

中國通商口岸通商章程

第三卷

通商口岸

通商口岸
通商口岸

ジンバブエ共和国シャムバ地域
資源開発協力基礎調査報告書

総括報告書

JICA LIBRARY



1029810171

15336

昭和61年2月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

国際協力事業団	
受入 月日 61.9.04	534
登録No. 15336	66.1
	MPN

は し が き

日本国政府はジンバブエ共和国政府の要請にこたえ、同国北部に位置するシャムバ地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査等の鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、この調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。

本調査は昭和58年7月から昭和60年11月までの3か年にわたって実施され、ジンバブエ共和国政府関係者、特に鉱山省地質調査局の協力を得て予定どおり完了した。

本報告書は3か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いただいたジンバブエ共和国政府関係機関並びに外務省、通商産業省、在ジンバブエ日本大使館及び関係各位の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

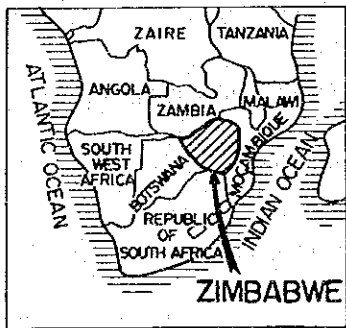
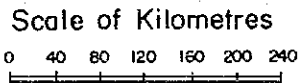
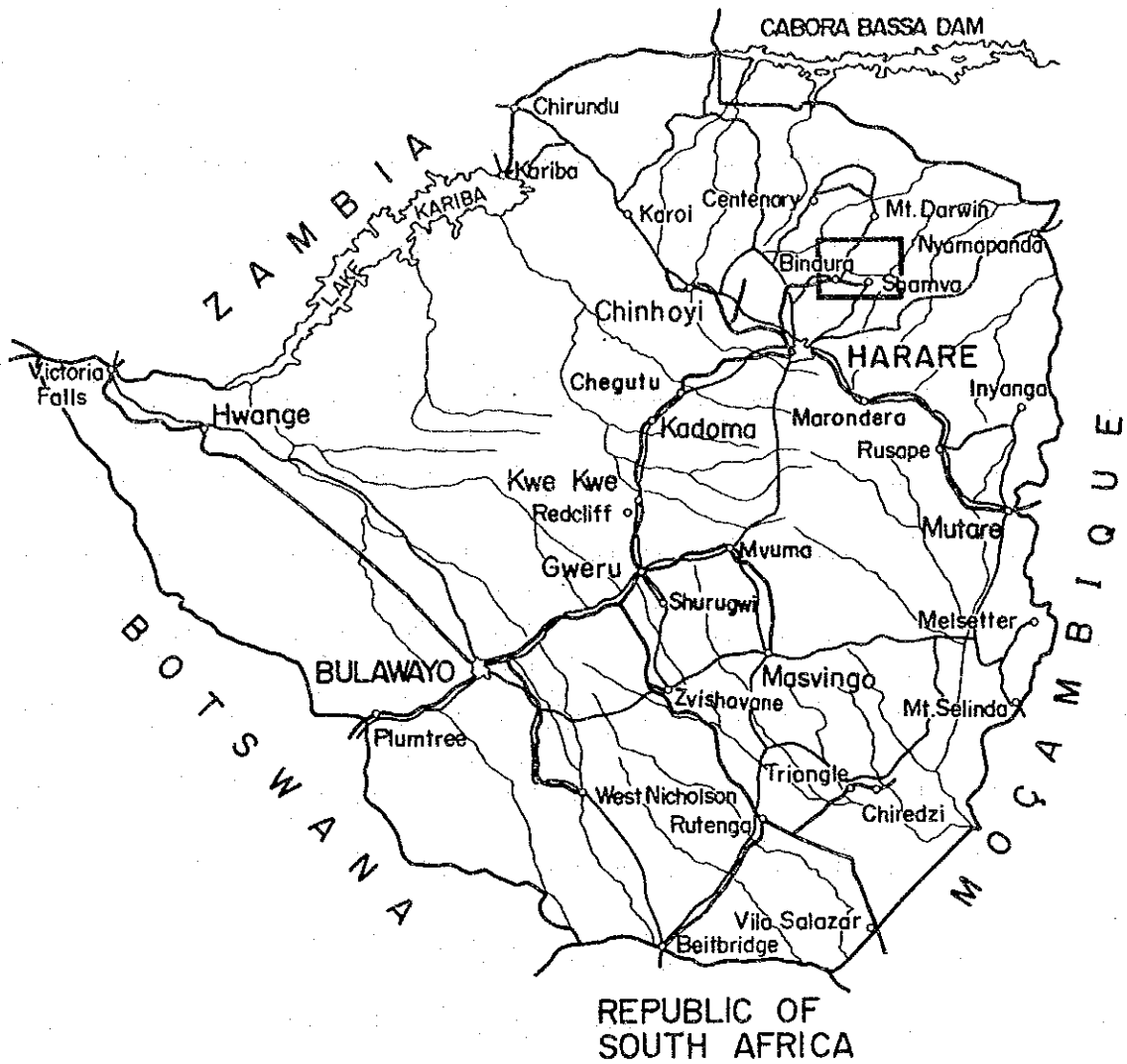
昭和61年 2 月

国際協力事業団

総 裁 有 田 圭 輔

金属鉱業事業団

理事長 西 家 正 起




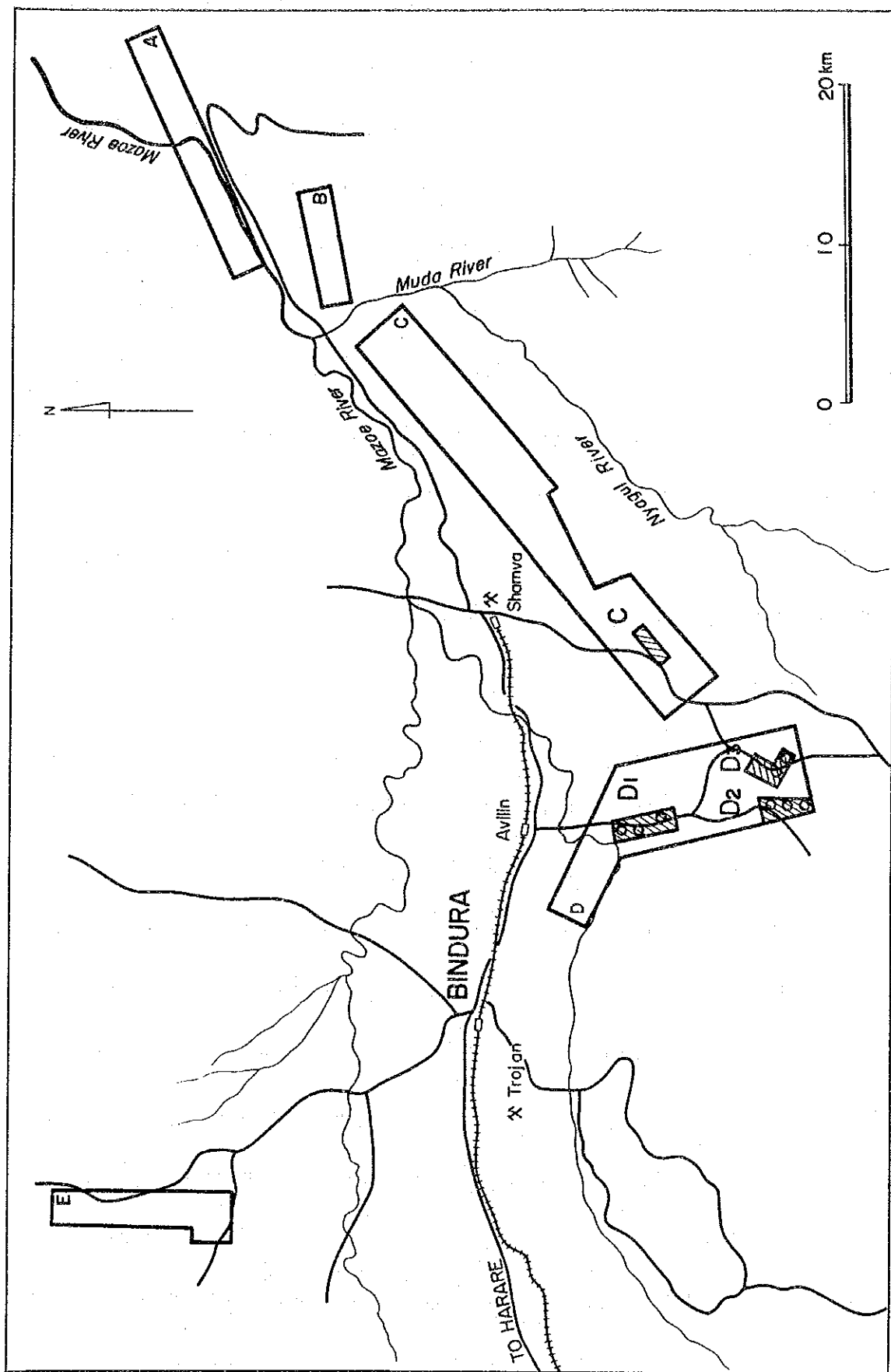
 General Survey Area

図 1 シャムバ地域位置図



Phase I (1983) Survey Area (Geological and Geochemical Surveys)
 Phase II (1984) Survey Area (Geophysical Survey)

图 2 調查地区位置图

目 次

は し が き

位 置 図

要 約

第1部 序 論

第1章 調査概要	1
1-1 調査の経緯と目的	1
1-2 調査の概要	1
1-3 調査団の編成	5
第2章 現地概要	7
2-1 位置・交通	7
2-2 地形・気候	7
2-3 一般社会状勢	7
第3章 地質概要	9
3-1 地 質	9
3-2 地質構造	13
3-3 変成作用	13
3-4 鉍床及び鉍徴地	15
3-5 地質と鉍化帯との関係	20

第2部 調査結果

第1章 A 地 区	23
1-1 地質調査	23
1-2 地化学探査	23
1-3 結 論	23
第2章 B 地 区	25
2-1 地質調査	25
2-2 地化学探査	25
2-3 結 論	25
第3章 C 地 区	27
3-1 地質調査	27
3-2 地化学探査	27
3-3 物理探査	28

3-4 結 論	28
第4章 D 地 区	31
4-1 地 質 調 査	31
4-2 地化学探査	31
4-3 物 理 探 査	32
4-4 ボーリング調査	54
4-5 結 論	60
第5章 E 地 区	61
5-1 地 質 調 査	61
5-2 地化学探査	61
5-3 結 論	61
第3部 結論と将来の展望	63
第1章 結 論	63
第2章 将 来 の 展 望	65

参 考 文 献

図 面 一 覧

図 1	シャムバ地域位置図
図 2	調査地区位置図
図 I - 3 - 1 - 1	シャムバ地域模式地質断面図
図 I - 3 - 1 - 2	調査地区間の層序対比図
図 I - 3 - 1 - 3	コマチアイト質岩石の $Al_2O_3 - (FeO + Fe_2O_3 + TiO_2) - MgO$ 三角ダイヤグラム
図 I - 3 - 2 - 1	地域全般の地質構造概要
図 I - 3 - 4 - 1	地域全般の鉍徴地分布
図 I - 3 - 5 - 1	Trojan 鉍床模式地質断面図
図 II - 3 - 3 - 1 (a)	比抵抗構造平面図 (C 地区 125 m)
" (b)	" (C 地区 325 m)
図 II - 4 - 3 - 1 (a)	" (D - 1 地区 125 m)
" (b)	" (D - 1 地区 325 m)
" (c)	" (D - 2, D - 3 地区 125 m)
" (d)	" (D - 2, D - 3 地区 325 m)
図 II - 4 - 3 - 2 (a)	SIP 結果断面図 A 測線 (1)
" (b)	" " (2)
" (c)	" B 測線 (1)
" (d)	" " (2)
" (e)	" C 測線 (1)
" (f)	" " (2)
" (g)	" D 測線 (1)
" (h)	" " (2)
図 II - 4 - 3 - 3	地質、地化学探査、物理探査結果総合図
図 II - 4 - 3 - 4 (a)	Trojan 鉍床 S I P 測線図
" (b)	" 測線断面図
図 II - 4 - 3 - 5	" 結果断面図
図 II - 4 - 4 - 1	ボーリング位置図

表 一 覧

表 I - 1 - 2 - 1	土壌サンプル一覧
表 I - 1 - 2 - 2	物理探査一覧
表 I - 1 - 2 - 3	プロジェクト進行フローチャート
表 II - 4 - 3 - 1	鉍石・岩石の IP 特性
表 II - 4 - 4 - 1	ボーリング対象地帯の異常一覧
表 II - 4 - 4 - 2	ボーリング調査孔一覧
表 II - 4 - 4 - 3	ボーリング孔の捕捉鉍徴一覧

要 約

要 約

ジンバブエ共和国シャムバ地域における資源開発協力基礎調査は、本地域の詳細な地質状況を解明することにより鉍床賦存状況を把握することを目的とし、1983年から3か年計画として開始された。

第1年次(1983年)には、本地域内の各種鉍床の分布状況を明らかにし、地質構造と鉍化作用との関連を解明することによって鉍床賦存の有望地帯を抽出するとともに、次段階の探査指針を得ることを目的とし、地質調査と地化学探査(土壌地化探)を実施した。

第2年次(1984年)には、第1年次調査の結果抽出された有望地区に対し、具体的な試錐対象地点を選定することを目的とし、物理探査(CSAMT法及びSIP法)を実施した。

第3年次(1985年)には、第2年次調査の結果抽出された有望異常帯に対し、鉍化帯の地下における賦存状況を把握することを目的とし、ボーリング探査を実施した。

調査を実施した5地区のそれぞれの結果と結論は次のとおりである。

1. A, B, E, の3地区は、地質状況、地化学探査の結果とも劣り、鉍床賦存の可能性の低い地区と認める。
2. C地区は、地質状況、地化学探査、物理探査の結果ともやゝ優良な示徴を示し、鉍床賦存の可能性が前記諸地区より高い地区と認める。
3. D地区は、地質状況、地化学探査、物理探査の結果とも、Trojan鉍床と同型のニッケル鉍床の賦存に有望な示徴を示した。その結果に基づいて実施したボーリング調査では、直接経済的な品位・規模の鉍化帯を捕捉するに至らなかったものの、8本のボーリングのうち4本で磁硫鉄鉍を主とする鉍徴を認めた。特にMJZ-3及びMJZ-7に認められた鉍徴は顕著で、これらの周辺地帯はその良好な地質環境と併せ判断して鉍床賦存に最も有望な地帯と考えられる。

以上の結果に基づき、上記MJZ-3及びMJZ-7の周辺地帯に対し、さらに詳細な物理探査を実施し、その結果に応じてボーリング調査を実施することを提言する。

第1部
序 論

第 1 章 調 査 概 要

1-1 調査の経緯と目的

ジンバブエ共和国は、地質的に豊富な鉱物資源に恵まれ、金、石綿、ニッケル、石炭、銅、クロム、すず、鉄、銀、りん鉱石、石灰岩、リチウム、マグネサイト、白金、タンタライト（1984年産額順）などの多様な鉱産物を産し、同国の外貨収入の約45%を鉱産物の輸出に依存している鉱山国である。このような背景から、同国は地下資源の探査・開発には力を入れており、1981年4月にムガベ首相が来日した際、この分野での我が国の積極的な技術協力を要請した。その後、金属鉱業事業団と同国鉱山省の接触の結果、ジンバブエ側は我が国の資源開発協力基礎調査の制度に強い関心を示し、1982年4月にShamva, Harare, Chakali and Kadoma, West Bulawayo, 及びMacDougallの5地域を候補地にあげ、同調査の実施を要請した。以後、1982年5月に鉱山省ウソクンゼ次官の来日もあり、計画は急速に具体化し、1983年4月29日、国際協力事業団及び金属鉱業事業団は、同国鉱山省地質調査局とプロジェクトに関する作業協定に調印し、シャムバ地域における調査を3年計画で実施することとなった。

本調査の目的は、本地域における詳細な地質状況を解明することにより鉱床賦存状況を把握することにある。第1年次（1983年）には、ニッケル・銅鉱床を胚胎する超苦鉄質岩類の分布と、すず、ニオブ、タンタルなどを伴うペグマタイト鉱床、及び金鉱床の分布状況を明らかにし、地質構造と鉱化作用との関連を解明することによって次段階の探査指針を得るとともに有望地区を抽出することを目的とし、地質調査と地化学探査を実施した。第2年次（1984年）には、第1年次調査の結果抽出された有望地区に対し、具体的な試錐対象異常帯を抽出することを目的とし、物理探査（CSAMT法及びSIP法）を実施した。第3年次（1985年）には、第2年次調査の結果抽出された有望異常帯に対し、鉱化帯の地下における賦存状況を把握することを目的とし、ボーリング探査を実施した。

1-2 調査の概要

1-2-1 第1年次調査（1983年）

第1年次には、シャムバ地域内に設定されたAからEまでの5地区（総面積242km²）について地質調査及び地化学探査を実施した。地質調査は、300m間隔に設定した測線に沿って踏査を行い、縮尺1:25,000のルートマップを作成した。マップには、地質状況とともに鉱化帯、旧坑、露頭の位置を明示した。これらに基づき、同縮尺の地質図を作成した。地化学探査においては、地質調査と併行して前述の測線に沿って原則的に200m間隔で土壌試料を採取したが、一部鉱化帯分布域及び超苦鉄質岩分布域では50m間隔で採取した。分析試料は計

4,501個で、これらの全部についてAu, Cu, Zn, Cr, Ni, Nb, の6成分を分析し、さらにこのうちの400試料についてCo, Sn, As, Li, W, Pt, Be, Ce, S, Ta, の10成分の追加分析を行った。また、超苦鉄質岩類の岩石試料100個について化学分析を行い、岩石系列の解明を試みた。

この結果、地質状況と地化学探査の異常帯との関係が明らかになり、これに基づいて次段階の探査候補地の抽出を行った。

なお、調査期間は1983年7月7日から同年9月22日までであった。

表 I-1-2-1 土壤サンプル一覧

Area	Number of Samples	Analysed Element
A	690	Au, Cu, Zn, Ni, Cr, Nb
B	263	Au, Cu, Zn, Ni, Cr, Nb
C	1,562	Au, Cu, Zn, Ni, Cr, Nb
	of which (124)	Additional Elements Co, Sn, As, Li, W, Pt, Be, Ce, S, Ta
D	1,498	Au, Cu, Zn, Ni, Cr, Nb
	of which (276)	Additional Elements Co, Sn, As, Li, W, Pt, Be, Ce, S, Ta
E	488	Au, Cu, Zn, Ni, Cr, Nb
Total	4,501	

1-2-2 第2年次調査(1984年)

第2年次には、第1年次の調査結果に基づいて抽出された鉍床賦存有望地区(計21km²)に対し、物理探査(CSAMT法及びSIP法)を実施した。まず初めに、全域に測点間隔300mのグリッドでCSAMT法を実施し、その結果抽出された鉍床賦存の可能性の高い低比抵抗帯を対象として測線4本(測線長計10km)を設定し、硫化鉍体を直接指示するようなIP効果の有無を知るためにSIP法を実施した。

この結果、有望な異常帯が数か所に検出され、これに基づいてボーリング探鉍の計画を立案した。

なお、調査期間は1984年7月6日から同年11月19日までであった。

表 I-1-2-2 物理探査一覧

(Field Work)

Method	Area	Plan
CSAMT	Area C	Area : 2.7 Km ² Survey Point : 44
	Area D	Area : 18.3 Km ² Survey Point : 260
SIP	Area C and D	Survey Line Length : 10.0 Km Survey Point : 300

(Laboratory Work)

Item	No. of Samples
Laboratory SIP Sample Test	20

1-2-3 第3年次調査(1985年)

第3年次には、前年次までに実施した諸調査の結果に基づいて抽出された鉱床賦存の可能性の高い有望異常帯に対し、8本、総孔長1,651 mのボーリングを実施した。

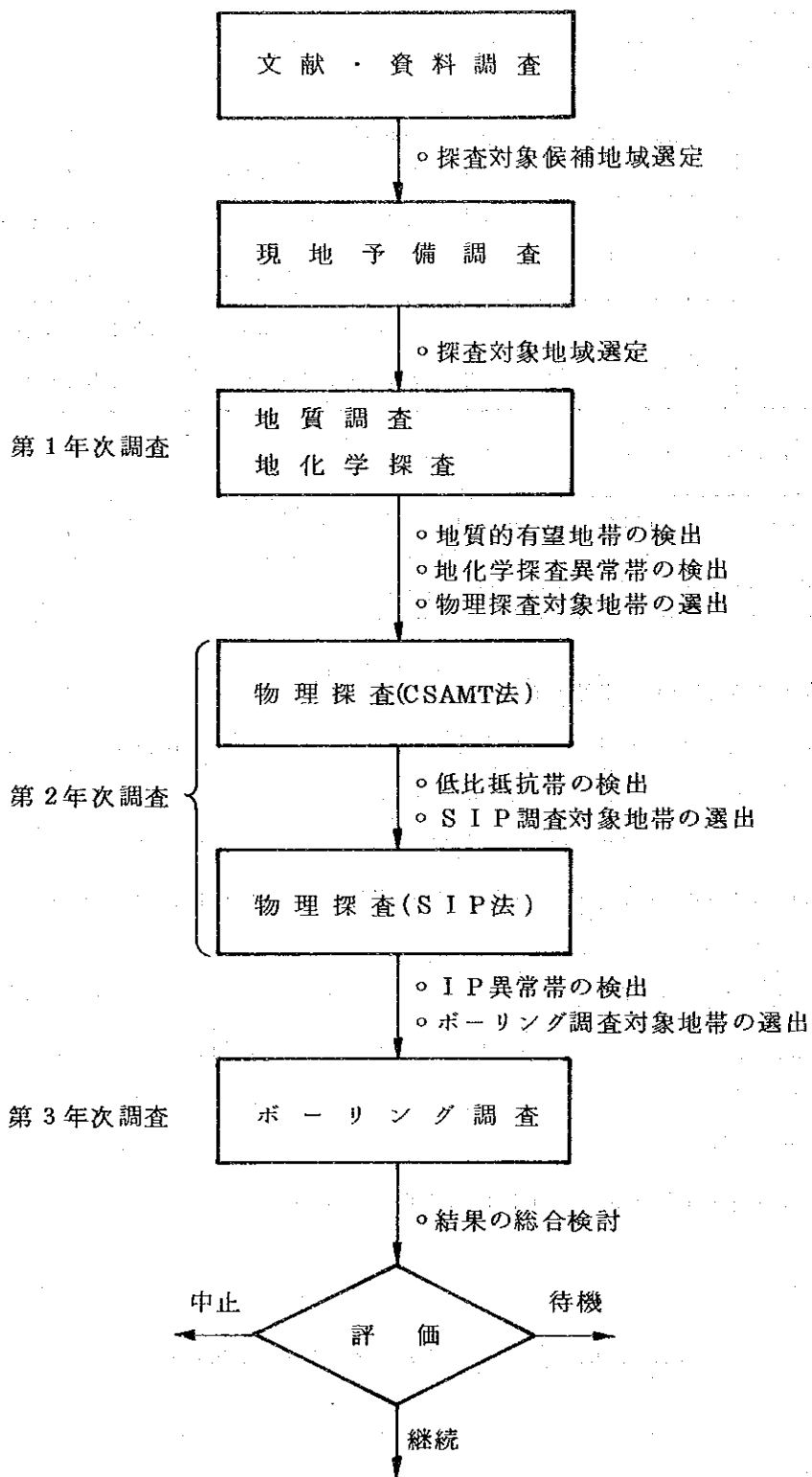
ボーリング作業は、現地の試錐請負業者と契約し、すべて請負で実施した。ボーリング調査の結果は、実施した8本のうち4本で何らかの鉱徴が認められたが、直接経済的品位を示すものを捕捉することはできなかった。

