Chazo Juan		Macuchi Formation of hornfels, andesite	Cochapamba	Hot spring	-	-	volcanics extensive sil,	0.3	7.6	0.60	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	very poor interest (no further work)		
				North zone	Por. Cu (network) (diss)	10 50m x3 pla	-	Tr	1.3	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	required further investigation, especially, for Au-qtz network zone (geolo, geochemi, geophy, drilling)		
				East zone	(network) (diss)	150 300m x4 pla	Cp, Py, Moly, (Shee)	granodio sil, chl, biotite, argill	0.1	1.7	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	required further exploration (geolo, geochemi and geophy)	
				South zone	(network) (diss)	20 200m x3 pla	limo, goe	granodio sil,	Tr	Tr	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-	no interest (no further work)
				Northern Outside	Vein? (network)	30x150m (?)	(?)	qtz-dio sil, chl, argill	Tr	Tr	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
Detailed Survey	La Industria		Intrusives of: leuco granodio, melano dio	Northeast	Por. Cu (diss)	100 300m x4 pla	(Cp), Py	qtz-dio sil, chl, argill	Tr	Tr	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	no interest (no further work)		
				Southwest	Hot spring? (network)	not defined (600x700m)	Gossan floats of hem-lim-Go	qtz-dio sil	Tr	Tr	0.8	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	no interest (no further work)	
	Tres Hermanas		Macuchi Formation of basalt, andesite and pyroclastics		(diss)	very local		ande	0.1	4.6	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	no interest (no further work)		

Type of Survey	Name of Area Investigated	Area (Km ²)	Geology	Mineralization			Assay Results										Evaluation
				Name of Zone	Type	Lateral Extension	Constituent Minerals	Host Rock Alteration	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Mo (%)	W (%)		
Semi-detailed Survey	Telimbela		Macuchi Formation of hornfels, basaltic ande, andesite Intrusives of qtz-diorite, dio and qtz-porphry (later than qtz-dio)	Zone I (Main)	Por. Cu (network) (diss)	500x350m	Cp, Py, (Moly)	qtz-dio	Tr	Tr	1.60	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	required further investigation (with expansion of area)
				Zone II (E-ext of Main)	(network) (diss)	200 (?) x400m	Cp, Py, Moly,	qtz-dio, sil, chl	Tr	Tr	0.37	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	required further investigation (with expansion of area)
				Zone III	(network) (diss)	200 (?) x450m	Py,	qtz-dio	Tr	Tr	0.04	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	required further investigation (with expansion of area)
				Zone IV (SW ext of III ?)	(network) (diss)	150m wide	Py, Cp, Moly,	qtz-dio	Tr	Tr	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	required further investigation (with expansion of area)
	San Miguel		Macuchi, Formation of andesite, qtz-andesite Laurdes Volcanics of decite and pyrochastics Guaranda Volcanics of pumice tuff		Hot spring (diss and vein)	local zones along NW-SE fault (within 1.4km)	Cp, Py,	Laurdes Vol	Tr	Tr	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	required further investigation (as hot spring type Au mineralization)	
	Sicota		granodio	(diss)	30m wide	Py,	granodio	0.2	3.9	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	no interest (no further work)	
	Las Guardias		Macuchi Formation of hornfels, qtz-andesite, andesitic pyroclastics Intrusives of leuco granodio and melano diorite	North Central South	Por. Cu (diss) (network) (network) (diss) (diss)	50x50m 500x50m 400 x100m (?)	Py, Cp, Moly Cp, Py, Cp, Py, Moly	granodio with hornfels - do - granodio	Tr	Tr	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	required further investigation (geolo, geophy)
	Tambillo		Macuchi Formation of andesite and their pyroclastics, qtz-andesite, granite porphyry dyke		(diss)	3 small, localized	Cp, Py	andesite sil, chl	Tr	Tr	0.07	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	poor interest (no further work)
	Tablas Pamba		Macuchi Formation of basalt, basaltic andesite and their pyroclastics partially hornfels Small stock of diorite	West of Tablas Pamba Others	(diss) (diss)	300x250m very localized zones	Cp, Py Py, minor, Cp	hornfels, sil, basalt, chl basaltic ande	Tr	Tr	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	poor interest (no further work)
	Balaron		Macuchi Formation of basalt, basaltic andesite andesite Alausi Formation of por ande		(diss/vein)	very local	Py, malachite,	basalt, ande	0.1	7.3	1.47	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	no interest (no further work)
	Chilcales		Macuchi Formation of basalt, basaltic ande, andesite and their pyroclastics		(diss and network)	very local	Py,	andesite sil, chl	Tr	Tr	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	no interest (no further work)

本鉬化帯は、本地区南部の花崗閃緑岩及び Macuchi 層の接触部付近に胚胎する NE-SW 方向に伸長する 3 条の鉬化帯である。花崗閃緑岩中には、黄銅鉬-黄鉄鉬-緑泥石-石英網状脈及びこれらの硫化鉬物の鉬染帯が発達する。Macuchi 層の中には、黄銅鉬-黄鉄鉬-斑銅鉬-輝銅鉬-グロッシュラー-石英網状脈が発達する。鉬化帯露頭の規模は、花崗閃緑岩中のものは、幅約100m、延長約200mで、Macuchi 層中のものは、幅約10m、延長約200m の鉬化帯のほか断続的な小露頭がある。

(3) Las Juntas 鉬化帯

本鉬化帯は、花崗閃緑岩及び石英閃緑岩中の黄銅鉬-黄鉄鉬鉬染帯と、Macuchi 層中の黄鉄鉬-石英網状脈帯より成るが、小規模である。

(4) El Cristal 鉬化帯

本鉬化帯は、Macuchi 層中に形成された E-W 系の黄鉄鉬・褐鉄鉬>黄銅鉬-石英脈である。規模は、幅17m、延長約30m である。

(5) Las Palmas 変質帯及び Cochapamba 変質帯

両変質帯は、広範囲に広がり、後述する San Miguel 地区で区分された熱水活動の第II期以降に対比される主として後期の温泉活動に伴う酸性変質帯(石英-カオリン-ハロイサイト)よりなる。場所によってポーフィリー-銅-鉬化作用と関係するとみられる黄鉄鉬鉬染と熱水活動の第II期に対比される赤鉄鉬-石英-粘土帯が共存している。

4-1-2 帯磁率測定結果・地化学探査結果・物理探査結果と鉬化作用との関係

帯磁率測定の結果、上記の各鉬化帯において、鉬化作用に起因する消磁現象の低帯磁率異常帯が、鉬化帯の分布と一致して抽出された(Fig. II-1-6)。これらの異常帯のうち、El Torneado 及び Osohuayco 鉬化帯に抽出された異常帯の規模は広い。又、変質帯にも低帯磁率異常帯が変質帯の分布と一致して抽出された。その他、Macuchi 層の凝灰岩及び堆積岩類は、一般に低帯磁率を示す。

岩石地化学探査では、因子分析の結果、鉬化作用に関連すると考えられる因子及び母岩の特性を反映していると考えられる因子等が得られた。特に El Torneado, Osohuayco, 及び Las Juntas 及び El Cristal 鉬化帯に、Cu 鉬化作用に関連する因子及び Mo 鉬化作用に関連する因子が抽出された。これらの鉬化帯周辺には、過去の河川堆積物・土壌・岩石地化学探査によれば、Cu 異常帯及び Mo 異常帯が抽出されている(Fig. II-1-7)。

物理探査の結果、各鉬化帯及び変質帯の分布域に、低比抵抗帯が抽出された(Fig. II-1-33)。比抵抗は地質を反映して変化し、Macuchi 層は1,000~1,500Ωm、花崗岩類は5,000~10,000Ωm であるが、鉬化帯及び変質帯の分布域では100~500Ωm 程度である。El Torneado 鉬化帯の傾斜は南東に約60°傾斜しているが、鉬化帯下部に検出された低比抵抗帯のうち一部を除き、深部では1,000

Ωm 以上となる。この理由として浅部の低比抵抗帯は深部では珪化作用の影響により消去され不明瞭となったと考えられる。Osohuayco 鉱化帯の下部には比抵抗値159~788 Ωm の低比抵抗帯が傾斜約60°を示し、約500m南東下部へ連続することが検出された。

4-1-3 ボーリング調査

ボーリング調査を実施した鉱化帯 A の露頭における規模は、幅約50m、延長200m+ α である。本調査の結果、鉱化帯 A の広がりとして下部に潜頭鉱化帯が存在することなどが確認された。

鉱化帯 A は、南東方向に傾斜60°で下方に連続し、下部の方が地表部に比べ規模が大きくなっている。規模は北東部の露頭付近で幅約30~50m、これより約120m離れた南東部になると幅約100mである。鉱化帯の品位は、網状脈の中や母岩の中に鉱石鉱物が普遍的に認められるが、全体的には低く、Cu 品位0.01~0.21%である。

鉱化帯 A の花崗閃緑岩の角礫化帯における鉱物の共生関係は、不均質である。黄鉄鉱は花崗閃緑岩の角礫化帯全体に普遍的に存在するが、黄銅鉱は部分的に濃集しバラついている。輝水鉛鉱は巨視的には鉱化帯のより外側又は上部に偏在する。又、変質については、絹雲母化と珪化を主体とする白色変質は地表部付近に顕著に発達する。下部になると、脈際変質のみで緑泥石化、珪化が卓越する。

下部の潜頭鉱化帯は、鉱化帯 A より約150~200m下位に存在する網状脈鉱化帯である。鉱石鉱物は、黄鉄鉱>黄銅鉱・輝水鉛鉱>灰重石・磁硫鉄鉱・磁鉄鉱などがあり、脈石鉱物は石英・緑泥石・二次黒雲母が多い。本鉱化帯の幅は約60m、Cu 品位0.04~0.36%である。

4-1-4 考察

本地区の鉱化作用は、ポーフイリー・カッパー型・鉱脈型・温泉型の3つのタイプが存在する。ポーフイリー・カッパー型の El Torneado・Osohuayco 鉱化帯において、鉱化帯が NNE-SSW~NE-SW 方向に伸長している。この方向は、ポリバル地域北部及び南部に存在する NNE-SSW~NE-SW 系の構造線の方向と一致する。この事実は、バルサパンバ地区の花崗閃緑岩バソリスが巨視的に NE-SW 方向に分布することと合わせ、構造運動と花崗閃緑岩の貫入、更にその後の熱水活動とに何らかの関連があったことを示唆する。又、本鉱化帯が花崗閃緑岩バソリスの周縁部に分布し、近接する Macuchi 層まで鉱化が及んでいる事実は、花崗閃緑岩バソリス周縁部が上昇熱水中からの鉱石鉱物などの沈殿・晶出のための好条件を具備していたことを指示する。

ポリバル地域の熱水活動は、次項に述べるように大局的に3回の活動(Fig. I-4-1)が考えられ、ポーフイリー・カッパー型及び鉱脈型は硫化鉱物を伴う第1期の熱水活動のものである。El Torneado 鉱化帯において、鉱染状鉱化帯を網状脈鉱化帯が切っていることから、本地区の鉱化作用

は、更に鉍染状鉍化作用と網状脈鉍化作用の2期に細分される。網状脈鉍化帯において、絹雲母化と珪化を主体とする母岩の白色変質帯を硫化鉍物-緑泥石-石英網状脈が切る産状、さらには輝水鉛鉍を伴う後期の石英脈が黄銅鉍-黄鉄鉍-緑泥石脈を切る産状、網状脈中に磁鉄鉍が硫化鉍物と共生する産状等が認められる。これらの事実は、網状脈鉍化作用においても複数の熱水活動があり、熱水の化学組成の変化や還元環境から酸化環境への変化が存在したことを物語っている。又、El Torneado 鉍化帯の網状脈帯の中に灰重石が存在する。これは White et al (1981) が分類した石英モンゾニ岩タイプのポーフィリー-モリブデン型鉍化作用の鉍石鉍物の共生関係と同一で、注目すべき事実である。しかしながら、本鉍化帯における銅とモリブデン鉍化作用との関係は、含銅二次黒雲母-緑泥石-石英脈を含モリブデン石英脈が切る産状や、白色変質帯中の輝水鉛鉍鉍染帯を黄銅鉍-黄鉄鉍-緑泥石-石英脈が切る産状も存在し、今後の検討を要する。地化学探査による、銅鉍化作用及びモリブデン鉍化作用に関連する両因子の抽出は、複数の鉍化ステージを示唆するものと考えられる。

