

資源開発協力基礎調査報告書

地域開発計画調査オマーン国ラカー地域

最終報告書

第2巻

(探査結果)

平成2年2月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団

鉱計資
C R(3)
90-40



資源開発協力基礎調査報告書

地域開発計画調査オマーン国ラカー地域

最 終 報 告 書

第 2 卷

(探査結果)

平成 2 年 2 月

国 際 協 力 事 業 団

金 属 鉍 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ラカー地域の鉍物資源開発の可能性を確認するため、地質調査、物理探査、ボーリング調査などの鉍床探査及び鉍山開発のための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及び鉍物資源開発の調査という専門分野に属することから、この調査の実施を金属鉍業事業団に委託することとした。

本調査は、昭和63年度から平成元年度までの2ヶ年にわたって実施され、オマーン国政府関係機関である石油鉍物省鉍物局の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は、2年間の調査結果をとりまとめたものであり、総括（第1巻）、探査結果（第2巻）及び鉍山開発計画（第3巻）の3冊の報告書より成る

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、通商産業省、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るものである。

平成2年2月

国際協力事業団  
総裁 柳谷謙介

金属鉍業事業団  
理事長 福原元一



## 第2巻 目次

第1章 A地区（ハイル・アス・サヒル鉍床）	1
1-1 調査概要	1
1-2 地質調査	1
1-2-1 地質	1
1-2-2 地質構造	14
1-2-3 鉍化作用	16
1-2-4 岩石化学的検討	32
1-3 物理探査	38
1-3-1 調査方法	38
1-3-2 調査結果	51
1-4 ボーリング調査	60
1-4-1 調査工事内容	60
1-4-2 調査結果	63
1-5 考察	76
第2章 B地区（ラカー鉍床）	80
2-1 調査概要	80
2-2 地質調査	80
2-2-1 地質	80
2-2-2 地質構造	87
2-2-3 鉍化作用	88
2-3 物理探査	101
2-3-1 調査方法	101
2-3-2 調査結果	113
2-4 ボーリング調査	119
2-4-1 調査工事内容	119
2-4-2 調査結果	122
2-5 考察	138

第3章 鉍量計算 .....	140
3-1 計算基礎及び計算方法 .....	140
3-2 ハイル・アス・サヒル鉍床 .....	141
3-3 ラカー鉍床 .....	144
3-4 考 察 .....	144
第4章 調査結果の総合検討 .....	146
4-1 鉍化作用の特性と鉍床生成モデル .....	146
4-2 ラカー地域のポテンシャルと今後の探査指針 .....	147
第5章 結 論 .....	149

図表一覧表 (Figers, Tables and Plates)

付 録 (Appendices)



## 第1章 A地区 (ハイル・アス・サヒル鉱床)

### 1-1 調査概要

ハイル・アス・サヒル鉱床を中心としたA地区のポテンシャルと鉱床の賦存状況を明らかにするため、2年間にわたり地質調査、流電電位法による物理探査及びボーリング調査による探査を行った。本調査で実施した各手法の作業量は、以下のとおり。

地質調査： 面積3km<sup>2</sup>、縮尺 1:2,000

物理探査： 流電電位法、面積3km<sup>2</sup>、 611点

ボーリング調査： 12孔、計1,740.80m

これらの調査によりA地区の地質構造及びハイル・アス・サヒル鉱床の全貌が明らかとなった。

### 1-2 地質調査

#### 1-2-1 地質

##### (1) 地質概説

オーマン山脈は、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生岩体（基盤）とその上位に衝上した異地生岩体（ナップ）より成る。異地生岩体は、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る。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。

A及びBの両地区を含むラカー地域は、サマイル・ナップの分布域に位置し、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から成る。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・コンプレックス及びサマイル火山岩類より構成される。サマイル・オフィオライトの上位には、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が見られる。ラカー地域の模式層序表を Fig.1-1 に、模式構造断面図を Fig.1-2に示す。

ラカー地域の西部に位置するA地区は、その大半を段丘堆積物によって覆われており、オフィオライト及びオフィオライト上部堆積物の分布範囲は限られる。A地区の地質図及び地質断面図を Fig.1-3、Plate II-1-1及び Plate II-1-2に示す。

本地区の地質構造 (Fig.1-4) は、地区東部で2条の衝上断層がほぼ東西方向に認められ、層序的には下位のテクトナイトが構造上最上位に、また、層序的には上位の火山岩類が構造的には最下位に認められ、一見逆転した構造を示す。断層は、NW-S E系及びNE-SW系の2系統が

Geologic Time	Geological Unit	Columnar Section	Lithology	Volcanism	Mineralization	Remarks		
Quaternary	Holocene	Wadi Sediments, Detritus	Gravel, sand					
	Pleistocene	Lower Terrace Deposits	Gravel, sand					
Middle Terrace Deposits		Gravel, sand						
Upper Terrace Deposits		Gravel, sand						
Cretaceous	Supra-ophiolite Sediments	Olistostromes	Chert, shale, sandstone, basalt, serpentinite, limestone			Calcrete		
		Suhaylah Formation	Chert, metalliferous sediment			Batinah Olistostrome		
	Middle	Middle Volcanic Rocks	Pillow lava	Pillow lava		Massive type. Rakah, Hayl as Safil Lasail, Bayda		
			Lower Extrusives II	Metalliferous sediments Pillow and massive lavas Metalliferous sediments			Dyke	
		Lower Volcanic Rocks	Ore deposit (Cu) Pillow and massive lavas Metalliferous sediments	Dyke				
		Samail Volcanic Rocks	Sheeted-dykes					
	Early	Tectonites	High-level Gabbro	Clinopyroxene gabbro				
			Cumulate Sequence	Layered gabbro Clinopyroxene gabbro Olivine cpx. gabbro				
		Samail Ophiolite		Harzburgite Chromitite (Cr) Durite (L)				

Fig. 1-1 Stratigraphic columnar section of the Rakah area

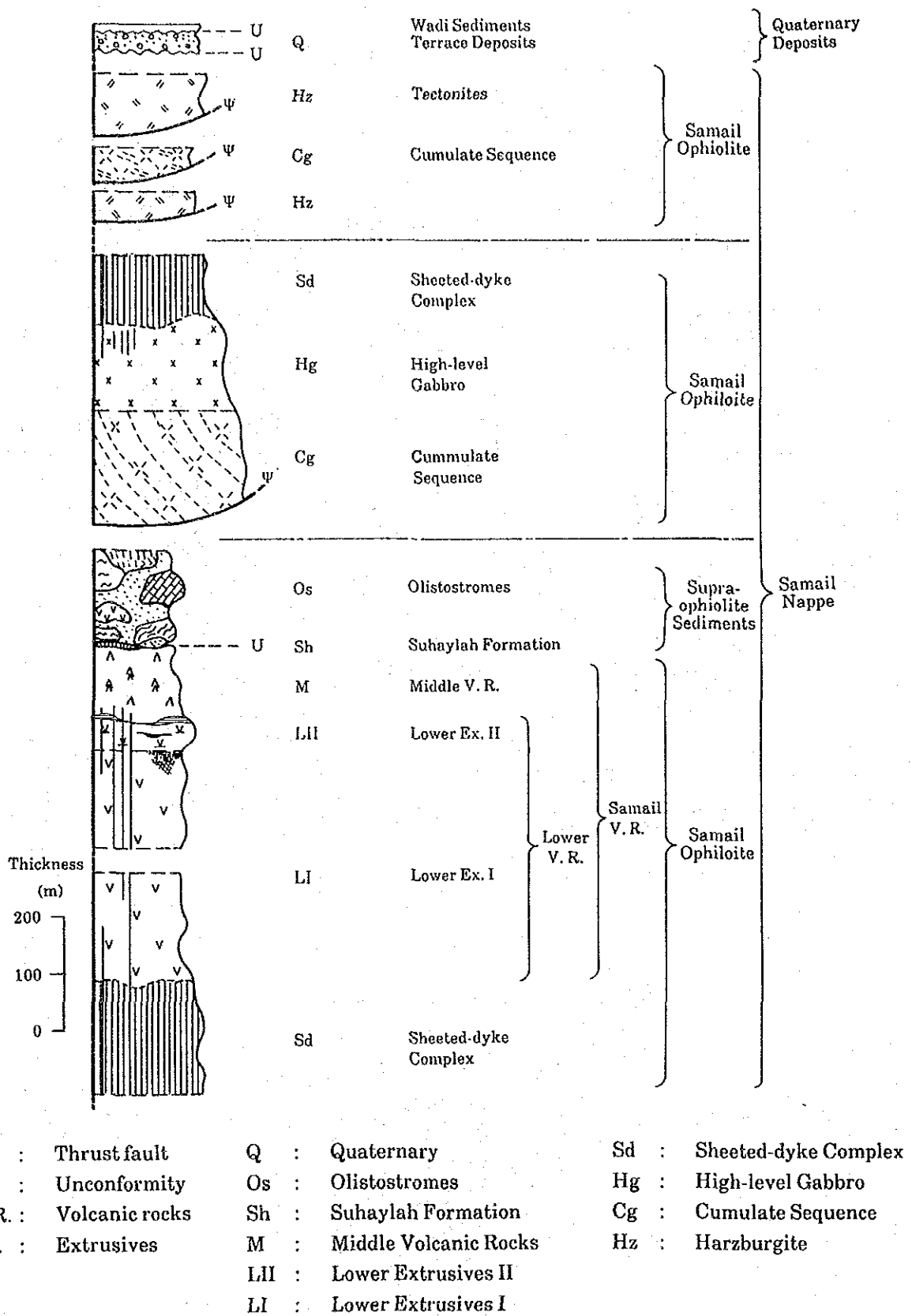


Fig. 1-2 Tectonostratigraphic section of the Rakah area

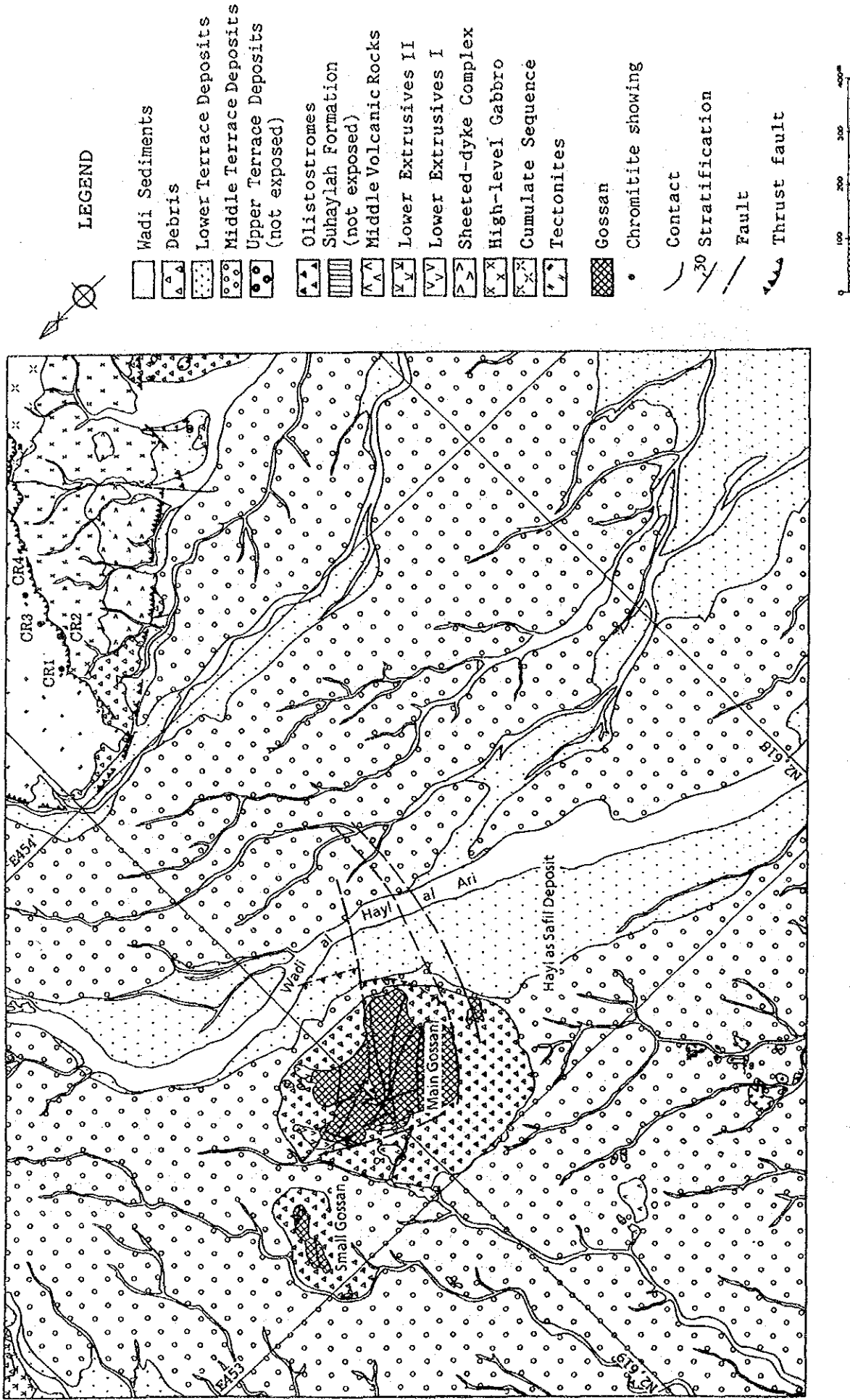


Fig. 1-3 Geologic map of Area A

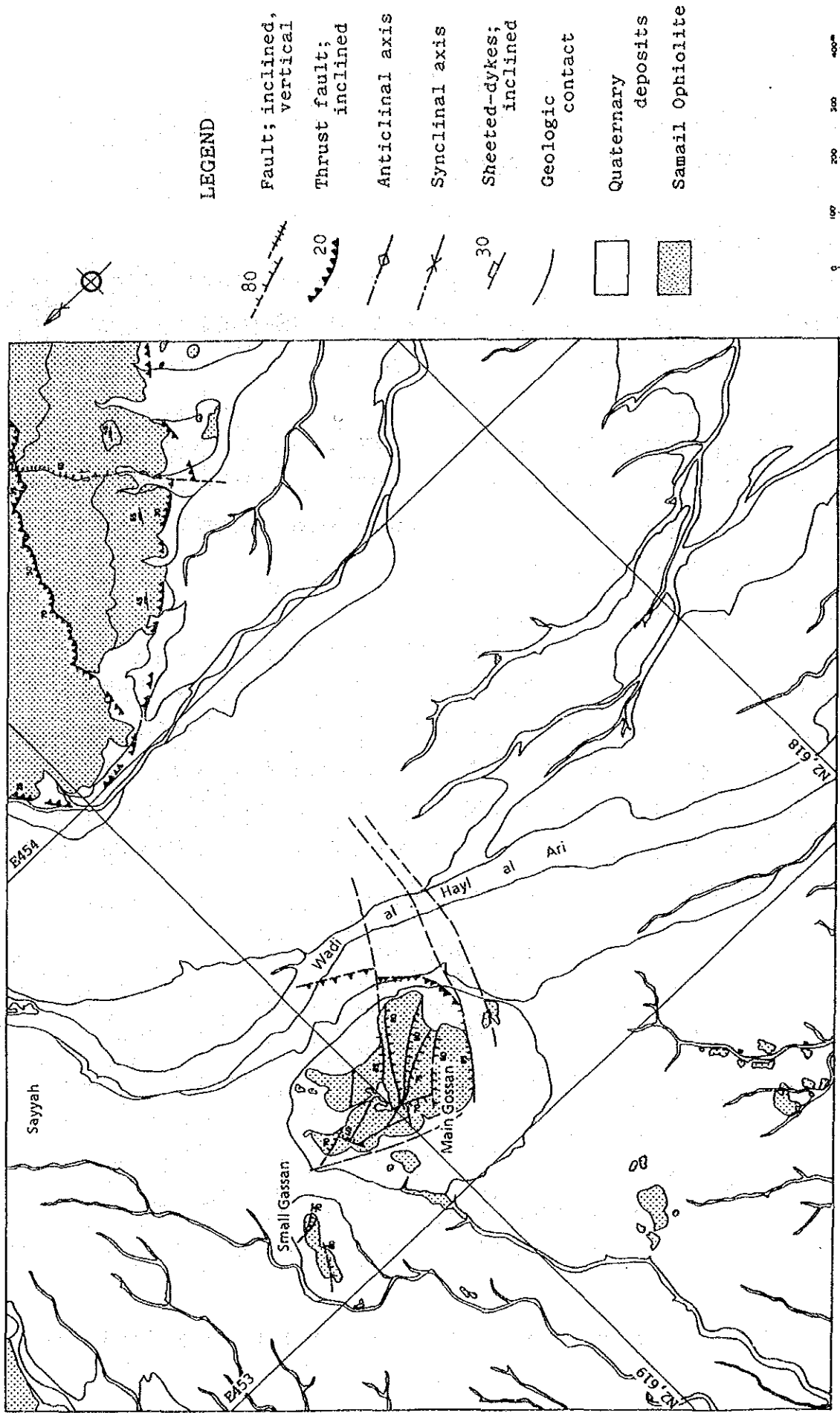


Fig. 1-4 Structural map of Area A

見られる。

## (2) 地質各説

薄片試料の検鏡結果をTable 1-1 及びAppendix 1に示す。

### (i) サマイル・オフィオライト

本地区に分布するサマイル・オフィオライトは、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・コンプレックス及びサマイル火山岩類に区分される。

#### (a) テクトナイト

テクトナイトは、本地区北東部の丘陵地にはほぼE-W方向に伸長して分布する。本岩は、主としてハルツバージャイトから成り、ダナイト、斜方輝石斑れい岩、クロミタイト及び斜方輝石岩岩脈を伴う。全体的には、WNW-ESEの方向性が認められるが、内部構造は不明瞭である。本地区での本岩の厚さは、80m以上と推定される。

