

3-5-3 変質鉱物

本地域から産出が確認された変質鉱物及び初生鉱物は下記のとおりである。

珪酸鉱物：石英

長石類：斜長石，（曹長石），カリ長石

粘土鉱物類：絹雲母，緑泥石，絹雲母／モンモリロナイト（混合層鉱物），緑泥石／モンモリロナイト（混合層鉱物），カオリナイト，葉ろう石

炭酸塩鉱物：方解石，苦灰石

その他：緑簾石，黄鉄鉱，針鉄鉱，褐鉄鉱，角閃石

石英は，全試料において認められた。

斜長石（曹長石）は，既知鉱床近傍では，他の変質鉱物に変化しており，ほとんど残存していない。斜長石の量は被った変質程度を知る目安として重要である。

絹雲母は，粘土鉱物中で最も多く産出し，1M型，2M型，1M+2M型がみられたが，鉱床との関係は不明である。

緑泥石は，粘土鉱物中で絹雲母についで多く認められ，黒鉄型鉱床ではかなり普遍的な鉱物である。鉱床周辺の変質帯に出現する緑泥石の化学組成は鉱床近傍とその周縁部では，その化学組成に変化のあることが知られている（Izawa et al.,1978;Urabe & Scott,1982-A）。一般に，黒鉄型鉱床では，鉱床近傍ではよりMgに富む緑泥石が生成され，鉱床から離れるにつれてFeに富むようになることが知られている。本調査で比較的多量に緑泥石を認めたものについてOinuma et al.(1972)の方法を用いて検討すると，本調査地域の緑泥石は比較的鉄に富むものである。一方，既知鉱床近傍には緑泥石の出現が稀れであり，化学組成の変化の詳細は不明である。混合層鉱物の絹雲母／モンモリロナイト及び緑泥石／モンモリロナイトは，ごく一部の試料で認められたに留った。それらは既知鉱床からは数km以上離れて産出している。

カオリナイトは，比較的多くの試料で認められたが，黒鉄型鉱床との直接の関係は認められない。

針鉄鉱及び褐鉄鉱は，調査地域北西部のBlanco沢上流域で多く認められたが，他の地区ではあまり認められない。

方解石，苦灰石，葉ろう石，緑簾石，角閃石，黄鉄鉱などはごく一部の試料中に産するだけであつた。

3-5-4 変質分布

本地域において，比較的多くの試料中に産する変質鉱物を用い，歌田ほか（前出）及び本多ほか（1979）を参考にして，変質帯を次のように分帯した。

I帯：石英+カリ長石+（絹雲母）

II帯：石英+絹雲母

Ⅲ帯：石英+緑泥石+(絹雲母)+(カリ長石)

Ⅳ帯：石英+カオリナイト+(カリ長石)+(絹雲母)+(緑泥石)

Ⅴ帯：石英+斜長石(曹長石)+(カリ長石)+(絹雲母+緑泥石)

ただし、()内の鉱物は産出の少ないもの

この分帯において、Ⅴ帯は、より続成作用の影響が強い環境下で生成された変質帯と考える。その他の帯はいずれも強い熱水変質作用によるもので、そのうちでもⅠ～Ⅱ帯が変質帯の中心部と考える。

この分帯を用いて、Cuale地区、El Bramador 地区及びその他の地区の変質態様を検討した。

(1) Cuale 地区

この地区の変質分布を第3-3図に示す。

本地区においては、前述のⅠ～Ⅴ帯までの変質鉱物組合せが認められる。

本地区の大部分の鉱床はⅠ～Ⅱ帯中に含まれ、変質帯の形成と鉱床とは密接な関係を有していることを示唆している。

最強変質帯であるⅠ帯はChivos鉱床周辺及びJesus Maria(ヘスス・マリア)鉱床東方の2箇所分布するが、後者中にはこれまで鉱床賦存が知られておらず、変質分帯から有望探鉱地区の1つと考える。

Ⅱ帯中には、Refugio(レフヒオ)、Socorredora、Grandezaなどの多くの既知鉱床が含まれる。本帯は本地区の北西から南西にやや伸長する方向性が認められ、比較的分布範囲も広く、熱水変質作用を強く受けた地区と判断される。

Ⅲ帯及びⅤ帯はRefugio 鉱床北西部、Grandeza鉱床北東部及びChivos 鉱床北部に分布するが、これらの地区には、Coloradita 鉱床以外に既知鉱床が知られていない。また、Coloradita 鉱床から北部にはⅤ帯が広く分布し、この鉱床以北は変質程度も弱くなり、変質作用の観点からは鉱床胚胎の可能性は低い。

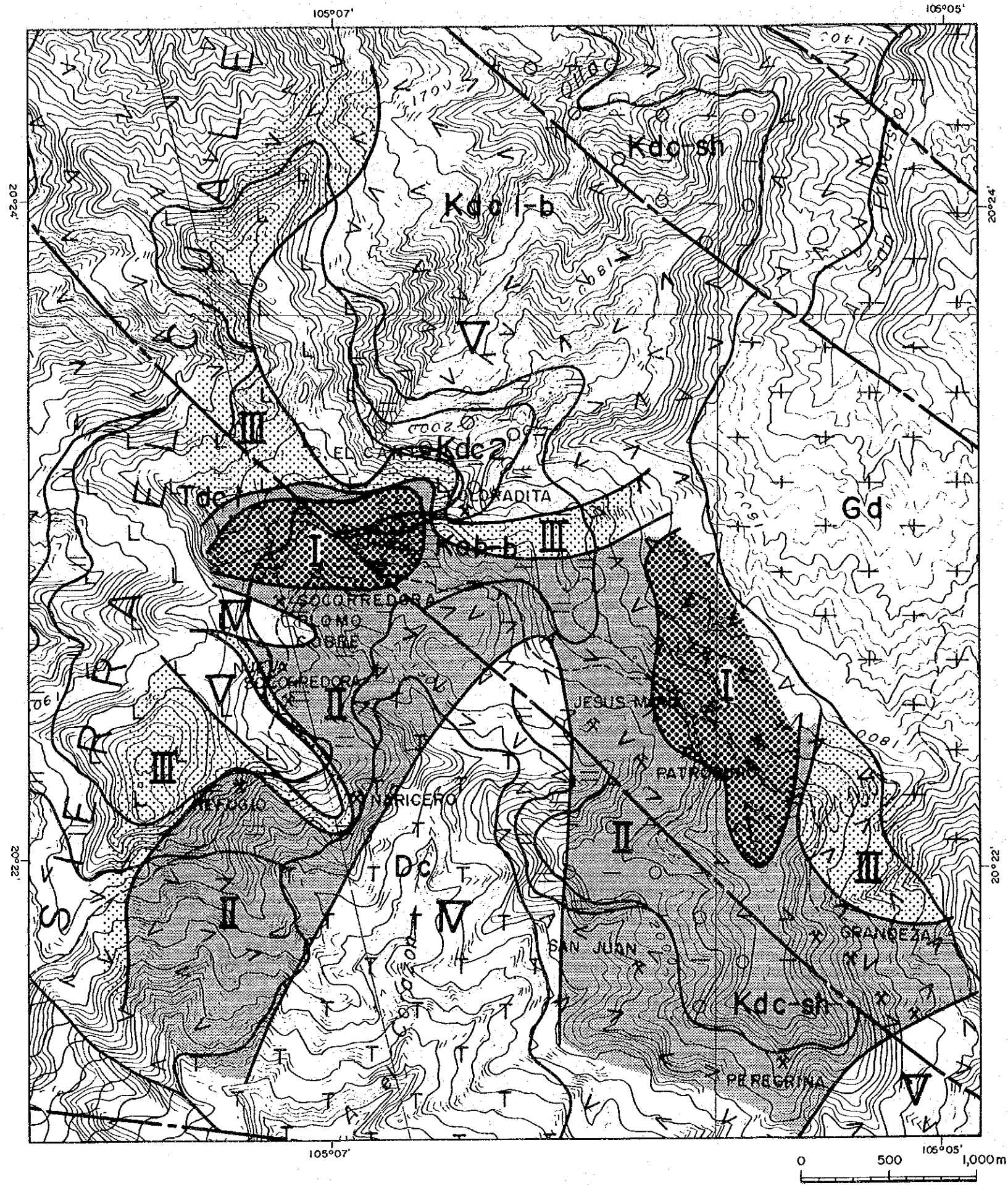
Ⅳ帯はCorazon(コラソン)沢沿い及びSocorredora 鉱床近傍に分布しているが、前者は石英安山岩貫入岩(Dc)に対応しており、一方、後者は小規模な分布のため地質との関係を特定できない。このⅣ帯と鉱床との関連は認められない。

(2) El Bramador 地区

この地区の変質分布を第3-4図に示す。

本地区もCuale地区と同様にⅠ～Ⅴ帯が分布し、特に、カオリナイトを含むⅣ帯が広範囲に分布している。

Ⅰ帯は、La Concha 部落近傍、La Colorada 鉱床東方、El Bramador 部落西方や本地区南西部に散在しており、分布面積は狭小である。そのため、本帯は最強変質帯に分



LEGEND

Tertiary System

I-Stage Dacite-Pyroclastics

Cretaceous System

Hanging Wall Dacite-Pyroclastics-Shale

Ore Horizon Pyroclastics

Footwall Dacite

Shale Intercalated with Sandstone

Jurassic System

Metamorphic Rocks

Intrusives

Dacite

Granophyre

Andesite

Granodiorite

Fault

Alteration Zones

- I : Quartz + K-feldspar + (Sericite)
- II : Quartz + Sericite
- III : Quartz + Chlorite + (Sericite) + (K-feldspar)
- IV : Quartz + Kaolinite + (K-feldspar) + (Sericite) + (Chlorite)
- V : Quartz + Plagioclase (Albite) + (K-feldspar) + (Sericite) + (Chlorite)

図3-3 Cuale地区の変質分帯図

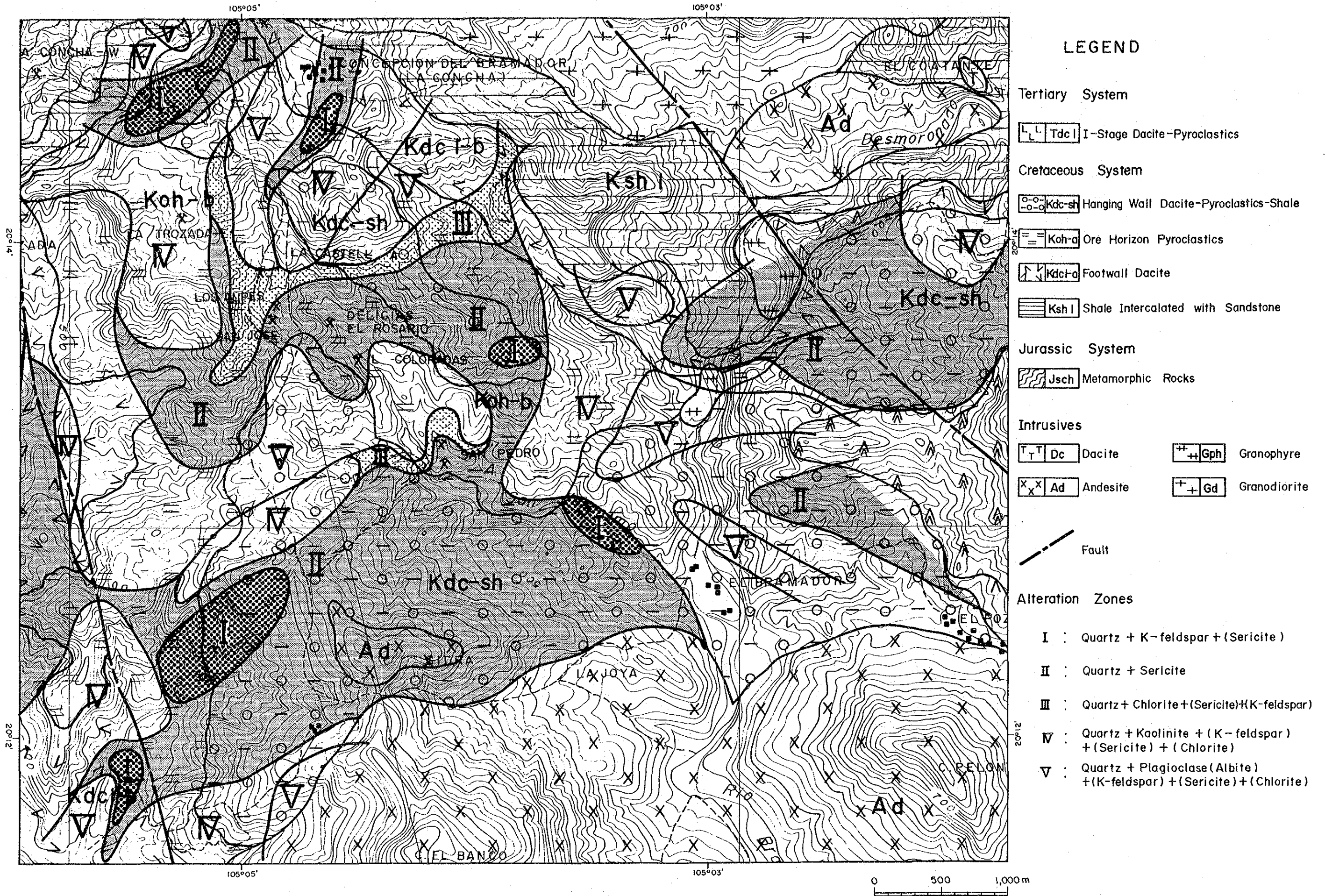


図3-4 El Bramador 地区の変質分帯図

帯されてはいるが、既知鉱床との直接的な分布上の関連は認められていない。

Ⅱ帯中には、San Jose 鉱床、Delicias 鉱床などの本地区の大部分の鉱床が含まれ、本帯と鉱床が密接な関係を有していることを示している。これは Cuale 地区における本帯と鉱床との関係とも一致している。

Ⅲ帯は San Pedro 鉱床西方及び Los Alpes 鉱床付近に分布しているが、その分布域はせまい。全般に、本地区では緑泥石の生成が貧弱である。

Ⅳ帯は、本地区では広範囲な分布が認められるものの、La Concha 部落西南部の La Trozada - E 鉱床が本帯に含まれるのみで、鉱床との関連では、ほかに特記できる関係は見出されていない。本帯の分布状況から判断する限り、黒鉱型鉱床と関連する熱水変質とは、その変質時期を異にした変質作用の産物と判断される。本帯を構成する変質鉱物（カオリン）の生成環境は、Ⅰ～Ⅲ帯の生成環境とはその性格を異にしており、多分、本帯の生成は黒鉱型鉱床の生成時期より後期の酸性熱水変質作用によるもので、前者の変質帯に重複している可能性が大きい。したがって、本帯と黒鉱型鉱床との直接の成因関係は薄いと判断される。

V帯は La Concha 部落近傍や La Colorada 鉱床南西部及び Los Caballos de Cabrel 東方などに分布している。本帯の一部は熱水変質作用を受けているものの、斜長石が完全に消失せず、残留しており、その変質程度は弱い。本帯中には黒鉱型鉱床、鉱脈鉱床を問わず既知鉱床は認められない。

本地区の変質帯は北西—南東方向に伸長する傾向がある。この方向は San Jeronimo 沢で認められる鉱徴帯の分布方向でもある。この地区の地表で認められる熱水変質作用は黒鉱型鉱床の生成期以降も引き続き行われており、広域にわたって強変質帯を形成している。この種の広域、かつ、一様な変質作用の起源としては、鉱脈鉱床に関連させるよりも黒鉱型鉱床の生成に関連する可能性が考え易い。この場合、変質帯の伸長方向は、黒鉱型鉱床の探鉱上、重要な一指標となり得る。本地区の変質はその規模及び程度とも第 1 級と評価できる。

(3) La Amaltea—La Crucecita 地区

この地区においては大部分が V 帯に含まれ、Ⅰ～Ⅳ帯を示す試料はごく一部である。

Ⅰ帯は、Cuatro Minas 鉱床近傍の 3 試料と San Luis (サン・ルイス) 沢南東部の 2 試料だけで、分布域はせまい。Ⅱ～Ⅳ帯を示す試料もごく一部であり、この度の調査結果から、本地区は全体的に熱水変質作用を強く受けたとは考えられない。したがって、本地区には、鉱床胚胎層準の火砕岩 (Koh-b) が広範囲に分布しているものの、変質面からは鉱床胚胎のポテンシャルティは、Cuatro Minas—La Amaltea 鉱床近傍以外は低いものと判断される。

(4) Arriba de San Juan 地区

本地区に分布する石英安山岩溶岩(Kdc1-b)は、X線回折結果では、すべての試料で斜長石が完全に消滅している。かつ、この強変質を伴う溶岩中には0.5 Km×2 Kmの範囲に針鉄鉱及び褐鉄鉱からなる「焼け」も存在し、変質面からみる限り有望と評価できる。しかし、既述のとおり鉱徴的には不毛である。この石英安山岩中の変質態様はいわゆる“Pervasive”型のものであり、多分、黒鉄型鉄床の生成に関連するものであろう。それにもかかわらず、鉄徴が認められないことは現在までの侵食による削剝レベルが相当に深部まで進んでいることを示唆しているものと考えられる。

「焼け」はいわゆる下盤石英安山岩中のStringer中の硫化鉄物に起源している可能性が強い。

黒鉄型鉄床をこの地区で期待することは、地質的には、不可能であるが、削剝作用が働く以前は、本地区に黒鉄型鉄床が賦存していた可能性は十分考えられる。

(5) Desmoronado 南部地区

X線回折に供した試料が16個と少ないため、変質態様の詳細は不明である。大部分の試料に絹雲母が生成されているが、斜長石も多くの試料で残存している。したがって、本地区は、熱水変質作用の影響は存在しても軽微と判断され、熱水変質面からみる限り、黒鉄型鉄床の賦存の期待は小さい。

(6) その他

石英安山岩貫入岩(Dc)の一部についても、X線回折を行ったが、大部分の試料には粘土鉱物が生成されておらず、原岩の斜長石が多量に残存している。このことは、石英安山岩の貫入時にはこの地域の大規模変質帯の形成に関与した黒鉄変質作用が終息していたことを物語るものである。

