

Tabla II-1-4 鉍床・鉍微地調査結果一覽表(4)

Localidad	Nombre de Veta	Coordenacion	Actual estado	Escala de Veta	Mineral de mena	Ley	Roca madre	Alteracion	Potencial	Numero en mapa	
Seccion ocavi	Ocavi 5	N 4452.00	Abandonado	L=140m	CS	Sn 0.30%	Pizarra	lm.Ka	C	52	
		W 2927.00		W=20cm							
	CopaCabana	Laura	N 4468.00	"	L=300m	CS	Sn 0.20%	"	lm.Ka	"	53
			W 3035.00		W=20~50cm						
		N 4488.00	L=300m								
		W 2949.00	W=20~40cm								
Ramo Laura	Angelica	N 4492.00	"	L=80m	CS	Sn 0.20%	"	lm	"	55	
		W 2928.00		W=15cm							
Seccion alto colquiri	Nuevo Rosario	N 4525.00	"	L=75m	CS	Sn 0.25%	"	lm-Ka	"	56	
		W 2832.00		W=40~60cm							
	Principal	En explotacion	N 2654.00	"	L=100m	CS, Gn, Ag-Mineral	Sn 0.10% Pb 0.40% Ag 24g/t	"	lm-bl	"	57
			W 2866.00		W=5~10cm						
		N 2542.00	L=320m								
		W 2907.00	W=15cm								
Mesa de plata	Principal	N 3400.00	Abandonado	L=60m	CS	Sn 0.20% Pb-P000 Ag-P000	"	lm.bl	D	-	
		W 2010.00		W=10cm							

Leyenda

L=Longitud W=Ancho de Veta CS=Casiterita SP=Esfalerita o marmatita gn=Galena Ag=Mineral argentifero Oxiado Fe=Oxiado de Hierro
Ka=Caolin lm=Limonitizacion bl=Blanqueamiento

Potencial

A:En trabajo B:Alto C:Medio D:bajo E:May bajo

Observacion

Las discipciones de vetas son de estado de superficie.
No son de datos de vetas que actualmente estan en trabajo.

1-5 考察

1-5-1 鉱脈の配列パターンと鉱化作用の特性

前項の「鉱床各論」で記述した7箇所の鉱化帯のうちアルマス、オカビ及びアルト・コルキリの鉱化帯はセントラル鉱化帯の西方にほぼ南北方向に独立して分布し、これら以外の鉱化帯は断層により切断されているものの北方のユニフィカーダから東方に湾曲しながらセントラル鉱化帯に一連の鉱化帯として連続している。

アルマス及びオカビ鉱化帯内の鉱脈は北東-南西系の鉱脈が優勢であり、これらは、ほぼ同一線上に位置し、且つ、オカビ断層と近接して平行に賦存する事実から、両鉱化帯は一連のものと判断される。今回実施したボーリング調査結果からみても、これらの鉱化帯の着鉱部には錫品位が低いにもかかわらず黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、鉄閃亜鉛鉱が多く、黄鉄鉱-磁硫鉄鉱-鉄閃亜鉛鉱帯と称し得る。またこれらの鉱化帯の鉱脈は一般に鉱脈数が多いが細脈で稼行にたえる鉱脈に欠けており、裂罅形成の際の構造運動が小さかったためと考えられる。

アルマス及びオカビ鉱化帯は上記したように一連の鉱化帯と考えられるが、両者の間では傾斜が異なり、アルマス鉱化帯では西落しの傾斜を示すものが多いが、オカビ鉱化帯の鉱脈は東落しの傾斜を示している。この相違はオカビ断層が蝶番断層で西側に存在するアルマス鉱化帯は西落しとなりその東側に存在しているオカビ鉱化帯の鉱脈は東落しとなったと考えられるが明かでない。

アルマス鉱化帯の東側にオカビ断層を挟んで分布するユニフィカーダ鉱化帯の主要鉱脈は細脈であるが北西-南東系の配列を示し、これらが全体としてトリンフォ、リブルリブルニ鉱化帯の延長方向に発達している。地表での鉱化作用は、裂罅も小さく、品位も低く、良好な鉱脈は発達していないが、前節で述べたように坑内では優勢な鉱化作用があり、主要鉱脈が本方向に向け開発されている。L325では北西-南東系のサン・アントニオ脈及び北東-南西系ロサリオ脈の北半部が代表的な鉱脈である。

リブルリブルニ及びトリンフォ鉱化帯内の主要鉱脈は、坑内ではブランカ脈、サン・カルロス脈が及びロサリオ脈の南半部が北北西-南南東系である。ブランカ脈とサン・カルロス脈の間では鋭角で斜交する脈があり、裂罅形成の際、剪断応力が働き生成されたような鉱脈の分布パターンを示す。

リブルリブルニ鉱化帯ではロザリオ脈の北半部が南北の方向をとり、南部とは異なったパターンを示している。リブルリブルニ、トリウンホ鉱化帯は南部に向い北東-南西方向の鉱脈の発達するセントラル鉱化帯に転ずる。セントラル鉱化帯内ではドブレアンチョ断層とその分岐断層のサン・ホセ断層が存在するが、鉱脈の多くはドブレアンチョ断層の下盤に北北東-南南西に発達し、北側の各鉱化帯とは異なった鉱脈の分布パターンを示しており特徴的である。しかし主要鉱

脈は発達せず、採掘の主体は本鉱化帯の北部及びトリンフォ鉱化帯に分布するサン・カルロス脈、ブランカ脈に入っている。セントラル鉱化帯では多数の裂隙が発達したが主となる裂隙が発達しなかったものと考えられる。主要構成鉱物は錫石、鉄閃亜鉛鉱、黄鉄鉱、磁硫鉄鉱で北側各鉱化帯とも同じで、これらの鉱化帯は錫石-鉄閃亜鉛鉱-黄鉄鉱-磁硫鉄鉱帯とも言える。

坑内の調査によって得られた鉱脈の走向傾斜を統計的に解析した結果、西北西-東南東及び南北系の鉱脈に大別され、脈幅100cm以上の鉱脈は前者であることが判明した。従って、コルキリ鉱山の優勢な脈は、サン・カルロス、ブランカ、ロサリオなどの北北東-南北-北北西系のものであると判断し得る。

この系統の鉱脈群は、もし断層で転位せず一連のものと仮定するならば、走向延長3,000m、傾斜延長500m以上、最大脈幅4mに達し平行脈の賦存範囲400~500mの極めて大規模な鉱床を形成していたものと考えられる。

セントラル鉱化帯と対をなしオカビ鉱化帯の系統に属する鉱脈分布形態を有する鉱化帯にアルト・コルキリ鉱化帯がある。地表でごく細脈の2条の鉱脈が見られるが、南北の走向を有し、西に60~70度前後で傾斜する。本地域に実施したボーリング探鉱結果は、銀に富む良好な鉱脈を発見した。これらの結果より鉱脈のパターンとしては傾斜からしてもオカビ鉱化帯の鉱脈パターンに属するものと考えられる。しかし鉱脈の構成鉱物は異なり銀鉱物、鉄閃亜鉛鉱、方鉛鉱、白鉄鉱、硫砒鉄鉱、黄鉄鉱など比較的低温で生成された鉱物よりなり裂隙の生成としてはオカビ鉱化帯の鉱脈パターンに属するが生成温度が低く、後期の鉱化作用により生成されたものである。

以上の鉱化帯の鉱脈パターンを総括して見れば、セントラル鉱化帯からユニフィカーダ鉱化帯に延びる鉱脈パターンは概括的にみれば南北に延びる楕円形の東縁をなすような形態を示し、アルマス、オカビ、アルト・コルキリの鉱化帯の鉱脈パターンは同楕円形の西縁を示すようなパターンとなっている。また鉱脈の傾斜は楕円体の軸部の深部に向かうような傾斜を示している。こうした鉱脈の水平、上下の分布パターンと断層の存在から「第I部第4章4-1」に述べたような鉱床生成モデルが考えられた。

鉱石鉱物は上記したようにアルトコルキリ鉱化帯の構成鉱石鉱物が他の鉱化帯と異なるが他は同様な鉱物組成を示し、錫石、黄鉄鉱、鉄閃亜鉛鉱、磁硫鉄鉱、硫砒鉄鉱、黄錫鉱、黄銅鉱、白鉄鉱、菱鉄鉱などが普遍的に産する。脈石は石英、緑泥石、絹雲母などの珪酸塩鉱物が主である。従って、これらの鉱脈は比較的高温生成の鉱物を含むものの、低温生成の鉱物も含み、また単純な組織を示すこと、及びSugaki et al(1985)によるサン・カルロス脈の石英中の流体包有物の充填温度は205~385°Cを示し、これらよりゼノサーマル型の鉱脈鉱床と判断される。

鉱化帯に伴う母岩の変質は、変質しにくい粘板岩により構成されていることより鉱床の規模に比して小さい。鉱脈は変質帯を伴うことがなく直接粘板岩中に発達することが多い。変質した母岩を鏡下で観察した結果、変質鉱物は緑泥石、絹雲母である。変質帯と鉱脈の関係を見れば変質帯は小規模でも下部に主要な鉱脈が存在し、変質帯の存在は深部で鉱化帯につながるものとして

その意義は大きい。アルト・コルキリ鉱化帯などはその一例であり、変質鉱物の検討は今後の本地域の有効な探鉱手段となり得る可能性が大きい。

鉱化作用をもたらした火成岩は調査地域には確認されていないが、コルキリ鉱山北北西60kmにはキムサクルス花崗閃緑岩体があり、多数の錫鉱床を有している。また本鉱山の南東のカタビ鉱山を中心に第三紀の石英斑岩の貫入岩体が鉱化作用をもたらしている。従って、本地区の深部にも同様な岩体が潜頭しているものと考えられる。

1-5-2 鉱床のポテンシャル

(1) アルト・コルキリ鉱化帯には、銀に富む安定した鉱脈群の分布が確認され、その規模は、北に向かって優勢になる。また、この鉱脈群は、西部の微弱な地表鉱徴に連続するものと予想される。従って、アルト・コルキリ鉱脈群の北方における鉱床賦存のポテンシャルは極めて高い。

(2) セントラル鉱化帯は、325地並でも、北に落とす富鉱体を有する高品位・大規模な鉱脈群が賦存する。また、主要鉱脈の一つであるサン・アントニオ脈の南部延長部に品位・規模とも極めて優勢な鉱脈が確認された。従って、セントラル鉱化帯の北及び下部に優勢な鉱脈が賦存するポテンシャルは極めて高い。

(3) 地質構造及び鉱床生成モデルの観点から、オカビ鉱化帯とアルト・コルキリ鉱化帯の中間部の未探鉱地域下部に鉱床賦存のポテンシャルを期待し得る。

(4) アルマス及びオカビ鉱化帯の下部の鉱化作用は、細脈または網状脈の劣性なものであり、より深部での安定した鉱脈の賦存ポテンシャルは低い。

第2章 物理探査

2-1 調査方法

物理探査は、コルキリ地域における鉱化帯と地下構造の関係を解明するとともに、異常帯の抽出を行い、ボーリング位置選定に必要な情報を得ることを目的として、第1年次に下記の調査内容に示すIP法、CSAMT法による物理探査を行った。

Table II-2-1 物理探査 調査内容

I P 法 調査内容					
測 線 名	測線長	延測線長	測点間隔	測線間隔	測線方向
A, B, C	3.0Km	9.0Km	100m	200m	N74°W
D, E, F, G, H I, J, K, L, M N, O, P, Q, R	2.5Km	37.5Km		但しQ, R 間は 150m	
計		46.5Km			
C S A M T 法 調査内容					
測 線 名	測定点数	延測定点数	測点間隔	測線間隔	測線方向
A, B	42点	84点	100m		N74°W
E, F	49点	98点			
J	35点	35点			
計		217点			

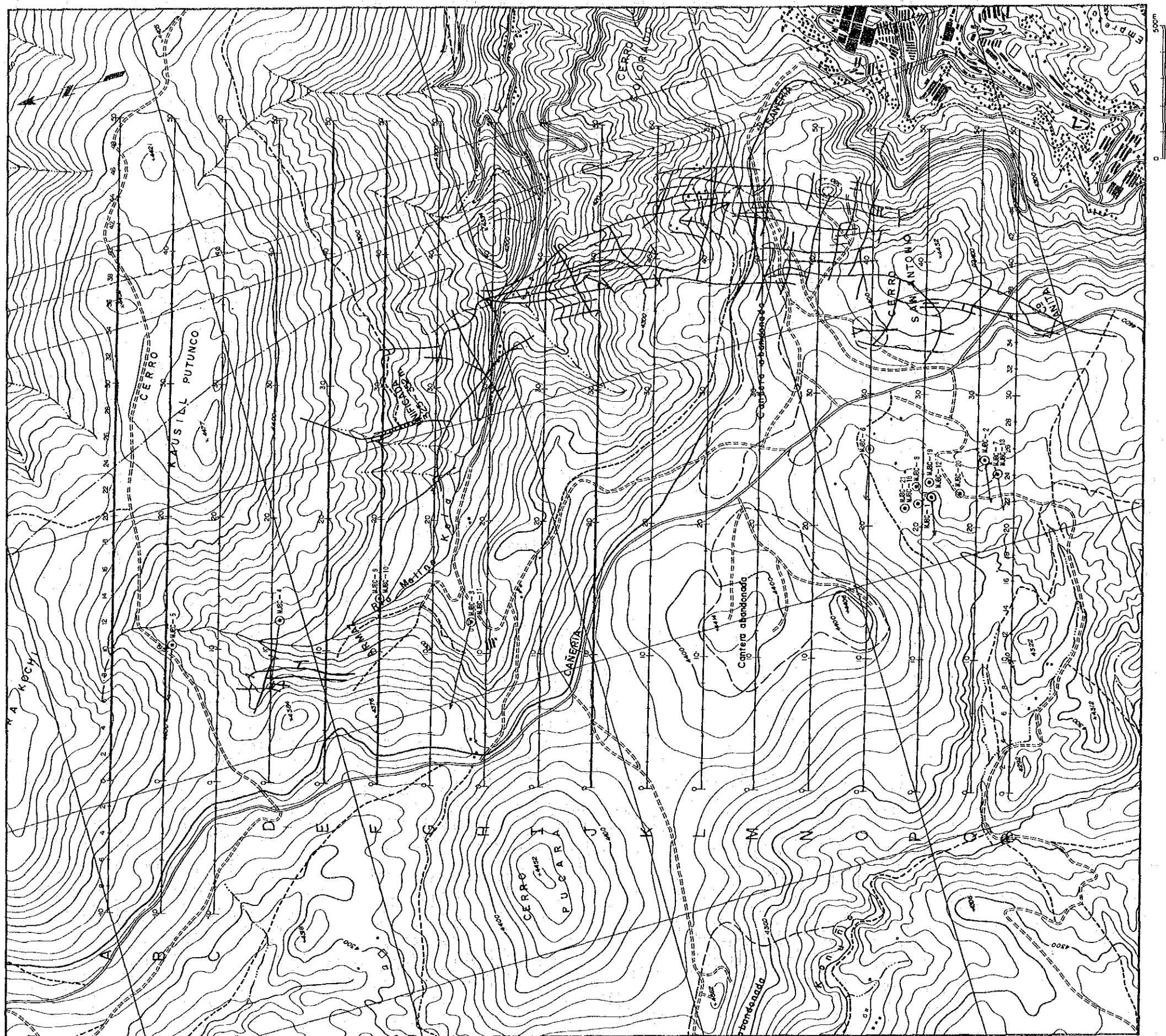


Fig. 11-2-1 物理探查測線位置圖

2-1-1 IP法

(1) IP法の測定方法

測定方法は送信電流波形によって2種類に大別される。

※ Time Domain 法 (略記号 T. D 法、時間領域法、過度現象法)

一对の電流電極 C_1 , C_2 を通じて大地に断続直流を流し、他の一对の電位電極 P_1 , P_2 の間で電流切断直前の1次電位差 V_p 、及び電流切断後の2次電位差 $V_s(t)$ を観測する。

$(V_s / V_p) \times 100$ を分極率と称し、IP効果を表す。

※ Frequency Domain 法 (略記号 F. D 法、周波数領域法、周波数法)

