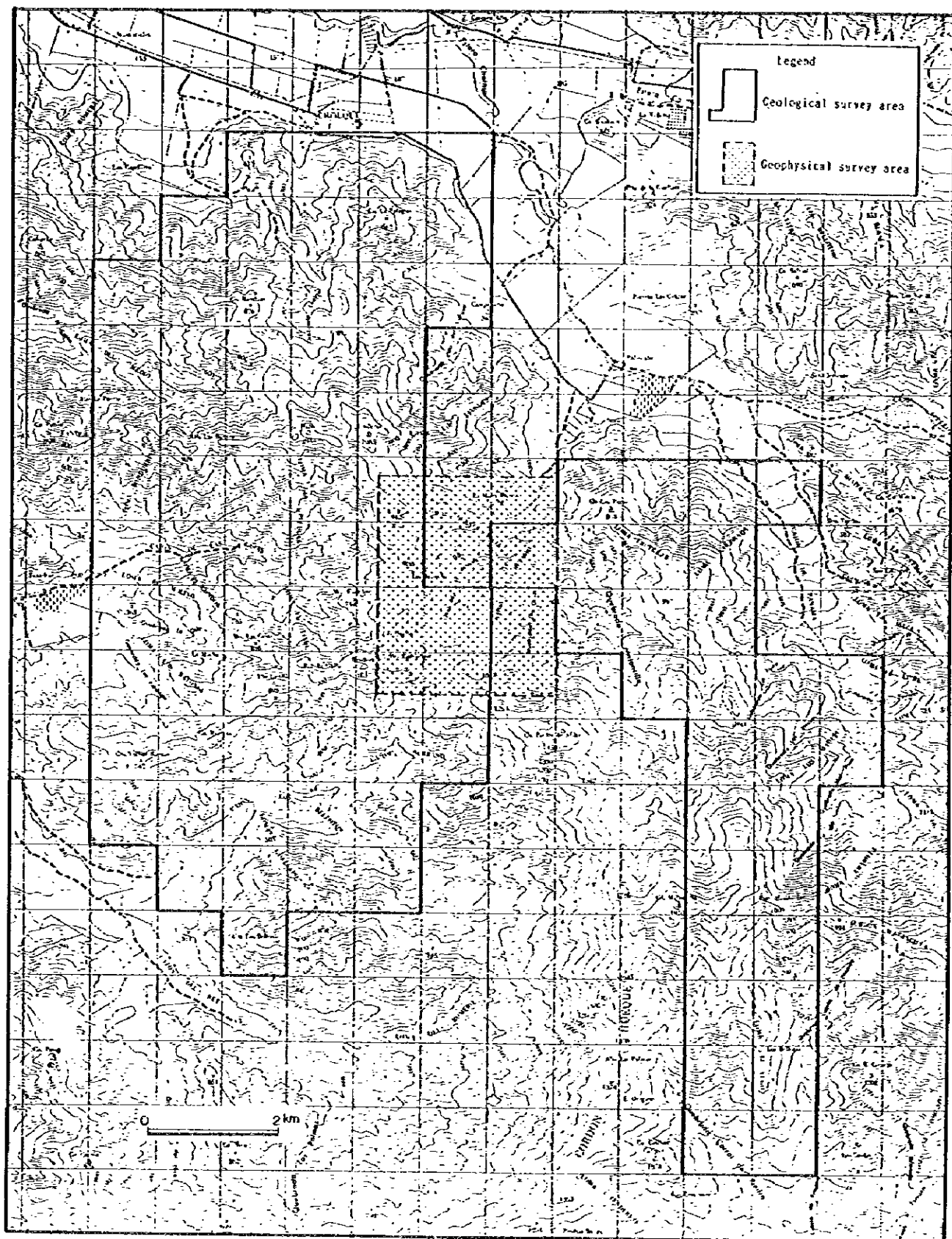


CHOLQUI AREA



Locality Map of Survey Area - 2 (Geological and Geophysical Survey)

要 約

本調査は、チリ共和国 Cholki 地区において資源開発協力基礎調査を行い、地質状況を解明することによって、鉱床賦存状況を把握する事を目的とする。第1年次の調査として、地質調査、地化学探査及び物理探査を実施した。

(1) 地質調査結果

地質は、下位よりジュラ紀のオルケッタ層下部層（安山岩溶岩を主体とする海成層）、同上部層（安山岩溶岩及び同質火砕岩を主体に、砂岩及び頁岩の薄層を挟在する陸成層）、白亜紀のロ・プラド層（デイサイト～安山岩溶岩、同質火砕岩に、砂岩、頁岩及び石灰岩などを挟在する海成層）及び貫入岩類（タンタウエ石英閃緑岩、アウエ花崗閃緑岩及び安山岩）から構成される。本地域の銅鉱化作用との関連性が議論されているオコイータと呼称される岩石は、斜長石の巨斑晶を特徴的に含む安山岩で、白亜紀中期の絶対年代を示し、産状及び化学的特性から貫入岩と考えられる。地質構造は、東に緩く傾斜する同斜構造をなす。断層は北西～南東系が優勢である。

鉱徴は、調査地域に30ヶ所以上の鉱徴地が認められた。それらの大半は銅の鉱徴を示し、約7割はオルケッタ層上部層中に、残りはロ・プラド層に認められる。鉱徴地と主要な断層との関係は明瞭でない。ほとんどの鉱徴地は地表部のトレンチ探鉱または未開発に留まっているが、ラス・ギアス鉱山では小規模な探鉱出鉱実績を有する。同鉱山ではオコイータ中に、斑銅鉱、輝銅鉱、グイジェナイト、黄銅鉱、黄鉄鉱、赤鉄鉱、孔雀石、珪孔雀石、藍銅鉱、アタカマ石などを産する。これらの鉱物は、母岩の空隙を充填、または、交代する低温条件での初生鉱化作用によるものと考えられる。

オルケッタ層中の多くの鉱徴地は、孔雀石を主体とする網状～鉱染状の産状を示し、垂直的・水平的拮りに乏しい。ロ・プラド層中の鉱徴地は、黄銅鉱－黄鉄鉱－石英細脈～網状～鉱染状の産状を示し、更に小規模な珪化～粘土化帯を伴う点で、オルケッタ層中の孔雀石を主体とする鉱徴とは状況を異にする。

また、年代測定、流体包有物均質化温度測定、同塩濃度測定及び酸素と硫黄の同位体組成測定等の試験結果から判断して、本地域の鉱床は以下の過程を経て形成されたと考えられる。

- ①オコイータの貫入活動……白亜紀中期（鉱化作用の場所に密接に関連）
- ②ラス・ギアス鉱床の富銅体を形成する斑銅鉱－輝銅鉱初生交代鉱化作用…古第三紀以降
- ③黄銅鉱－黄鉄鉱石英脈初生鉱化作用…古第三紀以降
- ④孔雀石等の鉱化作用

(2) 地化学探査結果

地化学探査は、岩石及び土壌を採取して実施した。岩石のCu異常帯は、鉍微地の分布にほぼ対応し、鉍化作用を反映している。特に、オコイータに顕著に濃集している。オコイータが、鉍液の浸透に適した物性を有することによるものと推定される。岩石及び土壌の主成分分析の高得点域は鉍微地の分布に概ね調和的であり、鉍化作用を反映している。

(3) 物理探査結果

物理探査は、ラス・ギアス鉍山の周辺で、IP法電気探査とTEM法電磁探査を実施した。その結果、以下の7ヶ所の異常帯が抽出された。

- ①異常帯A……ラス・ギアス鉍山南部に分布
- ②異常帯B……ラス・ギアス鉍山の西方約500mのエル・レタモに分布
- ③異常帯C……ラス・ギアス鉍山の北西約800mのエル・レタモに分布
- ④異常帯D……ラス・ギアス鉍山の西方約1,100mのエル・レタモ丘の西側に分布
- ⑤異常帯群E…アンヘリータ鉍山付近
- ⑥異常帯F……チャクリヤ北西約2,000mに分布
- ⑦異常帯G……ラス・ギアス鉍山の北約1,700mに分布

これらの各異常帯は、硫化物鉍物の賦存の可能性を示唆している。ただし、分極率は鉍石の45mv/vの60%以下を示す事実から、異常帯が銅の硫化物に起因するとしても、その品位は低いものと推定される。岩石の空隙などに規制された滞水層を反映している懸念もある。

(4) 第2年次への提言

上述の結果より、以下の提言をする。

- (1) 地質調査及び地化学探査を継続する積極的な必要性は認められない。
- (2) 物理探査は、オコイータの分布地域に限定すべきである。
- (3) 物理探査の異常帯群Eは、付近に孔雀石を主体とする多数の鉍微地、及び下部には黄銅鉍-黄鉄鉍石英脈を伴うアンヘリータ鉍山に位置する。従って、この異常帯が斑銅鉍-輝銅鉍の鉍床を伴うか否かをボーリングで確認する。併せて、この結果に基づき、調査地域内に確認されている多数の同タイプの鉍微地の探鉍価値を再評価する必要がある。
- (4) 物理探査の異常帯Dに対しては、その原因をボーリングで確認する必要がある。

目 次

はしがき
調査地域位置図
要 約

第1部 総論

第1章 調査概要	1
1-1 調査の経緯及び目的	1
1-2 調査方法及び調査量	1
1-3 調査期間及び調査員	2
第2章 調査地域の地理	4
2-1 位置及び交通	4
2-2 地形及び水系	4
2-3 気候及び植生	4
第3章 地質概要	5
3-1 既存調査概要	5
3-2 地質的位置付及び地質概要	6
3-3 調査地域の鉱業沿革	7
第4章 調査結果の総合検討	8
4-1 鉱化作用の特性と鉱床生成の概念	8
4-1-1 鉱化作用の特性	8
4-1-2 鉱床生成の概念	9
4-2 地化学探査の異常帯と鉱化作用の関係	11
4-3 物理探査の異常帯と鉱化作用の関係	12
4-4 鉱床賦存のポテンシャル	14
第5章 結論及び次年度への提言	15
5-1 結論	15
5-1-1 地質調査	15
5-1-2 地化学探査	17
5-1-3 物理探査	19
5-2 次年度への提言	21

第2部 各論

第1章 地質調査	23
----------	----

1-1	地質概要	23
1-2	地質各論	23
1-3	地質構造	33
1-3-1	堆積及び褶曲構造	33
1-3-2	漸層構造	33
1-4	火成岩の絶対年代測定	33
1-5	鉍床	35
1-5-1	鉍床概要	35
1-5-2	鉍化帯各論	35
1-5-3	流体包有物	50
1-5-4	安定同位体元素	51
1-6	考察	55
1-6-1	鉍化作用の特性	55
1-6-2	鉍床賦存のポテンシャル	59
第2章	地化学探査	61
2-1	調査目的及び内容	61
2-2	調査結果	61
2-2-1	岩石地化学探査	61
2-2-2	土壌地化学探査	79
2-3	異常帯と鉍化作用の関係	82
第3章	物理探査	91
3-1	調査目的・内容及び使用主要機材	91
3-2	測定方法	93
3-2-1	物性測定	93
3-2-2	IP法調査	93
3-2-3	TEM法調査	94
3-3	解析方法	96
3-3-1	IP法調査	96
3-3-2	TEM法電磁探査	96
3-4	解析結果	97
3-4-1	物性測定	97
3-4-2	IP法調査	97
3-4-3	TEM法調査	123
3-5	調査結果の総括	129

第3部 結論及び将来への提言

第1章 結論	133
1-1 結論	133
1-1-1 地質調査	133
1-1-2 地化学探査	135
1-1-3 物理探査	137
1-2 鉱床賦存のポテンシャル	139
第2章 次年度への提言	140
参考文献	141

9)

10)

11)

LIST OF FIGURES

- Fig. 1-1-1 Schematic conception map of mineralization
- Fig. 2-1-1 Geological map of Cholqui area
- Fig. 2-1-2 Geological section map of Cholqui area
- Fig. 2-1-3 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot \text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ diagram
- Fig. 2-1-4 Distribution map of mineralized indications in Cholqui area
- Fig. 2-1-5 Pit-location map of Las Guías mine
- Fig. 2-1-6 Under grand geological map of Las Guías mine
- Fig. 2-1-7 Geological section of Las Guías mine
- Fig. 2-1-8 Pit-Location map of Angelita mine
- Fig. 2-1-9 Under grand geological and section map of Angelita and Las Guías mine
- Fig. 2-1-10 Pit-Location map of Rinconada mine
- Fig. 2-1-11 Sketch of Chalcopyrite-Quartz vein
- Fig. 2-1-12 Filling temperature and salinity of fluid inclusion
- Fig. 2-1-13 Locality map of Sampling sites of X-ray diffraction test, thin section etc.
- Fig. 2-2-1 Locality map of Sampling sites of geochemical survey (rocks and soils)
- Fig. 2-2-2 Scatter diagram matrix
- Fig. 2-2-3 Histogram and cumulative curve of element
- Fig. 2-2-4 Histogram and cumulative curve of principal component
- Fig. 2-2-5 Distribution map of Cu anomaly (rocks)
- Fig. 2-2-6 Distribution map of Cu anomaly (soils)
- Fig. 2-2-7 Distribution map of principal component (rocks)
- Fig. 2-2-8 Distribution map of principal component (soils)
- Fig. 2-2-9 Interpretation map of geochemical survey
- Fig. 2-3-1 Geophysical survey area
- Fig. 2-3-2(1) IP chargeability pseudosection (N-S)
- Fig. 2-3-2(2) IP chargeability pseudosection (E-W)
- Fig. 2-3-3(1) IP chargeability distribution (n=1)

Fig. 2-3-3(2)	IP chargeability distribution (n=2)
Fig. 2-3-3(3)	IP chargeability distribution (n=3)
Fig. 2-3-3(4)	IP chargeability distribution (n=4)
Fig. 2-3-3(5)	IP chargeability distribution (n=5)
Fig. 2-3-4(1)	IP apparent resistivity pseudosection (N-S)
Fig. 2-3-4(2)	IP apparent resistivity pseudosection (E-W)
Fig. 2-3-5(1)	IP apparent resistivity distribution (n=1)
Fig. 2-3-5(2)	IP apparent resistivity distribution (n=2)
Fig. 2-3-5(3)	IP apparent resistivity distribution (n=3)
Fig. 2-3-5(4)	IP apparent resistivity distribution (n=4)
Fig. 2-3-5(5)	IP apparent resistivity distribution (n=5)
Fig. 2-3-6(1)	Comparison of observed and synthetic IP data (Line 1)
Fig. 2-3-6(2)	Comparison of observed and synthetic IP data (Line 2)
Fig. 2-3-6(3)	Comparison of observed and synthetic IP data (Line 3)
Fig. 2-3-6(4)	Comparison of observed and synthetic IP data (Line 4)
Fig. 2-3-6(5)	Comparison of observed and synthetic IP data (Line 5)
Fig. 2-3-6(6)	Comparison of observed and synthetic IP data (Line 6)
Fig. 2-3-6(7)	Comparison of observed and synthetic IP data (Line 7)
Fig. 2-3-6(8)	Comparison of observed and synthetic IP data (Line 8)
Fig. 2-3-6(9)	Comparison of observed and synthetic IP data (Line 9)
Fig. 2-3-6(10)	Comparison of observed and synthetic IP data (Line 10)
Fig. 2-3-7(1)	TEM resistivity cross section (N-S)
Fig. 2-3-7(2)	TEM resistivity cross section (E-W)
Fig. 2-3-8(1)	TEM resistivity distribution (-150m depth)
Fig. 2-3-8(2)	TEM resistivity distribution (-300m depth)
Fig. 2-3-9	Geophysical anomaly map

LIST OF TABLES

Table 1-1-1	List of specification of survey
Table 1-1-2	Period of survey
Table 1-1-3	members of the survey team
Table 2-1-1	Geological Column of Cholqui area

Table 2-1-2	Result of age determination (K-Ar method) of igneous rocks
Table 2-1-3	Result of determination δO and δS Isotope
Table 2-2-1	Fundamental statistical values
Table 2-2-2	Correlation matrix
Table 2-2-3	Geometrical means of principal rocks
Table 2-2-4	Result of principal component analysis
Table 2-3-1	Survey specifications
Table 2-3-2	Time-domain IP survey equipment
Table 2-3-3	TEM survey equipment
Table 2-3-4	Summary of geoelectrical properties of rock samples

APPENDIX

A-1	Result of whole rock analysis
A-2	Result of chemical analysis of rock samples
A-3	Result of chemical analysis of soil samples
A-4	Result of Chemical analysis of ore samples
A-5	Result of microscopic observation of thin section and their photographs
A-6	Result of microscopic observation of polish section (their photographs:A-5)
A-7	Result of EPMA analysis of ore minerals
A-8	Result of mineral determination of X-ray diffraction test
A-9	Result of age determination (K-Ar method) of rocks
A-10	Result of measurement of filling temperature and salinity of fluid inclusion
A-11	Result of measurement of geoelectrical properties of rock samples

Plate

Pl-1	Geological map of Cholqui area (1:10,000)
Pl-2	Geological section map of Cholqui area (1:10,000)

付 帯 資 料

- | | | |
|---|-------------------|----|
| 1 | ルートマップ | 1式 |
| 2 | 岩石及び鉍石サンプル | 1式 |
| 3 | 岩石薄片 | 1式 |
| 4 | 鉍石研磨片 | 1式 |
| 5 | 作業状況記録写真（カラープリント） | 1式 |
| 6 | フロッピーディスク | 1式 |

()

()

()

第 I 部 総 論

第1章 調査概要

1-1 調査の経緯及び目的

チリー共和国では 1975 年以降、北部地域、コンセプション東部地域、中部地域、アントファガスタ南部地域、アイセン地域、セロ・ネグロ地域及びベラグア・プログレソウ地域において資源開発協力基礎調査が実施された。これらの結果は、同国の地下資源探査資料の蓄積・集成、及び探査技術の向上に貢献している。また、これらのうちセロ・ネグロでは経済性の高い鉱床の発見に結び付く成果もあげている。これらの結果は同国でも高い評価を受け、併せて日本国とチリー共和国の友好関係の向上にも貢献している。

この経緯を踏まえてチリー共和国政府は、同国のサンチャゴ (Santiago) 西部に位置する Cholqui 地域の鉱床探査を日本国政府に要請してきた。当地域には多数の銅を主体とする鉱徴及び旧坑が知られており、スペイン植民地時代から個人的な探査が実施されている。最近、当地域は、いわゆるマント・タイプ (Manto type) 銅鉱床を胚胎する地域として、同国はもとより海外鉱山会社の探査標的地として関心を集めている。しかし、当地域に対しては、1991-1992 年にチリー鉱山公社 (Empresa Nacional de minería: 以下 ENAMI) による既知鉱床付近の地質調査及び小規模な電気探査が実施されたのみで、本格的・組織的な探査は実施されていない。

この有望地域に対して本格的・組織的地質調査、物理探査を実施し、新鉱床を発見することは、同国の鉱業及び経済発展に直接的に貢献するものと判断される。

従って、日本国政府は 1996年度から 3ヶ年計画で同地域における資源開発協力基礎調査を実施することとした。

1-2 調査目的・内容及び調査量

各調査手法の調査量、室内試験項目・数量を Table 1-1-1に示す。調査目的及び概要は以下のとおりである。

*地質調査は、地質構造と鉱化作用の関連性を解明する。特に、鉱床胚胎層準を明らかにし、同層準の分布状況を把握することを目的とする。調査は 1:5,000のルート・マップに基づき 1:10,000 の地質平面図及び断面図を作成し、後述の各種室内試験結果をその解析に活用する。詳細な地質調査と室内試験結果を総合的に検討し鉱化・変質作用の特性を解析する。

*地化学探査は、岩石及び土壌の分析結果に基づき、地化学異常分布状況及び地質構造を総合的に解析し、潜頭銅鉱床の賦存する可能性のある位置を推定することを目的とする。岩石及び土壌の分析結果に地質調査及び各種の室内試験結果を加味し、当地域の地化学的特性を考察する。

*物理探査は IP法により、鉱化作用に関連する比抵抗構造及び IP異常域を抽出し、

TEM法により、これらの比抵抗異常域の深部への連続性を解明することを目的とする。また、調査地域内の代表的な岩石及び鉍石試料を採取し、可能な限り自然の産状に近い条件でこれらの比抵抗及び分極率を測定し、この結果を野外測定結果の解析に供する。

Table 1-1-1 調査手法・量及び室内試験項目・数量

調査手法及び調査量		室内試験項目・数量			
地質調査	調査面積	93km ²	岩石薄片観察	40件	
	ルート長	220km	鉍石研磨片観察	20件	
	地化学探査		E P M A分析	10件	
	岩石分析	400件	X線解析	100件	
	土壌分析	150件	流体包有物温度測定	10件	
	Au, Ag, As, Sb, Hg, Cd, Co,		流体包有物塩濃度測定	10件	
	Cu, Fe, Pb, Mn, Mo, Ni, V, Zn		年代測定 (K-Ar法)	6件	
物理探査			全岩分析	20件	
			鉍石分析	20件	
	IP法	測線長	20km	Au, Ag, Cu, Mo, Pb, Zn, S	
		測点数	1,800点	安定同位体測定 δ O	3件
	TEM法	測線長	20km	安定同位体測定 δ S	6件
		測点数	190点		
	比抵抗及び分極率測定	40件			

