

えられる A, B グループと似た挙動をとるため、結論づけることは難かしい。

4-2-4 クラスタ分析

黒鉍型鉍床に関連する岩石群と非関連のものの区分あるいはそれらのもの同志で、さらに細分可能かどうかを調査する目的で、主成分分析の結果を用いてクラスタ分析を実施した。クラスタ分析とは、ある基準に基づき、この場合は類似の地化学特性をもつものを集めて分類する方法である。本調査で用いた基準は、第1～第6主成分スコアを用いて、それぞれの成分を軸とする6次元の空間での原点からのユークリッド距離の近接の程度である。クラスタ分析の結果は図4-13に樹形図で示した。これによれば、各試料とクラスタの関係が読みとれる。試料番号の前の英文字は、その試料が由来した地質区分（前項参照）である。

まず、102試料を10クラスタに分類したものに對し、採取位置により6区分された試料が、各クラスタにどのように配分されるかをみた。その結果いくつかのクラスタで特徴が見出された。重要と考えられるクラスタの各論は次のとおりである。

クラスタ2：これは19個の試料群を包括しており、この構成員すべてが黒鉍型鉍床と関連する試料群よりなっている。特に、La America-Descubridora 地区の鉍床層準の凝灰岩類の試料（14個中）7個が含まれる。したがって、黒鉍型鉍床と関連性が高く、それ以外とは関連性が薄い岩石の化学成分は本クラスタの平均的成分と考えることができる。そこで、主要クラスタ一間の平均的化学組成の比較を行ってみた（表4-12, 図4-14）。これによれば、本クラスタは他のクラスタおよび全岩の平均と比較して相対的に

(1) Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , BaO に乏しい

(2) MgO , CaO , LOI に富む

という特徴をもっている。本クラスタを構成する試料が黒鉍型鉍床と最も層位的に関連性が高い集団であることより、鉍床関連の変質を受け、 MgO , K_2O の増加、 CaO , Na_2O の減少が期待されたが、 MgO の挙動のみがこの傾向を満足させている。他の成分は、黒鉍型鉍床の一般的な変質が伴うような成分の増減が認められない。このことも本調査地域の黒鉍型鉍床の変質の特徴かもしれない。

クラスタ3：本クラスタには29試料が含まれる。このクラスタの特徴は鉍床関連と関連不明の試料が混合して含まれることと、La America-Descubridora 地区の上盤石英安山岩 (Kdc_2) が殆んど含まれないことである。特に、El Rubi 鉍床の上盤石英安山岩 (Kdc_2) からの試料（24個中）11個が含まれる。このことは、El Rubi 鉍床の場合は La America-Descubridora 鉍床と違って、黒鉍型鉍床と関連不明のものと類似の化学特性をもつケースが多いことを意味している。このクラスタの化学成分上の特徴（図4-14）は下記のとおりである。

Legend

- A: Hanging Wall Dacite (La America- Descubridora) (Kdc₂)
- B: Hanging Wall Dacite (El Rubi) (Kdc₂)
- C: I- Stage Dacite (Tdc₁)
- D: III- Stage Dacite (Tdc₃) and Dacite intercalated in IV-Stage Andesite (Tad₄)
- E: Ore Horizon Pyroclastics (Koh)
- F: Foot Wall Dacite (Kdc₁)

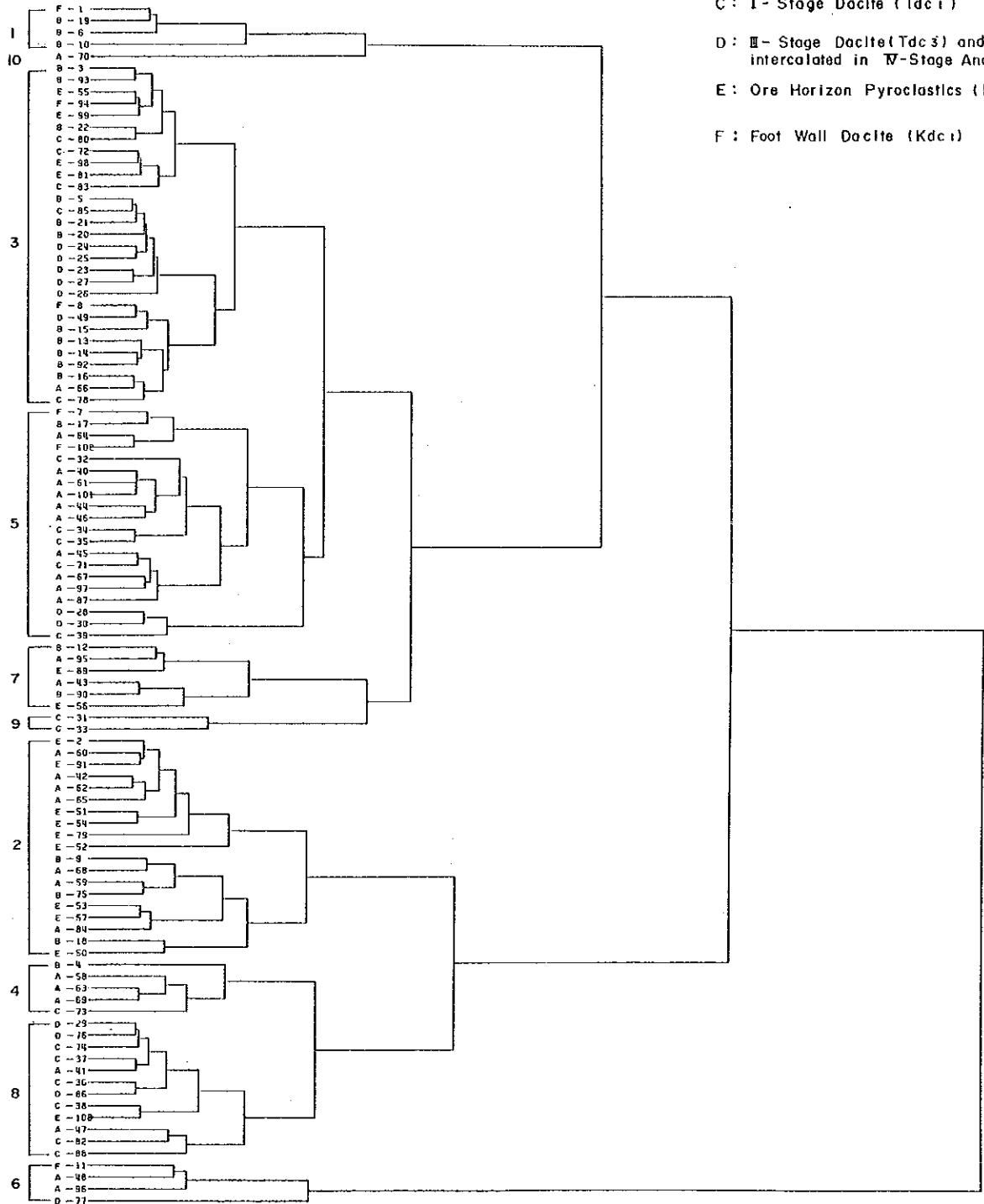


図 4-13 クラスタ樹形図

(1) TiO₂, FeO, MgO, P₂O₅, LOI に乏しく

(2) SiO₂, Na₂O に富む

SiO₂に富むことは、本クラスターの試料は珪化を受けていることが予想される反面、熱水変質に最も敏感と考えられるNa₂Oの減少が認められない。本クラスターの特徴としては、珪化を主体とする変質を蒙り、一般の黒鉍型鉍床の変質とはタイプを別けているかあるいは、弱い変質しか受けていない集団と結論づけられる。

表4-12 主要クラスターの平均組成

Composition	Cluster				Average of all rock
	2	3	5	8	
SiO ₂	77.48	79.70	76.30	76.31	78.40
TiO ₂	0.13	0.10	0.13	0.26	0.13
Al ₂ O ₃	9.74	10.36	11.71	10.73	9.86
Fe ₂ O ₃	0.55	0.83	1.22	1.72	0.84
FeO	1.32	0.32	0.31	0.52	0.49
MnO	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02
MgO	1.28	0.13	0.23	0.34	0.30
CaO	0.45	0.14	0.02	0.20	0.12
Na ₂ O	1.93	2.32	0.56	2.17	1.44
K ₂ O	1.45	3.75	4.46	4.07	2.66
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.19	0.05	0.02
LOI	2.25	1.11	2.49	1.51	1.61
BaO	0.09	0.13	0.14	0.11	0.09

クラスター5：鉍床関連のLa America-Descubridora地区の上盤石英安山岩(Kdc₂)と関連不明の石英安山岩類の複合からなる。この場合はクラスター3とは反対にEl Rubi 鉍床上盤石英安山岩(Kdc₂)からの試料は殆んど含まれず、La America-Descubridora地区の上盤石英安山岩(Kdc₂)とEl Rubi 鉍床上盤石英安山岩(Kdc₂)は岩石の化学成分上、互いに排他的な関連が強いといえる。本クラスターの成分上の特徴は

(1) SiO₂, FeO, MnO, CaO, Na₂O に乏しく

(2) Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, P₂O₅, LOI, BaO に富む

主要4クラスターのうち、本クラスターが、一般の黒鉍型鉍床の変質がもたらす成分の移動様式に最も近い。特に、Na₂Oの相対的減少、K₂Oの相対的増加が注目される。また、黒鉍型鉍

