

## 第4章 ボーリング調査

### 4-1 調査概要

Fig. II-4-1 にボーリング調査位置を示す。ボーリング工事は南アフリカ共和国に本社を置く現地請負業者が担当した。得られたボーリングコアは縮尺200分の1の柱状図にまとめ、肉眼で鉱化の認められる部分は適当な間隔でサンプリングし、化学分析に供した。また、代表的な岩相や鉱化部分については各々薄片や鉱石研磨片を作成し、顕微鏡観察を行った。変質および粘土化部分はX線回折試験のための試料とした。鉱化部分の一部はPb同位体測定や流体包有物の均質化温度・塩濃度測定用に採取した。なお、採取した全コアは上下を明確にして鉄製コア箱に収納し、カラー写真に記録し、WINDHOEKにあるナミビア地質調査所のコア倉庫に格納した。

ボーリング位置のGPSによる座標は以下のとおりである。

Table II-4-1 Coordinates of Drilling Holes

	HOLE No.	FARM LAND	LATITUDE			LONGITUDE		
			Deg.	Min.	Sec.	Deg.	Min.	Sec.
1	MJNM-1	Guinab 277	19	10	26.53 S	18	23	00.54 E
2	MJNM-2	Aris 283	19	12	01.57 S	18	17	19.88 E
3	MJNM-3	Christiana 705	19	16	15.81 S	18	02	30.42 E
4	MJNM-4	Cadix 678	19	14	36.11 S	18	04	27.52 E
5	MJNM-5	Vogelsang 284	19	10	00.86 S	19	21	42.01 E
6	MJNM-6	Guinab 277	19	11	11.57 S	19	22	48.53 E
7	MJNM-7	Aris 283	19	10	34.20 S	19	22	10.57 E
8	MJNM-8	Vogelsang 284	19	09	12.91 S	18	19	59.08 E
9	MJNM-9	Guinab 277	19	10	10.46 S	18	22	47.86 E
10	MJNM-10	Vogelsang 284	19	09	38.75 S	18	19	41.04 E
11	MJNM-11	Birkenhead 699	19	12	42.35 S	17	55	58.79 E
12	MJNM-12	Bombay 670	19	12	51.38 S	17	57	28.12 E

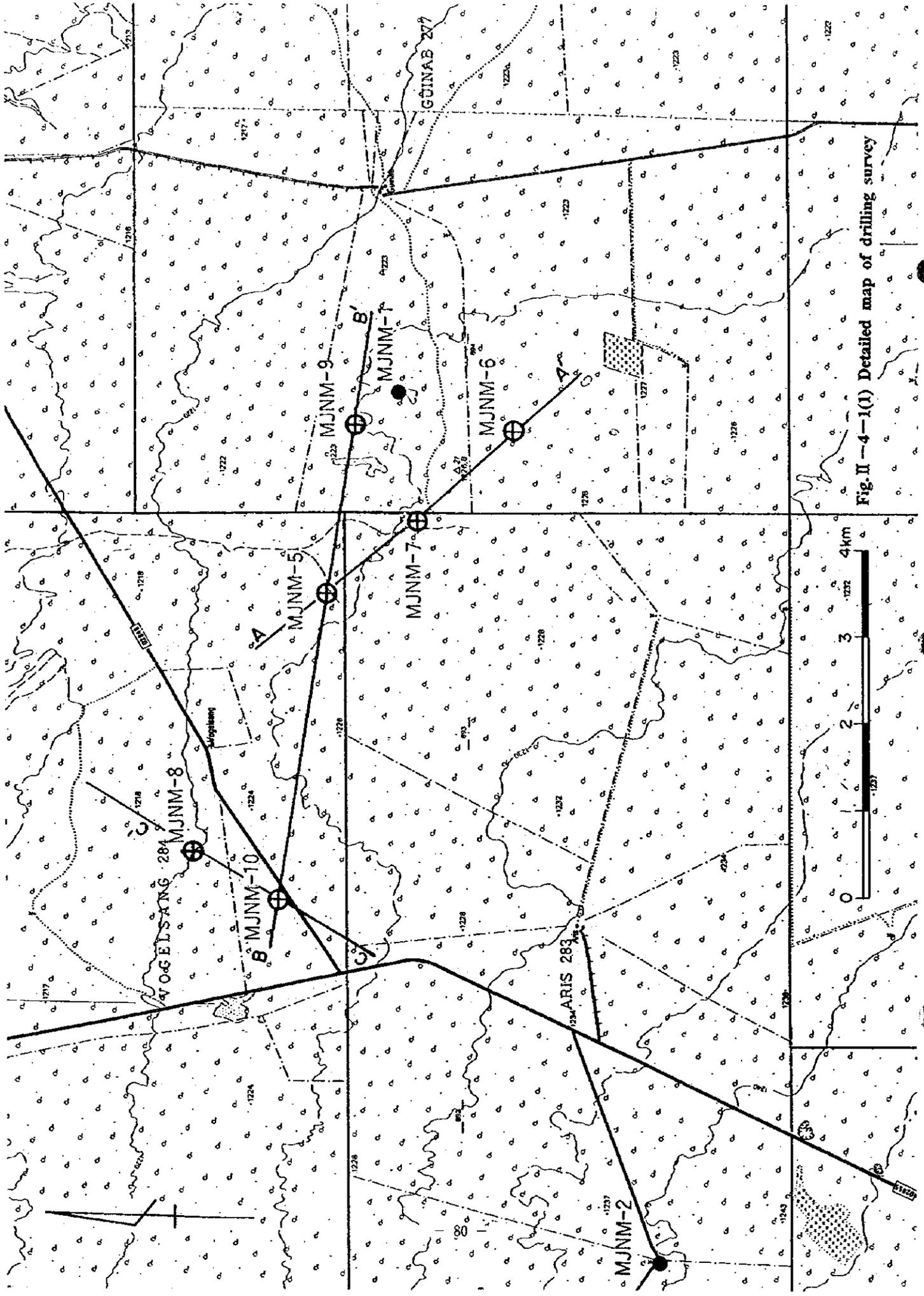


Fig. II -4-1(1) Detailed map of drilling survey

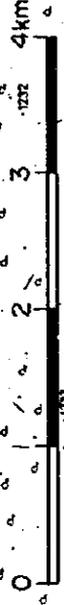




Fig II -4-1(2) Detailed map of drilling survey

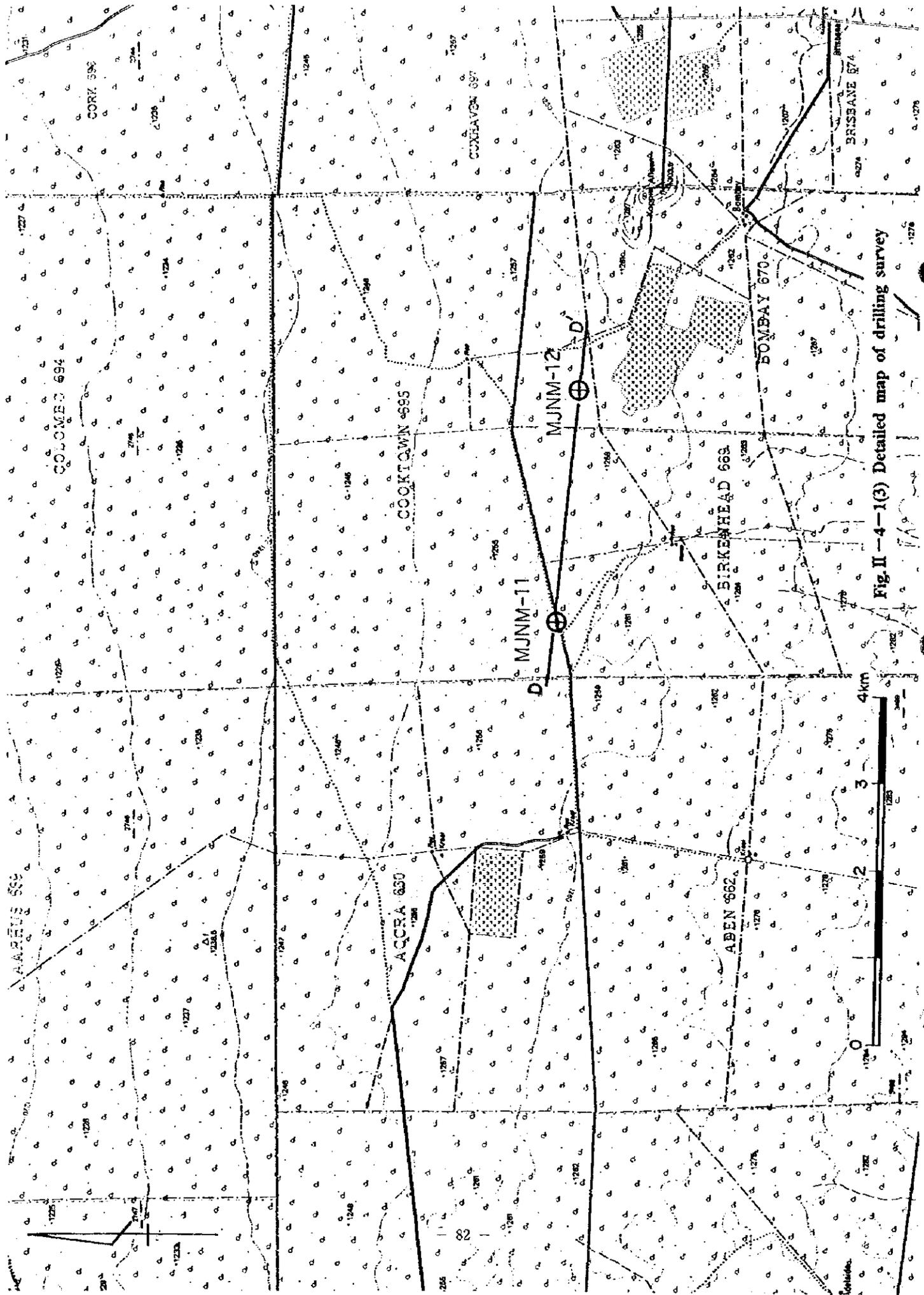


Fig. II - 4 - 1(3) Detailed map of drilling survey

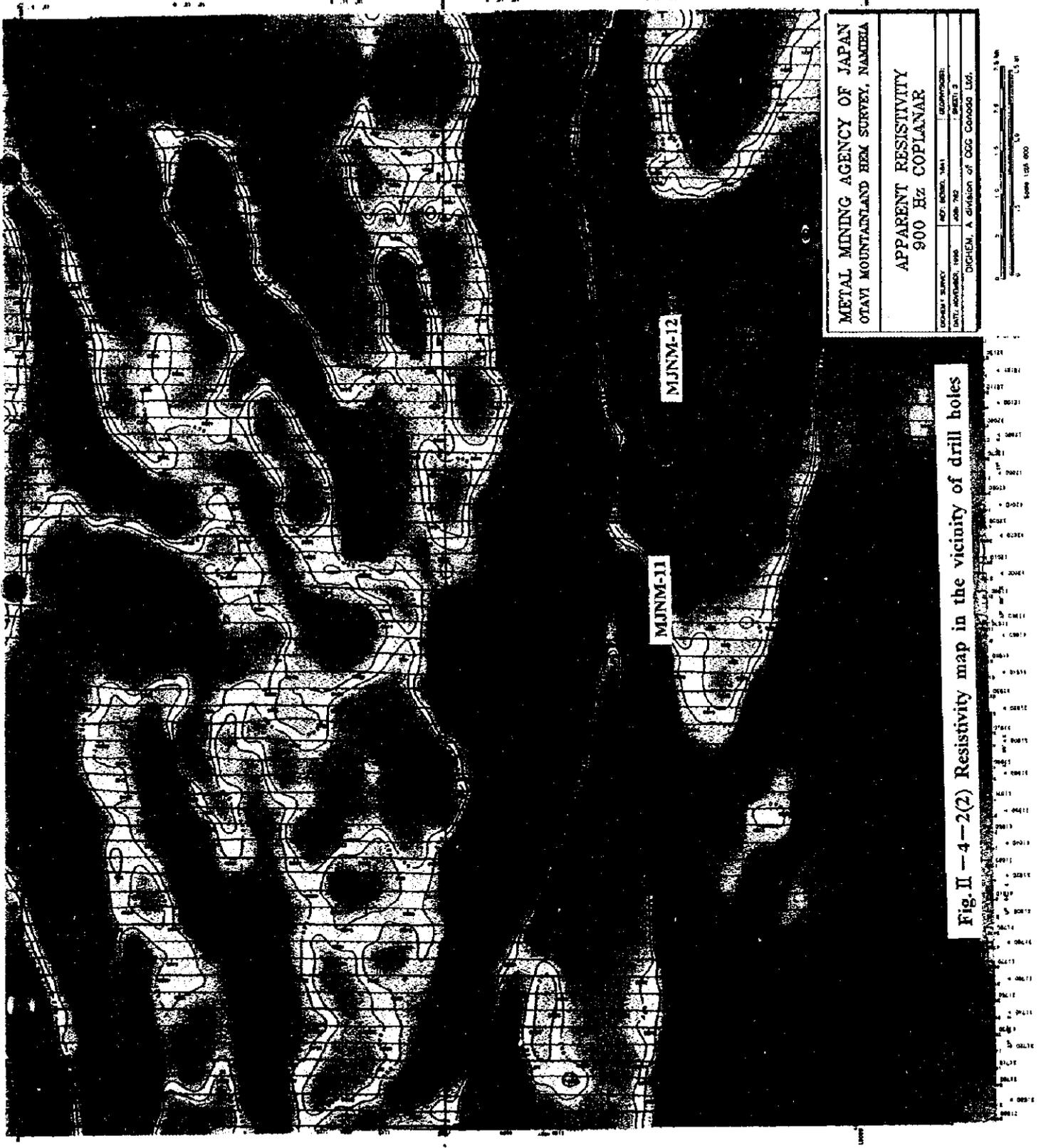


Fig. II - 4 - 2(1) Resistivity map in the vicinity of drill holes









METAL MINING AGENCY OF JAPAN  
 OTAVI MOUNTAINLAND HEM SURVEY, NAMIBIA

APPARENT RESISTIVITY  
 900 Hz COPLANAR

DATE	NO.	SHEET	DIPHEM
1980	742	2	DIGHEM, A division of CGC Canada Ltd.