鉍脈型鉍化作用のうち、El Cristal 鉍化帯の鉍化作用と、San Miguel 地区の鉍化作用が同時期のものか、別の時期のもののかは、更に検討する余地が残されている。

Las Palmas 及び Cochapamba 変質帯には、カオリン等の酸性変質、溶脱性珪化及び部分的に分布する赤鉄鉍-(シリカシンター)-粘土網状脈帯などが認められる。これは、San Miguel 地区の Lourdes 火山岩類に酸性変質を及ぼしたものと酷似し、ボリバール地域の熱水活動の第II期以降に相当するものとみられる。さらに Las Palmas 変質帯の外縁部では、未変質の母岩の中に水平方向に広がるこの変質帯が存在し、温泉活動における側方流の痕跡も保存されている。

4-2 その他の地区

4-2-1 地質構造及び鉍化作用の特性

ボリバール地域の地質は、白亜紀後期の Macuchi 層の火山岩類及びこれに貫入する第三紀花崗岩類から主として構成される。本地域の中央東部にはこれらを不整合に被覆し、鮮新世~更新世の Lourdes 火山岩類、第四紀の Guaranda 火山岩類が分布する (Fig. I-4-1)。鉍化作用は、ポーフィリー-銅型、鉍脈型、温泉型鉍化帯が存在する (Table I-4-1)。各地区の地質構造及び鉍化作用の特性は次のとおりである。

(1) Chaso Juan 地区

本地区の地質は、Macuchi 層の安山岩起源のホルンフェルス及びこれを貫く角閃石-黒雲母花崗閃緑岩バソリス、優黒質閃緑岩・石英閃緑岩岩脈より成る (Fig. II-2-1)。角閃石-黒雲母花崗閃緑岩の同位体年代値は 20.9 ± 0.7 Ma である。鉍化作用は、黄銅鉍-黄鉄鉍-輝水鉛鉍鉍染及び細脈帯から成るポーフィリー-銅型鉍化帯がある。鉍化帯は、花崗閃緑岩バソリス中及び周縁部

に胚胎され、本地区北部、東部及び南部に分布する (Fig. II-2-1)。北部鉍化帯は、San Pablo 沢支流に、幅10~15m のものが3箇所存在する。東部鉍化帯は Araloma 沢中流及び支流に、幅150~300m の鉍化帯が4箇所存在する。南部鉍化帯は、Mulidiahuan 部落北部に、幅20~200m のものが3箇所存在する。鉍石分析結果は、最高 Au1.5g/t, Ag160.9g/t, Cu9.03%, 代表的品位 Ag1.2~1.8g/t, Cu0.24~0.44%を示す。本地区の鉍化帯の伸びの方向は、過去の物理探査(IP)調査結果及び帯磁率測定結果を総合し、N-S系である。又、本地区の鉍化帯の特徴は、黄銅鉍/黄鉄鉍比が他地区に比べて高いこと、灰重石の報告があることなどである。

(2) La Industria-Yatubi 地区

本地区の地質は、石英閃緑岩を主体とするバソリスとこの中の Macuchi 層の安山岩起源のホルンフェルスのゼノリスから成る (Fig. II-2-4)。鉍化作用は、ポーフイリーカッパー型と San Miguel 地区に類似した温泉型赤鉄鉍-石英網状脈鉍化帯がある。ポーフイリーカッパー型鉍化帯は、本地区北東部の石英閃緑岩中に幅100~300m の規模で4箇所認められる。鉍化作用は、黄銅鉍-黄鉄鉍鉍染と粘土化-珪化帯中の黄鉄鉍鉍染がある。鉍石分析の結果は、Cu0.05%である。温泉型赤鉄鉍鉍化帯は、石英-カオリン-ハロサイトの酸性変質を伴う赤鉄鉍-褐鉄鉍-石英網状脈帯で、南西部に600×700m の範囲にこの鉍石が分布する。鉍石分析の結果は、Au0.3g/t, Ag16.3g/t, Cu0.03%である。

(3) Tres Hermanas 地区

本地区の地質は、Macuchi 層の玄武岩溶岩、玄武岩質安山岩溶岩及び細粒凝灰岩の互層から成る。鉍化作用は、玄武岩質安山岩中の小規模な黄銅鉍-黄鉄鉍鉍染及び細脈鉍化帯がある。

(4) Telimbela 地区

本地区の地質は、Macuchi 層の玄武岩質安山岩、安山岩起源のホルンフェルスとこれに貫入する石英閃緑岩バソリス、石英斑岩ストック、優黒質閃緑岩・斑状石英閃緑岩岩脈などから成る (Fig. II-2-7)。石英閃緑岩の同位体年代値は、 19.4 ± 0.6 Ma である。鉍化作用は、黄銅鉍-黄鉄鉍-輝水鉛鉍鉍染及び細脈帯から成るポーフイリーカッパー型鉍化帯がある。鉍化帯は、巨視的に、石英閃緑岩バソリスの周縁部及び周囲の Macuchi 層の中に胚胎され、本地区中部及び南部に分布する。中部には、2つの鉍化帯があり、それぞれの規模は500m×350m と200m×400m である。南部には、2つの鉍化帯があり、それぞれの規模は200m×450m と幅150m である。中部及び南部の鉍化帯共、NE-SW 方向に伸長する。鉍石品位は最高 Cu1.60% である。

(5) San Miguel 地区

本地区の地質は、Macuchi 層の火山岩類を基盤とし、その上位に鮮新世~更新世の Lourdes 火山岩類の石英安山岩・同質火砕岩類及びこれらを被覆する第四紀の Guaranda 火山岩類の軽石凝灰岩が分布する (Fig. II-2-9)。鉍化作用は、黄銅鉍-黄鉄鉍網状石英脈鉍化帯と赤鉄鉍-シリカシ

ンター網状脈温泉型鉱化帯とがある。これらの鉱化帯は NNW-SSE 系の断層帯の中に雁行状に胚胎される。前者の主要鉱化帯は約250m 追跡され、鉱石品位は Cu0.01%である。本断層帯には、上記2つの熱水活動の産物と金属成分を含有しない温泉活動による酸性変質帯が重複している。

(6) Las Guardias 地区

本地区の地質は、安山岩起源のホルンフェルスを主体とする Macuchi 層とこれに貫入する花崗閃緑岩バソリス、優黒質閃緑岩ストックより成る (Fig. II-2-12)。鉱化作用は、黄銅鉱-黄鉄鉱-輝水鉛鉱鉱染及び細脈鉱化帯がある。鉱化帯は、花崗閃緑岩バソリスの中及び周縁部に胚胎され、本地区北部、中部及び南部に分布する。北部の鉱化帯には幅50m のものが2箇所認められる。中部の鉱化帯は、50m×350m の規模で、南部鉱化帯は100m×400m である。鉱石品位は Ag0.6g/t, Cu0.09%, W0.01%である。

(7) Sicota 地区

本地区の地質は、花崗閃緑岩と沢沿いに部分的に分布する第四紀礫岩層から成る。鉱化作用は、花崗閃緑岩中の黄鉄鉱鉱染帯と礫岩層中の黄鉄鉱-粘土帯がある。後者の産状は礫の間隙を黄鉄鉱と粘土が充填したものである。

(8) Tambillo 地区

本地区の地質は、安山岩溶岩を主体とする Macuchi 層とこれに貫入する花崗斑岩から成る。鉱化作用は、小規模な鉱化帯が3箇所認められる。Palmar 沢の鉱化帯は、花崗斑岩及び安山岩に胚胎する幅200m の黄銅鉱-黄鉄鉱鉱染帯で、Placer 沢の鉱化帯は幅100m の黄銅鉱-黄鉄鉱鉱染帯及び幅300m の黄鉄鉱鉱染帯で、安山岩中に胚胎される。

(9) Tablas Pamba 地区

本地区の地質は、安山岩溶岩を主体とする Macuchi 層とこれに貫入する優黒質閃緑岩ストックから成る。鉱化作用は、安山岩中に胚胎される黄銅鉱-黄鉄鉱鉱染帯及び黄鉄鉱鉱染帯が認められる。前者は本地区西部に300m×250m の規模で、後者は北部に200m×500m のものが存在する。

(10) Balaron 地区

本地区の地質は、Macuchi 層の玄武岩、安山岩溶岩とこれを不整合に被覆する Alausi 層の斑状安山岩より成る。鉱化作用は、本地区南部の鉱染状の孔雀石を伴う玄武岩転石及び南西部の不毛石英脈が認められる。

(11) Chilcales Alto 地区

本地区の地質は、主として Macuchi 層の安山岩溶岩より成り、鉱化作用は、地区南部の黄鉄鉱鉱染・細脈帯及び石英網状脈が認められる。

4-2-2 帯磁率測定結果・地化学探査結果と鉱化作用との関係

帯磁率測定結果では、鉱化作用に伴う消磁現象による低帯磁率異常帯の規模が把握された。特にポーフイリーカッパー型鉱化作用の認められる Chaso Juan 地区で $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 、Telimbela 地区で NE-SW 系の $2\text{ km} \times 750\text{ m}$ の異常帯が抽出された。Las Guardias 地区の異常帯の規模は、それ程広くはない。又、温泉型鉱化作用が認められる La Industria-Yatubi 地区で $500\text{ m} \times 200\text{ m}$ 、San Miguel 地区で NNW-SSE 方向に伸びる $2.5\text{ km} \times 500\text{ m}$ の低帯磁率異常帯が抽出された。

岩石地化学探査結果では、バルサバンバ地区同様、因子分析を行なった結果、Cu 鉱化作用及び Mo 鉱化作用を特徴づける因子の高～中得点帯が、Chaso Juan、Telimbela 及び Las Guardias 地区に抽出された。又、La Industria-Yatubi 及び San Miguel 地区には、別のステージの温泉型鉱化作用を示唆する因子が抽出された。

4-2-3 考察

全調査地区を包含するポリバール地域の構造発達及び熱水活動について考察する。

白亜紀後期に深海成の環境下で形成した Macuchi 層は、始新世～漸新世にアンデス造山運動を被った。エクアドルにおける造山運動は、NNE-SSW～NE-SW 系の横ズレを主体とした断層運動、同系統の褶曲運動及び深成活動から成る (MRNE/CGGM, 1982)。しかしながら、本プロジェクト地域の深成活動は、より後期の漸新世～中新世に貫入した N-S 方向の分布を有する花崗岩類で特徴づけられる。この N-S 系は、新第三紀以降の比較的新しい構造運動によるものか、あるいは基盤構造の再運動によるものかは不明である (MRNE/DGGM, 1982)。

引き続き中新世～更新世に熱水活動が生じた。鮮新世以降の構造として、NNW-SSE 系及び NNE-SSW～NE-SW 系の垂直方向の転移を示す断層運動と、褶曲運動があげられる。

本地域に分布するポーフイリーカッパー型・鉱脈型・温泉型鉱化作用及び変質作用等の熱水活動を考察する上で、重要な事実は次のとおりである。

- ① ポーフイリーカッパー型鉱化帯の母岩となっている花崗岩類の同位体年代値は、 $19\sim 30\text{ Ma}$ で、これに貫入する粗面安山岩にも鉱化が及んでいる。
- ② San Miguel 地区付近に分布する鮮新世～更新世の Lourdes 火山岩類中に、(i) 鉱脈型鉱化帯、(ii) 酸性変質を伴う温泉型鉱化帯、(iii) 金属成分を含有しない酸性変質を伴う温泉変質帯が存在する。

本地区の最上位に分布する更新世の Guaranda 火山岩類に (iii) に伴う熱水変質が認められ、(ii) までの変質は及んでいない。又、(i) の鉱化帯を (ii) が切る産状が存在する。この事実から、活動時期は (i) → (ii) → (iii) の順序である。

