

## 第3章 IP法物理探査

### 3-1 調査概要

#### 3-1-1 目的

第1年次に実施した地質調査及び物理探査(IP法)により推定された鉱床胚胎層準に対しさらに精度をあげた物理探査(IP法)を実施し、鉱化作用及び地質構造に関連するIP異常帯の抽出を行う。

#### 3-1-2 探査手法

時間領域IP法

#### 3-1-3 調査数量

調査数量は次に示すとおりである。

・現地調査

測線延長	10 km
測線数	10 本
測点数	260 点

・室内試験

	37 件
--	------

### 3-2 調査方法

#### 3-2-1 測定原理

IP法は、大地の電気的な分極効果(IP効果)を観測する探査法である。IP効果は次のような現象から生じる。

金属鉱物を含む岩石に直流電流を流すと、鉱物の表面と周囲の間隙水の間で電位が生じ、電荷が蓄えられ、分極が起こる。この電荷は、電流の切断後、徐々に放出され、時間の経過とともに減衰する残留電圧を発生させる。ただし、IP効果は、金属鉱物を含む岩石以外に、石墨、粘土を含む堆積岩などにおいても生じる場合がある。

時間領域IP法では、送信電流として、通常Fig.2-3-1に示す方形波断続交流が用いられる。受信電位は、通電時の1次電位 $V_p$ 及び電流切断時の減衰電圧(2次電位 $V_s$ )から形成される。IP効果の大きさを表す指標としては、充電率を受信電位から求める。

充電率 $M$ は、(3-1)式で定義される。1次電位に対する2次電位の時間積分の比であり、単位は $mV/V$ である。

$$M = 1 / V_p / (t_2 - t_1) \cdot \int_{t_1}^{t_2} V_s dt \quad (3-1)$$

t1: 2次電位積分開始時間 t2: 2次電位積分終了時間

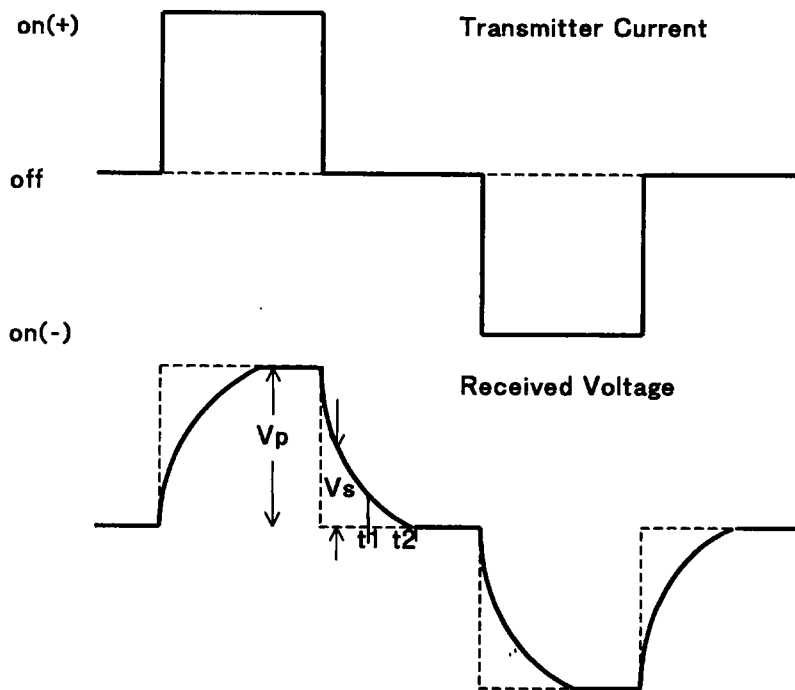


Fig.2-3-1 Wave Form of Transmitter Current and Received Voltage

### 3-2-2 測定方法

第1年次のIP法調査により高充電率異常域として抽出された測点B-12周辺、測点M-27周辺及び測点P-18周辺の3地区に対して、10本の測線をTable 2-3-1に示す延長で設定した。測線間隔は第1年次の300mに対して、それらを補間するよう100mとした(Fig. 2-3-2)。

測定の様子は以下に示すとおりである。

電極配置	: ダイポール・ダイポール配置
測点間隔	: 100 m
電極間隔	: 100 m
電極隔離係数	: 1 ~ 4
観測量	: 電位及び充電率
ON/OFF タイム	: 2 sec
2次電位測定開始時間	: 450 msec

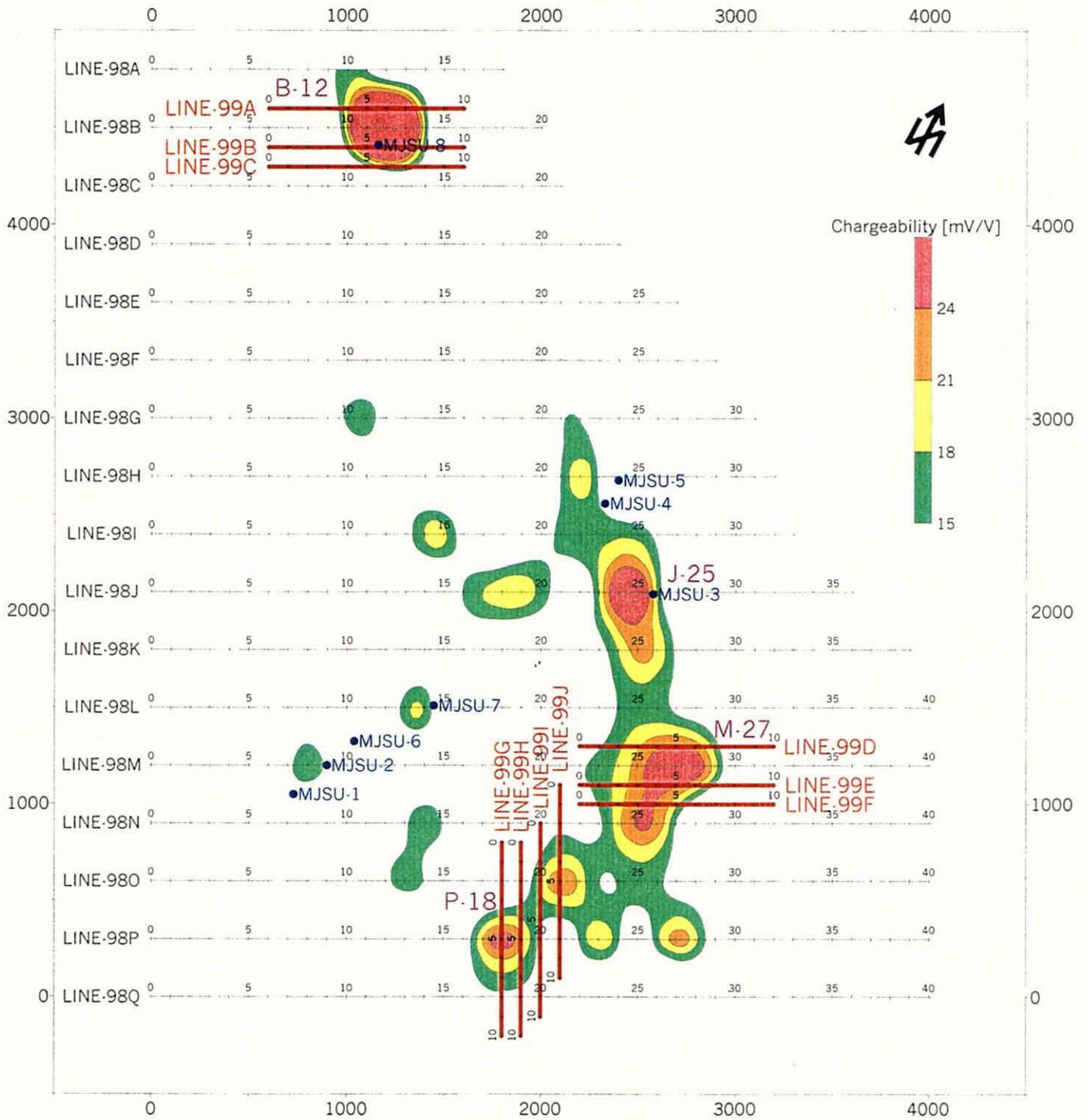


Fig.2-3-2 Location Map of IP Survey Lines

2次電位測定終了時間 : 1,100 msec

使用した測定機器は、Table 2-3-2 に示すとおりである。

Table 2-3-1 List of IP Survey Lines

Line	Length [km]	Amount of Measuring Points
99A	1.0	26
99B	1.0	26
99C	1.0	26
99D	1.0	26
99E	1.0	26
99F	1.0	26
99G	1.0	26
99H	1.0	26
99I	1.0	26
99J	1.0	26
Total	10.0	260

Table 2-3-2 List of IP Survey Equipment

ITEM	MODEL	SPECIFICATION
Transmitter	Chiba CH-96T Transmitter	Output Voltage : 70, 120, 180, 250, 330, 420, 520, 630, 750, 880 V Output Current : 0~15 A
	Chiba CH-96A Power Controller	Wave Form : Rectangular Wave Frequency Range : DC~10,000 Hz Weight : 67 kg
Engine Generator	Honda ET4500 Engine Generator	Output Power : 4.5 kW Output Voltage : 200 V Weight : 78 kg
Receiver	Scintrex IPR-12 Time Domain IP/Resistivity Receiver	On/Off Time : 1, 2, 4, 8, 16, 32 s Resolution (VP) : 10 $\mu$ V Resolution (M) : 0.01 mV/V Power : 12V Battery Weight : 5.8 kg
Electrode		Current : Stainless Rod Potential : Non Polarization CuSO <sub>4</sub> Porous Pot

### 3-2-3 室内試験

本調査地域において代表的な岩石及び鉱石を採取し、野外調査に準じた測定方法により、比抵抗及び充電率の測定を行った。室内試験を行ったサンプル数は 37 件である。

### 3-2-4 解析方法

解析は、Fig.2-3-3 のフローに従って行い、それぞれ平面図及び断面図を作成した。

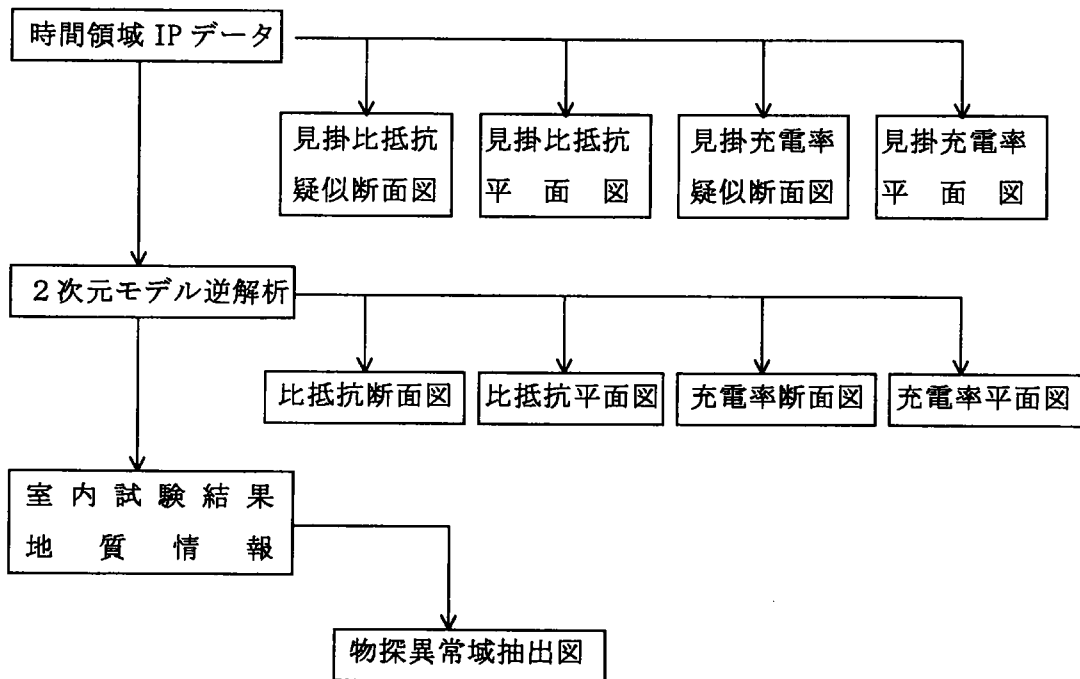


Fig.2-3-3 Flow Chart of the Analytical Method

#### (1) 見掛比抵抗疑似断面図

見掛比抵抗値を、測定に使用した電極系の中点の直下、深度  $a(n+1)/2$  の位置にプロットし、測線毎に断面図にしたものである。ただし、 $a$  は電極間隔、 $n$  は電極隔離係数である。

#### (2) 見掛比抵抗平面図

見掛比抵抗値を電極隔離係数別にプロットした平面図である。

#### (3) 見掛充電率疑似断面図

見掛充電率値を、測定に使用した電極系の中点の直下、深度  $a(n+1)/2$  の位置にプロットし、測線毎に断面図にしたものである。

#### (4) 見掛充電率平面図

見掛充電率値を電極隔離係数別にプロットした平面図である。

#### (5) 2次元モデル逆解析

測線毎に構造を2次元と仮定し、観測値に最も近似した見掛比抵抗分布を与える比抵抗分布を求めるものである。2次元モデルの順解析には有限要素法を用い、比抵抗分布の最適化には平滑化拘束付最小二乗法を用いている。比抵抗分布を決定した後、最小二乗法により充電率の分布を求める。この際、見掛充電率は、見掛比抵抗の感度を重み関数とした充電率の加重平均であると仮定する。

#### (6) 比抵抗断面図

2次元モデル逆解析で得られた比抵抗分布を、測線毎に断面図にしたものである。

#### (7) 比抵抗平面図

2次元モデル逆解析で得られた結果から、一定深度における比抵抗分布を作成した平面図である。

#### (8) 充電率断面図

2次元モデル逆解析で得られた充電率分布を、測線毎に断面図にしたものである。

#### (9) 充電率平面図

2次元モデル逆解析で得られた結果から、一定深度における充電率分布を作成した平面図である。

#### (10) 物探異常域抽出図

物理探査結果の異常域を抽出した平面図である。

### 3-3 調査結果

#### 3-3-1 測定値

##### (1) 見掛比抵抗

10 測線の見掛比抵抗擬似断面図を Fig. 2-3-4～Fig. 2-3-5 に示し、 $n=2$  及び 4 の見掛比抵抗平面図を Fig. 2-3-6 及び Fig. 2-3-7 に示す。

本調査地域の比抵抗は、見掛比抵抗の平均値が約 600ohm-m と全般的に高い。比抵抗は浅部から深部に向けて高くなり、100ohm-m 以下の低比抵抗域は表層部に分布する。調査地域全体からみれば、3 地区はやや比抵抗が低い分布域にある。

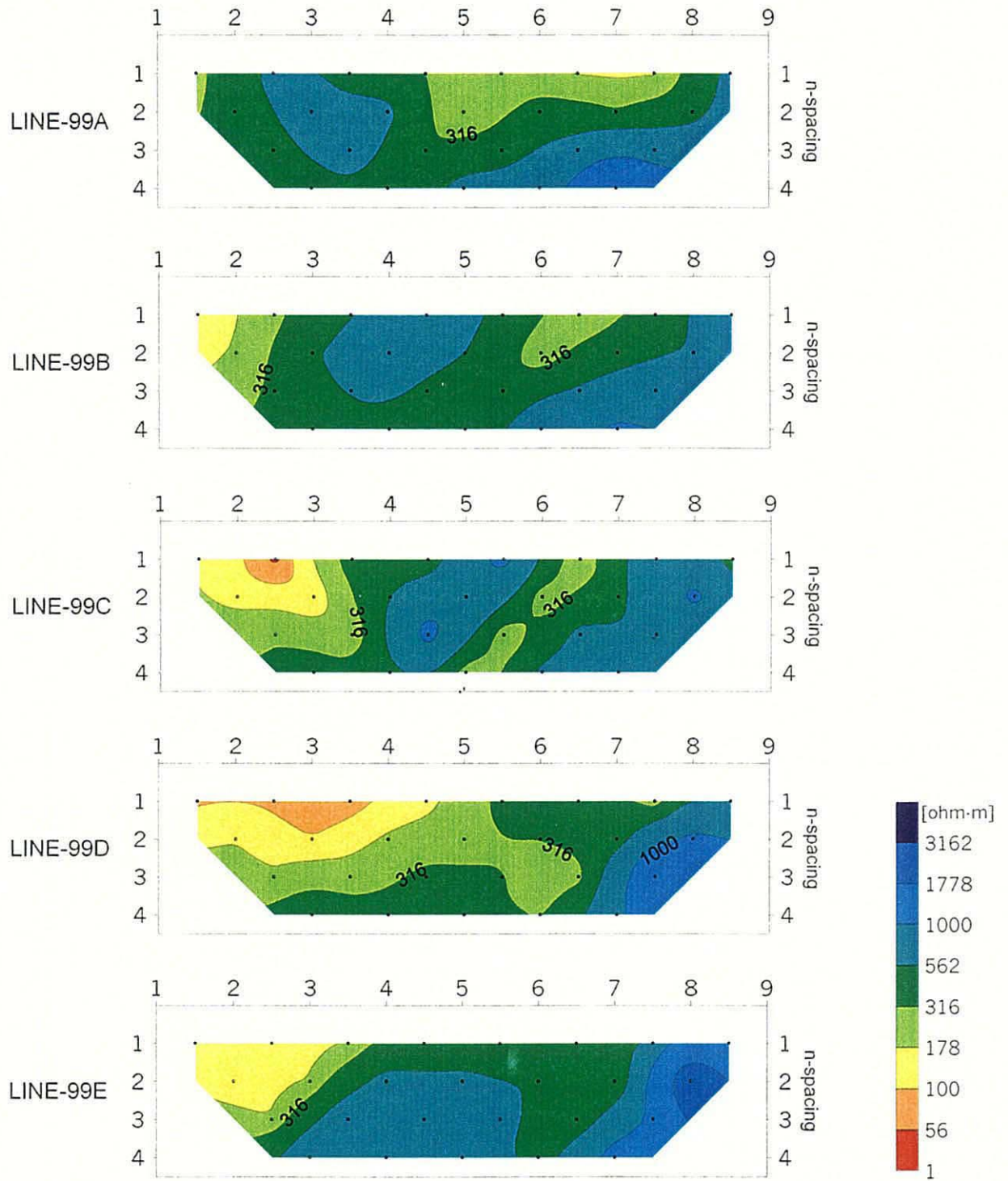


Fig.2-3-4 Apparent Resistivity Pseudosection (Line-99A,99B,99C,99D,99E)

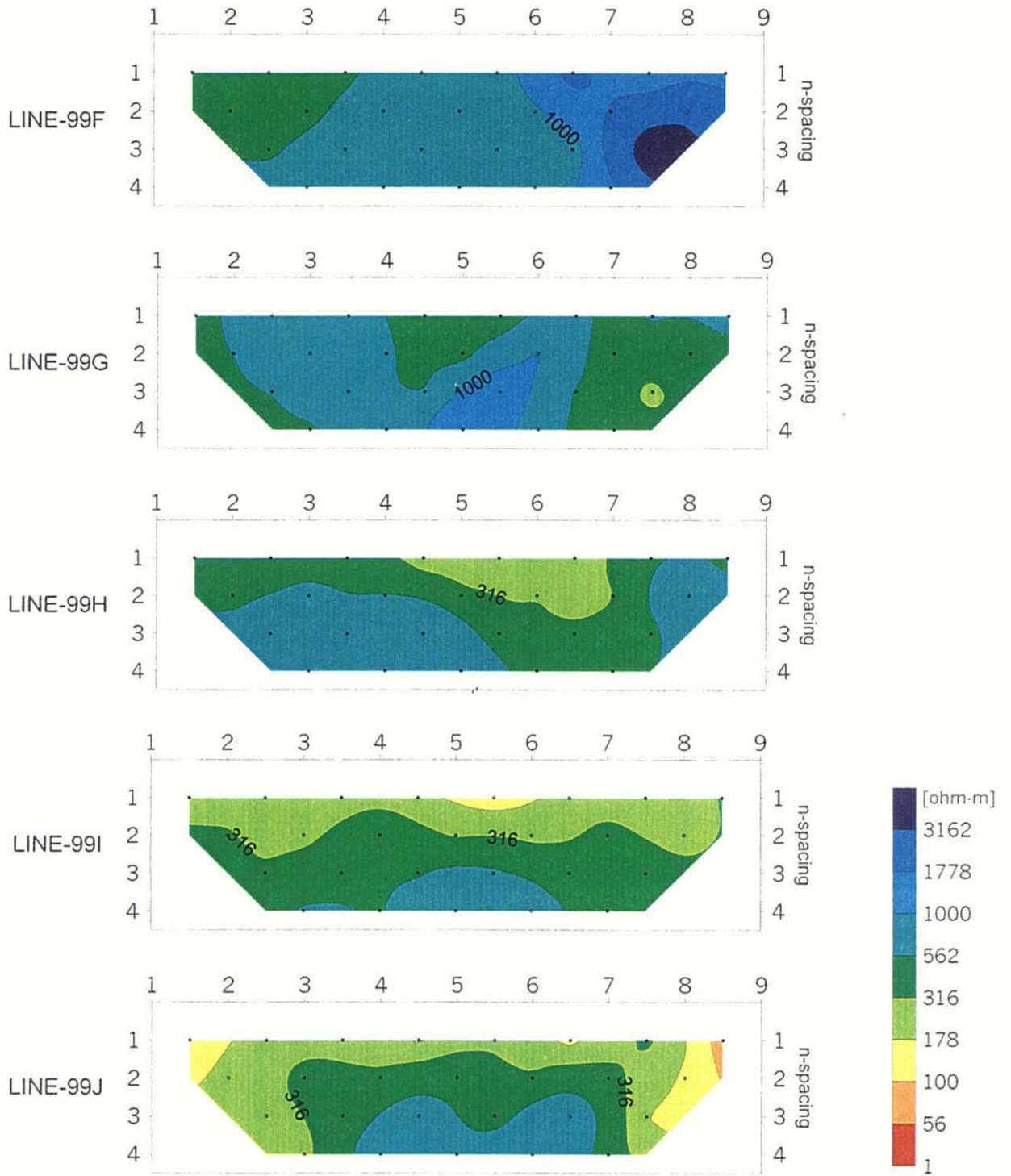


Fig.2-3-5 Apparent Resistivity Pseudosection (Line-99F,99G,99H,99I,99J)



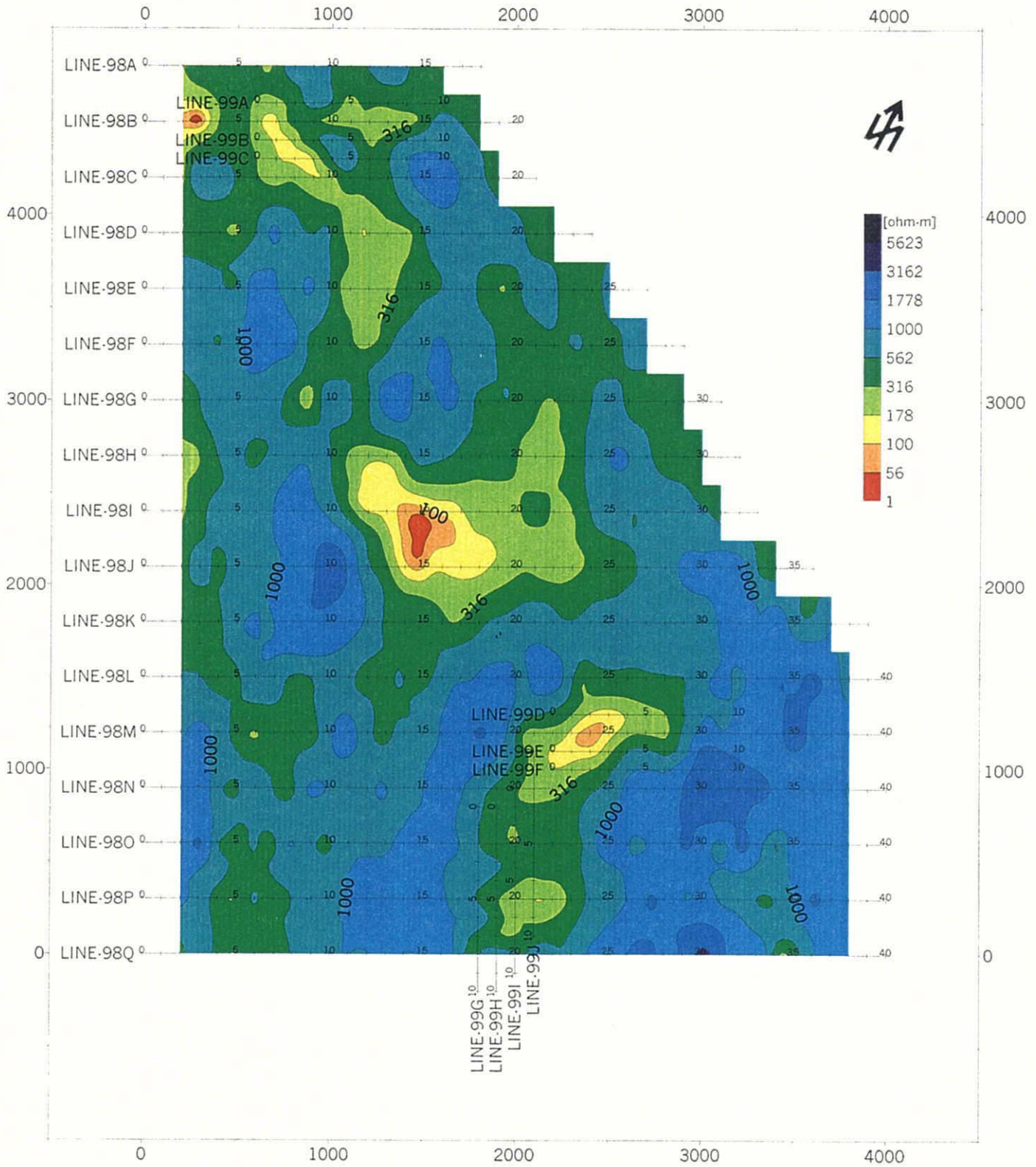


Fig.2-3-6 Apparent Resistivity Map (n=2)