3-5-5 斜長石類の残存量

斜長石類は熱水変質作用を受けると、最も容易に分解し、変質鉄物に変化するので、その残存量を調べることにより変質程度を知ることが可能である。El Bramador地区における斜長石類の残存量について検討した結果を第3-5図に示す。X線的に斜長石類の残存が認められるものは、変質分布のV帯にほぼ対応する。

El Bramador地区の各鉄床は、斜長石類が完全に分解し消失した場所に位置し、残存帯中には既知鉄床はみられない。このことは、La Concha, El Bramador 地区の各鉄床近傍は強い変質作用を受けていることを示している。また、日本の多くの新生代の黒鉄鉄床の近傍における母岩の変質態様とよく似ている。斜長石類の消失帯の分布域は、この点から黒鉄型鉄床の胚胎の可能性が期待される。しかし、鉄床近傍まで斜長石類の残存帯が分布する意義については、更に検討する必要があると考えられる。

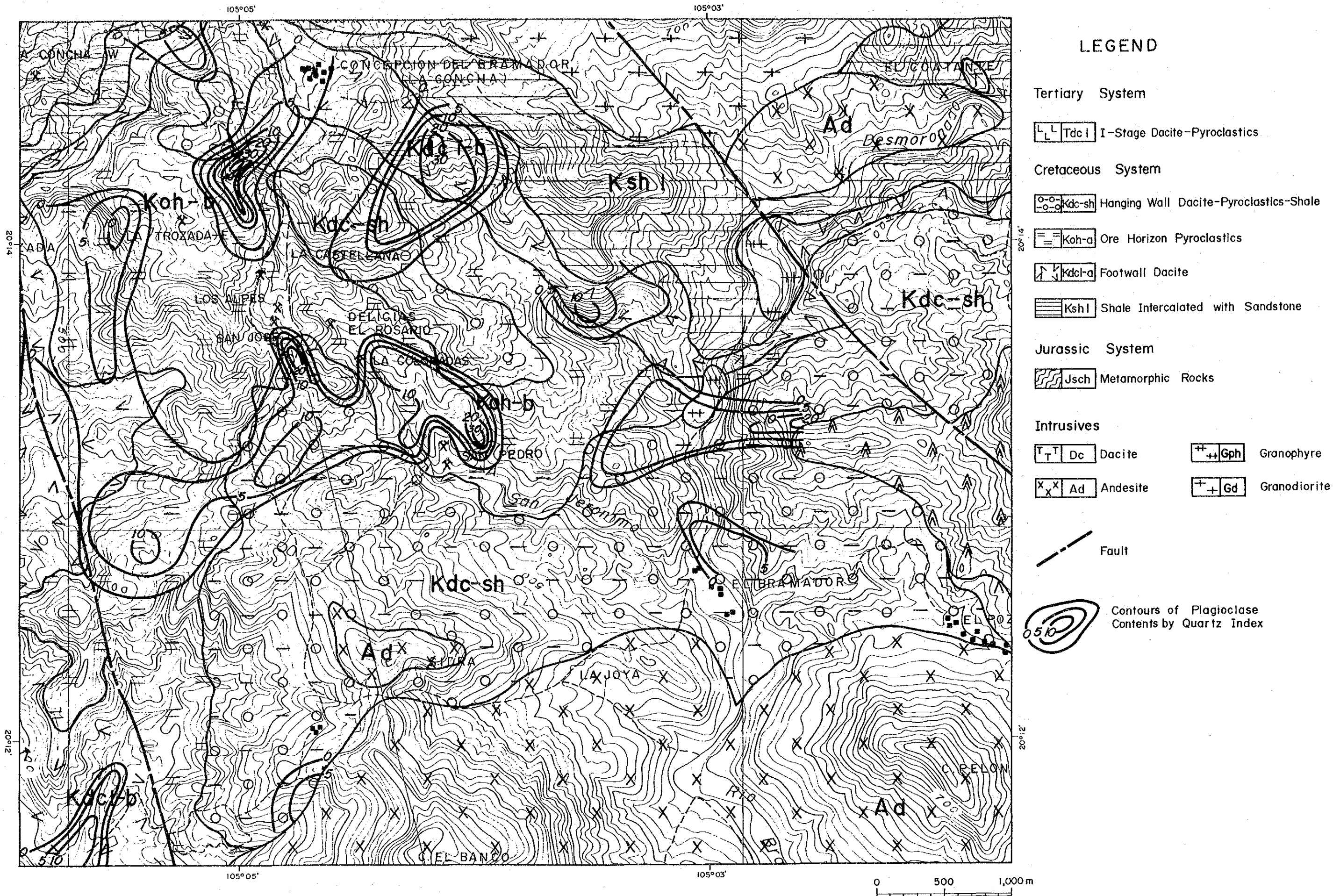


図 3-5 El Bramador 地区の斜長石の残存量の分布図

第 4 章 地 化 学 探 查

第4章 地化学探査

4-1 河床堆積物による地化学探査

4-1-1 調査方法

(1) 試料採取

本調査では、調査対象全域が網羅されるように、前もって設定された試料採取地点を地形図と高度計で確認しながら河床堆積物の試料採取を行った。試料として、調査面積1,000km²の全地域から1,012個を採取した。試料の採取場所は沢岸、中洲、岩蔭などで、試料は-80メッシュサイズのを約30%程度採取した。この分析結果については、付録1に試料の由来を支配する地質及び採取位置を付して示した。

(2) 試料の調整及び元素の検出限界

試料は、現地(Talpa de Allende)で風乾後、磁石で磁鉄鉱を除去し、約20%を分取し、リスト作成後、同和鉱業(株)花岡鉱業所分析室で分析を行った。

分析の検出限界はAg, Cu, Pb, Znとも0.1 ppmであった。

4-1-2 統計処理

本調査で採取された試料1,012個の4成分(Ag, Cu, Pb, Zn)について、単変量解析及び多変量解析を行った。統計処理の都合上、検出限界値以下については、0.01 ppmと仮定して処理を行った。試料全体及び地質单元ごとに、幾何平均値、最小値、最大値、標準偏差を求めた。その結果を表4-1に示す。なお、白亜系については、白亜系全休(岩石コード11+12)と、白亜系の石英安山岩類(岩石コード11)と頁岩(砂岩)層(岩石コード12)を求めた。

4-1-3 後背域の地質と指示元素含有量

調査対象となった河床堆積物中の指示元素含有量は、それが由来した後背域の地質状況及び鉱化・変質作用の程度に影響される。したがって、地質单元ごとに幾何平均値などを求めたが、各地質单元ごとに含まれる試料数が少ないため、单元ごとのシキイ値の決定は行わなかった。全試料の幾何平均値に対して明らかに高い後背値をもつ地質单元は次のとおりである。

Ag, Pb, Zn : 白亜系の石英安山岩類(Kdc1-a, -b, Koh-a, -b, Kdc-sh)

Cu : I期安山岩類(Tad1)

4-1-4 シキイ値の決定

地化学データ解析の場合、地化学試料に含まれる微量元素の含有量の頻度分布は対数正規をすることが知られている(Lepeltier, 1969)。したがって、従来の一般的な異常値の決定法は、ある指示元素の大部分が示す対数正規分布(後背値集団)からの偏倚(異常値集団)に注目するものである。地化学探査で取り扱うデータは、通常後背値集団と異常値集団の複合したもので、この両者をいかに実体に則した区分をするかが重要となる。特に、対象とするサンプル集団が対

表 4-1 指示元素の統計パラメータ

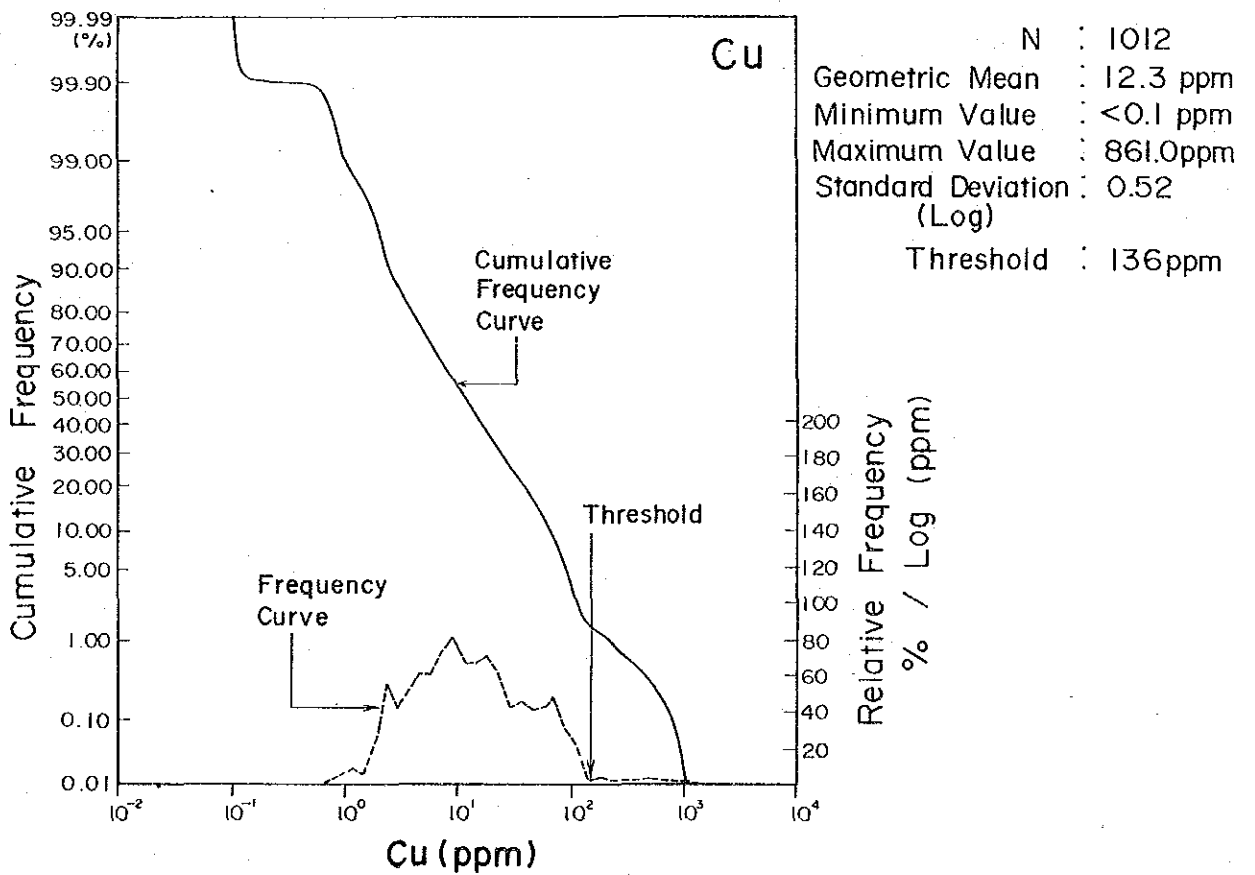
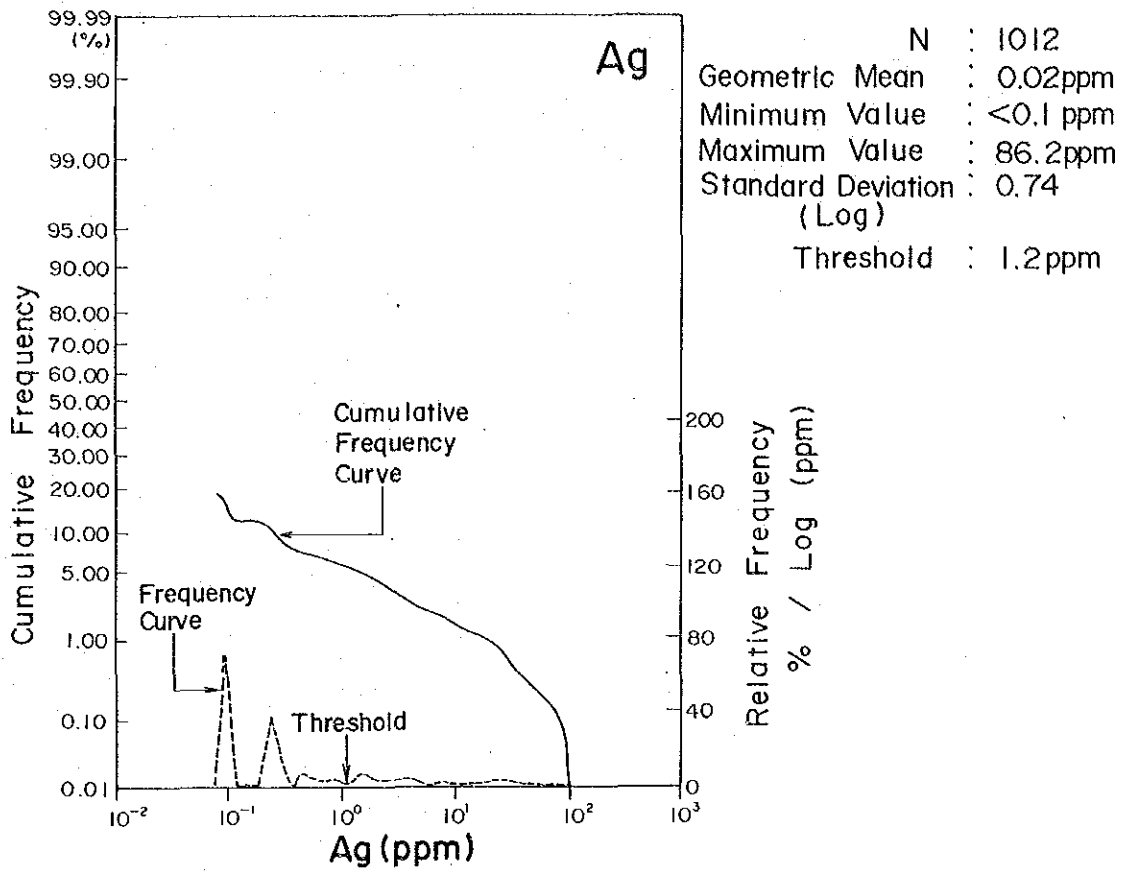
Rock Code	Number of Samples	Geometric Mean(ppm)				Threshold(ppm)				Minimum Value (ppm)				Maximum Value (ppm)				Standard Deviation (Log)			
		Ag	Cu	Pb	Zn	Ag	Cu	Pb	Zn	Ag	Cu	Pb	Zn	Ag	Cu	Pb	Zn	Ag	Cu	Pb	Zn
Whole Rocks	1,012	0.02	1.23	2.58	68.9	1.2	136	147	440	<0.1	<0.1	<0.1	3.0	86.2	861.0	936.0	979.2	0.74	0.53	0.53	0.35
0	197	0.02	16.4	27.7	87.0	-	-	-	-	<0.1	1.5	<0.1	9.9	53.8	419.2	747.8	941.0	0.77	0.32	0.37	0.37
1	142	0.07	20.8	46.2	111.9	-	-	-	-	<0.1	0.7	0.1	6.4	86.2	516.8	936.0	979.2	0.11	0.51	0.46	0.42
2	69	0.01	43.8	33.5	76.5	-	-	-	-	<0.1	4.6	133	24.9	0.3	121.1	68.2	122.4	0.31	0.34	0.15	0.13
3	4	0.02	40.0	31.6	62.4	-	-	-	-	<0.1	28.3	27.5	48.9	0.2	69.9	40.1	87.8	0.65	0.17	0.08	0.11
4	123	0.02	17.4	31.5	68.5	-	-	-	-	<0.1	1.6	<0.1	15.5	23.8	244.6	535.3	303.9	0.52	0.48	0.41	0.21
5	61	0.01	8.8	17.8	54.4	-	-	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	15.5	0.2	77.4	61.2	107.8	0.38	0.57	0.87	0.20
6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	31.2	309.8	293.7	-	-	-	-
7	367	0.02	6.1	17.9	50.5	-	-	-	-	<0.1	0.7	<0.1	3.0	71.8	861.0	754.0	948.0	0.61	0.44	0.60	0.35
8	48	0.02	15.3	34.0	79.3	-	-	-	-	<0.1	0.9	11.2	33.5	7.7	115.4	677.0	894.0	0.70	0.69	0.28	0.23
11	109	0.09	19.3	50.8	121.4	-	-	-	-	<0.1	2.3	9.5	6.4	86.2	516.8	936.0	979.2	0.12	0.52	0.49	0.44
12	33	0.03	26.8	33.7	85.5	-	-	-	-	<0.1	0.7	9.9	11.7	22.4	159.5	274.0	367.0	0.80	0.47	0.29	0.33

Rock Code

- 0 : Metamorphic Rocks(Jsch)
- 1 : Cretaceous System(=Rock Code 11+12)
- 2 : I-Stage Andesites(Tad₁)
- 3 : Sandstone(Tss₁)
- 4 : II-Stage Andesites(Tad₂)
- 5 : III~V-Stage Andesites(Tad₃,Tad₄)
- 6 : I-Stage Dacites(Tdci)
- 7 : Intrusives(Gd,Gph)
- 8 : Others(Q,Dc,etc.)
- 11 : Dacites in Cretaceous System(Kdc₁₋₂,Kdc-sh,Koh₁₋₂)
- 12 : Shale(Sandstone) in Cretaceous System(Ksh₁)

図 4 - 1 頻度曲線と累積頻度曲線

(1)



