

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

最終報告書

第3巻

(鉱山開発計画)

平成14年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

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、鉱量評価、選鉱設備計画、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年度から平成13年度までの2ヶ年にわたって実施され、オマーン国政府機関である商工省鉱物局の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は、2年間の調査結果を取りまとめたものであり、総括（第1巻）、探査結果（第2巻）及び鉱山開発計画（第3巻）の3冊の報告書よりなる。

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位の方々に衷心より感謝の意を表すものである。

平成14年3月

国際協力事業団
総裁 川上隆朗

金属鉱業事業団
理事長 松田憲和

第 3 卷 目 次

はしがき 目 次

第 1 章 鉱量評価	1
1-1 鉱量計算手順	1
1-2 入力データ	2
1-3 統計値及び地質統計値	11
1-4 3D モデリング	13
1-5 鉱量計算結果	23
第 2 章 採鉱計画	71
2-1 ピット設計	71
2-2 採掘順序	103
2-3 操業計画	106
2-4 操業形態および人員体制	121
2-5 採鉱操業費	121
2-6 採鉱起業費	125
第 3 章 選鉱試験	127
3-1 調査量及び調査方法	127
3-2 試験試料の採取	130
3-3 選鉱試験結果	130
3-4 補足浮選試験	148
3-5 考察	151
第 4 章 選鉱設備計画	153
4-1 プロセス設計と鉱石の性状	153
4-2 操業費	180
4-3 起業費	183
第 5 章 廃さい堆積場	193
5-1 廃さい堆積場建設予定地選定	193
5-2 廃さい堆積場設計	197

5-3	建設費用, 操業費用及び閉山費用	213
5-4	結論	214
第6章 組織及び人員計画		215
第7章 インフラストラクチャー調査		222
7-1	運搬	222
7-2	ワジ切替え	222
7-3	用水	228
7-4	電気	228
7-5	通信	229
7-6	住宅施設	230
7-7	その他施設	230
第8章 環境		231
8-1	地下水調査	231
8-2	環境の現況	237
8-3	環境関連の法制度及び環境(評価)基準	240
8-4	環境影響の予測・評価	242
8-5	環境保全対策	252
8-6	環境モニタリング計画	253
第9章 起業費及び操業費		257
9-1	条件の設定	257
9-2	起業費	257
9-3	操業費	260
第10章 総合評価		261
10-1	財務評価	261
10-2	経済評価	275
10-3	感度分析	278
10-4	ビシャーラ鉱体の酸化鉱開発を加味した検討	278
第11章 結論及び提言		282
11-1	結論	282
11-2	提言	284

第1章 鉱量評価

1-1 鉱量計算手順

鉱量計算は、豪州 ECSI 社製鉱山支援ソフトウェア MINEX (モジュール: Genesis) を使用して実施した。ハードウェアは SUN microsystems, OS は UNIX である。

以下に、今回の鉱量計算の手順を示す。

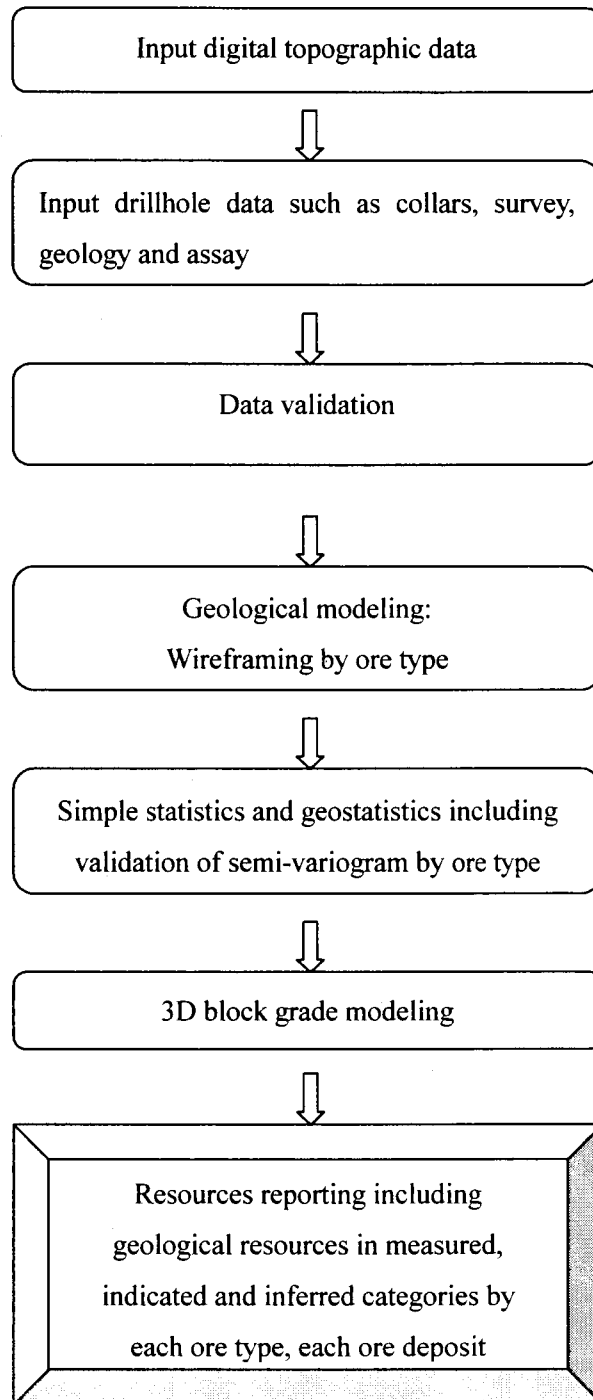


Fig.III-1-1 Flow of the ore resources evaluations

1-2 入力データ

1-2-1 地形データ及び計算領域の設定

本プロジェクト地域内には、ラカー鉱床が UTM 座標系で 457,000E~457,600E, 2,618,500N~2,619,000N に、ハイルアスサフィル, アル・アシュガル, アル・ビシャラ, アル・ジャディーの 4 鉱床が 452,500E~454,000E, 2,618,000N~2,620,000N の区域に散在する。今回の鉱量計算では、これら 5 鉱床を全てカバーし得る以下の領域を設定し、デジタル地形データを入力した。

Table III-1-1 Coordinate - project area

Parameter	Direction	
	East - west	North - south
Origin(m)	451,000	2,616,000
Extent(m)	8,000	5,000
Mesh(m)	20	20

入力されたデジタル地形データは 2000 年半ば時点のデータであり、鉱量計算上でラカー金山の採掘ピットの形状が反映されている。但し、Fig.III-1-2 では縮尺の関係でラカーピットは表現していない。なお、等高線間隔は、山間部で 10m, ワジ部で 2m である。