2種類の周波数 $f_H > f_L$ からなる電流を大地に通電し、それぞれにおける比抵抗を測定して ρ_H と ρ_L を得、 $(\rho_H - \rho_L) / \rho_H = FE$ によってFE値、もしくはこれを100倍した%表示のP. FEを求める。

$$\begin{aligned} P. FE (\%) &= 100 \times (\rho_H - \rho_L) / \rho_H \\ &= 100 \times (V_H - V_L) / V_H \end{aligned}$$

今回の測定では $f_H = 3.0\text{Hz}$, $f_L = 0.3\text{Hz}$ を採用した。

測定に関する共通仕様は、以下のとおりである。

項目	仕様
電極配置	Dipole-dipole配置
電極間隔	100m
隔離係数	$n = 1 \sim 5$
送信周波数	3.0, 0.3Hz

(2) IP法の測定装置及び機材

調査に使用した測定装置及び機材は Tabla II-2-2に示す。

Tabla II-2-2 IP法の測定装置及び機材一覧表

種類	名称	仕様	数量
IP送信機	CH-8104T	最大出力：2.5KW 出力電圧：最大800V 出力電流：0.1~2.5A	1台
	CH-9105T	最大出力：3.0KW 出力電圧：最大800V 出力電流：0.2~3.0A	1台
IP受信機	CH-8003R	入力インピーダンス：300K Ω 不均衡 測定範囲：0.1mV~10V 使用周波数：0.1, 0.3, 1.0, 3.0Hz 精度： $\pm 0.2\%$	1台
	CH-7801	入力インピーダンス：300K Ω 不均衡 測定範囲：0.1mV~10V 使用周波数：0.1, 0.3, 1.0, 3.0Hz 精度： $\pm 0.2\%$	1台
エンジン・発電機	ZMG-5	最大出力：5.0KW, 3相 周波数：400Hz 定格電圧：120/208V	1台
電極その他	地表電流電極	銅網 16メッシュ 一辺約30cm正方形	1巻
	地表電位電極	銅-硫酸銅電極	30個
	電線	VSF 1.25mm ² ビニール電線	20,000m
	測量機材	牛方ポケットコンパス 100mエスロン間縄	3台
	トランシーバー	ソニー(株) ICB-87H 出力：500mW	10台

(3) IP法の解析方法

本調査の測定結果に対して定性的解析と定量的解析を行った。

定性的解析においては、異常の抽出が行われ、なかでも「八の字」型のIP異常が認められることが最も大切である。

定量的解析においては、2次元境界要素法を用いて地形補正を行い、さらにシミュレーション解析による異常源の解明に努めた。

以下に2次元境界要素法について説明する。

点(x, y)における電位をVとすると、Vに関する基本方程式は、点(x₀, y₀)を点電源、Iを電流の湧出量、σを媒質の伝導度として次のように表される。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-\sigma \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\sigma \frac{\partial V}{\partial y} \right) = I \cdot \delta(x_0 - x) \delta(y_0 - y) \quad \text{----- (1)}$$

ここでδ(・)はDiracのデルタ関数である。(1)式は次式のように変形される。

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = -\frac{1}{\sigma} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial \sigma}{\partial y} \frac{\partial V}{\partial y} \right) - \frac{I}{\sigma} \cdot \delta(x_0 - x) \delta(y_0 - y) \quad \text{----- (2)}$$

この式は、Vは領域の内部では∂σ/∂x = 0, ∂σ/∂y = 0, δ(・) = 0であるので、ラプラスの方程式

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0 \quad \text{----- (3)}$$

を満足し、境界(σ/x ≠ 0, σ/y ≠ 0)と点電流源(x₀, y₀)とが特異点となることを示している。通常の電気探査でも点電流源は地表面という境界上にあるから、結局すべての特異点は境界上に存在することになる。特異点を境界上に有する(3)式の解の一つの表現は次のように与えられる。

$$V(P) = \int_{\Gamma} q(Q) \cdot \ln \frac{1}{PQ} dQ \quad \text{----- (4)}$$

但し、P : 空間内の任意の点(領域内部でも境界上でも可)

Γ : 境界線の全体

Q : 境界線上を動く動点

PQ : PQ間の距離

q(Q): 境界線上の位置 Qの関数として表される未知定数

q(Q)を定数として(4)式を(3)式へ代入すると、(4)式は(3)式の解になっていることがわかる。さて、V(P)に関する基本式が求まったのでこれと境界要素との結合について、Fig. II-2-2の例で説明する。

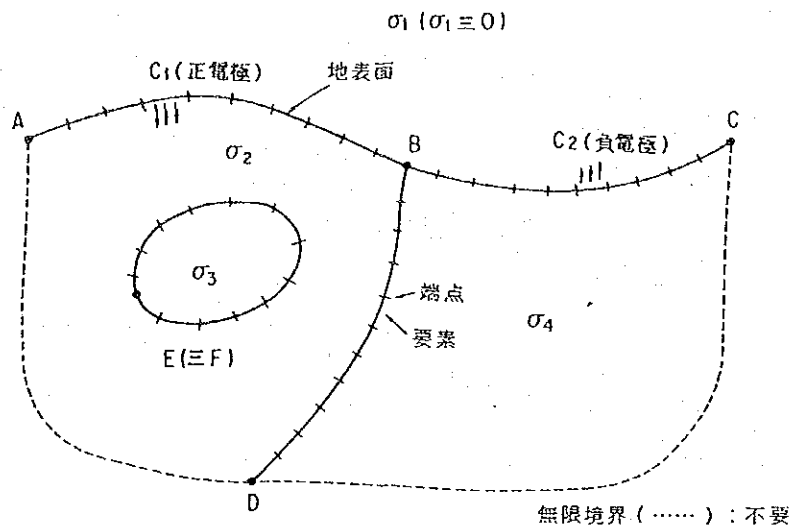


Fig. II-2-2 境界要素法説明図

この例では、4本の境界線AB、BC、BD、EFによって2次元空間が4つの領域に分割され、各領域の伝導度がそれぞれ σ_1 、 σ_2 、 σ_3 、 σ_4 で与えられている。各境界は境界要素法の規定に従い、それぞれ適当な折線で近似され、その折点を「端点」と呼び、直線区間のことを「要素」と呼ぶ。(4)式に境界の折線近似を導入すると、境界線の折線近似に起因する誤差の範囲内で、次式のように表すことができる。

$$V(P) = \sum_{Q \in \Gamma_j} \left\{ q_j \cdot \int \ln \left(\frac{1}{PQ} \right) q(Q) \right\} \dots \dots \dots (5)$$

ここでPは空間の任意の点を表し、右辺の積分において動点Qは要素 Γ_j の上を動く。 \sum_j は全要素についての総和を意味している。

(4)式におけるq(Q)は Γ_j 上では一定値 q_j をとるものとした。 q_j は各要素に固有の未知定数であり、境界線上に蓄積する電荷密度(単位長当り)に相当する量で、これが求めればV(P)が得られることになる。

本解法の主要部分は未知定数 q_j を求めるところである。ここでは、すべての境界における電流の流入・湧出条件を満足するように、未知定数 q_1 、 q_2 、 \dots 、 q_j 、 \dots に関する連立方程式を組み立て、これを反復法によって解いている。V(P)が決まると、指定された2つの地表測点間の電位法が計算される。

2-1-2 CSAMT法

(1) CSAMT法の測定方法

CSAMT法は、1.5~2Km長の電流双極子より可聴周波数領域の電流を大地に流し、この電流双極子と平行な電場E及びそれに直交する磁場Hを測定し、地下の比抵抗分布を求める方法である。

CSAMT法の測定方法の概略をFig. II-2-3に示す。送信部と受信部の距離は、受信部において平面電磁波の仮定が近似的に成立すると考えられる表皮深度(δ : skin depth)の3倍(3δ : 通常4~8 Km)以上にする必要がある。これより送信部に近い領域は near fieldと呼ばれ、この領域では平面電磁波の仮定が成立せず、データの解析が困難となる。表皮深度は、均質な大地(比抵抗 ρ)に入射した電磁波が $1/e$ (37%)にまで減衰する深度で、調査深度の目安として利用される。

表皮深度は次の式により与えられる。

$$\delta = 503 \left| \frac{\rho}{f} \right|^{1/2} \quad (1)$$

δ : skin depth

ρ :均質媒質の比抵抗($\Omega \cdot m$)

f:周波数(Hz)

(1)式から明らかなように表皮深度は周波数と比抵抗の関数である。(1)式を用いて周波数、比抵抗の変化にともなう表皮深度の変化をTable II-2-3に示す。高比抵抗地域ではnear fieldの影響を軽減するために、送受信間距離を十分に離すことの必要性が判読される。

流電電極には鉄電極を片側100本ずつ使用し、接地抵抗の低下に努めた。また、S/N比を上げるため、送信機の最大出力を越えない範囲で各周波数での最大送信電流を設定し、送信した。送信電流の周波数は、2,048, 1,024, 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, 及び2Hzの11周波数である。

電界の測定には、電位電極として素焼のつぼに入れた、銅-硫酸銅電極を使用した。また、磁界の測定には誘導コイル磁気アンテナを使用し、電界ダイポールから約10m離し、受信ダイポールと直交する方向に設置した。

電界と磁界の信号はV-5受信機内で処理され、電界強度、電界位相、磁界強度、磁界位相、見掛比抵抗及び位相差が算出される。これらのデータは、V-5のディスプレイに表示され、アンプゲイン、スタッキング回数等の測定条件とともにメモリーに記録される。

本調査では各周波数について3回以上の測定を行い、再現性のあるデータ取得に努めた。

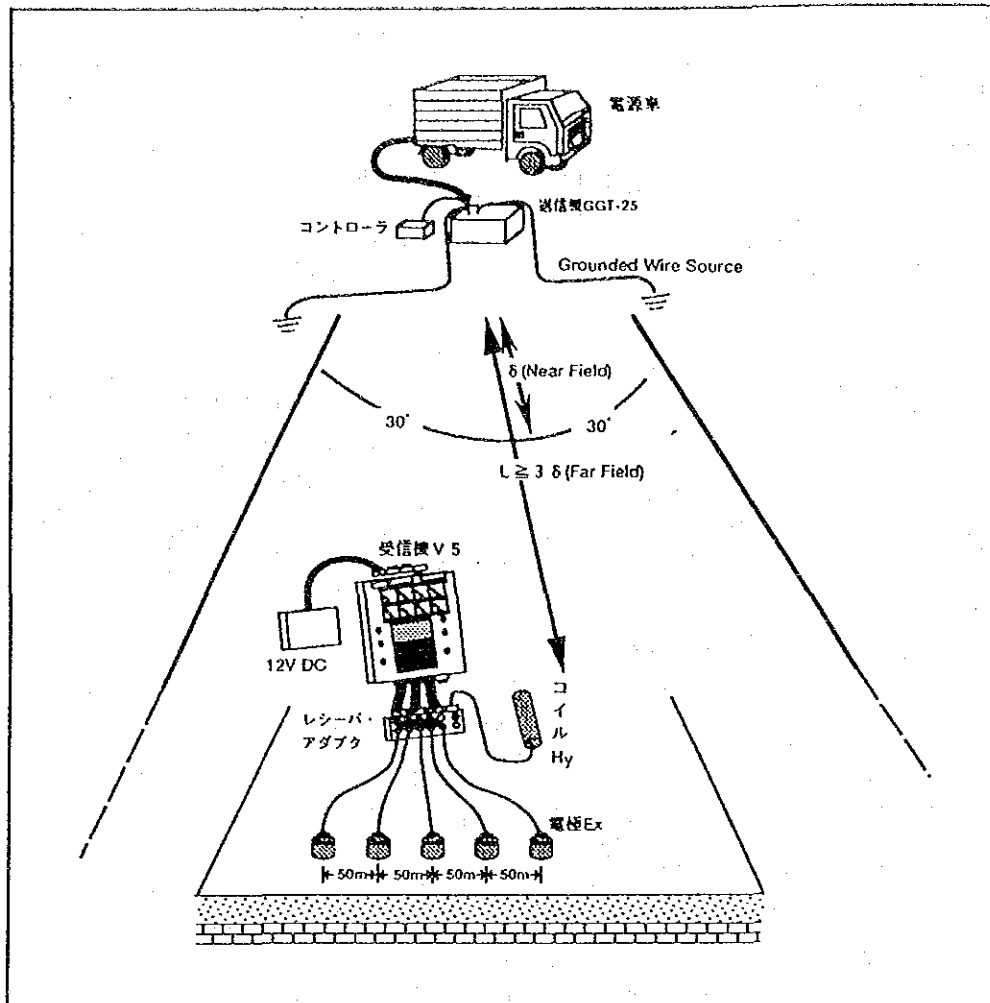


Fig. II-2-3 CSAMT法の概略図

Table II-2-3 表皮深度表

比抵抗	5	10	20	40	80	160	320	640	1,280	2,560	(Ω·m)
f (Hz)	Skin Depth (meters)										f (Hz)
2,043	25	35	50	70	99	141	199	281	398	562	2,048
1,024	35	50	70	99	141	199	281	398	562	795	1,024
512	50	70	99	141	199	281	398	562	795	1,124	512
256	70	99	141	199	281	398	562	795	1,124	1,591	256
128	99	141	199	281	398	562	795	1,124	1,591	2,249	128
64	141	199	281	398	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	64
32	199	281	398	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	32
16	281	398	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	6,362	16
8	398	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	6,362	8,993	8
4	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	6,362	8,993	12,725	4
2	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	6,362	8,993	12,725	17,995	2

Skin Depth (m) = 503 √ (ρ / f)

(2) 測定装置及び機材

測定に使用した装置及び機材を Table II-2-4に示す。

Table II-2-4 CSAMT法の測定装置及び機材一覧表

種 類	名 称	仕 様	数 量
送信機システム	ゾング社製 GGT-20型 トランスミッター	出力電圧：400~800V 出力電流：0.2~25A 出力波形：矩形波 出力周波数：1/1,024~2,048Hz 重 量：113kg	1台
	ゾング社製 XMT-12型 送信制御器	制御周波数：1/1,024~2,048Hz 重 量：5.8kg 電 源：12Vバッテリー	1台
エンジン付 発 動 機	ゾング社製 ZMG-12型 発電機	最大出力：30KW 周 波 数：400Hz 定格電圧：120/208V エ ン ジ ン：4気筒空冷	1台
受信機システム	フェニックス社製 V5型 レシーバー	信号入力：8チャンネル 受信周波数帯域：DC~10KHz 受信電圧感度：10 μ V CPU:CMOS NS32C0016 メモリー：512K I/O:RS232-C A/D:16bit/125KHz 重 量：14kg 電 源：12V外部バッテリー	1台
	テクトロニクス社製 212型 オシロスコープ	感 度：1mV/div~50V/div 電 源：12Vバッテリー 重 量：1.6Kg	2台
	フェニックス社製 AMTコイル	周波数特性：FC=1.1Hz 全 長：89cm 直 径：90mm 重 量：6.5Kg	2台
電 極	電流電極	鉄 棒： ϕ 16mm,長さ80cm	200本
	電位電極	飽和硫酸銅溶液非分極性電極	10個
電 線	藤倉電線(株) (受信)	VSF \times 1.25mm ビニール電線	1,000m
	京三電線(株) (送信)	CVV1 \times 3.5mm ビニール電線	6,000m
測量機材	牛方ポケットコンパス 100mエスロン間縄		2台
トランシーバー	ソニー(株)	出 力：500mW	6台

(3) CSAMT法の解析方法

本調査で実施したCSAMT法の解析手順を Fig. II-2-4に示す。

CSAMT法調査において、near fieldの影響を避けるためには送受信間距離を表皮深度の3倍以上離す必要がある。しかし、現実には調査地の平均的な比抵抗を事前に把握するのは困難であり、また S/N比の制約により流電電極をあまり遠くに設定できない。

本調査では、near fieldの影響をできるだけ軽減するために、調査地区中央から約 8.5km離れた場所に流電電極を設置した。

ほとんどの測点においてnear fieldは問題になる程ではないが、V-5 受信機内で自動的にnear field補正が実施される。

V-5 に記録したデータから、電界、磁界、位相差のそれぞれの平均値及び見掛比抵抗値を計算し、測定値一覧表として出力した。見掛比抵抗値の計算式としては、通常のMT法で用いられる次式を適用した。

$$\rho_a = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \dots\dots\dots (2)$$

