

オマーン国ヤンキル・グザイン地域
資源開発協力基礎調査報告書

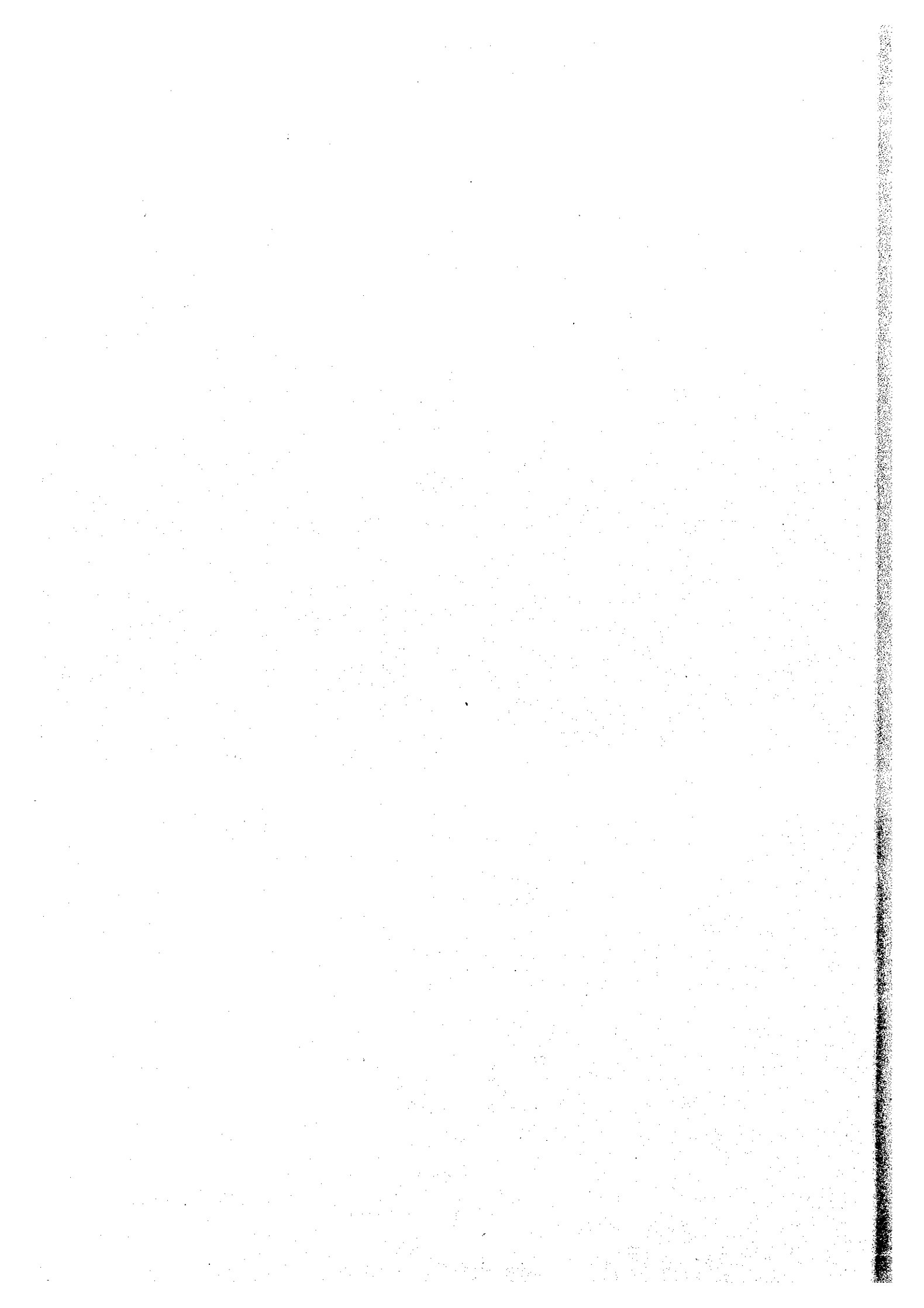
第 1 年 次

平成13年3月
JICA LIBRARY

J1164154[5]

国際協力事業団
金属鉱業事業団

鉱業資
CR(2)
01-084



オマーン国ヤンキル・グザイン地域
資源開発協力基礎調査報告書

第 1 年 次

平成 13 年 3 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団



1164154(5)

は し が き

日本国政府はオマーン国政府の要請に応え、同国の北部に位置するヤンキル及びグザイン地域に分布する鉱物資源の開発に繋がる可能性を調査するためのプレF/Sを行うため、選鉱試験、環境調査、物理探査、ボーリング調査など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及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12年度を第1年次とするものであり、金属鉱業事業団は6名の調査団を編成して平成12年8月29日から平成13年2月14日まで現地に派遣した。

現地調査はオマーン国政府機関、商業工業省鉱物局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取りまとめたものである。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたオマーン国政府関係機関ならびに外務省、経済産業省、在オマーン国日本国大使館及び関係各社の方々に衷心より感謝の意を表すものである。

平成13年3月

国際協力事業団
総裁 斉藤邦彦

金属鉱業事業団
理事長 田代直弘



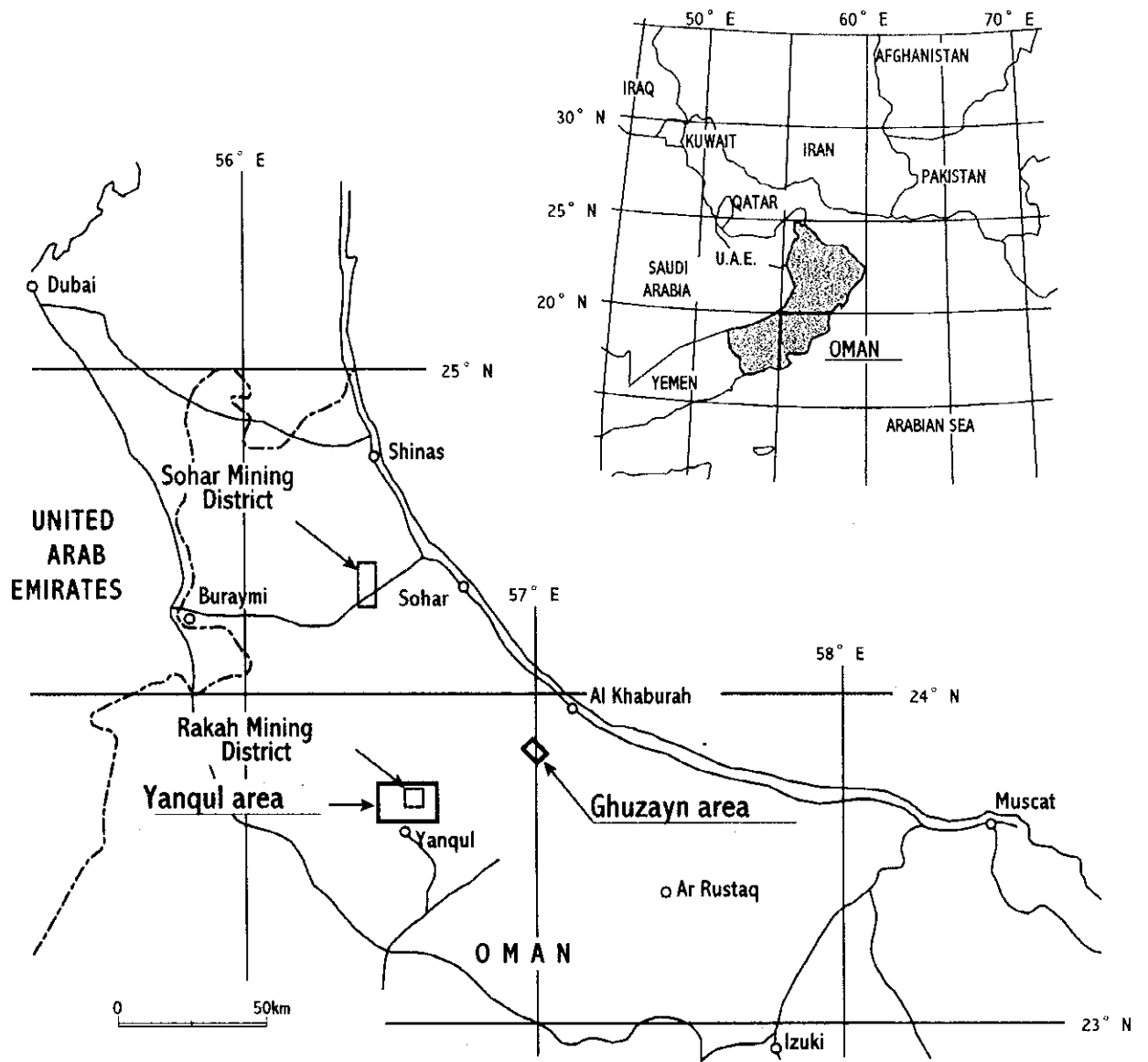


Fig.1 Location map of the surveyed area

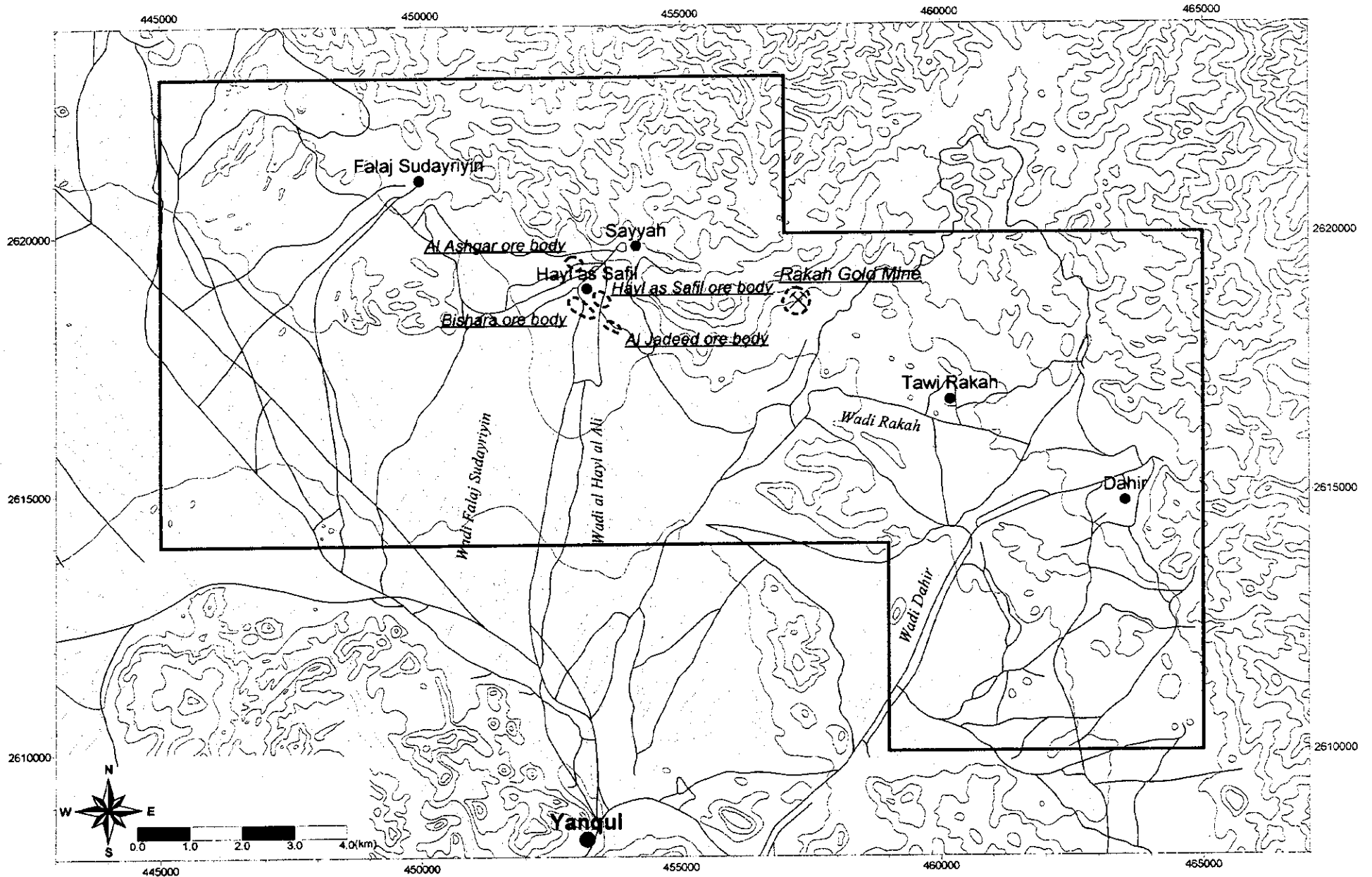


Fig. 2 Location map of Yanqul area

要 約

本調査は、日本国政府とオマーン国政府との間で平成12年6月28日付けで締結された実施細則 (Scope of Work) に基づいて、オマーン国ヤンキル及びグザイン地域において実施する資源開発協力調査である。本調査は、上記両地域に分布する鉱床・鉱体を総合的に評価し、それらを開発・操業へ導くためにプレ F/S を実施するものである。

オマーン北部一帯にはキプロス型銅・金鉱床が分布しており、古代から銅の生産地として知られている。1960年代に始まった近代的な探査によって、ソハール地区で大規模な鉱床の賦存が確認され、オマーン国政府はソハール地域の鉱山開発 (ラセール鉱床、ベイダ鉱床、アアジャ鉱床) 及びソハール銅製錬所の操業を1983年に開始した。しかし1993年にはソハール地区の鉱床が終掘し、その後は海外鉱の委託精錬により同製錬所の操業を維持している。同国政府は国内銅鉱山開発のための探鉱活動を精力的に継続しており、これまでにヤンキル地域においてラカー鉱床及びハイル・アス・サフィール鉱床を発見している。一方、日本国政府はオマーン国政府の要望に応え、これまでにラカー地域 (1988～1989年度、1997年度)、中央バチナコースト地域 (1995～1996年度)、南バチナコースト地域 (1997～1999年度) を対象に資源開発協力基礎調査を実施した。その結果、ヤンキル地域のラカー鉱床で金含有量が高い既知鉱体の延長部を捕捉するとともに、ハイル・アス・サフィール鉱床で約500万tの高品位ストックワーク鉱部を捕捉した。またバチナコースト地域のグザイン地区では新規に3つの塊状鉱体、合計鉱量約1,400万tを発見した。

このような背景の中、オマーン国政府は日本国政府に対して、新規に発見された鉱床・鉱体を総合的に評価するための2年間のプレ F/S 調査 (地域開発計画調査) の実施を要請した。本年度はその第1年次にあたり、ヤンキル地区を対象として選鉱試験、既存データ解析、環境調査、地質調査、物理探査及びボーリング調査を実施した。その主な結果は以下の通りである。

(1) 選鉱試験

- ①銅実収率は、ストックワーク鉱については粗選/精掃の段階で94～96%に変動し、ラカー鉱体の塊状鉱とビシャーラ鉱体の角礫鉱が80～90%であった。銅精鉱品位も同様に変動が大きく、第一粗選精鉱でラカー塊状鉱が約42%、他の試料は22～25%であった。
- ②今回の試験での重要な成果は、全試料が同じ補集剤で良好な反応を示し、ただ最適条件を得るためのpHだけが鉱種間で異なるということである。
- ③鉱物試験の結果からは、再磨鉱のレベルが超微粉碎技術を使わずに達成できることが明らかになった。
- ④黄鉄鉱の浮選精鉱のリーチング率はほぼ30%と低調であった。再磨した精鉱では、それぞれ40、45%に上昇し、焙焼後ではラカー塊状鉱が85%、ビシャーラ角礫鉱が66%と最高のリーチング率が得られた。しかしながら、青化ソーダの消費量はかなり多く、黄鉄鉱精鉱からのリーチングによる金の回収は現段階では経済的ではないと判断される。

(2) 既存データ解析

①地質鉱量及び可採鉱量を確定させるためには、詳細な地質及び鉱体のモデルの構築、鉱種毎の分布、地質鉱量及び平均品位の把握、本地域の鉱体に最も妥当な鉱量計算手法の検討、鉱量計算における適正な諸条件の設定、が必要である。

②ヤンキル地域の鉱体における鉱種は、ストックワーク鉱を主とし、塊状鉱及び角礫鉱を伴う。

(3) 鉱床探査

①物理探査の結果、既知の鉱化帯を含む以下の5ヶ所（クルン・アル・アクバブ地区、タウィ・ラカー鉱徴地、ラカー金鉱山、ナジャイド地区、ハイル・アス・サフィール鉱床）で異常を検出した。

②それらの中のクルン・アル・アクバブ地区で有望な銅鉱化帯（ストックワーク鉱化帯）を捕捉した。

③ハイル・アス・サフィール鉱床における物理探査の結果、IP異常が既知鉱体の位置を良く反映し、塊状鉱の分布とTEM法の高磁場異常の位置が非常に良く一致していることが示された。

第2年次は本地域開発調査の最終年次であり、第1年次の作業を継続して行うとともに、インフラストラクチャ、起業費及び操業費についての検討も行い、それらの結果に基づいて総合評価を実施する必要がある。

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 調査範囲及び作業の概要	1
1-3 調査団の編成	1
1-4 調査期間	6
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
第 3 章 調査地域の既存地質情報	9
3-1 一般地質	9
3-2 鉍化作用及び鉍業略史	9
第 4 章 調査結果の総合検討	19
4-1 選鉍試験	19
4-2 環境調査	22
4-3 既存データ解析	22
4-4 鉍床探査	23
第 5 章 結論及び提言	33
5-1 結論	33
5-2 提言	34

第II部 各論

第1章 地質調査	35
1-1 地質層序	35
1-2 地質構造	41
1-3 鉍化作用	41
第2章 選鉍試験	43
2-1 調査の目的	43
2-2 調査量及び調査方法	43
2-3 試験試料の採取	45
2-4 選鉍試験結果	45
2-5 考察	62
2-6 今後の選鉍試験に対する提言	64
第3章 環境調査	66
3-1 調査の目的	66
3-2 調査方法	66
3-3 調査結果	71
3-4 考察	78
第4章 既存データ解析	84
4-1 調査の目的	84
4-2 収集した既存資料	84
4-3 解析結果及び抽出された課題	86
4-4 鉍量計算	89
第5章 TDIP法調査	92
5-1 調査の目的	92
5-2 調査位置及び調査量	92
5-3 調査方法	92
5-4 解析方法	94
5-5 調査結果	96
5-6 考察	249