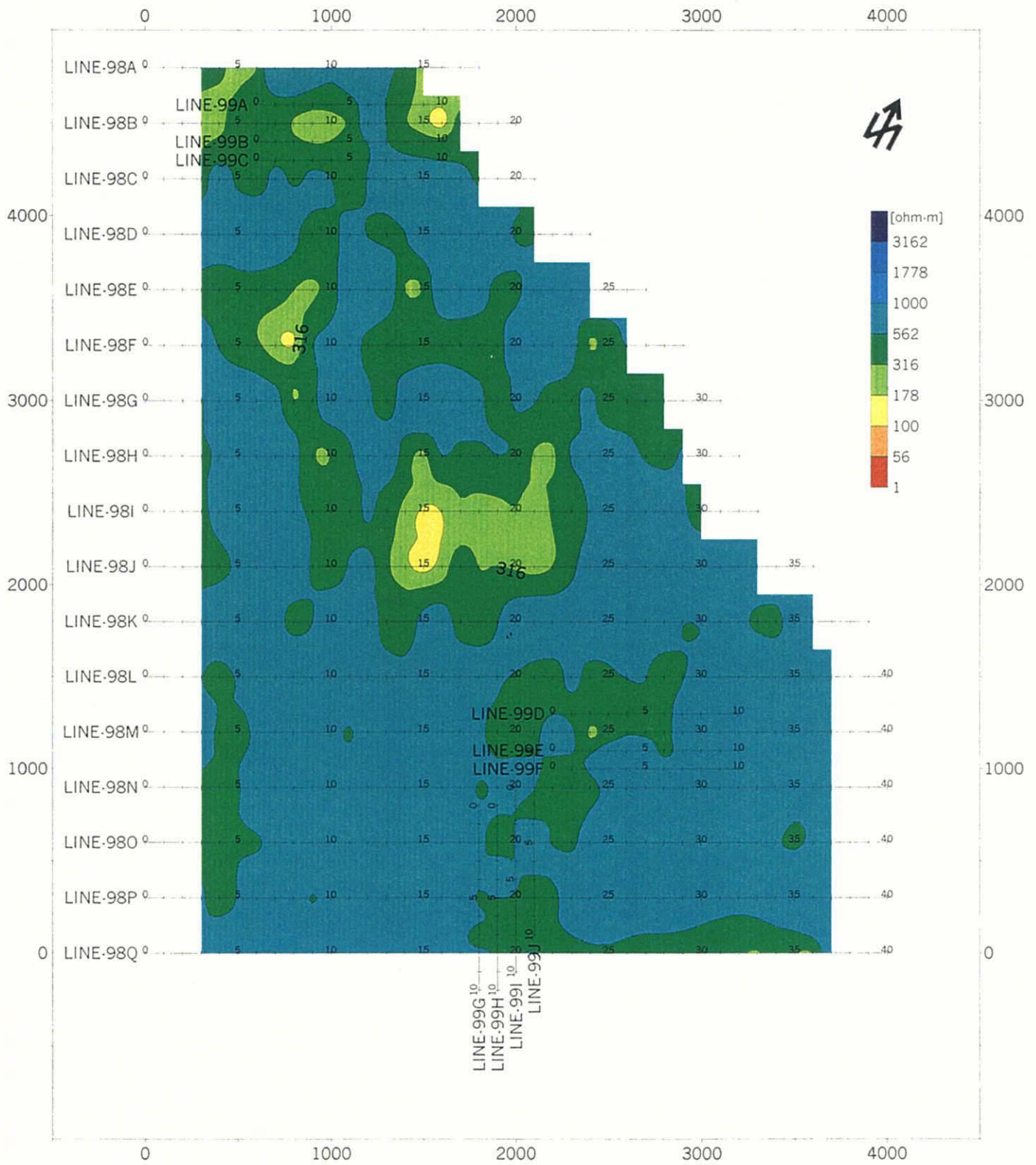


Fig.2-3-7 Apparent Resistivity Map (n=4)

## (2) 見掛充電率

10 測線の見掛充電率擬似断面図を Fig. 2-3-8～Fig. 2-3-9 に示し、 $n=2$  及び 4 の見掛充電率平面図を Fig. 2-3-10 及び Fig. 2-3-11 に示す。

本調査地域の充電率のバックグラウンド値は、見掛充電率から判断して、3～5mV/V である。12mV/V 以上の充電率異常域は、測線 99A 及び測線 99B の中央部の浅部から深部の広い範囲に認められる。また、測線 99H 及び測線 99I の深部の一部でも認められる。

## 3-3-2 解析結果

### (1) 比抵抗

2次元逆解析結果から作成した3地区毎の比抵抗断面図を Fig. 2-3-12～Fig. 2-3-14 に示し、2レベル(海拔 900m, 海拔 800m)の比抵抗平面図を Fig. 2-3-15 及び Fig. 2-3-16 に示す。

2次元逆解析により、比抵抗の分布及びコントラストが明瞭となった。100ohm-m 以下の低比抵抗域は表層部に部分的に分布するのみで、全域的に 500ohm-m 以上の高比抵抗が分布する。ただし、測点 98B-8 の深部には 100ohm-m 以下の低比抵抗域が認められる。

### (2) 充電率

2次元逆解析結果から作成した3地区毎の充電率断面図を Fig. 2-3-17～Fig. 2-3-19 に示し、2レベル(海拔 900m, 海拔 800m)の充電率平面図を Fig. 2-3-20 及び Fig. 2-3-21 に示す。

10 本の補間測線により、3地区における充電率の分布・形状が詳細に把握できた。

#### ① B-12 地区

測線 98B で抽出されていた規模の大きな高充電率異常は測線 99A 及び測線 99B でも捉えられ、WNW-ESE 方向へ伸びる傾向を示している。この中心部の充電率は 50mV/V を越える。

#### ② M-27 地区

測線 98M 及び測線 98N で抽出されていた南北方向へ伸びる高充電率異常は南北2つの異常域からなることが判明した。北側の測点 M-27 を中心とする強い異常域は NE-SW 方向へ伸びる楕円形の分布を示す。

#### ③ P-18 地区

測点 P-18 で捉えられていた高充電率異常は北方への伸びを示し、測点 0-21 へ

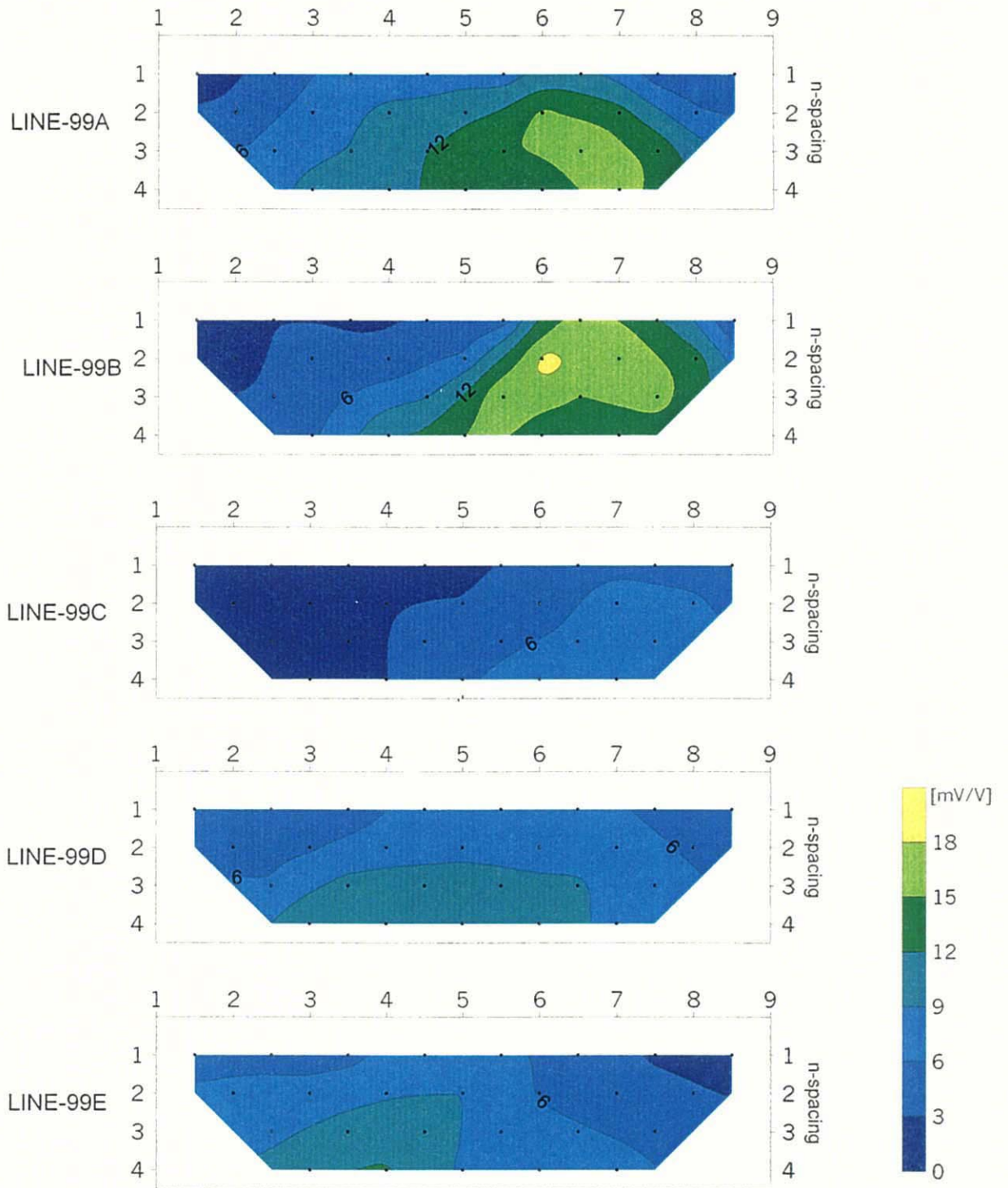


Fig.2-3-8 Apparent Chargeability Pseudosection (Line-99A,99B,99C,99D,99E)

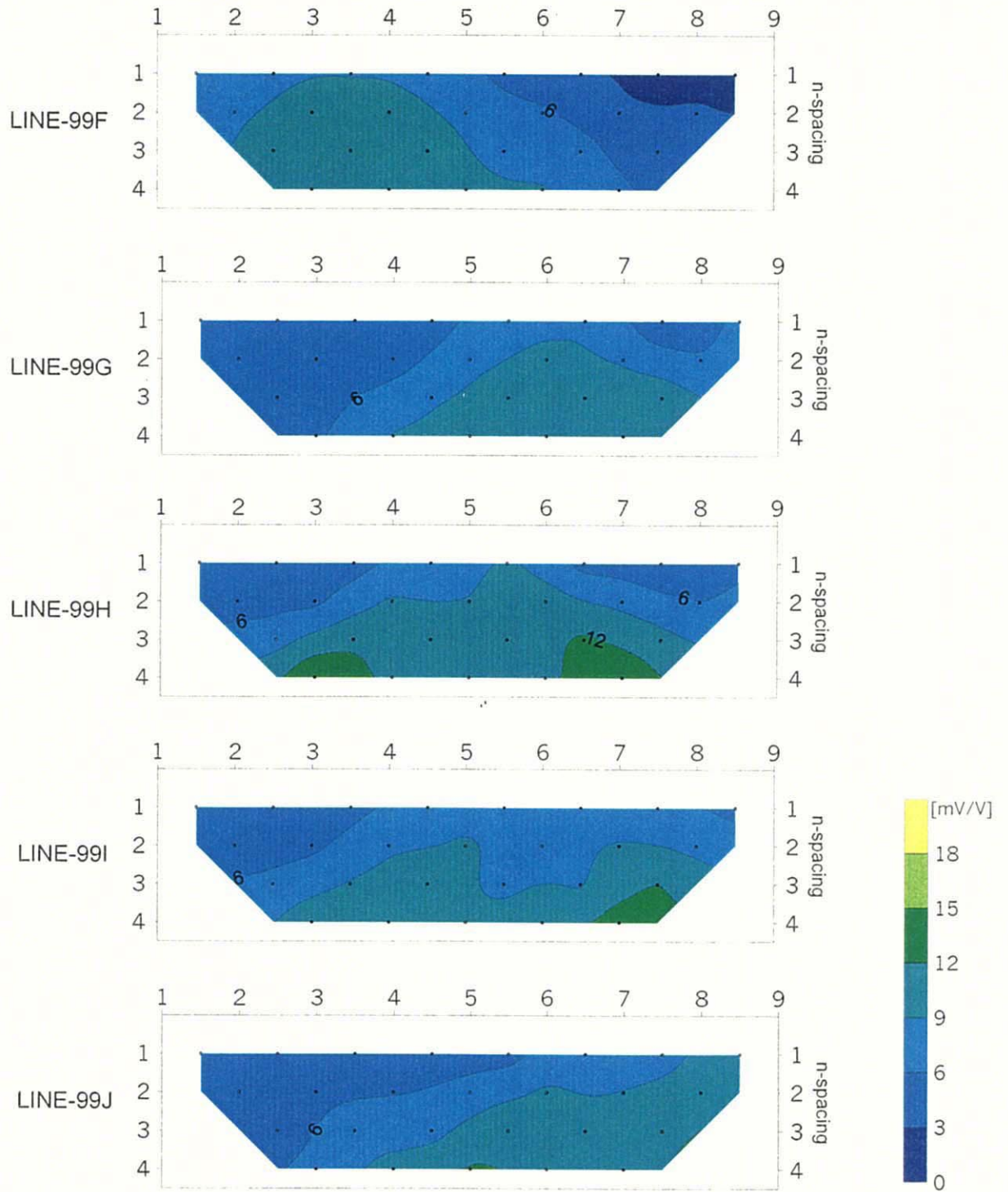


Fig.2-3-9 Apparent Chargeability Pseudosection (Line-99F,99G,99H,99I,99J)

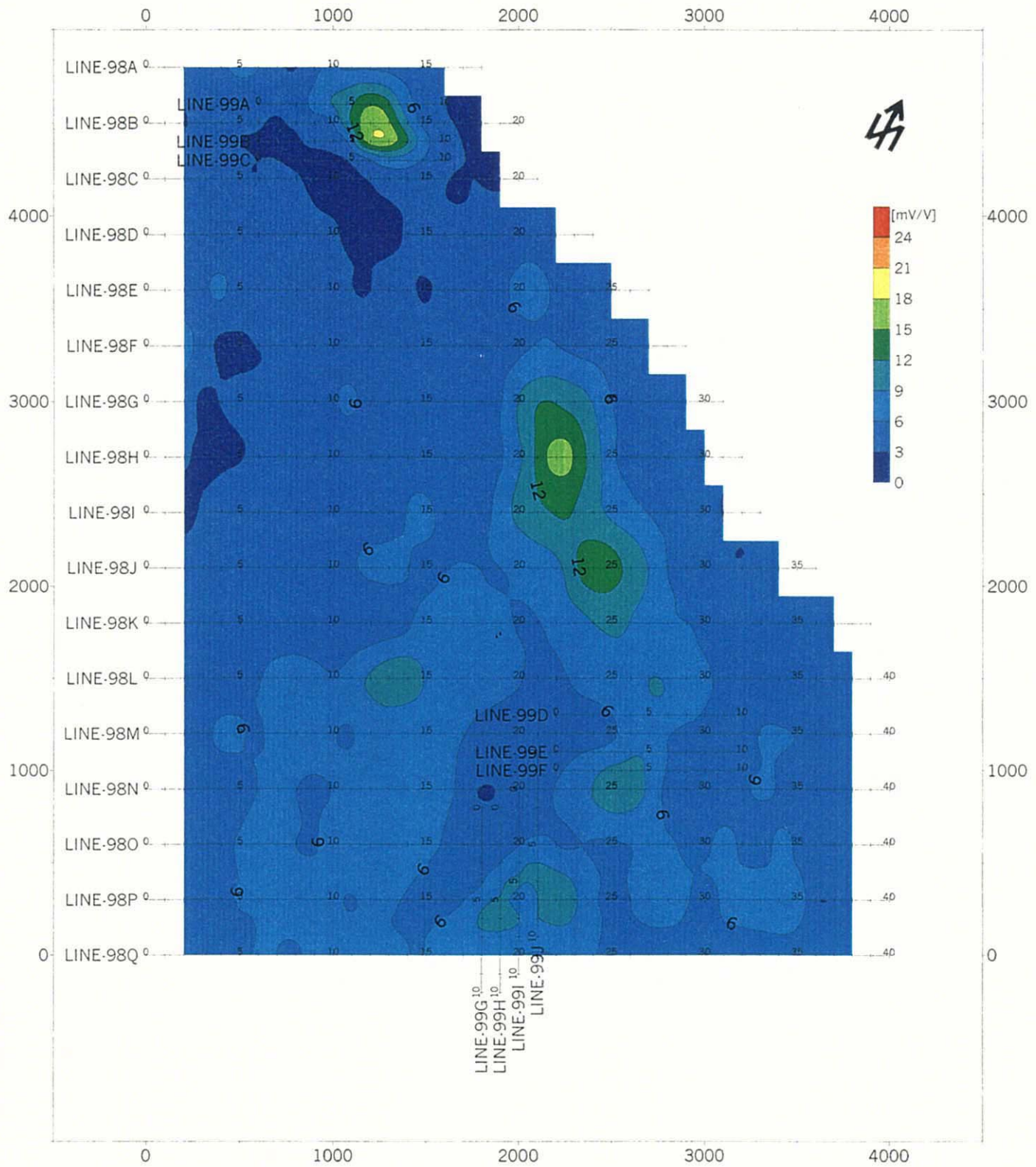


Fig.2-3-10 Apparent Chargeability Map (n=2)

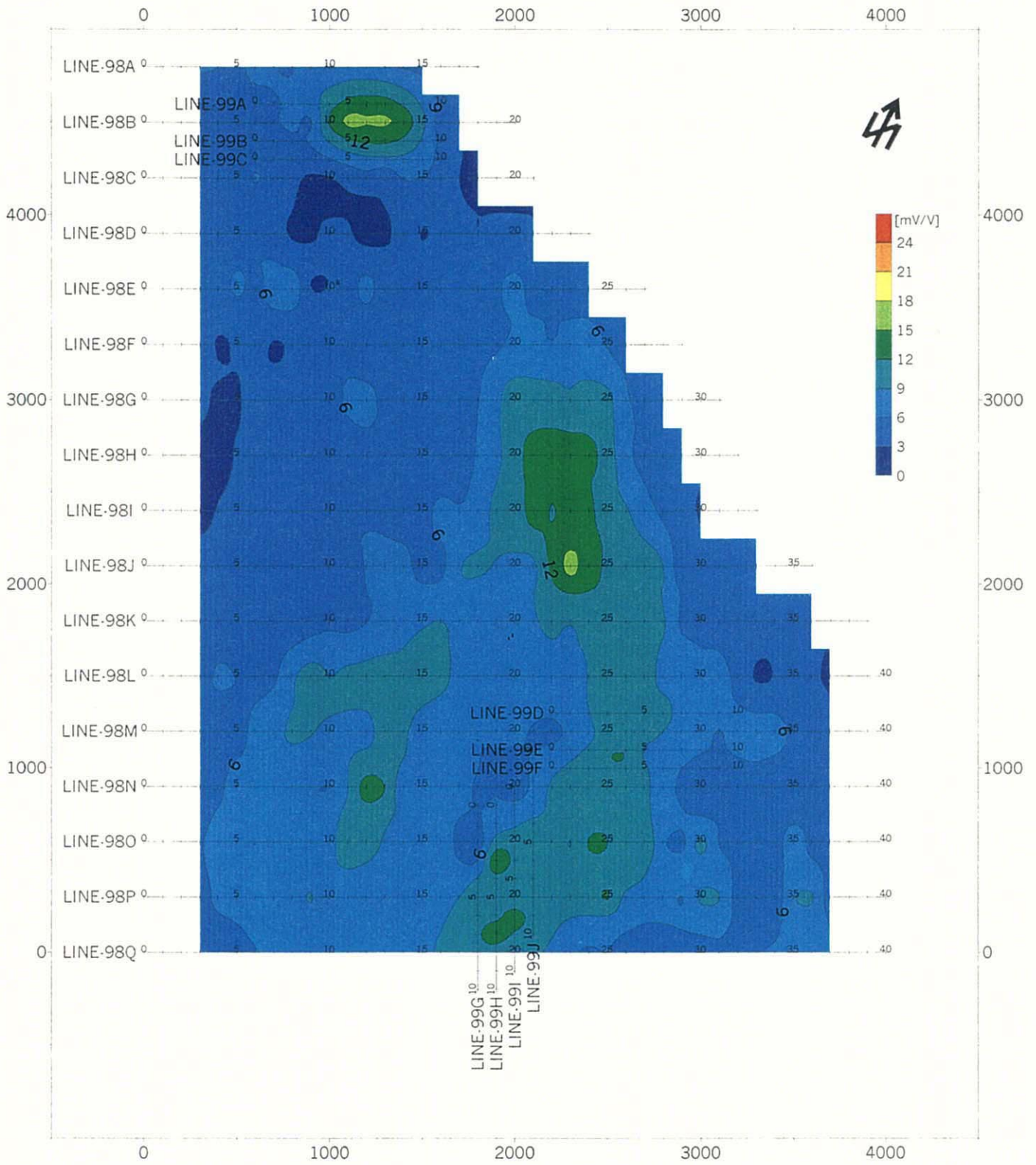


Fig.2-3-11 Apparent Chargeability Map (n=4)

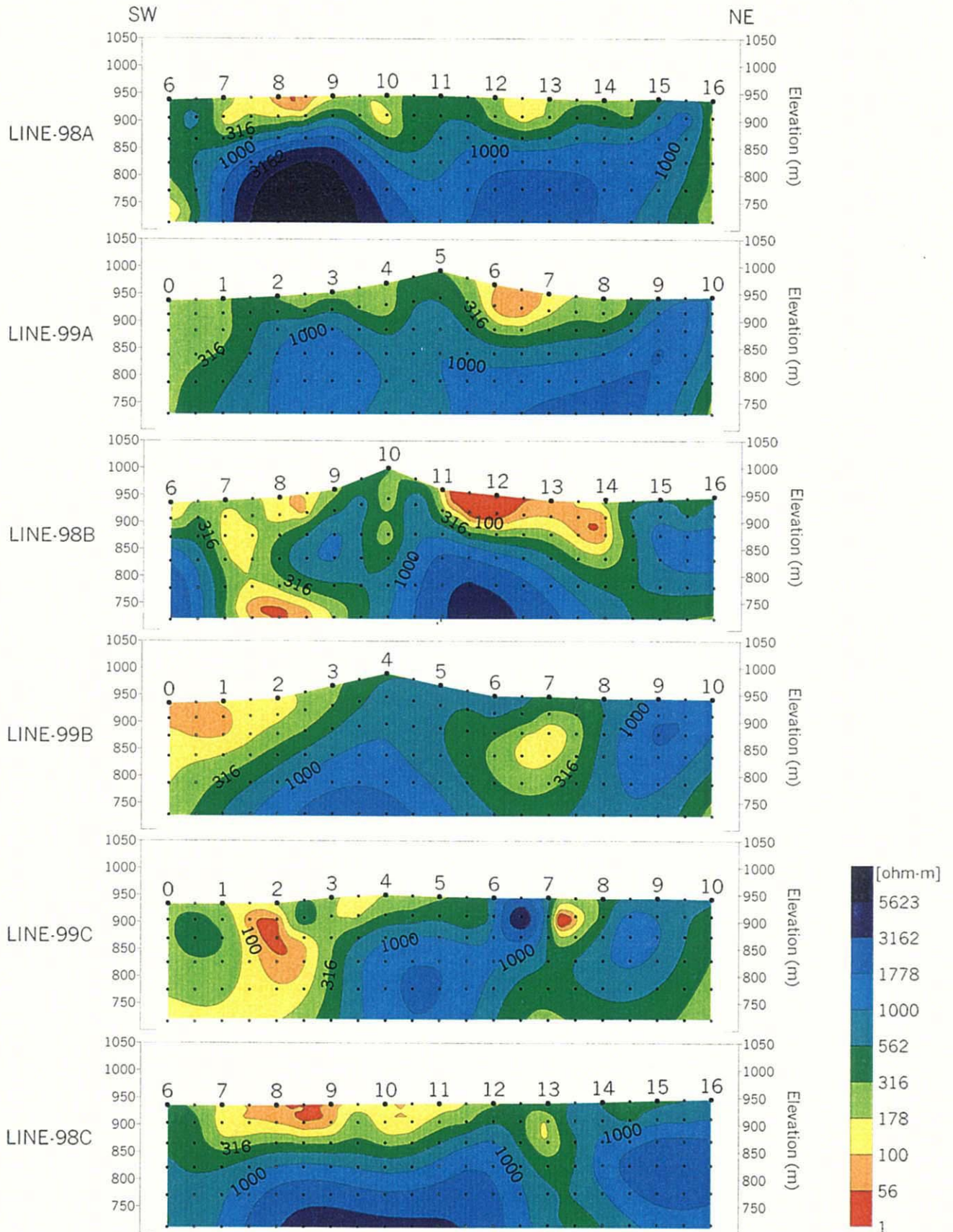


Fig.2-3-12 Resistivity Section (B-12)



