

サウディ・アラビア王国ウム・アダマール地域

資源開発協力基礎調査報告書

(第1年次)

平成11年8月

JICA LIBRARY



J1150859151

国際協力事業団

金属鉱業事業団

起算日

CR/31

99.088

サウディ・アラビア王国ウム・アダマール地域

資源開発協力基礎調査報告書

(第1年次)

平成11年3月

国際協力事業団

金属鉱業事業団



1150859[5]

はしがき

日本国政府はサウディ・アラビア王国政府の要請に応え、同国のウム・アダマール地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、既存データ解析、地質調査、物理探査など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事業団に委託した。国際協力事業団は、本調査の内容が地質および鉱物資源の調査という専門分野に属することから、調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。

本調査は平成10年度から開始され、本年度は第1年次にあたる。金属鉱業事業団は調査員5名を平成11年1月30日から平成11年3月17日まで、また、調査員2名を平成11年2月12日から平成11年3月10日まで現地に派遣した。現地調査はサウディ・アラビア王国鉱物資源副省の協力を得て、予定どおり完了した。

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。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたサウディ・アラビア王国政府関係機関ならびに外務省、通商産業省、在サウディ・アラビア王国日本大使館、ジェッダ総領事館および関係各位の方々に衷心より感謝の意を表わすものである。

平成11年3月

国際協力事業団

総裁 藤田 公 郎

金属鉱業事業団

理事長 檜 山 博 昭

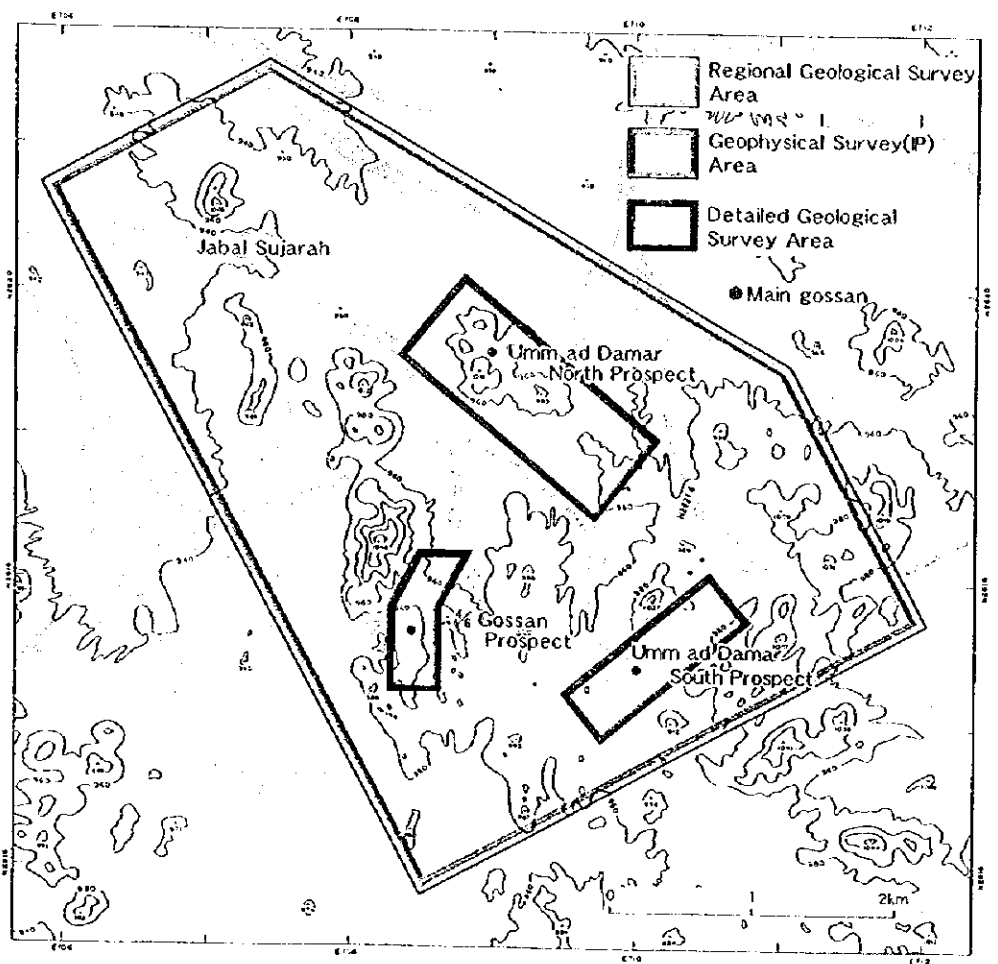
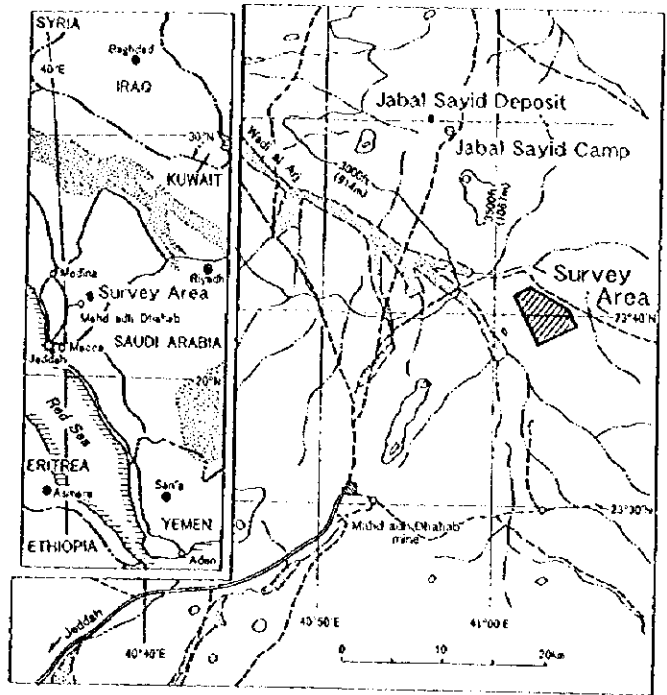


Fig. 1-1 Location Map of the Survey Area

要 約

ウム・アダマール地域における第1年次調査として、地形図作成、既存データ解析、航空写真地質解析、地質調査およびIP法物理探査を実施した。その結果は以下のとおり要約される。

調査地域は Najd Plateau の一部に当たり、地域内には標高約900mの平地に比高50～100mの丘陵ないし山地が分布する。平地は砂礫に広く覆われ、丘陵・山地には後述の原生界が露出する。

調査地域の地質は、新生代後期 Arj 層群の安山岩・火砕岩、石英安山岩・火砕岩および流紋石英安山岩・火砕岩よりなり、閃緑岩、石英閃緑岩、トータル岩、安山岩、石英安山岩、流紋石英安山岩等にかまれる。さらに、これらを不整合に被覆して新生代後期 Mahd 層群の安山岩・火砕岩が調査地域の西端部に分布する。

調査地域には、Umm ad Damar North, Umm ad Damar South および 4/6 Gossan と呼ばれるプロスペクトが分布する。これらのプロスペクトに認められる鉱化作用は、Arj 層群石英安山岩・火砕岩または流紋石英安山岩・火砕岩中の剪断帯に鉱染状ないし網状に胚胎する銅鉱化作用であり、そのうち、4/6 Gossan では特に Au, Ag, Pb, Zn 品位が高い。これらのプロスペクトでは、既に地質調査、IP法物理探査、地化学探査、トレンチ調査、試錐探査などが実施されており、Umm ad Damar South で100万トン (Cu 2%, Zn 1～2.5%)、4/6 Gossan で16万トン (Au<15g/g, Ag<450g/g) の鉱量が推定されている。

本年度に実施したこれらプロスペクトの地質精査結果、および過去に実施された試錐探査のデータを総合的に検討した結果、Umm ad Damar North で5列 (No.1～No.5 鉱化帯)、Umm ad Damar South で1列、4/6 Gossan で1列の鉱化帯の存在が推定された。Umm ad Damar North ではカラミ分布域の下方、Umm ad Damar South では鉱化帯の西部、4/6 Gossan では鉱化帯の下部および南部が未探鉱のまま残されている。

調査地域の鉱化作用は黄鉄鉱等の硫化物に富むため、調査地域ではIP法物理探査が最も有効な探査手法と考えられ、これまで民間企業、政府系調査機関によりIP法物理探査が上記の3プロスペクト周辺でのみ実施されてきた。本年度の調査地域全域を対象とするIP法物理探査により、Jabal Sujarah (“B-12”異常域)、Umm ad Damar North のNo.3 鉱化帯の南東方延長部 (“J-25”異常域)、Umm ad Damar North と Umm ad Damar South の中間地点 (“M-27”異常域)、およびUmm ad Damar South の鉱化帯の西端部付近 (“P-18”異常域) の4箇所に24 mV/V以上の充電率異常域が抽出された。これらの異常域は、いずれも地表が砂礫で覆われている。

“B-12”異常域周辺の露頭では炭酸塩化作用が著しく、本異常域はNE-SWおよびNW-SE方向の断層の交差部に位置する。また、ジャスパーや流紋石英安山岩が分布するなど

地表地質は Jabal Sayid 鉱床に類似する。“J-25”異常域は、NW-SE 走向の No. 3 鉱化帯と No. 4 鉱化帯の中間に位置する。“M-27”異常域と“P-18”異常域は NE-SW 方向の断層付近に分布し、“M-27”異常域の近傍には酸化銅鉱を含む石英脈や古代採掘跡が分布する。これらの異常域では比抵抗が高いこと、さらに物性試験の結果などから、これらの充電率異常は地下深部に胚胎する硫化物濃集部を反映したものと考えられる。

以上の調査結果から、第 2 年次調査として、Umm ad Damar North ではカラミ分布域の下方と“J-25”異常域、4/6 Gossan では鉱化帯の下部と南部に対して試錐探査を行うことを提言する。また、“B-12”異常域、“M-27”異常域から“P-18”異常域にかけての範囲に対しては、測線間隔を密にした IP 法物理探査ならびに TEM 法物理探査を実施し、鉱床の賦存状態を明らかにする必要がある。

目 次

目 次

はしがき	
調査地域位置図	
要 約	
目 次	
付図付表一覧	

第1部 総 論

第1章 序 論	1
1-1 調査の経緯および目的	1
1-2 第1年次調査の概要	1
1-3 調査団の編成	2
1-4 調査期間	3
第2章 調査地域の地理	4
2-1 位置および交通	4
2-2 地形および水系	4
2-3 気候および植生	4
第3章 既往調査の概要	5
第4章 調査地域周辺の一般地質	6
4-1 地 質	6
4-2 地質構造	6
4-3 調査地域近隣の鉱床	9
第5章 調査地域の地質概要	10
5-1 地 質	10
5-2 地質構造	10
5-3 鉱化作用	10
第6章 物理探査結果	12

第7章 調査結果の総合検討	13
7-1 地質構造, 鉍化作用の特性と鉍化規制	13
7-2 充電率異常と鉍化作用との関連	14
7-3 鉍床賦存のポテンシャル	16
第8章 結論および提言	20
8-1 結 論	20
8-2 第2年次への提言	21
8-2-1 試錐調査	21
8-2-2 精密物理探査	21

第II部 各 論

第1章 既存データ解析	23
1-1 調査地域	23
1-1-1 探鉍経緯	23
1-1-2 鉍化作用	23
1-1-3 物理探査結果	26
1-1-4 試錐探査結果	29
1-2 調査地域近隣の鉍床	31
1-2-1 Mahd adh Dhahab鉍山	31
1-2-2 Jabal Sayid 鉍床	36
第2章 航空写真地質解析	40
2-1 解析方法	40
2-2 地質解析結果	40
2-2-1 地質単元区分	40
2-2-2 地質構造	43
第3章 地質調査	44
3-1 地質概要	44
3-2 地質層序	44
3-2-1 Arj層群	44
3-2-2 Mahd層群	45

3-3	貫入岩類	46
3-4	地質構造	46
3-5	鈳化作用	52
3-5-1	Umm ad Damar North	58
3-5-2	Umm ad Damar South	64
3-5-3	4/6 Gossan	69
3-5-4	その他の鈳化帯	73
3-6	調査地域に見られる鈳化作用と近隣の鈳床との比較	73
第4章	物理探査	83
4-1	調査概要	83
4-2	調査方法	83
4-2-1	測定原理	83
4-2-2	測定方法	84
4-2-3	室内試験	88
4-2-4	解析方法	88
4-3	調査結果	90
4-3-1	測定値	90
4-3-2	解析結果(2次元逆解析)	90
4-3-3	室内試験	91
4-3-4	考察	158

第Ⅲ部 結論および第2年次への提言

第1章	結論	163
第2章	第2年次への提言	164
2-1	試錐探査	164
2-2	精密物理探査	164

参考文献

写真

付帯資料

FIGURES

Fig. 1-1 Location Map of the Survey Area

Fig. 1-2 Regional Geology of the Survey Area

Fig. 1-3 Integrated Interpretation Map

Fig. 2-1-1 Previous Geophysical Surveys in the Survey Area

Fig. 2-1-2 Geological Map and Geological Sections of the Mahd adh Dhahab Mine

Fig. 2-1-3 Geological Map and Geological Section of the Jabal Sayid Deposit

Fig. 2-2-1 Photogeological Interpretation Map

Fig. 2-3-1 Geological Map of the Survey Area

Fig. 2-3-2 Schematic Stratigraphic Columns

Fig. 2-3-3 Mineralization Map of the Survey Area

Fig. 2-3-4 Detailed Geological Map of the Umm ad Damar North Prospect

Fig. 2-3-5 Geological Sections of the Umm ad Damar North Prospect

Fig. 2-3-6 Detailed Geological Map of the Umm ad Damar South Prospect

Fig. 2-3-7 Geological Sections of the Umm ad Damar South Prospect

Fig. 2-3-8 Detailed Geological Map and Geological Sections of the 4/6 Gossan Prospect

Fig. 2-3-9 Crossplots of Homogenization Temperature and Salinity of Fluid Inclusions

Fig. 2-4-1 Wave Form of Transmitter Current and Received Voltage

Fig. 2-4-2 Location Map of the Survey Lines

Fig. 2-4-3 Flow Chart of the Analytical Method

Fig. 2-4-4 Apparent Resistivity Pseudosection (Line A, B, C)

Fig. 2-4-5 Apparent Resistivity Pseudosection (Line D, E, F)

Fig. 2-4-6 Apparent Resistivity Pseudosection (Line G, H, I)

Fig. 2-4-7 Apparent Resistivity Pseudosection (Line J, K, L)

Fig. 2-4-8 Apparent Resistivity Pseudosection (Line M, N, O)

Fig. 2-4-9 Apparent Resistivity Pseudosection (Line P, Q)

Fig. 2-4-10 Apparent Resistivity Map (n=2)

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

Fig. 2-4-12 Apparent Chargeability Pseudosection (Line A, B, C)

Fig. 2-4-13 Apparent Chargeability Pseudosection (Line D, E, F)

- Fig. 2-4-14 Apparent Chargeability Pseudosection (Line G, H, I)
- Fig. 2-4-15 Apparent Chargeability Pseudosection (Line J, K, L)
- Fig. 2-4-16 Apparent Chargeability Pseudosection (Line M, N, O)
- Fig. 2-4-17 Apparent Chargeability Pseudosection (Line P, Q)
- Fig. 2-4-18 Apparent Chargeability Map (n=2)
- Fig. 2-4-19 Apparent Chargeability Map (n=4)
- Fig. 2-4-20 Resistivity Section (A, B, C)
- Fig. 2-4-21 Resistivity Section (D, E, F)
- Fig. 2-4-22 Resistivity Section (G, H, I)
- Fig. 2-4-23 Resistivity Section (J, K, L)
- Fig. 2-4-24 Resistivity Section (M, N, O)
- Fig. 2-4-25 Resistivity Section (P, Q)
- Fig. 2-4-26 Resistivity Map (SL 900m)
- Fig. 2-4-27 Resistivity Map (SL 800m)
- Fig. 2-4-28 Chargeability Section (A, B, C)
- Fig. 2-4-29 Chargeability Section (D, E, F)
- Fig. 2-4-30 Chargeability Section (G, H, I)
- Fig. 2-4-31 Chargeability Section (J, K, L)
- Fig. 2-4-32 Chargeability Section (M, N, O)
- Fig. 2-4-33 Chargeability Section (P, Q)
- Fig. 2-4-34 Chargeability Map (SL 900m)
- Fig. 2-4-35 Chargeability Map (SL 800m)
- Fig. 2-4-36 Geophysical Anomaly Map

TABLES

- Table 1-1 Amount of Work

- Table 2-1-1 Mineralization of Prospects in the Survey Area
- Table 2-1-2 Results of Drilling Exploration
- Table 2-1-3 Ore Minerals Reported from the Umm ad Damar North Prospect, the Jabal Sayid Deposit and the Mahd adh Dhahab Mine

- Table 2-3-1 Results of Microscopic Observation of Thin Sections

Table 2-3-2 Results of Microscopic Observation of Polished Sections

Table 2-3-3 Results of Ore Assay

Table 2-3-4 Results of X-ray Diffraction Analysis

Table 2-3-5 Results of Fluid Inclusion Study

Table 2-3-6 Correlation of Mineral Prospects

Table 2-4-1 List of IP Survey Lines

Table 2-4-2 List of IP Survey Equipment

Table 2-4-3 Results of Laboratory Tests

PHOTOGRAPHS

Photo. 1 Photomicrographs of Thin Sections

Photo. 2 Photomicrographs of Ores

Photo. 3 Photomicrographs of Fluid Inclusions

APPENDICES

Appendix-1 Histogram of Homogenization Temperature

Appendix-2 Characteristics of Measured Fluid Inclusions

PLATES

PL.1 Geological Map of the Survey Area (1:10,000)

PL.2 Mineralization Map of the Survey Area (1:10,000)

PL.3 Detailed Geological Map of the Umm ad Damar North Prospect (1:2,500)

PL.4 Detailed Geological Map of the Umm ad Damar South Prospect (1:2,500)

PL.5 Detailed Geological Map of the 4/6 Gossan Prospect (1:2,500)

PL.6 Geophysical Anomaly Map of the Survey Area (1:10,000)

PL.7 Integrated Interpretation Map of the Survey Area (1:10,000)

PL.8 Sampling Location Map (1:10,000)

第 I 部 総 論

第 I 部 総 論

第 1 章 序 論

1-1 調査の経緯および目的

本調査は、金属鉱業事業団がサウディ・アラビア王国鉱物資源副省 (Deputy Ministry for Mineral Resources, 以下“DMMR”と省略する) と 1998 年 7 月 6 日付けで締結した Scope of Work に基づいて実施するウム・アダマール地域の資源開発協力基礎調査である。

本調査の目的は、同地域において地質状況および鉱床賦存状況を解明することにより新鉱床を発見すること、および相手国機関に対して技術移転を図ることである。本調査は 3 年間にわたって実施され、本年度調査はその第 1 年次に当たる。

1-2 第 1 年次調査の概要

調査地域は、サウディ・アラビア北部に位置する。調査面積は 18km² である (Fig. 1-1 参照)。

第 1 年次調査は、地形図作成、既存データ解析、航空写真地質解析、地質調査および IP 法物理探査からなり、その作業量を Table 1-1 に示す。

調査開始に当たり、日本にて調査地域を含む面積 100km² の範囲の地形図 (縮尺 1:10,000) を作成した。また、既知プロスペクトを包含する面積 9 km² の範囲について縮尺 1:5,000 の地形図を作成した。

過去に実施された地質調査、物理探査、試錐探査の結果について、資料を収集し、日本および現地において既存データ解析を実施した。

航空写真地質判読は、調査地域を含む面積 90km² の範囲を対象として、日本で実施された。

既存地質データを参照した上で、調査地域の全域およびその周辺に対して地質調査を実施し、縮尺 1:10,000 の地質図を作成した。同時に 3 箇所の既知プロスペクトにおいて、地質精査を行い、縮尺 1:2,500 の地質図を作成した。これには試錐孔、トレンチおよび古代採掘跡の位置も記入した。

IP 法物理探査では、調査地域の地質構造トレンドに直交するように NE-SW 方向の測線を配置した。また、本探査は調査地域全域の比抵抗、充電率評価を目的としているため、測線間隔を 300m にして実施した。

