


ナミビア共和国オタベン・マウンテンラン地域 資源開発協力基礎調査報告書

総論編

平成22年(2010年)3月

JICA LIBRARY



J 1142132 (8)

国際協力事業団
資源開発部





1142132 (8)

)

ナミビア共和国オタヴィ・マウンテンランド地域

資源開発協力基礎調査報告書

総括報告書

平成10年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

は し が き

日本国政府はナミビア共和国政府の要請にこたえ、同国の北部に位置するオタヴィ・マウンテンランド地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、鉱床探査に関する既存データ解析、地質調査、空中物理探査ならびにボーリング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および鉱物資源の調査という専門分野に属することから、この調査を金属鉱業事業団に委託することとした。本調査は、平成7年9月16日から平成10年2月27日までの3カ年にわたって実施され、ナミビア共和国政府機関、国家計画委員会、鉱山エネルギー省地質調査所の協力を得て予定通り完了した。本報告書は、3カ年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ご協力いただいたナミビア共和国政府関係機関ならびに日本国外務省、通商産業省、在南アフリカ共和国日本国大使館、JICA事務所およ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。

平成10年2月

国 際 協 力 事 業 団

総 裁

藤 田 公 郎

金 属 鉱 業 事 業 団

理 事 長

檜 山 博 昭

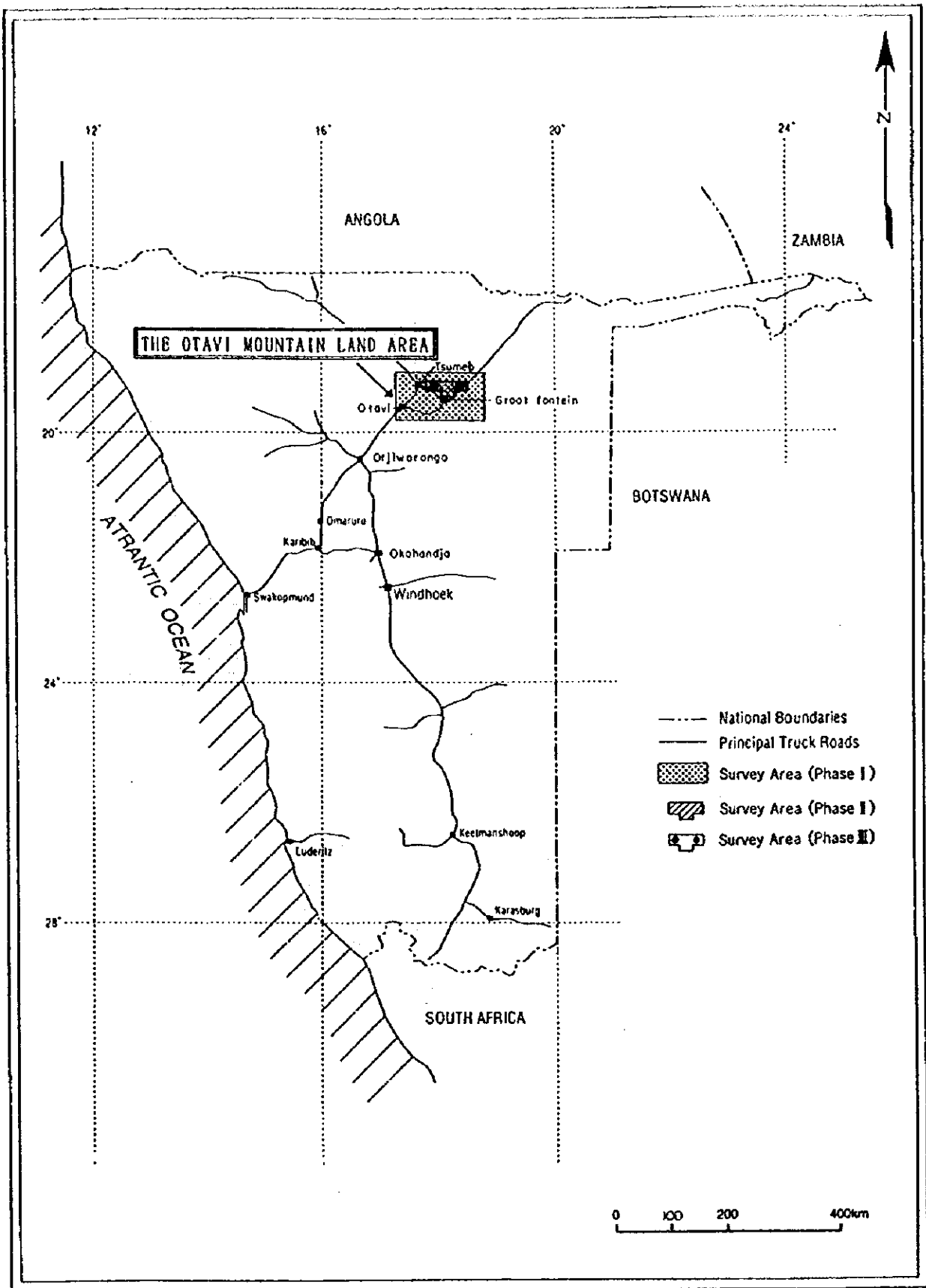


Fig. I - 1 - 1 Index map of the Otavi Mountain Land Area

要 約

本報告書はナミビア共和国オタヴィ・マウンテンランド地域資源開発基礎調査の3カ年の調査結果を総括したものである。

本調査は、ナミビア共和国オタヴィ・マウンテンランド地域において、地質構造を解明するとともに、新鉱床の存在を確認することを目的とし、平成7年度を第1年次とし3カ年計画で実施された。調査内容は第1年次は既存データ解析、地質調査および空中物理探査（空中磁気と空中放射能）、第2年次は空中物理探査（空中電磁法）とボーリング調査、第3年次はボーリング調査である。

第1年次空中物理探査結果に基づき有望地域を抽出し、これに対して第2年次空中物理探査を実施するとともに、有望箇所には4孔のボーリング調査を実施した。第2年次空中物理探査でさらに絞り出した標的に対して第3年次8孔のボーリング調査を実施した。

これらボーリング調査の結果、2孔でドロマイトを母岩とする層準規制型の低品位鉛・亜鉛鉱化帯を捕捉した。その分布と品位は次のとおりである。

Hole No.	深 度 (着鉱幅)	鉛品位	亜鉛品位
MJNM-1	111.58m-111.69m(0.11m)	Pb=1.45%	
	112.30m-112.62m(0.32m)	Pb=4.52%	Zn=1.58%
	245.75m-246.25m(0.50m)		Zn=1.76%
	246.25m-246.65m(0.40m)		Zn=2.28%

鉱化区間は累計9.16mで、平均Pb品位 0.23%、Zn品位0.38%を得た。

MJNM-9 はMJNM-1の北西700mに位置し、MJNM-1に比較して鉱化の程度は弱く、1%以上の鉱化部はない。0.1%以上の鉱化部は以下の箇所である。

MJNM-9	234.10m-234.50m(0.40m)		Zn=0.58%
	242.60m-243.35m(0.75m)	Pb=0.17%	Zn=0.83%
	248.10m-248.64m(0.54m)		Zn=0.31%

鉱化区間は累計5.24mで、平均Pb品位 0.04%、Zn品位 0.20%を得た。

この鉱化帯はいわゆるミシシッピーバレー鉱床型で既存データと本調査結果から、本地域の地下に広く発達することが考えられるが、近い将来開発可能な経済性をもたない。

その他、MJNM-11では破碎帯に伴われて黄銅鉱・方鉛鉱が認められ、分析の結果有意のCu、Pb、Znの濃集を示した。0.1%以上の鉱化部は以下の箇所である。

270.70m-270.75m(0.05m)	Pb=0.18% (Cu=0.028% Zn=0.026%)
272.30m-272.50m(0.20m)	Pb=0.1% (Cu=0.026% Zn=0.08%)

この鉱徴は金属比からどちらかと言えばTsumeb・Kombatのパイプ型に近く、追加調査が望まれる。また将来の提言としては、本調査地域の既知鉱床付近の空中物理探査、探査モデルの再検討、地上物理探査および新規地域の調査が望まれる。

目 次

	頁
はしがき	
調査地域位置図	
要 約	
第I部 総 論	
第1章 調査概要	1
1-1 調査地域および調査目的	1
1-2 調査方法および調査量	1
1-3 調査期間および調査員	1
第2章 従来の調査	1
第3章 調査地域周辺の地質概要	5
3-1 一般地質	5
3-2 地質構造	5
3-3 既知鉱床	7
第4章 調査地域の状況	8
4-1 交 通	8
4-2 調査環境	8
4-3 鉱業法と税制	8
第5章 結論および提言	11
5-1 結 論	11
5-2 将来への提言	12
第II部 各 論	15
第1章 既存データ解析	15
第2章 地質調査	31
第3章 空中物理探査	36
第4章 ボーリング調査	79
第5章 物性測定	115
第6章 総合検討	128
第III部 結論および提言	137
第1章 結 論	137
第2章 将来への提言	139

参考文献

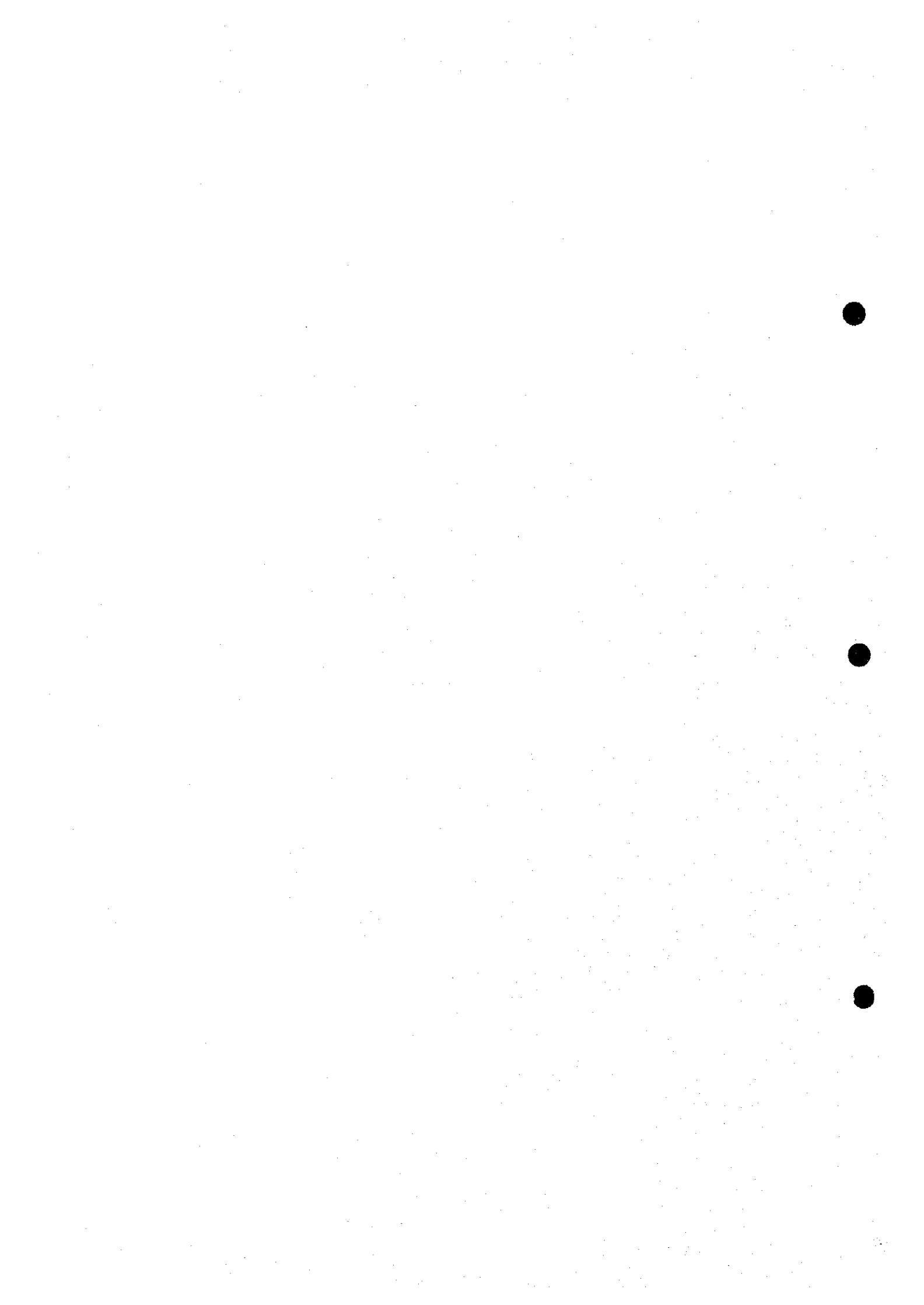
Fig. I -1-1	Index map of the Otavi Mountain Land area	
Fig. I -1-2	Flow chart of exploration in the Otavi Mountain Land area	3
Fig. I -1-3	Flow chart of extraction of potential areas	4
Fig. I -1-4	Geologic map of Namibia	6
Fig. II -1-1	Location map of previous exploration activities	19
Fig. II -1-2	Location of known mineral showings	21
Fig. II -2-1	Compiled gologic map	33
Fig. II -3-1	Location of airborne geophysical survey	37
Fig. II -3-2	Flow chart of aeromagnetic survey	40
Fig. II -3-3	Magnetic image processing product	41
Fig. II -3-4	Magnetic anomaly and lineament map	43
Fig. II -3-5	Flow chart of airborne radiometric survey	45
Fig. II -3-6	U/Th radioelement ratio map	47
Fig. II -3-7	U/K radioelement ratio map	49
Fig. II -3-8	Compilation and interpretation map of aeromagnetic and radiometric survey	51
Fig. II -3-9	Concept of electromagnetic induction	54
Fig. II -3-10	AEM instrumentation	57
Fig. II -3-11	Flow chart of airborne electromagnetic survey	59
Fig. II -3-12	Resistivity map for 56000 Hz	61
Fig. II -3-13	Resistivity map for 7200 Hz	65
Fig. II -3-14	Resistivity map for 900 Hz	67
Fig. II -3-15	Cross section of Resistivity	69
Fig. II -3-16	Compilation and interpretaion map of airborne electromagnetic survey	73
Fig. II -3-17	Exploration model for drilling	75
Fig. II -3-18	Flow chart of resistivity anomaly selection for drilling survey	77
Fig. II -4-1(1)	Detailed map of drilling survey	80
(2)		81
(3)		82
Fig. II -4-2(1)	Resistivity map in the vicinity of drill holes	83
(2)		85

