

チリ共和国セロネグロ地域
資源開発協力基礎調査報告書
地域開発計画調査

調査結果要約説明書

平成6年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

704
66.1
MPN

鉱調資
CR(2)
94-064

チリ共和国セロネグロ地域
資源開発協力基礎調査報告書
地域開発計画調査

調査結果要約説明書

27255

JICA LIBRARY



1118305101

平成6年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

国際協力事業団

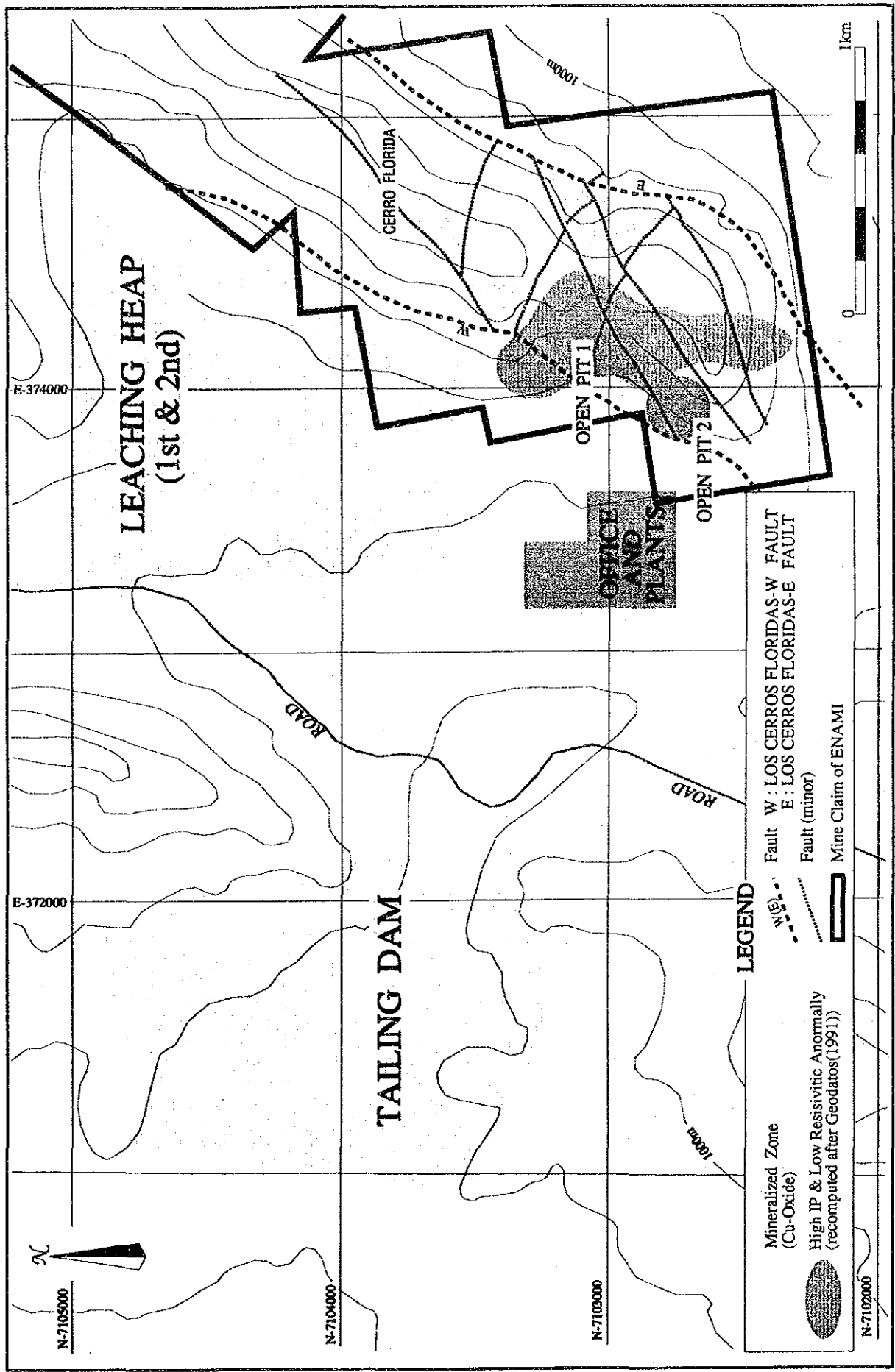
7255

目 次

第1章 調査概要	1
1-1 調査地域及び調査目的	1
1-2 調査方法, 調査量及び調査期間	1
第2章 地質・鉱床概要	5
2-1 広域地質概要	5
2-2 地域地質概要	7
2-3 鉱床概要	9
第3章 調査結果の概要	11
3-1 既存データ解析	11
3-2 地質調査	11
3-3 物理探査	11
3-4 ボーリング調査	17
3-5 選鉱試験	17
3-6 鉱量計算	21
3-7 企業化調査	21
第4章 考察及び結論	25
4-1 考察	25
4-2 結論	25

添付図表類一覧

調査結果要約図	
第1-1-1 図 調査地域位置図	2
第1-2-1 図 調査フローシート図	3
第2-1-1 図 広域地質図	6
第2-2-1 図 地質図・断面図	8
第3-3-1 図 物性測定結果図	13
第3-5-1 図 選鉱試験工程図	19
第3-5-2 図 鉱石処理フローシート	20
第3-5-3 図 浮選処理フローシート	20
第3-5-1 表 選鉱試験結果表	19
第3-6-1 表 鉱量計算結果表	22



調査結果要約図

第1章 調査概要

1-1 調査地域及び調査目的

本調査は、チリ共和国セロネグロ地域において、既存鉱床の存在の確認とその鉱量増加を図り、さらに鉱山評価を行う事を目的として平成4年度から2年間の調査を実施した。

本地域は第1-1-1図に示す如く、チリ共和国北部第Ⅲ州に含まれ、首都サンチャゴからは北へ約900kmに位置し、州都コピアポ市からは北方直線距離約90km、道路距離約220kmの所に位置する。

1-2 調査方法、調査量及び調査期間

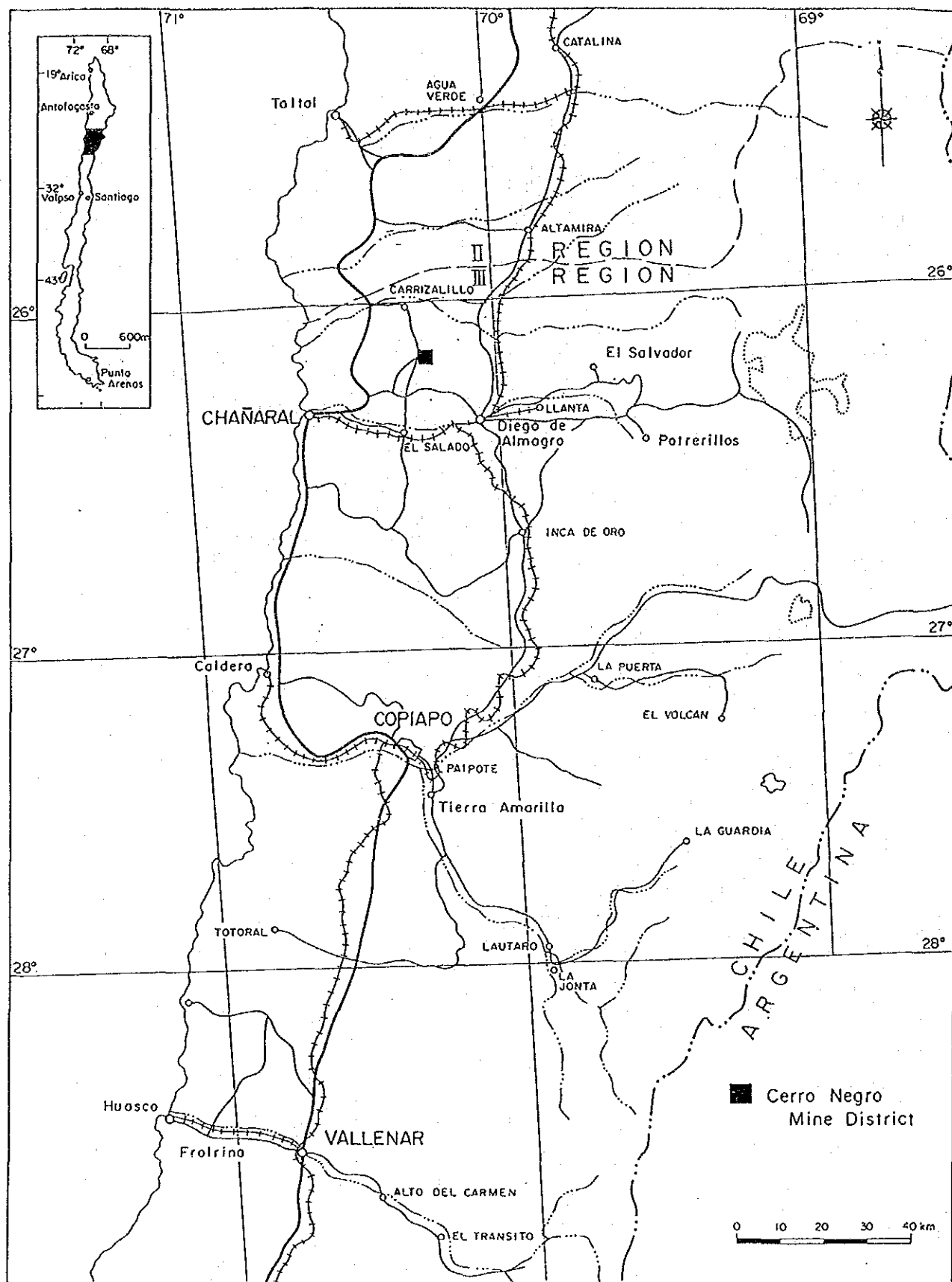
第1-2-1図に示すような方向で調査を実施した。すなわち初年度は試錐30孔、総掘進長6,424m(160m~500m/孔)を実施し、その中から12孔を抽出してIP検層と424個のサンプルについてIP測定と458個のサンプルについて磁化率測定を実施した。これら測定された物探データを基に既存の地表IP資料と磁気調査資料の再解析も実施した。また次年度に行う予定の現地選鉱試験の委託先を決定するための調査も行った。調査期間は次の通りである。