結論として、調査地域は鉱床賦存の可能性の高い有望地帯であり、第1年次から第3年次までに実施した探査のプロセスは適切なものであり、ボーリングの結果は前記諸調査の結果をよく説明できるものであったといえる。なお、幾つかのボーリング孔の周辺地帯は、さらに精査を実施するに値すると思われる。

なお、調査期間は1985年6月21日から同年11月8日までであった。

なお、本プロジェクトの進行状況をフローチャートで示すと次のとおりである。

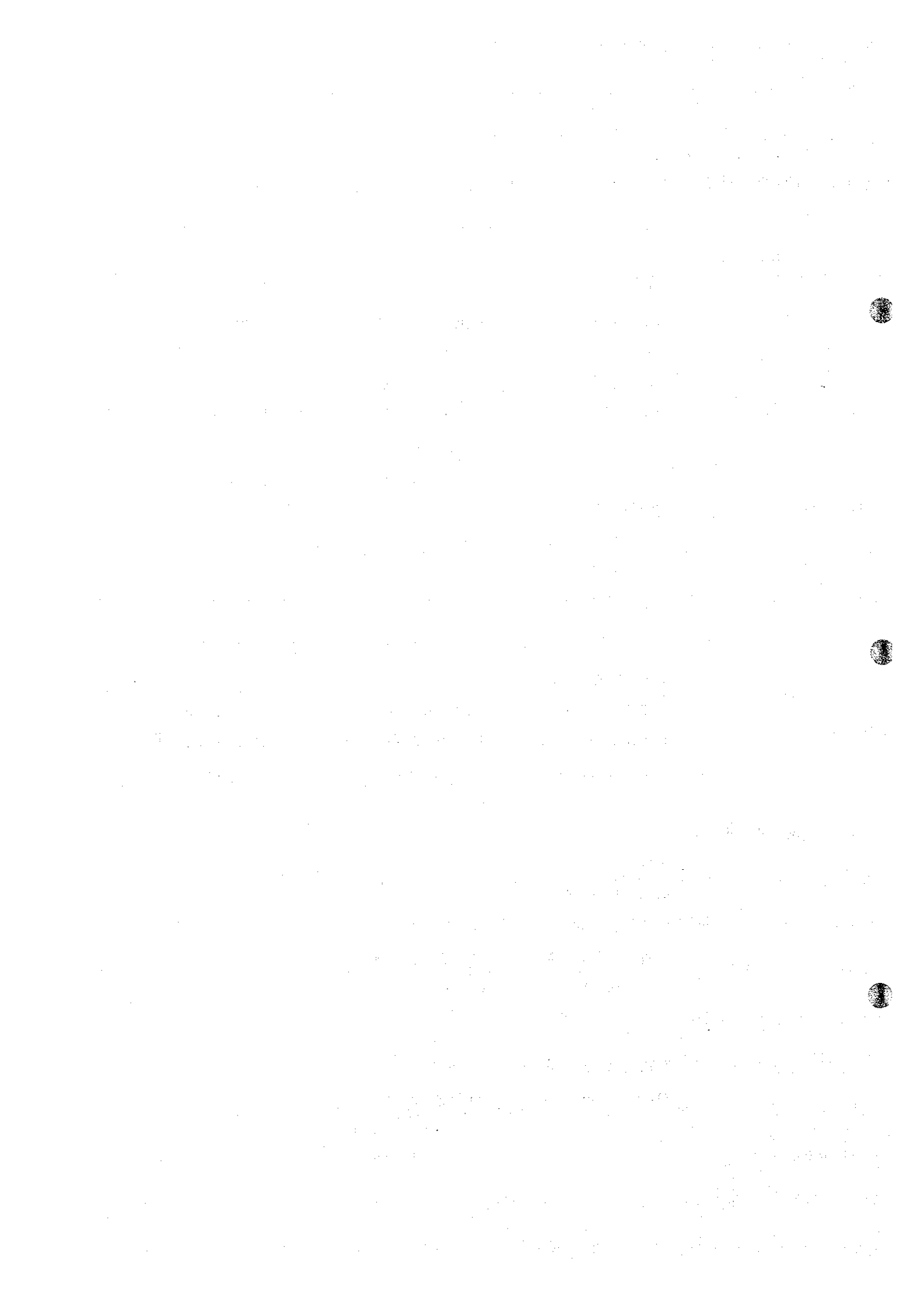
表 I-1-2-3 プロジェクト進行フローチャート



1-3 調査団の編成

調査計画の策定及び現地折衝，並びに現地調査に参画した調査員は下記のとおりである。

	1983年	1984年	1985年
調査計画策定及び折衝			
日本側			
金属鉱業事業団		金属鉱業事業団	金属鉱業事業団
石田 眞		石田 眞	石田 眞
中山 健		中山 健	逆瀬川 敏夫
山本 恭久		山本 恭久	山本 恭久
		江沢 忠昭	北 良行
		鈴木 洋介	鈴木 洋介
国際協力事業団			
江沢 忠昭			
通商産業省			
水沢 誠一			
ジンバブエ側			
鉱山省地質調査局			
E.R.Morrison		E.R.Morrison	E.R.Morrison
D.E.H.Murangari		D.E.H.Murangari	D.E.H.Murangari
C.B.Anderson		C.B.Anderson	C.B.Anderson
現地調査			
日本側			
同和工営株式会社			
黒沼 廣治		香村 明美	香村 明美
香村 明美		遠藤 康雄	
増淵 和芳		椿田 利家	
ジンバブエ側			
鉱山省地質調査局			
Owen Nyamana		Peter Zhou	
		Mabasa Hawadi	



第2章 現地概要

2-1 位置・交通

調査地域は、首都 Harare の北東直距離約 70 Km にある Bindura の町の東方約 5 Km から 60 Km に位置する。Harare から Bindura までは、車で一級国道を 87 Km、約 1 時間で達することができる。Bindura から調査地域の最東端までは、Shamva までは舗装道路であるが、以東は未舗装で、一部は山道の悪路を通らなければならず、車で約 1 時間半を要する。しかし、全般的にアクセスに問題はなく、特に地域西部は交通至便である。また、Harare から Shamva へ至る国道を通して調査地域に至ることもできる。この場合の所要時間は、地域の南端まで約 45 分である。

2-2 地形・気候

調査地域は、南部アフリカ高原地帯にあり、標高 1,000 m ~ 1,200 m の所に位置する。地形は地質をよく反映しており、安山岩ないし玄武岩質溶岩類、蛇紋岩類、縞状鉄岩などが分布する地帯は、地質の伸びに平行した比高 200 m ~ 300 m の細長い山地を、また花崗岩、片麻岩類の分布する地帯は特徴的な円丘状の山丘を形成している。調査地は前者の地帯に属しており、植生は粗な灌木が繁茂している程度であるが、場所によっては下草の繁茂が著しい。

調査地域は、南緯 17 度付近にあるにもかかわらず、高原地帯にあるため熱帯性気候を示さない。乾季と雨季が明瞭に分かれ、年間降雨量の 700 mm ~ 900 mm は 11 月から 4 月までの雨季に集中する。調査時は乾季の最中に当り、期間中に降雨が 1 日 ~ 2 日あったのみであった。日中の気温は 20 °C ~ 25 °C であるが、夜間は 4 °C ~ 8 °C に下がり、特に早朝は肌寒く、ときに霜のおりることさえある。10 月は最も暑い時期で、夜間を通して 30 °C を下らない熱帯夜となる。しかし、11 月に入ると天候は急激に変化し、連日午後から降雨を見るようになり、気温も 20 °C 前後に降下する。

2-3 一般社会状況

ジンバブエ共和国は、1980年に独立を果たした国であるが、それまでは少数白人支配を受けていた国際的な孤児であった。独立後は、白人とアフリカ人が共同して国の発展に寄与するような政策を進めてきているが、基本的に社会主義社会の建設を目指している。他面、人口の 74% を占めるシヨナ族と、少数派のマタベレ族との対立関係があり、マタベレ族の準拠する南部の Bulawayo 付近ではゲリラ活動など不穏な状態にある。しかし、調査地周辺は首都 Harare にも近く、治安上の問題はみられない。

1985年7月1日から5日までに実施された独立時以後の初の総選挙の結果、シヨナ族を基

盤とする与党のZANUが圧倒的な勝利を収め、マタベレ族を基盤とする少数野党のZAPUは苦しい立場に立たされている。

独立後5年を経て社会主義政策は徐々に浸透し、白人の流出も依然として続いている。(1985年現在約7万人残留)。農産物と鉱産物の輸出に依存する同国の経済は、今年の豊富な降雨によって農業生産が好調をとり戻したために、国際収支に改善のきざしを見せはじめ、GDPも前年比5%の増加を達成する見込みである。インフレーションは年率11%~12%に治まりかけたが、ジンバブエ・ドルは下げ続け、1985年11月現在1Z\$=0.60US\$となっている。昨年からの経済の立て直しを計って実施されている利益・配当の国外送金の停止や、輸出入の規制の強化などの措置は、依然として続けられている。

調査地域周辺の主な産業は農業と鉱業であり、Binduraは両産業の中心地である。周辺の大農場は、ほとんどが白人によって所有され、大規模機械化農業が営まれているが、遠隔地に行くとアフリカ人の自治区があり、小規模な手作業による農業が営まれている。農作物は、とりもろこし、たばこ、綿花を主体とし、一部にコーヒー、茶、柑橘類、野菜などが作られている。また、牛の牧畜も盛んである。

鉱業は、Binduraの南西約5Kmに同国最大のニッケル鉱山であるTrojan鉱山が、東方約20KmにShamva金鉱山が、東北方1KmにR.A.N.金鉱山があり、いずれも稼行中である。一方、Mazoe川沿いの各所では、地元民によって小規模に砂金が堀られている。これらの鉱業活動は、地方の経済に大きく寄与している。

調査地域のインフラストラクチャーは、交通(鉄道・道路)、通信(郵便・電話)、電力、労働力、住宅など、いずれも整っている。

第3章 地質概要

3-1 地質

地質的に本地域は、ジンバブエの東半部を占める始生代のローデシア剛塊の内部にとり込まれた Mazoe - Shamva 緑色岩帯の東部に位置する。本緑色岩帯内には、後述のように多数の多様な鉱床や鉱徴が知られている。本緑色岩帯は、緑色変成岩相を示す Bulawayan 層群及び Shamvaian 層群から構成される略東西に伸びた弧状帯で、その周囲は花崗岩・片麻岩複合岩体によって囲まれている。また、本緑色岩体の内部には、花崗岩岩株、ペグマタイト、斑れい岩、蛇紋岩、粗粒玄武岩などの多くの貫入岩体が認められる。本緑色岩帯の地質層序とその構成岩石、及び模式地質柱状図を図 1-3-1-1 に示す。

下部 Bulawayan 層（下部緑色岩層）は、調査地域の緑色岩帯の最下位を構成するもので、地域南西部の Chindamora 花崗岩質底盤の周縁部に分布する。本層は、主に珪長質～苦鉄質火砕岩類、砂岩、石灰岩、縞状鉄岩（酸化鉄及び凝灰質薄層を挟在するチャート）から構成される。地域内での層厚は、最大 1,000 m である。

上部 Bulawayan 層（上部緑色岩層）は、下部 Bulawayan 層を不整合に覆い、調査地域に最も広く分布する。本層は、安山岩質～玄武岩質～コマチアイト質溶岩類、同質火砕岩類、縞状鉄岩、石灰岩などから構成される。地域内での層厚は 5,000 m 以内である。

Shamvaian 層群は、調査地域の中央部に上部 Bulawayan 層を不整合に覆って東西に伸びて分布する。本層は、主に礫岩、珪長質～苦鉄質火砕岩類から構成され、礫岩は頁岩や砂岩を主体とする多様な岩石礫から構成される。地域内での層厚は 7,000 m 以内である。

本調査地域内に認められる貫入岩類には次のものがある。

蛇紋岩： 本岩は調査地域内に広範囲に分布する。中粒で灰緑色を呈し緑泥石細脈及び炭酸塩鉱物のパッチを伴うものと、細粒で暗緑色を呈し塊状の見掛けを呈するものとに大別できる。この蛇紋岩と上部 Bulawayan 層中の超苦鉄質溶岩の一部とは、MgO 成分に著しく富む（35%以上）コマチアイト系の岩石に属し、野外で特徴的なスピニフィックス組織を呈することで識別できることがある。鏡下では、角閃石、透角閃石、緑泥石、斜長石などの細粒結晶の集合からなり、局部的に黒雲母、緑れん石、チタン石、鉄鉱物などを随伴し、プラスト・スピニフィックス組織が認められる。なお、採取したコマチアイト質岩の化学分析結果に基づく（ $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ ）- Al_2O_3 -MgO の三角ダイアグラムを図 1-3-1-3 に示す。

花崗岩類： 緑色岩帯の周囲は、花崗岩類や片麻岩類からなる複合岩体によってとり囲まれている。これらの一部は古い基盤を構成するものであるが、一部は再溶融・再活動の結果、緑色岩帯中への進入相を呈している。したがって、岩相も多様に変化する。

ペグマタイト： 上述の花崗岩類の活動に伴って、同岩体中や周辺部に脈状に貫入する。石

層 群 層 岩 相

Shamvaian ----- 粘土質～礫岩質堆積岩類, 火砕岩類

Bulawayan { 上部綠色岩 ----- 苦鉄質火山岩類, 蛇紋岩, 火砕岩類, 縞状
 (上部 Bulawayan) 鉄岩, 石灰岩など
 下部綠色岩 ----- 珪長質～苦鉄質火砕岩類, 砂岩,
 (下部 Bulawayan) 縞状鉄岩, 石灰岩など

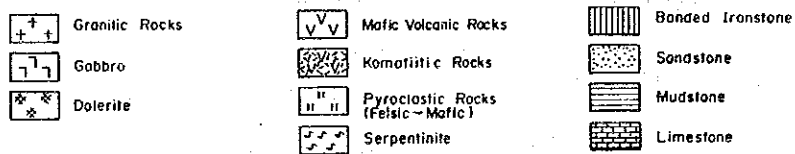
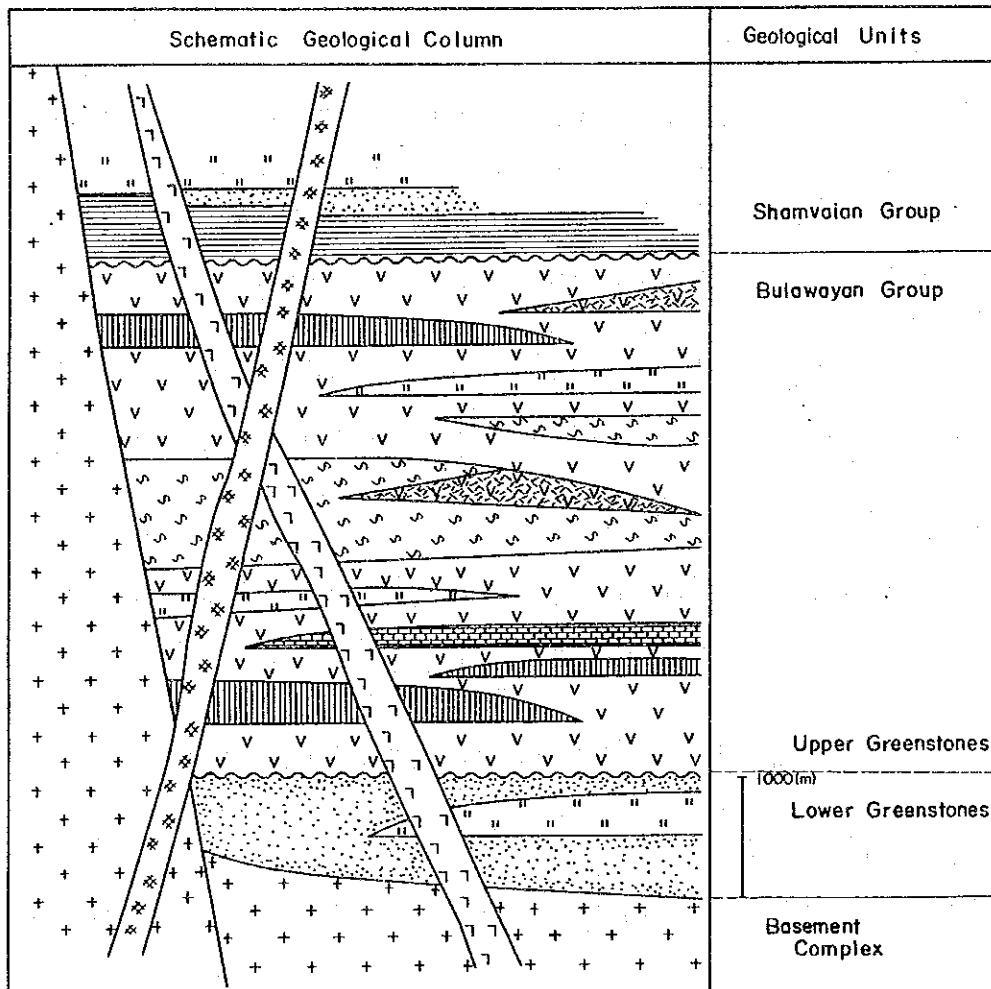


図 I-3-1-1 シャムバ地域模式地質断面図

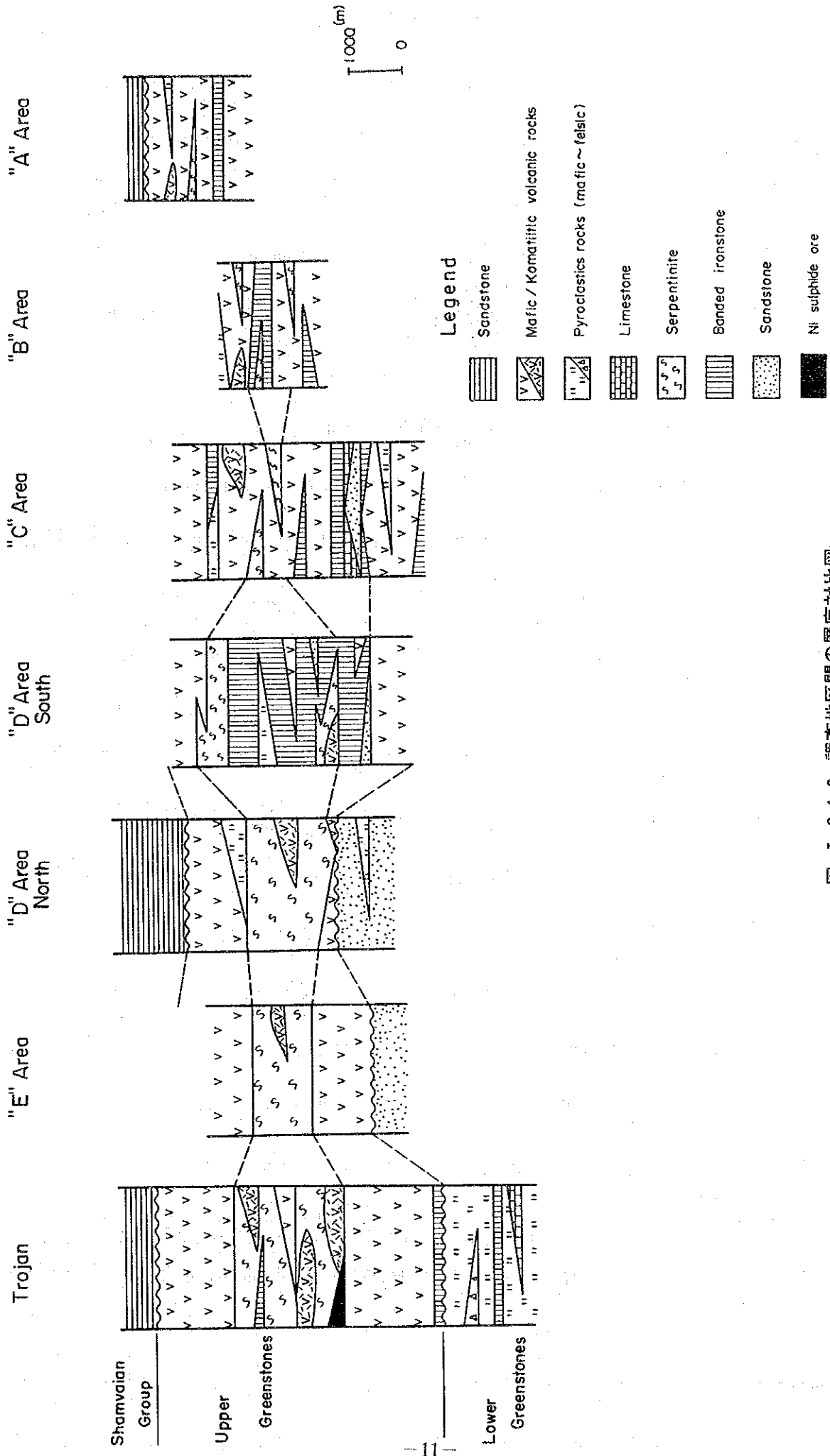
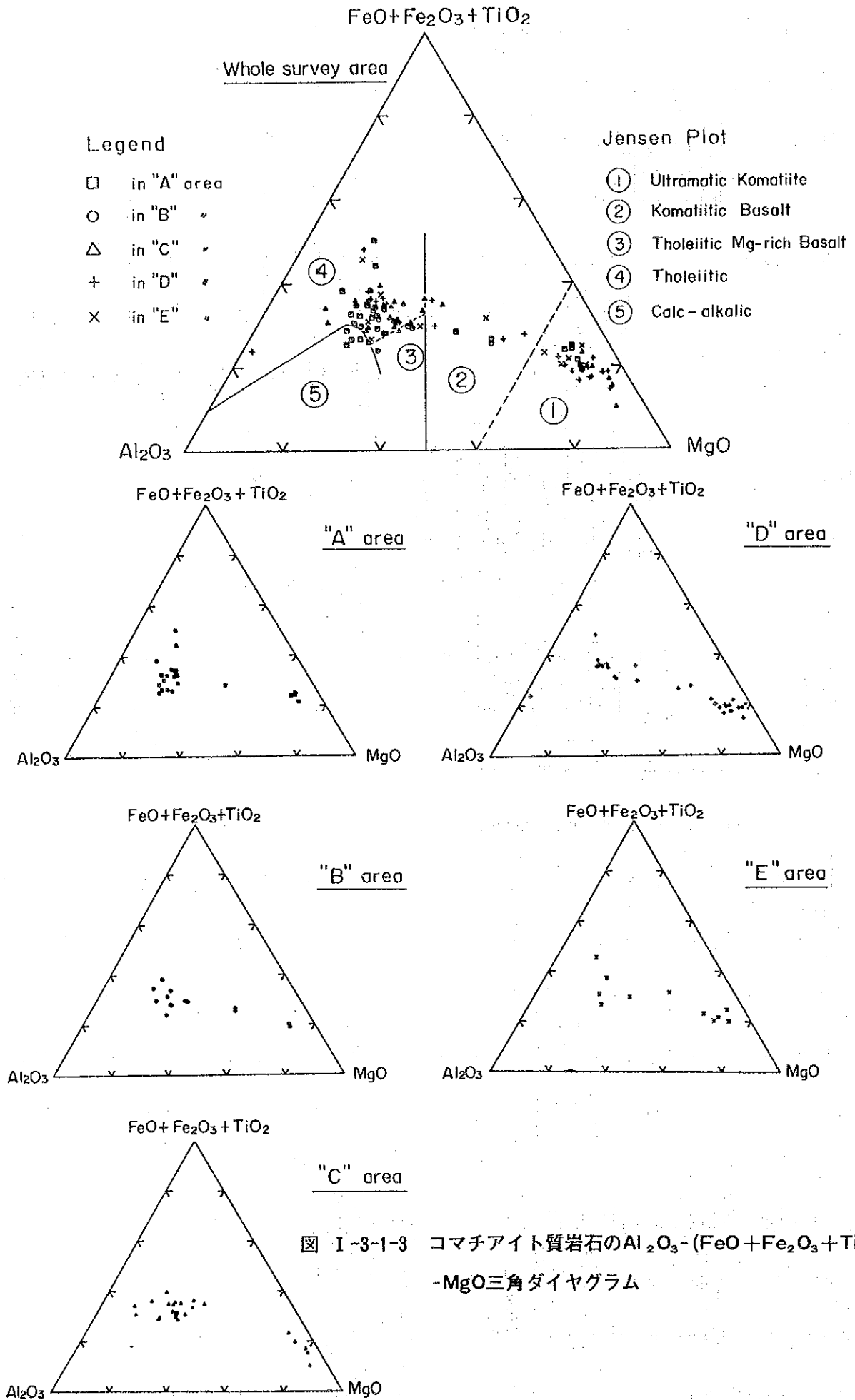