Table 1-1 Amount of Work

Survey method	Amount	
Topographic map		
scale 1:10,000	Areal extent	100 km ²
scale 1:5,000	Areal extent	9 km ²
Photogeological interpretation	Areal extent	90 km ²
Geological survey	Areal extent	18 km ²
	Laboratory works	
	Thin section	25 sections
	Polished section	8 sections
	X-ray diffraction	10 samples
	Ore assay (Au,Ag,Cu,Pb,Zn,Fe)	33 samples
	Fluid inclusion	
	Homogenization Temperature	14 samples
	Salinity	14 samples
Geophysical Survey (IP)	Length of survey lines	55 km
	Number of stations	1,962 points
	Measurement of rock resistivity and chargeability	36 samples

1-3 調査団の編成

事前調査および協定折衝

1) 日本側調査団

笹口 健 (団長, 金属鉱業事業団 理事)
 岡島洋之 (外務省 開発協力課)
 高橋達也 (通商産業省 資源エネルギー庁 鉱業課)
 辻本崇史 (金属鉱業事業団 海外部)
 藤井 昇 (金属鉱業事業団 海外部)
 西川信康 (金属鉱業事業団 パリ海外調査員事務所)

2) サウディ・アラビア王国側

Mohammed TANFIQ (DMMR 次官補)
 Ghazi ABDULHAY (DMMR 部長)

Mohamad SAHL (DMMR)

現地指導監督

神谷太郎 (国際協力事業団 鉱工業開発調査部)

辻本崇史 (金属鉱業事業団 海外部)

柴崎洋志 (金属鉱業事業団 海外部)

現地調査

1) 日本側調査団 (日鉱探開株式会社)

俣野米治 (団長, 総括)

菊地良弘 (地質調査)

山石 毅 (IP 法物理探査)

杉山伸一 (IP 法物理探査)

立川三郎 (IP 法物理探査)

廣岡 知 (IP 法物理探査)

岩崎任伯 (IP 法物理探査)

2) サウディ・アラビア王国側調査団

Ghazi ABDULHAY (Coordinator)

Mohamad SAHL (Geologist)

Abdullah AL-JEHANI (Geologist)

1-4 調査期間

- (1) 事前調査および協定折衝： 平成 10 年 6 月 25 日～平成 10 年 7 月 8 日
- (2) 現地指導監督： 平成 11 年 1 月 30 日～平成 11 年 2 月 7 日 (辻本)
平成 11 年 3 月 5 日～平成 11 年 3 月 16 日 (柴崎)
平成 11 年 3 月 9 日～平成 11 年 3 月 16 日 (神谷)
- (3) 現地調査
既存データ解析： 平成 11 年 1 月 30 日～平成 11 年 2 月 8 日
地質調査・IP 法探査現地調査：平成 11 年 1 月 30 日～平成 11 年 3 月 17 日
- (4) 室内解析・報告書作成： 平成 11 年 3 月 18 日～平成 11 年 3 月 24 日

第2章 調査地域の地理

2-1 位置および交通

調査地域はジェッダの北東約 300km に位置する。調査のベースキャンプとして、調査地域から北西方へ約 20 km 離れた Jabal Sayid 鉱床付近の DMMR キャンプ (Fig.1-1 の上図で Jabal Sayid Camp と表示) を使用した。ベースキャンプから調査地域までは車で約 30 分を要する。

2-2 地形および水系

調査地域を含む広域の地形は、西より紅海、紅海沿岸平野部～丘陵地、Hijaz 山脈、Harat Rahat と呼ばれる玄武岩台地、サブカ分布地、小起伏山地に区分でき、調査地域は最も東側の小起伏山地に位置する。紅海沿岸から東に向い順次高度を上げ、Hijaz 山脈が 1,200～2,300m、Harat Rahat が最高 1,500m 程度、サブカ分布地と小起伏山地が 1,000～1,200m の標高を持つ。

調査地域の位置する小起伏山地は Hijaz 山脈東方の Najd Plateau の一部に当たり、調査地域には標高約 900m の平地に比高 50～100m の丘陵ないし山地が分布する。

これら丘陵ないし山地は N-S ないし NW-SE 方向に伸長して分布することが多いが、調査地域南東部では様相を異にして、NE-SW 方向に伸びる。

調査地域には永久河川はないが、大きく見て北向き、または北西向きに高度を下げるワジが発達し、調査地域北西方にて Wadi al Arj に合流する。

2-3 気候および植生

サウディ・アラビアはアフリカ北部からアジアまで延びる大熱帯砂漠の中央に位置する。高原地帯では、夏は日中 40℃以上になるが、冬季には夜間 0℃前後に下がることも少なくない。Mahd ad Dhahab の年平均降雨量は 62mm である。

調査地域では植生が少なく、ワジ沿いにアカシアが生育しているのみである。

第3章 既往調査の概要

調査地域には、Umm ad Damar North, Umm ad Damar South および 4/6 Gossan の3プロスペクトが知られている。これらのプロスペクトの範囲は、過去の調査により様々に設定されているが、本調査では古代採掘跡、トレンチ、試錐孔の分布等から Fig. 1-1 に示す範囲（地質精査範囲）とした。これらのプロスペクトでは、鉱染状ないし網状の主として黄鉄鉱、黄銅鉱よりなる鉱化部が、剪断帯中に全体として断続したレンズ状で胚胎する。

Umm ad Damar North と Umm ad Damar South では、DGMR (1936～1965 年)、BRGM (1969～1971 年)、SEREM (Societe d'Etudes de Recherches et d'Exploitation Minières) /US Steel (1976～1977 年) および Riofinex (1981～1983 年) により、空中物理探査、地上物理探査、地質調査、試錐探査が実施されている。4/6 Gossan では、1982 年から 1983 年にかけて、Riofinex によりトレンチ調査、地化学探査、IP 法物理探査等が、そして、1983 年には試錐探査が実施されている。

調査地域における地上物理探査は、1961 年から 1983 年にかけて断続的に行われてきたが、1982～1983 年に Riofinex が実施した物理探査以外のものについては、調査範囲が不明である。Riofinex が実施した物理探査範囲は、前述の3プロスペクトを含んでおり、IP 法物理探査と磁気探査が行われている。その結果、充電率 12.5 mV/V 以上の異常域は、一部を除き、鉱化帯の分布域と一致する。

調査地域では、合計 27 孔の試錐探査が行われ、掘進総延長は 4,821m に達する。これらの試錐は Umm ad Damar North で 12 孔、Umm ad Damar South で 11 孔と、2つのプロスペクトに集中しており、4/6 Gossan では2孔と少ない。

第4章 調査地域周辺の一般地質

4-1 地質

Kemp et al. (1982)を基に、調査地域、Jabal Sayid 鉱床および Mahd adh Dhahab 鉱山を包含する地域（以下、本章において「本地域」と呼称する）の地質について以下に述べる（Fig. 1-2 参照）。

本地域には、下位より原生代後期の Arj 層群、Mahd 層群、Ghamr 層群が分布する。それらを貫いて、Dhukhr トーナル岩、Fufayriyah トーナル岩、Bari 花崗閃緑岩、Raghiyah Suite の花崗岩類が分布する。

Arj 層群は本地域の最下位層であり、本層群の基盤は不明である。本地域の Arj 層群は珪長質火山岩よりなる Sayid 層 (Fig. 1-2 の asa) と火砕岩、安山岩よりなる Jabal Azlam 層 (ajz)，そして未区分岩 (asz) に分けられる。Sayid 層は暗灰色～緑色を呈する塊状の珪長質岩を主とし、堆積岩を伴う。Jabal Azlam 層下部は玄武岩～安山岩質角礫岩・凝灰角礫岩と安山岩よりなり、上部は角礫岩、砂岩、円礫岩よりなる。本層群は Mahd 層群によって不整合に被覆される。

Mahd 層群としては、本地域では Tulaymisah 層と Haf 層が分布する。Tulaymisah 層は火山砕屑岩ユニット (mtv) と火山岩ユニット (mt) に細分される。Haf 層は玄武岩、安山岩および流紋石英安山岩よりなる Juraysiyah 部層 (mhj) と流紋岩、堆積岩よりなる Zur 部層 (mhz) および未区分岩 (mh) に区分される。

Ghamr 層群としては、本地域には凝灰質メンバー (ggt) と Kharzah 層が分布する。Kharzah 層は、更に苦鉄質岩ユニット (gka)，珪長質岩ユニット (gkr) および堆積岩ユニット (gks) に細分される。

Dhukhr トーナル岩(dt)はハンレイ岩～トロニウム岩・花崗閃緑岩からなるが、ほとんどは石英閃緑岩～トーナル岩である。Dhukhr トーナル岩と Arj 層群との関係は明らかではない。トーナル岩の U-Pb 年代（ジルコン）として、 816 ± 4 Ma が報告されている。

Fufayriyah トーナル岩(ht)は、石英閃緑岩～トーナル岩の組成を示す。

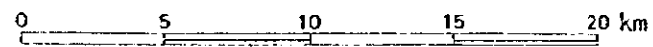
Bari 花崗閃緑岩(bg)は Mahd 層群を貫き、Mahd 層群に接触変成作用を与えている。本岩は、未変成の Ghamr 層群に被覆され、トーナル岩～トロニウム岩の組成を示す。

Raghiyah 花崗岩類は Dayahin 花崗岩 (rda)，Assharah 花崗岩、Dumah 花崗閃緑岩に区分され、Assharah 花崗岩は更にモンゾニ花崗岩 (rag) と花崗岩 (ram) に、Dumah 花崗閃緑岩は花崗閃緑岩 (rdg) と石英モンゾニ閃緑岩 (rdd) に細分される。

調査地域には、これらの内、主に Arj 層群の Sayid 層と Jabal Azlam 層が分布する。

4-2 地質構造

本地域では、Arj 層群の分布は Jabal Sayid 鉱床周辺と調査地域周辺に限られる。



AGE	SEDIMENTARY, VOLCANIC AND METAMORPHIC ROCKS	INTRUSIVE ROCKS
CENOZOIC	QUATERNARY WADI ALLUVIUM Qal sand, gravel	
	OLDER WADI DEPOSITS, FANS, TERRACES Qu SCREE(Qu)	
TERTIARY	BASALT	
PROTEROZOIC	UNCONFORMITY	
	RAGHIYAH SUITE	Dayahin Granite(582 ± 26Ma): porphyritic Assharah Granite: monzogranite(rag, 573 ± 22Ma & 575 ± 28Ma), red granite and microgranite(ram) Dumah Granodiorite: granodiorite(rdg), quartz monzodiorite(rdd)
	SUBVOLCANIC ROCKS	gvr Rhyolite to rhyodacite
	GHAMR GROUP	tuffaceous member Kharzah Formation: mafic units(gka), silicic units(gkr), sedimentary units(gks)
	UNCONFORMITY	
BARI GRANODIORITE		■ BARI GRANODIORITE
HUFAYRIYAH TONALITE		■ HUFAYRIYAH TONALITE tonalite(760 ± 10Ma)
SUBVOLCANIC ROCKS		■ SUBVOLCANIC ROCKS rhyolite to rhyodacite basalt to andesite
MAHD GROUP	mtv Tulaymisah Formation: volcanoclastic rocks(mt) with volcanic units(mtv) mt mh Haf Formation: undifferentiated(mh), Juraysiyah Member(mhj) - basalt, andesite, rhyodacite, mhj Zur Member(mhz) - rhyolite, sedimentary rocks	
UNCONFORMITY		
DHUKHR TONALITE		■ DHUKHR TONALITE tonalite(816 ± 4Ma)
ARJ GROUP	asz Undifferentiated Sayid and or /Jabal Azlam Formations Jabal Azlam Formation: volcanoclastic rocks, andesite Sayid Formation: silicic volcanic rocks	

Fig.1-2 Regional Geology of the Survey Area

調査地域周辺の Arj 層群の分布範囲はその北東方を NW-SE 走向の Wadi al Aqiq 走向移動断層によって、南方を Bari 花崗閃緑岩・Dhukhr トーナラル岩によって、西方を Mahd 層群によって限られ、三角形の分布を示す。

4-3 調査地域近隣の鉱床

調査地域の北西約 20km に Jabal Sayid 鉱床が、また、南西 25km に Mahd adh Dhahab 鉱山が分布する。

Jabal Sayid 鉱床は、下位にストックワーク状鉱体を伴う層準規制型塊状硫化銅鉱床であり、No.1~No.4 の 4 鉱体よりなる。鉱体は Sayid 層の珩長質岩類の上部に胚胎し、化学的沈殿物であるチャート-炭酸塩岩層に覆われる。塊状鉱体の硫化鉱物は、主に黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、閃亜鉛鉱、黄銅鉱である。ストックワーク状鉱体の硫化鉱物は主に、黄鉄鉱と黄銅鉱であり、閃亜鉛鉱は少ない。ストックワーク状鉱体の母岩である火砕岩は緑泥石化作用を受けている。1985 年に BRGM が実施したフィージビリテイ調査の結果では、本鉱床の鉱量は、No1 鉱体と No.2 鉱体を合わせて、19.93 百万トン(Cu 2.68%) である。

Mahd adh Dhahab 鉱山は、古代(3,000B.P.)より採掘され、現在も坑内掘が行われている。本鉱山の鉱化作用は、鉱脈型 Au-Ag-Cu-Zn 鉱化作用であり、鉱化作用の時期は 649Ma である。本鉱山の鉱床は Mahd 層群 Haf 層の安山岩質凝灰岩、安山岩、集塊岩、砂岩等中に胚胎する。主な鉱石鉱物は、黄銅鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱である。脈石は石英、緑泥石である。母岩は珩化作用、緑泥石化作用およびカリ長石交代作用を受けている。1992 年の残存鉱量は 114 万トン(Au 31.8 g/t, Ag 167 g/t, Cu 0.87%, Zn 3.24%) である。

第5章 調査地域の地質概要

5-1 地質

調査地域の地質は、原生代後期 Arj 層群の流紋石英安山岩・同質火砕岩、石英安山岩・同質火砕岩、安山岩・同質火砕岩およびジャスパーよりなり、閃緑岩、石英閃緑岩およびトータル岩の花崗岩類、安山岩、石英安山岩、流紋石英安山岩および玄武岩に貫かれる。これらを不整合に被覆して原生代後期 Mahd 層群の安山岩、火砕岩が調査地域の西端部に分布する。Arj 層群は広域的な緑泥石・緑レン石化変質を受けており、また、一部に片理が発達する。

5-2 地質構造

Arj 層群の走向は、Umm ad Damar South およびその東方で、NE 方向を示すが、調査地域内のその他の地域では NW~N 方向を示す。本層群の傾斜は 60° 以上である。また、Mahd 層群は走向が NNW 方向で、傾斜は 20~40° W である。

断層は、NE-SW 系が主である。調査地域の北東端部には Wadi al Aqiq 断層にほぼ平行な NW-SE 系の断層の存在が推定される。

5-3 鉱化作用

Umm ad Damar North, Umm ad Damar South, 4/6 Gossan の既知プロスペクトには Arj 層群中の剪断帯に胚胎した鉱染状ないし網状を呈する銅鉱化作用が認められ、これらプロスペクトの中で、4/6 Gossan は特に Au, Ag, Pb, Zn 品位が高い。

これらのプロスペクトでは、地表下 30~40m にわたって酸化帯が形成されているため、地表部では酸化銅鉱を含む、褐鉄鉱および赤鉄鉱を主体としたゴッサンが認められるのみである。

Umm ad Damar North の地表には大量のカラミが分布し、このカラミ分布域を取り囲む西方の小山 (West Hill) と南東方の小山 (Southeast Hill) には多くの古代採掘跡が分布する。採掘跡は Southeast Hill の南東方の丘陵地にも分布している。本プロスペクトの地質は、主に Arj 層群の流紋石英安山岩と石英安山岩よりなり、これらを貫いて、閃緑岩が北東部に分布する。鉱化作用は Arj 層群中のみに認められ、閃緑岩中には認められない。

古代採掘跡やトレンチ内のゴッサンの分布、および試錐探査の結果から、West Hill, カラミ分布域および Southeast Hill で各 1 列、Southeast Hill の南東方の丘陵で 2 列の、計 5 列の鉱化帯の分布が推定される。それらを No. 1 鉱化帯から No. 5 鉱化帯と仮の番号を付けて呼ぶ。No. 1 鉱化帯に対しては 5 孔の試錐探査が実施されており、そのうち DA-5 号では真幅 2.6m, Cu 2.17% を示す。No. 2 鉱化帯に対しては、試錐探査が実施されていない。No. 3 鉱化帯に対しては、4 孔の試錐探査が実施されており、

UAD-11号では真幅 3.1m, Cu 1.87%を示す。No. 4 鉱化帯と No. 5 鉱化帯に対しては、試錐探査が実施されていない。

本プロスペクトの地表で今回採取した 11 試料 (grab sample) では Au 品位が低く、最高 Au 0.6 g/t であった。その他、Cu 品位最高 10.12%, Ag 品位最高 18.9 g/t, Pb 品位最高 0.32% および Zn 品位最高 0.40% であった。

Umm ad Damar South の地質は、Arj 層群の流紋石英安山岩、安山岩、安山岩質凝灰岩、石英安山岩質凝灰岩よりなる。Umm ad Damar South には 17 箇所に採掘跡が確認される。そのうち、酸化銅鉱が認められる採掘跡およびトレンチ中に認められるゴッサンの分布から、本地域の主な鉱化帯は 1 列と推定される。本鉱化帯に対しては 11 孔の試錐探査が実施されており、UAD-2 号では真幅 6.9m, Cu 1.99%を示す。また、本鉱化帯の地表で採取した 7 試料のうち、2 試料 (grab sample) は Au 6.2g/t, Au 3.0g/t を示し、Umm ad Damar North と異なり、本鉱化帯では Au 品位が高い。

4/6 Gossan の地質は、Arj 層群の石英安山岩、石英安山岩質凝灰岩および流紋石英安山岩よりなる。鉱化帯は 1 列であり、主に、石英安山岩質凝灰岩中に胚胎する。本プロスペクトでは、2 孔の試錐探査が実施されており、UAD-14 号では真幅 2.1m, Au 16.1 g/t, Ag 449.8 g/t, Cu 1.15%, Pb 1.02%を示す。また、トレンチ内で採取した試料 (grab sample) も、Au 3.7 g/t と Ag 287 g/t, Au 1.6 g/t と Ag 23.6 g/t を示し、本鉱化帯の Au, Ag 品位が高いことを裏づけている。

第6章 物理探査結果

IP法測定結果の2次元モデル逆解析により、充電率異常域が明瞭に抽出された。深部の標高800mレベル（地表下約150m）では、測点B-12周辺、測点J-25周辺およびM-27周辺の3箇所で、24 mV/V以上の比較的規模の大きな充電率強異常域が抽出された（以下、“B-12”異常域、“J-25”異常域、“M-27”異常域と呼称する）。

地表で採取した岩石試料の物性試験の結果から、調査地域の充電率のバックグラウンド値は低いと言える。調査地域において、強い充電率異常を引き起こすものとしては、黄鉄鉱を主とした硫化鉱物の存在が第1に考えられる。ただし、ゴッサンの物性測定結果から、黄鉄鉱が浅部で酸化している場合は、弱い充電率異常を示すと考えられる。石墨を大量に含む岩石も強い充電率異常を引き起こすことがあるが、この場合、異常の強さに応じて比抵抗も低く検出される。今回の調査で得られた24 mV/V以上の充電率強異常域は高比抵抗を示すので、石墨による充電率異常とは考えられない。

第7章 調査結果の総合検討

7-1 地質構造、鉱化作用の特性と鉱化規制

調査地域の露頭の大部分は、原生代後期 Arj 層群の流紋石英安山岩、石英安山岩および安山岩とそれらの火砕岩によって占められる。調査地域の Arj 層群は、片理面が発達し、また、広域の変成作用を受けている事から明瞭な層理面を持たず、本層群の火山岩・火砕岩の上下関係は不明であるが、Kemp et al. (1982)は、Arj 層群中では Sayid 層 (珪長質岩) が下位、Jabal Azlam 層 (安山岩・火砕岩) が上位に位置すると述べている。この考えに従えば、調査地域では、既知の3プロスペクトの鉱化帯付近にまとまって分布する流紋石英安山岩・同質火砕岩が Arj 層群の下位に、Jabal Sujarah の南方と北方、および Umm ad Damar South プロスペクトの西方と北東方にまとまって分布する安山岩・同質火砕岩が本層群の上位に位置することになる。

本層群は閃緑岩、石英閃緑岩、トータル岩、安山岩、石英安山岩、流紋石英安山岩および玄武岩に貫かれている。これらを不整合に被覆して原生代後期 Mahd 層群の安山岩・同質火砕岩が調査地域の西端部に分布する。