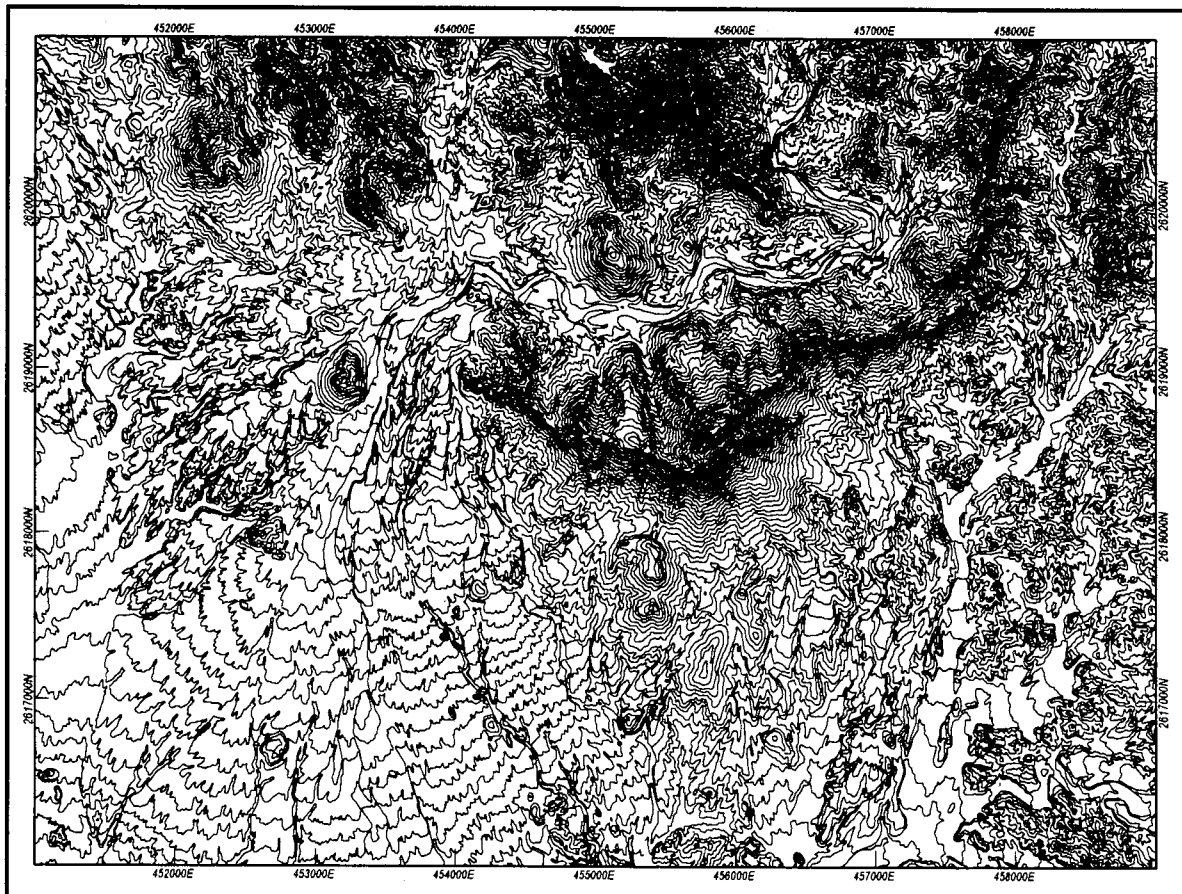


Fig.III-1-2 Topographic data

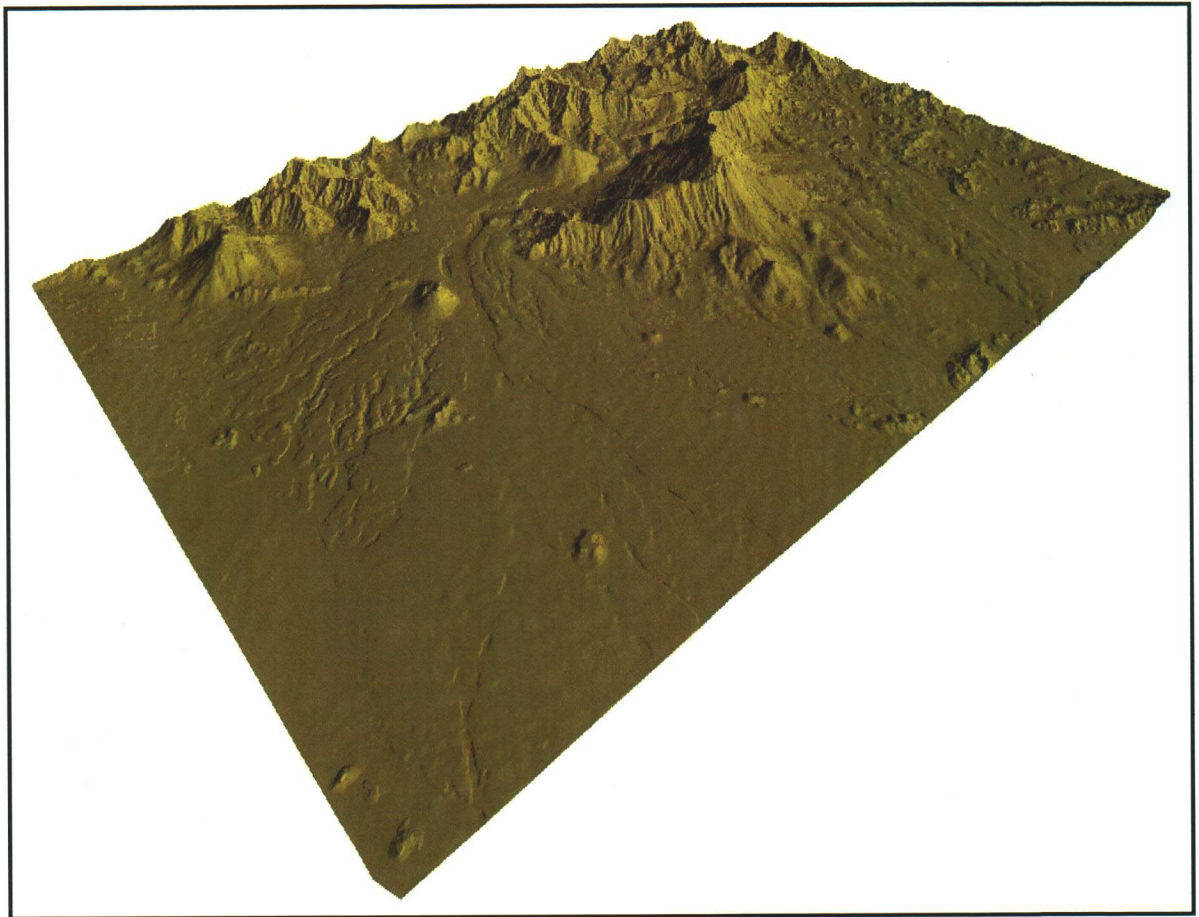


Fig.III-1-3 Topographic surface in perspective view looking NE

1-2-2 ボーリングデータ

平成 12 年 4 月 1 日時点における本プロジェクト地域内で実施されたボーリング総数は、548 孔、計 52,006.1m である。内、鉱床別のボーリングの詳細は、以下のようになっている。

Table III-1-2 Summary of drillhole

Ore body	Drillholes	Length(m)	Samples
Rakah	156	13,103.2	3,364
Hayl As Safil	97	13,946.7	2,307
Al Asghar	78	5,600.1	627
Al Bishara	147	14,079.9	1,836
Al Jadeed	70	5,276.2	367
Total	548	52,006.1	8,501

Fig.III-1-4 にプロジェクト内の鉱床及びボーリング孔口位置図を、Fig.III-1-5～Fig.III-1-9 に各鉱床内のボーリング孔口位置図を示す。