#### ハルツバージャイト (Hz)

ハルツバージャイト (Hz) は、テクトナイトの主要構成岩である。本岩は暗褐色から暗緑色を呈し、直径1~8 cmのバスタイト化した斜方輝石が見られる。小規模ながら、その構成鉱物の量比の差により互層状を呈する箇所が下部において観察される。本岩の断裂系には、厚さ1~10 cm、走向延長1~5 mのマグネサイト脈が多く見られる。これらの脈は、N60°~80°Wの走向で東に急傾斜する。岩体の西部では、不明瞭ながらNNW-SSEの走向で東に約60°傾斜する非常に弱い面構造が見られる。本岩と下位のハイレベル斑れい岩とは、衝上断層で接し断層面に沿って幅数mから10数mの範囲が破碎されている (Fig.1-5)。

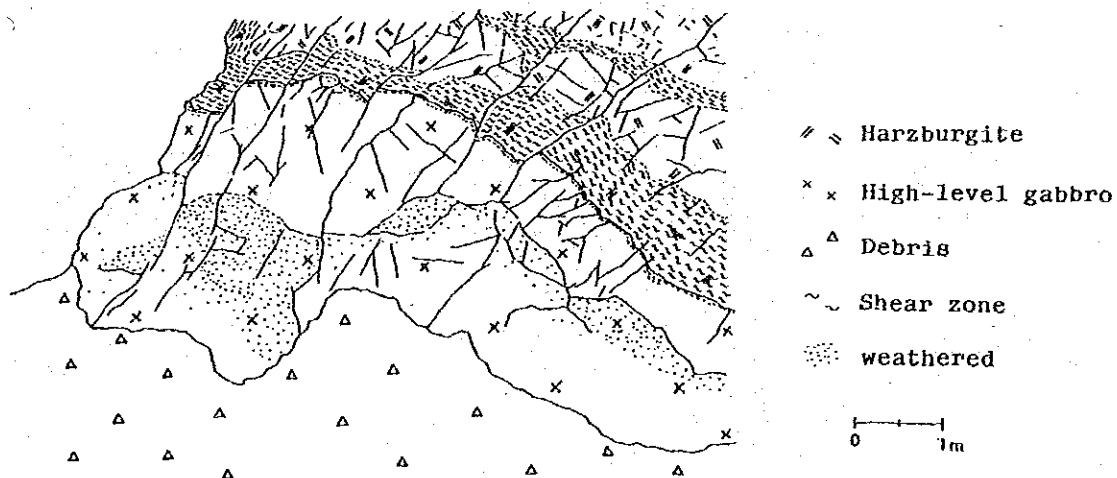


Fig.1-5 Sketch of thrust fault between Tectonites and High-level Gabbro



### ダナイト (Du)

本岩は、北東部のハルツバージャイト岩体中に見られるレンズ状の小規模岩体で、厚さ 1~10 m、走向延長数m~数百mの岩体である。本岩体は、N10° ~ 40° Wの走向を示し東に約30° 傾斜する。本岩とハルツバージャイトの境界は、不明瞭で漸移する場合が多い。本岩中には、クロミタイトが賦存する。

### クロミタイト (Cr)

本地区の4箇所で、クロミタイト (Cr) の露頭が確認された。これらはいずれもテクトナイトの下位にある衝上断層付近に分布する。本岩はダナイトに漸移し、ハルツバージャイトとは断層関係で接する。ダナイトとハルツバージャイトとの間に斑れい岩を伴う場合もある。クロミタイトの厚さは、数10cmから2~3mで長さ数mから20mのレンズ状ないし芋状の形状を示す。クロム鉄鉱は、塊状又は鉱染状の産状を示す。Fig.1-6 にクロミタイトの露頭スケッチを示す。

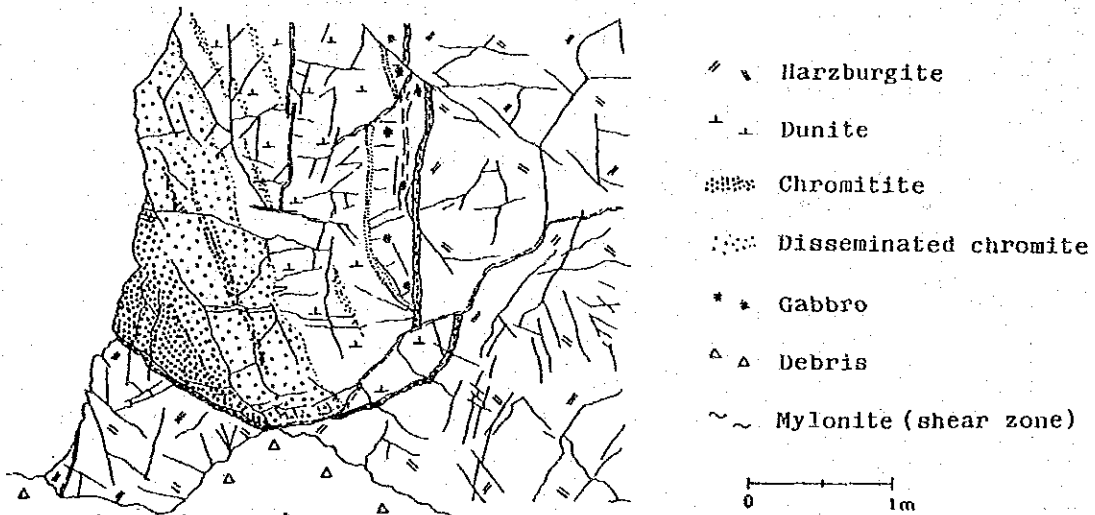


Fig.1-6 Sketch of chromitite showing

各露頭より採取した4試料の鉻石分析を、MPMの分析所で行った。この結果は、以下のとおり。

Sample number	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)
CR 1	30.5	14.9	13.8	3.36	16.1	22.18
CR 2	28.3	22.1	13.8	4.18	12.4	21.15
CR 3	33.6	11.6	15.3	2.31	17.0	20.15
CR 4	34.2	9.8	15.0	1.43	17.7	20.83

なお、これら試料の採試位置をFig.1-3 に示す。

### 斜方輝石斑れい岩 (Ga)

本岩は、ハルツバージャイト中に見られる小規模岩体で、幅数10cmから1m程度のレンズ状又



は楕円状の形態を示す。本岩の一般走向は、NW-SEで40°～60°NEに傾斜する。本岩の周辺に見られるハルツバージャイトは、蛇紋岩化が著しく本岩との境界は不明瞭である。

#### 斜方輝石岩岩脈 (D')

本岩は、ハルツバージャイト中に見られる小規模、不規則な岩脈である。幅は数cmから数10cmで波状を呈する場合もある。岩脈の走向は、NW-SEからNNW-SSEであるが、傾斜は一定していない。本岩は、緑灰色を呈し粗粒な斜方輝石より構成される。

#### (b) 層状岩体 (Cg)

本岩体は、地区東端の極く狭い範囲に分布する。層序的に下位のテクトナイトとは、衝上断層で接し地形上ではその下位に見られる。層序的に上位のハイレベル斑れい岩とは、漸移関係にある。本岩体の厚さは、150 m以上と推定される。

本岩は、主に単斜輝石斑れい岩より構成され、少量のかんらん石斑れい岩を挟在する。これら2種類の斑れい岩には、構成する有色鉱物の量の違いにより、厚さ数mmから数10cmの明瞭な層状構造が認められる。層状構造は、N-SからNNW-SSEの走向を示し東に30°～50°傾斜する。

単斜輝石斑れい岩は、淡緑灰色ないし灰緑色の中粒ないし粗粒岩で、単斜輝石より成るラミナが明瞭に見られる。かんらん石斑れい岩は、厚さ20m～30mで暗緑褐色を示し、かんらん石は殆ど灰褐色の蛇紋石と褐鉄鉱に、輝石は大部分緑泥石に変わっている。本岩中には、ぶどう石、炭酸塩鉱物及び緑れん石の細脈が見られる。

#### (c) ハイレベル斑れい岩 (Hg)

本岩は地区の東部に分布し、層状岩体の上位に位置する。本岩体は、100m～150mの層厚を示す。下位の層状岩体及び上位のシート・コンプレックスとは漸移関係にあるが、その漸移帯の厚さは薄く数10m程度と推定される。本岩体の上部では、幅30cmから1mの多数の岩脈が見られる。希に厚さ5mから10mのストック状を示すドレライトの貫入が認められる。

本岩は、淡緑灰色から緑灰色で、主として単斜輝石斑れい岩から成り、希に角閃石斑れい岩が見られる。本岩の造岩鉱物は粒度変化に富み、上部では細粒であるが下部は中粒ないし粗粒で、その一部には斑れい岩質ペグマタイトが見られる。変質は、緑泥石化及び緑れん石化が顕著で、特に岩脈の周辺部では強度の変質が見られる。なお、本岩の一部には、弱い熱水変質による粘土化帯も認められる。

#### (d) シート・コンプレックス (Sd)

本岩は、地区東部で小規模な分布が見られる。下位のハイレベル斑れい岩とは漸移関係にある

が、上部は断層によって切られているため上位の層序との関係は不明である。本岩の層厚は、100 m以上と推定される。

本岩は、暗灰色から緑灰色を呈し、その70%以上がドレライト及び玄武岩岩脈より構成される。岩脈の一般走向は、N40° ~70° Wで北に35° ~75° 傾斜する。各岩脈の厚さは、30cmから1 mでやや不規則であり、幅数cmの急冷縁相を伴う。下部では、その基質部が斑れい岩である。一般に緑れん石化が顕著である。

本岩体の南西端には、NW-SE方向で30° NEの傾斜を示す厚さ数mの衝上断層と推定される破碎帯が見られる。この破碎帯の下位には不明瞭ながら玄武岩質枕状溶岩と岩脈が見られ、後述サマイル火山岩類の下部に相当するものと推定される。

#### (e) サマイル火山岩類

サマイル火山岩類は、下位より下部火山岩類、中部火山岩類及び上部火山岩類に区分される(Bishimetal, 1987)。本地区には、このうち下部火山岩類及び中部火山岩類が分布する。下部火山岩類は、更に枕状溶岩の性質の差により、下位より下部噴出岩類I及び下部噴出岩類IIに細分される。

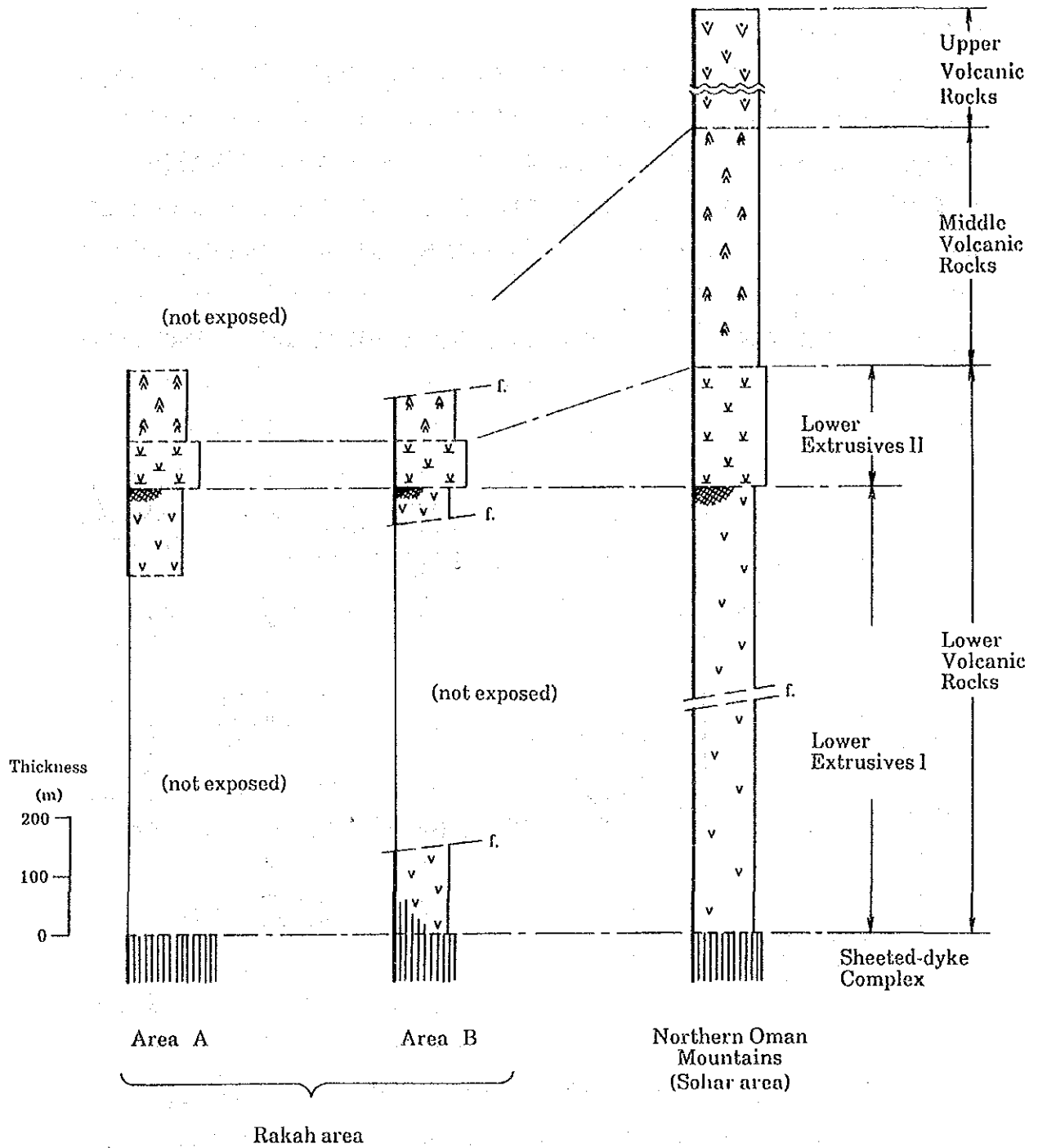
北部オマーン山脈地域におけるサマイル火山岩類の層序とA、B両地区を含むラカー地域の対比表をFig.1-7に、また本地区でのサマイル火山岩類のルート柱状図をFig.1-8に示す。

#### 下部噴出岩類I (L I)

本岩類は、地区の北西端及びメイン・ゴッサンの北側にその分布は限られる。弱変質部では、暗緑灰色から淡褐緑色を示すが、強変質部では暗緑色から灰褐色で、その原岩組織の大部分が消失している。本岩類は、枕状溶岩を主とし少量のマSSIP溶岩を挟む。枕状構造を示す溶岩の直径は0.6 m~1.0 mである。また不明瞭な気孔が石英もしくは方解石により充填されている。枕状溶岩の基質を構成するハイアロクラスタイトの厚さは、2 cm~3 cmでその一部には少量のピロー・プレッチャーを伴う。

#### 下部噴出岩類II (L II)

本岩類は、地区の北端及びメイン・ゴッサンの南側に小規模な分布が見られるのみである。厚さは、20m以上と推定される。本岩類は、紫灰色または淡緑灰色を呈し、枕状溶岩と少量のマSSIP溶岩より構成される。枕状構造を示す溶岩の直径は0.3 m~0.6 mで下部噴出岩類Iに比較して小さい。気孔が見られるが、これらは沸石、方解石、緑れん石及び緑泥石などで充填されている。枕状溶岩の基質を構成するハイアロクラスタイトは、1 cm~3 cmと薄くピロー・プレッチャーを伴う場合が多い。一般に強く変質しており緑れん石や方解石の細脈が見られる。本岩類中には、3枚の薄いメタリフェラス堆積物が見られるが、これらは層厚2 cm~6 cmでN20° ~40° E、30° ~40° Eの走向及び傾斜を示す。








- |   |                       |   |                     |
|---|-----------------------|---|---------------------|
|  | Upper Volcanic Rocks  |  | Cu mineralized zone |
|  | Middle Volcanic Rocks | f. :  | fault               |
|  | Lower Extrusives II   |   |                     |
|  | Lower Extrusives I    |   |                     |

Fig. 1-7 Correlation of Samail Volcanic Rocks in the Oman Mountains area

### 中部火山岩類 (M)

中部火山岩類は、メイン・ゴッサンの西側に分布しており、噴出岩類とメタリフェラス堆積物より構成される。噴出岩類は、暗緑灰色から緑灰色で枕状溶岩 (Me) とマッシブ溶岩 (Mms) より構成される。枕状をなす溶岩の直径は0.60m~1.2 m で比較的大きく不規則な形状を示す。枕状溶岩の産状は、メイン・ゴッサンの南東方の小露頭で良く観察される。マッシブ溶岩は、細粒~中粒のドレライトより成り、メイン・ゴッサンの西から南西にかけて分布する。本岩では、緑泥石化した輝石の斑晶が認められる。

メタリフェラス堆積物は、マッシブ溶岩中に見られる。本岩は、暗赤褐色でその層厚は5 cm~12cmである。

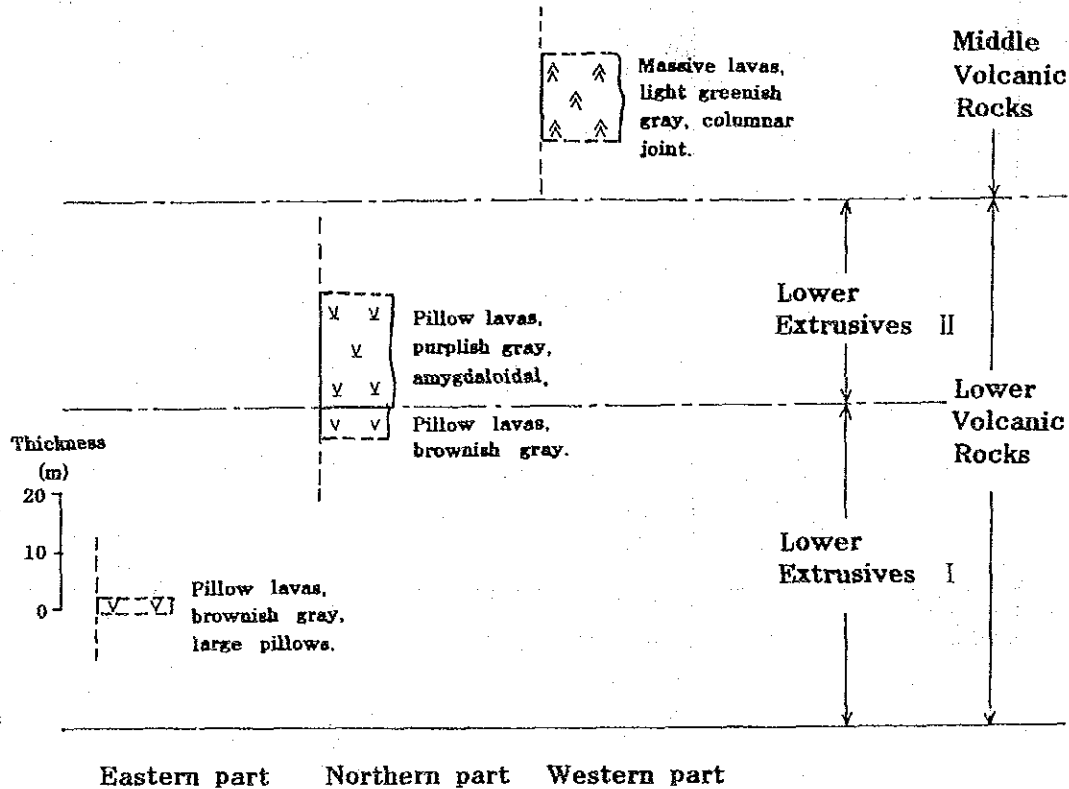


Fig. 1-8 Columnar sections of volcanic rocks in Area A

### (ii) オフィオライト上部堆積物

本層は、地区の東部及び南西部に分布し、バティナ・オリストストローム (Os) より構成される。オリストストローム層を構成するオリストリスは、カオチック構造を示し赤色頁岩、赤色チャート、暗灰色石灰岩、玄武岩溶岩及び層状石灰岩などより構成される。オリストリスの規模は、数10mより数100 m程度と推定される。本層とオフィオライトとの関係を示す露頭は、見られない。