1-3 調査期間及び調査員

調査期間及び調査員は Table 1-1-2及び Table 1-1-3に示すとおりである。

Table 1-1-2 調査期間

調査項目・内容	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
職員・監査 地質 物探	5 5	10 10	1 8		
現地調査 地質 物探	11 11	20 20	6 6		
現地解析 地質 物探		17 17	10 10		
報告書作成			9		28

Table 1-1-3 調査団員名簿

日本国側		チリ共和国側
野口雅昭	金属鉱業事業団	Ivan Henriquez S
高橋健一	国際協力事業団	Empresa Nacional de Minería (以下 ENAMI)
林 歳彦	金属鉱業事業団	Mario Serrano ENAMI
高橋健一	金属鉱業事業団	Patricio Trujillo Ramirez ENAMI
辻本崇史	金属鉱業事業団	Oscar Arce Torres ENAMI
伊藤俊弥	総括責任	
	同和工営株式会社(以下同じ)	
相澤 恒	地質	
石川潤一	地質	
藤田 勝	物理探査	
吉田武志	物理探査	
前川勝利	物理探査	
木下和彦	物理探査	
小川美明	物理探査	
渡邊英彦	物理探査	

第2章 調査地域の地理

2-1 位置及び交通

調査位置図を巻頭に示す。

調査地域はチリー共和国のほぼ中央部、首都サンチャゴ市の南西約 60 kmの首都州 (La Region Metropolitana) メリピリャ郡 (Melipilla) の Cholqui、パリオカーベ (Paliocabe) 及びタントアウエ (Tantahue) 村に位置する。サンチャゴから当地域へは国道 76号線を利用し、西方のメリピリャ市経由で車両により約 2時間で至る。サンチャゴからパリオカーベ (Paliocabe) までは舗装道路で、その後、調査地域中心までは急傾斜・急カーブの悪路となる。

メリピリャ市は郡都であり、特殊な器材の調達以外は、調査活動には全く問題はない。

2-2 地形及び水系

調査地域は、後述の海岸山脈中に位置する。山岳部の周辺には、平野及び深く切れ込んだ平坦な谷が分布し、この部分では農耕及び牧畜が盛んである。平坦地の標高は180m程度であるが、調査地域に向かって急激にその標高を増し、地域全体は極めて急峻な壮年期の地形を呈する。調査地域東部ではセロ・マタンシリャ (Cerro Matancilla, 1,910m) を中心に 1,000m級の高峰が南北方向に連なる。調査地域西部ではリドレス (Lidres, 1,085m) を中心に 900m級の高峰が南北方向に連なり、さらにこれらの高峰から 900m級の高峰が西に向かって連なる。これらの高峰の 7~8 合目以上はガレ及び絶壁を伴い地質調査は極めて困難である。

地域南西部には直径 10km程度の顕著なカルデラ様地形が認められるが、地質調査の結果では、これは単なる浸食地形であると結論し得る。

水系は地域東部並び中央部では、ほぼ南北系のラス・ギアス谷 (Quebrada de Las Guias) 及びパナマ谷 (Cajon de Panama) を中心に樹枝状を示す。地域西部では、ほぼ東西系のカホン谷 (Quebrada El Cajon)、カサ谷 (Cajon de Las Casas) 及びレイ谷 (Quebrada del Rey) を中心に樹枝状を示す。これらの水系には後述の当地の気候条件を反映し、水流及び沢砂堆積物は殆ど存在しない。

2-3 気候及び植生

調査地域は、基本的には温暖な地中海性気候帯に属し、乾季と雨季の差が明瞭である。

5~9月の平均気温は 7℃、10~4月の平均気温は 17℃、年間平均気温は 14℃である。5~8月の月平均降雨量は 56mm、9~4月の月平均降水量は数mm程度で、年間降水量は 265mm程度である。

このような気候を反映し、平地では大規模な野菜、果樹、牧畜などの農牧が盛んで、同国最大の食糧供給基地となっている。特に、大規模な養鶏・養豚場が経営され、家畜に

に対する伝染病防止のため、施設の存在する谷部への地質調査などの立入りは極めて困難である。

調査地域の山岳部の植生は、ほぼ有棘灌木、喬木及び雑草に覆われ、道路沿い以外の調査には伐開が不可欠である。しかしながら、当地域は国立公園に隣接しており樹木の伐採は厳しく禁じられている。

第3章 地質概要

3-1 既存調査概要

調査地域にはラス・ギアス、アンヘリータ、モナ・ブランカ (Mona Blanca) 鉱山などの極めて小規模な銅鉱床の他に、多数の銅鉱徴地が知られている。これらの銅徴地に対しては、深度数m程度のピット探鉱が普遍的に実施されたが、その歴史はスペイン植民地時代まで溯る。しかし、それらの詳細は全く不明である。また、上記の3鉱山の歴史についても同様である。従って、当地域の銅徴地に対する探査は、個人的な手作業によるトレンチ探査が主体であり、地質学的に纏まった探査資料は殆ど存在しない。しかし、近年、当地域の銅化作用に対して、部分的に高品位銅を産する、いわゆるマント・タイプ銅鉱床であるとの認識が広がり、同国及び海外の銅山会社の注目を集めるに至っている。

調査地域に対する比較的纏まった組織的な調査資料及び内容は次のとおりである。

*1981, Geologia del area de Cholqui-Cajon de Acuelo-Villa Alhue, Region Melipilla, Memoria de Titulo Universidad de Chile, Facultad de ciencias fisicas y matematicas, Departamento de Geologia. Cario Naci P.

当報告書は、今回の調査地域を含むマイブ川 (Rio Maipu) 以南のほぼ 40 × 40 kmの範囲を航空写真の構造解析及び岩石薄片 70 枚、若干の研磨片も含め 52 日の地質調査で、1:100,000 の地質図を完成している。これに基づき基本的な地層区分・記載、岩石分類・記載、地質構造、銅徴地の簡単な記載がなされている。

*1992, Diagnostico geologico minero minas: Angelita, Rinconada, Bello Horizonte, Area Paliocabe. Region Metropolitana. Melipilla, m. Arava. ENAMI. Gerencia quinta Region.

当報告書の地質、岩石、地質構造に関しては、上述の報告書の見解を踏襲し、既存銅山に関する坑内地質調査・記載及び埋蔵銅量の検討を主体とした報告書となっている。

*ENAMI報告書

調査地域内の個々の銅徴地については、ENAMIによる断片的な社内調査報告書が存在するが、いずれも銅化作用の産状を主体とする簡単な記載となっている。

* JICA報告書

1980年、1994年及び1995年にJICAによる、主として調査地域北方の鉱産地を主体に、その探査価値を評価する短期調査が実施されている。

3-2 地質的位置付け及び地質概要

調査地域は、南米大陸の太平洋側を南北に帯状に分布する広義のアンデス山脈(Andean Cordillera)のうちの、下記の海岸山脈の中に位置する。アンデス山脈は地質学及び地形学的に、太平洋側から東に向かって次のように区分され、これらが南北方向に平行に発達する。

- * Cordillera de la Costa …海岸山脈
- * Cordillera de los Andes
- * Precordillera

広義のアンデス山脈は、南米大陸の西縁に南北方向に約 9,500km、東西方向に 300~700km程度の規模で分布する褶曲山脈であり、新生代初期の造山運動で形成されたものとされている。

アンデス山脈の地質構造史は以下に要約される。

- (1)カンブリア紀後期~デボン紀中期に現在のアンデス山脈の東側に Pre-Andes沈降帯が生じ、厚さ 10kmに及ぶ海成層が堆積し、二疊紀中期に隆起、陸化した。
- (2)これに引き続き三疊紀後期から、その西側に活発な火山活動を伴うアンデス沈降帯が生じた。この地向斜は白亜紀~古第三紀に花崗閃緑岩を主体とするアンデス・パソリスの貫入を受け、鮮新世以降は急激な隆起運動により陸化した。
- (3)海岸山脈は Host grabenによる山脈であり、主としてプレ・カンブリア紀~古生代の地層を基盤とし、古生代に2回の造山運動を被った。
- (4)鮮新世~第四紀にはアンデス山脈全体にカルク・アルカリ系の角閃石安山岩の火成活動が生じ、現在に至っている。

チリーの斑岩銅鉱床を主体とする主要な非鉄金属鉱床は、上述の地質構造史のなかで、白亜紀~古第三紀に海岸山脈に貫入した花崗閃緑岩に関連するものである。

しかし、近年のプレート・テクトニクス理論では、上述の地質構造区分は大陸の移動・結合、沈み込帯、付加帯、マグマ活動、走向移動断層などの理論によって、合理的に説明されており、海岸山脈は付加帯に属するとされている。海岸山脈の一連の安山岩火成活動の岩石化学的性質は、典型的な大陸周縁部ないし島弧列島の特徴を示し、この理論に整合的である。

調査地域の地質は、主としてジュラ紀から白亜紀の安山岩質岩石を主体とする、以下の単純な地層より構成される(Table 1-1-1参照)。

- (1)オルケッタ (Horqueta) 層下部層:

ジュラ紀中期の安山岩溶岩、同質火砕岩を主体とする海成層。

(2) オルケッタ層上部層：

ジュラ紀後期の安山岩溶岩、同質火砕岩を主体とし、砂岩、頁岩を伴う陸成層。この安山岩の一部に、多量の大型斜長石斑晶を伴う特徴的な玄武岩質安山岩が含まれ、オコイータと呼ばれている。

(3) ロ・プラド(Lo Prado)層：

白亜紀前期のデイサイト～安山岩溶岩及び同質火砕岩を主体に、細粒砂岩、頁岩、石灰岩の薄層を伴う海成層。

(4) 沖積層：

河川及び崖錐堆積物

(5) 貫入岩：

上記の各層に貫入する花崗閃緑岩、石英閃緑岩、安山岩、デイサイト、石英斑岩、ひん岩など。

これらの地層は、全般にほぼ南北系の走向を示し、30度程度で東に傾斜する極めて単純な単斜構造を示す。断層構造は北西-南東系が優勢である。上記(4)及び花崗岩質岩石を除き全般に変朽安山岩化作用を被っている。

地域南西に小規模に分布する石英閃緑岩(既存地質図のタンタウエ花崗岩に相当)は、 $139.20 \pm 3.00\text{Ma}$ の絶対年代を示し、地質時代のジュラ紀～白亜紀に対応、地域南東部に分布する花崗閃緑岩(既存地質図のアウエ花崗岩に相当)は、 $90.23 \pm 1.47\text{Ma}$ を示し、地質時代の白亜紀中期に対応、安山岩岩脈は $69.76 \pm 1.53\text{Ma}$ 、及び $46.98 \pm 1.08\text{Ma}$ を示し、地質時代の白亜紀後期～古第三紀に対応する。当地域の銅鉱化作用との関連性が議論されているオコイータは、 $99.36 \pm 2.15\text{Ma}$ 、及び $95.39 \pm 2.08\text{Ma}$ を示し、地質時代の白亜紀中期に対応し、後述の産状及び岩石化学的特性から貫入岩と判断される。

3-3 調査地域の鉱業沿革

当地域の鉱業沿革については、前述のとおり、その詳細は不明である。

調査地域北東約15kmのセロ・エルバス・ブエナス(Cerro Yerbas Buenas)付近のスウェロ(Suello)、エスピノ(Espino)、ソカボン・ベナス(Socavon Venas)などの多数の小鉱山からの粗鉱を対象に、マイブ川沿岸にフランスによる大規模なノルツエ(Narthe)銅製錬所が建設・稼働されたが、1947年に操業は中止されている。当製錬所は、付近の小鉱山開発のため道路、鉄道、随洞などのインフラストラクチャーを整備し、最盛期の従業員は約30,000人程度であったという。この製錬所は孔雀石を主体とする二次銅鉱を精錬対象とし、輝銅鉱、斑銅鉱などの硫化銅鉱は対象外とされた。

調査地域の南東約30kmでは、ラス・アニマス(Las Animas)及びエル・マンサナス(El Manzanas)鉱山が、Au-Ag-Cu-Pb-Zn 鉱脈鉱床を対象として稼働しており、

精鉱をアウエ (Ahue) 製錬所に売鉱している。その品位はAu 130 g/t、Ag 1,300-4,000 g/t、Zn 20-30 %、Pb 8-10 %、Cu 1.3-2.0 %、SiO₂ 32% といわれている。また、同様に当地域南方では、花崗閃緑岩に関連する含金石英脈を対象に小規模な金鉱山が操業している。

しかし、調査地域を含めて、この周辺部では、経済性の高い大規模な鉱床は発見・開発されてるには至っていないが、最近、いわゆるマント・タイプ銅鉱床及び含金石英脈鉱床を対象とする探査標的地として、同国及び海外の鉱山会社の関心を集めている。

第4章 調査結果の総合検討

4-1 鉱化作用の特性と鉱床形成の概念

4-1-1 鉱化作用の特性

調査地域内の鉱化作用の特性は、以下に要約される。

①今回の調査で確認された約 30 箇所以上の鉱徴地の約65 % は、オルケッタ層上部層に集中するが、鉱化作用とオコイータとの直接的な成因関係を示す積極的な地質及び地化学的現象は確認されていない。また、鉱徴地の分布は断層などの構造線にも規制されているようには見えない。

②鉱化及び変質作用は以下に要約される。

*孔雀石を主体とする網状～鉱染鉱化作用。この鉱化作用はラス・ギアス鉱山の斑銅鉱-輝銅鉱鉱化作用以外の大部分の鉱徴地を占め、水平方向及び下部では急激に劣化・尖滅し、不毛石英脈・変質帯などに移行する現象は認められない。広域的な続成作用以外の変質作用は認められない。

*ラス・ギアス鉱山の富鉱体を形成する斑銅鉱-輝銅鉱を主体とする網状～鉱染状初生鉱化作用。広域的な続成作用以外の変質作用は認められない。

*安山岩中に認められる極めて小規模な黄銅鉱-黄鉄鉱石英脈の初生鉱化作用。これには二次銅鉱物の染込みが認められる。微量の絹雲母、カオリンなどの変質鉱物を伴う。

*ロ・プラド層中に認められる黄銅鉱-黄鉄鉱石英網状～鉱染状初生鉱化作用。珪化・粘土化変質作用を伴う。

*ラス・ギアス鉱床を中心として規則的に採取した母岩の試料に基づく X線解析でも、当地域に共通する続成作用による変質作用以外は認められない。

*構成鉱物は、斑銅鉱、輝銅鉱、ダイジェナイト、黄銅鉱、黄鉄鉱、赤鉄鉱、孔雀石、珪孔雀石、藍銅鉱、アタカマ石などである。これらの鉱物は、母岩を交代し、局部的に微弱な変質作用が認められる。

*斑銅鉱－輝銅鉱－ダイジェナイトの密接な共生、コロホーム組織、輝銅鉱からのジュールライトの離溶組織の存在などは、低温条件での鉱化作用を示している。

③流体包有物試験結果は以下に要約される。

*黄銅鉱－黄鉄鉱石英脈の均質化温度は265 ～ 200℃程度、不毛石英脈は170℃程度、二次的生成と考えられる不毛石英、方解石脈は130℃程度である。しかし、ラス・ギアス鉱山の斑銅鉱－輝銅鉱の鉱化作用に伴う均質化温度の資料は得られていない。

*塩濃度(NaCl eq.)は 10%以上、10% 未満～5%以上及び5%未満の 3種類の溶液が想定される。しかし、ラス・ギアス鉱山の斑銅鉱－輝銅鉱の鉱化作用に伴う塩濃度の資料は得られていない。

従って、調査地域内の熱水活動は、温度及び塩濃度の異なる溶液が、複数回に渡って活動したものと判断される。

④安定同位体元素

当地域の鉱化作用に関連する鉱化溶液の起源及び挙動を検討し、鉱化作用の機構を推定するため、 δ -S及び δ -Oの安定同位体元素の測定を実施した結果は、以下に要約される。

* δ O は、SMOWに対して13.4～16.3%と高い値を示し、初生溶液は地中の移動過程で堆積岩または変成岩と反応したことを示唆している。

* δ S は、CDTに対して18.8～19.4%を示し、海水起源の硫酸イオンが地下深部にとじ込められ、何らかの熱源で還元され、移動し、この過程で硫化水素に変化し安定同位体比が均質化したことを示唆している。この一連の過程で、溶液はCuイオンを溶かし込み、地質構造に支配された銅鉱物の沈殿に適する低温条件の場所で、斑銅鉱、輝銅鉱などが形成されたものと推定される。

4-1-2 鉱床形成の概念

以上の鉱化作用及び産状などから、以下のような鉱床形成の過程及び概念が想定される。なお、オコイータ中の斑銅鉱－輝銅鉱を主体とする、鉱化作用の形成過程の概念図をFig. 1-1-1 に示す。

①オコイータの貫入活動……白亜紀中期

以下の全ての鉱化作用を被っており、鉱化作用の場所に密接に関連している。

②ラス・ギアス鉱床の富鉱体を形成する斑銅鉱－輝銅鉱初生交代鉱化作用

……古第三紀以降

この富鉱体は、オコイータ中に賦存し、その産状は明らかに周囲の地層の層理に斜交し、安山岩岩脈にも鉱化作用を及ぼしている。オコイータの地化学的Cu含有量は、当地域の地層を形成する全ての岩石に比較して異常に高い。この事実は、鉱化作用が、オコイータの多孔質性・不均質性などの岩相及び空隙率に密接に関連し

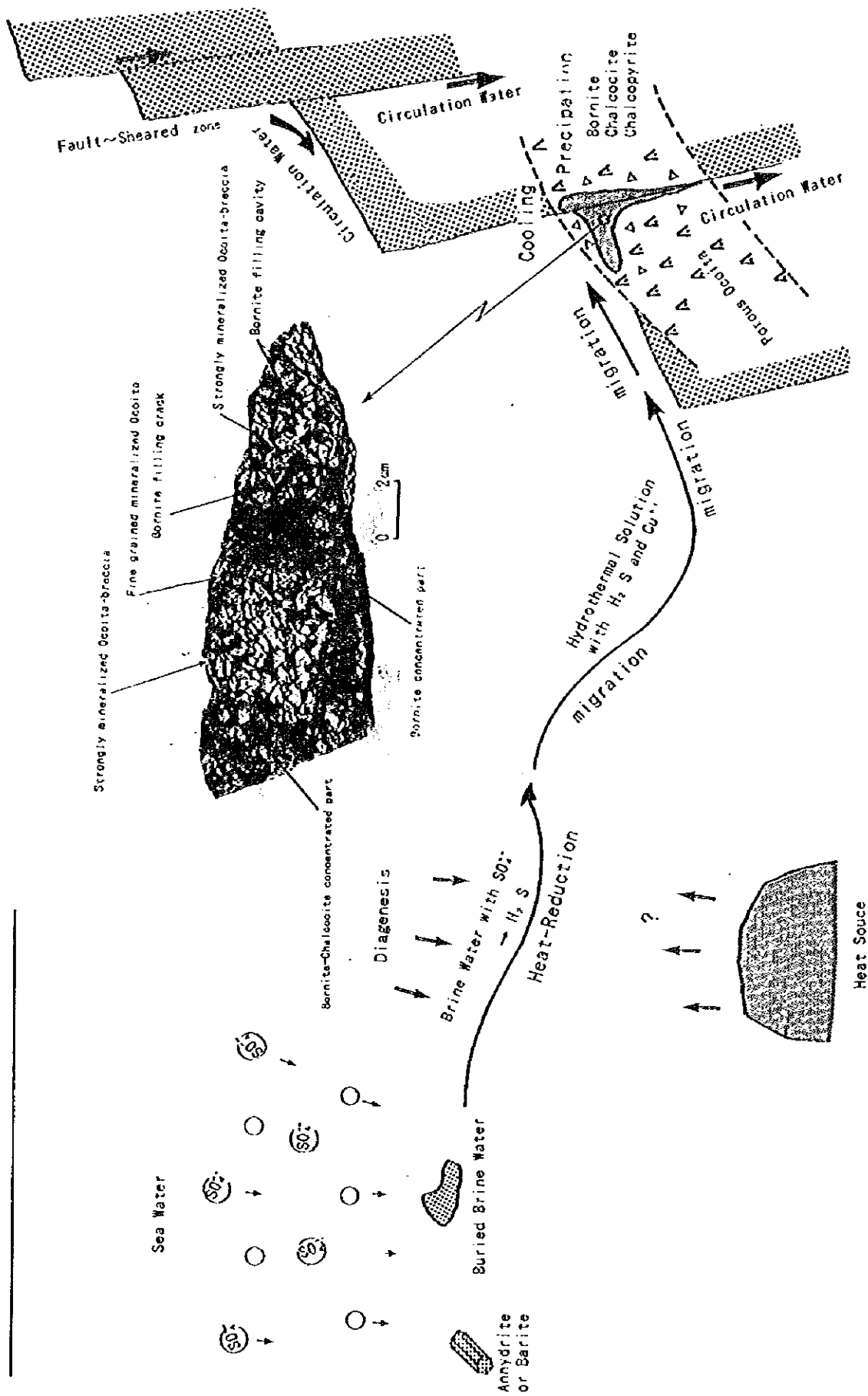


Fig. 1-1-1 Schematic conception map of mineralization

ている可能性の高いことを示唆している。この鉍化作用は、比較的規模の大きい高品位鉍床を形成する。

③黄銅鉍－黄鉄鉍石英脈初生鉍化作用…古第三紀以降

ラス・ギアス及びアンヘリータ鉍山坑内並びにロ・ブラド層中に賦存し、その産状から上述の斑銅鉍－輝銅鉍鉍化作用以降の活動である。両者は、構成鉍物の組合せ、変質作用などの相違から、斑銅鉍－輝銅鉍鉍化作用とは、物理化学的条件の異なる鉍化作用に起因するものと推定される。地化学探査結果からも、ロ・ブラド層は、オルケッタ層よりもAu、Sb、Pbの含有量が高い傾向を示し、この可能性を示唆している。この鉍化作用は極めて小規模であり、操業に値する鉍床は確認されていない。