ρ_a : 大地の見掛比抵抗 ($\Omega \cdot m$)

f : 流電電極の周波数 (Hz)

E_x : 電界 ($\mu V/m$)

H_y : 磁界 (γ)

この見掛比抵抗値を用いて、各周波数ごとに見掛比抵抗平面図を作成した。

見掛比抵抗断面図は、断面線沿いの測線において見掛比抵抗値を周波数の高い方から順に上から下へ等間隔に記入し、等見掛比抵抗線を描いたもので、縦軸と深度は一対一に対応するものではなく一種の擬似断面図である。

観測された見掛比抵抗値は、表皮深度までの比抵抗情報を含んでいると考えられる。適正な比抵抗モデルを得るために、地下構造を水平多層構造と仮定して1次元解析を実施した。

(1次元多層構造解析)

解析にはnear field補正を施した見掛比抵抗値を用い、明らかにノイズの影響を受けていると考えられるものについては除外した。解析は水平多層構造の層数、層厚、及び比抵抗値をパラメータとし、初期モデルについて後述の(3)式~(8)式に基づいて $\rho_a - f$ 曲線を計算し、

観測値から得た $\rho a - f$ 曲線に近づくようにパラメーターを修正する対話型シミュレーション手法により行った。

以下に、水平多層構造モデルの場合のCSAMT法の $\rho a - f$ 曲線の計算法について述べる。

($n + 1$) 層水平多層構造 (各層の比抵抗値が $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n, \rho_{n+1}$) 各層の下底面の深度が z_1, z_2, \dots, z_n に対する表面インピーダンス ($Z_c(\theta)$) は、次式で表される。

$$Z_c(\omega) = \frac{E_x}{H_y} \Big|_{z=0} = \frac{i\omega(A_0 + B_0)}{\theta_0(A_0 + B_0)} \quad \text{----- (3)}$$

ここで

$$A_0 + B_0 = A_1 + B_1 \quad \text{----- (4)}$$

$$\theta_0(A_0 - B_0) = \theta_1(A_1 + B_1)$$

$$A_j \exp(-\theta_j z_j) + B_j \exp(\theta_j z_j)$$

$$= A_{j+1} \exp(-\theta_{j+1} z_j) + B_{j+1} \exp(\theta_{j+1} z_j)$$

$$\theta_j [A_j \exp(-\theta_j z_j) - B_j \exp(\theta_j z_j)]$$

$$= \theta_{j+1} [A_{j+1} \exp(-\theta_{j+1} z_j) + B_{j+1} \exp(\theta_{j+1} z_j)]$$

$$(j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\text{----- (5)}$$

$$A_n = \frac{\theta_{n+1} + \theta_n}{2\theta_n} \exp[-(\theta_{n+1} - \theta_n)z_n]$$

$$B_n = \frac{\theta_{n+1} - \theta_n}{2\theta_n} \exp[-(\theta_{n+1} + \theta_n)z_n]$$

$$\text{----- (6)}$$

ここでは cgsemu 単位系を用いており、 θ は波数である。

$$\theta_j = \left(\frac{4\pi i\omega}{\rho_j} \right)^{1/2} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\omega = 2\pi f$$

一方、 $1\text{mV/Km} = 1\text{emu}$, $1\Omega \cdot \text{m} = 10^{11}\text{emu}$, $1\gamma = 10^{-5}\text{emu}$ なる関係より、(2)式で示した見掛け比抵抗計算式を cgsemu 単位系で表現すると次式のようになる。

$$\rho a = \frac{2}{f} \left| Z_c(\omega) \right|^2 \quad [\text{e. m. u.}] \quad \text{----- (7)}$$

よって (3)~(6)及び(7)式より、見掛比抵抗 ρ_a が求まる。 ρ_a の単位を $\Omega \cdot m$ とする場合の表現式は次式となる。

$$\rho_a = \frac{2}{f} \left| z_{(0)} \right|^2 / 10^{11} \quad [\Omega \cdot m] \quad \text{----- (8)}$$

(2次元構造解析)

1次元解析の結果から解析比抵抗断面を作成し、更にこれを初期値として2次元構造解析を実施した。解析方法の概要を以下に述べる。

MT法 (magnetotelluric method) のように平面波ソースの場合、走向方向に場が変化しない2次元構造を仮定すると、マクスウェルの方程式はTMモードとTEモードの2つに分けられる。今回のCSAMT法の2次元モデル計算においては、JUPP & Vozoff (1977)に基づいて、TMモードに相当する分を分離化し、有限差分法を用いてその近似方程式を解くことを基本としている。

Fig. II-2-37 に2次元構造解析の流れを示す。フォワード計算は、与えられた大地の比抵抗モデル (地下構造及びその比抵抗分布) について、各測点での周波数ごとの見掛比抵抗及び位相差の応答を求めるものである。今回の解析計算においては、比抵抗モデルにおける初期モデルの検討・選別及びインバージョン計算の結果の修正に用いた。インバージョン計算は、逆境界値問題の解法の1種で、実測データを最もうまく説明しうる地下の比抵抗分布を求めるものである。その場合、実測値と計算値との $\rho_a - f$ 曲線を比較・照合し、後者が前者に近づくように比抵抗分布を修正・変更するのであるが、その手法として、非線形回帰式により最小2乗法を反復適用する方法を用いた。

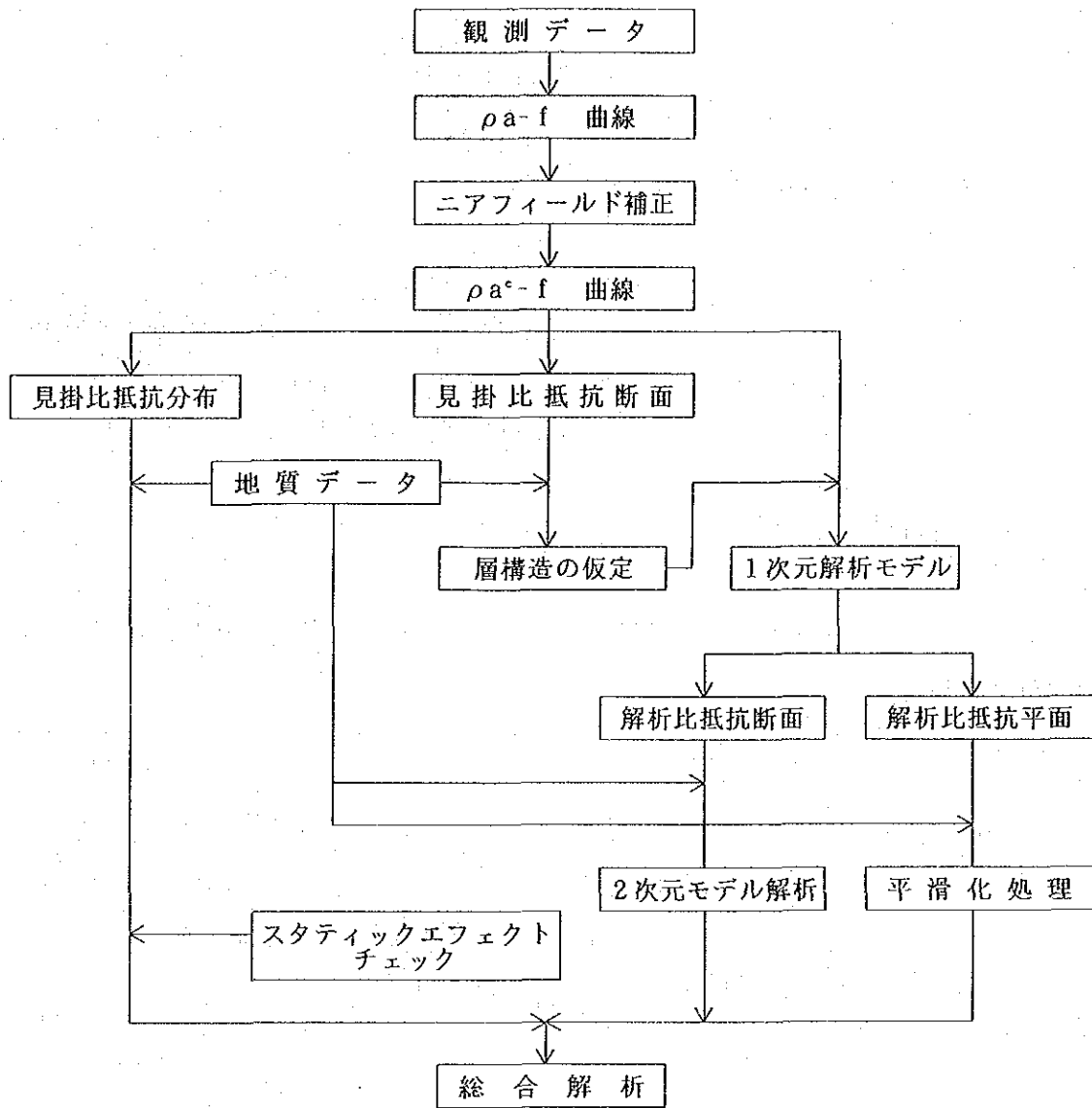


Fig. II-2-4 CSAMT法の解析フローチャート

2-2 調査結果

2-2-1 物性測定結果

コルキリ地域において、第1年次に岩石及び鉍石試料を43個、地表及び坑内より採取し、第2年次に岩石及び鉍石試料を29個、ボーリングコアより採取し、物性測定に供した。

測定は、千葉電子研究所製のIPサンプル測定システムで、比抵抗、PFEを求めた。

物性測定は、試料が賦存する状況に類似させるため強制湿潤状態で行った。室内で測定した物性値は、必ずしも地下に賦存する状態での物性値を表しているとはいえないが、各物性値を傾向的に反映していると考えられる。

物性測定結果は、68個について分類してTable II-2-5に示す。Fig. II-2-5にPFEと比抵抗との関係を示し、考察した。

粘板岩の比抵抗値(A R)は98.7~4065.9 $\Omega \cdot m$ の幅広い値を示し、平均値は912.6 $\Omega \cdot m$ となった。硫化鉍物の鉍染している粘板岩は、126.4~900.8 $\Omega \cdot m$ で平均値は538.6 $\Omega \cdot m$ を示した。

砂岩は、138.2~2464.0 $\Omega \cdot m$ で平均値は985.8 $\Omega \cdot m$ を示した。粘板岩と砂岩は、岩種の差異がほとんど認められない。

鉍石の比抵抗値は、4.7~147.5 $\Omega \cdot m$ で平均値は26.6 $\Omega \cdot m$ を示し、明瞭に岩石よりも低比抵抗を示した。

粘板岩のPFEは平均値で1.0%、砂岩で1.3%を示し、全般に低い。鉍石のPFEは13.2~150.0%で平均値は93.5%、硫化鉍物の鉍染している粘板岩は10.1~93.9%で平均値は48.1%を示し、高い値となっており岩石と鉍染している粘板岩+鉍石のコントラストは著しい。したがってIP異常帯は、鉍石及び周辺部の鉍染・鉍化帯を含めたマスとして反映しているものと判断される。

Table II-2-5 岩石サンプル測定結果一覧表

Sample No.	Drill hole	Sampled depth(m)	Descriptions	AR($\Omega \cdot m$)	PFE(%)
1	M-1		Ore(Po, mat)	147.5	13.2
2	M-2		Ore(Po)	19.3	140.2
3	M-3		Ore(Po)	14.9	106.7
4	M-4		Ore(Po)	15.5	89.1
5	M-5		Ore(Po)	30.6	105.8
6	M-6		Ore(Po)	18.2	114.7
7	MJBC-7	118.5	Ore	11.6	71.3
8	MJBC-8	317.0	Ore	7.0	101.9
9	MJBC-11	334.0	Ore	10.9	89.6
10	MJBC-14	102.0	Ore	4.7	150.0
11	MJBC-18	211.0	Ore	12.0	46.0
Average values of Ore				26.6	93.5
12	MJBC-4	200.8	Slate diss ore	189.5	30.5
13	MJBC-10	250.0	Slate diss ore	126.4	76.3
14	MJBC-11	300.0	Slate diss ore	127.3	93.3
15	MJBC-12	340.0	Slate diss ore	391.8	81.2
16	MJBC-10	300.0	Slate diss ore	711.6	10.1
17	MJBC-10	39.0	Slate diss ore	900.8	33.0
18	MJBC-12	150.0	Slate diss ore	177.4	12.1
Average values of Slate diss ore				538.6	48.1
19	D-2		Slate	4065.9	3.2
20	H-2		Slate	664.6	1.5
21	H-6		Slate	424.7	5.5
22	H-23		Slate	764.5	0.1
23	H-45		Slate	680.0	2.2
24	R-23		Slate	151.3	0.3
25	R-35		Slate	582.0	0.6
26	17-2		Slate	836.6	0.7
27	17-13		Slate	230.3	0.1
28	17-14		Slate	620.7	1.3
29	MJBC-1	100.0	Slate	466.0	0.1
30	MJBC-1	200.0	Slate	260.9	0.1
31	MJBC-2	153.0	Slate	451.1	0.1
32	MJBC-4	250.0	Slate	1036.5	0.1
33	MJBC-4	300.0	Slate	582.4	1.7
34	MJBC-7	117.5	Slate	98.7	2.1
35	MJBC-7	200.0	Slate	1223.8	0.1
36	MJBC-10	100.0	Slate	132.7	0.6
37	MJBC-12	200.0	Slate	1796.8	0.1
38	MJBC-12	400.0	Slate	896.4	0.1
39	MJBC-13	200.0	Slate	3198.7	0.2
Average values of Slate				912.6	1.0
40	B-15		Sandstone	1745.1	1.2
41	C-1		Sandstone	1454.3	0.2
42	E-0		Sandstone	607.5	0.3
43	E-6		Sandstone	2174.1	2.0
44	H-11		Sandstone	419.5	0.2
45	H-13		Sandstone	703.3	5.0
46	17-9		Sandstone	1186.1	2.5
47	K-9		Sandstone	804.7	1.2
48	K-15		Sandstone	1053.5	1.4
49	17-10		Sandstone	2367.3	2.3
50	L-7		Sandstone	798.1	0.5
51	M-20		Sandstone	605.2	0.6
52	N-0		Sandstone	852.9	1.4
53	N-11		Sandstone	1245.5	2.4
54	N-15		Sandstone	439.7	1.0
55	17-7		Sandstone	210.1	1.6
56	17-8		Sandstone	172.6	0.7
57	17-6		Sandstone	263.2	0.5
58	17-4		Sandstone	283.7	0.8
59	17-5		Sandstone	448.9	2.5
60	P-10		Sandstone	1118.8	1.2
61	17-3		Sandstone	1369.6	1.3
62	17-12		Sandstone	209.8	0.9
63	17-11		Sandstone	719.5	1.0
64	Q-26		Sandstone	184.3	1.4
65	MJBC-2	270.0	Sandstone	1037.5	0.1
66	MJBC-3	151.0	Sandstone	2464.0	1.6
67	MJBC-3	249.0	Sandstone	3510.5	2.0
68	MJBC-9	108.0	Sandstone	138.2	0.4
Average values of Sandstone				985.8	1.3

