

**モロッコ王国マラケシュ・テクナ地域
資源開発協力基礎調査報告書
第3年次**

平成17年3月
(2005年)

はしがき

日本国政府は、モロッコ王国政府の要請に応え、同国の中西部に位置するマラケシュ・テクナ地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査・物理探査等の鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力機構に委託した。国際協力機構は、本調査の内容が地質及び地質資源の調査という専門分野に属することから、この調査の実施を石油天然ガス・金属鉱物資源機構に委託することとした。

本調査は、平成16年度を第3年次とし、石油天然ガス・金属鉱物資源機構は、平成16年8月30日から平成16年10月26日まで調査団を現地に派遣した。

現地調査は、モロッコ鉱山探査公社 (BRPM; Bureau de Recherches et de Participations Minières) の協力を得て予定通りに完了した。

本報告書は、本年次の調査結果をとりまとめたもので最終報告書の一部となるものである。終わりに、本調査の実施にあたりご協力頂いたモロッコ王国政府関係機関並びに外務省、経済産業省、在モロッコ王国大使館及び関係各位に衷心より感謝の意を表するものである。

平成17年2月

独立行政法人 国際協力機構

担当理事 伊沢 正

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

理事長 大澤 秀二郎



BY:TIMES BOOKS

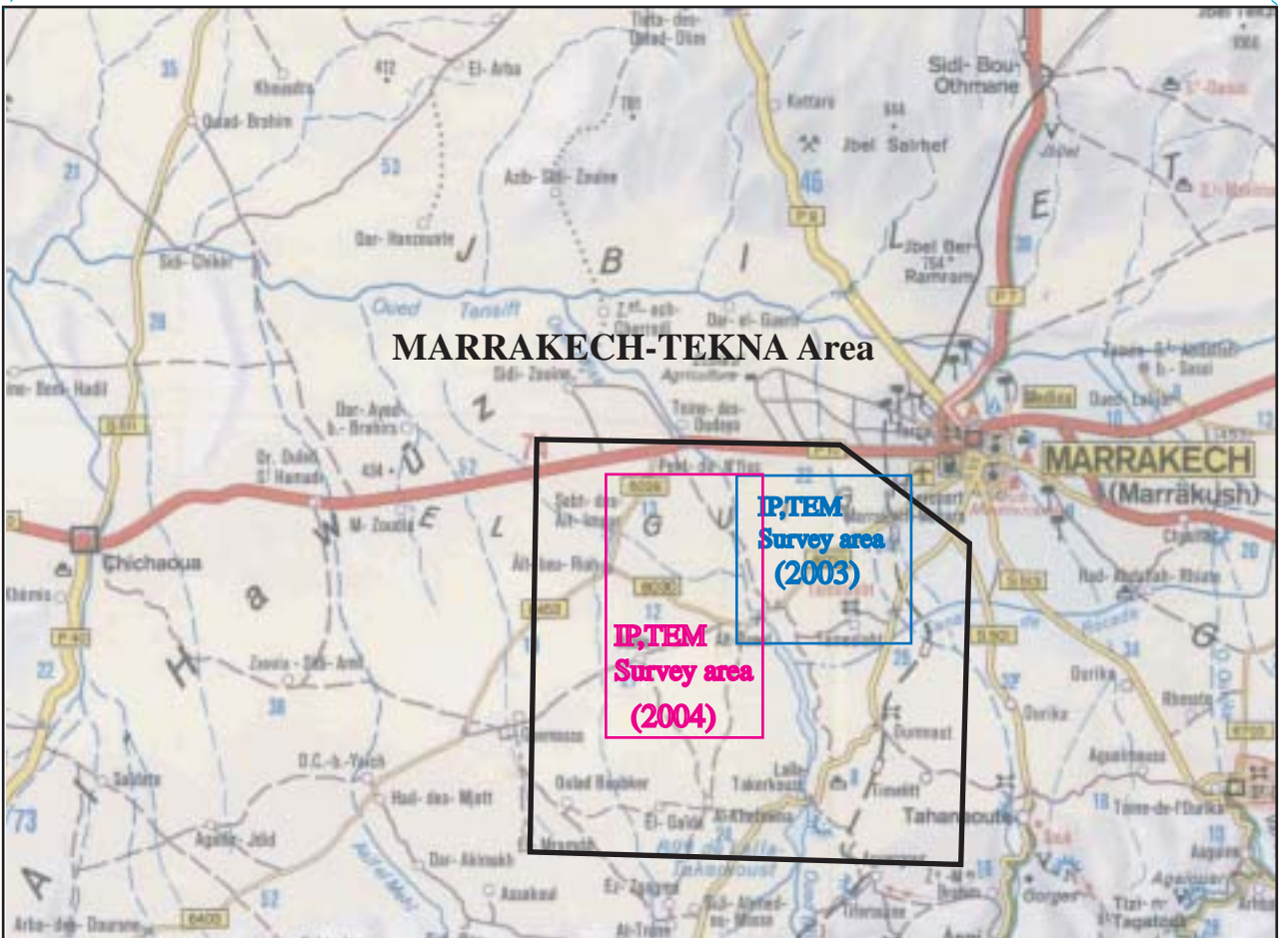


Fig.1 Index map of the project area in morocco

要 約

本調査は、モロッコ王国マラケシュ・テクナ地域を対象とし、地質状況及び鉱床賦存状況の調査・解析を通じ、銅・鉛・亜鉛を主体とする火山性塊状硫化物鉱床の賦存有望地区を抽出すること、また、相手国機関に対して技術移転を図ることを目的として実施された。

本年度は、第3年次の調査として、第1年次の調査で磁気または導電率の異常を示す箇所が抽出された地区について実施した。

電気探査IP法は、初年度の空中磁気・電磁探査で異常が検出されたマラケシュ市西方の6地区で実施された。Azzouz地区で地形がやや険しいことにより、調査には予想以上の時間を要したが、良好なデータを得ることができた。その結果、Azzouz地区北部で、鉱化作用を示徴する充電率と比抵抗の異常が分布することが明らかになった。この異常域は、先に実施された磁気探査の異常箇所とも重複する。

北部の3地区(Hbibí,Harch, Maouch)ではIP法電気探査による異常は検出されなかった。地表の状況から判断して、2地区(Hbibí,Harch)の空中磁気の異常は人工物によるものと考えられる。Maouch地区の磁気異常の原因は明確でないが、深部の地質に因ると推定される。

南部の2地区(Khefawna,Talzelt)では、比抵抗が低い新期堆積物が厚く覆っており、顕著なIP異常を捉えることはできなかったが、Khefawna地区の磁気異常は、北西方のKhwadra鉱徴地の磁気異常と形状が類似しており、堆積物の下に塊状硫化物鉱床が存在する可能性は残される。

TEM法電磁探査は、IP法電気探査の結果を受けて、Azzouz地区で重点的に行うとともにKhefauna地区でも実施した。Azzouz地区では、IP法電気探査と調和的な低比抵抗帯(高電導度域)の存在が窺われ、また、複数の断層の存在が推定された。Khefauna地区では、低比抵抗の新期堆積物と高比抵抗の古生界の単純な2層構造となっている。

今後の調査としては、次の箇所でボーリング調査を実施して、物理探査異常が磁硫鉄鉱を多く含む硫化物濃集を反映するものかどうか確認する必要がある。

- 1) Azzouz 地区 掘進長 500 ~ 600m..... 2 ~ 3 箇所程度
- 2) Khefauna 地区 掘進長 400m ~ 550m..... 1 箇所

目 次

はしがき

調査地域位置図

要 約

目 次

第 I 部 総論

第 1 章 序論	1
1-1 調査の経緯及び目的	1
1-2 調査の範囲及び作業の概要	3
1-3 調査団の編成	7
1-4 調査期間	7
第 2 章 調査地域の地理	8
2-1 位置及び交通	8
2-2 地形及び水系	8
2-3 気候及び植生	8
2-4 基盤整備状況	8
第 3 章 調査地域の既存地質情報	9
3-1 調査周辺地域の一般地質	9
3-2 調査地域の鉱床概要	18
3-3 調査地域周辺の鉱業事情	20
第 4 章 調査結果の総合検討	22
4-1 地質構造、鉱化作用の特性	22
4-2 物理探査異常と鉱化作用について	25
4-3 鉱床賦存のポテンシャルについて	25
第 5 章 結論及び提言	26
5-1 結論	26
5-2 次期調査への提言	26

第 II 部 各論

第 1 章 調査概要	29
1-1 基本的な考え方	29
1-2 調査の流れ	29
第 2 章 物理探査	31

2-1	電気探査 IP 法	31
2-1-1	調査の目的	31
2-1-2	調査位置及び調査量	31
2-1-3	調査方法	41
2-1-4	解析方法	43
2-1-5	調査結果	44
2-1-5-1	測定結果	44
2-1-5-2	解析結果	45
2-1-6	考察	49
2-2	電磁探査 TEM 法	195
2-2-1	調査の目的	195
2-2-2	調査位置及び調査量	195
2-2-3	調査方法	195
2-2-4	解析方法	196
2-2-5	調査結果	197
2-2-5-1	測定結果	197
2-2-5-2	解析結果	199
2-2-6	考察	200
第 3 章 ポーリング調査		231
3-1	調査目的	231
3-2	調査対象地域	231
3-3	調査方法	233
3-4	調査結果	248
3-5	考察	273
第 4 章 総合解析		275
4-1	調査結果	275
4-2	まとめ	277
第 III 部 結論及び提言		
第 1 章 結論		281
1-1	物理探査	281
1-2	ポーリング調査	282
第 2 章 将来への提言		286

参考文献	287
函表一覽	289
卷末	

第I部 総論

第1章 序論

1-1 調査の経緯および目的

(1) 1年次調査

1年次調査は、平成14年7月17日に署名されたS/W（実施細則：Scope of Work）およびM/M（協議録：Minutes of Meeting）に基づき、地質状況および鉱床賦存状況の調査・解析を通じ、銅・鉛・亜鉛を主体とする火山性塊状硫化物鉱床の賦存有望地区を抽出すること、また、相手国機関に対して技術移転を図ることを目的として実施された。

その結果、地質調査・ボーリングコア調査では、以下の点が明らかになった。

- 1) 既知鉱床のKhwadra 鉱床、Draa Sfar 鉱床、Kettara 鉱床、Hajar 鉱床およびFrizen 鉱床は、Jebilet 地区およびGuemassa 地区に分布するVisean階Sarhlef 層の泥質岩と砂岩の互層、泥質岩と珪岩の互層および酸性火山岩類に胚胎する銅、鉛、亜鉛、鉄の塊状硫化物鉱床である。
- 2) これらの鉱床は、層状、塊状、レンズ状および縞状の形態を示し、主として磁硫鉄鉱、黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱および黄銅鉱の鉱物組み合わせからなる。
- 3) 鉱床近傍には酸性・塩基性の火山岩類が分布し鉱化作用と関連する。
- 4) これらの鉱床の鉱化作用には、六方型磁硫鉄鉱で代表され磁性は比較的弱い「早期I 鉱化作用」、単斜型磁硫鉄鉱で代表され磁性は強い「早期II 鉱化作用」、黄鉄鉱で代表され磁性は弱い「後期鉱化作用」がある。
- 5) 塊状硫化物鉱床は、早期と後期の鉱化作用の重複により、中磁気異常を示すと考えられる「早期I 卓越型」（Draa Sfar 鉱床）、中～低磁気異常を示す「早期I + 後期重複型」（Frizen 鉱床、Kettara 鉱床）、高～低磁気異常を示す「早期II + 後期重複型」（Khwadra 鉱床、Hajar 鉱床）とに分類できる。
- 6) 中～弱程度の異常部分にも磁性の弱い塊状鉛亜鉛硫化物鉱床が存在する可能性がある。

上の結果を受けて実施された空中物理探査では、従来の磁硫鉄鉱の高磁性を空中磁気異常で捉える方法に加え、中～低磁気異常を示す鉱床の存在の可能性を考慮し、以下の空中物理探査異常を示す地区が有望地区として抽出された。

- 1) 低比抵抗部 + 高～中磁気異常部：高磁性塊状硫化物鉱床存在の可能性
- 2) 高磁気異常部：高磁性塊状硫化物鉱床存在の可能性
- 3) 低比抵抗部：中～低磁性塊状硫化物鉱床存在の可能性

(2) 2年次調査

第2年次の調査は、第1年次の空中探査で磁気または導電率の異常を示す箇所が抽出された地区について実施した。

電気探査IP法では、マラケシュ市近郊の8地区で実施した。地表が広く低比抵抗の新期堆積物に覆われていることと、井戸ポンプなどからの電気ノイズが頻繁に感知されることによって、測定には時間を要したが、電流を通常より高出力で流すことにより問題を解決し、有効なデータを得ることができた。その結果、MJTK-IP-1地区でIP異常帯が分布することが判明した。MJTK-IP-6地区とMJTK-IP-7地区では新期堆積物が厚く、深部については不確定と考えられる。その他の地区については、鉍化帯の存在を示徴するデータは得られなかった。

電磁探査TEM法は、電気探査IP法の結果を受けて、MJTK-IP-1地区で重点的に実施した。MJTK-IP-1地区で約150m、MJTK-IP-6地区で200m以上、MJTK-IP-7地区で250m以上の厚さで、新期堆積物が覆っていることが判明した。MJTK-IP-6地区とMJTK-IP-7地区では、厚い新期堆積物の成層構造に対応した縞状構造がみられる。MJTK-IP-1地区では、新期堆積物は緩やかに北東に傾斜している。古生界中の解析上の比抵抗構造は、IP効果の影響を受けて必ずしも実際の岩石の比抵抗に対応しておらず、仮想的な高比抵抗域になっている。これらは電気探査IP法で認められたIP異常に対応している。