第6章 TEM法調査	250
6-1 調査の目的	250
6-2 調査位置及び調査量	250
6-3 調査方法	250
6-4 解析方法	253
6-5 調査結果	255
6-6 考察	271
第7章 ボーリング調査	297
7-1 調査の経緯及び目的	297
7-2 調査位置及び調査量	297
7-3 調査方法	297
7-4 ボーリング調査結果	297
7-5 考察	303

第III部 結論及び提言

第1章 結論	313
第2章 将来への提言	315
参考文献	316
図表一覧	318
巻 末	



第 I 部 総 論



第1章 序論

1-1 調査の経緯及び目的

本調査は、日本国政府とオマーン国政府との間で平成12年6月28日付けで締結された実施細則 (Scope of Work) に基づいて、オマーン国ヤンキル及びグザイン地域において実施する資源開発協力調査である。本調査は、上記両地域に分布する鉱床・鉱体を総合的に評価し、それらを開発・操業へ導くためにプレF/Sを実施するものである。

オマーン北部一帯にはキプロス型銅・金鉱床が分布しており、古代から銅の生産地として知られている。1960年代に始まった近代的な探査によって、ソハール地区で大規模な鉱床の賦存が確認され、オマーン国政府はソハール地区の鉱山開発 (ラセール鉱床、ベイダ鉱床、アアジャ鉱床) 及びソハール銅製錬所の操業を1983年に開始した。しかし1993年にはソハール地区の鉱床が終掘し、すでに発見されていたラカー鉱床は鉱量不足により開発には至らなかったため、その後は海外鉱の委託精錬により同製錬所の操業を維持しており、同国政府は国内銅鉱山開発のための探鉱活動を精力的に継続している。

このような背景の中で、日本国政府はオマーン国政府の要望に応え、これまでにラカー地域 (1988～1989年度、1997年度)、中央バチナコースト地域 (1995～1996年度)、南バチナコースト地域 (1997～1999年度) を対象に資源開発協力基礎調査を実施した。その結果、ヤンキル地域のラカー地区で金含有量が高い既知鉱体の延長部を捕捉するとともにハイル・アス・サフィール地区で約500万tの高品位ストックワーク鉱部を捕捉した。またバチナコースト地域のグザイン地区では新規に3つの塊状鉱体、合計鉱量約1,400万tを発見した。このため、オマーン国政府の要望に応え、ヤンキル及びグザイン地域でこれまでに確認された鉱床・鉱体を総合的に評価し、これらを開発・操業へ導くために本年度より2年間のプレF/S調査を実施するものである。

1-2 調査範囲及び作業の概要

本調査の対象地域であるヤンキル及びグザイン地域は、首都マスカット (Muscat) の西方に位置している。両地区はオマーン山脈を挟んで、北にグザイン地域、南にヤンキル地域が位置し、両地区の間の直線距離は50kmである。グザイン地域及びヤンキル地域の調査面積はそれぞれ20km²及び180km²である。調査対象地域の位置図をFig.1及びFig.2に示す。

本年度はヤンキル・グザイン地域の地域開発計画調査の第1年次にあたり、ヤンキル地区を対象として選鉱試験、既存データ解析、環境調査、地質調査、物理探査及びボーリング調査を実施した。これらの調査量、室内試験及び選鉱試験の数量は、Table I-1-1～Table I-1-4に示す通りである。

1-3 調査団の編成

本調査の調査計画策定、折衝、現地指導監督及び現地調査に参加した調査団員は、次の通りである。

Table I -1-1 Content and amount of the survey (1)

• Drilling survey

Area	No.	Length	Inclination	Direcion
Yanqul Area	MJOY-1	251.10m	-90°	
	MJOY-2	200.35m	-90°	
	MJOY-3	251.10m	-90°	
	MJOY-4	200.10m	-90°	
	MJOY-5	250.10m	-90°	
	MJOY-6	250.65m	-90°	
	MJOY-7	250.60m	-90°	
	MJOY-8	250.25m	-90°	
Grand total of length		1904.25m		

• Drilling for metallurgical test

Area	No.	Length	Inclination	Direcion
Yanqul Area	MJOY-P1	125.65m	-90°	
	MJOY-P2	125.80m	-90°	
	MJOY-P3	125.65m	-75°	W
	MJOY-P4	137.55m	-90°	
	MJOY-P5	126.00m	-90°	
Grand total of length		640.65m		

• Drilling for environmental survey

Area	No.	Length	Inclination	Direcion
Yanqul Area	MJOY-W1	75.00m	-90°	
	MJOY-W2	75.00m	-90°	
	MJOY-W3	75.00m	-90°	
	MJOY-W4	75.00m	-90°	
	MJOY-W5	75.00m	-90°	
Ground total of length		375.00m		

Table I -1-2 Content and amount of the survey (2)

• Geological survey

Area coverage	Scale	Length of Survey route
60km ²	1/25,000	74.3km

• Geophysical survey(1)

Area name	Method	Length of measurment
Yanqul Area	IP method	95.9km
Total length of measurement	95.9km	
Number of measurement point	3,220 points	

• Geophysical survey(2)

Area name	Method	Number of loop
Yanqul Area	TEM method	7 loops
Total number of loop	7 loops	
Number of measurement point	567 points	
Total length of loop	16.8km	

Table I -1-3 Content and amount of laboratory work

Survey	Laboratory work	Amount
Geological survey	Thin sections	22 samples
	X-ray diffraction analysis	21 samples
	Chemical analysis of ore (Au,Ag,Cu,Pb,Zn,Fe)	17 samples
Environmental survey	pH, conductivity, groundwater temperature	5 samples
	Chemical analysis of groundwater (Cu,Zn,Pb,Ni,Cr,Fe,Mn,Hg,SO ₄)	5 samples
Geophysical survey (IP method)	Resistivity and polarizability measurement	41 samples
Drilling survey	Thin sections	10 samples
	Polished sections	20 samples
	X-ray diffraction analysis	10 samples
	Chemical analysis of ore (Au,Ag,Cu,Pb,Zn,Fe)	275 samples

Table I -1-4 Content and amount of metallurgical test

Test Item	Details	Amount
1. Sampling	Drilling, core logging and core sampling	Number of Samples: 4 (massive ore of Rakah, stockwork ore of Rakah, stockwork ore of Hayl as Safil, breccia ore of Bishara) Total weight of samples: 1,000kg
2. Sample preparation	Weighting, crushing and blending	4 sets of ore samples, 1,000kg in total
3. Characteristics of feed ore	Chemical analysis (Cu, Au, Ag, Pb, Zn, Fe, As, Sb, S, S ²⁻ , Bi, Cd, Co, Cs, Ga, In, Mo, Ni, Rb, Se, Te, Th, Tl, U, Y,)	4 samples × 25 elements
	Mineralogical test for gold	4 samples
	Measurement of work index for ball mill	4 samples
4. Flotation	To produce concentrates, middlings, and tailing by establishment of process flow through each batch test of roughing and cleaning.	23 tests (17 batch rougher flotation tests and 6 batch cleaner flotation tests)
	Chemical analysis of rougher, cleaner and tailing (Cu, Au, Ag, Fe, S,)	Rakah stockwork ore: 57 products, Hayl as Safil stockwork ore: 22 products, Rakah massive ore: 24 products: Bishara breccia ore: 27 products Total: 130 products × 5 elements
	Chemical analysis of flotation concentrates (As, Ba, Ce, Cd, Co, La, Mo, Nb, Sn, Sr, Ta, V, Y, Zr, Al ₂ O ₃ , CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO, MnO, Ma ₂ O, P ₂ O ₅ , SiO ₂ , TiO ₂ , Hg, F)	3 products × 26 elements
	Mineralogical test for flotation products	12 products
	Settling and filtering tests	each 1 set for 4 samples
5. Leaching	Sample preparation (pyrite concentrate)	Pyrite concentrate obtained from 2 samples (Rakah massive ore and Bishara breccia ore)
	Leaching tests	2 kinds (original, regrinding) × 2 samples
	Leaching tests after roasting	3 temperature conditions × 2 samples
	Chemical analysis (Au, Ag)	2 elements × 7 kinds (1 feed, 1 residue, 4 activated carbon, 1 leached liquid) × 2 times

(1) 調査計画策定及び折衝

(日本国側)

澤田 賢治 金属鉱業事業団調査事業部次長
藤井 昇 金属鉱業事業団調査事業部海外協力課専門調査員
森脇 久光 金属鉱業事業団ロンドン海外調査員
黒川 清登 国際協力事業団鉱工業開発調査部資源開発調査課

(オマーン国側)

Hilal Mohamed Sultan Al Azri Ministry of Commerce and Industry
Salim Omer Abdullah Ibrahim Ministry of Commerce and Industry
Saif Ali Al Rashidi Ministry of Commerce and Industry

(2) 現地指導監督

逆瀬川 敏夫 金属鉱業事業団調査事業部長
和田 重夫 金属鉱業事業団調査事業部調査役
藤井 昇 金属鉱業事業団調査事業部海外協力課専門調査員

(3) 現地調査

(日本国側)

柴田 芳彰 三菱マテリアル資源開発(株) 総括, ボーリング調査
川上 寛 三菱マテリアル資源開発(株) 選鉱試験, 既存データ解析
小川 永 三菱マテリアル資源開発(株) 環境調査
エソバル 太仁 三菱マテリアル資源開発(株) 物理探査
根岸 義光 三菱マテリアル資源開発(株) 物理探査
遠藤 晋 三菱マテリアル資源開発(株) 物理探査

(オマーン国側)

Salim Omer Abdullah Ibrahim Ministry of Commerce and Industry 総括
Afmed Nasser Al Towaya Ministry of Commerce and Industry 地質調査
Florentino Alba Carulla Oman Mining Company 選鉱試験
Perfecto Cuevas Lagapa Oman Mining Company 既存データ解析

1-4 調査期間

本調査に伴うオマーン国での調査の期間は、以下の通りである。

(1) 調査計画策定及び折衝

平成12年6月23日 ～ 平成12年6月29日

(2) 現地指導監督

平成12年10月10日 ～ 平成12年10月15日

平成 13 年 1 月 12 日 ～ 平成 13 年 1 月 18 日

(3) 既存データ解析

平成 12 年 9 月 3 日 ～ 平成 12 年 9 月 6 日

(4) 選鉱試験

平成 12 年 9 月 9 日 ～ 平成 12 年 10 月 28 日

(5) 地質調査

平成 12 年 9 月 7 日 ～ 平成 12 年 10 月 28 日

(6) 物理探査

平成 12 年 10 月 1 日 ～ 平成 13 年 1 月 29 日

(7) ボーリング調査

平成 12 年 11 月 24 日 ～ 平成 13 年 2 月 12 日

(8) 環境調査

平成 12 年 12 月 16 日 ～ 平成 13 年 1 月 12 日

第2章 調査地域の地理

2-1 位置及び交通

オマーン国は、アラビア半島の南東端に位置し、約30万km²の面積を有する。人口は約200万人で、首都はマスカット(Mascat)である。オマーン国の北部には、オマーン湾の海岸線に並行して標高2,500mを越えるオマーン山脈が北西-南西方向に走っており、マスカットはその中央部の北麓に位置する。本調査の対象地域であるヤンキル及びグザイン地域の位置は、マスカットの西方にあたり、ヤンキル地域は北部オマーン山脈の南西麓、グザイン地域はその北東麓である。

マスカットからヤンキルまでは、ニズワ(Nizwa)、イブリ(Ibri)を経由する国道があり、交通は至便である。マスカットとヤンキル間は約370kmあり、車で約4時間を要する。

一方、マスカットからグザインまでは、海岸線を走る国道1号線を用いてアルカブラ(Al Khaburah)まで行き、そこからグザインまで通じている舗装された一般道路を用いる。その間の距離は約190kmで、車では約2時間を要する。

2-2 地形及び水系

ヤンキル地域は、オマーン山脈の南西麓の山岳地帯から丘陵地帯にかけて位置している(標高600m~1,000m)、大小の丘及び段丘が発達している。本地域の水系はワジ・ダンク(Wadi Dank)に属し、その上流部のワジ・ラカー(Wadi Rakah)とワジ・アル・ハイル・アル・アリ(Wadi Al Hayl Al Ali)が分布している。

グザイン地域は、オマーン山脈の北東麓の標高150m~250mの丘陵地帯に位置している。本地域の中央をワジ・ハワシナ(Wadi Hawasina)が流れており、その両側には段丘が発達している。

2-3 気候及び植生

ヤンキル地域が位置するアル・ダヒラ(Al-Dhahirah)地方は乾燥気候であるが、冬季にはわずかに降水がある。用水路や水井戸による灌漑によって、ワジの流域ではナツメヤシ、ライム、マンゴ、タバコ等が栽培されている。

グザイン地域が位置するアル・バチナ(Al-Batinah)地方の気候は、半乾燥気候であるものの、オマーン山脈によって砂漠地方から切り離されているため高温多湿型の性格も併せ持っている。海から来る湿気がオマーン山脈に止められるため、冬季には山間地においては通常雨が降る。この雨は海岸平野に地下水を供給することから、そこではナツメヤシ、ライム、マンゴ、タバコ等の他に、多くの野菜や果物が栽培されている。しかし、耕作地を除くと植生は極めて乏しく、ワジの中及びその周辺部にアカシア等の疎らな植生が認められるのみである。

第3章 調査地域の既存地質情報

3-1 一般地質

オマーン山脈は、ヨーロッパより連続するアルプス・ヒマラヤ造山帯の一部を構成し、主として先カンブリア界から古生界及び中生界の現地性岩体（基盤）とその上位に衝上した異地性岩体（ナップ）より成る。異地性岩体は、下位のハワシナ・ナップと上位のサマイル・ナップより構成され、二層構造を示す。ハワシナ・ナップは主にハワシナ堆積岩類より構成され、サマイル・ナップはサマイル・オフィオライト及びオフィオライト上部堆積物より構成される。本対象地域はいずれも、これらのうちのサマイル・ナップの分布域に位置する。

サマイル・オフィオライトは、層序的に下位よりテクトナイト、層状岩体、ハイレベル斑れい岩、シート状岩脈群及びサマイル火山岩類よりなる。サマイル・オフィオライトの上位は、小規模ながら主としてオリストストロームより成るオフィオライト上部堆積物からなる。本対象地域の地質図を Fig. I-3-1 に示す。

本地域の地質構造発達史は大きく3つに区分され、第1期はサマイル・オフィオライトの生成、第2期はサマイル・オフィオライトのオブダクト、そして第3期はオブダクト以降である。第1期は白亜紀前期より中期にかけてサマイル・オフィオライトが古テーチス海において生成・発達した (Lippard et al., 1986) 時期である。この時期には、この拡大軸と基盤をなすアラビア・プレートの間に大規模なハワシナ堆積盆が存在し、そこにハワシナ堆積物が堆積したと考えられている。第2期は、ハワシナ・ナップのオブダクトとオフィオライト上部堆積物の堆積に引き続き、サマイル・オフィオライトが大洋底より分離し、アラビアプレートの南西端 (オマーンプレート) の上にサマイル・ナップとしてオブダクトするまでの時期を示す。サマイル・ナップのオブダクトは、白亜紀に起こった (Coleman, 1981 and Lippard et al., 1986) と考えられている。オブダクトに伴う衝上断層群及び褶曲群がオマーン山脈全域に発達するが、ヤンキル地域においてもこの時期の衝上断層群がよく発達している。第3期は、サマイル・ナップの定置以降の構造であり、一般に地域性を有している。本地域においてもこの時期の断層群が発達している。

3-2 鉱化作用及び鉱業略史

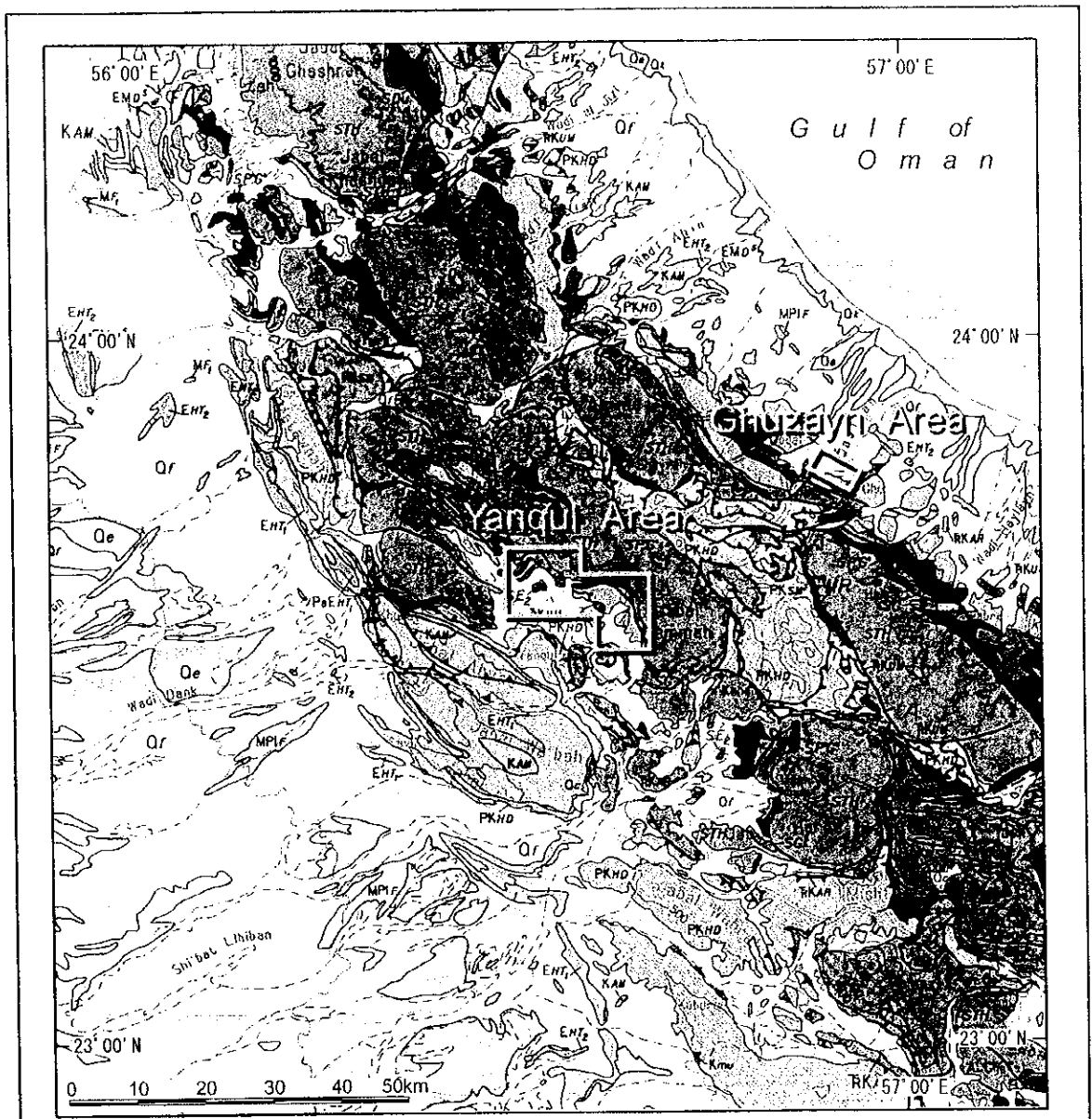
3-2-1 鉱床概要

オマーン山脈地域に見られる塊状硫化物鉱床は、いずれもサマイル火山岩類中の下部に位置し、層準規制を受けている。鉱床は、形態及び構成鉱物の特性より、大洋底で生成したキプロス型の銅鉱床と考えられている。

