

インドネシア共和国

鉍物資源開発基礎調査

第 5 卷

地質調査
地化学探査
物理探査
試錐探鉍

報告書

昭和48年6月

海外技術協力事業団
金属鉍物探鉍促進事業団

インドネシア共和国

鉱物資源開発基礎調査

第 5 卷

地質調査
地化学探査
物理探査
試錐探鉱

報告書

JICA LIBRARY



1056322[03]

昭和48年 6 月

海外技術協力事業団
金属鉱物探鉱促進事業団

国際協力事業団

受入 月日 '84.5.16	108
登録No. 04892	66
	SD

は し が き

日本政府はインドネシア共和国の要請に応え、同国スラウエン島中部No 4地区の鉱物資源賦存の可能性を確認するため地質等の調査を実施することとし、この調査を海外技術協力事業団に委託した。当事業団は、本調査の内容が地質および鉱物資源の調査という専門的な分野に属することから、調査の実施を金属鉱物探鉱促進事業団に依頼することとした。

本調査は3ヶ年にわたって行われるものであるが、本年はその最終年度にあたり、上記調査の一環として、金属鉱物探鉱促進事業団海外部計画課長脇山敏雄氏を団長とし17名から成る調査団を編成して、昭和47年9月12日から昭和48年2月3日まで現地に派遣した。現地調査は、インドネシア共和国政府関係機関の協力を得て予定通り完了した。

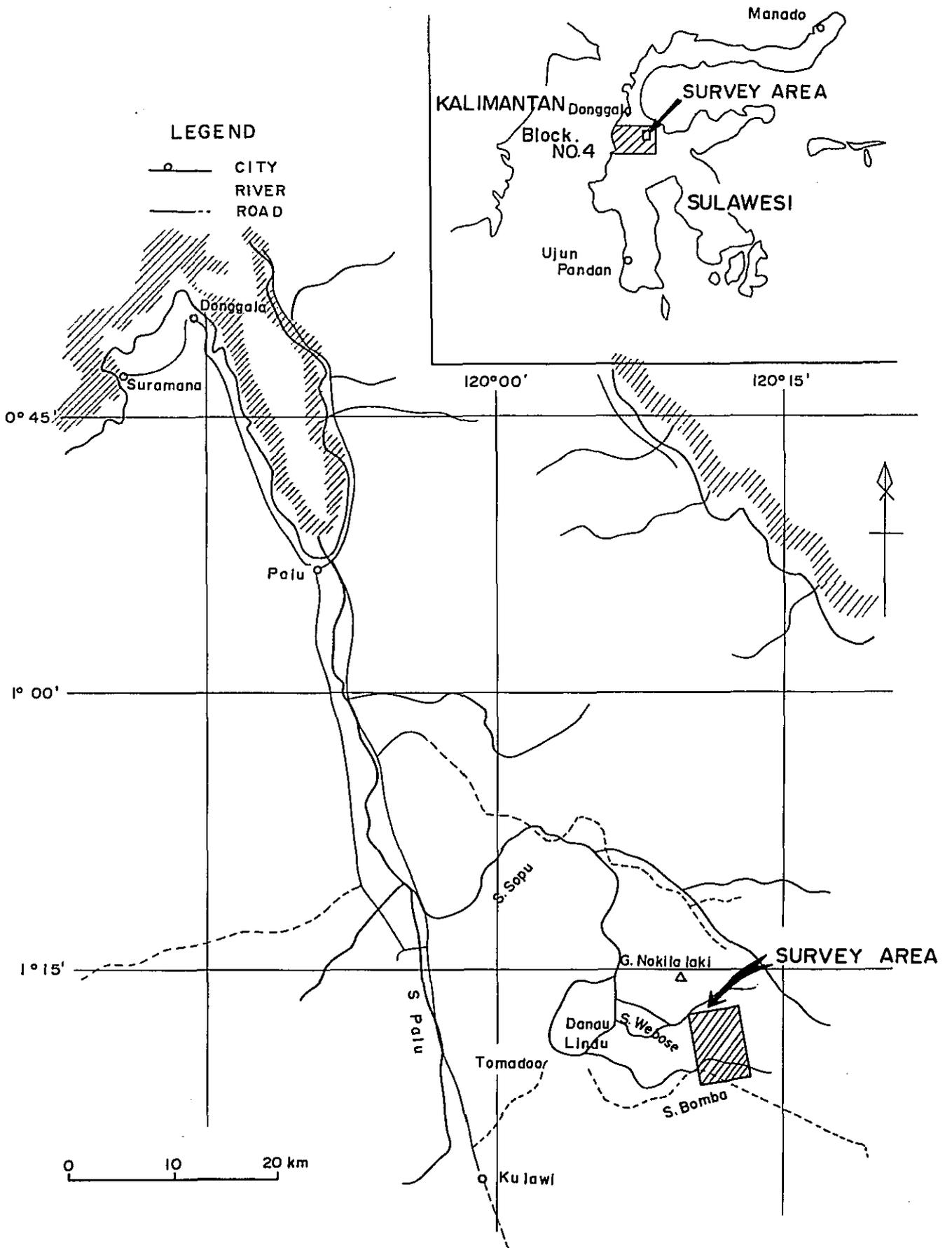
本報告書は、第3年度の調査結果および、3ヶ年間の調査結果をとりまとめたものである。

おわりに本調査の実施にあたって御協力を頂いたインドネシア共和国政府関係機関ならびに通商産業省、外務省、金属鉱物探鉱促進事業団および関係各社の方々に衷心より感謝の意を表すものである。

1973年 6月

海外技術協力事業団
理事長 田付景一

KEY MAP AND LOCATION MAP



目 次

は し が き	II
位 置 図	III
要 約	XI
序 論	1
1. 調査目的	2
2. 調査期間	2
3. 調査団の編成	2
4. 調査内容	3
5. 調査位置	3
6. 交 通	3
7. 地形, 気象	4
8. 資材の運搬	4
9. 報告書の作成	4
第1部 地質調査	5
第1章 調査の概要	6
第2章 地 質	7
2-1 層 序	7
2-2 変 成	12
2-3 地質構造	18
第3章 鉍 床	21
3-1 鉍化帯の分布と規模	21
3-2 変質作用	21
3-3 鉍石鉍物	22
3-4 鉍化作用	24
第2部 地化学探査	25
第1章 調査の概要	26
第2章 試料採取	27
第3章 化学分析	28
3-1 試料調整法	28

3-2	分析方法	28
第4章	解 析	29
4-1	データ処理	29
4-2	化探異常域の抽出・検討	31
第3部	物理探査	33
第1章	調査の概要	34
第2章	電 磁 法	35
2-1	測線配置	35
2-2	測定方法	36
2-3	測定装置	37
2-4	測定結果	39
第3章	強制分極法	41
3-1	測線配置	41
3-2	測定方法	41
3-3	測定装置	42
3-4	測定結果	43
第4章	物理探査結果の考察	49
4-1	物性測定	49
4-2	電磁法の考察	51
4-3	強制分極法の考察	55
第4部	試錐探鉱	58
第1章	試錐探鉱の概要	59
第2章	試錐工法および使用機械	60
第3章	試錐位置の選定	63
第4章	試錐結果	64
4-1	掘進状況	64
4-2	各孔の地質状況	69
4-3	試錐結果の考察	70
第5部	結 論	74
参 考 文 献		78

添 付 図 表 目 次

F i g 1 - 1	地質柱状図	1 3
F i g 1 - 2	地質層序図	1 4
F i g 2	地質区分別の銅元素累積頻度分布図	3 0
F i g 3 - 1	水平コルプレーター	3 7
F i g 3 - 2	垂直コルプレーター	3 7
F i g 3 - 3	垂直コアキシャル	3 7
F i g 3 - 4	ブロックダイアグラム	3 8
F i g 3 - 5	測定装置の概要	4 9
F i g 3 - 6	F. H. パターンの例	5 1
F i g 3 - 7	アルカンド図	5 4
F i g 3 - 8	インフェイズコンポーネントの最大値の比	5 5
F i g 3 - 9	二次元構造における比抵抗, 周波数効果	5 7 - A
F i g 4 - 1	地質断面図 (D H - 1 , D H - 2 , D H - 3)	7 2
	(縮尺 水平方向 1 : 5,000)	
	(垂直方向 1 : 10,000)	
F i g 4 - 2	S. Webose 鉍化帯断面図 (縮尺 1 : 10,000)	7 3
1 - 1 表	地質層序対比表	7
1 - 2 表	ザクロ石の普通の成分	1 5
1 - 3 表	ザクロ石の化学分析値	1 6
1 - 4 表	ザクロ石の端成分化	1 7
1 - 5 表	鉍石鉍物の組合せ	2 3
2 - 1 表	地質区分別の試料数	2 9
2 - 2 表	土壌中の銅の後背値およびしきい値	3 1
2 - 3 表	地化学探査の異常域	3 2
3 表	岩石サンプル試験結果	5 0
4 - 1 表	使用試錐機一覧表	6 0
4 - 2 表	D H - 1 孔の掘進状況	6 6
4 - 3 表	D H - 2 孔の掘進状況	6 7
4 - 4 表	D H - 3 孔の掘進状況	6 8

APPENDIXES

		Page
Appendix 1-1	Observation of Handspecimens	A- 2
Appendix 1-2	Microscopic Observation in Thin Sections	A-15
Appendix 1-3	Mineral Assemblages of Metamorphic Rocks in Thin Section	A-39
Appendix 1-4	Mineral Assemblages Determined by X-ray Diffraction	A-42
Appendix 1-5	Microscopic Observation of Polished Sections	A-43
Appendix 1-6	Chemical Analyses of Sulphides-disseminat- ed Rock Samples	A-49
Appendix 2	Copper Contents of Geochemical Soil Samples	A-50
Appendix 4	Drill Log	A-57

PLATES

		Scale
PL 1-1	GEOLOGICAL MAP	1 : 10,000
PL 1-2	GEOLOGICAL CROSS SECTIONS	1 : 10,000
PL 1-3	TECTONIC MAP	1 : 10,000
PL 1-4	MAP SHOWING THE RELATION BETWEEN MINERALIZATION AND TECTONICS	1 : 10,000
PL 1-5	ALTERATION MAP	1 : 10,000
PL 1-6	ROUTE MAP	1 : 10,000
PL 2-1	LOCATION OF GEOCHEMICAL SOIL SAMPLES	1 : 10,000
PL 2-2	MAP OF GEOCHEMICAL ANOMALIES	1 : 10,000
PL 3-1	MAP OF TRAVERSE ROUTES	1 : 10,000
PL 3-2-1	CONTOURS OF ELECTROMAGNETIC DIP ANGLE ANOMALY (VERTICAL LOOP METHOD)	1 : 10,000
PL 3-2-2	PROFILE OF ELECTROMAGNETIC ANOMALY (VERTICAL LOOP METHOD)	1 : 5,000
PL 3-2-3	"	1 : 5,000
PL 3-2-4	"	1 : 5,000
PL 3-2-5	"	1 : 5,000
PL 3-2-6	"	1 : 5,000
PL 3-2-7	"	1 : 5,000
PL 3-2-8	PROFILE OF ELECTROMAGNETIC ANOMALY (VERTICAL AND HORIZONTAL LOOP METHODS)	1 : 5,000

PL 3-2-9	PROFILE OF ELECTROMAGNETIC ANOMALY (VERTICAL LOOP METHOD)	1 : 5,000
PL 3-2-10	PROFILE OF ELECTROMAGNETIC ANOMALY (VERTICAL AND HORIZONTAL LOOP METHODS)	1 : 5,000
PL 3-2-11	"	1 : 5,000
PL 3-2-12	PROFILE OF ELECTROMAGNETIC ANOMALY (HORIZONTAL LOOP METHOD)	1 : 5,000
PL 3-2-13	IN PHASE COMPONENT OF ELECTROMAGNETIC ANOMALY	1 : 10,000
PL 3-2-14	OUT OF PHASE COMPONENT OF ELECTROMAGNETIC ANOMALY	1 : 10,000
PL 3-3-1	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS A-LINE	1 : 5,000
PL 3-3-2	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS B-LINE	1 : 5,000
PL 3-3-3	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS C-LINE	1 : 5,000
PL 3-3-4	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS D-LINE	1 : 5,000
PL 3-3-5	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS E-LINE	1 : 5,000
PL 3-3-6	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS F-LINE	1 : 5,000
PL 3-3-7	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS G-LINE	1 : 5,000
PL 3-3-8	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS H-LINE	1 : 5,000

PL 3-3-9	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS I-LINE	1 : 5,000
PL 3-3-10	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS J-LINE	1 : 5,000
PL 3-3-11	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS X-LINE	1 : 5,000
PL 3-3-12	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS Y-LINE	1 : 5,000
PL 3-3-13	CROSS SECTIONS OF INDUCED POLARIZATION ACROSS Z-LINE	1 : 5,000
PL 3-3-14	CONTOURS OF PERCENT FRE- QUENCY EFFECT (F.E.) FOR n-1	1 : 10,000
PL 3-3-15	CONTOURS OF PERCENT FRE- QUENCY EFFECT (F.E.) FOR n-2	1 : 10,000
PL 3-3-16	CONTOURS OF PERCENT FRE- QUENCY EFFECT (F.E.) FOR n-3	1 : 10,000
PL 3-3-17	CONTOURS OF APPARENT RESISTIVITY IN Ω -m FOR n-1	1 : 10,000
PL 3-3-18	CONTOURS OF APPARENT RESISTIVITY IN Ω -m FOR n-2	1 : 10,000
PL 3-3-19	CONTOURS OF APPARENT RESISTIVITY IN Ω -m FOR n-3	1 : 10,000
PL 3-3-20	CONTOURS OF METAL CONDUCTION FACTOR (M. C. F.) FOR n-1	1 : 10,000
PL 3-3-21	CONTOURS OF METAL CONDUCTION FACTOR (M. C. F.) FOR n-2	1 : 10,000
PL 3-3-22	CONTOURS OF METAL CONDUCTION FACTOR (M. C. F.) FOR n-3	1 : 10,000
PL 3-4	INTERPRETATION MAP OF GEOPHYSICAL SURVEYS	1 : 10,000

要 約

日本政府はインドネシア共和国の要請により、昭和45年度からインドネシア共和国スラウエシ島中部の麻4地区に対して、鉱物資源を対象とした一連の基礎調査をおこなってきた。昭和45年度には地区全域約14,160 km² にわたる地質概査、写真地質調査、空中磁気探査および地形図の作成を実施した。その結果把握された有望地域約4,600 km² の範囲を対象に昭和46年度に、地質精査、地化学探査を実施し、本地区中央部分、Lindu湖東部のS.Bomba地域が最も有望な地域として抽出された。

最終年度にあたる本年度の調査は、S. Bomba 地域35 km² を対象に、S. Bomba 鉱化帯の解明を目的として、地質調査、地化学探査、物理探査（強制分極法および電磁法）および試錐探鉱を実施した。

地質精査の結果鉱化帯の把握をはじめ花崗岩貫入岩体の分布、変成岩類の地質構造が解明された。

主な鉱化帯としてはWebose川中流のS. Webose 鉱化帯が指摘され、本鉱化帯は成因的に貫入花崗岩体に伴う熱水性の弱鉱化作用によるものと推定した。

地化学探査は銅を指示元素として実施した結果、銅元素の分布は母岩の種類の違いによく対応されるが、鉱化作用が微弱なため異常域は検出できなかった。

物理探査は、鉱化帯の解明を目的として、調査全域に亘り電磁法（垂直ループ法）を実施し、大小12箇所の低比抵抗異常地帯を把握した。こうした異常地帯のうち有望と判断される数箇所の地区に対して、精査を目的とする強制分極法を実施し、電磁法の結果とよく一致する顕著な異常を3箇所で把握した。

試錐探鉱については、地質精査、地化学探査および物理探査の結果を総合的に比較、検討して3地点の試錐位置を決定した。各孔とも深度130 mですべて垂直孔である。

試錐探鉱の結果2本の試錐で硫化物の微弱な鉱化帯を捕捉した。

以上の調査結果S. Webose 鉱化帯の規模は幅1 km、延長は北西～南東方向に3 kmにわたり、花崗岩の貫入に伴う熱水性の弱鉱化作用によるものと推定されるが、有望鉱床に発展する大きな期待は薄いことが判明した。

序 論

1. 調査目的

本年度の調査目的は、昨年度調査の結果、有望な鉱化帯として選定されたS. Bomba鉱化帯を、精査し、鉱床胚胎の状況を把握することにある。

2. 調査期間

現地（インドネシア共和国）滞在期間

昭和47年9月12日から

昭和48年2月 3日まで 145日間

現地調査期間

昭和47年9月22日から

昭和48年1月29日まで 130日間

3. 調査団の編成

団 長 脇山敏雄 金属鉱物探鉱促進事業団

団 員

管理渉外班

神部 靖 金属鉱物探鉱促進事業団

下田道久 海外技術協力事業団

太田垣亨 日鉱探開株式会社

佐伯富男 ”

Harodjono インドネシア地質調査所

地質調査班

小野 孝 日鉱探開株式会社（管理，渉外担当）

Erdita Dipura インドネシア地質調査所（現地調査担当）

渋谷明貫 日鉱探開株式会社（現地調査および各調査の調整担当）

地化学探査班

高木哲夫 日鉱探開株式会社（分析担当）

Hariwidjaja インドネシア地質調査所（分析担当）

物理探査班

和仁勝之助 日鉱探開株式会社（企画，管理担当）

Marzuki Sani インドネシア地質調査所（I.P.担当）

Wahju Sunoto インドネシア地質調査所（E.M.担当）

大橋輝夫 日鉱探開株式会社（E.M.担当）

川崎 潔 日鉱探開株式会社 (E.M.担当)
富川幸雄 日鉱探開株式会社 (測量担当)
佐藤克朗 日鉱探開株式会社 (I.P.担当)
成田智博 日鉱探開株式会社 (I.P.担当)

試錐班

並木幸一 日鉱探開株式会社 (企画, 管理担当)
柿下 孝 日鉱探開株式会社
梅本実直雄 日鉱探開株式会社
Dudung Tarjono インドネシア地質調査所
Ikin インドネシア地質調査所

資材補給, 運輸班

Nana Prijatna インドネシア地質調査所

4. 調査内容

地質調査
地化学探査
物理探査 (E.M.法, I.P.法)
試錐探鉱

5. 調査位置

本調査地域はスラウェシ島麻4地区中央部のLindu 湖東方に位置し, その範囲は次の4点にかこまれた四辺形内である。

北限：南緯	1°17'00"	東経	120°12'40"
南限：南緯	1°21'12"	東経	120°10'44"
東限：南緯	1°20'47"	東経	120°13'22"
西限：南緯	1°17'28"	東経	120°10'06"

6. 交通

本調査の資材, 食料等の集結, 調達を行った中部スラウェシ州々都 Palu 市は調査地域北方約 60 kmに位置し, スラウェシ島有数の都市で人口約 4 万人である。

Palu 市に至る交通機関は空路が主で, 2つの経路が利用できる。その一つは Jakarta から Balikpapan を経由して Palu 市に至る経路で, 現在週 1 便が運行されている。他の一つは

Jakarta から Ujun Pandang 乗換えで Palu 市に至る経路で、現在週 2 便が運行されている。所要時間はいずれも Jakarta から約 6 時間である。

Palu 市の南方直距離 70 km に位置する Kulawi は、今回の調査の中継基地として資材の集積、乗換えなどに用いた。

Palu 市から Kulawi に至る道路は一部工事中の所も含めて約 80 % が舗装されている。しかし残りの約 20 % は未舗装で通常ジープの通行が可能とされているが、河原を走行する箇所が数箇所あり、雨期などには一時的に通行不可能になる所もある。

Kulawi から Lindu 湖に至る道路は、急峻な山腹に作られた人馬のみ運行可能な山道であり、Lindu 湖より先は道路がなく、調査地域に至るには Lindu 湖を舟で渡り、造道しながら湿地帯を約 20 km 東進し、更に Webose 川沿いに約 20 km さかのぼることを要する。なお本調査のベースキャンプは Webose 川中流に設営した。

7. 地形、気象

本調査地域の西縁部は Lindu 湖に続く平坦地が分布し、他のほとんどの地域は NW-SE 方向の Nokila laki 山塊を構成する山岳地形を示している。西部の平坦地は海拔 1100~1200m であり、山岳部は最高地で海拔 1,800 m を示す急峻な地形を示している。河川はすべて西方の Lindu 湖に注ぎ Nokila laki 山塊の NW-SE 方向に平行するものと、直交するものが多い。

本地域の気象観測資料は得られていないが周辺の資料から推定して、日気温較差は 15°~30° C、年平均気温は約 20° C、年間降雨量は 3,000~4,000 mm と推定され、雨期と乾期の雨量の差は比較的明瞭である。

また風化の発達は余り良くなく、土壌層の厚さも 1 m 前後にすぎず、ラテライト性土壌の分布は認められない。

8. 資材の運搬

今回の調査では、資材の運搬は Palu から中継基地の Kulawi までをジープで、更に同部落からベースキャンプまでは馬、人力などによった。また Lindu 湖の横断はカヌーを利用した。なお試錐機材等の重量物は、Palu からベース・キャンプまで直接ヘリコプターで搬入した。

9. 報告書の構成

本報告書の内容は 5 部に大別され、第 1 部は地質、第 2 部は地化学探査、第 3 部は物理探査、第 4 部は試錐探鉱、第 5 部は今回の調査結果の総括および今後の展望について記載した。

第 5 部 結 論

第1章 調査の概要

本地質調査は昭和46年度調査結果により、有望地域として選定されたS. Bomba 鉱化帯に対して実施されたものである。

本調査は主として、鉱化帯の分布とその胚胎状況の把握、地質構造の解明に重点をおいて精査を実施した。

使用した地形図は1/50,000地形図を1/10,000に拡大したものである。調査区域は本年度調査区域全域(35km²)、調査期間は序論に述べた期間と同一である。

第2章 地 質

本地域の地質は片麻岩、片岩等の変成岩類と砂岩、礫岩などの堆積岩類、および黒雲母花崗岩を主とする貫入岩類によって構成される。今年度の調査範囲は狭く、全域が昭和46年度の調査範囲に含まれるため、地層名については昭和46年度使用したものをほぼ踏襲した。

1-1表に昨年度の地質層序との対比を示す。

1-1表 地質層序対比表

46年度	47年度
沖積層	沖積層
S. Tinauka 層	S. Tinauka 層
S. Pakawa 層	(分布せず)
Sidondo 片岩層	(分布せず)
S. Rompo 片岩層	S. Rompo 片岩
Towulu 片岩層	(分布せず)
G. Nokila laki 片麻岩層	G. Nokila laki 片麻岩

2.1 層 序 (PL1-1, PL1-2, Fig1-1, Fig1-2)

2.1.1 G. Nokila laki 片麻岩

分布

本地域は昭和46年度の調査で命名されたG. Nokila laki 片麻岩層の模式地である。本岩は調査域のほぼ全域に分布が見られる。本岩は後述するように岩質の違いにより優黒色片麻岩帯と優白色片麻岩帯に区分され本区域を横断するWebose川を境として南側に優黒色片麻岩帯が、北側に優白色片麻岩帯が分布する。

層厚

層厚は両帯とも断層により塊状に分断されているためはっきりしないが、優白色片麻岩帯は見かけ上1,200 m以上、優黒色片麻岩帯は見かけ上1,000 m以上の層厚を有するものと推定される。

産状

産状は地域全体としては黒雲母花崗岩体の上部にルーフペンダント状をなし、一部は黒雲母

花崗岩中に捕獲岩として観察される。

構成岩石

本岩は泥質岩起源と考えられる片麻岩を主とする。

岩質

本岩は肉眼的にザクロ石を含有する黒雲母質片麻岩と、ザクロ石を含まない黒雲母質片麻岩に大別される。

一方肉眼的に、主として黒雲母に着目した色指数を判定し、色指数2.5以上のものを優黒色片麻岩、色指数2.5未満のものを優白色片麻岩として分類すると(Appendix 1-1参照)、ほゞ Webose 川沿いの断層(NWW-SEE系、NNE-SSW系)を境にして北部には優白色片麻岩が圧倒的に多く南部には優黒色片麻岩が多い。この分類によってG. Nokilalaki 片麻岩を優白色片麻岩帯と優黒色片麻岩帯に二分帯した。

G. Nokilalaki 片麻岩は鉱物組合せからみて次のように分類できる。(Appendix 1-2参照)

- (1) 珪線石・黒雲母片麻岩
- (2) 単斜輝石(角閃石)片麻岩
- (3) 黒雲母・ザクロ石片麻岩
- (4) ザクロ石・単斜輝石・黒雲母片麻岩

これらの片麻岩中には斜長石、石英が多量に含まれており、随伴鉱物としてチタン石、燐灰石、石墨が比較的普遍的に含まれる。またこれらの岩石には、場所によって白雲母、絹雲母、正長石、緑簾石、褐簾石、ゾイサイト、緑泥石、異剥石、電気石等が含まれることがある。

これらの4種類の片麻岩の分布には今回の調査では規則性が認められない。また優白色片麻岩帯と優黒色片麻岩帯の間には黒雲母の量比の差が認められるが、鉱物組合せの違いは明瞭ではない。

層位関係

本岩はS. Rompo片岩の見かけ上の下位に位置し、黒雲母花崗岩に貫かれS. Tinauka層には不整合に被覆されている。

優白色片麻岩帯と優黒色片麻岩帯はNWW-SEE系およびNNE-SSW系の断層によって境されている。上下関係を決める直接の資料は得られていないが、地質断面図(PL-1-2)に示した通り優白色片麻岩帯が上位と推定される。

2.1.2 S. Rompo片岩

分布

本岩は、優白色片麻岩帯と優黒色片麻岩帯の境界付近を北縁として調査範囲のほぼ中央部に位置し、東西2km、南北1km程度の分布を示す。

層厚

本岩の層厚は断層により囲まれているため明瞭でないが見かけ上500m以上を推定される。

産状

本岩はG. Nokila laki 片麻岩中に分布する。すなわち南方で優黒色片麻岩帯に一部漸移するが、北・西および東の三方を断層によって優白色片麻岩帯あるいは優黒色片麻岩帯に接する。

構成岩石

本岩は主として黒雲母・角閃石片岩からなり、一部に石英片岩を伴う。

岩質

本岩は肉眼的に硬質、細粒で片理構造の発達した優黒色片岩を主とする。まれには角閃石等を少量含む縞状石英片岩も見られる。顕微鏡下では黒雲母・角閃石片岩、透輝石・角閃石・黒雲母片岩、黒雲母・ザクロ石・角閃石片岩、および黒雲母・透輝石・石英片岩が識別される。

層位関係

本岩は見かけ上G. Nokila laki 片麻岩の優黒色片麻岩帯の上位に重なる。すなわち本岩の南側（見かけ上の下位）の境界付近は岩質が片麻岩に漸移的に変化する場合は認められる。しかし本岩は主として優白色片麻岩帯および優黒色片麻岩帯と断層で接し、黒雲母花崗岩に貫入されているためブロック状に孤立した岩体を示している。

本岩は昭和46年度の調査で、S. Rompo 片岩層とされたTorro 地区（本地域の西南方25km）の、G. Nokila laki 片麻岩層を覆い花崗岩に貫かれた片岩層と原岩の種類が同一であり、同一の変成相を呈する。このため本岩はS. Rompo 片岩層と同層準と推定した。

2.1.3 S. Tinauka 層

分布

本層は区域西縁に幅300mの南北に伸びた帯状の分布を示す。この他調査範囲を越えた北方の平坦地に分布している。

層厚

本層の層厚は150m内外で非常にうすい。

産状

本層は走向N15°~50°E、傾斜35°~40°Nを示し、片麻岩、片岩および黒雲母花崗岩等を不整合に覆い、基底礫岩を有する。

構成岩石

本層は礫岩・砂岩およびシルト岩の互層である。本層は少なくとも3回以上の堆積輪廻が繰返されていて、昭和46年度の調査では湖成層と推定している。

岩質

本層の砂岩およびシルト岩は新鮮な部分は青灰色を呈するが、風化により容易に淡褐色を呈す

る。また全般に軟質で非変質である。礫岩は10～20cmの円礫を主とするが基底礫岩は10～30cm、時に100cmを越える円礫ないし亜角礫からなる。礫種は片麻岩、花崗岩を主体とし、基質は砂質である。

層位関係

G. Nokila laki 片麻岩層, S. Rompo 片岩および花崗岩等の沖積層以外のすべての地層を不整合に覆う。

2.1.4 沖積層

分布

本地域の沖積層は河川の流域に薄く発達し、西側の Lindu 湖に向うにつれ、分布が広くなり湖成堆積層に移行する。

層厚

層厚は河川床付近で10m前後、西に向うにつれ厚くなり区域西端では50m以上に達すると推定される。

構成物

未固結の礫、砂、シルトにより構成され Lindu 湖に向う西側の平坦部に至ると急激に砂、シルトの比率が増加する。礫種は周辺の地質を反映して片麻岩および黒雲母花崗岩を主体とする。

層位関係

本層は調査地域のすべての地層を不整合に覆う。

2.1.5 貫入岩類

本地域の面積の40%近くは花崗岩体で占められており広域的に見て調査地域は黒雲母花崗岩底盤中のルーフベントナイト状部に位置するため黒雲母花崗岩の貫入岩体が主体で、他に黒雲母角閃石石英斑岩、変閃緑岩、橄欖岩および斑斕岩の小規模な貫入岩体が存在する。以下に貫入順序に従ってこれらを記載する。

2.1.5.1 変閃緑岩

分布・産状

本岩は地域内の主として断層沿いに幅20～50m、長さ100～150mの小岩体として分布する。

岩質

本岩は優黒色(色指数40)、等粒状で岩体内で弱い片麻状構造を有する場合がある。鏡下では斜長石、単斜輝石(普通輝石)を主とし少量の石英を含み文象構造を残し、変成鉱物として主として輝石から変った緑色普通角閃石、ザクロ石、褐色～赤褐色の多色性を示す黒雲母、褐簾石等が生じている。また場所によっては、緑泥石、石英、濁沸石等熱水変質作用の産物と考えられる鉱物が認められる。

貫入時期

本岩は G. Nokila laki 片麻岩を貫き黒雲母花崗岩の貫入をうけている。また本岩は、G. Nokila laki 片麻岩と同じ角閃石相に属する変成作用をうけていることから（2.2.3 参照）、G. Nokila laki 片麻岩の原岩の堆積後、広域変成作用以前の貫入と考えられる。S. Rompo 片岩との関係は不明である。

2.1.5.2 黒雲母花崗岩

分布・産状

本岩は大小種々の岩株・岩脈および岩床を形成して全域に分布している。

岩質

岩体の違いによる岩相変化あるいは同一岩体内での岩相変化（鉱物組成、あるいは鉱物量比の変化）は殆ど認められず、肉眼的には灰白色（色指数 10 - 15）中粒完晶質である。本岩はカリ長石、斜長石、石英および黒雲母を主成分鉱物としまれに緑色普通角閃石を少量含む場合がある。随伴鉱物は、燐灰石およびチタン石が普遍的である。その他の鉱物としては、緑泥石、緑簾石、褐簾石、炭酸塩鉱物等が認められる場合がある。また南緯 1°17'50" 東経 120°1'20" 付近の小岩体は強い絹雲母化作用をうけている。

貫入時期

本岩は G. Nokila laki 片麻岩、S. Rompo 片岩を貫き、橄欖岩、および斑禿岩に貫かれている。昭和 45 年度の調査の絶対年代測定結果によれば本岩は新第三紀末ないし第四紀更新世（ $4.80 \times 10^6 \sim 1.62 \times 10^6$ 年、K-Ar 法）とされている。

本岩は、早期のものと晩期のものに分けられ（2.4.5 参照）晩期の黒雲母花崗岩が本地域の鉱化作用をもたらしたものと推定される。

2.1.5.3 黒雲母・角閃石・石英斑岩

分布

地表には認められず試錐孔 DH-3 の深度 100 m 以深に現われ下限は確認されていない。

岩質

肉眼的に帯緑灰色で斑状を呈し緻密堅硬である。鏡下では溶融された石英、斜長石、黒雲母、角閃石等の斑晶が、石英-長石の微文象ないしグラノフィリックないしミルメキテック組織を示す基質中に認められる。黒雲母は褐色の多色性を示し、多くは緑泥石に変質している。角閃石はほとんど緑泥石および緑簾石に変質している。本岩には全般的に黄鉄鉱の弱い鉱染が認められる。

貫入時期

昭和 46 年度の調査において Palu 川流域に数箇所、斑状酸性岩が確認されており、本岩もそれらと同時期の、すなわち黒雲母花崗岩の貫入後、超塩基性岩の貫入以前に形成されたものと推定される。

2.1.5.4 橄欖岩および斑禱岩

分布

本岩は主として調査地域全域にわたり断層に沿って岩脈として散在している。いずれの岩脈も規模は小さく巾20～40m、長さ200～400m程度である。

構成岩石

主として橄欖岩よりなり、橄欖岩体の一部あるいは単独な岩体として斑禱岩が存在する。

岩質

橄欖岩：肉眼的に灰黒色緻密岩で、鏡下に0.5mm程度の普通輝石、異剥石およびザクロ石の大晶と0.1mm程度の橄欖石と少量の普通輝石およびザクロ石の小晶が存在し、斑状を示す。ザクロ石は片麻岩中のものより異なり褐色を呈する。橄欖石は割目に沿って蛇紋石化している。

普通輝石・角閃石・黒雲母・石英・斑禱岩：肉眼的に灰黒色粗粒完晶質塊状を示し、石英、斜長石、黒雲母、角閃石、単斜輝石が文象構造をなしている。

貫入時期

本岩はG. Nokila laki 片麻岩および黒雲母花崗岩を貫入している。昭和46年度の調査では、本岩は花崗岩貫入以後、すなわち第三紀末ないし第四紀初頭の貫入岩とされている。