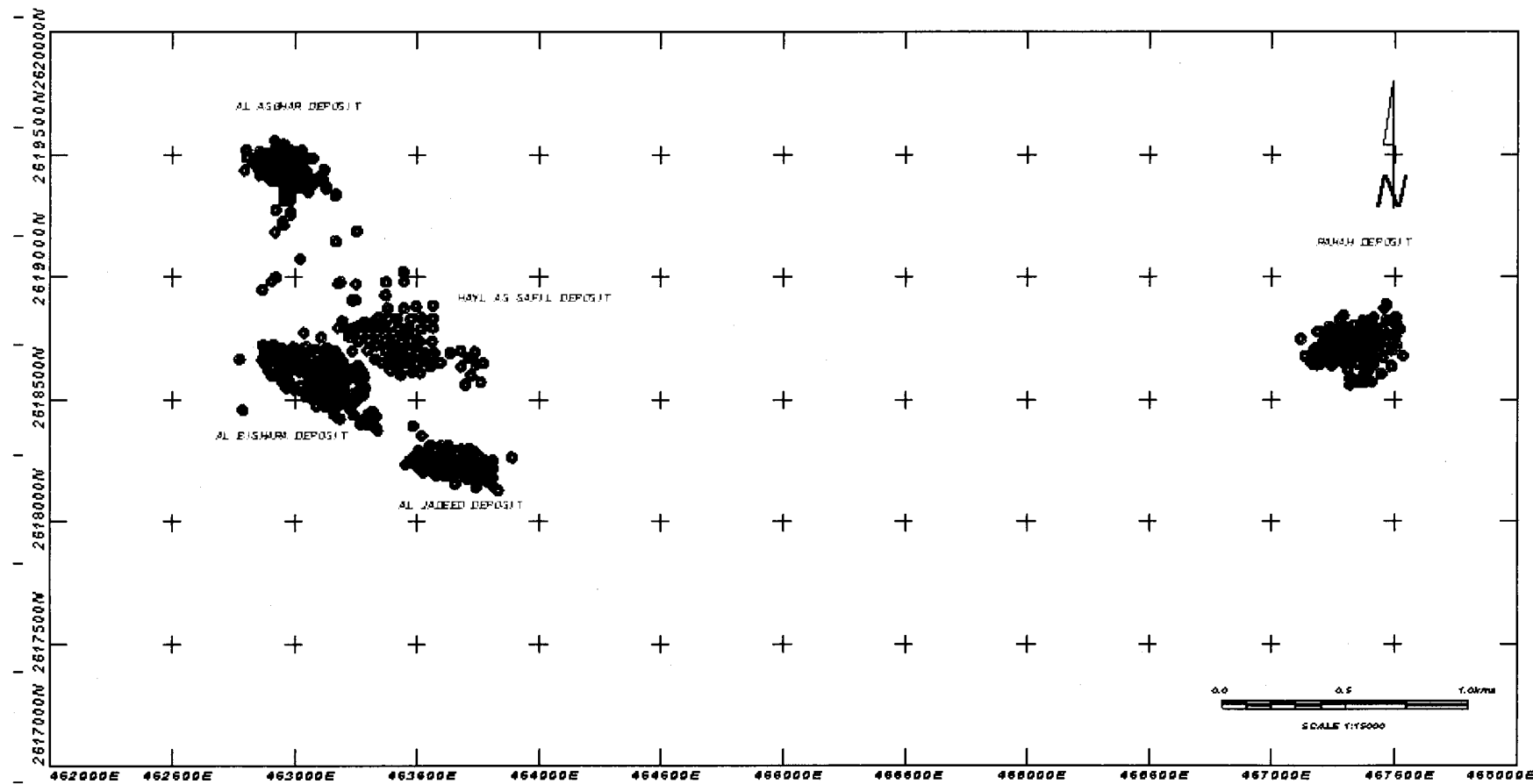


Fig. III-1-4 Locations of each ore deposit and drill-hole collars

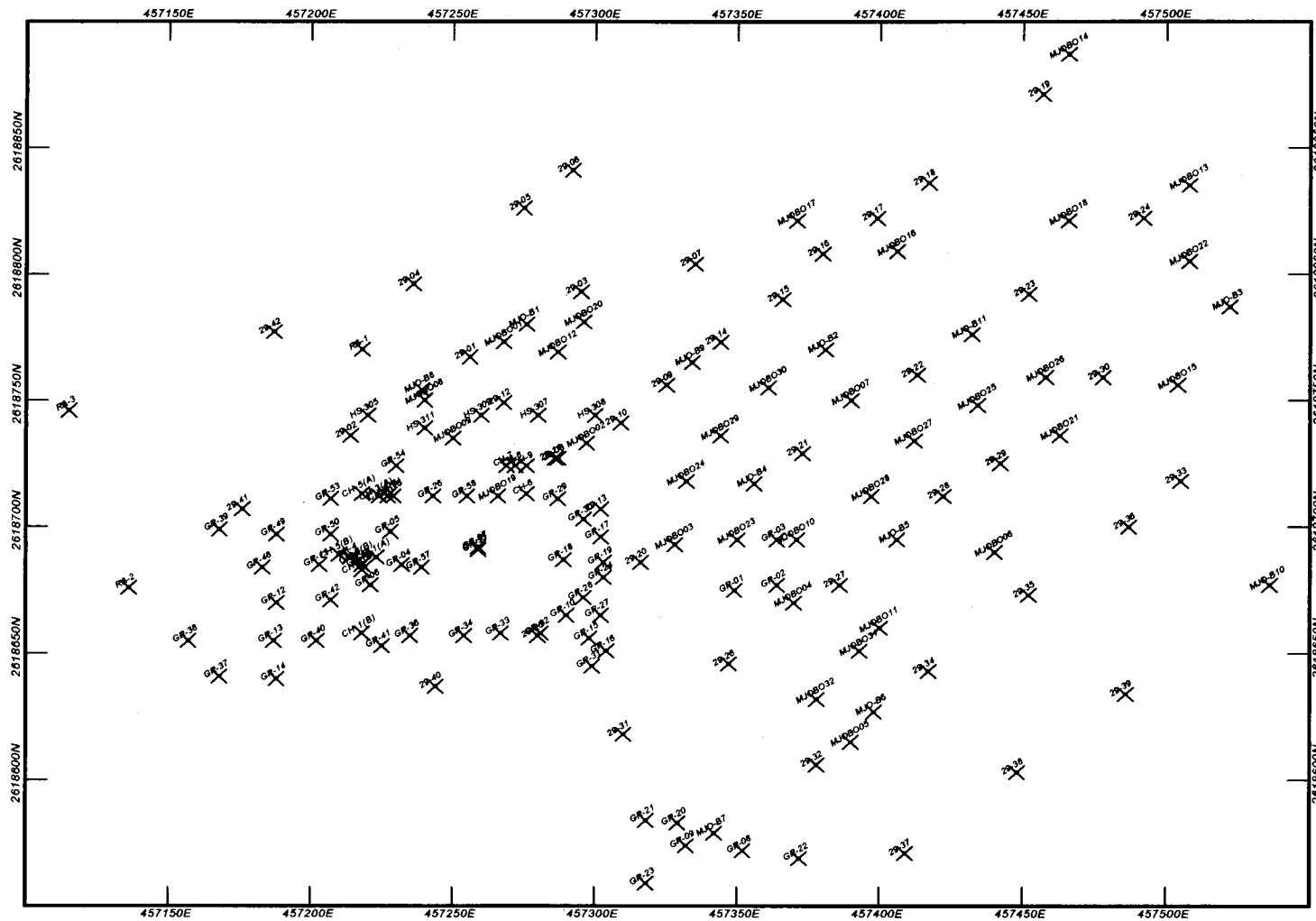


Fig.III-1-5 Rakah - Drillhole collar locations

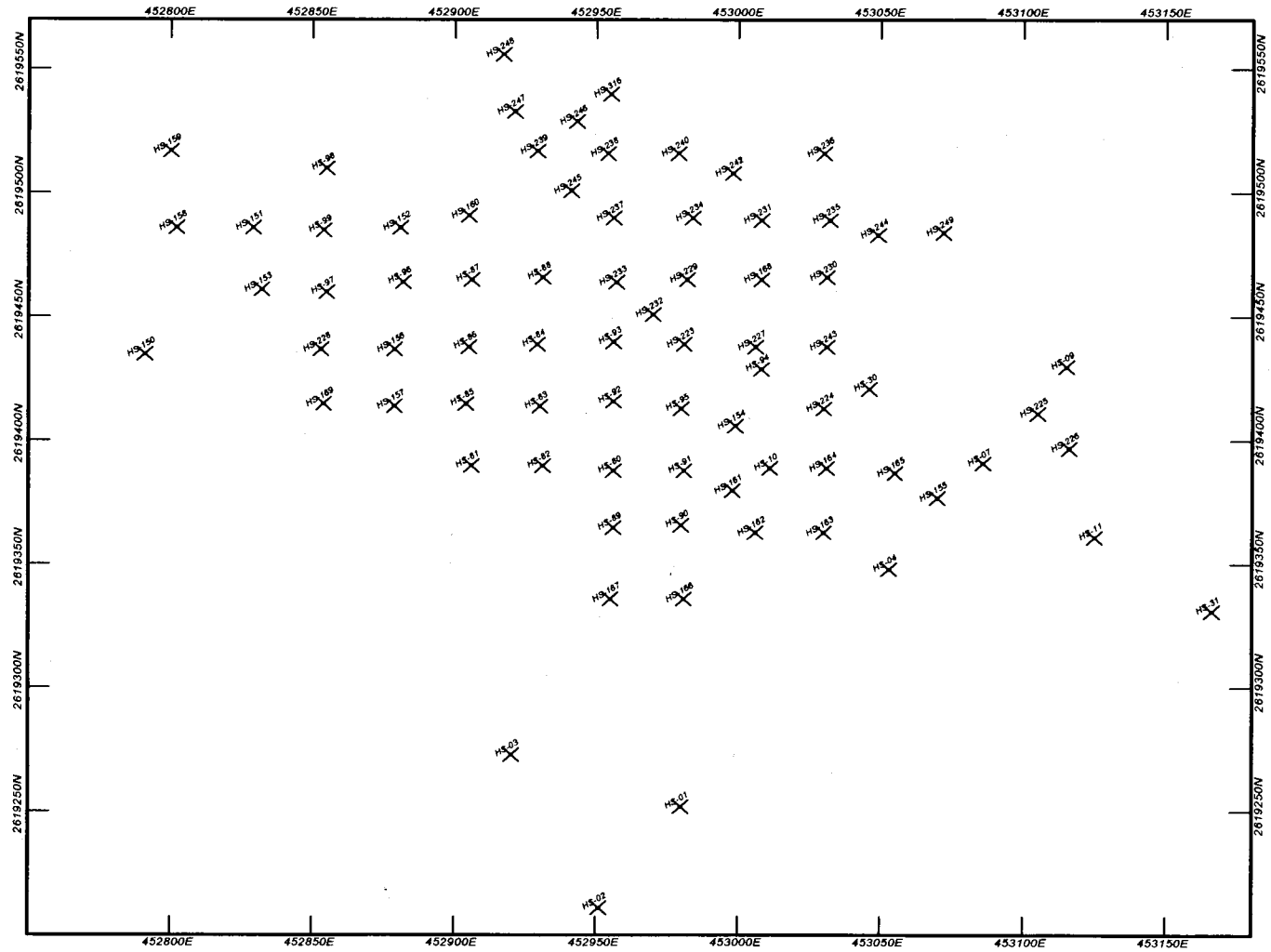


Fig.III-1-6 Al Asghar – Drillhole collar locations

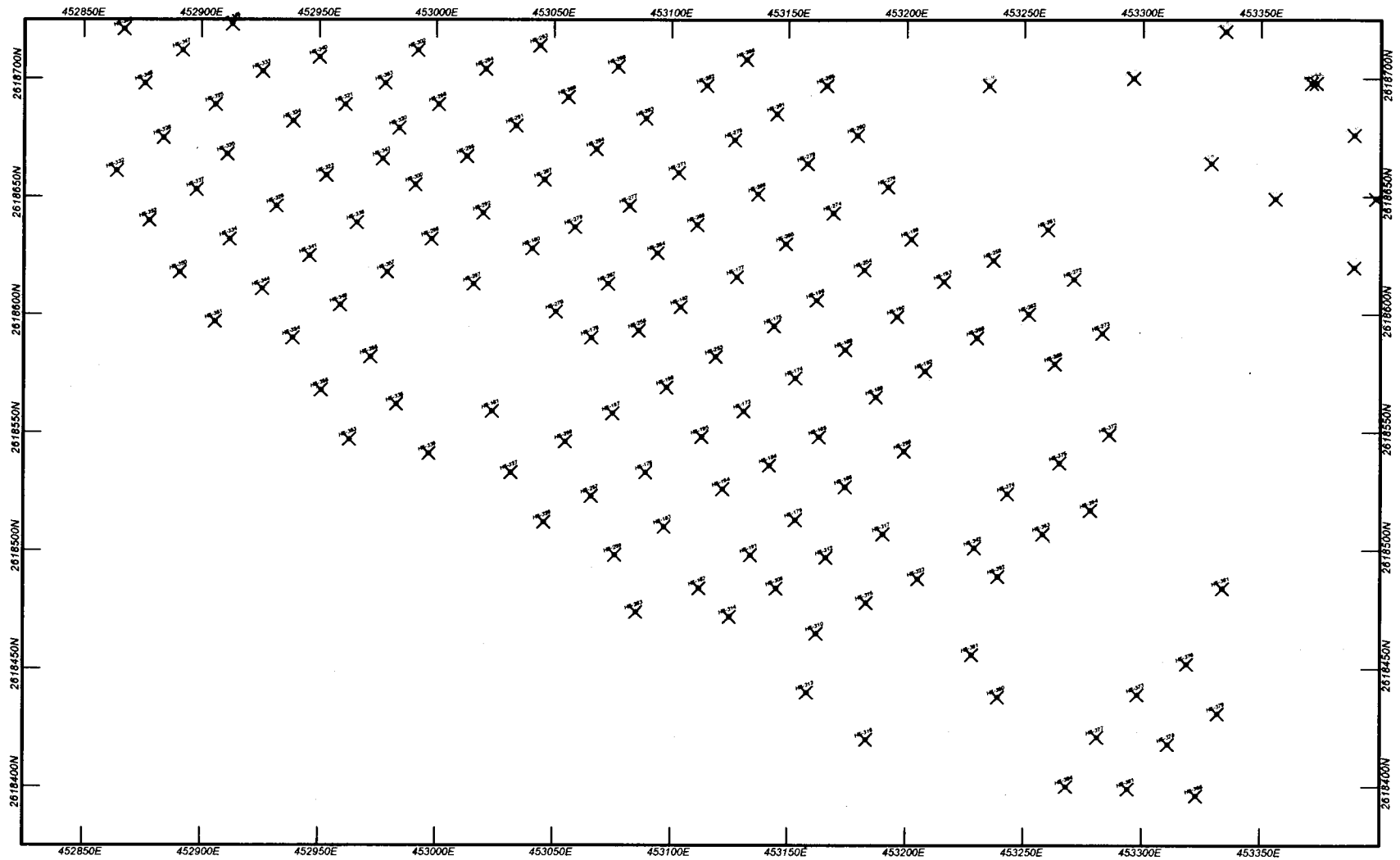


Fig.III-1-7 Al Bishara – Drillhole collar locations

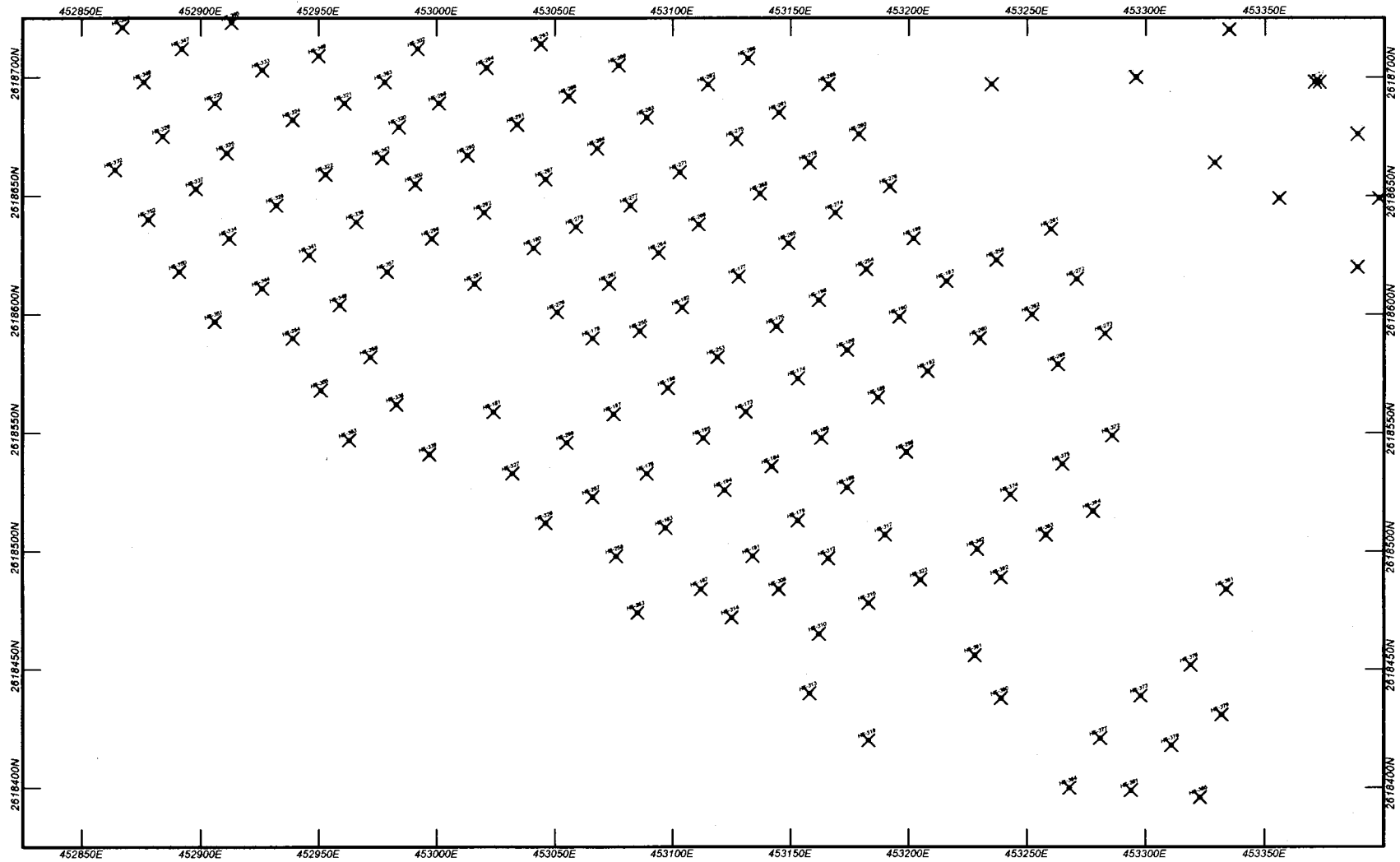


Fig.III-1-8 Al Jadeed - Drillhole collar locations

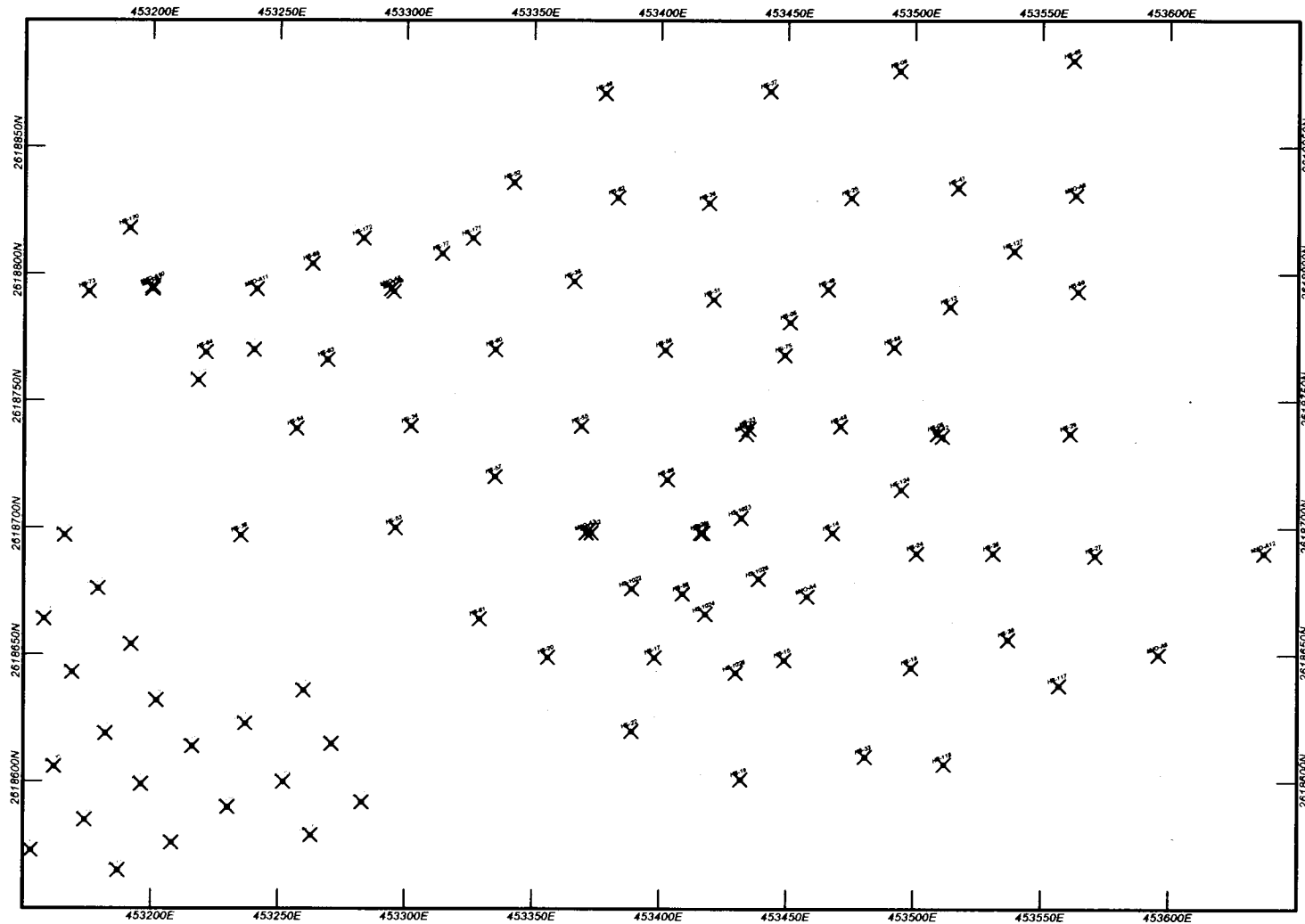


Fig.III-1-9 Hayl as Safil - Drillhole collar locations

1-3 統計値及び地質統計値

1-3-1 生データの統計値

ボーリングコア試料の分析値より、鉱体別の品位の統計値を取り、品位分布の傾向を確認した。また、ナゲット効果を勘案し、全体の95パーセンタイル値を基準としてそれ以上の品位をカットオフした場合の統計値も比較検討した。実際には鉱体別に品位分布が異なるため、カットオフの基準は異なる。鉱量計算時の鉱画品位の割付の際も、同様のトップカット品位を採用している。トップカットにより、品位の過剰評価が防止できるものと考えられる。

Table III-1-3 Raw copper statistics

Ore Deposit	Lowest (%)	Highest (%)	Average (%)	Median (%)	Standard deviation	Variance
