

### 第3章 空中物理探査

#### 3-1 空中磁気探査

##### 3-1-1 目的と手法

空中磁気および空中放射能( $\gamma$ 線)法により、調査地域の磁性岩体及び放射性岩体の分布を把握し、表層堆積物下部の地質構造を解明することにより、鉱床胚胎の期待される有望な地質構造の箇所を抽出することを目的とする。表層堆積物は中生代～第三紀のCalcreteであり、これに被われている地域は調査地域の北東側で、全体の3/4以上の面積を占める。Calcreteに被われている地域であっても、一部、すでに民間鉱区が設定されている地域も含まれる。

今回の手法はセシウム磁力計を用いた高感度空中磁気探査である。データの取得をより高精度に行うため、飛行高度を低空に取り、ライン間隔を狭くした。地球磁場の日変化に対する補正、磁気嵐の検出を行うため地上に磁気観測基地を設けプロトン磁力計により測定を行った。

##### 3-1-2 調査仕様

- (1) Table II-3-2とFig. II-3-1で示す調査範囲において、磁気データおよび放射能データを取得した。
- (2) 飛行測線方向は、原則として、南北方向に設定した。
- (3) 測線間隔は200mを標準とした。
- (4) タイ・ラインは2.5Km間隔を標準とした。
- (5) 航空機は軽飛行機を使用した。
- (6) 飛行高度は、航空機および曳航する測定機器の安全を確保できる範囲内で一定の対地高度を保った。測定機器の対地高度は80mを標準とした。
- (7) 航法はGPS-ビデオ・トラッキング併用法を用いた。
- (8) 飛行に際しては、人工ノイズ、気候状態および磁気嵐の影響が最小限になるよう配慮した。

調査数量は総測線長 27,518 km (タイラインを含む) および水平サンプル間隔は9m以内とした。

##### 3-1-3 調査機器

使用した機器の一覧表を Table II-3-1 に示す。

##### 3-1-4 データ処理と解析手順

データ処理および解析を行うフローチャートをFig. II-3-2 に示す。

##### 3-1-5 測定結果と解析

全磁力コンター図、極磁気変換図、陰影処理図を作成した。

これらの図面では5分毎に緯線、経線が引かれており、総合解析では東西方向に西から東へAからIまで、北から南へ1から6までの区画座標で位置を表している。

調査地域のかなりの部分が厚いCalcreteに被われており、磁気探査は地質構造を考える上で

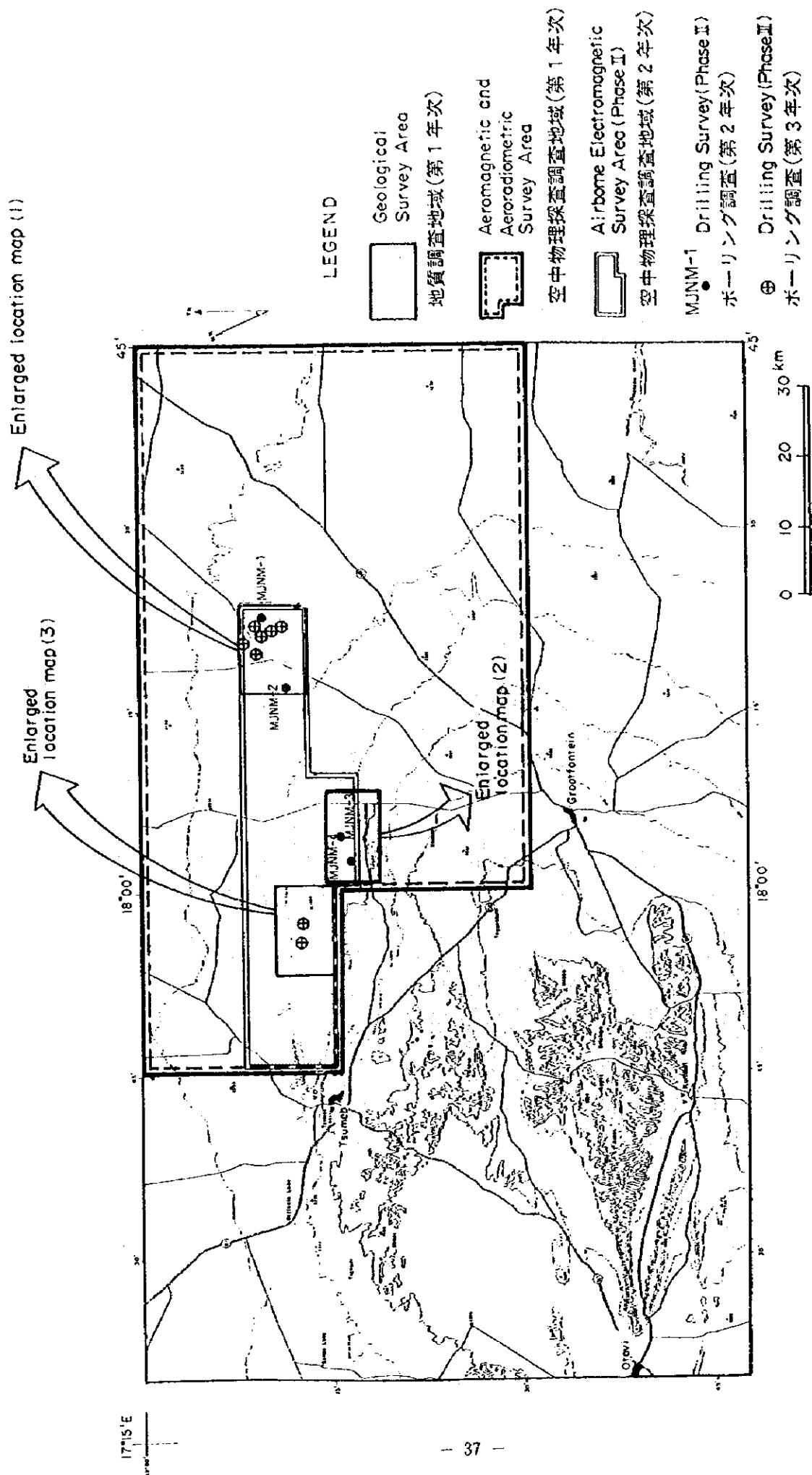


Fig. II -3-1 Location map of airborne geophysical survey

非常に有効である。これまで得られた図からリニアメントを抽出し、Fig. II-3-4に示した。調査地域は測定結果から得られた磁気の特徴にしたがって、つぎの様に3つに区分できる。

- (1) 基盤岩および浅部に基盤岩が分布する地域
- (2) Damara系の堆積岩が厚く堆積する地域
- (3) Karoo Basaltに被われた地域

これらを横切って、様々な幅と長さを有する磁気リニアメント群（ドレライトと考えられる）が幾つか見られる。このリニアメントの中で断層を伴うものが見られる。地域南東部では磁気パターンが短波長の浅部構造を示しており、露岩地帯のパターンから基盤岩が分布すると考えられる。基盤岩上部には薄いDamara系が堆積している。基盤はENE-WSW系のリニアメント（断層）を境に落ち込み、北西側では長波長のドーム構造を示す。この深部基盤の上に、Damara系が厚く堆積している。Damara系堆積岩の帯磁率は全体的に低い、僅かなコントラストからターゲットである層境界を追跡できる。

Table II-3-2 Boundary Points of Aeromagnetic and Radiometric Survey

	XTM	YTM	緯 度			経 度		
			度	分	秒	度	分	秒
1	131410W	303956N	19	15	0.000S	17	45	0.000E
2	131608W	331632N	19	00	0.000S	17	45	0.000E
3	105284W	331800N	19	00	0.000S	18	00	0.000E
4	78962W	331931N	19	00	0.000S	18	15	0.000E
5	52640W	332025N	19	00	0.000S	18	30	0.000E
6	26320W	332081N	19	00	0.000S	18	45	0.000E
7	26280W	304410N	19	15	0.000S	18	45	0.000E
8	26240W	276738N	19	30	0.000S	18	45	0.000E
9	52481W	276681N	19	30	0.000S	18	30	0.000E
10	78723W	276585N	19	30	0.000S	18	15	0.000E
11	104965W	276451N	19	30	0.000S	18	00	0.000E
12	105126W	304126N	19	15	0.000S	18	00	0.000E

Table II-3-1 Specifications of Equipment for Aeromagnetic and Radiometric Survey

機器	メーカー	形式	仕様・性能	数量
空中磁気測定システム	Scintrex	118 型 センソム磁力計	ゲイジックレンジ： 20,000nT (69,972Hz) ～100,000nT (349,860Hz) 磁化傾度：50,000nT/m程度迄 感度：0.005nT(10回/秒時)	1台
空中放射能測定システム	Exploranium	GPX 2048, 256 γ線検出器	NaI結晶：2048in3-下方 256in3-上方 絶対精度：8%	1組
	Exploranium	GR-820-3 γ線スペクトロメータ	チャンネル数：256;この内K40, Bi214 Th208の3チャンネルを使用	1台
地上固定局磁気測定システム	Geometrics	G856-Xプロトン磁力計	使用ソフトウェア：1回/30秒	1台
高度計測システム	Intellisensor	AIR-DB-2B型 デジタル気圧計/高度計	動作範囲：-700m～4206m RMS感度：±0.01mbar (0.1m) 海面レベル	1台
	Sperry	Sperry 200-A型 レーダー高度計	相対精度 高度 ±3' (±1m) ; 0～30m ±3% ; 30～152m	1台
航行確認システム	National Panasonic	AC-7450 S-VHS Video system	同時記録：飛行記録 磁気データ	1台
	Garmin	Differential GPS SRVY II システム	感度：±100m (航行時) ：3-10m(SRVY IIによる補正)	1組
航空機	Cessna	Cessna Titan 404	仕様：エンジン2機搭載 性能：搭載燃料2400ℓ(9時間分) 搭載重量8400lbs データ取得時のスピード： 260～300Km/hr	1機

