

## 第4章 地化学探査

### 4-1 目的および方法

#### 1) 目的

オヨン地域および Iscay Cruz などの鉍化帯の地球化学的特徴を把握することにより、(1) 鉍床を胚胎する母岩の地化学的性格、(2) 鉍化帯の性格、(3) 未探査地帯における金属元素の異常濃集ハローの検出などを目的として地化学探査が実施された。

サンプル・メディアとして、岩石、ゴッサン、河床堆積物が使用された。岩石サンプルが採取されたのは、主として堆積時および貫入時の地化学的性格を解明し、あわせて金属元素異常濃集の手懸りを得るためである。ゴッサンは鉍化作用の性格解明を目的とし、河床堆積物は金属元素異常濃集のハロー検出を目的とする。指示元素として、銅・鉛・亜鉛 (Cu・Pb・Zn) 3成分が分析された。

#### 2) 試料の採取

各々の試料採取方法と処理方法は次のとおりである。

- (1) 岩石：ハンマーで採取、新鮮な部分を選び、現地にて粉砕、四分され、分析試料が調整された。
- (2) ゴッサン：原則として、延長2～4 mのチャンネル・サンプリングにより採取された。
- (3) 河床堆積物：80メッシュの篩を使用し、有機物や泥は水中で洗浄分離し、その網下が採取された。

今年度採取・分析されたサンプル数は、岩石30個、ゴッサン78個、河床堆積物20個である。昨年度のサンプルと併せると、岩石304個、ゴッサン210個、河床堆積物64個となる。

### 4-2 データの統計処理

岩石、ゴッサン、河床堆積物は明らかに母集団が異なるので、各々別個にコンピューターによる統計処理が行われた。各分析値の度数分布 (frequency distribution) は極変倚型分布 (distribution of positive skewness) を示し、正規分布 (normal distribution) からずれている。このため、各分析値を対数値 (logarithm) に転換することにより得られた対数正規分布 (lognormal distribution) をもとに、幾何平均値 (geometrical mean)、標準偏差 (standard deviation) を計算し、バックグラウンド値 (background value) を検討した。次に、累積度数曲線 (cumulative frequency curve) を検討することにより、しきい値 (threshold value) を設定し、異常値を抽出し、その検討を行った。岩石サンプルについては母集団を細分化し、岩相別および累層別にも統計解析を行った。

又、各母集団ごとの金属元素濃集機構の特徴と差異を解明するため、主成分分析 (principal component analysis) および因子分析 (factor analysis) が実施された。

#### 4-3 結果の検討 (Table 6, Fig. 1-8, 9 参照)

##### 4-3-1 岩石サンプル

##### 1) バックグラウンド値 (幾何平均値)

各岩相別の幾何平均値は次のとおりであり、この値は各々のバックグラウンド値を表わすと推察される。

	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
上部石灰岩類	6	28	31
Santa 層石灰岩	6	27	24
中部碎屑岩類	7	10	34
下部碎屑岩類	5	12	24
火成岩類	5	5	48
合計	5	21	29

Cu は各岩相、各累層で差異はない。Pb は石灰岩類が明らかに高く、これは堆積作用に基くものであろう。

Zn は火成岩類に濃集しており、これは火成活動に基く鉍化作用を意味するのであろう。Santa 層石灰岩が他に比べ、特に金属元素を濃集している事実はなく、本地域 Santa 層中の堆積性鉍床胚胎の可能性は考え難い。

##### 2) しきい値

累積度数曲線を検討すると、Cu, Pb, Zn とも、累積度数 5 % 内外のところに屈曲点がある。この位置は、幾何平均値プラス標準偏差の 2 倍の値 ( $M + 2\sigma$ ) とほぼ一致するので、この値をしきい値とすると、しきい値は次のとおりとなる。

	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
上部石灰岩類	16	49	131
Santa 層石灰岩	15	125	123
中部碎屑岩類	49	96	220
下部碎屑岩類	186	422	192
火成岩類	76	114	283
合計	26	162	153

分析値の分散は、石灰岩類で小さく、碎屑岩類および火成岩類で大きい、これは火成活動に基く鉍化作用の影響であると推定される。

### 3) 異常値の抽出および考察

岩石サンプル全体を母集団とするしきい値を越えるサンプルを抽出すると、Cuで7個、Pbで3個、Znで12個である。各岩相および各累層毎に分布の性格が異なるので、この影響を除去する必要がある。このため、各岩相および各累層毎のしきい値を越えるサンプルのみを抽出すると、異常値を示すサンプルは、Cuで無く、Pbで3個、Znで11個となる。このうち今年度採取のサンプルは、Pbで3個、Znで3個で、サンプル番号は次のとおりである。

	分析値 (ppm)	累層区分	岩質区分
NO-301	Zn 490	St	Ls
NO-310	Zn 249	St	Ls
NO-311	Pb 427	Cm	Br-c-Qt
NO-313	Pb 166	St	Ald-r
NO-375	Zn 157	St	Ls
SO-208	Pb 195	Ig	Ry

- (1) NO-301およびNO-310は、ともに Cunsha Punta 峠南斜面の鉍化帯付近および鉍化帯内の石灰岩で、鉍化作用の影響を強く受けていることを示す。
- (2) SO-208は Cunsha Punta 峠東側の変質著しい酸性貫入岩である。NO-311は酸性貫入岩の周辺部の Chimu 層珪岩中に生じた角礫脈で褐鉄鉍に汚染されている。ともに鉍化作用と関連する火成活動の影響を示している。
- (3) NO-313は Cunsha Punta 峠北斜面の Santa 層に相当する石英と絹雲母を主とする変質岩であり、鉍化作用と風化作用の影響を蒙っている。
- (4) NO-375はA地区東縁の衝上断層に接して分布する Santa 層石灰岩であり、NNW-SSE系衝上断層と鉍化作用との関連性を示唆している。

#### 4-3-2 ゴッサン

主に Iscay Cruz 地区の Santa 層中から採取したゴッサンの幾何平均値は次のとおりである。

	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
ゴッサン	61	968	11,092

この値は、Santa 層石灰岩と比較すると、Cuで10倍、Pbで36倍、Znで462倍となっており、特にZnの添加が大きかったことを示している。

#### 4-3-3 河床堆積物 (Fig. I-10 参照)

幾何平均値および幾何平均値プラス標準偏差の2倍の値は次のとおりである。

	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Mean	20	31	115
M + 2σ	110	455	445

バックグラウンド値を表わすと考えられる幾何平均値は、岩石中の含有値に比較し、Cuで4倍、Pbで1.5倍、Znで4倍と濃集している。分散はPbで大きく、CuおよびZnでやや小さい。

M + 2σの値をしきい値とすると、異常値はCuで3個、Pbで1個、Znで1個となる。このうち今年度採取のサンプルは、CuでSD-205のみとなり、その分析値はCu 165 ppmである。SD-205はB地区 Chagapata で採取されたもので、付近にはスカルンが発達しており、又広範囲に黄鉄鉱ゴッサンが認められるので、この区域は今後地質精査を必要とする。

#### 4-3-4 主成分分析および因子分析結果

岩石、ゴッサンおよび河床堆積物の分析成分Cu・Pb・Zn間の相関係数 (coefficient of correlation)、主成分係数 (coefficient of principal component) および因子係数 (coefficient of factor) は次のとおりである。

Correlation matrix			
	Cu-Pb	Pb-Zn	Zn-Cu
(1) 岩石	54.1	11.7	14.1
(2) ゴッサン	-15.1	47.0	5.1
(3) 河床堆積物	3.9	10.2	22.5

		Component Matrix		Factor Matrix	
		I	II	I	II
(1) 岩石	Cu	85.8	-17.8	87.2	8.8
	Pb	85.1	-22.3	87.9	4.2
	Zn	36.9	92.9	7.3	99.7
(2) ゴッサン	Cu	-18.4	96.4	-2.3	98.1
	Pb	83.0	-8.6	84.4	-22.8
	Zn	83.1	30.4	86.9	16.3

(3) 河床堆積物	Cu	71.6	74.4
	Pb	40.3	10.4
	Zn	76.7	66.4

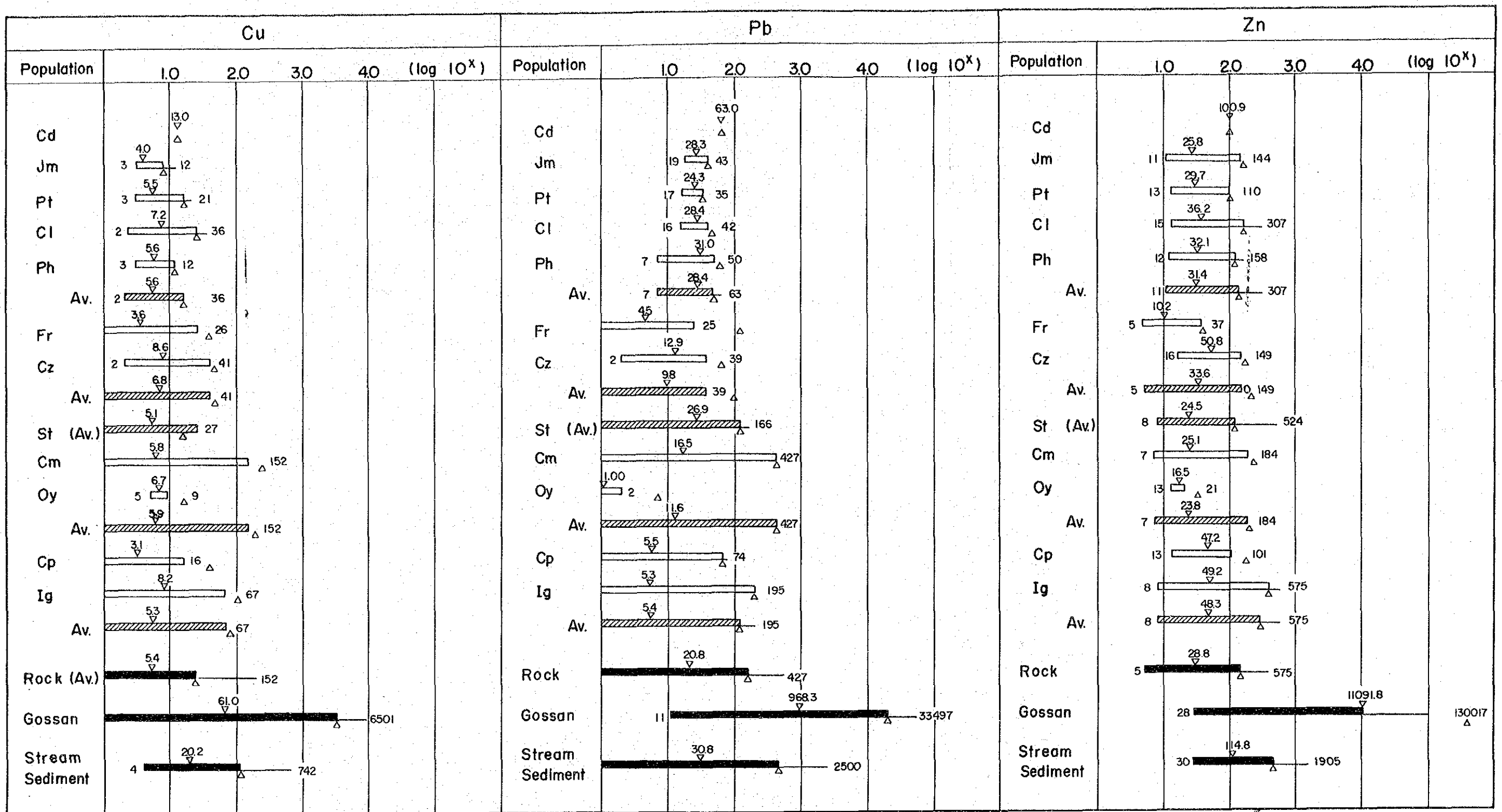
主成分分析および因子分析結果は、岩石とゴッサンとで、Cu・Pb・Zn 3元素の相互関連性が全く異なることを示している。岩石では、Cu-Pbが関連深く、これは堆積作用の際の付着・沈澱の過程で、両元素が親密性を有することを示唆している。ゴッサンでは、Pb-Znの関連が深く、これは鉱化作用での金属元素の移動・濃集・析出過程で、両元素が親密性を有することを示している。河床堆積物では、Cu・Pb・Zn 3元素の相互関連性はいずれも低く、これは酸化・溶脱作用での攪乱あるいは移動中の攪乱に原因するのではないかと推定される。

**Table I -6 Results of statistical analysis on the geochemical samples**

	Population	Number of Samples	Cu (ppm)		Pb (ppm)		Zn (ppm)	
			Mean	Mean+2 $\sigma$	Mean	Mean+2 $\sigma$	Mean	Mean+2 $\sigma$
1	Type of Samples							
	Rock	304	5.4	26	20.8	162	28.8	153
	Gossan	210	61.0	3,055	968.3	21,478	11,091.8	358,922
	Stream Sediment	64	20.2	110	30.8	455	114.8	445
2	Rock Samples Classified by Group							
	Upper calcareous rocks (Cd, Jm, Pt, Cl, Ph)	93	5.6	16	28.4	49	31.4	131
	Upper clastic rocks (Fr, Cz)	27	6.8	49	9.8	96	33.6	220
	Lower calcareous rocks (St)	141	5.1	15	26.9	125	24.5	123
	Lower clastic rocks (Cm, Oy)	16	5.9	186	11.6	423	23.8	192
	Igneous rocks (Cp, Ig)	27	5.3	76	5.4	114	48.3	283
3	Rock Samples Classified by Formation							
	Celendin formation (Cd)	1	13.0	13	63.0	63	100.9	101
	Jumasha formation (Jm)	18	4.0	8	28.3	43	25.8	150
	Pariatambo formation (Pt)	22	5.5	17	24.3	35	29.7	99
	Chulec formation (Cl)	21	7.2	26	28.4	47	36.2	155
	Pariahuanca formation (Ph)	31	5.6	12	31.0	58	32.1	121
	Farrat formation (Fr)	7	3.6	36	4.5	121	10.2	39
	Carhuaz formation (Cz)	20	8.6	45	12.9	63	50.8	169
	Santa formation (St)	141	5.1	15	26.9	125	24.5	123
	Chimu formation (Cm)	14	5.8	233	16.5	413	25.1	231
	Oyon formation (Oy)	2	6.7	15	1.0	7	16.5	33
	Calipuy volcanics (Cp)	12	3.1	38	5.5	63	47.2	171
	Intrusive rocks (Ig)	15	8.2	104	5.3	185	49.2	409

Mean ; Geometric mean

$\sigma$  ; Standard deviation



Abbreviation

- Cd ----- Celendin formation
- Jm ----- Jumasha formation
- Pt ----- Parlatambo formation
- Cl ----- Chulec formation
- Ph ----- Parlahuanca formation
- Fr ----- Farrat formation
- Cz ----- Carhuaz formation
- St ----- Santa formation
- Cm ----- Chimu formation
- Oy ----- Oyon formation
- Cp ----- Callpuy volcanics
- Ig ----- Igneous rocks
- Av. ----- Average

LEGEND

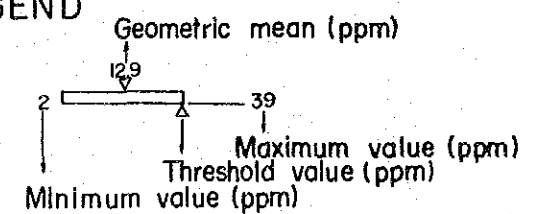
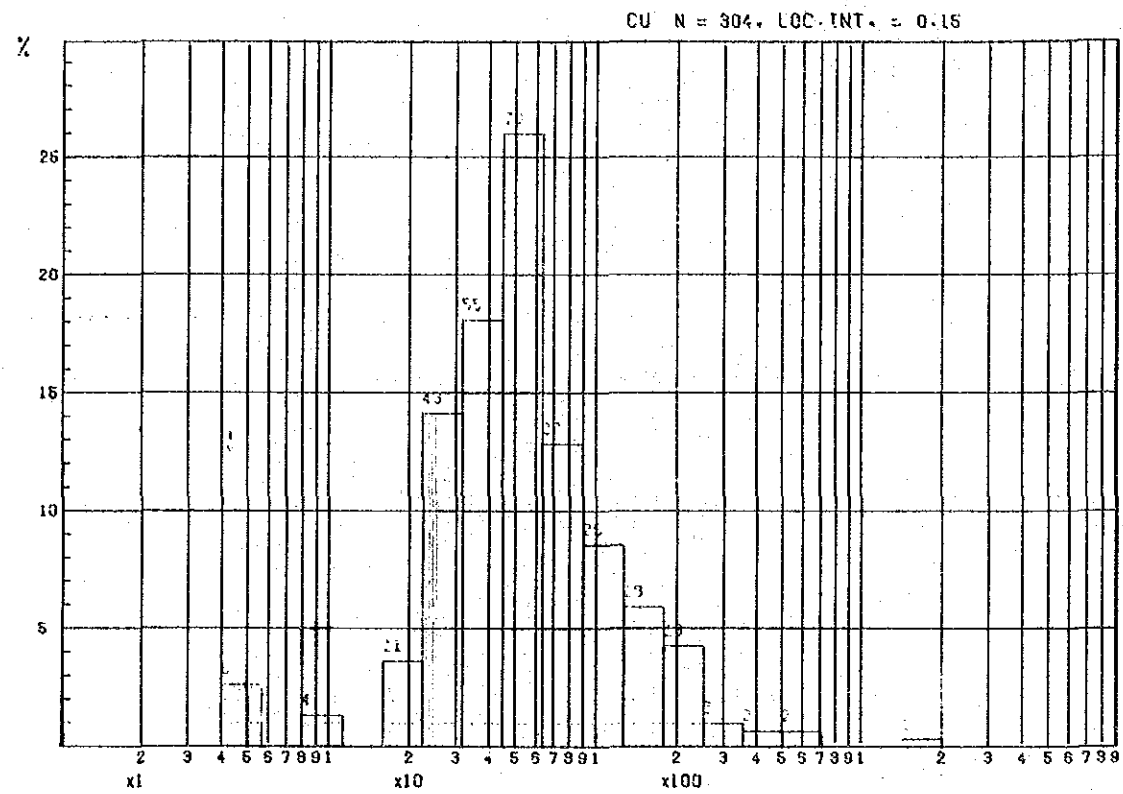


Fig. I-8. Value Dispersion of Geochemical Samples in the Surveyed Area

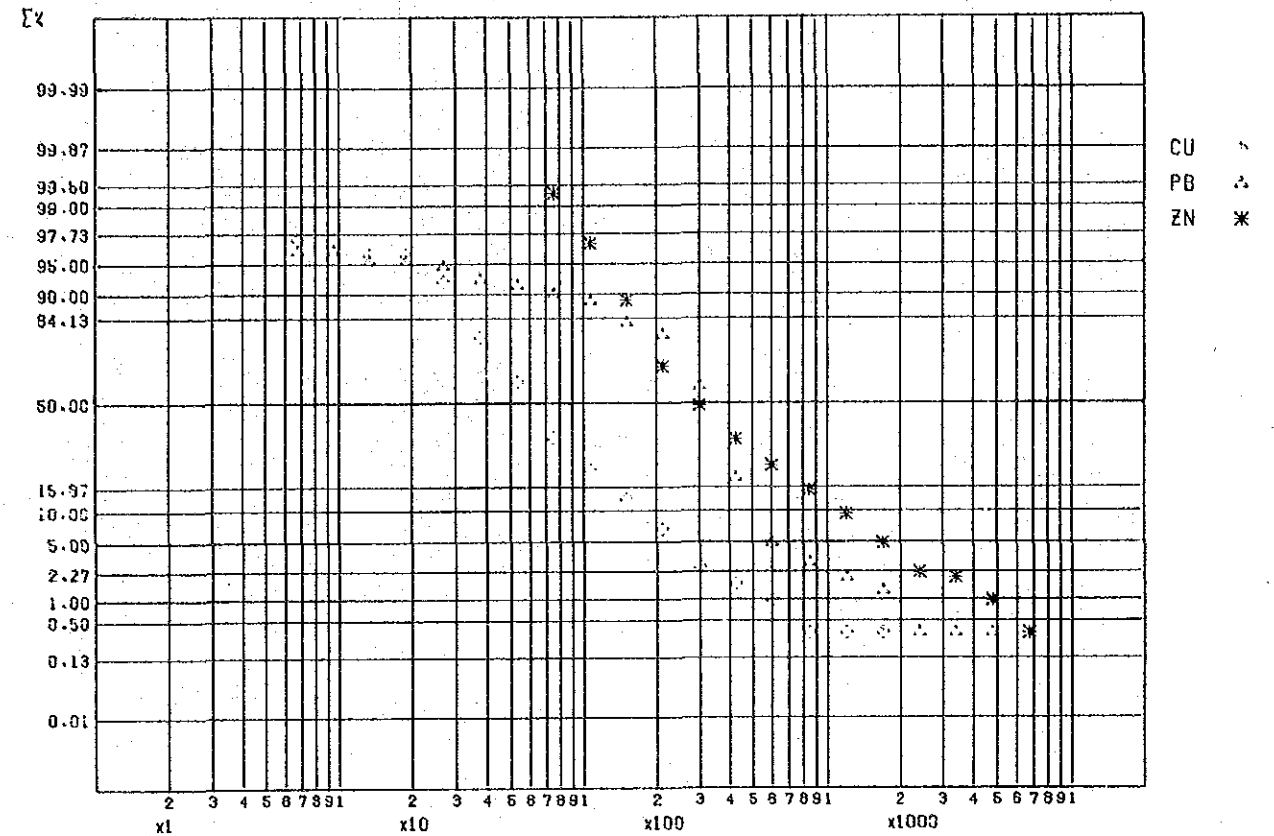
Fig. I-9 Histogram and Cumulative Frequency Curve  
for Cu, Pb and Zn contents of Geochemical Samples  
(1) Rock Samples

HISTOGRAM FOR CU ( R )



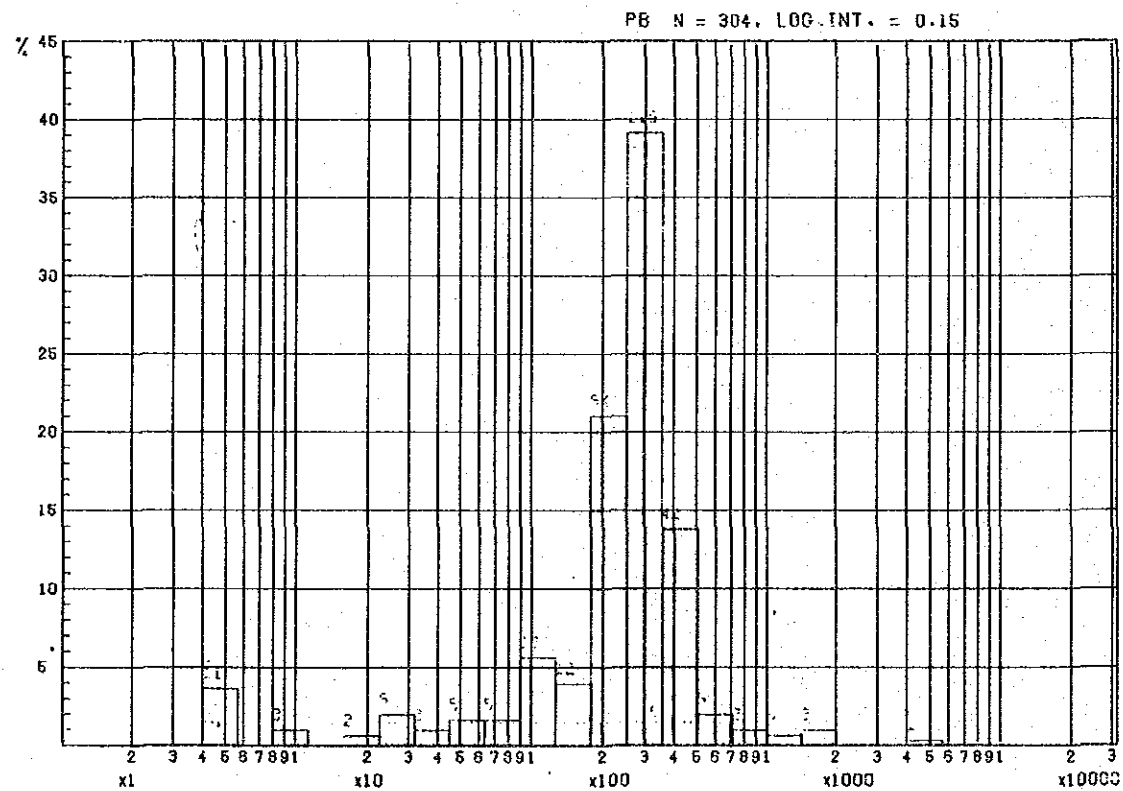
X10

CUMULATIVE FREQUENCY DISTRIBUTION FOR CU, PB AND ZN ( R )



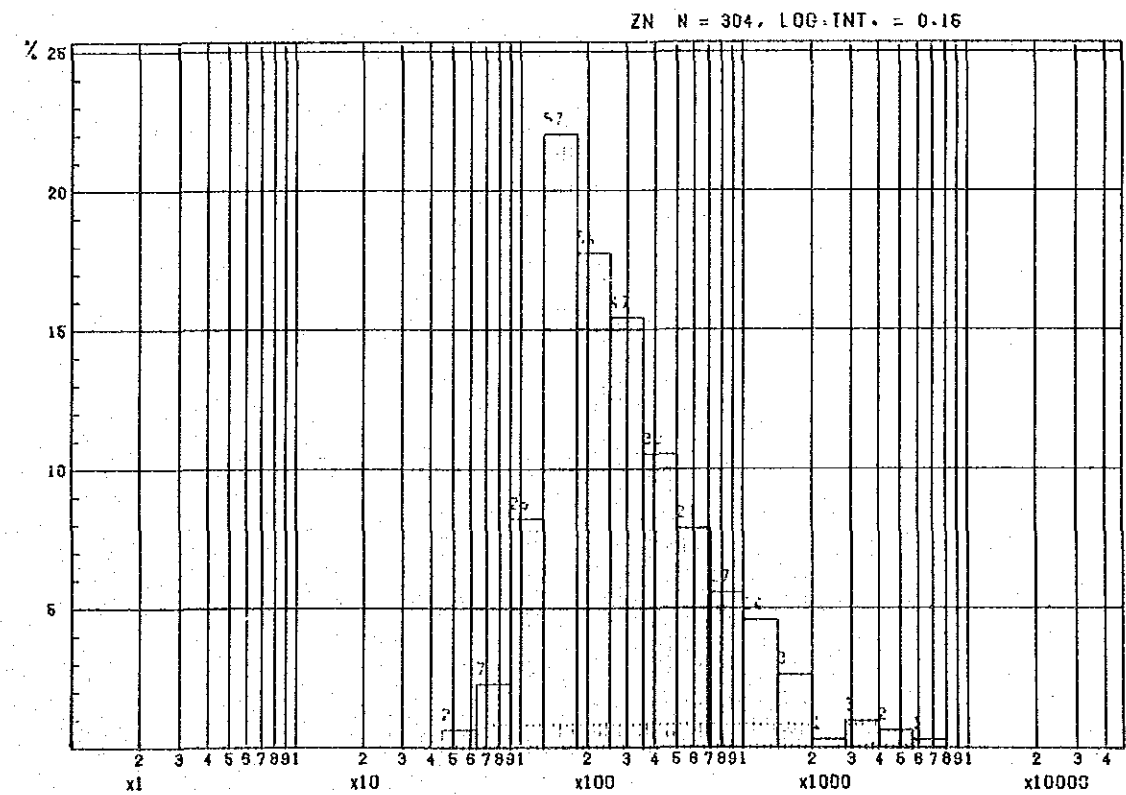
X10

HISTOGRAM FOR PB ( R )