④孔雀石を主体とする鉍化作用

上記の全ての鉍化作用に重複する調査地域では最末期の鉍化作用。この鉍化作用は、ラス・ギアス鉍山の斑銅鉍－輝銅鉍富鉍体中及び母岩の亀裂・空隙中、黄銅鉍－黄鉄鉍石英脈中の亀裂・縞状構造の空隙部に支配されて産し、この大部分は明らかに鉍脈形成後の産状を示す。従って、これらの大部分は、既存鉍床からの酸化・移動した、二次的鉍化作用の可能性が高い。この鉍化作用は、調査地域の鉍微地の主体をなすが、いずれも小規模であり操業に値する鉍床は確認されていない。

4-2 地化学探査

地域内に潜頭銅鉍床の可能性ある場所を推定することを目的に、岩石 410及び土壌 154試料の地化学探査を実施した。分析元素は、両者ともAu、Ag、As、Sb、Hg、Cd、Co、Cu、Fe、Pb、Mn、Mo、Ni、V、Zn の15成分である。

岩石及び土壌の分析結果を、各単元素の濃集部と鉍微地の関係、各単元素の濃集部とCu異常帯の関係、各地層及び各安山岩質岩石のCu含有量の比較及び主成分分析を実施し、地域内の潜頭銅鉍床の賦存可能性のある場所の抽出を試みた。その結果は、以下に要約される。

*岩石分析によるCu異常帯は、鉍微地の分布にほぼ整合的であり、鉍化作用を反映している。しかし、Cu以外の各元素濃集部と鉍微地の分布の間には、殆ど整合性は認められない。

*Au、Ag、Sbなどの高濃集部が、Cu異常帯の一部に対応するものの、全体的に各元素濃集部とCu異常帯の間には明瞭な関係が認められない。

*土壌分析によるCuの異常帯は、岩石のCu異常帯に比較して小規模であり、岩石の異常帯に含まれる。従って、当地域の異常帯は、岩石の異常帯で代表し得る。

*オルケッタ層の安山岩質岩石中にCu元素が濃集し、特に、オコイータには異状に濃集し、これ自体が異常帯を形成するといえる。この事実は、上述のごとくオコイータ自体が、周囲の岩石に比較して、鉍液の浸透に適した空隙率の高い物性

を有することに起因するものと推定される。

*主成分分析の高得点域と鉍微地の分布は、ほぼ整合的であり、鉍化作用を反映しているものと判断し得る。

以上の結果に基づき、当地域で抽出された異常帯及び高得点域と鉍化作用の関係を考察した結果は、以下に要約される。

*Cu異常帯：A-1～A-19の19ヶ所の異常帯は、鉍微地の約80%を網羅し、その鉍化作用を反映する当地域の銅鉍化作用の岩石地化学探査解析図といえる。

*主成分分析による岩石及び土壌の高得点域は、鉍微地の約80%を網羅し、その鉍化作用を反映する当地域の銅鉍化作用の土壌地化学探査解析図といえる。

さらに探査標的地を絞るため、これらのCu異常帯と高得点域の重複する範囲を選定すると、ラス・ギアス鉍山の鉍微地に収斂する。

従って、当地域のように、地表に多数の鉍微地が知られ、かつ、オコイータのような高濃度のCuを含む岩石の分布する地域では、地域全体が異常帯、または、自然汚染地帯となり、地化学探査により潜頭銅鉍床の賦存を推定することは困難であると結論される。また、既知鉍微地と同タイプ、同規模の鉍微が地下浅所に賦存するならば、Cu異常帯として捕捉されうるものと判断される。

4-3 物理探査

調査地域において、I P法（測線長20km、測点数1,800点）及びTEM法（測線長20km、測点数190点）が実施された。その結果は、以下に要約される。

*岩石及び鉍石の室内試験結果、調査地域に分布する主な岩石の平均比抵抗及び分極率は、安山岩質岩石4390Ωm、0mV/V、オコイータ4100Ωm、0mV/V、鉍石（斑銅鉍-輝銅鉍）54Ωm、45mV/Vを示し、岩石と鉍石の比抵抗および分極率は、明瞭な相違を示すことが確認された。従って、ある程度の纏まった斑銅鉍-輝銅鉍鉍床が、比較的地下浅所に賦存するならば、当手法によって、異常帯として抽出し得るものと結論し得る。

*I P法により地下浅所の比抵抗構造は、地表付近より1～3層に解析される。第1～2層目は300～600Ωmの低比抵抗、第3層目は1500Ωmの中比抵抗を示し、低比抵抗層と中比抵抗層との境界深度は地表下約100mである。また、分極率2～4mV/V、10～30mV/Vの多数の分極率異常帯が抽出され、その多くは600Ωm以下の低比抵抗を示す。

TEM法による地下の比抵抗構造は、600Ωm以下の低比抵抗層および600Ωm以上の中～高比抵抗層に解析される。両層の境界深度は地表下約100m～200mであり、浅部における比抵抗構造は、I P法解析結果とほぼ一致する。

以上の各解析結果より調査地域では、A～Gの7ヶ所の異常帯が抽出され、その

概要及び考察は以下に要約される。

①ラス・ギアス鉱山南部に分布する異常帯A

分極率20mv/vの低比抵抗体(100Ωm)が、地表下約100mまで連続する。その分極率及び比抵抗は、鉱石のそれらとは多少異なるが、当異常帯は、ラス・ギアス鉱山の母岩を構成するオコイータ中の浅所に分布する。

従って、この異常帯は、斑銅鉱－輝銅鉱の鉱化作用を反映している可能性がある

②ラス・ギアス鉱山の西方約500mのエル・レタモに分布する異常帯B

分極率10mv/vの中比抵抗体(1000Ωm)が、地表下約150mまで連続する。当異常帯は、ラス・ギアス鉱山の母岩を構成するオコイータ中の浅所に分布する。従って、この異常帯は、斑銅鉱－輝銅鉱の鉱化作用を反映している可能性がある。しかし、分極率があまり高くない、中比抵抗を示す、付近に安岩岩脈が分布する現象などから、この岩脈に伴う滞水層を反映している可能性もある。

③ラス・ギアス鉱山の北西約800mのエル・レタモに分布する異常帯C

分極率15mv/vの低比抵抗体(300Ωm)が、地表下約-200mまで連続し、さらに、300m深部まで連続する可能性がある。この分極率は、鉱石より低い値を示すが、オコイータ中の浅所に分布する。

従って、この異常帯は、斑銅鉱－輝銅鉱の鉱化作用を反映している可能性がある。

しかし、異常帯に近接するNW-SE系の断層に伴う滞水層を反映している可能性もある。

④ラス・ギアス鉱山の西方約1,100mのエル・レタモ丘の西側の沢沿いに分布する異常帯D

分極率15mv/vの低比抵抗体(300Ωm)が、地表下約-150mまで連続し、さらに、300m深部まで低比抵抗体が連続する可能性がある。この分極率及び形態から低品位硫化鉱物の賦存を反映している可能性がある。しかし、当異常帯は南北方向の測線②のみで抽出された大規模な異常帯である、地質調査及び既存資料でも、当地方にはこの異常帯に匹敵する規模の鉱化変質作用は知られていない、異常帯は緩傾斜の谷沿い分布する、異常帯の南部に近接してNW-SE系の岩脈が発達するなどの事実から、当異常帯は、地形及び岩脈に伴う弱線に支配された滞水層を反映している可能性も否定出来ない。

⑤アンヘリータ鉱山に位置する異常帯群E

分極率15mv/v(一部30mv/vを含む)の低比抵抗体(300Ωm)が、地表下約200mまで連続し、さらに、その一部は地表下300m付近まで連続する可能性がある。当異常帯付近には多数のピットが存在し、小規模な孔雀石を主体とする鉱化作用を伴う、異常帯に近接してN-S及びNW-SE系の断層が発達する。また、坑内では黄銅鉱－黄鉄鉱石英細脈の鉱化作用が散見される。

従って、以上の事実から、当異常帯は、黄銅鉱－黄鉄鉱鉱化作用が下部で発展す

る可能性、または、断層に伴う弱線に支配された滞水層を反映している可能性がある。

⑥チャクリヤ北西約2,000mに位置する異常帯F

分極率30mv/vの中比抵抗体(1500Ωm)が、地表下約150mまで連続し、さらに、300m深部まで連続する可能性がある。当異常帯の地質的環境及び鉱化作用の性質は、異常帯Dと全く同様である。ただし、分極率は、異常帯Dより高いことから、硫化鉱物の賦存を反映している可能性がある。同時に、断層に伴う滞水層を反映している可能性も否定出来ない。

⑦ラス・ギアス鉱山の北約1,700mに位置する異常帯G

分極率15mv/vの低比抵抗体(300Ωm)が、地表下約200mまで連続し、その一部は300m深部まで連続する可能性がある。当異常帯は、南北方向のオコイータの岩脈及び断層に近接している。

従って、当異常帯は、斑銅鉱-輝銅鉱の鉱化作用、または、断層などの弱線に支配された滞水層を反映している可能性がある。

以上の各異常帯は、硫化物鉱物の賦存の可能性を示唆している。しかし、分極率の値が鉱石の45mv/vの60%以下を示している事実から、もし、異常帯が、硫化鉱物に起因するとしても、その含有量はかなり低いものと判断される。また、同時に、岩石の空隙などに支配された滞水層などを反映している可能性がある。

4-4 鉱床賦存のポテンシャル

以上の地質調査、地化学探査及び物理探査結果から、当地域の鉱床賦存のポテンシャルは、以下に要約される。

- (1) 地質調査によって確認されたオルケッタ層中の多数の孔雀石を主体とする鉱徴の全ては、水平方向及び、特に下部にも極めて小規模である。これらに、斑銅鉱-輝銅鉱を主体とする鉱化作用を伴うとすると、ラス・ギアス鉱山とほぼ同規模の富鉱体が期待される。
- (2) 鉱化作用の総合的検討の結果、斑銅鉱-輝銅鉱の富鉱体は、オコイータの角礫状部分に賦存する可能性が高いものと判断される。
- (3) ロ・ブラド層中の熱水性鉱脈の鉱徴は、オルケッタ層中の鉱徴よりも微弱である事実から、大規模な鉱床に発展するポテンシャルは低いものと判断される。
- (4) 地化学探査によって確認された異常帯は、地質調査で把握された鉱徴地をほぼ網羅しており、当地域の鉱化作用を正確に反映していると判断される。オルケッタ層下部層中に分布する鉱徴地を伴わない異常帯は、単位面積当たりの試料数が少ないが、地質調査の結果から同上部層とほぼ同精度の地化学的特性を反映しているものと判断される。従って、オルケッタ層下部層の異常帯には、鉱

床の賦存のポテンシャルは低いものと判断される。

- (5) 物理探査によって抽出された7ヶ所の異常帯については、程度の差はあるものの、硫化物鉱床賦存のポテンシャルの可能性がある。

第5章 結論及び第2年次への提言

5-1 結論

5-1-1 地質調査

調査地域の地質は、下位よりジュラ紀のオルケッタ層、白亜紀のロ・ブラド層から構成される。オルケッタ層は上下2部層に区分され、下部層は安山岩溶岩、同質火砕岩を主体としデイサイト溶岩を挟む海成層、上部層は安山岩溶岩（一部オコイータ）、同質火砕岩を主体とし、砂岩、頁岩の薄層を挟む陸成層、ロ・ブラド層はデイサイト～安山岩溶岩、同質火砕岩を主体とし、砂岩、頁岩、石灰岩を伴う海成層から構成される。さらに、これらに花崗閃緑岩、石英閃緑岩、安山岩、デイサイトなどの火成岩が貫入する。地質構造はほぼ南北系の走向を示し、東に30°程度で傾斜する単斜構造を示し、断層はNW-SE系が優勢である。

これら火成岩のK-Ar法による貫入時期は、クンタウエ石英閃緑岩はジュラ紀～白亜紀、アルエ花崗閃緑岩は白亜紀中期の活動である。また、安山岩岩脈は白亜紀後期から古第三紀にかけて、少なくとも2回の活動を示す。鉱化作用との関連が議論されているオコイータは、白亜紀中期の活動を示し、その産状及び岩石化学的検特性から貫入岩の可能性が高いと判断される。

調査地域内には約30ヶ所以上の銅鉱徴地が確認された。

このうちの約65%がオルケッタ層上部層の安山岩質岩石中に、残りはロ・ブラド層の各種の岩石中に賦存する。しかし、オルケッタ層下部層中には殆ど認められない。これらのうち探鉱出鉱の実績を有するものは、ラス・ギアス及びモナ・ブランカ鉱山のみである。鉱化作用の規模は、ラス・ギアス鉱山を除き、大半は数千トン程度の規模であることが、トレンチ探鉱によって確認されている。ラス・ギアス鉱山の富鉱体は、N45W方向に配列し、70°程度で北に傾斜する。探掘空洞の規模から最大30m×20m×6m規模の3富鉱体が賦存したものと判断される。また、これらの鉱徴地の賦存位置は断層に規制されているようには見えない。

オルケッタ層中の鉱化作用は、孔雀石などを主体とする網状～鉱染状鉱化作用、ロ・ブラド層中のものは、黄銅鉱-黄鉄鉱石英脈～鉱染状鉱化作用である。しかし、ラス・ギアス鉱山の富鉱体のみは、斑銅鉱-輝銅鉱網状～鉱染状鉱化作用であり、より後期生成の孔雀石を主体とする網状～鉱染状を伴う。これらのうち黄銅鉱-黄鉄鉱石英脈以外の鉱化作用は、下部では劣化・尖滅し不毛石英脈、変質帯などに移

行する現象は認められない。

オルケッタ層中の鉍微地の母岩は、広域的な変朽安山岩化作用以外の鉍化作用に伴う変質作用は認められない。しかし、ロ・ブラド層中の鉍微地は、小規模な珪化並びに微弱な絹雲母及びカオリン化作用を被っている。

黄銅鉍-黄鉄鉍石英脈及び斑銅鉍-輝銅鉍鉍化作用を切る石英脈及び安山岩中の不毛石英及び方解石脈中の流体包有物の均質化温度を測定した結果、各々約265~200℃、170℃及び130℃程度を示し、温度の異なる複数回の熱水溶液の活動が想定される。また、これらの塩濃度は、均質化温度にほとんど相関せず0.3%未満、0.3%以上~5.0%未満、5.0%以上~10.0%未満及び10.0%以上の母集団に大別される。同一試料から得られた塩濃度も7%以上の差を示す母集団に明瞭に区分される。従って、この結果からも、塩濃度の異なる複数の熱水溶液の活動が想定される。

以上の結果、当地域の鉍化作用は、温度・塩濃度及び活動時期の異なる複数の鉍化溶液によって形成されたものと推定される。しかし、ラス・ギアス鉍山の斑銅鉍-輝銅鉍鉍化溶液の温度及び塩濃度を直接的に示す試料は得られていない。

構成鉍物は、斑銅鉍、輝銅鉍、ダイジェナイト、黄銅鉍、黄鉄鉍、赤鉄鉍、孔雀石、珪孔雀石、藍銅鉍、アタカマ石などである。これらの鉍物は、母岩を交代し、局部的に微弱な変質作用が認められる。また、斑銅鉍-輝銅鉍-ダイジェナイトの密接な共生、コロホーム組織、輝銅鉍からのジュールライトの離溶組織の存在などは、低温条件での鉍化作用を示している。

鉍化溶液の起源及び挙動を検討し、鉍化作用の機構を推定するために実施した安定同位体元素の検討結果、 δO は、SMOWに対して13.4~16.3%と高い値を示し、初生溶液は地中の移動過程で堆積岩または変成岩と反応したことを示唆している。また、 δS は、CDIに対して18.8~19.4%を示し、海水起源の硫酸イオンが地下深部にとじ込められ、何らかの熱源で還元され、移動し、この過程で硫化水素に変化し安定同位体比が均質化したことを示唆している。この一連の過程で、溶液はCuイオンを溶かし込み、地質構造に支配された銅鉍物の沈殿に適する低温条件の場所で斑銅鉍、輝銅鉍などが形成されたものと推定される。

以上の鉍化作用の特性及びの産状などから、鉍床形成の過程は、以下に要約される。

①オコイータの貫入活動…白亜紀中期

以下の全ての鉍化作用を被っており、効果作用の場所に密接に関連している。

②ラス・ギアス鉍床の富鉍体を形成する斑銅鉍-輝銅鉍初生交代鉍化作用

…古第三紀以降

この富鉍体は、オコイータ中に賦存し、その産状は明らかに周囲の地層の層理に斜交し、安山岩岩脈にも鉍化作用を及ぼしている。オコイータの地化学的Cu含有量は、当地域の地層を形成する全ての岩石に比較して異常に高い。

この事実は、鉍化作用が、オコイータの多孔質性・不均質性などの岩相及び空隙率に密接に関連している可能性の高いことを示唆している。この鉍化作用は、比較的規模の大きい高品位鉍床を形成する。

③黄銅鉍－黄鉄鉍石英脈初生鉍化作用…古第三紀以降

ラス・ギアス及びアンヘリータ鉍山坑内並びにロ・ブラド層中に賦存し、その産状から上述の斑銅鉍－輝銅鉍鉍化作用以降の活動である。両者は、構成鉍物の組合せ、変質作用などの相違から、斑銅鉍－輝銅鉍鉍化作用と物理化学的条件の異なる鉍化作用に起因するものと推定される。地化学探査結果からも、ロ・ブラド層は、オルケッタ層よりもAu、Sb、Pbの含有量が高い傾向を示し、この可能性を示唆している。この鉍化作用は極めて小規模であり、操業に値する鉍床は確認されていない。

④孔雀石を主体とする鉍化作用

上記の全ての鉍化作用に重複する調査地域では最末期の鉍化作用。この鉍化作用は、ラス・ギアス鉍山の斑銅鉍－輝銅鉍富鉍体中及び母岩の亀裂・空隙中、黄銅鉍－黄鉄鉍石英脈中の亀裂・縞状構造の空隙部に支配されて産し、この大部分は明らかに鉍脈形成後の産状を示す。従って、これらの大部分は、既存鉍床からの酸化・移動した、二次的鉍化作用の可能性が高い。この鉍化作用は、調査地域の鉍微地の主体をなすが、いずれも小規模であり操業に値する鉍床は確認されていない。

5-1-2 地化学探査

地域内に潜頭銅鉍床の可能性ある場所を推定することを目的に、岩石 410及び土壤 154試料の地化学探査を実施した。分析元素は、両者ともAu、Ag、As、Sb、Hg、Cd、Co、Cu、Fe、Pb、Mn、Mo、Ni、V、Zn の15成分である。

岩石及び土壤の分析結果を、各単元素の濃集部と鉍微地の関係、各単元素の濃集部とCu異常帯の関係、各地層及び各安山岩質岩石のCu含有量の比較及び主成分分析を実施し、地域内の潜頭銅鉍床の賦存可能性のある場所の抽出を試みた結果は、以下に要約される。

*岩石分析によるCu異常帯は、鉍微地の分布にほぼ整合的であり、鉍化作用を反映している。しかし、Cu以外の各元素濃集部と鉍微地の分布の間には、殆ど整合性は認められない。

*Au、Ag、Sbなどの高濃集部が、Cu異常帯の一部に対応するものの、全体的に各元素濃集部とCu異常帯の間には明瞭な関係が認められない。

*土壤分析によるCuの異常帯は、岩石のCu異常帯に比較して小規模であり、岩石の異常帯に含まれる。従って、当地域の異常帯は、岩石の異常帯で代表し得る。

*オルケッタ層の安山岩質岩石中にCu元素が濃集し、特に、オコイータには異状に

濃集し、これ自体が異常帯を形成するといえる。この事実は、上述のごとくオコイータ自体が、周囲の岩石に比較して、鉱液の浸透に適した空隙率の高い物性を有することに起因するものと推定される。

*主成分分析による岩石及び土壌の高得点域と鉱微地の分布は、ほぼ整合的であり、鉱化作用を反映しているものと判断し得る。

以上の結果に基づき、当地域で抽出された異常帯及び高得点域と鉱化作用の関係を考察した結果は、以下に要約される。

① Cu異常帯：

A-1～A-19の19ヶ所の異常帯は、鉱微地の約80%を網羅し、その鉱化作用を反映する当地域の銅鉱化作用の岩石地化学探査解析図といえる。従って、鉱微地を含まない異常帯についてのみ考察する。

*異常帯A-2及びA-3は、北に近接する異常帯A-1と一括し得ると判断される。

*異常帯A-5及びA-6は、一括し得ると判断される。当異常帯はオルケツタ層下部層中に分布し、地質及び鉱化作用との関連性は不明ではあるが、大規模な分布を示すため、他の手法と併せて検討する。

*異常帯A-13は、南西に近接する異常帯A-14と一括し得ると判断される。

*異常帯A-12、A-16及びA-18は、試料数が少なく信頼性が低いと判断し得る。

② 岩石の高得点域：

R-1～R-26の26ヶ所の高得点域うち、比較的大規模な分布を示すR-1、R-4、R-5、R-9、R-12、R-14、R-12、R-16などの高得点域は、鉱微地の約80%を網羅し、その鉱化作用を反映する当地域の銅鉱化作用の土壌地化学探査解析図といえる。従って、鉱微地を含まない高得点域についてのみ考察する。