国内準備	平成4年10月30日～平成4年11月06日	8日間
現地調査(ボーリング)	平成4年11月07日～平成5年03月08日	122日間
現地調査(物理探査)	平成4年11月28日～平成5年01月27日	61日間
現地調査(既存データ解析・選鉱)	平成5年01月05日～平成5年01月24日	20日間
解析報告書作成	平成5年01月25日～平成5年03月11日	46日間
全調査期間	平成4年10月30日～平成5年03月11日	133日間

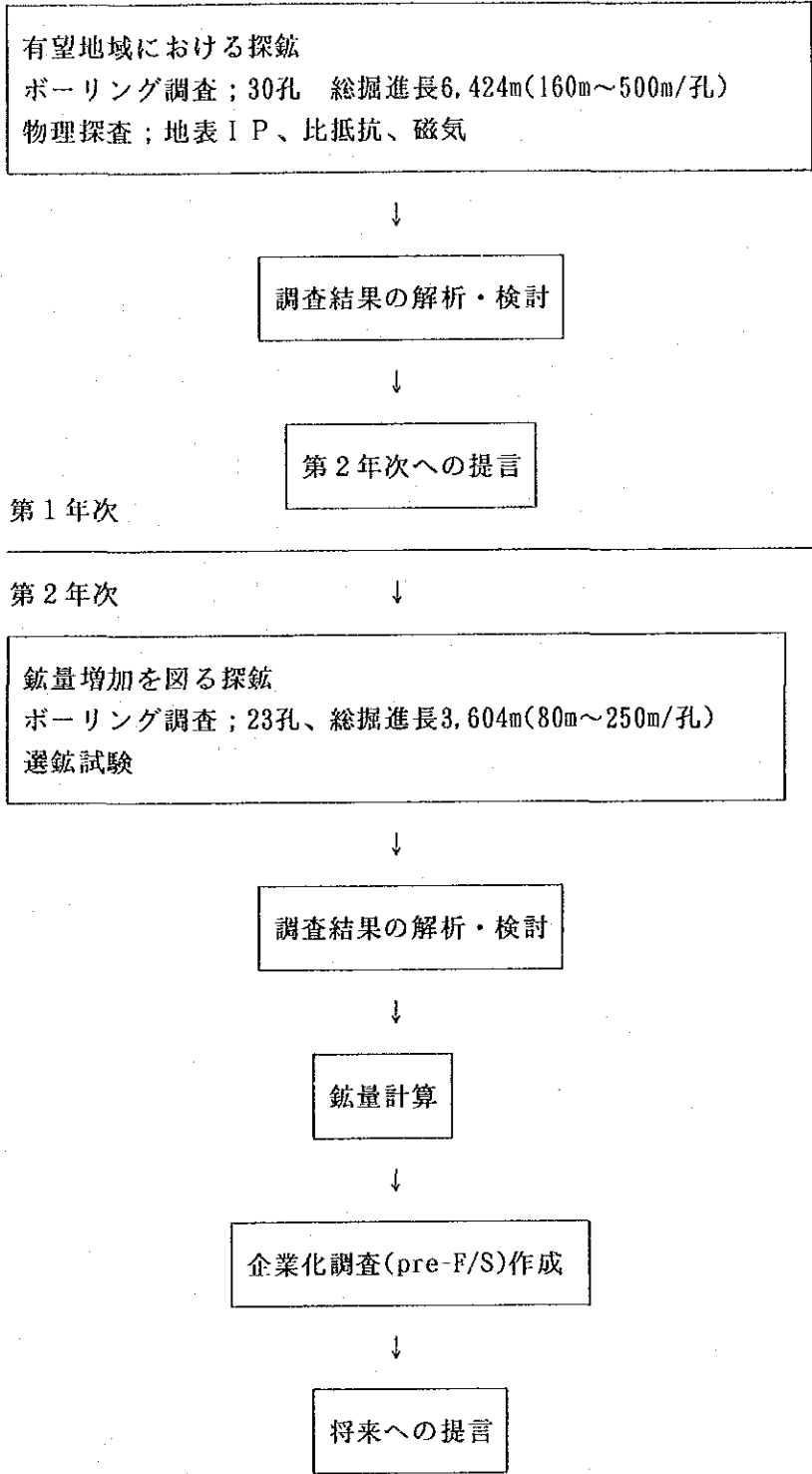
第2年次は第1年次の結果に基づき23孔の試錐、総掘進長3,604mを実施した。それと平行して現地にて選鉱試験、日本国内で浮選試験の確認を実施した。また企業化調査のための資料収集作業も現地にて行った。

試錐調査の結果を基に鉱量計算を、また選鉱試験の結果から最適選鉱フローシートの決定を行った。鉱量計算結果、選鉱試験結果と現地で収集した資料を合わせて企業化調査を、すなわちpre-feasibility studyを実施した。第2年次調査の調査期間は次のようになる。

国内準備	平成5年08月20日～平成5年08月22日	3日間
現地試験(選鉱試験)	平成5年08月23日～平成6年01月29日	160日間
国内選鉱試験	平成5年10月18日～平成6年01月15日	90日間
現地調査(ボーリング)	平成5年10月01日～平成5年12月08日	69日間
現地調査(企業化調査)	平成5年11月15日～平成5年12月04日	20日間
鉱量計算	平成5年11月01日～平成5年01月25日	86日間
解析報告書作成	平成5年12月18日～平成6年02月25日	70日間
全調査期間	平成5年08月20日～平成6年02月25日	190日間



第 1-1-1 图 调查地域位置图



第1-2-1図 調査フローシート

第2章 地質・鉱床概要

2-1 広域地質概要

調査地域は、南米大陸の太平洋側を南北に連続する広義のアンデス山脈の中に位置している。この広義のアンデス山脈(Andean Cordillera)は、太平洋側(西側)から順に、

- ① Cordillera de la Costa
- ② Cordillera de los Andes
- ③ Precordillera

の並走する3帯に分類され、この中の①に調査地域のセロネグロ鉱床は位置している。

アンデス山脈は、南米大陸の西縁に連なる南北約9,500km、幅300~700kmの規模を有する褶曲山脈であり、新生代初期に隆起したと考えられている。最高峰のAconcaguaは上記のCordillera de los Andesにあり、その標高は7,021mに達する。

アンデス山脈に関して従来考えられてきた地質構造史は、古生代以降に起こった最低2回の大造山運動により形成されたとする比較的単純なものであったが、近年の精力的な研究においては、地質構造の詳しい解析がなされており、さらに複雑な地質構造形成史が明らかとなってきている。例えば、Mpodozis & Ramos (1989)では、プレートテクトニクスによる大陸の移動・結合、サブダクション帯、付加プリズム帯、マグマ活動、走向移動断層等により明快な説明が試みられている。

セロネグロ鉱床地域周辺には、古生代~第四紀の地層が分布(第2-1-1図参照)しており、その概略は次の通りである。

- | | | |
|------------------------|---------------|-------------|
| ① 沖積層 | (第四紀) | 泥流堆積物・崖錐堆積物 |
| ② Atacama砂礫層 | (新第三紀) | 崖錐堆積物・礫・砂礫層 |
| ③ Los Cerros Floridas層 | (白亜紀前期) | 安山岩・火山碎屑岩類 |
| ④ La Negra層 | (ジュラ紀後期) | 安山岩・陸成堆積物 |
| ⑤ Pan de Azucar層 | (ジュラ紀前期) | 石灰岩・礫岩 |
| ⑥ 基盤変成堆積岩類 | (オルドビス紀~デボン紀) | 珪岩・千枚岩・変石灰岩 |