### (iii) 第四紀層

本地区で見られる第四紀層は、段丘堆積物、崖錐堆積物及びワジ堆積物に区分される。

#### (a) 段丘堆積物 (Qt)

本地区では、広い範囲にわたって段丘面が発達する。段丘面は、中位段丘面及び下位段丘面に区分される。B地区で見られる上位段丘面は、本地区では見られない。

中位段丘面は、標高 680m～720mの間にあり地区全体に広く分布する。中位段丘を構成する段丘堆積物 (Qt<sub>m</sub>) は、礫及び砂より成り、その厚さが40mに達する部分もある。礫は、主としてハルツバージャイト及び斑れい岩より成る円礫及び垂円礫で、その径は1cmから60cmを示し淘汰は良くない。希に細粒から粗粒の砂の薄層を挟む。基質は、小礫を含む粗粒の砂より成るが、カルクリート化し固結している部分が多い。

下位段丘面は、標高 675m～710mの間に位置し、主要なワジ沿い及びその周辺部に分布する。この分布より旧ワジの幅が100m～200mであったことがわかる。下位段丘面と中位段丘面との間には3m～8mの標高差がある。段丘堆積物 (Qt<sub>l</sub>) は、中位段丘面とほぼ同様である。

#### (b) 崖錐堆積物 (Qd)

崖錐堆積物の分布は、メイン・ゴッサン及びスモール・ゴッサンの周辺部と地区の北東部に見られる。ゴッサン化帯周辺のもの、径1cm～50cmのゴッサン角礫より成る。地区北東部のは、径1cm～20cm程度の斑れい岩の角礫を主とする。

#### (c) ワジ堆積物 (Qw)

ワジに沿って分布し、主として径1cm～30cmの円礫及び垂円礫より構成される。礫は、殆どハルツバージャイト及び斑れい岩の礫である。

#### (iv) 貫入岩類

本地区には、玄武岩質から安山岩質の岩脈が東端部に分布している。この岩脈は暗緑色から緑灰色を呈し、やや粗粒であるが2cm～3cmの明瞭な急冷縁を有する。一般に変質を受け、緑れん石及び炭酸塩鉱物の細脈を伴う。岩脈の幅は、30cm～2mである。一般にNW-SEの走向で、NEへ30°～50°傾斜しており、シート・コンプレックスの走向及び傾斜に一致する。本岩は、シート・コンプレックスと同質であり、下部火山岩類を供給した岩脈と考えられる。

## 1-2-2 地質構造

ラカー地域の地質構造発達史は、大きくサマイル・オフィオライトの生成（第1期）、サマイル・オフィオライトのオブダクト（第2期）及びオブダクト以降（第3期）の3つの時期に区分される。

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チス海の拡大軸において生成発達する（Lippard et al., 1986）時期である。この時期基盤をなすラビア・プレートとこの拡大軸との間には、大規模なハワシナ堆積盆が存在しハワシナ堆積物が堆積していたと考えられている（Fig.1-9(1)）。生成当時のオフィオライトの内部構造は、シート・コンプレックス、層状岩体及びテクトナイトに保存されている場合が多い。ラカー地域で見られるシート・コンプレックスの内部構造は、概ねNW-SEの方向を示す。この方向は、オマーン山脈地域に広く分布するオフィオライトの一般方向と一致する。

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（Oman Platform）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指す。サマイル・オフィオライトのオブダクトは、白亜紀後期に起きた（Coleman, 1981 and Lippard et al., 1986）と考えられている（Fig.1-9(2)）。オブダクトに伴う衝上断層群及び褶曲群はオマーン山脈全域に発達するが、これらの一般方向はNNW-SSEからNW-SE方向を示す。

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。

ラカー地域にも第2期に生じた衝上断層群が認められる。この衝上断層群により切られた各スラスト・シートは、正常層序を示しているが、層序的に下位の岩相が上位に載っており、見掛け上逆転している。この成因は、やや小規模なスラスト・シートが第2期のサマイル・ナップの衝上に伴い形成され（Fig.1-9(3)）、次々に衝上したインブリケート構造によると考えられる（Fig.1-9(4), (5)）。

A地区では、2条の衝上断層が地区の東部に認められる（Fig.1-4）。これらは、WNW-SEの方向を示し、Nに緩やかに傾斜する。上位の衝上断層は、テクトナイトと層状岩体及びハイレベル斑れい岩との間に存在し、下位のはハイレベル斑れい岩及びシート・コンプレックスと火山岩類との間にみられる。衝上断層に伴う破碎帯の幅は、1m~5mである。

第3期の断層としては、N-S、NE-SW及びNW-SEの3方向がある。これらは、殆ど高角断層（70°~90°）である。

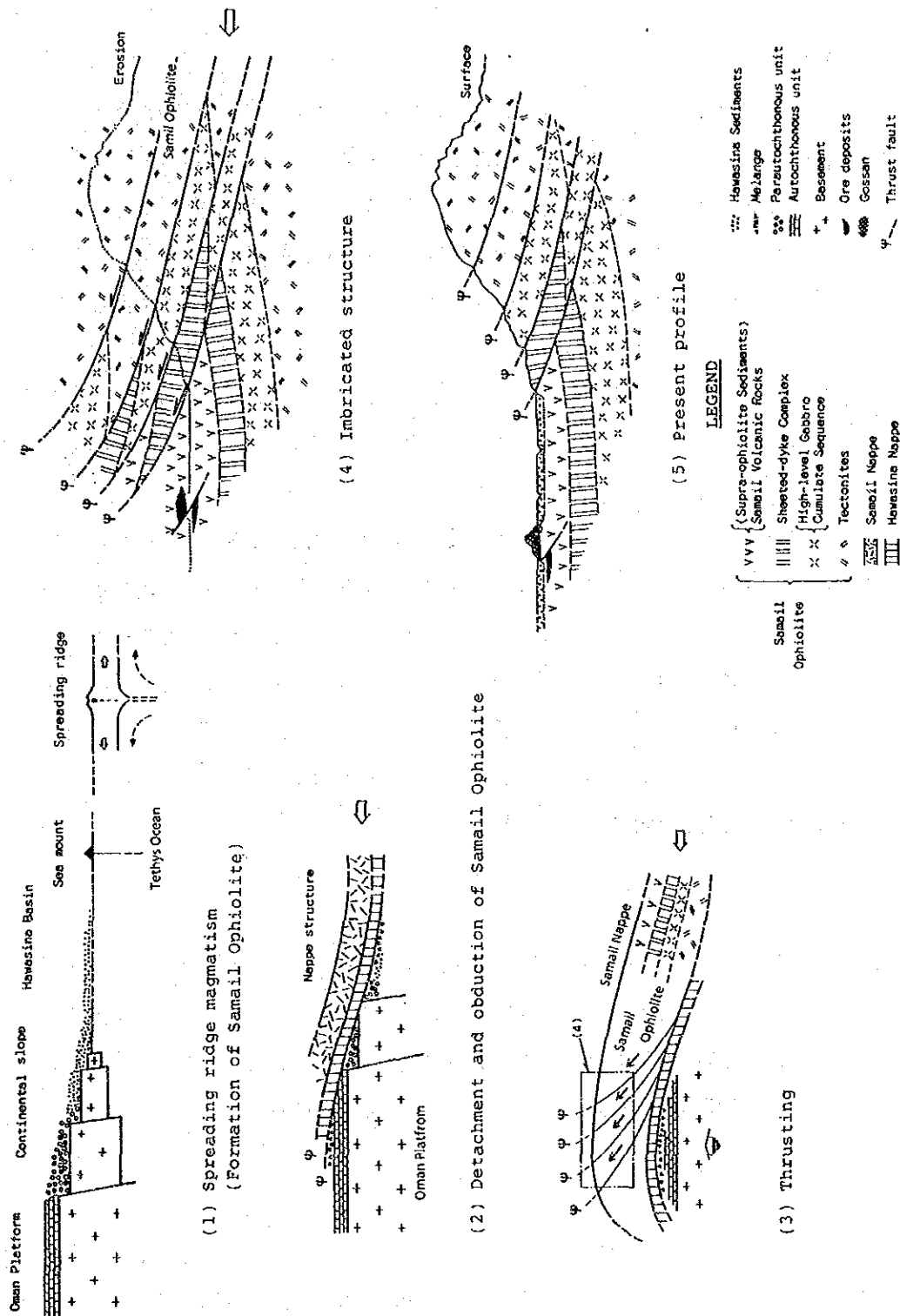


Fig. 1-9 Tectonic history of Samail Ophiolite in the Rakah area

### 1-2-3 鉍化作用

#### (1) 鉍化帯の概要

A地区の鉍化帯として知られているものは、地表で見られるメイン・ゴッサン及びスモール・ゴッサンと、これまでのボーリング調査の結果により捕捉されているメイン・ゴッサン南東方の鉍化帯及びスモール・ゴッサンの北側で捕捉された鉍化帯とがある。本調査開始以前は、メイン・ゴッサンの鉍化帯とメイン・ゴッサン南東方の鉍化帯は、別の鉍化作用により生成したと考えられていた。このためメイン・ゴッサン南東方の鉍化帯を、ハイル・アス・サヒル鉍床と呼称していた。

本調査の結果では、これらの鉍化帯は一連の鉍化帯で生成後の断層活動及び浸食作用により分断されたことを示している (Fig.1-11)。このことからすると、これら一連の鉍化帯をハイル・アス・サヒル鉍床と呼称するのが妥当と考えられる。

本鉍化帯は、下部火山岩類の上部に位置し、著しい角礫化とこの角礫化帯中に生成した厚いストックワーク状鉍により特徴付けられる。鉍質は、下位よりストックワーク状鉍、塊状鉍及び珪質鉍に区分される。ゴッサン化帯の大部分は、このストックワーク状鉍が風化したものである。

本地区においては、本調査によりゴッサン化帯中のAuの賦存状況を明らかにするための調査を含む地表精査のほか後述の12本のボーリング調査をおこなった。これらの調査結果及びMPMの行ったボーリング調査結果を基に地質図 (Fig.1-10) 及び地質断面図 (Fig.1-11) を作成した。

この結果鉍体の形状や鉍化帯の特性が明らかとなった。

#### (2) 鉍化帯

本地区の鉍化帯は著しい風化作用のため硫化鉍物の認められないメイン・ゴッサンとスモール・ゴッサンが地表で見られる。また、ボーリング調査によりメイン・ゴッサンの南東方及びスモール・ゴッサンの北側で硫化鉍物を伴う鉍化帯が捕捉されている。これらのうち、スモール・ゴッサンとその北側の鉍化帯を除くといずれも断層により孤立している。

##### (a) メイン・ゴッサン

メイン・ゴッサンは、本地区のほぼ中央部に位置し、周囲の段丘と約90mの標高差をなす孤立した小丘を形成している。ゴッサン化帯のひろがりには 300m (N-S) × 240m (E-W) を有し、その厚さは90m以上に達する。このゴッサン帯は、ENE-WSWの走向で南へ10° ~20° 傾斜すると推定される。メイン・ゴッサンの北側では、下位の下部噴出岩類Iの上にこのゴッサン帯が載るのが見られるが、その境界は比較的明瞭である。メイン・ゴッサンの南方60mには、小規模なゴッサン化帯の露頭がある。この露頭とメイン・ゴッサンとの間の小範囲には、下部噴



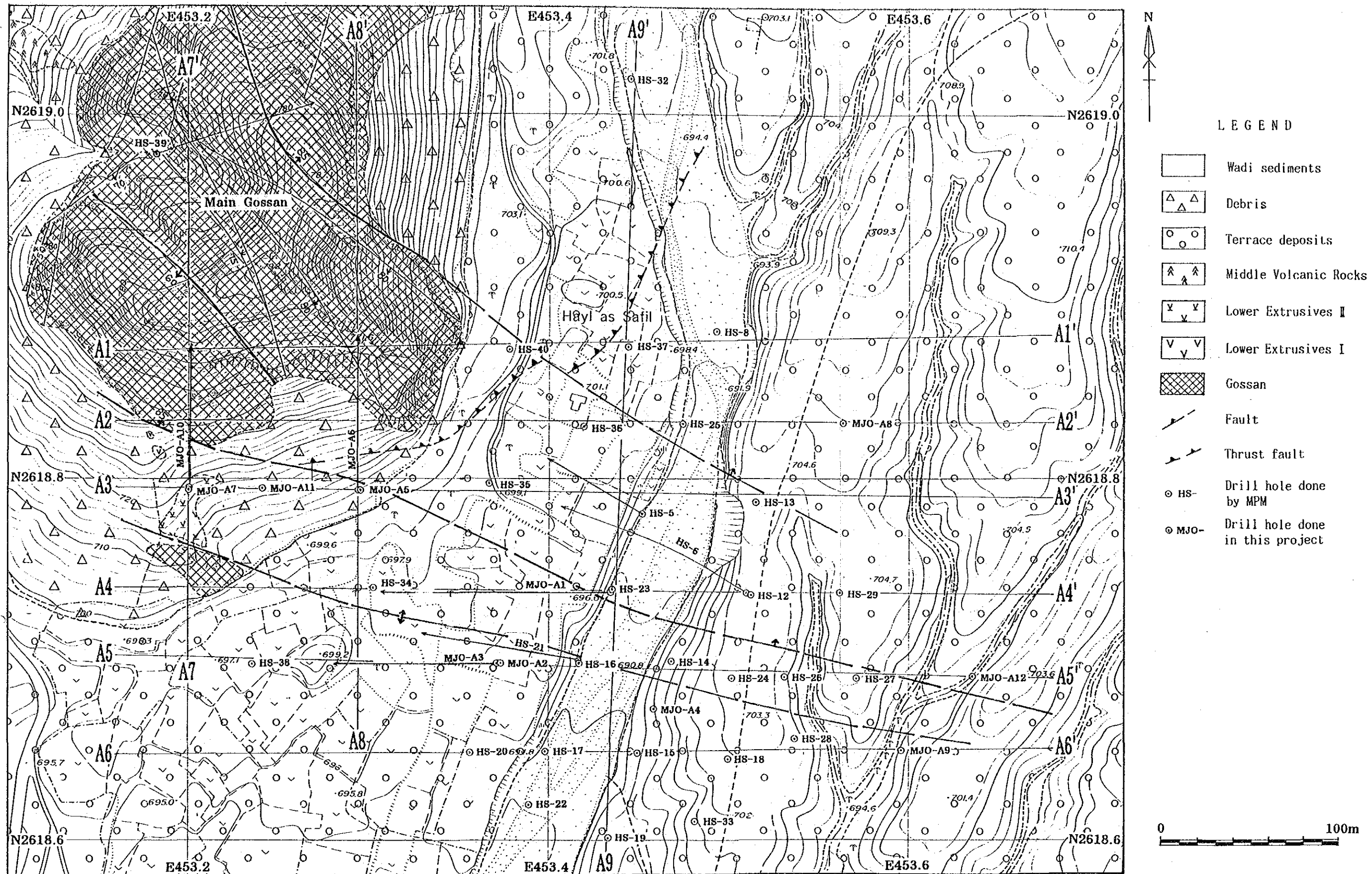


Fig.1-10 Geologic map of the Hayl as Safil deposit area



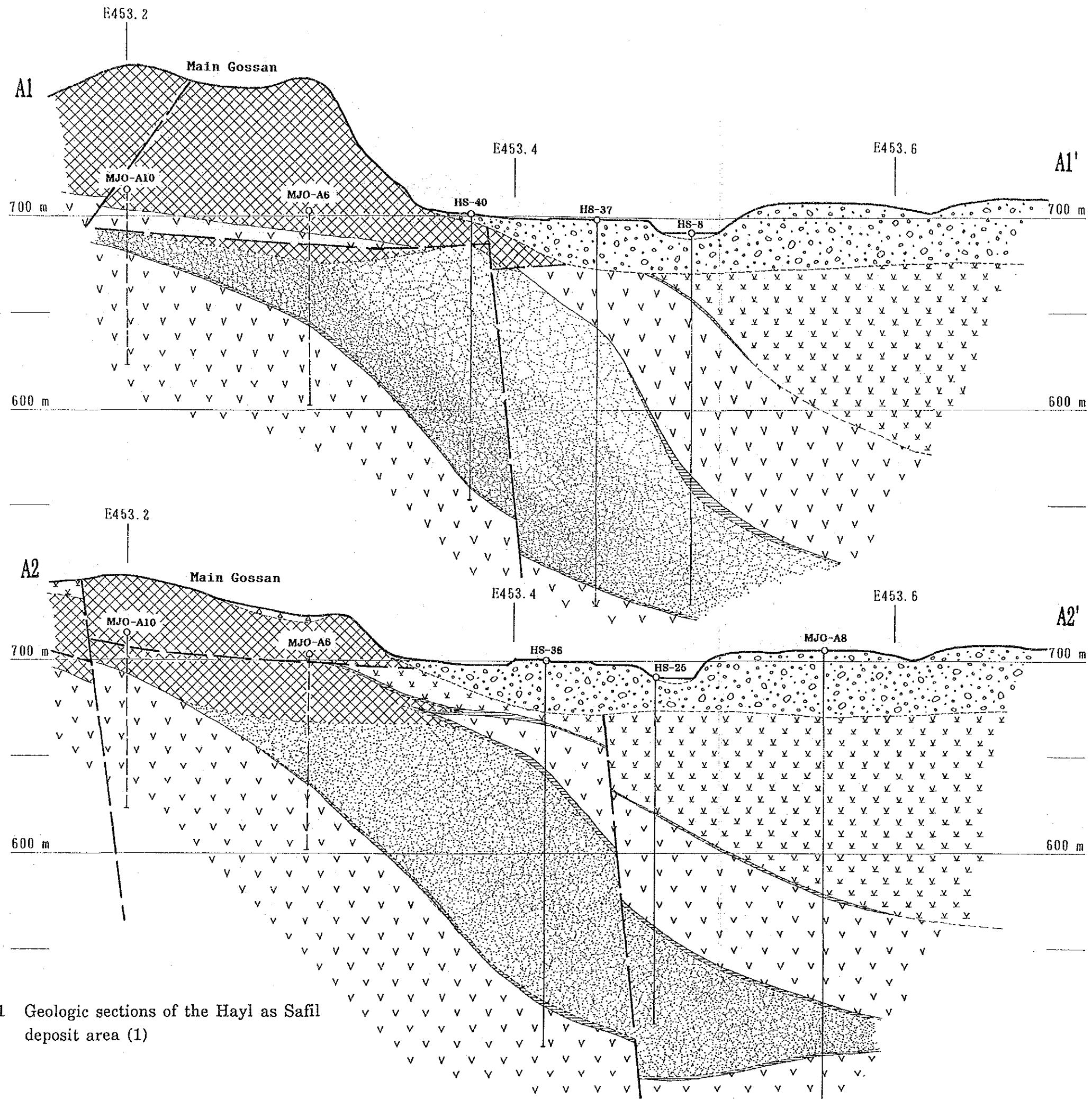


Fig. 1-11 Geologic sections of the Hayl as Safil deposit area (1)