*高得点域R-2は、岩石地化学探査のAu濃集部の一部に重複しており、地質との関連性は不明であるが注目すべきと判断する。

*高得点域R-3は、南西に近接するR-4と一括し得ると判断される。

*高得点域R-5は、オルケツタ層下部層中に分布し、地質との関連性は不明であるが、大規模な分布を示すため、他の手法と併せて検討する。

*高得点域R-11、R-13、R-15、R-17、R-18、R-19、R-20は、R-14と一括し得ると判断される。

*高得点域R-21、R-22は、試料数が少なく信頼性が低いと判断し得る。

③ 土壌の高得点域：

S-1～S-5の5ヶ所の高得点域のうち、S-2は鉱微地の約75%を網羅し、その鉱化作用を反映する当地域の銅鉱化作用の地化学探査解析図といえる。従って、鉱微地を含まない高得点域についてのみ考察する。

*高得点域S-1は、オルケツタ層下部層中に分布し、地質との関連性が不明であるが、大規模な分布を示すため、他の手法と併せて検討する。

*高得点域S-4 及びS-5 は、試料数が少なく信頼性が低いと判断し得る。

④総合解析結果

以上の岩石及び土壌のCu異常帯並びに高得点域から、さらに探査標的地を絞るため、これらの重複する範囲を検討した結果は、以下に要約される。

- * 地域北部のG-1、G-2、G-3 は、同一の異常帯と判断され、Auの濃集部ともほぼ一致し、注目すべき地域と判断される。デイサイト溶岩ドームに関連する可能性もある。
- * 地域中央部のG-4 は、ラス・ギアス鉱山の鉱微地を反映しているが、厳密には調査地域外である。
- * 地域東端のG-5 は注目すべき地域であるが、小規模なパナマ金鉱微地を反映している。
- * 地域東端及び南東端のG-6、G-7は、試料数が少なく信頼性が低い。

従って、当地域のように、地表に多数の鉱微地が知られ、かつ、オコイータのような高濃度のCuを含む岩石の分布する地域では、地域全体が異常帯、または、自然汚染地帯となり、地化学探査により潜頭銅鉱床の賦存を推定することは困難であると結論される。また仮に、既知鉱微地と同タイプ、同規模の鉱微が地下浅所に賦存するならば、地化学探査によってCu異常帯として捕捉しうるものと判断される。

5-1-3 物理探査

調査地域において、IP法（測線長20km、測点数1,800点）及びTEM法（測線長20km、測点数190点）が実施され、その結果は、以下に要約される。

- * 岩石及び鉱石の室内試験結果、調査地域に分布する主な岩石の平均比抵抗及び分極率は、安山岩質岩石4390Ωm、0mV/V、オコイータ4100Ωm、0mV/V、鉱石（斑銅鉱-輝銅鉱）54Ωm、45mV/Vを示し、岩石と鉱石の比抵抗および分極率は明瞭な相違を示すことが確認された。従って、ある程度の纏まった斑銅鉱-輝銅鉱鉱床が、比較的地下浅所に賦存するならば、当手法によって、異常帯として抽出し得るものと結論し得る。
- * IP法により地下浅所の比抵抗構造は、地表付近より1～3層に解析される。第1～2層目は300～600Ωmの低比抵抗、第3層目は1500Ωmの中比抵抗を示し、低比抵抗層と中比抵抗層との境界深度は地表下約100mであった。また、分極率2～4mV/V及び10～30mV/Vの多数の分極率異常体が抽出され、その多くは600Ωm以下の低比抵抗を示す。
- * TEM法による地下の比抵抗構造は、600Ωm以下の低比抵抗層および600Ωm以上の中～高比抵抗層に解析される。両層の境界深度は地表下約100m～200mであり、浅部における比抵抗構造は、IP法解析結果とほぼ一致する。

以上の各解析結果より調査地域では、A～Gの7ヶ所の異常帯が抽出され、以下に

その概要及び考察を要約する。

①ラス・ギアス鉱山南部に分布する異常帯A

分極率20mv/vの低比抵抗体(100Ωm)が、地表下約-100mまで連続する。その分極率及び比抵抗は、鉱石のそれらとは多少異なるが、当異常帯は、ラス・ギアス鉱山の母岩を構成するオコイータ中の浅所に分布する。

従って、この異常帯は、斑銅鉱-輝銅鉱の鉱化作用を反映している可能性がある。

②ラス・ギアス鉱山の西方約500mのエル・レタモに分布する異常帯B

分極率10mv/vの中比抵抗体(1000Ωm)が、地表下約150mまで連続する。当異常帯は、ラス・ギアス鉱山の母岩を構成するオコイータ中の浅所に分布する。

従って、この異常帯は、斑銅鉱-輝銅鉱の鉱化作用を反映している可能性がある。しかし、分極率があまり高くない、中比抵抗を示す、付近に安山岩岩脈が分布する現象などから、この岩脈に伴う滞水層を反映している可能性もある。

③ラス・ギアス鉱山の北西約800mのエル・レタモに分布する異常帯C

分極率15mv/vの低比抵抗体(300Ωm)が、地表下約-200mまで連続し、さらに、300m深部まで連続する可能性がある。この分極率は、鉱石より低い値を示すが、オコイータ中の浅所に分布する。

従って、この異常帯は、斑銅鉱-輝銅鉱の鉱化作用を反映している可能性がある。しかし、同時に、異常帯に近接するNW-SE系の断層に伴う滞水層を反映している可能性もある。

④ラス・ギアス鉱山の西方約1,100mのエル・レタモ丘の西側の沢沿いに分布する異常帯D

分極率15mv/vの低比抵抗体(300Ωm)が、地表下約-150mまで連続し、さらに、300m深部まで連続する可能性がある。この分極率及び形態から低品位硫化鉱物の賦存を反映している可能性がある。しかし、当異常帯は南北方向の測線②のみで抽出された大規模な異常帯である、地質調査及び既存資料でも、当地方にはこの異常帯に匹敵する規模の鉱化変質作用は知られていない、異常帯は緩傾斜の谷沿い分布する、異常帯の南部に近接してNW-SE系の岩脈が発達するなどの事実から、当異常帯は、地形及び岩脈に伴う弱線に支配された滞水層を反映している可能性も否定出来ない。

⑤アンヘリータ鉱山に位置する異常帯群E

分極率15mv/v(一部30mv/vを含む)の低比抵抗体(300Ωm)が、地表下約200mまで連続し、さらに、その一部は地表下300m付近まで連続する可能性がある。当異常帯付近には多数のピットが存在し、小規模な孔雀石を主体とする鉱化作用に伴う、異常帯に近接してN-S及びNW-SE系の断層が発達する、坑内では黄銅鉱-黄鉄鉱石英細脈の鉱化作用が散見される。

従って、以上の事実から、当異常帯は、黄銅鉱-黄鉄鉱鉱化作用が下部で発展す

る可能性、または、断層に伴う弱線に支配された滞水層を反映している可能性がある。

⑥チャクリヤ北西約2,000mに位置する異常帯F

分極率30mv/vの中比抵抗体(1500Ωm)が、地表下約150mまで連続し、さらに、300m深部まで連続する可能性がある。当異常帯の地質的環境及び鉱化作用の性質は、異常帯Fと全く同様である。ただし、分極率は、異常帯Fより高いことから、硫化鉱物の賦存を反映している可能性がある。同時に、断層に伴う滞水層を反映している可能性も否定出来ない。

⑦ラス・ギアス鉱山の北約1,700mに位置する異常帯G

分極率15mv/vの低比抵抗体(300Ωm)が、地表下約200mまで連続し、その一部は300m深部まで連続する可能性がある。当異常帯は、南北方向のオコイータ及び断層に近接している。

従って、当異常帯は、斑銅鉱-輝銅鉱の鉱化作用、または、断層などの弱線に支配された滞水層を反映している可能性がある。

以上の各異常帯は、硫化物鉱物の賦存の可能性を示唆している。しかし、分極率の値が鉱石の45mv/vの60%以下を示している事実から、もし、異常帯が、硫化鉱物に起因するとしても、その含有量はかなり低いものと判断される。また、同時に、岩石の空隙などに支配された滞水層などを反映している可能性もある。

5-2 第2年次への提言

地質調査、地化学探査及び物理探査結果を総合的に解析した結果、以下の提言をする。

- (1) 調査地域の基本的な地質、鉱化作用、地化学特性などは、ほぼ解明されたと判断される。従って今後の調査計画は、後述のボーリング探査資料を今回の調査結果に基づき再検討し、立案される必要がある。
- (2) 物理探査を実施するならば、今回の地質調査の結果に基づき、オコイータの分布範囲に限定した方が、より効果的であるものと判断される。
- (3) 物理探査の異常帯群Eは、付近に孔雀石を主体とする多数の鉱徴地、及び下部には黄銅鉱-黄鉄鉱石英脈を伴うアンヘリータ鉱山に位置する。従って、この異常帯が斑銅鉱-輝銅鉱の鉱床を伴うか否かをボーリングで確認する。併せて、この結果に基づき、調査地域内に確認されている多数の同タイプの鉱徴地の探鉱価値を再評価する必要がある。
- (4) 物理探査の異常帯Dに対しては、その原因をボーリングで確認する必要がある。

第Ⅱ部 各 論

第1章 地質調査

1-1 地質概要

当地域の地質層序表を Table 2-1-1に、地質図及び地質断面図を Fig. 2-1-1、Fig. 2-1-2 に示す。

当地域は、ほぼ南北方向に発達する海岸山脈内に位置する。この海岸山脈には従来からいわゆるマント・タイプ銅鉛床の賦存が知られており、当地域内にも多数の小規模な鉛微地が確認されている。さらに、地域北方、南方にも操業中及び操業実績のある多数の鉛山が知られており、チリー中部海岸山脈の鉛床区として、最近、同国はもとより海外鉛山会社の注目を集めるに至っている。

海岸山脈は Cordillera de Los Andesと同様に古生代以降の3回の造山運動を被り、現在の地形は、白亜紀後期から古第三紀にかけての、アンデス造山運動によって形成されたものと解釈されている。また、この造山運動期に花崗閃緑岩を主体とするアンデス岩床が活動し、これに伴う斑岩銅鉛床が各所に形成されている。この岩床の一部が当地域の一部及び周辺に分布する。

調査地域を構成する地層は地域西部から東部にかけて、下位よりジュラ紀のオルケッタ層下部層・上部層、白亜紀のロ・ブラド層、及びこれらに貫入する閃緑岩類、デイサイト、安山岩などから構成される。

オルケッタ層下部層は、主として海成の安山岩溶岩を、オルケッタ層上部層は一部に頁岩、赤色砂岩の薄層を挟在する、主として陸成の赤色安山岩溶岩から構成されている。ロ・ブラド層は一部に砂岩、頁岩、石灰岩の薄層を挟在する、主として海成のデイサイト～安山岩溶岩及び同質火砕岩から構成されている。従って、これらの地層は、当地域の一連の火成活動の環境の推移を反映している。

これらの地層は、ほぼ南北方向に分布し、 $20\sim 30^\circ$ で東に傾斜する単斜構造を示す。この地質構造は、海岸山脈の地質構造に整合的である。

断層は北西～南東系のものが優勢であるが、大規模な変位は認められない。

以下に調査地域を構成する各地層及び貫入岩について記載する。

1-2 地質各論

(1) オルケッタ層 (層厚1,500m+)

オルケッタ層は、上部及び下部の2部層に区分される。50,000分の1図幅では、当層の構成岩は2部層を一括して安山岩及び同質火砕岩を主体に、局部的に陸成及び海成の砂岩、頁岩、凝灰岩質砂岩及び凝灰岩を挟在するとされ、両部層の岩相の相違には触れていない。

① オルケッタ層下部層

当部層は安山岩溶岩を主体とし、一部に同質凝灰岩・火山角礫岩・凝灰角礫岩を

Table 2-1-1 Geological Column of Cholqui area

Geologic Time	Formation	Geology	Thickness	Description	Intrusive rocks
Mesozoic	Cretaceous	Lo Prado	1500m +	Dacitic ~ Andesitic Pyroclastic rocks (Tuff, Lapilli tuff, Tuff breccia) Dacite (Lava dome) Sandstone Andesite lava and sill (so called Ocoita) Andesite lava (massive and brecciated) Shale	Andesite
	Jurassic	Horqueta	1500m +	Red coloured Andesite lava (massive and brecciated) Andesite lava and sill (so called Ocoita) Sandstone Dacite (Lava dome) Shale Andesitic Pyroclastic rocks (Tuff, Lapilli tuff, Tuff breccia) Dark green ~ gray coloured Andesite lava (massive and rarely brecciated) Andesitic Pyroclastic rocks (Tuff, Lapilli Tuff, Tuff breccia) Dacite (Lava dome)	Dacite Granite and Diorite

挟在する。また、デイサイトの溶岩ドームが発達する。

安山岩溶岩は、暗灰色～黒色あるいは暗緑色を呈し、中粒砂岩の挟在などから浅海での活動と推定される。しかし、産状は硬質塊状で、自破砕あるいは水冷破砕構造はほとんど発達していない。斑晶鉱物は斜長石と微量の角閃石であるが、南部のアウエ花崗閃緑岩及びタンクアウエ石英閃緑岩の付近では、緑簾石・緑泥石化作用が顕著に観察される。鏡下では、しそ輝石・普通輝石安山岩あるいは普通輝石安山岩である。前者は斑状組織が発達し、斑晶としては多量の斜長石が主体で、少量の普通角閃石、しそ輝石、鉄鉱物なども認められる。石基はハイアロピリテック組織を示し、日本産の安山岩の組織と類似している。変質の程度は弱い。後者は斑晶に乏しく、中量の斜長石、少量の普通輝石及び鉄鉱物を含む。変質の程度はやや高い。不完全なマグマの混合が発生したような組織が認められる。変質鉱物としては、緑泥石、セリサイト、緑簾石、方解石、石英、酸化鉄などの生成が認められる。

安山岩質凝灰岩、火山礫凝灰岩及び角礫凝灰岩は暗緑色を呈し、構成礫は数種の安山岩及び少量の泥岩である。礫形は角礫ないし亜角礫状を示す。これらの火砕岩の分級は不良で、溶岩との境界が不鮮明な場合が多い。基質及び凝灰質部には斜長石片、角閃石片が観察される。安山岩礫の多くは、同層を構成する安山岩で、多量の白色斜長石斑晶を含み、石基は茶褐色を呈する。

デイサイト溶岩は、白色～灰色の無斑晶質岩で、その産状から溶岩ドームと推察される。

②オルケッタ層上部層

当部層は、安山岩溶岩を主体とし、同質の凝灰岩類、小規模な頁岩及び赤色砂岩の薄層を挟在する。安山岩類は、全般的に酸化鉄を伴い、茶褐色ないしは赤褐色の特徴的な色調を呈し、大部分が陸成層であることを示している。また木層の比較的上部に、オコイータと呼称される特徴的な安山岩が、ラス・ギアス鉱山付近に比較的纏まって分布する。産状は溶岩及び貫入形態（シル～シート）を示すが、両者の直接的関係は不明である。当部層にもデイサイトの溶岩ドームの発達する。

安山岩は、自破砕構造の顕著な茶褐色ないし赤褐色の溶岩が主体で、一部には暗褐色ないし暗灰色塊状な部分も存在する。自破砕構造の顕著な溶岩は同質火山礫凝灰岩、あるいは凝灰角礫岩と肉眼的識別が困難な場合がある。木岩には乳白色、希には透明な斜長石斑晶が認められる。鏡下では、しそ輝石含有普通輝石安山岩及びしそ輝石・普通輝石含有普通角閃石石英安山岩である。これらは噴火時の高温酸化の結果、赤錆色を呈し、有色鉱物は分解、変質している。この現象は典型的な陸上の噴火活動を示している。斑状組織が発達し、多量の斜長石及び微量のしそ輝石斑晶が確認される。石基はハイアロピリテック組織を示し、変質の程度は高い。

上述のとおり、当部層の陸成の火山岩及び火砕岩の火山岩礫には、斑状組織が発

達し、石英、斜長石、しそ輝石、普通輝石、普通角閃石、鉄鉱物などの多様な斑晶鉱物を含む特徴を示す。また、高温酸化により普通角閃石は完全にオパサイト化し、石基部分の鉄鉱物の酸化により、全体的に赤錆色を呈する。変質の程度は比較的高く、変質鉱物は緑泥石、セリサイト、方解石、石英及び鉄酸化物である。

凝灰岩類は茶褐色ないしは赤褐色を呈し、安山岩質凝灰岩及び安山岩の岩片を伴う火山礫凝灰岩、あるいは凝灰角礫岩から構成される。鏡下では、空中での高温酸化を反映し、赤錆色を呈する径 0.8mm以下の比較的分級のよい粗粒火山灰よりなる。変質の程度は高いが、凝灰岩の組織を残している。

火山礫凝灰岩は、普通角閃石安山岩質火山礫凝灰岩で、径8mm以下の安山岩岩片（火山礫～火山灰）から構成される。普通角閃石が特徴的に存在する。礫の形状は亜角礫～円礫である。高温酸化により全体が赤錆色を呈し、普通角閃石の一部は完全にオパサイト化している。変質はそれ程高くない。変質鉱物として緑泥石、方解石、石英及び鉄酸化物が生成している。

オコイータは、全般に暗緑灰色を呈し、大型自形の斜長石斑晶を多量に含む、極めて特徴的な岩相を示す。周囲の地層にはほぼ整合的な溶岩状を示すが、場所によっては貫入岩状産状も示す。鏡下では、多量の累帯構造に乏しい斜長石、少量～微量のかんらん石±普通輝石斑晶を伴う玄武岩～苦鉄質安山岩（玄武岩質安山岩）である。石基は斜長石、普通角閃石、鉄鉱物及びガラスからなり、少量～微量のかんらん石及び稀には石英が認められる。変質鉱物は緑泥石、セリサイト、方解石、石英、粘土鉱物、酸化鉄及び不透明鉱物などであり、変質程度は比較的高い。また、局部的に蛇紋石が生成している。本岩の一部は、特に、鉱床の近辺では、しばしば斑銅鉱、輝銅鉱、少量の赤鉄鉱（鏡鉄鉱）の網状～鉱染状、あるいは気泡を充填する鉱化作用を被り、鉱床母岩となっている。このオコイータは、岩石組織、造岩鉱物組合せ、及びBa、Sr、Nbの含有量が平均的な安山岩より高いことなどから、孤島あるいは活動的な大陸縁に産する典型的な高アルミナ火山岩であるものと判断される。

オコイータ及びオルケツク層を構成する安山岩の全岩分析値に基づく $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$ 系三角ダイアグラムを Fig 2-1-3に示す。

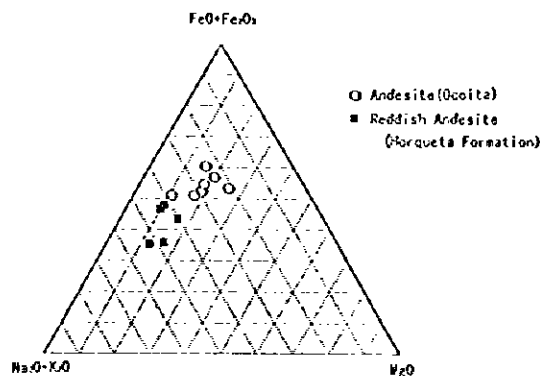


Fig. 2-1-3 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$ diagram

本図から、オルケッタ層の安山岩は、オコイータに比較してマグマの分化が進行していると判断し得る。オコイータは一部溶岩、一部貫入岩の産状を示し、見掛上オルケッタ層の最上部に、層状または整合的に産する。もし、オコイータを溶岩と仮定するならば、両岩は同一マグマからの連続的な火成活動による噴出物と解釈される。しかし、この考えは両岩の岩石化学成分の相違による、マグマ進化論に矛盾する。また、オコイータ生成の絶対年代は、後述のとおり白亜紀中期を示し、オルケッタ層形成のジュラ紀に矛盾する。オコイータをロ・ブラド層に含めるには、同層との岩相、岩質、産状の相違から無理がある。従って、オコイータとオルケッタ層の安山岩は、岩石化学成分、岩相、層序学的相違などから、同一マグマからの一連の火山活動の産物ではなく、進化程度の異なる別々のマグマに由来するものと判断し得る。従って、オコイータは、白亜紀中期の貫入岩であるものと結論し得る。変質のため厳密には言えないが、オコイータはかんらん石ソレアイト系列の高アルミナ玄武岩に属する判断される（青木私信）。

砂岩は中粒～細粒の赤色砂岩で、典型的な陸成砂岩の岩相を示す。一部で凝灰質となる。層理の発達は良好ではない。鏡下では、主として細粒の石英及び斜長石片から成り、それらの粒間に赤鉄鉱が生成し赤錆色を呈している。圧密作用はやや進んでいる。

頁岩は褐色色を呈し、厚さ 5～30cm の層理が発達する。

(2) ロ・ブラド層 (層厚1, 500m+)

当層は、Santiago市内西部ロ・ブラドを標式地とする。岩質はデイサイト～安山岩質の凝灰岩、火山礫凝灰岩または凝灰角礫岩を主とし、一部に安山岩溶岩、デイサイト溶岩、砂岩、石灰岩及び頁岩を挟在する。