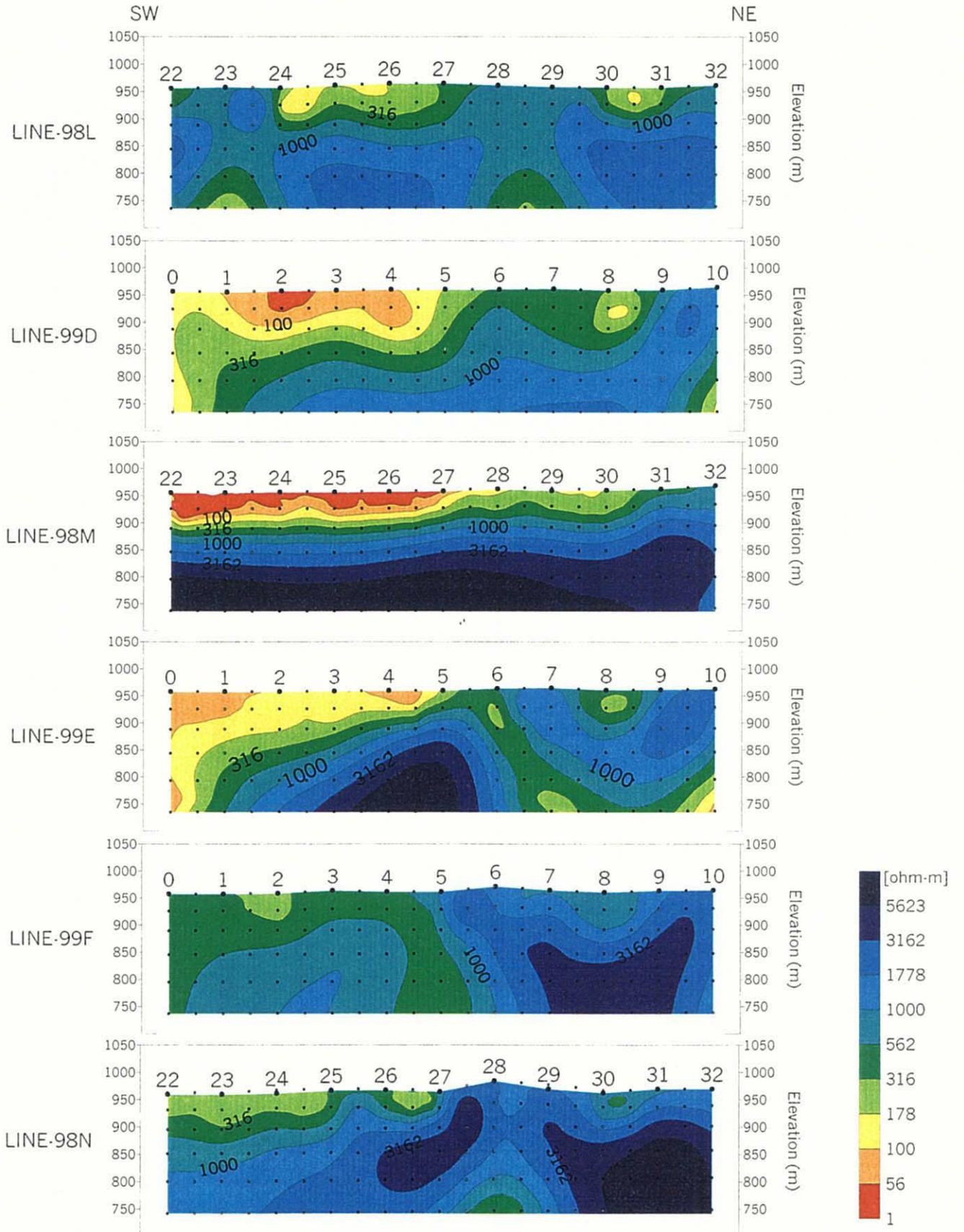


Fig.2-3-13 Resistivity Section (M-27)

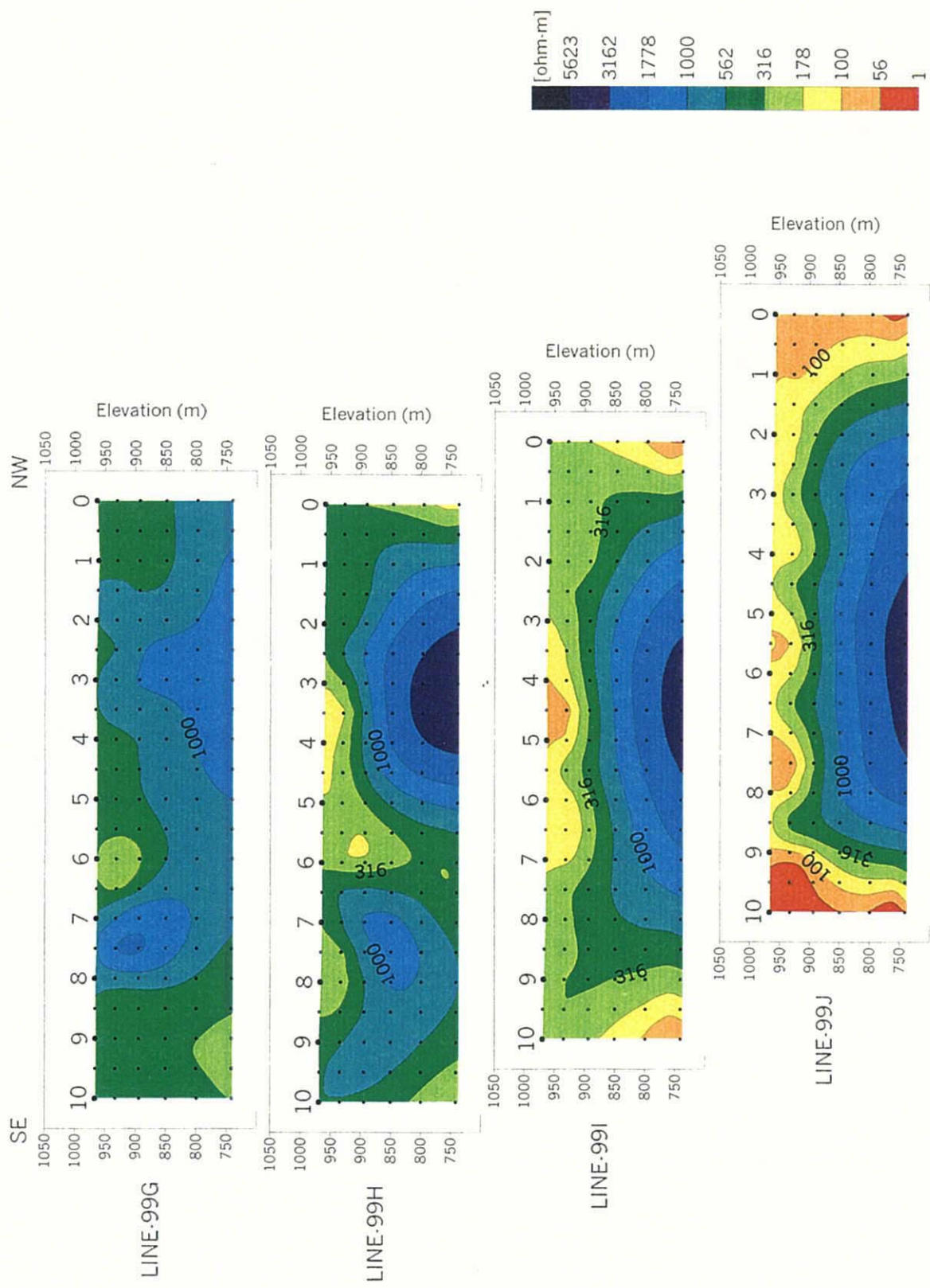


Fig.2-3-14 Resistivity Section (P-18)

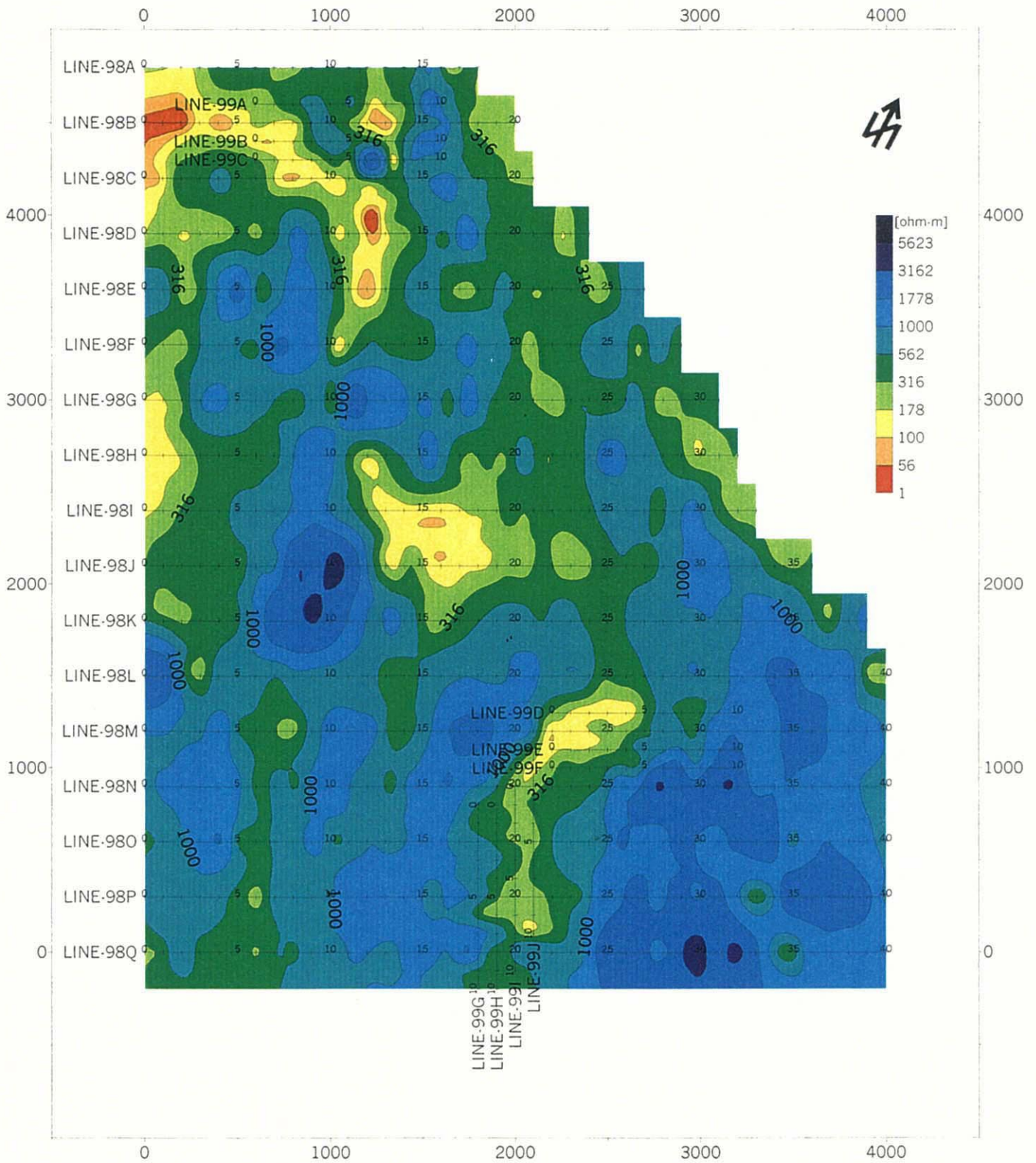


Fig.2-3-15 Resistivity Map (SL:900m)

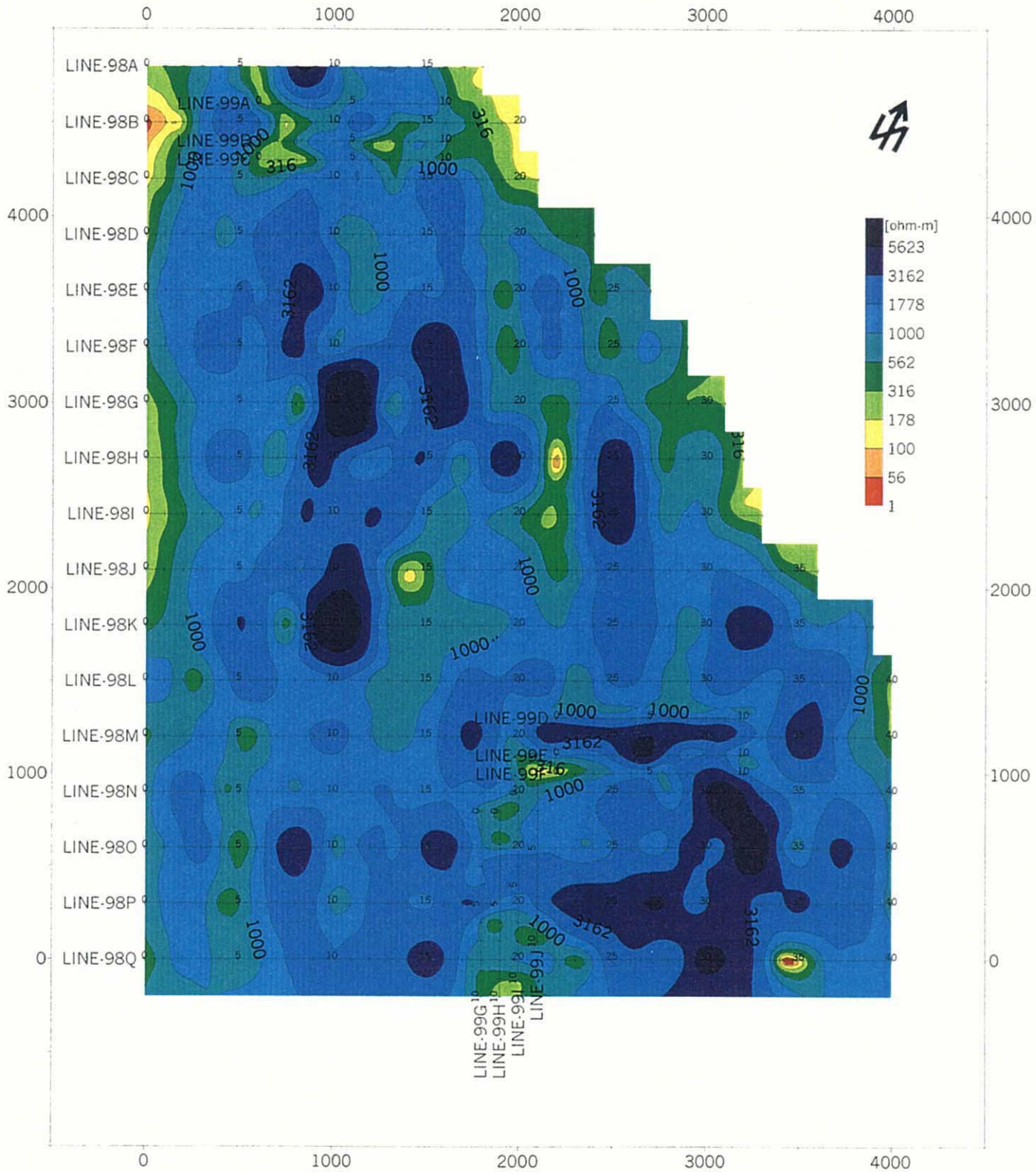


Fig.2-3-16 Resistivity Map (SL:800m)

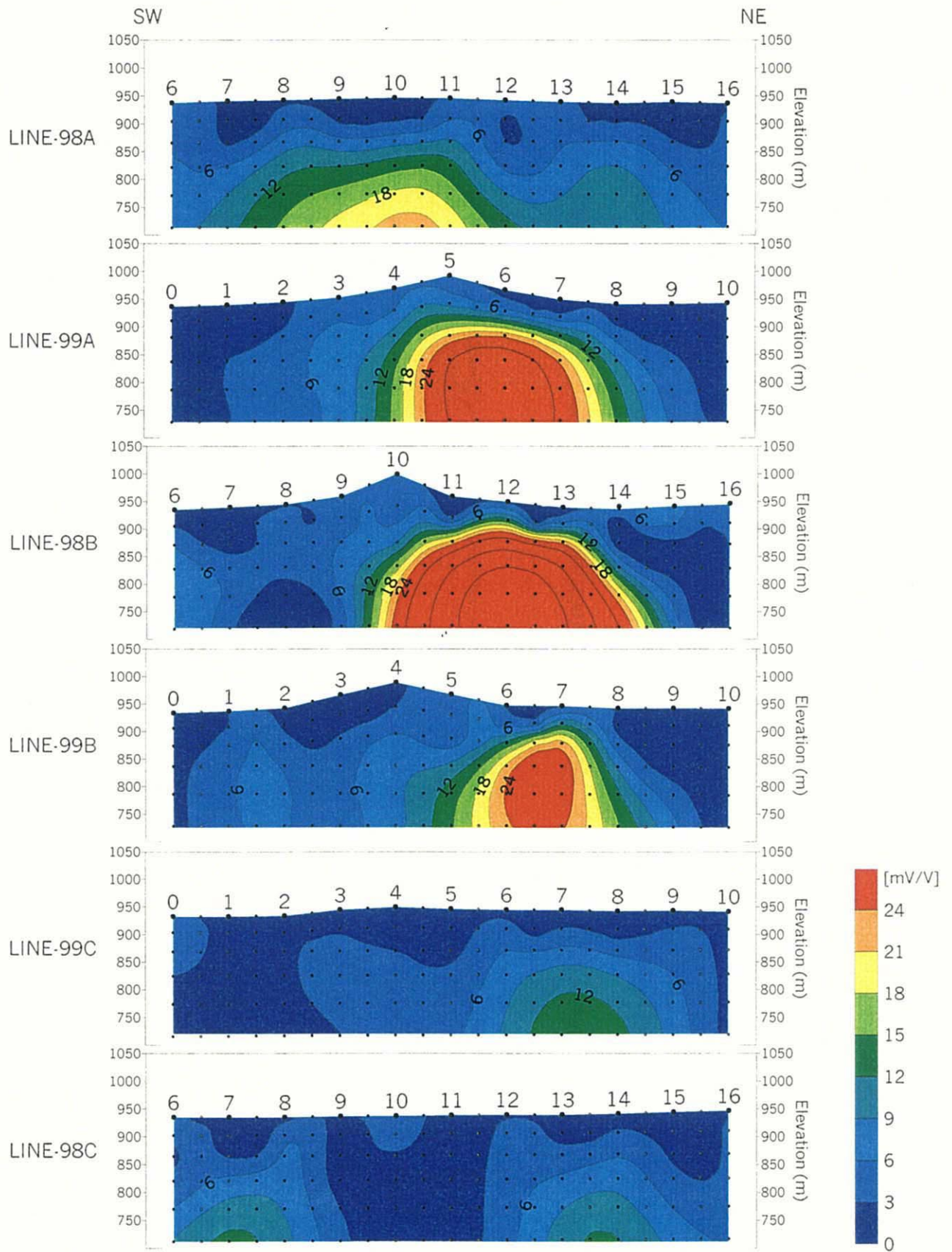


Fig.2-3-17 Chargeability Section (B-12)

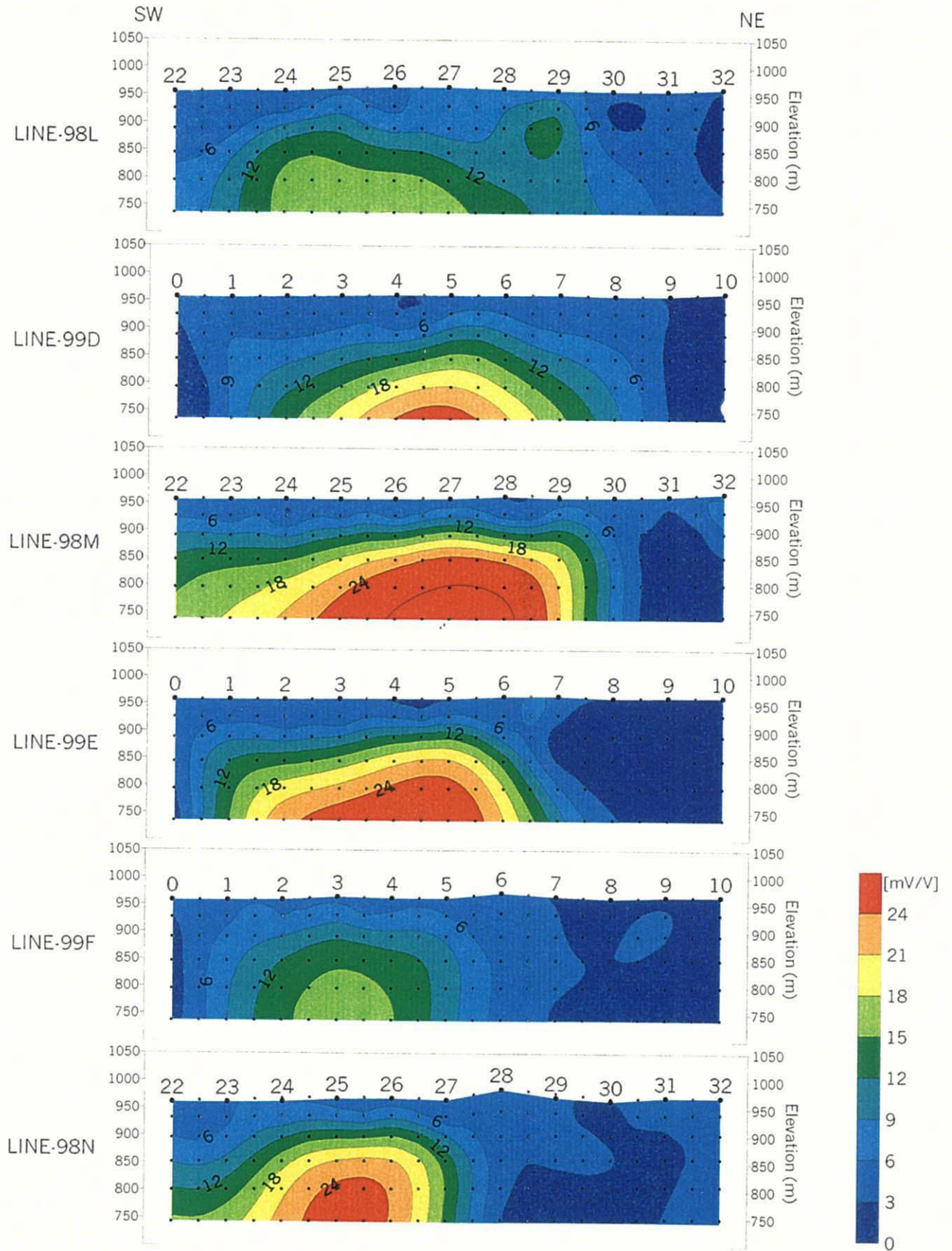


Fig.2-3-18 Chargeability Section (M-27)

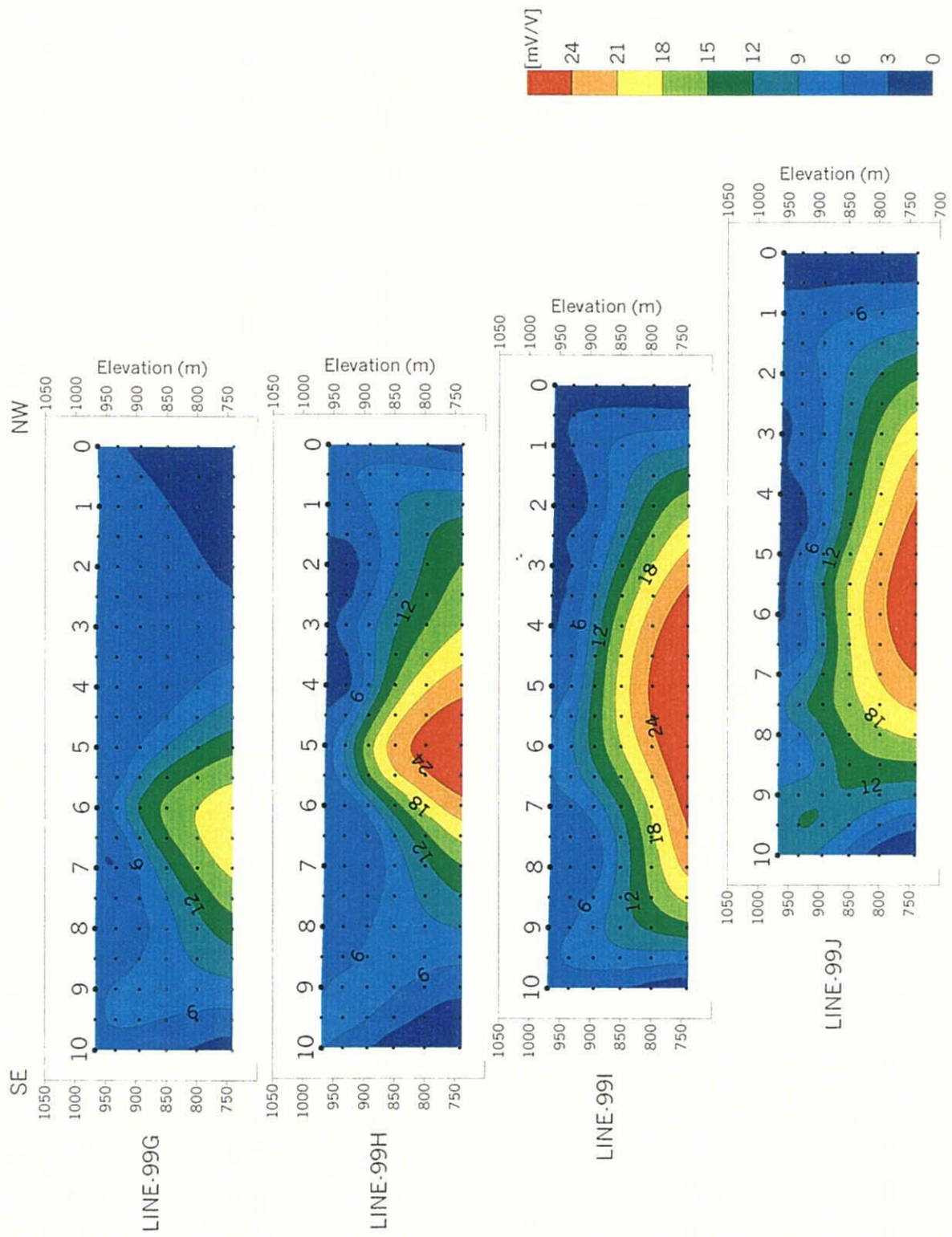


Fig.2-3-19 Chargeability Section (P-18)