図 I-3-1-2 調査地区間の層序対比図



英、長石、白雲母、リシャ雲母、電気石などの巨大結晶から構成されるが、一部にはリチウム、ベリリウム、タンタリウム、すずなどを伴い、これら稀少元素の鉱床として採掘されたものである。

斑れい岩： 緑色岩帯中に小規模な岩脈や岩株としてしばしば貫入する。粗粒～細粒で暗褐色を呈し、鏡下では粗粒ポイキリテック組織、細粒オフィテック組織、ポーフィロブラステック組織などを示す。一部にダナイトと鑑定されるものも一括包含した。

粗粒玄武岩： 調査地域内で最も後期に貫入した岩脈で、NE-SW, NW-SE, 及びN-Sの3種の貫入方向が認められる。岩質的には、石英閃緑岩～粗粒玄武岩～斑れい岩まで変化し、一部は角閃岩相に至る変成作用を蒙っている。

3-2 地質構造

調査地域の緑色岩帯の分布は、全体に東西に伸びているが、地域東端では北東方向に伸びて尖滅し、地域南部では南方に突出した形を示す。本緑色岩帯の略中央部に東西に伸びた向斜軸があり、全体として舟底型の構造となっている。この向斜軸に向って北側と南側とから地層は傾斜して落ち込んでいるが、傾斜は全般に急で、ほとんど 90° に近い。

このような緑色岩帯の分布形態と地質構造とは、周囲をとり囲む花崗岩・片麻岩複合岩帯の活動により規制されたもののようで、特に南西方に分布するChindamora花崗岩質底盤の活動によって圧縮を受けた構造が顕著にうかがえる。

地域の東端部と南部の特に圧縮が激しかったと思われる地域には、断層がよく発達している。特に地域南部では、東-西、南-北の両系統の断層がよく発達し、複雑な褶曲構造と相まって地質構造を分りにくいものになっている。

3-3 変成作用

緑色岩帯をとり囲む花崗岩複合岩帯と新期の粗粒玄武岩岩脈とを除いて、地域の緑色岩帯の諸岩石は全体に広域変成作用を受けている。変成鉱物として紅柱石やきん青石が存在することから、低圧型の広域変成作用で、変成相は緑れい石角閃石相から角閃岩相に及ぶものといえる。

超苦鉄質岩類は、しばしば破砕化した蛇紋岩や陽起石・透角閃石片岩に変化しているが、透角閃石や滑石が普通に見られることから、変成温度は $400^{\circ}\text{C}\sim 650^{\circ}\text{C}$ と推定され(H.G.F. Winkler 1973のダイアグラムによる)、上記の変成相と矛盾しない。

花崗岩類の貫入による接触変質を受けた緑色岩類は、局部的に片理を有する再結晶角閃石ホルンフェルスになっている。

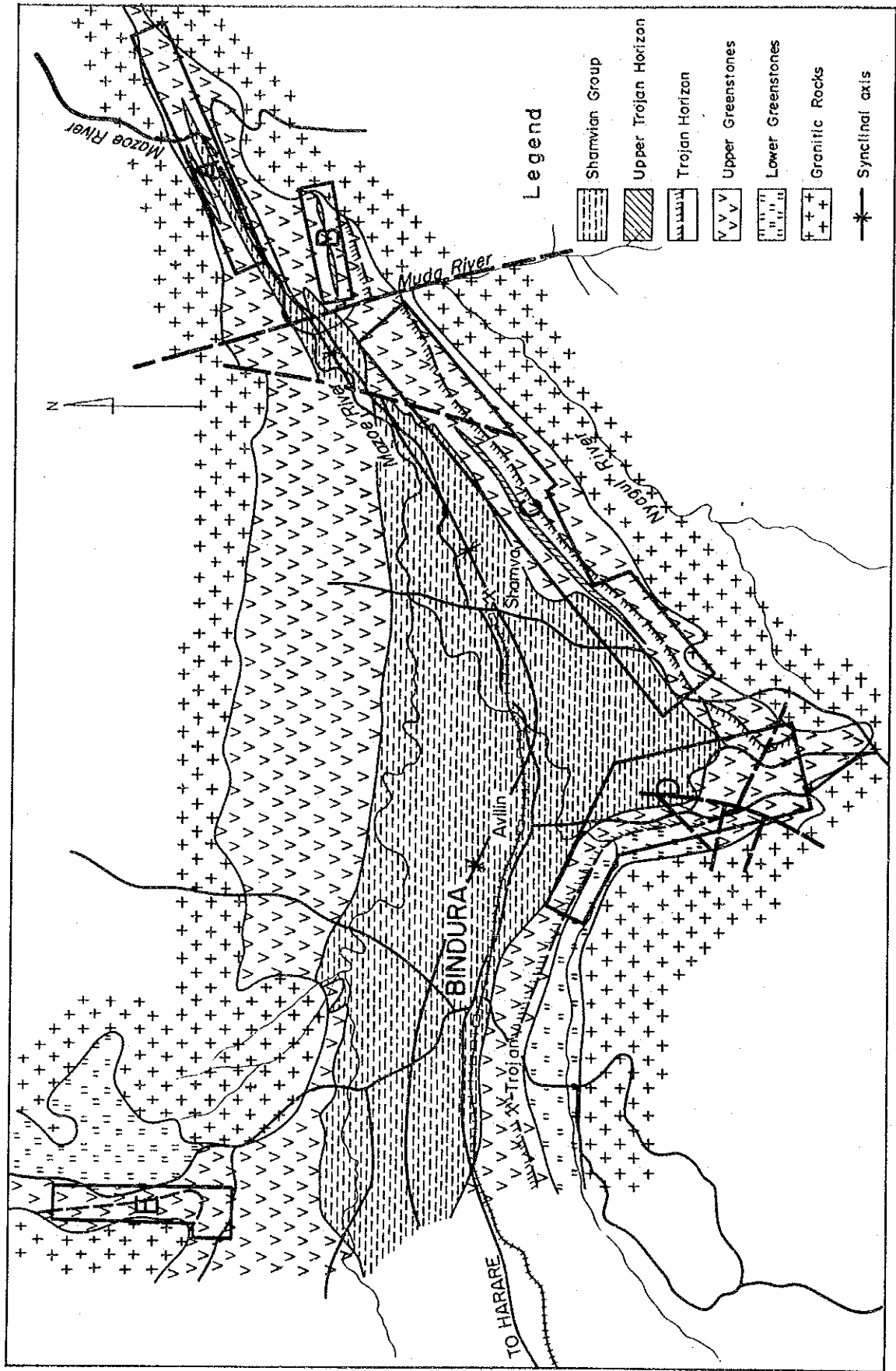


図 I-3-2-1 地域全般の地質構造概要

3-4 鉍床及び鉍徴地

調査地域内には、幾つかの稼行鉍山、休廃止鉍山、及び多くの鉍徴地が知られている。これらの鉍化帯は、鉍種及び成因上から以下の3種に大別できる。

- (1) 金鉍化帯：主として含金石英脈
- (2) ニッケル鉍化帯：超苦鉄質岩に伴うニッケル・銅鉍床
- (3) ペグマタイトに伴う鉍化帯：稀元素鉍床、雲母など

以下に、これらについて記録から引用して記載し、その位置を図1-3-4-1に示す。

3-4-1 金鉍化帯

Shamva 鉍山(稼行中, Attica Mines Prv. Ltd, Lonrho Group)

位置：地域中部, Shamva の町の東

地質：Shamvaian 層群の変成硫化鉄鉍質凝灰質堆積岩類

鉍床：北東と東北東に延びる2つのチャンネルに沿って分布する鉍化帯、周辺の母岩との肉眼的差異なし、総延長約1,200 m

生産：1893年開始、1965年末までに46,447 kg Au, 平均品位5.1 g/t, 現在年産約45 kg Au

Bindura 花崗岩体周辺金鉍化帯(一部稼行中), Kimberley Reef, R.A.N., Kingsley Hoard, Prince of Wales, Slam, Promoter, Hay の諸鉍床

位置：地域西部, Bindura の町の北方

地質：Bindura 花崗岩体と密接に関係して、同岩体及び周囲のShamvaian層群の砂岩中

鉍床：裂かに沿った含金石英脈及び周辺鉍染帯、石英脈の走向は東西走向が卓越しまれに南北。

生産：不明

Montdor 鉍山(稼行中 個人)

位置：地域中部, C地区の東部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の葉片状緑色岩類

鉍床：緑色岩中の葉理状薄層帯と石英脈中の鉍化。鉍染状黄鉄鉍, 磁硫鉄鉍を伴う。

生産：1909年以来断続的、1965年までに274.5 kg Au, 平均品位22.6 g/t, 現在既知鉍体をほぼ掘り尽した状態

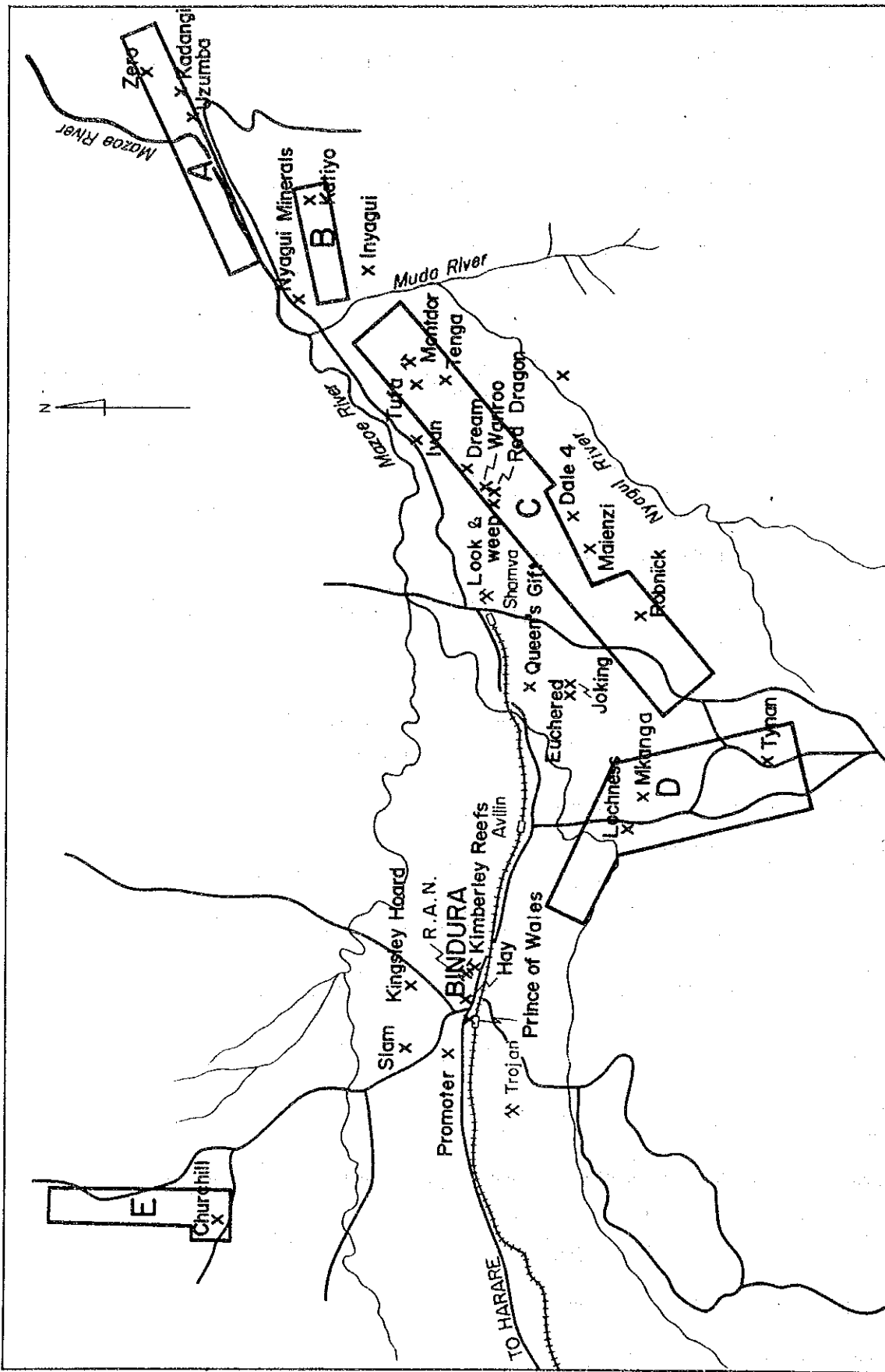


図 I-3-4-1 地域全般の鉱産地分布

Red Dragon 鉱山

位置：地域中部，C地区の中部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の玄武岩質緑色岩，一部に斜長石斑岩や縞状鉄岩

鉱床：4本の含金石英脈，走向E-W，傾斜 $30^{\circ} \sim 55^{\circ}N$ ，脈幅1.5～4.5cm

生産：1908年以来断続的，1965年までに183.5kg Au，平均品位 8.8 g/t

Churchill 鉱山（休山中，個人）

位置：地域北西部，E地区の南西部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の玄武岩質緑色岩とこれを貫く細粒閃緑岩

鉱床：前記貫入岩体の接触部に生じた含金石英脈

生産：不明，1982年休山

Ivan 地区

位置：地域中部，C地区東部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層

鉱床：含金石英脈

生産：1937年以来，1.46kg Au，平均品位4.2 g/t

Inyagui 鉱山

位置：地域東部，B地区の南方

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の石灰岩

鉱床：走向NEEに延びる再結晶石灰岩層の中部に発達する破砕帯中の鉱化

生産：1910年以来断続的，1936年までに14.9kg Au，平均品位15.6 g/t

Kadangi 鉱山

位置：地域東部，A地区東部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層

鉱床：含金石英脈

生産：1925年以来1939年までに22kg Au，平均品位9.7 g/t

3-4-2 ニッケル鉱化帯

Trojan 鉱山（操業中，Bindura Nickel Corp.）

位置：地域西部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層。鉍山付近は枕状組織を示す安山岩溶岩とその上を覆う縞状鉄岩及び蛇紋岩化したコマチアイト溶岩からなる。地層は北に急傾斜し、岩石は全般に角閃岩相に属する広域変成を受けている。

鉍床：前記蛇紋岩中に塊状、半塊状、鉍染状に胚胎。構成鉍物は磁硫鉄鉍、硫鉄ニッケル鉍、黄銅鉍及び少量の黄鉄鉍からなる。Ni：Cu比は15：1、2つの主要鉍体と幾つかの小鉍体からなり、現有鉍量13百万t、Ni 0.68%。

生産：1961年開始、1982年までに粗鉍約13百万t採掘。

Katiyo 鉍区

位置：地域東部、B地区東部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の蛇紋岩及び縞状鉄岩

鉍床：蛇紋岩中に黄鉄鉍、磁硫鉄鉍鉍染

Tynan 鉍区

位置：地域中南部、D地区南東部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の蛇紋岩及び縞状鉄岩。

鉍床：蛇紋岩中に胚胎する鉍染状ニッケル鉍床。過去に試錐によって確かめられたが低品位。

3-4-3 ペグマタイト鉍化帯

Uzumba

位置：地域東部、A地区中部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層を貫く花崗岩岩株中のペグマタイト脈

生産：緑柱石0.25t

Zero 鉍区

位置：地域東部、A地区東部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の透角閃石片岩中のペグマタイト脈

生産：緑柱石2.07t

Wanroo 鉍区

位置：地域中部、C地区中部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の苦鉄質岩の含シリア雲母ペグマタイト脈

鉍床：16本の平行脈，走向SE-NW，傾斜 $75^{\circ} \sim 90^{\circ}$ SW，延長600 m，脈幅
0.3 ~ 5 m，品位1.15 kg/t マイクロライト

生産：1959年~62年 4.62 t マイクロライト，精鉍品位9.48% Sn，68.60%
($Ta_2O_5 + Nb_2O_5$)

Look and Weep 鉍区

位置：地域中部，C地区中部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の苦鉄質岩類中のペグマタイト脈

生産：1962年までに0.52 t タンタリウム精鉍

Chenjera 鉍区

位置：地域南東部

地質：花崗岩体中のペグマタイト脈

Tafuna Hill 鉍床群 — Euchred, Joking, Queen's Gift, 他の諸鉍床

位置：地域中部，Tafuna Hill

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の苦鉄質岩類中のペグマタイト脈

鉍床：多数の含リンア雲母ペグマタイト脈，走向N-S，傾斜 $40^{\circ} \sim 65^{\circ}$ W，延長30 ~
400 m，脈幅20 ~ 150 cm

生産：1962年までに

Euchred 0.95 t マイクロライト

Joking 4.45 t マイクロライト

Robnik 鉍区

位置：地域中南部，C地区西部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の苦鉄質岩類中の含錫石ペグマタイト脈

Maienzi 鉍区

位置：地域中南部，C地区中部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の苦鉄質岩類中の含錫石ペグマタイト脈

鉍床：走向E-W，傾斜 $35^{\circ} \sim 50^{\circ}$ N，延長100 m，脈幅4 m

Dale 4 鉍区

位置：地域中南部 C地区 中部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の苦鉄質岩類中の含錫石ペグマタイト脈

鉍床：3本の脈，走向NW-S E，傾斜30° E

Nyagul Minerals 鉍区

位置：地域東部 C地区の東北方

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の苦鉄質岩類中の含錫石ペグマタイト脈

Lachness 鉍区

位置：地域中部 D地区 中部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の蛇紋岩中の含錫石ペグマタイト脈

Mkanga 鉍山

位置：地域中部 D地区 中部

地質：Bulawayan 層群上部緑色岩層の蛇紋岩中の含錫石ペグマタイト脈

以上は何らかの記録にある鉍山や鉍徴地を挙げたものであるが，その他に地域内には多数のトレンチなどの探鉍を行った跡がある。特に縞状鉄岩やこれの酸化生成物である焼けの地帯では，いたる所にトレンチが見られ，また石英脈やペグマタイト脈の見られる所も同様である。このように地域全般にわたって数多くの鉍徴地が見られ，地表の示徴はすべて何らかの探鉍作業が行われたものと思われる。

3-5 地質と鉍化帯との関係

ニッケル鉍化帯

超苦鉄質岩に伴う代表的なニッケル・銅鉍床は，ソレアイト系超苦鉄質岩に伴うものと，コマチアイト系超苦鉄質岩に伴うものとに大別される。

ソレアイト系超苦鉄質岩に伴う代表的なニッケル・銅鉍床は，Sudbury, Norisk 鉍床などで，Ni : Cu 比が 2 : 1 ~ 3 : 1 を示すのが普通である。一方，コマチアイト系超苦鉄質岩に伴う代表的な鉍床は，Kambalda, Thompson, Trojan などの鉍床で，その Ni : Cu 比は 15 : 1 程度と非常に高いのが特徴である。

地域内には，コマチアイト系超苦鉄質岩に伴う代表的なニッケル鉍床である Trojan 鉍床がある。その模式地質柱状図を図 1-3-5-1 に示す。

Trojan 鉄床は、上部 Bulawayan 層中のコマチアイト質溶岩中に胚胎する。ジンバブエ国内には、幾つかの同種の鉄床の存在が知られているが (Epoch, Shangani, Hunters Road 等)、一方ソレイト系超苦鉄質岩に伴う白金族金属を随伴するニッケル・銅鉄床も知られている (Empress, Perseverance, Madiwa, 等)。したがって、探鉄目標としては両系岩石とも重要である。

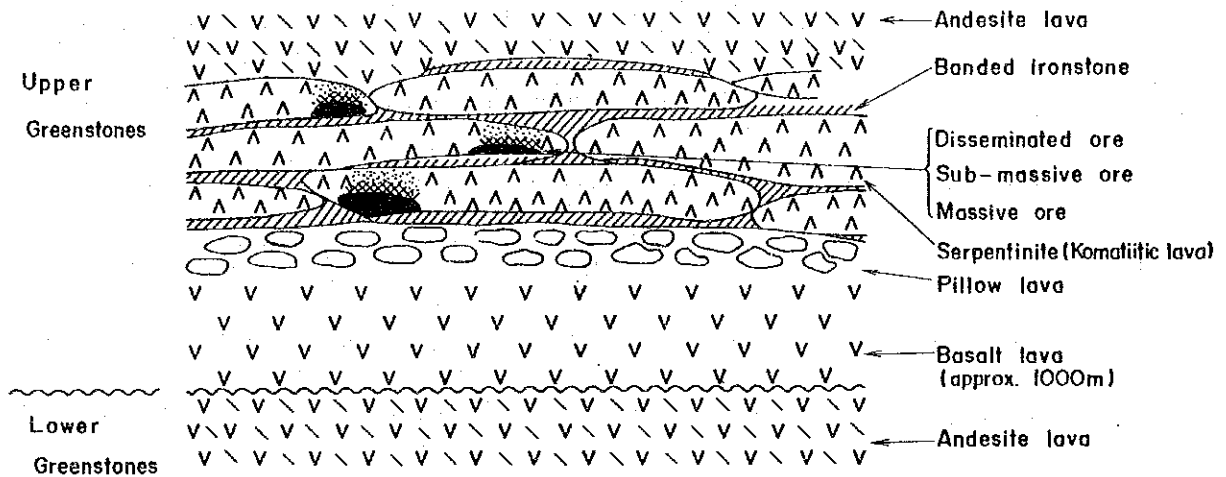


図 I-3-5-1 Trojan鉄床模式地質断面図

鉄床の成因については、海底での超苦鉄質岩の貫入や溶岩としての流出に伴い、マグマ中の硫化物の不混和相としての分離と沈積によって生じたものとされている。鉄床生成に際して、縞状鉄岩が硫黄の供給源として重要な役割りを果しているという説もある。(L. Haynes 1982)。また、ジンバブエにおけるこの型の鉄床の胚胎層準は、この上部 Bulawayan 層に限られているとする説もある (L. Haynes 1982)。

本調査地域には、この上部 Bulawayan 層が広く分布し、コマチアイト質溶岩や同質起源と思われる蛇紋岩 (一部は貫入相) の分布が著しい。特に、Trojan 鉄床層準の東方延長が明瞭に追跡できる。しかし、地域東部へ向うにつれ、蛇紋岩の分布は少なくなる。また、縞状鉄岩の分布も同じような傾向を示す。したがって、Trojan に近い西部から東部へ向ってこの種の鉄床に対するポテンシャルは減少するものと思われる。

金鉄床及びペグマタイトに伴う鉄床

これらは、いずれも花崗岩類の活動に関連する鉄床で、花崗岩帯の内部やその周辺部に発達する裂かに沿って侵入したものである。それぞれの鉄化帯地域によって裂か系の発達形態に特徴があり、この解明によってその規制性を見出し、今後の探査に役立てることが必要である。

