

第3章 総合考察

3-1 地質構造と鉱化帯の関係

本地域にはこれまで述べたマルホール～シュクラン鉱徴地及びグンガ鉱床の他に後述のスルマイ鉱徴地が分布する(第II-1-1図)。これらの鉱徴地は本地域中央部、岩体-IVから岩体-IIにかけて約25km連続する巾約2kmの狭いゾーン(スルマイ～シュクランゾーン)中に分布する。このゾーンはクズダールノットの構造方向がN-S～E-Wへ折れ曲がる部分に位置し、アンジラ部層及び白亜系が分布する沈降部を囲んでいる。すなわちこのゾーンは旧堆積盆周辺の隆起帯と考えられる。またスルマイ～シュクランゾーンはキルタール褶曲帯とオフィオライト帯を分ける、南北に走る断層帯の北部延長部に当たりその下部には大きな構造線が潜在していると思われる。沈降部にはカラチ西部から約200kmにわたり連続するオフィオライト帯北部末端の西向きに折れ曲がる角が、東向きに張り出しており本地域鉱化帯の形成に関与した可能性が強い。

3-2 地化学探査異常と鉱化帯の関係

地化学探査により最も明瞭に判明した事項は、Pb, Zn, Hg がその地化学的挙動を共にし鉛-亜鉛鉱床のゴッサンを中心とする異常域を形成すること及びBaはその外側に異常域を形成することである。地域全体の異常域の分布を探鉱目的成分であるPb-ZnとBaとに絞って見れば上述スルマイ～シュクランゾーン及びその周辺に集中することが読み取れる。

Pb-ZnのAランク異常域(No. 16, 10)はスルマイ鉱徴地及びマルホール～シュクラン鉱徴地帯と一致し、Bランク異常域はそれらの延長部及び少し離れた周辺部に分布する。これら異常域の中心部にはロライ部層が分布し、その周辺のアンジラ、スピングワ部層にも異常域が広がっている。異常域の分散は鉱化中心層準であるロライ部層の分布及び構造線の分布と関連している。

BaのAランク異常域はPb-Zn異常域の延長部及び周辺部により広く分布し、その胚胎母岩は岩体-IVではアンジラ部層、岩体-IIの東部ではスピングワ部層を主とする。

第Ⅲ部 スルマイ地区(精査)

第 III 部 スルマイ地区（精査）

第 1 章 地質調査

スルマイ地区はクズダール町の南西13km、グンガ鉱山の2km南にあたり縮尺 1:50,000 地形図、シートNo. 35-I/10に含まれる。クズダール町からグンガ鉱山までは自動車で25分、鉱山からスルマイ地区までは、らくだ道しか無く徒歩で40分を要す。本地区の鉱徴は古くから知られていたが、本格的な調査は1984～1985年に実施されたGSPによる図幅調査(未公開)をきっかけに開始された。本地区にはミシシッピーバレー型と考えられる鉛-亜鉛の鉱徴地が南北の方向に断続的に3箇所分布し、北からスルマイ-I、II、IIIと呼称される。GSPは1985年これら3鉱徴地に対し地質鉱床調査を実施し縮尺 1:2,000の地質図を作成すると共にゴッサンのラインサンプリングを行いその鉱石分析を行った。今回の調査はこの地質図のチェックを行うとともに各鉱徴地の中間及び周辺部を含む東西2km、南北5kmの範囲に対し縮尺1:2,000での地質鉱床調査を実施した。また調査の参考に供するため代表的な岩石、鉱石の試料を採取し薄片、研磨片、X線回折、鉱石分析及び全岩分析による検討を行い、その結果を第II-1-1～II-1-6表にまとめた。

1-1 地質概要

本地区はクズダール地域の岩体区分-IVに含まれ、地区内には初期ジュラ系の、頁岩、砂岩を伴う石灰岩から構成されるシリナブ層が分布する。本地区に見られる3部層の分布を大きく見れば、スピングワ部層は北西部の小範囲に、アンジラ部層は西半部の北から南へ3箇所に分かれて分布し、その他はロラライ部層が分布する。前記クズダール地域の調査ではシリナブ層を下位からスピングワ、ロラライ、アンジラの各部層に区分した。本地区ではそれらの地層構成の特徴からロラライ部層をI～IV、アンジラ部層をI～IIIのユニットに細分した。岩体-IVは前記クズダール地域の大きな構造を反映し南北の構造方向を示す。岩体東部に背斜構造をなす隆起中心があり下位層のスピングワ部層が分布する。本地区は南北方向の軸を持つ背斜の西翼部にあたり大きくは西落としの構造をとるが局部的に激しい褶曲構造が見られる。地形は地質構造を反映し南北方向の背斜部に沿って急峻な尾根が発達する。第III-1-1図に本地区の地質層序図、添付図PL III-1-1～III-1-4図及び第III-1-2～III-1-4図に地質図及び地質断面図を示した。

Geologic age	Group			Lithology	Thickness (m)	Columnar Section	Mineralization
	Formation	Member	Unit				
Quaternary			Stream bed deposits	boulder, cobble, pebble, sand, silt.			
			Alluvial deposits	sand, silt, clay, detritus.			
			Terrace deposits	boulder, pebble sand, silt clay			
	Unconformity						
Early Jurassic	Shirinab	Anjira	III	Limestone, thick bedded	+50		Gu
			II	Interbedded limestone and shale, contains ammonites.	100~ 180		S II
			I	Interbedded limestone and shale. Limestone thin to thick bedded contains ammonite.	30 50		
		Loralai	IV	Limestone grey, thick to massive, mottled with a zone of thin interbedded limestone and shale.	80 100		
			III	Limestone and shale interbedded.	100		
			II	Limestone dark grey, thin to medium bedded, mottled, fossiliferous.	150		S III
		Spingwar	II	Limestone with very minor shale. Limestone grey thick to massive with some oolitic bed.	100 120		
			I	Interbedded limestone and shale with minor marl. Limestone grey, thin bedded, mottled and oolitic occasionally. Shale of black colour.	100 150		
					Interbedded sandstone and shale.	+200	

Note Gu:Gunga, S I :Surmai-I, S II :Surmai-II, S III :Surmai-III

Mineralization

! : Large bedded type mineralization.

⋮ : Small mineralization in faults, fractures, joints and bedding planes.

第III-1-1図 スルマイ地区 地質層序図

1-2 地質層序

1-2-1 スピングワ部層

スピングワ部層は本地区の最下部層であり地区北東部、スルマイ-I 鈹徴地の東に小規模に分布する。本部層はクスダール地域と異なり本地区では大部分砂岩から構成され頁岩、石灰岩は薄層として局部的に挟在する。砂岩は帯桃白～灰色を呈し薄片観察では砂岩の砂粒は殆ど直径 0.1mm以下の石英であり方解石及び粘土と思われる細粒の膠結物が粒間を埋めている。X線回折では石英、方解石の他、カオリンが認められた。本岩は石灰質砂岩と判断される。

1-2-2 ロラライ部層

ロラライ部層はクスダール地域の調査で頁岩を伴う塊状～厚層状の石灰岩とされたが本地区では累重し、下位から I～IVのユニットに区分される。

(1) ユニット-I: 下位のスピングワ部層の砂岩を整合に覆う石灰岩(厚さ1～3m)と頁岩(0.3～0.5m)の互層で下部にマールの薄層(0.1～0.2m)を挟在する。石灰岩は暗灰～黒色を呈し雑色化した部分が多く、オーライトを伴うものと伴わないものがあり、後者は薄片観察ではマイクライト質である。頁岩は黒色を呈し薄片観察では細粒の石英、方解石から成り組織上はシルトと判断される。頁岩の全岩分析結果は、平均的な泥質岩に比べ SiO_2 が少なく、CaO, LOIが多いことを示す(第II-1-6表)。本ユニットは地区北東部スピングワ部層の周辺と、南中央部にいずれも背斜構造をなして分布する。

(2) ユニット-II: 主に厚層状(厚さ2～5m)～塊状の石灰岩より成り頁岩(0.1～0.3m)を伴う。石灰岩は堅硬で帯緑灰～暗灰色を呈し層理や割れ目に沿って強く雑色化した部分が多い。全岩分析の結果では平均的な石灰岩に比べCaOが多いこと、また雑色化したものはFeが多いことが判明した。X線回折では特に苦灰質とは認められなかつた。全体にオーライト質であり薄片観察ではオーマイクライト質とオースパーライト質の両方が認められた。アロケムには直径0.2～0.3mmのオーライトの他、貝化石の破片が見られる。地区北東部～南中央部に背斜構造をなして分布する。

(3) ユニット-III: 石灰岩(厚さ1～3m)と頁岩(0.1～0.5m)の互層で全体的に貝化石が多くコキナ層(0.1～2.0m)を数枚挟在する。石灰岩は暗灰色を呈し部分的に雑色化している。薄片観察ではアロケムはスパー質方解石で置換された大小の貝化石破片、オーソケムはマイクライトでありバイオマイクライトと分類できる。X線回折ではその半数で苦灰石が認められた。ユニット-IIを囲み地区全体に広く分布する。

(4) ユニット-IV: 大部分、灰～暗灰色の石灰岩(厚さ1～5m)で部分的に石灰岩と頁岩の互層を挟む。石灰岩は雑色化しており全岩分析により、Feが多いことが示された。薄片観察ではアロケムはスパー質方解石で置換された大小の貝化石破片、オーソケムはマイク

ライトでありユニット-Ⅲと同じくバイオマイクライトと分類される。X線回折では特に苦灰質とは認められなかった。ユニット-Ⅲを囲み地区全体に広く分布する。

1-2-3 アンジラ部層

アンジラ部層はクズダール地域で石灰岩と頁岩の互層とされたが本地区では、下位からⅠ～Ⅲのユニットに区分される。下位のロライ部層との区別理由の一つは本部層がアンモナイト化石を含むことであるが、その他、今回の薄片観察でユニット-Ⅰ～Ⅱに認められた放散虫化石も本層を特徴付ける一要素である。

(1) ユニット-Ⅰ： 灰～暗灰色を呈す薄～厚層状の石灰岩(厚さ1～5m)と頁岩(0.1～0.2m)の互層で構成されアンモナイト類の化石を含む。石灰岩は薄片観察でバイオマイクライトと分類されるが、この内チャート質のものに放散虫が認められた。放散虫は分離した、直径0.1mmの球状の体部と長さ0.2mmの針状仮足から判断でき、いずれも細粒の方解石、石英で置換されている。地区西半分にロライ部層を整合に覆って分布する。

(2) ユニット-Ⅱ： 規則的に互層する灰～暗灰色、の石灰岩(厚さ 0.3～0.5m)と頁岩(0.2～0.5m)より構成されアンモナイト類の化石を含む。頁岩は僅かに粘土質である。薄片観察では石灰岩、頁岩ともチャート質でユニット-Ⅰと同じ放散虫を含む。石灰岩はバイオマイクライトと分類される。X線回折では両者とも苦灰質の傾向が見られる。風化作用を受け、石灰岩は黄灰～淡褐色、頁岩は淡緑灰～黄灰色となる。また頁岩は細かく破碎し凹部を、石灰岩は凸部を形成する。地区西半部に広く分布する。

(3) ユニット-Ⅲ： 暗灰色を呈す厚層状石灰岩(厚さ3～5m)で地区北西の尾根部に小範囲に分布する。薄片観察ではアロケムとして直径0.4mmのオーライト、オーソケムはスパーライトでオースパーライトと分類される。

1-3 地質構造

本地区の地質構造の特徴は次のようにまとめられる。

(1) 構造方向はクズダール地域(クズダール ノット)の構造を反映した岩体-Ⅳの構造に規制され南北の方向を示す。

(2) 地区東半部はほぼ全域にわたり、南北の軸を持つ背斜構造をなす隆起帯を形成し、その両側は相対的に沈降帯を形成する。隆起帯南部の中央部には向斜構造が見られ大きな背斜構造が、その南端で褶曲して連続する東西2列に分離する。隆起帯はその北端で北向きに沈み込む。南端ではより隆起しその西、南、東部は断層で境される。

(3) 地区西半部は全域にわたり南北の軸を持つ向斜構造をなす沈降帯を形成する。

(4) 隆起帯と沈降帯の境界部にはほぼ南北全域にわたる断層が分布する。隆起帯の西

側に沿うものは正断層であるが東側に沿うものは逆断層の傾向を持つ。断層の落差は50～150mを示す。

(5) 隆起帯、沈降帯の内部には南北の軸を持つ多くの背斜、向斜構造、褶曲構造、地層のうねり及び断層が分布する。

1-4 鉱化作用

本地区内には上記地質構造に沿い南北4kmにわたって断続的に3箇所の鉱徴地が分布し、北からスルマイ-I、II、IIIと呼称される。これら鉱徴地の各所にはマルホール～シュクラン鉱徴地帯と同様に、古い鉛あるいは鉄を目的に採掘したと言われる坑道や地表での採掘跡及びカラミが見られる。鉱徴はマルホール～シュクラン鉱徴地帯と同じく暗赤褐色を呈すゴッサンから成り、アンジラ-IIIを除くシリナブ層の全部層に胚胎する。ゴッサンは鉱化溶液による交代作用により形成された初生の鉛-亜鉛鉱床が風化し、酸化露頭となったものと考えられ主に褐鉄鉱から成る多孔質～塊状の酸化鉱から構成される。その賦存形態はマルホール～シュクラン鉱徴地帯と同じくA～D型に分類できるが主な鉱床はA型の、層理に沿って母岩を交代し厚層状をなすもので、B型は殆ど見られずまたC型も大規模なものは見られない。ゴッサンの構成鉱物は、肉眼観察では褐鉄鉱、方解石、菱鉄鉱及び珪化石英は一般的に見られ、白鉄鉱、黄鉄鉱、方鉛鉱はより少なく、その他菱亜鉛鉱の可能性のある白色粉が小品洞に見られた。また閃亜鉛鉱は発見出来なかった。X線回折では石英は多量に、方解石、針鉄鉱は普通～少量、赤鉄鉱、苦灰石は一部で微量検出された。存在が予想された方鉛鉱、閃亜鉛鉱、菱鉄鉱、白鉄鉱、黄鉄鉱、菱鉄鉱、白鉛鉱、重晶石及び菱亜鉛鉱は検出されなかった。この他、マルホール～シュクラン鉱徴地帯と同様にこれまで記載の無かった異極鉱が少量～微量検出された。

鉱石研磨片の観察では鉱石は大部分、格子～箱状構造をなす褐鉄鉱(大部分、針鉄鉱)から成り、脈状にそれを切る白鉄鉱が部分的に見られる。黄鉄鉱はごく希に小結晶が分布する。方解石及び菱鉄鉱と思われる脈石は格子～箱状の内部を埋め、またそれらを切る脈あるいは比較的大きな自形結晶の形で分布する。方鉛鉱及び閃亜鉛鉱は見られなかった(写真2)。

なおGSPにより試算された本地区の期待鉱量はスルマイ-I及びIIIのみを対象とし、酸化鉱 7,560万t(Pb:0.6%, Zn:4.7%)、硫化鉱 1,350万tである。

1-4-1 スルマイ-I

本鉱徴地は地区内北部に位置し、南北900m、東西300mの範囲に分布する。主鉱体は範囲北西部のロラライ部層ユニット-IIとユニット-IIIの境界部に両者にわたり分布し、鉱石は層理沿いに母岩を強く交代し厚層～塊状を呈す(A型)。分布範囲は南北450m、巾(厚さ)60

～80mで母岩と同じく、走向 N30° E、傾斜 50～70° Wを示す。今回採取、分析した代表的な鉱石2個の内、品位の高いものはPb+Znで約 6%である(第II-1-2表)。以前GSPが実施したラインサンプリングの結果は、全範囲4ラインの平均で採取巾37m, Pb:0.44%, Zn:3.01%、この内最も品位の高いラインの値は 採取巾23.5m, Pb:0.57%, Zn:6.72%である(以下GSPによる分析値は未公表資料)。当鉱体は母岩の走向、傾斜沿いに、僅かに北落としに下部へ連続している可能性が強い。当鉱体の周辺には5～10cmの巾の鉱脈(D型)が母岩の割れ目に発達する。

本鉱徴地南半部に分布するロライ部層ユニット-Iの中には、母岩の層理及び小断層沿いに数箇所の小規模なゴッサン(C型)が分布する。また本鉱徴地とその東側のスピングワ部層を境とする南北に走る断層沿いにも小規模なゴッサンが分布する。これら小ゴッサンの分析値はいずれも低品位である。

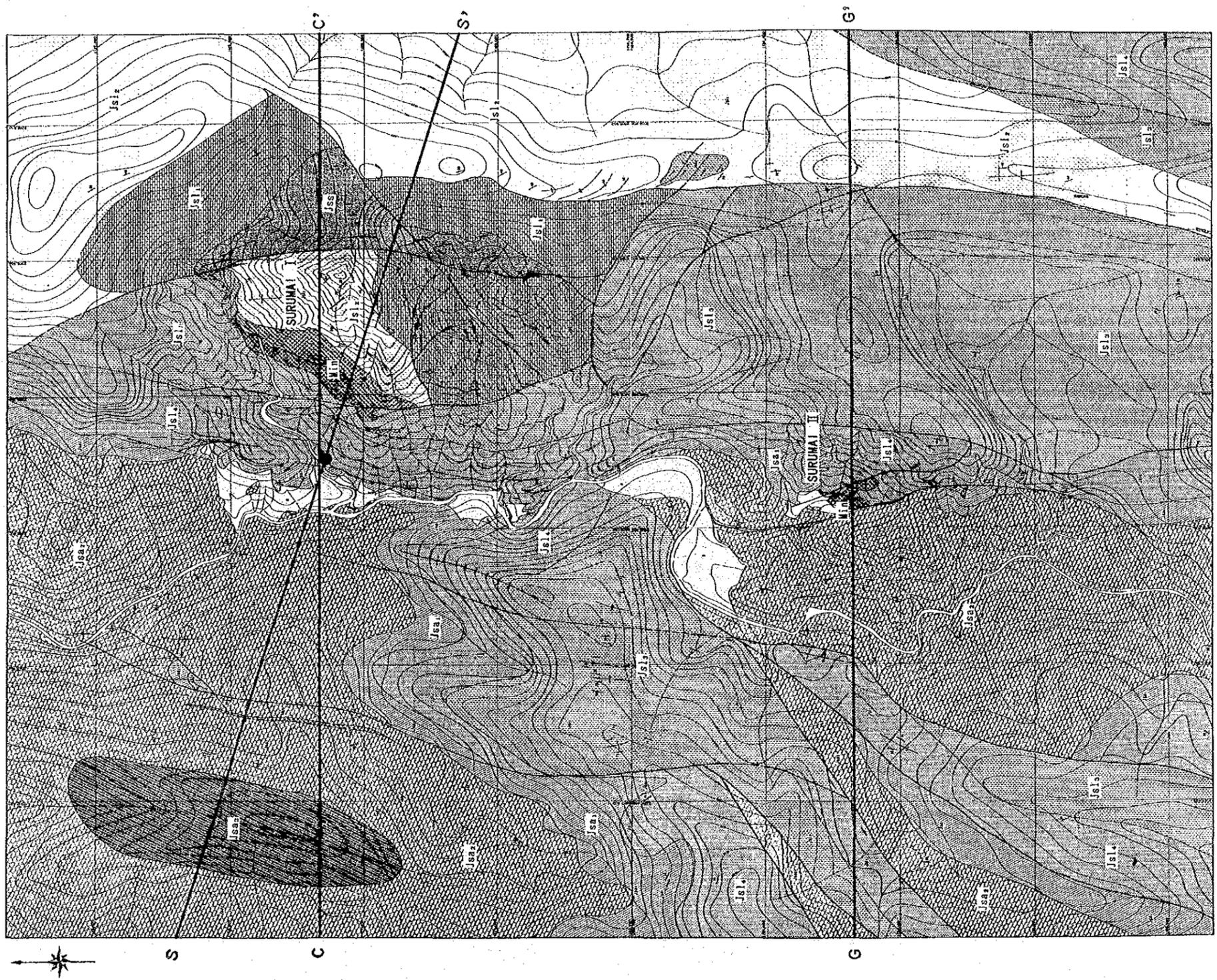
1-4-2 スルマイ-II

本鉱徴地はスルマイ地区の3鉱徴地の内で最も規模が小さく、スルマイ-Iの南端から南南西約600mに位置し、南北600m、東西100mの範囲で分布する。前記、隆起帯と沈降帯の境界部に南北に走る数本の断層沿いに分布する小規模なゴッサン群(C型)から構成され、ロライ部層のユニット-IV及びアンジラ部層のユニット-I～IIを母岩とする。今回採取、分析した代表的な鉱石3個の平均品位は Pb:1.70%, Zn:3.06%, Ba:<0.01%, Ag:15g/tである。またGSPによるラインサンプリングの内、最も品位の高い値は 採取巾32m, Pb:1.14%, Zn:4.67% である。