凝灰岩類は、全般に帯緑灰色～茶灰色を呈し、デイサイト質火山礫凝灰岩、安山岩質火山礫凝灰岩及び細粒の凝灰岩からなる。また、厚さ数cm～数mの層理が発達することもある。しかし、構成礫の分級は不良で、これらの岩石は岩相変化として識別される。

デイサイト質火山礫凝灰岩は、鏡下では、径は8mm以下のデイサイト、安山岩、凝灰岩、礫及び火山灰からなる。礫形は亜角礫状が多く、角礫状あるいは円礫状を示すものもある。基質は石英、斜長石、黒雲母片と微量の鉄鉱物で、多量のガラスを含むものが多い。変質の程度は低く、セリサイト、緑泥石、緑れん石、石英が生成している。

安山岩質火山礫凝灰岩は、鏡下では、多量の径12mm以下の安山岩亜角礫及び火山灰から構成され、ときにはデイサイト岩片も伴う。基質は斜長石及びガラスが主体で、鉄鉱物を伴うものもある。変質の程度は高く、セリサイト、緑泥石、方解石、緑れん石、モンモリロン石、石英が生成している。

細粒凝灰岩は、灰色～帯緑灰色を呈し、大部分は火山ガラスよりなるが、ごくわずかに斜長石片を含む。変質程度は高く、多量の石英、水酸化鉄が生成している。

安山岩溶岩は、暗灰色を呈するが、地域の北東部では変質を被り帯黄灰色や帯緑灰色を示す。主として塊状溶岩からなる。時には自破砕構造を呈し、堆積岩を挟在することもある。斑晶鉱物は斜長石が主体であるが、明瞭な斑状組織を示すものは少ない。鏡下ではしそ輝石・普通輝石安山岩である。斑晶鉱物は、量の多いものから斜長石→普通輝→しそ輝石及び鉄鉱物である。斜長石は径5mm以下の自形ないしは半自形のものが多い。また、斜長石+普通輝石+しそ輝石+鉄鉱物の集合斑晶が認められる。石基は、多量の斜長石、中量の普通輝石、しそ輝石、鉄鉱物及びガラスよりなる。また、多量の珪酸鉱物を伴う場合がある。ガラス基流晶質組織、あるいは陰微珪長質組織を示す。変質の程度は高く、緑泥石、セリサイトなどが生成している。

オコイータは、オルケッタ上部層のものと同様な産状及び肉眼的特徴を示す。鏡下では、かんらん石含有安山岩である。斑晶鉱物は多量の斜長石とごく少量かんらん石、鉄鉱物である。斜長石は長さ最大1.7 cm以上の大型自形斑晶を主体とし、岩石全体の25%程度を占める。石基は多量の斜長石及びガラス、中量の鉄鉱物及び少量の普通輝石である。変質の程度は高く、緑泥石、セリサイト、緑れん石、モンモリロン石、石英及び黄鉄鉱を生成している。斑状組織または填間組織を示す。

デイサイト溶岩は、灰色～白色で無斑晶質である。産状から溶岩ドームと判断される。

砂岩は、主として厚さ数10cm～数mの層理を示す中粒砂岩である。構成物は安山岩～珪化安山岩岩片であるが、局部的には石灰質な部分も存在する。砂粒間は方解石、斜長石片などで充填される場合がある。

本層は、地域内では下位のオルケッタ層と見掛上、整合関係で接する。

(3) 貫入岩類

調査地域の南西部と南東部に閃緑岩類が併入している。この他に安山岩（オコイータを含む）、デイサイト、石英斑岩等の岩脈が地域全般に発達している。岩脈の多くは南北系を示すが、一部のものは北西-南東系を示す。これらの規模は、幅数百m、延長1km+に達するものがあるが、大部分は、幅数10cmから数10m、延長は500m以下の規模である。これらの岩脈は、ロ・ブラド層を切っている。

タンタウエ石英閃緑岩は、調査地域の南西部に分布しており、既存資料のジュラ紀のタンタウエ花崗岩に対応するものである。肉眼的には新鮮な暗灰色完晶質岩で、斜長石と有色鉱物が認められる。鏡下では、黒雲母・普通輝石石英閃緑岩である。斑晶鉱物は多量の石英と斜長石、中量の黒雲母、普通角閃、鉄鉱物及び少量のカミントン閃石、普通輝石である。また、希にスフェン、りん灰石が認められる。斜

長石の一部は自形を示すが、大部分は径 5mm 以下の半自形～他形を呈し、中粒等粒状組織を示す。岩相は極めて新鮮であるが、二次鉱物として微量の緑泥石、セリサイト、モンモリロン石が認められる。今回の調査で、本岩の K-Ar 年代測定結果は、 $139.20 \pm 3.0 \text{ Ma}$ を示し、ジュラ紀と白亜紀の境界部付近に対応する。

アウエ花崗閃緑岩は調査地域の南西部と南東部に分布しており、既存資料の白亜紀貫入のアウエ花崗岩に対応するものである。肉眼的には優白質、中～小粒の完晶質岩で、南西部の一部では上記のタンタウエ石英閃緑岩の捕獲岩を含んでいる。鏡下では普通角閃石・黒雲母花崗閃緑岩ないしは黒雲母・普通角閃石花崗閃緑岩である。斑晶鉱物は石英、斜長石と中量のカリ長石、黒雲母、普通角閃が主体で、中～少量の鉄鉱物及び少～微量のスフェン、りん灰石を伴う。斑晶鉱物のうち斜長石、スフェン、りん灰石の一部は自形を示すが、大部分は半自形～他形を呈し、径 5mm 以下の中粒等粒状組織を示す。変質は長石類及び有色鉱物の一部が、緑泥石、セリサイト化している。また、本岩は周囲のオルケッタ層下部層の安山岩に熱影響を与え、緑れん石、ざくろ石等が生じている。今回の調査で、本岩の K-Ar 年代測定結果は、 $90.23 \pm 1.47 \text{ Ma}$ を示し、白亜紀中期に対応する。

各種の岩脈類の顕微鏡観察結果を以下に記載する。

輝石安山岩は、多量の斜長石と少量の輝石及び鉄鉱物の斑晶を伴う。石基は多量の斜長石とガラス、少量の石英と鉄鉱物からなる。変質程度は高く、緑泥石、水酸化鉄、セリサイト、方解石、粘土鉱物、石英が生成している。填間組織を示す。

普通輝石安山岩（普通輝石ひん岩）は、多量の斜長石とガラス、中量の普通輝石と鉄鉱物からなる。変質程度は高く、緑泥石、緑れん石、方解石、粘土鉱物、セリサイト、生成している。填間組織を示す。

無斑晶質安山岩は、多量の斜長石、中量の普通輝石、鉄鉱物、ガラスからなり、粗粒半晶質、填間組織を示す。変質程度は高く、緑泥石、緑れん石、石英、リュウコキシン、粘土鉱物、方解石が生成している。なお、本岩の貫入時期は、後述のとおり年代測定の結果、白亜紀後期であることが確認された。

かんらん石・普通輝石安山岩は、中量の斜長石、普通輝石、少量のかんらん石、鉄鉱物の斑晶を伴う。石基は多量の斜長石、中量の普通輝石、鉄鉱物、ガラスからなる。変質程度は高く、緑泥石、緑れん石、普通角閃石、石英、粘土鉱物、酸化鉄が生成している。斑状組織、填間組織を示す。なお、本岩の貫入時期は、後述の年代測定の結果、白亜紀後期であることが確認された。

普通角閃石デイサイトは、中量の斜長石、少量の普通角閃石、鉄鉱物の斑晶を伴う。石基は多量のガラスからなる。著しい珪化作用を被り青錆色を呈し、変質程度は高く、緑泥石、セリサイト、モンモリロン石、石英、酸化鉄が生成しており、亀裂沿いに石英、モンモリロン石が生じている。斑状組織を呈す。

黒雲母・石英斑石は、多量の斜長石、中量の石英、少量の黒雲母、鉄鉱物の斑晶

を伴う。石基は多量の石英、中量のカリ長石、斜長石、少量の鉄鉱物からなる。変質程度は高く、緑泥石、水酸化鉄、方解石、セリサイト、粘土鉱物が生成している。細粒完晶質組織、珪長質組織を示す。

これら岩脈のうち、かんらん石普通輝石安山岩及び無斑晶質安山岩が普遍的に産し、ラス・ギアス及びアンヘリータ鉱山の坑内外にしばしば貫入している。本岩の貫入時期は、後述のとおり年代測定の結果、白亜紀～古第三紀あることが確認された。

1-3 地質構造

1-3-1 堆積及び褶曲構造

砂岩、頁岩及び細粒凝灰岩には厚さ数cmから数mの層理が発達する。また、オルケッタ層上部層の赤色安山岩、ロ・ブラド層の火山礫凝灰岩にも、層理面が観察される場合がある。これら層理面の走向は NNW-SSE、NNE-SSW あるいは N-S の方向を示す。傾斜は概ね35°以下の緩い傾斜で東に傾く単斜構造を示す。ロ・ブラド層上部の一部の安山岩溶岩は、ティロ・トレエ谷 (Quebrada Tio Torro) 付近で緩やかな褶曲構造を示す。

1-3-2 断層構造

断層系は、WNW-ESE系～NW-SE系が優勢で連続性がよく、航空写真でも容易に判読し得る。これらの他に NNE-SSW 系あるいはNE-SW系が発達する。これら以外で、野外で連続性が確認されていないものの、E-W系、NE-SW系の破碎帯や断層が観察されている。これら断層系の生成時期は、WNW-ESE→NW-SE系の順であり、ロ・ブラド層上部までの地層を切っており、さらに、一部はアウエ花崗閃緑岩との境界を規制していることから、ロ・ブラド層堆積以降の活動と考えられる。また、このような大規模な破碎帯を伴う断層帯のほかに、ラス・ギアス及びアンヘリータ鉱山の坑内、及びピットには N-S系、NW-SE系、E-W系の多数の小裂かが観察される。しかし、これらには黄鉄鉱、黄銅鉱などの初生鉱石鉱物及び変質作用などは確認されず、鉱化作用には直接関係していないものと判断される。ただし、これらの一部には、孔雀石などの二次銅鉱物の染込みが認められる。

1-4 火成岩の絶対年代測定

調査地域内の火成活動、特に、オコイータと鉱化作用の時期を検討するために、6個の火成岩の絶対年代測定をK-Ar法により実施した。各試料について、2～3回の測定を実施し、その基礎資料を A-4に、測定結果を Table 2-1-2に示す。

No-1, 2及び No-4 の測定結果は、誤差範囲内の安定した年代を示す。しかし、No-3, 5及びNo-6は、誤差範囲を外れるバラついた年代を示す。誤差の大きい試料は、

オコイータ及び閃緑岩質岩石であり、斑晶鉱物に起因する岩相の不均質性を反映しているものと判断される。各試料間には、誤差範囲、Air-fraction、岩相などの相違があるが、本項では、得られた年代の単純平均値を採用している。

Table 2-1-2 Result of age determination of igneous rocks

No	Sample	Rock name	K-Ar age(Ma)	Geologic age
1	C-15	Olivine augite andesite (dike)	46.98 ± 1.04	Paleogene
2	C-16	Aphyric andesite(dike)	69.76 ± 1.53	Later Cretaceous
3	C-17	Olivine augite andesite(Ocoita)	99.36 ± 2.15	Middle Cretaceous
4	A-50	Olivine basalt(Ocoita)	95.39 ± 2.08	Middle Cretaceous
5	C-121	Biotite hornblende quartz diorite	139.20 ± 3.00	Jurassic-Cretaceous
6	D-45	Biotite Hornblende granodiorite	90.23 ± 1.47	Middle Cretaceous

これらの岩石は、いずれも白亜紀のロ・ブラド層まで切っている。

オコイータは、上下の地層にほぼ整合的な溶岩的産状を示す。しかし、岩相は場所によって貫入岩相及び角礫構造を有する溶岩状産状を示し変化に富むが、両岩相の直接的相互関係は不明である。従って、同岩の成因に関しては、従来から溶岩及び貫入岩の両説がある。

今回のオコイータの 2 試料の絶対年代は、いずれも白亜紀中期を示す。

当地域のオコイータは、ジュラ紀の陸成安山岩類と白亜紀の海成デイサイト質岩石の境界部付近に溶岩状、または、岩床状に分布する。従って、オコイータの絶対年代のみから、本岩を溶岩と貫入岩に区別することは困難である。

しかし、オコイータの小岩体はジュラ紀堆積のオルケッタ層の安山岩中に産すること、前述の岩石化学成分及びマグマ進化論的な考察から、本岩は貫入岩と解釈するのがより理論的であるものと判断される。

オコイータには、ラス・ギアス鉱山で斑銅鉱-輝銅鉱及び黄銅鉱-黄鉄鉱の鉱化作用を伴うこと、さらに、鉱化作用は上述の安山岩岩脈にも及んでいる。従って、これらの鉱化作用は、オコイータ及び安山岩岩脈形成以後の古第三紀以降の活動であるものと結論し得る。

1-5 鉱床

1-5-1 鉱床概要

当地域は前述のとおりチリー国内では海岸山脈中部の有望な鉱床区に位置し、最近、同国及び海外鉱山会社の探査標的地として注目されている。従って、調査地域内及び周辺には多数の鉱徴地、旧坑並びに操業中の鉱山が知られている。

当地域内で確認された約30ヶ所の鉱徴地の分布図を Fig. 2-1-4に示す。本図には地層境界線、オコイータの分布及び断層を付記している。

これらの鉱徴地のうち約20ヶ所がオルケッタ層上部層の安山岩質岩石中に、他はロ・ブラド層中に賦存し、オルケッタ層下部層中には殆ど存在しない。

当地域の鉱化作用は、孔雀石を主体とし、少量の藍銅鉱、珪孔雀石、アタカマ石などを随伴する銅鉱（以下単に「孔雀石を主体とする」と記載する）の網状～鉱染、斑銅鉱～輝銅鉱の網状～鉱染状鉱化作用及び小規模な黄銅鉱～黄鉄鉱石英脈に大別される。孔雀石を主体とする鉱化作用は、オルケッタ層上部層中の鉱徴、斑銅鉱～輝銅鉱の鉱化作用はラス・ギアス鉱山の富銅体にもみに、黄銅鉱～黄鉄鉱石英脈は主としてロ・ブラド層中のものである。これらの鉱化作用には、極局部的に微弱な変質作用を伴う以外は、一般的に母岩は変質作用を伴わない。

X線解析の結果、オコイータ（39試料）の緑泥石と曹長石の出現強度はそれぞれ12及び73、オルケッタ層中のその他の岩石（43試料）のそれは14及び77、さらにラス・ギアス鉱床を中心とした岩石（40試料）のそれは14及び69を示し、岩石の種類及び鉱床付近の岩石の間には、変質程度の差異は殆ど認められないと判断される。

構成鉱石鉱物は、斑銅鉱、輝銅鉱、ダイジェナイト、孔雀石などを主体とし、微量の藍銅鉱、珪孔雀石、アタカマ石、黄鉄鉱、黄銅鉱、磁鉄鉱、赤鉄鉱を随伴する。黄銅鉱～黄鉄鉱石英脈の脈石は、石英、方解石及び微量の粘土鉱物であるが、これ以外の鉱化作用には脈石は殆ど認められない。

1-5-2 鉱徴地各論

調査地域内では Fig. 2-1-4 に示す鉱徴地が知られている。しかし、これらのうちラス・ギアス及びモナ・ブランカ鉱山のみが、坑内採鉱出鉱実績を有するが、その生産規模は不明である。アンヘリータ鉱山も坑道採鉱を実施しているが、採掘するには至っていない。これら以外の鉱徴地の大部分は、特に、オルケッタ層上部層中のものは、地表部付近の極めて小規模なピット採鉱のみである。鉱化作用は、ピット底で急激に劣化・尖滅し、不毛帯に達した時点で採鉱を中止している。

以下にラス・ギアス、アンヘリータ鉱山、その他の孔雀石を主体とする鉱徴地及びロ・ブラド層中の鉱化作用を記載する。なお、鉱徴地の鉱石鉱物を反映して、オルケッタ層中の鉱徴地には、褐鉄鉱などの「焼け」が殆ど認められないが、ロ・ブラド層中の鉱徴地は、「焼け」を普遍的に伴う。

1

2

3

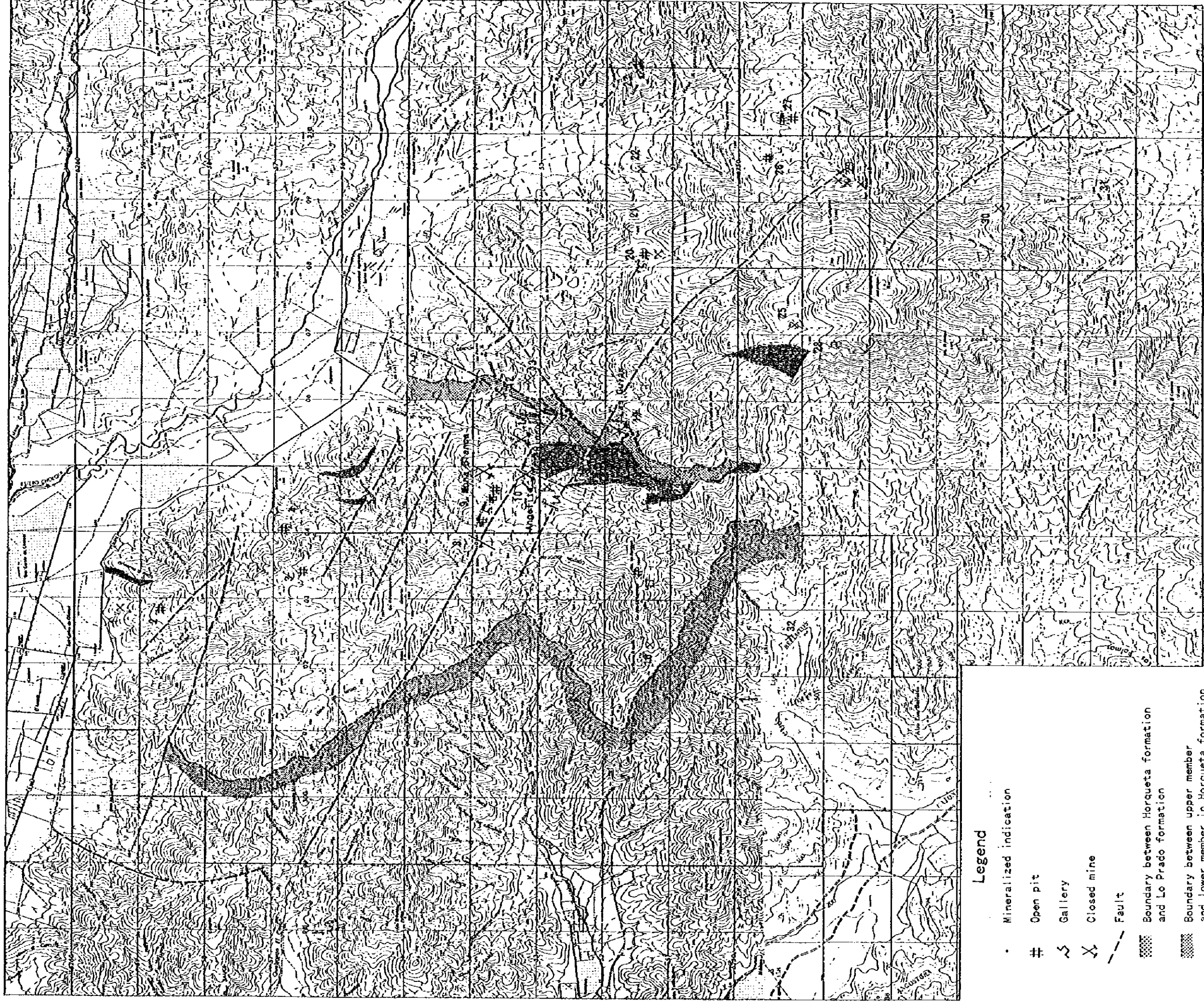


Fig. 2-1-4 Distribution map of mineralized indications in Chilqui area

(1) ラス・ギアス鉱山

当鉱山は調査地域のほぼ中央部のラス・ギアス谷上流の標高約 710mに位置する。これらの関係図をFig. 2-1-15、Fig. 2-1-16、Fig. 2-1-17に示す。

鉱床母岩はオルケック層上部層のオコイータ、安山岩、同質火砕岩及び安山岩岩脈である。鉱床の延長方向は採掘跡及び地質調査の結果から N15°W、傾斜は 70°N 程度と推定され、母岩の層理に斜交する。

坑道は標高 707mの下部坑道、722mの運搬坑道、738mの上部坑道が主体であるが、付近には小規模な坑道採鉱の跡が数ヶ所存在する。運搬坑道及び上部坑道には、各々2-3ヶ所の採掘跡が存在する。しかし、下部坑道では安山岩の亀裂に微量の孔雀石の染込み及び黄銅鉱-黄鉄鉱石英細脈が散見されるのみである。

坑内の採掘跡空洞の状況から、富鉱体は3個で、その規模は延長方向に最大30m、傾斜方向に最大20m、幅最大6m程度と推定される。

坑道の状況及び地質調査の結果から、孔雀石を主体とする鉱化作用は、地表から最大 90m程度までしか達していないものと判断される。

坑内では低品位鉱まで完全に採掘され、鉱化作用の産状、鉱床と母岩の直接的関係は殆ど不明である。

鉱山付近及び坑内では、N-S、NW-SE、E-W 系の滑り面ないしは小断層が認められるが、鉱化作用を伴っておらず、鉱化作用とは直接的に関係していない。また、採掘坑道沿いに、鉱床の延長方向と、ほぼ同方向・同傾斜の小規模な断層が賦存し、上部坑道の断層粘土には X線解析によって微量のカオリンが確認され、珪化作用を伴っている。しかし、これらには鉱化作用は認められず、鉱化作用には直接関係していない。