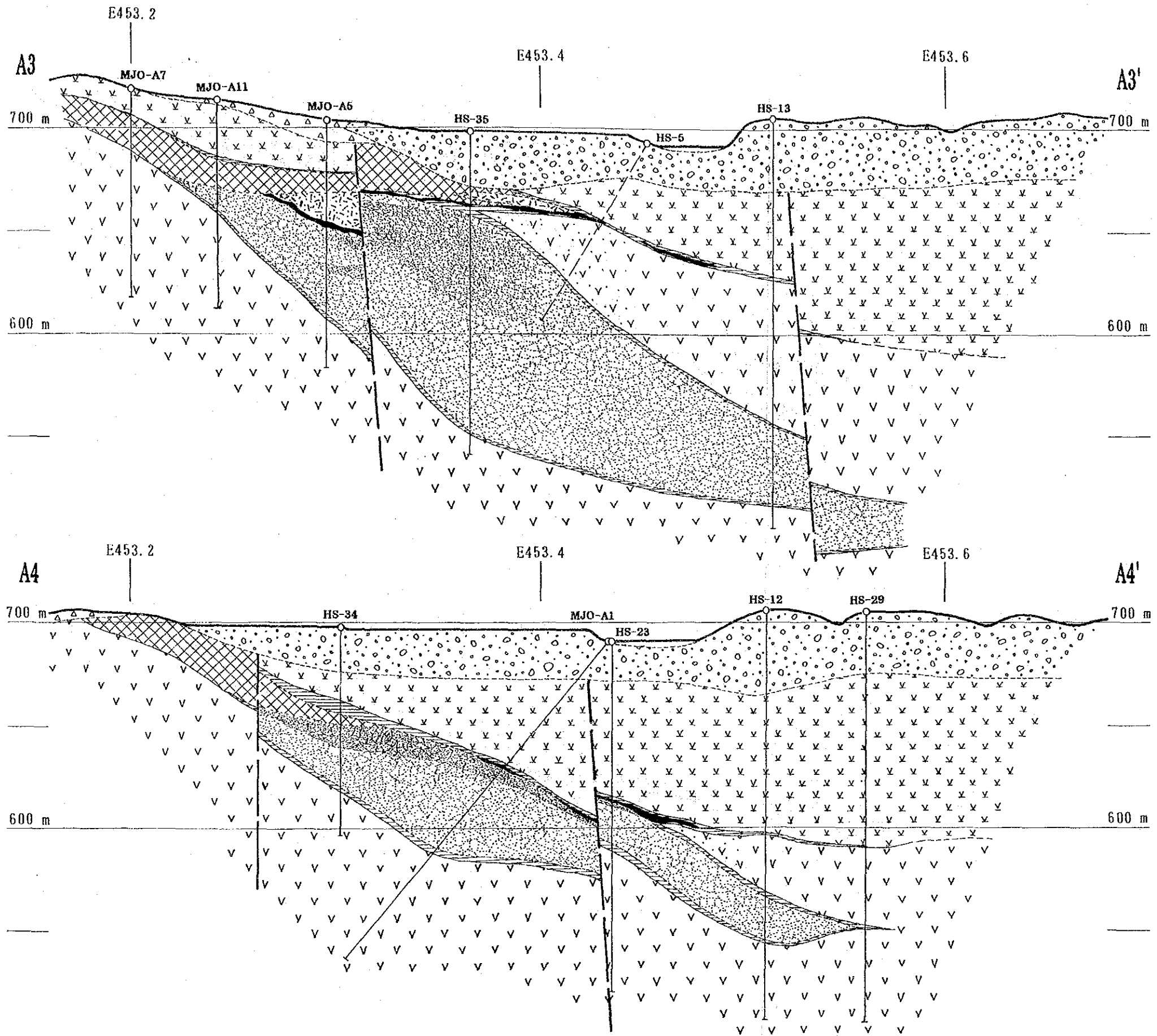


Fig. 1-11 Geologic sections of the Hayl as Safil deposit area (2)



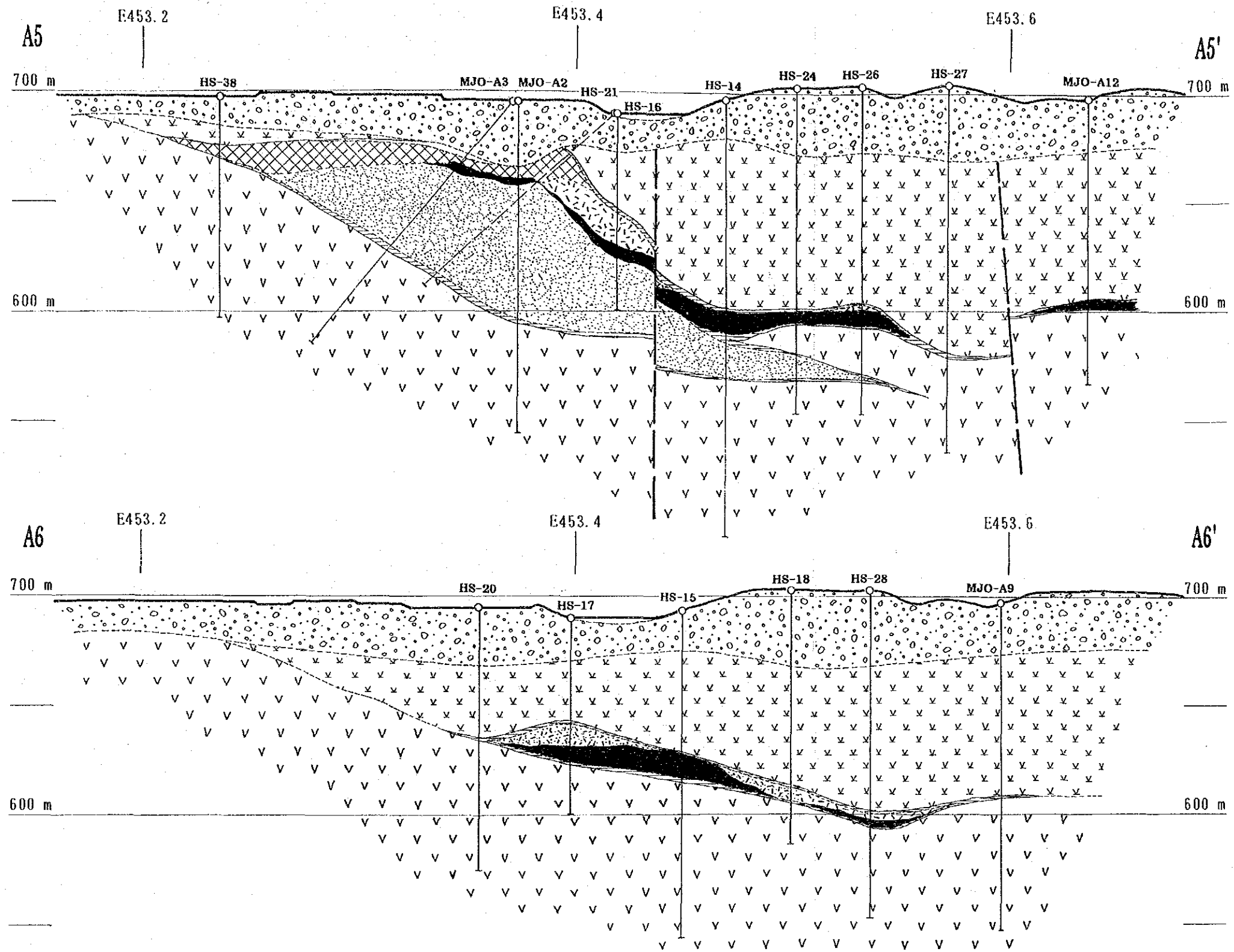


Fig. 1-11 Geologic sections of the Hayl as Safil deposit area (3)





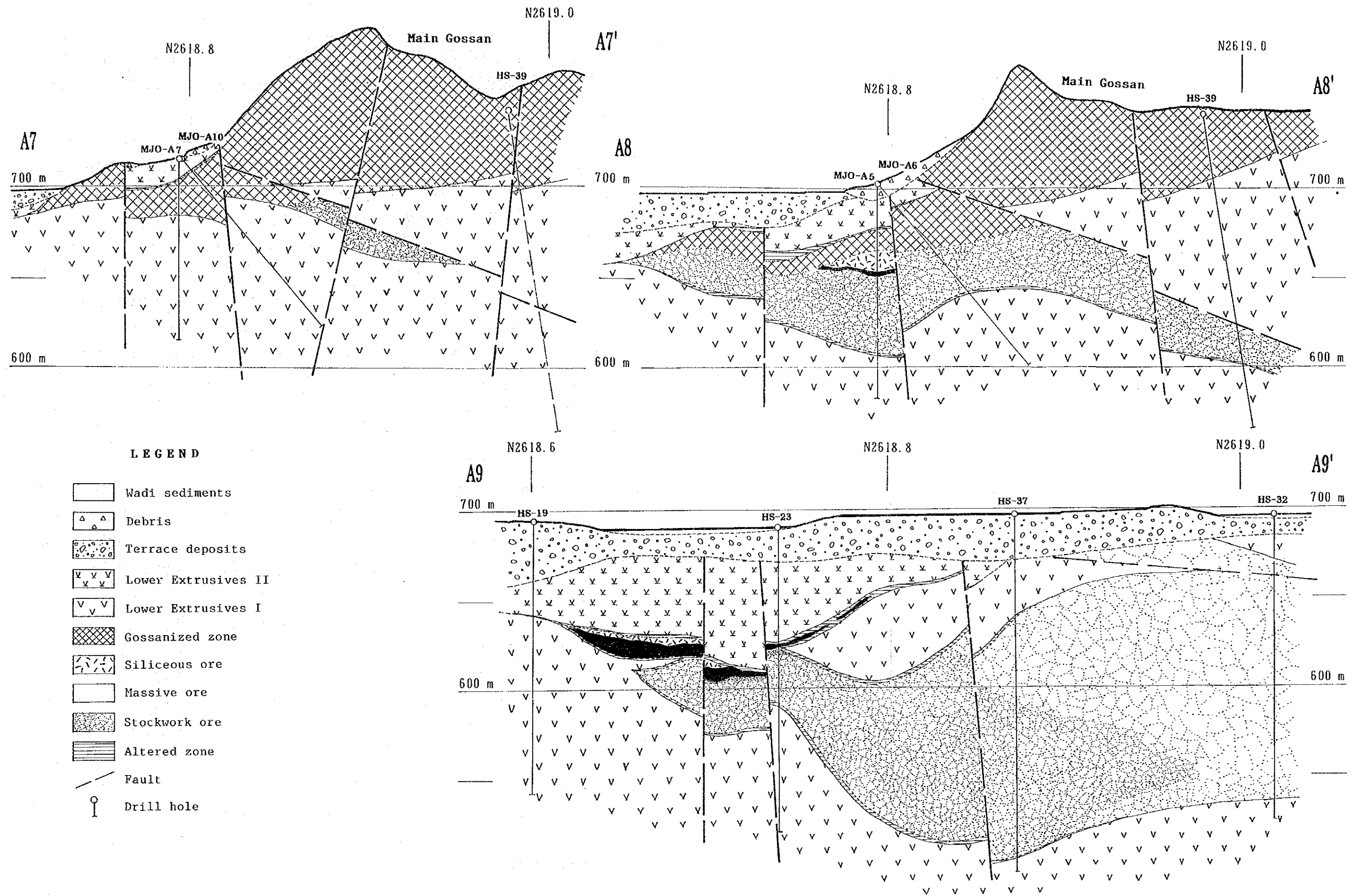


Fig. 1-11 Geologic sections of the Hayl as Safil deposit area (4)



出岩類Ⅱの露頭が点在する。この下部噴出岩類Ⅱの下位では、ボーリング調査の結果ゴッサン化帯の存在が確認されている。メイン・ゴッサンの西側には、中部火山岩類に属するマッシュ溶岩が見られる。ゴッサン化帯とこの中部火山岩類とは、比較的規模の大きな断層で接すると推定される。

断層は、NW-SE系が卓越する。メイン・ゴッサンとその南方の小規模ゴッサンとの間に分布する下部噴出岩類Ⅱは、断層によりこれらのゴッサン化帯と接している。特に、メイン・ゴッサンとの間には、幅1m~2mの破碎帯を伴うWNW方向の断層が見られる。MPMによりメイン・ゴッサンのほぼ中央部で実施されたHS-39孔の結果によれば、メイン・ゴッサンの下部で約80mの下部噴出岩類Ⅰを挟み厚さ約20mの鉍化帯を確認している(Fig.1-11(4))。このことは、メイン・ゴッサンと南東部の鉍化帯との間に小規模な衝上断層の存在を推定させる。また、第1年次に実施されたMJ0-A6孔の結果でも、衝上断層の存在を示している。

メイン・ゴッサンの鉍化帯は、著しい風化作用のため完全にゴッサン化しており、硫化鉍物は全て褐鉄鉍や針鉄鉍に変っている。この鉍化帯は、強度の珪化及び角礫化と網状石英脈の発達により特徴付けられる。角礫は、強度の珪化を受けた火山岩類の他、鉄石英(ジャスパー)、石英、褐鉄鉍、針鉄鉍及び赤鉄鉍などより成る。また、再角礫化を受けた角礫も多く認められ、少なくとも3~4回の角礫化作用を受けたものと推定される。角礫の基質は、赤鉄鉍及び褐鉄鉍より成り少量の粘土を伴う。これらの鉍化帯は、鉍化作用末期と推定される不毛石英脈により切られている。角礫化及び珪化の強度は、下部で若干弱くなる傾向はあるがあまり差は認められない。礫質の場所による差は、鉄石英の礫が上部に若干多い傾向を示すほかは、殆ど認められず全般に均質である。銅の酸化二次富化帯は、メイン・ゴッサンの南側の下部噴出岩類Ⅱ及びメイン・ゴッサン直下の下部噴出岩類Ⅰ中に見られるが、その厚さは1m~2m程度で小規模である。

#### (b) メイン・ゴッサン南東方の鉍化帯

この鉍化帯が、これまでハイル・アス・サヒル鉍床と呼ばれていたもので、本調査開始までにMPMにより累計23孔 3,551.15 mのボーリング調査がなされていた。本調査では、MJ0-A1よりMJ0-A12までの12孔 1,740.80 mを2年間で行った。また、この間に日本側の提案によりMPMは、7孔計 1,108.80 mのボーリング調査を、これまでのボーリング調査範囲とメイン・ゴッサンとの間で実施している。

本鉍床の西端部の一部がメイン・ゴッサンの南に位置する小規模なゴッサンとして見られるのみで、これ以外は厚い段丘堆積物に覆われており地表では見られない。ボーリング調査の結果によれば、鉍床は下部噴出岩類Ⅰの最上部に位置し、下部噴出岩類Ⅱに覆われる。また、鉍床の広がり、300 m (N-S) × 450 m (E-W)程度と推定されメイン・ゴッサンの直下まで連続する。

鉍床は、下位よりストックワーク状鉍、塊状鉍及び珪質鉍より構成される。鉍体の最下部では、厚さ数mの弱い黄鉄鉍の鉍染を伴う強緑泥石化帯を挟み、下盤の下部噴出岩類Ⅰと接する。鉍体の最上部には、灰白色の粘土化帯が見られ、下部噴出岩類Ⅱに覆われる。鉍体と上下盤の火山岩類は明瞭に境されており、火山岩類中には硫化鉍物は認められない。鉍体の厚さは、中央北部で最も厚く、120m以上に達する。さらにその北側では、鉍化帯の厚さを増すが鉍化作用は弱くなり磁鉄鉍など鉍体の末端を示す鉍物が鉍化帯中に出現する。ゴッサン化は、地表下40m付近まで達しており、特に西側では、鉍化帯が地表に近いことからその大部分がゴッサン化を受けている。ゴッサン化を受けた部分では、地下水により褐鉄鉍などが流出しているため、空隙が発達している。