1-4-3 スルマイ-III

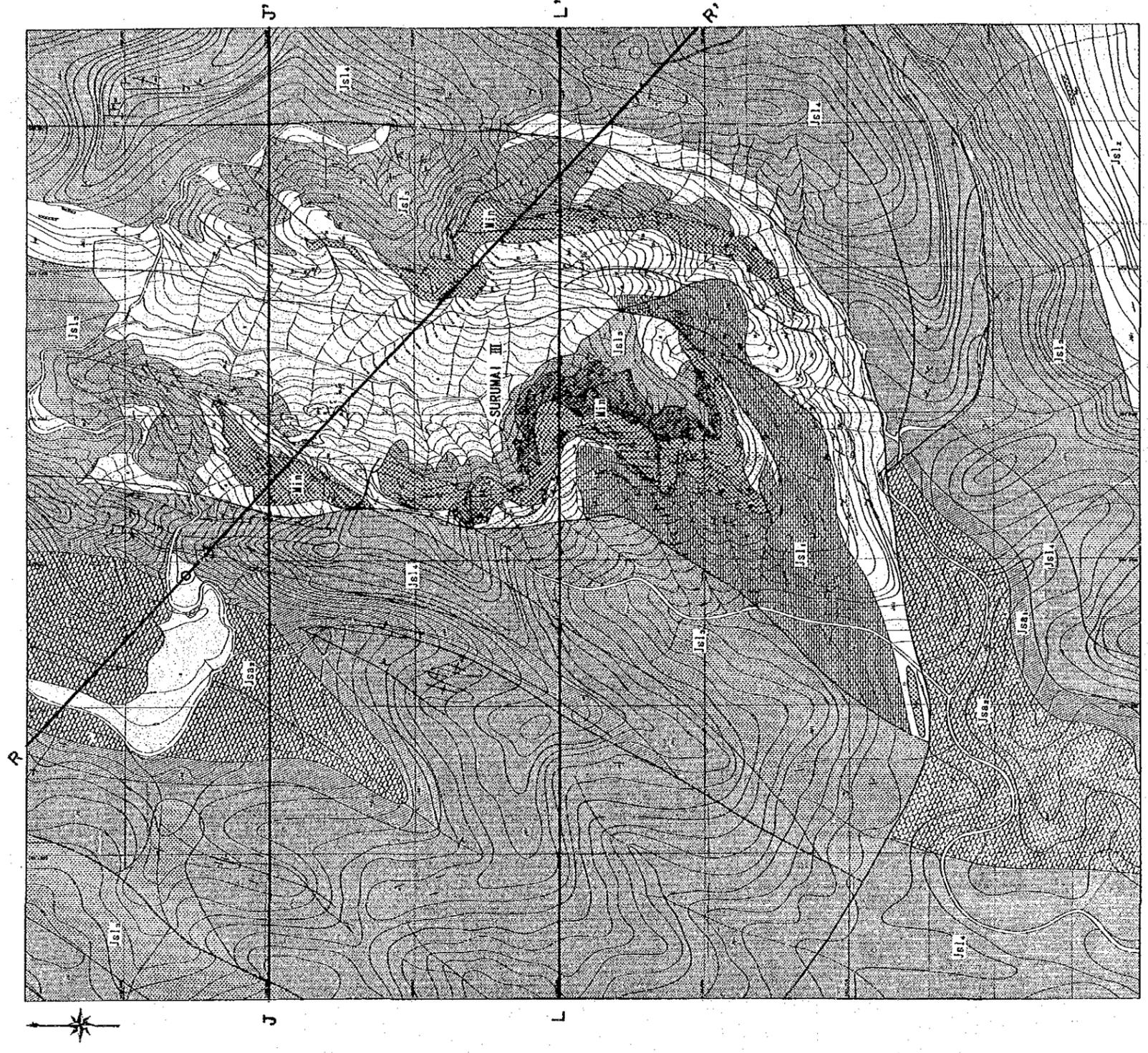
本鉱徴地はスルマイ地区南半の中央部に位置し、南北1.5km、東西0.6kmの範囲に広く分布し母岩の走向、傾斜に沿って南北に延びる東鉱床及び西鉱床(仮称)に区分される。両鉱床はほぼ同じ層準、すなわちロライ部層ユニット-IIとIIIとの境界部の両者にまたがり、よりユニット-II側に賦存する。西鉱床は走向延長 1.5km、厚さ50～60mの規模を呈すがその最北端は北に沈み込む軸を持つ西側背斜の西翼に、他の大部分は同背斜の東翼に位置する。東鉱床は走向延長1.1km、厚さ30～50mを呈し東側背斜の東翼に位置する。また当鉱徴地中央部の第四紀層に覆われた部分では母岩と同じ向斜構造をとりながら両鉱床が連続していると予想される。両鉱床は本鉱徴地中央を南北に走る断層によりその空間的位置をずらされているが本来一連の層状鉱床である。両鉱床とも層理沿いに母岩を強く交代し厚層～塊状を呈し(A型)、一部にB型を伴う。両鉱床の周辺には巾10～20cmの鉱脈(D型)が母岩の割れ目に発達する。

西鉱床の北半部は当鉱徴地で最も強く、かつ、まとまった鉱化を示し、最北部の西に傾斜する鉱体と、その南の東に傾斜する鉱体に区分される。前者は傾斜40～60° W、厚さ60～



- LEGEND**
- | | | | |
|--|-------------------------|--|------------------------|
| | Q Alluvium | | Dip (Normal) |
| | Jsa3 Anjira member-III | | Dip (Overturned) |
| | Jsa2 Anjira member-II | | Anticline |
| | Jsa1 Anjira member-I | | Syncline |
| | Jsl4 Loralai member-IV | | Fault |
| | Jsl3 Loralai member-III | | Bedding traces |
| | Jsl2 Loralai member-II | | Profile line |
| | Jsl1 Loralai member-I | | Proposed drilling site |
| | Jss Spingwar member | | |
| | Min Mineralization | | |
- LOWER JURASSIC**
Shirinab Formation

第III-1-2図 スルマイ地区 地質図 (スルマイ I, II)

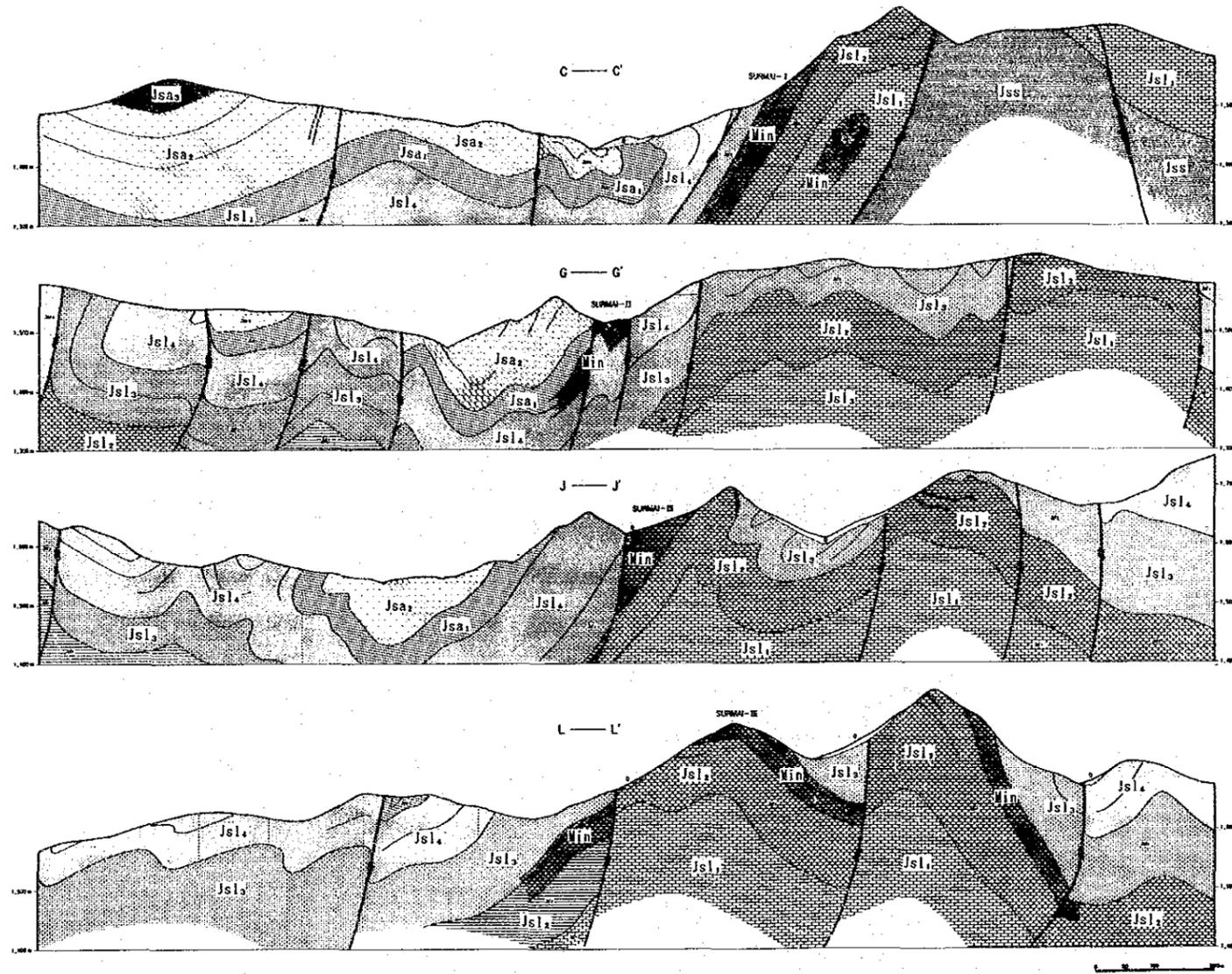


LEGEND

	Q Alluvium		Dip(Normal)
	Jsa3 Anjira member-III		Dip(Overturned)
	Jsa2 Anjira member-II		Anticline
	Jsa1 Anjira member-I		Syncline
	Jsl4 Loralai member-IV		Fault
	Jsl3 Loralai member-III		Bedding traces
	Jsl2 Loralai member-II		Profile line
	Jsl1 Loralai member-I		Proposed drilling site
	Jss Spingwar member		
	Min Mineralization		

LOWER JURASSIC
Shirinab Formation

第III-1-3図 スルマイ地区 地質図 (スルマイIII)



LEGEND

- LOWER JURASSIC
Shirinab Formation
- Q Alluvium
 - Jsa₃ Anjira member-III
 - Jsa₂ Anjira member-II
 - Jsa₁ Anjira member-I
 - Jsl₄ Loralai member-IV
 - Jsl₃ Loralai member-III
 - Jsl₂ Loralai member-II
 - Jsl₁ Loralai member-I
 - Jss Spingwar member
 - Min Mineralization
- Fault
 - - - Bedding traces
 - Profile line

第Ⅲ-1-4図 スルマイ地区 地質断面図

70m、走向延長400mを呈し、その鉱石分析値は、今回採取した鉱石(1個)ではPb+Znで0.60%であるが、GSPによる2本のラインサンプリングの値は平均採取巾38.5m、Pb:0.69%、Zn:4.75%である。当鉱体は地表で見られる走向、傾斜をとりながら下部へ連続すると予想される。

後者は傾斜40~50° E、厚さ30~40m、走向延長約300mを呈し、その鉱石分析値は、今回採取した鉱石(1個)でPb:0.48%、Zn:4.92%、GSPによる3本のラインサンプリングの値は平均採取巾37.2m、Pb:0.56%、Zn:4.71%である。当鉱体の下部延長は当鉱徴地中央部の向斜構造に沿って地下浅所に分布すると予想される。西鉱床南半部は広い分布範囲を示すが、まとまりが悪く品位も低い。本部分の下部延長は上記鉱体と同様に地下浅所に胚胎すると思われる。

東鉱床はあまり褶曲構造を伴わず、南北に走る尾根の東斜面に50~80° Eの傾斜で急崖をなして直線的に露出する。今回採取した鉱石3個の平均値はPb:0.52%、Zn:1.02%である。当鉱床は断層に切られながらも下部に連続する可能性が強い。

上記両鉱床周辺のロラライ-I、II、III中には層理や断層沿いに小規模なゴッサンが分布するが、いずれも発展性に乏しい。

第2章 地化学探査

2-1 概要

本調査はスルマイ地区に分布する鉍化作用の地化学特性を明確にすると共に、新たな鉍床賦存有望範囲を抽出するため地質調査と並行して実施された。本地区にはシリナブ層の炭酸塩岩が分布し、スルマイ-I~III鉍徴地にゴッサンが見られる。分析に供する試料は岩石とし、合計205個が採取された(ゴッサン:36、スピングワ部層:3、ロラライ部層ユニット-I:18、ユニット-II:31、ユニット-III:44、ユニット-IV:34、アンジラ部層ユニット-I:12、ユニット-II:25、ユニット-III:2)。検討対象成分及び試料の分析方法はクズダール地域と同様である。

2-2 分析結果の処理

ゴッサンが広く分布するため検討は、全試料及びゴッサンを除いた試料の2通りで行った。Pb, Zn, Hg, Ba, Mg及びSの累積頻度分布は第III-2-2図のとおりである。各成分毎のしきい値は、クズダール地域と同様の手法で第III-2-1, III-2-2表のように決定した。統計用語の略称は次のとおり。Th:しきい値, M:平均, σ :標準偏差, n:サンプル個数, r :相関係数。

第III-2-1表 スルマイ地区 しきい値
n=205

	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Hg (ppb)	Ba (ppm)	Mg (ppm)	S (%)
Threshold	2,000	1,000	750	420	10,500	0.05

第III-2-2表 スルマイ地区 しきい値
n=169(ゴッサンからの36試料を除く)

	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Hg (ppb)	Ba (ppm)	Mg (ppm)	S (%)
Threshold	350	700	500	290	8,000	0.039

205試料の6成分の頻度分布(ヒストグラム)は第III-2-1図に示される。205試料の統計値は第III-2-3表に、またゴッサン及び部層毎の統計値(平均値、標準偏差など)は第III-2-4表に示した。6成分の内、異なる2成分の組み合わせによる散布図及び相関係数はそれぞれ第III-2-3図、第III-2-6表に示される。

第III-2-3表 スルマイ地区 統計値一覧表 (n:205)

Numbers	Mean(M)	Min. Value	Max. Value	σ	M + σ	M + 2 σ
Pb (ppm)	26.70	1	10,000	1.173	397	5,913
Zn (ppm)	133.40	9	10,000	0.845	933	6,529
Hg (ppb)	64.40	10	40,000	0.795	401	2,505
Ba (ppm)	230.64	50	1,620	0.244	357	627
Mg (ppm)	4,384	600	61,000	0.290	8,546	16,659
S (%)	0.632	<0.001	<0.001	0.632	0.015	0.063

σ : log.

