

1-3-9 調査結果のまとめ

1年度及び2年度の調査結果から、ベツア山地域は下記の岩石から構成されることが明らかになった。

ベツア山及びびわ山：熱水変質を受けた白亜紀アト層群の安山岩質火山岩類とこれを貫く斑岩質貫入岩類

ベツア山東側平原部「ハカ地区」：石英閃緑岩

ベツア山南側平原部：古第三系アト層群の安山岩質火山岩類及び火山岩質砂岩

以下、地区毎に各岩石類の特徴について記載する。

1. ベツア山及びびわ山地区

(1) アト層群安山岩質火山岩類

本岩類は斑状～無斑晶の安山岩質溶岩、同質自破砕状溶岩、凝灰岩、火山礫凝灰岩からなり、本地域の基盤を形成している。これら岩石は珪化、粘土化、絹雲母化、緑泥石化を受け初生鉱物は変質し、原岩の組織が不明瞭な箇所が多い。

(2) 斑岩質貫入岩類

本岩類は閃緑岩質～安山岩質斑岩からなり、岩脈状、ストック状に安山岩質火山岩類を貫いている。本岩類は細～中粒で等粒状組織を示す閃緑岩質を呈する箇所と肉眼的に凝灰岩質、自破砕状溶岩質の粗粒組織を示す安山岩質火山岩類と境界が不明瞭な安山岩質を呈する箇所とがある。本岩類の斜長石・黒雲母等の初生鉱物は、2次石英・粘土・絹雲母・黒雲母・緑泥石・角長石・曹長石に変質している。

(3) 変質

上記両岩石類は熱水変質を強く受け、ベツア山及びびわ山の山体を構成している。

ENAMI(1987)の変質分帯を基に、上位より強珪化帯、石英-絹雲母帯、珪質粘土帯、緑泥石帯の4帯に分類した。

強珪化帯、石英・絹雲母帯：ベツア山及びびわ山の山稜を50～200mの厚さで覆っている。両者は互いに指交関係にあり、境界は不明瞭である。本帯は緻密塊状の二次石英の集合体で、結晶粒間に絹雲母・粘土が充填した産状を呈しておりアルナ付・ナ付の細脈、赤鉄鉱の鉄染・フィルムが認められる。

珪質粘土帯：強珪化帯、石英・絹雲母帯の下位に100～300mの厚さで分布する他、漸層破砕帯沿いに発達する。主に石英・粘土・絹雲母・ナ付からなりアルナ付・ナ付

・石膏・無水石膏の細脈が発達する。本帯は赤鉄鉱の鉱染・フィルムを伴い、表層部及び断層破砕帯沿いでは、破砕粉状化したカリ粘土・土状赤鉄鉱・ジャコサイト・トリプサイトが濃集した溶脱帯が形成されている。本帯は下部に行くに従い緑泥石帯に漸移する。緑泥石の出現と共に黄鉄鉱の鉱染、フィルムが認められる。

緑泥石帯：安山岩・斑岩の初生有色鉱物が緑泥石化したもので、原岩の組織が残存している。構成鉱物は緑泥石はじめ融食化した2次石英・曹長石・加長石・絹雲母からなり、石膏・無水石膏の細脈が発達する。ハラ山西側山麓で実施したMJC-V-13で捕らえた閃緑岩質斑岩では黒雲母化が伴われている。また、本帯では黄鉄鉱鉱染が顕著である。

緑泥石帯は上位は珪質粘土帯と漸移関係にあること、下位では珪化及び加長石化が付加されることから上位から次の4帯に細分され、鉱物組み合わせからLowell & Guilbert(1970)による斑岩銅鉱床の変質区分のフリック帯と加質帯にそれぞれ対応する。

珪質粘土-緑泥石帯 : フリック帯
 緑泥石帯 : フリック帯
 珪化-緑泥石帯 : フリック帯
 珪化-加長石-緑泥石帯 : 加質帯

(4) 鉱化

本年度調査の結果、下記の地区において銅鉱徴を捕捉した。

①ハラ山北西側山麓(MJC-V-13)

本地区では表層部を覆う溶脱帯の下部の暗緑色安山岩及び閃緑岩質斑岩を母岩として酸化銅が鉱染する。さらに深部では閃緑岩質斑岩を母岩として酸化銅・自然銅・黄銅鉱が鉱染し、鉱物組み合わせから下記の如く分帯される。

深度	銅鉱物	T. Cu ave.	max.	Au ppm	変質状況
0-17m	フックサイト・トリプサイト	0.55%	1.24%	0.20	珪質粘土-緑泥石帯 石膏脈発達 フリック帯
17-70m	フックサイト・トリプサイト	0.24	1.12	0.14	弱緑泥石帯 フリック帯
70-78m	フックサイト・トリプサイト	0.34	0.40	0.21	緑泥石帯 石膏脈発達 フリック帯
78-149m	自然銅・フックサイト・アスサイト	0.23	0.66	0.13	緑泥石帯 石膏脈発達 フリック帯
149-180m	自然銅・フックサイト・アスサイト	0.18	0.52	0.13	珪化-加長石-緑泥石帯 石膏脈発達 加質帯
180-198m	フックサイト・アスサイト	0.14	0.27	0.09	珪化-加長石-緑泥石帯 石膏脈発達 加質帯
198-250m	黄銅鉱・輝銅鉱・コバリン	0.11	0.26	<0.04	珪化-加長石-緑泥石帯 石膏脈発達 加質帯
250-300m	黄銅鉱・輝銅鉱・コバリン	0.10	0.55	<0.04	珪化-加長石-緑泥石帯 石膏脈発達 加質帯

以上より、0~149m間のフリック帯でT. Cu品位>0.2%、Au品位>0.1ppmであるが、149m以深の

加質帯では銅鉱化、金鉱化ともが弱くなる傾向がある。

自然銅は78.0~180.0m間で鉱染状、フィルム状に産するが、149m以深で加長石化、珪化が進むにつれ少量となり、180.0m以深では極微量になる。

本孔では上記銅鉱物の他、赤鉄鉱と磁鉄鉱がほぼ全域で鉱染しているが、自然銅産出箇所では赤鉄鉱は磁鉄鉱を完全に交代しておらず、両者は必ず共存する。酸化銅が多く産する箇所ほど磁鉄鉱の赤鉄鉱化が進んでいる。

②バハラ山東側山麓(MJCV- 6)

安山岩と斑岩の境界近傍の149-151m及び165-169m間では、珪質粘土に緑泥石が付加されており、輝銅鉱・マハリが鉱染する。318m以深の珪化及び加長石化を伴う緑泥石帯で黄鉄鉱に伴い黄銅鉱が鉱染する。

深度	銅鉱物	T.Cu ave.	max.	原岩	変質状況
149-151m	輝銅鉱・マハリ	1.05%	1.38%	安山岩	珪質粘土-緑泥石帯
165-169m	輝銅鉱・マハリ	0.27%	0.34%	安山岩	珪質粘土-緑泥石帯
318-339m	黄銅鉱		±0.1%	斑岩	珪化-緑泥石帯
339-400m	黄銅鉱		±0.1%	斑岩	珪化-加長石-緑泥石帯

③バハラ山北縁クワン鉱床(MJCV- 9)

クワン鉱床は珪質粘土帯中に加カンサイト・アカマイトが不規則網状に胚胎しており、その規模は50m×30mで地表下10m程度を露天探掘し、現在は休業中である。

本孔は珪質粘土化が著しく、破碎粉状化した土状赤鉄鉱・ジヤロサイト・ハツヤロサイトが濃集した溶脱帯からなり、鉱床の連続を捕捉することはできなかったが、下記の箇所でアカマイト・加カンサイトが鉱染する。

深度	銅鉱物	T.Cu ave.	max.	Moppm	原岩	変質状況
30- 31m	アカマイト	3.20%	35		不明	珪質粘土帯 ジヤロサイト・赤鉄鉱鉱染
156-178m	加カンサイト	0.17%	0.24	154	安山岩	珪質粘土帯 ジヤロサイト・赤鉄鉱濃集
182-196m	加カンサイト	0.14	0.24	123	安山岩	珪質粘土帯 ジヤロサイト・赤鉄鉱濃集
199-204m	加カンサイト	0.13	0.14	55	安山岩	珪質粘土帯 ジヤロサイト・赤鉄鉱濃集
226-248m	加カンサイト	0.12	0.18	69	安山岩	珪質粘土帯 ジヤロサイト・赤鉄鉱濃集

④バハラ山南西側山麓(MJCV-10)

安山岩と閃緑岩質斑岩の境界近傍の59-86m間において、珪質粘土に緑泥石化が付加されており、輝銅鉱・マハリが鉱染する。86-111m間では最高780ppmのモリブデン鉱微を捕捉した。

深度	銅鉱物	T.Cu ave. max.	原岩	変質状況
59- 61m	輝銅鉱・マハリツ	0.28% 0.35%	安山岩	珪質粘土帯
68- 70m	輝銅鉱・マハリツ	0.20% 0.26%	斑岩	珪質粘土-緑泥石帯
82- 86m	輝銅鉱・マハリツ	0.23% 0.38%	斑岩	珪質粘土-緑泥石帯

⑤ マカアス山東側山麓(MJCV-11)

本地区はNW-SE系の断裂系に伴い溶脱帯が形成されている。溶脱帯下部の斑岩岩脈中の265.2-266.85m間で方解石・石英に伴い輝銅鉱・マハリツが鉱染する。

深度	銅鉱物	T.Cu ave. max.	原岩	変質状況
265-267m	輝銅鉱・マハリツ	0.76% 0.85%	斑岩	珪質粘土-緑泥石帯

2. マカアス山東側平原部「ハノハ地区」(MJCV-12)

(1) 石英閃緑岩

本岩は暗灰色を呈する細粒から中粒の等粒状組織を示す岩石で斜長石・石英・輝石・角閃石からなる。本岩は地区東部のハノハシラハラ山(1,781m)を中心に2×2kmの範囲に分布する。

マカアス山とハノハシラハラ山との約1~2kmは、第四紀層に覆われており本岩と前述の707°E層群安山岩質火山岩類との境界は不明である。

(2) 変質

本孔で捕捉した石英閃緑岩は変質を受け、輝石・角閃石は緑泥石に、斜長石は緑れん石に交代されている。この他、2次石英、曹長石、加長石、絹雲母、方解石、マカライ石等の変質鉱物が普遍的に認められる。

(3) 鉱化

本孔は緑泥石化、緑れん石化に伴い鏡鉄鉱化した赤鉄鉱がフィルム状、ネットワーク状、鉱染状に産する。地表に近い0~53.9m間では赤鉄鉱はジヤロサイト化を受けている。銅鉱物は、0~131.0m間及び178~182m間では加カサイト・マカライ石等の酸化銅が割れ目に沿いフィルム状に産する他、輝銅鉱・マハリツが極微量認められる。13~19m間では酸化銅はネットワーク状の方解石脈及びフィルム状赤鉄鉱に伴い産し、平均T.Cu品位は0.6%である。125~131m間では酸化銅はフィルム状・鉱染状赤鉄鉱に伴い産し、平均T.Cu品位は1.02%である。

131~178m間では、黄銅鉱が黄鉄鉱及び赤鉄鉱に伴い鉱染し、平均T.Cu品位は131~148m間で0.31%、148~178m間で0.1%である。

3. ベラツ山南側平原部(MJCV-7)

(1) 邦アルマ層群安山岩質火山岩類及び火山岩質砂岩(MJCV-7 0-286.25m)

本層群は上位から以下の岩石で構成される。

深 度	原 岩	変 質	鉱 化
0.00~ 37.40m	火山岩質砂岩(グレティック10-30°)		赤鉄鉱鉱染
37.40~ 46.65m	安山岩質火砕岩		赤鉄鉱鉱染
46.65~ 92.65m	多孔質粗粒安山岩	緑泥石化	赤鉄鉱鉱染
92.65~207.55m	安山岩質火砕岩		赤鉄鉱鉱染
207.55~286.25m	多孔質粗粒安山岩	緑泥石化	赤鉄鉱鉱染

火山岩質砂岩、安山岩質火砕岩、多孔質粗粒安山岩質溶岩は赤鉄鉱鉱染により赤褐色～赤紫色を呈している。多孔質粗粒安山岩質溶岩は多孔質部を46.65~92.65m間では緑泥石が、207.55~286.25m間では緑泥石、石英、方解石が充填した産状を呈している。また、斜長石の粗粒斑晶は曹長石化を受けている。

(2) 7107°J層群安山岩質火山岩類(MJCV-7 286.25-450m)

本層群は強珪化を受けたフェーサイト質安山岩と細粒安山岩からなる。

深 度	原 岩	変 質	鉱 化
286.25~362.20m	フェーサイト質安山岩	強珪化	
362.20~450.00m	細粒安山岩	緑泥石化	赤鉄鉱鉱染

フェーサイト質安山岩は強珪化を受け白色を呈し、2次石英の他、加群、フェイカ付、石膏からなる。細粒安山岩は赤鉄鉱鉱染により赤紫色を呈している。本岩は緑泥石化、珪化、石膏の細脈が認められるが、いずれも微弱である。

(3) 鉄化

本孔では赤鉄鉱鉱染は普遍的に認められるが、黄鉄鉱などの硫化鉄物はほとんど認められない。

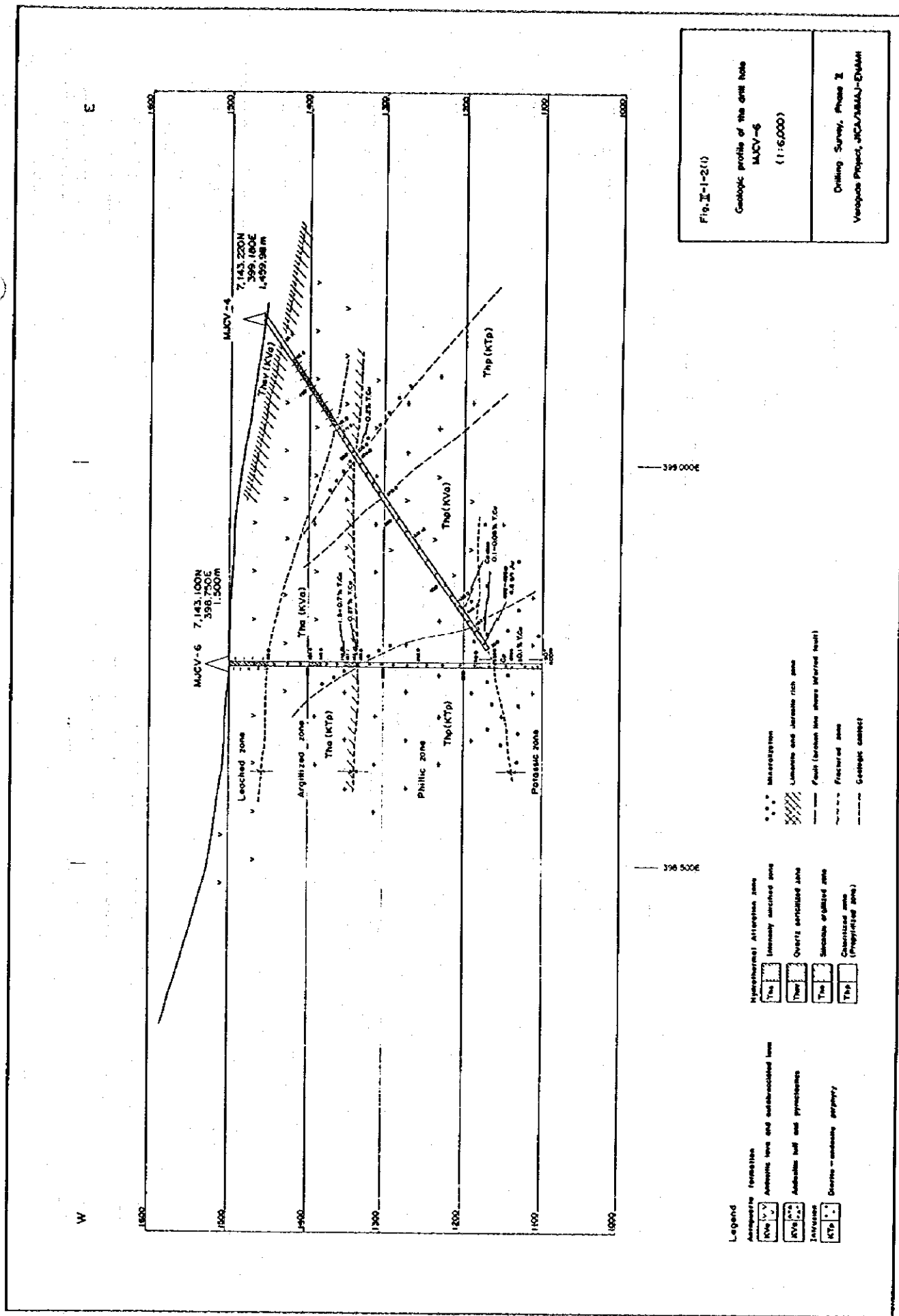


Fig. II-1-2(1)
 Geologic profile of the drill hole
 MUCV-6
 (1:6,000)
 Drilling Survey, Phase II
 Venepos Project, JICA/IBRAJ-DMMH

- Micaceous
- ▨ Limestone and Jurassic rich zone
- Fault (broken line shows inferred fault)
- - - - - Fractured zone
- Geologic contact

- Metamorphic Alteration zone
- Tha Intensely altered zone
- Thq Quartz-epithelial zone
- Ths Siliceous-argillized zone
- Thp Cherty zone (Propylitic zone)

- Asymmetric formation
- AVa Andesitic lava and subvolcanic lava
- AVb Andesitic tuff and pyroclastics
- Intrusion
- KTa Granite-embayse granite

398 500E

398 500E

W

E

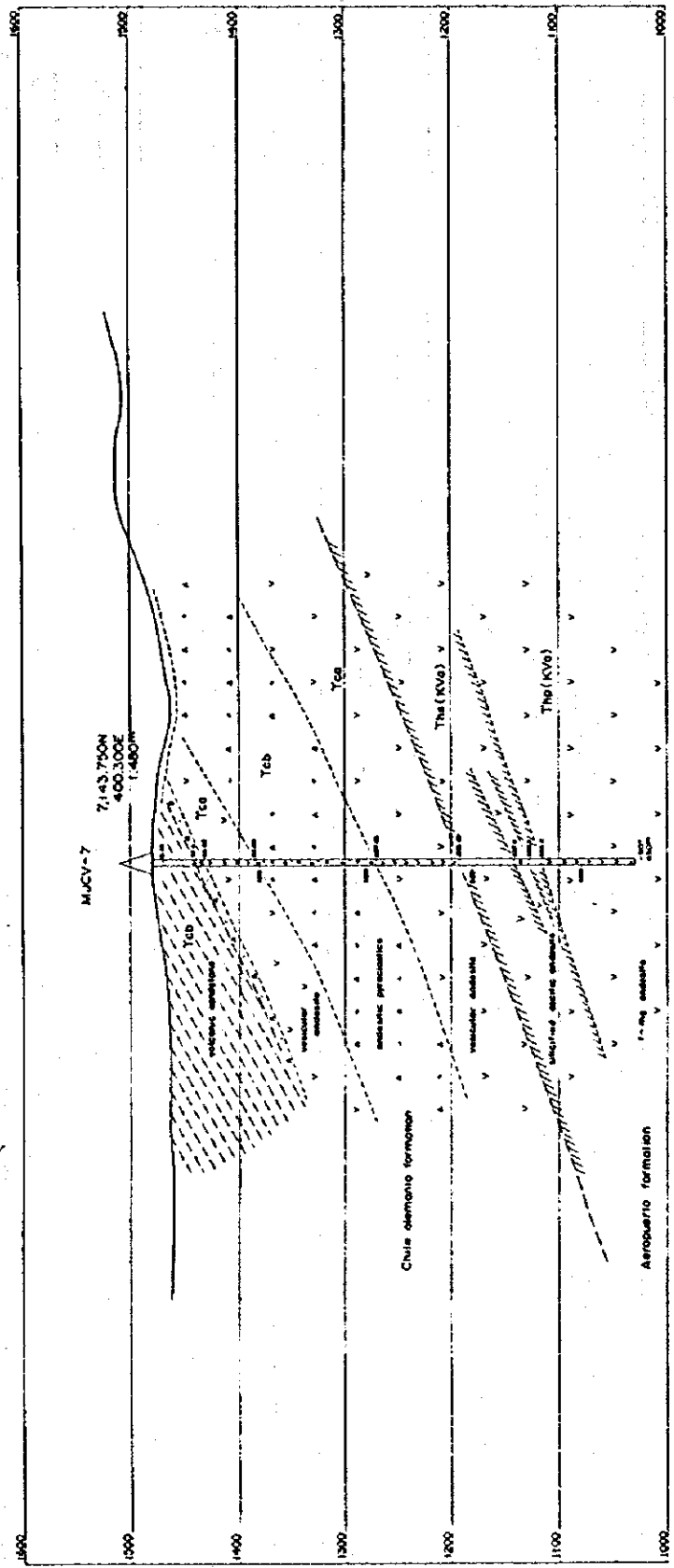
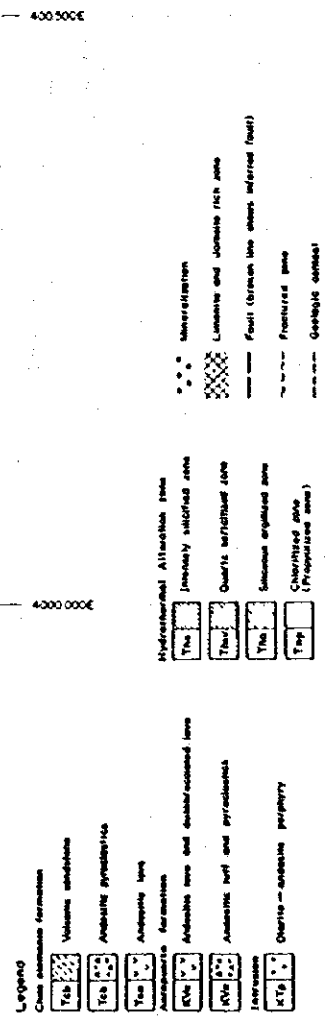
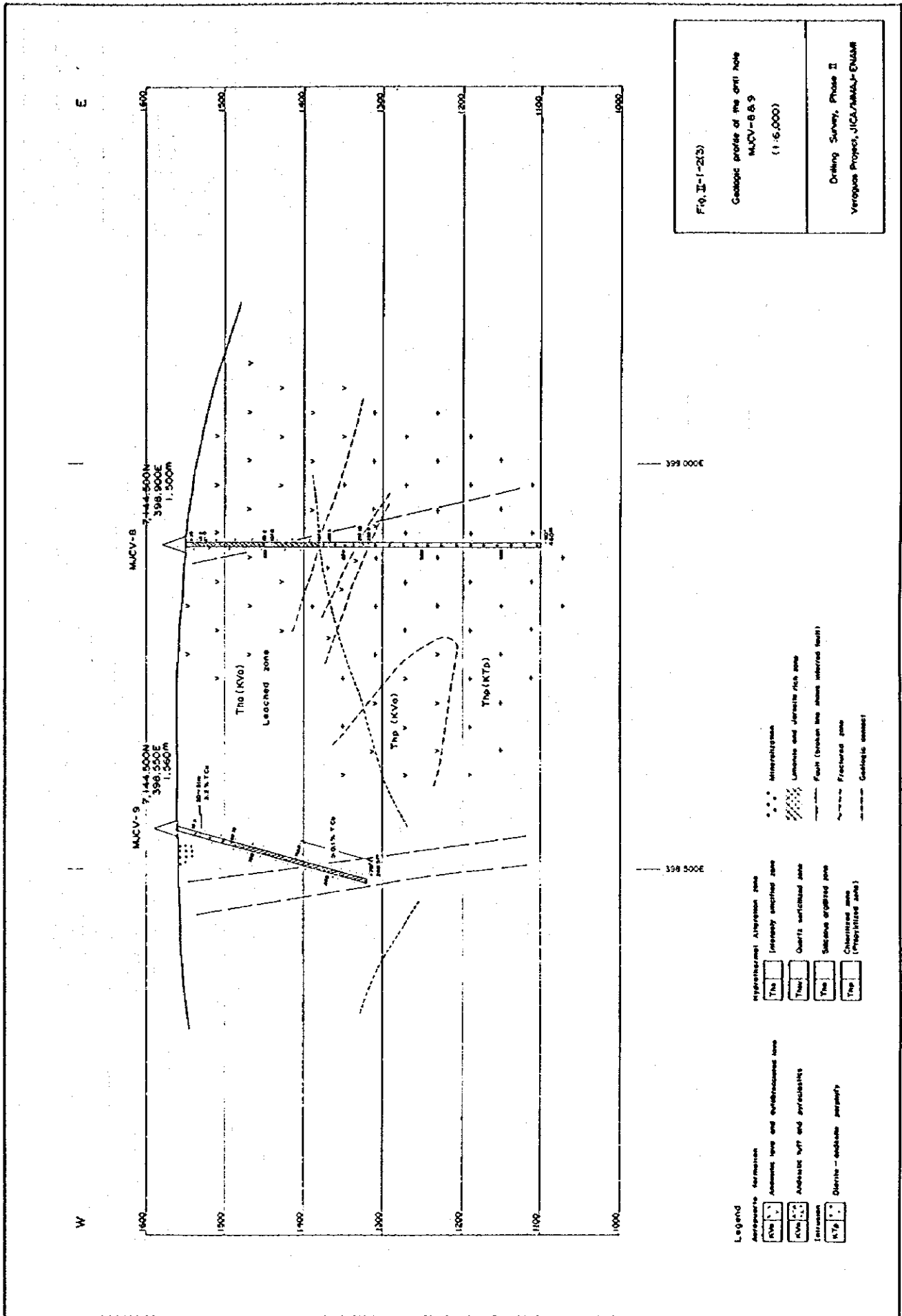