Rakah	0.02	39.5	0.75	0.38	1.55	2.39
	0.02	3.0	0.66	0.38	0.81	0.65
Hayl As Safil	0.02	23.5	0.93	0.49	1.92	3.70
	0.02	4.5	0.81	0.49	1.16	1.34
Asghar	0.04	14.4	2.05	1.29	2.67	7.16
	0.04	7.0	1.89	1.29	2.06	4.25
Bishara	0.02	21.5	1.14	0.78	1.51	2.28
	0.02	3.0	1.01	0.78	0.84	0.70
Jadeed	0.02	4.52	1.53	1.58	0.84	0.71
	0.02	3.0	1.51	1.58	0.80	0.64

Upper column: raw data, Lower column: after top-cutting

Table III-1-4 Raw gold statistics

Ore Deposit	Lowest (%)	Highest (%)	Average (%)	Median (%)	Standard deviation	Variance
Rakah	0.02	39.5	0.75	0.38	1.55	2.39
	0.02	3.0	0.66	0.38	0.81	0.65
Hayl As Safil	0.02	23.5	0.93	0.49	1.92	3.70
	0.02	4.5	0.81	0.49	1.16	1.34
Asghar	0.04	14.4	2.05	1.29	2.67	7.16
	0.04	7.0	1.89	1.29	2.06	4.25
Bishara	0.02	21.5	1.14	0.78	1.51	2.28
	0.02	3.0	1.01	0.78	0.84	0.70
Jadeed	0.02	4.52	1.53	1.58	0.84	0.71
	0.02	3.0	1.51	1.58	0.80	0.64

Upper column: raw data, Lower column: after top-cutting