2-3 解析結果

2-3-1 層別品位傾向

世界の火成岩、砂岩、頁岩、及び石灰岩中の、6成分の平均存在量は6成分のバックグラウンドを決める基礎となる(第Ⅲ-2-5表、出典：Rankama and Sahana, 1950)。

第Ⅲ-2-5表 火成岩、砂岩、頁岩及び石灰岩中の平均含有量

Element	Igneous rocks	Sandstones	Shales	Limestones
Mg	20,900	7,100	14,800	47,700
S	520	2,800	2,600	1,100
Zn	132	20	200~1,000	50
Ba	250	170	460	120
Hg	0.077~0.5	0.1	0.3	0.03
Pb	16	20	20	5.10

上表の石灰岩の値と、前記本地域のジュラ系石灰岩の成分毎含有量を比べると、Mgのみが上表に比べ低いことを示す。

(1) 鉛：Pbはロラライ-I、II及びIIIに濃集する傾向を強く示す。ロラライ-I、II及びIIIの平均値と、その他のユニットの平均値を比べてみると両者の差は非常に大きい。Pbの岩石及びゴッサン中の分布は第Ⅲ-2-4図に示される。Pbの高濃集は当然のことながらスルマイ-I~IIIのゴッサンに見られ、非鉱化岩に向かって低下する。

(2) 亜鉛：第Ⅲ-2-5図に示されるとおり Znの岩石及びゴッサンでの分布はPbと良く似ている。ロラライ-I、II及びIIIの Zn平均値は、アンジラ部層とロラライ-IVの値の約2倍、スピングワ部層の値の約3倍である(第Ⅲ-2-4表)。Znの最も高い濃集はスルマイ-IIIのゴッサンに見られ、非鉱化岩に向かって低下する傾向を明瞭に示す。

(3) 水銀：Hgの高濃集はスルマイ-I、II及びIIIのゴッサンに分布する(13,220ppb= $M+2\sigma$ 以上、ゴッサン試料36個)。第Ⅲ-2-6図は岩石及びゴッサン中の Hgの分布が、Pb及びZnの分布と似ていることを示している。ロラライ-I、II及びIIIの合計平均値は、他のユニットの値より高い。

(4) バリウム：Baの高濃集(630ppm= $M+2\sigma$ 以上、n=205)はゴッサンと接するロラライ部層の岩層中に分布し北部ではスルマイ-I、南部ではスルマイ-IIIとの接触部に見られる。Ba品位の各部層及びゴッサンの平均値は、最低値がゴッサンの123ppm、最高値がアンジラ部層の243ppmである。岩石及びゴッサン中の Ba の分布は第Ⅲ-2-7図に示される。試料採

取範囲におけるBaの濃集はゴッサン中ではなくロラライ及びアンジラ部層の炭酸塩岩中に存在する。

(5) マグネシウム : Mgの高濃集(10,500ppm≒Th 以上)はアンジラ及びロラライ部層の炭酸塩岩中とスピングワ部層の砂岩中に分布する。Mg品位の各部層及びゴッサンの平均値は、最低がゴッサンの 3,255ppm、最高がスピングワ部層の 5,646ppmである。MgはBaと同様にゴッサンでは明瞭に低異常を示す(第Ⅲ-2-8 図)。

(6) イオウ : Sの高濃集はゴッサンに見られる。S品位の各ユニット及びゴッサンの平均値は、最低がロラライ-I, II, III及びスピングワ部層の0.002%、最高がゴッサンの 0.009%である。第Ⅲ-2-9 図に示されるように、Sの濃集はゴッサンに近いほど高く、特にスルマイ-IとIIで顕著である。

2-3-2 成分の相関

スルマイ地区の全試料における各成分間の相関係数(log)を第Ⅲ-2-6 表に示す。PbとZn, Hg の間、ZnとHg の間に強い相関が見られる。

第Ⅲ-2-6表 スルマイ地区 相関係数

	Pb				
Zn	0.901	Zn			
Ba	-0.417	-0.453	Ba		
Mg	-0.176	-0.238	0.183	Mg	
Hg	0.812	0.838	-0.393	-0.244	Hg
S	0.175	0.165	0.163	-0.027	0.287

2-3-3 異常の抽出と評価

鉍化帯～ゴッサンは非鉍化岩石に比べ Pb, Zn, Hgの高濃集、及びBa, Mgの低濃集で特徴づけられる。Baの高異常はゴッサンの外部に分布する傾向を示す。これら成分分布の特異性から次の2地域が低異常帯として抽出される。

(1) スルマイ-IIとスルマイ-IIIの中間地域 : 南北延長約1km、巾300mの範囲がPb, Zn, Hgの低異常を示す。

(2) スルマイ-IIの南西地域 : 北東-南西延長約800m、巾300mの範囲がPb, Zn, Hgの低異常を示す。本地域はスルマイ-IIを胚胎する断層の延長部にあたる。

上記2異常帯の内、(1)はその下部にスルマイ-III西鉍床の北延長部が賦存する可能性を示している。(2)の発展性は期待出来ない。

第Ⅲ-2-4表 スルマイ地区 地層別統計値一覧表

Elements	Group	Total	Anjira Member	Loralai Member			Spingwar Member	Mineralized Zone
				I, II, III	IV	total		
	N	169 ^a	39	93	34	127	3	36
Pb	min	1	1	1	1	1	9	4
	max	900	68	900	430	900	74	10,000
	σ	0.781	0.629	0.795	0.797	0.811	0.374	1.050
	平均(M)	11.12	6.08	16.34	7.23	13.14	25.19	1,626
	M+ σ	67	25	101	45	85	59	18,241
	M+2 σ	406	110	636	284	550	140	204,549
	M+3 σ	2,454	470	3,972	1,782	3,562	333	2,293,713
Zn	min	9	12	13	9	9	20	19
	max	8,630	490	8,630	1,080	8,630	44	10,000
	σ	0.519	0.326	0.568	0.47	0.558	0.147	0.861
	平均(M)	70.42	48.13	96.21	49.78	80.63	31.93	2,676
	M+ σ	232	101	355	146	291	44	19,415
	M+2 σ	770	215	1,317	431	1,053	62	140,845
	M+3 σ	2,546	456	4,873	1,268	3,805	88	1,021,752
Hg	min	10	10	10	10	10	20	20
	max	4,000	4,000	1,500	260	1,500	30	29,000
	σ	0.477	0.597	0.438	0.372	0.438	0.08	0.899
	平均(M)	35.90	37.69	35.74	42.28	22.58	22.89	1,000
	M+ σ	107	149	115	53	98	27	7,939
	M+2 σ	322	589	317	125	269	33	62,972
	M+3 σ	969	2,332	871	295	738	40.62	499,490
Ba	min	100	160	120	100	100	180	50
	max	1,400	980	1,400	1,240	1,400	220	1,620
	σ	0.200	0.185	0.203	0.213	0.206	0.037	0.307
	平均(M)	226.67	243.16	222.53	222.82	222.60	195.95	123.14
	M+ σ	359	372	354	364	357	213	249
	M+2 σ	569	569	565	595	569	232	509
	M+3 σ	902	872	902	974	921	253	1,030
Mg	min	600	2,200	1,700	1,200	1,200	600	1,050
	max	38,500	16,000	38,500	35,500	38,500	20,000	61,000
	σ	0.279	0.173	0.294	0.267	0.288	0.690	0.304
	平均(M)	4,671	4,520	4,849	4,306	4,698	5,646	3,255
	M+ σ	8,882	6,725	9,547	7,965	9,120	27,674	6,559
	M+2 σ	16,888	10,005	17,706	18,796	14,735	135,649	13,219
	M+3 σ	32,112	14,887	39,003	27,257	34,374	664,884	26,641
S	min	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	max	0.04	0.025	0.04	0.02	0.004	0.005	1.21
	σ	0.553	0.535	0.545	0.563	0.554	0.429	0.793
	平均(M)	0.003	0.0039	0.002	0.003	0.003	0.002	0.009
	M+ σ	0.009	0.013	0.008	0.011	0.009	0.005	0.056
	M+2 σ	0.036	0.046	0.029	0.044	0.033	0.014	0.344
	M+3 σ	0.128	0.157	0.100	0.159	0.116	0.038	2.135

^a N : Number of Samples except mineralized zone

σ : log.

第Ⅲ-2-7表 スルマイ地区 地層別相関係数一覧表

Total (N:169)

	P b				
Z n	0.760	Z n			
B a	-0.058	-0.089	B a		
M g	-0.010	-0.128	0.040	M g	
H g	0.564	0.598	-0.019	-0.080	H g
S	-0.088	-0.083	0.296	0.085	0.072

Loralai M - W

	P b				
Z n	0.717	Z n			
B a	0.152	0.027	B a		
M g	-0.217	-0.296	0.061	M g	
H g	0.772	0.527	0.257	-0.223	H g
S	-0.061	-0.074	0.096	-0.012	0.137

Anjira M - II

	P b				
Z n	0.617	Z n			
B a	-0.256	-0.148	B a		
M g	0.215	0.180	-0.187	M g	
H g	0.335	0.381	-0.075	-0.146	H g
S	-0.066	0.049	0.243	-0.210	0.249

Loralai M - I

	P b				
Z n	0.741	Z n			
B a	-0.063	-0.190	B a		
M g	0.158	-0.146	0.125	M g	
H g	0.674	0.813	-0.148	-0.032	H g
S	0.078	0.068	0.544	0.257	0.131

Loralai M - II

	P b				
Z n	0.863	Z n			
B a	-0.119	-0.069	B a		
M g	0.031	-0.088	0.097	M g	
H g	0.769	0.704	-0.126	0.009	H g
S	-0.197	-0.150	0.406	0.320	-0.141

Spingwa M

	P b				
Z n	0.715	Z n			
B a	0.222	0.840	B a		
M g	-0.848	-0.237	0.328	M g	
H g	0.885	0.308	-0.257	-0.997	H g
S	-0.767	-0.100	0.456	0.990	-0.977

Loralai - I

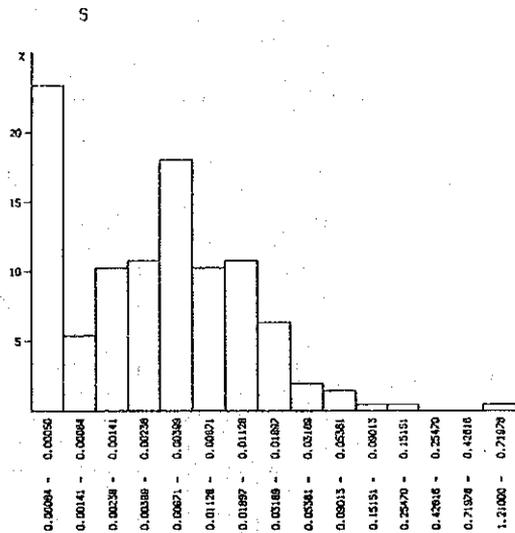
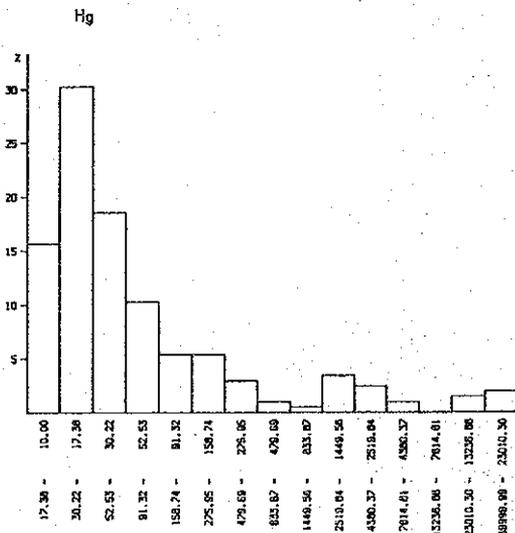
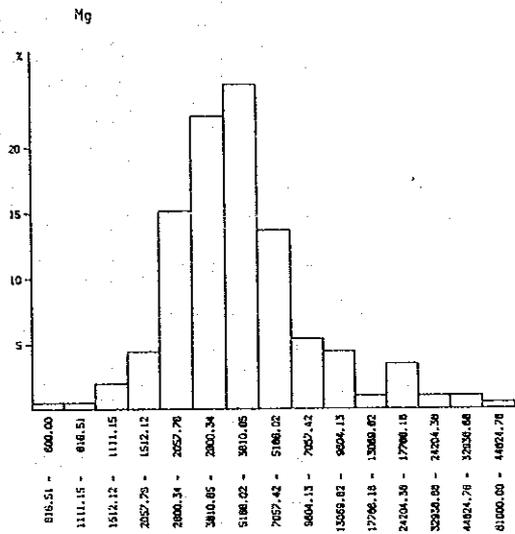
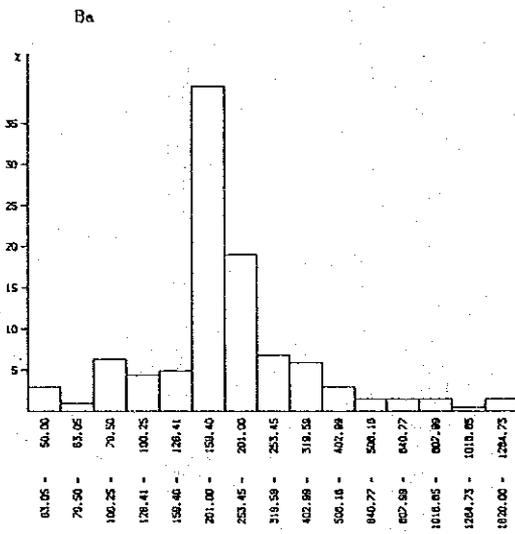
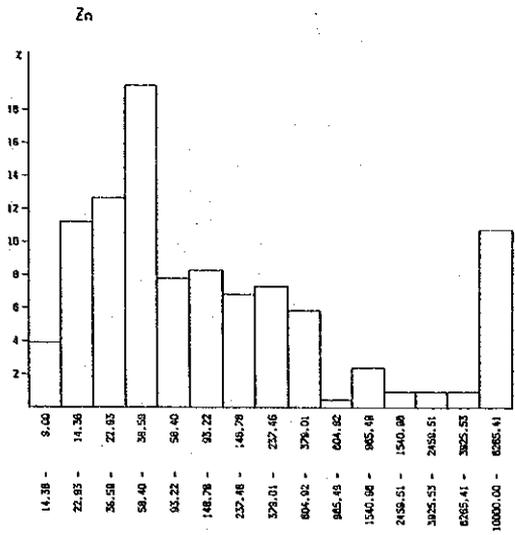
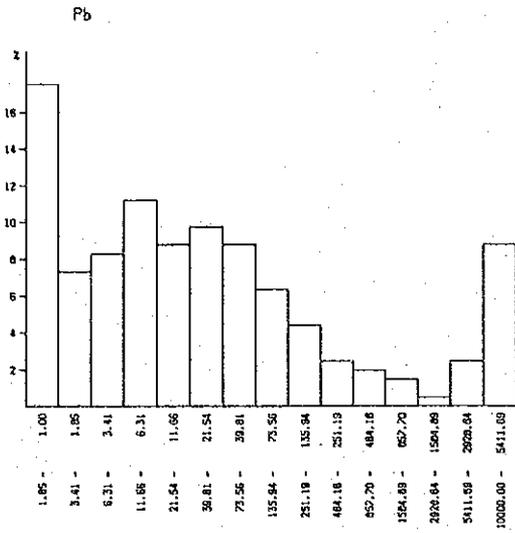
	P b				
Z n	0.817	Z n			
B a	0.076	0.057	B a		
M g	-0.280	-0.249	-0.148	M g	
H g	0.576	0.684	0.112	-0.050	H g
S	0.179	-0.014	0.240	-0.255	0.168

Correlation Diagram of Country Rocks in Surumai Detailed Survey Area

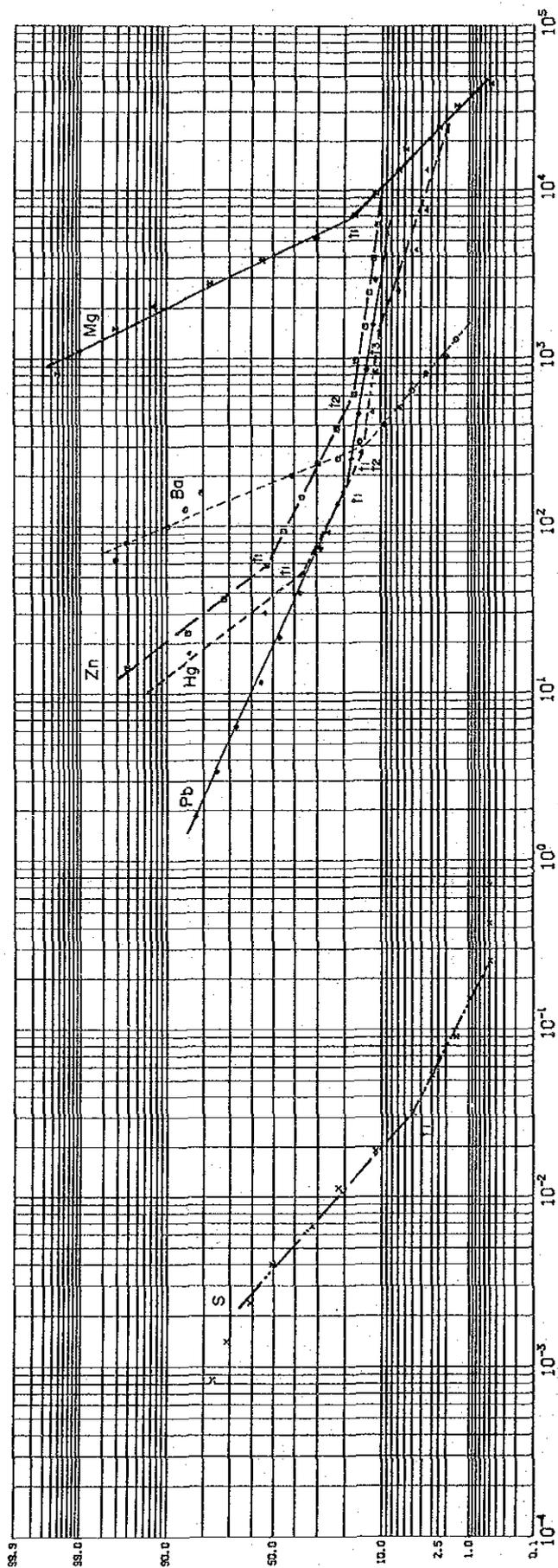
Total (N:36)

	P b				
Z n	0.904	Z n			
B a	-0.513	-0.547	B a		
M g	-0.161	-0.154	0.309	M g	
H g	0.752	0.812	-0.405	-0.306	H g
S	0.021	-0.067	0.410	-0.104	0.182