Fig. II-4-3	Sketch of mineralised cores	100
Fig. II-4-4(1)	Histogramme of homogenization temperature	101
(2)	102
Fig. II-4-5	Stratigraphic correlation of drill hole	105
Fig. II-4-6(1)	Geological cross section of drill hole	109
(2)	111
(3)	113
Fig. II-5-1	Distribution of magnetic susceptibility by lithofacies ...	119
Fig. II-5-2	Distribution of resistivity by lithofacies	120
Fig. II-5-3	Distribution of IP value by lithofacies	121
Fig. II-5-4	Relationship between resistivity and IP value	122
Fig. II-6-1(1)	Model block map of compilation and interpretation	129
(2)	133

表

	頁
Table I --1--1 Summary of Exploration Method and Work Record	2
Table I --1--2 Summary of Working Period and Member	2
Table II --1--1 (1) Studied Literature of Previous Work	15
(2)	16
Table II --1--2 Mineral Showings and Previous Exploration	17
Table II --1--3 Stratigraphic Succession in the Otavi Mountain Land Area	24
Table II --3--1 Specifications of Equipment for Aeromagnetic and Radiometric Survey	39
Table II --3--2 Boundary Points of Aeromagnetic and Radiometric Survey	38
Table II --3--3 Boundary Points of Airborne Electromagnetic Survey	51
Table II --3--4 Specifications of Equipment for Airborne Electromagnetic Survey	56
Table II --4--1 Coordinates of Drilling Holes	79
Table II --4--2 Microscopic Identification of Minerals in Thin Section ...	88
Table II --4--3 Microscopic Identification of Minerals in Polished Section	89
Table II --4--4 Result of X-ray diffractometry	90
Table II --4--5 Result of chemical assays	98
Table II --5--1 Specifications of Equipment for Measurement of Physical Property	115
Table II --5--2 Mean Value of Magnetic Susceptibility, Resistivity and IP Value by Lithofacies of all samples	118

第 I 部 総 論



第1章 序論

1-1 調査地域および調査目的

オタヴィ・マウンテンランド地域は、ナミビア共和国の北部に位置し、首都ヴィンドック(Windhoek)から国道B1経由でGrootfonteinまで450km、Tsumebまで426kmである。車両で約5時間を要する。古くから銅・鉛・亜鉛・バナジウムなどを産するナミビアの主要鉱山地帯で賦存ポテンシャルの極めて高い地域である。既知鉱床周辺の母岩の露出する地域は長い間探鉱が進んできたが、カルクリートに被われた鉱床延長部は殆ど未探鉱のまま残されている。既知鉱床の一部は長い年月の生産の結果、残存鉱量が枯渇しつつあるため、延長地域での探鉱および鉱床評価が急務とされている。したがって、ナミビア共和国政府は本地域における資源開発協力基礎調査を日本国政府に要請した。日本国政府はこの要請に応じて、第1年次の調査は既存データ解析および空中物理探査、第2年次は空中物理探査およびボーリング調査、第3年次はボーリング調査を実施し、本地域での新鉱床発見のための基礎調査を行うとともに、ナミビア共和国への技術移転を図った。

1-2 調査方法および調査数量

本調査はFig. I-1-2の調査フローシートとFig. I-1-3の鉱床有望地抽出フローチャートにしたがって実施した。各年次の調査方法および作業量をTable I-1-1に示す。

1-3 調査期間および調査員

本調査の各年次の調査期間および調査員をTable I-1-2に示す。

第2章 従来の調査

ナミビアの鉱業史、鉱業事情、鉱業経済、鉱業投資や鉱業法についてはMining Journal(1992)やNamibia Foundation(1993)あるいはMining in Namibia(1996)に詳しく述べられている。

広域地質についてはナミビア共和国鉱山・エネルギー省地質調査所から100万分の1および50万分の1の全国地質図(Geological Survey of Namibia, 1988 1982)が刊行されている。本地域はTsumeb鉱山やkombat鉱山を含む古くからの鉱山地帯であり、これらの鉱床を詳細に記述した論文(A. F. Lombaard, A. Gunzel, J. Innes and T. L. Kruger 1986 Innes and R. C. Chapl in 1986)の他、過去、各鉱山会社やJ/Vが鉱区を取得し、実施してきた膨大な量の探鉱報告書が保存されている。また地質構造区であるDamara帯の地質については特別号(The Geological Society of South Africa 1983)も刊行されている。

日本側による調査資料としては(財)国際鉱物資源開発協力協会(1992a, b)が実施した資源開発協力基礎調査におけるプロジェクト選定調査がある。

Table I-1-1 Summary of Exploration Method and Work Record

年次	第1年次	第2年次	第3年次
調査期間	自1995.9.16 至1996.3.1	自1996.8.26 至1997.2.28	自1997.8.4 至1998.2.27
既存データの解析	地図画像52枚 衛星中力地鉄探 質星中力地鉄探 幅像気重床情2施 52異常力物探3 業シン図常探3 3葉1葉 3葉1葉 文17件 探3 図資 告書5 鉄区		
地質調査	調査面積 12,600 km ²		
空中物理探査	磁気・放射能探査 対象面積: 5,000 km ² 測線延長: 25,034 ラインkm	電磁探査 対象面積: 904 km ² 測線延長: 4,895 ラインkm	
ボーリング調査		4 孔 900 m	8 孔 2,320 m
室内試験	岩石薄片 10件 石磨片 20件 鉄磁性測定 30件 (帯磁率・比抵抗・分極率)	岩石薄片 10件 石磨片 5件 鉄磁性測定 5件 X線回折 5件 粉末化学分析 30件 (Au, Ag, Cu, Zn, Pb, Cd, Ga, V) 鉛同位体分析 7件 物性測定 40件 (帯磁率・比抵抗・分極率)	岩石薄片 20件 石磨片 10件 鉄磁性測定 10件 X線回折 10件 粉末化学分析 20件 (Au, Ag, Cu, Zn, Pb, Cd, Ga, V) 均質化温度・塩濃度測定 物性測定 10件 (帯磁率・比抵抗・分極率)

Table I-1-2 Summary of Working Period and Member

年次	第1年次	第2年次	第3年次
調査期間	自1995.9.16 至1996.3.1	自1996.8.26 至1997.2.28	自1997.8.4 至1998.2.27
調査計画 および折衝	通商産業省 桑山鉄業事業団 金 属 中 村 大 野 北 鉄 中 村 大 野 北 研 究 所 治 春 久 克 行 治 春 久 克 行	金属鉄業事業団 中村大野北 研究所 治春久克行 治春久克行	金属鉄業事業団 伊藤正志 柴崎洋行 北 良 行
	ナミビア鉄山エボク省 H. Shimotwikeni	ナミビア地質調査所 Gabriel I. C. Schneider Herbert Roesener Volker Petzel	ナミビア地質調査所 Gabriel I. C. Schneider Herbert Roesener Volker Petzel
現地調査	同和工営株式会社 薩崎 哲夫 狩野 嘉昭	同和工営株式会社 薩崎 哲夫 狩野 嘉昭	同和工営株式会社 薩崎 哲夫
	ナミビア地質調査所 Herbert Roesener	ナミビア地質調査所 Herbert Roesener	ナミビア地質調査所 Herbert Roesener Volker Petzel