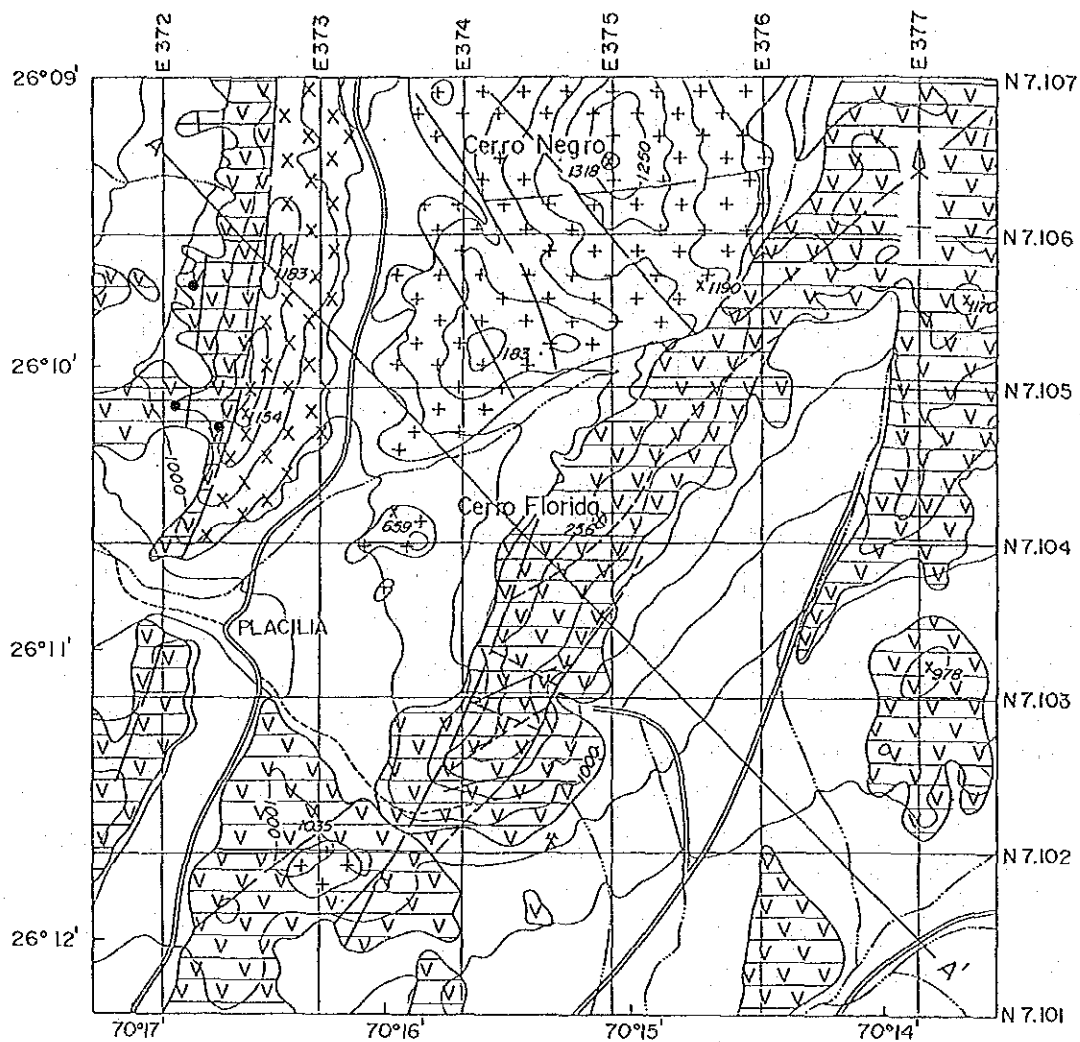
さらに、深成岩類として以下の三種の貫入複合岩体が認められる。

- ① Sierra Pastenes Batholith (白亜紀前期)
花崗閃緑岩質・斑れい岩質・モンゾニ閃緑岩質・トーナル岩質の岩相を伴い、Los Cerros Floridas層に貫入する。
- ② Sierra Minillas Batholith (ジュラ紀~白亜紀)
閃緑岩質・花崗閃緑岩質及びトーナル岩質の岩相を伴い、La Negra層に貫入する。
- ③ Cerros del Vetado Batholith (二畳紀)
花崗岩を主体とし、トーナル岩質・花崗閃緑岩質・アダメライト質の岩相を伴い、基盤の変成岩類に貫入する。

上記の各層は広く Cordillera de la Costa を構成しているが、その中で鉱床生成に大きく関与したと考えられる安山岩質の火成活動は La Negra層とLos Cerros Floridas層に認められ、その概略は以下の通りである。

- ① La Negra層は、概ねN-S走向で東傾斜を示す。

安山岩及び同質の火山碎屑岩類とそれらに挟在される砂岩で構成される。



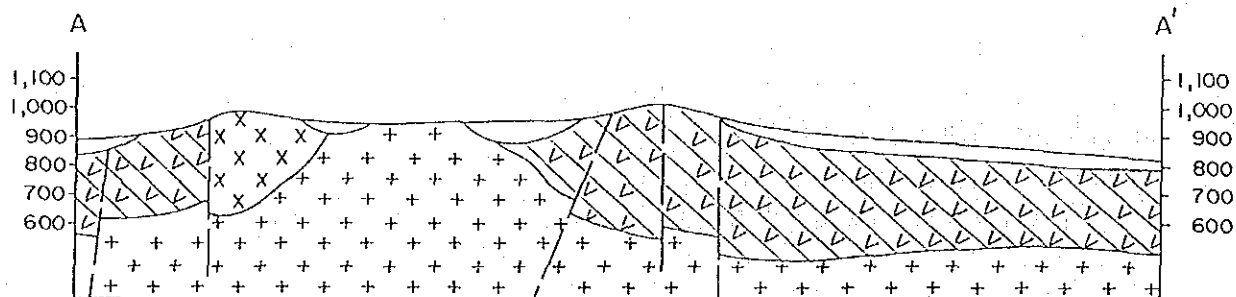
Regional Geologic Map

Legend

Quaternary		Alluvial Deposit
Neocomian		Sierra Pastenes Batholith (Pegmatitic monzogranite with tourmaline)
		Los Cerros Floridas Formation (Andesite with intercalation of limestone)
Upper Paleozoic		Cerros del Vetado Batholith (Pegmatitic monzogranite with tourmaline)

Simbolos

Structural system of the Atacama fault, indicating sunken blocks



第 2—1—1 图 区域地质图

After Naranjo (1978)

安山岩は斑状・暗褐色～暗赤色で溶岩流の構造を認め難い塊状の産状を呈する。全般的な変質は、斜長石の粘土化・絹雲母化、苦鉄鉱物の不透明鉱物化である。砂岩は褐色～赤色を呈し、5～20mの単層から構成されている。

層厚は3,000mに達すると推定され、Pan de Azucar 層を整合的に覆う。

② Los Cerros Floridas 層は、セロネグロ鉱床の鉱床母岩である。

走向・傾斜は下位層と類似し、20°Eの単斜構造を示す。

緑色～灰色の斑状安山岩および角礫状安山岩から構成される。

Cerro Florida の南東には5～10mの層厚の石灰岩層が分布している。

全般的な変質は、斜長石の絹雲母化、苦鉄鉱物の不透明鉱物化である。

層厚は2,000mに達すると推定され、不整合的にLa Negra層を被覆する。

一方、セロネグロ鉱床地域の特徴としては、アタカマ断層(Falla Atacama)の断層帯の中に存在する事が挙げられる。このアタカマ断層は、南北700km以上にわたって連続し、地殻深部にまで達する大構造線であると考えられている。その分布は、北はAntofagasta (S24°)から始まり、Copiapo地域を經由して、南はCoquimbo(S30°)に達する。全体としては左横ズレを示すが、局所のおよび派生断層では上下運動や右横ズレ傾向を示す場合も認められる。断層帯の幅は、極めて変化に富むが、平均して3～4kmである。その活動は、白亜紀前期には既に開始し、第四紀に至るまで連続しており、数多くの派生断層を生じている。セロネグロ鉱床地域では、La Negra層、Los Cerros Floridas層及びBatholithに変位を与えており、鉱床地域の各所で横ズレすべり面を確認する事が出来る。セロネグロ鉱床の生成に係わる胚胎の場や関係火成岩は、この大構造線が大きく関与している事が予想される。

2-2 地域地質概要

試錐調査ならびに地表調査で観察される岩石は、基本的には第四紀層、白亜紀 Los Cerros Floridas層（安山岩質火山岩類、一部に石灰質岩）、岩脈類、鉱化変質岩類及び構造運動による破碎岩類に区分される。特にLos Cerros Floridas層の安山岩をそのフローユニットにより上位から4層（第4層→第1層）に分類した。なお地表地質図は第2-2-1図及び調査結果要約図として示した。