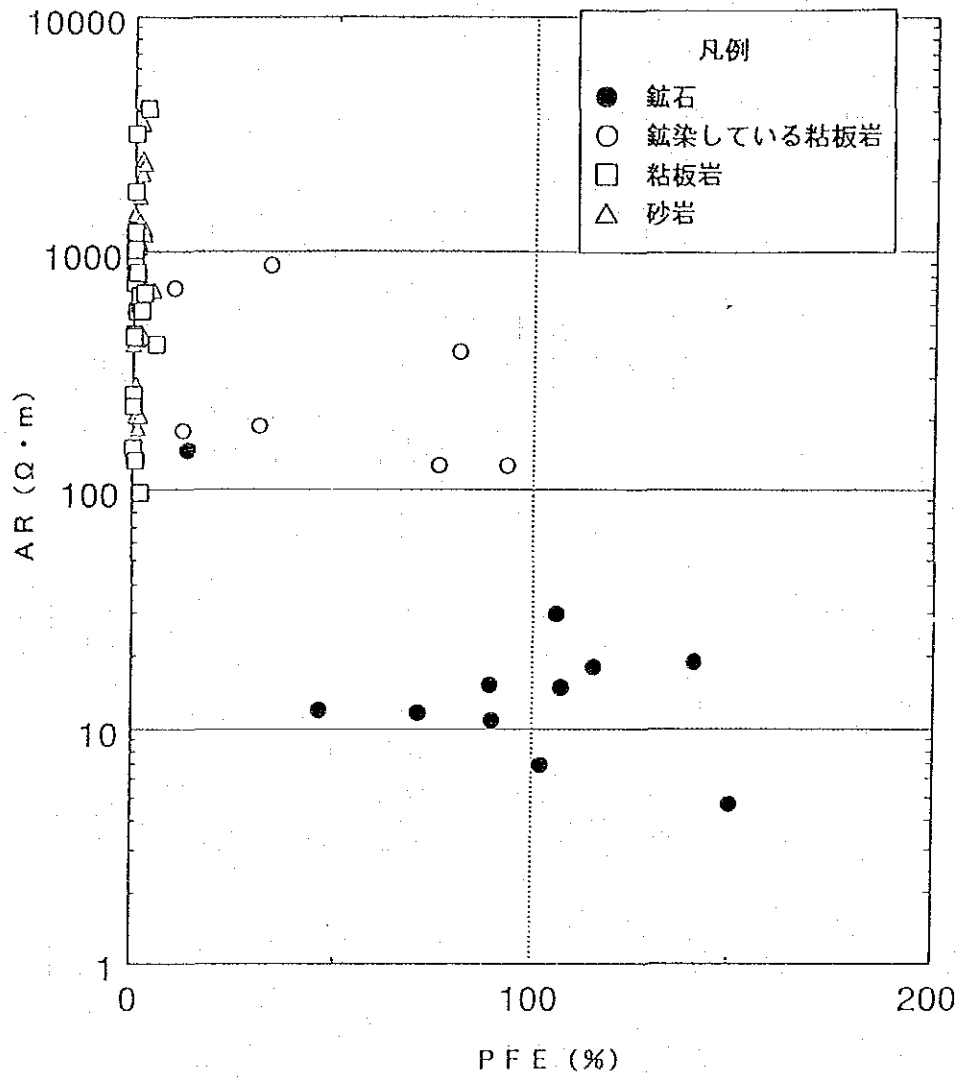


Fig. II-2-5 物性測定におけるPFEと比抵抗の関係

2-2-2 IPシミュレーション解析

解析方法で述べた2次元境界要素法を用いてB, D, F, H, J, P, Qの7測線のついで解析を行った。

各測線ごとの鉱化帯及び鉱脈を鳥瞰的にFig. II-2-6地質断面パネルダイヤグラムに表した。比抵抗構造、FE分布については平面図及び断面図のパネルダイヤグラムとしてFig. II-2-7~10に表し、検討を加えた。

各測線の地層(バックグラウンド)に図のごとく比抵抗値を与え、またIP異常モデル(鉱体モデル)にはそれぞれ比抵抗値とPFE値を与え、Fig. II-2-11のシミュレーションパネルダイヤグラム(断面図)に示す。

(B測線)

測点4~8付近に分布する東へ傾斜する鉱体モデル(バックグラウンド: $100\Omega\cdot\text{m}$, 比抵抗値 $10\Omega\cdot\text{m}$ でPFE 6%)、測点20~26付近に分布する西へ傾斜する鉱体モデル(バックグラウンド: $200\Omega\cdot\text{m}$, 比抵抗値 $10\Omega\cdot\text{m}$ でPFE 5%)を想定した。

測点4~8付近の鉱体モデルは、アルマス鉱化帯の下部延長と考えられ、MJBC-5が実施され、微細脈に着鉱した。

測点20~26付近の鉱体モデルは、ユニフィカーダ鉱化帯の下部にあたり、本鉱床の各鉱脈の北部延長部と推定される。

(D測線)

測点6~12付近に分布する3箇所の鉱体モデルを想定した。これは、水平板状モデル(バックグラウンド: $20\Omega\cdot\text{m}$, 比抵抗値 $6\Omega\cdot\text{m}$ でPFE 6%)と、東へ傾斜するやや長い板状モデル(バックグラウンド: $20\Omega\cdot\text{m}$, 比抵抗値 $7\Omega\cdot\text{m}$ でPFE 5%)及び同様のやや短い板状モデル(バックグラウンド: $20\Omega\cdot\text{m}$, 比抵抗値 $6\Omega\cdot\text{m}$ でPFE 6%)であり、全体を1つの垂直あるいはそれに近い垂直板状モデルとも考えられる。

測点24~32付近に分布する西へ傾斜する3箇所の鉱体モデル(いずれもバックグラウンド: $8\Omega\cdot\text{m}$, 比抵抗値 $60\Omega\cdot\text{m}$ でPFE 5%)を想定した。

測点6~12付近の鉱体モデルはアルマス鉱化帯の下部にあたり、MJBC-4が実施され、93.25m~377.60m間に多数の亜鉛に富む細脈に着鉱した。

測点24~32付近の鉱体モデルは、ユニフィカーダ鉱化帯の下部の広範な鉱化・変質帯を反映しているものと考えられる。これらは現行線鉱脈の北部延長部にあたり、この付近においても鉱床賦存の可能性のあるものと考えられるが、本データのみでは鉱化の状況は不明であり、今後の探鉱を待たなければならない。

(F 測線)

測点 6～8 付近に分布する東へ傾斜する鉍体モデル（バックグラウンド： $60\Omega\cdot m$ 、比抵抗値 $40\Omega\cdot m$ で P F E 5 %）を想定した。

測点 24～44 付近に分布する 6 箇所の西へ傾斜する鉍体モデル（バックグラウンド： $80\Omega\cdot m$ 、比抵抗値 $30\Omega\cdot m$ で P F E 5～6 %）を想定した。

測点 6～8 付近の鉍体モデルはアルマス鉍化帯の下部にあたり、MJBC-9、MJBC-10 が実施され、MJBC-9 は、最大着鉍長 150cm の黄鉄鉍を主体とする鉍脈に、MJBC-10 は、低品位の細脈に着鉍した。

測点 24～44 付近の鉍体モデルは、広範なリブルリブルニ鉍化帯を反映しているものと考えられるが、本鉍化帯の下部では既に開発され、鉍脈が存在していることにより、これらが反映して異常帯を形成した可能性がある。

(H 測線)

測点 6～12 付近に分布する 3 箇所の鉍体モデルを想定した。

水平板状モデル（バックグラウンド： $80\Omega\cdot m$ 、比抵抗値 $60\Omega\cdot m$ で P F E 5 6 %）と東へ傾斜するやや長い板状モデル（バックグラウンド： $80\Omega\cdot m$ 、比抵抗値 $50\Omega\cdot m$ で P F E 6 %）、及び同様のやや短い板状モデル（バックグラウンド： $80\Omega\cdot m$ 、比抵抗値 $50\Omega\cdot m$ で P F E 6 %）である。

測点 28～44 付近に分布する西へ傾斜する鉍体モデル（バックグラウンド： $80\Omega\cdot m$ 、比抵抗値 $40\Omega\cdot m$ で P F E 5 % が 2 箇所、比抵抗値 $30\Omega\cdot m$ で P F E 7 %、比抵抗値 $40\Omega\cdot m$ で P F E 6 %）を想定した。

測点 6～12 付近の鉍体モデルはオカビ鉍化帯の下部にあたり、MJBC-3 が実施され、103.18m～481.83m 間に多数の垂鉛・錫に富む細脈に着鉍した。

さらに、深部探査のために MJBC-11 が実施され、多数の高品位の網状脈に着鉍した。

測点 28～44 付近の鉍体モデルは、浅部ではトリンフォ鉍化帯が反映しているものと考えられるが下部では本鉍床が反映したものと考えられる。

(J 測線)

測点 26～28 付近に分布する水平板状の鉍体モデル（バックグラウンド： $70\Omega\cdot m$ 、比抵抗値 $50\Omega\cdot m$ で P F E 5 %）、測点 38～46 付近に分布する西へ傾斜する鉍体モデル（バックグラウンド： $100\Omega\cdot m$ 、比抵抗値 $60\Omega\cdot m$ で P F E 6 %）を想定した。

測点 26～28 付近の鉍体モデルに対して、MJBC-16、MJBC-17 の坑内ボーリングが実施され、MJBC-17 は着鉍長 30cm 以上の鉄閃垂鉛鉍に富む 4 鉍脈を捕捉した。

測点 38～46 付近の鉍体モデルは、本鉍床の存在が反映しているものと考えられ、異常帯は明らかに鉍床の存在を示している。

(P 測線)

測点 22~24 付近に分布する水平板状の鉱体モデル (バックグラウンド: $80\Omega\cdot m$, 比抵抗値 $60\Omega\cdot m$ で P F E 5%)、測点 36~46 付近に分布する西へ傾斜する 3 箇所の鉱体モデル (バックグラウンド: $80\Omega\cdot m$, 比抵抗値 $60\Omega\cdot m$ で P F E 5~6%) を想定した。

測点 22~24 付近の鉱体モデルは、アルト・コルキリ鉱化帯の下部にあたり、MJBC-1 が掘削され、92.85m~135.09m 間の 5 箇所において亜鉛・銀に富む脈が確認され、最大脈幅は 210cm であった。

さらに、これらの着鉱部の鉱脈の走向・傾斜の確認及び深部探査のために MJBC-12 が実施され、最大着鉱長 106cm の亜鉛・銀に富む 4 脈に着鉱した。また、50m 東に MJBC-19 が実施され、最大着鉱長 280cm の亜鉛・銀に富む 4 脈に着鉱した。

(Q 測線)

測点 18~22 付近に分布する水平板状の鉱体モデル (バックグラウンド: $70\Omega\cdot m$, 比抵抗値 $40\Omega\cdot m$ で P F E 5%)、測点 40~46 付近に分布する西へ傾斜する 2 箇所の鉱体モデル (バックグラウンド: $100\Omega\cdot m$, 比抵抗値 $40\Omega\cdot m$ で P F E 7%、比抵抗値 $60\Omega\cdot m$ で P F E 6%) を想定した。

測点 18~22 付近の鉱体モデルは、アルト・コルキリ鉱化帯の下部にあたり、MJBC-2 が掘削され、214.15m~214.50m (35cm) において亜鉛・銀に富む脈に着鉱した。

さらに、南部延長の Q, R 測線の間で MJBC-7 が実施され、118.10m~194.85m 間において 3 箇所て亜鉛・鉛・銀に富む脈に着鉱した。これらの着鉱部の鉱脈の走向・傾斜の確認及び深部探査のために MJBC-13 が実施され、最大着鉱長 47cm の脈に着鉱した。

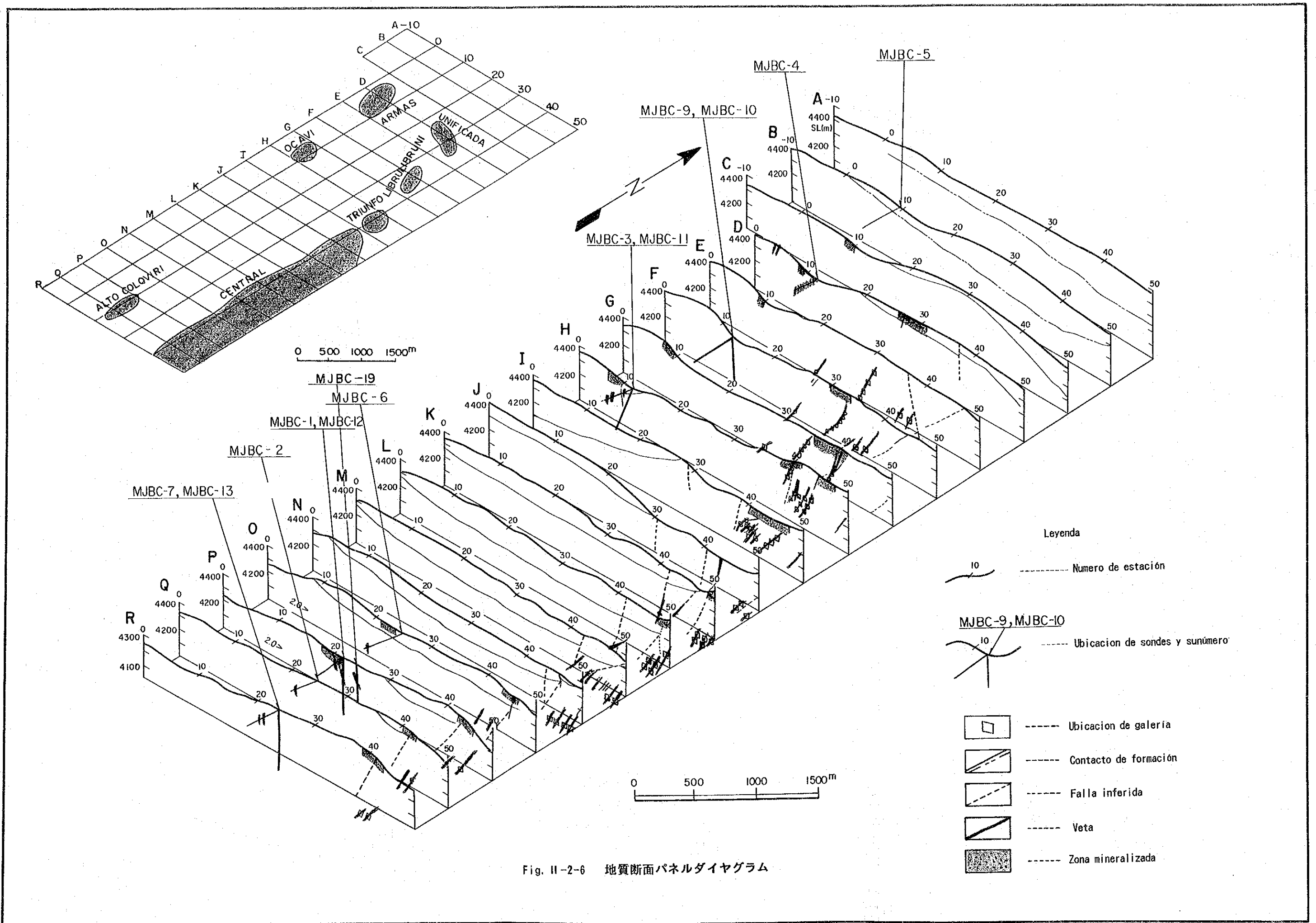


Fig. II-2-6 地質断面パネルダイヤグラム

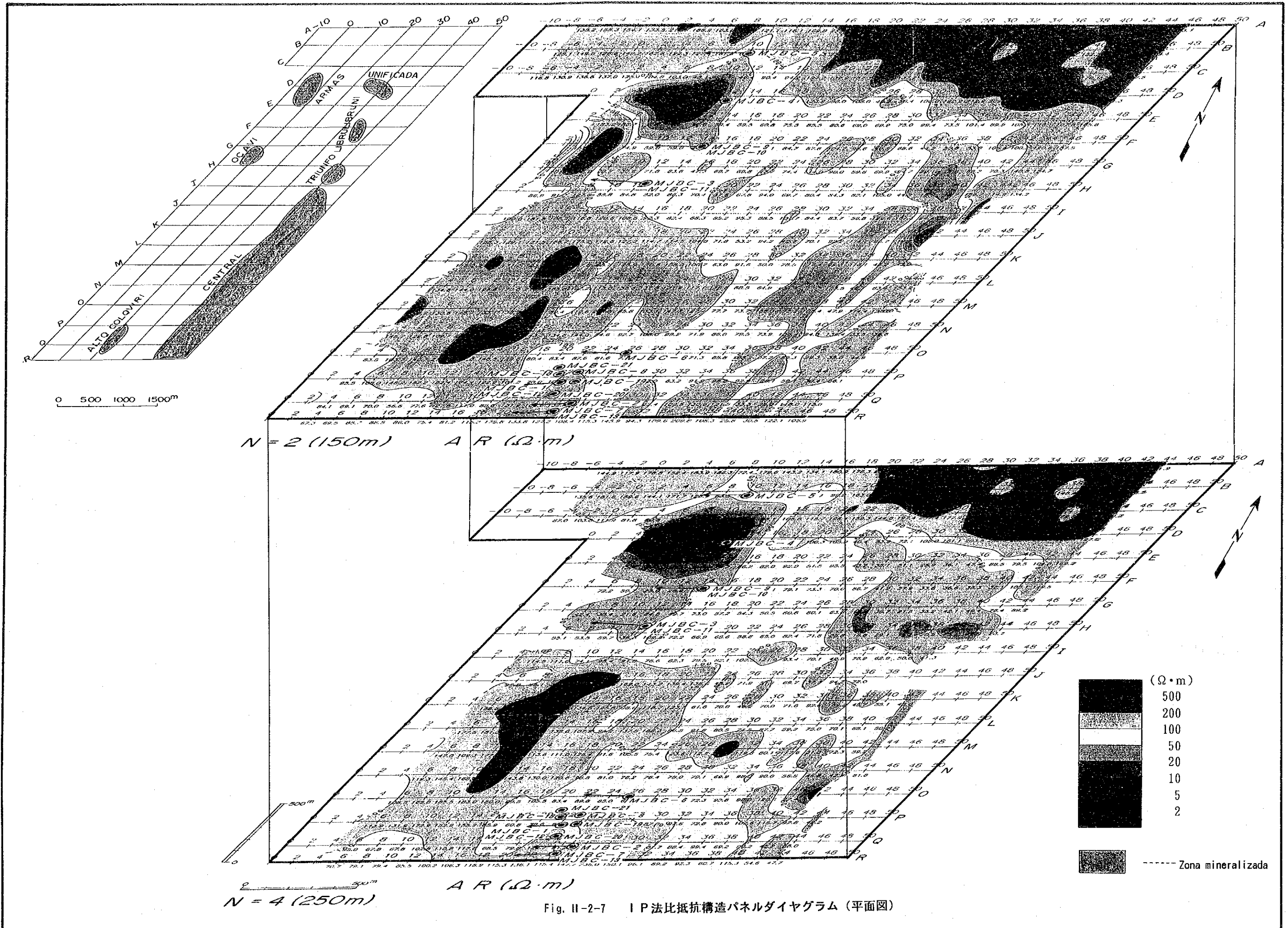


Fig. II-2-7 I P法比抵抗構造パネルダイヤグラム (平面図)