調査フローシート

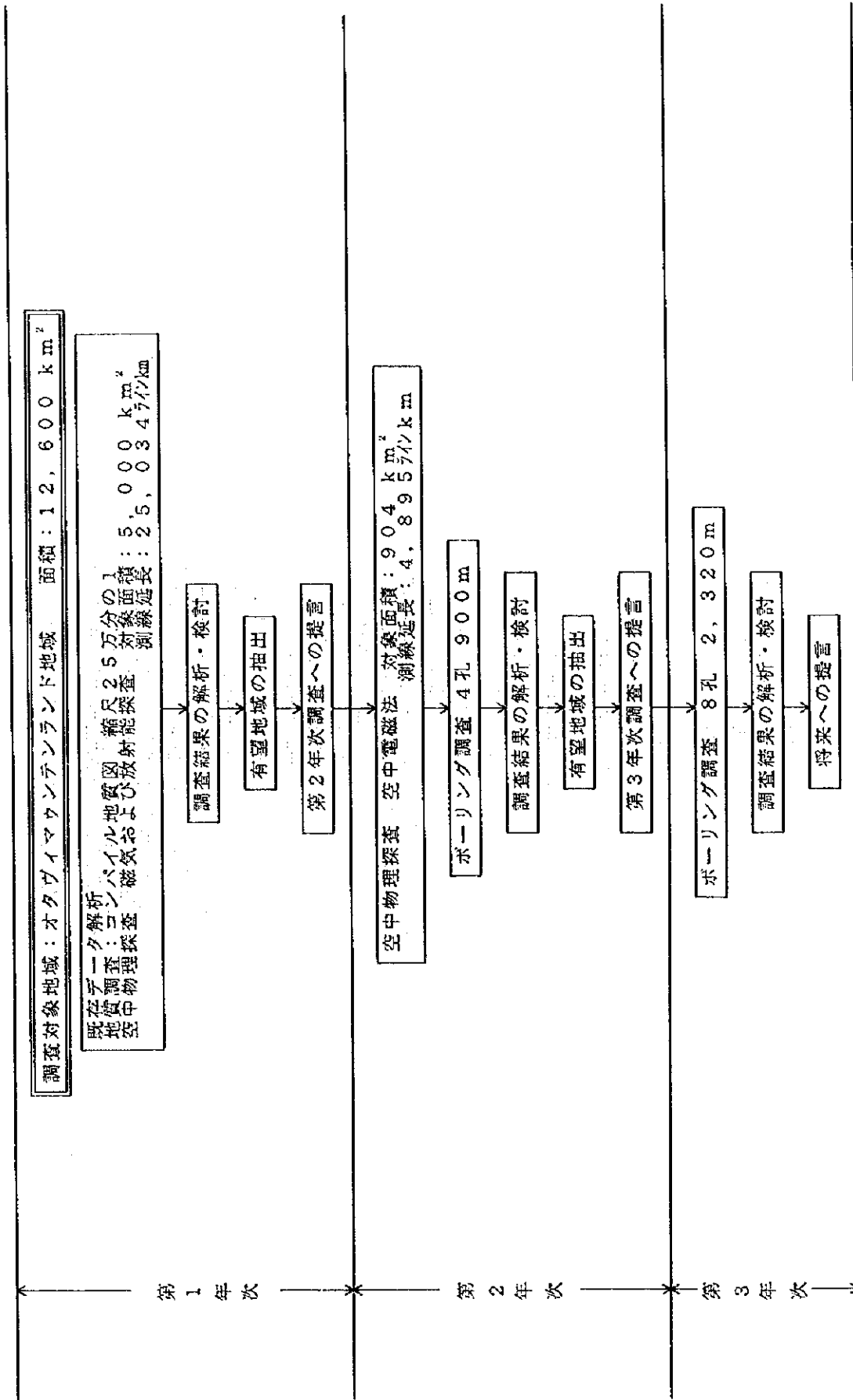


Fig. I-1-2 Flow chart of exploration in the Otavi Mountain Land area

有望地域抽出のプロローチャート

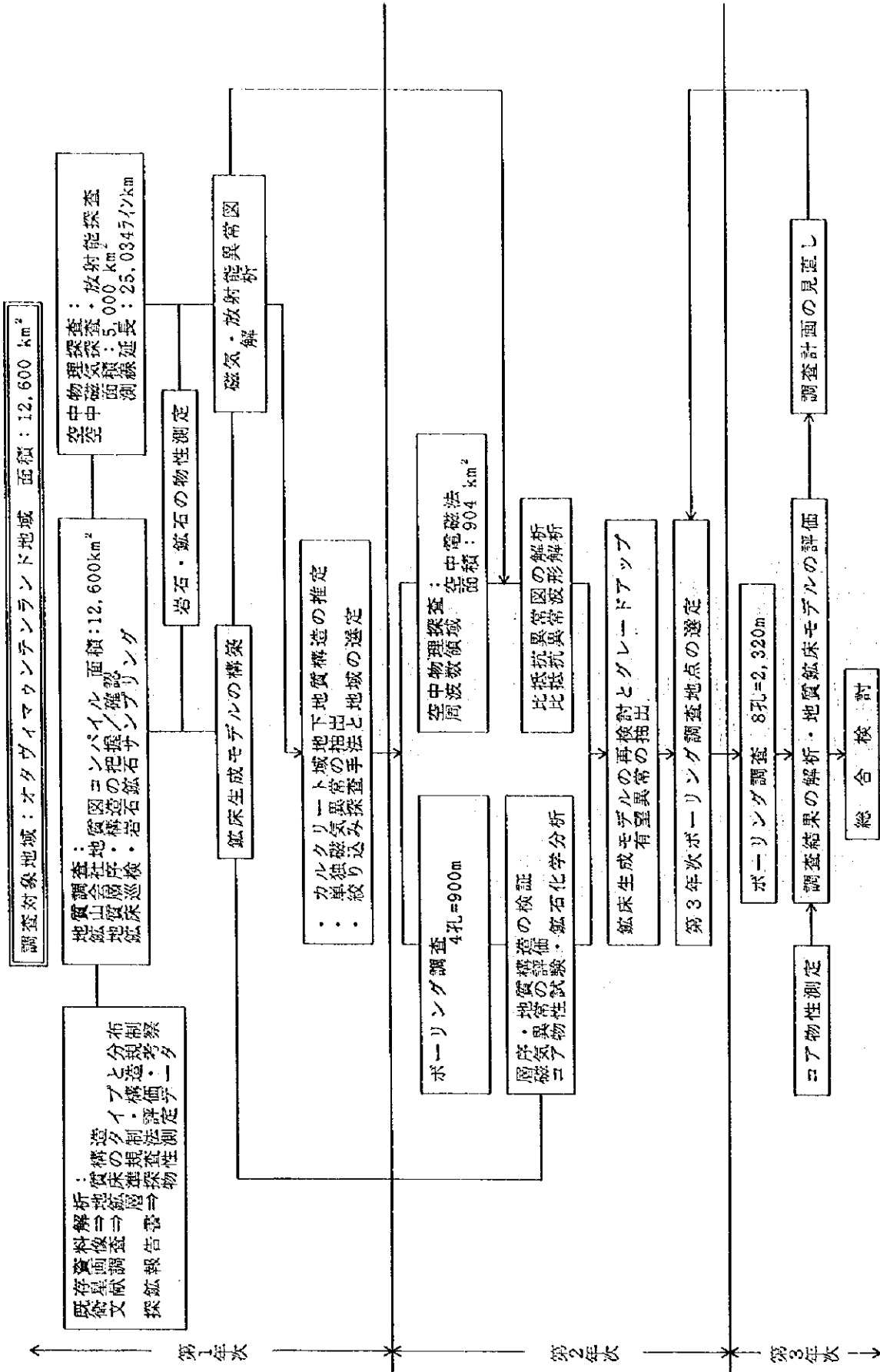


Fig. I-1-3 Flow chart of extraction of potential areas

第3章 調査地域周辺の地質概要

3-1 一般地質

ナミビアの地質は次の5つの地質年代に区分される。

第三紀～現世 (<65 Ma)

石炭紀～白亜紀下部 (345 - 120 Ma)

Namibian (1000 to 570 Ma)

上部 Mokolian (1800 - 1000 Ma)

Vaalian～下部Mokolian (>2100 - 1800 Ma)

Vaalian～下部 Mokolian (>2100 - 1800 Ma)の岩石はKhoabendus & Haib 層群やKunene Anorthosite Complex などの先カンブリア系の変成岩類や深成岩類からなり、ナミビアの北西部と南部に分布している。南部ではポーフリティックな花崗岩を母岩とする斑岩銅鉱床(Haib)が知られている。

上部 Mokolian (1800 - 1000 Ma)の岩石はNamaqua(Namaqualand) Metamorphic ComplexやSinclair & Rehoboth Sequencesなどの変成岩類や火山砕屑岩からなり、ナミビア南部に分布している。この時期の鉱化作用としては島弧環境における斑岩銅鉱床や熱水鉱脈型銅鉱床と緑色岩に伴う銅鉱床がある。

Namibian(1000 - 570Ma)の岩石はダマラ(Damara)造山時堆積層からなる。Rechard 花崗岩/閃長岩コンプレックス、Damara 系、Gariep コンプレックス、Damara花崗岩、Nama 層群、Salem 花崗岩などの堆積岩類や花崗岩類などからなり、ナミビア中央部や北部に大規模に分布する。Matchlessメンバーの緑色岩に胚胎する別子型層状銅鉱床やTsumebタイプの銅・鉛・亜鉛とバナジウムの鉱床区の形成が顕著である。

石炭紀～白亜紀下部 (345 - 120 Ma)の岩石はKaroo 系やPost-Karooの堆積岩や火山岩類からなり、ナミビア南部や北部に分布している。非火山性のアルカリ複合岩体が北東-南西方向の構造線上に沿って多数貫入している。これらの複合岩体のいくつかにカーボナタイトを伴う。

第三紀～現世 (<65 Ma)は未固結の堆積物やカルクリート (Calcrete) からなり、カラハリ砂漠などのナミビア東部の大部分を被う。

3-2 地質構造

本調査地域は上記Namibian期のDamara帯に属し、Vaalianから下部Mokolianの先Damara系花崗岩質岩および変成岩類からなる基盤岩と、その上に堆積した砕屑岩と厚い炭酸塩岩層よりなる。これらの地層はDamara期以降の変成作用を受けており、5～10kmの波長で向斜構造と背斜構造を繰り返している。これらDamara系は特に地域東部において、古生界のKaroo玄武岩および第三系Kalahari層群の砂やカルクリートに被われる。火成活動としてはNamibian期までは認められず、古生代以降に玄武岩溶岩や粗粒玄武岩の岩脈の活動がみられる。

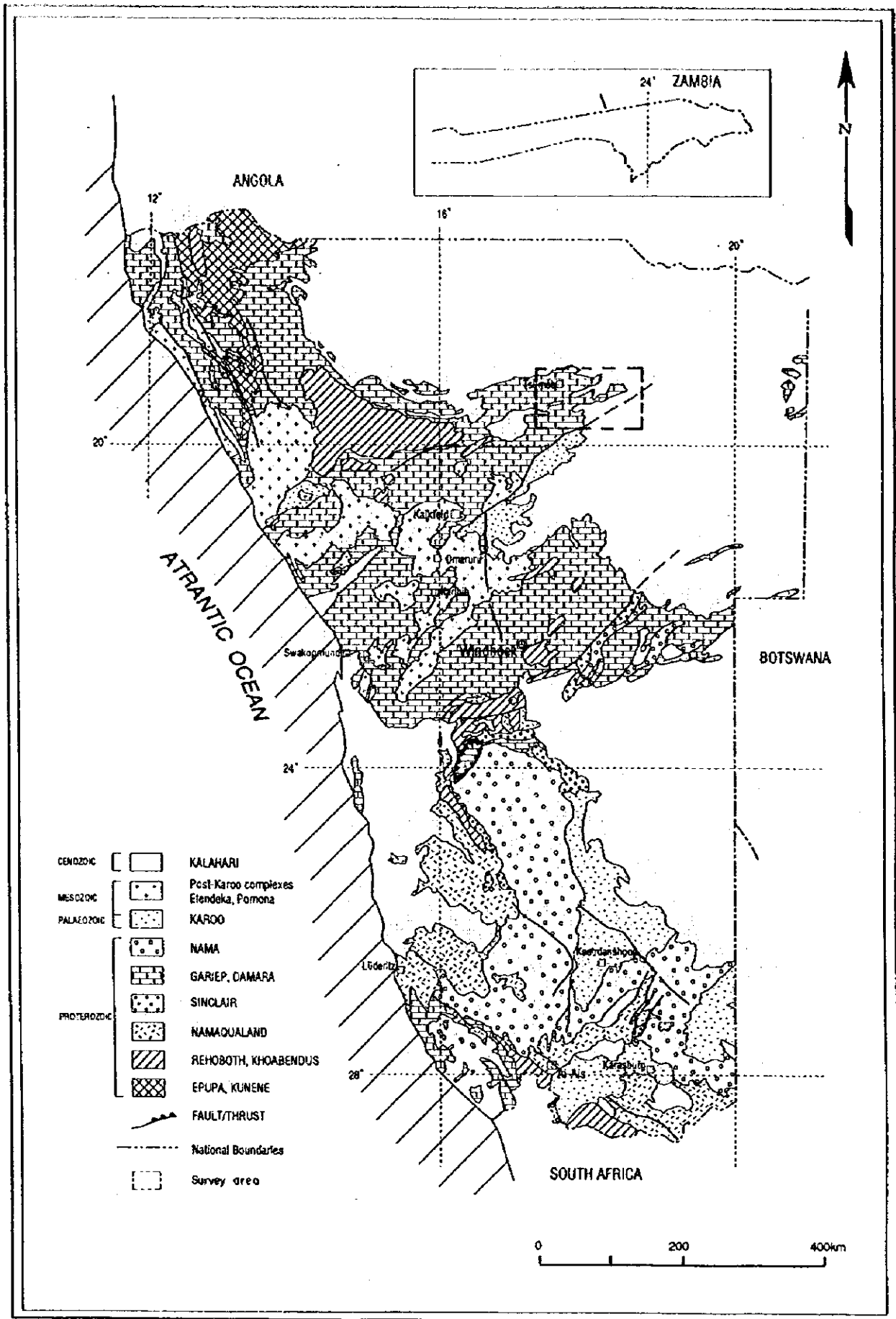


Fig. J-1-4 Geologic map of Namibia

3-3 既知鉱床

調査地域の主要な鉱化作用は炭酸塩岩や砂岩に発達したフラクチャー帯を交代する層準規制型熱水性交代鉱床である。砂岩は原生代上部Damara系Otavi層群の上部炭酸塩岩のカルスト空洞を埋めるようにして堆積したMulden層群のモラッセ型堆積物である。主な鉱床は Tsumeb, Kombat, Abenab, Berg Aukas, Khusib Springs, Tschudiなどである。これらは鉱床付近に関係火成岩が欠如すること、安定陸塊のプラットフォームに堆積したドロマイトあるいは石灰岩を母岩とすること、生成温度が比較的低いこと、鉛・亜鉛が卓越することも含めてミシシッピーバレー型鉱床と類似点が多い。Damara造山作用の中で堆積盆深部に発生した高濃度塩水が重金属を含み厚い炭酸塩岩中を上昇し、鉱床を生成させたとのモデリングが可能であるが金属の起源や鉱化熱水の通路など解明されていない点が多い。

