

第4章 物理探査

4-1 調査目的

本地域の地質構造、特に斑岩銅鉛タイプの鉛化作用に関連する比抵抗構造及びIP異常域の関係を解明するために、物理探査を実施した。

探査手法を選定するにあたり考慮した要件は以下のとおりである。

- ① グアナカ(La Guanaco)及びリンコナーダ(Rinconada de Villanueva)の2個所の酸化銅鉛の鉛微地があり、グアナカでは深部に鉛染状硫化鉛の存在が確認されている。
- ② 地表は礫に覆われ、地表地質調査から有望地域を抽出するのは困難である。
- ③ 低見掛比抵抗を示す変質帯はほとんど存在しない。
- ④ 花崗岩、安山岩の分布域であり、高比抵抗が予想される。
- ⑤ 表土がほとんど発達しない乾燥地域であることから、高接地抵抗が予想される。
- ⑥ 地形が急峻であり、可搬性の良い探査手法、装置が必要である。
- ⑦ 調査地域の中央部を北から南下する車道が1本あり四輪駆動車で通行可能であるが、南端までは達していない。

以上を考慮し、電気探査IP法(時間領域)を選定した。

調査内容はTable 2-4-1のとおりである。

調査に使用した測定装置、器材はTable 2-4-2のとおりである。

調査結果と、現地に出現する岩石や鉛石の電気的性質を比較するため、地表露頭から採取した岩石・鉛石試料の比抵抗およびIP効果を室内で測定した。

Table 2-4-1 Specification of geophysical Survey

方 法	強制分極法 (IP法)
測定方式	ワイ・ド・ワイ法
電極配置	ワイ・ド・ワイ・ド配置
電極間隔	a=200m (水平)
電極隔離係数	n=1~5
測線数	12測線
測点数	1260点
延測線長	60.0km
物性測定 (室内試験)	分極率及び比抵抗測定 45個

Table 2-4-2 List of equipment and materials

現地調査

機器	メーカー	型式	仕様・性能	数量
送信機	IRISインストゥルメント	VIP3000	max. 3000V, 5A 出力: 3000W, 遠隔操作可能, 電源:220V	1台
エンジン 発電機	KUBOTA社	AE2200	50Hz, 220V, 1.9KVA, 単 気筒4サイクル	1台
受信機	SCINTREX	IPR-12	8チャンネル, 14ビット Input Range:50 μ V to 14V	1台
電流電極			銅網	1式
電位電極		非分極性電極	銅-過飽和硫酸銅溶液	1式
電線	COCESA	CABLE TAC	No. 18, AWG 300 V	1式
測量器	Magellan	Meridian XL	GPS 最大精度25m	1式
コンパス	牛方製作所	ポケットコンパス		3台
間縄		エスロンテープ	100m	3本
通信機	ケンウッド(株)	TH-42	出力:600mAh 電源:12Vバッテリー	11台

室内試験

機器	メーカー	型式	仕様・性能	数量
送信機	IRIS インストゥルメント	IP-L	出力:1 μ A ~100 μ A , max. 10V	1台
受信機	SCINTREX	IPR-12	8チャンネル, 14ビット, Inp ut Range:50 μ V to 14V	1台
電極			白金線	1式

4-2 測定方法

4-2-1 測線設定及び測量

測線を設定するにあたり考慮した要件は以下のとおりである。

- ① 調査地域が長方形に近い外形を有し、その長辺または短辺にほぼ平行に測線を設

定することにより、深部までのデータを広く採取可能である。

② 酸化銅の鉱化帯がほぼ南北に配列する。

③ 調査地域の中央部を北から南下する車道が1本あり四輪駆動車で通行かのようにあるが、南端までは達していない。

以上を考慮し、測線を短辺にほぼ平行 (N62E-S62W方向) に設定した。

測量の基点は旧坑に近い測量基準点とし、その地形図上の位置座標は既存資料の地形図から読み取った。測量はポケットコンパス及びエスロンテープで行った。

測線位置図をFig. 2-4-1に示す。

4-2-2 IP測定

1) IP法の原理

強制分極法(Induced Polarization Method)の略称がIP法で、岩石の電気化学的性質を利用し、大地の電気的分極効果(IP効果)を測定するものである。

地面に電流を流すと地面を構成する媒質中に各種の電気化学的現象が発生するが、このうち、IP法で測定されるのは次の2つである。

[Over Voltage effect]

通電により硫化物や金属導体の表面には電気2重層が生じ、電流を切ると通電方向とは逆の方向に放電が起こる。この現象はイオン伝導と電子伝導の組み合わせによって引き起こされる。この現象の起因するものは電子伝導性をもつ鉱物であって、IP法による探査対象になりうる。

[Normal effect又は Background]

通常の岩石は通電によってわずかに分極する。これは岩石の空隙に少量ながら混在する粘土鉱物の膜分極が主因である。種々の粘土鉱物のうちでは、モンモリロナイトの膜分極が最も大きく、カオリンは小さい。膜分極は粘土の容積比が5%程度のときに極大値を示し、その前後の容積比のときは減少する。

膜分極の最大値は、モンモリロン石量比5%付近にあつてFE値で表せば約2%である。硫化鉱物の Over Voltage effect に比べると極めて小さい。

2) IP現象の測定法

タイム・ドメインIP法は、一対の電流電極C1, C2を通じて大地に断続直流(on/off 2.0sec, 矩形波)を流し、他の一対の電位電極P1, P2の間で電流切断直前の1次電位 V_p 及び電流切断後の t 時間における2次電位 V_s を測定する。

2次電位 V_s は、計測方法概念図 (Fig. 2-4-2) に示すように、電流切断後、時間とともに徐々に減衰し、零に近づく。電流が流れている時に電位電極間に生じる1次電位 V_p と電流切断からある時間後(数100m秒~1秒位)の2次電位 V_s の比の1000倍を、IP効果の大きさを表す指数、分極率 (単位mv/V) と呼ぶ。

本調査ではサンプリングタイム一覧表 (Table 2-4-3) に示すように、電流切断後の時間 t (50msec~1770msec)によって11個にスライスされた2次電位 V_s を測定した。この2次電位 V_s は電流切断後の時刻 t_1 から t_2 までの減衰波形の積分値をその積分した時間で除した値である。

$$V_s = \frac{\int_{t_1}^{t_2} V_s(t) dt}{(t_2 - t_1)}$$

本調査では、Mid-point 935(msec)の分極率を採用し解析した。

IP測定においては、流電電線と電位測定電線の間での電磁カップリングはあたかもIP現象のように測定され、大きなノイズ源となっている。本調査では、上記の電磁カップリング現象のもっとも起りにくい電極配置、ダイポール・ダイポール電極配置 (エルトラン電極配置とも呼ばれる) を使用した。ダイポール・ダイポール法の電極配置を測定概念図 (Fig. 2-4-3) に示す。

ダイポール・ダイポール電極配置の見掛け抵抗 ρ_a は次のとおり計算される。

ここに

$$\rho_a = n(n+1)(n+2) a \frac{V}{I}$$

π : 円周率, 3.1415...

V_p : 電流が流れている時に電位電極間に生じる1次電位Vp (volt)

I : 電流値 (ampere)

a : 電極間隔 (m)

n : 電極隔離係数 (1, 2, 3, 4, 5)

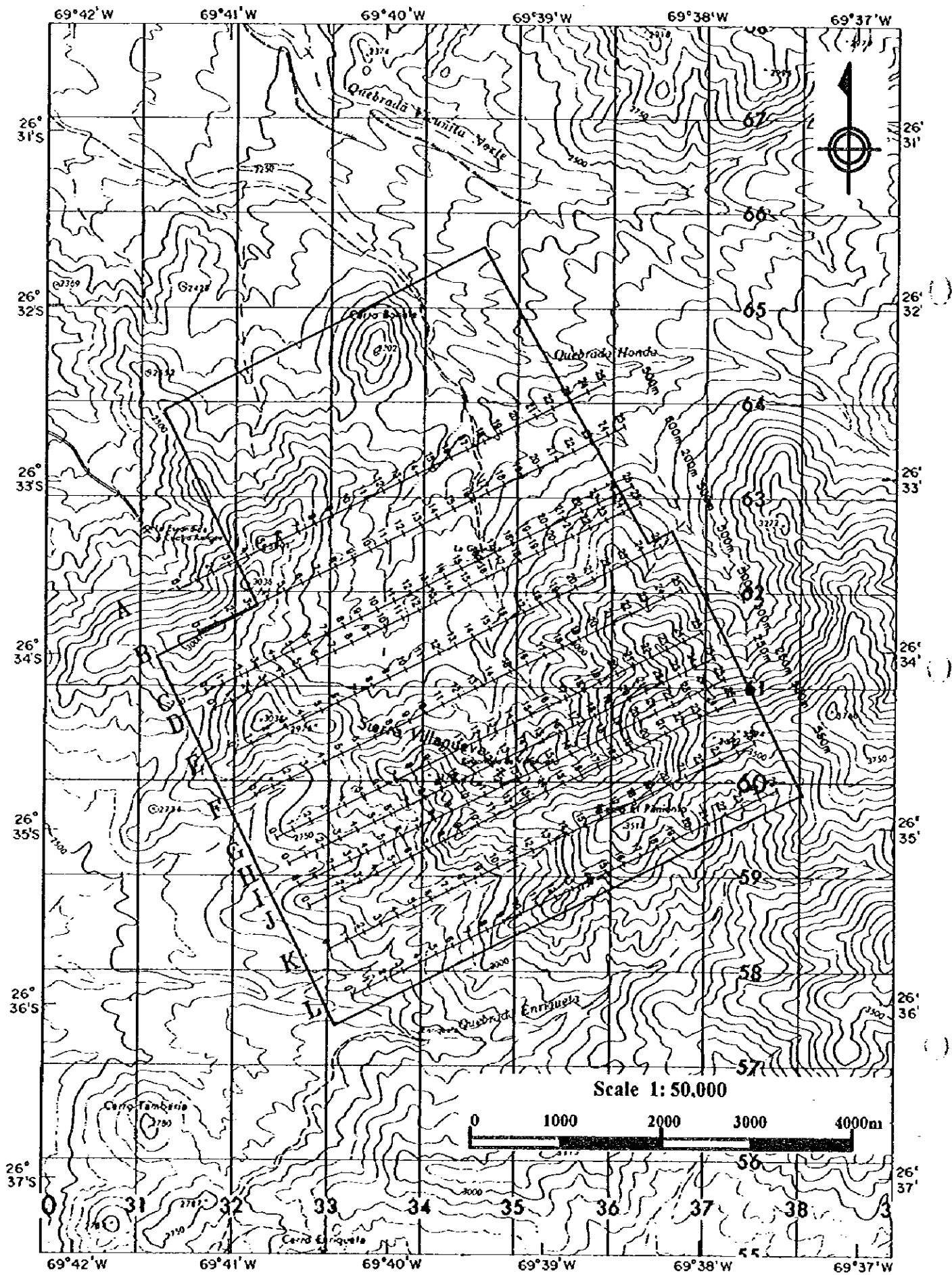


Fig.2-4-1 Location of geophysical survey lines

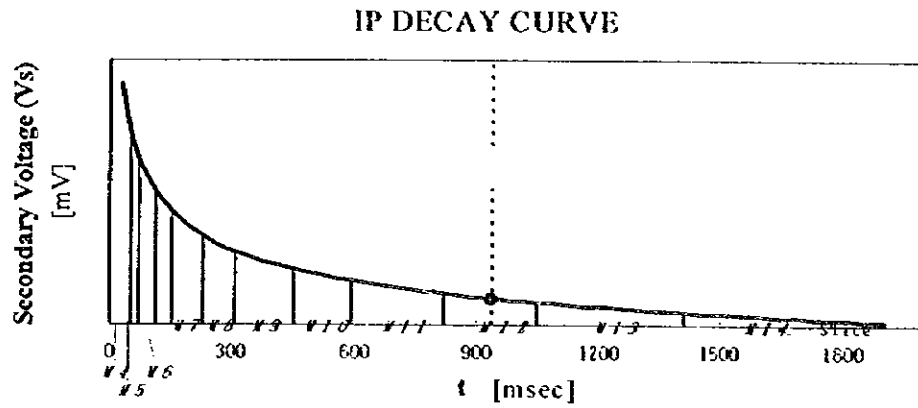


Fig.2-4-2 Concept of IP method

Table 2-4-3 List of sampling time

<i>Slice #</i>	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Width(msec)	20	40	40	80	80	140	140	230	230	360	360
Mid-point(msec)	60	90	130	190	270	380	520	705	935	1230	1590

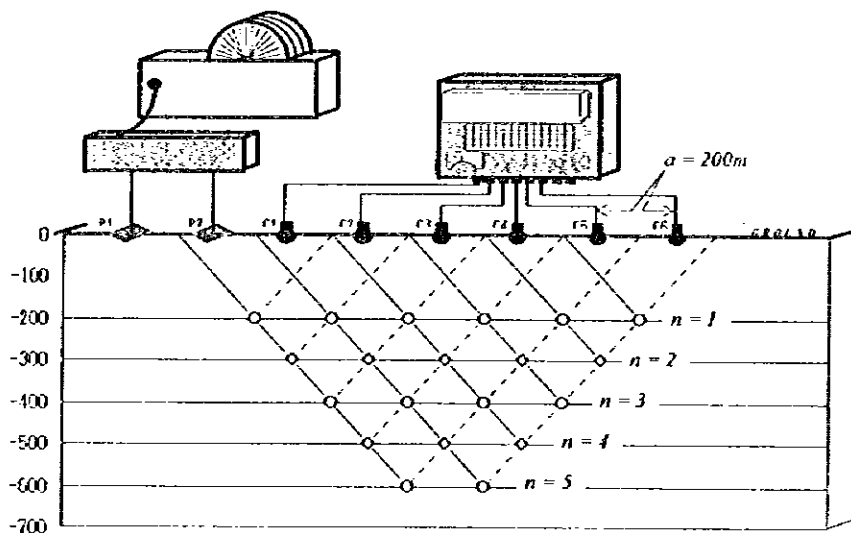


Fig.2-4-3 Configuration of dipole-dipole array

4-3 解析

4-3-1 解析方法

1) 物性測定

岩石の電気的特性の基礎データを収集する目的で、調査地域内において代表的な岩及び鉍石 45個を採取し、野外と同じ条件で比抵抗測定及び分極率測定を行った。

試料は6面体整形後、1日水道水に浸してから測定を行った。なお、本測定には地調査に用いた受信機を使用した。

岩石物性試験結果をTable 2-4-4に示す。岩石、鉍石試料の分極率と見掛比抵抗の関係をFig. 2-4-4に示す。

岩石の比抵抗値は、凝灰岩の $169 \Omega \cdot m$ から安山岩の $31,912 \Omega \cdot m$ まで、分極率は安山岩の $0.12mV/V$ から花崗岩の $8.23mV/V$ まで変化に富む。

アプライト質花崗岩、角閃石-黒雲母花崗岩、黒雲母-角閃石花崗閃緑岩、はんれい岩-閃緑岩の比抵抗値は概ね $2000 \Omega \cdot m$ 以下と比較的低比抵抗で、分極率は概ね $5mV/V$ と高い。

モンゾニ閃緑岩、アプライト、安山岩質溶岩および同質火砕岩、オコイータ安山岩質溶岩の比抵抗は概ね $10000 \Omega \cdot m$ 以上と高く、分極率は概ね $3mV/V$ 以下と低い。

鉍染状硫化鉍の比抵抗は $433 \Omega \cdot m$ と低く、分極率は $54mV/V$ と高い。

クリソコラの比抵抗は概ね $1000 \Omega \cdot m$ 以下と低く、分極率は概ね $3mV/V$ と低い。クリソコラの中には $7770 \Omega \cdot m$ と高比抵抗のもの、 $7.43mV/V$ と高分極率のものもある。

見掛比抵抗については、デイサイト火山礫凝灰岩-溶結凝灰岩、アプライト質花崗岩には硫化鉍と同程度の値を示すものがある。分極率については他の岩石で同程度の分極率を示すものはなく、デイサイト質火山礫凝灰岩-溶結凝灰岩の $7.97mV/V$ が最大である。