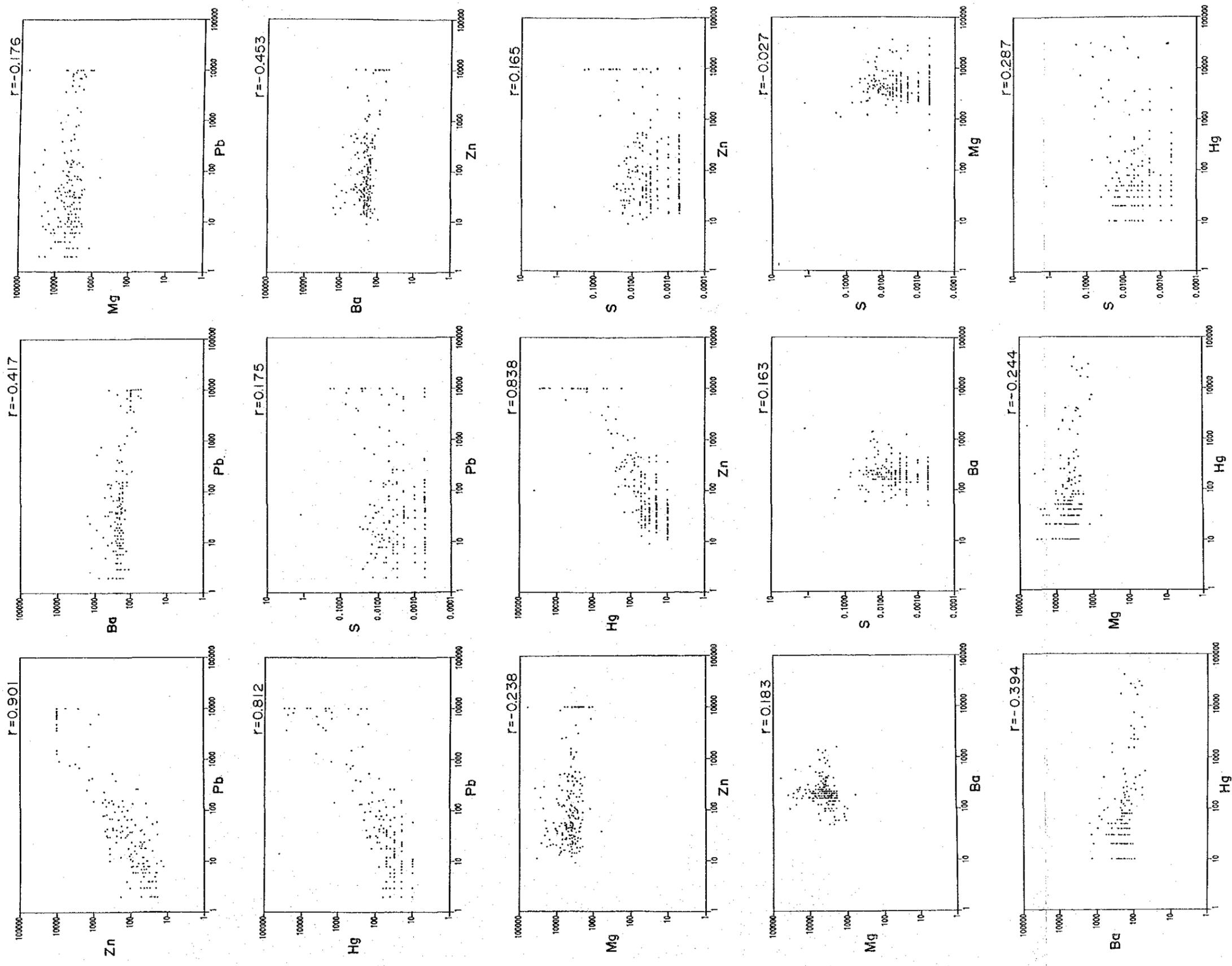
Correlation Diagram of Mineralized Area



第Ⅲ-2-1図 スルマイ地区 頻度分布図

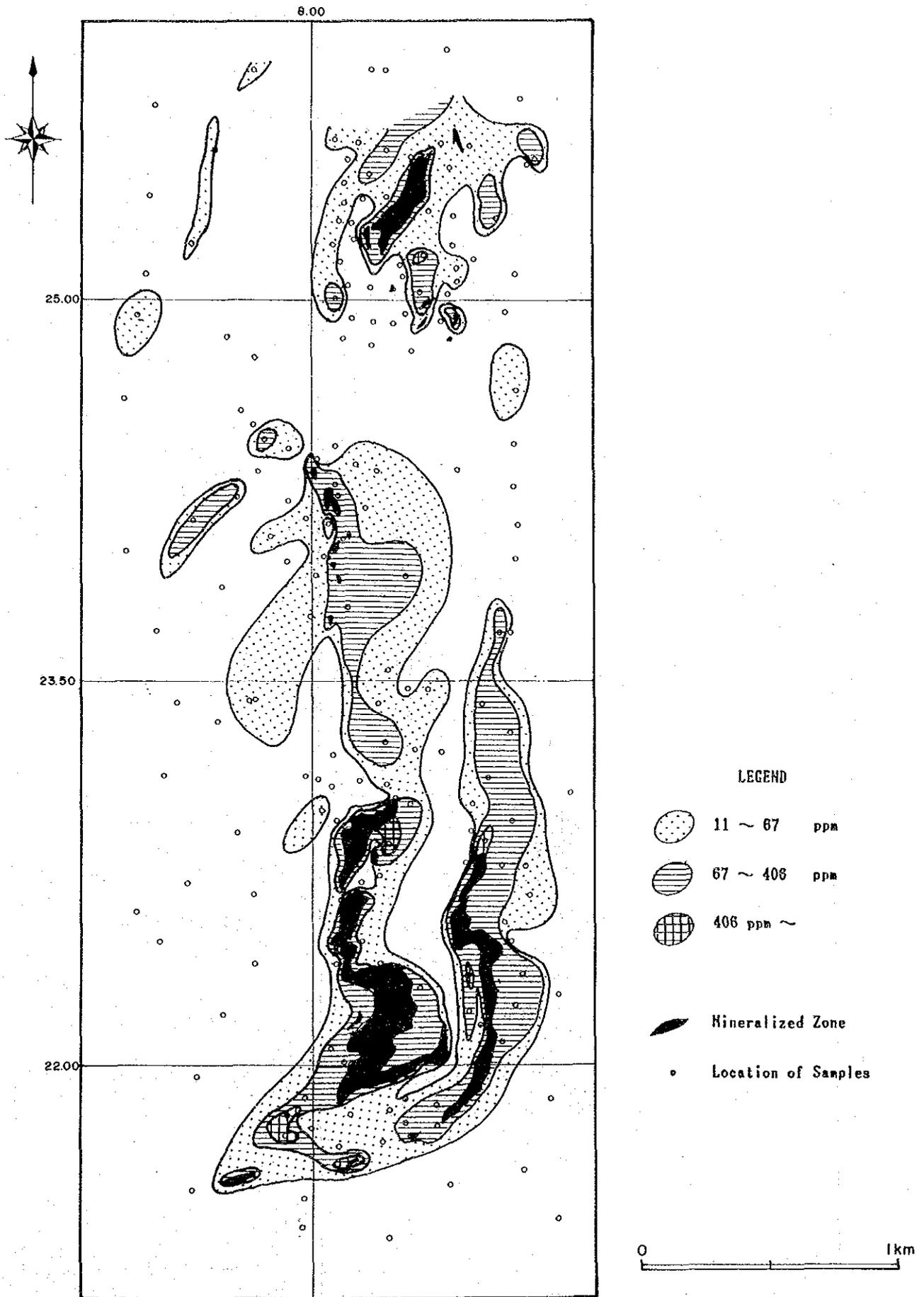


第Ⅲ-2-2図 スルマイ地区 累積頻度分布図

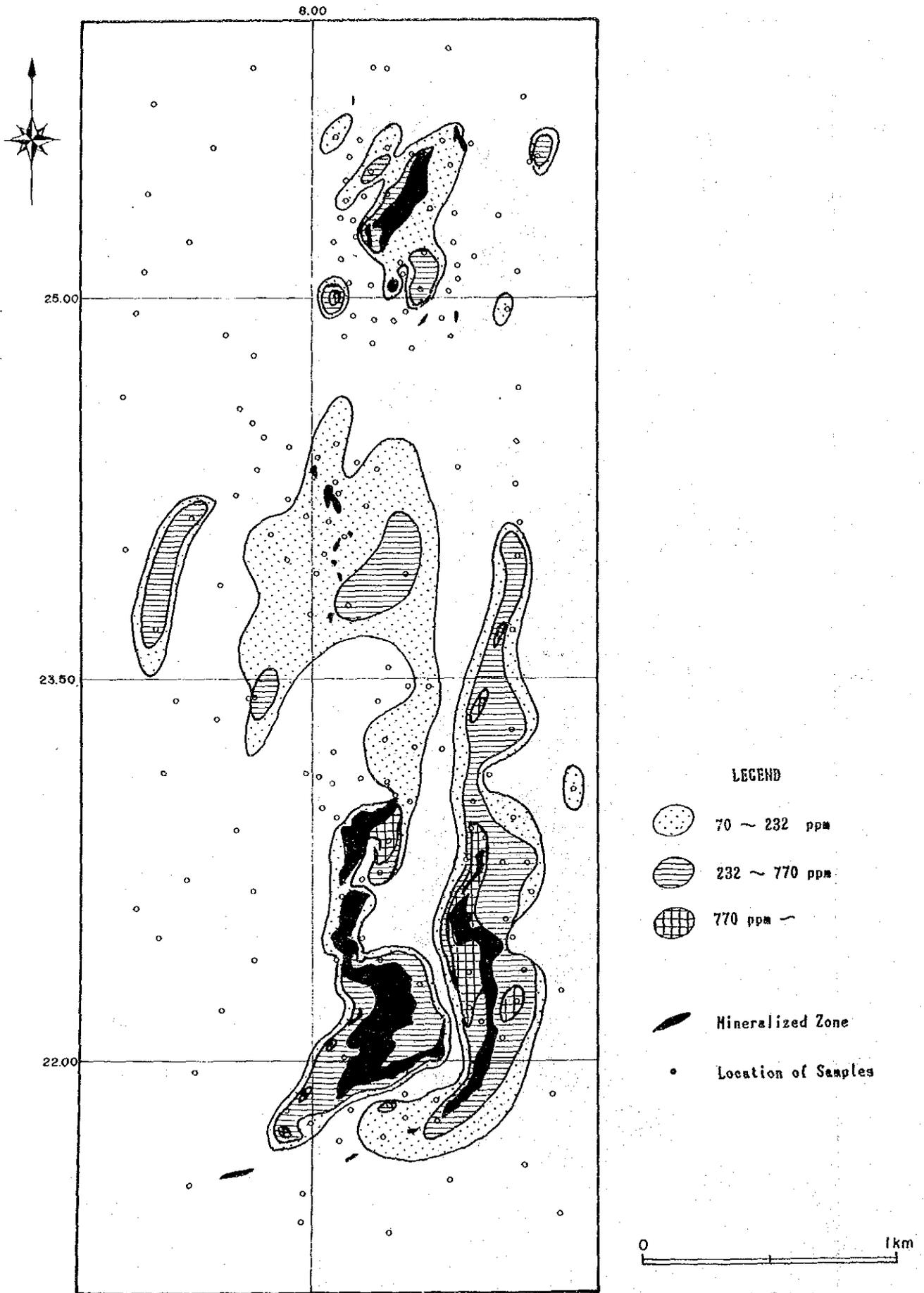


r = Coefficient of Correlation

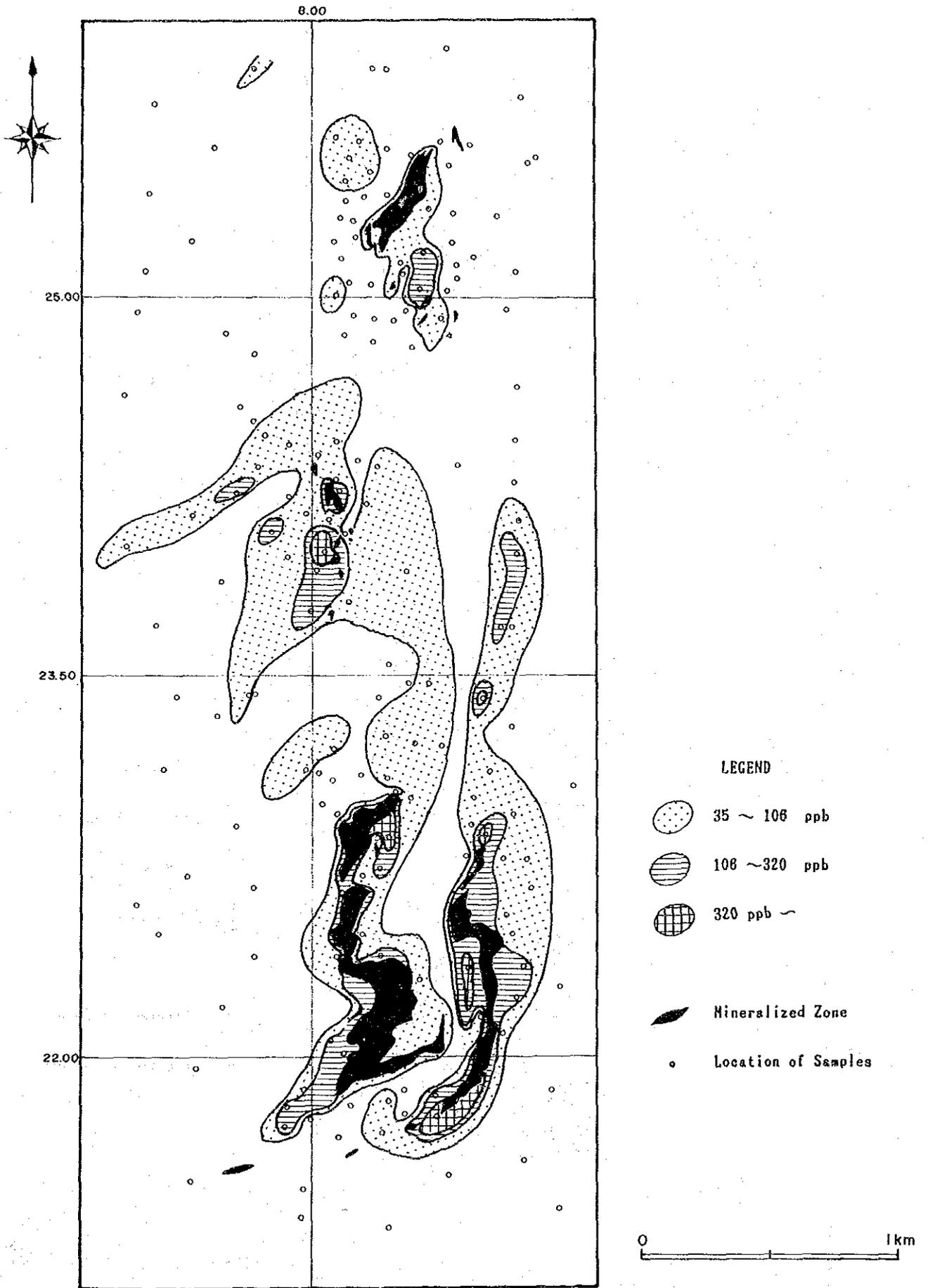
第Ⅲ-2-3図 スルマイ地区 散布図



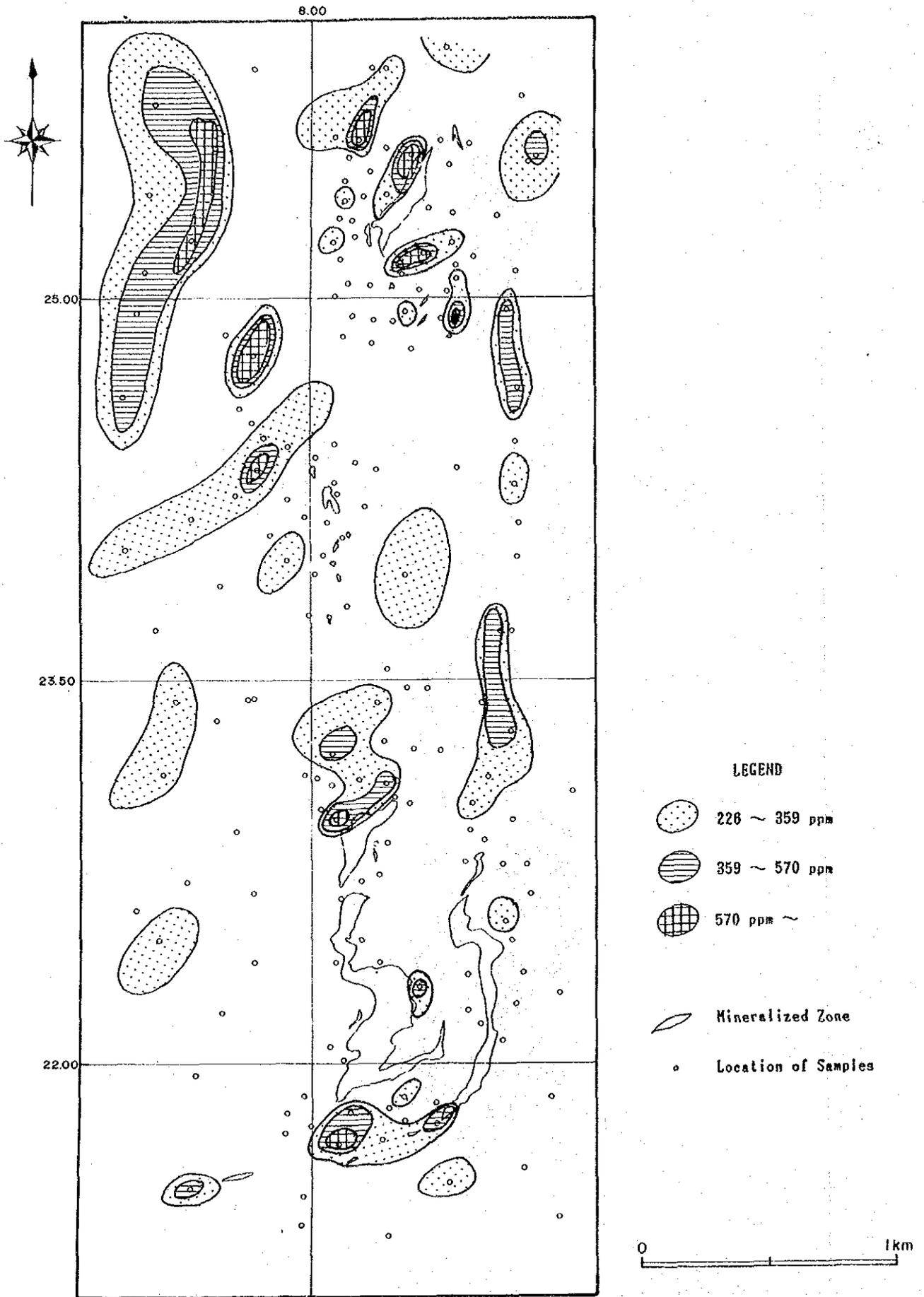
第Ⅲ-2-4図 スルマイ地区 地化学探査結果図 [Pb]



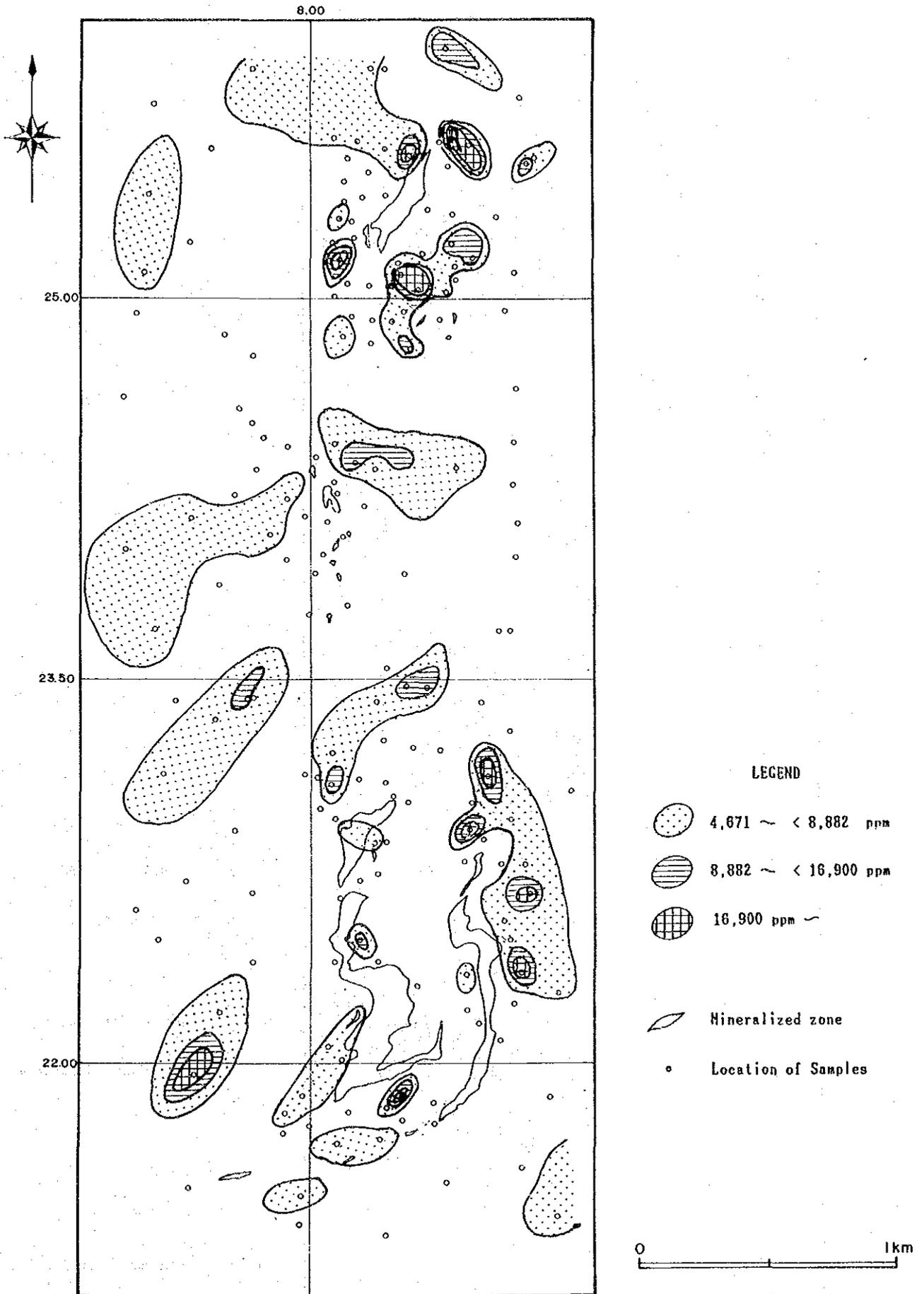
第Ⅲ-2-5図 スルマイ地区 地化学探査結果図 [Zn]