更に、今回の調査によって絞り込まれたMJTK-IP-1地区において、引き続きBRPMが地上磁気および重力調査を実施した。その結果ではMJTK-IP-1地区中央部に明瞭な高重力域が存在し、それを挟むように、南側に正の磁気異常、北側に負の磁気異常が分布し、高密度で磁性を帯びた物体の潜在が考えられた。

以上より、次の二つの可能性が想定された。

- 1) 地区中央部のIP測線No.8付近を中心に火成岩が分布する。北側を中心に火成岩の半周をIP異常部（低比抵抗・高充電率部）が取り巻くように分布し、火成岩に付随する鉍化帯や鉍染帯に対応する。正負の磁気異常と高重力部は火成岩に対応する。
- 2) 地区中央部の地下に急傾斜の塊状～層状の大規模な硫化物鉍床が存在する。IP異常部（低比抵抗・高充電率部）はその周囲を取り囲む。正負の磁気異常と高重力部は、磁硫鉄鉍を多く含む鉍床に対応する。

それぞれの可能性を検証し、鉍化帯の性状を把握するために、ボーリング調査（2孔）を実施した結果、地下の状況は上の1)に近く、地区中央部の磁気異常は火成岩の一種である斑レイ岩に対応することが判明した。また斑レイ岩の東側の1孔では、泥質片岩と砂質片岩に閃亜鉛鉍を含む細脈が多数認められた。低比抵抗は、泥質片岩に含まれる石墨にも関係すると考えられる。

既存の磁気・重力データのみでは、斑レイ岩などの磁性火成岩体と磁硫鉄鉍等との区別は不可能である。一方で、今年度の電気探査IP法による軽度のIP異常（低比抵抗・高充電率）のみでは、石墨が多い地層が捕捉されてしまう可能性がある。

従って、具体的な掘削地点、掘削方向および掘削深度については、強い磁性を持つ磁硫鉄鉍に富む鉍床を対象に絞り込んで、空中磁気異常から選定した場所に地上磁気探査および電気探査IP法を組み合わせるべきであると考えられた。

(2) 3年次調査

本年度は、第3年次の調査として、第1年次の調査で抽出された有望地のうち第2年次で割愛された地域について、電気探査IP法を実施し、鉱化作用および地質構造に関連するIP異常域の抽出を行い、有望地区を絞り込み、その位置・形状を推定する目的で電磁探査TEM法を実施した。これらの解析結果を第1年次の調査結果と合わせて解釈することにより、ボーリング調査実施地区の絞り込みを行なった。また、これらの調査・解析を通じて相手国機関に対して技術移転を図ることとした。

1-2 調査の範囲および作業の概要

調査地域は図 - 1 に示すようにモロッコ王国中央部に位置し、首都ラバトから約 330km 南下したオート・アトラス山脈の北方、マラケシュの南西部に相当する。概ね北緯 31° 23 ~ 31° 36 、西経 8° 09 ~ 8° 20 の範囲内に位置する。Table I-1-1 に示す6地区で電気探査 IP 法を実施し、2地区で電磁探査 TEM 法を実施した。

Table I-1-1 Survey contents and amount of works

・ 電気探査 (IP 法)

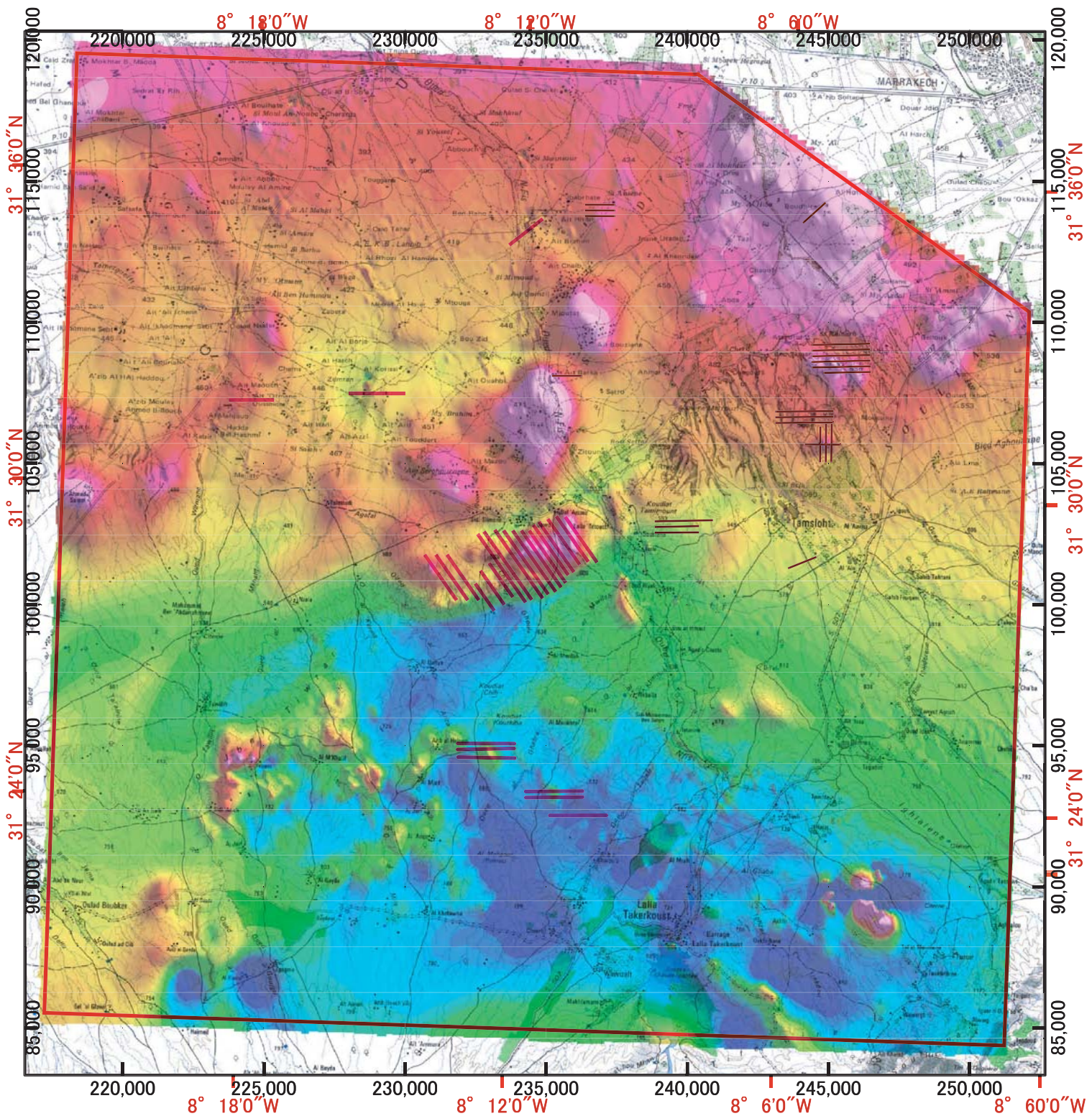
District	District Code	Method	Length (line)	Number of Point
Azzouz	MJTK-IP04-1	Dipole-Dipole	39.9km (下の*を参照)	1635
Hbibbi	MJTK-IP04-2	Dipole-Dipole	1.5km(=1.5km×1本)	55
Harch	MJTK-IP04-3	Dipole-Dipole	2.0km(=2.0km×1本)	80
Maouch	MJTK-IP04-4	Dipole-Dipole	1.6km(=1.6km×1本)	60
Khefawna-N	MJTK-IP04-5	Dipole-Dipole	6.0km(=2.0km×3本)	240
Talzelt-N	MJTK-IP04-6	Dipole-Dipole	6.0km(=2.0km×3本)	240
計			57.0km	2310

*(=3.0km×3本+2.8km×1本+2.7km×1本+2.5km×1本+2.3km×1本+2.2km×2本+2.0km×6本+1.5km×2本+1.2km×1本)

・ 電磁探査 (TEM 法)

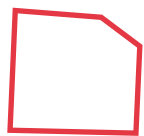
Area name	Tx-Rx configuration	Number of stations	Length of survey lines
Azzouz	In loop	146	
	Fixed loop		300m×3lines×2loop
Khefawna	In loop	19	
Total		165	1,800m

電気探査 IP 法の測線位置を空中磁気探査結果図 (Fig.I-1-1) に示す。



Map Projection : Lambert Conformal Conic
 Standard Parallel : 34.865833
 Standard Parallel : 31.725000
 Latitude of Projection Origin : 33.3
 Longitude of Central Meridian : -5.4
 False Easting : 500,000
 False Northing : 300,000

Datum
 Horizontal Datum Name : Merchich
 Ellipsoid Name : Clarke 1880 IGN
 Semi-major Axis : 6378249.20000



MARRAKECH-TEKNA AREA



IP Survey Line (2003)



IP Survey Line (2004)

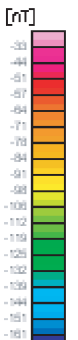


Fig.I-1-1 Residual magnetic intensity and IP survey line

1-3 調査団の編成

本調査に参加した団員は次のとおりである。

日本側

石川 潤一	ジオテクノス株式会社	ジオサイエンス事業部
岩城 倉榮	ジオテクノス株式会社	ジオサイエンス事業部
中湯 正	ジオテクノス株式会社	ジオサイエンス事業部
斎藤 光義	ジオテクノス株式会社	ジオサイエンス事業部
小林 敏政	ジオテクノス株式会社	ジオサイエンス事業部

モロッコ側

El Bachir BARODI	モロッコ鉱山探査公社探査局長 (Directeur de l'Exploration, Bureau de Recherches et de Participations Minières : BRPM)
Hassan MAZNOUDI	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)
Abdallah MOUTTAQI	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)
M'hamed ANNICH	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)
Mohamed NAJAH	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)
Ahmed KORCHI	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)
Lahcen HMAIDOUCH	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)
Mustapha CHAIB	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)
Said QASRI	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)
Mohamed EL YAGOUBI	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)
Mohamed IDRISSE AZAMI	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)
Zakaria JIRARI	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)
Driss DRISSE	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)
Abdallah MEKKAOUI ALAOUI	モロッコ鉱山探査公社 (BRPM)

作業監督

小島 元 独立行政法人 国際協力機構 経済開発部第二グループ(資源・エネルギー)

1-4 調査期間

現地調査(物理探査)のためのモロッコ王国滞在期間(現地解析を含む)は、8月31日～10月22日の53日間であった。

作業監督員は、9月6日～9月15日の10日間である。

第2章 調査地域の地理

2-1 位置および交通

調査地域は首都ラバトから約330km 南下したオート・アトラス山脈の北方、マラケシュの西部に位置する。

首都ラバトから調査地域までは、殆ど全て舗装道路であり、ラバト～セタット間は高速道路が開通しており約1時間（約100km）、セタット～マラケシュ間の道路も舗装された幹線道路であり約3時間（約200km）の行程である。同じルートに沿って鉄道の便もある。

また、ラバトおよびカサブランカに加え、マラケシュにも国際空港があり欧州（パリ、ロンドン等）との直行便がある。

2-2 地形および水系

本調査地域の標高は400～600メートルで全体的になだらかな丘陵地形である。当地域は、北部のジェビレット山塊（Jebilet）、中央部のハウズ平原（Haouz plain）と南部のグエマサ山塊（Guemassa）に挟まれたハウズ平原（Haouz plain）に位置する。ジェビレット山塊およびグエマサ山塊地区は弱変成を受けた古生代の堆積岩類および火山岩類からなり、ハウズ平原地区は古生代の基盤岩類の上に厚さ80m以上の第三紀～第四紀の堆積物が覆っており、岩石の露出は極めて少ない。

水系は、調査地域の西部を Oued Niss 川が北北西に流れ、地域外北方の Oued Tensift 川に注いでいる。

2-3 気候および植生

気候は内陸性気候の乾燥地域にあたり、昼夜、季節間の寒暖の差が大きく夏季は40℃以上、冬季は0℃近くに達する。植生は一般に乏しく、乾燥地に適したオリーブや柑橘類、葡萄等の果樹、小麦栽培、羊の放牧等が行われている。雨期は4～5月と10～11月で年間雨量は約300mm程度であるが、雨期の集中豪雨により水害が発生することがある。Table I-2-1 にマラケシュの気温および降水量を示す。

Table I-2-1 Temperature and precipitation in Marrakech

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Temp.max.(℃)	17	20	23	26	29	33	38	38	33	28	23	18
Temp.min.(℃)	3	6	10	11	14	17	20	20	18	14	10	6
Prec.(mm)	29	31	31	33	20	8	2	3	10	17	27	34

最高・最低気温は月別平均気温。降水量は月別数値の平均('94 モロッコ政府観光局資料)

2-4 基盤整備状況

調査地の東に位置するマラケシュ市は、1000年以上の歴史を有する世界遺産にも指定さ

れている人口35万人の国際観光都市であり、電気・水道・道路・医療・通信等の基盤整備状況は整っている。調査地までの道路は比較的良好に舗装されている。携帯電話もほぼ全域で通話可能である。

第3章 調査地域の既存地質情報

主として昨年度報告書を要約して調査地域の既存地質情報を述べる。

3-1 調査周辺地域の一般地質

1) 分布

調査地の北方のJebilet 山塊中央部は、ほぼ南北ないし北北東-南南西方向の走向を有し、東傾斜で堆積する古生界からなる。一方、南部のGuemassa 地区の地質構造はほぼ北北西-南南東ないし北東-南西方向の走向を有し、東に傾斜する。古生界は主としてデボン紀～石炭紀～二畳紀の泥質岩で、石灰岩、凝灰岩、砂質岩を挟む。また、酸性または塩基性の火成岩のシル状岩体を多く挟んでいる。

Jebilet 山塊中央部およびGuemassa 地区の石炭系上部 (Visean) の地質は、Sarhlef 層の泥質岩、酸性火山岩類および塩基性火山岩類、およびそれらの有律互層、千枚岩、その上位のTequsim 層の炭酸塩岩、上位の泥質岩からなる。Fig.I-3-1 に本調査地域の地質図、Fig.I-3-2に総合地質柱状図、Fig.I-3-3に地質断面図を示す。