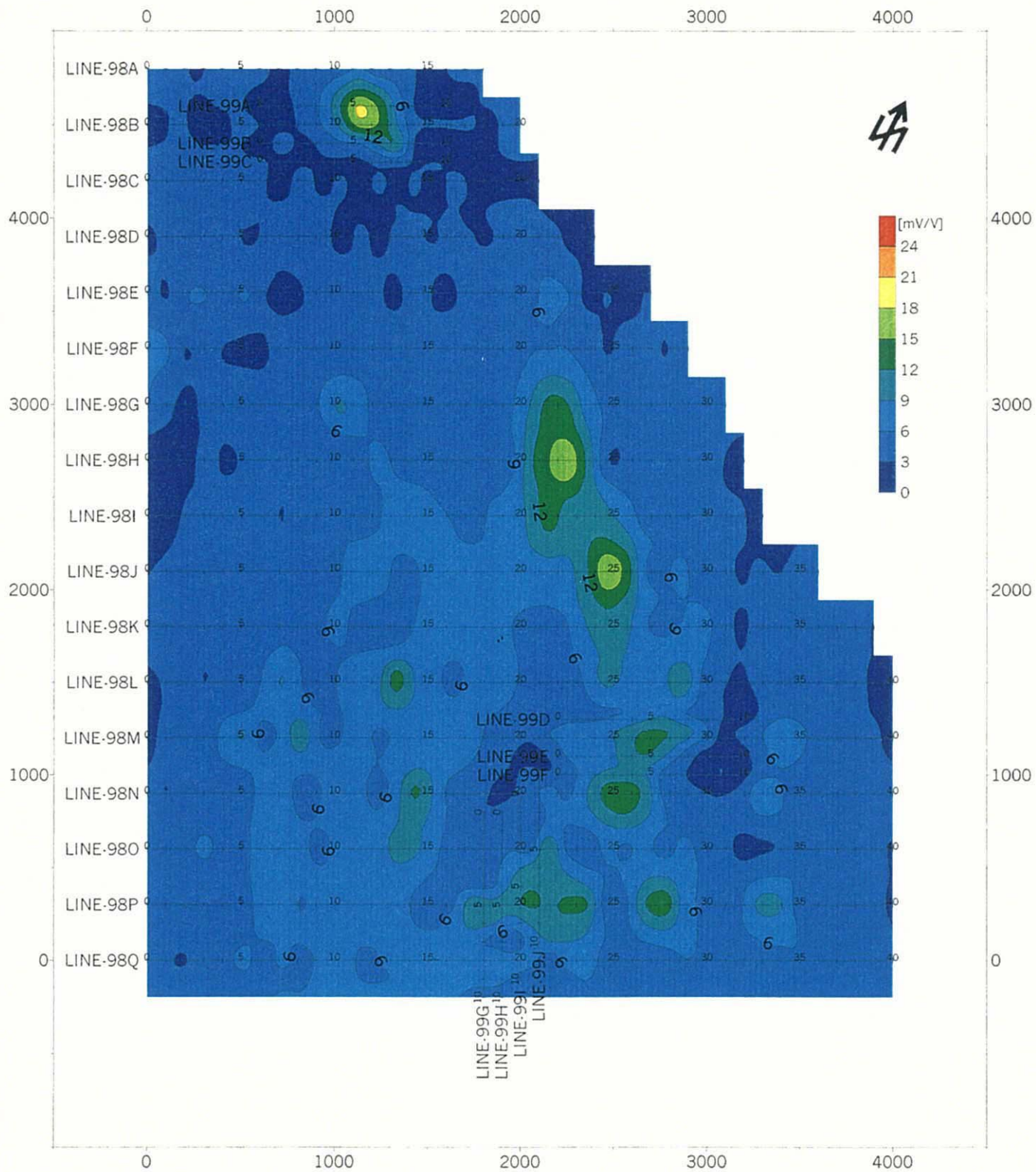


Fig.2-3-20 Chargeability Map (SL:900m)



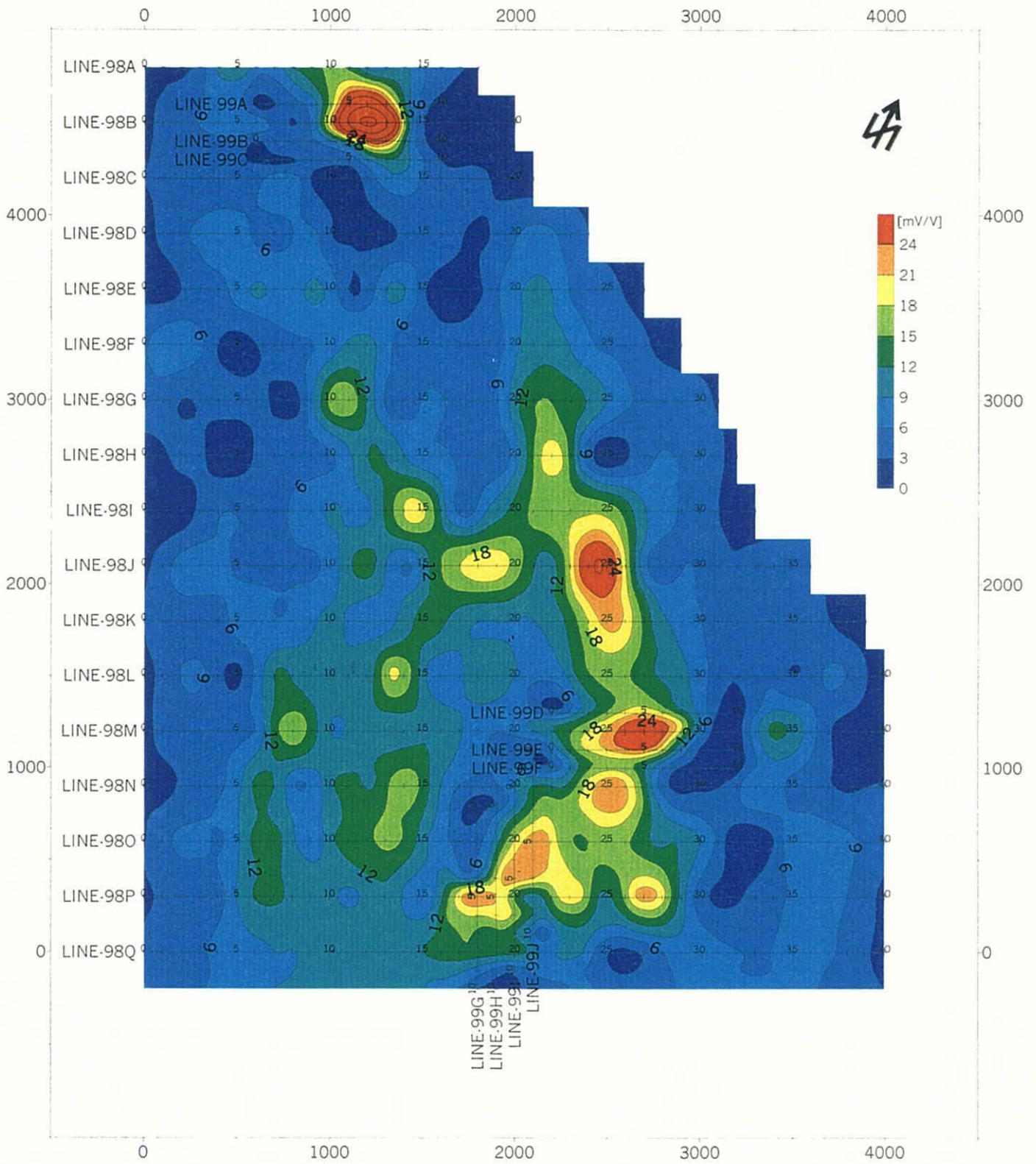


Fig.2-3-21 Chargeability Map (SL:800m)

と連続する異常域を形成することが判明した。

### 3-3-3 室内試験

Table 2-3-3 に、室内試験の結果を示す。本調査地域に分布する主たる岩種の比抵抗及び充電率の平均値は、以下に示すとおりである。

Rock	Resistivity[ohm-m]	Chargeability[mV/V]
鉍石	25	559
凝灰岩	2,010	15
角礫岩	3,670	34
デイサイト類	14,900	8.1
安山岩類	22,400	2.3
玄武岩類	2,010	3.3
閃緑岩類	33,300	3.4

鉍石は MJSU-2 号孔から採取されたものであるが、比抵抗は 25ohm-m と低く、充電率は 500mV/V を越える高い数値を示した。本調査地域の母岩は、いずれも 2,000ohm-m 以上の高比抵抗であり、かつ 10mV/V 以下の低い充電率を示す。ただし、黄鉄鉍を含有している角礫岩や凝灰岩はやや高い充電率(平均値 23mV/V)を示す。

室内試験の結果から、本調査地域に分布する岩石の物性は一般に高比抵抗/低充電率を示し、鉍石は低比抵抗/高充電率を示すと考えられる。したがって、本調査地域においては、高比抵抗/低充電率中に存在する低比抵抗/高充電率部が探鉍ターゲットとなる。

### 3-3-4 考察

IP 法物理探査により、3 地区の高充電率異常域(B-12, M-27 及び P-18 周辺)における充電率の分布、形状が詳細に明らかとなった。Fig. 2-3-22 に海拔 800m での充電率異常域(15mV/V 以上)を示す。

室内試験の結果から、本調査地域に分布する岩石の物性は一般に高比抵抗/低充電率を示し、鉍石は低比抵抗/高充電率を示すことが判明した。したがって、本調査地域においては、高比抵抗/低充電率中に存在する低比抵抗/高充電率部が探鉍ターゲットとなる。

IP 法物理探査により抽出した高充電率異常域における低比抵抗帯を検出するために、引き続き TEM 法物理探査を実施した。IP 法調査結果と地質精査結果をも

Table 2-3-3 Result of Laboratory Tests

Drill Hole No.	No. of Samples	Depth		Rock Name	Resistivity [ $\Omega$ -m]	Chargeability [mV/V]
		From [m]	To [m]			
MJSU-2	202G	122.40	122.45	Breccia ore	41	459.3
MJSU-2	204G-1	131.10	131.15	Massive ore	21	619.0
MJSU-2	204G-2	ditto	ditto	ditto	26	656.3
MJSU-2	205G-1	141.20	141.25	Massive ore	16	505.8
MJSU-2	205G-2	ditto	ditto	ditto	19	555.9
MJSU-2	201G	116.95	117.05	Basaltic tuff	1,503	5.6
MJSU-2	203G	129.00	129.10	Rhyodacitic lapilli tuff	221	2.5
MJSU-2	206G	144.50	144.60	Rhyodacitic lapilli tuff	2,515	4.1
MJSU-3	204C	204.00	204.10	Porphyritic dacite (intrusive)	3,952	9.1
MJSU-3	232C	232.55	232.65	Dacite	2,785	4.5
MJSU-3	241C	241.40	241.50	Porphyritic dacite (intrusive)	10,710	33.0
MJSU-7	40C	40.15	40.25	Rhyodacitic lapilli tuff	1,437	16.5
MJSU-7	56C	56.65	56.75	Rhyodacitic lapilli tuff	1,600	7.1
MJSU-7	74C	74.85	74.95	Basaltic fine tuff, with pyrite veinlets, pyrite 20%	40	63.7
MJSU-7	81C	81.45	81.55	Rhyodacitic coarse tuff	1,487	7.8
MJSU-7	149C	149.45	149.55	Rhyodacitic lapilli tuff	852	4.5
MJSU-8	16C	16.65	16.70	Porphyritic basalt (intrusive)	2,361	3.5
MJSU-8	28C	28.50	28.55	Porphyritic basalt (intrusive)	1,662	3.1
MJSU-8	38C	38.35	38.40	Silicified rock, rhyodacitic tuff?, pyrite 10%	3,423	19.6
MJSU-8	58C	58.40	58.50	Rhyodacitic coarse tuff	8,364	6.7
MJSU-8	95C	95.80	95.85	Volcanic breccia, pyrite 10%	1,440	11.4
MJSU-8	124C	124.00	124.10	Pumiceous breccia, pyrite 10%	802	8.9
MJSU-8	143C	143.35	143.40	Pumiceous breccia, pyrite 10%	2,055	35.9
MJSU-8	167C	167.15	167.20	Pumiceous breccia, pyrite 10%	111	138.2
MJSU-8	181C	181.75	181.85	Pumiceous breccia, pyrite 5%	1,732	7.7
MJSU-8	193C	193.00	193.10	Porphyritic andesite (intrusive)	12,043	4.9
MJSU-8	206C	206.50	206.55	Pumiceous breccia, pyrite 5%	13,747	18.5
MJSU-8	218C	218.80	218.90	Andesite (intrusive)	2,038	2.2
MJSU-8	236C	236.30	236.40	Breccia, pyrite 5%, oxidized	1,417	8.4
MJSU-8	239C	239.40	239.50	Breccia	6,447	42.4
No. of Samples	Localities		Rock Name	Resistivity [ $\Omega$ -m]	Chargeability [mV/V]	
K0021406	Northeast of MJSU-7		Rhyodacite, glomeroporphyritic	31,691	2.6	
K0021407	ditto		Porphyritic dacite	16,475	2.2	
K0021408	East of MJSU-7		Rhyodacite, porphyritic	12,324	2.9	
K0022401	M-27 chargeability Anomaly		Strongly silicified rock, w/hematite	482	1.7	
K0022402	ditto		Porphyritic andesite	23,576	1.0	
K0022404	ditto		Porphyritic dacite	26,451	2.5	
K0022405	Umm ad Damar South Prospect		Epidotized andesite	47,839	0.8	
K0022406	ditto		Andesitic pyroclastic rock	26,554	2.6	
K0022407	ditto		Microdiorite	33,264	3.4	

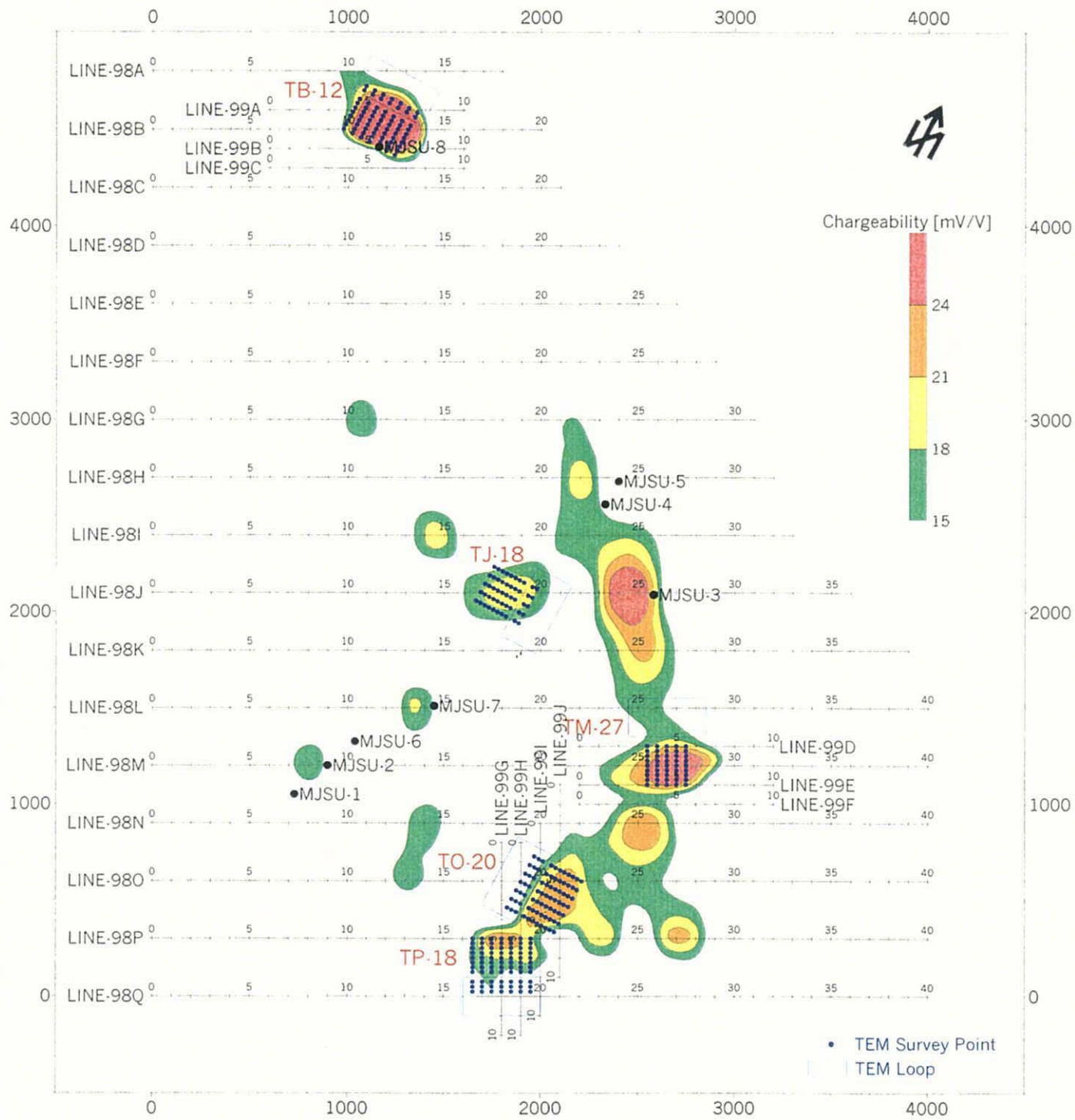


Fig.2-3-22 Geophysical Anomaly Map

とに，TEM 法調査地区として下記の 5 地区を選定した。

- ・ TB-12 地区
- ・ TJ-18 地区
- ・ TM-27 地区
- ・ TO-20 地区
- ・ TP-18 地区

## 第4章 TEM法物理探査

### 4-1 調査概要

#### 4-1-1 目的

IP法物理探査により得られた鉱化作用を示唆する異常帯を対象として、塊状硫化物鉱床や鉱脈型鉱床の存否を判定し、その位置・形状を推定することを目的とする。

#### 4-1-2 探査手法

TEM法電磁探査

#### 4-1-3 調査数量

調査数量は次に示すとおりである。

調査地区	測線数	固定ループ測定	小ループ測定
TB-12	7	70	35
TJ-18	5	50	25
TM-27	5	45	20
TO-21	7	77	42
TP-18	7	77	42
合計	31本	319点	164点

### 4-2 調査方法

#### 4-2-1 測定原理

TEM法は過渡現象電磁法(Transient Electromagnetic Method)の略称であり、時間領域電磁法(Time Domain Electromagnetic Method: TDEM法)を指すこともある。これは、大地に人工的に磁場を発生させ、その応答を時間の関数として測定することにより、測定点での地下の比抵抗分布を知る方法である。TEM法の概念図をFig.2-4-1に示す。

この方法では、通常地表に設置したループに電流を流して、磁場を発生させる。この電流を急激に遮断すると、電磁誘導の法則により地表面に遮断前と同じ磁場を維持しようとする渦電流が発生する。この地表の渦電流は大地の比抵抗に応じて減衰するが、この電流の変化を妨げるような新しい渦電流が地中に生じる。このプロセスが繰り返され、あたかも渦電流が地中深部に伝播していくような現象を示し、スモークリングと呼ばれている。

渦電流は経路の地層の比抵抗に応じて減衰するため、地上の受信コイルで渦電流の作る磁場を測定することによって、地下の比抵抗を求めることができる。たとえば地下が高比抵抗のときは渦電流は急速に減衰していくが、低比抵抗のとき

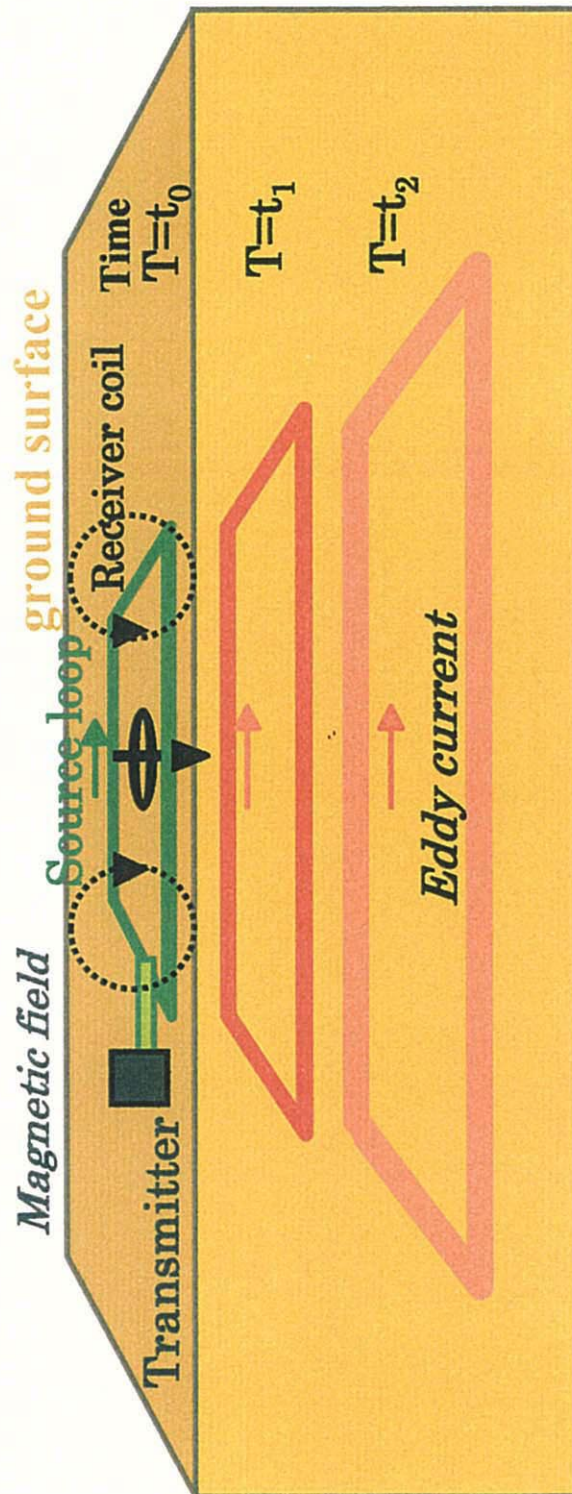


Fig.2-4-1 Principle of TEM Method

はゆっくり減衰する。

TEM 法ではループを地表に置くだけで測定できるため、砂漠や露岩地などの電極の設置が困難な場所でも測定できる等の特長がある。

#### 4-2-2 使用機器

測定には Geonics 社製の PROTEM 測定システムを使用した。使用機器の仕様を Table 2-4-1 に示す。

Table 2-4-1 List of TEM Survey Equipment

ITEM	MODEL	SPECIFICATION
Transmitter	Geonics TEM57 Transmitter	Output Current : 20 A maximum Frequency : 3.0, 7.5, 30 Hz or 2.5, 6.25, 25 Hz Synchronization : Quartz Crystal or Reference Cable Output Voltage : 20 or 44 V Turn-off Time : 115 $\mu$ s at 8-turn multi loop Weight : 13 kg
	Geonics TEM47 Transmitter	Output Current : 3.0 A maximum Frequency : 30, 75, 285 Hz or 25, 62.5, 262.5 Hz Synchronization : Reference Cable Output Voltage : 0 to 9 V, continuously current Turn-off Time : 2.5 $\mu$ s at 3 A into 40 $\times$ 40m loop Weight : 3.5 kg
Receiver	Geonics PROTEM(D) Receiver	Base Frequency : 0.3, 0.75, 3.0, 7.5, 30, 75, 285 Hz or 0.25, 0.625, 2.5, 6.25, 25, 62.5, 262.5 Hz Time Gate : 20 Dynamic Range : 23 bits (132dB) Memory : 3,300 data-sets Data Transfer : RS232C Power Supply : 12 V rechargeable battery for 8 h continuous operation
EM Sensor	Geonics LF Air-cored Coil	Effective Area : 200m <sup>2</sup> Sampling Component : X, Y, Z Frequency : 60 kHz
	Geonics HF Air-cored Coil	Effective Area : 31.4m <sup>2</sup> Diameter : 1 m Frequency : 1,200 kHz

#### 4-2-3 測定方法

TEM 法では、目的とする地下のターゲットに応じて種々のループ配置が用いられるが、本調査では調査地域内に胚胎する鉱体の形状が垂直に立ったプレート状であると予想されることから、Fig. 2-4-2 に示すような固定大ループ配置を採用した。



測点間隔，測線間隔等は以下の通りである。

- ・送信ループサイズ：200m×400m
- ・測線間隔：50m(予想磁体と直交方向)
- ・測点間隔：25m
- ・送信電流：4.1A
- ・測定周波数：30Hz
- ・サンプリング時間：86.7 $\mu$ sec - 7.03msec
- ・測定成分：X, Y, Z の三成分

また，解析の際，プレート周辺の比抵抗構造を与える必要があることから，小ループ(50m×50m)によるセントラルインダクション配置(またはアウトループ配置)測定も実施した。測点は，固定ループ測定の測点を使用し，測点間隔を50mとした。