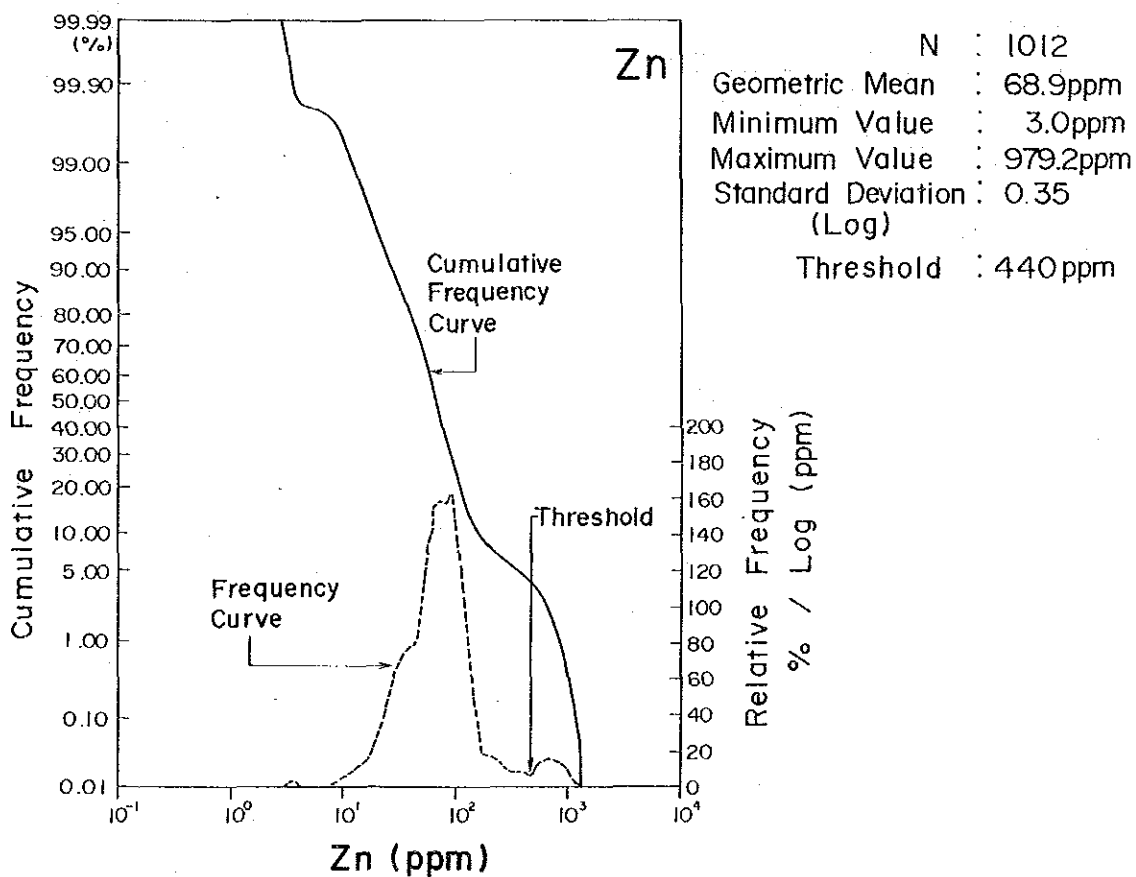
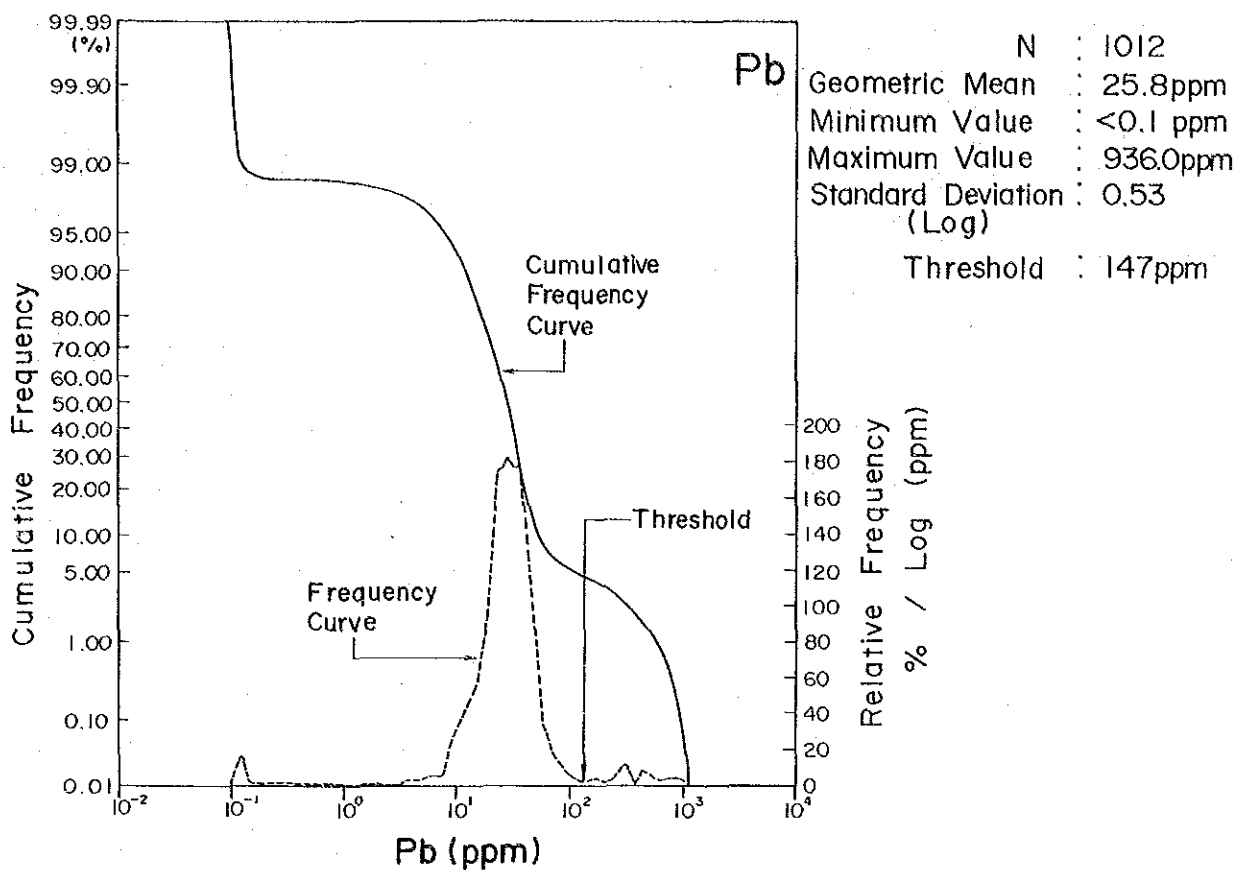


表 4-2 相関係数マトリックス (4 成分)

(Jurassic System: Jsch) N = 197

R.C.		Ag	Cu	Pb	Zn
0	Ag	1.00			
	Cu	** 0.53	1.00		
	Pb	** 0.52	** 0.45	1.00	
	Zn	** 0.65	** 0.71	** 0.54	1.00

*: $r(0.05) = 0.14$, **: $r(0.01) = 0.18$

(Cretaceous System) N = 142

R.C.		Ag	Cu	Pb	Zn
1	Ag	1.00			
	Cu	** 0.46	1.00		
	Pb	** 0.76	** 0.57	1.00	
	Zn	** 0.67	** 0.49	** 0.80	1.00

*: $r(0.05) = 0.16$, **: $r(0.01) = 0.21$

(I-Stage Andesites: Tad₁) N = 69

R.C.		Ag	Cu	Pb	Zn
2	Ag	1.00			
	Cu	-0.19	1.00		
	Pu	0.07	* 0.27	1.00	
	Zn	0.07	** 0.32	** 0.55	1.00

*: $r(0.05) = 0.27$, **: $r(0.01) = 0.31$

(Sandstone: Tss₁) N = 4

R.C.		Ag	Cu	Pb	Zn
3	Ag	1.00			
	Cu	* 0.96	1.00		
	Pb	0.15	0.32	1.00	
	Zn	0.86	0.88	0.61	1.00

*: $r(0.05) = 0.95$, **: $r(0.01) = 0.99$

(II-Stage Andesites: Tad₂) N = 123

R.C.		Ag	Cu	Pb	Zn
4	Ag	1.00			
	Cu	* 0.19	1.00		
	Pb	** 0.25	* 0.20	1.00	
	Zn	** 0.24	** 0.36	** 0.46	1.00

*: $r(0.05) = 0.18$, **: $r(0.01) = 0.23$

(III - IV-Stage Andesites: Tad₃₋₄) N = 61

R.C.		Ag	Cu	Pb	Zn
5	Ag	1.00			
	Cu	-0.04	1.00		
	Pb	* -0.27	0.04	1.00	
	Zn	0.15	** 0.41	0.24	1.00

*: $r(0.05) = 0.25$, **: $r(0.01) = 0.33$

(Intrusives: Gd, Gph) N = 367

R.C.		Ag	Cu	Pb	Zn
7	Ag	1.00			
	Cu	** 0.45	1.00		
	Pb	** 0.29	** 0.34	1.00	
	Zn	** 0.58	** 0.58	** 0.38	1.00

*: $r(0.05) = 0.10$, **: $r(0.01) = 0.13$

(Others: Q, Dc, etc.) N = 48

R.C.		Ag	Cu	Pb	Zn
8	Ag	1.00			
	Cu	-0.19	1.00		
	Pb	** 0.71	0.14	1.00	
	Zn	* 0.31	0.25	** 0.49	1.00

*: $r(0.05) = 0.28$, **: $r(0.01) = 0.37$

(Dacites in Cretaceous: (Kdc-sh, Kdc1-a, -b, Koh-a, -b)) N = 109

R.C.		Ag	Cu	Pb	Zn
11	Ag	1.00			
	Cu	** 0.52	1.00		
	Pb	** 0.76	** 0.63	1.00	
	Zn	** 0.70	** 0.53	** 0.83	1.00

*: $r(0.05) = 0.19$, **: $r(0.01) = 0.25$

(Shale (Sandstone) in Cretaceous: Ksh₁) N = 33

R.C.		Ag	Cu	Pb	Zn
12	Ag	1.00			
	Cu	* 0.35	1.00		
	Pb	** 0.65	** 0.50	1.00	
	Zn	** 0.40	** 0.50	** 0.60	1.00

*: $r(0.05) = 0.34$, **: $r(0.01) = 0.44$

Whole Rocks N = 1,012

	Ag	Cu	Pb	Zn
Ag	1.00			
Cu	** 0.36	1.00		
Pb	** 0.39	** 0.38	1.00	
Zn	** 0.59	** 0.54	** 0.49	1.00

*: $r(0.05) = 0.06$, **: $r(0.01) = 0.08$

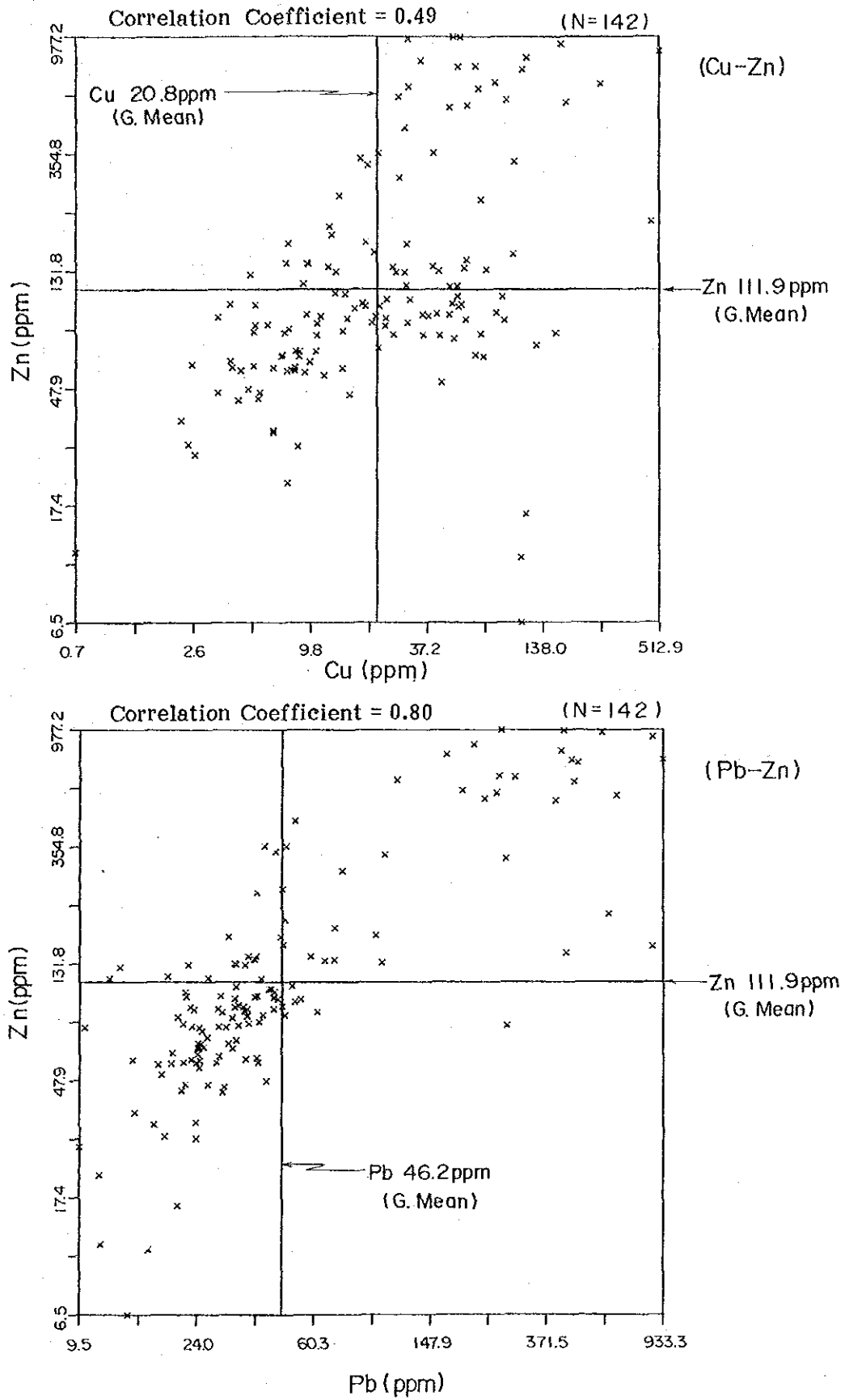
Abbreviation

R.C. : Rock Code

$r(0.05)$: Significance at the 5% level

$r(0.01)$: Significance at the 1% level

図 4-2 白亜系の散布図 (Cu-Zn), (Pb-Zn)



数正規分布から偏倚しているような集団を含む場合は、特別な配慮が必要である。従来、この問題の解決法として、Lepeltier (前出) や Sinclair (1976) による累積頻度分布曲線を用いた後背値とシキイ値の決定法が広く適用されている。しかし、実際の地化学データが示す集団は、それぞれの地化学的特性を異にする幾種類もの集団の集合であることが一般的である。そのため、累積頻度分布曲線上の屈曲部や異なる複数の集団の境界部付近に現れる曲線部の中間点をもってシキイ値とすることには問題がある。この問題の解消には、大津ほか (1983) による累積頻度曲線に近似する関数 (スプライン) とその一次導関数を求めることから頻度曲線を求める方法が、より合理的と考えられるので、この方法により本調査での単変量のシキイ値の決定を行った。すなわち、スプライン関数を用いて累積頻度曲線を平滑化し、その微分から頻度分布曲線を描き、後背値集団に対応する主要ピークと異常値集団に対応する高含有量ピークを区別することより、シキイ値の決定を行った。それらを図 4-1 に示す。

Ag : 試料の 80% が検出限界以下であるため、図 4-1 には検出群の範囲だけ図示した。検出群の分布も、含有量が概して低いため、分析精度との関連から、やや階段状の累積頻度曲線として表現されている。本図から 1.2 ppm をシキイ値とし、後背値と異常値を区分した。異常値に入るものは全体の約 5.4% である。

Cu : この分布様式は、高含有量側で累積頻度曲線が負の偏倚 (Negative Skewness) を示す。しかし、136 ppm 付近を境にして、低含有量側と高含有量側では頻度分布様式が異なるので、この値をシキイ値とした。異常値に入るものは全体の 1.4% であり、本地域では銅鉱化作用が貧弱であるらしいことを示唆している。

Pb : この分布様式は、高含有量側で正の偏倚 (Positive Skewness) を示すが、147 ppm を境にして、高含有量側に異常値集団の反映と考えられる小ピークの分布が始まることから、この値をシキイ値とした。異常値に入るものは全体の約 4.2% である。

Zn : この分布様式も、高含有量側で正の偏倚を示すが、頻度曲線も 440 ppm を境にして、高含有量側と低含有量側に区分される。したがって、この値をシキイ値とした。異常値に入るものは全体の約 4.2% である。

4-1-5 相関係数

各指示元素間の相関係数を、対数ベースの値を用いて全岩と各地質单元ごとに求めた。白亜系については、白亜系全体と白亜系を石英安山岩類と頁岩 (砂岩) 層に区分したものを求めた。それらの結果を表 4-2 に示す。

各地質单元において、成分間に相関が認められる。白亜系では、全成分間に比較的高い相関が認められる。更に、白亜系を石英安山岩類と頁岩 (砂岩) 層に区分して相関を調べると、各指示元素間に石英安山岩類で、より高い相関を示す。これは、これらの指示元素を主要成分とする黒

表 4-4 異常帯の評価表(単元素型)

Elements	Anomalous Zones	Sample No.	Rock Code	Contents of Indicators (ppm)				P.C.A.I Scores			Type of Inferred Mineralization
				Ag	Cu	Pb	Zn	Z ₁	Z ₂	Z ₃	
Ag	San Francisco	1738	7	3.9 (229)	9.5 (2)	83.2 (5)	414.1 (8)	3.10	-2.28	-0.59	Ag-Zn
		1746	7	2.7 (159)	13.6 (2)	54.3 (3)	232.5 (3)	2.57	-1.88	-0.76	
	El Caracol	1821	0	1.4 (64)	46.2 (3)	62.3 (2)	147.0 (2)	2.59	-0.84	-0.70	Ag
		1822	0	1.3 (59)	37.3 (2)	58.1 (2)	131.0 (2)	2.37	-0.94	-0.65	
		1824	0	1.8 (82)	66.2 (4)	84.1 (3)	88.0 (1)	2.55	-0.69	-0.48	
	El Aguacate	1828	7	1.7 (100)	33.0 (5)	33.4 (2)	38.0 (1)	1.32	-1.05	-0.76	Ag-(Cu)
	Grandeza	1981	11	1.5 (21)	18.4 (1)	96.4 (2)	167.8 (1)	2.51	-1.46	-0.22	Ag
	La Amaltea	2014	11	5.8 (81)	5.0 (0)	13.0 (0)	127.0 (1)	1.42	-2.34	-1.55	Ag
	Los Alacranes	2138	11	2.8 (39)	6.5 (0)	23.7 (1)	33.4 (0)	0.61	-2.24	-0.69	Ag
	La Concha	2213	0	9.2 (418)	21.0 (1)	35.0 (1)	135.9 (2)	2.54	-2.04	-1.28	Ag
Cu	La Minita	2296	4	<0.1 (0)	162.1 (9)	40.0 (1)	67.8 (1)	0.94	1.89	-0.13	Cu
Pb	El Bramador	2247	11	1.1 (15)	18.7 (1)	271.1 (6)	324.7 (3)	3.29	-1.38	0.41	Pb-(Ag)
	La Minita	2302	4	0.4 (25)	48.1 (3)	175.0 (6)	204.2 (3)	-1.41	-0.12	-0.05	Pb-(Ag)
Zn	El Aguacate	1688	0	0.6 (27)	29.8 (2)	54.1 (2)	590.0 (7)	3.09	-0.85	-0.89	Zn-(Ag)
		1690	0	0.6 (27)	32.2 (2)	52.4 (2)	450.0 (5)	2.92	-0.79	-0.86	
		1692	0	0.1 (5)	23.0 (1)	25.1 (1)	458.9 (5)	2.01	-0.30	-0.96	
		1817	0	0.1 (5)	25.4 (2)	30.7 (1)	723.7 (8)	2.45	-0.26	-0.95	
	El Caracol	1823	0	0.9 (41)	32.0 (2)	53.6 (2)	745.0 (9)	3.40	-0.98	-1.05	Zn-(Ag)
	Grandeza	1965	0	<0.1 (0)	27.2 (2)	89.4 (3)	667.0 (8)	2.17	0.65	0.27	Zn
	La Amaltea	2017	12	0.9 (13)	29.9 (1)	113.8 (2)	637.0 (6)	3.55	-1.03	-0.45	Zn-(Ag)
	Desmoronado	2037	7	0.4 (24)	48.7 (8)	138.6 (8)	631.7 (13)	3.58	-0.41	-0.26	Zn-(Cu)-(Pb)
		2042	7	<0.1 (0)	21.8 (4)	54.7 (3)	497.4 (10)	1.69	0.54	0.05	
	El Encino-N	2092	0	0.7 (32)	18.5 (1)	71.4 (3)	476.6 (5)	2.91	-1.21	-0.55	Zn-(Ag)
El Portezuelo	2259	12	0.2 (3)	28.5 (1)	51.5 (1)	448.4 (4)	2.55	-0.45	-0.62	Zn	

Rock Code Numbers are shown in Table 4-1.