X10

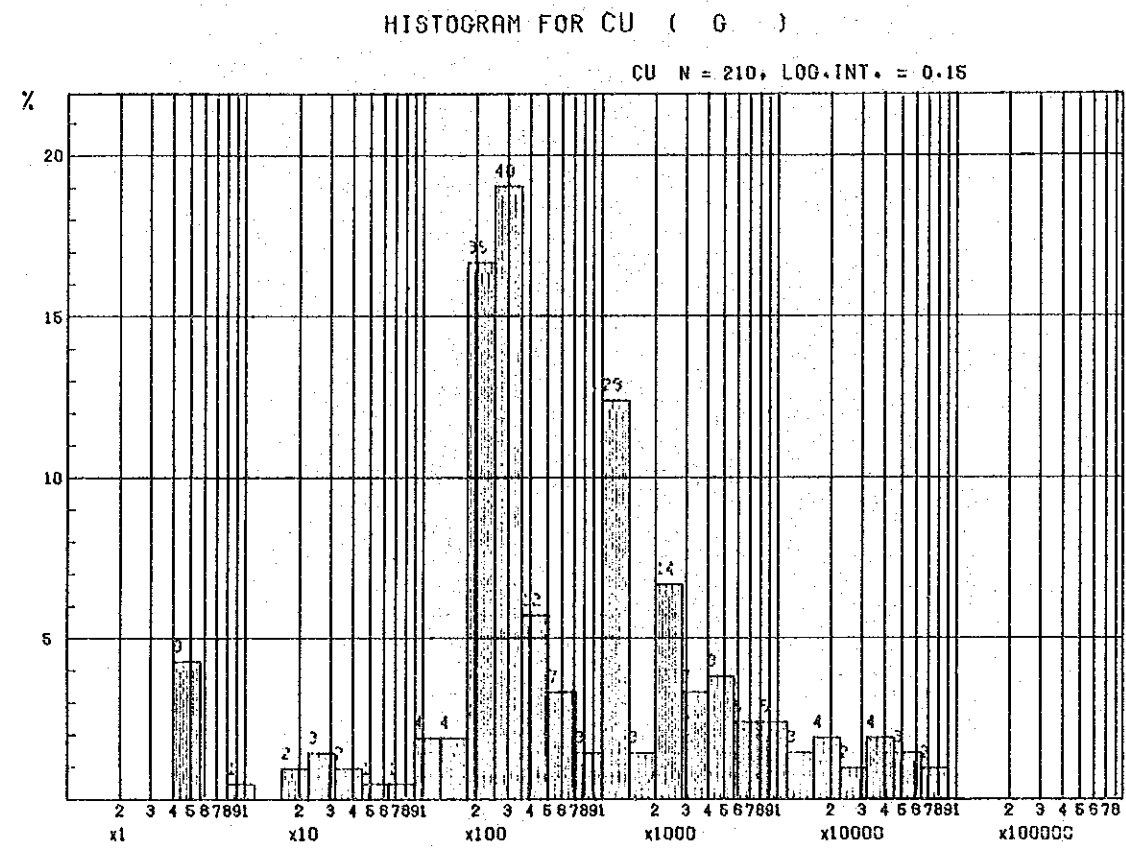
HISTOGRAM FOR ZN ( R )



X10

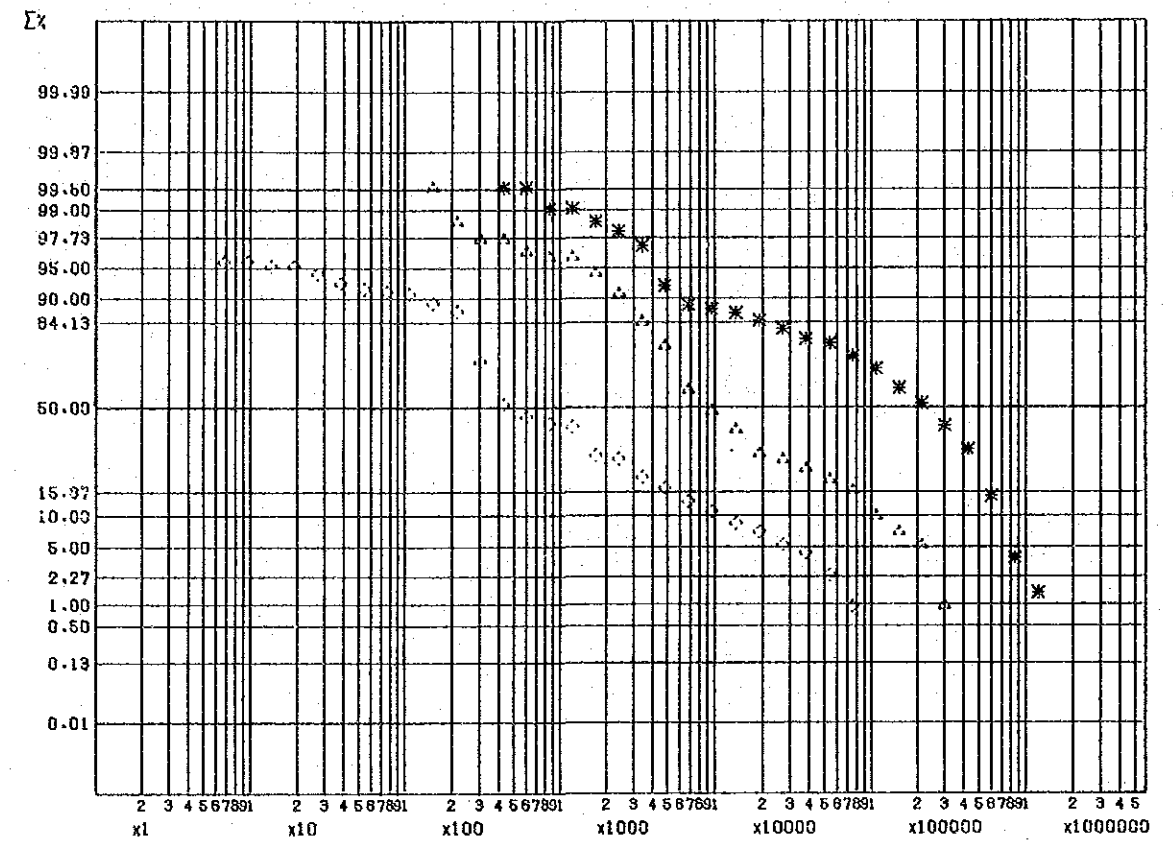


Fig. I-9 Histogram and Cumulative Frequency Curve for Cu, Pb and Zn contents of Geochemical Samples (2) Gossan Samples

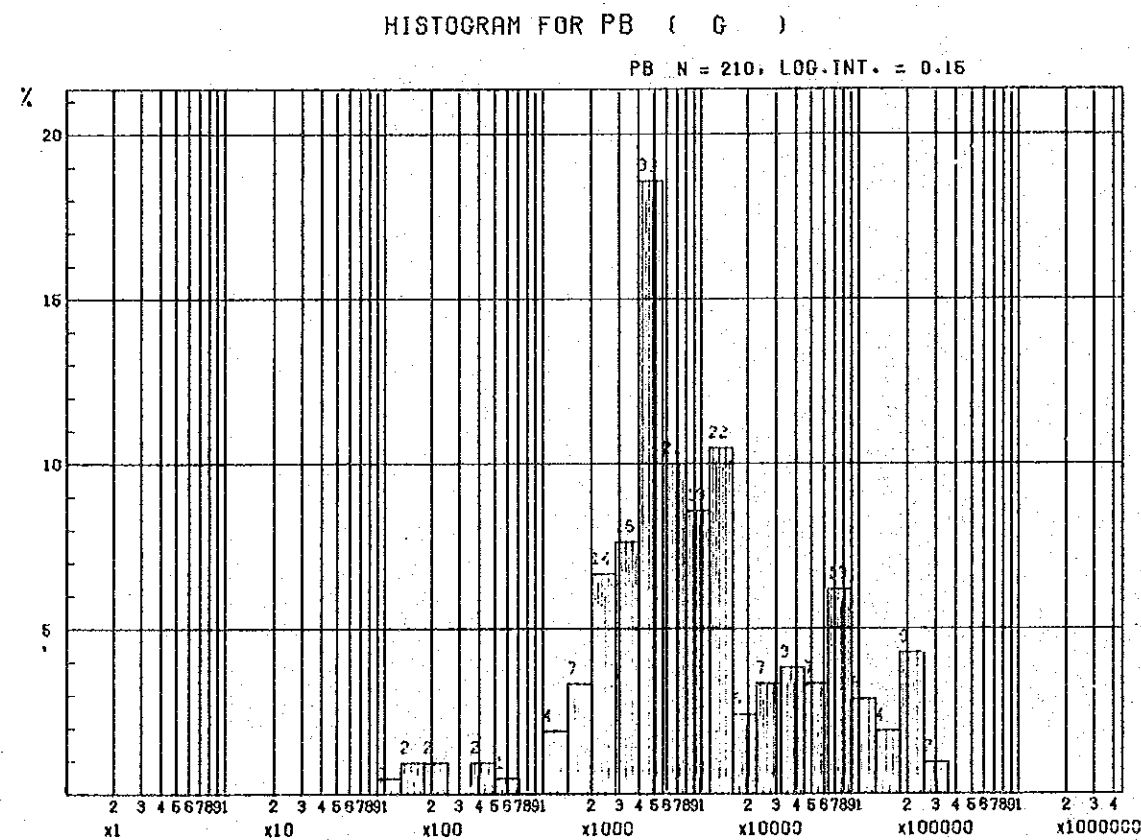


X10

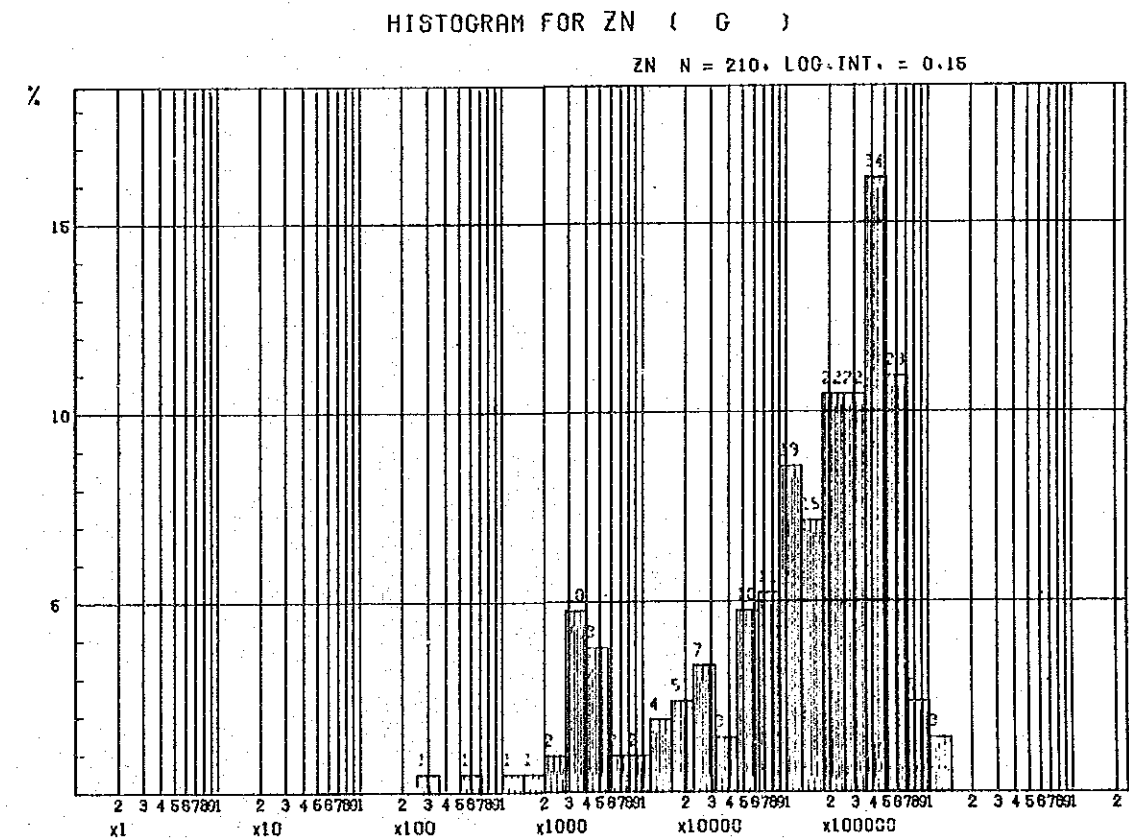
CUMULATIVE FREQUENCY DISTRIBUTION FOR CU, PB AND ZN ( G )



X10

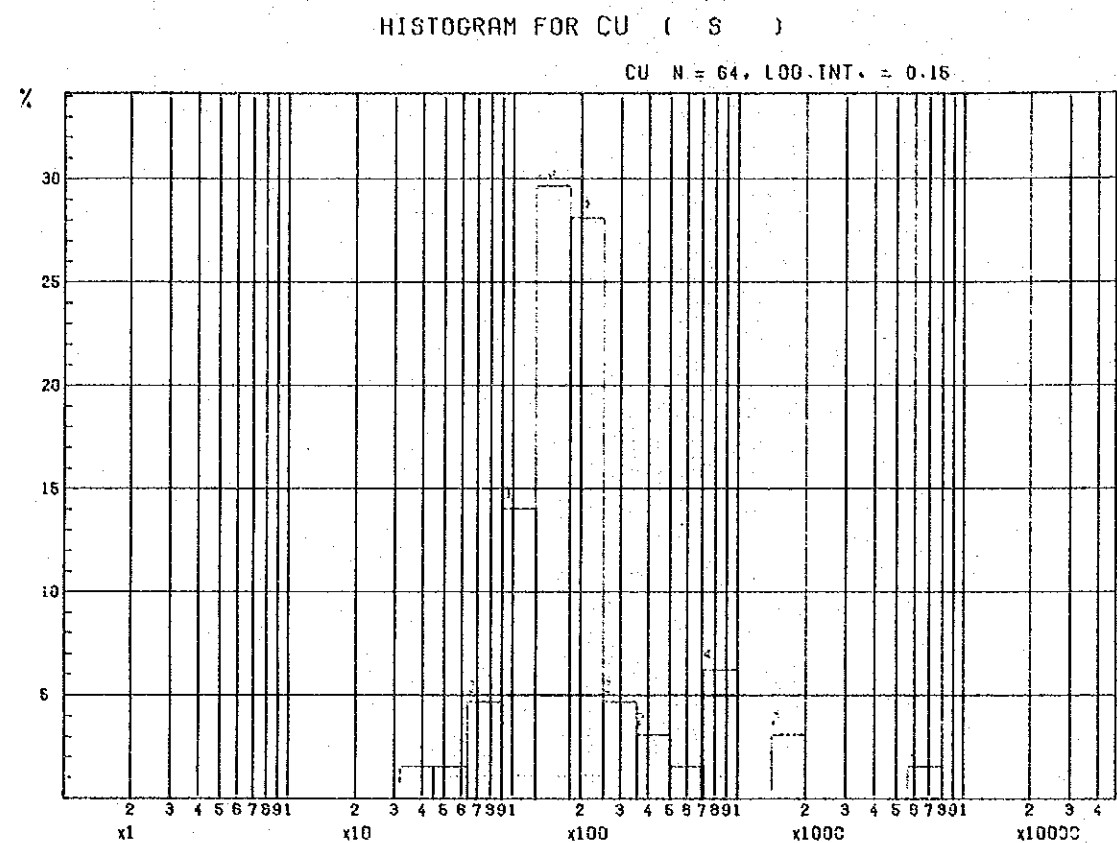


X10



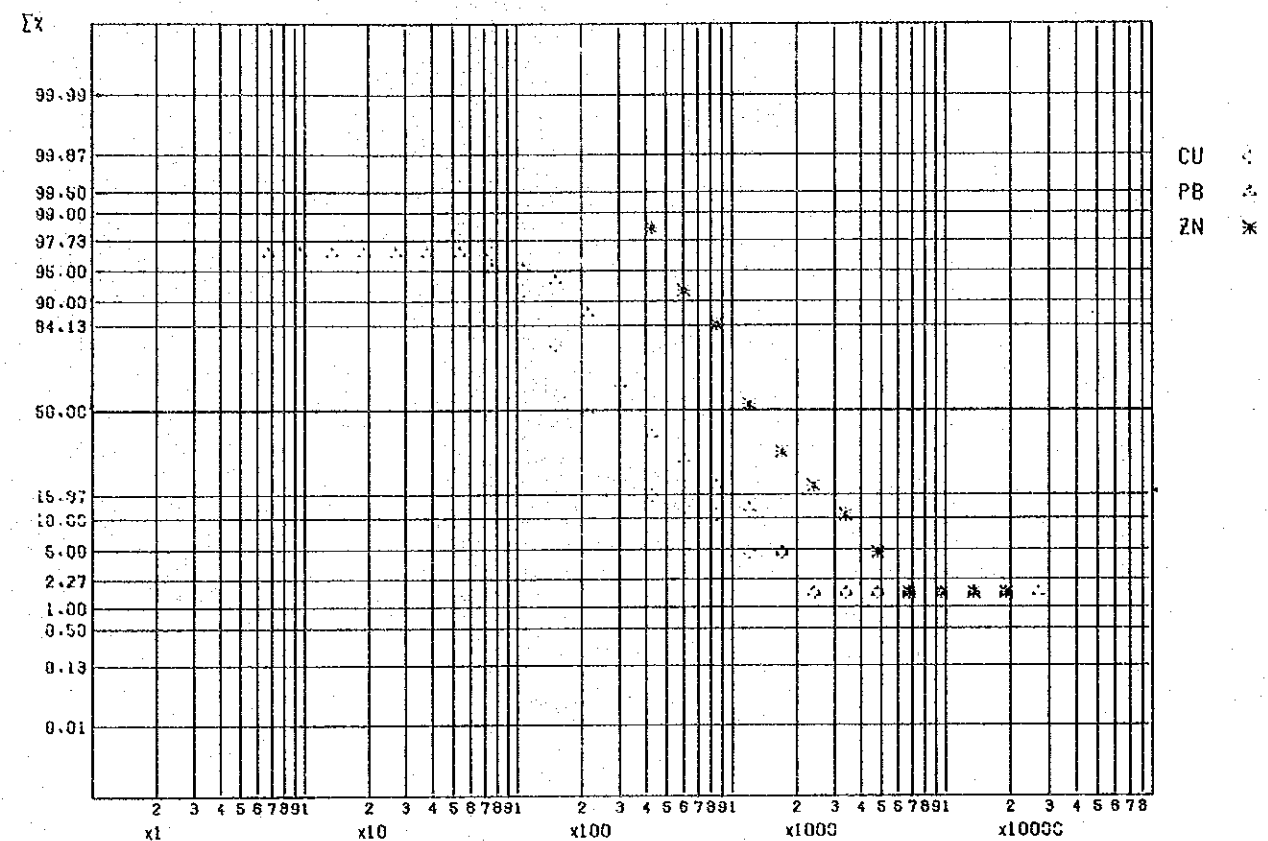
X10

Fig. I-9 Histogram and Cumulative Frequency Curve for Cu, Pb and Zn contents of Geochemical Samples (3) Samples of Stream Sediments

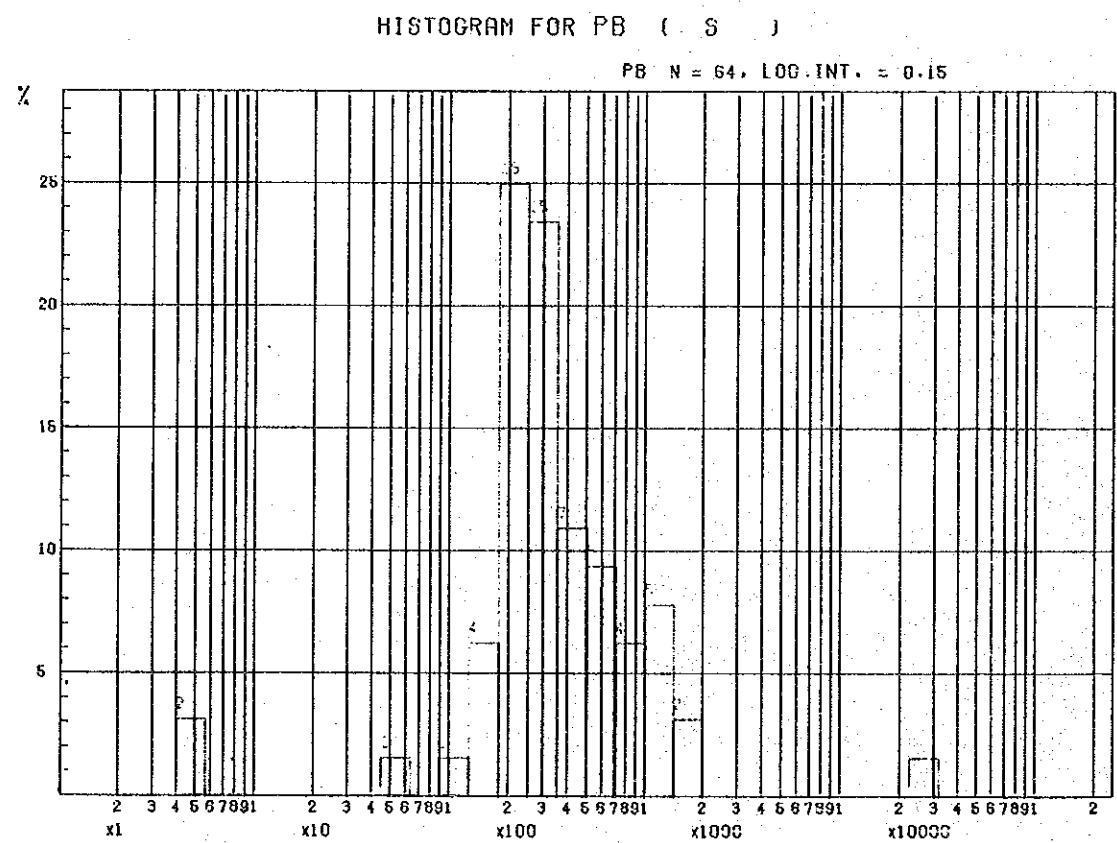


X10

CUMULATIVE FREQUENCY DISTRIBUTION FOR CU, PB AND ZN ( S )

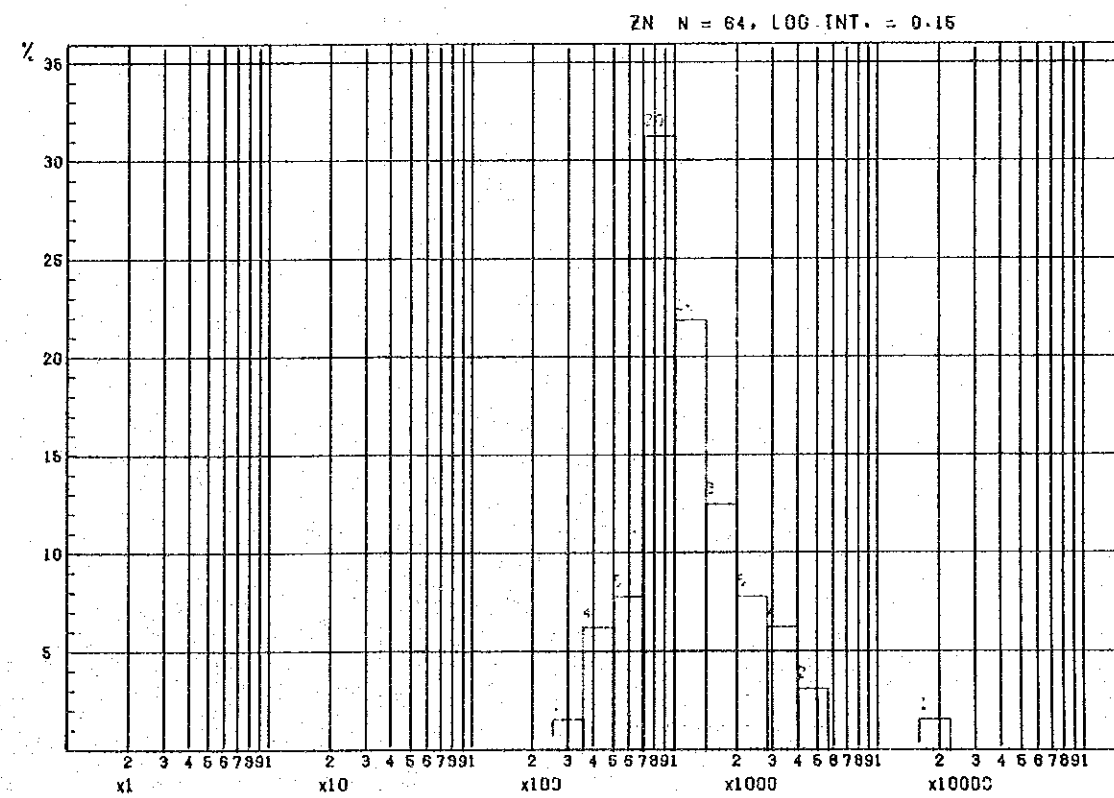


X10

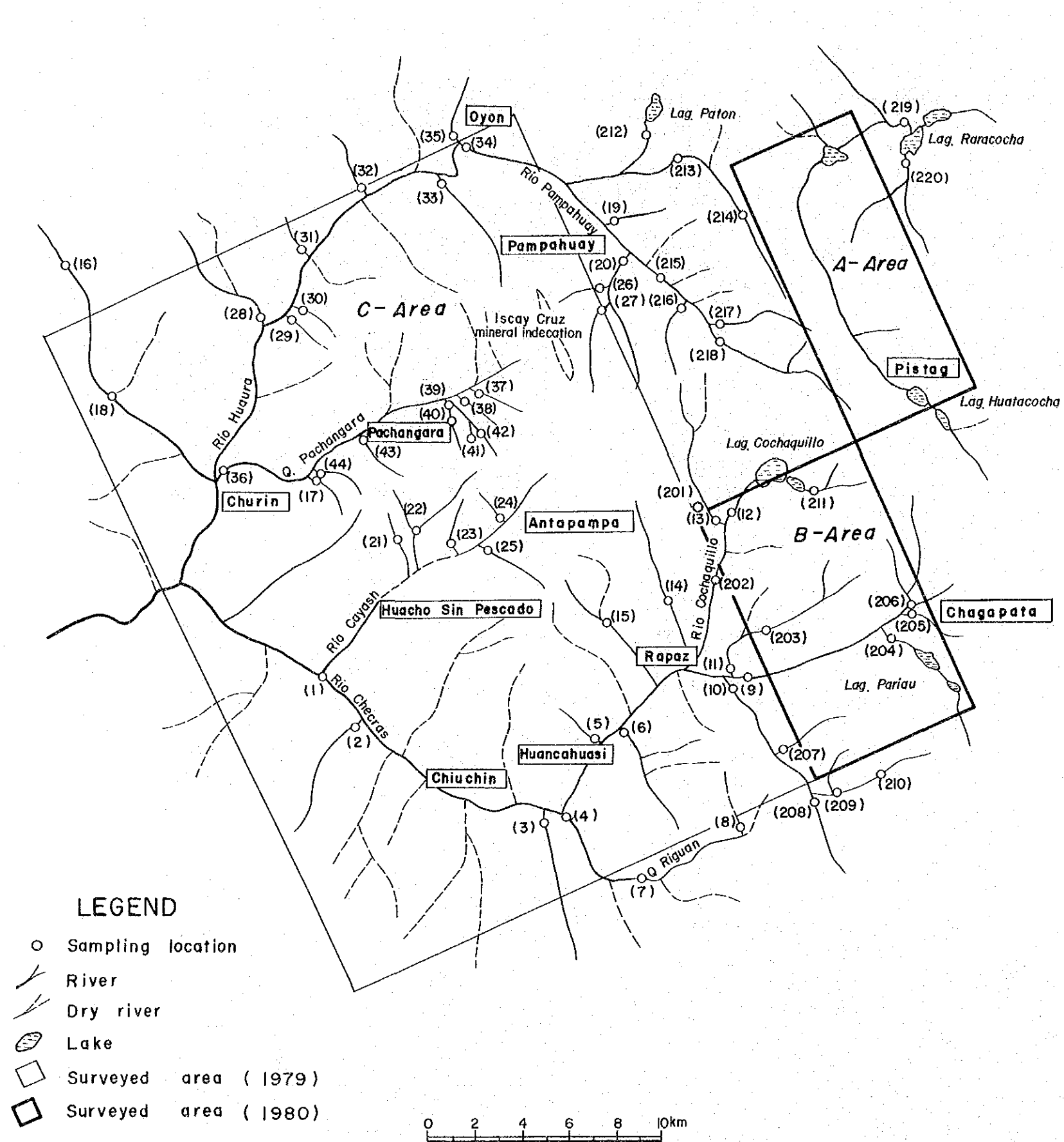


X10

HISTOGRAM FOR ZN ( S )