断層は NE-SW 系のものが多く、一部の断層は古代採掘跡やゴッサンの分布から推定される剪断帯の方向と一致するが、これらの鉱化帯を胚胎する剪断帯はその後の断層運動により、複雑に転移しており、鉱化作用を伴う剪断帯は、全体として明瞭な方向性を示さない。

調査地域では、過去に実施された試錐調査および本年度に実施した地質精査の結果から、Umm ad Damar North プロスペクトで5列、Umm ad Damar South プロスペクトで1列、そして4/6 Gossan プロスペクトで1列の鉱化帯の存在が推定される。

Umm ad Damar North と Umm ad Damar South プロスペクトの鉱化帯は、剪断帯中に鉱染状ないし網状をなし、黄鉄鉱・黄銅鉱を主とした熱水鉱化作用により形成されたものである。また、Umm ad Damar South プロスペクトの鉱化帯の地表部で採取した試料の鉱石分析結果から、本プロスペクトの鉱化作用は Au を伴う可能性がある。従来、これらの鉱化帯は層準規制型硫化物鉱床のストックワークの一部で、syngenetic な鉱化作用により形成されたものと考えられていたが、Howes(1984)の調査以降は epigenetic な鉱化作用と考えられている。今回の調査では、Umm ad Damar South プロスペクトにおいて、鉱化帯の走向方向が母岩のそれにやや斜交していること、また、Umm ad Damar North プロスペクトの Southeast Hill と Southeast Extension では、いくつかの鉱化帯がお互いに斜交しており、両プロスペクトの鉱化作用は epigenetic なものと考えられる。

4/6 Gossan では、鉱化帯に対し2孔の試錐が実施されているが、二次富化帯下方の primary な鉱石を確認していない。したがって、主要な硫化物物の組み合わせは不明であるが、二次富化帯中の鉱化部では Cu の他に Au, Ag, Pb, Zn 品位も高い。本鉱化帯

も epigenetic な鉍化作用により形成されたものと考えられており (Howes, 1984), 今回の調査でも鉍化帯の走向方向が母岩のそれにやや斜交していることが確認され, 本プロスペクトの鉍化作用は epigenetic なものと考えられる。

これら3プロスペクトの鉍化帯は, Arj 層群の流紋石英安山岩・同質火砕岩および石英安山岩・同質火砕岩中の剪断帯中に胚胎しており, 本層群の安山岩・同質火砕岩や貫入岩体中には鉍化作用は認められない。したがって, 鉍化作用の時期については, Arj 層群の珪長質岩・火砕岩ユニット堆積後で, 閃緑岩・トーナル岩の貫入時以前の断層運動時と推定される。鉍化作用後も断層運動があり, 鉍化帯に変位を与えている。例えば, 4/6 Gossan 付近の NE-SW 方向の断層は右横ずれの走向移動断層であり, かつて一つの鉍化帯であったものを 7-2 節で述べる“M-18”充電率異常域から示唆される南の鉍化帯と“L-14”充電率異常域から示唆される北の鉍化帯に分離し, 250m 程度の変位を与えていると考えられる。鉍化作用の関係火成岩については, それについて言及した文献はこれまでに知られておらず, 本調査においても見出せなかった。

既知3プロスペクトに認められる鉍化変質作用は, 珪化作用, 緑泥石化作用および黄鉄鉍化作用である。黄鉄鉍化作用を受けた岩石は風化変質により黄鉄鉍は赤鉄鉍・褐鉄鉍に変化している。赤鉄鉍により赤色を呈する珪長質岩・火砕岩は, 主に既知3プロスペクト内の鉍化帯付近に認められる。また, 赤色を呈する珪長質岩・火砕岩の分布と15 mV/V以上の充電率異常域の分布は良い一致を示す。したがって, 赤鉄鉍化した珪長質岩・火砕岩分布域では, 鉍床賦存のポテンシャルが高いと推定される。

7-2 充電率異常と鉍化作用との関連

IP法物理探査により抽出された充電率異常域と鉍化作用との関連性を考察した。対象とした異常域は, 第6章で述べた“B-12”, “J-25”, “M-27”の3異常域のほかに, 測点P-18周辺に分布する24 mV/V以上の小規模な充電率強異常域(以下, “P-18”異常域と呼称する), 測点G-11周辺, I-15周辺, J-18周辺, M-18周辺, L-14周辺およびN-14周辺の6箇所から抽出された15 mV/V以上24 mV/V以下の充電率異常域(以下, “G-11”異常域, “I-15”異常域, “J-18”異常域, “M-18”異常域, “L-14”異常域, “N-14”異常域と呼称する)の計10異常域である。

総合解析図をFig. 1-3およびPlate 7に示す。図中には以下の事項を記入した。

- ・第四系(砂礫層, 崖錐堆積物)の分布
- ・Arj 層群流紋石英安山岩・火砕岩, ジャスパー, 深成岩(トーナル岩, 閃緑岩), Umm ad Damar North プロスペクトのカラミの分布
- ・断層
- ・鉍化帯, 変質帯の分布

- ・ 古代採掘跡の位置
- ・ 試錐孔の位置
- ・ IP 法物理探査測線
- ・ 充電率異常域の分布

これらの異常域とこれらが示唆する鉱化作用については以下のとおり解釈される。

“B-12” 異常域： Jabal Sujarah 山の東斜面に位置し、充電率は 24 mV/V 以上と強い。本異常域中心部の地表は崖錐堆積物に覆われている。本異常域の中心部は NE-SW 方向の断層と NW-SE 方向の断層との交差部に位置する。また、Jabal Sujarah の西斜面の石英安山岩と安山岩は、強い炭酸塩化作用を受けており、本異常域には潜頭性の硫化鉱物に富む鉱化帯が賦存している可能性が高い。地質調査ならびに IP 法物理探査の結果のみから鉱床タイプを推定することはできないが、Jabal Sujarah の東北斜面には Jabal Sayid 鉱床の母岩と同様の流紋石英安山岩が、また、南斜面には Jabal Sayid 鉱床の直上に位置するジャスパーが広く分布するため、Jabal Sayid 鉱床のような層準規制型塊状硫化鉱床が本異常域の地下に賦存している可能性もある。

“G-11” 異常域と “I-15” 異常域：ともに Jabal Sujarah の南南東に位置し、充電率は 15 mV/V 以上 24 mV/V 以下である。地表は第四系の砂礫層に覆われている。両異常域に対しては、過去に試錐探査が実施されていない。両異常域周辺には小規模なゴッサンを有する珪化岩が 2 箇所分布しており、両異常域と 2 箇所の珪化岩は NW-SE 方向に配列する。したがって両異常域は潜頭性の硫化鉱物を伴う珪化岩体を示している可能性がある。

“J-18” 異常域： Umm ad Damar North の West Hill の南方に位置し、充電率は 15 mV/V 以上 24 mV/V 以下である。地表は第四系の砂礫層に覆われている。本異常域に対して、過去に試錐探査は実施されていない。本異常域の中心部は、West Hill に分布する N-S 方向に伸長した No. 1 鉱化帯の南方 300m の位置することから、本異常域には No. 1 鉱化帯から連続する鉱化帯が潜在している可能性がある。

“J-25” 異常域： Umm ad Damar North の Southeast Hill の南東方に隣接して位置し、充電率は 24 mV/V 以上と高い。地表は第四系の砂礫層に覆われているが、本異常域を E-W 方向に横断するトレンチがあり、そこには赤鉄鉱化した流紋石英安山岩が認められる。本異常域に隣接する Southeast Hill には 4 孔の試錐孔

が位置するが、本異常域に向けたものではない。本異常域は Southeast Hill の No. 3 鉍化帯と Southeast Extension の No. 4 鉍化帯の中間部に位置している。したがって、本異常域には、No. 3 鉍化帯から連続し、No. 4 鉍化帯へと連続する NW-SE 走向の鉍化帯が潜在している可能性がある。

“M-8” 異常域と “L-14” 異常域：ともに充電率は 15 mV/V 以上 24 mV/V 以下の異常域である。“M-8” 異常域は、4/6 Gossan の鉍化帯上に位置し、本異常は鉍化帯に含まれる硫化鉍物を反映していると考えられる。また、“L-14” 異常域にはトレンチがあり、トレンチ中にゴッサンが認められる。過去の IP 法物理探査の結果では、“L-14” 異常域から NNE-SSW 方向に伸長する鉍化帯の存在が推定されている。両者は NE-SW 方向の右横ずれ断層により約 250m ずれたと推定される。

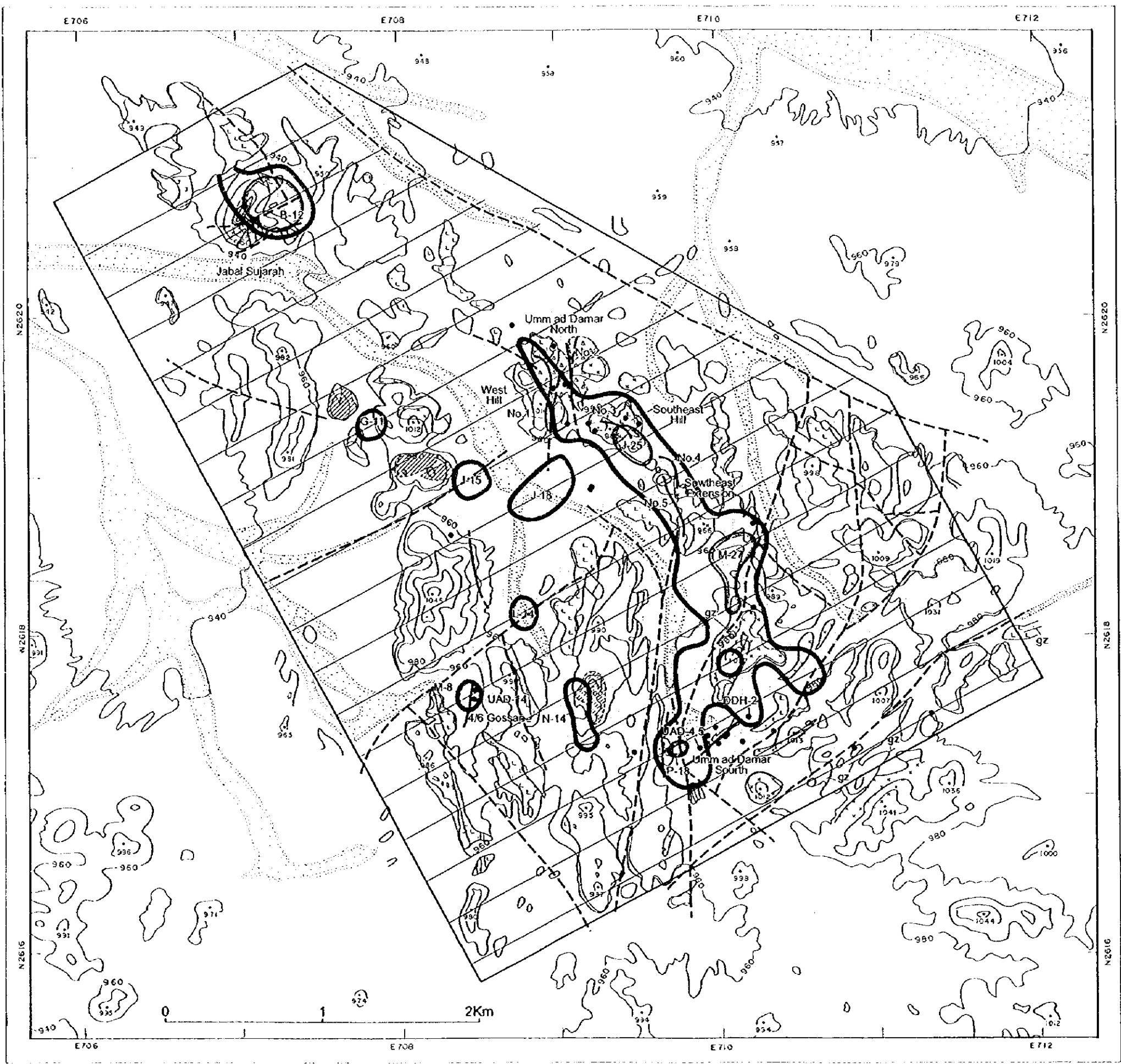
“N-14” 異常域：4/6 Gossan の東方約 700m に位置し、充電率は 15 mV/V 以上 24 mV/V 以下である。地表には Arj 層群の安山岩が分布する。本異常域付近の安山岩は緑レン石化作用と弱い珪化作用を受けており、本異常はこの変質帯を反映しているものと考えられる。本変質帯の地表部に鉍化作用は認められない。

“M-27” 異常域と “P-18” 異常域：Umm ad Damar North の鉍化帯を包含する充電率 15 mV/V 以上の領域は南方に連続し、その中央部に “M-27”，南部に “P-18” の充電率 24 mV/V 以上の異常域を含む。“M-27” 異常域の北方近傍に 2 箇所、南東方近傍に 1 箇所の古代採掘跡が確認される。また、南方近傍には、幅 30cm の石英脈を認め、この試料の分析値は Cu 1.48% を示す。本異常域に対し、試錐探査は実施されていない。“M-27” には Umm ad Damar North と類似した鉍化帯、または、硫化鉍物に富む石英脈の賦存が期待される。“P-18” 異常域には “M-27” と似た鉍化が予想されるが、Umm ad Damar South の鉍化帯の西方延長部を示唆している可能性もある。

なお、Umm ad Damar South の鉍化帯は、一部を除き、今回実施した IP 法物理探査では、充電率異常として抽出されていない。これは、今回設定した IP 測線の方向が、本鉍化帯の伸長方向と平行であるためである。1982～1983 年に Riofinex が実施した IP 法物理探査では、IP 測線が NW-SE 方向に設定されたため、本鉍化帯の分布状況が 12.5 mV/V 以上の充電率異常域として表わされている。

7-3 鉍床賦存のポテンシャル

本年度に実施した既知 3 プロスペクトにおける地質精査により得られたデータ、お



- IP anomaly chargeability > 15mV/V
- IP anomaly chargeability > 24mV/V
- Quaternary gravel & sand
- Arj Group rhyodacite
- Arj Group jasper
- Diorite, tonalite
- Other rocks
- Slag
- Fault
- Carbonatization
- Silicification
- Epidotization & weak silicification
- Mineralized zone
- Drill hole
- Ancient working
- Quartz vein
- IP line

Fig. 1-3 Integrated Interpretation Map

よび過去に実施した試錐探査のデータを総合的に検討した結果、Umm ad Damar North のカラミ分布域の No. 2 鉱化帯（水平最大幅 30m, 走向延長 400m）の下部、Umm ad Damar South の鉱化帯（地表での水平最大幅 30m, 走向延長 400m）の西部、および 4/6 Gossan の鉱化帯（水平最大幅 8 m, 走向延長 250～300m）の下部と南部には探鉱余地があると考えられる。

また、充電率が 24 mV/V 以上の“B-12”異常域、“J-25”異常域、“M-27”異常域および“P-18”異常域は、比抵抗が高い。したがって、これらの深部には含石墨岩ではなく、黄鉄鉱を主とした硫化物濃集部が存在すると予想され、これらの異常域における鉱床賦存のポテンシャルは高いと考えられる。

第8章 結論および第2年次への提言

8-1 結論

ウム・アダマール地域における第1年次調査として、既存データ解析、航空写真解析、地質調査およびIP法物理探査が実施し、以下の結論を得た。

1. 調査地域の地質は、新生代後期 Arj 層群の安山岩、石英安山岩および流紋石英安山岩、同質火砕岩よりなり、閃緑岩、石英閃緑岩、トータル岩、安山岩、石英安山岩等に貫かれる。これらを不整合に被覆して新生代後期 Mahd 層群の安山岩、火砕岩が調査地域の西端部に分布する。
2. 調査地域には、Umm ad Damar North, Umm ad Damar South, 4/6 Gossan の既知プロスペクトが分布する。これらのプロスペクトでは、epigenetic な熱水鉱化作用により形成された Arj 層群中の剪断帯に鉱染状ないし網状に胚胎する鉱化帯が Umm ad Damar North で5列 (No.1~No.5) , Umm ad Damar South で1列, 4/6 Gossan で1列存在するものと推定される。Umm ad Damar North と Umm ad Damar South の鉱化帯では黄銅鉱・黄鉄鉱を主とするが、Umm ad Damar South の鉱化帯の地表部で採取した試料の分析結果から、本鉱化帯は Au を伴うものと推定される。また、4/6 Gossan の鉱化帯では Cu の他に Au, Ag, Pb, Zn 品位が高い。
3. これらの鉱化帯に対して、既に地質調査、IP 法物理探査、地化学探査、トレンチ調査、試錐探査が実施されているが、鉱化帯の下部および延長部に対しては十分な探鉱は行われていない。また、調査地域の約60%を占める現世の砂礫層分布域においても十分な探鉱は行われていない。
4. 本年度に実施したこれら3プロスペクトにおける地質精査データおよび過去に実施した試錐探査のデータを総合的に検討した結果、Umm ad Damar North のカラミ分布域の下方、Umm ad Damar South の鉱化帯の西部、4/6 Gossan の鉱化帯の下部と南部には探鉱余地があると考えられる。
5. IP 法物理探査により Jabal Sujarah (“B-12”異常域) , Umm ad Damar North の No.3 鉱化帯の南東方延長部 (“J-25”異常域) , Umm ad Damar North と Umm ad Damar South プロスペクトの中間地点 (“M-27”異常域) , および Umm ad Damar South プロスペクトの西端部 (“P-18”異常域) の4箇所 で 24 mV/V 以上の強い充電率異常を抽出した。

6. 上記異常域のうち、“J-25”異常域はNW-SE走向のNo.3 鉱化帯とNo.4 鉱化帯の中間に位置する。“M-27”異常域と“P-18”異常域はNE-SW方向の断層付近に分布し、“M-27”異常域の近傍には酸化銅鉱を含む石英脈や古代採掘跡が分布する。“B-12”異常域では、炭酸塩化作用が著しく、NE-SW および NW-SE 方向の断層の交差部に位置する。また、ジャスパーや流紋石英安山岩が分布するなど、地表地質はJabal Sayid 鉱床に類似する。これらの異常域では比抵抗が高く、物性試験の結果などからも、これらの充電率異常は地下深部に胚胎する硫化物鉱体を反映したものと考えられる。

8-2 第2年次への提言

8-2-1 試錐探査

Umm ad Damar North : No.2 鉱化帯は、その大部分がカラミに覆われているため、全貌が明らかではない。これまで実施されていなかった試錐探査が必要である。また、“J-25”異常域はSoutheast HillのNo.3 鉱化帯とSoutheast ExtensionのNo.4 鉱化帯の中間に位置しており、本異常域に向けた試錐探査が必要である。

4/6 Gossan : 充電率異常の分布域が小さいため、大規模な鉱化帯は期待できないが、鉱化帯はAu, Agに富むことから、本鉱化帯の深部およびUAD-13号より南方で試錐探査を実施し、本鉱化帯のポテンシャルを明らかにする必要がある。

8-2-2 精密物理探査

以下の地域において次段階の探査が望まれる。

“B-12”異常域：調査地域内では最も強い充電率異常域である。今回のIP法物理探査は測線間隔が300mと広いために、本異常域の方向および中心が不明であり、ただちに試錐探査に移行できない。測線間の距離を100m程度とした、IP法物理探査およびTEM法物理探査を実施する必要がある。

“M-27”異常域から“P-18”異常域にかけての範囲：両異常域はNE-SW走向の弱線部に胚胎する鉱化帯を示唆しているものと推定され、両異常域を含む範囲において、測線間の距離を100m程度としたIP法物理探査、およびTEM法物理探査を実施し、異常の連続性と中心を明らかにする必要がある。

第Ⅱ部 各論

第Ⅱ部 各論

第1章 既存データ解析

1-1 調査地域

1-1-1 探鉱経緯

調査地域内には、Umm ad Damar North, Umm ad Damar South および 4/6 Gossan と呼ばれる3箇所のプロスペクトが知られている。

Umm ad Damar North と Umm ad Damar South の探鉱史については、Ransom (1982) によってまとめられている。両プロスペクトには古代の採掘跡が集中している。特に、Umm ad Damar North プロスペクトには、銅製錬のカラミが多量に集積しており、その量は10万8千トン、Cu 0.91%と推定されている。近年に至り、DGMR (1936~1965年)、BRGM (1966~1971年)、SEREM/US Steel (1976~1977年) および Riofinex (1981~1983年) により、両プロスペクトにおいて空中物理探査、地上物理探査、地質調査、試錐探査が実施されている。