ストックワーク状鉍は、本鉍床の大部分を構成しており、著しい角礫化及び珪化により特色付けられる。鉍床を水平的に見ると、北側で鉍化作用が弱くなりストックワーク状鉍中に磁鉄鉍を伴ってくる、また南部や東部では緑泥石化の強い部分が見られる。垂直的に見ると黄鉄鉍や赤鉄鉍が上部で若干多い傾向を示すが、銅の鉍況には上下の変化が認められず、また鉄石英の角礫は下部から上部まで見ることができる。鉍石の産状は、強度の珪化作用と弱い緑泥石化作用を受け黄鉄鉍の鉍染を伴う火山岩類の角礫の基質を、黄銅鉍及び黄鉄鉍を伴う石英脈や鉄石英が充填する。この鉍石が再度角礫化を受け、この角礫の間を黄銅鉍-黄鉄鉍脈や石英脈が充填する。また、この黄銅鉍-黄鉄鉍脈を切る黄銅鉍-黄鉄鉍-石英脈も認められる。これらを後期と考えられる閃亜鉛鉍-黄鉄鉍-石英の細脈が切る部分もある。これらの鉍石は、いずれも最末期と思われる不毛石英脈により切られている。

塊状鉍は、鉍体中央部ではストックワーク状鉍の直上に見られこれと漸移関係で接する。これに対し、鉍体の東側では塊状鉍とストックワーク状鉍が分岐し、間に下部噴出岩類Ⅰの火山岩類を挟む。塊状鉍の厚さは、ストックワーク状鉍の発達する中央部では薄く厚さ数mであるのに対し、側方部（東側）ではその厚さが10数mに達する部分もある。黄銅鉍も中央部に比較して側方部で濃集する傾向を示し、場所によっては6%以上の銅品位を示す部分もある。塊状鉍の東側への連続は、HS-27孔及びMJ0-A9孔のラインで一旦切れるが、さらにその東側60mで行ったMJ0-A12孔では厚さ3.30mの塊状鉍を捕捉している。このことは、鉍床生成時東端部に孤立ぎみの凹地がありこの中に塊状鉍が堆積したものと推定される。一般に塊状鉍は、ストックワーク状鉍に比較してAuが濃集しており、7g/t以上の値を示す(HS-14)部分もある。塊状鉍のAu品位はCu品位と相関する傾向を示すので黄銅鉍中にかなりのAuが伴われているものと推定される。鉍石は、中粒～細粒の黄鉄鉍及び黄鉄鉍-黄銅鉍の角礫と、これを充填する細粒の黄鉄鉍及び黄銅鉍より成る。またその一部では、珪質岩や鉄石英の角礫が認められる。角礫中の黄鉄鉍には、後述の検鏡結果で示すとおりコロホーム組織が見られる。

珪質鉍は、塊状鉍を覆って分布し、鉍体の側方部で発達するようである。厚さは、不規則で場

所によっては20m以上の厚さを示す部分も認められる。鉍石は、強度の珪化及び角礫化を受けた火山岩類の基質を、白色～灰色の粘土及び硫化鉍物が充填し、さらにこれを黄銅鉍-石英脈が切る。珪質鉍は、鉍体の最上部に位置することから、東部のものを除くとゴッサン化を受けている場合が多い。

#### (c) スモール・ゴッサン

スモール・ゴッサンは、メイン・ゴッサンの北西方約 300mに位置し、小丘を形成する。その地表部での広がりには 120m×30m程度である。ゴッサン帯ではNW-SE系の断層及び割れ目が発達する。

スモール・ゴッサンはメイン・ゴッサンと同様で、風化作用により完全にゴッサン化を受けており硫化鉍物は認められない。このゴッサン化帯も著しい珪化と角礫化により特徴付けられるが、メイン・ゴッサンに比較してより珪質であり粘土化を受けた部分が見られる。このことからすると、このゴッサン帯は鉍体最上部の珪質鉍がゴッサン化したものである可能性が高い。角礫の基質は、赤鉄鉍及び褐鉄鉍より成り局部的に針鉄鉍が認められる。ボーリングの結果では、ゴッサン化帯の下部は下部噴出岩類 I と直接する。

#### (d) スモール・ゴッサン北側の鉍化帯

この鉍化帯は、スモール・ゴッサンの北方約 100mの位置でBRGMの行ったボーリングにより確認された鉍化帯である。鉍質は、塊状鉍を主とし、その上位に粘土質のゴッサン化帯を伴う。この鉍化帯の塊状鉍は浅部 (28.55 m～42.25 m) で補捉されており、黄銅鉍に富む (13.70 m, Cu 3.69%)。塊状鉍の上位で補捉された粘土質のゴッサン化帯は、スモール・ゴッサンのゴッサン化帯に類似することから、この鉍化帯はスモール・ゴッサンに連続するものと思われる。この鉍化帯に対しその後ボーリング調査を行っているが、その延長部は確認されていない。鉍化帯の北側は、衝上断層により切れシート・コンプレックスに接している。

### (3) ゴッサン化帯中の金

ゴッサン化帯中の金品位が高い場合、鉍山開発計画で考慮することが必要と考えられることから、地表及びボーリングのコアよりゴッサン試料を採取し鉍石分析を行った。更に、MPMがメイン・ゴッサンで実施した HS-39孔に対してもMPMに鉍石分析を依頼した。メイン・ゴッサン及びスモール・ゴッサンの地表より採取した試料の採取位置を Fig. 1-12 に、またボーリングも含むその分析結果を Table 1-2に示す。

この調査結果では、全般に低品位でありAuの高濃集部は認められなかった。最も鉍況の良かったのは、MJO-A10 孔で捕捉した掘進長0.90m(25.60 ~26.50 m) Au 5.4g/t, Ag 12.9g/tである。

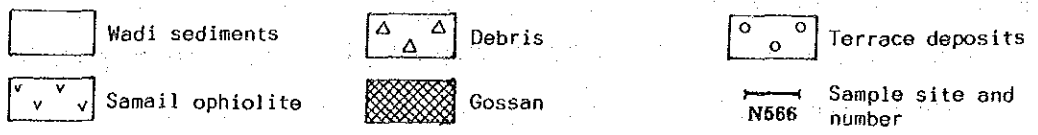
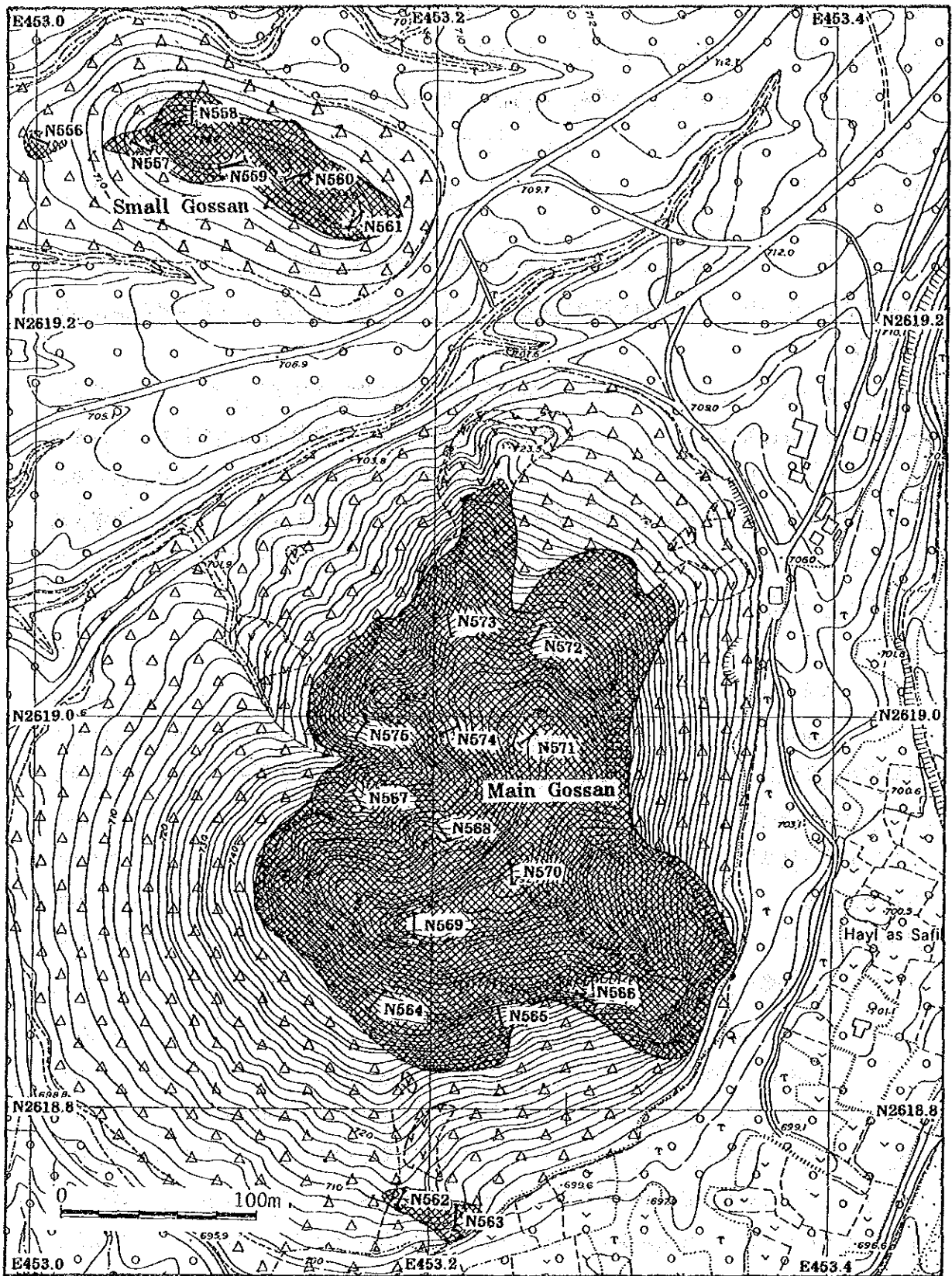


Fig. 1-12 Location map of samples collected from gossan zones for assaying in area A

Table 1-2 Assay results for gossan samples in Area A

Gossan sample

Sample number	Descriptions	Assay results			
		Au(g/t)	Ag(g/t)	Cu (%)	Zn (%)
N556	Small Gossan. Siliceous gossan. Porous and dark to reddish brown. Limonite, goethite and hematite.	0.8	3.3	0.19	0.01
N557	Small Gossan. Siliceous gossan with clay. Hematite breccia dominant. Intensely brecciated.	Tr	Tr	0.15	<0.01
N558	Small Gossan. Siliceous gossan. Quartz stockwork veinlets dominant.	0.2	0.9	0.06	<0.01
N559	Small Gossan. Siliceous gossan. White to whitish brown. Limonite, hematite and goethite.	Tr	Tr	0.05	<0.01
N560	Small Gossan. Siliceous gossan. Whitish brown quartz with limonite and hematite breccia.	Tr	Tr	0.06	<0.01
N561	Small Gossan. Siliceous gossan. Quartz network zone with dominant hematite breccia and minor limonite.	Tr	Tr	0.07	<0.01
N562	South of Main Gossan. Siliceous gossan with minor limonite and hematite.	0.8	4.2	0.02	<0.01
N563	South of Main Gossan. Siliceous gossan with limonite hematite and goethite.	0.4	1.2	0.08	<0.01
N564	Main Gossan. Siliceous gossan with dominant hematite breccia. Intensely brecciated.	Tr	Tr	0.06	<0.01
N565	Main Gossan. Siliceous gossan with hematite breccia and limonite. Intensely brecciated.	1.5	19.1	0.03	<0.01
N566	Main Gossan. Siliceous gossan with hematite breccia and minor limonite. Intensely brecciated.	1.2	10.1	0.06	<0.01
N567	Main Gossan. Siliceous gossan with minor goethite and hematite.	0.2	0.6	0.06	<0.01
N568	Main Gossan. Siliceous gossan with dominant hematite breccia and minor limonite and goethite.	Tr	Tr	0.04	<0.01
N569	Main Gossan. Siliceous gossan, porous. Dominant limonite and minor hematite.	1.4	3.0	0.03	<0.01
N570	Main Gossan. Siliceous gossan with hematite breccia and minor limonite.	0.8	6.0	0.03	<0.01
N571	Main Gossan. Siliceous gossan with limonite, hematite and goethite.	Tr	Tr	0.02	<0.01
N572	Main Gossan. Siliceous gossan with minor limonite and hematite.	Tr	Tr	0.14	<0.01
N573	Main Gossan. Siliceous gossan with hematite and limonite.	Tr	Tr	0.06	<0.01
N574	Main Gossan. Siliceous gossan with goethite, hematite and limonite.	0.1	0.7	0.05	<0.01
N575	Main Gossan. Siliceous gossan with dominant limonite and minor hematite and goethite.	Tr	0.4	0.20	0.02

Drill core sample

Hole No.	Depth (m)	Drilled length (m)	Au(g/t)	Ag(g/t)	Cu (%)	Zn (%)
MJO-A7	12.80 ~ 29.80	17.00	0.17	0.86	0.38	0.07
MJO-A10	7.20 ~ 37.90	30.70	0.57	4.50	0.11	<0.01
MJO-A11	28.20 ~ 42.30	14.10	1.07	6.52	0.16	0.01
HS-39	0.55 ~ 44.30	43.75	0.11	0.16	0.12	0.02

全般的に良好部が認められないことから、開発の対象となる可能性はほとんどないと判断されるので、鉱山開発計画では考慮する必要はないと考えられる。

#### 1-2-4 岩石化学的検討

##### (1) 調査の目的及び方法

本地域で見られる鉱床の鉱床母岩であるサマイル火山岩類の性格を明らかにすることと、地質調査により確立された火山層序の岩石化学的な区分が可能かどうかを検討するため、本調査を行った。調査では、A及びB地区の地質が同様であることから、B地区の試料も合わせて行った。

調査では、主要13成分による全岩分析を30試料に対し、また24成分の微量成分分析を31試料に対して行った。試料は、オフィオライトより採取した。これに加え鉱化帯の特性を明らかにするためハイル・アス・サヒル及びラカー鉱床より鉱石試料を各1試料採取し微量成分分析に供した。全岩分析及び微量成分分析の分析値とC.I.P.W.ノルム計算値をAppendix 2に示す。またこれら試料の採取位置を表中の座標値(UTM)で示す。分析の検出限界は、Al、Ca、Fe、Mg、P、K、Na、Wの8成分については10ppm、Bi及びPbについては3ppm、Moは2ppm、Agは0.1ppmでありこれら以外の元素はいずれも1ppmである。分析は、大手開発(株)地科学試験所で行った。分析方法は、Ag(原子吸光分析法)、K及びNa(炎光分光分析法)を除きいずれもI.C.A.P.法によった。

##### (2) 調査結果

###### (a) 層状岩体及びハイレベル斑れい岩

層状岩体及びハイレベル斑れい岩より各1試料を採取し分析した。これによれば $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、Co、Ni、Pb、Ag及びZnはいずれも同程度の値を示す。しかし層状岩体では、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、Cr及びNiに富むが、 $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$ (\*: total)、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、V、Zn及び液相濃集元素(成分)である $\text{TiO}_2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、Ba、Srがやや乏しい傾向を示す。層状岩体及びハイレベル斑れい岩は、シート・コンプレックス及び火山岩類に比較して、固結指数(S・I値=53.59～66.96)は高い値を示し、 $\text{MgO}$ に富むため $\text{FeO}^*/\text{MgO}$ 比(F・M・I=0.37～0.63)については低い値を示す。

###### (b) シート・コンプレックス

シート・コンプレックスより2試料を採取し分析した。 $\text{SiO}_2$ の値は、玄武岩質であることを示す。他の岩類に比べて $\text{FeO}^*$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、V及びSrに比較的富むが、 $\text{MgO}$ 、Cr及びNiについてはハイレベル斑れい岩と比較して著しく乏しく、上位の火山岩類とほぼ同じ範囲の値を示す。



Cuは、最も低い値を示す。

### (c) 下部火山岩類

本岩類に対しては、下部噴出岩類Ⅰより11個、下部噴出岩類Ⅱより9個の合計20試料を分析に供した。

#### 下部噴出岩類Ⅰ

本岩類のSiO<sub>2</sub>は、46%～61%の範囲にあり玄武岩から安山岩の値を示す。また、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* (6%～12%)、MgO (5%～12%)、CaO (1%～6%) や殆どの微量元素の値が、上位の下部噴出岩類Ⅱや中部火山岩類と比較して広い範囲に分散している。しかし、上位の火山岩類と比較してFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*、TiO<sub>2</sub>、Cr、Co、W及びZnに富み、MgO、CaO及びCuに乏しい傾向を示す。F・M・I値(0.64～1.80)及びS・I値は、いずれも広い範囲にある。

#### 下部噴出岩類Ⅱ

本岩類のSiO<sub>2</sub>値は、49%～57%で玄武岩質から安山岩質であることを示す。主成分の値は、下部噴出岩類Ⅰの分散範囲に留まるが、より集中する傾向を示す。他の火山岩類と比較すると、主成分のうちFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* (6%～9%)とTiO<sub>2</sub> (0.2%～0.5%)がやや低い値を示し、Na<sub>2</sub>O (2.2%～5.6%)にやや富んでいる。微量元素では、Cr、Ni及びZnに富むが、Cuに乏しい傾向を示す。下部噴出岩類Ⅰと比較すると、Niにやや富むが、Coに乏しくCu、V及びZnにやや乏しい傾向が認められる。F・M・I値(0.88～1.57)及びS・I値(28～44)は、いずれも下部噴出岩類Ⅰの分散範囲にある。

### (d) 中部火山岩類

本岩類より4個の試料を採取し分析に供した。SiO<sub>2</sub>の値は47%～55%で玄武岩質から安山岩質の値を示す。全体としてFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*、Cu及び液相濃集成分であるTiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>に富むが、MgO、K<sub>2</sub>O、Co、Ni、Sr及びCrがやや乏しい傾向を示す。下位の下部火山岩類と比較すると、MnO、Co、Cr、Ni、V及びZnが低い値を示す。F・M・I値は1.01～1.67をS・I値は29～37を示し、Feに富みMgにやや乏しい傾向を反映している。