各岩相の分布をまとめると、調査範囲における一般的な層序は次の様になる。

第四紀；崩落層

白亜紀(Los Cerros Floridas層)；

凝灰岩～凝灰質砂岩類卓越、石灰質岩を挟在（含“熱水角礫岩”）

無斑晶質安山岩質溶岩・凝灰角礫岩卓越（含“熱水角礫岩”）

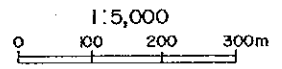
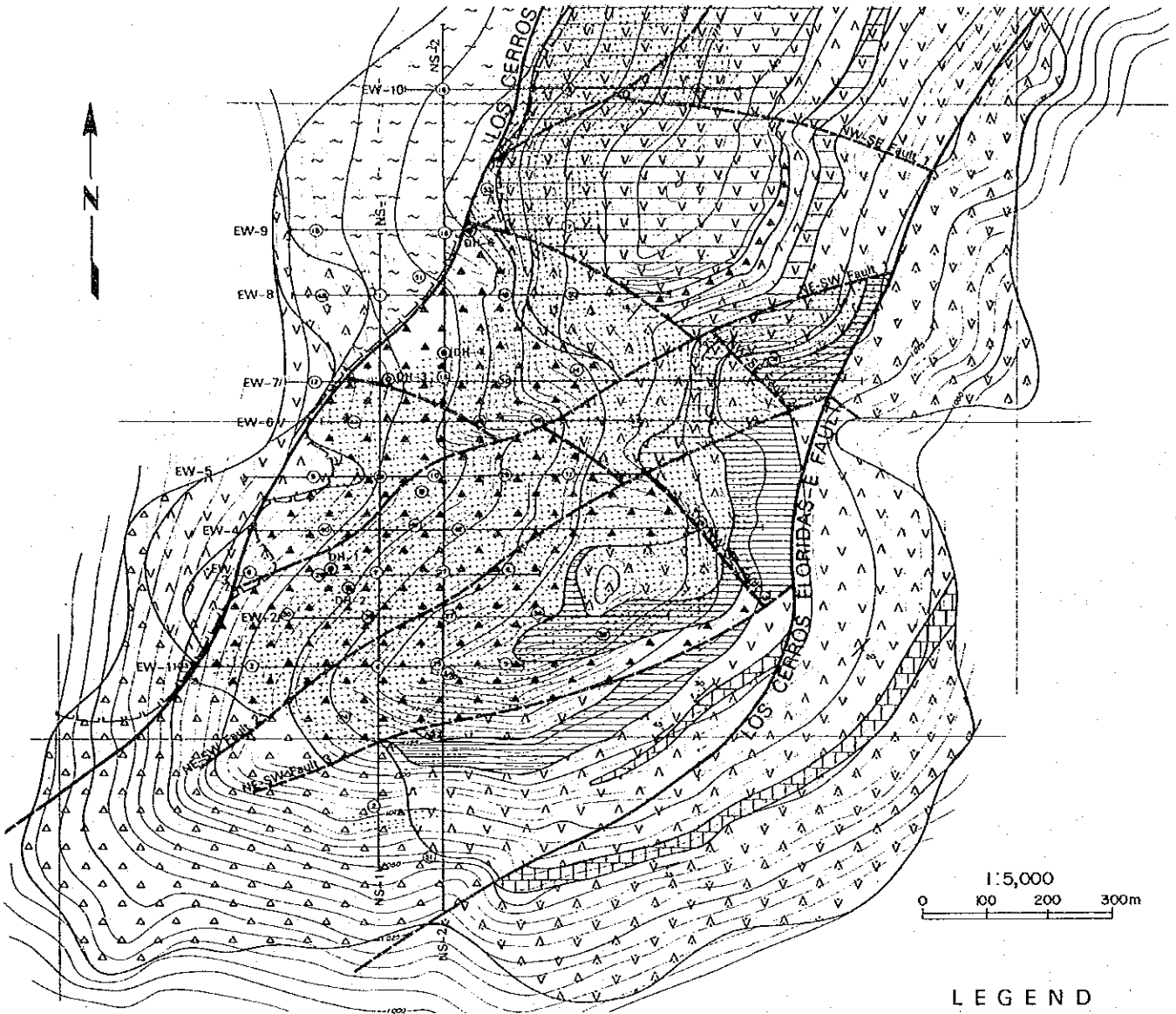
安山岩第4層及び第3層に相当

斜長石斑状玄武岩質安山岩質溶岩卓越（“熱水角礫岩”を僅かに含む）

安山岩第2層及び第1層に相当

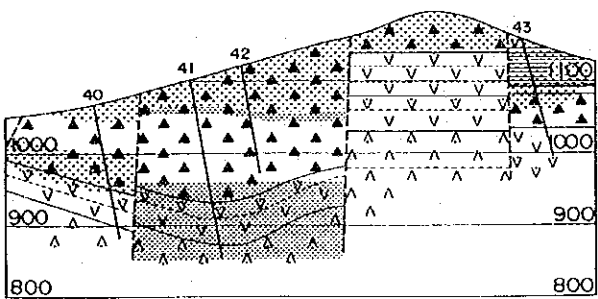
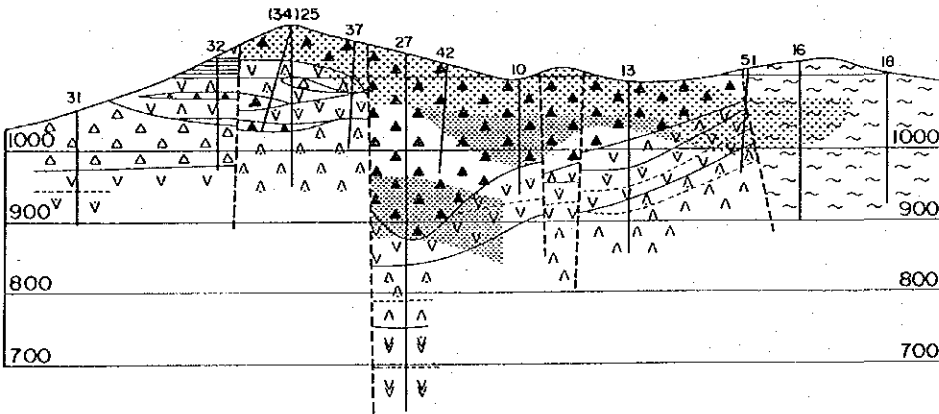
試錐調査ならびに地表調査では、破碎帯や急激な岩相変化などからいくつかの断層系を確認または推定する事が出来た。これらの断層系は、本調査地域を幾つかの地質ブロックに分断しており、銅鉱床の形態・品位を解析する上で重要な要因の一つとなっている。

一方、いわゆる“熱水角礫岩”は、試錐調査範囲に広く出現し、しかも銅鉱化帯の胚胎母岩ともなっているため、その分布形態や鉱物組成も銅鉱床の形態・品位を解析する上で



LEGEND

- Spificied rock and Cataclaste
- "Hydrothermal Breccia" (Brecciated Andesite abundant in Magnetite, Hemetite and Specularite Ore)
- Plagioclase phenocryst-rich andesite lava
- Aphyric andesite lava
- Intercalated beds**
- Mudstone, Sandstone and Tuff
- Brecciated andesite (Volcanic and Tuff Breccia)
- Lapilli Tuff, Tuff Breccia and Andesite lava
- LOS CERROS FLORIDAS FORMATION**
- Upper Unit**
- Andesite 4**
- Plagioclase phenocryst-rich andesite lava
- Aphyric andesite lava
- Andesite 1**
- Plagioclase phenocryst-rich andesite lava
- Aphyric andesite lava
- Lower Unit**
- Andesite 2**
- Plagioclase phenocryst-rich andesite lava
- Aphyric andesite lava
- Andesite 3**
- Plagioclase phenocryst-rich andesite lava
- Aphyric andesite lava
- Fault
- Lava flow unit
- Oxide Ore
- Sulfide Ore
- Depth and Dip
- Hydrothermal alteration Zone
- Section line
- U : Upper Ore body**
- M : Middle Ore body**
- L : Lower Ore body**
- W : West Ore body**
- E : East Ore body**



第2-2-1图 地质图·断面图

の重要な要因である。

①一般走向・傾斜

安山岩質溶岩中の斜長石の形状や含有量及びアミグダル構造を鍵として対比を行った場合には西へ20~30°の一般傾斜が推定される。また山体頂部付近に僅かに見られる凝灰岩類の縞状構造からも、北西へ20~30°程度の緩傾斜が推定される。一方山体の南部及び東部では垂直に近い南東傾斜を示す箇所も確認された。

②断層及び地質ブロック

試錐調査及び地表調査の結果、3種類の系統の断層系が確認及び推定された。

- ・ NNE-S SW系 (Los Cerros Floridas-W 断層破碎帯及びLos Cerros Floridas-E 断層)

Los Cerros Floridas山体の東西両側を並走し、山体全体としての地形を形成している断層系である。これらは、アタカマ断層からの1次の派生断層であると考えられる。

- ・ NE系 (NE-1~4断層)

4本のNE系断層が存在し、何れも約N60°Eの走向を示し急傾斜であると推定される。これらは、上記のNNE-S SW系断層間の2次断層であると考えられる。特にNE-2断層とNE-3断層は調査範囲を横断しており、“熱水角礫岩”及び銅鉍化作用の広がりを規制している。

- ・ NW系 (NW-1~3断層)

2本のNW系断層が存在し、何れも約N55°Wの走向を示し急傾斜であると推定される。また、NE-2断層とNE-3断層の間にはNW系の平行する6本の沢地形が確認でき、これらも同系統の小断層または断裂系であると考えられる。

③“熱水角礫岩”

試錐調査により最も深部で確認されたのは、MJCC-41孔の約850mLであり、その周辺では約900mL以浅で出現している。全体としては、南西方向がより深くなる形状を示す。しかし、その傾向は前述のNE-3断層を境に南北で不連続となり南側では深部には出現しなくなる。大略的にはMJCC-41付近を中心として、深部ではパイプ状または上に開いたラップ状を、上部では地層と調和的に広がった形状を推定できそうである。

2-3 鉍床概要

本調査地域の銅鉍床には、酸化銅鉍化帯と硫化銅鉍化帯があり、さらにこれらの漸移帯として混合帯(中間帯)も存在する。なお、各試錐孔において捕捉された鉍化帯は最終年度報告書中に一覧表として示した(第I-4-2-1表)。また代表的な鉍体分布も最終年度報告書・第I部に示した(第I-4-2-1図)。