第2部
調查結果

第1章 A 地区

1-1 地質調査

本地区は、Mazoe-Shamva 緑色岩帯の東端に位置し、地区の大部分は上部 Bulawayan 層の緑色岩類に覆われるが、地区南西部には局所的に Shamvaian 層群の砂岩類が分布し、また地区北東部には緑色岩帯をとり囲む花崗岩、片麻岩複合体が分布する。地層は走向 N E E - S W W, 傾斜はほぼ垂直を示し、地区の略中央部に走向方向に伸びた向斜軸に対して南北両側から落ち込む舟底型の構造を示している。

上部 Bulawayan 層は、主に苦鉄質溶岩からなるが、一部に蛇紋岩、珪長質火砕岩、縞状鉄宅の薄層を挟在する。苦鉄質溶岩の一部には、典型的なスピニフィックス組織を示すコマチアイト質溶岩の部分が認められる。本岩は地区南西部に薄いレンズ状に分布する。蛇紋岩は、地層の走向に調和的な小規模レンズ状岩体として断続的に分布する。この産状から、本岩の原岩は超苦鉄質溶岩であろうと推定される。

Shamvaian 層群は、主に砂質～泥質堆積岩から構成され、地区中央部に上部 Bulawayan 層を不整合に覆って、N E E - S W W に伸びた向斜軸の周辺に分布する。

地区の北東縁と南東縁には、花崗岩・片麻岩複合岩体が分布する。本複合岩体の一部にはベグマタイト岩脈が密集しており、この一部は過去に縁柱石やマイクロライトなどを対象に小規模に採掘されている (Uzumba Zero)。また、一部には含金石英脈も分布する (Kadangi)。本複合岩体と緑色岩帯の接触部の一部は、侵入片麻岩状をなしており、明らかに花崗岩体が再活動し周辺に貫入したことを示している。

1-2 地化学探査

地区中央部から西部にかけて Cu, Zn, Ni, Cr の4成分について局所的な弱い異常帯を検出した。これらのうち、Cu は B 帯^{*} (180 ~ 333 ppm) 及び極めて局所的に A 帯^{*} (334 ppm 以上)、Zn は A 帯 (351 ppm 以上) 及び B 帯 (203 ~ 350 ppm)、Ni は B 帯 (624 ~ 1,831 ppm)、Cr は B 帯 (1,118 ~ 3,461 ppm) に属する異常で、これらは後背値に近い弱い異常帯の範囲が広くすべて蛇紋岩類に関連するものと推定される。

以上のように、特に鉍化帯と関連すると思われる有望な異常帯は検出されなかった。

1-3 結論

以上のように、本地区における調査結果は、地質的にはニッケル鉍床の母岩となる超苦鉄質

脚注 *A帯は強異常帯 ($>GM+2\sigma$), B帯は中異常帯 ($GM+\sigma\sim 2\sigma$), C帯は弱異常帯 ($<GM+\sigma$) を意味する。

岩体の分布は極めて局部的で、認められる鉱徴も極く小規模なペグマタイトに関係するものだけであり、地化学探査の結果も顕著な異常を示さなかった。

結論として、本地域における大規模鉱床賦存の可能性は低いと認める。

第2章 B 地 区

2-1 地質調査

本地区は、Mazoe-Shamva 緑色岩帯の東端部に近く、すべて上部 Bulawayan 層の緑色岩類で覆われている。地層の走向は N E E ~ S W W, 傾斜はほぼ垂直を示す。

緑色岩類は、苦鉄質溶岩を主体とし、珪長質~苦鉄質火砕岩、蛇紋岩、縞状鉄岩の薄層を挟在する。苦鉄質溶岩の一部には、スピニフィックス組織を示すコマチアイト質溶岩の部分も認められるが、その正確な分布は明らかでない。蛇紋岩は、地層の走向に調和的な小規模なレンズ状の形態を示し、この産状から原岩は苦鉄質~超苦鉄質溶岩であると推定される。

地区東部には、蛇紋岩との接触部に発達した硫化鉍の鉍化帯を探鉍した跡がある (Katiyo 鉍区)。さらに、地区内の数か所にペグマタイト岩脈が認められるが、稼行対象となったものはない。

2-2 地化学探査

地区中央部に Zn, Ni, Cr の 3 成分の異常帯を検出した。Zn は A 帯 (351 ppm 以上) 及び B 帯 (203 ~ 350 ppm), Ni は B 帯 (624 ~ 1.831 ppm) 及び極く局部的に A 帯 (1.832 ppm 以上), Cr は B 帯 (1.118 ~ 3.461 ppm) に属する異常である。

地区東端部では、Cu, Zn, Ni, Cr の 4 成分の異常帯を検出した。Cu は B 帯 (180 ~ 333 ppm), Zn は A 帯 (351 ppm 以上) 及び B 帯 (203 ~ 350 ppm), Ni は A 帯 (1.832 ppm 以上) 及び B 帯 (624 ~ 1.831 ppm), Cr は B 帯 (1.118 ~ 3.461 ppm) に属する異常である。

これらの異常は、主成分分析の得点も高いが、その分布は局所的でかつ蛇紋岩の分布とも一致しており、同岩に起因する異常帯と推定される。

以上のように、特に鉍化帯と関連すると思われる有望な異常帯は検出されなかった。

2-3 結 論

以上のように、本地区における調査結果は、地質的にはニッケル鉍床の母岩となる超苦鉄質岩体の分布は局所的で、これに関連した鉍化帯は認められるものの極めて小規模で、過去の探鉍の結果も良いものではなく、地化学探査の結果も顕著な異常を示さなかった。

結論として、本地域における大規模鉍床賦存の可能性は低いと認める。

第3章 C 地区

3-1 地質調査

本地区は、Mazoe-Shamva 緑色岩帯の南東縁に位置し、すべて上部 Bulawayan 層の緑色岩類に覆われている。地層の走向は NE-SW、傾斜はほぼ垂直を示す。

緑色岩類は、苦鉄質溶岩を主体とし、珪長質～苦鉄質火砕岩、蛇紋岩、縞状鉄岩、石灰岩の薄層を挟在する。

地区中部から西南部にかけて、最大層厚 200 m に達する大規模なコマチアイト質超苦鉄質溶岩が断続的に分布するが、その境界は不明瞭なことが多い。蛇紋岩の分布形態は、前述の A 地区や B 地区と同様で、超苦鉄質溶岩を起源としていると推定される。しかし、一部には層理とやや斜交するものもあり、少なくとも一部は貫入岩体であったと思われる。緑色岩中の石灰岩の薄層は、ほぼ同一層準に断続的に分布しており、鍵層として利用できる。

地区内には、各所に細粒閃緑岩、粗粒玄武岩、斑れい岩の貫入岩体が分布し、特に粗粒玄武岩は、N-S 及び NW-SE 方向に巾 100 m～200 m で延長数 10 km にも達する極めて長大な岩脈として発達する。

地区内には、Montdor, Red Dragon などの金鉱床、及び Wanroo, Look and Weep, Robik, Dale 4 などのペグマタイトに伴う鉱床が分布する。このうち、Montdor 金山だけが稼行中である。

3-2 地化学探査

地区南西部に Cu, Zn, Ni, Cr の 4 成分の異常帯が広範囲に分布するのを検出した。Cu は A 帯 (334 ppm 以上) 及び B 帯 (180～333 ppm), Zn は A 帯 (351 ppm 以上) 及び B 帯 (203～350 ppm), Ni は B 帯 (624～1831 ppm), Cr は B 帯 (1118～3461 ppm) に属する異常である。この異常帯は、蛇紋岩の分布に一致しており、主成分分析の得点も高く、その地質環境と特定範囲に集中した顕著な異常の形態とから判断して、蛇紋岩に関連したニッケル鉱床に対する有望な示徴として注目される。

地区北東部では、Au の弱い異常帯 (0.05～0.30 ppm) が広く分布するのを検出した。この地帯では、小規模な金鉱山が稼行中であり、これに関連した鉱化帯を反映したものと判断される。

地区内の数か所に、Nb の小規模な弱い異常帯 (10～30 ppm) を検出した。しかし、これらの異常帯は、いずれも粗粒玄武岩 (1 か所だけ花崗岩) の分布域内にあり、特に鉱化作用と関連づけるのは難かしい。

地区中央部から北東部にかけて、Co, Sn, As など 10 成分の分析を実施した。その結果

は、Sn, W, Ce はほとんど検出されず、Co, Be, Li, As, Sなどは全般的に高い後背値を示すが変動が小さく、異常と認められるものは検出されなかった。

3-3 物理探査

CSAMT法

見掛比抵抗平面図から、浅所（高周波 2,048 Hz, 1,024 Hz）は複雑な比抵抗分布を示すが、深部（低周波 512 Hz~4 Hz）は $20 \Omega\text{-m}$ 以下の低比抵抗帯が地区東南部にNE方向に伸長して分布している。その他に小規模な $10 \Omega\text{-m}$ 以下の低比抵抗帯が測点 C-82-9, C-86-6, C-89-6 付近に認められる。

比抵抗構造平面図から、浅所（深度 125 m, 225 m）は比抵抗の高低差が大きく複雑な分布を示す。地区南縁の測点 C-86-0~81-0 にかけて分布する低比抵抗帯は、深度 125 m から 525 m まで続いている。C-81-9 及び C-89-6 付近の低比抵抗帯は、深度 125 m 以下で衰微する。C-81-3, C-83-3, C-86-3, C-88-3, C-84-9, C-90-9 付近には高比抵抗帯が分布するが、このうち C-86-3, C-88-3 付近のものは円形状に深部まで連続している。

上述の低比抵抗帯には、地表の地化学探査の異常を伴わないが、C-81-3 付近では深部に蛇紋岩が続く可能性があり、鉍化帯の存在も期待できる。

3-4 結論

以上のように、本地区における調査結果は、地質的にはニッケル鉍床の母岩となる超苦鉄質岩体の分布はA地区やB地区よりは広がるが、依然として小範囲に留まり、またこれに関連した鉍徴も認められなかった。しかし地化学探査の結果は、地区南西部に顕著な異常帯が広範囲に分布するのを認め、ここに実施した物理探査の結果も深部に低比抵抗帯が認められ、付近の深部に鉍化帯の存在する可能性が期待できる。

結論として本地区南西部の異常帯については、まだ深部に鉍化帯の存在する可能性が残されていると判断される。しかし積極的に探鉍を推められるほどのものではない。

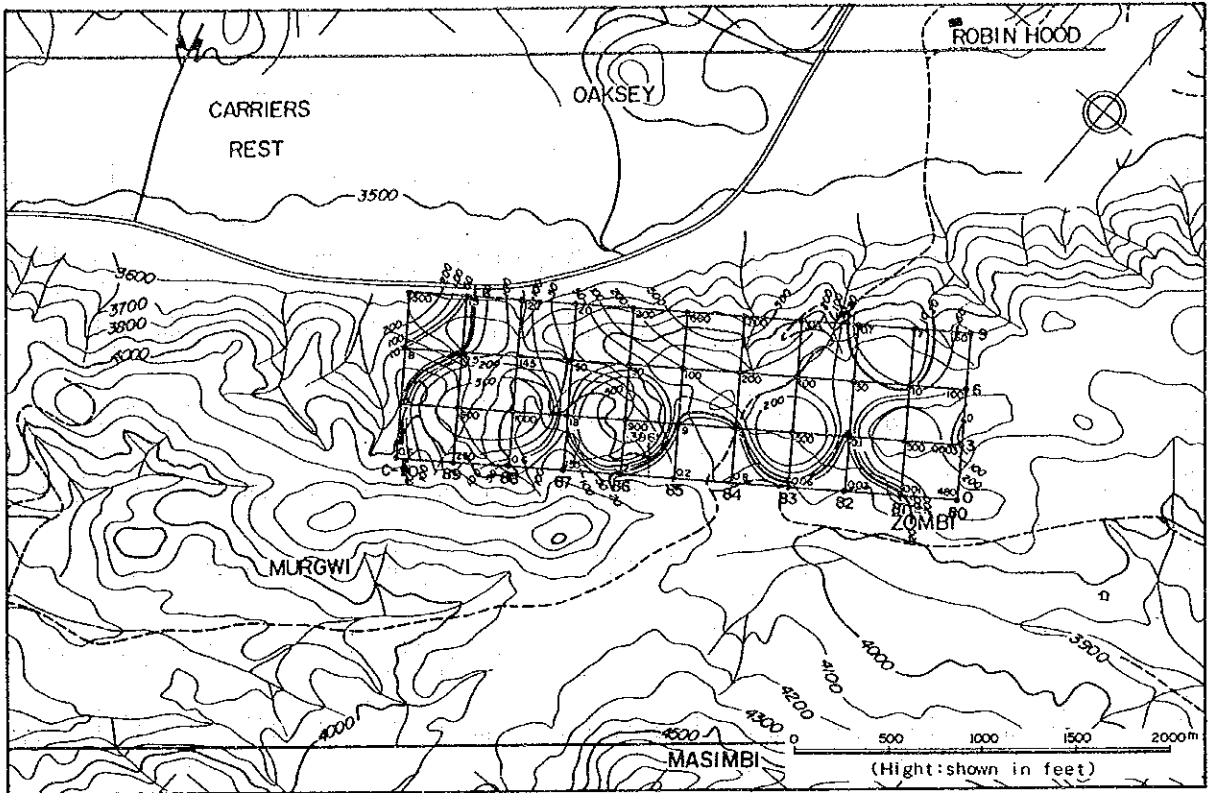


图 II-3-3-1(a) 比抵抗构造平面图(C地区125m)

unit: 2m

A representative level, below 125m from the surface

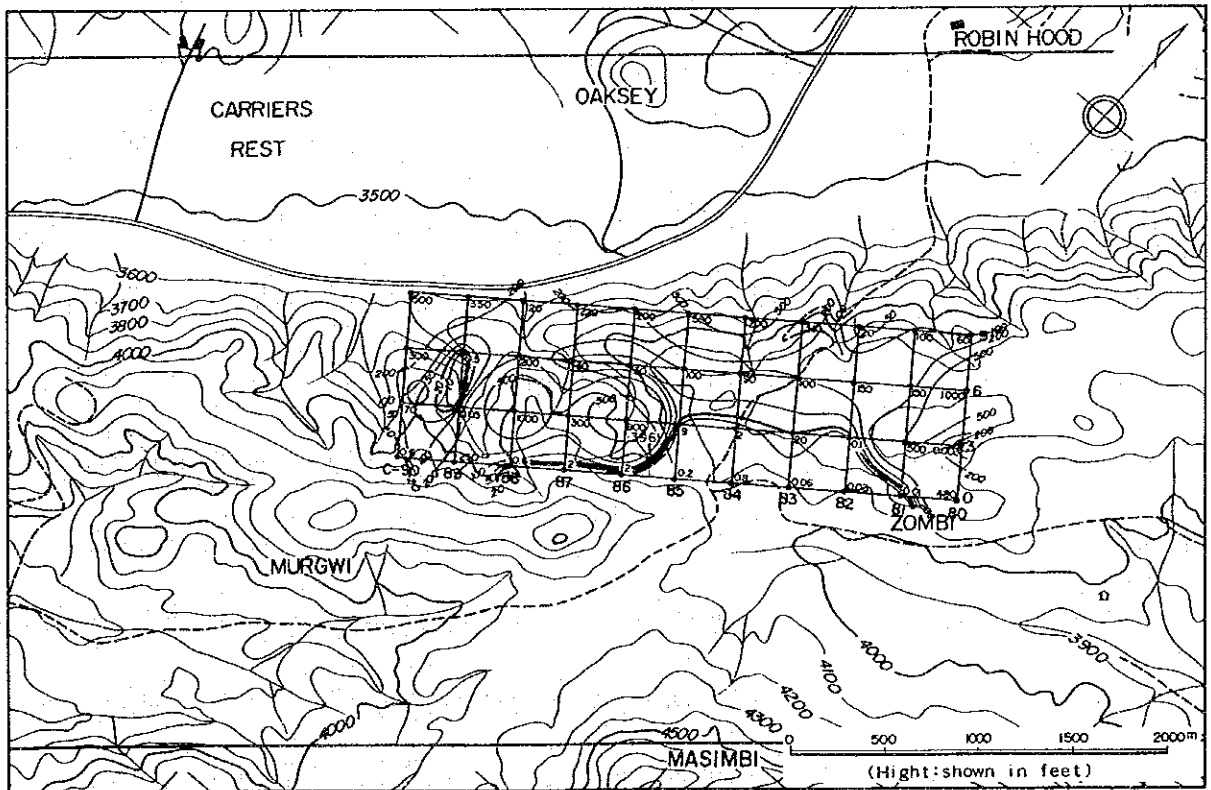


图 II-3-3-1(b) 比抵抗构造平面图(C地区325m)

unit: 2m

A representative level, below 325m from the surface

第4章 D 地区

4-1 地質調査

本地区は、Mazoe-Shamva 緑色岩帯の南部に位置し、上部及び下部 Bulawayan 層の緑色岩類に覆われる。地層は東部で走向 NE-SW、西部で走向 NNW-SSE と南方へ張り出した向斜構造を示し、傾斜はいずれも垂直に近い急傾斜を示す。

上部 Bulawayan 層は、地区の大半を覆って分布し、苦鉄質溶岩、蛇紋岩、縞状鉄岩、砂質堆積岩からなる。本地区では特に蛇紋岩の分布が著しく、最大巾は 1000 m 以上にも達する。北西部で巾約 100 m であったものが、南部に向うにしたがって膨大し、その分布形態も強い褶曲運動の影響を受けて複雑になっている。

下部 Bulawayan 層は、地区北西部に NW-SE に伸びて細長く分布する。上部 Bulawayan 層には軽度の不整合で覆われる。主な構成岩石は、砂質堆積岩及び珪長質火砕岩である。

本地区は、略東西方向に伸びて分布する Mazoe-Shamva 緑色岩体の一部が南方に突出した部分に位置し、西南方及び東南方に分布する花崗岩質複合岩体による圧縮を受けた結果、強い褶曲作用を受けている。したがって、地質構造は極めて複雑で、地区は断層によって北部、中部、南部にブロック化され、南部ほど複雑な構造になっている。しかし、全体としては北に開いて南に深く食い込んだ舟底型の向斜構造をなしているものと思われる。

地区内には、各所に斑れい岩、ベグマタイトの岩脈が認められる。また、地区南端部には、前述の花崗岩質複合岩体の一部が小規模に分布する。

ベグマタイトの一部には、すず、稀土類鉱物の鉱化を伴い、Lochness, Mkanga の 2 鉱床は稼行された実績がある。地区南部の Tynan 鉱徴地では、蛇紋岩に伴うニッケル鉱化帯に対する試錐探鉱が実施されているが、稼行に耐える鉱床の発見には至っていない。

4-2 地化学探査

地区南東部に Zn, Ni, Cr の 3 成分の高異常帯が広範囲に分布するのを検出した。Zn は A 帯 (351 ppm 以上) 及び B 帯 (203~350 ppm)、Ni は A 帯 (1832 ppm 以上) 及び B 帯 (624~1831 ppm)、Cr は B 帯 (1118~3461 ppm) に属する異常である。この異常帯は、蛇紋岩の分布に一致しており、主成分分析の得点も高く、その地質環境と高異常部分が集中した異常の形態とから判断して、蛇紋岩に関連したニッケル鉱床に対する有望な示徴として注目される。

地区中央から北部にかけて、Cu, Zn, Ni, Cr の 4 成分の高異常帯が広範囲に分布するのを検出した。Cu は A 帯 (334 ppm 以上) 及び B 帯 (181~333 ppm)、Zn は A 帯 (351 ppm 以上) 及び B 帯 (203~350 ppm)、Ni は B 帯 (624~1831 ppm)、Cr は B 帯

(1.118~3.461 ppm)に属する異常である。この異常帯は、蛇紋岩の分布に一致しており、主成分分析の得点も高く、その地質環境と異常の形態から判断して、蛇紋岩に関連したニッケル鉱床に対する有望な示徴として注目されるが、前述の地区南東部の異常帯よりは規模が小さい。

地区南東端では、Nbの高異常帯(50~150 ppm)を検出した。この異常帯は、縞状鉄岩及び蛇紋岩の分布域にあるが、花崗岩体に近接している。このことから花崗岩の活動に関連した何らかの作用に起因するものと推定されるが、今後さらに検討する必要がある。

地区中央部で、Co, Sn, Asなど10成分の分析を実施した。その結果は、Sn(28~29 ppm)及びCe(30~100 ppm)の異常帯をペグマタイトの分布域に散点的に検出した。さらに、Li(49~68 ppm), Be(5.6~7.7 ppm), Co(92~177 ppm)の高異常帯もペグマタイトの分布と一致して検出した。これらのペグマタイトの下部への発展性については、さらに検討が必要であろう。

4-3 物理探査

4-3-1 CSAMT法

D-1地区

見掛比抵抗平断面図から、浅所はかなり複雑な比抵抗分布を示すが、深部は低比抵抗帯と高比抵抗帯の分布域が明瞭に区分される。256 Hzでは、100 Ω-m以下の低比抵抗帯が地区東部にNNWに伸びて膨縮をくり返しながら分布しているが、その中で20 Ω-m以下の低比抵抗帯が測点D-30-9, D-34-9, D-37-6, D-41-6付近に散点状に分布する。これらの低比抵抗帯は、深部になるにつれて発達する傾向がある。高比抵抗帯は、地区西部及び東部に認められ、測線D-29以南では全体的に高比抵抗帯となっている。

比抵抗構造平面図では、測点D-30-9, D-38-6~D-33-6, D-39-1, D-41-6付近で20 Ω-m以下の低比抵抗帯が浅所から深部にわたってNNW方向に連らなって点在している。

比抵抗構造断面図では、測点D-30-12で深度100~270 m間に5.5 Ω-mの低比抵抗が分布し、測点D-37-6~D-37-15にかけては深度400 m付近まで0.2~40 Ω-mの顕著な比抵抗を示している。西部及び南部は、全般的に高比抵抗を示す。

上記低比抵抗帯のうち、測点D-30-9を中心とするものは、地化学探査の異常帯と一致しており、また地質は蛇紋岩体中にあることから、浅所から深部にかけて蛇紋岩に関連した鉱化帯が存在する可能性があるかと判断される。

また、測点D-38-6~D-33-6付近の低比抵抗帯は、地化学探査の異常帯ともよく一致しており、地質は蛇紋岩、ペグマタイト、苦鉄質溶岩及び火砕岩、珪長質火砕岩、砂岩な

どが分布していることから、深部で蛇紋岩に関連した鉍化帯が存在する可能性があるとは判断される。

測点D-39-12, D-41-6付近の低比抵抗帯は、蛇紋岩体中にあるものの、地化学探査の異常は微弱であり、鉍床賦存の可能性は前二者より低いと判断される。

D-2地区

見掛比抵抗断面図から、浅所は複雑な比抵抗分布を示すが、深部は低比抵抗帯と高比抵抗帯の分布域が明瞭に区分される。16Hzでは、測点D-4-6からD-8-18にかけてNE方向に延長2,000mにわたり200Ω-m以下のまとまった低比抵抗帯が認められ、その中心部は測点D-7-12からD-8-18にかけて約600mにわたり20Ω-m以下となっている。南部、南部、北部には高比抵抗帯があるほか、深部では上記の低比抵抗帯域を除いて全般的に顕著な高比抵抗を示す。

比抵抗構造断面図では、測点D-3-12を中心とする低比抵抗帯が浅所から深部まで続く。測点D-7-15を中心とする低比抵抗帯が深部で発展し、東方に伸長している。西部と北部は全般的に高比抵抗を示す。

比抵抗構造断面図では、測点D-7-12で深度50m以下で10Ω-mの低比抵抗を示す。

測点D-3-12を中心とする低比抵抗帯は、縞状鉄岩、チャート、珪長質砂岩などの分布域にあり、地化学探査の異常は伴わない。測点D-7-15を中心とする低比抵抗帯は、浅所は沖積層中の粘度層の影響などが考えられるが、深部は蛇紋岩に関連した鉍化帯が存在する可能性があるとは判断される。