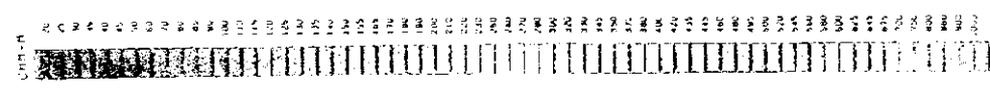
Fig. II - 4 - 2(2) Resistivity map in the vicinity of drill holes





METAL MINING AGENCY OF JAPAN  
 OTAVI MOUNTAINLAND HEM SURVEY, NAMIBIA  
 APPARENT RESISTIVITY  
 900 Hz COPLANAR

Fig. 1 -- 4 -- 2(2) Resistivity map in the vicinity of drill holes





## 4-2 工法および使用機材

掘削は機種によりSECO-12機では普通工法およびLONG YEAR-38, LONG YEAR-44 ではワイヤライン工法を採用した。MJNM-5~MJNM-10までの6孔は孔口から80m間はDRILL MASTERによりパッカッション工法を採用した。

## 4-3 調査結果

### 4-3-1 地質記載

ボーリング地質断面図をFig. II-4-6 に示す。また岩石薄片鑑定結果、鉱石研磨片鑑定結果およびX線回折試験結果をそれぞれTable II-4-2、Table II-4-3およびTable II-4-4 に示す。各孔の地質概要を以下に述べる。

#### MJNM-1

##### ・ 0.00m-85.40m カルクリート

淡褐色で塊状ないし層状を呈する。原生代ダマラ系のドロマイト層を不整合に覆う第三紀以降の堆積物で、基底部は25mにわたりレキ質を呈する。深度50mから30mにかけてはレキサイズにおおまかなグレーディングが認められる。局所的に層理に平行な空洞が発達し、透水層を形成している可能性がある。

##### ・ 85.40m-300.08m ドロマイト

灰白色から灰色、時として淡褐色を呈する。一般に岩相変化に乏しいが、92.40-94.90mと153.50m 付近で黒色ないし暗灰色の頁岩をはさむほか、全体に厚さ数cmから10cm程度のチャートをはさむ。ドロマイト層は塊状ないし層理が発達する場合があり、ボーリング孔と層理の角度は60°ないし80°である。(ボーリング柱状図では30°ないし20°のようにその補角で表してある。)

塩酸に対しては極微粒な空泡を生じる。深度210m付近から240m付近にかけて塊状の岩相では、スティロライトの発達が目立ち、その面には極薄い酸化鉄を含む粘土層が認められる。中粒ないし粗粒のドロマイトの粒子からなる砂質ドロマイト(グレインストーン)が頁岩の下位に堆積している。

魚卵状ドロマイトは続成作用の過程で珪化を受けたものと考えられ、ドロマイト累層の中に認められる。296.0m付近にはストロマトライトと思われる小マウンド組織および魚卵状組織が認められる。これらは全体の岩相からTsumeb亜層群のT4に対比可能である。

鉱化作用は102m付近から114m付近までの約12m間と、212m付近から285m付近にかけて、断続的に分布する。閃亜鉛鉱および方鉛鉱を主とし、ドロマイトの中に珪化を伴ってポッド状、不規則脈状およびドット状に出現する。スティロライト面近傍に発達した細脈を充たして産すること、層理面に調和的に産することなどから層準規制型鉱化作用と考えられる。銅の鉱化作用としては

92.60mに輝銅鉱、銅藍のドットと285.50mに緑色銅鉱物が認められる。

バナジウムはこれらの鉱化作用と重複して、新期の割れ目にフィルム状に産し、特徴的に緑





Table II - 4 - 4 Result of X-ray Diffractometry

Samples		Minerals		Silicate Minerals											Carbonate Minerals		Ore Minerals				Remarks	
				Clay Minerals											Minerals		Minerals					
No.	Well No.	Depth	Rock Name	Montmorillonite	Smectite	Chlorite	Sericite	Palygorskite	Talc	Quartz	Biotite	K-Feldspar	Albite	Calcite	Dolomite	Cerussite	Pyrite	Pyrrhotite	Magnetite	Brucite	Galena	
1	MJMN-1	89.0 m	Reddish argil	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	⊙	⊙												
2	MJMN-1	112.3 m	Silicification				Δ		⊙	⊙					⊙	Δ		?				Δ
3	MJMN-1	257.4 m	Dolospar						⊙	⊙					⊙	⊙						
4	MJMN-3	63.1 m	Dolospar + Sp						?						Δ	⊙						
5	MJMN-4	134.0 m	Sericitic dolomite	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	⊙	⊙					⊙							
X-1	MJMN-5	91.5 m	White argil					⊙	⊙													
X-2	MJMN-6	296.5 m	Calcareous dolomite												⊙							
X-3	MJMN-7	157.0 m	Talc			Δ			⊙	Δ												
X-4	MJMN-7	227.6 m	Dolerite			Δ					⊙											
X-5	MJMN-7	262.7 m	Pink talc			Δ	Δ		⊙													
X-6	MJMN-8	230.8 m	Pyrite	Δ					⊙													⊙
X-7	MJMN-9	113.3 m	Crackled dolomite												⊙							
X-8	MJMN-10	262.0 m	Dolerite	Δ	Δ										⊙							Δ
X-9	MJMN-12	59.6 m	Mulden sandstone	Δ					⊙													
X-10	MJMN-12	291.5 m	Pink talc						⊙	⊙						+						

Abbreviation

⊙:Abundant ○:Common Δ:Poor +:Trace

色ないしオレンジ褐色を呈する。

### MJNM-2

- ・ 0.00m- 60.96m カルクリート

白色ないし淡褐色で径5cmまでの角レキを多量に含む。レキの岩質は多くはドロマイト質で、赤褐色ないし灰色を呈する。25m付近から37m付近までは、こうしたレキを含まずパッチ状の空洞が発達し、結晶質の方解石が成長している。15.10mで逸水を生じている。

- ・ 60.96m-100.60m ドロマイト

灰白色細粒ドロマイトで白色斑状のドロスパーを含む。局所的にチャートないし珪化ウーライトの薄層をはさむ。層理境界やスティロライト面とボーリング孔との角度は殆ど平行である。90.96mではチャート薄層の中の斑点状の緑色銅鉱が認められる。

- ・ 100.60m-204.95m 頁岩

黒色でまれに赤色チャートをはさむ。塩酸との反応から石灰質頁岩と思われる。ボーリング孔と層理面との角度は10ないし20°である。111m付近および145m付近は破碎され、粘土質となっている。

- ・ 204.95m-300.30m ドロマイト

泥質ないし暗色中粒ないし粗粒砂質ドロマイトで219m付近ではレキ岩質となる。深部で細粒ドロマイトとなる。267.70mから285.25mにかけて古い時期の割れ目が発達する。上部と同様ボーリング孔と地層の境界は平行に近い。鉱化作用は全く認められない。

### MJNM-3

- ・ 0.00m- 12.00m カルクリート

灰色ないし帯紫褐色、層理と空洞の発達も認めれる。

- ・ 12.00m-150.30m ドロマイト

いわゆる塊状ドロマイトが卓越し、チャートの薄層を挟在する。74.60mから76.45m、94.20mから100.60mおよび120.85mから128.50mのドロマイトは中粒砂質の岩相を呈する。顕著なストロマイト様組織は50m付近に認められる。層理面とボーリング孔との角度は平均して60°から85°である。

鉱化作用としては36.64mにドロマイトの割れ目を充填するドロスパーに伴った緑色銅鉱物の斑点、63.10mに粒状閃亜鉛鉱、63.55mにフィルム状のパナジウム(Descloizite)が認められるにすぎない。

### MJNM-4

- ・ 0.00m- 5.58m カルクリート

白色粘土とドロマイト質レキ。

- ・ 5.58m- 50.00m ドロマイト

灰色で層状ないし塊状のドロマイトで厚さ数10cmの黒色頁岩とチャートをはさむ。空洞い富み、透水層を形成している。層理面はボーリング孔に対して45°から60°の角度をなす。22m付近にオレンジ色のバネジウム鉱物らしい細脈状鉱化が認められる。

・ 50.00m-117.00m ドロマイト・頁岩互層

層状ドロマイト、砂質ドロマイト、黒色頁岩およびチャートよりなる。ドロマイト層のうち黒色泥質の岩層では径0.5から1.0cmの多数の空洞を含む特徴がある。

・ 117.00m-150.60m ドロマイト

よく層理の発達した淡褐灰色ドロマイトで黒色泥質の薄層を含む。この黒色塊状の岩層では溶解による空孔に富む。133m付近から下部はピンク色を帯びた絹雲母質粘土のはさみが特徴である。層理面とボーリング孔との角度は上記と同様45°から60°である。

鉱化作用は全く認められない。

### MJNM-5

・ 0.00m-83.00m カルクリート

淡褐色あるいは灰白色の陸成石灰質膠結物である。6m付近に最初の透水層が分布するが60mの透水層が最も優勢である。全体として下部ほど雑色系を呈し、れき質となる。

・ 83.00m-144.60m カラハリサンドおよびれき質カルクリート

上部は多量の石英粒を赤色粘土のマトリックスで充たす未固結砂岩で、急傾斜の白色粘土脈が走る。これはX線回折ではパリゴルスカイト(Mg, Al)<sub>2</sub> [(OH, O)/Si<sub>40</sub>10] と同定され、熱水変質鉱物と考えられている。本孔以外の孔に捕捉されたカラハリサンドの中に共通して産する。

98.70mから117mまでと134.50mから144.60mまでは亜角レキのれきを多く含むようになる。下部ではれきの岩質がoolite、チャート、ドロマイトの混在しマトリックスは石灰質となる。これらは原生代ドロマイト層を不整合に覆う第三紀以降の堆積物と考えられる。

・ 144.60m-220.00m ドロマイト

不整合面直下にはカルスト空洞が発達する。砂質ドロマイトは黒色ドロマイトとooliteをはさみTsumeb垂層群の上部の特徴をもつ。145m 付近のチャートは鏡下で石灰質ウィードが珪化作用を受けて細粒石英に置換されているのが観察される。181m~190mにかけて分布するカルスト空洞には赤色粘土が沈積している。195m以深は黒色ドロマイト質頁岩が卓越する。層理面はほぼ水平と推定される。ドロマイトは一般に細粒ドロマイトからなる基質とその中に分布する空隙を埋める粗粒ドロマイトと石英からなり、続成過程のドロマイト化作用を示している。古期の破砕帯や空洞が確認されたが、MULDEN層群の砂質物質は認められず、その形成は鉱床生成期より若いと考えられる。

### MJNM-6

・ 0.00m- 94.05m カルクリート

上部は灰白色あるいは淡褐色カルクリートで赤褐色のれき状しみこみが認められる。75m付近から雑色系のサンドないし黒色チャートや砂岩を主とする、れき質カルクリートが顕著となる。その下位に厚さ3mの粘土質の岩相が続き、不整合面までの約3mは粘土質マトリックスの中にドロマイトやチャートれきを含む。

・ 94.05m-300.00m 石灰質ドロマイト

肌色を呈する石灰質ドロマイトを特徴とする。この岩相はABENAB鉱山付近に露出し、かつ鉱床の母岩をなすT4に対比される。本孔では赤褐色の頁岩、チャートおよび砂質ドロマイトの薄層をはさみ石灰質岩では多くの空隙が認められる。鏡下では空隙が粗粒の方解石、ドロマイトおよび石英に充たされていることから、広く方解石化作用を受けたと考えられる。

深度240m付近からは頁岩から粗粒砂質石灰岩ないしドロマイトの級化構造が何回か繰り返して発達する。コアに見られる頁岩や砂質岩の層理面の傾斜は比較的緩傾斜で30°以下である。深度191m付近と200m付近の局所的な古期破碎帯を除けば特記すべき破碎帯はない。

### MJNM-7

・ 0.00m- 88.25m カルクリート

下部はれき質カルクリートが分布し、径3-5cmの片麻岩、緑色岩および頁岩を主とする円れきないし亜円れきが砂質マトリックスで充たされている。

・ 88.25m-227.90m ドロマイトおよび黒色頁岩

原生代堆積岩類は黒色砂質頁岩で始まり、次に灰色ドロマイトが続く。深度120m付近からは黒色石灰質頁岩と砂質ドロマイトの繰り返しが認められる。127m付近からドロマイト中に滑石の粘土化作用が認められ、156mからは2m以上にわたって滑石層が発達するのをはじめ192m、194m、207m付近にも顕著な滑石変質帯が認められる。X線回折では滑石の他に弱い緑泥石と石英のピークが認められる。

・ 227.90m-230.25m 粗粒玄武岩

暗緑色、堅固で著しい磁性を帯びる。上部は45°でドロマイトに接触している。ドロマイトの層理面の傾斜に近い。下端の接触面は30°である。黄褐色のかんらん石の残晶に富む。鏡下では残晶もほぼ完全に蛇紋石化しており、X線回折ではクリソタイルとリザーダイトの顕著なピークが得られた。また黒雲母が比較的普通に認められるが初成鉱物か二次鉱物かは不明である。

・ 230.25m-300.00m ドロマイト

岩相変化の乏しいドロマイトで260m付近まで滑石化が著しい。一部はピンク色を呈しマンガンを含むと考えられる。X線回折では滑石のほか緑泥石・スメクタイトのピークが顕著である。