X10



(1979)				(1980)			
Sample NO	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Sample NO	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm
SD-1	20	52	85	SD-201	27	24	181
SD-2	15	38	106	SD-202	19	15	93
SD-3	21	20	156	SD-203	8	6	81
SD-4	17	29	92	SD-204	69	72	415
SD-5	16	29	191	SD-205	165	33	162
SD-6	21	20	69	SD-206	9	24	61
SD-7	10	23	67	SD-207	13	12	55
SD-8	22	20	42	SD-208	16	24	221
SD-9	39	40	223	SD-209	17	39	89
SD-10	14	194	183	SD-210	11	18	75
SD-11	14	17	56	SD-211	24	26	44
SD-12	16	20	209	SD-212	8	56	30
SD-13	18	22	124	SD-213	19	58	204
SD-14	97	25	310	SD-214	7	108	160
SD-15	16	19	46	SD-215	19	23	100
SD-16	742	168	416	SD-216	13	15	43
SD-17	21	60	83	SD-217	11	26	100
SD-18	79	120	172	SD-218	4	Tr	105
SD-19	32	27	287	SD-219	19	29	87
SD-20	14	21	115	SD-220	11	41	73
SD-21	18	26	74				
SD-22	13	26	82				
SD-23	16	23	77				
SD-24	14	14	77				
SD-25	28	26	83				
SD-26	16	100	76				
SD-27	6	0	77				
SD-28	182	103	114				
SD-29	12	37	78				
SD-30	77	63	1,905				
SD-31	73	83	147				
SD-32	23	2,500	300				
SD-33	20	77	395				
SD-34	19	60	104				
SD-35	36	134	240				
SD-36	18	80	106				
SD-37	11	49	88				
SD-38	19	23	104				
SD-39	15	26	104				
SD-40	16	29	124				
SD-41	16	29	127				
SD-42	11	26	117				
SD-43	12	34	79				
SD-44	25	43	81				

Fig.I-10. Location Map and Assay Results of Stream Sediments

## 第5章 Iscay Cruz 鉍化帯の総合的検討

### 5-1 地質構造と鉍化作用との関係

Iscay Cruz の鉍徴群は Santa 層石灰質岩中に胚胎する。Santa 層は褶曲の翼部に位置し、激しい折疊褶曲のため、その傾斜はほぼ垂直で一部で逆転構造が発達しており、その層厚は 40 m から 80 m まで変動する。

Limpe 区域、Cunsha Punta 区域、Chupa 鉍床などの顕著な鉍化帯は、すべて地層が逆転し、下位の Chimu 層珪岩が - Chupa 鉍床の場合は Farrat 層珪質砂岩が、見掛上の上位を占めて分布している。鉍液に対して化学的反応性に富む石灰岩に対して、化学的に安定した珪岩類が遮蔽岩として働き、鉍石鉍物濃集の役割をはたしたと推察される。

Iscay Cruz 地区には、褶曲軸に直交する方向の ENE - WSW 系破断断層および裂か群が高密度で発達している。Chupa 鉍床の鉍化作用は、この系統の断層・裂か群の発達に強く規制されている。本系統の裂か群は、鉍液の通路として、又鉍石鉍物濃集の場の提供の意味で、本地区の鉍化作用と密接な関連を有すると推察される。本系統の裂か群の発達状況は、NNW - SSE 系層面断層の発達と相俟って、鉍体の連続性にも影響を与えている可能性がある。

### 5-2 火成活動と鉍化作用との関係

Iscay Cruz 峠の西方約 1 km に、石英安山岩質斑岩の岩株状貫入がある。本岩は、変質微弱で周囲の石灰岩に弱いスカルン化作用を与えているのみであり、鉍化作用との関係を有しないと推察される。又、玢岩脈も認められるが、これは鉍化作用後の貫入である。

Cunsha Punta 峠の西側の Oyon 層および Chimu 層中に、十数本の酸性岩脈が貫入している。本岩は岩脈自身およびその周辺に、珪化、絹雲母化、葉ろう石化などの著しい熱水変質作用と黄鉄鉍あるいは褐鉄鉍の鉍染をもたらしている。又、岩脈の周辺で著しい角礫化作用を伴い、一部に角礫脈を形成している。本岩の活動は、断片的ではあるが、背斜軸に沿い、Iscay Cruz 全域にわたっており、Limpe 峠では Santa 層中に直接貫入している。本岩は、その強い変質作用と鉍化帯との距離的關係などよりみて、本地区の鉍化作用と関係する火成活動を示すものと推察される。本岩は変質著しく原岩の組成は不明瞭であるが、稀に石英および長石の斑晶が認められることから石英斑岩であると推定される。

### 5-3 母岩の変質

鉍床の母岩は、泥灰岩および頁岩を挟在する Santa 層石灰岩である。本地区の Santa 層石灰岩は、他地区と比較すると、著しく泥質で不純物が多いように見受けられるが、もともと泥質であったのか、あるいは珪化、ドロマイト化、菱鉄鉍化などの変質作用の結果泥質の見掛

を呈するのか明らかでない。

Cunsha Punta 峠の北方ではスカルンを生じ、スカルン中に銅・亜鉛を濃集している。Limpe 峠北側で確認した塊状硫化鉄体では、大量の黄鉄鉱・磁硫鉄鉱が直接石灰岩を交代している。鉄体の中石およびその周辺では、珪化、菱鉄鉱化、ドロマイト化などの変質作用が顕著である。Isay Cruz 峠付近では珪化した菱鉄鉱が広範囲に発達し、鉛・亜鉛を鉄染している。鉄床周辺の頁岩・泥灰岩中には広く黄鉄鉱の鉄染が認められる。高品位部では母岩の角礫化が顕著である。鉄化作用に伴う変質として、菱鉄鉱作用と珪化作用が著しく、化学成分の上では鉄・マンガン・シリカの添加が大きいのが本鉄化帯の特徴であり、これは熱水作用にもとづくものと推察される。

#### 5-4 鉄石鉄物と脈石鉄物の累帯分布

本鉄化帯は主に Santa 層に沿って、延長12 kmにわたって分布しており、鉄石鉄物濃集の程度は局地的であり断続的である。しかし、全体的にみると、酸性火成岩の活動の中心に最も近い位置にある Cunsha Punta 峠北方にスカルン鉄床が生成し、黄銅鉄・閃亜鉛鉄・磁鉄鉱・黄鉄鉱・磁硫鉄鉱を濃集している。スカルン鉄床は本鉄化帯の中心部を占めていると解せられる。その北南両外側の Limpe 峠付近および Cunsha Punta 峠の南側には、塊状硫化鉄床が形成され、黄鉄鉱・磁硫鉄鉱中に方鉛鉄・閃亜鉛鉄を濃集している。さらに、最外郭の Isay Cruz 峠付近および Antapampa 区域には、マンガン成分に富む菱鉄鉱中の鉛・亜鉛鉄染鉄床が胚胎している。これら各タイプの鉄床は酸性火成岩を中心に累帯分布し、一連の鉄化帯を形成していると考察される。

#### 5-5 鉄床成因の考察

火成活動の中心に最も近いところにスカルン鉄床が胚胎し、その周辺に熱水性交代鉄床が胚胎しており、マグマ期 (magmatic stage) の接触交代作用 (contact metasomatism) と熱水期 (hydrothermal stage) の熱水交代作用 (hydrothermal replacement) が共存するのが本鉄化帯の特徴である。このような性格は、Petersen (1965) による Cordilleran タイプの鉄床と共通していると考察されるが、その裏付けのためには、今後鉄物学的研究を必要とする。

## REFERENCES

- Bellido, B.E. (1969)  
Sinopsis de la geologia del Peru.  
Serv. Geol. Min., Peru, Bol. 22.
- Bellido, B.E., Luis de Montreuil, D. y Girard, P.D. (1956)  
Aspectos generales de la metalogenia del Peru.  
Serv. Geol. Min., Peru.
- Benavides, v. (1956)  
Cretaceous system in Northern Peru.  
Amer. Mus. Hist. Bull., v.108, p.252-494.
- Cobbing, J. (1973)  
Geologia de los cuadrangulos de Barranca, Ambar, Oyon, Huacho,  
Huaral y Canta. Ser. Geol. Min., Peru, Bol.26.
- Coney, P.J. (1971)  
Structural evolution of the Cordillera Huayhuash, Andes of Peru.  
Geol. Soc. Amer. Bull., v.82, p.1863-1884.
- Cossio, A. (1964)  
Geologia de los cuadrangulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa.  
Com. Carta Geol. Nac., Bol.8.
- Cristi, J.M. (1956)  
Chile, Handbook of South American Geology.  
Geol. Soc. Amer. Memoir. 65, p.187-214.
- Einaudi, M.T. (1977)  
Environment of ore deposition at Cerro de Pasco, Peru.  
Econ. Geol., v.72, p.893-924
- Evans, R.B. and Greenwood, P.G. (1968)  
Electromagnetic surveys for metalliferous mineral deposits in  
selected areas of Central Peru.  
Institute of Geological Science, Report No. 9, p.11-17.

- Fukahori, Y., Aikawa, K. and Kawasaki, M. (1980)  
Geology and ore deposit of the Huanzala mine - Mineralogical  
Study. (in Japanese). Min. Geol. Japan, v.30, p.103-118.
- Hamilton, W. (1969)  
The volcanic central Andes, a modern model for the Cretaceous  
batholiths and tectonics of western North America.  
Oregon Dept. Geol. Min. Ind. Bull., v.65 p.175-184.
- Harrison, J.V. y Wilson, J.J. (1960)  
Geologia de la region comprendida entre Huacho y Vinchos.  
Soc. Geol. Peru, Tomo 35.
- Horita, A., Oikawa, J. and Tagami, Y. (1973)  
Geological features of the Huanzala ore deposits, Peru.  
(in Japanese). Min. Geol. Japan, v.23, p.265-274.
- James, D.E. (1971)  
Plate tectonic model for the evolution of the Central Andes.  
Geol. Soc. Amer. Bull., v.82, p.3325-3346.
- Japan International Cooperation Agency and Metal Mining Agency of Japan  
(1978-1979), Report on geological survey of the Cordillera  
Oriental, Central Peru. Vols. 6-8.
- Japan International Cooperation Agency and Metal Mining Agency of Japan (1980)  
Report on geological survey of the Oyon area. Vol. 1.
- Jenks, W.F. (1948)  
Geology of the Arequipa quadrangle.  
Inst. Geol., Peru, Bol. 9.
- Jenks, W.F. (1956)  
Peru, Handbook of South American Geology.  
Geol. Soc. Amer., Memoir, 65, p.215-247.

- Jenks, W.F. (1979)  
Geology of South America, Geology of the World. (in Japanese)  
Iwanami, Tokyo, p.143-172.
- Kross, G. and Nunez, J. (1979)  
Un concepto genetico para el yacimiento de zinc y plomo "el extrano"  
y su importancia para la mineria. Bol. Soc. Geol. Peru. Tomo 63,  
p.205-216.
- Lewis, R.W. y Harvaez, S. (1921)  
Los depositos minerales de la Provincia de Cajatambo.  
Congreso Nacional de la Industria Minera, Lima, Tomo 4, p.25-43.
- Lipertier, C. (1969)  
A simplified statistical treatment of geochemical data by  
graphical representation. Econ. Geol., v.64, p.538-550.
- McLaughlin, D.H. (1924)  
Geology and physiography of the Peruvian Cordillera, Departaments  
of Junin and Lima. Geol. Soc. Amer. Bul., v. 35, p.591-632.
- Miyashiro, A. (1979)  
Orogenesis based on the plate tectonics, the Transitional Earth.  
(in Japanese). Iwanami, Tokyo, p.35-144.
- Petersen, U. (1965)  
Regional geology and major ore deposits of Central Peru.  
Econ. Geol., v.60, p.407-475.
- Petersen, U. (1970)  
Metalogenetic provinces of South America.  
Geol. Rundschau, v.59, p.834-897.
- Samnieto, A. and Amstutz, G.C. (1979)  
Yacimientos estratoligados de Pb, Zn (Ag, Cu) en el Cretaceo  
inferior del Peru Central. Bol. Soc. Geol. Peru, Tomo 62, p.192-224.



Santolalla, M. (1921)

El carbon el Peru, Hulleras Oyon.

Congreso Nacional de la Industria Minera, Lima, Tomo 4, p.196-200.

Sato, H. and Saito, N. (1977)

Pyrite zones and zonal distribution of Cu-Pb-Zn ores in  
Huanzala mine, Peru. (in Japanese).

Min. Geol. Japan, v.27, p.133-144.

Stewart, J.W., Evernden, J.F. and Snelling, N.J. (1974)

Age determination from Andean Peru : a reconnaissance survey.

Geol. Soc. Amer. Bull., v.85, p.107-116.

Jurekian, K.K. and Wedepohl, K.H. (1961)

Distribution of the elements in some major units of the earth's  
crust. Geol. Soc. Amer. Bull., v.72, p.175-192.

Wilson, J.J. (1963)

Cretaceous stratigraphy of Central Andes of Peru.

Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v.47, p.1-34.

Wilson, J.J., Reyes, L. y Garayer, J. (1967)

Geologia de los cuadrangulos de Mollebamba, Tayabamba,  
Huaylas, Pomabamba, Cuarhuaz y Huari.

Serv. Geol. Min., Peru, Bol.16.

# 各 論

## 第Ⅱ部 物 理 探 查



# 目 次

第1章 物理探査の概要	II-7
第2章 探査方法	II-8
2-1 I P 法	II-8
2-1-1 I P法の原理	II-8
2-1-2 測定方法	II-9
2-1-3 測定装置	II-9
2-1-4 作業方法	II-10
2-2 E M 法	II-12
2-2-1 E M法の原理	II-12
2-2-2 測定装置	II-16
2-2-3 測定方法	II-17
第3章 解析方法	II-20
3-1 I P 法	II-20
3-1-1 測定結果の表示	II-20
3-1-2 地形補正	II-20
3-1-3 短電極間隔 I P測定および岩石試料物性測定	II-20
3-1-4 電子計算機によるモデル計算	II-20
3-2 E M 法	II-21
3-2-1 測定結果の表示	II-21
3-2-2 カーブマッチングによる解析	II-22
第4章 調査結果	II-23
4-1 物理探査地域の地質	II-23
4-1-1 Isca Cruz 鉱床付近の地質および地質構造	II-23
4-1-2 Isca Cruz 鉱床	II-23
4-2 Dipole-dipole 電極配置による I P測定	II-23
4-2-1 A R (見掛比抵抗)測定結果	II-24
4-2-2 F E (周波数効果)	II-26
4-2-3 M F (金属係数)	II-29

4-3	EM測定	II-31
4-3-1	VLF法測定結果	II-31
4-3-2	誘導電磁法 "	II-31
4-4	In-situおよび室内測定結果	II-32
4-4-1	室内測定結果	II-32
4-4-2	In-situ測定結果	II-33
第5章 解析結果		II-35
5-1	Central part	II-35
5-1-1	Cumbre de LimpeのFE異常について	II-35
5-1-2	E測線のEM異常について	II-36
5-1-3	AR異常とEM異常との関連	II-40
5-2	Southern part of Iscay Cruz	II-41
5-2-1	Surrounding Area of Chupa MineのFE異常について	II-41
5-2-2	C測線のEM異常について	II-42
5-2-3	AR異常とEM異常との関連	II-45
5-2-4	Cunsha PuntaおよびAntapampaのFE異常について	II-45
第6章 物理探査(IP法, EM法)結果より推定される地下構造		II-48
6-1	Northern part of Iscay Cruz	II-48
6-2	Central part	II-48
6-2-1	Cumbre de Limpe	II-49
6-2-2	Tinyag湖周辺	II-49
6-3	Southern part of Iscay Cruz	II-50
6-3-1	Surrounding Area of Chupa Mine	II-50
6-3-2	Cunsha Punta	II-51
6-3-3	Antapampa	II-52
第7章 結論および今後の探査指針		II-54
7-1	結論	II-54
7-2	今後の探査指針	II-55
参考文献		II-56

## LIST OF FIGURES

- Fig. II-1 Location map of the surveyed area
- Fig. II-2 Explanatory map of the surveyed area
- Fig. II-3 Resistivity-frequency characteristics for metallic and nonmetallic minerals
- Fig. II-4 Electrode configuration
- Fig. II-5 A picture of primary magnetic field from transmitter and secondary magnetic field generated by conducting body
- Fig. II-6 A generalized picture of polarization ellipse
- Fig. II-7 Coupling of a horizontal-loop prospecting system with a simple circuit. (a) prospecting system to one side of the conductor; (b) prospecting system astride the conductor.
- Fig. II-8 EM-16
- Fig. II-9 Field operation method of VLF
- Fig. II-10 Configuration of transmitter (Tx) and receiver (Rx) coils
- Fig. II-11 Operation method of horizontal loop system
- Fig. II-12 Operation method of horizontal-vertical system
- Fig. II-13 Plotting of example
- Fig. II-14 Pole-dipole configuration
- Fig. II-15 Equipment for rock sample measurement
- Fig. II-16 Flow chart of IP survey
- Fig. II-17 Parameters used for determination of depth to the top of conductor and dip angle
- Fig. II-18 Diagram of half the peak-to-peak anomaly to the apparent depth for determination of the real depth to top of conductor
- Fig. II-19 Diagram of half the peak-to-peak anomaly to the up-dip peak anomaly for determination of dip of half plane
- Fig. II-20 A typical profile over a tilted conducting half-plane
- Fig. II-21 Phase diagram of the negative peak response of horizontal-loop profiling over conducting half-plane

- Fig. II-22 Variation of the in-phase positive peak response with the dip and depth of conducting half-plane
- Fig. II-23 Lateral displacement of the negative peak response from the top edge of the conductor
- Fig. II-24 Correlation between AR and FE of laboratory measurements
- Fig. II-25 Field results and results of computer modeling on Line-A
- Fig. II-26 Field results and results of computer modeling on Line-E
- Fig. II-27 Determination of parameters for depth to top of conductor and dip angle, Line-E
- Fig. II-28 Observed magnetic field curves of in-phase and out-of-phase components
- Fig. II-29 Determination of the unknown parameters of conducting half-plane
- Fig. II-30 Field results and results of computer modeling on Line-H
- Fig. II-31 Field results and results of computer modeling on Line-C
- Fig. II-32 Determination of parameters for depth to top of conductor and dip angle, Line-C
- Fig. II-33 Determination of the unknown parameters of conducting half-plane, Line-C
- Fig. II-34 Field results and results of computer modeling on Line-A
- Fig. II-35 Field results and results of computer modeling on Line-B
- Fig. II-36 Relationship between geology and the location of the IP anomalies

## LIST OF TABLES

Table II-1	Classification of electromagnetic methods
Table II-2	Main VLF radio-stations
Table II-3	Results of laboratory measurement
Table II-4	Results of laboratory measurement
Table II-5	Results of in-situ method
Table II-6	Response parameter and depth determined from various phase diagrams
Table II-7	Depth and dip corresponding to various response parameters
Table II-8	Depth and dip corresponding to various values of response parameters
Table II-9	AR anomaly and EM anomaly
Table II-10	Depth and dip corresponding to various values of response parameters
Table II-11	AR anomaly and EM anomaly



LIST OF PLATES

P1. II-1	Location of the IP survey lines	1: 20,000
P1. II-2-1	Profiles of induced polarization line-A	1: 10,000
P1. II-2-2	Profiles of induced polarization line-B	1: 5,000
P1. II-2-3	Profiles of induced polarization line-C	1: 5,000
P1. II-2-4	Profiles of induced polarization line-D	1: 5,000
P1. II-2-5	Profiles of induced polarization line-E	1: 5,000
P1. II-2-6	Profiles of induced polarization line-F	1: 5,000
P1. II-2-7	Profiles of induced polarization line-G	1: 5,000
P1. II-2-8	Profiles of induced polarization line-H	1: 5,000
P1. II-3-1	Contour map of frequency effect n = 1	1: 20,000
P1. II-3-2	Contour map of frequency effect n = 3	1: 20,000
P1. II-3-3	Contour map of apparent resistivity n = 1	1: 20,000
P1. II-3-4	Contour map of apparent resistivity n = 3	1: 20,000
P1. II-3-5	Contour map of metal factor n = 1	1: 20,000
P1. II-3-6	Contour map of metal factor n = 3	1: 20,000
P1. II-4-1	Profiles of electromagnetic correspondence line-C	1: 5,000
P1. II-4-2	Profiles of electromagnetic correspondence line-E	1: 5,000
P1. II-5-1	Comparable panel diagrams of the profiles of geology, AR (IP method), EM correspondence (induction method and VLF method) on the line-E	1: 5,000
P1. II-5-2	Comparable panel diagrams of the profiles of geology, AR (IP method), EM correspondence (induction method and VLF method) on the Line-C	1: 5,000

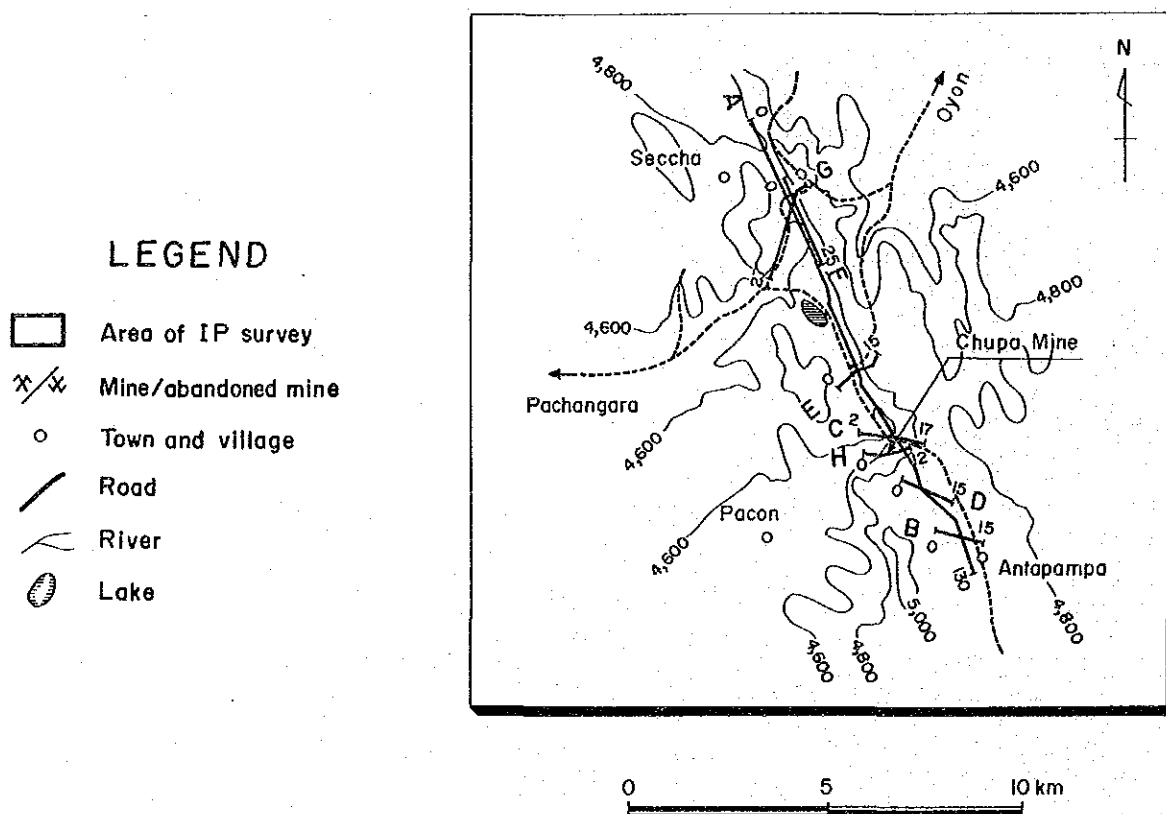
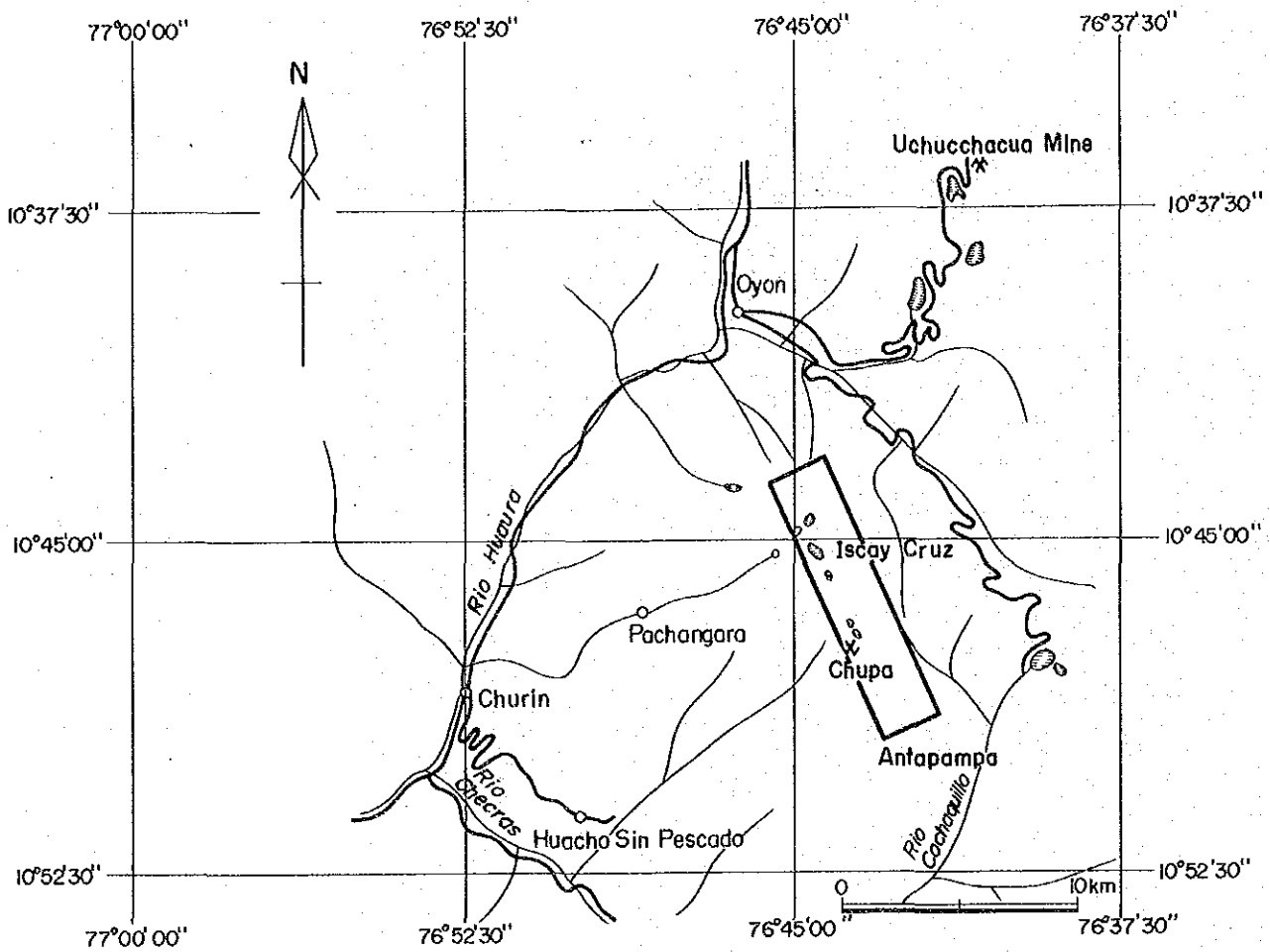