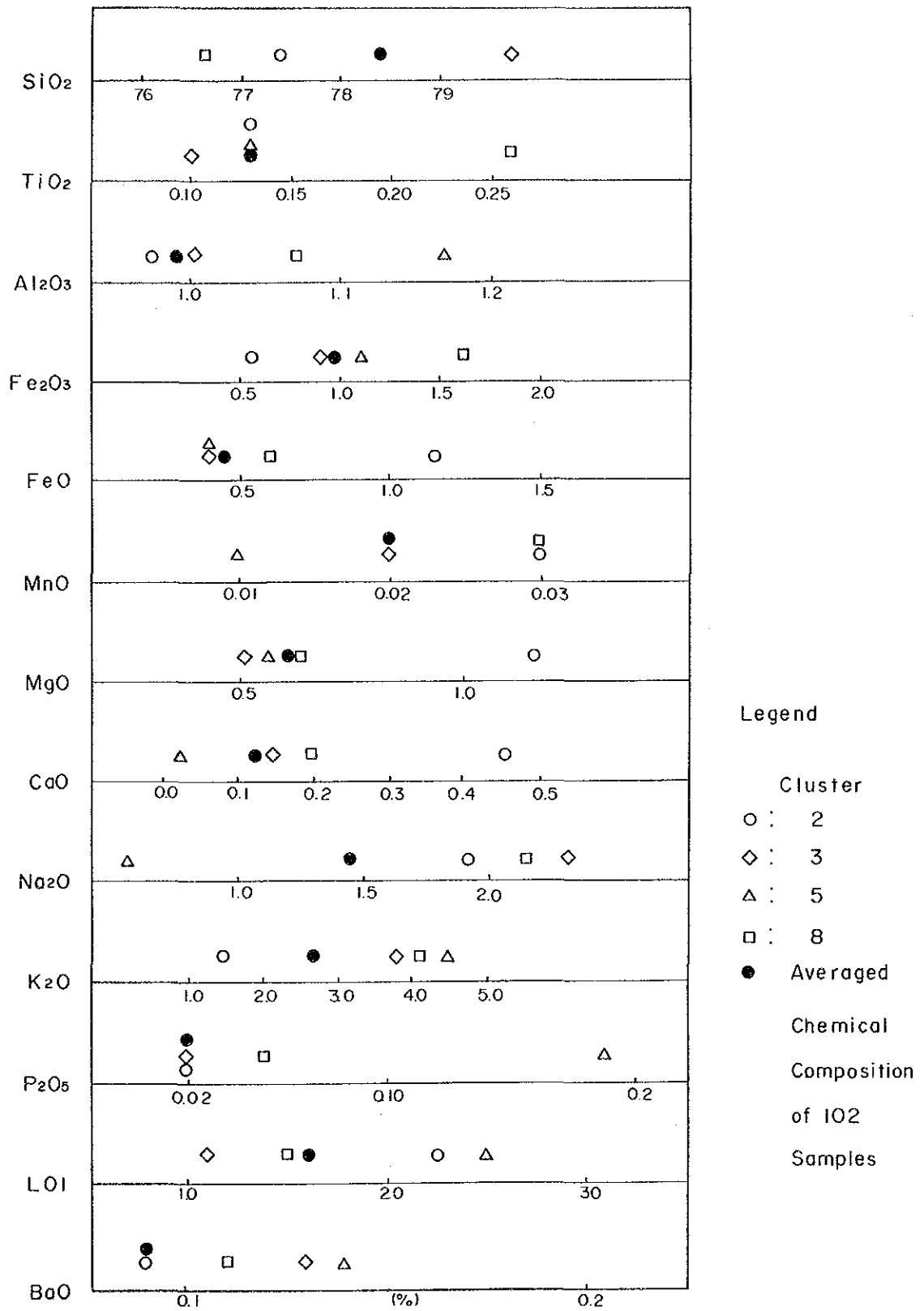


図 4-14 主要クラスターの化学組成の比較

床の脈石鉱物である重晶石の主成分の BaO も相対的増加が認められる。しかし、MgO については、相対的富化は不十分で、本クラスターを単純に黒鉍型変質を受けたクラスターと結論づけることにはためらいを与えるが、最も黒鉍型変質に近い。

クラスター 8：構成試料 12 個のうち 9 個が関連不明の試料からなり、3 個のみが黒鉍型鉍床の関連（上盤石英安山岩 Kdc₂, 鉍床層準凝灰岩類 Koh）である。関連不明の試料が支配的なクラスターと位置づけることができる。

成分上の特徴は

- (1) SiO₂ に乏しく
- (2) TiO₂, Fe₂O₃ に富む

程度で、とりたてて目立った成分の挙動を示さない。試料の変質程度は弱いと判断される。

以上の他、図 4-13 に示されるように、クラスター 1, 4, 6, 7, 9, 10 があるが、これらはいずれも少数からなる集団であり、全体の把握に及ぼす影響は少ないと判断される。試料の 80% は、上述の主要 4 クラスターに含まれる。

主成分分析のときと同様、下盤石英安山岩(Kdc₁)の帰属クラスターは特定できなかった。

以上、主要な 4 つのクラスターについてみてきたが、各クラスターを化学成分上から俊別することは難かしいが下記のような評価を与えることができる。

(1) La America-Descubridora 地区の上盤石英安山岩(Kdc₂)からの試料も個々のクラスター群に少数ずつ分配されるが、最も集中してくるクラスター（クラスター 5）が示す成分上の特徴は、これら主要 4 クラスターのうちでは黒鉍型変質の示す化学成分の挙動に最もよく似ている。この上盤石英安山岩(Kdc₂)の変質鉍物の生成状況も、本調査地域の他の地区と比較して最も広範囲にわたる絹雲母-緑泥石の生成が X 線回折により確認されており、この点でも黒鉍型変質に似る。

したがって、調査地域内では、最も黒鉍型変質の強い地区であると結論づけられる。

(2) El Rubi 鉍床の上盤石英安山岩(Kdc₂)からの試料も各クラスターに分配されるが、最も集中するクラスター 3 の化学組成上の特徴は前述のとおり、黒鉍型変質で最も敏感に反応する Na₂O の相対的減少も認められず、趣きを異にしている。蒙っている変質は全般的に弱いと結論づけられる。

(3) La America-Descubridora 地区の鉍床層準の凝灰岩類 (Koh) の多くは、既知鉍床との位置の関係からも黒鉍型変質を受けていると考えられるが、このものが集中するクラスター 2 の化学成分上の挙動は、この凝灰岩類を覆う上盤石英安山岩(Kdc₂)とは変質のタイプがかなり異っているようである。黒鉍型変質の示す成分の挙動は認められない。

(4) 黒鉍型鉍床とは関連未詳な試料は黒鉍型変質に最も類似するクラスター 5 に分配されるものは少なく、逆に、別タイプと考えられるクラスター 3 に集中する傾向が認められる。したがって、これらの石英安山岩(Tdc₁, Tdc₃他)は、黒鉍型鉍床に関連する岩石とする積極的な証拠に欠ける。

第 5 章 物理探査

第5章 物理探査

5-1 調査方法

5-1-1 測定方法

CSAMT法は、可聴周波数領域の電流を大地に流し、2箇所の電流電極を結んだ方向と平行な電界Eとそれに直交する磁界Hを測定し、地下の比抵抗分布を求める方法である。

CSAMT法の測定系(送信, 受信)の展開図を、図5-1に示す。

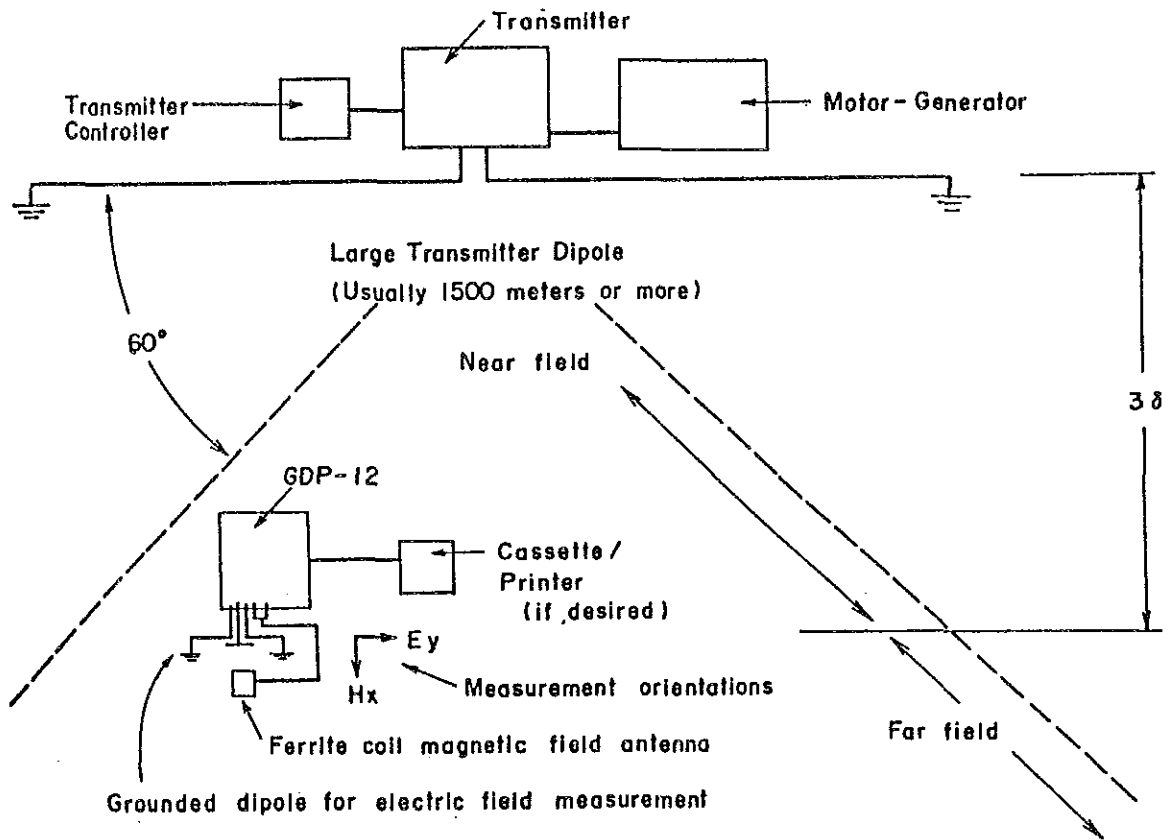


図5-1 CSAMT法の測定系の展開図

送信電流の周波数は、4096, 2048, 1024, 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4Hz の11周波数である。

電界と磁界の信号は、GDP-12受信機内で処理され、

- 1) 見掛比抵抗 (ρ_a)
- 2) 電界と磁界の位相差 (PD: Phase Difference)

として出力される。

図5-1に示したように、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 skin depth(表皮深度)の3倍以上(3δ : 普通5~10km)にする必要がある。skin depthは次式によって計算される。

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \dots\dots\dots (5-1)$$

δ : skin depth (m)

ρ : 比抵抗 (Ω -m)

f : 周波数 (Hz)

(5-1)式を用いて半無限均質媒質の場合の表皮深度と周波数、比抵抗との関係を表5-1に示す。この表で明らかのように、周波数が低いほど、また、媒質の比抵抗が高いほど表皮深度が

表5-1 表皮深度表

Remark : Skin Depth (m) = $503 \times \sqrt{\rho/f}$

RESISTIVITY IN OHM-METERS

		5	10	20	40	80	160	320	640	1,280	2,560		
<u>f Hz</u>												<u>f Hz</u>	
FREQUENCY	2048	25	35	50	70	99	141	199	281	398	562	2048	
	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	8,998	8	
	4	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	6,362	8,998	12,725	4	

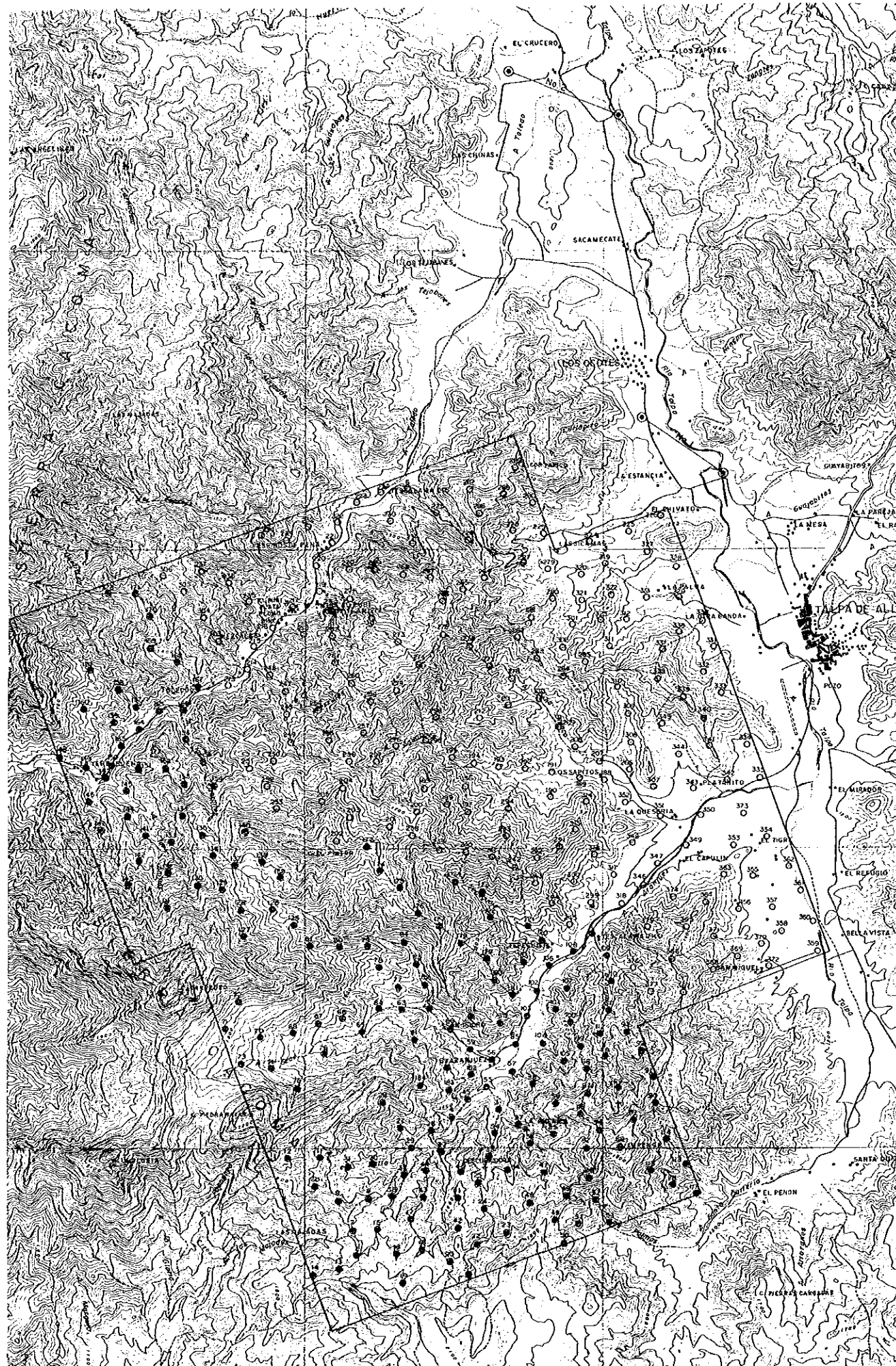
大きくなる。したがって、比抵抗が高いほど near-field の影響が強くなり、near-field のデータの表われる範囲が低周波数側から高周波数側へ移行する。