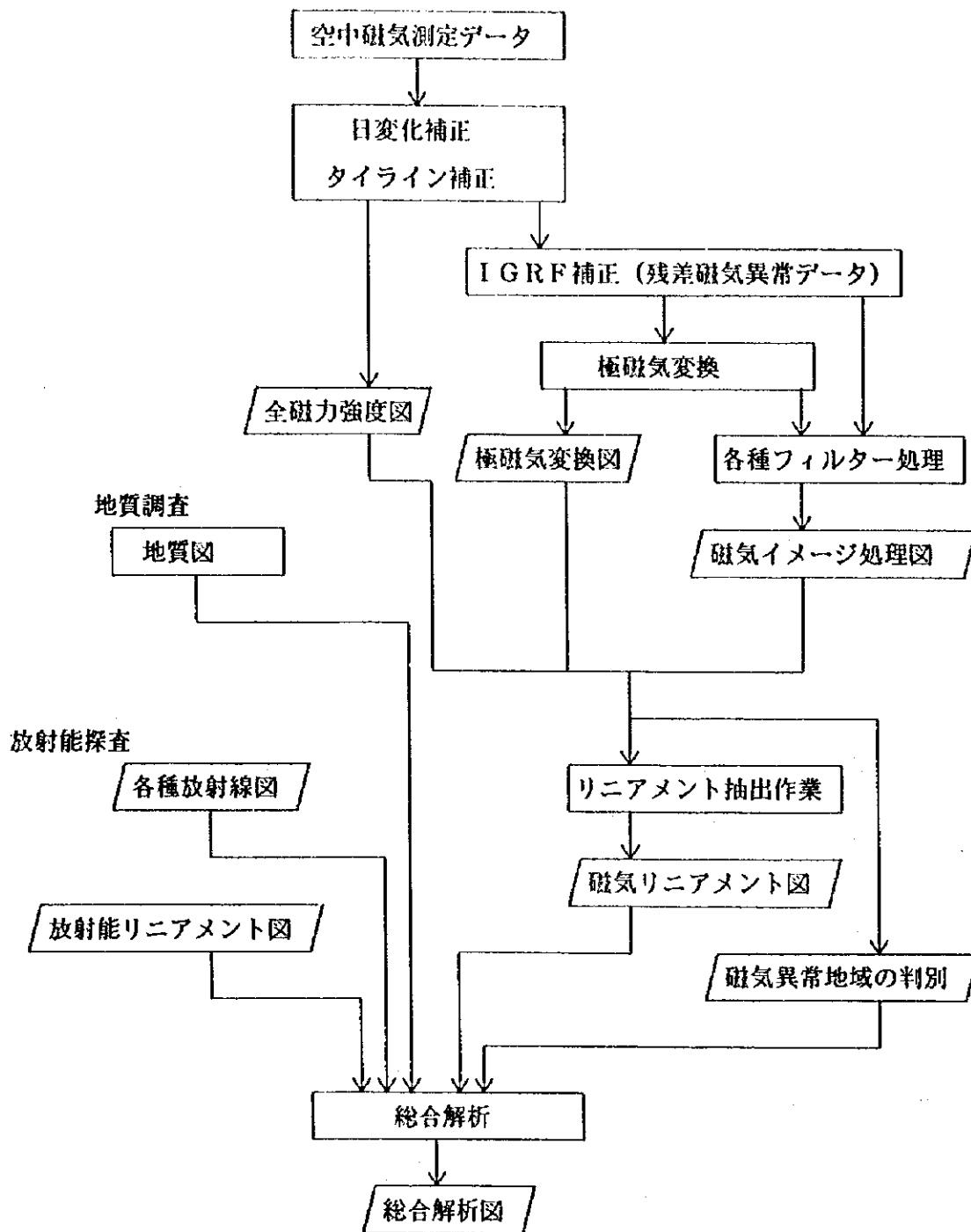
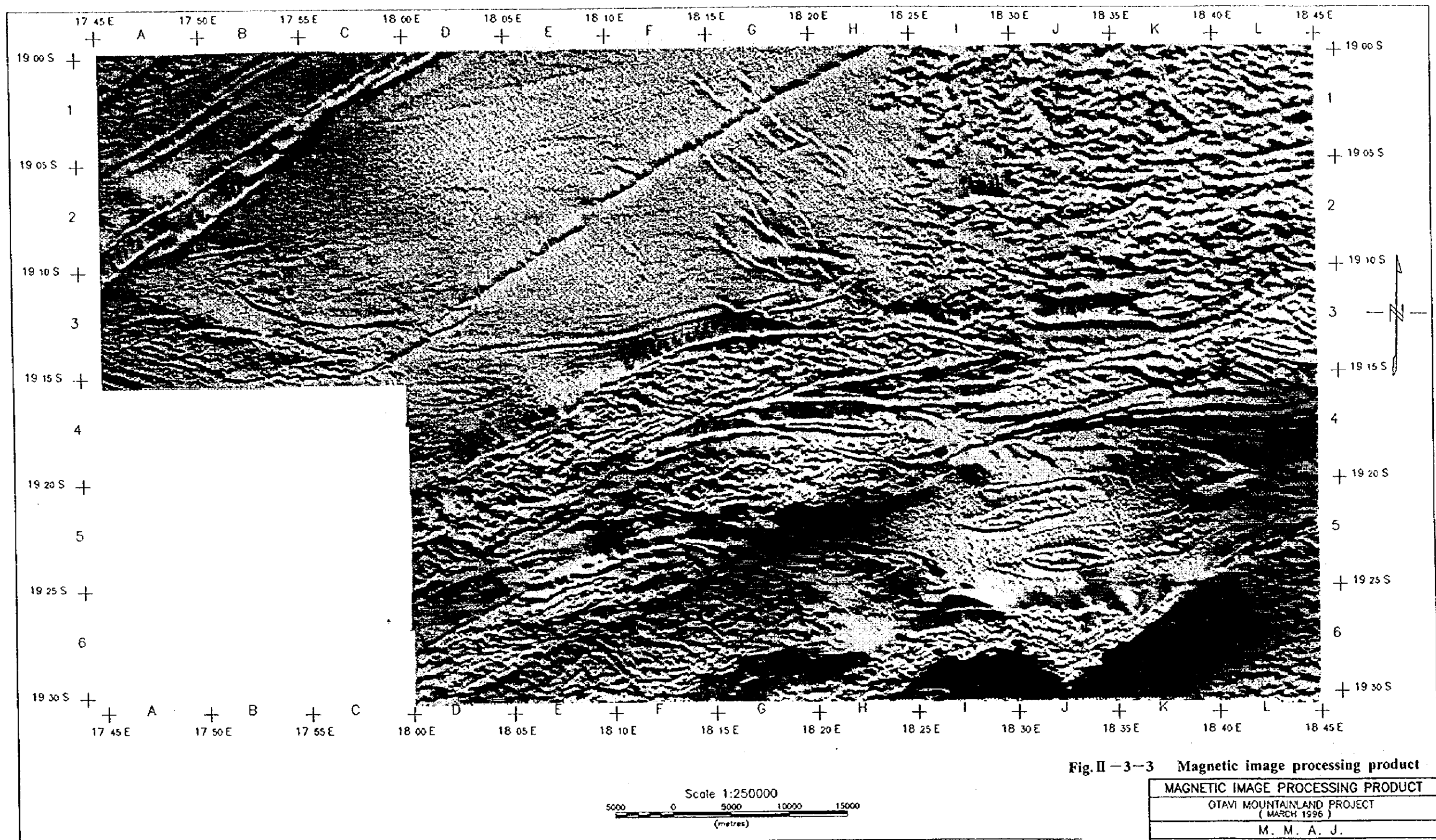


Fig. II -3-2 Flow chart of aeromagnetic survey





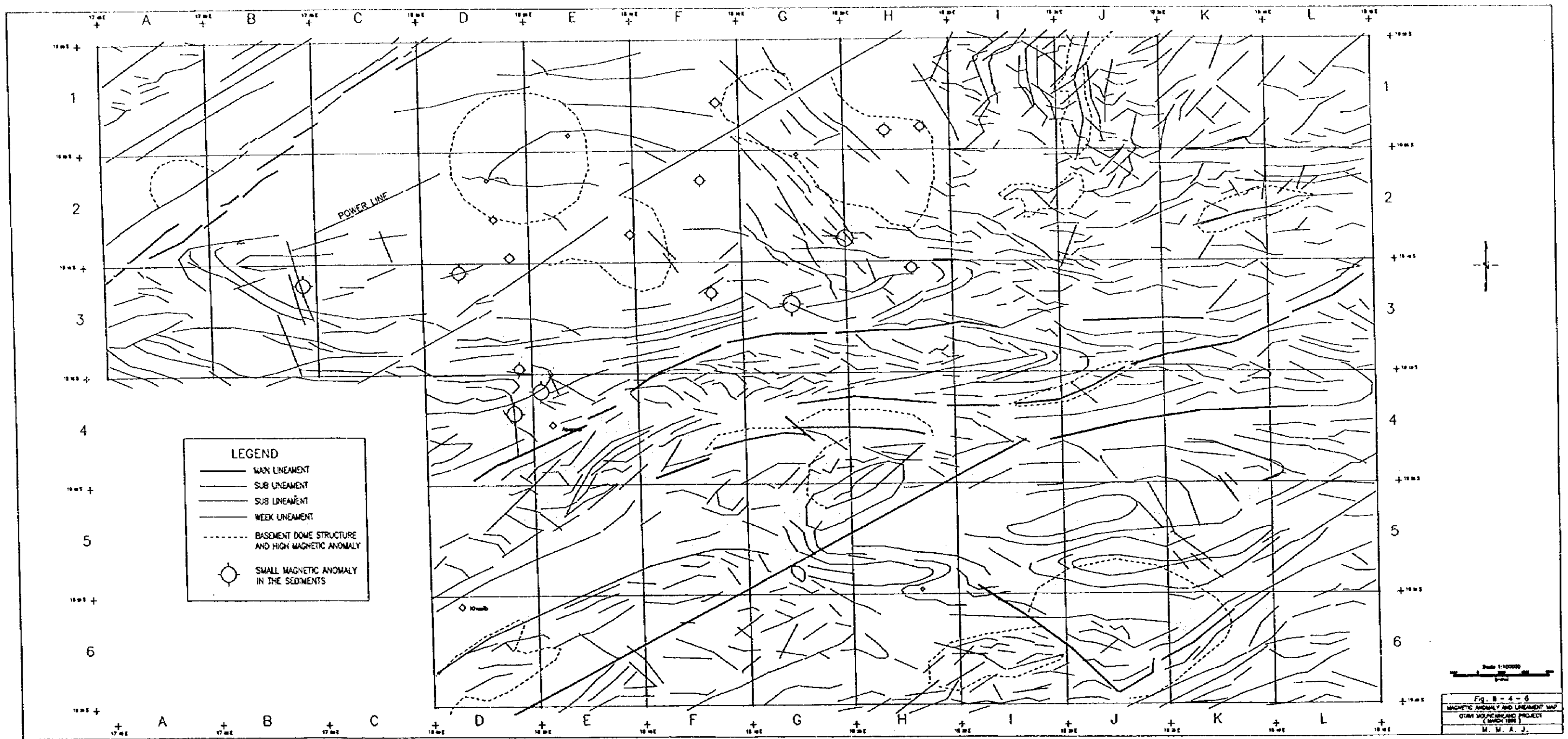


Fig. II-3-4 Magnetic anomaly and lineament map





## 3-2 放射能探査

### 3-2-1 目的と手法

空中放射能探査により、調査地域の放射性岩体の分布を把握し、表層堆積物の下部の地質構造を解明することによって鉱床胚胎の期待される有望な地質構造の箇所を抽出することを目的とし、 $\gamma$ 線スペクトロメーターによって、全放射能強度およびK、Th、Uの三核種の強度を測定する。その後適当なデータ処理を行い、岩相分布の推定、断裂系の抽出を行う。

### 3-2-2 調査仕様

空中放射能探査は空中磁気探査と同時に行うため、調査基準、測線配置は磁気探査に準じた。水平サンプル間隔は90m以内とした。

### 3-2-3 測定機器

測定機器を Table II-3-1 に示す。 $\gamma$ 線スペクトロメーターの使用に当たっては探査の仕様を満たすため、事前に十分な補正が必要である。ナミビア北部では通常、この補正はEros空港とHenties Bayで行われる。今回の補正もこの2地点で行った。

### 3-2-4 データ処理および解析手順

データ処理および解析のフローチャートを Fig. II-3-5 に示す。

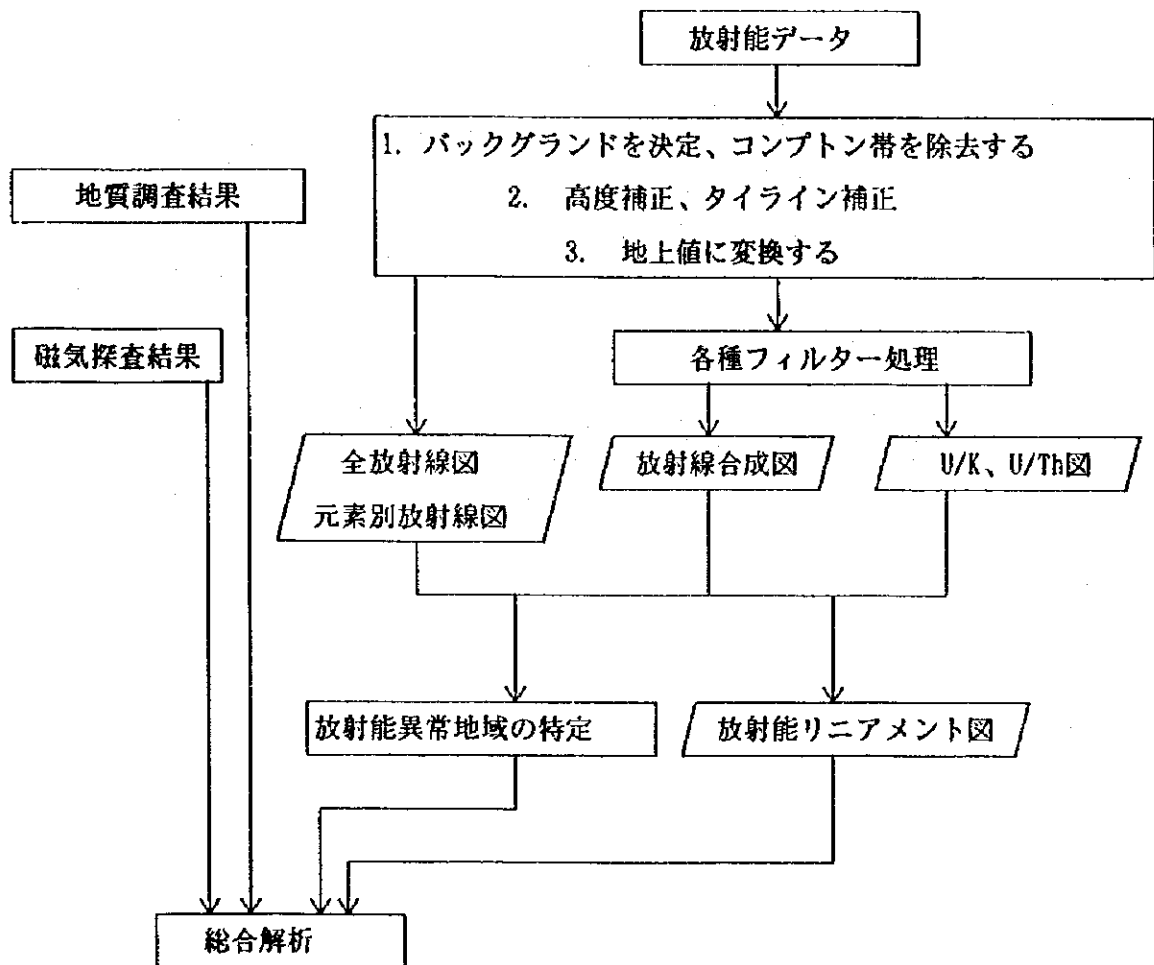


Fig. II-3-5 Flow chart of airborne radiometric survey

### 3-2-5 測定結果と解析

一般に、放射能探査の目的には(1)ウラン鉱床を探査すること。(2)岩相を区分すること。(3)断裂系リニアメントを抽出すること。の3つが主なものである。このうち、本調査で必要なことは岩相を区分することと断裂系を抽出することであり、このことを主眼に解析を進めた。断裂系リニアメントについては考察で述べることとし、まず以下に全放射線図および各成分図より抽出した特徴を示す。