Fig. II-1 Location map of the surveyed area



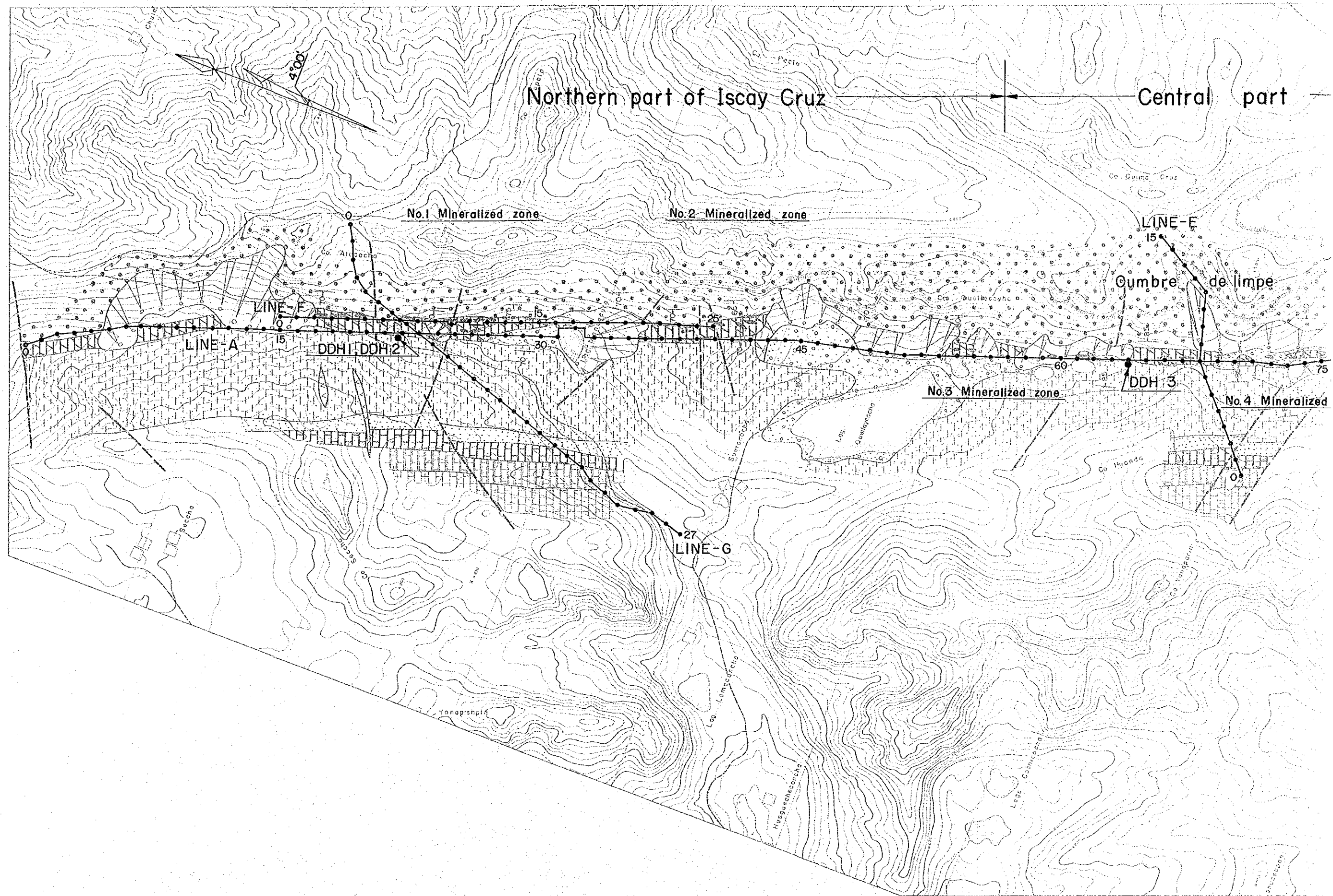


Fig. II-2. Explanatory map of the su

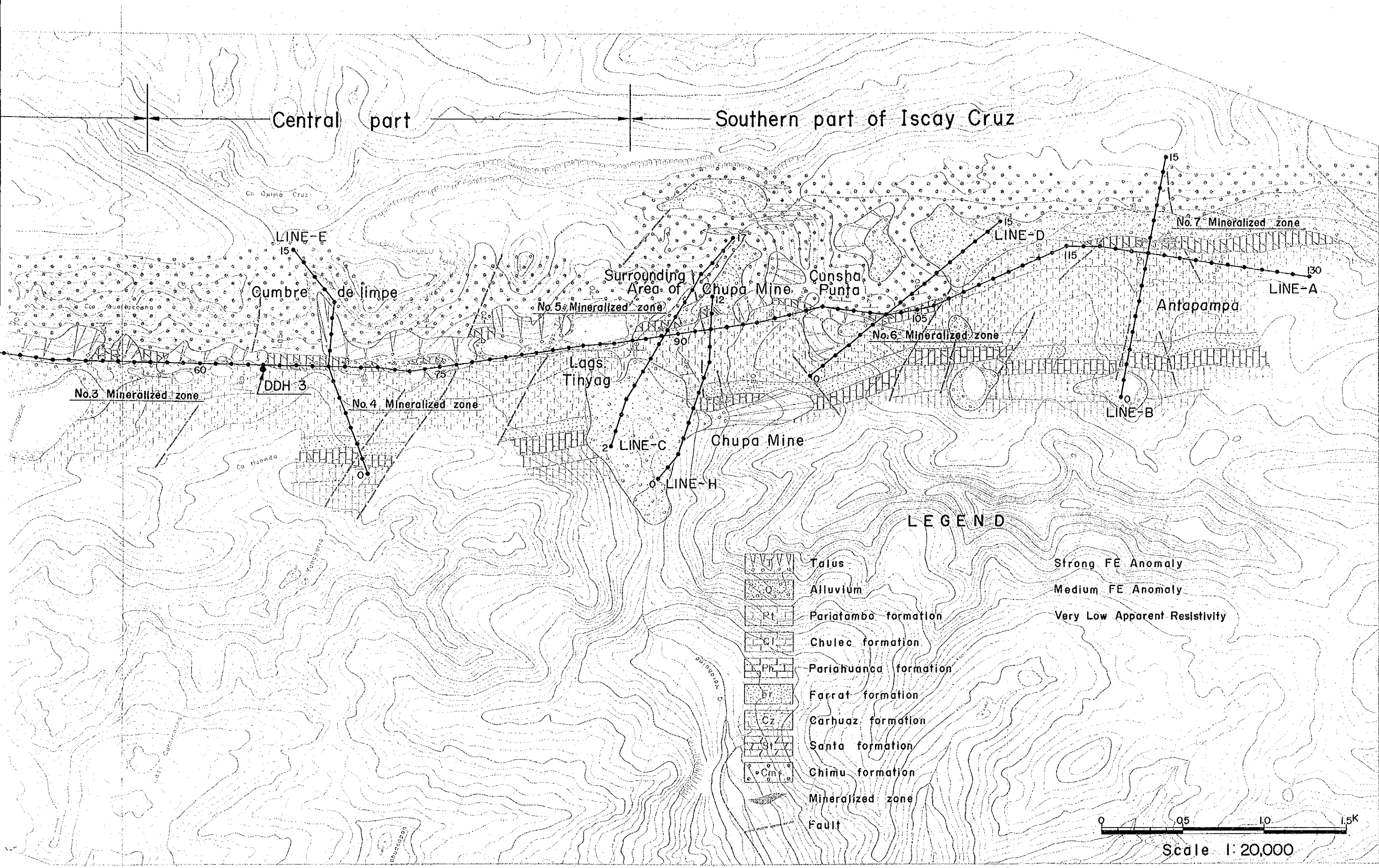


Fig. II-2. Explanatory map of the surveyed area

## 第1章 物理探査の概要

(Fig. II-2 参照)

第1年次地質調査により明らかになった Iscay Cruz (イスカイクルス) 鉱化帯において、電気化学的分極異常や比抵抗異常の存在を明らかにし、鉛・亜鉛鉱化帯の規模や濃集度を考察するため今回物理探査 (IP法・一部EM法) が実施された。

Iscay Cruz 鉱床は、Santa (サンタ) 層の石灰岩類を母岩とする熱水性交代鉱床で、鉛・亜鉛を含有する鉄・石英ゴッサン、鉱染状鉛・亜鉛硫化物などで構成されており、延長12 kmの間に第1から第7鉱徴まで認められる。更に第5鉱徴西側約400 mの Pariahuanca (パリアワンカ) 層に Chupa (チュパ) 鉱床ゾーンがある。調査地北側から Northern part, Central part, および Southern part と仮に分割する。

Northern part には、第1から第3鉱徴まで含まれ、特に第1鉱徴の地表はゴッサンとなっており、鉛、亜鉛を含有する。Central part には、第4鉱徴のみが含まれ、硫化物を含有している。Southern part は Chupa 鉱床の方鉛鉱、閃亜鉛鉱を含むスカルン鉱床と、第5から第7鉱徴まで含まれる。第5と第6鉱徴は、硫化物を含有し、第7鉱徴は黒色ゴッサンである。

以上の全地域にわたり、Dipole - dipole 電極配置により強制分極法 (Induced polarization method; IP法と呼ぶ) を実施し、特にIP示徴の顕著な Central part と Southern part の一部の測線について、誘導電磁法 (Induction method) と VLF探査法 (VLF method) による電磁法 (Electromagnetic method; EM法と呼ぶ) を実施した。

## 第2章 探査方法

### 2-1 IP法

#### 2-1-1 IP法の原理

地中に直流電流が流れている場合、2つの電極を離して接地すると、この2電極間には普通電位差が生じる。直流電流を切ると、2電極間の電位差は直ちに零にならず、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。上記のような地球電氣的現象は強制分極 (Induced polarization ; IP) と呼ばれる。この現象を利用した地下探査法をIP法と言う。

IPの発生機構は未だ完全に解明されていないが、主として地中のOvervoltage (過電圧またはElectrode polarization)とMembrane polarization(膜分極)によるとされている。

IP法の原理、測定方法、解析理論等については、Sumner(1976)やSeigel(1967)等に詳しい。

IP効果を野外で測定する方法として、現在広く用いられているのは、周波数法 (Frequency domain method)と時間法 (Time domain method)の2つであるが、ここでは本調査に採用した周波数法についてのべる。

Fig. II-3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。周波数変化に伴う比抵抗の変化を測定し、大地のIP現象の存在を見付けようとする測定法が周波数法である。

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。

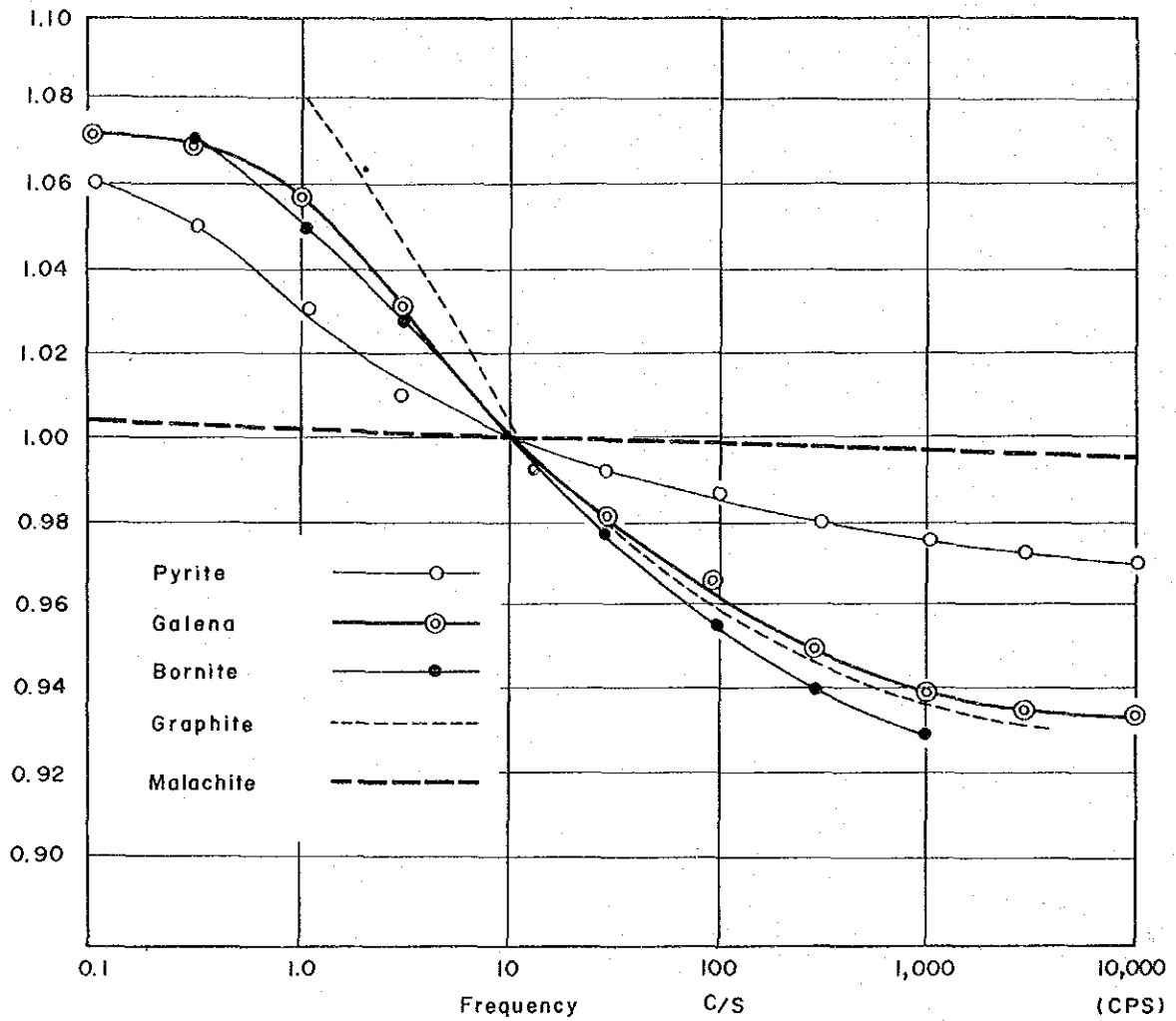
$$FE = \frac{R_1 - R_2}{R_2} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで $R_1$ は低い方の周波数で測定した見掛抵抗値、 $R_2$ は高い方の周波数で測定した場合の見掛比抵抗値である。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比抵抗を測定した場合、見掛比抵抗値は次式により表わされる。

$\rho/\rho_0$ 

(after Wait, 1959)



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

**Fig. II-3. Resistivity-frequency characteristics for metallic and nonmetallic minerals**



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

ここで、

- R : 見掛比抵抗値 (  $\Omega m$  )
- 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の解析によく使われる係数にMF (金属係数, Metal factor), またはMCF (金属伝導係数 Metal conduction factor) と呼ばれるものがある。

MFはFEを見掛比抵抗で除し、定数を乗じ、数値を適当な範囲にしたものである。本報告書では次のように定義した。

$$MF = \frac{FE}{R_2} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

一般に金属硫化物等、鉱床探査目的鉱物を多く含んだ岩石は、比抵抗が低く、FEは高いので、IP調査結果をMFにより表示すると、鉱床付近では、その周囲にくらべMFが大きくなる。

したがってMFは金属鉱床探査に使用される場合がある。

### 2-1-2 測定方法

IP測定の電流および電位電極の設置方法の代表的な例をFig. II-4に示す。

今回の調査では、周波数法によるDipole-dipole電極配置によってIP法を実施した。

電流電極に流す電流は、エンジン発電機により400cpsの交流として発電される。この交流を発信機内で整流し、切換素子により切り換え、極低周波交番電流として電極に流す。

電位電極は非分極性の電極壺が使われる。

受信信号は、受信機内のフィルターで必要な周波数の信号のみを取り出し、電位差計により読み取られる。この受信機の電源は一般に乾電池である。

### 2-1-3 測定装置

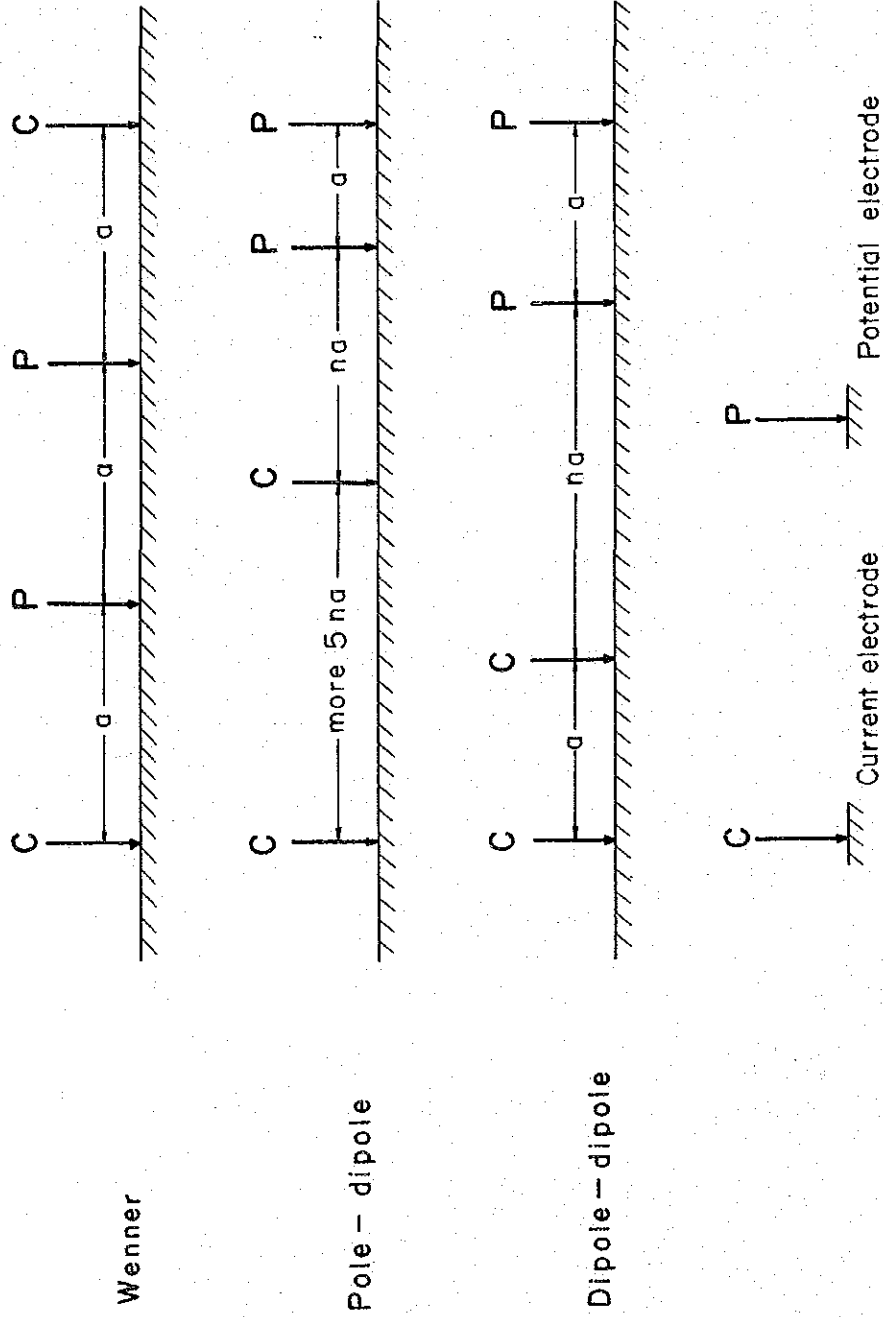
本調査で使用した測定機器と、その主な仕様は次の通りである。

#### (1) 送信機

千葉電子研究所製 CH-508-A, B

重 量 約 2.5 Kg

出力電圧 20V ~ 800V



**Fig. II - 4. Electrode configuration**

出力電流 0.1 A ~ 3.0 A  
送信周波数 3 Hz, 1.0 Hz, 0.3 Hz, 0.1 Hz, DC

(2) 受信機

McPhar 社製 P-660  
重量 2 Kg  
最大感度 100  $\mu$ V  
受信周波数 5.0 Hz, 2.5 Hz, 1.25 Hz, 0.3125 Hz, 0.125 Hz  
入力インピーダンス 2 M $\Omega$

(3) エンジン発電機

Geotronics 社製 M-421  
重量 3.7 Kg  
出力電圧 110 V  
周波数 400 Hz  
出力 2 kw

2-1-4 作業方法

(1) 測線設定測量作業

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。

測点の原点として、Cumbre de Iscay Cruz にある標高 4,680 m の点を使用し、測量原点とした。

測線の方位は Santa 層に沿ってほぼ南北とし、地形的に測量・測定の不可能な所では、測線の方向を少々曲げた。この主測線に直交してほぼ東西方向に 6 測線設定し、測点は水平距離 100 m 毎に設けた。

測線の配置は、地質技師と協議の上現地の地質、地形に応じて最も効果的な配置を選定した。測線長、電極間隔および電極隔離係数は、仕様書に定められている所に従っている。

測線名	測線長	測点間隔	隔離係数	記 事
A	13.0(Km)	$a=100m$	$n=1\sim5$	Santa層に沿う。
B	1.5	"	"	
C	1.5	"	"	
D	1.5	"	"	
E	1.5	"	"	54年度地質調査 No.4 鉍徴地
F	2.5	"	"	54年度地質調査 No.1 鉍徴地
G	2.7	"	"	
H	1.2	"	"	Chupa Mine
計	25.4Km			

## (2) IP測定作業

### ① 電流電極埋設および配線

電流電極は、約30cm×40cmの銅板を使用し、50cm～1m位の深さに埋設した。埋設に際し、大地と銅板の接触を良くするため、塩水と土を混ぜ、銅板をその間に挟むようにした。接地抵抗の充分低くない所では、銅板を数枚用いた。配線は電線間のカップリング並びに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。

### ② 電位電極

電位電極は飽和硫酸銅水溶液で満たした壺の中に、銅製針金を浸したものを使用した。壺の底からは、徐々に硫酸銅がしみ出すようになっており、銅製針金と大地は、硫酸銅を介して電氣的に接続されるようになっている。この電極は分極性が比較的少ないと言われている。電位電極の接地を良くするために、電位電極点で10cm位の深さの穴を掘り、飽和硫酸銅水溶液を入れてその中に電位電極を押しつけた。このようにして、測定電位電極系全体の抵抗を1～2KΩとした。この値は、受信機の入力インピーダンス2～10MΩに比べ充分小さい。

## 2-2 EM法

### 2-2-1 EM法の原理

電極法 (Electromagnetic method) は地下の電氣的良導体 (以下良導体と呼ぶ) を探査する方法の1つであり、人工的に電磁場 (1次磁場) を発生させ、この磁場が地下の良導体を横切ることにより良導体から発生する2次磁場を測定する方法である。

人工的な1次磁場の発生方法や使用する電磁波の周波数、2次磁場の測定方法等は、探査の目的、対象などに応じて種々の方式が実用化されている。

Table II-1 は、地表探査に利用されている電磁探鉱法を周波数別に分類したものである。

Table II-1 電磁法の分類

周波数	電磁法分類名	信号源
1500 KHz ~ 500 KHz	ラジオ電波法	人工 (放送および専用)
25 " ~ 10 "	V L F 法	人工 (軍用)
5 " ~ 200 "	誘導電磁法	人工 (専用)
660 " ~ 220 "	T U R A M 法	人工 (専用)

本調査で使用した方法は V L F 法と誘導電磁法である。

#### (1) V L F 法

V L F 法は、世界各地に設置されている対潜水艦通信用の送信所から送信される大出力の V L F 電波を利用する。送信源が調査地から非常に遠方にあるため、1次磁場は理論的に平面波として取り扱われ、その振動方向は、Fig. II-5に示すように電磁波の伝播方向に垂直で且つ水平とみなすことができる。