鉱化作用は斑銅鉱、輝銅鉱、黄銅鉱などの硫化鉱物を主体とするものと、孔雀石を主体とするものに大別される。

斑銅鉱-輝銅鉱の鉱化作用は、主としてオコイータ中に網状~細脈状~鉱染状を示し、安山岩岩脈にも及んでいる。オコイータ中の鉱染状斑銅鉱は、自形結晶を呈して、あたかも斑晶鉱物様の産状を示す場合が多い。これらの鉱化作用が富鉱体を形成している。この富鉱体を胚胎するオコイータは、不均質な角礫状構造が顕著で、角礫は多孔質・粗粒な斑状組織を示すが、これらを充填する部分は比較的緻密・細粒な岩相を示す。この角礫部に鉱化作用が顕著に発達し、鉱化作用が、岩石の気泡、空隙率などの物理的性質に支配されていることを示している。この富鉱体に孔雀石を主体とする鉱化作用が重複し、富鉱体の品位をさらに高めている。

構成鉱物は、斑銅鉱、輝銅鉱、ダイジェナイトを主体に、ジュルレアイト、黄銅鉱、黄鉄鉱、赤鉄鉱、磁鉄鉱、閃亜鉛鉱、孔雀石、珪孔雀石、藍銅鉱、アタカマ石などを随伴し、顕微鏡下では比較的単純な組織を示す。これらの鉱物は、母

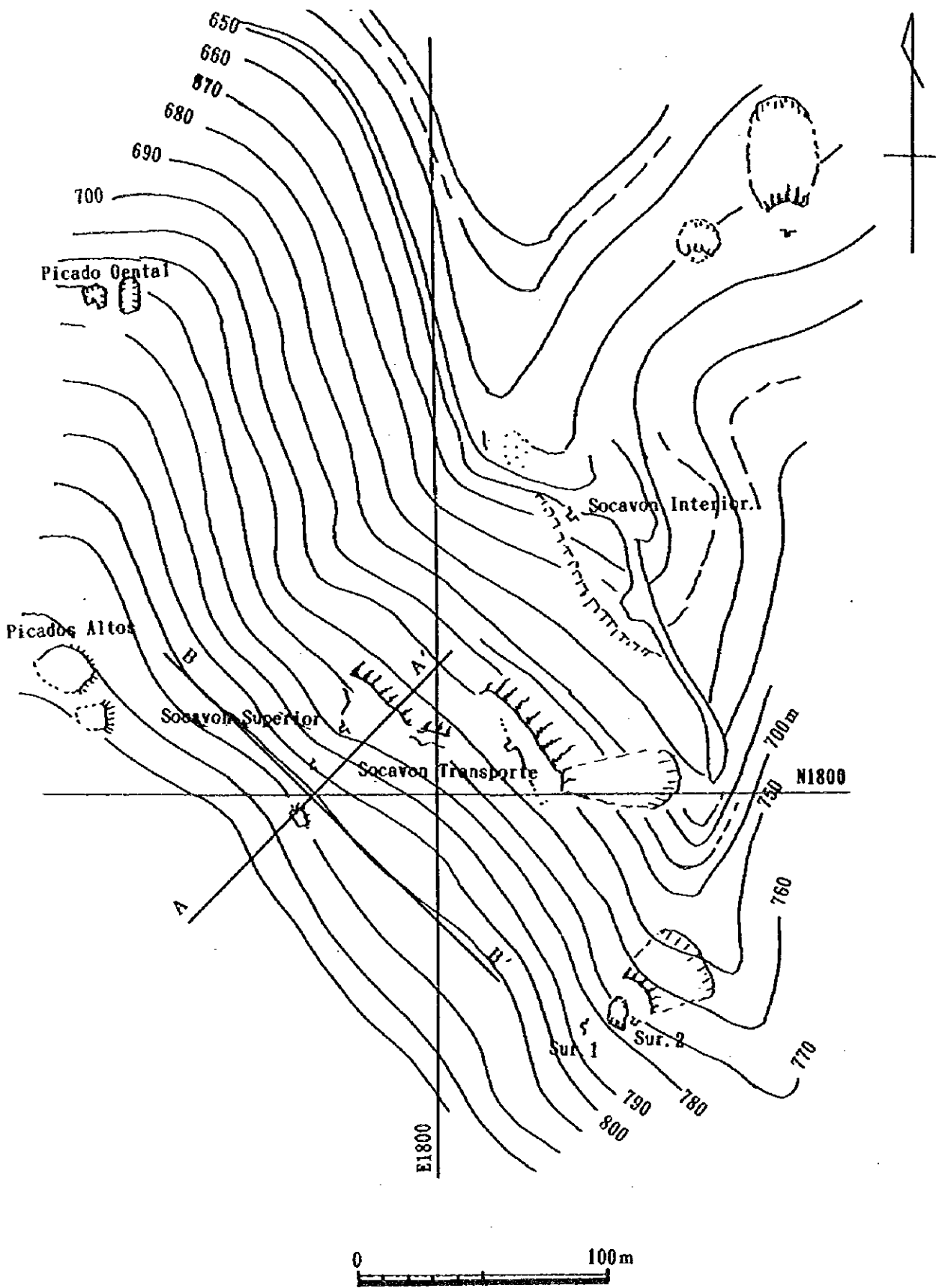


Fig. 2-1-5 Pit-location map of Las Guías mine

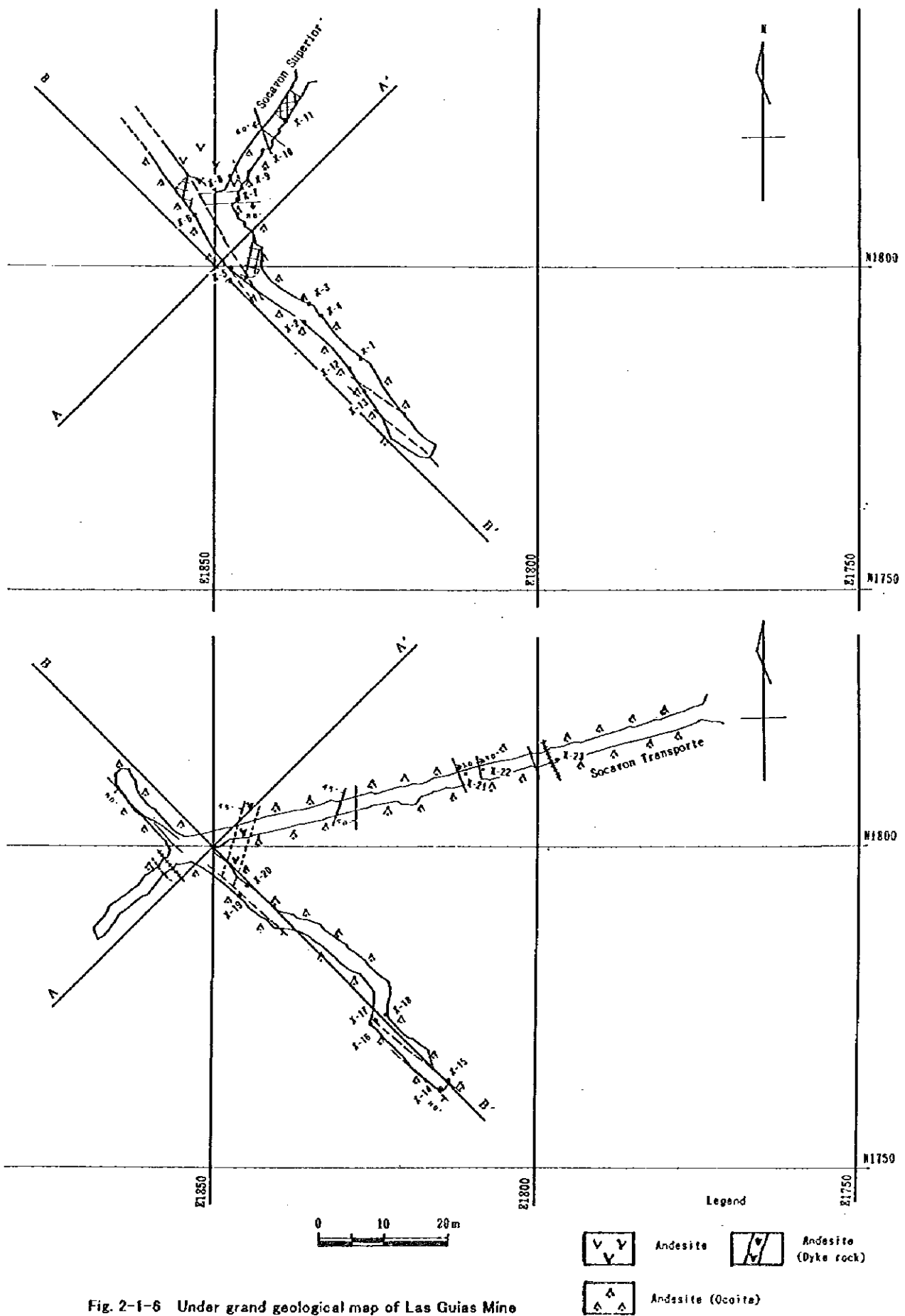


Fig. 2-1-6 Under grand geological map of Las Guías Mine

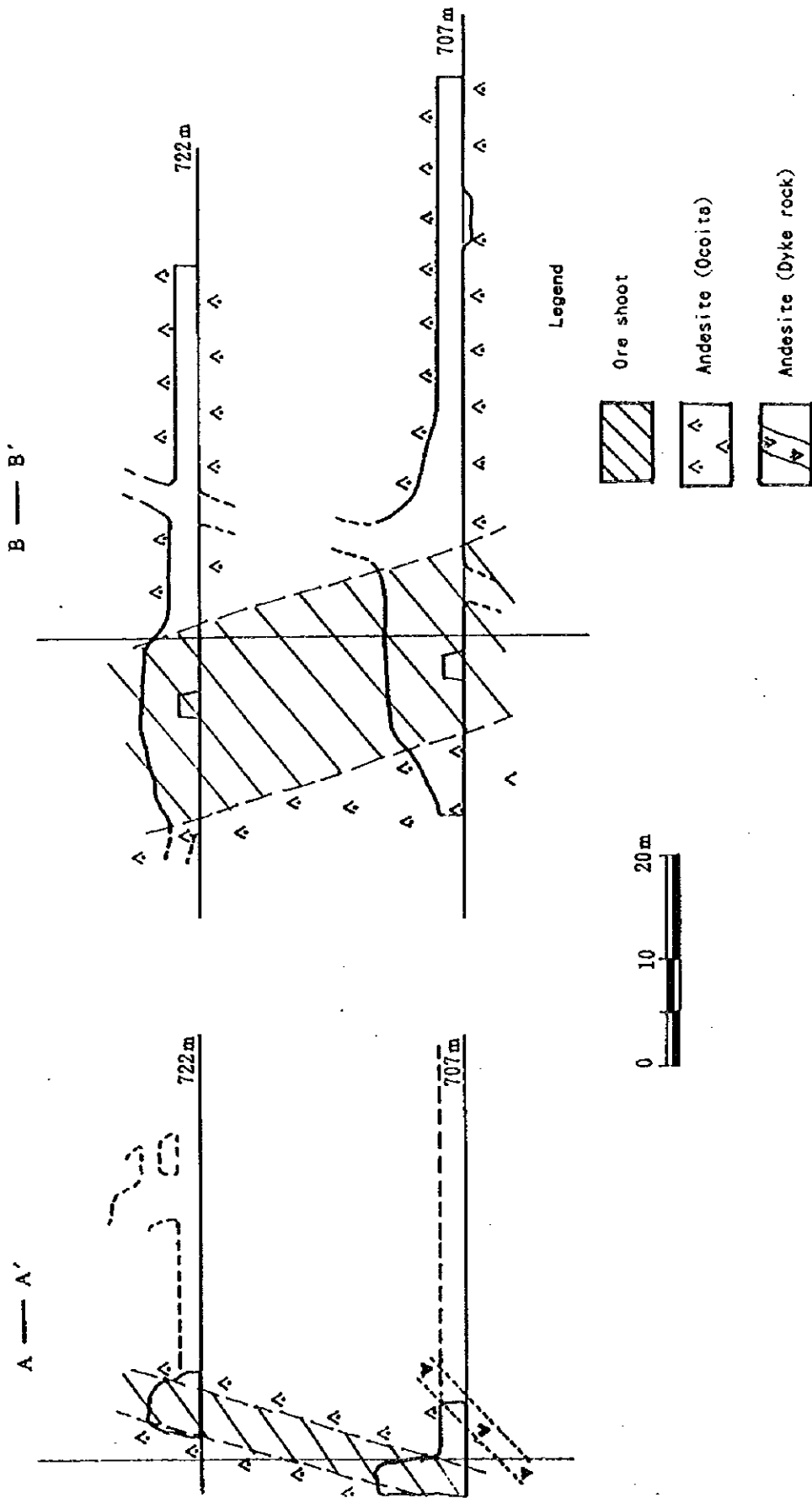


Fig. 2-1-7 Geological section of Las Guías Mine

岩を交代し、気孔、空隙などを充填する初生鉍化作用の産状を示す。また、局部的に微弱な変質作用が認められる。

斑銅鉍、輝銅鉍、ダイジェナイトは、径2mm以下の粒度で常に密接に共生し、輝銅鉍中にダイジェナイト及びジュールライトの離溶組織が普遍的に認められる。斑銅鉍と輝銅鉍は、お互いに交代しあい微文象組織を示す。

黄銅鉍は、径2mm以下の自形～半自形を示し、斑銅鉍を葉片状に交代し、時には、黄鉄鉍を取り込んでいる。

黄鉄鉍は、黄銅鉍と共生し、フランボイダル及びコロホーム組織を示す場合が多い。

赤鉄鉍は、径1mm以下の自形～半自形を示し、上記の銅鉍物中に含まれたり、脈石を交代、または、気孔を充填し、一部は、磁鉄鉍を交代している。

藍銅鉍は、斑銅鉍を交代して二次的に生成しているが、極めてまれである。

斑銅鉍及び輝銅鉍系列の鉍物のEPMA分析では、上記以外の鉍物は確認されていない。

上記の斑銅鉍－輝銅鉍－ダイジェナイトの密接な共生、コロホーム組織、輝銅鉍からのジュールライトの離溶組織の存在などは、低温条件での鉍化作用を示している。

また、鉍石鉍物に近接する局部的、微弱な変質作用は、カオリン、絹雲母などを伴っておらず、鉍化溶液が弱酸性であることを示唆している。

孔雀石を主体とする鉍化作用は、オコイータ及び安山岩の亀裂沿いに網状～鉍染状及び晶洞中、または、空隙中に鉍染状の産状を示す。亀裂、空洞中では自形結晶として産する場合があり、時には、早期晶出の鉍物の結晶表面に自形結晶として産する場合もある。これらの網状脈～細脈は、斑銅鉍－輝銅鉍を主体とする鉍石または富鉍体を切っており、明らかに前者が後者より後期の鉍化作用であることを示している。孔雀石を主体とする細脈は、脈沿いに変質作用を伴っておらず、下部では劣化・尖滅し、不毛石英脈または変質帯などに移行する現象も認められない。

構成鉍物は、斑銅鉍、輝銅鉍、ダイジェナイト、黄銅鉍、黄鉄鉍、赤鉄鉍、孔雀石、珪孔雀石、藍銅鉍、アタカマ石などである。これらの鉍物は、母岩を交代し、局部的に微弱な変質作用が認められる。また、斑銅鉍－輝銅鉍－ダイジェナイトの密接な共生、コロホーム組織、輝銅鉍からのジュールライトの離溶組織の存在などは、低温条件での鉍化作用を示している。

顕微鏡下では、これらの鉍物が母岩の亀裂、空隙などに浸透・沈殿しており、二次的鉍化作用と判断されるが、一部では初生鉍化作用と判断されるものも認められる。

鉍山を中心に東西及び南北方向に50m間隔で、計40個の岩石試料を採取し、母

岩の変質作用を X線解析で検討した。変質鉱物は、緑泥石、曹長石が主体で、絹雲母、カオリンなどは殆ど確認されない。この変質作用は、顕微鏡観察によって、当地域の安山岩質岩石に普遍的な広域的な続成変質作用であることが確認されている。同様に、坑内の鉱床に近接する母岩の変質も、坑外と同様であることが確認された。坑内では、断層粘土に一部絹雲母、カオリンが確認されたが、これは鉱化作用を伴っておらず、鉱化作用とは無関係であると判断される。

以上の現象から、少なくとも孔雀石を主体とする鉱化作用の大部分は、地下深部からの熱水溶液から沈殿したことを示す地質的現象を示していない。むしろ、この鉱化作用は、岩石の亀裂及び空隙などの物理的条件に支配され、地表の浸透水から直接沈殿したものと判断される産状を示すといえる。

また、以上の鉱化作用の他に下部坑道には脈幅1-5cmの黄銅鉱-黄鉄鉱石英細脈が存在する。この鉱脈の亀裂沿いに孔雀石を主体とする細脈の染込みを伴う。同鉱脈から X線解析によって微量のカオリン及び絹雲母が確認される。この鉱脈は構成鉱物の組合せ、変質作用及び産状から、上述の鉱化作用とは時期及び性質を異にする一般的な熱水性鉱脈と判断される。この産状をFig. 2-1-11に示す。

(2) アンヘリータ鉱山

当鉱山はラス・ギアス鉱山の北西約 2 kmの標高約 610mに位置する。これらの関係図をFig. 2-1-8、Fig. 2-1-9 に示す。

鉱床母岩は、オルケッタ層上部層のオコイータ、安山岩、同質火砕岩及び安山岩岩脈である。地表には多数の小規模なピットが存在し、その下部約 30mで、約 150mの立入坑道が掘削されている。しかし、坑内では採掘の痕跡は全く認められない。地表では、最大直径 5m、深度 2m程度のピットが 12-13ヶ所認められるが、いずれもピット底では、鉱化作用は急激に劣化・尖滅し、不毛帯に移行している。従って、これらの事実から、鉱床の規模は、前記のピットと同様と判断される。これらのピットの分布には、規則的な方向性が認められず、鉱化作用にも方向性がないものと判断される。坑内及びピットには、N-S 系を主体に NW-SE、NE-SW系の滑り面ないし小断層が認められるが、鉱化作用を伴っておらず、鉱化作用とは直接的な関係はないものと判断される。

坑内では、小規模な断層及び安山岩の亀裂沿いに微量の孔雀石などの細脈が局部的に散見されるのみである。

鉱化作用は、孔雀石を主体とするものであり、その産状、構成鉱物、顕微鏡観察結果なども、ラス・ギアス鉱山の孔雀石を主体とする鉱化作用と全く同様である。ただし、当鉱山の鉱化作用には、ごく微量の閃亜鉛鉱を伴う場合がある。

