

#### (4) 地質構造と金属成分濃度

Imarine 地区、Amzourh 地区、Oukhribane-Akhlij 地区の各 1 測線、及び Frizem 地区の 3 測線について、測線上の金属成分の変化と地質構造を対比した図を Fig. I-25 に示す。なお、本図中にはゴッサン試料も含めてプロットした。各断面線の位置は Fig. I-20, 21 に示す。

Imarine 地区の測線では、各金属成分に層準の規制による変化は認められないが、ライン中央付近の断層近傍の試料で、Zn, Ag が高い値を示している。

Amzourh 地区の測線は大部分 IIap 層及び IIas 層が分布し金属成分は変化に乏しいがラインの両端近くで Cu, Pb, Zn がやや高い値を示す。これらはいずれも小規模な断層破碎帯の影響と思われる。

Oukhribane-Akhlij 地区のサンプリングラインでは南西端の IIas 層で Cu, Pb, Ag の値が高くなる。層準ごとの平均をみると IIas 層は必ずしも他層準に比較して金属成分が濃集しているとは言えず、鉱化作用の影響が考えられる。

Frizem 地区の 3 測線はいずれもゴッサン試料が高い金属成分濃度を示しており、これらはいずれも東部の鉱染鉱床及び西部の脈状鉱床の影響である。

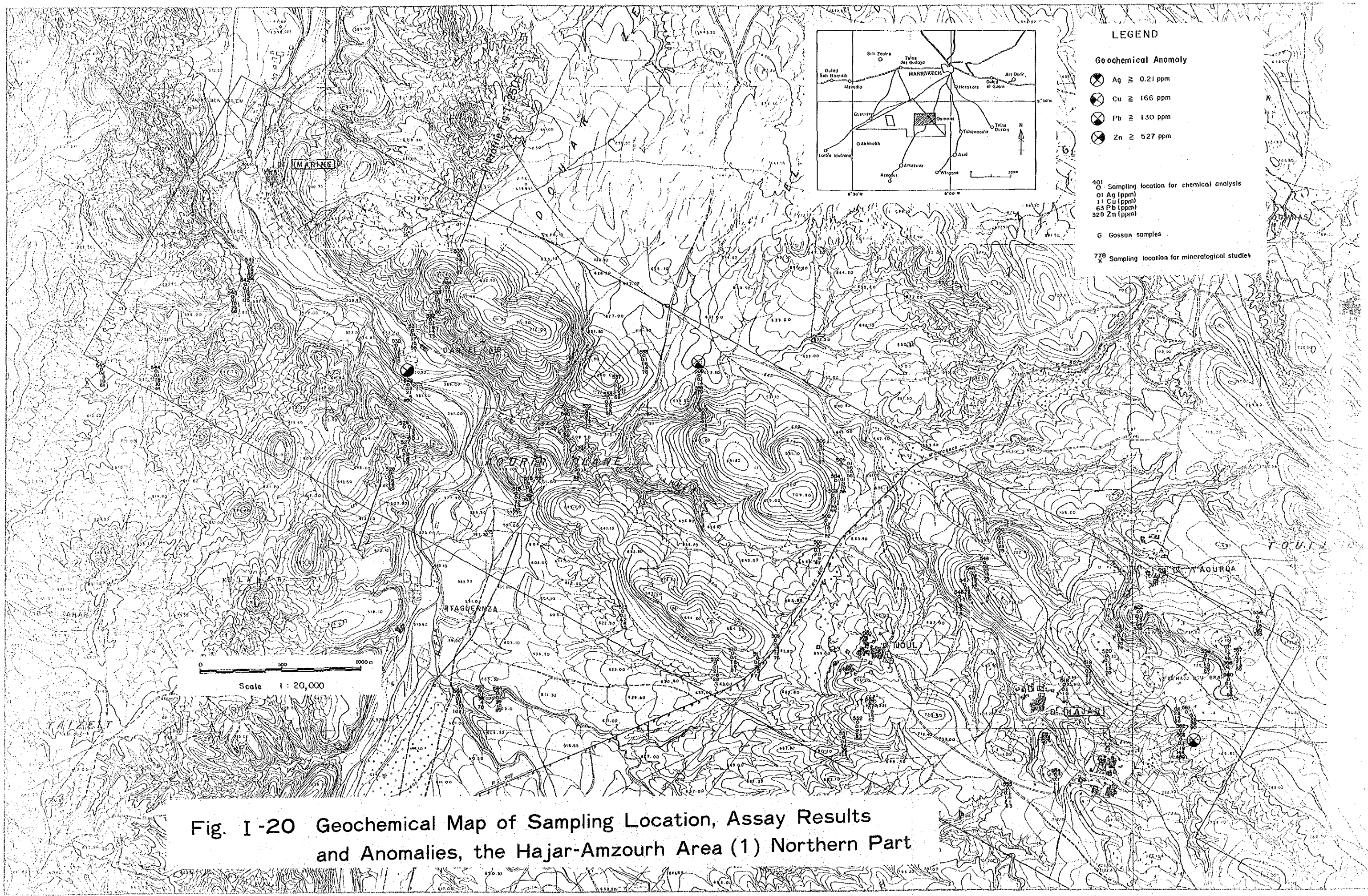
#### 3-4 考 察

層準別金属成分濃集度をみると、IIat 層（凝灰質緑色岩）に Cu-Zn が著しく濃集している。これは本層が Hajar 鉱床下部の網状鉱の胚胎層準に対比されることを裏付けている。

Frizem 地区の酸性火山岩類には、Pb-Zn の濃集が認められ、本岩体が当地区の Pb-Zn 鉱化作用に関係することを示している。

Hajar 層準と Frizem 層準とでは母岩中の濃集元素が、前者が Cu-Zn であるのに対し、後者は Pb-Zn であり、両者の鉱化作用のタイプがやや異なることを示している。

金属成分は特定の層準に濃集しているが、局所的な異常濃集は断層破碎帯に影響されている。



**LEGEND**

**Geochemical Anomaly**

- ⊗ Ag ≥ 0.21 ppm
- ⊗ Cu ≥ 166 ppm
- ⊗ Pb ≥ 130 ppm
- ⊗ Zn ≥ 527 ppm

- Sampling location for chemical analysis
- 01 Ag (ppm)
- 11 Cu (ppm)
- 63 Pb (ppm)
- 328 Zn (ppm)

G Gossan samples

778 X Sampling location for mineralogical studies

**Fig. I-20 Geochemical Map of Sampling Location, Assay Results and Anomalies, the Hajar-Amzourh Area (1) Northern Part**

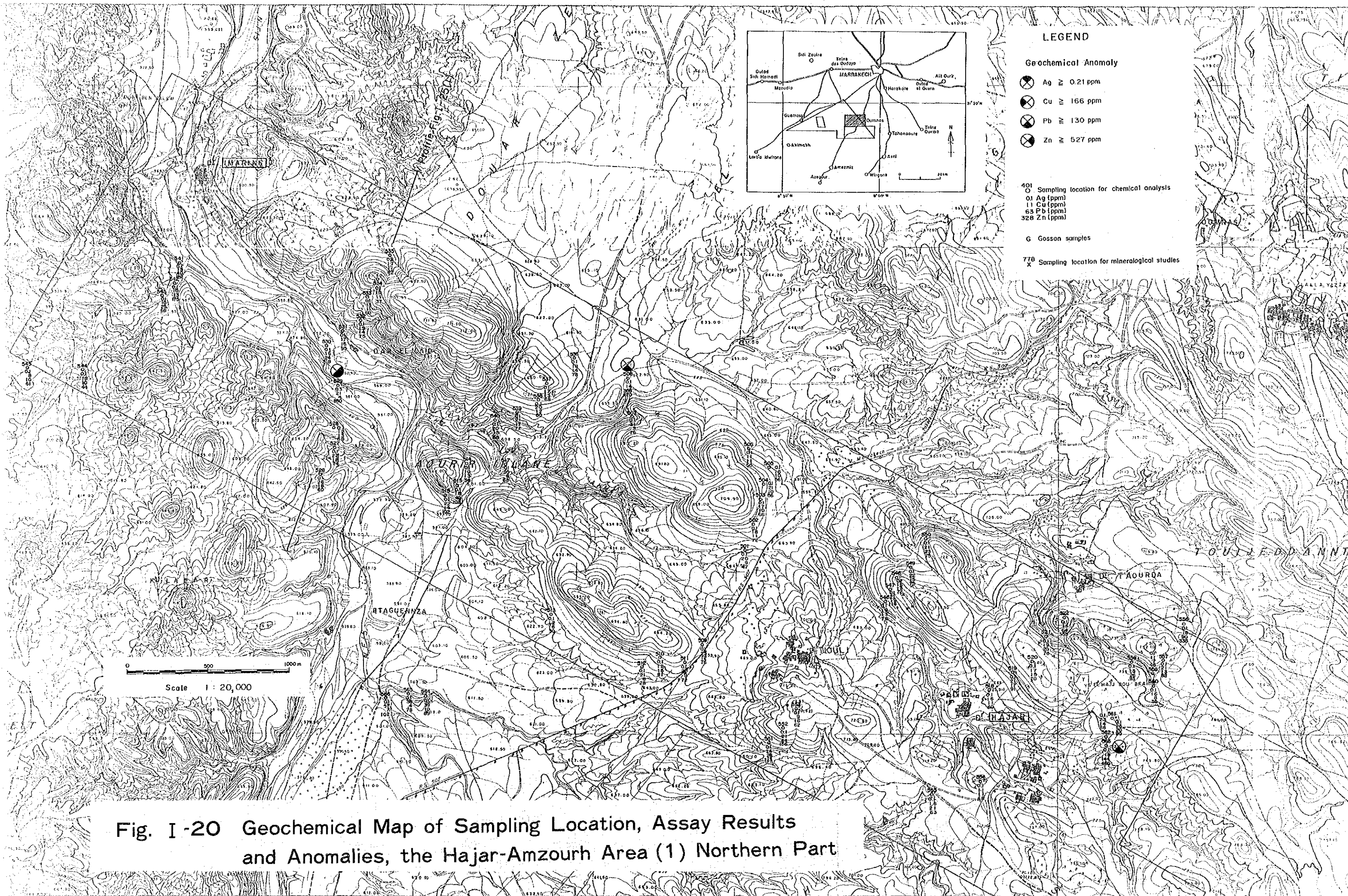
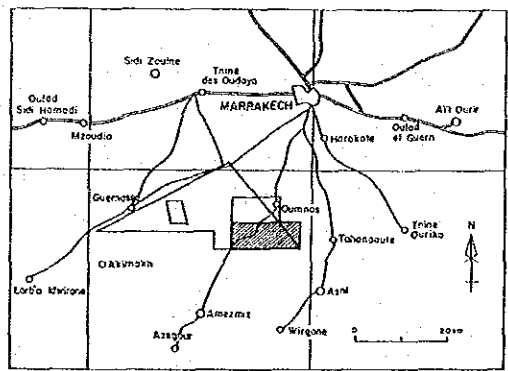
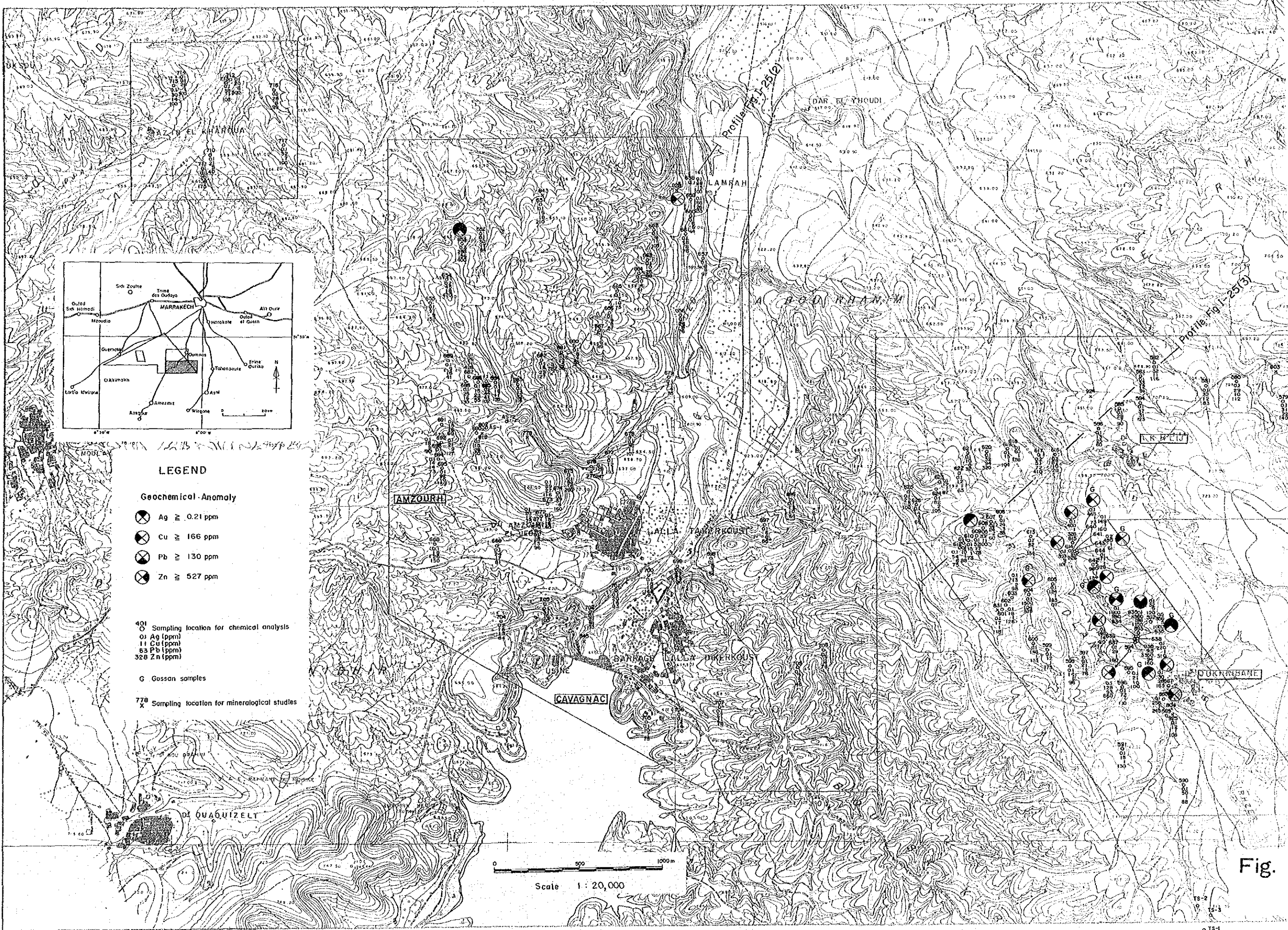


Fig. I-20 Geochemical Map of Sampling Location, Assay Results and Anomalies, the Hajar-Amzour Area (1) Northern Part



- LEGEND**
- Geochemical Anomaly**
- ⊗ Ag  $\geq$  0.21 ppm
  - ⊗ Cu  $\geq$  166 ppm
  - ⊗ Pb  $\geq$  130 ppm
  - ⊗ Zn  $\geq$  527 ppm
- 401 ○ Sampling location for chemical analysis  
 01 Ag (ppm)  
 11 Cu (ppm)  
 83 Pb (ppm)  
 328 Zn (ppm)
- G Gossan samples
- 778 X Sampling location for mineralogical studies

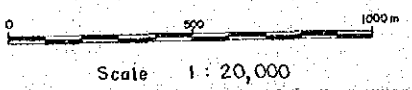


Fig.