オマーン山脈地域に分布する代表的なキプロス型の銅鉱床としては、ソハール (Sohar) 地域のラセイル (Lasail) 鉱床、アアジャ (Aaja) 鉱床及びベイダ (Bayda) 鉱床、ヤンキル地域のラカー (Rakah) 鉱床及びハイル・アス・サフィール (Hayl as Safil) 鉱床、それにグザイン (Ghuzayn) 地域のグザイン鉱床が挙げられる。

グザイン鉱床についてのこれまでの調査結果 (JICAMMAJ, 1997, 1998, 1999, 2000) に



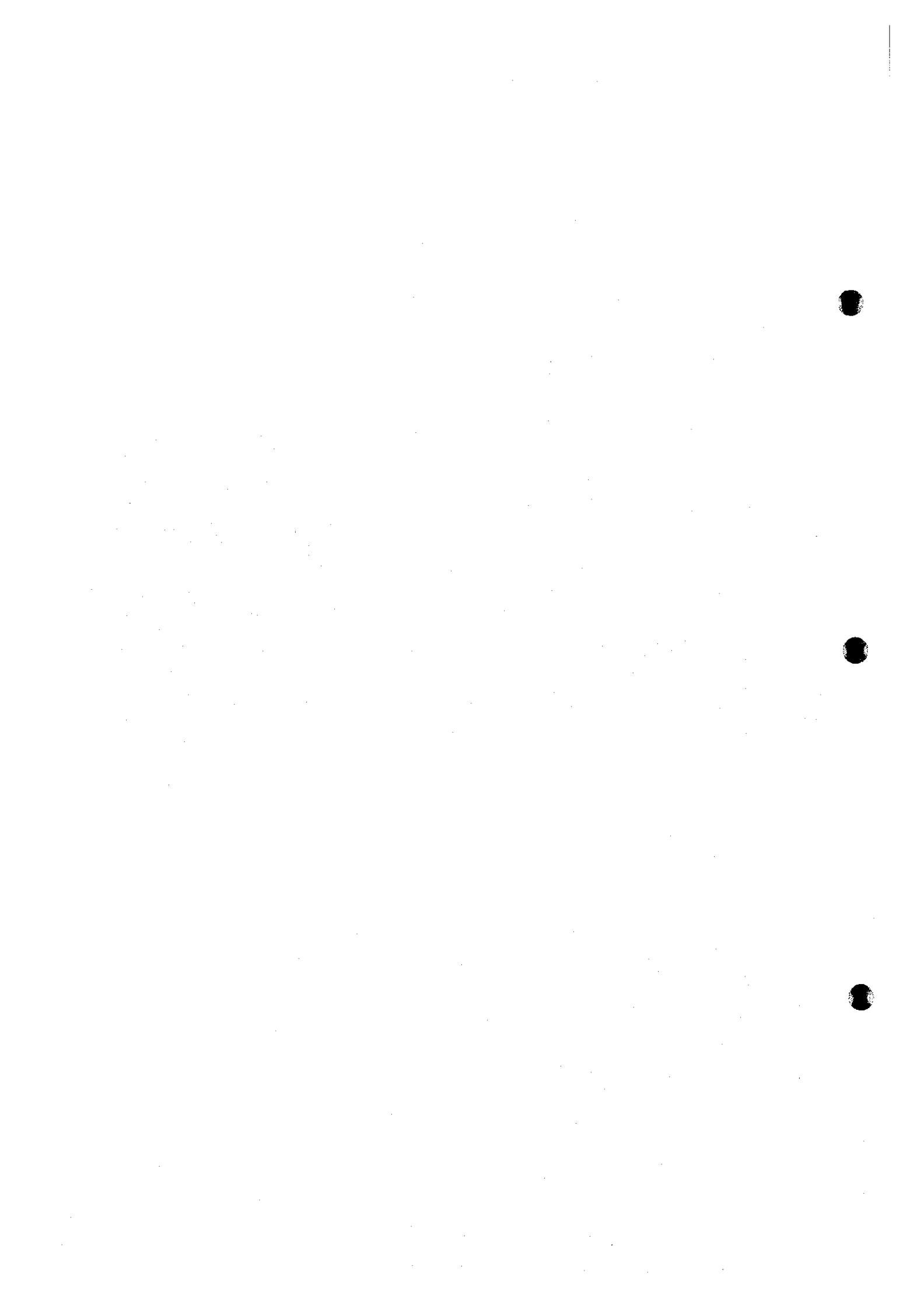


LEGEND

<p>SURFICIAL DEPOSITS Quaternary</p> <p>Or Alluvial deposits</p> <p>Qm Coastal deposits</p> <p>SEDIMENTARY COVER End-Cretaceous - Tertiary</p> <p>MPE2 MIOCENE-PLIOCENE Upper Fars Group Shelf facies</p> <p>MS MIDDLE MIOCENE Middle Fars Group Shelf facies</p> <p>ME EARLY-MIDDLE EOCENE Lower Fars Group Shelf, fore-reef and slope facies</p> <p>EMD LATE EOCENE - EARLY MIOCENE Dhufar Group Shelf facies</p> <p>EHT1 LATE EOCENE Upper Hadhramaut Group Shelf facies</p> <p>EHT2 EARLY-MIDDLE EOCENE Middle Hadhramaut Group Shelf facies</p> <p>EHT3 LOWER HADHRAMAUT GROUP Shelf facies</p> <p>KAM END-CRETACEOUS Aruma Group Shelf, slope and basin facies</p>	<p>SAMAL OPHIOLITE Middle - Late Cretaceous</p> <p>LATE MAGMATIC UNIT Upper andrievites</p> <p>Intrusives - Peridotite - gabbro</p> <p>SDE EARLY MAGMATIC SEQUENCE Stratified dyke complex and Lower andrievites</p> <p>Cumulate and High level gabbro</p> <p>Dunite</p> <p>MANTLE SEQUENCE Faciesitized harzburgite</p> <p>Geological symbols</p> <p>Contact</p> <p>Fault - Dashed where inferred</p>	<p>SUMENI AND HAWASNA NAPPS Late Permian - Late Cretaceous</p> <p>RKUM TRIASSIC-CRETACEOUS Umar Group Volcanic rocks, basin facies</p> <p>RKAR TRIASSIC-CRETACEOUS Kaw Group Volcanic rocks, platform facies</p> <p>PKHD LATE PERMIAN - LATE CRETACEOUS Hakulal Dura Group Volcanic rocks, basin facies</p> <p>RKAR LATE PERMIAN - JURASSIC Bad Formation Shelf facies</p> <p>RKUM TRIASSIC - LATE CRETACEOUS M Arab Group Volcanic rocks, slope facies</p> <p>RKAR LATE PERMIAN - LATE CRETACEOUS Sumeni Group Slope facies</p> <p>Major thrust fault - Saw-tooth on upper plate</p> <p>Minor thrust fault, reverse fault</p>
--	--	---

Ministry of Petroleum and Minerals (1993)

Fig. I-3-1 Geological map of the Yanqul - Ghuzayri area.



に基づいて、その地質構造及び鉱化変質の特徴を模式的に示したものが Fig. I-3-2 である。この図にも示すように、鉱体部には以下のような鉱化、地質構造及び鉱化変質の特性が認められる。

鉱化特性：

- (1) 主として塊状鉱からなり、鉱石鉱物は黄鉄鉱と黄銅鉱を主とし、一部に閃亜鉛鉱、磁鉄鉱及び赤鉄鉱を伴う。
- (2) 塊状鉱は一般に角礫状を示し、黄鉄鉱の角礫とその間を充填する細粒な黄鉄鉱と黄銅鉱の集合体及び不規則な形の黄銅鉱からなる。
- (3) 塊状鉱は、側方部では堆積構造を持つ、磁鉄鉱に富む金属質堆積岩に漸移する。
- (4) 塊状鉱の下位では、黄銅鉱を主とし、黄鉄鉱を伴う網状脈が一部に発達する。この網状脈は一般に黄鉄鉱の鉱染を伴い、部分的に閃亜鉛鉱の鉱染も認められる。
- (5) 塊状鉱の上位には一般に黄鉄鉱の鉱染が発達し、部分的には黄銅鉱と黄鉄鉱からなる網状脈も認められる。

地質構造特性：

- (1) 鉱体はサマイル火山岩類のジオタイムス層 (Geotimes Unit) とラセイル層 (Lasail Unit) の境界部に賦存する。
- (2) 鉱体の片側は鉱体生成前の断層によって境されており、その断層付近で鉱体の厚さが最も厚い。

鉱化変質特性：

- (1) 鉱化変質は珪化、Mg 緑泥石 (Chlinochlore) 化及び緑れん石化からなる。
- (2) これらの変質は鉱体に近いほど強く、下盤側でより強い。

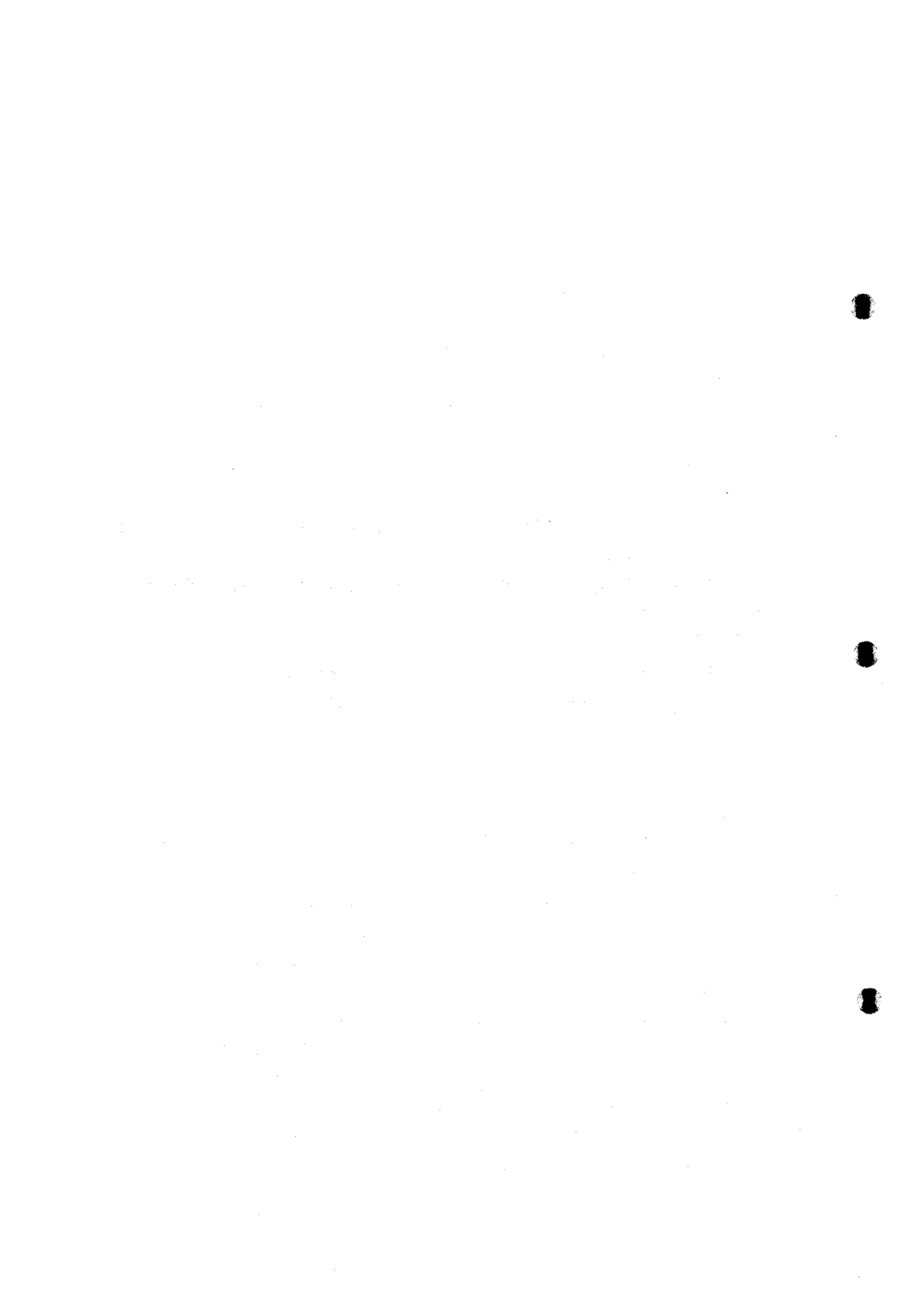
3-2-2 鉱業略史

オマーン国北部のオマーン山脈地域は、メソポタミアの時代には銅の主要な生産地であったことが知られている。この古代の銅の採掘、製錬はイスラム時代初期の西暦 940 年頃まで続いたと伝えられている。この時代に稼行された銅の鉱床は、現在のラセイル鉱床やラカー鉱床と推定され、今でもこの地域でこの時代のものと考えられる多量のスラッグや製錬跡を見ることができる。

オマーン山脈地域において銅鉱床を主な対象とする近代的な探査は、1960 年代にカナダの Prospection Ltd. により始められ、ソハール地域のラセイル鉱床、ベイダ鉱床、アアジャ鉱床やヤンキル地域のラカー鉱床に対してこの時期にボーリング調査を含む探査が実施され、鉱床の賦存が確認された。

1970 年代にはオマーン国政府は、Prospection Ltd. の所有していた利権を買収し、ソハール地域の鉱山開発に着手した。この結果 1983 年、オマーン国政府の全額出資により設立された OMCO (オマーン国営鉱山社) によりラセイルとベイダの両鉱山及びソハール銅製錬所の操業が開始された。この製錬所の能力は、銅地金 24,000 トン/年である。

オマーン政府は、このソハール製錬所に対し原料の安定供給を図るため、1984 年に国際入札によりソハール製錬所を中心とする 8,000 km² の範囲に対する銅鉱床探査を大手開発(株)に発注し