ラカー及びアル・ビシャラ鉱床のカットオフ後の銅については、標準偏差及び分散の値が極端に減少し、データのバラツキ具合が改善しているのが注目される。銅と同様にラカー、アル・アシュガール及びアル・ビシャラ鉱床のカットオフ後の金も、同様のパラメータの数値が激減している。これらは、典型的なナゲット効果を示しているものと思われる。

1-3-2 バリオグラム解析

各鉱体の銅及び金のナゲット効果についての概念を得るため、ボーリングの掘進方向に沿う（ダウンホール）バリオグラムの解析から開始した。解析にあたっては、トップカット後の生データを使用した。

銅、金のモデル化バリオグラムのナゲット効果、シル、レンジの一覧表を以下に示す。

Table III-1-5 Down-hole model variogram for raw copper

Ore Deposit/domain	Max(%)	Lag(m)	Intervals	Type	Nugget	Sill	Range(m)
Rakah/2	3.0	1.0	12	Spherical	0.21	0.43	9.0
Hayl As Safil/2	4.5	2.0	10	Spherical	0.23	0.45	14.0
Hayl As Safil/3	6.0	1.0	12	Spherical	0.30	2.30	8.0
Asghar/3	7.0	1.0	12	Spherical	1.20	2.80	6.5
Bishara/4	3.0	1.0	15	Spherical	0.22	0.42	11.0
Jadeed/4	3.0	0.5	20	Spherical	0.20	0.45	6.0

Table III-1-6 Down hole model variogram of raw gold

Ore Deposit/domain	Max(%)	Lag(m)	Intervals	Type	Nugget	Sill	Range(m)
Rakah/2	10.0	1.0	12	Spherical	0.30	1.00	8.0
Hayl As Safil/2	3.0	2.0	10	Spherical	0.06	0.13	12.0
Hayl As Safil/3	3.0	1.5	12	Spherical	0.10	0.60	14.0
Asghar/3	5.0	1.0	12	Spherical	0.05	0.55	5.0