2.2 変成

本地域には片麻岩、片岩等の変成岩が広く分布し、これらの変成岩は鉱化帯の主な母岩をなしている。鉱化作用に伴う変質作用を解明するにあたって、本変成岩の鉱物組合せを詳細に検討し、広域変成鉱物と熱水変質鉱物を識別する必要がある。この結果、今まで不明確であった変成相が比較的詳細に把握され、鉱化作用に伴う変質作用をも明確にすることができた。以下に本地域の変成岩の鉱物組合せと変成相についての記載をおこなう。

2.2.1 G. Nokila laki 片麻岩

G. Nokila laki 片麻岩の鉱物組合せは大別すると次の4通りである。

(1) 黒雲母－(珪線石)－石英－斜長石

(白雲母、カリ長石、緑泥石、絹雲母を含む場合がある。)

(2) 黒雲母－単斜輝石－(角閃石)－(珪線石)－石英－斜長石(カリ長石、白雲母、緑泥石、ゾイサイト、異剥石、電気石、陽起石、緑泥石、絹雲母が伴われることがある。)

(3) ザクロ石－黒雲母－石英－斜長石(スピネル、珪線石、緑泥石、絹雲母、沸石を含む場合がある。)

(4) ザクロ石－普通輝石－黒雲母－(珪線石)－(スピネル)－石英－斜長石

(透輝石、褐簾石、白雲母、カリ長石、緑泥石、絹雲母、沸石等を含む場合がある。)

これらの組合せに共通して現われる黒雲母は赤褐色調を示すのが特徴的である。一般に変成温

Fig. 1-1 地質柱狀圖

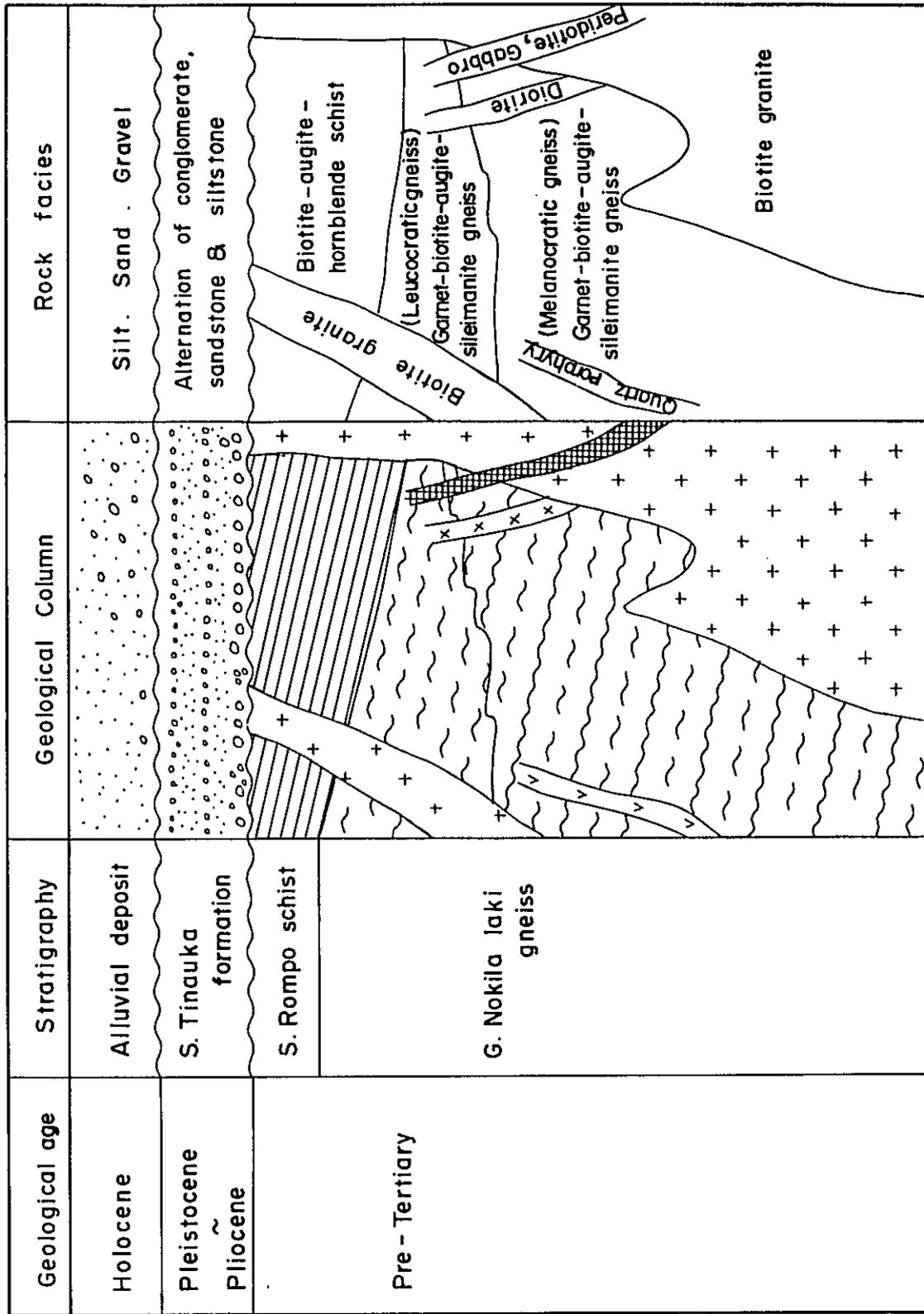
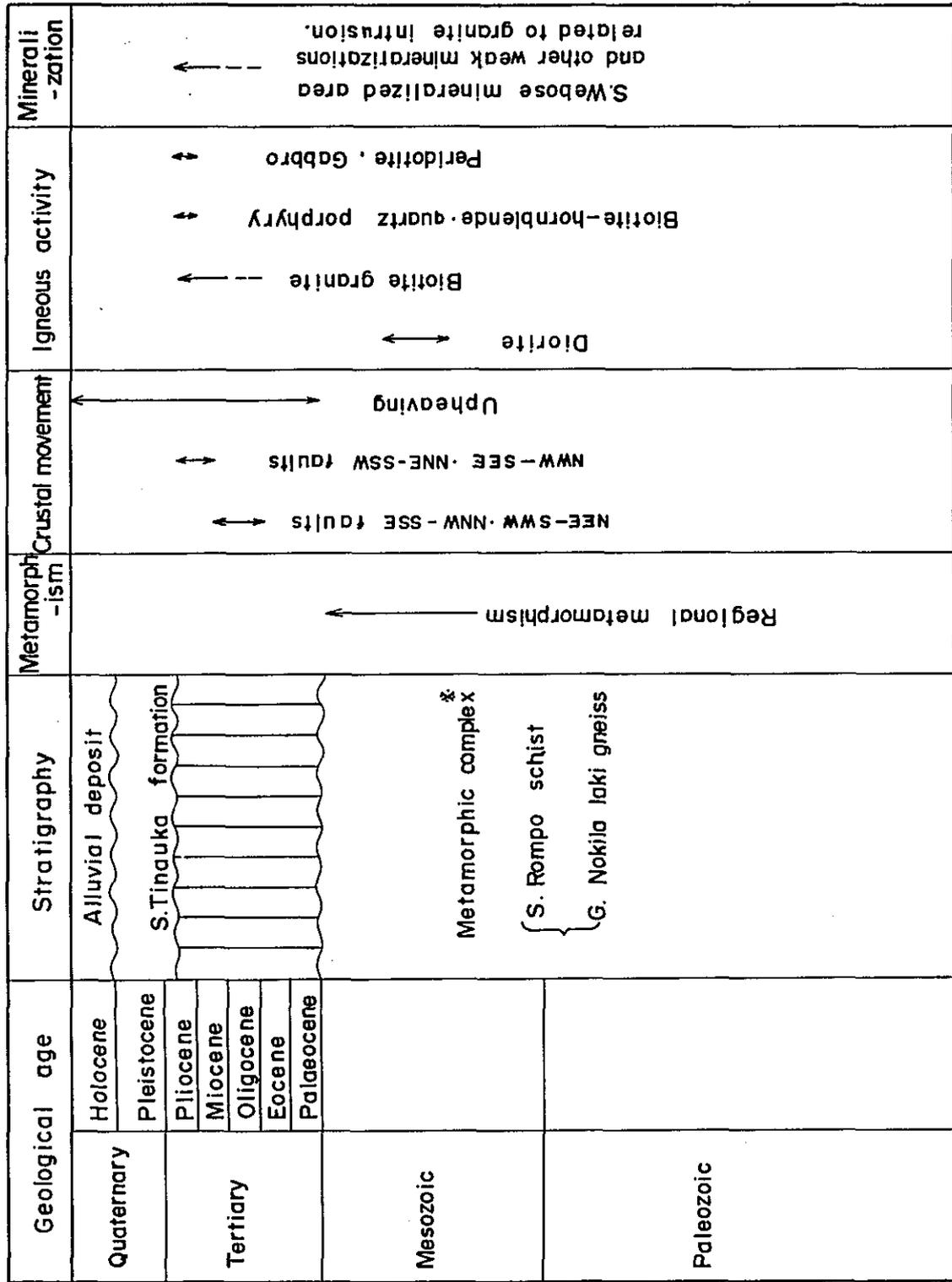


Fig. 1-2 地質層序圖



* The age of original rocks is not certified

度の低い岩石中の黒雲母には緑褐色調の強いものがしばしば出現し、また変成温度の高い岩石のなかの黒雲母には赤褐色調のものが多く、Tiに富むためと考えられている。従って本岩体中に含まれる黒雲母も、高温の変成作用により生成したと考えられる。また、角閃石は産出頻度が低く、陽起石をまれに含むが大部分は緑色を示す普通角閃石である。輝石族(角閃石に比べて圧倒的に産出頻度の高い)は、ほとんどが単斜輝石であり、Caに富む普通輝石ないし透輝石である。

この地域のザクロ石は片麻岩類に60~70%の頻度で出現し、一般に1~5%、最大20%程度のモードを占め、肉眼的に桃赤色を呈し、直径2~3mm程度のものが多い。鏡下では、グラウンダイト(1-2表参照)に一般的な光学的異常を示さず、石英や長石を包有する場合がある。本地域のザクロ石や珪線石の存在は、今まで花崗岩の熱変成作用によると考えられてきたが、その分布は個々の花崗岩の分布や形状とは関係が薄く、広域変成作用によって生じたと考えの方が妥当である。

1-2表 ザクロ石の普通の成分

	名 称	化 学 式	屈折率 n_D	比重 d	格子定数 $a_0(\text{Å})$
バイラルスバイト	パイロープ(Pyrope)	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$	1.714	3.582	11.459
	アルマンディン(Almandine)	$Fe^{+2}Al_2Si_3O_{12}$	1.830	4.318	11.526
	スペサルティン(Spessartine)	$Mn^{+2}Al_2Si_3O_{12}$	1.800	4.190	11.621
ダグ イラン	グロシユール(Grossular)	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$	1.734	3.598	11.851
	アンドラダイト(Andradite)	$Ca_3Fe_2^{+3}Si_3O_{12}$	1.887	3.859	12.048

注 B. J. Skinner(1956)による。

1-3表 ザクロ石の化学分析値

	103104		DH-1, 18.6m		122101	
	(1) WT%	(2) WT%	(1) WT%	(2) WT%	(1) WT%	(2) WT%
SiO ₂	38.15	38.73	38.69	38.95	37.52	36.08
TiO ₂	0.10	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06
Al ₂ O ₃	21.89	22.14	21.45	21.10	21.45	21.46
FeO	24.40	23.64	22.69	24.23	27.19	27.63
MnO	0.42	0.40	0.97	1.03	0.79	0.88
MgO	9.05	9.88	6.41	6.88	6.30	6.16
CaO	4.82	4.05	9.02	7.15	5.35	5.11
Na ₂ O	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02
K ₂ O	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
TOTAL	98.87	99.16	99.35	99.46	98.70	97.42

分析法：エレクトロン・プローブ・マイクロアナライザー (EPMA)

分析者：加納 博教授, 秋田大学

試料採取位置

103104 : S1° 17' 30", E120° 11' 40"

DH-1, 18.6m : S1° 18' 11", E120° 11' 32"

122101 : S1° 20' 30", E120° 11' 00"

1-4表 ザクロ石の端成分比

103104	(1)	Py 35	Alm 51	Sp 1	Gr 10	And 3
	(2)	Py 38	Alm 50	Sp 1	Gr 10	And 1
	Average	Py 37	Alm 50	Sp 1	Gr 10	And 2
DH-1, 18.6m	(1)	Py 25	Alm 48	Sp 2	Gr 23	And 2
	(2)	Py 27	Alm 51	Sp 2	Gr 16	And 4
	Average	Py 26	Alm 50	Sp 2	Gr 19	And 3
122101	(1)	Py 25	Alm 58	Sp 2	Gr 13	And 2
	(2)	Py 25	Alm 58	Sp 2	Gr 14	And 1
	Average	Py 25	Alm 58	Sp 2	Gr 13	And 2

注： Py : Pyrope Alm : Almandine Sp : Spessartine
 Gr : Grossular And : Andradite
 試料採取位置は1-3表と同じ。

本地域のザクロ石の化学分析値を1-3表に示す。この分析値を用いて、1-2表に示した5つの端成分比を計算した結果を1-4表に示す。これらのザクロ石の組成はパイロープ成分 (Mg^{+2}) が25~37%, アルマンディン成分 (Fe^{+2}) が58~50%と主体を占め、スペッサルティン成分 (Mn^{+2}) は1~2%と非常に少ない。また Ca^{+2} を含むグランダイトは12~22%を占めている。

一般に泥質岩起源のバイラルスバイトの組成は温度の上昇と共に $Mn \rightarrow Fe \rightarrow Mg$ の方向へ順次に変化する。本地域のザクロ石がスペッサルティンをわずかしか含まずパイロープ成分が比較的多いことは、かなり高温下で生成したことを意味している。

またグランダイト成分が12~22%を占めていることは片麻岩の原岩と考えられる泥質岩が比較的カルシウムに富んでいたことを示している。

分析した3個の試料は調査地の北から南へ103104, DH-1, 18.6m, 122101の順に位置している。これらのザクロ石の組成は、試料数は少ないけれども、南から北に向ってスペッサルティン成分 (Mn^{+2})、アンドラダイト成分 (Fe^{+2}) が減り、パイロープ成分 (Mg^{+2}) が増加する傾向、すなわち変成温度が高くなる傾向を示している。

本岩には藍晶石、紅柱石は含まれず、珪線石が各所に認められ、スピネルも各所に認められる。また本岩にはルチル (TiO_2)、イルメナイト ($FeTiO_3$)、チタン石 ($CaTiSiO_5$) 等のチタン鉱物が比較的多く含まれる。

以上のような特徴的な鉱物の産出は、本岩が角閃岩相からグラニューライト相への中間領域に属

していることを示している。本岩はこの変成相に対応する鉱物以外に、絹雲母、緑泥石、緑簾石、ゾイサイト等の低温低圧で産出する鉱物を伴っている。これらの鉱物は、その分布が後述の S. Webose 鉱化帯に規制されていることから、後期の熱水変質鉱物であると考えられる。

2.2.2 S. Rompo 片岩

本片岩は、一般に有色鉱物に富み次の様な鉱物組合せを示している。

- (1) 角閃石－黒雲母－(ザクロ石)－石英－斜長石
- (2) 黒雲母－角閃石－石英－斜長石－普通輝石

これらに含まれる角閃石は、角閃岩相に一般的な緑色調の普通角閃石であり、黒雲母も高温変成の所産と考えられる赤色調黒雲母を主としている。またザクロ石は石英及び不透明鉱物を包有する斑状変晶である。

2.2.3 変閃緑岩

本岩は部分的に緑色普通角閃石に変わった単斜輝石、赤色調の黒雲母、桜色を示すザクロ石、石英および斜長石の組合わせの角閃岩相を示している。

2.3.4 考察

以上述べた片麻岩、片岩および閃緑岩は、原岩の化学成分の違いや変成度の不均一性などを有しているために多様な変成鉱物の組合わせを示しているけれども、全体として角閃岩相とグラニューライト相の中間領域に属すると考えられる。また絹雲母、緑泥岩、緑簾石、濁沸石、カリ長石(氷長石)等は広域変成作用より後期の熱水性変質鉱物と考えられる。(3.2参照)

2.3 地質構造 (PL 1-3)

2.3.1 周辺の地質構造

昭和45年度の調査結果によると、本地域の東方には、N-S方向の中央構造線(Tawaðlia graben)が、西方には、N20°W-S20°E方向のFossa Sarasina(Palu断層)が位置する。

本地域は主として片麻岩により構成されるG.Nokila laki片麻岩体の西南部に属する。本片麻岩体は、長さ22km、幅12kmの大きさを持ち、NNW-SSE方向に伸びた形をなしている。この岩体は周囲を花崗岩により囲まれ、花崗岩に対しルーフペンダントをなしている。

2.3.2 変成岩および堆積岩の構造

本地域の変成岩類は断層によってブロック化され、多数の貫入岩に貫かれている。各種変成岩の面構造(片麻状構造および片状構造)の傾向は次のようにまとめられる。

優黒色片麻岩帯

主としてEW方向ないしNNW-SSE方向の走向を有する面構造を示す。

優白色片麻岩帯

ブロックにより多様な方向の面構造を示し、一定の方向性は認められない。

S.Rompo 片岩

主に N W W - S E E 方向の走向を有する面構造を示し、優黒色片麻岩帯に整合的に重なる場合が認められる。

片麻状構造および片理の傾斜は、N あるいは S 方向に 30° ないし 60° のものが多く、場所によっては主として E 方向に 70° ないし 80° の急傾斜を示す。

昭和 46 年度までの調査結果によると、変成岩の配列はほぼ N S 方向を示していて、変成岩の西側から東側に向うにつれ、変成度が上るとされている。これに対して本調査域では、変成岩の面構造の走向は主として E W 方向を示し、周辺地域の面構造と一致しない。この理由として、変成作用に引き続いた花崗岩の侵入による変成岩体の擾乱が考えられる。また変成岩の線構造は、本地域の変成岩が黒雲母等の板状結晶に富むため、識別が困難であった。

S. Tinauka 層は $N15^{\circ} \sim 50^{\circ} E$ の走向をもち、傾斜は $35^{\circ} \sim 40^{\circ} NW$ を示し模式地にくらべて傾斜が急で、更新世ないしそれ以後の降起運動の存在を示唆している。

2.3.3 褶曲構造

本地域の褶曲構造は、地質断面図 (P L 1 - 2) および地質構造図 (P L 1 - 3) に示したように、変成岩中で 2 箇所のみ把握されているが、各所の転石や一部の試錐岩芯 (D H - 3 孔) に認められる微小褶曲の存在から考えて、実際には多くの褶曲構造が存在するものと考えられる。

2.3.4 断 層

地表調査により確認された断層や変成岩類の分布と面構造の傾向、および写真地質上推定された断層を P L 1 - 3 に示した。以下に本地域の断層について記述する。

本地域の断層は、南部地区と北部地区とでは、やや異った様相を呈する。すなわち、南部地区の各種変成岩類には N E E - S W W 系断層と、これを切る N N W - S S E 系断層が発達するのに対し、北部地区の変成岩類および黒雲母花崗岩体には、N W W - S E E 系断層と、これを切る N N E - S S W 系断層が発達している。後者の N W W - S E E ・ N N E - S S W 系断層群は、本地域を含む広い範囲、すなわち花崗岩底盤内における線構造 (フォト・リニアメント) 方向 (インドネシア共和国鉱物資源開発基礎調査、第 2 巻第 2 部、写真地質報告書、昭和 46 年 6 月) に一致している。また、後者に属する断層群は前者の N E E - S W W、N N W - S S E 系断層群を切り、より晩期に形成されたものと考えられる。

2.3.5 火成岩と岩質構造の関係

本地域の黒雲母花崗岩貫入岩体は多数存在し、その方向はほぼ N W - S E 方向を示していて、G. Nokila laki 片麻岩体の伸長方向 (N N W - S S E) にほぼ一致している。花崗岩貫入岩体のうち比較的大きな規模 ($100 \times 400 m$ 以上) のものは、主として Webose 川の南側に分布し

NNW-SSE系断層に沿う傾向がある。またこれらの岩体のあるものはNNW-SSE, NNE-SSW系断層群に切られている。一方後述の鉍化作用に関係する小規模な(100×400m以下)黒雲母花崗岩岩株は、晩期に形成されたNNW-SSE, NNE-SSW系断層群を切っている。

以上のように黒雲母花崗岩および断層にはそれぞれ二つの時期の活動が考えられる。これらを早期のものから列記すれば次の通りである。

- (1) NEE-SWW, NNW-SSE系断層群の形成。
- (2) 黒雲母花崗岩の岩株, 岩脈の貫入。
- (3) NNW-SSE, NNE-SSW系断層群の形成。
- (4) 鉍化作用をもたらした小規模な黒雲母花崗岩岩株の貫入。

2.3.6 地 史

昭和45, 46年度の調査結果と本調査結果をまとめて、変成作用と火成活動の形成史を以下に略述する。

- (1) 主として泥質岩からなる地向斜堆積物が広域変成作用を受けて角閃岩相とグラニュライト相の中間変成相を示す。G. Nokilaki 片麻岩およびS. Rompo片岩に変成した。このとき変成帯の方向はNSであった。
- (2) 広域変成作用の末期またはその後、花崗岩マグマが、ほぼ変成作用の強く行なわれた軸に沿って進入し、変成岩類を押し上げ擾乱した。また変成岩中にNEE-SWW, NNW-SSE系の断層群が形成された。
- (3) (2)の時期に進入した花崗岩マグマは花崗岩底盤を形成し本調査地域の変成岩体中に岩脈, 岩株状をなして貫入した。
- (4) 花崗岩底盤全体におよぶ断層運動が生じ、本地域ではNNW-SSE, NNE-SSW系の断層が形成された。
- (5) 続いて小規模な黒雲母花崗岩岩株の貫入があり、弱い鉍化作用をもたらした。S. Webose 鉍化帯等はこの時期に形成された。
- (6) 橄欖岩, 斑禰岩が主として断層沿いに貫入して、小岩脈を形成した。

第3章 鋳 床

3.1 鋳化帯の分布および規模

調査地域に見られる鋳化帯は主として硫化鉄鋳の鋳染で P L 1 - 4 にその分布を示した。また鋳染の見られる露頭試料を無作為に採取し、銅および硫黄の分析を行ないその品位を P L 1 - 4 および Appendix 1 - 6 に示した。

P L 1 - 4 においては Webose 川流域北端の西側から南東方向にかけて最大幅 1 km, 延長 3 km にわたる鋳化帯 (S. Webose 鋳化帯と呼称) が最も大きく、この鋳化帯以外のものは最大で 500 × 1,000 m, 平均 100 × 300 m 程度の大きさにすぎず、かつ分散している。これらの小規模な鋳化帯は、黒雲母花崗岩の周辺、とくに小規模 (100 × 400 m 以下) な岩体の周辺に、また断層付近に多く分布している。

S. Webose 鋳化帯の銅含有量は最高 0.14%, 10 試料の単純平均は 0.04% であり、硫黄含有量は最高 6.8%, 平均 2.4% である。一方他の小規模な鋳化帯の銅含有量は、0.01% 以下ないし 0.01%, まれに 0.02% を示し、硫黄含有量は 1% 以下にすぎない。本地域の鋳化帯は主として片麻岩中に、一部は片岩および小岩株をなす黒雲母花崗岩中に賦存している。

3.2 変質作用

本地域における、熱水変質作用の程度は一般的には軽微で、粘土鋳物が肉眼的に認められる場所は断層等の割れ目沿いに限られており、地表踏査の段階で変質鋳物を識別することは一般に困難であった。しかし検鏡や X 線解析の結果では変質鋳物がかなり広い範囲に認められた。以下に顕微鏡観察および X 線解析による粘土鋳物の同定の結果把握された変質作用について述べる。

(Appendix 1 - 3, 1 - 4 参照)。

P L 1 - 5 に見られるように本地域における熱水変質作用は S. Webose 鋳化帯およびその近傍に主として認められ、次の 3 つの変質帯に分帯できる。

- (1) 石英-絹雲母-カリ長石帯 (珪化帯)
- (2) 絹雲母-緑泥石帯
- (3) 緑泥石-(モンモリロン石)帯

この一連の熱水変質帯には各帯とも主として脈状を呈する沸石の存在が認められ、X 線回折により濁沸石と判定された。

珪化帯は NW - SE 方向に 3 箇所認められ絹雲母-緑泥石帯に包有されている。絹雲母-緑泥石帯は NW - SE 方向に伸びた分布を示し、その外側に緑泥石-(モンモリロン石)帯が分布する。

次に各変質帯について記述する。

(1) 石英—絹雲母—カリ長石帯（珪化帯）

本変質帯は肉眼的にはほぼ完全な珪化岩になっているものから珪長質片麻岩様のものまであって珪化の程度は多様である。鏡下では石英を主とし、斜長石を交代した、あるいは細脈状を示す絹雲母および脈状を呈するカリ長石（氷長石）、濁沸石、クリノゾイサイトが認められることが多い。

本地域内では黒雲母花崗岩以外にカリ長石が見られるのはほとんどこの帯に限られることからカリ長石は熱水変質により生成されたものと考えられる。本変質帯には硫化鉱物は多く含まれない。

(2) 絹雲母—緑泥石帯

絹雲母—緑泥石帯は片麻岩および黒雲母花崗岩中に認められ、NW—SE方向に伸びた、最大幅1 km、延長2.5 kmの範囲を示す。本帯の中心付近にはEW方向にのびた幅100 m、延長500 mの範囲に、絹雲母—緑泥石の強粘土化帯が認められる。

一般に変質による原岩の組織の破壊はほとんど認められず、主として斜長石を部分的に交代し、あるいは細脈状に産する絹雲母、および黒雲母およびザクロ石等を部分的に交代あるいは脈状に切る緑泥石が認められる。

本帯には、他の変質帯よりも比較的多くの磁硫鉄鉱と微量の黄銅鉱が含有され、S. Webose 鉱化帯の範囲にほぼ一致する。

(3) 緑泥石—（モンモリロン石）帯

本変質帯は片麻岩、黒雲母花崗岩の両方に認められ断層等の割目沿いに存在する。片麻岩等の変成岩中に存在する場合には緑泥石が多く、黒雲母花崗岩中の場合はモンモリロン石が多い傾向がある。低変質の岩石中では黒雲母等の有色鉱物の一部がわずかに緑泥石に変質している程度である。

これらの変質帯は後述の試錐探査の結果によつて、垂直方向にも認められ、Fig 4—2に示されたような同心円状累帯配列をなすことが判明した。

3.3 鉱石鉱物

本地域に見られる鉱染帯は、主として片麻岩中に、一部片岩および黒雲母花崗岩に賦存し、少量の硫化鉄鉱と微量の黄銅鉱が鉱染状、フィルム状あるいは細脈状をなす産状を示す。S. Webose 鉱化帯とその他の小規模な鉱染帯との間には、鉱石鉱物の量の違いを除いて、産状の差異は認められない。

本地域に認められる鉱石鉱物には、磁硫鉄鉱、黄鉄鉱、白鉄鉱、黄銅鉱、磁鉄鉱、ルチルおよびイルメナイトが認められる。磁硫鉄鉱は最も多く産し、0.1～1.0 mmの大きさをもち他形を示す。この磁硫鉄鉱の磁性は極めて弱くクロム酸飽和水溶液による腐蝕の程度が低いことから六方型磁硫鉄鉱と推定される。場所により、磁硫鉄鉱は白鉄鉱に変質しており、「鳥の眼」状構造を

示すものが認められる。

黄鉄鉱は磁硫鉄鉱にくらべて、はるかに産出頻度が低く0.1～0.2mmの大きさをもち自形を示すことが多い。変成岩中の黄鉄鉱は白鉄鉱に変質していることがある。黒雲母花崗岩に部分的に認められる硫化鉱物鉱染帯中の黄鉄鉱は、磁鉄鉱を包有している場合がある。

黄銅鉱は0.05～0.1mm以下の大きさを示し粒状を示すものが多い。また主として磁硫鉄鉱あるいは黄鉄鉱と共生している。鉱石鉱物の記載の詳細はAppendix 1-5を参照されたい。

次に本地域の母岩と鉱石鉱物の組合せを1-5表に示す。

1-5表 鉱石鉱物の組合せ

母 岩	鉱 石 鉱 物	脉 石 鉱 物
片 麻 岩	磁硫鉄鉱-黄銅鉱	石墨, ルチル, イルメナイト ルチル, イルメナイト
	磁硫鉄鉱-白鉄鉱-黄銅鉱	
	磁硫鉄鉱-黄鉄鉱-黄銅鉱	
黒雲母・角閃石片岩	黄鉄鉱-白鉄鉱-黄銅鉱	イルメナイト
黒雲母花崗岩	黄鉄鉱-磁鉄鉱-黄銅鉱	
黒雲母・角閃石石英斑岩	黄鉄鉱	

本地域に出現する鉄鉱物の種類と母岩との間には次の関係が認められる。すなわち

- (1) 鉱化作用をもたらしたと考えられる黒雲母花崗岩は黄鉄鉱-磁鉄鉱の組合せを示し、
- (2) S. Webber 鉱化帯を主として構成する石墨を含む片麻岩は磁硫鉄鉱と磁硫鉄鉱から変質した白鉄鉱を含み、
- (3) 石墨を含まない片麻岩は磁硫鉄鉱-黄鉄鉱の組合せを示し、
- (4) 黒雲母・角閃石片岩は黄鉄鉱と白鉄鉱を含む。

このような、母岩の違いによる鉄鉱物の組合せの違いは、鉱化作用に対する石墨の役割を考慮することによって定性的に説明できる。

鉄の酸化鉱物の安定範囲はもちろん、黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、菱鉄鉱の安定範囲も酸素のフュガシティーによって大きく影響される(Holland, 1959, 1965, Krauskopf, 1964)。一方地殻中の酸化還元状態に対しては石墨が大きな役割を果たしている(Miyashiro, 1964 a. b)。また鉱化作用において、石墨の酸化によって生ずる酸素のフュガシティーの低下に伴う鉄鉱物の安定関係により、鉄鉱物の累帯配列がうまく説明されている(Yui, 1966)。

もし過剰の石墨が存在していれば(含石墨片麻岩の場合)、酸素のフュガシティーは容易に低下し、磁硫鉄鉱のみが沈澱する。また過剰の石墨が存在しないような母岩(片岩および石墨を

まない片麻岩)では、石墨による酸素のフュガシティーの十分な低下は期待できず、したがって黄鉄鉱または黄鉄鉱-磁硫鉄鉱の組合せが安定になると考えられる。

3.4 鉱化作用

本地域の鉱化作用に関連する事実を以下に要約する。

- (1) 鉱化帯に密接な関係をもつ貫入岩は100×400 m以下の黒雲母花崗岩小岩株である。すなわち、調査地域に分布する鉱染帯の近傍には黒雲母花崗岩小岩株が伴われる場合が多く、S. Webose 鉱化帯中にも、小岩株が3ヶ所認められ、これらの一部には硫化鉱物鉱染および絹雲母-緑泥石帯を示す熱水変質作用が認められる。この花崗岩は鉱化をもたらしていない花崗岩と岩相上差異はなく、中粒完晶質である。
- (2) 鉱化作用をもたらしたと考えられる花崗岩は地質構造との関係から本地域の花崗岩の貫入活動の末期のものと考えられる。
- (3) 鉱化帯の母岩は主として片麻岩、一部片岩および花崗岩である。
- (4) 鉱石鉱物は弱い鉱染状、細脈~フィルム状をなして母岩中に散在する。
- (5) S. Webose 鉱化帯として把握された鉱化帯は最大幅1 km, NW-S E方向に延長3 kmの大きさをもち、断層の錯綜した場所にあたっている。
- (6) S. Webose 鉱化帯の品位は、銅0.01~0.14% (平均0.04%)、硫黄0.7~6.8% (平均2.4%)である。
- (7) S. Webose 鉱化帯を中心として外側に向って石英-絹雲母-カリ長石帯(珪化帯)、絹雲母-緑泥石帯、緑泥石-(モンモリロン石)帯が累帯配列をなしている。鉱化帯は絹雲母-緑泥石帯とほぼ一致している。
- (8) 初生鉱物は量の多い順に磁硫鉄鉱、黄鉄鉱、黄銅鉱、磁鉄鉱である。二次的な酸化鉱物としては磁硫鉄鉱、黄鉄鉱から変質したと考えられている白鉄鉱が認められる。銅鉱物の二次鉱物は認められない。

これらの事実から、S. Webose 鉱化帯は黒雲母花崗岩小岩株に関係し、主として被貫入岩である変成岩を母岩として、熱水変質累帯を伴う鉱染状含銅鉱床とすることができる。とくに、(1)、(2)、(4)、(7)の事実は、この鉱化帯がいわゆるポーフイリー・カッパー鉱床型に属することを示唆している。ただし、本鉱化帯は初生鉱石鉱物として磁硫鉄鉱を主とすることおよび輝水鉛鉱や斑銅鉱を伴わないことに関して、ポーフイリー・カッパー鉱床と相違している。

第 2 部 地 化 学 探 查

第1章 調査の概要

1.1 調査目的

本調査地域は、昭和46年度に実施された地質調査および地化学探査の結果、最有望地域として選定されたS. Bomba 鉱化帯に相当し、その面積は35 km²に達する。選定の根拠は、比較的広範囲におよぶ硫化鉄鉱染帯の分布が確認されたこと、および地化学探査において、河川堆積物に銅・亜鉛の異常値が認められたことによる。

本調査は、すでに捕捉された鉱化帯および他に期待される鉱化帯の位置と規模の把握を目的として実施されたものである。このため、河川堆積物に比べて指示元素の二次分散が把握し易い土壌を対象とし、銅を指示元素として採用した。