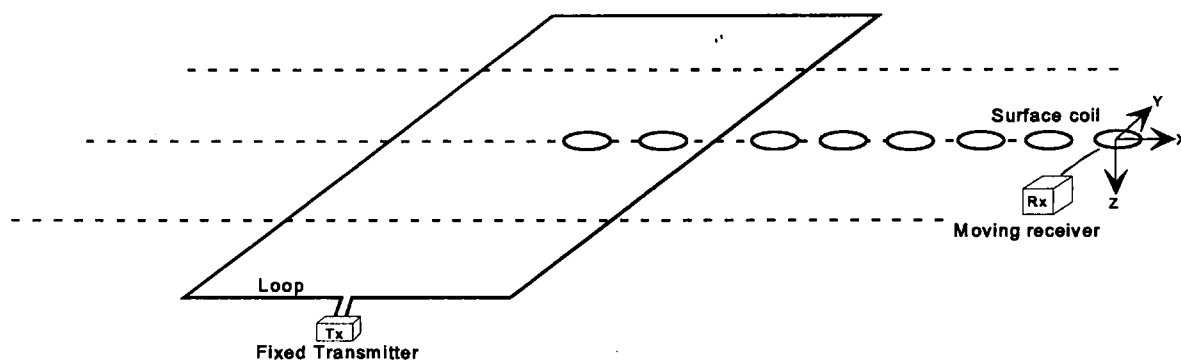


Fig.2-4-2 Fixed Tx Loop Configuration

なお，測定では送信信号遮断後の測定時間を20個のゲートに分割してサンプリングする。測定周波数別の各ゲート時間をTable 2-4-2に示す。

Table 2-4-2 Sampling Gate Time

GATE NO.	BASE FREQUENCY			GATE NO.	BASE FREQUENCY		
	262.5Hz	62.5Hz	25Hz		262.5Hz	62.5Hz	25Hz
1	6.813	35.25	88.13	11	77.94	319.8	799.4
2	8.688	42.75	106.9	12	99.38	405.5	1014
3	11.13	52.50	131.3	13	126.7	514.8	1287
4	14.19	64.75	161.9	14	166.4	654.3	1636
5	18.07	80.25	200.6	15	206.0	832.3	2081
6	23.06	100.3	250.6	16	262.8	1059	2648
7	29.44	125.8	314.4	17	335.2	1349	3373
8	37.56	158.3	395.6	18	427.7	1719	4297
9	47.94	199.8	499.4	19	545.6	2190	5475
10	61.13	252.5	631.3	20	695.9	2792	6978

(unit:  $\mu$  sec)

## 4-2-4 解析方法

測定電圧  $V_0$  (mV) は、最初に、次式により磁場変化率  $dB/dt$  ( $nV/m^2$ ) に変換した (Geonics, 1992)。

$$\frac{dB}{dt} = \frac{V_0 \cdot 19200}{E \cdot 2^n} \quad (4-1)$$

ここで、 $E$  ( $m^2$ ) は受信コイルの有効面積、 $2^n$  は増幅器の利得である。次に磁場変化率は次式により時間関数の見掛比抵抗  $\rho_a(t)$  (ohm-m) に変換した。

$$\rho_a(t) \cong \frac{\mu}{4 p t_c} \left( \frac{2 \mu M}{5 t_c dB/dt} \right)^{2/3} \quad (4-2)$$

ここで、 $\mu$  は真空の透磁率 ( $4\pi \times 10^{-7}$  H/m)、 $t_c$  (msec) は送信電流遮断後の経過時間、 $M$  は送信機のモーメントであり、送信ループ面積 ( $m^2$ ) と送信電流値 (A) の積である。

こうして得られた見掛比抵抗値に対して、1次元水平多層逆解析及び2次元プレートモデル解析を実施した。固定ループのデータに対しては、Geonics社製の2Dプレートモデル解析用ソフト「MOTEM」を、小ループのデータに対しては、Interpex社製の1Dインバージョンソフト「TEMIX-XL」をそれぞれ使用した。

2次元プレートモデル解析では、Fig. 2-4-3 に示すように多くのパラメーター

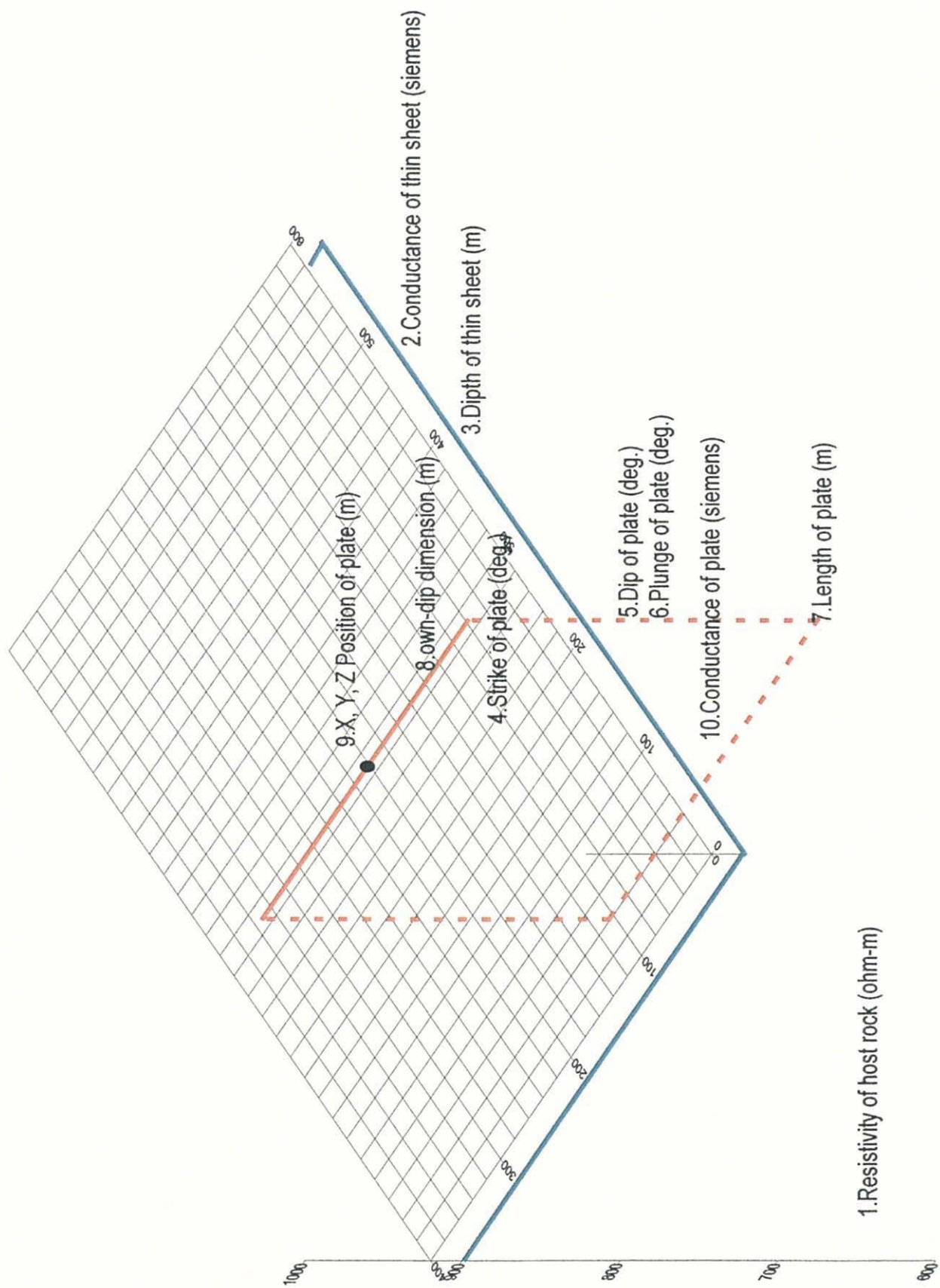


Fig.2-4-3 Parameters of 2D Plate Modeling

を使用し、これらのパラメーターを変化させながら測定データに最も適合するモデルを求める。まず各パラメーターに適当な値を与えて初期モデルとし、次にプレートモデルの深さ及びコンダクタンス(比抵抗の逆数と層厚との積、単位はジーメンズ[S])を変化させて最適モデルを決定した。なお、初期モデルの値については、母岩の比抵抗、表層の深度及び比抵抗は小ループ測定データの1次元逆解析結果から、プレートの走向、延長、位置は測定電圧分布図からそれぞれ推定した。また、プレートのコンダクタンスは MJSU-2 号孔にて捕捉した鉱体の比抵抗(約 20ohm-m)及び厚さを基準とし、傾斜は垂直を基準とした。

#### 4-3 測定結果

##### 4-3-1 テスト測定

TEM 法調査開始に先立ち、最適な送受信配置、測線配置、測点間隔、送信ループサイズ等を決めるため、MJSU-2 号孔周辺(IP 法測点 M-8 周辺)においてテスト測定を実施した。テスト方法は以下の通りである。

##### (1) 送受信配置

本年度のボーリング調査により、鉱体の形状はほぼ垂直に立ったプレート状をしていると推定される。また、室内試験により、鉱石は数十 ohm-m、周辺の岩石は数千 ohm-m 以上を示すことが判明している。よって、送受信配置は、導電性(低比抵抗)のプレートを抽出するのに有効な固定大ループを使った固定ループ配置とした。

##### (2) 測線・測点

測線は予想されるプレートと直交方向に設定し、測点間隔は 25m とした。また予想される鉱体位置付近では測点を密にした。

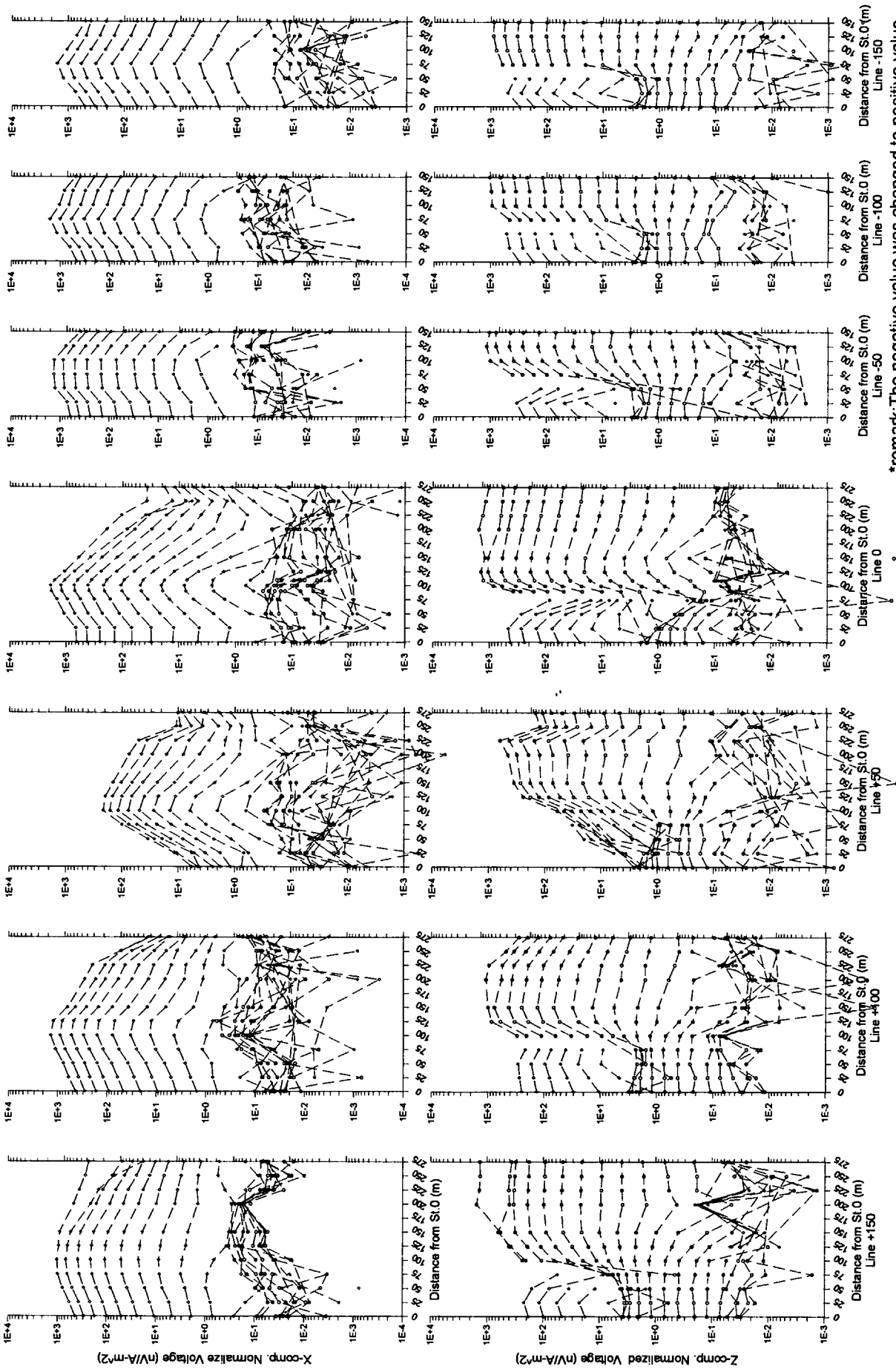
##### (3) 送信ループサイズ

予想される鉱体の延長、信号強度等を考慮して 200m×400m とした。

##### (4) 測定成分

垂直プレートでは、X 成分(鉱体と直交する水平成分)が卓越することから、XYZ の3成分測定とした。

テスト測定結果を Fig. 2-4-4 に示す。本図は各ゲート毎の測定電圧値のプロファイルであり、上段が X 成分、下段が Z 成分を表す。Line0 の X 成分では No. 100 において電圧値の極大が見られ、Z 成分では No. 75-90 間において極性の反転が見



\*remark, The negative value was changed to positive value

Fig.2-4-4 Observed Voltage Profile of Test Field (TM-8)

られる。また、同様の現象は他の測線においても認められる。

次に、モデル計算結果例を Fig. 2-4-5 に示す。計算に使用した送信ループサイズは、テスト測定と同様に 200m×400m である。導電性プレートがない場合(a)、電圧値は X, Z 成分ともループの中心から滑らかな変化を表している。これに対して導電性プレートがある場合(b)は、X 成分ではプレート直上で電圧値の極大がみられ、Z 成分では、プレートに対して送信ループと反対側において極性の反転が見られる。このことから X, Z 成分において(b)のような歪んだデータが観測されれば、歪み位置付近に導電性プレートが存在する可能性が高い。テスト地区において得られた測定結果はモデル計算結果と類似しており、導電性プレートの存在を示唆していると推定される。

テスト地区では、本年度のボーリング調査によって鉱体が捕捉されており、その鉱体の位置は測定データから推定される導電性プレートの位置とほぼ一致している。これは、導電性プレートが鉱体そのものを示していると考えられる。

以上、予想される鉱体位置において導電性プレートを捕捉したことは、鉱体がプレート状及び導電体(低比抵抗体)であれば、本テストに用いた固定ループ配置によって鉱体を抽出することが可能であると考えられる。

#### 4-3-2 測定値

TEM 法物理探査に先立って実施された IP 法物理探査により、調査地域内において鉱化作用を反映したと考えられる IP 異常帯が確認された。本調査では IP 法物理探査及び地表地質調査の結果をもとに 5 地区を選定して、TEM 法物理探査を実施した。TEM 法調査を実施した地区名は、IP 法測点番号から TB-12 地区、TJ-18 地区、TM-27 地区、TO-21 地区、及び TP-18 地区と呼称する。

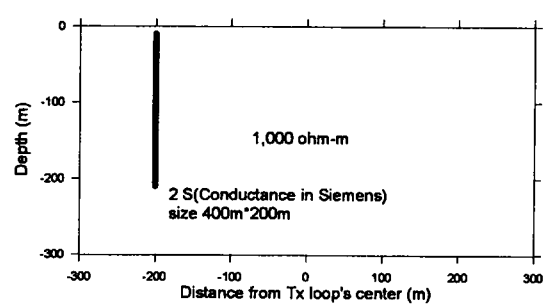
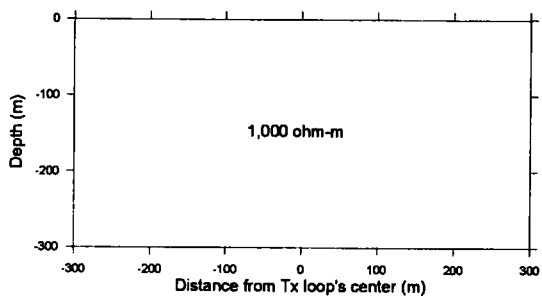
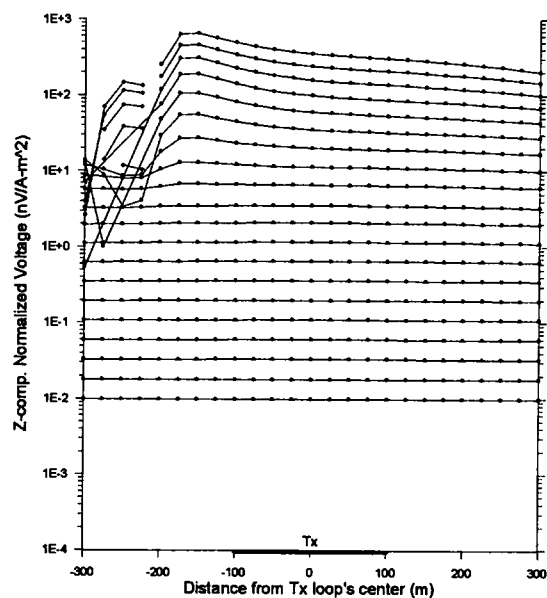
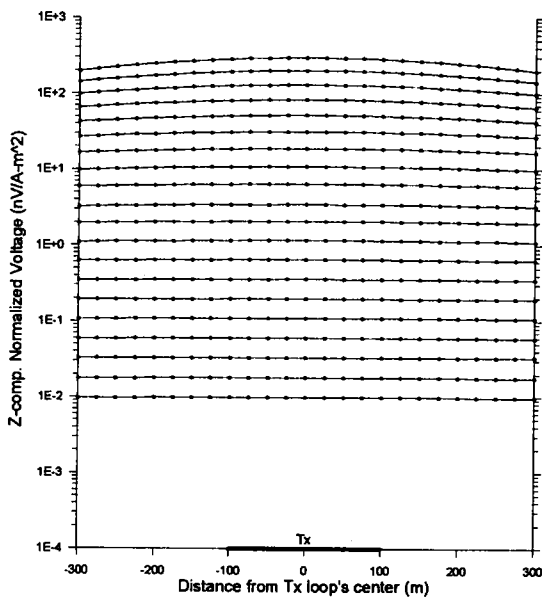
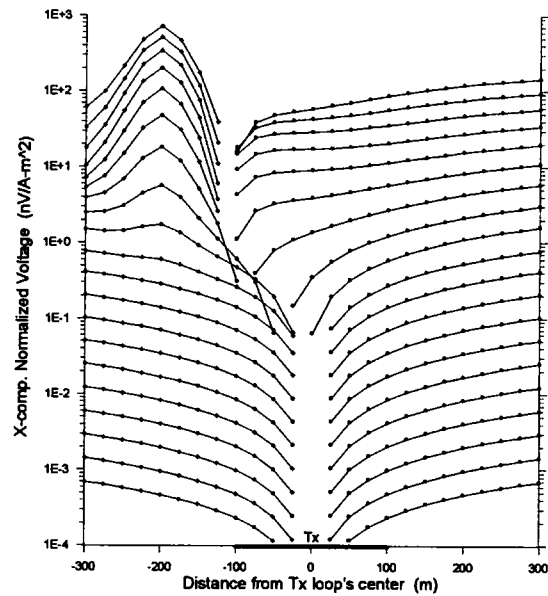
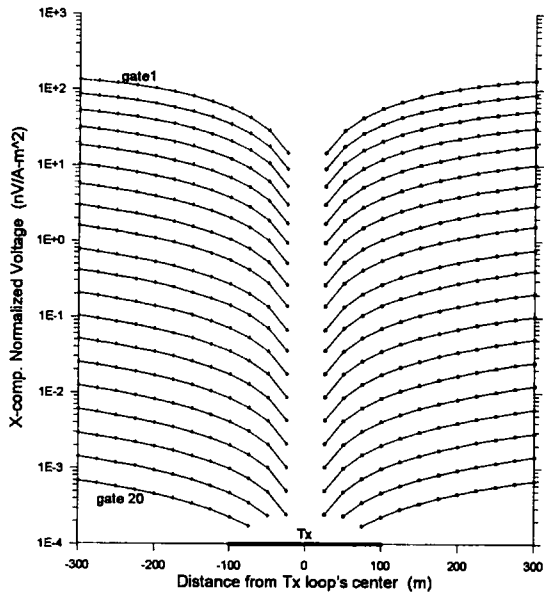
全地区の測定データはおおむね良好であったが、本調査地は高比抵抗域に分布するため信号の減衰が速くなり、測定データの後半部分(サンプリングゲート第 11 番～第 20 番)はノイズレベルとなった。

以下、各地区毎の測定結果について述べる。

##### (1) TB-12 地区

本地区は調査地域北端に位置し、地表は主に崖錐堆積物に覆われているが本地区西部にデイサイトの分布が見られる。本地区の測定データを Fig. 2-4-6 に示す。X, Z 成分とも、テスト地区の測定データと似た電圧値の歪みが見られる。また、その歪みの大きさは Line+150 から Line-150 へと小さくなっている。

次に、Fig. 2-4-2 モデル計算結果例において、水平 X 成分の歪みのピークがプレートの直上に位置することに着目し、プレートの連続性を推定するため電圧分



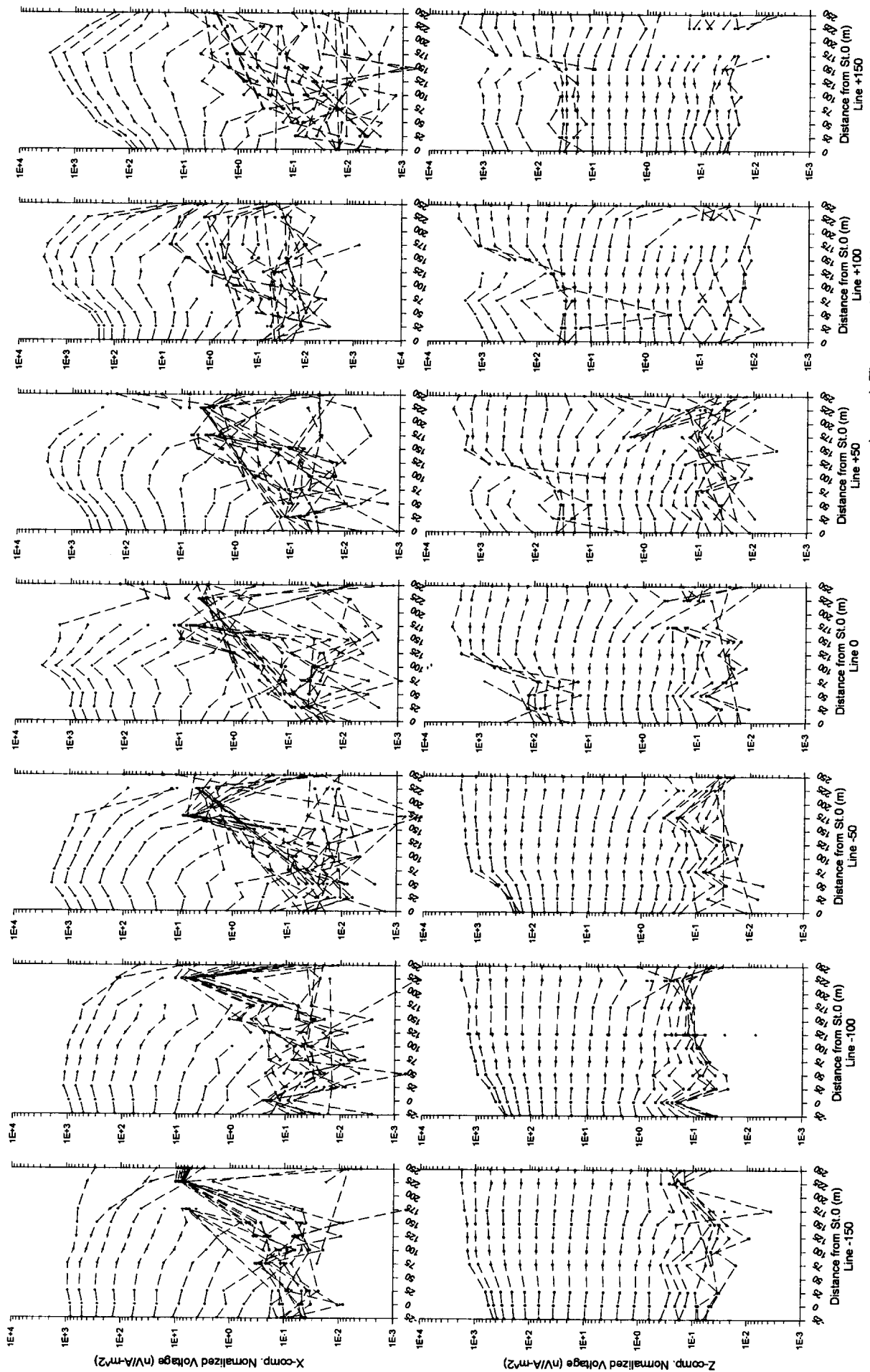
(a) Homogeneous model

(b) Plate model

\*remark; The negative value was changed to positive value

○ positive value    ◇ negative value

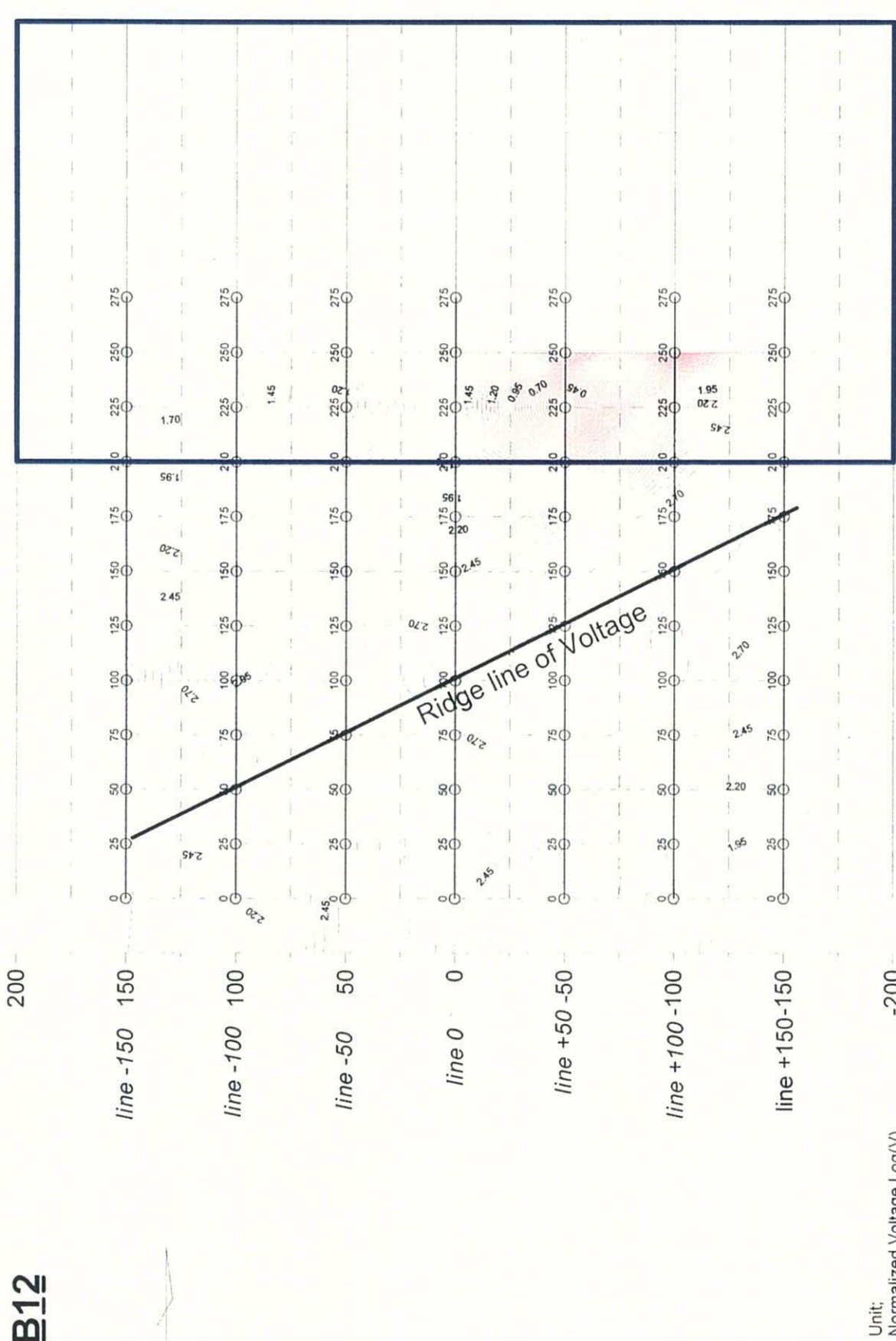
Fig.2-4-5 Theoretical Response for Plate from 2D Plate Modeling