Figures in blankets = $\frac{\text{Contents in the specimen}}{\text{Geometric mean of the background rock}}$

鉍型鉍床が石英安山岩類と密接な成因的・位置的関連をもつことの反映と考えられる。

なお、相関係数の一覧表(表4-3)では、1%及び5%有意水準の検定も行った。また、指示元素間の相関関数の代表例として、図4-2に散布図を示した。

4-1-6 主成分分析

単変量解析では抽出できない指示元素間の相関関係を、多次元での分布特性から求め、調査地域での地化学異常の性格づけと評価をするために主成分分析を行った。その結果を表4-3に示す。これに示されるとおり、第1主成分(Z_1)の全主成分に対する寄与率は約60%と全体の半分以上を占める。また、第3成分までの合計が約92%であり、全成分のほとんどの変動が説明されることになる。

各指示元素と主成分との相関係数は因子負荷量としても表わされるが、第1主成分においては、Znの相関(0.87)が、他元素の相関(Ag 0.75, Cu 0.72, Pb 0.73)よりやや高い。第2主成分では、Cuの高い相関(0.62)とAgの逆相関(-0.54)で特徴づけられる。第3主成分は、Pbの高い相関(0.68)と他の低い逆相関で特徴づけられる。しかし、本調査の単変量解析で抽出された地化学探査異常では、第3主成分で特徴づけられるものはない。

表4-3 主成分分析結果表

P.C.	Eigen-values	C.R.	Eigenvectors				Factor Loading				Max. Score	Min. Score
			Ag	Cu	Pb	Zn	Ag	Cu	Pb	Zn		
Z_1	2.38	0.60	0.49	0.47	0.47	0.57	0.75	0.72	0.73	0.87	6.41	-4.33
Z_2	0.67	0.16	-0.66	0.75	-0.02	-0.04	-0.54	0.62	-0.02	-0.03	1.89	-5.23
Z_3	0.61	0.16	-0.34	-0.28	0.88	-0.21	-0.26	-0.22	0.68	-0.16	1.03	-6.39

Abbreviation

P.C. : Principal Component

C.R. : Contribution Ratio

4-1-7 河床堆積物による地化学探査異常の評価

調査地域の異常帯は、異常を示す指示元素の組合せにより、単元素示徴型と複元素示徴型に区分される。前者の場合には、各異常帯を構成する指示元素の含有量とその試料の支配的な地質単元の後背値との比(コントラスト)や主成分分析の第1~3主成分をもとにして比較・検討すると、さらにいくつかの異常帯が細分できる。また、後者の複元素示徴型は、Ag-Pb-Zn間の2元素によるものと、Ag-Cu-Pb-Zn間の3成分以上によるものに分けられる。以下に各異常帯についての解説と評価を行う。

(1) 単元素示徴型：Ag

単元素による異常帯の評価表を表4-4に示す。

この型の異常帯は、地質単位と密接な関連を有し、変成岩類(Jsch)、花崗閃緑岩などの貫入岩類(Gd, Gph)、白亜系の石英安山岩類(Kdc1-a, -b, Koh-a, -b, Kdc-sh) 中に見られる。変成岩中のものは、El Caracol (エル・カラコール) 地区、La Concha 地区に見られる。貫入岩類(Gd, Gph) 中のものは、San Francisco (サン・フランシスコ) 地区及びAguacate地区に見られ、石英安山岩類(Kdc1-a, -b など) 中のものは、Amalteate地区、Grandeza (グランデッサ) 地区などで見られる。これらの異常帯群が示す第1~3主成分得点($Z_1 \sim Z_3$)を相互に比較・検討するとき、各異常帯それぞれの持つ地化学的特性が明らかとなってくる。すなわち、San Francisco 地区の2箇所の異常帯が示す主成分得点の構造は互いによく似ており、いずれも、同種の鉍化作用を捕捉していると判断できる。同様の傾向がEl Caracol 地区の3箇所についてもいえる。

Ag 異常帯群中特異な主成分の得点構造をもつものとしてはLos Alacranes (ロス・アラクラネス) の異常帯がある。これは、 Z_1 が0付近の正の得点を示し、 $Z_2 \sim Z_3$ が低い~やや低い負の得点で特徴づけられるもので、このことから、本異常帯はAg以外の元素(Cu, Pb, Zn)の含有量が低いこと、すなわち、Ag 単味の鉍化作用を捕捉しているらしいことが読みとれる。

(2) 単元素示徴型：Cu

この型の異常帯は、La Minita地区にだけ認められる。異常帯を支配する地質はⅡ期安山岩類(Tad2)であるが、異常帯はLa Minita鉍床の西方に位置し、La Minita鉍床の鉍脈の延長方向と一致していることから、La Minita鉍床と一連のCu 鉍化作用による異常と判断される。本異常帯は主成分得点構造的には、やや高い Z_2 の値で特徴づけられ、Cu 単味の鉍化作用を示徴するものであろう。

(3) 単元素示徴型：Pb

この型の異常帯は、La Minita地区の一部及びBramador地区の一部にだけ認められる。La Minita地区のものは、若干のCu, Znの鉍化作用に伴うものと判断される。また、Bramador地区のものは、主成分得点構造的には黒鉍型鉍床周辺で見られる複元素示徴型に類似している。

(4) 単元素示徴型：Zn

この型の異常帯は、表4-4に示したように、数箇所で認められる。そのうち、変成岩類(Jsch)中では、El Aguacate地区、El Caracol地区、Grandeza地区、El Encino-N地区に見られる。また、白亜系の頁岩(砂岩)層(Ksh1)中では、La Amalteate地区及びCamacho地区に見られ、花崗閃緑岩(Gd)中では、Desmoronado地区に見られる。

変成岩類 (Jsch) 中に見られるものは、Ag のコントラストがやや高いものの、Cu、Pb のそれは低く、Ag-Zn 鉱化作用を示徴しているものと判断される。これらは主成分得点構造上にもよく表われている。また、花崗閃緑岩 (Gd) 中に見られる異常帯は、他に比較して、Cu、Pb のコントラストが大きく、Cu-Pb 鉱化作用をも伴う示徴と判断される。

(5) 複元素示徴型：Ag, Cu, Pb, Zn

複元素による異常帯の評価表を表 4-5 に示す。これらは、Ag, Pb, Zn の 3 元素の組合せによる複元素示徴型と Ag-Pb の組合せに Cu, あるいは Zn が加わるものに分けられる。

Ag-Pb による異常帯は、Grandeza 地区の一部、Tintilahua (ティンティラウア) 地区、El Bramador 地区、La Minita 地区に見られる。

これらの異常帯群の後背域の地質 (表 4-5) はいろいろであるが、互いの主成分得点構造はよく似ている。ただ、Tintilahua 地区と Grandeza 地区の 1 箇所で Z₃ が負の得点を示し、この両地点での Pb 異常が、それ程強いものでないことを示唆している。

黒鉱型鉱床の賦存地区の異常帯群が示す主成分得点構造と、他の場所のそれはよく似ており、この面からの区分はできなかつた。

Ag-Zn による異常帯は、El Aguacate 地区、El Caracol 地区、Mina Cuale 地区、El Corazon (エル・コラソン) 地区に見られる。いずれも、変成岩類 (Jsch) 及び花崗閃緑岩 (Gd) 中に見られるもので、Ag-Zn 鉱脈型鉱化作用に関連するものと考えられる。後背域の地質を考慮すると黒鉱型鉱化作用に由来するものは本異常帯群中にはないと考えられるが、主成分得点上は Mina Cuale (表 4-5) のそれが黒鉱型鉱床の賦存地区で示す主成分得点構造にやや似ている。

Pb-Zn による異常帯は、La Amaltea 地区にだけ認められ、後背域の地質、主成分得点構造からも黒鉱型鉱床と関連の深いものであろう。

3 元素以上の指示元素による異常帯には、Ag-Cu-Pb 型、Ag-Pb-Zn 型及び Ag-Cu-Pb-Zn 型がある。

Ag-Cu-Pb による異常帯は、Grandeza 地区、Mina Cuale 地区、La Amaltea 地区、El Portezuelo (エル・ポルテスエロ) 地区、El Banco (エル・バンコ) 地区に見られる。Grandeza 地区、Mina Cuale 地区及び La Amaltea 地区の異常帯は、後背域の地質などから判断して黒鉱型鉱化作用との関連が考えられるが、その他の地区のものは鉱脈型鉱化作用に由来する異常を示唆するものであろう。

ただし、Amaltea の異常帯の主成分得点構造は他のものに異なっている。これは試料中で Pb 含有量が相対的に高く、Cu 含有量が相対的に低いことからきている。

Ag-Pb-Zn による異常帯は、全異常帯中で最も多く存在し、Mina Cuale 地区、Grandeza 地区、El Bramador 地区、El Corazon 地区、La Trozada (ラ・トロサーダ) 地区に見られる。この異常帯は後背域の地質と関連があり、大部分は石英安山岩類と変

表 4-5 異常帯の評価表 (複元素型)

(1)

Elements	Anomalous Zones	Sample No.	Rock Code	Contents of Indicators (ppm)				P.C.A' Scores			Type of Inferred Mineralization
				Ag	Cu	Pb	Zn	Z ₁	Z ₂	Z ₃	
Ag-Pb	Grandeza	1846	8	7.7 (321)	115.4 (8)	677.0 (20)	62.0 (1)	3.74	-0.93	0.68	Kuroko
		1881	7	10.6 (624)	122.2 (20)	295.5 (17)	216.0 (4)	4.41	-1.06	-0.31	
	Tintilahua	2225	7	1.5 (88)	37.2 (6)	146.2 (8)	147.3 (3)	2.85	-1.02	-0.05	Ag-Cu-Pb vein
	El Bramador	2238	11	13.0 (181)	99.2 (5)	858.6 (19)	152.0 (1)	4.55	-1.27	0.55	Kuroko
		2351	11	3.7 (51)	58.1 (3)	435.1 (9)	144.0 (1)	3.69	-1.11	0.45	
	La Minita	2298	6	1.6 (1)	31.2 (1)	309.8 (1)	293.7 (1)	3.57	-1.20	0.34	Ag-(Cu)-Pb vein
2299		4	1.3 (81)	33.6 (2)	379.3 (12)	303.9 (4)	3.65	-1.08	0.50		
Ag-Zn	El Aguacate	1815	7	1.4 (82)	23.2 (4)	39.4 (2)	823.0 (16)	3.35	-1.35	-1.31	Ag-Zn vein
		1816	0	5.0 (227)	48.0 (3)	101.6 (4)	560.0 (6)	4.09	-1.38	-0.95	
		1819	0	1.5 (68)	44.3 (3)	44.9 (2)	941.0 (11)	3.77	-0.98	-1.41	
		1829	7	3.9 (229)	74.2 (12)	84.9 (5)	948.0 (19)	4.49	-1.04	-1.27	
	El Caracol	1827	0	2.1 (95)	73.8 (5)	86.0 (3)	669.0 (8)	4.07	-0.79	-1.04	Ag-Zn vein
	Mina Cuale	1856	7	1.4 (82)	39.6 (6)	163.0 (9)	578.4 (11)	3.86	-1.02	-0.33	Ag-Zn vein
	El Corazon	1959	0	10.0 (455)	75.4 (5)	118.0 (4)	498.0 (6)	4.44	-1.37	-1.06	Ag-Zn vein
Pb-Zn	La Amaltea	2013	11	0.5 (7)	48.0 (2)	401.1 (9)	534.6 (5)	3.93	-0.52	0.50	Kuroko
		2015	11	0.5 (7)	34.3 (2)	169.4 (4)	795.1 (7)	3.75	-0.73	-0.14	
Ag-Cu-Pb	Grandeza	1848	11	42.1 (585)	472.7 (23)	607.0 (13)	201.0 (2)	5.56	-0.76	-0.36	Kuroko
	Mina Cuale	1854	7	71.8 (4224)	861.0 (141)	671.0 (37)	212.0 (4)	6.02	-0.60	-0.55	Ag-Cu-Pb vein
	La Amaltea	2003	7	3.4 (200)	329.9 (54)	696.6 (39)	213.0 (4)	4.79	-0.02	0.31	Kuroko
	El Portezueio	2256	12	22.4 (311)	159.5 (8)	274.0 (6)	77.0 (1)	3.98	-1.13	-0.31	Ag-Cu-Pb vein
	El Banco	2364	4	23.8 (1488)	244.6 (14)	535.3 (17)	69.0 (1)	4.34	-0.90	0.09	Ag-Cu-Pb vein
Ag-Pb-Zn	Mina Cuale	1845	11	1.9 (26)	26.7 (1)	191.3 (4)	583.6 (5)	3.86	-1.39	-0.18	Kuroko
		1847	11	7.0 (97)	54.1 (3)	425.6 (9)	976.0 (9)	5.18	-1.49	-0.16	

Rock Code Numbers are shown in Table 4-1.

Figures in blankets = $\frac{\text{Contents in the specimen}}{\text{Geometric mean of the background rock}}$

Elements	Anomalous Zones	Sample No.	Rock Code	Contents of Indicators (ppm)				P.C.A' Scores			Type of Inferred Mineralization
				Ag	Cu	Pb	Zn	Z ₁	Z ₂	Z ₃	
Ag-Pb-Zn	Grandeza	1878	11	2.0	91.8	251.3	571.0	4.44	-0.64	-0.27	Kuroko
				(28)	(4)	(5)	(5)				
		1879	7	2.6	120.6	291.0	704.0	4.83	-0.59	-0.34	
				(153)	(20)	(16)	(14)				
		1880	11	21.8	109.1	476.4	740.1	5.62	-1.48	-0.40	
				(303)	(5)	(10)	(7)				
	1885	11	18.3	52.4	453.8	756.4	5.28	-1.87	-0.24		
			(254)	(3)	(10)	(7)					
	1977	0	25.3	124.4	490.9	677.0	5.67	-1.45	-0.41		
			(1150)	(8)	(18)	(8)					
	1978	11	1.6	58.5	228.3	543.4	4.13	-0.83	-0.19		
			(22)	(3)	(5)	(5)					
	El Corazon	1953	8	4.0	70.2	301.8	894.0	4.92	-1.10	-0.34	Ag-Pb-Zn vein
				(167)	(5)	(9)	(11)				
	1958	0	3.7	62.5	288.6	761.4	4.70	-1.14	-0.34		
			(168)	(4)	(10)	(9)					
	La Trozada	2220	0	3.2	43.8	211.6	825.5	4.48	-1.30	-0.42	Ag-Pb-Zn vein
				(145)	(3)	(8)	(9)				
2221	0	2.1	39.6	193.3	557.0	4.01	-1.18	-0.27			
		(95)	(2)	(7)	(6)						
El Bramador	2223	11	4.3	49.9	260.7	979.2	4.82	-1.35	-0.40	Kuroko	
			(60)	(4)	(6)	(9)					
	2239	11	12.2	66.4	461.8	626.9	5.14	-1.56	-0.15		
			(169)	(3)	(10)	(6)					
	2240	11	6.9	114.2	419.2	819.6	5.33	-1.01	-0.30		
			(96)	(5)	(9)	(7)					
2244	11	1.9	80.1	256.4	660.0	4.49	-0.72	-0.26			
		(26)	(4)	(6)	(6)						
2245	11	4.8	63.9	936.0	760.4	5.26	-1.25	0.50			
		(67)	(3)	(20)	(7)						
2246	11	3.1	29.7	576.3	960.2	4.82	-1.56	0.36			
		(43)	(1)	(12)	(9)						
Ag-Cu-Pb-Zn	Mina Cuale	1844	11	17.5	265.1	290.0	655.0	5.63	-0.83	-0.88	Kuroko
				(243)	(13)	(6)	(6)				
	1855	7	32.3	696.2	754.0	622.0	6.51	-0.48	-0.53		
			(1900)	(114)	(42)	(12)					
	Grandeza	1876	11	25.6	179.2	647.2	558.1	5.78	-1.23	-0.25	Kuroko
				(356)	(9)	(14)	(5)				
	1877	7	2.4	278.2	475.2	848.0	5.45	-0.06	-0.21		
			(141)	(46)	(27)	(17)					
	La Amaltea	2005	11	86.2	516.8	210.0	865.0	6.41	-1.03	-1.66	Kuroko
				(1197)	(25)	(5)	(8)				
2011	11	30.0	169.1	859.3	924.0	6.27	-1.35	-0.20			
		(417)	(8)	(19)	(8)						
El Encino-S	2202	0	53.8	419.2	747.8	523.0	6.33	-0.98	-0.48	Ag-Cu-Pb-Zn vein	
				(2445)	(26)	(27)	(6)				