第4章 調査地域の地理

4-1 位置および交通

当調査地域はナミビア共和国の北東部、Tsumeb、Grootfonteinを中心とした地域で南北は南緯19度00分から19度47分30秒、東西は東経17度20分から18度45分の範囲に位置している。

首都Windhoekより国道B1にて Otjivarongoを経由して走行距離426kmでTsumebに到達する。またWindhoek Eros空港よりTsumebおよびGrootfonteinまでAir Namibiaによる国内線空路も利用できる。

4-2 調査環境

4-2-1 地形および水系

ナミビアの国土面積は82万km²で、日本の面積の約2倍である。西部は大西洋に面しているが北をアンゴラ、東をボツワナ、南および南東を南アフリカと国境を接している。地勢は北東部の森林地帯、内陸高原部のサバンナ帯および大西洋岸沿いの砂漠地帯に区分される。森林地帯や砂漠地帯は平坦な地形を、内陸高原部は丘陵ないし山岳地形を呈する。オタヴィ・マウンテンランド地域はサバンナ帯に属する。地形は構成する地質や地質構造を反映している。すなわち基盤岩分布地域は比較的平坦な地形を呈し、その上位の炭酸塩岩で構成される背斜構造の軸部は比較的急峻な地形をつくりあげている。地域東部はこれらの地層をカルクリートが被っており平坦な地形が特徴となっている。

本地域の平坦地は標高1,200mから1,600mに位置し、山岳部の最高峰は南部の2,155mである。

水系は大きな河川は発達していないがオタヴィ・マウンテンランド地域の西南部が最も標高が高く北および東へ緩く低くなるため地域東部に小河川が集まり、Okavango川の支流Omatoko川へ合流する。河川は雨季のみ流量があるが乾期には涸れ川となる。

4-2-2 気候および植生

気候は南アフリカの地中海性気候とアンゴラ以北の熱帯気候にはさまれた半乾燥亜熱帯気候である。首都のWindhoekでは7月の平均気温は13°C、12月は23°Cである。年間平均降水量は北部の森林地帯で600mm、大西洋沿岸の砂漠地帯で20mm、内陸高原サバンナでは350mmと、地域によってばらつきがある。雨季は夏の10月～4月で冬にはほとんど降らない。地域北部のTsumebでは平均気温でwindhoekより2～3°Cは高い。年間降水量は72年間の平均で572mmである。

主要な植生は地域により異なる。北部森林地帯では落葉広葉樹が繁茂し、内陸高原ではアカシア等のマメ科の喬木を伴う草地であり、砂漠地帯では灌木や苔せん類が点在自生するのみである。

4-3 鉱業法および税制

4-3-1 鉱業法

ナミビア共和国の鉱業法の基本理念は次の2点にある。すなわち鉱産物は憲法上、国家財産であり、なかんずく国民のものである。鉱山企業はその開発販売を通じて利益を生み、住民は奉仕により直接間接の恩恵にあづかるものとしている。また鉱業から生ずる利益に課税することにより政府は、インフラの改善、社会プログラムの向上拡充、国民雇用の機会を創生する手段を手にする事となる。

鉱業法で認められる鉱業権には次の様に区分されている。

(1) 非排他的探査権 (Non-exclusive prospecting licence)

地表のサンプリングや踏査を実施する段階の探査権で有効期間は12ヵ月である。更新はない。探査結果は鉱山エネルギー省内に設置されているMining Commissionerに報告する義務がある。

(2) 概査探査権 (Reconnaissance licence)

広域探査や空中探査に付与される探査権で必要に応じて排他的となる。有効期間6ヵ月で更に同期間の更新が可能である。

(3) 排他的探査権 (Exclusive prospecting licence)

1000Km²を限度とする範囲に与えられる鉱種限定の探査権で有効期間は3年としその後2カ年の更新が2回可能である。

(4) 鉱床保持権 (Mineral deposit retention licence)

発見された鉱床でもすぐ開発できないものの権利維持を目的とする。必ずしも開発の義務はない。有効期間は5年であるが再評価等を実施すれば更新可能である。

(5) 開発権 (Mining licence)

開発操業に関する技術財務能力と環境アセスを条件として付与される。有効期間は当初25年とし一度に15年の更新が可能である。

(6) 採掘権 (Mining claim)

本来ナミビア市民かその保有する企業の小規模鉱山主か探鉱師用に考え出されたもの。一区画は600m×300mとし10区画を最大とする。登録所有者は排他的探査あるいは採掘権を行使できる。当初有効期間は3年で一度に2年間の更新が可能である。開発義務を伴わない場合の有効期間は6ヵ月となる。

4-3-2 税制

ナミビアの税制はナミビア国内から生じた収入および国外に送金される配当収入に課税される。課税対象の収入とはナミビア国内で発生する全収入から控除対象収入と正当控除額を差し引いたものである。法人は登記により仮納税者となり、見込み利益にしたがい年2回前払いで納税し証票で精算することとなる。直接税は利益に基づく。資本コストおよび探鉱開発費等の償却は課税収入から控除される。この場合の探鉱開発費の上限はない。海外投資家に対する税

率は10%でNRSTにしたがって増加する。ロイヤルティ条項は国内での加工の推進をねらったものである。

鉱産税は全売上高に対する利益の比率に応じて計算される。すなわちこの比率が大きくなれば税率も高くなり、不況時の課税が軽減される。法人税は非鉱業部門による課税対象収入の35%である。そのほか鉱山開発に必要な資本支出は3年間は免税対象となるが探鉱費は単年度のみ控除となる。新規鉱山開発で探鉱・開発・生産が初年度で重なった場合、開発コストのみ3カ年控除可能となる。

第5章 結論および提言

5-1 結論

本調査は第3年次の本年度までに、既存資料の解析から始まり、地質調査や空中物理探査を経て計12孔のボーリング調査を実施した。これら調査結果の考察により得られた結論は次のとおりである。

1. Tsumeb・Kombat型の塊状硫化物パイプ状鉱床探査の目的で、第1年次の空中磁気探査の磁気異常にターゲットに4孔、第2年次の空中電磁探査による比抵抗異常をターゲットに8孔計12孔のボーリング調査を実施し、うちMJNM-1およびMJNM-9の2孔で低品位の鉛亜鉛鉱染状ないし細脈状鉱徴を捕捉した。これらは産状および母岩の特徴からミシSSIP-パレー型鉱床に属し、層準規制が考えられる。

MJNM-1の累計鉱化区間は9.16mで、平均Pb品位0.23%、Zn品位0.38%を得た。

111.58m-111.69m(0.11m)	Pb=1.45%	
112.30m-112.62m(0.32m)	Pb=4.52%	Zn=1.58%
245.75m-246.25m(0.50m)		Zn=1.76%
246.25m-246.65m(0.40m)		Zn=2.28%

MJNM-9の累計着鉱長は5.24m 着鉱長に品位を乗じた数値の累計はPb=0.22 m・%、Zn=1.08 m・% Pb+Zn=1.29 m・%である。MJNM-1に比較して鉱化の程度は弱く、1%以上の鉱化部はなく、0.1%以上の鉱化部は以下の箇所である。

234.10m-234.50m(0.40m)		Zn=0.58%
242.60m-243.35m(0.75m)	Pb=0.17%	Zn=0.83%
248.10m-248.64m(0.54m)		Zn=0.31%

2. MJNM-11ではTsumeb亜層群上部の破碎帯に伴われて黄銅鉱・方鉛鉱が認められ、分析の結果有意のCu、Pb、Znの濃集を示した。0.1%以上の鉱化部は以下の箇所である。

270.70m-270.75m(0.05m)	Pb=0.18%	(Cu=0.028% Zn=0.026%)
272.30m-272.50m(0.20m)	Pb=0.1%	(Cu=0.026% Zn=0.08%)

金属比からどちらかと言えばTsumeb・Kombat型に近い。この微細な鉱化は古い空洞の分布する場で鉱体に発展する可能性をもつので追跡調査が必要である。

3. Mulden層群の砂岩はかなり強い黄鉄鉱の鉱化が広く認められるが、化学分析の結果Cuを殆ど伴わず、また同生的産状からして還元環境下で沈澱したものと考えられる。この黄鉄鉱の鉱化は低比抵抗源となっている。

4. 調査地域の表層カルクリート下位のDamara帯は露出地域の地質層序や構造が連続し、分布

することがわかった。探査モデルの基幹となった地質構造を切る低比抵抗リニアメントと低比抵抗スポットはボーリング調査の結果、ドレライト岩脈とそれに伴う熱水変質帯に対応していると考えられる。コアの比抵抗値もこれを支持している。スポット状異常も鉱床胚胎の必須条件と考えられるカルストブレッチャや溶解ブレッチャの発達には対応していない。

5. 既存資料と空中物理探査から一括してMalden層群の砂岩の分布が推定されていた表層以下の実際の地質はカルクリートやKalahariサンドの場合と分布が予想されない地域で実際は厚い砂岩が捕捉される場合があり、地質構造の解析には詳細な表層の比抵抗値評価が不可欠であることがわかった。
6. 比抵抗断面から得られた周波数可探深度とボーリング調査結果から、300mのボーリング計画深度は全体として妥当であったと言える。

5-2 将来への提言

第3年次までの調査結果とその総合解析と考察によって得られた結論に基づき、次のような将来に対する提言を行う。

1. 既知鉱床付近の空中物理探査

本プロジェクトでは既知鉱床の鉱石や母岩の物性測定値から、探査モデルとしては塊状硫化物鉱床は低比抵抗異常を形成し、ボーリング調査はこのような低異常をターゲットとしてきた。しかし、一方では例えば最近開発中のKhusib鉱床のように地上物理探査では必ずしも低比抵抗異常に対応しないという情報もある。したがって空中物理探査のうち鉱床胚胎規制要素の応答を見直す必要がある。そのためには既知鉱床上空からのデータを取得する。

2. 探査モデルの再検討

既知鉱床の空中物理探査結果から本プロジェクトで使用した探査モデルを再チェックする。

3. 地上物理探査とボーリング調査の実施

探査モデル改訂版により、抽出された地域について測線密度を上げた地上電磁探査（TDEM法）を実施する。異常図の解析には本プロジェクトのコア試料を有効に使用し、特に表層に近い地層の物性測定データを充実させる。

4. MJNM-11鉱化帯の延長探査

新モデルと地上物理探査の結果に基づきMJNM-11の鉱化帯を再評価し、ボーリングにより追跡調査を実施する。この場合、鉱化作用に伴う方解石、ドロマイトおよび石英を用いた酸素