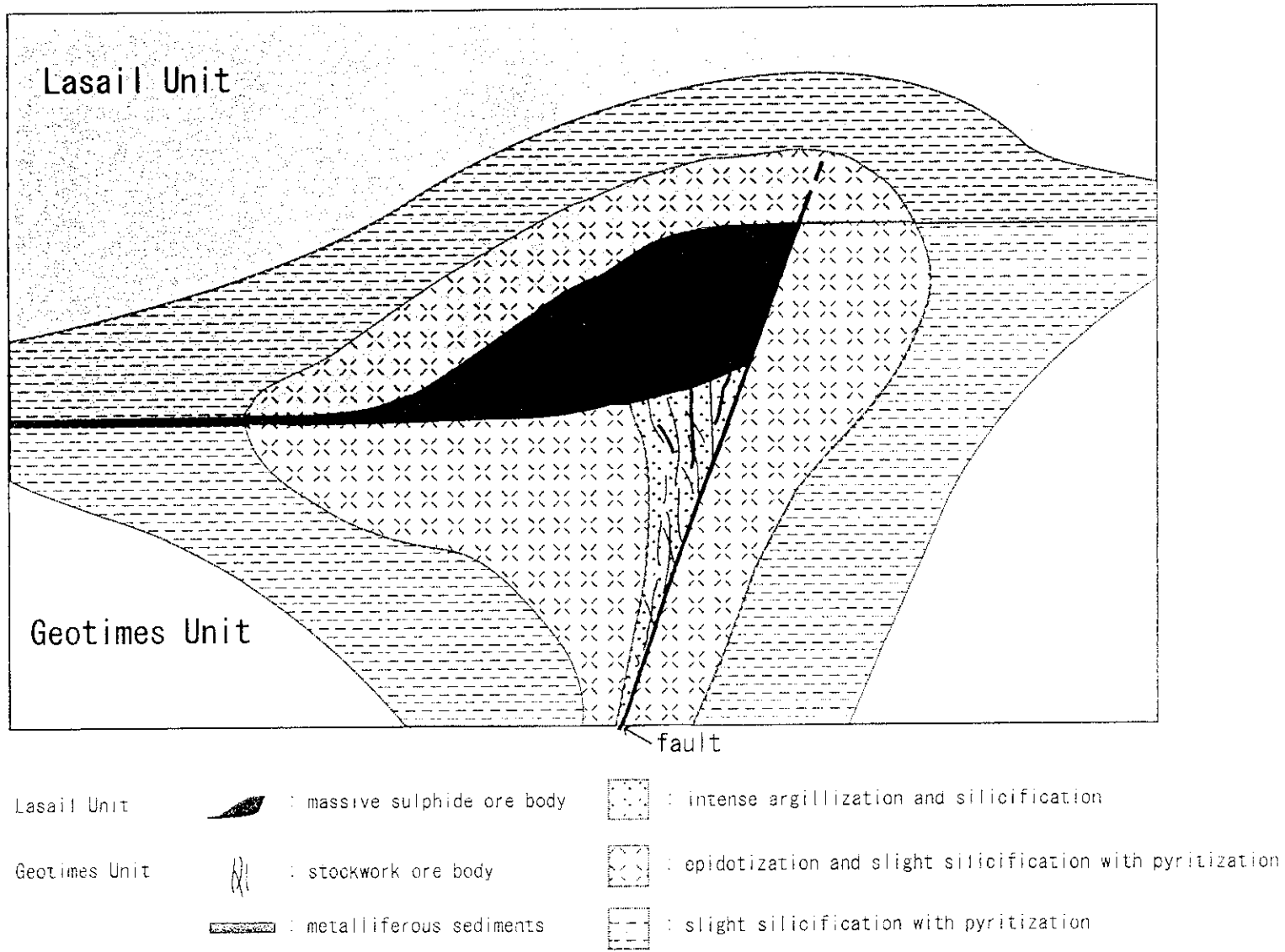
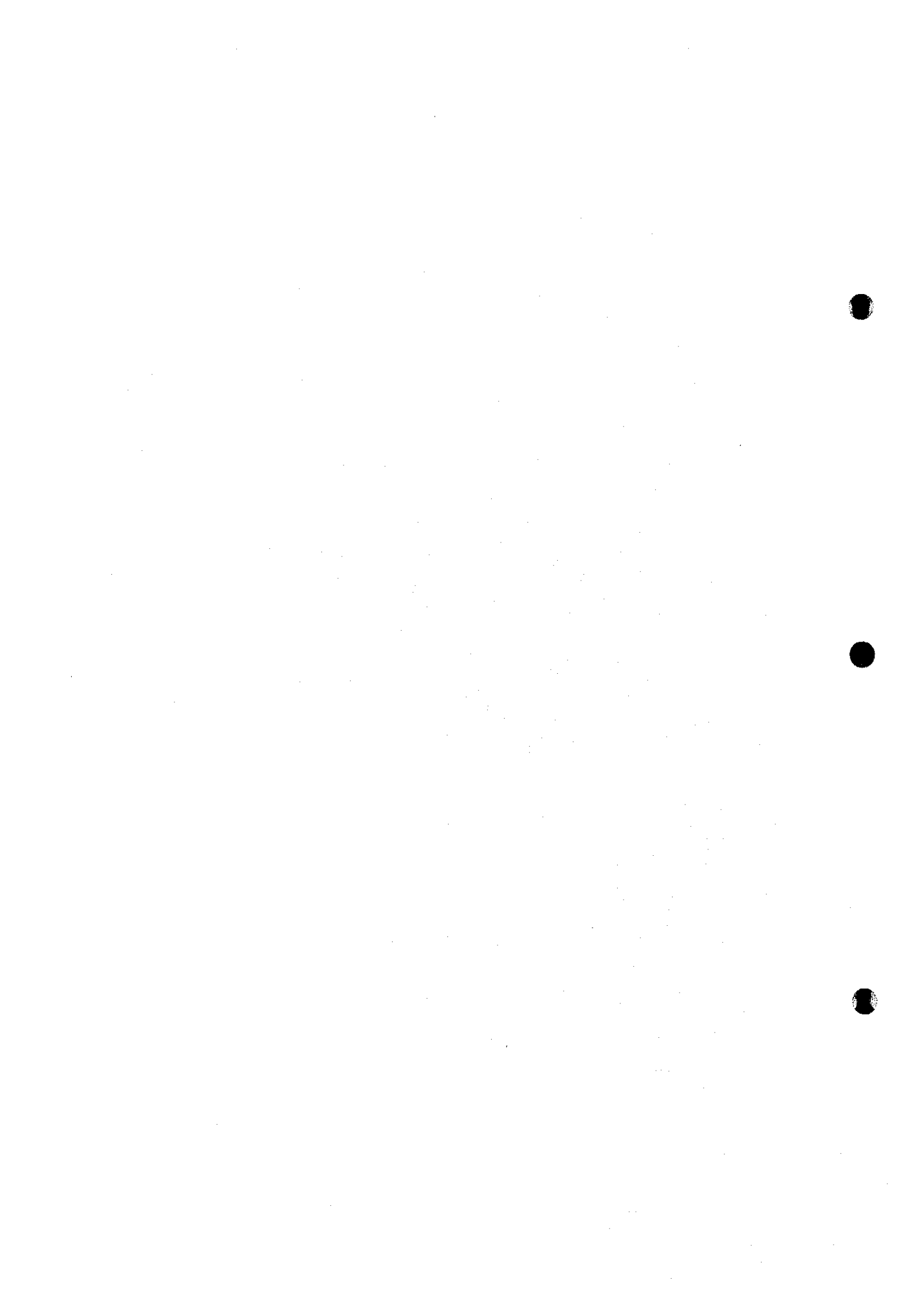


Fig. 1-3-2 Schematic model of massive sulphide deposits in Ghuzayn area



た。調査は 1987 年までの 4 年間実施され、既知鉱床周辺において新たに鉱量を獲得するとともに、多くの鉱徴地を確認した。

一方、フランスの BRGM は、1983 年にオマーン国政府より北部オマーン山脈地域に対する地質図幅作成調査プロジェクトを受注し、1985 年までの間実施した。この図幅調査中オマーン山脈の西麓に位置するヤンキル地域のハイル・アス・サフィール部落近くで大規模なゴッサン帯を発見すると共に、幾つかの鉱徴地を確認した。

1985 年にはオマーン国政府は、図幅作成調査中に発見された主要な 13 ケ所の銅の鉱徴地に対する調査を BRGM に発注し、1986 年までの間物理探査及びボーリング調査が実施された。この結果上述のハイル・アス・サフィール部落におけるゴッサン帯において塊状硫化物鉱床の賦存を確認した。

1988 年には、ハイル・アス・サフィール鉱床とラカー鉱床の開発の可能性を明らかにするため、オマーン国政府はその調査を日本政府に要請した。この要請に対して日本政府は、国際協力事業団及び金属鉱業事業団を通じて、この地域に対して資源開発協力基礎調査・地域開発計画調査を実施し、その開発の可能性を調査した。

一方、OMCO は、ラセイル、ベイダ両鉱床の鉱量が枯渇してきたことから、ソハール製錬所への原料供給のため 1988 年にソハール地域のアアジャ鉱床の開発に着手したが、1993 年にはこの鉱床も終掘しており、現在は海外鉱の委託精錬により操業を続けている。終掘した各鉱床の総生産量と品位を以下に示す。

鉱山名	総生産量	品位
ラセイル(Lasail)鉱山	9,183,677t	1.42%
アアジャ(Aaja)鉱山	2,561,887t	0.97%
ベイダ(Bayda)鉱山	790,891t	1.60%
ラセイル西(Lasail West)鉱山	434,478t	1.02%

このような背景よりオマーン国政府と OMCO は、引き続き国内鉱山開発のため精力的に探鉱活動を実施している。特に、ハイル・アス・サフィール鉱床に対しては、重点的に探鉱を実施しており、これまでに既知鉱床の周辺部でアル・ジャディード(Al Jadeed)、アル・アスガール(Al Asghar)、アル・ビシャラ(Al Bishara)という 3 つの衛星鉱体を確認している。これらの探査によって捕捉された地質鉱量(酸化鉱を含む)は、ハイル・アス・サフィール鉱床とその衛星鉱体及びラカー鉱床を併せて合計約 11 百万 t、銅平均品位 1.44%、金平均品位 0.73g/t である。また、1994 年にはラカー鉱床の地表部の含金酸化鉱(ゴッサン)を対象としてラカー金鉱山が操業を開始し、年間約 500kg の金を現在なお生産している。アル・ビシャラ鉱体にも同様なゴッサンの存在が確認されており、OMCO の試算によると地質鉱量は、金平均品位 6.35 g/t、地質鉱量は約 50 万 t である。

さらにオマーン山脈の東のバチナコーストにおいては、オマーン国政府の要請に応じて国際協力事業団/金属鉱業事業団が 1995 年～1996 年に中央バチナコースト地域資源開発協力基礎調査、

1997年～1999年に南バチナコースト地域資源開発協力基礎調査を実施し、グザイン地区において新規に3つの塊状硫化物鉱体、合計推定地質鉱量約1,400万t（銅平均品位1.64%）を発見している。

第4章 調査結果の総合検討

本年度はヤンキル地区を対象として、選鉱試験、既存データ解析、環境調査、地質調査、物理探査及びボーリング調査を実施した。

4-1 選鉱試験

ヤンキル地域のハイル・アス・サフィール地区及びバラカー地区の各鉱体の鉱石を対象とし、銅及び金の採収率向上の可能性の判断に資するために基礎試験を行うとともに、選鉱設備の設計に関する検討を行うことを目的とした。

4-1-1 試験試料の特性

試験に使用した試料は、新たにボーリングを実施して採取した本地区に分布する鉱石を代表するものと考えられる以下の4試料である。Table I-4-1には原鉱の主要成分の分析結果をあわせて示す。

Table I-4-1 Head assays of major elements

Body name and Type of ore	Rakah Body Stockwork	Rakah Body Massive	Hayl as Safil B. Stockwork	Bishara Body Breccia
Cu (%)	1.15	1.82	0.915	1.45
Au (g/t)	0.45	3.78	0.16	1.06
S in total (%)	3.35	39.0	7.40	28.3
S in sulphide (%)	3.30	38.8	7.40	28.1

以上の4試料について金鉱物の産状を調べたところ、Table I-4-2のような結果が得られた。

Table I-4-2 Occurrence of gold minerals

Location of Gold	Proportion of Gold, %			
	Rakah B. Stockwork	Rakah B. Massive	Hayl as Safil Stockwork	Bishara B. Breccia
Liberated native gold	15	3	19	3
Locked in sulphides	46	57	37	60
Locked in silicates	12	4	17	4
Undifferentiated -20µm	27	36	27	33

4-1-2 浮選試験結果とその検討

各試料の粗選段階での最良の浮選試験結果をTable I-4-3に示す。試料毎にpHが変わっているが、すべての試験に同様にSIPXとM2030からなる混合補集剤を使用した。

Table I-4-3 Summary of best rougher/scavenger flotation tests

	Rakah B. Stockwork	Rakah B. Massive	Hayl as Safil Stockwork	Bishara B. Breccia
Test No	FL06	FL14	FL13	FL15
Grind P ₈₀ , μm	70	70	70	70
pH	9.5	11.0	12.5	9.5
Cu Recovery, %				
Cu R-C1	53.9	38.7	72.9	38.2
Cu R/Sc-C	95.7	88.0	94.4	80.8
Cu Grade, %				
Cu R-C1	24.8	41.5	22.0	22.6
CuR /Sc-C	8.6	18.1	10.7	10.3
Au Recovery, %				
Cu R/Sc-C	86	27.6	40.9	23.9
Py-C	--	35.6	--	28.5 ⁽¹⁾
Au Grade, g/t				
Cu R/Sc-C	3.2	10.8	1.3	2.4
Py-C	--	3.5	--	1.4 ⁽¹⁾

銅実収率は、ストックワーク鉱については粗選/精掃の段階で94~96%に変動し、ラカー鉱体の塊状鉱とビシャーラ鉱体の角礫鉱が80~90%であった。銅精鉱品位も同様に変動が大きく、第一粗選精鉱でラカー塊状鉱が約42%、他の試料は22~25%であった。ビシャーラ角礫鉱をのぞいた他の試料では、中程度の細かい粒度P₈₀70μmにおける粗選/精掃の段階での挙動が非常に良好であった。ビシャーラ角礫鉱ではより細かい粒度での実収率の向上が認められず、精掃尾鉱での銅損失は完全に片刃によるものであった。またラカー塊状鉱での中程度の粗選/精掃実収率もまた単体分離度の制約によるものであった。

本試験での重要な成果は、全試料が同じ補集剤で良好な反応を示し、ただ最適条件を得るためのpHだけが鉱種間で異なるということである。

鉱物試験の結果からは、再磨鉱のレベルが超微粉碎技術を使わずに達成できることが明らかになった。したがって、通常のタワーミルあるいはボールミルで十分用が足りるものと考えられる。再磨鉱のレベルの決定は、次年度の選鉱試験の中心課題となる。

4-1-3 金回収試験結果とその検討

銅浮選尾鉱において金回収試験を行うのに十分な金量を保有しているのは、ラカー鉱体の塊状鉱とビシャーラ鉱体の角礫鉱のみであった。これら両試料から黄鉄鉱精鉱を浮選で回収した後の尾鉱にもなおかなりの金が存在していたので、リーチング試験は2つの黄鉄鉱精鉱の他に尾鉱についても実施した。なお、黄鉄鉱精鉱については、浮選精鉱そのままのもの、再磨した精鉱及び焙焼した精鉱について試験を行ったが、浮選尾鉱についてはそのままリーチングを実施した。黄鉄鉱精鉱のリーチング試験結果をTable I-4-4に示す。

Table I-4-4 Cyanide leaching of pyrite concentrates

	Rakah Body: Massive ore			Bishara Body: Breccia ore		
	As Floated	Re-ground	Calcined	As Floated	Re-ground	Calcined
Grind P ₈₀ , μm	70	34	70	70	18	70
Head Assay, Au (g/t)	3.53	3.53	5.30	1.84	1.84	2.26
Calc. Head Assay, Au (g/t)	3.37	3.61	8.12	1.97	1.91	2.16
Residue Assay, Au (g/t)	2.42	1.93	1.18	1.40	1.13	0.75
Au Extraction, (%)						
8 hours	28	40	82	28	36	62
48 hours	28	44	85	30	42	66
NaCN Cons, (kg/t)	5.9	7.8	13.2	17.6	22.9	46.1

Table I-4-4 で明らかなように、両試料ともに浮選精鉱のリーチング率はほぼ 30%と低調であった。再磨した精鉱では、それぞれ 40、45%に上昇し、焙焼後ではラカー塊状鉱が 85%、ビシヤラ角礫鉱が 66%と最高のリーチング率が得られた。浮選精鉱の低リーチング率、再磨後の比較的小さな上昇は、金粒が硫化物（黄鉄鉱及び恐らく硫ヒ鉄鉱）中に極度に細かい状態で分散しているものと想定される。青化ソーダの消費量はかなり多く、焙焼鉱については特に多くなっている。これらの結果から、黄鉄鉱精鉱からのリーチングによる金の回収は現段階では経済的ではないと判断される。

Table I-4-5 は処理の各段階での金実収率をまとめたものである。イタリック体で示した数字は給鉱試料から実際に回収された金の実収率を示している。

Table I-4-5 Overall gold recoveries

	Rakah B. Stockwork	Rakah B. Massive	Hayl as Safil Stockwork	Bishara B. Breccia
Test No	FL06	FL14	FL13	FL15,FL23
Head assay, Au (g/t)	0.45	3.78	0.16	1.06
Au recovery to Cu con. (%)	86.1	27.6	40.9	23.9
Au recovery to Py con. (%)		35.6	--	28.5
Au extraction by cyanidation of Py con (calcine) (%)		31.3	--	18.8
Au recovery to Py tail. (%)		36.8	--	43.4
Au extraction by cyanidation of Py tail. (%)		12.9	--	8.2
Total Au Recovery. (%)	86.1	71.8	40.9	50.9

既述したように黄鉄鉱精鉱（及び尾鉱）の青化リーチングは青化ソーダの消費量が多過ぎてそのコストが回収される金の価値を上回るほどであるという結果が得られている。さらに、黄鉄鉱精鉱から妥当な金抽出率を得るためには酸化が必要条件である。

鉱種の量比は別として、比較的難処理性の金は、処理上の困難が伴う事から、全鉱種から銅浮選精鉱への金実収率をできるだけ高める方法を検討することも選択肢の一つであると考えられる。

4-2 環境調査

ラカー鉱床及びハイル・アス・サフィール鉱床周辺において地下水の挙動、透水性及び水質を調査するため、ボーリングを掘削し、水位回復試験、水質分析等を実施した。掘削したボーリングは5孔である。

今回掘削した井戸はいずれもワジ内にあるが、近年雨量が少ないこともあって地下水量は少なかった。掘削中に湧水量を測定できたのは、MJOY-W5 だけであり、MJOY-W3 及び W4 については、少量の湧水は認められたものの、三角せきでは測定不能であった。1991年に水資源省の行った大規模な地下水資源調査でも水量については、否定的なコメントが記載されており、鉱山付近では有望な地下水脈は発見されていない。

水質は、日本の河川水に比べて pH がやや高く微弱アルカリ性を示す。TDS は 200~1,200mg/l もあり、硬度成分が高い。以前のデータと比較すると、硝酸性窒素が著しく増えており、日本の表層水の 0.07~0.48 mg/L に比べて 3.1~12.3mg/L と異常に高い数値を示し、MJOY-W1 と W4 は日本の水道水基準 10mg/L を越えている。

4-3 既存データ解析

商工省鉱物局及び OMCO 所有の既存データを収集し、地質鉱量及び可採鉱量についての検討を行った。ヤンキル地域の5つの鉱体については、これまでに 446 孔、合計掘進長 49,466.27m のボーリングが実施されており、それらのデータ（位置、分析データ及び地質柱状図）は OMCO が管理・所有している。またこれまでに何度かプレ F/S 調査も実施されている。これらのデータ及び報告書を使用して検討を行った。

1997 年度に金属鉱業事業団が実施したフォローアップ調査で使用されたデータを用いて鉱量計算ソフトウェアの MINEX 上で種々の検討を行った結果、地質鉱量及び可採鉱量を確定させるためには以下のような検討が必要であることが明らかとなった。