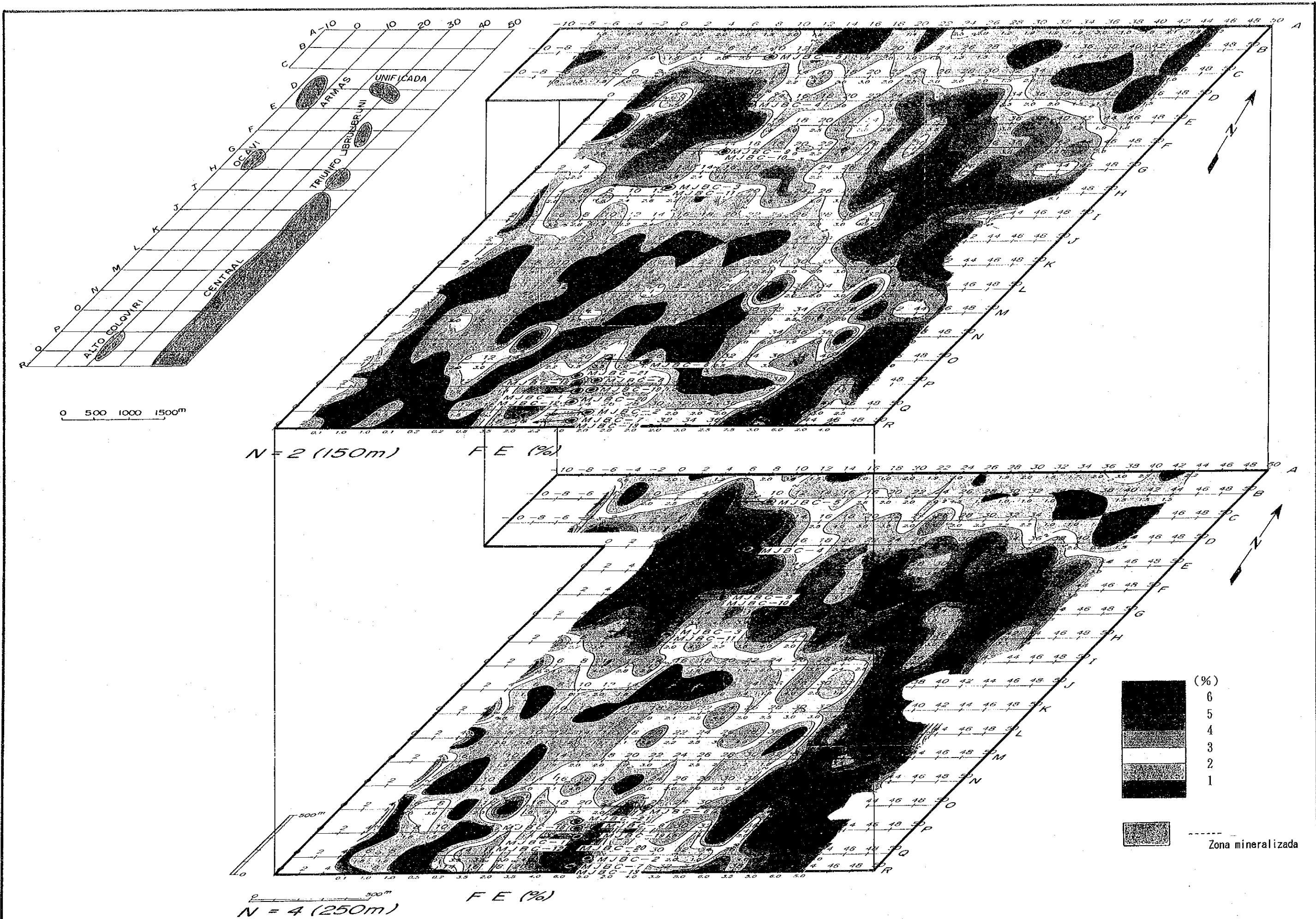
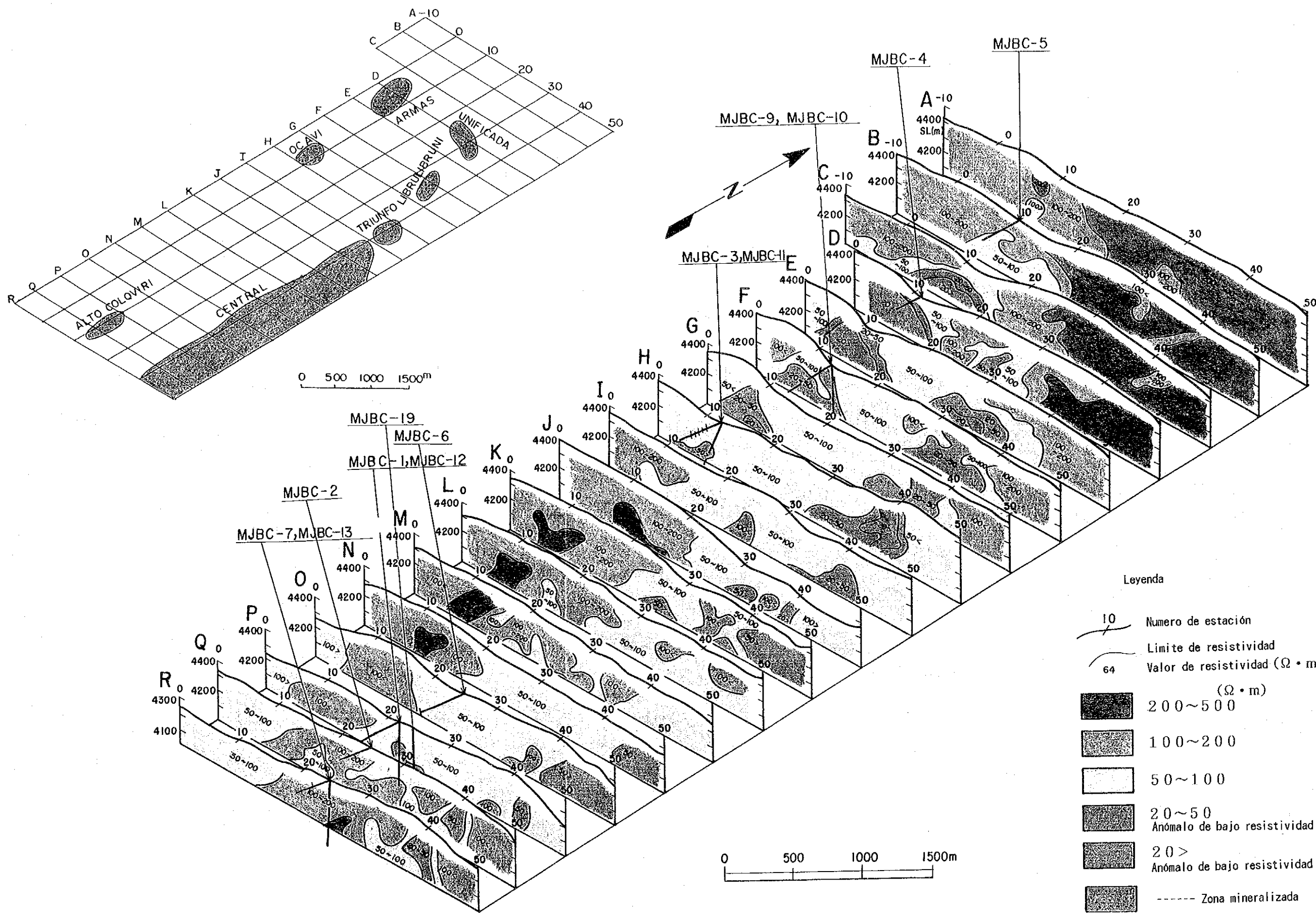


Fig. II-2-8 I P法 FE分布パネルダイアグラム (平面図)



- Leyenda
- 10 Numero de estación
 - Limite de resistividad
 - 64 Valor de resistividad ($\Omega \cdot m$)
 - 200~500 ($\Omega \cdot m$)
 - 100~200
 - 50~100
 - 20~50 Anómalo de bajo resistividad
 - 20 > Anómalo de bajo resistividad
 - Zona mineralizada

Fig. II-2-9 I P 法比抵抗構造パネルダイヤグラム (断面図)

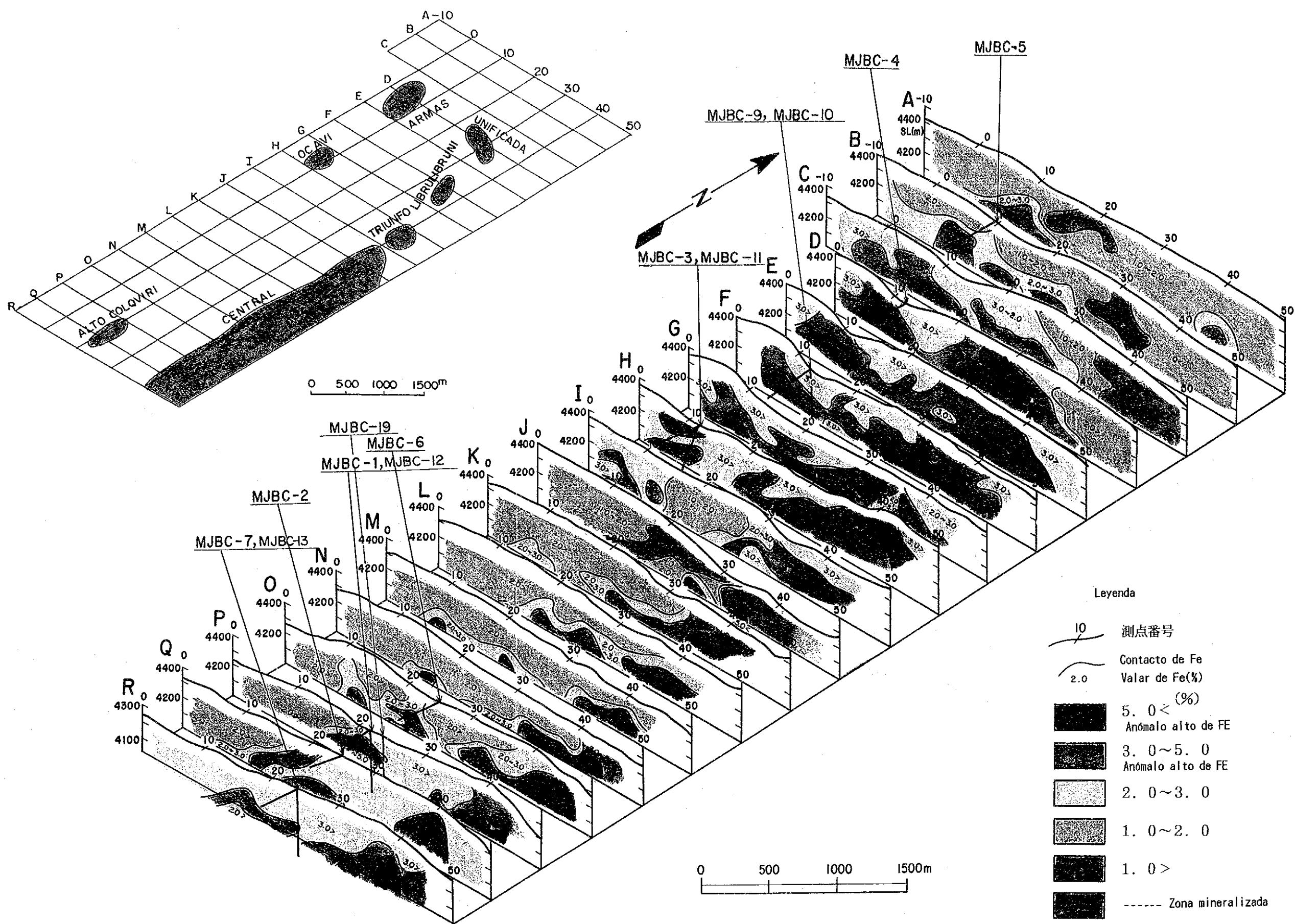


Fig. II-2-10 1P法FE分布パネルダイヤグラム (断面図)

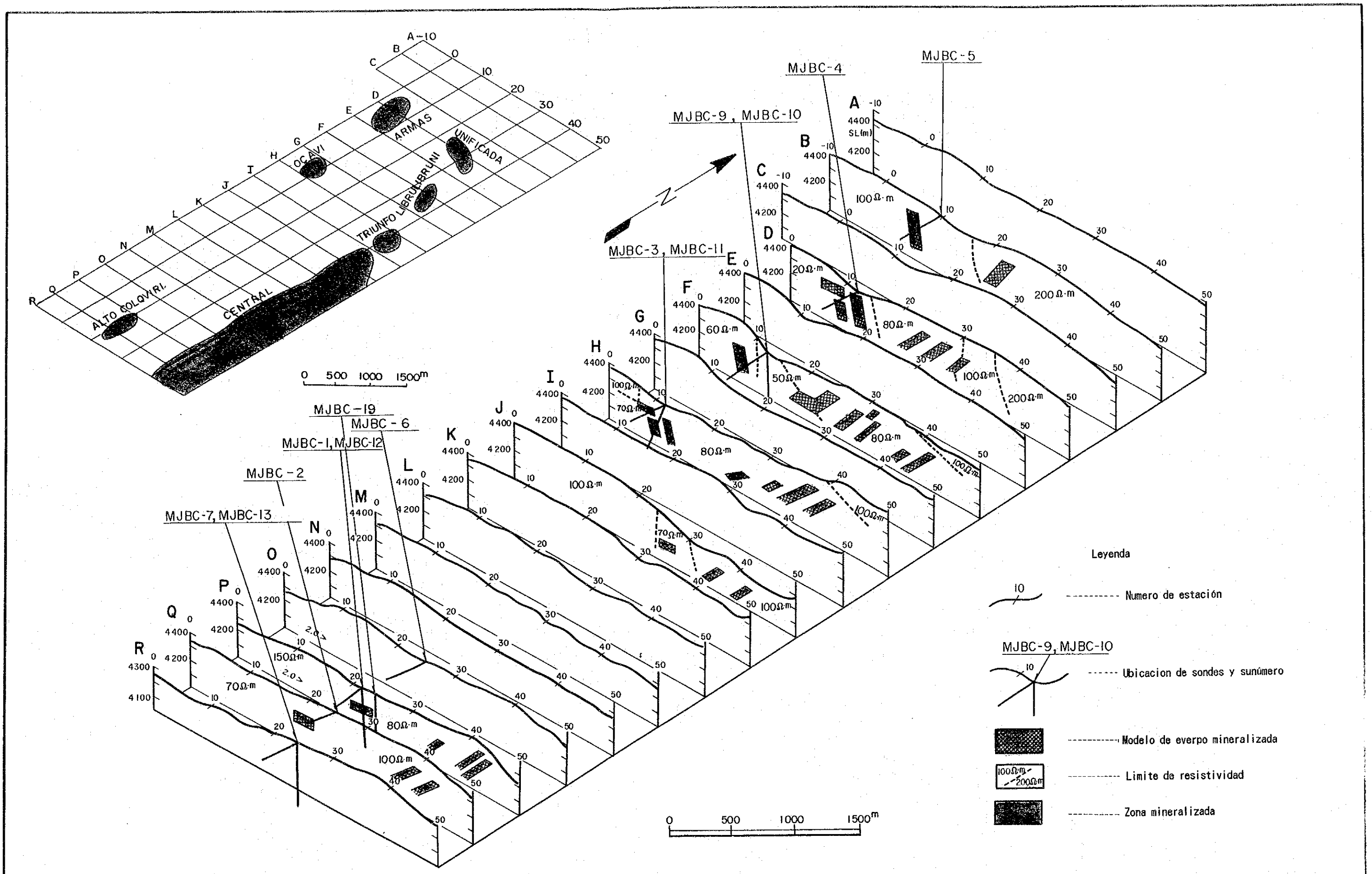


Fig. II-2-11 IP法シミュレーションパネルダイヤグラム (断面図)