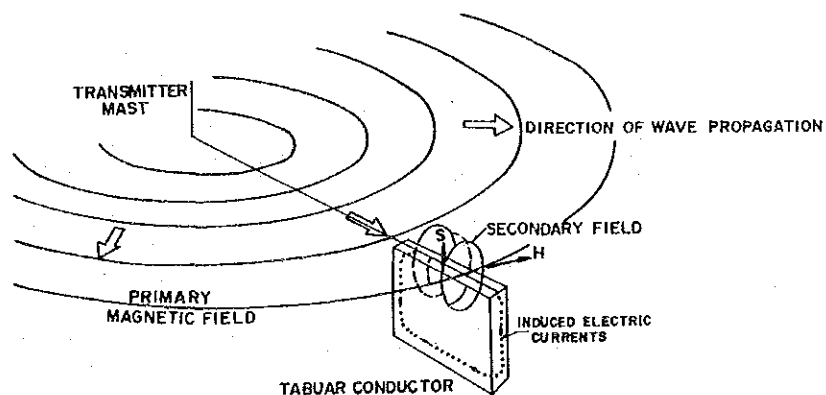


Fig. 5. A picture of primary magnetic field from transmitter and secondary magnetic field generated by conducting body

Fig. II-6は、地下に良導体が存在する場合について、測定点Pにおける1次磁場 $\vec{H}$ と2次磁場 $\Delta\vec{H}$ および両者の合成磁場 $\vec{C}$ の関係を模式的に示したものである。簡単のために、測定点Pを通り1次磁場 $\vec{H}$ の方向と一致するように $x$ 軸を定め、 $y$ 軸上の点Oの直下に良導体が存在するものとする、1次磁場 $\vec{H}$ によって良導体中に誘起される渦電流は良導体の上端において紙面に垂直に紙面の表側から裏側に向って流れ、その結果2次磁場 $\Delta\vec{H}$ が位相差 $\phi$ をもって発生する。

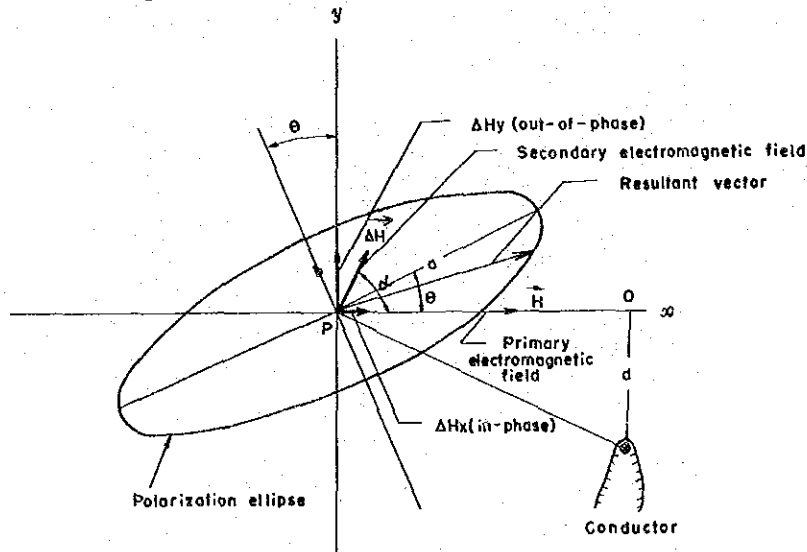


Fig. II-6. A generalized picture of polarization ellipse

今、位置的に $\Delta\vec{H}$ が $\vec{H}$ の平面より上方に $\alpha$  (radian)だけ傾いているとすれば、 $\vec{H}$ および $\Delta\vec{H}$ の $x$ 軸及び $y$ 軸方向の成分は

$$H_x = H \cos \omega t$$

$$H_y = 0$$

$$\Delta H_x = \Delta H \cos (\omega t + \phi) \cdot \cos \alpha$$

$$\Delta H_y = \Delta H \cos (\omega t + \phi) \cdot \sin \alpha$$

但し、 $H$  : 1次磁場 $\vec{H}$ の振幅 (henry/meter)

$\Delta H$  : 2次 " "

$\omega$  : 角周波数 (radian/sec)

$t$  : 時間 (sec)

$\phi$  : 1次磁場 $\vec{H}$ と2次磁場 $\Delta\vec{H}$ の

位相差 (radian)

従って $\vec{H}$ と $\Delta\vec{H}$ の合成磁場 $\vec{C}$ の $x$ 軸及び $y$ 軸方向の成分は

$$C_x = H \cos \omega t + \Delta H \cos (\omega t + \phi) \cos \alpha$$

$$= X \cos (\omega t + \phi') \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

$$C_y = \Delta H \cos (\omega t + \phi) \sin \alpha$$

$$= Y \cos (\omega t + \phi) \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\text{但し, } X = \sqrt{(H + \Delta H \cos \alpha \cos \phi)^2 + (\Delta H \cos \alpha \sin \phi)^2}$$

$$\phi' = \tan^{-1} \frac{\Delta H \cos \alpha \sin \phi}{H + \Delta H \cos \alpha \cos \phi}$$

$$Y = \Delta H \sin \alpha$$

(2.1)式と(2.2)式を連立させて $\omega t$ を消去し $\vec{C}$ の軌跡を求めると,

$$\frac{C_x^2}{X^2} + \frac{C_y^2}{Y^2} - \frac{2C_x C_y}{XY} \cos \delta = \sin^2 \delta \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\text{但し } \delta = \phi' - \phi$$

となり, 楕円を描くことがわかる。この楕円の傾き $\theta$ は,

$$\tan 2\theta = \frac{2XY \cos \delta}{X^2 - Y^2}$$

を満足し,  $\Delta H \ll H$ とすれば,

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\Delta H}{H} \sin \alpha \cdot \cos \phi \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

$$= \tan^{-1} \frac{\Delta H y_i}{H} \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

但し $\Delta H y_i$ : 2次磁場 $\vec{\Delta H}$ の垂直成分の同相

となる。また, 偏曲率 $\epsilon$ は短軸 $b$ と長軸 $a$ との比 $\frac{b}{a}$ で定義され

$$\epsilon = \tan^{-1} \frac{\Delta H}{H} \sin \alpha \cdot \sin \phi$$

$$= \tan^{-1} \frac{\Delta H y_o}{H} \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

但し $\Delta H y_o$ : 2次磁場 $\vec{\Delta H}$ の垂直成分の離相

(2.5)式及び(2.6)式からわかるように、Fig. II-6で示される偏極楕円の傾き $\theta$ の正接( $\tan \theta$ )及び偏曲率( $\epsilon$ )は、それぞれ1次磁場の強さに対する2次磁場の垂直成分の同相、離相の強さの割合を示すものであり、いずれも地下の良導体の1次磁場に対する応答の程度を表している。

応答の強さは、良導体の形状、電気的特性、測定点と良導体との位置関係など種々の条件によって異なるが、一般に比抵抗が小さく、浅所に存在するもの程強い応答を示す。

本調査で使用したEM-16VLF探査機は $\theta$ 及び $\epsilon$ を簡単な操作で測定できるように設計されている。

## (2) 誘導電磁法

Fig. II-7は本調査で採用したHorizontal planar loopコイル配置法による測定原理を概念的に示したものである。送信コイルにより発生した1次磁場が地下良導体を横切ると良導体内に渦電流が発生し、これによって2次磁場が誘起される。受信コイルにおいては、この1次磁場と2次磁場の合成磁場の垂直成分に比例した起電力が生じるが、あらかじめ1次磁場による起電力を打ち消すように測定器を調整しておくことにより、2次磁場の垂直成分のみを測定することができる。

水平受信コイルを横切る2次磁場の垂直成分の向きは、Fig. II-7(a)に示すように送-受信コイルが地下良導体からみて同じ側に位置している場合には、1次磁場の垂直成分の向きと同じ(正応答)であるが、Fig. II-7(b)のように、送-受信コイルが良導体をまたぐような位置にある場合には逆(負応答)となる。

簡単のために、垂直板状の良導体が存在する場合を例にとると、良導体から遠く離れた地点では、2次磁場の垂直成分は、極く小さな正の値を示すが、良導体に近づくと次第に大きくなり、送-受信コイル系の中心点が良導体の直上地点から、コイル間隔の約0.5~1.0倍の距離まで近づいた所で極大となる。しかし、その点を過ぎると逆に減少し、コイルの一方が良導体の直上に位置する所では零となる。

更にコイルを移動してFig. II-7(b)のようにコイルが良導体をまたぐように位置すると、負の応答を示し、送-受信コイルの中心点が良導体の直上に位置する所で負の最大値を示す。

このような応答の変化をグラフにしたものは応答曲線と呼ばれ、この例の場合には、応答曲線は、良導体の位置を中心として左右対象であるが、良導体が一方向に傾斜している場合には、down-dip側の正の極大値がup-dip側の正の極大値よりも大きくなることが知られている。



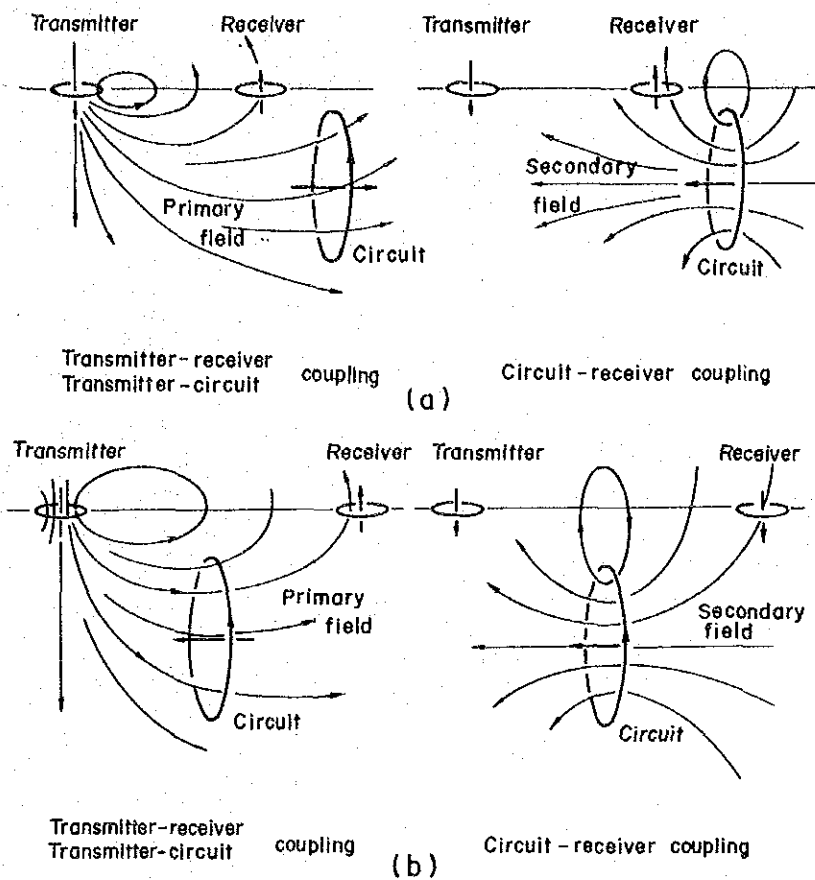


Fig. II-7 Coupling of a horizontal-loop prospecting system with a simple circuit.  
 (a) prospecting system to one side of the conductor; (b) prospecting system astride the conductor.

## 2-2-2 測定装置

### (1) VLF法

受信機

名称	EM-16
製作所	Geonics Limited
測定範圍	同相 0 ~ ± 150 % 離相 0 ~ ± 40 %
読取精度	± 1 %
周波数	7局 (17.8, 24.0, 18.6, 23.4, 21.4, 22.3, 17.4 KHz)
電源	9 V
重量	1.1 Kg

(2) 誘導電磁法

名 称	SE-600
製 作 所	Scintrex Limited
測定範囲	同相 0 ~ 200 % 離相 - 50 ~ 50 %
読取精度	± 1 %
周 波 数	1,600 Hz
コイル間隔	200, 300 feet
コイル径	20 inches
重 量	送信器 8 Kg 受信器 5 Kg
電 源	送信器 6 V 受信器 1.35 V

2-2-3 測定方法

(1) VLF法

I P異常が補足された測線の中からC, E測線を選び測線上で測点間隔50mによりVLF探査を実施した。

VLFの発信局は理想的には推定される良導体の走向方向に位置する局を選ぶべきである。従って現地で実際に各局からの信号を受信し、明瞭に受信でき、かつ良導体のほぼ延長方向に位置するNAA(17.8KHz)局を選択した。

しかし、E測線測定日に、NAA局からの信号がうまく受信できなかったのでE測線測定にはNPM局(23.4KHz)を用いた。

Table II - 2 主要なVLF波発信局

名 称	位 置	国 名	周波数(KHz)	出力 (kW)
NAA	44° 39' N 67° 17' W	アメリカ合衆国	17.8	1000
NBA	9° 04' N 79° 39' W	パナマ	24.0	150
NPG	48° 12' N 121° 55' W	アメリカ合衆国	18.6	250
NPM	21° 25' N 158° 09' W	アメリカ合衆国	23.4	300
NSS	38° 59' N 76° 27' W	アメリカ合衆国	21.4	85
NWC	21° 49' S 114° 10' E	オーストラリア	22.3	1000
NDT		日 本	17.4	500

測定は下記の手順で行った。

- ① Fig. II-9 に示す如く、信号コイルを水平にして、鉛直軸を中心に回転させ、スピーカ音が最小になる方向をさがす。その方向が発信局の方向になる。
- ② Signal coil 軸を鉛直に立て、Reference coil の軸を発信局方向と直角に保ち、(この時の Signal coil と Reference coil の両軸で作られる鉛直面は  $\Delta H_y/H$  の最大面である) この鉛直面内で両 Coil 軸を Fig. II-9 (b) のように傾けてスピーカ音が最小になる位置をさがす。この時 Signal coil 軸は偏極楕円の短軸と一致し、Coil の傾きが偏極楕円の傾き( $\theta$ )を示す。

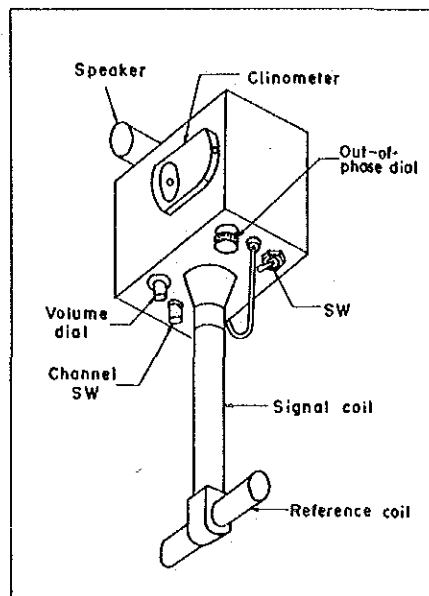


Fig. II-8 EM-16

- ③ この時の  $\tan \theta$  (%) を内蔵の傾斜計で直統する。
- ④ 傾斜角を  $\theta$  に保ちながら離相つまみをまわしてスピーカ音がほとんど聞えなくなる状態に離相つまみを調整する。

この時のつまみの  $\epsilon$  (%) 値が、長軸と短軸の比、偏極率を表わす。

- ⑤ この操作を各測点でくりかえし、 $\theta$  と  $\epsilon$  を求める。



(a)



(b)

Fig. II-9 Field operation method of VLF

## (2) 誘導電磁法

誘導電磁法では、送信方法によって、Fixed source method (送信機を固定して受信機だけを移動しながら測定する方法) と Moving source method (送信機、受信機を一定間

隔に保って移動しながら測定する方法)に分けられる。いずれの場合も送信機、受信機は一般に小型軽量のコイルを使用し、数ワットの発信器のコイルに200Hz~5KHzの交流を流すことにより1次磁場を発生させ、一定間隔(20~50m)離れた場所にある受信コイルに生ずる電圧を測定する。

コイルの配置の仕方は、いろいろあるがFig. II-10に代表的なコイル配置法を示す。(a)は磁場の垂直成分を、(b)は水平成分を測定する場合に使われ、(c)は、分極楕円の傾きを測定する場合に使われる。

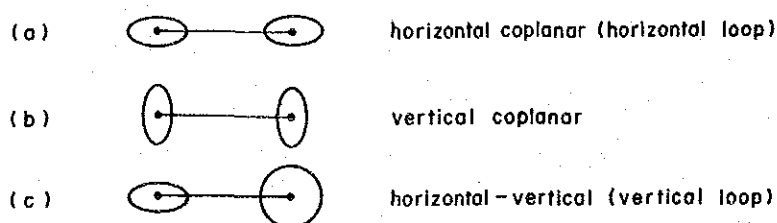


Fig. II-10 Configuration of transmitter and receiver coil

本調査では、送-受信コイルを一定間隔(90m)離し且つ同一測線上を移動しながら測定を行うINLINE MOVING SOURCE法を採用し、コイル配置は、Fig. II-10の(a)及び(c)を用いた。

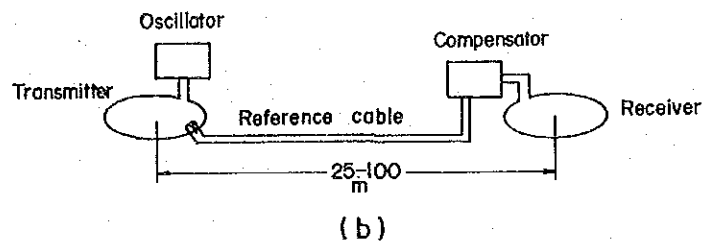
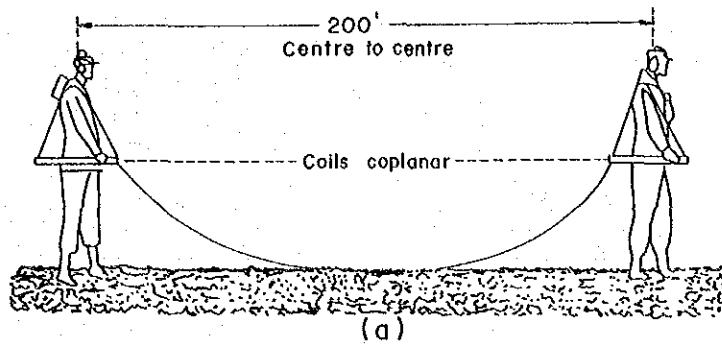
作業方法は下記の手順で実施した。

○ 水平ループ法 (Fig. II-11 参照)

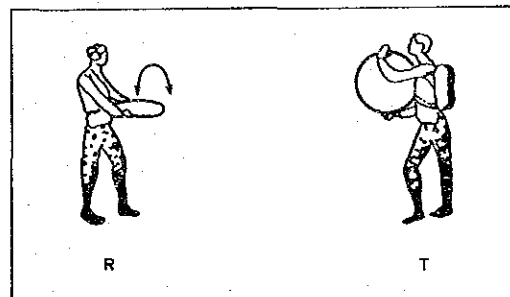
- ① 信号を送る前にBalance controlを調整してノイズが最小になるようにする。
- ② 送信側に合図し、受信コイルと同一面になるよう送信ファイルを傾けて合せたのち、信号を送る。
- ③ 信号音が最小になるよう同相つまみと離相つまみを調整する。
- ④ 同相と離相の値をよむ。
- ⑤ 送-受信器とも移動して上記の操作をくりかえす。

○ 垂直ループ法 (Fig. II-12 参照)

- ① 送信コイルを垂直に固定し、受信コイルを送-受信コイルを結ぶ線を軸として回転させる。
- ② 最小信号が得られた時の受信コイルの傾きを読みとる。



**Fig. II-11. Operation method of horizontal loop system**



**Fig. II-12. Operation method of horizontal-vertical system**

## 第3章 解析方法

### 3-1 IP法

#### 3-1-1 測定結果の表示

Dipole-dipole 電極配置の見掛比抵抗値，FE値およびMF値は，広く使われている直角2等辺3角形法により表示した。(Fig. II-13 参照)

#### 3-1-2 地形補正

各種電極配置により見掛比抵抗を測定すると，地下が電氣的に等方均質であっても，地表地形が平坦でない場合，見掛比抵抗は均一でなくなる。Dipole-dipole 電極の場合，一般に地形の凸部の所で見掛比抵抗が高くなり，凹部では逆に低くなる。測線下の断面が2次元モデルで近似できる場合，2次元モデルによる地形補正は有効である。

本調査結果を解析するにあたっては，Dipole-dipole 電極配置による測定結果を1部について ①2次元の地形補正を施し，地下構造を推定する方法と，②地形の影響も加味して，地下構造を推定する方法の両方法を併用対比した。この併用によって，地形補正の有効性がある程度，チェックできると考えられる。

#### 3-1-3 短電極間隔IP測定および岩石試料物性測定

##### (1) 短電極間隔IP測定

野外で電極間隔を短くして他の岩石等の測定におよぼす影響を出来るだけ少なくし，IP測定をする。

電極配置は原則として，Fig. II-14の通り3極法である。

前述2-1，(2)式により見掛比抵抗を計算したが，この場合Kの値は

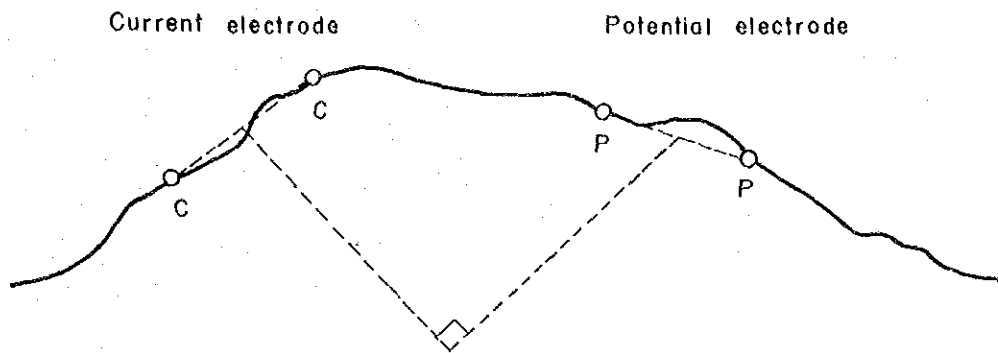
$$K = 4\pi a = 12.6a \text{ となる。}$$

##### (2) 岩石試料による室内物性測定

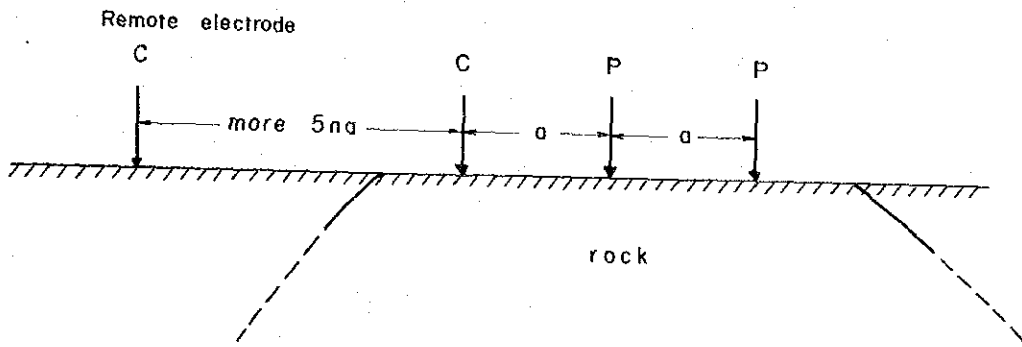
岩石試料の物性測定は，Fig. II-15に示すような方法で行なった。野外で採取した岩石試料は，ほぼ直方体に成形し，約24時間水道水に浸し測定に供した。Fig. II-15に示した試料支持具に使った電極は，岩石試料の断面と同じ大きさに切った銅板を使用した。電極と岩石試料の間の電氣的接続を良くするために，飽和硫酸銅液に浸した濾紙を電極と岩石試料の間に入れた。測定の際，岩石試料中の電流密度を出来るだけ実際の野外測定の際のそれに近づけるよう低くしたが，測定装置の関係から約 $3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以下にすることは出来なかった。

#### 3-1-4 電子計算機によるモデル計算

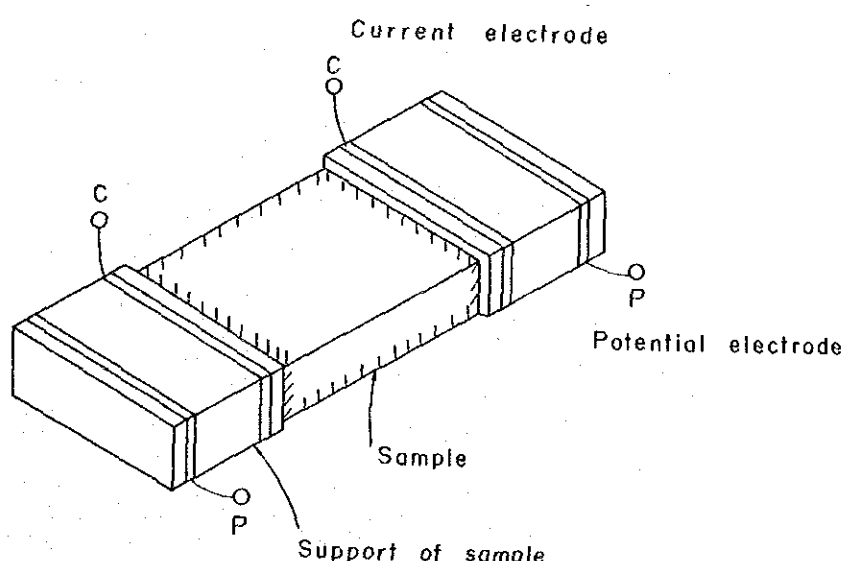
Dipole-dipole 電極配置によるIP測定を行なった結果のうち，代表的なものについて