- ① 詳細な地質及び鉱体のモデルの構築。
- ② 鉱石をタイプ分けし、タイプ毎の分布、地質鉱量及び平均品位の把握。
- ③ 本地域の鉱体に最も妥当な鉱量計算手法の検討。
- ④ 鉱量計算における適正な諸条件の設定。

本年度はこれらのうちの①について実施し、鉱体別にボーリングの密度に応じて地質断面図を作成し、各鉱体における各鉱石タイプの分布を明確にした。各鉱体の鉱石タイプは以下の通りである。

- a. ラカー鉱体 : ストックワーク鉱>>塊状鉱
- b. ハイル・アス・サフィール鉱体 : ストックワーク鉱>>塊状鉱
- c. アル・ビシャーラ鉱体 : 角礫鉱>塊状鉱
- d. アル・アシュガル鉱体 : 塊状鉱 (>>角礫鉱, ストックワーク鉱)
- e. アル・ジャディード鉱体 : 角礫鉱 (>塊状鉱)

4-4 鉱床探査（地質調査・物理探査・ボーリング調査）

地質調査によって鉱床母岩であるサマイル火山岩類のうちのジオタイムス層とラセイル層が分布する範囲を抽出した。それらの分布範囲において物理探査を実施した結果、既知の鉱化帯を含む以下の5ヶ所で異常を検出した。

- a. クルン・アル・アクバブ地区
- b. タウィ・ラカー（Tawi Rakah）鉱徴地
- c. ラカー金鉱山
- d. ナジャイド（Najaid）地区
- e. ハイル・アス・サフィール 鉱床

これらのうち本年度はナジャイド地区を除く4地区でボーリング調査を実施し、そのうちクルン・アル・アクバブ地区で有望な銅鉱化帯（ストックワーク鉱化帯）を捕捉した。

4-4-1 クルン・アル・アクバブ地区

IP法調査で顕著な分極率異常が得られ（Fig. I-4-1）、それに対してボーリング調査を行った。本地区で実施した5孔すべてでストックワーク鉱に着鉱し、そのうちMJOY-2孔では深度17.70mで着鉱、比較的高品位である深度89.70mまでの平均品位はCu:0.83%であった。ボーリング調査及び物理探査の結果から、この鉱化帯の規模は東西約250m、南北約150mに及ぶものと推定される（Fig. I-4-2）。次年度は本鉱化帯の全容を把握するための精密な調査が必要である。

4-4-2 タウィ・ラカー鉱徴地

クルン・アル・アクバブ地区と同様な顕著な分極率異常が、既知の鉱徴地の範囲とそのやや北方に検出された。鉱徴地の部分では地表部に低比抵抗も伴われている。北部の異常に対するボーリング調査の結果、深度14.90m～107.00m間において強い黄鉄鉱の鉱染に伴われる黄銅鉱の低品位ストックワーク帯を捕捉し、銅の鉱化は弱いながらも深度140m付近まで認められた。過去に実施されたボーリング調査と今回のIP法調査の結果を比較すると、既知の鉱徴地の西部及び南部に未だ探鉱余地があるものと考えられる。

4-4-3 ラカー金鉱山

IP法調査の結果、ラカー金鉱山のピットの南東部に高い分極率異常が検出された。この異常とその後実施したTEM法調査の結果に基づいて実施したボーリング調査では、深度171.35m以深においてのみ一部に銅の微脈を伴う低品位のストックワーク帯を捕捉した。過去に実施されたボーリングでは、主としてピットの北東部でストックワーク鉱を捕捉しているにもかかわらず、IP法調査の結果ではその南側でより顕著な異常が検出されている。このことからこのピット周辺においても鉱量獲得のための補足調査を行う必要があると考えられる。



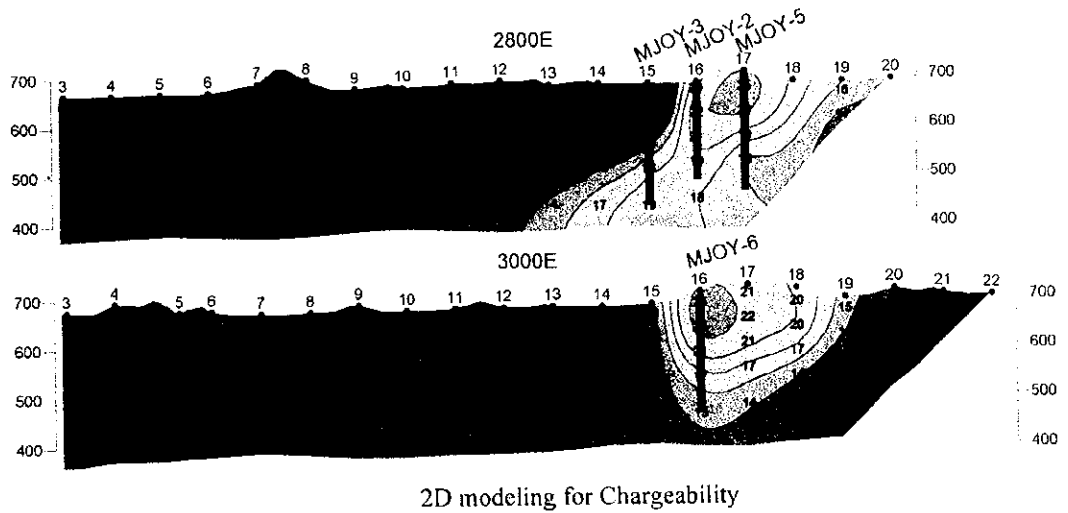
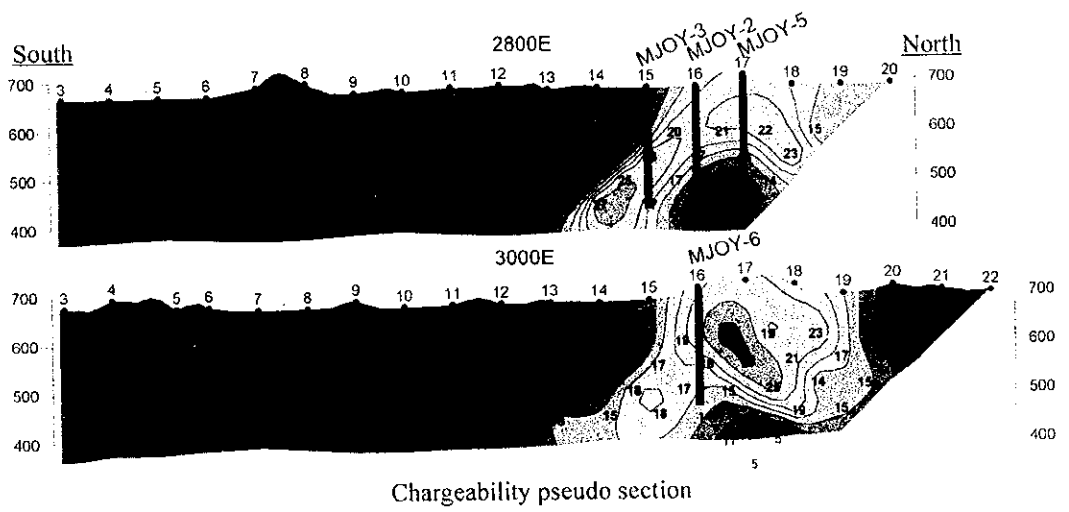
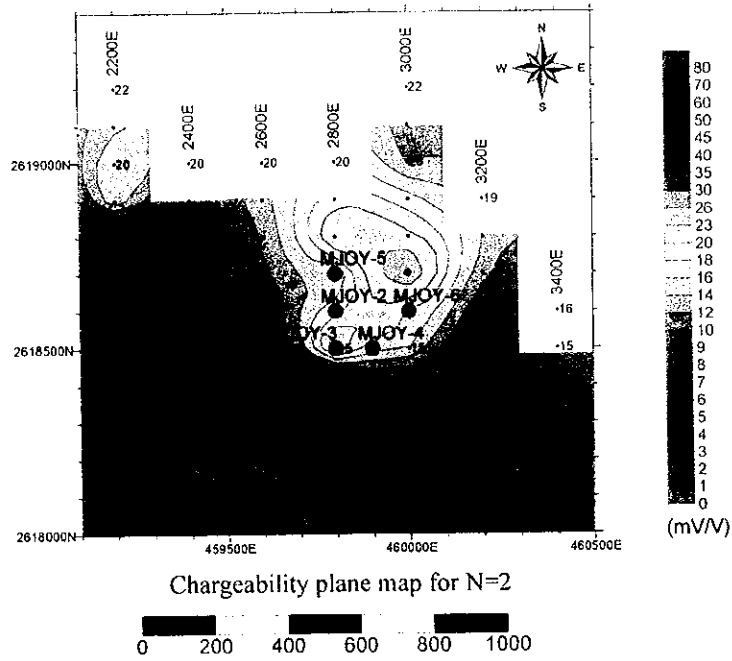
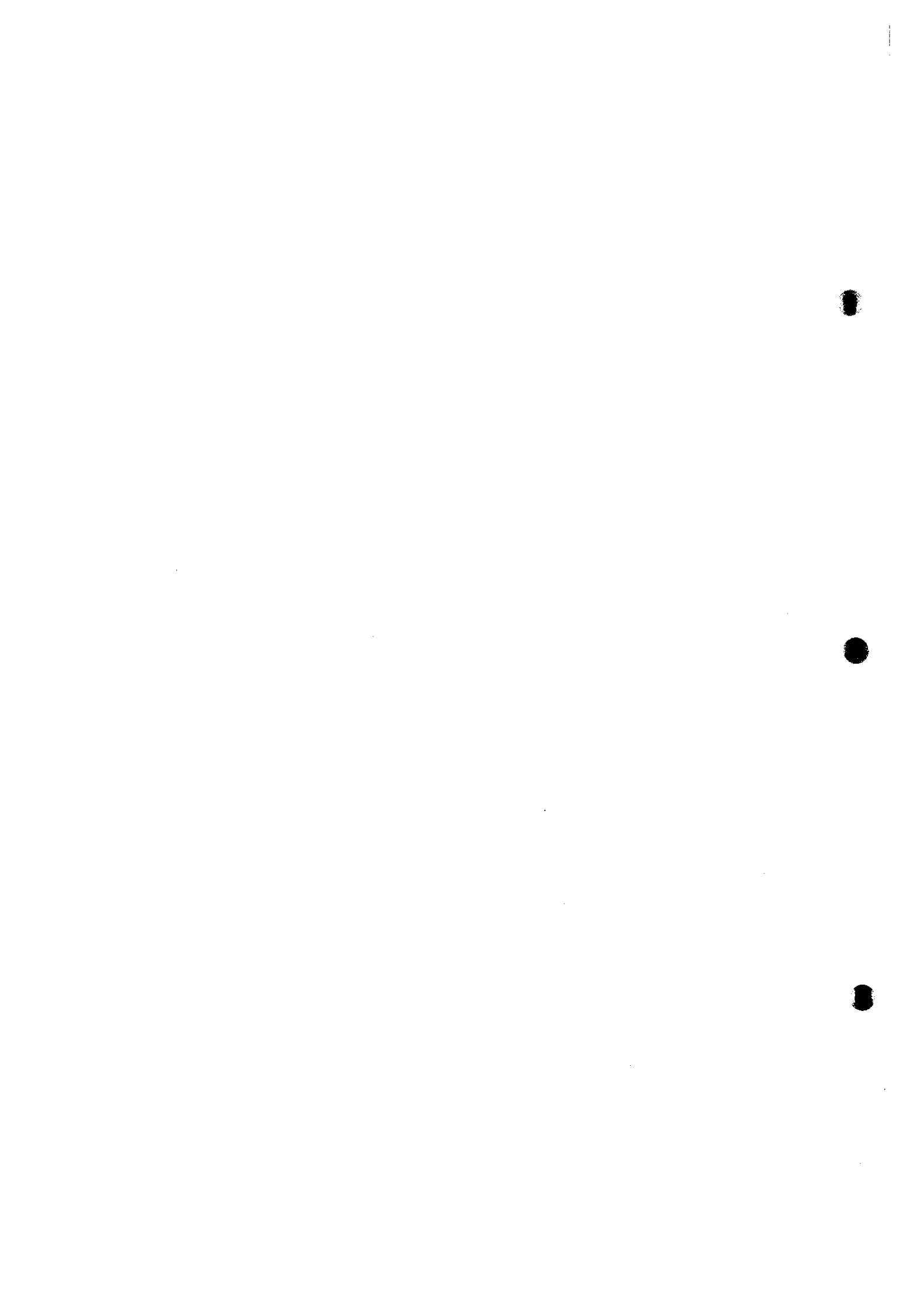


Fig. I -4-1 Results of TDIP survey in Quron Al-Akhabab



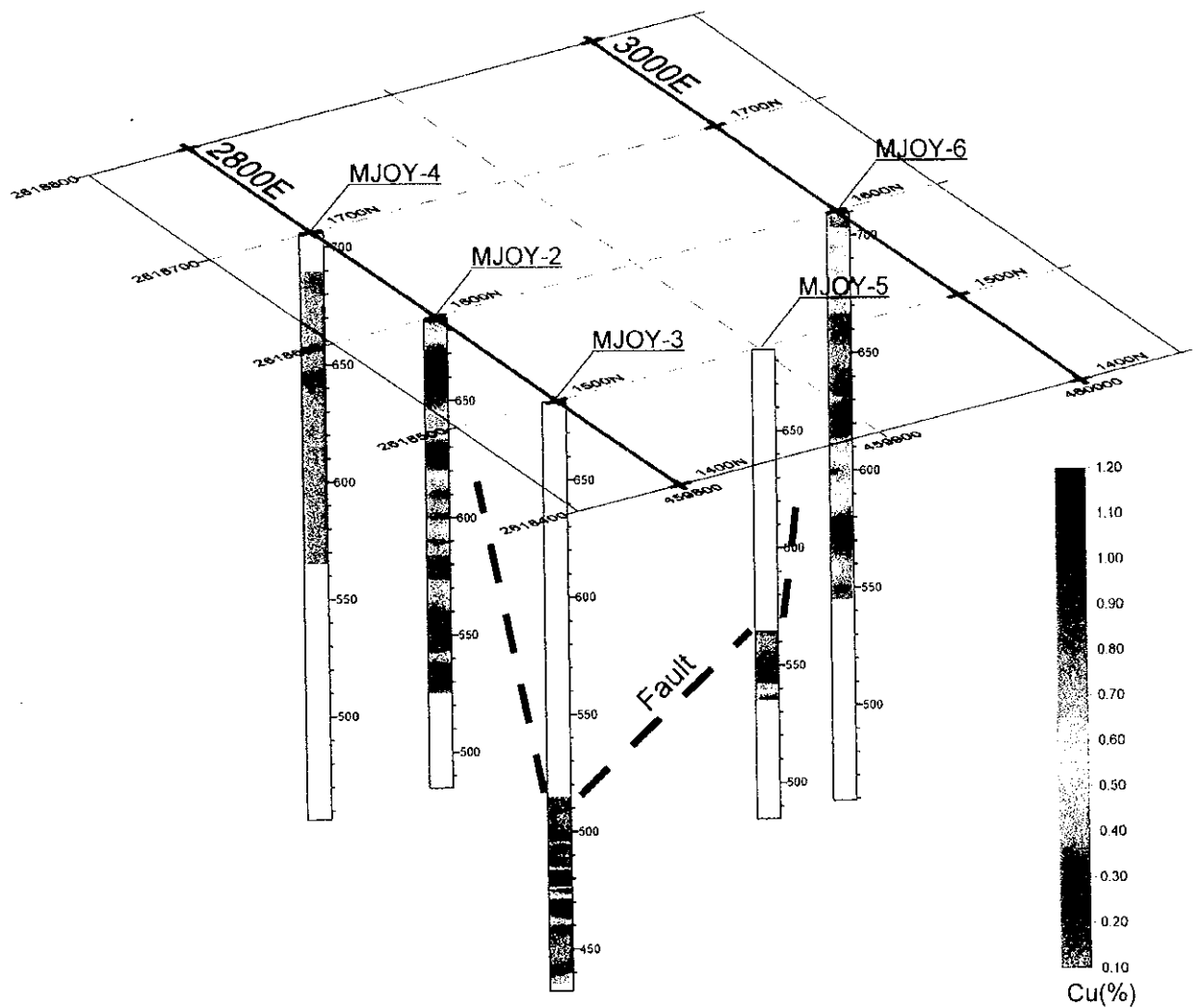
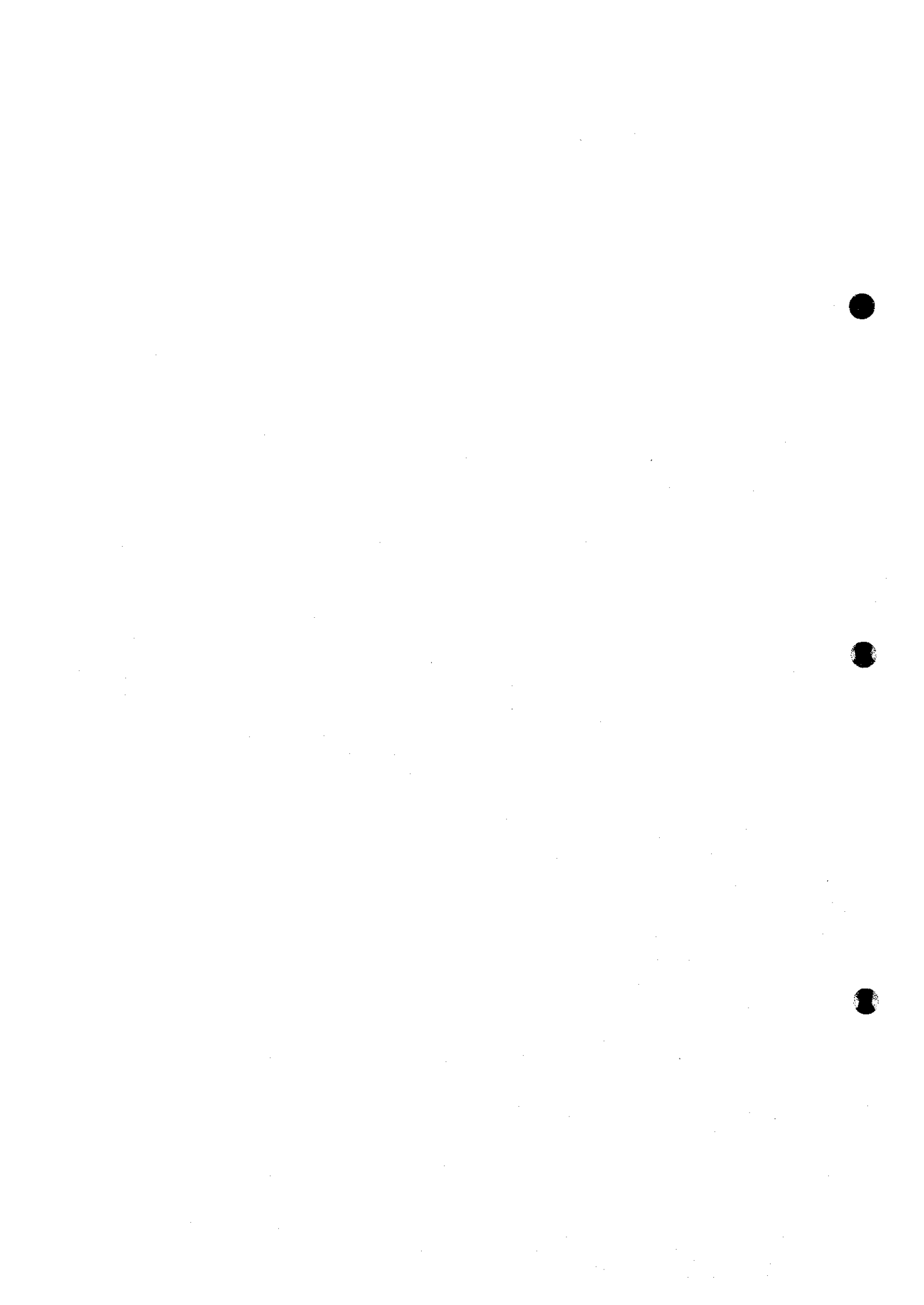