堆積岩類は、頁岩、粘板岩、片岩からなり、広域変成作用と鉍化変質の影響を強く受けて、絹雲母、緑泥石等が多く含まれている。

2) 堆積環境

塊状硫化物鉍床の上盤側と下盤側のアルカリ変質強度の差異をみると、上盤側においても高い変質強度が得られるものがあり、鉍床生成後もしばらく熱水活動が継続したか、あるいは重複した可能性が示唆される。主要元素に関して、碎屑起源を反映するとされる Al_2O_3 と TiO_2 、V、 K_2O および P_2O_5 は相互に正の相関、 SiO_2 、CaOおよび Fe_2O_3 は相互に負の相関があり、一般的な海底堆積物の傾向を示す。Hajar 鉍床、Draa Sfar 鉍床、Kettara 鉍床における SiO_2 のばらつきは酸性火山活動による碎屑起源物質の供給の変化によるものであり、Khwadra 鉍床におけるCaOが他に比べて高い傾向は、生物起源物質の供給が他鉍床に比べて多かったとことによると考えられる。希土類パターンはLREE に富みEu異常が見られるが、これは島弧火山碎屑物の影響によるものであり、鉍床上盤側で総希土類 (TREE)が増加する傾向は熱水によって下盤側から上盤側に希土類が移動したことによるものと考えられる。また、泥質岩中の硫化物の硫黄同位体は、概ね-35‰～+25‰の間でばらつき、下盤側から上盤側に軽くなる傾向があり、Kajiwara(1989)、Kajiwara and Kaiho(1992)、小室(1999)によれば堆積環境が還元的環境から酸化的環境に変化したことを示していると考えられる。

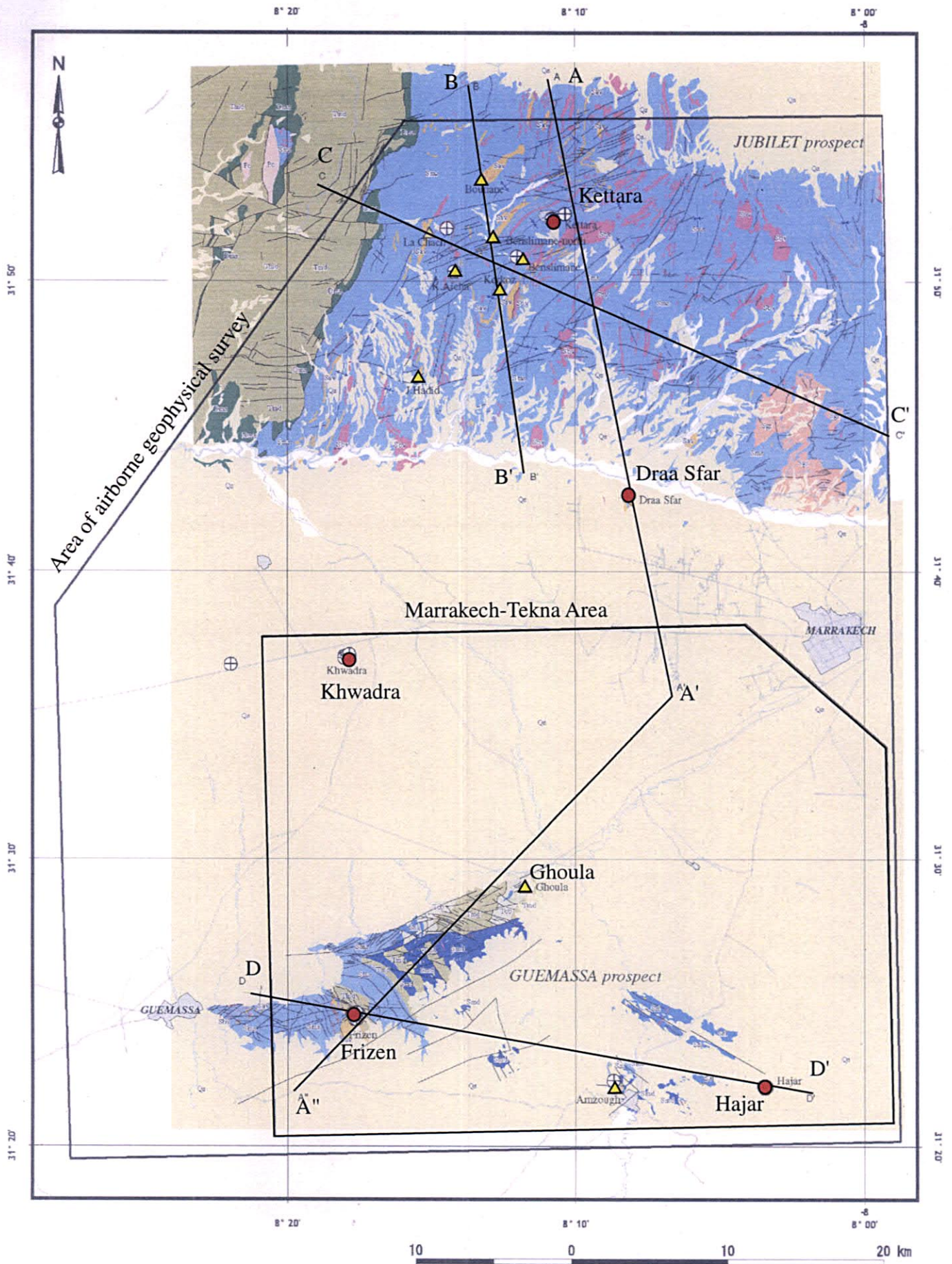


Fig. I -3-1 Existing geological map of the project area in Morocco

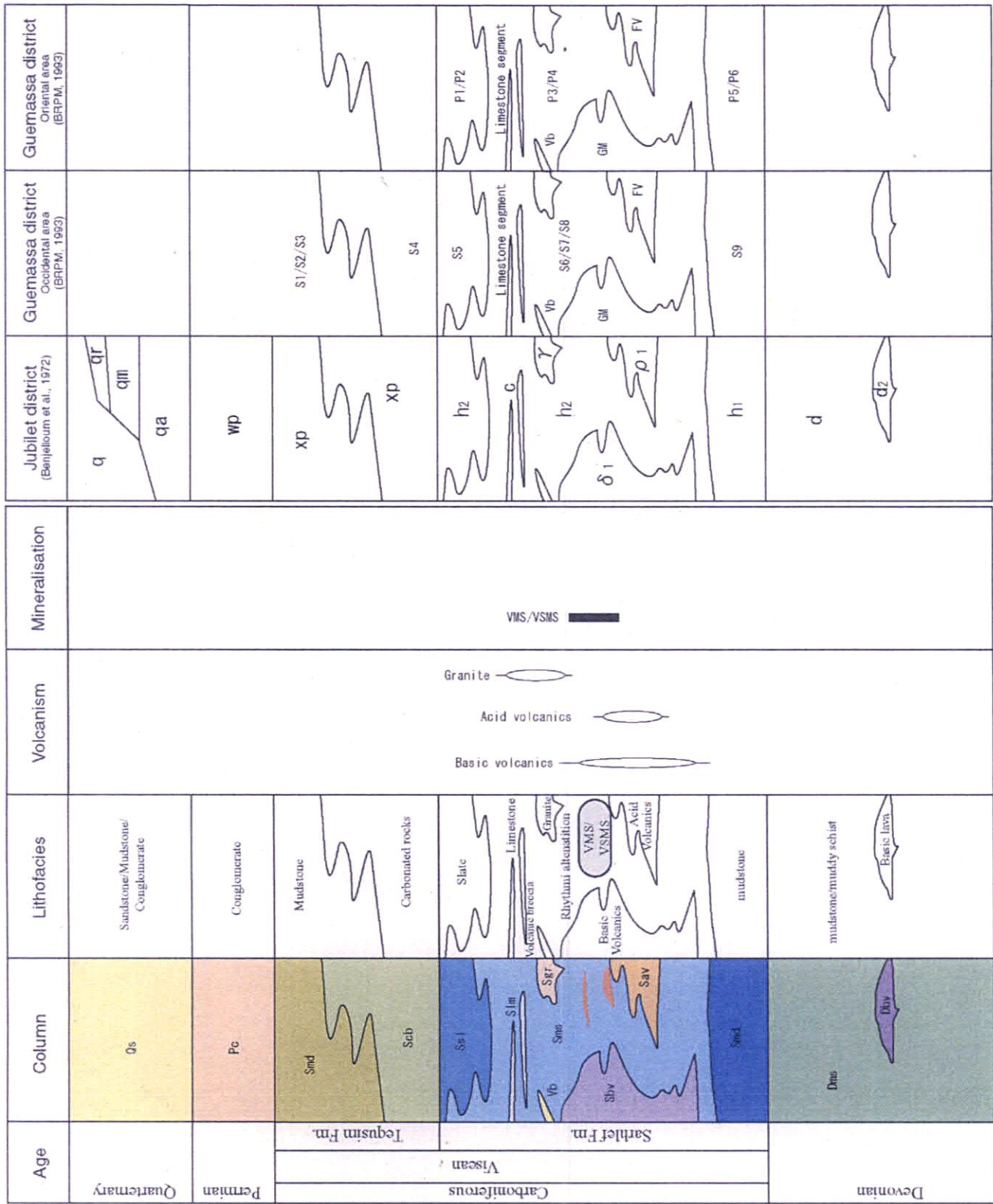


Fig. I - 3-2 Geological stratigraphic columnar section of the project area in Morocco

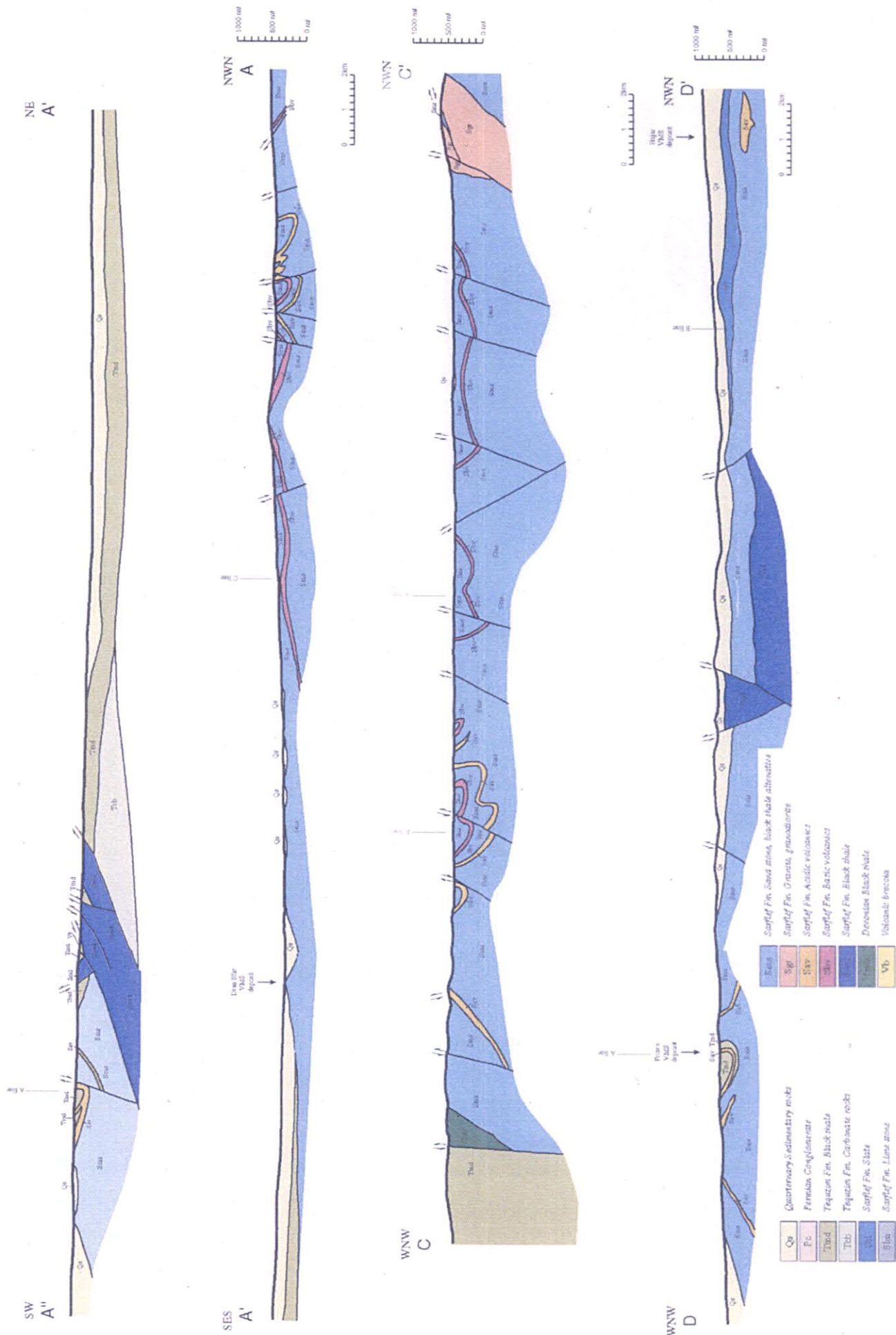


Fig. I -3-3 Geological section of the project area in Morocco

3) 火山岩類の特徴

初年度調査で、本地域の各鉱床付近に分布する火山岩類について、化学組成および放射性年代が検討された。

化学組成分析の結果、Hajar 鉱床、Khwadra 鉱床、Draa Sfar 鉱床の酸性火山岩類（流紋岩等）の希土類パターンは軽希土類に富み、Eu 異常値がある平坦なパターンを示し、主要成分ではSiO₂とK₂O、Rb、Ba、Cs とが負の相関を示す類似の傾向を呈することから、これらの酸性火山岩類は類似の地球化学的性質を有しているが、隣接するSafsafa 鉱床の酸性火山岩類（tonalitic mylonite）とは異なると考えられる。また、本地域の塩基性火山岩類（dolerite）について他地域の玄武岩類とLIL 元素およびHFS 元素とを対比すると、本地域の塩基性岩火山岩類はLIL 元素に富む島弧玄武岩類の特徴を有し、LILおよびHFS双方に乏しいN-MORBとは異なることがわかった。