以上の結果から、本調査の探鉍目標である硫化鉍の比抵抗値 ($433 \Omega \cdot m$) はその他の岩石が取りうる値の中に含まれるが、分極率 ($54.12mV/V$) には顕著な差があり分極率によって解析された異常体を識別できると考えられる。

また鉍染状硫化鉍は、硫化鉍部分の割合が増えると、より低見掛比抵抗、高分極率を示す傾向があることから、解析の過程で計算値と測定値の差が小さくなる場合にはモデルをより低見掛比抵抗、高分極率に修正した。

一方、硫化鉍部分の割合が減ると、見掛比抵抗は高くなるが、分極率が低下しない場合がある。これは高見掛比抵抗の岩石は、同程度に鉍染した低見掛比抵抗の岩石よりも2次電位がゆっくり放電され、見掛け上、高分極率を示すためである。

また分極率は、鉍物の量だけでなく母岩の比抵抗、鉍物間のつながり方、構成鉍物、組織等の相違に影響される。

Table 2-4-4 Results of sample measurement

番号	採取位置	岩石名	比抵抗 (ohm-m)		分極率 (mV/V)	
				平均		平均
27	I 0.0	デイサイト火山れき凝灰岩～溶結凝灰岩	169	1183	1.1	3.3
31	J 0.0	デイサイト火山れき凝灰岩～溶結凝灰岩	963		1.5	
5	G 22.0	デイサイト火山れき凝灰岩～溶結凝灰岩	1045		8.0	
6	B 0.0	デイサイト火山れき凝灰岩～溶結凝灰岩	2558		2.6	
32	B 2.0	アブライト質花崗岩	286	706	2.7	5.2
33	J 23.0	アブライト質花崗岩	433		5.8	
40	F 0.0	アブライト質花崗岩	849		5.8	
28	A 0.0	アブライト質花崗岩	864		6.3	
29	J 10.0	アブライト質花崗岩	1096		5.5	
4	J 16.0	角閃石-黒雲母花崗岩	1268	1590	4.4	6.3
3	L 17.0	角閃石-黒雲母花崗岩	1912		8.2	
7	I 9.0	黒雲母-角閃石花崗閃緑岩	1066	2304	5.7	4.6
9	I 19.0	黒雲母-角閃石花崗閃緑岩	1098		5.5	
16	A 12.0	黒雲母-角閃石花崗閃緑岩	1252		3.6	
12	B 7.0	黒雲母-角閃石花崗閃緑岩	2056		2.9	
15	C 7.0	黒雲母-角閃石花崗閃緑岩	6047		5.4	
20	E 6.0	ほんれい岩～閃緑岩	703	703	3.5	3.5
25	E 3.5	モンゾニ閃緑岩	905	10235	4.3	2.9
21	F 22.0	モンゾニ閃緑岩	10418		2.4	
36	F 15.0	モンゾニ閃緑岩	19382		2.1	
18	G 18.8	アブライト	13761	13472	0.4	0.8
19	A 18.0	アブライト	13182		1.2	
26	D 0.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	876	12171	7.7	2.2
34	F 18.5	安山岩質溶岩および同質火砕岩	3740		2.1	
23	K 21.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	3862		4.0	
8	F 5.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	3978		1.4	
30	I 25.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	4419		3.7	
35	J 25.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	5124		1.4	
22	F 21.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	9253		2.8	
10	G 6.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	9413		1.0	
17	L 6.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	12272		0.7	
11	C 0.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	13024		-0.1	
24	C 19.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	13460		1.0	
38	E 25.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	18172		1.3	
2	C 22.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	20540		0.9	
1	A 7.6	安山岩質溶岩および同質火砕岩	21855		2.1	
14	D 25.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	22841		0.2	
13	D 22.0	安山岩質溶岩および同質火砕岩	31912		4.6	
39	L 10.0	オコイータ安山岩質溶岩	7133	10968	4.0	3.3
37	L 4.0	オコイータ安山岩質溶岩	14802		2.6	
41	La Guanaca	筈染状硫化鉱	433	433	54.1	54.1
42	La Guanaca	アブライト質花崗岩 クリソコラ	143	2247	7.4	3.8
43	La Guanaca	アブライト質花崗岩 クリソコラ	338		3.1	
45	J 11.0	アブライト質花崗岩 クリソコラ	739		2.2	
44	Rinconada de Villanueva	アブライト質花崗岩 クリソコラ	7770		2.4	

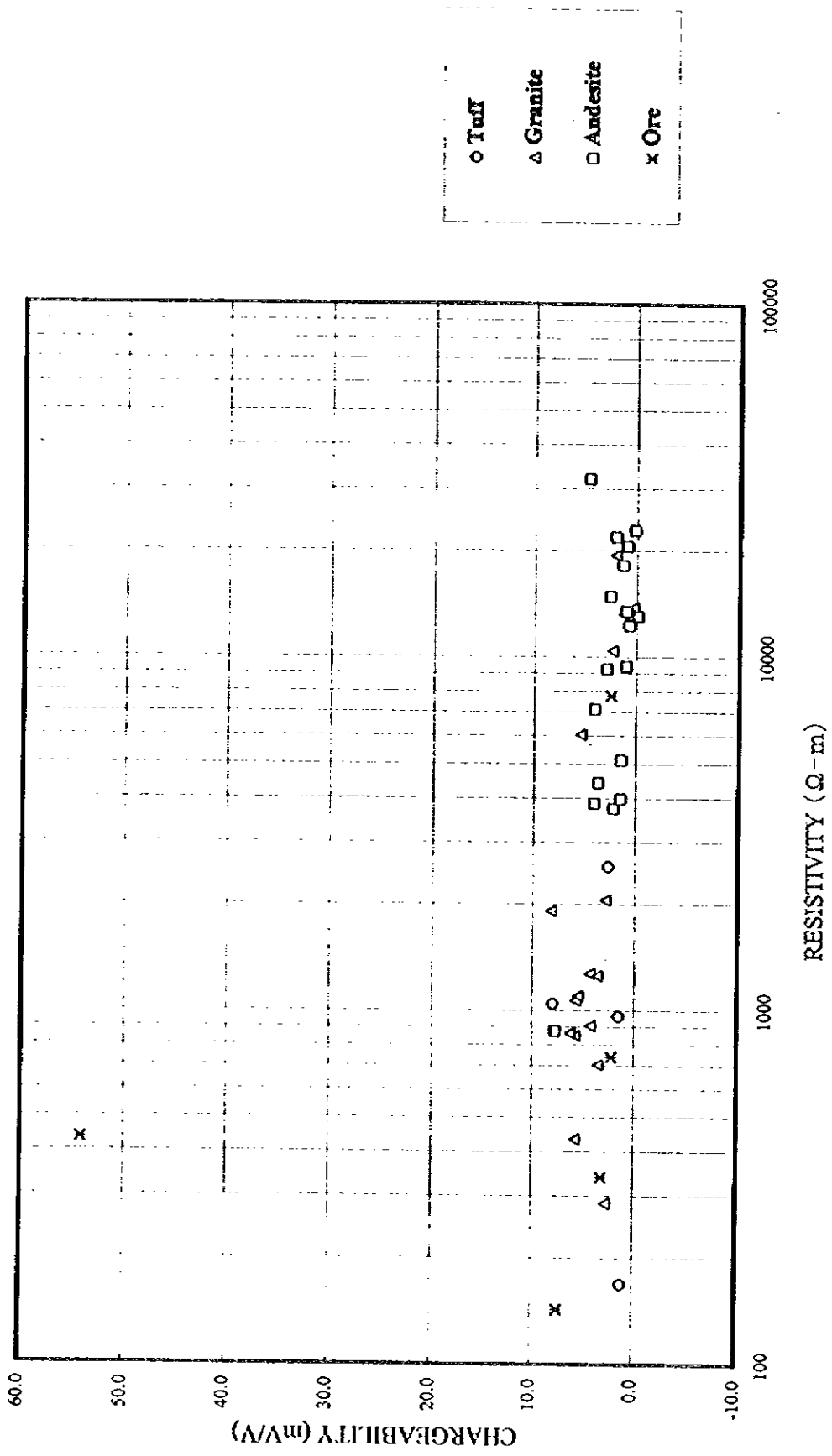


Fig.2-4-4 Relationship between chargeability and resistivity of rocks and ores

2) IP法

見掛比抵抗及び分極率断面図を基に、2次元解析を実施し、比抵抗及び分極率構造を推定した。解析に使用したソフトウェアは米国 Interpex 社製の RESIX IP2DI である。

このプログラムはRijo (1977)の有限要素法ルーチンを使用し、Inman(1975)の2次元逆解析アルゴリズムに基づいている。

見掛比抵抗及び分極率断面から想定されるモデルを入力し、計算値が測定値に近似するまで対話形式でモデルの入力・修正を数十回繰り返した。また部分的な修正には逆解析を併用した。

4-3-2 解析結果

現地調査で得られた各測定点の分極率及び見掛比抵抗値を用いて作成した断面図及び平面図をFig. 2-4-5~Fig. 2-4-11に示す。測定された分極率は、ほぼ2~6 mV/Vのバックグラウンド値を示し、その中に10mV/V以上分極率異常が認められる。また、見掛比抵抗値は500~5000 Ω m程度の高見掛比抵抗を示し、局部的に100 Ω m以下、或いは5000 Ω m以上の見掛比抵抗を示す。

本解析では各測線ごとの見掛比抵抗分布を大まかに表す比抵抗構造モデルを設定し、その中に局所的な分極率分布を与える高分極率モデルを置き、計算値が測定結果と最もよく調和する分極率および比抵抗構造を求めた。

各測線ごとの2次元解析結果をFig. 2-4-12~Fig. 2-4-23に示す。

多くの高分極率異常が、高見掛比抵抗域に位置することから高分極率、高見掛比抵抗のモデルを設定した。これらの高分極率、高見掛比抵抗のモデルの岩質については、角閃石-黒雲母花崗岩、安山岩質溶岩及び同質火砕岩等に鉍染したものを想定した。

従って、高分極率モデルのうち、鉍石試料の見掛比抵抗値433 $\Omega \cdot m$ と同程度以下の低比抵抗のモデルが探鉍目標の鉍染状硫化鉍である可能性が高い。高見掛比抵抗、高分極率のモデルは硫化鉍でないか、または仮に鉍染があっても鉍物量が少ない可能性がある。

以下に解析によって求められた1000 $\Omega \cdot m$ 未満の見掛比抵抗、10mV/V以上の高分極率のモデルを以下に列挙する。

<A測線>

(1) No. 11~No. 14間の地表下125m~530mに存在する北東側に傾斜した台形異常体。分極率28.6mV/V、比抵抗865 $\Omega \cdot m$ 。

(2) No. 16~No. 18間の地表下100m~170mに存在する三角形異常体。分極率28.3mV/V、比抵抗35 $\Omega \cdot m$ 。

<B測線>

(1) No. 6～No. 8間の地表下50m～350mに存在する台形異常体。分極率26.1mV/V，比抵抗87Ω・m。

(2) No. 12～No. 18間の地表下40m～360mに存在する西側に傾斜した六角形異常体。分極率50.1mV/V，比抵抗305Ω・m。

<C測線>

(1) No. 7～No. 8間の地表下170m～450mに存在する長方形異常体。分極率50.0mV/V，比抵抗400Ω・m。

(2) No. 12～No. 19間の地表下140m～560mに存在する北東側に傾斜した六角形異常体。分極率50.0mV/V，比抵抗112Ω・m。

<D測線>

(1) No. 14～No. 16間の地表下120m～360mに存在する台形異常体。分極率50.5mV/V，比抵抗57Ω・m。

<E測線>

(1) No. 9～No. 18間の地表下170m～580mに存在する10角形異常体。分極率55.5mV/V，比抵抗257Ω・m。

<F測線>

(1) No. 2～No. 5間の地表下160m～350mに存在する台形異常体。分極率24.2mV/V，比抵抗362Ω・m。

(2) No. 8～No. 12間の地表下110m～360mに存在する南西側に傾斜した台形異常体。分極率29.9mV/V，比抵抗179Ω・m。

<G測線>

(1) No. 3～No. 7間の地表下240m～550mに存在する台形異常体。分極率36.7mV/V，比抵抗878Ω・m。

(2) No. 14～No. 17間の地表下30m～270mに存在する南西側に傾斜した平行四辺形異常体。分極率20.0mV/V，比抵抗750Ω・m。

<H測線>

(1) No. 6～No. 7間の地表下100m～220mに存在する台形異常体。分極率20.0mV/V，比抵抗263Ω・m。

<I測線>

(1)No. 1~No. 4間の地表下30m~190mに存在する北東側に傾斜した台形異常体。分極率17.6mV/V, 比抵抗125Ω・m。

<J測線>

(1)No. 1~No. 7間の地表下60m~340mに存在する逆三角形異常体。分極率22mV/V, 比抵抗593Ω・m。

(2)No. 10~No. 13間の地表下90m~310mに存在する南西側に傾斜した三角形異常体。分極率 53 mV/V, 比抵抗129Ω・m。

<K測線>

1000Ω・m未満の高分極率のモデルは解析されなかった。

<L測線>

(1)No. 15~No. 18間の地表下240m~550mに存在する台形異常体。分極率49.2mV/V, 比抵抗361Ω・m。

4-4 解析結果のまとめ

総合解析結果図をFig. 2-4-25に示す。

本調査で解析された1000Ω・m未満の見掛比抵抗, 10mV/V以上の分極率を示す異常体は, その位置から大きく4つに分けられる。

(a) 鉦徴地のグアナカの近傍に位置する異常体

測線	位置	比抵抗	分極率
		ohm-m	mV/V
A	No. 11~No. 14	865	29.6
A	No. 16~No. 18	35	28.3
B	No. 12~No. 18	305	50.1
C	No. 12~No. 18	113	50.0
D	No. 14~No. 16	57	50.5
E	No. 8~No. 18	257	55.5

これらはアタカマ礫層の分布域に位置し, 鉦徴地のグアナカから連続して広がり, 低見掛比抵抗域, 高分極率異常域で解析された異常体である。

しかし, これらの異常体は測定限界付近で捕捉された高分極率異常であることから, この結果から積極的に有望地域として取り上げることはできない。

(b) 鉦徴地のリンコナーダの近傍に位置する異常体

測線	位置	比抵抗 分極率	
		ohm-m	mV/V
F	No. 8~No. 12	444	30.0
G	No. 14~No. 17	750	20.0
J	No. 10~No. 13	129	53.1
L	No. 15~No. 18	361	49.2

これらの異常体の中でJ測線のNo. 10~No. 13間に位置する異常体は $100 \Omega \cdot m$ 以下の低見掛比抵抗域、 $10mV/V$ 以上の高分極率異常域で $129 \Omega \cdot m$ 、 $53.1mV/V$ の異常体として解析され、近傍に鉍徴地が位置していることから注目される。

(c) 中央鉍徴地の近傍に位置する異常体

測線	位置	比抵抗 分極率	
		ohm-m	mV/V
B	No. 6~No. 8	87	26.1
C	No. 7~No. 8	400	50.0

これらの異常体は、中央鉍徴地の深部に賦存する硫化鉍を反映している可能性があるが、高比抵抗の安山岩または花崗閃緑岩の鉍染部分を捕捉した可能性もある。

(d) 調査地域南西部に位置する異常体

測線	位置	比抵抗 分極率	
		ohm-m	mV/V
G	No. 3~No. 6	878	36.7
H	No. 6~No. 7	263	20.0
I	No. 1~No. 4	124	17.6
J	No. 1~No. 7	593	22.0

これらの異常体は、高見掛比抵抗域に位置し、 $500 \Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗の花崗閃緑岩の鉍染部分を捕捉した可能性がある。