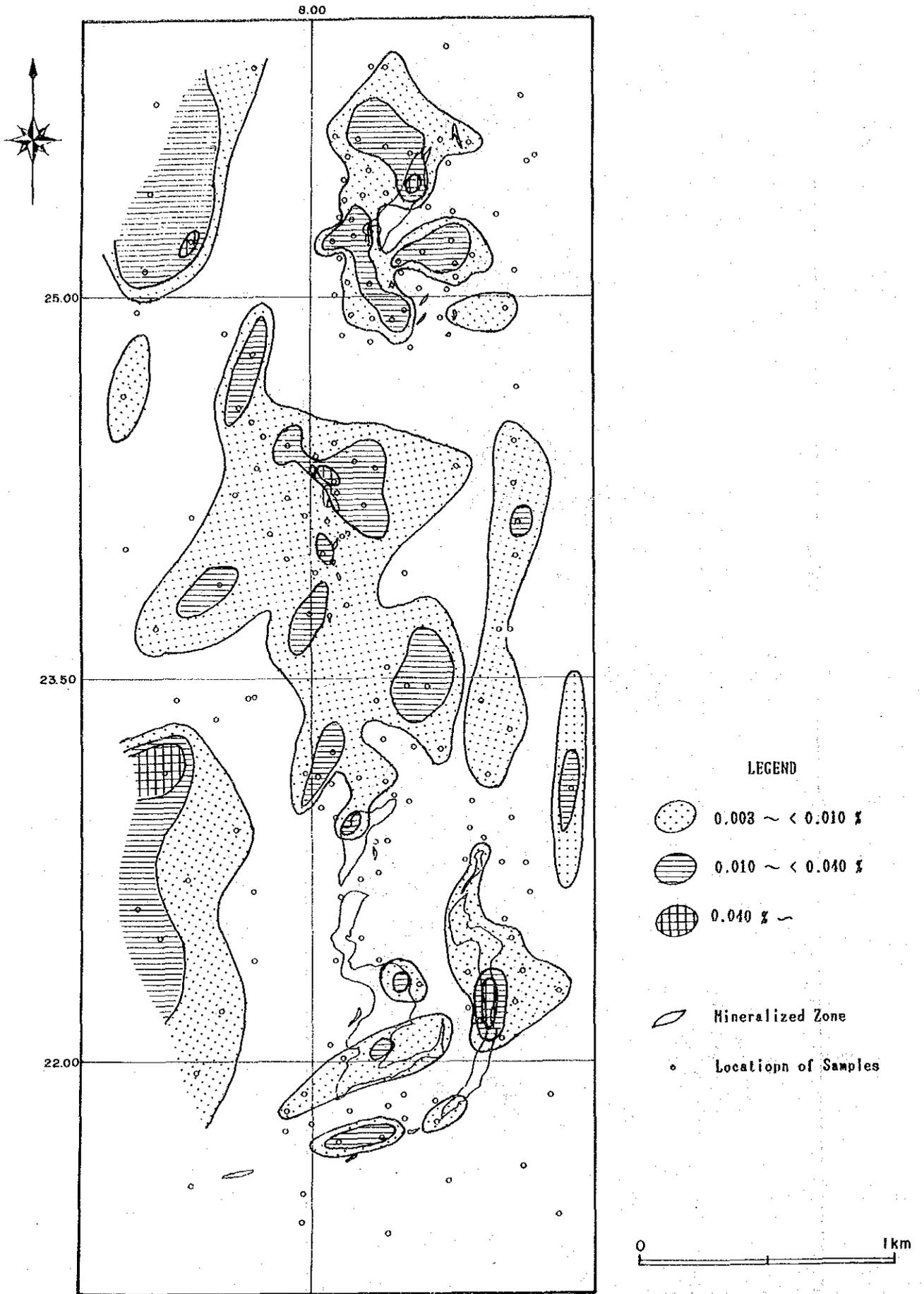
第Ⅲ-2-6図 スルマイ地区 地化学探査結果図 (Hg)



第Ⅲ-2-7図 スルマイ地区 地化学探査結果図 [Ba]



第Ⅲ-2-8図 スルマイ地区 地化学探査結果図 (Mg)



第Ⅲ-2-9図 スルマイ地区 地化学探査結果図 (S)

第3章 物理探査(SIP法・IP法)

3-1 概要

3-1-1 調査範囲

調査地域はスルマイ地区及びグンガ鉱山地区の2地区にわけられる。スルマイ地区はクズダールの南西約 13km、グンガ村からは7km に位置する。主要な鉱徴地はスルマイ沢(仮称)の右岸に3箇所に認められ、北よりスルマイⅠ～スルマイⅢと呼称している。グンガ鉱山地区はグンガ村の南南東約 3km、スルマイⅠの北約 2km に位置し、クズダールよりジープで約25分要す。クズダールと調査地域との位置関係は第Ⅲ-1-1図を参照されたい。

スルマイⅠ～Ⅲ地区の測線配置は 第Ⅲ-3-1図～第Ⅲ-3-3図に示し、グンガ鉱山地区の測線配置は第Ⅲ-3-4図に示した。

3-1-2 調査仕様

調査に関する測定諸元は 下記のとおりである。

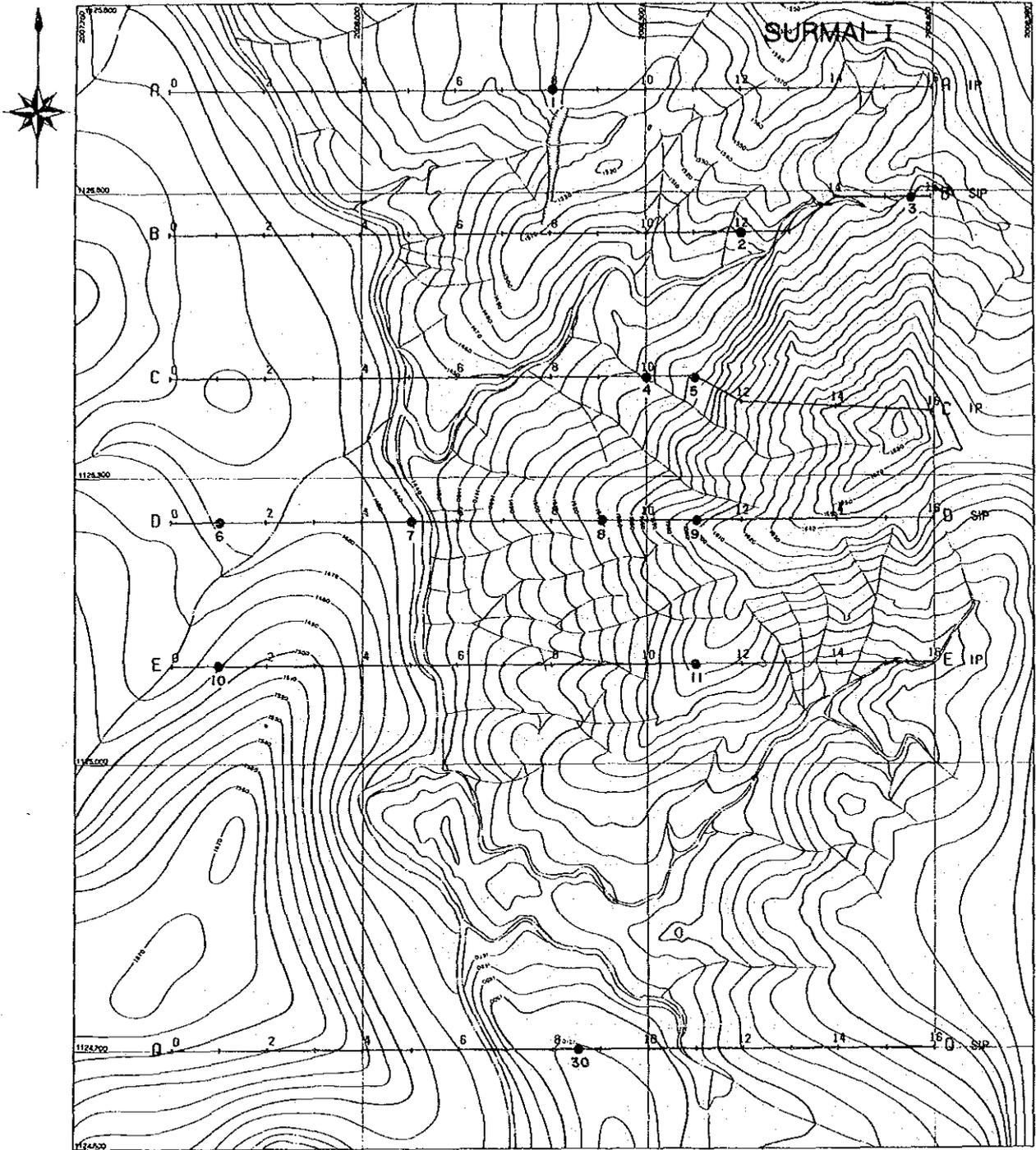
- a. 測線長 : 20 測線 17.2 km
SIP 法 11 測線 9.4 km 490点
IP 法 9 測線 7.8 km 420点

各測線の測線長及び測点数は 第Ⅲ-3-1表に示す。

- b. 測線間隔 : スルマイⅠ,Ⅱ 150m
スルマイⅢ 300m
グンガ鉱山 約 240m
- c. 電極配置 : ダイポール・ダイポール配置
- d. 電極間隔 : スルマイⅠ,Ⅱ及びグンガ鉱山地区 水平距離 a=50m
スルマイⅢ地区 水平距離 a=100m
- e. 電極隔離係数 : $n = 1 \sim 5$
- f. 測定方式 : 周波数領域
- g. 測定周波数: SIP 法 0.125 Hz ~ 88 Hz (18 周波数)
IP 法 0.3 / 3.0 Hz

3-1-2 調査方法

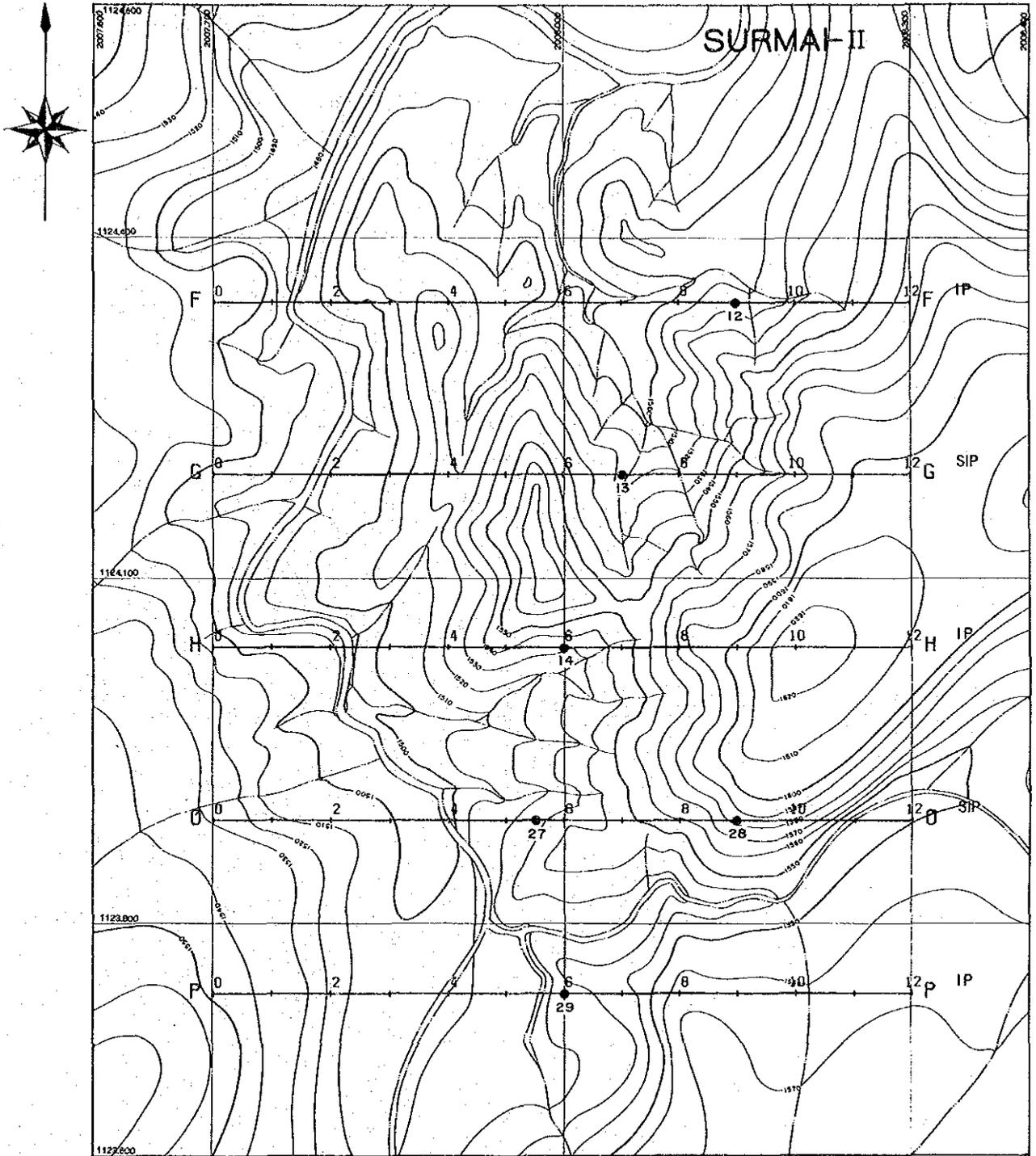
SIP 法とは Spectral Induced Polarization Method の略称で、従来の IP 法が2つの周波数における比抵抗変化を百分率で表すものであるのに対し、SIP 法は 0.01~100Hz