鉱化年代と火成活動年代の把握を目的としたK-Ar 放射性年代測定の結果から、深成火成活動、酸性火山活動、鉱化変質（Guemassa山塊、Jebilet山塊）に分類した。深成火成活動と酸性火山活動の年代は290～360Ma、鉱化変質（Guemassa）の年代は260～320Ma、Jebilet山塊の鉱化変質は深成岩および火山岩の活動の末期に相当し、Guemassa山塊の鉱化変質の年代は260～290Ma であり深成岩および火山岩の活動の後に相当する。

4) 地質構造

北部のJebilet 山塊中央部は、ほぼ南北ないし北北東-南南西方向における走向を有し、東傾斜で堆積する基盤岩類からなる。一方、南部のGuemassa 地区の地質構造はほぼ北北西-南南東ないし北東-南西方向の走向を有し、東傾斜で堆積する。基盤岩類は主として古生代デボン紀～石炭紀～二畳紀の泥質岩であり、石灰岩層、凝灰岩層、砂質岩層を挟む。また、酸性岩或いは塩基性岩のシル状岩体を多く挟んでいる。

Jebilet 山塊中央部およびGuemassa 地区の石炭系上部Viséan の地質は、Sarhlef 層の泥質岩、酸性火山岩類および塩基性火山岩類、有律互層、千枚岩、その上位のTequsim 層の炭酸塩岩、上位の泥質岩からなる。

3-2 調査地域の鉱床概要

(1) 調査地域における鉱化作用の特徴

調査地域周辺には、Jebilet山塊中央部のKettara鉱床、Jebilet山塊南限で第三紀層被覆部との境界付近にDraa Sfar鉱床とKhwadra鉱床、Guemassa山塊の東縁に位置するHajar鉱床、西部のFrizen鉱床が分布する。

Jebilet 地区およびGuemassa 地区に見られる鉱床は、古生代石炭紀のVisean のSarhlef層の泥質岩と砂岩の互層、泥質岩と珪岩の互層および酸性火山岩類に胚胎する銅、鉛、亜鉛、鉄の塊状硫化物鉱床である。

主な塊状硫化物鉱床は、Jebilet 山塊中央部のKettara 鉱床、Jebilet 山塊南限で第三紀層被覆部との境界付近に見られるDraa Sfar 鉱床、Khwadra 鉱床、Guemassa 山塊の西縁に位置するHajar 鉱床、東部のFrizen 鉱床からなる。Fig.I-3-1に本地域に分布する鉱床・鉱徴地の位置図を示した。

これらの鉱床は、層状、塊状およびレンズ状を示し、主に磁硫鉄鉱、黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄銅鉱の鉱物組み合わせからなる。また、鉱床近傍には酸性・塩基性の火山岩類が分布し鉱化作用と関連する。

渡辺(2001)によれば、Hajar鉱床での地層は、下部、中部、上部の3部層に区分されている下部層は、シルト岩～泥岩互層からなり、デイサイト質～流紋岩質の溶岩および火山砕屑岩を狭在する。中部層は硫化物鉱体からなる。上部層は 150-200mの厚さのシルト～泥岩からなり、薄い石灰質岩を狭在する。硫化物からなる鉱体を覆っている。鉱床の下部では硫化物鉱体が消滅し、下部層を直接上部層が整合で覆っている。上部層にも部分的に火山砕屑岩が含まれることは、鉱床形成後にも火成活動が続いていたことを示す。Hajar鉱床の主要な鉱体は約50-90mの厚さを有し、少なくとも側方に200～300m追跡される。

現在の地表に近い部分の鉱石は約20mにわたって酸化している。この部分では黄鉄鉱は磁硫鉄鉱を置換している。酸化を受けていない鉱体は75～95%が磁硫鉄鉱からなり、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱および硫砒鉄鉱を伴う。

鉱体の下部は、層理面を高角度で切るストックワーク状の磁硫鉄鉱細脈群からなる。母岩は流紋岩や火山砕屑岩、泥岩からなり、珪化・緑泥石変質を受けている。流紋岩には黒雲母・アルカリ長石からなる変質が認められ、緑泥石変質がこれに重複している。鉱体の上部に向かうに従い、層理面に平行な細脈群が出現し、やがて塊状鉱、または縞状鉱からなる主要な鉱体へと移化する。一部では堆積岩と硫化物層との有律互層も認められ、硫化物が海底面下で堆積したことを示す。主要な熱水変質鉱物は緑泥石と絹雲母で鉱体下部では黒雲母が認められる。この鉱床の大きな特徴は、ヘルシニア期の変成作用のために、もともと黄鉄鉱として沈殿した鉄硫化物が磁硫鉄鉱に置換されていることである。この変成作用によって鉱床形成時の熱水の温度や性質を推定することは困難となっている。

鉱床形成中からその後にかけて、マラケシュ地域では周辺の陸塊から供給された砕屑物が硫化物鉱体を預って厚く堆積している。

(2) 硫化物の特徴

本調査は、Jebilet 地区およびGuemassa 地区の鉱床の存在から判断して、Marrakech 地区に分布する潜頭性の塊状硫化物鉱床の特徴を把握し、有望地を抽出することを目的としている。以下に、地質調査・既存ボーリングコア調査および室内試験より得られた塊状硫化物鉱床の特徴を示す。

1) 鉱化作用の区分と磁硫鉄鉱の産状について

本地域に分布するKhwadra 鉱床、Draa Sfar 鉱床、Kettara 鉱床、Hajar 鉱床およびFrizen 鉱床は、その鉱床形態・鉱物組み合わせ・関係火成岩からみて塊状硫化物鉱床に相当する。昨年度の調査で、これらの鉱床の産状・鉱石鉱物・母岩の変質を検討した結果、早期と後期の鉱化作用の重複により鉱床が形成していることが判明している。いずれの時期の硫化物も、石英と共生している。

早期と後期の鉱化作用は、Fe-S 系の鉱物から見れば、それぞれ磁硫鉄鉱と黄鉄鉱で代表される。さらに、Khwadra 鉱床およびHajar 鉱床における早期鉱化作用は、早期I とII の鉱化作用に細分され、前者は六方型磁硫鉄鉱で、後者は単斜型磁硫鉄鉱で代表される。後期の鉱化作用により早期I の六方型磁硫鉄鉱は広範囲に単斜型化されているが、早期II の単斜型磁硫鉄鉱は白鉄鉱化されている。

早期Iの六方型磁硫鉄鉱と共存する石英の流体包有物の均質化温度は270-280 である。早期IIの単斜型磁硫鉄鉱は石英・閃亜鉛鉱とともに300 以下の温度(230-250)で直接単斜型磁硫鉄鉱として晶出した。後期の黄鉄鉱・閃亜鉛鉱等と共生する石英の流体包有物の均質化温度は200-250 である。

2) 硫黄同位体比の特徴

Khwadra 鉱床、Draa Sfar 鉱床、Kettara 鉱床、Hajar 鉱床およびFrizen 鉱床の硫化物の硫黄同位体比は、早期鉱化作用について鉱床ごとの違いが明瞭である。Khwadra 鉱床では硫黄同位体比が低く、次いでDraa Sfar 鉱床、Kettara 鉱床、Hajar 鉱床、Frizen 鉱床と高い値へと変化した。このような同一鉱床内あるいは同一鉱床地帯内における硫化物の硫黄同位体比の大きな変動は、日本の黒鉄鉱床の硫黄同位体比の均一性とは対照的である。その原因は、鉱床形成の物理化学条件の違い、生物起源の硫黄の混入、熱水系への海水起源の硫黄供給の多寡などで説明され、各鉱床の生成環境の相違が示唆される。Khwadra 鉱床は相対的に生物起源の硫黄の混入が多く、Hajar 鉱床とFrizen 鉱床は相対的にマグマ起源の寄与が大きかったと考えられる。

3) 鉱化作用と磁性

各鉱床周辺の磁性の強度は、鉱床に特徴的な磁硫鉄鉱の多形の特徴とも関連する。単斜型

磁硫鉄鉱が特徴的に産するKhwadra 鉱床、Hajar 鉱床では、高い磁気異常であり、六方型磁硫鉄鉱（早期I）と単斜型磁硫鉄鉱（早期II）の混在するDraa Sfar 鉱床では高い磁気異常帯と弱い磁気異常帯が隣接して分布し、六方型磁硫鉄鉱に黄鉄鉱が重複するKettara 鉱床、Frizen 鉱床では弱い磁気異常のみを捕らえていることである。中～弱程度の異常部分にもKettara 鉱床、Frizen 鉱床のような六方型磁硫鉄鉱 + 黄鉄鉱からなる磁性の弱い塊状鉛亜鉛硫化物鉱床が存在する可能性や、高磁気異常と弱磁気異常が隣り合う部分に六方型磁硫鉄鉱 + 単斜型磁硫鉄鉱からなる比較的磁性の弱い塊状鉛亜鉛硫化物鉱床が存在する可能性が考えられる。

4) まとめ

以上の本地域周辺の塊状硫化物鉱床の特徴は、次のようにまとめることができる。

- (1) 本地域周辺の塊状硫化物鉱床は、鉱化作用の重複が見られ、鉱物組み合わせから、早期I 鉱化作用、早期II 鉱化作用、後期鉱化作用に区分される。
- (2) 早期I 鉱化作用は、六方型磁硫鉄鉱で代表され、磁性はやや弱い。早期II 鉱化作用は、単斜型磁硫鉄鉱で代表され、磁性は強い。後期鉱化作用は、黄鉄鉱で代表され、磁性は弱い。
- (3) 硫化鉱物と共存する石英の流体包有物の均質化温度は早期I は270-280 、早期IIは230-250 、後期は200-250 で、鉱床生成温度の変化を反映するとみられる。
- (4) 同一地域内における硫黄同位体比の大きな変動は、鉱床形成の物理化学条件の違い、生物起源の硫黄の混入、鉱化熱水系への海水起源硫黄の供給の多寡などで説明され、北西のKhwadra 鉱床は相対的に生物起源の硫黄の混入の影響が強く、南東のHajar 鉱床と、南西のFrizen 鉱床は相対的にマグマ起源の寄与が大きかったとみられる。
- (5) 鉱化作用の性状から鉱床タイプを分類すると、以下の通りである。
 - (a)早期I 卓越型中磁気異常（Draa Sfar 鉱床）
 - (b)早期I + 後期重複型中磁気異常 + 低磁気異常（Frizen 鉱床、Kettara 鉱床）
 - (c)早期II + 後期重複型高磁気異常 + 低磁気異常（Khwadra 鉱床、Hajar 鉱床）

3-3 調査地域周辺の鉱業事情

現在、鉱産物はモロッコ王国の最大の外貨獲得源であり、輸出の約 35%、GDP の約 6% を占める。同国の最も重要な鉱産物は燐灰石を主体とするリン鉱石で、米国、中国に次ぐ世界第三位の生産国となっている。

同国では、リン鉱石のほか、シリコン、鉛、銅、亜鉛、銀、マンガンおよび重晶石なども生産・輸出しており、金、コバルト、ニッケル、鉄、クロム、ウランおよび螢石などの鉱床も知られている。

調査地域周辺では塊状硫化物鉱床が存在し、地域北方の Kettara 鉱山がかつて稼行され、

地域北方の Draa Sfar 鉱山と、地域南東方の Hajar 鉱山が操業中である。

Kettara 鉱床は地域北方に位置する。1937 年に発見され、1982 年まで主として磁硫鉄鉱が採掘された。磁硫鉄鉱はモロッコ特産の燐鉱石の還元剤として利用された。1,000 万トンの磁硫鉄鉱が未採掘で残されているとされる。

Draa Sfar 鉱床は、地域北東方に位置する。1953 年に地表付近の酸化帯で鉄が採掘され始めた。1962 年に BRPM は磁気調査とボーリングを行い、含銅磁硫鉄鉱の薄いレンズ状鉱体を捕捉した。その後 BRPM は、1968 年～1982 年に地表から 150m までの範囲で 400 万トンの鉱石の採掘を行った。1986 年～1996 年に探鉱ボーリングが続けられ、1997 年に民間会社(Compagnie Miniere des Guemassa ; CMG)に払い下げられた。Draa Sfar 鉱床では、流紋岩および流紋岩質凝灰岩の上位に垂直に胚胎する。鉱体は 800m 以上側方に延長し、上位はシルト質岩に覆われている。

Hajar 鉱床は、マラケシュの 35km 南に位置する。1984 年に磁気異常域を狙った BRPM のボーリングにより発見され、1988 年まで BRPM により探査が続けられた。1988 年、ONA と BRPM が Compagnie Miniere des Guemassa (CMG) を設立し、同鉱山は CMG に譲渡された。1992 年、鉱石の生産が始まり、現在、毎年 10 万トン前後の亜鉛、4 万トンの鉛、および 3 万トンの銅が生産されている。Table I-3-1 参照。

Table I-3-1 Main ore deposits and gossans around the area

Ore deposits or gossans	Summary
Kettara	- 1956: Cuprous pyrite 1956-1965:Survey for phosphates 1964-1981:Produced 8Mt ore including 5.3Mt of Pyrrhotite 1982:Closed.
Draa Sfar	1953:Gossan exploited 1962:magnetic survey and drilled (12holes). Cuprous pyrite discovered. Operated at present.
Hajar	Discovered in the 1984 by BRPM. Mining commenced during 1992. 3,000t/d, averaging 10.5% zinc, 3% lead, 0.3% copper and 60g/t silver in 2001.
Frizem	1984:Magnetic survey
Khwadra	2000:Drilling survey.