Fig. I -4-2 Results of drilling survey in Quron Al-Akhabab area



4-4-4 ナジャイド地区

本地区では、既述したクルン・アル・アクバブ地区と同様な顕著な分極率異常が浅部で検出されていることから、ストックワーク鉱の鉱化帯の存在が期待される。

4-4-5 ハイル・アス・サフィール 鉱床

本鉱床では、ゴッサン付近に非常に顕著な分極率異常が検出され (Fig. I-4-3), その異常の南部では低比抵抗も伴われており、そこでは高いメタルファクターを示した。この高メタルファクターの範囲内の、いまだボーリング調査が行われていない部分でボーリングを実施したが、強い珪化が認められたのみで鉱化はほとんど認められなかった。既知の鉱体と物理探査結果を比較すると、Fig. I-4-3 で明らかなように、IP 法の浅部データ (N=1) の高メタルファクター部と鉱体の位置が良く一致し、塊状鉱の分布と TEM 法の高磁場異常の位置が非常に良く一致していることが示された。本鉱床ではハイル・アス・サフィール鉱体の周辺部及びその北方には未だボーリング調査が行われていない異常が存在することから、なお探鉱余地が残されているものと考えられる。

4-4-6 地質特性

地質調査及びボーリング調査の結果、本地区の地質及び鉱化作用はバチナコーストにおけるそれらと種々の相違点が認められた。それらをまとめると以下の通りである。

- a. 衝上断層によって地層及び鉱体の繰返しが頻繁に認められる。
- b. スtockワーク鉱は主としてラセイル層に発達している。
- c. ラセイル層下部の金属質堆積岩はハイル・アス・サフィール鉱床でよく発達するのみで、他ではラカー鉱体でわずかに認められるのみである。
- d. ハイル・アス・サフィール鉱床及びその周辺では、金属質堆積岩中に礫状の塊状硫化物鉱及びラセイル層の枕状溶岩が認められ、このことは金属質堆積岩の堆積時にすでに火山活動が開始されていたことを示している。

これらの知見は本地区の今後の探査にとって極めて重要であると考えられる。



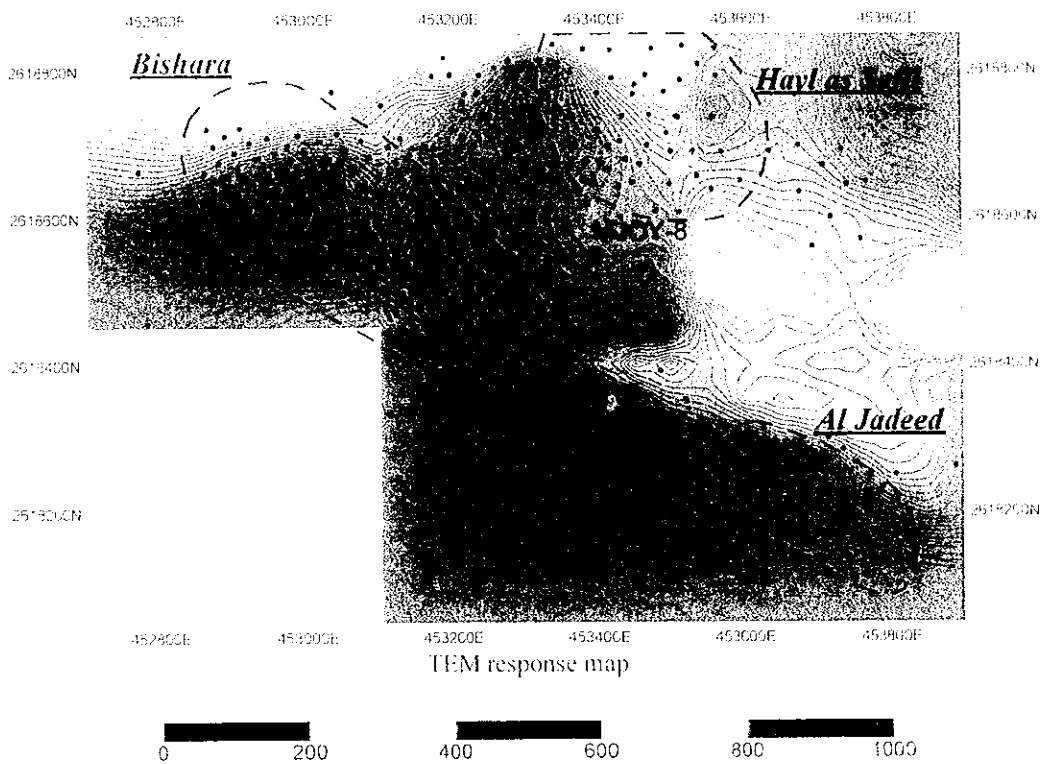
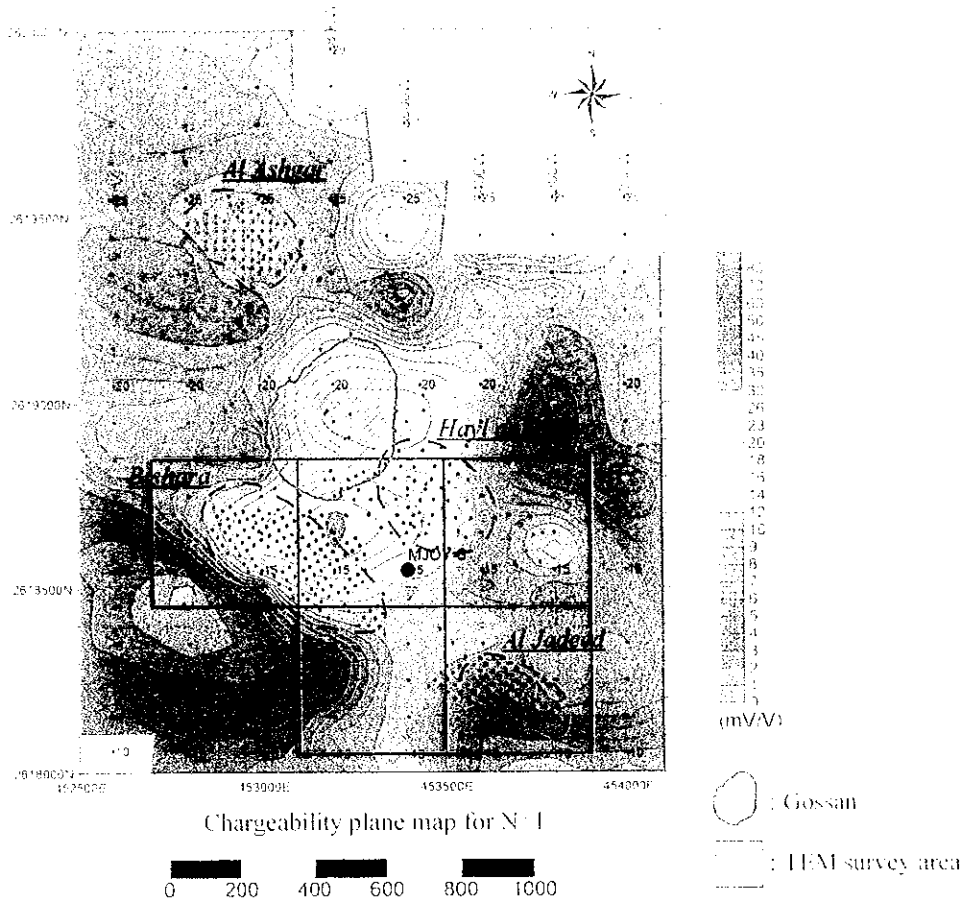
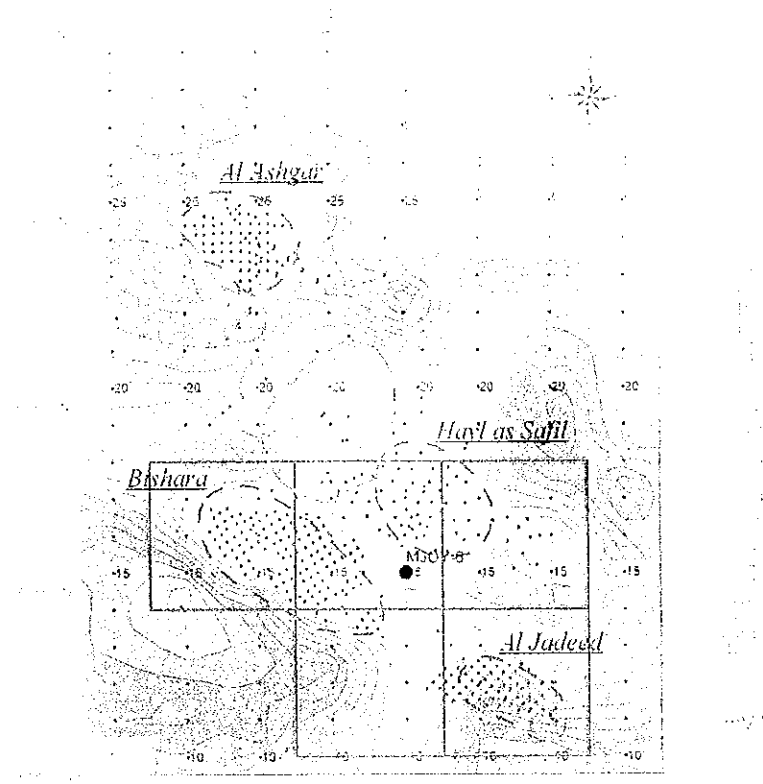
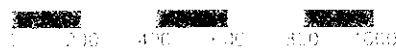


Fig. I -4-3 Results of TDIP and TEM survey in Hayl as Safil deposits

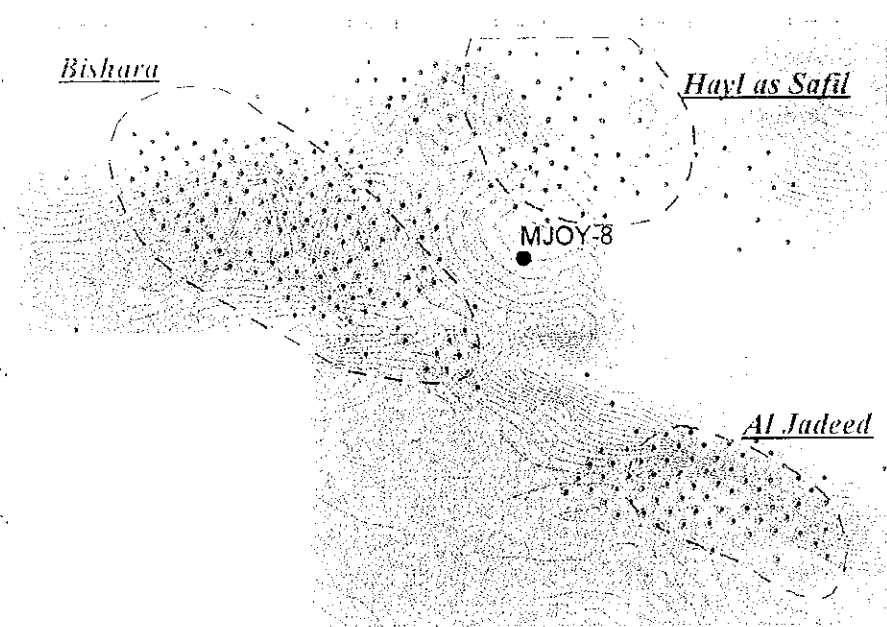


Charcoalability plane map for N-1



Charcoal

IFM survey area



IFM response map

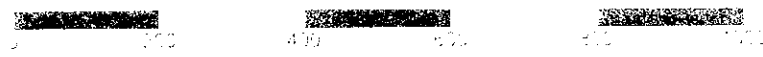


Fig. 1-4-3 Results of IDIP and IFM survey in Hayl as Safil deposits



第5章 結論及び提言

5-1 結論

ヤンキル地区を対象とした本年度の調査では、①選鉱試験による金の実収率及び銅精鉱の品位向上の可能性の検討と選鉱計画の策定、②既存データの再検討及び新規探査による可採鉱量の増大、③環境影響評価のための基礎データの取得、を調査の重点課題とした。

本年度の調査結果は以下のように結論付けられる。

(1) 選鉱調査

- ①銅実収率は、ストックワーク鉱については粗選/精掃の段階で94~96%に変動し、ラカー鉱体の塊状鉱とビシャーラ鉱体の角礫鉱が80~90%であった。銅精鉱品位も同様に変動が大きく、第一粗選精鉱でラカー塊状鉱が約42%、他の試料は22~25%であった。
- ②今回の試験での重要な成果は、全試料が同じ補集剤で良好な反応を示し、ただ最適条件を得るためのpHだけが鉱種間で異なるということである。
- ③鉱物試験の結果からは、再磨鉱のレベルが超微粉碎技術を使わずに達成できることが明らかになった。したがって、通常のタワーミルあるいはボールミルで十分用が足りるものと考えられる。再磨鉱のレベルの決定は、次年度の選鉱試験の中心課題となる。
- ④黄鉄鉱の浮選精鉱からの金のリーチング率はほぼ30%と低調であった。再磨した精鉱では、それぞれ40、45%に上昇し、焙焼後ではラカー塊状鉱が85%、ビシャーラ角礫鉱が66%と最高のリーチング率が得られた。しかしながら、青化ソーダの消費量はかなり多く、黄鉄鉱精鉱からのリーチングによる金の回収は現段階では経済的ではないと判断される。

(2) 環境調査

- ①ラカー鉱床及びハイル・アス・サフィール鉱床周辺において地下水の挙動、透水性及び水質を調査するため、5孔のボーリングを掘削し、水位回復試験、水質分析等を実施した。
- ②今回掘削した井戸はいずれもワジ内にあるが、近年雨量が少ないこともあって地下水量は少なかった。
- ③水質は、日本の河川水に比べてpHがやや高く微弱アルカリ性を示す。TDSは200~1,200mg/lもあり、硬度成分が高い。以前のデータと比較すると、硝酸性窒素が著しく増えている。

(3) 既存データ解析

- ①地質鉱量及び可採鉱量を確定させるためには、詳細な地質及び鉱体のモデルの構築、鉱種毎の分布、地質鉱量及び平均品位の把握、本地域の鉱体に最も妥当な鉱量計算手法の検討、鉱量計算における適正な諸条件の設定、が必要である。
- ②ヤンキル地域の鉱体における鉱種は、ストックワーク鉱を主とし、塊状鉱及び角礫鉱を伴う。

(4) 鉱床探査

- ①物理探査の結果、既知の鉱化帯を含む以下の5ヶ所(クルン・アル・アクバブ地区、タウィ・ラカー鉱徴地、ラカー金鉱山、ナジャイド地区、ハイル・アス・サフィール鉱床)で異常を

検出した。

- ②それらのうちのクルン・アル・アクバブ地区で有望な銅鉱化帯（ストックワーク鉱化帯）を捕捉した。
- ③ハイル・アス・サフィール鉱床における物理探査の結果、IP異常が既知鉱体の位置を良く反映し、塊状鉱の分布とTEM法の高磁場異常の位置が非常に良く一致していることが示された。

5-2 提言

第2年次は本地域開発調査の最終年次であり、総合評価まで実施する必要がある。このため以下のような各項目について具体的な作業を行うことを提言する。

(1) 選鉱関係

- ・選鉱方式の確定と選鉱場の設計
- ・そのための補足的選鉱試験

(2) 採鉱関係

- ・可採鉱量の確定（鉱種別）
- ・ピット設計
- ・採掘計画及び生産計画の策定

(3) インフラストラクチャー

- ・廃さい堆積場の設計
- ・そのための環境対策の検討
- ・電力及び用水についての調査
- ・ワジ及び道路切替えの検討
- ・付帯設備の検討

(4) 環境調査

(5) 起業費・操業費の算出

(6) 鉱床探査

- ・鉱量確保のための探査として、クルン・アル・アクバブ地区での精密調査を行う。
- ・物理探査で異常地として抽出されたその他の地区において、ポテンシャル評価のための精密物理探査とボーリング調査を実施する。施設建設予定地についてのポテンシャル評価もあわせて行う。