LEGEND

- 12 Location of Rock Samples
- Survey Line

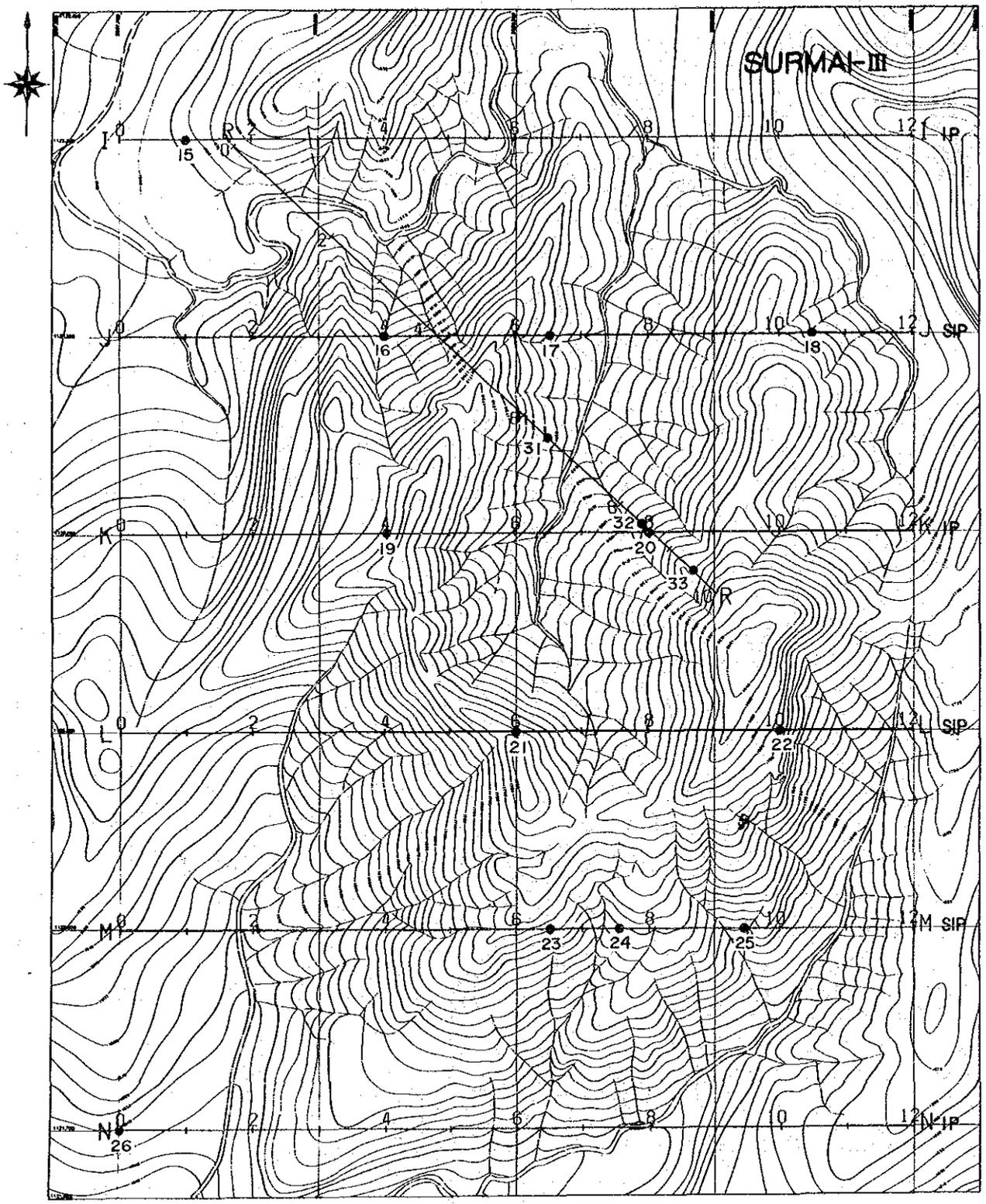
第Ⅲ-3-1図 スルマイ I地区 測線位置図



LEGEND

- 12 Location of Rock Samples
- Survey Line

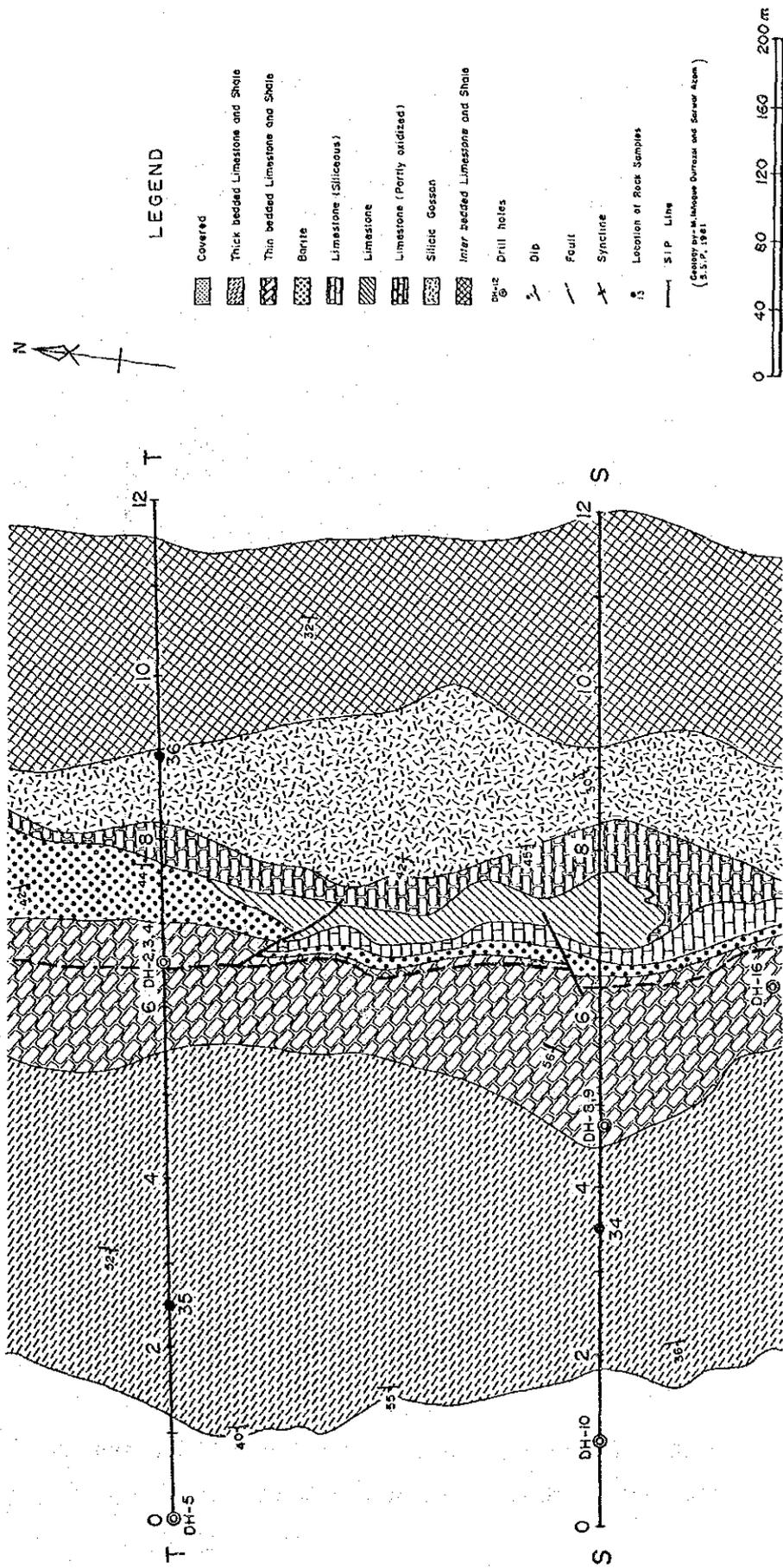
第Ⅲ-3-2図 スルマイ II地区 測線位置図



LEGEND

- Location of Rock Samples
- Survey Line

第Ⅲ-3-3図 スルマイ Ⅲ地区 測線位置図



第Ⅲ-3-4図 グンガ鉱山地区 測線位置図

第Ⅲ-3-1表 測線長及び測点数一覧表

測線名	I P 法		S I P 法	
	測線長	測点数	測線長	測点数
Surmai I 地区				
Line A	800m	60点		
Line B			800m	60点
Line C	800m	60点		
Line D			800m	60点
Line E	800m	60点		
Line Q			800m	60点
合計	2400m	180点	2400m	180点
Surmai II 地区				
Line F	600m	40点		
Line G			600m	40点
Line H	600m	40点		
Line O			600m	40点
Line P	600m	40点		
合計	1800m	120点	1200m	80点
Surmai III 地区				
Line I	1200m	40点		
Line J			1200m	40点
Line K	1200m	40点		
Line L			1200m	40点
Line M			1200m	40点
Line N	1200m	40点		
Line R			1000m	30点
合計	3600m	120点	4600m	150点
Gunga 鉾山地区				
Line S			600m	40点
Line T			600m	40点
合計			1200m	80点
合計	7800m	420点	9400m	490点

間の多周波数での比抵抗変化及び位相差等を測定するもので、従来の IP 法と原理的に同じ方法である。測定値は位相差 (Phase) 及び振幅 (Magnitude) のスペクトル図、コー

ル・コール図に表現され、これらの IP 応答を解析することにより 鉱種・鉱床タイプの判別や、電磁カップリング(大地の比抵抗が低い場合や、電極間隔や電極隔離係数が大きくなった場合に生じる)を除去しようとするものである。

本調査ではゾング社(米国)の開発したハーモニックシステムを使用した。この装置は 0.125, 1.8 Hz の3つの基本波に対して それぞれ、3倍, 5倍, 7倍, 9倍, 11倍の高調波を FFT で解析、抽出することにより、0.125 Hz～ 88 Hzまでの IP 応答を測定するものである。

SIP 法では 位相差も測定するので、送信機側の波形観測が必要となり、そのために受信機と送信機間を結ぶ信号ケーブル(Communication wire)を、測定する本測線から 25～30 m 離して平行に展開する(第Ⅲ-3-5図(a)参照)。受信点では 飽和硫酸銅溶液-銅棒を用いたポット電極3個とプリアンプにより 信号が増幅される(第Ⅲ-3-5図(b)参照)。増幅された信号は 信号ケーブルで受信機本体 (GDP-12/2GB)へ送られてデータ処理され、プリントアウトされる。

一方、IP 法は0.3Hz 及び3.0 Hz の2周波数を用いた通常の周波数領域に属する手法である。

3-1-4 測定機器

本調査に使用した測定機器を 第Ⅲ-3-2表に示す。又、測定機器のブロックダイヤグラムを第Ⅲ-3-6図に示す。

3-2 データ処理と岩石試料測定

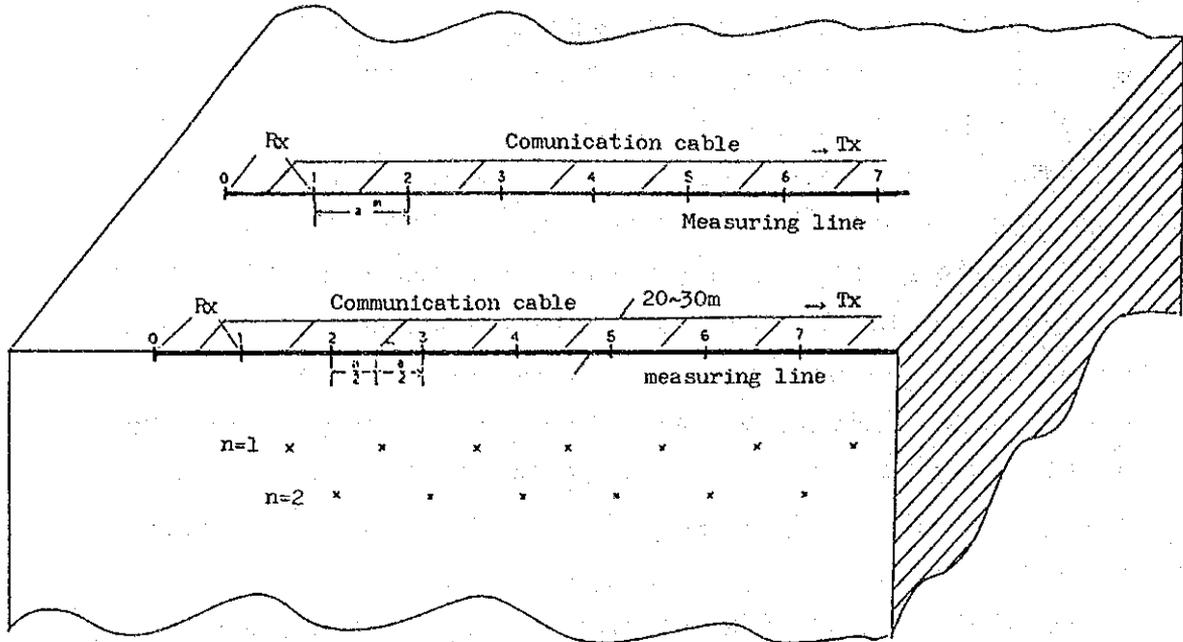
3-2-1 IP法データ処理

周波数効果(Percent Frequency Effect :PFE)及び見掛け比抵抗(Apparent Resistivity : AR)については、各測線毎の断面図をもとにパネル図を作成し、平面図に関しては電極隔離係数 $n=1, 3, 5$ の3平面図を作成した。

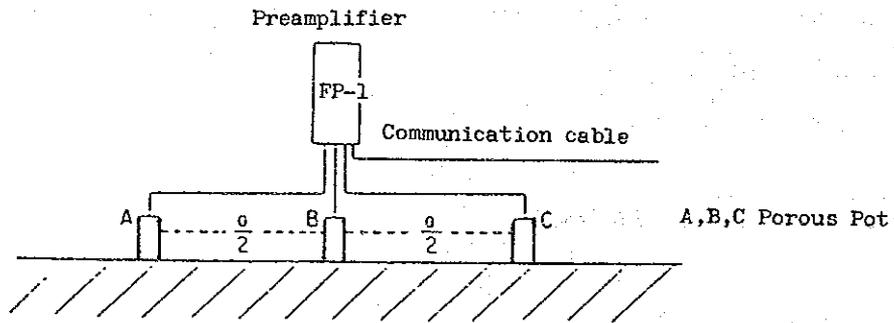
(A) 周波数効果(PFE)は IP法では0.3 Hz及び3.0 Hzにおける比抵抗(ρ_a)の値から、また SIP法では0.125 Hz及び1.0 Hzにおけるマグニチュード(Mi)から次式によって計算される。

$$PFE (IP法) = \frac{\rho_a(0.3 \text{ Hz}) - \rho_a(3.0 \text{ Hz})}{\rho_a(3.0 \text{ Hz})} \times 100 \quad (\%)$$

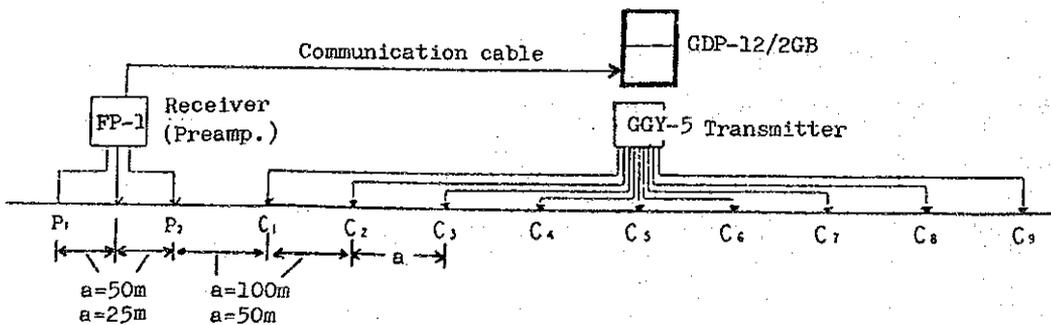
$$PFE (SIP法) = \frac{M(0.125 \text{ Hz}) - M(1.0 \text{ Hz})}{M(1.0 \text{ Hz})} \times 100 \quad (\%)$$



(a) SIP measuring line



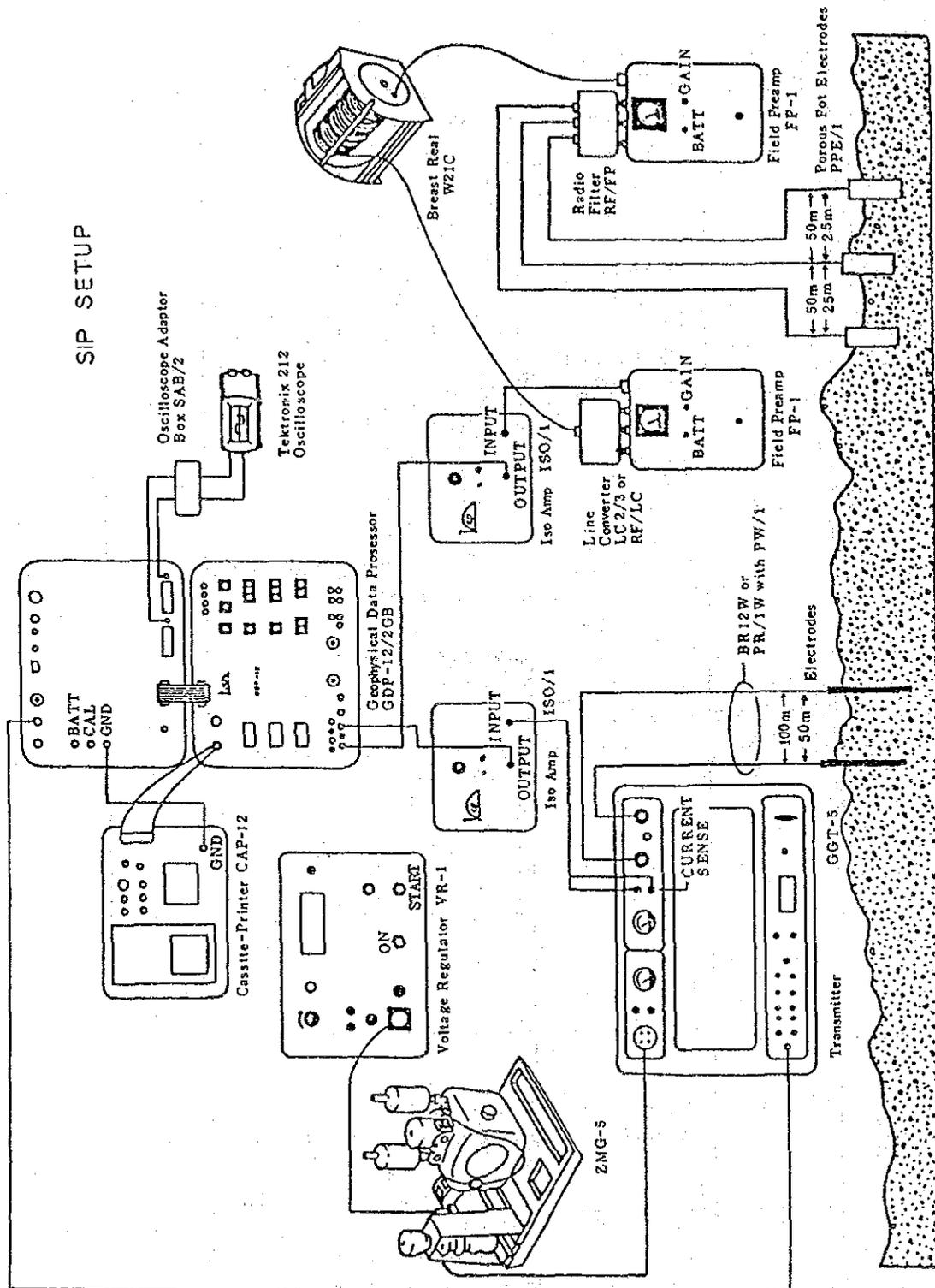
(b) Receiver station



(c) Extention of electrode

第Ⅲ-3-2表 SIP・IP 測定機器一覧表

種 類	名 称	仕 様	数 量
送信機システム	千葉電子 CH-88A SIP トランスミッター	出力電圧: 200, 400, 600, 800, 1000V 出力電流: 0.2~5.0A 出力波形: 矩形波 出力周波数: 0.125Hz~8Hz 重 量: 37Kg	1 台
	XMT-12 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
	千葉電子 Model 8104T IP トランスミッター	出力電圧: 200, 350, 500, 650, 800V 出力電流: 0.2~2.5A 出力波形: 矩形波 出力周波数: 0.1Hz~3Hz 重 量: 14Kg	1 台
エンジン 発電機	ゾング ZMG-5 SIP 発電機	最大出力: 5KW 周 波 数: 400Hz 定格電圧: 115V	1 台
	ホンダ G400 マッカー NR-II IP 発電機	最大出力: 2KW 周 波 数: 400Hz 定格電圧: 115V エンジン: 10hp1気筒空冷4サイクル	1 台
SIP 受信機 システム	GDP-12/2GB	信号入力: 2チャンネル 受信周波数: 1/8~88Hz (18種類) 受信電圧感度: 0.2 μ V 重 量: 15Kg 電 源: 12Vバッテリー	2 台
	CAP-12 ミニカセット記録計	重 量: 6.2Kg 電 源: 12Vバッテリー	2 台
	212 オシロスコープ テクトロニクス		1 台
	ISO/1 Isolation Amp		3 台
	FP-1 Field Preamp		3 台
IP 受信機	YDC-7505B 横浜電子	受信周波数: 0.1Hz~3Hz 受信電圧感度: 10 μ V min. (1, 10, 100, 1000mV) 重 量: 3Kg 電 源: 006P バッテリー 4個	1 台
電 極	電流電極	ステンレス: ϕ 0.6cm, 長さ61cm	200本
電 線	電位電極	飽和硫酸銅溶液非分極性電極	5 個
	送電線	YSF \times 1.00mm ² ビニール電線	8,000m
	信号ケーブル	640m巻 シールド電線	4 巻
測定器材	半方ポケットコンパス 100mエスロン間縄		2 台



第Ⅲ-3-6図 SIP法 測定装置ブロックダイアグラム

(B) 見掛比抵抗(AR)は 次式によって算出される。

$$A R = \pi a \cdot n (n+1)(n+2) \cdot V / I \quad (\text{ohm-m})$$

ここで a : 電極間隔 (m) n : 電極隔離係数
 V : 受信電圧 (Volt) I : 送信電流 (Amp)

本調査のIP 法では0.3 Hz、SIP法では0.125 Hzにおける見掛比抵抗値を計算しており、また 導電紙を用いた地形補正を実施している。

3-2-2 SIP法データ処理

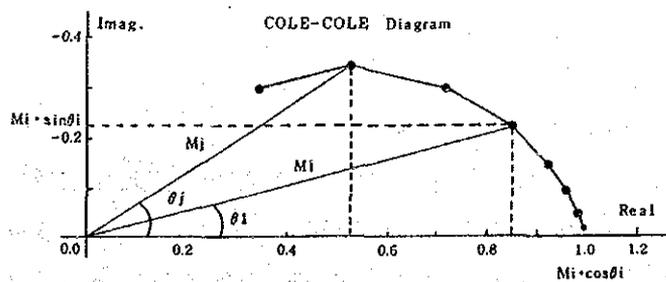
フィールド測定で得られるデータは 各周波数における信号の実数成分(Real part) 虚数成分(Imaginary part)及び基本波の見掛比抵抗、位相差、入力信号の振幅等である。これらのデータから 次の図面が作成される。

- ① コール・コール図(Cole-Cole Diagram)
- ② マグニチュードスペクトル(Magnitude Spectrum)
- ③ 位相差スペクトル(Phase Spectrum)
- ④ 各周波数毎の位相差断面図(Raw Phase)
- ⑤ PFE 断面図 (PFE Pseudo-section)
- ⑥ 見掛比抵抗断面図 (Apparent Resistivity Pseudo-section)

以下これらの図面の作成及び解析方法について述べる。

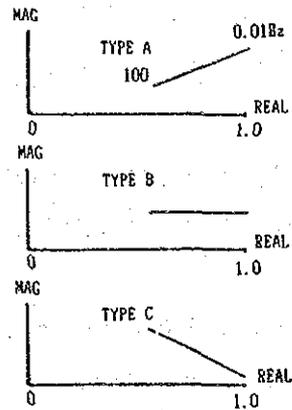
(A) コール・コール図(Cole-Cole Diagram) :