Bishara/4	10.0	1.0	15	Spherical	0.25	0.52	9.0
Jadeed/4	2.0	1.0	10	Spherical	0.03	0.20	7.0

ダウンホールバリオグラム解析によるナゲット効果の概念を得た後、3D (X-Y 面, Y-Z 面, X-Z 面) バリオグラムの解析を行い、各解析平面における品位の最大連続性（レンジ）を確定した。3D バリオグラムの検討は、トップカット後のコンポジットの数値を使用した。

解析の対象は、データ数の少ないアル・アシュガール鉱床を除いた全鉱床の各ドメインとした。

3D バリオグラムの検討結果は、第 1-4-1 章の Table III-1-18 及び Table III-1-19 に示す。

1-4 3D モデリング

なお、3D モデリングに先立ち、各鉱床の計算領域を以下のように設定した。

Table III-1-7 Coordinate – Rakah

Parameter	Direction		
	East - west(X)	North - south(Y)	Altitude(Z)
Origin(m)	457,190	2,618,500	403
Extent(m)	320	400	390
Max(m)	457,510	2,618,900	793

Table III-1-8 Coordinate – Hayl as Safil

Parameter	Direction		
	East - west(X)	North - south(Y)	Altitude(Z)
Origin(m)	453,100	2,618,650	422
Extent(m)	500	200	391
Max(m)	453,600	2,618,850	813

Table III-1-9 Coordinate – Al Asghar

Parameter	Direction		
	East - west(X)	North - south(Y)	Altitude(Z)
Origin(m)	452,825	2,619,300	500
Extent(m)	250	300	200
Max(m)	453,075	2,619,600	700