D-3地区

見掛比抵抗断面図から、浅所では地区中央部から南部にかけて100Ω-m以下の低比抵抗帯が認められる。また地区南部では、測点D-4-39付近の500Ω-m以上の高比抵抗帯の周囲に、20Ω-m以下の低比抵抗帯がD-3-33, D-3-45, D-6-42を中心として認められる。深部では、20Ω-m以下の低比抵抗帯が地区東部の測点D-9-45, D-7-36~42, D-3-33付近に認められ、それぞれの中心部では10Ω-m以下を示している。高比抵抗帯は、上記D-4-39付近のほか、地区北部に分布している。

比抵抗構造断面図から、浅所は測点D-3-33付近及びD-7-36~D-7-12を中心とする低比抵抗帯が認められ、深部では測点D-10-48にかけて大きく発達する。地区東南端の測点D-4-45付近にも低比抵抗帯が認められる。北部から北西部にかけては、全般に高比抵抗を示す。

比抵抗構造断面図では、測点D-7-33からD-7-42にかけて深度200m付近まで10Ω-m以下の低比抵抗を示し、測点D-4-42では0.3Ω-mの低比抵抗を示す。

測点D-9-45の低比抵抗帯は、Tynan ニッケル鉍徴地として知られ、過去に盛んに探

鉍された所である。本鉍徴地は縞状鉄石、コマチアイト質玄武岩、苦鉄質火砕岩などの中に貫入した蛇紋岩に関連した鉍化帯で、こゝには地化学探査の異常も認められる。

測点D-7-36~D-7-42付近の低比抵抗帯は、Tynan 鉍徴地の南西延長部に当り、地表では縞状鉄岩が卓越するが、深部で蛇紋岩に関連した鉍化帯の存在する可能性があるとは判断される。

測点D-3-33付近の低比抵抗帯は、縞状鉄岩、コマチアイト質玄武岩の分布域にあり、小規模な地化学探査の異常とも一致している。こゝには比較的浅所に鉍化帯の存在する可能性があるとは判断される。

測点D-4-45付近の低比抵抗帯は、縞状鉄岩の分布域にあり、地化学調査の異常も伴っており、優先度は劣るが無視できない異常である。

以上の結果に基づき、次段階の調査としてSIP法のために次の4測線を設定した。

- A測線 : D-7-4 ~ D-7-44
- B測線 : D-4-22 ~ D-4-52
- C測線 : D-37-0 ~ D-37-15
- D測線 : D-30-0 ~ D-30-15

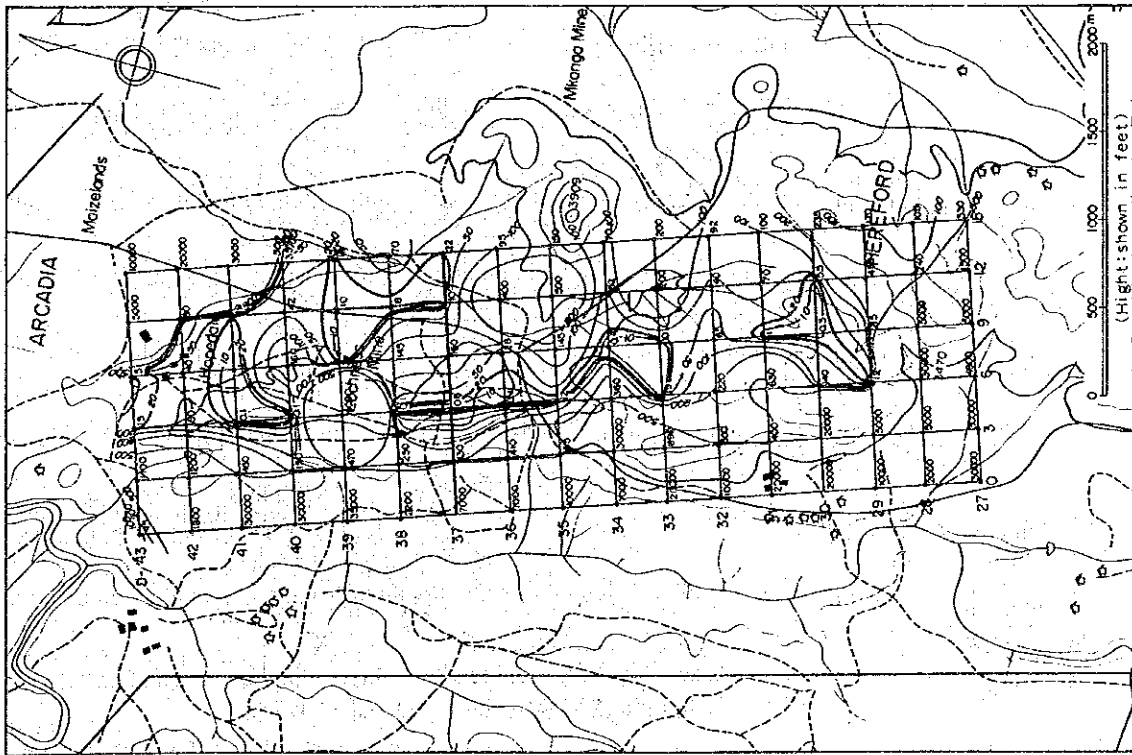


图 II-4-3-1 (a) 比抵抗構造平面图 (D-1地区125m)

unit:0-m
A representative level below 125m from the surface

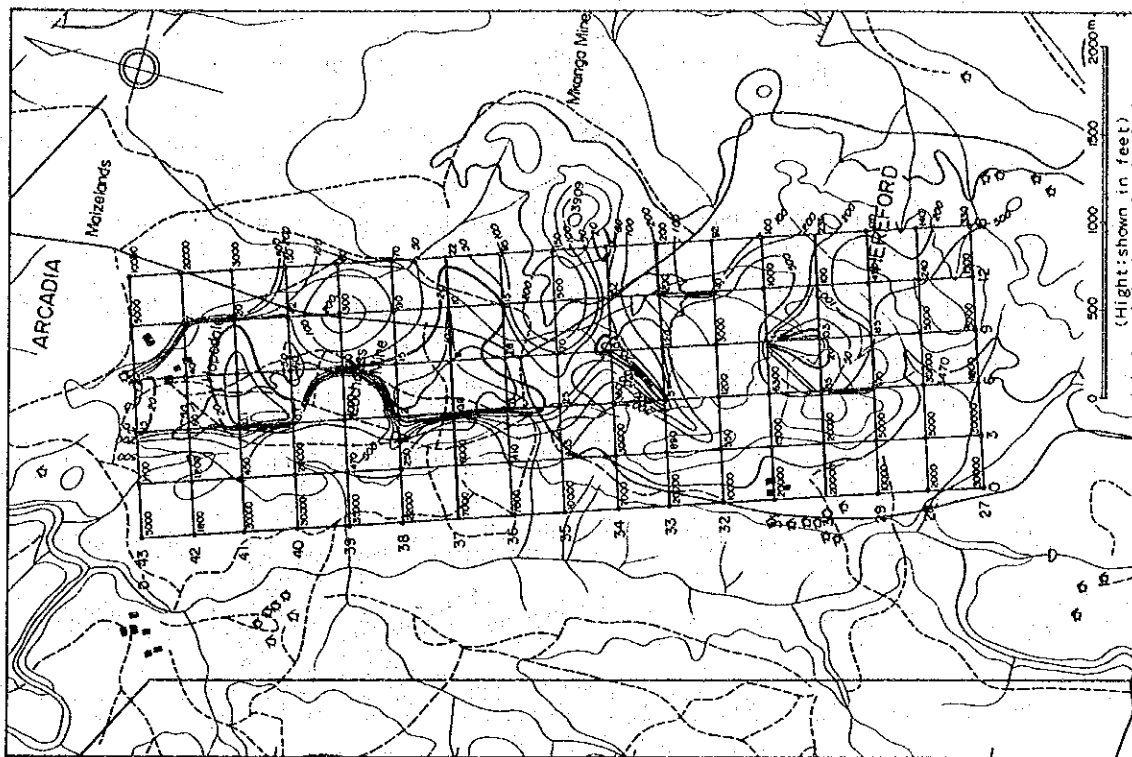


图 II-4-3-1 (b) 比抵抗構造平面图 (D-1地区325m)

unit:0-m
A representative level below 325m from the surface

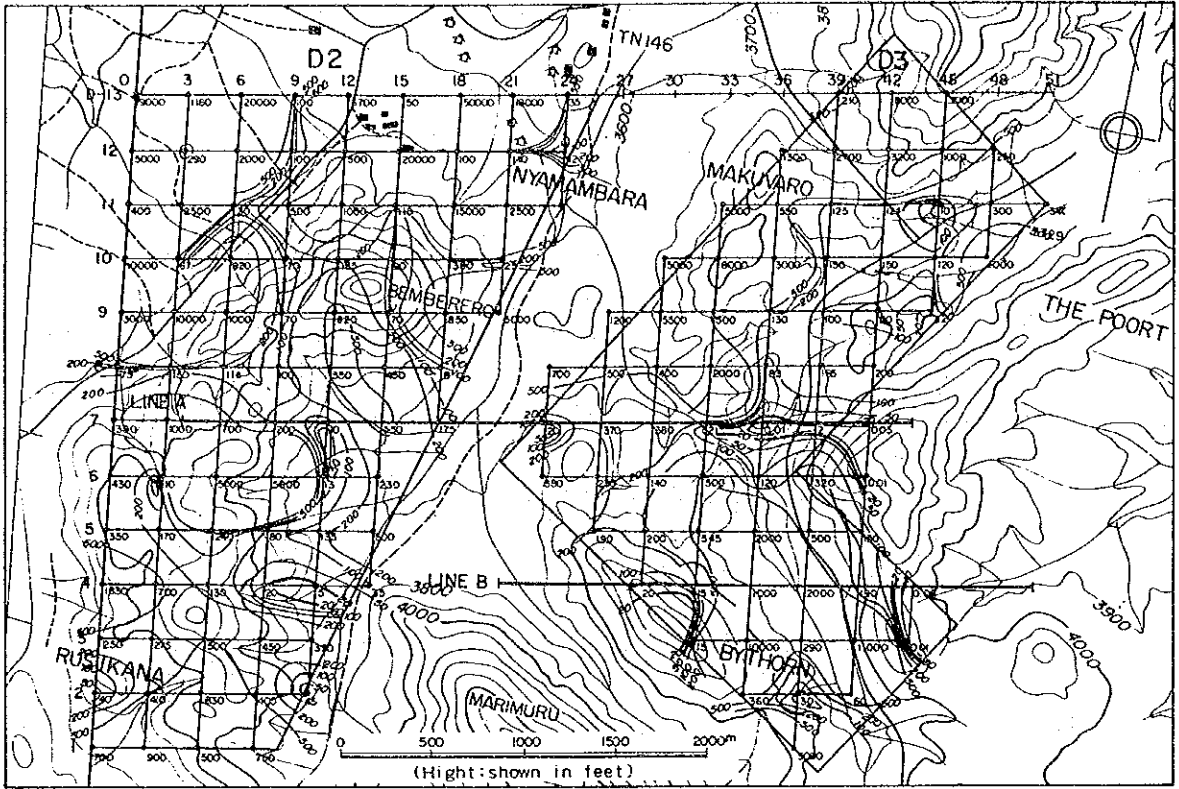


图 II-4-3-1(c) 比抵抗構造平面图(D-2, D-3地区125m)

unit:Ω-m

A representative level, below 125m from the surface

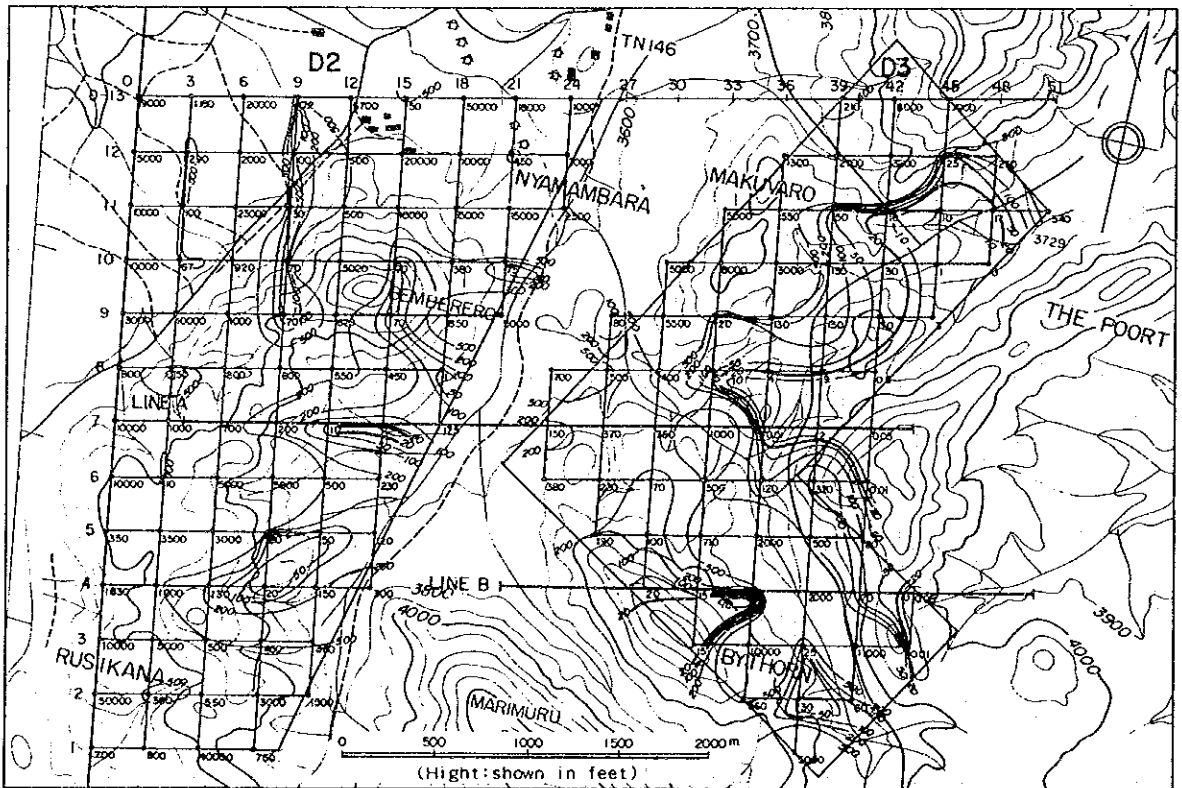


图 II-4-3-1(d) 比抵抗構造平面图(D-2, D-3地区325m)

unit:Ω-m

A representative level, below 325m from the surface

4-3-2 SIP法

第2年次のSIP法調査は、CSAMT法により抽出された低比抵抗帯について、IP効果の有無及びスペクトル特性の把握を目的として、A～Dの4測線、測線長10km、300測点を実施した。

調査結果は、見掛比抵抗平・断面図、PFE平・断面図、位相差断面図、マグニチュード・スペクトル図、位相差スペクトル図、スリーポイント・デカップリング位相差図に表したが、各測線ごとの結果は次のとおりである。

(1) A 測線 (D-7-4～D-7-44)

本測線の見掛比抵抗は、測点8～10下部 ($n=2\sim5$)、測点21～22下部 ($n=2\sim3$)及び測点31以東下部 ($n=2\sim5$)において、 $10\Omega\text{-m}$ 以下の低比抵抗帯の存在が推定され、特に測点34～37下部 ($n=4\sim5$)では $1\Omega\text{-m}$ 前後の非常に低い比抵抗値を示す。また、測点9以西、測点11～20下部 ($n=2\sim5$)及び測点23～29 ($n=1\sim5$)では、 $100\Omega\text{-m}$ 以上の高比抵抗帯の存在が推定される。

上記3箇所における低比抵抗帯上では、5%以上の高PFE値が認められるとともに、位相差のスペクトル特性から比抵抗コントラストの強い地下構造を反映したと考えられるネガティブカップリング現象が捕捉された。この異常帯を特に第I型異常帯として後で考察する。なお、3ポイントデカップル位相差については、本地区においてネガティブカップリングが卓越しており、この手法によるデカップリングは困難であると判断されるため、本報告書では述べないこととした。また、上記高比抵抗帯上では、2%以下の低PFE値が認められるとともに、位相差のスペクトル特性は周波数の増加に従い、ほぼ 45° の傾きを持つ直線で示される。これは通常の電磁カップリング現象を表わしており、ほとんどIP効果はないと考えられる。

さらに、測点23.5下 ($n=3$)東傾斜及び測点29.5下 ($n=1$)西傾斜のゾーンでは、数Hz以下の周波数帯における位相差スペクトル特性は周波数の増加に従い、ほぼ一定あるいはやや右下りの傾向を示す。この異常帯を特に第II型異常帯として後で考察する。

(図II-4-3-2(a), (b))

(2) B 測線 (D-4-22～D-4-52)

本測線の見掛比抵抗は、測線全域 ($n=3\sim5$)において低い値を示すが、特に測点30～32下部 ($n=1\sim5$)、測点35～38下部 ($n=3\sim5$)及び測点42以東 ($n=3\sim5$)において $10\Omega\text{-m}$ 以下の低比抵抗帯の存在が推定される。

上記3か所における低比抵抗帯上では、5%以上の高PFE値が認められる。

また、位相差のスペクトル特性は、測点32以西 ($n=1\sim2$)、測点39～41下部 ($n=1\sim3$)及び測点44以東 ($n=1\sim2$)において、周波数の増加に従い、ほぼ

一定あるいはやや右下りの傾向を示しており、これを第Ⅱ型異常帯として後で考察する。
また、上記3か所を除いたほぼ全域においては、ネガティブカップリング現象が認められる。この異常帯を第Ⅰ型異常帯として後で考察する。

(図Ⅱ-4-3-2(c), (d))

(3) C 測線 (D-37-0~D-37-15)

本測線の見掛比抵抗は、測点4~7下部 ($n=2\sim5$) において $10\ \Omega\text{-m}$ 以下の低比抵抗帯の存在が推定される。

また、測点5以西 ($n=1\sim3$)、測点7以東 ($n=1\sim3$) では、 $100\ \Omega\text{-m}$ 以上の高比抵抗帯の存在が推定される。

上記の低比抵抗帯上では、5%以上の高PFE値が認められるとともに、位相差のスペクトル特性は、ネガティブカップリング現象を示す。この異常帯を第Ⅰ型異常帯として後で考察する。

また、上記高比抵抗帯上では、位相差のスペクトル特性は、周波数の増加に従い、ほぼ45°の傾きを持ち、通常の電磁カップリング現象を表わしており、ほとんどIP効果はないと考えられる。

なお、測点6.5下 ($n=1\sim4$) 東傾斜のゾーンでは、低周波数帯における位相差スペクトル特性が、周波数の増加に従ってほぼ一定あるいはやや右下りの傾向を示す。この異常帯を第Ⅱ型異常帯として後で考察する。

(図Ⅱ-4-3-2(e), (f))

(4) D 測線 (D-30-0~D-30-15)

本測線の見掛比抵抗は、測点7~10下部 ($n=2\sim5$) において、 $10\ \Omega\text{-m}$ 以下の低比抵抗帯の存在が推定され、特に $n=2\sim3$ において、 $1\ \Omega\text{-m}$ 以下の非常に低い比抵抗を示す。そこにはまた、10%以上の高PFE値が認められ、位相差スペクトル特性はネガティブカップリングを示す。この異常帯は第Ⅰ型異常帯として後で考察する。

測点6以西 ($n=1\sim2$)、測点11以東 ($n=1\sim2$) では、 $100\ \Omega\text{-m}$ 以上の高比抵抗帯が存在するが、位相差スペクトル特性では散点状にIP効果があるとき正常な電磁カップリング現象を示す。

測点10.5の東方に傾斜した帯では低周波バンドで位相差スペクトル特性が安定して続き、あるいは周波数が増すとともに少し右方に減少する傾向がある。この異常帯は第Ⅱ型異常帯として後で考察する。

(図Ⅱ-4-3-2 (g) (h))

上調査地域内で採取した鈹石、岩石試料の物性を測定した結果、鈹石中の硫化鈹物の含有量が大きければ、強いスペクトルIP異常を生じることが判明した。測定されたスペクトルIPデータから、第Ⅰ型、第Ⅱ型の2つの異常帯を抽出した。以下に各異常帯の特徴について考察する。

4-3-3 考 察

本年次のSIP法調査により、IP効果の強い第Ⅰ、第Ⅱの2つの型の異常帯を抽出した。以下に各異常帯の特徴について述べる。

(1) 第Ⅰ型異常帯

前述したように、この異常帯上ではネガティブカップリング現象が卓越しており、一般にこの現象は、比抵抗構造の不均質性を反映するものである。特に高比抵抗構造中に局部的に低比抵抗帯が存在する場合に現われる現象であり、本地区の調査結果と一致する。

A測線の測点3.1以東は広範囲にネガティブカップリングが認められるが、測点2.1.5下部では、ハの字型の特性が現われている。

また、B測線では、測点3.2以西($n=1\sim 2$)、測点3.9~4.1下部($n=1\sim 3$)及び測点4.4以東($n=1\sim 2$)を除いてほぼ全域にわたりネガティブカップリングが認められる。したがって、A、B測線で捕捉された上記異常帯は、スペクトル特性が類似していることから、非常に電導性の良い同質の地質に起因するものと推定される。

なお、C測線では、測点5.5下部($n=1\sim 5$)、D測線では、測点8下部($n=1\sim 5$)にネガティブカップリングが認められ、ともに、ハの字型の特性が現われており、スペクトル特性が類似していることから、非常に電導性の良い同質の地質に起因するものと推定される。

(2) 第Ⅱ型異常帯

この異常帯上では、数Hz以下の周波数帯における位相差のスペクトル特性が周波数の増加に従い、ほぼ一定あるいはやや右下りの傾向を持つことによって特徴づけられる。

このようなスペクトル特性は、一般に強いIP効果を示すものである。A測線では、測点2.3.5下($n=3$)東傾斜及び測点2.9.5下($n=1$)西傾斜のゾーンに、この第Ⅱ型異常帯が認められる。

B測線では、測点3.2以西($n=1\sim 2$)、測点3.9~4.1下部($n=1\sim 3$)及び測点4.4以東($n=1\sim 2$)において、この第Ⅱ型異常帯が認められる。

上記異常帯はともに、第Ⅰ型異常帯の周辺部に位置していることから、第Ⅰ型異常帯への移行段階にある岩体に起因するものと推定される。

C、D測線においても、各測線において検出された第Ⅰ型異常帯の周辺部に、この第Ⅱ型

異常帯が認められる。

以上、各異常帯の特徴について述べたが、これらの異常帯と見掛比抵抗について地質状況を加味して以下に述べる。

A 測線

見掛比抵抗分布は、測点8～10下部、測点21～22下部、及び測点31以東下部において、 $10 \Omega\text{-m}$ 以下の著しい低比抵抗帯が認められる。測点8～10下部は、蛇紋岩と縞状鉄岩の接触部にあたる。

なお、本地域の鉍床胚胎モデルであるTrojan鉍床が両層の境界部に賦存することから、上記の3か所の低比抵抗帯に鉍化帯の存在が期待される。測点31～42下部は、縞状鉄岩に対比される。

B 測線

測点30～32下部、測点35～38下部及び測点42以東下部において、 $10 \Omega\text{-m}$ 以下の著しい低比抵抗帯が認められる。測点30～32下部、測点35～38下部は、縞状鉄岩に対比される。測点42以東下部は、縞状鉄岩と堆積岩の境界部にあたる。