#### (1) 全 $\gamma$ 線強度分布

調査地域全般、特に北半分のCalcrete地域に見られる短いNE-SW系のリニアメントは古河川の形跡であると思われる。また、地域東部に見られる波状構造はKalahari砂漠の砂丘に相当する。地質図と対比して露岩地帯の全 $\gamma$ 線強度はCalcrete地域より高い。

#### (2) 平衡ウラン分布

地表地質における平衡ウランの含有量は特に高くはないが、地域中部においてNW-SEの方向に濃集帯が見られる。ここでは逆にトリウムの含有量が低下していることが特徴的である。また、地域北西部にも濃集帯が見られる。

#### (3) 平衡トリウム分布

平衡トリウムはカリウム同様に露岩地帯で高い値をもつが、加えて地域中西部および中部で比較的高い値を持つ。その形態はウラン濃集地帯の側方に平行して分布している。

#### (4) カリウム分布

地質図と対比して露岩地帯ではカリウムの含有量が多く、一方、Calcrete地帯では低い。カリウムの分布は露岩地帯とCalcreteとの境界を明瞭に示していると考えられる。露岩地帯では特にAbenab 亜層群が高いカリウム含有量を持つ。また、Kalahari砂丘の北東端ではカリウムが比較的多く、それより南の砂丘地帯では少ないことが特徴的である。

ウランのリニアメント異常は断裂系推定に有力な情報を与える。一般に鉱化作用は地質構造の弱線帯を選択して生じていることが多い。本調査地域の鉱床も、鉱床胚胎の場である古カルストを形成し易くした構造線と関係があることが十分考えられる。この様な構造線は現在においても弱線帯として残っている可能性がある。

ウラン起源の異常を抽出する方法として、核種比を計算することが行われる。一般の岩石の $U/K$ 、 $U/Th$ は余り大きく変化しないため、この比を用いることによってUのみの異常を抽出できる。さらに、全核種共通に作用する地形、人工物、気象変化などの妨害を大幅に除去できるため、この処理は非常に有効である。 $U/K$ 、 $U/Th$ の図をFig. II-3-6、Fig. II-3-7に示す。

その他、各成分図におけるリニアメントも何らかの地質境界として、断裂系を反映している可能性も考えられる。こうして得られた放射能リニアメント (Fig. II-3-8) から、以下の様な情報が得られた。



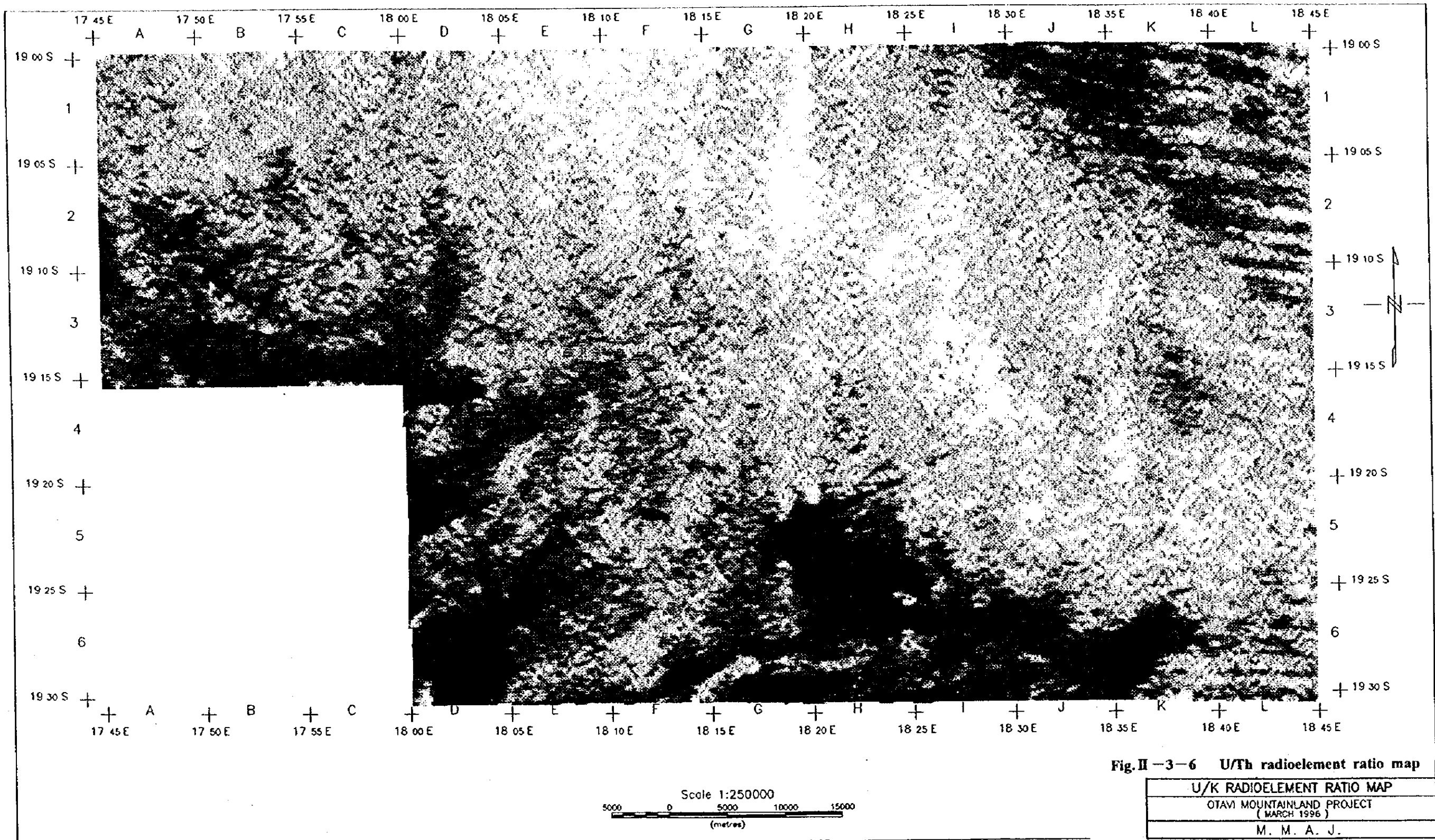
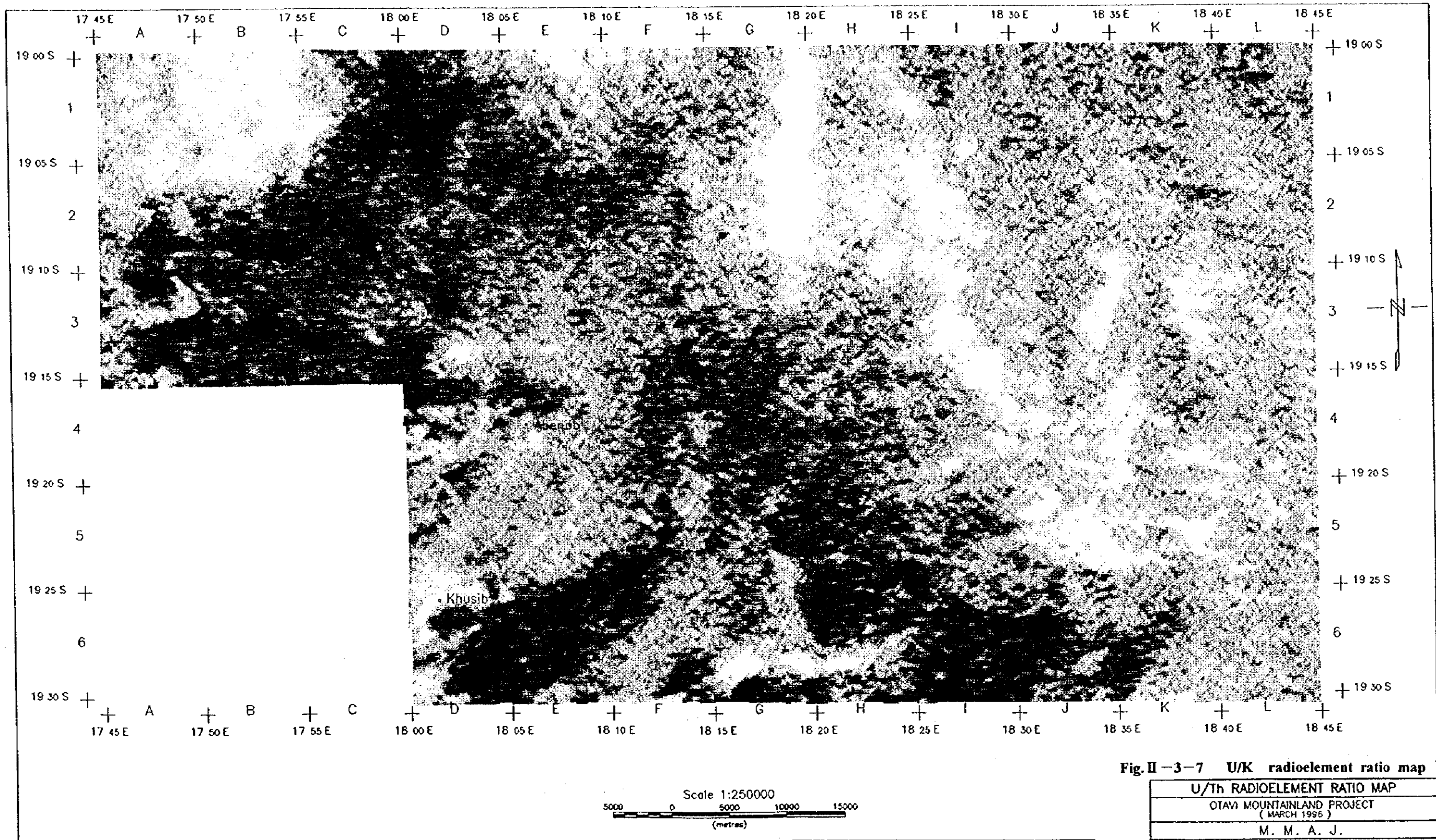


Fig. II-3-6 U/Th radioelement ratio map

U/K RADIOELEMENT RATIO MAP
OTAVI MOUNTAINLAND PROJECT ( MARCH 1996 )
M. M. A. J.



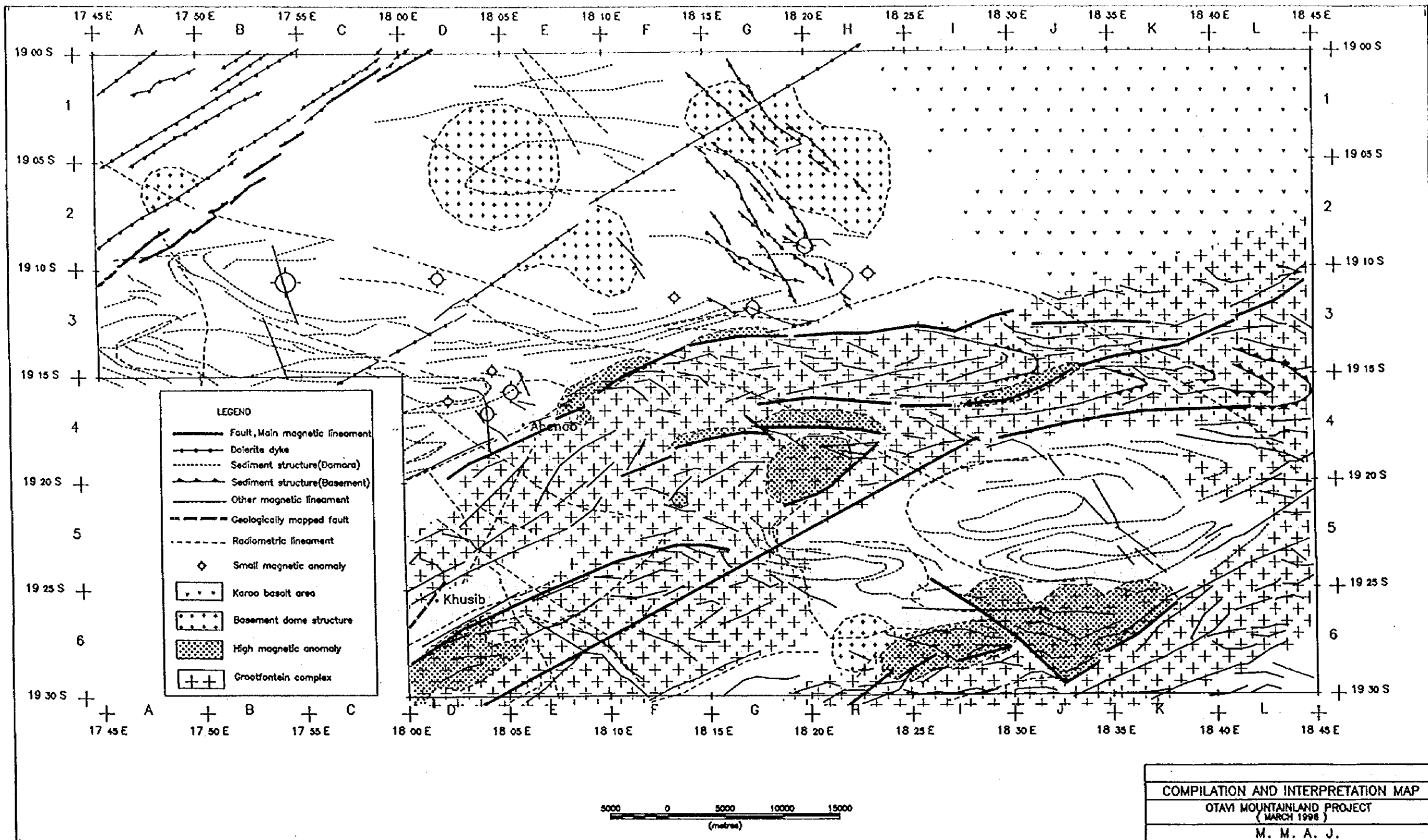


Fig. II-3-8 Compilation and interpretation map of aeromagnetic and radiometric survey