第4章 調査結果の総合検討

4-1 地質構造，鉱化作用の特性

今回の調査地域では、Azzouz 地区以外では古生界の露頭は極めて少なく、地表の大部分は新期堆積物で覆われている。

しかし、周辺地域には古生界中に塊状硫化物鉱床が分布し、これらの鉱床は、層状、塊状、レンズ状、縞状の形態をなす。鉱石は、主として磁硫鉄鉱、黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱および黄銅鉱から構成される。鉱床の近傍には酸性・塩基性の火山岩類が分布する。

鉱床の下盤側には流紋岩および同質火山砕屑岩が分布するが、これらの岩石は肉眼で見える石英の斑晶を含み、変成作用を受けていることにもよるが、硬質である。また、黒色～暗灰色を呈する点も、日本の黒鉱鉱床の下盤デイサイトと性状を異にする。上盤側の泥質岩が石灰分に富む点も、日本の秋田県等に分布する黒鉱鉱床の上盤の泥岩とはことなり、むしろメキシコの中生界中の上盤泥質岩と類似している。

このような層序的な関係に注目して周辺の鉱床の主要な傾斜方向をみると、北方の Kettara 鉱床は南南西傾斜、北北東の Draa Sfar 鉱床は西傾斜、北西方の Khwadra 鉱床は東南東傾斜、南東方の Hajar 鉱床は北傾斜、南西の Frizen 鉱床は北東傾斜であり、全体としては一種の向斜構造が想定される。今年度の調査地域は、その向斜構造を囲んで鉱床胚胎層準が新期堆積物（新生代堆積物）の下に潜在する場所に相当する（Fig.I-4-1）。

Khefauna地区では、地表が新期堆積物に覆われるので古生界の地質構造は明確でないが、北方に古生界（石灰質片岩）の露出があり東に傾斜している。

Azzouz地区では西部のMajor断層（Guemassa N Fault ともいう）の北西側は、新期堆積物が厚く堆積している。同断層の南東側が隆起しており、隆起量は南西側で大きく、断層は一種の蝶番断層の可能性がある。南東側は高原をなすが、Major断層の付近は浸食が進み、山地をなす。南東側の地質は古生界の泥質片岩、石灰質片岩が主体で、凝灰質片岩を伴う。古生界内では、東傾斜の小規模な断層が数多く分布し、衝上断層と考えられている。地層は概ね東に急傾斜で、衝上断層に比較的調和的な傾向があるものの、随所で断層に切られる。断層の多くは、gossanや不毛石英脈を伴う。一部で粗粒玄武岩の貫入が観察される。古生界の岩石の大半は石灰分に富み、塊状硫化物鉱床の上盤に相当するが、石英脈やgossanの存在から、後生的な熱水や地下水の活動があったと考えられる。BRPMによれば、gossanにはPb,Znを含み（最大でPb:1%程度）鉱徴とされる。

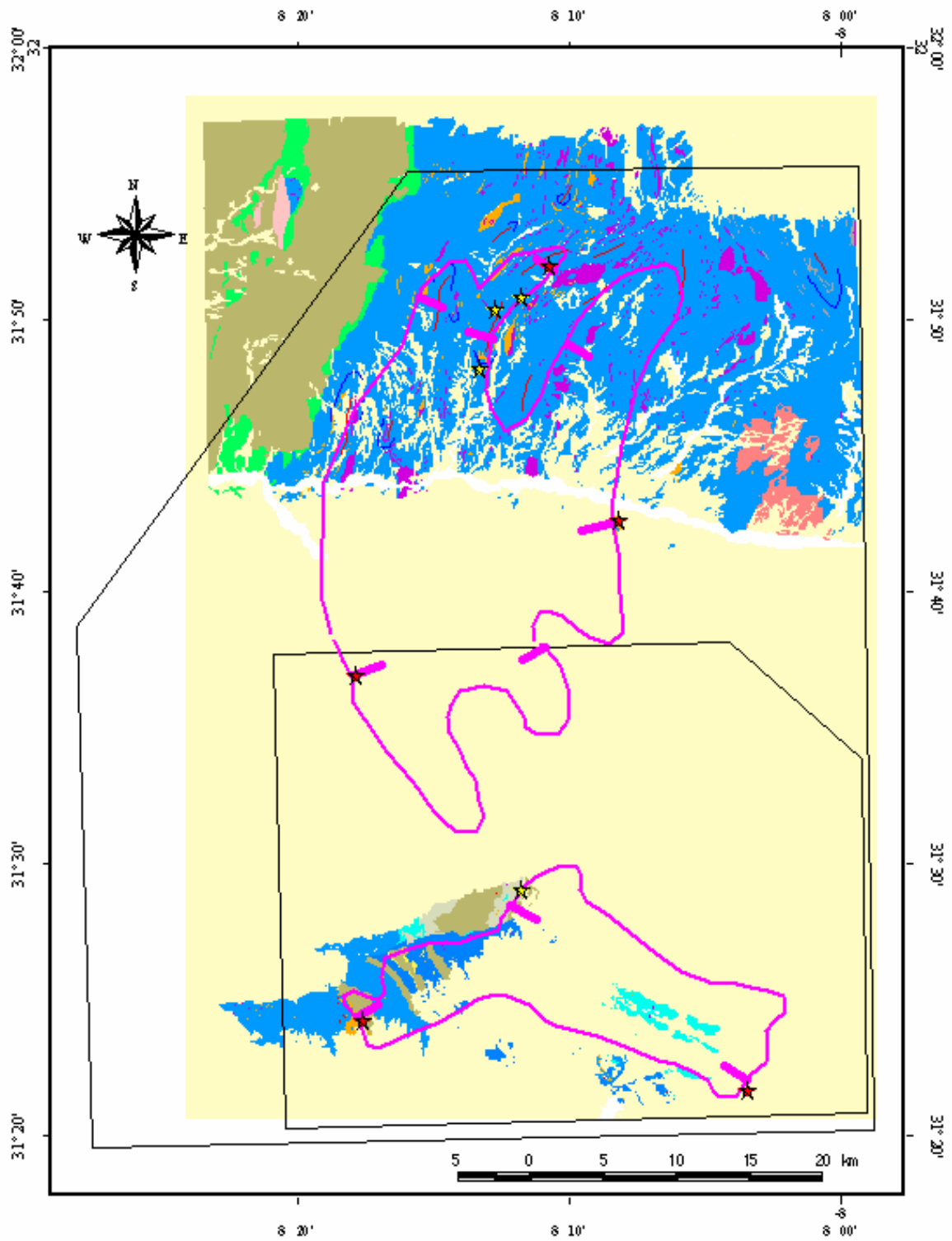


Fig.I-4-1 Regional structure and distribution of ore deposits

4-2 物理探査異常と鉱化作用について

電気探査IP法では、マラケシュ市西方の6地区で実施した。Azzouz地区でIP異常（低比抵抗・高充電率）が分布することが判明したが、その他の地区では顕著なIP異常は認められなかった。Azzouz地区のIP異常は、磁気異常の一部と調和的である。

電磁探査TEM法は、電磁探査IP法の結果を受けて、Azzouz地区で重点的に行うとともにKhefauna地区でも実施した。Azzouz地区では、電気探査IP法と調和的な低比抵抗帯（高電導度域）の存在が窺われ、また、複数の断層の存在が推定された。Khefauna地区では、低比抵抗の新期堆積物と高比抵抗の古生界の単純な2層構造となっている。

Azzouz地区のIP異常は、小規模な鉱染というよりは強く、火成岩で磁気異常を説明できないので、磁硫鉄鉱の濃集部の賦存が考えられる。電磁探査TEM法では、IP法の結果と調和的な比抵抗分布のほかに、2箇所を高電導度部が捕捉された。

Khefauna地区では、今回の物理探査では、鉱床の存在を示徴するデータは得られなかった。

4-3 鉱床賦存のポテンシャルについて

Azzouz地区では、下盤に相当する流紋岩やデイサイトが地表で存在しないので、浅部で塊状硫化物鉱床が胚胎する地質的な裏付けは困難である。不毛石英脈は、塊状硫化物鉱床生成後の後生的な熱水活動によるものと考えられる。Gossanも後生的な地下水の流動によるものと考えられるが、通常の水酸化鉄濃集部に比べてPbやZnを多く含みとされ、地下のどこかにそれらの供給源が存在することを示していると思われる。すなわち、鉱化帯を經由して、PbやZnが溶けた地下水が流動した痕跡の可能性がある。

また、現在TEM法を実施した箇所とその付近の磁気異常の原因を斑レイ岩や閃緑岩などの火成岩とすると、顕著な充電率と低比抵抗、および、GS5で火成岩体が捕捉されていないことの説明が困難になる。一方で、充電率や低比抵抗を石墨が濃集した地層（地表では薄層でしかみられない。）の存在で説明しようとする、磁気異常の説明が困難になる。従って、消去法的に推論すると、磁硫鉄鉱濃集部が存在する可能性が残ることになる。

Khefauna地区では、IP法・TEM法共に鉱床の存在を示徴するデータは得られなかったが、BRPMは、地表磁気探査の解析結果から、Khwadra鉱床と類似した形状の塊状硫化物鉱床賦存の可能性を考えている。

第5章 結論および提言

5-1 結論

各種物理探査の結果などから判断して、Azzouz 地区および Khefauna-N 地区の地質構造と鉱化帯の状況は、次の可能性が考えられる。

Azzouz 地区では、電気探査 IP 法の高充電率部、電磁探査 TEM 法の高電導部および磁気異常部の地下に、磁硫鉄鉱に富む塊状硫化物鉱床が存在する可能性がある。黒鉱型だとすれば、下盤側に流紋岩等の酸性火山岩類が存在すると推定される (Fig.I-5-1 Concepts)。

Khefauna-N 地区では、今回の調査では金属鉱床が賦存する徴候が得られなかったが、BRPM による過去の試錐調査 (HE1) で磁性岩体が捕捉されておらず、磁気異常の原因が未解明である。浅部が低比抵抗の新期堆積物に覆われているので可探深度の制約もあり、深部に塊状硫化物鉱床が存在する可能性を否定することはできない。

5-2 次期調査への提言

Azzouz 地区の IP 異常と TEM 法の高電導部の強度および規模は、小規模な鉱染帯程度では説明困難であり、塊状硫化物鉱床の賦存が考えられる。そのことを確認するために、2～3本程度の試錐調査の実施が望ましい。

ボーリングはビットが片理や層理および断層によって引きずられて穴曲がりを起こしやすいので、北西に傾斜掘削するほうが、deviation の変化を小さくでき、更に探査上も層序の多くの部分を掘り抜ける可能性が高くなるので有利と考えられる。南東側の高原からアクセスするので、基地を南東側に設置すれば、付帯工事も多少は少なくて済む。

以上より、次頁の Fig.I-5-2 と Fig.I-5-3 に図示した位置で次の掘削調査を実施することを提案する。

Table I-5-1 The Scheme of next drilling

地区	孔名	掘進長	傾斜	方位	対象
Azzouz	MJTK-3	500m	-70°	325°	磁気異常、高電導度部、高充電率部
	MJTK-4	600m	-55°	325°	磁気異常、高電導度部、高充電率部
Khefauna	MJTK-5	500m	-70°	270°	磁気異常

MJTK-3 および MJTK-4 は、Azzouz 地区で地下に磁硫鉄鉱の濃集部の存在が期待される、高電導度・高充電率部でかつ磁気異常が認められる箇所を対象とする。

MJTK-5 は、Khefauna 地区で、BRPM の解析によって、磁硫鉄鉱に富む鉱体が賦する可能性が考えられる箇所を対象にしている。

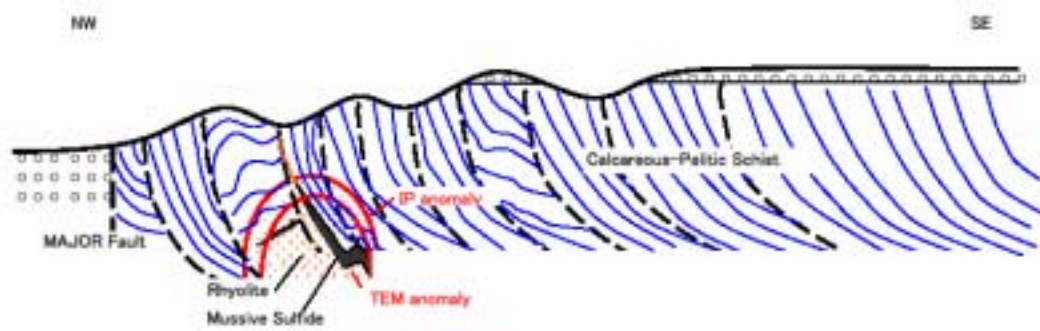


Fig.I-5-1 Concepts (Azzouz)