4/6 Gossan プロスペクトでは、1980~1981年頃にゴッサンが発見され、1982年から1983年にかけてトレンチ調査、地化学探査、IP法物理探査等が、そして、1983年には試錐探査が実施されている (BRGM-OF-07-6)。

1-1-2 鉱化作用

上記の3プロスペクトの鉱化作用については、これまでに実施された試錐探鉱のコア調査等により、Table 2-1-1に示すような様々な説明がなされてきた。各プロスペクト毎に、鉱化作用の胚胎の場、鉱化帯の形状、鉱種等について整理してみると、以下のようにまとめられる。

Umm ad Damar North と Umm ad Damar South: 鉱染状ないし網状の黄鉄鉱-黄銅鉱よりなる鉱化部が、全体として断続したレンズ状を呈し、剪断帯に胚胎する。一部で塊状を呈する。両プロスペクトの鉱化作用については、従来、層準規制型塊状硫化物鉱床のストックワークの一部で syngenetic な鉱化作用と考えられていた。しかし、Howes (1984) は、Umm ad Damar North プロスペクトの Southeast Hill において、古代採掘跡と赤鉄鉱質のゴッサンが N-S, NW-SE, および E-W 方向の線状に配列し、これらの方向は層理面の走向と非調和的なことから、Southeast Hill の鉱化作用は epigenetic なものと述べている。また、Ransom (1982) は、Umm ad Damar South プロスペクトの鉱化作用について、本鉱化作用が閃緑岩質岩の貫入後に起こった可能性があると述べている。

4/6 Gossan: 剪断帯に胚胎し、断続したレンズ状を呈する。Cu, Zn, Au, AgおよびPbを含む。剪断帯は、層理面の走向と斜交しており、本プロスペクトの欽化作用はepigeneticと考えられている(Howes, 1984)。

Table 2-1-1 Mineralization of Prospects in the Survey Area

Prospect	Literature or Researcher	Mineralization
Umm ad Damar North	Sahl, 1979	Drill Hole DA-4(84-95m): massive pyrite with few chalcopyrite veinlets.
		Drill Hole DA-5(102-106m): stringer chalcopyrite and disseminated pyrite.
	Bowden and Smith,1981	Widely spaced, discontinuous pyritic lenses with low Cu-Zn grades.
	Howes, 1984	Southeast Hill: Epigenetic Cu mineralization.
	Ramson,1984	Drilled Core: predominantly vein-like quartz-pyrite-chalcopyrite rocks.
	DGMR,1994	Well-developed networks of quartz, pyrite, chalcopyrite and chlorite vein that form widely spaced and discontinuous lenses. Southeast Hill: ancient working occurs at the intersection of east-, north-, and northwest-trending linear shear zones.
Umm ad Damar South	Sahl, 1979	Drill Hole UAD-2(70-100m): dissemination of pyrite and very few stringer of chalcopyrite
		Drill Hole UAD-4(113.0-113.5m): massive sulfide.
	Bowden and Smith,1981	Ancient workings aligns along southeast-trending shear zone. Drill Hole UAD-4: bedded, massive and sub-massive mineralization.
	Ramson,1982	The mineralization at Umm ad Damar South may be conventionally interpreted as the deformed stringer zone of a volcanogenic massive sulfide. The mineralization at Umm ad Damar South may have been emplaced after deposition.
	Howes, 1984	Structurally emplaced Cu mineralization.
	DGMR,1994	Sulfide mineralization occurs in lenses 2-8m wide over strike length of about 200m. Structurally emplaced and epigenetic mineralization.
4/6 Gossan	Howes, 1984	Epigenetic shear Cu-Zn-Ag-Au-Pb mineralization.
	DGMR,1994	Discontinuous lenses of pyrite and associated Cu-Pb-Zn mineralization.

1-1-3 物理探査結果

調査地域における地上物理探査は、1961年から1983年にかけて断続的に行われてきたが、1982～1983年に Riofinex が実施した物理探査以外のものについては、調査範囲が不明である。

Riofinex が実施した物理探査は、Umm ad Damar North, Umm ad Damar South および 4/6 Gossan の既知プロスペクトを含んでおり、IP 法物理探査と磁気探査を行っている (Harvey, 1984)。Fig. 2-1-1 には IP 法物理探査の範囲と結果を示す。充電率 12.5mV/V 以上の異常域は、一部を除き、鉱化帯の分布域と一致する。しかし、電極間隔が 40m と短いので、地表下 80m 程度の情報しか取得できていない (なお、本調査では、電極間隔を 100m としている)。

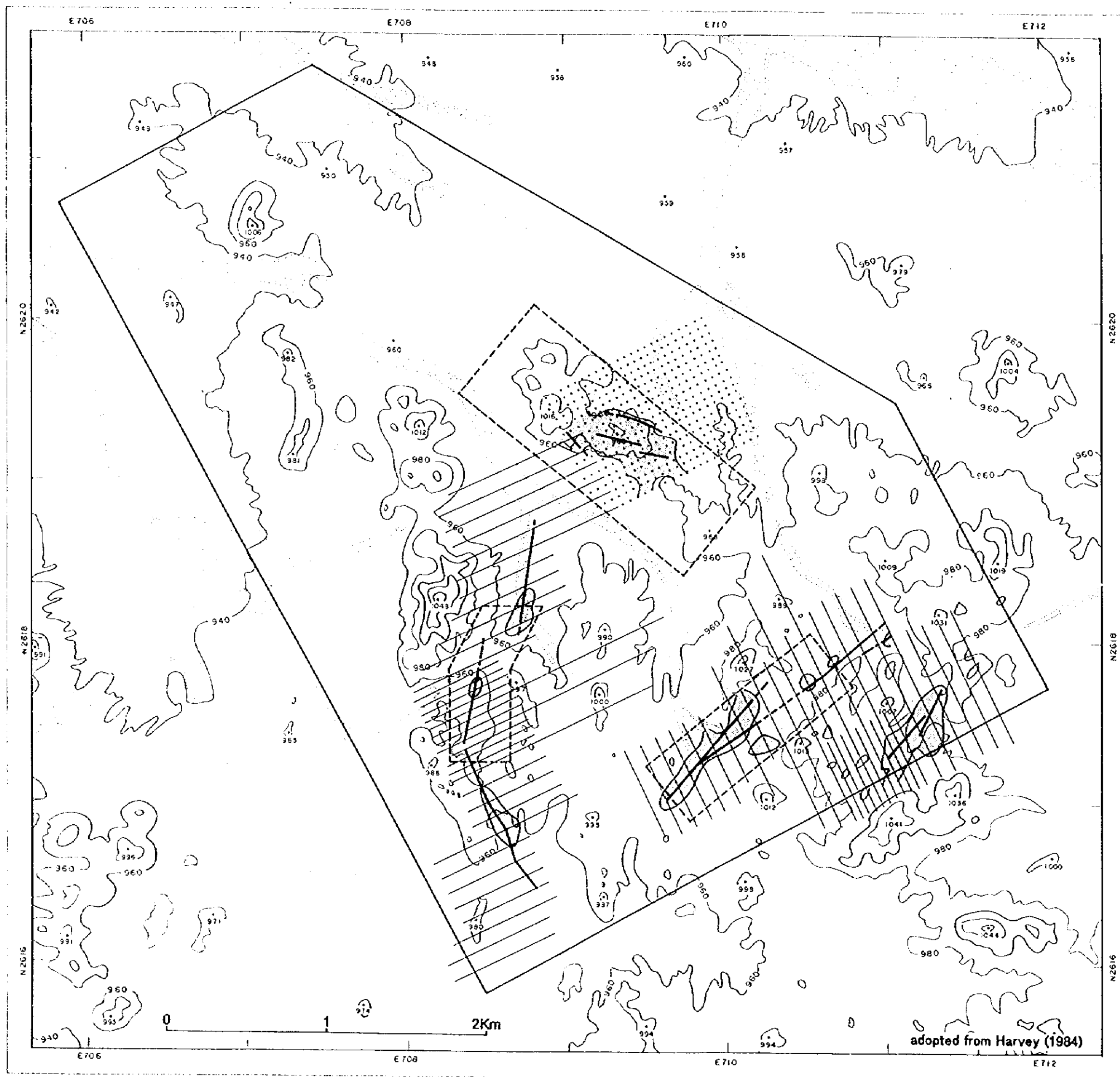


Fig. 2-1-1 Previous Geophysical Surveys
in the Survey Area

1-1-4 試錐探査結果

調査地域における試錐探査の結果を Table 2-1-2 に示す。調査地域では、1964 年から 1983 年にかけて、DGMR, BRGM, SEREM/US Steel および Riofinex により合計 27 孔の試錐探査が行われ、掘進総延長は 4,821m に達する。これらの試錐孔は Umm ad Damar North で 12 孔, Umm ad Damar South で 11 孔と、2 つのプロスペクトに集中しており、4/6 Gossan では 2 孔と少ない。

27 孔の中、15 孔で鉱化帯を把握しているが、Cu 品位が 1 % 以上で鉱化帯の幅が 10m を越えるものは未だ発見されていない。

しかしながら、これまでの試錐探査により Umm ad Damar South と 4/6 Gossan で以下の鉱量が推定されている。

プロスペクト名	長さ(m)	幅(m)	深度(m)	鉱量(t)	品位	データ出典
Umm ad Damar South	不明	不明	不明	1,000,000	Cu 2 % Zn 1 ~ 2.5 %	SEREM/US Steel
4/6 Gossan	700	2	45	160,000	Au < 15g/g Ag < 450g/g	BRGM-OF-07-6

Table 2-1-2 Results of Drilling Exploration

Drill Hole	Date	Organization	Azimuth(°)	Dip(°)	Length(m)	Intersections(m)	Depth of intersection(m)	Width(m)	True width(m)	Value				
										Cu(%)	Ag(%)	Zn(%)		
West Hill	1964	DQMR	270	-43	300.00	151.0	154.0	-103.0	-105.0	3.0	2.4	0.56	-	-
	1964	DQMR	240	-35	222.00	39.0	42.0	-22.4	-24.1	3.0	2.9	1.00	-	-
	1968	BRGM	0	-90	154.30	32.0	40.0	-32.0	-40.0	3.0	2.5	0.90	-	-
	1968	BRGM	259	-36.5	252.20	87.0	92.0	-51.7	-54.7	5.0	4.8	1.03	-	-
	1968	BRGM	257.8	-38	257.30	102.7	106.3	-63.2	-65.4	3.0	3.2	1.40	-	-
UAD North Prospect	1977	SEREM/US Steel	-	-	240.25	203.9	205.0	-125.5	-129.2	1.1	1.0	5.10	-	-
	1984	DQMR	90	-43.5	150.90	108.0	109.0	-74.3	-75.0	1.0	-	1.25	-	low
	1984	DQMR	270	-40	300.00	167.0	170.0	-107.3	-109.3	3.0	-	2.25	-	low
	1977	SEREM/US Steel	45	-50	270.40	96.0	100.0	-75.1	-78.6	2.0	-	2.05	-	0.02
	1983	Rehner	223	-50	150.00	88.0	88.0	-52.1	-57.4	20.0	18.0	0.68	-	12.9
UAD South Prospect	1977	SEREM/US Steel	-	-90	140.00	84.5	87.1	-	-	2.8	-	1.87	-	25.8
	1977	SEREM/US Steel	-	-90	90.06	-	-	-	-	-	2.8	-	-	0.48
	1964	DQMR	300	-45	51.80	31.2	31.5	-22.1	-22.3	0.3	0.3	2.28	-	-
	1964	DQMR	300	-45	106.70	30.0	100.0	-21.2	-20.7	70.0	-	-	-	Traces of pyrite and chloropyrite
	1964	DQMR	300	-84	31.40	87.0	71.0	-60.2	-63.6	4.0	2.1	2.93	-	33.4
UAD South Prospect	1964	DQMR	295	-81	125.00	-	-	-	-	-	-	-	-	Traces disseminated pyrite at 58 and 59m
	1968	BRGM	0	-90	181.00	-	-	-	-	-	-	-	-	Intersections of black graphite-matrix pyrite throughout
	1968	BRGM	0	-90	150.40	-	-	-	-	-	-	-	-	As DA-1
	1977	SEREM/US Steel	135	-81	188.35	-	-	-	-	-	-	-	-	No mineralization
	1977	SEREM/US Steel	133	-55	222.60	79.0	78.0	-69.8	-63.9	5.0	2.8	0.58	-	-
4/8 Gassan Prospect	1977	SEREM/US Steel	120	-70	237.60	90.8	118.1	-47.7	-109.1	66.3	-	-	-	5 to 15% pyrite
	1977	SEREM/US Steel	138	-55	138.45	106.0	115.0	-86.8	-94.2	9.0	3.1	2.3	-	27.5
	1977	SEREM/US Steel	134	-70	230.15	111.0	115.0	-90.9	-94.2	4.0	1.4	-	-	2.36
	1983	-	243	-60	84.00	24.0	27.0	-20.8	-25.4	3.0	1.5	0.13	0.1	1.1
	1983	-	243	-60	80.00	40.0	54.0	-34.6	-46.8	14.0	7.0	0.05	0.1	0.8
Western Part of Survey Area Southern Margin of Survey Area	1977	SEREM/US Steel	-	7	258.45	53.0	84.0	-	-	31.0	-	-	-	1.05
	1977	SEREM/US Steel	-	-	157.5	157.5	158.7	-	-	1.2	-	-	-	1.02
	1983	-	243	-60	80.00	20.0	38.0	-17.3	-31.2	18.0	8.0	0.41	0.1	2.1
	1983	-	243	-60	80.00	52.0	58.2	-45.0	-48.7	4.2	2.1	1.15	1.1	4.9
	UD SE-2	-	-	-	93.15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25

1-2 調査地域近隣の鉱床

調査地域の北西約 20km に Jabal Sayid 鉱床が、また、南西 25km に Mahd adh Dhahab 鉱山が分布する。以下にそれぞれの概要について述べる。

1-2-1 Mahd adh Dhahab 鉱山

本鉱山の詳細については、Bowen and Smith (1981) , Kemp et al. (1982) , DGMR (1994) に述べられている。

本鉱山は古代採掘場や Saudi Arabian Mining Syndicate (SAMS) の採掘場跡が分布する北部地区と、現在、坑内掘を実施している南部地区とに区分されている。

(1) 経緯

本鉱山は古代 (3,000B. P.) よりサウディアラビアの重要な Au-Ag 鉱山であった。

1939 年から 1954 年にかけて、SAMS が 22 トンの Au と 28 トンの Ag を産出している。

1972 年、USGS による調査が開始され、既存鉱床から南方 700m の地点で鉱量 170 万トンの鉱床 (Au 27g/t, Ag 73g/t) を発見した。

1992 年、坑内掘により 162,404 トン (Au 24.2g/t) の鉱石が、また、露天掘により 158,484 トン (Au 50.1g/t) の鉱石が産出されており、現在、露天掘は終掘しているが、坑内掘は継続して行われている。

(2) 鉱化作用

本鉱山の鉱化作用は、鉱脈型 Au-Ag-Cu-Zn 鉱化作用であり、鉱化作用の時期は 649Ma である (DGMR, 1994)。本鉱山では、900m×900m の範囲に N-S 走向の石英脈が多数分布する。

(3) 鉱石鉱物・脈石鉱物

主な鉱石鉱物は、黄鉄鉱、方鉛鉱、黄銅鉱および閃亜鉛鉱であり、その他、Table 2-1-3 に示す鉱物が報告されている。Au-Ag 鉱物の 70% はヘッサイト、テルル金銀鉱および針状テルル金鉱のテルル化合物である (DGMR, 1994)。

脈石鉱物は石英、緑泥石である。

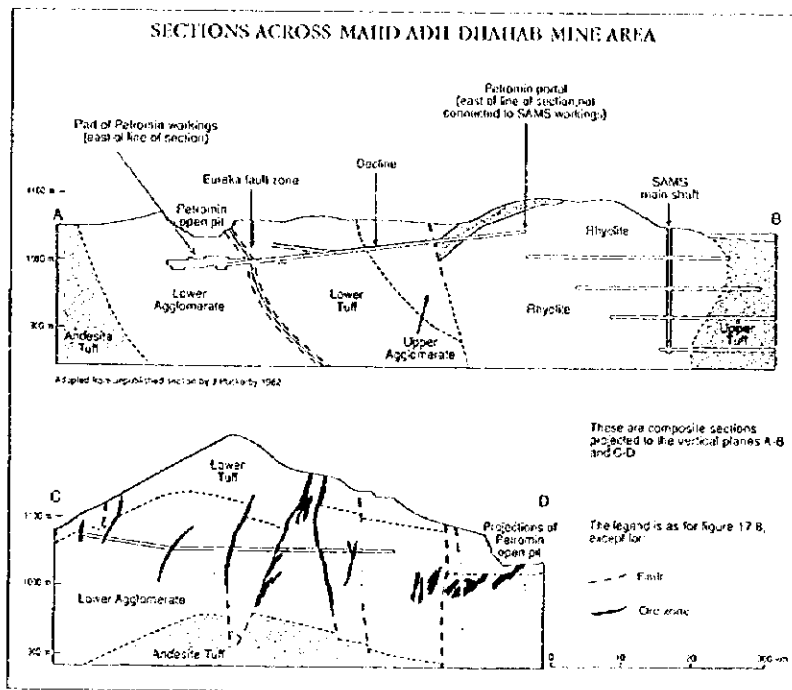
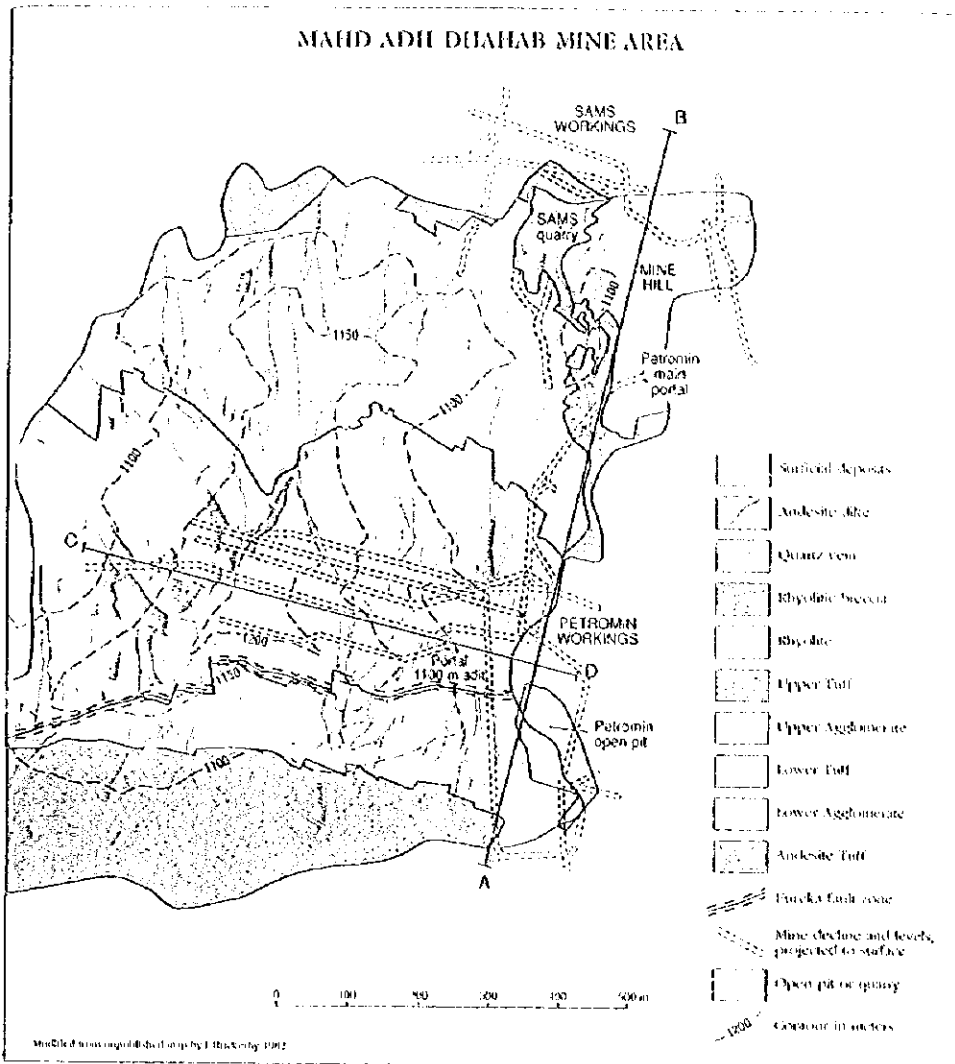
(4) 母岩および変質