成岩類中である。このうち、Mina Cuale地区、El Bramador地区、及び大部分のGrandeza地区の異常帯は、白亜系の石英安山岩中のもので、黒鉍型鉍化作用に関連するものであろう。El Corazon地区及びLa Trozada地区のものは、変成岩類中に認められ、鉍脈型鉍化作用に関連するものと考えられる。

Ag-Cu-Pb-Znによる異常帯は、Mina Cuale地区、Grandeza地区、La Amaltea地区、El Encino-S地区に見られる。このうち、El Encino-S地区の異常帯は変成岩類(Jsch)中にあり、鉍脈型鉍化作用に関連するものと考えられる。その他の地区のものは、既知の黒鉍型鉍床との位置的關係及び後背域の地質から判断して黒鉍型鉍化作用に関連する異常と考えられる。主成分得点構造上は、黒鉍型の鉍化作用起源と考えられる異常帯がもつそれと、鉍脈型鉍化作用の得点構造には明確な差異は認められない。

以上、述べたように複元素で示徴される異常帯は黒鉍型鉍床の賦存地区で見出されることが多く、黒鉍型鉍床の探鉍上、重要と考えられる。これは、本地域の黒鉍型鉍床の大部分が潜頭鉍床であるところから直接的な地化学探査異常ではなく、多分、黒鉍型鉍化作用に引続く後鉍化作用とでもいべきものの結果を地化学探査異常として捕捉している可能性が考えられる。

4-2 全岩分析による地化学探査

岩石化学的立場から、黒鉍型鉍床と成因的に関連する火山岩と非関連のものを分類しようとする試みがある(例えば、Sopuck et al., 1980; Dudas, 1983; Hashimoto, 1983)。しかし、現段階では岩石の主要成分、微量成分を問わず、黒鉍型鉍床の探鉍に汎用可能な手法が確立されているわけでない。黒鉍型鉍床の賦存地域それぞれで特有の岩石化学的特性を利用した手法を開発する必要があると考える。

本調査では、この地域の既知の黒鉍型鉍床の周辺に分布する下盤石英安山岩(Kdc1)、上盤石英安山岩(Kdc2)及び石英安山岩貫入岩を対象としてこの問題について検討を行った。採取した34個の全岩分析結果(13成分)を用いて、(1)成分間の相関係数、(2)アルカリ変質強度、(3)主成分分析、(4)クラスター分析を行った。

調査地域の白亜系の火山岩類が属する火山岩系列の推定についても若干の検討を行った。後2者の分析のためには本年度の試料の採取数が34個と僅少にすぎるので、第1年次の試料(102個)と合せて処理を行い、結果の解説は本年度分の34個について主として行った。

調査対象になった試料の多くは、熱水変質を被ったものであるが、その中でも最も新鮮と考えられる下盤石英安山岩(Kdc1-b, D-61)及び石英安山岩貫入岩(Dc-MC-3)について、それらが属す火山岩系列の推定を $MgO - FeO^* - (Na_2O + K_2O)$ 、 $SiO_2 - (FeO^* / MgO)$ 及び FeO^*

FeO^* : 全FeをFeOに換算

— (FeO*/MgO) ダイアグラムを用いて行った。

その結果、これらは、いずれもカルク・アルカリ岩系領域内にプロットされる。このことは、黒鉍型鉍床がカルクアルカリ岩系と成因的に関連しているとする考え方（例えば Hutchinson, 前出 Lambert & Sato, 1974）を支持するものである。

4-2-1 相関係数

本年度の調査地域から採取した34個の岩石試料について、全岩分析（13成分）を行った。この結果を用いて、黒鉍型鉍化作用とこれらの岩石試料との関連について検討した。13成分についての相関係数を表4-6に示す。これによれば、次の組合せで正の相関が認められる。

P ₂ O ₅	—	CaO	(0.70)
MgO	—	FeO	(0.56)
MgO	—	LOI	(0.53)
MnO	—	TiO ₂	(0.50)
P ₂ O ₅	—	Al ₂ O ₃	(0.45)
CaO	—	Na ₂ O	(0.45)
BaO	—	K ₂ O	(0.44)

また、負の相関が認められるものは次のとおりである。

SiO ₂	—	Al ₂ O ₃	(-0.70)
SiO ₂	—	P ₂ O ₅	(-0.66)
Na ₂ O	—	LOI	(-0.52)
Fe ₂ O ₃	—	Al ₂ O ₃	(-0.51)
SiO ₂	—	LOI	(-0.45)

分析の対象になった岩石は、一般に熱水変質を受けたものなので、この面から若干の考察を行いたい。

熱水変質を受けたときに溶脱傾向の強いCaOとNa₂Oが、また、富化の傾向の強いBaOとK₂O（特に黒鉍型変質作用の場合）に相関が認められる。岩石化学的に類似の挙動が見込まれるMgOとFeOにも相関が成立している。

負の相関はSiO₂に対するAl₂O₃、P₂O₅、LOIなどで認められ、これは珪化作用時に上記成分が溶脱される傾向にあることを物語っている。

4-2-2 アルカリ変質強度

アルカリ変質強度[※]はアルカリ及びアルカリ土類元素の熱水変質作用に対する易動性に注目して、変質程度の定量的表現のために考案されたものであり、石川ほか（1980）により、日本の新生代の黒鉍鉍床である餌釣鉍床の発見に大きく貢献した。

$$\begin{aligned} & \text{(Alkali Attenuation Index)} \\ \text{※ アルカリ変質強度} & = ((\text{MgO} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})) \times 100 \end{aligned}$$

本調査では、試料数が採取した面積に対し、34個と少なく、変質強度による図を作成することは適当でないと考え、割愛した。

各試料の計算結果によれば、Cuale 鉱山では Chivos de Abajo 鉱床や Naricero 鉱床近傍及びその他の既知鉱床周辺で強変質帯（アルカリ変質強度が90以上）を示した（WCUH-12 CC-11, DA-73）。

しかし、El Bramador 鉱床群では、鉱床下盤側で強変質帯を形成しているが、San Pedro 坑付近のもの（D-68）はアルカリ変質強度が50以下を示し、変質程度は低いと判断される。このほかに付近に試料がないため、このアルカリ変質強度が本地区を代表するものかどうかは不明であるが、地表変質調査結果では、本試料はⅢ帯（石英—緑泥石—（絹雲母）帯）中に含まれることから、局所的な変質現象を捕えている可能性が強い。

アルカリ変質強度は強変質帯の捕捉には極めて敏感であり、そのため、広域探査よりは精査に適用されて、よりその有効性を発揮すると考えられる（例えば、橋口ほか、1981）。

4-2-3 主成分分析

分析値を標準化した後、主成分分析を行った。その結果を表4-7に示す。この表によれば、最大の固有値は3.67で、これは第1因子負荷量の2乗和であり、これによって、全体の約28%が説明可能である。更に第2、第3因子について計算するとそれぞれ17%、14%となり、第4固有値では11%となる。したがって、第4固有値までで本分析に供された原データの70%が説明できる。本分析で最も重要と思われる因子負荷量（各因子と変量との相関係数）に注目し、各因子負荷量の特徴について検討を行った。

Z₁ は SiO₂ と他の成分との著しい逆相関で特徴づけられる。これは、SiO₂ の増加につれて他の成分の相対的減少傾向のあることを示している。SiO₂ の増加に第1義的に関連する現象としては珪化作用が考えられるが、Z₁ の示す意味は、SiO₂ の添加するタイプの珪化作用が本地区では支配的であることを示している。野外での観察からもこのタイプの珪化作用が普遍的のようである。

Z₂ については、SiO₂、Al₂O₃、Na₂O、K₂O、BaOなどの主として酸性成分と、FeO、MgOなどの塩基性成分の逆相関関係で特徴づけられる。したがって、Z₂ は岩石本来の地化学特性を代表する因子負荷量ということが出来る。

Z₃ については、黒鉄型変質作用によって最も敏感に反応し、しかも、相互補間的挙動をとるK₂OとNa₂O及びCaOが逆相関で示されており、熱水変質作用による成分移動の特性を一部表わすものかもしれない。本Z₃中最も高い因子負荷量を示すFe₂O₃は酸化・還元環境の指標となるものであるが、具体的な他の負荷量との岩石化学的意味づけを見出すことは難かしい。

Z₄ については、Z₃よりも更によく、黒鉄型変質作用で易動性の高いアルカリ及びアルカリ土類元素の態様が反映されているようにみられる。すなわち、Na₂O、CaO（減少成分）と

表 4-6 相関係数マトリックス (13成分)

N=34

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	BaO
SiO ₂	1.00												
TiO ₂	-0.33	1.00											
Al ₂ O ₃	** -0.70	0.22	1.00										
Fe ₂ O ₃	-0.08	-0.12	** -0.51	1.00									
FeO	-0.33	0.06	0.02	-0.06	1.00								
MnO	-0.31	**0.50	0.28	-0.05	0.18	1.00							
MgO	* -0.35	-0.10	0.24	-0.15	**0.56	-0.01	1.00						
CaO	* -0.39	0.31	* 0.35	-0.19	0.14	0.20	0.06	1.00					
Na ₂ O	-0.15	0.23	* 0.42	* -0.43	-0.15	0.20	-0.15	**0.45	1.00				
K ₂ O	-0.30	0.34	** 0.45	* -0.35	-0.16	0.15	-0.28	-0.04	0.17	1.00			
P ₂ O ₅	** -0.66	**0.47	* 0.39	-0.00	0.26	*0.39	0.01	**0.70	0.15	0.23	1.00		
LOI	** -0.45	-0.12	0.12	* 0.39	*0.38	-0.08	**0.53	0.00	** -0.52	* -0.42	0.22	1.00	
BaO	0.02	0.19	0.23	-0.34	-0.29	0.08	-0.16	0.20	0.19	** 0.44	0.08	* -0.39	1.00

* : Significance at the 5% level = 0.34

** : Significance at the 1% level = 0.44

表 4 - 7 主成分分析結果表

N=136

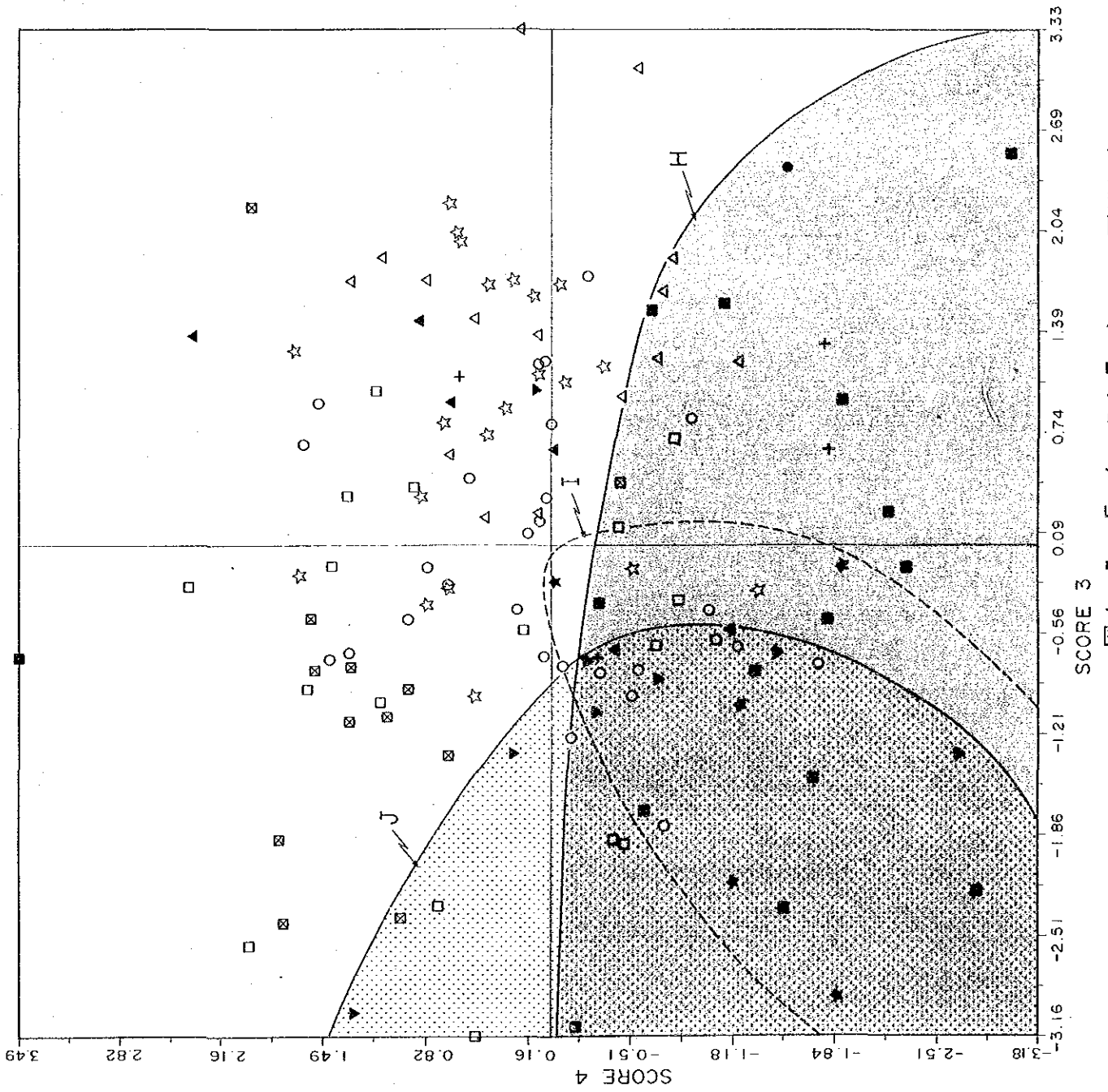
P.C	E.V.	C.R	Factor Loading													Max. Score	Min. Score
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	BaO		
Z1	3.67	0.28	-0.66	0.61	0.71	0.02	0.47	0.48	0.63	0.66	0.40	0.55	0.33	0.37	4.41	-8.75	
Z2	2.15	0.45	-0.05	0.14	-0.40	0.34	0.55	0.51	0.08	-0.41	-0.68	0.29	0.45	-0.59	5.38	-2.57	
Z3	1.86	0.59	0.41	-0.42	-0.10	-0.65	0.40	0.38	0.50	0.37	-0.27	-0.47	-0.24	0.00	3.34	-3.16	
Z4	1.40	0.70	0.42	0.38	-0.42	0.21	-0.23	-0.43	0.40	0.15	-0.23	0.28	-0.26	0.11	3.49	-3.18	
Z5	1.12	0.79	0.14	-0.34	-0.07	0.32	-0.10	0.04	0.06	-0.20	0.11	-0.34	0.57	0.45	2.49	-3.44	
Z6	0.81	0.85	0.21	0.13	-0.25	-0.20	0.35	0.17	-0.25	-0.33	0.32	0.25	-0.16	0.37	2.32	-3.90	

P.C : Principal components

E.V : Eigenvalue

C.R : Contribution ratio

LOI : Loss on ignition



Legend

- A: ○ Hanging Wall Dacite (La America- Descubridora) (Kdc2)
- B: ☆ Hanging Wall Dacite (El Rubi) (Kdc2)
- C: □ I-Stage Dacite (Tdc1)
- D: ⊠ II-Stage Dacite (Tac3) and Dacite intercalated in IV-Stage Andesite (Tac4)
- E: △ Ore Horizon Pyroclastics (Koh)
- F: ▲ Footwall Dacite (Kdc1)
- G: ● Hanging Wall Dacites (San Juan-Cuale-Desmaronado) (Kdc-sh)
- H: ■ Footwall Dacite (San Juan-Cuale-Desmaronado) (Kdc-l-b)
- I: ★ Hanging Wall Dacites (La Concha-El Bramador) (Kdc-sh)
- J: ▼ Footwall Dacite (La Concha-El Bramador) (Kdc-l-b)
- K: + Dacite Intrusive (Dc)

図 4-3 Factor 3 と Factor 4 の因子得点関係図

K₂O, MgO (増加成分)の逆相関関係が明瞭である。したがって、黒鉛型変質作用に対して、最も易動性の高いアルカリとアルカリ土類元素の寄与が大きいとみられる第3, 第4因子得点による二次元空間での各試料間の分布の状態をみた(図4-3)。特に、試料の採取場所と地質区分の違いによる相互の分布関係に注目した。

地質区分と採取場所は以下のとおりである。

- | | |
|--------------|--|
| A: 上盤石英安山岩 | (Kdc 2, La America-Descubridora 地区) |
| B: " | (Kdc 2, El Rubí 地区) |
| C: I期石英安山岩 | (Tdc 1) |
| D: III期石英安山岩 | (Tdc 3) ほか |
| E: 鉛床層準火砕岩 | (Koh) |
| F: 下盤石英安山岩 | (Kdc 1, La America-Descubridora 地区) |
| G: 上盤石英安山岩類 | (Kdc-sh, San Juan-Cuale-Desmoronado 地区) |
| H: 下盤石英安山岩 | (Kdc 1-b, San Juan-Cuale-Desmoronado 地区) |
| I: 上盤石英安山岩 | (Kdc-sh, La Concha-El Bramador 地区) |
| J: 下盤石英安山岩 | (Kdc 1-b, La Concha-El Bramador 地区) |
| K: 石英安山岩貫入岩 | (Dc, 各所) |

この図によれば、本年度の調査地域の San Juan-Cuale-Desmoronado地区の下盤石英安山岩(Hグループ)は第3象限と第4象限に大部分が分布し、第4因子得点では負の得点で特徴づけられるものが、ほとんどであることを示している。