なお、本地域の地形は比較的急峻で、植生は完全な原生林であり、一般に密である。しかし、高度の増加とともにヤ、粗になる。このような気候・地形環境をもつ本地域の土壌の厚さは1 m前後であって、典型的な熱帯多雨気候区の平坦地形の区域に比較して、著しく薄いといえることができる。

また、本調査は、現地作業を昭和47年9月22日より開始し、全年12月3日完了した。要した日数は73日である。

第2章 試料採取

今回の調査で使用した土壌試料は、物理探査の測線上で、その現地作業に平行して、間隔 100 m ごとに採取された。これらの試料採取位置を PL 2-1 に示す。また、試料数は、主として河川沿いの EM 法測線上で 555 個、I.P. 法が行われた伐開線上で 220 個、合計 775 個である。平均試料採取密度は 22 個/km²であった。

本地域では、土壌断面における A 層の厚さが約 30 cm であるので、土壌試料としては、深度 30 ~ 50 cm で B 層最上部のものを採取した。河川に沿う測線上では、試料はできうる限り河床部を避け、山腹斜面上で採取した。各地点における試料の採取量は約 100 g とし、それぞれの粒度および色調を記載した。

第3章 化学分析

3.1 試料調整法

採取された試料はベースキャンプに設けられた分析室において、次の要領で調整した。

- (1) 試料全量をアルミニウム製容器に移し、砂浴上で約2時間乾燥した。
- (2) 乾燥により、試料は固結したため、鉄乳鉢でゆるい打撃により粉砕した。
- (3) ステンレス製80メッシュふるいを用いてふるい分け、通過試料を分析に供した。

3.2 分析方法

指示元素銅の簡易分析法として、バイキノリン簡易比色分析法が採用された。以下に本調査に用いられた分析法を記す。

- (1) 調整された分析試料の0.200gを秤量し、石英ガラス製試験管に入れ、ピロ硫酸カリウム ($K_2S_2O_7$) 粉末1gを加え、振盪により攪拌する。
- (2) 上記混合物をプロパンガスバーナを用いて、褐色を呈するまで加熱熔融する。
- (3) 放冷後、塩酸(1規定)10mlを加え水浴上で加温溶解する。
- (4) 放冷後、上澄液の1.00mlを別の試験管に分取する。
- (5) 塩酸ヒドロキシルアミン ($NH_2OH \cdot HCl$ 5%溶液) 1ml, 銅緩衝液10ml (pH7, 酢酸ナトリウム400g, 酒石酸カリウム・ナトリウム100gを1,000mlの純水に溶解して作製), α - α' バイキノリン溶液(0.02%アミルアルコール溶液) 1.00mlを順次加え、2分間激しく振盪する。
- (6) 適当な段階に銅を含む標準溶液系列について(2)から(5)まで同様の処理をして、標準比色液を作り、試料溶液の α - α' バイキノリン相を肉眼により比色する。

分析にあたっては、標準比色液は毎日作りかえた。また、約50個の土壌試料を混合して作製した標準比較試料を、毎日の分析系列の中に加えて、分析値をチェックした。この標準比較試料の分析値は 31 ± 0.5 ppmを示し、分析精度は満足しうるものと検定された。

以上に述べた分析方法の定量下限は3 ppmであった。また、この方法による1日当りの分析能率は約35試料であった。

第 4 章 解 析

4.1 データ処理

採取された土壌試料の分析結果は Appendix に表示した通りである。これらの試料を採取地点における地質に基づいて分類すれば 2-1 表のようになる。

2-1 表 地質区別の試料数

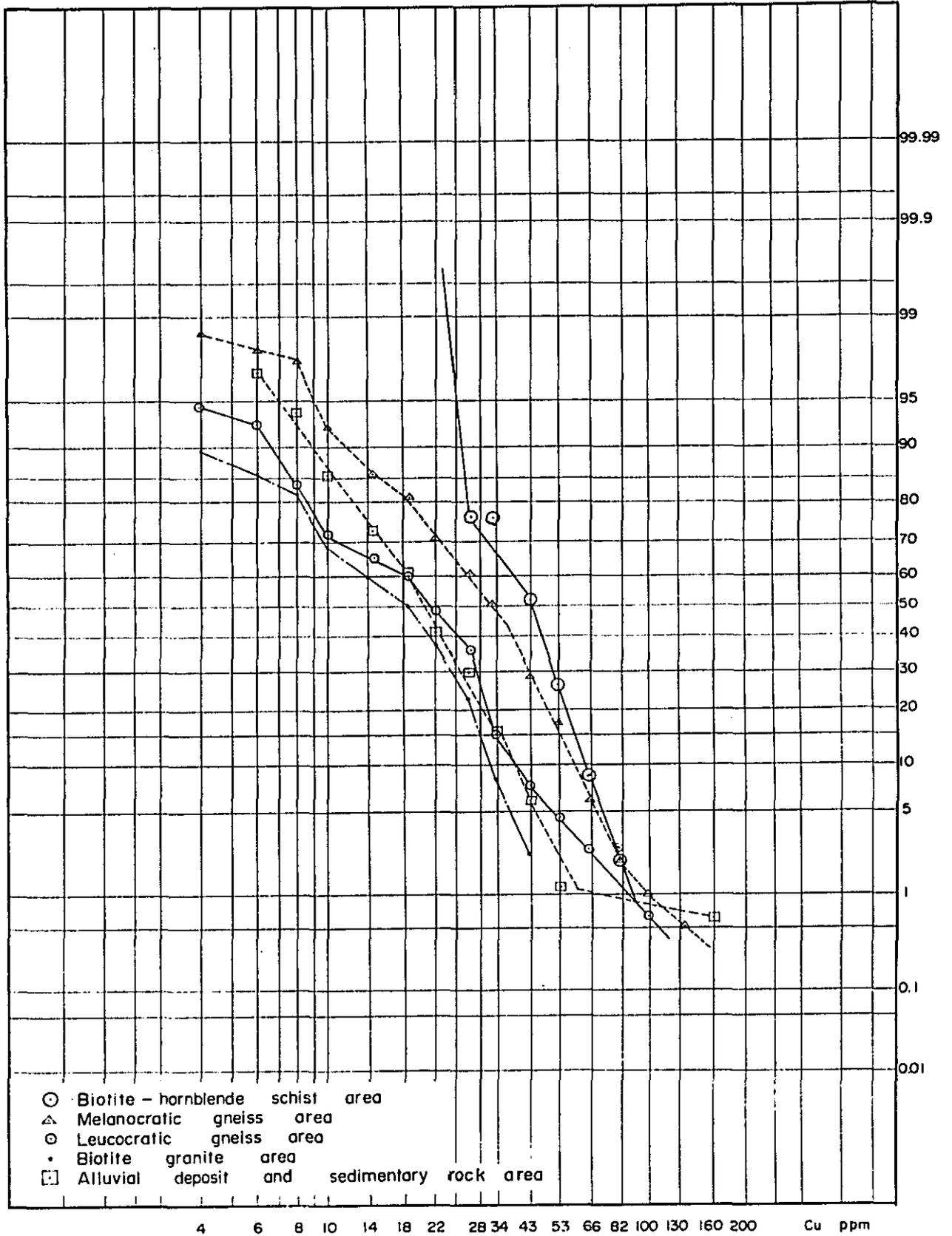
地 質 区 分	試 料 数
黒雲母・角閃石片岩地域	46
優黒色片麻岩地域	197
優白色片麻岩地域	160
黒雲母花崗岩地域	208
新期堆積岩地域	164
全地域 計	775

各地質域ごとの累積頻度分布を Fig 2 に示す。この図からも明かなように、いずれの地質域においても、銅含有量の頻度分布は多くの地球化学データに認められているような単純な対数正規型を示さず、多種の対数正規型分布の複合のような複雑な分布を示す。したがって、このような複雑な分布を地質学的または地球化学的に処理、解析して、鉍化作用に由来する化探異常を抽出することは、極めて困難である。したがって、今回は、単純な数値的処理に基づき、後背値およびしきい値を、平均値と標準偏差から次のように定めた。

$$\begin{array}{ll}
 \text{後背値} & \bar{X} \\
 \text{第 2 級のしきい値} & \bar{X} + \sigma \\
 \text{第 1 級のしきい値} & \bar{X} + 2\sigma
 \end{array}$$

こゝに \bar{X} は平均値、 σ は標準偏差である。したがって、第 1 級および第 2 級の異常値はそれぞれ第 1 級および第 2 級のしきい値以上の値に相当する。2-2 表に各地質域における土壌中の銅含有量の後背値およびしきい値を示した。

Fig. 2 地質区分別の銅元素累積頻度分布図



2-2表 土壤中の銅の後背値およびしきい値

地質区分	後背値 (ppm)	第2級しきい値 (ppm)	第1級しきい値 (ppm)
黒雲母・角閃石片岩地域	45	61	77
優黒色片麻岩地域	36	58	79
優白色片麻岩地域	24	42	60
黒雲母花崗岩地域	19	30	42
新期堆積岩地域	23	40	57

4.2 化探異常域の抽出・検討

2-2表に示した各地質域におけるしきい値をもとにして、銅異常値分布図を作成した(PL2-2)。この図においては、

第1級の異常値が2点以上連続する場合。

第1級および第2級の異常値が2点以上連続する場合。

第2級の異常値が3点以上連続する場合

を銅異常域として取扱った。このような銅異常域としては、PL2-2に示したように、AからLまでの12地区が抽出された。これらの概要を2-3表に示す。

これらの銅異常域の分布について、次のような特徴が認められる。

- (1) 第2級以上の異常値が5点以上連続するものは見られず、また、隣接する測線上に異常域が及ぶ例もほとんど認められない。すなわち、この地域においては、まとまった異常域はなく、小規模な異常域が分散しているに過ぎない。
- (2) I.P.の伐開線上で異常が少なく、河川沿いのE.M.測線上に多い。これは銅異常が地形的要因、主として河川によりもたらされた可能性を示している。
- (3) 12ヶ所の銅異常域のうち、黒雲母花崗岩地域の異常域が半数の6ヶ所を占め、圧倒的に多い。黒雲母花崗岩地域の第2級しきい値は30ppmに過ぎないのに対し、それに隣接することが最も多い優黒色片麻岩地域では、後背値でさえ36ppmに達する。このように、一般的に分布面積が狭い黒雲母花崗岩地域の銅含有量が、周辺に比較して著しく低いことは、周辺から相対的に銅含有量の高い土壤が混入することにより「汚染」して、鉱化とは無関係に、そのしきい値を容易に越えうることを意味している。
- (4) 地表の地質調査および物理探査により把握されたS. Webose 鉱化帯には、全く銅異常域を認めることができなかった。これは、この鉱化帯が主として硫化鉄鉱の鉱染により特徴付

けられ、銅品位は0.04%程度に過ぎない低品位鉍化帯であることによると考えられる。これ以外の小規模な鉍化帯はさらに銅品位が低く、0.01%以下ないし0.02%程度であるので、これらの鉍化作用に由来する化探異常の抽出は極めて困難である。

2-3表 地化学探査の異常域

異常域	異常値の個数		地質区分	鉍染帯の有無
	第2級の異常値	第1級の異常値		
A	2	0	優白色片麻岩地域	不明
B	1	1	優白色片麻岩地域	なし
C	4	0	黒雲母花崗岩地域	一部に認められる
D	1	2	黒雲母花崗岩地域	なし
E	1	1	優黒色片麻岩地域	なし
F	1	2	優黒色片麻岩地域	なし
G	1	3	黒雲母花崗岩地域	なし
H	0	4	黒雲母花崗岩地域, 優黒色片麻岩地域	なし
I	0	4	黒雲母花崗岩地域	なし
J	2	2	黒雲母花崗岩地域, 優黒色片麻岩地域	なし
K	2	1	優黒色片麻岩地域	認められる
L	0	3	優黒色片麻岩地域, 黒雲母花崗岩地域	不明

第 3 部 物 理 探 查

第1章 調査の概要

本調査の目的は、すでに捕捉された鉍化帯および他に期待される鉍化帯を解明することである。

本調査のうち電磁法（E. M. 法）は、調査地区全域を対象に有望地域を選出する目的で実施した。一方強制分極法（I. P. 法）は、電磁法で把握した示徴のうち、有望地域を限定し、精査を行うことを目的とし、特に強制分極法が硫化鉍物を検出するに最良の手段であることから、今回の調査では試錐探鉍箇所決定の一手法として重用した。調査地域は、全般に地形が急峻で、地表は至る所原生林に覆われているうえ、正確な地形図はない。概査を目的とした電磁法（垂直ループ法）では、地形的に明瞭な沢、尾根などのルートを主体に測定し、概査の精度を維持した。なお電磁法の精査を目的とする水平ループ法については、一定精度を保持するために強制分極法の測線の一部を利用した。

強制分極法の実施に当っては、S. Webose 鉍化帯を中心に簡易測量による伏開測線を設定した。

調査の実施に当っては、地形条件のため、強制分極法について特に、計画通りの実行が不可能な部分が認められ、一部計画測線を変更して測点密度の保持に努めた。

調査地域は電磁法については、序論に記した範囲の調査地域全域を、また強制分極法は、北半部（面積約10Km²）を対象にしている。

現地調査期間は、両方法共に、昭和47年9月22日から12月3日に至る73日間である。

第2章 電 磁 法

2.1 測線配置

測線位置図は PL 3-1 に示すとおりで、垂直ループ法と水平ループ法との区別および測線の詳細を次表に記載する。

2.1.1 垂直ループ法

測線名	測線長 (km)	測線名	測線長 (km)	測線名	測線長 (km)
A	2.0	5	1.3	20	4.4
B	2.0	6	1.9	21	1.3
C	2.0	7	0.4	22	0.4
D	2.0	8	1.1	23	1.0
E	2.0	9	1.5	24	0.7
F	1.0	10	2.6	25	1.9
G	2.0	11	1.3	26	0.8
H	1.0	12	0.7	27	0.3
I-I'	1.5	13	1.5	28	0.4
J-J'	1.7	14	1.6	29	4.7
X	3.0	15	0.5	30	1.6
1	2.0	16	2.0	31	5.6
2	0.2	17	0.8	32	7.0
3	1.1	18	1.4	33	2.4
4	1.3	19	2.4		
測線全長		78.0 km			
測点間隔		50 m			
コイル間隔		100 m			
測線数		44 本			

2.1.2 水平ループ法

測線名	測線長 (km)
A	1.0
B	1.0
C	1.0
D	1.0

E	1.0		
G	0.7		
X	2.0	測線全長	16.4 km
Y	2.0	測点間隔	50 m
Z	2.0	コイル間隔	200 ft
32	3.8	測線数	11 本
33	0.9		

2.2 測定方法

2.2.1 垂直ループ法

本方法はディップアングル法 (Dip-angle 法) または パーチカル・ループ法 (Vertical loop 法) などと呼ばれ, 受信コイルを水平軸のまわりに回転し, 送信コイルからの信号を最小にして磁場の伏角を測定する方法である。

送信コイルは常に垂直に保つ必要があるが, これを固定しておくか受信コイルとともに移動させて測定するかによってフィックスド・ソース法 (Fixed source 法) とムービング・ソース法 (Moving source 法) に区別される。

また測線の展開方法によって送信コイルと受信コイルが平行な2本の測線に沿って, それぞれ移動するブロード・サイド法 (Broad side 法) と, 1本の測線に沿って移動するイン・ライン法 (In-line 法) に区別される。

今回の調査ではムービング・ソース法のイン・ライン配列を用いた。

本方法は一般に道路や山道を利用した概査として用いられるもので, 精査が要求される場合にはブロード・サイド法やフィックスド・ソース法を実施する。

今回の調査では, 送信コイルを垂直に保ち, 受信コイルを水平にし, 両コイル間の間隔を100 mとして測定したが, 一部測線の末端では, 地形条件に応じてコイル間隔を50 mにしたところもある。なお使用した周波数は1,600 Hzである。

2.2.2 水平ループ法

この方法はスリングラム法 (Slingram 法) または ループ・フレーム法 (Loop-frame 法) に属するもので, 1958年にWernerが開発したものである。ディップ・アングル法と同じ器械で測定ができ, 受信コイルに誘起される電圧のイン・フェイズコンポーネント (In-phase component) とアウト・オブ・フェイズ・コンポーネント (Out-of-phase component) を測定する方法である。またこの方法は, 定量解析を目的とし, 精査を要求されるような場合に有効である。

コイル配置としては一般に次のものが使用されている。

- (1) ホリゾンタル コーブラナー (Horizontal coplanar) (Fig. 3-1)
- (2) パーチカル コーブラナー (Vertical coplanar) (Fig. 3-2)
- (3) パーチカル コアキシャル (Vertical coaxial) (Fig. 3-3)



Fig. 3-1



Fig. 3-2



Fig. 3-3

今回の調査ではコイル配置に、ホリゾンタル コーブラナーを用い、コイル間隔を200フィートとした。なお使用周波数は1,600 Hzである。

2.3 測定装置

使用した測定装置は、Scintrex社製のSE-600 Electromagnetic horizontal loop systemと呼称するもので、装置の仕様およびブロックダイアグラム (Fig. 3-4)は、次のとおりである。

仕 様

周波数	1,600 Hz
コイル間隔	200フィートおよび300フィート
使用ケーブル	206フィートおよび306フィート

測定範囲

インフェイズコンポーネント	0~200%
アウトオブフェイズコンポーネント	-50~50%

重量

送信器	8 kg
受信器	5 kg
206フィートケーブル	4 kg
306フィートケーブル	6 kg

バッテリー

送信器	6 ボルト
受信器	13.5 ボルト

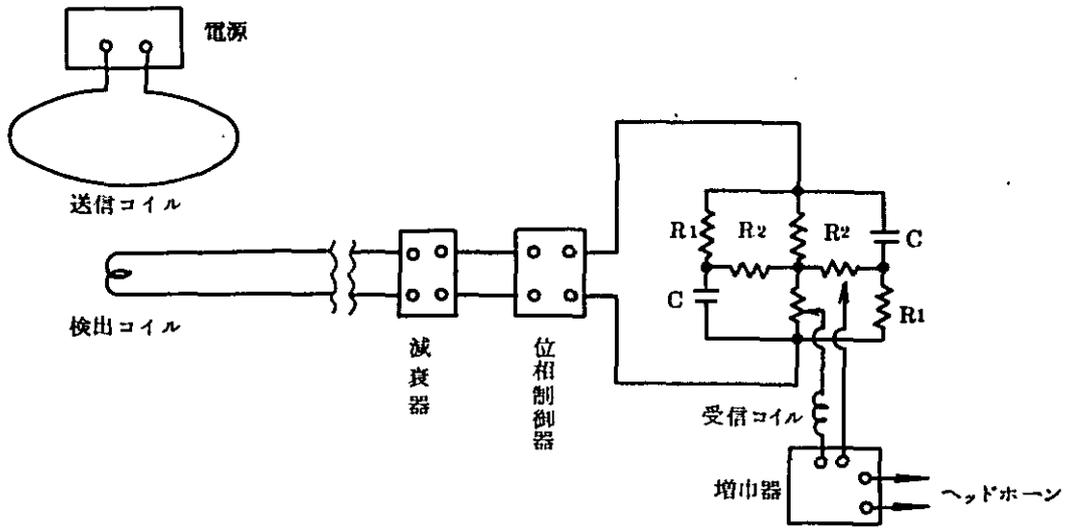


Fig. 3-4 ブロックダイアグラム

2.4 測定結果

今回実施した電磁法は、垂直ループ法、水平ループ法の2種によるもので、垂直ループ法ではディップアングルの値を測定し、各測線についての断面(PL 3-2-10~PL 3-2-12)により解析し、この値が±10°以上の値で正負対になっているものを異常として抽出した。(PL 3-2-1)

2.4.1 垂直ループ法

異常の分布は、調査地域の北部にその大部分が集約され、その内A、B、G、H、I、JおよびKの7異常がほぼNW方向の配列を示している。

特にAおよびB異常は大きな規模を示し、負異常として、検出されている。

こうした北部の異常群に対し、調査地域の中央部にはほとんど異常が検出されず、わずかに南西部にC異常と南端部にL異常が検出されたにすぎない。C異常の規模はAおよびB異常に次ぐ広がりをもっているが、この異常はいくつかの正・負異常の組合せで表現されており複雑なパターンを示している。

2.4.2 水平ループ法

水平ループの異常はアウトオブフェイズコンポーネントおよびインフェイズコンポーネント断面図(PL 3-2-10~PL 3-2-12およびPL 3-2-8)により抽出した。

水平ループ法の解析法の一つとして、アルガンド図を利用する方法があり、顕著な異常については、このアルガンド図を用いて低抵抗体の傾斜、深度、導電率厚み積などの定量解析を実施した。断面図により抽出された異常は、さらにインフェイズコンポーネントおよびアウトオブフェイズコンポーネントに分類し、異常分布図(PL 3-2-13およびPL 3-2-14)により平面表示した。インフェイズコンポーネントについては100%を基準として、±10%以上のものを異常とし、アウトオブフェイズについては0を基準として±10%以上のものを異常として取りあげ、コンター表示している。

(1) 水平ループ法インフェイズコンポーネント異常分布

PL 3-2-13に示すように小規模な異常が数多く分布しているが、比較的顕著な異常としてA₁~A₄の4ヶ所を抽出される。このなかで最も顕著な異常はG測線の北部に発するA₁の異常で、規模が大きく正負の対をなす異常が明瞭に認められる。これに対しA₂~A₄異常は比較的規模の大きな負異常から成り、対をなす明瞭な正異常は認められない。

(2) 水平ループ法アウトオブフェイズコンポーネント異常分布

PL 3-2-14に示すように顕著な異常としてA₁~A₄の4ヶ所を抽出した。このなかで最も顕著な異常は32測線の測点65付近に発達するA₁の異常で、規模も大きくよくまとまっている。これに次ぐものとして、A₂およびA₃の正異常が指摘される。さらにA測線の北部にも規模の大きな異常A₄が現われているが、前述した異常がいずれも正異常で表現されるのに

対して、この異常は負異常で表現されている。この結果によると全般的に正異常が卓越する傾向が明瞭に認められる。

第3章 強制分極法

3.1 測線配置

測線および測点は P L 3 - 1 の測線位置図に示すが、詳細は次のとおりである。

測線名	測線長 (m)
A 測線	2,000 m
B 測線	2,000 m
C 測線	2,000 m
D 測線	2,000 m
E 測線	2,000 m
F 測線	1,000 m
G 測線	2,000 m
H 測線	1,000 m
I 測線	1,000 m
J 測線	1,000 m
X 測線	2,000 m
Y 測線	2,000 m
Z 測線	2,000 m
測線全長	22,000 m
測線間隔	500 m
測点間隔	100 m
測線数	13 本

なお測線については、計画と異なっているが、これは地形が急峻で崖崩れなどにより計画の測線設定が不可能なため変更したものである。

3.2 測定方法

強制分極法は、電気化学的現象を鉱床探査に応用したもので、現在2種類の方法（周波数領域法、時間領域法）が実用化されている。

これらの方法は、装置と野外作業法でかなりの相違があり、調査規模および対象物深度等によって、それぞれ使い分けられているが、近年特に時間領域法が注目を集めている。

強制分極法の有効とされる対象物は、ポーフィリーカッパー鉱床のような鉱染鉱床や、硫化銅鉱床、炭酸塩岩中の鉛、亜鉛鉱床などで、こうした鉱床の直接探鉱が可能とされている。

その他粘土や蛇紋岩、セリサイト、クロライト等も分極現象を示すが、特殊な条件を除き、一般的にその適応性は小さい。

今回実施した強制分極法の詳細は次のとおりである。

電極配列	ダイポール-ダイポール
測定方式	周波数領域法
電極間隔(a)	100 m
電極隔離係数(n)	1, 2, 3,
測線間隔	500 m

3.3 測定装置

使用した測定装置は次のとおりで、調査深度地表下200 mを充分測定できるものである。なお補助的に用いた各種器械、器具は省略する。

1) 受信器

製作所	パー・ブラウン (U.S.A.)
名称・型名	I.P. レシーバー モデル 9741
重量	9.5 kg
感度	1 μ V ~ 100V
周波数(Hz)	0.1, 0.3, 1.0, 3.0,
積分時間(sec)	2, 6, 15, 60, 150,

2) 送信機

製作所	横浜電子研究所 (日本)
名称・型名	I.P.受信機, Y.N.C. 502型
重量	25 kg
出力	1,000V 0.2~2A
入力	95~120V, 400Hz
安定度	0.2%以下(±10%負荷変動に対して)
周波数(Hz)	0.1, 0.3, 1, 3, 10,

送信機(予備)

製作所	パー・ブラウン (U.S.A.)
名称・型名	I.P.トランスミッター モデル 9740
重量	18 kg

出力 450V, 0.2~2A
入力 95~120V, 400Hz
安定度 0.1%以下(±10%負荷変動に対して)
周波数(Hz) 0.1, 1, 3, 10,

3) 発電機

製作所 マッカーラー (U.S.A.)
名称・型名 エンジン発電機, モデル440
重量 36kg
定格 120V, 400Hz, 2KW

4) 受信器

製作所 バー・ブラウン (U.S.A.)
名称・型名 I.P.キャリブレーター, モデル9742
重量 6.4kg
周波数(Hz) 0.01~110
出力電圧 ±0.01mV ~ ±11V

3.4 測定結果

今回実施した強制分極法は、周波数領域法によるもので、測定結果からは比抵抗 ρ ($\Omega\text{-m}$), 周波数効果 F.E. (%) および金属伝導係数 M.C.F. を算出し、それぞれ断面図を作成し解析を行った。

ここで ρ は周波数3.0Hzの見掛け比抵抗値で、F.E.は0.3Hzと3.0Hzによる周波数特性の測定に相当し、I.P.効果を表現するものである。またM.C.F.は、金属伝導係数と呼ばれる数値で、 $(F.E./\rho) \times 10^3$ から求められる。

こうした調査結果の中では、鉱床の分極率を意味するF.E.が、I.P.法の特徴を最もよく表現するもので、 ρ は従来の比抵抗法に等しく、M.C.F.は鉱床の比抵抗が小さい場合、F.E.が硫化鉱物の量に比べて小さい値となるので、これを補償する効果がある。

さらにF.E.が本質的に地形の影響を無視できるところもI.P.法の特徴で、地形の悪い鉱床地帯の調査では、この特性が非常に有効である。これに対して、 ρ およびM.C.F.は常に地形の影響を受けるため、解析にそれを考慮する必要があるが、簡単に地形補正をおこなうことは難しい。

測定状態は全般的に良好で信頼度の高いデータを得ることができた。

PL 3-3-1 ~ PL 3-3-13 がこれらの調査結果を地形断面と共に記載したI.P.断面図で縮尺は1/5,000である。また PL 3-3-14 ~ PL 3-3-22 は、F.E., ρ , M.C.F.の深度別の情報を地形図と共に表示した平面図で、縮尺は1/10,000である。

3.4.1 各測線について

A測線 (P L 3-3-1)

A測線で検出されたF.E.はすべて5%以下で、そのうち測点 $\#8 \sim \#10$ に最も高い値が現われている。この異常の中心は測点 $\#9$ 付近で、地表下150m \sim 200mに分布し深部に発達するパターンを呈している。

比抵抗分布は、測線の北部末端で300 $\Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗帯を把握したが、その分布はさらに北部に発達する傾向を示している。また比抵抗分布には測線の南部に向って比抵抗値を減じる傾向が認められ、測点 $\#13$ から南部にかけて100 $\Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯が分布している。

M.C.F.は比抵抗値が高いためF.E.異常の中心部で小さい値を示し、F.E.との関連性は余りよくない。

B測線 (P L 3-3-2)

B測線で検出されたF.E.はすべて3%以下で、バックグラウンドに対し有意差がなく、異常として採用すべき値が得られていない。

比抵抗分布にはA測線から連続する300 $\Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗帯が測点 $\#15$ から北部にかけて発達している。

M.C.F.は測点 $\#13$ から北部にかけて小さな値が分布し、高比抵抗帯の分布と一致している。

また測点 $\#3 \sim \#9$ の間に100 $\Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯が分布し、A測線の低比抵抗帯に連続している。

C測線 (P L 3-3-3)

C測線のF.E.は地表下150m \sim 200mに3 \sim 4%の値が検出され、深部に発展する実測パターンを呈しているが、全般的にまとまりがないため、注目すべき異常として評価することはできない。

比抵抗分布はA、B測線に連続する高比抵抗帯の延長部が、測点 $\#14 \sim \#16$ に発達し、その北部には逆に100 $\Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯が分布している。従ってA、B測線から連続する高比抵抗帯は、C測線で縮少する傾向が認められる。また測点 $\#8 \sim \#14$ にはA、B測線から連続する100 $\Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯が把握された。

D測線 (P L 3-3-4)

D測線で検出されたF.E.異常は測点 $\#3 \sim \#4$ および $\#15 \sim \#18$ の2箇所である。

$\#3 \sim \#4$ のF.E.異常は中心に7%の高F.E.値が発達し、Fig. 3-9に示す電子計算機によるモデルパターンに対する類似性が認められる。これに対して $\#15 \sim \#18$ のF.E.異常は、逆ハの字型の実測パターンを呈し、類似性のあるモデルパターンが認められない。

比抵抗分布は測点 $\#5 \sim \#6$ および $\#14$ から北部にかけて300 $\Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗帯が分布している。また測点 $\#7 \sim \#9$ に分布する100 $\Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗帯はA、B、C測

線に連続してあらわれた $100\ \Omega - m$ 以下の低比抵抗帯に連続するが、D測線ではその規模が劣っている。

M.C.F.の分布は測点 $\#3 \sim \#4$ に30以上の値が得られF.E異常と一致している。これに対して $\#15 \sim \#18$ の直下では低い値を示しているが、これは高比抵抗帯に起因するものである。

E測線 (P L 3-3-5)

E測線で検出されたF.E.異常は測点 $\#10 \sim \#16$ 、 $\#6 \sim \#9$ の2箇所である。

このうち $\#6 \sim \#9$ のF.E.異常は、広い範囲に5~6%のF.E.が浅部に発達し、その下部には2~4%の低い値が分布する。

測点 $\#10 \sim \#16$ のF.E.異常は広範囲にわたって5~8%のF.E.が浅部から深部にかけて発達し、本調査において最も高い値を示している。

比抵抗分布はA測線の測点 $\#13$ から南部にかけて、B測線の測点 $\#3 \sim \#9$ 、C測線の測点 $\#8 \sim \#14$ 、D測線の測点 $\#7 \sim \#9$ と連続性を示す $100\ \Omega - m$ 以下の低比抵抗分布がE測線で消滅している。測点 $\#10 \sim \#16$ のF.E.異常の直下には $300\ \Omega - m$ 以上の高比抵抗帯が分布し、D測線の測点 $\#14$ に連続して北部に発達する傾向を示している。

M.C.F.については測点 $\#11 \sim \#16$ 、 $\#2 \sim \#6$ にやゝ高い値が検出されているが、F.E.異常との関連性はみられず重要視することはできない。

F測線 (P L 3-3-6)

F測線は当初2kmを計画したが、崖などが多く測量伐開が不可能なため1kmに短縮した。F.E.の分布は測点 $\#6$ を境にして北部に5%以上の値が検出されE測線に連続しているが、その南部には異常が認められなかった。

比抵抗分布はF.E.異常とほぼ同位置に $300\ \Omega - m$ 以上の高比抵抗帯が分布している。

G測線 (P L 3-3-7)

G測線で検出されたF.E.異常は測点 $\#11 \sim \#13$ および $\#15 \sim \#17$ の2箇所である。

$\#11 \sim \#13$ の異常は5~7%のF.E.が深部で縮少するV字型のパターンを示している。

これに対して $\#15 \sim \#17$ の異常は中心部に5~7%のF.E.が発達し、その両端に1~2%の低い値が分布するが、さらに下部には負の異常が認められる。

比抵抗分布は測点 $\#5 \sim \#14$ に $300\ \Omega - m$ 以上の高比抵抗帯が広範囲に分布し、浅部から深部にかけて発達している。また測点 $\#5$ から南部にかけては高比抵抗帯と低比抵抗帯が交互に発達し、複雑なパターンを呈している。F.E.異常の検出された測点 $\#15 \sim \#17$ では深部に高比抵抗値が検出され、その両端に低比抵抗値が中心部の高比抵抗部分を囲む形で分布している。

M.C.F.の分布は測点 $\#15 \sim \#17$ に大きい値が得られF.E.異常と一致しているが、他の部分については比抵抗値が高くM.C.F.の効果を表現していない。

H測線 (P L 3-3-8)

H測線で検出された F.E異常は測点 $\#3$ から南部にかけて、5~6%の値が検出されている。この異常は測線の末端に得られたもので全ぼうを把握できず結論づけることはできないが、実測パターンによると南部に発達する可能性が認められる。

比抵抗分布は F.E異常の検出されている測点 $\#3$ に $100 \Omega - m$ 以下の低比抵抗値が認められるが測点 $\#4$ から北部にかけては $300 \Omega - m$ 以上の高比抵抗帯が分布している。

M.C.Fは高 F.E., 低比抵抗値の対応によって F.E. 異常に良く一致する異常が認められる。

I測線 (P L 3-3-9)

I測線の F.E異常は測点 $\#2 \sim \#5$ に 5~6%の値が検出された。この異常は地表近くが広く、深部に移行するに従って縮小するパターンを示し、E測線で把握した測点 $\#6 \sim \#9$ の F.E異常に類似している。

比抵抗分布は測点 $\#5$ を中心に北部にかけて $300 \Omega - m$ 以上の高比抵抗帯が発達し、H測線に連続して更に北に発達する傾向を示している。

M.C.Fは測点 $\#6$ 以北に高比抵抗帯が分布しているため効果が弱く、また $\#3$ から南部にかけて高い値がみられるが、F.E異常に対応しない低比抵抗値による単独の異常である。

J測線 (P L 3-3-10)

J測線で検出された F.E異常は測点 $\#3$ から南部の末端付近にかけて発達するもので、測線の不足から全ぼうを把握することができなかった。しかし異常の中心が測点 $\#3$ の直下に位置することから南部に発達することは考えられない。