**Fig. II-13. Plotting of example**



**Fig. II-14. Pole-Dipole Configuration**



**Fig. II-15. Equipment for rock sample measurement**

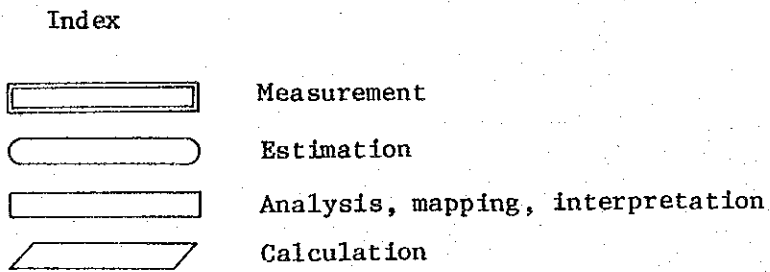
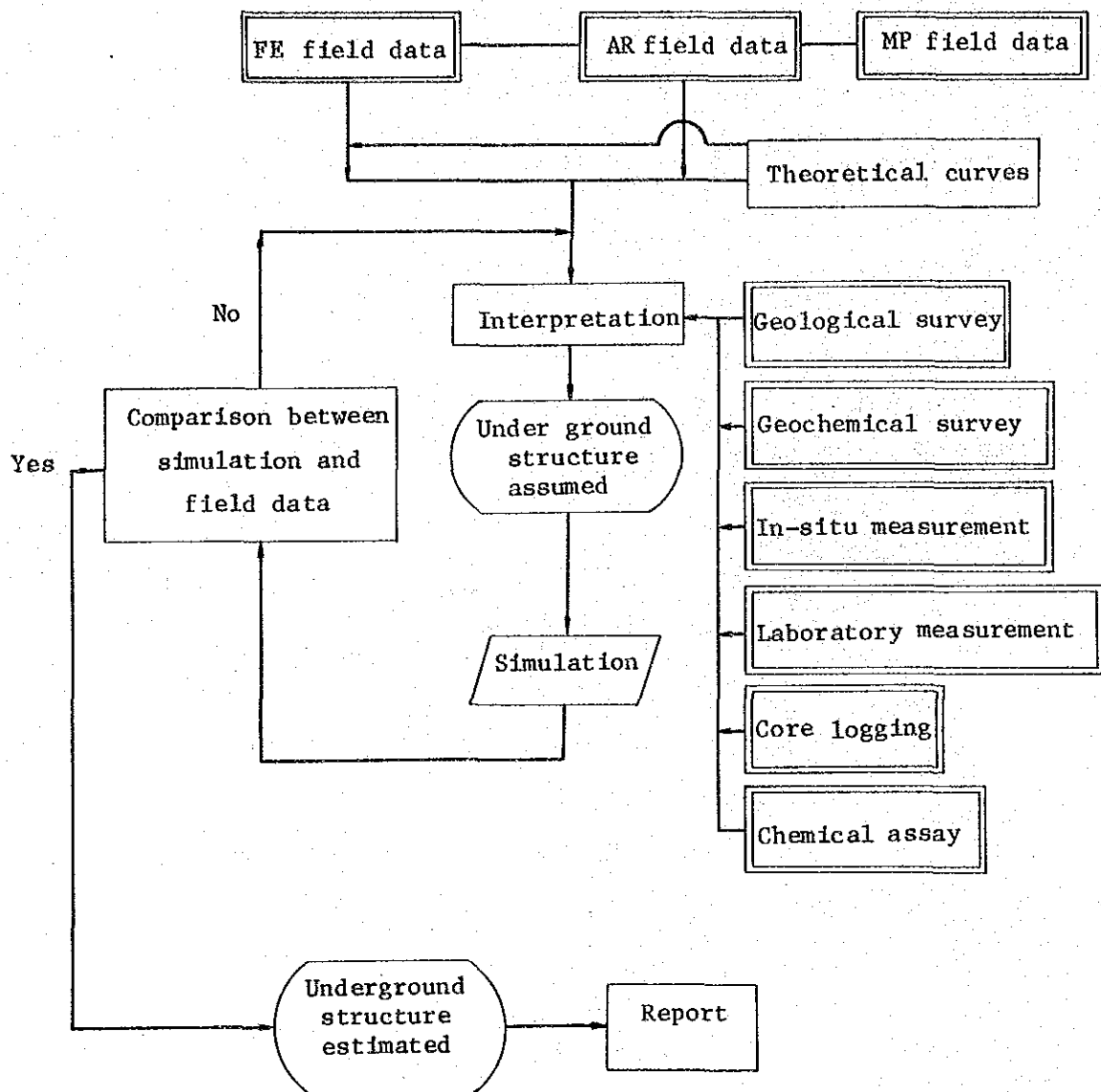


Fig. II-16. Flow chart of IP survey



地下電気構造モデルを作成し、電子計算機を使いシミュレーションを行なった。

シミュレーションの方法はFig. II-16に示した。

詳細は下記の通りである。

- (1) 実測値から地形の影響を除去（見掛比抵抗値のみについて）する。  
（3-1-2 地形補正の項参照）
- (2) 調査結果に対し今まで行なわれたモデル計算結果や、水槽実験結果などから、見掛比抵抗値とFE値の分布、およびその絶対値を最もよく現わすと考えられる地下電気構造モデルを作成する。
- (3) (2)で作成したモデルにつき見掛比抵抗値およびFE値を、電子計算機により近似計算を行う。電子計算機の容量および計算時間の関係で、モデルは2次元とした。  
（2次元モデルについては、3-1-2 地形補正の項参照）
- (4) (3)の計算結果と実測値の比較を行う。この場合、FE値および見掛比抵抗値についてそれぞれの傾向および値が類似していれば、そのモデルを測線沿いの地下構造と考える。  
実測値は3次元的な地下構造を捕捉しているが、計算結果は(3)に述べたように2次元地下電気構造モデルであり、近似計算を行なっているため両者の一致をあまり細かく追求しても意味がない。
- (5) ある程度計算結果が一致した場合、地形も考慮して地下構造モデルを作製計算し、計算結果を地形の影響除去前の実測値と対比する。これが、かけ離れていれば更にモデルを修正し繰り返す。
- (6) (4)および(5)で計算結果と測定値が概ね一致した場合そのモデルを地下電気構造モデルとし、地質技師と相談の上地下地質構造モデルを作成する。

以上のようにして、IP調査結果から地下地質構造モデルを作成するのに各々、4～7種の地下電気構造モデルを作り、電子計算機で計算した。

## 3-2 EM法

### 3-2-1 測定結果の表示

#### (1) VLF法

EM-16により各測定点で読み取られた $\tan\theta$ （同相成分）、および $\epsilon$ （離相成分）を同一断面にプロットし、同相成分を実線、離相成分を破線で結んだ。

#### (2) 誘導電磁法

水平ループ法においてはSE-600により読み取られた同相、離相成分を送受信コイル

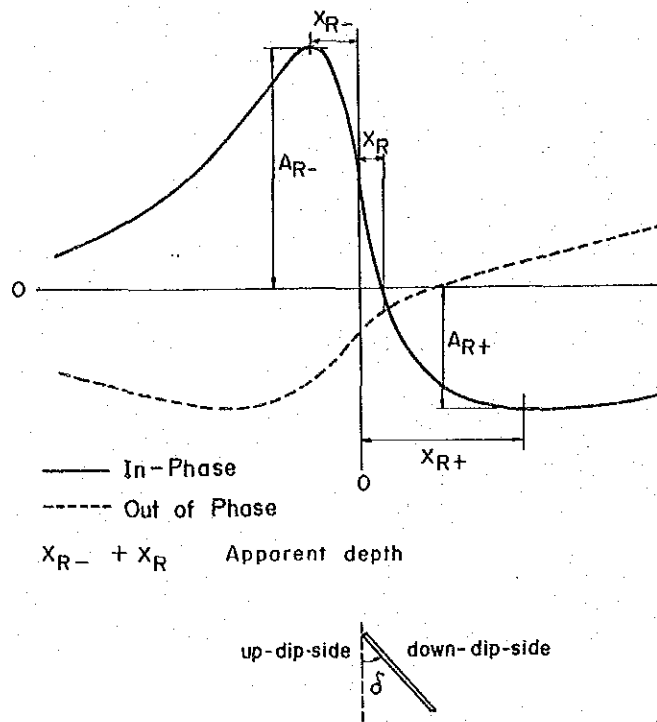


Fig. II-17. Parameters used for determination of depth to the top of conductor and dip angle

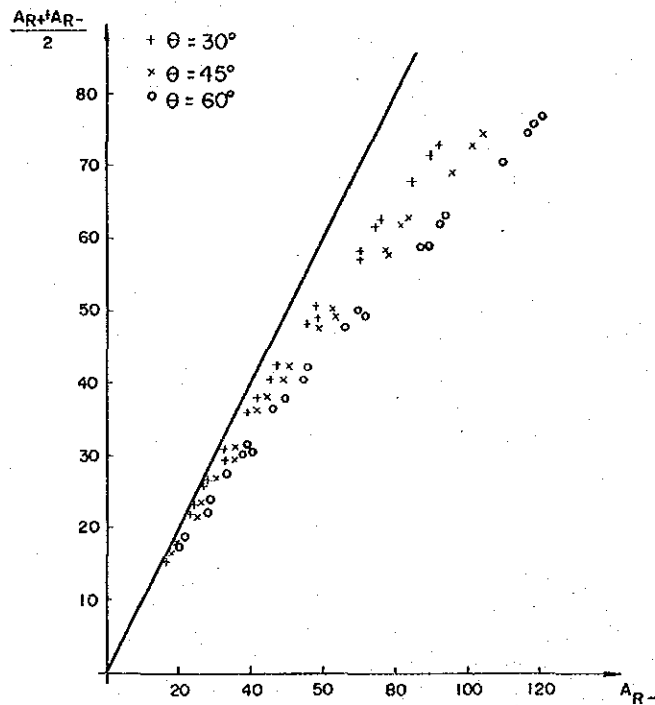
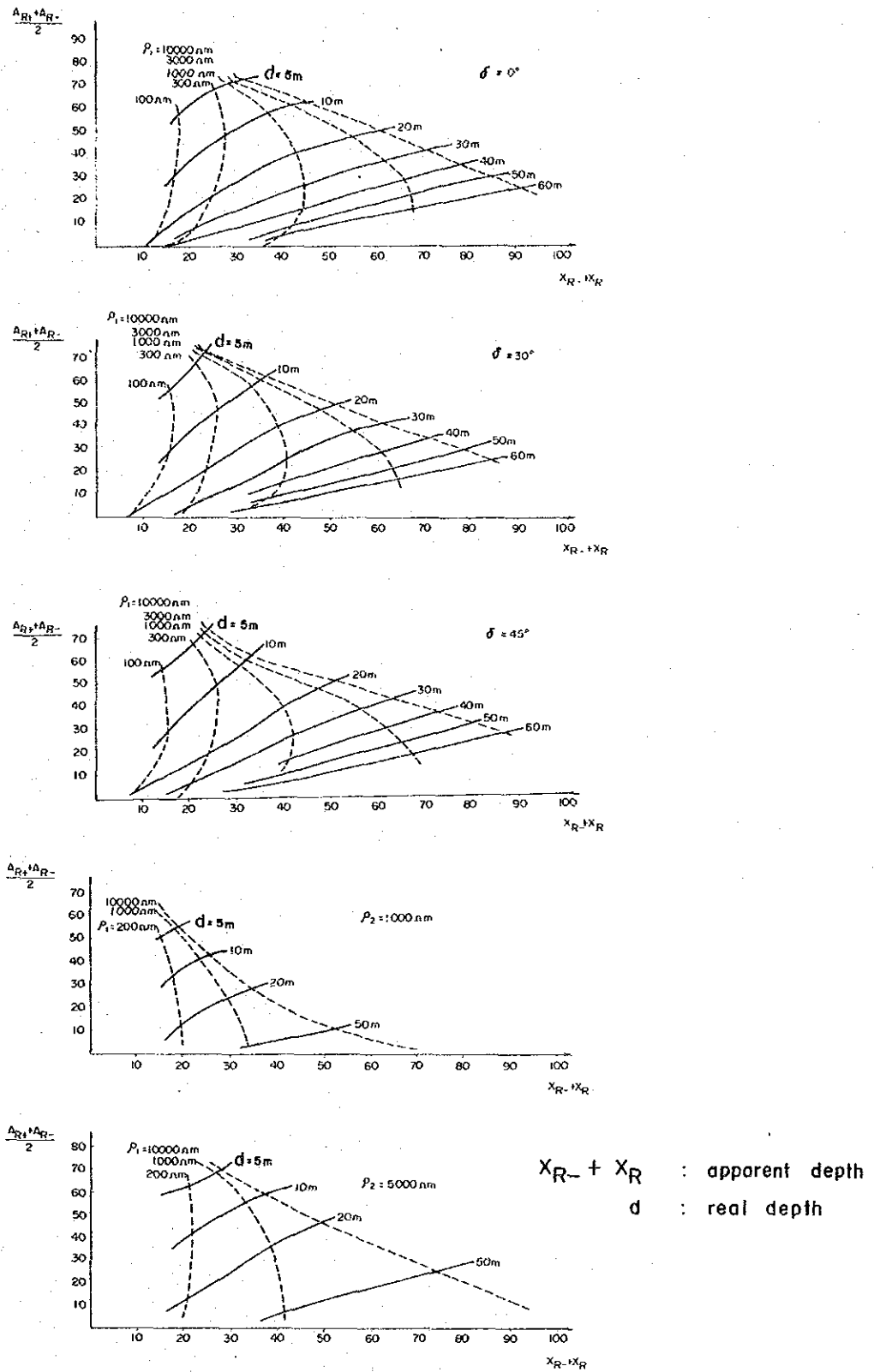


Fig. II-19. Diagram of half the peak-to-peak anomaly to the up-dip peak anomaly for determination of dip of half plane



**Fig. II-18. Diagram of half the peak-to-peak anomaly to the apparent depth for determination of the real depth to top of conductor**

の中間点にプロットし、同相成分を実線、離相成分を破線で結んだ。

又垂直ループ法に対しては、測定された受信コイルの傾きを同じく送-受信コイルの中間点にプロットした。

### 3-2-2 カーブマッチングによる解析

完全導体の平板構造モデルにより求められた種々の同相-離相曲線を参照してVLF法においては良導体の深度と傾斜，誘導電磁法においては，良導体の比抵抗と厚さの比，深度，傾斜，位置を求めた。

#### (1) VLF法

解析方法はOLSSON(1980.)が提案した方法によった。

Fig. II-17は標準的な同相-離相曲線を示す。同相曲線の異常の極大値 $AR^-$ ，極小値 $AR^+$ ，および極大値を示す地点から同相成分が0になる地点までの距離 $X_{R^-} + X_{R^+}$ を求める。これらの値をFig. II-18, II-19のダイアグラムにプロットして良導体の傾斜，深度を求めた。

#### (2) 誘導電磁法

水平ループ法により観測された同相-離相曲線からFig. II-20に示したように同相成分の極大値および極小値，離相成分の極大値および極小値を示す位置を読み取り，これらの値をパラメーターとして用い，平板構造の完全導体モデル実験により求められたFig. II-21~23の曲線群(巻末)を参照して解析を行なった。

垂直ループ法による測定は概査として用い，良導体の位置を推定する定性的解析にとどめた。

M.R. NAIR, S.K. BISWAS AND K. MAZUMDAR

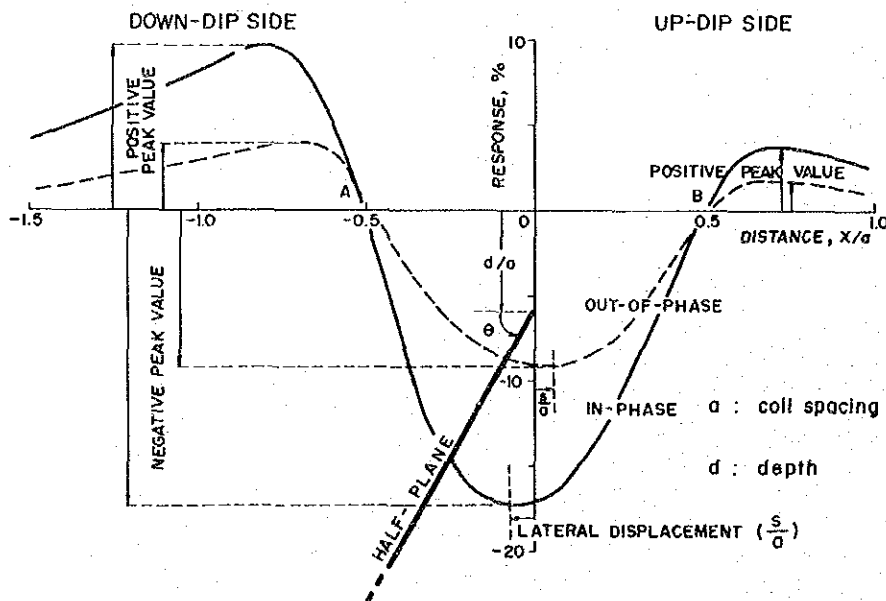


Fig. II-20 A typical profile over a tilted conducting half-plane,  
 $\beta=60^\circ$ ,  $\lambda/a=5.0$ ,  $d/a=0.3$

## 第4章 調査結果

### 4-1 物理探査地域の地質

#### 4-1-1 Iscay Cruz 鉱床付近の地質および地質構造

Iscay Cruz 地域には Chimu (チム) 層から Jumasha (フマーシャ) 層までの白亜紀の堆積岩類が分布し、これらを石英斑岩、石英安山岩および玢岩などが岩株状または岩脈状に貫いている。

堆積岩類は、概ね走向 NNW - SSE 方向をとり、傾斜は  $70^{\circ}W$  から  $80^{\circ}E$  の間で変化している。

鉱床母岩である Santa 層は、Chimu 層の上位にあり、層厚は  $40m$  ないし  $80m$  の間で変化している。

断層・裂か系としては、地層の走向と同一方向をとるものと、地層をきるものがある。

#### 4-1-2 Iscay Cruz 鉱床

Iscay Cruz 鉱床は、Chimu 層を軸部とする背斜構造の西翼の Santa 層中に胚胎される。鉱床は、炭酸塩岩中に胚胎する鉄・石英ゴッサン、鉱染状鉛 (Pb)・亜鉛 (Zn) 硫化物、スカルンなどより構成され、北端の第1鉱徴から南端の第7鉱徴まで断続的に発達している。

第1鉱徴は、鉄-石英ゴッサンから成り、Iscay Cruz 鉱床の中で最大規模を有する塊状を呈するもので Santa 層中に2列存在している。

第2鉱徴は、鉄-石英からなるゴッサンが網状に点在している。

第3鉱徴は、小さな露頭が点在し閃亜鉛鉱と方鉛鉱を鉱染している。

第4鉱徴は、ドロストン中に鉱染した鉱染状の閃亜鉛鉱と方鉛鉱からなり、鉱徴は2列にわたり分布している。南部には塊状黄鉄鉱に伴われた方鉛鉱もみとめられる。

Chupa 鉱床は、スカルン中に閃亜鉛鉱、黄銅鉱を主とする鉱石鉱物を濃集しているものである。

第6鉱徴は、ドロストン中に閃亜鉛鉱の濃集がみとめられる。

第7鉱徴は、黒色ゴッサンである。

### 4-2 Dipole-dipole 電極配置による IP 測定

調査結果として捕捉された AR (見掛比抵抗) の分布、FE (周波数効果) の分布、MF (金属係数) の分布を各測線別にまとめて P1. II-2-1 ~ P1. II-2-8 に示した。

#### 4-2-1 AR測定結果

見掛比抵抗は約  $1 \Omega m \sim 10$  万  $\Omega m$  以上の値を示した。

これを下図の様に解析の都合のよい適当な等値線により 5 帯に区分した。

40 $\Omega m$		150 $\Omega m$		650 $\Omega m$		2500 $\Omega m$	
VL	L	M	H	VH			

各測線において捕捉された見掛比抵抗について以下説明する。

##### (1) A 測線 (P1. II-2-1 参照)

測点 60 付近を境にして、その以北 (第 1, 2 および 3 鉱徴) は中見掛比抵抗 (M) か、それ以上と比較的高く、以南は低見掛比抵抗 (L) 以下と低い傾向がみられる。地表では、測点 62 付近以南から黄鉄鉱の量が多くなり、肉眼でもみとめられる。

測点 60 付近以北の中見掛比抵抗 (M) は測線北端まで広範囲に分布しており、地表は Santa 層あるいは Carhuaz 層が分布している。

測点 65 ~ 71 付近にかけて超低見掛比抵抗 (VL) が捕捉された。測点 68 付近を中心とした「ハの字」型示徴を示し、示徴の形状から地表浅部に板状の低比抵抗応答体が推定できる。地表は第 4 鉱徴分布域で閃亜鉛鉱や方鉛鉱の鉱石鉱物の他、赤鉄鉱、鏡鉄鉱および黄鉄鉱がみられる。測点 71 ~ 72 付近の見掛比抵抗は超低から中へと極端に変化している。

測点 76 付近から測点 99 付近まで低見掛比抵抗 (L) 以下の見掛比抵抗が広く分布している。その中で、測点 86 付近 (Lagunas tinyag) から測点 99 付近 (Cumbre de Cunsha Punta) にかけて、超低見掛比抵抗 (VL) が卓越している。この付近の地表は大部分が崖錐堆積物に覆われているが、トレンチ調査によれば粘土化した変質帯である。

測点 89 ~ 90 付近の東側に、本年度の地質調査でスカルンの露頭が確認されている。

測点 99 付近を境にして、見掛比抵抗に極端な変化がみられる。地表は崖錐に覆われているが、Santa 層の中が急に狭くなると考えられる個所である。

測点 100 付近から 112 付近にかけて中見掛比抵抗 (M) が分布しており、地表は Chimu 層、Santa 層および Carhuaz 層上である。地質所見によれば、断層も推定されておりモメ帯に相当する。

測点 112 付近以南の見掛比抵抗は、低見掛比抵抗 (L) 以下が広く分布しているが、測点 112 ~ 120 付近の地表約 150 m 下には、超低見掛比抵抗 (VL) が分布している。測点 115 付近の地表は黄鉄鉱が多くみられ、また測点 120 付近は露頭も確認されて一部スカルン化している。

(2) F測線 (P1. II-2-6 参照)

測点5付近以北および測点15~19付近に中見掛比抵抗 (M) が捕捉された他は、高見掛比抵抗 (H) 以上の見掛比抵抗が分布している。本測線は Isca Cruz 鉱床の第1鉱床上であり、A測線測点15~40には $\Delta$ 平行する。測点8~13付近に $1.000\Omega m$ 以上の高見掛比抵抗分布が捕捉されている所は、A測線と傾向が異なる。

(3) G測線 (P1. II-2-7 参照)

本測線は測点7,8付近にてF, A測線と交る。

測点6付近を境にして、以西は中見掛比抵抗 (M)、以東は高見掛比抵抗 (H) 以上の見掛比抵抗が分布している。地表は、測点6付近以東は珪岩、砂岩等の Chimu 層が分布しており、地形は急しゅんである。以西は Santa 層に接して、Carhuaz 層が広く分布し、測点1.7以西は Farrat (ファラット) 層の砂岩 Pariahuanca (パリアワンカ) 層および Chulec (チューレック) 層の各石灰岩が分布している。しかしこれら各層に対応する見掛比抵抗は、殆んど変化がない。

(4) E測線 (P1. II-2-5 参照)

測点9付近から以東は超高見掛比抵抗 (VH)、測点6付近以西は中見掛比抵抗 (M) が分布し、中間部に超低見掛比抵抗 (VL) が分布している。

測点7付近を中心とした「ハの字」型示徴から、垂直板状の応答体が考えられる。捕捉された超低見掛比抵抗 (VL) はA測線測点6.8付近で捕捉された超低見掛比抵抗 (VL) と対応して、ほぼ同位置に分布している。

測点8付近以東の地表は、Chimu層の砂岩、珪岩が分布している。このChimu層に対応する見掛比抵抗は非常に高く、北部地域のChimu層の10倍余の値を示している。測定結果より、本測線のChimu層、Santa層およびCarhuaz層に対応する見掛比抵抗は、超高 (VH) - 超低 (VL) - 中 (M) と極端な変化をみせている。

(5) C測線 (P1. II-2-3 参照)

測点6~11付近にかけて、低見掛比抵抗 (L) 以下の見掛比抵抗、測点11付近以東に超高見掛比抵抗 (VH) 測点6付近以西に中見掛比抵抗 (M) が捕捉された。測点9付近を中心とした「ハの字」型の超低見掛比抵抗 (VL) の示徴から、垂直柱状の応答体が推定できる。地表は大部分崖錐堆積物に覆われているが、測点10付近の地表にはSanta層中にスカルン帯や、黄鉄鉱などみられる露頭が確認されている。測点11付近以東の高い見掛比抵抗はChimu層の分布に対応する。測点7付近以西の中見掛比抵抗 (M) の分布する付近の地表は崖錐堆積物で覆われている。地質所見では、Farrat層の砂岩、Pariahuanca層およびChulec層が分布しているものと仮定しているが、ここには見掛比抵抗の変化はみられない。

(6) H測線 (P1. II-2-8 参照)

測点5付近を境にして、以東は、低～超低見掛比抵抗 (L - VL) 以西は中～高見掛比抵抗 (M～H) によって区分される。超低見掛比抵抗の分布は、Pariahuanca層の石灰岩、Farrat層の砂岩、Carhuaz層の砂岩、頁岩およびSanta層の分布に対応する。中～高見掛比抵抗 (M～H) は、この付近に分布するChulec層およびPariatambo (パリアタンボ)層に対応する。測点5付近でChupa鉱床を横切っており、地表では、亜鉛、黄銅鉱の鉱石鉱物のほか、黄鉄鉱、磁硫鉄鉱などがみられる。

(7) D測線 (P1. II-2-4 参照)

この測線の見掛比抵抗分布は複雑である。全般的には中見掛比抵抗 (M) が分布しているが、測点8～9付近を中心とした低い見掛比抵抗の「ハの字」型と、高い見掛比抵抗の「ハの字」型を想定させるような見掛比抵抗分布がみられる。測線東側深部には超低見掛比抵抗 (VL) が分布しているがこの付近の地表は湿地帯である。中見掛比抵抗 (M) は、Carhuaz層、Santa層およびChimu層に対応して分布しているが、測点6以東に分布するChimu層に対応する見掛比抵抗は、北部のChimu層の見掛比抵抗に比べて非常に低い値である。

(8) B測線 (P1. II-2-2 参照)

一般的にみれば、低見掛比抵抗 (L) が広く分布している。その中であって、測点3～4付近、測点5～6付近地表浅部、および測点13～14付近に中見掛比抵抗 (M) 以上の分布がみられる。測点4付近以西の中～低見掛比抵抗 (M～L) は、Farrat層、Pariahuanca層などに対応している。測点4以東の低見掛比抵抗はCarhuaz層、Santa層およびChimu層に対応して分布しているが測点13～14付近の中見掛比抵抗は、地表にみられる珪岩の露岩とは位置的に一致しているのでこの付近のChimu層に対応するものと考えられる。

本年度の地質調査により、測点9～10付近でSanta層中にスカルン帯および黒いゴッサンが確認されている。

北部の黒いゴッサン地帯の見掛比抵抗に比べ、この付近のSanta層およびChimu層の見掛比抵抗は非常に低い値を示している。

4-2-2 FE測定結果

FEの測定値は最高9%までの値を示した。これを下図の様に解析に都合のよい適当な等値線によって5帯に区分した。

	2%	3%	4%	6%
Back ground	W	M	S	V S



各測線において捕捉されたF E異常について以下説明する。

(1) A測線(P1. II-2-1参照)

- 測点22付近から測点58付近に捕捉されたF E値は3%以下と弱異常(W)である。測点45付近からの弱異常(W)は測線南端まで連続し、規模は大きい。この弱F E異常(W)は測点86付近でいったんとぎれる。この付近はTinyag(ティンヤグ)湖があり、湖の周囲は2次的な堆積物で覆われ、これら地表は、真赤に焼け鉄鉱化している。Cumbre de Suerococha以北の弱異常は規模が小さく、連続性はないが、地表にはIscay Cruz鉱床中でも特に大規模なゴッサンが露出している。
- 測点59付近から測点71付近にかけて超強F E異常(VS)を含む中F E異常(M)が広範囲に分布している。

測点68付近を中心とした強F E異常は「ハの字」型示徴を示している。示徴より地表浅部に規模の大きな板状応答体を推定させる。地表は、第4鉱徴分布域で、閃亜鉛鉱や方鉛鉱の鉱石鉱物の他、褐鉄鉱、鏡鉄鉱および黄鉄鉱がみられる。