従って物理探査結果から有望地域として指摘できる地点は、J測線のNo. 10~No. 13の間である。またB測線のNo. 6~No. 8の間に可能性がある。

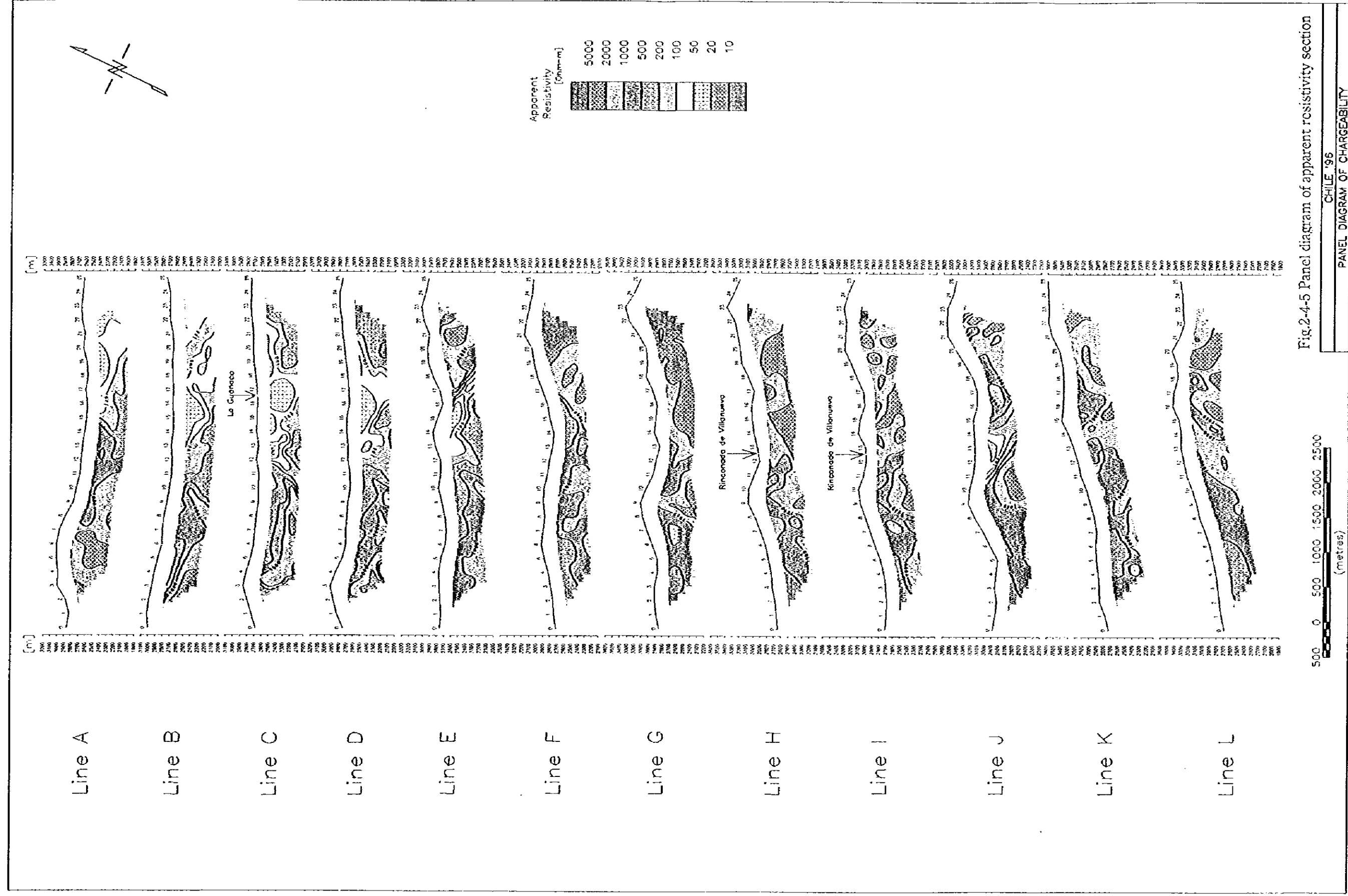


Fig.2-4-5 Panel diagram of apparent resistivity section

CHILE '96
 PANEL DIAGRAM OF CHARGEABILITY

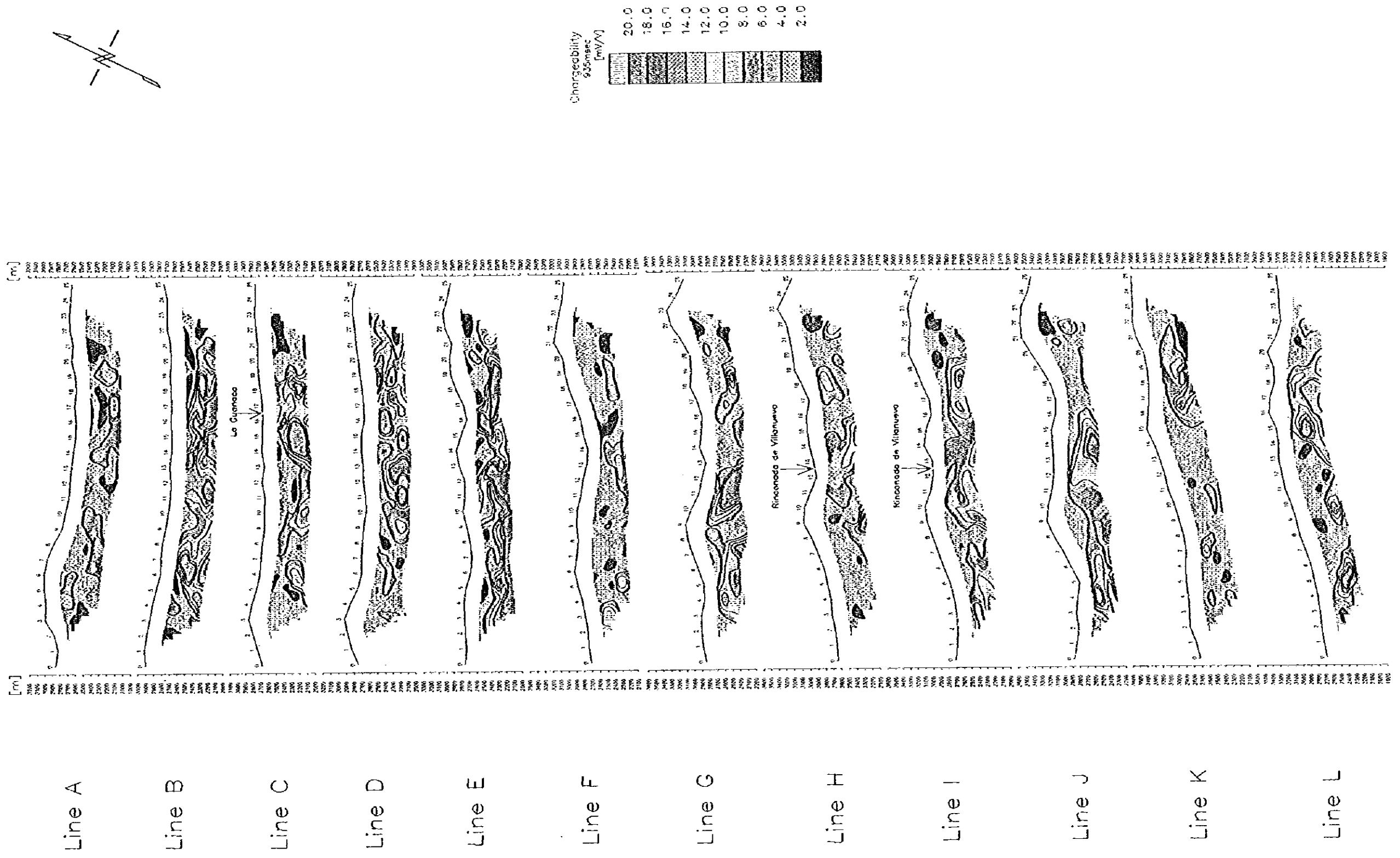


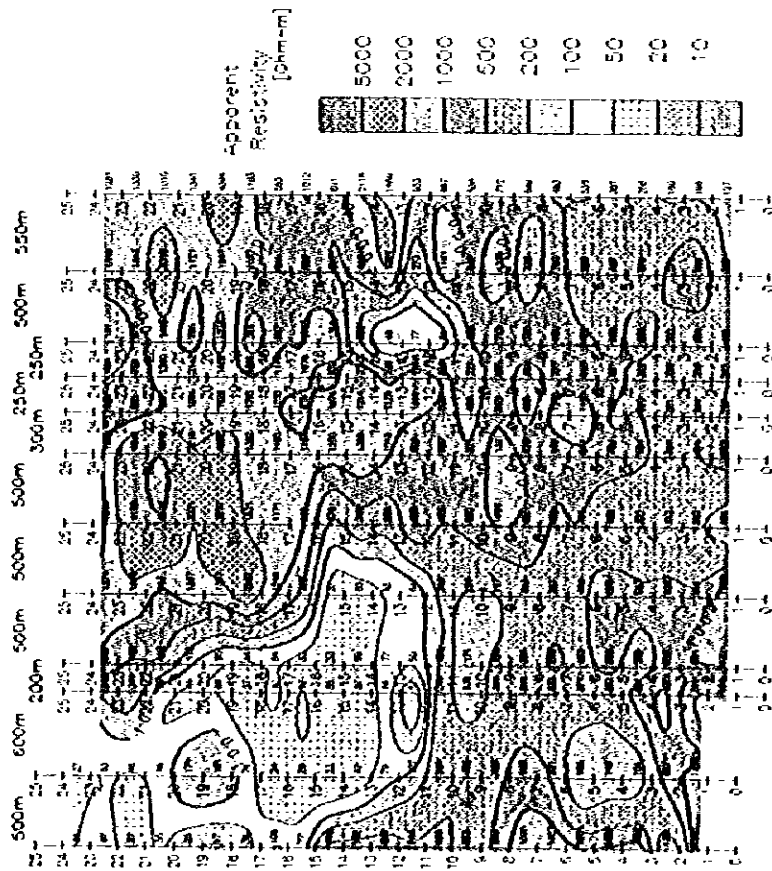
Fig.2-4-6 Panel diagram of chargeability section

500 0 500 1000 1500 2000 2500
(metres)

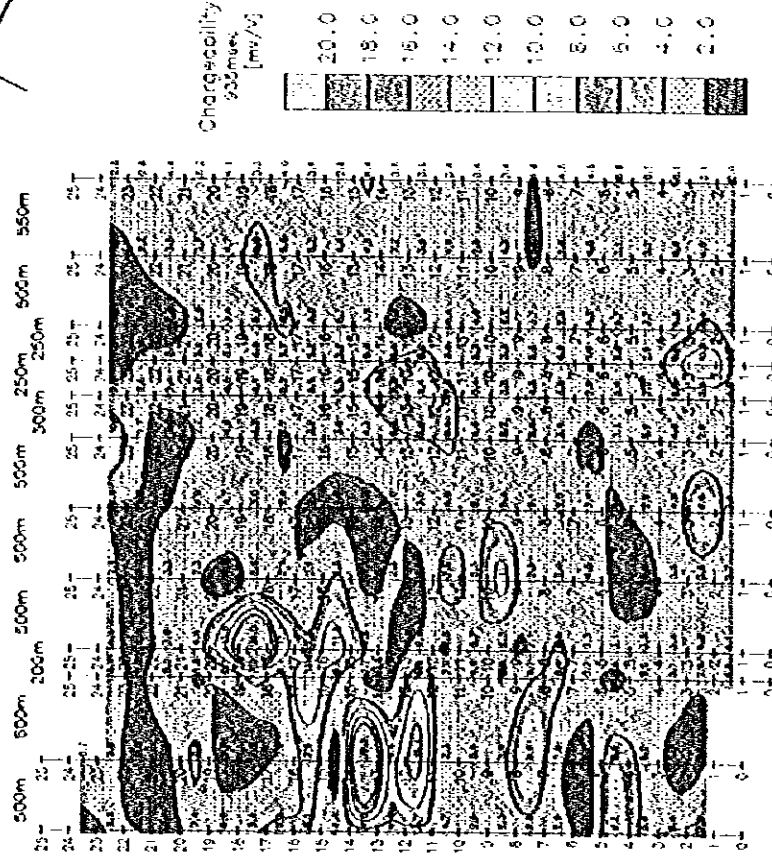
CHILE '96
PANEL DIAGRAM OF APPARENT RESISTIVITY

APPARENT RESISTIVITY PLAN

N=1



CHARGEABILITY PLAN



A B C D E F G H I J K L

A B C D E F G H I J K L

Fig.2-4-7 Plan of apparent resistivity and chargeability (n=1)

CHILE '96

PLAN

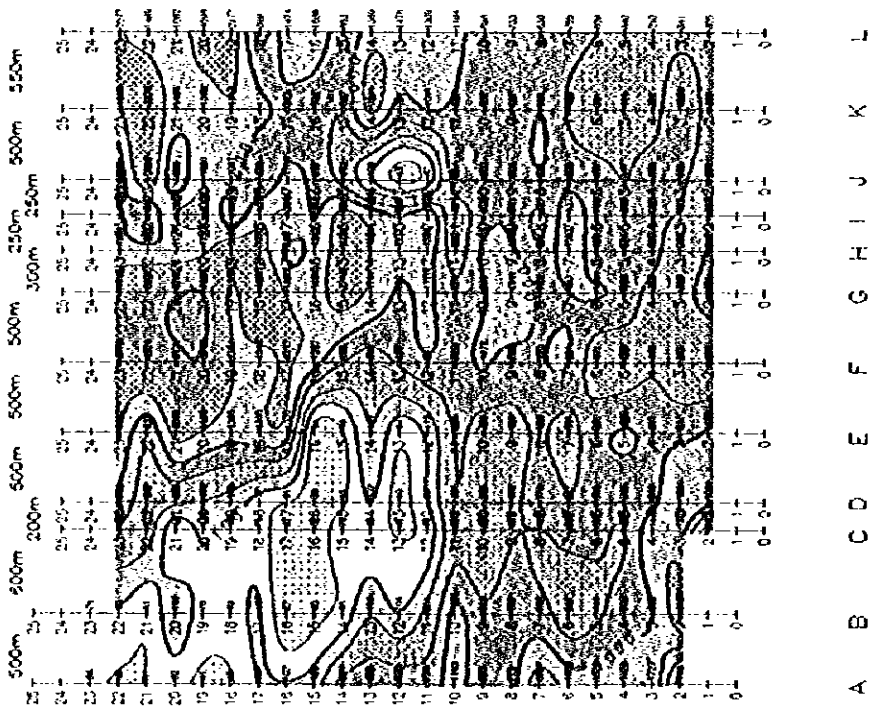
Apparent resistivity, Chargeability N=1

Time Domain IP Survey in Guanaca Area
(OCT 1996 - DEC 1996)

JAPAN-CHILE

N=2

APPARENT RESISTIVITY PLAN



CHARGEABILITY PLAN

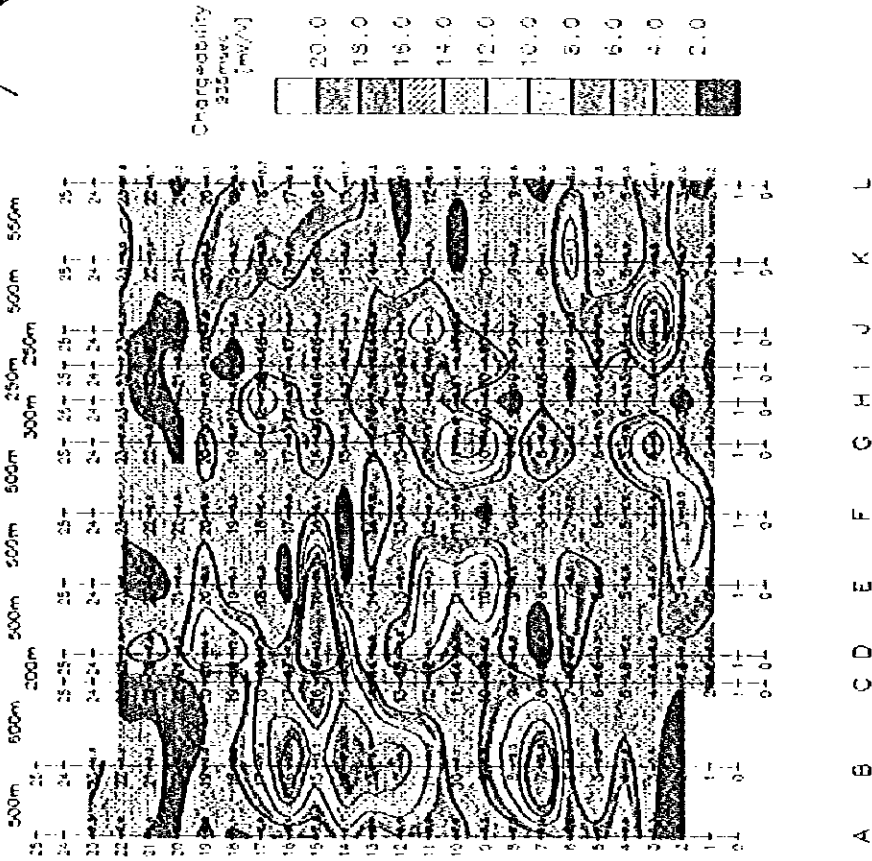
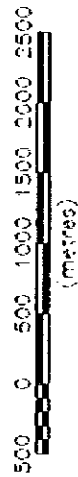