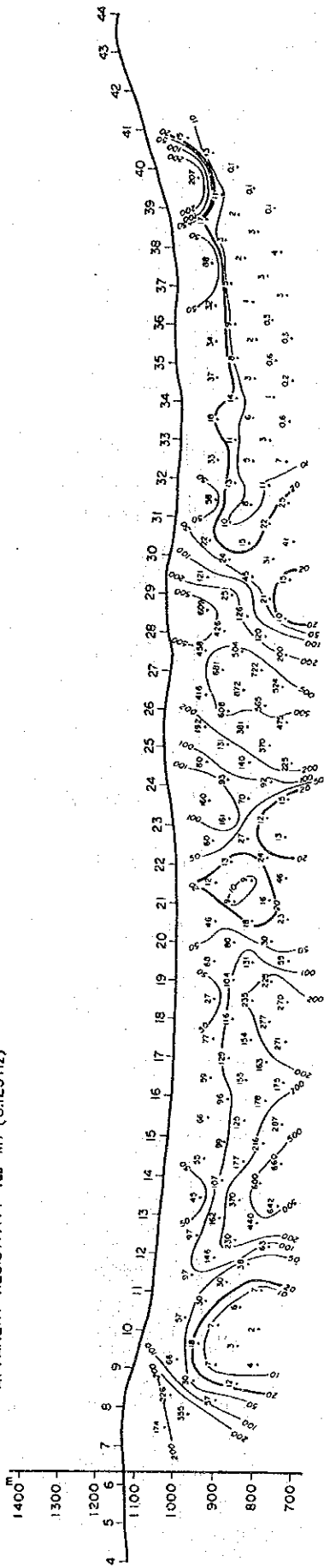
C 測線

見掛比抵抗分布は、測点4～7下部において、 $10 \Omega\text{-m}$ 以下の著しい低比抵抗帯が認められる。蛇紋岩中の鉍化帯、もしくはペグマタイトの貫入による鉍化帯の存在が期待される。

D 測線

見掛比抵抗分布は、測点7～10下部において、 $10 \Omega\text{-m}$ 以下の低比抵抗帯が認められる。蛇紋岩中の鉍化帯、もしくはペグマタイトの貫入による鉍化帯の存在が期待される。

APPARENT RESISTIVITY ($\Omega\text{-m}$) (0.125Hz)



RAW PHASE (-mrad) (0.125 Hz)

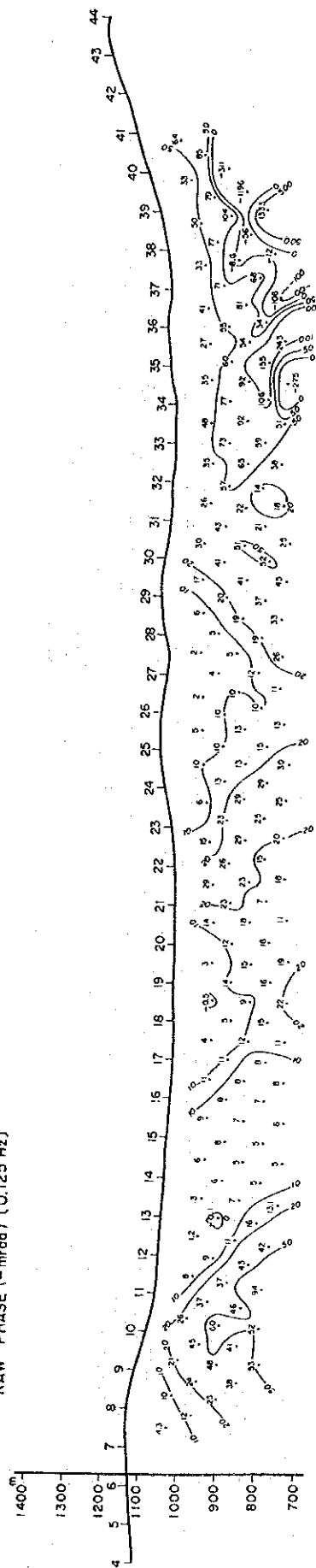
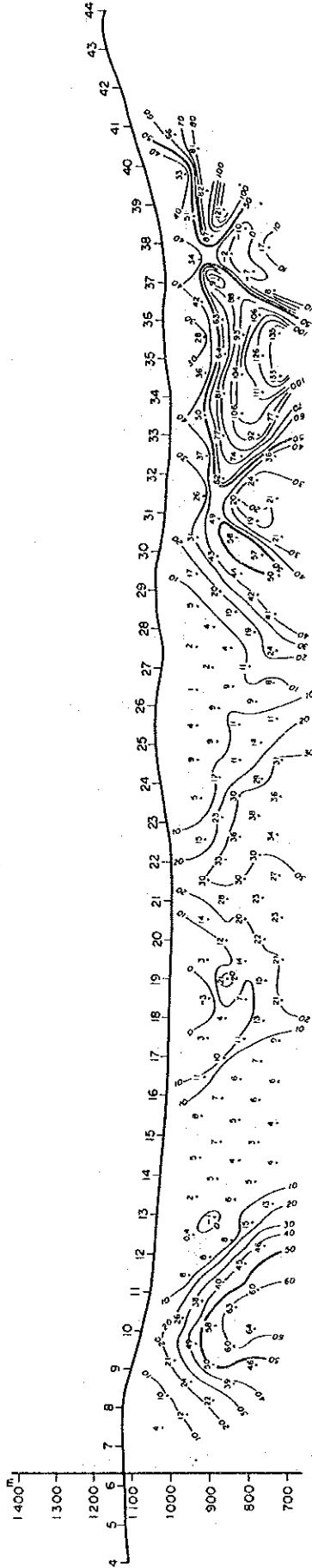


図 II-4-3-2(a) SIP結果断面図 A測線(1)

3-POINT DECOUPLING PHASE (-mrad) (0.125-0.375-0.625 Hz)



PERCENT FREQUENCY EFFECT (%) (0.125 Hz)

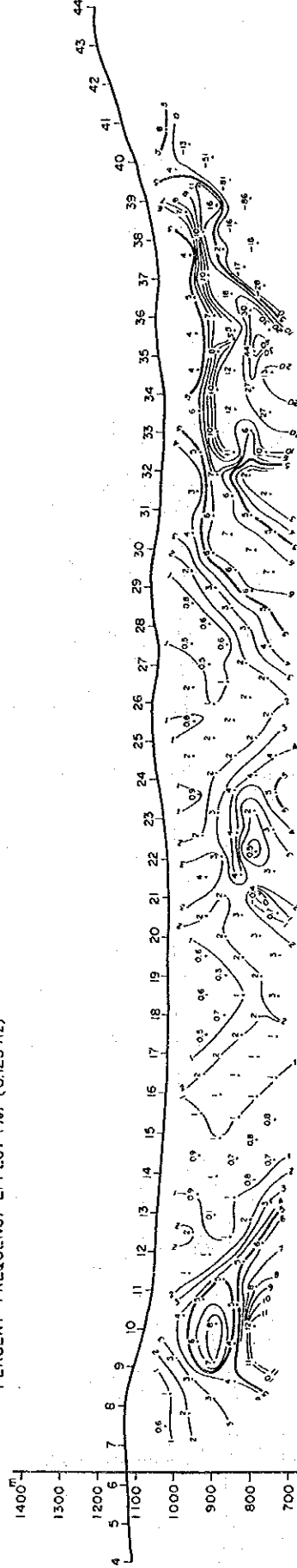
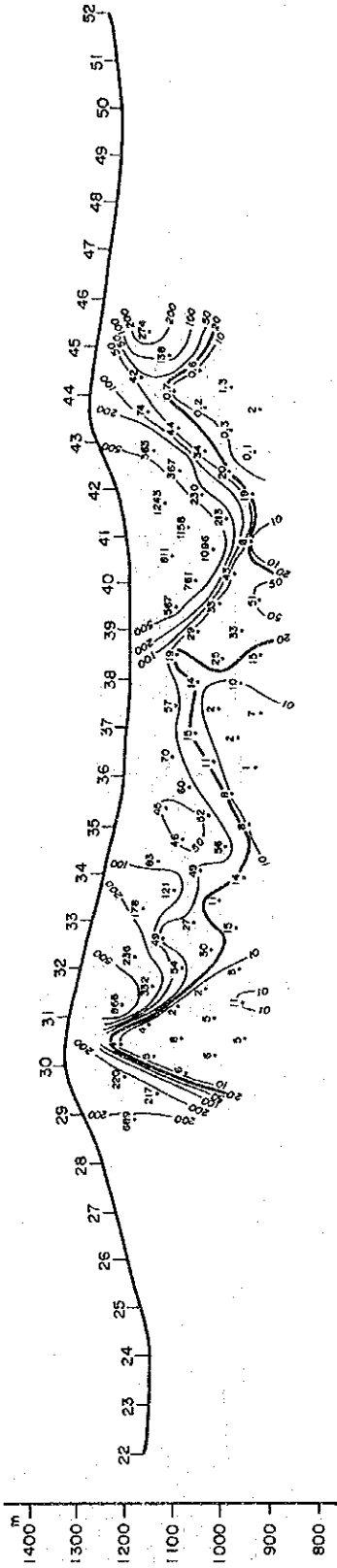


图 II-4-3-2 (b) SIP 結果断面图 A 測線(2)

APPARENT RESISTIVITY (Ω -m) (0.125 Hz)



RAW PHASE (-mrad) (0.125 Hz)

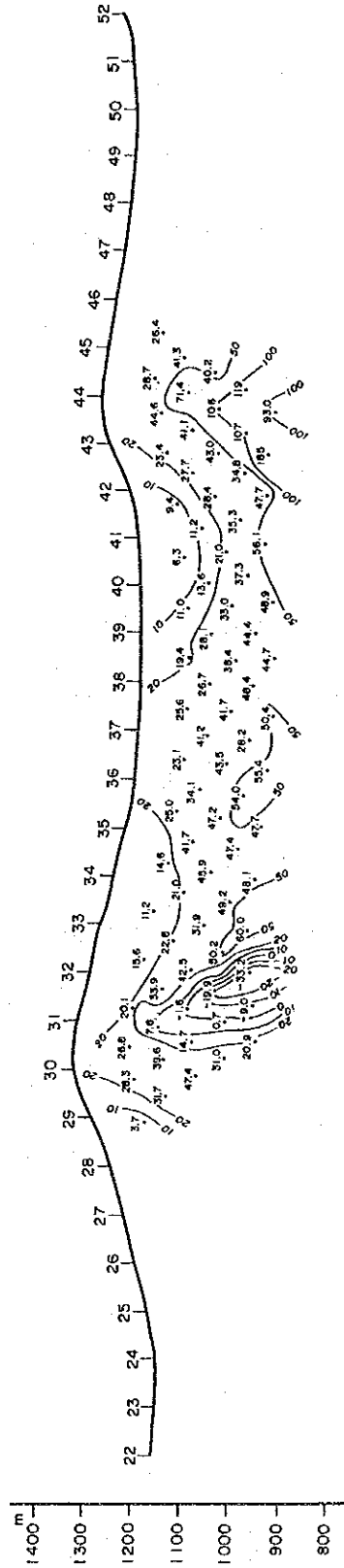
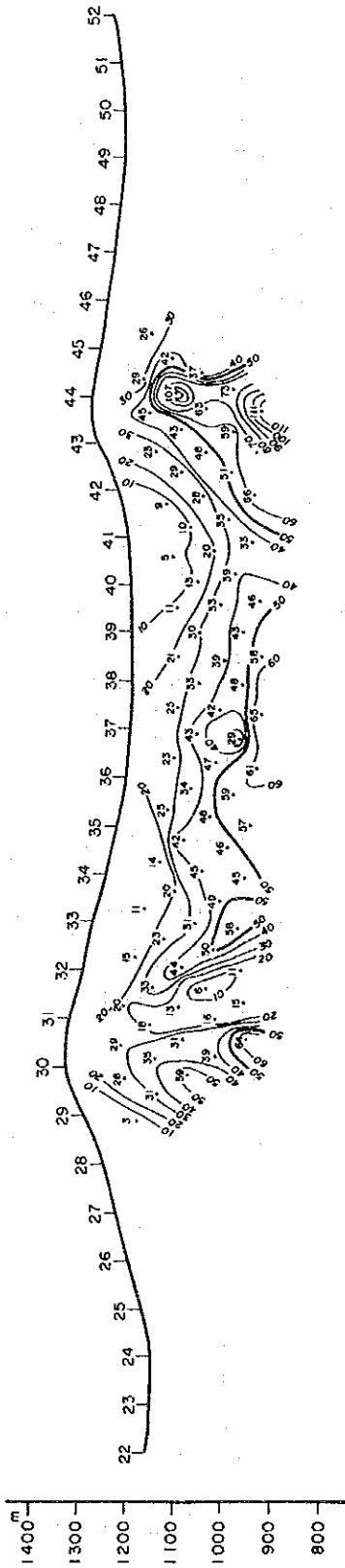


图 II-4-3-2(c) SIP結果断面図 B測線(1)

3-POINT DECOUPLING PHASE (-mrad) (0.125-0.375-0.625 Hz)



PERCENT FREQUENCY EFFECT (%) (0.125 Hz)

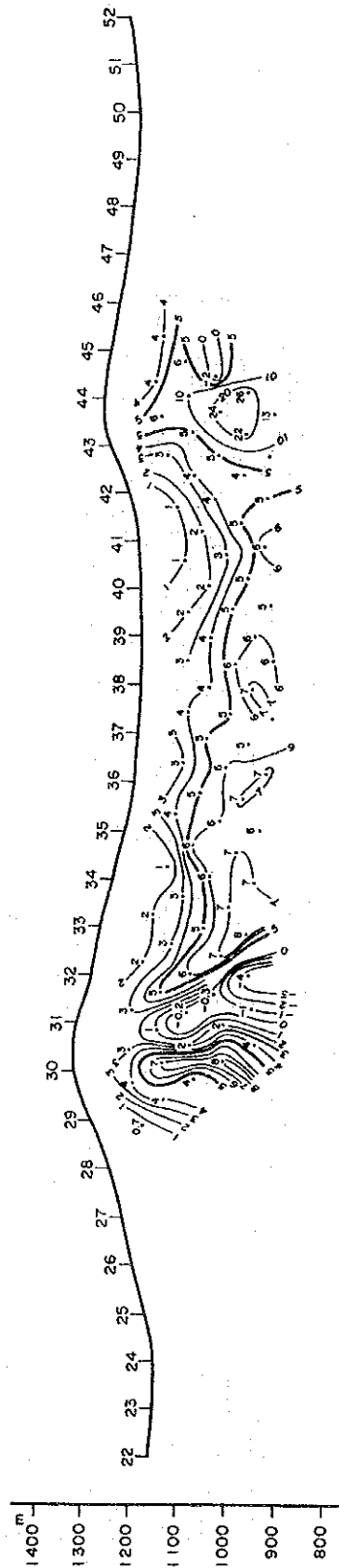
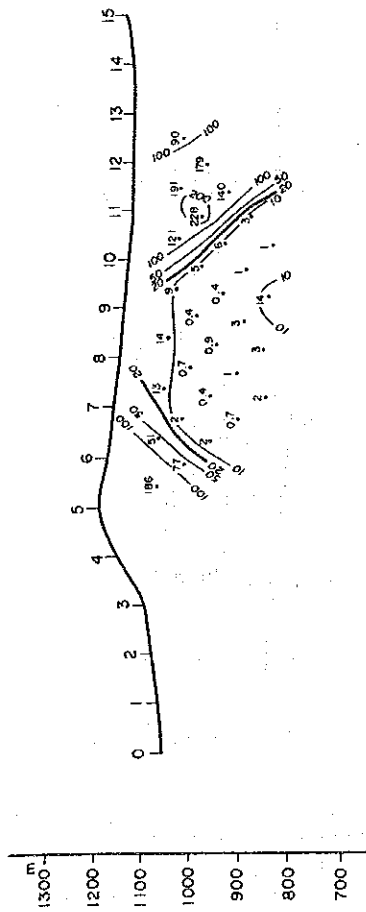
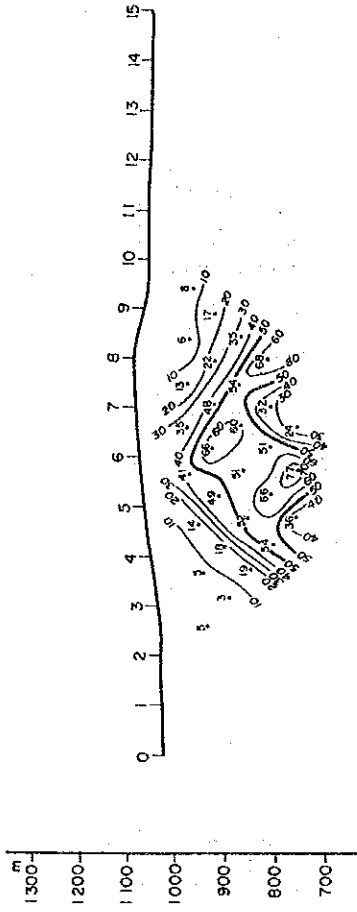


圖 II-4-3-2 (d) SIP結果断面図 B測線(2)

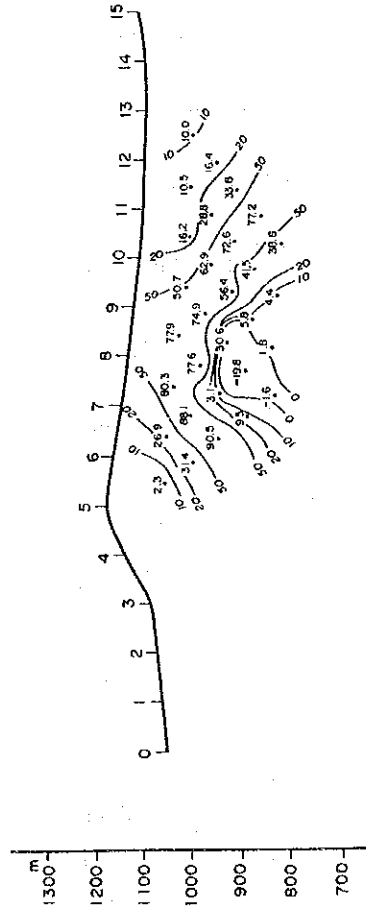
APPARENT RESISTIVITY ($\Omega \cdot m$) (0.125 Hz)



3-POINT DECOUPLING PHASE (-mrad) (0.125-0.375-0.625 Hz)



RAW PHASE (-mrad) (0.125 Hz)



PERCENT FREQUENCY EFFECT (%) (0.125 Hz)

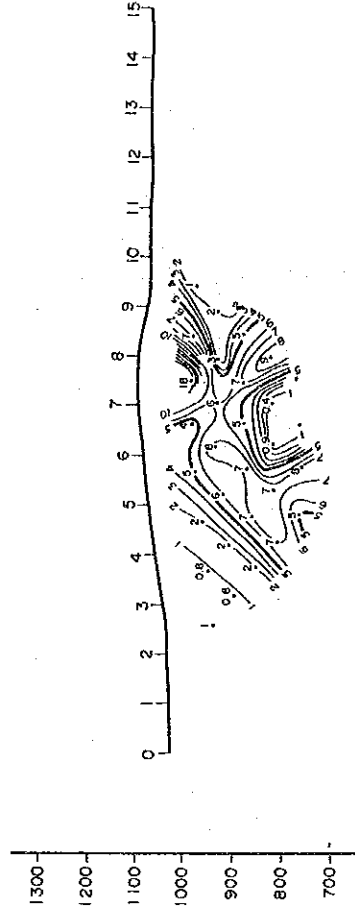
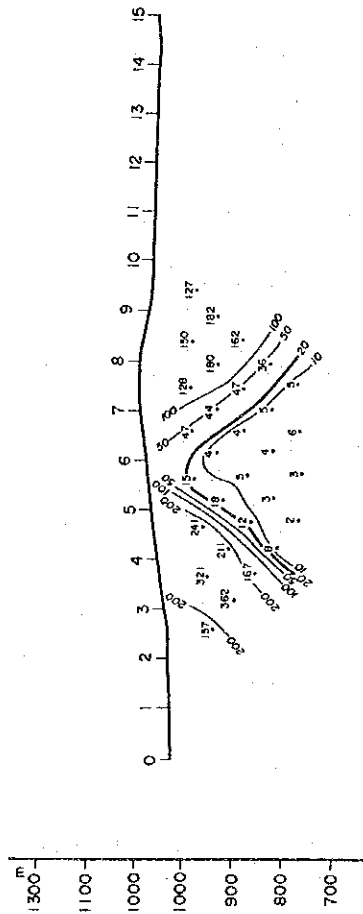


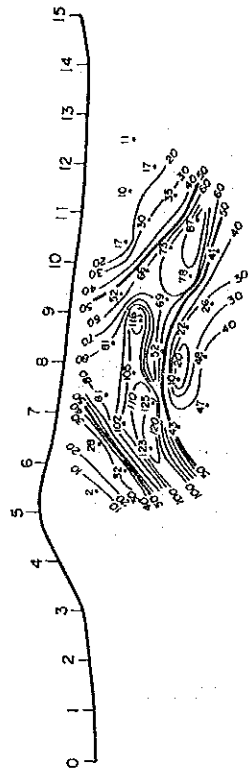
图 II-4-3-2(e) SIP結果断面图 C測線(1)

图 II-4-3-2(f) SIP結果断面图 C測線(2)

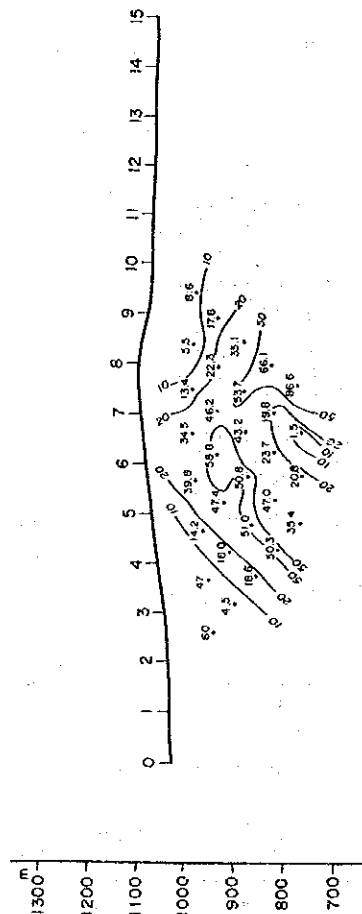
APPARENT RESISTIVITY (Ω -m) (0.125 Hz)



3-POINT DECOUPLING PHASE (-mrad) (0.125-0.375-0.625 Hz)



RAW PHASE (-mrad) (0.125 Hz)



PERCENT FREQUENCY EFFECT (%) (0.125 Hz)

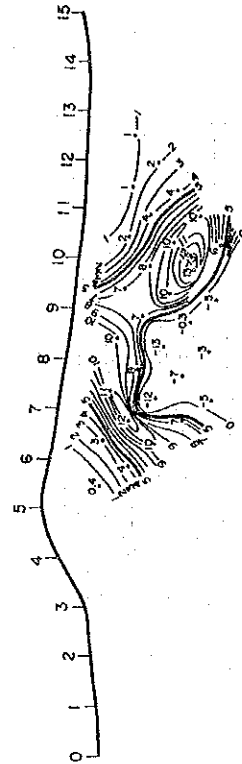


图 II-4-3-2 (g) SIP 结果断面图 D 测线(1)

图 II-4-3-2 (h) SIP 结果断面图 D 测线(2)