Table III-1-10 Coordinate - Al Bishara

Parameter	Direction		
	East - west(X)	North - south(Y)	Altitude(Z)
Origin(m)	452,825	2,618,400	500
Extent(m)	565	275	200
Max(m)	453,390	2,618,675	700

Table III-1-11 Coordinate - Al Jadeed

Parameter	Direction		
	East - west(X)	North - south(Y)	Altitude(Z)
Origin(m)	453,400	2,618,180	500
Extent(m)	500	120	200
Max(m)	453,900	2,618,300	700

また、各鉱床のブロックサイズ（即ち鉱画）及びサブブロックサイズはボーリング間隔の四分の1以下にならないように設定した。鉱画の高さは想定されるピットのベンチ高の倍数となるように以下のように設定した。

Table III-1-12 Block model parameters

Ore body	Direction		
	East - west (X)	North - south(Y)	Vertical(Z)
Rakah	5	5	6
	2.5	2.5	3
Hayl As Safil	10	10	10
	2.5	2.5	2.5
Al Asghar	10	10	10
	2.5	2.5	2.5
Al Bishara	10	10	10
	2.5	2.5	2.5
Al Jadeed	10	10	10
	2.5	2.5	2.5

1-4-1 ドメインの設定

地質モデリングを設定するための前提条件として、地質・鉱体及び地質構造の特徴を明確に境界分けするためのドメイン（領域）を設定した。設定したドメインの詳細は Table III-1-13 のとおりである。

ドメイン2、3及び4は鉱種に区分される。鉱種の境界は閉じた境界線で、断層は開いた境界線でデジタイズされた。各鉱種はハードバウンダリー（品位の割付の際に、境界線内のデータのみを使用する）として扱っている。アル・ビシャラ鉱床の酸化鉱は、ズリ（ドメイン0）として扱っている。

Table III-1-13 Summary of geologic block models and codes(domains)

Domain	Zone	Area
0	Waste	All deposits
2	Stockwork ore	Rakah, Hayl As Safil and Al Asghar
3	Massive ore	Rakah, Hayl As Safil and Al Asghar
4	Brecciated ore	Al Bishara and Al Jadeed
5	Fault – sub-vertical	Rakah
6	Fault – low angle	Rakah
7	Fault – sub-vertical	Al Asghar
8	Fault – low angle	Al Asghar
9	Fault – sub-vertical	Al Jadeed
10	Fault – sub-vertical	Al Jadeed
11	Fault – sub-vertical	Al Bishara
12	Fault – sub-vertical	Al Bishara
13	Fault – sub-vertical	Rakah

各鉱体・ドメイン別の統計値を以下に示す。

Table III-1-14 Raw copper statistics within domains

	Lowest (%)	Highest (%)	Average (%)	Median (%)	Standard deviation	Variance
Rakah						
All domains(2 &3)	0.02	3.00	0.61	0.37	0.64	0.41
2	0.02	3.00	0.75	0.54	0.67	0.45
3	0.04	3.00	1.10	0.92	0.99	0.97
Hayl As Safil						
All domains(2&3)	0.02	4.50	0.76	0.47	0.86	0.74
2	0.02	4.50	0.94	0.64	0.88	0.78
3	0.17	4.38	1.43	1.10	1.07	1.15
Al Asghar						
All domains(2&3)	0.04	7.0	1.63	1.15	1.59	2.53
2	0.04	0.83	0.33	0.18	0.28	0.08
3	0.04	7.0	2.30	1.91	1.68	2.82
Al Bishara						
4	0.04	3.0	1.10	1.00	0.67	0.45
Al Jadeed						
4	0.02	3.0	1.58	1.60	0.72	0.52

Table III-1-15 Raw gold statistics within domains

	Lowest (g/t)	Highest (g/t)	Average (g/t)	Median (g/t)	Standard deviation	Variance
Rakah						
All domains(2&3)	0.03	10.00	1.01	0.34	1.69	2.85
2	0.03	10.00	0.88	0.37	1.47	2.16
3	0.29	5.29	1.81	1.69	1.31	1.72
Hayl As Safil						
All domains(2&3)	0.02	3.00	0.52	0.30	0.61	0.37
2	0.02	2.94	0.43	0.25	0.51	0.26
3	0.09	3.00	1.20	1.00	0.84	0.70
Al Asghar						
All domains(2&3)	0.03	5.0	1.17	0.95	0.88	0.77
2	0.12	0.68	0.49	0.40	0.26	0.07
3	0.03	5.0	1.18	0.94	0.90	0.82
Al Bishara						
4	0.05	9.5	1.04	0.91	0.79	0.62
Al Jadeed						
4	0.05	2.0	0.80	0.78	0.52	0.27

1-4-2 ワイヤーフレーミング

ワイヤーフレーミングを実施するに際しては、地質・鉱体及び地質構造の連続性をより正確に把握するために、鉱床別に以下の断面を設定した。

Table III-1-16 Summary of sections produced

Rakah	Hayl As Safil	Al Asghar	Al Bishara	Al Jadeed
20m spaced	50m spaced	25m spaced	25m spaced	20m spaced
457,190E	2,618,650N	452,825E	2,618,400N	2,618,180N
457,210E	2,618,700N	452,850E	2,618,425N	2,618,200N
457,230E	2,618,750N	452,875E	2,618,450N	2,618,220N
457,250E	2,618,800N	452,900E	2,618,475N	2,618,240N
457,270E	2618,850N	452,925E	2,618,500N	2,618,260N
457,290E		452,950E	2,618,525N	2,618,280N
457,310E		453,000E	2,618,550N	2,618,300N
457,330E		453,025E	2,618,575N	
457,350E		453,050E	2,618,600N	
457,370E		453,075E	2,618,625N	
457,390E			2,618,650N	
457,410E			2,618,675N	
457,430E				
457,450E				
457,470E				
457,490E				
457,510E				

各鉱床の代表的なワイヤーフレームの鳥瞰図を， Fig.Ⅲ-1-10～Fig.Ⅲ-1-14 に示す。

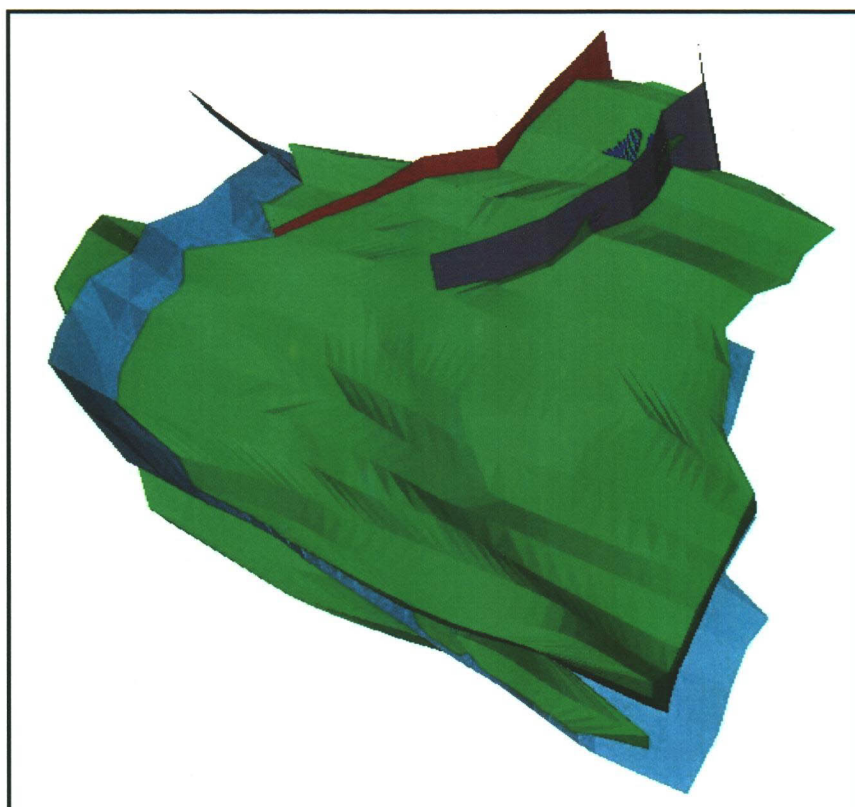


Fig.Ⅲ-1-10 Rakah - Wire-frames looking down towards west

LEGEND

- Green : Stockwork Ore
- Blue : Massive Ore
- Pale Blue : Brecciated Ore
- Other colours: Faults