### (e) 後期岩脈

本岩より2試料を分析した。SiO<sub>2</sub>の値は、50.32%及び54.77%で玄武岩質及び安山岩質であることを示す。中部火山岩類と同様、TiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>及びBaOに富み、MgO、CaO、Cu及びCrに乏しい傾向を示す。一方、シート・コンプレックスと比較すると、TiO<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>O、BaO、Cu及びZnの値が高く、CaO、MnO、MgO及びSrの値が低い傾向が認められる。F・M・I値は1.73及び1.88で高く、S・I値は25及び34で比較的低い値を示す。

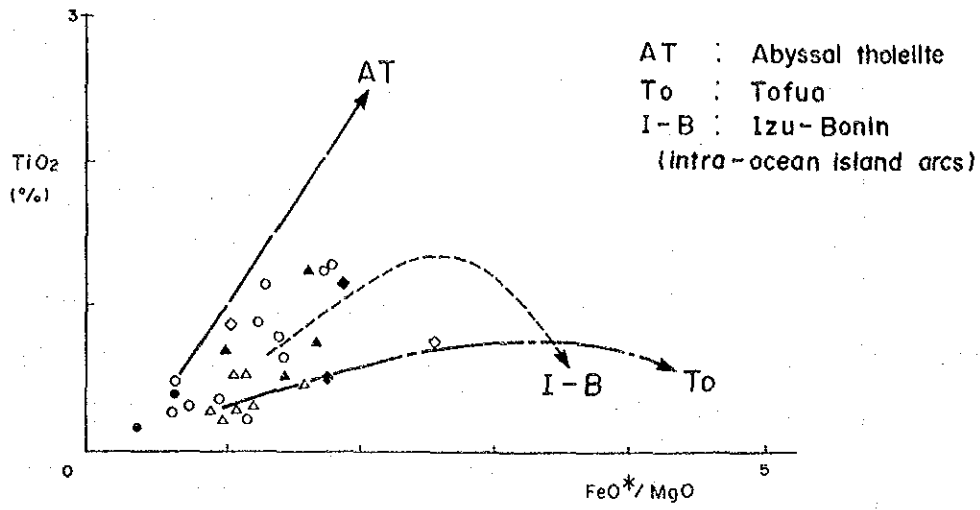
### (3) 調査結果の検討

ラカー地域の岩石類はいずれも変質・変成作用を受けているので、変質・変成作用の影響を受けにくい成分ないし元素で検討する必要がある。Ti、P、Zr 及び Yなどの液相濃集元素は、一般に変質に対して動きにくいと考えられている (Lippard et al., 1986)。TiO<sub>2</sub>及びP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>とFeO\*/MgOのダイヤグラムをFig.1-13に示す。FeO\*/MgO比は、結晶分化作用の程度を示す尺度として一般に使われている。この図で見られるようにTiO<sub>2</sub>及びP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は、FeO\*/MgO比の増加に伴いゆるやかに増加しているので液相濃集成分として取り扱って良いと考えられる。TiO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の関係はFig.1-14で見られるように正の相関を示しており、これらの成分が変質により大きく動いていないことを示す。従って、TiO<sub>2</sub>と他の成分の変化を検討することによって、変質及び変成作用による影響をある程度見積もることが可能である。Appendix 3にTiO<sub>2</sub>と各成分の直角ダイヤグラムを示す。このダイヤグラムの中で比較的良く集中している成分は、SiO<sub>2</sub>、FeO\*、MnO、Ni、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Cr、V及びZnであり、変質・変成作用の影響が少なかったと考えられる。ややバラツキの認められるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO及びCuは、変質及び変成作用の影響をある程度受けていると考えられる。CaO、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、Pb、Sr、Ag及びBaは、分散が大きいことから変質・変成作用の影響を著しく受けた成分(元素)であると考えられる。

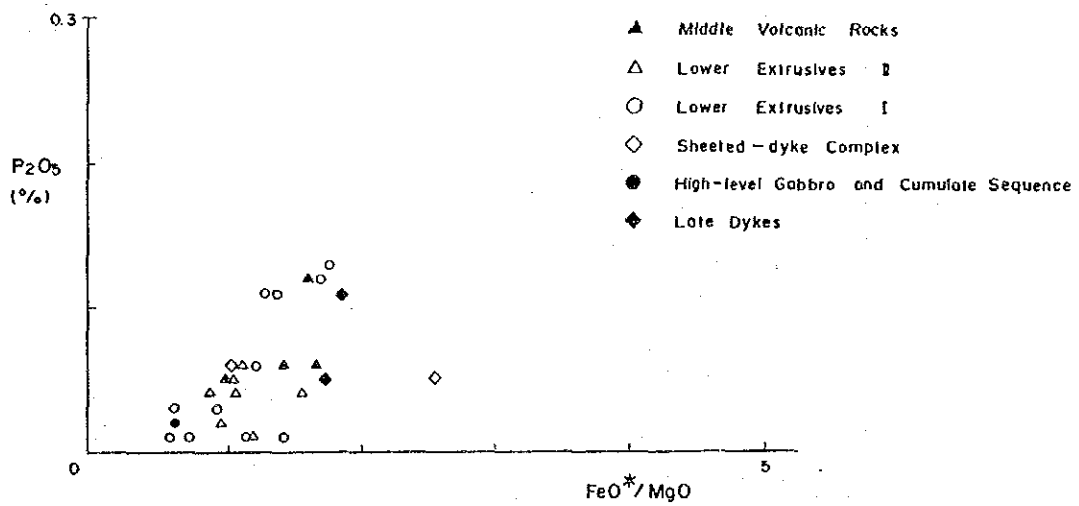
結晶分化作用の程度を示す尺度として一般に使われているFeO\*/MgO比と各成分(元素)との直角ダイヤグラムを、Appendix 4及びFig.1-13に示す。これらのダイヤグラムで見られるようにFeO\*/MgO比の増加に伴ないSiO<sub>2</sub>、FeO\*、TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>及びVは、緩やかな増加を示す。これに対しMgO、Cr、Ni及びCuは、減少している。全般に分化作用の程度は、TiO<sub>2</sub>の極大(FeO\*/MgO比3.0付近、安山岩質を示す)にまで達しておらず、SiO<sub>2</sub>の重量パーセントによる分類結果(玄武岩質～安山岩質)及び検鏡結果とも一致する。TiO<sub>2</sub>-FeO\*/MgOダイヤグラム(Fig.1-13)では、層状岩体、ハイレベル斑れい岩、シート・コンプレックス及び下部火山岩類が、ややバラつくが一つのトレンドに沿って分布する。同様の傾向がFeO\*-FeO\*/MgO、MgO-FeO\*/MgOダイヤグラム(Appendix 4)及びTiO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ダイヤグラム(Fig.1-14)にも認められることから、一連の分化物であることを示唆する。

下部火山岩類は、下位より下部噴出岩類I及び下部噴出岩類IIに区分される。同生鉱床と考えられる本地域の鉱床は、下部噴出岩類Iの最上部に賦存し下部噴出岩類IIに覆われる。これら両岩類の化学組成を対比すると、下部噴出岩類IIの成分範囲はより狭い範囲に集中し、Ni及びCrにやや富み、Co、TiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*、Cu及びVにやや乏しい傾向を示す。これらの傾向は、下部噴出岩類IIが一連の分化物ではあるがより早期の分化物であることを示唆する。Cu、Ni及びVとCoとの直角ダイヤグラム(Fig.1-15)では、下部噴出岩類I(鉱床下盤)と下部噴出岩類II(鉱床上盤)の分布領域に差が認められることから、両岩類の区分がある程度可能である。

中部火山岩類と後期岩脈は、同様の成分組成を示すことから一連の分化物と考えられる。しか



(a)



(b)

Fig. 1-13  $\text{TiO}_2\text{-FeO}^*/\text{MgO}$  and  $\text{P}_2\text{O}_5\text{-FeO}^*/\text{MgO}$  diagrams

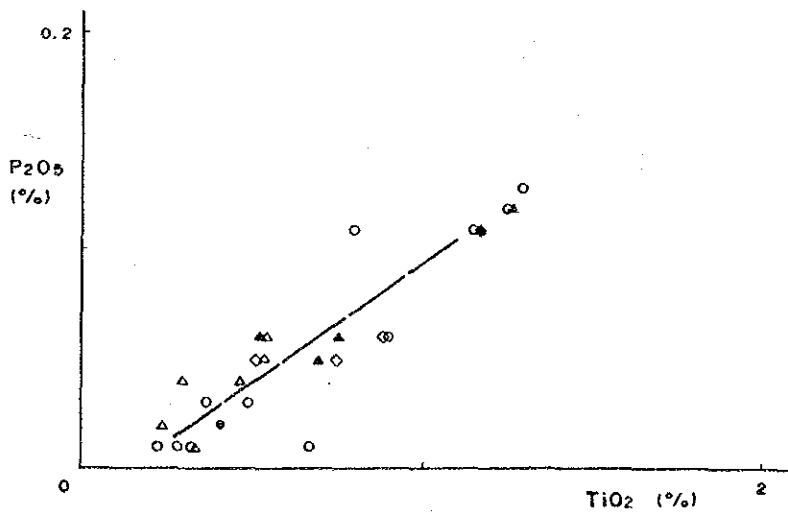
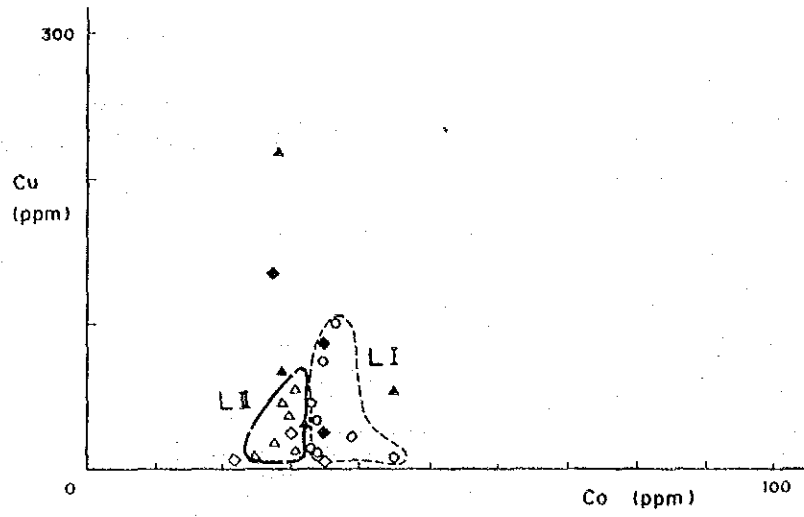
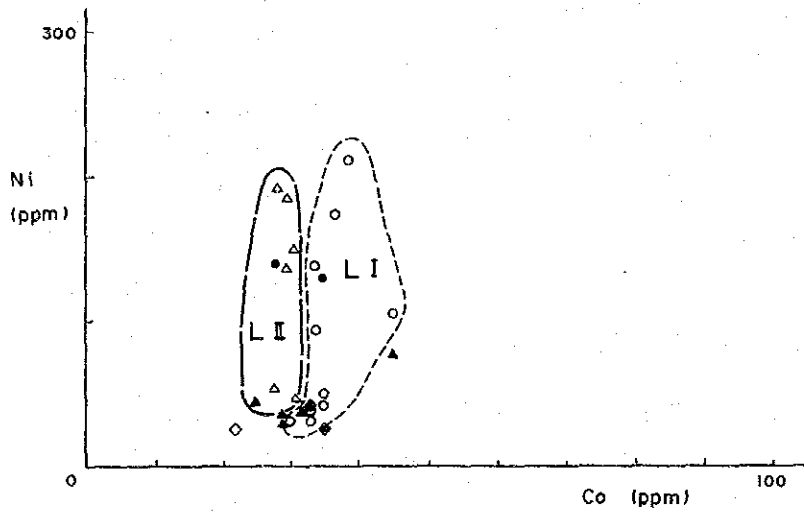


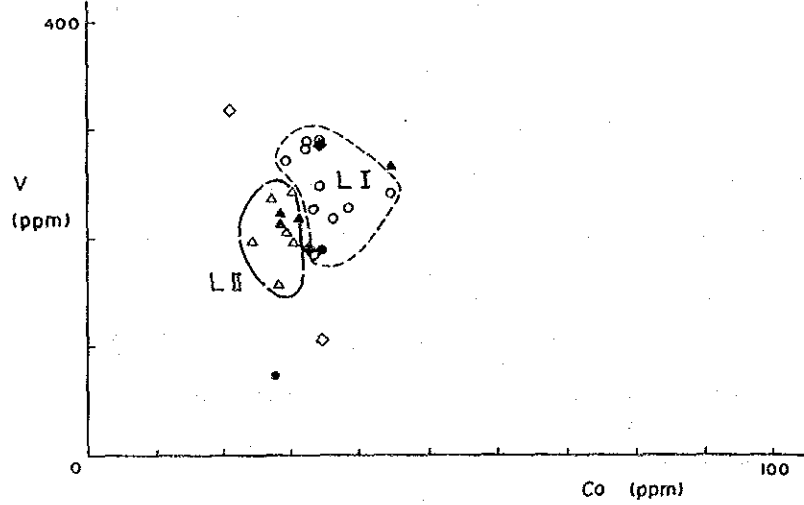
Fig. 1-14  $\text{P}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$  diagram



(a)



(b)



(c)

Fig. 1-15 Cu-Co, Ni-Co and V-Co diagrams

し下部火山岩類、シート・コンプレックス及び斑れい岩類に比べると、 $TiO_2$ 及び $P_2O_5$ がわずかに低いこと、Cr、Ni及びCoに乏しいこと、 $SiO_2-FeO^*/MgO$ 及び $FeO^*-FeO^*/MgO$ ダイアグラムにおいてやや異なった領域にプロットされることなどの特徴が認められる。

各岩石での分化のトレンドは、 $TiO_2-FeO^*/MgO$ ダイアグラム (Fig. 1-13)、AMFダイアグラム (Fig. 1-16) 及び $FeO^*-FeO^*/MgO$ ダイアグラム (Appendix 4) より読み取れる。これらのダイアグラムによれば下部火山岩類は、深海性玄武岩から島孤性ソレイアイト系列の領域にある。一方、中部火山岩類は島孤性ソレイアイト系列ないしその一部はカルクアルカリ系列の領域を占める。従って、下部火山岩類と中部火山岩類は、異なった分化物であることが考えられる。

このように下部噴出岩類 I と II は一連の分化物ではあるが下部噴出岩類 II がより早期の分化物であること、及び下部火山岩類と中部火山岩類は異なった分化物であることが考えられるが、これと同様の結果がソハール地域で行った結果 (Bishimetal, 1987) でも得られている。

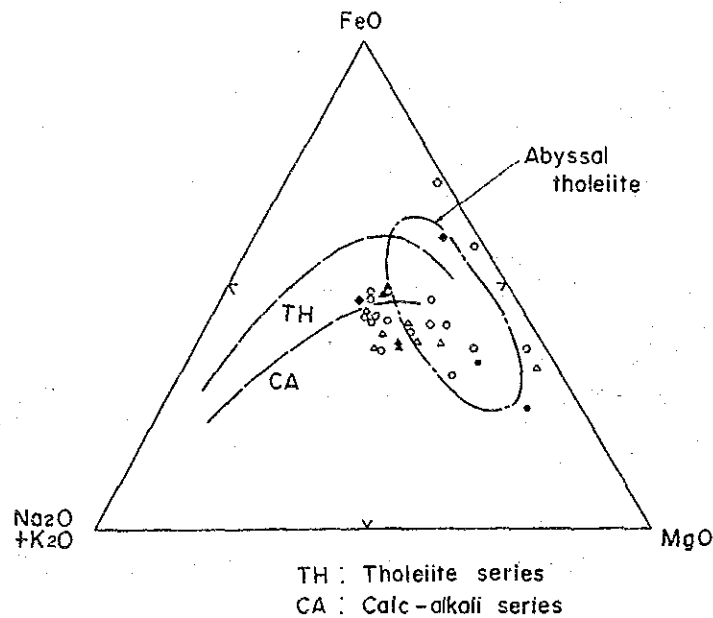


Fig. 1-16 AMF diagram

### 1-3 物理探査

#### 1-3-1 調査方法

A地区では、ハイル・アス・サヒル鉱床の連続性を調査し、ボーリング調査の指針を得ることを目的として、第1年次にA地区全域(3Km<sup>2</sup>)に対し流電電位法による物理探査を行った。

##### (1) 流電電位法の概要

流電電位法は、露頭あるいはボーリング孔で確認された鉱体(良導体)に電流電極(C1)を設定し、他の電流電極(遠電流電極:C2)はできるだけ遠方に設置し、対象地域で電位電極(P1)を移動して電位分布を明らかにし、これにより鉱体(良導体)の分布を把握する方法である。本手法の測定概念図を Fig.1-17 に示す。

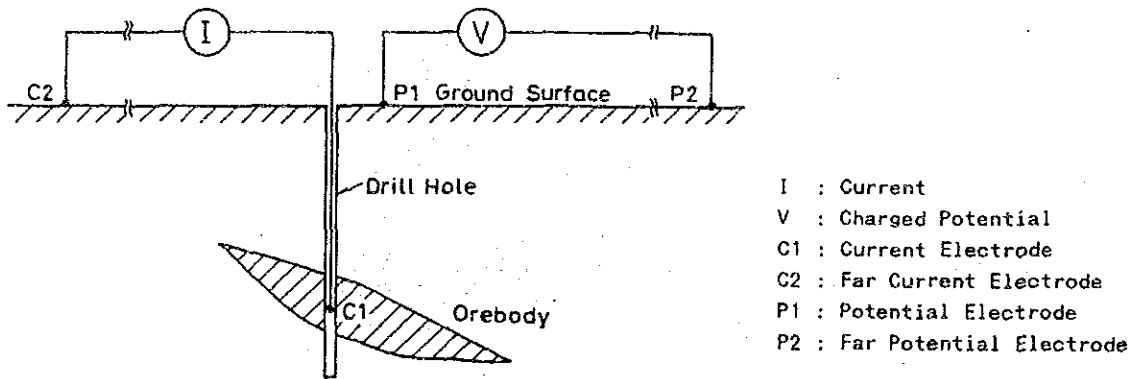


Fig.1-17 Schematic illustration of charged potential method

本手法では、電流電極(C1)を単電極(mono-pole)とみなせるように遠電流電極(C2)を無限遠に置くことが望ましく、通常4km以上離れた地点にC2を設置する。また、遠電位電極(P2)は、基準電位(0mV)としてC1・C2間の中間点またはC2と逆方向の遠地点(4km以上)に設置する。