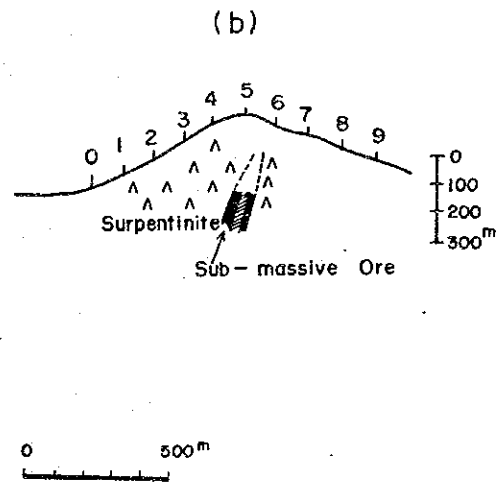
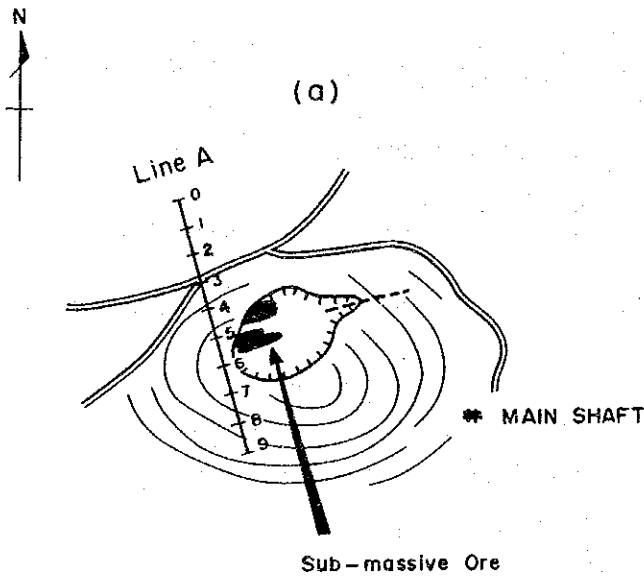
(参考資料) Trojan SIP法試験

本地域の鉱床胚胎モデルであるTrojan 鉱床上においてSIP法の測定試験を実施した。本鉱床上のA測線の結果を図Ⅱ-4-3-4及びⅡ-4-3-5に示す。

今回の試験結果では、位相差のスペクトル特性において比抵抗コントラストの強い地下構造を反映しているネガティブカップリング現象が捕捉された。前述のとおりこの異常帯を第Ⅰ型異常帯と称した。この異常帯は非常に電導性の良い地層に起因するものと推定され、Trojan 鉱床を含む一連の鉱化帯を反映しているものと考えられる。

擬似断面は、見掛比抵抗においては非常に低い値を示し、周波数効果では高いIP効果が認められる。

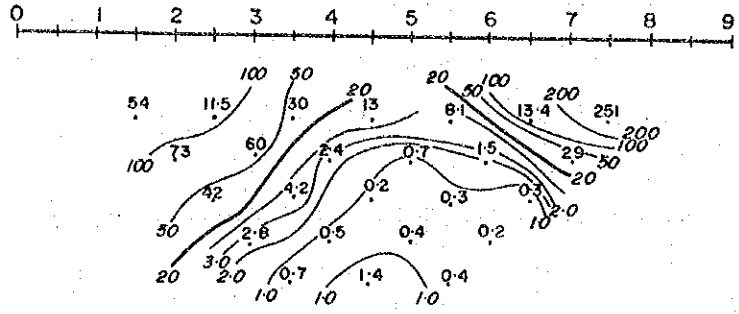
このように、今回の試験により本地域の鉱床胚胎モデル特有のスペクトル特性を把握することができた。このことは、本調査の解析において役立つ。



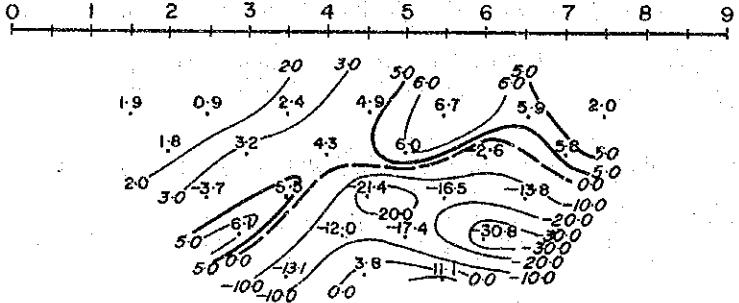
図Ⅱ-4-3-4(a) Trojan 鉱床SIP測線図

図Ⅱ-4-3-4(b) Trojan 鉱床SIP測線断面図

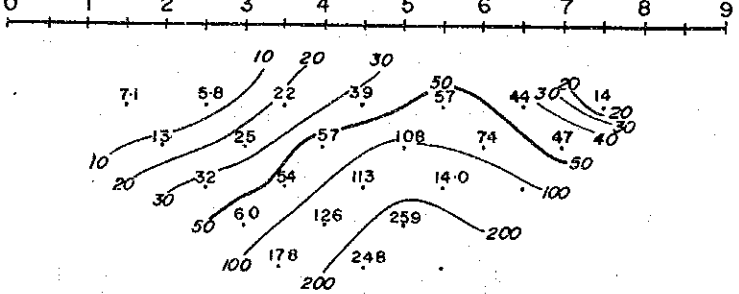
APPARENT RESISTIVITY ($\Omega - m$) (0.125 Hz)



PERCENT FREQUENCY EFFECT (%) (0.125 Hz)



3-POINT DECOUPLING PHASE (mrad) (0.125-0.375-0.625 Hz)



PHASE SPECTRUM

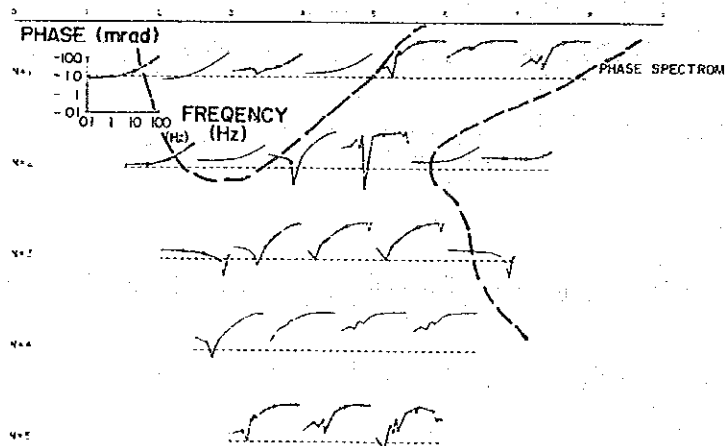


図 II-4-3-5 Trojan 鉱床 SIP 結果断面図

物性測定結果

調査地域内で採取した計22個の鉍石、岩石試料のIP物性を測定した。試料は地域内に分布する岩石の代表的なものを選び、同種の岩石でも変質の程度の異なるものなど、できるだけ多種にわたるようにした。また、地域もD3、D2、D1、Cの各地区から万遍なく採るよう心掛けた。

測定結果を表II-4-3-1に示す。

また、位相差、マグニチュードスペクトル及びコール・コール図を作って検討したが、その結果をまとめると以下のとおりである。

鉍石は低比抵抗、高IPを示す。蛇紋岩、凝灰岩、縞状鉄岩はやや低比抵抗を示すがIP値は高くない。貫入岩類は高比抵抗を示し、IP値は高くない。鉍石については位相差が4Hz付近に約 -800mrad のピークを持ち、比抵抗値は、周波数が増すにつれて0.125Hzの $59\Omega\text{-m}$ から88Hzの $45\Omega\text{-m}$ まで低下しており、岩石に比較するとスペクトル特性の明瞭な差が認められる。

表 II-4-3-1 鉱石・岩石のIP特性

No.	Sample No.	Resistivity 0.125Hz(Ω -m)	Raw Phase 0.125Hz(-mrad)	3ptDecoupled (-mrad)	P.F.E. (%)	Rock name	Sample Locality
1	1	792	3.08	-0.43	1.04	Banded Ironstone, cherty part	D-3
2	2	1111	15.0	15.7	1.84	Banded Ironstone, iron-rich part	D-3
3	3	1531	11.1	10.5	1.54	Banded Ironstone, hard cherty part	D-3
4	5	3028	11.0	11.1	1.45	Serpentinite, strong	D-3
5	9	1214	6.95	4.48	1.35	Serpentinite, weak	D-3
6	10	17011	14.0	12.70	2.07	Pyroxene Andesite, (komatiite ?)	D-3
7	12	2768	7.53	6.79	1.14	Dolerite	D-3
8	13	2571	11.33	9.02	1.91	Chert, (sandstone ?)	D-3
9	14	2078	10.1	9.73	1.43	Granite	D-3
10	15	8989	10.1	8.95	1.59	Gabbro	D-3
11	16	4072	5.13	4.37	0.86	Andesite	D-3
12	18	1707	9.52	8.78	1.39	Andesite, weak serpentinized	D-2
13	19	3671	3.74	3.66	0.61	Pegmatitic Granite	D-2
14	20	611	13.35	16.0	1.25	Serpentinite	D-1
15	27	498	5.77	2.91	1.34	Acidic tuff	D-1
16	28	173	3.11	-3.01	1.58	Serpentinite	D-1
17	21	9864	3.70	3.12	0.61	Basalt	C
18	22	8691	7.13	5.75	1.06	Dolerite	C
19	23	8642	5.68	5.14	0.84	Porphyrite	C
20	24	21760	4.30	3.74	0.66	Basalt, weak serpentinized	C
21	30	14040	4.41	4.40	0.63	Komatiite	C
22	31	59	54.01	457.7	138.4	Ni-Cu Ore	Trojan

CSAMT法とSIP法による物理探査の結果を、第1年次実施した地質調査及び地化学探査の結果並びにTrojan 鉱床上でSIP法試験結果と併せ、総合的に検討すると次のとおりである。

D1 地区

CSAMT法の結果認められたD-41-6, D-39-12, D-38-6, D-33-6, 及びD-30-9を中心とする低比抵抗帯は、本地区の北部から南部にわたり分布し、地下深部への連続性もよい。これらの低比抵抗帯は、地区中央部に分布するTrojan 鉱床胚胎層準の蛇紋岩体の分布とほぼ一致する。このうち、D-41-6及びD-38-6の低比抵抗帯は、地表のペグマタイトの分布域に位置する。これは、一般にペグマタイトは高比抵抗帯を示すのが普通であることから、一見矛盾した関係のように見えるが、反面このペグマタイト岩脈の規模が小さく、かつ地下深部への連続が悪いことを示しているのかもしれない。

D-38-6及びD-30-9の低比抵抗帯は、特に地化学探査の異常帯と密接に関係しており、CSAMT法により捕捉した低比抵抗帯の深部への連続性とも併せ判断して、地下の蛇紋岩体中に胚胎する硫化物鉱化帯に起因する可能性が考えられるので、SIP法を実施することとした。

D-30測線(SIP, D測線1.5km)で実施したSIP法の結果検出されたD-30-7~10付近の深部のIP異常は、硫化物などの良電導体が存在する場合に見られる特徴的なものであり、前記蛇紋岩体に伴う硫化物鉱化帯の賦存が期待される。

D-37測線(SIP, C測線1.5km)で実施したSIP法の結果では、分散した弱いIP異常しか検出されていないので、今後の探査は、前述のD-30-7~10異常帯に対する試錐等による探査の結果を見てから再検討すべきであると判断する。

D2 地区

CSAMT法の結果認められたD-3-12及びD-7-15付近の低比抵抗帯は、いずれもD1地区に見られるTrojan 鉱床胚胎層準の蛇紋岩体の南方延長部の東側にあり、地表には縞状鉄石が分布している。これらの低比抵抗帯の下部への連続性はよいが、地化学探査の結果では顕著な異常が認められていない。しかし、D-7-15付近の低比抵抗帯については、D3地区のCSAMT法の結果同じ測線上にあるD-7-36~42で低比抵抗帯が認められているため、両低比抵抗帯を結ぶSIP, A測線4kmを設定した。

SIP法の結果検出されたD-7-10付近のIP異常は、前記の蛇紋岩体に近接した位置にあり、地表における地化学探査の異常の欠如はその深度から見て仕方のないものと考えられるので、その地質環境の良さからみても硫化物鉱化帯の賦存が期待される。

D3 地区

C S A M T法の結果認められたD-3-33, D-7-36~42, 及びD-10-39~D-9-42の3か所の低比抵抗帯は, いずれも前記のTrojan 鉍床胚胎層準と考えられる蛇紋岩体中, あるいはそれに接する縞状鉄岩中にある。この蛇紋岩体の分布とはほぼ一致して地化学探査の異常が認められている。また, これらの低比抵抗帯の地下深部への連続性もよい。

このうち, D-10-39~D-9-42の低比抵抗帯は, Tynan 鉍徴地として古くから知られ, 試錐を含む探鉍も十分行われた地区であるので, S I P法の対象外とした。

D-7-36~42の低比抵抗帯については, 同一測線上の西方に位置するD2地区の低比抵抗帯と結ぶS I P, A測線4 kmを, また, D-3-33の低比抵抗帯については, S I P, B測線3 kmを設定した。

A測線でのS I P法の結果検出されたD-7-36付近の深部I P異常は, Trojan 鉍床胚胎層準にある蛇紋岩体の分布域にあり, かつTynan 鉍徴地に近いため, 硫化物鉍化帯の賦存が期待される。

B測線でのS I P法の結果検出された深部I P異常は, 全測線域に全般にわたり分布するが, 特にその両端部D-4-30付近とD-4-44付近で強く現われている。これらは地表においては蛇紋岩体からやや離れており, また地化学探査の異常帯とも一致していない。しかし, 顕著な低比抵抗帯を伴う強いスペクトルI P異常を示していることから, 硫化物鉍化帯の賦存が期待される。

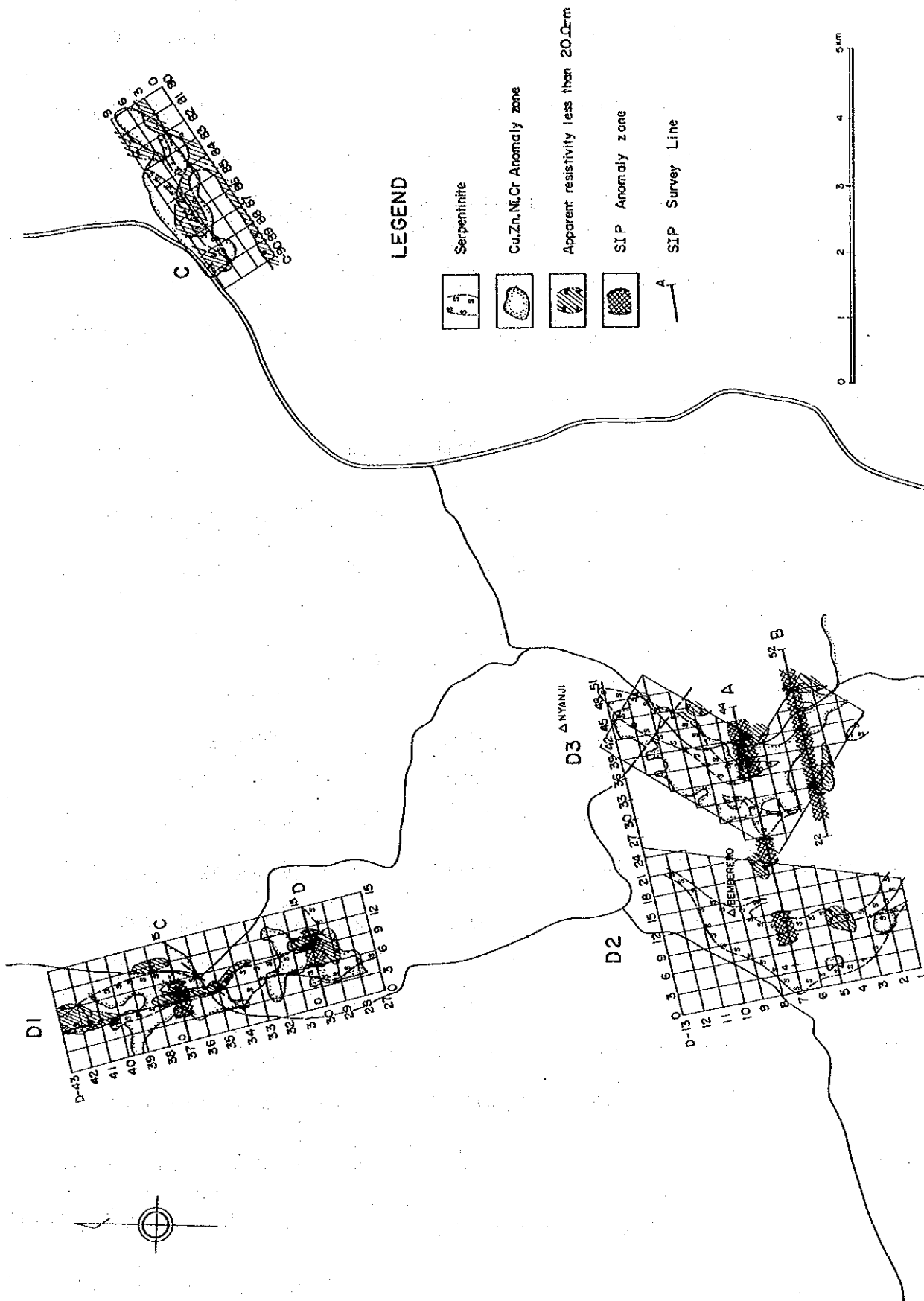


图 II-4-3-3 地質、地化学探査、物理探査結果総合図

4-4 ボーリング調査

実施したボーリングの位置を図Ⅱ-4-4-1に、その方位・傾斜・孔長・期間を表Ⅱ-4-4-1に、それぞれ示す。

また、前年次までに実施した諸調査の結果を総合検討して選ばれたボーリング対象異常地の概要は次のとおりである。

表Ⅱ-4-4-1 ボーリング対象地帯の異常一覧

ボーリング名	地質	地化探異常	CSAMT	SIP異常	その他
MJZ-1	蛇紋岩体の東縁	なし	低抵抗帯	—	ペグマタイトの北方延長
MJZ-2	〃 西縁	あり	〃	中	ペグマタイトの南方延長
MJZ-3	〃 東縁	あり	〃	中	
MJZ-4	〃 〃	なし	高抵抗帯	—	
MJZ-5	〃 〃	なし	低抵抗帯	中	
MJZ-6	〃 〃	なし	〃	—	
MJZ-7	〃 西縁	あり	〃	強	Tynanニッケル鉍徴地の南西方延長
MJZ-8	縞状鉄岩中	周辺	〃	中	

表Ⅱ-4-4-2 ボーリング調査孔一覧

	<u>Azimuth</u>	<u>Dip</u>	<u>Depth(m)</u>	<u>Period</u>
MJZ-1	255°	-60°	200.05	7.10.1985 ~ 29.10.1985
MJZ-2	75°	-60°	201.00	19. 9.1985 ~ 17.10.1985
MJZ-3	255°	-60°	200.03	4. 9.1985 ~ 28. 9.1985
MJZ-4	255°	-60°	200.00	2. 9.1985 ~ 8.10.1985
MJZ-5	255°	-60°	200.09	14. 8.1985 ~ 20. 9.1985
MJZ-6	255°	-60°	200.03	9. 8.1985 ~ 31. 8.1985
MJZ-7	75°	-60°	250.00	4. 7.1985 ~ 3. 9.1985
MJZ-8	75°	-60°	200.00	5. 7.1985 ~ 9. 8.1985
			<u>1,651.20</u>	

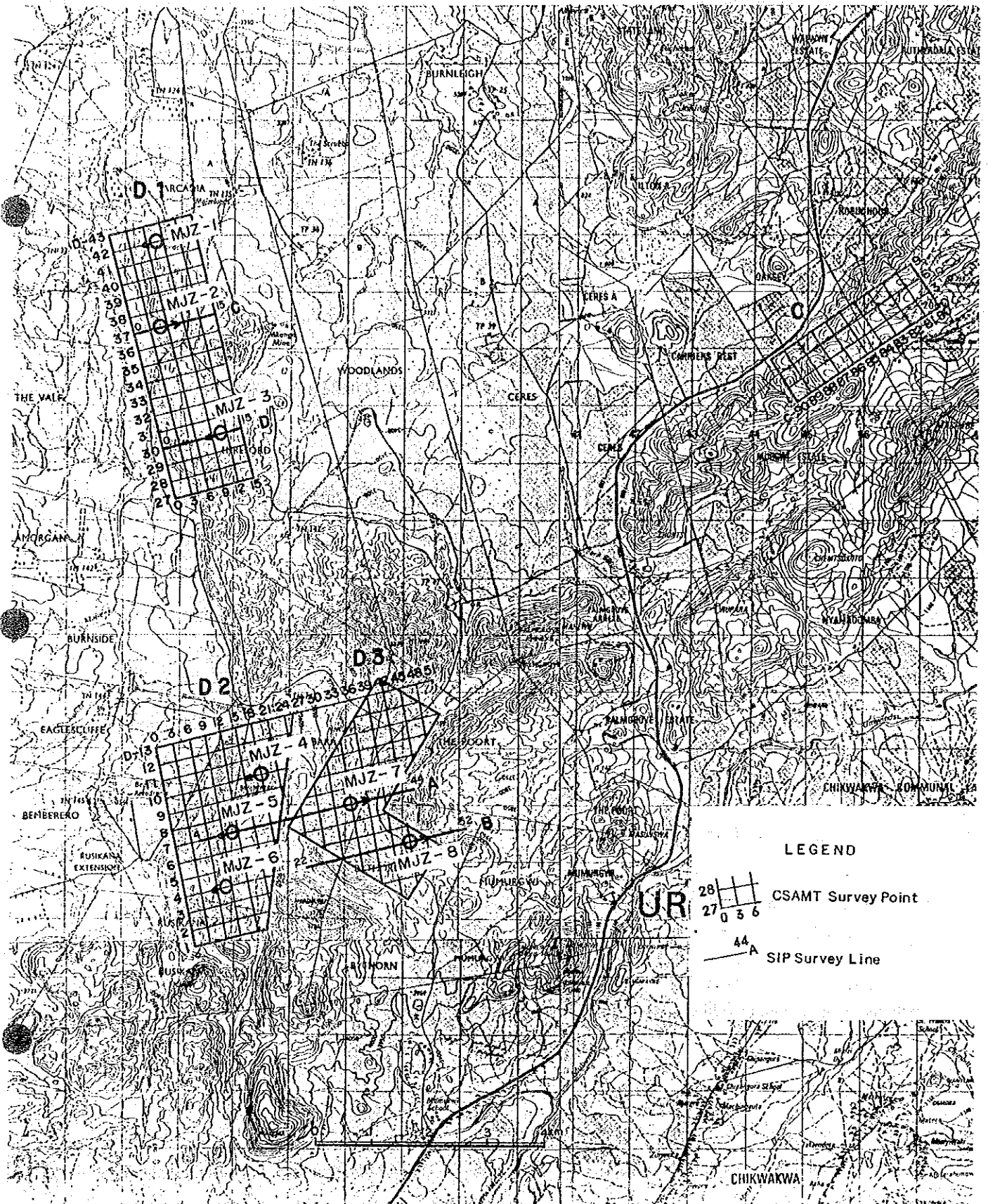


図 II-4-4-1 ボーリング位置図

これらの実施ボーリング孔の地質概要と、物理探査の結果との対比を述べると次のようである。

M J Z - 1

9.65 mから11.00 m間に縞状鉄岩を挟むほかは、すべて緑色片岩、滑石質片岩、黒雲母片岩、白雲母片岩などの片岩類からなる。この中に、特に浅所部分に花崗岩質レンズ状礫を含有する部分があり、これは下部Bulawayan層の礫石が花崗岩類の活動による圧迫を受けた際に圧縮されて片岩となったものと推定される。

また深部には、緑泥石、緑れん石を伴う石英・長石の結晶からなるペグマタイト質進入物(10 cm~40 cm)がところどころに見られる。

全般に、花崗岩類に近接していることからその圧縮と気成作用の影響を強く受けた岩相を示す部分といえる。

本孔は、CSAMT法の結果、浅部では30 Ω-m程度のやゝ低い比抵抗を示すが、SIP法は実施していない地帯にある。この低比抵抗の原因は、本孔の浅部に見られる縞状鉄岩などの比抵抗の低い諸岩石とともに、あるいは周辺に破碎帯などの浸透水層があるためかもしれない。