Fig. 3-1-2(2)
 Geologic profile of the drill hole
 MJCY-7
 (1:6,000)
 Drilling Survey, Phase II
 Varopua Project, JICA/AMUJ-ENAMI





F10, II-1-2(3)

Geologic profile of the drill hole
MUCV-B.8.9
(1:5,000)

Drilling Survey, Phase II
Verigues Project, JICA/AMAL-ENAM

- Legend
- Acropore formation
 - Thp [] Intensely sulfidated zone
 - Thp [] Quartz sulfidated zone
 - Thp [] Siliceous sulfidated zone
 - Thp [] Chlorinated zone (Propylitized zone)
 - Uranium formation
 - Thp [] Uranium and Jarosite rich zone
 - Other
 - Thp [] Fault (broken line shows inferred fault)
 - Thp [] Fractured zone
 - Thp [] Geologic contact

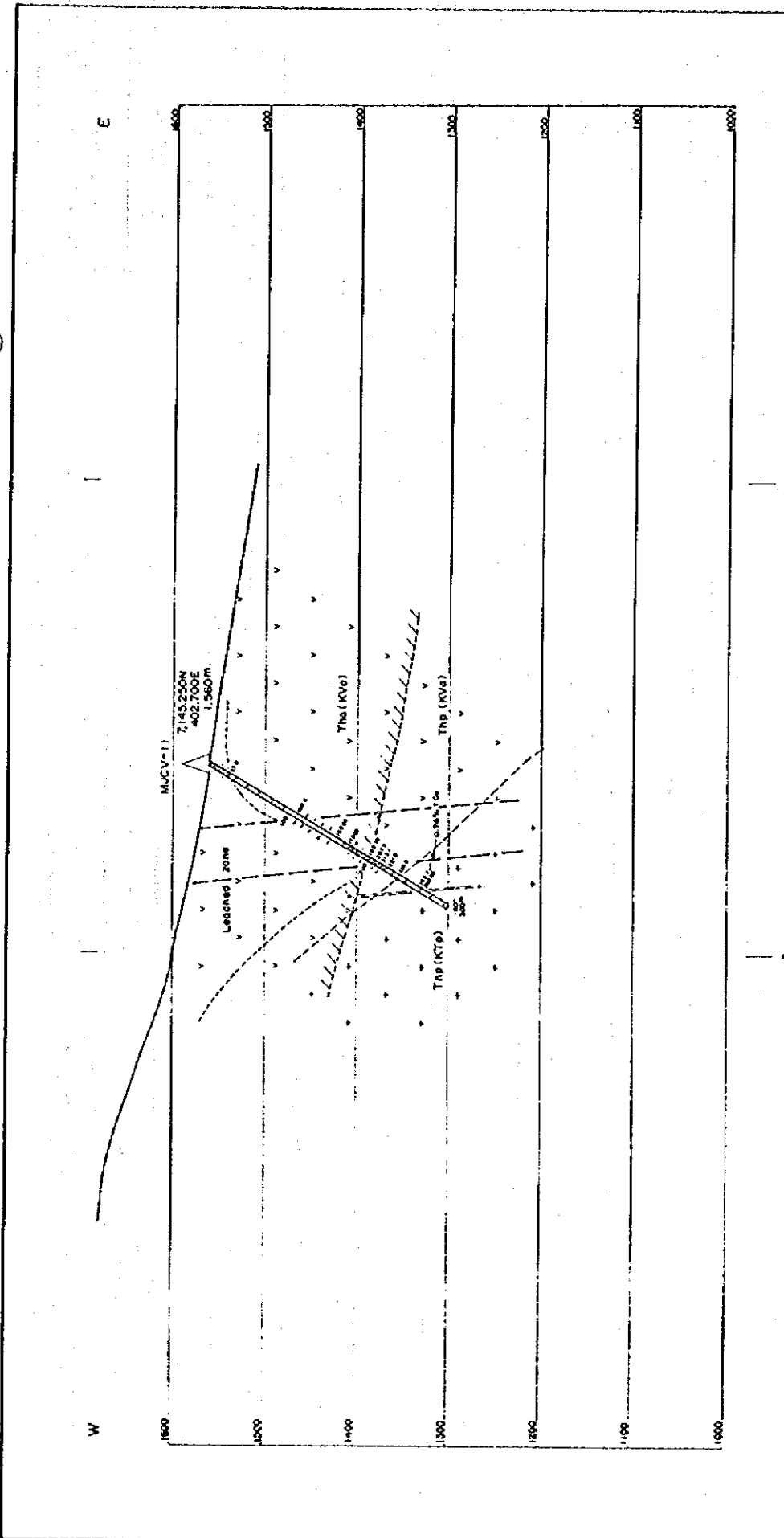


Fig. II-1-215
 Geologic profile of the drill hole
 MUCV-11
 (1:6,000)

Drilling Survey, Phase 2
 Veropac Project, JICA/MAJ-ENAMI

- Legend**
- Amphibole formation**
 Tns
- Intensely silified zone**
 Tns
- Quartz metachert zone**
 Tns
- Siliceous argillite zone**
 Tns
- Chertified zone (Propagated zone)**
 Tns
- Amphibole formation**
 Tns (RV6)
- Intensely silified zone**
 Tns (RV6)
- Quartz metachert zone**
 Tns (RV6)
- Siliceous argillite zone**
 Tns (RV6)
- Chertified zone (Propagated zone)**
 Tns (RV6)
- Leached zone**
- Fault (broken line shows inferred fault)**
- Fractured zone**
- Geologic contact**

S 45 W

N 45 E

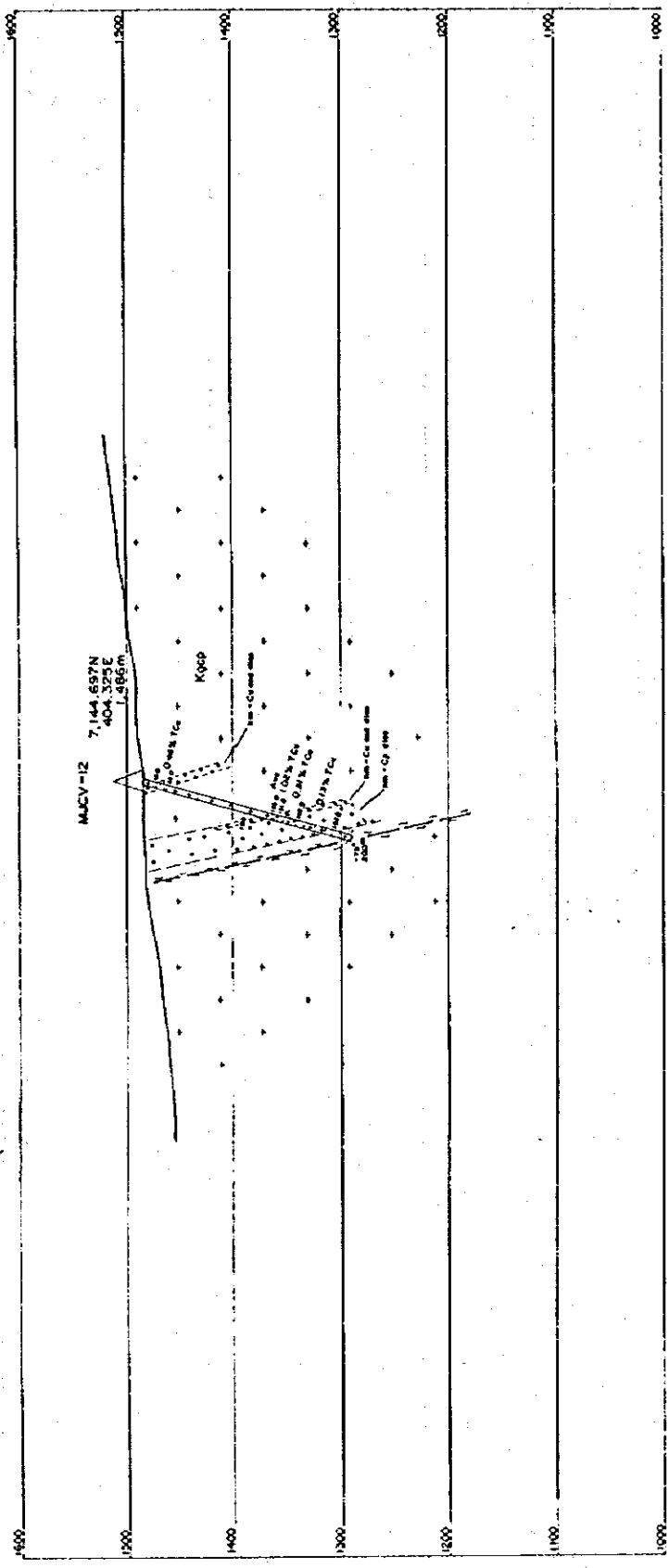


Fig. II-1-2(6)

Geologic profile of the drill hole
MUCV-12
(1:6,000)

Drilling Survey, Phase II
Veroque Project, JICA/MASAJ-ENAMU

- Legend
- Amesbury formation
 - Amesbury lime and calcareous shale
 - Amesbury buff and pyroclastics
 - Quartzite
 - Hydrothermal Alteration zone
 - (freshly) altered zone
 - Quartz artichoked zone
 - Silicae artichoked zone
 - Chloritized zone (propylitized zone)
 - Mineralization
 - Limonite and Jarosite rich zone
 - Fault (arched line shows inferred fault)
 - Fractured zone
 - Geologic contact

Veraguas area Drill# MJCV-6 (Scale 1/2,000) (Depth:0 m -400 m)

Depth (m)	Geol Column	Secondary (m)	Fracture	Py Jar	Cu	Si	Clay	Alu	K	Chl	Gyp	Remarks
12.0												jr>rh>kal fret clay
21.8												rh>jr>kal fret clay
49.0												kal>jr>rh fret clay
101.8	∨ ∨											purplish white m~c.g.meta-andesite kal m-st rh m alu flm wk
151.1	∨ ∨											purplish grey m.g.meta-andesite kal vst-st rh m-wk
168.2												
174.0	+											greyish white f~m.g.meta diorite porphyry
242.9	+											grey-dark grey f~m.g.meta diorite porphyry
258.0	+											grey-dark grey f~m.g.meta diorite porphyry
270.0	+											greenish grey f~m.g.meta diorite porphyry
280.0	+											greenish grey f~m.g.meta diorite porphyry
301.0	+											dark green f~m.g.meta diorite porphyry
318.0	+											dark green f~m.g.meta diorite porphyry
339.0	+											
362.0	+											Cp-Py diss
400.0												{400.00m END}

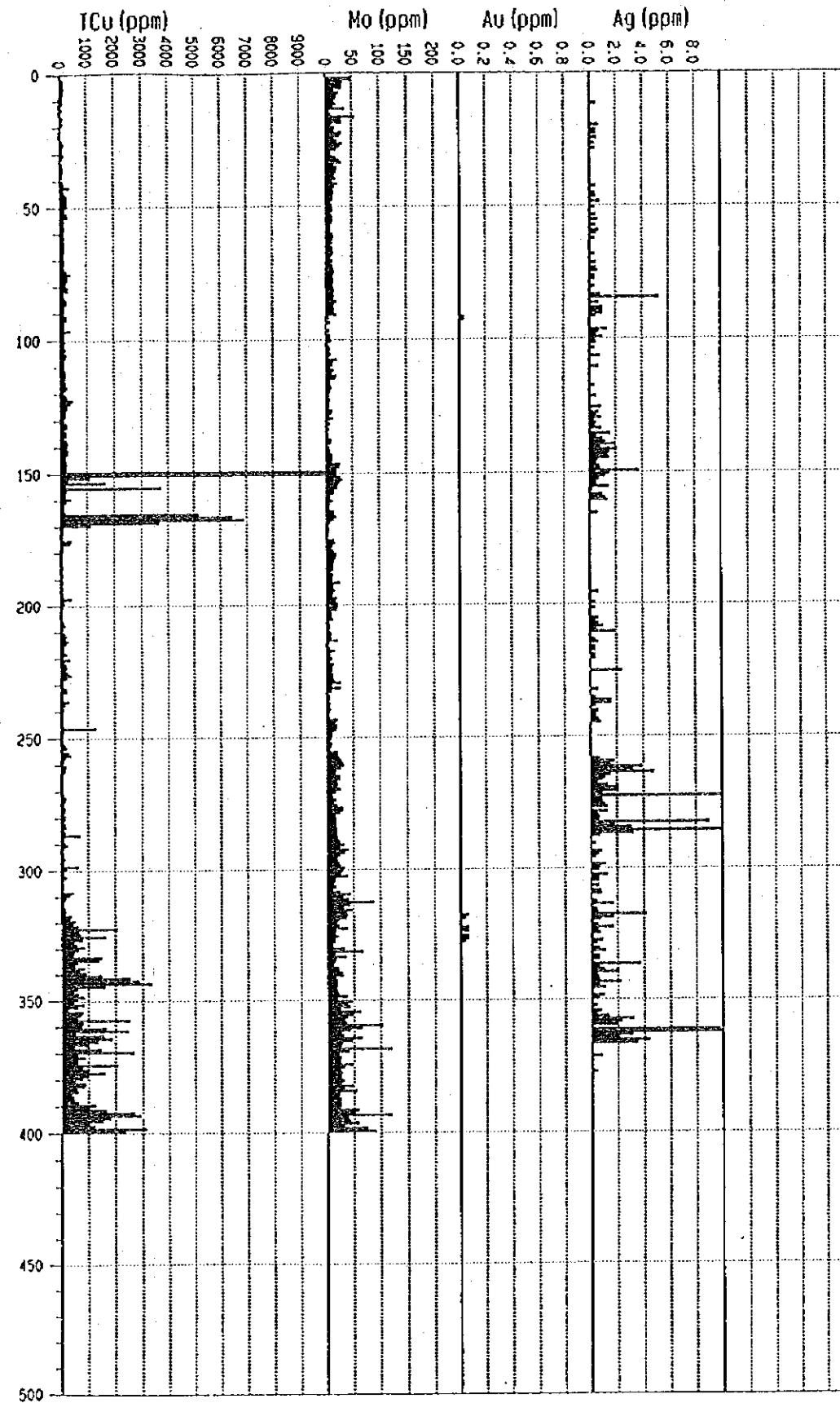


Fig. II-1-3(1) Synthetic column for MJCV-6 (1:2,000)

Veraguas area Drill# MJCv-7 (Scale 1/2,000) (Depth:0 m -450 m)

Depth (m)	Geol. Column	Bound. dary (m)	Fracture	Py	Cu	Si	Cl	Al	K	Ch	Gyp	Remarks
			Jar		Qz							
9.2												weathering frct zone
37.4												purplish brown volcanic sandstone grading $\angle 15\sim 20^\circ$
46.7												purplish brown andesitic pyroclastics
92.7	∨ ∨											purplish green c.g. vesicular porphyritic andesite
93.4	∨ ∨											purplish grey hm contaminated m~c.g. andesitic pyroclastics
115.0	△ ∨											
122.5	△ ∨											
132.5	△ ∨											
164.8	△ ∨											
174.8	△ ∨											
187.3	△ ∨											
192.3	△ ∨											
207.5	∨ ∨											purplish green c.g. porphyritic andesite qtz+cal blebs vesicular chlorite including
285.0	∨ ∨											volcanic sandstone hm rich
286.3												white grey msv silicified rock dacite like gypsum network
337.5												purplish f.g. andesite hm diss strong silicified f.g. andesite
346.8												
350.3	∨ ∨											whitish grey msv silicified rock
362.2												purplish f.g. andesite, partly ps. bre.
368.3	∨ ∨											purplish grey~white silicified f.g. andesite
375.7												purplish grey f.g. andesite, partly ps. bre.
384.6	∨ ∨											purplish grey f~m.g. andesite, partly ps. bre.
396.0												purplish grey ps. bre. f.g. andesite
407.0	∨ ∨											purplish grey silicified m.g. andesite partly ps. bre.
424.5	∨ ∨											purplish grey silicified f.g. andesite
434.8	∨ ∨											purplish~greenish grey silicified & chloritized f.g. andesite
												(450.00m END)

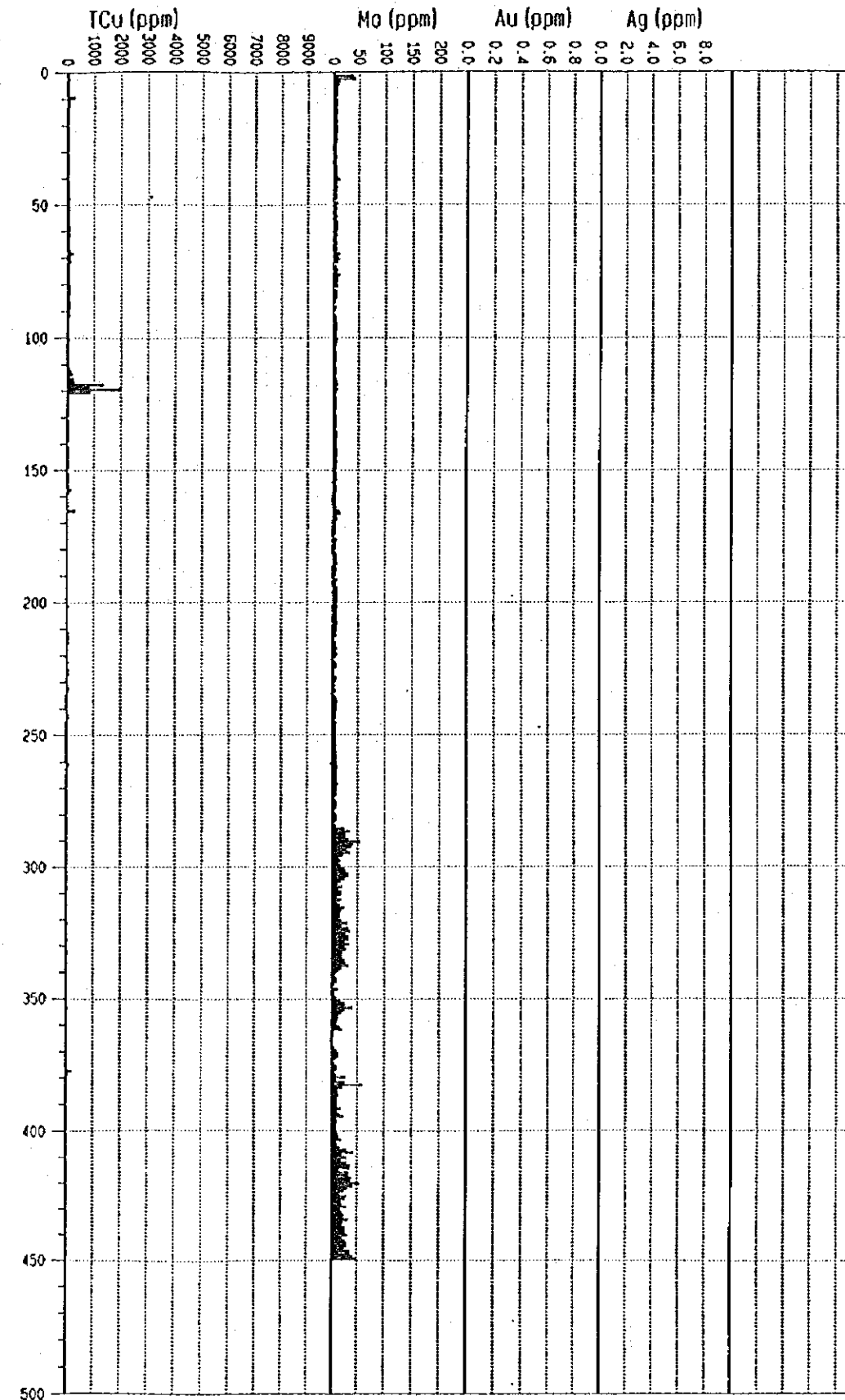


Fig.II-1-3(2) Synthetic column for MJCv-7 (1:2,000)

Voraguas area Drill#MJCv-8 (Scale 1/2000) (Depth:0 m -450 m)

Depth (m)	Geol Col	Boun dary (m)	Fracture	Py Jar	Co Qz	Sil	Clay	Aluk	Chl	Gyp	Remarks
5.3											Gravel
18.8											jar-rhm-kal clay fret
21.0	∨ ∨										silicified zone
42.0	∨ ∨										rhm>jar network kal>sil purplish grey f~m.g.partly ps.bre.meta-andesite
51.0											jar-rhm-kal clay
62.7	∨ ∨										rhm>jar diss~network kal>sil meta-andesite
62.7	∨ ∨										jar-n.jar rich clay
98.2	∨ ∨										r.hm>jar dis, network kal>sil purplish ~reddish grey f~m.g.ps.bre.meta-andesite
107.0	∨ ∨										purplish grey~brownish grey jar>n jar rich kal clay
147.4	∨ ∨										purplish white jar-kal f~m.g.ps.bre.meta-andesite fret jar-kal clay
180.5	+										purplish~greenish grey m.g.ps.bre.meta-porphry greenish grey f~m.g.meta-diorite porphry partly ps.bre.tex
207.6	+										pale greenish grey f~m.g.ps.bre.meta-diorite porphry
219.3	+										greenish grey~greyish white m.g.meta-andesite bleached m.g.ps.bre.meta-diorite porphry
230.9	∨ ∨										greyish white bleached m.g.meta-diorite porphry partly ps.bre.tex
266.0	+										greenish grey m.g.ps.bre.meta-diorite porphry
280.0	+										py-hm diss cal flm gyp flm wk
330.3	+										dark greenish grey f~m.g.ps.bre. meta-diorite porphry
335.0	+										dark greenish grey f~m.g.ps.bre.meta-diorite porphry
340.1	+										greenish grey f~m.g.ps.bre.meta-diorite porphry
364.5	+										dark greenish grey f.g.afanitic meta-diorite porphry
403.0	+										greenish grey, partly bleached f.g.meta-diorite porphry f.g.meta-diorite porphry partly ps.bre. tex
408.9	+										
											(450.00m END)