①酸化銅鉍帯

酸化銅鉍帯は、試錐調査範囲のうち西端付近を除いたほぼ全ての試錐孔において捕捉された。酸化銅鉍帯は、一般には地表下50m~100m以浅に分布しており、10m~15m周期で1%SCu以上の高品位部が繰り返す。局所的には10%SCu以上の箇所(例えばMJCC-5孔の50m付近)も見られるがその連続性は良くない。酸化銅鉍物としては、緑塩銅鉍・孔雀石を主体とし、珪孔雀石・藍銅鉍・胆礬を少量ともなう。

②混合帯(中間帯)

酸化銅鉱帯の中には、硫化銅鉱が未酸化状態で残存している事がある。そのような部分を特に混合帯（中間帯）と呼んでいる。上述の酸化銅鉱帯の高品位部は殆ど酸化銅鉱から構成されているが、高品位部の間の1%Cu以下の部分の多くでは、酸化銅鉱と同量程度の残存硫化銅鉱を有している。また、上位の酸化銅鉱帯から下位の硫化銅鉱帯への漸移帯として混合帯が出現する事がある。しかし、何れの場合も独立したゾーンとしての表現は困難である。

③硫化銅鉱帯

硫化銅鉱帯は、試錐調査範囲の多くの試錐孔において硫化銅鉱帯が捕捉されたが、特に中心付近の試錐孔において高品位の硫化銅鉱帯が確認された。硫化銅鉱帯は、一般に地表下50m～100m以深に出現し、局所的には20%ICu以上の箇所（例えばMJCC-29孔の135m付近）も見られるがその連続性は良くなく、1%Cu以下の部分が大半である。硫化銅鉱物としては、黄銅鉱を主体とし輝銅鉱・銅藍を少量ともなう。

第3章 調査結果の概要

3-1 既存データの解析

文献は初年次、2年次ともに報告書巻末に記載されているが、特に広域地質についてはNaranjo(1978)を、鉱床周辺地質についてはEGM Evaluaciones Geologicas Mineras Ltda. (1991)を、物探データについてはGeodatos(1991)を主として引用した。特に物探に関しては今回(初年次)試錐孔を利用した検層と試錐岩芯について物性値の測定を実施し、その後これらのデータを基にGeodatos(1991)のデータの再解析を実施している。その結果については3-3で後述する。

3-2 地質調査

当地域には白亜紀前期のLos Cerros Floridas層が広く分布しており、その主たる構成岩石は安山岩溶岩と同質“熱水角礫岩”であるが、同質火砕岩や石灰質岩も若干同層上部に存在する。Los Cerros Floridas層堆積後間もなくアタカマ断層が発生し、それと同時に当地域内にLos Cerros Floridas W. & E.断層2本(NNE-SSW系断層)発生したと考える。これら2本の断層間にNE-SW系及びNW-SE系の2系列の派生断層が前記断層と同時にそれ以降に発生した。さらに断層群に規制されるような形態で“熱水角礫岩”の起源となった角礫化作用と鏡鉄鉱・磁鉄鉱よりなる鉄鉱化作用が同時または若干の時間差を持って発生した。さらにその後、断層群や“熱水角礫岩”やアミグダル組織のような空隙に富む安山岩に規制されるような形態で銅鉱化作用が発生した。但し銅鉱体が断層でずれたような形態を示す部分がある事からこれら断層は長期間に渡って断続的に変位した可能性が強い。

これらの調査結果は調査結果要約図及び第2-2-1図に示されている。

3-3 物理探査

測定結果の平面分布図を、調査結果要約図及び物性測定結果図(第3-3-1図)として示す。

[標準試料の物性の特徴]

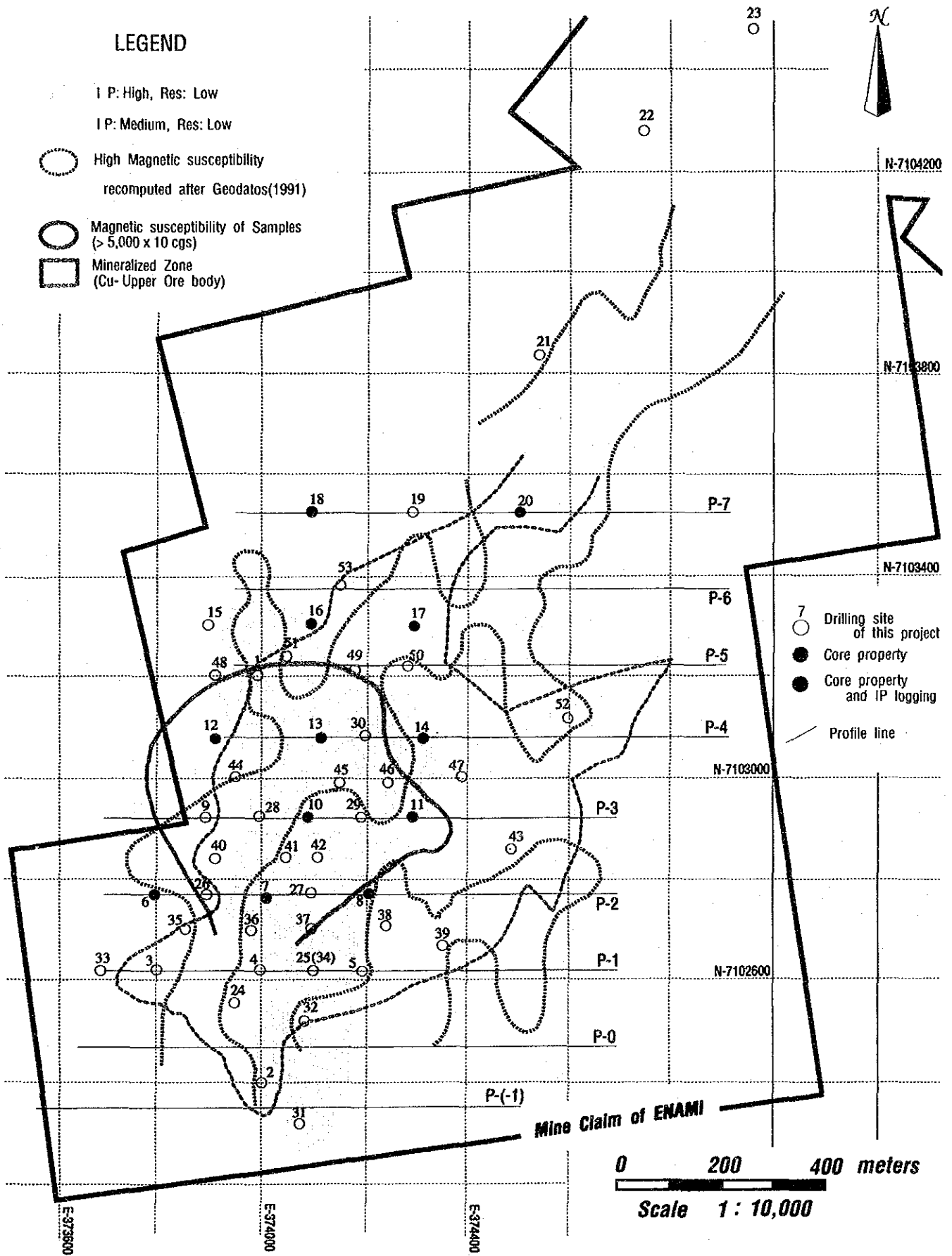
試錐岩芯より標準試料を採取し、IP値と比抵抗値を測定した。

- ①黄銅鉱は、高IP値と最も低抵抗($3\Omega\cdot m$)を示し、また磁化率も $27\times 10^{-6}cgs$ と最低値を示す。
- ②黄鉄鉱も高IP、低比抵抗、低磁化率を示す。
- ③赤鉄鉱は、2.3~3.5%と最も低いIP値を示す。
- ④鏡鉄鉱は、47.3%と高IPを示し、比抵抗値は $198\sim 6,533\Omega\cdot m$ と変化に富む。
- ⑤磁鉄鉱は、21.0~48.0%と高IPを示し、比抵抗は $171\sim 8,777\Omega\cdot m$ と変化に富む。磁化率は、 $9,566\sim 31,332\times 10^{-6}cgs$ と非常に高い。

[IP検層、サンプル測定結果と地表IP異常との対応]

(IP分布)

IP分布図は、検層データとサンプル測定データで同様の傾向を示し、MJCC-10、13付近で最も高く、さらに高IPの範囲はMJCC-7、14、11に及ぶ。このような高IP帯の発達は、地表IP異常から推定された異常源の存在とも調和的であり、既存のシミュレーション結果が正しいことを裏付けている。



第 3 — 3 — 1 図 物性測定結果図

(比抵抗分布)

比抵抗値の変化幅が大きいため孔別の対数平均値で見ると検層データ、サンプル測定データとも明瞭な低抵抗帯は認められず、 $100\sim 200\Omega\cdot m$ と周辺部に較べてやや低いのみである。しかし、総合柱状図で深度別に見れば、以下に示すように高IP異常源に対応した深度で $10\sim 30\Omega\cdot m$ 前後の低抵抗帯(検層データ)が存在する。