Fig.2-4-8 Plan of apparent resistivity and chargeability (n=2)



CHILE '96

PLAN

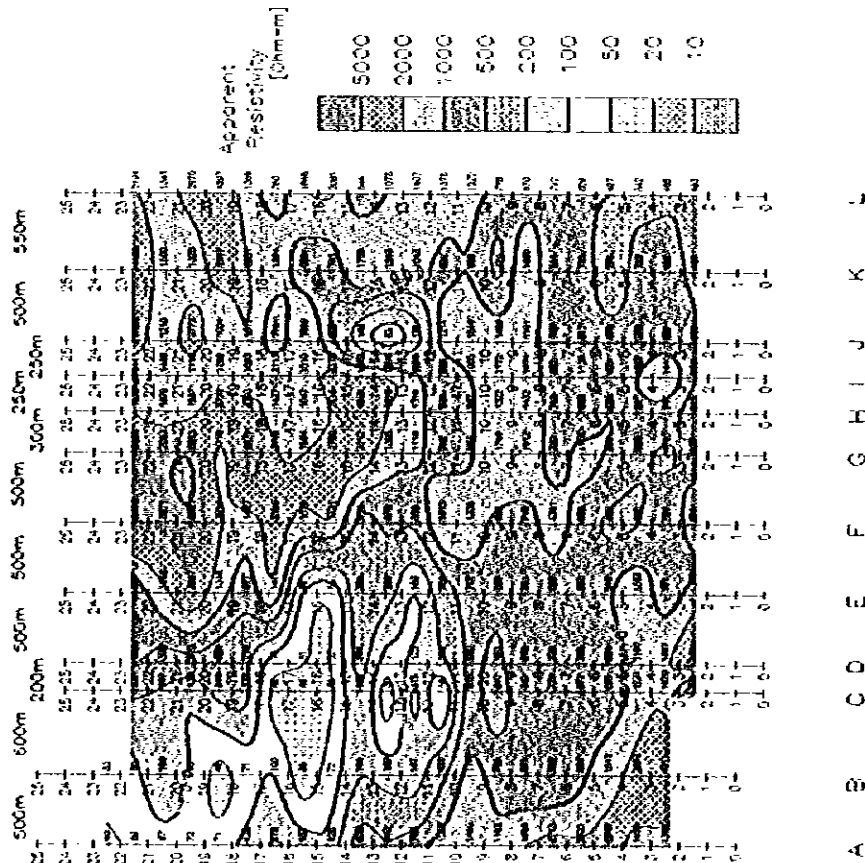
Apparent resistivity, Chargeability N=2

Time Domain IP Survey in Guanaca Area
(OCT.1996 - DEC.1996)

JAPAN-CHILE

N=3

APPARENT RESISTIVITY PLAN



CHARGEABILITY PLAN

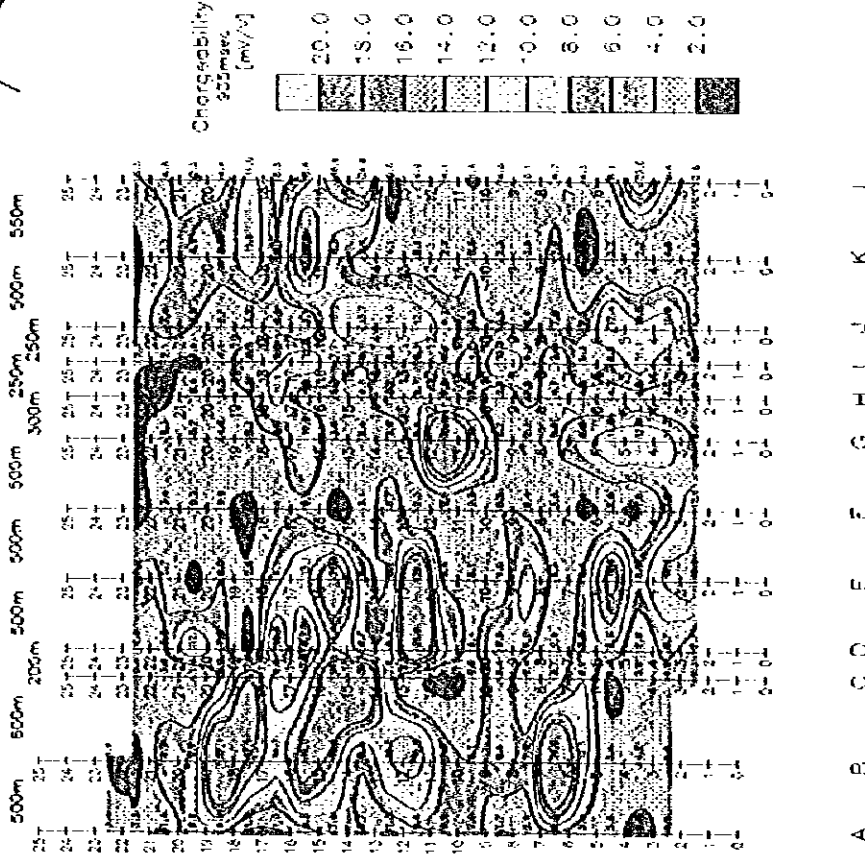


Fig.2-4-9 Plan of apparent resistivity and chargeability (n=3)

CHILE '96

PLAN

Apparent resistivity, Chargeability N=3

Time Domain IP Survey in Guanaca Area

(Oct 1996 - DEC 1996)

JAPAN-CHILE

N=4

APPARENT RESISTIVITY PLAN

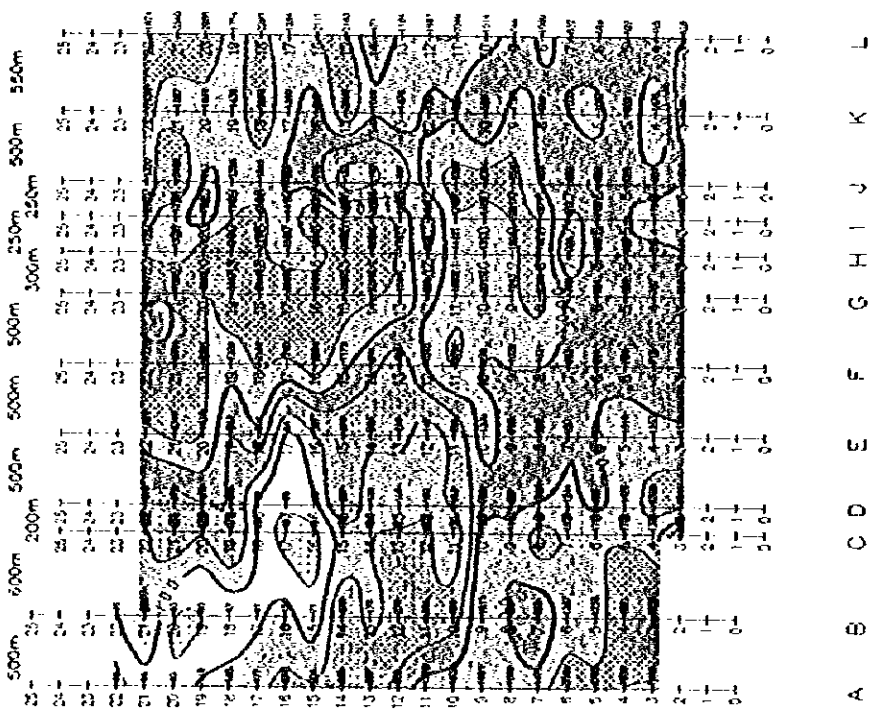
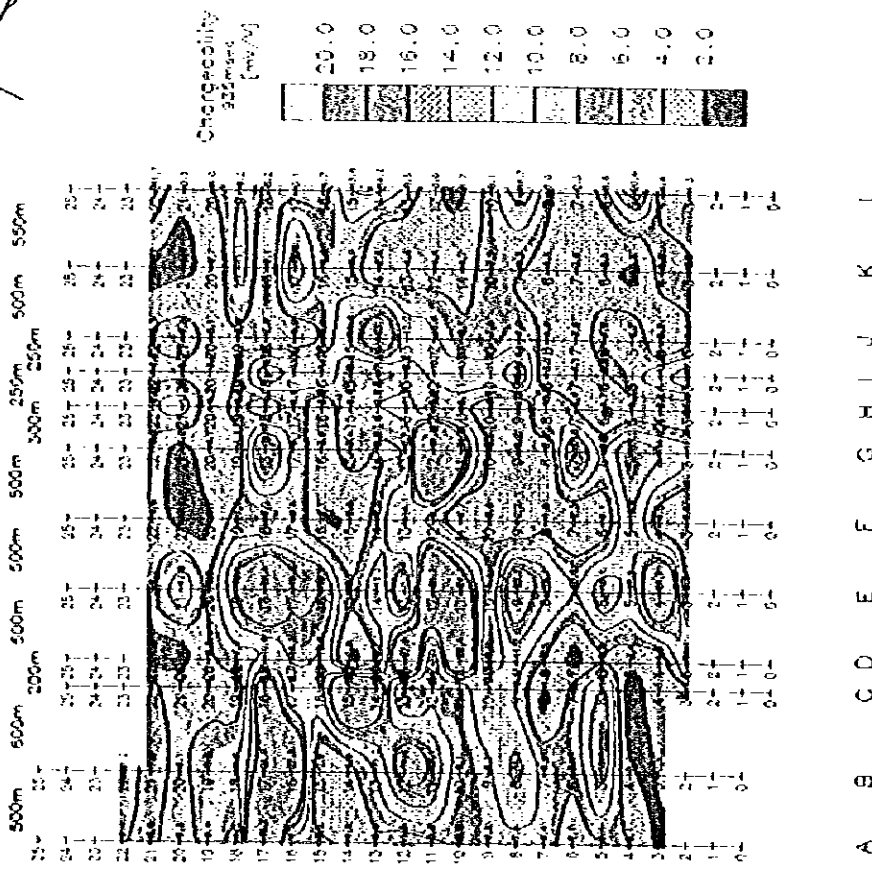


Fig.2-4-10 Plan of apparent resistivity and chargeability (n=4)

CHARGEABILITY PLAN



CHILE '96
PLAN
Apparent resistivity, Chargeability N=4
Time Domain IP Survey in Guano Area
(OCT 1996 - DEC 1996)
JAPAN-CHILE

APPARENT RESISTIVITY PLAN

N=5

CHARGEABILITY PLAN

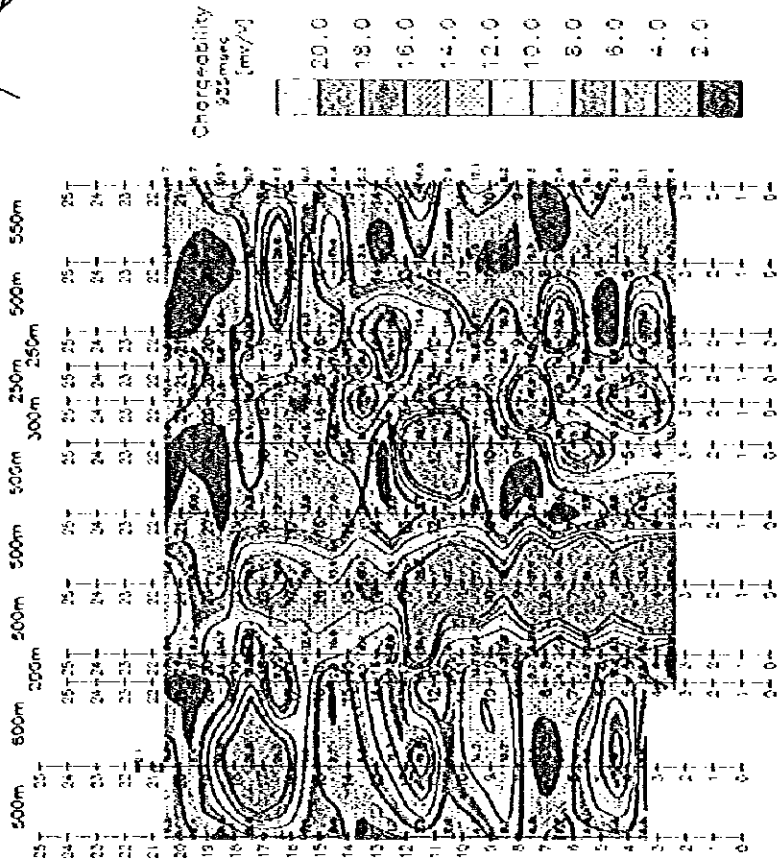
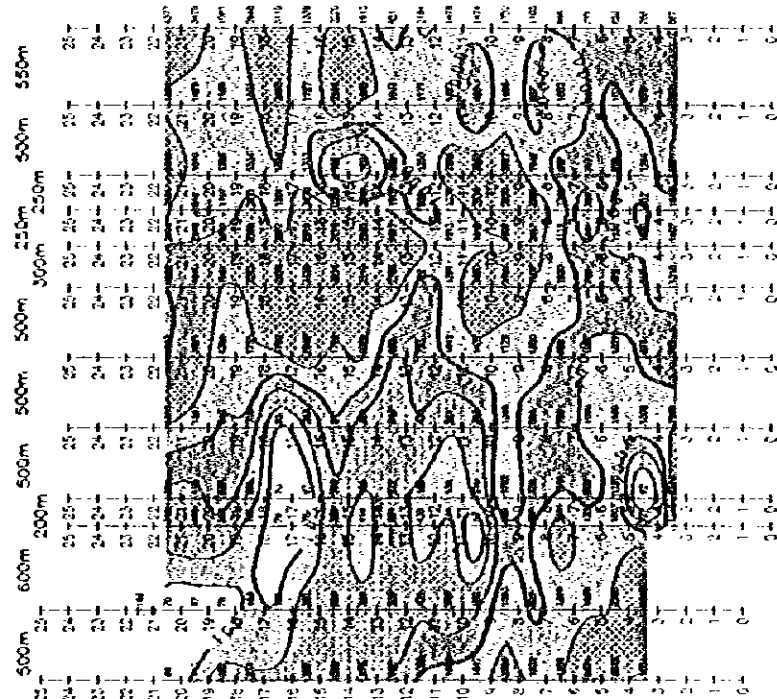


Fig.2-4-11 Plan of apparent resistivity and chargeability (n=5)

CHILE '96
PLAN
Apparent resistivity, Chargeability N=5
Time Domain IP Survey in Guayaca Area
(OCT 1996 - DEC 1996)
JAPAN-CHILE