坑内から採取した試料の X線解析でも、ラス・ギアス鉱山と同様に広域的な続成変質作用のみで、一般的な鉱化作用に伴うカオリン、絹雲母などの変質鉱物は認

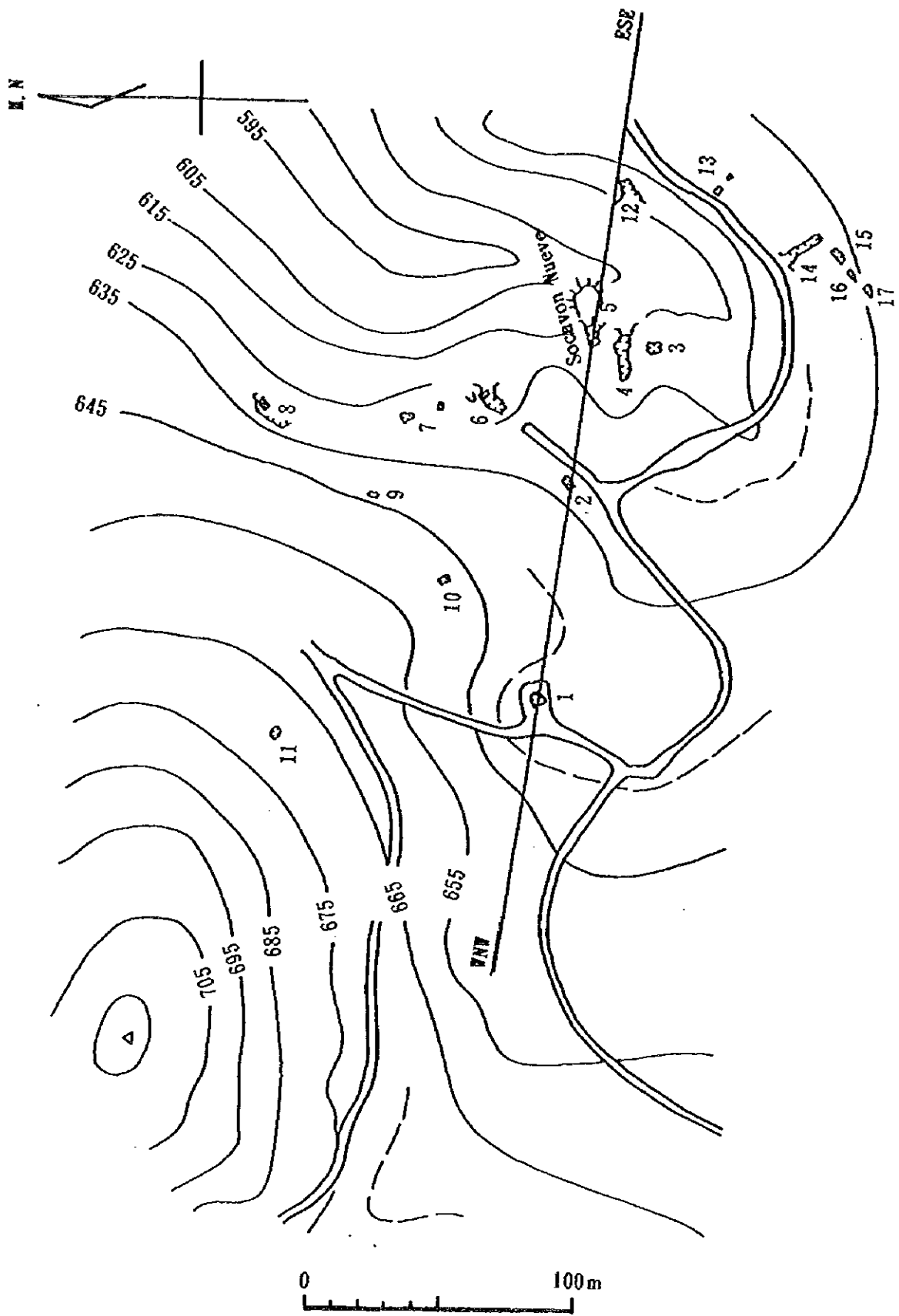


Fig. 2-1-8 Pit-Location map of Angelita mine

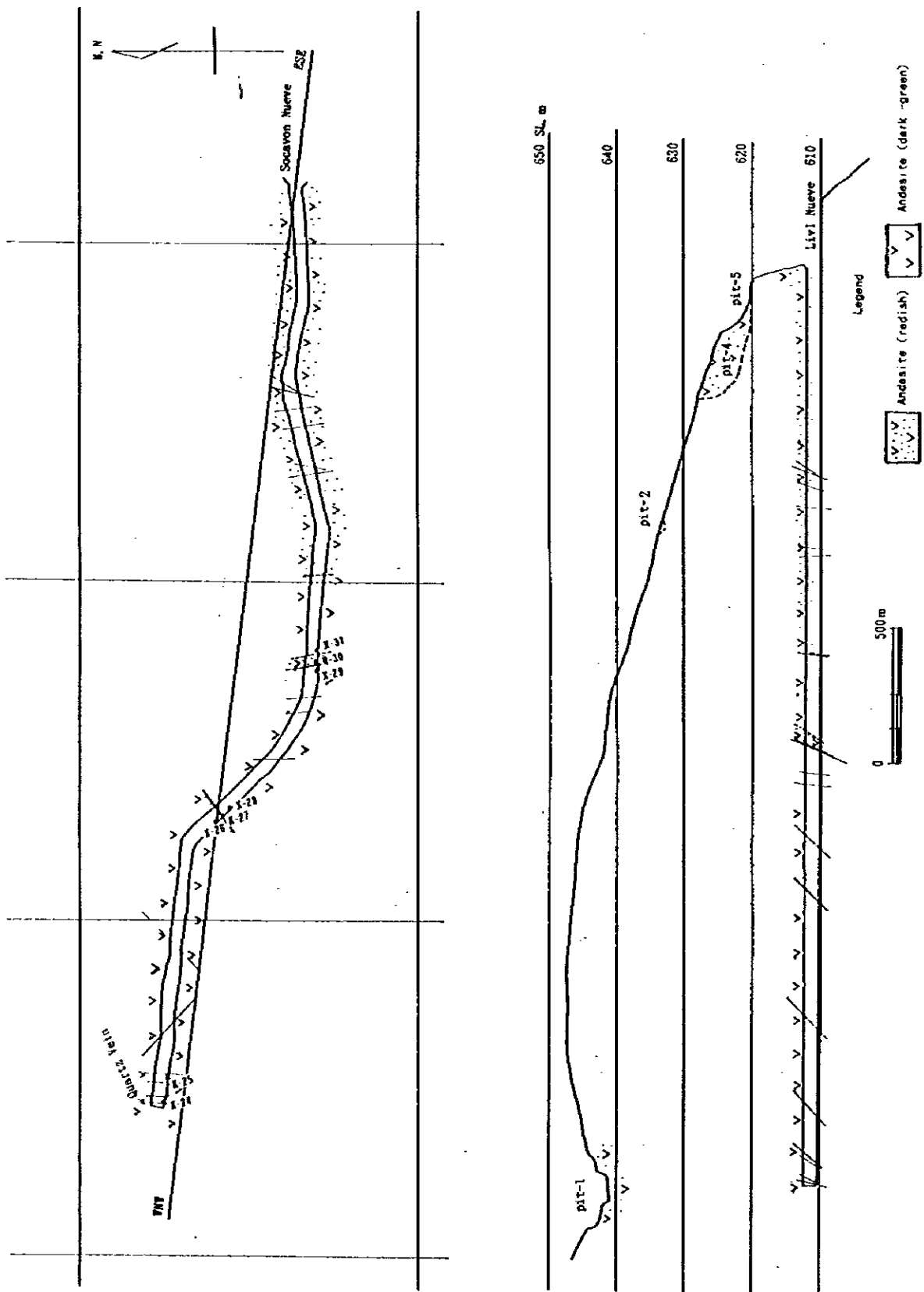


Fig. 2-1-9 Under ground geological and section map of Angelita Mine

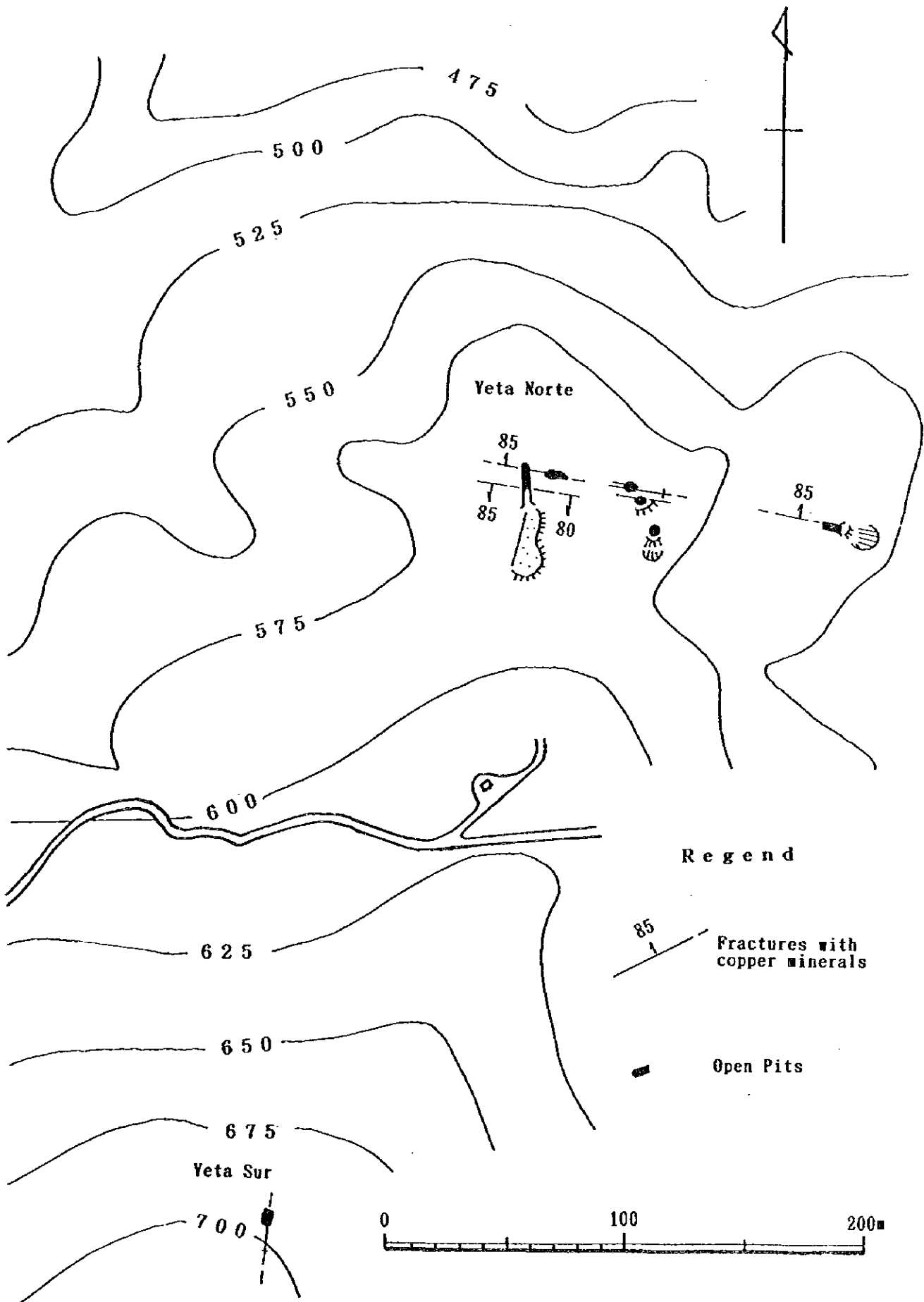


Fig. 2-1-10 Pit-Location map of Rinconada mine

められない。

以上の現象から、少なくとも、孔雀石を主体とする鉍化作用の性質は、ラス・ギアス鉍山のそれと同様なものと解釈される。

また、立入坑道の引立でも、ラス・ギアス鉍山の下部坑道に産すると同様な脈幅 5 cm程度の黄銅鉍-黄鉄鉍石英脈が存在する。当鉍脈も亀裂沿に孔雀石を主体とする細脈の染み込みを伴う。この鉍脈の生成に関しても、ラス・ギアス鉍山の黄銅鉍-黄鉄鉍石英脈と同性質のものと考えられる。

(3) オルケッタ層上部層中のその他の鉍微地

上記以外のオルケッタ層上部層中の鉍微地のほとんどは、地表から最大数mの小規模なピット採鉍がなされているのみである。母岩は、オコイータ、安山岩及び同質火砕岩である。鉍化作用の規模は、そのピットの規模及びピット底の地質状況から、鉍量は最大数千トン以下の極めて小規模なものであり、かつ、局地的な鉍化作用と判断される。

付近に多数存在するピットの分布も、断層などの構造線に関係しているようには見えず、それらの形態及び配列などにも、方向性は認められない。

鉍化作用は、孔雀石を主体とするものであり、その産状、構成鉍物及び顕微鏡観察結果も、前記のラス・ギアス及びアンヘリータ鉍山のものと同様であり、鉍化作用も同性質であるものと判断される。

(4) ロ・ブラド層中の鉍微地

地域東部のロ・ブラド層中に認められる鉍微地の約半分には、小規模なピット採鉍が実施されているが、前記のオルケッタ層上部層中の鉍化作用に比較して、相対的に微弱、かつ、小規模である。母岩は、特定の岩石に偏らず、ロ・ブラド層を構成する全ての岩石である。

鉍微地の分布も Fig 2-1-4に示すとおり、断層などの構造線とは無関係と判断される。鉍微地の配列に関しては、鉍微地20、32、25、28及び23、26、27、29、30などは、ほぼ南北方向の、鉍微地20、21、22、23 はほぼ東西方向の配列を示すが、これらに沿う断層は認められず、かつ、母岩も特定の岩石ではないことなどから、この分布は偶然的なものとして判断される。

鉍化作用は、黄銅鉍-黄鉄鉍石英細脈～網状脈～鉍染状鉍化作用である。孔雀石などの存在は微量、または、まれである。従って、オルケッタ層中の孔雀石を主体とする鉍化作用とは全く性質を異にする。これらの鉍微地の地表部には、褐鉄鉍などの「焼け」が普遍的に存在する。

構成鉍物は、黄銅鉍、黄鉄鉍を主体に、微量の閃亜鉛鉍、斑銅鉍、磁鉄鉍、赤鉄鉍などであり、脈石鉍物は石英及び方解石を主体に微量の粘土鉍物を伴う。

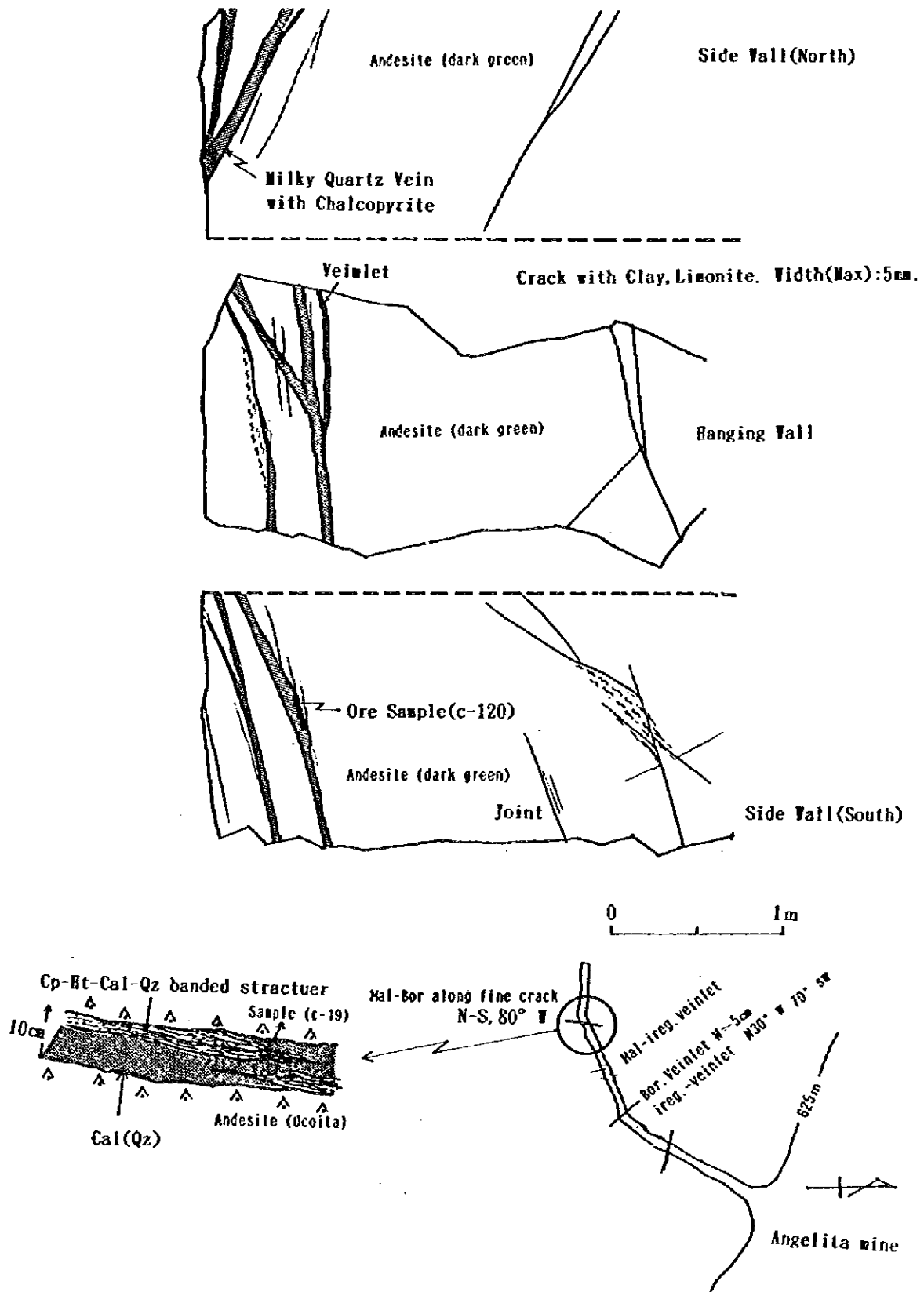


Fig. 2-1-11 Sketch of Chalcopyrite-Quartz vein

鏡下では、石英の縞状構造が一部に発達し、これらに黄銅鉱及び黄鉄鉱の自形～半自形結晶を伴う。閃亜鉛鉱及び赤鉄鉱は、黄銅鉱としばしば共生する。

母岩の変質作用は、鉱徴地を中心として、小規模な珪化作用が普遍的に発達する。

ロ・ブラド層中には、地域南部に分布する閃緑岩類の貫入に伴う磁鉄鉱-緑簾石-石英脈の発達が普遍的に認められる。従って、この付近の鉱脈は、既存の鉱脈が閃緑岩類による熱変成を被った可能性がある。

1-5-3 流体包有物

鉱化作用の物理化学的条件を検討するために、調査地域内から流体包有物試料を採取し、その均質化温度及び塩濃度の測定を実施した。試験に供した 11 試料の測定結果を A-10に示す。また、均質化温度及び塩濃度の統計資料をFig. 2-1-12に示す。

流体包有物の大半は、沸騰現象が想定される気相-液相包有物で、Volume ratioは低い。

なお、ラス・ギアスの斑銅鉱-輝銅鉱鉱化作用と明らかに共生関係、または共沈現象を示す石英及び方解石の試料は得られていない。従って、ラス・ギアス鉱山の富鉄体を形成する、斑銅鉱-輝銅鉱鉱化作用を直接的に推定する均質化温度及び塩濃度に関する資料は、得られていない。

(1) 流体包有物均質化温度

Fig. 2-1-12の資料から均質化温度は以下に要約される。

* 試料個々の均質化温度の最大値～最小値の差は60℃程度で、ほぼ安定した値を示す。

* 試料C-110及びC-19の平均均質化温度は、264℃並びに245℃程度で、試料中で最も高い温度を示す包有物である。このうち、C-110は調査地域南東部に賦存する花崗閃緑岩の北西3km付近の、オコイータ中の緑簾石-石英脈である。従って、この試料の採取位置及び鉱物組合せから、既存の鉱脈が、花崗閃緑岩の貫入に伴う熱変成作用を被った結果、他の試料に比較して高い値を示すものと推定される。C-19は単純に高い鉱化作用を反映しているものと判断される。

* 試料C-47、A-17及びA-54の平均均質化温度は、200℃程度の値を示す。試料はA-54のみが地域中央部のセロ・リコ（Cerro Rico）を構成するオルケッタ層上部層の赤色安山岩中の不毛石英脈であり、その他はラス・ギアス及びアンヘリータ鉱山坑内の黄鉄鉱-石英脈である。従って、C-47及びA-17は、当地域内の一般的な黄銅鉱-黄鉄鉱石英脈の生成温度を反映しているものと判断される。

*試料 B-61、B-62及びC-120 の均質化温度は 170℃程度であり、いずれもラス・ギアス及びアンヘリータ鉱山の斑銅鉱-輝銅鉱及び酸化銅鉱物を切る不毛石英脈の試料である。従って、これらは、地域内の一般的な不毛石英の生成温度を反映していると判断される。これらは前記の産状から、地域内ではかなり後期の活動であるものと判断される。

*試料 B-63、C-62及びB-59の均質化温度は、130℃程度であり、安山岩及び砂質凝灰岩中の不規則石英並びに方解石脈の試料である。全体に温度が低く、かつ、バラツキがあり、さらに、その産状などから、これらは二次的な分泌石英及び方解石脈の生成温度を反映しているものと推定される。

(2) 流体包有物塩濃度

Fig. 2-1-12の資料から、塩濃度は以下に要約される。

*試料 A-54、B-61及びB-59の塩濃度は約 10 %、C-62 は約 6 %、C-120 及びC-19は約2-3%、B-62は約 0.2%の単一母集団と解釈される。

*試料 C-47 の塩濃度は約 9 %と 2 %、A-17 のそれは約 15 %と 3 %、B-63は約20%と 10 %、C-110 は約 17 %と 6 %に大別され、相対的に高塩濃度と低塩濃度の母集団に明瞭に区分される。

*全資料を一括統計処理すると塩濃度 0.23 % (T-1) 以下、0.23以上~5.0 % 未満 (T-2) 、5.0以上~10.0 % 未満 (T-3) 及び10.0 %以上の 4母集団に大別される。この事実は塩濃度の異なる複数の溶液の存在を示唆している。

また、全試料についての均質化温度と塩濃度の相関は、必ずしも明瞭ではない。しかし、T-1 の塩濃度は、均質化温度に相関せずにはほぼ一定、T-2 のそれは、温度と正の相関を示す傾向が認められる。しかし、T-3については全体として低温部で低塩濃度、高温部で高塩濃度の傾向が認められるが、T-4 については両者の相関は認められない。

同一鉱脈内でも、塩濃度はかなり変化に富み、また、均質化温度と塩濃度の間に、必ずしも正の相関が認められる場合のみではないことが知られている。この現象は、鉱脈の生成には、温度・塩濃度の異なる複数の鉱化溶液が関与した結果であると解釈されている。