- (1) Abenab鉱山、Khusib鉱山は共に岩相分布を反映したNE系のリニアメントの近傍にある。
- (2) Calcrete地帯では、弱い長く連続したりニアメントが幾つか見られる。これらのリニアメント中には湾曲したものが見られる。構造運動で変形を被った過去の断裂系である可能性も考えられる。主なものは、地域西部から中部にかけてのWNW-ESE系の長いリニアメントであり、これに平行して数本のリニアメントが見られる。
- (3) Abenabから南の地域で弱い連続したNW系のリニアメントが見られる。

### 3-3 空中電磁探査

#### 3-3-1 目的と手法

カルクリートに覆われ、上部原生代の地層が露出してない地域において、地下の比抵抗分布を調べ、硫化物鉱床に起因する低比抵抗異常を抽出することを目的とする。

電磁探査法 (Electromagnetic method EM法) とは、電磁誘導作用を利用して地下に存在する鉱体等の電導体を探知し、同時に大地の比抵抗分布を調査する方法である。電磁探査法の測定装置は多種類あるが、今回の調査に用いた Dighem V型 空中電磁法装置は同相/離相 (inphase/quadrature) 方式を採用している。

同相/離相方式は、一組の送信コイル (Tx) と受信コイル (Rx) の間隔を一定に保ち、大地の電磁誘導の影響によって変化する両コイル間の相互インダクタンスの位相成分 (同相成分と離相成分) を測定する。EM装置を測線上で移動しつつ相互インダクタンスの変化を観測し、後記の理論により測定値を解析することにより、測線下の大地の電気比抵抗の分布が求められる。

Fig. II-3-9 にEM法における電磁誘導作用の概念を示す。

送信コイル (Tx) に交流を流すと、実線で示されるような1次場 (交流磁場) が発生する。1次場が地中の電導体を横切る時、電導体の中に渦電流が流れる。渦電流は図中に破線で示されるような2次場を形成する。受信コイル (Rx) では、この2次場が測定される。

#### 3-3-2 調査仕様と測定装置

主な調査仕様は次のとおりである。

##### (1) 調査位置および面積

Table II-3-3 と Fig. II-3-1 で示す調査範囲 (面積904 km<sup>2</sup>) において比抵抗データおよび磁気データを取得した。

- (2) 飛行測線方向は、原則として南北 (真北方向) に測線間隔200m、タイラインはこれに直交する方向に測線間隔5kmとした。最短測線は2500m。測線総延長は4895 km。
- (3) 航空機は Bell-Long Ranger III ZS-RFA ヘリコプターを使用した。
- (4) 飛行高度は、電磁機測定機器で35m、磁気で50mとした。
- (5) 水平サンプリング間隔は6m以内とした。

(6) 航法はGPS-ビデオ・トラッキング併用法を用いた。

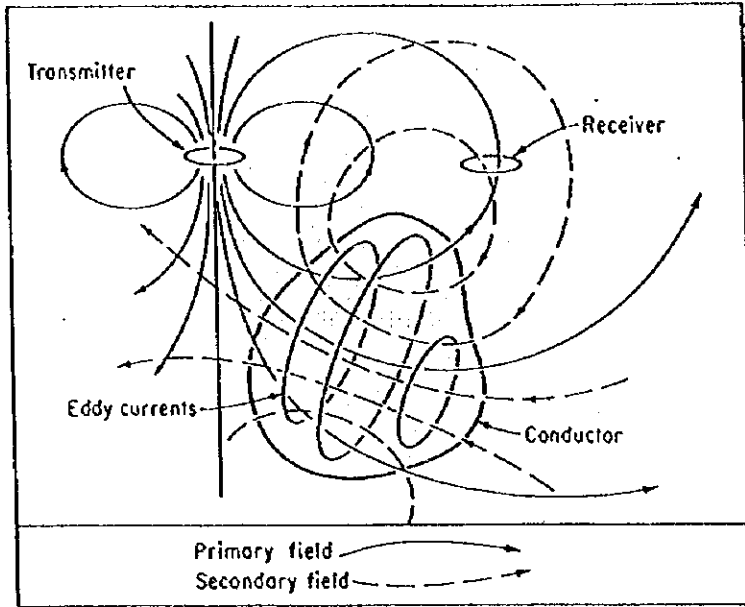


Fig. II - 3 - 9 Concept of electromagnetic induction

Table II - 3 - 3 Boundary Points of Airborne Electromagnetic Survey

	XTM	YTM	緯 度			経 度		
			度	分	秒	度	分	秒
1	131410E	303956S	19	15	00.000S	17	45	00.000E
2	131503E	316871S	19	08	00.000S	17	45	00.000E
3	63118E	317233S	19	08	00.000S	18	24	00.000E
4	63083E	307087S	19	13	30.000S	18	24	00.000E
5	87617E	306986S	19	13	30.000S	18	10	00.000E
6	87579E	299053S	19	17	48.000S	18	10	00.000E
7	105096E	298960S	19	17	48.000S	18	00	00.000E
8	105126E	304126S	19	15	00.000S	18	00	00.000E

### 3-3-3 測定装置

今回の空中電磁法調査にはカナダのDIGHEM社製のDIGHEM V型空中電磁法システムを用いた。DIGHEM Vシステムは、EM装置（電磁応答測定装置）、高感度磁力計、電波高度計、GPS航法装置、アナログ記録計、デジタル記録計およびビデオ・カメラから成っている。主要装置の仕様をTable II-3-4 に示す。

Fig. II-3-10 に測定時の概観を示す。今回の調査にはGeodass社所有のベル社製 Long Ranger III型ジェットヘリコプターを用い、機内にEMコンソールを搭載した。

EMセンサー（EMバード）及び磁気センサー（磁気バード）は長さ30mのケーブルで曳航される。曳航ケーブルはスチールワイヤーの付随した多芯ケーブルである。安全のためにEMバードに衝撃荷重が掛かった場合にはシアピンが切れて、ケーブルとバードはヘリコプターから切り離されるように工夫してある。

EM装置は電磁センサーとEMコンソールに組み込まれたEM測定回路とから成る。EMバードは長さ9m、直径50cmの強化プラスチック円筒で、5組の送信・受信コイルペアを内蔵しており、ケーブルでEMコンソールに接続されている。

DIGHEM V型装置で測定する電磁応答は5周波数の各々について2次場の同相と離相、合計10成分であり、同相成分  $H_i/H_p$ 、離相成分  $H_q/H_p$  がデジタル記録される。

3組の水平コイル配置（Horizontal-coplanar）は多層構造の比抵抗マッピングに適し、他の2組の鉛直コイル配置（Vertical-coaxial）は鉛直脈状構造の検出に優れている。

AEM法の場合、2次場の大きさは1次場に比べて非常に小さいので、2次場を高精度で測定するためにEM装置の回路は1次場を除去して2次場を高精度で測定するように設計してある。

### 3-3-4 測定結果と解析

コプランナーコイル配置の3周波数を用いて900 Hz, 7200 Hz, 56000 Hz の見掛比抵抗平面図を作成した。また、ディファレンシャル比抵抗・深度の計算方法（Huang, Fraser, 1996）を用いた見掛比抵抗断面図を作成した。解析フローチャートをFig. II-3-11 に、Fig. II-3-12～Fig. II-3-14に平面図を、Fig. II-3-15に断面図を示す。磁気・放射能探査解析図と対比するために、磁気探査で用いた地域のインデックスを適用した。

#### 56000Hzの比抵抗分布の解析

(1) 3周波数の見掛比抵抗平面図のうち、56000Hzは最も浅部の構造を反映していると考えられる。各周波数とも探査深度は大地の比抵抗によって変化するが、56000Hzでは断面図に見られるように $10000\Omega\cdot m$ 程度の高比抵抗域で約100m、 $100\Omega\cdot m$ の低比抵抗領域では10mほどである。

Table II-3-4 Specifications of Equipment for Airborne Electromagnetic Survey

機 器	メーカー・型 式・仕 様等	数 量
航 空 機 (A177機)	Bell Long Ranger L3-ZS-RFA	1 機
磁 気 測 定 機	Scintrex H8 セシウム磁力計	1 台
空中電磁測定システム	RMS DAS 8 RMS 4183A マイクロコンピュータ部 RMS 4185A フロント入力部 RMS 4239A テープインターフェイス部 RMS 4272A スマートシリアルインターフェイス部 RMS 4137A デジタルインターフェイス部 RMS TDC 3620 テープカセット記録計 RMS GR33A チャート記録計	1 式
補 正 機	RMS AADC II, 27 項目	1 台
航跡確認システム	National Panasonic AG-7450 S-VHS ビデオシステム	1 台
航行航跡修正方式	NovAtel 3151R GPS	2 台
高度計測システム	Sperry 2000-A 型レーダリニア高度計 Intellisensor Air-DB-2B デジタル気圧計	1 台 1 台
地上固定磁気測定機	Scintrex H8型 Cs 磁力計	1 台
同 受信機	NovAtel 3151 GPS レシーバー NovAtel GPScardTM Performance 3151R 使用	1 台

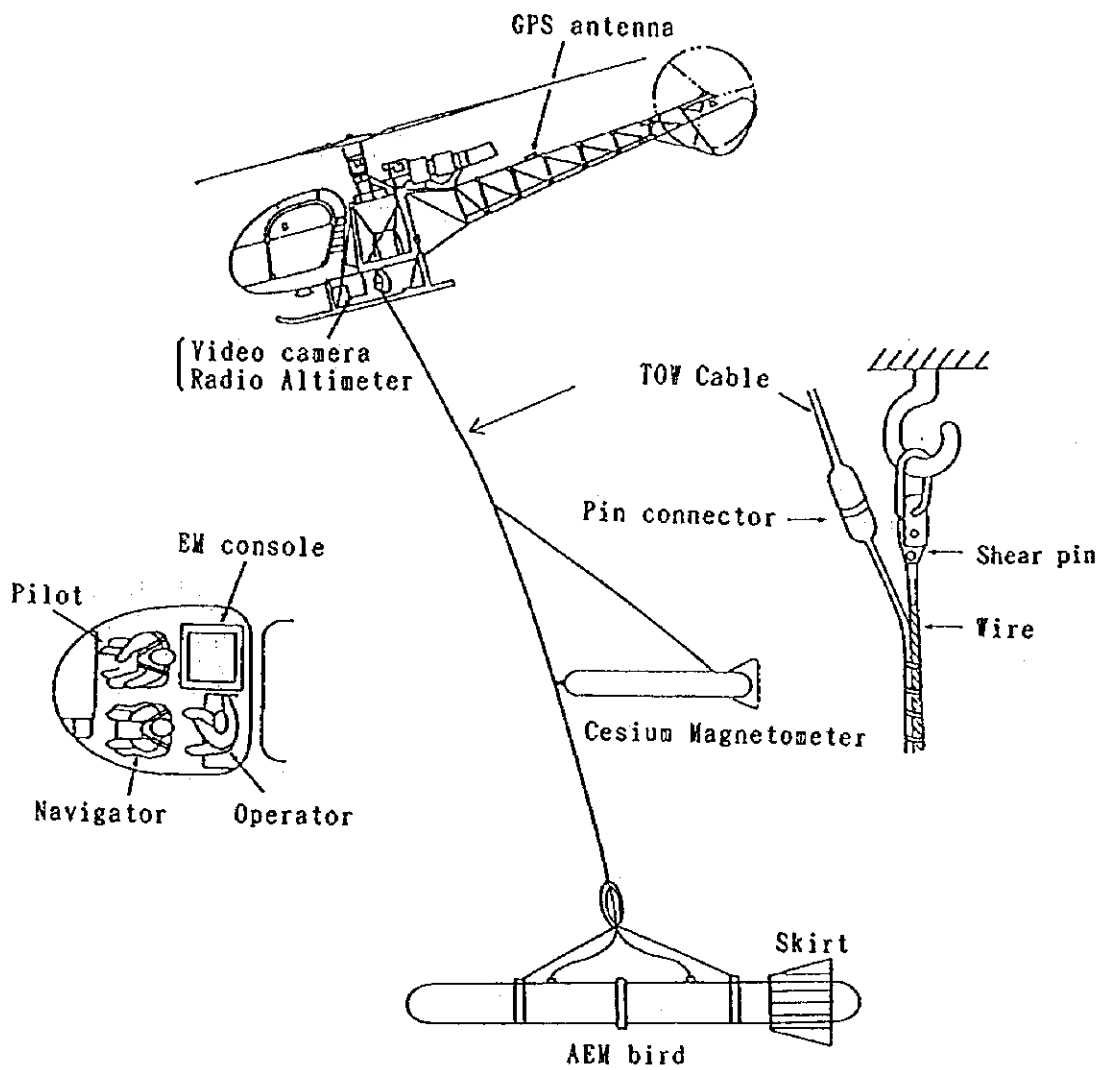


Fig. II - 3 - 10 AEM instrumentation

(2) 3周波数とも共通するが、地質図や磁気異常図との対比により、比抵抗構造は概ね地質構造を反映している。A～Dの領域ではほぼ並行した東西方向の背斜構造と向斜構造が4本見られる。地域西側のA、B領域では東にプランジし、D4領域では西にプランジする。その中間域(B3南)では褶曲構造は閉じている。向背斜構造の翼部に沿った蛇行した低比抵抗帯はTsumeb亜層群上部の比較的泥質あるいは砂質の層準と想定される。さらに、その内側の高比抵抗帯はTsumeb亜層群最上位のドロマイトであり、またさらにその内側の広い低比抵抗域がMulden層群と考えられる。この比抵抗によるTsumeb亜層群とMulden層群との境界は磁気探査で推定したそれと良く一致する。