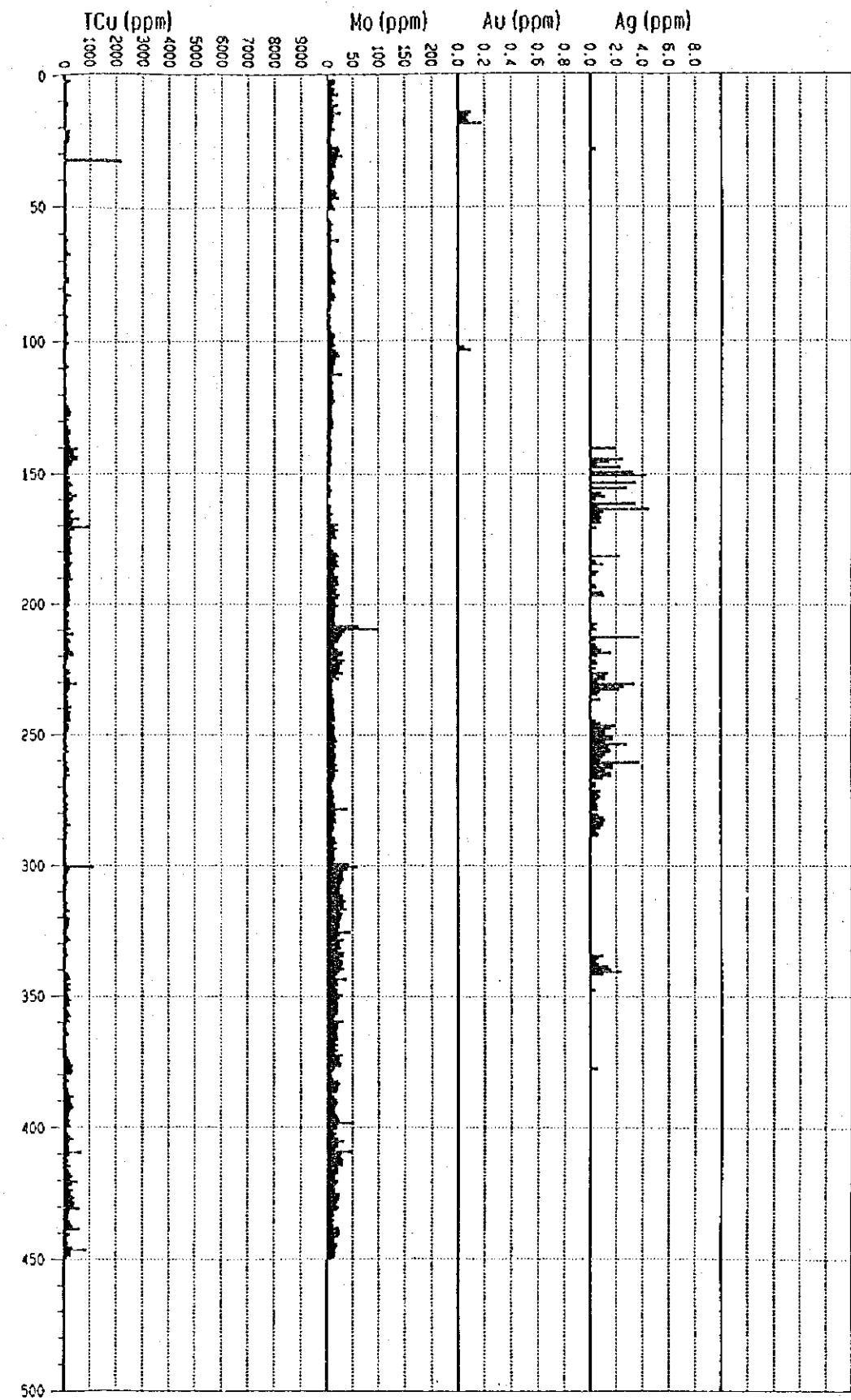


Fig. II-1-3(3) Synthetic column for MJCv-8 (1:2,000)

Veraguas area Drill#MJCv-9 (Scale 1/2000) (Depth:0 m -450 m)

Depth (m)	Geol Colm	Boun dary (m)	Frac ture (m)	hm Jar	Py	Cu	Sil	Clay	Alu	K-	Chl	Gyp	Remarks
19.5													none core
28.5	∇ ∇												Cu oxide diss (29.4~30.5) frct kal clay
37.8													semifret~compact kal clay
44.2													frct brownish~purplish grey kal clay
													semifret brownish~purplish grey jar-hm-kal clay
													frct " "
													frct hm-kal-chl
													frct jar-hm-kal clay
													frct purplish grey jar-hm-kal clay
123.0	∇ ∇												frct purplish~brownish grey jar-hm-kal clay
130.5													
178.5	∇ ∇												frct~semifret brownish grey jar-hm-kal clay
200.0	∇ ∇												frct
223.5	∇ ∇												frct powdering purplish grey hm-jar rich clay f~m.g.andesite relic
232.0													
248.5													(248.50m END)

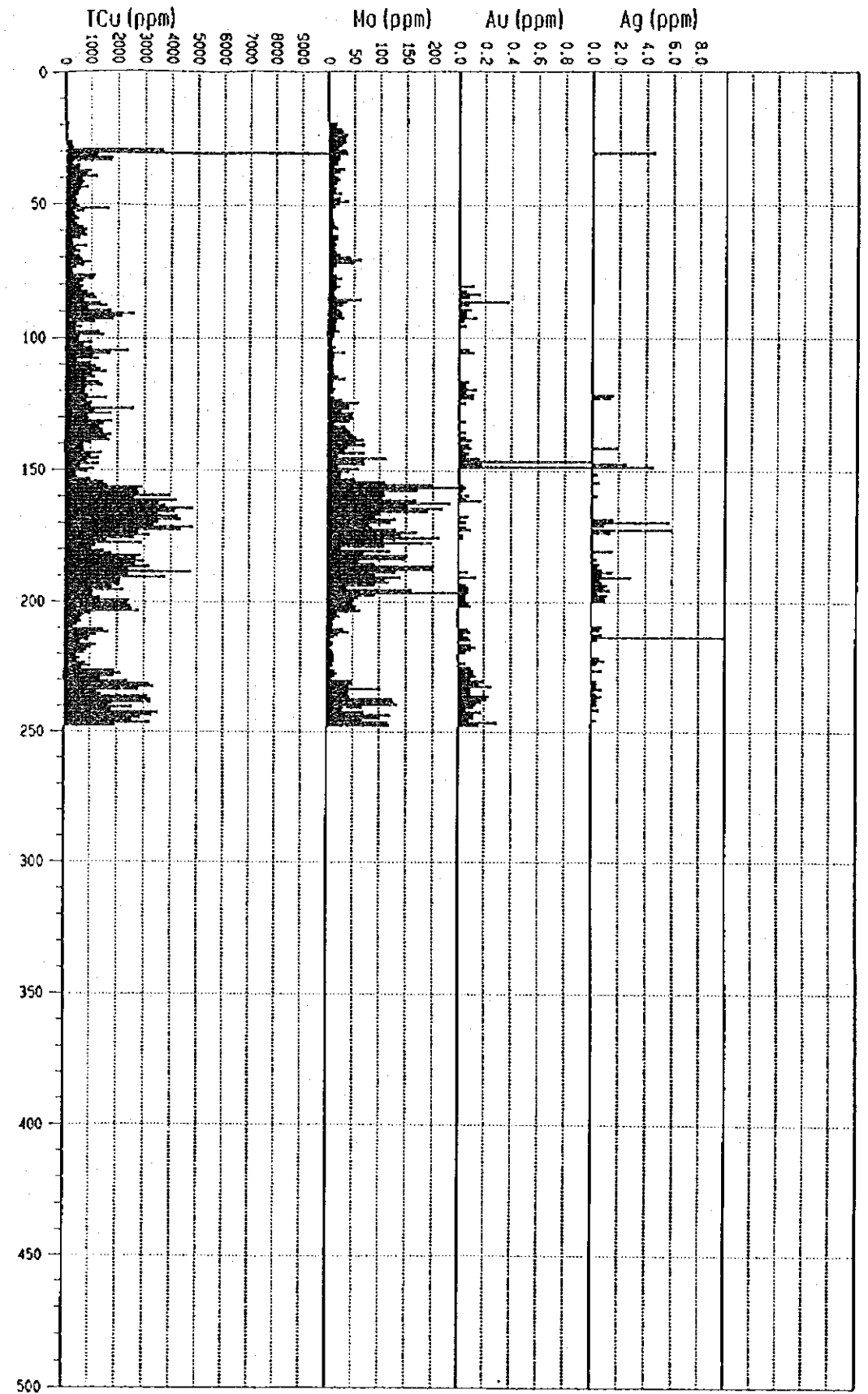


Fig.II-1-3(4) Synthetic column for MJCv-9 (1:2,000)

Veraguas area Drill#MJCv-10 (Scale 1/2000) (Depth:0 m -450 m)

Depth (m)	Geol Colm	Boun dary (m)	Fracture	Py Jar	Cu	Si	Clay	AluK	ChlGyp	Remarks
		3.0								none core
		18.0								kal clay frct zone
	∨ ∨									greyish white, partly purplish m.g.ps.bre.meta-andesite
	∨ ∨	49.2								brownish grey jar-kal clay
	∨ ∨	54.0								purplish grey m.g.ps.bre. meta-andesite
	∨ ∨	60.5								pale greenish grey f~m.g.meta-diorite porphyry
	+									
	+									
100	∨ ∨	90.2								pale greenish grey m.g.meta-andesite
	∨ ∨	99.2								semifrc t pale greenish grey~grey
	∨ ∨									m.g.ps.bre.andesite
	+	121.5								compact greenish grey m.g.ps bre meta-diorite porphyry
	∨ ∨	130.3								greenish f.g meta-andesite
	+	142.0								semifrc t whitish grey m.g.ps.bre.meta-diorite porphyry
	+	150.0								frct zone whitish grey kaolinized
	+	169.0								
	∨ ∨	175.5								semifrc t whitish grey~greenish grey m.g.ps.bre.meta-
	∨ ∨	192.2								compact~semifrc t greenish grey m.g.ps.bre andesite
200	∨ ∨									meta-andesite
	∨ ∨									semifrc t~frct
	∨ ∨									greenish grey m.g.ps.bre meta-andesite
	+	220.0								semifrc t whitish grey m.g ps.bre.
	+	235.5								meta-diorite porphyry
	+									compact~semifrc t whitish grey m.g.ps.bre
	+									meta-diorite porphyry
	+	264.5								compact
	+									whitish grey bleached f~m.g.ps.bre.meta
	+									-diorite porphyry
300		294.0								drk green~greenish grey f.g.afanitic andesitic latite(dyke)
		300.0								(300.00m END)

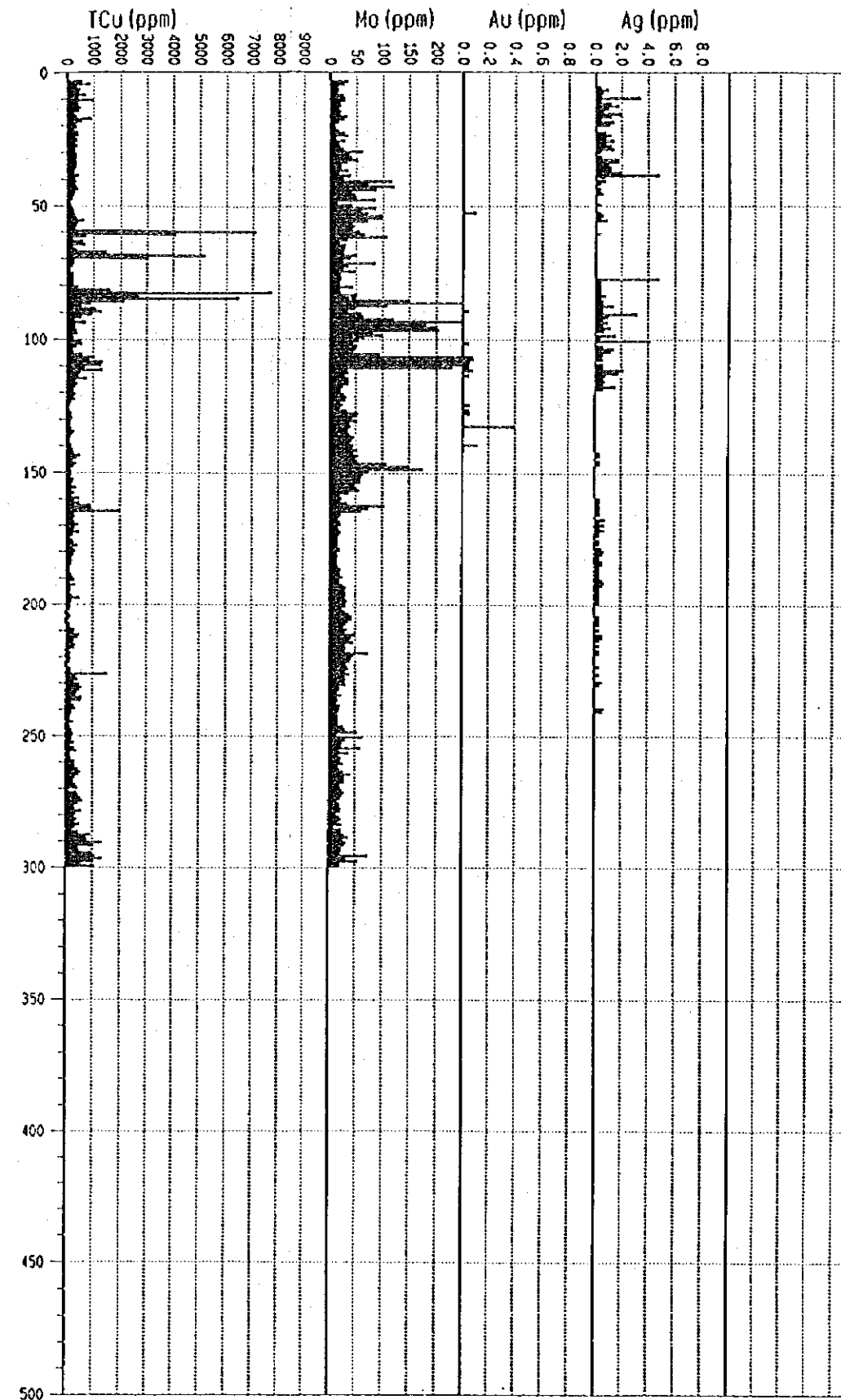


Fig II-1-3(5) Synthetic column for MJCv-10(1:2,000)

Veraguas area Drill#MJCv-11 (Scale 1/2000) (Depth:0 m -450 m)

Depth (m)	Geol Col	Boudary (m)	Fracture (m)	Py Jar	Cu	Sil	Clay	Alu	K-add	Chl	Gyp	Remarks
		2.0										none core
		23.8										frct~semifret purplish brown jar-njar-kal clay
	∨ ∨											brownish~pale greenish white kaolinized f~m.g.ps.bre.meta-andesite
	∨ ∨											
	∨ ∨	71.0										brownish grey~white kaolinized f~m.g.ps.bre.meta-andesite
100	∨ ∨	108.4										frct~semifret jar-njar-kal clay
	∨ ∨											
	∨ ∨	160.0										compact~semifret brownish~purplish grey f~m.g.meta-andesite
	∨ ∨	173.1										frct~semifret purplish grey f~m.g.meta-andesite
200	∨ ∨	199.1										frct~semifret greenish~purplish grey f.g.meta-andesite
	∨ ∨	207.5										
	∨ ∨	213.1										frct rhm-kal clay
	∨ ∨	221.7										semifret greenish~purplish grey f.g.meta-andesite
	+	235.9										greenish white f~m.g.meta-porphry
	+	265.2										265.2~266.85 Py-Cov-Cc-Qz-Calcite
	+	266.9										
300	+											(300.00m END)
400												
500												

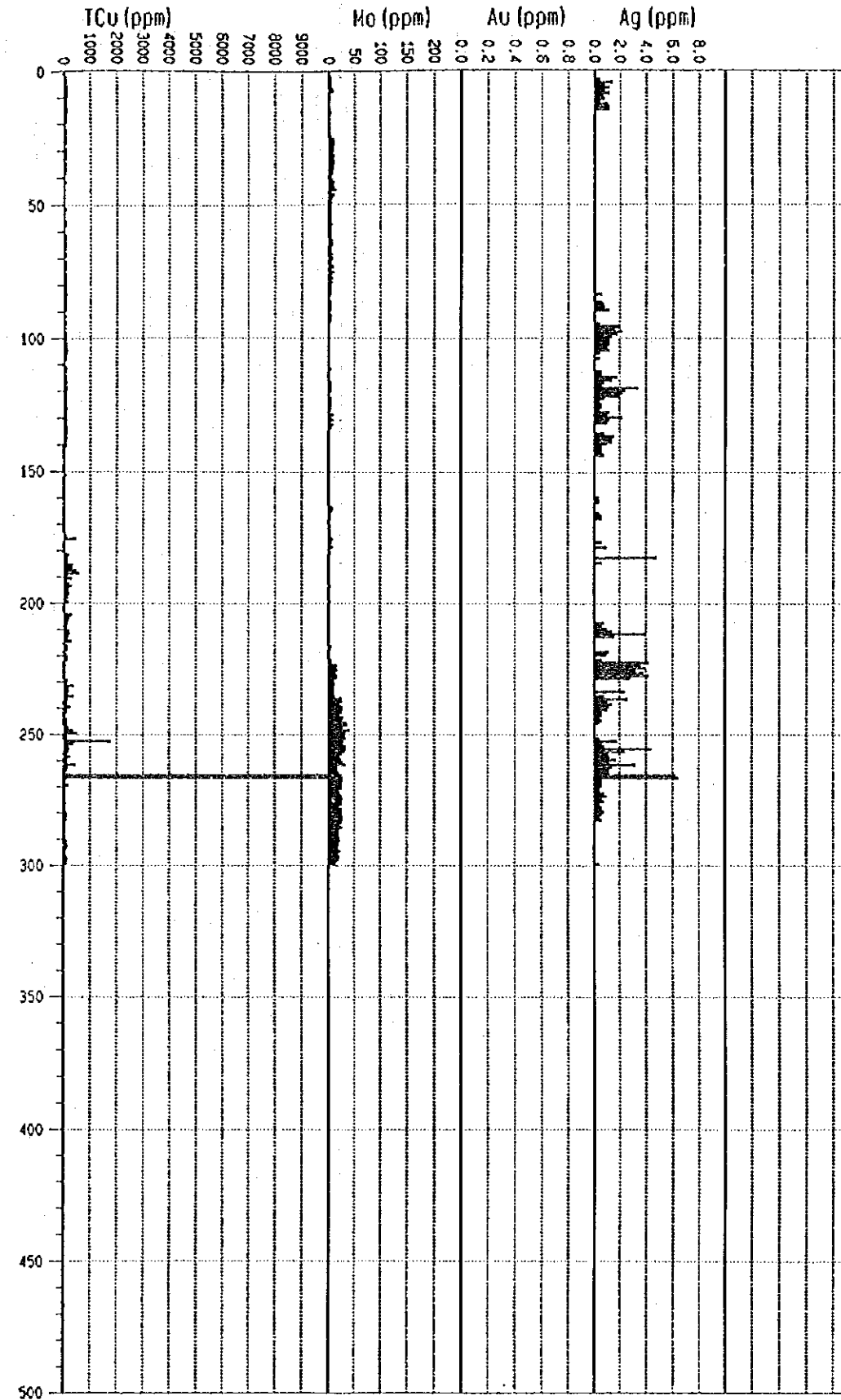


Fig. II-1-3(6) Synthetic column for MJCv-11(1:2,000)

Veraguas area Drill#MJCv-12 (Scale 1/2000) (Depth:0 m -450 m)

Depth (m)	Geol Colm	Boun dary (m)	Frac ture	ln Jar	Cu oxd	Cp	Py	Kal	Chl	Epi	Gyp	Cal	Sil	Qz	Remarks
3.0															none core
12.7															semifract greenish white f.g.diorite
17.5															calcite-Cu oxd network,metallic hm flm~network
															green f.g.diorite chl>epi Cu oxd in frct
															fracture metallic hm diss~flm
53.9															greenish grey f.g.diorite jar-metallic hm diss~fine flm rich
60.9															greenish grey chl~epi rich partly banded
															f~m.g.diorite
88.8~89.95															frct Cu oxd diss rich
89.9															greenish chl>epi f~m.g.diorite, metallic hm diss m~wk
															Cu oxd wk~v.wk diss
111.0															greenish chl>epi f.g.diorite,metallic hm diss wk Cu oxd nore
124.3															metallic hm diss~flm rich Cu oxd diss~contani infront
131.0															dark green f.g.diorite chl>epi rich
															Cp-Py diss with metallic hm flm
172.0															dark green f.g.diorite chl>epi Cp-Py diss wk
178.4															dark green f.g.diorite m.hm diss wk
															frct
															(200.00m END)

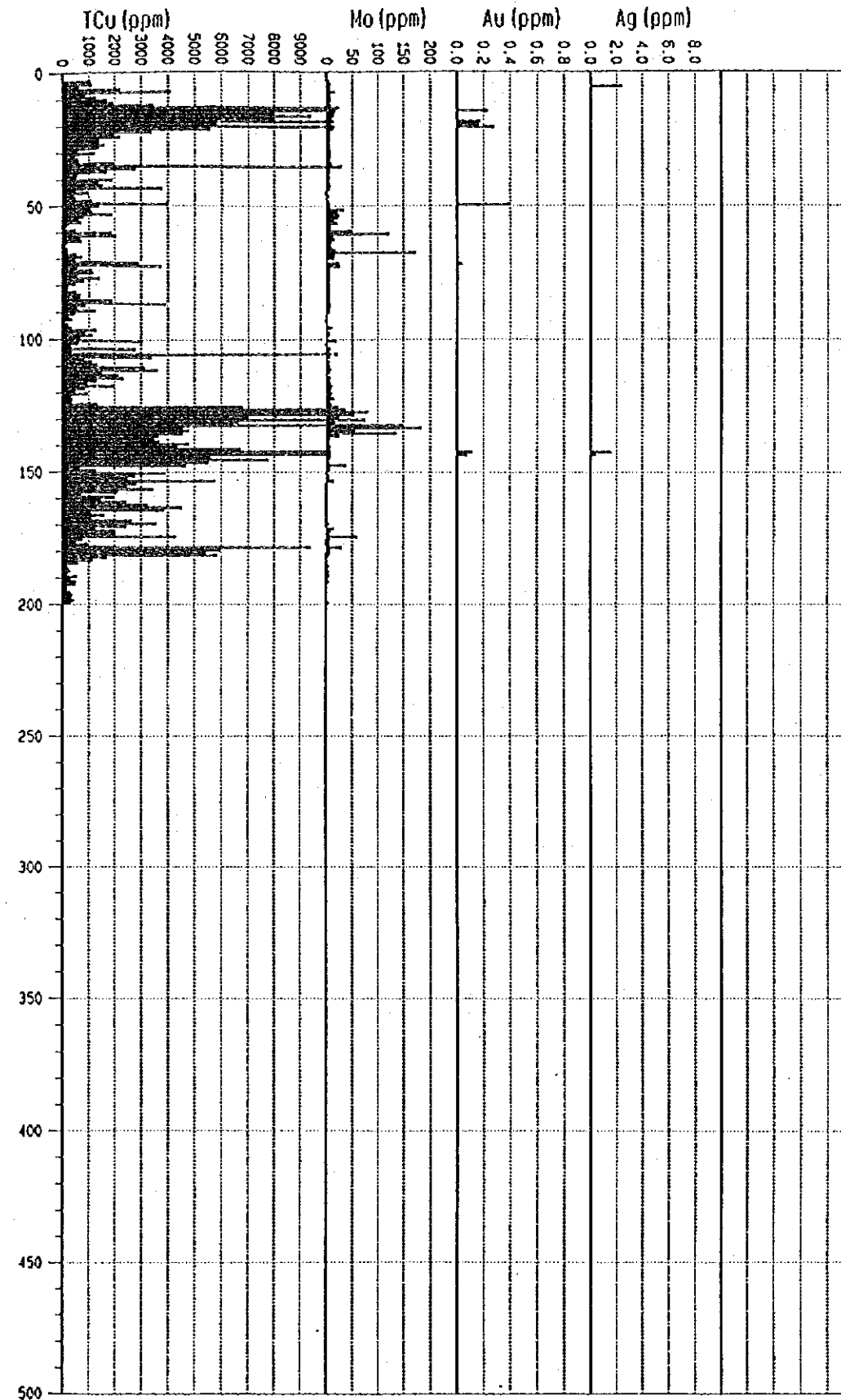


Fig.II-1-3(7) Synthetic column for MJCv-12(1:2,000)