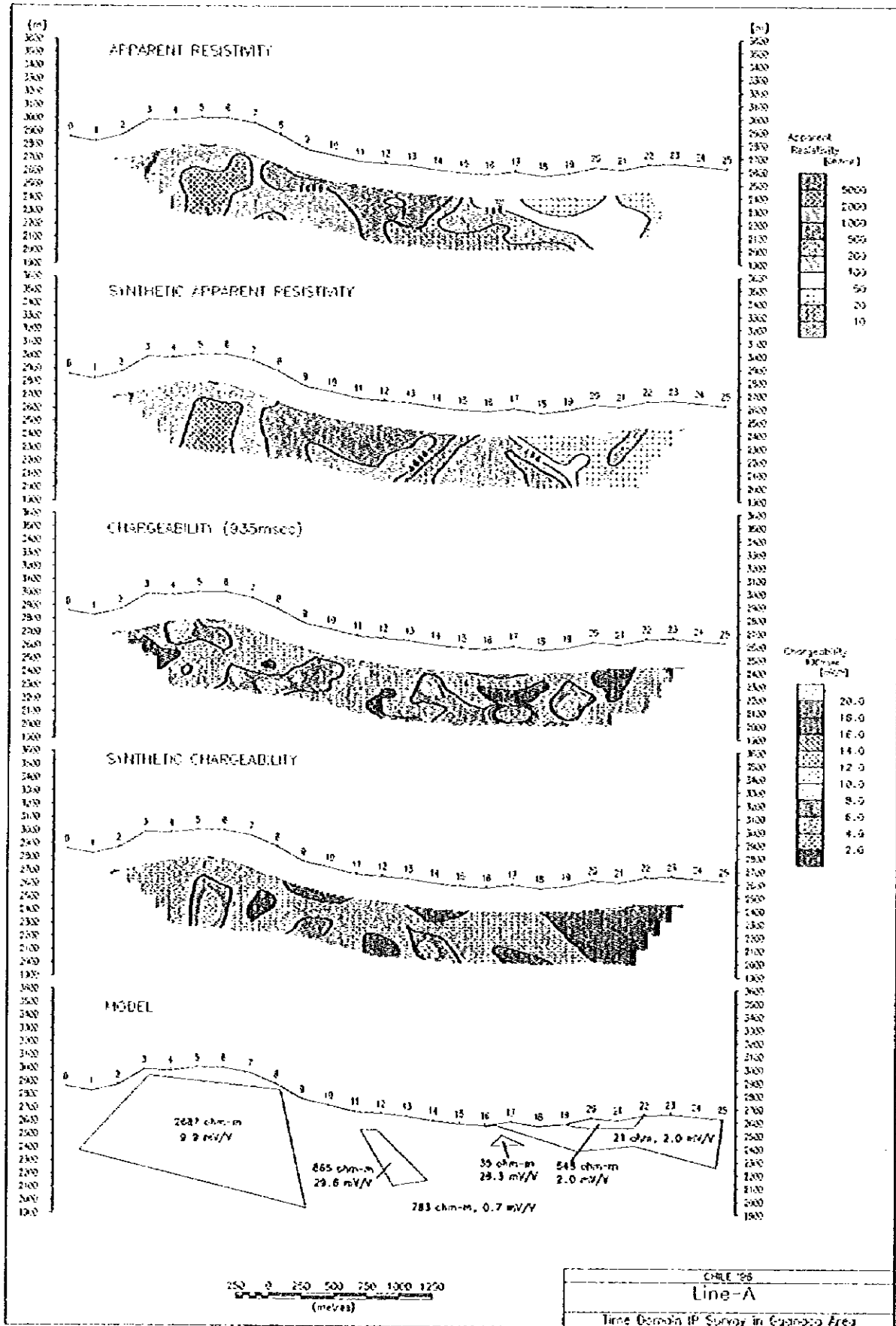


Fig.2-4-12 Section of simulated results (Line A)

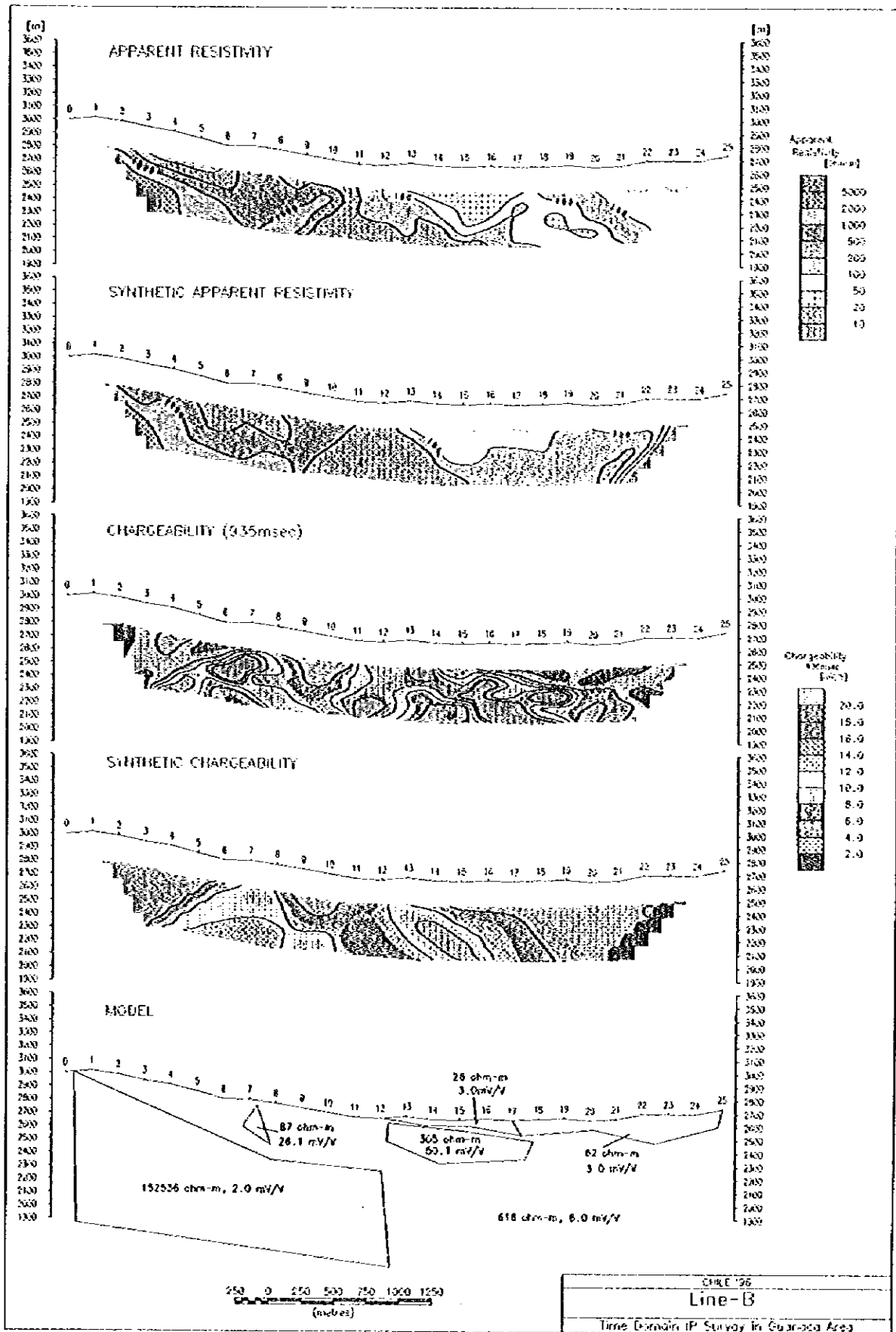


Fig.2-4-13 Section of simulated results (Line B)

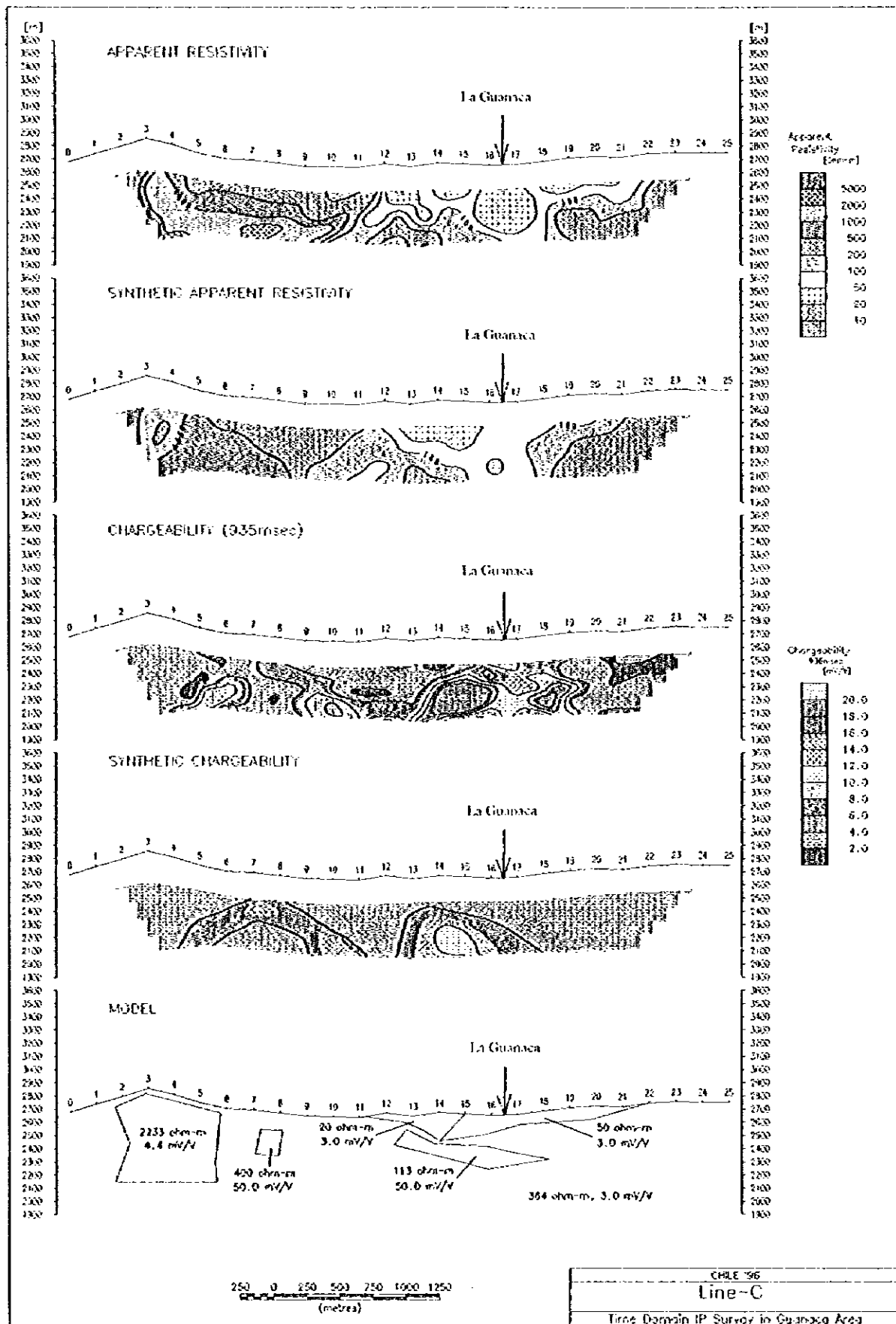


Fig.2-4-14 Section of simulated results (Line C)

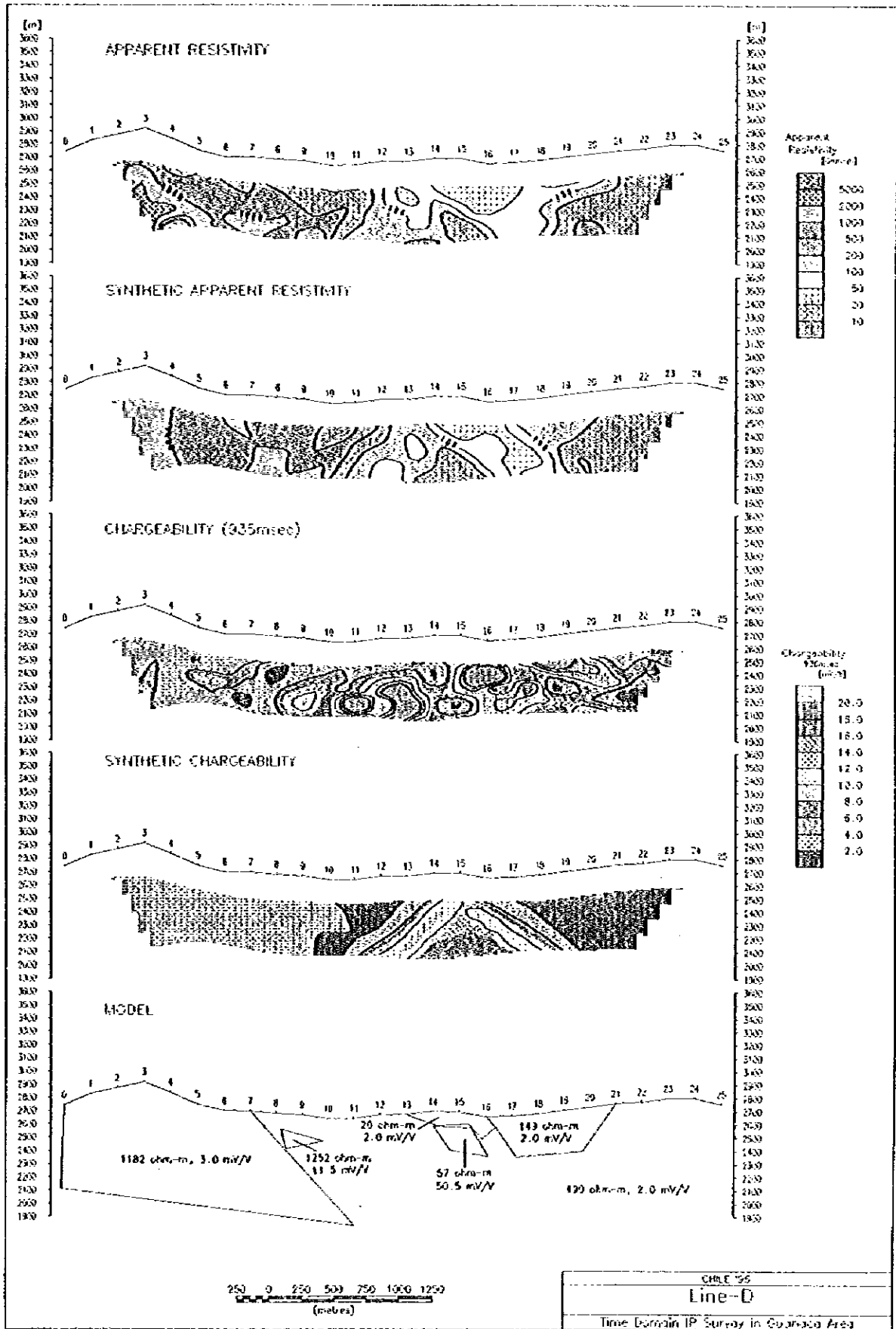


Fig.2-4-15 Section of simulated results (Line D)