コール・コール図は 横軸に実数成分、縦軸に虚数成分をとり、各周波数のプリントアウトデータをプロットしたもので第Ⅲ-3-7図にその一例を示す。同図における θ_i 及び M_i は、それぞれ位相角(Phase angle)、振幅(Magnitude)と呼ばれている。コール・コール図は 鉱種や岩種などによっては特有なスペクトルを示すことが知られている。



第Ⅲ-3-7図 コール・コール図

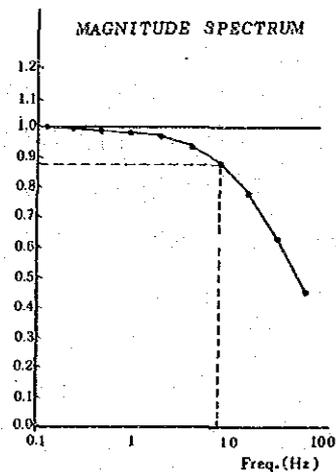
Zonge et alの研究によれば、右図に示すような3つのタイプに分けられる。すなわち、硫化鉱物、強変質、グラファイトでは、右上がり(Type A)。少量の黄鉄鉱を含むもの、中程度の変質では水平(Type B)、弱変質、沖積層、新鮮な火成岩、石灰岩等では右下さがり(Type C)を示す。本調査でもコール・コール図の判定にはこの3種のタイプ分けに準拠した。



(B) マグニチュードスペクトル図(Magnitude Spectrum) :

マグニチュードとは 第Ⅲ-3-7図の M_i や M_j のことで、フィールドデータの実数成分及び虚数成分から容易に求められる。この値は最低周波数(0.125Hz)のマグニチュード(M_0)で割算され正規化される。これらのマグニチュードを縦軸に、横軸には周波数をとってプロットしたものがマグニチュードスペクトル図である(第Ⅲ-3-8図)。

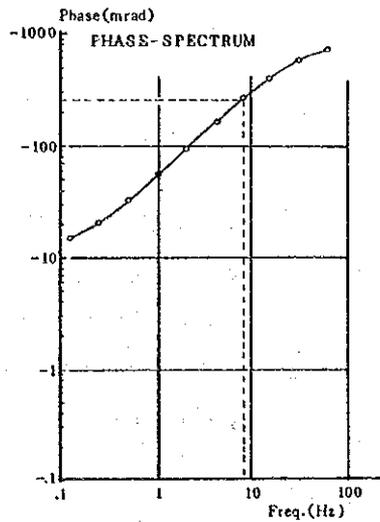
マグニチュードスペクトル図では、鉱化作用、変質のない新鮮な岩石は ほとんどフラットであり強変質、硫化鉱物、グラファイト等では 高い周波数で下がるスペクトルを示す。



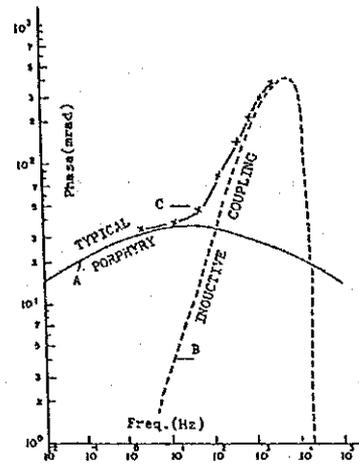
第Ⅲ-3-8図 マグニチュードスペクトル図

(C) 位相差スペクトル(Phase Spectrum) :

位相差スペクトル図は 第Ⅲ-3-7図の位相角 θ を縦軸に、周波数を横軸にプロットしたものである(第Ⅲ-3-9図(a))。フィールドで測定されるデータには 本来のIP効果(第Ⅲ-3-9図(b)実線A)と電磁カップリングによる偽のIP効果(同図 破線B)が含まれており、両者が合成された同図 C で示される××線がフィールドデータとしてえられる。すなわち 第Ⅲ-3-9図(a)のような位相差スペクトルが測定される。



(a)



(b)

第Ⅲ-3-9図 位相差スペクトル図

3-2-3 デカップル処理

フィールドデータから電磁カップリングで生じる偽のIP効果分を除去することをデカップル処理と呼んでいる。本調査ではA及びB測線の全データについてデカップル処理を行っている。以下 電磁カップリング除去法について述べる。

デカップリング除去法

本調査のSIP測定値に対する電磁カップリングの除去法は、P. G. HallofとW. H. Peltonの考案した方法に準じて行った。この方法の概略を以下に述べる。

SIP測定で得られる複素インピーダンス $Z_A(f)$ を次式で近似する。

$$Z_A(f) = R_0 \left[1 - m_1 \left(1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_1) c_1} \right) - m_2 \left(1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_2) c_2} \right) + m_3 \left(1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_3) c_3} \right) \right]$$

ここに、 m は充電率、 τ は時定数、 C は周波数従属、及び f は周波数である。

式は次の3つの項に分類される。

$$1 - m_1 \left(1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_1) c_1} \right) \quad (1)$$

$$-m_2 \left(1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_2) c_2} \right) \quad (2)$$

$$+m_3 \left(1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_3) c_3} \right) \quad (3)$$

この3つの項はそれぞれ第(1)項がIP応答、第(2)項が均質大地による電磁カップリング、及び(3)項が良電導体による電磁カップリングの量を表現したものである。非線型最小二乗法により、SIP測定値を用いて上式の10個のパラメータ $P(R_0, m_1, \tau_1, c_1, m_2, \tau_2, c_2, m_3, \tau_3, c_3)$ を決定する。上式から電磁カップリングを表現する第(2)及び第(3)項を除去し、IP応答だけによる複素インピーダンス $Z_{co}(f)$ を求める。

$$Z_{co}(f) = \left[1 - m_1 \left(1 - \frac{1}{1 + (i2\pi f \tau_1) c_1} \right) \right]$$

3-2-4 岩石試料測定

調査域に分布する主要な岩石、及び鉱石のSIP特性を知ることは調査結果を考察するうえで重要なことである。本調査では地域内の地表岩石試料40個の試料についてSIP測定を行い、位相差及びマグニチュードのスペクトル、コール・コール特性、PFE、比抵抗値を調べた。試料の採取位置は各地区の測線位置図(第Ⅲ-3-1図~第Ⅲ-3-4図)に示した。

測定は次の手順によった。

- ① 試料の整形：試料は標準サイズとして、1辺が3cmの立方体に整形した。
- ② 水浸：試料が十分に湿潤状態となるよう、24時間蒸留水に浸す。
- ③ 測定：第Ⅲ-3-10図に測定装置の概要図を示す。実験用送信機(Labo. Transmitter)を除き、すべてフィールドと同じ測定機器及び測定方法である。電流値は5~30 μ Aを標準とした。

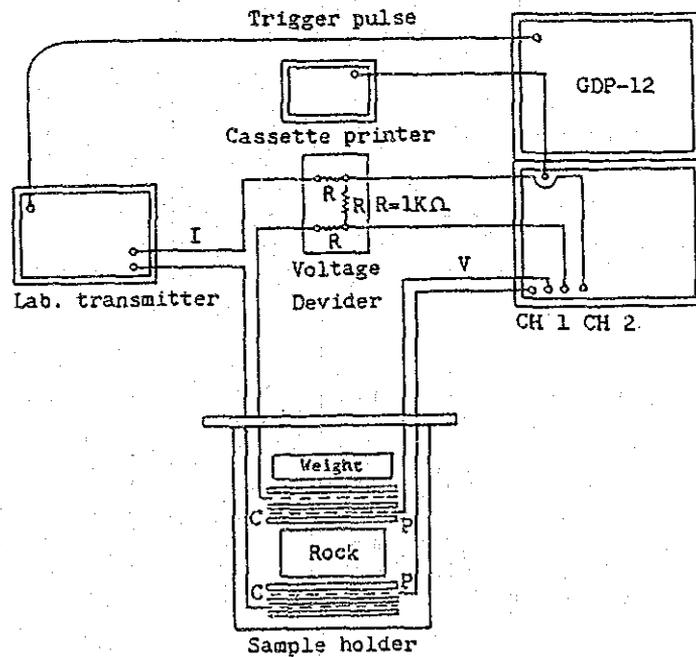
岩石試料のSIP測定結果

測定結果は岩種別にまとめて第Ⅲ-3-3表に示した。また岩石試料個々のSIP特性をプロットしたスペクトルは巻末資料に示す。岩石試料の位相差スペクトルは第Ⅲ-3-11図に示したA, B, C, D, E, Fの6種類のスペクトルに分類できる。位相差スペクトルとコール・コール図のタイプとの関連は第Ⅲ-3-4表に示すように位相差スペクトルのA~Dタイプがコール・コール図の“B またはC”タイプで、位相差スペクトルのE及びFタイプは“A

*タイプを示す場合が多い。

これらの表から次の事項が指摘できる。

- ① 鉱石試料の位相差、PFE は石灰岩の約5倍大きな値を示す。
- ② 位相差と PFE には 正の相関が認められ、PFE 5%以上の試料は位相差も30 mrad 以上の値を示す。
- ③ 比抵抗に関しては 198~25,405 ohm-m の広い範囲の値を示すが、全般に高い値の試料が支配的であって、500 ohm-m 以下の比抵抗値を示すものは 鉱石の8 試料 (全体の20%)である。
- ④ 位相差スペクトルとの関連では、位相差、PFE ともに高い値の試料はE、Fタイプを示し、比抵抗値とは 関連性が認められない。
- ⑤ 石灰岩は 比抵抗が 2,000 ohm-m 以上のものが多く、位相差スペクトルも A、B、C、Dタイプに属するものが多い。
- ⑥ バライトは高比抵抗、低PFE値を示し、石灰岩との間に物性値の違いは認められない。



第Ⅲ-3-10図 岩石試料測定装置

第Ⅲ-3-3表 岩石試料の物性試験結果一覧表

Sample No.	Location Line No.	Rock	Phase (- μ rad)	P F E (%)	Resistivity (ohm-m)	Spectrum Type		Remarks
						Phase	ColeColor	
SURNAI AREA								
14	H 6	Ore	39.4	6.0	396	E	A	Anjira II
29	P 6	Ore	26.0	3.7	337	A	B	Anjira II
	Average value		32.7	4.9	367			
13	G 7	Ore	58.1	7.2	390	F	A	Loralai IV
2	B 12	Ore	13.5	2.0	523	A	B	Loralai III
4	C 10	Ore	30.2	3.7	4,090	D	C	Loralai III
5	C 11	Ore	31.6	4.2	1,173	B	B	Loralai III
8	D 9	Ore	40.0	5.5	675	B	B	Loralai III
26	N 0	Ore	12.5	2.5	329	E	B	Loralai III
3	B 15.5	Ore	93.8	11.2	816	F	A	Loralai II
16	J 4	Ore	14.8	2.3	695	A	C	Loralai II
19	K 4	Ore	24.0	3.1	676	A	B	Loralai II
20	K 8	Ore	18.6	2.7	403	A	B	Loralai II
22	L 10	Ore	13.9	1.9	2,465	A	C	Loralai II
23	M 6.5	Ore	103	14.8	291	E	A	Loralai II
25	M 9.5	Ore	99.3	13.1	198	E	A	Loralai II
32	R 8.5	Ore	37.7	5.0	1,822	B	B	Loralai II
33	R 9.5	Ore	11.3	1.7	612	E	C	Loralai II
11	E 11	Ore	27.2	3.3	575	B	B	Loralai I
	Average Value		39.3	5.3	983			
27	O 5.5	Limestone	9.1	1.2	2,253	B	B	Anjira II
6	D 1	Limestone	0.7	0.1	16,646	A	B	Anjira II
15	I 1	Limestone	3.5	0.5	6,266	A	B	Anjira II
7	D 5	Limestone	11.2	1.7	2,777	A	B	Anjira I
12	F 9	Limestone	3.2	0.5	25,405	A	C	Anjira I
	Average Value		5.5	0.8	10,669			
1	A 8	Limestone	3.2	0.5	15,336	A	B	Loralai IV
10	E 1	Limestone	4.8	0.7	15,670	C	C	Loralai IV
28	O 9	Limestone	5.4	0.8	8,051	C	C	Loralai IV
30	Q 8.5	Limestone	2.6	0.4	11,371	A	B	Loralai IV
18	J 10.5	Limestone	5.2	0.9	5,785	A	B	Loralai III
24	M 7.5	Limestone	7.0	1.0	14,200	A	B	Loralai III
9	D 11	Limestone	6.3	0.9	8,920	A	C	Loralai II
17	J 6.5	Limestone	7.6	1.0	12,734	D	C	Loralai II
21	L 6	Limestone	5.2	0.7	4,244	A	E	Loralai II
31	R 6.5	Limestone	3.1	0.4	23,648	D	C	Loralai II
	Average Value		5.0	0.7	11,99			
GUNGA MINE								
37	Gunga M.	Ore	15.8	2.3	293	E	B	Anjira II
36	T 9	Ore	42.0	5.7	704	A	B	Anjira II
	Average Value		28.9	4.0	499			
38	Gunga M.	Barite	0.5	0.1	22,636	D	-	Anjira II
39	Gunga M.	Barite	1.9	0.3	3,024	E	B	Anjira II
40	Bunga M.	Barite	0.5	0.02	15,666	E	-	Anjira II
	Average Value		1.0	0.1	13,776			
34	S 3.5	Limestone	13.1	2.0	6,221	B	B	Anjira III
35	T 2.5	Limestone	9.5	1.3	10,232	B	B	Anjira III
	Average Value		11.3	1.7	8,227			

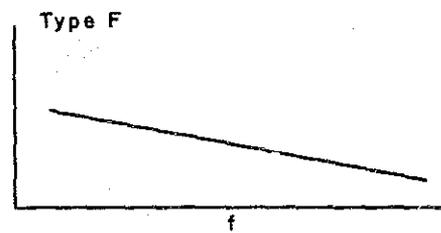
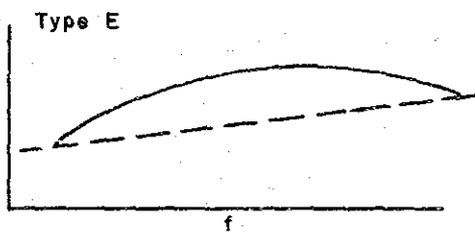
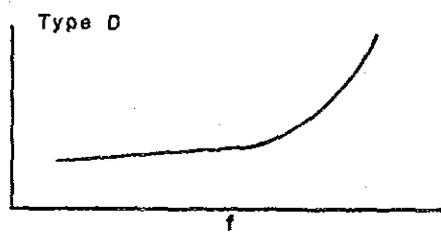
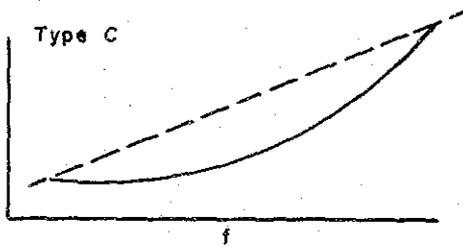
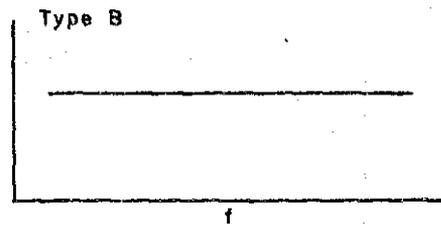
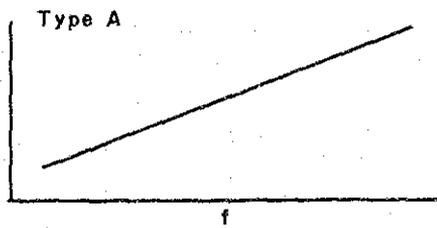


Fig. III-3-11 Phase Spectrum Types of Rock Samples

第Ⅲ-3-4表 位相差-コール・コールスペクトル対比表

Cole・Cole Type Phase Type	A	B	C	Total No.
A	-	13	4	17
B	-	7	-	7
C	-	-	2	2
D	-	-	3	3
E	3	2	1	6
F	2	-	-	2
Total Number	5	22	10	37

【注】パライト試料(3個)はコール・コールスペクトルが不明のため除外した。

3-3 解析結果

スルマイ地区の調査結果は次のようにとりまとめた。

見掛比抵抗、PFEのそれぞれの平面図と断面図はSIP及びIP測線のデータを一括して作成した。平面図はスルマイⅠ～スルマイⅢの各地区毎に電極隔離係数 $n=1, 3, 5$ の平面に関する見掛比抵抗及びPFE平面図を作成した。また断面図は各測線毎に断面表示した見掛比抵抗及びPFEを並べパネル図とし各地区毎に作成した。

一方、SIP応答に関しては $0.125\sim 3$ Hzの5周波数の位相差変化、位相差スペクトル、マグニチュードスペクトル及びコール・コール図を各測線毎の擬似断面に図化した。

以下これらの図面をもとに測定結果を述べる。

3-3-1 見掛比抵抗平面図及び断面図

スルマイ地区の見掛比抵抗値は $1.9\sim 2,247$ ohm-mの範囲にあり、平均値(M)は 83 ohm-m、常用対数をとった後の標準偏差(σ)は 0.494 である。 $M+\sigma$ 、 $M-\sigma$ はそれぞれ 260 ohm-m、 26.7 ohm-mとなり、この値に近いコンタ値の 300 ohm-m、 30 ohm-mをそれぞれ高比抵抗及び低比抵抗の基準値とした。

スルマイⅠ地区

見掛比抵抗平面図 (第Ⅲ-3-12(1)図～第Ⅲ-3-12(3)図)

見掛比抵抗の分布状況は、地域の中央にN-S方向に低見掛比抵抗帯が分布している。主要な高見掛比抵抗帯は地域北東部($n=1$ 平面)に、地域北西部($n=3, 5$ 平面)に認められる。低見掛比抵抗帯はアンジラ部層ユニット-Ⅳの分布とほぼ一致している。

見掛比抵抗断面図 (第Ⅲ-3-13図)

本地区の見掛比抵抗断面図から次の事項が指摘できる。Line Qを除く各測線のほぼ中央には 30 ohm-m以下の低見掛比抵抗帯があって、この西縁はアンジラ部層とロライ部層との境界部とほぼ一致する。一方、高見掛比抵抗帯はLine AからLine Eの西端部とLine BからLine Eの東端部に検出されている。特にLine Cの東端部の高見掛比抵抗帯は間に低見掛比抵抗帯があってサンドイッチ状の比抵抗構造を示す。

スルマイⅡ地区

見掛比抵抗平面図 (第Ⅲ-3-14(1)図～第Ⅲ-3-14(3)図)

低見掛比抵抗帯は $n=1$ 平面の東端部に検出されているものが顕著なもので、 $n=3$ 平面では南東部に、 $n=5$ 平面では中央北部に小規模な分布が認められる。東端部のものはロライ

部層ユニット-IIとIII層の境界に沿って検出されている。

見掛比抵抗断面図 (第III-3-15図)

本地区の見掛比抵抗断面図から次の事項が指摘出来る。低見掛比抵抗は Line F ~ Line P の全断面で検出されているが、測線の東側に小範囲な分布を示す。Line G より南部では 南部ほど分布範囲が広がっており、地質的にはロラライ部層ユニット-IVの分布に沿って検出されている。