270m~300mは黒色ドロマイト質頁岩や細粒砂岩と灰色ドロマイトが4.5mのオーダーで繰り返される。

## MJNM-8

- ・ 0.00m-128.00m カルクリート・Kalahariサンド

上部は灰色ないし淡褐色で50m付近からレンガ色雑色系のカッテングスを産する。70m付近からは赤褐色粘土質の砂質堆積物に移行する。それ以降も90.40-91.50m、96.40-100m、113.58-114.28m、118.60-128.00mにれき質カルクリートをはさむ。マトリックスは赤色粘土である。

- ・ 128.00m-229.52m ドロマイト・頁岩互層

不整合面付近は2m程の間、空隙性暗灰色ドロマイトからなり、その後破碎された灰色ドロマイトへ移行する。破碎面はドロスパーや方解石で充填されているが硫化物の鉱化は伴っていない。156-158m間および161.27-162.42m間でも硫化物の鉱化作用に適切な破碎構造が認められる。下部に向かって厚さ数10cmないし数mの黒色頁岩や黒色砂質ドロマイトが灰色ドロマイトに挟在するようになる。層理面に平行な滑石脈は深度160m付近から出現する。層理面の傾斜はコアから判断して5~30°と推定される。粗粒玄武岩脈の近傍では20cmにわたって黄鉄鉱の網状脈が発達する。ここでは黄鉄鉱のほかに方解石、石英およびスメクタイトのピークが検出された。187mから190m付近にかけてはペロイドおよび碎屑性方解石粒子を含む石灰岩でドロマイトは細粒で基質を構成しているのが鏡下で観察される。

- ・ 229.52m-230.75m 粗粒玄武岩

母岩に60°の傾斜で貫入し、幅5cmの脱色帯を形成している。下盤側には幅5cmの黄鉄鉱網状帯が発達する。

- ・ 230.75m-300.00m ドロマイト・頁岩

細粒ドロマイトが卓越し、これに砂質ドロマイトや黒色頁岩をはさむ。細粒ドロマイトには滑石化粘土変質が顕著である。261.40mから267.10mまで分布するドロマイトに含まれる白色点紋は鏡下ではドロマイトの他形粗粒結晶で右ズレ変形が読み取れる。

## MJNM-9

- ・ 0.00m-91.20m カルクリート・Kalahariサンド

深度50mからの雑色れき質カルクリート、65mからのカラハリサンドから構成される。後者には黒色マンガン酸化物や割れ目に白色粘土脈を産する。

- ・ 91.20m-165.00m ドロマイト・頁岩

灰色砂質ドロマイトの地層の傾斜は30°~50°で不整合面下2m間は赤色角れきやカラハリサンドで充填された空洞や割れ目が発達する。ドロマイトは厚さ2m以下の褐色頁岩のはさみを含む。113m~118m間、124m~128m間は古期のカルストブレッチャが発達し方解石や石英で充たされている。(X線回折)これらは鉱化作用の場に好適である。砂質ドロマイトはしばしばチャートの薄層をはさむ。

・ 165.00m-300.00m 砂質ドロマイト

砂質ドロマイトの岩相が卓越し、挟在するチャートの出現頻度が増す。最初の閃亜鉛鉱による鉱化作用は微弱であるが珪化作用に伴って186m付近に認められる。深度231m付近から253.6mまでは断続的であるが閃亜鉛鉱や方鉛鉱のドット状鉱化作用が分布する。これらに殆ど重複して主として割れ目に沿ってバナジウム鉱物（おそらくDescloizite）が点在する。地層はコアによれば60°～70°の傾斜をもつ。鏡下では二次的ドロマイトと石英の細脈が生じているのが観察される。280m付近から下部は全体的に黒色相を呈し、MJNM-2で捕捉した層序に類似している。

### MJNM-10

・ 0.00m-117.95m カルクリート・Kalahariサンド

地表から91.85m間は上部は砂質、下部は帯淡紫色れき質カルクリートよりなる。鏡下では細粒石灰質基質にチャート、安山岩、ドロマイト岩および黒雲母片岩などの円磨された碎屑岩片を含んでいる。

91.85mからは特徴的に赤色粘土をマトリックスとする砂質堆積物である。

・ 117.95m-259.90m 砂岩・ドロマイト質頁岩

暗灰色ないし灰色のやや石灰質の砂岩と黒色ドロマイト質頁岩が卓越し、殆ど水平なチャートやooliteをはさむ。チャートは鏡下観察によればoolite起源で、ウィードは珪化されている。165m付近にはストロマトライト様組織が認められる。

・ 259.90m-263.06m 粗粒玄武岩

ドロマイトとの接触面の傾斜は一定せず、上面は急傾斜で下面は水平に近い。暗緑色で中～粗粒の磁鉄鉱を含み、変質したかんらん石の斑晶に富む。262mのX線回折では構成鉱物は緑泥石・スメクタイトおよび方解石である。

・ 263.06m-300.00m 石灰質砂岩・黒色頁岩

深度270mより下部は明灰色相に変わり、特に270mから280mにかけては滑石変質が強い。

### MJNM-11

・ 0.00m- 33.05m カルクリート

れき質灰白色カルクリートで透水層付近では部分的に粘土質となる。基底部は珪質堆積物よりなる。

・ 33.05m-174.30m MULDEN層群砂岩

暗緑色ないし淡クリーム色中粒砂岩で上面から10m以上は風化を受け脆い。分級淘汰のよいアルコース砂岩の特徴をもち、灰色相と赤紫相の繰り返しが見られる。ほぼ水平な層理面が発達しこれと平行に黄鉄鉱の鉱染帯が同生的に産する。一般に黄鉄鉱の鉱化は灰色（脱色）相に著しく暗緑色ないし赤紫色相では弱いか認められない。基質が少なく碎屑鉱物の円磨度は低い。灰色相の碎屑鉱物は鏡下によれば石英・微斜長石・白雲母・電気石・黄鉄鉱などである。

砂岩の層理面にはほぼ平行に厚さ数cmの石英脈が発達し、これに粗粒の黄鉄鉱を伴うことがある。160m付近では1.40mにわたって明瞭な斜交層理が認められ、浅海あるいは河成環境を暗示している。下位のTSUMEB亜層群との境界は肉眼的には明瞭ではないが石灰質堆積物が出現するところをもって境界とした。

・ 174.30m-300.00m ドロマイト・ooliteチャート・黒色頁岩

TSUMEB亜層群ではスティロライトの発達が特徴的となる。細粒灰色ドロマイトが卓越し厚さ1m弱のooliteチャートをはさむようになる。深度260m付近からは暗灰色相のドロマイト・砂質ドロマイトおよび黒色頁岩が卓越するようになる。深度275mから290mにかけての地層は著しく破碎され、割れ目に赤色粘土が沈積している。断層破碎帯の可能性が高い。

鉱化作用は269.90mの微少な空隙に銅の酸化鉱およびバナジウム鉱、270.70-270.75mでは方解石脈に銅硫化物、272.40m付近にバナジウムおよび銅酸化鉱が含まれる。

## MJNM-12

・ 0.00m-16.60m カルクリート

上半分は径5cm以下のれき質カルクリート、下半分は粘土質ないし細粒砂質カルクリートよりなる。基底部には珪質れき岩が分布する。

・ 16.60m-135.00m MULDEN層群砂岩

非風化層では暗緑色および明灰色中粒ないし粗粒砂岩で粗粒相では赤紫色を呈することが多い。主として明灰色の砂岩には縞状に黄鉄鉱の鉱染帯が発達する。これは概ね層理に平行で20ないし30°の傾斜をもつ。深度116m付近には斜交層理が発達する。下位のTSUMEB亜層群との境界は岩相上、明瞭ではなく漸移するように見える。60m付近のX線回折のピークでは石英・スメクタイト・曹長石・カリ長石が顕著である。

・ 135.00m-219.70m 砂質ドロマイト・ooliteチャート

上位のMULDEN層群から漸移して黄鉄鉱の鉱染が消え、スティロライトが見え始め、石灰質となる。砂質ドロマイトはチャートやooliteのはさみが特徴的である。鉱化作用は深度179.15mにおいて方解石脈の中に緑色銅酸化鉱のドットが認められるのみである。

・ 219.70m-300.00m 暗灰色ドロマイト・黒色頁岩

細粒ドロマイトをはじめ砂質ドロマイト層も暗灰色ないし黒色を呈する。深度272m付近からは黒色のドロマイト質頁岩が卓越しはじめ細粒砂質ドロマイトや灰色ドロマイトと互層するようになる。硫化物の鉱化作用は認められないが258m付近から下部には層理面に平行な半透明帯桃色滑石脈変質が認められる。

#### 4-3-2 鉱化作用

肉眼的にまとまりのある鉱化部分をダイヤモンドカッターで四半分に切断し、10cm以上の着鉱区分にして1試料としてAu, Ag, Cu, Pb, Zn, Cd, Ga, Vの7成分の化学分析を行った。その結果をポーリング柱状図のCHEMICAL ASSAYS欄およびTable II-4-5に示す。分析手法はAu, Ag, Cu, Pb, Zn, Cdについては原子吸光法、Ga, Vについては吸光光度法による。原子吸光分析装置は日立Z-6000およびZ-8100(フレームレス)を使用した。検出限界はAu, Agで1ppb, それ以外の6成分については1ppmである。

分析の対象とした試料のうちMJNM-1の累計着鉱長は9.16m 着鉱長に品位を乗じた数値の累計はPb=2.125 m・%, Zn=3.461 m・% Pb+Zn=5.586 m・%である。そのうち1%以上の鉱化部は以下の4箇所である。

111.58m-111.69m(0.11m)	Pb=1.45%	
112.30m-112.62m(0.32m)	Pb=4.52%	Zn=1.58%
245.75m-246.25m(0.50m)		Zn=1.76%
246.25m-246.65m(0.40m)		Zn=2.28%

MJNM-9では累計着鉱長、5.24m 着鉱長に品位を乗じた数値の累計はPb=0.22 m・%, Zn=1.08 m・% Pb+Zn=1.29 m・%である。1%以上の鉱化部はなく、0.1%以上の鉱化部は以下の箇所である。

234.10m-234.50m(0.40m)		Zn=0.58%
242.60m-243.35m(0.75m)	Pb=0.17%	Zn=0.83%
248.10m-248.64m(0.54m)		Zn=0.31%

MJNM-11とMJNM-12の鉱化作用のうち、MULDEN層群の砂岩を母岩とする黄鉄鉱鉱化のAu, Cuは特記すべき濃集は示していないが、MJNM-11のドロマイト層中のドロスパーや脈状方解石に含まれる鉱化では有意のCu, Pb, Znの濃集を示した。

270.70m-270.75m(0.05m)	Pb=0.18%	
272.30m-272.50m(0.20m)	Pb=0.1%	

Auについてはほとんどが検出限界の1ppb以下でPb, Znの濃集部で検出限界を超える数値が得られた。AgはPbとの正の相関が顕著で、特にPb=4.52%の試料が19g/tを示す。Cuについては59ppmが最大値で、やはりPb, Znとはほぼ正の相関を示している。Pb, Znの間の相関関係はあまり明瞭ではなく、比較的良好に相関する集団とばらつきのある集団とに分かれる。これは2つの異なる生成過程を意味するかも知れない。CdはZnとの正の相関が著しい。平均Zn=3%に対してCdは400ppmのTsumeb鉱との比較では、Znに対しCdの含有量の割合が低いと言える。Gaは検出限界に達しない試料が大部分である。Vは57ppmを最大値に数10ppmの試料が多いが、Tsumeb鉱に比較してZnの濃集度を基準にすればVの含有量が高い。

MJNM-1ではTsumebやkombat型鉱床の胚胎の場として特徴的なカルストブレッチャや砂岩パイプなどの構造は把握されておらず、鉱物組み合わせからみてもこれらと同型の鉱化作用とは考

Table II --4--5 Result of Chemical Assay  
Chemical assay ( ppb for Au and ppm for others )