これらの事実から、ポリバール地域の熱水活動は、大局的に次の 3 回が考えられる。

第 I 期：硫化鉱物の沈殿・晶出を伴う熱水活動；これには、ポーフイリーカッパー型及び鉱脈型

鉍化帯が該当する。この熱水活動時期は、①、②の事実から、中新世～鮮新世が考えられる。しかしながら、ポーフイリーカップ型鉍化帯が花崗岩類の中に存在すること、鉍脈型鉍化帯は花崗岩類と無関係に、例えば San Miguel 地区では、NNE-SSW～NE-SW 系断層の再運動に伴う共役断層とみられる NNW-SSE 系断層帯の中に存在する。このことから、ポーフイリーカップ型鉍化帯は、花崗岩類の後火成活動として中新世に形成され、鉍脈型鉍化帯は構造運動に伴う活動として鮮新世に形成された可能性がある。

第Ⅱ期：酸性変質と赤鉄鉍の沈澱を伴う熱水活動；これは San Miguel, La Industria-Yatubi 地区に存在する赤鉄鉍-石英網状脈の温泉型鉍化作用である。活動時期は、②の事実から鮮新世～更新世とみられる。

第Ⅲ期：金属成分を含まない酸性変質を伴う熱水活動；これは、San Miguel 地区周辺に点在するカオリンを主体とする白色変質帯である。この活動は、San Miguel 地区において更新世の Guaranda 火山岩類に変質を及ぼしていることから、完新世の温泉活動とみられる。

以上のように、ポリバール地域の熱水の性質は、初期の種々の金属成分を含有し硫黄フィガシティの高い熱水から、硫黄を含有せず鉄成分のみ含有する酸性熱水へ、そして最後の金属成分を含有しない酸性熱水へと変遷したものとみられる。

本調査地域における鉍化帯の方向性は、Chaso Juan 地区が N-S 系、Telimbela 地区が NE-SW 系、Balzapamba 地区が NNE-SSW 系、Las Guardias 地区が NW-SE 系、San Miguel 地区が NNW-SSE 系を示し、エクアドルの主要構造線の方向及びそれと共役な方向とほぼ一致する。これは、探査上重要な事実で、今後火成活動、構造運動、熱水活動との関係について、更に検討する必要がある。

第5章 結論及び提言

5-1 結論

5-1-1 バルサパンバ地区

本地区の地質は、白亜紀後期の Macuchi 層と、それに貫入する漸新世～中新世の花崗岩類から成る。

本地区の鉱化作用は、主として花崗岩類の中及びそれに近接する Macuchi 層に胚胎するポーフイリー銅型鉱化作用、Macuchi 層に認められる鉱脈型鉱化作用及び温泉型鉱化作用の3つに分類される。最前者には El Torneado, Osohuayco, Las Juntas 鉱化帯、第2者には El Cristal 鉱化帯、最後者には Las Palmas, Cochapamba 変質帯が、それぞれ該当する。ポーフイリー銅型の El Torneado 鉱化帯では、400m×400m の範囲に鉱化露頭が分布し、幅20～70m の NNE-SSW 方向に伸長する5条の主要鉱化帯がその中に存在する。これらの鉱化帯は、鉱染状鉱化帯と網状脈鉱化帯とに分類され、ボーリング調査の結果、鉱化帯 A は南東方向に約60°で下方に連続し、下部の方が規模が大きくなっていること、及び鉱化帯 A の下盤に潜頭性網状脈鉱化帯が存在することが確認された。鉱石品位は、鉱化帯 A が Cu0.09～0.66%、鉱化帯 B・D が Cu:0.03%、潜頭性鉱化帯が Cu0.01～0.36%である。

帯磁率測定の結果、上記の各鉱化帯には、鉱化作用に伴う消磁現象による低帯磁率異常帯が鉱化帯の分布に一致して抽出された。これらの異常帯のうち El Torneado 及び Osohuayco 鉱化帯に抽出された異常帯の規模が広い。

地化学探査の結果、El Torneado, Osohuayco 及び Las Juntas 鉱化帯に、Cu 鉱化作用に関連する因子及び Mo 鉱化作用に関連する因子が抽出された。

物理探査の結果、各鉱化帯及び変質帯の分布域に、低比抵抗帯が抽出された。特に El Torneado 鉱化帯下部及び Osohuayco 鉱化帯の深部に興味のある低比抵抗帯が検出された。

5-1-2 その他の地区

その他の地区の地質は、白亜紀後期の Macuchi 層から成り、漸新世～中新世に花崗岩類の貫入を受けている。

本地区の鉱化作用は、巨視的には主として花崗岩類及び一部の Macuchi 層に認められるポーフイリー銅型鉱化作用、Lourdes 層に認められる鉱脈型鉱化作用及び花崗岩類及び Lourdes 層に認められる温泉型鉱化作用の3つに分類される。

ポーフイリー銅型鉱化作用は Chaso Juan, Telimbela 及び Las Guardias 地区に、鉱脈型

鉱化作用は San Miguel 地区に、温泉型鉱化作用は La Industria-Yatubi 地区及び San Miguel 地区に、認められる。

Chaso Juan, Telimbela 及び Las Guardias 地区の鉱化帯は、比較的規模が大きい。Chaso Juan 地区には北部・東部・南部鉱化帯があり、幅20~200m のものが合計10箇所含まれ、鉱石品位は最高 Au1.5g/t, Ag160.9g/t, Cu9.03%, 平均 Ag1.2~1.8g/t, Cu0.24~0.44%である。Telimbela 地区では、4箇所において500m×350m~400m×200m 及び幅150m の鉱化帯の広がりを確認した。鉱石品位は最高 Cu1.60%である。Las Guardias 地区には400m×100m~350m×50m 及び幅50m の鉱化帯が3箇所ある。鉱石品位は最高 Ag0.6g/t, Cu0.09%, W0.01%である。Chaso Juan 地区の鉱化帯は黄銅鉱/黄鉄鉱比が高く、灰重石の報告がある。鉱化帯の伸びの方向は、Chaso Juan 地区で N-S 系, Telimbela 地区で NE-SW 系, Las Guardias 地区で NW-SE 系, San Miguel 地区で NNW-SSE 系である。

帯磁率測定の結果、鉱化作用に伴う消磁現象による低帯磁率異常帯が把握され、Chaso Juan 地区で 1km×1km, Telimbela 地区で NE-SW 系の 2km×750m の異常帯が抽出された。又、温泉型鉱化作用が認められる La Industria-Yatubi 地区で500m×200m, San Miguel 地区で NNW-SSE 系の 2.5km×500m の異常帯が抽出された。

地化学探査結果では、Cu 鉱化作用及び Mo 鉱化作用を特徴づける因子の高~中得点帯が、Chaso Juan, Telimbela 及び Las Guardias 地区に抽出された。又、La Industria-Yatubi 及び San Miguel 地区には、別のステージの温泉型鉱化作用を示唆する因子が抽出された。

5-2 第2年次調査への提言

5-2-1 バルサパンバ地区

- (1) El Torneado 鉱化帯の詳細な賦存状況把握のために、ボーリング孔を利用した物理探査(IP)及びボーリング調査
- (2) Osohuayco 鉱化帯下部の低比抵抗帯における鉱化帯富鉱部解明のための物理探査(IP又はSIP)

5-2-2 その他の地区

- (1) ポーフイリーカッパー型鉱床が期待される Chaso Juan, Telimbela 及び Las Guardias 地区の鉱化帯の詳細な賦存状況把握のための地質精査及び物理探査(IP又はSIP)
- (2) La Industria-Yatubi 地区の温泉型金鉱床の可能性のある西部地区を中心とした土壤地化学探査
- (3) San Miguel 地区の銅鉱脈型鉱化帯の賦存状況把握のための物理探査(SIP)及び温泉型金鉱床の可能性のある鉱化帯追跡のための地質精査

第II部 各 論

第1章 バルサパンバ地区

本地区において地質調査・地化学探査（精査）、物理探査及びボーリング調査を実施した。

1-1 地質調査・地化学探査

1-1-1 調査目的及び調査方法

調査目的は、鉍化作用と地質構造及び火成活動等の関係を解明し、本調査結果と既存の地化学探査資料とを総合的に考察し、鉍化帯の分布特徴を明らかにすることにより、更に有望な鉍徴地を抽出することにある。

踏査に当たっては、既存資料を検討して設定されたルートにおいて、今回作成した縮尺1万分の1から拡大した縮尺5,000の1の地形図を使用しルートマップを作成した。又、コンパイルに当たり、航空写真を活用した。地化学探査は、地質調査と並行して実施し、鉍化作用が認められる周辺の岩石を採取した。又、地質調査・地化学探査と並行して、携帯用帯磁率計を用い、主要ルート沿いの各露頭について帯磁率測定を行い、鉍化作用と帯磁率との関係も調べた。

各種試験分析に供した試料は、十分な配慮をもって採取したが、これらの採取位置を Fig. A-1 に、試験分析結果を各項目及び巻末に示す。

1-1-2 地質

(1) 地質層序

本地区の地質は、白亜紀後期の Macuchi 層の火山岩類から構成され、これに花崗岩類及び粗面安山岩が貫入している。

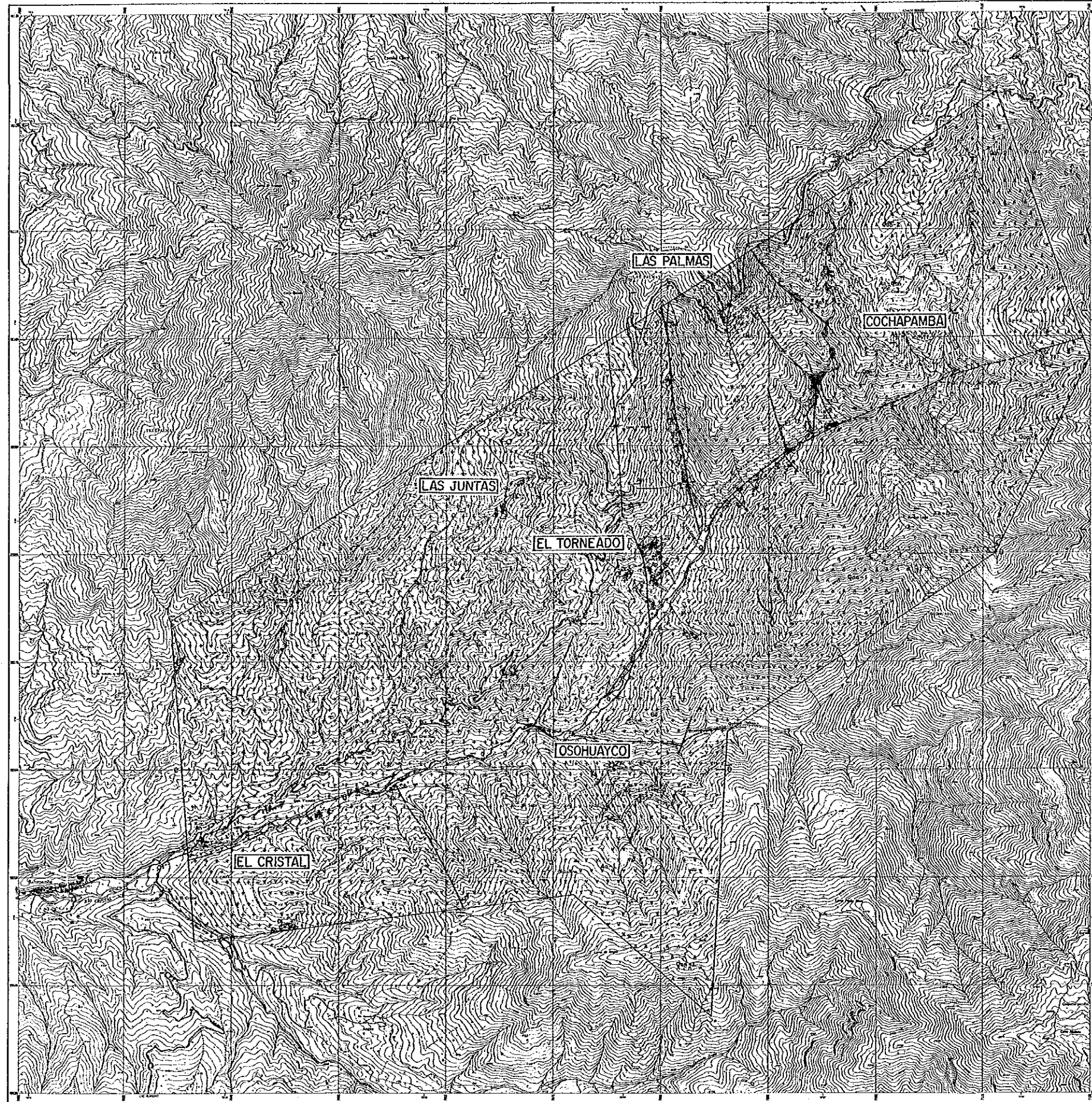
Macuchi 層は、下位より A 部層、B 部層、C 部層、D 部層、E 部層及び F 部層の6部層に細分される。地質図を Plate II-1-1, Fig. II-1-1 に、地質断面図を Plate II-1-2 に、模式層序図を Fig. II-1-2 に、各地の対比柱状図を Fig. II-1-3 に示す。