スルマイ III 地区

見掛比抵抗平面図 (第III-3-16(1)図~第III-3-16(3)図)

本地区では n=1平面で高見掛比抵抗が北西部と南東部に卓越して分布する。n=3平面では東部の低見掛比抵抗帯、中央部の高見掛比抵抗帯が顕著なものである。n=5平面では小規模な低見掛比抵抗帯が北部に検出されている。これらの高、低見掛比抵抗帯は いずれもN-S方向の分布を示す。

見掛比抵抗断面図 (第III-3-17(1)図~第III-3-17(2)図)

本地区においては Line L~Kの間では低見掛比抵抗が支配的である。高見掛比抵抗は局所的な小規模な分布を示す。一方、Line L ~M には 高見掛比抵抗が各測線の中央部に分布している。本地区の地質分布は 北西域のアンジラ部層の分布を除けばロラライ部層が分布している。比抵抗の分布からアンジラ部層とロラライ部層を識別することは、比抵抗値に差異がないため困難である。

3-3-2 P F E 平面図及び断面図

スルマイ地区の PFE 値は -8.3~5.2%の範囲にあり 平均値(M)は 0.66%, 標準偏差(σ)は 0.772で $M+\sigma$, $M+2\sigma$ はそれぞれ 1.43%, 2.20%である。0.5%区間で作成したヒストグラムは ほぼ正規分布を示す。また本地区の岩石試料の測定結果から、石灰岩は 0.7%以下であるのでPFE異常域は $M+\sigma$ に近い 1.5%以上を弱異常、 $M+2\sigma$ に近い2.5%以上を異常域の基準値とした。

これらの値をもとにPFE平面図及び断面図から弱異常域、異常域を抽出すると 下記の事項が指摘できる。

スルマイ I 地区

P F E 平面図 (第III-3-18(1)図~第III-3-18(3)図)

本地区のPFE異常域は北東部と北西部に検出されている。北東部の異常域はLine B, C, D の3測線に亘り、ほぼNE-SW方向に分布するゴッサンと調和する異常である。n=1 平面で

はLine B, C に、n=5 平面ではLine B, C 及びLine C, D, E の測線のほぼ中央に検出されている。この異常にはネガティブPFEが伴っており、n=3 平面でのLine B では -8.3%のネガティブPFE最大値を示す。

北西部の異常域は主に Line A~C に亘り検出されており、ほぼN-S 方向に連続する。n=1平面ではLine C No. 2でPFE値 5.2%を検出しておりこの地区では最も大きな値を示す。n=5平面では弱異常域はLine D にも及び、その方向はNE-SW方向に連続する。この異常域の分布はアンジラ部層ユニット-IIの分布域と一致する。

PFE断面図 (第Ⅲ-3-19図)

注目されるPFE異常としては Line B No. 10-13, Line C No. 2, Line C No. 9-11, No. 13-14, Line D No. 6-9 の下部に検出された異常が挙げられる。特に地表で把握している鉍化帯の下部延長部の異常はLine B No. 10, Line C No. 10, Line D No. 6-9 と連続しており最も注目される。またLine B No. 12 とLine C No. 13-14下部には10 ohm-m以下の低比抵抗部に対応するネガティブPFEが検出されている。

スルマイⅡ地区

PFE平面図 (第Ⅲ-3-20(1)図~第Ⅲ-3-20(3)図)

本地区のほぼ中央にN-S方向のPFE弱異常域が延びており 1%のコンターはほぼアンジラ部層とロライ部層の境界に一致している。また本地区の鉍化帯の分布とも調和する。n=3 平面ではLine F, G の中央部に弱異常が2箇所分布し Line H, O では中央部に一箇所検出されている。n=5 平面では弱異常は Line F, G, O の3測線に点在するのみで、まとまりのある異常域を形成するに至っていない。

PFE断面図 (第Ⅲ-3-21図)

本地区のPFE断面では 1.5%以上の弱異常が西傾斜で検出されている。このうちLine Fの異常が浅部より深部まで続く異常を形成しており規模も大きい。本地区ではいずれの異常もアンジラ部層とロライ部層の境界部にあり、N-S方向に走る断層に沿う小規模の鉍化帯に調和する異常である。

スルマイⅢ地区

PFE平面図 (第Ⅲ-3-22(1)図~第Ⅲ-3-22(3)図)

本地区ではPFE異常域は北西部と中央南東部に検出されている。n=1 平面では グンガ鉍床の胚胎層準であるアンジラ部層の分布する Line I, J の西端部に弱異常が検出されており、Line K, M の東側ではネガティブPFE値が得られている。n=3 平面ではLine JとR との交点と Line L No. 8付近に弱異常値が検出されている。これらは鉍化変質帯の下部延長

部に位置する。n=1 平面でアンジラ部層内の弱異常は消滅している。n=5 平面ではLine J No. 4 に3.2%を示す高いPFE値を検出している。また、Line J No. 8 付近でも2.3%の値が得られている。これらはn=3 平面で把握した異常の下部延長部に当たる。

PFE断面図 (第Ⅲ-3-23(1)図～第Ⅲ-3-23(2)図)

各測線毎のPFE分布は第Ⅲ-3-23(1), (2)図に示すようにパネル図として表示し、異常源の形状と深度を推定した。注目される異常はLine J No. 4 の下部とLine L No. 7-8の下部に検出された異常である。前者は深部で広がりのある異常で、後者は鉛直な異常である。一方Line I, K, M, N の各測線にはネガティブPFEが広範囲に検出されていて、スルマイ I, II 地区にはない特徴である。

3-3-3 位相差断面図

位相差については 0.125, 0.375, 0.625, 1, 3 Hzについて断面表示を行ない位相差の周波数依存性を検討した(第Ⅲ-3-24図～第Ⅲ-3-32図参照)。また後述するデカップル処理後の各周波数についても併せて表示した。

データ処理前の0.125 Hzの位相差断面はPFE断面と相関があり高PFE部は位相差も大きいことが指摘できる。又、各断面において0.125 Hzから高周波数になるほど位相差の値は僅かに大きくなって電磁カップリングの影響が認められるが、無視しうる程度である。これは本地域がジュラ紀の石灰岩に覆われている為、比抵抗が高いことにより電磁カップリングの影響が極めて小さいことを示す。

デカップル処理後の各周波数の位相差は処理前の0.125 Hzのそれと殆ど同じで変化しておらず、わずかに認められる電磁カップリングの影響もデカップル処理により除去されている。

3-3-4 各種スペクトル図

SIP法を実施した各測線について、位相差スペクトル、マグニチュードスペクトル、コール・コール図を作成し擬似断面表示をした。また、デカップル処理後の各種スペクトル図も併せて表示した。以下 各種スペクトルの特性について述べる。

位相差スペクトル:

全般に位相差スペクトルは AタイプまたはDタイプ(第Ⅲ-3-11図参照)のスペクトルが支配的である。これは石灰岩や頁岩等の高比抵抗、低PFE値を示す岩石に認められるタイプである。一方、PFE異常値が検出されている部分では 位相差の値も 10 mrad 以上の大きな値となっている。10 Hz以上の高周波域では 若干の電磁カップリング現象により傾きが大きなスペクトルを示している。また、ネガティブPFEを検出している部分では 位相差

の符号も逆になっており、スペクトルもV型の特異なスペクトルを示す。これらの現象はつぎの部分で認められる。(1) Line B No. 10-No. 14 (2) Line D No. 7-No. 10 (3) Line J No. 3-No. 5 (4) Line M No. 3-No. 5, No. 9-No. 10

デカップル処理後の位相差スペクトルは高周波域の電磁カップリングが除去されたために殆どすべてがBタイプに属するほぼ水平なスペクトルを示しており、ネガティブな位相差の部分も消滅している。高PFE値が検出されている部分では他に比べ高い位相差値から始まる水平なスペクトル、または傾きの小さな右上がりのスペクトルとなっており異常部分が明確になっている。鉱石(ゴッサン)の室内試験の試料に認められたEタイプ、FタイプのスペクトルはLine B No. 5の下部に認められる。

マグニチュードスペクトル:

殆ど基線に近い水平なスペクトルが支配的で、 $n=3$ 以上の深い部分では右下がりのスペクトルとなる傾向が認められる。

デカップル処理後のマグニチュードスペクトルでは深部のスペクトルも殆ど水平で浅部のものと同じ水平なスペクトルを示す。高PFE部(高位相差部)では右下がりのスペクトルが保存されており電磁カップリングとは異なるIP特性によるものと思われる。

コール・コールダイヤグラム:

全般に右下がりのCタイプ(3-2-2項参照)に属するものが支配的である。実数部分(純抵抗分)が殆どで虚数部分が小さいため、スペクトルの線分は短い。特にデカップル処理後は虚数部分が殆ど零となるため点としか表現されていない。デカップル処理前のスペクトルでLine BのNo. 10, 11の下部に立ち上がりの急な長いスペクトルが得られているが、これは測定時に電線の配線上生じた電磁カップリングに起因するものと推定され、鉱床による異常スペクトルとは考えられない。

3-3-5 デカップル処理図

デカップル処理を実施した位相差、マグニチュード、コール・コール等については各項で処理前の生のデータとともに表示し、特性について記述したので本項では省略する。本地域の比抵抗値が全般に高いことから大地による電磁カップリングの影響は極めて少ないことが推定でき、このことは5周波数(0.125~3 Hz)の位相差の値は処理前と処理後で大きな変化は認められないことから裏付けられる。又、電磁カップリングは10 Hz以上で僅かに生じているが、デカップル処理によりほぼ完全に除去されている。処理後の10 Hz以上の領域において位相差スペクトル、マグニチュードスペクトルは10 Hz以下の低周波域のスペクトルと殆ど同じである。

3-3-6 シミュレーション解析図

前述の異常は 擬似断面上で定性的に評価、判定されたものである。定量的解析としてはモデルシミュレーションにより、異常源の位置、PFE及び比抵抗値などを求めた。モデルシミュレーションは 主要な異常、即ち、スルマイⅠ地区ではLine C, D スルマイⅢ地区ではLine J, L で検出された異常について実施した。

Line C (第Ⅲ-3-42図) : 本測線では、No. 11-13 にゴッサンがあって、その下部に弱異常が認められ、No. 2、No. 4-6 及びNo. 13-14 の下部にも異常が検出されている。ゴッサンは コード 2(10 ohm-m, 5%)、その下部に推定される初生帯は コード 5(100 ohm-m, 10%) で表した。又、No. 2 の浅部、No. 5-6付近のアンジラ部層のユニット-Iに関連する異常については それぞれコード 2、コード 3(200 ohm-m, 3%)で表した。

シミュレーションの結果は ほぼ測定結果と調和しており妥当なものと考えられ、初生帯は地表下約150mに位置し、幅約80mと推定される。

Line D (第Ⅲ-3-43図) : Line B, Line C で把握されているゴッサンの南西延長部は No. 9-10 に認められ、異常の位置は 西側のNo. 6-8 の下部に検出されている。シミュレーションモデルは No. 4-6 の下部にコード 3(50 ohm-m, 10%)を、また ゴッサンは コード 2(100 ohm-m, 1.5%)を設定した。

シミュレーションの結果は 測定結果と調和しており妥当なモデルと考えられる。予想される鉱床の位置は No. 4-6 の地表下80m~100m に位置する。

Line J (第Ⅲ-3-44図) : 本測線では スルマイⅢの鉱徴地の中で最も有望な異常が検出されている。No. 4-5 のゴッサン、No. 8 の下部に検出されている異常に対応してコード 2(10ohm-m, 8%)を設定している。又、アンジラ部層ユニット-1として コード 6(10 ohm-m, 0.5%)を設定している。

シミュレーションの結果は ほぼフィールドデータのパターンと調和する。ゴッサン下部の初生帯は地表下約250m に位置し、幅は150m 前後と推定される。

Line L (第Ⅲ-3-45図) : No. 5-7 に認められるゴッサンの東下部延長部に検出された異常である。初生帯はコード 3(50 ohm-m, 7%)で表している。また、No. 10-12の下部にも同じ物性をもつ異常源を設定している。

シミュレーションの結果は ほぼ測定結果と調和するパターンが得られている。胚胎深度は 地表下100m 前後である。

シミュレーションにより確認された初生帯の位置、深度、幅を下表にまとめた。

第Ⅲ-3-5表 SIP・IP 異常シミュレーション解析結果一覧表

Line	位置	深度	幅
Line C	No. 9-11	135m	80m
Line D	No. 4-6	75~100m	60m
Line J	No. 3-5	200m	200m
	No. 8. 5-10	170m	165m
Line L	No. 5-6	100m	30m
	No. 9-12	100m	65m

3-3-7 検討及び解析図

スルマイ地区の鉍徴地は3箇所に分かれており、それぞれの鉍化帯の規模が異なる。スルマイⅠ、Ⅱ地区では比較的小規模な為、測点間隔は50m、測線間隔は150mで測定しており、スルマイⅢ地区では鉍化帯の規模が大きく連続性もあるので測点間隔が100m、測線間隔は300mで実施している。従って深さ方向の情報はスルマイⅠ、Ⅱ地区ではおおよそ150m、スルマイⅢ地区ではおおよそ300mまでの情報である。測点間隔に比べて測線間隔が大きすぎると思われるが、本地区の地質主構造がN-S方向に連続し、その連続性も比較的良好なので測線間隔は可能な限り広くした。

本地区の測定結果と地表の岩石試料の物性測定結果及びスペクトル解析の結果を検討すると下記の事項が指摘できる。

- (1) スルマイ地区の見掛比抵抗は1,87~2,247 ohm-mの範囲にあって平均値は83 ohm-mである。一方岩石試料の物性測定結果からは鉍石(ゴッサン)はアンジラ部層のものは367 ohm-m、ロライ部層のものは983 ohm-mの比抵抗値(いずれも平均値)を示す。又、石灰岩はアンジラ部層のものは10,669 ohm-m、ロライ部層のものは11,996 ohm-mの比抵抗値が得られておりフィールドデータの値に比べて4~10倍以上も大きい。この原因としては物性測定を実施していない堆積岩類(砂岩、頁岩で、風化作用のため整形不能)の比抵抗が含水状態で数~数十ohm-mであること、石灰岩の空隙の充填水により石灰岩層の比抵抗が低下していることなどが推定される。当初乾燥気候地域のため電流が流れず測定にかなりの困難が伴うものと予想されたが実際には0.5~2.5 アンペア

の電流が流れたことから地下の含水状態は予想以上であって、この地下水の影響は大きいと考えられる。

- (2) PFE に関してはアンジラ、ロライ部層の鉍石(ゴッサン)は5 %前後の値を示し石灰岩のそれは 0.8及び0.7% である。したがってゴッサンの下部に予想される初生帯(非酸化帯)は更に大きなIP効果を示すものと考えられる。一般にミシシッピバレータイプの鉍床は 上昇熱水溶液による交代鉍床で鉛・亜鉛を主体とし、黄鉄鉍等を伴うことが少ないと言われているが、方鉛鉍はIP効果を示すのでこのタイプの鉍床探鉍にもIP・SIP法が有効な手段と言える。特にこの種の鉍床のように母岩が石灰岩や頁岩などの堆積岩であって、鉍化作用が限定された範囲(石灰岩中の空洞、破碎帯・割れ目)に限られている場合は、鉍石のIP・SIP効果が小さくても母岩と鉍床とにコントラストがあるため検出が可能となる。本地区でも検出されたIP異常は殆どゴッサンの下部延長に位置しており初生帯によるIP異常と考えられる。
- (3) 本地区のアンジラ部層とロライ部層との境界とアンジラ層ユニット-Iには弱異常が検出されているが、同層から採取した岩石試料の鏡下観察、X線回折の結果では特に硫化鉍物やグラファイトの含有が認められていない。したがって、断層、破碎帯に起因するものと考えられる。スルマイ I 地区のLine C No. 2 下部に5.2 %のPFE 異常が検出されているが、この異常も東側を通るN-S方向の断層に因るものと推定される。
- (4) スルマイ I 地区のLine B 及びLine C の東端にはPFE 異常がネガティブFE異常を伴って検出されている。これらはロライ部層ユニット-Iに認められる母岩の層理及び小断層沿いに認められる鉍化作用に因るものと考えられるが、鉍床の規模及び品位は期待できない。
- (5) スルマイ III 地区ではLine I, K, M, N の各測線にネガティブFEがかなり広い範囲に検出されている。このネガティブFEは高比抵抗体と低比抵抗体との接触部でしばしば検出される現象であるが これらの測線が地質構造にほぼ直交するように設定されており、測線に平行な断層や破碎帯も無いことから上述の原因も考えがたい。Line I, K, N は IP 測線であり 使用した測定機器がSIP の機器と異なる。しかし、スルマイ I、II 地区でもスルマイ III と同じ SIP, IP機器を使用しているがスルマイ III 地区のようなIP測線に多いこの現象は認められない。したがって使用した機器の差異に因るものとは考えられない。

解析図(第Ⅲ-3-46図～第Ⅲ-3-48図)

現地調査の結果と解析結果は解析図にとりまとめた。各地区の解析図には代表的な見掛比抵抗分布とPFE分布を記載し、シミュレーションの結果から得られたIPの異常源の位置を示した。

SIP・IP調査の結果を各地区毎にまとめると下記の事項が指摘できる。

スルマイⅠ地区：

- (1) 地域東部のゴッサンの下部には顕著なIP異常がLine B, C, Dで把握された。シミュレーション解析の結果では異常源の位置はLine Cの下部では地表下約130m、Line Dでは約75mにあって、比抵抗は50~100 ohm-m、FE値は10%と推定される。
- (2) Line B, Line Cの東端部にはネガティブFEを伴う異常が検出されているが、これは地域南東部のロライ部層ユニット-I分布域に認められる母岩の層理及び小断層に沿う鉱化帯で、品位、規模共に期待出来ない。
- (3) Line Cの西端部の高PFE値は断層により生じた異常と考えられる。隣接測線への連続性がないので局所的な鉱化帯と推定される。
- (4) スルマイⅠとⅡ地区のほぼ中間に設定されたLine QではPFE異常は把握されずNo. 6-7の下部で若干PFE値が増加する傾向が認められるのみである。従ってスルマイⅠとⅡ地区間では鉱化帯の連続性が期待できない。

スルマイⅡ地区：

- (1) 本地区では弱異常が地区中央でN-S方向に検出された。この弱異常は北部のLine F、及びLine Gで優勢であるが、地表徴候から判断すれば規模、品位とも期待できない。

スルマイⅢ地区：

- (1) 本地区では地域北西部のLine J, Rと中央部のLine Lに顕著なPFE異常が検出されている。
- (2) 前者は地表徴候の最も優勢なゴッサンの下部延長部で把握された異常で、鉱化帯の走向に直交するLine Rでも確認されている。シミュレーション解析の結果では地表下約200mに、比抵抗10 ohm-m、PFE値8%の異常源が推定された。
- (3) 後者の異常はNo. 6-7のゴッサン下部延長東部に位置し、断層に沿う異常である。シミュレーション解析の結果ではNo. 9-12の下部に比抵抗50 ohm-m、PFE値7%の異常源が推定された。
- (4) 本地区ではIP測線においてかなり広い範囲にネガティブFEが検出されている。