Sample No.	Hole No.	From (m)	To (m)	Width(m)	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Cd	V	Ga
A-01	MJNM-1	101.86	102.26	0.40	<1	2.18	14	1710	851	4	<1	4
A-02	MJNM-1	104.01	104.41	0.40	<1	0.50	6	154	107	<1	<1	49
A-03	MJNM-1	104.41	104.66	0.25	<1	0.50	30	605	244	1	<1	42
A-04	MJNM-1	106.70	107.00	0.30	<1	0.50	4	99	35	<1	<1	12
A-05	MJNM-1	110.81	110.94	0.13	<1	0.20	4	85	35	<1	<1	25
A-06	MJNM-1	111.09	111.29	0.20	<1	1.49	7	374	139	2	<1	42
A-07	MJNM-1	111.58	111.69	0.11	<1	7.06	12	14500	1420	5	<1	7
A-08	MJNM-1	112.30	112.62	0.32	<1	19.00	59	45200	15800	32	<1	<1
A-09	MJNM-1	113.94	114.15	0.21	<1	0.60	5	161	43	<1	<1	16
A-10	MJNM-1	123.88	124.08	0.20	<1	0.30	8	136	226	<1	<1	28
A-11	MJNM-1	141.55	141.93	0.38	18	0.79	25	267	909	15	<1	27
A-12	MJNM-1	143.70	144.00	0.30	<1	0.89	9	150	3500	12	<1	13
A-13	MJNM-1	157.25	157.88	0.63	<1	0.70	8	128	49	<1	<1	12
A-14	MJNM-1	158.08	158.78	0.70	<1	0.70	3	69	67	<1	2	11
A-15	MJNM-1	211.57	211.77	0.20	<1	2.10	8	102	302	2	1	13
A-16	MJNM-1	211.91	212.08	0.17	<1	1.80	11	147	998	5	<1	27
A-17	MJNM-1	213.00	213.15	0.15	<1	2.90	13	605	5710	21	<1	57
A-18	MJNM-1	217.15	217.30	0.15	<1	0.80	8	86	55	<1	<1	12
A-19	MJNM-1	222.60	222.85	0.25	<1	2.00	32	156	2300	10	1	7
A-20	MJNM-1	223.07	223.67	0.60	<1	0.80	22	165	3160	15	<1	9
A-21	MJNM-1	242.76	242.97	0.21	<1	5.49	16	4280	179	3	<1	31
A-22	MJNM-1	245.75	246.25	0.50	<1	4.00	29	1990	17600	46	1	8
A-23	MJNM-1	246.25	246.65	0.40	13	4.57	20	781	22800	74	<1	13
A-24	MJNM-1	246.92	247.17	0.25	2	1.69	13	172	6110	24	1	2
A-25	MJNM-1	258.95	259.50	0.55	<1	3.48	19	353	7610	29	1	30
A-26	MJNM-1	263.20	264.04	0.84	<1	1.39	6	539	137	<1	1	36
A-27	MJNM-1	268.10	268.20	0.10	<1	0.79	4	114	49	<1	1	20
A-28	MJNM-1	271.50	271.58	0.08	<1	7.25	18	4960	183	1	<1	13
A-29	MJNM-1	273.64	273.69	0.05	<1	5.46	7	4870	33	<1	<1	13
A-31	MJNM-1	185.93	186.07	0.14	1	0.60	5	85	72	<1	<1	13
A-1	MJNM-9	170.57	170.62	0.05	<1	0.80	6	811	320	<1	20	<1
A-2	MJNM-9	186.31	186.39	0.08	9	0.95	10	11	32	<1	7	<1
A-3	MJNM-9	231.63	232.20	0.57	9	0.20	9	100	14	1	18	<1
A-4	MJNM-9	232.20	232.55	0.35	4	0.20	6	122	56	<1	8	<1
A-5	MJNM-9	233.36	233.46	0.10	24	0.20	5	95	42	<1	5	<1
A-6	MJNM-9	234.10	234.50	0.40	2	0.50	12	322	5810	15	5	<1
A-7	MJNM-9	234.73	234.82	0.09	13	0.95	10	560	108	<1	21	<1
A-8	MJNM-9	235.30	235.55	0.25	<1	0.20	6	49	114	<1	<1	<1
A-9	MJNM-9	241.87	242.60	0.73	<1	0.50	9	142	250	1	34	2
A-10	MJNM-9	242.60	243.35	0.75	<1	1.25	18	1660	8300	36	2	2
A-11	MJNM-9	243.35	244.00	0.65	<1	0.50	5	288	95	<1	7	<1
A-12	MJNM-9	245.75	246.15	0.40	<1	0.65	13	269	142	<1	27	2
A-13	MJNM-9	248.10	248.64	0.54	26	0.50	9	275	3130	14	3	1
A-14	MJNM-9	248.79	248.93	0.14	12	0.50	5	176	416	3	17	1
A-15	MJNM-9	249.52	249.65	0.13	87	0.20	7	75	71	<1	17	2
A-16	MJNM-9	251.35	251.45	0.10	<1	0.50	12	182	541	31	18	1
A-17	MJNM-11	110.55	110.65	0.10	<1	0.05	7	11	25	<1	32	6
A-18	MJNM-11	270.70	270.75	0.05	<1	2.95	283	1760	260	4	208	1
A-19	MJNM-11	272.30	272.50	0.20	<1	0.95	270	1100	807	11	167	2
A-20	MJNM-12	86.18	86.23	0.05	<1	0.35	6	15	13	<1	27	7
A-21	MJNM-12	118.48	118.53	0.05	<1	0.05	14	6	16	<1	<1	4

えにくい。さらに鉱化を受けた部分の詳細なコア観察や母岩の鏡下の特徴からPb・Zn鉱物は何回かの珪化（細粒石英）と密接に関係しており、続成作用の過程で比較的低温で沈澱した、いわゆる狭義のMississippi Valley-type (MVT) の鉱化作用と考えられる。

MJNM-1の鉱化部分のスケッチをFig. II-4-3 に示す。ここでみられるように層理面とほぼ平行なスティロライト面に近くに発達した割れ目のうち、これに平行な割れ目を充たしてPb・Zn鉱物が認められる。スティロライト面を切る割れ目はコアでみる限り、連続性に乏しい。したがって鉱化作用の分布は大きくはある層準あるいは岩相に規制されている可能性が大きい。

このような層準規制型のMVTと同類と思われる鉱床は、Abenab亜層群のGauss層からTsumeb亜層群のHuttenburg層にかけてのドロマイト層に胚胎しており、Tsumeb亜層群のうちでも中位のBlandhoek層を母岩とする例が最も多い。

捕捉されている鉱体の品位はZn+Pbでせいぜい5ないし10%の範囲を出ず、現在までに鉱量計算とF/Sまで実施しているプロジェクトはあるが、未だ開発には至っていない。

しかし、既存のMVT鉱徴地帯の中には最近開発が始まったKhusib Springsが含まれており、その母岩の地質構造は未だ明らかにされていないが、鉱床は輝銅鉱・四面銅鉱・黄銅鉱および黄鉄鉱を主としており、Pb・Znを主とし細脈割れ目充填、鉱染状のMVTと明らかに異なる。したがってCuを主とする鉱床がMVTと隣接あるいは重複して分布する可能性がある。

MJNM-9にみられる鉱化作用もTsumebの鉱石と異なり、Zn/Pb=4.9 で鉛に比較して亜鉛に富み北アメリカのミシシッピーバレー型鉱床の比に類似する。一方MJNM-11に捕捉された微弱な鉱化作用はZn/Pb比を比較してみると亜鉛より鉛に富み、むしろTsumebのタイプといえる。同様に亜鉛に対するカドミウムの比ではMJNM-11ではMJNM-9に比べてカドミウムに富み、Tsumebの鉱石と同じ傾向をもつ。バナジウムについてはMJNM-11の鉱化部に重複して比較的強い濃集が認められる。金・銀については他の元素との相関および孔別の特徴は現れていない。

#### 4-3-3 流体包有物の均質化温度と塩濃度測定

コアサンプルを用いた流体包有物の均質化温度温度分布図をFig. II-4-4 に示す。

MJNM-9のZn, Pb鉱化作用に伴う珪化ドロマイト部分10箇所の試料につき岩石薄片を作成した。その中に含まれる気液相の流体包有物について、その産状、形状を観察したのち、包有物に含まれる2相の流体の均質化温度および塩相当濃度を測定した。

個々の試料の平均値は130°C~159°Cの範囲に分布する。データ数が十分でないが深度差15m強の間で浅い箇所より深い箇所で均質温度が高い傾向がある。全体の平均値146.6°Cの値は典型的なミシシッピーバレー型鉱床 (D. L. LEACH et al 1993) の75~200°Cという範囲に属する温度でTsumebにおける主要鉱化期の230~250°Cの領域より低く、むしろ晩期鉱化期の温度に近い。また塩濃度も純水に近いものをデータから除くと14.59 wt% NaClで、これも一般的ミシシッピーバレー型鉱床の10~30 wt%の範囲に入り、Tsumebの2~7 wt%とは明らかに異なる。これからもMJNM-9の鉱化作用は続成的なミシシッピーバレー

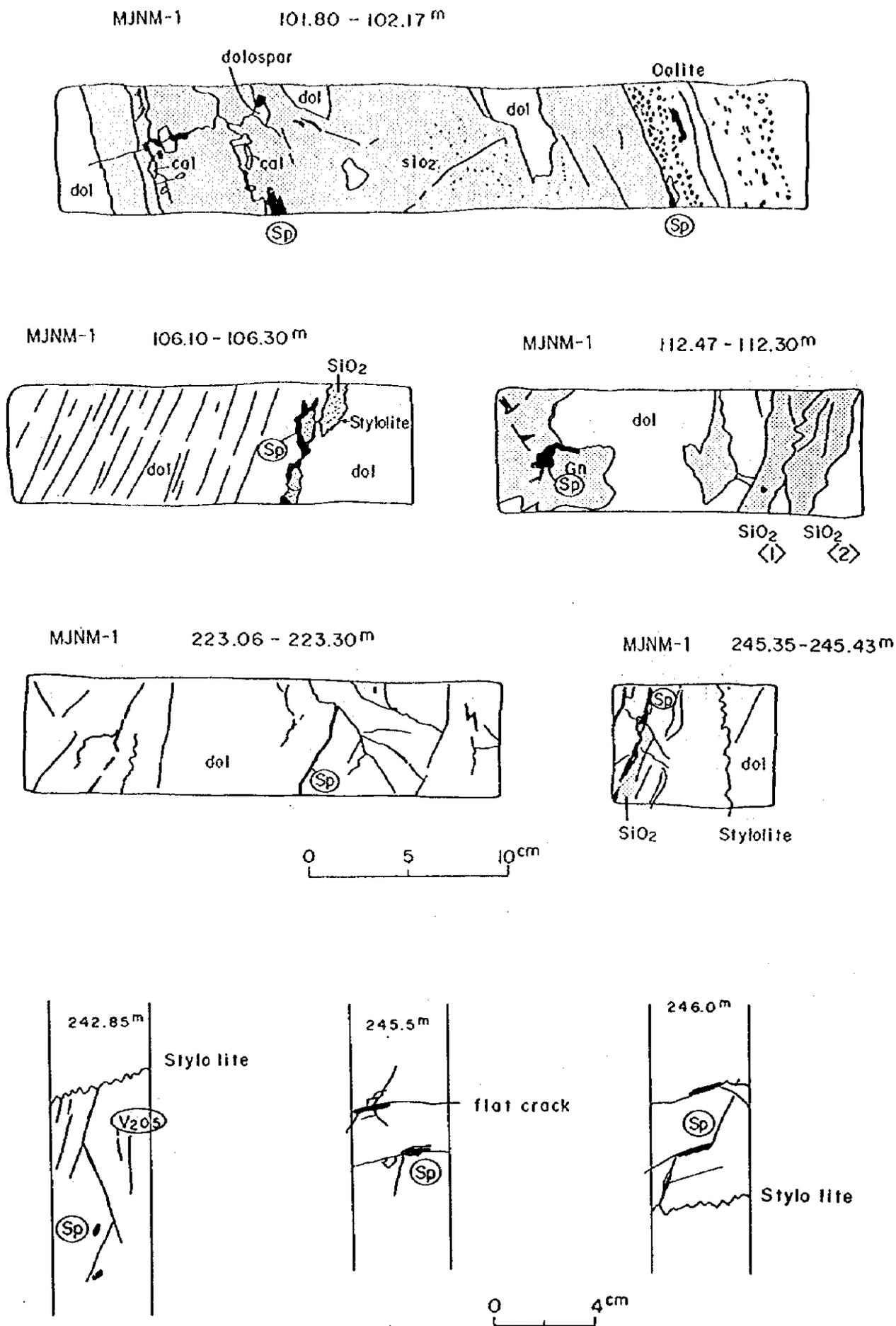


Fig. II - 4 - 3 Sketch of mineralized cores

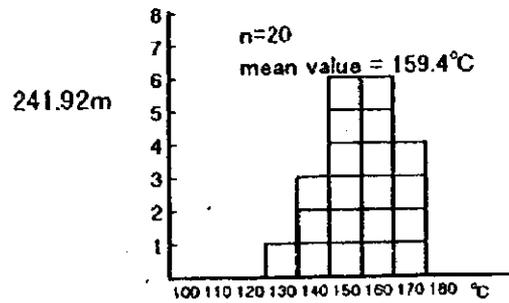
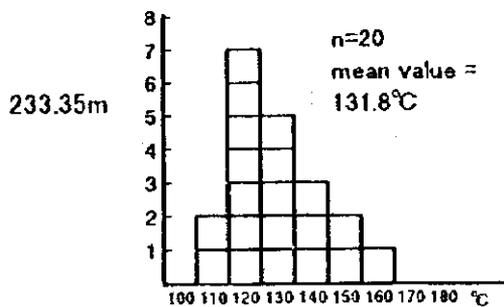
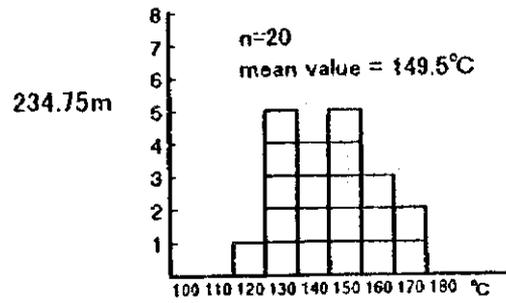
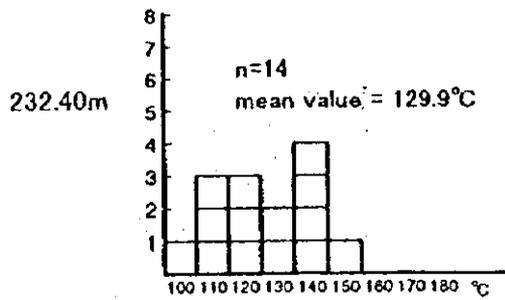
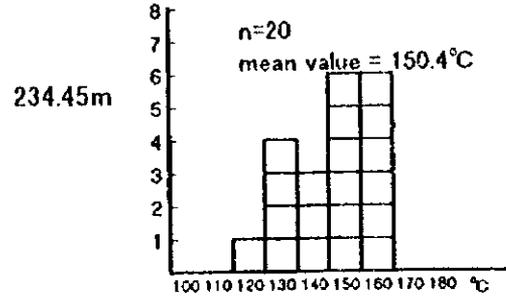
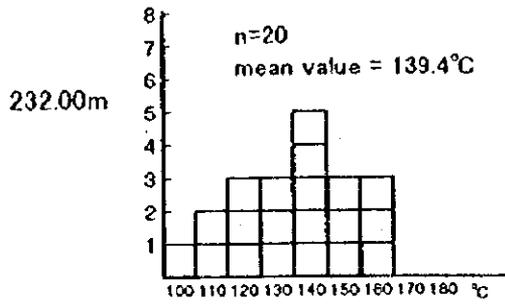