本地域では全般に比抵抗が高く、near-field の影響が強く現れる恐れがあったので、電流電極系を測定地域から 8 km 以上離れた。

別添第 7 図および図 5-2 に示すように、調査地域の北東方向に電流電極系 No.1, No.2 を設置した。

なお、電流電極系の座標などを表 5-2 に示す。

電流電極には多くの鉄棒を使用し、電流電極系の全抵抗が 30 Ω 以下となる様にした。また、



LEGEND

- CSAMT Station, No. by Transmitter Bipole No.1
- CSAMT Station, No. by Transmitter Bipole No.2

图5-2
测点位置图

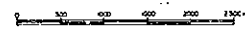


表 5-2 電流電極系データ一覧表

		No.1		No.2	
		X	Y	X	Y
位 置		10675	32212	8412	37975
		12025	31622	10262	37250
電 極 間 隔		1,670m		1,990m	
方 向	真 北	N55°W		N69°W	
	磁 北	N65°W		N79°W	
対応する測定点		1~4, 7~187		5~6, 188~377	
測 定 点 数		185		192	

S/N比を上げるため、各周波数における送信機の最大送信電流を2~17A（平均10A）とし、かつ、送信機の最大出力9.0kWを越えない範囲で使用した。

また、受信点での測定ではノイズの混入をさけるため自動車等の電導性の物体からは約60m以上、送電線からは約100m以上離すようにした。受信機システムの配置を図5-3に示す。電界の測定にはトランスミッター・バイポールと平行に25mずつ離して3個の銅-硫酸銅電極を接地し、また、磁界の測定には、高感度フェライトコアコイル・アンテナを電界ダイポール（電位電極）の中心から9m以上離し、電界ダイポールと直交する向きに設置した。

ρ_a-f 曲線図は周波数を横軸に、見掛け比抵抗値を縦軸に対数プロットしたものである。図5-4に ρ_a-f 曲線図の例を示す。

測定結果と地質との対応を考察するために、調査地域内の地質を代表する岩石および鉍石試料を17箇所採取した。試料をほぼ直方体に整形後、湿潤状態で、図5-5に示す測定系により比抵抗測定を実施した。比抵抗値は次式により算出した。

$$\rho = (V/I) \cdot (S/l) \dots\dots\dots (5-2)$$

ρ : 比抵抗値 ($\Omega \cdot m$)

V : 電位差 (V)

I : 電流値 (A)

S : 断面積 (m^2)

l : 長さ (m)

5-1-2 使用測定機器

測定に使用した装置、器材を表5-3に示す。

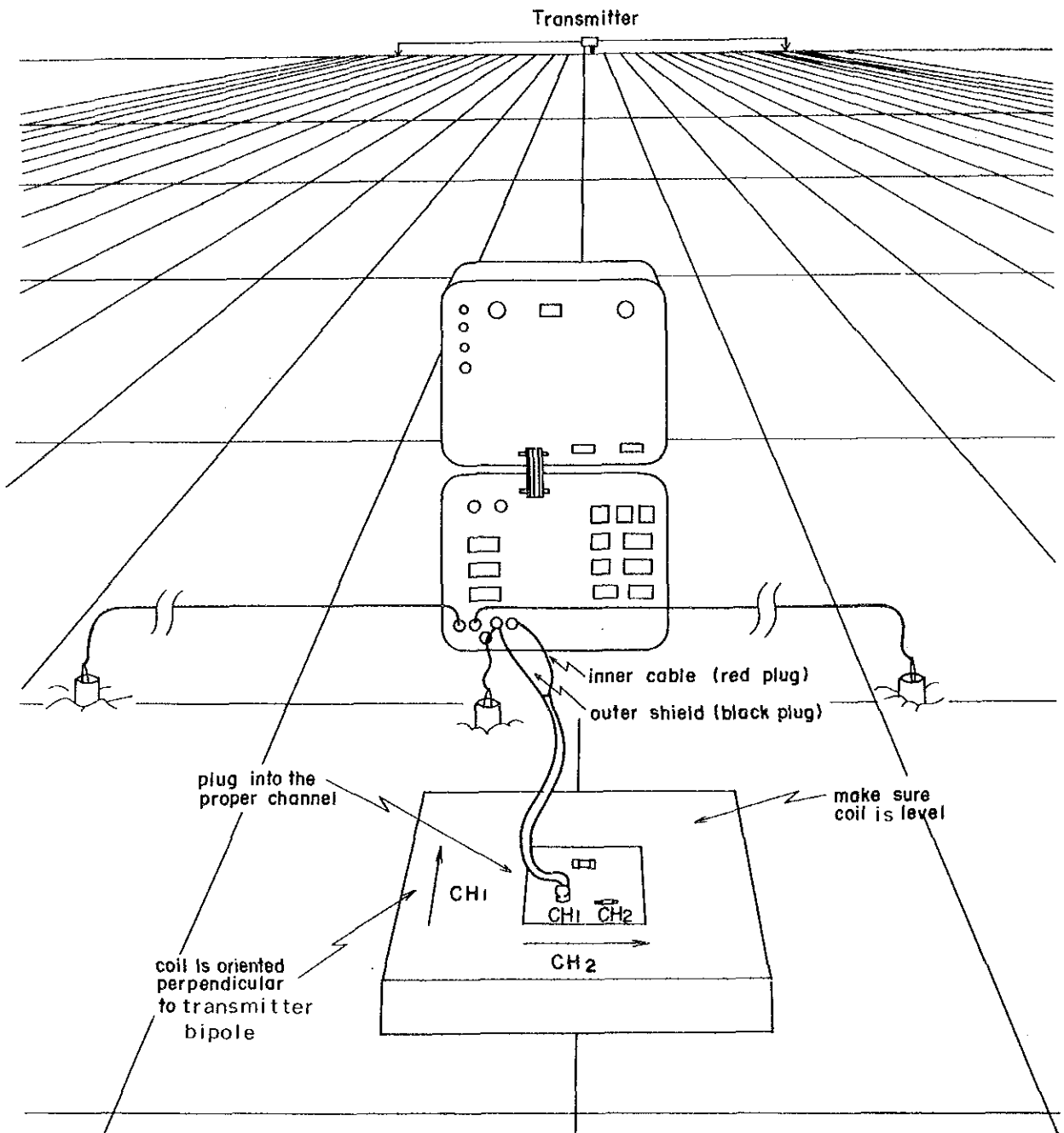


图 5 - 3 受信機測定配置图

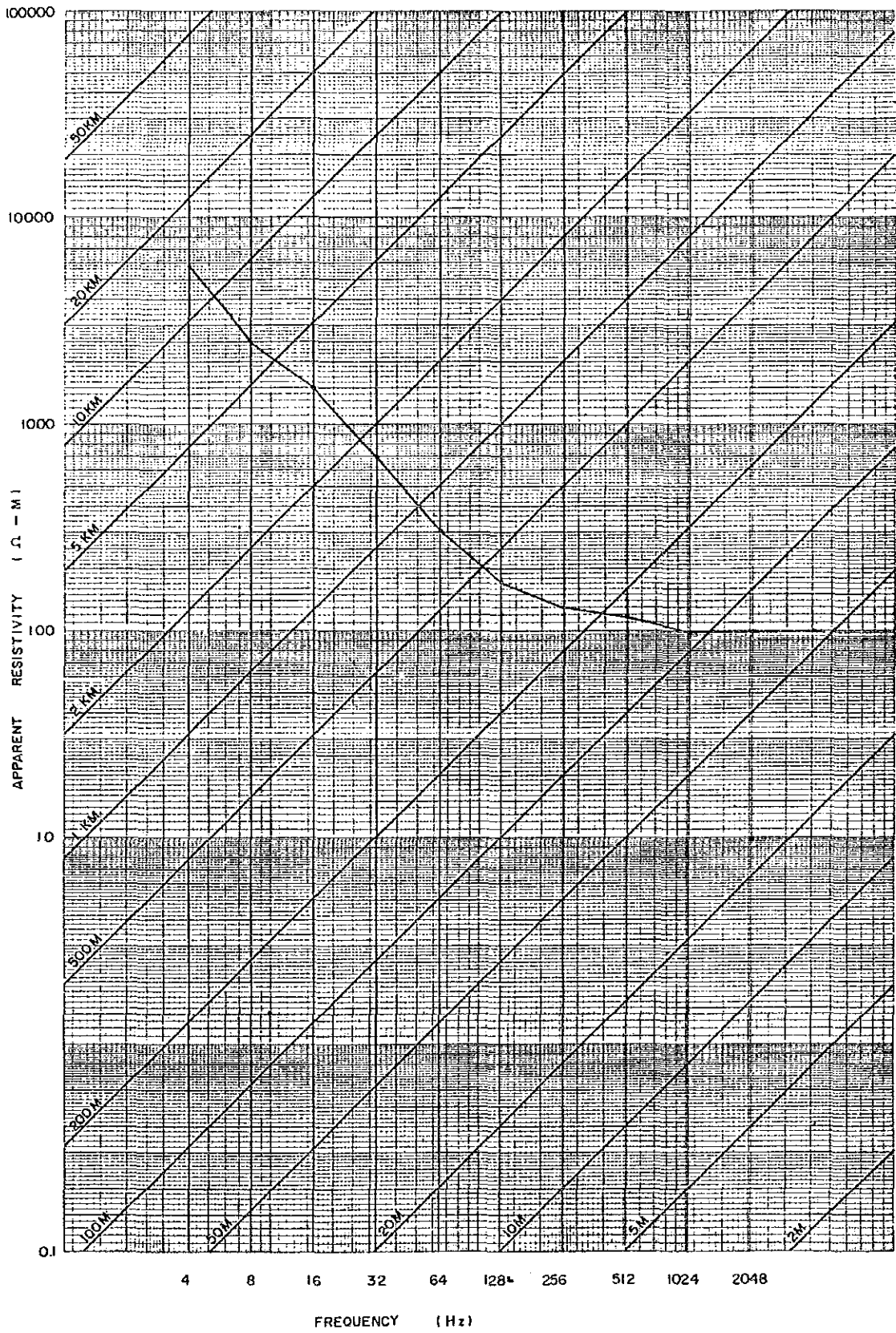
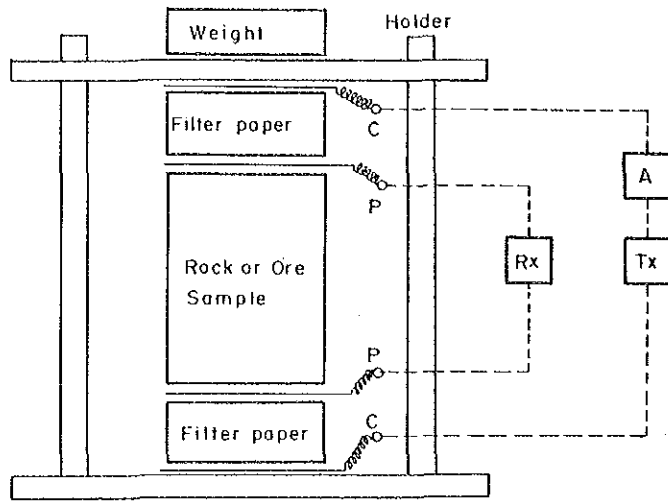