A 部層 (An-1)

花崗岩類を取り巻くように北部～中央東部～南部に分布する。層厚は1,000m以上と考えられる。主として暗緑色緻密塊状の輝石安山岩溶岩から成る。Alcacer 沢沿い、Las Palmas 沢沿い、Osohuayco 沢南部及び Las Juntas 沢東部で、緑色を呈した安山岩質細粒凝灰岩及び暗灰色珪質～石灰質堆積岩類のリズミカルな薄互層を挟む。

花崗岩類周辺ではホルンフェルス化を受けて、原岩の鉍物及び組織は識別できず、細粒の黒雲母一角閃石－輝石－石英から成る堅硬緻密な岩石が分布する。

BALZAPAMBA



LEGEND

Quaternary	Q	Gravel, sand, clay
	Qan-2	Quartz-bg. andesite lava with its pyroclastics (F Member)
	Qan-1	Alteration of andesite and quartz-bg. andesite lavas with their pyroclastics (E Member)
	An-3	Andesite lava with quartz-bg. andesite lava (D Member)
	Tf	Andesite to quartz-bg. andesitic pyroclastics (D Member)
	An-2	Andesite lava (C Member)
Cretaceous Volcanic Formations	Qan-1	Quartz-bg. andesite lava with its pyroclastics (B Member)
	An-1	Andesite lava with its pyroclastics and sediment (Tf), and hornfels (A Member)
	Gd	Granodiorite
	Di	Melocratic diorite dyke
Intrusive Rocks	Tr	Trachyandesite dyke
	Ap	Aplite dyke
	Dip and strike of bedding plane Geological boundary Fault Anticlinal axis Synclinal axis Mineralized zone (Presumed) Vein Alteration zone Section line	

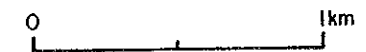


Fig. II - 1 - 1 Geological Map and Distribution of Mineral Showings of the Balzapamba Area

Geological Age	Formation and Member	Columnar Section	Lithology	Igneous Activity	Mineralization	Remarks
Quaternary			gravel, sand, mud			
Tertiary				granodiorite (26-30Ma) diolite trachy-andesite	II • Hot spring I • Cu-Mo-Py dissemi/network (porphyry-copper) • Cu-Py vein	Las Guardias Area
Cretaceous	Macuchi Formation (3,000 m +)	F Member (400-900m)		[Qan-2] • quartz-bg. andesite lava with its pyroclastics	quartz-bg andesite	Balzapamba Area
		E Member (40-420m)		[An ~ Qan] • alternation of andesite and quartz-bg andesite lavas with their pyroclastics.		
		D Member (100-250m)		[Tf and An-3] • andesitic to quartz-bg andesitic pyroclastics • andesite lava with quartz-bg andesite lava (10-130m)		
		C Member (0-90m)		[An-2] • andesite lava		
		B Member (300-520m)		[Qan-1] • quartz-bg andesite lava with its pyroclastics		
		A Member (1,000m+)		[An-1] • andesite lava with its pyroclastics and siliceous to calcareous sediment, • hornfels near granodiorite		
				andesite		Las Guardias Area

* Las Guardias Batholith does not the geological time of its intrusion but its occurrence.

Fig. II-1-2 Generalized Stratigraphic Columnar Section in the Balzapamba and Las Guardias Areas — 39 —

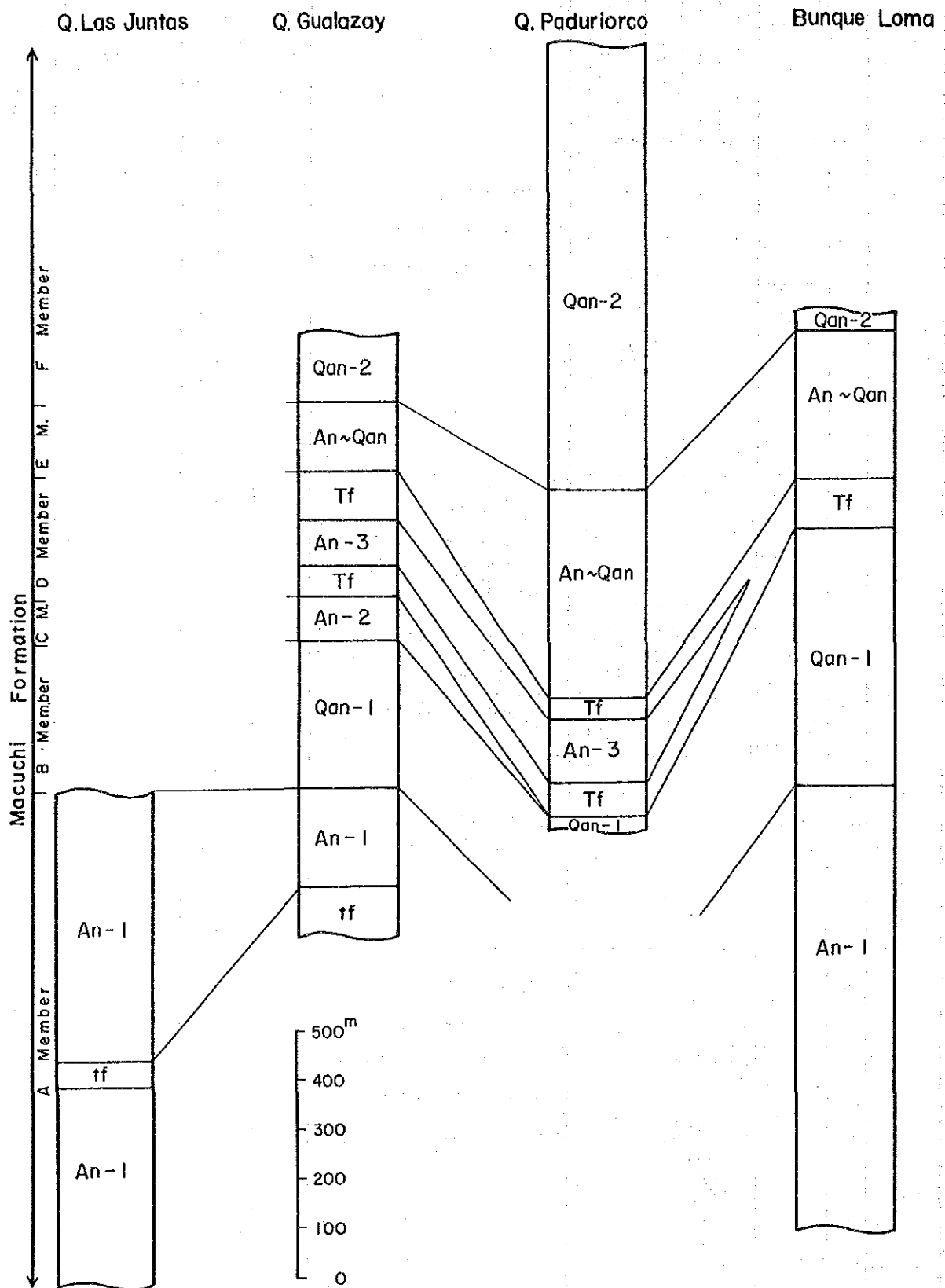


Fig. II-1-3 Geological Columnar Section and Stratigraphic Correlation of the Balzapamba Area

代表的な岩石の顕微鏡観察結果は、次のとおりである。

マフィックホルンフェルス (E1003)

位置：北西部

組織：グラノブラスチック

主成分・副成分鉱物：石英、普通角閃石>輝石>不透明鉱物

変質鉱物：緑レン石、緑泥石

B部層(Qan-1)

A部層の東部に帯状に分布する。層厚は300~520mと考えられる。暗緑灰色の堅硬な含石英晶安山岩質溶岩で、最大2mmの自形の石英結晶と4mm程度の気孔を埋めた2次石英が多数含まれる。局部的に同質の凝灰岩を挟む。

代表的な岩石の顕微鏡観察結果は、次のとおりである。

含石英斑晶 (C1031)

位置：Gualazay 沢上流

組織：斑状

主成分・副成分鉱物：石英、斜長石、黒雲母>カリ長石>黄鉄鉱

変質鉱物：石英>緑泥石>絹雲母、緑レン石>方解石、白チタン石

黒雲母はほとんど緑泥石、緑レン石に、カリ長石は部分的に絹雲母に変化している。

C部層(An-2)

Gualazay 沢中流及び同支流にのみ狭小に分布し、Alcacer 沢以南には発達しない。層厚は0~90mと考えられる。A部層と同じ安山岩質溶岩から成る。

D部層(Tf, An-3)

A・B部層の東側に沿って、Las Palmas 沢上流~Pallatanga~Bunque Lomaに分布する。層厚は100~250mと考えられる。安山岩質~含石英斑晶安山岩質火山碎屑岩類(Tf)と、これに挟まれる安山岩質溶岩(An-3)から成る。

Tfは、Gualazay 沢において安山岩質であるが、他の分布域では含石英斑晶安山岩質となる。又、ほとんどが粗粒~火山礫凝灰岩であるが、Alcacer 沢上流で局部的に凝灰角礫岩が発達する。

代表的な岩石の顕微鏡観察結果は、次のとおりである。

含石英斑晶安山岩質火山礫凝灰岩 (C1016)

位置：Las Palmas 沢上流

組織：碎屑状

主成分・副成分鉱物：石英>普通角閃石>斜長石、アパタイト、スフェーン、不透明鉱物

変質鉱物：石英、緑泥石>絹雲母、緑レン石

An-3 は、A 部層と同じ安山岩溶岩であるが、Gualazay 沢では 2 枚の含石英安山岩溶岩を挟む。

E 部層 (An~Qan)

Gualazay 沢~Alcacer 沢上流~Bunque Loma に分布する。層厚は 140~420m と考えられる。安山岩溶岩及び含石英安山岩溶岩の互層から成るが、Bunque Loma では後者が卓越する。局部的にこれらの凝灰岩を挟む。

F 部層 (Qan-2)

本地区北東部から東部に分布する。層厚は 400~900m 以上と考えられる。B 部層と同じ含石英安山岩溶岩から成り、Padriorco 沢で同質の凝灰岩を挟む。

(2) 貫入岩類

本地区の貫入岩類は、バソリス状の花崗閃緑岩岩体、優黒質閃緑岩の小貫入岩体及び粗面安山岩・アプライト岩脈から成る。

花崗閃緑岩 (Gd)

中央以西に広く分布する。岩質は等粒状の角閃石—黒雲母花崗閃緑岩で、肉眼的な岩質の変化はほとんど認められないが、Las Juntas 鉱化帯では局部的に石英閃緑岩に岩相変化している。El Torneado 鉱化帯では、網状鉱脈が鉱化変質に伴う粘土化・珪化作用を受けた母岩の中に存在し、見掛上角礫状組織を呈する。