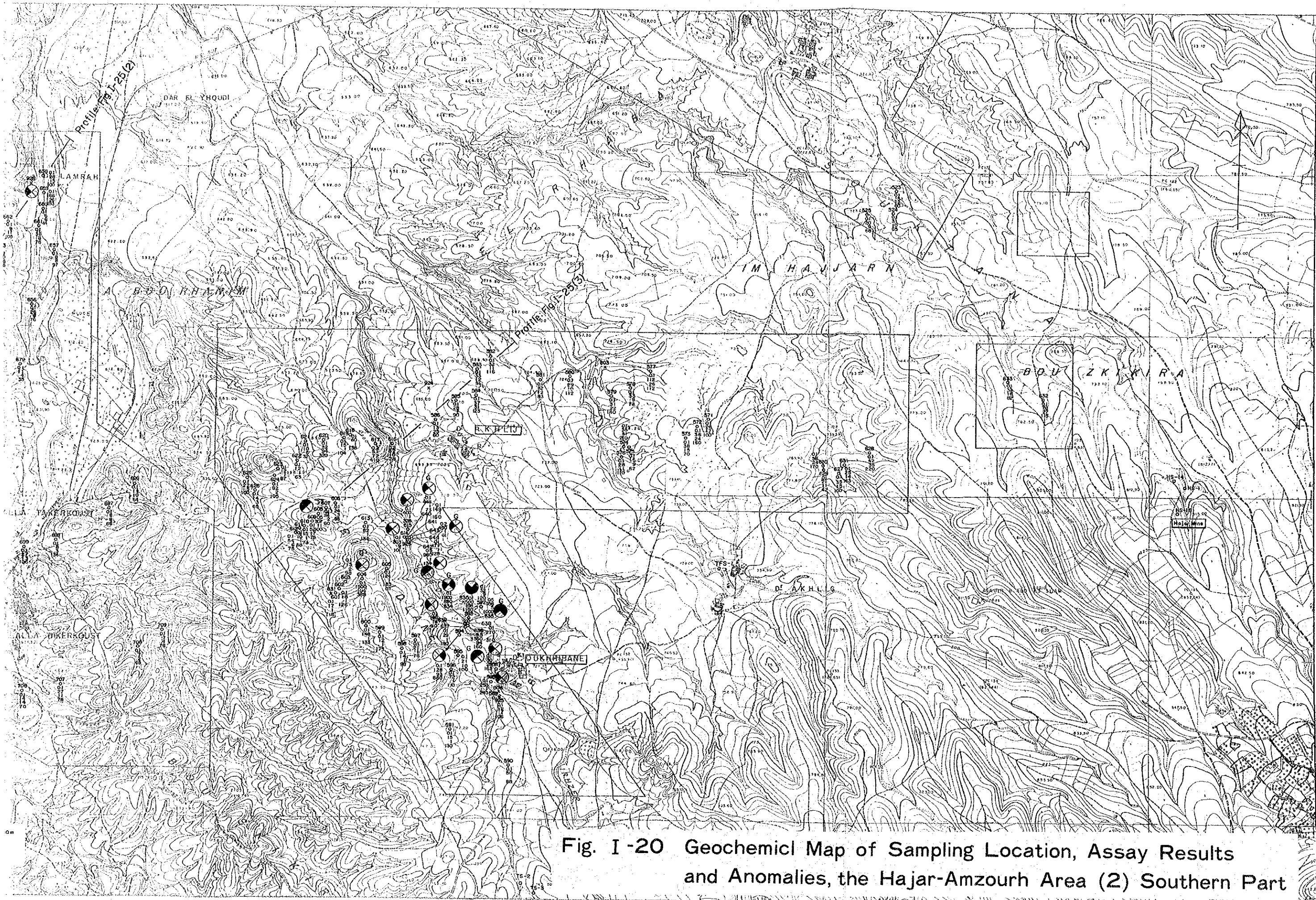
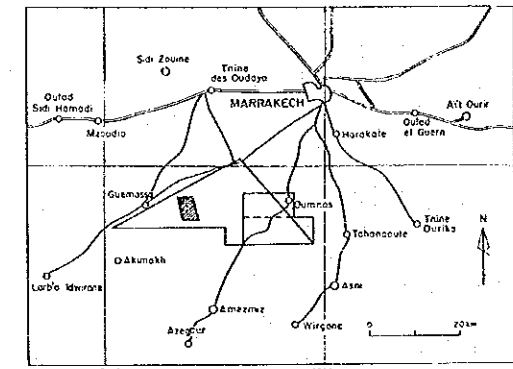
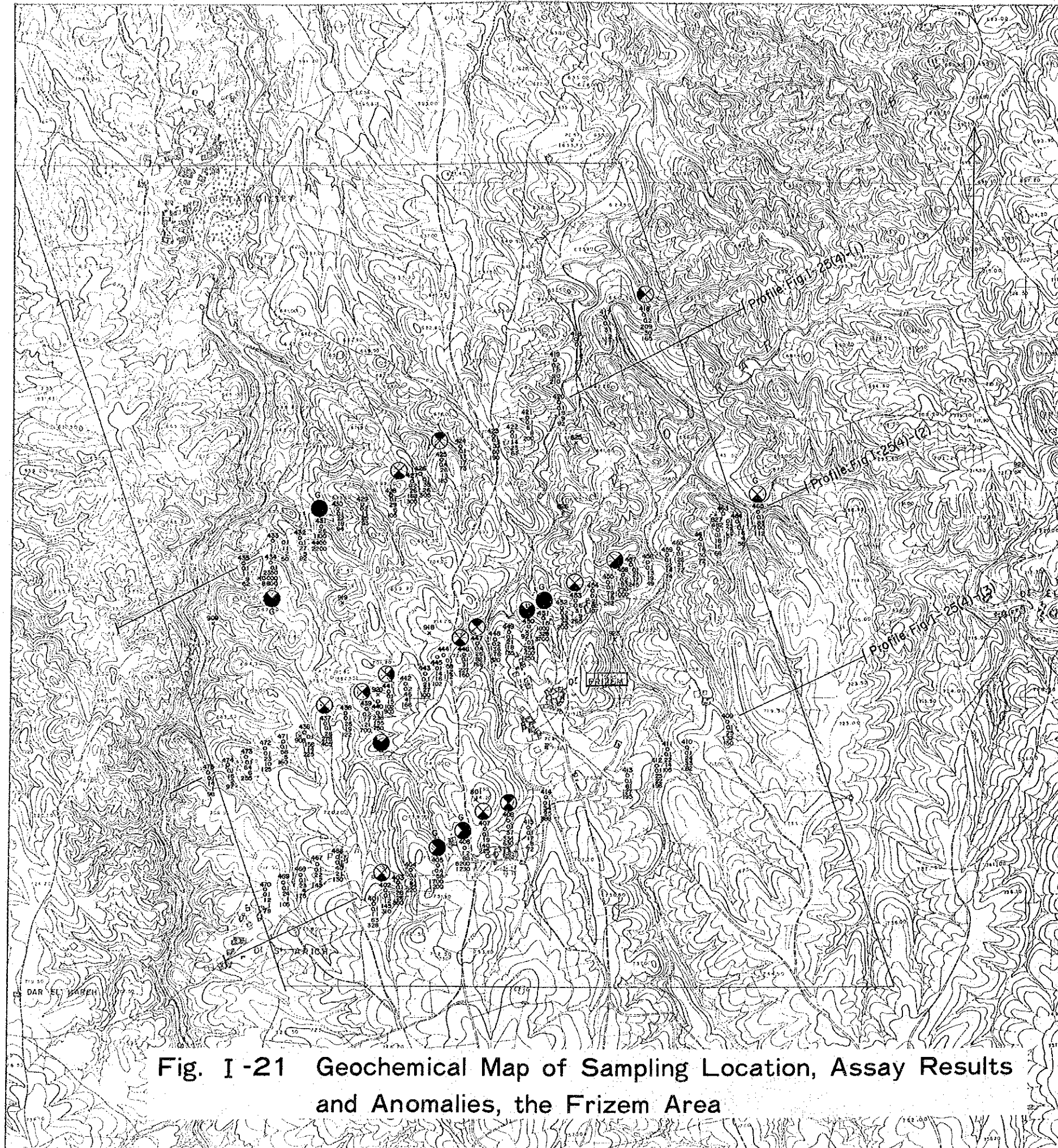


Fig. I -20 Geochemical Map of Sampling Location, Assay Results and Anomalies, the Hajar-Amzourh Area (2) Southern Part



Scale 1 : 20,000

**LEGEND**

**Geochemical Anomaly**

- ⊗ Ag  $\geq$  0.21 ppm
- ⊗ Cu  $\geq$  166 ppm
- ⊗ Pb  $\geq$  130 ppm
- ⊗ Zn  $\geq$  527 ppm

- Sampling location for chemical analysis
- 01 Ag (ppm)
- 11 Cu (ppm)
- 63 Pb (ppm)
- 328 Zn (ppm)

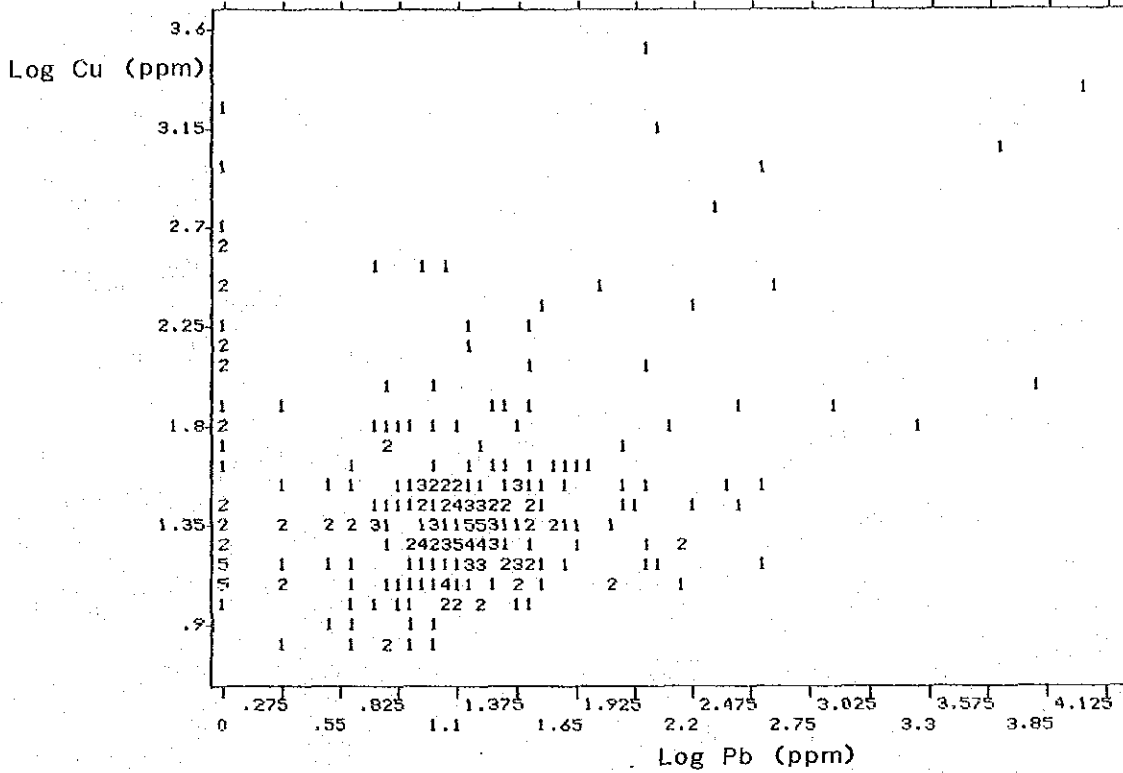
G Gossan samples

779 X Sampling location for mineralogical studies

**Fig. I -21 Geochemical Map of Sampling Location, Assay Results and Anomalies, the Frizem Area**



PLOT OF LCU WITH LPB



PLOT OF LCU WITH LZN

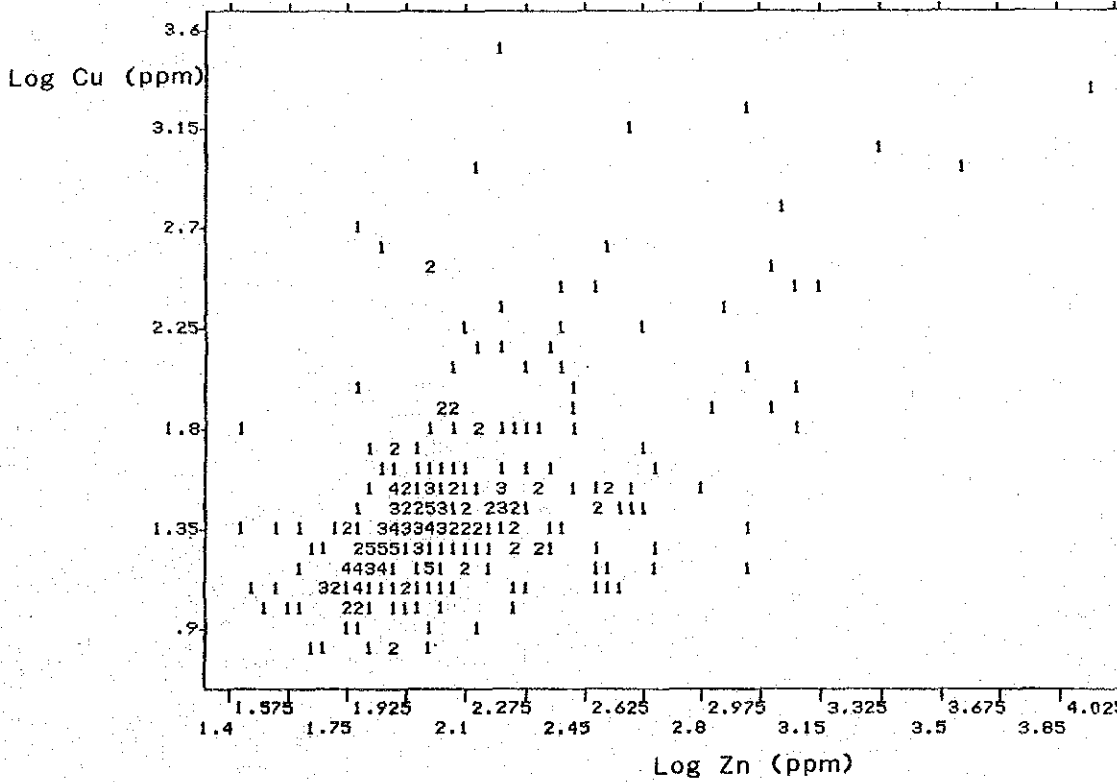


Fig. I-22 Dispersion Diagram of Geochemistry (1)