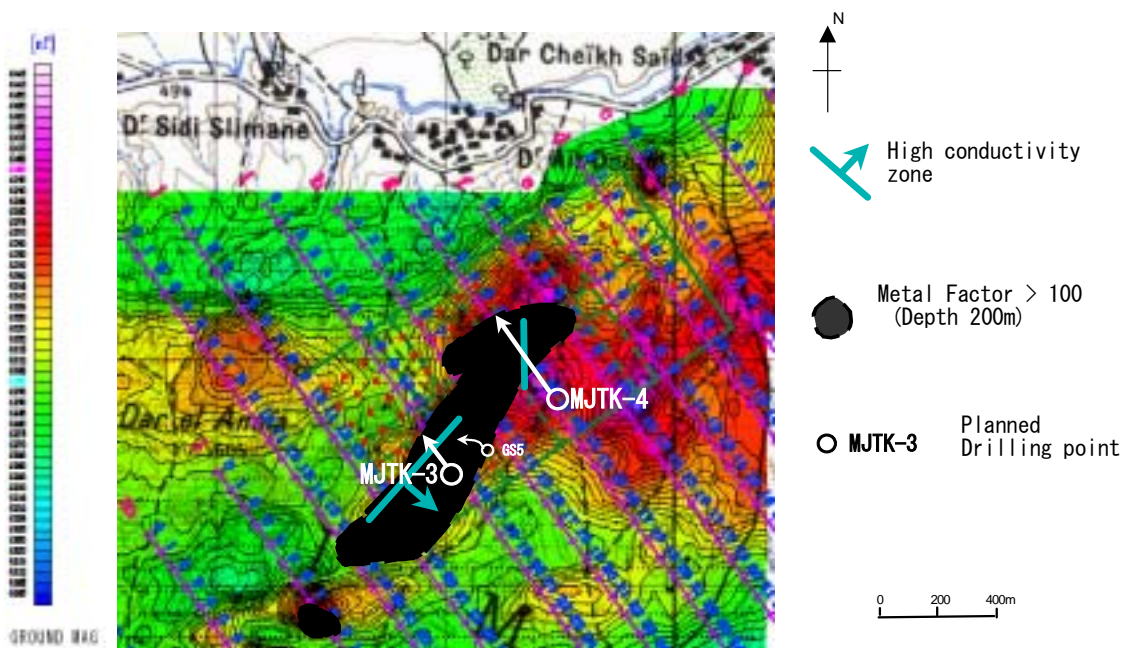


Fig.I-5-2 Concepts of MJTK-3 and MJTK-4 (Azzouz)

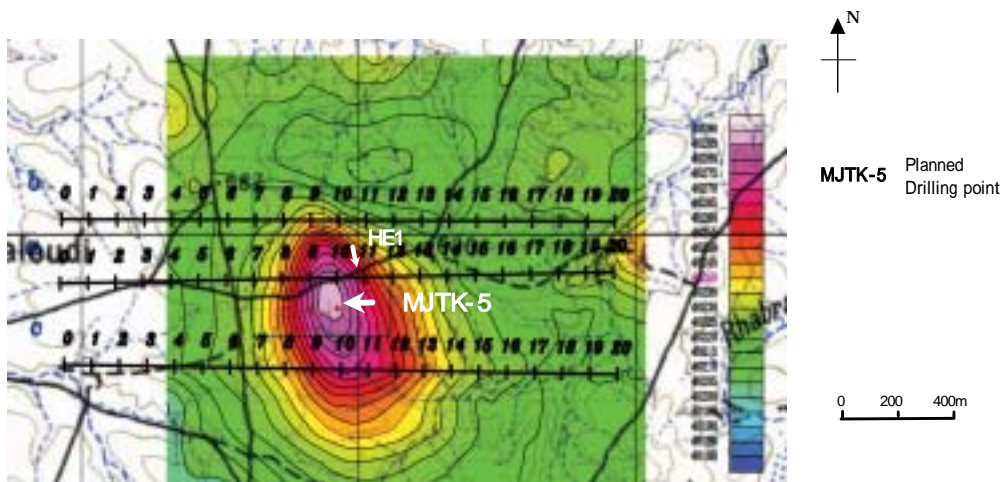


Fig.I-5-3 Concepts of MJTK-5 (Khefauna)

第 部 各 論

第1章 調査概要

1-1 基本的な考え方

第1年次調査によって判明した空中磁気異常および空中電磁異常の箇所は、それらの異常の原因が必ずしも磁硫鉄鉱等を含む鉱化帯であるとは限らない。また、なんらかの金属鉱化作用に関係する可能性があるとしても、空中物理探査の精度では、同探査の結果だけでボーリング調査の箇所、深度および方向を策定するのは一般に困難である。

そして、精度の高い物理探査を組み合わせることで実施し、様々な種類のデータを総合的に解析し、有望地区を絞り込むことによって探査精度を高めることができ、更に高額な費用が発生するボーリング調査の探査リスクを軽減することができる。

更に、ボーリング調査を行うことによって、岩盤の露出が乏しい本地域の地質や鉱化作用の有無・性状を直接知ることにより、物理探査の異常の原因を判断することができると思われる。

1-2 調査の流れ

第1年次調査によって判明した空中磁気異常および空中電磁異常の箇所において電気探査 IP 法を行い、地質構造に関連する IP 異常域の抽出を行い、有望地区を絞り込み、その位置・形状を推定する目的で電磁探査 TEM 法を実施する。これらの解析結果を更に第1年次の調査結果や既存資料と合わせて解釈することにより、ボーリング調査実施地区の絞り込みを行い、鉱化帯について最も可能性が高い位置、または鉱化帯の位置を知るための地質構造を知る上で最も効率的な箇所を選定し、深度・方向を策定しボーリング調査を実施する。

調査の流れを以下に示す。

空中磁気探査・空中電磁探査の異常域抽出

検討

IP 法電気探査地区（複数）選定

測定状況如何によって有望度が低いと考えられる地区ではその地区での測定を中止。

一方、測定中有望と考えられる地区やその隣接部では測点を増やす。

IP 異常の状況（強度・形状・位置等）を検討

適地（有望地区）の絞り込み

TEM 法電磁探査

比抵抗構造の立体的形状を把握

期待される鉱化帯の状況について、可能性の検討

ボーリング計画策定（位置、深度および方向）

ボーリング調査・コア（岩芯を採取し地質状況を随時把握）

掘削中の状況如何によって、増掘または減掘

掘止め

総合検討

地区の付近の探鉱価値評価。次段階の探査に進むか否かを決定

第2章 物理探査

2-1 電気探査IP法

2-1-1 調査の目的

本調査は、第2年次に続き第1年次に実施された空中磁気・電磁探査およびBRPMが一部の地区で行った地上磁気探査結果から有望地区を抽出した。そして、これらの地区において電気探査IP法（以下IP法）を実施し、鉱化作用に関連する比抵抗構造を明らかにするとともにIP異常域の抽出を行うことを目的とする。

2-1-2 調査位置および調査量

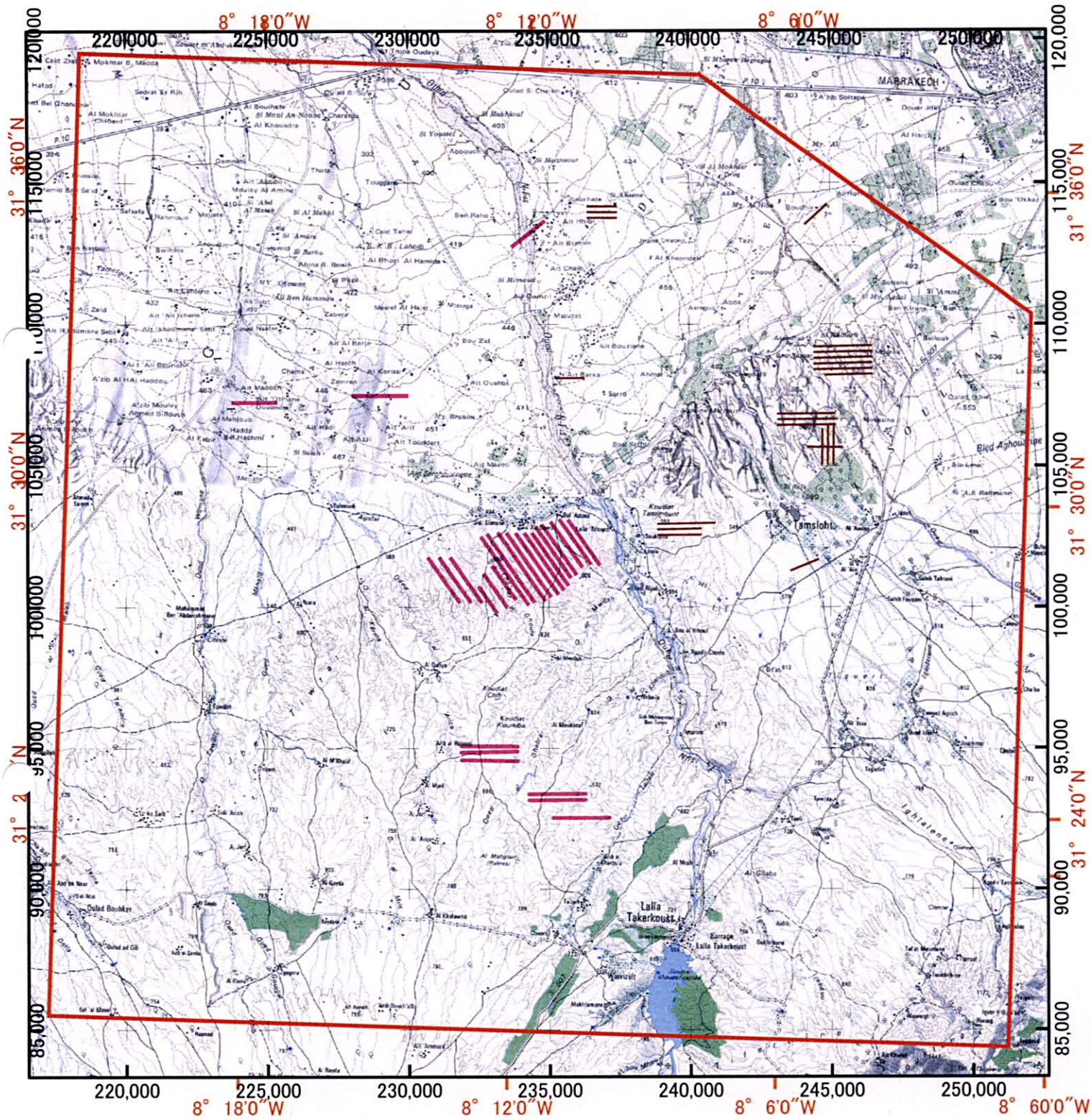
調査地区は、マラケシュ市の南西約20kmに位置し、空中磁気探査および地上磁気探査結果から6ヶ所の小地区に絞り込んだ。調査位置をFig.II-2-1-1に、Azzouz地区の測線位置をFig.II-2-1-2に、Hbibì,Harch, Maouch地区の測線位置をFig.II-2-1-3に、Khefawna-N, Talzelt-N地区の測線位置をFig.II-2-1-4にそれぞれ示す。また、各地区の測線基点座標を巻末に示す。

調査数量をTable II-2-1-1に示す。

Table II-2-1-1 List of survey amount

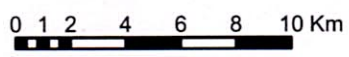
Area	District sign	Number of lines	Total length	Number of points
Azzouz	MJTK-IP04-1	18 lines [1.2km × 1, 1.5km × 2] [2.0km × 6, 2.2km × 2] [2.3km × 1, 2.5km × 1] [1.7km × 1, 2.8km × 1] [3.0km × 3]	33,900m	1,635
Hbibì	MJTK-IP04-2	1 line	1,500m	55
Harch	MJTK-IP04-3	1 line	2,000m	80
Maouch	MJTK-IP04-4	1 line	1,600m	60
Khefawna-N	MJTK-IP04-5	3 lines [2km × 3]	6,000m	240
Talzelt-N	MJTK-IP04-6	3 lines [2km × 3]	6,000m	240
Total		27 lines	57,000m	2,310

以下、Khefawna-NをKhefawnaおよびTalzelt-NをTalzeltとする。



Map Projection : Lambert Conformal Conic
 Standard Parallel : 34.865833
 Standard Parallel : 31.725000
 Latitude of Projection Origin : 33.3
 Longitude of Central Meridian : -5.4
 False Easting : 500,000
 False Northing : 300,000

Datum
 Horizontal Datum Name : Merchich
 Ellipsoid Name : Clarke 1880 IGN
 Semi-major Axis : 6378249.20000



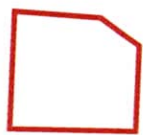


-  MARRAKECH-TEKNA AREA
-  IP Survey Line (2003)
-  IP Survey Line (2004)