花崗閃緑岩体の縁辺部は、例えば Las Juntas 沢で見られるように急傾斜で Macuchi 層に貫入している所が一般的ではあるが、Santa Lucia 部落北方の道路や El Torneado に至る小道沿いに見られるように、Macuchi 層のゼノリスを取り込み、あるいは岩床状に枝分かれして Macuchi 層に貫入している所もあり、様々な形態を呈している。

代表的な岩石の顕微鏡観察結果は、次のとおりである。

黒雲母花崗閃緑岩 (A1019)

位置：Santa Lucia 部落東方 1 km

組織：完晶質等粒状

主成分・副成分鉱物：斜長石、絹雲母、石英、黒雲母>カリ長石>アパタイト、褐レン石、不透明鉱物

変質鉱物：二次黒雲母>絹雲母、アクチノ閃石、緑泥石、白チタン石

黒雲母はわずかに緑泥石に変化している。

今回、Santa Lucia 部落付近の本岩 (A1131) の同位体年代測定を行った結果、 $25.7 \pm 0.9\text{Ma}$ が得られた (Table II-1-1)。

花崗岩類の化学分析値、 $\text{SiO}_2\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ 図及びノルム石英—正長石—斜長石三角図を、それぞれ Table II-1-2 及び Fig. II-1-4 に示す。その結果、本地域の花崗岩類は、カルクアルカ

Table II - 1 - 1 Results of Isotopic Age Determination (K-Ar Method)

No.	Sample No.	Location		Rock Name	Mineral	K (wt%)	Radiogenic ^{40}Ar (10^{-8} cc/g)	K-Ar Age (Ma)
		Coordinates						
		E	N					
1	A1131	Balzapamba		bt-hb q. dio	Hornblende	0.37	37.2 ± 0.7	25.7 ± 0.9
		707.56	9807.83					
2	B1109	Chaso Juan		bt grd	Biotite	6.68	543.8 ± 6.3	20.9 ± 0.7
		706.17	9845.14					
3	C1079	La Industria		bt-hb q. dio	Hornblende	0.90	89.2 ± 1.6	25.5 ± 0.9
		690.97	9825.26					
4	B1166	Telimbela		bt-hb q. dio	Biotite	5.75	434.2 ± 5.2	19.4 ± 0.6
		703.68	9816.01					
5	B1071	Las Guardias		hb q. dio	Hornblende	0.25	29.4 ± 0.7	30.1 ± 1.1
		708.14	9798.66					

Table II-1-2 Results of Chemical Analysis of Granitic Rocks

No.		1	2	3	4	5
Sample No.		A1131	B1109	C1079	B1166	B1071
Coordinates	E	707.56	706.77	690.97	703.68	708.14
	N	9807.83	9845.14	9825.26	9816.01	9798.66
Rock Name		bt-hb quartz diorite	bt granodiorite	bt-hb quartz diorite	bt-hb quartz diorite	hb quartz diorite
Chemical Composition	SiO ₂	58.24	71.63	65.40	62.60	64.59
	TiO ₂	0.69	0.21	0.45	0.55	0.40
	Al ₂ O ₃	17.11	14.41	15.65	16.32	16.47
	Fe ₂ O ₃	3.87	0.87	2.64	2.69	2.47
	FeO	4.68	1.56	2.34	3.38	2.73
	MnO	0.16	0.02	0.12	0.11	0.10
	MgO	3.48	0.83	2.14	2.75	1.96
	CaO	7.79	2.89	5.21	6.19	6.20
	Na ₂ O	2.97	3.29	3.38	3.19	3.03
	K ₂ O	0.59	3.35	1.10	1.31	1.25
	P ₂ O ₅	0.09	0.04	0.09	0.09	0.05
	Ig-loss	0.57	0.60	1.23	0.82	1.07
	Total (%)	100.24	99.70	99.75	100.00	100.32
CIPW Normative Mineral	q	16.40	31.52	26.92	21.24	25.58
	c	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00
	or	3.49	19.80	6.50	7.74	7.39
	ab	25.13	27.84	28.60	26.99	25.64
	an	31.61	14.08	24.28	26.34	27.65
	ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ns	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ks	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	wo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	diwo	2.69	0.00	0.41	1.58	1.16
	dien	1.66	0.00	0.29	1.00	0.72
	difs	0.87	0.00	0.09	0.48	0.37
	hyen	7.01	2.07	5.04	5.85	4.16
	hyfs	3.75	1.86	1.53	2.85	2.16
	olfo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	olfa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	mt	5.61	1.26	3.83	3.90	3.58
	hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	il	1.31	0.40	0.85	1.04	0.76
	tn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	pf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ru	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ap	0.21	0.09	0.21	0.21	0.12	
cc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
pr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	99.74	99.13	98.54	99.23	99.29	

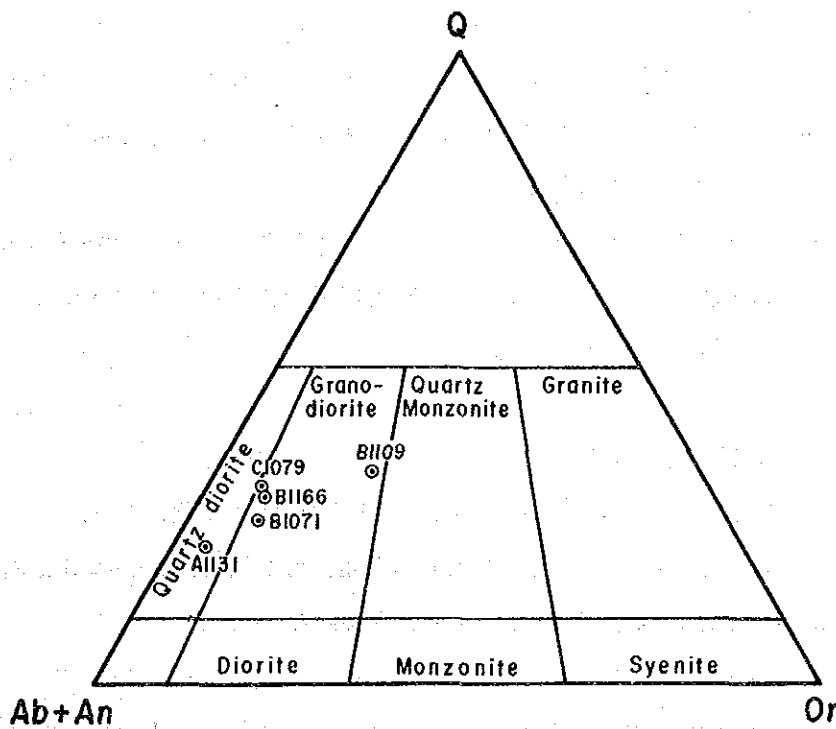
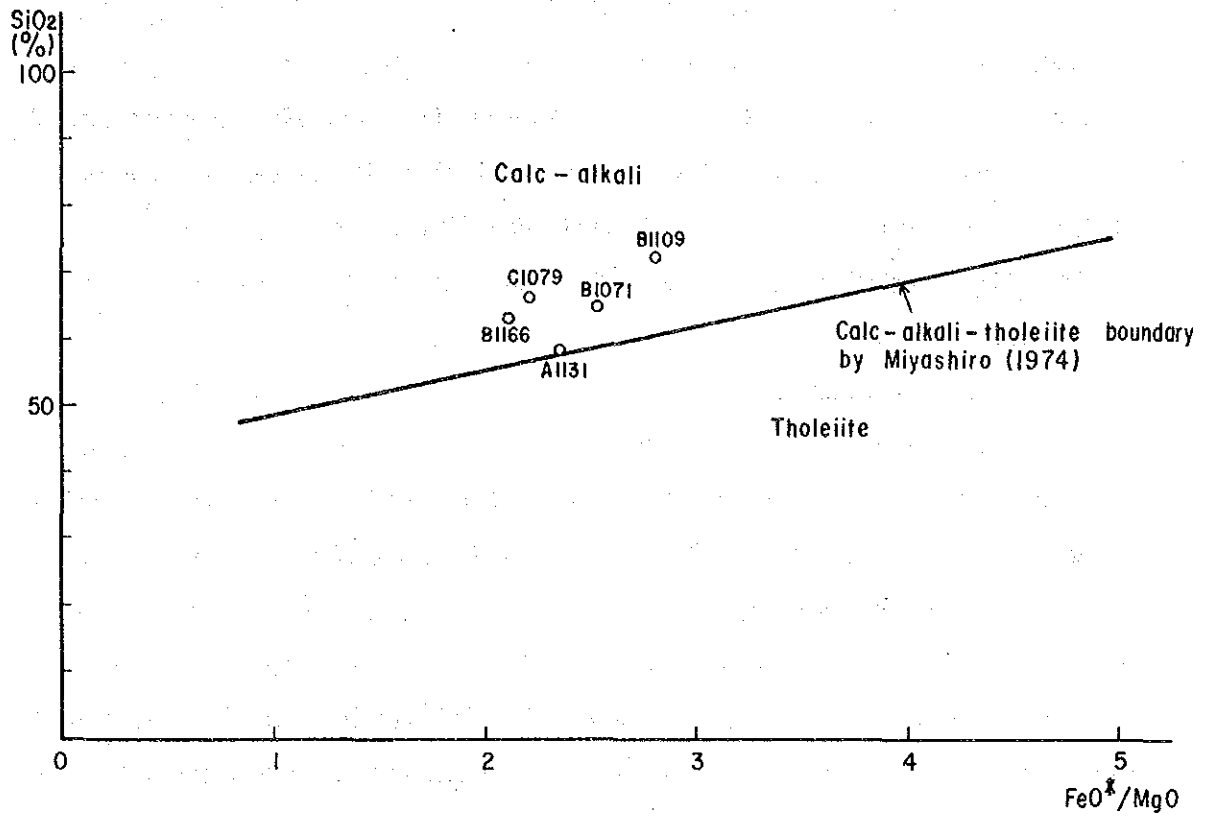


Fig. II-1-4 Chemical Variation Diagrams for Granitic Rocks : (1) SiO₂-(FeO^{*}/MgO) Variation Diagram (2) Normative Quartz (Q)-Orthoclase (Or)-Plagioclase (Ab+An) Diagram

り系列の岩石で、花崗閃緑岩の領域にプロットされた。

優黒質閃緑岩貫入岩(Di)

本岩は、花崗閃緑岩岩体周辺に多く分布し、El Torneado・Las Juntas 両鉱徴地及び南西部に認められる。岩質は黒色を呈し、細粒の黒雲母を主体とした閃緑岩で、貫入岩の幅は20~50m、方向はNE-SW系が多い。Esperansa 沢では局部的に斑状組織を呈する。

代表的な岩石の顕微鏡観察結果は、次のとおりである。

黒雲母石英閃緑岩(A1011)

位置：El Torneado 鉱化帯、Esperansa 沢

組織：完晶質等粒状

主成分・副成分鉱物：斜長石>黒雲母>石英>カリ長石>アパタイト、褐レン石、不透明鉱物

変質鉱物：二次黒雲母>緑泥石>絹雲母、アクチノ閃石、緑レン石、白チタン石

黒雲母は部分的に緑泥石化を受けている。

粗面安山岩岩脈(Tr)・アプラタイト岩脈(Ap)

El Torneado 鉱徴地に幅数 m の岩脈として認められる。前者は緑灰色を呈し、長石及び少量の輝石斑晶を含み、本岩脈の方向は NE-SW~E-W 系が多い。後者は無色鉱物が主体で若干の黒雲母を伴い、本岩脈の方向は NE-SW 系及び NW-SE 系が認められる。

(3) 地質構造

Macuchi 層の構造は、大局的には走向 N-S、全体として東に緩やかに傾斜する。Las Palmas 沢の東西及び Alcacer 沢沿いにおいては緩やかな褶曲構造が認められる。又、南部では、花崗閃緑岩の影響により走向 E-W、傾斜は南に急傾斜に変化している。

断層は、Alcacer 沢上流から El Salto 川に沿った NE-SW 系及び El Torneado 鉱化帯、Las Palmas 沢及び Gualazay 沢下流等にみられる NNW-SSE 系が主要方向である。ほかに、Osohuayco 沢沿いに E-W 系の断層が発達する。