(3) 地域西側Bで同じMulden層群が地下に存在すると推定される地域でも、南側の方が低比抵抗である。南側はより高比抵抗の表層カルクリートが無いかわりに薄いためと考えられる。

(4) 地域東側については全体的に高比抵抗であるが、一部E4地域に低比抵抗域が見られる。この比抵抗境界は磁気探査で推定したTsumeb層と基盤岩が浅部にある地帯を区切る断層にほぼ一致する。

(5) C3中央域に長さ約2Km幅500m程度の独立した低比抵抗域が、Tsumeb層ドロマイトと考えられる高比抵抗地域の中に見られる。伸張方向が褶曲軸とほぼ平行であり、推定層準がTsumeb層上位であることから、この層準中の低比抵抗な岩相と考えるのが最も妥当である。しかし、3周波とも約50～100 $\Omega \cdot m$ 程度の同ような比抵抗値を持ち、深度150mあるいはそれ以深にまで達しているものと考えられる。

(6) A2、A3境界付近に見られる広い低比抵抗域は56000Hzで最も顕著であり、より低い周波数では範囲が狭まり、かつ高比抵抗となることから浅部の風化層による異常か、あるいは地下水によるものと考えられる。比抵抗は表層部で50 $\Omega \cdot m$ 、50m下で150 $\Omega \cdot m$ 程度であり、それより深部では数百 $\Omega \cdot m$ となる。

#### 7200Hzの比抵抗分布の解析

(1) 大局的な傾向は56000Hzに準ずるが、全体的に、より低比抵抗になる。探査深度は8000 $\Omega \cdot m$ 程度の高比抵抗領域で300m、100 $\Omega \cdot m$ の低比抵抗領域で50mほどである。

(2) 56000Hzの(2)で述べたTsumeb層上位の低比抵抗層準はより低比抵抗となるが、一方A3中部域のMulden層群は逆にやや比抵抗が高くなる。このことは、前者がより深部に達しているのに対し、Mulden層群の層厚はこの地点では薄い、あるいは極表層が風化によって低比抵抗化していることを意味すると考えられる。

(3) B2、3に分布が想定されるMulden層群はより低比抵抗となる。

(4) 地域中央E3からH3にかけて、Tsumeb層上位の低比抵抗バンドをキーベッドとして地層境界が追跡できる。また、G3、H3に西にプランジするMulden層向斜構造を表す低比抵抗領域が認められる。

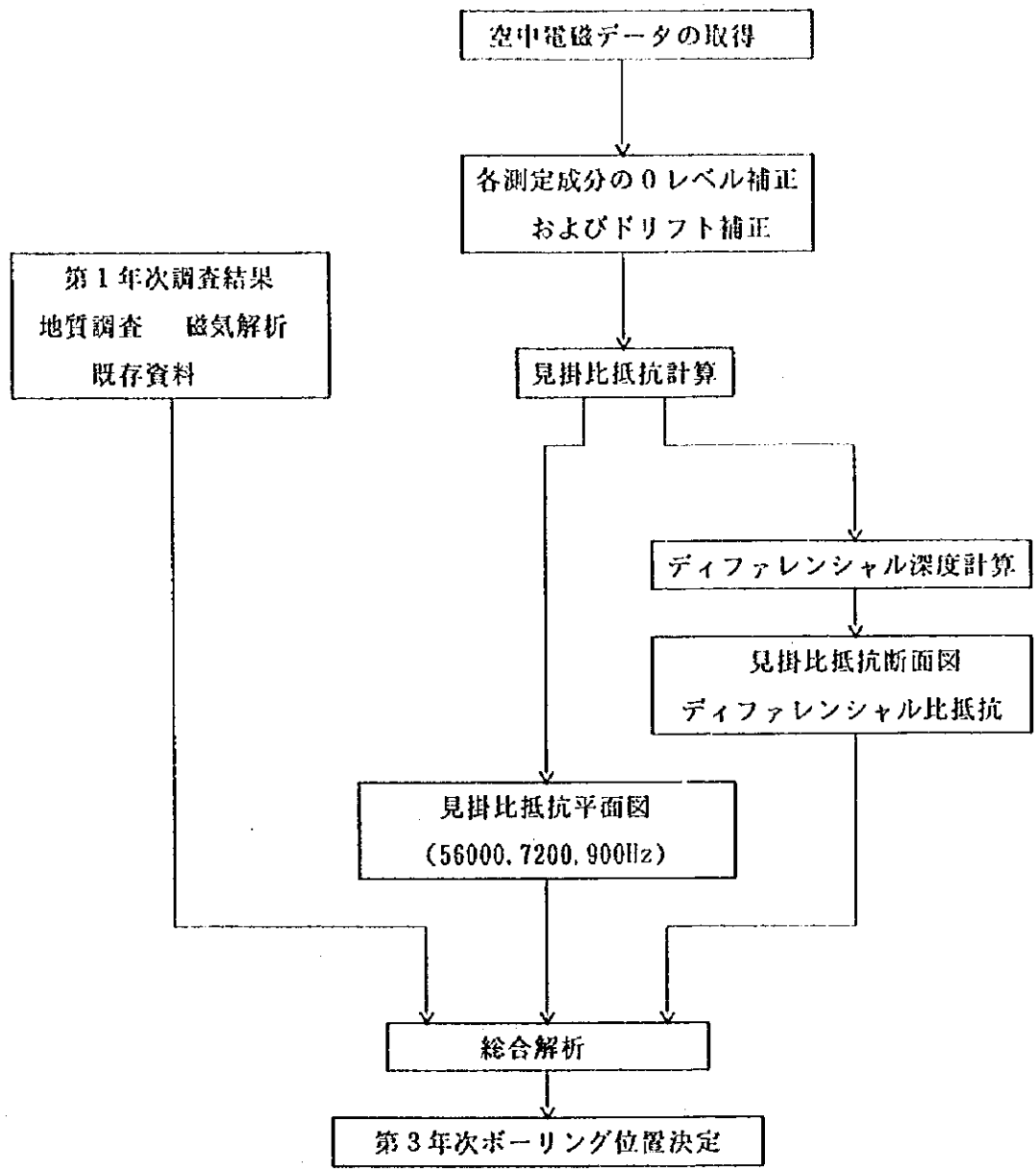


Fig. II - 3 - 11 Flow chart of airborne electromagnetic survey







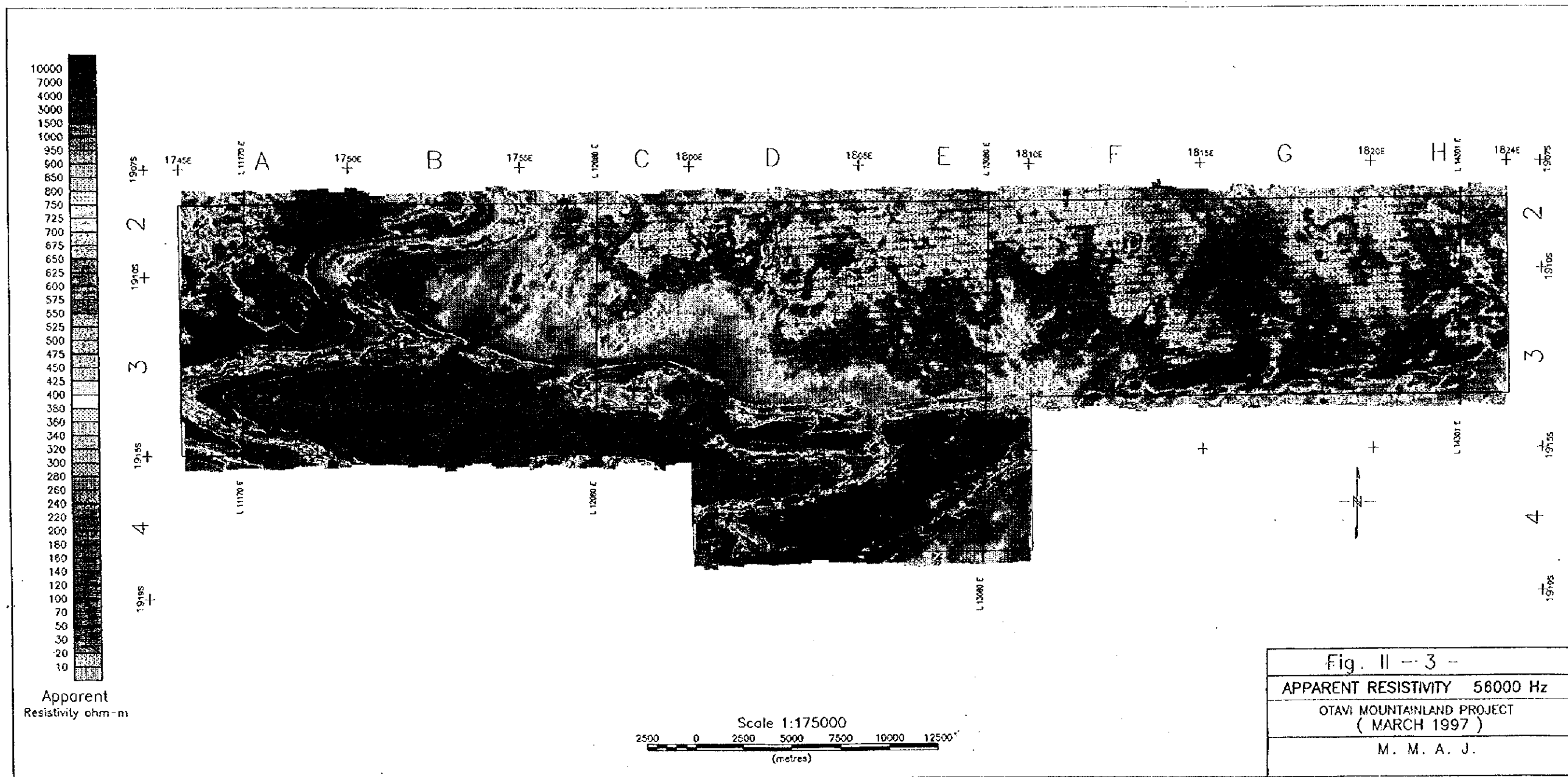
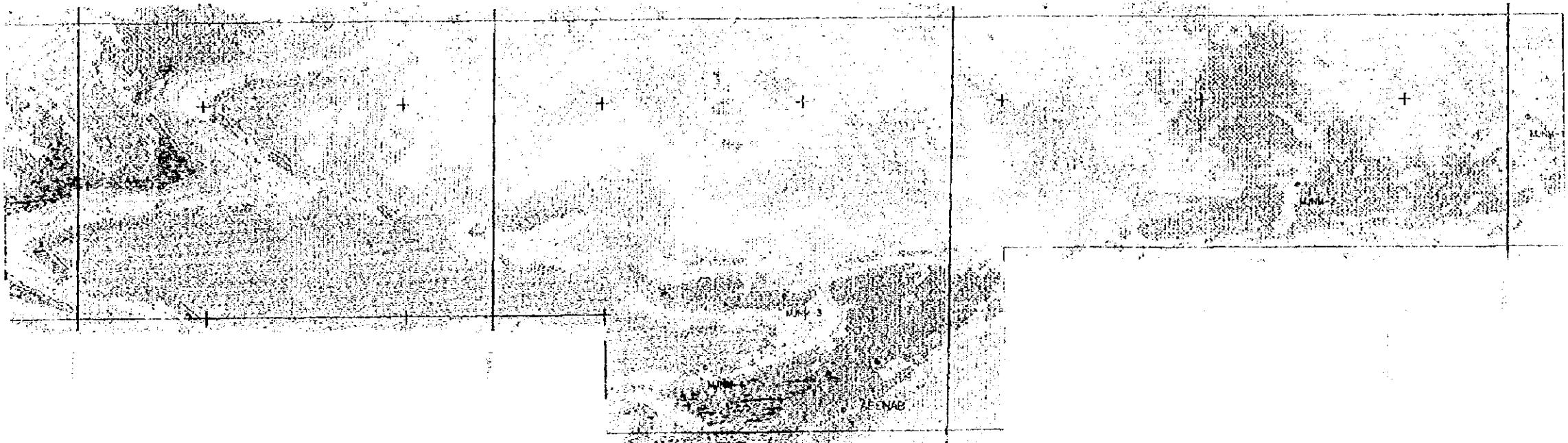