图 5-4 $\rho_a - f$ 曲线图



- Tx Transmitter
- Rx Receiver
- A Ampere meter

图 5-5 岩石比抵抗测定系

表 5 - 3 測定装置，器材一覧表

種 類	名 称	仕 様	数 量
送信機システム	ゾング社製 GGT-25型 トランスミッター	出力電圧：400~800V 出力電流：0.2~25A(9.0kW) 出力波形：矩形波 出力周波数：4Hz~4,096Hz 重 量：113kg	1台
	XMT-12型 送信制御器	制御周波数：4Hz~4,096Hz 重 量：5.8kg 電 源：12Vバッテリー	1台
	ZMG-10型発電機	最大出力：10kW 周 波 数：400Hz 定格電圧：115V エ ン ジ ン：23hp, 2気筒空冷	1台
	VR-1型電圧調節器	重 量：3.7kg	1台
受信機システム	GDP-12型	信号入力：2チャンネル AMT受信周波数：4~4,096Hz (11種類) 受信電圧感度：0.2μV 重 量：15kg 電 源：12Vバッテリー	1台
	CAP-12型 ミニカセット記録計	重 量：6.2kg 電 源：12Vバッテリー	1台
	テクトロニクス社 212型オシロスコープ	2チャンネル，端子用アダプター付 電 源：12Vバッテリー	1台
	AMT アンテナ	重 量：9.8kg 電 源：9Vトランジスタ・バッテリー	1台
電 極	電流電極	鉄 棒：φ16mm，長さ80cm	100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) 京三電線(株)	VSF×1.25mm ² ビニール電線 CVV ₁ ×3.5mm ² ビニール電線	1,000m 6,000m
	サンプル測定 システム	千葉電子研究所製 CH-8108A型 IP送信機	出力電流：1μA~20mA 出力波形：矩形波 出力周波数：0.3Hz, 3Hz
千葉電子研究所製 CH-8104R型 IP受信器		測定範囲：1次電位差1mV~10V	1台
白金電極		白金線 直径0.3mm	4ヶ

5-2 データ処理・解析方法

5-2-1 データ処理

電界と磁界の信号が電位ダイポール、コイルアンテナからGDP-12受信機に入力され、内部のマイクロプロセッサで計算された後、見掛比抵抗及び電界と磁界の位相差がGDP-12のディスプレイに表示される。次に測定、計算に使用されたすべてのデータ及び計算結果がCAP-12記録計により印字される。見掛比抵抗の計算式としては、通常のMT法で用いられている下記のCagniard(1953)の式が適用されている。

$$\rho_a = |E_x/H_y|^2 / (2\pi f \mu) \dots\dots\dots (5-3)$$

ここに E_x は電界(V/m)、 H_y は磁界(A·Turn/m)、 f は周波数(Hz)、 μ は真空中の透磁率($4\pi \times 10^{-7}$ H/m)である。したがって(5-3)式は次の(5-4)式のようになる。

$$\rho_a = 1.267 \times 10^5 / f \cdot |E_x/H_y|^2 \dots\dots\dots (5-4)$$

今回の測定では電界、磁界の単位として、それぞれ[mV/km],[Gamma]を用いたので、この場合の見掛比抵抗の計算式として次の(5-5)式を用いた。

$$\rho_a = 0.2 / f \cdot |E_x/H_y|^2 \dots\dots\dots (5-5)$$

付録10に添付した測定値一覧表には、各測定の電界、磁界、比抵抗、位相差の値を周波数ごとに平均して記載した。また、以後のデータ処理・解析にはこの値を使用した。そのため、表のRHOの値は表のEとHから(5-5)式で得られる見掛比抵抗値とは若干の差がある。

この見掛比抵抗値を用いて、各周波数ごとの見掛比抵抗平面図を作成した。ただし、4,096Hzのデータには、ノイズが多く含まれると判断されたので、以後のデータ処理、解析から除外した。

見掛比抵抗断面図は、平面図の主な比抵抗異常帯を通り、かつ、本地域の地質構造の走向にほぼ平行するA-A'、B-B'および走向にほぼ直交するC-C'、D-D'の計4断面とした。

断面図には、断面線に近い測点の見掛比抵抗値を周波数の高い方から順に上から下へ列記し、見掛比抵抗平面図と同様にコンターを描いた。見掛比抵抗値は、地下の表皮深度程度までの平均的比抵抗値を表わす。表皮深度は(5-1)式に示したように見掛比抵抗値と周波数の関数であるため、縦軸(周波数)と深度は相対的な関係にある。したがって、見掛比抵抗断面図は、地下における垂直的な比抵抗分布の概略を示す擬似断面図である。

5-2-2 解析方法

解析には、パーソナルコンピュータの画面上に実測値をプロットし、任意の比抵抗水平多層モデルによる比抵抗計算曲線を同じ画面上にかさね、実測値に近づくようにモデルを修正していくシミュレーション手法(カーブマッチング法)を使用した。図5-6にその一例を示す。シミュレーションに使用した比抵抗水平多層モデルの比抵抗の計算法を次に示す。

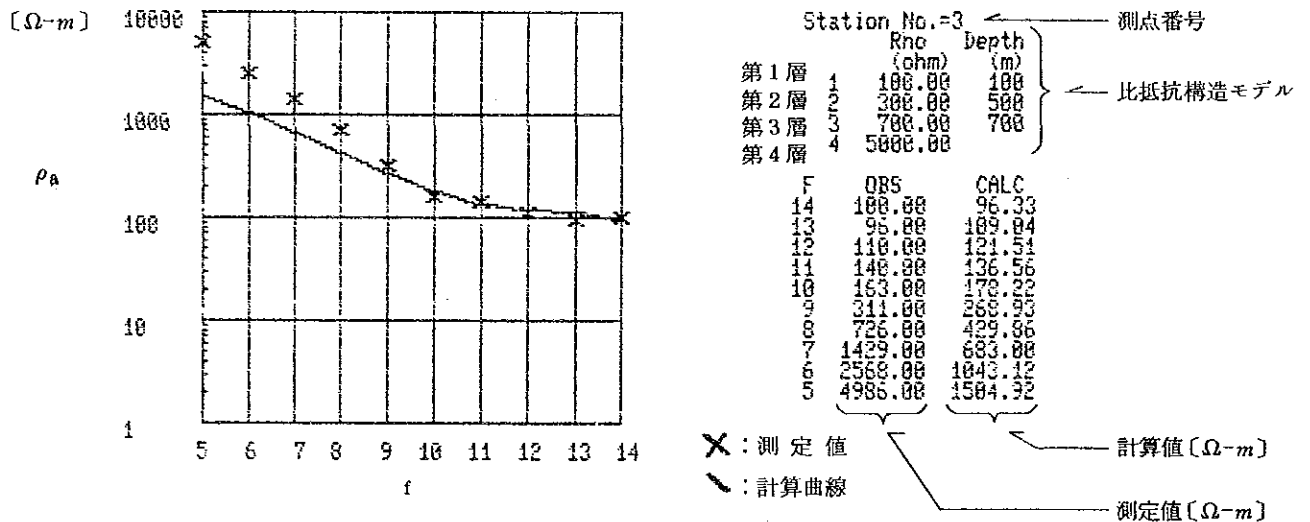


図5-6 解析曲線図

(注)

横軸 f では、周波数を番号で表示している。各番号と周波数の対応は下記のとおりである。

番号	周波数 (Hz)	番号	周波数 (Hz)
14	2048	9	64
13	1024	8	32
12	516	7	16
11	256	6	8
10	128	5	4

(n+1)層水平多層構造(各層の比抵抗値が $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n, \rho_{n+1}$, 各層の境界面の深度が Z_1, Z_2, \dots, Z_n)に対する表面インピーダンス ($Z(0)$) は、次式で表わされる。

$$Z(0) = \frac{E_x}{H_y} \Big|_{z=0} = \frac{i\omega(\Lambda_0 + B_0)}{\partial_z(\Lambda_0 - B_0)} \dots\dots\dots (5-6)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} A_0 + B_0 &= A_1 + B_1 \\ \theta_0 (A_0 - B_0) &= \theta_1 (A_1 + B_1) \end{aligned} \right\} (5-7)$$

$$\left. \begin{aligned} A_j \exp(-\theta_j Z_j) + B_j \exp(\theta_{j+1} Z_j) \\ &= A_{j+1} \exp(-\theta_{j+1} Z_j) + B_{j+1} \exp(\theta_{j+1} Z_j) \\ \theta_j [A_j \exp(-\theta_j Z_j) - B_j \exp(\theta_j Z_j)] \\ &= \theta_{j+1} [A_{j+1} \exp(-\theta_{j+1} Z_j) - B_{j+1} \exp(\theta_{j+1} Z_j)] \\ &\quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \right\} (5-8)$$

$$\left. \begin{aligned} A_n &= \frac{\theta_{n+1} + \theta_n}{2\theta_n} \exp[-(\theta_{n+1} - \theta_n) Z_n] \\ B_n &= \frac{\theta_{n+1} - \theta_n}{2\theta_n} \exp[-(\theta_{n+1} + \theta_n) Z_n] \end{aligned} \right\} (5-9)$$

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

$$\rho_a = 2/f \times |Z_{(0)}|^2 \text{ [e.m.u]} \quad (5-10)$$

よって、(5-6)~(5-9) および (5-10) 式より、見掛比抵抗 ρ_a が求まる。 ρ_a の単位を ($\Omega\text{-m}$) とする場合の表現式は次式となる。

$$\rho_a = 2/f \times |Z_{(0)}|^2 / 10^{11} [\Omega\text{-m}] \quad (5-11)$$

なお、比抵抗多層モデルを考えるにあたり、Bostic Inversion で得られた結果を参考にした。また、今回の測定の $\rho_a - f$ 曲線の多くには、図5-7に見られるように far-field(F), transition-zone(T) と near-field(N) の3つのモードが表われている。near-field データは、 $\rho_a - f$ 曲線の低周波数側にあつておよそ -45° の勾配の直線となる。