1-1-3 鉱化作用及び変質作用

本地区の鉱化作用は、ポーフイリーカッパー型、鉱脈型及び温泉型鉱化作用の3つに分類される。最前者には El Torneado, Osohuayco, Las Juntas 鉱化帯、第2者には El Cristal 鉱化帯、最後者には Las Palmas, Cochapamba 変質帯が、それぞれ含まれる。

(1) El Torneado 鉱化帯

本鉱化帯は、Santa Lucia 部落より約 1 km 東方に位置する。El Torneado 付近の地質は、黒雲母一角閃石花崗閃緑岩、優黒質閃緑岩及びホルンフェルス化した安山岩・同質凝灰岩類からなる Macuchi 層が分布する。局部的には花崗閃緑岩類を不規則形状に切る粗面安山岩の岩脈が存在す

る。鉱化帯は、ポーフィリイタイプ型の鉱床で、主として花崗閃緑岩類の中に分布する。Macuchi層の中には、脈状鉱化帯が花崗閃緑岩類との境界部に部分的に存在するのみである。本地区の花崗閃緑岩類には全体に黄鉄鉱の鉱染が認められるが、主要な鉱化帯は、幅20~70m、延長70~350mのNNE-SSW方向に伸長する5条の黄銅鉱—黄鉄鉱—輝水鉛鉱等の鉱染・網状脈鉱化帯である。

これらの鉱化帯は、産状により鉱染状鉱化帯と網状脈鉱化帯の2つのタイプに分けられる。鉱化時期は、鉱染状鉱化帯を網状脈鉱化帯が切っていることから、前者の後に後者が形成されたものとみられる。

(i) 鉱染状鉱化帯：角礫状構造を示さない花崗閃緑岩類の中に、鉱石鉱物が鉱染状又はフィルム状に存在するものである。鉱化帯Bがこれに相当し、鉱化帯は多量の黄鉄鉱、少量の黄銅鉱が花崗閃緑岩の中に鉱染する。変質は二次黒雲母化と弱い緑泥石化である。X線回折結果では、石英—二次黒雲母—絹雲母の組合せが得られた。

巨視的には、El Torneado 鉱化帯地区の花崗閃緑岩類は、全体的に黄鉄鉱と微量の黄銅鉱の鉱染を受けており、鉱化帯Bは黄銅鉱の量が多い部分である。

鉱化帯Bの代表的鉱石の分析結果は、Cu0.03%である。

(ii) 網状脈鉱化帯：本鉱化帯は、角礫化した花崗閃緑岩類の角礫の間を鉱石鉱物・脈石鉱物が不規則形態に埋めた網状脈鉱化帯である。鉱化帯A・C・D・E露頭がこれに相当し、鉱石鉱物は多量の黄鉄鉱、少量の黄銅鉱・輝水鉛鉱、微量の磁鉄鉱・灰重石、局所的な磁硫鉄鉱が認められる。脈石鉱物としては、石英、緑泥石、二次黒雲母、部分的に緑レン石が存在する。本鉱化帯には比較的大きな鉱石鉱物が認められ、黄銅鉱集合レンズ1cm以上、黄鉄鉱集合レンズ5cm以上、レンズ状の輝水鉛鉱1cm以上のものが部分的に認められる。本鉱化帯における角礫の発達状況は、鉱化帯内部では数cm~30cm大の角ばった角礫の集合からなり、鉱化帯の外縁部になると次第に角礫の発達が弱くなり、花崗岩類に小枝状の亀裂が発達するだけの地帯に漸移する。個々の角礫の凹凸は近接する角礫と同じ形状を一般的に有している。角礫が復元できる形態を示し、角礫の間を鉱石鉱物・脈石鉱物が埋めていること、鉱化帯の外縁部やその周辺に角礫化の初期の構造が残されていること (Photo A—3) 等から、この角礫構造は熱水による水力破碎起源とみられる。

露頭における鉱化帯A・C・Dは、全体的に絹雲母化と珪化を受けた角礫帯の中に上記鉱物から構成される網状脈が存在するものである。これらの鉱化帯の鉱石分析の結果は、鉱化帯A：Au0.2g/t、Ag 2g/t、Cu0.66%、鉱化帯D：Cu0.03%である。本鉱化帯における変質鉱物はX線回折によると、カリ長石・絹雲母・緑泥石・二次黒雲母が認められる。又、部分的に後期の熱水活動に関連するとみられるカオリンも存在する。

鉱化帯Eは花崗閃緑岩とMacuchi層との境界部に存在する黄鉄鉱—緑泥石—石英網状脈で、変質は脈際変質のみの緑泥石化と珪化である。

(2) Osohuayco 鉍化帯

本鉍化帯は、Santa Lucia 部落より約 2 km 南方に位置し、巨視的には、花崗岩類と Macuchi 層との接触部付近に胚胎される。鉍化露頭は、Osohuayco 川に南東方向から流入する 2 本の沢に認められる北部、中央部及び南部 3 条の鉍化帯がある。

北部の鉍化帯は、粗粒花崗閃緑岩の中に胚胎される黄銅鉍—黄鉄鉍—緑泥石—石英網状脈とこれらの硫化鉍物の鉍染帯である。この鉍化帯は、北部の沢に露出する Macuchi 層に属するホルンフェルス化した安山岩の中の黄銅鉍—黄鉄鉍—輝銅鉍—グロッシュラー—石英網状脈帯に連続するものとみられる。鉍化変質は珪化と緑泥石化が顕著である。この鉍化帯の規模は、幅約 100m、延長約 200 m である。本鉍化帯から採取したチップ試料の分析結果は、花崗閃緑岩中の鉍染鉍：Cu 0.08%、Macuchi 層中の鉍脈：Au 0.4g/t、Ag 27.8g/t、Cu 2.60% である。

南部の鉍化帯は、Macuchi 層が珪化とスカレン変質を受けた部分に胚胎される黄銅鉍—黄鉄鉍—グロッシュラー—石英細脈帯である。スカレン変質帯は幅約 10m である。本鉍化帯は NNE-SSW 方向に約 600m 追跡できる。

中央部の鉍化帯は 2 本の沢に挟まれた山頂部に露出するスカレン変質帯で、露頭の規模は幅 2 ~ 3 m、延長 10m である。

(3) Las Juntas 鉍化帯

Las Juntas 鉍化帯は、Las Juntas 沢支流に位置し、花崗閃緑岩及び石英閃緑岩中の黄銅鉍—黄鉄鉍染帯及びホルンフェルス化を受けた Macuchi 層中の黄鉄鉍—石英網状脈帯より成る。

前者では、幅 2 ~ 3 m 以下のレンズ状の鉍染帯が 2 ヲ所認められるのみで、連続性に乏しい。

後者では、産状は次の El Cristal 鉍化帯に似ているが、10m × 2 m の露頭に幅 1 m 以下の鉍脈が数条認められるに過ぎない。鉍石分析結果では、Ag : 1.1g/t、Cu : 0.11% であった。既存の資料によると黄鉄鉍のほかに黄銅鉍—閃亜鉛鉍—方鉛鉍が認められたとあるが、現在では崖崩れにより露頭のほとんどが埋まっているために、状況は不明である。

(4) El Cristal 鉍化帯

El Cristal 鉍化帯は、本地区西端部に位置し、Macuchi 層のホルンフェルス中に形成された鉍脈型鉍化帯である (Fig. II-1-5)。走向 N80°W、傾斜 75~80°S、延長 30m 以上、脈幅 17m である。主要構成鉍物は黄鉄鉍及び石英で、極微量の黄銅鉍を伴う。黄鉄鉍は鉍染状を呈して鉍化帯全域に亘ってみられるほか、中央から上盤にかけて幅 0.7~1.8m の 3 条の濃集部を形成している。石英は中央部に脈状に認められ、多量の褐鉄鉍と共生している。鉍石分析結果では、Ag : 2.1g/t、Cu : 0.16% であった。

(5) Las Palmas 変質帯

Las Palmas 変質帯は、Las Palmas 沢上流から北東方向に 2 km 以上の範囲に分布し、粘土化—珪

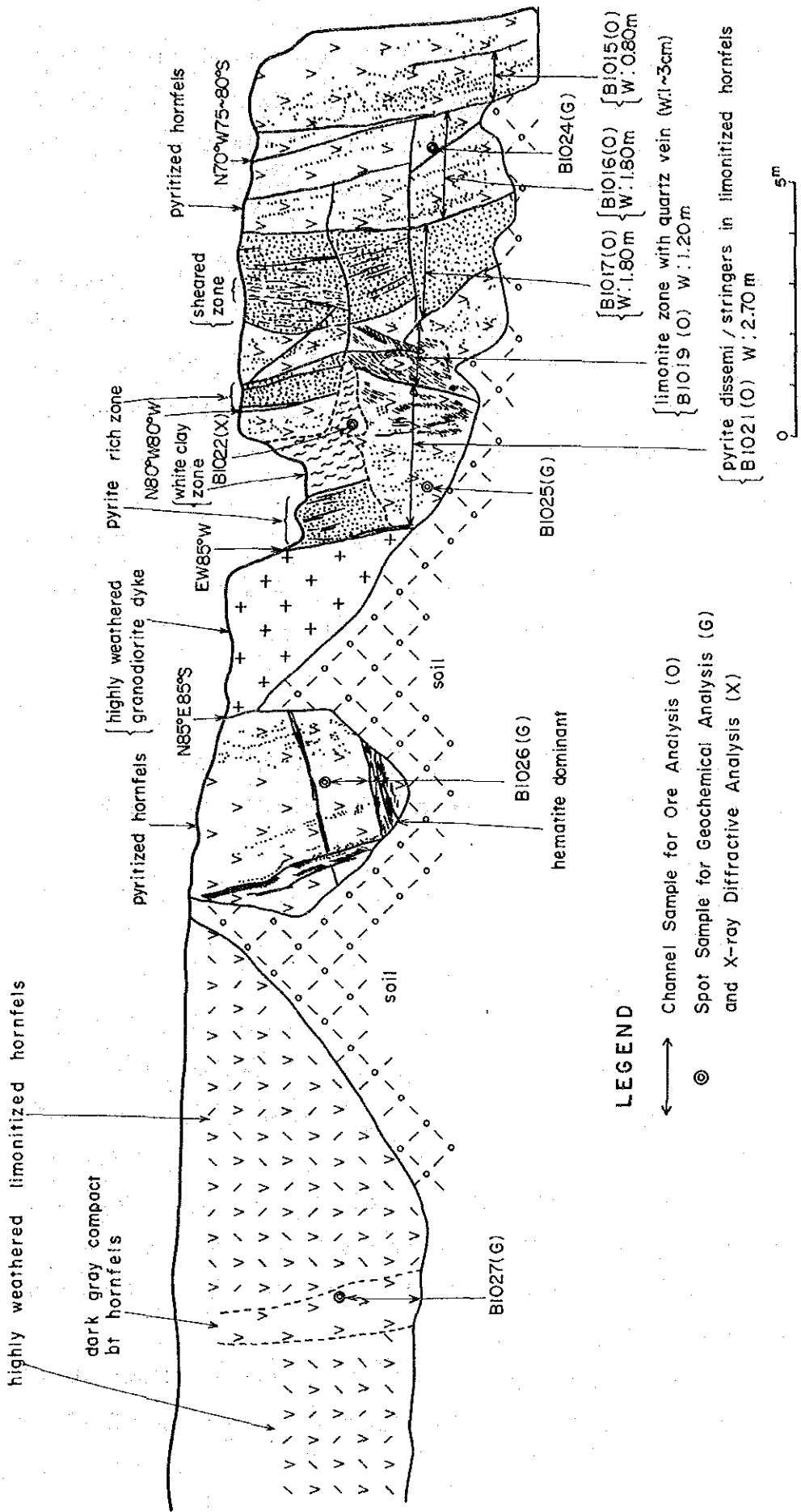


Fig. II - 1 - 5 Geological Sketch of the El Cristal Mineralized Zone

化を主体とし、局部的に赤鉄鉱を伴う。本変質帯は、産状から、① El Torneado と同時期・同種の硫化鉱物を伴う熱水活動の産物、②後期の温泉活動に伴われる産物に区分される。前者には局部的に黄銅鉱—黄鉄鉱鉱染が、後者には赤鉄鉱—石英細脈が認められる。X線回折結果では前者と関係するとみられる石英—緑泥石及び後者と関係するとみられる石英—カオリン—ハロイサイトの組み合わせが同定された。(Table A-4)