同位体と炭素同位体分析によるターゲットの絞り込みも有効かもしれない。

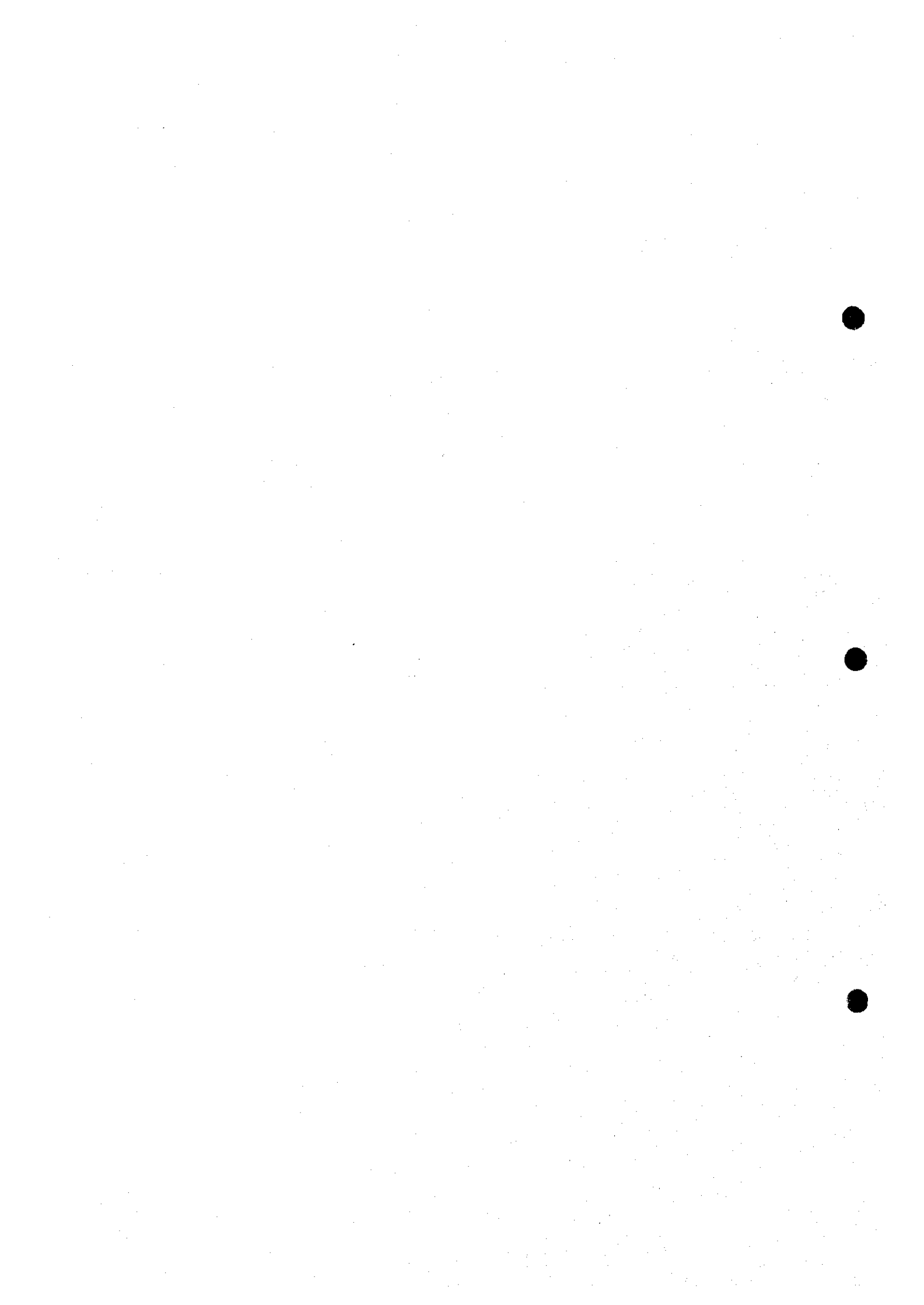
5. 新規地域の調査

新しい地域としてはTschudi鉱床北方からTsumeb鉱山北東方にかけての非露出地域でカルクリートなど新期堆積物の厚さが100mを超えない地域が望ましい。

以 上



第Ⅱ部 各 論



第II部 各論

第1章 既存データ解析

収集資料一覧表、既知探査状況および既知鉱微地一覧表をそれぞれ Table II-1-1、Table II-1-2 に示す。また既往探査実施位置図、既往鉱微地位置図をそれぞれ Fig. II-1-1 と Fig. II-1-2 に示す。既知探査状況および既知鉱微地一覧表の番号と既往鉱微地位置図の番号が一致する。

Table II-1-1 (I) Studied Literature of Previous Work

収 集 資 料	数 量
地質図幅 (1:500 000)	1 葉
(1:100 000 TCL編集)	2 葉
(1:250 000 TCL編集)	2 葉
衛星画像 (Landsat TM 1:250 000)	2 シーン
空中磁気異常図 (1:250 000 1916, 1918)	2 葉
(1:1 000 000)	1 葉
ブーゲー重力異常図 (1:3 000 000)	1 葉
地質・鉱床・物理探査文献	17 件
鉱業事情資料	3 件
鉱 区 図 (1:250000 シート1918, 1916)	2 葉
探鉱実施報告書 (Open File/ナミビア地質調査所)	
鉱区番号 19 探鉱業者 ETOSHA PETROLEUM CO.	
150 ETOSHA PETROLEUM CO.	
192 ETOSHA PETROLEUM CO.	
193 ETOSHA PETROLEUM CO.	
162 ETOSHA PETROLEUM CO.	
	5 鉱区分

Table II --1-1 (2) Studied Literature of Previous Work

Grant No.	Company name	Commodity	No. of document	Title of the document	Method	Date of issue
19	ETOSHA PETROLEUM(PTY) LTD	Base metals		A Data Integration and Petroleum Evaluation of the Etosha Basin Concession Namibia	general	1990/Jul
				Aeromagnetic Survey Acc Progress Report No.5	geophysics	1965/Jan
				Geologic Report on the Etosha Basin	geology	1980/Dec
				A Geochemical Comparison of Some Crude Oil from Pre-Orbo Carbonate rocks	geochemistry	
				Seismic Interpretation Report in the Oponono & Ondangwa Areas	geophysics	1991/Mar
				Aeromagnetic Survey Second Derivative	geophysics	
				Etosha Petroleum Progress Report No.8		
				Gravity Profile West from Tsumkwee		
				Bore Hole Magnetic Susceptibility data/ Hunting Surveys Ltd		
				Annual Report June 1990-June 1991		
192	OVERSEAS PETROLEUM & INVESTMENT CORPORATION NAMIBIA		M463193	Geochemical Anomaly Map		1970/Dec
			M463193	DDH Logging Sheet		
			M463193	IP method exploration		
				Progress Report on Border Property District Grootfontein first to third	geophysics	1972/Nov
				Proton Magnetometer Survey		
				Geochemistry and Airphoto interpretation		
				Fluid Inclusions & Ore Genesis in the Otavi Mountains S.W.Africa by P.J.M. Ypma	geology	
				Stream Sediment Samples, Eland Exploration		
				Gravity Map		
				Resistivity Survey on the Border Property	geophysics	
162	ETOSHA PETROLEUM (PTY)LTD	Cu/Pb/Zn		Trenching & Diamond Drilling		1968/1975/1976-79
				2nd Progress Report on Border Property		1970/Apr
				3rd Progress Report on Border Property		1970/Jul
				A Study of the Berg Aukas-type Pb-Zn-V Ore Deposit Gold Fields Namibia		
150	ETOSHA PETROLEUM (PTY)LTD			Gravity Anomaly Map	geophysics	