本鉱床は Mahd 層群 Haf 層の安山岩質凝灰岩、安山岩、集塊岩、砂岩等中に胚胎する (Fig. 2-1-2 参照)。鉱床母岩の変質としては、珪化作用、プロピライト化作用、黄鉄鉱化作用およびカリ長石交代作用 (potassium feldspar metasomatism) が報告されている。

Table 2-1-3 Ore Minerals Reported from the Umm ad Damar North Prospect,
the Jabal Sayid Deposit and the Mahd adh Dhahab Mine

Ore Minerals		Umm ad Damar North		Jabal Sayid Deposit			Mahd adh Dhahab Mine		
Name	Chemical Composition	DDH-5	UAD-6	Sabir	DMR(1984)	This Study	Lewis & Martin	DMR(1984)	This Study
		Ransom (1982)	This Study K9030301	(1981)	(1981)	K9030305 K9030306 K9030307	(1983)	(1983)	K9030308 K9030310
Pyrite	FeS ₂	○	○	○	○	○	○	○	○
Pyrrhotite	FeS	○	○	○	○	○	○	○	○
Galena	PbS			○	○	○	○	○	○
Sphalerite	ZnS		○	○	○	○	○	○	○
Wurtzite	ZnS						○	○	○
Greenockite	CdS						○	○	○
Chalcopyrite	CuFeS ₂	○	○	○	○	○	○	○	○
Cubanite	CuFeS ₂	○	○	○	○	○	○	○	○
Idrite	CuFeS ₂	○	○	○	○	○	○	○	○
Tetrahedrite	(Cu,Ag) ₁₀ (Fe,Zn,As) ₄ S ₁₃	○		○			○	○	○
Bornite	Cu ₅ FeS ₄	○					○	○	○
Covellite	CuS		○				○	○	○
Chalcocite	Cu ₂ S						○	○	○
Needlegite	Cu ₃ As						○	○	○
Hematite	FeO		○				○	○	○
Magnetite	Fe ₃ O ₄		○				○	○	○
Arsenopyrite	FeAsS			○					
Cobaltite	CoAsS								
Ilmenite	FeTiO ₃			○					○
Cassiterite	SnO ₂			○					
Chromite	FeCr ₂ O ₄								
Native gold	Au			○				○	○
Electrum	(Au,Ag)							○	○
Argentite	Ag ₂ S						○	○	○
Petzite	AuAg ₂ Te ₂						○	○	○
Syvanite	AuAgTe ₂						○	○	○
Montbrayite	AuTe ₂						○	○	○
Calaverite	AuTe ₂						○	○	○
Wielandite	NiTe ₂	○							
Hessite	As ₂ Te ₂	○							
Albite	PbTe	○		○			○	○	○
Tetradymite	Bi ₂ Te ₃	○		○			○	○	○
Tellurobismuthite	Bi ₂ Te ₃	○		○			○	○	○
Coloradoite	HgTe	○							

*Secondary mineral in supergene ore



DGMR(1994)

Fig. 2-1-2 Geological Map and Geological Sections of the Mahd adh Duhab Mine

0 1

0 1

1 1

)

(5) 鉱量

1992年の可採鉱量は114万トン (Au 31.8g/t, Ag 167g/t, Cu 0.87%, Zn 3.24%)である。

(6) 現地調査結果

本鉱山については、現地調査期間中の2月16日に入坑し、南部のEast脈とWest脈を調査した。

East脈は899mレベル(海面上899m)と988mレベルで調査を行った。本脈はカリ長石の巨晶を含む母岩中に胚胎した閃亜鉛鉱-方鉛鉱を主とする鉱脈であり、本脈脈の中央部に黄銅鉱脈を有する。脈石は石英であり、量は少ない。脈幅は1~2.5mで、変化に富む。

West脈は1,029mレベルおよび1,039mレベルで調査を行った。本脈も閃亜鉛鉱-方鉛鉱を主とする鉱脈であり、鉱脈の中央部に石英細脈を有する。

坑内から採取した試料の内、East脈の988mレベルから採取した主に黄銅鉱-閃亜鉛鉱を含む石英脈(K9030308)、899mレベルから採取した少量の黄鉄鉱、黄銅鉱含む石英細脈(K9030309)および899mレベルから採取した黄銅鉱-方鉛鉱を主とする鉱脈(K9030310)の3試料を分析に供した。

鉱石研磨片試料(K9030308, K9030310)の観察では、黄銅鉱、閃亜鉛鉱が主として認められ、Jabal Sayid 鉱床と異なり、磁硫鉄鉱および磁鉄鉱は認められなかった(Table 2-3-2 参照)。

X線回折分析は少量の黄鉄鉱、黄銅鉱含む石英細脈(K9030309)の母岩と、黄銅鉱-方鉛鉱を主とする鉱脈(K9030310)の母岩について行い、多量の緑泥石と石英を検出した(Table 2-3-4 参照)。これら試料の母岩は安山岩質集塊岩であることから、母岩の珪化変質が著しいと推定される。

今回採取した2試料(K9030308, K9030309)について、流体包有物の均質化温度と塩濃度を測定した。試料K9030308の均質化温度の平均値は221℃であるが(Table 2-3-5 参照)、Appendix-1に示すように均質化温度は140~270℃の範囲にばらついている。また、試料K9030309の均質化温度の平均値は198℃であり、Appendix-1に示すように均質化温度の分散は小さい。塩濃度の平均値は試料K9030308が0.9 wt%、試料K9030309が0.2 wt%と、ともに低い値を示す。

1-2-2 Jabal Sayid 鉱床

本鉱床の詳細については、Sabir (1981) , Bowen and Smith (1981) および Kemp et al. (1982) で述べられている。

(1) 経緯

1965年、ゴッサン (No.1 鉱体) が発見された。

1974年、SEREMとUS Steelとの共同企業体が探査権を取得し、2年間にわたる精査を行った。

(2) 鉱化作用

Jabal Sayid 鉱床は下位にストックワーク状鉱体を伴う層準規制型塊状硫化物鉱床であり、No.1 鉱体～No.4 鉱体の4 鉱体よりなる (Fig. 2-1-3 参照)。

(3) 鉱石鉱物

塊状鉱体の硫化鉱物は、主に黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、閃亜鉛鉱、黄銅鉱であり、Zn 品位は Cu 品位と同じか、Cu 品位より高い。ストックワーク状鉱体の硫化鉱物は主に、黄鉄鉱と黄銅鉱であり、閃亜鉛鉱は少ない。また、両タイプの鉱体とも、以下に示す様にわずかに Au, Ag を含む。

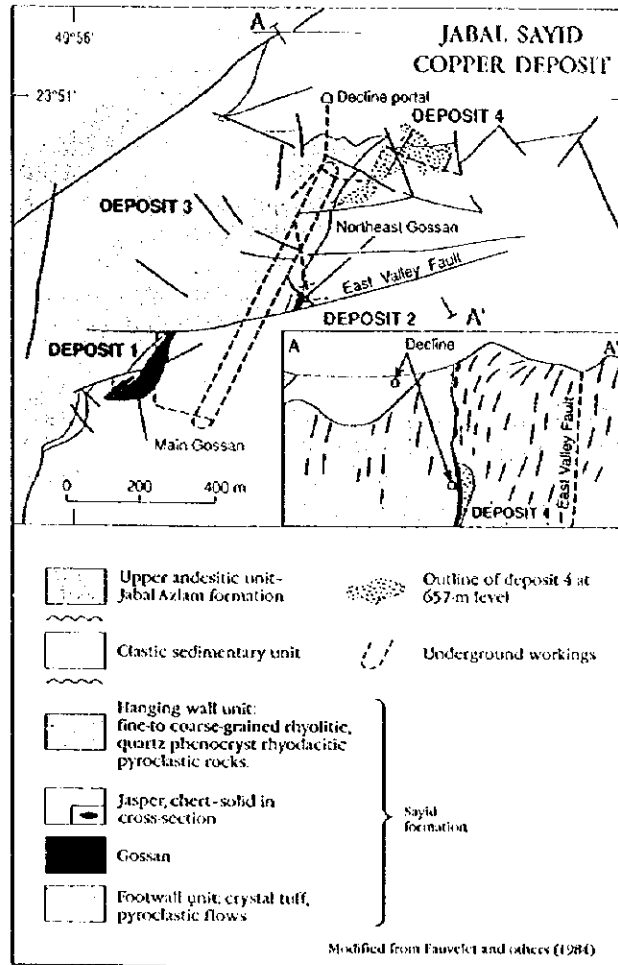
タイプ	Au (g/t)	Ag (g/t)
塊状鉱体	0.5	30～50
ストックワーク状鉱体	0.1	10

(4) 母岩および変質

鉱体は、Sayid 層の珪長質岩類上部の結晶凝灰岩と火砕流堆積物を下盤、細～粗粒の流紋岩質岩と石英粒を含む流紋石英安山岩質火砕岩を上盤とし、化学的沈殿物であるチャート-炭酸塩岩層に覆われる。また、ストックワーク状鉱体の母岩である火砕岩は緑泥石化作用を蒙っている。

(5) 鉱量

1985年にBRGMが実施したフィージビリティ調査の結果では、本鉱床の鉱量は、No.1 鉱体とNo.2 鉱体を合わせて、19.93百万トン (Cu 2.68%) である。



DGMR(1994)

Fig. 2-1-3 Geological Map and Geological Section of the Jabal Sayid Deposit

(6) 現地調査結果

本鉱床については、現地調査期間中の2月15日と3月5日に現地調査を行った。現地調査ではNo.1 鉱体のゴッサン周辺の地質状況を調査した。また、貯鉱場にて試料の採取を行った。貯鉱場から採取した鉱石の内、黄鉄鉱-黄銅鉱の鉱染状鉱1試料(K9030302)、塊状鉱2試料(K9030305, K9030306)および珪化鉱1試料(K9030307)を分析に供した。

鉱石研磨片(K9030305, K9030306, K9030307)の観察結果では、黄鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱のほか、少量の磁硫鉄鉱および磁鉄鉱が認められる(Table 2-3-2 参照)。

X線回折分析結果(K9030303)では、多量の緑泥石が検出され(Table 2-3-4 参照)、鉱化作用による母岩の緑泥石化変質が著しい。

今回、採取した珪化鉱(K9030307)は黄鉄鉱、黄銅鉱を含む石英脈を有する。この石英を分析し、流体包有物の均質化温度の平均値として260℃の値が得られたが(Table 2-3-5 参照)、Appendix-1 に示すように均質化温度は主に210~310℃の範囲でばらついている。また、塩濃度の平均値は8.3wt%と高い値を示す。

第2章 航空写真地質解析

2-1 解析方法

調査地域を含む面積約 90km²の範囲 (Fig. 2-2-1) において、航空写真の立体視を行い、“写真の色調”、“写真の肌合”、“水系パターン”、“水系密度”、“岩石の抵抗度”および“ベディングの有無”に基づいた地質単元 (以下“単元”と省略) 区分を行った。また、ベディングの傾斜方向から褶曲構造を、直線状の地形からリニアメントを抽出した。

2-2 地質解析結果

2-2-1 地質単元区分

Fig. 2-2-1 に示す範囲は、航空写真地質解析により、15 単元に区分される。以下では各単元の特徴について述べる。

(1) 火山岩類・堆積岩類

単元 asa と単元 ajz

両単元は調査地域内およびその近傍にのみ分布する。両単元にはベディングがほとんど認められず、明瞭なベディングを示す単元 mh_{1~3} とは明瞭に区別される。また単元 asa と単元 ajz は色調および抵抗度の違いから、区別される。既存資料との対比から、単元 asa は Arj 層群の Sayid 層に、単元 ajz は同層群の Jabal Azlam 層に相当する。

単元 mh_{1~3}

単元 mh₁, mh₂, mh₃ は調査地域の西方に分布する。これらの単元には多くのベディングが認められ、これらは火砕岩よりなると推定される。また、ベディングの傾斜から判断して、NNW-SSE 方向に伸長し、SSE 方向にプランジする背斜構造の存在が調査地域西方に推定される。下位より mh₁, mh₂, mh₃ に区分され、これらはテクスチャー、抵抗度等の違いで識別される。既存資料との対比から、これらの単元は Mahd 層群 Haf 層 Zur 部層に相当する。

単元 mh

本単元は単元 mh_{1~3} が形成する背斜構造の延長部に分布する。本単元は単元 mh_{1~3} と異なり、ベディングが認められない。既存資料との対比から、これらの単元は Mahd 層群 Tulaymisah 層火砕岩ユニットに相当する。



Sedimentary and volcanic rocks	Photogeologic units		Photo Characteristics		Geomorphologic Features				Correlation with geology in the existing data
	Possible lithology	Possible lithology	Tone	Texture	Drainage	Density	Resistance	Bedding	
s	Slag		dark gray	rough	dendritic	low	high	none	not correlated
gy	Gypsiferous deposits		white	smooth	none	none	very low	none	not correlated
w	Wadi deposits		whitish	smooth	dendritic	low	very low	none	Wadi alluvium(Qa')
a	Alluvium, gravel		light gray	smooth	dendritic	low	very low	none	Older wadi deposits(Qu)
t	Talus deposits		light gray	fine	sub-parallel	low	low	none	
	Sedimentary and pyroclastic rocks		gray	fine	parallel	medium	medium	often	Mafic units(gka) of Khazah Formation of Ghamr Group
		granitic rocks	gray	medium	trellis	medium	low-medium	none	Hafayriya Tonalite(ht)
		granitic rocks	dark gray	rough	trellis	high	high	none	
mh	Lava, pyroclastic rocks		gray	medium	sub-dendritic	low-medium	low-medium	none	Volcaniclastic rocks(mt) of Tu'aymisah Formation of Mahd Group
mh3	Mainly pyroclastic rocks		gray	rough	parallel	high	medium	partly	
	Lava, pyroclastic rocks		dark gray	medium	parallel	medium	high-medium	often	Zur member(mhz) of Haf Formation of Mahd Group
mh1	Lava, pyroclastic rocks		dark gray	fine	parallel	medium	high	often	
		granitic rocks	gray	rough	trellis	high	medium	none	Dhukhr Tonalite(dt)
	Andesitic volcanic rocks		gray	medium	dendritic	medium	medium	partly	Jabal Azlam formation(ajz) of Arj Group
	Acidic volcanic rocks		light gray	rough	dendritic	high	low-medium	partly	Sayid Formation(asa) of Arj Group

- ⌋ Annular structure
- Lineament(certain)
- - - Lineament
- ∧ Anticlinal axis
- ||| Joint/bedding trace/small dyke

Fig 2-2-1 Photogeological Interpretation Map

単元 gk

本単元は航空写真判読範囲の南西隅に分布する。本単元はベディングを示し、既存資料との対比から、本単元は Ghamr 層群 Khazrah 層苦鉄質岩ユニットに相当する。

単元 t, 単元 a および単元 w

これらの単元は第四系の砂礫層である。単元 t は前述の単元 gk の周辺に分布する崖錐堆積物である。単元 a は本判読範囲の平地の大部分を占める。既存資料との対比から、単元 a は古ワジ堆積物に、単元 w は現世のワジ堆積物に相当する。

単元 gy

調査地域の南西方に小規模な分布を示す。白色を呈し、古ワジ堆積物中の単元 a 中に認められることから、石膏質堆積物と考えられる。

単元 s

本単元は Umm ad Damar North にのみ認められる。暗灰色を呈し、玄武岩溶岩様であるが、現地検証の結果、製錬カラミの分布域にほぼ一致することが判明した。

(2) 貫入岩類

単元 dt

本単元は調査地域の東北方に分布する。後述の単元 ht および単元 ht-h とは色調、抵抗度の違いで区別される。既存資料との対比から、本単元は Dhukhr トーナル岩に相当する。

単元 ht と単元 ht-h

単元 ht は本判読範囲の北端部に、単元 ht-h は本判読範囲の北端部と南東部に分布する。両単元は抵抗度の違いで区別され、抵抗度の高いものを単元 ht-h とした。既存資料との対比から、両単元は Hufayria トーナル岩に相当する。

2-2-2 地質構造

Fig. 1-2 に示した広域地質図には Wadi al Khar 中の NW-SE 方向の断層しか表示されていないが、本判読の結果、調査地域内およびその周辺には NE-SW 方向と NW-SE 方向のリアメントが多く抽出され、同方向の断層が分布するものと推定される。

また、Mahd 層群に相当する単元 mh₁₋₃ ではベディングが卓越し、背斜構造が抽出されるのに対し、Arj 層群に相当する単元 asa と単元 ajz では褶曲構造は抽出されない。

第3章 地質調査

本年度実施した地質調査の結果を基に、航空写真解析結果を参照して作成した縮尺 1:25,000 の地質図を Fig. 2-3-1 に、そして縮尺 1:10,000 の地質図と Plate 1 に示す。また、模式層序図を Fig. 2-3-2 に示す。

3-1 地質概要

調査地域の地質は、新生代後期 Arj 層群の流紋石英安山岩、石英安山岩および安山岩と火砕岩よりなる。これらは閃緑岩、石英閃緑岩、トータル岩、安山岩、石英安山岩、流紋石英安山岩および玄武岩に貫かれている。これらを不整合に被覆して新生代後期 Mahd 層群の安山岩・同質火砕岩が調査地域の西端部に分布する。

3-2 地質層序

3-2-1 Arj 層群

Kemp et al. (1982) による縮尺 1:250,000 の地質図では、Arj 層群は珪長質火山岩よりなる Sayid 層と、それを整合に被覆する安山岩質火山岩、堆積岩よりなる Jabal Azlam 層に区分されている。しかし、調査地域では、Fig. 2-3-2 に示すように珪長質火山岩と安山岩質火山岩が互層しており、両層の境界は明瞭ではない。したがって、調査地域の Arj 層群は岩種毎に、流紋石英安山岩・同質火砕岩 (Ar)、石英安山岩・同質火砕岩 (Ad)、安山岩・同質火砕岩 (Aa) およびジャスパー (Aj) の 4 ユニットの区分した。

(1) 流紋石英安山岩・同質火砕岩 (Ar)

本ユニットは、主に Umm ad Damar North および 4/6 Gossan 付近に分布する。

流紋石英安山岩は一般に白色で、流理構造を示すことが多く、小さな石英の斑晶を有することがある。また、一部では全体にガラス質であり、肉眼で斑晶を認めないこともある。同質火砕岩はガラス質で、場所により眼球状石英粒や火山礫サイズの同質岩片、ガラス片を含む。また、一部で赤鉄鉱が鉱染している。

全体に塊状を示すことが多いが、4/6 Gossan プロスペクトの西方～南方では片理が強く発達している。

(2) 石英安山岩・同質火砕岩 (Ad)

本ユニットは、主に Jabal Sujarah の東方、4/6 Gossan 周辺およびその北方、Umm ad Damar South の東方に分布する。

石英安山岩は、暗緑色を呈し、小さな石英の斑晶を有する。同質火砕岩は凝灰岩、火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩よりなり、一部で、眼球状の石英ないし長石粒を含む。全

体に塊状を示すことが多いが、一部の凝灰岩は、明瞭な層理を持つ。

これらの石英安山岩、同質火砕岩分布域のうち、4/6 Gossan 周辺およびその北方では、石英安山岩と同質凝灰岩が卓越しており、Jabal Sujarah の東方や調査地域東部では火山礫凝灰岩や凝灰角礫岩が多く分布する。Umm ad Damar South の東方では、石英安山岩が卓越する。

(3) 安山岩・同質火砕岩 (Aa)

本ユニットは、主に Jabal Sujarah 周辺およびその南方と Umm ad Damar South の西方と北東方に分布する。本岩の主な分布域は、Kemp et al. (1982) による縮尺 1:250,000 の地質図上の Jabal Azlam 層の分布域にほぼ一致している。

安山岩は、暗緑色、帯紫暗灰色ないし暗灰色を呈し、肉眼的に斑晶を認めない。また、本岩は、一般に緑レン石化変質を受けている。同質火砕岩は集塊岩、火山角礫岩、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩および凝灰岩からなる。

地域毎の岩相分布の特徴は、Jabal Sujarah 周辺には凝灰岩が、その北方には火山礫凝灰岩が、その南方、Umm ad Damar South の西方および北東方には溶岩が、そして調査地域北東部には集塊岩や凝灰角礫岩が多く分布することである。

(4) ジャスパー (Aj)

本岩は主に、Jabal Sujarah とその西方に分布する。一般に白色を呈して、流紋石英安山岩質火砕岩～安山岩質火砕岩中に挟在される。赤鉄鉱を多量に含むものは、赤色を呈する。