Veraguas area Drill#MJCv-13 (Scale 1/2000) (Depth:0 m -450 m)

Depth (m)	Geol Colm	Boun dary (m)	Fracture	Jar	Cu oxd	Cu sul	Py	Kal	Chl	SilK- Qz add	Gyp	Cal	Remarks
1.5													purplish~brownish grey jar>kal gyp network
16.9													Lixivited zone Cu oxd diss rich
26.8													brownish green~dark green m.g.diorite porphyry chl rich gyp
													brownish~greenish grey m.g.diorite porphr network st jar- chl>kal gyp-jar network limc rich
50.0													greenish grey m.g.diorite porphyry, weakly alteration
													Cu oxd diss wk in gyp flm jar chl gyp flm wk
70.0													greenish f~m.g.diorite porphyry gyp network rich metallic hm diss
78.0													green f~m.g.diorite porphyry gyp network rich
													native copper diss~fine film m~st
													Cu oxd diss in gyp network and frct
													metallic hm diss
125.6													weakly sil-k-add alteration
149.0													greenish~brownish grey f~m.g.diorite porphyry
													sil-k-add alteration, native copper
													diss~fine flm m~wk Cu oxd diss in frct
180.0													brownish green jar-rhm rich
185.6													greenish~brownish grey f~m.g.diorite porphyry
198.5													metallic hm diss
210.0													greenish grey f~m.g.diorite porphyry
221.0													Limonitized brownish sil-chl dacitic porphyry
													pseudo brecciated tex.
													greenish grey f.g.diorite porphyry
													Py-m hm-limo diss~flm Py>Cp diss
268.1													v. frct zone (powdering)
274.0													frct zone Py diss wk jar-chl-sil
290.2													greenish grey f.g.diorite porphyry chl-sil
													(300.00m END)

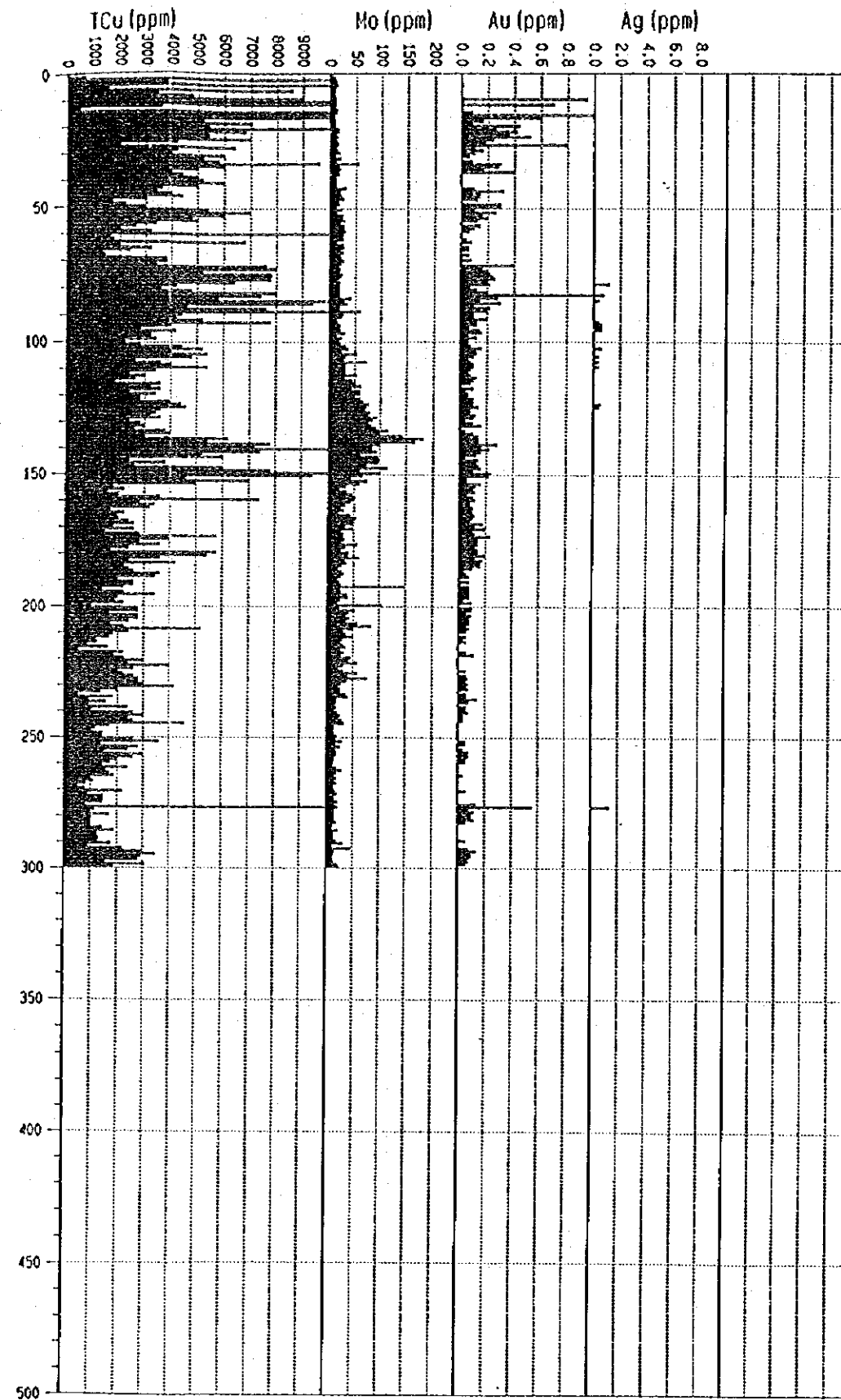
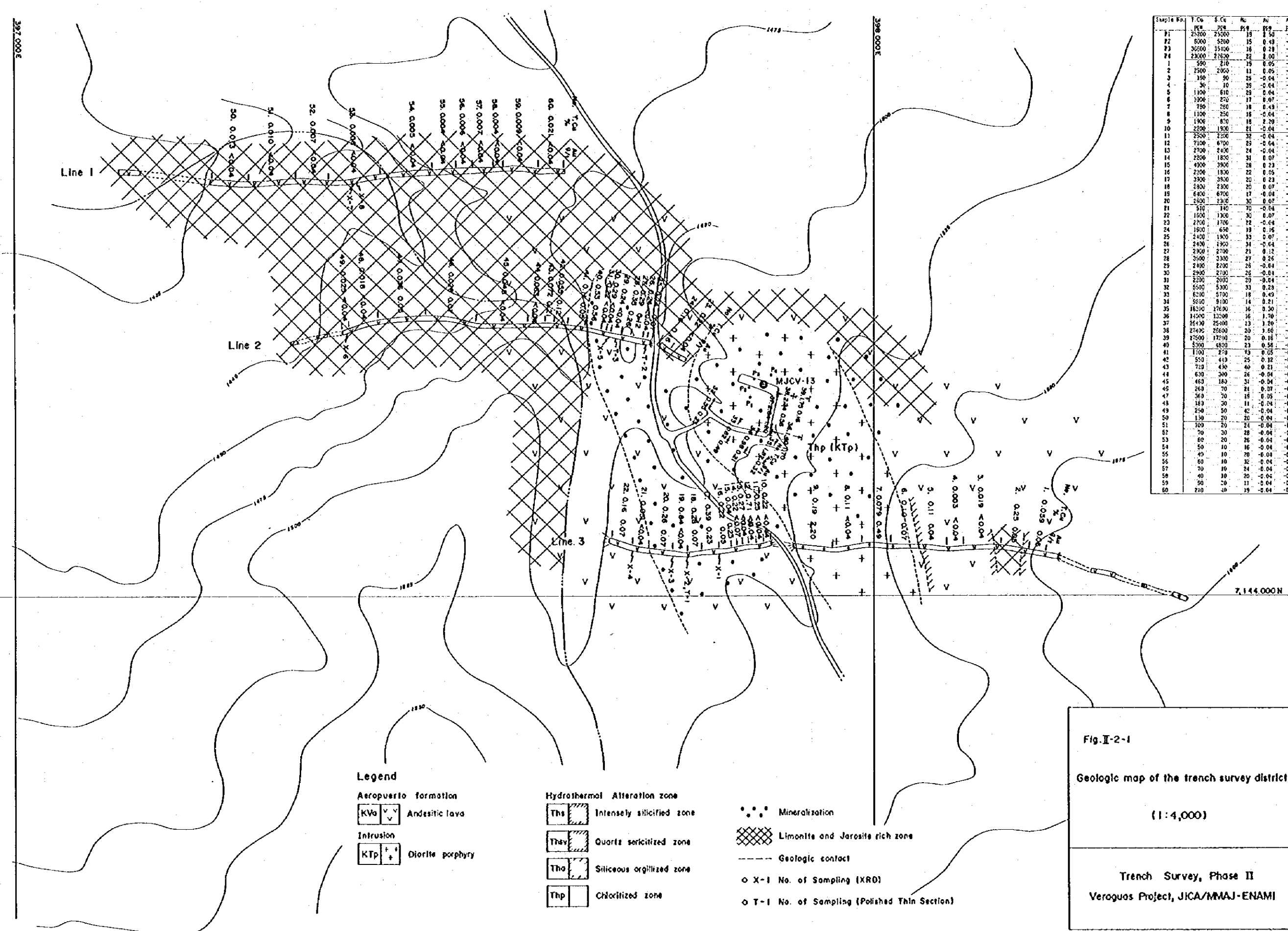


Fig.II-1-3(8) Synthetic column for MJCv-13(1:2,000)



Sample No.	T. Co	S. Co	Fe	Mg	Al	Ag
1	23500	23500	18	2.54	-0.4	-0.4
2	5000	5200	15	0.49	-0.4	-0.4
3	36000	35100	16	0.28	-0.4	-0.4
4	23000	22600	22	2.00	-0.4	-0.4
5	590	210	19	0.05	-0.4	-0.4
6	2300	2060	11	0.05	-0.4	-0.4
7	190	90	25	-0.04	-0.4	-0.4
8	36	10	35	-0.04	-0.4	-0.4
9	1100	610	23	0.04	-0.4	-0.4
10	1300	220	17	0.07	-0.4	-0.4
11	780	260	18	0.43	-0.4	-0.4
12	1100	250	16	-0.04	-0.4	-0.4
13	1900	620	18	2.20	-0.4	-0.4
14	2200	1900	21	-0.04	-0.4	-0.4
15	2300	2200	32	-0.04	-0.4	-0.4
16	7100	6700	29	-0.04	-0.4	-0.4
17	2700	2400	24	-0.04	-0.4	-0.4
18	2200	1800	31	0.07	-0.4	-0.4
19	4900	3900	28	0.23	-0.4	-0.4
20	2300	1800	22	0.05	-0.4	-0.4
21	3300	3300	20	0.23	-0.4	-0.4
22	2800	2300	20	0.07	-0.4	-0.4
23	6400	6700	17	-0.04	-0.4	-0.4
24	2500	2300	30	0.07	-0.4	-0.4
25	510	140	20	-0.04	-0.4	-0.4
26	1500	1300	30	0.07	-0.4	-0.4
27	2700	1700	22	-0.04	-0.4	-0.4
28	1800	650	19	0.16	-0.4	-0.4
29	2400	1900	33	0.07	-0.4	-0.4
30	2400	1900	34	-0.04	-0.4	-0.4
31	2900	2700	21	0.12	-0.4	-0.4
32	3500	3300	27	0.26	-0.4	-0.4
33	2300	2200	26	-0.04	-0.4	-0.4
34	2900	2700	26	-0.04	-0.4	-0.4
35	2200	2000	29	-0.04	-0.4	-0.4
36	5500	5300	33	0.28	-0.4	-0.4
37	6200	5700	18	0.49	-0.4	-0.4
38	9200	9100	14	0.21	-0.4	-0.4
39	18200	17600	16	0.30	-0.4	-0.4
40	14200	12500	16	1.70	-0.4	-0.4
41	26400	25100	13	2.26	-0.4	-0.4
42	27400	25600	20	1.66	-0.4	-0.4
43	17500	17200	20	0.16	-0.4	-0.4
44	5300	4800	23	0.56	-0.4	-0.4
45	1100	270	23	0.05	-0.4	-0.4
46	550	410	25	0.12	-0.4	-0.4
47	720	430	40	0.21	-0.4	-0.4
48	630	380	26	-0.04	-0.4	-0.4
49	460	160	32	-0.04	-0.4	-0.4
50	260	70	21	0.07	-0.4	-0.4
51	360	70	15	0.05	-0.4	-0.4
52	180	30	11	-0.04	-0.4	-0.4
53	250	50	42	-0.04	-0.4	-0.4
54	130	20	20	-0.04	-0.4	-0.4
55	100	20	24	-0.04	-0.4	-0.4
56	70	30	28	-0.04	-0.4	-0.4
57	60	20	26	-0.04	-0.4	-0.4
58	50	10	16	-0.04	-0.4	-0.4
59	40	10	20	-0.04	-0.4	-0.4
60	30	10	32	-0.04	-0.4	-0.4
61	20	10	24	-0.04	-0.4	-0.4
62	10	10	20	-0.04	-0.4	-0.4
63	10	10	11	-0.04	-0.4	-0.4
64	10	10	19	-0.04	-0.4	-0.4
65	10	10	19	-0.04	-0.4	-0.4
66	10	10	11	-0.04	-0.4	-0.4
67	10	10	19	-0.04	-0.4	-0.4
68	10	10	19	-0.04	-0.4	-0.4
69	10	10	19	-0.04	-0.4	-0.4
70	10	10	19	-0.04	-0.4	-0.4

Fig. I-2-1
 Geologic map of the trench survey district
 (1:4,000)
 Trench Survey, Phase II
 Veraguas Project, JICA/MMAJ-ENAMI

Table II-1-7 Results of the microscopic observation (Polished section)

Samples				Opaque minerals											
No. Drill Hole	Depth (m)	Original Rock	Remarks	Py	Cu ox	CP	Bo	Cv	Cc	Cu	by point counter		Mt Hm Il		
						μ	μ	μ	μ	μ	wt%	μ	wt%	μ	
1	MVCV-13	16.0 Di-Porp.				5-15						10-25			
2	MVCV-13	78.4 Di-Porp.				10-20					2.4	5-300			
3	MVCV-13	95.9 Di-Porp.	SYP network			5-10	10				0.9	5-150			
4	MVCV-13	98.8 Di-Porp.	SYP network			<10	<10				0.9	5-100			
5	MVCV-13	123.9 Di-Porp.	SYP network								0.4	5-300			
6	MVCV-13	126.6 Di-Porp.	SYP network								1.7	5-250			
7	MVCV-13	129.4 Di-Porp.									0.4	5-100			
8	MVCV-13	134.1 Di-Porp.	SYP network								2.6	5-200			
9	MVCV-13	135.9 Di-Porp.	SYP network								1.3	5-200			
10	MVCV-13	140.5 Di-Porp.	SYP network		azurite										
11	MVCV-13	143.0 Di-Porp.	SYP network	?							0.4	5-300			
12	MVCV-13	147.0 Di-Porp.									3.5	5-250			
13	MVCV-13	152.0 Di-Porp.	qz film								1.2				
14	MVCV-13	159.5 Di-Porp.	SYP network	?	atacamite										
15	MVCV-13	181.3 Di-Porp.	SYP network		azurite										
16	MVCV-13	225.0 Di-Porp.	SYP network								0.5	5-150			

[abundance]
 ◎: abundant
 ○: common
 △: minor
 ·: rare
 * Di-Porp. : Diorite Porphyry

PY : pyrite
 Cu ox : copper oxide
 CP : chalcocopyrite
 BO : bornite
 CV : covellite
 CC : chalcocite
 Cu : native copper

Mt : magnetite
 Hm : hematite
 Il : ilmenite
 GYP : gypsum
 qz : quartz

1-4 考 察

1-4-1 地質及び鉱化変質

本年度実施した8孔2,648.5mのボーリングデータを用いて作成したボーリング断面図及び総合柱状図をもとに、地質構造と鉱化及び変質作用の関連について検討した。

1. ハラ山地区

本地区は安山岩質火山岩類とこれ貫く閃緑岩質～安山岩質斑岩からなり、両者は強い熱水変質を受けている。本地区はN-S系及びNW-SE系の断裂系が発達しており、これらの断裂系は基盤構造として既に存在し、斑岩の貫入路として役割を担ったと考えられる。特に、ハラ山北西側山麓において、斑岩はNW-SE系の構造に規制されて幅100～200mでストック状に侵入している。

本地区の表層部及び上記方向の断層沿いには、強珪化帯、石英・絹雲母帯及び、ジヤロサイト状赤鉄鉱が濃集した珪質粘土帯からなる溶脱帯が、10～200mの厚さで形成されている。

溶脱帯の下部は、珪質粘土帯及び緑泥石帯に分帯される。緑泥石帯は黄鉄鉱・銅鉱が顕著で、上位から珪質粘土-緑泥石帯・緑泥石帯・珪化-緑泥石帯・珪化-加長石-緑泥石帯に細分される。これらの鉱物組み合わせから、前3者はLowell & Gilbert(1970)による斑岩銅鉱床の変質区分のワリツ帯に、後者は加質帯に対応すると考えられる。

ハラ山北西部山麓ではMJC-V-13孔により溶脱帯の下部において暗緑色安山岩及びストック状閃緑岩質斑岩を母岩として酸化銅・自然銅・黄銅鉱と微量のジヤロ・輝銅鉱・斑銅鉱からなる鉱化帯を捕捉した。鉱石分帯と変質分帯は下記の対応を示す。

深度	銅鉱物	T. Cu ave. max. Au ppm	変質状況
0-17m	珪質粘土・フッカルサイト	0.55% 1.24% 0.20	珪質粘土-緑泥石帯 石膏脈発達 ワリツ帯
17-70m	珪質粘土・フッカルサイト	0.24 1.12 0.14	弱緑泥石帯 ワリツ帯
70-78m	珪質粘土・フッカルサイト	0.34 0.40 0.21	緑泥石帯 石膏脈発達 ワリツ帯
78-149m	自然銅・珪質粘土・フッカルサイト	0.23 0.66 0.13	緑泥石帯 石膏脈発達 ワリツ帯
149-180m	自然銅・珪質粘土・フッカルサイト	0.18 0.52 0.13	珪化-加長石-緑泥石帯 石膏脈発達 加質帯
180-198m	珪質粘土・フッカルサイト	0.14 0.27 0.09	珪化-加長石-緑泥石帯 石膏脈発達 加質帯
198-250m	黄銅鉱・輝銅鉱・ジヤロ	0.11 0.26 <0.04	珪化-加長石-緑泥石帯 石膏脈発達 加質帯
250-300m	黄銅鉱・輝銅鉱・ジヤロ	0.10 0.55 <0.04	珪化-加長石-緑泥石帯 石膏脈発達 加質帯

0～149m間のワリツ帯では、T. Cu品位>0.2%、Au品位>0.1ppmであるが、149m以深の加質帯では銅・金とも鉱化が弱くなる傾向がある。

自然銅は78.0~180.0m間で鉱染状、フィルム状に産し、鏡下で黄銅鉱・斑銅鉱が微量認められる。また、上記銅鉱物の他、赤鉄鉱と磁鉄鉱がほぼ全域で鉱染している。自然銅産出箇所では赤鉄鉱は磁鉄鉱を完全に交代しておらず、両者は必ず共存する。酸化銅が多く産する箇所では磁鉄鉱の赤鉄鉱化がより進んでいる。

以上の産状及びFig. II-1-4に示した銅及び鉄の安定領域図から、自然銅は初生の硫化銅鉱物が分解・溶出され、溶存酸素が存在しない比較的低Eh-高Phな環境のもとで2次的に沈澱した。その後、より酸化環境に移行し、磁鉄鉱の赤鉄鉱化さらにジヤロサイト化が進むとともに酸化銅が生成したと考えられる。もし、自然銅の生成環境よりも若干Phが低い環境であれば、マリン・輝銅鉱が2次鉱物として生成した可能性がある。

また、Fig. II-1-5に示したように、MJC-6孔によりバハラ山東側山麓深部の切質帯では黄銅鉱鉱染を、MJC-9孔によりツツツ鉱床があるバハラ山北縁の溶脱帯では酸化銅鉱染を捕捉した。従って、バハラ山を構成する溶脱帯の下部は、斑岩銅鉱床の賦存が期待され、今後も探鉱を継続する必要がある。

2. バラア山地区(MJC-10 & MJC-11)

本地区は安山岩質火山岩類とこれを貫く閃緑岩質～安山岩質斑岩からなり、両者はバハラ山地区と同様の強い熱水変質を受けている。また、本地区はNE-SW系及びNW-SE系の断裂系が発達しており、これらは基盤構造として既に存在し、斑岩の貫入路としての役割を担ったと考えられる。

バラア山東部では、MJC-11孔によりNW-SE方向の断裂系に規制されて貫入したと推定される斑岩岩脈に伴い、幅約2mのマリン・輝銅鉱からなる鉱化帯を捕捉した。従って、バラア山東部はNW-SE系構造に規制された斑岩銅鉱床の賦存が小規模ながら期待される。

しかし、バラア山の山頂から西部にかけての地区では、初年度及び本年度のボーリングにより0.2-0.7%の銅鉱微を局部的に捕捉したが、連続性に乏しいため鉱化の広がりには期待できない。

3. バラア山東側平原部「ナンパ地区」

本地区から東方のナンパシラバハラ山(1,781m)にかけて石英閃緑岩及びトナリ付からなるストックが2×2kmの範囲に分布する。本地区はNW-SE系のリアフトが発達している。

MJC-12孔により緑泥石化及び緑泥石化を受けた石英閃緑岩を母岩として酸化銅及び黄銅

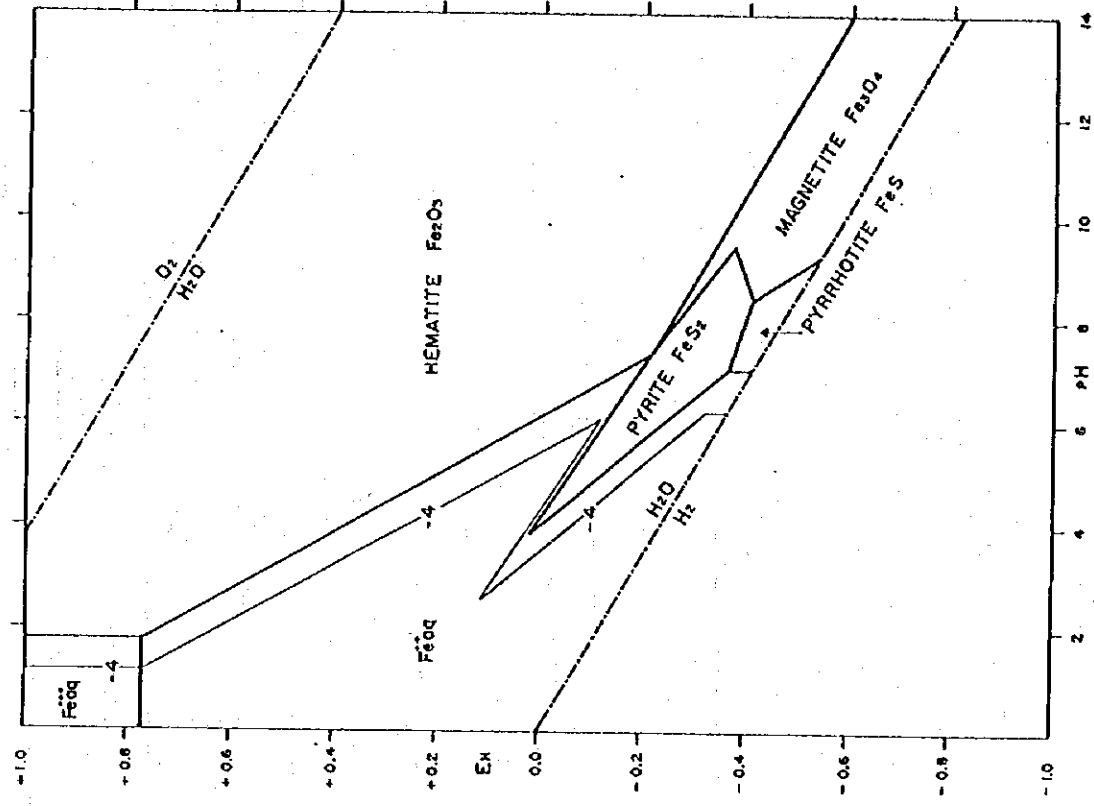


FIG. 7.20. Stability relations of iron oxides and sulfides in water at 25 °C and 1 atmosphere total pressure, when $\Sigma S = 10^{-6}$. Note shrinkage of sulfide boundaries and appearance of FeS as a stable phase at intermediate pH under strongly reducing conditions, as well as marked increase in the area of "acid solubility" over a wide range of Eh.