\*remark; The negative value was changed to positive value

Fig.2-4-6 Observed Voltage Profile (TB-12)





Unit:  
Normalized Voltage Log(V)  
(nV/A\*m<sup>2</sup>)

0 50 100 150 200 250 300 350 400

Fig.2-4-7 Observed Voltage Distribution Map of Gate 3 (TB-12)

布図(Fig. 2-4-7)を作成した。作図に使用した測定電圧は第3ゲートの値であり、地表付近を反映しているものと考えられる。本図から北東-南西方向にピークの連続線(尾根線)が認められる。

#### (2) TJ-18 地区

本地区は調査地域中央に位置し、第四紀堆積物に覆われ露頭は見られない。本地区の測定データを Fig. 2-4-8 に示す。本地区においても、テスト地区と同様な電圧の歪みが全測線において見られるが、各測線の歪みは1箇所のみではなく、2～3箇所において認められる。

電圧分布図(Fig. 2-4-9)から3本の連続線が認められる。1本は本地区のほぼ中央付近に位置し、NE-SW 方向の伸びを示す。他の2本は本地区の北西部及び南東部に位置し、それらの伸びの方向は中央のものとはほぼ平行である。

#### (3) TM-27 地区

本地区は調査地域南東部に位置し、第四紀堆積物に覆われ露頭は見られない。本地区の測定データを Fig. 2-4-10 に示す。本地区においても、テスト地区と同様な電圧の歪みが全測線において見られ、Line+100 及び Line+50 では2箇所にて歪みが認められる。

電圧分布図(Fig. 2-4-11)から2本の連続線が見られる。1本は本地区中央部をほぼ東西方向に伸び、もう1本は Line+100 及び Line+50 の No. 175 付近を同じく東西方向に伸びる。

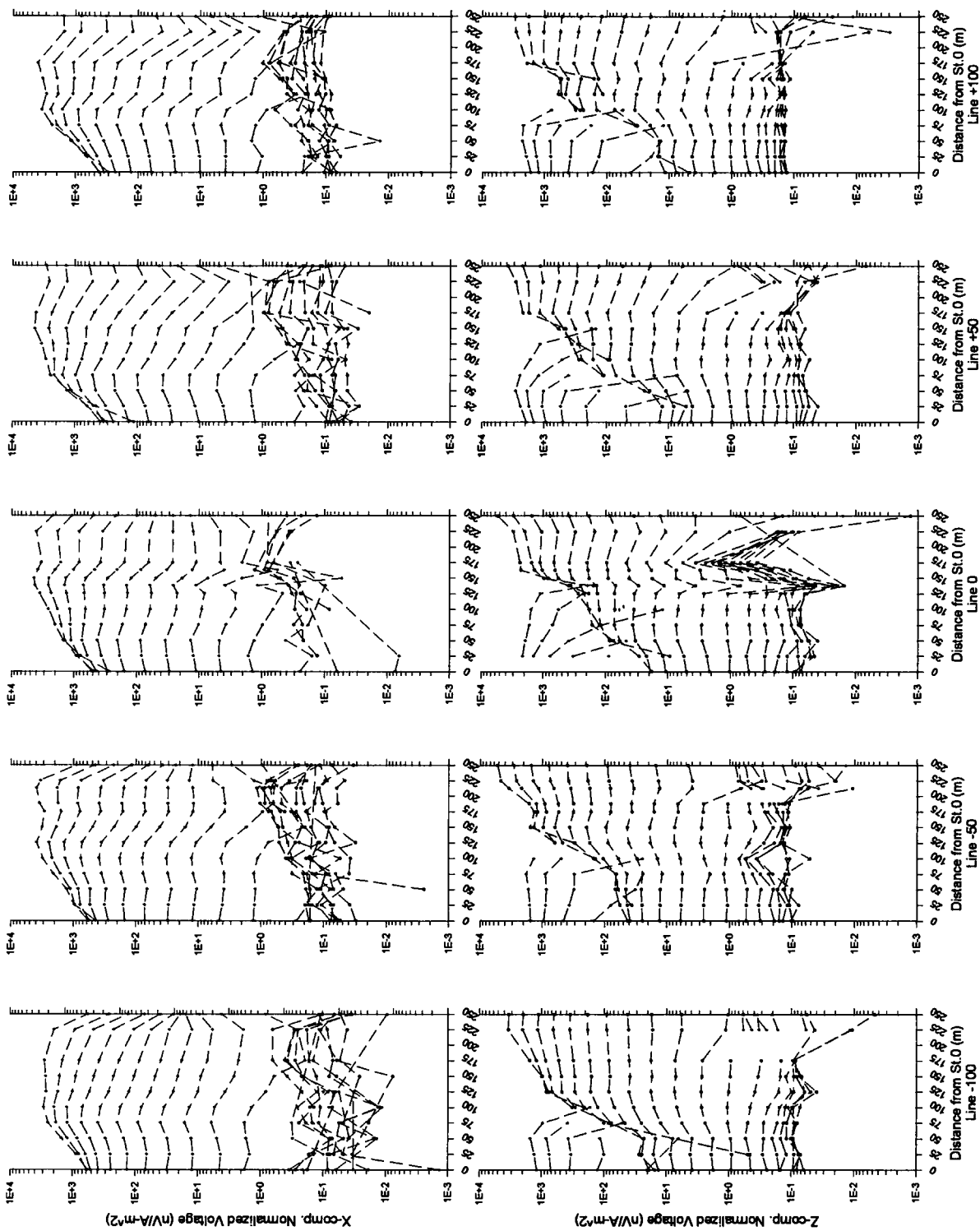
#### (4) T0-21 地区

本地区は調査地域南部に位置し、一部トータル岩の露頭が見られる他は全て砂礫風化層に覆われている。本地区の測定データを Fig. 2-4-12 に示す。本地区においても、テスト地区と同様な電圧の歪みが全測線において見られる。

電圧分布図(Fig. 2-4-13)から、連続線は本地区中央付近に位置し、その伸びは南北方向を示している。

#### (5) TP-18 地区

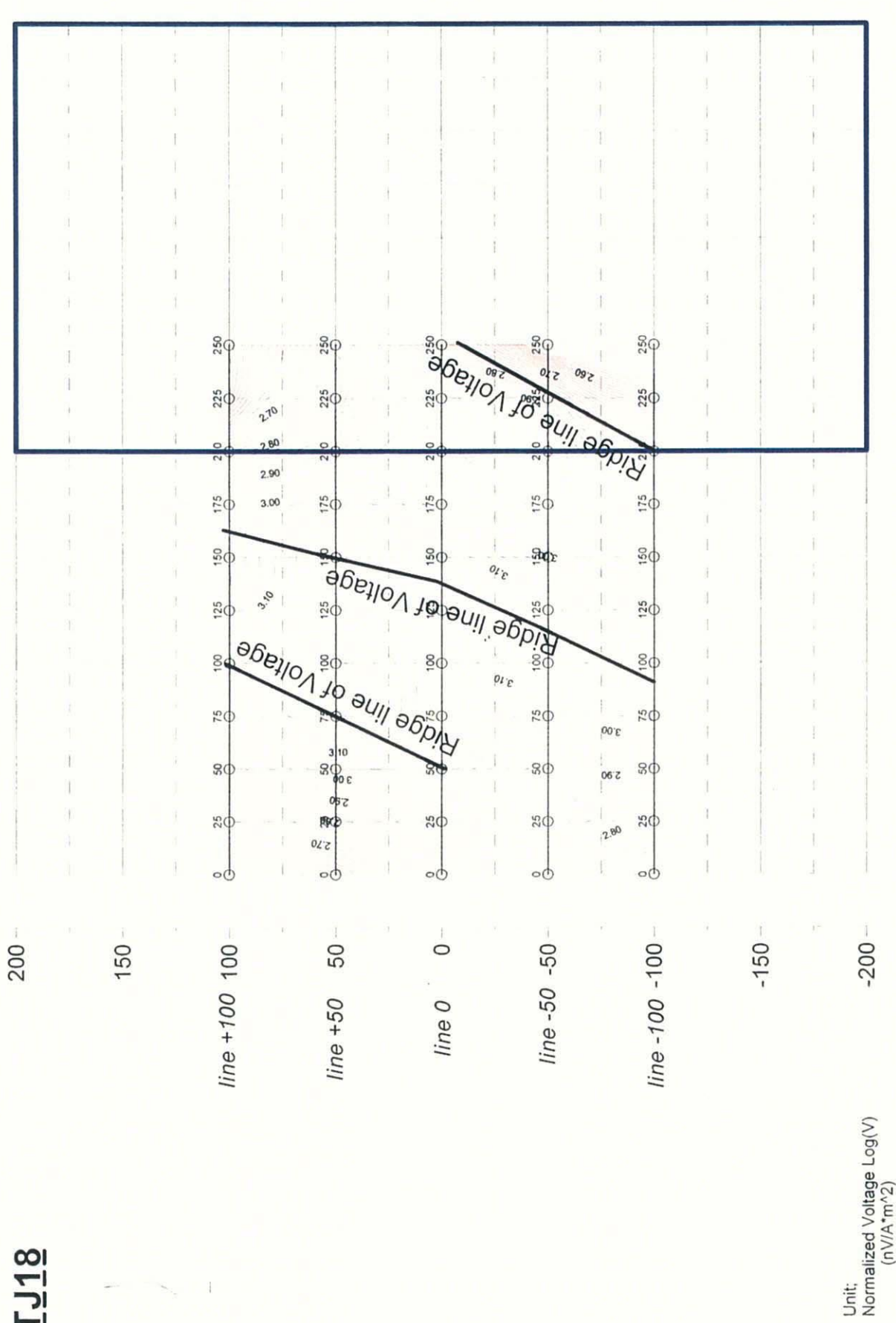
本地区は調査地域南端部に位置し、T0-21 地区の南側に隣接しており、一部安山岩の分布が見られる他は、砂礫風化層に覆われている。本地区の測定データを Fig. 2-4-14 に示す。本地区では、テスト地区や他の地区の様な電圧値の大きな歪みが見られず、Z 成分でも極性の反転は見られない。これは、プレートの比抵抗とその周囲の比抵抗とのコントラストが大きくないことが一つの理由として考え



\*remark; The negative value was changed to positive value

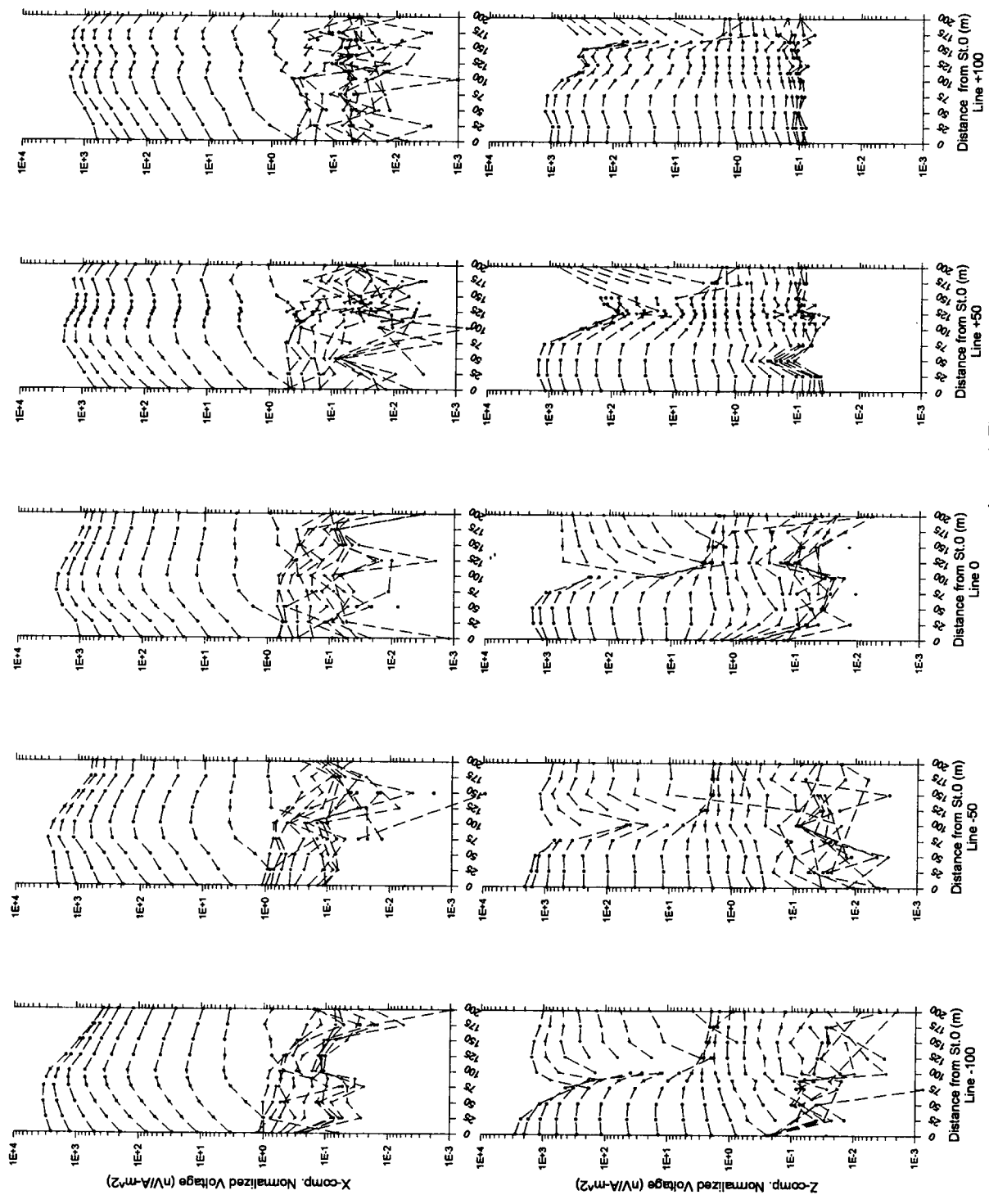
Fig.2-4-8 Observed Voltage Profile (TJ-16)

# TJ18



Unit:  
Normalized Voltage Log(V)  
(nV/A\*m<sup>2</sup>)

Fig.2-4-9 Observed Voltage Distribution Map of Gate 3 (TJ-18)



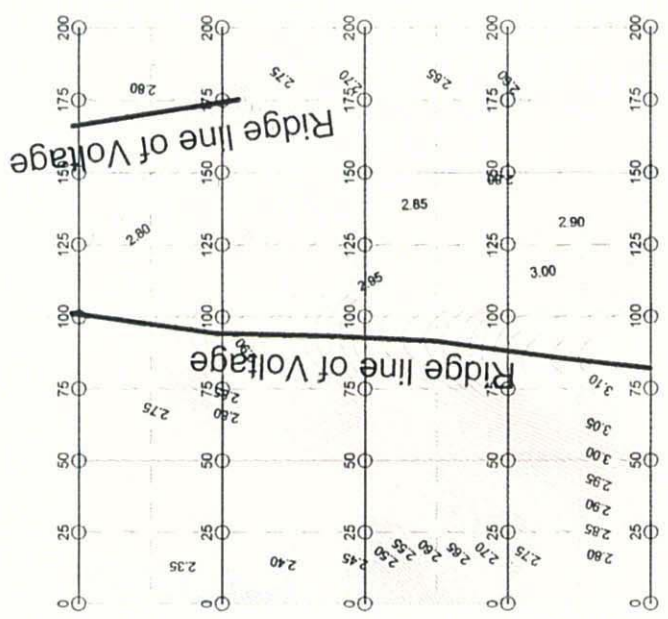
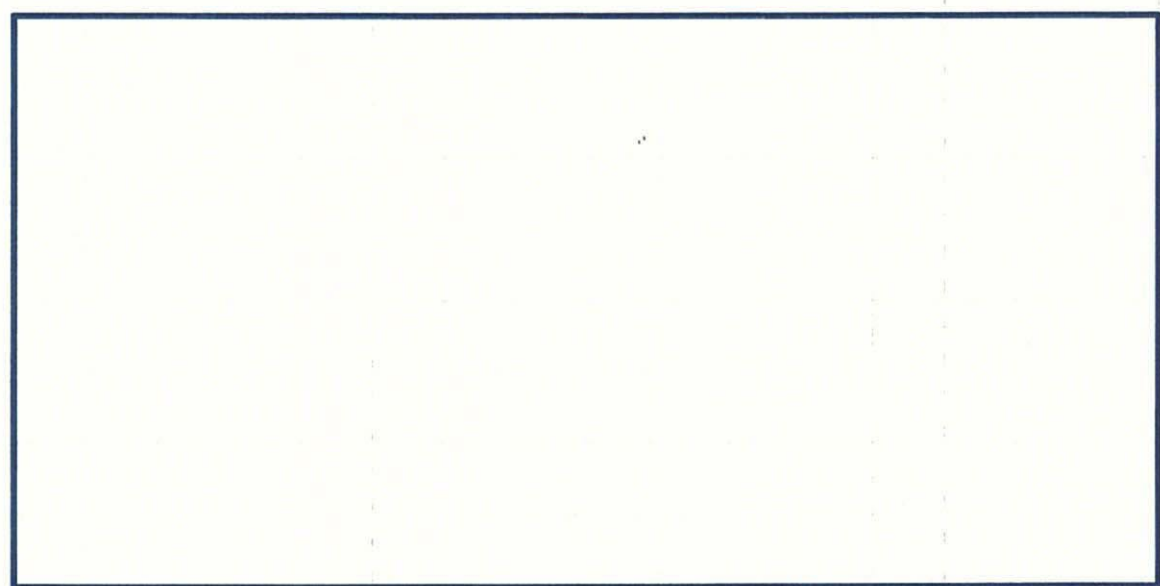
\*remark, The negative value was changed to positive value

Fig.2-4-10 Observed Voltage Profile (TM-27)

IM27

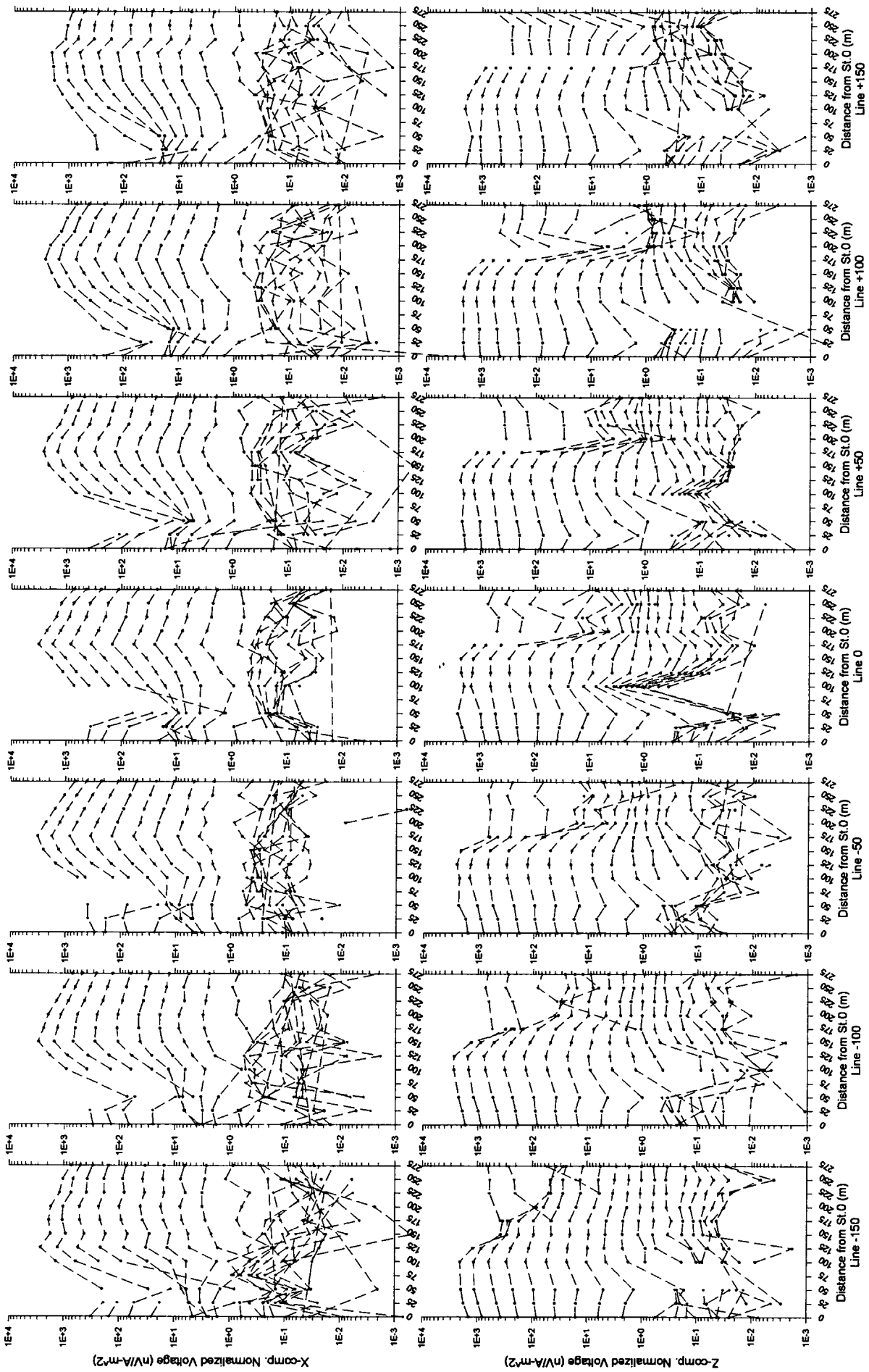
200  
150  
line +100 100  
line +50 50  
line 0 0  
line -50 -50  
line -100 -100  
-150  
-200

Unit:  
Normalized Voltage Log(V)  
(nV/A\*m<sup>2</sup>)