また、参考のため、2層構造モデルによる $\rho_a - f$ 曲線の特徴を図5-8に示す。これによると第2層が高比抵抗の場合、near-field と共に transition-zone が表われている。

このことから、今回の解析では、near-field および transition-zone を含むデータについてシミュレーションを行う際に、最下層に高比抵抗層を持つモデルを仮定し、さらに図5-7に示すように計算曲線が transition-zone では実測値の上方を、near-field では下方を通るようにカーブマッチングを行った。

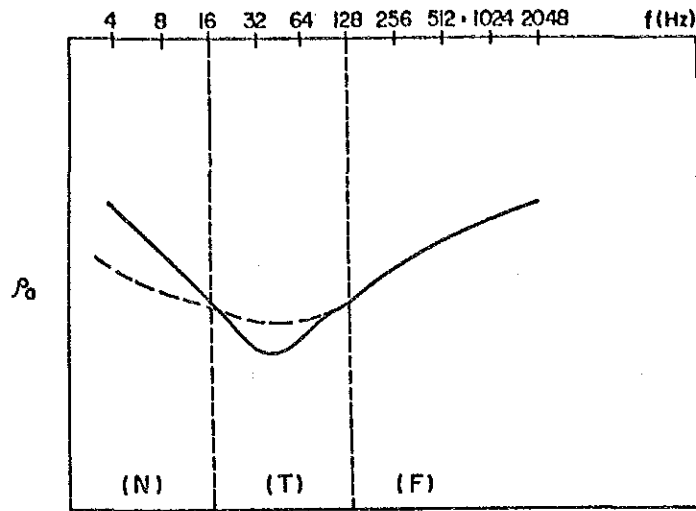


図 5-7 模式的な $\rho_a - f$ 曲線図

- (F) : far-field data
- (T) : transition-zone
- (N) : near-field data

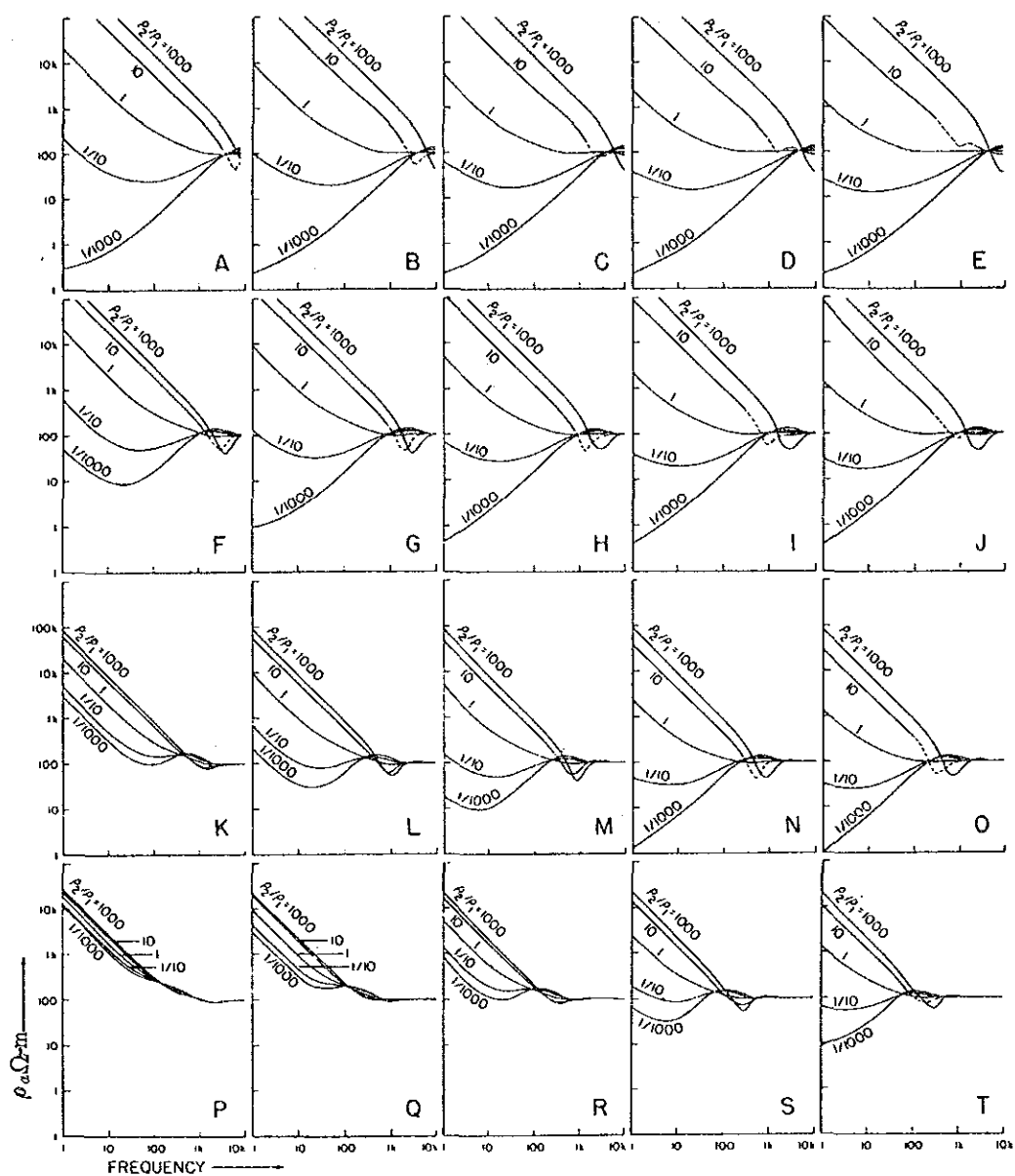
The dashed line give the Calculated Curve

(Zonge, Inc. Interpretation Guide for CSAMT Data, 1982)

シミュレーションで得られた各測点ごとの水平多層比抵抗モデルを基に、比抵抗構造平面図を作成した。これらの図は各測点の地表面からそれぞれ 100 m, 200 m, 400 m, 800 m の深度における地下の比抵抗構造を平面図に表したものである。

比抵抗構造断面図は見掛比抵抗断面と同じ断面線を用い、シミュレーション解析で得られた水平多層比抵抗モデルを地表面からの深度でプロットし、更に同程度の比抵抗値を持つ多層モデルを結んで、地下の比抵抗構造を表したものである。

A-A', B-B', C-C', D-D' の各断面図には、上から順に見掛比抵抗断面図、比抵抗構造断面図、地質断面図をそれぞれ示した。



D	R = 500 m	750 m	1,000 m	1,500 m	2,000 m
50 m	A	B	C	D	E
125 m	F	G	H	I	J
250 m	K	L	M	N	O
500 m	P	Q	R	S	T

ρ_1, ρ_2 は第1層, 第2層の比抵抗値。 $\rho_1 = 100 \Omega - m$ の場合の計算曲線。R は送信ダイポールと受信点の距離。D は第1層の厚さ。

(Goldstein & Strangway, 1975 による。)

図5-8 2層構造モデルの $\rho_a - f$ 曲線集

5-3 調査結果および解析結果

5-3-1 調査結果

各測点の測定値一覧表および見掛比抵抗異常帯と地質の対比表をそれぞれ付録 10, 11 に示す。

(1) 見掛比抵抗平面図

見掛比抵抗平面図を別添第 8 図～第 18 図(1/25,000)および図 5-9～図 5-12 に示す。また、物理探査地域の地質図を図 5-13 に示す。図 5-9(2,048Hz)は、地表および地下浅所の情報を得るために適当と考えられるので本図に見掛比抵抗低異常帯を L1～L22 で示し、見掛比抵抗高異常帯を H1～H15 で示した。また、見掛比抵抗異常帯を次のように区分した。

見掛比抵抗低異常帯： 200 Ω -m 以下 (以下低異常帯という)

見掛比抵抗中異常帯： 200～2,000 Ω -m

見掛比抵抗高異常帯： 2,000 Ω -m 以上 (以下高異常帯という)

見掛比抵抗の分布形態は次のように特徴づけられる。

- 低異常帯は地域東部から南西部の La America-Descubridora 旧坑周辺および地域北部の El Rubi 鉱床周辺に分布する。
- 地域北部から北西部にかけて高異常帯が分布する。
- 地域中央部には主に中～高異常帯が分布し、低異常帯は小規模である。

これらの異常帯を地域別に東部、南部、中央部、北部と区分し、それぞれの特徴について述べる。

- 地域東部では、L7～L12, L20, L21 など多数の低異常帯が分布する。低異常帯は低周波数になるに従い、衰微し、また、地形の平地に多く分布する。これら低異常帯は第四系(Q) および南部山地から延びる第三系の砂岩層(Ts s₁)に認められる。
- 地域南部では、H2中～高異常帯を取巻くようにL1～L6低異常帯が分布する。L2～L6低異常帯は、低周波数になるに従い高異常帯に漸移するが、L1低異常帯は分布範囲の広がる傾向を示す。H2中～高異常帯は、ほぼ東西に分布し、深部では東西系のもとL5低異常帯を取り囲むものとは分離する。L2中～高異常帯は、上盤石英安山岩(Kdca)、凝灰岩類(Koh)の分布と調和的で、既知鉱床の La America および Descubridora はこの北縁と西縁に位置する。L1, L4, L5の各低異常帯は、H2中～高異常帯の西側から北側に沿って北東に帯状分布する。

L2, L3低異常帯はH2中～高異常帯の南縁および東縁に分布し、いずれも砂岩層(Ts s₁)に対応する。

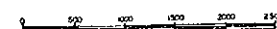
- 地域中央部には、大規模な低異常帯はない。L15, L22低異常帯は極く小規模である。L13低異常帯は、Cerro El Pintor 山塊に分布する安山岩貫入岩(Ad₁)と砂岩層(Ts s₁)の境界部に位置している。L15低異常帯は小規模であるが、深部ではL19低異常帯に一連する。