- 測点73~78付近に中F E異常(M)がみられるが、規模は小さい。地表は崖錐で覆われているが、測点75付近には閃亜鉛鉱、黄銅鉱などの鉱石鉱物や黄鉄鉱など含む露頭も確認されている。
- 測点81~85付近に強F E異常(S)が分布している。この異常は地表浅部に分布し深部までのびていないが中F E異常(M)は深部までのびている。
- 測点90~95付近にかけて、弱~中F E異常(W~M)が分布している。地表は大部分が崖錐堆積物で覆われているが、トレンチ所見によれば、白色粘土質で変質帯である。
- 測点100~105付近の地表約100m下に中F E異常(M)が分布している。弱F E異常は南へのびているが、中F E異常の分布範囲から推定すれば、応答体の規模は小さい。

本年度の地質調査により測点103付近にスカルンの露頭が確認され、黄鉄鉱などもみられる。また断層の存在が推定されている。

- 測点111付近以南に強F E異常(S)が分布している。分布範囲は、弱F E異常(W)も含めて、1.5kmにもおよぶ規模の大きいものである。測点115付近を中心とした「ハの字」型示徴より、地表浅部に板状の応答体が考えられる。測点120付近以南の強F E異常(S)は、地表約150m下に分布し、地表浅部は中F E異常(M)が分布している。測点120付近に本年度の地質調査で、黒いゴッサンと小規模なスカルン帯も確認されており黄鉄鉱もみられる。測点115付近の地表には多量の黄鉄鉱がみられる。

(2) G 測線 (P1. II-2-7 参照)

測点6付近を中心とした弱い「ハの字」型示徴がみられ、示徴の形状から垂直に近い応答体が考えられる。

この測線は測点6付近で Iscay Cruz 鉱床のゴッサンを横切っている。測点6付近以西のFE値はバックグラウンドと考えられる。地表は Santa 層, Carhuaz 層, Farrat 層および Pariahuanca 層と連続しているが、砂岩、頁岩類には変質がみられない。

(3) F 測線 (P1. II-2-6 参照)

測線全体に弱FE異常(W)が広く分布する。この分布は測点7以南では浅部で連なり測点11~15付近では深部までおよんでいる。地表は Iscay Cruz 鉱床の第1鉱徴分布域にあり、測線は連続するゴッサン上を通っている。

(4) E 測線 (P1. II-2-5 参照)

測点6-9付近に強FE異常(S)が分布している。この分布は「ハの字」型示徴を示し、示徴の形状から地表浅部からは垂直な柱状応答体が考えられる。この強FE異常は、A測線の測点68付近と交叉しており、A測線と同性格の示徴と考えられる。FE異常の分布は、東西両測へはのびていなく、巾のせまいものである。

測点9付近以东および測点6付近以西のFE値はバックグラウンドを示し、Carhuaz 層のFE異常はみとめられない。

A測線が交叉する付近の強FE異常は南北断面に長く東西断面に短い示徴を示すものである。

(5) C 測線 (P1. II-2-3 参照)

測点8付近から測点12付近にかけて、中~強FE異常(M~S)が分布している。その中であって強FE異常は測点9付近を中心として合型を示し、示徴の形状より、地表浅部からは垂直な柱状の応答体が考えられる。本測線は測点10付近で Santa 層を横切っており、スカルンの露頭が確認されている。測点9~10付近以西には Carhuaz 層が分布しているが、大半は崖錐によって覆われている。地表でみられる Carhuaz 層の砂岩には黄鉄鉱鉱染がみられる。

上記強FE異常の分布は Santa 層とこれと接する Carhuaz 層の一部に対応する。

(6) H 測線 (P1. II-2-8 参照)

測点5付近から9付近にかけて、強FE異常(S)を含む中FE異常(M)が分布している。強FE異常(S)の分布は測点6~7付近を中心とした「ハの字」型示徴を示し、この形状から地表浅部に板状の応答体が考えられる。

本測線は、測点5~6付近で Chupa 鉱床上を横切っている。地表は、Pariahuanca 層のスカルン中に閃亜鉛鉱、黄銅鉱などの鉱石鉱物や、磁硫鉄鉱、黄鉄鉱などがみられる。H

測線およびこれと隣接するC測線を含む範囲の平面的なF E異常分布をみると、H測線のF E異常はPariahuanca層以東からSanta層におよぶ範囲にみられる。一方C測線のF E異常は、Santa層とこれに接するCarhuaz層の一部にみられる。C測線西端付近に分布すると仮定されるPariahuanca層、およびFarrat層に対応する部分には、H測線で捕捉されたようなF E異常はみられない。

(7) D測線 (P1. II-2-4 参照)

測点8付近以西に強F E異常 (S) を含む中F E異常 (M) が分布している。A, E, C およびH測線で捕捉された強F E異常は、すべて低い見掛比抵抗が対応するが、このD測線で捕捉された強F E異常は、中見掛比抵抗 (M) が対応する。これはA測線上でも同様である。Santa層沿いのA測線のF E異常 (測点100~105付近) に対し、これと交叉するD測線のF E異常は強く、分布は西方向にのびているが、規模は小さい。本測線は、断層線に沿い、周囲はモメ帯が分布し、地質的に複雑な個所である。

測点6付近には、本年度の地質調査でスカルン帯の露頭が確認され、黄鉄鉱などもみとめられている。

(8) B測線 (P1. II-2-2 参照)

測点8付近以東に強F E異常 (S) を含む中F E異常 (M) が分布している。測点9付近では浅所から深部まで、測点13付近では地表浅所に垂直柱状を示す応答体がそれぞれ考えられる。この測線と交叉するA測線の強いF E異常は地表約150m下に捕捉され、ほぼ同じ傾向を示している。しかし、B測線で捕捉されたF E異常の規模は大きなものでない。

Santa層に沿う異常は、A測線では南北断面に1.5kmもおよぶのに対し、B測線では短かいことから、F E異常は、南北断面に長く、東西断面に短いものとする。B測線の測定結果から、F E異常はSanta層を含む周辺のみで、Pariahuanca層にはみとめられない。

本年度の地質調査で測点9~10付近のSanta層中に小規模のスカルンと黒色ゴッサンの露頭が確認された。

4-2-3 MF測定結果

MFの計算値は最高約9,000までの値を示した。これを下図の様に解析に都合のよい適当な等値線により5帯に区分した。

	10	50	100	200
Back ground	W	M	S	V S

各測線において捕捉されたMF異常について以下説明する。

(1) A測線 (P1. II-2-1 参照)

本測線では超強MF異常 (VS) を含む強MF異常 (S) が次の個所で捕捉された。

- 測点65付近から測点71付近にかけて、超強MF異常 (VS) が分布している。これは超強FE異常 (VS) と超低見掛比抵抗 (VL) に対応する。MF値も最高9000を示している。
- 測点75付近から78付近にかけて、強MF異常 (S) が分布している。これは、中FE異常 (M) と超低見掛比抵抗 (VL) に対応する。  
上述2箇所はいずれも第4鉱徴分布域にある。
- 測点85付近から測点100付近にかけて、超強MF異常 (VS) が分布している。これは、中FE異常 (M) を含む弱FE異常 (W) と超低見掛比抵抗 (VL) に対応する。  
MF値は最高4,500を示している。地表は大部分が崖錐に覆われているが、地質所見によると、測点85付近の2次堆積物によるリモナイト化、測点93付近以南に白い粘土質の変質帯などが広範囲に分布している。MF分布に対応するFE異常はそれ程強くないので前述第4鉱徴分布域で捕捉されたMF異常とは性質が異なるを考える。
- 測点113付近から測点120付近にかけて、中MF異常 (M) が地表下約150mに分布している。これは超強FE異常を含む強FE異常 (S) と超低見掛比抵抗 (VL) を含む低見掛比抵抗 (L) に対応する。

MF値は最高333で、第4鉱徴分布域のMF値に較べ値は小さい。地表は、本年度の地質調査で鉱徴が確認された。

(2) E測線 (P1. II-2-5 参照)

測点5付近から測点10付近にかけて、超強MF異常 (VS) を含む強MF異常 (S) が分布している。

これは、超強FE異常 (VS) を含む強FE異常 (S) と超低見掛比抵抗 (VL) に対応する。MF値は最高2,550を示している。

地表は第4鉱徴分布域である。

(3) D測線 (P1. II-2-4 参照)

超低および中見掛比抵抗 (VL-M) に対応して、弱MF異常 (W) が分布している。測点8付近以東の深部に分布するMF異常は2%以下のFE値に対応しており、超低見掛比抵抗による疑似示徴と考える。

(4) C測線 (P1. II-2-3 参照)

測点7付近から測点9付近にかけて、強FE異常 (S) と超低見掛比抵抗 (VL) に対応して強MF異常 (S) が分布している。測点11以東のMF値は消滅している。

(5) H測線 (P1. II-2-8 参照)

測点5付近以東に強FE異常 (S) と超低見掛比抵抗 (VL) に対応して、強MF異常 (S) が分布している。

地表は Chupa 鉱床があり、測線は鉱床を横切っている。

(6) B測線 (P1. II-2-2 参照)

測点8付近から11付近にかけて強FE異常 (S) と低見掛比抵抗 (L) に対応して、地表約200m下に小規模な強MF異常 (S) が分布している。

測点9付近の地表にはスカルンの露頭が確認されている。

### 4-3 EM測定

#### 4-3-1 VLF法測定結果 (P1. 4-1, 4-2 参照)

(1) C測線

同相成分は、測点9～10付近を境としてその西側で極大値+40%、東側で極小値-40%を示し、顕著なレスポンス異常を表わしている。

対応する離相成分も同じく測点9～10付近の西側で極小値-10%、東側で+6%を示すことから、測点9～10付近に良導体の存在が推定される。その他の地点では、顕著な異常は認められない。

(2) E測線

同相・離相両成分共に、レスポンス変化の型はC測線のそれと類似している。同相成分は、測点7～8付近を中心として、その西側で極大値+20%、東側で-20%のレスポンスを示しておりC測線の場合とくらべ振幅が半分になっているが、同地点付近に良導体の存在が推定される。

これに対応する離相成分は、極小値0%～極大値+10%の変化を示す。

#### 4-3-2 誘導電磁法測定結果

(1) C測線

水平ループ法においては、測点10～11付近を中心に顕著なレスポンス異常が認められ、同相成分の最大値+7%、最小値-18%、離相成分の最大値+4%、最小値-15%を示すことからこの付近に良導体の存在が推定される。垂直ループ法においても測点9～11付近では傾斜方向の著しい変化が認められ水平ループ法による異常と位置的に良い一致を示している。

(2) E測線

水平ループ法においては、同相、離相成分ともに、測点7～8の中間点を中心として東西にほぼ対称なレスポンスを示している。

同相成分の最大値は+5%、最小値は-15%、離相成分の最大値は+3%、最小値は-10%である。垂直ループ法においても測点7~8の中間点を境に傾斜方向が北(東側)から南(西側)に変化しており、位置的に水平ループ法の場合と一致している。従って測点7~8付近に良導体の存在が推定される。

#### 4-4 In-situおよび室内測定結果

##### 4-4-1 室内測定結果

室内測定に供された岩石試料は56個である。このうち4個は整形時あるいは測定時に崩かいし、測定値の得られた試料数は52個である。その結果をTable 3、測定結果を岩種および地質層序別に整理してTable 4に示す。さらに得られた測定値からFEと比抵抗値の関係図を作成した。(Fig. II-24 参照)

室内測定結果から指摘される事項は次のとおりである。

##### (1) 石灰岩(試料数 3個)

Pariahuanca層に分類される試料2個のFE平均値は0.6%であり、比抵抗平均値は $7,184\Omega m$ である。他の1個はSanta層に属しFE1.2%、比抵抗 $7,120\Omega m$ である。FE、比抵抗の全平均値はそれぞれ0.8%、 $7,162\Omega m$ である。

##### (2) 砂岩(試料数 20個)

砂岩で得られたFE値は0.3~2.5%と比較的ばらつきは少く、全平均値は1.2%である。比抵抗は $82\sim 9,970\Omega m$ と大きいばらつきが認められ、全平均値は $2,850\Omega m$ である。

比抵抗の層序別平均では、層序間に顕著な有意差が認められる。

Carhuaz層( $3,225\Omega m$ )およびSanta層( $2,254\Omega m$ )は全平均値と同程度の値を得ているが、Farrat層( $1,480\Omega m$ )は低く、Chimu層( $9,970\Omega m$ )は高い値をそれぞれ示している。

これは、Farrat層の試料はいずれも多孔質であり、Chimu層の試料は珪化作用を受けて緻密質になっている。岩石の比抵抗を左右する因子の一つである孔隙率の差に起因するものと考えられる。

##### (3) 頁岩(試料数 8個)

頁岩のFEは1.0~2.8%とばらつきの少ない値を示し、全平均値は1.8%である。層序別平均では、Carhuaz層(2.1%)に対してSanta層(1.1%)はやや低い値を示しているが、顕著な有意差は認められない。調査域内の頁岩のFEは、全平均値に代表されるものと考えられる。比抵抗は $568\sim 43,343\Omega m$ の極めて大きいバラツキがみられ、全平均値は $12,138\Omega m$ である。試料A98-1( $42,951\Omega m$ )およびA98-2

( $43,343\Omega m$ )の高い値を除いた平均では $1,802\Omega m$ となる。層序別平均ではChimu

層は  $15,356 \Omega m$  Santa 層は  $2,485 \Omega m$  である。

(4) 苦灰岩 (試料数 2 個)

苦灰岩は Santa 層に分類され FE 平均値は 3.8 % と前項(1)(2)(3) に比較してやゝ高い値を示している。比抵抗平均値は  $2,108 \Omega m$  で Santa 層の砂岩、頁岩とはほぼ一致した値を示している。

(5) ゴッサン (試料数 5 個)

ゴッサンは、全試料とも Santa 層に分類される。FE 平均値は 4.3 % であるが、個々の値は 1.3 ~ 8.2 % とその差は顕著である。

比抵抗平均値は  $555 \Omega m$  で大きなバラツキは認められない。

(6) 赤鉄鉱 (試料数 8 個)

赤鉄鉱 - ゴッサンの FE は 5.5 ~ 13.0 % でバラツキは少ない。平均値は 10.4 % である。比抵抗は  $115 \sim 653 \Omega m$  であり、平均値は  $343 \Omega m$  を示す。前述の他種岩石と較べて比抵抗は低い値を示している。

(7) 磁鉄鉱 (試料数 2 個)

試料数は少ないが、FE 平均値は 41 % と非常に高く、比抵抗平均値は  $12 \Omega m$  と低い。高 FE - 低比抵抗の著しい相関を示している。

(8) 黄鉄鉱 - 鉱石 (試料数 2 個)

FE 値は 11.5 ~ 21 % を示し、平均値は 16.3 % と高い。比抵抗値は  $8 \sim 10 \Omega m$  で平均値は  $9 \Omega m$  と低く、(7) と同様に高 FE - 低比抵抗の傾向を示している。

(9) 閃亜鉛鉱 - 鉱石 (試料数 2 個)

FE 値および比抵抗の平均値は 1.7 % ,  $99 \Omega m$  である。

(8) と比較して、FE 値は低く、比抵抗は高い値を示している。特に FE 値は (8) との相違が明瞭である。

4-4-2 In-situ 測定結果

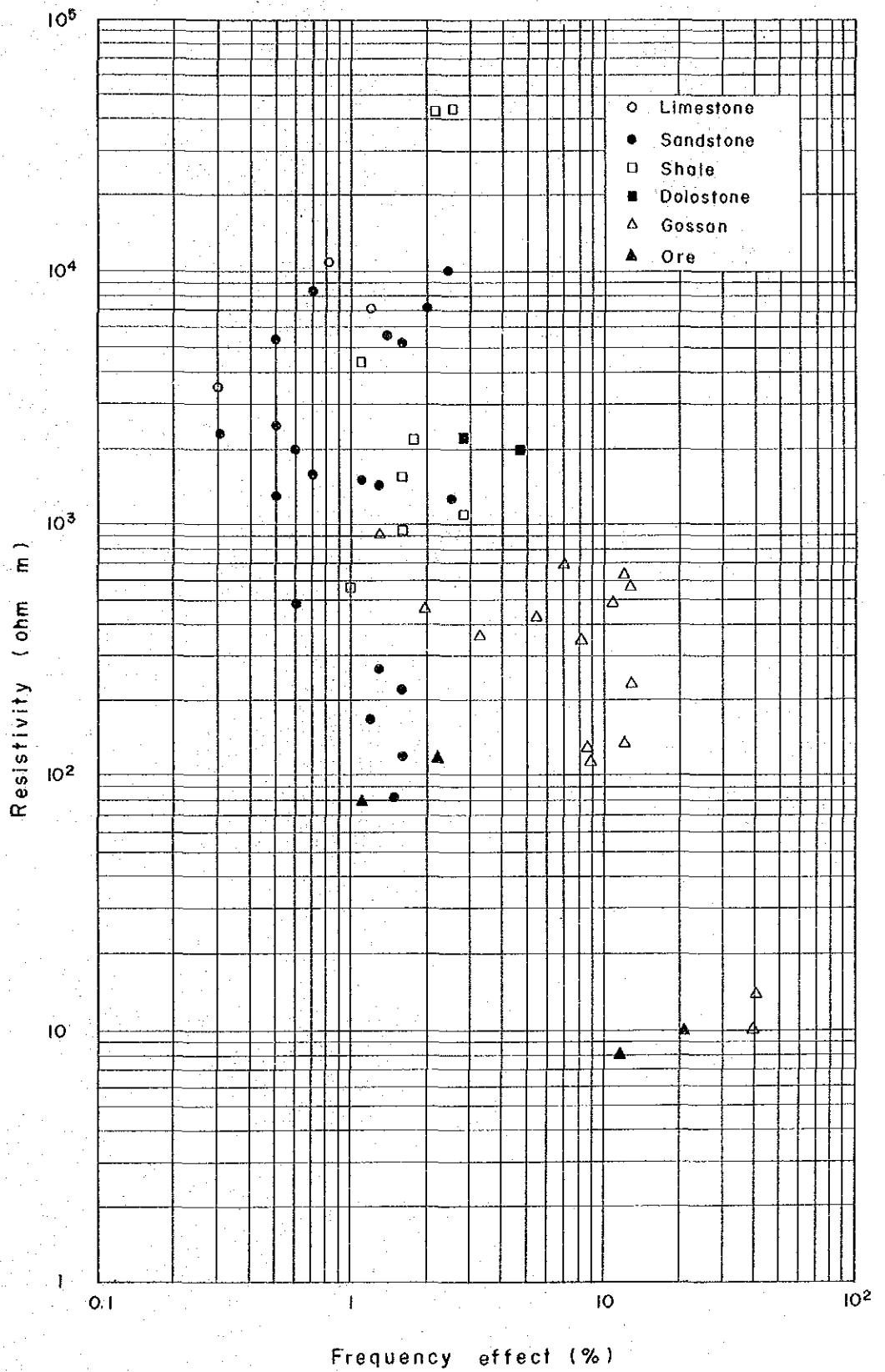
In-situ 測定は ① A 測線と D 測線が交叉する地点、H 測線の ② 測点 5 付近 ③ 測点 8 付近の 3ヶ所において実施した。

その結果を Table 5 に示す。

Table II-5 Results of in-situ method

Point of measurement	Electrode configuration	Electrode spacing		F E	A R	Rock
		AB (m)	MN (m)	(%)	( $\Omega$ m)	
LineA No 13	Schlumberger	200	8	6.5	265	Skarn
LineD No 6	"	200	15	6.5	255	"
LineH No 5	Pole-dipole	258	21	2.5	707	Lime stone
LineH No 8	"	263	19	3.2	464	Sand stone





**Fig. II -24. Correlation between AR and FE of Laboratory measurement**

Table II-3 Results of laboratory measurement

Point No. on survey line	Rock name	Frequency effect (%)	Resistivity (ohm-m)	Note
A22	Dolostone	4.7	1,980	
A24	Gossan	6.9	684	
A25-1	Gossan	8.2	345	
A25-2	Limestone	1.2	7,120	
A43	Dolostone	2.8	2,236	
A64	Sandstone	0.6	1,987	Silified Strong
A65-1	Shale	1.0	568	
A65-2	Sandstone	0.5	2,520	Silified Strong
A65-3	Gossan	3.3	358	Silified Strong
A66-1	Sandstone	2.5	1,281	
A66-2	"	1.3	1,480	
A68-1	Specularite-Gossan	12.8	564	
A68-2	Shale	1.1	4,401	
A68-3	Specularite-Gossan	10.7	490	
A68-4	"	12.0	653	
A68-5	"	13.0	231	
A98-1	Shale	2.1	42,951	Silified Strong
A98-2	"	2.5	43,343	Silified Strong
A103-1	Pyrite-Ore	21.0	10	
A103-2	Zinc-Ore	1.1	79	
A103-3	Pyrite-Ore	11.5	8	
A103-4	Zinc-Ore	2.2	118	
A104-1	Sandstone	1.4	5,629	
A104-2	"	1.6	5,122	
A120-1	Hematite-Gossan	8.8	115	
A120-2	"	8.5	131	
A120-3	"	12.0	136	
A120-4	Shale	2.8	1,128	
A120-5	"	1.6	1,584	
E2-1	Sandstone	1.6	221	Coarse
E2-2	"	1.2	171	Coarse

Point No. on survey line	Rock name	Frequency effect (%)	Resistivity (ohm-m)	Note
E4-1	Sandstone	0.3	1,510	
E4-2	"	0.7	7,211	Massive
E4-3	"	0.7	8.352	Massive
E5-1	"	0.7	1,594	
E5-2	"	0.5	1,302	
F13	Hematite-Gossan	5.5	427	
G7	Sandstone	2.4	9,970	
G8-1	Gossan	2.0	471	
G8-2	"	1.3	918	
G19-1	Sandstone	1.5	82	Coarse grain
G19-2	"	1.6	119	Coarse grain
H5-1	Limestone	0.8	10,913	
H5-2	"	0.3	3,454	
H5-3	Magnetitie-Gossan	40.0	10	Massive
H5-4	"	42.0	14	Massive
H5-5	Sandstone	0.6	493	
H5-6	"	1.3	269	
H7-1	Shale	1.6	960	
H7-2	"	1.8	2,169	
H8-1	Sandstone	0.5	5,373	
H8-2	"	0.3	2,306	

Table II-4 Results of laboratory measurement

Rock group	Rock name	Point No. on survey line	F.E (%)	FE average (%)		R (ohm-m)	R. average (ohm-m)	
Ph	Limestone	H5-1	0.8	0.6	0.8	10,913	7,184	7,162
		H5-2	0.3			3,454		
		St	A25-2	1.2		1.2	7,120	
Fr	Sandstone	E2-1	1.6	1.5	1.2	221	148	2,850
E2-2		1.2	171					
G19-1		1.5	82					
G19-2		1.6	119					
Ch		A66-1	2.5	1.1		1,281	3,225	
		A66-2	1.3			1,480		
		A104-1	1.4			5,629		
		A104-2	1.6			5,122		
		H5-5	0.6			493		
		H5-6	1.3			269		
		H8-1	0.5			5,373		
		H8-2	0.3			2,306		
		E4-1	1.1			1,510		
		E4-2	2.0			7,211		
		E4-3	0.7			8,352		
		E5-1	0.7			1,594		
		E5-2	0.5			1,302		
St		A64	0.6	0.6		1,987	2,254	
Gm		A65-2	0.5	2.4		2,520	9,970	
		G7	2.4			9,970		
Ch	Shale	A98-1	2.1	2.1	1.8	42,951	15,356	12,138 (1,802)
		A98-2	2.5			43,343		
		A120-4	2.8			1,128		
		A120-5	1.6			1,584		
		H7-1	1.6			960		
		H7-2	1.8			2,169		
St	A65-1	1.0	1.1	568	2,485			
	A68-2	1.1		4,401				

Rock group	Rock name	Point No. on survey line	F.E (%)	FE average (%)		R (ohm-m)	R. average (ohm-m)	
St	Dolostone	A22	4.7			1,980		
		A43	2.8	-	3.8	2,236	-	2,108
St	Gossan	A24	6.9			684		
		A25-1	8.2			345		
		A65-3	3.3	-	4.3	358	-	555
		G8-1	2.0			471		
		G8-2	1.3			918		
St	Hematite	A68-1	12.8			564		
		A68-3	10.7			490		
		A68-4	12.0			653		
		A68-5	13.0			231		
		A120-1	8.8	-	10.4	115	-	343
		A120-2	8.5			131		
		A120-3	12.0			136		
		F13	5.5			427		
St	Magnetite	H5-3	40.0			10		
		H5-4	42.0	-	41.0	14	-	12
St	Pyrite-Ore	A103-1	21.0			10		
		A103-3	11.5	-	16.3	8	-	9
St	Sphalerite-Ore	A103-2	1.1			79		
		A103-4	2.2	-	1.7	118	-	99

Rock group Ph : Pariahuanca Formation

Fr : Farrat "

Ch : Carhauz "

St : Santa "

Cm : Chimu "

## 第5章 解析結果

捕捉されたFE異常の中で、代表的な6個所につき、解析を行った。以下に説明する。

### 5-1 Central Part

#### 5-1-1 Cumbre de Limpe のFE異常について

Iscay Cruz 鉱床の中で、鉛・亜鉛硫化物が顕著にみとめられる第4鉱徴分布域にあるA測線と、E測線についてのべる。

シミュレーションの結果、実測値と比較的よい一致をみた計算値と最終モデルをFig. II-25とFig. II-26に示す。

#### (1) A測線 Fig. II-25 参照

強いFE示徴をもたらす応答体として、②①の比抵抗は $15 \sim 100 \Omega m$ 、FEは $5 \sim 6.5 \%$ が良い近似を示す。②①の応答体は板状で横に連なる形状を示し、②は地表浅所、①は地表約 $100 m$ 下に位置している。地表鉱徴に対応して応答体③④⑥が広い範囲に存在し、深部へ延びている。この応答体の比抵抗は $10 \sim 175 \Omega m$ と低く、FEは $3.3 \sim 3.5 \%$ を示す。