又、同変質帯の南部に、銅の鉱徴地がN-S系の断層に沿って3ヵ所点在する。1つは断層角礫帯中の黄銅鉱—輝銅帯—黄鉄鉱—石英網状脈帯であり、残りの2つは黄銅鉱—黄鉄鉱鉱染帯で断層近傍の花崗岩類岩脈及びMacuchi層の強珪化安山岩類中に存在する。いずれも小規模で、幅2~3m前後である。鉱石分析結果では、網状脈帯はAg:7.6g/t、Cu:0.60%で、鉱染帯はCu:0.02%であった。X線回折結果では、両者とも石英—絹雲母—緑泥石の組み合わせが得られた。

(6) Cochapamba 変質帯

Alcacer 沢、Gualazay 沢及び Paduriorco 沢沿いの Macuchi 層の火山岩類中に、強珪化変質帯が広範囲に散在する。同変質帯には、部分的に黄鉄鉱鉱染及び粘土化変質が認められる。この粘土はX線回折結果から、Las Palmas 変質帯同様、緑泥石及びハロイサイトが同定された。

1-1-4 帯磁率測定

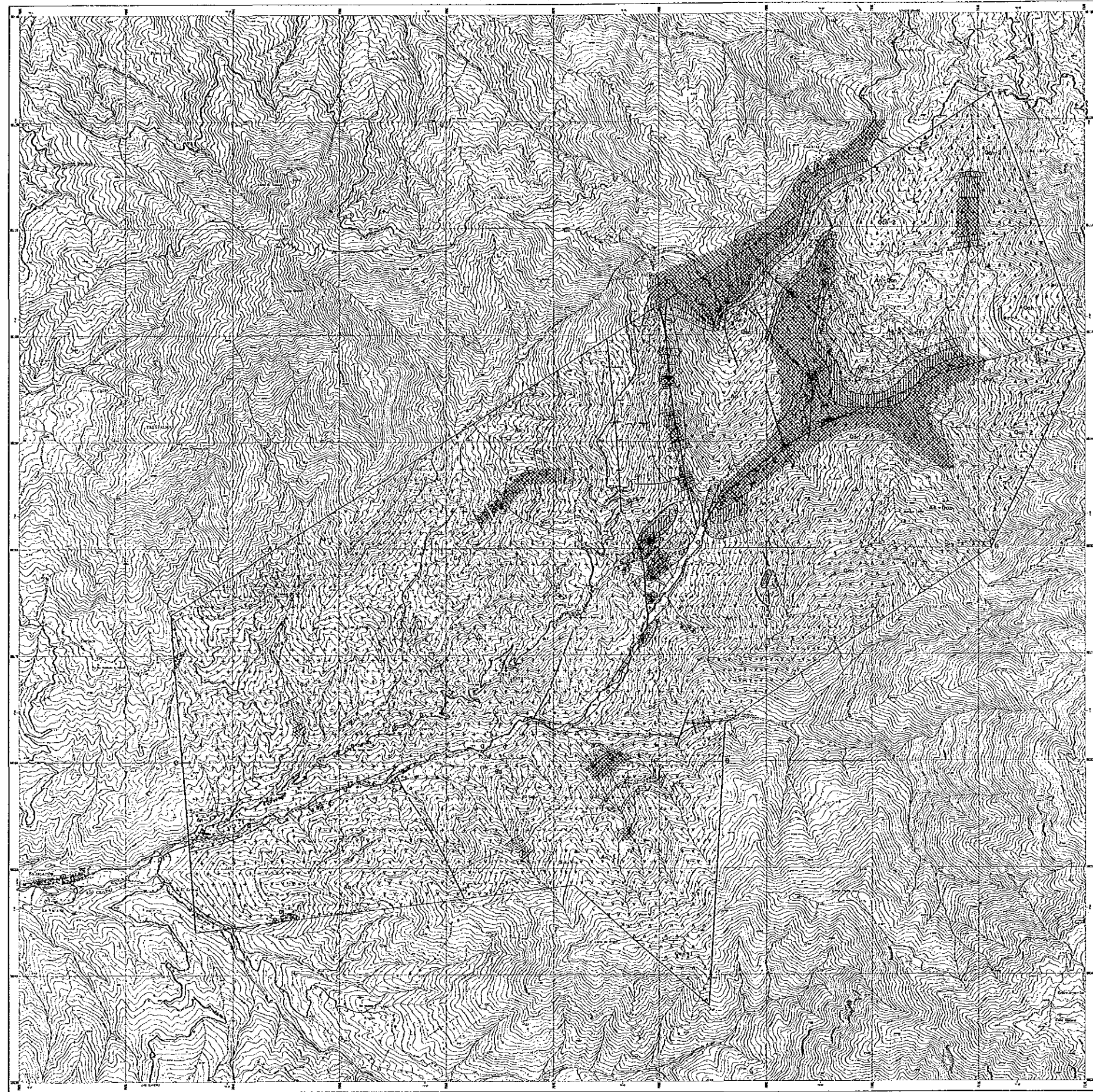
鉱化変質作用に伴う消磁現象を定量的に把握するために、携帯用帯磁率計を使用し、帯磁率測定を実施した。携帯用帯磁率計はチェコ・スロバキア製 KAPPAMETER KT-5 型で、測定単位は 1×10^{-3} SI ユニットである。

測定にあたり、風化による測定誤差と測定物体表面の凹凸による測定誤差の発生を防止するため、露頭の風化部をきれいに剝離し、表面の凹凸を無くするよう留意した。測定回数は5回行い、上下の2つの値を除外し、3つの平均を測定値とした(Table A-5)。

測定値は $0.1 \sim 156 \times 10^{-3}$ SI ユニットまでの著しい変化を示した。新鮮な花崗閃緑岩の測定値は $20 \sim 40 \times 10^{-3}$ SI ユニット、優黒質閃緑岩は $40 \sim 156 \times 10^{-3}$ SI ユニット、Macuchi 層の安山岩溶岩は $50 \sim 70 \times 10^{-3}$ SI ユニット、Macuchi 層の含石英斑晶安山岩溶岩、凝灰岩類及び堆積岩類は 10×10^{-3} SI ユニット以下を示した。本地区の主要な鉱化作用はポーフイリーカッパータイプであり、 20×10^{-3} SI ユニット以下を低異常として次のように低異常値を設定した。すなわち、 $0.1 \sim 5.0 \times 10^{-3}$ SI ユニット(強低異常値)、 $5.1 \sim 10.0 \times 10^{-3}$ SI ユニット(中低異常値)、 $10.1 \sim 20.0 \times 10^{-3}$ SI ユニット(弱低異常値)、 20.1×10^{-3} SI ユニット以上(バックグラウンド)の4段階である。この4段階をもとに異常帯の解析図を作成した(Fig. II-1-6)。

異常帯の分布は、上述の鉱化変質帯の分布に非常に良く一致する。すなわち、El Torneado 鉱化帯にみられる3列のNE-SW方向の異常値($0.2 \sim 20 \times 10^{-3}$ SI ユニット)は、それぞれ鉱化帯A、C・

BALZAPAMBA



LEGEND

Quaternary	O	Gravel, sand, clay	
	Qan-2	Quartz-bq. andesite lava with its pyroclastics (H Member)	
	An-3	Alteration of andesite and quartz-bq. andesite lavas with their pyroclastics (E Member)	
	An-3	Andesite lava with quartz-bq. andesite lava (D Member)	
	Tf	Andesite to quartz-bq. andesite pyroclastics (D Member)	
	An-2	Andesite lava (C Member)	
	Qan-1	Quartz-bq. andesite lava with its pyroclastics (B Member)	
Cretaceous Miocene Pliocene	An-1	Andesite lava with its pyroclastics and sediment (Tf), and hornfels (A Member)	
	Intrusive Rocks	Gd	Granodiorite
		Dj	Melanocratic diorite dyke
		Tr	Trochondesite dyke
Ap		Aplite dyke	
Dip and strike of bedding plane			
Geological boundary			
Fault			
Anticlinal axis			
Synclinal axis			
Mineralized zone (Presumed)			
Vain			
Attraction zone			
Section line			
Magnetic susceptibility $\leq 5.0 \times 10^{-3}$ SI unit			
$5.0 < M.S. \leq 10.0$			
$10.0 < M.S. \leq 20.0$			
$20.0 < M.S.$			



Fig. II - 1 - 6 Interpretation Map of the Mineralization and Magnetic Susceptibility of the Balzapamba Area

D及びEの位置に一致する。Osohuayco 鉍化帯 ($0.58\sim 12\times 10^{-3}$ SI ユニット) では、異常帯は花崗閃緑岩中の鉍染帯及び Macuchi 層中の鉍脈の位置と一致する。Las Juntas 鉍化帯では、異常帯は鉍化を受けた石英閃緑岩に 2カ所 ($0.83\sim 1.1\times 10^{-3}$ SI ユニット)、Macuchi 層中に 1カ所 ($0.4\sim 8\times 10^{-3}$ SI ユニット) 抽出された。Macuchi 層中の異常帯は、幅750mに達するが、変質作用のほかに岩石が元来持つ固有値をも示す。El Cristal 鉍化帯では、黄鉄鉍-粘土脈で $0.62\sim 14\times 10^{-3}$ SI ユニットと低く、磁鉄鉍を含む所で 75×10^{-3} SI ユニットと高い。Las Palmas 変質帯では、異常帯 ($0.1\sim 3\times 10^{-3}$ SI ユニット) は広く分布し、変質帯の分布位置と非常に良く一致する。同変質帯南部の3カ所の鉍化帯も異常帯 ($0.37\sim 20\times 10^{-3}$ SI ユニット) に包含される。Cochapamba 変質帯は、広範囲に抽出された異常帯 ($0.3\sim 3\times 10^{-3}$ SI ユニット) に包含される。この異常帯には Macuchi 層の含石英斑晶安山岩溶岩、凝灰岩類及び堆積岩類に起因する低帯磁率帯も含まれる。

以上のように、帯磁率測定作業は鉍化変質作用の特性及び規模の把握に非常に有効であった。

1-1-5 地化学探査

(1) 試料採取、分析成分及び分析方法

本作業は、鉍化帯周辺の岩石における鉍化作用に関連する元素の抽出とそれらの分散を調べることを目的として実施した。地化学探査試料33個の岩石は、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、Co、Niの7成分を対象としてプラズマ発光分光分析法(ICP)で分析した。分析検出限界は、Agが0.1ppm、他の6成分が1ppmである。

(2) データ処理

後述するその他の地区の34個を合わせた合計67個、7成分の分析結果を、採取点の地質ユニットと共にコンピュータに入力し、統計処理を行った。分析結果は Table A-6 に示すとおりである。上述の目的に対して有効な解析は、単変量解析よりむしろ多変量解析である。

多変量解析には種々の方法があるが、多変量に代表される変動をより少数の代表的、仮説的変動(因子)によって説明し、これによって科学的に単純性を求める因子分析法が有効である。因子分析法は、各試料がどの因子をどの程度保有しているかを、因子別の因子得点の表示によって、その試料と鉍化作用あるいは母岩の特性などとの関連性を説明しようとする方法である。

計算は、コンピュータを使用して因子分析法の一つであるバリマックス法でデータを処理した。その結果、第1:Co-Ni-Zn、第2:Ag-Cu、第3:Pb-Zn-Cu、第4:Moの4つの因子が抽出された。各成分間の相関係数を Table II-1-3 に、因子分析による因子負荷量・共通性・因子寄与率を Table II-1-4 に、各試料ごとの因子別得点を Table A-6 に示す。