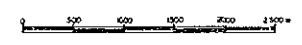
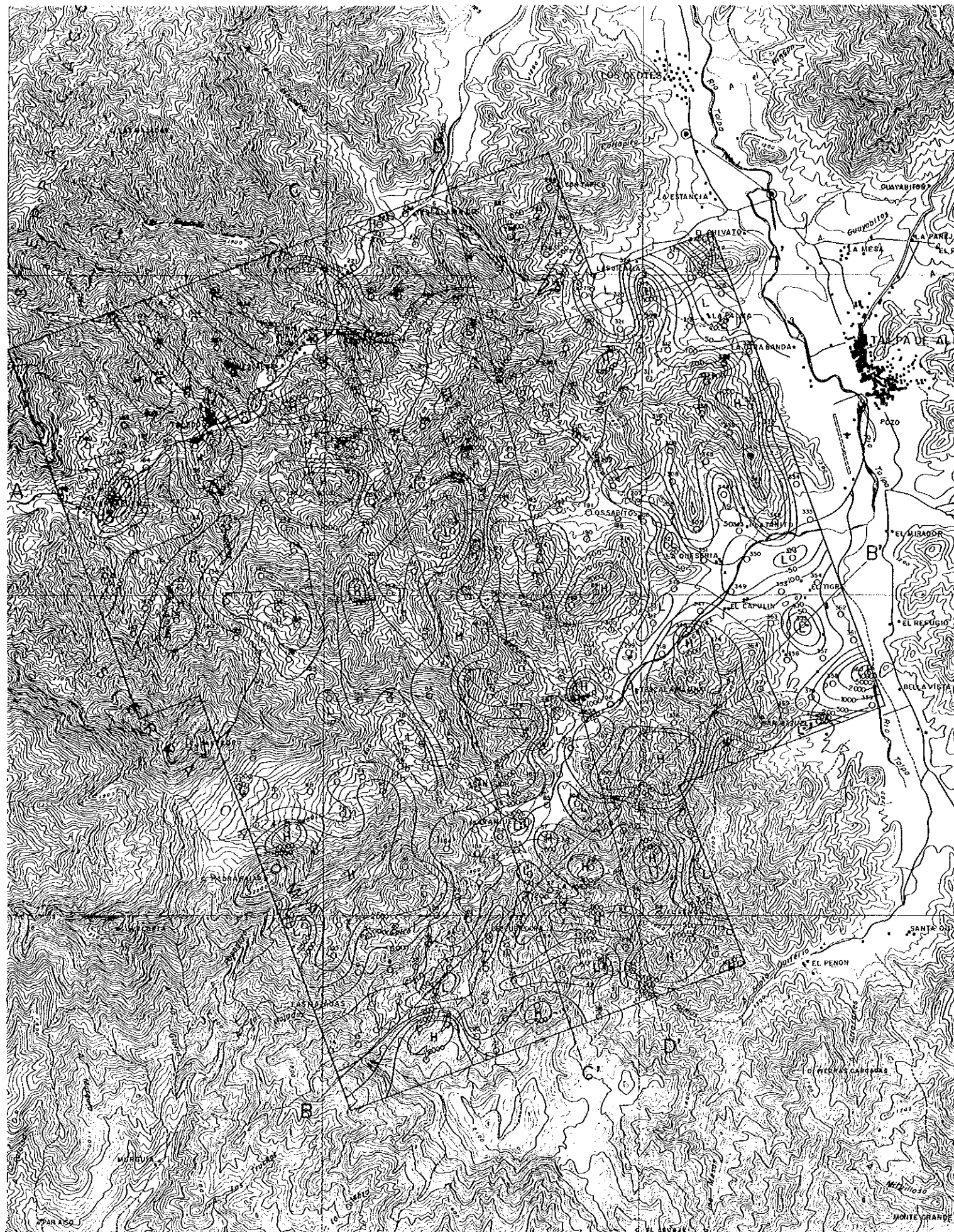


LEGEND

- 377 O Station Point, No.
- ⊖—⊕ Transmitter Dipole
- 100 Contour of Apparent Resistivity ($\Omega\text{-m}$)
- L.3 Low Resistivity Anomaly, No.
- H.4 High Resistivity Anomaly, No.

図5-9
見掛比抵抗平面図(2048Hz)





LEGEND

- 377
○ Station Point, No.
- ⊖—⊖ Transmitter Bipole
- Contour of Apparent Resistivity ($\Omega\text{-m}$)

图 5-10
見掛比抵抗平面图 (1024Hz)



LEGEND

- 377 Station Point, No.
- Transmitter Dipole
- 100 Contour of Apparent Resistivity (Ω -m)

图5-11
見掛比抵抗平面図 (512Hz)





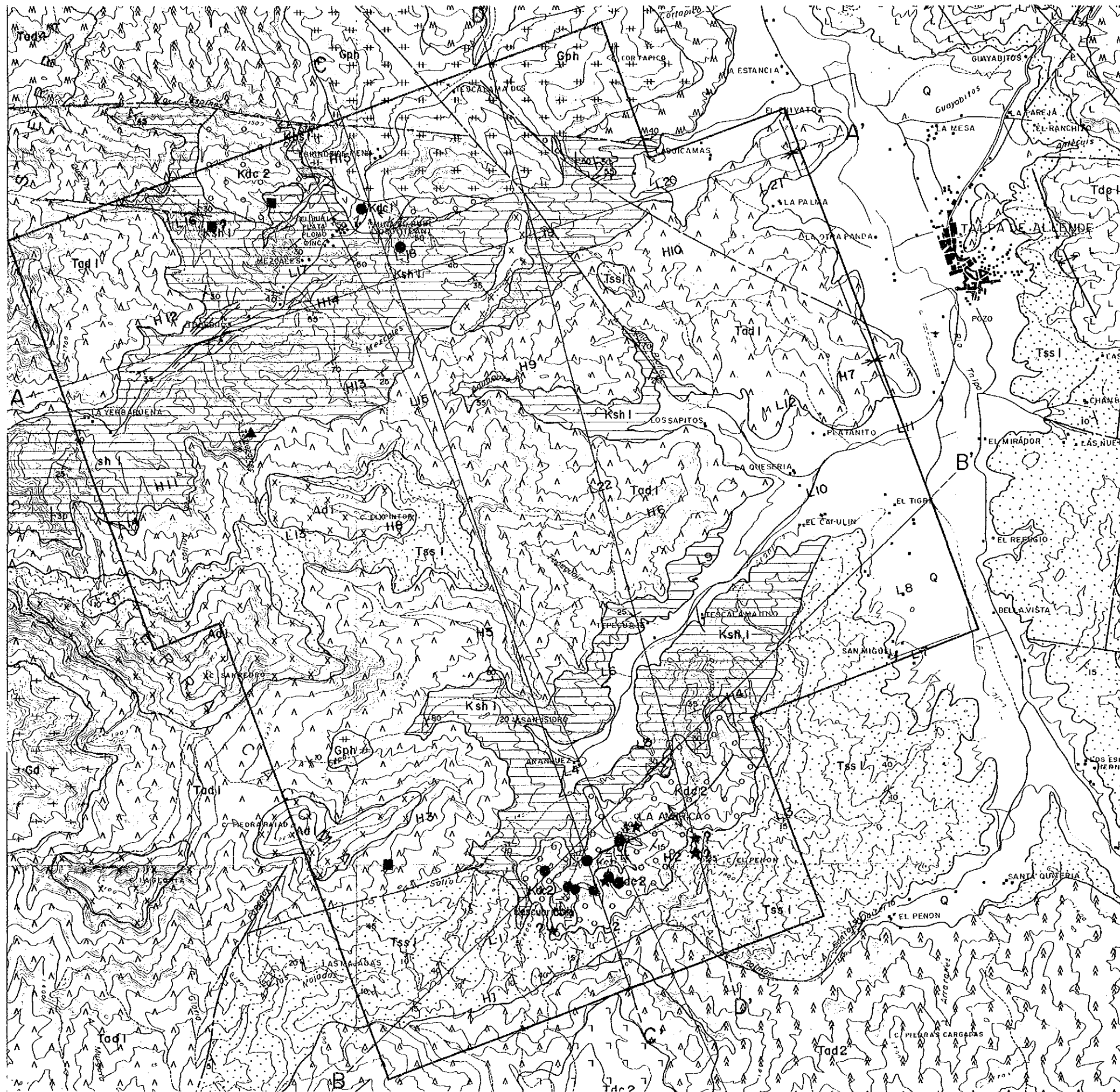
LEGEND

- Station Point, No
- ⊖—⊕ Transmitter Dipole
- Contour of Apparent Resistivity ($\Omega\text{-m}$)

图 5-12

見掛比抵抗平面图 (256 Hz)





LEGEND

- Kuroko-type Deposit
- ▲ Xenothermal Deposit
- ☆ Gold-Silver-Quartz Vein Deposit
- ★ Gold-Silver-Lead-Zinc Vein Deposit
- Lead-Zinc Vein Deposit
- ⊙ Pyrite Dissemination
- L3 Low Resistivity Anomaly, No.
- H4 High Resistivity Anomaly, No.

图5-13

物理探查地域地质图

・地域北部では、El Rubi 鉱床北側の H15 高異常帯と Toledo 付近の H12 高異常帯が顕著である。H15 高異常帯は調査地域内で最も高い見掛比抵抗値を示し、深部では H11~H14 の各高異常帯を包含する。H15 高異常帯と、地表に分布する文象斑岩 (Gph) とは良い対応を示す。El Rubi 鉱床の上盤石英安山岩 (Kdc₂)、下盤石英安山岩 (Kdc₁) は、この異常帯の南縁に分布する。L16~L19 の各低異常帯は H15 高異常帯の縁辺に認められる。L16 低異常帯は 2,048Hz では、500 Ω -m 以下の中位比抵抗値を示すが、512Hz では、200 Ω -m 以下の小規模低異常帯となっている。

L18 低異常帯は、Ocotitlan 旧坑付近から南西に延びる浅所の異常帯である。L19 低異常帯は深部に延び、L15 低異常帯と連続する。また、この低異常帯の方向は安山岩貫入岩 (Ad₁) の方向とほぼ一致する。

見掛比抵抗平面図から鉱床探査上注目される低異常帯は、分布規模、深部への発展性、地表地質などを考慮すると La America-Descubridora 鉱床周辺の L1, L2, L4, L5 および El Rubi 鉱床周辺の L16, L18 の各低異常帯である。

(2) 見掛比抵抗断面図

見掛比抵抗断面図を別添第 23 図~第 26 図および図 5-14~図 5-17 に示す。以下に 2,048 Hz, 1,024 Hz を浅所、512 Hz~4 Hz を深部と仮定して各断面の見掛比抵抗分布の特徴について述べる。

・ A - A' 断面

Toledo 付近の H12, Mezcales 沢付近の H14 各高異常帯は、深部では一つの高異常帯を形成する。C - C' 断面との交点付近の浅い L18 低異常帯は Ocotitlan 旧坑の鉱徴と考えられ、深部への連続性に乏しい。L19, L20, L21 の低異常帯は深部まで連続する。

・ B - B' 断面

L1 低異常帯は浅所から深部まで連続し、その中間に 20 Ω -m の極めて低い部分が認められる。Descubridora 旧坑は、L1 低異常帯の東縁に、La America 旧坑は、L1 と L5 低異常帯の中間に位置する。H4 高異常帯は、深部に広がりをもって、いわゆる隆起状構造を呈し、深部においては、あたかも L5 低異常帯を包含するよう見られるが、これは平面図で、環状に包むことと一致している。L8 低異常帯は、比較的深部まで連続する。