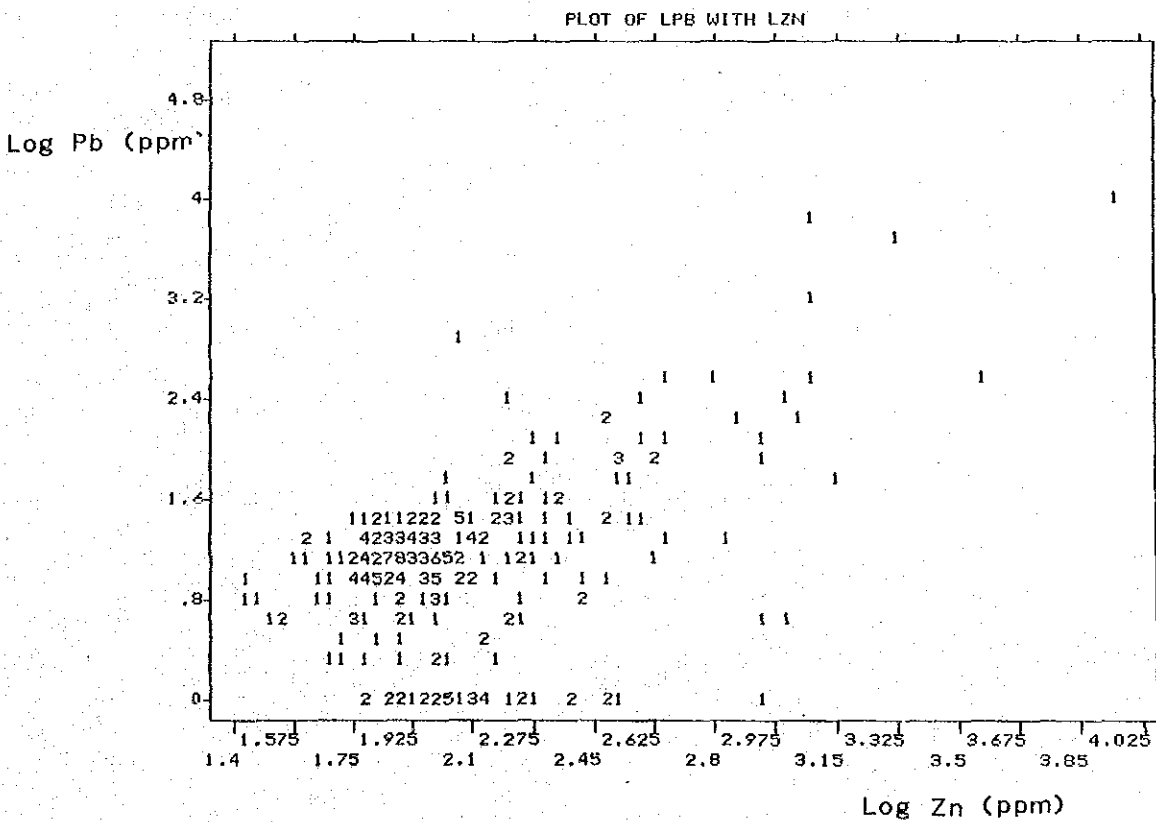
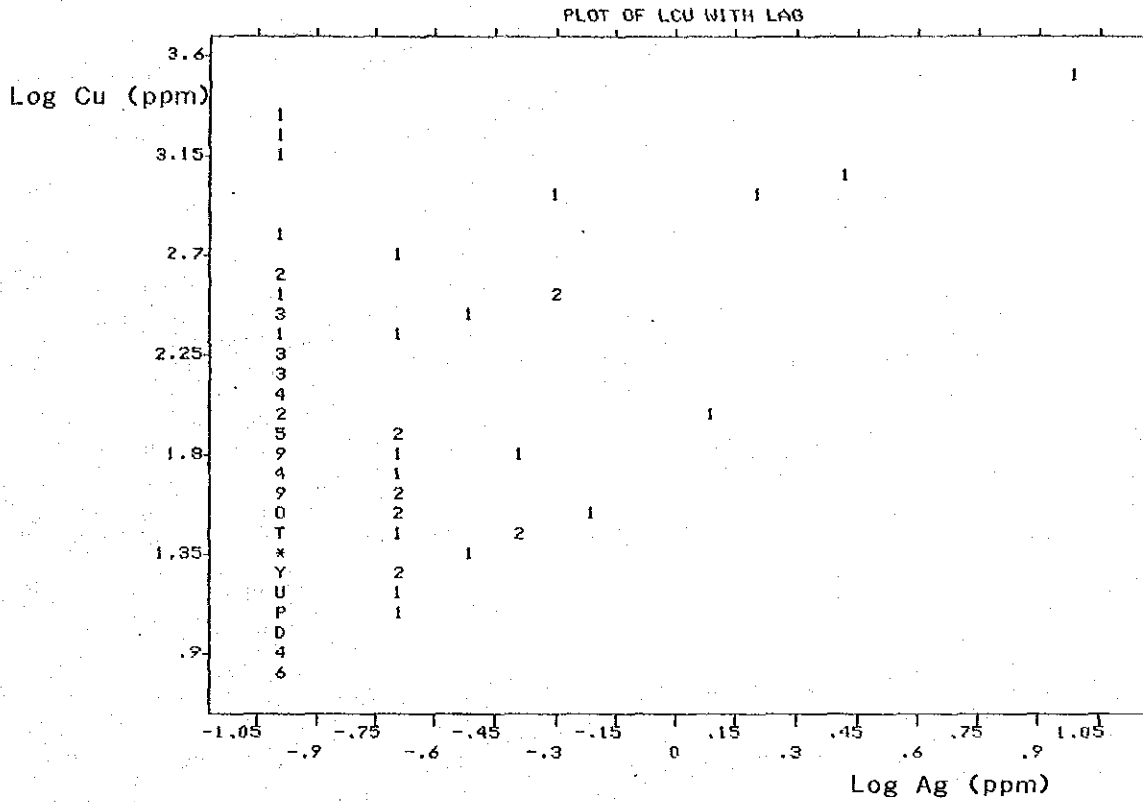


Fig. I-22 Dispersion Diagram of Geochemistry (2)



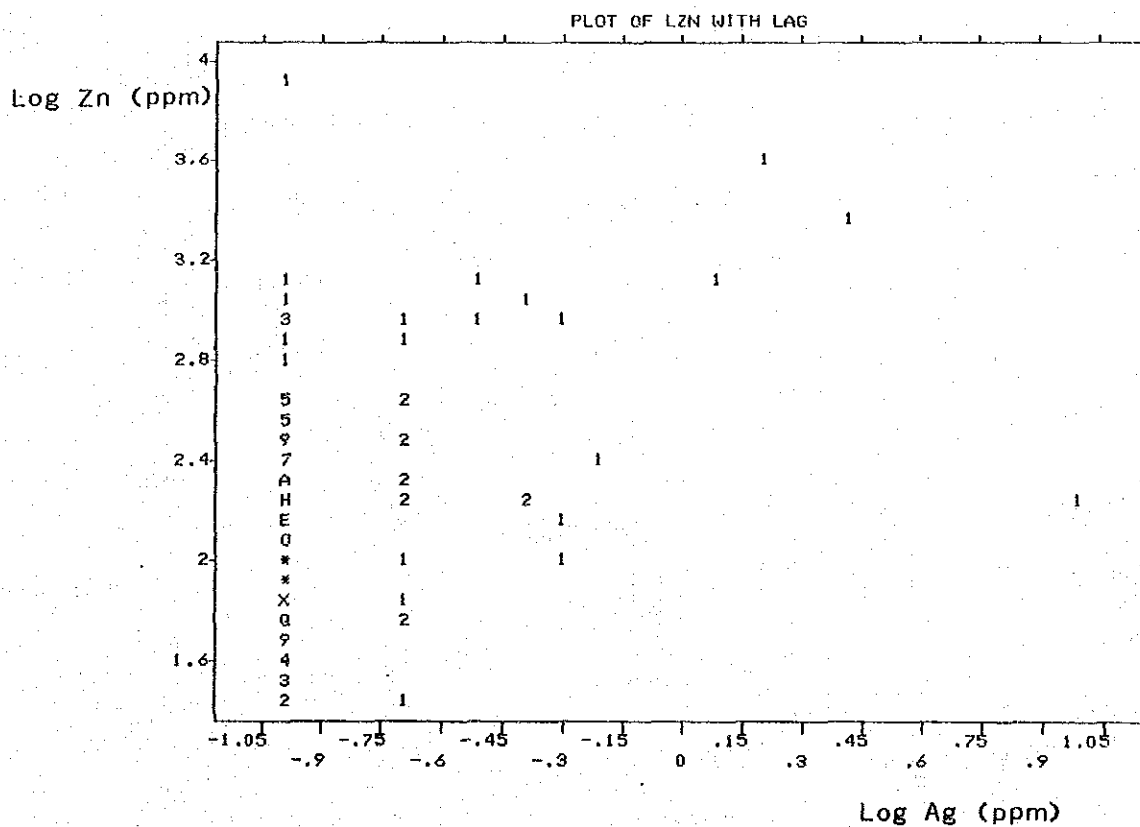
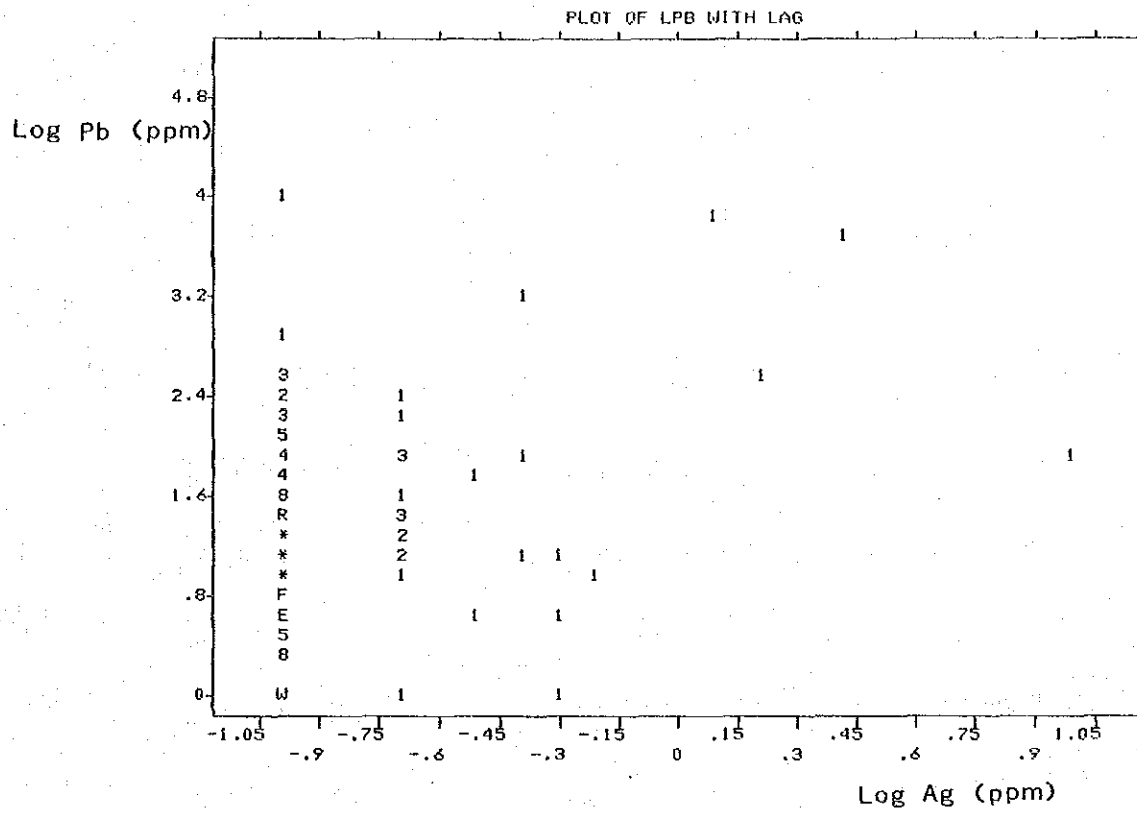


Fig. I-22 Dispersion Diagram of Geochemistry (3)



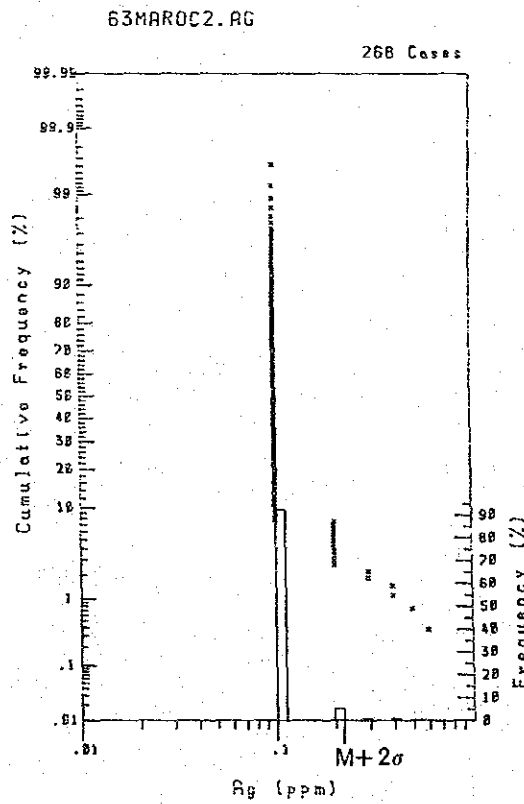
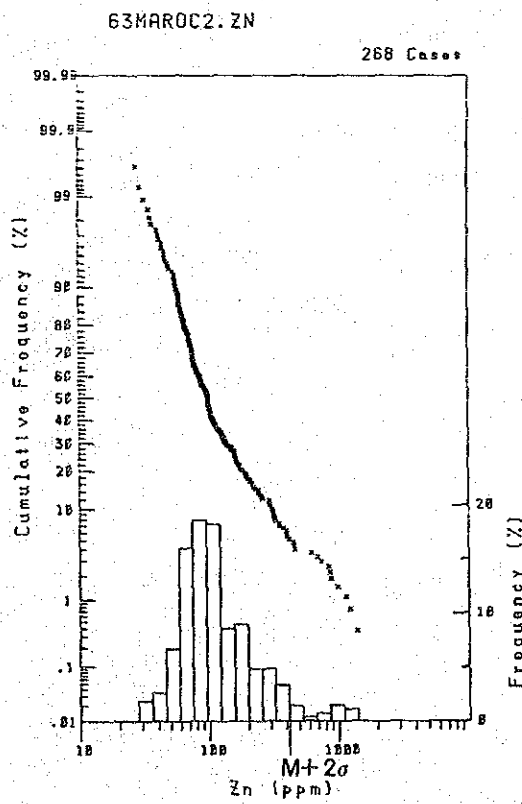
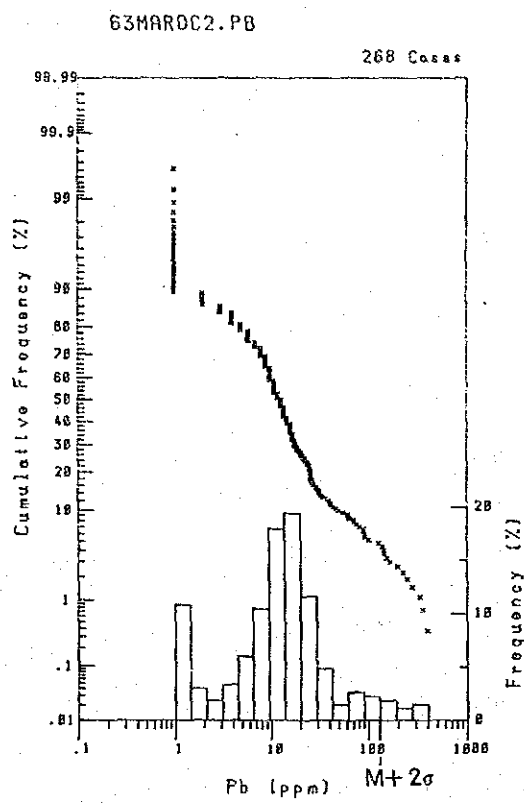
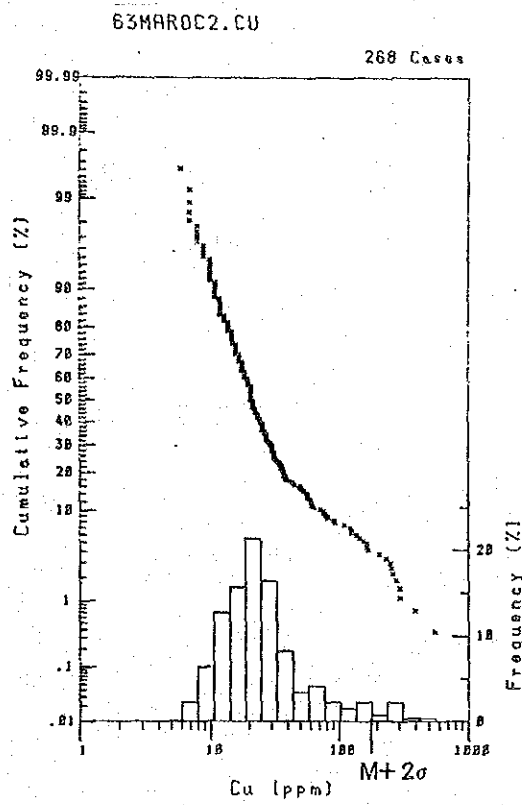
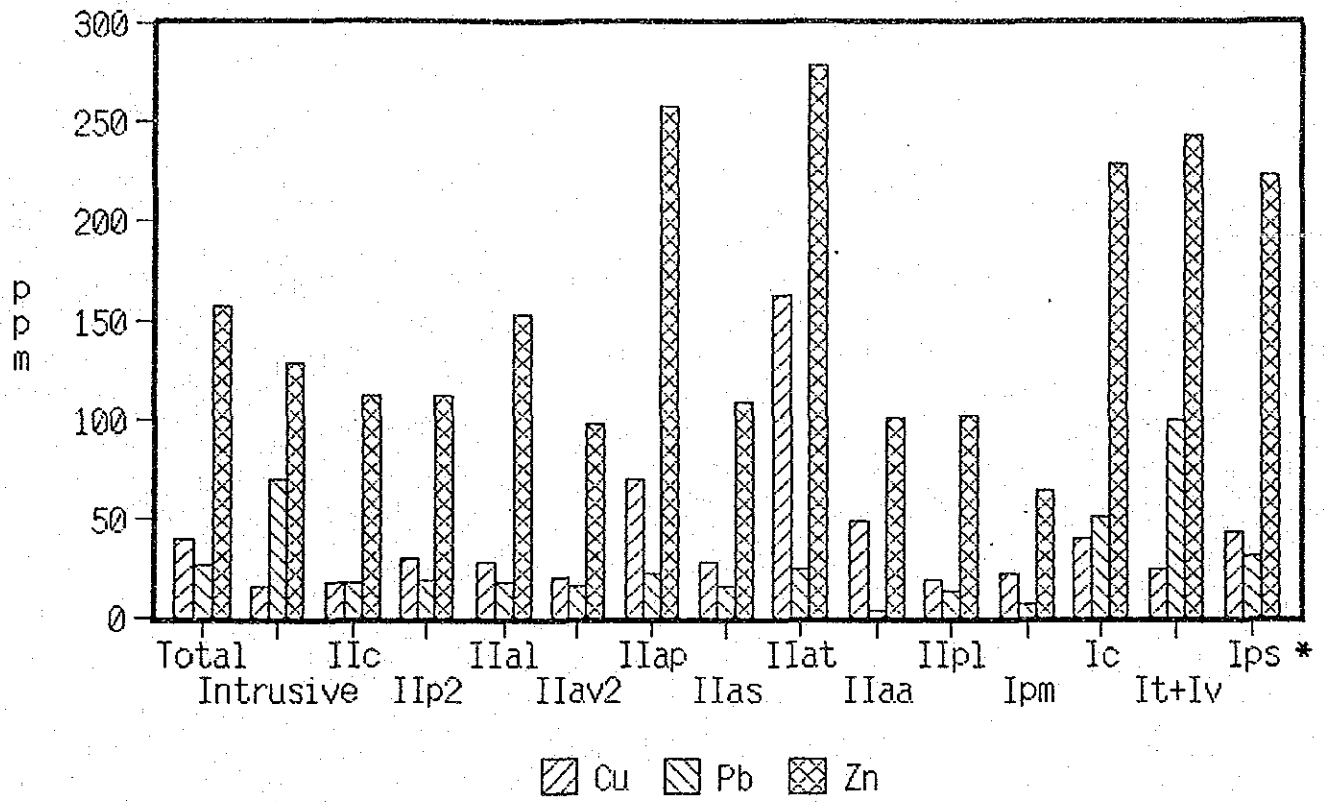