Fig.II-2-1-1 Location map of survey area

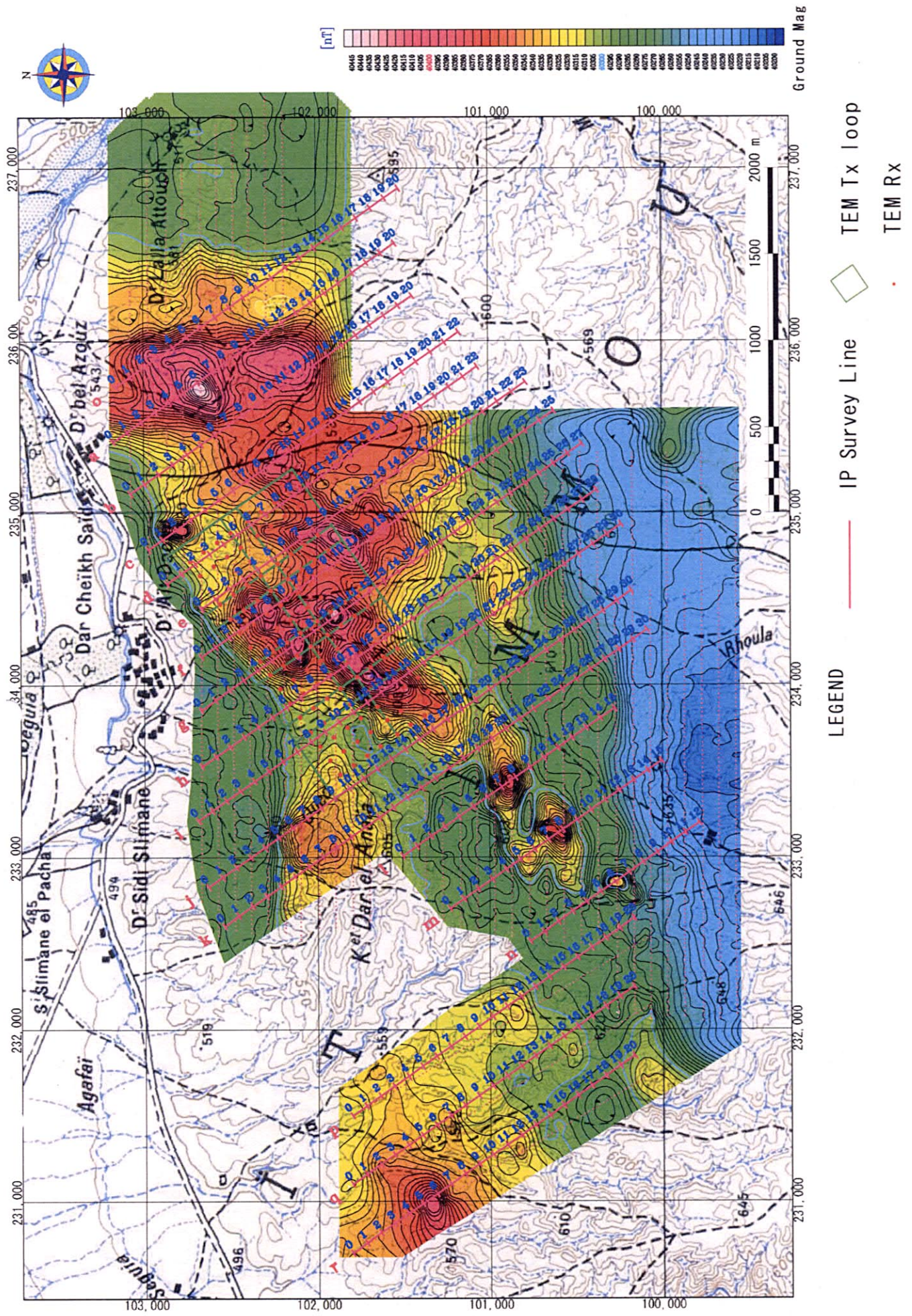


Fig.II-2-1-2 Survey location map at Azzouz area

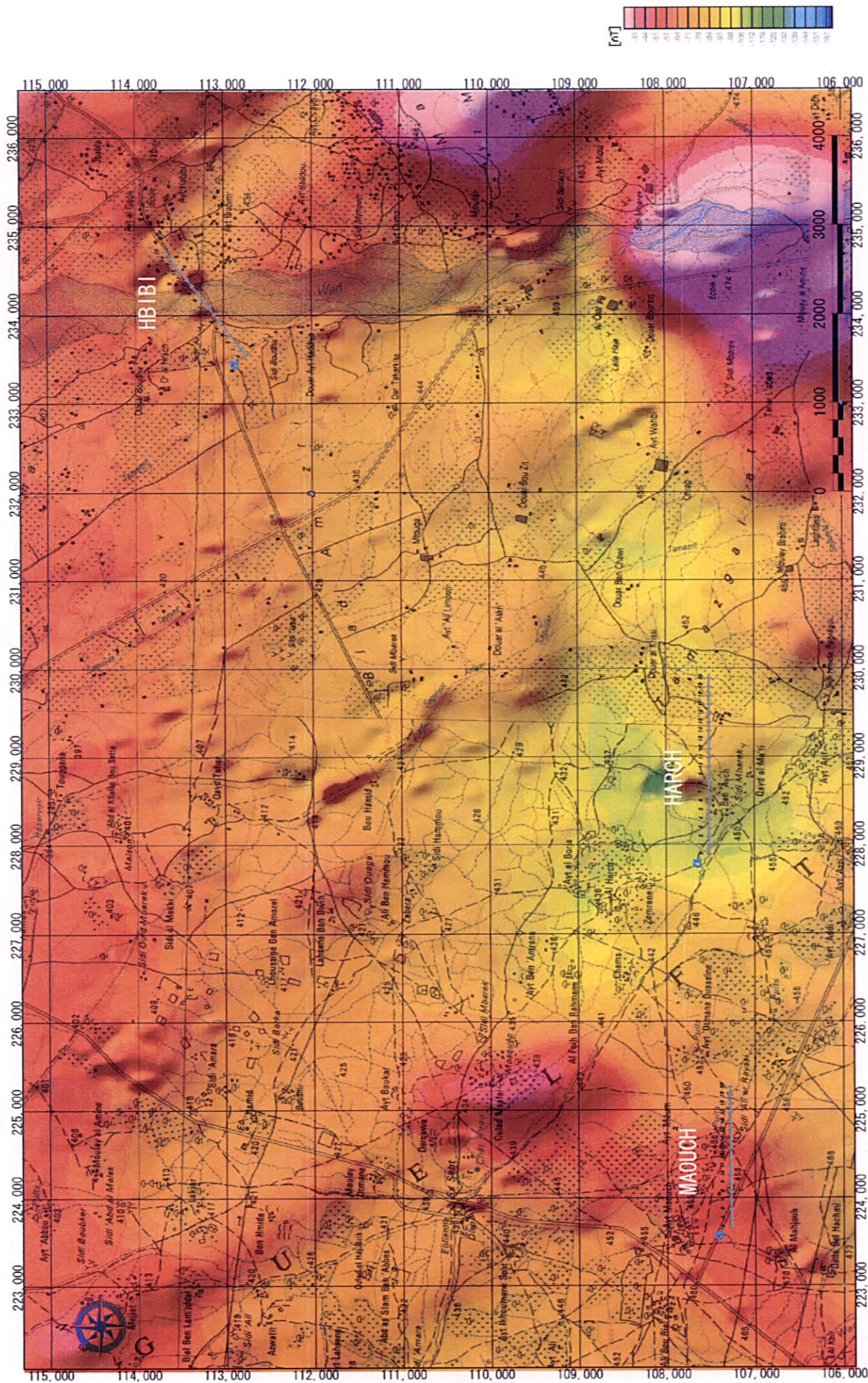
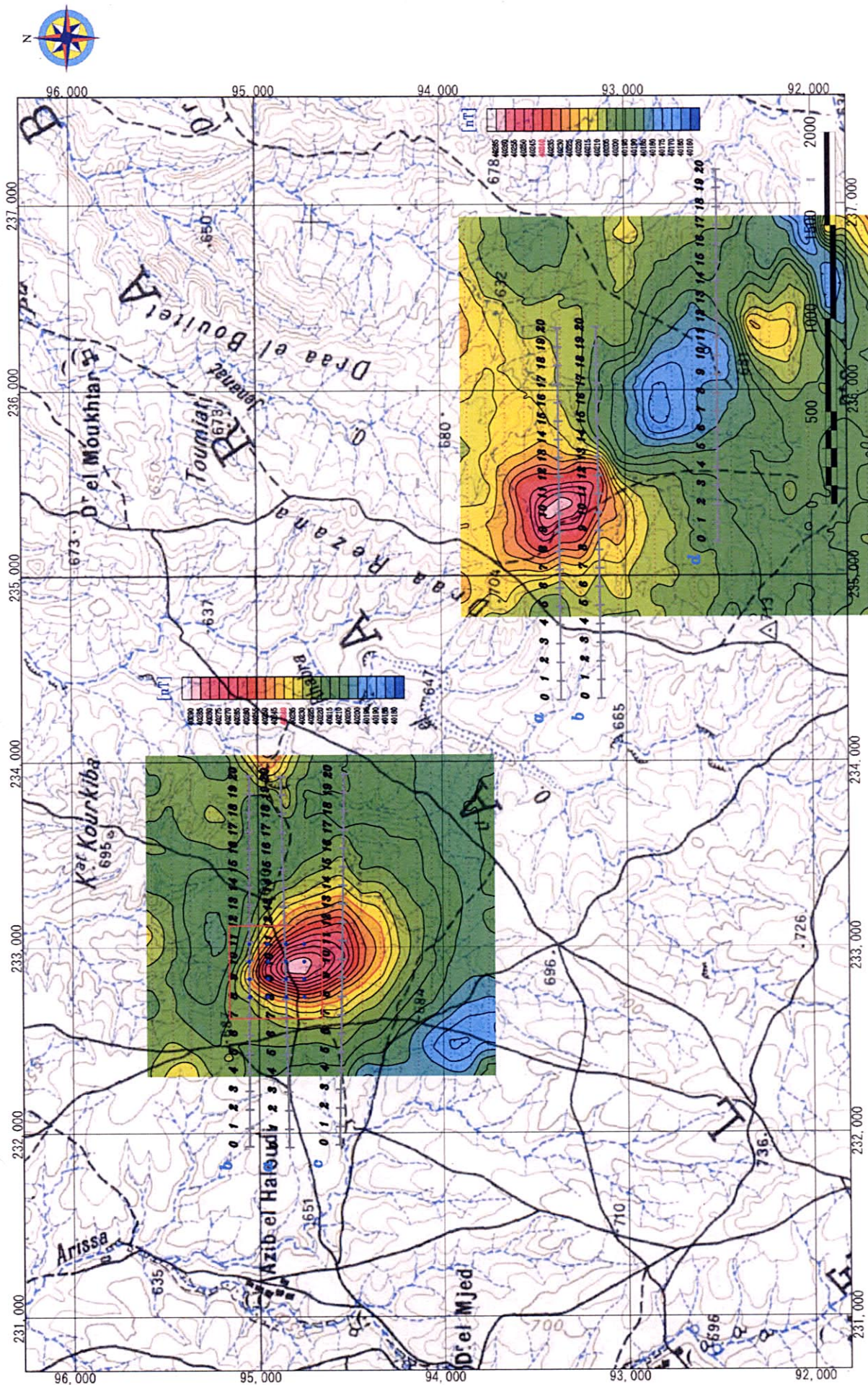


Fig.II-2-1-3 Survey location map at Hbibi-Harch-Maouch area



- LEGEND
- IP Survey Line
 - TEM Tx loop
 - TEM Rx

Fig.II-2-1-4 Survey location map at Khefawna-Talzelt area

2-1-3 調査方法

1) IP法の原理

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電気2重層を生じ、電流を切ると通電方向とは逆の方向に放電する。この現象はイオン伝導と電子伝導の組み合わせによる効果である。この現象を起こす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る。

[粘土鉱物の分極]

通常の岩石が通電によっていくらか分極するもので、これは岩石の空隙に少量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、カオリナイトは小さい。また粘土の容積比が5%程度のときに膜分極が極大値を示すが、その前後の容積比のとき膜分極は減少する。

膜分極の最大値は、モンモリロナイト量比5%付近にあってFE値で表せば約2%であり、硫化鉱物のOver Voltage effectに比べ極めて小さい。

2) 測定方法

測定方法は時間領域強制分極法(Time Domain IP法)を用い、電極配置はダイポール・ダイポール配置で実施した。なお、電極間隔は100m、測線間隔が200~250m、電極隔離係数が $n=1\sim 5$ である。

本調査では、1対の電流電極C1、C2を通じて大地に断続直流(on/off 2.0sec)を流し、他の1対の電位電極P1、P2の間で電流切断直前の1次電位(V_p)および電流切断後の減衰2次電位(V_s)を測定する。通電中の1次電位から見掛比抵抗、減衰2次電位から分極率が測定できる。

測定概念図をFig.II-2-1-3、サンプリング方法概念図をFig. II-2-1-4に示す。サンプリングタイムは、Table II-2-1-2に示すように電流切断後の時間における $t_4\sim t_{14}$ である。

Time Domain IP法のIP効果測定値は充電率と呼ばれ、 V_s/V_p [mV/V]で表される。

以下充電率は、450~950[msec]の積分データである。

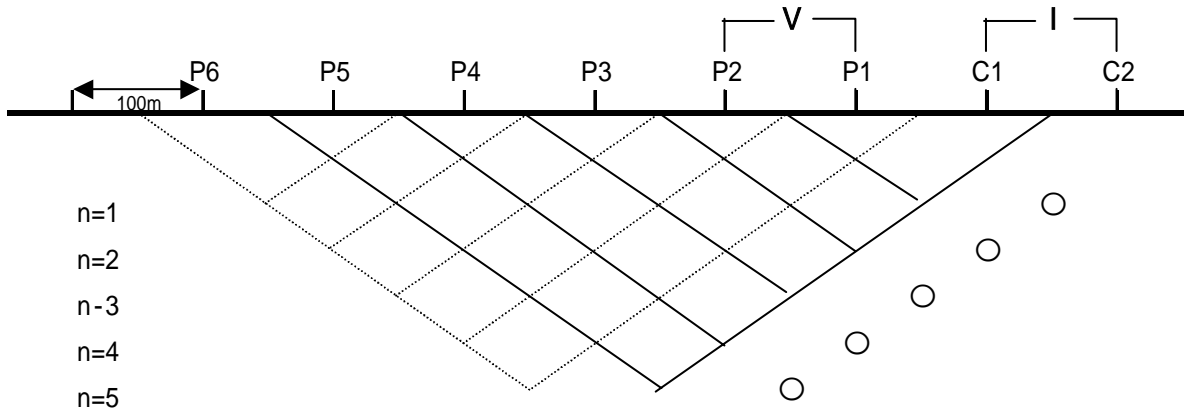


Fig.II-2-1-5 Concept of operation

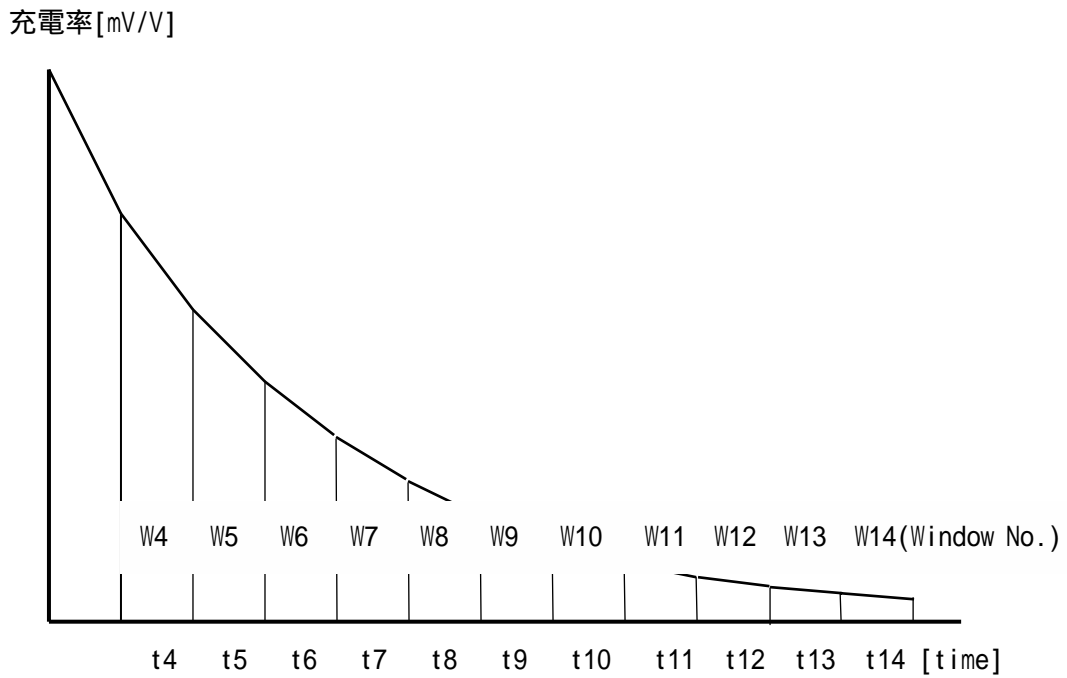


Fig.II-2-1-6 Concept of the method of measurement

Table II-2-1-2 List of sampling time

Window #	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14
Mid-point(msec)	60	90	130	190	270	380	520	705	935	1230	1590
Width(msec)	20	40	40	80	80	140	140	230	230	360	360