Fig. II - 3 - 12 Resistivity map for 56000 Hz



APPARENT RESISTIVITY 56000 Hz

Fig. II-3-12 Resistivity map for 56000 Hz



(5) 磁気探査で推定された地域南東部の基盤岩地域は全体的に低比抵抗となる。塩基性岩体の風化による粘土鉱物 (Saplorite) によるものと考えられる。なお、断面図からはこの低比抵抗層の厚さは50m程度であり、その下位は新鮮な高比抵抗基盤が考えられる。

(6) H2、3にNW系の低比抵抗リニアメントが認められる。56000Hzでは殆ど認められず、逆に900Hzでも明瞭なことから、深部につながる低比抵抗帯であることが予想される。このリニアメントは付近の堆積岩の構造を切り、褶曲軸と重なる付近でより低比抵抗となり、後述するように鉱床探査上、非常に興味深い。なお、MJNM-1はこのリニアメントから派生する低比抵抗突起の縁に位置する。

さらに、このリニアメントに平行してG2、3に比抵抗境界が認められる。この境界より東側はより低比抵抗となっており、何らかの構造運動、変質作用の差異を反映している可能性がある。なお、この方向は磁気探査で推定した粗粒玄武岩リニアメントと平行し、その集合地帯の西縁に一致する。

(7) 56000Hzの(6)で述べた低比抵抗領域はより狭まるが、このなかにスポット的に数点、磁気異常に見られるNE系の粗粒玄武岩のリニアメントに平行して、低比抵抗箇所が見られる。この特徴は900Hzでも明瞭なことから、粗粒玄武岩の部分的な粘土化による異常、あるいは何らかの鉱化に伴う異常であることも考えられるが、地形図との対比によると人工構造物によるノイズの可能性が高い。

#### 900Hzの比抵抗分布の解析

(1) 全体的な傾向は56000Hz、7200Hzのものと同じであるが、最も深部情報を含んでいる。探査深度は数千 $\Omega\cdot m$ 程度の高比抵抗領域で300m以上、100 $\Omega\cdot m$ 程度の低比抵抗領域が表層から連続する場合で150m程度、表層100m程度に1000 $\Omega\cdot m$ 位の高比抵抗層があり、その下に100 $\Omega\cdot m$ 程度の低比抵抗層がある場合は200~300m程度である。

(2) 7200Hzの(3)で述べたMulden層群と考えられる低比抵抗帯が地域東部から中部にかけて明瞭に識別できる。

(3) E2、D3区域にNE系の断層が数本確認できる。この中の一部は磁気解析で捉えられた、断層を伴う粗粒玄武岩岩脈と推定されるリニアメントに一致する。この他に磁気解析では見られなかった平行するリニアメントが何本も見られる。この特徴は陰影図でより明瞭に現れている。また、56000Hz、7200Hzの平面図では出現しないことから、表層には達しない断層系であると考えられる。この断層を境に低比抵抗のMulden層群が東側で南に変位している。

(4) C2、D2、E2、F2に東西系の低比抵抗リニアメントが見られる。これはTsumeb層との不整合付近のMulden層群下部かあるいはTsumeb層上位の低比抵抗層準と見なすことができる。









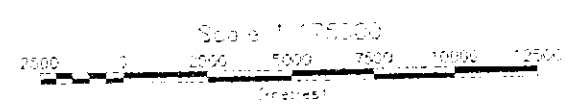
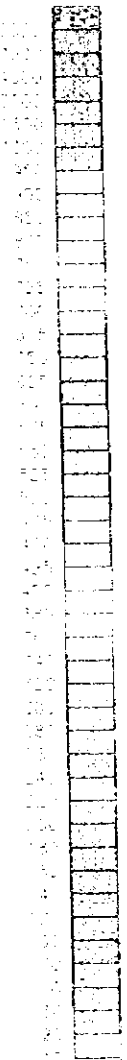
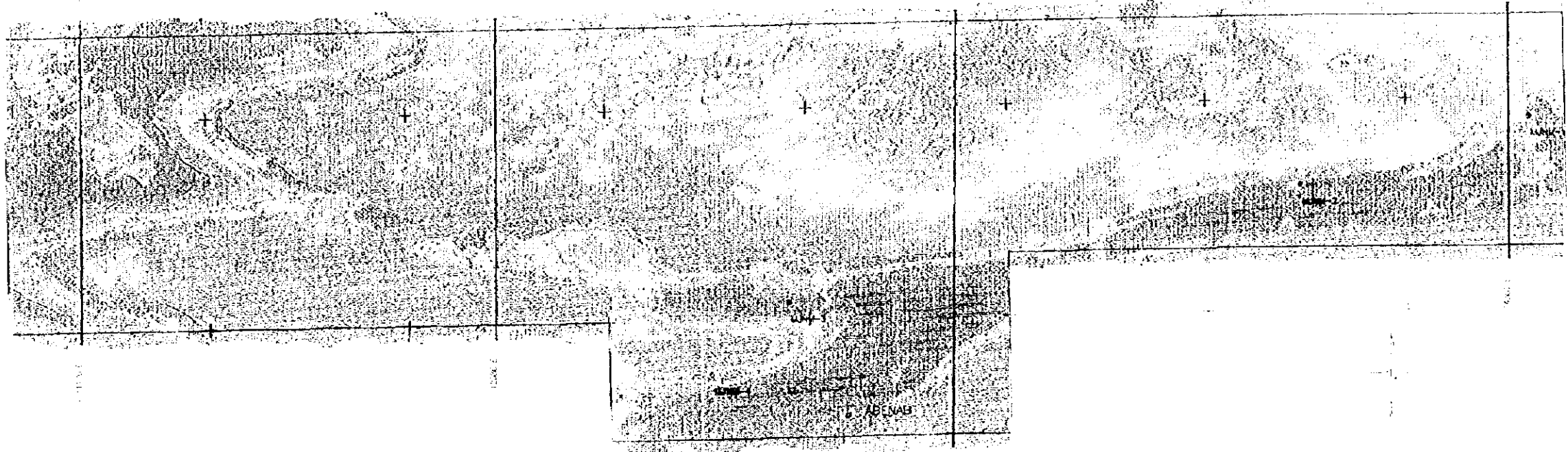


Fig. 1 - 3
APPARENT RESISTIVITY 7200 Hz
OTAWA VALLEY AND DISTRICT PROJECT
MAR 1967
M. J. A. ...