Fig. I -23 Histogram and Cumulative Frequency Curve of Geochemistry





\* See Fig. I-6

Fig. I-24 Geometric Means of Geochemistry, Classified by Each Geologic Unit





### GEOCHEMICAL PROFILE OF IMARINE

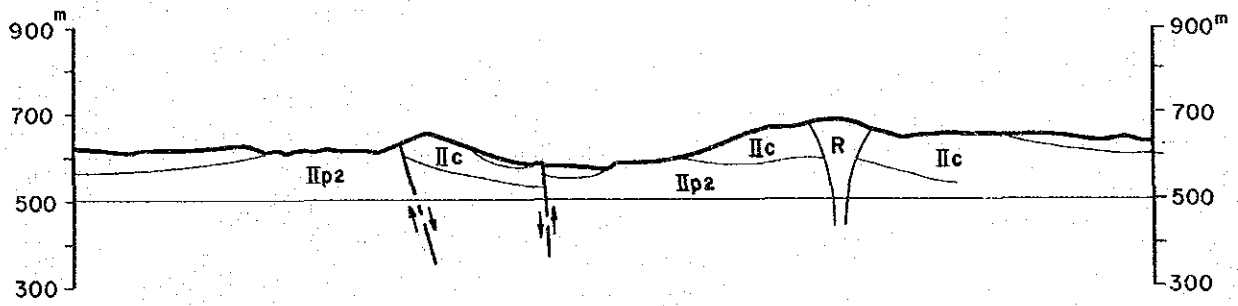
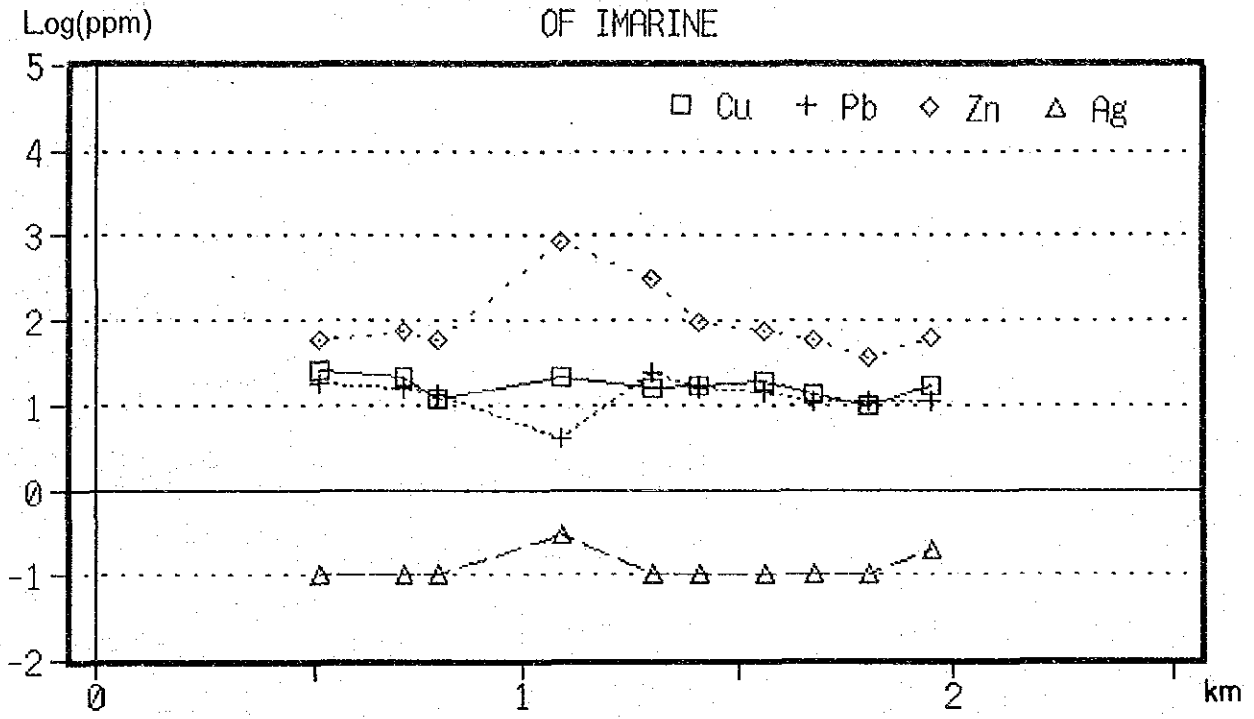


Fig. I-25 Geochemical Profile (I) Imarine Area



GEOCHEMICAL PROFILE  
OF AMZOURH

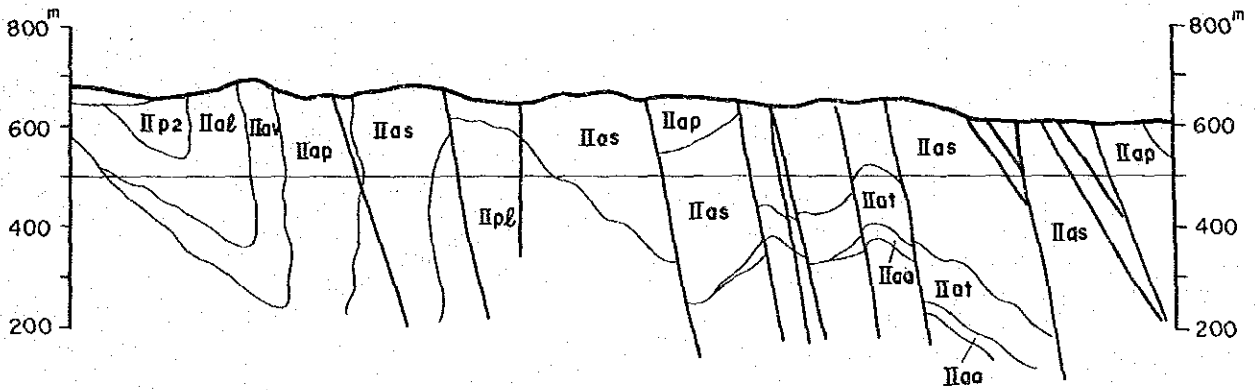
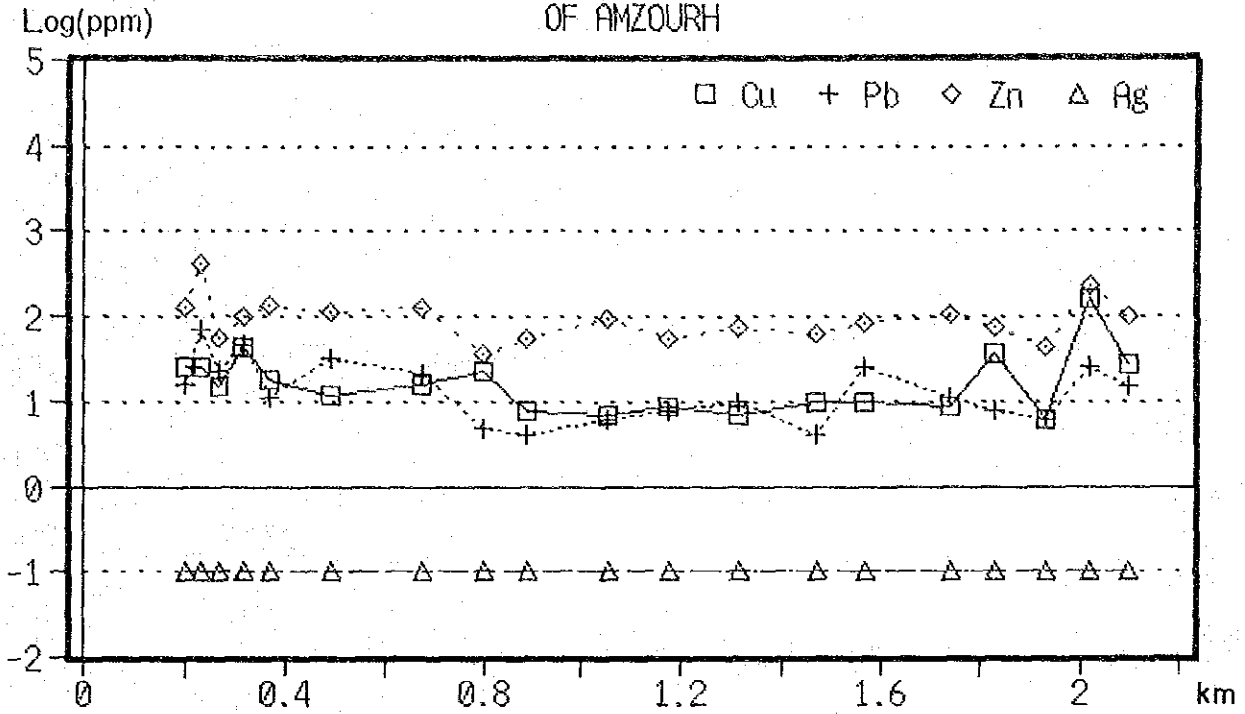


Fig.I-25 Geochemical Profile(2) Amzourh Area



### GEOCHEMICAL PROFILE OF AKHLIJ

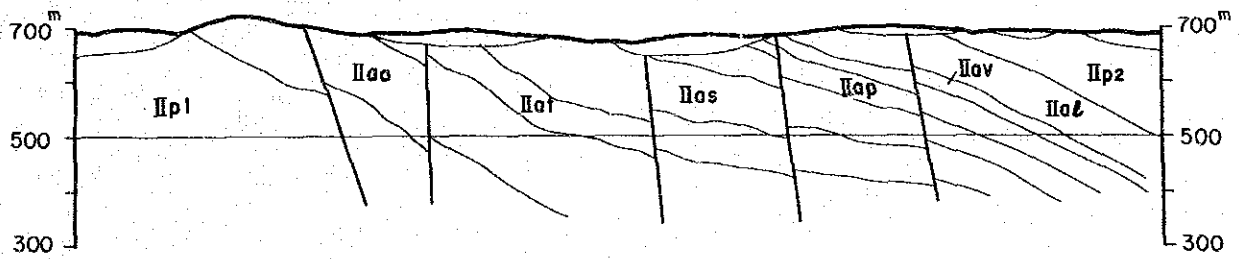
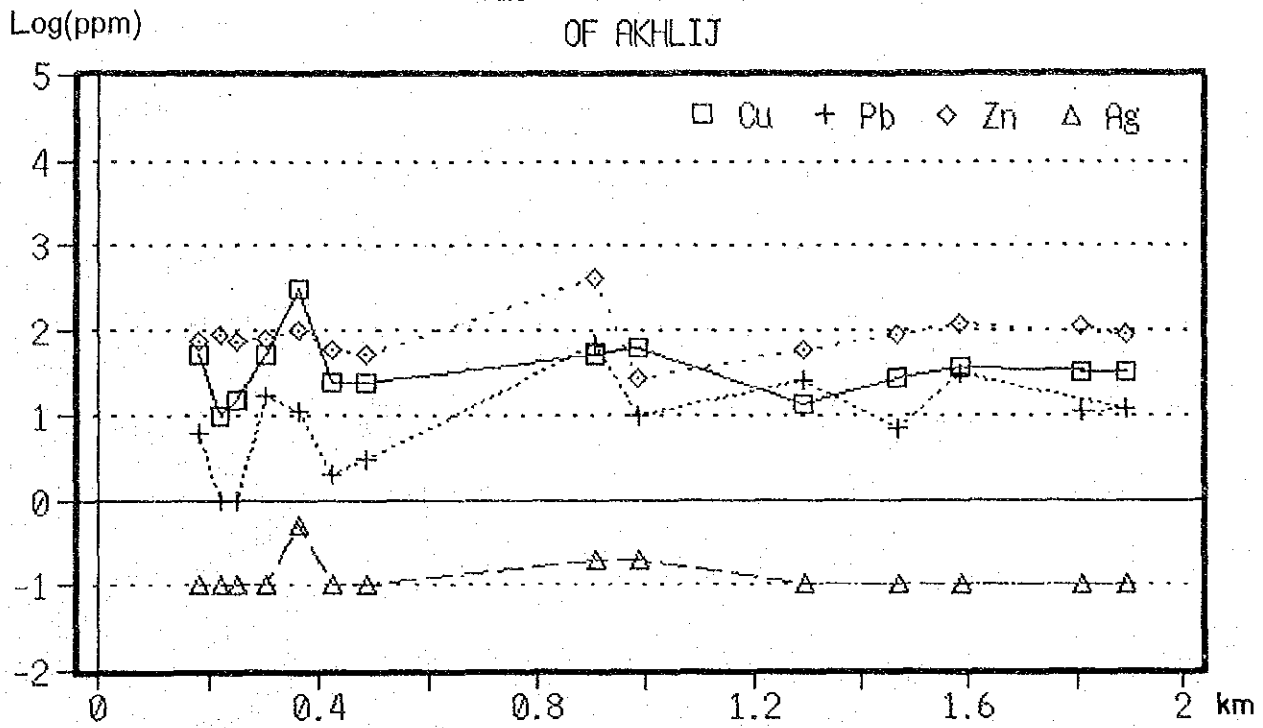


Fig. I-25 Geochemical Profile(3) Akhlj Area



GEOCHEMICAL PROFILE  
OF FRIZEM (1)