Table II-1-2 Mineral Showings and Previous Exploration

No.	鉱山・鉱地名	位置	母岩・層序・地質構造	鉱化作用	鉱種・鉱石結核	探査実績・結果	生産実績	参考文献
1	Vitsab Gross Otavi	Vitsab 654 Baltika 515	Elandschoek 1 号 (11, 15) Otavi 向斜 Huttenberg 層 (17)	N-NW 断層 1) 溶解-浸食/浸食 2) 浸食系浸食 3) sand sack 地表下 69-110m	V-Cu-Pb-Gn, Cer, Pm V-Cu-Sp, Sm V	1931 発見	Open pit 900t 1931-1942 精鉱 5820t V205: 9% 出鉱 157,000t Pb: 5.85% Cu: 1.54%, Ag: 15g/t	Jillense et al 1944 Tsumeb Corporation 1959
2	Gross Otavi	Andvord 518 Auros 595 Sonnerau 757	Huttenberg 層 (17) / 千枚岩境界部 子午線内の断層 Maieberg 層 (17)	層序規則の鉱化延長 2km 断層状 方解石化角レキ帯	V-Cu-Zn±Pb Pb		1939-1941 輸出量 571t Cu: 36.8% 流送量 1428t Cu: 12.8% V精鉱 90t Cu: 17%	Forst 1973 Tsumeb Corporation 1978
3	Abenab West	Abenab 707	(Abenab 17 号) Auros 層 (17) 角レキ帯	NE 系 11 号 割目の未固結粘土 220-380m PbZn 硫化物層 + V 厚さ 1m 走向 180m 地表深さ: 厚さ 20m の層序延長 15m Pb+Zn: 2% 東部分 2 zinc reef	V-Zn-Descloizite -Wil, Cer		1939-1958 ~1952 産出精鉱 25412t Pb: 56%, V205: 5% 浮遊精鉱 5939t Pb: 51%, V205: 13% 1952-1958 硫化物 51582t	Verwoerd 1957
4	Okarundu バイブ Abenab	Abenab の西 2.5km	石灰岩/レキ Maieberg 層 石灰岩 / (17) 境界部の断層	方解石-レキ 角レキ帯 (17) 中の赤色粘土 地表下 405m	V-Ds V-Ds	1920 発見	1922-1948 産出 136万t 精鉱 56600t V205: 18.5% 1947 生産停止	Verwoerd 1957
5	Berg Aukas	Berg Aukas 593	Berg Aukas 向斜の北縁 Abenab 17 号の Gauss 層 下位 (17) ~ Berg Aukas 層	NE 系 11 号 割目の未固結粘土 浸食帯	V-Pb-Zn-Ds, Mottramite -PbZn 硫化物 二次鉱物: Ds, Willemite	1957 ~ 探査開始	1967-1975 産出 160万t Pb: 4.04%, Zn: 16.77% V205: 0.93% 1977 産出量 165万t	Thirion 1973 Paverd 1975
6	Tsumeb West	Tsumeb の西 2.5km	Tsumeb 向斜の縁を切る角レキ帯と断層 珪質砂岩 (17) (QSP)	レキに鉱化	Cu-Ce, Mal+Py	1947-1978 (17) - (17) 31974m	1910-1912 産出 742t Cu: 9.7% 1990 産出 52964t 産出量 116万t Cu: 1.86% 産出 57万t Cu: 0.72% Ag: 11g/t	Ferreira, Zwanziger 1971, Rawle 1972, Blaine 1973 Gold Fields Namibia 1990, 1991 Tsumeb Corporation Ltd 1978 Veldsman 1977
7	Tschudi	Tschudi 451 Uris 481	Tschudi 向斜南縁, Mulden 号 基底の砂質岩と珪岩 NW 系 割目 鉱床を切る	走向 2500m, 傾斜 420m 浸食帯 Cu 硫化物は 181 号 上位 4 ~ 5m に産する 地表から 80m 以下に硫化物相帯	Cu-Mal, Cup, Az, ±Ce, Co	1963 発見	産出 57万t Cu: 0.72% Ag: 11g/t	Venter 1976
8	Otjikoto II 号 (17) Alt Bobos	Tsumeb の西 13km Uris 431 Uris 481 Bobos 544 Tsumore	Huttenberg 層 曲線西断層, 地層のすべり帯 Tschudi 向斜南縁, フォーレキ帯と方解石化 (QSP)	走向 70m, 傾斜 N60-70° Cu 硫化物 走向延長 3km	Cu-Zn-Mal, Ce, Az, Cr, Cu-Pb-As, Cup	土壌化学 Cu-Pb 異常	1929 Cu 探査	TCL 1978 Schneiderhohn 1921 Schwellnus 1945 Veldsman 1977
9	Karavatu Tonnessen Uris	Uris 431 Uris 481 Bobos 544 Tsumore	Huttenberg 層の (17) 号 NW 角レキ帯 Sand sack 型 Elandschoek 層 Huttenberg 層 (17) 沈降帯の角レキ帯	鉱化帯 V 粘土 Fe-Cu 結核	V-Cu-Zn-CuDs, Gn, Ce, Sp	1970 年代 (17) - (17) Pb: 8.4% Zn: 3.0% 0.7 ~ 12m	精鉱品位 V205: 18.75%, Pb: 45.57% Cu: 9.99%, Zn: 4.12% Karavatu/Uris 1919-1943 産出 5234t V205: 11.87%	
10	Asis Ost	Kombat の東 2km	(17) 号 方解石化角レキ帯 Otavi 千枚岩から 130m 北	鉱化, 鉱片, 細脈 post-ore NE 系断層	Cu-Bo (初成鉱物) Ce, Gn, Mal V	1910-1915	Cu-Pb 600t 1974-1976 産出 34913t Cu: 1.26%, Pb: 0.25%	Gold Field Namibia 1990
11	Guchab 鉱山		Elandschoek 層 E 系, NE 系 割目	走向 1.5km 傾斜 150-300m Cu 鉱化は方解石化, 珪化	Cu-Mal, Co, Planchette, Diopside	1893 調査開始 1900 OMEG 探査 1955-1975 (17) - (17) 778m	1908-1911 輸出 2540t	TCL 1978
12	Schlagental 号 (17)	Guchab の西部		ENE 系 鉱化 jasperoid			輸出 5.5t Cu: 8% Pb: 26.1%, V205: 10.8% 精鉱 30.5t Cu: 3.3% Pb: 11.7%, V205: 4.7%	TCL 1978
13	Rodgerberg 鉱山			Guchab と同じ	Cu-Diopside		1924-1927 産出 6800t Cu: 10% 輸出 1880t Cu: 36%	TCL 1978
14	Deutsche Erde 地域 Deutsche Erde Hagstolz Elefantenberg Ondjondjo Elefantenberg Nord		Elefantenberg 背斜の北縁, Abenab 17 号の基底 Nosib 片岩 Tsumeb 17 号の下部	10-50cm x 30m Cu 異常-走向 850m, Pb+Zn 異常は 8000m Cu: 100-250ppm	Cu Cu-Pb-Zn	1975 土壌化学		Mueller 1975
15	Neuwerk 号 (17)	Neuwerk 507 の北西部	Neuwerk 背斜南縁, Askevoeld 層 (epidosite) Nosib-Abenab 17 号の境界 Nosib-Abenab 境界部の珪化石灰岩と片岩	Cu 異常 200ppm 以上 4km 延長 珪化 V 粘土 Cu 鉱化 150m	Cu-Bo, Cp, Ce, Mal Cp	17x100m 17 号の結果 Cu: 0.5m 0.41%, 5.0m 0.18% 17 号の結果 Cu: 2.8% 170000t 4.0m x 100m x 150m	1973, 52m 立坑掘削	
16	Otaviberg 南部地域		Nosib 片岩と Abenab 17 号の境界 (17) / 石灰岩	地化学異常	Cu-Mal, Bo, Ce, Cp	土壌化学 17 号の結果, 1968 Askevoeld South Cu: 1.2% 300000t		Rawle & Lee 1972
17	Finsterbergen 号 (17)	Tsumeb の南西 43km	Tsumeb 17 号の上部, 層理に平行な断層と NE 系 割目	走向 70m Cu: 0.33%, Pb: 0.07%, Ag: 10g/t		土壌化学		Ferreira, Zwanziger 1971
18	Olifantsfontein 地域 South ridge Pickaxe Tiger Tunnel Butterfly Dogleg Hambone		Harasib-Olifantsfontein 向斜, Elandschoek 層 Maieberg 層の石灰岩 / (17) 境界部の フォーレキ帯 E 断層 石灰-17 号の間に産出	ベキ石英 elast-supported 鉱化角レキ	Pb-Zn-Cu-Gn, Sp, Sm, Zn, Ce, Mal +Ds	17 号 17 号の結果 17 本 ベキ石英 109 本		King 1990
19	Nosib 鉱山	Nosib valley	Nosib/Otavi 17 号の境界の断層角レキ帯	絹雲母化, 緑泥石化	Pb-Zn-Cu-V-Ce, Sp, Gn+Ds	1915 発見	1920 まで生産地表下 120m まで掘削	
20	Nosib Block III	Nosib Block III 655	Elandschoek 層の (17) 号角レキ帯, Gauss 層, 中部 Auros 層		Pb-Zn	17 号の結果 幅 1 ~ 6m Pb: 0.1-8.0% Zn: 0.1-5.7%		
21	Nosib Block 648	Harasib I	Elandschoek 層 Karuchas 層		Pb-Zn-V-Gn, Sp		立坑と露天掘, 坑道 V産 19450t Pb: 7% Zn: 13.5%	Paverd 1976
22	Oriehoek 768 Gauss 16 Border 号 (17)	Kombat の北 15km Toggenburg 591	Abenab 17 号の (17) 号 Tsumeb 17 号の下部の塊状 (17) 号の上部の角レキ帯	17 号 塊状産出 Pb: 2.4%, Zn: 3.10% 240° 走向の節理に規則	V-Pb-Zn Cu-Pb-Zn-Sp, Gn±Cp, Tet, Py	17 号の結果 産出 30 万t 17 号 Pb+Zn: 5.8%		Kingman 1969, 1970

Gn:Galena Cer:Ceussite Pm:Pyromorphite Sp:Sphalerite Wil:Willemite Ds:Descloizite Co:Chalocite Mal:Malachite Py:Pyrite Cup:Cuprite Az:Azurite Co:Covellite Cr:Chrysocolla Sm:Smithonite Tet:Tetrahedrite Zn:Zincite

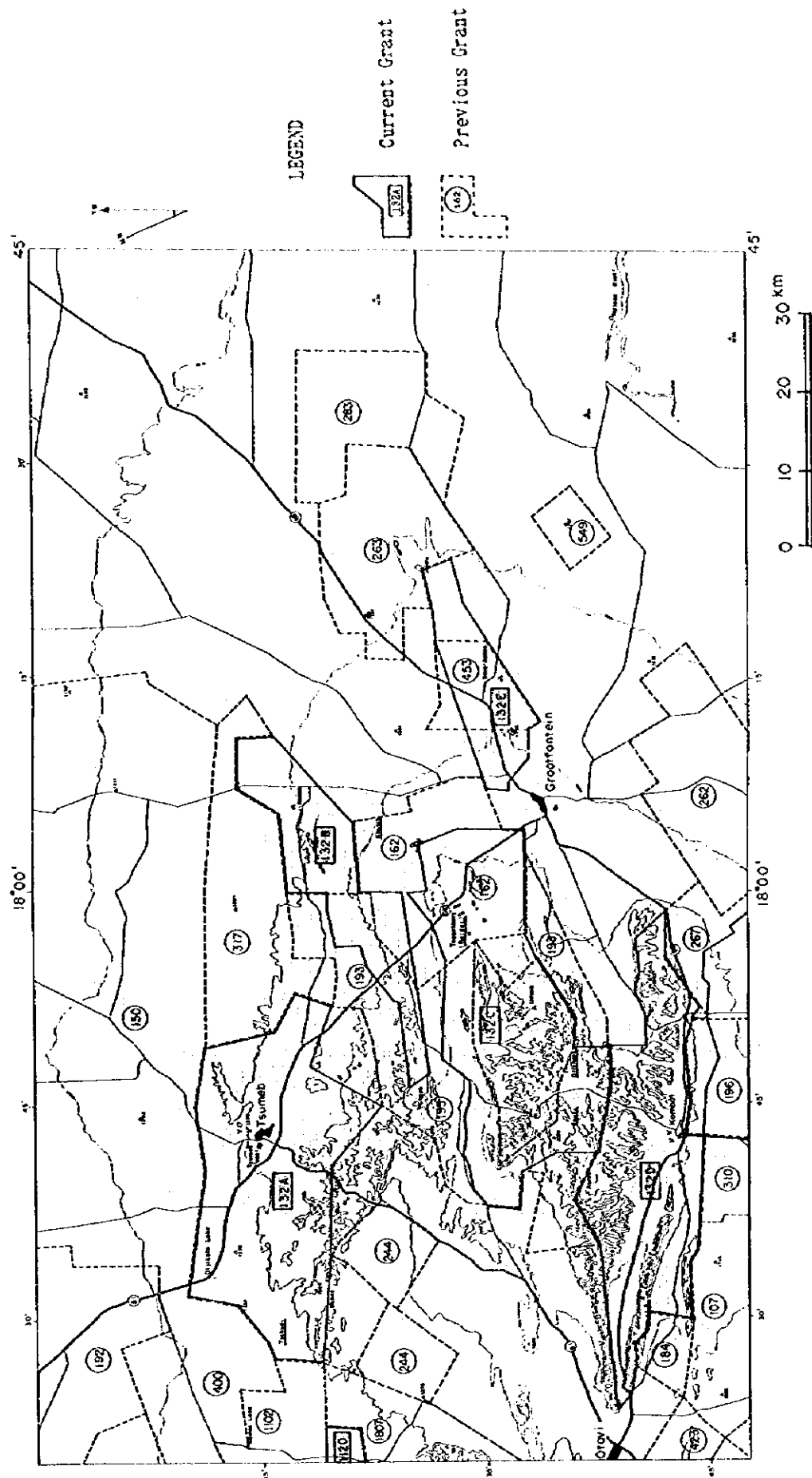


Fig. II - 1 - 1 Location map of previous exploration activities



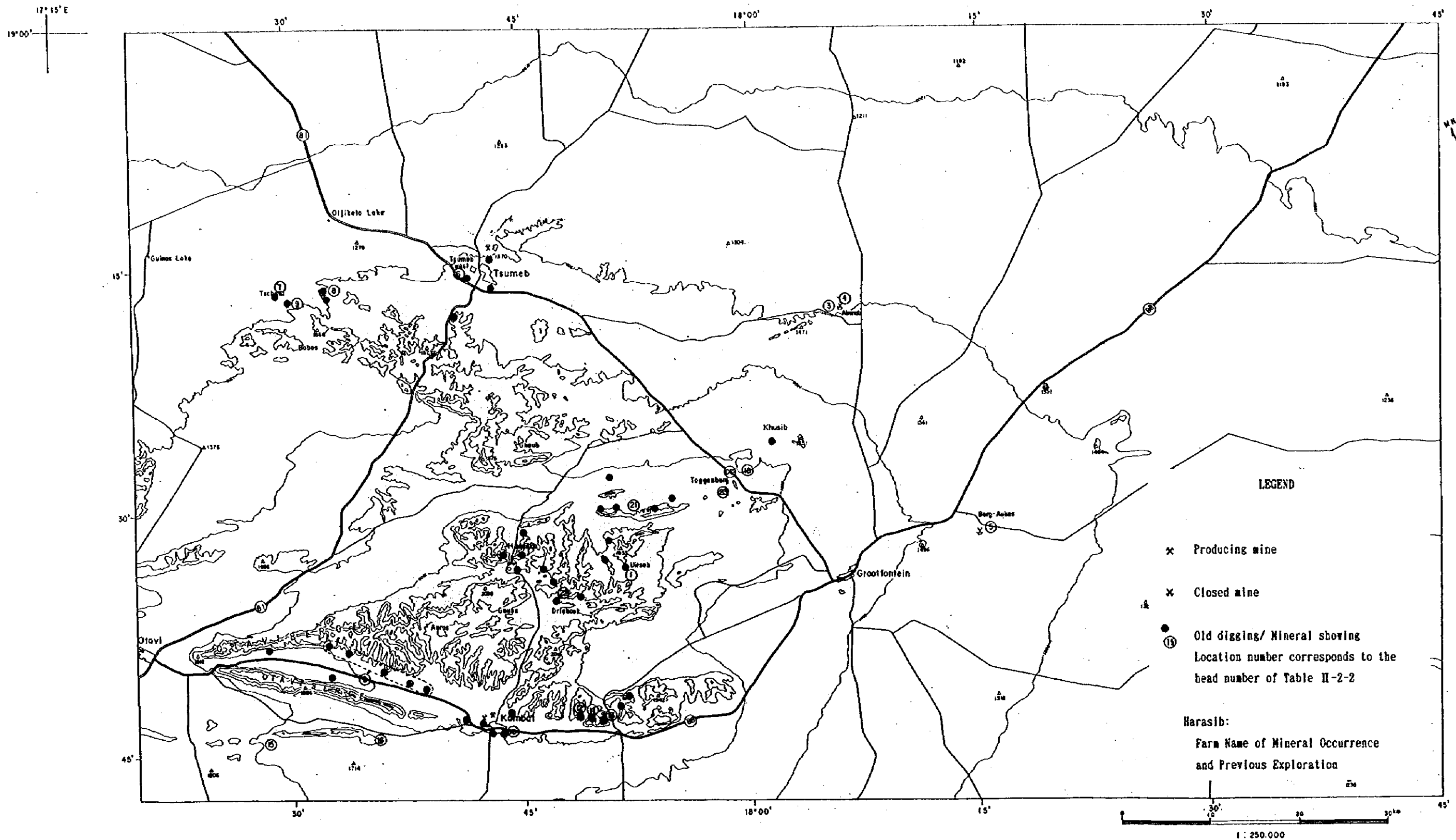


Fig. II -1-2 Location of known mineral showings

1-1 地 質

1-1-1 調査地域の地質と地質構造

調査地域のコンパイル地質図および地質層序表をFig. II-2-1とTable II-1-3に掲げる。調査地域の大部分はDamara帯の北部プラットフォーム帯に属し、Vaalianから下部Mokolian期の基盤岩の上にも厚い炭酸塩岩で特徴づけられる。これらはその後の造山作用によってE-WないしNE-SW方向のしゅう曲軸をもつ向斜構造が3回、背斜構造が2回繰り返されている。