2-2-3 CSAMT法2次元構造解析

CSAMT法2次元構造解析をA, B, E, F, Jの5測線において実施した。

フォワード計算は、与えられた大地比抵抗モデル（地下構造及びその比抵抗分布）について、各測点での各周波数ごとの比抵抗及び位相差の応答を求めるものである。今回の解析計算においては、初期モデルの検討・選択及びインバージョン計算の結果の修正に用いた。

インバージョン計算は、逆境界値問題の解法の1種で、実測データを最もうまく説明しうる地下の比抵抗分布を求めるものである。その場合、実測値と計算値との $\rho a-f$ 曲線を比較・参照し、後者が前者に近づくように比抵抗分布を修正・変更するのであるが、その手法として、非線形回帰式による最小2乗法を反復適用する方法を用いた。

Fig. II-2-12~Fig. II-2-13に1次元及び2次元の比抵抗構造パネルダイアグラム（断面図）を示す。

（A断面）

IP法の比抵抗分布は、およそ深度-300mまでを示す。

測点14~48において $200\Omega\cdot m$ 以上の高比抵抗域を示し、測点6~10において $100\Omega\cdot m$ 以下の低比抵抗域を示す。比抵抗構造断面図においては、ほぼ同様の形態を示し、地質は高比抵抗域がカタビ層の主として砂岩を、低比抵抗域は砂岩・頁岩互層を反映しているものと考えられる。IP法とCSAMT法の整合性はよい。さらに深部の比抵抗構造の分布は、測点2~4、6~10、12~14、22~26において $50\Omega\cdot m$ 以下の低比抵抗がやや浅部から深部に分布する。さらに、標高3600m以深は一律に $20\Omega\cdot m$ 以下の低比抵抗となっている。前述のやや浅部からの $50\Omega\cdot m$ 以下の低比抵抗域には破碎帯の存在が推定される。最深部の低比抵抗域は岩石の塩分濃度が高くなっていることが推定される。

2次元解析では、測点5~30の浅部において、 $180\Omega\cdot m$ の高比抵抗が分布している。これは、カタビ層の主として砂岩を反映しているものと考えられる。

測点3~4のやや浅部から深部において、 $50\Omega\cdot m$ 、 $20\Omega\cdot m$ と低比抵抗帯が分布する。また、測点22~25においても同様に低比抵抗帯の分布がみられる。これらは、破碎帯の存在によるものであると推定される。

最深部においては、全域にわたり、 $10\Omega\cdot m$ 、 $15\Omega\cdot m$ と低比抵抗帯が分布する。これは、岩石中の塩分濃度の増加が主な要因であると考えられる。

（B断面）

比抵抗構造断面は測点0~8の浅部において $100\Omega\cdot m$ 以下のやや低比抵抗域、測点14~21の浅部において $200\Omega\cdot m$ 前後の高比抵抗域が分布する。測点6~14のやや浅部から $20\Omega\cdot m$ 以下の低比抵抗域が分布する。標高3800m以深は若干の高、低はあるものの $20\Omega\cdot m$ 以下の低比抵抗域

が分布する。測点6～14のやや浅部からの低比抵抗域には破碎帯の存在が推定される。

2次元解析では、測点15～21の浅部において、 $180\Omega\cdot\text{m}$ の高比抵抗帯が分布する。

測線全域にわたり、中部から深部にかけて $15\Omega\cdot\text{m}$ と低比抵抗帯が分布する。

測点14～15の中部から深部においては、 $15\Omega\cdot\text{m}$ から $110\Omega\cdot\text{m}$ と、急激な比抵抗の変化がみられることから、破碎帯の分布が推定される。

(E断面)

比抵抗構造断面は測点4～9の浅部において $50\Omega\cdot\text{m}$ 以下のやや低比抵抗域が分布する。測点10～24においては標高3900m以深から $20\Omega\cdot\text{m}$ 以下の低比抵抗域が分布する。

2次元解析では、測点6～24の中部において、 $10\Omega\cdot\text{m}$ の低比抵抗帯が分布する。この分布は、深部になると測線全域にわたって分布するようになる。

(F断面)

比抵抗構造断面は全般的に低比抵抗域が卓越する。

測点5～6、測点10～19、測点21～28、測点33～34、測点35～41、測点45～49に亘って浅部あるいはやや浅部で $50\Omega\cdot\text{m}$ 以下の低比抵抗域が分布する。

2次元解析では、測点42～48の中部において、 $200\Omega\cdot\text{m}$ の高比抵抗が得られた他は測線全域にわたって浅部から深部にかけて低比抵抗の分布がみられる結果となった。

(J断面)

比抵抗構造断面は測点22～28、測点33～34においてやや浅部から $50\Omega\cdot\text{m}$ 以下の低比抵抗域が分布する。およそ標高3400m以深では $30\Omega\cdot\text{m}$ 以下の低比抵抗域が分布する。

2次元解析では、測点23～25のやや浅部から $20\Omega\cdot\text{m}$ の低比抵抗帯が分布する。

測点1～22の浅部から深部にかけては $80\Omega\cdot\text{m}$ の比抵抗値が得られた。

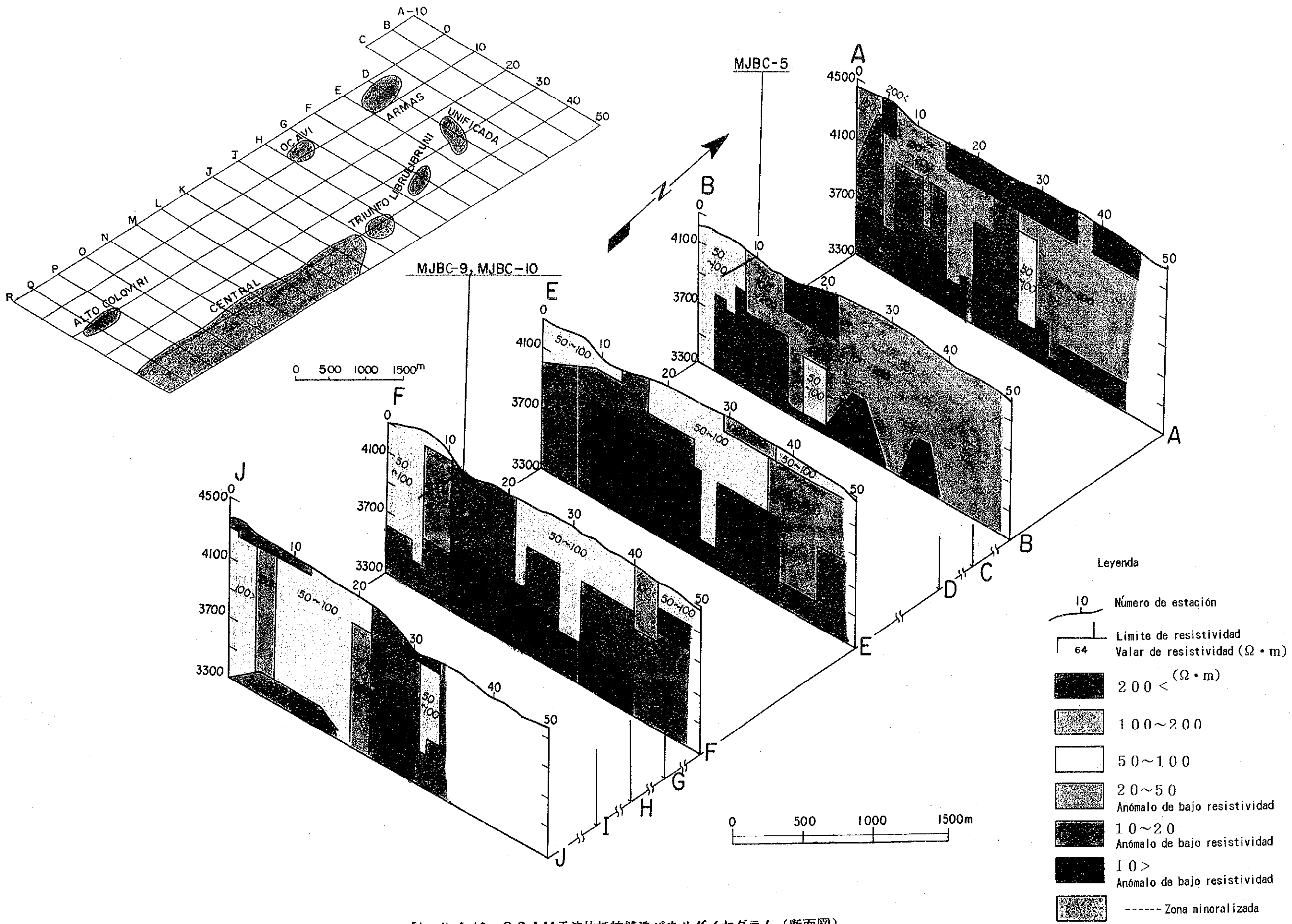
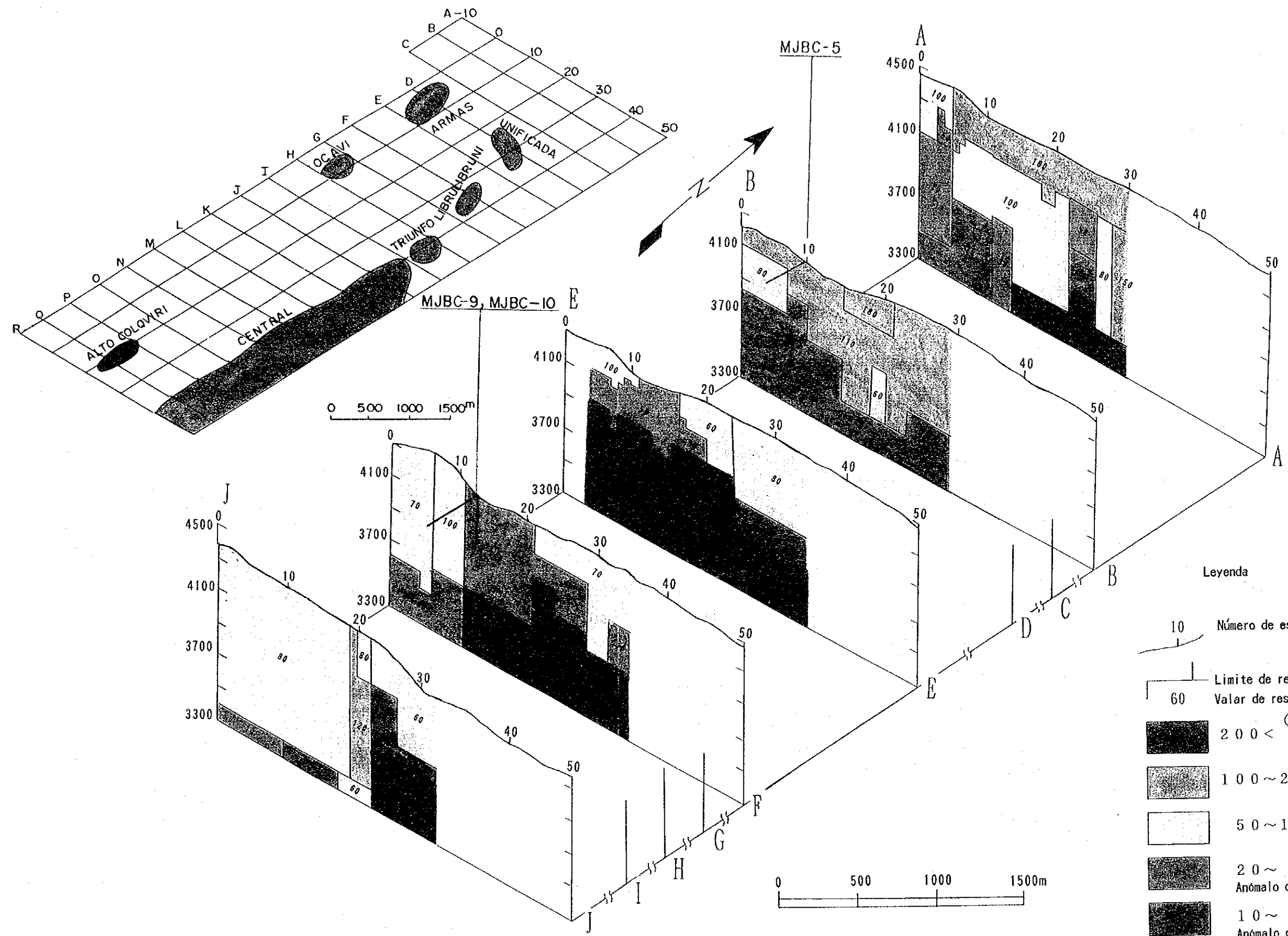


Fig. II-2-12 C SAMT 法比抵抗構造パネルダイヤグラム (断面図)



Legenda

- 10 Número de estación
- 60 Limite de resistividad
- Valar de resistividad ($\Omega \cdot m$)
- 200 < ($\Omega \cdot m$)
- 100 ~ 200
- 50 ~ 100
- 20 ~ 50 Anómalo de bajo resistividad
- 10 ~ 20 Anómalo de bajo resistividad
- 10 > Anómalo de bajo resistividad
- Zona mineralizada

Fig. II-2-13 CSAMT 法 2 次元構造解析パネルダイヤグラム (断面図)



Fig. II-2-14 物理探查綜合結果圖

第3章 ボーリング調査

ボーリング調査は、坑外及び坑内で実施され、それらの位置をFig II-3-1に示す。

これらのボーリング調査結果を地質調査及び物理探査結果と併せて総合的に検討し、鉱床賦存ポテンシャルの評価を行うとともに鉱量計算を行った。また、岩芯を利用した鉱石及び母岩の各種室内試験の種類及び件数をTable I-1-2に示す。

これらの室内試験結果も鉱化作用、変質作用の解析に有効に活用し、探鉱指針の手段及び鉱化作用の検討に利用した。

3-1 目的

ボーリング調査は、地質調査及び物理探査、特にIP法により抽出された鉱床賦存の可能性の高い地区（アルマス地区、オカピ地区、アルト・コルキリ地区）並びに地質調査結果より鉱床賦存の可能性の高いセントラル地区を確認することを目的として実施された。実施されたボーリング調査は、坑外17孔、坑内4孔の計21孔であり、各孔の位置、作業長、傾斜などをTable II-3-1に示す。