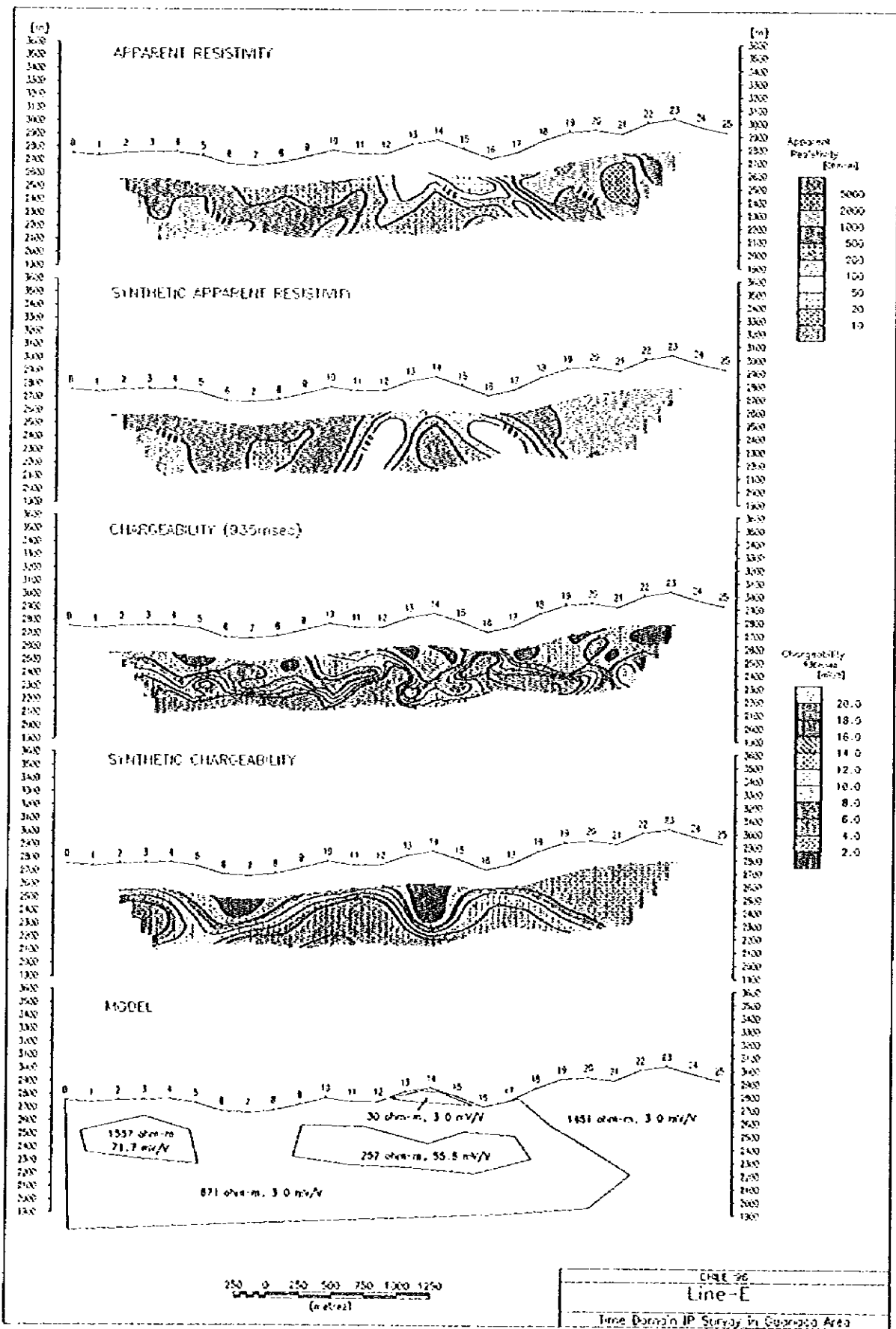


Fig.2-4-16 Section of simulated results (Line E)

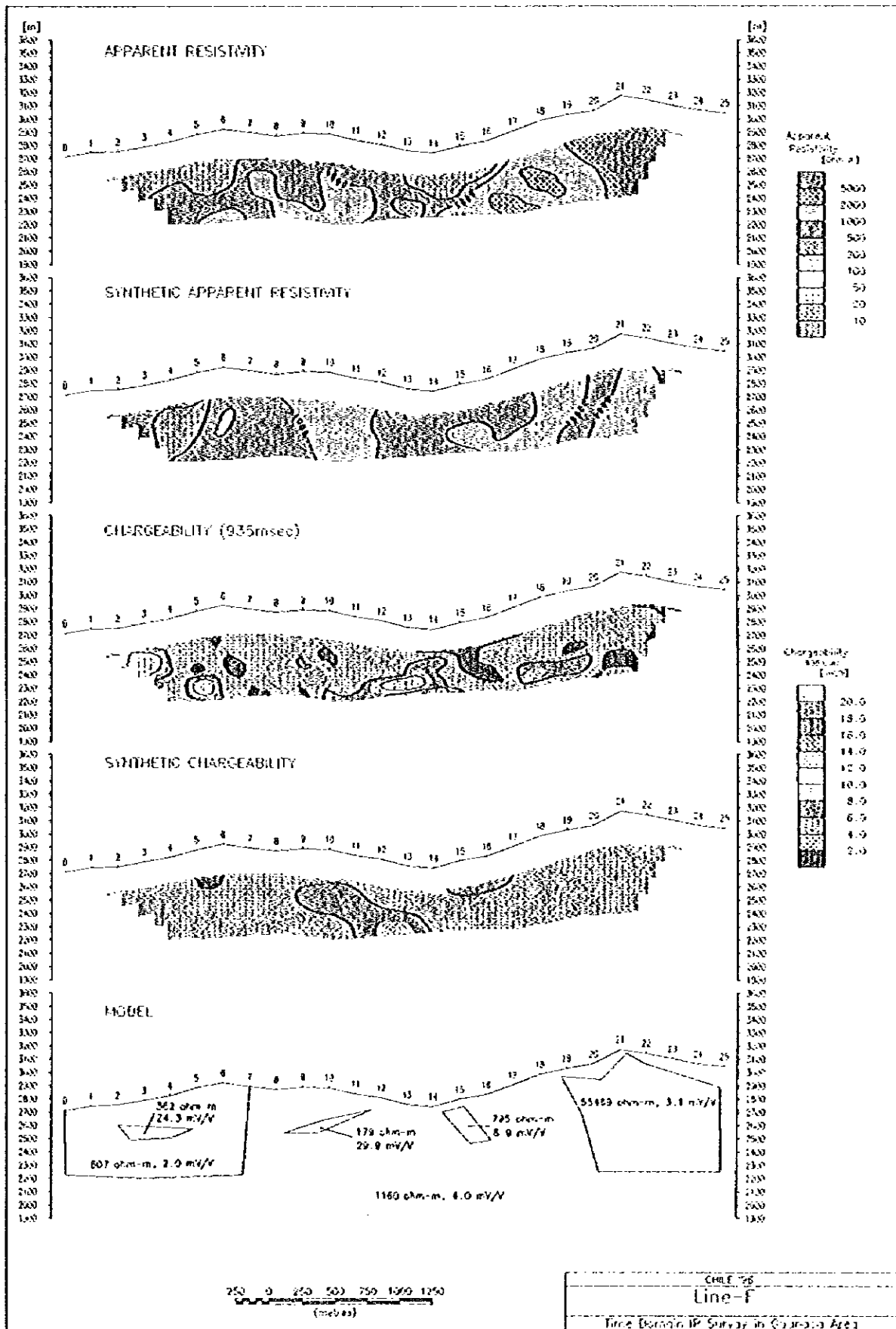


Fig.2-4-17 Section of simulated results (Line F)

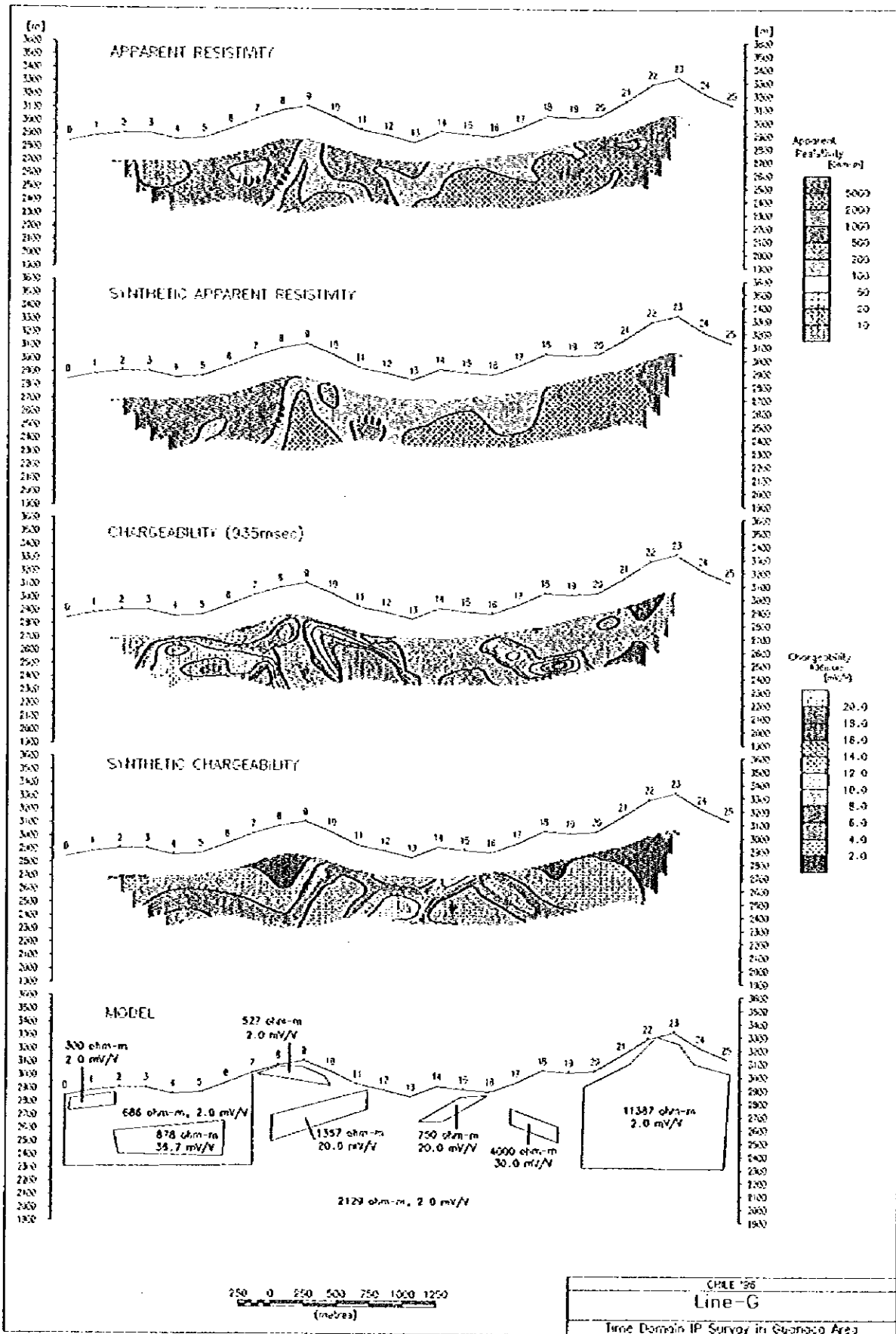


Fig.2-4-18 Section of simulated results (Line G)

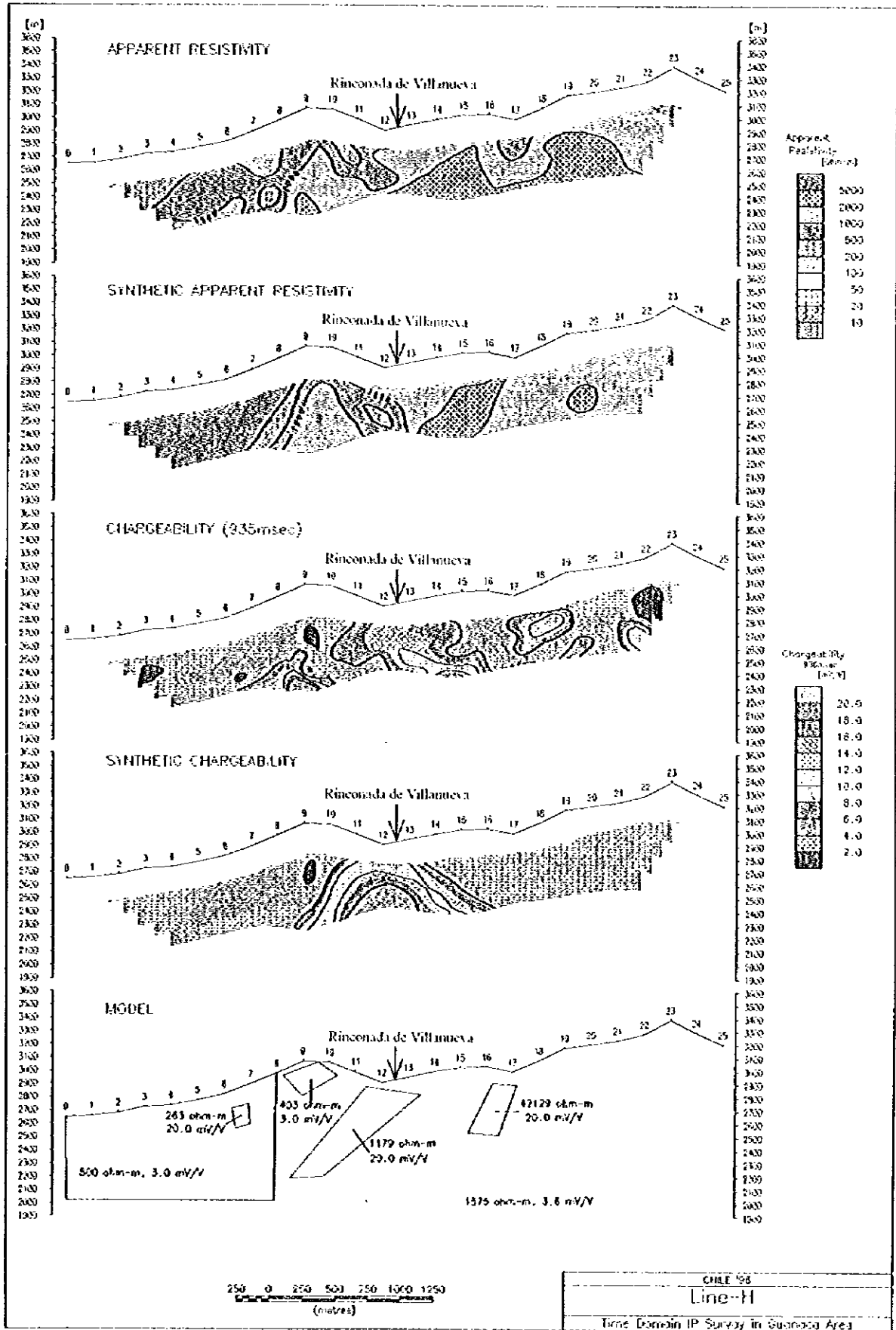


Fig.2-4-19 Section of simulated results (Line H)

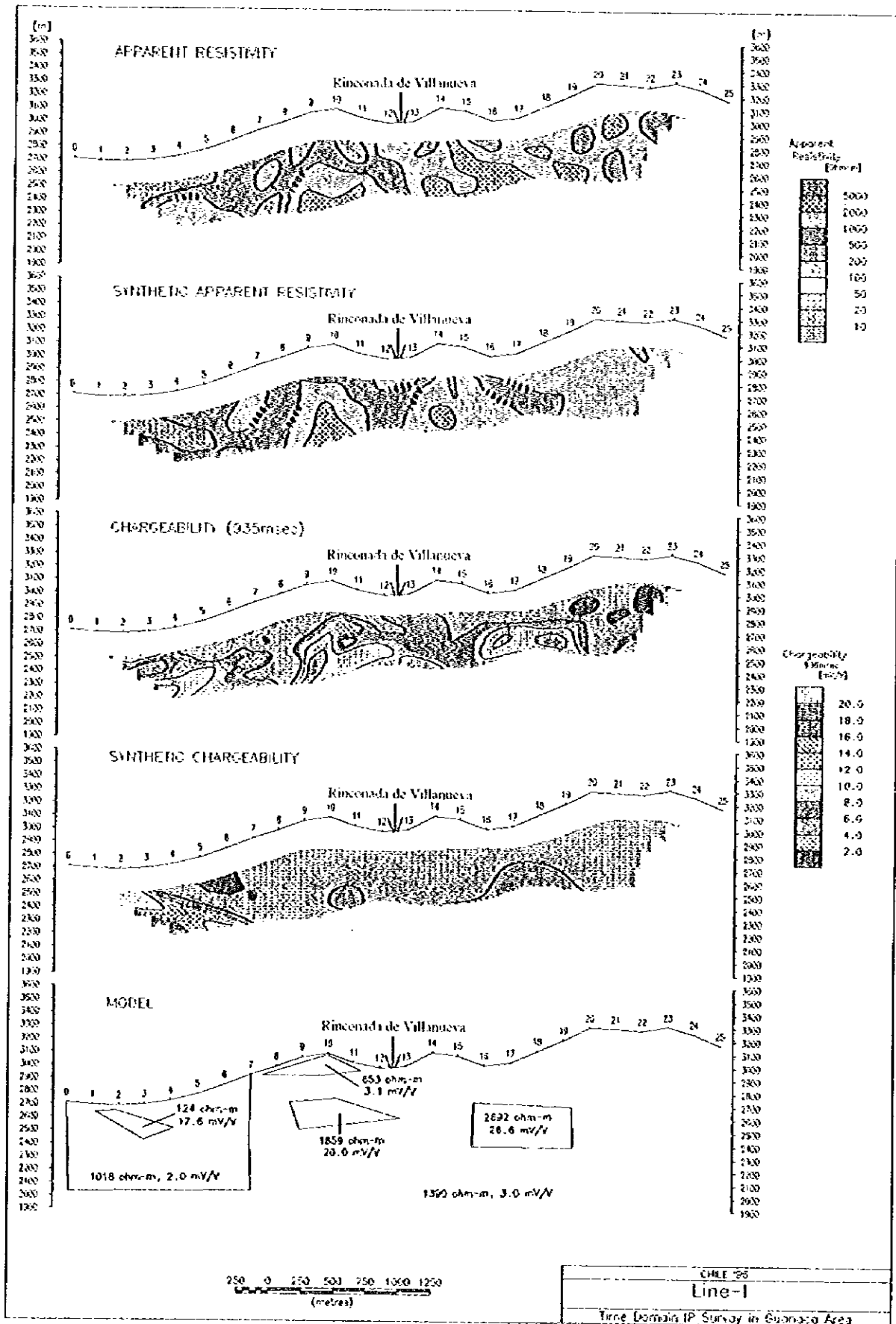


Fig.2-4-20 Section of simulated results (Line I)