(1) Grootfontein Basement Complex

粗粒で片麻岩質斑状の角閃石-黒雲母花崗岩が主とし、閃緑岩やアプライト質岩脈などもみられる。変成岩類は片岩、珪岩、珪灰質岩、角閃石片麻岩および角閃岩で花崗岩類より古いと考えられる。GrootfonteinとKombatの間の山麓やTsumeb・Grootfontein間の国道C42号線に交わるように小規模に点在する。

上位のDamara帯は不整合面を境に4つの層群および亜層群に区分される。

(2) Nosib層群

主としてOtavi Bergeの南と地域西部に分布する。珪岩、れき岩、アルコーズ砂岩のほかに塩基性火山岩 (epidosite, chlorite schist) よりなる。

(3) Otavi層群 Abenab亜層群

下位よりBerg Aukas層、Gauss層およびAuros層に区分される。いずれもドロマイトが卓越し、石灰岩、頁岩を挟在する。ドロマイトは淡灰ないし暗灰色で成層状あるいは塊状でストロマトライト質のものも含まれる。しゅう曲構造のリムに沿って比較的せまく帯状に分布する。一部鉱床胚胎の母岩となる。

(4) Otavi層群 Tsumeb亜層群

鉱床の母岩として最も重要な層準であるため詳細な記載や地層の区分がなされている。下位よりChuoss層, Maieberg層, Elandshoek層, Huttenberg層からなり、Maieberg層, Elandshoek層は岩相によりさらに2つの亜層 (それぞれT2, T3とT4, T5) に、Huttenberg層はT6, T7, T8の3つの亜層に細分されている。平均層厚は3,000m以上におよぶ。

Chuoss層はティライト・珪岩・頁岩とドロマイトや石灰岩を伴う。Maieberg層は明灰色ないし暗色の下部の石灰岩および上部のドロマイトよりなる。Elandshoek層は層理および塊状ドロマイトで層厚は1,200mに達する。Huttenberg層は明灰色ないし暗灰色の層理ドロマイトを主とし、魚卵状チャート、黒色頁岩および石灰岩を伴う。下部と最上部にストロマトライト質な地層が分布する。平均層厚は840mである。

(5) Mulden層群Kombat層およびTschudi層

向斜構造の軸部に分布する砂質の堆積物である。Tsumebの東および西方に帯状に分布する向斜構造帯と南部のOtavi Valleyを埋めるように分布している。Tsumeb付近のMulden層群はTschudi層と呼ばれレキ岩、長石質砂岩、グレイワケおよび頁岩よりなる。露出状態が悪いが下位のOtavi層群とは非整合面で接すると言われている。

Table II-1-3 Stratigraphic Succession in the Otavi Mountain Land Area

Sequence	Group	Subgroup	Formation	Informal Lithozone	Lithology	Average thickness (m)	
Damara	Mulden		Kombat		Kombat Formation: slate, sub-arkose and pebbly sandstone near base Tschudi Formation: feldspathic sandstone, sub-greywacke, argillite and conglomerate interbeds in basal portion	> 700	
			and Tschudi				
	Otavi	Tsumeb	Disconformity		18	Dolomite, bedded light to medium grey; oolitic chert and stromatolite layers near top	240
			Hüttenberg	17	Dolomite, bedded dark grey; limestone, shale and chert interbeds	300	
				16	Dolomite, bedded light grey; abundant chert; stromatolite interbeds in lower part	300	
				Elandshoek	15	Dolomite, bedded and massive light grey	1 200
			Maieberg	14	Dolomite, massive light grey		
				13	Dolomite, thinly bedded light and dark grey	180	
				12	Limestone, bedded light and dark grey	700	
				11	Tillite, quartzite, shale, minor dolomite and limestone	200	
				Disconformity		Auros	Dolomite, bedded and massive light to medium grey; limestone, marl, shale, oolite and stromatolite interbeds
			Abenab	Gauss	Dolomite, massive light to dark grey; local oolite and stromatolite interbeds	750	
				Berg Aukas	Dolomite, laminated and massive light and dark grey; black limestone, shale	550	
				Disconformity		Varianto	Quartzite, conglomerate, arkosic mixite, dolomite, ferruginous shale
			Nosib	Askevold	Phyllitic agglomerate, tuff, epidosite	750	
				Nabis	Feldspathic quartzite, arkose, conglomerate		
				Unconformity			
Grootfontein Basement Complex					Granite, gneiss, mafic schist		

Otavi ValleyのMulden層群はKombat層と呼ばれ、基底部に粗粒砂岩が堆積しているがその上部はシルト岩、粘板岩を主とする。TsumebやKombat鉱床の母岩となっているTsumeb亜層群中のカルストを充填している砂質堆積物はPseudo-aplite、近年はFeldspathic sandstoneと呼ばれ、長い間その起源について論議されてきたが、Mulden期にカルスト凹部に堆積した砂質堆積物と考えてよさそうである。

(6) Karoo 層

古生代末から白亜紀にかけて、陸成砂岩の堆積や塩基性の火山岩の活動が起こった。調査地域ではその露頭は殆ど認められないが過去の空中磁気探査の結果等から北東部の地下浅所に玄武岩溶岩の分布が推定される。またTsumeb西部では粗粒玄武岩岩脈が試錐孔で捕捉されている。

(7) Kalahari 層

白亜紀から第三紀にかけては砂やCalcreteの堆積が認められる。地域北東部では古砂漠起源の風砂丘と考えられる緩い地形の帯状の高まりが衛星画像ではっきり認められる。

Calcreteは特に地域北部から東半分にかけて広く分布する。白色ないし淡褐色の石灰質砂岩ないし膠結堆積物でDamara帯の分布や構造解明ひいては鉱床探査の障害となっている。

(8) 地質構造

しゅう曲構造は一般にオープンしゅう曲で対称系であるがOtavi Valleyでは向斜構造の南翼は逆転している。しゅう曲軸はEWないしENE-WSWの走向をもつが、地域西部ではNW-SE方向の軸をもつ構造が認められることから少なくとも2度のしゅう曲変形作用を受けていると考えられる。

断層および断裂系ではTsumeb西とKombatを通るNE-SW方向が顕著である。これらは岩脈を伴っているとされるが、地表では確認できない。TsumebとKombat間の地域でもNE-SW系断層が分布しているがこれらは衛星画像上では不明瞭である。

1-1-2 鉱 床

Tsumeb

1905年から1990年までの間、実に2,460万トンの鉱石が掘り出され、金属量にして銅170万トン、鉛280万トン、亜鉛90万トンを生産している。1979年時点での埋蔵残鉱量は350万ト 品位 Cu 4.27 %, Pb 7.02 %, Zn 1.19 %, Ag 100g/t であったが、近年になり開発が更に深部に至り、亜鉛の品位低下とともに鉱量の枯渇が顕在化したため、1996年に閉山した。現在はKombatやKhusibより銅鉱石を、Rosh Pinahより鉛鉱石を給鉱し、銅と鉛の製錬所が稼働中である。

(1) 地質・鉱床

パイプ状多金属鉱床でPb, Cu, Zn, Ag, V, Cd, As, Sb, Ge, Sn, Wを含む。上部Damara系のしゅう曲したOtavi層群Tsumeb Subgroup(亜層群)Huttenburg層(T7)ドロマイト質の地層に胚胎する。鉱床は角レキ化した方解石化ドロマイト、方解石を主とする脈石からなるコンプレックスアルコーズ砂岩か長石質砂岩の不規則な岩体の内部か縁辺部に胚胎する。この砂岩はパイプ状の古カルスト地形の特徴をもっており、地表から1500mの深さまで伸びており、母岩のOtavi層群を不整合におおうMulden層群のTschudi層の砂質相に対比される。パイプの平面規模は卵形をした長軸230~100m、短軸80mの広がりをもつ。L12以上(1Lは30m)に特に高品位鉱が分布する。母岩のドロマイト層とはドロマイトブレッチャと砂岩とhypogene脈石鉱物と変質等で境される。鉱床との境界付近はしゅう曲、弓状割れ目、剪断、foliationが著しい。

(2) 鉱石鉱物

初成の鉱石鉱物は方鉛鉱・閃亜鉛鉱・輝銅鉱・斑銅鉱・黄銅鉱・硫砒銅鉱などであり黄鉄鉱は少ない。産状は後生、熱水性、交代性および裂隙充填型である。初成亜鉛鉱物は閃亜鉛鉱のみで多くの二次鉱物を産する。脈石鉱物は方解石・石英・ドロマイト土重晶石・螢石を産する。

(3) 鉱床成因

堆積盆排水モデルではトラフの堆積物の圧密や続成作用の結果、熱水塩水が進化し、断層や不整合を通過して構造的トラップに沈澱したとする考え方が最も妥当と考えられる。ドロマイ

トには溶解崩壊(Solution Collapse)による2つのプレッチャのタイプがある。ひとつは天水の循環による溶解作用で形成されたもの、次に鉱化熱水が上昇して生じた溶解によるものがある。この中程度の塩濃度の含金属熱水の起源はいまだ不明であるが δD , $\delta^{18}O$ の同位体化学からは鉱化溶液は油田塩水のような層内水に関連する。

Kombat

1995年6月時点での確定推定の埋蔵鉱量は380万トン 品位 Cu2.75%, Pb1.48%, Ag25.5g/tである。現在の生産は従業員数 612名で月産粗鉱量35,000tから40,000t 粗鉱品位 Cu 2.6%, Pb 1%, Ag 24g/t で推移している。

(1) 地質・鉱床

Otavi Valley向斜構造の北翼部のTsumeb亜層群Huttenberg層のドロマイトに胚胎する。露頭はMulden層群のKombat層粘板岩とHuttenberg層ドロマイトとの非整合面に近い長石質砂岩中の割れ目やマトリックスに鉱化している。

鉱床は浅熱水性裂カ充填型交代鉱床で、鉱化は長石質砂岩の分布とドロマイトのfracture cleavageに規制されており、ドロマイトの層理に斜交する。鉱体の縁辺部は細い鉱化レンズ(horse tail)に分散する。

(2) 鉱石鉱物

主な初成鉱物は斑銅鉱・黄銅鉱・方鉛鉱および黄鉄鉱で閃亜鉛鉱・砒四面銅鉱(Tennantite)がこれに次ぐ。二次鉱物としては輝銅鉱・孔雀石・銅藍・ダイジェナイト・赤銅鉱・白鉛鉱(Cerussite)・自然銅および自然銀を産する。鉄-マンガン鉱物としては赤鉄鉱とハウスマン鉱を主とする。