3-2 調査工事内容

ボーリング作業は、MJBC- 1, 2, 3及び4の4孔は日本人技術者と現地人作業員による共同作業により実施された。しかし、掘削技術の移転を目的として、MJBC- 5孔以降の17孔は、ボリヴィアのボーリング会社による請負作業により工事を完成させた。

しかし、この間、日本人掘削技術者1名を常駐させ、技術移転に努めた。

掘削工法は、ワイヤーライン工法を採用し、泥剤及び調泥剤は、あらかじめ日本から補給しておいた。掘削に伴う主要機材・消耗品及びダイヤモンド・ビット類の使用状況をTable II-3-3～II-3-5に示す。

移設作業は、主としてトラックを利用した。一部の機材搬入道路建設には、ブルドーザーを使用した。

ボーリング用水は、全て給水車に頼ったため、水待ちによる掘削の中断及びこれに伴う事故も発生した。特に、当地区のボーリング孔は、鉱脈に着鉱する前後で必ず逸水現象が発生する。従って、給水対策には、十分な配慮で対応した。また、各孔とも大小の破碎帯及び断層帯を伴うため、孔壁の崩壊事故が発生し、一部のボーリング孔では、掘り直し作業を余儀なくされた。しかし、これらの悪い掘削条件に対する現地作業員への技術移転が成功し、工事の後半では全くの無事故で掘削作業を完了した。各孔の作業状況をTable II-3-2に示す。掘削作業は、24時間

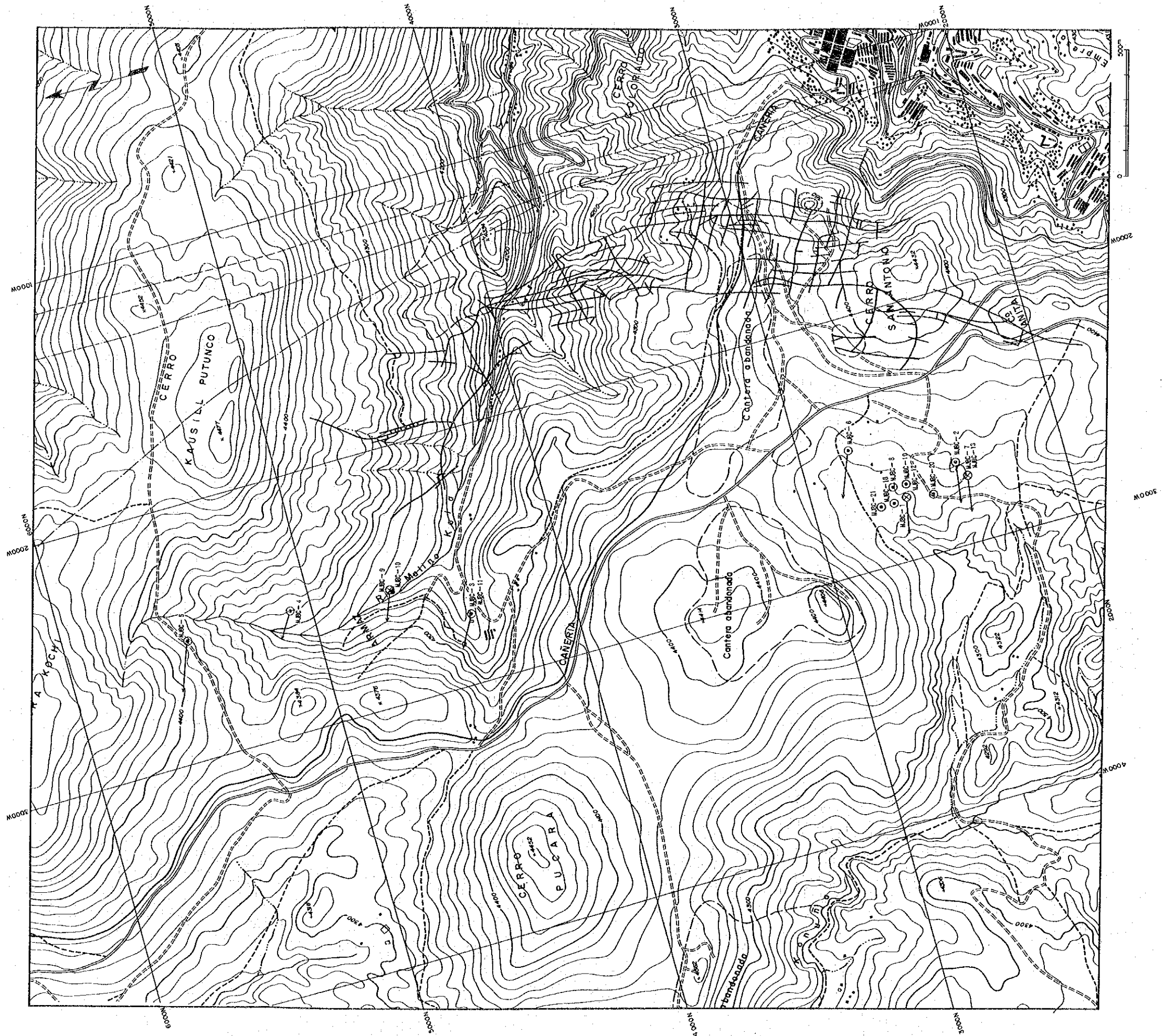


Fig. II-3-1 ボーリング位置圖

Table II-3-1 ボーリング調査結果一覧表

孔名	緯距	経距	標高(m)	方向	傾斜	掘進長(m)	J7採取率(%)	工事期間
MJBC-1	N2645.250	W2753.321	4375.240	280° (N80° W)	-60°	301.10	97.9	11. 9.1991~27.10.1991
MJBC-2	N2435.704	W2671.011	4390.740	280° (N80° W)	-55°	303.25	100.0	28.10.1991~23.11.1991
MJBC-3	N4400.125	W2727.650	4268.664	300° (N60° W)	-45°	506.55	88.61	24.11.1991~ 2. 1.1992
MJBC-4	N5095.545	W2539.473	4331.690	290° (N70° W)	-50°	401.25	82.22	22.12.1991~21. 3.1992
MJBC-5	N5500.461	W2530.120	4396.963	290° (N70° W)	-60°	404.45	93.29	3. 7.1992~ 5. 8.1992
MJBC-6	N2807.530	W2519.845	4380.325	290° (N70° W)	-60°	402.10	92.08	26.12.1991~ 8. 2.1992
MJBC-7	N2405.402	W2735.795	4388.283	280° (N80° W)	-60°	301.90	85.40	9. 2.1992~22. 3.1992
MJBC-8	N2684.237	W2770.650	4373.941		-90°	403.55	99.50	1.11.1992~12.11.1992
MJBC-9	N4680.643	W2553.645	4277.996	290° (N70° W)	-70°	405.25	98.91	6. 9.1992~14.11.1992
MJBC-10	N4664.783	W2553.640	4277.702		-90°	400.50	99.40	10. 9.1992~18.11.1992
MJBC-11	N4385.210	W2729.541	4269.023	300° (N60° W)	-70°	400.30	95.10	29.11.1992~23.12.1992
MJBC-12	N2645.250	W2752.321	4375.240		-90°	506.75	95.26	8. 7.1992~12. 9.1992
MJBC-13	N2405.402	W2734.795	4388.283		-90°	503.25	98.61	13. 9.1992~ 7.11.1992
MJBC-14	N4079.436	W1909.537	3952.493	290° (N70° W)	0°	150.65	96.18	6.11.1992~ 5.12.1992
MJBC-15	N4075.338	W1908.862	3952.493	225° (S45° W)	0°	152.50	92.42	8.10.1992~ 5.11.1992
MJBC-16	N3769.953	W1655.530	3949.490	275° (N85° W)	0°	157.00	83.01	15. 7.1992~22. 8.1992
MJBC-17	N3763.396	W1656.028	3949.418	220° (S40° W)	0°	152.00	88.61	24. 8.1992~ 7.10.1992
MJBC-18	N2696.379	W2765.887	4371.122		-90°	353.30	98.39	8.11.1992~30.11.1992
MJBC-19	N2632.456	W2705.878	4376.343		-90°	352.65	99.05	12.11.1992~ 6.12.1992
MJBC-20	N2540.211	W2771.545	4379.225		-90°	300.50	99.08	15.11.1992~23.12.1992
MJBC-21	N2746.091	W2761.543	4369.610		-90°	351.50	98.69	13.12.1992~25.12.1992

Table II-3-2 ボーリング工事工程及び工事概要表(1)

区分	1991.9月	10月	11月	12月	1992.1月	2月	3月	6月	方位	傾斜	掘進長	打採取率
準備及び移動	5.10							25				
MJBC-1	11	27							280° (N80° W)	-60°	301.10m	97.90%
MJBC-2		28	23						"	-55°	303.25m	100.00%
MJBC-3			24	2					300° (N60° W)	-45°	506.55m	88.61%
MJBC-4				22			21		290° (N70° W)	-50°	401.25m	82.22%
MJBC-5												
MJBC-6				26		8			"	"	402.10m	92.08%
MJBC-7						9	22		280° (N80° W)	"	301.90m	85.40%
MJBC-8												
MJBC-9												
MJBC-10												
MJBC-11												
MJBC-12												
MJBC-13												
MJBC-14												
MJBC-15												
MJBC-16												
MJBC-17												
MJBC-18												
MJBC-19												
MJBC-20												
MJBC-21							23 30					
解体及び移動												
報告書作成												

Table II-3-2 ボーリング工事工程及び工事概要表(2)

区分	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1993.1月	2月	方位	傾斜	掘進長	IT採取率
準備及び移動												
MJBC-1												
MJBC-2												
MJBC-3												
MJBC-4												
MJBC-5	3	5							290° (N70° W)	-60°	404.45m	93.29%
MJBC-6												
MJBC-7												
MJBC-8	3					1	12				403.55m	99.50%
MJBC-9			6		14				290° (N70° W)	-70°	405.25m	98.91%
MJBC-10			10		18						400.50m	99.40%
MJBC-11					29	23			300° (N60° W)	-70°	400.30m	95.10%
MJBC-12	8		12								506.75m	95.26%
MJBC-13			13		7						508.25m	98.61%
MJBC-14					6	5			290° (N70° W)	-0°	150.65m	98.18%
MJBC-15				8	5				225° (N45° W)	-0°	152.50m	92.42%
MJBC-16	15	22							275° (N80° W)	0°	157.00m	83.01%
MJBC-17		24	7						220° (N40° W)	-0°	152.00m	88.61%
MJBC-18					8	30					353.30m	98.39%
MJBC-19					12	6					352.65m	99.05%
MJBC-20					15	23					300.50m	99.08%
MJBC-21						13	25				351.50m	98.68%
解体及び移動												
報告書作成						26						
							5	19				

連続操業としたが、10月までは、夜間気温の低下から、用水の凍結により実質的には12時間操業を余儀なくされた。従って、能率的な調査工事を実施するためには、10月からの工事開始が望ましい。

3-3 調査結果及び考察

3-3-1 アルマス地区

当地区には、坑外ボーリングMJBC- 4, 5, 9, 10 の4孔が実施された。

これらの4孔は、全てウンシア層の、主として灰色～黒色頁岩から構成される。本岩には葉理が普遍的に発達し、局部的に厚さ数cm以下の白色砂岩の薄層及びレンズを挟在する。これによって示される地層の傾斜は20～30°の安定した値を示す。これらの頁岩は、鉍化帯付近以外では、変質作用を被っていない。また、局部的に、特に葉理の発達する黒色部に、1.0mm以下の堆積性黄鉄鉍レンズが層理に平行に発達する。頁岩は、鏡下では斜長石と少量の石英を主体とし、これに微細な葉片状絹雲母及び少量の緑泥石を伴う。また、一部に、微量の電気石・ジルコンなどの破片を随伴する。

(1) MJBC- 4

(イ) 調査結果：本孔は、約70～80、290～298m間及び250m以深で1m未満の15～16箇所の破砕帯を確認した。これらの破砕帯は、いずれも逸水現象を伴う。(以下、当地区では、全て同じ。)本孔で確認された主な鉍化作用は、次のとおりである。

深度(m)	着鉍長(cm)	Sn(%)	Zn(%)	Pb(%)	Ag(g/t)
168.71～168.91	20	0.03	4.10	0.12	19
178.75～178.95	20	0.06	23.54	<0.01	34
200.84～201.04	20	0.09	21.99	<0.01	105
230.87～231.07	20	0.02	10.08	<0.01	136
376.70～376.85	15	0.01	28.45	<0.01	24
377.40～377.60	20	0.03	3.36	0.07	10

(ロ) 考察：これらの鉍脈は、全て、着鉍長20cm以下の小規模なものである。鉍石鉍物は、黄鉄鉍を主体に、鉄閃亜鉛鉍を普遍的に伴い、局部的に磁硫鉄鉍を随伴する。脈石鉍物は、殆ど認められない。鉍脈自体は、高品位のものもあるが、稼行対象になる規模の鉍脈は認められない。これらの鉍脈には、一部に不規則形態の脈もあり、網状脈の可能性もある。これら細脈の付近には、脈幅0.1mm以下の同質の微細網状脈が普遍的に発達する。鏡下では、閃亜鉛鉍・黄鉄鉍・磁硫鉄鉍を主体に、微量の白鉄鉍・錫石・黄錫鉍・黄銅鉍を随伴する。脈石鉍物は、石英である。

(2) MJBC- 5

(イ) 調査結果：本孔は、約32~36、83~115、390~404m間及び229、233、264、314m付近に小規模な破碎帯を確認した。

鉍化作用としては、135m以深で着鉍長数cm以下の細脈が各所に散見されるのみである。本孔で確認された主な鉍化作用は、次のとおりである。

深度(m)	着鉍長(cm)	Sn(%)	Zn(%)	Pb(%)	Ag(g/t)
136.34~136.39	5	1.16	13.91	0.01	20
194.15~194.33	18	1.16	2.98	0.01	82
197.94~198.3	9	5.64	8.94	0.19	70
360.20~360.24	4	1.32	26.28	0.20	185

(ロ) 考察：これらの鉍脈は、全般に小規模であり、鉄閃亜鉛鉍・黄鉄鉍・磁硫鉄鉍より構成される。脈石鉍物は微量の菱鉄鉍である。鉍脈は、前述の鉍物による縞状構造が普遍的で、一部に晶洞を伴う。鉍脈自体は、錫の品位も高く高品位である。しかし、稼行対象になる規模の鉍脈は存在しない。鏡下では、鉍石鉍物は閃亜鉛鉍、磁硫鉄鉍を主体に微細な錫石・黄銅鉍・白鉄鉍・黄鉄鉍及び硫砒鉄鉍を随伴する。これらのうち錫石は、一般に閃亜鉛鉍と共存するが、一部、閃亜鉛鉍を微細脈として切り、より後期の生成を示す。脈石鉍物は、菱鉄鉍及び石英である。

これらの細脈は、見掛の傾斜がほぼ一定の50°を示す事実から、平行脈であり、網状脈の可能性は少ないものと判断される。岩石薄片観察により、母岩は変質作用を被っていないことが確認されている。

(3) MJBC- 9

(イ) 調査結果：本孔は、約41~62m、85~89m、188~206m間に破碎帯を確認した。これらの破碎帯のうち188~206のものはオカピI断層の延長部に相当するものと判断される。本孔で確認された主な鉍化作用は、次のとおりである。

深度(m)	着鉍長(cm)	Sn(%)	Zn(%)	Pb(%)	Ag(g/t)
219.12~219.22	10	0.33	5.74	0.02	31

271.84~272.10	26	0.08	16.45	0.03	25
290.55~290.67	12	0.61	3.79	0.02	47
298.57~298.97	40	0.71	1.39	0.03	121
344.00~344.20	20	0.17	16.31	0.02	49
374.87~374.91	10	0.08	4.96	0.03	28
399.83~399.95	12	0.24	13.01	0.04	27