3) 使用機器

調査に使用した機器は Table II-2-1-3 に示す。

Table II-2-1-3 Specification of IP survey instrument

Equipment	Type	Maker	Specification	Amount
Transmitter	CH-97T,CH-97P	CHIBA Electronic Inc.	Max. Output Current 60A	2
	CH-98T,CH-98PA		Max. Output Volt. 880V	2
Engine Generator	ET-4500	HONDA	Max. Power 4.5kW 3 , 220V	2
Receiver	IPR-12	SCINTREX	8ch. 14 Window Input Range:50 μ V to 14V	2
Electrode		ASK System	PbCl	12
Measuring	Pocket compass	USHIKATA		2
	100m Esron tape			4
	GPS	GARMIN		3
Communication Device	TH-42	KENWOOD	Max. Power: 5W	12

2-1-4 解析方法

本解析では、2次元解析として有限要素法によるモデル計算と非線形最小二乗法による自動解析を組み合わせた2次元インバージョン解析法を使用した。この方法は、まず地形を含めた測線下をブロック状に分割する。ブロックは、測点間の中央にブロック境界を設け、浅部で薄く、深部で厚くなるように分割する。これらのブロックに比抵抗および充電率を与え比抵抗構造および充電率構造とし、有限要素法によるモデル計算を行うものである。最終的には、測定値と計算値の差が最も小さくなるような比抵抗構造および充電率構造が最小二乗近似法による自動反復解析により求められる。解析には GETOMO SOFTWARE の RES2DINV を使用した。

2-1-5 調査結果

2-1-5-1 測定結果

測定結果の見掛比抵抗、充電率およびメタルファクターの断面図および平面図を Fig.II-2-1-7~39 に示す。

測定結果は、ダイポール・ダイポール電極配置の関係上、電極隔離係数が大きくなるほど浅部の影響が深部まで及ぶため電極隔離係数の小さい $n=1,2,3$ 程度を主に参考にする。

1) Azzouz 地区 (Fig.II-2-1-7~27)

全体の比抵抗は、 $8 \sim 1,300 \cdot m$ と変化が大きい。

充電率は、 $1 \sim 55mV/V$ である。

見掛比抵抗分布の特徴は、概ね以下に分類される。

全体に新規堆積物がみられる所。

調査地域東～南東側(o,a,b,c 測線)にみられる約 $50 \cdot m$ 以下の低見掛比抵抗域。

浅部が低比抵抗で深部程高比抵抗になる傾向を示す。

構造線が推定されている所。

調査地域中央北側(g,h,i,j,k 測線)にみられる約 $50 \cdot m$ 以下の低見掛比抵抗域。

浅部から深部まで低比抵抗になる傾向を示す。

および を除く地域。

古生界の地質露頭がみられる所である。

浅部は約 $100 \cdot m$ 以上の比較的高比抵抗。

深部は低比抵抗域と高比抵抗域が複雑に分布する様相を呈する。このなかで比較的深部の g (No.7,8)、h(No.10,11)、i(No.12-14)、j(No.15-17)、k(No.14-16)測線では、NE-SW 系の低比抵抗域がみられる。

充電率異常は、g (No.7 付近) ~ k (No.14 付近) 測線付近を最大に概ね西側に連続する。

充電率が最大を示す付近は、前述 の低比抵抗域および地上磁気異常域とも一致している。

2) Hbibbi 地区 (Fig.II-2-1-28)

新期堆積物 (河川堆積物) が分布する所である。

比抵抗は、 $30 \sim 80 \cdot m$ 程で変化が小さい。

充電率は、 $3 \sim 15mV/V$ の低い値である。

No.11 付近に弱い異常がみられる。この付近は、残土等の埋め立て部に対応している。

3) Harch 地区 (Fig.II-2-1-29)

新期堆積物 (河川堆積物) が分布する所である。

比抵抗は、30～170 Ω・m 程で、表層部が高く深部が低い。
充電率は、3～8mV/V の低い値である。

4) Maouch 地区 (Fig.II-2-1-30)

新期堆積物 (河川堆積物) が分布する所である。

比抵抗は、20～70 Ω・m である。

充電率は、1～13mV/V の低い値である。

5) Khefawna-N 地区 (Fig.II-2-1-31～36)

新期堆積物が分布する所である。

比抵抗は、10～200 Ω・m 程で深部程高比抵抗を示す傾向にある。

充電率は、3～12mV/V の低い値である。

6) Talzelt-N 地区 (Fig.II-2-1-37～39)

新期堆積物が分布する所である。

測線は、低磁気異常域にみられる比較的弱い磁気異常部に設定。

比抵抗は、10～120 Ω・m 程で深部の一部で比抵抗が僅かに高い。

充電率は、2～9mV/V の低い値である。

2-1-5-2 解析結果

解析結果の比抵抗、充電率およびメタルファクターの断面図および平面図を Fig.II-2-1-40～77 に示す。

Azzouz 地区 (Fig.II-2-1-40～65)

比抵抗は、約 2～2,600 Ω・m に、充電率が 2～78mV/V に解析された。

調査地区には、約 50 Ω・m 以下の低比抵抗構造が以下の 3 ヲ所に解析された。

- 1) 低比抵抗構造は、調査域東～東南側の o,a,b,c,d 測線の表層から深度約 100m 付近まで連続する。深度約 100m 以深では約 200 Ω・m 以上の高比抵抗構造になる。高比抵抗構造は、西側から緩やかな傾斜で東側深部に延びていると解析された。この付近は新期堆積物分布域に対応する。
- 2) 低比抵抗構造は、h,i,j,k 測線北端に解析され浅部から深部に延びる。低比抵抗構造は、j,k 測線 No.6,7 付近で複雑な分布を示すと考えられる。測線端 No.2,3 付近に構造線 (断層) が推定される。
- 3) 低比抵抗構造は、g(No.7),h(No.10),i(No.13),j(No.16 付近),k(16 付近)測線の深度約 100m 付近から深部に連続して解析された。分布方向は概ね NE-SW 方向である。この低比抵抗

構造域は、深部でさらに広がると解析された。

充電率構造は、浅部（深度約 50～100m）で比較的広く低い値に解析されている。これは、新期堆積物の分布状況を反映していると考えられる。

比較的高い充電率構造は、深度約 50m で j,k 測線 No.14 付近、深度約 80m で d～r 測線に NE-SW 系の方向が明瞭である。深度約 140m 以深では、深部ほど高い充電率構造を示す傾向にあるが、複雑な構造線により分離されたような充電率構造分布が明瞭になる。

メタルファクター

測定される充電率は、硫化物等の比抵抗に対し周辺の低比抵抗変化により大きく変化する。この変化は、直線的な変化でないことや地質変化に対応した複雑な比抵抗変化などから完全に比抵抗の影響を取り去ることは難しい。ここでのメタルファクターは、簡易的な方法として（充電率/比抵抗）×100 としている。

メタルファクターは、k 測線 No.15,16 付近が最大 1,222 である。深度約 110m 以深より g(No.7)、h(No.10)、i(No.13)、j(No.16)、k(No.16 付近)測線に NE-SW 系の連続した異常体として解析された。この付近は、地上磁気異常帯の一部に含まれる。

Hbibi 地区 (Fig.II-2-1-66)

比抵抗は、約 15～200 Ω・m に、充電率が 2～20mV/V に解析された。

比抵抗は、表層付近の一部を除き約 20～30 Ω・m の低い値である。厚く分布する新期堆積物（河川堆積物）を反映していると考えられる。

充電率には、No.11 付近で残土等（廃棄物を含む）の埋め立て部に対応すると考えられる弱い充電率異常域が考えられる。

全体に IP 異常は無いと考えられる。

Harch 地区 (Fig.II-2-1-67)

比抵抗は、約 25～480 Ω・m に、充電率が 2～11mV/V に解析された。

比抵抗は、表層付近が約 500 Ω・m の高比抵抗に解析された。概ね礫層を反映していると考えられる。また、No.11,12 付近は深部に 100 Ω・m 程の比抵抗構造が連続するようである。

全体に IP 異常は無いと考えられる。

Maouch 地区 (Fig.II-2-1-68)

比抵抗は、約 14～122 Ω・m に、充電率が 1～14mV/V に解析された。

比抵抗構造は、深部程低比抵抗構造になると解析された。

充電率は、深部で僅かに高くなるようである。

新期堆積物が厚く分布すると考えられる。

全体に IP 異常は無いと考えられる。

Khafawna 地区 (Fig.II-2-1-69 ~ 74)

比抵抗は、約 11 ~ 217 $\cdot m$ に、充電率が 4 ~ 14mV/V に解析された。

比抵抗構造は、表層部が最も低く、No.8 付近を頂点に深部で高比抵抗になるドーム状の比抵抗構造が推定される。深部ほど高比抵抗になるようである。

全体に IP 異常は無いと考えられる。

Talzelt 地区 (Fig.II-2-1-75 ~ 77)

比抵抗は、約 10 ~ 120 $\cdot m$ に、充電率が 2 ~ 9mV/V に解析された。

比抵抗構造は、深部ほど僅かに比抵抗が高くなる傾向を示す。

全体に IP 異常は無いと考えられる。

解析結果を Table II-2-1-4 にまとめた。

Table II-2-1-4 Result of the IP survey

地区名	解析結果の特徴
<p>Azzouz 地区 (Ghoula) MJTK-IP04-1</p>	<p>比抵抗、充電率： 2 ~ 2,600 \cdot m、 2 ~ 78mV/V。 低比抵抗構造： 50 \cdot m 以下。 1)調査域東 ~ 東南側 o,a,b,c,d 測線の表層から深度約 100m 付近。 東側で厚く分布する新期堆積物。 2)h,i,j,k 測線北端の浅部から深部に延びる。j,k 測線 No.6,7 付近で複雑な 分布。測線端 No.2,3 付近に構造線 (断層)。 3)g(No.7),h(No.10),i(No.13),j(No.16 付近),k(16 付近)測線の深度約 100m 付近から深部に連続する。分布方向は NE-SW 方向。 充電率構造： 低い充電率構造 浅部 (深度約 50 ~ 100m) で比較的広く低い値。 新期堆積物の分布状況を反映。 比較的高い充電率構造 深度約 50m j,k 測線 No.14 付近。 深度約 80m d ~ r 測線に NE-SW 系の方向。 高い充電率構造 深度約 140m 以深 深部ほど高い充電率構造を示す傾向。 深部は、複雑な構造線により分離された充電率構造。 メタルファクター： 深度約 110m 以深より g(No.7)、 h(No.10)、 i(No.13)、 j(No.16)k(No.16 付近)測線に NE-SW 系の連続した IP 異常。 磁気異常： 磁気異常帯の一部と低比抵抗・高充電率異常域が対応。</p>
<p>Hbibbi 地区 MJTK-IP04-2</p>	<p>比抵抗、充電率： 15 ~ 200 \cdot m、 2 ~ 20mV/V。 比抵抗構造： 表層付近の一部を除き 20 ~ 30 \cdot m。厚く分布する新期堆積物 (河川堆積物) を反映。 充電率構造： No.11 付近で残土 (廃棄物を含む) 等に対応する弱いい充電率 異常構造。 IP 異常は無い。</p>
<p>Harch 地区 MJTK-IP04-3</p>	<p>比抵抗、充電率： 25 ~ 480 \cdot m、 2 ~ 11mV/V。 比抵抗構造： 表層付近は約 500 \cdot m。礫層を反映。 No.11,12 付近は深部に 100 \cdot m 程の比抵抗構造が連続する。 IP 異常は無い。</p>
<p>Maouch 地区 MJTK-IP04-4</p>	<p>比抵抗、充電率： 14 ~ 122 \cdot m、 1 ~ 14mV/V。 比抵抗構造： 深部程低比抵抗構造になる。 充電率構造： 深部で僅かに高くなる。 新期堆積物が厚く分布する。 IP 異常は無い。</p>
<p>Khefawna 地区 MJTK-IP04-5 造。</p>	<p>比抵抗、充電率： 11 ~ 217 \cdot m、 4 ~ 14mV/V。 比抵抗構造： 表層部低い。No.8 付近を頂点に深部で高比抵抗なドーム状構 造。 IP 異常は無い。</p>
<p>Talzelt 地区 MJTK-IP04-6</p>	<p>比抵抗、充電率： 10 ~ 120 \cdot m、 2 ~ 9mV/V。 比抵抗構造： 深部ほど僅かに高い比抵抗構造。 IP 異常は無い。</p>