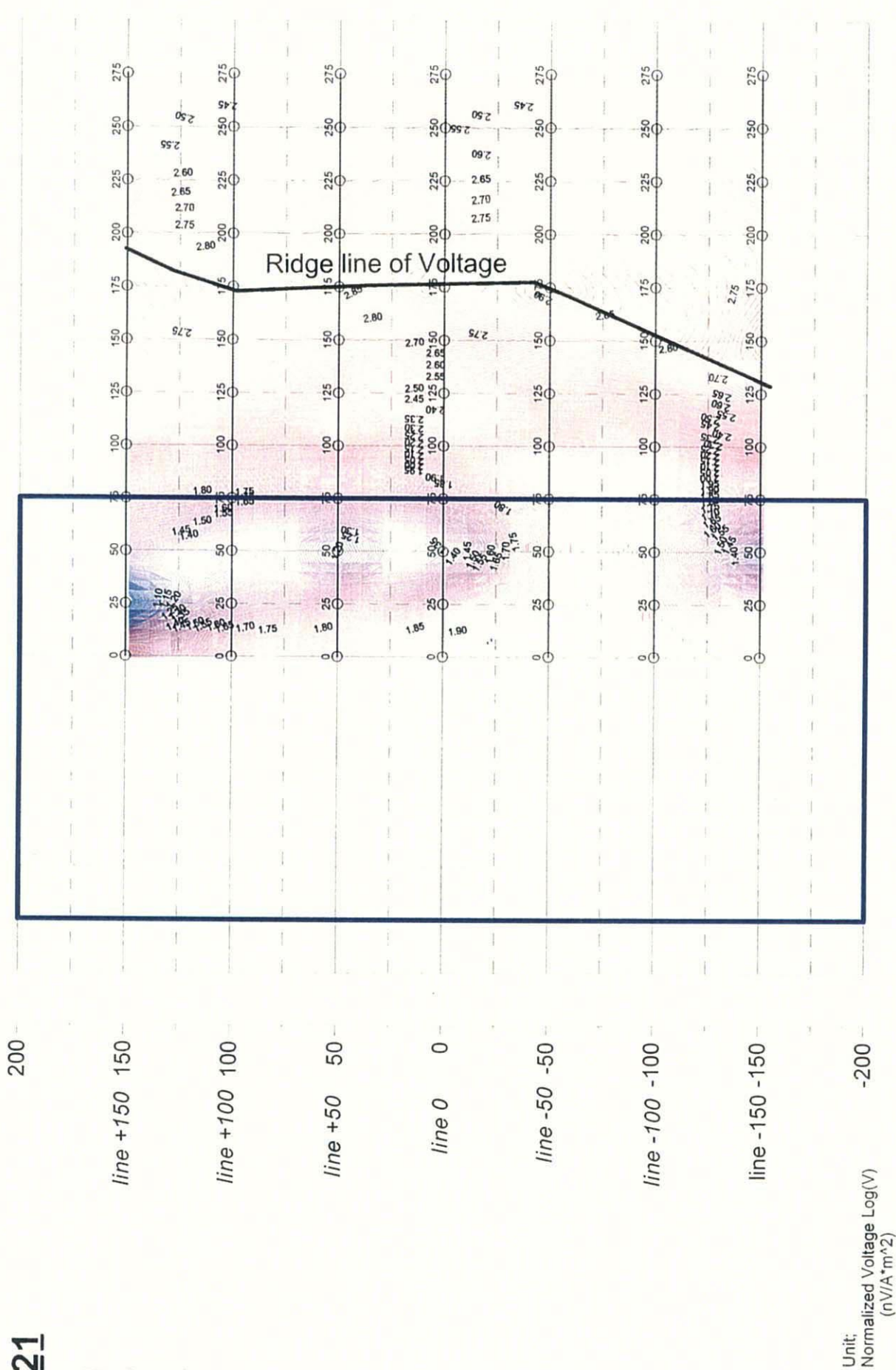
-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200

Fig.2-4-11 Observed Voltage Distribution Map of Gate 3 (TM-27)



\*remark; The negative value was changed to positive value

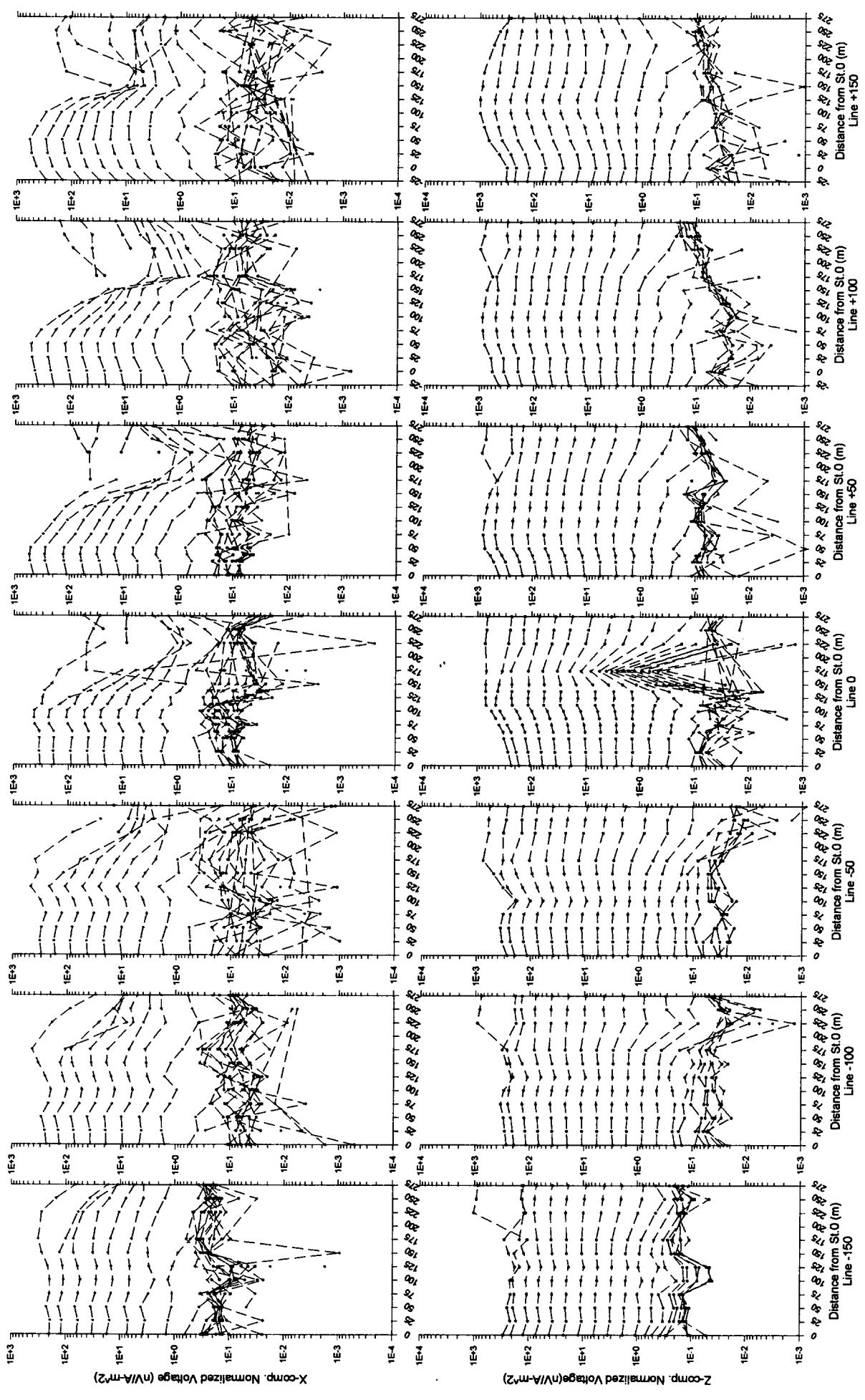
Fig.2-4-12 Observed Voltage Profile (TO-21)



-150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 300

Fig. 2-4-13 Observed Voltage Distribution Map of Gate 3 (TO-21)





\*remark; The negative value was changed to positive value

Fig. 2-4-14 Observed Voltage Profile (TP-18)

られる。

電圧分布図(Fig.2-4-15)から、ピークの小さな連続線が見られることから、深度の浅いプレートまたはコンダクタンスの小さいプレートの存在が考えられる。

#### 4-3-3 解析結果

小ループ測定データによる1次元逆解析結果及び固定ループ測定データによる2次元プレートモデル解析の結果について以下に述べる。なお、2次元プレートモデル解析には、測定された20ゲート分のデータの内、データが良好であった第1~10ゲートのデータを用いた。

##### (1) TB-12 地区

小ループ測定データによる1次元逆解析結果から得られた各測線毎の比抵抗構造断面をFig.2-4-16に示す。解析された比抵抗構造は、数千ohm-m以上の高比抵抗層中に数百ohm-m以下のやや低い比抵抗層を挟む3層構造を示す。この挟まれた第2層目は地表下10~100mに分布し、その厚さは数十mと解析された。

次に、プレート解析から推定されるプレートモデルをFig.2-4-17に示す。推定されたプレートモデルは北東-南西方向に延びるプレートである。そのコンダクタンスは1.1~2.0Sであり、傾きは南傾斜で80°である。プレートの深度はLine+150からLine+50までは300mと深く、Line0付近から次第に浅くなりはじめ、Line-150では100mとなる。

##### (2) TJ-18 地区

本地区の比抵抗構造断面をFig.2-4-18に示す。解析された比抵抗構造は2層構造を示し、上層が100ohm-m以下の低比抵抗層、下層が約1,000ohm-m以上の高比抵抗層と解析された。上下層の境界深度はほぼ一定で、地表下数十mである。両比抵抗層は同じ岩石の風化帯及び新鮮岩帯を反映していると考えられる。

次に、プレート解析から推定されるプレートモデルをFig.2-4-19に示す。推定されたプレートモデルは3つであり、全てNE-SW方向の延びを示し、ほぼ平行に並んでいる。コンダクタンスは2.0~2.9S、傾きは90°である。プレート深度は、中央のプレートは200~270m、北西のプレートは150~200mまで変化するが、南東のプレートは一定の140mである。

##### (3) TM-27 地区

本地区の比抵抗構造断面をFig.2-4-20に示す。解析された比抵抗構造は2層構造を示し、上層が100ohm-m以下の低比抵抗層、下層が約1,000ohm-m以上の高比

# IP18

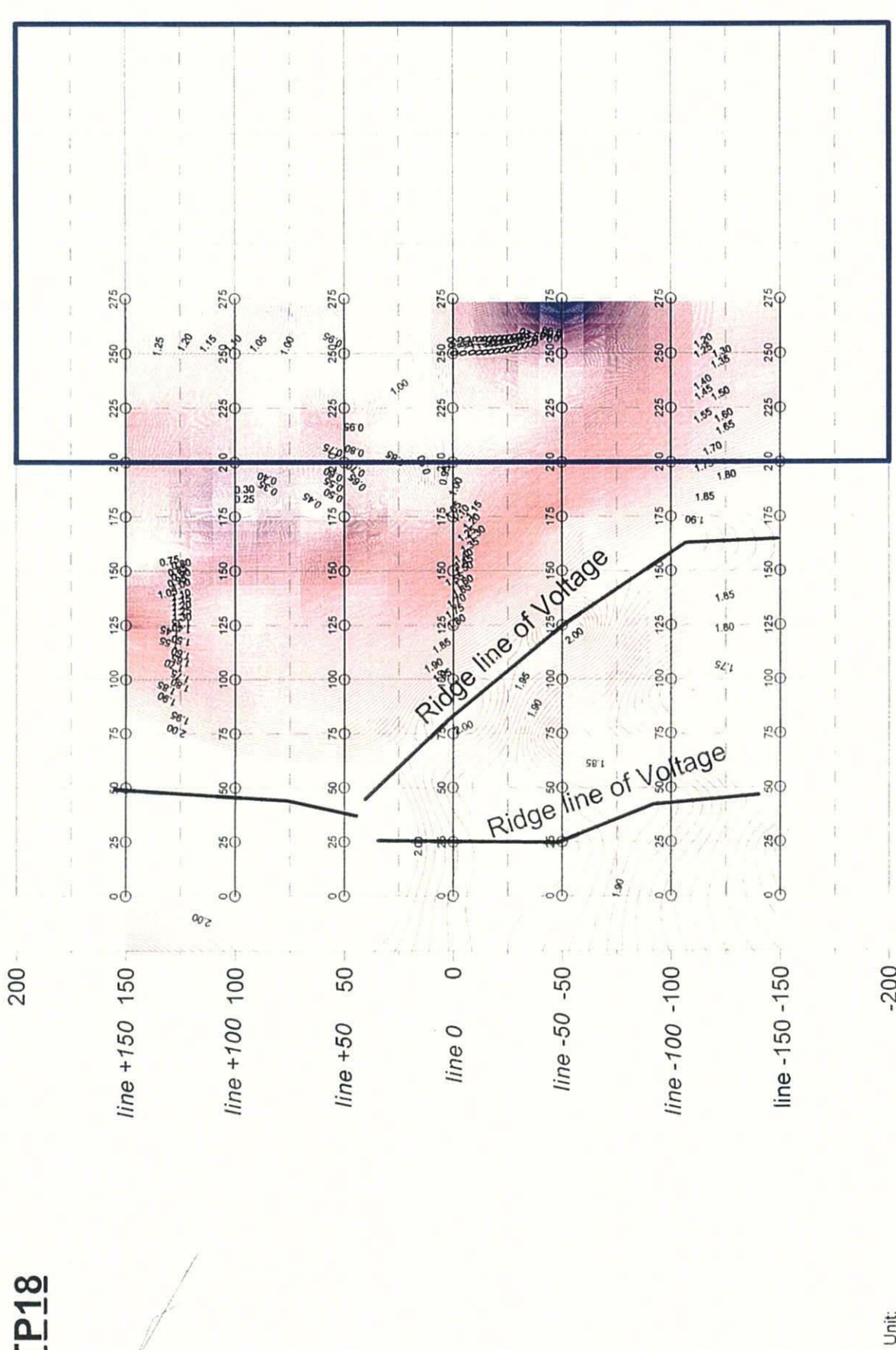


Fig.2-4-15 Observed Voltage Distribution Map of Gate 3 (TP-18)



Fig. 2-4-16 Resistivity Structure Section (TB-12)

**IB12**

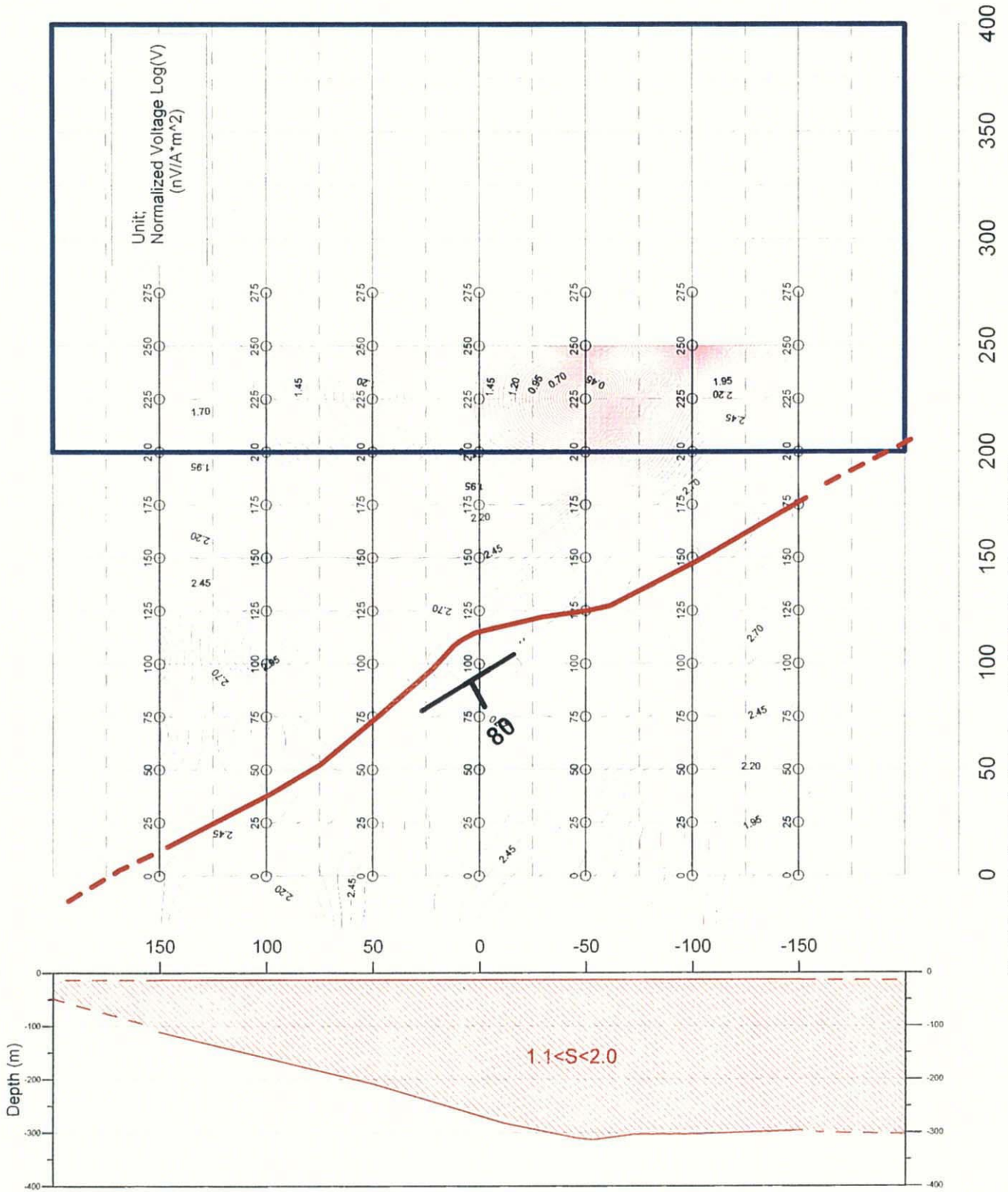


Fig.2-4-17 Estimated Plate from 2D Plate Modeling (TB-12)

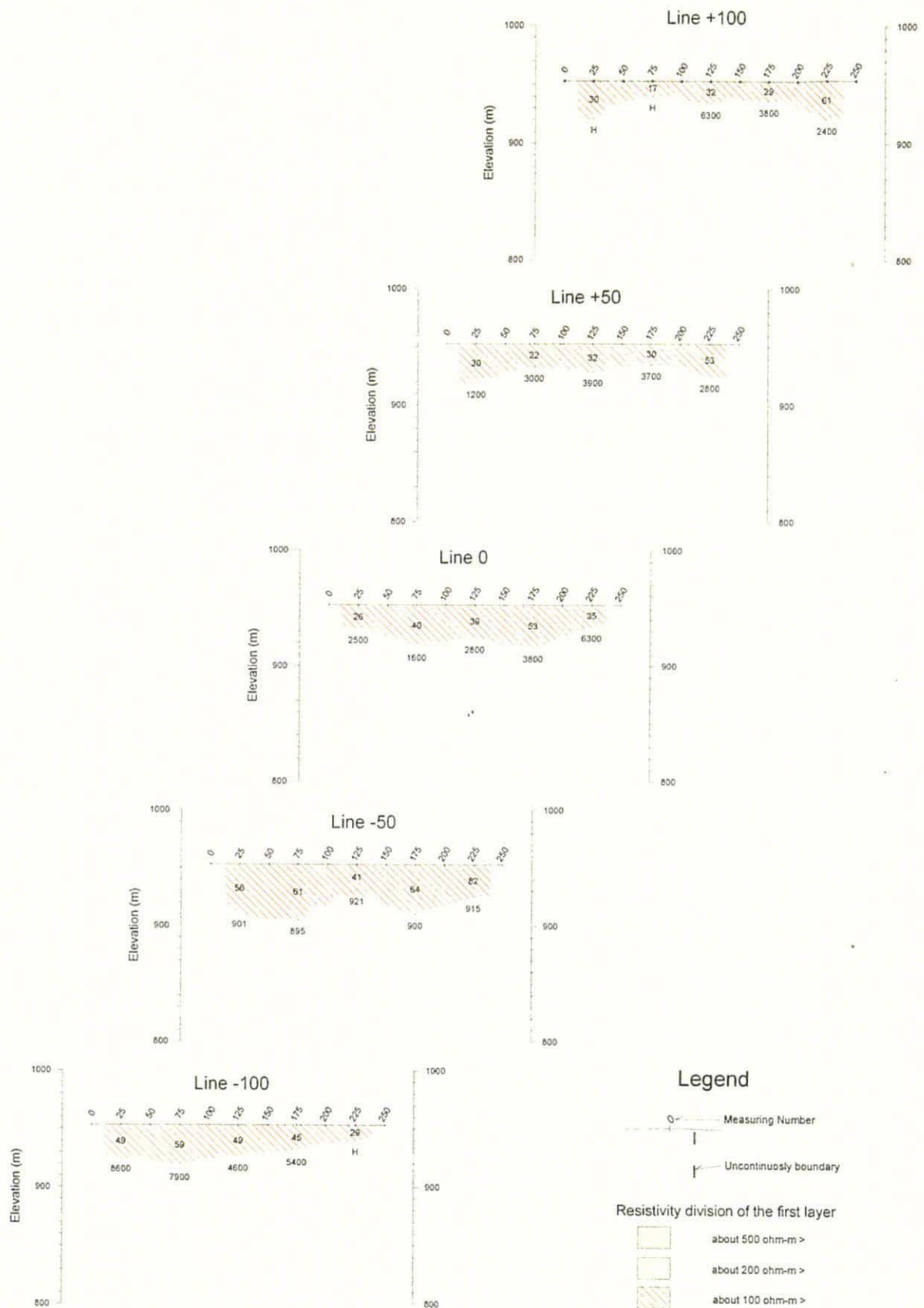


Fig. 2-4-18 Resistivity Structure Section (TJ-18)

# TJ18

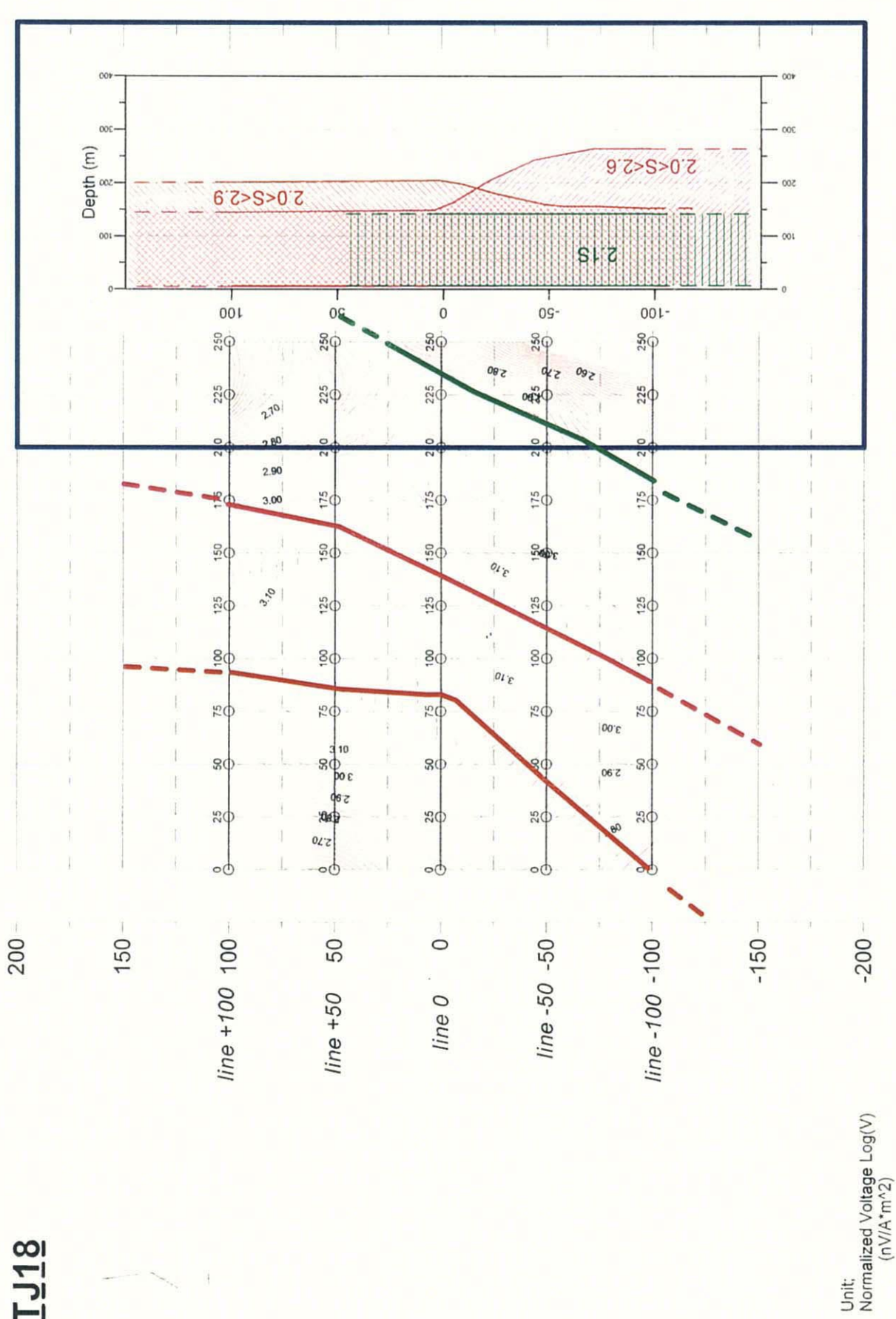


Fig.2-4-19 Estimated Plate from 2D Plate Modeling (TJ-18)