既存の地化学探査資料のうち、岩石に関するものは85件あるが、分析成分はCu、Pb、Zn、Moの4成分であるため補助的に活用した。

Table II-1-3 Correction Matrix of Each Element of Geochemical Data

	Ag	Cu	Pb	Zu	Mo	Co	Ni
Ag	1						
Cu	0.482	1					
Pb	0.096	0.154	1				
Zu	0.059	0.246	0.108	1			
Mo	0.096	0.129	0.043	-0.113	1		
Co	0.081	0.227	0.091	0.420	-0.064	1	
Ni	0.233	0.293	-0.043	0.342	0.009	0.587	1

Table II-1-4 Results of Factor Analysis of Geochemical Data

	Factor Loadings (varimax rotation)				Communality
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	
Ag	-0.076	0.686	0.045	-0.133	0.4958
Cu	-0.238	0.616	0.253	-0.095	0.5086
Pb	-0.018	0.083	0.396	-0.041	0.1659
Zn	-0.473	0.114	0.275	0.335	0.4248
Mo	0.040	0.110	0.052	-0.345	0.1355
Co	-0.765	0.046	0.121	0.084	0.6091
Ni	-0.737	0.246	-0.130	-0.015	0.6203
Factor Contributions	62.150%	27.292%	10.191%	4.559%	

(3) 解析結果

各因子の因子得点の絶対値が1以上を高因子得点、0.4以上1未満を中因子得点、0.0以上0.4未満を低因子得点とした。

第1因子(Co-Ni-Zn)の高～中因子得点を示す試料は、全て Macuchi 層の岩石で、低因子得点を示す試料は El Torneado 鉱化帯の一部の花崗閃緑岩にみられる。したがって、この因子は母岩の特性及びなんらかの Zn の添加を反映していると考えられる。

第2因子(Ag-Cu)の高～中因子得点を示す試料は、El Torneado、Osohuayco、El Cristal 鉱化帯及び Las Palmas 沢下流の鉱化帯のものである。低因子得点を示す試料は、Las Juntas 鉱化帯及び Cochapamba 変質帯にみられる (Fig. II-1-7)。既存の資料によると、試料の採取点が一部異なるものの、Cu の異常帯が El Torneado 鉱化帯、El Cristal 鉱化帯及び Las Juntas 鉱化帯を包含している。本因子は、Ag-Cu 鉱化作用を特徴づける因子と考えられる。

第3因子(Pb-Zn-Cu)の高～中因子得点は、岩石の違いによる変化を示さない。概して述べるならば、El Torneado の一部、後述の Telimbela、San Miguel 地区等に高～中因子得点を示す試料が多いので、地域性の違いがあるのかも知れない。本因子を特徴づけるものの推定は困難であるが、例えば San Miguel 地区にみられる新期の硫化鉱物を含む鉱化作用が考えられる。

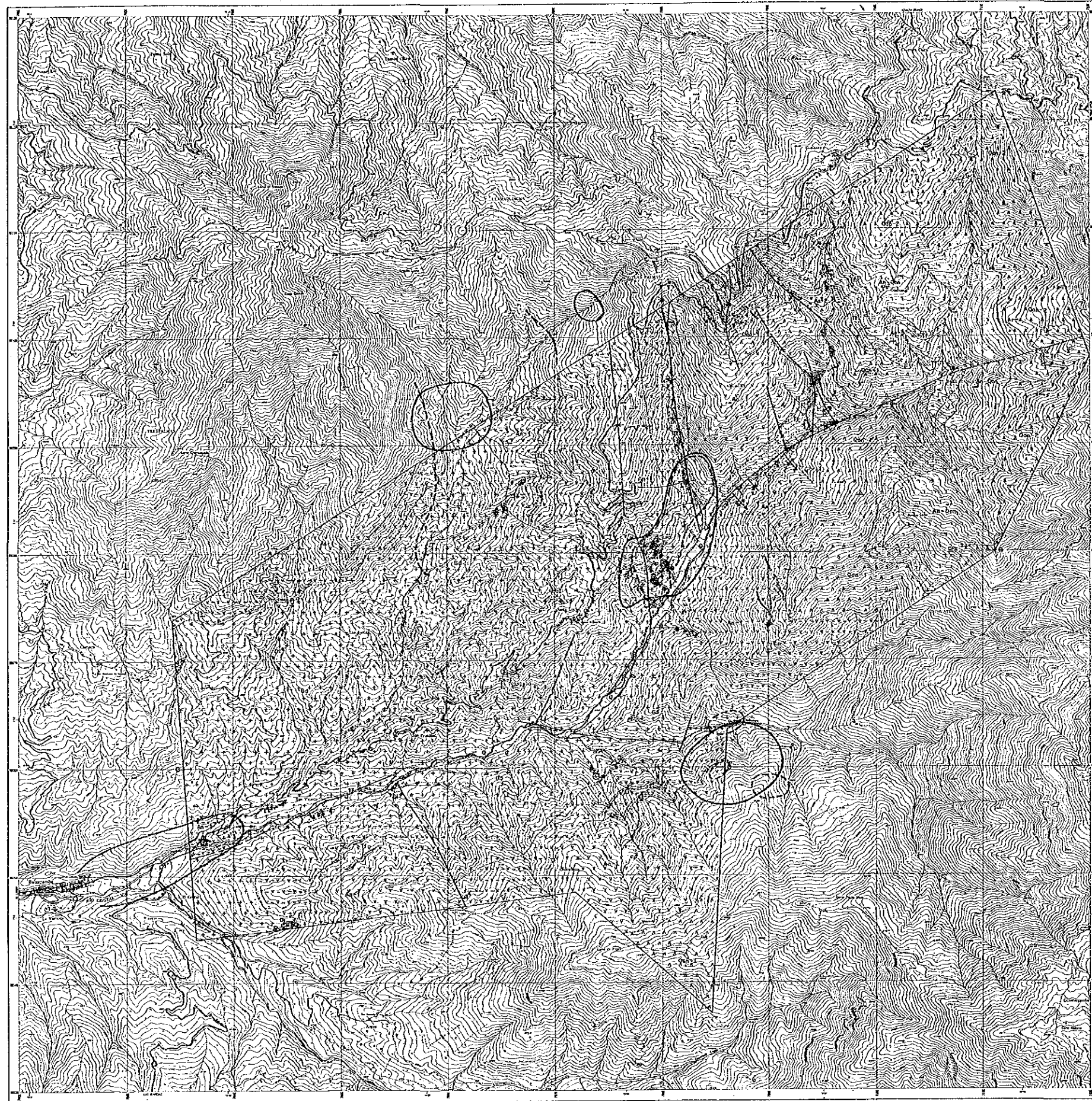
第4因子(Mo)の高～中因子得点を示す試料は、El Torneado 鉱化帯、El Cristal 鉱化帯及び Las Palmas 変質帯にみられるが (Fig. II-1-7)、第2因子の高～中因子得点を示す試料と一部を除き、別地点の試料である。El Torneado 鉱化帯では、硫化鉱物鉱染帯を、後期の輝水鉛鉱を含む硫化鉱物-石英網状脈が切っている現象が認められる。このことから、本因子は Cu を含む鉱化作用の後の Mo を含む鉱化作用を示唆する因子と考えられる。

I-1-6 考察

本地区の鉱化作用は、ポーフィリー・銅型・銅脈型・温泉型の3つのタイプが存在する。ポーフィリー・銅型の El Torneado・Osohuayco 鉱化帯において、鉱化帯が NNE-SSW～NE-SW 方向に伸長している。この方向は、ポリバル地域北部及び南部に存在する NNE-SSW～NE-SW 系の構造線の方向と一致する。この事実は、バルサパンバ地区の花崗閃緑岩がバソリスが巨視的に NE-SW 方向に分布することと合わせ、構造運動と花崗閃緑岩の貫入、更にその後の熱水活動とに何らかの関連があったことを示唆する。又、本鉱化帯が花崗閃緑岩バソリスの周縁部に分布し、近接する Macuchi 層まで鉱化が及んでいる事実は、花崗閃緑岩バソリス周縁部が上昇熱水中からの鉱石鉱物などの沈殿・晶出のための好条件を具備していたことを指示する。

ポリバル地域の熱水活動は、大局的に3回 (Fig. I-4-1) の活動が考えられ、ポーフィリー・銅型及び銅脈型は硫化鉱物を伴う第1期の熱水活動のものである。El Torneado 鉱化帯にお

BALZAPAMBA



LEGEND

- | | | |
|------------|-------|---|
| Quaternary | Q | Gravel, sand, clay |
| | Qan-2 | Quartz-bq. andesite lava with its pyroclastics (F Member) |
| | Qan-1 | Alteration of andesite and quartz-bq. andesite lavas with their pyroclastics (E Member) |
| | An-3 | Andesite lava with quartz-bq. andesite lava (D Member) |
| | Tf | Andesite to quartz-bq. andesitic pyroclastics (D Member) |
| | An-2 | Andesite lava (C Member) |
| | Qan-1 | Quartz-bq. andesite lava with its pyroclastics (B Member) |
| | An-1 | Andesite lava with its pyroclastics and sediment (Tf), and hornfels (A Member) |
-
- | | | |
|-----------------|----|---------------------------|
| Intrusive Rocks | Gd | Granodiorite |
| | Di | Mylonocratic diorite dyke |
| | Tr | Trochondalite dyke |
| | Ap | Aplite dyke |
-
- Dip and strike of bedding plane
 - Geological boundary
 - Fault
 - Anticlinal axis
 - Synclinal axis
 - Mineralized zone (Presumed)
 - Vein
 - Alteration zone
 - Section line
-
- + Location of geochemical sample
- Factor 2 (Ag-Cu)
- $F2 \geq 1.0$
 - $0.4 \leq F2 < 1.0$
 - $0.0 \leq F2 < 0.4$
- Factor 4 (Mo)
- $F4 \leq -1.0$
 - $-1.0 < F4 \leq -0.4$
 - $-0.4 < F4 \leq -0.0$
- Previous data
- Cu anomaly (146-38,200ppm)
 - Mo anomaly (15-20,000ppm)



Fig. II-1-7 Interpretation Map of Geochemical Data of the Balzapamba Area

いて、鉍染状鉍化帯を網状脈鉍化帯が切っていることから、本地区の鉍化作用は、更に鉍染状鉍化作用と網状脈鉍化作用の2期に細分される。網状脈鉍化帯において、絹雲母化と珪化を主体とする母岩の白色変質帯を硫化鉍物—緑泥石—石英網状脈が切る産状、さらには輝水鉛鉍を伴う後期の石英脈が黄銅鉍—黄鉄鉍—緑泥石脈を切る産状、網状脈中に磁鉄鉍が硫化鉍物と共生する産状等が認められる。これらの事実は、網状脈鉍化作用においても複数の熱水活動があり、熱水の化学組成の変化や還元環境から酸化環境への変化が存在したことを物語っている。又、El Torneado 鉍化帯の網状脈帯の中に灰重石が存在する。これは、White et al (1981)が分類した石英モンゾニ岩タイプのポーフィリー—モリブデン型鉍化作用の鉍石鉍物の共生関係と同一で、注目すべき事実である。しかしながら、本鉍化帯における銅とモリブデン鉍化作用との関係は、含銅二次黒雲母—緑泥石—石英脈を含モリブデン石英脈が切る産状や、白色変質帯中の輝水鉛鉍鉍染帯を黄銅鉍—黄鉄鉍—緑泥石—石英脈が切る産状も存在し、今後の検討を要する。地化学探査による、銅鉍化作用及びモリブデン鉍化作用に関連する両因子の抽出は、複数の鉍化ステージを示唆するものと考えられる。

鉍脈型鉍化作用のうち、El Cristal 鉍化帯の鉍化作用と、San Miguel 地区の鉍化作用が同時期のものか、別の時期のものかは、更に検討する余地が残されている。

Las Palmas 及び Cochapamba 変質帯には、カオリン等酸性変質、溶脱性珪化及び部分的に分布する赤鉄鉍—(シリカシンター)—粘土網状脈帯などが認められる。これは、San Miguel 地区の Lourdes 火山岩類に酸性変質を及ぼしたものと酷似し、ポリバール地域の熱水活動の第II期以降に相当するものとみられる。さらに Las Palmas 変質帯の外縁部では、未変質の母岩の中に水平方向に広がるこの変質帯が存在し、温泉活動における側方流の痕跡も保存されている。