比抵抗分布によると $\#3$ 付近に発達する $100 \Omega - m$ の比抵抗値を境界にして物性的な差異が認められるが、測線の末端に位置するため南部の詳細は不明である。

M.C.Fは測点 $\#3$ を境界に南部に高い値が検出されているが、測線不足により完全なパターンを把握するまでに至らなかった。

X測線 (P L 3-3-11)

X測線は A, B, C, D, E測線の測点 $\#10$ 付近で検出された F.E異常の広がり と 正確な位置を把握する目的で設定した直交測線である。

測定結果によると比較的浅部に分布する E測線の測点 $\#10$ の F.E異常は対応する X測線の測点 $\#20$ 付近に明瞭に表現されている。その異常は X測線の測点 $\#15$ 付近の深部に発達する異常と連続するが、ここに対応する D測線の測点 $\#10$ には異常が認められない。したがって X測線の測点 $\#20$ 付近の異常には西に向って深度を増す傾向が認められる。

また X測線の測点 $\#10$ から西にかけては深部に小規模にまとまった異常が発達している。

比抵抗分布は F.E異常に密接に関係し、比較的浅部に F.E異常が抽出されている箇所には $300 \Omega - m$ 以上の高比抵抗帯が分布し、 $100 \Omega - m$ 以下の低比抵抗帯が認められる測点 $\#15$ から

西部にかけては、F.E異常が深部に発達している。

M.C.F.の分布は低比抵抗帯中で把握されたF.E異常については、対応するM.C.F.の異常で形成している。しかし高比抵抗帯の分布するところではF.E異常に対応するM.C.F.の異常が発達せず、M.C.F.の異常は明らかに比抵抗分布に影響されている。

Y測線(PL 3-3-12)

Y測線はD測線の測点 $\#3 \sim \#4$ で把握したF.E異常の広がりおよびE測線に対する連続性を確認する目的で設定した直交測線である。測定結果からF.E異常が深部で連続し、その中心が $\#3$ と $\#4$ の間に位置することが判明した。

Z測線(PL 3-3-13)

Z測線はA,B,C,D,E測線の南端部に設定した直交測線である。A,B,C,D,E測線の南端部にはF.E異常が抽出されなかったが、ダイポール-ダイポール配列では測線の末端部が測定できないことおよびD測線の測点 $\#4$ 、E測線の測点 $\#3$ 付近に発達するF.E異常の南西延長部を確認することを目的としている。

測定結果によると前述のF.E異常の南西延長部には1~2%のバックグラウンドが認められるに過ぎず、この異常はD測線でまともまっていることが判明した。また測点 $\#5 \sim \#6$ に3~4%のF.E.があらたに検出されたが、小規模でパターンにまとまりがなく異常として採用するまでに至らなかった。

3.4.2 各平面図について

F.E.平面図

PL 3-3-14からPL 3-3-16は、F.E.の深度別情報を全体的に3%以上の値についてコンター表示したF.E.平面図である。この平面図によると、D,E,F,G測線にかけてNW系を示す連続した異常帯が広範囲に発達し、その中心はE測線の測点 $\#11$ およびF測線測点 $\#8$ 間に位置している。

これに対してD測線の測点 $\#3 \sim \#4$ を中心に発達する異常は、 $n:1$ 、 $n:2$ 、で前述の異常帯と分離して表現されているが、深部の $n:3$ (PL 3-3-16)では連続する傾向を示している。

C測線から西の測線にみられる異常分布は規模が小さく、いずれも深部に発達している。また調査地区の東に位置するH,I,J測線には浅部で高く、深部で低いF.E異常の分布が認められる。

G測線北端の測点 $\#16$ を中心に検出された異常は、小規模で、前述の分布から独立している。この異常はさらに東部に発達する可能性も認められるが、測線不足で全ぼうを把握するに至らなかった。

PL 3-3-17からPL 3-3-19は見掛比抵抗の深度別情報を50, 100, 300, 500, 700 $\Omega - m$ 以上についてコンター表示した比抵抗平面図である。

300 Ω - m 以上の高比抵抗帯の分布は平面図に示されているようにNW方向に配列し、F.E.の分布に類似している。しかしF.E.異常に対応する比抵抗分布は必ずしも明瞭ではなく、とくに低比抵抗帯との相関性はあまりすぐれていない。

PL 3-3-20からPL 3-3-22がM.C.F.の分布を示した平面図である。平面図に示すようにM.C.F.の異常は、低比抵抗値と高F.E.値が一致する箇所に表現されている。しかしそれ以外の箇所については比抵抗値の影響を受けている部分が多く全般的にM.C.F.の信頼性は低い。

第4章 物理探査結果の考察

4.1 物性測定

4.1.1 測定装置

岩石、鉱石のサンプル測定で重要な点は、サンプルが地下に存在している状態にできるだけ近づけて測定することおよび測定値の再現性を確保することである。物性測定に当っては、これらの点を考慮して製作された日鉱式サンプル測定（I.P.特性）装置を使用して物性測定をおこなった。次に装置の概要（Fig.3-5）を述べる。

(1) 恒温槽およびサンプルホルダー

恒温槽は内径30×50×30cmの鉄製で、内部減圧するための真空ポンプ、水蒸気を発生するためのヒーター入り水槽、および温度計が付属している。サンプルホルダーはサンプルの大きさに対応する。サンプル接触部は径φ3.0、2.5cmの2種があり恒温槽内に4個収められる。

(2) 送信機

パーブラウン社製モデル801定電流パルス発生器、前置増巾器はサンプル測定のために開発されたもので、時間領域法、周波数領域法の両方に使用される。

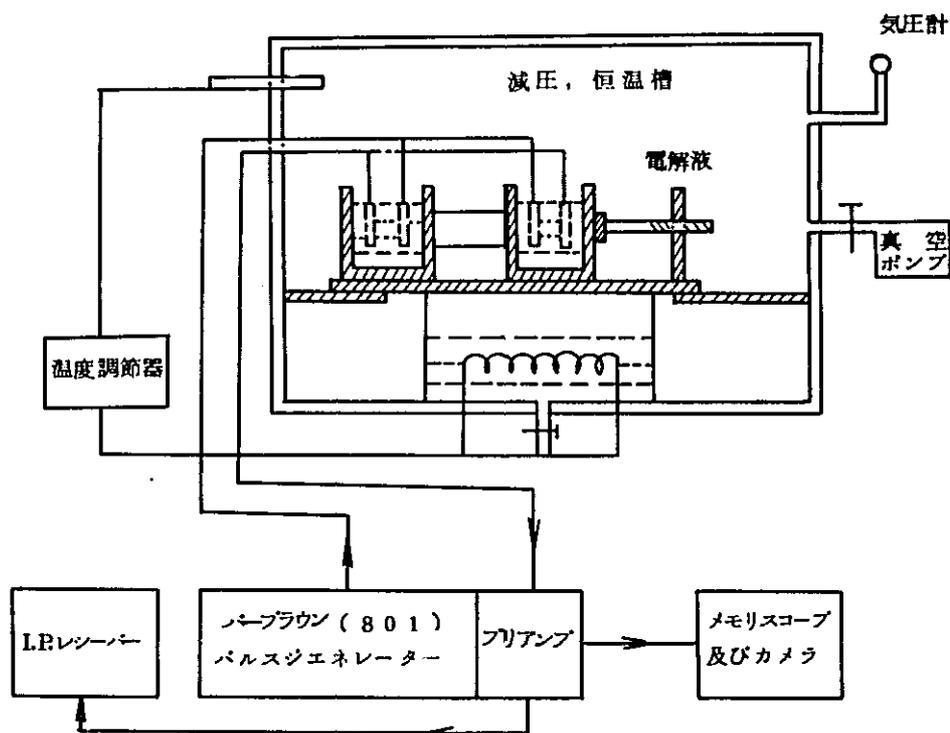


Fig. 3-5 測定装置の概要

出力は4つのレンジから成り夫々の負荷抵抗は

- 1~11 μ A レンジ 1 μ A で0~10.5M Ω
- 10~110 μ A レンジ10 μ A で0~1.05M Ω
- 0.1~1.1mA レンジ0.1mA で0~105K Ω
- 1~11mA レンジ 1mA で0~10.5K Ω

となっている。

周波数領域法で測定する場合の周波数は5つのレンジで0.01Hz から1,100Hzまで自由に選ぶことが出来る。

4.1.2 測定結果

地表の岩石サンプル採取は本地域内の代表的なもの7個について周波数効果(F.E.%)、比抵抗(Ω -m)を測定し、解析の基礎資料とした。測定結果については3表に示す。

3 表 岩石サンプル試験結果

試料番号	深度	岩 石 名	F.E.(%)	ρ (Ω -m)
①	地表	黒雲母花崗岩	4.6	7350
②	地表	ザクロ石・黒雲母片麻岩	1.0	1810
③	地表	含石墨ザクロ石・黒雲母片麻岩	1.9	2050
④	地表	含石墨ザクロ石・黒雲母片麻岩	20.9	870
⑤	地表	含石墨ザクロ石・黒雲母片麻岩 (珪化)	±0	5750
⑥	地表	角閃石・黒雲母片岩	3.2	3080
⑦	地表	閃緑岩	3.6	2330

3表の測定結果を周波数効果について検討すると、試料番号④が卓越した高いF.E.値を示している。この高いF.E.値を示す原因として、硫化鉱物およびその鉱染が推定されたが、顕微鏡観察をおこなった結果、黄銅鉱、黄鉄鉱、石墨を含有し、高いF.E.値の要因となっていることが判明した。

他の試料はいずれもF.E.値が3%以下と低く、I.P.現象に関係のある鉱物は認められない。

比抵抗値は全般的に高く800 Ω -m~7000 Ω -mを示し、実測値との間にかなりの差異がみられるが、実際には含水状態、表土層の厚さなどによる影響が加わった結果によるものである。

I.P.異常の解析には物性試験結果の他にGeoscience社が発表した「2次元構造における比抵抗、周波数効果、金属伝導係数の断面図」を引用した。Fig.3-6に2次元構造の断面解析の代表例を示す。

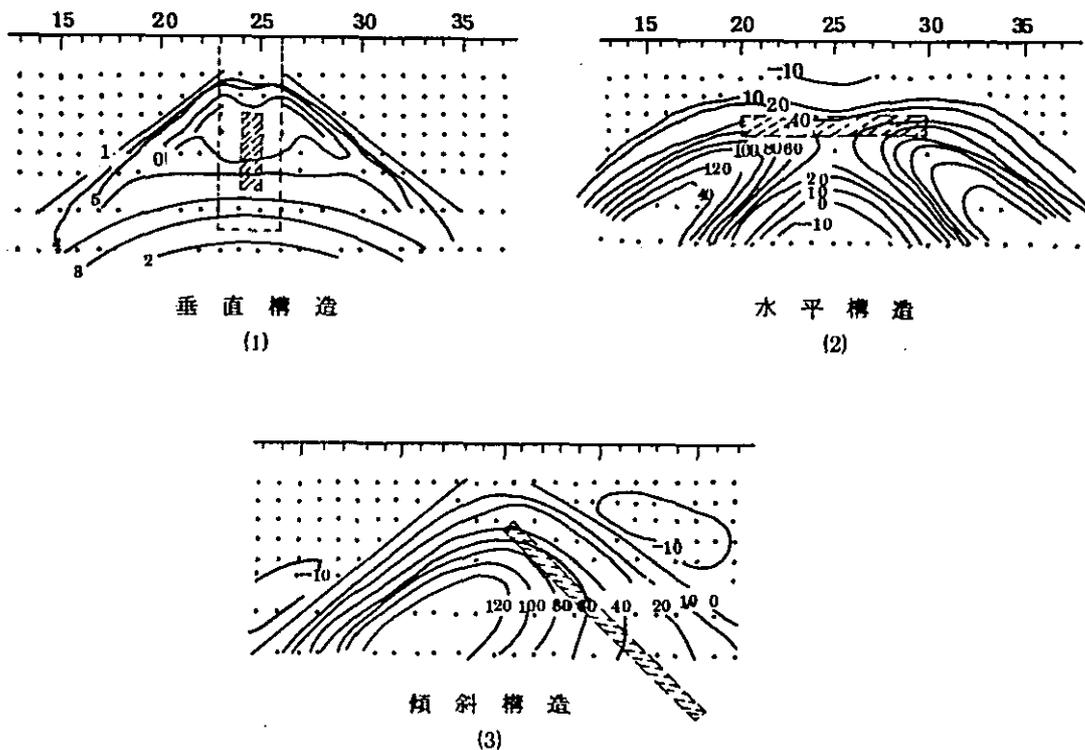


Fig 3-6 F.E.パターンの例

4.2 電磁法の考察

4.2.1 垂直ループ法

今回の測定結果では、各測線で地形の影響などによる小異常が現われ解析を不明瞭にしているが、測定値およびパターンから異常として有意差の明瞭な部分12個を抽出した。これらの異常は地下の低比抵抗帯を反映するもので、硫化鉱物などの賦存が推定される。

本地域の垂直ループ法異常を平面的に考察するとPL 3-2-1にみられるようにA, B, C, D, Lが最も有力で、その詳細は次の如くである。

Aの異常およびB異常は全体に負の異常が支配的で、相当な広がりをもっているが、この地域では地質調査で鉍化帯(S. Webose 鉍化帯)が認められており、この硫化鉍物による鉍化帯が異常として検出されたものと推定される。

C異常は幾つかの正負対の異常の組合せで表現されており、複雑なパターンを示しているが、これは鉍化帯中の硫化鉍物の濃集度に差異があることに起因するものと推定される。

D異常は比較的大きな広がりをもつものと推定されるが、南北方向の連続性については測線が

不足なため明らかではない。

E～Lの局部的な異常については、弱い鉱化帯などの低抵抗体が地表付近に存在するものと推定されるが、範囲が小さく、まとまったものは期待できない。

また、32測線にはほとんど異常が認められていないが、これは、この測線は大きな沢に沿っているため砂礫が厚く、マスキングの現象が生じていることによるものと推定される。

4.2.2 水平ループ法

インフェイズコンポーネントは地形が急峻な場合に多くの誤差（注2参照）を生じるもので、解析にあたっては比較的地形の影響を受けにくいアウトオブフェイズコンポーネントに重点をおいた。インフェイズコンポーネントはアウトオブフェイズコンポーネントに比べて異常値が大きくなる利点があり、地形の平坦な場所ではこの値も参考にして異常を抽出したが、垂直ループ法と重複した測線については同断面図の異常と関係づけて考察した。またアルガンド図による解析が可能な異常については、その異常を形成すると考えられる低抵抗体の深度、傾斜角、導電率および厚み積を算出し、考察をおこなった。考察の結果については次の通りである。

(1) PL. 3-2-10 (D測線)

測点No10でインフェイズコンポーネントに比較的顕著な異常が認められ、これに対応するディップアングルのF異常もみられるので、ここには地表近くに低抵抗体の存在が考えられ、有望地域の一つである。

(2) PL. 3-2-11 (E測線)

測点No10付近に小規模ではあるが、インフェイズコンポーネントおよびアウトオブフェイズコンポーネント共に同じパターンを示す異常が検出された。また同じ位置においてディップアングルの異常も認められる。この異常を薄い板状の低抵抗体モデルと仮定して、アルガンド図による定量解析をおこなった。定量解析には実測値としてインフェイズコンポーネント 85%, アウトオブフェイズコンポーネント -5%を用いてアルガンド図 (Fig. 3-7) から $d/r = 0.4$, $W = 25$ が得られる。ここで使用したコイル間隔 r は200フィートであるから $d/r = 0.4$ より低抵抗体の深度 d , 80フィート (24m) が算出される。

また、インフェイズコンポーネントの2個の最大値の比0.5から Fig. 3-8により低抵抗体の傾斜角として 70° が得られる。

また、導電率、厚み積 $\sigma \cdot t$ は次式で与えられる。

$$\sigma \cdot t = f \cdot W / \pi \mu_0 r$$

$$W = t \cdot s / \delta^2, \quad \delta^2 = 2 / \sigma \mu_0 \omega, \quad W = 2 t / f$$

μ_0 : 真空の誘磁率

f : 周波数

r : コイル間隔

σ : 導電率

t: 厚み

したがって、 $\sigma \cdot t = 64$ が得られる (フィート単位)

以上のごとく、この異常を形成する低抵抗体の規模として深度 80 フィート、傾斜角 70° 、導電率、厚み積 64 が得られた。

(3) PL 3-2-11 (G 測線)

測点 625 ~ 640 には、インフェイズコンポーネントに 80 呎前後の異常がみられ、比較的深部に発達する傾向を示しており、平面的にも広範囲に分布し鉱化帯などの低抵抗体が予想される。

(4) PL 3-2-12 (Y 測線)

測点 630 付近に複雑な形態を示す異常が検出されたが、これは D 測線の測点 610 付近でディップアングルの F 異常およびインフェイズコンポーネントの A_2 異常として取り上げたものに相当し鉱化帯を反映するものとして、信頼性の高いものである。

(5) PL 3-2-12 (Z 測線)

インフェイズコンポーネントに不自然な異常値が数多く現われているが、これはこの測線の地形が非常に急峻なことに起因するものと推定される。したがって、インフェイズコンポーネントを解析することは困難であるが、アウトオブフェイズコンポーネントとの関係でみると地形の平坦な測点 62 および 613 の異常は局部的な異常と考えられる。

次に、水平ループ法の平面解析結果のうちで、インフェイズコンポーネントおよびアウトオブコンポーネントの異常について考察する。

(1) インフェイズコンポーネントの平面図 (PL 3-2-13)

A_1 異常はまとまったもので、負異常に対する正異常の対応もよく鉱化帯などの低抵抗帯が広く分布するものと考えられる。

A_2 異常は顕著な負異常としてあらわれており、ディップアングルの異常ともよく対応している。まとまったものが期待されるが、 A_3 および A_4 異常についてはあまり期待できない。

(2) アウトオブフェイズの平面図 (PL 3-2-14)

アウトオブフェイズコンポーネントは比較的地形の影響を受けにくいので、ここで抽出した A_1 ~ A_4 の異常はインフェイズコンポーネントに比べ、より信頼しうるものである。

しかし、これらの異常は、インフェイズコンポーネントの異常およびディップアングル異常との対応性が明瞭でないので、鉱床探査上それ程高く評価できない。

注 1 水平ループ法の誤差については次のものが指摘される。

(1) 測定コイル間隔 r が實際上 r_a であつた場合。

$|1 - (r/r_a)^2| \times 100\%$ の誤差を生じる。例えばコイル間隔の誤差 2% のとき 6% の測定誤差

(2) 両コイルが同一平面上になく、角度 δ をなす場合。

$(1 - \cos \delta) \times 100\%$ の誤差を生じる。例えば $\delta = 8^\circ$ の誤差で 1% の測定誤差。

(3) 地形が α° の単傾斜をしている場合。

$(1-3\sin^2\alpha)\times 100\%$ の誤差を生じる。例えば $\alpha=8^\circ$ の傾斜で5.8%の測定誤差。水平ループ法ではこれらの誤差が生じることがわかっている。したがって、地形が急峻な場合には、これらの誤差が重なりあつて、非常に複雑な誤差を生じるものと考えられるので、結果解釈の際注意しなければならない。実際の測定では、コイル間隔はケーブルを使用しているので、長くなることはなく必ず短くなる。したがって、この長さが短くなることにより生じる誤差は、インフェイズコンポーネントを大きくし、また角度の誤差は逆に必ずインフェイズコンポーネントを小さくする。その結果として地形が悪い場合のインフェイズコンポーネントの誤差は複雑なものとなり、これをさけるのは一般に不可能である。したがって、水平ループ法はできるだけ地形の平坦な地域で実施することが望ましい。

注2 導電率・厚み積 (conductivity-thickness product)

水平ループ法の解析結果として用いられるものであり、鋳体の導電率と厚さの積を表現する量である。何らかの手段で鋳体の厚さあるいは導電率(又は比抵抗)のどちらか一方が求められる場合には他の一方が決定される。

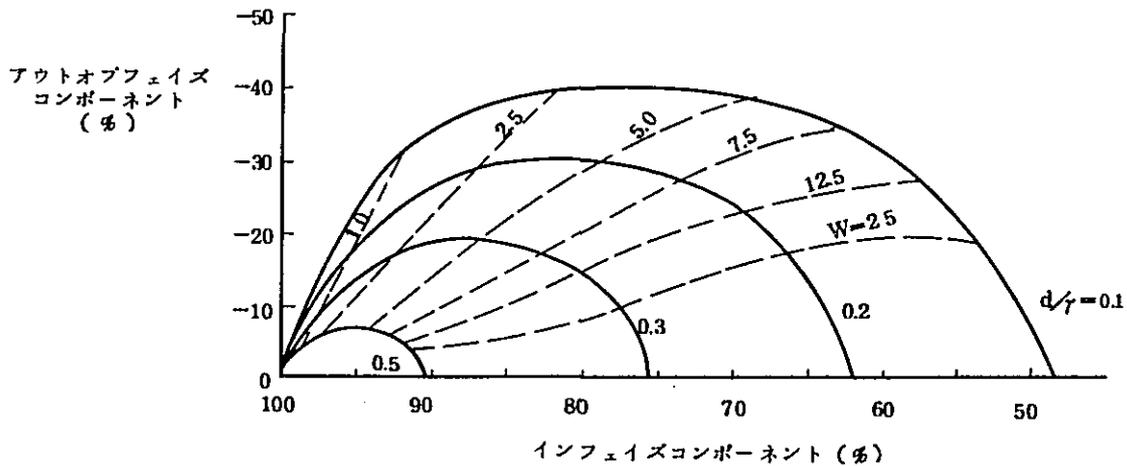


Fig. 3-7 アルガント図

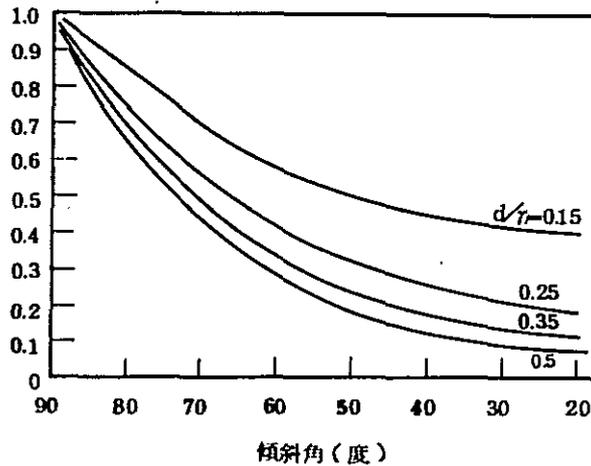


Fig. 8-8 インフェイズコンポーネントの最大値の比

4.3 強制分極法の考察

本調査地域は人工ノイズがなく、また地層供給電流も多く流すことができた。したがって測定状態は全般的に良好で、満足すべきデータが得られている。

後述するように、本調査地域では3本の試錐を実施しているが、そのうち2本がF.Eの示徴を対象としたものである。その結果によると、強弱の差異はあるが、3本の試錐すべてが硫化物の鉱染帯を把握している。こうした硫化物は当然F.E効果を有するから、本地区のF.E異常が鉱染状の硫化物に起因することは確実である。

本地域のF.E示徴を平面的に考察すると、PL. 3-3-14からPL. 3-3-16にみられるようにD, E, FおよびG測線に連続する示徴帯が最も有力で、東西方向に約1.5 km、南北方向に約1.2 kmにおよぶ規模を有している。この示徴帯は今回の地質調査によって把握したS. Webose 鉱化帯とよく一致し、明らかにこの鉱化帯を表現するものと推定される。またD測線の測点 α 3～ α 4付近を中心に発達する異常はFig. 8-9に示したモデルパターンを用いて解析すると鉱化帯の規模は小さく垂直に近い傾斜を示し深部に発達する可能性が考えられ、水平への広がりには期待できない。これに対して、東部のH, IおよびJ測線に発達するF.E. 示徴は、EW系の方向性を示し、PL 3-3-15にみられるように浅部でS. Weboseの示徴帯に対する連続性が認められる。しかしこの示徴はPL 3-3-16に示すように深部に発達せず、また浅部でも規模が小さいことから前述の示徴帯と同じ性質の鉱化帯と判断することはむずかしい。

比抵抗値は全体的に、 $50 \Omega - m$ から $700 \Omega - m$ の範囲内にあり、強制分極法として最も測定条件のよい比抵抗値を示している。こうした比抵抗分布の中で、 $300 \Omega - m$ 以上の高比抵抗帯がF.Eの異常とほぼ対応し、NW方向の配列が認められる。また $100 \Omega - m$ 以下の低比抵抗

抗帯に対応する F.E.異常も認められるが、規模も小さく明瞭でない。こうした現象は実際の野外測定にしばしばみられるが、とくにポフィリー-カッパー型の鉱床にその例が多い。

100Ω-m以下の比抵抗帯は、A測線の測点 $\#$ 13から南部にかけて、B測線の測点 $\#$ 3から $\#$ 9、C測線の測点 $\#$ 8から $\#$ 14および、D測線の測点 $\#$ 7から $\#$ 9にかけて連続性が認められる。また、H、IおよびJ測線のいずれも測点 $\#$ 3付近に発達する100Ω-mの等比抵抗線を境界として、北部で高く南部で低い比抵抗分布が認められる。こうした比抵抗分布の形態を規制するものの一つに地形の影響も考えられるが、このうち測点 $\#$ 3付近はF.E.の大きく変化する部分に相当し、変質作用あるいは粘土化作用などによる、比抵抗変化も予想される。

本地区のM.C.F.の異常は低比抵抗と高F.E.の対応するところに発達するが、本地区ではF.E.の示徴が比抵抗分布とよい相関を示さず、むしろ高比抵抗帯に対応する傾向が強い。このようにして、M.C.F.異常は鉱化変質作用などを指示するものではないと考えられる。

今回の調査で把握されたF.E.示徴をそれぞれの断面図をもとに考察する。

(1) D測線測点 $\#$ 3～ $\#$ 4示徴

この示徴についてはFig. 3-9に示したモデルパターンを推定し、電子計算機による解析を行なった結果類似性が認められ、さらにモデルパターンから推定される鉱化帯は垂直性で、その中心部は測点 $\#$ 3と $\#$ 4の中間に位置する。

なおこの異常に対して試錐探鉱(DH-3試錐)が実施され、その結果によれば深度15mから130mにかけて微弱な硫化鉱物の鉱染が認められている。したがってこの付近の示徴が、こうした鉱染状の硫化鉱物を表現していることはほぼ確実である。

(2) D測線測点 $\#$ 15～ $\#$ 18示徴

この示徴は類似性のあるモデルパターンにより解析が困難であり、複雑な地下構造が推定されるが、実測パターンによると鉱化帯として地表近くに発達する水平導電体が推定され、この鉱化帯は深部への発展性にとぼしく、また広がりも小さいので北部に対しても多くを期待することはできない。

(3) E測線測点 $\#$ 6～ $\#$ 9示徴

この示徴は浅部に5%～6%のF.E.が広範囲にわたって分布し、その下部に2%～4%の低F.E.値が認められる。これは強制分極法特有の高F.E.値と低F.E.値の組み合わせで、モデル実験などに現われる現象に類似している。したがってこの示徴は有力なものと判断され、地表下100m以内に中心を有するものと推定される。この示徴に対して測点 $\#$ 7付近にDH-2試錐を実施したが、その結果地表から深度100mの間に硫化鉱物の鉱染体を把握している。したがって本地区では5%以上のF.E.示徴が硫化鉱物を主とする鉱化帯を表現する可能性が高く、こうした示徴に注目する必要がある。

(4) E測線測点№10～№16示徴

この示徴には、本調査地区で最も高いF.E値が浅部から深部にかけて発達している。このF.E.は実測パターンにまとまりがないため賦存深度は不明である。なおこの示徴の北部でF.E.が縮小する傾向を示すことから、北部に対する鉱化帯の延長は期待できない。

(5) F測線測点№6から北部に発達する示徴

この示徴は北部に発達する可能性の高い実測パターンを呈し、全ぼうを把握するまでに至らなかったが、隣接するE測線の示徴に連続するところに注目すべきである。

(6) G測線測点№11～№13示徴

この示徴はV字型の実測パターンを呈していることから、地表付近に発達する鉱化帯を表現するものと推定され、深部に対する発展性はあまり期待できない。

(7) G測線測点№15～№17示徴

この示徴には負異常が認められ、傾斜したモデルパターンに近似した実測パターンを示しているが、規模が小さく他の測線に対する連続性が不明なため詳細が明らかでない。

なお負のF.E.は特異な現象で、粘土や断層帯などが存在する場合に、正のF.E.示徴に極く接近して小さな負のF.E.が分布することがある。また地下に著しく高い比抵抗帯が存在する場合に、大きな負のF.E.がでる例なども知られているが、G測線にみられる負のF.E.については前者によるものと推定される。

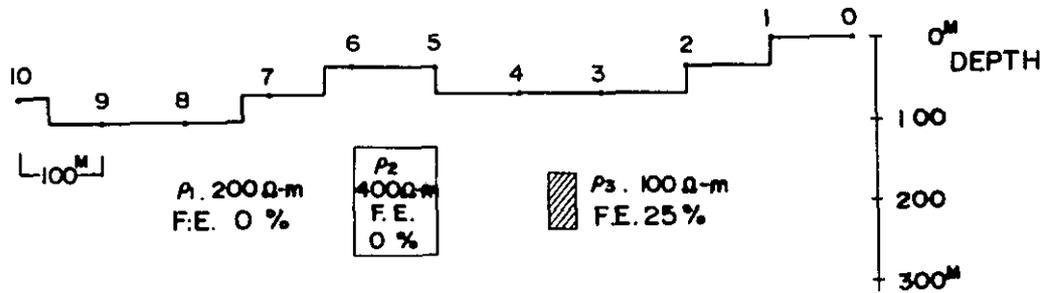
(8) H,I,J測線の南部で把握された示徴

この示徴は共通して、実測パターンに浅部で広く深部で縮小する傾向が認められる。とくにI測線の示徴はE測線の測点№6～№9の示徴に類似している。したがって鉱化帯の中心部は地表下100m以内にあると推定されるが、深部に発達する可能性は予想されない。

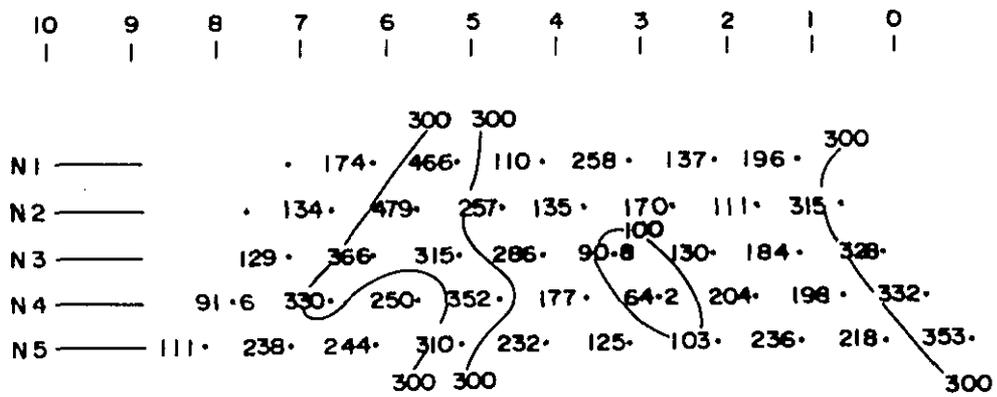
(9) A,B,C測線について

A,B,C測線には示徴は認められないが、特に地表付近にはほとんどF.E.の異常が発達していない。これは地表付近に鉱染状の黄鉄鉱を初めとする硫化鉱物が分布しないことを示唆するものである。

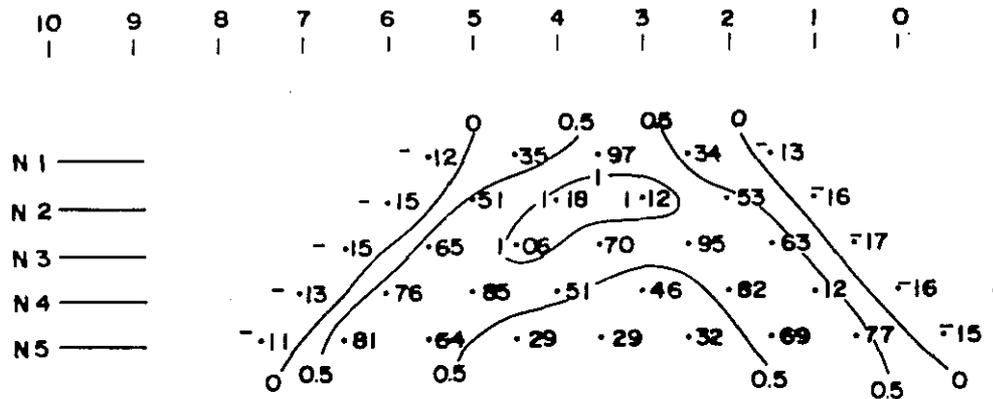
二次元構造における比抵抗，周波数効果



DIPOLE-DIPOLE RESISTIVITY; ρ (Ω -m)



DIPOLE-DIPOLE FREQUENCY EFFECT; F.E. (%)



第 4 部 試 錐 探 鉞

第 1 章 試錐探鉱の概要

試錐探鉱は、S. Bomba 地域で実施された地質調査、地化学探査、物理探査の結果から選択された鉱床胚胎有望地域の S. Webose 鉱化帯を対象とし、本鉱化帯下部の鉱況把握を目的としている。

実施した試錐は、3 孔で深度は各孔 130 m 総延長 390 m である。

本調査の期間は、序論に述べた期間と同一である。

第2章 試錐工法および使用機械

本調査で実施した試錐工法は、ロータリー式によるコアリング工法である。またビットは小孔径でも高いコア採取率が得られるダイヤモンドビット（ボルト）を使用した。なお掘進中は孔壁の崩落、逸水等にそなえ、ベントナイト泥水を常時使用した。