La Concha-El Bramador 地区の下盤石英安山岩(Jグループ)は第2象限と第3象限に分布し、第3因子得点では負の得点をもつものが大部分であり、第3象限でHグループと重複部をもち、この点ではお互いに類似の地化学的特性をもっている。

一方、La Concha-El Bramador地区の上盤石英安山岩類(Iグループ)は上記両グループの中間に分布する傾向がうかがえる。

H及びIグループとも分布範囲が大きく、上記の因子得点上の特徴以外のものは指摘できない。これは同一岩体でも変質程度に差がある場合は、因子得点上は異った岩石グループとして表現されるためであろう。

Cuale地区の上盤石英安山岩類(Gグループ)も石英安山岩貫入岩(Kグループ)も試料数が少なく、かつ、存在し全体像の把握は難かしい。

4-2-4 クラスタ分析

黒鉛型鉛床に成因的に関連する岩石群と非関連のものとの区分あるいはそれらのもの同志で、更に細分が可能かどうかを調査する目的で、主成分分析の結果を用いてクラスタ分析を行った。クラスタ分析とは、本調査に於ては、相互に類似の岩石化学的特性をもつものを各群に分

類する方法である。本調査で採用した分類の基準は、第1～第6主成分スコアを用いて、それぞれの成分を軸とする6次元の空間での原点からのユークリッド距離の近接の程度である。

クラスター分析の結果は図4-4に樹形図で示した。

これによれば、各試料とクラスターの関係が読みとれる。試料番号の前の英文字は、その試料が由来した地質区分(前項参照)である。

136試料を12クラスターに分類したものに對し、地質区分と採取位置により10区分(A～J)された試料が、各クラスターにどのように配分されるかをみた。その結果、いくつかのクラスターで特徴が見出された。重要と考えられるクラスターの各論は次のとおりである。

クラスター3:本クラスターには23個の試料が包括されており、その構成試料の主なものは、Cuale-Desmoronado 地区の下盤石英安山岩の試料(Kdc-b)が16個中5個が含まれる。したがって、黒鉍型鉍床と関連が高く、黒鉍型熱水変質作用を強く受けていることが期待できる。そこで、主要クラスター間の平均的組成の比較を行ってみた(表4-8, 図4-5)。これによれば、本クラスターは全岩の平均組成と比較して、相対的に

(1) SiO_2 , TiO_2 , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 に乏しく

(2) Al_2O_3 , FeO , MgO , LOI , BaO に富む

という特徴をもっている。岩石が黒鉍型熱水変質作用を強く受けたときに期待される MgO , K_2O の増加、 CaO , Na_2O の減少については MgO と Na_2O の挙動のみがこの傾向を満足させている。 Na_2O の減少の程度は僅少であり、むしろ、黒鉍型変質の程度は弱いグループと考えられる。本クラスターに包括される試料は既知の黒鉍型鉍床の周辺部から採取したものが多く、この型の鉍床の周辺に分布する下盤石英安山岩の地化学的 特性の一端を示しているのかもしれない。その他 La Concha-El Bramador 地区の上盤石英安山岩(Kdc-sh)1個がこのクラスターに含まれ、第1年次の調査地域からの試料で本クラスターに帰属するものは鉍床層準の火砕岩(Koh)6個、La America-Descubridora地区の上盤石英安山岩(Kdc2)8個である。

クラスター4:本クラスターには37試料が含まれる。このクラスターの特徴は黒鉍型鉍床と直接の成因関係のない石英安山岩貫入岩(Dc)がすべてこれに含まれることである。また、Cuale地区とLa Concha-El Bramador地区の下盤石英安山岩(Kbc1-b)各2個も含まれる。一方、第1年次の調査地域のEl Rubi 鉍床の上盤石英安山岩(Kdc2)からの試料11個と第三系の1期石英安山岩(Tdc1)5個が含まれ、他のクラスターに比べ黒鉍型鉍床と非関連の岩石を多く含んでいることを特徴としている。本クラスターの化学成分上の特徴は下記のとおりである。

(1) TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , P_2O_5 , LOI に乏しく

(2) SiO_2 , Na_2O , K_2O に富む

SiO_2 に富むことは、本クラスターに包括される試料は珩化を受けていることが予想される反面、黒鉍型熱水変質作用に最も敏感に反応する Na_2O の減少が認められない。したがって、本クラ

スターの特徴としては、珪化作用を被っているが、一般の黒鉍型の熱水変質とはタイプを別にした変質作用を受けたか、あるいは弱い変質しか受けていない集団と結論づけられる。

本クラスターに含まれる試料はアルカリ変質強度が低いものが多い。

クラスター5：本クラスターには15試料が帰属する。Cuale地区の下盤石英安山岩(Kdc 1-b) 2個及びLa Concha~El Bramador地区の上盤石英安山岩(Kdc 2-b) 1個が本クラスターに含まれる。また、第1年次の調査地域のLa America-Descubridora地区の上盤石英安山岩(Kdc 2) 6個と第三系のI期石英安山岩(Tdc 1) 5個も含まれる。

本クラスターの成分上の特徴は

- (1) TiO_2 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O に乏しく
- (2) SiO_2 , K_2O , BaO に富む

主要7クラスターのうち、本クラスターが、黒鉍型熱水変質がもたらす成分の移動様式に最も近い。特に Na_2O の相対的減少、 K_2O の相対的増加が明瞭に表われている。また、黒鉍型鉍床の主要脈石鉍物である重晶石の主成分の BaO にも相対的増加の傾向が認められる。しかし、 MgO については相対的富化傾向は不十分であり、そのことが、本クラスターを単純に黒鉍型変質作用を受けたクラスターと結論づけ得ない所以である。

クラスター6：本クラスターに分類される試料4個はすべて本調査地域からのもので、Cuale地区下盤石英安山岩(Kdc 1-b) 2個、La Concha~El Bramador地区上盤及び下盤石英安山岩(Kdc 1-b, Kdc 2-b) 各1個からなる。

本クラスターの成分上の特徴は下記のとおりである。

- (1) SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MgO , MnO , CaO , Na_2O , K_2O , BaO に乏しく
- (2) Fe_2O_3 , LOI に富む

本クラスターにおいては Fe_2O_3 の極端な増加と Na_2O , CaO , 及び BaO の減少で特徴づけられる。成分の増減の様式は黒鉍型変質作用とは共通性も認められるが、増加成分の反応が不十分で、黒鉍型変質作用とは異なっている。

クラスター8：本クラスターには17個の試料が含まれる。本調査地域からは、La Concha~El Bramador地区の下盤石英安山岩(Kdc 1-b) 3個、上盤石英安山岩類(Kdc-sh) 1個及びDesmoronado地区の下盤石英安山岩(Kdc 1-b) 1個が本クラスターに属している。これらの試料は既知黒鉍型鉍床の近傍のものではなく、黒鉍型変質作用を軽微に受けたもののようである。本クラスターの成分上の特徴は下記のとおりである。

- (1) SiO_2 , BaO に乏しく
- (2) TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , Na_2O , P_2O_5 に富む

これでも明瞭のように黒鉍型変質作用を被った岩石の成分の変化様式と大きく異っており、黒鉍型鉍床の形成時の変質作用が及ばなかった場所の試料群が支配的なクラスターと位置づけることができる。

本クラスターに含まれる第1年度の調査地域からの試料はLa America-Descubridora 地区の上盤石英安山岩(Kdc2)4個及び第三系のI期石英安山岩(Tdc1)などである。

以上のほか、図4-4に示されるように、主要クラスターとしては、クラスター9、10がある。これらのクラスターには本年度の調査地域からの試料は含まれない。前者の成分上の特徴としては、SiO₂に乏しく、FeO、MnO、MgO、CaOに富む傾向が明瞭であり、岩石本来の地化学特性を保存している試料群からなるクラスターと考える。

主にLa America-Descubridora地区の上盤石英安山岩(Kdc2)と鉱床層準の火砕岩(Koh)から本クラスターは構成されている。後者については、特筆できる成分上の特徴も見当らず、概して成分移動の少なかった試料群を包括するクラスターであり、黒鉄型変質作用を蒙った形跡は殆んど認められない。含まれる試料も殆んどが第三系のIII期石英安山岩(Kdc3)であることから、黒鉄型鉄床とは非関連の試料群からなるクラスターと結論づけることができる。

クラスター分析を用いて分析対象となった試料の分類につとめ、黒鉄型鉄床との関連について解説を行った。その結果、岩石が本来的に持っている地化学的特性を越えて、後に被った変質作用の影響が試料の各クラスターへの配分に大きく作用していることが判明した。

しかし、クラスター分析を行うことにより、試料(岩石)が被った変質作用のタイプを識別できる可能性があり、したがって、この面から、試料と黒鉄型鉄床との関連性の程度について検討した。その結果、クラスター5が岩石が黒鉄型熱水変質作用を受けたときに期待される成分構成となっており、黒鉄型鉄床と関連の強い試料群と結論づけられる。

表4-8 主要クラスターの平均組成

Composition	Cluster							Average of all rock ●
	3 ○	4 ◇	5 △	6 □	8 ◎	9 ☆	10 +	
SiO ₂	76.60	79.49	78.25	76.80	72.41	72.24	75.64	77.67
TiO ₂	0.10	0.10	0.11	0.08	0.33	0.20	0.20	0.15
Al ₂ O ₃	11.16	10.26	10.81	9.17	13.22	9.49	12.22	10.41
Fe ₂ O ₃	1.17	0.66	1.01	5.99	1.65	0.99	1.67	1.32
FeO	0.93	0.53	0.30	0.19	0.98	1.67	0.19	0.73
MnO	0.02	0.01	0.01	Tr	0.02	0.07	0.03	0.02
MgO	1.30	0.29	0.24	0.28	0.74	1.59	0.07	0.65
CaO	0.11	0.16	0.02	0.01	0.23	1.75	0.12	0.30
Na ₂ O	1.58	2.53	0.43	0.05	3.10	2.31	2.48	2.05
K ₂ O	3.21	4.09	6.26	1.21	3.70	1.51	5.15	3.64
P ₂ O ₅	0.01	0.02	0.02	0.02	0.09	0.04	0.02	0.03
LOI	2.56	0.90	1.70	2.41	2.05	2.76	1.76	1.78
BaO	0.15	0.12	0.14	0.02	0.08	0.18	0.14	0.12

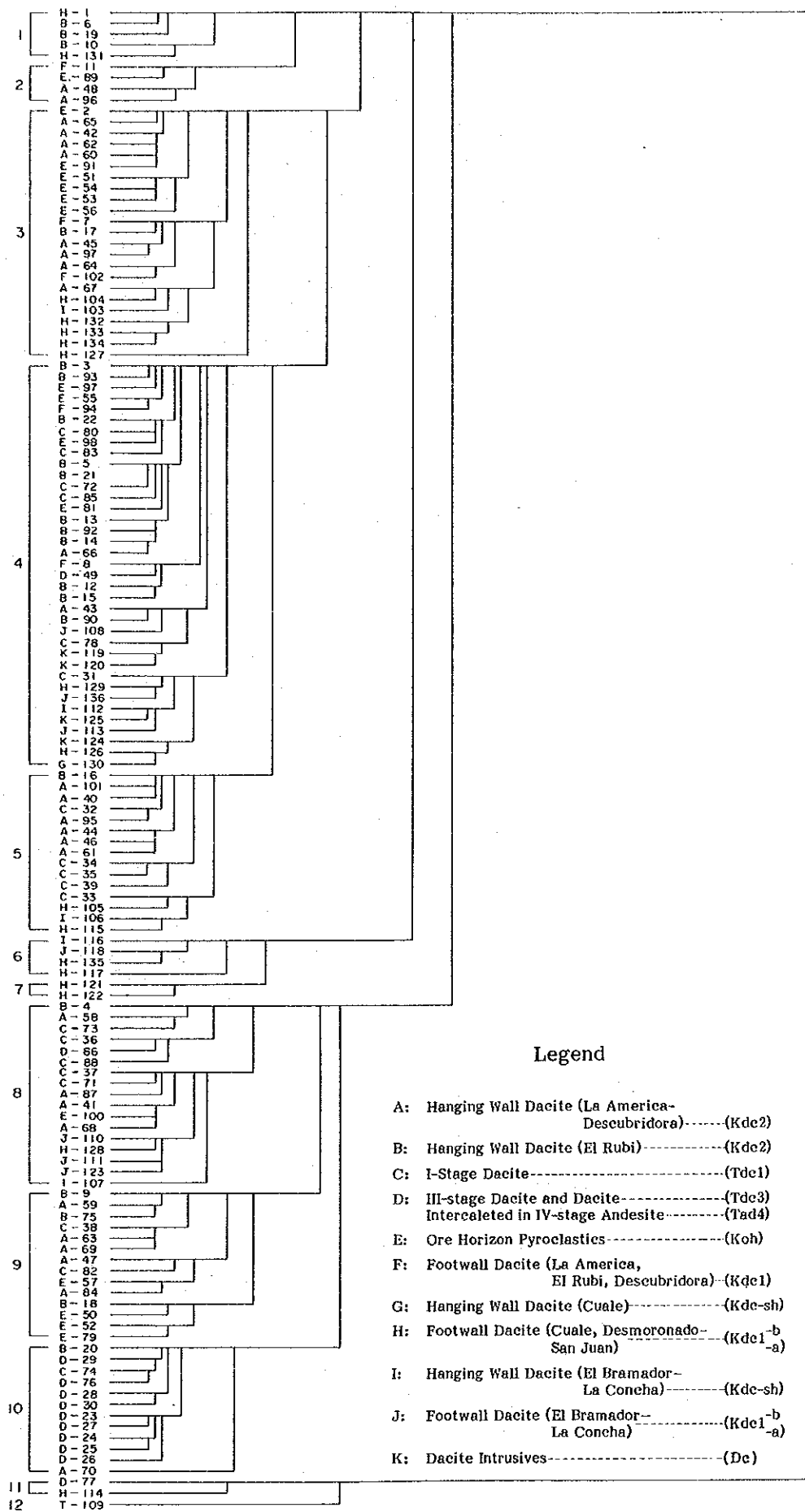
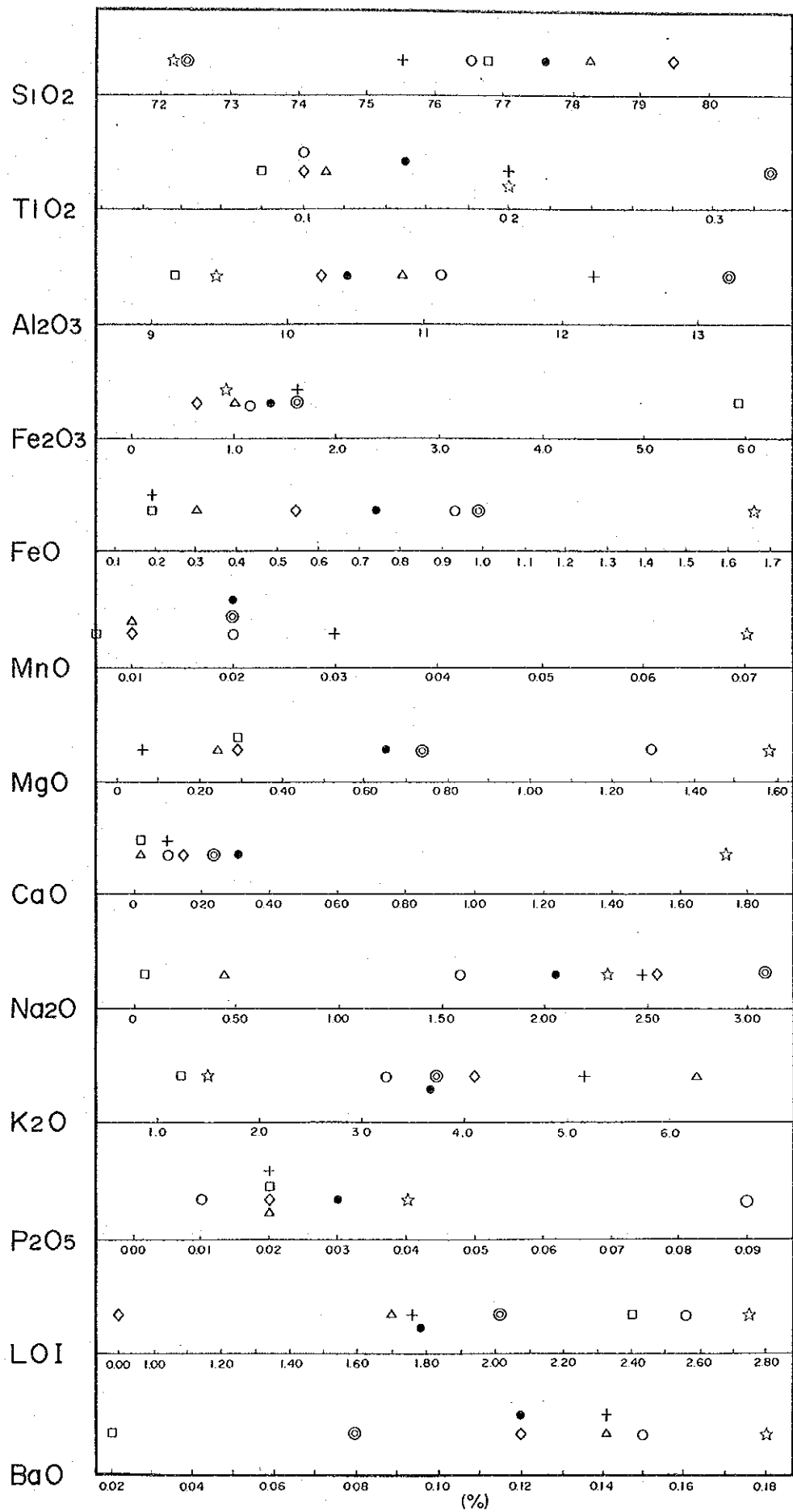