3-2-2 Mahd 層群

調査地域の西端部に分布する安山岩・同質火砕岩は Kemp et al. (1982) の縮尺 1:250,000 の地質図に示す Mahd 層群 Haf 層 Zur 部層に相当する。Kemp et al. (1982) によれば、Zur 部層は流紋岩、堆積岩よりなるが、調査地域では安山岩質である。

(1) 安山岩・同質火砕岩 (Ha)

調査地域の西端部に分布する。

安山岩は紫色を帯びた緑灰色を呈する。火砕岩は凝灰岩～凝灰角礫岩よりなり、礫岩、砂岩を挟在する。

下位の Arj 層群との被覆関係を直接観察することはできないが、下位の Arj 層群が 60° 以上の急傾斜を呈するのに対し、本岩は 20～40° の緩傾斜を呈しており、本岩は Arj 層群を不整合に被覆して分布しているものと考えられる。

3-3 貫入岩類

(1) トーナル岩 (T)

本岩は Umm ad Damar South 周辺に分布する。中粒～細粒の等粒状完晶質である。鏡下では、苦鉄質鉱物はすべて緑泥石、緑レン石に変化している (Table 2-3-1)。

(2) 閃緑岩・石英閃緑岩 (D)

本岩は Umm ad Damar North およびその周辺に分布する。暗緑色を呈し、細粒である。鏡下では、斑状からサブオフィチックの組織を示し、一部の閃緑岩 (試料 K9022005) はミルメカイト組織を示す。

(3) 安山岩 (a)

本岩は暗緑色を呈し、長石の大きな斑晶を含む斑状組織を示す。特にまとまった分布は示さない。鏡下では、苦鉄質鉱物はすべて緑泥石、緑レン石に変化している。

(4) 石英安山岩 (d)

本岩は、主に Arj 層群の石英安山岩・同質火砕岩中に貫入しており、大きさ 5mm 程度の石英斑晶を含む。鏡下では、苦鉄質鉱物はほとんど緑泥石、炭酸塩鉱物に変化している。

(5) 流紋石英安山岩 (r)

本岩は、主に Umm ad Damar South 北西方の Arj 層群安山岩・同質火砕岩中に貫入している。本岩は流理構造を呈し、Arj 層群の流紋石英安山岩と似た特徴を示す。

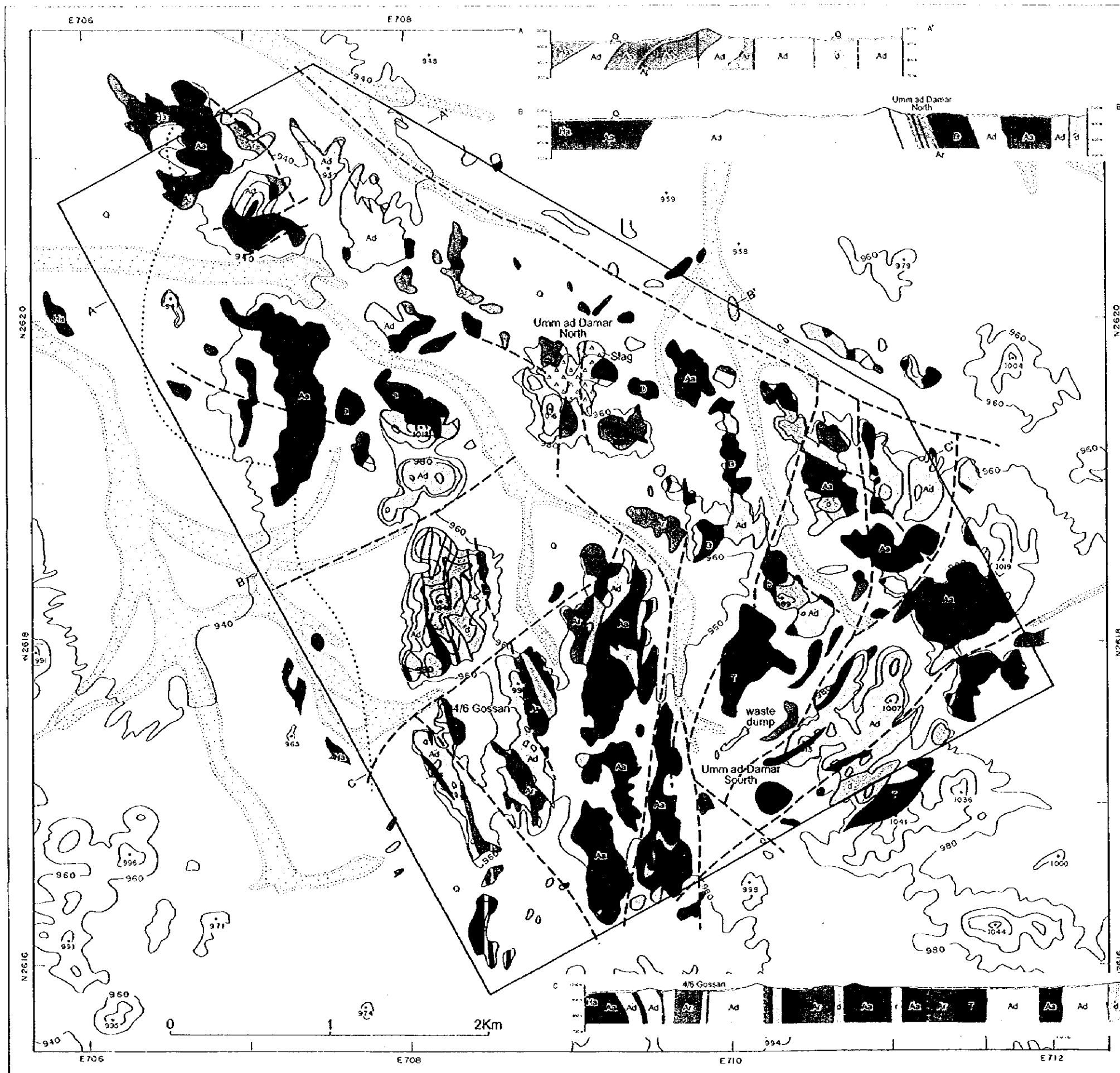
(6) 玄武岩 (b)

本岩は暗緑色を呈し、一般に小分布をなして Arj 層群中に貫入している。Umm ad Damar South の南方のトーナル岩中にも本岩が貫入している。鏡下では、斑状組織を示し、苦鉄質鉱物のほとんどは緑泥石に変化している。

3-4 地質構造

調査地域の Arj 層群は広域的な緑泥石・緑レン石化変質を受けており、また、片理が発達することから、火砕岩の走向・傾斜を測れる箇所が少ない。層理面が確認できたところでは、Arj 層群は 60° 以上の急傾斜を呈する。一方、Mahd 層群は 20～40° W の緩傾斜を呈する。

断層は、NE-SW 系が主である。また、調査地域の北東端部には Wadi al Aqiq 断層にはほぼ平行な NW-SE 系の断層の存在が推定される。



AGE	SEDIMENTARY AND VOLCANIC ROCKS	INTRUSIVE ROCKS
CENOZOIC QUATERNARY	Q sand, gravel	
	MAHD GROUP (Haf Forantion)	
LATE PROTEROZOIC		tonalite
	BARI GRANODIORITE, HUFAYRYA TONALITE	quartz diorite, diorite
		basalt
		andesite
		dacite
		rhyodacite
	ARJ GROUP (Jabal Azlam & Sayid Formations)	andesite, andesitic volcaniclastic rocks
	Ad dacite, dacitic volcaniclastic rocks	
	rhyodacite, rhyodacitic volcaniclastic rocks	
	jasper	

— Fault

Fig.2-3-1 Geological Map of the Survey Area

鉍化帯が胚胎する剪断帯は一般に第四系の砂礫層に覆われているため、剪断帯の全容は不明である。したがって、Fig. 2-3-1 の地質図には、剪断帯の分布を示していない。Umm ad Damar North のカラミ分布域の 2 本の断層の走向は後述の No. 1 と No. 2 鉍化帯の走向と同じ、N-S 方向を示す。Umm ad Damar South では、鉍化帯南方の断層は本鉍化帯と同様に NE-SW 走向を示す。また、4/6 Gossan 付近では、鉍化帯の東方に N-S 走向の断層が分布し、本鉍化帯の走向方向とほぼ一致する。このように、鉍化帯付近には鉍化帯の走向方向と同じ方向に伸長する断層が認められ、剪断帯の形成は付近の断層の形成時期と同時と考えられる。

また、本調査地域の鉍化帯の伸長方向にまとまりが無い理由としては、鉍化作用後の断層運動が考えられる。Fig. 2-1-1 に示す充電率異常分布図から判断して、4/6 Gossan 付近の NE-SW 方向の断層は右横ずれの走向移動断層であり、250m 程度の変位を与えていると考えられる。

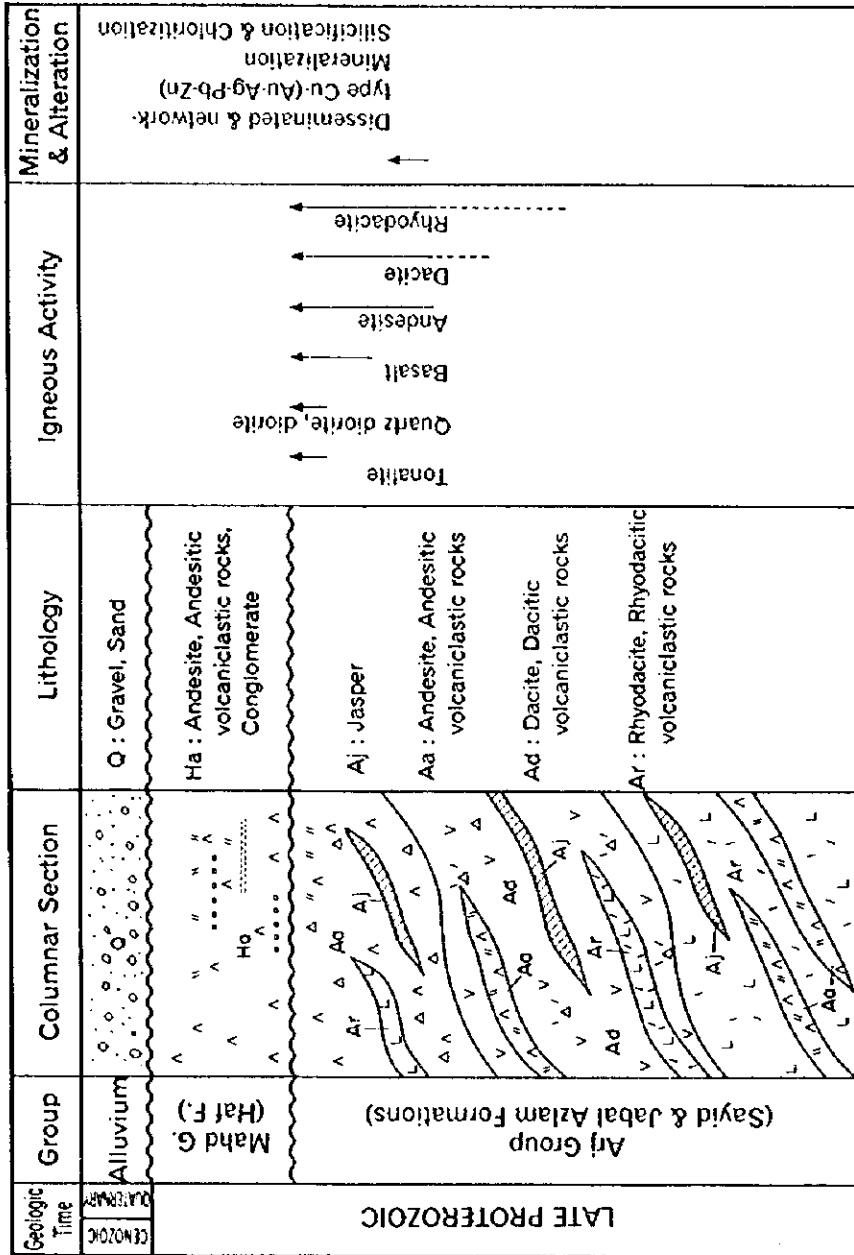


Fig. 2-3-2 Schematic Stratigraphic Columns

Table 2-3-1 Results of Microscopic Observation of Thin Sections

Sample No.	Symbol	Locality	Rock type	Texture	MP	opx	hb	qtz	pl	Kf	on	others	MP	hb	qtz	pl	Kf	op	others	ep	chl	ampl	ser	tit	cb	others	metamorphic or alteration
K9021803	a	4/18 2000	meta-volcanics weakly meta.	subophitic	<O>								<O>														
K9021804	Ad	4/18 2000	diacite	subophitic	<O>								<O>														
K9021805	Ad	4/18 2000	weakly meta. diacite tuff	clastic																							
M9022013	Ha		weakly meta. tuff breccia	clastic to porphyritic	<O>								<O>														
M9020909	Aa		weakly meta. andesite tuff	porphyritic	<O>								<O>														
M9021004	Aa		weakly meta. andesite lapilli tuff	clastic	<O>								<O>														
M9021801	Aj		leaper	microcrystalline																							
K9022803	Ad	UAD N.	diacite	porphyritic	<O>								<O>														
K9030101	Aa	UAD N.	weakly meta. trachytic andesite	trachytic	<O>								<O>														
M9020804	a	UAD N.	weakly meta. andesite	porphyritic	<O>								<O>														
K9021305	D	UAD N.	weakly meta. porphyritic diorite	porphyritic	<O>								<O>														
K9022701	Ad	UAD N.	diacite	porphyritic	<O>								<O>														
K9022502	Ad	UAD N.	weakly meta. diacite	porphyritic	<O>								<O>														
K9022004	d	UAD N.	weakly meta. diacite	porphyritic	<O>								<O>														
K9022005	D		weakly meta. porphyritic diorite	porphyritic to subophitic	<O>								<O>														
K9022401	D	UAD S.	microdiorite weakly meta.	subophitic	<O>								<O>														
K9021806	D	UAD S.	microdiorite weakly meta.	subophitic	<O>								<O>														
K9021807	Aa	UAD S.	andesite weakly meta.	porphyritic	<O>								<O>														
K9021302	T		tonalite metabasalt	holocrystalline	<O>								<O>														
K9021401	d		weakly meta. metabasalt	porphyritic	<O>								<O>														
K9021403	Ab		weakly meta. tonalite	porphyritic	<O>								<O>														
K9022001	T		weakly meta. diacite	holocrystalline	<O>								<O>														
K9022002	d		weakly meta. diacite	porphyritic	<O>								<O>														
K9022003	Ab		basalt weakly meta.	porphyritic	<O>								<O>														
K9022101	a		andesite weakly meta.	porphyritic	<O>								<O>														

abbrev. MP=pseudomorphs of mafic minerals, opx=clinopyroxene, pl=plagioclase, opo=opaque minerals, qtz=quartz, hb=hornblende, k=feldspar, epi=epidote, g=glass or microcrystalline aggregate, amp=green amphibole, cb=carbonate, a=arsenite, tit=titanite, apa=apatite, cly=clay minerals
<> shows totally decomposed
⊙ abundant, ⊙ common, Δ small, - rare

3-5 鉱化作用

調査地域には、Umm ad Damar North, Umm ad Damar South および 4/6 Gossan の3プロスペクトが分布する (Fig. 2-3-3, Plate 2 参照)。

Umm ad Damar North と Umm ad Damar South の鉱化作用は、Arj 層群中の剪断帯に胚胎した、黄鉄鉱を主体とし黄銅鉱を混える鉱染状ないし網状の銅鉱化作用である。一方、4/6 Gossan の鉱化作用も Umm ad Damar North と Umm ad Damar South と同じような形態を呈すると考えられるが、両プロスペクトの鉱化作用と比べ、Au, Ag, Pb, Zn 品位が高い。また、これらの3プロスペクトでは、地表下 30~40m まで酸化帯が形成されているため、地表部では酸化銅鉱を含む、褐鉄鉱および赤鉄鉱を主体としたゴッサンが認められるのみである。

本調査では、これらプロスペクトにおける露岩部の地質精査の他に、古代採掘跡、過去に実施された試錐孔およびトレンチの位置の把握、そしてトレンチ内の地質状況も確認した。また、古代採掘跡やトレンチから 32 試料および Jabal Sayid キャンプに残されていた UAD-6 号 No. 17 コア箱から 1 試料を採取し、鉱石分析を行った。分析元素は Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe の6種類である。地表部のサンプルは酸化しているため、一般に硫化鉱物は認められず、そのため硫黄は分析していない。また、Table 2-1-2 に示すように、過去の試錐探査では 4/6 Gossan の2孔を除き、Au は分析しておらず、Ag も一部の試錐孔サンプルに対し実施されているのみである。そのため、本調査では分析元素に Au, Ag を加えた。

鉱石研磨片観察結果を Table 2-3-2 に、鉱石分析結果を Table 2-3-3 に、そして X 線回折分析結果を Table 2-3-4 に示す。

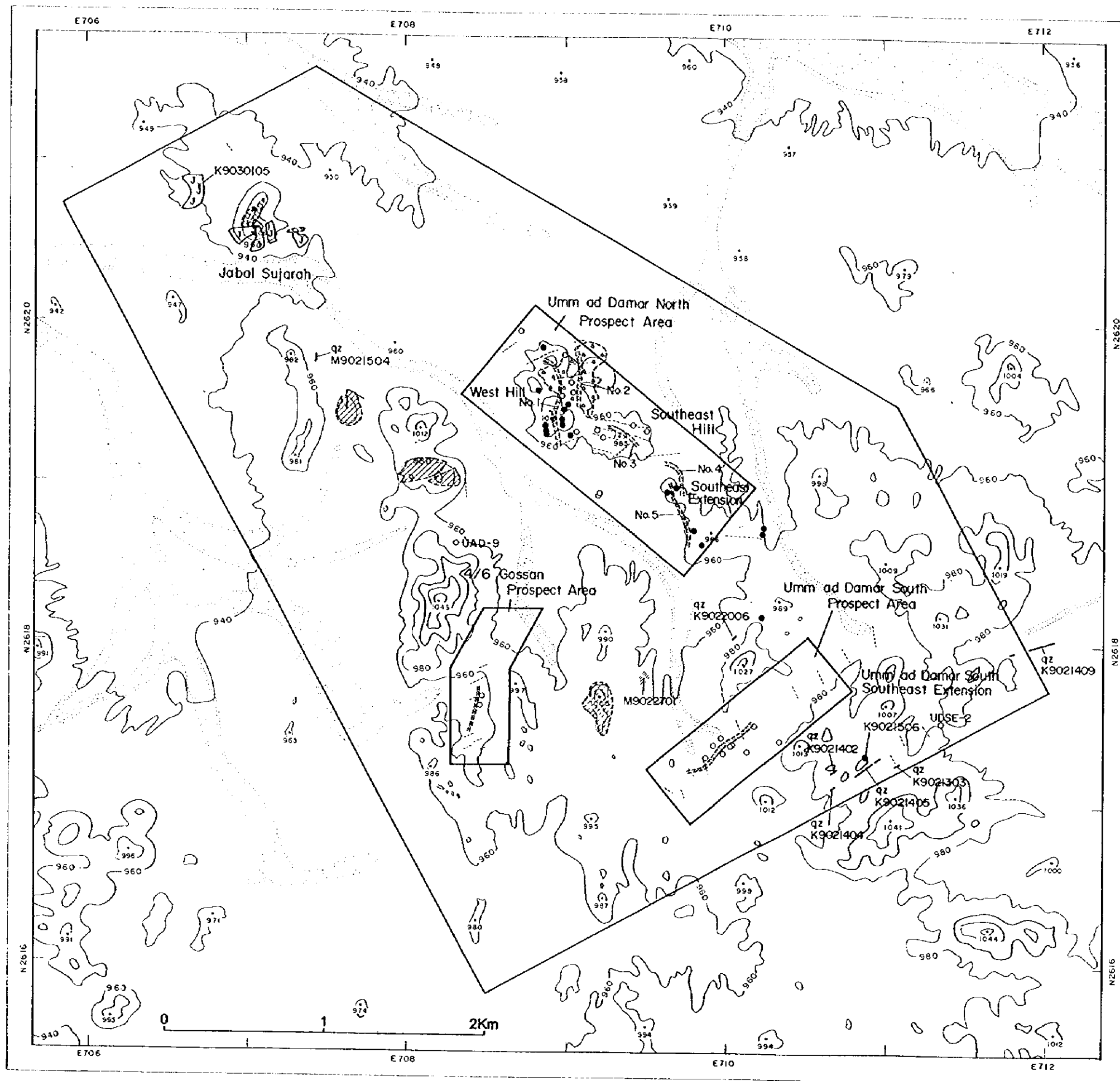


Fig.2-3-3 Mineralization Map of the Survey Area

Table 2-3-2 Results of Microscopic Observation of Polished Sections

Localities	Sample No.	Rock Name	Pyrite	Chalcopyrite	Tetrahedrite-Tennantite	Bornite	Sphalerite	Pyrrhotite	Hematite	Magnetite	Ilmenite	Galena	Covellite	Malachite
Jabal Sayid	K9030305	massive ore	⊙	△			△							
	K9030306	massive ore	⊙	○			○	△		△				
	K9030307	silicified ore	⊙	○			△	△						
Mahd adh Dhahab	K9030308	cp-sp quartz vein	△	○		△	⊙					△		
	K9030310	cp-ga massive vein	△	○	△		⊙		△		△	△		
Umm ad Damar Prospect	West Hill	gossan	△						⊙					
	Southeast Hill	sulfide veinlet ore, UAD-6 No.17	⊙	○			△	△		△			△	
Umm ad Damar South Southeast Extension	K9021409	quartz vein		⊙					⊙				○	△