MJCC-7: 120~150mで $1\sim 5\Omega\cdot m$

MJCC-10: 50~90mで $4\sim 20\Omega\cdot m$

MJCC-11: 80~100mで $15\sim 30\Omega\cdot m$

MJCC-13: 55~70mで $20\sim 30\Omega\cdot m$

この低抵抗帯の厚さは $15\sim 40m$ と比較的薄いのが、大地への通電によって電流は集中的に導電層に流れるため、地表IPでは厚い高IP・低抵抗帯として検出されたものと推定される。

(金属係数分布)

IP検層とサンプル測定データのそれぞれについて金属係数(メタルコンダクションファクター)を求めたところ、MJCC-7, 10, 13を中心として高金属係数を示した。これは地表IP調査によるIP異常源(高IP・低抵抗)と良く合致している。

[地表IP異常の再解析結果]

ENAMIが実施した地表IP調査で検出されたIP異常について、今回のIP検層データをコントロールデータとして再解析を行った。解析の手法は2.5次元の有限要素法である。解析の対象としたのは、南からP-2測線(MJCC-6, 7, 8を含む)、P-3測線(MJCC-10, 11を含む)、P-4測線(MJCC-12, 13, 14を含む。ただし、MJCC-12はコアの物性データを参考とした)、P-7測線(MJCC-18, 20を含む)の4測線である。以下に各測線の解析結果について述べる。

(P-2測線)

IP異常を説明するモデルとして、高IP・低抵抗モデルと高IP・高抵抗モデルの2種類の存在が考えられる。前者は、MJCC-7の熱水角礫中において深度 $120\sim 160m$ で捕捉した黄鉄鉱の鉱化帯に対応しており、水平方向に $200\sim 250m$ 連続していると推定される。次に高IP・高抵抗モデルは前者の鉱化帯周辺を取り囲むように分布しており、高抵抗を示すことから磁鉄鉱の鉱化帯に対応すると考えられる。

(P-3測線)

地表IP異常のほぼ中心部を東西に切る測線で、高IP・低抵抗モデルはMJCC-10の熱水角礫中における深度 $50\sim 100m$ 及びMJCC-11の斑晶質安山岩における深度 $70\sim 100m$ で捕捉した黄銅鉱の鉱化帯が連続していることの反映と考えられる。この鉱化帯は西落として、水平的には約 $300m$ の広がりを持つと推定される。この高IP・低抵抗モデルの周囲には、P-2測線と同様に磁鉄鉱の鉱化帯の反映と考えられる高IP・高抵抗モデルが発達する。MJCC-11の東側では、高IP帯は劣勢であることがモデル計算からも確認されたため、探鉱上のポテンシャルは低い。

(P-4測線)

地表IPの高IP・低抵抗異常源として、MJCC-13の熱水角礫中における深度 $50\sim 70m$ で捕捉した黄銅鉱の鉱化帯が東西方向へ連続するモデルを想定した。ただし、その広がり

は東西方向にそれぞれ100m前後と考えられ、断面解析からはこの高IP・低抵抗モデルの上位層と下位層及び東側に高IP・高抵抗帯が発達しており、磁鉄鉱の鉱化帯が広範囲に及んでいると推定される。

(P-7 測線)

断面解析によれば、MJCC-18とMJCC-20の中間部に30~50Ω・mのダイク状の低抵抗モデルが想定されるが、これは地質断面上の破碎帯に対比される。また、MJCC-20の東側にはダイク状の弱IP・高抵抗モデルを想定したが、これは地質断面によれば磁鉄鉱の弱い鉱化を受けた熱水角礫に対応する。以上に述べた断面解析結果を総合すると、地表IPの高IP・低抵抗異常源としてはMJCC-7付近を中心として発達するストックワーク状の熱水角礫岩中の硫化銅による鉱化帯と考えられ、その上面深度は酸化帯深度によって規制されていると見ることができる。また、この高IP・低抵抗帯は、その周囲に磁鉄鉱の鉱化帯からなる高IP・高抵抗帯を伴っており、鉱床成因上両者には密接な関係があると推定される。今回の再解析によって推定された高IP・低抵抗帯の範囲と従来の結果を比較すると、P-4 測線において高IP・低抵抗帯の範囲が約1/3に縮小したこと及びMJCC-8が高IP・低抵抗帯の外側に、MJCC-11が内側に入ったことが指摘される(第3-3-1図参照)。

断面解析の結果からは、探査ターゲットである高IP・低抵抗帯の東西方向の連続性はMJCC-10付近で最大300m前後と推定された。また、セロネグロの山体の尾根から東側では高IP・低抵抗帯の連続が期待できないため、探鉱ポテンシャルは低いと判断せざるをえない。

[物性データから推定される地表IP異常の原因]

- ①地表IP異常のモデルシミュレーションによって推定された高IP・低抵抗異常源は、黄銅鉱と磁鉄鉱の濃集した鉱化帯からなる。
- ②黄銅鉱の鉱化に磁鉄鉱の鉱化が重複していることから、磁気調査で検出された高磁気異常帯の原因は磁鉄鉱によると結論される。
- ③地表IP異常帯の外側では磁鉄鉱の存在によってやや高いIPを示す場合があるが、その場合は比抵抗が高く、低比抵抗を示す硫化銅帯(黄銅鉱及び黄鉄鉱)との判別は可能である。

[磁気異常の再解析結果]

- ①再解析の結果によれば、MJCC-10, 13を中心として磁化率 2×10^4 ($\times 10^{-6}$ cgs以下略)以上の高磁化率帯がほぼ円形に広がっていることが明かとなった。
- ②前述の高磁化率帯の範囲は、既解析結果と比較して広くなっており、NE-SW系のトレンドが消え、ほぼ円形の分布をしていることが特徴である。
- ③高磁化率帯の範囲は、第3-3-1図に示した種々の物性値の高異常帯が重複している範囲と重なっており、コアの高磁化率帯とも良い一致を示す。したがって、今回の再解析によって得られた高磁化率帯の異常源は磁鉄鉱の鉱化帯と考えられ、これがすなわち磁気異常の原因であると判断される。
- ④この高磁化率帯は深度的には地表下100m以深で特に優勢であるが、MJCC-10付近では地表から高磁化率となっており、パイプ状の形態を示す。このパイプ状高磁化率帯は、当地域における磁鉄鉱の鉱化中心である可能性が考えられる。

3-4 ボーリング調査

鉱床は、白亜紀前期のLos Cerros Floridas層の安山岩溶岩及び同質岩起源の“熱水角礫岩”中に交替的に沈澱した銅鉱床であり、一般的にはマント型と呼ばれている。安山岩はそのフローユニットから第1層（下位）→第4層（上位）まで確認できたが、鉱床は第2層より上位をその母岩としている。鉱床と母岩の詳細な関係は最終報告書付図中の断面図を参照されたい。

鉱床は交代鉱床と考えているがマント型であるため見かけ上2～3層準存在するようである。その3次元的分布状況により上部鉱体、中部鉱体、下部鉱体、西部鉱体、東部鉱体ぬ分類した。上部鉱体は酸化銅鉱を主体とするが、その下部には硫化銅鉱物を主とする硫化鉱体や、硫化銅鉱物と酸化銅鉱の共存する混合鉱体から成る場合もある。他の鉱体はいずれも硫化鉱体を主とするが部分的に酸化鉱や混合鉱のような産状を呈する個所もある。

銅鉱物は初生的には黄銅鉱と思われるが、浅所及び断層沿いに酸化作用を被り輝銅鉱、緑塩銅鉱、孔雀石、胆ばん等に変化している。黄銅鉱は黄鉄鉱等と共に鉱染状～網状を呈するが、酸化銅鉱物は薄膜状を呈する事が多い。当調査地域では銅鉱化作用に先だてて鉄鉱化作用があったため、これら銅鉱物は鏡鉄鉱や磁鉄鉱等の酸化鉄鉱物と共存する事が多い。酸化鉱体と硫化鉱体は図面上での区分可能であるが混合鉱体のみは他の2種の鉱体と錯綜して存在するため区分困難である。

2年間で計53孔、総掘進長10,028m（深度80m～500m/孔）、最密地域における間隔約100mで試錐作業を実施し、鉱床賦存状況と鉱量の概算の把握を行う事ができた。鉱床は網状～鉱染状であるので鉱量の把握については、仮に試錐密度を今回の2倍としても精度を大きく上昇させる事は困難であろう。

今回の調査の主目的ではなかった下部鉱体を捕捉した試錐孔も若干存在する（MJCC 27 & 41）。また側方（特に東西方向）でも西部鉱体や東部鉱体の一部を捕捉できたので鉱区の問題もあるが、物探・試錐ともに下部及び側方への展開に期待が持たれる。