使用した機種名は4-1表の通りで、掘進可能深度は400mである。なお補助器具については省略した。

4-1表 使用試錐機一覧表

名 称	機 種	公称能力, 型式, 規格, 仕様	数量
試錐機	TF-2 (利根)	掘進能力	400m
		機体寸法 高	1,380mm
		長	2,200mm
		巾	1,000mm
		重量(除原動機)	1,180kg
	スイベルヘッド	スピンドル回転数 300 750 1,500 r.p.m. 200 500 1,000 r.p.m.	
	捲揚装置	型式 プラネタリギヤ式 ドラム径	220mm
	ドラム巾	153mm	
オイルポンプ	型式 吐出量可変型 吐出量 10~40 l/min 圧力 最高 50kg/cm ² 常用 10~40kg/cm ²		
試錐機用 エンジン	2TR22L (ヤンマー)	ディーゼルエンジン 回転数 1,800~2,000 r.p.m. 定格出力 18P.S.	1台
試錐ポンプ	NB ₃ -60 (利根)	複動単連ピストンポンプ 重量(除原動機) 160kg	1台

名 称	機 種	公称能力, 型式, 規格, 仕様	数 量
ポンプ用 エンジン	NS-65C (ヤンマー)	ピストン径 65% ストローク 0~60% 容 量 0~50ℓ/min 最大圧力 40kg/cm ² 4サイクル横型水冷式 回転数 1,800~2,000 r.p.m. 定格出力 5.5 PS.	1台
マッドミキサー	MCE-100A (利根)	立型高速度ミキサー タンク容量 130ℓ 攪拌容量 100ℓ 回転数 800~1,000 r.p.m.	1台
ミキサー用 エンジン	NS-65C (ヤンマー)	ディーゼルエンジン 4サイクル横型水冷式 回転数 1,800~2,000 r.p.m. 定格出力 5.5 PS.	1台
揚水ポンプ	NB ₃ -60 (利根)	(試錐ポンプと同じ)	1台
揚水ポンプ 用エンジン	NS-65C (ヤンマー)	(試錐ポンプ用エンジンと同じ)	1台
試錐槽	鉄製3脚式	鉄パイプ製(シート付) 高 さ 6 m 耐荷重 4 ton	1基

名 称	機 種	公称能力, 型式, 規格, 仕様	数 量
発 電 機	YSG-1.5	1.5 KW, 1.5 KVA 電 圧 100V 電 流 15A	1 台
発電機用 エンジン	NS-400	ディーゼルエンジン 回転数 2000 r.p.m. 定格出力 4 P.S.	1 台
ドリルロッド		D.C.D.M.A. AW - 3 m	70 本
ケーシング パイプ		D.C.D.M.A. NX - 3 m	7 本
"		" BX - 3 m	20 本
"		" AX - 3 m	47 本

第 3 章 試 錐 位 置 の 選 定

試錐位置は、本調査に先行して実施された地質調査、地化学探査、および物理探査（E. M.法、I.P.法）の結果を総合的に判断して選定した。しかし実際には、地形上の制約が多く、最適な場所で実施することは不可能であり、現地では機械の運搬が可能なかぎり最適位置に接近し、試錐探鉱を実施するように努めた。また掘進深度については、46年度の調査結果から決定されたもので3孔共に130mの垂直孔である。

3本の試錐位置選定理由ならびに経過は次の通りである。

第1号試錐（名称：DH-1，位置：S1°18'11"，E120°11'32"）

DH-1の位置決定は、地質調査結果をもとに決定したもので、試錐を実施した位置はS. Webose 鉍化帯西縁の硫化鉍物鉍染露頭部である。

第2号試錐（名称：DH-2，位置：S1°18'0"，E120°11'18"）

DH-2の位置決定は、すでに実施されているE.M.法、I.P.法の結果により、S. Webose 鉍化帯中に認められたI.P.示徴帯に対し、地形条件等を検討しながら、I.P.法E測線、測点No.7に決定した。本位置はDH-1に見られる珪化帯と、DH-1北西1.2km付近に存在する珪化帯の中間に位置し、地質的にも興味深い地点であった。

第3号試錐（名称：DH-3，位置：S1°18'12"，E120°10'58"）

以上に述べたDH-1およびDH-2が、S. Webose 鉍化帯の周縁部に位置するのに比べ、DH-3は、S. Webose 鉍化帯の中心部から離れ、独立して検出されたI.P.異常値の解明を目的とし、I.P.法D測線、測点No.3地点で実施すべく計画した。しかし実際には、地形が急峻なため、機械の運搬が困難であったので、異常帯の中心から150m北西に離れた位置で実施した。

第4章 試錐結果

4.1 掘進状況

本試錐探鉱の実施にあたっては、当初硬岩、軟岩のいずれの岩質にも適用できるようあらかじめカッティングオイル、ベントナイト等の循環用剤を使用するとともに、工法は浅孔であったため、コアの高率採取をうるため、普通工法を用いた。また掘進作業は、2方制を採用し、技術者の配置は各方に日本人1名、G.S.I.1名をそれぞれの作業班にあて、双方の協力により、作業の円滑化を計った。

全般的にみた試錐状況は上部より変質作用による軟弱岩が多く、加えて湧水、逸水を頻繁に伴った。したがって作業は予想外に難行した。

作業環境は試錐位置が沢沿いを主としたため、雨期に入って増水期に機器が冠水するという事態をともなつた。

3孔の掘進状況は次の通りである。

DH-1孔

掘進開始にはNXメタルビットを使用した。表土9.7mで着盤したので、BXケーシングパイプを挿入し、BXダイヤモンドビットに切換え掘進を継続した。

岩質は全般的に悪く数ヶ所に崩壊が認められ、ベントナイト泥水を使用して、予定深度130mまでを掘進した。

DH-2孔

掘進開始にはNXメタルビットを使用した。表土10.5mで着盤したのでBXダイヤモンドビットに切換えた。

25m付近から崩壊が激しくなり37.4mでAXケーシングパイプを挿入した。

以下AXダイヤモンドビットで掘進をおこなったが、56mより岩質が悪化し、回転数、掘進速度、送水量などを調整してコア採取に努めたが、好結果が得られず、スライム判定により掘進を継続し130mの予定深度に達して終了した。

DH-3孔

掘進開始にはNXメタルビットを使用した。表土6.5mで着盤したのでBXダイヤモンドビットに切換えた。

28m付近から崩壊が激しくなりロッドの揚卸が困難となったのでAXケーシングパイプを挿入した。

以下AXダイヤモンドビットで掘進をおこなったが、64mで湧水層(150ℓ/min)に遭遇した。さらに101m付近よりは硬、軟岩の互層で、ほとんどコア採取が出来ずスライム判定により掘

進を継続し、130 mの予定深度に達して終了した。

4-2, 4-3, 4-4表に各孔の地質, 掘進状況を示す。

4-2表 DH-1孔の掘進状況

掘進延長 130.00 m
岩芯長 67.00 m

深度 M	地質 柱状図	掘進記事		深度 M	地質 柱状図	掘進記事		深度 M	地質 柱状図	掘進記事				
		岩質	掘進状況			岩質	掘進状況			岩質	掘進状況			
10		表土 砂礫	0~9.7Mまで NXメタル ビット使用	50		+	+	100						
			表土9.7M									母岩質粘 土化)	ザクロ石 黒雲母 片麻岩 (角礫化) 粘土化	
			9.7Mより BXケー シング挿入									BXダイヤモンド モンドビット 使用	黒雲母 花崗岩	粘土
			9.7M BXダイヤ モンドビット 使用									ベントナイト 泥水使用	ザクロ石 片麻岩 (強珪化)	BXダイヤモンド ビット使用
			ベントナイト 泥水使用										(角礫化)	ベントナイト 泥水使用
20		変閃緑岩		70	+	+	120							
											黒雲母 花崗岩	ザクロ石 片麻岩 (強珪化)		
30		変閃緑岩		80	+	+	130							
40		35m~38m Cu<0.01% S 0.16%		90	+	+								
											黒雲母花崗岩	97m~98m Cu<0.01% S 0.14%	ザクロ石 黒雲母 片麻岩	
											粘土			
											変閃緑岩			

4-3表 DH-2孔の掘進状況

掘進延長 130.00 m
岩芯長 28.80 m

深度 M	地質柱 状図	掘進記事		深度 M	地質 柱状図	掘進記事		深度 M	地質 柱状図	掘進記事		
		岩質	掘進状況			岩質	掘進状況			岩質	掘進状況	
10		表土	表土10.5m	56.0mより 岩質悪化 ベントナイト 泥水使用 ベントナイト 泥水使用	~	黒雲母 片麻岩 67~71m Cu 0.02% S 1.30% ザクロ石・ 黒雲母 片麻岩 粘土 黒雲母 片麻岩 粘土 95.4~95.8m Cu< 0.01% S 0.28%	56.0mより 岩質悪化 ベントナイト 泥水使用 ベントナイト 泥水使用	~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~	ザクロ石・ 黒雲母 片麻岩	掘進状況		
		砂礫			10.5mよりBX ケーシング 挿入						~	ザクロ石・ 黒雲母 片麻岩 (強珪化)
		黒雲母 花崗岩	BXダイヤモンド ビット使用		~						角閃石・ 黒雲母 片麻岩	
		黒雲母 片麻岩	ベントナイト 泥水使用		~						125~ 130m Cu <0.01% S 0.19%	
		黒雲母 片麻岩	25.0m崩壊多 く掘進困難		~							
		黒雲母 花崗岩			~							
		黒雲母 花崗岩			~							
		黒雲母 片麻岩			~							
		黒雲母 片麻岩			~							
		黒雲母 片麻岩			~							
20		黒雲母 片麻岩	37.4m AXケ ーシング挿入 AXダイヤモンド ビットに切 換掘進	56.0mより 岩質悪化 ベントナイト 泥水使用 ベントナイト 泥水使用	~	黒雲母 片麻岩 粘土 黒雲母 片麻岩 粘土 95.4~95.8m Cu< 0.01% S 0.28%	56.0mより 岩質悪化 ベントナイト 泥水使用 ベントナイト 泥水使用	~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~	ザクロ石・ 黒雲母 片麻岩 角閃石・ 黒雲母 片麻岩 125~ 130m Cu <0.01% S 0.19%	掘進状況		
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
30		黒雲母 片麻岩	37.4m AXケ ーシング挿入 AXダイヤモンド ビットに切 換掘進	56.0mより 岩質悪化 ベントナイト 泥水使用 ベントナイト 泥水使用	~	黒雲母 片麻岩 粘土 黒雲母 片麻岩 粘土 95.4~95.8m Cu< 0.01% S 0.28%	56.0mより 岩質悪化 ベントナイト 泥水使用 ベントナイト 泥水使用	~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~	ザクロ石・ 黒雲母 片麻岩 角閃石・ 黒雲母 片麻岩 125~ 130m Cu <0.01% S 0.19%	掘進状況		
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
40		黒雲母 片麻岩	37.4m AXケ ーシング挿入 AXダイヤモンド ビットに切 換掘進	56.0mより 岩質悪化 ベントナイト 泥水使用 ベントナイト 泥水使用	~	黒雲母 片麻岩 粘土 黒雲母 片麻岩 粘土 95.4~95.8m Cu< 0.01% S 0.28%	56.0mより 岩質悪化 ベントナイト 泥水使用 ベントナイト 泥水使用	~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~	ザクロ石・ 黒雲母 片麻岩 角閃石・ 黒雲母 片麻岩 125~ 130m Cu <0.01% S 0.19%	掘進状況		
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	
		黒雲母 片麻岩									~	

4-4表 DH-3孔の掘進状況

掘進延長 1300.0 m
岩芯長 188.0 m

深度 M	地質 柱状図	掘進記事		深度 M	地質 柱状図	掘進記事		深度 M	地質 柱状図	掘進記事	
		岩質	掘進状況			岩質	掘進状況			岩質	掘進状況
10		表土	表土 6.5 m	50				-100			
		黒雲母片麻岩									
		黒雲母片麻岩									
		黒雲母片麻岩									
		黒雲母片麻岩									
		黒雲母片麻岩									
		黒雲母片麻岩									
		黒雲母片麻岩									
		黒雲母片麻岩									
		黒雲母片麻岩									
20			15.5mよりBXケーシング挿入 BXダイヤモンドビット使用	60				-110		黒雲母	101m付近より軟、硬岩の互層にて掘進困難
30			28.5mよりAXケーシング挿入 AXダイヤモンドビットに切替掘進	70				-120		石英斑岩	
40				80			69~75m Cu <0.01% S 0.33%	-130			
40				90				-130			

4.2 各孔の地質状況 (Appendix 4 参照)

DH-1 孔

本孔では、厚さ約 10 m の表土、砂礫層の下に優白色片麻岩、変閃緑岩、黒雲母花崗岩および優白色片麻岩が順次認められる。優白色片麻岩は片麻状構造が明瞭で水平面に対して $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ の傾斜を示している。黒雲母花崗岩は優白色片麻岩および変閃緑岩を各所で貫いている。

変閃緑岩は帯緑暗灰色を呈し、鏡下で斜長石、普通輝石、黒雲母、ザクロ石および石英により主として構成され、角閃石、褐簾石、緑泥石および濁沸石を伴う。

黒雲母花崗岩は中等粒状で斜長石はモンモリロナイトに、黒雲母は緑泥石に変質している場合が多い。

優白色片麻岩はザクロ石を含むものが多く、鏡下では、石英、斜長石、黒雲母、ザクロ石、普通輝石等が認められる。

本孔では深度 107.5 m から孔底 (130.0 m) 間に強珪化帯が認められ、上部に向って順次絹雲母-緑泥石帯および緑泥石-(モンモリロナイト)帯が、さらに孔口付近では弱珪化作用が認められる。主としてこれらの珪化帯、絹雲母-緑泥石帯中には硫化鉱物の弱鉱染が認められるが、その品位は低く、35.0 m ~ 38.0 m で銅 0.01 % 以下、硫黄 0.16 %、91.0 m ~ 98.0 m で銅 0.01 % 以下、硫黄 0.14 % にすぎない。

深度 41 m、106 m、112 m 付近の 3 個所に幅 0.2 m ~ 1.5 m の断層破碎帯があり、モンモリロナイト、緑泥石、濁沸石等が認められる。

DH-2 孔

本孔では深度約 10 m まで表土、砂礫層が見られ、以下主として優黒色片麻岩が孔底まで続く。この優黒色片麻岩を貫いて、10.5 m ~ 11.5 m、および 31.8 m ~ 34.5 m に黒雲母花崗岩が認められる。優黒色片麻岩は深度 11.0 ~ 31.8 m 間では $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ の傾斜を示し、35 m 以深では $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ の傾斜を示す。

優黒色片麻岩は肉眼的に暗灰色を呈し、鏡下では石英、斜長石、黒雲母を主成分鉱物とし、ザクロ石を含まない片麻岩が多い。黒雲母花崗岩は中等粒状で硫化鉱物の弱鉱染が認められる。

本孔では深度 101 m から 107 m にかけて強珪化帯が認められ上部に向って絹雲母-緑泥石帯、緑泥石-(モンモリロナイト)帯が認められる。また強珪化帯の下部は岩芯採取率が悪化し岩芯が得られなかったが、スライムの X 線回折結果では緑泥石-(濁沸石)の組合せを示している。主として珪化帯および絹雲母-緑泥石帯に硫化鉱物の弱鉱染が認められる。しかしその品位は 67.0 m ~ 71.0 m で銅 0.02 %、硫黄 1.30 %、95.4 m ~ 95.8 m で銅 0.01 % 以下、硫黄 0.28 %、125.0 m ~ 130.0 m で銅 0.01 % 以下、硫黄 0.19 % と非常に低い。

深度 80.1 m ~ 82.5 m、および 86.9 m ~ 91.1 m には断層破碎帯があり、石墨、モンモリロナイト、緑泥石、濁沸石が認められる。

DH-3孔

本孔では、深度6.5 mまでの表土、砂礫層に続いて、優黒色片麻岩、黒雲母花崗岩、優黒色片麻岩および黒雲母・角閃石・石英斑岩が認められる。優黒色片麻岩は各所で黒雲母花崗岩に貫かれ、上部では傾斜35°の片麻状構造を呈し、下部では50~60°の傾斜の片麻状構造が認められる。

優黒色片麻岩は肉眼的に暗灰色を呈する黒雲母片麻岩を主とする。黒雲母花崗岩は中等粒状を呈し、鏡下では、主として石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、角閃石により構成されるのがみられる。斜長石の一部は外縁がカリ長石に変わり、黒雲母は緑泥石化している場合が認められる。黒雲母・角閃石・石英斑岩は淡緑灰色を呈し、鏡下では斑晶として熔融石英、斜長石、緑泥石化黒雲母、緑泥石化、緑簾石化角閃石を含み、石基は石英と斜長石からなり、文象構造およびグラノフィリック構造を示す。

本孔では下部の主として黒雲母・角閃石・石英斑岩が緑泥石-緑簾石相（プロピライト化帯）を示し、本孔の上部は緑泥石相を示す。

本孔ではほぼ全岩芯中に微弱な硫化鉍物鉍染が認められるが、品位は69.0 m~75.0 mで銅0.01%以下、硫黄0.33%、114.0 m~115.0 mで銅0.01%以下、硫黄0.09%である。

4.3 試錐結果の考察

3孔の試錐柱状図（Appendix 4）と地質図（PL1-1）から、各孔を通る地質断面図を作製した（Fig. 4-1）。この図に見られるように、DH-1孔では優白色片麻岩を本孔の近傍に露出する閃緑岩および黒雲母花崗岩が貫いている。DH-2孔では優黒色片麻岩を黒雲母花崗岩の小岩脈が貫いている。DH-1孔とDH-2孔の間には地表調査からも推定された断層の存在が考えられる。DH-3孔の上部では花崗岩中に優黒色片麻岩の捕獲岩が認められ、これは地表の近傍に見られる捕獲岩の延長部と考えられる。また深度約100 m以深に見られる黒雲母・角閃石・石英斑岩は地表での分布は認められず、花崗岩形成以后に貫入したものと推定される。

試錐孔に認められる変質帯と地表に分布する変質帯、鉍化帯との関係はFig. 4-2にS. Webose 鉍化帯断面図として表現されている。すなわち、硫化鉍物鉍染帯にはほぼ一致して絹雲母-緑泥石帯が分布し、この帯の中に数個所の小規模な珪化帯が含まれている。絹雲母-緑泥石帯の外側には緑泥石-（モンモリロナイト）帯が取りまき、絹雲母-緑泥石帯との境界面は一般に急傾斜すると判断される。またDH-3孔の下部に認められるプロピライト化変質帯は、黒雲母・角閃石・石英斑岩の活動による熱水変質作用によるとも考えられるが、ここでは前述の変質帯の最外側に分布するプロピライト化帯として取扱う。

以上のようにS. Webose 鉍化帯に伴う熱水変質作用には、中心部から外側に向って次の累帯

配列が認められる。

- (1) 石英-絹雲母-カリ長石帯
 - (2) 絹雲母-緑泥石帯
 - (3) 緑泥石-(モンモリロナイト)帯
 - (4) 緑泥石-緑簾石帯(プロピライト化帯)
- }カリウム富化帯

また鉍化帯の形はカリウム富化帯の形とほぼ一致し、その外側の緑泥石-(モンモリロナイト)帯とは急傾斜で接する。この事実は物理探査の結果ともよく一致する。すなわち、S. Webose 鉍化帯におけるLP異常は表層から深度200mに至るまで、その形と強度はほぼ一定であり、鉍化帯の境界は急傾斜していることを示唆して、地質調査および試錐探査による結果と一致する。

試錐結果と地質調査結果および物理探査結果を総合すると、S. Webose 鉍化帯の地表の形態は下部に向かってもほとんど変わらない。即ち、鉍化帯の傾斜は急角度をなすことが判明した。試錐孔DH-1, およびDH-2においては、品位は最高で銅0.02%, 硫黄1.30%, 他は銅0.01%以下, 硫黄0.2%程度にすぎない。また、DH-3孔に認められる微弱な鉍化作用は石英斑岩の貫入による局所的な現象と考えられる。これらの試錐孔において下部に向っての銅品位の上昇は認められず、二次富化作用の存在は考えられない。

Fig. 4-1 Geological Cross Section along DH-1, DH-2 and DH-3 (V; 1: 5,000) (H; 1:10,000)

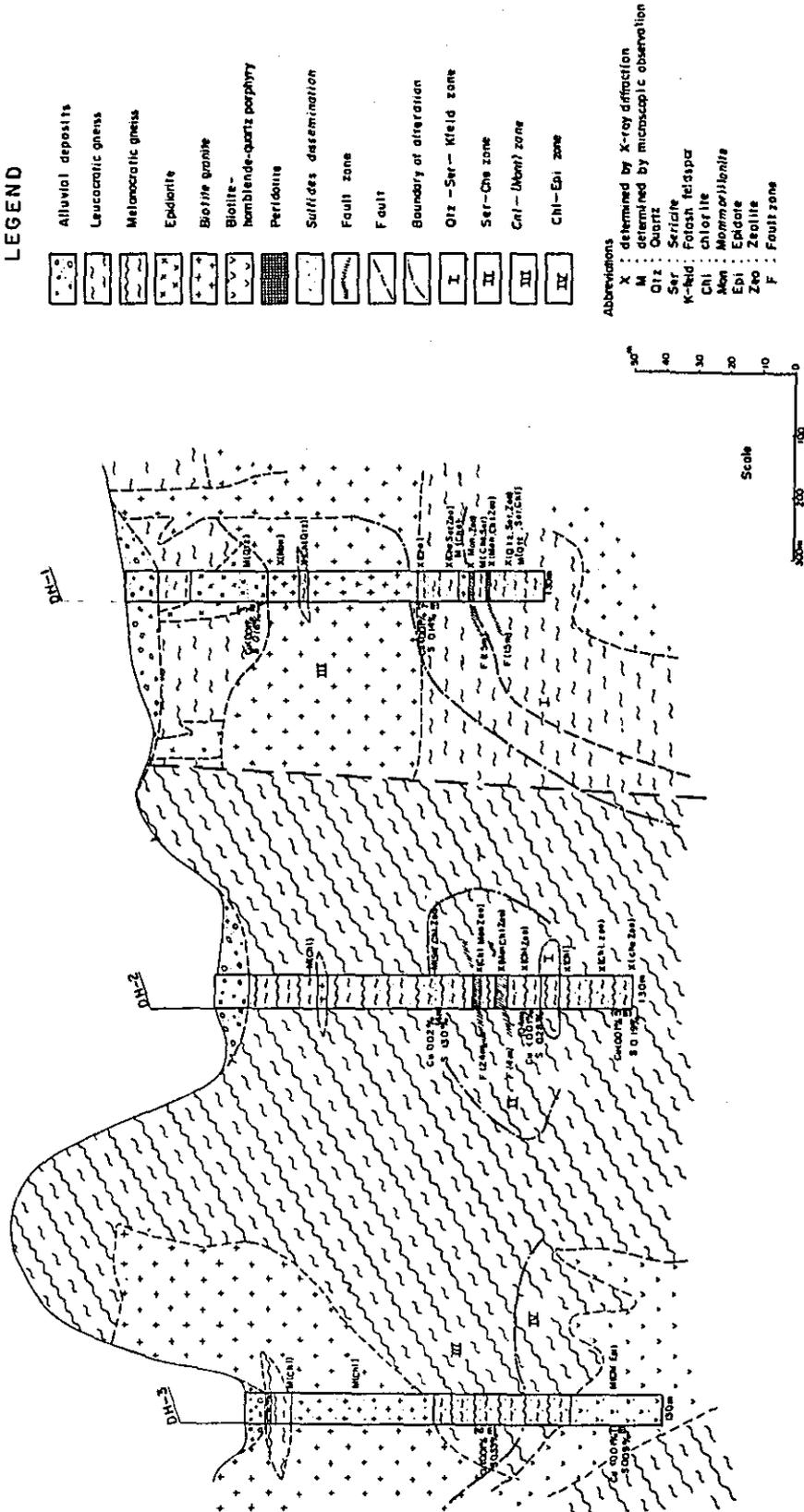
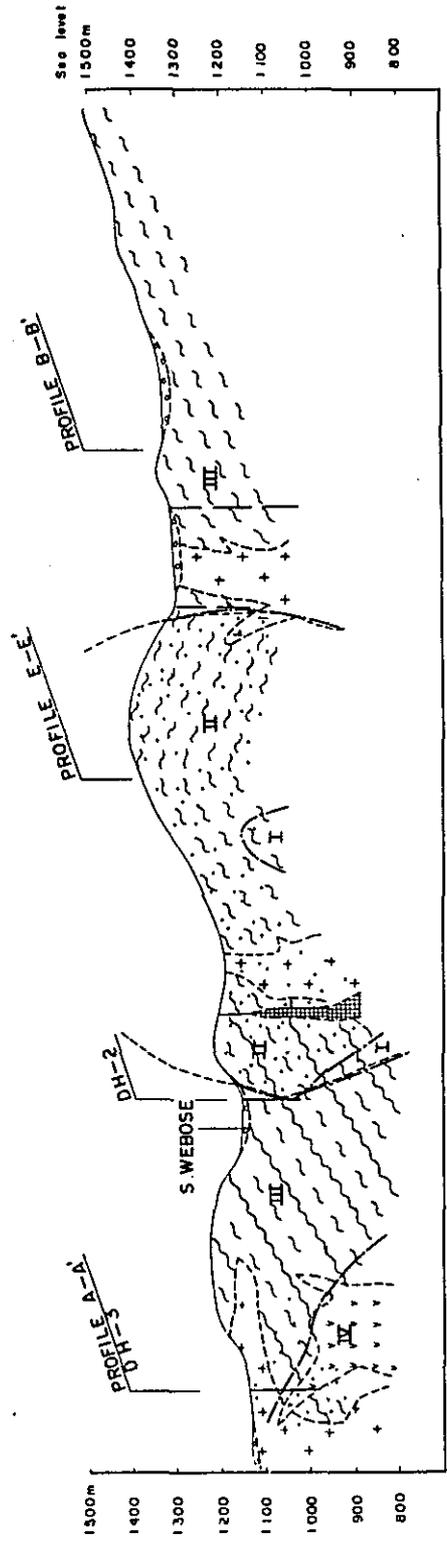


Fig. 4-2
 Cross Section of S. Webose
 Mineralized Area (1 : 10,000)

D - D' SECTION



LEGEND

	Alluvial deposits		Biotite-hornblende quartz porphyry		Quartz-sericite-k-feldspar zone
	Leucocratic gneiss		Peridotite		Sericite-Chlorite zone
	Melanocratic gneiss		Sulfide dissemination		Chlorite-(Montmorillonite) zone
	Biotite granite (earlier stage)		Assumed boundary of disseminated area		Chlorite-Epidote zone
	Biotite granite (later stage)		Fault		Boundary of alteration zone

第 5 部 結 論

本年度の調査はS. Bomba 鉍化帯の解明を目的とし、地質調査、地化学探査、物理探査（電磁法、強制分極法）、および試錐探鉍を実施した。この結果、本鉍化帯について、ほぼ全貌を明らかにすることが出来た。

以下に各調査で得られた成果を述べる。

地質調査

- (1) 本地域の地質は下位より片麻岩（G. Nokila laki 片麻岩）、片岩（S. Rompo 片岩）等の変成岩類と砂岩、礫岩（S. Tinauka 層）等の堆積岩類および黒雲母花崗岩を主とする貫入岩類で構成される。
- (2) 本地域の変成岩類は鉍化帯の母岩をなしている。したがって鉍化作用に伴う変質作用を解明するため、広域変成作用と熱水変質作用を識別する必要があり検討を行った。この結果、今まで不明確であった変成相が把握された。すなわち本地域の変成岩類は、全体として角閃岩相とグラニュライト相の中間領域に属する。また絹雲母、緑泥石、緑簾石、濁沸石、カリ長石（氷長石）等は広域変成作用より後期の熱水変質作用の産物と推定される。
- (3) 黒雲母花崗岩には早期と晩期のものがあり、早期のものは底盤をなし、鉍化作用をもたらしたと推定された晩期のものは底盤から派生した岩株である。
- (4) 本地域は地質構造上Tawaëlia graben（中央構造線）、Fossa Sarasina（Palu 断層）に挟まれ、変成岩類は断層によってブロック化され、多数の貫入岩の分布がみられる。本調査域では、変成岩の面構造方向（片麻状構造および片状構造）は主にE-W方向を示し、周辺地域を支配する構造帯の方向（N-S）とは一致しない。本地域において断層は北部、南部において方向性に差があり、また両地域共、二系統のものがみられ、生成時期がずれていることが判明した。
- (5) 本地域最大の鉍化帯はWebose 川流域に見られ最大幅1 km、延長3 kmに亘り、主として磁鉄鉍の鉍染が、片麻岩中に認められる。

S. Webose 鉍化帯の銅含有量は最高0.14%、平均0.04%であり、硫黄含有量は最高6.8%、平均2.4%である。

- (6) 本地域の熱水変質作用はS. Webose 鉍化帯およびその近傍に認められ、内側から外側へ向って下記の累帯構造が認められる。

- | | |
|---------------------|----|
| ① 石英-絹雲母-カリ長石帯（珪化帯） | 内側 |
| ② 絹雲母-緑泥石帯 | ↓ |
| ③ 緑泥石-（モンモリロナイト）帯 | 外側 |

鉍化帯は②絹雲母-緑泥石帯とほぼ一致している。

- (7) 関係火成岩、鉍床の形態、鉍石鉍物の分布状況および変質状況より推断して、S. Webose

鉍化帯はポーフィリー、銅鉍床に類似した成因によるものと考えられる。

しかし殆どどのポーフィリー銅鉍床に見られる輝水鉛鉍が欠除し、反面、一般のポーフィリー銅鉍床には余り認められない磁硫鉄鉍が多いなど若干の相違点も指摘される。

地化学探査

本調査において、判明した結果は下記の通りである。

- (1) S. Webose 鉍化帯においては、土壤試料中の銅含有量は8～48 ppm にすぎず、化探異常を伴わない。
- (2) 本地域に見いだされた12個所の化探異常域は銅含有量が30～60 ppm の範囲で、いずれも小規模な分散で鉍化作用に起因すると考えられるものはほとんど認められない。
- (3) したがって、地化学探査の結果では、本地域中に積極的に鉍床探査を進めるべき地域を選定することは困難である。

物理探査

本調査で判明した事項は下記の通りである。

電磁法

- (1) 垂直ループ法では、広範囲にわたって異常が検出され、この異常はN-W方向に延びており、S. Webose 鉍化帯とよく一致している。
- (2) 水平ループ法では、S. Webose 鉍化帯の南部のD測線の測点No.10付近で小規模な異常を検出した。
- (3) 本調査地域では地形が急峻であり、しかも鉍染帯が広く分布するので電磁法の測定結果は複雑なものとなり顕著な異常は検出されなかった。

強制分極法

- (1) 測定結果は、S. Webose 鉍化帯を中心に4個所にI.P.異常が検出された。これらの異常は、S. Webose 鉍化帯の中心部を横切り、東西方向に約1.5 kmの延長が認められた。
- (2) 異常帯の規模は今回の地質調査によって把握されたS. Webose 鉍化帯とよく一致しており、I.P.法の効果を立証した結果を得た。
この異常帯は北部で縮少する傾向を示し、鉍化帯の北部への発展性はあまり期待できない。
- (3) S. Webose 鉍化帯周辺で実施された試錐結果によれば、強弱の差はあるが、いずれも硫化鉍物（磁硫鉄鉍・黄鉄鉍）の鉍染帯を把握している。したがって本地域のI.P.異常は硫化鉍物に起因しているものと考えられる。

試錐探鉍

試錐探鉍は、地質調査、地化学探査、物理探査から選択された鉍床胚胎有望地域の S. Webose 鉍化帯において実施し、下記の結果を得た。

(1) 試錐孔で認められる変質帯は地表に累帯配列をなして分布する変質帯に類似し 4 変質帯に分帯される。

- | | | |
|----------------------|---|---------|
| ① 石英-絹雲母-正長石(水長石)帯 | } | カリウム富化帯 |
| ② 絹雲母-緑泥石帯 | | |
| ③ 緑泥石-(モンモリロナイト)帯 | | |
| ④ 緑泥石-緑簾石帯(プロピライト化帯) | | |

(2) 鉍化帯の形態はカリウム富化帯とはほぼ一致し、その外側の緑泥石-(モンモリロナイト)帯とは急傾斜で接する。このことは物理探査(I.P.異常)の結果ともよく一致している。即ち I.P. 異常は地表から深度 200 m に至るまで、その形態と強度はほぼ一定であり、鉍化帯は急傾斜していることを示唆している。

(3) 試錐岩芯で得られた品位は最高で銅 0.02%, 硫黄 1.30%, 他は銅 0.01% 以下、硫黄 0.2% 程度にすぎない。

(4) S. Webose 鉍化帯の地表の規模は、以上の結果より下部に向ってもほとんど変わらないことが判明したが、下部に向っての銅品位の上昇は認められず、二次富化作用の存在も認められなかった。

総括

本年度の調査の結果、S. Webose 鉍化帯について、規模、鉍況などの詳細を確認しえた。本鉍化帯は、品位的にみて現段階では到底稼行に堪えないと判断される。

参 考 文 献

(General & Geological Survey)

1. Holland, H. D. (1959) : Some applications of thermochemical data to problems of ore deposits. I . Stability relations among the oxides, sulfides, sulfates and carbonates of ore and gangue metals, *Econ. Geol.* , vol. 54, (2), 184 - 233.
2. Holland, H. D. (1965) : Some applications of thermochemical data to problems of ore deposits. II. Mineral assemblages and the composition of ore-forming fluids. *Econ. Geol.* , vol. 60, 1101 - 1166.
3. Krauskopf, K. B. (1964) : The possible role of volatile metal compounds in ore genesis. *Econ. Geol.* , vol. 59, (1), 22 - 45.
4. Miyashiro, A. (1964a) : Oxidation and reduction in the earth's crust with special reference to the role of graphite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 28, 717 - 729.
5. Miyashiro, A. (1964b) : Notes on rock-forming minerals (32). Geochemistry of oxygen and the origin of native iron and native nickel-iron. *Jour. Geol. Soc. Japan*, vol. 70, no. 828, 493 - 499.
6. Miyashiro, A. (1965) : Metamorphic rocks and metamorphic belt. (in Japanese) Iwanami Book Shop.
7. Overseas Technical Cooperation Agency (1971) : Report on Geological Survey of Central Sulawesi, Indonesia. vol. 1, General.