Fig. II -4-4(1) Histogramme of homogenization temperature

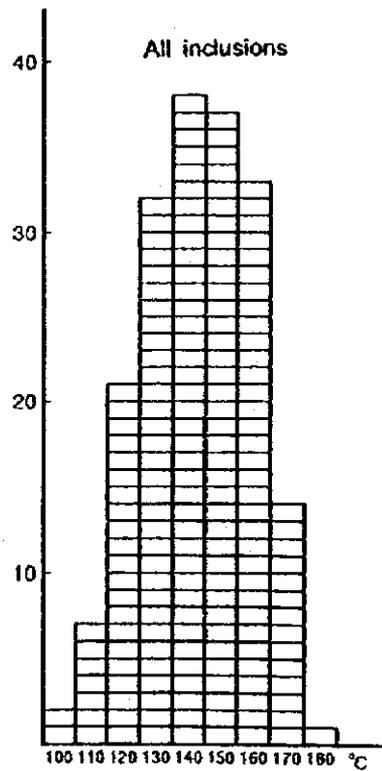
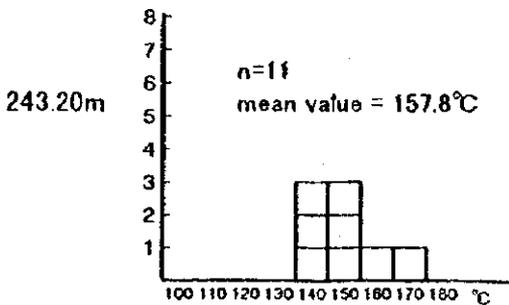
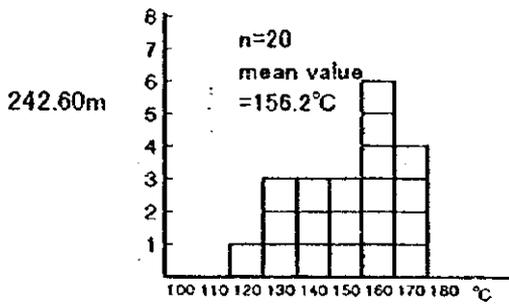
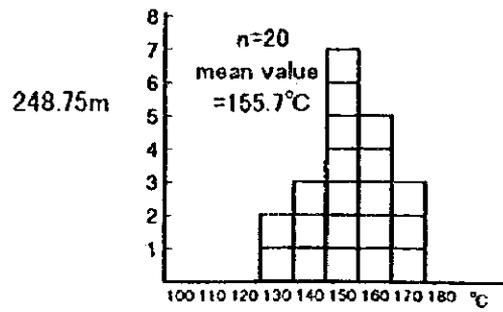
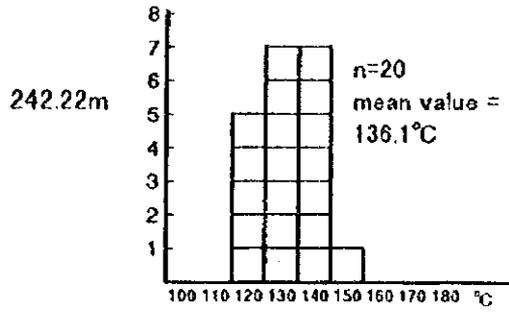


Fig. II -4-4(2) Histogramme of homogenization temperature

一型鉱床と同様な条件下で生成したものと考えられる。

#### 4-3-4 層序対比

ボーリングコアの地質層序の記載と対比基準に基づき、各孔の層序対比を試みた。その結果をFig. II-4-5 に示す。

MJNM-1 は灰白色の砂質ドロマイトが卓越し、チャートの薄層をはさむ。頁岩に乏しいことから T4に対比される。露岩地域の低品位鉛亜鉛鉱化もT4ないしT5に対比されている。

MJNM-2 の地層は急傾斜で部分的層序しか捉えられていないが、ドロマイト質頁岩と砂質ドロマイトの互層からなることからT3の可能性はある。

MJNM-3 はチャートを挟在するドロマイトでストロマトライト組織が顕著である。したがって T6下部とした。

MJNM-4 黒色ドロマイト質頁岩と層理の発達した多孔質ドロマイトとの互層である。したがってT8に対比される。

MJNM-5 は暗灰色細粒ドロマイト卓越することからT7に対比した。しかし195mから上部はT8に対比されるかも知れない。

MJNM-6 は深度131m以下は淡れんが色の石灰質岩で明らかに他の孔にはない地層である。標識地の地層対比からAbenab亜層群とした。

MJNM-7 はラミナの発達したドロマイトおよび頁岩の挟在からT7とした。一部の黒色頁岩のコアは異臭を放つのもT7からT8のラグーン性堆積物の特徴とされる。

MJNM-8 はMJNM-7と同様な層序を示すのでT7に対比した。

MJNM-9 のうち深度170m以下は中粒の砂質ドロマイトの卓越する地層でT4からT5にかけて浅海化する堆積環境に対応すると考えT4の上部に対比した。その上位も古い割れ目の発達するゾーンが分布することから、これも含めてT4の可能性もある。

MJNM-10 深度200m以下は黒色相が卓越し、MJNM-7と同一層準に対比される。それより上位は163m付近にストロマトライト組織がみられる特徴からT8とした。

MJNM-11 174m付近から下位の地層はチャートの何枚もの薄層の繰り返しの特徴とウーライト(oolite)の挟在からT8に対比された。

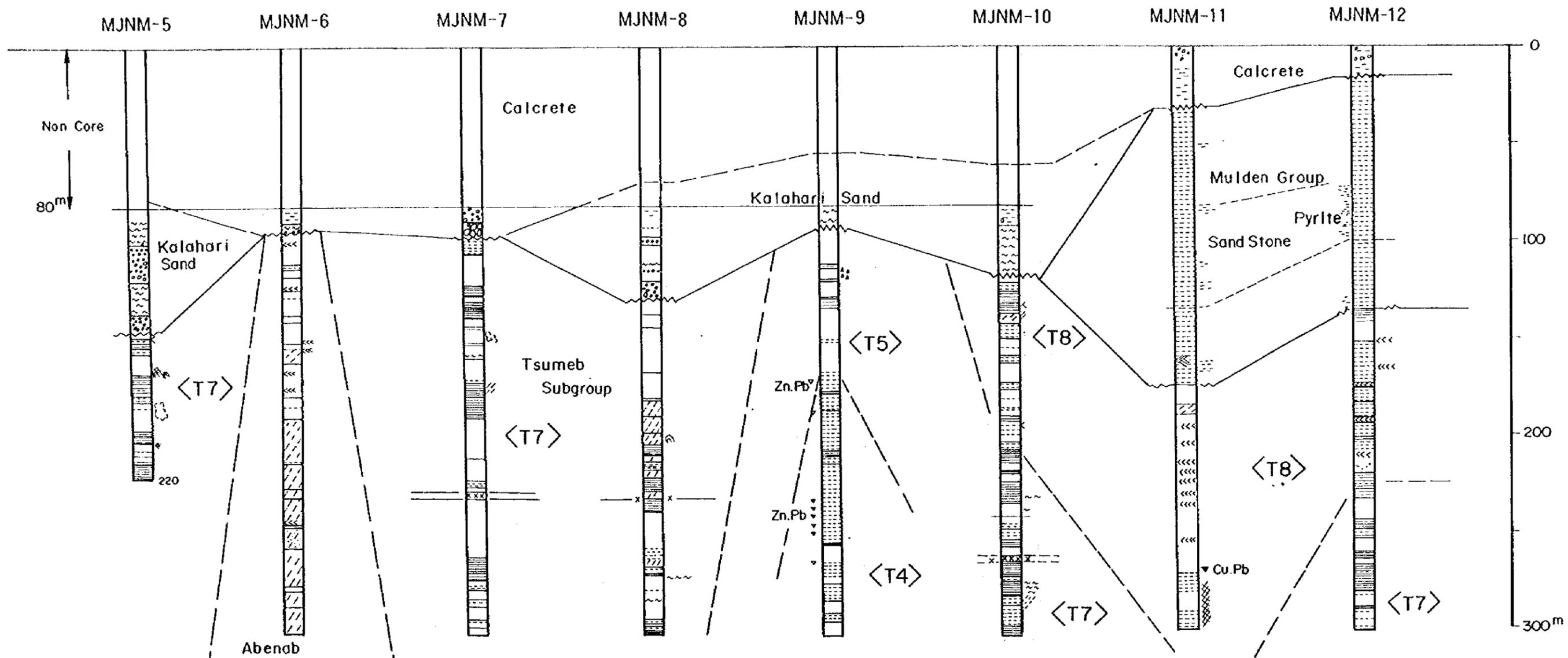
MJNM-12 深度220mから下位はMJNM-11の岩相と異なり、全体的に黒色相のドロマイトが発達することからT7、そして220mより上位をT8に対比している。

#### 4-3-5 地質構造

調査地域東部で実施したボーリング孔 MJNM-1, MJNM-2, MJNM-5, MJNM-6, MJNM-7, MJNM-8, MJNM-9, MJNM-10 の層序対比と空中物理探査結果で示される概略地質構造から調査地域の地質構造を推定すると Fig. II-4-6(1) Fig. II-4-6(2) に示すような地質断面が得られる。すなわちN-W-SE方向の低比抵抗トレンドに沿ったボーリング断面ではカルクリートの下位の地層群はMJNM







LEGEND

- |  |                                    |  |                           |
|--|------------------------------------|--|---------------------------|
|  | Dolomite                           |  | Unconformity              |
|  | Shale                              |  | Fracture zone             |
|  | Sand stone                         |  | Cavity                    |
|  | Chert                              |  | Mineralisation (Cu Pb Zn) |
|  | Calcareous dolomite<br>~ Limestone |  | (Pyrite)                  |
|  | Argil                              |  | Stromatolitic             |
|  | Dolerite dyke                      |  |                           |

Fig. II-4-5 Stratigraphic correlation of drill hole



-5 付近に軸をもつ向斜構造を形成していると考えられ、基盤岩がMJNM-6の南方2.5kmに浅く潜在する。MJNM-6とMJNM-7の間にはT1からT6までの下部Tsumeb亜層群が北傾斜で向斜構造の南翼を構成すると思われる。MJNM-5とMJNM-7の中間部ではカルクリート不整合面の下位にT8が分布する可能性がある。MJNM-5で捕捉された多くの空洞は向斜軸部という位置と関係するかも知れない。すなわちこれらの空洞は比較的新しく、軸部付近に発達する割れ目に循環した地下水によって形成された可能性がある。MJNM-7に現れたドレライト岩脈はこの断面方向に近い走向をもつ。

MJNM-5ではカルクリートと原生代炭酸塩岩との間にカラハリサンドが認められ、この陸成層がMJNM-5から北側に分布するようにみえる。

Fig. II-4-6(1)のB-B'断面はMJNM-5をとおりWNW-ESE方向の地質断面における地質構造をMJNM-10, MJNM-5, MJNM-9の層序対比から推定した結果である。これによるとカルクリートの下位には共通してカラハリサンドが分布し、不整合面の下位は東のMJNM-9下部のT4から西のMJNM-10に分布するT8まで西に傾斜する単斜構造を形成している。MJNM-5からMJNM-10にかけてこの方向での見掛の傾斜は小さいと考えられる。

MJNM-10, MJNM-8をとおるNNE-SSW方向の断面 (Fig. II-4-6(2) C-C') で考察すると、MJNM-10はMJNM-5付近をとおる向斜構造の延長の北翼に位置し、MJNM-8付近には局所的な高まりか背斜構造が分布すると思われる。この2つの孔にはほぼ同一深度にドレライト岩脈が貫入しているが、磁気異常図から、これは同一岩脈ではなくNW-SE系の平行岩脈である。

MJNM-2はこれらのボーリング孔との距離が大きいが、向斜構造の南翼にあたり、断層が走る箇所に該当する。地層がほとんど垂直に立っているのはこの両方に起因することが考えられる。

調査地域中央部で実施したMJNM-3, MJNM-4は同一向斜構造のそれぞれ北、南翼に位置していると考えてよい。(Fig. II-4-6(3))

調査地域西部の地質構造はMJNM-11とMJNM-12の層序対比から次のように推定される。(Fig. II-4-6(2) D-D') この地域は衛星画像や空中物理探査異常からはどちらかと言えば背斜構造部に位置するが、薄いカルクリートの下位に両孔とも厚さ100m以上におよぶMulden層群Tschudi層砂岩が分布しており、この付近も含めて大きな向斜構造に含まれる。MJNM-12の下部は黒色相のドロマイトが卓越し、上部はMJNM-11と同様にドロマイト質砂岩やチャートから構成されることから、東西断面では全体的には西に緩く傾斜する構造をとる。この付近が全体の向斜構造のどの部分に位置するかは明かではない。