(7) 総合評価

第Ⅱ部 各 論



第1章 地質調査

1-1 地質層序

オマーン山脈を構成する異地性岩体（ナップ）は、下位のハワシナ・ナップとその上位のサマイル・ナップの二層構造を示す。このうちヤンキル地域にはサマイル・ナップが広く分布し、これはサマイル・オフィオライト及びオフィオライト上部層から構成されている。サマイル・オフィオライトは一般に下位よりテクトナイト、層状岩体、ハイレベルガブロ、シート状岩脈群及びサマイル火山岩類よりなる。またオフィオライト上部層は主としてオリストストローム層より構成される。本調査地域の地質図と断面図をそれぞれ Fig. II-1-1 及び II-1-2 に示す。また、地質層序を Fig. II-1-3 に示す。

オマーン山脈地域に存在する塊状硫化物鉱床はいずれもサマイル火山岩類中に賦存する。ヤンキル地域では、サマイル火山岩類は下位より Geotimes 層、Lasail 層、Alley 層に区分され、鉱床は Geotimes 層と Lasail 層の境界部に生成している。

以下にサマイル火山岩類について詳述する。

1-1-1 サマイル火山岩類

(1) Geotimes 層

Geotimes 層は、一般に化学組成的に分化した玄武岩質から安山岩質の溶岩で構成され、直径 1.0m から 2.0m の大きな茶褐色の枕状溶岩から主としてなり、ほかに茶褐色から灰色の塊状溶岩、ハイアロクラスタイト及びピロー・ブレッチャーを伴う。この枕状溶岩は無斑晶質で、厚いインターピロー（5cm～40cm）を有するのが特徴である。塊状溶岩は数 10cm から数 m の厚さを呈し、厚い塊状溶岩には柱状節理が発達する。本層は、本地域ではラカー鉱床付近に露出するのみで、ここでは強く破碎されているために枕状構造は不明瞭である。

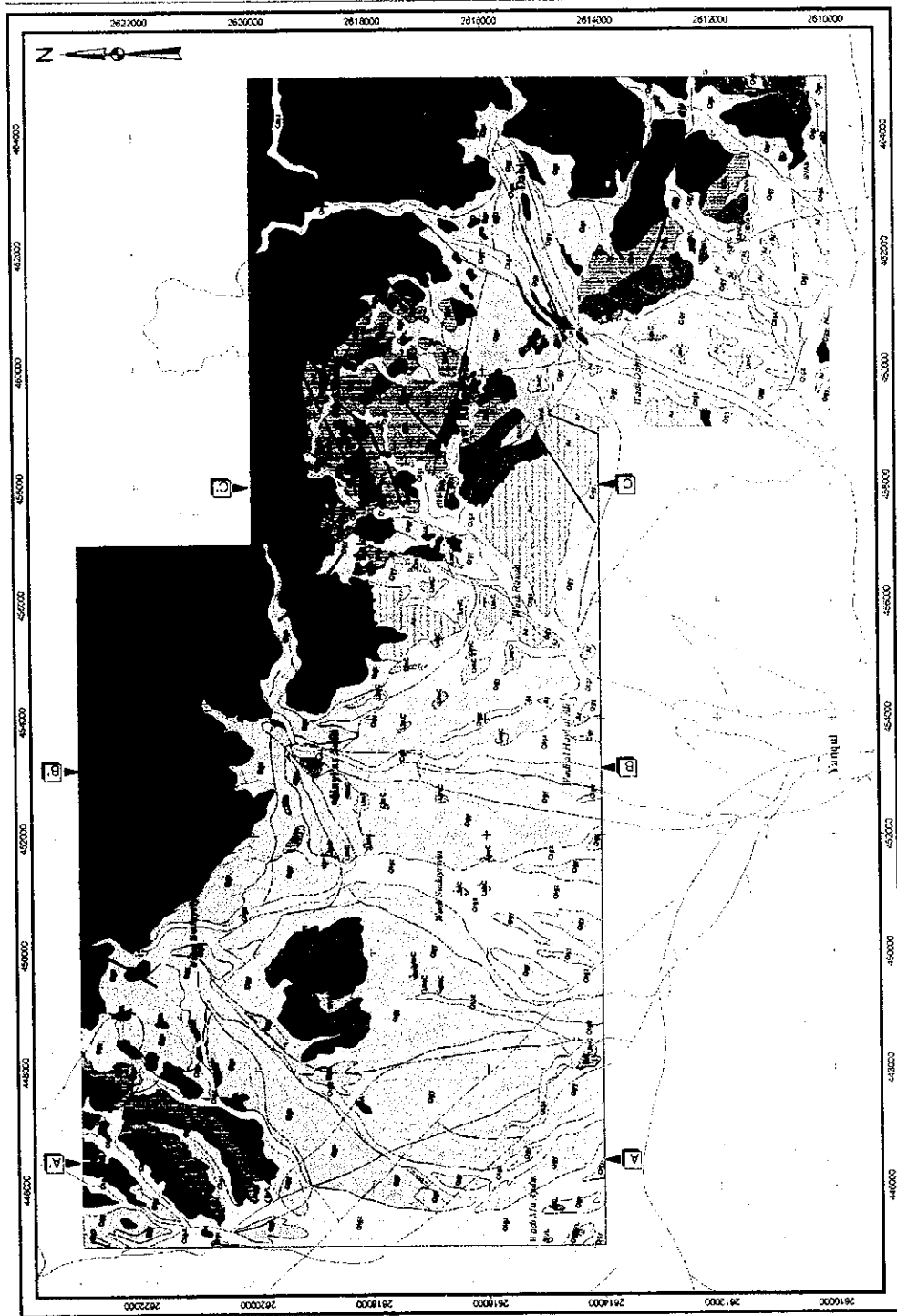
(2) Lasail 層

Lasail 層は、化学組成的には Geotimes 層より未分化な玄武岩質溶岩で、直径 10cm から 1.0m の淡緑色から紫灰色の枕状溶岩より主としてなり、ハイアロクラスタイト及び数 10cm から数 m の厚さの塊状溶岩を伴う。枕状溶岩は、直径 10cm から 30cm 程度の小さいピローからなる枕状溶岩が多く認められることが特徴的で、斑晶質、バリオール組織を示すこと、伴うインターピローが薄い（1cm～5cm）ことも特徴である。Geotimes 層との境界部には金属質堆積岩及び厚い塊状溶岩が発達することが多い。ヤンキル地区東部では本層中に多くの玄武岩岩脈が貫入している。

金属質堆積岩はいわゆるアンバーと呼称されるもので、暗褐色の放散虫化石を含む鉄分に富む堆積岩である。これが磁鉄鉱を多く含み、銅の鉱化を伴う場合には、塊状硫化物鉱体に側方漸移することがある。ハイル・アス・サフィール鉱床付近ではこの金属質堆積岩が発達しており、その厚さが 50m に及ぶところもある。また、この金属質堆積岩がまだ十分に固結していない時期に玄武岩溶岩が流れ込んだか、貫入し、その結果多くの角礫状の溶岩を取り込んだ岩相、つまり



Yanqui Area

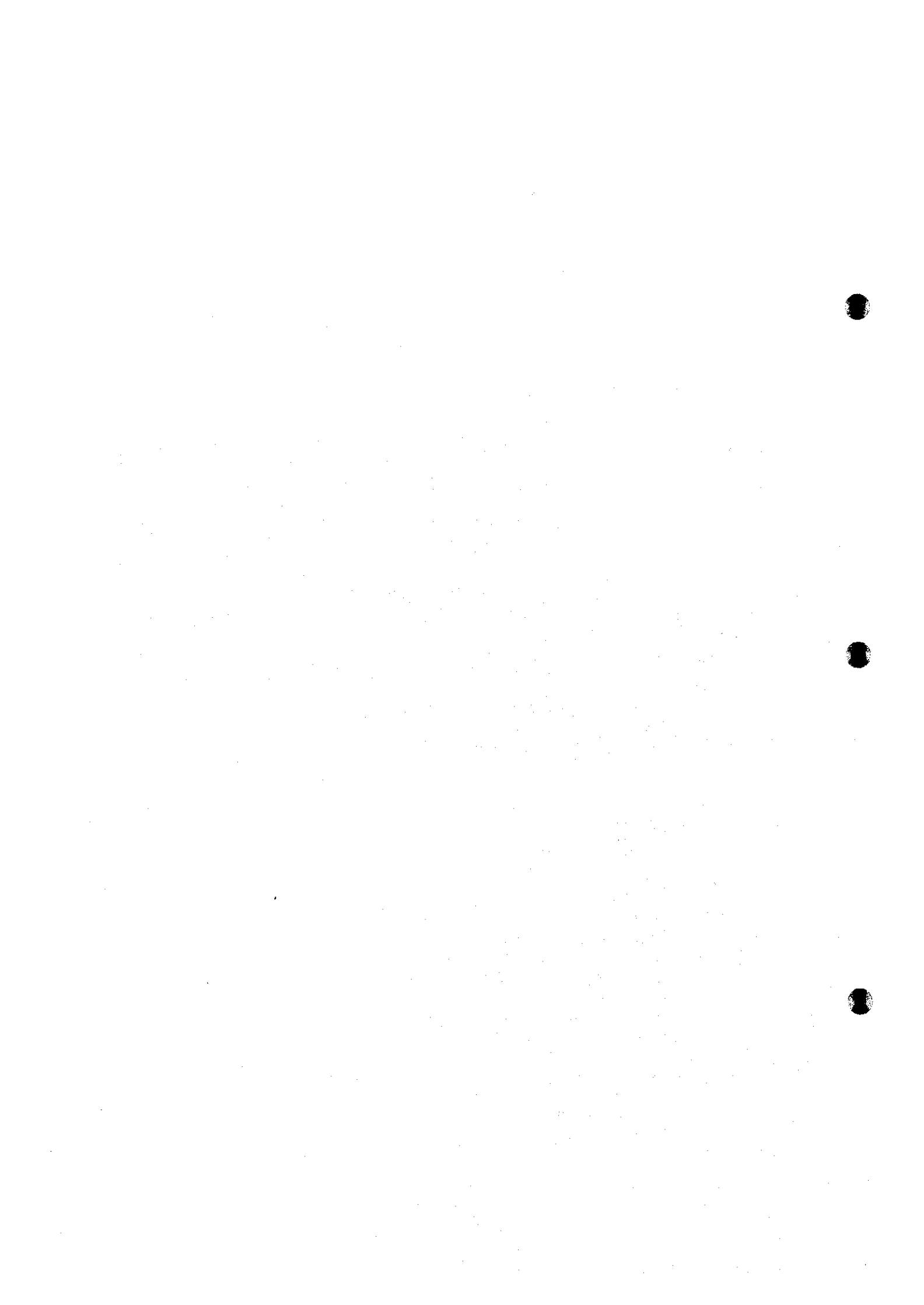


LEGEND

- Qpr Recent alluvial and well-sorted
 - Qyr Sub-recent unsorted silts, terraces
 - Qgl Ancient alluvial fans, terraces
- Post-Miocene unit
- Map Tectonically Quiet
- Cretaceous
- Su Unmetamorphosed sandstone
 - SVA1 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA2 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA3 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA4 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA5 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA6 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA7 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA8 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA9 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA10 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA11 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA12 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA13 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA14 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA15 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA16 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA17 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA18 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA19 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA20 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA21 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA22 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA23 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA24 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA25 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA26 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA27 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA28 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA29 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA30 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA31 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA32 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA33 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA34 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA35 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA36 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA37 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA38 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA39 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA40 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA41 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA42 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA43 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA44 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA45 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA46 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA47 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA48 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA49 Miocene basaltic pillow lavas
 - SVA50 Miocene basaltic pillow lavas
- Structural Features
- Maple Trough to Late Cretaceous
 - Headline Nappe
 - Post-Miocene unit
 - Uncolored
 - Miocene
 - Structural Features
 - Thrust fault, low-mech. locking up?
 - Normal Fault
 - Reverse Fault
- Economic Geology Symbols
- Ag Aggregates
 - Gr Gravel
 - S Sand
 - Cu Small quantities of copper
 - Sh Shale
 - St Steel
- Geological Section
- A1
 - A2
 - A3
 - A4
 - A5
 - A6
 - A7
 - A8
 - A9
 - A10
 - A11
 - A12
 - A13
 - A14
 - A15
 - A16
 - A17
 - A18
 - A19
 - A20
 - A21
 - A22
 - A23
 - A24
 - A25
 - A26
 - A27
 - A28
 - A29
 - A30
 - A31
 - A32
 - A33
 - A34
 - A35
 - A36
 - A37
 - A38
 - A39
 - A40
 - A41
 - A42
 - A43
 - A44
 - A45
 - A46
 - A47
 - A48
 - A49
 - A50

Basic geological data are from Villey, M., et al. (1986) and Boettcher, F., et al. (1992).

Fig. II-1-1 Geological map of Yanqui area



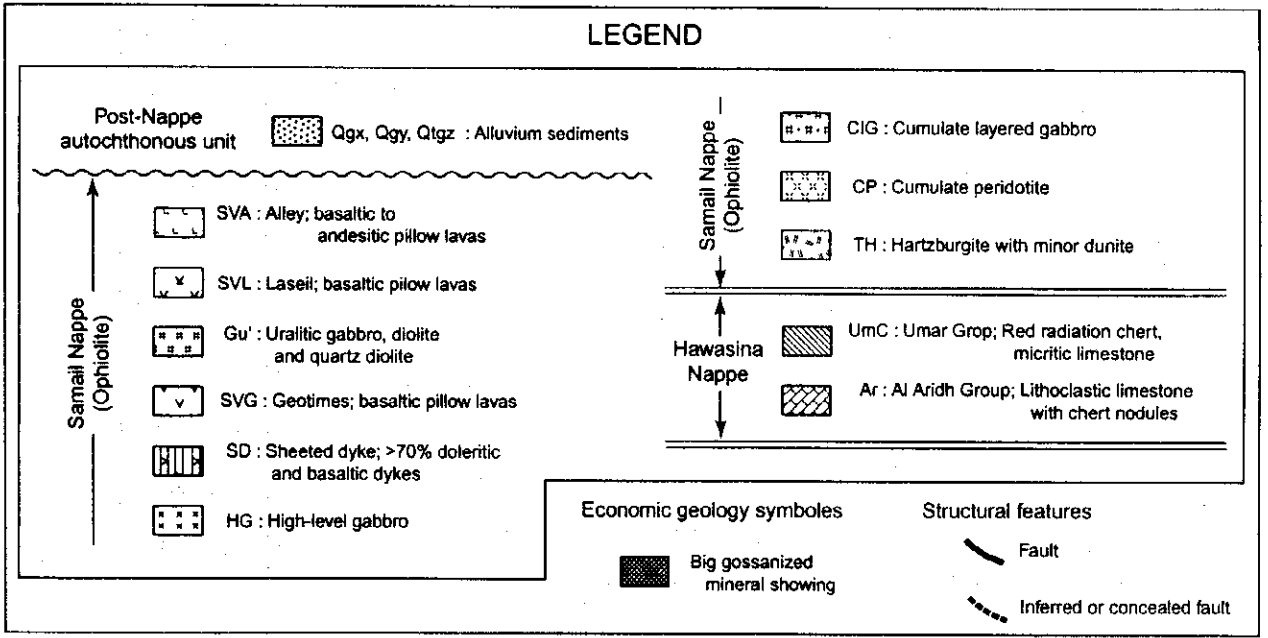
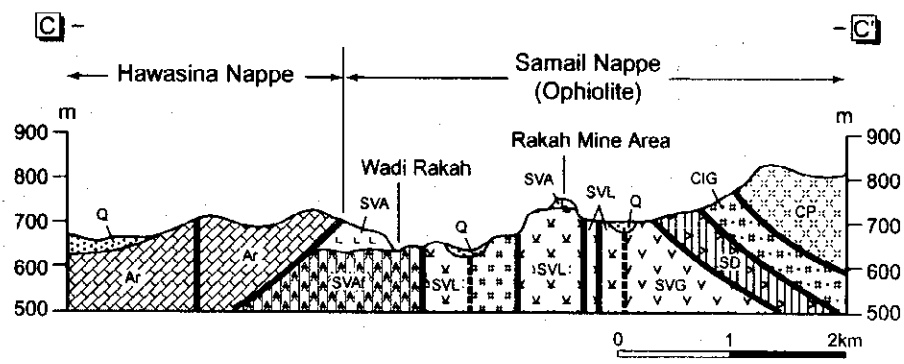
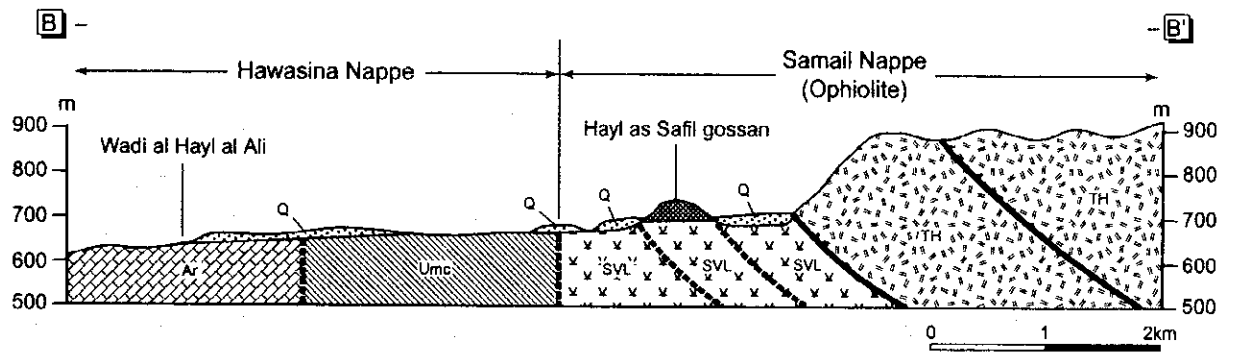
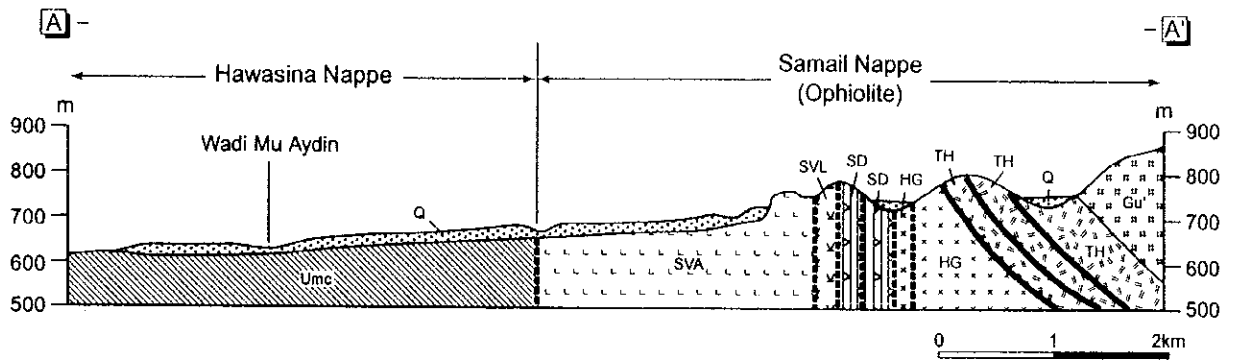