8. Overseas Technical Cooperation Agency (1971) : Report on Geological Survey of Central Sulawesi, Indonesia. vol. 2, part 2, Photogeology.
9. Overseas Technical Cooperation Agency (1972) : Report on Geological Survey of Central Sulawesi, Indonesia. vol. 4.
10. Skinner, B. J. (1956) : Physical properties of end-members of the garnet group. Amer. Minerl. , vol. 38, 428 - 436.
11. Van Bemmelen. (1949) : The Geology of Indonesia.
12. Yui, S. (1966) : Stability relations among iron oxide, sulphide, and carbonate minerals during magmatic ore deposition with special reference to the role of graphite. Journ. Society of Mining Geologist of Japan. vol. 16, (1), 16 - 27.

(Geophysical Survey)

1. Keller, G. V. and Frischknecht, F. C. (1966) : Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergam Press.
2. Madden, T. R. (1958) : Two-dimensional resistivity and induced polarization. Geoscience Co., U. S. A.
3. Metallic Minerals Exploration Agency of Japan (1969) : Report on electrical survey of Andes Copperbelt, The Republic of Chile (in Japanese).
4. Metallic Minerals Exploration Agency of Japan (1970) : Report on electrical survey of Mokambo area, Republique Democratique du Congo (in Japanese)

5. Society of Exploration Geophysicist (1966) : Mining Geophysics
vol. II. The SEG. Mining Geophysics Volume
Editorial Committee
6. Sumita, H. (1966) : Computation on IP models. Journal of
the Nippon Mining Technical Research Center
(in Japanese) unpublished.

APPENDIXES

Appendix 1-1 Observation of Handspecimens

Abbreviations :	*	:	Distinct sulfidation	Gn	:	Gneissosity
	Loc.	:	Locality	w.	:	weak
	C. I.	:	Color Index	m.	:	medium
	gar	:	garnet	str.	:	strong
	silic.	:	silicification	v.	:	very
	chl.	:	chlorite	thin.	:	thin layered gneissosity
	sulf.	:	sulfides	Equigrn.	:	Equigranular
	T	:	Thin section	+++	:	abundant
	P	:	Polished section	++	:	common
	X	:	X-ray diffraction	+	:	little
	A	:	Analyses		:	

Notes : Color index is measured by unaided eye, the index mainly shows the amount of biotite flakes.

The rock which is more than 25 of color index is represented as melanocratic rock, and also less than 25 of color index as leucocratic.

Sample No.	Loc.	Rock Name	Color & C. I.	gar.	silic.	white clay	chl.	sulf.	Structure	Remarks	T	P	X	A
102301	B-2	Garnet-biotite gneiss	15	++		+		+	Gn : w.					
102302	B-2	Garnet-biotite gneiss	20	+++	+				Gn : w.					
102303	B-2	Biotite granite	7			++	+	+	Equigrn.		O	O		
102304	B-2	Garnet-biotite gneiss	15	+		++			Gn : w.	Weathered, fine grained				
102305	B-2	Biotite gneiss	10					+	Gn : thin, m					
102401	B-2	Diorite	25				+			Composed of glomerophytic hornblende, biotite, plagioclase and quartz				
102402	B-2	Garnet-biotite gneiss	15	++	+			+	Gn : m.					
102403	B-2	Garnet-biotite gneiss	*20-30	++	+++			++	Gn : w.	Fine grained, sulfides dissemination, silicification				O
102404	B-2	Biotite gneiss	50						Gn : m.	Biotite shows band-structure				
102601	A-2	Garnet gneiss	7-10	+	+++		+	+	Gn : w.	Strong silicification, graphite bearing	O			O
102602	A-2	Garnet-biotite gneiss	10	++	++				Gn : thin, str.	Fine grained, graphite bearing				
102603	A-2	Garnet gneiss	10-15		++					Silicified, graphite bearing				
102604	A-2	Biotite-garnet gneiss	* 50	+++				++	Gn : w.	Sulfides as veinlet, heavy				
102701	B-3	Biotite granite	15				+		Equigrn.	Fine to medium grained				
102702A	B-3	Hornblende-biotite schist	*60-70		+++			++	Schistose	Fine grained, apilite (quartz - plagioclase) vein				
102702B	B-3	Garnet-biotite gneiss	30	++		+		+	Gn : m.					
102703	B-3	Biotite-quartz schist	*10-20					++	Fine gneissose or schistose	Sulfide dissemination along schistosity	O			
102704	B-3	Garnet-biotite gneiss	40	+					Gn : str.	Minor folding				
102705	B-3	Biotite granite	15						Equigrn.	Medium grained, plagioclase shows milky feature				
102706	B-3	Biotite granite	15						Equigrn.	Medium grained, fresh				

Sample No.	Loc.	Rock Name	Color & C.I.	gar.	silic.	white clay	chl.	sulf.	Structure	Remarks	T	P	X	A
102707	B-3	Garnet-biotite gneiss	40-50	++					Gn : m.					
102708	B-3	Quartz schist	pale gray 5					+	Cherty	Biotite band, one chalcopyrite grain	O			
102709	B-3	Biotite granite	10		+				Equigrn.	Plagioclase shows milky feature				
102710	B-3	Biotite granite	10-15						Equigrn.					
102711	B-3	Garnet-biotite gneiss	15-20	+	+		+		Gn : w.	Sheared rock				
102712	B-3	Biotite gneiss	10-15		++				Gn : thin, str.	Fine grained	O			
102713	B-3	Clay	pale green		+++		++			Fault zone			O	
102714	B-3	Biotite gneiss	1		+++				Gn : thin.	Siliceous, graphite bearing	O			
103101	B-2	Garnet-biotite gneiss	white 10-15	++	+++				Gn : m.	Strong silicification				
103102	A-2	Garnet-biotite gneiss	15-20	++				+	Gn : w.					
103103	A-2	Garnet-biotite gneiss	40	++	+			++	Gn : w.	Graphite bearing, sulfides veinlet and dissemination	O	O	O	O
103104	A-2	Garnet-biotite gneiss	30	++				+	Gn : m.	Graphite bearing	O			O
103105	A-2	Altered rock	pale green		+	+++	++	+	Brecciated	Clay, fault zone				O
103106	A-3	Biotite gneiss	10						Gn : thin.	Weathered				
110401	A-2	Biotite gneiss	7		++		+	++	Gn : thin, m.	Siliceous				
110402	A-2	Garnet gneiss	5	+++	++			+	Gn : w.	Siliceous, graphite bearing				
110403	A-2	Garnet-biotite gneiss	15	+	+			+	Gn : m.	Graphite bearing				
110404	A-2	Biotite gneiss	15		+			+	Gn : thin, m.		O		O	
110405	A-2	Hornblende-biotite schist	60					+	Schistose					
110406	A-2	Biotite granite	7							Medium grained, some large (1 cm long) plagioclase crystals are observed				
110407	A-2	Biotite gneiss	5					+	Gn : w.	Siliceous, graphite bearing				

Sample No.	Loc.	Rock Name	Color & C. I.	gar.	silic.	white clay	chl.	sulf.	Structure	Remarks	T	P	X	A
1110408	A-2	Garnet gneiss *	1	+	++		+	++	Massive	Silicification caused by leaching out, sulfides veinlet	O			
111301	A-1		brown						Porphyritic	Plagioclase (0.5 - 1 cm long) in brown matrix				
111302	A-1	Garnet-biotite gneiss	10	+++			+	+	Gn : m.					
111303	A-1	Garnet-biotite gneiss	15-20	+	++		+	+	Gn : w.					
111304A	A-2	Garnet-biotite gneiss *	20	++				++	Gn : w.	Graphite bearing				
111304B	A-2	Garnet-biotite gneiss	25	++				+	Gn : w.					
111305	A-2	Garnet-biotite gneiss *	25	+				++	Gn : w.	Graphite bearing				O
111306	A-1	Peridotite	black						Massive	Garnet bearing	O			
111501	A-2	Garnet-biotite gneiss	25	+	+		++		Gn : w.	Argillized				O
111502	A-2	Biotite granite	7		++					Some large (0.5 cm long) plagioclase crystals are observed				
111503	A-2	Peridotite	black						Banded	Calcite vein				
111504A	A-2	Garnet-biotite gneiss	10	+	+				Gn : v. w.					
111504B	A-2	Garnet-biotite gneiss	15	++				+	Gn : w.-m.	Graphite bearing				
111505	A-2	Argillized rock	greenish gray	+	++		++			Graphite bearing, fault zone				O
111506	A-1	Garnet gneiss	5	+	++			+	Gn : w.	Siliceous				
111701	B-1	Biotite gneiss	30-40						Gn : w.					
111702	B-2	Biotite granite	15						Equigrn.	Medium grained				
111703	B-2	Biotite gneiss	50						Gn : thin, str.	Similar to schistose structure				
111704	B-2	Biotite granite	10-15		+				Equigrn.	Large crystals (0.5 cm in size) of plagioclase are dotted				
111705	B-2	Biotite schist	60						Schistose					
111706	B-2	Biotite schist	50						Schistose					

Sample No.	Loc.	Rock Name	Color & C.I.	gar.	silic.	white clay	chl.	sulf.	Structure	Remarks	T	P	X	A
111707	B-2	Biotite granite	10						Equigrn.	Large plagioclase (0.5 to 1.0 cm in size) is observed				
111708	B-2	Biotite schist	50						Schistose		O			
111709	B-2	Biotite granite	10-15						Equigrn.	Medium grained				
111710	C-2	Garnet-biotite gneiss	40	+					Gn : str.					
111711	C-2	Biotite schist	50						Schistose					
111712	B-2	Biotite gneiss	50						Gn : w.					
111801	B-2	Biotite granite	15						Equigrn.	Medium grained				
111802	B-2	Biotite schist	* 60					++	Schistose		O		O	O
111803	B-3	Biotite schist	50						Schistose		O			
111804	B-2	Biotite gneiss	15						Partly foliated					
111805	B-2	Biotite gneiss	50						Gn : str.					
111806	B-3	Garnet-biotite gneiss	20	+	+			+	Gn : str.					
111807	B-3	Biotite gneiss	30						Gn : str.	Graphite bearing				
111808	B-3	Biotite granite	10						Equigrn.	Fresh				
112001	C-3	Garnet-biotite gneiss	* 15	++				++	Gn : m.	Sulfides in cracks				O
112002	C-3	Biotite granite	15			+			Equigrn.	Large plagioclase crystals (1 cm in length) are observed				
112003	C-3	Garnet-biotite gneiss	40	++				+	Gn : str.	Sulfides in cracks				
112004	B-2	Biotite schist	30-40					+	Schistose	Sulfides in cracks				O
112005	B-2	Garnet-biotite schist	40	+		+	+							
112006	B-2	Clay	grayish green			+++	++			Clay in granite				O
112101	A-2	Garnet-biotite gneiss	* 20	++				++		Graphite bearing	O	O	O	O

Sample No.	Loc.	Rock Name	Color & C. I.	gar.	silic.	white clay	chl.	sulf.	Structure	Remarks	T	P	X	A
112201	B-3	Garnet-biotite schist	30	+					Schistose	Graphite bearing				
112202	B-3	Biotite gneiss	30						Gn : w.					
112203	B-3	Garnet-biotite gneiss	30	++				+	Gn : w.					
112301	B-3	Peridotite	black											
112302	B-3	Altered peridotite	*green					++						
112501	B-3	Biotite gneiss	30		+				Gn : thin, str.					
112502	B-3	Biotite granite	15					+	Equigrn.	Weakly oriented				
112503	C-4	Biotite gneiss	15						Gn : str.					
112801	B-3	Biotite gneiss	30						Gn : m.					
112802	B-3	Garnet-biotite gneiss	30-40	+	+			+	Gn : str.	Sulfides in cracks				
112803	B-3	Garnet-biotite gneiss	50	+					Gn : m. - w.					
112804	B-3	Biotite granite	10						Equigrn.	Medium grained				
112901	B-1	Biotite gneiss	40						Gn : str. - m.	Ferruginous stain				
112902	B-2	Garnet-biotite gneiss	40	+					Gn : str. - m.					
120201	D-2	Hornblende - biotite gneiss	40-50						Gn : w.					
120202	D-2	Garnet-hornblende-biotite gneiss	50	+					Gn : v. w.					
120203	D-2	Garnet-biotite gneiss	10	++					Gn : m.	Fine grained				
120204	D-2	Biotite gneiss	* 10					+	Gn : str.	Sulfides impregnated				O
120205	D-2	Hornblende-biotite gneiss	40-50						Gn : v. w.					
120206	D-3	Biotite granite	10						Equigrn.	Large plagioclase crystals (0.5 cm in size) are observed				
120207	D-3	Garnet-biotite gneiss	5-7	++	++				Gn : w.	Siliceous				
120208	D-3	Hornblende-biotite gneiss	50					+	Gn : w.					

Sample No.	Loc.	Rock Name	Color & C.I.	gar.	silic.	white clay	chl.	sulf.	Structure	Remarks	T	P	X	A
120401	D-3	Biotite-garnet gneiss	7	++					Gn : m-str.	Fine grained				
120402	D-3	Garnet-biotite gneiss	* 30	++	++			++	Gn : w.	Sulfides impregnation, quartz veinlet		O		O
120403	D-3	Hornblende-biotite gneiss	50					+	Gn : w.					
120404	D-3	Biotite gneiss	50						Gn : str.					
122001	D-2	Garnet-biotite gneiss	<5	+	++			+	Gn : v. w.	Siliceous				
122002	D-2	Garnet-biotite gneiss	* 25	++				++	Banded structure					
122003	D-2	Gabbro	100											
122004	D-2	Biotite gabbro	100											
122005	D-2	Garnet-biotite gneiss	* 10	++				++	Gn : str.	Sulfides in cracks		O		O
122101	D-2	Garnet-biotite gneiss	15	++					Gn : str.	Biotites show layer structure		O		
122102	D-2	Garnet-biotite gneiss	40	++					Gn : m.	Graphite bearing				
122103	D-2	Biotite gneiss	20						Gn : w.					
122201	D-3	Garnet-biotite gneiss	30	++	+				Gn : w.					
122203	D-3	Garnet-biotite gneiss	*10-15	++				++	Gn : w.	Graphite bearing				O
122204	D-3	Garnet-biotite gneiss	30	++				+	Gn : str.					
122205	D-3	Garnet-biotite gneiss	40	+					Gn : w.					
122301	D-3	Biotite gneiss	2						Gn : v. w.	Leucocratic				
122302	D-3	Garnet-biotite gneiss	40	++				+	Gn : w.					
122303	D-4	Biotite granite	15						Equigrn.	Medium grained				
122601	C-3	Biotite granite	15						Equigrn.	Medium grained				
122602	C-3	Garnet-biotite gneiss	30	++					Gn : m.					
122603	C-3	Biotite gneiss	10						Equigrn.					

Sample No.	Loc.	Rock Name	Color & C.I.	gar.	silic.	white clay	chl.	sulf.	Structure	Remarks	T	P	X	A
122604	C-3	Biotite gneiss	40	+				+	Gn : str.	Pyrite in cracks				O
122605	C-3	Hornblende-biotite granite	10						Equigrn.	Large plagioclases (0.5 cm in size) are observed				
122606	C-3	Garnet-biotite gneiss	40	+				+	Gn : m.					
122607	C-3	Biotite gneiss	30						Gn : thin, str.					
122701	D-3	Biotite-garnet gneiss	10	++				+	Gn : str.	Sulfides in cracks				
122702	D-3	Garnet-biotite gneiss	15	++				++	Gn : m.	Sulfides in cracks, graphite bearing				O
122703	D-3	Garnet-biotite gneiss	50	+			+		Gn : w.					
122704	D-3	Biotite-garnet gneiss	15	+++				+++	Gn : w.	Sulfides dissemination		O		O
122705	D-3	Garnet-biotite gneiss	50	+				+	Gn : str.					
122706	D-3	Biotite granite	15						Equigrn.					
122707	D-3	Garnet-biotite gneiss	40	++	+		+	+	Gn : m.	Sulfides in cracks				
122708	D-3	Garnet-biotite gneiss	25	+				+	Gn : w.	Sulfides dissemination				
122801	D-2	Biotite-garnet gneiss	10	++				+	Gn : m.					
122802	D-2	Garnet-biotite gneiss	30	+				+	Gn : str.	Graphite bearing				
122803	D-2	Garnet-biotite gneiss	30	+++	++			+	Gn : m.					
122804	C-2	Garnet-biotite gneiss	40	+	++			+	Gn : m.					
122805	C-2	Biotite granite	10						Equigrn.	Large plagioclase crystals (0.5 cm in length)				
122806	C-3	Hornblende-biotite gneiss	5						Gn : w.					
122807	C-2	Biotite granite	10						Equigrn.					
122808	C-2	Biotite gneiss	30					+	Gn : str.					
122809	C-2	Garnet-biotite gneiss	30	++				++	Gn : thin, str.	Sulfides in cracks and disseminated along layer		O		O

Sample No.	Loc.	Rock Name	Color & C. I.	gar.	silic.	white clay	chl.	sulf.	Structure	Remarks	T	P	X	A
122810	C-2	Biotite granite	10							Large plagioclase crystals (0.5 - 1.0 cm in size) are dotted.				
123001	E-2	Biotite gneiss	30						Gn : m.					
123002	E-2	Biotite gabbro	100				+							
123003	E-2	Hornblende-biotite gabbro	dark green				+							
123004	E-2	Biotite gneiss	15						Gn : str.	Minor folding				
123005	E-2	Biotite granite	10						Equigrn.	Weathered				
123006	E-2	Garnet-biotite gneiss	15	+					Gn : w.	Fine grained				
123007	E-2	Biotite-garnet gneiss	5	++					Gn : w.	Siliceous				
123008	E-2	Biotite gneiss	40					+	Gn : v. w.					
123009A	E-3	Metamorphosed diorite	dark green											
123009B	E-3	Hornblende-biotite granite	15						Equigrn.	With aplite vein, medium grained				
123010	D-3	Biotite gabbro	50									O		
123011	D-3	Garnet-biotite gneiss	* 30	++	++			++	Gn : m.	Sulfides dissemination				O
123012	D-3	Biotite granite	15						Equigrn.	Medium grained				
123013	D-3	Garnet-biotite gneiss	* 30	+				++	Gn : str.	Sulfides dissemination and veinlets				O
123014	D-3	Garnet-biotite gneiss	10	+					Gn : thin, str.					
123015	D-3	Biotite granite	15						Equigrn.	Large plagioclase crystals (0.5 cm in size) are dotted				
010101	C-1	Biotite gneiss	30-40						Gn : str.			O		
010102	C-1	Biotite gneiss	>50					+	Gn : str.					
010103	C-1	Garnet-biotite gneiss	* 40	++				++	Gn : thin, str.	Sulfides dissemination and veinlets				O

Sample No.	Loc.	Rock Name	Color & C.L.	gar.	silic.	white clay	chl.	sulf.	Structure	Remarks	T	P	X	A
010104	C-2	Garnet-biotite gneiss	7	+					Gn : w.					
010105	C-2	Garnet-biotite gneiss	* 30	+				++	Gn : str.	Sulfides dissemination, graphite bearing		O		O
010106	C-2	Garnet-biotite gneiss	15	+					Gn : w.	Large plagioclase (0.5 cm in size) are observed				
010107	C-2	Biotite gabbro	50								O			
010108	C-2	Biotite granite	10						Equigrn.					
010701	C-1	Biotite granite	15						Equigrn.	Medium grained but partially fine grained				
010702	C-1	Biotite granite	10						Equigrn.	Xenolith of schist is enclosed				
010703	C-2	Biotite gneiss	40						Gn : str.					
010704	C-1	Biotite gneiss	40-50						Gn : w.					
010705	C-1	Biotite granite	10						Equigrn.					
DH-1, 18.6 ^m		Garnet-biotite gneiss	20-30	+++					Gn : str.					
29.0 ^m		Metamorphosed diorite	50		++				Gn : w.	Quartz veinlet				
38.0 ^m		Metamorphosed diorite	* 40	+++	++			++			O			O
48.5 ^m		Argillized granite	10			+++							O	
55.4 ^m		Altered rock	pale green		++		++						O	
65.0 ^m		Biotite granite	10							Xenolith of biotite gneiss is included				
91.5 ^m		Garnet-biotite gneiss	20	+		+		+	Gn : m.		O		O	O
100.2 ^m		Altered brecciated gneiss	pale green			++	++			Graphite layer	O			O
105.0 ^m		Biotite granite	10			++		++						

Sample No.	Loc.	Rock Name	Color & C. I.	gar.	silic.	white clay	chl.	sulf.	Structure	Remarks	T	P	X	A
DH-1, 107.0 ^m		Clay	dark gray			+++								O
111.6 ^m		Brecciated gneiss	black							Graphite rich,	O			O
113.6 ^m		Silicified rock	white		+++									
116.0 ^m		Garnet bearing melanocratic gneiss	40			++			Gn : v. w.	Zeolite veinlet, brecciated				
118.5 ^m		Silicified garnet gneiss	white		+++						O			O
DH-2, 10.9 ^m		Biotite granite	10						Equigrn.					
14.4 ^m		Biotite gneiss	40						Gn : str.					
30.5 ^m		Biotite gneiss	40-50						Gn : str.		O			
33.0 ^m		Biotite granite	10						Equigrn.					
36.5 ^m		Biotite gneiss	40						Gn : str.	Minor folding				
46.6 ^m		Biotite gneiss	30-40						Gn : str.					
53.8 ^m		Biotite gneiss	40						Gn : w.					
60.0 ^m		Biotite gneiss	50					+	Gn : m.	Sulfides veinlets				
68.4 ^m		Garnet-biotite gneiss	40	++				+	Gn : str.	Graphite bearing, sulfides veinlets	O			O
77.0 ^m		Sludge												
82.0 ^m		Clay	greenish gray			+++	++							O
84.0 ^m		Sludge												
87.0 ^m		Clay	dark gray			++	++			Graphite bearing				O
94.0 ^m		Biotite gneiss	40						Gn : m.					
95.7 ^m		Garnet gneiss	40	+++		+		+	Gn : str.	Graphite rich, biotite is not observed				O O
103.5 ^m		Silicified rock	white	+										

Sample No.	Loc.	Rock Name	Color & C.I.	gar.	silic.	white clay	chl.	sulf.	Structure	Remarks	T	P	X	A
DH-2, 109.0 ^m		Sludge												O
120.0 ^m		Sludge												O
130.0 ^m		Sludge												O
DH-3, 7.1 ^m		Biotite granite	15						Equigrn.					
7.8 ^m		Garnet-biotite gneiss	40	+					Gn : str.					
14.3 ^m		Biotite gneiss	40-50						Gn : str, thin.	Minor folding	O			
14.7 ^m		Biotite granite	10		+			+	Equigrn.	Medium grained				
28.5 ^m		Biotite granite	15						Equigrn.					
34.8 ^m		Biotite granite	10								O			
47.5 ^m		Biotite granite	15							Large plagioclase crystals (1 cm long) are dotted				
54.5 ^m		Biotite granite	10					+		Large plagioclase crystals (1 cm long) are dotted				
58.4 ^m		Sludge												
69.5 ^m		Biotite gneiss	40-50		+			+	Gn : w.	Quartz vein				O
77.0 ^m		Sludge												
84.6 ^m		Garnet-biotite gneiss	40	+	++			+	Gn : str.	Quartz vein				
99.57 ^m		Biotite gneiss	40	+	+			+	Gn : m.	Sulfides veinlets, zeolite veinlet				
102.0 ^m		Hornblende quartz porphyry	*pale green 10				+	++		Fine grained				O
104.0 ^m		Sludge												
114.3 ^m		Hornblende quartz porphyry					+	+			O			O
117.5 ^m		Hornblende quartz porphyry					+	+						

Sample No.	Loc.	Rock Name	Color & C.I.	gar.	silic.	white clay	chl.	sulf.	Structure	Remarks	T	P	X	A
DH-3, 128.5 ^m		Sludge												
129.1 ^m		Hornblende quartz porphyry					+	+						

Appendix 1-2

Microscopic Observation in Thin Sections

(i) Sillimanite-biotite gneiss

1.	Sample No.	Locality	Color/Color index	Rock name
	DH-3, (14.3 ^m)	DH-3	40 - 50	Biotite gneiss
	DH-2, (30.5 ^m)	DH-2	40 - 50	Sillimanite-biotite gneiss
	112902	B-2	50	Sillimanite-muscovite-biotite gneiss

2. Observation of handspecimen

This rock is melanocratic, and gneissose texture is remarkable. Micro-foldings can be observed in the sample of DH-3.

3. Constituent minerals

Persistent minerals : quartz, plagioclase, biotite
Other minerals : sillimanite, potash feldspar, muscovite
Accessory minerals : chlorite, sphene, apatite, opaque mineral, sericite

4. Microscopic observation

Major constituents are quartz, plagioclase and biotite, and they are holocrystalline and show schistose texture under the microscope. Quartz is granular or leuticular and shows mosaic texture in the thin section of DH-3. Plagioclase is anhedral or subhedral, and shows albite twinning and occurs with quartz and biotite and so on. The pleochroism of most biotite changes from pale brown

to brown, but from brown to reddish brown in the thin section of 112902.

Sillimanite occurs acicularly among crystals of quartz, plagioclase and potassium feldspars.

In the thin section of 112902, a small amount of potassium feldspar can be observed and quartz, biotite and sillimanite are included in potassium feldspar, and a small amount of rectangular or acicular crystals of muscovite occurs radially.

(2) Biotite-augite - (hornblende) gneiss

1.	Sample No.	Locality	Color/ Color index	Rock name
	102712	B-3	10 - 15	Augite-hornblende -biotite gneiss
	102714	B-3	1	Diallage-augite gneiss (silicified)
	110404	A-2	15	Biotite-augite gneiss
	010101	C-1	30 - 40	Sillimanite-augite -muscovite-biotite gneiss

2. Observation of handspecimen

This rock changes from leucocratic to melanocratic in color. The sample of 102714 is very siliceous. Gneissose texture is observed remarkably in all samples.

3. Constituent minerals

Persistent minerals : quartz, plagioclase, augite

Other minerals : biotite, muscovite, hornblende,
sillimanite, potash feldspar,
diallage
Accessory minerals : apatite, sphene, tourmaline,
graphite, epidote, zoisite,
cristobalite, chlorite, sericite,
zeolite

Melanocratic feature is caused by abundant biotite.

4. Microscopic observation

Major constituents are quartz, plagioclase, biotite
amplibole, augite and so on, and they are holocrystalline.
Quartz is anhedral or subhedral and granular or lenticular.

In the thin section of 102714, a large amount of quartz is
observed and most of them show wavy extinction. Plagio-
clase is anhedral or subhedral and usually shows albite
twinning. And plagioclase often occurs with quartz.

A small amount of potash feldspar is observed in the thin
sections of 102714 and 110404.

The pleochroism of biotite changes from yellowish brown
to reddish brown. Biotite shows foliation, and often
coexists with or includes opaque minerals. Amphibole
can be identified as hornblende because its pleochroism
changes from yellowish green to green, and it is
subhedral and has the extinction angle ($C \wedge Z$) of 17° .
Augite is subhedral and has the extinction angle ($C \wedge Z$)
of 40° to 45° , and cleavages develops very well. In the
thin section of 102714, diallages showing remarkable part-
ing are comparatively abundant.

Besides, apatite, sphene, tourmaline, opaque minerals and zeolite can be observed in the thin section of 102712, and zeolite occurs in veinlets or druses.

Zoisite, epidote, cristobalite, and zeolite, all of which occur in veinlets, and sphene and carbonates are observed in the thin section of 102714, and bent, foliated graphite, sphene, apatite, epidote, and chlorite which is pale green and altered from biotite and shows weak interference color and is accompanied with small grains of sphene in 110404.

And in the thin section of 010101, aggregates of acicular sillimanite are observed mainly in quartz, and a small amount of radial or feathery muscovite and sericite-like minerals which occur at the marginal part of pyroxenes.

(3) Biotite-garnet gneiss

1.	Sample No.	Locality	Color/Color index	Rock name
	103103A	A-2	40	Biotite-garnet gneiss
	110408	A-2	white	Silicified muscovite-biotite-garnet gneiss
	122101	D-2	15	Spinel-garnet-sillimanite-biotite gneiss
	DH-1, (100.2 ^m) DH-1		pale green	Brecciated biotite-garnet gneiss
	DH-1, (118.5 ^m) DH-1		white	Silicified biotite-garnet gneiss
	DH-2, (68.4 ^m) DH-2		40	Spinel-sillimanite-biotite-garnet gneiss

2. Observation of handspecimen

This rock changes from leucocratic to melanocratic in color and generally shows gneissose texture.

In the sample of 103103A, pyrrhotite and chalcopyrite are observed as disseminated minerals or veinlets.

Samples of 110408 and DH-1, (118.5^m) are white, siliceous and show obscure gneissose texture.

Sample of DH-1, (100.2^m) is pale green, rich in clay minerals and shows cataclastic texture.

3. Constituent minerals

Persistent minerals : quartz, plagioclase, garnet,
biotite

Other minerals : sillimanite, spinel, potash
feldspar, muscovite

Accessory minerals : graphite, sphene, rutile,
opaque mineral, chlorite,
sericite, adularia

Melanocratic feature is caused by abundant biotite flakes and/or opaque minerals.

4. Microscopic observation

Major constituents are quartz, plagioclase, garnet, biotite, etc., but in the thin section of 103103A, quartz can hardly be observed. Quartz has irregular form and vein-like or lenticular quartz is abundant in the thin sections of 110408 and DH-1, (118.5^m). Plagioclase is subhedral or anhedral and usually shows albite twinning. Garnet is subhedral or anhedral and colorless and optical anomaly can not be

found. And in some cases, the crystals of garnet are broken in pieces.

The pleochroism of biotite changes from pale brown to reddish brown and biotite shows foliation and sometimes bending. In the thin sections of 122101 and DH-2, spinel being green and granular and sillimanite being acicular or rectangular are found.

As minor constituents, in 103103A, opaque minerals are comparatively abundant and a small amount of graphite, sphene and rutile is found, and opaque minerals are often accompanied with biotite which altered into chlorite. Pale green chlorite is found abundantly, and it replaces biotite and it is found in the crystals of garnet in veinlets. A small amount of feathery or radial sericite is observed in the crystals of plagioclase. In 110408, sphene, opaque mineral, and ziosite, potash feldspar (adularia) both as vein minerals, a small amount of feathery sericite as altered mineral of plagioclase, and chlorite altered from biotite can be observed. In 122101, biotite alters into chlorite partially and is accompanied with opaque minerals, and a small amount of sericite is found at the marginal part of plagioclase and garnet.

In DH-1,(100.2m),opaque mineral, sphene, chlorite altered from biotite, feathery sericite in plagioclase, and carbonates as cementing mineral or vein mineral can be observed, and in DH-1,(118.5m), feathery sericite altered from a part of plagioclase, chlorite which replaces biotite, a lot of sphene, and potash feldspar (adularia) showing perthite, and in DH-2, aggregate of micro crystals of sericite which are maybe altered from feldspars, and veinlets of chlorite.

(4) Garnet-biotite-augite gneiss

1.	Sample No.	Locality	Color/Color index	Rock name
	102601	A-2	7 - 10	Augite- biotite- garnet gneiss (silicified)
	103104	A-2	30	Biotite- diopside- sillimanite- garnet gneiss
	112101	A-2	20	Biotite- muscovite- augite- sillimanite- garnet gneiss
	122005	D-2	10	Spinel- sillimanite- garnet-biotite- augite gneiss
	DH-1, (91.5 ^m)	DH-1	20	Augite- garnet- biotite gneiss
	DH-1, (111.6 ^m)	DH-1	black	Garnet- biotite- augite gneiss

2. Observation of handspecimen

This rock changes from leucocratic to melanocratic in color and shows gneissose texture.

Silicification is observed at the sample of 102601. Sample of DH-1, (111.6^m) is black in color and crushed.

3. Constituent minerals

Persistent minerals : quartz, plagioclase, biotite, augite, garnet

Other minerals : muscovite, spinel, sillimanite, potash feldspar, diopside

Accessory minerals : sphene, graphite, apatite,
chlorite, sericite, actinolite,
diopside, opaque mineral

Melanocratic feature in 103104 is mainly caused by graphite.

4. Microscopic observation

Major constituents are quartz, plagioclase, garnet, biotite, augite, and so on, and they are holocrystalline, showing remarkable gneissose texture. Quartz has irregular form and most of quartz grains are granular or lenticular.

Plagioclase is anhedral or subhedral and generally shows albite twinning. Garnet is colorless or pale pink and has granular or irregular form. The pleochroism of biotite changes from brown to reddish brown. Pyroxene is considered to be clinopyroxene which is pale green and has the extinction angle ($C \wedge Z$) of 40° . In the thin section of 122005, aggregates of green granular spinels are observed.

As altered minerals, in 103104, feathery sericite can be found as the partial replacement of plagioclase or in veinlets, and in all of 102601, 112101, 22005 and DH-1, (111.6^m), chlorite which is altered from biotite, garnet, pyroxene, in veinlets, and in DH-1, (111.6^m), diopside-like minerals in veinlet.