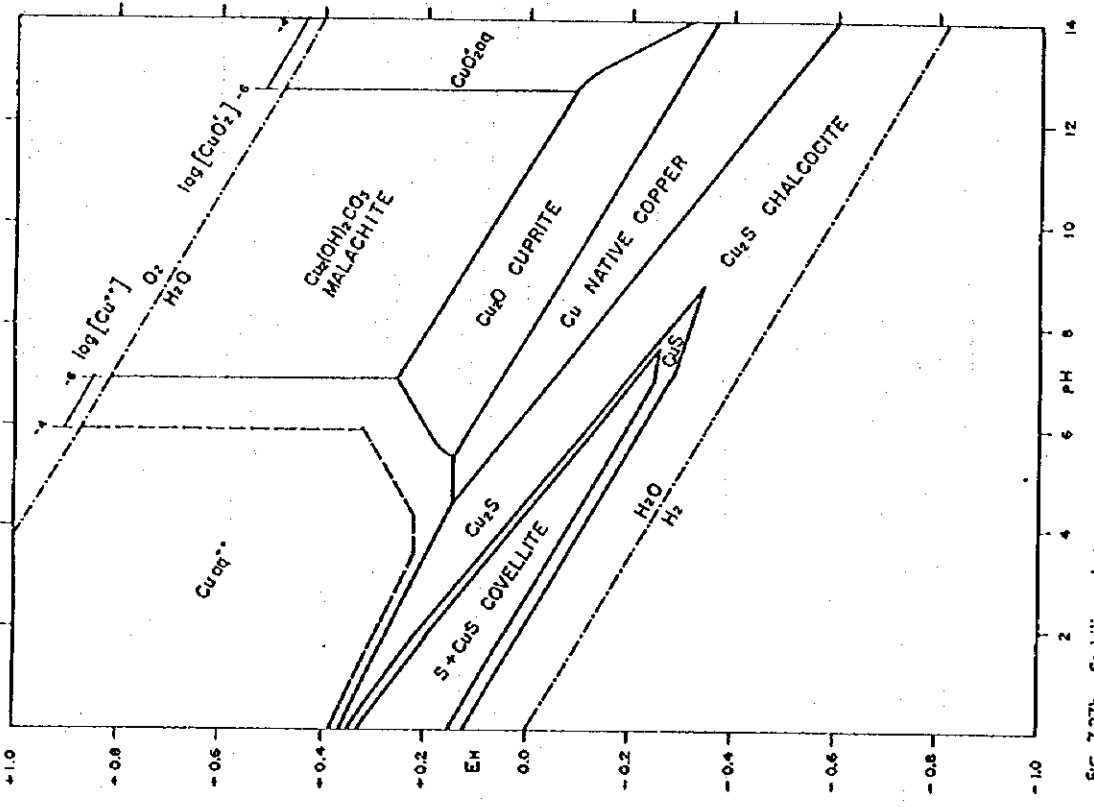


FIG. 7.27b. Stability relations among some copper compounds in the system Cu-H₂O-O₂-S-CO₂ at 25 °C and 1 atmosphere total pressure. $P_{CO_2} = 10^{-3.5}$, total dissolved sulfur species = 10^{-3} . [Courtesy J. Anderson.]

Fig.II-1-4 Stability relations of copper and iron compounds [Garrels and Christ, 1965]

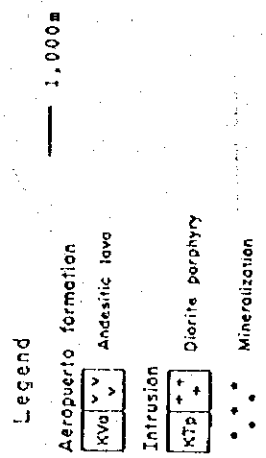
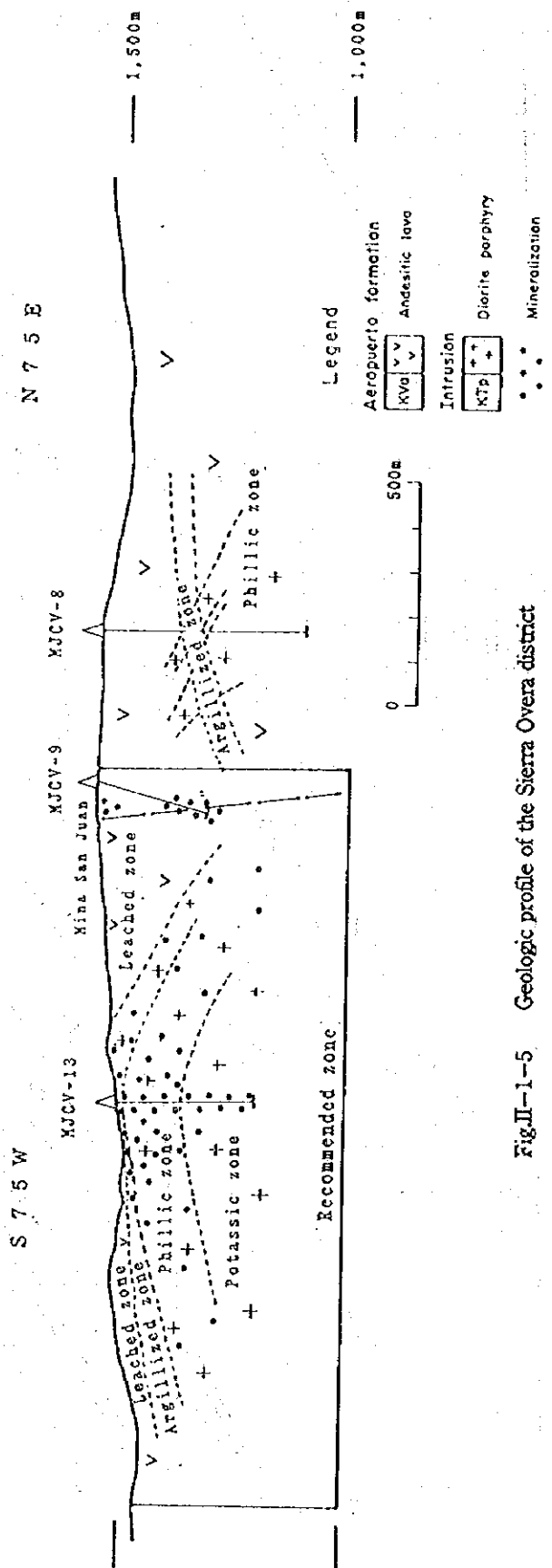
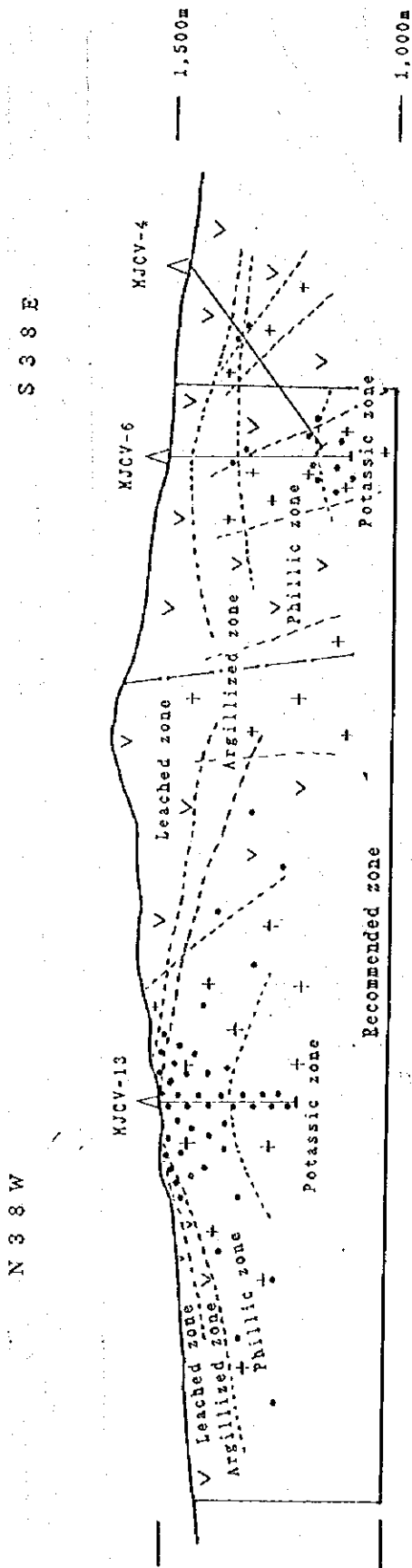
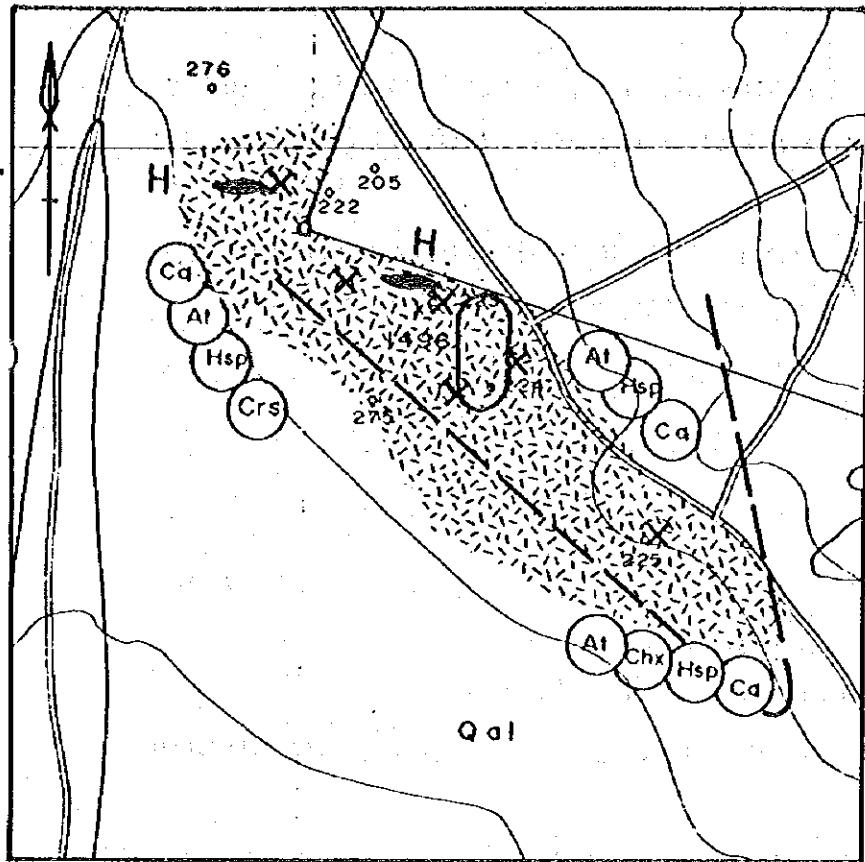


Fig.II-1-5 Geologic profile of the Sierra Overa district



- ⊙ Chx Chenevixite ⊙ Ca Calcit
- ⊙ Al Atacamite
- ⊙ Chc Chalcantite
- ⊙ Crs Chrysocolla
- ⊙ Hsp Hematite(Specularite)
- ▨ Oxide copper abundant z
- H Hematite stockwork
- Anomaly area of T. Cu
- ⊖ Anomaly area of S. Cu

Fig.II-1-6 Geology of the Pampa district

鉍からなる鉍化帯を捕捉した。これらは赤鉄鉍、石英、方解石に伴いワイルド状、鉍染状に産する。本鉍化帯はFig. II-1-6に示したようにNW-SE系のリフトに規制され網脈状に賦存すると考えられる。

パカア山とパカシラパラ山間の約1~2kmは、第四紀層に覆われており石英閃緑岩岩体と前述のフィリッパ層群安山岩質火山岩類との境界、斑岩岩脈との関係は不明である。また、パカ山地区の鉍化との関係も不明であることから、今後、これらを解明することが望まれる。

1-4-2 K-Ar年代測定

フィリッパ調査の試料3個に対してK-Ar法による年代測定を実施した。測定結果をTable II-1-9に示す。定数はSteiger and Jaeger (1977) により、

$$\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10} / Y \quad \lambda_\beta = 4.962 \times 10^{-10} / Y$$

とし、K中の ^{40}K の存在比を $^{40}\text{K}/\text{K} = 0.01167 \text{atom\%}$ とした。また、測定誤差の見積りは長尾ほか(1984)によった。

試料はいずれも、銅鉍化を伴う閃緑岩質斑岩及び石英閃緑岩であることから、測定結果は鉍化変質の年代を示すと考えられる。

K-Ar年代測定の結果、下記の事項が明かになった。

1. パカ山東地区は、 $104 \pm 2.0 \text{Ma}$ 、パカ山北西地区は $115 \pm 4.0 \text{Ma}$ 、パカ地区は $93.8 \pm 2.1 \text{Ma}$ でありいずれも白亜紀の年代を示す。

パカ山地区の閃緑岩質斑岩はフィリッパ変質及びカリ質変質を受け斑岩銅鉍床の鉍化変質パターンを示し、パカ地区の石英閃緑岩は緑泥石化・緑れん石化・方解石化で特徴づけられ、海岸山脈に多く分布する鉍脈型鉍床の鉍化変質パターンを示すが、両者の鉍化変質時期に大きな差はない。

2. 海岸山脈に広く分布するパカシラパラ花崗岩体(Grupo Plutónico Cerro del Pingo)のK-Ar年代が $109-121 \text{Ma}$ (Naronjo et. al. 1984)を示すことから、鉍化変質は本地域の花崗岩岩マダマの活動時期とほぼ一致する。

3. Fig II-1-7に示すように、パカ北部のドメロ山脈沿いに賦存する斑岩銅鉍床のK-Ar年代が $30-40 \text{Ma}$ を示すことから、パカ山地区の鉍化変質は斑岩銅鉍床と似ているが、その生成時期はドメロ山脈の斑岩銅鉍床とは異なる。

Table II-1-9 Results of the K-Ar dating

Sample Locality	Rock Type	Alteration T.Cu (ppm) S.Cu (ppm) Au (ppm) Ag (ppm) Mo (ppm)	Mineralization py-cp dis. (ppm) 0.6 18	POTASSIUM (K wt%)	Rad. 40Ar (10-8cc/g)	K-Ar AGE (Ma)	AIR CONT. (%)	Average of K-Ar Age (Ma)
Sierra overa east district MJC-6 342.0-342.5m	diorite porphyry	qz-kf-ch 1430 24 <0.04	py-cp dis. 0.6 18	3.78 ± 0.08	1583 ± 17 1549 ± 17	105 ± 2.0 103 ± 2.0	3.9 4.1	104 ± 2.0
Sierra overa northwest district MJC-13 143.5-144.0m	diorite porphyry	ch-qz-ab-bt-se-gp 3000 610 0.04	cu ^o -mt-hm <0.4 96	1.15 ± 0.03	536 ± 12	117 ± 4	48.8	115 ± 4
Pampa district MJC-12 145.0-145.5m	quartz diorite	ch-ep-qz-ab-cal 3890 210 <0.04	py-cp-hm-ge <0.4 5	7.92 ± 0.16	2983 ± 32 2936 ± 32	94.5 ± 2.1 93.1 ± 2.1	4.3 4.4	93.8 ± 2.1

* Dating was done on bulk samples by Mitsubishi Material Co., Ltd. Central Laboratory.

* Decay Constant(after Steiger and Jaeger, 1977):

$$\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10} / \text{yr}$$

$$\lambda_\beta = 4.962 \times 10^{-10} / \text{yr}$$

* ⁴⁰K content in K : ⁴⁰K/K = 0.01167 atom %

* Error estimation was done after Nagao et al. (1984)

* Mineral names qz:quartz kf:k-feldspar ab:albite se:sericite bt:biotite ch:chlorite ep:epidote cal:calcite gp:gypsum

py:pyrite cp:chalcopyrite cu^o:native copper mt:magnetite hm:hematite ge:geothite

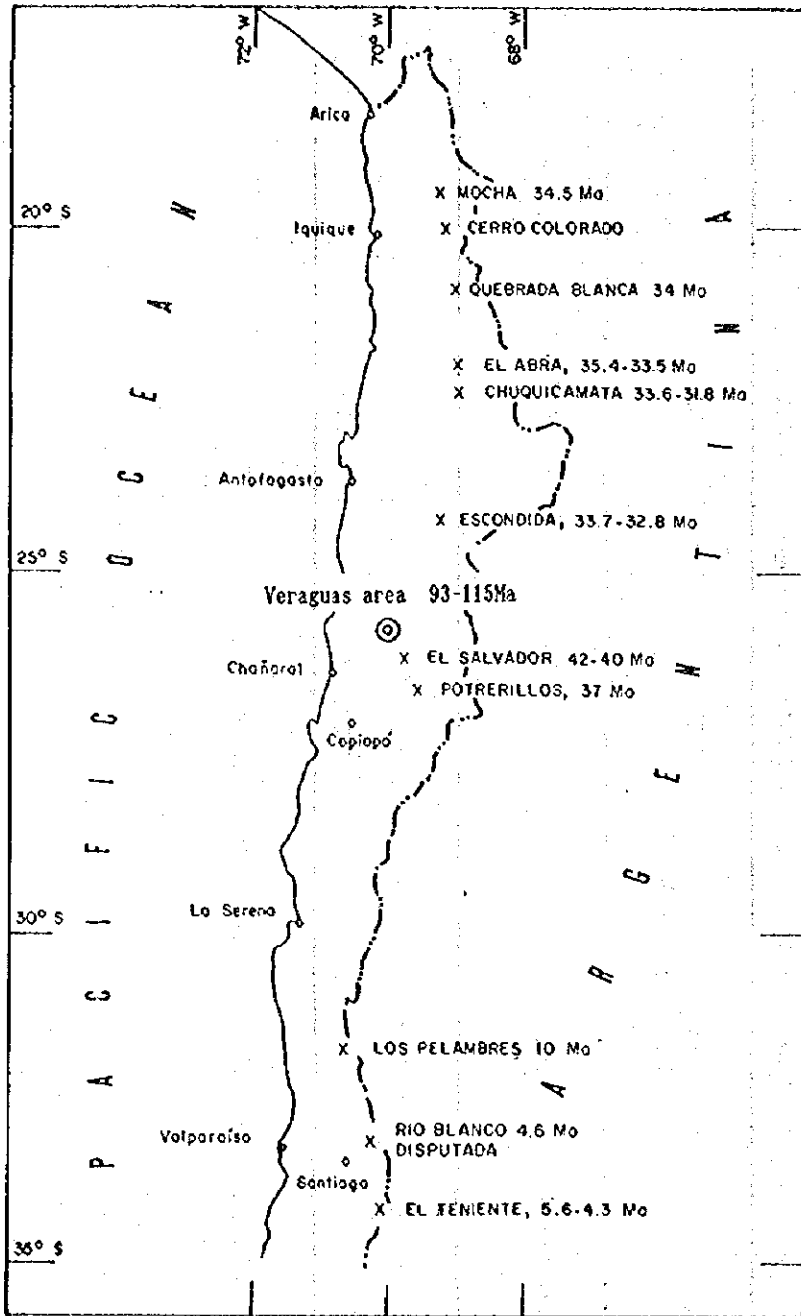


Fig. II-1-7 Location and K-Ar ages of major porphyry copper deposits in northern Chile. Ages of porphyry copper deposits from Quirt *et al.* (1971; Mocha, Los Pelambres, Río Blanco, and El Teniente), Gustafson and Hunt (1975; El Salvador), Olson (1984; Potrerillos), Internal report, CODELCO-Chile, División Chuquicamata (no date: Chuquicamata), Ambrus (1977; El Abra), C. Alpers and G. Brimhall (written commun.; Escondida), and Hunt *et al.* (1983; Quebrada Blanca).