図 4 - 4 クラスター樹形図



Legend

Cluster

- : 3
- ◇ : 4
- △ : 5
- : 6
- ◎ : 8
- ☆ : 9
- + : 10

● : Averaged chemical composition of 136 samples

図 4-5 主要クラスターの化学組成の比較

第 5 章 物 理 探 查

第 5 章 物 理 探 査

5-1 調査方法

5-1-1 測定方法

CSAMT法は、可聴周波数領域の電流を大地に流し、2箇所の電流電極を結んだ方向と平行な電界Eとそれに直交する磁界Hを測定し、地下の比抵抗分布を求める方法である。

CSAMT法の測定方法概略図を、図5-1を示す。

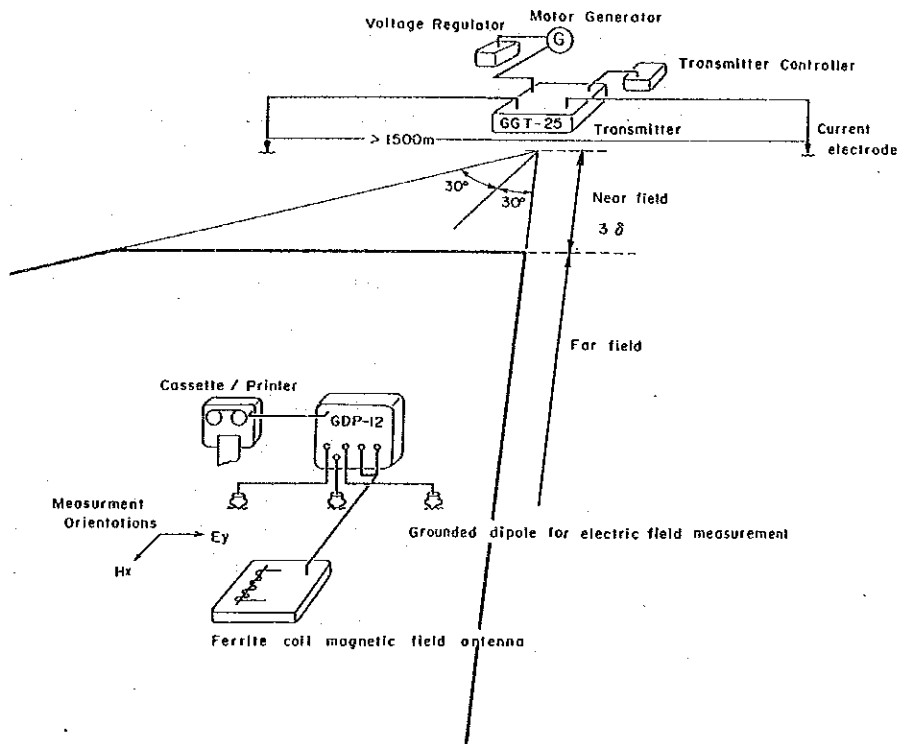


図 5-1 CSAMT法の概略図

送信部と受信部の距離は、受信部において平面電磁波の仮定が近似的に成立すると考えられる skin depth(表皮深度)の3倍(3δ:普通4~8 Km)以上にすることが必要である。これより送信部に近い領域は near field 呼ばれ、この領域では平面電磁波の仮定が崩れ、データの解析が困難となる。skin depthは均質な大地(比抵抗ρ)に入射した電磁波が1/e(約37%)にまで減衰する深度で、見掛比抵抗値の深度の目安として利用される。skin depthは次式より与えられる。

$$\delta = 503 \sqrt{\rho / f} \dots\dots\dots (5-1)$$

δ : skin depth (m)

ρ : 均質媒質の比抵抗 (Ω・m)

f : 周波数 (Hz)

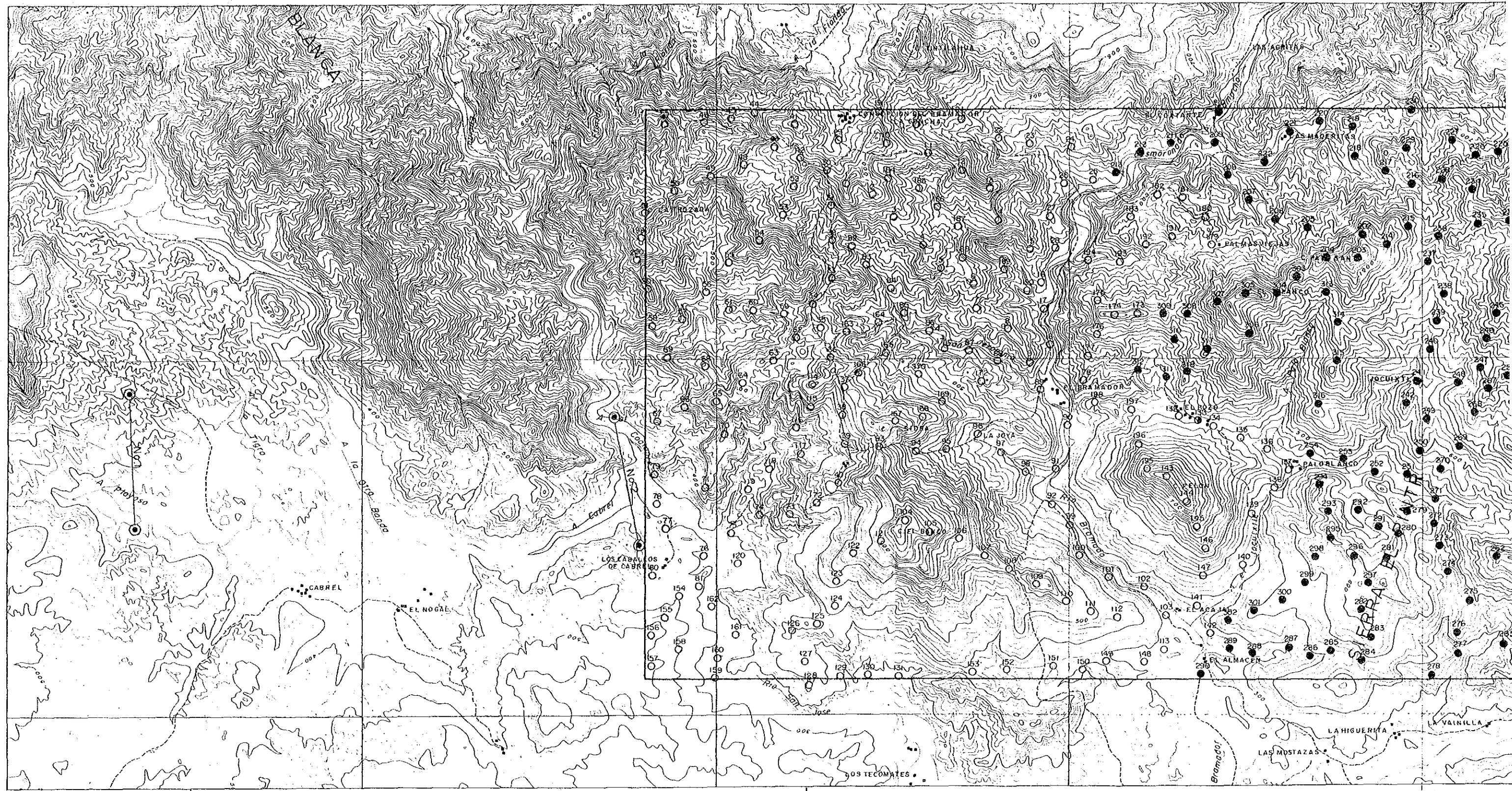
(5-1)式から明らかなように、表皮深度は周波数が低いほど大きくなる。(5-1)式を用いて周波数、比抵抗の変化に伴う表皮深度の変化を表5-1に示す。この表から明らかなように、媒質の比抵抗が高いほど、near field のデータの表われる範囲が高周波数側へ広がる。また同じ周波数の場合には、媒質の比抵抗が高いほど、送信部から near fieldの外縁までの距離が大きくなる。

第5-1 表皮深度表

Note: Skin Depth (m) = $503 \times \sqrt{\rho / f}$

		RESISTIVITY ($\Omega \cdot m$)											
		→											
		5	10	20	40	80	160	320	640	1,280	2,560		
f Hz												f Hz	
FREQUENCY (Hz) ↑	2,048	25	35	50	70	99	141	199	281	398	562	2,048	
	1,024	35	50	70	99	141	199	281	398	562	795	1,024	
	512	50	70	99	141	199	281	398	562	795	1,124	512	
	256	70	99	141	199	281	398	562	795	1,124	1,591	256	
	128	99	141	199	281	398	562	795	1,124	1,591	2,249	128	
	64	141	199	281	398	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	64	
	32	199	281	398	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	32	
	16	281	398	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	6,362	16	
	8	398	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	6,362	8,998	8	
	4	562	795	1,124	1,591	2,249	3,181	4,499	6,362	8,998	12,725	4	

本地域は地質状況から比抵抗が高いと予想されたので、電流電極系を測定地域から7 km以上離し、設定した。別添第7図及び図5-2に電流電極系No.1, No.2を示す。なお電流電極系の座標などを表5-2に示す。



105°00'

X-20,000

X-15,000

105°05'

X-10,000

X-5,000

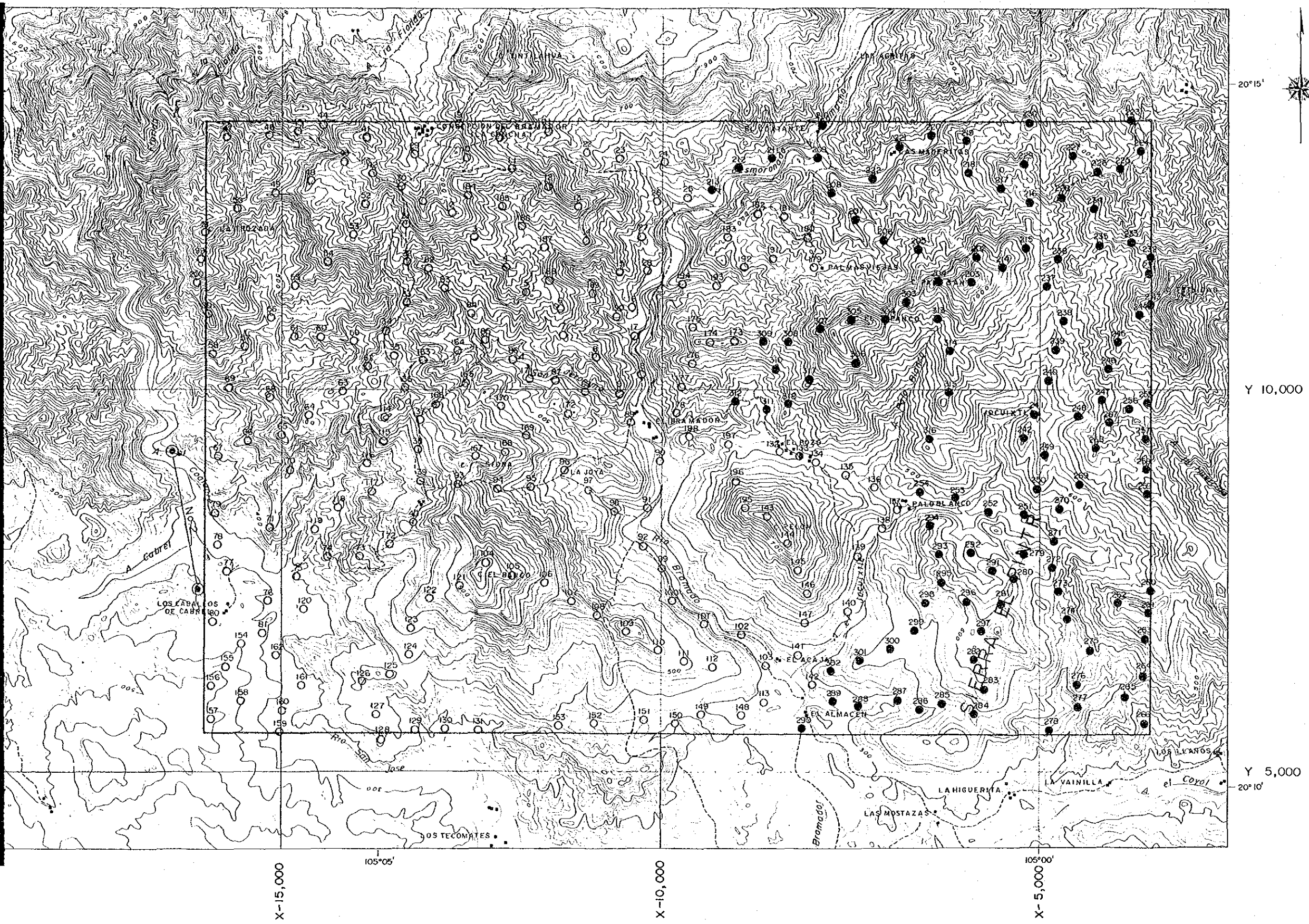


图5-2 测点位置图

電極には鉄棒を使用し、接地抵抗の低下に努めた。№1の北側の電流電極点は花崗閃緑岩中にあり、接地抵抗が高いため電極として鉄棒のほかに銅網を使用した。またS/N比をあげるため、送信器の最大出力9.0kWを越えない範囲で各周波数での最大送信電流を設定し、送信した。送信電流の周波数は2,048, 1,024, 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4 Hz の10周波数である。

表5-2 電流電極系データ一覧表

位置		№ 1		№ 2	
		X	Y	X	Y
		-23,275	9,550	-16,463	9,200
		-23,200	7,650	-16,088	7,400
電極間隔		1,900 m		1,850 m	
方向	真北	N 2.4° W		N11.6° W	
	磁北	N12.4° W		N21.6° W	
接地抵抗		140 Ω		30 Ω	
送信電流		1.5~4.7 A		3.6~12.2 A	
対応する測定点		1~201		133, 202~318	
測定点数		201		118	

電界の測定には電位電極として、素焼のつぼに入れた銅-硫酸銅電極を使用した。受信ダイポール間隔は50mで、その方向は送信ダイポールと平行である。

また磁界の測定には電界ダイポールから約9m離し、受信ダイポールと直交する方向に向けて設置した誘導コイル磁気アンテナを使用した。

電界と磁界の信号は、GDP-12受信機内で処理され、電界強度、電界位相、磁界強度、磁界位相、見掛比抵抗及び位相差として示される。測定、計算に使用されたすべてのデータと計算結果はCAP-12記録計により、ミニカセットテープと記録紙に記録される。

原則として各周波数で3回以上の再測を行った。またρa-f曲線図を現場で作図し、測定データの信頼性の向上に努めた。ρa-f曲線図は周波数を横軸に、見掛比抵抗を縦軸にプロットしたものである。図5-3にρa-f曲線図の例を示す。

測定結果と地質との対応を考察するために、調査地域内の地質を代表する岩石及び鉍石試料を30個採取した。試料をほぼ直方体に整形後、湿潤状態で、図5-4に示す測定系により比抵抗測定を実施した。比抵抗値は次式により算出した。

$$\rho = (V/I) \cdot (S/l) \dots\dots\dots (5-2)$$

ρ : 比抵抗値 (Ω・m)

V : 電位差 (V)

I : 電流値 (A)

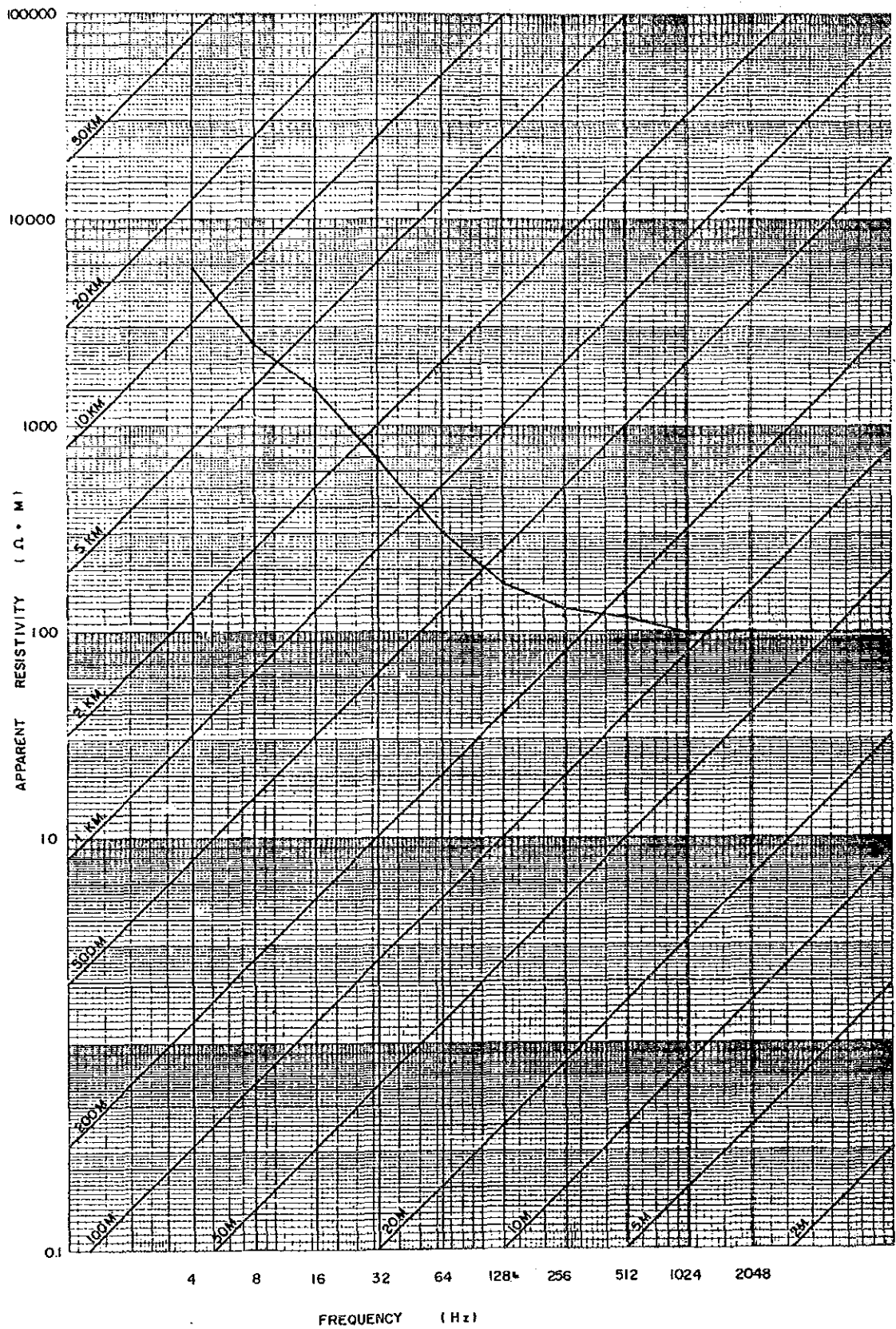
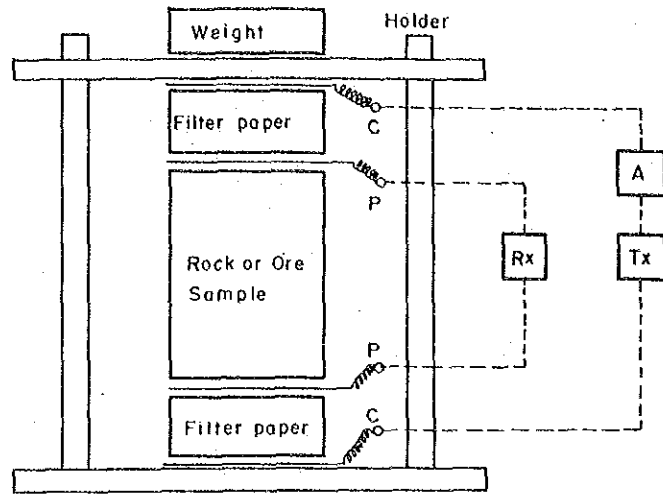