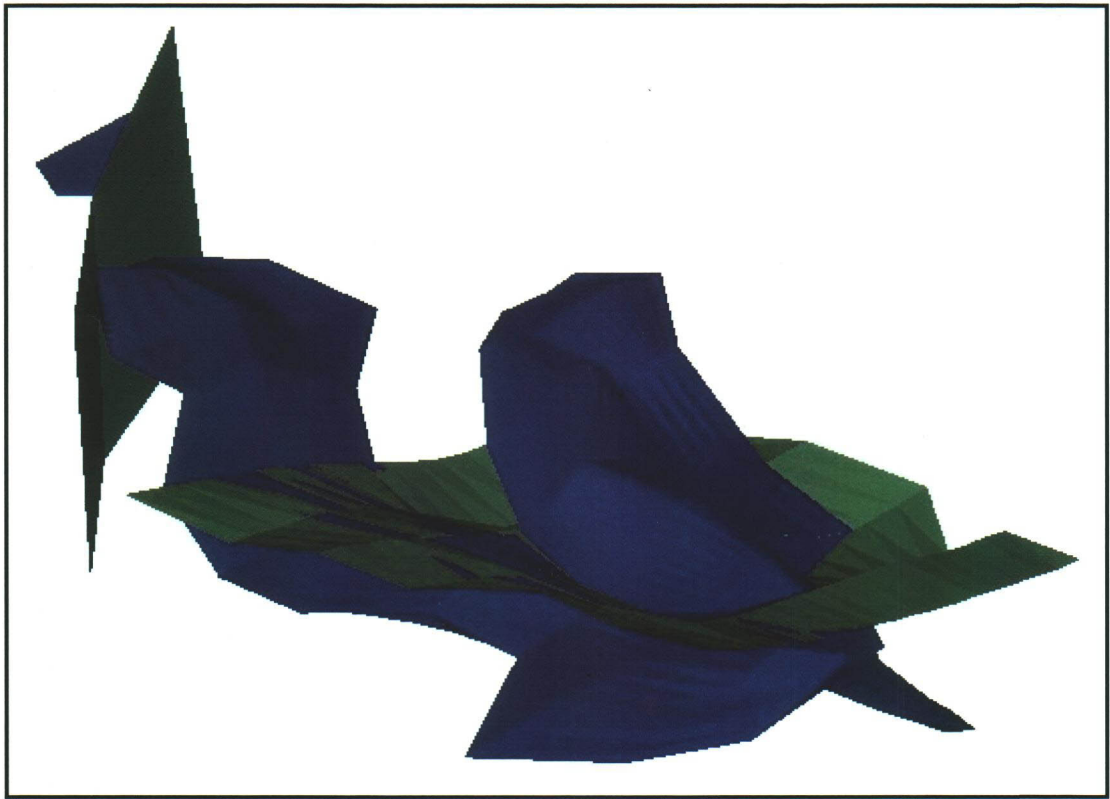


Fig.III-1-11 Al Asghar - Wire-frames looking down towards north west

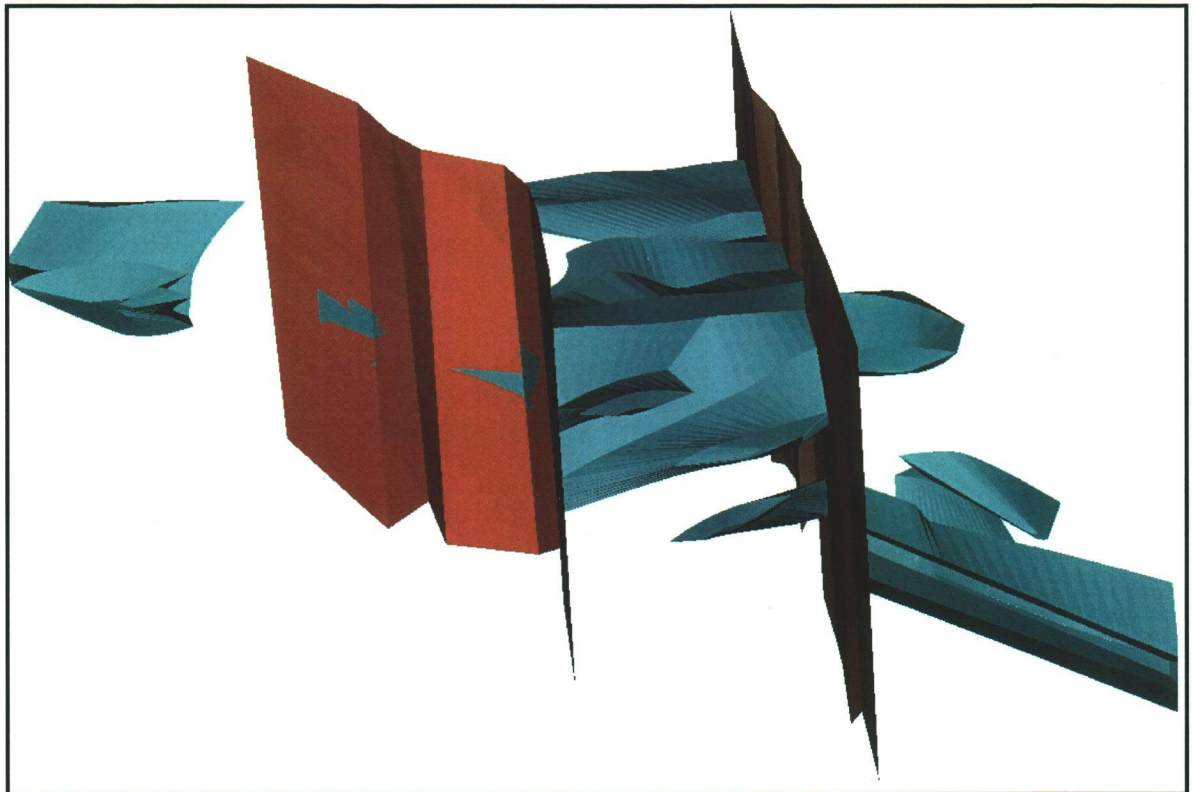


Fig.III-1-12 Al Bishara - Wire-frames looking down towards north



Fig. III-1-13 Al Jadeed - Wire-frames looking down towards west



Fig.III-1-14 Hayl as Safil - Wire-frames looking slightly down towards north