上記の試験結果に対する解釈は、

- ①塩濃度の異なる複数の鉱化溶液からの母鉱物の晶出
- ②単一溶液の沸騰現象による物理・化学的条件の変化に起因する母鉱物の晶出が考えられる。

しかし、同一試料内で塩濃度が明瞭に 2母集団に区分される、さらに、上記の 4試料の異なる母集団の塩濃度差は 7 %以上と大きく、かつ、両者の中間の

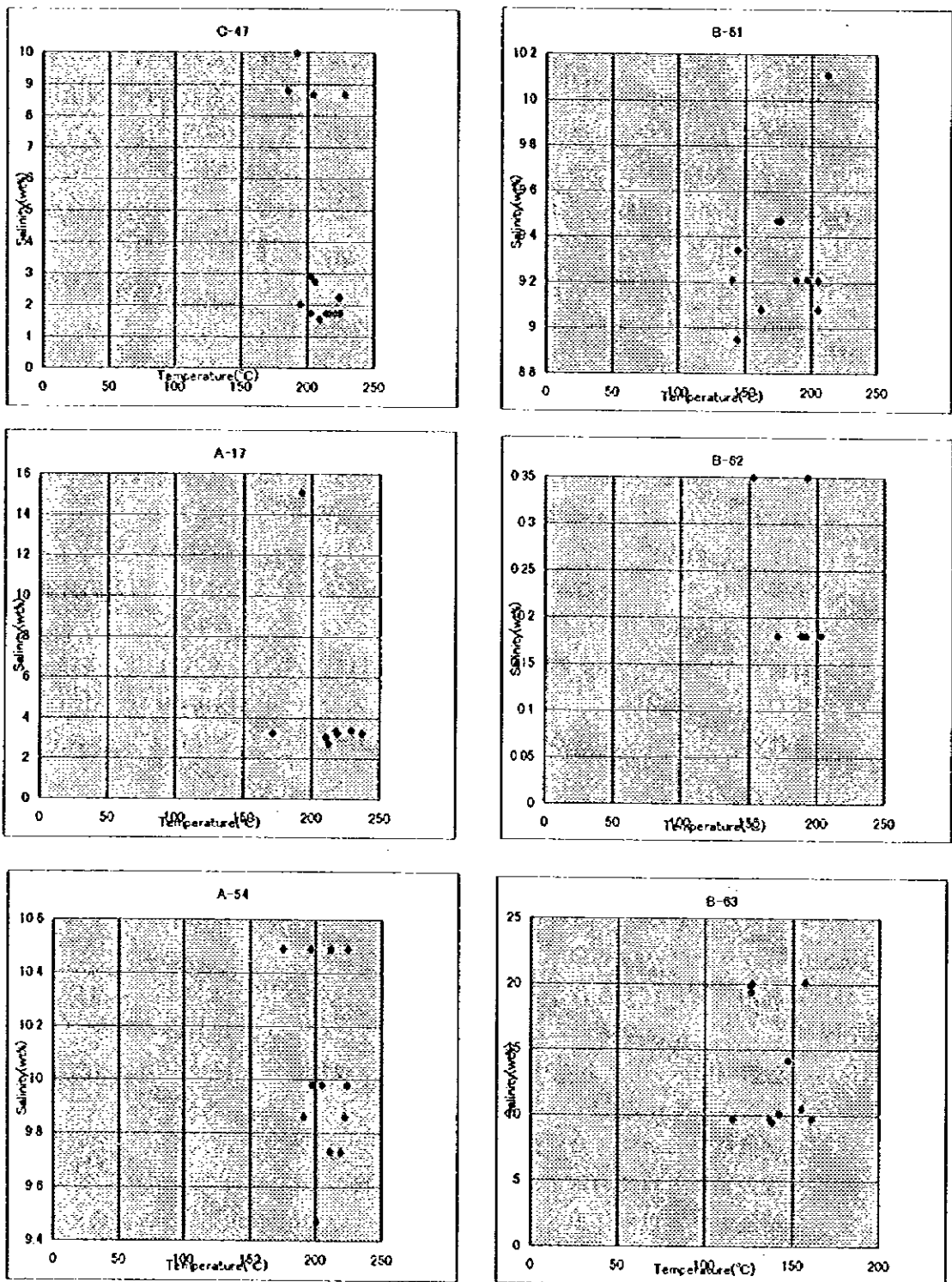


Fig. 2-1-12(f) Filling temperature and salinity of fluid inclusion

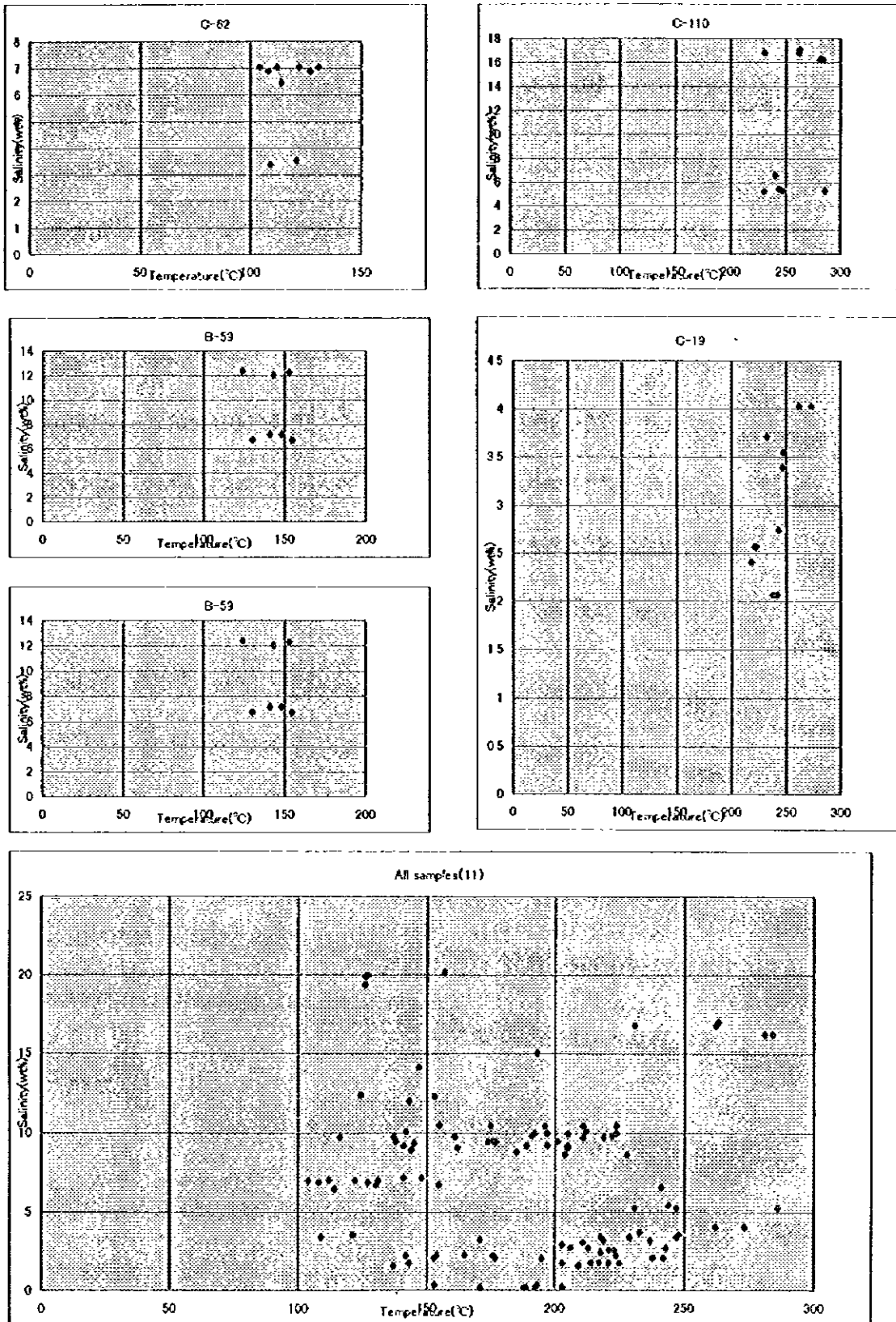


Fig. 2-1-12(2) Filling temperature and salinity of fluid inclusion

値を示す包有物が存在しない。この事実は、母鉱物が同一溶液からの沸騰現象に起因する晶出では理論的ではなく、母鉱物は、2種類以上の塩濃度の異なる溶液からの晶出であることを示唆している。

1-5-4 安定同位体元素

当地域の鉱化作用に関連する鉱化溶液の起源及び挙動を検討し、鉱化作用の機構を推定するため、 δ -S及び δ -Oの安定同位体元素の測定を実施し、その結果をTable 2-1-3に示す。

Table 2-1-3 Result of determination of δ O and δ S Isotope

	Sam. No	δ O (‰) VS SMOW	δ S (‰) VS CDT	Remarks
1	D-107	+13.4		Quartz segregation vein
2	B-59	+14.1		Quartz vein in sandstone
3	B-60	+16.3		Quartz vein in Ocoita
4	B-64		+14.9	Las Guías bornite ore
5	B-65		+19.1	Las Guías bornite ore
6	B-66		+18.9	Las Guías bornite ore
7	B-67		+18.8	Las Guías bornite ore
8	B-68		+19.4	Las Guías bornite ore
9	B-69		+18.9	Las Guías bornite ore

以上の結果から、鉱液の起源及び性質は以下に要約される。

* δ Oは、SMOWに対して13.4~16.3%と高い値を示し、初生溶液は地中の移動過程で堆積岩または変成岩と反応したことを示唆している。

* δ Sは、試料B-63を除きCDTに対して18.8~19.4%を示し、海水起源の硫酸イオンが地下深部にとじ込められ、何らかの熱源で還元され、移動し、この過程で硫化水素に変化し安定同位体比が均質化したことを示唆している。

この一連の過程で、溶液はCuイオンを溶かし込み、溶液から銅鉱物が沈殿するのに適した地質構造に支配された低温条件の下で斑銅鉱、輝銅鉱などが沈殿したものと推定される。従って、鉱化作用に伴う変質作用も鉱石鉱物に近接する、極めて小規模で、かつ、微弱であったものと推定される。

この低温・弱酸性の鉱液は、相対的に空隙の多い岩石中に浸透し、銅鉱物を沈殿させたものと推定される。オコイータは、周囲の岩石に比較して、巨大な多量の斜長石斑晶を含む多孔質岩石である。さらに、斜長石斑晶を多量に含む角礫の間を、比較的細粒なオコイータが充填する角礫構造を示す不均質な岩相を示す部

分がある。ラス・ギアス鉱山の富鉄体は、まさにこのような不均質な岩相の部分に賦存している。また、後述のように、オコイータが他の付近の岩石に比較して、Cuの含有量の高いことも、鉄液が多孔質なオコイータに浸透し、鉄物を沈殿させたと推定するならば説明が可能になる。

以上の各種室内試験に供した試料の採取位置図をFig. 2-1-13に示す。

1-6 考察

1-6-1 鉄化作用の特性

調査地域内の鉄化作用の特性は、以下に要約される。

① 今回の調査で確認された約 30 箇所以上の鉄微地の約 65 % は、オルケッタ層上部層に集中するが、鉄化作用とオコイータとの直接的な成因関係を示す積極的な地質及び地化学的現象は確認されていない。また、鉄微地の分布は、断層などの構造線にも規制されているようには見えない。

② 鉄化及び変質作用は以下に要約される。

* 孔雀石を主体とする網状～鉄状鉄化作用。この鉄化作用はラス・ギアス鉱山の斑銅鉄－輝銅鉄鉄化作用以外の大部分の鉄微地を占める。鉄化作用は、水平方向及び下部では急激に劣化・尖滅し、不毛石英脈・変質帯などに移行する現象は認められない。広域的な続成作用以外の変質作用は認められない。

* ラス・ギアス鉱山に認められる斑銅鉄－輝銅鉄を主体とする網状～鉄染状初生鉄化作用。広域的な続成作用以外の変質作用は認められない。

* 安山岩中に認められる極めて小規模な黄銅鉄－黄鉄鉄石英脈の初生鉄化作用。これには二次銅鉄物の染込みが認められる。微量の絹雲母、カオリンなどの変質鉄物を伴う。

* ロ・ブラド層中に認められる黄銅鉄－黄鉄鉄石英網状～鉄染状初生鉄化作用。小規模な珪化・粘土化変質作用を伴う。

* ラス・ギアス鉄床を中心として定期的に採取した母岩のく X線解析でも、当地域に共通する続成作用による変質作用以外は認められない。

* 構成鉄物は、斑銅鉄、輝銅鉄、ダイジュナイト、黄銅鉄、黄鉄鉄、赤鉄鉄、孔雀石、珪孔雀石、藍銅鉄、アクカマ石などである。これらの鉄物は、母岩を交代し、局部的に微弱な変質作用が認められる。また、斑銅鉄－輝銅鉄－ダイジュナイトの密接な共生、コロホーム組織、輝銅鉄からのジュルレアイトの離溶組織の存在などは、低温条件での鉄化作用を示している。

③ 流体包有物試験結果は以下に要約される。

* 黄銅鉄－黄鉄鉄石英の均質化温度は265 ～ 200 ℃程度、不毛石英脈は170 ℃

程度、二次的生成と考えられる不毛石英、方解石脈は130℃程度である。しかし、ラス・ギアス鉱山の斑銅鉱－輝銅鉱の鉱化作用に伴う均質化温度の資料は得られていない。

*塩濃度(NaCl eq.)は10%以上、10%未満～5%以上及び5%未満の3種類の溶液が想定される。しかし、ラス・ギアス鉱山の斑銅鉱－輝銅鉱の鉱化作用に伴う塩濃度の資料は得られていない。従って、調査地域内の熱水活動は、温度及び塩濃度の異なる溶液が、複数回に渡って活動したものと判断される。

④安定同位体元素

当地域の鉱化作用に関連する鉱化溶液の起源及び挙動を検討し、鉱化作用の機構を推定するため、 $\delta\text{-S}$ 及び $\delta\text{-O}$ の安定同位体元素の測定を実施した結果は、以下に要約される。

* δO は、SMOWに対して13.4～16.3%と高い値を示し、初生溶液は地中の移動過程で堆積岩または変成岩と反応したことを示唆している。

* δS は、CDTに対して18.8～19.4%を示し、海水起源の硫酸イオンが地下深部にとじ込められ、何らかの熱源で還元され、移動し、この過程で硫化水素に変化し安定同位体比が均質化したことを示唆している。この一連の過程で溶液はCuイオンを溶かし込み、地質構造に支配された銅鉱物の沈殿に適する低温条件の場所で、斑銅鉱、輝銅鉱などが形成されたものと推定される。

⑤鉱化作用の時期

以上の鉱化作用の特性から、鉱化作用の時期及び各々の特徴は以下に要約される。

*オコイータの貫入…白亜紀中期

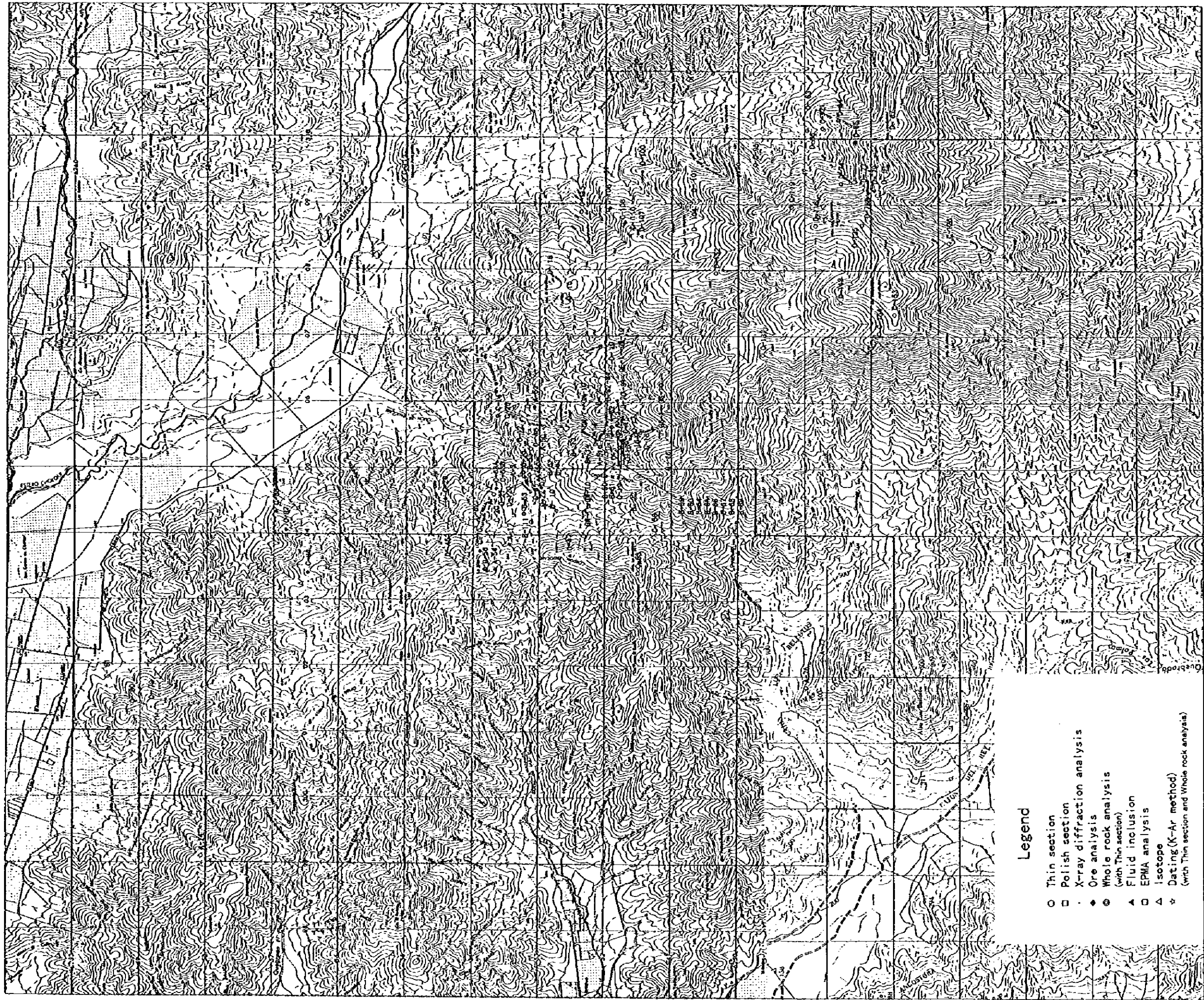
オコイータは、全ての鉱化作用を被っており、鉱床母岩として重要である。

*ラス・ギアス鉱床の富銅体を形成する斑銅鉱－輝銅鉱初生交代鉱化作用
…古第三紀以降

この鉱化作用は、オコイータ中に賦存し、その産状は明らかに周囲の地層の層理に斜交し、安山岩岩脈にも鉱化作用を及ぼしている。オコイータの地化学的Cu含有量は、当地域の地層を形成する全ての岩石に比較して異常に高い。この事実は、鉱化作用が、オコイータの多孔質性・不均質性などの岩相及び空隙率に密接に関連している可能性の高いことを示唆している。この鉱化作用は、当地域での最初の活動であり、当地域では、比較的規模の大きな高品位鉱床を形成する。

*黄銅鉱－黄鉄鉱石英脈初生鉱化作用…古第三紀以降

ラス・ギアス及びアンヘリータ鉱山坑内並びにロ・ブラド層中に賦存し、



0 1 2 km

Fig. 2-1-13 Locality map of Sampling sites of X-ray diffraction test, thin section etc.

その産状から上述の斑銅鉱-輝銅鉱-錳化作用以降の活動である。両者は、構成鉱物の組合せ、変質作用などの相違から、物理化学的条件の異なる錳化作用に起因するものと推定される。地化学探査結果からも、ロ・ブラド層は、オルケッタ層よりもAu、Sb、Pbの含有量が高い傾向を示し、この可能性を示唆している。この錳化作用の実態は、未だ解明されていないが、比較的小規模であるものと判断される。

※孔雀石を主体とする錳化作用

上記の全ての錳化作用に重複する調査地域では最末期の錳化作用。この錳化作用は、ラス・ギアス鉱山の斑銅鉱-輝銅鉱富錳体中及び母岩の亀裂・空隙中、黄銅鉱-黄鉄鉱石英脈中の亀裂・縞状構造の空隙部に支配されて産し、その大部分は明らかに錳脈形成後の産状を示す。従って、これらの大部分は、既存錳床からの酸化・移動した、二次的錳化作用の可能性が高い。この錳化作用は、調査地域の錳微地の主体をなし、高品位錳を伴うが、いずれも小規模である。

1-6-2 錳床賦存のポテンシャル

以上の地質調査、地化学探査及び物理探査結果から、当地域の錳床賦存のポテンシャルは、以下に要約される。

- (1) 地質調査によって確認されたオルケッタ層中の多数の孔雀石を主体とする錳微地の全ては、水平方向及び、特に下部にも極めて小規模である。これらに、斑銅鉱-輝銅鉱を主体とする錳化作用を伴うとすると、ラス・ギアス鉱山とほぼ同規模の富錳体が期待される。
- (2) 錳化作用の総合的検討の結果、斑銅鉱-輝銅鉱の富錳体は、オコイータの角礫状部分に賦存する可能性が高いものと判断される。
- (3) ロ・ブラド層中の熱水錳脈の錳微は、オルケッタ層中の錳微よりも微弱である事実から、大規模な錳床に発展するポテンシャルは低いものと判断される。
- (4) 地化学探査によって確認された異常帯は、地質調査で把握された錳微地をほぼ網羅しており、当地域の錳化作用を正確に反映していると判断される。オルケッタ層下部層中に分布する錳微地を伴わない異常帯は、単位面積当たりの試料数が少ないが、地質調査の結果から同上部層とほぼ同精度の地化学的特性を反映しているものと判断される。従って、オルケッタ層下部層の異常帯には、錳床の賦存のポテンシャルは低いものと判断される。
- (5) 物理探査によって抽出された7ヶ所の異常帯については、程度の差はあるものの、硫化物錳床賦存の可能性がある。

()

()

()