・ C - C' 断面

L18 低異常帯は、浅所で顕著であるが深部への連続性に乏しく、すぐ南側に中位比抵抗

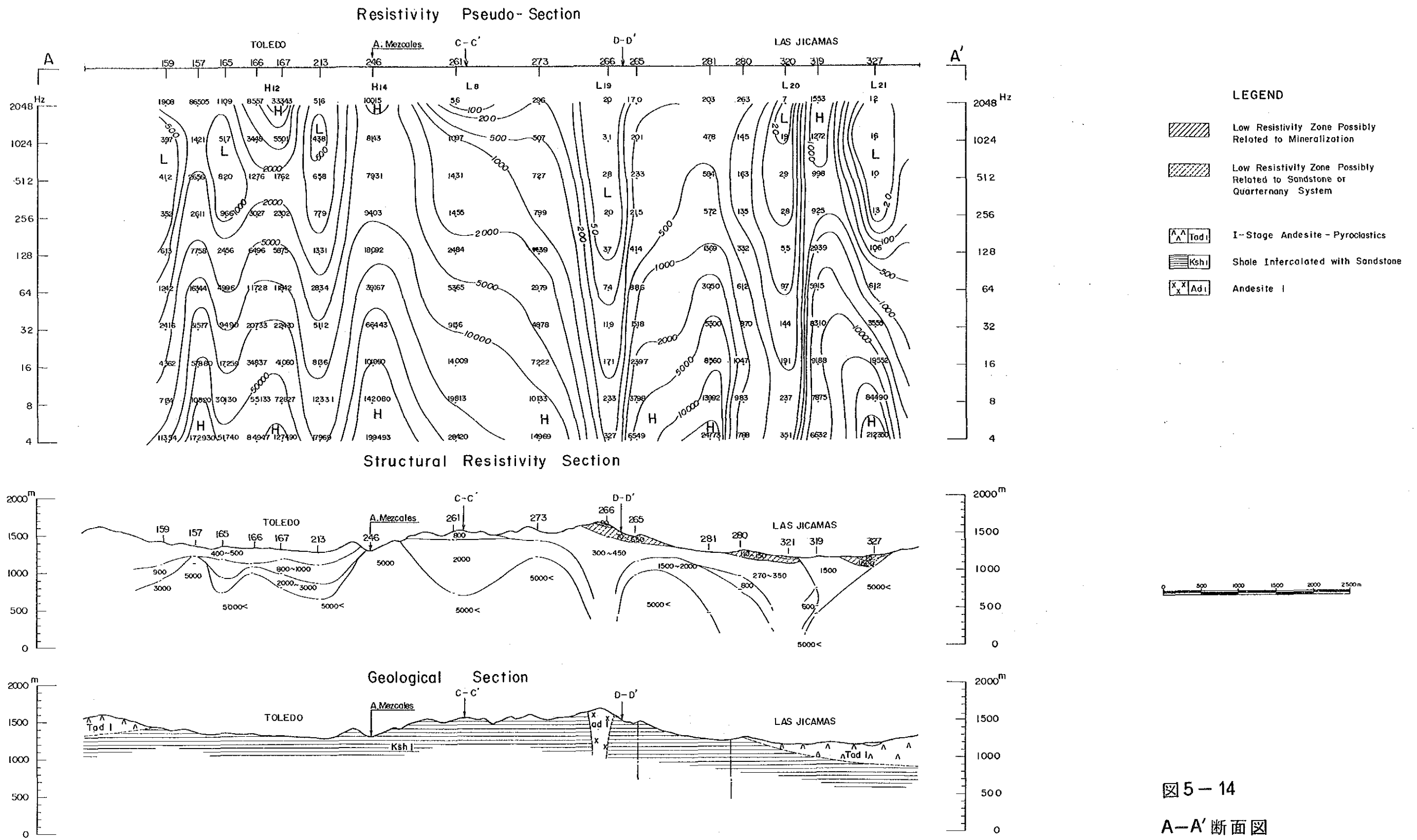


图 5-14

A-A' 断面图

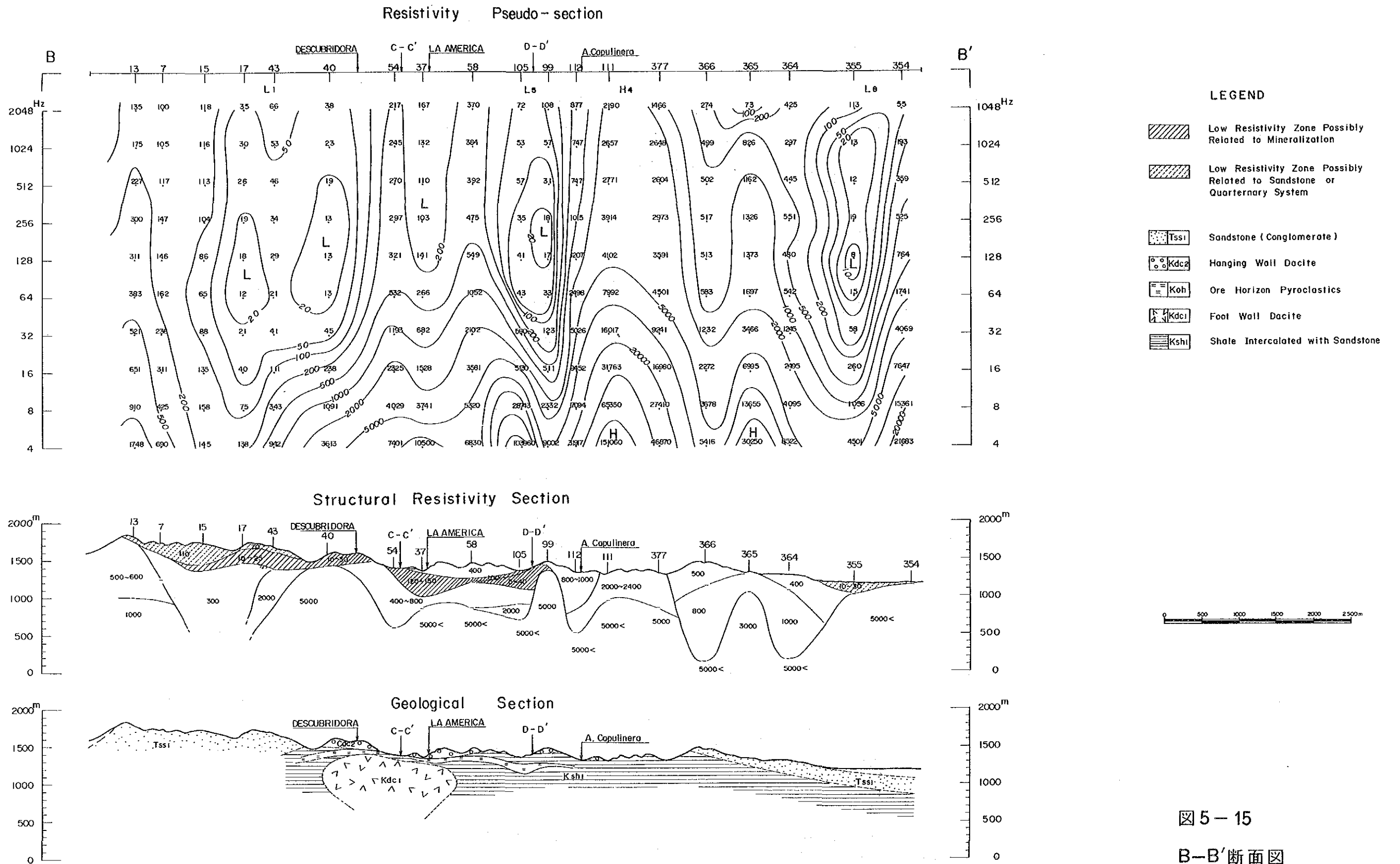
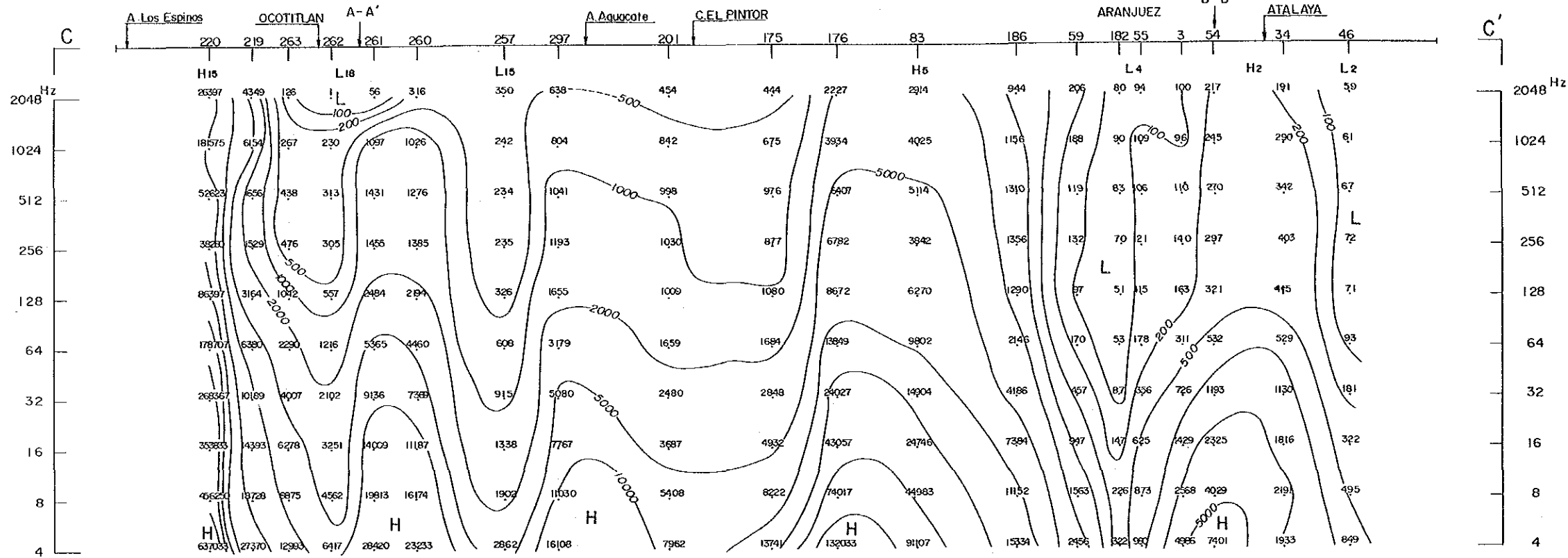


图 5-15
B-B' 断面图

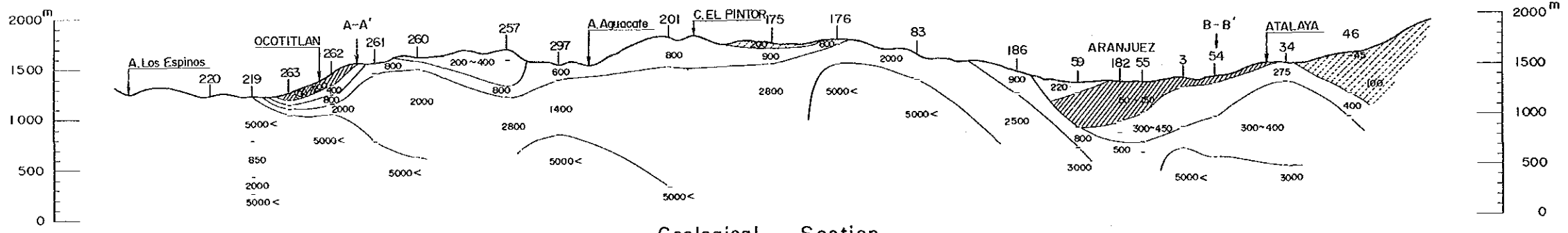
Resistivity Pseudo-Section



LEGEND

- Low Resistivity Zone Possibly Related to Mineralization
- Low Resistivity Zone Possibly Related to Sandstone or Quaternary System
- II-Stage Andesite Pyroclastics
- Sandstone (Conglomerate)
- I-Stage Andesite Pyroclastics
- Hanging Wall Dacite
- Ore Horizon Pyroclastics
- Foot Wall Dacite
- Shale Intercalated with Sandstone
- Granophyre