abbrev. cp:chalcopyrite, sp:sphalerite, ga:galena
 ⊙abundant, ○common, △small

Table 2-3-3 Results of Ore Assay

Localities		Sample No.	Rock Name	Au g/t	Ag g/t	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %
4/6 Gossan Prospect		K9021701	gossan	3.7	287	1.96	3.45	0.61	35.33
		K9021702	gossan	1.6	23.6	0.58	1.49	1.98	31.25
		K9021703	gossan	<0.1	3.4	6.59	0.04	1.70	12.61
		K9021801	gossan	<0.1	2.3	0.05	<0.01	0.03	4.63
		K9021802	gossan	<0.1	1.9	0.03	0.01	0.01	11.29
West of Jabal Sujarah		K9030105	jasper	0.4	5.9	0.21	<0.01	<0.01	2.02
North of Umm ad Damar South		K9022006	quartz vein, wd 0.3m	<0.1	0.8	1.48	<0.01	<0.01	3.01
Southeast of Jabal Sujarah		M9021504	quartz vein, wd 0.12m	<0.1	0.4	0.09	<0.01	<0.01	2.15
Umm ad Damar North Prospect	West Hill	K9021101	gossan	0.3	3.3	10.12	<0.01	0.04	8.97
		K9030102	gossan	<0.1	2.2	0.14	<0.01	0.01	12.18
		K9030103	quartz vein	0.3	18.9	0.17	<0.01	0.02	9.23
		K9022704	gossan	0.6	4.5	5.67	0.32	0.40	42.13
		K9022705	gossan	0.4	1.9	0.05	<0.01	0.04	25.66
	Southeast Hill	K9030301	sulfide veinlet ore, UAD-6 No.17	<0.1	3.8	0.19	<0.01	0.01	17.49
		K9022702	gossan	<0.1	0.5	0.04	<0.01	<0.01	22.88
		K9022703	gossan	<0.1	0.6	0.13	<0.01	0.02	33.28
	Southeast Extension	K9022501	quartz vein	<0.1	1.5	0.11	<0.01	0.03	6.38
		K9022503	gossan	<0.1	2.3	0.52	<0.01	0.03	28.28
		K9022504	quartz vein	<0.1	1.5	0.60	<0.01	0.02	5.56
	K9022505	silicified ore	0.1	8.1	2.04	0.01	0.06	11.94	
Umm ad Damar South Prospect		K9022403	quartz-hematite veinlet rock	<0.1	1.7	0.06	<0.01	<0.01	14.00
		K9022404	gossan	6.2	5.5	0.89	<0.01	0.04	57.44
		K9022405	quartz veinlet rock	0.2	5.5	0.21	<0.01	0.05	7.43
		K9022406	silicified ore	0.4	18.2	1.91	<0.01	0.36	5.24
		K9022407	silicified rock	1.4	13.1	1.07	0.03	0.41	20.74
		K9022408	ore containing Cu-oxide minerals	0.3	7.3	7.91	<0.01	1.22	18.71
		K9030313	ore containing Cu-oxide minerals	3.0	14.7	0.76	0.01	0.40	38.02
Umm ad Damar South, Southeast Extension		K9021303	gossan, wd 0.3m	0.2	15.0	14.44	<0.01	0.02	13.20
		K9021402	quartz vein, wd 1.0m	<0.1	1.0	0.45	<0.01	<0.01	0.54
		K9021404	quartz vein, wd 0.3m	<0.1	1.6	0.45	<0.01	<0.01	1.01
		K9021405	silicified rock, wd 2~3m	<0.1	0.9	0.82	<0.01	<0.01	0.38
		K9021409	quartz vein, wd 0.3m	<0.1	0.9	1.25	0.05	<0.01	1.39
		K9021506	siliceous ore, float	<0.1	18.6	4.50	<0.01	<0.01	1.39

Table 2-3-4 Results of X-ray Diffraction Analysis

Localities	Sample No.	Rock Name	Quartz	Calcite	Chlorite	Sericite	Epidote	Talc	Albite	Alunite	Gypsum	Tremolite	Pyrite	Chalcopyrite	Sphalerite
Jabal Sayid	K9030303	py, cp disseminated altered rock	⊙		⊙	Δ		Δ					○	○	
Mahd adh Dhahab	K9030309	host rock of quartz vein	⊙		⊙	Δ	Δ						○	○	
	K9030310	host rock of cp-ga massive vein	⊙		○				○						Δ
West of Jabal Sujarah	K9030105	jasper	⊙										Δ		
Jabal Sujarah	K9030302	carbonatized rock	○	⊙	Δ		Δ								
Northwest of Umm ad Damar South	M9022701	epidotized rock	Δ	⊙	Δ		Δ					⊙			
Umm ad Damar North Prospect	West Hill	K9022801	hematite rock	⊙		○	Δ								
		K9022802	dacite	⊙		⊙	Δ								
	Southeast Hill	K9030301	sulfide veinlet ore, UAD-6 No.17	○		⊙							Δ		
Umm ad Damar South Prospect	K9022409	clay	⊙		Δ					○	Δ				

⊙abundant, ○common, Δsmall

3-5-1 Umm ad Damar North

Umm ad Damar Northには大量のカラミが分布し、このカラミ分布域を取り囲む西方の小山（以下“West Hill”と呼称する）と南東方の小山（以前より“Southeast Hill”と呼称されている）には多くの古代採掘跡が分布する。従来はこれらの地区を Umm ad Damar North と呼称しているが、採掘跡は Southeast Hill の南東方の丘陵地にも分布しており（“Southeast Extension”と呼称する）、本調査では、これらも含めて Umm ad Damar North とし、地質精査を行った。

今回の地質精査により作成した地質図を Fig. 2-3-4 に、既存試錐孔を通る 6 地質断面を Fig. 2-3-5 に示す。また、縮尺 1:2,500 の地質図・地質断面図を Plate 3 に示す。

(1) 地質

本プロスペクト付近の地質は、主に Arj 層群の流紋石英安山岩と石英安山岩よりなり、それぞれ、NW-SE 方向に伸長して分布する。これらを買いて、閃緑岩が北東部に分布する。鉍化作用は Arj 層群中のみ認められ、閃緑岩中には認められない。

(2) 地表部における鉍化帯の分布と規模

古代採掘跡やトレンチ内のゴッサンの分布、および試錐探査の結果から、West Hill で 1 列、カラミ分布域で 1 列、Southeast Hill で 1 列、Southeast Extension で 2 列の主鉍化帯の分布が推定される。これら鉍化帯に以下の名称を付けた。これらの鉍化帯の地表部における最大水平幅と延長は以下のように推定される。

名称	地区	走向	傾斜	最大水平幅(m)	延長(m)
No. 1	West Hill	N~NW	80° E	7	500
No. 2	カラミ分布域	N	80° E?	30	400
No. 3	Southeast Hill	WNW	65° N	20	200
No. 4	Southeast Extension	NW~NNW	不明	10	200
No. 5	Southeast Extension	NNW	不明	10	400

(3) 品位

地表部

古代採掘跡とトレンチ中から採取した 11 個の鉍石試料の分析結果を Table 2-3-3 に示す。Cu 品位は 0.04~10.12% である。Au, Ag 品位は非常に低い。

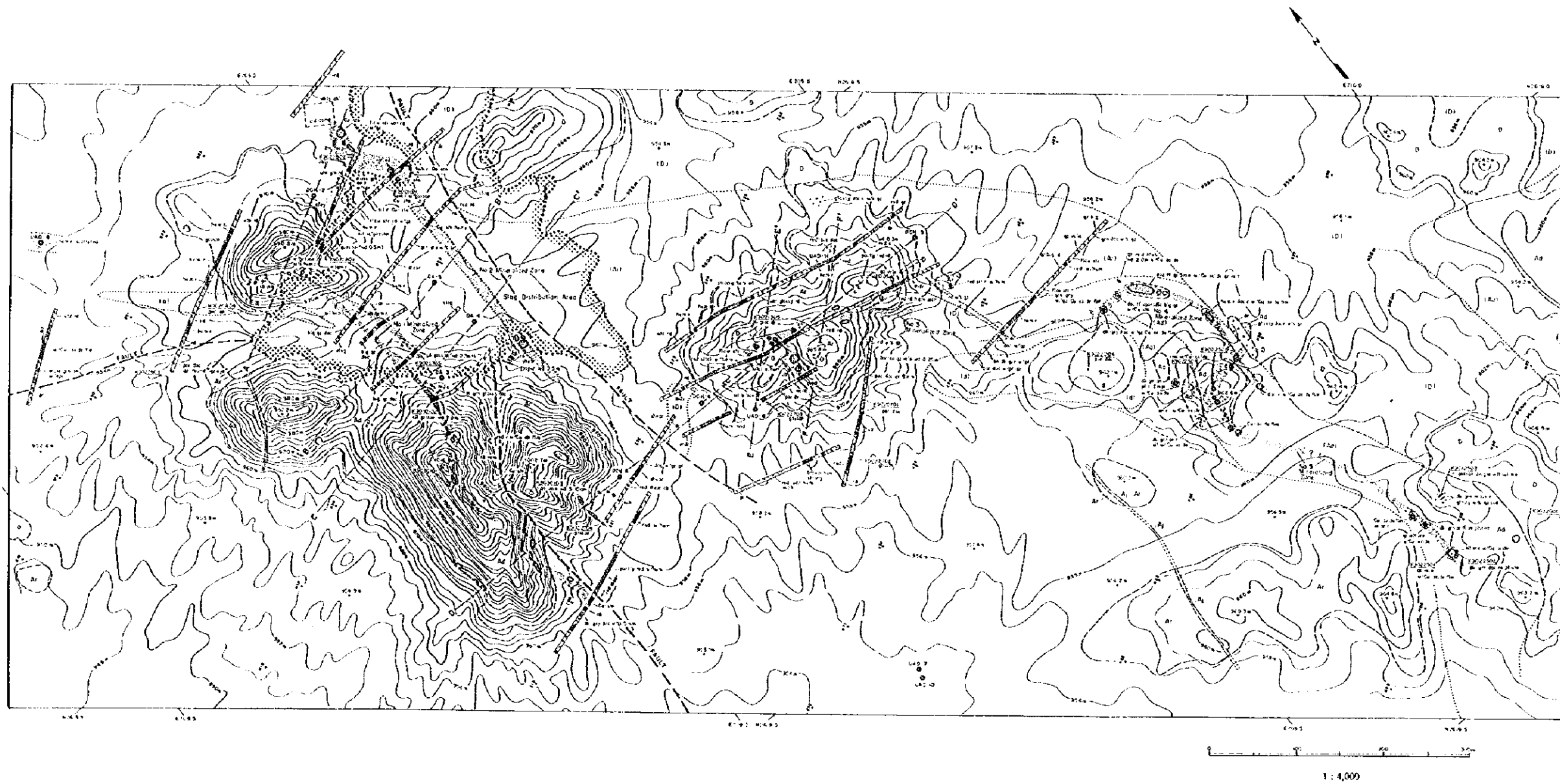
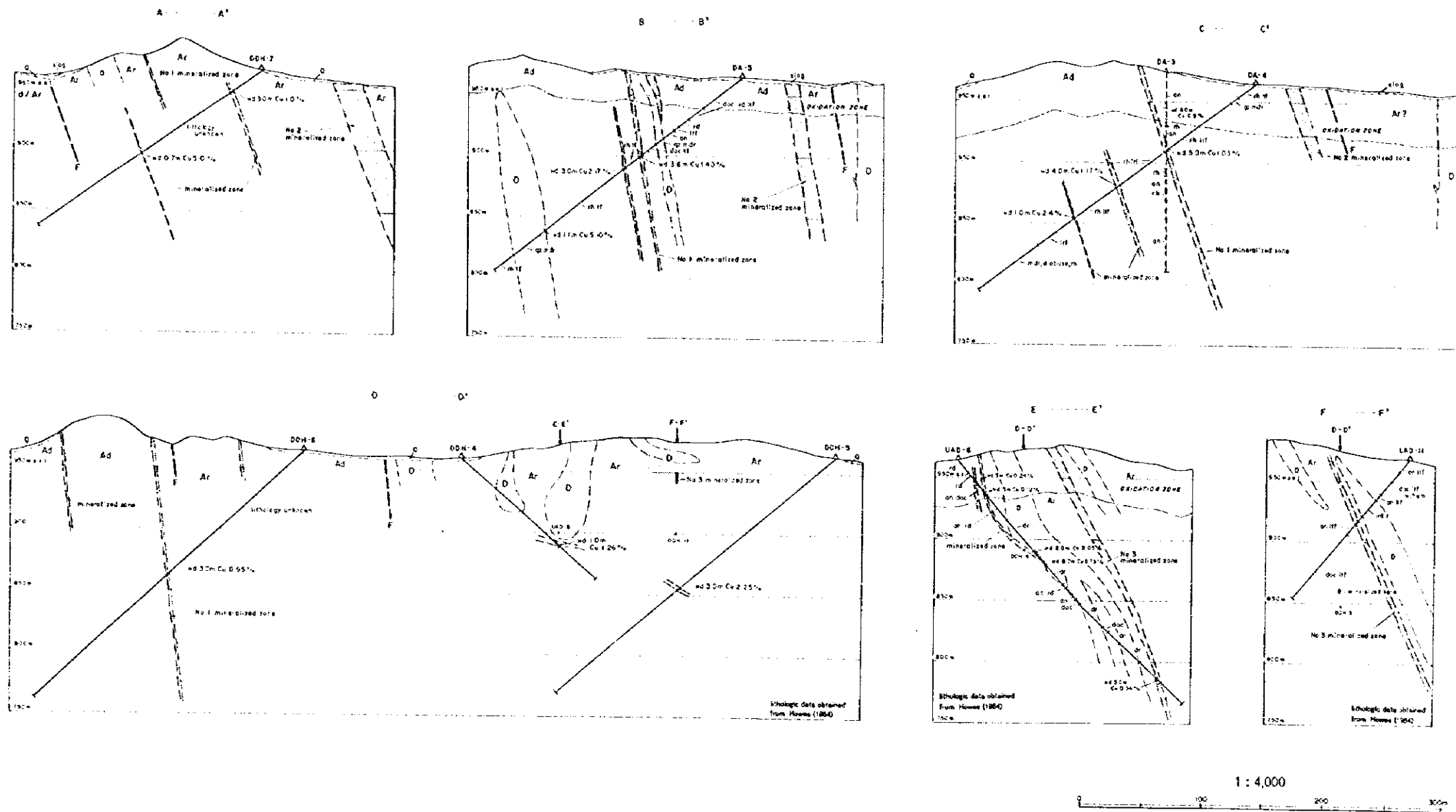


Fig. 2-3-4 Detailed Geological Map of the Umm ad Damar North Prospect



AGE	SEDIMENTARY AND VOLCANIC ROCKS	INTRUSIVE ROCKS
CENozoic Quaternary	[Q] sand, gravel	
	[No] andesite, andesitic volcaniclastic rocks, conglomerates	
LATE PROTEROZOIC	[T] tonalite	
	[D] quartz diorite, diorite	
	[b] basalt	
	[a] andesite	
	[d] dacite	
	[r] rhyodacite	
EARLY GROUP Paleo- zoic & Devon	[An] andesite, andesitic volcaniclastic rocks	
	[Ad] dacite, dacitic volcaniclastic rocks	
	[Ar] rhyodacite, rhyodacitic volcaniclastic rocks	
	[A] gneiss	

Abbreviation

agglomerate	agl	moderate	mod
amphibole	amp	network	ntwk
andesite	an	opaque minerals	op
andesitic	an	phenocryst	pheno
apatite	apa	phyllitic	phy
basic	b	plagioclase	pl
black	blk	porphyritic	por
breccia	brec	pyrite	py
brecciated	brecd	quartz	qz
carbonate	cb	rhyodacite	rd
chart	cht	rhyolite	rh
chlorite	chl	rock	r.
chloritized	chl	rounded	round
clay minerals	clm	sandstone	stn
clinopyroxene	cpx	schist	sch
dacite	dac	sericite	ser
dark	dk	shale	sh
diorite	dr	sheared	shear
disseminated	drs	siliceous	sil
dotted	dott	silicified	silci
epidote	epi	spotted	spot
film	flm	stain	stn
gravel	gr	structure	str
gray	gr	sulfide	sul
green	grn	sulfate	suft
hematite	hem	tonalite	to
hornblende	hb	tuff	tu
intrusive	int	veinlet	vnt
K-feldspar	kf	weedy	wky
lapilli tuff	lt	white	wh
light	lt	width	wid
massive	mass	with	w/
microdiorite	mdr		

Fig. 2-3-5 Geological Sections of the Umm ad Damar North Prospect

下部

過去に実施された試錐探査の結果 (Table 2-1-2) では、本プロスペクトで掘削された 12 孔の中、9 孔で鉍化帯を把握している。Cu 品位は 0.90% (真幅 2.5m) ~5.10% (真幅 1.0m) である。

(4) 鉍化帯下部の状況

No. 1 鉍化帯の下部延長部は以下の 5 孔によって把握されている。

孔名	着鉍部の垂直深度 (m)	真幅 (m)	Cu 品位 (%)
DDH-7	68.3~68.6	0.6	5.0
DA-5	73.9~75.7	2.6	2.17
DA-4	51.7~54.7	4.8	1.03
DA-3	32.0~40.0	2.5	0.90
DDH-6	103.0~105.0	2.4	0.95

したがって、垂直深度 100m 以深の鉍況については不明である。

No. 2 鉍化帯については、試錐探査が実施されておらず、本鉍化帯の下部については不明である。

No. 3 鉍化帯については、DDH-4 号、DDH-5 号、UAD-6 号および UAD-11 号により探鉍されている。DDH-4 号と DDH-5 号が鉍化帯の走向方向に掘削されているため、これらの試錐孔により把握された鉍化帯の幅を推定することはできない。しかし、UAD-11 号と UAD-6 号では以下のデータが得られている。

孔名	着鉍部の垂直深度 (m)	真幅 (m)	Cu 品位 (%)
UAD-11	52.1~54.8	3.1	1.87
UAD-6	175 ~178 ?	2 ?	0.35

したがって、地表下約 150m より以深では Cu 品位が低下する傾向があるのかもしれない。

No. 4 鉍化帯と No. 5 鉍化帯については、試錐探査が実施されておらず、本鉍化帯の下部については不明である。

3-5-2 Umm ad Damar South

今回の地質精査のデータにより作成した地質図を Fig. 2-3-6 に、既存試錐孔を通る4地質断面を Fig. 2-3-7 に示す。また、縮尺 1:2,500 の同地質図・地質断面図を Plate 4 に示す。

(1)地質

本プロスペクト付近の地質は、Arj 層群の流紋石英安山岩、安山岩、安山岩質凝灰岩、石英安山岩質凝灰岩よりなり、これは NE-SW 方向に伸長して分布する。

(2)地表部における鉱化帯の分布と規模

本プロスペクトには 17 個の採掘跡が確認される。酸化銅鉱が認められる採掘跡およびトレンチ中に認められるゴッサンの分布から、調査地域の主な鉱化帯は 1 列と推定される。本鉱化帯は、母岩の走向方向にやや斜交し、主に、凝灰岩中に胚胎する。地表部における鉱化帯の最大幅は 30m であり、走向延長は 400m と推定される。