本手法は鉱体流電法とも呼ばれ、英語ではCharged potential methodの外に mise-a-la-masse method、Excitation-at-the-mass method とも呼称されている。本手法は金属鉱床探査の外、地熱調査にも利用されている。

均質な大地の地下の1点で電流を流した時の地表の電位分布は、Fig.1-18(a)のように電流電極を中心とした同心円状の分布を示す。C1・P1間の距離を $r$ 、C1の鏡像点とP1間の距離を $r'$ 、大地の比抵抗を $\rho$ 、供給電流を $I$ とすると、点P1での電流電位 $V$ は次式で表される。

$$V = (\rho I / 4\pi) \cdot (1/r + 1/r')$$

一方、電流を鉱体の露頭部またはボーリングの着鉱部に流すと、Fig.1-18 (b) に示すように、鉱体の分布方向に伸長するような電位分布が得られる。このように地表での電位分布より地下の鉱体（良導体）の分布及び形状を推定する方法が流電電位法である。

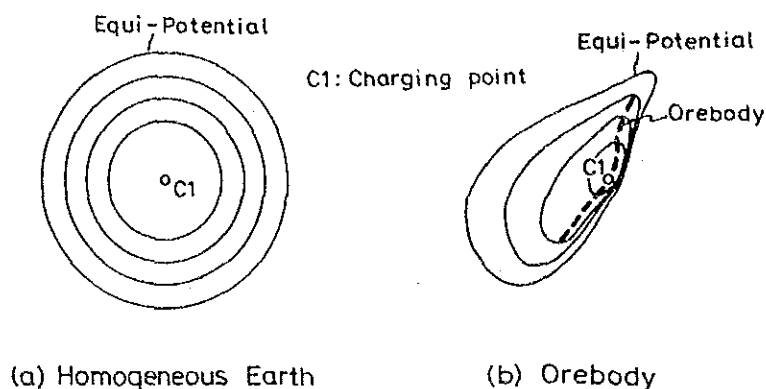


Fig. 1-18 Model distribution patterns of charged potential

## (2) 測定

3 km<sup>2</sup> の調査範囲に 611 点の流電電位測定点を 50m~100m 間隔で格子状に簡易測量で設定した。測定点座標の原点 (0, 0) は、X = N2619.00、Y = E453.00 に置き、南及び西方向をそれぞれ正として、m 単位で各測定点の座標を決定した。測定点位置図を Fig. 1-19 に示す。

電流電極 (C1) は、メイン・ゴッサン南東部の鉱化帯で最も厚い塊状鉱を捕捉している HS-14 孔内に設置した。また、スモール・ゴッサンの北側で確認されている鉱化帯と南の鉱化帯との関係を明らかにするため HS-7 孔にも電流電極 (C1) を設置した。

電極名	ボーリング番号	設置深度	備考
電流電極 (C1)	HS-14	103m	メイン・ゴッサン南東部の鉱化帯
	HS-7	38m	スモール・ゴッサン北側の鉱化帯
遠電流電極 (C2)	MJO-B5	115m	ラカー鉱床

遠電位電極 (P2) は A、B 両地区の中間点の南方 4 km のワジ・ラカー (N2614.7、E455.1) に設置した。電流は、C1・C2 間に 1.0~1.5 A の交代直流電流 (0.1Hz) を流し、各測定点での単位を mV 単位で測定した。

## (3) 調査使用機器

本調査に使用した測定システムは、以下のとおりである。





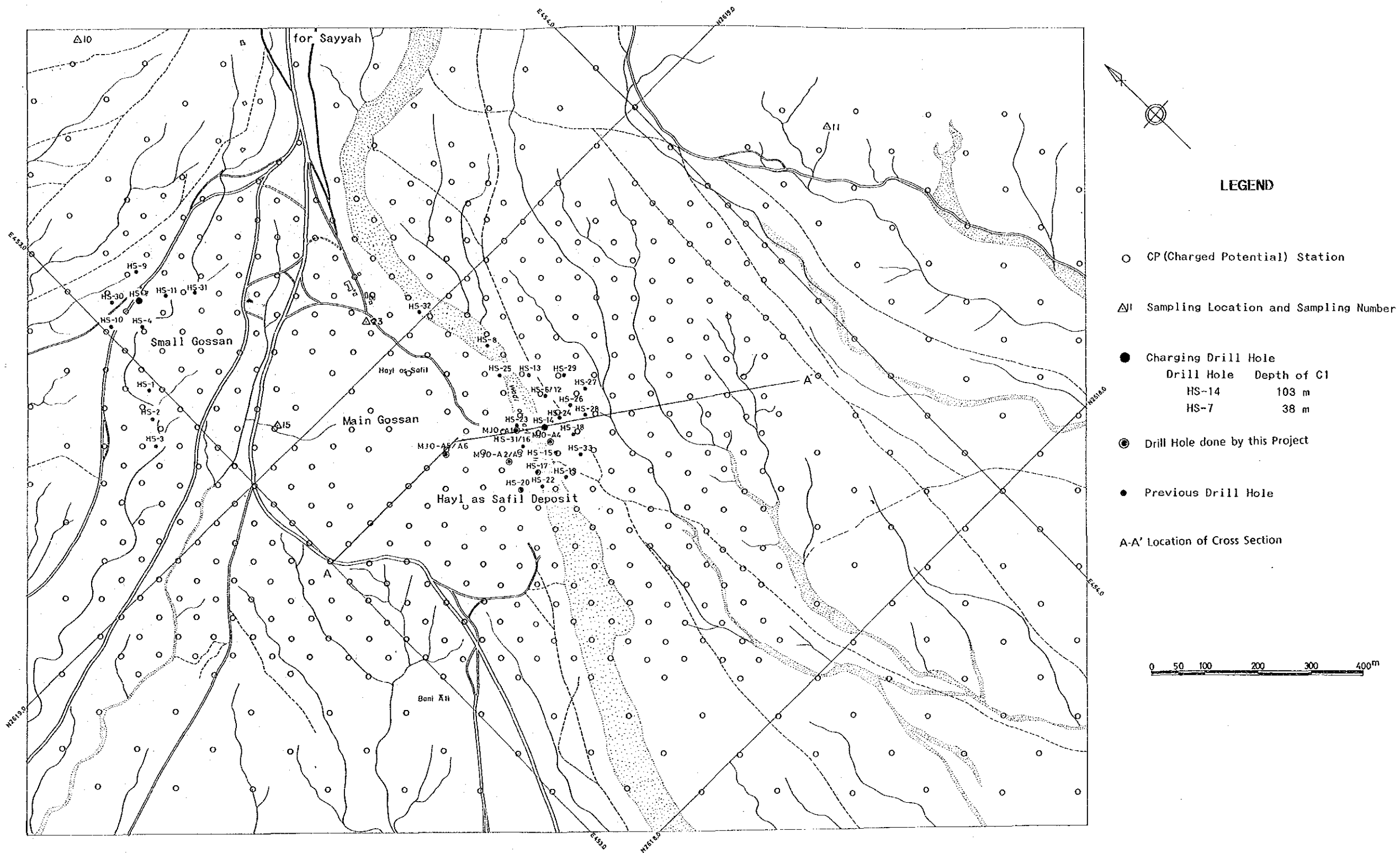


Fig. 1-19 Location map of CP survey stations in Area A



機器名	モデル名	製作会社	仕様	台数
発信機	CH-T7801	千葉電子研究所	出力 800V/3A/0.1Hz	1
受信機	Model 27	John Fluke MFG Co. (U.S.A.)	直流電圧 0.01mV ~ 1KV	3
発電機	GPU-2000	Geonics Inc. (Canada)	最大出力 2KW/115V	1

#### (4) 整理及び解析方法

現地で測定した電位を流電電流値で割り、単位電流当たりの流電電位（単位 mV/A）を算出し、電位分布図を作成した。電位分布図では、電流を流したボーリング孔周辺に高電位が現れ、良導体の形状を反映して周囲に向かって電位が低下しており、良導体の伸長方向を推定できるような分布が得られるが、電位分布図から直接良導体の境界を推定するのは困難である。

ここで、電場Eは、流電電位を $\phi$ 、等電位線に直交する単位法線ベクトルをhとすると、次式で表される。

$$|E| = |\delta\phi / \delta h|$$

Fig.1-20 に示すように、電位の水平1次微分である電場の極値は良導体の境界にほぼ一致するので、良導体の平面的な分布を把握するのに有効である。測定流電電位から電場を求め、電場分布図を作成した。

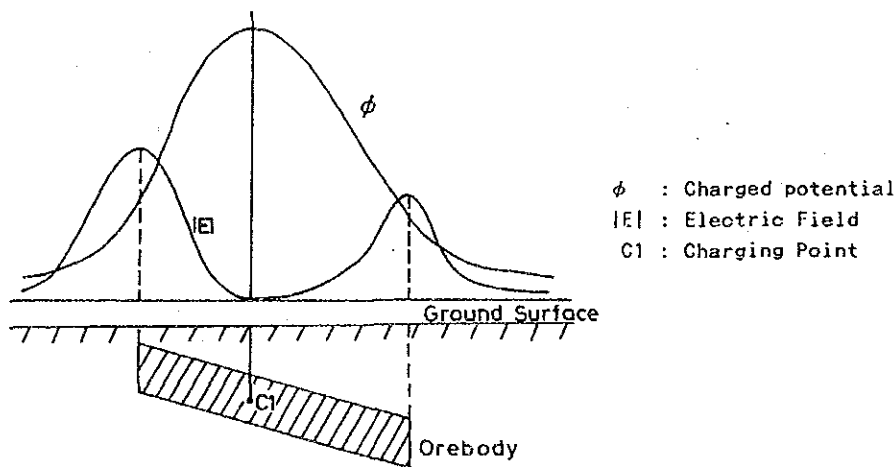


Fig.1-20 Model curve of charged potential and its electric field

電位及び電場の両分布図は、定性的な解釈にしか使えないので、良導体の分布を定量的に把握するため、電流電極を設置したボーリング孔を通る断面を切り、2次元有限要素法によるモデル・シミュレーションを行った。このシミュレーションでは、ボーリング調査で確認されている鉱体及び岩石の分布と後述する物性試験結果を参考にして初期モデルを構築し、観測電位曲線に合致するまでモデルの形状・深度等を繰り返し変更して、最適モデルを求めた。



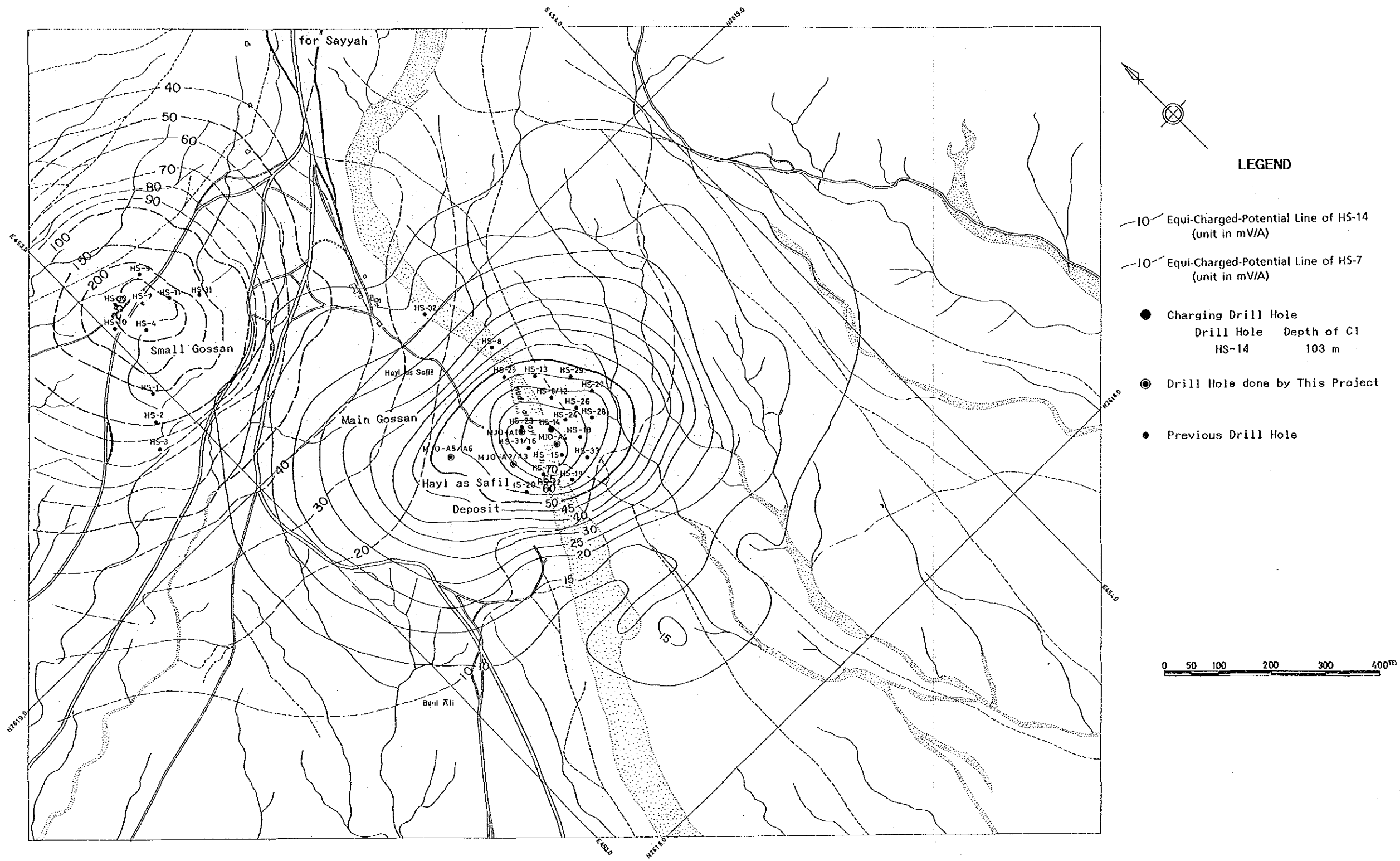


Fig. 1-21 Charged potential map for the drill holes HS-14 and HS-7 in Area A





Fig. 1-22 Electric field map for the drill hole HS-14 in Area A





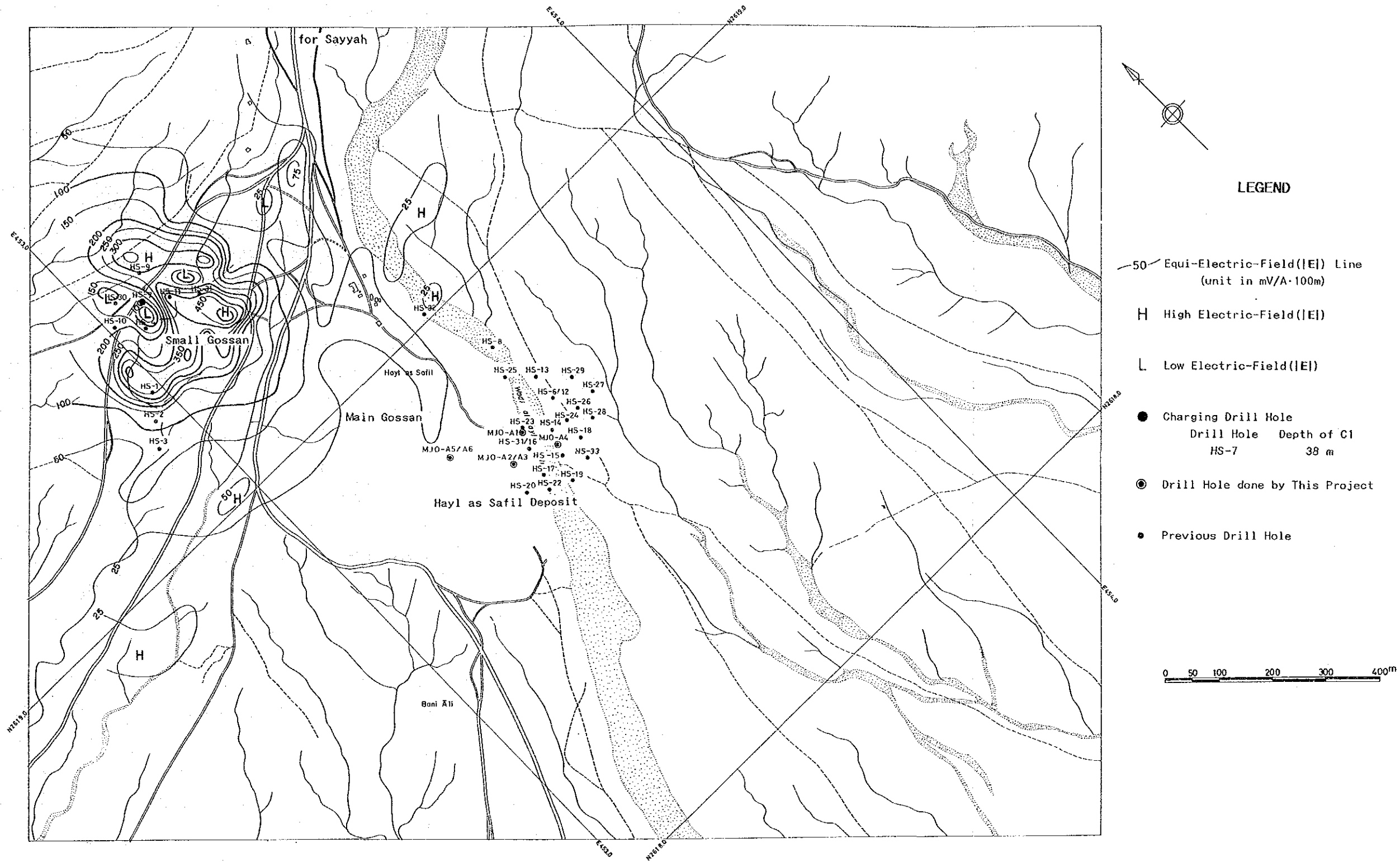


Fig. 1-23 Electric field map for the drill hole HS-7 in Area A



上記の方法で解析した結果、各測定点で得られた流電電位及び電場をAppendix 5及び 6に示す。HS-14 孔及びHS-7孔による電位分布図をFig.1-21に、また電場分布図をFig.1-22及びFig.1-23にそれぞれ示す。