Structural Resistivity Section



Geological Section

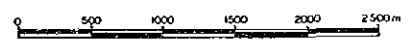
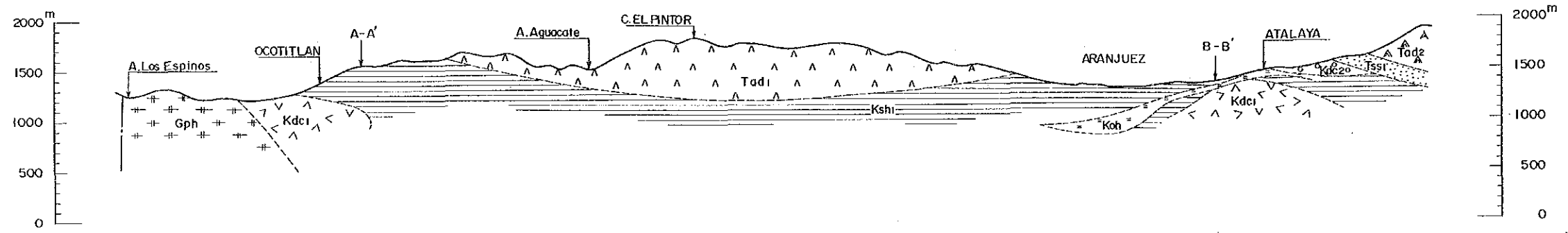
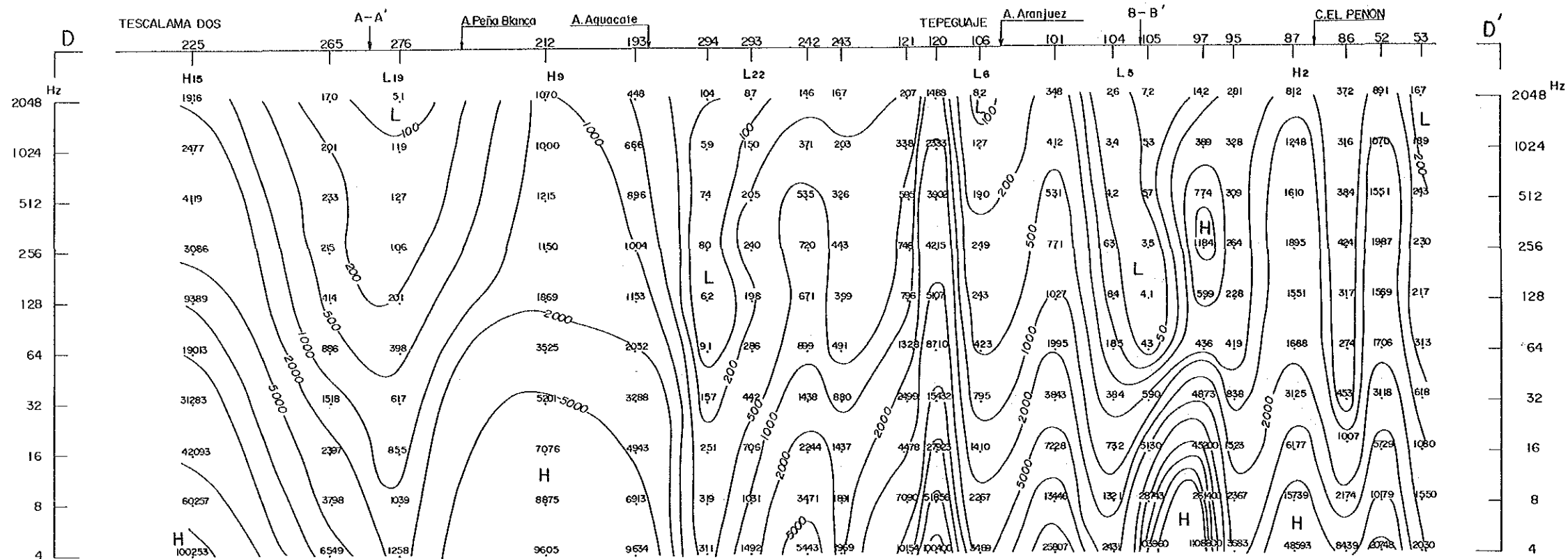


图 5-16

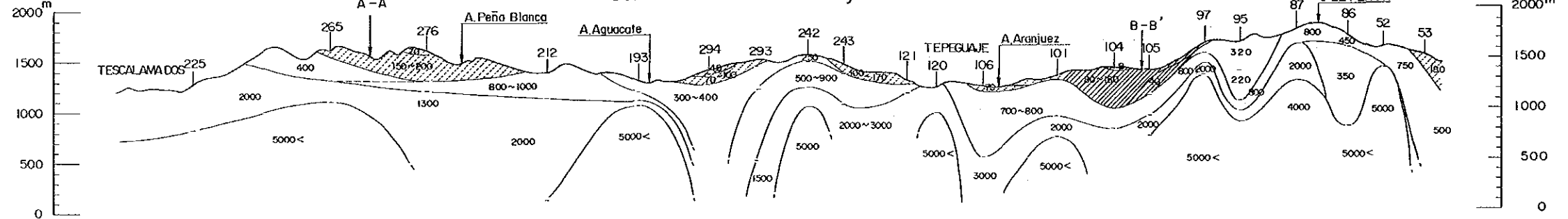
C-C' 断面图

Resistivity Pseudo - Section



- LEGEND**
- Low Resistivity Zone Possibly Related to Mineralization
 - Low Resistivity Zone Possibly Related to Sandstone or Quarternary System
 - Tss1 Sandstone (Conglomerate)
 - Tadi I-Stage Andesite-Pyroclastics
 - Kdc2 Hanging Wall Dacite
 - Koh Ore Horizon Pyroclastics
 - Kdci Foot Wall Dacite
 - Ksh1 Shale Intercolated with Sandstone
 - Gph Granophyre

Structural Resistivity Section



Geological Section

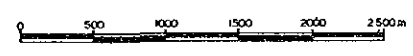
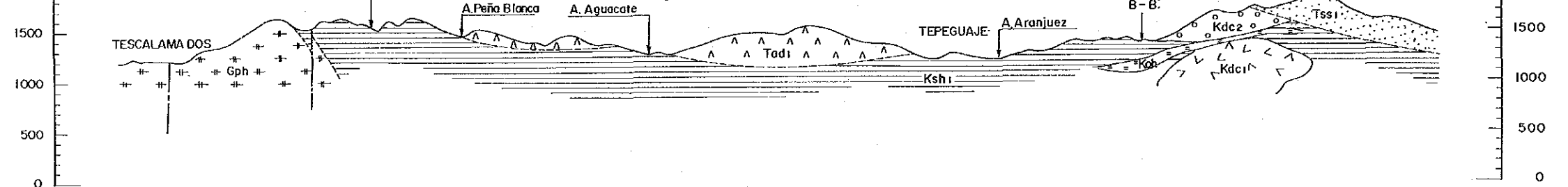


图 5-17
D-D' 断面图

帯が分布する。L15 低異常帯は深部まで連続する。H5 高異常帯は、深部に向い漸次高くなり、その形状は、隆起状構造を呈し、大局的に見ると北部のH15 高異常帯との間は向斜状構造を思わせる。Aranjuez 付近のL4 および L2 低異常帯は H2 中～高異常帯の北側と南側に分布する。H2 中～高異常帯は、この断面上では、比較的低い値を示し、その頂部に黒鉄型の Atalaya 旧坑が位置する。

・ D - D'断面

L19 低異常帯は、H15 と H9 高異常帯に挟まれ、浅所で広く、深部でやや狭くなる形状を示すが L22 低異常帯も類似の分布を示す。L5 および L6 低異常帯は、一連のものと思われるが、L5 低異常帯が深部まで連続するのに対して、L6 低異常帯は、浅所で消滅する。

(3) 岩石試料の比抵抗測定結果

調査地域内に分布する代表的岩石・鉄石の測定結果を表5-4 に示す。

表 5 - 4 岩石・鉄石試料の比抵抗測定結果

岩石・鉄石名(記号)	採取地	個数	比抵抗値(Ω-m)	
			最低～最高	平均
砂岩 (Tss ₁)	El Capulin Las Majadas	2	85~522	300
I 期安山岩 (Tad ₁)	Cerro Piedra Raiad	3	2,090~5,750	3,500
細粒凝灰岩 (Koh)	La America	1	850	850
頁岩・砂岩 (Ksh ₁)	Toledo San Isidro	5	2,660~7,900	6,500
文象斑岩 (Gph)	Tescalama Dos	3	6,720~11,090	8,300
黒鉄 (Bo)	La America	1	66	66
黄鉄鉄 (Py)	La America	2	5~6	6

試料数も少なく、また、試料に片寄りもあるため、妥当性にやや欠けるが、地域内の岩石を高比抵抗の順に羅列すると、文象斑岩(Gph)、頁岩・砂岩(Ksh₁)、I 期安山岩(Tad₁)、凝灰岩類(Koh)、砂岩(Tss₁)、黒鉄(Bo)、黄鉄鉄(Py)となり、高比抵抗域にある岩石の値は重畳する。

5-3-2 解析結果

各測点のシミュレーション解析の結果を付録12にまとめて示す。比抵抗構造平面図及び比抵抗構造断面図の深部高比抵抗帯は一般に高比抵抗な地層による値と near-field の重畳によるものと考えられ、その判別は困難である。

(1) 比抵抗構造平面図

比抵抗構造平面図を別添第19図~第22図及び図5-18~図5-21に示す。地表下100m, 200m, 400m, 800mの各比抵抗構造平面図の特徴について、地域東部、南部、中央部、北部の順で述べる。

なお、本文中に用いた各比抵抗帯は地域によっても若干異なるが、概ね次の範囲を指す。

低比抵抗帯	200 Ω -m 以下
中位比抵抗帯	200 ~ 2000 Ω -m
高比抵抗帯	2000 Ω -m 以上

- 地域東部：地表下100m比抵抗構造平面図（以下構造平面図という）の低比抵抗帯は、El Capulinの南東、北西、北東およびLa Otrabandaなどの地形低地に小規模に認められる。中でもEl Capulin南東の低比抵抗帯は最も規模が大きい。これら低比抵抗帯が分布する地域の地表地質は、第四系(Q)である。この地層は一般に固結度が悪く、低比抵抗値を示す頻度が高い。したがって、見掛比抵抗平面図に多く現れた第四系(Q)上の低異常帯の大部分は100m以浅で消滅し、比較的規模の大きいEl Capulinの南東部にのみ残存すると考える。200m構造平面図では前述の低比抵抗帯は極めて小規模となり全般に高比抵抗に移行しているところから、第四系(Q)の下部にはこの付近に広く分布する頁岩層(Ksh₁)が潜在するものと推定する。San Miguel南西側の低比抵抗帯は、砂岩層(Tss₁)の影響と考える。400m構造平面図でも、San Miguel付近に若干の低比抵抗帯が認められるが、地表地質との対比から地下浅所の風化帯あるいは固結度の悪い砂岩層(Tss₁)に起因すると推定する。この地域には鉾徴と密接な低比抵抗帯は認められない。
- 地域南部：100m構造平面図では200 Ω -m以下の低比抵抗帯が、Descubridora旧坑とLa America旧坑を結んだ線の北側にあり、その線と平行な北東方向に帯状に分布する。この低比抵抗帯の北東端は、東南に屈曲する。また、この地区の旧坑群の南にも低比抵抗帯が認められる。これらの低比抵抗帯はDescubridora鉾床を西端とし、La America鉾床を北端として、東西に分布する中位比抵抗帯に接している。この中位比抵抗帯の中心付近(1,000 Ω -m以上)が比抵抗構造的には、隆起の中心をなすと思われる。この中位比抵抗帯にほぼ対応して上盤石英安山岩(Kdc₂)が

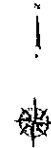


LEGEND

- 377 Station Point, No.
- Transmitter Biopole
- 100 Contour of Resistivity ($\Omega\text{-m}$)



图 5-18
比抵抗構造平面图 (地表下 100m)



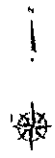
LEGEND

- Station Point, No
- ⊖ ⊕ Transmitter Dipole
- Contour of Resistivity ($\Omega \cdot m$)

图5-19

比抵抗構造平面图(地表下200m)





LEGEND

- Station Point, No. 377
- ⊕ Transmitter Bipole
- Contour of Resistivity (Ω-m)

图 5-20

比抵抗構造平面图 (地表下 400m)