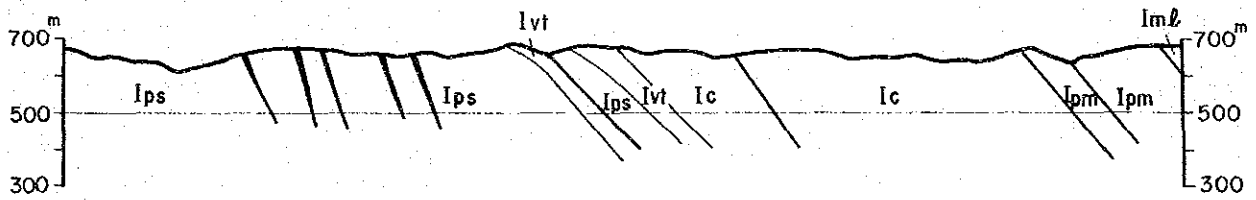
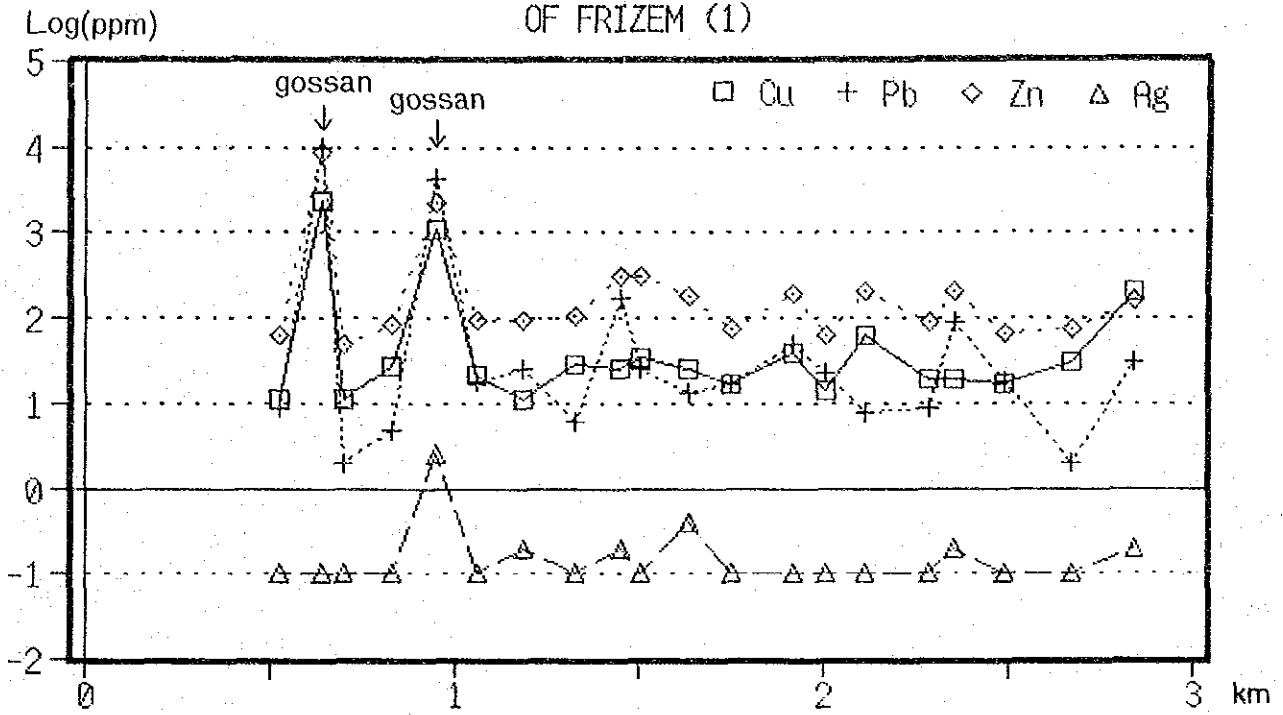


Fig. I-25 Geochemical Profile (4) Frizem Area (I)





GEOCHEMICAL PROFILE  
OF FRIZEM (2)

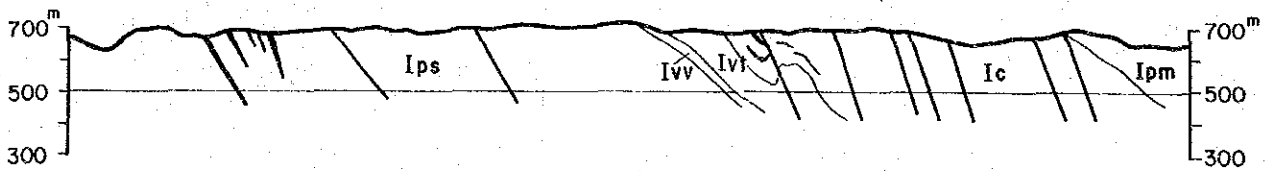
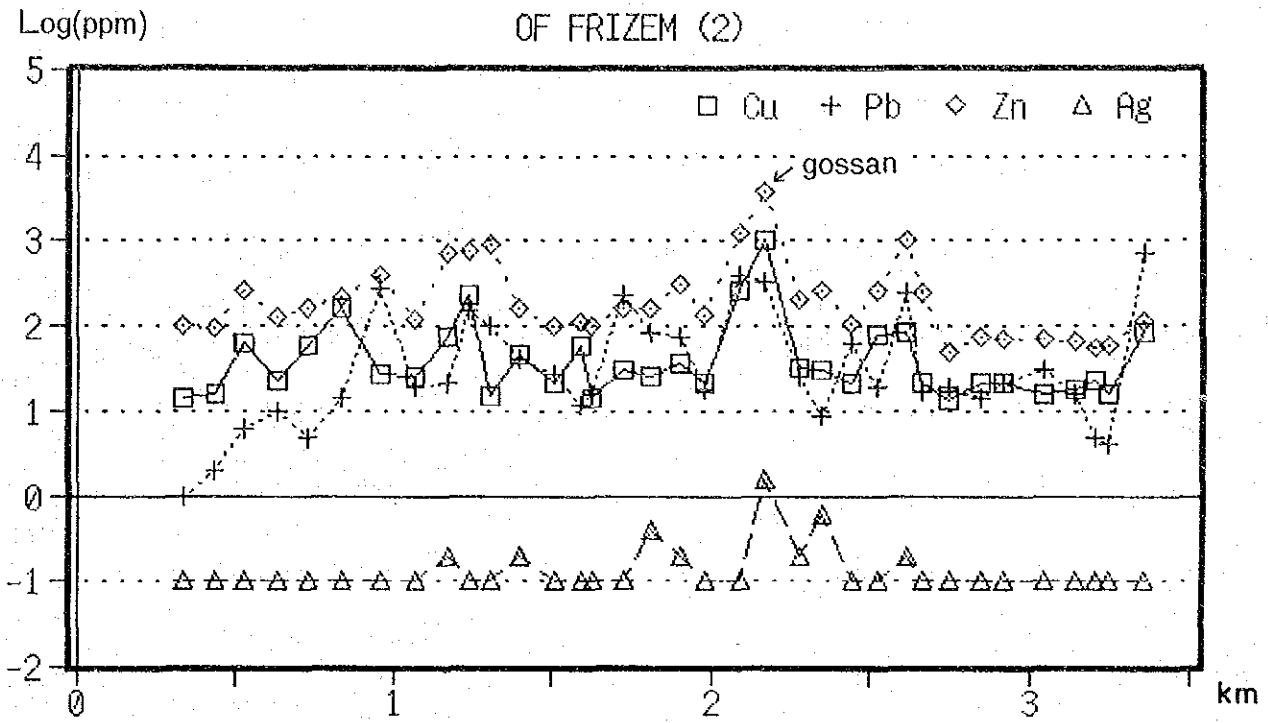


Fig. I-25 Geochemical Profile (4) Frizem Area (2)



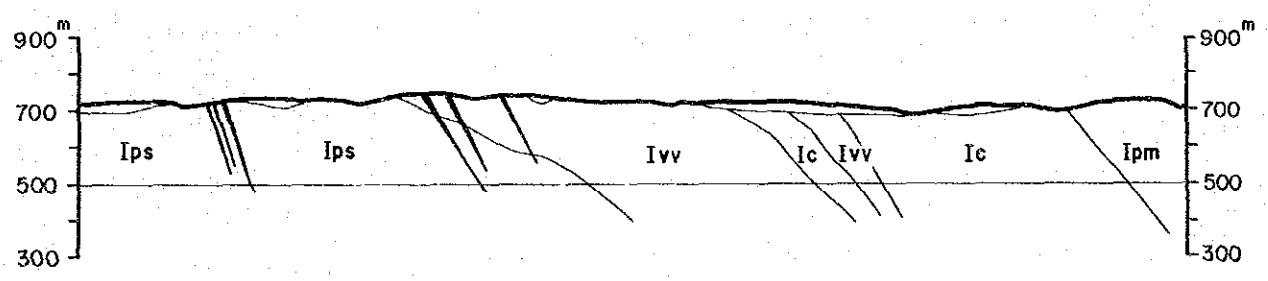
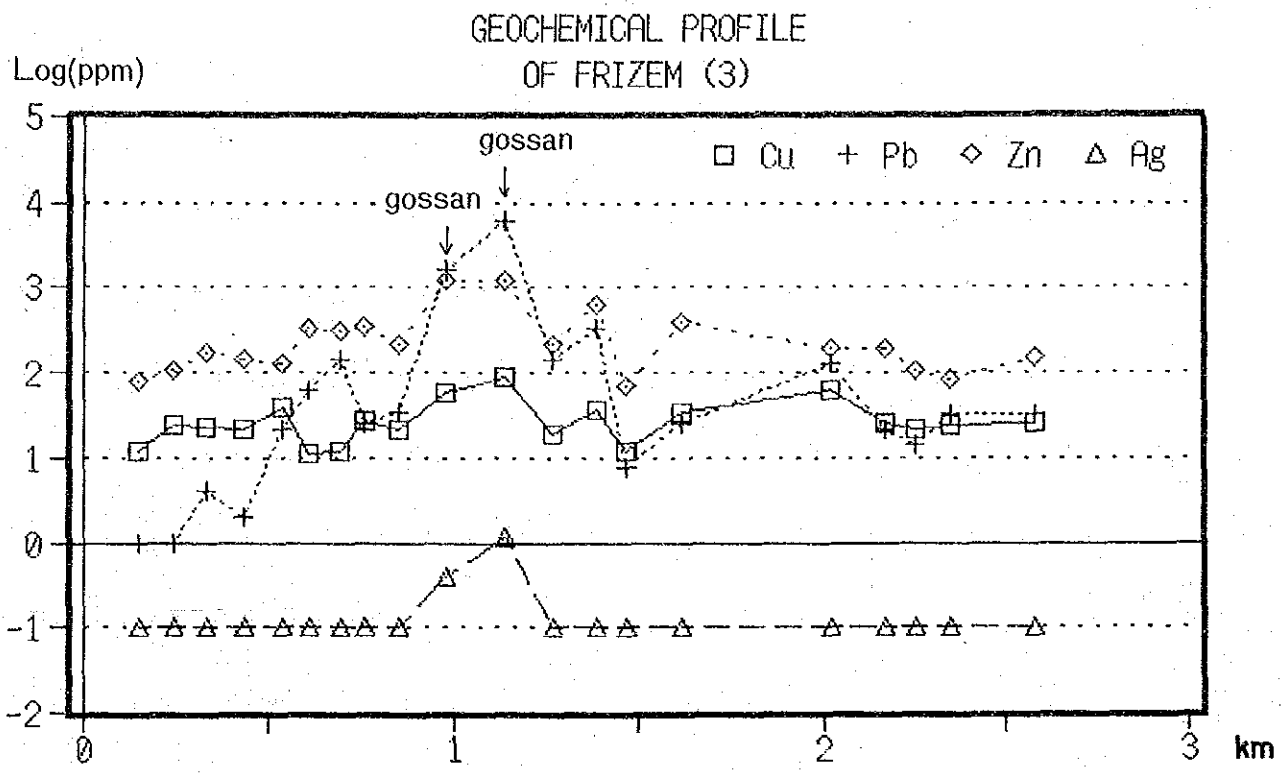


Fig. I-25 Geochemical Profile (4) Frizem Area (3)



Tab. I -2 Statistical Values of Geochemical Assay Results

Geologic Unit #1	No. of Samples	Cu (ppm)			Pb (ppm)			Zn (ppm)			Ag (ppm)						
		Mean	Std	Min	Max	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std	Min	Max				
Total #2	288	40.15	62.74	6	560	26.49	51.87	1	400	157.11	184.88	28	1400	0.11	0.05	0.1	0.6
Intrusive	6	15.33	7.92	10	31	69.33	141.63	3	358	128.67	168.51	37	470	0.10	0.00	0.1	0.1
I1c	38	17.68	4.75	9	31	18.00	15.88	4	90	111.58	144.11	44	880	0.11	0.04	0.1	0.3
I1p2	37	29.70	18.26	8	112	19.19	22.84	4	144	111.62	79.08	28	460	0.10	0.00	0.1	0.1
I1a1	22	27.64	14.36	9	76	17.18	16.69	1	71	152.59	119.74	41	470	0.10	0.02	0.1	0.2
I1av	7	19.86	9.86	10	37	15.29	8.88	4	28	97.43	37.35	60	160	0.11	0.04	0.1	0.2
I1ap	11	69.27	85.61	9	288	21.82	15.18	6	56	258.09	384.18	57	1400	0.12	0.06	0.1	0.3
I1as	24	28.00	30.50	6	128	15.04	22.06	1	94	108.54	95.14	28	410	0.11	0.03	0.1	0.2
I1at	16	162.31	160.12	8	560	24.06	51.63	1	198	278.88	304.40	76	1150	0.10	0.00	0.1	0.1
I1aa	23	48.78	67.32	10	307	2.83	3.88	1	17	100.30	34.31	53	183	0.12	0.08	0.1	0.5
I1p1	15	19.33	9.69	6	36	13.33	9.24	2	38	101.87	38.49	46	173	0.10	0.00	0.1	0.1
I1m	1	209.00	0.00	209	209	30.00	0.00	30	30	185.00	0.00	165	165	0.20	0.00	0.2	0.2
I1pm	4	22.00	6.68	15	31	6.75	6.29	2	16	64.50	9.26	57	77	0.10	0.00	0.1	0.1
I1c	24	39.46	51.35	13	264	50.88	89.20	8	400	229.58	288.38	49	1250	0.15	0.12	0.1	0.6
Ivt+ivv	15	24.80	13.62	11	61	99.20	92.57	8	334	243.27	144.31	72	630	0.14	0.08	0.1	0.4
Ips	25	43.64	50.98	11	238	31.52	61.98	1	278	224.08	229.17	50	900	0.11	0.03	0.1	0.2

(Samples are rocks and gossans)

Mean : Geometric Mean  
 Std : Standard Deviation  
 Min : Minimum  
 Max : Maximum

\*1 See Fig. I - 6.  
 \*2 exclude gossan samples



Tab. I-3 List of Anomalous Geochemical Rock Samples

Area	No.	Unit*	Grade (ppm)			
			Cu	Pb	Zn	Ag
Frizem	402	Ivv	12	145	310	0.1
	407	Ivv	19	140	225	0.1
	408	Ivv	37	334	630	0.1
	416	Iml	209	30	165	0.2
	425	Ic	26	13	180	0.4
	427	Ivt	26	168	305	0.2
	437	Ips	28	278	405	0.1
	439	Ips	77	21	700	0.2
	440	Ips	238	155	750	0.1
	441	Ips	15	102	900	0.1
	446	Ivv	31	227	160	0.1
	447	Ivv	26	82	166	0.4
	450	Ic	264	400	1250	0.1
	453	Ic	31	9	265	0.6
	456	Ic	83	250	1000	0.2
Imarine	508	Dk	14	358	470	0.1
	529	IIc	21	4	880	0.3
	563	IIp2	18	144	460	0.1
Oukhribane	588	IIat	258	1	245	0.1
	593	IIat	560	198	1150	0.1
	594	IIat	128	93	860	0.1
	608	IIaa	307	11	100	0.5
	614	IIat	303	9	101	0.1
	615	IIat	400	1	326	0.1
	638	IIat	270	1	310	0.1
	639	IIat	166	14	410	0.1
644	IIat	171	1	128	0.1	
Amzourh	653	IIap	288	56	1400	0.3
	659	IIap	166	26	233	0.1

\* See Fig. I - 6.