## 1-3-2 調査結果

### (1) 物性試験結果

A、B両地区より計24個の岩石及び鉍石試料をボーリング・コア及び地表より採取し、物性測定に供した。地表で採取した試料の採取位置をFig.1-19に示す。測定は、Zonge Engineering & Research Organization Inc. (米国) 製のSIP測定システムで行った。測定した物性は、比抵抗、PFE及び位相差である。

物性測定は、試料が賦存する状況に類似させるため強制湿潤状態で行った。室内で測定した物性値は、かならずしも地下に賦存する状態での物性値を表わしているとは言えないが、各物性値を傾向的に反映していると考えられる。測定値の解析は、A、B両地区とも同様の地質を示すことから合わせて行った。物性測定結果を Table 1-3に示す。

Table 1-3 より本調査地区 (A、B) の岩石・鉍石の比抵抗分布は、ゴッサン>下部噴出岩類 II (L II) >下部噴出岩類 I (L I) >ストックワーク状鉍>塊状鉍、であることが判明した。従って、塊状鉍に電流を流した場合には、周辺の岩石よりも塊状鉍及びストックワーク状鉍が低比抵抗であるため、電流が集中的に鉍体を流れ、鉍体の分布状態を反映した流電電位分布が観測されると予想される。

### (2) 電位分布

HS-14 孔及びHS-7孔による電位分布図では、それぞれ独自の分布を示し、これらのボーリング孔で捕捉した鉍化帯が連続していないことを示す。

#### (a) HS-14 孔電位分布

HS-14 孔による電位分布図 (Fig.1-21) ではHS-14 孔の西方に電位値73.5 mV/A のピークがみられ、HS-14 孔の西方 (メイン・ゴッサンの南方)、南東方及び北東方へ等電位線が張り出しており、鉍体を含む良導体の分布形状を良く反映しているようである。HS-14 孔の北 200m 付近及び南西 200m付近は電位傾度が大きく、良導体の境界が想定される。等電位線の西方への張り出しはメイン・ゴッサンの南半部までであり、スモール・ゴッサンへは伸びておらず、メイン・ゴッサン側とスモール・ゴッサン側とは電氣的に絶縁状態にあり連続していないと考えられる。

Table 1-3 Values of physical properties

Sample No.	Area name	Drill hole	Sampled depth(m)	Descriptions	Resistivity ( $\Omega \cdot m$ )	PFE (%)	Phase difference (-mrad)
1	A	MJO-A2	136.00	Pillow lava (LI)	963	0.3	2
2	B	MJO-B3	133.60	Pillow lava (LI)	878	10.4	94
3	B	MJO-B3	147.70	Pillow lava (LI)	545	0.5	3
4	B	MJO-B4	101.20	Pillow lava (LI)	191	0.2	1
5	B	MJO-B5	107.60	Pillow lava (LI)	731	6.0	53
6	B	MJO-B5	136.10	Pillow lava (LI)	1,380	1.2	7
7	B	MJO-B6	85.90	Pillow lava (LI)	545	0.5	3
Average values of Lower Extrusives I					747	2.7	23
8	A	MJO-A1	63.70	Pillow lava (LI)	366	0.2	1
9	A	MJO-A4	44.20	Massive lava(LI)	580	0.5	2
10	A	—	—	Pillow lava (LI)	2,450	1.6	10
11	A	—	—	Pillow lava (LI)	154	0.5	4
12	B	MJO-B2	52.20	Pillow lava (LI)	4,190	0.9	6
13	B	MJO-B3	55.20	Pillow lava (LI)	1,810	0.9	5
14	B	MJO-B3	80.10	Pillow lava (LI)	583	2.7	18
15	A	—	—	Pillow lava (Me)	957	4.3	19
Average values of Lower Extrusives II					1,390	1.5	8
16	A	MJO-A1	82.60	Stockwork ore	4.25	62.9	370
17	A	MJO-A1	92.30	Stockwork ore	14.8	37.3	259
18	A	MJO-A4	89.30	Stockwork ore	91.4	32.3	216
19	B	MJO-B5	47.70	Stockwork ore	9.12	33.6	251
20	B	MJO-B5	69.00	Stockwork ore	5.97	64.6	389
Average values of stockwork ore					25.1	46.1	297
21	A	MJO-A1	78.40	Massive ore	1.26	4.9	46
22	A	MJO-A4	81.20	Massive ore	0.97	18.5	159
Average values of massive ore					1.12	11.7	103
23	A	—	—	Gossan	1,930	2.5	16
24	A	—	—	Gossan	3,500	0.5	4
Average values of gossan					2,715	1.5	10

### (b) HS-7孔電位分布

HS-7孔による電位分布図 (Fig.1-21) では電位のピーク (最大電位値: 592mV/A) が HS-7 孔の南方50m地点にあり、やや南北方向に伸びた比較的まとまった分布を示している。なお、流電電位値が HS-14孔に比べ8倍以上の高電位を示しているのは、本孔の電流電極設置深度が38mと浅いことが原因であり、塊状鉱体の規模などによるものではない。

HS-7孔より東西南北の各方向の約 150m付近では、それぞれ最大の電位傾度を示し、良導体の境界を反映していると考えられる。HS-7 孔の南側では、メイン・ゴッサン方向への等電位線の張り出しが見られないことから、スモール・ゴッサンの南端が良導体の境界であると考えられる。HS-14 孔の電位分布と同様に、この電位分布からもメイン、ゴッサンとスモール・ゴッサンが連続していないことが推定される。

### (3) 電場分布

鉱体に電流を流して得られる電場分布は、1-3-1(4)の項で述べたように、鉱体を含む良導体の分布域が低電場異常域となり、良導体の境界が高電場異常を示す。このような電場分布の特性を利用して、鉱体を含む良導体の分布域を推定することができる。なお、高・低電場異常は、周囲と比較して相対的に電場強度が高いかまたは低いかにによる。

#### (a) HS-14孔電場分布

HS-14 孔の電場分布図 (Fig.1-22) では、HS-14 孔周辺の低電場異常群を取り囲むように、高電場異常群が分布している。連続する高電場異常群は、鉱体を含む良導体の境界にほぼ一致すると考えられることから、良導体の境界は、HS-14 孔の西方 200m (ワジ西岸のMJ0-A3孔の西方 100m付近)、北方 200m (HS-8孔付近)、南東方 200m及び南方 100mの付近にあると考えられる。また、MJ0-A5/A6 孔付近では、西方にさらに50mほど突出した分布を示している。

高電場異常群は、さらに北西方 (メイン・ゴッサンの南半部)、北東方及び南東方にも延びており、これら3方向でも良導体の賦存が期待されるが、高電場異常群の電場強度が低くなっていることから、良導体が薄くなっている、良導体が深部に賦存している、良導体の比抵抗が増加している、ことなどが考えられる。

これら高電場異常群に囲まれ、良導体の分布が推定された地区では、NW-SE系、WNW-ESE系及びN-S系の等電場強度線が卓越している。これらの等電場強度線の方向性は、本地区の地質構造-断層構造の方向性を反映していると考えられる。電位分布と同様、電場分布でもメイン・ゴッサンとスモール・ゴッサンとの間には連続性が全く見られない。

#### (b) HS-7孔電場分布

HS-7孔の電場分布図 (Fig.1-23) では、HS-7孔の西方50m付近に低電場異常の中心が見られ、これを取り囲んで高電場異常群が分布している。

高電場異常群の分布から、鉱体を含む良導体の南端はスモール・ゴッサンの南端付近に、東端はHS-7孔の東方100m付近、西端は同孔の西方150m付近及び北端は北方100m付近に位置している。従って、スモール・ゴッサン及びその北側の鉱化帯と、メイン・ゴッサン及びその南東側の鉱化帯とは連続していないことが判明した。

#### (4) モデル・シミュレーション

HS-14孔による電位分布で見られた西方及び南東方への等電位線の張り出しを定量的に評価するために、HS-14孔を通る断面線を設定し、2次元有限要素法によるモデル・シミュレーションを行った。設定した断面は、HS-14孔を通るNW-SE方向の断面とMJ0-A5孔を通るE-Wの断面を結んだもので、その会合点はMJ0-A5孔の東方30mの地点である。断面線の位置を Fig.1-19 に示す。

初期モデルは、断面線上及び断面線の周辺に位置するHS-14、MJ0-A5孔などの孔井データ、地表地質データ及び物性試験結果を基に構築した。各孔井をコントロール・ポイントとして、観測電位曲線に計算曲線がほぼ一致するまで比抵抗モデルの比抵抗及び形状を変化させ、最適比抵抗モデルを求めた。これにより得られた解析結果を Fig.1-24 に示す。

最終的に求められたモデルの各地層及び各鉱石の比抵抗は、塊状鉱が $1\Omega\cdot m$ 、ストックワーク状鉱が $5\Omega\cdot m$ 、下部噴出岩類I (L I) が $900\Omega\cdot m$ 、下部噴出岩類II (L II) が $1,000\Omega\cdot m$ 、ゴッサンが $3,500\Omega\cdot m$ 及び第四紀の段丘堆積物が $100\Omega\cdot m$ である。

このシミュレーションの結果によれば、鉱体 (塊状鉱及びストックワーク状鉱) は20m~50mの厚さで、南東側はHS-14孔の南東200m付近まで、西側はMJ0-A5孔の西200m付近まで分布するが、両端ではそれぞれ薄くなって消滅する。このうち、塊状鉱はMJ0-A5孔の西50mからHS-14孔の南東150m付近まで層厚10mで連続することを示す。

#### (5) 物理探査結果の検討

物理探査結果の総合解析図を Fig.1-25 に示す。この図で見られるように、物理探査結果から推定されるハイル・アス・サヒル鉱床の主要部は、メイン・ゴッサンの南で行ったMJ0-A5/A6孔の西方20m~60mに西端、HS-8孔の北方20m付近に北端、HS-19孔付近に南端及びHS-14孔の東方140m付近に東端があり、東西、南北それぞれ250m幅の範囲を占め、さらに、HS-14孔の南東方200m付近まで張り出した形状で分布している。本主要部は、NW-SE及びWNW-SE系の断層による構造的な規制を受けており、鉱体は比較的厚く分布すると考えられる。

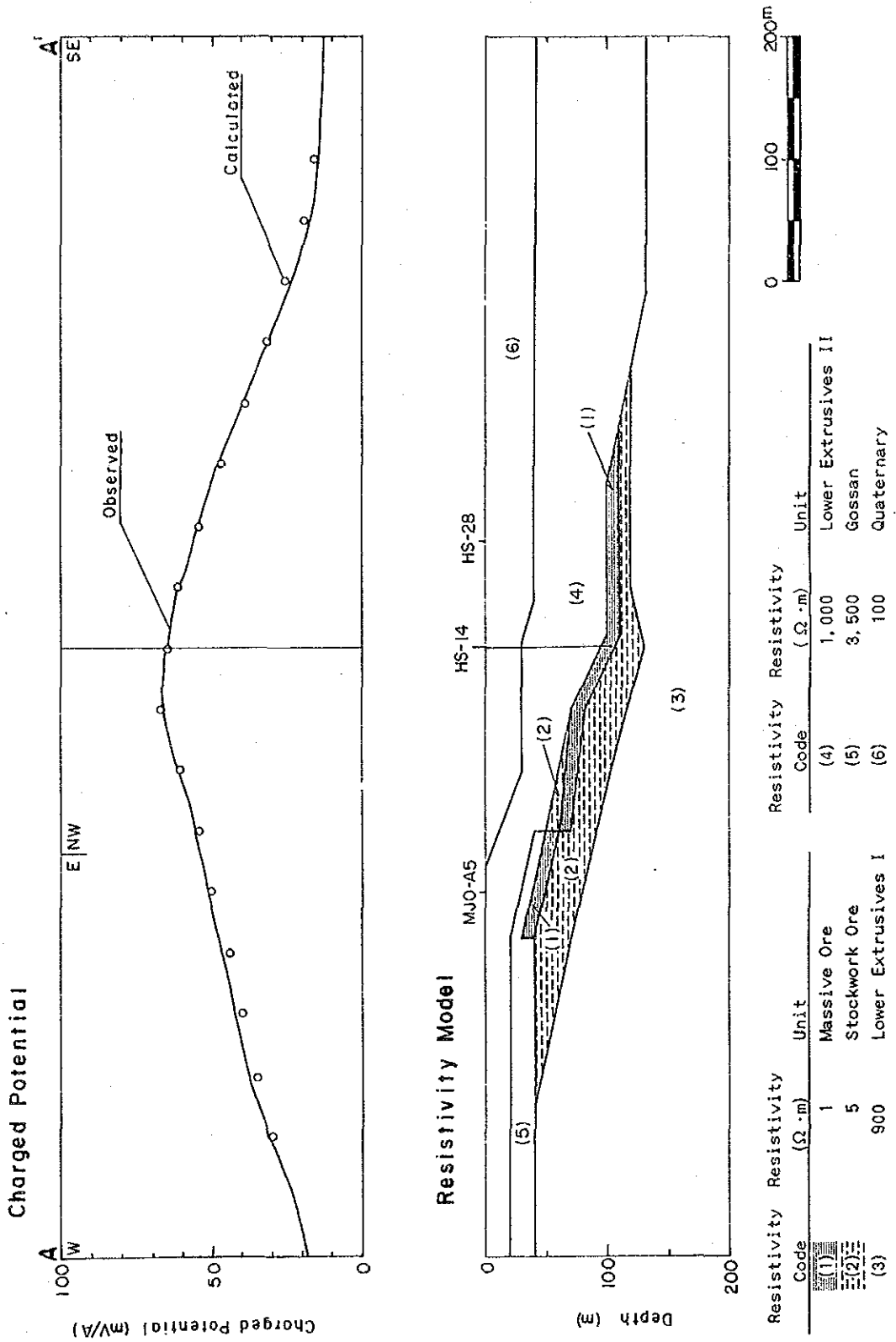


Fig. 1-24 Results of model calculation and its resistivity structure for the Hayl as Safil deposit





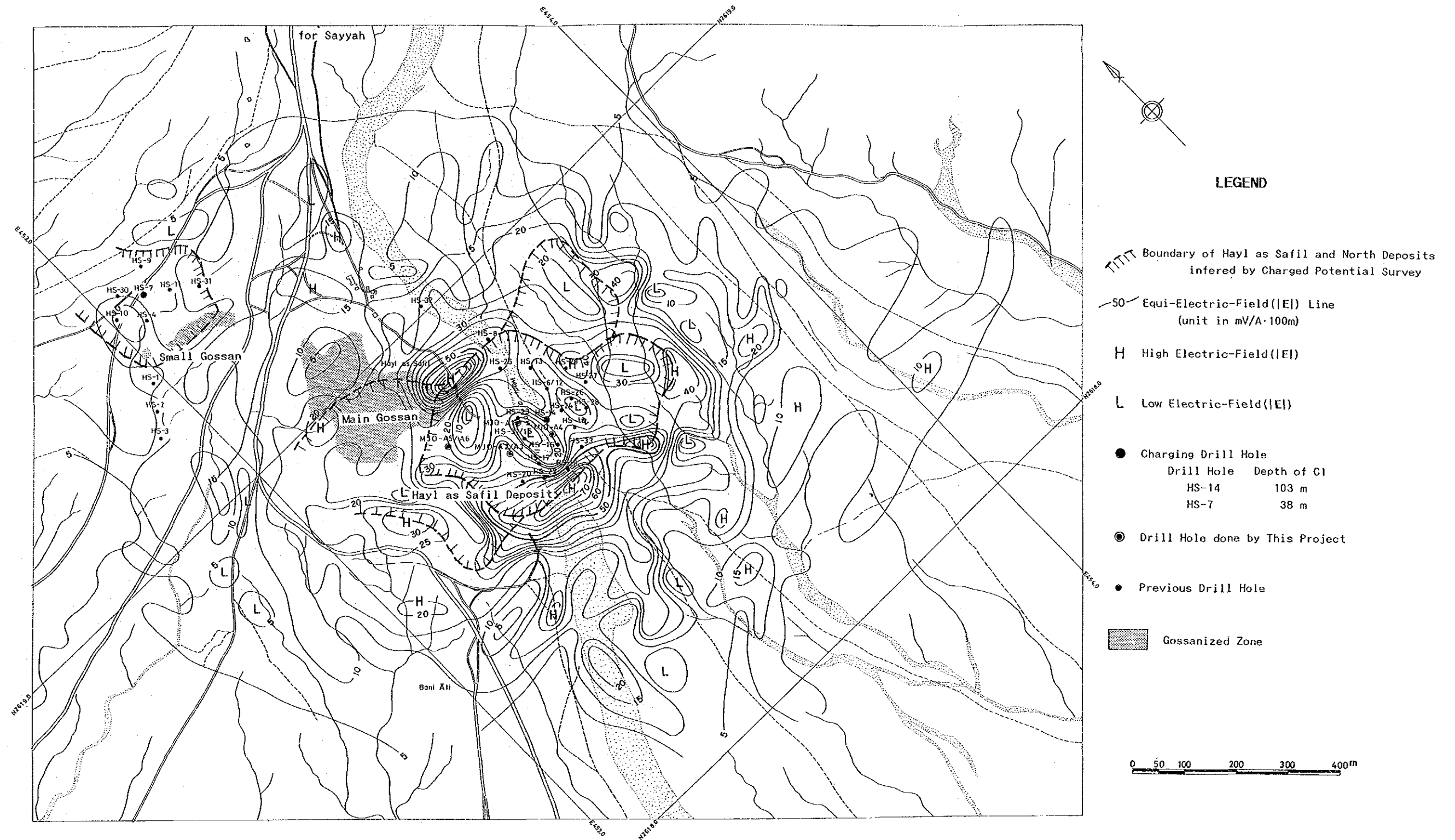


Fig. 1-25 Geophysical interpretation map of Area A



本主要部の北西方（メイン・ゴッサンの南半部）一帯及び主要部の西端から西方 100m付近まで張り出すが、この部分では鉍体が薄くなっているものと考えられる。また、HS-14 孔の北東方 360 m付近まで見られる張り出しは、深部に賦存する鉍体を反映していると考えられる。

スモール・ゴッサン及びその北側の鉍化帯は、東西、南北それぞれ 200m幅で分布する孤立した鉍化帯で、ハイル・アス・サヒル鉍床の主要部とは連続していないと考えられる。