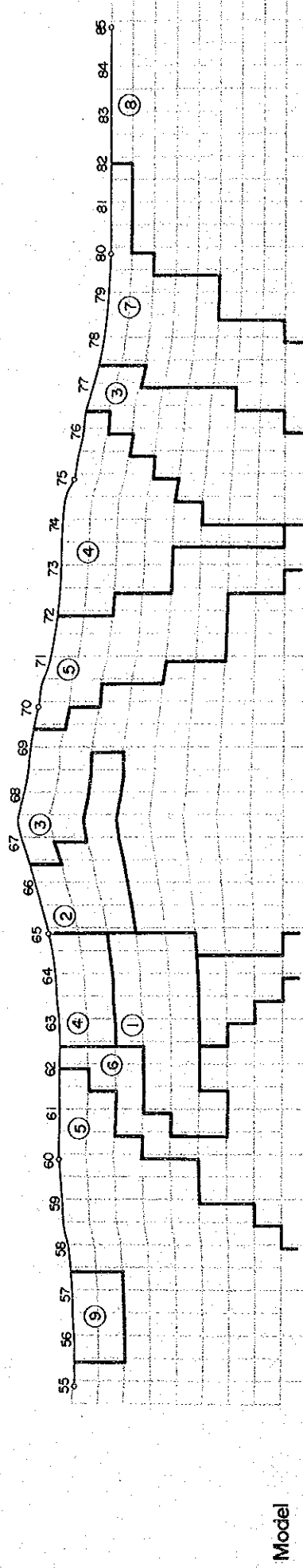
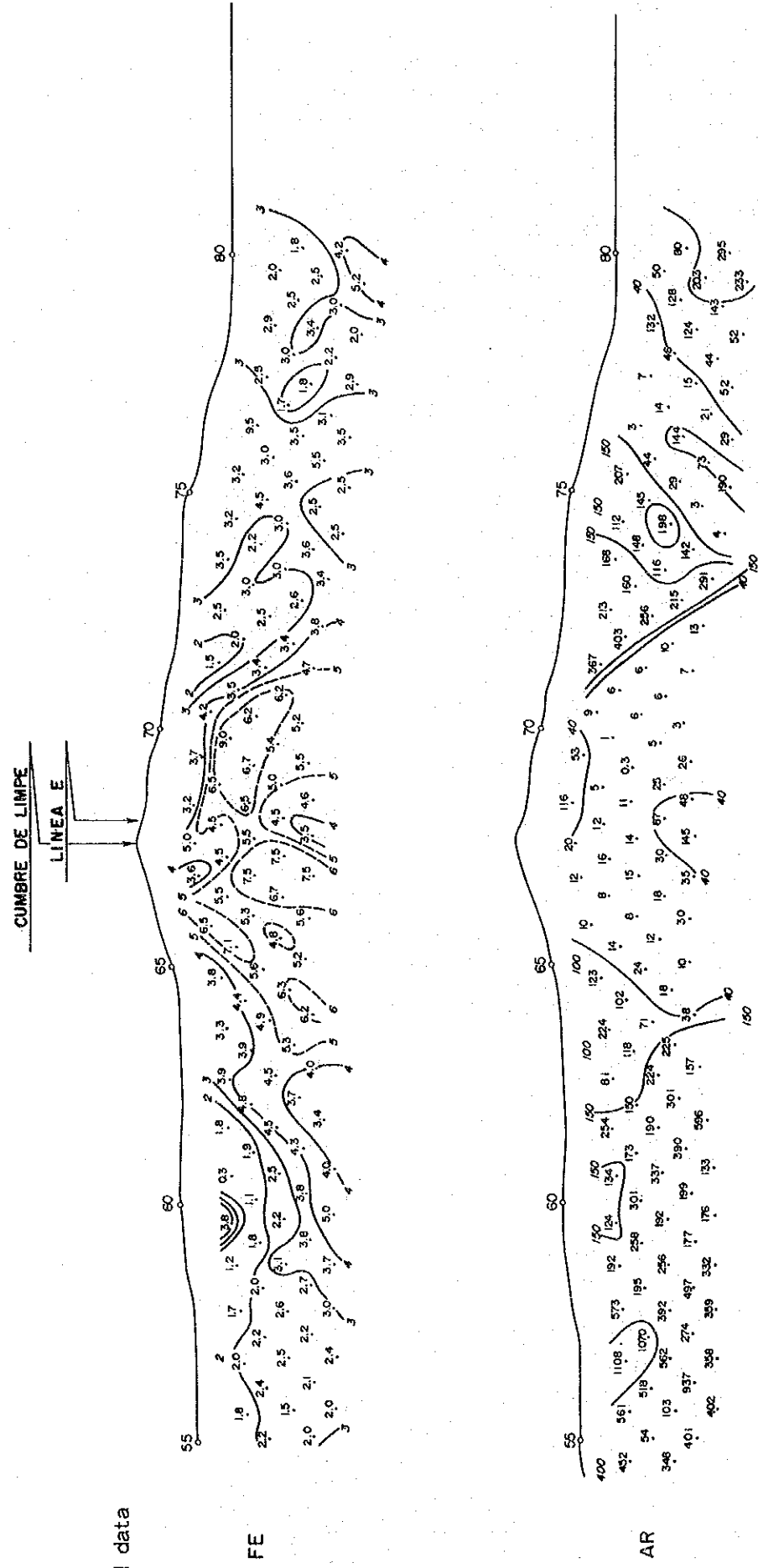
①~④、⑥の応答体が低比抵抗-中~強FE異常域を示唆している。

測点62以北のSanta層の石灰岩およびCarhuaz層に対応して、応答体⑤の比抵抗は $230 \Omega m$ とやや高く、FEは $1.5 \%$ とバックグラウンドを示す。応答体⑨は地表浅所にあつて鉱徴のみられるSanta層に対応している。しかし、その比抵抗は $1000 \Omega m$ と高く、FEは $1.5 \%$ とバックグラウンドを示している。応答体⑧は地表鉱徴と対応してFEは $4 \%$ と強いが、比抵抗は $300 \Omega m$ と高い。

#### (2) E測線 Fig. II-26 参照

強いFE示徴をもたらす応答体として①②③の比抵抗は $10 \sim 50 \Omega m$ 、FEは $5 \sim 6.5 \%$ がよい近似を示す。①の応答体は地表浅部から垂直柱状を示し深部へ延びている。③の応答体は①に接して深部にあり、②の応答体は地表約 $100 m$ 下に頭をもち、①③の応答体に接している。①②③を含めれば、地表浅部から垂直柱状の大きな応答体である。応答体④の比抵抗は $15 \Omega m$ と低く、FEは $3.5 \%$ を示し、地表より西傾斜で深部へ延びている。①~④の応答体が低比抵抗-強FE異常域を示唆している。応答体⑥⑦は比抵抗 $300 \sim 500 \Omega m$ と比較的高く、FEは $0.5 \sim 1.5 \%$ とバックグラウンドを示し、Carhuaz層に対応している。応答体⑤⑧⑨の比抵抗は $4000 \sim 100,000 \Omega m$ と非常に高く、FEは $1.5 \sim 3.5 \%$ を示す。この応答体はChimu層に対応している。





	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
AR (Δ.m)	100	15	10	100	230	175	75	300	1000
FE (%)	5.0	6.5	3.5	3.3	1.5	3.5	2.0	4.0	1.5

Results of simulation

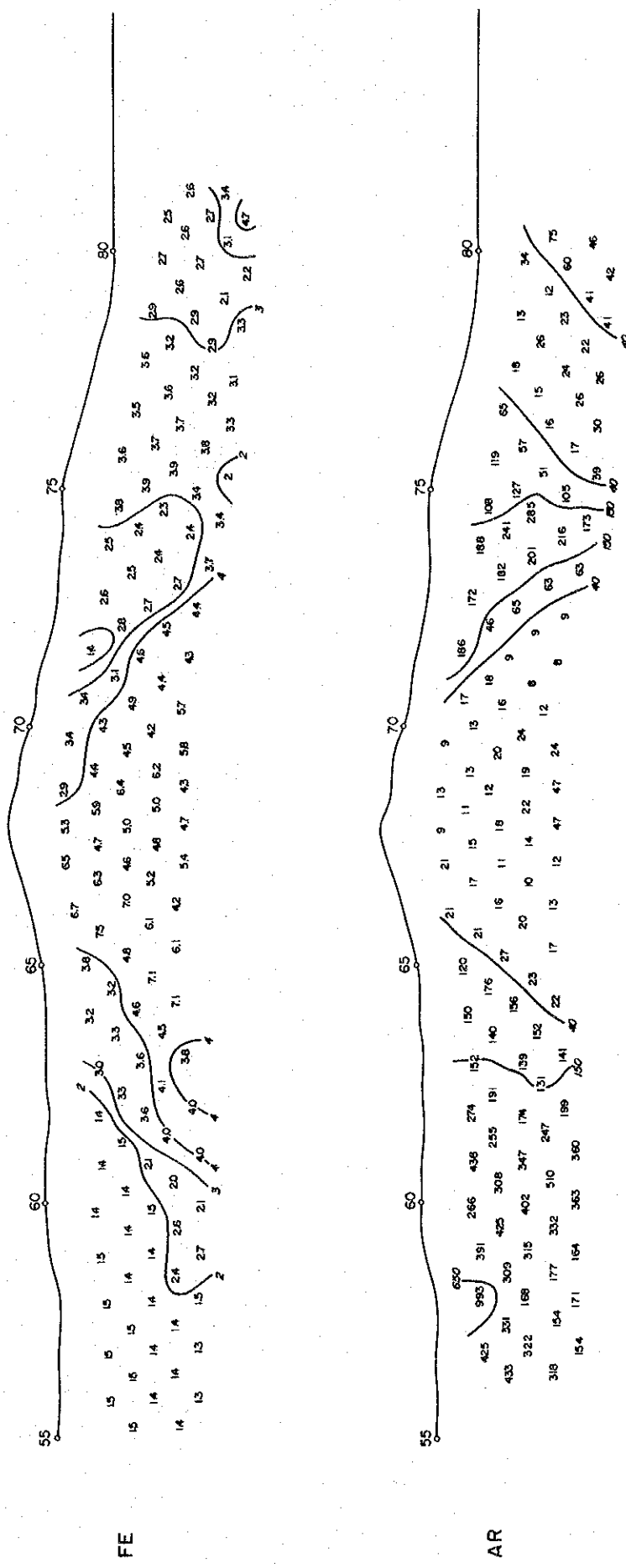
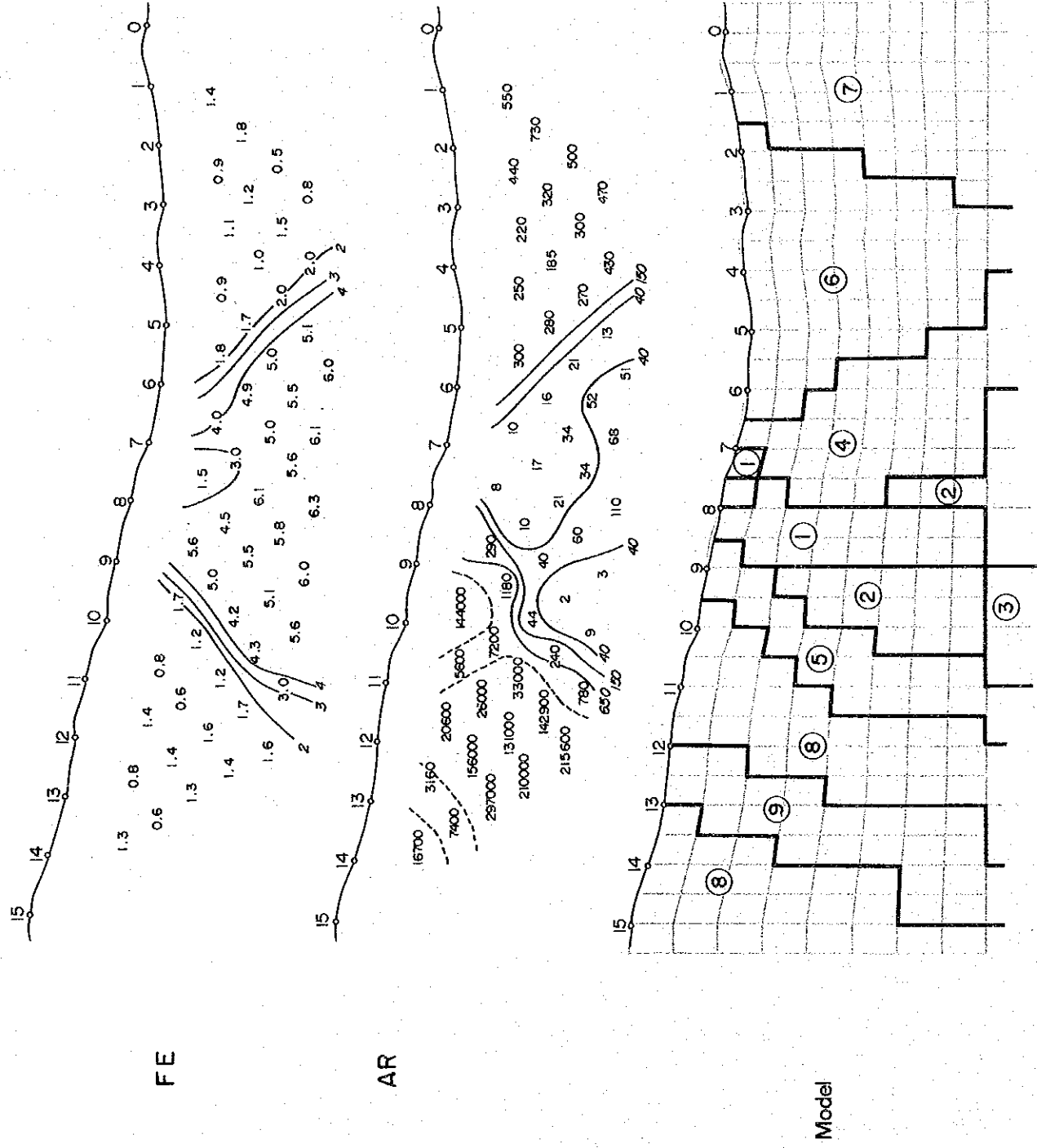


Fig. II-25. Field results and results of computer modeling on line-A



Field data



	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
AR (Δm)	15	50	10	15	4000	300	500	100000	5000
FE (%)	6.5	6.5	5	3.5	3.5	1.5	0.5	1.5	0.5

Results of simulation

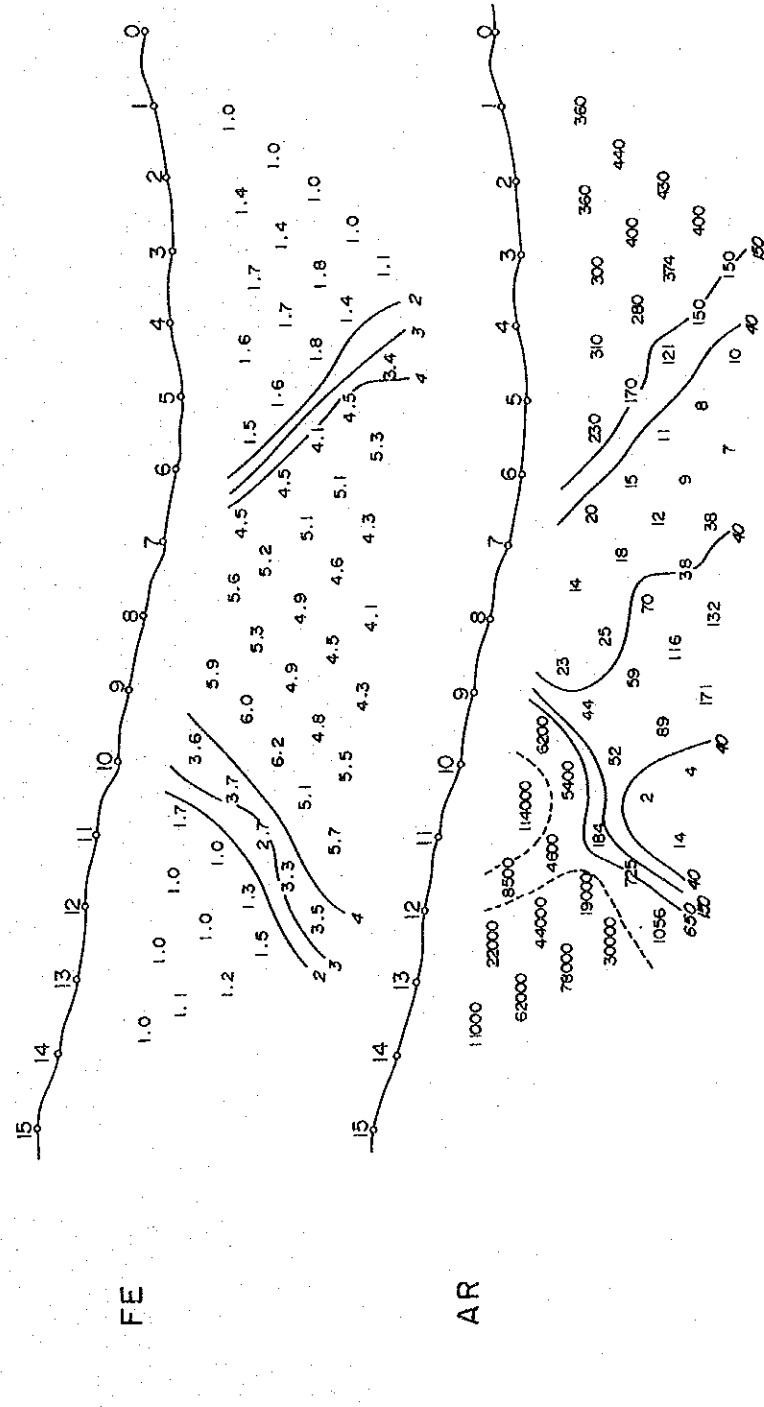


Fig. II -26. Field results and results of computer modeling on line-E

以上Cumbre de LimpeのA測線とE測線の交叉する付近の解析結果から、強F E異常をもたらした応答体は、南北断面は板状で、東西断面は垂直柱状のものである。

5-1-2 E測線のEM異常について

(1) VLF法

E測線の測点7~8を中心とした同相成分のEM異常について3-2-2に記述した方法に従って定量解析を実施した。測点8付近を境にして同相成分が急激に変化し、測点7と8の中間点で正の極大値13%、測点8より約25m東側で負の極小値-20%を示している。

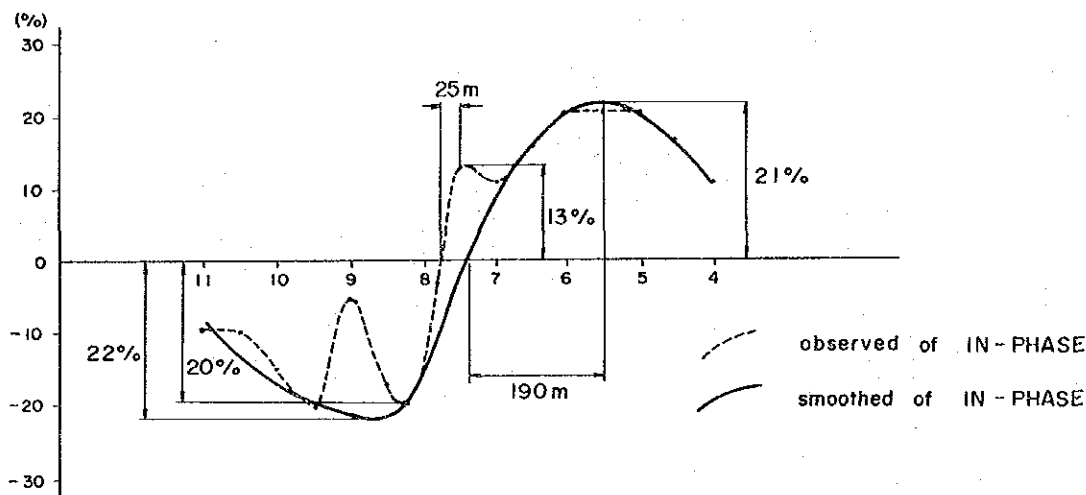


Fig. II-27. Determination of parameters for depth to top of conductor and dip angle, Line-E

Fig. II-27の曲線より  $AR^- = 13\%$   $AR^+ = 20\%$   $XR^- + XR^+ = 25m$

$$\frac{AR^- + AR^+}{2} = 16.5 \text{ が得られる。この値から Fig. II-19 より良導体は、ほぼ垂}$$

直に近いことが示される。Fig. II-18のダイヤグラム  $\theta = 0^\circ$  に記入して交点を求めると、良導体までの深度  $d \approx 25m$  が得られた。更に観測曲線を平滑にして局部的異常を取り除いた結果Fig. II-27に実線で示した同相曲線が得られる。この曲線はほぼ測点7-8の中間点付近を境にして対称型を示し  $AR^- = 21\%$   $AR^+ = 22\%$   $XR^- + XR^+ \approx 190m$ の値を示す。Fig. II-18のダイヤグラムからこの良導体までの深度は60m以深と考えられる。又良導体の傾斜はほぼ垂直である。以上の結果から測点7-8を中心とした異常は深度約25mまたは60m以深に位置する垂直板状の良導体によるものと考えられる。

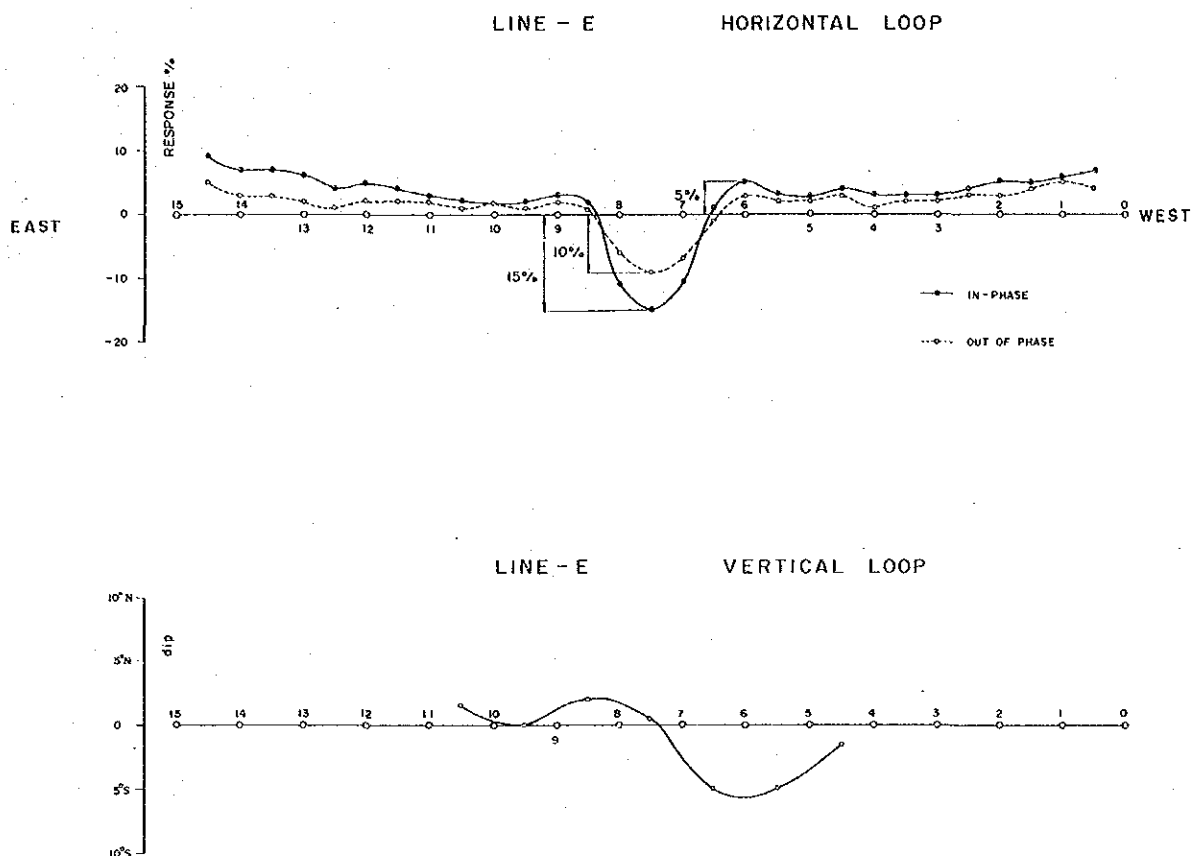


Fig. II-28-(a) Observed magnetic field curves of In-phase and Out-of-phase components

(2) 誘導電磁法

測点7-8を中心とした同相-離相曲線の異常について定量解析を実施した。Fig. II-20の区分に従い Fig. II-28より同相の極小値は-15% 離相のそれは-10%、同相の極大値は5%である。

以下に解析順序を述べる。

Step 1.

Fig. II-21を使用して同相の極小値-15%と、離相の極小値-10%の交点より各傾斜角( $\theta$ )<sup>※①</sup>について、 $\lambda/a$ <sup>※②</sup>、 $d/a$ <sup>※③</sup>を求める。

Table. II-6 Response parameter and depth determined from various phase diagram.

$\theta$	$\lambda/a$	$d/a$
90	6.79	0.29
80	6.87	0.292
60	7.17	0.30
40	8.25	0.316
20	9.67	0.342

各傾斜角  $\theta$  に対する  $\lambda/a$ ,  $d/a$  の値をそれぞれ Fig. II-29 にプロットすると、曲線①②になる。

Table. II-6 より  $\lambda/a$  の真の値は  $\lambda/a = 5 \sim 15$  の間の値をとることがわかる。

Step 2.

Fig. II-22 より同相の極大値 + 5% に対応する一連の  $d/a$  に対する  $\theta$  を  $\lambda/a = 5, 7.5, 10, 15$  について求める。

Table. II-7 Depth and Dip Corresponding to Various of Response Parameter.

$\lambda/a$	$d/a$	$\theta$	$\lambda/a$	$d/a$	$\theta$
5.0	0.35	90°	15.0	0.25	75°
	0.40	81°		0.30	67°
7.5	0.35	85°		0.35	60°
	0.40	73 1/2°		0.40	53 3/4°
10.0	0.25	90°			
	0.30	79°			
	0.35	69 1/2°			
	0.40	62 1/2°			

各  $\lambda/a$  の値それぞれについて、 $\theta$  に対する  $d/a$  のグラフを Fig. II-29 にプロットし、曲線①および②との交点を求め、その交点に対する  $\theta$  と  $d/a$  の値を求めると、Table. II-8 の数値が得られる。

註) \*①②③ Determination of dip response parameter and depth

Step 3.

Fig. II-29で $\lambda/a = 5 \sim 30$ のグラフと $d/a$ の曲線①の交点を求める。

Table. II-8 Depth and dip corresponding to various values of response parameter.

$\lambda/a$	$d/a$	$\theta$
10	0.292	$81^\circ$
15	0.297	$67\frac{1}{2}^\circ$

Step 4.

Table. II-8の各 $\lambda/a$ に対する $\theta$ をFig. II-29にプロットし、その点を結び③とする。

Step 5.

曲線①および②と③の交点を求めれば、

$$\lambda/a = 6.8 \quad d/a = 0.292$$

が得られる。角度 $\theta$ はほぼ $90^\circ$ に近い。

良導体の測線上の位置は、 $\theta$ がほぼ直角に近いことから同相成分の極小値を示す測点付近すなわち、測点7~8の中間点付近と考えられる。

比抵抗と地層巾の比 $\rho/\epsilon$ は次式より導びかれる。すなわち、

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{10^5}{a \mu f} \cdot \frac{\rho}{\epsilon} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\rho}{\epsilon} = \frac{a}{10^5} \cdot \frac{\lambda}{a} \cdot \frac{a \mu f}{10^5}$$

$\rho$  : 比抵抗 ( $\Omega m$ )

$a$  : コイル間隔 ( $m$ )

$\mu$  : 比透磁率

$f$  : 周波数 ( $Hz$ )

$\epsilon$  : 厚さ ( $m$ )

ここで $\rho$ の単位は $\Omega cm$ であるので $\Omega m$ になおす。

$$\therefore \frac{\rho}{\epsilon} = \frac{a \mu f}{10^7} \cdot \frac{\lambda}{a} \quad (\Omega) \quad \dots\dots\dots (2)$$

本調査では  $a = 90 m$   $f = 1,600 Hz$  であり  $\mu = 1$  とすれば

$$\rho/\epsilon = 26 m \text{ が得られる}$$

良導体の深度および傾斜はVLF法の結果とはほぼ一致している。