(Samples are rocks)

Tab. I-4 List of Gossan Samples

Area	No.	Grade (ppm)			
		Cu	Pb	Zn	Ag
Frizem	405	58	1700	1200	0.4
	406	88	6200	1230	1.2
	431	1100	4400	2200	2.6
	434	2350	10000	8800	0.1
	451	1000	328	3700	1.6
	465	83	700	112	0.1
Oukhribane	604	1500	104	388	0.1
	634	1800	1	890	0.1
	635	356	5	1000	0.5
	636	3350	94	160	9.5
	637	29	1	180	0.1
	640	448	1	73	0.1
	642	980	1	134	0.5
	643	480	1	61	0.2





## 第4章 考 察

### 4-1 層序・岩質・構造

Haouz 地域を構成する基盤岩類は、石灰岩・シルト岩を挟在する泥灰質・泥質の堆積岩を起源とする片岩類である。P. Huvélin (1973) によれば、本片岩類は、石灰岩中に Entroques を産するので、古生代石炭系下部～中部に対比される。

片岩類の構成鉱物は、主として緑泥石・絹雲母・石英・方解石であり、本片岩類の変成度はそれ程高くない。本片岩類中には、片理面断層が多数発達し、複雑な引摺褶曲を繰返している。このことは本地域の変成作用は、地層の変形を主とする動力変成作用であったことを示している。

### 4-2 酸性火山岩の年代測定結果

Frizem 地区及び Hajar - Amzourh 地区の酸性火山岩及び同質火砕岩について、その活動時期と Pb-Zn-Ag-Cu 鉱化作用との関係を確認するため K-Ar 法による年代測定を実施した。その結果を Tab. I-5 に示す。

番号	岩石名	層 準	地 区	同位体年代 (Ma)
801	流紋岩	I vr	Frizem 地区	328±16
802	流紋岩	II av2	Amzourh 地区	303±15
803	流紋岩	II av2	Akhlij 地区	294±15
804	凝灰岩	II at	Oukbribane 地区	297±15

上記4試料の同位体年代は、Frizem 地区の流紋岩が石炭系下部に対応し、Hajar - Amzourh 地区の流紋岩及び凝灰岩が石炭系上部に対応しており、化石による堆積岩の年代によく一致している。

これらの火山岩類は、いずれも片岩化作用を受け、葉片状を呈し、片状構造を有している。しかし、鏡下の観察によれば、いずれも石英の斑晶を有し絹雲母を生じているが原岩の鉱物組成及び構造は比較的良好に保存されているので、変成期を通じて、加熱によるアルゴン・ガスの散逸はほとんど生じなかったと推定される。今仮に、アルゴンの散逸が起ったとすれば、同位体年代は実際より若くでるはずであり、生層位学 (biostratigraphy) の結果と著しく矛盾することとなる。

年代測定結果と地質調査結果をあわせると次の推論が可能である。

- ① 火山岩類の活動は、石炭紀以前である。これは堆積岩の堆積時と一致する。
- ② 第1年次調査の層序・地質構造の検討の結果、前後2回の火山活動の存在が推定されたが、Frizem地区の火山活動がより古く、Hajar - Amzourh 地区の火山活動がより新しいことが再確認された。
- ③ 本岩は海底火山活動の産物であると類推される。本岩の活動がもたらした鉍化作用は、堆積岩と同時代である。

#### 4-3 全岩分析結果

岩石試料10個の全岩分析結果をAp. I-3に示した。その結果をA1-C-F1図, A2-K-F1図及びA3-F2-M図にプロットし、Fig. I-26に示した。火山岩のSiO<sub>2</sub>値は、Frizem及びAkhljの火山岩(801, 803)で、76~80%を示し、本岩は流紋岩に分類される。Amzourhの火山岩(802)はSiO<sub>2</sub>=62%で石英安山岩質である。Frizem地区の輝緑岩(825)は泥灰岩中の岩脈で方解石に交代されている(CaO=5.3%)。

A1-C-F1図によれば、泥灰岩(826)はCaOに富み、約30%のCaCO<sub>3</sub>を含む。鉍床母岩の緑色凝灰岩(804・813・814・831)は、CaOに乏しいグループに分類される。

A2-K-F1図によれば、輝緑岩(825)は、塩基性成分(FeO+MgO)に富み、珪長質成分(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・K<sub>2</sub>O)に乏しいことが示される。緑色凝灰岩はK<sub>2</sub>Oに乏しいグループを構成する。

A3-F-M図によれば、緑色凝灰岩のMgO含有比に系統の変動が認められる。一般的にみて、緑色凝灰岩はMgO及びK<sub>2</sub>Oに富み、特にK<sub>2</sub>O/NaO比は異常に高い値を示す。

#### 4-4 Hajar 鉍床の特徴

Fig. I-15に示した-235m準の坑道図に、地表ボーリングによる鉍床範囲を投影するとFig. I-27となる。片理面断層及び引摺褶曲による小規模な転移・変形を無視すれば、本坑道準の全体的な層理構造は、走向N45°W, 傾斜40°~50°NEである。

ここで、坑道平面図をS45°W方向に45°傾動させ、次に、NW-SE方向の垂直断面に地質・鉍床を投影させるとFig. I-27(B)に示すような変形・変動を受ける前の鉍床生成時の断面図が得られる。なお鉍体下盤の網状脈の傾向は、走向N25°E, 傾斜30°E及び走向N25°W, 傾斜30°Wの2方向の組合せであり、上記と同様な操作を行えば、網状鉍の走向は、ほぼN25°E及びN25°W, 傾斜は各々70°E及び80°Wとなる。

本断面図は、本鉍床の生成モデルをよく示している。本鉍床の形態はキノコ状であり、カ

サの部分層状鉍床であり、幹の部分網状鉍とその周辺に鉍脈が形成されている。

層状鉍床は、1層でなく、磁硫鉄鉍に富む幾つかの鉍層が繰返しており、鉍層の間には、珪化岩又は滑石—緑泥石岩が発達している。層状鉍床の最上部にPb・Zn・Agが濃集しており、この部分の高品位部はPb 10%、Zn 20%、Ag 200g/lに達し、Cuは0.2%程度である。

層状鉍床の下部は、Pb・Agが減少し、比較的Cuに富む。この部分の平均的な品位は、Pb 5%以下、Zn 10%以下、Ag 50g/l以下、Cu 0.6%程度である。

網状脈及び鉍脈は、Zn—Cuを含む黄鉄鉍・磁硫鉄鉍・石英脈である。鉍脈の平均的な品位はPb 1%以下、Zn 5%以下、Ag 10g/l以下、Cu 0.4%程度である。

鉍床の周辺部には、2次的に移動・堆積した角礫鉍が賦存するものと思われる。

この鉍床モデルは、立見・渡辺(1971)及び佐藤(1977)が提示した黒鉍モデルに非常によく類似している。Hajar 鉍床では、黒鉍鉍床における流紋岩ドームが泥質・凝灰質緑色岩であること、重晶石・石膏が未確認であることなどの差異はある。

Hajar 鉍床は次の特徴をそなえており、本鉍床は海底噴気堆積鉍床に分類される。

- ① 鉍床母岩が海成層であり、鉍床下部に海底噴気によると思われる凝灰岩質・火砕岩質ドームが発達すること。
- ② 鉍床の主要部は層状の鉍層であり、その下部に網状脈が発達すること。
- ③ 鉍床上位の泥質岩は鉍化作用の影響を受けていないこと。

#### 4-5 Frizem鉍化帯の特徴

Frizem鉍化帯の主要部を構成する東部鉍化帯は、次の特徴を有しており、海底に形成された堆積鉍床であろうと推察される。

- ① 海底噴火と推定される酸性火山岩上位の特定の層準(海成層)に限って賦存すること。
- ② 鉍化の主体は網状脈—鉍染鉍であり、典型的な層状鉍床は認められていないが、鉍化部が著しく角礫質であり、形態が不規則で、分布が断続的であること。
- ③ 上記の特徴から、本鉍化部は片岩化作用による変形のほか、堆積直後に2次的な移動・再堆積を起している可能性が考えられること。

Frizem西部鉍化帯は、上記の東部鉍化帯と一連の鉍化作用で形成されたもので、酸性火山岩下位の泥質岩中の脈状鉍床が、片岩化作用で変形されたものであろう。

#### 4-6 鉍床成因モデル

##### (1) Hajar 層準

Hajar 鉍化層準については、多様な岩層が出現すること、露出状況が悪く露出が断片的で不完全であることなどの事情があるが、今回の調査データを総合検討し、Hajar 層準の詳細及びこれと鉍化作用との関係を、Fig. I-28(A) に図示した。Hajar 鉍床の成因に関して、次のように推察される。

- ① 泥岩が厚く堆積していた石炭紀の静かな海に海底火山活動が生じた。この活動は大量の火砕岩・凝灰岩を噴出し、噴火の中心部に火砕岩ドームを形成した。
- ② Hajar 鉍床の生成は、この海底火山活動に直接関係しており、火砕岩ドームの上部に Pb・Zn・Ag に富む塊状～層状鉍床が形成され、その下部に Zn・Cu に富む網状鉍が形成された。
- ③ この海底火山活動により堆積環境は激変し、火砕岩ドームの周辺に、凝灰岩・石灰質シルト岩細互層、砂岩-泥岩互層、凝灰質泥岩などが同時異相の関係で堆積した。凝灰岩・石灰質シルト岩の最下底は、礫及びノジュールを含んでいる。
- ④ 海底火山活動は、Amzourh 地区にみられる流紋岩溶岩の噴出をもって終結し、再び静かな海にもどり、石灰岩及び泥岩の厚層が堆積した。この流紋岩に伴い小規模な脈状鉍床及び鉍染鉍床が形成された。

##### (2) Frizem 層準

Frizem 鉍化層準は、火山活動及び鉍化作用のタイプが Hajar 層準とはやや異なる。Frizem 層準の模式断面図を Fig. I-28(B) に示す。

- ① Frizem 層準の火山活動は、主として流紋岩溶岩より成り、Amzourh 地区の火山活動に類似する。
- ② 鉍化作用は、流紋岩の噴出に関係し、海底で形成された鉍脈及び交代鉍床の性格を有している。

Tab. I-5 Dating Result by K-Ar method

Sample No.	Rock Type (Formation)*	Area	Material Analyzed	Isotopic Age (Ma)	$^{40}\text{Ar}^*$ (scc/gm $\times 10^{-5}$ )	% $^{40}\text{Ar}^*$	%K
801	Rhyolite (Iv)	Frizem	Whole rock	328. $\pm$ 16.	3.63	97.5	2.58
					3.61	98.3	2.59
802	Rhyolite (IIav2)	Amzourh	Whole rock	308. $\pm$ 15.	.858	91.7	.67
					.850	91.6	.66
803	Rhyolite (IIav2)	Akhlij	Whole rock	294. $\pm$ 15.	2.80	96.5	2.33
					2.99	98.0	2.33
804	Green Tuff (IIat)	Oukhibane	Whole rock	297. $\pm$ 15.	3.91	97.9	3.14
					4.00	98.0	3.16

(by Teledyne Isotopes, USA)

$$T = 1804.08 \times \log_e \{ (^{40}\text{Ar}^* \div K \times 0.1426) + 1 \}$$

T = age in million years

K in weight percent natural potassium

$^{40}\text{Ar}^*$  in scc/gm  $\times 10^{-5}$



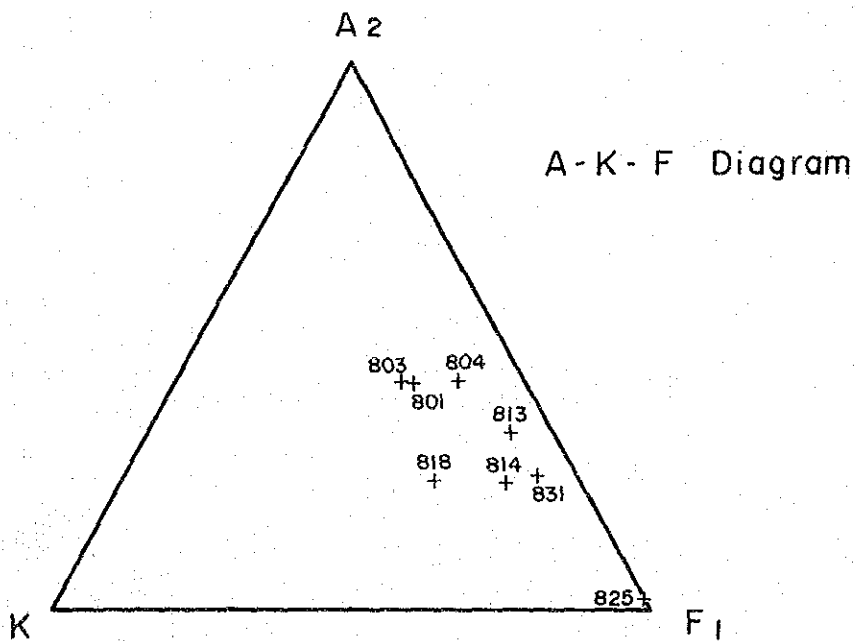
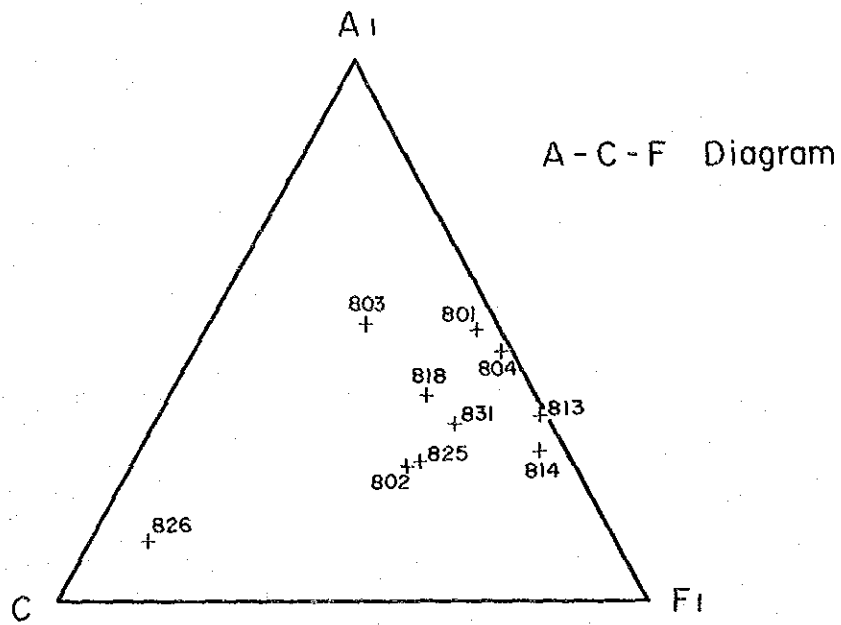
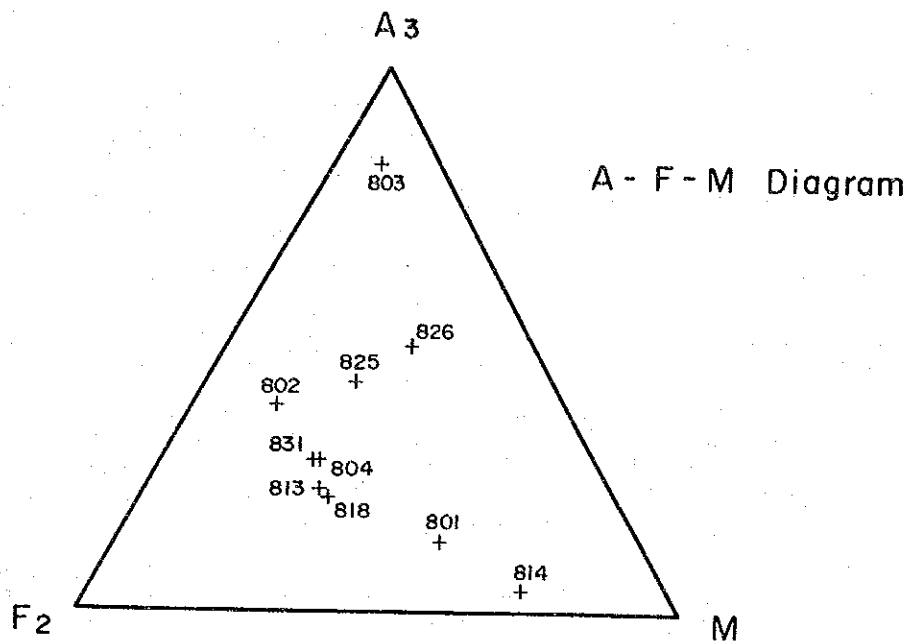