試錐位置、酸化銅鉱体の分布、酸化銅鉱体の分布と物探調査結果との比較等については調査結果要約図を参照されたい。

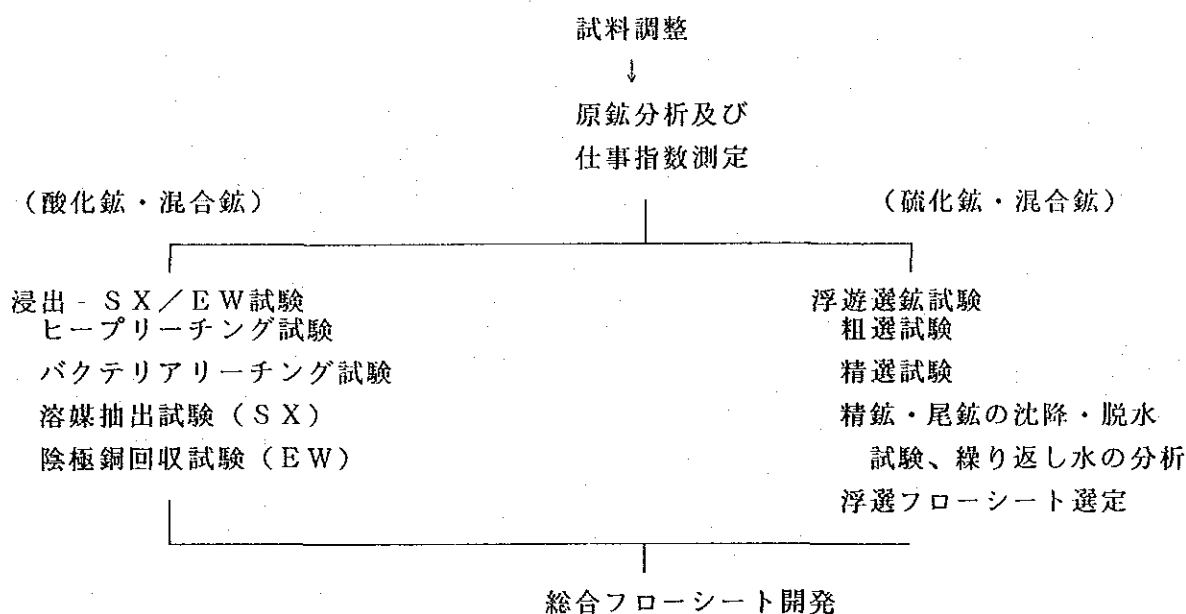
3-5 選鉱試験

セラネグロ鉱床を企業化する場合の最適処理フローシートを開発し、全体の選鉱成績を推定すると共に、選鉱場設計のための諸元を得るため前年度調査結果を踏まえて、現地チリ共和国のCENTRO DE INVESTIGACION MINERA Y METALURGICA（略称；C I M M）に試験を委託した。試料は1992年度に実施した試錐で得られたコアを用い、上部鉱体の酸化鉱石1種、上部鉱体と西部鉱体の混合鉱石2種、上部鉱体と西部鉱体の硫化鉱石2種、合計5種の鉱石に対する浮遊選鉱試験、及びヒープリーチング-SX/EWなどの選鉱試験を行った。その結果、上部鉱体の酸化鉱石と西部鉱体の混合鉱石（いずれもSol. Cu/Total Cuの比率が50%程度）の処理にはヒープリーチング（バクテリアリーチングを含む）-SX/EWによる方法が適しており、その浸出率は約76%であると見込まれた。上部鉱体の混合鉱石（Sol. Cu/Total Cuの比率が20%以下）と全体の硫化鉱石には、従来の浮遊選鉱による方法が適しており、その実収率は約90%（ただし混合鉱石は77%程度）と見込まれた。選鉱試験の結果得られた銅精鉱及び尾鉱、並びに陰極銅を調査分析し各種設計与件を得た。

結果、販売上及び環境上問題となる不純物などは検出されなかった。

地質学的見地から同じ混合鉱石と分類された上部鉱体と西部鉱体の2試料は、そのSol. Cu/Total Cuの比率が異なることから、Sol. Cu/Total Cuの比率が20%以下の試料は浮選処理に適しており、一方Sol. Cu/Total Cuの比率が50%以上の試料はリーチング-SX/EWによる方法が適していることが判明した。従って鉱石処理の見地からみると、Sol. Cu/Total Cuの比率によって酸化鉱石と硫化鉱石に分類して出鉱計画をつくり検討すれば良いと考えられた。この考え方に基づいて、セロネグロ鉱石の処理方法を検討し、第3-5-2図と第3-5-3図に示す処理フローシートを開発した。但し経済性の検討に当たっては、混合鉱石部分の成績の低下とコストの増加を考慮する必要がある。

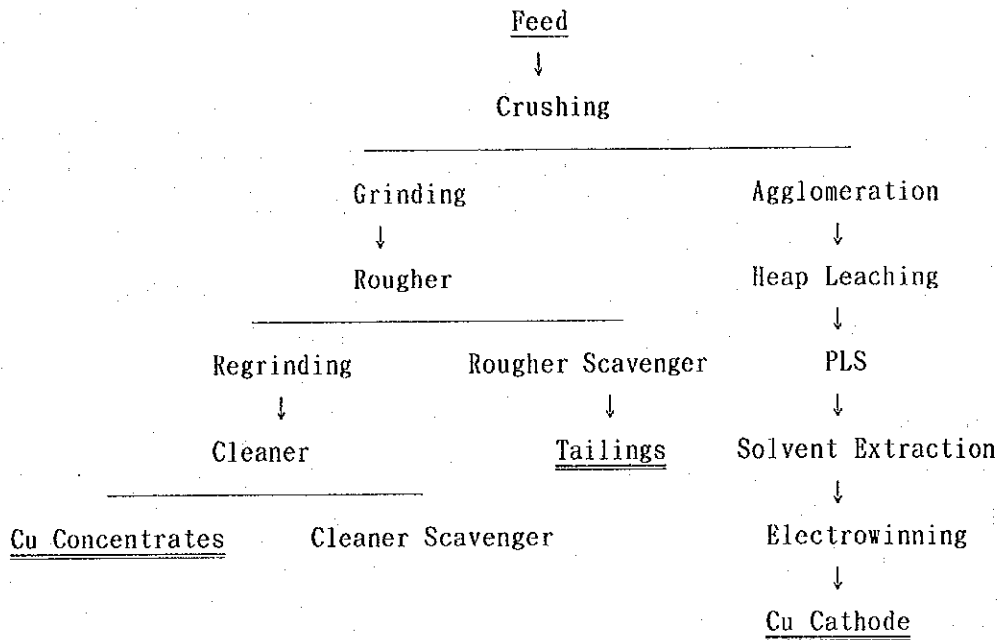
選鉱試験の工程を第3-5-1図に、また得られた主要な選鉱成績と設計諸元を、第3-5-1表に示す。



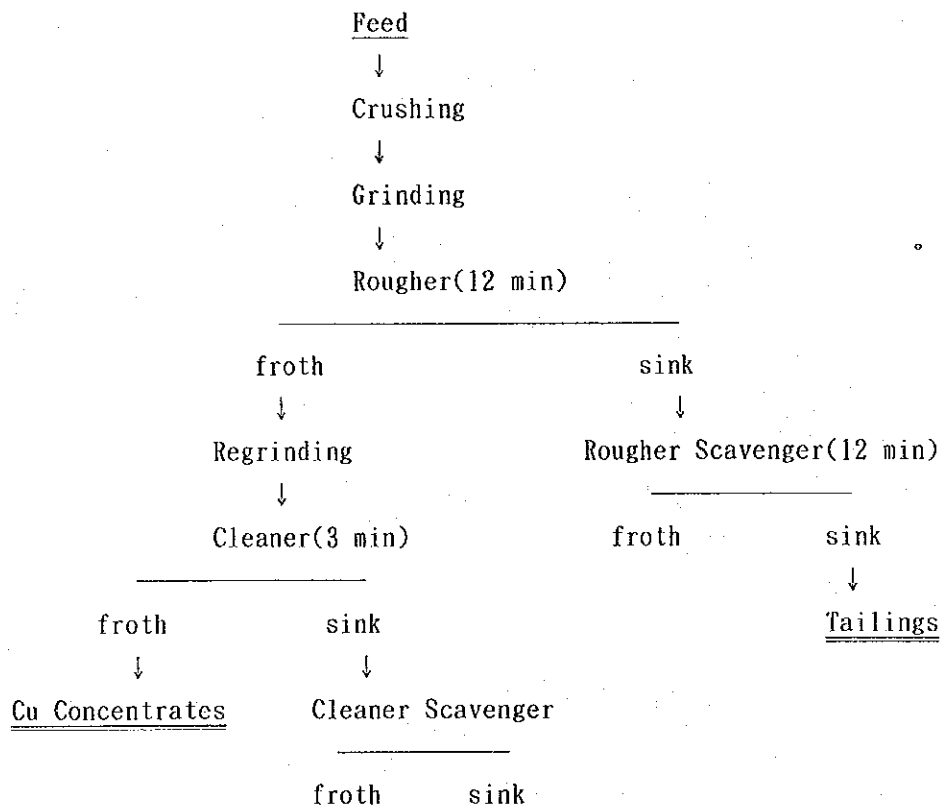
第3-5-1図 選鉱試験工程表

第3-5-1表 選鉱試験結果表

Sample	SC-1	SW-2	OX-1	MC-1	MW-2
Bond's Work Index (kWh/st)	13.62	17.65	14.45	13.90	16.90
Recovery by Flotation (%)	93.05	87.12	NA	76.60	55.53
Cu Grade of Cu Concentrates (%)	38.75	32.87	NA	33.40	26.63
Extraction by Leaching (%)	NA	NA	75.5	51.8	80.8
Consumption of Sulfuric Acid (kg H ₂ SO ₄ /t ore) (kg H ₂ SO ₄ /kg Cu)	NA NA	NA NA	30.3 5.10	51.9 10.8	124.2 14.0
Unit Area of Conc. Thickener (m ² /tpd)	0.177	0.202	NA	0.108	0.614
Unit Area of Tail. Thickener (m ² /tpd)	0.106	1.084	NA	0.541	1.490
Unit Area of Conc. Filter (m ² /tpd)	0.028	0.047	NA	0.032	0.099