[Olson, 1989]

1-4-3 EPMA定量分析

MJCV-13で捕捉した78~180m間の自然銅鉱染帯の中から、顕微鏡観察を行った78.4m・126.6m・134.1m・147.0m・152.0mの5箇所の自然銅について定量分析を行った。

EPMA分析はエックス線分散法で行った。分析装置は日本電子製JXA-733(JEOL)に装着されたTracer Northern製TN-5400であり、測定条件は以下の通りである。

加速電圧 : 20KV 照射電流 : 2.50×10^{-10} A 取り出し角 : 40°

電子ビーム径 : 10 μ m 照射時間 : 100秒。

補正は装置に組み込まれたソフトを用い、ZAF補正を行った。標準試料は金属のCu・Fe・Au・Ag・Niを使用した。

分析結果をTable II-1-10に示す。自然銅は全てCu成分98atm.%以上であり、特に、78.4mの自然銅はCu成分100%である。不純物成分としては、Feが<1.0atm.%、Agが<0.2atm.%含有される。

1-4-4 比抵抗・分極率測定

第1年度ボーリング調査で採取したコア試料33個及び第2年度ボーリング調査で採取したコア試料26個の計59試料について比抵抗・分極率の測定を行った。

試料はカッターでコアを半割し10cm程度の半円柱形に成形し、1週間蒸留水に浸沈後、1時間抜気し、さらに1週間蒸留水に沈浸したものを測定した。測定にはPhoenix Geophysics Limited社製 IP and Resistivity Core Tester CT-1を用いた。分極率測定には測定器の特性上、周波数0.3Hz及び0.5Hzを使用した。

測定結果を試料の産状、化学分析値とともにFig. II-1-11に示す。

試料は、変質・原岩の差異を基に以下の5種類に分類した。

変質帯	原岩	試料数	黄鉄鉱・銅鉱物鉱染試料数
全体		59	37
1. 珪珪化帯	安山岩	6	0
2. 珪質粘土帯	安山岩	10	1
3. 珪質粘土帯	斑岩	11	6
4. 緑泥石帯	安山岩	6	5
5. 緑泥石帯	斑岩・閃緑岩	26	25

これらの比抵抗値・分極率・銅分析値の最大値・最小値・平均値は次の通りである。

Table II-1-10 Microprobe analyses of native copper

	13-78.4m	13-78.4m	13-78.4m	13-126.6m	13-126.6m	13-126.6m
WT. %						
Cu	100.74	100.58	100.36	100.31	98.77	100.65
Fe	0.00	0.00	0.00	0.66	0.69	0.36
Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00
Total	100.74	100.58	100.36	101.32	99.46	101.01
ATM. %						
Cu	100.00	100.00	100.00	99.05	99.21	99.59
Fe	0.00	0.00	0.00	0.74	0.79	0.41
Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00
	13-134.1m	13-134.1m	13-134.1m	13-147.0m	13-147.0m	13-147.0m
WT. %						
Cu	99.31	100.47	100.81	98.63	99.52	99.82
Fe	0.00	0.08	0.00	0.11	0.00	0.33
Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.71	100.55	100.81	98.74	99.52	100.15
ATM. %						
Cu	99.76	99.91	100.00	99.87	100.00	99.62
Fe	0.00	0.09	0.00	0.13	0.00	0.38
Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	13-152.0m	13-152.0m	13-152.0m			
WT. %						
Cu	98.84	100.56	99.38			
Fe	0.33	0.30	0.88			
Au	0.00	0.00	0.00			
Ag	0.00	0.00	0.00			
Total	99.18	100.86	100.26			
ATM. %						
Cu	99.62	99.66	99.00			
Fe	0.38	0.34	1.00			
Au	0.00	0.00	0.00			
Ag	0.00	0.00	0.00			

変質帯	原岩	RES(Ω)			PFE(%)			T.Cu(ppm)			S.Cu(ppm)		
		Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.
1. 強珪化帯	安山岩	1,402	131	828	0.4	0.2	0.3	80	5	22	<10	<10	<10
2. 珪質粘土帯	安山岩	1,950	27	300	16.0	0.2	2.5	616	5	126	138	<10	18
3. 珪質粘土帯	斑岩	439	30	118	8.8	0.4	2.5	8,600	10	1,038	6,100	<10	622
4. 緑泥石帯	安山岩	2,809	1	617	17.5	2.5	9.0	13,800	28	2,381	3,850	<10	644
5. 緑泥石帯	斑岩・閃緑岩	5,892	1	1,243	24.0	2.0	7.2	7,000	23	1,387	2,340	<10	500

比抵抗・分極率と変質・原岩・銅分析値との間に以下の傾向が認められる。

1. 比抵抗

① 強珪化帯の比抵抗値は平均828 Ω mで珪質粘土帯の比抵抗値より高い値を示していることから、地表部に見られるCSANTの高比抵抗域は強珪化帯に対応する。

② 黄鉄鉱などの硫化鉱物は一般に低比抵抗値を示す。しかし、上記のように黄鉄鉱鉱染を伴う緑泥石帯よりも珪質粘土帯で低比抵抗値を示す。

③ 斑岩・閃緑岩を原岩とする緑泥石帯は黄鉄鉱鉱染が最も顕著であるが、その比抵抗値は平均1,243 Ω mと最も高い値を示す。斑岩・閃緑岩を原岩とする緑泥石帯で、酸化銅・黄銅鉱が鉱染するMJC-V-12の試料は平均285 Ω m、酸化銅・自然銅が鉱染するMJC-V-13の試料は平均2993 Ω mと中～高比抵抗値を示す。

②及び③から比抵抗は黄鉄鉱鉱染、銅鉱微よりも粘土化変質の影響により低い値を示すと考えられる。

2. 分極率

① 強珪化帯で平均0.3、珪質粘土帯で平均2.5を示し、珪化変質より粘土化変質の方が高い値を示す。

② 珪質粘土帯・緑泥石帯とも原岩の差異での影響は認められない。

③ 黄鉄鉱鉱染を伴う緑泥石帯は7.2～9.0と最も高い値を示す。酸化銅・黄銅鉱が鉱染するMJC-V-12の試料は平均4.8 Ω m、酸化銅・自然銅が鉱染するMJC-V-13の試料は平均4.3 Ω mである。従って、分極率は銅鉱微よりも黄鉄鉱鉱染の影響を受け高い値を示すと考えられる。

Table II-1-11 Results of the resistivity and polarization measurement

No.	Well hole	Measurement	Altitude zone	Original rock	IP(E) (D)	T.C.U.	S.C.U.	No.	A.U.	AC	F.P.A
1	MICV-01	11.0 m dis	all sch	unoxidized zone	1,405.0	6	10	12	0.04	0.4	5.93
2	MICV-01	38.2 m dis	all sch	unoxidized zone	1,388.7	3	10	12	0.04	0.4	5.93
3	MICV-03	31.5 m dis	all sch	unoxidized zone	1,925.6	0.4	10	12	0.04	0.4	0.70
4	MICV-04	16.0 m dis	all sch	unoxidized zone	1,317.7	0.4	10	12	0.04	0.4	2.20
5	MICV-05	16.3 m dis	all sch	unoxidized zone	1,048.9	0.2	14	10	0.04	0.4	0.67
6	MICV-05	158.3 m dis	all sch	unoxidized zone	63.4	0.2	11	10	0.04	0.4	1.10
7	MICV-01	106.0 m dis	all sch	unoxidized zone	523.1	0.2	11	10	0.04	0.4	0.3
8	MICV-01	316.3 m dis	all sch	unoxidized zone	495.7	0.2	11	10	0.04	0.4	0.3
9	MICV-02	136.0 m dis	all sch	unoxidized zone	67.0	1.1	174	40	0.04	0.4	5
10	MICV-03	241.0 m dis	all sch	unoxidized zone	66.7	0.5	67	26	0.04	0.4	4
11	MICV-03	361.8 m dis	all sch	unoxidized zone	86.9	0.5	98	10	0.04	0.4	2
12	MICV-04	166.9 m dis	all sch	unoxidized zone	4.8	0.8	58	10	0.04	0.4	7
13	MICV-04	322.5 m dis	all sch	unoxidized zone	6.7	1.0	47	18	0.04	0.4	5
14	MICV-05	20.3 m dis	all sch	unoxidized zone	2.0	1.4	131	5	0.04	0.4	5
15	MICV-05	50.3 m dis	all sch	unoxidized zone	4.2	2.0	105	10	0.04	0.4	3
16	MICV-11	43.0 m dis	all sch	unoxidized zone	1,950.7	2.0	129	4	0.04	0.4	4
17	MICV-01	202.5 m dis	all sch	unoxidized zone	299.8	2.3	126	16	0.04	0.4	4
18	MICV-02	188.5 m dis	all sch	unoxidized zone	51.3	4.2	187	10	0.04	0.4	3
19	MICV-02	197.5 m dis	all sch	unoxidized zone	62.3	4.0	190	30	0.04	0.4	4
20	MICV-02	247.0 m dis	all sch	unoxidized zone	30.8	2.8	404	23	0.04	0.4	5
21	MICV-03	140.3 m dis	all sch	unoxidized zone	36.7	1.8	10	10	0.04	0.4	2
22	MICV-03	203.3 m dis	all sch	unoxidized zone	7.2	0.9	19	10	0.04	0.4	2
23	MICV-03	319.0 m dis	all sch	unoxidized zone	255.0	0.4	103	7	0.04	0.4	2
24	MICV-03	25.0 m dis	all sch	unoxidized zone	69.0	1.0	43	10	0.04	0.4	2
25	MICV-03	399.3 m dis	all sch	unoxidized zone	60.0	0.4	66	10	0.04	0.4	2
26	MICV-03	345.2 m dis	all sch	unoxidized zone	30.3	2.8	1,020	8	0.04	0.4	3
27	MICV-13	12.0 m dis	all sch	unoxidized zone	438.4	2.7	8,600	6,100	1.1	0.70	0.4
28	MICV-04	335.4 m dis	all sch	unoxidized zone	14.6	2.3	1,038	623	1.1	0.63	0.4
29	MICV-04	374.2 m dis	all sch	unoxidized zone	44.6	1.5	36	10	0.04	0.4	4
30	MICV-04	406.0 m dis	all sch	unoxidized zone	39.2	7.5	76	10	0.04	0.4	3
31	MICV-06	149.6 m dis	all sch	unoxidized zone	1.4	7.7	13,800	3,650	1.9	0.04	3.8
32	MICV-07	55.0 m dis	all sch	unoxidized zone	121.5	3.5	28	10	0.04	0.4	4
33	MICV-11	232.0 m dis	all sch	unoxidized zone	2,807.7	7.2	193	10	0.04	0.4	4
34	MICV-01	368.1 m dis	all sch	unoxidized zone	81.4	9.0	2,381	642	12	0.04	0.4
35	MICV-03	268.1 m dis	all sch	unoxidized zone	35.3	3.6	793	18	0.04	0.4	5
36	MICV-03	371.1 m dis	all sch	unoxidized zone	85.4	4.8	7,000	1,200	24	0.04	0.4
37	MICV-04	439.2 m dis	all sch	unoxidized zone	27.4	5.1	294	16	0.04	0.4	4
38	MICV-04	485.0 m dis	all sch	unoxidized zone	41.9	2.0	94	10	0.04	0.4	4
39	MICV-06	250.0 m dis	all sch	unoxidized zone	186.6	6.3	23	10	0.04	0.4	4
40	MICV-06	379.5 m dis	all sch	unoxidized zone	41.9	1.2	260	21	0.04	0.4	3
41	MICV-06	389.3 m dis	all sch	unoxidized zone	86.4	1.8	340	40	0.04	0.4	4
42	MICV-06	384.4 m dis	all sch	unoxidized zone	61.5	1.0	1,470	20	0.04	0.4	4
43	MICV-06	394.0 m dis	all sch	unoxidized zone	101.5	1.2	1,174	10	0.04	0.4	4
44	MICV-08	215.0 m dis	all sch	unoxidized zone	101.5	1.2	1,174	10	0.04	0.4	4
45	MICV-11	265.0 m dis	all sch	unoxidized zone	879.9	2.0	50	10	0.04	0.4	4
46	MICV-11	308.0 m dis	all sch	unoxidized zone	336.1	24.0	50	10	0.04	0.4	4
47	MICV-12	292.0 m dis	all sch	unoxidized zone	243.3	2.9	550	310	4	0.04	0.4
48	MICV-12	326.0 m dis	all sch	unoxidized zone	23.4	3.6	1,450	1,200	24	0.04	0.4
49	MICV-12	199.0 m dis	all sch	unoxidized zone	156.7	4.4	3,500	2,200	25	0.04	0.4
50	MICV-12	133.0 m dis	all sch	unoxidized zone	507.3	8.1	1,240	90	4	0.04	0.4
51	MICV-13	78.5 m dis	all sch	unoxidized zone	513.9	3.7	2,100	980	18	0.22	1.2
52	MICV-13	147.0 m dis	all sch	unoxidized zone	69.4	3.7	900	3,240	40	0.28	1.4
53	MICV-13	161.0 m dis	all sch	unoxidized zone	62.0	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
54	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
55	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
56	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
57	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
58	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
59	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
60	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
61	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
62	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
63	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
64	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
65	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
66	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
67	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
68	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
69	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
70	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
71	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
72	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
73	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
74	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
75	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
76	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
77	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
78	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
79	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
80	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
81	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
82	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
83	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
84	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
85	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
86	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
87	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
88	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
89	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
90	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
91	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
92	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
93	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
94	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
95	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
96	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
97	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
98	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
99	MICV-13	221.0 m dis	all sch	unoxidized zone	508.1	2.0	2,200	2,200	20	0.22	1.2
100	M										

第2章 ベラグアス地域トレンチ調査

2-1 調査目的

本調査は、ハラ山北西地区において1年次に捕捉した銅の地化学異常に対応する鉱微の存在を確認することを目的とする。

2-2 工事内容

トレンチ調査の現地調査期間は平成6年11月1日から平成6年11月31日である。トレンチはブレードにより5mの幅で掘削した。工事量は3測線×500mの計1,500mである。

2-3 調査結果

トレンチ調査結果をFig.II-2-1に示す。トレンチ掘削後、地質及び鉱化状況を詳細に観察し、全体については縮尺1,000分の1、鉱微部については縮尺50分の1のトレンチ調査図を作成した。

トレンチ観察にさいしては、必要と思われる鉱石及び岩石試料を採取し、研磨薄片観察及び粉末X線回折及び化学分析を行った。それぞれの結果をTableII-2-1~3に示す。

2-3-1 測線1

本測線は1年次の地化学探査により銅の異常域を捕捉した箇所にあたる。本測線は全域にわたり珪質粘土化を受け破砕粉状化した土状赤鉄鉱・ジャコサイト・ホジャコサイトが濃集した溶脱帯が形成されている。原岩は緑泥石化を受けた暗緑色細粒安山岩であるが強変質のため初生組織が不明の箇所が多い。T.Cu品位は0.004~0.021%であり本測線内で鉱微を捕捉することはできなかった。

2-3-2 測線2

本測線東側約120m間は、緑泥石化を受けた暗緑色細粒安山岩からなる。本岩は斜長石の斑晶が認められるが、多くの初生鉱物は緑泥石の他、2次石英・曹長石・黒雲母・絹雲母・緑れん石等の鉱物に変わっている。また、表層部は石膏・ガサイト・モリブデン等からなる塩類皮殻がネットワーク状に発達している。

本岩中には加カサイト等の酸化銅の染み込みが石膏脈に伴い普遍的に産する。また、鏡下で黄銅鉱・斑銅鉱・輝銅鉱の硫化鉱物および磁鉄鉱・赤鉄鉱・針鉄鉱の鉄酸化物が認められ

る。本岩が分布する約120m間のT.Cu品位は0.16-0.53%,平均0.28%である。

上記箇所の西側は暗緑色細粒安山岩を覆って、測線1と同様に珪質粘土化を受け破碎粉状化した土状赤鉄鉱・ジヤロサイト・トリヂャロサイトが濃集した溶脱帯が形成されており、そのT.Cu品位は0.018~0.11%である。

2-3-3 測線3

本測線は細粒安山岩と中粒閃緑岩質斑岩からなり、東から西に次の如く分布する。

東部約330m間は珪化及び珪質粘土化を受けた細粒安山岩で、そのT.Cu品位は0.03-0.25%である。

中間部約140m間は珪質粘土化を受けた中粒閃緑岩質斑岩からなり、破碎粉状化した土状赤鉄鉱・ジヤロサイト・トリヂャロサイトを伴っている。そのT.Cu品位は0.079-0.19%で少量の酸化銅の染み込みが認められる。

西部約180m間は測線2と同様の緑泥石化を受けた暗緑色細粒安山岩からなる。本岩は斜長石の斑晶が認められるが、多くの初生鉱物は緑泥石の他、2次石英・曹長石・カリツ・絹雲母等の鉱物に変わっている。また、表層部は石膏・無水石膏・ハサイト・グラウベライト・セオライト等からなる塩類皮殻がネットワーク状に発達している。本岩中には加カサイト等の酸化銅の染み込みが石膏脈に伴い普遍的に産する。また、鏡下で赤鉄鉱・針鉄鉱の鉄酸化物が認められる。本岩が分布する約180m間のT.Cu品位は0.051-0.84%,平均0.33%である。

2-3-4 ピット調査

測線2東端の南東約80~100mの4箇所でピット調査を行った。その結果をFig. II-2-2に示す。

本箇所から前述の測線2中間部にいたる範囲に閃緑岩質斑岩が幅100~200mでNW-SE方向に貫入している。本岩は斜長石・緑閃石・黒雲母からなる初生鉱物と2次石英・曹長石・絹雲母・緑れん石・方解石等の変質鉱物からなる。

ピット内では石英・石膏・無水石膏・ハサイト・曹長石等からなる塩類皮殻が表層部を覆っている。その下部では加カサイト・アサイト等の酸化銅の染み込み及びフィルムが顕著である。また、鏡下では黄銅鉱・磁鉄鉱・赤鉄鉱・針鉄鉱が認められる。ピット及びその周辺部のT.Cu品位は0.6-3.66%、平均1.91%である。

2-3-5 調査結果のまとめ

ハラ山北西地区は熱水変質を受けた白亜紀7107°E層群の暗緑色細粒安山岩とこれを買く閃緑岩質斑岩からなる。閃緑岩質斑岩は幅100~200mでNW-SE方向にストック状に貫入したと考えられる。

本地区は上位から下位に次の変質分帯に分けられる。

- ①珪化帯・珪質粘土帯：ハラ山の山稜部にある測線3東部
- ②珪質粘土に伴い破砕粉状化した土状赤鉄鉱・ジヤロサイト・ホツヤロサイトが濃集した溶脱帯
：測線3中央部、山麓低部の測線1及び測線2
- ③緑泥石帯
：測線3西部とその北方にある測線2東部

緑泥石帯に属する暗緑色細粒安山岩及び閃緑岩質斑岩にはルカサイト・アカサイト等の酸化銅の71%及び染み込みが伴われる。また、鏡下では黄銅鉱・斑銅鉱・輝銅鉱の硫化鉱物および磁鉄鉱・赤鉄鉱・針鉄鉱の鉄酸化物が認められる。

2-4 考 察

本地区は熱水変質を受けた安山岩質火山岩類と斑岩からなる。斑岩はNW-SE方向に100~200mの幅で分布し、下部でストック状に進入したと考えられる。

本地区の表層部はジヤロサイト・土状赤鉄鉱が濃集した溶脱帯が覆っている。溶脱帯下部の緑泥石帯には酸化銅が産し、鏡下では黄銅鉱・斑銅鉱・輝銅鉱が認められる。

本調査で採取した64試料の化学分析データを用いて統計処理を行った。各元素の基本統計値及び主成分分析の結果をTableII-2-4に示した。

主成分分析の結果は以下の通りである。

第1主成分：T.Cu, S.Cu, I.Cu, Auは同一挙動を示す。

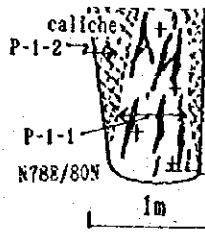
第2主成分：Moは単独挙動を示す。

第3主成分：AuとI.Cuは相反する挙動をする。

以上の産状及び成分の挙動から、酸化銅は初生の硫化銅鉱物から2次的に生成され、金の濃集を伴ったと考えられる。

従って、周辺の二次酸化帯の広がり、深部の初生鉱床の賦存を確認するため、今後も探鉱を継続する必要がある。

Pit-1 ←NW30°

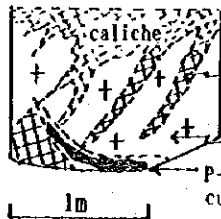


P-1-1 0.5m channel sampling
 cuoxd dis. with gypsum network in meta diorite porphyry
 XRD:gypsum,quartz,anhydrite

T.Cu(%)	S.Cu(%)	Mo(ppm)	Au(ppm)	Ag(ppm)
2.52	2.50	19	2.5	<0.4

P-1-2 spot sampling, caliche zone
 XRD:gypsum,anhydrite,gismondite(zeolite)

Pit-2 ←NW75°



P-2-1 spot sampling, cuoxd film in meta diorite porphyry
 XRD:quartz,albite,muscovite,gypsum,natrojarosite

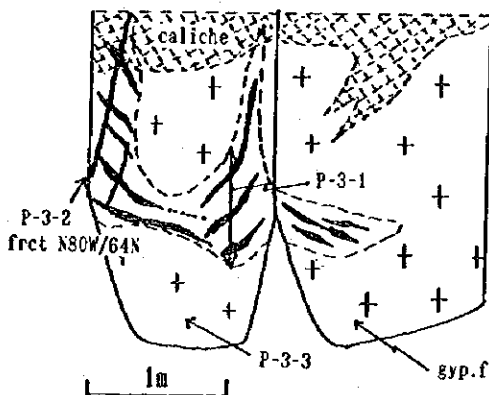
T.Cu(%)	S.Cu(%)	Mo(ppm)	Au(ppm)	Ag(ppm)
0.60	0.52	15	0.49	<0.4

gyp. film rich meta di-porp.
 P-2-1
 cuoxd in frct N35W/56E

Pit-3

←SE85°

NW8° →



P-3-1 0.8m channel sampling
 cuoxd film rich in meta diorite porphyry
 XRD:quartz,albite,muscovite,atacamite

T.Cu(%)	S.Cu(%)	Mo(ppm)	Au(ppm)	Ag(ppm)
3.66	3.54	16	0.29	<0.4

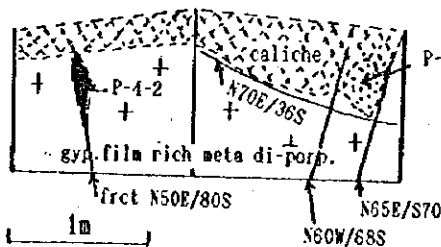
P-3-2 spot sampling, cu oxd film with gypsum network
 XRD:quartz,gypsum,bassanite,atacamite,anhydrite,albite

P-3-3 spot sampling, cu oxd dis. wk with gypsum network
 XRD:gypsum,quartz,albite,anhydrite,muscovite

Pit-4

←NW15°

SW80° →



P-4-1 spot sampling, cu oxd dis. with caliche zone
 XRD:quartz,albite,microcline

P-4-2 spot sampling, cu oxd film with fracture
 XRD:gypsum,gismondite(zeolite),albite,orthoclase,
 anhydrite,bassanite,atacamite

T.Cu(%)	S.Cu(%)	Mo(ppm)	Au(ppm)	Ag(ppm)
2.30	2.26	22	2.00	<0.4

Fig.II-2-2 Sketch of the test pits (1:50)