(ロ) 考察：これらの鉱脈の大部分は、着鉱長20cm以下の鉱脈である。鉱石鉱物としては、黄鉄鉱・磁硫鉄鉱を主体に鉄閃亜鉛鉱を普遍的に伴う。脈石鉱物は石英と緑泥石である。これらの鉱脈の一部には、鉱脈自体は、ほぼ鉱石鉱物のみから構成される安定した鉱脈もある。しかし、稼行対象になる規模及び品位の鉱脈は存在しない。これらの鉱脈には一部に縞状構造が認められるものの、大部分は塊状である。鏡下では、鉱石鉱物は、閃亜鉛鉱・黄鉄鉱・磁硫鉄鉱を主体に、微量の錫石・硫砒鉄鉱・磁鉄鉱などを随伴する。これらのうち、磁鉄鉱は、一般に破碎されており、黄銅鉱は閃亜鉛鉱中に析出している。錫石は、閃亜鉛鉱の縁辺部またはこれを切り、より後期の生成を示す。脈石鉱物は、石英が主体である。

これらの細脈は、1脈のみが不規則形態を示すのみで、他は見掛の傾斜がほぼ70~85°を示す事実から、平行脈であり、網状脈の可能性は少ないものと判断される。本孔では370m付近から孔底まで、著しい緑泥石化作用が母岩全体に認められ、岩石薄片観察でも確認されている。

(4) MJBC-10

(イ) 調査結果：本孔は、約159~164、266~277m間に破碎帯を確認した。鉱化作用は、278m以深で着鉱長数cm以下の細脈が普遍的に認められる。本孔で確認され鉱化作用は、鉱石分析結果表に示すとおりである。

(ロ) 考察：これらの鉱脈は、着鉱長3cm前後で、黄鉄鉱及び磁硫鉄鉱を主体に、鉄閃亜鉛鉱を普遍的に伴う。脈石鉱物は、菱鉄鉱・石英・緑泥石である。これらの鉱脈の一部には、鉱脈自体は、ほぼ鉱石鉱物のみから構成されている鉱脈もある。しかし、稼行対象になる規模の鉱脈は存在しない。鏡下では、鉱石鉱物は、閃亜鉛鉱・黄鉄鉱・磁硫鉄鉱を主体に、微量の白鉄鉱・硫砒鉄鉱・錫石・黄錫鉱・黄銅鉱などを随伴する。これらのうち、錫鉱物は、一般に微細な自型結晶を示す。脈石鉱物は、炭酸塩鉱物が主体である。

これらの細脈は、比較的集中して産する傾向があり、見掛上の傾斜が変化に富むことから、網状脈の可能性が高いものと判断される。本孔では、破碎帯に伴う粘土化作用の他に、鉱脈の賦存する範囲では普遍的に緑泥石化作用が母岩全体に認められる。



Fig. II-3-2 ボーリング地質断面図 (MJBC-4)

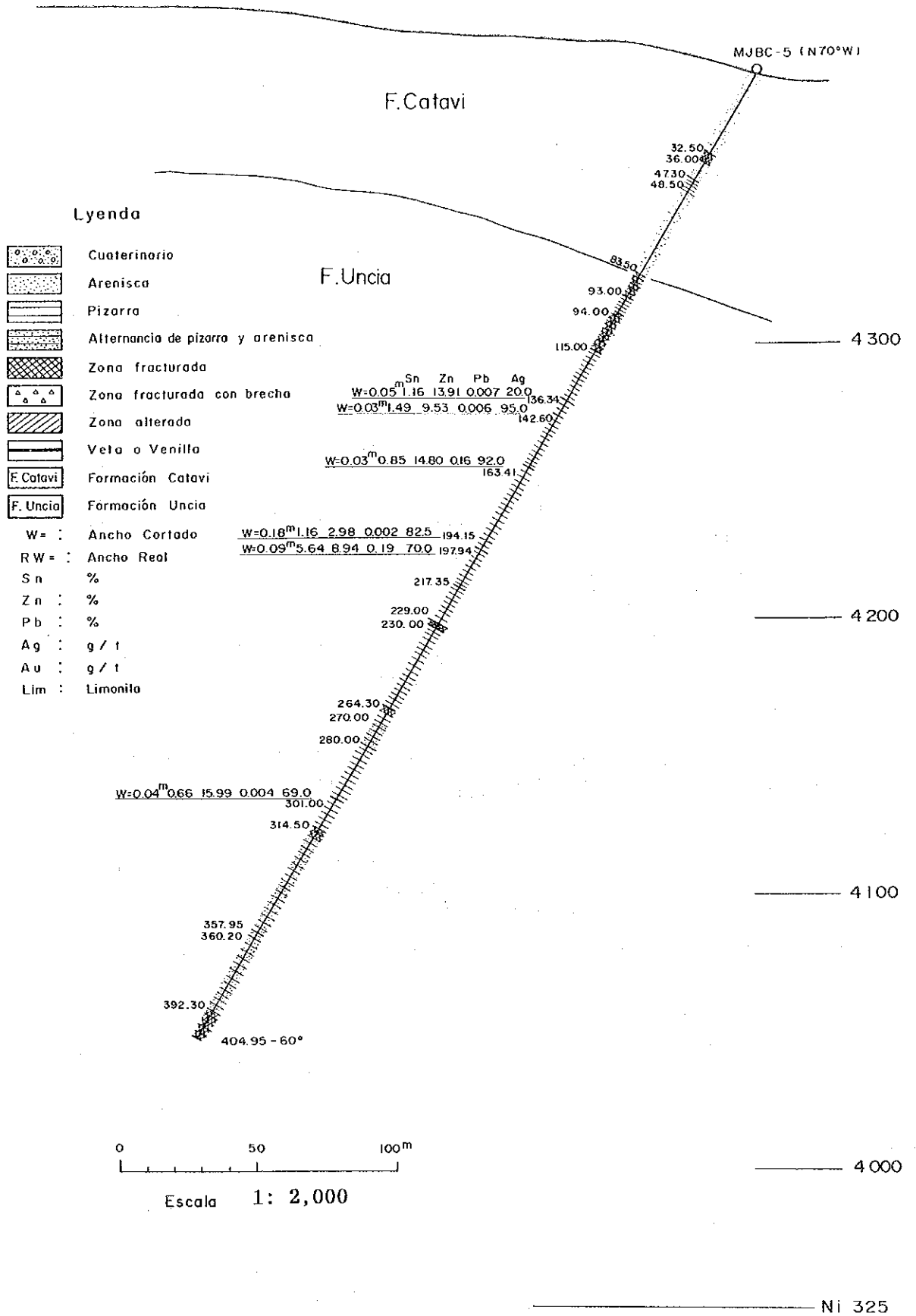


Fig. II-3-3 ボーリング地質断面図 (MJBC-5)

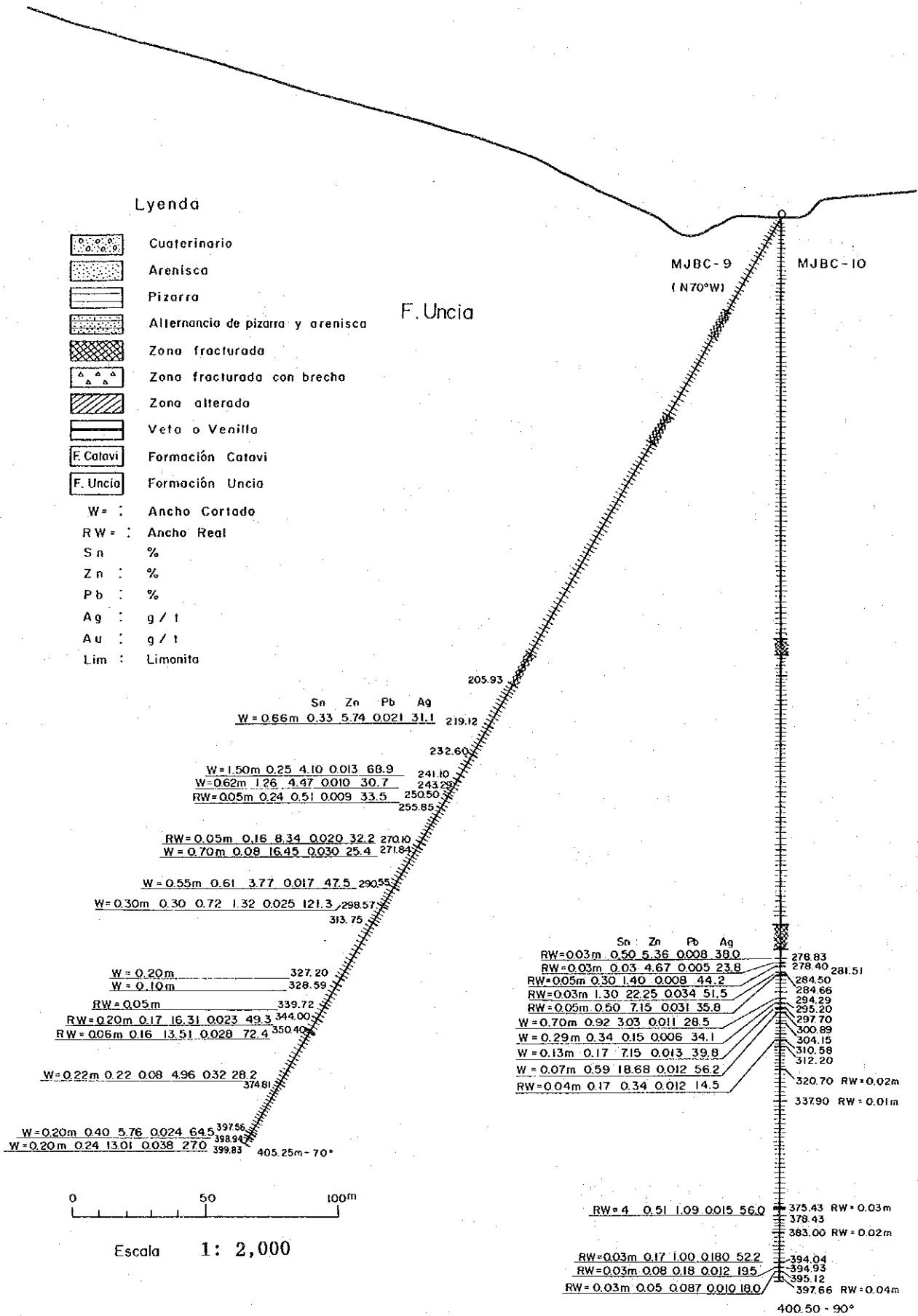


Fig. II-3-4 ボーリング地質断面図 (MJBC-9, 10)

以下にアルマス地区の鉱化・変質作用を総括する。

変質作用は、緑泥石化作用が顕著で、脈石鉱物としても緑泥石を普遍的に産する。

鉱脈の形態は、細脈～網状脈であり、稼行対象になる規模の鉱脈は確認されなかった。鉱石鉱物は、鉄閃亜鉛鉱が普遍的で、黄鉄鉱と磁硫鉄鉱がほぼ同量共存し微量の白鉄鉱・硫砒鉄鉱を随伴し、一部に磁鉄鉱を伴う。脈石鉱物は少量の石英・菱鉄鉱及び緑泥石である。

これらの鉱脈の産状は、地表部付近における鉱化作用に類似している。従って、当地区の鉱化作用は、広い範囲に及ぶものの、比較的まとまりのない小規模な鉱脈または網状脈による鉱化作用であるものと判断される。

3-3-2 オカビ地区

当地区には、MJBC- 3, 11の2孔が実施された。これらの2孔は、全てウンシア層から構成され、岩相は、前述のアルマス地区のものと同じである。但し、MJBC- 3では、約70mの細粒砂岩を確認している。また、MJBC-11では、頁岩中の砂岩薄層または、レンズに著しい“流れ褶曲”が認められるが、付近の頁岩の層理は乱れていない。

(1) MJBC- 3

(イ) 調査結果：本孔は、約39～45、72～86m間に破碎帯を確認した。これらはいずれも逸水現象を伴う。(以下、当地区では全て同じ。)また、72～86mの破碎帯は地表部で確認されている東-西系の大断層の延長部に相当するものと判断される。

本孔で確認された主な鉱化作用は、次のとおりである。

深度(m)	着鉱長(cm)	Sn(%)	Zn(%)	Pb(%)	Ag(g/t)
103.18～103.27	9	0.12	3.98	0.33	0
112.54～112.71	17	0.24	3.18	0.48	24
131.54～131.59	5	0.20	0.69	0.04	0
182.71～181.76	5	0.24	10.95	0.08	28
190.39～190.44	5	1.68	4.88	0.04	24
243.62～243.82	20	1.20	5.97	2.20	108
455.19～455.26	7	1.68	25.39	0.27	104
481.59～481.83	24	3.94	13.44	0.06	20

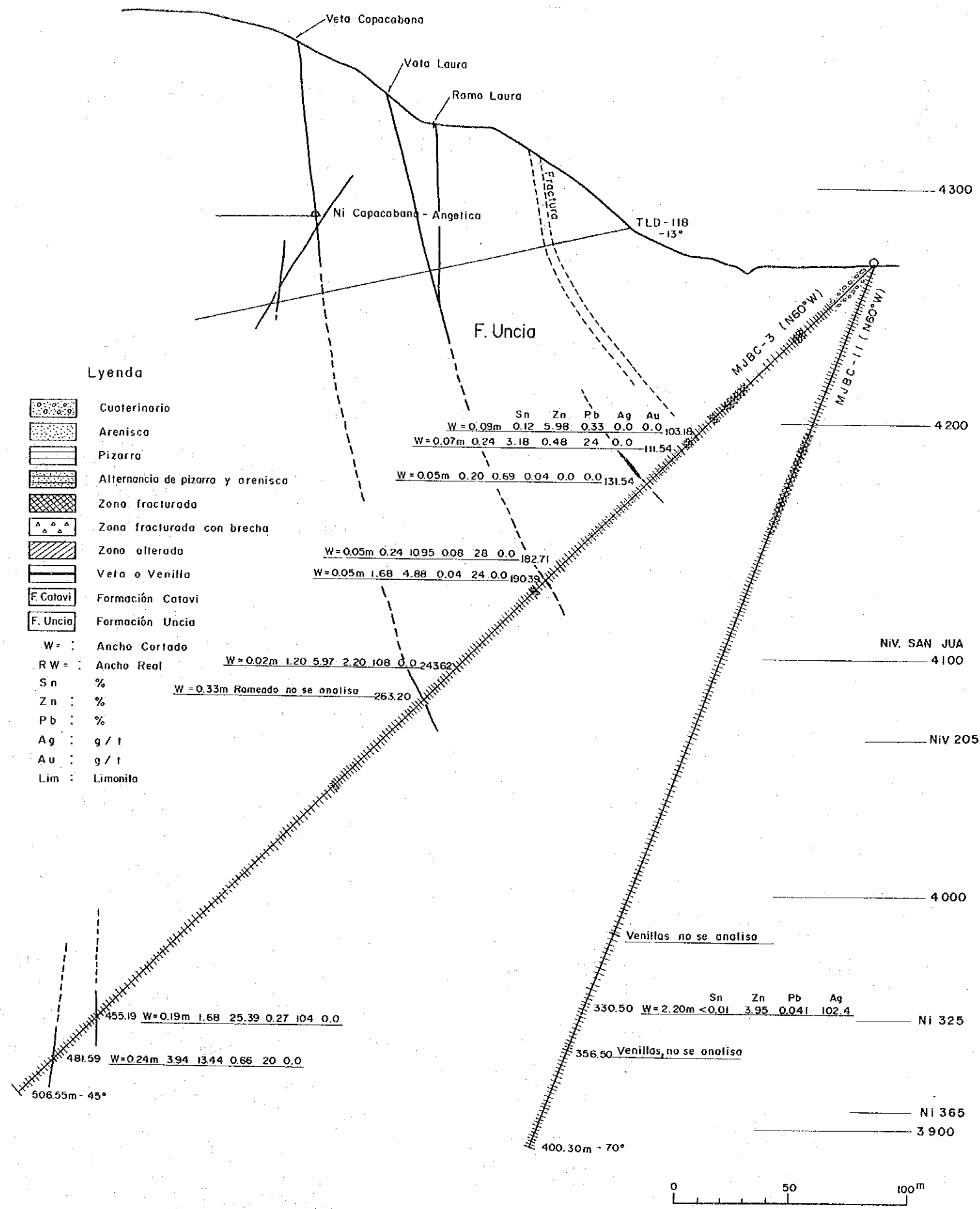


Fig. II-3-5 ボーリング地質断面図 (MJBC-3, 11)

0 50 100m
 Escala 1: 2,000
 -117~118-