第3-5-2図 磁石処理フローシート



第3-5-3図 浮選処理フローシート

3-6 鋳量計算

鋳量計算の手法は次の通り。

- ① 鋳床を5個の鋳体（上部，中部，下部，西部，東部各鋳体）に分類する。
- ② 各試錐岩芯1m毎の化学分析を実施しているため，各孔の深度方向に10m間の平均値を算出しそれを品位割付に供した。
- ③ 25m×25m（平面）×10m（深さ）を単位ブロックとして各鋳体別に品位を割り付ける。鋳体外部についても同様に品位を割り付ける。品位を割り付ける方法は地球統計的手法によって描いたバリオグラムが非現実的であるため，距離の逆自乗法によった。
- ④ 品位割付のための取り込み範囲は半径400mの球体とした。その理由は平面上でNE-SW方向のバリオグラムを描いたところ，400m地点が影響範囲(range of influence)とかわらうじて読み取れたからである。しかしこの取り込み範囲についてはさらに検討が必要と考える。
- ⑤ 割付品位はtotal Cu, soluble Cu, insoluble Cuの3種類である。比重は安全を見込んで2.7を採用した。

その結果，埋蔵鋳量は87,692,000t, To-Cu 0.54%(Cut-off grade 0.4%)を見込む事ができる。なお鋳量を見込んだ最下底レベルは海拔820mLである。全ブロック別の割付品位は付帯資料中の平面ブロック品位図（色刷り）を参照願いたい。

さらに次のような仮定の基にMoving Cone Methodを用いてオープンピットの設計を行った。

- ① Cut-off gradeを0.4%(Total Cu)とする。
- ② 全回収率を80%とする。
- ③ 銅価を1.05\$/ポンドとする。この価格は実勢よりやや高めであるがオープンピットはやや大きめに設定した方が良いと思われるからである。
- ④ 採掘・選鋳・精錬コスト，販売費，船賃等の総経費を鋳石トン当たり6.91\$とする。
- ⑤ Pit slopeを45度，Pit内道路幅20m，道路勾配10%とする。

その結果を第1-4-5-1図に示した。

設計されたオープンピット内の鋳量が可採鋳量と考えられ，Cut-off品位を0.4%(To-Cu)とした場合33,787,120t(To-Cu品位 0.61%)を見込む事が出来る。この場合の最下底レベルは海拔960mLである。

埋蔵鋳量，可採鋳量の要約を一覧表としたのが第-3-6-1表である。

3-7 企業化調査

本鋳床開発が可能か否かを検討するため，第2年次に専門家を派遣して必要資料の収集を行った。それに先立ちオープンピットの設計と可採鋳量の算出，選鋳試験の結果に基づく鋳石処理フローシートの提案がなされたので，これらの諸試験結果と収集資料を合わせてDCF法により開発に関する検討を行った。主要前提条件を下記する。

- ① 可採鋳量；33,787千トン, To-Cu 0.613%(Cut-off grade 0.4%)

内訳；酸化鋳 24,170千トン, To-Cu 0.522%

第 3—6—1 表 鉍量計算結果表

Ore Reserves						
Cut-off grade (To-Cu %)	0.200	0.400	0.600	0.800	1.000	
Ores (× 1,000t)	175,572	87,258	18,588	5,298	3,578	
Average grade (To-Cu %)	0.428	0.541	0.820	1.199	1.350	

Minable Ore Reserves (Ore Reserves in the proposed open pits)

Cut-off grade (To-Cu %)	0.0000	0.2000	0.3000	0.4000	0.5000	0.6000	0.7000	0.8000
Ores (t)	75,062,304	56,607,024	45,413,876	33,787,120	19,763,740	9,438,694	5,479,144	4,556,588
Volume (cubic meters)	27,800,856	20,965,564	16,819,954	12,513,749	7,319,904	3,495,812	2,029,312	1,687,625
Average grade (To-Cu %)	0.374	0.487	0.545	0.613	0.729	0.932	1.145	1.228

硫化鉍 9,611千トン, To-Cu 0.842%
(他にずり 41,280千トン)

これを露天掘り法, 10年間で採掘する。

②生産物

酸化銅鉍 (実収率72%) → 陰極銅9,110トン/年 (Cu 99.99%), 銅量 9,109トン

硫化銅鉍 (実収率93%) → 銅精鉍21,500トン/年 (Cu 35.0%), 銅量 7,525トン

鉍石処理フローシートについては第3-5-2図及び第3-5-3図に示すが, 酸化鉍処理においてはSX-EW法を採用する。

③生産期間

税制上の優遇措置である特別償却期間が長いもので8年であるので, 生産期間を10年とした。但し生産準備期間を3年間とした。

④販売条件

日本における精錬所の標準的買鉍条件に合致させた。

⑤銅価

90¢/lbを基準とし110¢, 130¢についても考慮した。

上記条件によりDCF法で利益率(金利前)を計算した結果, 銅価90¢の場合は5.324%, 110¢の場合は20.486%, 130¢の場合は32.339%となった。利益率をゼロとする銅価を逆算したところ84.3¢となった。通常, 金利前利益率は15%以上が必要とされているが利益率15%となる銅価を逆算すると101.8¢となる。

銅価90¢で他の条件を変化させずに金利前利益率をゼロとするには出鉍品位として0.57%(To-Cu) (酸化鉍 0.49%, 硫化鉍 0.78%), 利益率を15%とするには出鉍品位として0.89% (酸化鉍 0.76%, 硫化鉍 1.21%)が必要となる。

第4章 考察及び結論

4-1 考察

鉱石の産状は鉱染状～網状であり、かつ鉱体の形状は不規則であるため100mスパンの試錐では精度の良い鉱量計算は不可能である。しかし試錐スパンを狭くしてもこのような産状・形状の鉱床では鉱量計算の精度の大きなアップは期待できないと考える。

上部の酸化鉱を主とする部分は品位のばらつき激しく、品位のアップを計ると鉱量が大きく減少する事が判明した。従って酸化鉱の高品位部は小規模な採掘を行うべきと考える。硫化鉱は今回の主たる調査対象ではなかったが、下部鉱体、西部鉱体、東部鉱体の一部の存在が確認できたので今後はそれらの全貌を把握するような探鉱を実施すべきと考える。

酸化鉱はリーチング、SX、EW処理し、硫化鉱は浮遊選鉱処理し、混合鉱はその量比によりいずれの処理を行うか決定すれば良い。混合鉱は量的にまとまって存在しないので大きな問題にはならないと思うが、その処理に際しては若干の成績低下とコスト増の可能性があるので検討する必要がある。

可採鉱量中には硫化鉱よりなる下部鉱体がほとんど含まれておらず、今後の探鉱が待たれる。また鉱量計算に際しての取り込み範囲についてもさらなる検討が必要と考える。硫化鉱は鉱量計算に際して品位アップを計っても鉱量の減少は大きくないので、今後は硫化鉱を主たる探鉱対象と考えるべきであろう。

4-2 結論

試錐調査結果に基づき鉱量計算を行った。その手順は先ず埋蔵鉱量を算出し、その後Moving Cone法によりオープンピットの設計を行い、さらにそのオープンピット内の鉱量を可採鉱量として算出した。Cut-off gradeを0.4%とした場合、埋蔵鉱量としては87,692,000t(To-Cu 0.54%),可採鉱量としては33,787,120t(To-Cu 0.61%)を見込む事ができる。

物理探査としては1年次にIP検層と試錐岩芯の物性測定、さらに既存の地表IP調査資料と磁気調査資料の再解析を実施した。その結果、高磁気異常帯は浅所にある“熱水角礫岩(酸化鉱の母岩となる場合が多い)”と、また高IP・低比抵抗帯は下部に存在する硫化鉱体と良い対応を示す事が判明した。

選鉱試験については上部鉱体と西部鉱体より酸化鉱、硫化鉱、両者の混合した混合鉱を計5種(西部鉱体には酸化鉱が少量しか存在しないため試験対象とせず)について、浮遊選鉱試験、ヒープリーチング・SX・EW試験等を実施、当鉱山における最適鉱石処理フローシートを作成した。フローシートは第II-4-3-2図に示した。

鉱量計算結果と選鉱試験結果を基にしてDCF法で企業化した場合の利益率を試算した。その結果、銅価90¢の場合は利益率(金利前)5.324%、銅価110¢の場合は20.486%、銅価130¢の場合は32.339%となった。ちなみに利益率ゼロの場合の銅価を逆算すると84.3¢となる。また通常、企業化には金利前利益率15%以上が必要とされているが、利益率15%となる銅価を逆算すると101.8¢となる。利益率を企業化が可能となるまでアップさせるには

非現実的な銅価を期待しなければならない。これは鉍石品位が低いためであり、鉍石品位をどの程度アップさせれば良いか試算してみた。すなわち銅価90¢で利益率ゼロとするには全体出鉍品位0.57%(To-Cu), 酸化鉍0.49%(To-Cu), 硫化鉍0.78%(To-Cu)が、また利益率15%とするには全体出鉍品位0.89%(To-Cu), 酸化鉍0.78%(To-Cu), 硫化鉍1.21%(To-Cu)が必要となる。

JICA