Table II-2-2 Results of the powder X-ray diffraction

Classification	Abbr.	Mineral Name	Chemical Formulas	No.																			
				Sample No		X-1 Line3	X-2 Line3	X-3 Line3	X-4 Line3	X-5 Line2	X-6 Line2	X-7 Line1	X-8 Line1	P-1-1	P-1-2	P-2-1	P-3-1	P-3-2	P-3-3	P-4-1	P-4-2		
Cu	Sulphide	Tet	Tetrahedrite	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$																			
		Cc	Chalcosine	Cu ₂ S																			
		Djr	Djurleite	Cu ₃ Si ₆									Δ		Δ								
		Ena	Enargite	Cu ₃ As ₄																			
		Co	Covelite	CuS																			
		Co	Chalcopyrite	CuFeS ₂																			
	Metal	Cu	Native copper	Cu																			
		Cln	Chalcantite	Cu(SO ₄)·5H ₂ O																			
	Sulfate	Ant	Antlerite	Cu ₃ (SO ₄)(OH) ₄																			
		Bro	Brochantite	Cu ₄ (SO ₄)(OH) ₆																			
	Carbonate	Az	Azurite	Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂																			
		Mq	Malachite	Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂																			
	Others	Atc	Atacamite	Cu ₂ Cl(OH) ₃																		Δ	
		Lam	Lamprite	Cu(AsO ₄) ₂																			Δ
		Clc	Clinoclase	Cu ₃ (AsO ₄)(OH) ₃										Δ									
		Chm	Chenevixite	Cu ₂ Fe ₂ (AsO ₄) ₂ (OH) ₂ ·H ₂ O																			
		Chr	Chrysocolla	Cu ₂ ·xSi ₂ O ₅ (OH) ₂ /y·xH ₂ O																			
		Hl	Hematite	Fe ₂ O ₃																			
		Mgh	Magnetite	Fe ₃ O ₄																			
		Ma	Magnetite	Fe ₃ O ₄																			
Fe	Oxide & Hydroxide	Aka	Akaganeite	FeO(OH)																			
		Frx	Feroxyhyte	FeO(OH)																			
		Goe	Goethite	FeO(OH)																			
		Py	Pyrrhotite	Fe ₇ S ₈																			
		Asy	Arsenopyrite	FeAsS																			
		Py	Pyrite	FeS ₂																			
	Sulfate	Jar	Jarosite	(K,Na)Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆																			
		Na-Jar	Natrojarosite	(K,Na)Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆																			
		Btl	Butlerite	Fe(SO ₄)(OH)·2H ₂ O							Δ	Δ			Δ								
		Prb	Parabuterite	Fe(SO ₄)(OH)·2H ₂ O																			
		Kcn	Konchelite	Fe(SO ₄) ₃ ·7H ₂ O																			
		Rzn	Roxenite	Fe(SO ₄)·4H ₂ O																			
Sdr		Siderolite	Fe(SO ₄)·5H ₂ O																				
Scr		Scorodite	Fe(AsO ₄)·2H ₂ O																				
Others	Fm	Ferrimolybdite	Fe ₂ (MoO ₄) ₃ ·nH ₂ O																				
	Ptk	Pseudobrookite	Fe ₂ (TiO ₃) ₂																				
	Prt	Pseudorutile	Fe ₂ (TiO ₃) ₂																				
	Oz	Quartz	SiO ₂																				
Silicate	Clay	Chm	Chamosite	(Fe,Al,Mg) ₆ (Si,Al) ₄₀ (OH) ₈			⊙	⊙			⊙	⊙	⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		
		Chl	Chlorite	(Mg,Fe,Al) ₂ (Fe,Al,Si) ₈₀ (OH) ₁₆																			
		Dck	Dickite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄				Δ	Δ														
		Kal	Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄				Δ															
		Nac	Nacrite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄																			
		Hal	Halloysite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ ·2H ₂ O																			
		Pyrr	Pyrophyllite-Talc	Al ₂ MgSi ₄ O ₁₀ (OH) ₂																			
		Mus	Muscovite	K-Al ₂ (Si ₃ Al) ₂ O ₁₀ (OH) ₂ F ₂	○	○																	
		Ill	Illite	K-Al ₂ (Si ₃ Al) ₂ O ₁₀ (OH) ₂ F ₂																			
		Mnt	Montmorillonite	Na _{0.3} (Al,Mg) ₂ (Si ₄) ₂ O ₁₀ (OH) ₂ ·xH ₂ O																			
		Others	Olg	Oligoclase	(Na,Ca) ₂ (Al,Si) ₄ O ₈																		
			Ab	Anorthite	(Ca,Ca)(Al,Si) ₂ O ₈																		
	Or		Orthoclase	(K,Na)(Al,Si) ₃ O ₈					⊙														
	Mic		Microcline	KAlSi ₃ O ₈																			
	Hb		Hornblende	(Na,K)Ca ₂ (Fe,Mg) ₅ (Al,Si) ₈ O ₂₂ (OH) ₂																			
	Di		Diopside	CaMg(SiO ₃) ₂																			
	Trm		Tremolite	Ca ₂ (Mg, ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂																			
	Act		Actinolite	Ca ₂ (Mg, ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂																			
	Rie		Riebeckite	(Na,Ca) ₂ (Mg, ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂																			
	Bt		Biotite	K(Mg,Fe) ₂ (Al,Si) ₃ O ₁₀ (OH) ₂																			
	Ep		Epidote	Ca ₂ (Al,Fe) ₂ (Si ₃) ₂ O ₁₁ (OH)																			
	Hap		Hydroxypochyllite	KCa ₄ Si ₈ O ₂₀ (OH) ₂ ·6H ₂ O																			
	Gz		Gismondite	CaAl ₂ Si ₂ O ₈ ·4H ₂ O																			
	Mrd		Mordenite	(Ca,Na ₂ ,K) ₂ Al ₂ Si ₁₁ O ₂₄ ·7H ₂ O	○																		
	Sulfate	Atu	Atunite	(K,Na)Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆																			
		Na-Atu	Natroatunite	(K,Na)Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆																			
Btl		Butlerite	Fe(OH)SO ₄ ·2H ₂ O																				
Bld		Bloedite	Na ₂ Mg(SO ₄) ₂ ·H ₂ O																				
Gl		Glauberite	Na ₂ Ca(SO ₄) ₂																				
Bas		Bassanite	Ca(SO ₄) _{0.5} H ₂ O																				
Anh		Anhydrite	Ca(SO ₄)																				
Gyp		Gypsum	Ca(SO ₄)·2H ₂ O	⊙	⊙	Δ	⊙	⊙	⊙	⊙													
Mn	Pr	Pyrolusite	MnO ₂																				
	Br	Braunite	Mn ₃ SiO ₁₂																				
	Crp	Cryptomelane	K ₂ Mn ₈ O ₁₆																				
	Gro	Grothite	MnO(OH)																				
	Cal	Calcite	CaCO ₃																				
Carbonate	Dol	Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂																				
	Kut	Kutnohorite	Ca(Mg,Mn)(CO ₃) ₂																				

Abundance: ⊙ : abundant ○ : common Δ : minor ∴ : rare

Table II-2-3 Results of chemical analysis

Sample No.	T. Cu	S. Cu	Mo	Au	Ag
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
P1	25200	25000	19	2.50	-0.4
P2	6000	5200	15	0.49	-0.4
P3	36600	35400	16	0.29	-0.4
P4	23000	22600	22	2.00	-0.4
1	590	210	19	0.05	-0.4
2	2500	2000	11	0.05	-0.4
3	190	90	25	-0.04	-0.4
4	30	10	39	-0.04	-0.4
5	1100	610	29	0.04	-0.4
6	1000	270	17	0.07	-0.4
7	790	260	18	0.49	-0.4
8	1100	250	16	-0.04	-0.4
9	1900	820	18	2.20	-0.4
10	2200	1900	21	-0.04	-0.4
11	2500	2200	32	-0.04	-0.4
12	7100	6700	29	-0.04	-0.4
13	2700	2400	24	-0.04	-0.4
14	2200	1800	31	0.07	-0.4
15	4000	3900	28	0.23	-0.4
16	2200	1800	22	0.05	-0.4
17	3900	3800	20	0.23	-0.4
18	2800	2300	20	0.07	-0.4
19	8400	6700	17	-0.04	-0.4
20	2600	2300	30	0.07	-0.4
21	510	140	70	-0.04	-0.4
22	1600	1300	30	0.07	-0.4
23	2200	1700	22	-0.04	-0.4
24	1600	650	19	0.16	-0.4
25	2400	1900	33	0.07	-0.4
26	2400	1900	34	-0.04	-0.4
27	2900	2700	21	0.12	-0.4
28	3500	3300	27	0.26	-0.4
29	2400	2200	26	-0.04	-0.4
30	2900	2700	26	-0.04	-0.4
31	2200	2000	20	-0.04	-0.4
32	5500	5300	33	0.28	-0.4
33	6200	5700	18	0.49	-0.4
34	9800	9400	14	0.21	-0.4
35	18200	17600	16	0.30	-0.4
36	14000	13200	16	1.70	-0.4
37	26400	25400	13	1.20	-0.4
38	27400	26600	20	1.60	-0.4
39	17500	17200	20	0.16	-0.4
40	5300	4800	23	0.56	-0.4
41	1100	270	73	0.05	-0.4
42	550	440	25	0.12	-0.4
43	720	490	40	0.21	-0.4
44	630	300	26	-0.04	-0.4
45	480	180	31	-0.04	-0.4
46	260	70	21	0.07	-0.4
47	360	70	19	0.05	-0.4
48	180	30	11	-0.04	-0.4
49	250	50	42	-0.04	-0.4
50	130	20	20	-0.04	-0.4
51	100	20	24	-0.04	-0.4
52	70	30	28	-0.04	-0.4
53	60	20	26	-0.04	-0.4
54	50	10	16	-0.04	-0.4
55	40	10	20	-0.04	-0.4
56	60	10	32	-0.04	-0.4
57	70	10	24	-0.04	-0.4
58	40	10	20	-0.04	-0.4
59	90	20	11	-0.04	-0.4
60	210	40	19	-0.04	-0.4

TableII-2-4 Results of statistics

Original data information
number of samples : 64

Elements	unit	max value	min value	average	standard deviation
T.Cu	%	3.6602	0.0030	0.1354	6.4983
S.Cu	%	3.5400	0.0010	0.0666	11.2590
I.Cu	%	0.6001	0.0020	0.0280	3.1117
Mo	ppm	72.9962	11.0002	22.7562	1.4408
Au	ppm	2.4998	0.0200	0.0720	4.4147

covariance matrix	T.Cu	S.Cu	I.Cu	Mo	Au
T.Cu	0.6606	0.8261	0.2926	-0.0198	0.3312
S.Cu	0.8261	1.1057	0.3026	-0.0247	0.4373
I.Cu	0.2926	0.3026	0.2431	-0.0062	0.1046
Mo	-0.0198	-0.0247	-0.0062	0.0251	-0.0264
Au	0.3312	0.4373	0.1046	-0.0264	0.4160

correlation matrix	T.Cu	S.Cu	I.Cu	Mo	Au
T.Cu	1.0	0.9666	0.7302	-0.1538	0.6319
S.Cu	0.9666	1.0	0.5836	-0.1484	0.6448
I.Cu	0.7302	0.5836	1.0	-0.0798	0.3289
Mo	-0.1538	-0.1484	-0.0798	1.0	-0.2582
Au	0.6319	0.6448	0.3289	-0.2582	1.0

Principal component analysis

No.	Eig_value	Eig_pct	Eig_sum
Z-01	3.0313	60.6265	60.6265
Z-02	1.0052	20.1045	80.7310
Z-03	0.6319	12.6376	93.3686
Z-04	0.3181	6.3612	99.7299
Z-05	0.0135	0.2701	100.0000

Fact_id	Z-01	Z-02	Z-03	Z-04	Z-05
CuT	0.9717	0.1340	-0.0286	-0.1706	0.0883
CuS	0.9378	0.0945	0.1129	-0.3061	-0.0722
Au	0.7557	-0.2379	0.5159	0.3259	-0.0019
CuI	0.7516	0.2754	-0.5220	0.2937	-0.0220
Mo	-0.2677	0.9197	0.2823	0.0527	0.0006

Eig_vec	Z-01	Z-02	Z-03	Z-04	Z-05
CuT	0.5581	0.1337	-0.0360	-0.3026	0.7601
CuS	0.5386	0.0943	0.1420	-0.5428	-0.6214
Au	0.4340	-0.2373	0.6490	0.5778	-0.0162
CuI	0.4317	0.2747	-0.6566	0.5208	-0.1891
Mo	-0.1537	0.9173	0.3552	0.0934	0.0055

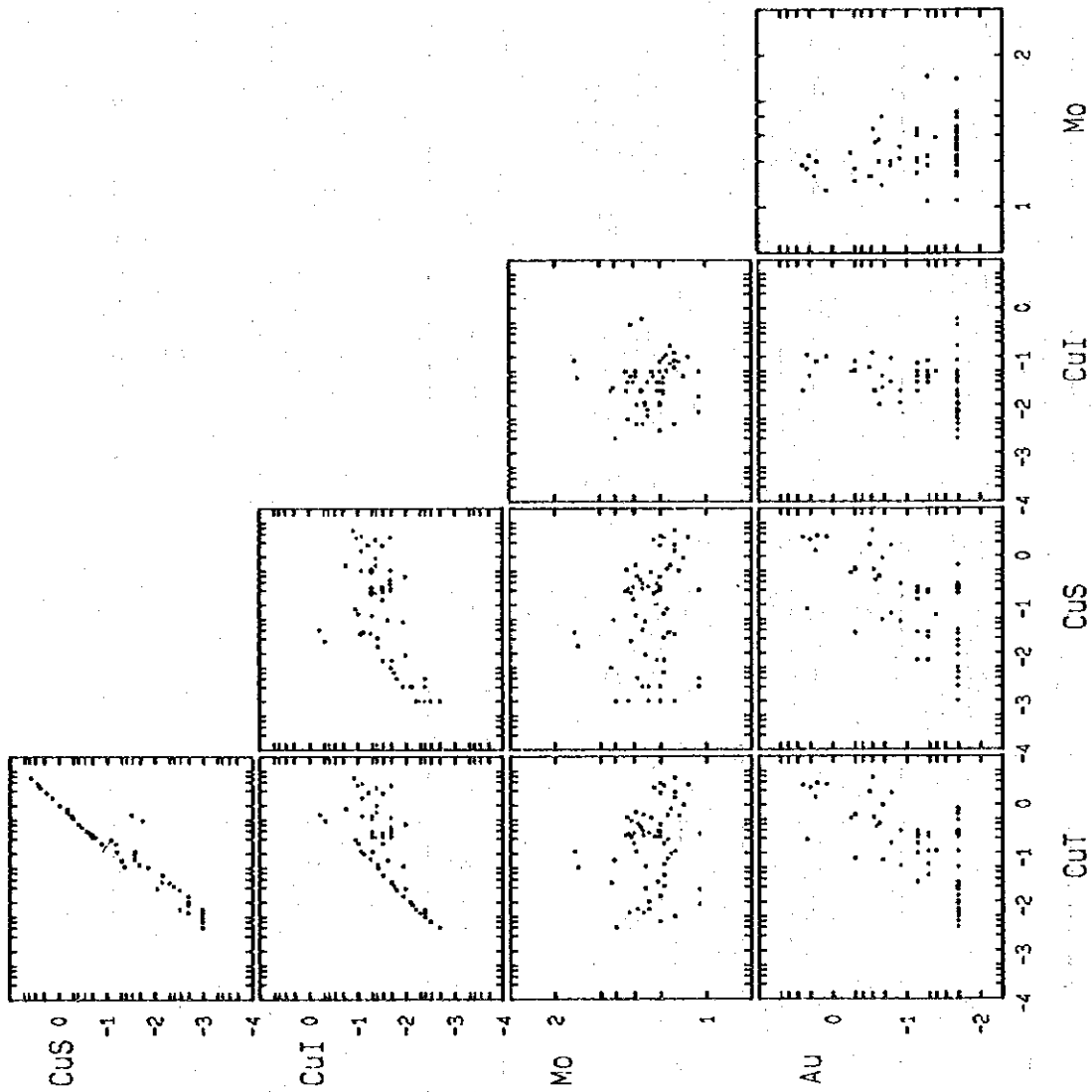


Fig II-2-3 Correlation coefficients diagram

第3章 プログレツソ地域物理探査

3-1 探査目的及び方法

3-1-1 探査目的

本地域で平成5年度に実施されたボーリング調査の結果、地域南部のDDH-6Aでマシ型鉱床の胚胎層準であるアソダマレ層が地下約470mと深い深度に分布することが判明した。さらに、その上位のアソダマレ層の石灰岩中に効率的な銅鉱微が捕捉された。また、現地物理探査業者が実施した空中磁気探査結果、調査地域北東部に新たな磁気異常が確認され、地域北部で実施されたDDH-1Aの分析の結果では、深度182mから222m間で弱い銅のアソダマレ(200ppm程度)が抽出された。

これらの結果より、本地域内のアソダマレ層分布状況を解明するため、AMT法(Audio-frequency Magneto-Telluric Method)を適用し深部の比抵抗構造を明らかにする。また、IP法(Induced Polarization)を実施し、マシ型鉱床及びアソダマレ層石灰岩中の効率的な銅鉱微を抽出するとともにアソダマレの比抵抗値、分極率を測定することにより探査結果と銅鉱微との対応を明らかにする。さらに、DDH-1AにおいてPEM(Pulse Electromagnetic method)法を実施し、分析で確認された銅鉱微の広がりを確認することを目的とする。

3-1-2 探査内容

本地域で実施した測線位置図をFIG. II-3-1に示し、探査手法及び調査量一覧表をTABLE II-3-1に、使用した機器一覧表をTable II-3-2に示す。

3-1-3 探査方法

1. AMT法

本地域では既にCSAMT法、SIP法などが数多くの調査が測線を設定して行われ、大略の比抵抗分布が得られている。しかしながら、前述のようにアソダマレ層の分布深度が地下約470mと深く、二アフィールドの影響を受けるCSAMT法では十分な深度の比抵抗構造が得られたとは言えない点がある。そのため、本地域において新たに地表下1000m程度までの調査が可能であるAMT法を適用した。AMT法はCSAMT法と測定原理は同一であるが、自然界で発生している雷などの電磁誘導現象を信号源として発生する地下の比抵抗構造に対応する誘導現象を測定対象としている点が異なっている。自然界の電磁場は人工信号源による電磁場と異な

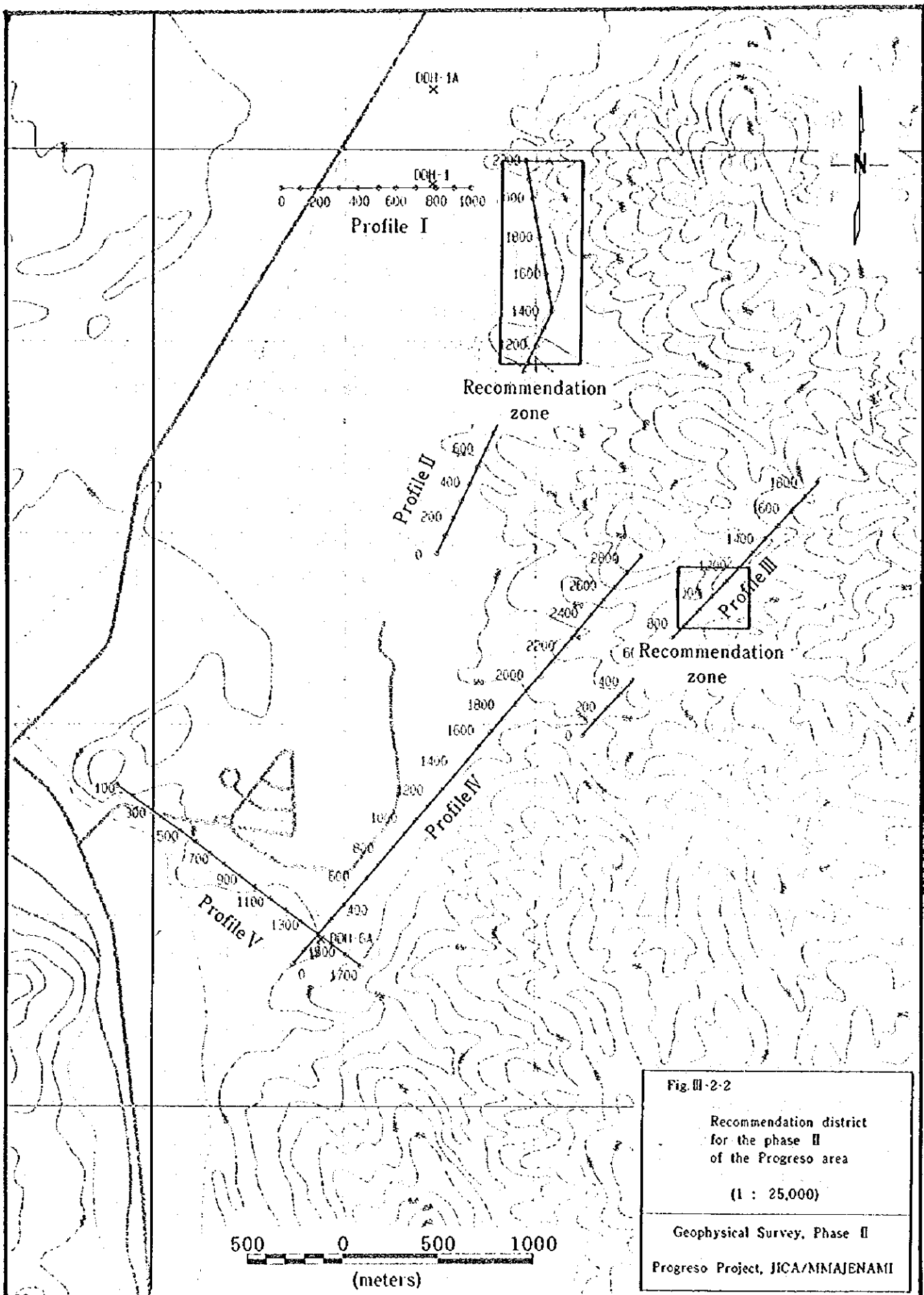


Table II-3-1 Contents of Geophysical Survey.