Fig. II - 3 - 13 Resistivity map for 7200 Hz

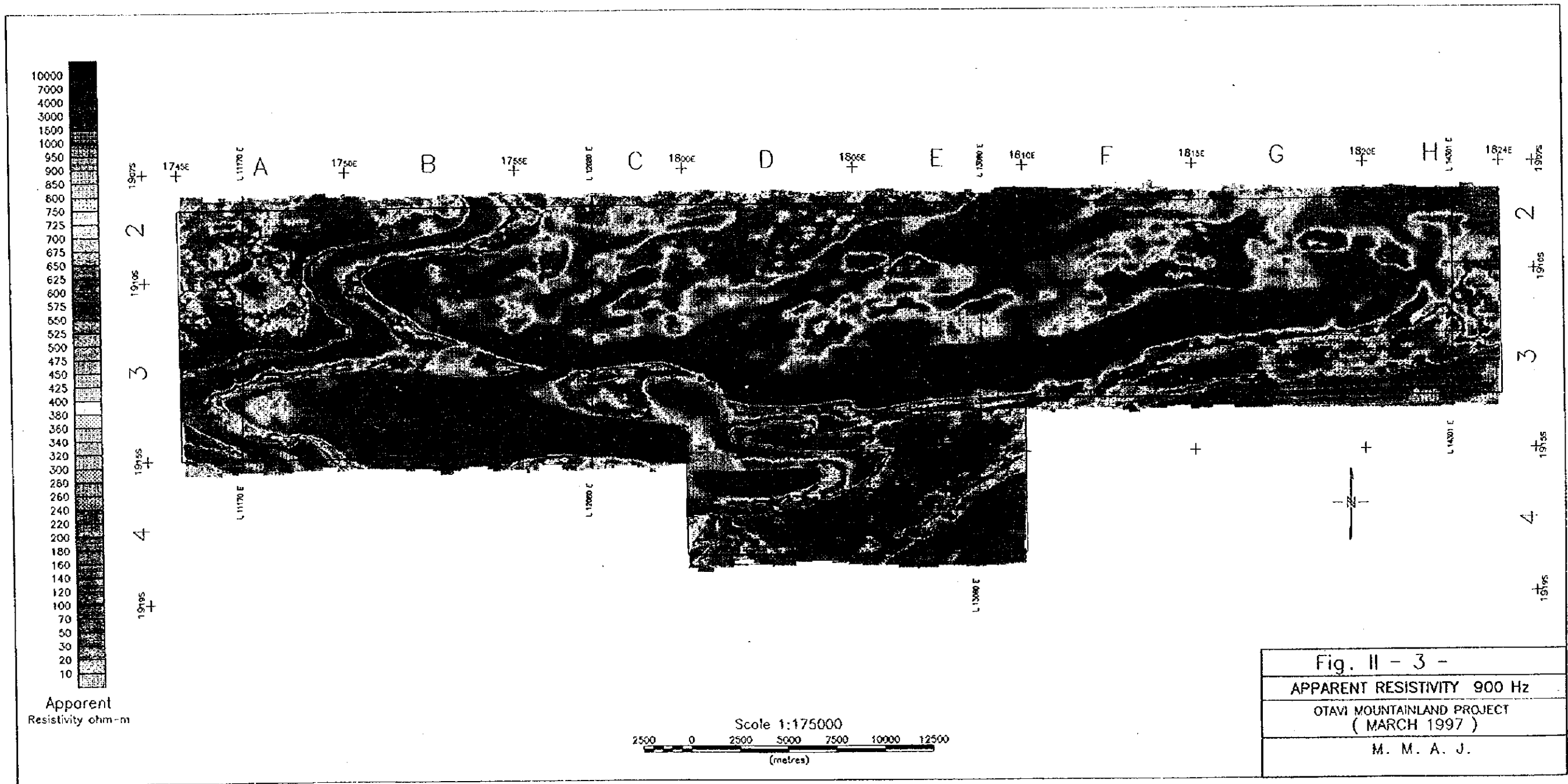


Fig. II - 3 - 14 Resistivity map for 900 Hz

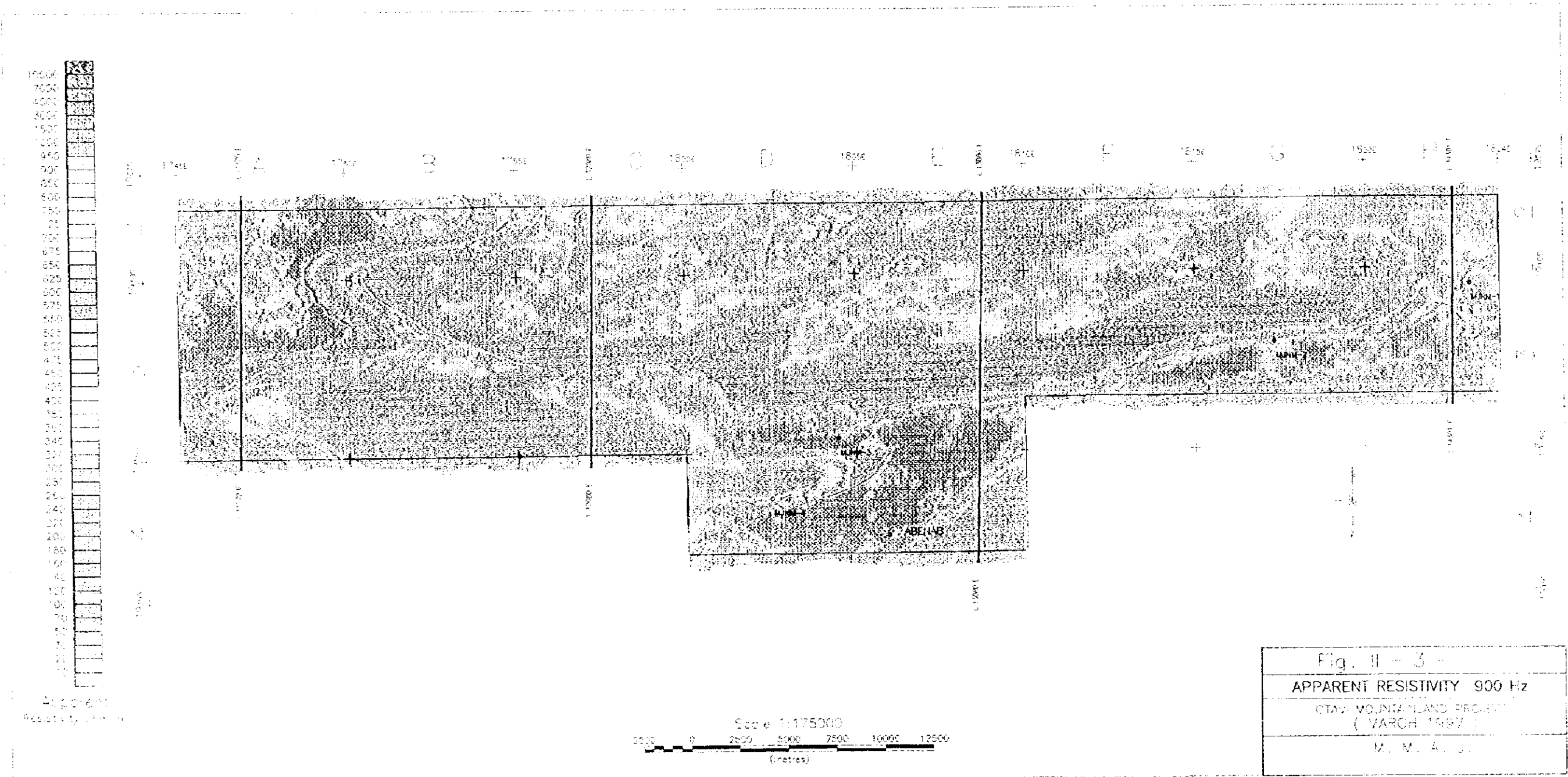


Fig.II - 3- 14 Resistivity map for 900 Hz

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370 380 390 400 410 420 430 440 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950 960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430 1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390 2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870 2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350 3360 3370 3380 3390 3400 3410 3420 3430 3440 3450 3460 3470 3480 3490 3500 3510 3520 3530 3540 3550 3560 3570 3580 3590 3600 3610 3620 3630 3640 3650 3660 3670 3680 3690 3700 3710 3720 3730 3740 3750 3760 3770 3780 3790 3800 3810 3820 3830 3840 3850 3860 3870 3880 3890 3900 3910 3920 3930 3940 3950 3960 3970 3980 3990 4000 4010 4020 4030 4040 4050 4060 4070 4080 4090 4100 4110 4120 4130 4140 4150 4160 4170 4180 4190 4200 4210 4220 4230 4240 4250 4260 4270 4280 4290 4300 4310 4320 4330 4340 4350 4360 4370 4380 4390 4400 4410 4420 4430 4440 4450 4460 4470 4480 4490 4500 4510 4520 4530 4540 4550 4560 4570 4580 4590 4600 4610 4620 4630 4640 4650 4660 4670 4680 4690 4700 4710 4720 4730 4740 4750 4760 4770 4780 4790 4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750 5760 5770 5780 5790 5800 5810 5820 5830 5840 5850 5860 5870 5880 5890 5900 5910 5920 5930 5940 5950 5960 5970 5980 5990 6000 6010 6020 6030 6040 6050 6060 6070 6080 6090 6100 6110 6120 6130 6140 6150 6160 6170 6180 6190 6200 6210 6220 6230 6240 6250 6260 6270 6280 6290 6300 6310 6320 6330 6340 6350 6360 6370 6380 6390 6400 6410 6420 6430 6440 6450 6460 6470 6480 6490 6500 6510 6520 6530 6540 6550 6560 6570 6580 6590 6600 6610 6620 6630 6640 6650 6660 6670 6680 6690 6700 6710 6720 6730 6740 6750 6760 6770 6780 6790 6800 6810 6820 6830 6840 6850 6860 6870 6880 6890 6900 6910 6920 6930 6940 6950 6960 6970 6980 6990 7000 7010 7020 7030 7040 7050 7060 7070 7080 7090 7100 7110 7120 7130 7140 7150 7160 7170 7180 7190 7200 7210 7220 7230 7240 7250 7260 7270 7280 7290 7300 7310 7320 7330 7340 7350 7360 7370 7380 7390 7400 7410 7420 7430 7440 7450 7460 7470 7480 7490 7500 7510 7520 7530 7540 7550 7560 7570 7580 7590 7600 7610 7620 7630 7640 7650 7660 7670 7680 7690 7700 7710 7720 7730 7740 7750 7760 7770 7780 7790 7800 7810 7820 7830 7840 7850 7860 7870 7880 7890 7900 7910 7920 7930 7940 7950 7960 7970 7980 7990 8000 8010 8020 8030 8040 8050 8060 8070 8080 8090 8100 8110 8120 8130 8140 8150 8160 8170 8180 8190 8200 8210 8220 8230 8240 8250 8260 8270 8280 8290 8300 8310 8320 8330 8340 8350 8360 8370 8380 8390 8400 8410 8420 8430 8440 8450 8460 8470 8480 8490 8500 8510 8520 8530 8540 8550 8560 8570 8580 8590 8600 8610 8620 8630 8640 8650 8660 8670 8680 8690 8700 8710 8720 8730 8740 8750 8760 8770 8780 8790 8800 8810 8820 8830 8840 8850 8860 8870 8880 8890 8900 8910 8920 8930 8940 8950 8960 8970 8980 8990 9000 9010 9020 9030 9040 9050 9060 9070 9080 9090 9100 9110 9120 9130 9140 9150 9160 9170 9180 9190 9200 9210 9220 9230 9240 9250 9260 9270 9280 9290 9300 9310 9320 9330 9340 9350 9360 9370 9380 9390 9400 9410 9420 9430 9440 9450 9460 9470 9480 9490 9500 9510 9520 9530 9540 9550 9560 9570 9580 9590 9600 9610 9620 9630 9640 9650 9660 9670 9680 9690 9700 9710 9720 9730 9740 9750 9760 9770 9780 9790 9800 9810 9820 9830 9840 9850 9860 9870 9880 9890 9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000

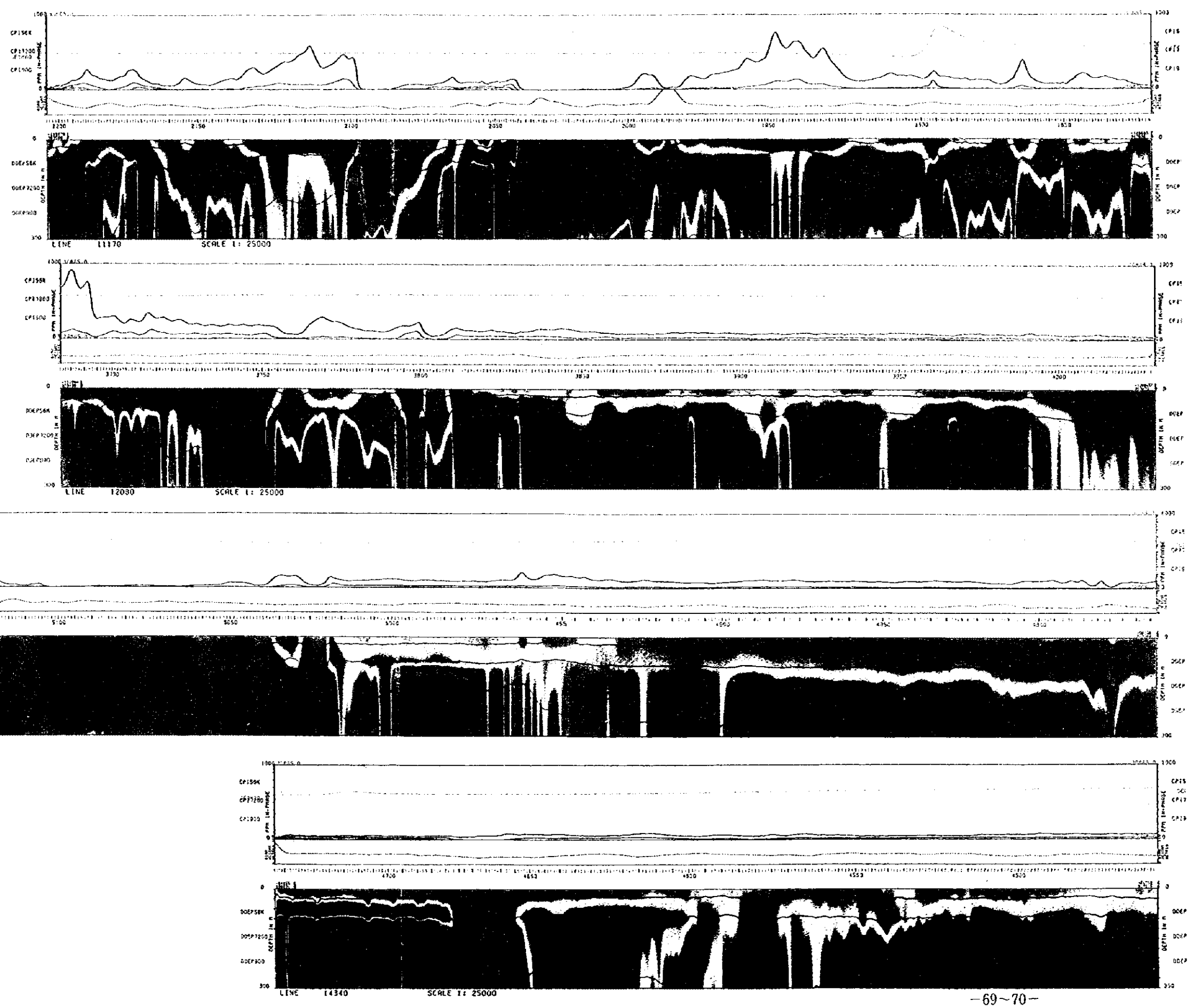


Fig. II -3-15 Cross section of Resistivity



### 3-3-5 考 察

#### 各岩相の比抵抗値および特徴

##### (1) 表層カルクリート

サンプル測定から表層カルクリートの上部は緻密塊状であり、 $1500\Omega\cdot\text{m}$ 程度と高比抵抗である。しかし、下位はレキを含む箇所もあり、低比抵抗となるものが見られる。空中電磁探査の結果から上部、下部を識別することは困難であるが、カルクリート下部は $500\sim 1000\Omega\cdot\text{m}$ 程度で中～高比抵抗と考えられる。カルクリートが厚い地域に見られる $56000\text{Hz}$ の不規則なりニアメントは表層に達する断裂系に伴うものよりも、このようなカルクリートの岩相変化あるいは、地下水によるものが多いと考えられる。

##### (2) Mulden層群

Mulden層群は $50\sim 150\Omega\cdot\text{m}$ 程度とかなり低比抵抗であり、東西に延びる閉じた向斜構造の内側に広く分布している。

##### (3) Tsumeb亜層群上位層

Tsumeb亜層群上位に位置する、泥質岩を含むと思われる岩相は表層から深部に至るまで低比抵抗で、 $100\Omega\cdot\text{m}$ 程度であり、 $10\Omega\cdot\text{m}$ を示す箇所もある。Tsumebタイプの鉱化母岩の層準はこの層の直上のTsumeb層最上位の高比抵抗ドロマイトなので、この層をキーベットとして用いることができる。

##### (4) Tsumeb亜層群ドロマイト

Tsumeb亜層群のドロマイトは本地域では最も高比抵抗であり、 $1000\sim 10000\Omega\cdot\text{m}$ 程度である。表層の方がより深部よりも高比抵抗である傾向が見られる。

##### (5) 浅部基盤岩

地域南に見られる浅部基盤岩は $1000\Omega\cdot\text{m}$ 程度の薄い高比抵抗表層カルクリート直下に、著しく低い比抵抗層として認識される。 $900\text{Hz}$ での見掛け比抵抗は $15\sim 40\Omega\cdot\text{m}$ である。基盤岩とDamara系の堆積岩類との境界は、磁気探査で捉えられた境界と一致し、断層と考えられる。なお、断面図からはこの低比抵抗層の厚さは $50\text{m}$ 程度であり、その下は新鮮な高比抵抗基盤であると考えられる。

#### 地下水について

現地で測定した地下水の比抵抗は調査地域全域に渡ってほぼ一定で、約 $10\Omega\cdot\text{m}$ （電導度： $1\text{mS}/\text{cm}$ ）であり、地下水としては低い値を持ち、塩類が多く含まれていることが予想される。このような地下水が地下空洞や多孔質なカルクリート中に充填している場合は硫化鉱床と同じように低比抵抗となることが予想される。厚いカルクリート分布域で $56000\text{Hz}$ にのみ見られる $200\sim 300\Omega\cdot\text{m}$ 程度の小規模な低比抵抗域はこのような地下水に起因する異常であると推定される。

## 期待鉱床による異常について

期待される塊状硫化鉱床は高比抵抗母岩中に胚胎すると考えられ、高比抵抗なTsumeb亜層群最上位ドロマイト中に単独に低比抵抗スポットが分布する形態となり、明瞭な電磁応答が期待される。しかし、本地域は低比抵抗の地下水を伴う低比抵抗層が様々な形態で存在するため、比抵抗のみによって鉱床による応答を識別することは困難である。更に、Tsumeb・Kombat型塊状硫化物パイプはMulden層群の分布域の下部のドロマイトが鉱床母岩に適しているが、この場合、Mulden層群が一般に低比抵抗域であるため、下位の低比抵抗異常を検出しにくい。このため、鉱床有望地点として、低比抵抗であること以外に、鉱床モデルを考慮して以下の3種類のタイプの異常域を抽出した。