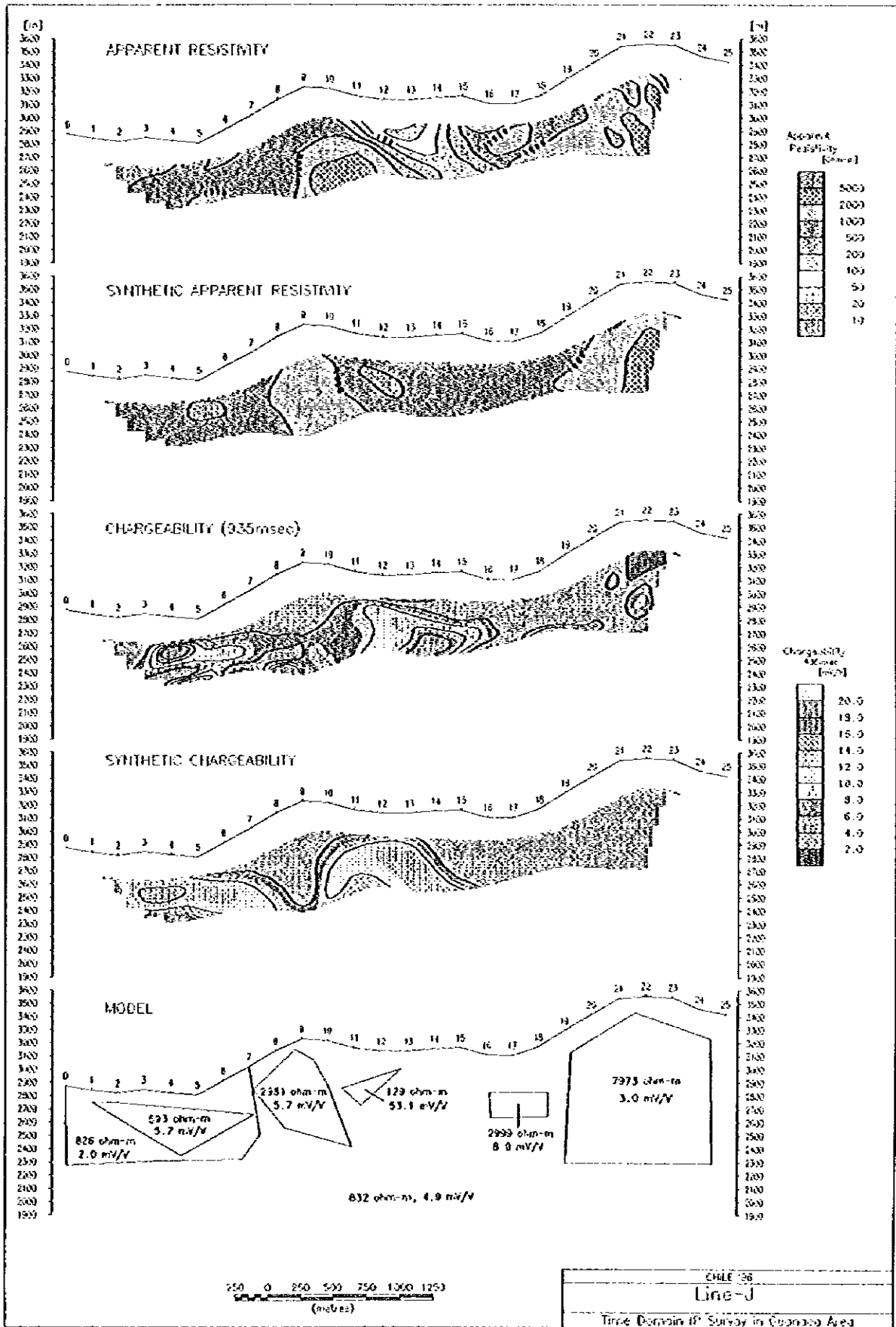


Fig.2-4-21 Section of simulated results (Line J)

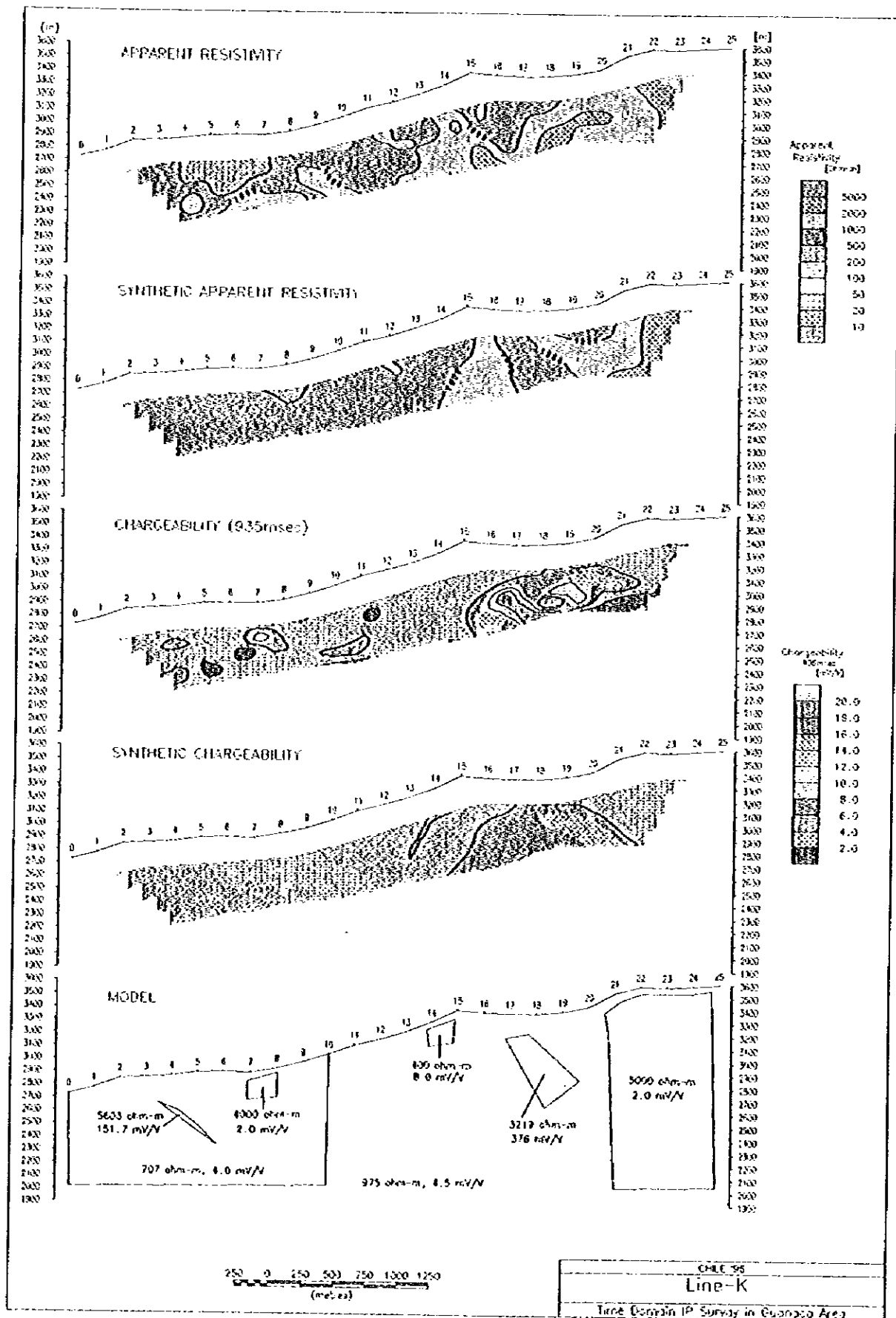


Fig.2-4-22 Section of simulated results (Line K)

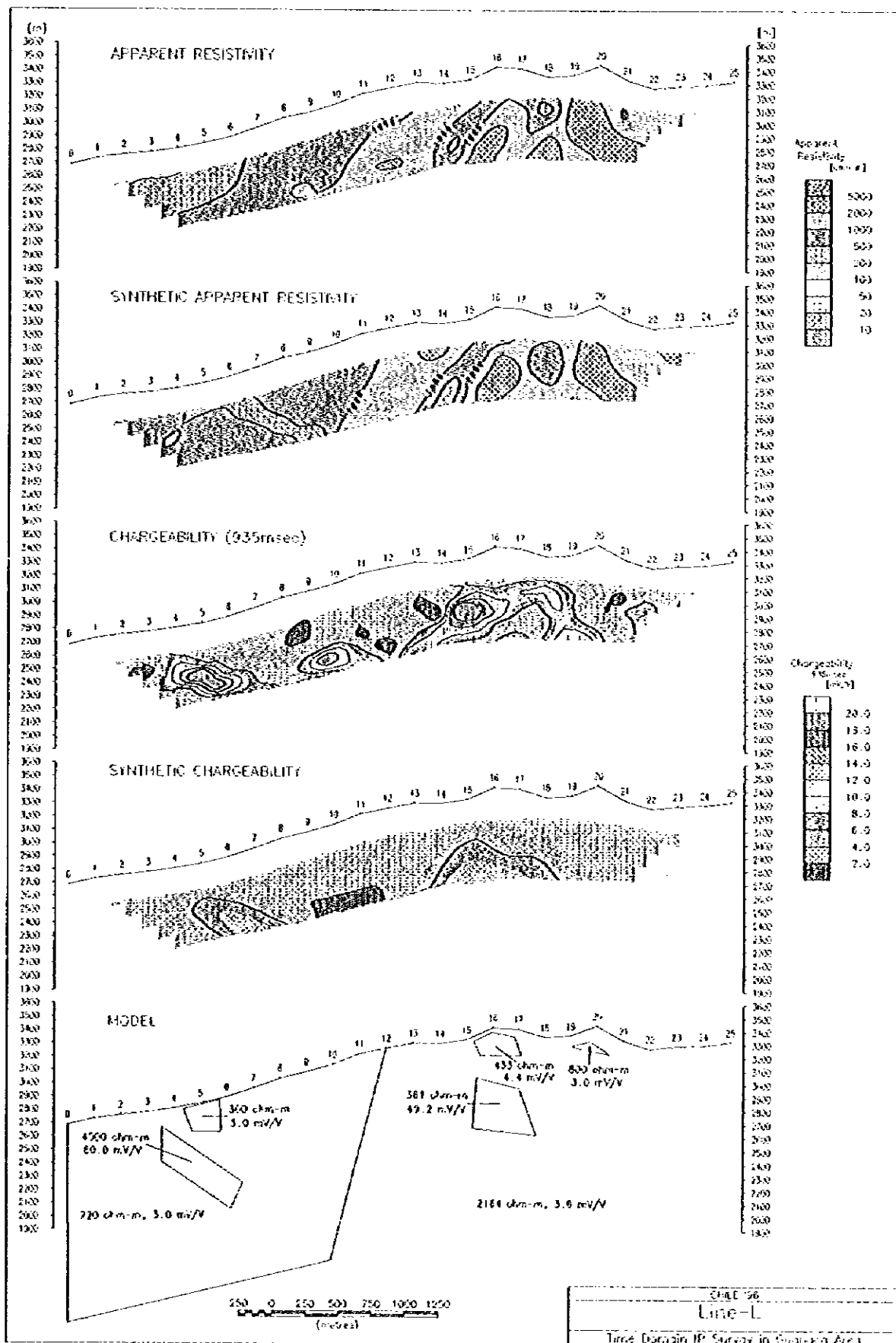


Fig.2-4-23 Section of simulated results (Line L)

0

0

0

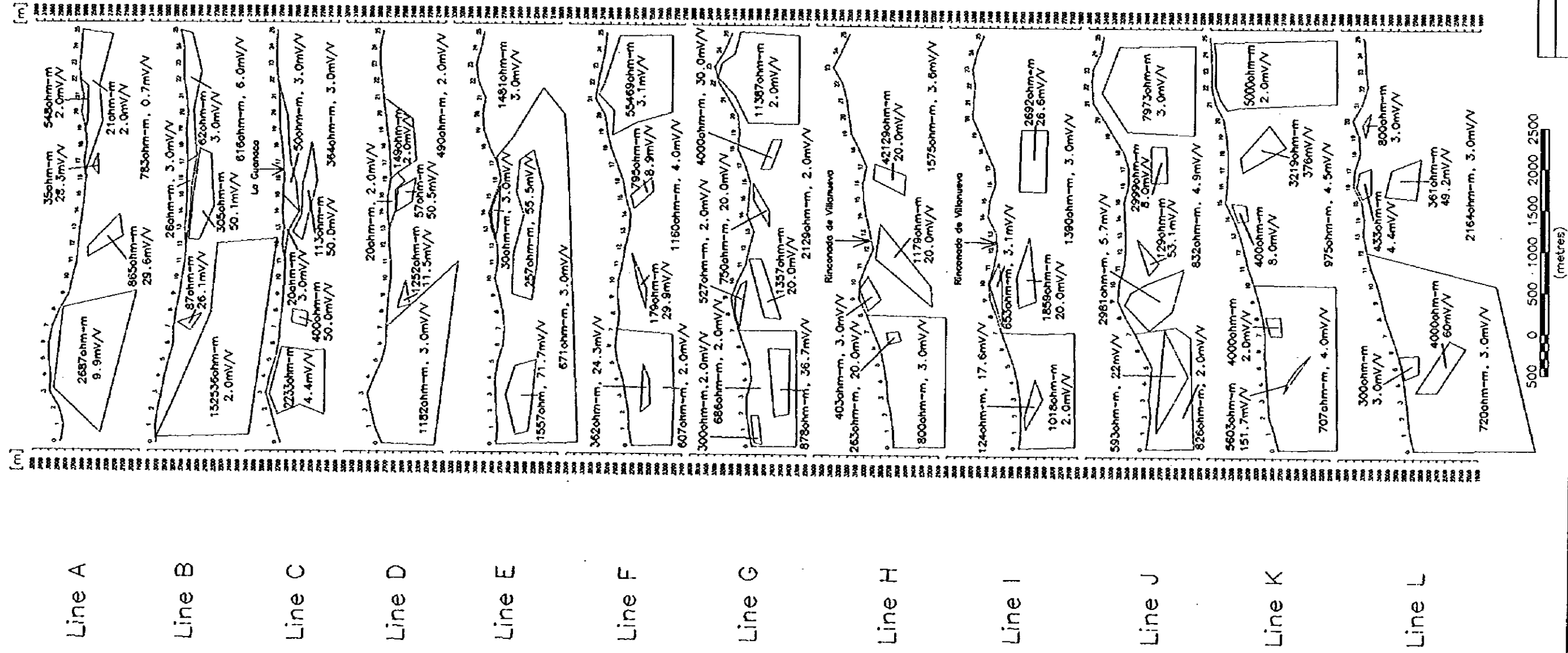


Fig.2-4-24 Panel diagram of simulated models

500 0 500 1000 1500 2000 2500 (metres)