Fig. I - 26 Triangular Diagram for Rock Samples (I)





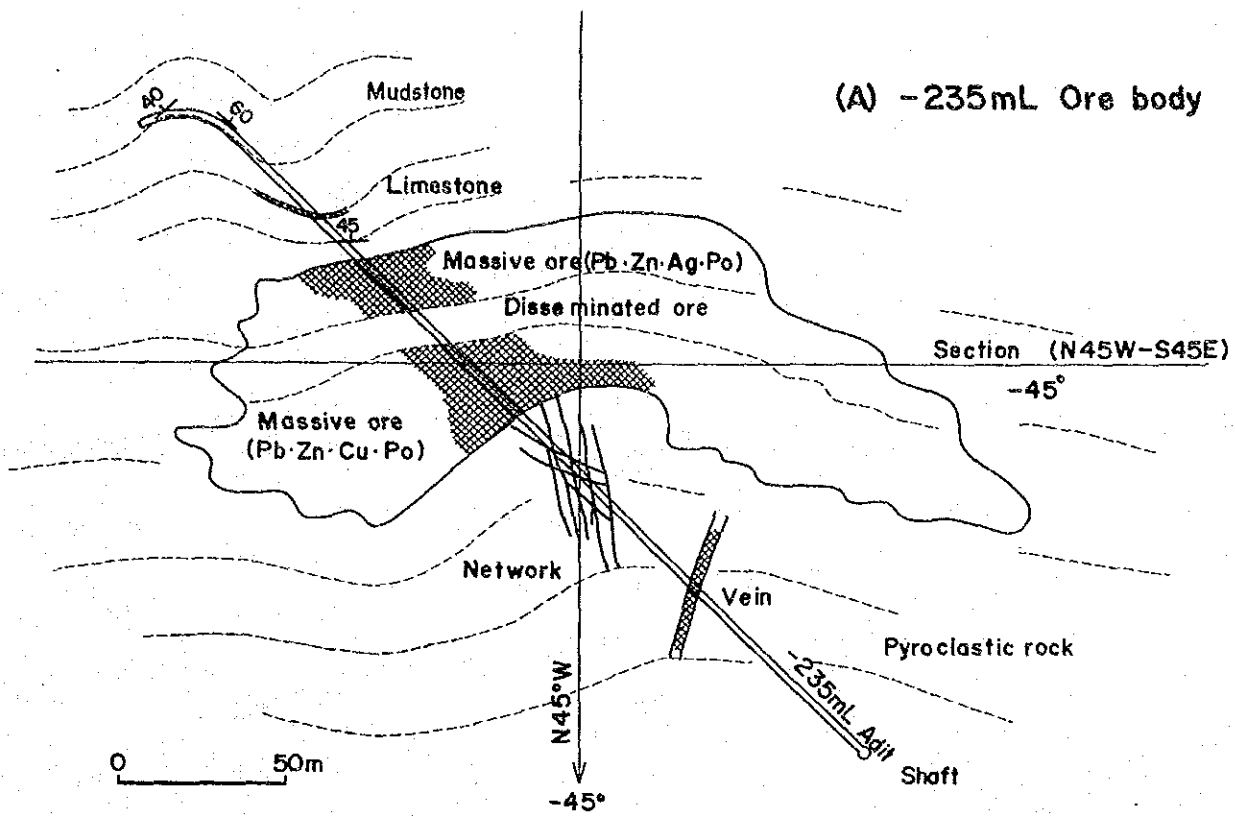


Sample No.	Rock Type
801	Ryolite
802	Ryolite
803	Ryolite
804	Pyroclastic Rock
813	Green Rock
814	Green Rock
818	Siltstone
825	Dolerite
826	Marl
831	Green Rock

$A_1 = Al_2O_3 + Fe_2O_3 - (Na_2O + K_2O)$ ,  $C = CaO$ ,  $F_1 = FeO + MgO + MnO$ ,  
 $A_2 = Al_2O_3 + Fe_2O_3 - (Na_2O + K_2O + CaO)$ ,  
 $A_3 = Al_2O_3 - 3K_2O$ ,  $F_2 = FeO$ ,  $M = MgO$

Fig. I-26 Triangular Diagram for Rock Samples (2)





\* Shape of ore body was drawn using the surface drilling data

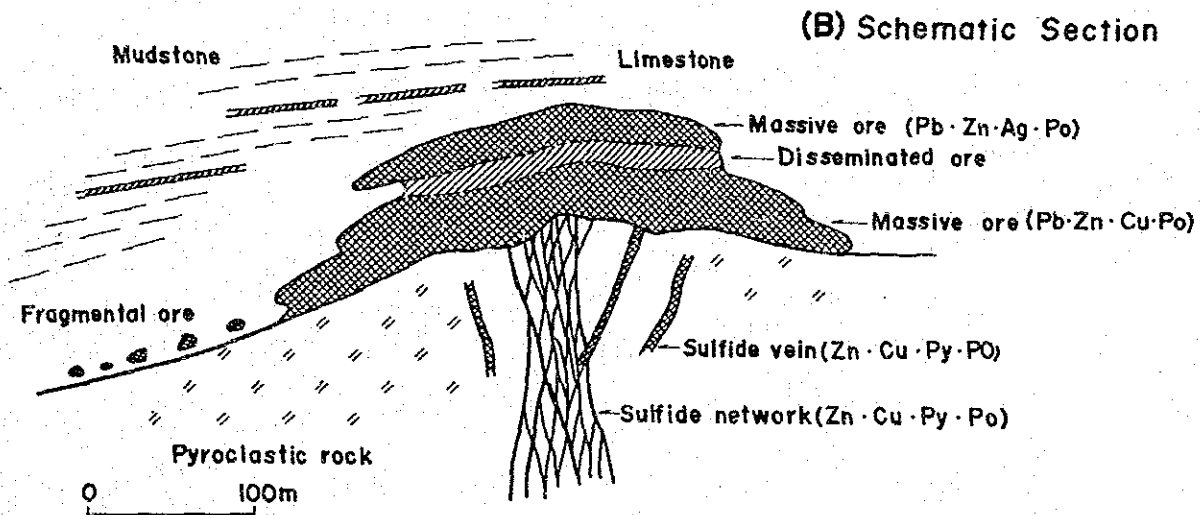
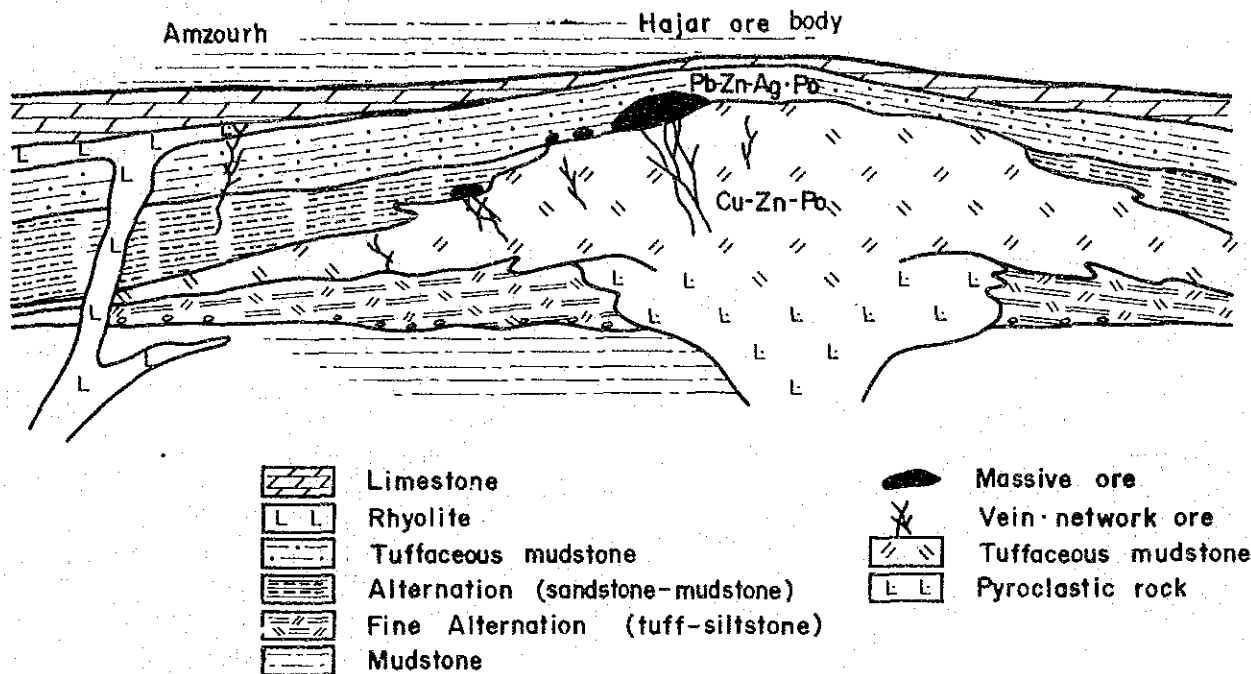


Fig 1-27 Genetic Model of the Hajar Ore Deposit



### (A) Hajar Ore Deposit



### (B) Frizem Mineralized Zone

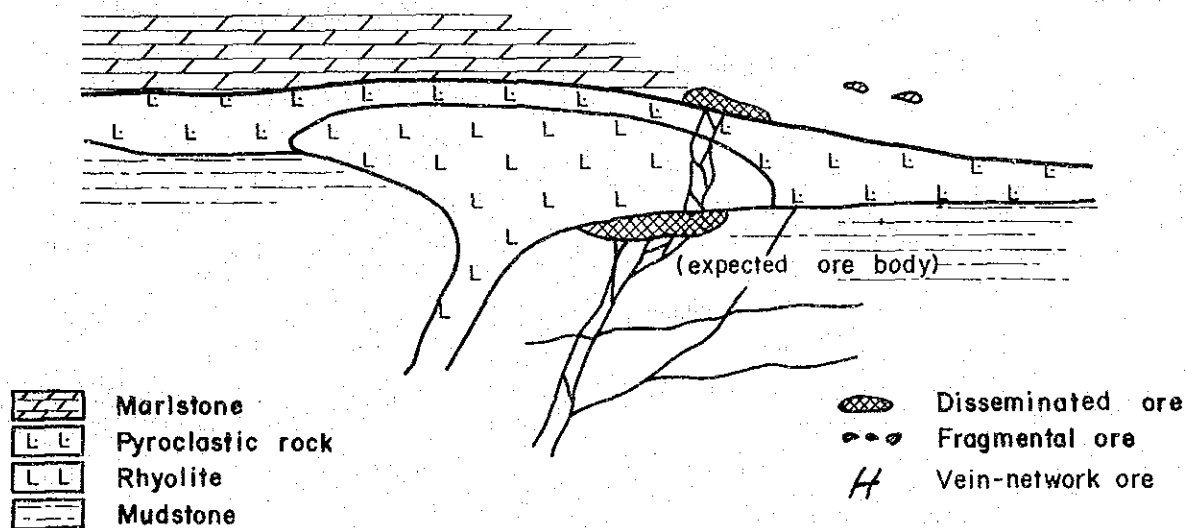


Fig. I-28 Schematic Cross Section of Ore Deposit



各 論 第 Ⅱ 部

物 理 探 查





## 第1章 調査概要

本調査地域では、空中磁気探査が古く実施され、その結果がHajar 鉱床の発見につながっているが、それ以降は有効な物理探査がなされていない。そのため、第1年次にはCSAMT法が実施され、低比抵抗異常がいくつか確認されている。また、サンプル測定からHajar 鉱石は $20\Omega \cdot m$ 程度の低比抵抗で、15%程度のIP異常を示すことがわかった。このためIP法が一つの有力な探査法として採用された。

また、Hajar 鉱山でなされた精密重力探査の結果によると、1mgal程度の高異常が認められており、またサンプル測定から鉱石の密度も $4.5g/cm^3$ 程度と、周囲の岩石の平均値の $2.7g/cm^3$ に比べて十分に大きく、重力探査法も採用された。

本章においては、本調査に用いられたIP法及び重力法の原理、測定方法や解析方法などについて説明し、さらに実際の測線や測定点などの測定仕様についても説明する。

### 1-1 IP法

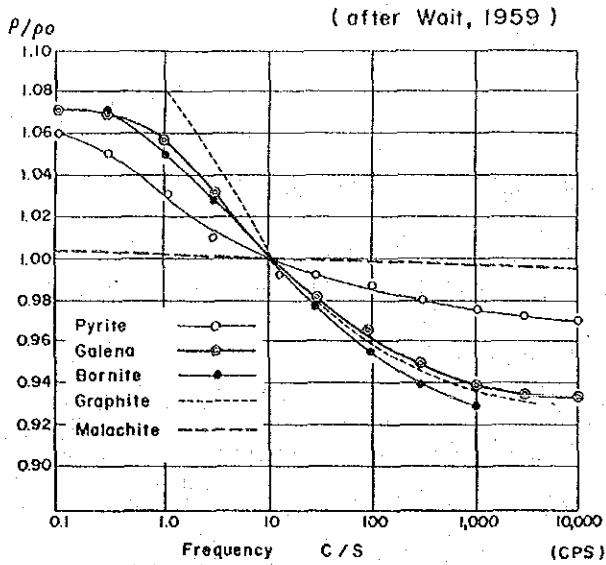
#### 1-1-1 IP法の原理

IP法とは、強制分極現象（IP現象）にもとづく探査手法である。この現象は岩石内に電流が流れる際の電子伝導域である鉱物粒子と、イオン伝導域である空隙水との境界に生じる電気化学的な分極現象である。

大地に直流電流を流すと、電位電極間に電位差を生じる。この直流電流を切ると、2電極間の電位差は直ちに零にはならず、数秒ないし数分かかって減衰する場合がある。逆に突然電流を流した場合、2電極間の電位差はすぐに一定にはならず、数秒ないし数分後に定常状態となる。このように、時間の関数としてとらえたものを時間領域のIP現象という。

また大地に交流電流を流す場合に、測定される電位差が周波数の関数となり、この現象を周波数領域のIP現象という。時間領域のIP現象と、周波数領域のIP現象は、理論的には等価であるが、実際の測定上は、いくつかの差異を生じる。本調査においては、主に周波数領域の測定を実施したので、以下にはそれを中心に説明する。

次図に示すように硫化鉱物、黒鉛等の比抵抗は周波数の関数である。一般に鉱物の比抵抗は周波数の増加とともに減少する。周波数変化にともなう比抵抗の変化を測定し、大地のIP現象の存在を検出しようとする測定法が周波数法である。



Matrix andesite 2.0 - 0.84mm dia  
 Electrolyte 5% 0.01N NaCl solution  
 Mineral 3% by solid volume 2.0 - 0.84mm dia

### 鉱物の比抵抗と周波数の関係

周波数法によるIP測定値を表示する係数として、無次元のFE (Frequency effect, またはPFE; Percent frequency effect) がある。FEはこの報告書では下記のように定義する。

$$FE = \frac{R_1 - R_2}{R_2} \times 100 (\%) \quad \text{----- (1)}$$

ここで $R_1$ は低い方の周波数で測定した見掛け比抵抗値、 $R_2$ は高い方の周波数で測定した場合の見掛け比抵抗値である。FEの表示方法は研究者により少し異なっているが、その違いは主として(1)式の分母を $R_1$ または、 $\sqrt{R_1 R_2}$ とする所で、(1)式と大きな相違はない。