Fig. II-1-2 Geological section of Yanqul area

Geologic Time		Geological Unit		Columnar Section	Lithology	Volcanism	Mineralization	
Quaternary	Holocene	Alluvium	Wadi sediments, detritus		Gravel, sand			
	Pleistocene	Terrace deposits			Gravel, sand			
Cretaceous	Late	Samail Nappe (Ophiolite)	Samail volcanic rocks	Alley unit	Pillow lava Massive lava (sheet flow) Metaliferous sediments		(Stock-work type)	
				Lasail unit	Pillow and massive lavas Metaliferous sediments		Dyke	(Massive and stockwork types)
				Geotimes unit	Ore deposit (Cu) Pillow and massive lavas Metaliferous sediments		Dyke	
	Middle			Sheeted-dyke complex	Sheeted-dykes			
				High-level gabbro	Clinopyroxene gabbro			
				Cumulate sequence	Layered gabbro Clinopyroxene gabbro Olivine cpx. gabbro			
	Early			Tectonites	Harzburgite Chromitite(Cr) Dunite(⊥)			
	Middle Triassic to Late Cretaceous			Hawasina Nappe	Umar Group	Red radiation chert Micritic limestone		
Al Aridh Group		Red radiation chert Micritic limestone						

Fig. II-1-3 Geological columnar section of Yanqul area

ペペライトに漸移するところも多く認められる。この溶岩礫にはバリオール組織が特によく発達している。

(3) Alley 層

本層は、玄武岩から安山岩の枕状溶岩、塊状溶岩、自破碎溶岩及び金属質堆積岩からなる。

枕状溶岩は紫色、緑色及び緑灰色を呈し、形の歪んだ枕状溶岩からなる。枕状溶岩は直径 0.5m から 1.0m のものを主体とし、1.5m を越えるものは稀である。ヤンキル地域で明瞭な枕状構造を示すのは本層の枕状溶岩である。また塊状溶岩は、灰色、褐灰色、緑色、青灰色、オレンジ色と多種の色彩を持ち、特に風化面では溶岩の急冷相がオレンジ色を示すことが多い。自破碎溶岩は、主として本地域の東部に露出しており、枕状溶岩に漸移する。

金属質堆積岩は、Lasail 層のそれと比較すると鉄分が少なく、珪質のことが多い。本岩は本層の最下部及び上部に認められる。

1-2 地質構造

本地区の地質構造は、衝上断層群によって特徴付けられており、これにより層序的に上位の地層が構造的には下位に認められ、各地層においては正常であるが、地層間では逆転した構造を示している。この他に E-W 系、N-S 系の正断層も認められる。

1-3 鉱化作用

本地区には塊状鉱とストックワーク鉱からなるラカー鉱床及びハイル・アス・サフィール鉱床という 2 つの銅鉱床の分布が知られている。これらはソハール鉱床同様にキプロス型の銅鉱床と考えられており、Geotimes 層と Lasail 層の間に胚胎されている。これらの他にも各所で銅の鉱徴が認められる。

既知の 5 鉱体の硫化鉱の地質鉱量は、Table II-1-1 に示す通りである (OMCO, 1995)。

1-3-1 ラカー鉱床

ラカー鉱床はワジ・ラカーの上流部に位置し、中位段丘面上に形成されていたゴッサンがその発見の端緒である。鉱体は、概ね NW-SE の走向で NE 方向に傾斜しており、衝上断層による繰り返し、及び正断層による分断が認められる。

鉱質はストックワーク鉱を主とし、塊状鉱を伴う。ストックワーク鉱の母岩には珪化及び角礫化が認められる。鉱石鉱物は黄銅鉱及び黄鉄鉱を主とし、少量の閃亜鉛鉱、斑銅鉱、輝銅鉱、銅藍等からなる。

なお、地表付近に分布するゴッサンは、金に富み、すでに金鉱山として 1995 年から開発されている。

1-3-2 ハイル・アス・サフィール鉱床

ハイル・アス・サフィール鉱床は、アル・アシュガル鉱体、ハイル・アス・サフィール鉱体、アル・ビシャーラ鉱体及びアル・ジャディード鉱体の4鉱体からなり、中央部には大きなゴッサンが存在する。これらの鉱体はNW-SE方向に配列する一連の鉱化帯を形成しており、その規模は500m×1,500mの広がりをもつ。

鉱質はストックワーク鉱、塊状鉱及び塊状鉱が破碎・再堆積した角礫状鉱に区分される。ストックワーク鉱はハイル・アス・サフィール鉱体に発達し、塊状鉱はアル・アシュガル鉱体、角礫状鉱はアル・ビシャーラ鉱体及びアル・ジャディード鉱体に発達している。なお、アル・ビシャーラ鉱体は地表部付近にラカー鉱体と同様の金に富むゴッサン部を伴う。鉱石鉱物は黄銅鉱及び黄鉄鉱を主とし、少量の閃亜鉛鉱、斑銅鉱、輝銅鉱、銅藍等からなる。

Table II-1-1 Geologic ore reserves of known five bodies

Ore Body	Geologic Ore Reserves (tonne)	%Cu	%Au
Rakah	2,392,363	1.24	0.99
Hayl as Safil	4,748,443	1.37	0.47
Al Jadeed	660.442	1.38	0.85
Al Asghar	893,679	2.48	1.22
Al Bishara	2,116,259	1.32	0.74

OMCO(1995)

第2章 選鉱試験

2-1 調査の目的

ヤンキル地域のハイル・アス・サファイール鉱床及びラカー鉱床の各鉱体の鉱石を対象とし、有用鉱物、特に金の採収率向上の可能性の判断に資するために、黄鉄鉱精鉱からの金の回収について基礎試験を行うとともに、選鉱設備の設計に関する検討を行うことを目的とする。

2-2 調査量及び調査方法

本選鉱試験の作業フローシートを Fig. II-2-1 に示す。

2-2-1 調査量

試験に供する試料を採取するために、Table I-1-1 に示すように5孔のボーリングを実施した。選鉱試験の数量は Table I-1-4 に示すとおりである。

2-2-2 調査方法

(1) 硫化鉱浮遊選鉱試験

採取した鉱石4試料についてそれぞれ浮遊選鉱試験を行う。試験はラボスケールで行い、選鉱フローは OMCO が 1994 年に実施したストレート浮遊試験及び MMAJ が 1997 年に実施したフォローアップ調査の結果で得られているスカルプ総合優先浮遊選鉱試験の最適回収条件に基づき、黄銅鉱精鉱、黄鉄鉱精鉱及び尾鉱を回収する。

また、元鉱、ミドリング及び産物について化学分析ならびに研磨薄片の作成・鑑定を行い、選鉱過程における銅及び金の挙動について明らかにするとともに、以下の検討も行う。

- 1) 各工程における最適条件
 - イ) 粉砕粒度
 - ロ) 浮選剤
 - ハ) 浮選時間
 - ニ) 精選段数
- 2) 適性な選鉱処理系統
- 3) 選鉱設備の設計に関する留意事項

(2) リーチング試験

前項の浮遊選鉱により生産された黄鉄鉱精鉱について、ラボスケールでの攪拌シアンリーチング試験及び、焙焼法を組み合わせた攪拌シアンリーチング試験を実施することにより、以下の検討を行う。

- 1) 金のリーチングのための最適条件
 - イ) 粉砕粒度
 - ロ) シアン濃度

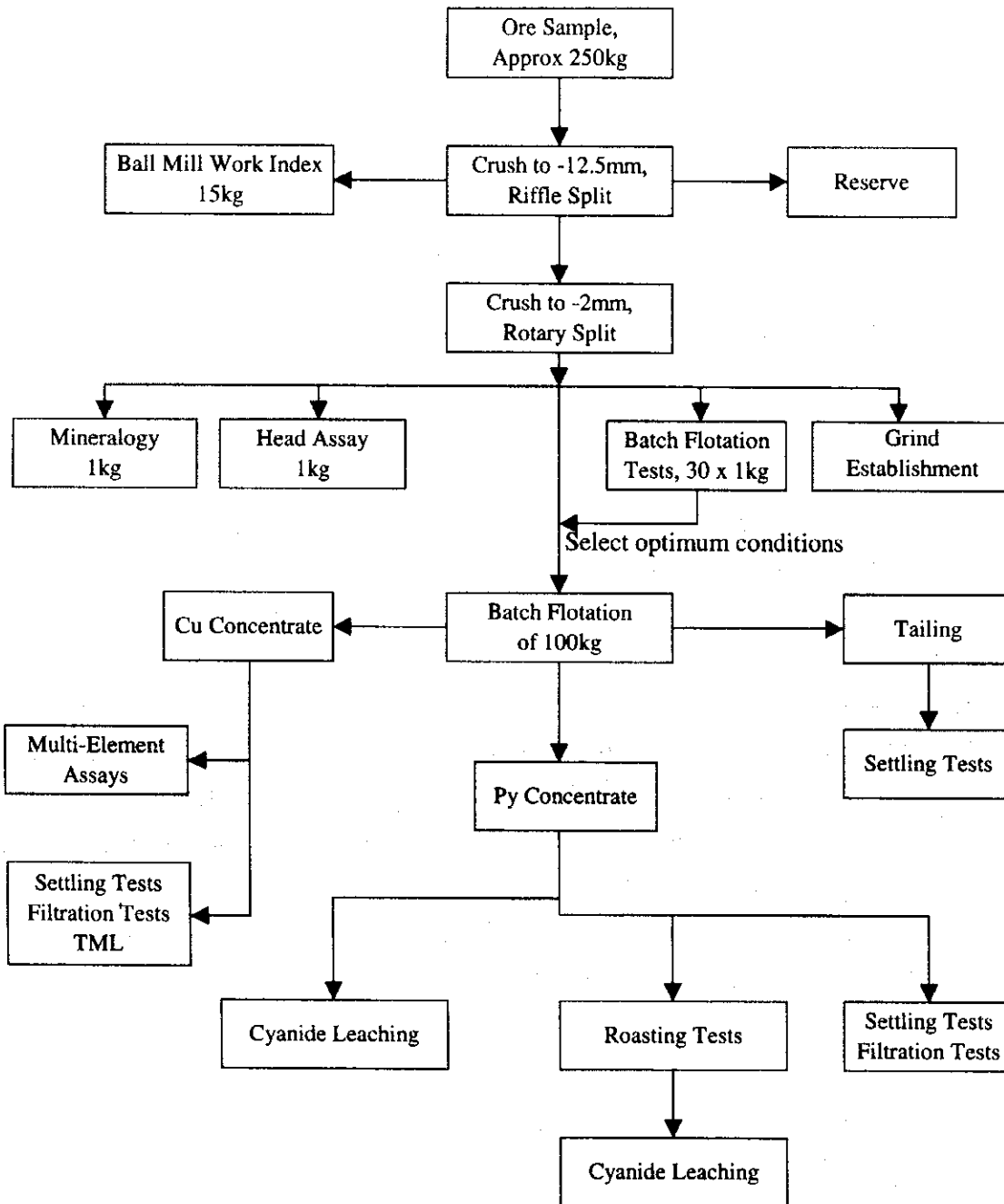


Fig. II-2-1 Metallurgical test program flowsheet

- ハ) 追加試薬
- ニ) 酸素注入
- 2) 適性な選鉱処理系統
- 3) 選鉱設備の設計に関する留意事項

2-3 試験試料の採取

試験試料を採取するために、ビシャーラ、ラカー及びハイル・アス・サフィールの3鉱体を対象としてボーリング掘削を実施した。掘削位置は既存資料に基づいて、Fig. II-2-2 に示すように選定した。

試験に使用した試料の概要は Table II-2-1 に示す通りである。

Table II-2-1 Samples used for metallurgical tests

Body Name	Type of Ore	Sampling Source	
		Drill Hole No.	Sampling Depth
Rakah Body	Massive sulphide ore	MJOY-P1	0m to -7.30m
Rakah Body	Stockwork ore	MJOY-P2	-13.40m to -31.35m
			-32.90m to -43.60m
			-63.15m to -122.10m
Hayl as Safil	Stockwork ore	MJOY-P3	-49.65m to -118.25m
Bishra Body	Breccia ore	MJOY-P5	-45.70m to -68.65m
			-69.75m to -93.60m

2-4 選鉱試験結果

2-4-1 原鉱分析

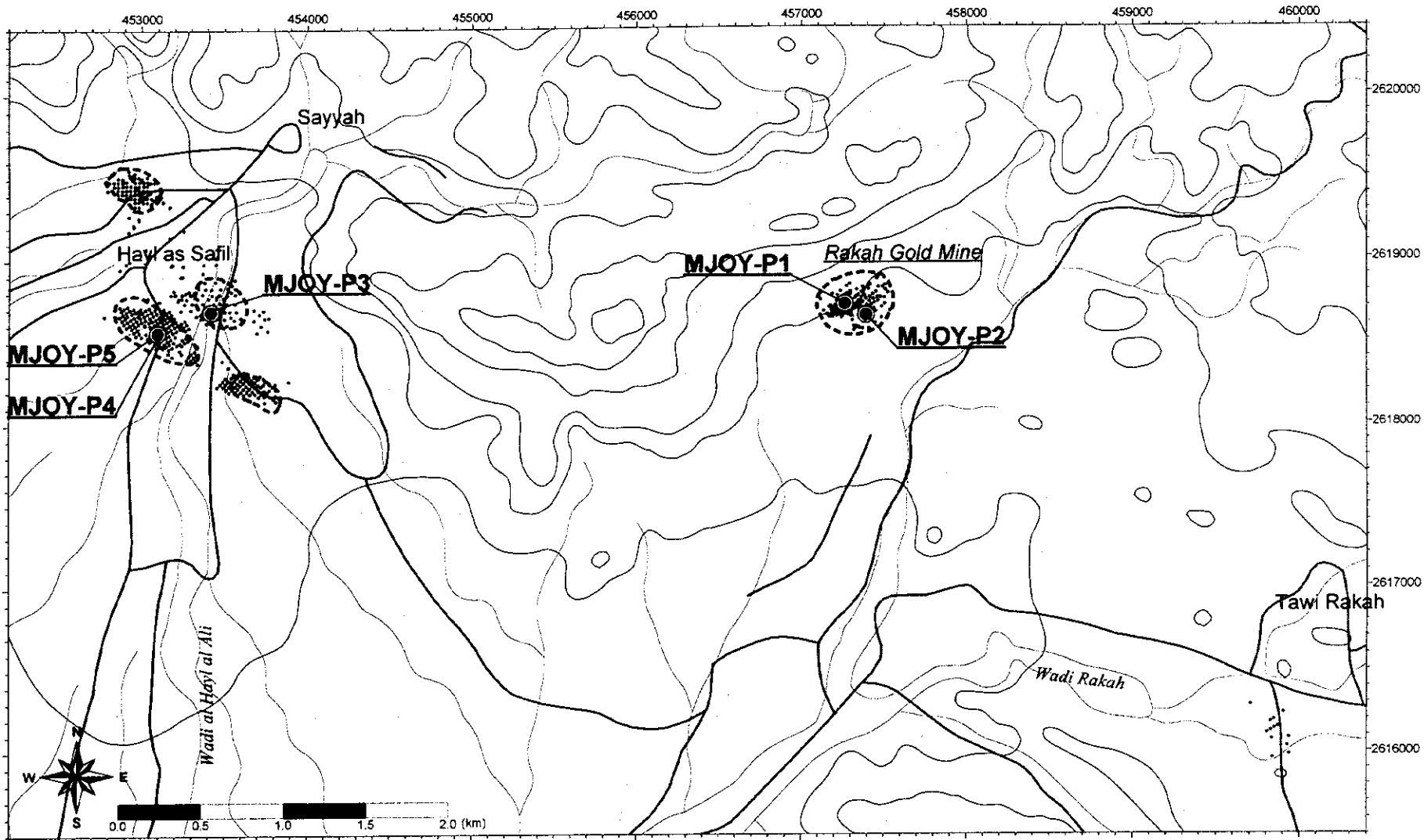
一連の原鉱成分分析を実施するために、各試料について 1kg を使用した。原鉱の分析結果は Appendix 8A に示したが、ここでは主要成分についての分析結果を Table II-2-2 に示す。

Table II-2-2 Head assays of major elements

Body name and Type of ore	Rakah Body Stockwork	Hayl as Safil B. Stockwork	Rakah Body Massive	Bishara B. Breccia
Cu (%)	1.15	0.915	1.82	1.45
Au (g/t)	0.45	0.16	3.78	1.06
S in total (%)	3.35	7.40	39.0	28.3
S in sulphide (%)	3.30	7.40	38.8	28.1

ストックワーク鉱は2試料とも金の含有量は低かったが、ラカー鉱体の塊状鉱とビシャーラ鉱体の角礫状鉱は金品位が高かった。後者は銅についてもストックワーク鉱より高品位を示した。

全硫黄分と硫化物の硫黄分がほぼ等しいことは、全試料に硫黄含有鉱物が、一次鉱物の形で産出していることを示している。



• : Previous boreholes
 ● : Boreholes for metallurgical tests

Fig. II-2-2 Location map of boreholes for metallurgical tests