### (1) 低比抵抗リニアメントに関連するもの

7200Hzの見掛比抵抗断面図の解析(6)で取り上げた低比抵抗域で、長さ約8km幅500~1000mであり、鉱床母層であるTsumeb亜層群最上部を通過し、褶曲軸と交差する点付近では深度100~200mで200~300 $\Omega \cdot m$ 程度にまで比抵抗が低下する。

### (2) TM境界付近の低比抵抗帯で磁気異常帯と重なるもの

7200Hz、900Hzで見られるB2、3地域の向斜構造を示すTM (Tsumeb亜層群/Mulden層群)境界北翼では、低比抵抗であると同時に、20nT程度の比較的大きな磁気異常を示す磁気異常帯がある。

### (3) Abenab Westタイプの独立した低比抵抗スポット

ミシシッピーバレー型の鉱化と考えられるMJNM-1号付近に(1)で述べた比抵抗リニアメントから派生する低比抵抗域あるいは低比抵抗スポットが幾つか認められる。このような異常域はAbenab Westタイプのポテンシャルがある。

これらの異常域は互いに重なる部分があり、このような箇所では、更に鉱化のポテンシャルは高くなると考えられる。

以上の空中物理探査結果をFig. II-3-16 にコンパイルした。既存資料の解析から空中物理探査に至る一連の作業の結果得られた探査モデルをFig. II-3-17 に示す。またボーリング調査地点の決定はFig. II-3-18 のフローチャートにしたがって行った。





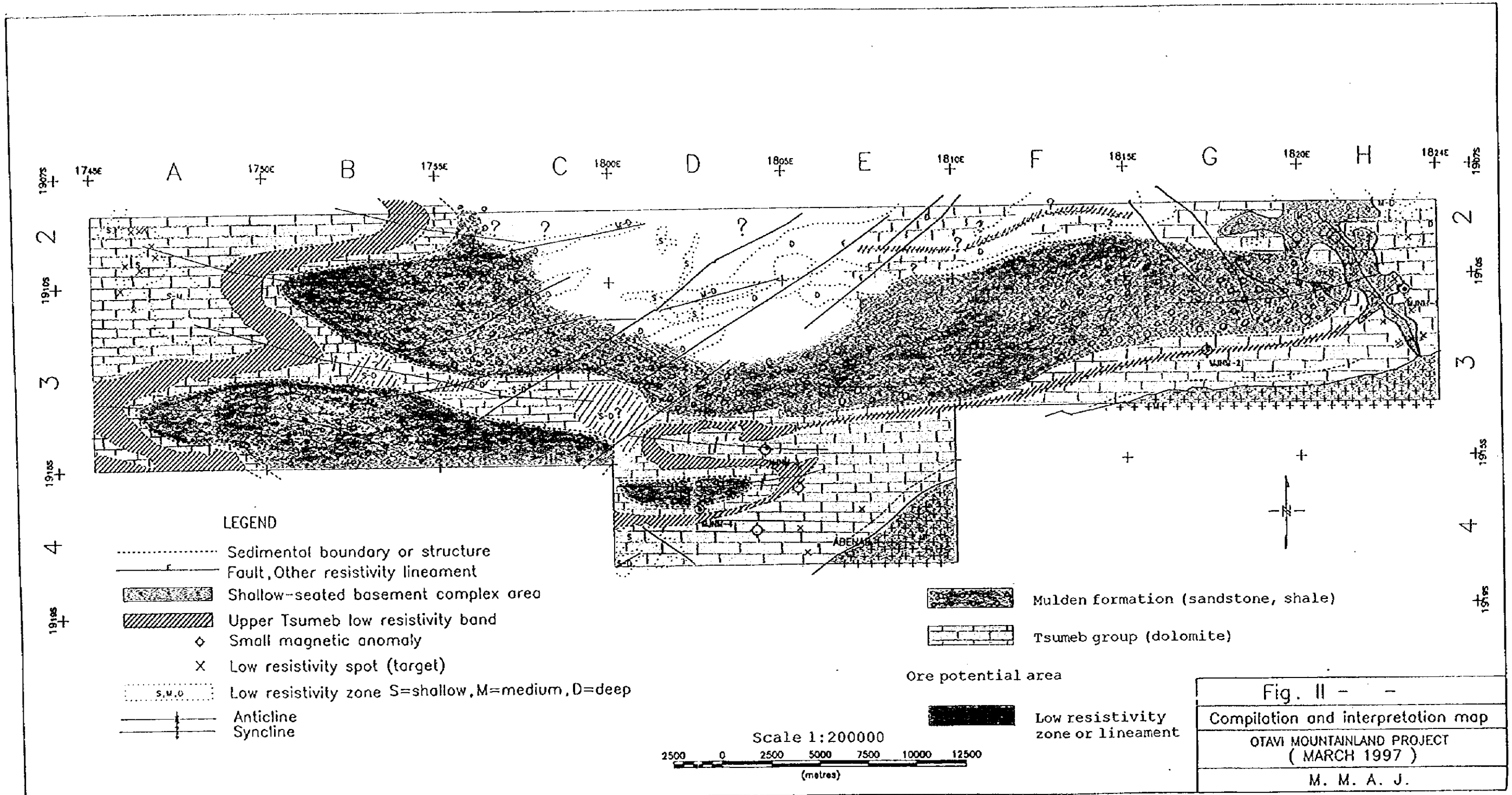


Fig. II -3-16 Compilation and interpretation map of airborne electromagnetic survey



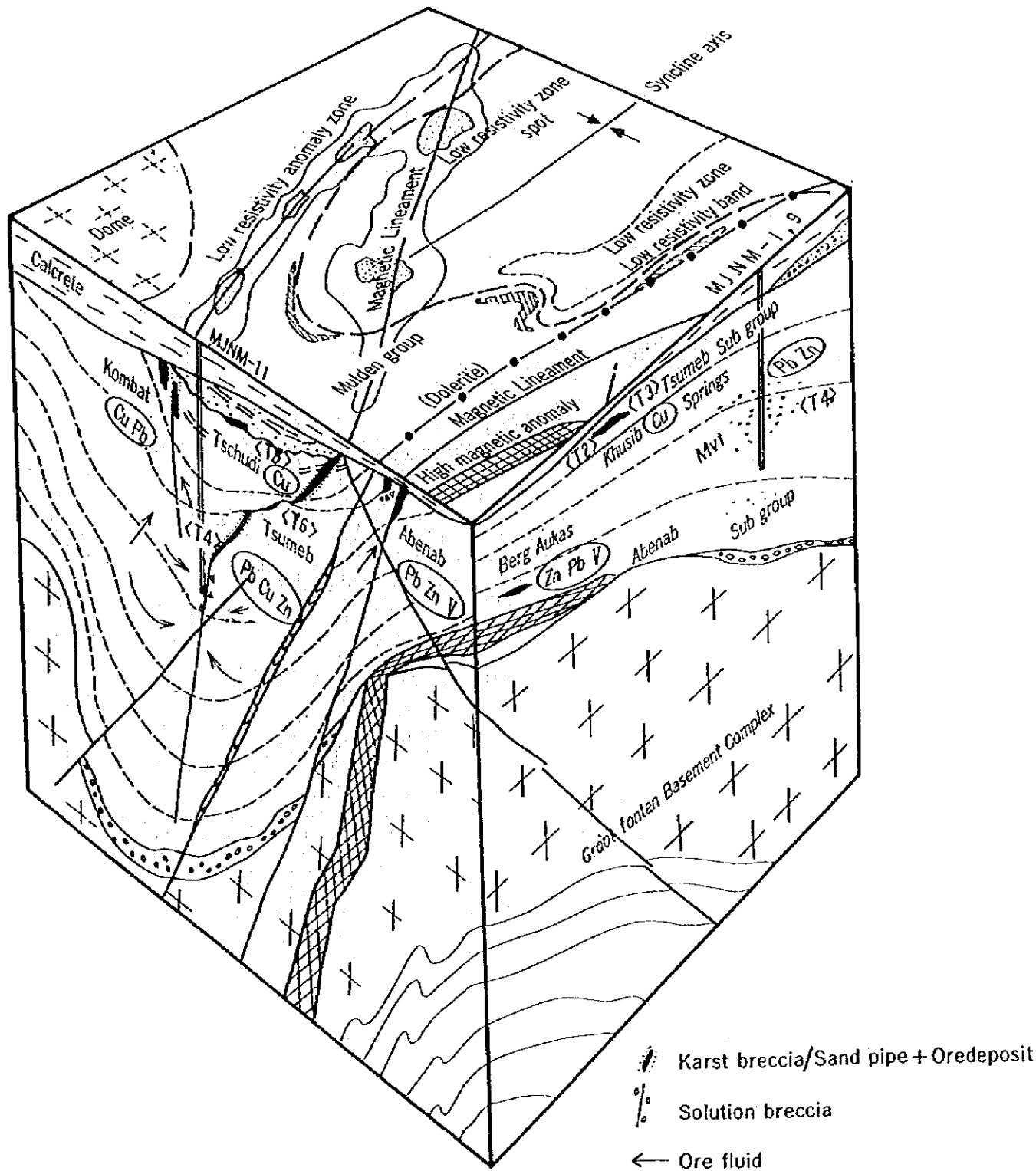


Fig. II - 3 - 17 Exploration model for drilling





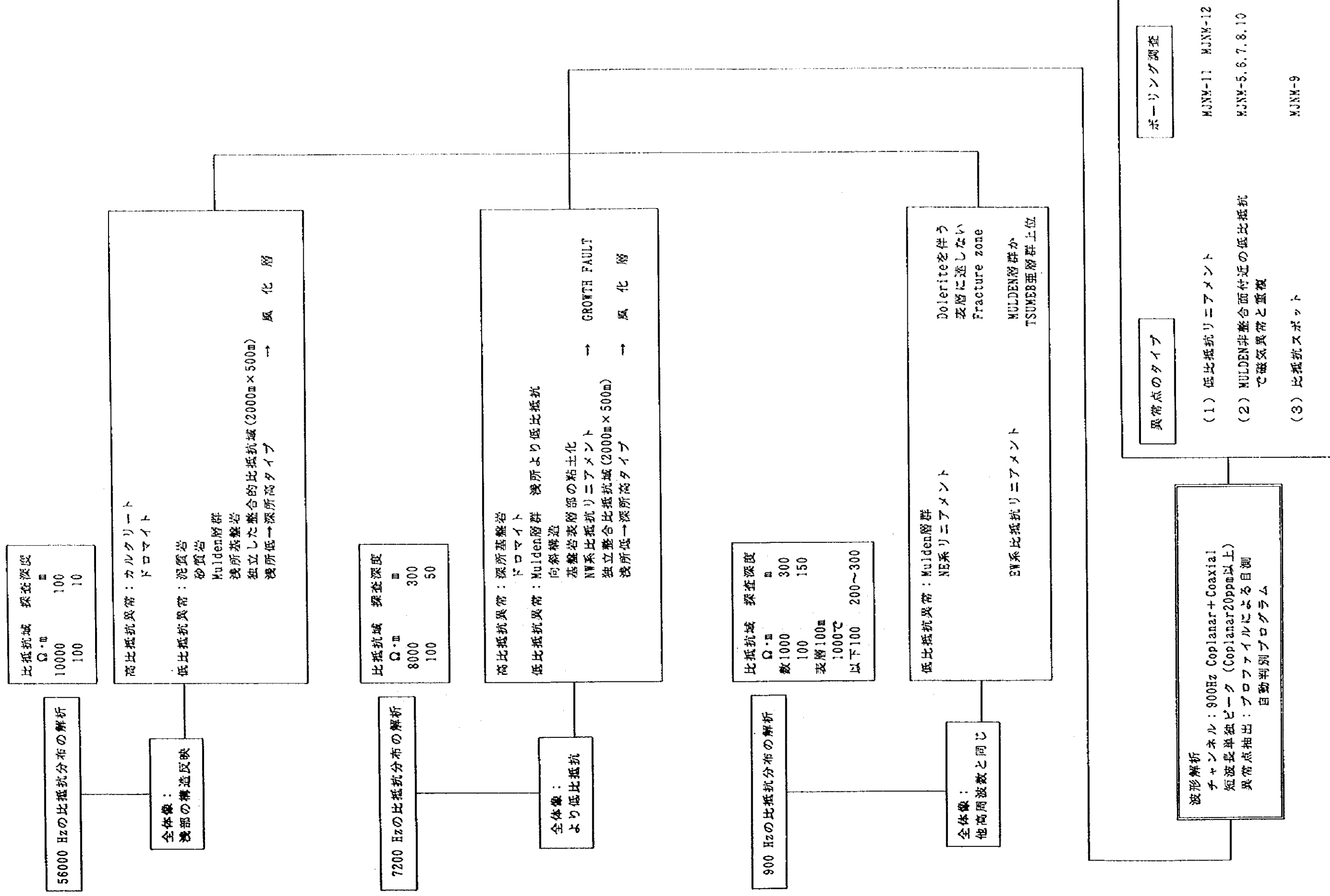


Fig. II -3-18 Flow chart of resistivity anomaly selection for drilling survey