電流電極対と電位電極対を大地に設置し見掛け比抵抗を測定した場合、見掛け比抵抗値は次式により表わされる。

$$R = K \frac{\Delta V}{I} \quad (\Omega \cdot m) \quad \text{----- (2)}$$

ここで、

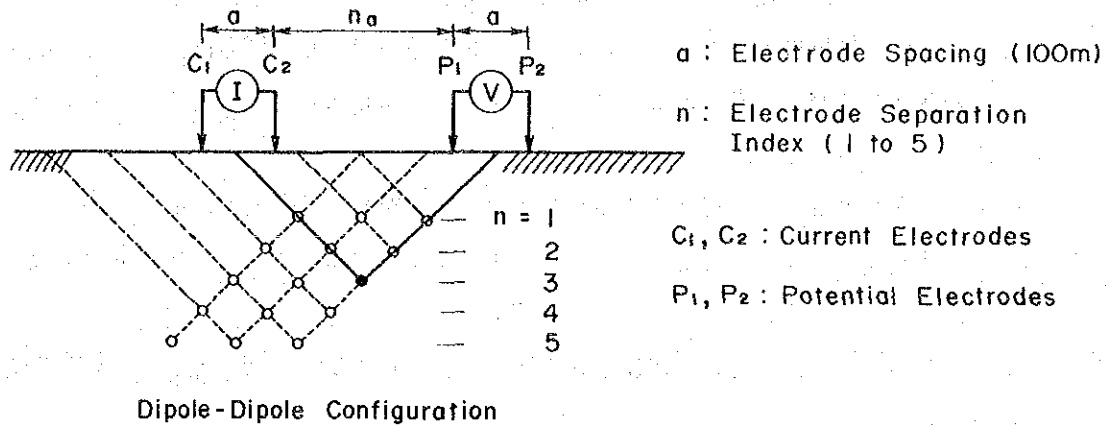
R : 見掛け比抵抗値 ( $\Omega \cdot m$ )

K : 電極配置により決まる幾何係数

I : 電流電極対より大地への印加電流 (ampere)

$\Delta V$  : 電位電極対間の電位差 (volt)

IP法の測定には、次図に示すようなdipole-dipole電極配置がよく使用される。



これはIP法の測定において、送信電流の作る磁場や電流の漏洩が直接受信機に影響を与える、いわゆるカップリングが問題となる。そこでdipole-dipole電極配置を使用することにより送信機と受信機を離すことが可能となり、電流を流す電線と電位を測定する電線を離すことができるため、カップリングが小さくできる。本調査では電極間隔 $a$ を100mとし、隔離係数 $n$ を1から5まで変化させて測定した。探査深度は、 $n$ が大きくなると増加するが、大体の目安として、

$$\text{探査深度} = \frac{n+1}{2} a \quad (3)$$

で表わされる。たとえば $n=1$ では約100m、 $n=5$ では約300mが探査深度の目安である。下図に示すように、この式で示される深度に測定された見掛比抵抗を表示する方法は、直角二等辺三角形法による擬似断面表示と称されて広く用いられており、本報告書においても使用された。

また、dipole-dipole電極配置における、(2)式の係数 $K$ は次式で与えられる。

$$K = \pi \cdot a \cdot n \cdot (n+1) \cdot (n+2) \quad (4)$$

## 1-1-2 測定方法

### (1) 測定作業

今回の調査では、前述のように周波数法によるdipole-dipole電極配置によってIP法を実施した。送信機の電源としてはエンジン発電機を使用した。発電された50Hzの交流は送信機内で整流・平滑化がなされ、インバータ回路によって極低周波交番電流として電流電極に流される。

電位電極としては、非分極電極を使用し、得られた電位は、受信機内のフィルターで不要な周波数のノイズが除去されてから電位差計で読み取られる。この受信機の電源としては、ノイズの影響を小さくするために乾電池が使用される。

測定のための作業としては、測線測量作業とIP測定作業の2つに大別されるが、それぞれについて以下に説明する。

#### ① 測線測量作業

測線の配置はFig. II-2 (Pl. II-2) に示す。測線の設定は、牛方製のポケットコンパスとエスロンテープにより実施した。エスロンテープで斜距離を測定し、ポケットコンパスにより方位角と傾斜角を測定した。測点位置に石を積み上げ、ペンキで測点番号を記入した。

#### ② IP測定作業

##### (a) 電流電極埋設及び配線

電流電極としては、約40cm×40cmの鉄板を使用し、60cm～1m程度の深さに埋設した。埋設に際し、接地抵抗を下げるために塩水とベントナイトの混合液を20～40ℓ程度、各電極孔に流し込んだ。

本調査地域では、地表付近がきわめて固く、縦横約1m、深さ60cm～1mの穴を人夫3人の一班で1日3孔を掘るのがやっとであった。そのため、人夫3人の班を3～4班編成して、常に測定作業より測線設定作業に先行するようにした。

接地抵抗が十分に低くならない所では、さらに塩水を流し込んだり、電極孔を拡大したりして、100～500Ω程度になるようにした。

配線は電線間のカップリング及び漏洩電流による測定誤差を出来るだけ少なくする為、電位電線と電流電線が交叉または、近接することがないようにし、電線の絶縁抵抗は最高に保った。

##### (b) 電位電極

電位電極としては、銅-硫酸銅水溶液を使用する非分極電極を使用した。これは素焼の壺の中を飽和硫酸銅水溶液で満たし、コイル状に巻いた銅線を電極として入

れたものである。銅イオンを介在することによって、電極（銅線の中の電子伝導）と、大地（主に間隙水の中のイオン伝導）との分極を小さくすることが出来る。電位電極の埋設は、電流電極のための電極孔を利用し、壺の周辺に飽和硫酸銅水溶液を1～5ℓほど流して接地抵抗が100Ω～1KΩ程度になるように務めた。

## (2) 測定装置

本調査で使用した測定機器と、その主な仕様は次の通りである。

### ① 送信機

横浜電子研究所製	L-5802
入力電圧	AC 90V～130V
出力電圧	40V～800V
出力電流	0.2A～4A
周波数	DC, 0.1, 0.3, 1.0, 2.5 Hz
負荷抵抗	100Ω～4 KΩ

### ② 受信機

横浜電子研究所製	DF-58Z
感度	100 μV～10V 5レンジ
入力抵抗	2 MΩ
分解能	感度 0.1～1% FE 0.1%
ノイズ	入力換算 5 μV <sub>p-p</sub>
誤差	0.5% FE 1mV～10V

### ③ エンジン発電機

ホンダ	EC2000X
出力	2KVA (60Hz), 1.7KVA (50Hz)
連続運転可能時間	約 2.5時間 (60Hz)
燃料タンク容量	3.3ℓ
乾燥重量	37kg

### (3) 岩石物性測定

野外で採取した岩石試料は、ほぼ直方体に成形し、約24時間水道水に浸してから物性の測定を行った。岩石試料は、飽和硫酸銅水溶液に浸した濾紙を介して銅の電極板で挟んで比抵抗及びF E値を測定した。測定の際、岩石試料中の電流密度を、出来るだけ野外測定値に近づけるように小さくしたが、測定電位が小さくなって信号と雑音の比(S・N比)が悪くなるため、だいたい $3\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 程度の電流を使用した。

現地で採取した岩石サンプルの物性を測定した結果をTab. II-2に示し、岩石サンプルを採取した位置をFig. II-4に示す。Hajar 鉱床の鉱石の平均比抵抗 $18\Omega\cdot\text{m}$ 、I P (周波数効果) 15.4%と、それ以外の岩石の値と大きな差が認められる。Quaternaryの岩石類の平均比抵抗 $73\Omega\cdot\text{m}$ 、I P 1.1%、またそれより古い岩石類では圧密が進み、岩石の空隙率が減少するため平均比抵抗 $510\Omega\cdot\text{m}$ と高くなる。またI Pは0.8%と小さい。

鉱石の主要鉱物である磁硫鉄鉱の比抵抗については、文献では $2.0\cdot 10^{-6}\sim 1.6\cdot 10^{-4}\Omega\cdot\text{m}$  (Keller 1966) と、きわめて小さいが、この低比抵抗鉱物が、高比抵抗の石英等の鉱物内に分散しているため、全体としては $20\Omega\cdot\text{m}$ 程度の比抵抗になったと考えられる。

## 1-1-3 解析方法

### (1) 測定結果の表示

測定された見掛比抵抗及びF E値は、直角二等辺三角形法による擬似断面表示を用いた。

地形が急峻な場合には、コンピュータによる二次元モデル計算によって補正を行なうという手法が広く採用されている。地形が三次元的な場合や、複雑すぎてコンピュータにうまく表現できない場合等には、補正が困難になる。幸いにも、本調査地域は地形がほぼ平坦であり、地形補正は必要とされなかった。

### (2) 計算機によるモデル計算

dipole-dipole電極配置による測定結果について、低比抵抗異常及びI P異常の認められた測線について計算機によるモデル計算を実施した。

二次元の有限要素法によるシミュレーションプログラムを使用した。まず、測定結果の擬似断面表示をもとにし、文献に発表されているデータ、今までに行なわれたモデル計算結果、水槽実験結果、現地の地質構造に関する情報等を考慮して地下電気構造モデルを作成する。次にそのモデルに対して計算機で数値計算を実施し、計算結果と現地測

定結果の差が最小になるようにモデルを変更して数値計算をくり返す。現実の地下構造は三次元であるのに対し、二次元のモデルのシミュレーションを実施するわけであり、両者がうまく一致しない場合もある。

計算機のシミュレーション結果、現地での測定結果や地質構造などから、最終的な地下構造モデルを作成する。

#### 1-1-4 測定仕様

本調査における測線の配置をFig. II-2(Pl. II-2)に示す。また、各測線の一覧を次表に示す。

測線位置	測線名	測線長(km)	測点数
Hajar 鉱床周辺	HJ-1	2.0	80
	HJ-2	2.0	80
Tiferouine	TF-1	2.0	80
	TF-2	1.5	55
	TF-3	2.0	80
Akhlij-Oukhribane	AK-1	3.6	160
	AK-2	1.5	55
Lamrah	LM-1	1.5	55
	LM-2	2.0	80
	LM-3	3.0	130
	LM-4	1.5	55
Frizem	FZ-1	2.0	80
	FZ-2	2.0	80
合 計		26.6	1070

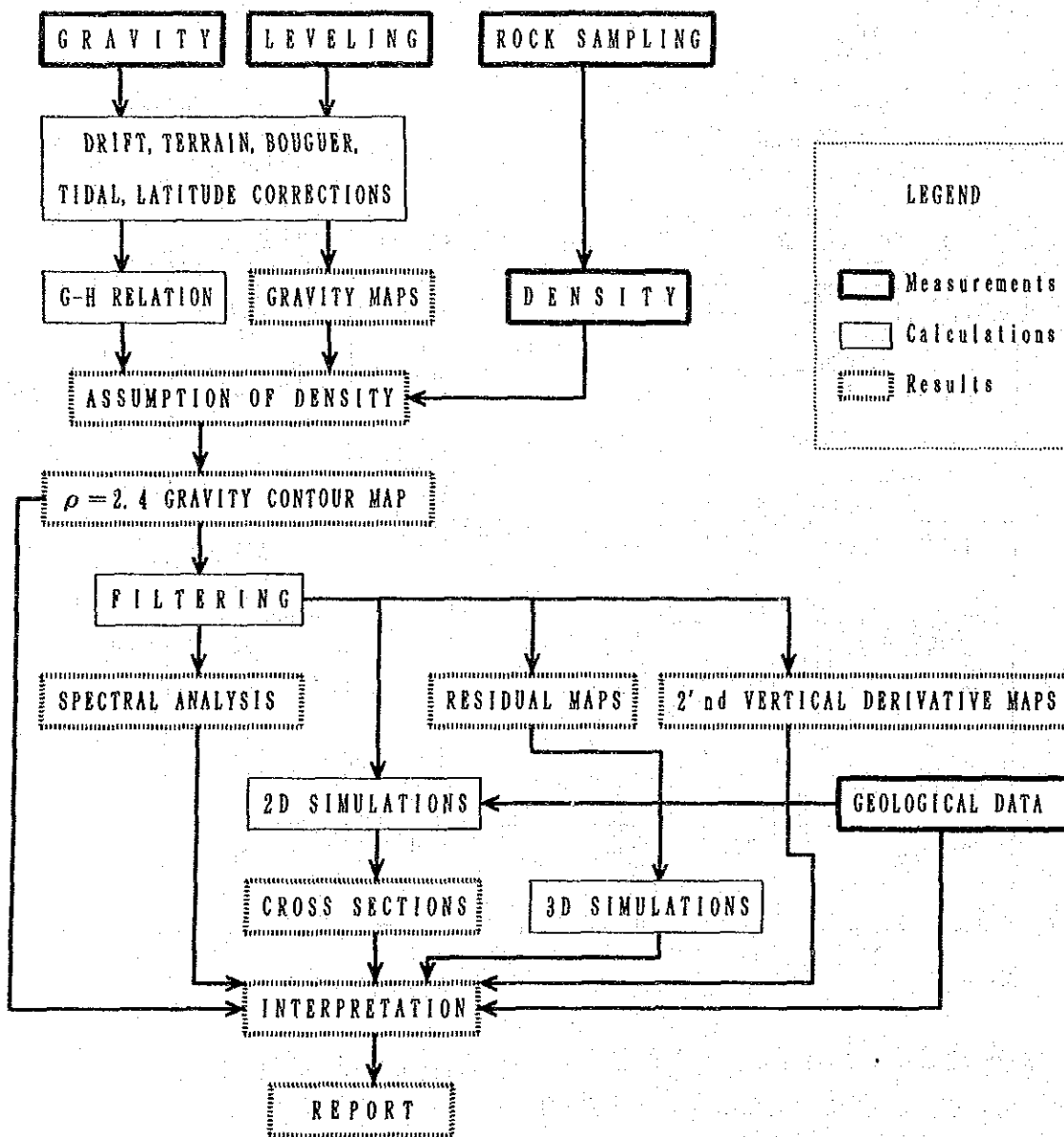
電極配置としてはdipole-dipole配置を使用し、電極間隔 $a=100\text{m}$ 、隔離係数 $n=1\sim 5$ を使用した。また、電流はなるべく多く流すように努めたが、大体1A程度であった。

測定に使用した電流の周波数としては、2.5Hzと0.3Hzを使用し、見掛け抵抗は2.5Hzに対応するものを採用し、周波数効果を計算した。



## 1 - 2 重力法

本重力探査の重力観測から報告書作成までの工程は、次の「重力探査フローチャート」に示すとおりである。



### 1 - 2 - 1 測定点

本重力探査はFig. II - 3に示す通りHajar鉾山南・西部からOukhribane・Lamrahを経て、N' Fis川西部域に至る面積40 km<sup>2</sup>の調査範囲で行なった。

重力測定点は、I P 測線上では間隔 100m を標準とし、その近傍では測点密度が高まる様に配置した。その他の地域では主要幹線道路、山路等に間隔200 ~ 400m を標準として配置した。Fig. II - 3 は重力探査測定点を示す。測定点数は 745 点である。

### 1-2-2 測定方法

#### (1) 重力計

本調査に用いた重力計は、La Coste & Romberg社製G-283 及びG-806 重力計である。これらの重力計の仕様は次のとおりである。

TYPE	La Coste & Romberg, INC. Model G Geodetic Gravimeter	
No.	283	806
Operation Range	0~7,386.54mgal	0~7,091.20mgal
Temperature	51.7 °C	49.7 °C
Reading Line	2.80	3.10
Date of Production	Jan., 1972	Feb., 1985
Dimensions	14×15×20 (cm)	17×15×22 (cm)
Meter Weight	8.6 kg	9.1 kg

この重力計は読取目盛が0から7,000まであり、0mgalから約7,000mgalまでの重力値を測定することができる。測定精度は±0.01mgalと高精度であり、またドリフト率も1mgal/1箇月以下と極めて小さいので、1日1回の閉塞で十分高精度の測定が可能である。

#### (2) 重力基準

重力基準点は、BRPMによるMarrakech市のAvenue Poincareに面したBatiment de L'ONI前のB73 (979,317.61mgal) を採用した。

本調査の重力基準点は、Marrakech市街地のResidence Marrakech中庭に新たにNo. 1,000設置した。その重力値はB73との閉塞観測を行い「Tab. II - 1 重力基準値算出表」に示す各観測結果を平均して、次のように決定した。

No. 1,000 : 979,318.21mgal

この重力基準点B73は、ポツダム系の重力基準網と結ばれてるため、本調査の重力値はポツダム系の重力基準網と結合されたことになる。