M J Z - 2

41.00 mまでレンズ状に圧縮された花崗岩の2~5 cm大の礫を含む黒雲母・石英片岩が続き、以後52.60 mまで礫は見えなくなる。以後超苦鉄質火山岩に入り77.40 mまで続く。以後石英片岩に戻り、109.50 mから再び礫岩質黒雲母片岩となり、195.00 mからまた礫は見えなくなる。133.00 mから195.00 m付近までには、緑泥石、緑れん石、雲母を伴ったペグマタイト質進入物のレンズが見られ、172.00 m付近ではこの中に一部磁硫鉄鈦の鈦化帯が見られる。

本孔は、CSAMT法の結果30 Ω-m以下の低比抵抗を示し、SIP法の結果でも数Ω-m以下の低比抵抗を示し、かつハの字形の明瞭な良好なIP特性を示す異常帯をねらったものである。しかし、これを説明するのに十分な示徴は示さなかった。理由としては、本孔の最下低よりもさらに深部に異常帯があるためではないかと思われる。

M J Z - 3

53.20 mまで蛇紋岩が続くが、中に70 cmと1.40 mの滑石片岩の薄い挟みと、10 cmの石綿の薄層を挟む。以後超苦鉄質火山岩と砂岩・珪岩の薄層の互層帯が86.50 mまで続き、以後150.30 mまで蛇紋岩が続く。この蛇紋岩中には、17 cmの塊状 硫鉄鈦(黄銅鈦少量

鉍染, Cu 0.38%, Ni 0.56%, Co 0.08%)を含むほか, 3.50 mのペグマタイト脈, 2.30 mの縞状鉄岩, 0.90 mのグラファイト質片岩を挟在している。以後孔底まで超苦鉄質火山岩が続くが, 中に5.5 cm~2.0 cmの安山岩質岩脈3本と, 3.0 cmの凝灰岩質薄層とを挟む。

本孔は, CSAMT法の結果浅部で数 Ω -m以下の低比抵抗を示し, SIP法の結果も数 Ω -m以下の低比抵抗帯を示し, かつハの字形の明瞭な良好なIP特性を示す異常帯をねらったものであるが, これを説明するのに十分な示徴を示さなかった。理由として, 異常の規模から見て期待される鉍化帯の規模も小さいと思われ, これを直接捕捉するのが難しかったためと考えられる。

本孔の地質は, 超苦鉄質岩に伴うニッケル・銅鉍床の胚胎する環境に最適で, しかも弱いながら鉍化の示徴も見られる。したがって, 本孔周辺は鉍床賦存の可能性の高い地帯と判断される。

MJZ-4

77.90 mまで石英・黒雲母片岩が続き, 以後150.00 mまで超苦鉄質火山岩~貫入岩が続く。以後孔底まで蛇紋岩が続く。

本孔には鉍化帯が全く見られない。

本孔は, CSAMT法の結果, 数100~1,000 Ω -mのやゝ高比抵抗を示し, SIP法は実施していない地帯にある。本孔の地質は, この比抵抗値をそのまま反映していると思われる。

MJZ-5

47.25 mまで安山岩質火山砕屑岩が続き, 以後109.90 mまで泥質岩が続く。以後116.10 mまで縞状鉄岩, 164.50 mまで凝灰質砕屑岩, 180.50 mから194.30 mまで縞状鉄岩と続く。この間164.50 mから180.50 mまでペグマタイト岩脈が貫き, 194.30 m以後孔底まで蛇紋岩となる。

本孔は, CSAMT法の結果約10 Ω -mのやゝ低比抵抗を示し, SIP法の結果も数 Ω -mの低比抵抗を示し, かつ10%以下のあまり顕著でないIP特性を示す小規模な異常帯をねらったものであるが, これを説明するものは, 縞状鉄岩(計30 m)中の鉍染状~縞状磁硫鉄鉍と, ペグマタイト(16 m)中の二次的と思われる磁硫鉄鉍の鉍化, 及び泥質岩や凝灰質屑岩中の磁硫鉄鉍々染など, 本孔全般にわたる微量鉍染が影響を与えたものと解釈できる。

MJZ-6

全般に泥質岩, グラファイト質泥質岩, 縞状鉄岩が卓越するが, 181.10 mから孔底までは粗粒玄武岩が現れる。

グラファイト質泥質岩中には、厚さ1～数mmの磁硫鉄鉍の薄層が縞状に発達し、ときに鉍染状、ポッド状、網状となっている。縞状鉄岩には、巾数cm～数10cmの磁硫鉄鉍のレンズや薄層が珪岩と互層状に発達し、ときに鉍染状、細脈状、網状となっている。このように 硫鉄鉍の鉍化は、しばしば母岩の構造を斜めに切っており、もともとは同生的な化学的沈澱物であった硫化鉍物の変成期間中に二次的な再移動を受けたことを示唆している。

このような磁硫鉄鉍の鉍化は、51.40mから181.10mまで約130m間にわたる(間に2.40mの含硫化鉍石英脈、3.50mのペグマタイト脈を含む)。これらの磁硫鉄鉍々化帯のうち、分析結果で幾分かの値を示した部分は、84.50m～84.90m間の塊状磁硫鉄鉍部で、Cu 0.19%、Ni 0.18%、Co 0.04%を示した。他には数か所にAu 0.2～0.3g/tを含有するのみであった。

このような始生界緑色岩帯中の硫化鉍々化帯は、しばしば低品位ながら金を含有し、大規模低品位金鉍床として稼行されている。このような金の含有を期待したが、残念ながら分析の結果は思わしくなかった。

本孔は、CSAMT法の結果約10Ω-mの著しい低比抵抗を示すが、SIP法は実施しなかった地帯にある。この低比抵抗帯の原因は、本孔に現れた大量の硫化鉍の存在が十分説明するものと思われる。

MJZ-7

35.00mまで安山岩質火山碎屑岩が続き、以後孔底まで蛇紋岩が卓越するが、197.10mから227.40mまで苦鉄質火山岩を挟在する。地表部から120m付近まで破碎帯の発達が著しく、特に蛇紋岩中の葉片状組織に沿って発達するため、掘削に当っては終始孔荒れに苦しめられた。

52.50mから67.50mまで15m間苦鉄質岩石中に磁硫鉄鉍の縞状～網状の鉍化が見られ、磁硫鉄鉍の量比にして20%～30%に達している。この大部分はグラファイト質泥質岩のとり込みと思われる部分であり、鏡下では苦鉄質鉍物の集中する部分と、グラファイト質泥質部の縞状残留部とが交さくした産状を呈している。本鉍化帯の分析結果は、Cu 0.008～0.064%、Ni 0.016～0.063%、Co 0.005～0.010%といずれも低い値を示した。

本孔は、CSAMT法の結果20Ω-m以下の低比抵抗を示し、SIP法の結果も数Ω-m以下の低比抵抗を示し、かつ二重のハの字形特性を示す大規模な異常帯をねらったものであるが、当該深部には鉍化帯の示徴は見当らなかった。この理由については、IP異常は鉍化帯の上部に検出される場合が多いことから、本孔では十分な深度に到達しなかったためと思われる。異常の質と規模からみて、本孔のより深部に鉍化帯の存在する可能性がまだ十分考えられる。

なお、52.50 mから67.50 mまでの鉍化帯については、SIP測定の間極間隔が100 mであることから、浅すぎるためにその異常を検出できなかったものと思われる。

以上のような鉍化帯の存在や、SIP法による良好な異常帯の存在、北東方約1 kmにある既知のTynan 鉍化帯の母岩である蛇紋岩体の連続延長部に当たるといって極めて良好な地質環境といったものを考えるとき、本孔付近一帯、特にTynan 鉍化帯へかけての一帯は、鉍床賦存の可能性が非常に高い地帯であると評価される。

MJZ-8

30.90 mまで片麻岩が現れるが、以後57 m付近まで安山岩質火砕岩類が続く。以後石英・黒雲母片岩に入り、139.40 mから片麻岩に変わり孔底まで続く。深度100 m前後には、巾40 cmから80 cmのペグマタイトの細脈が進入している。

地表の地質から推定したより、周辺の花崗岩・片麻岩帯が本孔付近まで浅所に入り込んでいるようである。

本孔には鉍化帯は全く見られなかった。

本孔は、CSAMT法の結果も同様の比抵抗を示し、かつ弱く小規模なIP特性を示す異常帯をねらったものであるが、それを説明する示徴は見られなかった。その理由については、このIP異常帯が、地表の電極付近にあった小規模鉍染帯が電極配置に関係して相乗的に効いて現れた異常なのではないかと推定される。

以上に述べたように、今年次のボーリング調査の結果、実施した8本のボーリングのうち4本で何らかの鉍化帯を捕捉した。これをまとめて表示すると次のようである。

表 II-4-4-3 ボーリング孔の捕捉鉍徴一覧

	超苦鉄質岩に伴う 硫化鉍物	縞状鉄岩に伴う 硫化鉍物	グラファイト質泥質 岩に伴う硫化鉍物	ペグマタイトに伴う 鉍化帯	石英脈
MJZ-3	0.17 m塊状磁硫 鉄鉍 0.20 m網状磁硫 鉄鉍	2.30 m網状磁硫 鉄鉍	0.90 m網状磁硫 鉄鉍	3.50 m	
MJZ-5		19.15 m網状磁 硫鉄鉍		16.95 m	0.50 m
MJZ-6		62.05 m鉍染状 ~網状磁硫鉄鉍	41.90 m鉍染状 ~網状磁硫鉄鉍	3.75 m	2.40 m
MJZ-7	15.00 m鉍染状 ~網状磁硫鉄鉍				

これらの鉍化帯について、原則として1.5 mごとく試料を調整し、硫化鉍に対してはCu, Ni, Coの、ペグマタイトに対してはNb, Ta, Snの、また、およそ試料1個おきにAuの分析を行っ

た。この結果は、別表に示すとおりであるが、そのうち有意の値を示すものは次のとおりである。

Hole No	Intersection m	Cu %	Ni %	Co %	Au g/t
MJZ-3	9 1.6 0 ~ 9 1.7 5	0.3 7 9	0.5 6 0	0.0 8 1	
	1 4 6.8 0 ~ 1 4 7.7 0	0.1 3 8	0.0 6 5	0.0 2 1	
MJZ-6	7 0.2 5 ~ 7 1.7 5				0.3
	8 4.5 0 ~ 8 4.9 0	0.1 8 7	0.1 7 8	0.0 3 7	
	1 0 4.3 0 ~ 1 0 5.8 0				0.2
	1 0 8.8 5 ~ 1 0 9.9 0				0.2
	1 3 3.8 0 ~ 1 3 5.7 0				0.3
	1 5 9.0 0 ~ 1 6 1.3 3				0.2

このうち、一応経済的品位を示すのは、MJZ-3、9 1.6 0 mから1 7 cm間である。超苦鉄質岩中に胚胎する塊状磁硫鉄鉱であり、地質環境もよいが、いかにも規模が小さい。しかし、このようなCuやNiの示徴があるということは、大いに意味のあることであると思われる。

4-5 結 論

以上のように、本地域における調査結果は、地質的にはニッケル鉱床の母岩となる超苦鉄質岩体の分布が広く認められ、縞状鉄岩の分布も著しく、Bindura 西方の代表的なニッケル鉱床であるTrojan 鉱床の胚胎層準と同じ位置にある、など絶好の地質環境にあることを確認した。また、地化学探査の結果も超苦鉄質岩体分布域中に良好な異常を示し、物理探査の結果も数多くの顕著な低比抵抗帯や、良好なIP異常を検出した。以上の結果選定された異常帯に対して実施したボーリング調査の結果は、8本のボーリングのうち4本で何らかの鉱徴を認め、これまでの諸調査の結果が有効に生かされていることを証明した。

今回の調査では、残念ながら直接経済的品位を示す鉱化帯を捕捉するに至らなかったものの、今後の本格的な探査のための極めて有力な端緒をつかんだものと認める。特に、MJZ-7及びMJZ-3の周辺は高いポテンシャルを持つものと思われ、今後はさらに詳細な地表物理探査を実施し、可能ならば試錐孔物理検層も実施し、それらの結果に応じてボーリングを実施する等のさらに積極的な探査が望まれる。

第5章 E 地 区

5-1 地質調査

本地区は、Mazoe-Shamva 緑色岩帯の北西端に位置し、主として上部 Bulawayan 層の緑色岩類に覆われるが、中央東端には小規模な下部 Bulawayan 層の分布と、西部には花崗岩体の周縁部の分布とが見られる。地層の走向は、北部でN-S、南部でE-Wと変化し、傾斜はほぼ垂直である。

下部 Bulawayan 層は、珪岩、砂岩からなり、上部 Bulawayan 層は、苦鉄質溶岩及び蛇紋岩からなる。蛇紋岩は変成度が低く、原岩である苦鉄質火山岩～貫入岩の組織を残している部分が多い。北部から中部にかけ広範囲に分布する同岩は、南部では小規模なレンズ状岩体に縮小分散する。地区南部にはまた、細粒閃緑岩と斑れい岩の小規模な岩株が認められる。

細粒閃緑岩と苦鉄質溶岩との接触部付近には、含金石英脈である Churchill 鉱山がある。本鉱山は小規模なもので、稼行の実績はあるが詳細は不明である。

5-2 地化学探査

地区中央部に、NiとCrの中程度異常帯を検出した。NiではB帯(624~1.831 ppm)及びその中に点在するA帯(1.118~3.461 ppm)に属する異常である。この異常帯は、地区中央部に南北に伸びて分布する蛇紋岩の分布に一致しているが、主成分分析の得点は低く、かつCuやZnの異状を伴わない。したがって、基盤の蛇紋岩の分布を反映したもので、特に鉱化帯とは関連がないものと推定される。

地区全般に、Auの弱い異常帯を散点的に検出した。このうち、地区南西端の異常帯は、付近の金鉱山(Churchill Mine 休山中)の鉱化帯に起因するものと推定されるが、他のものについては規模は小さいが原因は不明である。

5-3 結 論

以上のように、本地区における調査結果は、地質的にはニッケル鉱床の母岩となる超苦鉄質岩体の分布は広いものの、地化学探査の結果は広く同岩体の分布を表す後背値を示すのみで、特に鉱化帯の存在を指示するような異常は検出できなかった。

結論として、本地区における大規模鉱床賦存の可能性は低いと認める。

第3部

結論と将来の展望

第 1 章 結 論

ジャムパ地域の調査は、1983年に実施した地質調査と地化学探査、1984年に実施した物理探査の結果を総合検討し、本年次に鉱床賦存の可能性の最も高いと判断される地帯に対してボーリング調査を実施することで終了した。

本プロジェクトは、段階的に順を追った探鉱のプロセスを踏み、各年次の調査結果はそれぞれ満足のゆくものが得られた。特に、本年次実施したボーリング調査では、8本のボーリングのうち4本で何らかの鉱徴を認め、それまでの諸調査の結果を的確に反影していることを認めた。

本調査では、残念ながら直接経済的品位・規模を示す鉱化帯を捕捉することはできなかったが、今後の本地域の本格的な探鉱に貴重な端緒をつかんだものとする。

各地区ごとの調査結果と結論を述べると、次のとおりである。

1. A地区は、地質的にはニッケル鉱床の母岩となる超苦鉄質岩の分布も局部的で、地化学探査の結果も顕著な異常を示さなかった。したがって、本地区における鉱床賦存の可能性は低いと認める。
2. B地区もA地区と同様、地質的にも地化学的にも顕著な徴候を示さず、やはり鉱床賦存の可能性は低いと認める。
3. C地区は、一部に超苦鉄質岩の分布も顕著に見られ、そこには地化学探査の異常帯も伴い、また物理探査でも深部に低比抵抗帯を検出した。したがって、本地区には鉱床賦存の可能性をまだ残しているものの、さほど積極的に探査を推められるものではない。
4. D地区は、超苦鉄質岩の分布は広く、縞状鉄岩も多く伴い、Trojan鉱床の胚胎層準の延長上にあるなど、同型のニッケル鉱床の胚胎に絶好な地質環境にある。また、地化学探査、物理探査の結果も顕著な示徴を示し、それらの結果に基づいて実施したボーリング調査では、8本のボーリング中4本で磁硫鉄鉱を主とする鉱徴を認めた。特に、MJZ-3及びMJZ-7に見られる鉱徴は顕著で、良好な地質環境と併せて、これらの周辺地帯はニッケル鉱床の賦存に最も有望な地帯と考えられる。
5. E地区は、超苦鉄質岩の分布は広いものの、地化学探査の結果は何ら顕著な異常を示さなかった。したがって、本地区における鉱床賦存の可能性は低いと認める。

第 2 章 将来の展望

前章の結論に基づき、以下の調査を実施することをジンバブエ地質調査所に対し勧告する。

MJZ-3 及び MJZ-7 周辺の鉄床賦存有望地帯に対し、測線を周辺に広めてさらに詳細な物理探査を実施し、また可能ならば試錐孔物理検層を実施し、それらの結果に応じて追加のボーリング調査を実施すること。

参 考 文 献

参考文献 (Phase I)

- 1) ARNDT, N., and BROOKS, C.
1980: Komatiite; *Geology*, v. 8, p. 155-156.
- 2) BESWICK, A.E.
1981: Some geochemical aspects of alteration, and genetic relation in komatiitic suites; *Komatiite*, p. 283-308.
- 3) BROOKS, C., and HART, S.R.
1974: On the significance of Komatiite; *Geology*, v. 2, p. 107-110.
- 4) CHIMIMBA, L.R.
1982: The geology and mineralization at Trojan Nickel Mine, Zimbabwe; "Nickel Sulphide Field Conference III".
- 5) CLUTTEN, J.M., HOSTER, R.P., and MARTIN, A.
1981: Nickel mineralization in Zimbabwe; IGCP Project 161.
- 6) DUKE, C.W.
1980: The Wanroo microlite mine, Shamva district; *Annuals, Geol. Survey of Zimbabwe*.
- 7) HAYNES, L.
1980: The distribution of archaean nickel mineralization in Zimbabwe and the development of new exploration concept; *Inst. Min. Research, Univ. of Zimbabwe, Report No. C279*.
- 8) 金属鉱業事業団
1980: 海外鉱業情報, v. 10, No. 5, p. 34-36
- 9) 金属鉱業事業団
1981: 海外鉱業事情調査報告書, (ジンバブエ共和国), p. 3-25
- 10) 金属鉱業事業団
1981: 海外鉱業情報, v. 11, No. 4, p. 22-26
- 11) 金属鉱業事業団
1982: 海外鉱業情報, v. 11, No. 10, p. 34-45
- 12) 金属鉱業事業団
1983: 海外鉱業事情調査報告書, (アフリカ), p. 52-65
- 13) 都城秋穂編
1979: 岩波講座 地球の科学 16 世界の地質, 岩波書店, p. 61-98
- 14) 中村正一
1981: 例解 多変量解析入門, 日刊工業新聞社

- 15) NALDRETT, A.J., and CABRI L.J.
1976: Ultramafic and related mafic rocks: Their classification and genesis with special reference to the concentration of nickel sulphides and platinum-group element; Econ. Geol., v. 71, p. 1131-1158.
- 16) NISBET, E.G., BICKIE, M.J., MARTIN, A., ORPEN, J.L., and WILSON, J.F.
1981: Komatiite in Zimbabwe; Komatiite, p. 97-104.
- 17) ROSE, A.W., HAWKES, H.E. and WEBB, J.S.
1979: Geochemistry in mineral exploration, Second Edition; Academic Press.
- 18) STIDOLPH, P.A.
1977: The geology of the country around Shamva; Rhodesia geol. Sur. Bull., No.78.
- 19) STAMATELOPOULOU, K., FRANCIS, D., and LUDDEN, J.
1983: The petrogenesis of the Lac Guyer komatiites and Basalts and nature of the komatiite-komatiitic basalt compositional gap; contributions to mineralogy and petrology 84, p. 6-14.
- 20) STAGMAN, J.G.
1978: An outline of the geology of Rhodesia; Rhodesia geol. Sur., Bull. No.80.
- 21) TYNDALE-BISCOE, R.
1933: The geology of the central part of the Mazoe valley gold belt, Rhodesia Geol. Sur. Bull., 22.

(Phase II)

- 1) CHARLES, M. and SWIFT, JR
1971: Theoretical magnetotelluric and turam response from two-dimensional inhomogeneities; Geophysics, v. 36, p. 38-52.
- 2) GOLDSTEIN, M.A.
1971: Magnetotelluric experiments employing an artificial dipole source; Ph. D. thesis, University of Toronto.
- 3) GOLDSTEIN, M.A. and STRANGWAY, D.W.
1975: Audio frequency magnetotellurics with a grounded electric dipole source; Geophysics, v. 40, p. 669-683.
- 4) 金属鉱業事業団
1979 : 鉱物資源探査技術開発調査(深部電気探査技術開発)報告書
(スペクトルIP法)
- 5) 金属鉱業事業団
1980 : 鉱物資源探査技術開発調査(深部電気探査技術開発)報告書
(スペクトルIP法)
- 6) 金属鉱業事業団
1981 : 鉱物資源探査技術開発等調査(深部電気探査技術開発)報告書
(スペクトルIP法)(CSAMT法)
- 7) 金属鉱業事業団
1982 : 鉱物資源探査技術開発等調査(深部電気探査技術開発)報告書
(スペクトルIP法)(CSAMT法)
- 8) 金属鉱業事業団
1983 : 鉱物資源探査技術開発調査(深部電気探査技術開発)報告書
(スペクトルIP法)(CSAMT法)
- 9) NABETANI, S. and RANKIN, D.
1969: An inverse method of magnetotelluric analysis for a multi-layered earth; Geophysics, v. 34, p. 75-86.
- 10) NELSON, P.H.
1977: Induced polarization effects from grounded structures; Geophysics, v. 42, p. 1241-1253.
- 11) PELTON, W.H., WARD, S.H., HALLOF, P.G., SILL, W.R. and NELSON, P.H.
1978: Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP; Geophysics, v. 43, p. 588-609.
- 12) STRANGWAY, D.W., SWIFT, C.M. and HOLMER, R.C.
1973: The application of audio-frequency magnetotellurics (AMT) to mineral exploration; Geophysics, v. 38, p. 1159-1175.
- 13) SUMNER, J.S.
1976: Principles of induced polarization for geophysical exploration; Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam.

- 14) SANDBERG, S.K. and HOHMANN, G.W.
1982: Controlled-source audiomagnetotellurics in geothermal exploration; Geophysics, v. 47, p. 100-116.
- 15) VAN VOORIS, C.D., NELSON, P.H. and DRAKE, T.L.
1973: Complex resistivity spectra of porphyry copper mineralization; Geophysics, v. 38, p. 49-60.
- 16) WYNN, J.C. and ZONGE, K.L.
1975: EM coupling, its intrinsic value, its removal and the cultural coupling problem; Geophysics, v. 40, p. 831-850.
- 17) YOKOKAWA, K., TSUJIMOTO, T., ENDO, Y.
1982: Example of Coupling phenomenon for spectral IP survey; Butsuri-Tanko, v. 35, p. 251-261.
- 18) YOSHIKAWA, H., YOKOYAMA, T., YOKOKAWA, K., HOSOI, Y.
1980: Spectral IP method; Butsuri-Tanko, v. 33, p. 287-293.
- 19) ZONGE, K.L. and WYNN, J.C.
1975: Recent advances and applications in complex resistivity measurements; Geophysics, v. 40, p. 851-864.
- 20) ZONGE ENGINEERING & RESEARCH ORGANIZATION, INC.
1982: Interpretation Guide for CSAMT Data.