图 5-3 ρ_a-f 曲线图

S : 断面積 (m^2)

ℓ : 長さ (m)



- Tx Transmitter
- Rx Receiver
- A Ampere meter

図 5 - 4 岩石比抵抗測定系

5 - 1 - 2 使用測定機器

測定に使用した装置，器材を表 5 - 3 に示す。

表 5 - 3 測定装置，器材一覧表

種 類	名 称	仕 様	数 量
送信機システム	ゾング社製 GGT-25型 トランスミッター	出力電圧：400~800V 出力電流：0.2~25A(9.0kW) 出力波形：矩形波 出力周波数：1/1,024Hz~2,048Hz 重 量：113kg	1台
	ゾング社 XMT-12型 送信制御器	制御周波数：1/1,024Hz~2,048Hz 重 量：5.8kg 電 源：12Vバッテリー	1台
	ゾング社 ZMG-10型発電機	最大出力：10kW 周波数：400Hz 定格電圧：115V エンジン：23hp，2気筒空冷	1台
	ゾング社 VR-1型電圧調節器	重 量：3.7kg	1台
受信機システム	ゾング社 GDP-12型	信号入力：2チャンネル AMT受信周波数：0.5Hz~2,048Hz (13種類) 受信電圧感度：0.2 μ V 重 量：15kg 電 源：12Vバッテリー	1台
	ゾング社 CAP-12型 ミニカセット記録計	重 量：6.2kg 電 源：12Vバッテリー	1台
	テクトロニクス社 212型オシロスコープ	2チャンネル，端子用アダプター付 電 源：12Vバッテリー	1台
	ゾング社 AMTアンテナ	重 量：9.8kg 電 源：9Vバッテリー	1台
電 極	電流電極	鉄 棒 ϕ 16mm，長さ80cm	100本
	電位電極	飽和硫酸銅溶液非分極性電極	10個
電 線	藤倉電線(株) 京三電線(株)	VSF \times 1.25mm ² ビニール電線 CVV ₁ \times 3.5mm ² ビニール電線	1,000m 6,000m
サンプル測定 システム	千葉電子研究所製 CH-8108A型 IP送信機	出力電流：1 μ A~20mA 出力波形：矩形波 出力周波数：0.3Hz，3Hz	1台
	千葉電子研究所製 CH-8104R型 IP受信器	測定範囲：1次電位差1mV~10V	1台
	白金電極	白金線 直径0.3mm	4ヶ
通信システム	三菱電気 パーソナル無線MT-370F05	送信出力：5W 通話周波数：903.0375~904.9875MHz	4台

5-2 データ処理・解析方法

5-2-1 データ処理

ミニカセットテープに記録したデータから、電界、磁界、位相差のそれぞれの平均値及び見掛比抵抗値を計算し、測定値一覧表として出力した。見掛比抵抗値の計算式としては、通常のMT法で用いられる下記のCagniard(1953)の式を適用した。

$$\rho_a = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \dots\dots\dots (5-3)$$

ここに、

ρ_a : 大地の見掛比抵抗 ($\Omega \cdot m$)

f : 流電電流の周波数 (Hz)

E_x : 電界 (V/m)

H_y : 磁界 (γ)

この見掛比抵抗値を用いて、各周波数ごとに見掛比抵抗平面図を作成した。

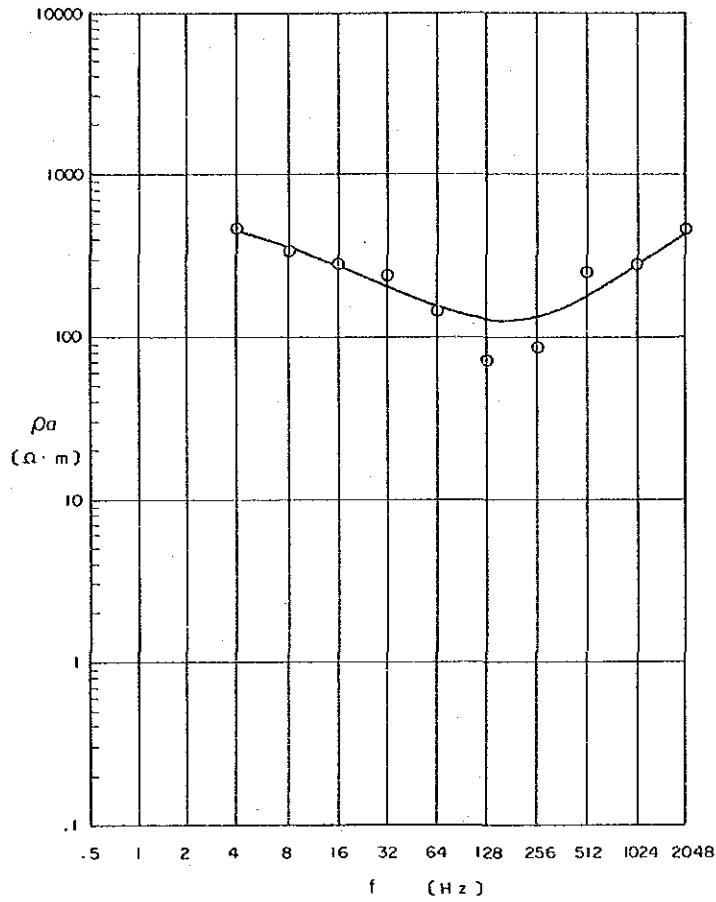
断面図は、見掛比抵抗平面図の主な低比抵抗帯を通る北西-南東方向にA-A', B-B', C-C', また、それらに直交する北東-南西方向にD-D', E-E', F-F'の計6断面とした。

見掛比抵抗断面図は、断面線に近接する測点の見掛比抵抗値を周波数の高い方から順に上から下へ等間隔に記入し、等見掛比抵抗線を描いたもので、測点ごとに可探深度の異なる擬似断面図である。

これらの図面を検討し、地下の比抵抗分布を考察した。

5-2-2 解析方法

解析にはモデルによる計算値が実測値に近づくようにモデルを修正していくシミュレーション手法(カーブマッチング法)を使用した。パーソナルコンピュータを使用し、水平多層構造モデルによる計算値を求め、画面上に実測値と共にプロットして作業を進めた。図5-5にその一例を示す。シミュレーションに使用した水平多層構造モデルによる見掛比抵抗値の計算法を次に示す。



STATION NO. 1

FREQ (Hz)	APPARENT RESISTIVITY (Ω·m)	
	OBSERVED	CALCULATED
2048	463.14	435.06
1024	274.38	282.81
512	246.41	179.68
256	87.31	131.32
128	73.24	124.87
64	142.75	149.82
32	236.31	199.93
16	231.60	269.57
8	334.79	351.14
4	460.95	435.51

CSAMT LAYERED MODEL

	RESISTIVITY (Ω·m)	DEPTH (m)
ρ I	600.00	150.00
ρ II	50.00	
ρ III	800.00	300.00

圖 5-5 解析曲線圖

(n+1)層水平多層構造(各層の比抵抗値が $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n, \rho_{n+1}$, 各層の境界面の深度が Z_1, Z_2, \dots, Z_n)に対する表面インピーダンス($Z(0)$)は, 次式で表わされる。

$$Z(0) = \frac{E_x}{H_y} \Big|_{z=0} = \frac{i\omega(A_0 + B_0)}{\theta_0(A_0 - B_0)} \dots\dots\dots (5-4)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} A_0 + B_0 &= A_1 + B_1 \\ \theta_0(A_0 + B_0) &= \theta_1(A_1 + B_1) \end{aligned} \right\} (5-5)$$

$$\left. \begin{aligned} A_j \exp(-\theta_j Z_j) + B_j \exp(\theta_{j+1} Z_j) \\ &= A_{j+1} \exp(-\theta_{j+1} Z_j) + B_{j+1} \exp(\theta_{j+1} Z_j) \\ \theta_j [A_j \exp(-\theta_j Z_j) - B_j \exp(\theta_{j+1} Z_j)] \\ &= \theta_{j+1} [A_{j+1} \exp(-\theta_{j+1} Z_j) - B_{j+1} \exp(\theta_{j+1} Z_j)] \end{aligned} \right\} (5-6)$$

(j = 1, 2, \dots, n)

$$\left. \begin{aligned} A_n &= \frac{\theta_{n+1} + \theta_n}{2\theta_n} \exp[-(\theta_{n+1} - \theta_n) Z_n] \\ B_n &= \frac{\theta_{n+1} - \theta_n}{2\theta_n} \exp[-(\theta_{n+1} + \theta_n) Z_n] \end{aligned} \right\} (5-7)$$

ここではCGS-emu 単位系を用いており, θ は波数である。

$$\theta = \left(\frac{4\pi i\omega}{\rho_j} \right)^{1/2} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\omega = 2\pi f$$

一方, $1 \text{ mV/km} = 1 \text{ emu}$, $1 \Omega \cdot \text{m} = 10^{11} \text{ emu}$, $1 \gamma = 10^{-5} \text{ emu}$ なる関係から(5-3)式で示した見掛比抵抗計算式をCGS-emu 単位系で表現すると次式のようになる。

$$\rho_a = 2/f \times |Z(0)|^2 \quad [\text{emu}] \quad (5-8)$$

よって, (5-4)~(5-7)及び(5-8)式より, 見掛抵抗 ρ_a が求まる。 ρ_a の単位を($\Omega \cdot \text{m}$)とする場合の表現式は次式となる。

$$\rho_a = 2/f \times |Z(0)|^2 / 10^{11} \quad [\Omega \cdot \text{m}] \quad (5-9)$$

なお, 水平多層構造モデルを考えるにあたり, Bostic Inversionで得られた結果を参考にした。

また, 今回の測点の ρ_a - f 曲線の多くには, 図5-6に見られるようにfar-field(F), transition-zone(T)とnear-field(N)の3つのモードが表われている。near-fieldデータは, ρ_a - f 曲線の低周波数側にあつておよそ45°の勾配の直線となる。

また, 参考のため, 2層構造モデルによる ρ_a - f 曲線の特徴を図5-7に示す。これによると第2層が高比抵抗の場合, near-fieldと共にtransition-zoneが表われている。

このことから、今回の解析では、near-field 及び transition-zone を含むデータについてシミュレーションを行う際に、最下層に高比抵抗層を持つモデルを仮定し、更に図5-6に示すように計算曲線が transition-zone で実測値の上方を、near-field では下方を通るようにカーブマッチングを行った。

シミュレーションで得られた各測点ごとの水平多層構造モデルを基に、比抵抗構造平面図を作成した。これらの図は各測点の地表面からそれぞれ100m, 200m, 400m, 600mの深度及び海拔400m, 200mにおける地下の比抵抗構造を平面図に表したものである。

比抵抗構造断面図は見掛比抵抗断面図と同じ断面線を用い、シミュレーションで得られた水平多層構造モデルを地表面からの深度でプロットし、更に同程度の比抵抗値を持つ多層モデルを結んで、地下の比抵抗構造を表したものである。

A-A', B-B', C-C', D-D', E-E', F-F' の各断面線ごとに見掛比抵抗断面図, 比抵抗構造断面図, 地質断面図を1枚の図面に上から順に配置し、比抵抗構造と地質との対応を考察した。

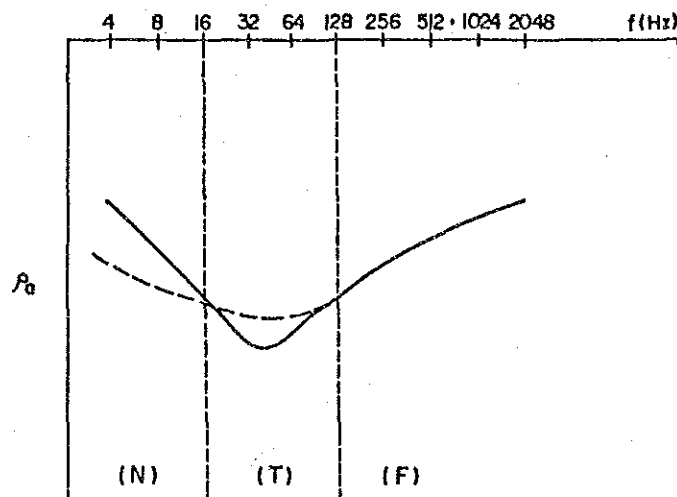


図5-6 模式的な $\rho_a - f$ 曲線図

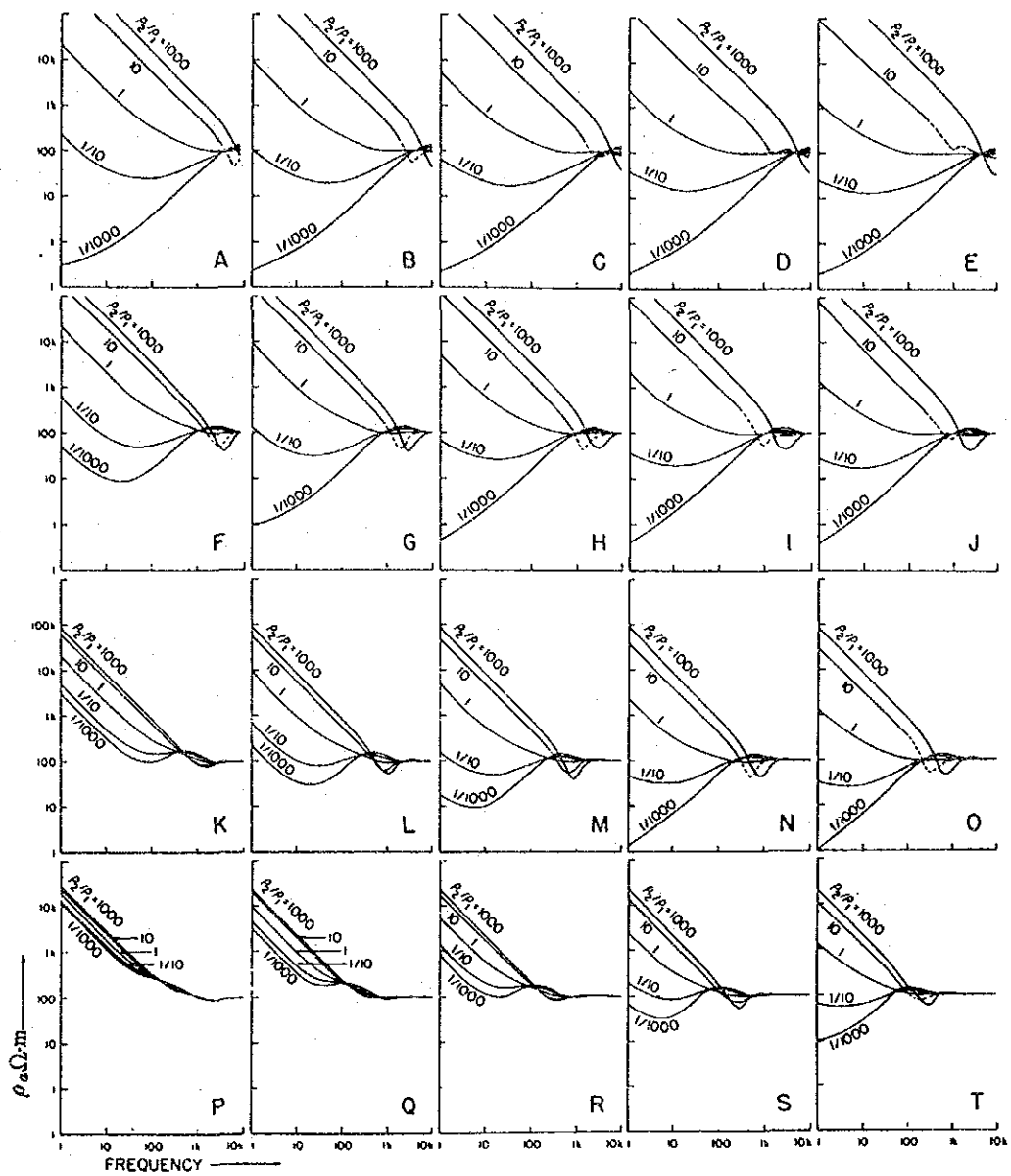
(F): far-field data

(T): transition-zone

(N): near-field data

The dashed line give the Calculated Curve

(Zonge, Inc. Interpretation Guide for CSAMT Data, 1982)



D	R = 500 m	750 m	1,000 m	1,500 m	2,000 m
50 m	A	B	C	D	E
125 m	F	G	H	I	J
250 m	K	L	M	N	O
500 m	P	Q	R	S	T

ρ_1 , ρ_2 は第1層, 第2層の比抵抗値。 $\rho_1 = 100 \Omega \cdot m$ の場合の計算曲線。R は送信ダイポールと受信点の距離。D は第1層の厚さ。

(Goldstein & Strangway, 1975)

図5-7 2層構造モデルの ρ_a - f 曲線図