	Profile length	AMT measuring points	IP measuring length	Electrode spacing
Profile I	1,000m	4	1,000m	100m
Profile II	2,200m	10	2,200m	100m
Profile III	1,800m	9	1,800m	100m
Profile IV	2,800m	14	2,800m	100m
Profile V	1,600m	8	1,600m	100m
Total	9,400m	45	9,400m	
PEM	1 hole DDH-1A (measuring depth from 10m to 278m) 2 horizontal and 1 vertical components 5 transmission loops(250m × 250m)			
Core Sample	Measurements of resistivity and polarization 30pcs			

り、低周波数帯でも平面波の条件が成り立つため、CSAMT法で問題となる低周波数領域での「フーリエ」の問題が発生せず、十分な可探深度の調査が可能である。AMT法の探査理論の概略を以下に述べる。

地下比抵抗構造が均質または水平多層構造である場合、水平電場とこれと直交する方向の水平磁場との間に次の関係が成り立つ(Cagniard, 1953)。

$$E_x(\omega) = z(\omega)H_y(\omega) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $Z_{xy} = (1+i)\sqrt{\frac{\rho\omega\mu}{2}}$ で表されるので、 $\rho_{xy} = \frac{1}{\mu\omega} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2$ が得られ、周波数の関数としての見掛比抵抗 ρ_{xy} が求められる。ここで μ は真空中の透磁率 ($4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$)、 ω は角周波数である。一般に電磁波は周波数が低いほど地下深部に透過するため、様々な周波数での見掛比抵抗を測定することにより深度方向の見掛比抵抗変化を測定することができる。

次に大地が2次元構造である場合、互いに直交する電場・磁場の間には以下の線形関係が成り立つ(Cantwell, 1960)。

$$E_x = Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y \dots\dots\dots (2)$$

$$E_y = Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y \dots\dots\dots (3)$$

ここで、それぞれの変数は同様に周波数の関数である。この式は一般に行列式を用い、

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

または、

$$E = ZH \dots\dots\dots(5)$$

と表される。ここでZは複素インピーダンス係数である。

地下構造が均質層構造もしくは水平多層構造である場合、

$$Z_{xx} = Z_{yy} = 0, \quad |Z_{xy}| = |Z_{yx}|$$

が成り立ち、(1)式が得られる。

また、地下構造が2次元構造を成し、x方向またはy方向が走向方向に沿っている場合、

$$Z_{xx} = Z_{yy} = 0, \quad |Z_{xy}| \neq |Z_{yx}|$$

となり、

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\mu\omega} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \dots\dots\dots(6)$$

$$\rho_{yx} = \frac{1}{\mu\omega} \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2 \dots\dots\dots(7)$$

が得られる。AMT法では互いに直交する水平電場(E_x, E_y)、及びこれに平行な水平磁場(H_x, H_y)の4成分を各測点で同時測定し、上記2方向の比抵抗構造を測定する。

AMT法の測定概念図をFig. II-3-3に示す。地下への電磁波の透入深度は周波数に依存することから、広範囲の周波数の電磁波信号を測定することにより上式から地下の比抵抗分布を得ることができる。測定した周波数は10,000Hzから1.0Hz間の28周波数である。AMT法測定周波数一覧表をTable II-3-2に示す。

Table II-3-2 Frequency table for AMT measurement

No.	freq. (Hz)	No.	freq. (Hz)	No.	freq. (Hz)	No.	freq. (Hz)
1	10,000.0	8	960.0	15	80.0	22	7.500
2	7,500.0	9	640.0	16	60.0	23	5.000
3	5,000.0	10	480.0	17	40.0	24	3.750
4	3,750.0	11	320.0	18	30.0	25	2.500
5	2,560.0	12	240.0	19	20.0	26	1.875
6	1,920.0	13	160.0	20	15.0	27	1.250
7	1,280.0	14	120.0	21	10.0	28	0.9375

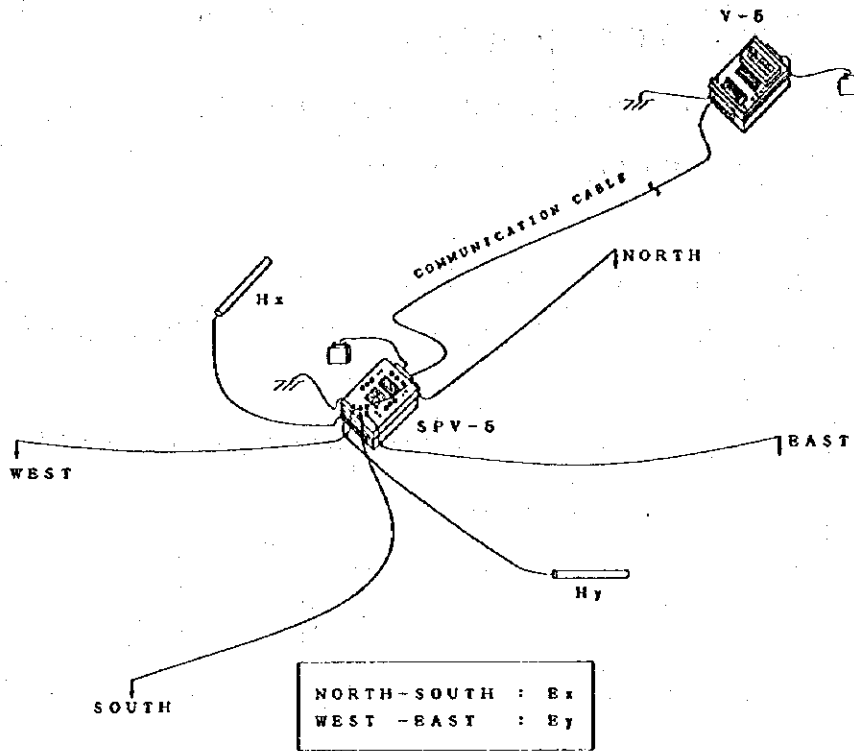


Fig. II-3-2 Field layout of AMT survey.

2. IP法

大地に金属鉱物などが分布する場合、直流電流を流すと金属鉱物の表面に電荷が蓄えられ、このとき直流電流を遮断すると蓄えられた電荷が徐々に放出される。比抵抗値と共に、この現象（分極効果、IP効果）を測定することにより比抵抗の変化のみでは検出できない地下の金属鉱床を探索する。

IP効果を探知するために時間領域での測定を実施した。これは、一定時間大地に直流電流を印加し、この電流を切断後100msecから1secの電位の時間積分値と一次電場の比をIP効果の大きさの指標（充電率、チャージアビリティ）としている。電極配置はダグタイプ-ルダタイプ-ル電極配置とし、見掛け比抵抗、は、Fig. II-3-3(a) に示す電流電極 (C1、C2) に周波数0.25Hz (duty cycle 50%) の電流(I)を供給し、電位電極(P1、P2)で電位(V_p)を測定する。このとき大地の見掛け比抵抗値(ρ_a)は、

$$\rho_a = K \frac{V_p}{I} \dots\dots\dots (8)$$

で表され、ここでKは電極隔離係数と呼ばれ、次式で表される。

$$K = \frac{2\pi}{1/C_1 P_1 - 1/C_1 P_2 - 1/C_2 P_1 - 1/C_2 P_2} \dots\dots\dots(9)$$

である。一般に電流電極と電位電極の間隔が電極間のn倍であるとき、

$$K = \frac{\pi}{2} n(n+1)(n+2) \dots\dots\dots(10)$$

となる。

ファジアルリテリ(M)はFig. II-3-3(b)に示す電流遮断時間t1からt2までの電位の過渡現象(2次電位)の和を測定し、1次電位Vpで基準化して求める。本調査では2次電位測定時間を1秒間とした。

求めた見掛け比抵抗・ファジアルリテリは、便宜上各電極系の中点を結ぶ直線を底辺とする直角二等辺三角形の頂点に表示し、疑似断面図を作成した。

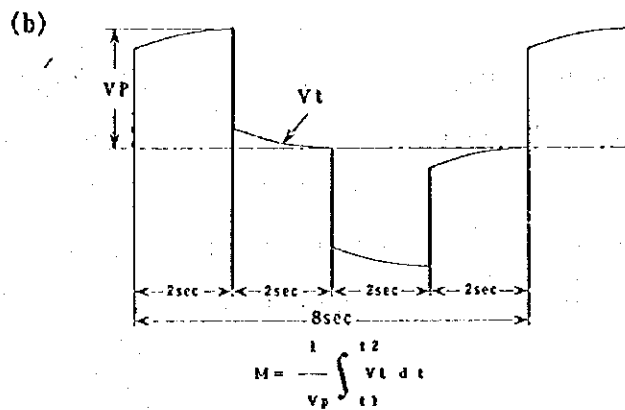
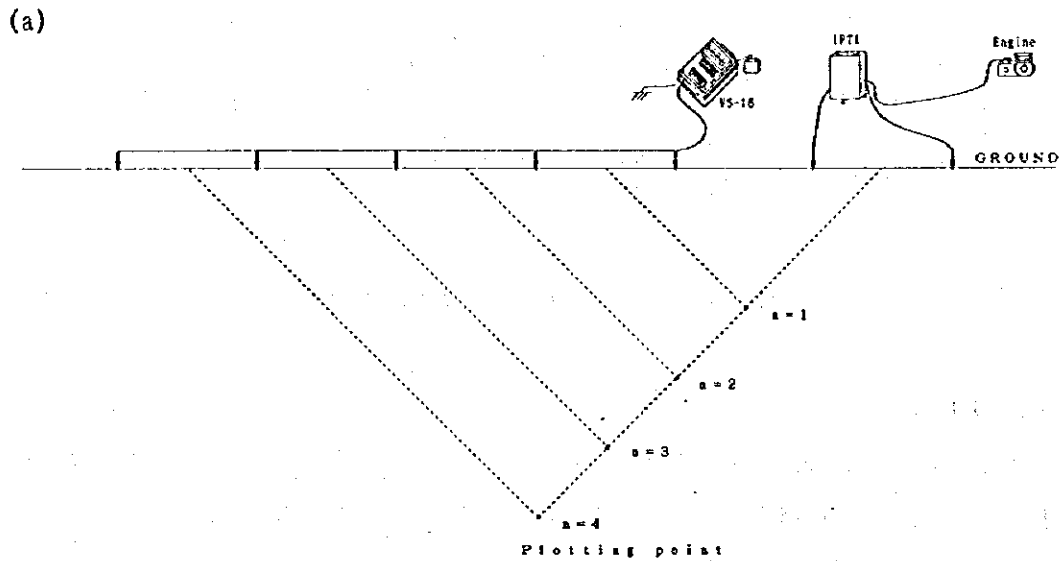


Fig. II-3-3 Field setup of IP survey(a) and Typical Time Domain measurement(b)

3. PEM法

地表のホーリング孔口を中心として設置した送信ループに流される電流により発生する磁場（1次磁場）を遮断すると、地下の鉱床などの良導体により誘導磁場（2次磁場）が発生する。この電流遮断後の2次磁場をホーリング孔内の鉛直方向並びに直交する2方向の計3成分の磁場センサーを用いて、ホーリング孔内で連続的に測定することにより、鉱床などの低比抵抗帯の存在を検知することができる。さらに、ホーリング孔を中心とした送信ループと同一サイズの送信ループをホーリング孔の東西南北4ヶ所において同一の測定を行うことにより、着鉱したホーリング孔ならばその延長方向を、ホーリング孔近傍に鉱体がある場合はその方向を各送信ループでの磁場変化から知ることができる。

測定は20.00msのタイムスを用い（1周期120.0ms）、30.0msのワタイムを20のウィットウに分けて測定した。送信ループサイズは200m×200mとしホーリング孔を中心とするループの他、ホーリング孔を中心として東西南北の4ヶ所に同一サイズのループを用い電流値20Aで測定を行った。PEM法測定概念図をFig. II-3-4に示す。

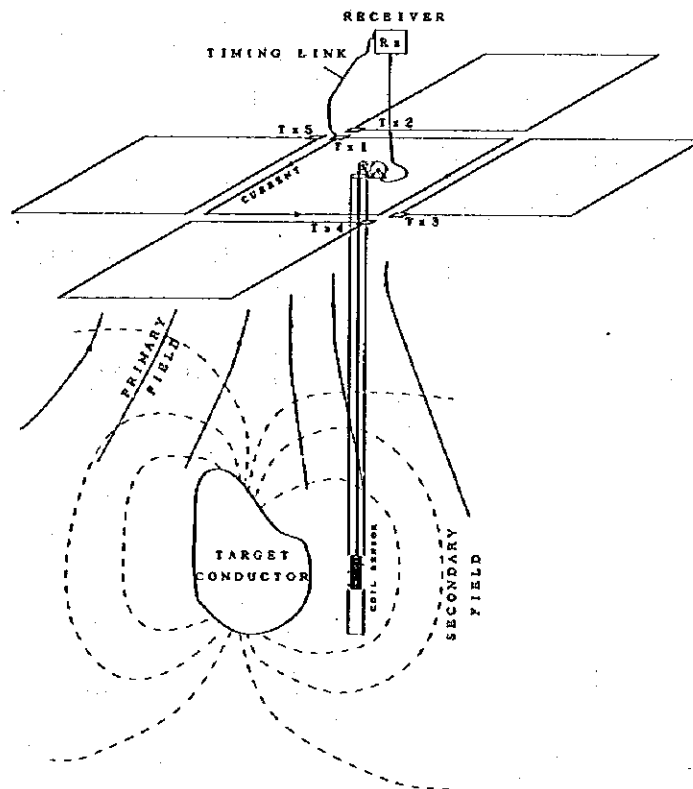


Fig. II-3-4 Schematic illustration of PEM survey.

本調査に使用した探査装置一覧表をTable II-3-3に示す。

Table II-3-3 List of equipments

AMT method	QTY	Specification
Multipurpose receiver V-5 Phoenix Geophysics	1	Sensitivity 0.2 μ V
Signal processor SPV-5 Phoenix Geophysics	2	Noise level 16nV/ \sqrt Hz
Induction coil AMT-25 Phoenix Geophysics	4	Sensitivity 100nV/nT
Porus Pb-PbCl ₂ electrode Phoenix Geophysics	30	Noise level 100nV
IP method	QTY	Specification
Multipurpose receiver V-5 Phoenix Geophysics	1	Sensitivity 0.2 μ V
Porus Pb-PbCl ₂ electrode Phoenix Geophysics	30	Noise level 100nV
IP transmitter IPT-1 Phoenix Geophysics	1	2 kVA 10A max.
Engine Generator EX3000 HONDA	1	2.2kVA 50Hz
PEM method	QTY	Specification
Digital PEM Receiver Crone Geophysics	1	
Borehole PEM z-axis receiver probe	1	
Borehole X-Y probe Noranda Exploration	1	
PEM transmitter Crone Geophysics	1	2.0kVA 5A, 20A
Computer	QTY	
Laptop computer	1	16bit 386CPU, 40Mbyte

3-2 解析方法

3-2-1 AMT法

AMT法で測定された見掛け抵抗値には、地形の影響、スティックサポの影響（スティック効果）が含まれており、これらは地下浅部から深部に至る全ての電場のデータに影響を及ぼすため、解析にあたっては、十分な評価を行う必要がある。

地形の影響は、測定する電場方向に流れる地電流がこの方向の地形変化の影響を受け、

測定電位差がFig. II-3-5(1)に示すように、谷地形では電流密度が密となり、この結果等電位線密度が高くなり測定電位差が高い、即ち高見掛比抵抗異常となり、山地形では逆に電流密度が疎となり低見掛比抵抗異常となる。さらに、地形の変曲部でも凸型地形では低見掛比抵抗異常、凹型地形では高見掛比抵抗異常となる。このような地形の影響はAMT法調査においては非常に大きいものである。

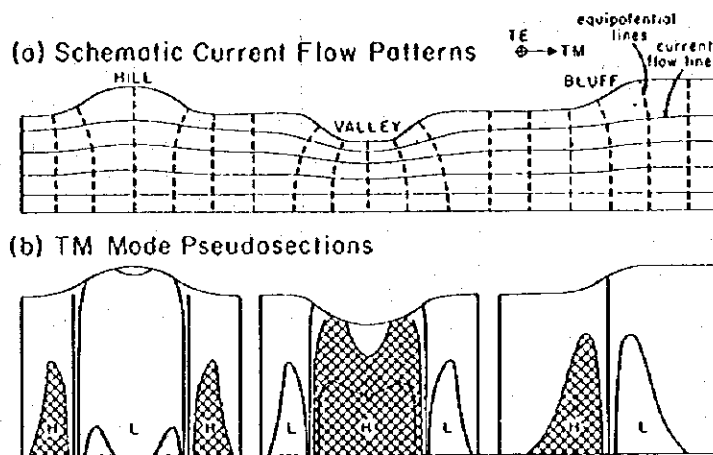


Fig. II-3-5(1) Schematic illustration of topographic effects on E-field measurements.

(a) Distortion of current flow patterns over topographic features. (b) TM mode resistivity pseudosections resultant from topographic features.

H = high resistivity, L = low resistivity. (After Zonge and Hughes)

スティックノットとはFig. II-3-5(2)に示すように、測点が局所的比抵抗異常帯に位置している場合、その局所異常の比抵抗値に対応して高比抵抗側または低比抵抗側に見掛比抵抗曲線が平行にシフトし、真の見掛比抵抗曲線を表さない現象である。スティックノットは直流法電気探査を含め、電場を測定することにより見掛比抵抗構造を求める調査法で発生する問題点である。一般に、直流法電気探査では、深度方向のデータを取得するために電極間隔を順次広げるので、全ての測定データがスティックノットの影響を受けることはないが、電磁法のように、電位電極を移動させずに周波数を変化させることにより深度方向の情報を取得する調査方法では、高周波数から低周波数の全てのデータにスティックノットの影響を受ける結果となる。

このような問題点は、電場を測定せず磁場のみで地下比抵抗構造を調査する探査手法を併用しなければ客観的な評価はできないが、この現象は見掛比抵抗のみに影響を与える問

題であり、位相には影響を与えないため位相差断面図からある程度の影響は評価することができる。また、測線上で連続的に測点を設けることにより、近接する測点間の測定結果を比較するで相対的な評価は行うことができる。また、測線に沿った2次元解析を行うことによりある程度スティックソフの影響を含んだ解析を行うことができる。

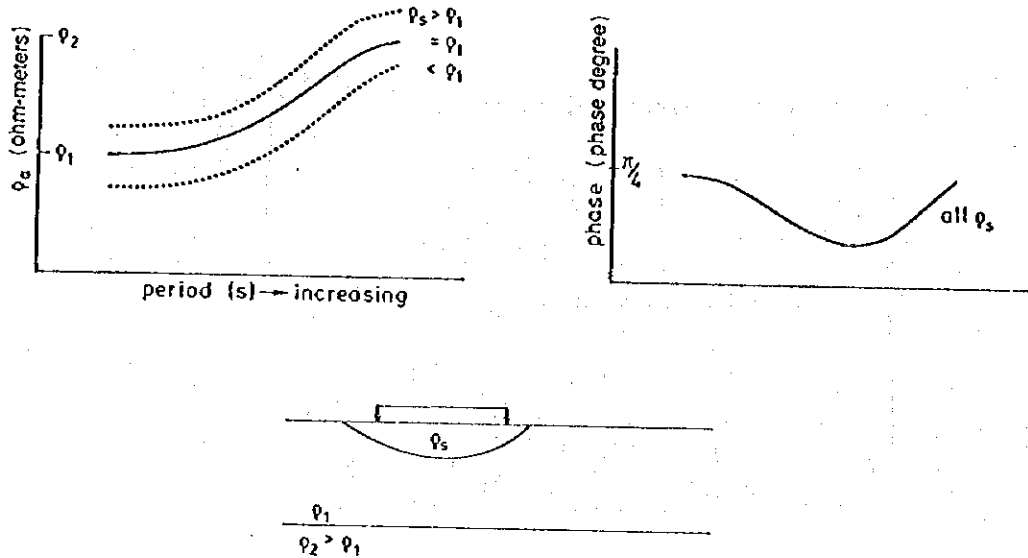


Fig. II-3-5(2) Sketch of model used to explain static effects. The middle apparent resistivity curve is that which would be observed if the inlier had the same resistivity as the layer containing it. (After Sternberg et al., 1985)

3-2-2 IP法

AMT法と同様にIP法でも見掛け抵抗値に地形の影響を受けるが、AMT法とは逆に山地形では電流密度が高くなり高比抵抗異常、谷地形で電流密度が疎となり低比抵抗異常が形成される。点電流源を用いた2次元有限要素法を用いて地形補正係数を算出した。前述のようにガウス配置を用いたIP法では、電極間隔を変えて電位測定するため局所的な比抵抗異常が発生する確立は低く、ほぼ疑似断面図で読み取れる測線方向の比抵抗区分が実際の比抵抗構造と対応するが、深度方向には正しい構造を表していない。また、ファジー処理は地形の影響を受けることがないが、これも疑似断面表示では必ずしも表示点が異常点を示すものではない。さらに、深部のファジー処理ほど浅部の異常が積算されて行く

ため大きなエラーとして表れる場合が多い。以上のようにデータ・ル・データ法で得られた疑似断面では定性的な解釈が限度である。そこで定量的な解析を行うためには、地形を考慮した2次元インバージョン解析を行う必要がある。

3-2-3 2次元インバージョン解析

2次元インバージョン解析法は、有限要素法による行列計算（フォワードモリット）と非線形最小二乗法による自動解析法を組み合わせた反復解析法である。地下構造が水平多層構造で近似できない場合、測線方向の比抵抗変化の影響を考慮できない1次元解析のような水平多層構造を前提とした解析法では地下比抵抗構造を十分反映した解析が不可能であり、測線方向の比抵抗不連続境界の影響を含めた解析のできる2次元解析が必要である。

前述のようにAMT法では互いに直交する2方向の見掛比抵抗・位相を測定し、この結果は一般に ρ_{xy} を地下構造の走向方向に、 ρ_{yx} をこれに直交する方向に(2)式または(3)式によって回転され、それぞれTBE-T、TBE-Tと呼ばれる。地下構造が均質構造または水平多層構造の場合 $\rho_{xy} = \rho_{yx}$ が成り立つが、2次元構造の場合、走向に平行な方向であるTBE-Tは測定方向には比抵抗不連続境界がなく、水平多層構造として近似することができる。しかし、TBE-Tでは測定方向に比抵抗不連続境界が存在し、水平多層構造に近似することができないため、2次元解析が必要とされる。一般に物理探査測線は、走向に直交する方向に設定されるため、測線方向の測定データは2次元解析を行う必要がある。また、データ・ル・データ電極配置によるIP法でも測線方向に電極を展開しているため測線方向の比抵抗不連続境界の影響を受けているため2次元解析を適用することが望ましい。

この2次元解析のため、従来は、地下構造を任意の比抵抗ブロックに分割し、この比抵抗ブロックに推定される比抵抗値を当てはめた地下比抵抗モデルを作成し、この地下比抵抗モデルにより計算される理論値と実際の測定値とを比較し、測定値にできるだけ近い応答を示すモデルを試行錯誤で組み立てていく解析手法（フォワードモリット）が試みられたが、この方法は解析結果に解析者の恣意が含まれるなどの問題があった。今回解析に使用した2次元インバージョン解析法は、各ブロックに当てはめる比抵抗値を非線形最小二乗法により推定させる自動反復解析法を適用することにより、解析者の恣意に依らない客観的な解析結果を得ることが可能である。

AMT法では各測点毎にそれぞれ一つの比抵抗ブロック境界を設け、これらを深度方向に浅部では薄く、深部ほど徐々に厚くなるように分割される四辺形比抵抗ブロックを作成した。これ

を地表の地形に合わせて変形させ、水平方向には地形と平行な形の比抵抗ブロックとした。これら一つ一つの比抵抗ブロックに比抵抗値が与えられると、有限要素法による有限計算により地下の比抵抗構造に対応する地表での応答として各測点における見掛比抵抗・位相曲線が得られる。これらの地表での応答と測定値の残差が最も小さくなるように比抵抗ブロックの値を最小二乗近似法による自動反復解析により求めた。反復解析を行う第1回目の比抵抗ブロックの値(初期推定値)は全て同一比抵抗値の地下均質構造として与え、初期値が解析結果に与える影響を除去した。

IP法では各電極毎にそれぞれ一つの比抵抗ブロック境界を設け(ただし、測線両端では測定電流密度が少なくなるため二つの電極を一つのブロック上に置いている)、深度方向へは浅部で薄く、深部へ徐々に厚い四辺形ブロックを作成した後、前述のAMT法バージョン解析と同様の手法で解析を行った。

3-2-4 2次元ジョイントインバージョン解析

2次元ジョイントインバージョン解析手法は、2次元インバージョン解析手法を基礎として、データ・ルックアップ法測定データと、AMT法測定データの両方を同時に最も良く近似する地下の比抵抗構造を求める解析手法である。

前述のように、AMT法とデータ・ルックアップ法とを比較すると、地下深部の比抵抗構造に対する感度はAMT法が優れているが、浅部の比抵抗構造に対する感度はデータ・ルックアップ法が優れている。また、AMT法では、浅部の局所的な比抵抗構造の影響が深部の解析にも影響を及ぼす原因となるが、データ・ルックアップ法では影響が少ない。このような特性の異なる2種類の測定データを同時に使用した解析を行うことにより、浅部では浅部の比抵抗構造に対する感度が高いデータ・ルックアップ法のデータが優先され、深部では深部の比抵抗構造に対する感度が高いAMT法のデータが有効に生かされる。さらに、AMT法単独の解析に比べ浅部の詳細な構造が有意に求められるため、浅部の局所的な比抵抗構造の影響が深部に及ぶ可能性が低くなり、結果として浅部から深部まで正確な解析が可能となる。

2次元ジョイントインバージョン解析のための比抵抗ブロックは、地表下500mまでの浅部ではIP法の2次元インバージョン解析と同様の、各電極毎にそれぞれ一つの比抵抗ブロック境界を設定し、500m以下ではAMT法の2次元インバージョン解析と同様の、各測点毎にそれぞれ一つの比抵抗ブロックを設けた。これらを地表の地形に合わせて変形させ地形の影響を含んだ解析を行った。