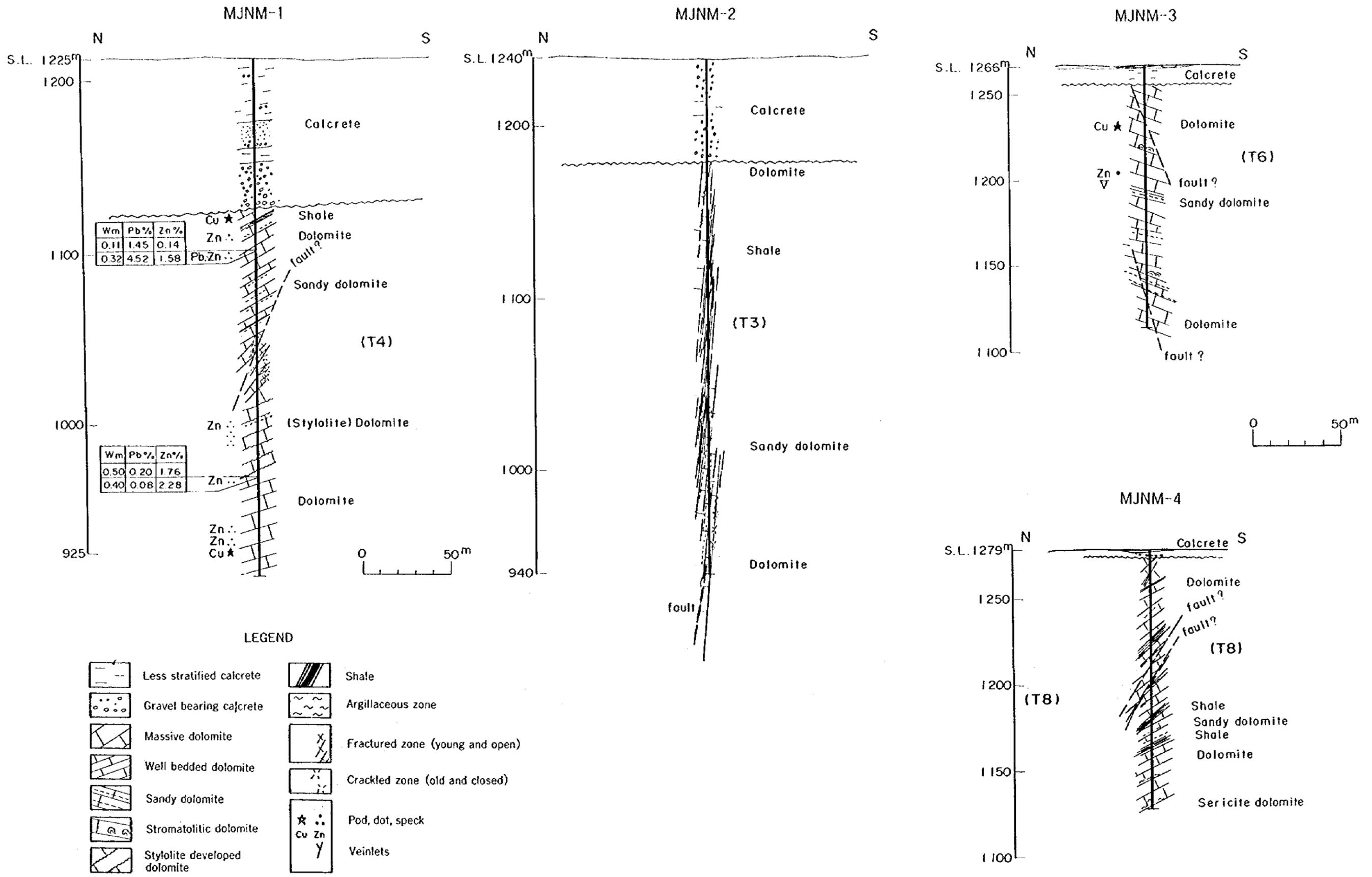


Fig. II-4-6(1) Geological cross section of drill hole



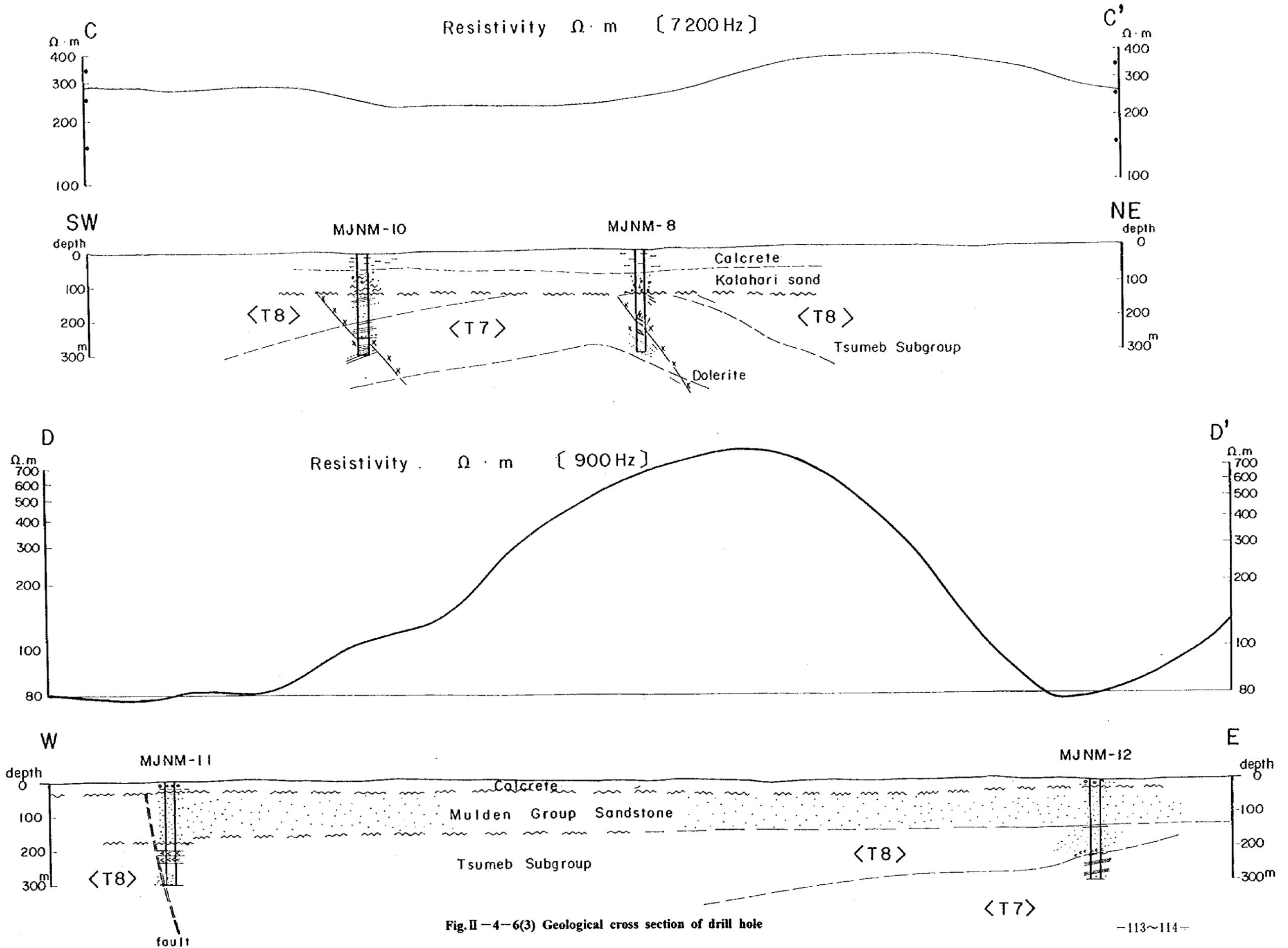


Fig. II-4-6(3) Geological cross section of drill hole



## 第5章 物性測定

### 5-1 目的および数量

第1年次は主な層準の代表的な地表の岩石、および各鉱床の鉱石について、第2年次および第3年次はボーリング孔のコアサンプルを用いて物性測定を行った。測定した項目は帯磁率、分極率、比抵抗値の3項目である。帯磁率を測定したサンプル数は993個、分極率・比抵抗を測定したサンプル数は134個である。なお、分極率、比抵抗値の測定は時間領域法で行った。この様なサンプルの物性はミクロ的であり、ばらつきは避けられないが、ある程度測定数がまとまった場合、結果は大まかな傾向を反映しているものと考えられる。またサンプルが現位置の状態にないため、完全な再現性はない。

### 5-2 使用機器およびサンプル処理

#### (1) 帯磁率測定

使用した帯磁率計は小型軽量のKAPAMETERとバイソン磁化率計の2台である。性能などはTable II-5-1に示す。KAPAMETERはフィールド測定、サンプル測定両用に作られた高感度な帯磁率計である。サンプル測定では大きな形状を必要とする。このため、小さなコアサンプルはバイソンの帯磁率計を使用した。測定後、サンプルの表面粗さ補正、形状補正を行い帯磁率をSI単位に換算した ( $1\text{SI}=4\pi\text{cgs}$ )。

#### (2) IP・比抵抗値測定

使用した機器をTable II-5-1に示す。分極率、比抵抗測定用のサンプルは、約5cm立法に整形し、約一日間水道水に浸した後、測定を行った。コアサンプル以外は3方向について測定を行った。使用機器のチャンネルに対応するサンプリング時間と幅を以下に示す。

チャンネルNo.	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(")	60	90	130	190	270	380	520	705	935	1230	1590

Table II-5-1 Specifications of Equipment for

機器	メーカー	形式	仕様・性能	数量
IP送信機	IRIS インストルメント	IP-L型 時間領域：サンプルIP専用	出力：1 $\mu$ A~100 $\mu$ A max10V	1台
IP受信機	SCINTREX	IPR-12型 時間領域：サンプル&フィールド	仕様：8チャンネル、14ユニット Input Range：50 $\mu$ V~14V	1台
電極		白金線		1式
磁化率計	Bison	Model-3101A	精度：1 $\times$ 1E-6 cgs 測定範囲：0~100,000 $\times$ 1E-6cgs	1台

### 5-3 測定結果と解析

#### 5-3-1 帯磁率

全試料の岩相別平均帯磁率の測定結果を比抵抗・IP値とともに Table II-5-2 に示す。各層準、岩相毎の帯磁率分布を Fig. II-5-1 に示す。図中の平均値は幾何平均を用いた。これらの結果と磁気異常図とから次のことが言える。

①調査地域の岩石の帯磁率を大きい順に並べると次のようになる。

Karoo dolerite > Grootfontein Metamorphic Complex > Mulden sediments > Damara系 (Mulden以外)

②表層のCalcreteの帯磁率は相対的に非常に低く、古河川跡に集積した磁性鉱物による僅かな異常も十分注意しなければならないが、表層のCalcreteはその層厚の程度によらず磁氣的に透明であると考えられる。

③Karoo doleriteはFig. II-3-4 のリニアメント図ではNE-SW系の線状構造に相当する。また、地域中北部のリニアメント群等もDoleriteの貫入岩であると考えられる。

④Karoo doleriteの次に高い帯磁率を有するものは基盤岩であり、地域南部の高磁気異常の原因と考えられる。

⑤Damara系の堆積岩類は全2者と比較して非常に低いため、磁氣的に透明である。しかし、Tsuneb垂層群のdolomiteの値が非常に低いため、それよりやや高いMulden層群の頁岩、砂岩と僅かなコントラストを示していると考えられ、鉱床胚胎の場である古カルストの期待される地域を指摘できる可能性がある。

⑥鉱石のなかで輝銅鉱および鉄酸化物の帯磁率は比較的大きく、Mulden層群のFeldspathic Sandstoneより多少大きい程度である。この様な鉱石が帯磁率の極めて低い堆積岩中にある程度集積した場合、弱く小規模ではあるが認識可能な磁気異常を形成するものと予想される。

次にMJNM-1~MJNN-4までのボーリングコアの孔別柱状帯磁率分布から得られた各孔の磁氣的な特徴と磁気解析図に見られる小規模磁気異常について考察を行った。結果を以下に示す。

MJNM-1：表層カルクリート下部および不整合面直下のドロマイト層上部の帯磁率は比較的高く、この部分の岩石は帯磁率が高いほど赤色を呈する。岩石は角礫化している部分や脈に切られる部分も見られマトリクスは赤色物質であり、鉄酸化物が比較的多いものと考えられる。下位のドロマイト、鉱化部分は共に $0.01\sim 0.02 \times 10^{-3} \text{SI}$ で低帯磁率である。この付近の小規模な磁気異常は深度70~90m付近の鉄酸化物によるものと考えられる。

MJNM-2：帯磁率のやや高い部分は、表層のカルクリート、深度150m、180m付近の頁岩などであり、下部のドロマイトにもやや高いものが見られる。しかし、顕著に高いものは無く、この付近の小規模磁気異常および磁気リニアメントの原因は比較的高磁化をもつ頁岩などによるものと考えられる。

MJNM-3：カルクリート層は薄いやや高い帯磁率を有する。下位の岩相は殆ど低帯磁率のドロマイトであるが、僅かに鉄酸化物の充填した割れ目付近の帯磁率が高い。しかし、顕著な高帯磁率が連続する箇所は検出できず、磁気異常の原因は特定できない。

MJNM-4 : 表層のカルクリートは比較的到高帯磁率を有するが、その中に1mm角大の磁鉄鉱粒が見られ、この部分の帯磁率はかなり高い。このような表層のカルクリートに含まれる磁性鉱物が磁気異常の原因であると考えられる。

MJNM-5~MJNM-12までは代表的岩相の帯磁率を比較検討した。

MJNM-5 : このボーリング孔の中では、Kalahariサンドの帯磁率が相対的に高い。これと比較して、Tsumeb亜層群の帯磁率は低い。

MJNM-6 : 大きな帯磁率変化は見られず、全孔に渡って低い値を示す。その中でも、比較的カルクリートの帯磁率が大きい。

MJNM-7 : カルクリートの帯磁率が比較的高い。また、特徴的なことは、深度227.40mの粗粒玄武岩で、これは比抵抗値からして、未変質と判断される。帯磁率は全サンプル中最も高く、層厚が比較的薄くても、連続性があれば明瞭な磁気異常のソースとなる可能性が高い。

MJNM-8 : MJNM-7と同様なことが言える。深度229.5mの粗粒玄武岩の帯磁率はMJNM-7のものより低いが、周囲との帯磁率の差は歴然としている。このサンプルはMJNM-7のものより比抵抗が低く、より風化を受けているものと考えられる。帯磁率が低い理由の一つに、磁性鉱物の酸化等による風化の程度差が考えられる。

MJNM-9 : これまでと同様にカルクリートの帯磁率が比較的高い。また、深度120mにおけるTsumeb亜層群のドロマイトの帯磁率も他のドロマイトと比較して高い。

MJNM-10 : MJNM-8と同様なことが言える。加えて、Tsumeb亜層群の赤色ドロマイト質頁岩の帯磁率も表層のカルクリートと同程度に高い。鉄酸化物が原因と推定される。

MJNM-11 : Mulden層群の砂岩の帯磁率が高い。ここでは、この砂岩は幾つかの層準に分かれているが、この中で上位のピンク色砂岩、中間の白色砂岩の帯磁率が高く、その間の灰色砂岩の帯磁率はそれに比べて低い。なお、深度84m付近の黄鉄鉱鉱染を受けた砂岩の帯磁率は低い。