(3)品位

地表部

古代採掘跡、トレンチ中およびズリ捨て場から採取した 7 試料の分析結果を Table 2-3-3 に示す。Cu 品位は 0.06~7.91% である。DDH-1 号と UAD-1 号間の古代採掘跡から採取した試料 K9022404 と DDH-1 号の北方のズリ捨て場から採取した試料 K9030313 では Au 品位がそれぞれ 6.2g/t, 3.0g/t であり、Umm ad Damar North と異なり、本鉱化帯の Au 品位は高い。

下部

過去に実施された試錐探査の結果 (Table 2-1-2) では、掘削された 11 孔の中、4 孔で本鉱化帯を把握している。Cu 品位は 1.99% (真幅 6.9m)~2.93% (真幅 2.1m) である。

(4)鉱化帯下部の状況

Fig. 2-3-7 の地質断面図に示すように、DDH-2 号より北東方では鉱化帯は分布しない (断面 D-D' 参照)。DDH-3A 号は古代採掘跡の下方に向けて掘削されたが、鉱化は認められない (断面 C-C')。UAD-2, 3 号付近では本鉱化帯は地表下 130m まで連続するものと推定される (断面 B-B')。UAD-4, 5 号付近では本鉱化帯は UAD-4 号で把握されている。しかし、より下方に向けて掘削された UAD-5 号では本鉱化帯を認めていない。この理由としては UAD-5 号が本鉱化帯の傾斜方向に掘削されたためと推定される (断面 A-A')。

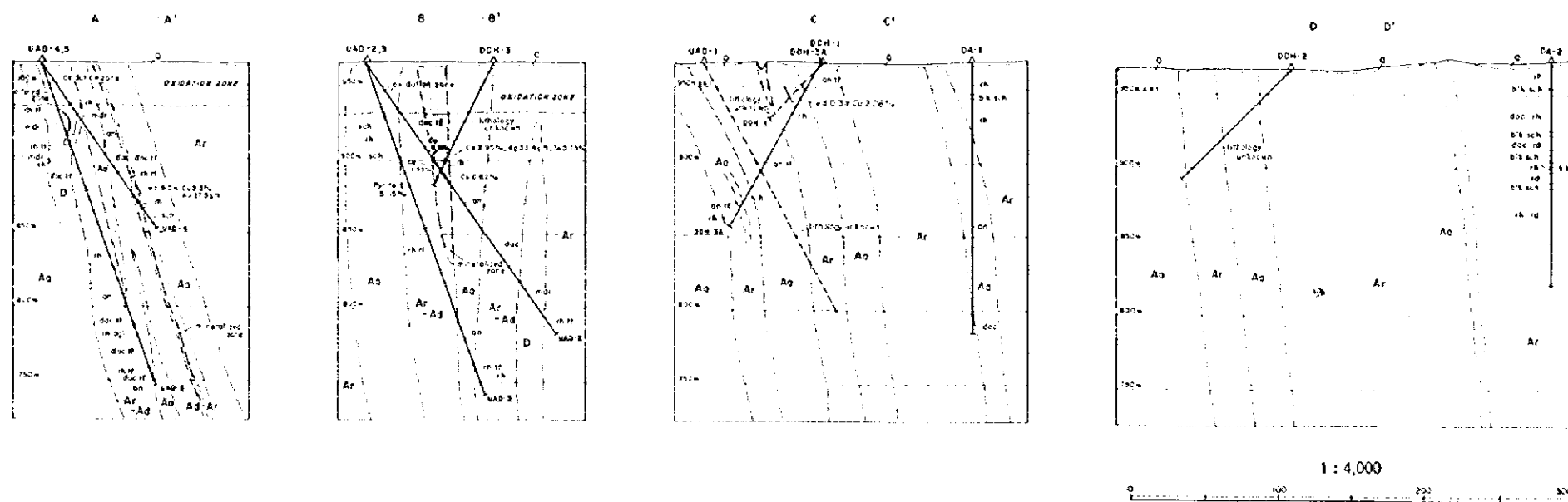


Fig. 2-3-7 Geological Sections of
the Umm ad Damar South Prospect

3-5-3 4/6 Gossan

今回の地質精査により作成した地質図と既存試錐孔を通る2地質断面図を Fig. 2-3-8 に示す。また、縮尺 1:2,500 の同地質図・地質断面図を Plate 5 に示す。

(1)地質

本プロスペクト付近の地質は、Arj 層群の石英安山岩、石英安山岩質凝灰岩および流紋石英安山岩よりなり、これらは NNE-SSW 方向に伸長して分布する。

(2)地表部における鉍化帯の分布と規模

鉍化帯は1列であり、母岩の走向方向にやや斜交し、主に、石英安山岩質凝灰岩中に胚胎する。地表部における鉍化帯の幅は 0.3~8m であり、走向延長は 250~300m と推定される。

(3)品位

地表部

トレンチに認められるゴッサン部から5試料を採取し、分析を行った (Table 2-3-3 参照)。Cu 品位は 0.03~6.59% である。また、試料 K9021701 では Au 3.7g/t, Ag 287g/t と Au, Ag 品位が高く、試料 K9021702 は Au 1.6g/t を示す。これら2試料は Pb, Zn 品位も高い。

下部

本鉍化帯で掘削された2孔の内、UAD-14号の着鉍部は地表下 45.0~48.7m で、Au 16.1g/t Ag 449.8g/t と非常に高い Au, Ag 品位を示す (Table 2-1-2 参照)。

(4)鉍化帯下部の状況

Fig. 2-3-8 の地質断面図に示すように、本鉍化帯の連続は地表下 60m 程度まで確認されているのみで、より深部に向けた試錐探査は実施されていない。

3-5-4 その他の鉱化帯

Umm ad Damar South の南東方には少なくとも4条の石英脈が分布し、その中に酸化銅鉱、黄銅鉱を認める。この地区は Umm ad Damar South の Southeast Extension と呼称されている (Fig. 2-3-3 参照)。各石英脈は付近の断層の走向方向である NE-SW 走向を示し、連続性が悪い。本調査では6箇所を試料を採取した。Table 2-3-3 に示すように、調査地域の石英脈は Au, Ag に乏しい。

Umm ad Damar South の北方の山体はトータル岩からなり、トータル岩とその北方に分布する Arj 層群安山岩の境界部に NE-SW 走向の断層帯が認められる。この断層帯に直交して計7つの短いトレンチが掘削されており、その中の1つのトレンチに断層帯と同方向の石英脈が認められる。この石英脈は幅 30cm であり、酸化銅鉱を含む。そこから採取した試料 K9022006 の Cu 品位は 1.48% であるが、Au, Ag 品位が低い。

Jabal Sujarah 山頂の南東約 1 km に幅 12cm の石英脈が認められる。肉眼的に酸化銅鉱と赤鉄鉱が認められたが、そこから採取した試料 M9021504 は Au, Ag, Cu 品位とも低い。

Jabal Sujarah 山頂の北西約 400m に露出するジャスパー層中には一部で酸化銅鉱が認められた。今回1試料 (K9030105) を採取したが、Au, Ag, Cu 品位とも低い値を示す。

他に、Jabal Sujarah には炭酸塩化作用、Umm ad Damar North の西方の小山に珪化作用、4/6 Gossan と Umm ad Damar South の間の山地に珪化・緑レン石化作用を受けた変質岩が認められた。

3-6 調査地域に見られる鉱化作用と近隣の鉱床との比較

調査地域内の Umm ad Damar North, Umm ad Damar South および 4/6 Gossan の3プロスペクトと近隣の Jabal Sayid 鉱床, Mahd adh Dhahab 鉱山について鉱化作用のタイプ、母岩、鉱化作用の時期、変質、鉱石鉱物、流体包有物研究結果を比較した (Table 2-3-6 参照)。

(1) 鉱化作用のタイプ

調査地域の既知3プロスペクトの鉱化作用は剪断帯中に胚胎した鉱染状ないし網状の銅鉱化作用であり、4/6 Gossan は Au, Ag, Pb, Zn 品位が高い。Jabal Sayid 鉱床の鉱化作用は下部にストックワークを伴う層準規制型塊状硫化銅鉱化作用である。Mahd adh Dhahab 鉱山の鉱化作用は鉱脈型 Au-Ag-Cu-Zn 鉱化作用である。

(2) 母岩

調査地域の既知3プロスペクトの鉱体の母岩は Arj 層群の珪長質岩である。Jabal

Sayid 鉱床の母岩は Arj 層群 Sayid 層の珪長質岩である。Mahd adh Dhahab 鉱山の母岩は Mahd 層群 Haf 層の安山岩，同質火砕岩である。

(3) 鉱化作用の時期

調査地域の 3 既知プロスペクトの鉱化作用は Arj 層群中の剪断帯に賦存しており，この構造運動は上位の Mahd 層群に及んでいないと推定されることから，3 既知プロスペクトの鉱化作用の時期は Mahd 層群堆積前の可能性が高い。Jabal Sayid 鉱床の鉱化作用は Sayid 層堆積時である。一方，Mahd adh Dhahab 鉱山の鉱化作用は 649Ma の年代が得られており (DCMR, 1994)，これは Mahd 層群上位の Ghamr 層群堆積時に相当する。

(4) 鉱石鉱物

Umm ad Damar North, Jabal Sayid 鉱床および Mahd adh Dhahab 鉱山の鉱石鉱物を Table 2-1-3 に示す。磁硫鉄鉱，磁鉄鉱，キューバ鉱の高温型硫化鉱物の産出は Umm ad Damar North と Jabal Sayid 鉱床から報告されているが，Mahd adh Dhahab 鉱山からは報告されていない。

(5) 鉱化変質

調査地域の既知 3 プロスペクト，Jabal Sayid 鉱床および Mahd adh Dhahab 鉱山とも母岩は珪化作用，緑泥石化作用および黄鉄鉱化作用を受けている。変質の違いとしては，Mahd adh Dhahab 鉱山では，カリ長石交代作用が認められ，安山岩質の母岩中に数 cm 大のカリ長石の巨晶が形成されているが，既知プロスペクトと Jabal Sayid 鉱床では認められない。

(6) 流体包有物均質化温度・塩濃度測定

Mahd adh Dhahab 鉱山では，Luce et al. (1979)，Rye et al. (1982)，Hakim and Chinkul (1989) および Afifi (1992) により流体包有物研究が行われている。Luce et al. (1979) によれば，種々の石英脈中の初生ないし疑似二次成の流体包有物 (20 μ m 以下) の均質化温度は 142~278 $^{\circ}$ C，塩濃度は 0~0.1 wt% である。Rye et al. (1982) では，石英中の流体包有物の均質化温度は 110~238 $^{\circ}$ C を示した。Hakim and Chinkul (1989) によれば，鉱化作用により形成された石英脈中の流体包有物の均質化温度は 100~380 $^{\circ}$ C，塩濃度は 1~4 wt% である。また，不毛石英脈中の流体包有物の均質化温度は 130~200 $^{\circ}$ C，塩濃度は 0.6~3 wt% である。Afifi (1992) は，流体包有物研究結果により，Mahd adh Dhahab の熱水活動期の温度を 180~270 $^{\circ}$ C とした。

Jabal Sayid 鉱床の流体包有物研究は Chinkul (1983) によって行われている。そ

れによれば、鉍化作用により形成された石英脈から採取した石英と閃亜鉛鉍の均質化温度は 300~400℃、塩濃度は 6.7~7.4 wt%である。

調査地域の鉍化作用が、Mahd adh Dhahab 鉍山と Jabal Sayid 鉍床の鉍化作用のどちらに類似するのか、また、調査地域の鉍化作用の特徴を流体包有物から考察するために、今回、Jabal Sayid 鉍床から 1 試料、Mahd adh Dhahab 鉍山から 2 試料、Umm ad Damar North から 5 試料、Umm ad Damar South から 3 試料、Umm ad Damar South の南西方の Southeast Extension から 2 試料、Umm ad Damar South の北方から 1 試料の計 14 試料の石英脈ないし珪化岩を採取し、流体包有物の均質化温度および塩濃度を測定した。その結果を Table 2-3-5 に示す。

流体包有物均質化温度の測定は初生の流体包有物を対象に行うものであるが、今回、測定した試料中に含まれる流体包有物は小さく、また以下の理由により、明らかに初成であると決定できる流体包有物は見出されなかった

- ①石英の成長縞が今回検討した試料には認められず、組織の観察からは初生と 2 次成の包有物の区別をつけることが出来ない。
- ②流体包有物を比較的多数測定した試料では、流体包有物が互いに近在して存在しており、それらの分布から流体包有物はネッキングダウンした流体包有物か、2 次成の流体包有物の可能性がある。
- ③面状配列を示し、明らかに 2 次包有物と思われるものと、そうでない流体包有物の均質化温度が類似している。

したがって、今回得られた流体包有物の均質化温度ないし塩濃度値は必ずしも信頼性の高いものではない。

Fig. 2-3-9 の均質化温度—塩濃度プロット図には、Jabal Sayid 鉍床について Chinkul (1983)、Mahd adh Dhahab 鉍山について、Luce et al. (1979) と Hakim and Chinkul (1989) のデータを図示した。これらは均質化温度と塩濃度が共に報告されているものである。今回、Jabal Sayid 鉍床の貯鉍場から採取した珪化鉍 (K9030307) は、均質化温度の平均値が 260℃、塩濃度の平均値は 8.3 wt%であり、Chinkul (1983) の測定結果と比べ、均質化温度はやや低い、塩濃度はほぼ同じ値を示す。Mahd adh Dhahab 鉍山の坑内から採取した試料では、試料 K9030308 の均質化温度と塩濃度の平均値が、221℃と 0.9 wt%、試料 K9030309 では、198℃と 0.2 wt%であり、Luce et al. (1979) および Hakim and Chinkul (1989) のデータの平均値に近い。Umm Damar South プロスペクトで採取した 3 試料の均質化温度の平均値は 148~164℃、塩濃度の平均値は 3.2~5.0wt%であり、これらの値は、Jabal Sayid 鉍床よりも Mahd adh Dhahab 鉍山の流体包有物の測定結果に近いが塩濃度は比較的高い。一方、Umm ad Damar North

プロスペクトで採取した5試料の中、均質化温度と塩濃度がともに測定できたのは3試料であり、これらは、Umm ad Damar South プロスペクトの3試料よりも、塩濃度が高い。しかし、Jabal Sayid 鉱床と異なり、均質化温度は低い。

(7)総合考察

以上の解析から、調査地域の既知3プロスペクトの鉱化作用は、Mahd 層群堆積前の構造運動により形成された剪断帯に胚胎した鉱染状ないし網状を呈する epigenetic な熱水鉱化作用と考えられ、Jabal Sayid 鉱床の層準規制型塊状硫化銅鉱化作用、また、Mahd adh Dhahab 鉱山の生成年代の新しい鉱脈型 Au-Ag-Cu-Zn 鉱化作用とも異なる。

しかしながら、磁硫鉄鉱、磁鉄鉱、キューバ鉱の高温型硫化鉱物が、Umm ad Damar North プロスペクトと Jabal Sayid 鉱床から報告されていることや、4/6 Gossan の鉱化帯が Mahd adh Dhahab 鉱山と同様に Au, Ag に富むなどの類似点もあり、今後、コア観察やコアの鉱石研磨片観察、放射年代測定、変質鉱物分析等のデータを蓄積して、調査地域の既知3プロスペクトの鉱化作用と Jabal Sayid 鉱床および Mahd adh Dhahab 鉱山の鉱化作用との対比を行う必要がある。

Table 2-3-5 Results of Fluid Inclusion Study

Localities	Sample No.	Rock Name	Kind of Inclusions	Homogenization Temperature(°C)				Salinity (wt% eq. NaCl)				Other Analytical Results				
				Number of Measured Inclusions	Min	Max	Average	Standard Deviation	Number of Measured Inclusions	Min	Max	Average	Standard Deviation	Microscopic Observation of Polished Section	Cre Assay	X-ray Diffraction Analysis
Jabal Sayid Deposit	K9030307	silicified ore	liquid-rich two-phase	22	111	309	260	47	5	0.7	10.9	8.3	1.7	py(⊙), op(○), sp(Δ), po(Δ)	-	-
	K9030308	988mLop-ep qz vein	liquid-rich two-phase	15	147	276	221	46	14	0.6	1.2	0.9	0.2	py(Δ), op(○), bn(Δ), sp(⊙), gt(Δ)	-	-
	K9030309	quartz vein	liquid-rich two-phase	12	174	233	198	19	5	0.1	0.4	0.2	0.2	qtz(⊙), ohl(⊙), ser(Δ), epi(Δ), py(○), cpx(○)	-	-
Umm ad Dumar	K9022006	quartz vein	liquid only	0	-	-	-	-	2	12.3	14.4	13.3	1.5	-	Cu 1.46%	-
	K9030102	gossan	liquid only	0	-	-	-	-	3	11.7	12.5	12.2	0.4	py(Δ), hemat(⊙)	Cu 0.14%	-
	K9030103	quartz vein	mostly liquid-rich two-phase	11	172	240	193	31	11	4.9	7.3	6.2	0.9	-	Ag 18.9μt, Cu 0.17%	-
Umm ad Dumar North Prospect	K9030301	sulfide veinlet ore, UAD-6 NO.17	liquid-rich two-phase	1	>430	-	-	-	1	6.0	-	-	-	py(⊙), op(○), sp(Δ), po(Δ), mt(Δ), cv(Δ)	Cu 0.19%	qtz(○), ehl(⊙), py(Δ)
	K9022501	quartz vein	liquid only or liquid-rich two-phase	2	147	175	161	20	3	13.1	13.5	13.4	0.2	-	Cu 0.11%	-
	K9022505	silicified ore	liquid-rich two-phase	10	147	191	164	14	4	12.4	18.4	14.7	2.8	-	Cu 0.60%	-
Umm ad Dumar South Prospect	K9022402	silicified rock	liquid-rich two-phase	20	150	181	160	12	5	1.5	4.1	3.2	1.0	-	-	-
	K9022403	qtz-hem veinlet rock	liquid-rich two-phase	19	149	191	164	12	5	3.9	4.9	4.4	0.4	-	Cu 0.06%	-
	K9022406	silicified ore	liquid-rich two-phase	23	132	175	148	12	6	3.6	5.6	5.0	0.7	-	Ag 18.2μt, Cu 1.91%	-
Umm ad Dumar South Southeast Extension	K9021402	quartz vein	liquid only	0	-	-	-	-	1	0.5	-	-	-	-	Cu 0.45%	-
	K9021404	quartz vein	liquid-rich two-phase(CO ₂ ?)	2	81	90	85	6	0	-	-	-	-	-	Cu 0.45%	-

abbrev. py = pyrite, op = chalcopyrite, sp = sphalerite, po = pyrrhotite, bn = bornite, ga = galena, hem = hematite, mt = magnetite, cv = covellite, qz = quartz, chl = chlorite, ser = sericite, epi = epidote
 ⊙abundant, ○common, Δsmall

Table 2-3-6 Correlation of Mineral Prospects

	Umm ad Damar North Prospect	Umm ad Damar South Prospect	4/6 Gossan Prospect	Jabal Sayid deposit	Mahd adh Dhahab mine
Mineralization type	Disseminated and network-type Cu mineralization in shear zone	Disseminated and network-type Cu-(Au?) mineralization in shear zone	Au-Ag-Cu-Pb-Zn mineralization in shear zone	Stratabound massive sulfide type Cu mineralization	Vein type Au-Ag-Cu-Zn mineralization
Host rocks	Rhyodacite and dacite of Arj Group	Rhyodacite, andesite, andesitic tuff and dacitic tuff of Arj Group	Dacite, dacitic tuff and rhyodacite of Arj Group	Sayid Formation, Arj Group	Haf Formation, Mahd Group
Mineralization age	Before deposition of Mahd Group?				649 Ma (DGMR, 1994)
Alteration	Quartz-chlorite-pyrite	Quartz-chlorite-pyrite	Quartz-chlorite-pyrite	Quartz-chlorite-pyrite	Quartz-pyrite-chlorite-potassium feldspar
Fluid inclusion study	This study: 193°C, 6.2wt%/ 161°C, 13.4wt%/ 164°C, 14.7wt%	This study: 160°C, 3.2wt%/ 164°C, 4.4wt%/ 148°C, 5.0wt%	Unknown	This study: 260°C, 8.3wt% Chinkul(1983): 300-400°C, 6.7-7.4wt%	This study: 221°C, 0.9wt%/ 198°C, 0.2wt% Luce et al.,(1979): 142-278°C, 0-0.1wt% Hakim and Chinkul(1989): 100-380°C, 1-4wt%