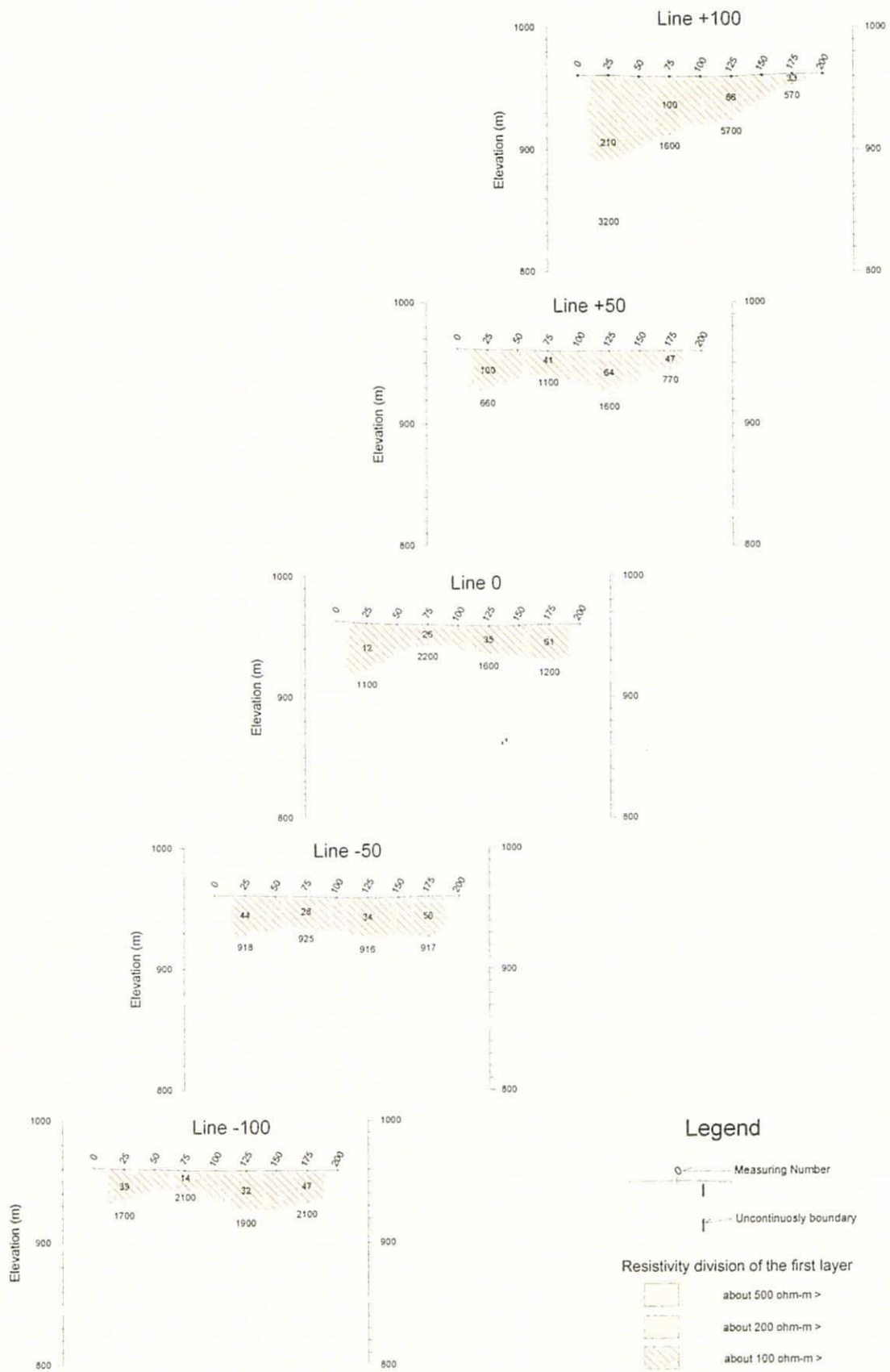


Fig. 2-4-20 Resistivity Structure Section (TM-27)



抵抗層と解析された。上下層の境界深度は Line+100 を除きほぼ一定で、地表下数十 m である。両比抵抗層は同じ岩石の風化帯及び新鮮岩帯を反映していると考えられる。

次に、プレート解析から推定されるプレートモデルを Fig. 2-4-21 に示す。推定されたプレートモデルは2つであり、本地区中央部と南東部をともにほぼ NE-SW 方向に延びている。前者は深度 200m, コンダクタンス 2.0~2.5S, 後者は深度 150m, コンダクタンス 3.0S をそれぞれ示し、傾きはともに 90° である。

#### (4) T0-21 地区

本地区の比抵抗構造断面を Fig. 2-4-22 に示す。解析された比抵抗構造は2層構造を示し、上層が 100ohm-m 以下の低比抵抗層、下層が約 1,000ohm-m 以上の高比抵抗層と解析された。上下層の境界深度は全測線に共通し 10m~40m と緩やかに変化し、No. 75 付近において深くなる傾向が見られる。両比抵抗層は同じ岩石の風化層及び新鮮岩帯を反映していると考えられる。また、Line+150~Line-50 の No. 250 付近において比抵抗不連続が見られる。

次に、プレート解析から推定されるプレートモデルを Fig. 2-4-23 に示す。推定されたプレートモデルは、全測線の No. 115 を通り、南北に延びる。プレートの深度は 270m, コンダクタンスは 1.2~1.5S を示し、傾きは 90° である。

#### (5) TP-18 地区

本地区の比抵抗構造断面を Fig. 2-4-24 に示す。解析された比抵抗構造は2層構造を示し、上層が 500ohm-m 以下の低・中比抵抗層、下層がほぼ 1,000ohm-m 以上の高比抵抗層と解析された。上下層の境界深度は 20m~100m と変化し、No. 225 付近にて深くなる傾向が見られる。両比抵抗層は同じ岩石の風化帯及び新鮮岩帯を反映していると考えられる。

次に、プレート解析から推定されるプレートモデルを Fig. 2-4-25 に示す。推定されたプレートモデルは2つであり、中央部及び北西部をともにほぼ NE-SW 方向に延び、Line+50 の No. 50 付近で一つになると予想される。プレートの深度はともにほぼ 120m, コンダクタンスは 1.3~2.9S を示し、傾きは 90° である。

### 4-3-4 考 察

本調査では IP 法物理探査によって抽出された5つの IP 異常域に対して、TEM 法物理探査を実施した。その結果、全異常域において幾つかの導電性プレートが解析され、それらのプレートは深度数百 m まで到達するコンダクタンス 1~3S のほぼ垂直に立ったプレートと推定された。

200  
150  
line +100 100  
line +50 50  
line 0 0  
line -50 -50  
line -100 -100  
-150  
-200

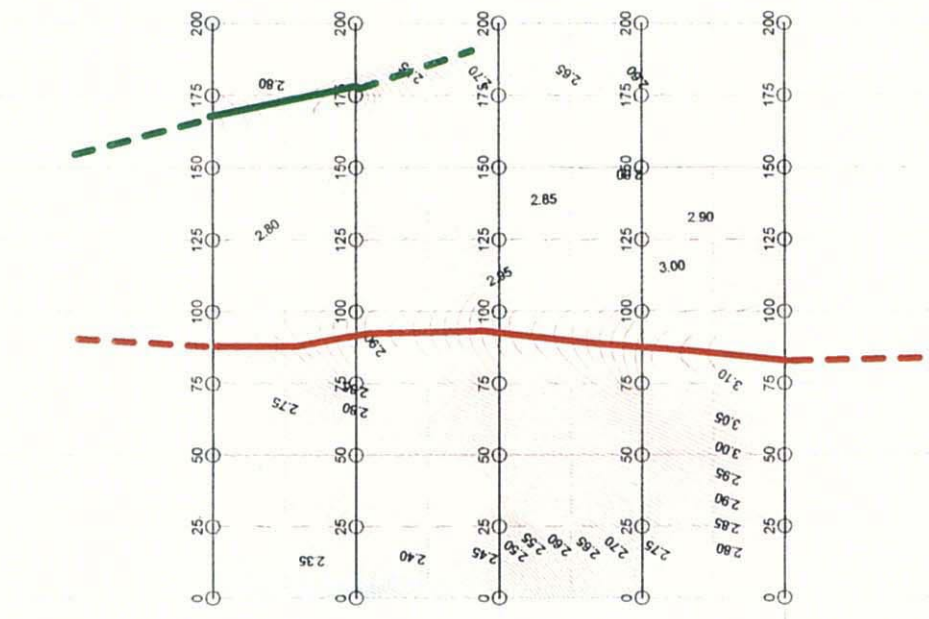
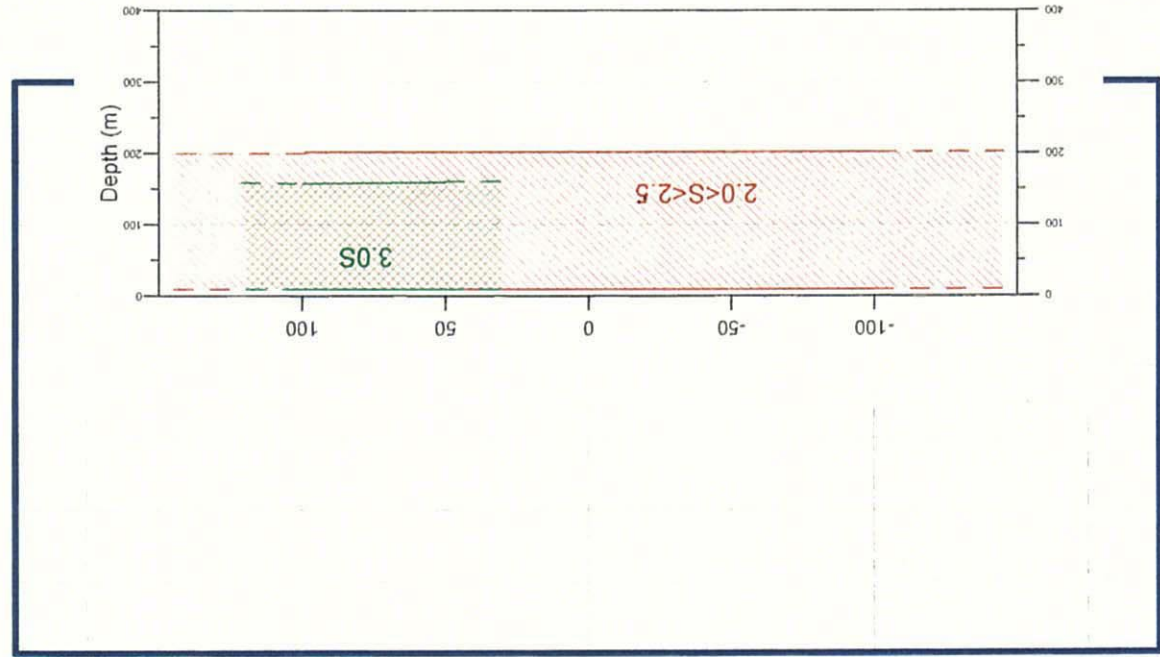


Fig.2-4-21 Estimated Plate from 2D Plate Modeling (TM-27)

Unit:  
Normalized Voltage Log(V)  
(nV/A \* m<sup>2</sup>)

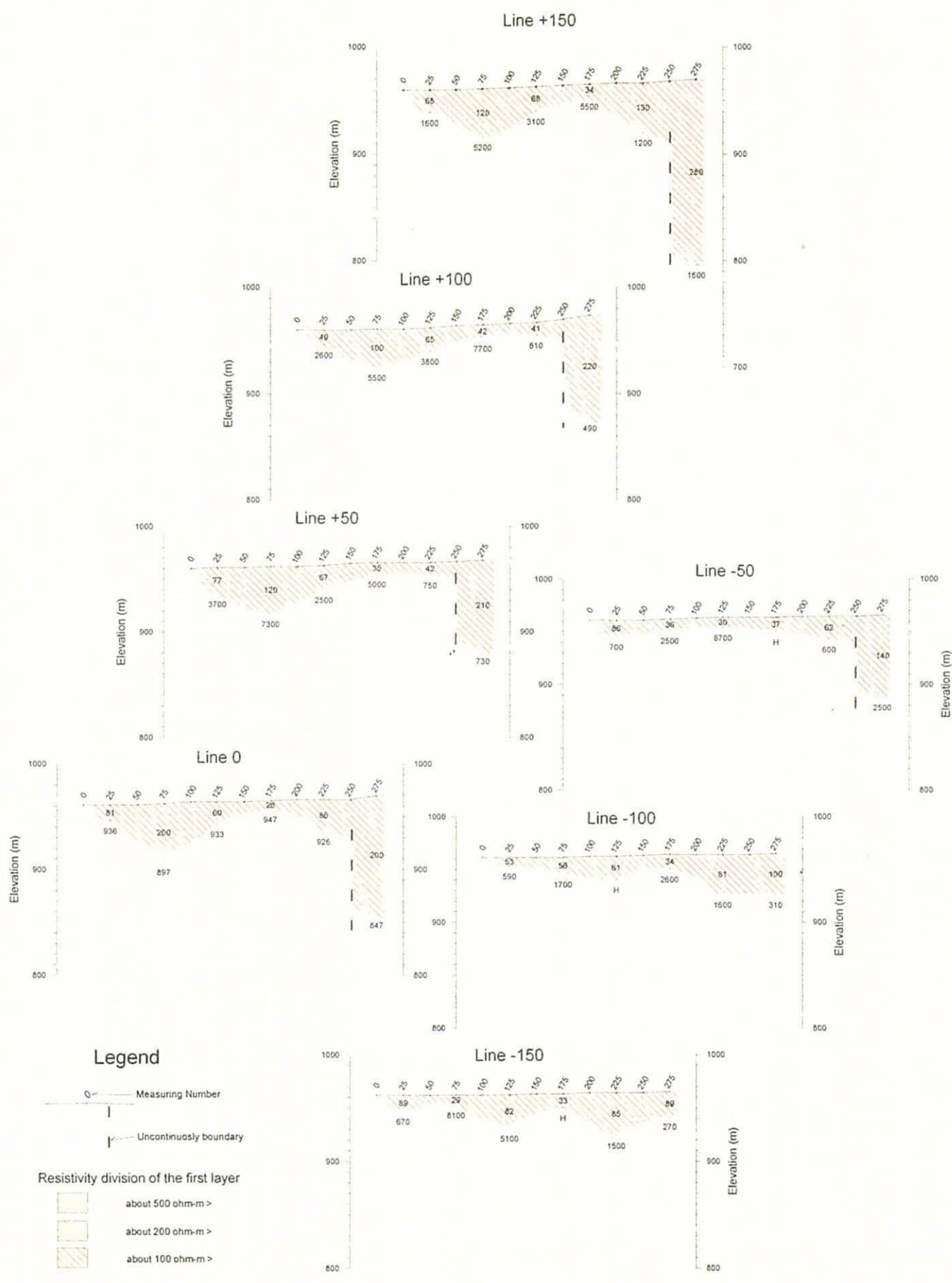


Fig. 2-4-22 Resistivity Structure Section (TO-21)

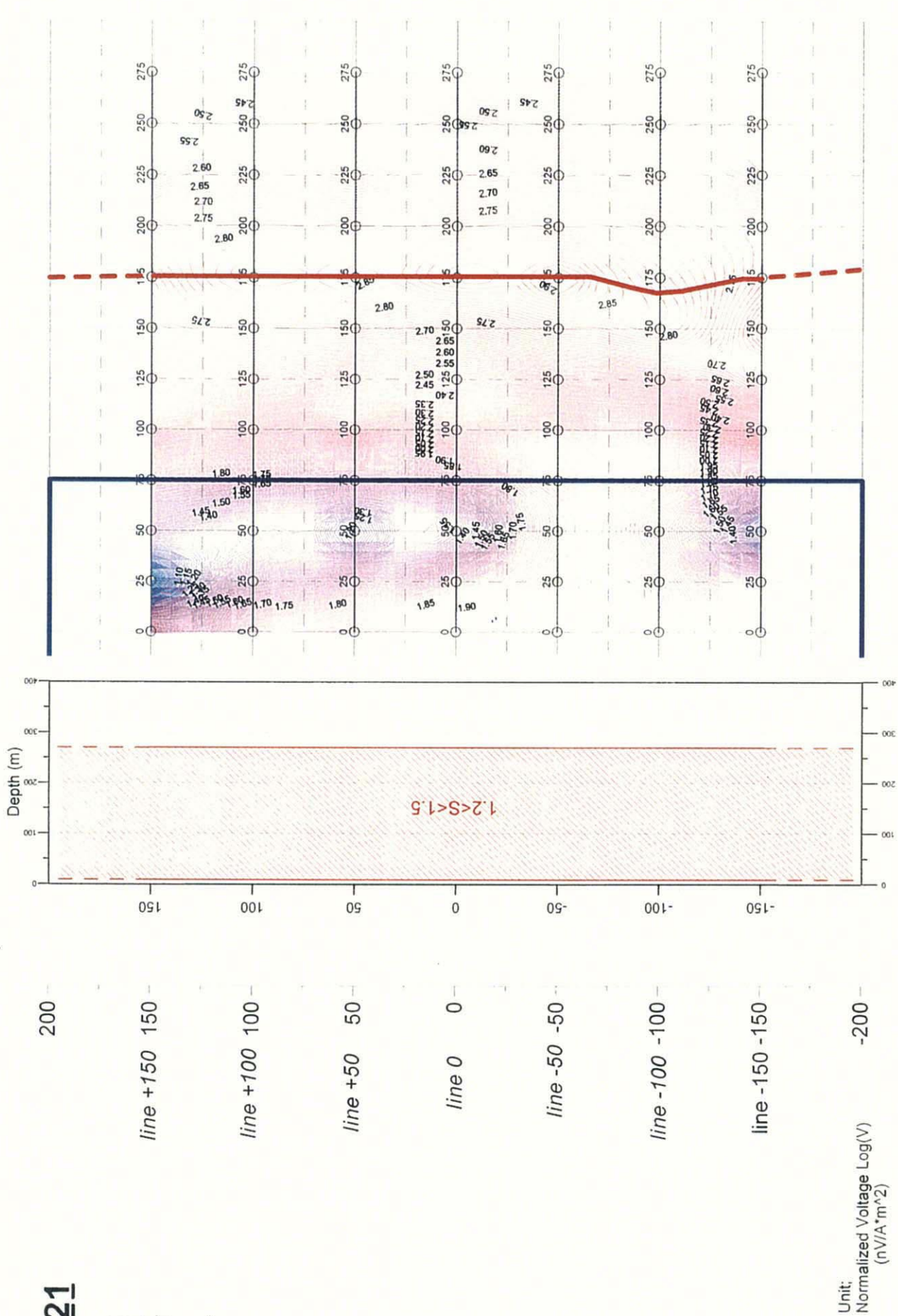


Fig. 2-4-23 Estimated Plate from 2D Plate Modeling (TO-21)

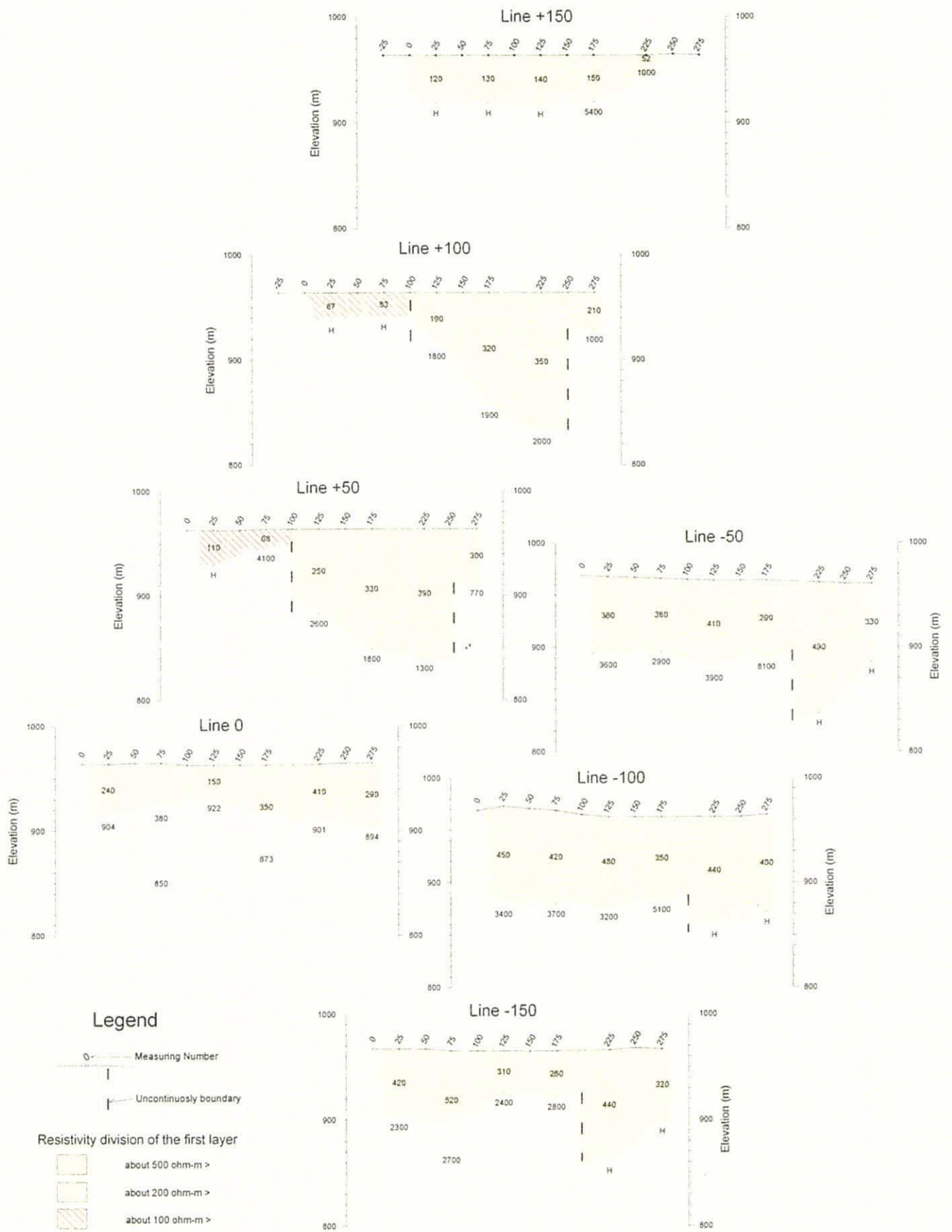


Fig. 2-4-24 Resistivity Structure Section (TP-18)

# IP18

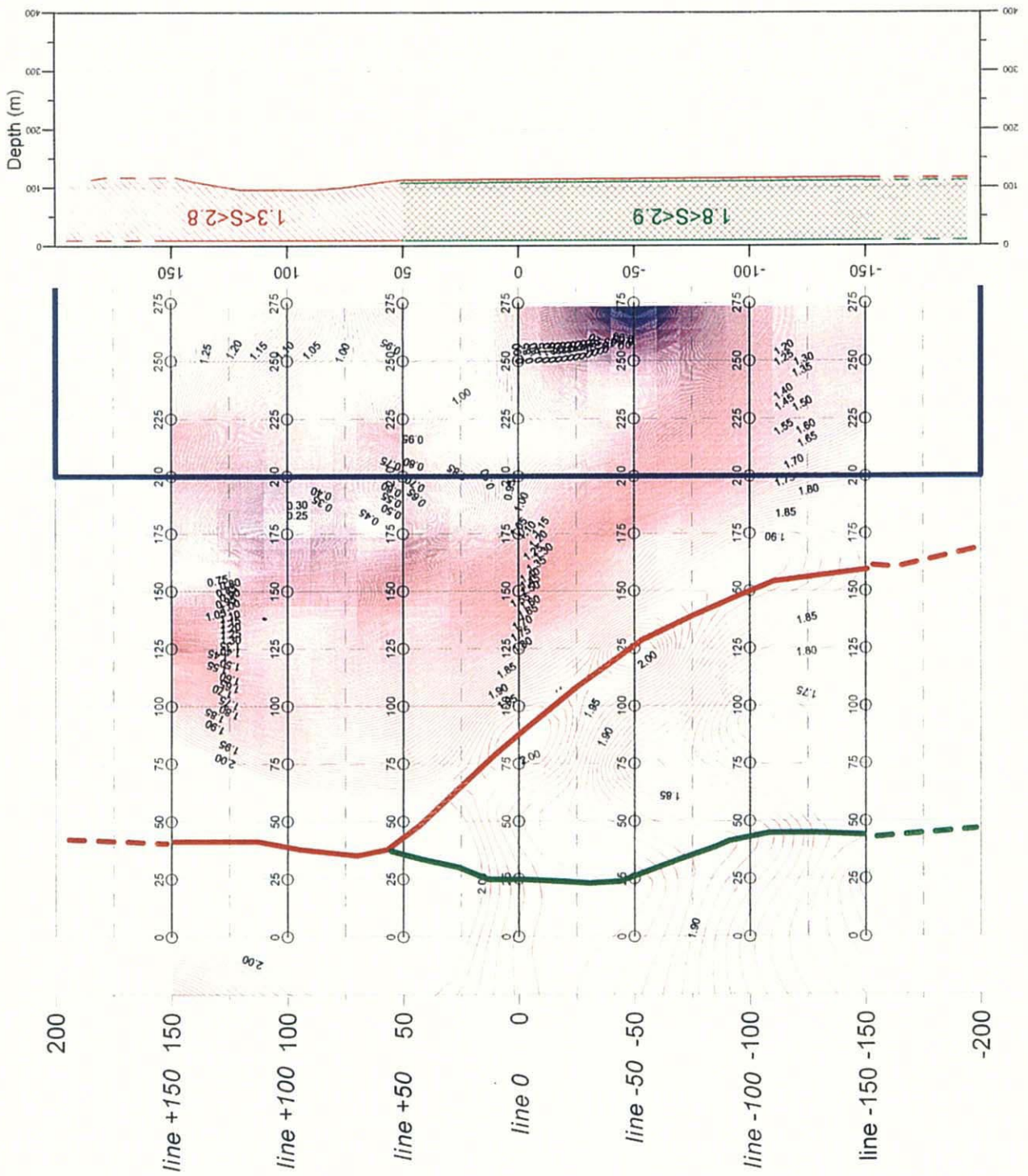


Fig.2-4-25 Estimated Plate from 2D Plate Modeling (TP-18)

一般的に、導電性プレートは断層、地下水、変質帯、鉱化帯等を反映していると考えられる。本調査地域では幾つかの断層が確認あるいは推定されているが、どの断層も先カンブリア紀と古いため閉じた断層であり、それを地下水等が充填しているとは考えにくい。また、本年度のボーリング調査結果から、鉱化帯周辺部では変質作用が少ないことから変質帯も考えにくい。従って、プレート解析によって抽出された導電性プレートは鉱化帯を反映した可能性が高い。

MJSU-2 号孔にて捕捉された鉱体は、比抵抗が  $20\text{ohm-m}$ 、層厚が  $10\text{m}$  とすればコンダクタンスは  $0.5\text{S}$  となる。本調査で解析されたプレートは  $1\sim 3\text{S}$  を示すことから、比抵抗が  $20\text{ohm-m}$  以下あるいは層厚が  $10\text{m}$  以上の鉱化帯と想定される。