(5) Biotite-hornblende schist

1.	Sample No.	Locality	Color/Color index	Rock name
	111708	B-2	50	Biotite-hornblende schist

111803

B-3

50

Garnet-hornblende-
biotite schist

2. Observation of handspecimen

This rock is dark gray in color and schistosity is remarkable.

3. Constituent minerals

Persistent minerals : quartz, plagioclase, hornblende,
biotite

Other minerals : garnet, sphene, apatite,
opaque mineral

4. Microscopic observation

Quartz is granular or anhedral and is cementing material among other minerals. Plagioclase is anhedral or subhedral and shows remarkable albite twinning. Amphibole is anhedral or subhedral, and the pleochroism of it changes from pale yellowish green to yellowish green, and cleavages develop very well. And it is identified as hornblende which has the extinction angle ($C \wedge Z$) of about 23° .

In the thin section of 111708, there are inclusions of quartz, opaque minerals etc. (in the crystals of hornblende)

Micro crystals of biotite showing the pleochroism from pale brown to reddish brown are abundant and they are arranged in parallel to the schistosity, but biotite is very few in 111708. And in 111803, garnet is found as porphyroblast among crystals of biotite and quartz and has inclusion of a lot of quartz and opaque mineral.

(6) Diopside-hornblende-biotite schist

1.	Sample No.	Locality	Color/Color index	Rock name
	102703	B-3	10 - 20	Diopside-hornblende-biotite schist

2. Observation of handspecimen

This rock is leucocratic and schistosity is remarkable.

3. Constituent minerals

quartz, plagioclase, biotite, hornblende, diopside, opaque mineral, sphene, apatite

4. Microscopic observation

This rock is holocrystalline and schistose texture can be observed.

Quartz both granular and lenticular is abundant, and crystals of quartz are clear. Plagioclase is anhedral, small, cementing material and generally shows albite twinning. Crystals of biotite showing the pleochroism from pale yellowish brown to yellowish brown are arranged in parallel to schistosity. Amphibole showing the pleochroism from pale green to pale yellowish brown is subhedral, and cleavages develop very well. And it is identified to be hornblende which has the extinction angle ($C \wedge Z$) of about 26° . Diopside is colorless, subhedral and long rectangular and has the extinction angle ($C \wedge Z$) of about 45° . Opaque minerals are accompanied with mafic minerals. A small amount of sphene and apatite is found sporadically.

(7) Biotite-diopside-quartz schist

1.	Sample No.	Locality	Color/Color index	Rock name
	102708	B-3		Biotite- diopside- quartz schist

2. Observation of handspecimen

This rock is gray in color and siliceous.

Banded structure due to fine-grained mafic minerals can be observed.

3. Constituent minerals

quartz, plagioclase, diopside, biotite, sphene, opaque mineral

4. Microscopic observation

A large amount of quartz and clinopyroxene and a small amount of plagioclase and biotite are constituents, and they are holocrystalline under the microscope. There are two types of quartz grains : one, fine-grained and granular, and the other, coarse-grained and lenticular, and they are arranged in parallel with each other.

Plagioclase shows remarkable albite twinning and coexists with quartz. Clinopyroxene is granular or long rectangular and is identified to be diopside which has the extinction angle ($C \wedge Z$) smaller than 40° . A small amount of biotite showing pleochroism from pale yellowish brown to reddish brown is found. A small amount of sphene accompanied with biotite and clinopyroxene is observed.

Opaque minerals are found sporadically.

(8) Epidiorite

1.	Sample No.	Locality	Color/Color index	Rock name
----	------------	----------	-------------------	-----------

	DH-1,(38.0 ^m)	DH-1	40	Epidiorite
--	---------------------------	------	----	------------

2. Observation of handspecimen

This rock is melanocratic, massive and compact.
Veinlets of quartz can be observed.

3. Constituent minerals

plagioclase, quartz, augite, biotite, garnet

Accessory and alteration minerals :

quartz, chlorite, allanite, zeolite,
apatite, opaque mineral, amphibole

4. Microscopic observation

Major constituents are plagioclase, quartz, clinopyroxene, biotite, garnet etc.

Holocrystalline under the microscope and show graphic texture. Plagioclase is anhedral or subhedral and shows remarkable albite twinning.

There are two kinds of quartz grains : one, it shows graphic texture with plagioclase and pyroxene etc. , the other, lenticular or vein-like quartz grains. Pyroxene is augite, which is small, pale green, granular, waterdrop-like and rectangular. And a part of pyroxene is altered into green amphibole. Biotite is a foliated crystal showing

the pleochroism from brown to reddish brown. Garnet is pink and has inclusions of plagioclase, pyroxene etc., in some cases. Besides, the following minerals are sporadically found : chlorite altered from pyroxene, allanite showing the pleochroism from pinky red to pale pink, apatite, opaque minerals which are replacements mainly of mafic minerals and zeolite as vein minerals.

(9) Biotite granite

1.	Sample No.	Locality	Color/Color index	Rock name
	102303	B-2	7	Biotite granite
	112502	B-3	15	Biotite granite
	DH-3, (34.8 ^m)	DH-3	10	Hornblende-biotite granite

2. Observation of handspecimen

This rock is leucocratic, medium-grained, equigranular and holocrystalline.

3. Constituent minerals

Major constituents : quartz, potash feldspar, plagioclase, biotite, (hornblende)

Accessory and alteration minerals :

sphene, apatite, opaque mineral, chlorite, carbonate mineral, allanite

4. Microscopic observation

Quartz is anhedral and clear. Potassium feldspar is anhedral or subhedral, mostly large and generally shows carlsbad twin and perthite texture, and includes biotite, plagioclase and so on in cases.

Plagioclase is usually subhedral and small, and shows albite twinning. In the thin section of DH-3, zonal structure can be observed, and thin mantle of potassium feldspar is often found. Biotite shows the pleochroism from pale yellowish brown to brown, and in many cases alters into chlorite. In DH-3, a small amount of green hornblende can be observed.

Sphene, apatite and opaque minerals occur commonly, and in 102303, a comparatively large amount of opaque minerals occurs sporadically. In 102303 and DH-3, biotite or amphibole alters partially into chlorite in many cases. Veinlets of carbonates occur in 102303 and 112502, and long rectangular allanite in DH-3.

(10) Biotite-hornblende quartz porphyry

1.	Sample No.	Locality	Color/Color index	Rock name
	DH-3, (114 3 ^m)	DH-3	pale green 10	Biotite-hornblende quartz porphyry

2. Observation of handspecimen

This rock is pale green in color, compact and hard, and shows porphyritic texture.

3. Constituent minerals

quartz, plagioclase, hornblende, biotite, chlorite,
epidote, opaque mineral

4. Microscopic observation

Porphyritic textures can be observed under the microscope.

Phenocrysts are quartz, plagioclase, amphibole, biotite.

Groundmass is composed of quartz and plagioclase and shows micrographic or myrmekitic texture. Most of quartz grains are corroded magmatically, and halo showing the micrographic intergrowth of quartz and feldspar can be observed at the marginal part of quartz crystals. Plagioclase, in general, shows albite twinning. Amphibole mostly alters into chlorite and epidote and also biotite mostly alters into chlorite.

Pyrite is found sporadically as opaque mineral.

(11) Peridotite

1.	Sample No.	Locality	Color/Color index	Rock name
	111306	A-1	dark gray	Garnet bearing augite peridotite (Garnet bearing wehrite)

2. Observation of handspecimen

This rock is dark gray in color, massive and compact.

3. Constituent minerals

augite, garnet, olivine, diopside, serpentine, diallage, opaque mineral

4. Microscopic observation

Though this rock is holocrystalline, large crystal (about 0.5 mm) of clinopyroxene and garnet, and small crystals (about 0.1 mm) of abundant olivine, few pyroxene, opaque minerals, are observed, and porphyritic texture can be seen.

Large crystals : subhedral, colorless augite and brown garnet are main constituents, and pyroxene is partially altered into diallage.

Small crystals : olivine is colorless and has irregular form and is serpentinized along cracks and the remained olivine is granular. Most of pyroxene are colorless but a very small amount of pyroxene is pale pink. All these pyroxenes are diopside. A small amount of brown garnet and opaque mineral is found sporadically.

Vein mineral : Serpentine which forms along cracks in the crystal of olivine occurs in net work.

(12) Gabbro

1.	Sample No.	Locality	Color/Color index	Rock name
	123010	D-3	50	Hypersthene-augite-hornblende-biotite-quartz gabbro
	010107	C-2	50	Hornblende-augite-biotite-quartz gabbro

2. Observation of handspecimen

This rock is dark gray in color, coarse-grained and holocrystalline.

3. Constituent minerals

Persistent minerals : plagioclase, quartz, biotite, augite, hornblende

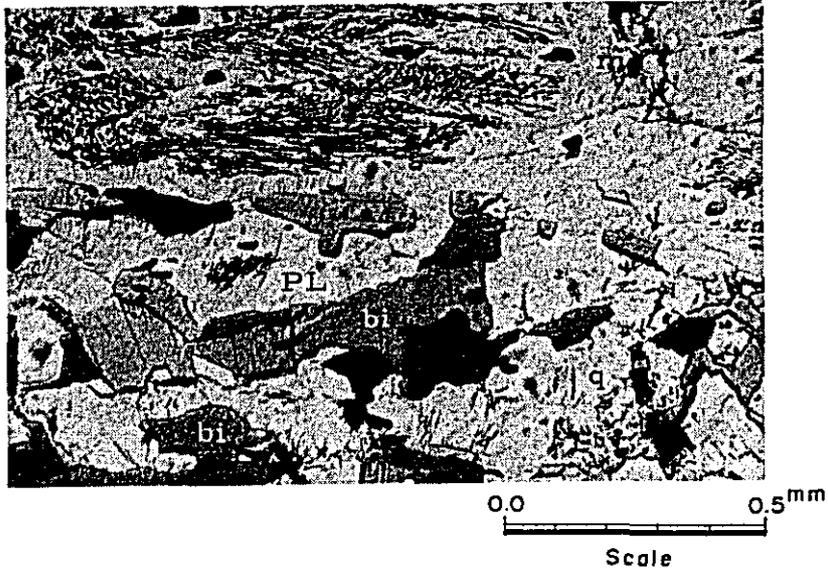
Other minerals : hypersthene, apatite, opaque mineral

4. Microscopic observation

Main constituents are plagioclase, quartz, biotite, augite, amphibole and so on, and graphic texture can be observed. Plagioclase is abundant and many crystals of it shows albite twinning. A small amount of quartz is found as cementing material, and in 010107, waterdrop-like or wedge-like quartz, is included in the crystal of plagioclase.

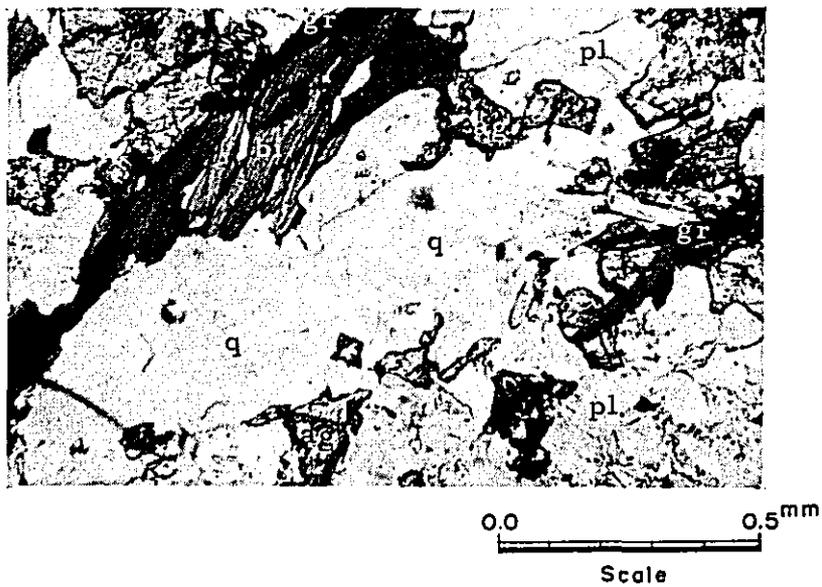
Biotite, showing the pleochroism from yellowish brown to reddish brown, coexists with plagioclase and clinopyroxene. Clinopyroxene is anhedral or subhedral, and is augite which has the extinction angle ($C \wedge Z$) of about 40° . And in 010107, waterdrop-like augite is included in the crystal of plagioclase in many cases. Amphibole, showing the pleochroism from pale green to green, is hornblende which has the extinction angle ($C \wedge Z$) of about 15° .

In 123010, a small amount of subhedral diopside showing the pleochroism from pale green to pale pinky red, and apatite can be observed. A small amount of opaque minerals is found and they, in many cases, are accompanied with mafic minerals.



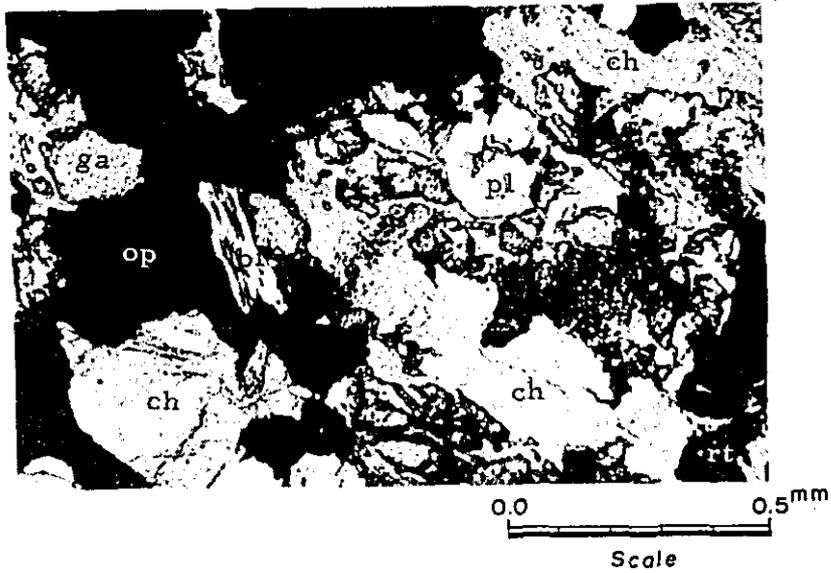
PL-1 Sillimanite-muscovite-biotite gneiss (Sample No. 112902)

si : sillimanite, mc : muscovite, bi : biotite,
 pl : plagioclase, q : quartz



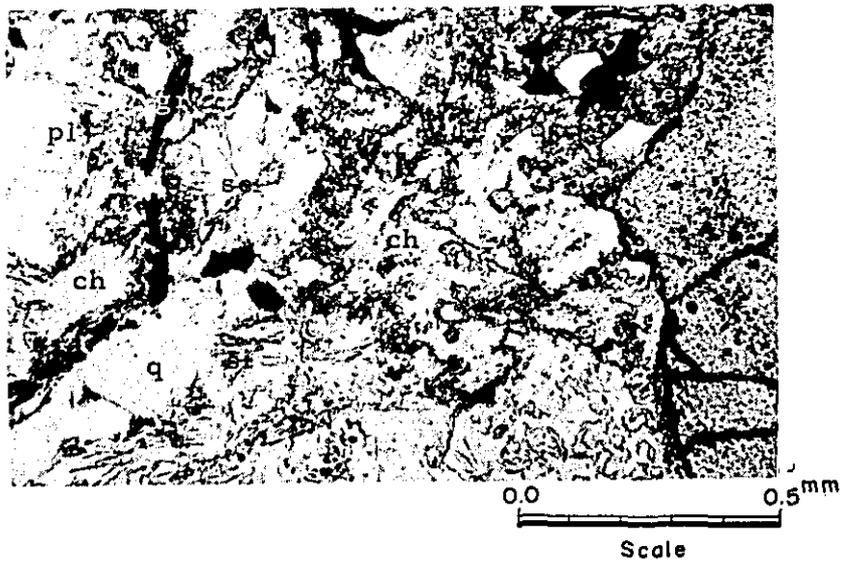
PL-2 Biotite-augite gneiss (Sample No. 110404)

bi : biotite, ag : augite, pl : plagioclase,
 q : quartz, gr : graphite



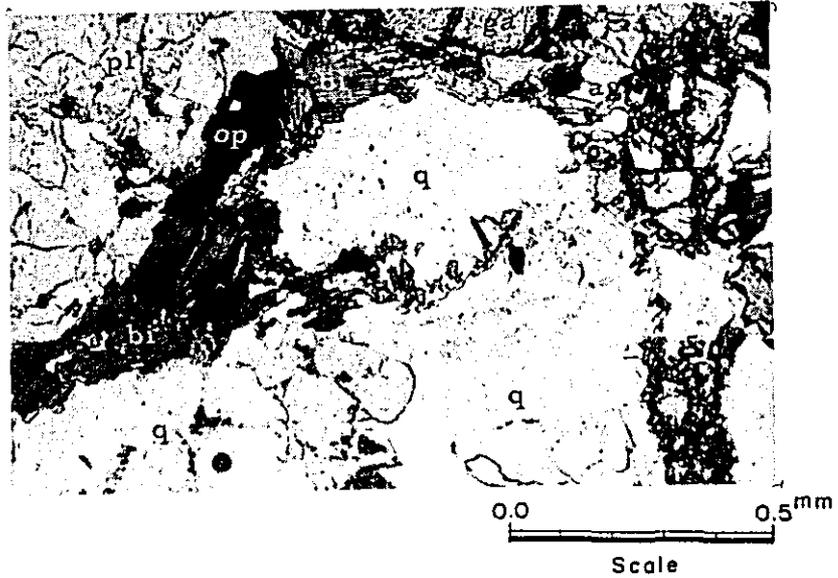
PL-3 Biotite-garnet gneiss (Sample No. 103103A)

ch : chlorite, op : opaque mineral,
 pl : plagioclase, rt : rutile, ga : garnet

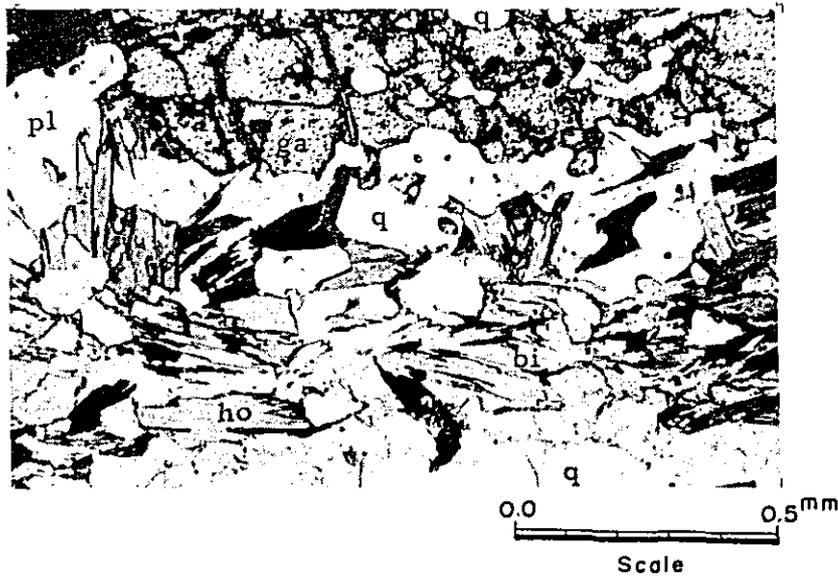


PL-4 Spinel-sillimanite-biotite-garnet gneiss (Sample No. DH-2, 68.4^m)

ga : garnet, se : sericite, ch : chlorite,
 gr : graphite, si : sillimanite, q : quartz,
 pl : plagioclase

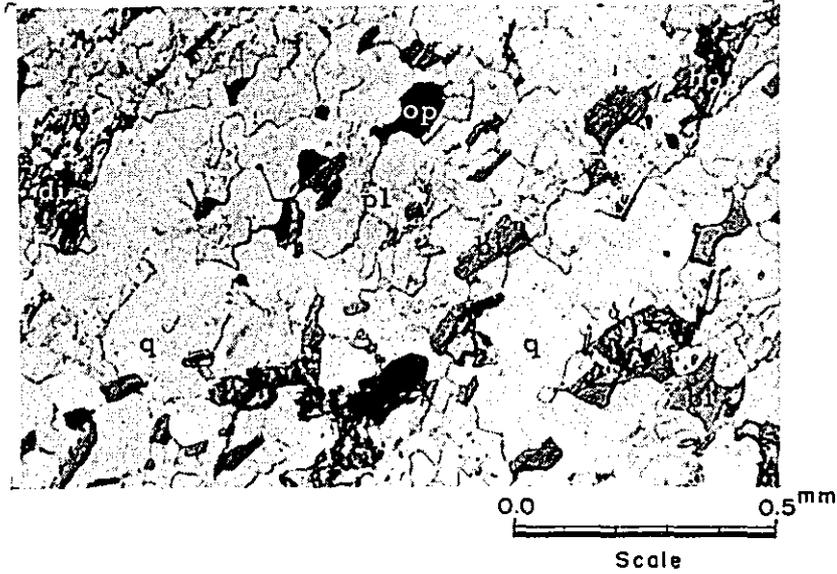


PL-5 Augite-garnet-biotite gneiss (Sample No. DH-1, 91.5^m)
 ag : augite, ga : garnet, bi : biotite,
 op : opaque mineral, pl : plagioclase, q : quartz



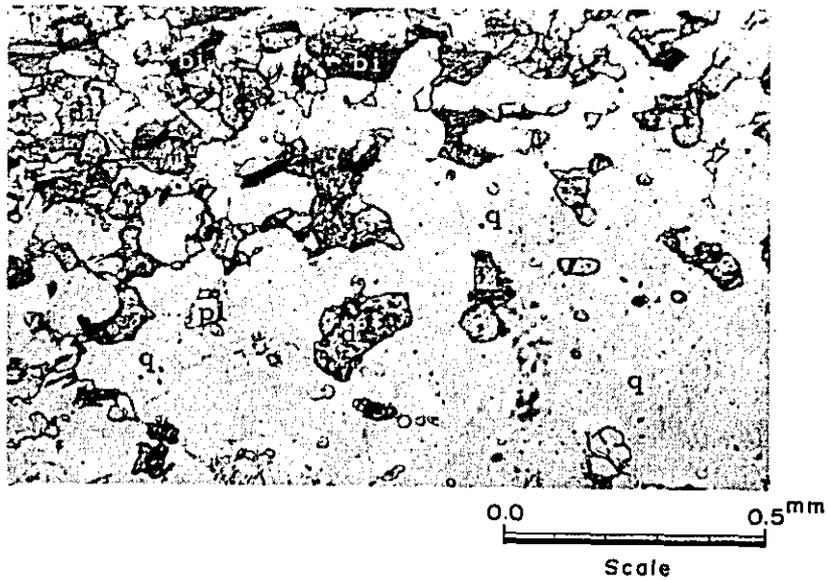
PL-6 Garnet-hornblende-biotite schist (Sample No. 111803)

ga : garnet, ho : hornblende, bi : biotite,
 q : quartz, pl : plagioclase



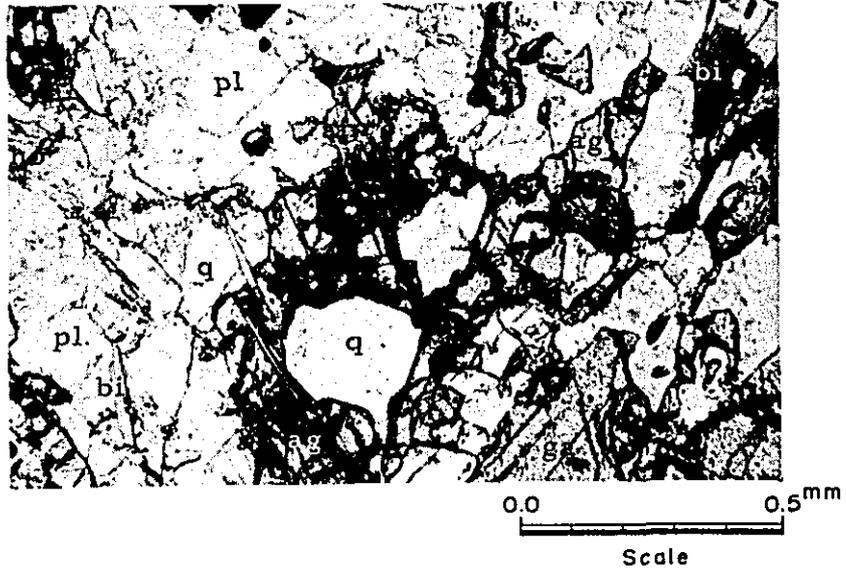
PL-7 Diopside-hornblende-biotite schist (Sample No. 102703)

di : diopside, ho : hornblende, bi : biotite,
op : opaque mineral, pl : plagioclase, q : quartz

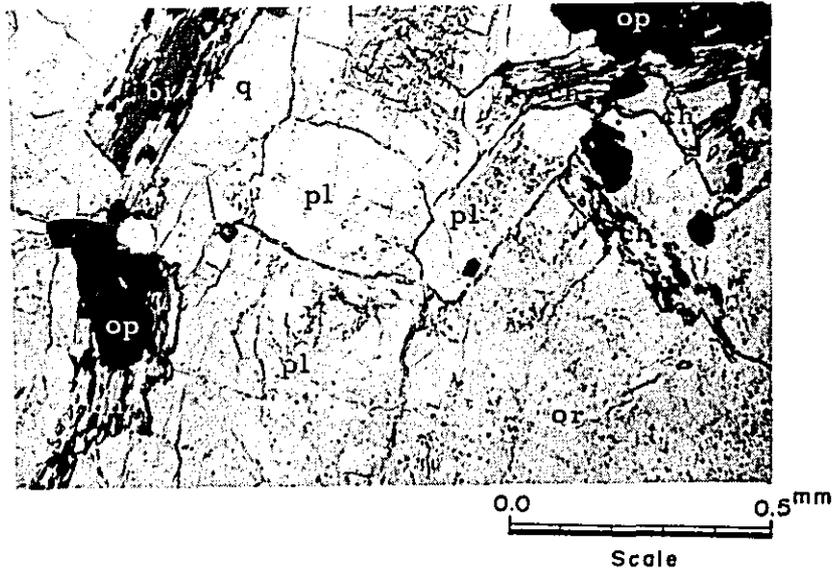


PL-8 Biotite-diopside-quartz schist (Sample No. 102708)

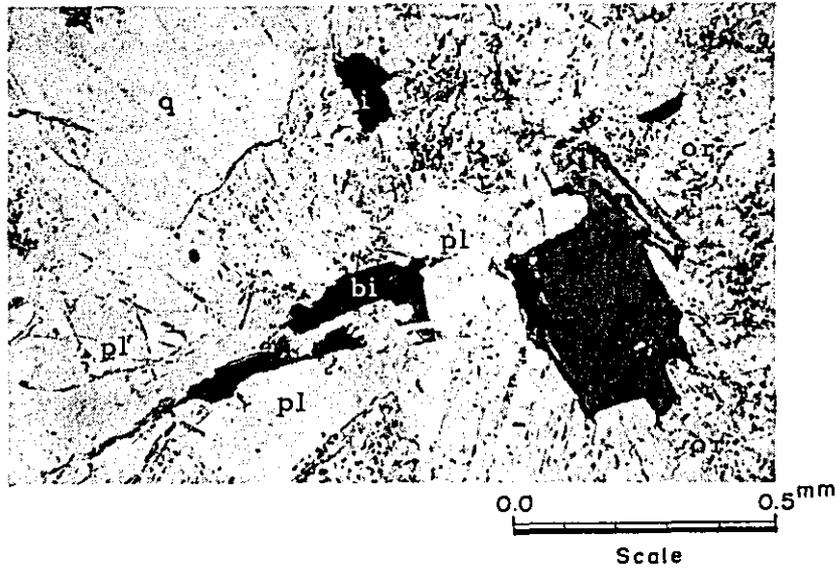
bi : biotite, di : diopside, q : quartz,
pl : plagioclase



PL-9 Epidiorite (Sample No. DH-1, 38.0^m)
 ag : augite, ho : hornblende, bi : biotite,
 ga : garnet, q : quartz, pl : plagioclase

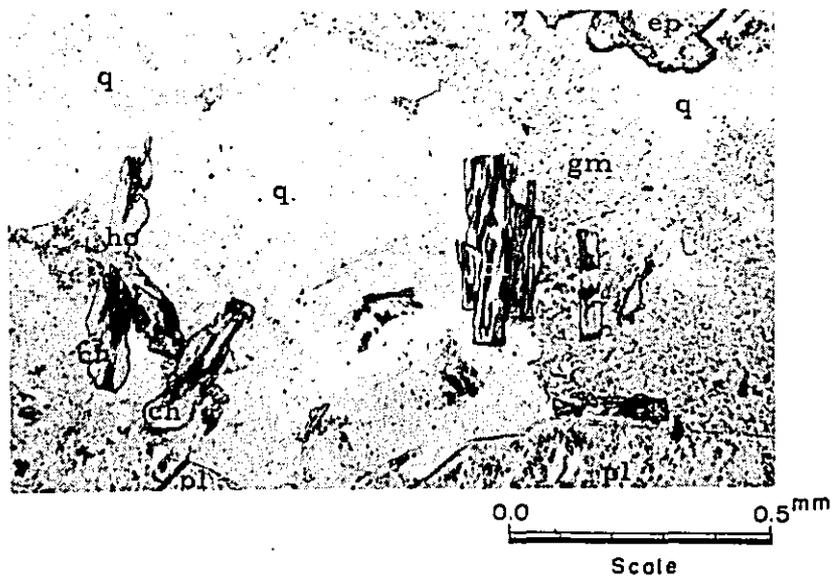


PL-10 Biotite granite (Sample No. 102303)
 bi : biotite, ch : chlorite, op : opaque mineral,
 pl : plagioclase, q : quartz, or : orthoclase



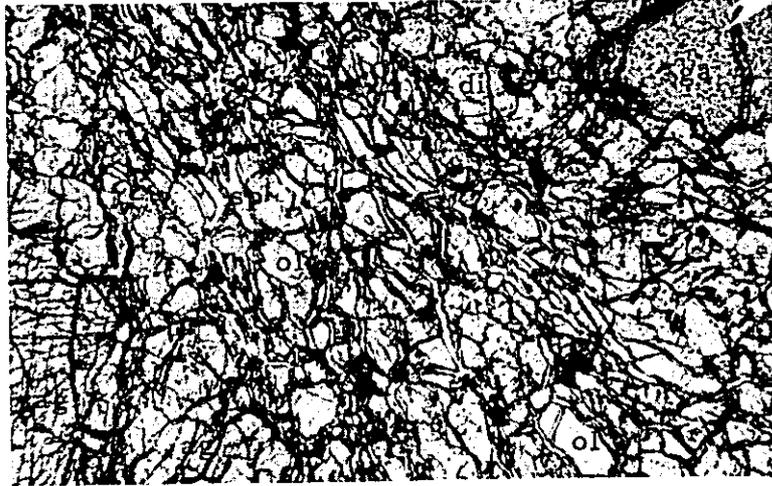
PL-11 Biotite granite (Sample No. 112502)

bi : biotite, q : quartz, or : orthoclase,
 pl : plagioclase



PL-12 Biotite-hornblende quartz porphyry (Sample No. DH-3, 114.3^m)

bi : biotite, ho : hornblende, ch : chlorite,
 pl : plagioclase, q : quartz, ep : epidote,
 gm : groundmass



0.0 0.5^{mm}

Scale

PL-13 Garnet bearing augite peridotite (Sample No. 111306)

sp : serpentine, ag : augite, ga : garnet,
di : diopside, ol : olivine



0.0 0.5^{mm}

Scale

PL-14 Hornblende-augite-biotite-quartz gabbro (Sample No. 010107)

ho : hornblende, ag : augite, bi : biotite,
q : quartz, pl : plagioclase

Appendix 1-3. Mineral Assemblages of Metamorphic Rocks in Thin Sections

Sample Number	Rock Name	Quartz	Plagioclase	K-feldspar	Biotite	Muscovite	Garnet	Augite	Diallage	Dioptase	Hypersthene	Hornblende	Actinolite	Spinel	Sillimanite	Sphene	Rutile	Tourmaline	Apatite	Graphite	Epidote	Zoisite	Allanite	Adularia	Sericite	Chlorite	Zeolite	Opaque mineral	Carbonates	Crustobalite					
		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
DH-3, 14.3 ^m	Biotite gneiss	+	+	+	+											+			+																
DH-2, 30.5 ^m	Sillimanite-biotite gneiss	+	+	+	+										+																				
112902	Sillimanite-muscovite-biotite gneiss	+	+	+	+	+									+																				
111708	Biotite-hornblende schist	+	+	+	+							+																							
102708	Biotite-dioptase-quartz schist	+	+	+	+			+		+																									
102703	Dioptase-hornblende-biotite schist	+	+	+	+			+				+																							
102712	Augite-hornblende-biotite gneiss	+	+	+	+			+				+																							
010101	Sillimanite-augite muscovite-biotite gneiss	+	+	+	+	+		+							+																				
102714	Diallage-augite gneiss	+	+	+	+			+																											
110404	Biotite-augite gneiss	+	+	+	+			+																											
111803	Garnet-hornblende-biotite schist	+	+	+	+							+																							
110408	Silicified muscovite-biotite-garnet gneiss	+	+	+	+																														
DH-1, 118.5 ^m	Silicified biotite-garnet gneiss	+	+	+	+																														
103103A	Biotite-garnet gneiss	+	+	+	+																														
DH-1, 100.2 ^m	Brecciated biotite-garnet gneiss	+	+	+	+																														

Appendix 1-4. Mineral Assemblages Determined by X-ray Diffraction

Sample No.	Quartz	Feldspar	Amphibole	Biotite or Muscovite	Sericite	Chlorite	Mont- morillonite	Zeolite (Laumontite)	Calcite	Others
102713	+++	++	+	-	-	+++	(+)	++	-	
103105	++	++	-	-	-	+	-	++	-	3.08 Å mineral
111501	++	++	-	-	+++	++	-	-	-	
111505	++	++	-	+	-	+++	(+)	(+)	-	
112006	+++	++	-	-	-	++	+++	-	-	
DH-1, 48.5m	+++	+++	+	+	-	-	+	-	-	
55.4m	++	+++	-	-	-	++	-	-	-	
91.5m	++	++	-	-	-	+++	-	-	-	
100.2m	+++	+	-	-	(+)	+++	-	+	-	
107.0m	+	-	+	-	-	-	+++	+	+	3.08 Å mineral
111.6m	++	-	-	-	-	++	++	+++	-	
118.5m	+++	+	-	-	+	-	-	+++	-	
DH-2, 82.0m	++	++	-	++	-	+++	(+)	(+)	-	
87.0m	+	-	++	+	-	+	+++	(+)	-	2.99 Å mineral 3.14 Å mineral
95.7m	+	+	-	+	-	+++	-	+	-	
109.0m	++	+++	+++	(+)	-	+++	-	-	-	
120.0m	++	+++	+	++	-	+++	-	+	-	
130.0m	++	++	+++	++	-	+++	-	+	-	

Notes : +++ Abundant ++ Common + Little (+) Minor

Appendix 1-5

Microscopic Observation of Polished Sections

(1) 102303 (Biotite granite)

Mineral Assemblage : pyrite, magnetite, chalcopyrite

Pyrite : Euhedral small crystals (0.1 - 0.2 mm in diameter) are impregnated.