CHILE '36
PANEL DIAGRAM OF MODEL

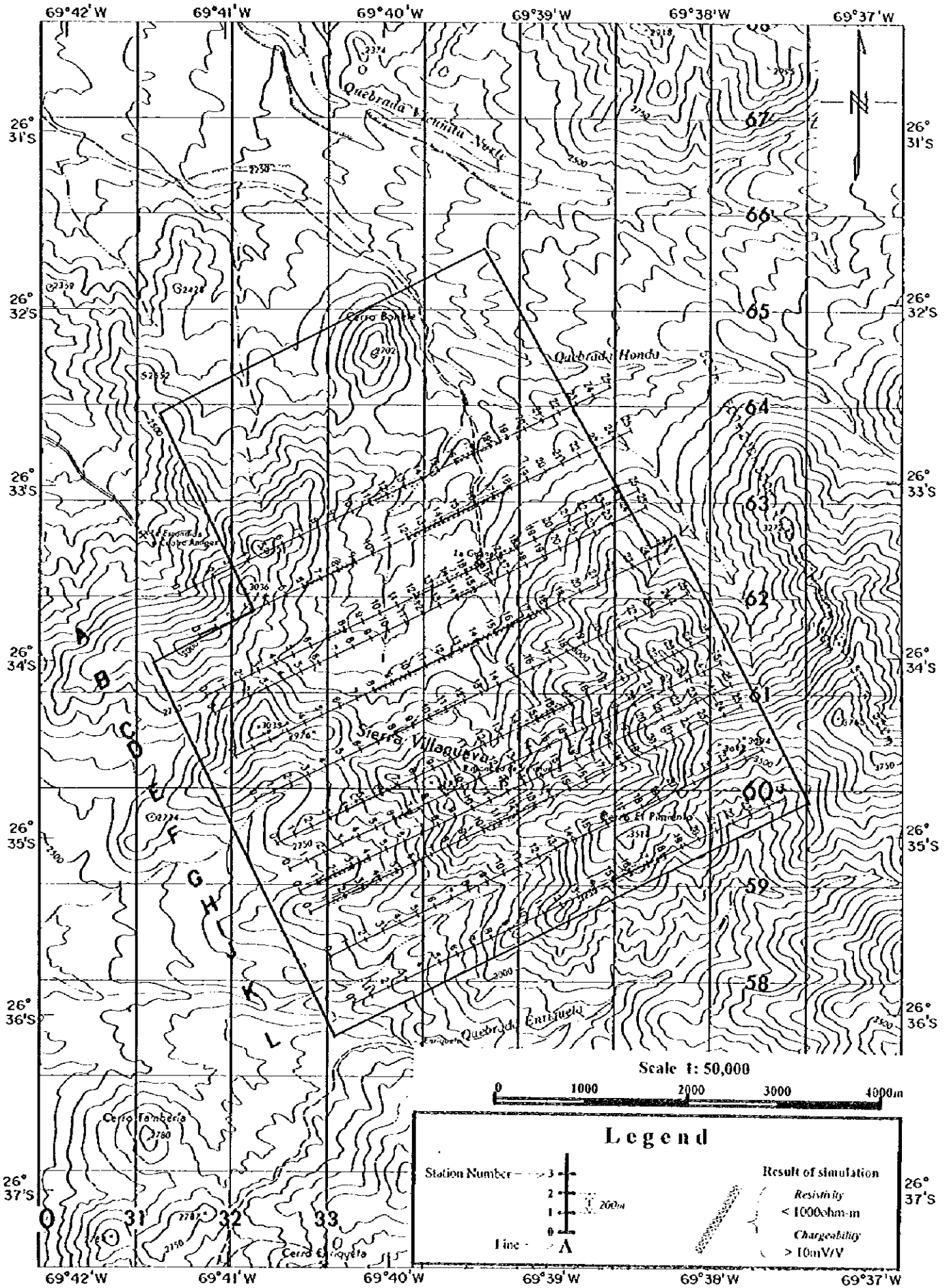


Fig.2-4-25 Comprehensive analysis of geophysical survey

4-5 物理探査結果の総括

グアナカ地域の見掛比抵抗は一般に $500\ \Omega \cdot m \sim 5000\ \Omega \cdot m$ と高く、北東部のアタカマ稜層の分布域では $200\ \Omega \cdot m$ 以下と低い。

鉱微地の La Guanaco は低見掛比抵抗域に位置し、 Rinconada de Villanueva 及び中央鉱微地は $200\ \Omega \cdot m \sim 1000\ \Omega \cdot m$ の中見掛比抵抗域に位置する。

これらの鉱微地の近傍及びその他の数箇所で高分極率異常が検出された。

物理探査結果から有望地点として次の2地点を指摘できる。

1) J 測線のNo. 10~No. 13の間

この異常体は $100\ \Omega \cdot m$ 以下の低見掛比抵抗域、 10mV/V 以上の高分極率異常域で $129\ \Omega \cdot m$ 、 53.1mV/V の異常体として解析され、近傍に鉱微地 Rinconada de Villanueva が位置し、深部に賦存する硫化鉱を反映している可能性がある。

2) B 測線のNo. 6~No. 8の間

この異常体は $200\ \Omega \cdot m \sim 1000\ \Omega \cdot m$ の中見掛比抵抗域、 10mV/V 以上の高分極率異常域で $100\ \Omega \cdot m$ 、 50mV/V の異常体として解析され、中央鉱微地の深部に賦存する硫化鉱を反映している可能性がある。

第5章 考察

5-1 各鉱徴地の特徴

本地域に分布する主な鉱徴地の特徴をまとめたものを Table 1-4-1 に示す。

La Guanaca 鉱徴地では、黄銅鉱・黄鉄鉱の鉱染型鉱化作用が小さなポーフイリーストックに見られる。ストックには、カリ長石、黒雲母などの変質鉱物が生じ、ポタシック変質が認められる。周囲には、セリサイト変質がある。本鉱徴地の岩石および鉱石は、地化学的には、銅、モリブデンに富む傾向にある。

中央鉱徴地では、石英脈にともなう鉱化作用がある。石英脈は、セリサイト変質帯中に分布する。セリサイト変質帯は、プロピライト変質帯に囲まれる。本鉱徴地に分布する岩石および鉱石の地化学的特徴は、銅以外に、金、銀、モリブデン、鉛、および亜鉛に富む傾向がある。また、流体包有物の均質化温度および塩濃度は、Rinconada 鉱徴地よりも、やや高い傾向を持つ。

Rinconada 鉱徴地については、中央鉱徴地とほぼ同様な特徴を持つ。違いは、Rinconada のほうが、中央鉱徴地に比べ、金、銀、鉛に富み、流体包有物の均質化温度および塩濃度が低い。

データは不十分であるが、このような各鉱徴地の特徴は、これらを一つのポーフイリー型銅鉱化作用のシステムの中で、統一的に考えることを可能にする。

すなわち、ポーフイリー型銅鉱化作用には、次のような地化学的ゾーニングがあることが知られている。鉱化作用の中心付近では、銅、モリブデンが濃集し、周辺地域では、銅の他、金、鉛、亜鉛などが濃集する傾向がある。また、鉱化の産状は、鉱化中心では、石英細脈のストックワークが発達し、周辺では、脈となる傾向がある（例えば、Lowell and Guilbert, 1970, Lang and Eastoe, 1988; Ortiz et al., 1986; Thompson, 1993; Titley, 1993 など）。このような、ゾーニングと、本地域の各鉱徴の分布と特徴を対比した場合に、各鉱徴地について、次のように解釈することができる。

La Guanaca 鉱徴地は、ポーフイリー型銅鉱化作用の特徴を有する。ただし、鉱化の産状は、鉱染型であり、典型的なポーフイリー型鉱化作用に観察される、D-vein (Gustafson and Hunt, 1975) などの石英脈のネットワークは認められない。したがって、鉱化の規模は、極めて小さなものか、あるいは、より深部に、より規模の大きなポーフイリーストックがあり、そこに、典型的な、石英脈ネットワークに伴う鉱化作用が発達している可能性も考えられる。

中央鉱徴地および Rinconada 鉱徴地は、ポーフイリー型鉱化作用の周辺に分布する鉱化作用であると考えられる。ただし、垂直的なゾーニングを仮定することができれば、Rinconada 鉱徴地付近の深部に、ポーフイリー型鉱化作用の中心を推定することも可能と考えられる (Vila and Sillitoe, 1991)。Rinconada 鉱徴地付近に認められる IP 異常域

が、垂直的ゾーニングを考えた場合の、深部に予想されるポーフイリー型鉱化作用を表しているのかもしれない。

5-2 探査モデル

多くは推測の域を出ないが、前項のような解釈から、本地域の探査モデルを考える (Fig.2-5-1)。

本年度の現地調査以前に、既存データに基づいて作成した、探査モデル (Fig.1-3-3) とは基本的には、変わっていないが、次の点が異なる。

このモデルでは、Rinconada 鉱徴地は、La Guanaca 鉱徴地付近に推定されるポーフイリー型鉱床の周辺鉱徴と考えている。また、垂直的ゾーニングを仮定した場合、Rinconada 深部にもポーフイリー型鉱床の賦存の可能性を考えている。

また、中央鉱徴地も La Guanaca 付近に推定されるポーフイリー型鉱床と同一システムの中の周辺鉱徴として位置づけている。

5-3 本地域の緑泥石、緑簾石変質について

中央部花崗閃緑岩体 (Gd) を除き、本地域に分布する岩石のほとんどは、緑泥石・緑簾石変質が認められる。この緑泥石・緑簾石化は、次の3つのステージで生成されたと考えられる。

- a. 白亜紀の圧縮変形ステージ：低温の広域変成作用 (Cornejo et al., 1993)
- b. 花崗岩類の貫入にともなう熱変成作用
- c. マグマ-熱水活動にともなう変質作用：プロピライト変質

これらを識別することは困難であるが、次の点から、Rinconada 鉱徴地に分布する緑簾石変質は、c. のプロピライト変質と考えられる。

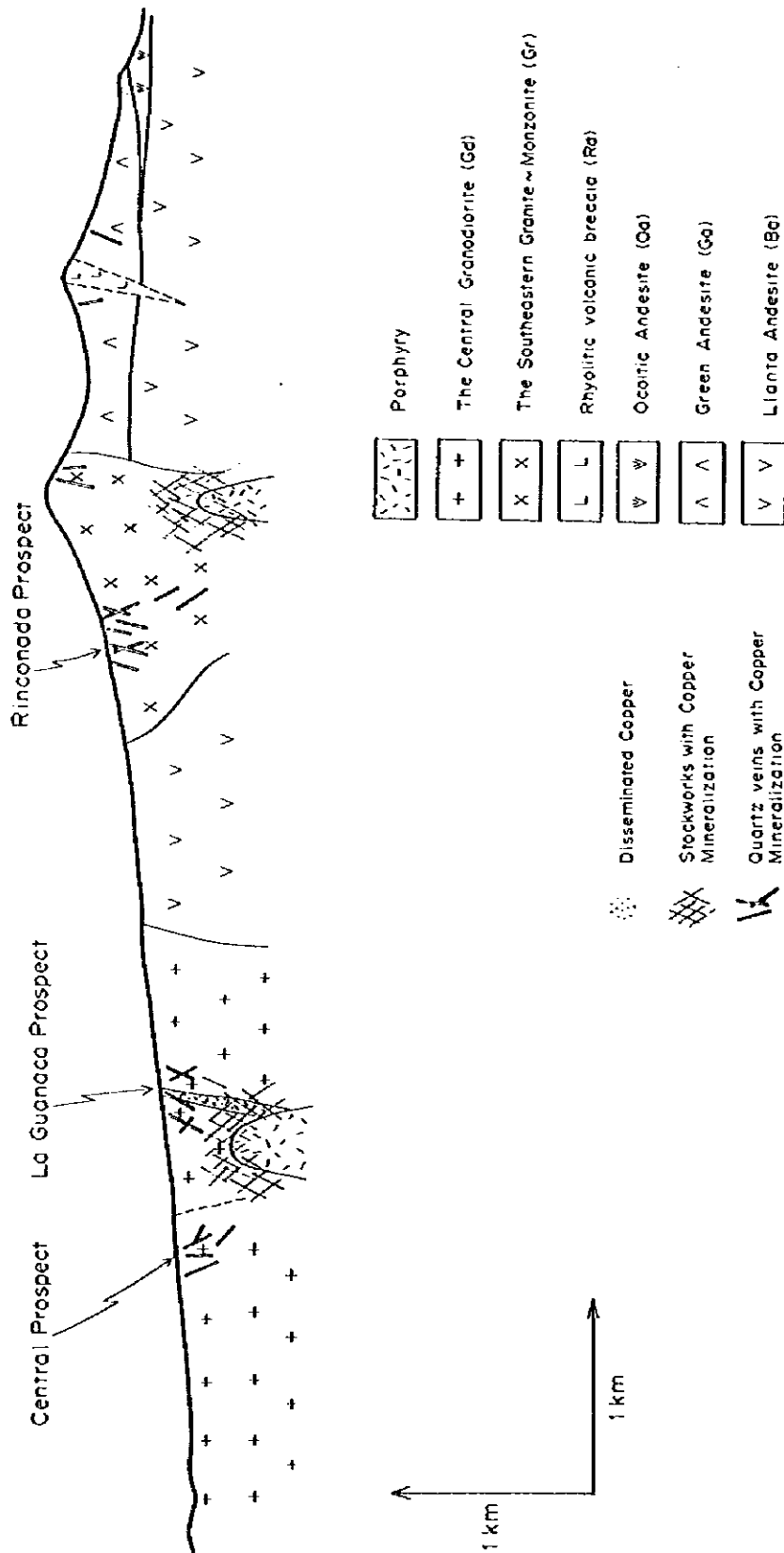
- ・Rinconada の鉱徴地のアプライト質花崗岩に広く分布する緑泥石、緑簾石変質については、岩石の生成年代から、白亜紀の広域変成作用で生じた可能性は考えにくい。
- ・Rinconada 鉱徴地のセリサイトの年代は、 45.6 ± 1.2 Ma であり、緑泥石・緑簾石変質した母岩の年代とは、誤差の範囲で一致している。このことから、アプライト質花崗岩の緑泥石・緑簾石変質は、本地域の熱水変質作用と一連の活動で形成されたと考えられる。

一方、La Guanaca 鉱徴地の母岩になっているポーフイリー-ストック (Hp) および花崗閃緑岩 (Gd3, Gd1) は、緑簾石化はほとんどない。これに対しては、次の2つの説明が可能である。一つは、これらが、低温の広域変成作用を被っていないために、緑簾石が生じていないとするものと、もう一つは、ポーフイリー型鉱化作用に伴うプロピライト変質ゾーンの内側であるために、緑簾石化が認められないとするものである。

後者の可能性については、次の点から支持される。

- La Guanaca 鉱徴地および Rinconada 鉱徴地のセリサイトの年代値のわずかな違いは、第3章、3-4節で前述したように、同一のマグマ-熱水活動のシステムの発達段階の違い説明できる。
- 両鉱徴地には、セリサイト変質が共通して観察されるが、La Guanaca 鉱徴地には、ポタシック変質があり、Rinconada 鉱徴地には、プロピライト変質が認められる(上述)。これは、ポーフィリー型銅鉱化作用システムに観察される変質帯ゾーニングと一致すると見ることができる。

S



N

Fig. 2-5-1 Exploration model following the phase II survey in the Guanaca Area.