MJNM-12 : 深度86.2mの黄鉄鉱鉱染を受けた砂岩の帯磁率がこの調査孔サンプル中では最も高い。しかし、カルクリートと同程度である。

### 5-3-2 比抵抗・IP値(分極率)

全試料の岩相別平均比抵抗・IP値の測定結果をTable II-5-2に示す。各層準、岩相毎の比抵抗分布とIP値をそれぞれFig. II-5-2, Fig. II-5-3に示す。比抵抗・IP値は原則的に3方向の幾何平均値である。この表ではM4からM14までのチャンネルの分極率を記した。異方性の顕著なデータに対しては3方向の測定結果全てを掲載した。この内、最も標準的に使われる12チャンネル(Mid-point 935 msec)のデータを解析の対象とした。

測定結果から比抵抗と分極率との相関図を作成した(Fig. II-5-4)。この図では解析の結果を解釈する上で、比抵抗、分極率のそれぞれの範囲を次の様に設定した。探査に視点を置いた各範囲の特徴も下記に併記する。

Table II --5--2 Mean Value of Magnetic Susceptibility, Resistivity and IP Value

Average of Geophysical Properties					
Formation	Rock name with Lithological description	sum	Magsus. *1E-3SI	Resistivity $\Omega \cdot m$	IP(MI2) mV/V
Kalahari group	Calcrete (Massive)	13	0.05	1,212	0.79
	Calcrete (Pebble,brecci,clay rich)	6	0.07	304	2.24
	Sandstone	3	0.18	114	2.86
Karoo sequence	Dolerite(fresh)	4	33.29	9,544	9.37
	Dolerite(altered)	2	28.97	61	3.61
Mulden group	Sandstone	13	0.22	6,976	3.77
	Pseudo aplite	2	0.04	5,209	2.48
	Pyrite mineralized sandstone	2	0.06	185	18.38
	Shale,Phyllite	6	0.31	6,400	10.64
	Chert	1	0.05	-----	-----
Tsumeb subgroup	Sandstone	3	0.02	1,571	0.74
	Shale & Phyllite	16	0.05	2,977	1.46
	Chert	4	0.03	15,043	1.89
	Dolomite(massive)	41	0.03	6,077	0.77
	Dolomite(clay,sericite,talc,brec.)	11	0.03	1,637	1.65
	Sphalerite & Galena dissemi.	3	0.02	3,784	2.26
	Talc	4	0.04	1,095	2.34
Abenab subgroup	Sandstone	7	0.10	12,293	5.46
	Shale & Phyllite	6	0.11	4,042	1.54
Nosib group	Dolomite	4	0.04	5,171	2.55
	Limestone	7	0.02	11,710	0.62
	Schist	2	0.38	-----	-----
Grootfontein Comp	Schist	5	1.22	2,625	2.46
	Granirte,Gneiss	7	3.09	2,526	4.92
	Mafic rocks	4	2.07	-----	-----
Kombat mine	Chalcopyrite ore	4	0.98	405	67.97
	Chalcopyrite-Bornite-Galena	6	0.13	68	418.29
Tsumeb mine	Galena-Sphalerite	8	0.06	456	207.24
Other mine	Malachite ore	2	0.26	90	250.00
	Vanadium ore	3	0.06	9,766	1.25
	Fe-Mn ore	1	2.51	-----	-----

Sample total = 200



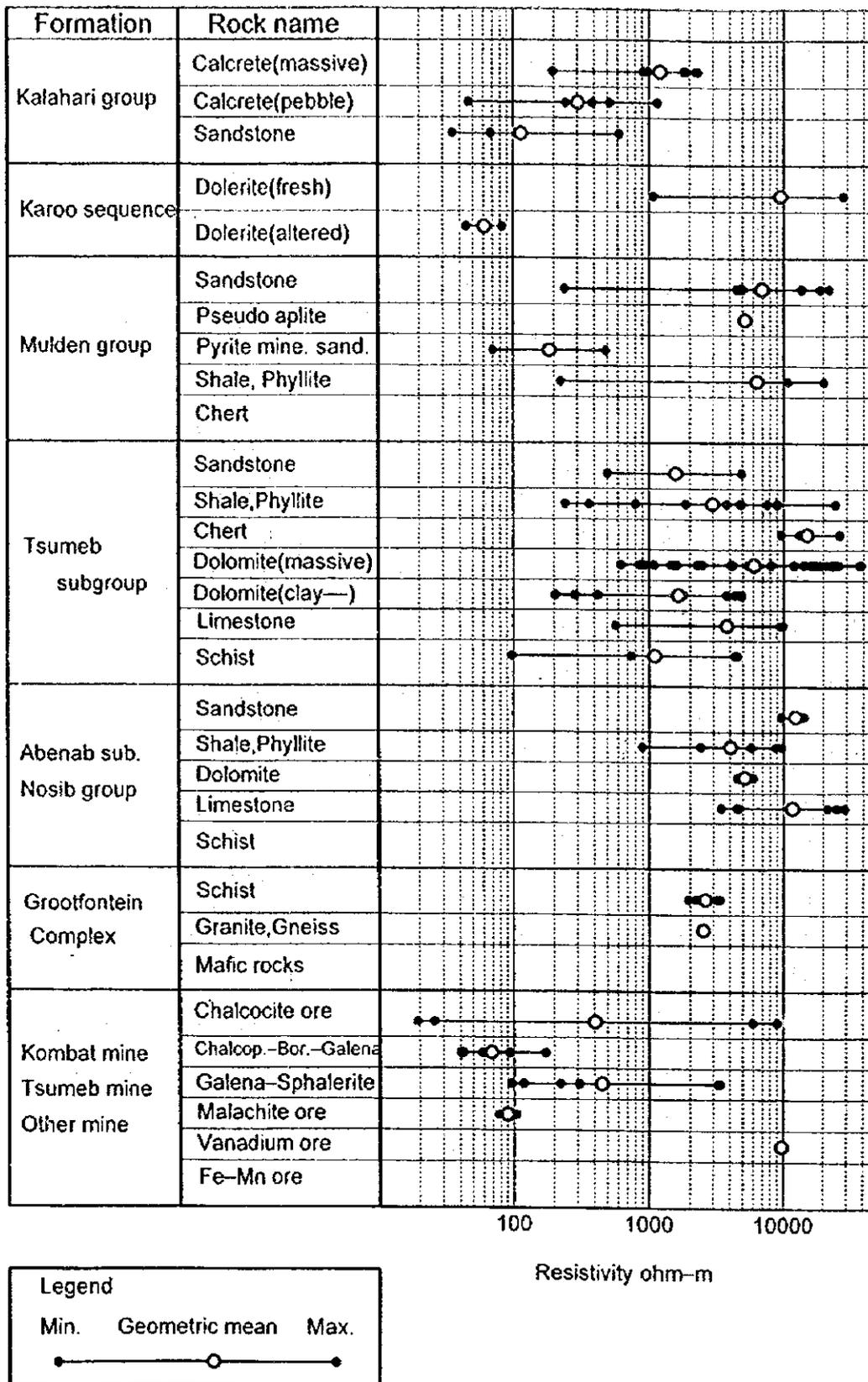


Fig. II - 5 - 2 Distribution of resistivity by lithofacies

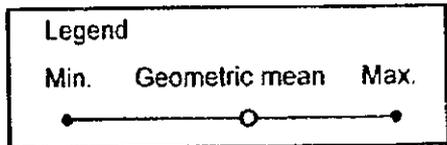
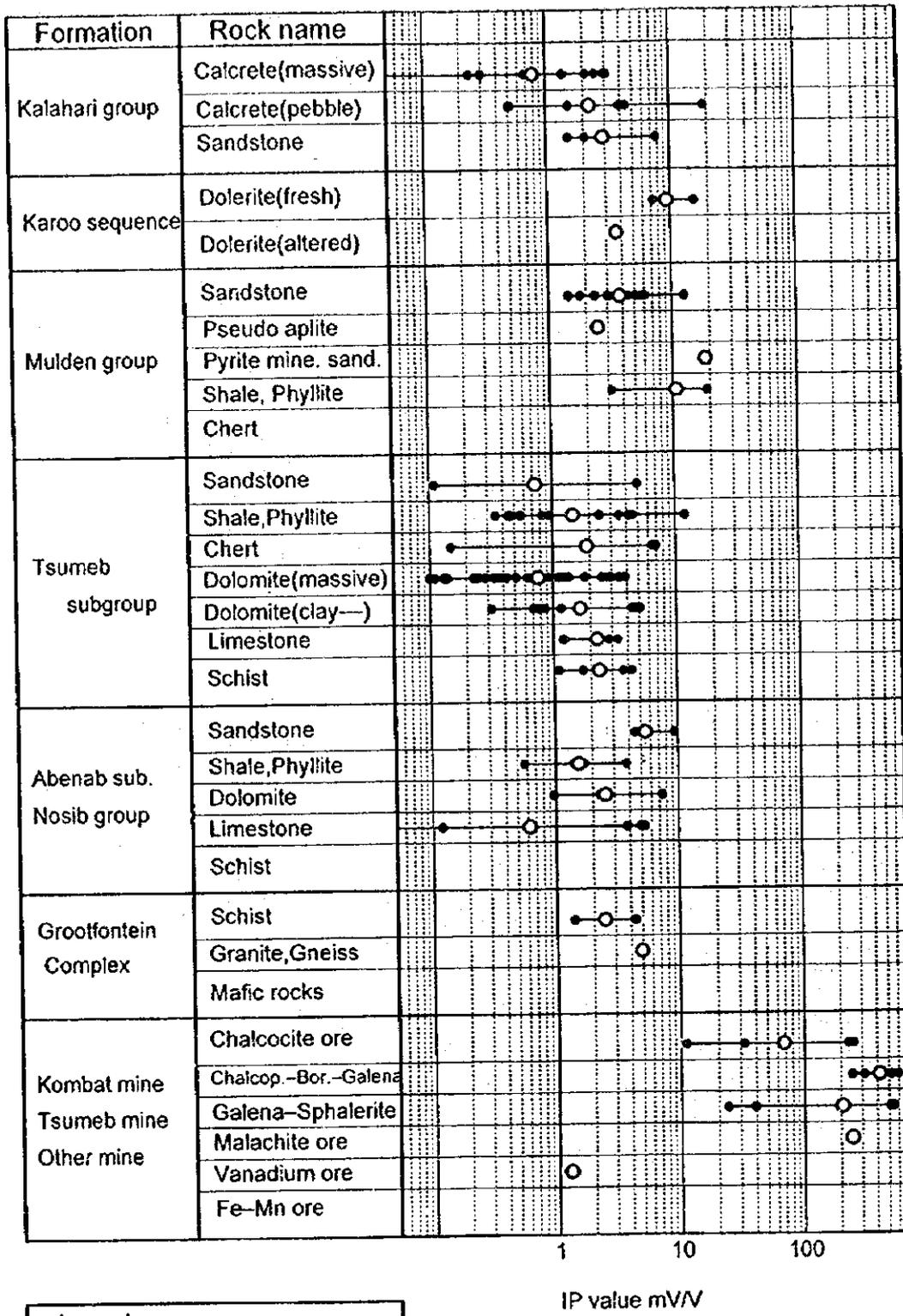
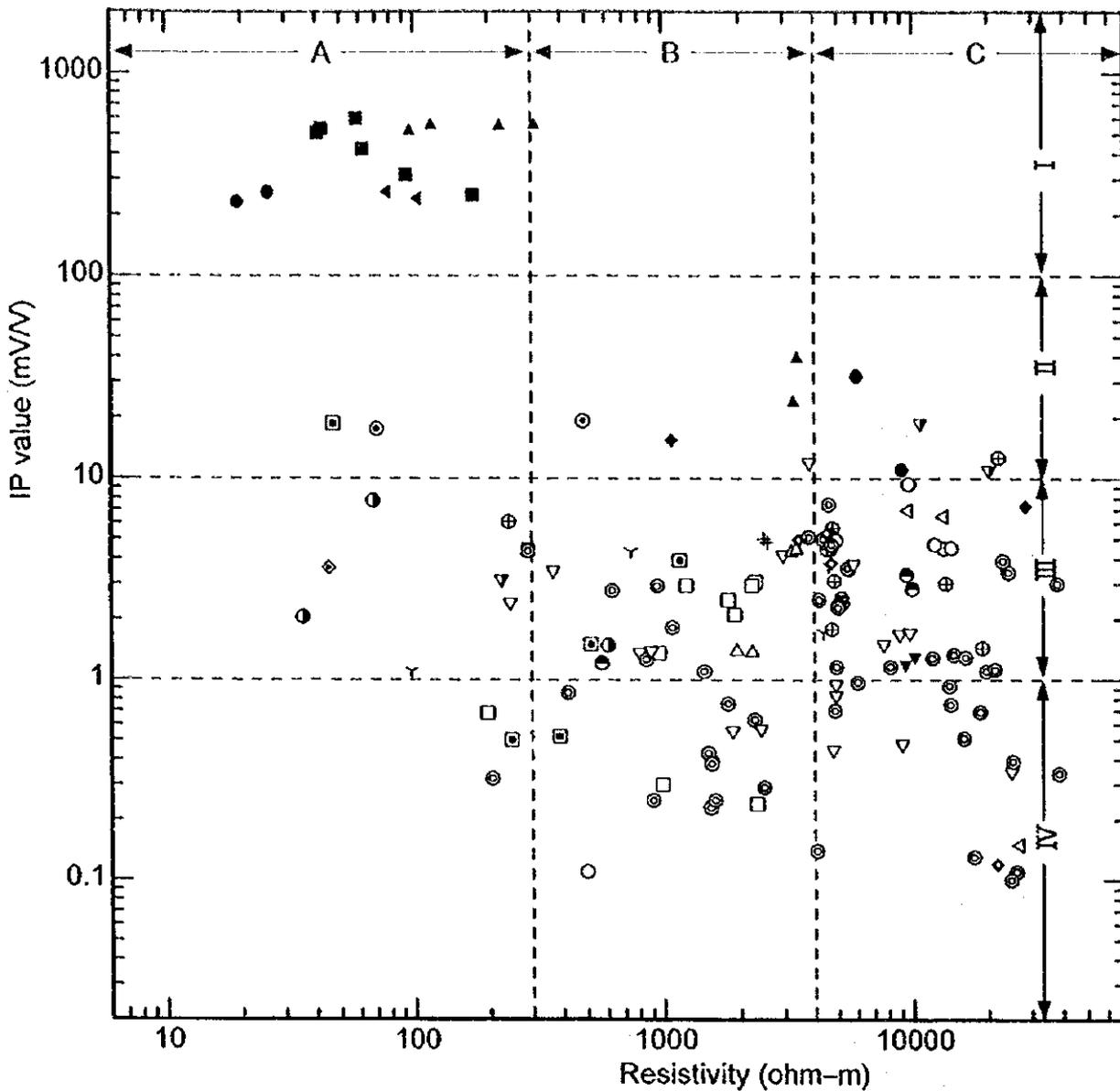