Thin veinlets of pyrite are rarely observed. In some places, magnetite is replaced by pyrite.

Magnetite : A bit of magnetite is remained in pyrite crystals. Most crystals are fine grained, irregular shaped and are enclosed in pyrite.

Chalcopyrite : Minor amount of granular crystals of 0.05 mm size is observed.

In some places, chalcopyrite coexists with pyrite.

(2) 103103-A (Garnet-biotite gneiss)

Mineral Assemblage : marcasite, rutile, pyrrhotite, chalcopyrite, graphite

Marcasite : Large amount of marcasite shows irregular shaped form of 0.1 to 0.5 mm (maximum 1.5 mm) in size.

Colloform texture is distinctly developed in marcasite crystals. In some places, a bit of pyrrhotite is included in marcasite grains.

Chalcopyrite : Small amount of chalcopyrite is observed.

It shows irregular shape of less than 0.1 mm in size.

Coexistence of chalcopyrite with pyrrhotite which is altered to marcasite is common.

Rutile : Large amount of rutile of lod-like shape of 0.1 to 0.5 mm size is found.

Graphite : Relatively large amount of graphite exists.

It has lamellae texture of 0.1 to 0.5 mm in length.

(3) 103103-B (Garnet biotite gneiss)

Mineral Assemblage : pyrrhotite, rutile, ilmenite, marcasite,
chalcopyrite, graphite

Pyrrhotite : Large amount of elongated-shaped pyrrhotite crystals
of 0.1 to 1.0 mm in length is observed. Rim of the crystals is
altered to marcasite.

Chalcopyrite : Chalcopyrite assumes granular shape of 0.05 mm
in diameter.

Coexistence with pyrrhotite is common.

Rutile, Ilmenite : They are 0.05 to 0.1 mm in size, and commonly
coexist with each other. Exsolution texture of rutile from
ilmenite is observed.

Graphite : abundant.

Weak preferred orientation of mineral grains is observed.

(4) 110404 (Biotite gneiss)

Mineral Assemblage : pyrrhotite, rutile, chalcopyrite, graphite

Pyrrhotite : Small amount of irregular shaped pyrrhotite crystals
of 0.1 mm size is disseminated.

Rutile : Small amount of rutile crystals of 0.05 x 0.1 - 0.2 mm
size is dispersed.

Chalcopyrite : Minor amount of chalcopyrite grains of 0.01 -
0.05 mm size coexists with pyrrhotite.

Graphite : Large amount of lamellae graphite is observed.

(5) 111802 (Biotite schist)

Mineral Assemblage : ilmenite, pyrite, marcasite, chalcopyrite

Ilmenite : Large amount of ilmenite grains of 0.05 mm size is observed.

They are orientated in sub-parallel with schistosity.

Pyrite : Pyrite crystals show euhedral form of 0.05 - 0.2 mm size and are roughly orientated in sub-parallel with schistosity.

Marcasite : Marcasite looks like to be altered partially from pyrite.

Chalcopyrite : Minor amount of chalcopyrite (0.05 mm in size) is coexisted with pyrite.

(6) 112101 (Garnet-biotite gneiss)

Mineral Assemblage : pyrrhotite, rutile, ilmenite, chalcopyrite, graphite

Pyrrhotite : Irregular shaped pyrrhotite crystals of 0.05 - 0.2 mm in size are abundant, some of them being coexisted with rutile.

Rutile, Ilmenite : Abundant. Ilmenite is partially exsolved to rutile.

Chalcopyrite : Small amount of fine grained (0.01 - 0.02 mm in size) granular crystals of chalcopyrite is observed.

(7) 120402 (Garnet-biotite gneiss)

Mineral Assemblage : ilmenite, rutile, pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite

Pyrrhotite, Pyrite : Granular crystals of 0.05 - 0.1 mm in size are disseminated.

Chalcopyrite : Chalcopyrite grain of 0.05 x 0.1 mm in size is rarely found.

Ilmenite : Grains of about 0.05 x 0.2 mm size are dispersed.

Rutile : Small amount of rutile crystals less than 0.05 mm in size is observed.

Graphite : Not present.

(8) 122704 (Biotite-garnet gneiss)

Mineral Assemblage : pyrrhotite, pyrite, ilmenite, rutile, chalcopyrite

Pyrrhotite, Pyrite : The crystals of 0.05 - 0.1 mm in size are disseminated.

Chalcopyrite : Very fine grained chalcopyrite is coexisted with pyrrhotite.

Graphite : Not present.

(9) 122809 (Garnet-biotite gneiss)

Mineral Assemblage : pyrrhotite, ilmenite, marcasite
Small amount of pyrrhotite of less than 0.05 mm in size is disseminated.

A part of pyrrhotite crystals is altered to marcasite.

Ilmenite crystals of 0.05 - 0.1 mm in size are disseminated.

Weak preferred orientation of mineral in sub-parallel to gneissosity is observed.

(10) 010105

Mineral Assemblage : marcasite, pyrrhotite, rutile, ilmenite

Small amount of pyrrhotite grains of 0.1 x 0.2 mm in size exists. They are oriented and mostly altered to marcasite. Rutile of less than 0.05 mm in size and minor amount of ilmenite are dispersed.

(11) DH-3(102.0^m)(Biotite-hornblende, quartz porphyry)

Mineral Assemblage : pyrite

A bit of pyrite of 0.5 mm in size is observed.

Appendix 1-6

Chemical Analyses of Sulfides-disseminated Rock Samples

Sample No.		Cu %	S %	Sample No.		Cu %	S %
1	102403	0.02	1.42	16	122604	<0.01	0.47
2	102601	<0.01	0.25	17	122702	<0.01	0.22
3	103103A	0.07	5.47	18	122704	<0.01	0.19
4	103103B	0.03	2.78	19	122809	<0.01	0.40
5	103104	0.01	0.70	20	123011	0.01	1.80
6	111304A	<0.01	1.08	21	123013	<0.01	0.36
7	111305	0.02	1.49	22	010103	0.02	0.85
8	111802	0.02	1.94	23	010105	0.01	1.30
9	112001	<0.01	0.13	24	DH-1, 38.0 ^m	<0.01	0.16
10	112004	0.01	0.25	25	DH-1, 91.5 ^m	<0.01	0.14
11	112101	0.02	1.60	26	DH-2, 68.4 ^m	0.02	1.30
12	120204	0.01	0.36	27	DH-2, 95.7 ^m	<0.01	0.28
13	120402	<0.01	0.32	28	DH-2, 130.0 ^m	<0.01	0.19
14	122005	<0.01	0.32	29	DH-3, 69.5 ^m	<0.01	0.33
15	122203	<0.01	0.13	30	DH-3, 114.3 ^m	<0.01	0.09

Appendix 2

Copper Contents of Geochemical Soil Samples

Abbreviations :

SL : Soil
 SN : Sandy
 B : Brown
 Y : Yellow
 G : Grey

No.	Sample No.	Nature of Sample	Color	Cu (p.p.m.)	No.	Sample No.	Nature of Sample	Color	Cu (p.p.m.)
1	1 - 1	SL	B	10	46	37	SN	B	30
2	3	SL	B	13	47	39	SN	B	5
3	5	SL	B	10	48	41	SN	B	8
4	7	SL	B	18	49	4 - 1	SL	B	40
5	9	SL	G	33	50	3	SL	B	20
6	11	SL	B	18	51	4 - 5	SL	B	60
7	13	SL	B	10	52	7	SL	G	75
8	15	SL	G	13	53	5 - 3	SL	B	25
9	17	SL	B	23	54	5	SL	B	18
10	19	SL	G	28	55	7	SL	B	55
11	21	SL	B	57	56	9	SL	G	3
12	23	SL	B	38	57	11	SL	B	12
13	25	SL	B	60	58	13	SL	B	10
14	27	SL	Y	40	59	15	SL	G	50
15	29	SL	G	73	60	17	SL	B	50
16	31	SL	B	30	61	19	SL	B	40
17	33	SL	B	10	62	21	SL	B	25
18	35	SL	G	32	63	23	SN	B	20
19	37	SL	B	10	64	25	SL	B	3
20	39	SL	B	40	65	6 - 1	SN	Y	60
21	41	SL	G	40	66	3	SN	B	45
22	2 - 1	SN	B	20	67	5	SL	B	30
23	3	SL	B	5	68	7	SN	B	27
24	5	SN	G	10	69	9	SN	B	8
25	7	SN	G	3	70	11	SL	B	30
26	9	SL	Y	5	71	13	SN	B	48
27	11	SL	B	18	72	15	SL	B	63
28	3 - 1	SN	B	10	73	17	SN	B	30
29	3	SN	B	20	74	19	SN	B	30
30	5	SL	B	10	75	21	SN	G	65
31	7	SL	B	10	76	23	SN	Y	25
32	9	SL	B	35	77	25	SN	G	35
33	11	SL	B	40	78	27	SN	G	40
34	13	SL	B	60	79	29	SL	B	25
35	15	SL	B	40	80	31	SL	B	40
36	17	SL	Y	30	81	33	SL	B	25
37	19	SL	B	60	82	35	SL	B	45
38	21	SL	B	50	83	37	SN	B	33
39	23	SL	B	3	84	7 - 2	SL	B	40
40	25	SN	B	35	85	4	SL	B	48
41	27	SN	B	45	86	6	SL	Y	45
42	29	SN	B	55	87	8	SN	B	8
43	31	SN	B	30	88	T - 1	SN	B	45
44	33	SN	B	10	89	3	SN	B	35
45	35	SN	B	20	90	5	SN	Y	70

No.	Sample No.	Nature OF SAMPLE	Color	Cu (p. p. m.)	No.	Sample No.	Nature of Sample	Color t	Cu (p. p. m.)	
91		2'	SN	B	48	151	19	SL	B	20
92	8 -	3	SN	B	30	152	21	SL	G	15
93		5	SL	B	50	153	23	SL	G	43
94		7	SL	Y	40	154	25	SL	B	75
95		9	SL	Y	40	155	12 - 1	SL	B	30
96		11	SL	Y	75	156	3	SL	G	45
97		13	SL	B	13	157	5	SL	G	20
98		15	SN	Y	10	158	7	SN	Y	20
99		17	SN	Y	40	159	9	SL	B	63
100		19	SN	G	55	160	11	SL	G	45
101	8 -	21	SL	B	60	161	12 - 13	SL	G	33
102	9 -	3	SL	G	23	162	13 - 1	SL	G	20
103		5	SL	B	25	163	3	SL	G	175
104		7	SL	G	35	164	5	SL	G	15
105		9	SL	B	30	165	7	SL	B	20
106		11	SL	G	30	166	9	SL	G	13
107		13	SL	B	13	167	11	SL	Y	10
108		15	SL	G	10	168	13	SL	G	35
109		17	SL	B	13	169	15	SL	B	13
110		19	SL	G	3	170	17	SL	B	7
111		21	SL	B	3	171	19	SL	B	10
112		23	SL	G	13	172	21	SL	B	10
113		25	SL	B	5	173	23	SL	Y	13
114		27	SL	B	13	174	25	SL	G	8
115		29	SL	B	5	175	27	SL	B	40
116	10 -	1	SL	B	30	176	14 - 29	SL	Y	10
117		3	SL	Y	30	177	1	SL	Y	25
118		5	SL	B	25	178	3	SL	Y	15
119		7	SL	Y	25	179	5	SL	B	22
120		9	SL	B	40	180	7	SN	B	23
121		11	SL	G	40	181	9	SL	B	20
122		13	SL	B	50	182	11	SL	B	35
123		15	SL	Y	23	183	13	SN	B	23
124		17	SL	B	25	184	15	SL	Y	15
125		19	SN	B	20	185	17	SL	B	5
126		21	SN	G	33	186	19	SN	B	10
127		23	SN	B	10	187	21	SL	B	15
128		25	SL	G	55	188	23	SL	Y	35
129		27	SL	B	35	189	25	SN	B	20
130		29	SL	B	100	190	27	SN	B	50
131		31	SL	B	60	191	29	SL	B	60
132		33	SL	B	45	192	31	SL	B	13
133		35	SL	G	23	193	33	SN	Y	28
134		37	SL	G	3	194	15 - 1	SN	B	22
135		39	SL	B	40	195	3	SL	B	40
136		41	SL	B	35	196	5	SL	B	23
137		43	SL	B	50	197	7	SL	Y	13
138		45	SL	Y	150	198	9	SL	B	20
139		47	SL	Y	60	199	16 - 0	SL	B	23
140		49	SL	B	40	200	2	SL	B	23
141		51	SL	Y	35	201	4	SL	B	30
142	11 -	1	SL	B	15	202	6	SL	B	23
143		3	SL	G	15	203	8	SL	B	30
144		5	SL	G	15	204	10	SL	B	30
145		7	SL	Y	20	205	12	SL	G	23
146		9	SL	B	15	206	14	SL	B	23
147		11	SL	B	33	207	16	SL	B	33
148		13	SL	B	15	208	18	SL	B	23
149		15	SL	G	13	209	20	SL	B	23
150		17	SL	B	33	210	22	SL	B	20

No.	Sample No.	Nature of Sample	Color	Cu (p. p. m.)	No.	Sample No.	Nature of Sample	Color	Cu (p. p. m.)
211	24	SL	B	30	271	35	SL	B	40
212	26	SL	B	23	272	37	SL	B	63
213	28	SL	B	20	273	39	SL	B	20
214	30	SL	B	60	274	41	SL	B	35
215	32	SL	G	18	275	43	SL	B	33
216	34	SL	B	13	276	45	SL	B	23
217	36	SL	B	40	277	47	SL	G	43
218	38	SL	B	50	278	49	SL	B	28
219	40	SL	B	10	279	51	SL	G	43
220	17 - 0	SL	B	53	280	53	SL	G	45
221	17 - 1	SL	B	50	281	20 - 55	SL	B	35
222	3	SL	B	50	282	57	SL	G	50
223	5	SL	B	43	283	59	SL	G	53
224	7	SL	B	20	284	61	SL	G	40
225	9	SL	B	28	285	63	SL	B	60
226	11	SL	Y	20	286	65	SN	G	58
227	13	SL	B	33	287	67	SL	B	23
228	15	SL	B	30	288	69	SL	B	40
229	17	SL	B	63	289	71	SN	G	45
230	19 - 2	SL	Y	20	290	73	SL	G	70
231	4	SL	B	20	291	75	SL	B	10
232	6	SL	Y	28	292	77	SN	G	55
233	8	SL	B	40	293	79	SN	G	40
234	10	SL	B	13	294	81	SN	G	53
235	12	SL	B	10	295	83	SL	Y	80
236	14	SL	B	40	296	85	SN	G	60
237	16	SL	G	30	297	87	SL	Y	70
238	18	SL	B	50	298	89	SN	G	40
239	20	SL	B	40	299	21 - 0	SL	B	38
240	22	SL	G	30	300	2	SL	Y	30
241	24	SL	G	20	301	4	SL	B	30
242	26	SL	B	28	302	6	SL	B	33
243	28	SL	B	28	303	8	SL	Y	73
244	30	SL	B	8	304	10	SL	B	50
245	32	SL	B	30	305	12	SL	B	35
246	34	SL	B	20	306	14	SL	Y	50
247	36	SL	B	8	307	16	SL	Y	55
248	38	SL	B	8	308	18	SL	B	40
249	40	SL	B	15	309	20	SL	G	45
250	42	SL	B	10	310	22	SL	G	50
251	44	SL	B	13	311	24	SL	B	30
252	46	SL	G	3	312	26	SL	B	30
253	48	SL	B	18	313	28	SL	B	30
254	20 - 1	SL	B	20	314	22 - 1	SL	B	33
255	3	SL	G	40	315	3	SL	G	23
256	5	SL	G	40	316	5	SL	B	60
257	7	SL	Y	20	317	7	SL	B	43
258	9	SL	B	30	318	9	SL	B	48
259	11	SL	B	20	319	23 - 1	SL	B	3
260	13	SL	B	40	320	3	SL	G	20
261	15	SL	G	43	321	5	SL	G	30
262	17	SL	G	23	322	7	SL	Y	30
263	19	SL	Y	30	323	9	SL	G	23
264	21	SL	B	40	324	11	SL	B	73
265	23	SL	G	33	325	13	SL	Y	40
266	25	SL	B	30	326	15	SL	Y	60
267	27	SL	B	43	327	17	SL	G	10
268	29	SL	B	50	328	19	SL	B	18
269	31	SL	B	125	329	21	SL	B	20
270	33	SL	B	40	330	24 - 2	SL	G	40

A-52

No.	Sample No.	Nature of Sample	Color	Cu (p. p. m.)	No.	Sample No.	Nature of Sample	Color	Cu (p. p. m.)
331	4	SL	Y	43	391	37	SL	G	18
332	6	SL	G	37	392	39	SL	B	33
333	8	SL	G	35	393	41	SL	B	18
334	10	SL	G	10	394	43	SL	B	20
335	12	SL	G	15	395	45	SN	G	13
336	14	SL	G	40	396	47	SN	G	13
337	25 - 2	SL	G	38	397	49	SN	B	18
338	4	SL	B	50	398	51	SN	G	10
339	6	SL	Y	43	399	53	SN	G	13
340	8	SL	G	40	400	54	SN	G	20
341	25 - 10	SL	Y	50	401	29 - 56	SN	B	13
342	12	SL	G	33	402	57	SN	G	10
343	14	SL	G	23	403	61	SL	B	23
344	16	SL	G	8	404	63	SN	G	13
345	18	SL	B	50	405	65	SL	B	23
346	20	SL	G	45	406	67	SN	G	10
347	22	SL	G	40	407	69	SN	B	13
348	24	SL	B	60	408	73	SN	B	18
349	26	SL	B	33	409	75	SN	G	20
350	28	SL	B	40	410	77	SL	B	20
351	30	SL	Y	40	411	79	SN	G	18
352	32	SL	G	50	412	81	SN	B	43
353	34	SL	B	80	413	83	SN	B	18
354	36	SL	Y	63	414	85	SL	B	20
355	38	SL	B	90	415	87	SN	B	13
356	40	SL	Y	28	416	89	SL	B	40
357	26 - 1	SN	G	38	417	91	SL	B	3
358	3	SL	G	23	418	93	SL	B	3
359	5	SL	B	20	419	95	SN	B	20
360	7	SL	B	23	420	30 - 1	SL	B	13
361	9	SL	B	20	421	3	SN	G	23
362	11	SL	G	30	422	5	SN	B	20
363	13	SL	Y	30	423	7	SN	B	15
364	15	SL	B	23	424	9	SL	B	10
365	16	SL	G	30	425	11	SL	B	20
366	27 - 1	SL	B	30	426	13	SL	B	23
367	3	SL	G	13	427	15	SL	B	20
368	5	SL	B	33	428	17	SL	B	13
369	28 - 1	SL	B	13	429	19	SL	B	33
370	3	SL	B	20	430	21	SL	B	15
371	5	SL	B	10	431	23	SL	B	10
372	29 - 0	SL	B	10	432	25	SL	B	3
373	2	SN	G	18	433	27	SL	B	28
374	4	SN	G	13	434	29	SL	B	20
375	6	SN	B	20	435	31	SL	B	30
376	8	SL	B	20	436	31 - 33	SL	B	15
377	10	SL	Y	18	437	1	SL	B	20
378	11	SN	G	15	438	3	SL	B	18
379	13	SN	B	15	439	5	SL	B	20
380	15	SN	B	15	440	7	SL	B	20
381	17	SN	B	13	441	9	SL	B	13
382	19	SN	G	13	442	11	SL	B	20
383	21	SN	G	15	443	13	SL	B	3
384	23	SN	G	13	444	15	SL	B	3
385	25	SL	B	100	445	17	SL	B	3
386	27	SN	Y	10	446	19	SL	B	3
387	28	SN	B	20	447	21	SL	B	3
388	30	SN	G	13	448	23	SL	B	3
389	32	SL	B	33	449	25	SL	B	3
390	35	SN	G	13	450	27	SL	B	5

No.	Sample No.	Nature of Sample	Color	Cu (p. p. m.)	No.	Sample No.	Nature of Sample	Color	Cu (p. p. m.)
451	29	SL	B	20	511	47	SN	G	15
452	31	SL	Y	60	512	49	SL	B	50
453	33	SL	Y	30	513	51	SN	G	13
454	35	SL	B	28	514	53	SN	G	10
455	37	SL	B	40	515	55	SN	G	13
456	39	SL	B	3	516	57	SL	B	10
457	41	SL	G	8	517	59	SN	G	13
458	43	SL	G	13	518	61	SL	B	25
459	45	SL	B	50	519	63	SN	G	8
460	47	SL	B	63	520	65	SN	G	10
461	31 - 49	SL	Y	58	521	32 - 67	SL	G	23
462	51	SL	Y	30	522	69	SL	B	33
463	53	SL	G	3	523	71	SL	B	15
464	55	SL	B	33	524	73	SL	B	25
465	57	SL	Y	12	525	75	SL	B	23
466	59	SL	Y	10	526	77	SL	B	25
467	61	SL	B	18	527	79	SN	B	8
468	63	SL	G	3	528	81	SN	B	8
469	65	SL	B	20	529	83	SN	B	35
470	67	SL	G	25	530	85	SN	G	37
471	69	SL	Y	25	531	87	SN	B	30
472	71	SL	G	25	532	89	SL	B	35
473	73	SL	B	25	533	91	SN	B	30
474	75	SL	Y	10	534	93	SL	B	25
475	77	SL	B	18	535	95	SN	Y	25
476	79	SL	B	20	536	97	SL	G	15
477	81	SL	B	10	537	99	SN	B	30
478	83	SL	B	13	538	101	SN	G	30
479	85	SL	B	3	539	103	SN	B	23
480	87	SL	B	20	540	105	SL	Y	50
481	89	SL	Y	50	541	107	SN	B	20
482	91	SL	Y	20	542	109	SN	B	30
483	93	SL	Y	20	543	111	SN	Y	25
484	95	SL	Y	40	544	113	SL	B	25
485	97	SL	Y	30	545	115	SL	Y	10
486	99	SL	Y	23	546	117	SN	G	25
487	101	SL	B	10	547	119	SN	B	50
488	32 - 1	SL	Y	20	548	121	SL	B	3
489	3	SL	B	25	549	33 - 1	SL	G	30
490	5	SN	G	20	550	3	SL	G	30
491	7	SL	B	20	551	5	SN	G	30
492	9	SL	G	30	552	7	SN	G	30
493	11	SL	B	23	553	9	SN	Y	30
494	13	SL	G	20	554	10	SL	G	3
495	15	SL	B	23	555	12	SL	Y	20
496	17	SL	G	20	556	14	SL	G	40
497	19	SL	B	15	557	16	SL	G	38
498	21	SN	B	23	558	18	SL	Y	25
499	23	SN	G	30	559	20	SL	B	35
500	25	SN	B	25	560	22	SL	G	35
501	27	SN	G	10	561	24	SL	B	10
502	29	SN	G	20	562	26	SL	B	35
503	31	SN	G	15	563	28	SL	Y	8
504	33	SN	G	20	564	30	SL	B	18
505	35	SN	G	10	565	32	SL	Y	38
506	37	SL	B	15	566	34	SL	B	15
507	39	SL	Y	20	567	36	SL	B	30
508	41	SN	G	13	568	38	SL	G	28
509	43	SN	Y	10	569	40	SL	G	30
510	45	SL	Y	20	570	42	SL	B	20

No.	Sample No.	Nature of Sample	Color	Cu (p. p. m.)	No.	Sample No.	Nature of Sample	Color	Cu (p. p. m.)
571	44	SL	G	23	631	14	SL	B	28
572	46	SL	B	33	632	15	SL	Y	30
573	48	SL	B	30	633	16	SL	Y	10
574	50	SL	Y	53	634	17	SL	B	23
575	A - 0	SL	Y	30	635	18	SL	B	60
576	1	SL	Y	20	636	19	SL	G	28
577	2	SL	B	40	637	20	SL	G	23
578	3	SL	B	30	638	D - 1	SL	B	3
579	4	SN	G	30	639	2	SL	B	10
580	5	SL	G	13	640	3	SL	Y	20
581	A - 6	SN	B	22	641	4	SL	B	5
582	7	SL	G	10	642	5	SL	Y	3
583	8	SL	G	13	643	6	SL	Y	5
584	9	SL	B	13	644	7	SL	B	13
585	10	SL	B	10	645	9	SL	G	23
586	11	SL	Y	20	646	11	SL	G	30
587	12	SL	B	13	647	12	SL	B	45
588	13	SL	G	30	648	13	SL	B	28
589	14	SL	B	20	649	14	SL	B	20
590	15	SL	B	23	650	15	SL	G	40
591	16	SL	B	13	651	16	SL	G	20
592	17	SL	G	20	652	17	SL	Y	30
593	18	SL	B	20	653	18	SL	B	10
594	19	SL	B	30	654	19	SL	Y	13
595	20	SL	B	30	655	20	SL	Y	20
596	B - 0	SL	B	10	656	E - 0	SL	G	33
597	1	SL	G	8	657	1	SL	Y	25
598	2	SL	B	30	658	2	SL	G	10
599	3	SL	B	18	659	3	SL	B	20
600	4	SL	G	20	660	4	SL	G	25
601	5	SL	B	3	661	5	SL	G	35
602	6	SL	B	20	662	6	SL	G	13
603	7	SL	G	13	663	7	SL	B	20
604	8	SL	Y	20	664	8	SL	B	45
605	9	SL	Y	10	665	9	SL	B	10
606	10	SL	G	10	666	10	SL	B	30
607	11	SL	G	33	667	11	SL	B	30
608	12	SL	B	60	668	12	SL	B	15
609	13	SL	Y	23	669	13	SL	B	20
610	14	SL	B	8	670	14	SL	Y	20
611	15	SL	G	10	671	15	SL	Y	12
612	16	SL	B	3	672	16	SL	B	15
613	17	SL	Y	33	673	17	SL	Y	20
614	18	SL	Y	18	674	18	SL	Y	18
615	19	SL	Y	3	675	19	SL	Y	15
616	20	SL	B	33	676	F - 20	SL	G	10
617	C - 0	SL	G	25	677	1	SL	B	23
618	1	SL	G	20	678	2	SL	B	30
619	2	SL	G	30	679	3	SL	G	13
620	3	SL	B	20	680	4	SL	B	22
621	4	SL	G	22	681	5	SL	G	30
622	5	SL	B	20	682	6	SL	Y	30
623	6	SL	B	35	683	7	SL	G	12
624	7	SL	B	15	684	8	SL	B	25
625	8	SL	B	25	685	9	SL	Y	8
626	9	SL	B	15	686	G - 10	SL	G	13
627	10	SL	Y	25	687	1	SL	B	43
628	11	SL	B	33	688	2	SL	B	30
629	12	SL	B	30	689	3	SL	B	10
630	13	SL	B	23	690	4	SL	B	3

No.	Sample No.	Nature of Sample	Color	Cu (p. p. m.)	No.	Sample No.	Nature of Sample	Color	Cu (p. p. m.)
691	5	SL	Y	8	734		SL	B	23
692	6	SL	Y	8	735	J - 0	SL	G	30
693	7	SL	Y	100	736		SL	B	10
694	8	SL	Y	45	737		SL	G	10
695	9	SL	Y	5	738		SL	Y	40
696	10	SL	Y	8	739		SL	G	28
697	11	SL	G	3	740		SL	Y	43
698	12	SL	B	3	741		SL	B	20
699	13	SL	B	3	742		SL	Y	33
700	14	SL	B	5	743		SL	B	60
701	G - 15	SL	G	30	744		SL	B	125
702		SL	B	30	745	J' - 1	SL	B	13
703		SL	B	30	746		SL	G	100
704		SL	G	13	747		SL	B	40
705		SL	B	10	748		SL	B	30
706		SL	G	30	749		SL	G	50
707	H - 0	SL	G	10	750	X - 1	SL	B	13
708		SL	G	10	751		SL	B	13
709		SL	B	10	752		SL	G	3
710		SL	B	10	753		SL	Y	40
711		SN	G	10	754		SL	Y	20
712		SL	B	10	755		SL	Y	20
713		SL	B	10	756		SL	Y	23
714		SL	G	10	757		SL	G	23
715		SL	Y	8	758		SL	Y	65
716		SL	B	10	759		SL	Y	8
717		SL	Y	5	760		SL	B	50
718	I - 0	SL	B	10	761		SL	G	30
719		SL	G	3	762		SL	B	10
720		SL	Y	3	763		SL	B	30
721		SL	B	13	764		SL	B	33
722		SL	B	3	765		SL	G	12
723		SL	Y	8	766		SL	B	13
724		SL	B	20	767		SL	Y	33
725		SL	Y	3	768		SL	B	12
726		SL	Y	10	769		SL	B	40
727		SL	G	100	770		SL	Y	10
728		SL	G	30	771		SL	G	13
729	I' - 1	SL	G	28	772		SL	B	10
730		SL	B	13	773		SL	B	8
731		SL	Y	18	774		SL	G	30
732		SL	G	20	775		SL	B	20
733		SL	B	40					

Appendix 4

Drill Log

Depth (m)	Columnar Section	Color	Mineralization	Alteration		Rock Name	Description
				Zeolite (Laumontite)	Montmorillonite		
						Alluvial deposit	Unconsolidated sand with pebble (3-10cm).
10.5 11.0		Pale gray				Biotite granite	
20		Dark gray				Biotite gneiss	Melanoclastic biotite gneiss (color index : 40) 11.0-17.0 , thin iron sulfides film is observed along cracks. Strong gneissose structure shows 70 degree of dip. Dip of gneissosity is about 60 degree. In thin section (DH-2, 30.5) , mainly composed of quartz, plagioclase and biotite. Sillimanite is enclosed in quartz and plagioclase crystals. Montmorillonite-like minerals are observed in plagioclase crystals.
31.8 33.3 34.5		Pale gray				Biotite granite	Weak pyrite impregnation. 33.0-33.3 , biotite gneiss.
40						Biotite gneiss	Color index : 40 Strong gneissosity with 45 degree of dip is observed. Color index : 30-40
50		Pale gray					
60							

Depth (m)	Columnar Section	Color	Mineralization	Alteration Zeolite (Laumontite) Montmorillonite Sericite Chlorite Secondary quartz Distribution of Garnet	Rock Name	Description
6.5-6.6					Alluvial deposit	Unconsolidated sand with pebbles
7.0						6.50-6.60, biotite granite
7.7		Pale gray			Biotite gneiss	Strongly thin gneissose (like schistose) biotite gneiss. Intruded by quartz-feldspar-biotite aplite. Iron sulfide dissemination along foliation.
8.5		Dark brownish gray			Biotite granite	In some places, biotite granite intrusion is observed.
8.8					Biotite granite	Gneissosity is thin and strong. Minor folding of centimeter order is distinct. General trend of gneissosity shows 35 degree of dip.
11.0		Pale gray			Biotite granite	
11.5		Dark brownish gray			Biotite gneiss	
14.5						
20		Pale gray			Biotite granite	Medium grained equigranular biotite granite, Core recovery is very low. Usually, fractured rock or only sludge. A bit of pyrite is disseminated in whole granite.
30						
40						In thin section (DH-3, 34.8), mainly formed by quartz, potash feldspar, plagioclase, biotite and hornblende. Some plagioclase has outer rim of potash feldspar. In some places, biotite is altered to chlorite.
50						
60						

70	~ ~ ~ ~ ~				Biotite gneiss	Biotite rich, strongly gneissose rock. Fine grained iron sulfides aggregate is rich in cracks of every 1-5cm distance. Small quartz veinlet is common. Partly, garnet grains are observed as dots, but not much. * 69.0-75.0, Cu 0.01%, S 0.33%
80	~ ~ ~ ~ ~	Dark gray			Garnet-biotite gneiss	83.5-86.0, Garnet dot is observed. Color index : 40
90	~ ~ ~ ~ ~				Biotite gneiss	96.75-96.8, clay (brownish montmorillonite).
96.75	~ ~ ~ ~ ~					
100	~ ~ ~ ~ ~					Core recovery is very low, but the rock shows hard feature.
101.3	v v v v v					
110	v v v v v	Pale green- ish gray			Biotite-hornblende quartz porphyry	* 114.0-115.0, Cu 0.01%, S 0.09%
120	v v v v v					In thin section (DH-3, 114.3), phenocrysts of corroded quartz, plagioclase, chloritized biotite, and epidotized hornblende are emplaced in a matrix composed of quartz and feldspar which show graphic or granophyric structure.
130	v v v v v					