Fig. II - 5-3 Distribution of IP value by lithofacies



Legend

Formation	Mark	Rock name	Formation	Mark	Rock name
Kalahari group	□	Calcrete(Massive)	Tsumeb, Abenab subgroup	○	Sandstone
	▣	Calcrete(Pebble,clay rich)		▽	Shale,Phyllite
Karoo sequence	●	Sandstone	Nosib group	◁	Chert
	◆	Dolerite(fresh)		⊙	Dolomite
Mulden group	◇	Dolerite(altered)	Tsumeb,Kombat mine ore	⊕	Sphale. & Galena dissemi.
	⊕	Sandstone		Υ	Talc
	⊗	Pseudo aplite	◇	Limestone	
	⊙	Pyrite mineralized sand.	●	Chalcosite ore	
Grootfontein complex	▽	Shale,Phyllite	■	Calcopryite-Bornite-Galena	
	△	Schist	▲	Galena-Sphalerite ore	
	+	Granite,Gneiss	◁	Malachite ore	
			▼	Vanadium ore	

Fig. II - 5 - 4 Relationship between resistivity and IP value

各測定値と比抵抗・I P 相関図から、以下のことがわかる。

①異方性の強いサンプルは、Damara系の頁岩と鉱石（黄銅鉱）である。まず、頁岩については層理方向の比抵抗は、層理に垂直な面の比抵抗と比べかなり低く、1/4~1/10程である。鉱石サンプルでは、165番の黄銅鉱が著しい。このサンプルは塊状の黄銅鉱と砂岩とが半々のものであるが、鉱化方向に流電する場合は低比抵抗、高分極率となるが、鉱石と砂岩とを通過する方向では比抵抗が数十倍も高くなる。

②一般に、硫化物の鉱化を受けた試料は鉱化状況が良好なほど、低比抵抗、高分極率を示す方向にある。

③高I Pが予想された炭質物に富むドロマイトは、相関図ではⅢ帯に入り、探査において障壁とはならないものと考えられる。

さらに、第三年次のポーリング調査地点の大きな決定要素の一つが低比抵抗異常であったため、これをサンプルの物性値から検討した。以下に孔別の比抵抗の特徴を述べる。

MJNM-5：今回新たに加わったKalahariサンドの比抵抗が $68\Omega\cdot m$ と低い。サンプル数が少なく、低比抵抗異常の原因としてこれのみをあげることは危険であるが、低比抵抗異常の一つの原因である可能性は高い。

MJNM-6：深度89m付近の粘土質カルクリートの比抵抗が $50\Omega\cdot m$ 以下であり、非常に低い。その下位のTsumeb亜層群のサンプルはいずれも $3000\Omega\cdot m$ 以上の高い値を持っている。低比抵抗の原因の一つに表層の粘土化したカルクリートがあげられる。

MJNM-7：深度157.2、215.6mに見られる滑石化帯の比抵抗が低く、 $100\sim 300\Omega\cdot m$ 程度である。低比抵抗の原因に滑石化帯があげられる。

MJNM-8：表層のカルクリート、深度230付近の粗粒玄武岩、滑石帯の比抵抗が低く、低比抵抗の原因として、低比抵抗表土層の存在と、粗粒玄武岩の風化や粘土化があげられる。

MJNM-9：深度120mまでの表層、Tsumeb亜層群の比抵抗が低い。特に、表層のKalahariサンドは $35\Omega\cdot m$ と今回のサンプルのうち、最も低い比抵抗値を示す。

MJNM-10：この孔でのKalahariサンドは $610\Omega\cdot m$ と比較的高いが、他の岩石と比較すれば低い値である。深度261.8mの粗粒玄武岩の比抵抗は風化のためか、 $45\Omega\cdot m$ と非常に低い。

MJNM-11：深度84.3mの黄鉄鉱染砂岩の比抵抗が $71\Omega\cdot m$ とかなり低い。その下位のMulden層群、Tsumeb亜層群の岩石は全て $4000\Omega\cdot m$ 以上と高い。ここでの楕円形状の低比抵抗異常の有力な原因として、表層に近い箇所の黄鉄鉱染砂岩があげられる。

MJNM-12：深度120m程度以浅の鉱化砂岩、Mulden層群の砂岩、頁岩の比抵抗が低く、比抵抗原因の候補として、特定岩相と黄鉄鉱染があげられる。

### 5-3-3 物性測定 of 総合検討

#### (1) 帯磁率

##### ① 岩相別帯磁率

粗粒玄武岩>Grootfontein 複合変成岩類>輝銅鉱>Mulden 層群 (砂岩、頁岩)>Kalahari 砂岩>Damara 下位の砂岩・頁岩、黄銅鉱-斑銅鉱-方鉛鉱>表層カルクリート、Damara 上位 (Tsumeb 亜層群) の各岩相、その他の岩相、鉱石。

##### ② 表層の磁気的特徴

磁気異常の原因が浅いほど異常パターンに大きく影響するので、表層の磁気的特徴が大きな問題となる。第1年次のサンプル磁化率からは、表層のカルクリートの磁化率は低かったため、これを磁気的に透明であると考えた。全サンプルの平均値の値はこの結論を指示している。しかし、試錐サンプルからはやや高いものが見られ、また Kalahari 砂岩の帯磁率も下位の Mulden 砂岩に近いので、弱い磁気異常のソースとなりうる。このため、弱い磁気異常を追跡する場合、これらが探査の障害となる可能性がある。

##### ③ 磁気リニアメントの原因 (Fig. II-3-4)

粗粒玄武岩の帯磁率は全岩相中最も高く、周辺の岩石とのコントラストが非常に大きいため、比較的薄い岩脈であっても、明瞭な磁気リニアメントを形成するものと考えられる。磁気異常図に見られる NE 係、NW 係の磁気リニアメントはこの様な粗粒玄武岩である可能性が高い。

##### ④ 浅所基盤岩地域 (第1年次全磁気異常コンター図参照)

複合変成岩類からなる基盤岩の帯磁率は粗粒玄武岩の次に高く、これが浅部にある場合強い磁気異常を形成するものと考えられる。第1年次の調査地域南部、第2、3年次の調査地域南東部にはこの様な浅部基盤岩によると考えられる短波長の強い磁気異常が認められる。

##### ⑤ Mulden 砂岩の岩相境界 (第1年次全磁気異常コンター図、Fig. II-3-4)

Damara 系の堆積岩類の帯磁率は岩相的に有意の差はあるにしても、上記の粗粒玄武岩や基盤岩類のそれと比較して非常に小さい。従って、磁気異常コンター図では後者の情報がほとんどである。このため、僅かな変化を誇張した磁気陰影図を作成したが、この図からは明瞭に既知の地質構造に整合的な湾曲した磁気リニアメントが得られ、Tsumeb、Mulden 層の境界と考えられる。

##### ⑥ 輝銅鉱の磁化率

第1年次の結論として、輝銅鉱と Fe-Mn 鉱石の帯磁率が Mulden 砂岩のそれと同程度かやや大きいので、より帯磁率の低い Tsumeb 亜層群中の鉱床を直接捕捉できる可能性があるとした。この前提に基づき、第2年次の調査ではこの様な小さな磁気異常部をターゲットとした。その結果、輝銅鉱を含む鉱化帯への着鉱は認められず、磁気異常のソースとして、表層岩相の帯磁率の不均一が考えら

れた。このことは表層岩相サンプルの帯磁率にばらつきが大きいことや kalahari 砂岩の帯磁率が比較的大きいことから、十分考えられることである。しかし、一部の鉱石の帯磁率がターゲット絞り込みに使える可能性は残されている。

## (2) 比抵抗・IP分布

探査を前提とした比抵抗・IP分布の特徴をまとめた。これを以下に示す。

範 囲	特 徴 と 測 定 結 果
比抵抗 A----- $300\Omega\cdot m$ 以下	塊状硫化鉱物、風化粘土鉱物に相当する。第1・2年次のサンプルでは鉱石以外にこの範囲に入るものは僅かであったが、第3年次の kalahari サンド、カルクリート、頁岩、滑石等の一部、黄鉄鉱鉱染砂岩の一部がこの範囲に含まれる。探査の大きな障害となりうる。
B----- $300\sim 4000\Omega\cdot m$	母岩中に鉱石が点在する場合や、粘土質の多い頁岩、多孔質岩石等に相当する範囲と考えられる。実際の比抵抗探査での対象領域になるが、ボーリング調査の結果様々な岩相で比較的比抵抗を示すものが見られる。解析においては、このような岩相分布を十分考慮する必要がある。
C----- $4000\Omega\cdot m$ 以上	新鮮な岩石に相当する範囲で、Tsumeb 亜層群のドロマイト、チャート、砂岩、Mulden 層群の砂岩の多くがこの範囲に入る。また、第2・3年次で捉えたドロマイトに方鉛鉱を含む鉱化部分のサンプルも高比抵抗であり、この範囲に入る。

<p>IP 値</p> <p>I -----100mV/V 以上</p>	<p>塊状硫化鉱物に相当する。量的にまとめれば十分探査可能となる。Tsumeb・Kombat の鉱石サンプルがこの中に入る。これらの鉱石以外にこの範囲に入るものはない。</p>
<p>II -----100~10mV/V</p>	<p>母岩中に鉱石が点在する場合に相当するものと考えられる。実際のIP探査での最も一般的な対象領域である。黄鉄鉱染砂岩、粗粒玄武岩、カルクリート、Mulden 層群の頁岩の一部、MVTタイプの鉱化部分（第2年次）がこの領域に入る。鉱石以外の岩相は探査の大きなノイズとなる。</p>
<p>III -----10~1mV/V</p>	<p>弱鉱染帯や粘土鉱物の多い岩石に相当する。全サンプルを通して、この範囲に入るものがもっとも多い。本調査地域は比較的IPバックグラウンドが高いと考えられる。</p>
<p>IV -----1mV 以下</p>	<p>低IP帯である。地表の塊状カルクリート（試錐サンプルのカルクリートは粘土質を多く含むためか、高いIP値を示す）、Tsumeb 亜層群のドロマイト、ドロマイト質頁岩、チャートなどの一部がこの範囲に入る。IP探査上、理想的バックグラウンドレベルである。</p>

### (3) 低比抵抗の起源について

今回測定したサンプルからは深度100m程度のカルクリート、Kalahariサンドの比抵抗値が100Ω・m以下のものが多く見られ、比抵抗異常図に見られる広範な低比抵抗帯を形成する原因の一つとして考えられる。また、粗粒玄武岩とそれに伴う滑石化帯の比抵抗も50Ω・m以下を示す場合があり、連続した低比抵抗リアメントを形成する原因と推定される。また、NJMN-11で認められた黄鉄鉱染砂岩の比抵抗は71Ω・mと低く、母岩であるMulden砂岩との比抵抗コントラストは非常に大きいため、この地点を中心とした楕円状の低比抵抗異常帯の有力な原因としてあげられる。なお、頁岩では黒色相（ドロマイト質頁岩）の比抵抗は数1000Ω・mであって前後の砂岩、ドロマイトと同程度に高いが、緑色相、褐色相のものは数百Ω・mと低い。比抵抗異常図で地層に整合的であると考えられる連続した低比抵抗帯はこの様な頁岩による可能性が考えられる。

#### (4) 今後の探査について

第一年次調査で測定した硫化鉱物の中には比抵抗値が数 $10\Omega\cdot m$ のものがあり、この様な鉱石が数 $1000\sim$ 数 $10,000\Omega\cdot m$ の砂岩やドロマイト中に胚胎すれば、比抵抗法は有効な探査法になると考えられてきた。しかし、今回の調査結果から、調査地域表層には低比抵抗をもたらす岩相や導電率の高い地下水が存在する場合があることが分かり、この様な表土層の存在が表土下の低比抵抗鉱化帯を特定するための殆どの比抵抗法を困難にさせることが予想される。その他にも一部の頁岩や、粗粒玄武岩とそれに伴う変質帯が比抵抗異常の原因となりうる。この様な状況の中で、探査方針に比抵抗法が有効であるとは必ずしも言明できない。しかし、低比抵抗岩相を十分把握した上での比抵抗探査は磁気探査と同様に、表土に覆われた地域の地下の構造を推定し、総合的な解釈から潜頭鉱床を探るためには重要な手法であると考えられる。なお、調査地域は露岩地帯に乏しいため、ターゲットを絞り込むためにはなお、広範な地域を調査する必要がある。このため、最も適した比抵抗法はTDEM法であると考えられる。

IPについては、鉱石のIP値は非常に高いため、母岩のIP値が低ければ有効な手法である。しかし、鉱石以外にも粗粒玄武岩とそれに伴う粘土変質帯、Damara系の頁岩の一部、表土層などで比較的IP値が高いものが見られるため、これらが鉱床探査のノイズとなりうる。このため、IP法を行う場合は事前にTDEM法、磁気探査、構造ボーリング孔等で予想される岩相を推定あるいは特定し地域を限定する必要がある。