(3) 鉱床成因

Kombat層のうち粘板岩より下位の砂質岩が堆積する時期にHuttenberg層ドロマイトにカルストによる侵食窪地形が形成され、この低地に砂質岩が侵食地形を充填した。鉱体は変形運動が激しい箇所に集中しており、ここではドロマイトが脆弱で地下水循環により方解石化が進み、引き続き起きた歪み力がここに集中したと考えられる。方解石化はKombat層粘板岩中のcleavage S_3 の形成と同時生成の可能性がある。鉱液は透水性の砂質岩の中を上昇し、ドロマイトと反応しながらpHの上昇、酸素活動度の低下、および硫黄活動度の上昇が起こり、硫化物が沈澱した。

鉱化年代はMulden層群の堆積と同時期と仮定した堆積学上の見積からは550-560Ma、Kombat鉱山産鉱石のPb放射年代からは550-600Maの値が示される。鉱床のシントニックな特徴を考慮するとDamara帯の第2変成期(554-570Ma)が鉱床生成期と考えられ、Kombat西方のMulden層群のRb/Sr変成年代と整合的である。

Abenab

1958年閉山したが世界一の規模をもつバナジウム鉱山である。Tsumeb亜層群のMaieberg層ドロマイト中にできた断層に胚胎する鉱体 (Abenab West) と角レキ化したドロマイト中に発達したパイプ状鉱体がある。後者では角レキのすき間を赤色粘土、粗粒方解石およびDescloizite ($ZnPbVO_4(OH)$) が埋めている。パイプは地表から425m深部で狭くなり品位も低下した。

Abenab Westは断層角レキ帯にそって形成した溶解晶洞 (Solution cavities) を方鉛鉱とDescloiziteを含む未固結粘土が充填している。この断層帯は傾斜45~70° 幅僅か6m、延長730mに達する。

上部での鉱石鉱物は細粒のDescloizite、Cerussite、Willemite (Zn_2SiO_4) および方鉛鉱で前者3鉱物は二次富化鉱物である。下部では閃亜鉛鉱と方鉛鉱が卓越し、少量のDescloiziteを伴う。

Berg Aukas

BergAukas向斜のBerg Aukas層とGauss層のドロマイトを母岩とする。E-W走向の地層に調和的な閃亜鉛鉱、方鉛鉱、黄鉄鉱とDescloiziteを含む二次鉱物からなる。これにN-S走向の割れ目に規制された溶解晶洞にそって生じた鉱体がある。1978年閉山までの総出鉱量は160万tに達する。

Tschudi

鉱化はTschudi層の基底部の珪岩の割れ目に沿った輝銅鉱・孔雀石・珪孔雀石・藍銅鉱で初成鉱床が浅続成作用を受けて砂質層に分散したものと考えられる。鉱量は9百万トンと言われているが、全体的にはCu 0.72%と低品位のためSXEW法による銅回収も検討されているとのことである。

Khusib Springs

1996年3月から月産8000tの計画で開発を開始した。

鉱石はCu, Pb, Ag鉱で地表より20m以下に賦存し、鉱体規模は70×120×3-16mで2つのレンズ状鉱体よりなる。銅品位はTsumebより若干高めという。開発費は現地通貨N\$で9百万ドル、邦貨換算で270百万円である。

以上調査地域の代表的金属鉱床の記載から、その一部は以下の点でいわゆる"Mississippi Valley"型 (MVT) 鉱床に類似していると言える。

- (1) 関係火成岩が知られていない。
- (2) 大陸プラットフォーム縁の安定地域に堆積したドロマイトや石灰岩を母岩とする。
- (3) 堆積盆から離れてエバポライトが知られる。
- (4) 生成温度が低いこと
- (5) 鉛・亜鉛の鉱化が卓越する。
- (6) 多くは鉱床の深度が浅い
- (7) 断層や不整合と鉱床の分布が関係する。

(8) 鉱床の産状に層理に平行なテーブル型、フラクチャや節理を充填した型または古カルスト地形の空洞を埋めた溶解空洞と崩壊プレッチャに胚胎するものがある。

しかし、Tsumeb、Kombatでは初成鉱物の生成温度が200°C以上と比較的高いこと、鉛・亜鉛よりむしろ銅が卓越していることなどいわゆるMississippi Valley型と相違する点もある。

カルスト地形の形成から鉱床沈澱までは既知鉱床での知見から次のような過程が考えられる。

- (1) 水平な炭酸塩岩のしゅう曲。脆弱性の差でしゅう曲の形態が決まった。
- (2) 古透水層と地表との間に天水の循環が生じ、溶解崩壊プレッチャができた。
この透水層がしゅう曲軸部の破砕帯と交差するところでは溶解作用が上昇して母岩のドロマイトのレキが空洞を埋めた。
- (3) 古透水層の下位でも透水性の不連続面を伝わって炭酸塩岩の溶解が下部に向かって進んだ。
- (4) Tschudi層の堆積盆に達した溶解孔から砂質堆積物が空洞に流入、長石質砂岩体を形成し、さらに下部へは暗色ドロマイトプレッチャと混在した。
- (5) 広域しゅう曲運動に伴う層理剪断によりドロマイトに割れ目が発達し、透水性が更に増加した。
- (6) 熱水溶液が上昇し、母岩の変質、溶解かフラクチャリングが起きた。しゅう曲作用で下部の暗色ドロマイトプレッチャのシェアリングが起こり、こうした割れ目にさらに砂質堆積物が下降し充填した。
- (7) 鉱化熱水が変質を伴いながら、長石質砂岩体中を上昇した。中程度の塩濃度をもち、硫酸塩に富む海水と反応し、砂岩体内で鉱石を沈澱させた。

1-3 空中写真判読

1960年代後半以降Etoshaベーズンの地質構造解明のため縮尺1:10,000, 1:36,000, 1:72,000の空中写真を用いフラクチャ密度を計測している。調査地域の露岩地帯は植生も希薄で空中写真上で地層や細かいリニアメントが非常によく追跡判読可能なので構造解明の効果的手法と考えられる。

1-4 地化学探査

調査地域における鉱床探査に最も広く、かつ効果的に実施されてきた手法は土壌地化学探査のようである。試料採取密度は500m ~ 400m × 100mで指示元素としてはPb, Zn, Cu, Vを用いている。

このような地化学探査結果をもとに1975年ELAND EXPLORATION社が Driehoek Farm東部に高品位Pb-Zn-Ag鉱化を捕捉した。

1-5 物理探査

調査地域を含む南緯20° 以北のEtosha Basin鉱区では1960年代から1970年代にかけて石油・

天然ガスの探査が精力的に行われた。その一環として空中磁気探査、Vibroseis法地震探査が実施されている。金属鉱床探査では磁気探査に加えて重力探査や一部でIP法電気探査が試みられた。

1-5-1 空中磁気探査

Grant 150において Etosha Petroleum Co. 他が調査地域をカバーして測線間隔約1kmで空中から全磁力を測定した。これによるとTsumeb地域のNE-SW系の磁気リニアメントは幅150mのDolerite dykeに対応すると考えられる。また磁気異常から基盤深度が計算されている。

1-5-2 地上磁気探査

Grant 150の探査として調査地域の幹線道路に沿って実施された。

1-5-3 IP法電気探査

Grant 193内 Grootfontein北西方、Driehoek Farm東部にて、1972年ELAND EXPLORATION(Pty) LIMITEDが時間領域IP法 ポール・ダイポール配置のIPを実施、ボーリングターゲットを絞った。その結果は次のとおりである。

- (1)風化層は5m程度である。
- (2)母岩の比抵抗は15,000Ωm程度（IP探査には都合がよい）。
- (3)表層および母岩とも4millsec程度のIP値を持つ。
- (4)Pb-Zn鉱化のあるところで、Pbによると思われるある程度の異常がみられた（3.5msec, BGは0~2msec）が閃亜鉛鉱はIPを発生しないものと思われる。
- (5)電極効果による異常も考えられるが、他の情報との比較が望まれる。
- (6)表層がやや高いIP値を持つ原因は分極した粘土が原因であると思われる。
- (7)50Feetの深度（約15.2m）で、2%以下のCu含有量ではIP法では検出できなかった。
- (8)粘土質頁岩の薄層は母岩のドロマイトより低比抵抗で、30msecに達する高IP値を持つため、探査において大きな障壁となる。

結論：今回のIP法の結果から、既知鉱化帯を評価するためには、IP法はあまり有効でないと考えられる。

その他、重力探査、地震探査、比抵抗法電気探査、人工熱ルミネッセンス法を実施している。

1-6 ボーリング探査

1969-1970年にGrant 193 Border Propertyで深度150mないし180mのボーリング探査が実施され、2孔の各々で着鉱長数10cm~10数m、Zn品位1%~2.3%の鉱化帯を5~6箇所捕捉した。

Grant 162ではトレンチのあと深度130mまでのボーリングを10孔実施し、一部に酸化銅鉱の鉱微や塩基性岩脈を捕捉している。calcreteの厚さは5mであった。結果的にBorder Propertyでは平均深度180mのボーリング48孔実施し、平均着鉱長6m、平均Pb+Zn品位 3.608 % 鉱量 5,440,000 stを計上した。

Driehoek Eastでは1974年の7孔=1068.65 mに引き続き、1975年11孔のボーリングを実施、う

ち7孔で平均着鉱長30mでPb 1~2.5%, Zn 2~6%の鉱化帯を把握した。翌年Driehoek Northで実施したボーリング 6孔=559.41m のうち3孔で、1~18mの間に、Pb+Zn品位 1~7%の鉱化帯を捕捉した。

1-7 フィージビリティ・スタディ

ETOSHA MINERALS (1968, 1973, 1976, 1979) はBorder Propertyの鉱床評価のための経済性を試算した結果、フィージブルな条件は品位 5.833 % (Pb 1.814 %, Zn 4.019 %) 鉱量 30百万トン、生産 10000t/日、操業年数10年、リターン 25% とし、開発発進にはPb/Zn比の上昇によるAg効果が必要と結論した。

1-8 鉱区取得状況

1995年現在の調査地域の鉱区図を Fig. II-1-1 に掲げる。本図においてGrant No. 132A, 132B, 132C, 132D, 132E, 1120, 1415, 1425, 1501, 1622, 1655は現行鉱業権である。このうちNo. 1120を除けば事実上すべてTCL社が保有しており、その広さは既知鉱徴地を含む露岩地域の大部分を占める。しかしCalcreteに被われる地域北部やGrootfonteinの東部はほとんどオープンである。

第2章 地質調査

調査地域のうちDamara系露出地域は、長年の鉱山会社の探査活動により精密詳細な地質図幅ができあがっている。今回の地質調査はTCL社作成の10万分の1および25万分の1地質図を基に各地質区分の岩相チェック、空中物理探査の解析に必要な基盤岩およびDamara系の各種物性測定のためのサンプリングを実施した。コンパイル地質図をFig. II-2-1に掲げる。

岩石薄片鑑定結果をTable II-4-2 に鉱石研磨片鑑定結果をTable II-4-3 に掲げる。

2-1 基盤岩コンプレックス

PreDamara系の基盤岩は主としてTsumeb-Grootfontein間を走るC-42号線道路沿いやGrootfontein北西のHoba Meteorite西方に点在する。斑状の桃色微斜長を含む黒雲母白雲母花崗岩や黒雲母角閃石花崗閃緑岩が卓越する。マフィック鉱物は角閃石・黒雲母で構成され、前者は特に桃色微斜長石花崗岩で緑泥石化が著しい。磁性はあるが特に高いレベルではない。これら花崗岩類の他に基盤を構成する岩石としては砂質変成岩（砂質片麻岩）・珪岩・角閃石片岩・雲母片岩などがあり珪岩は多量の赤鉄鉱を含み磁性岩層となっている。これら堆積岩起源変成岩の走向・傾斜は $N40\sim70^{\circ} E$ ・ $75\sim85S$ でこれらを切る $N20^{\circ} E$ 走向の塩基性岩脈や $N80^{\circ} E$ 走向のアップライト脈が認められる。塩基性岩脈は角閃石片岩のようなマフィック鉱物の規則配列がないため基盤岩よりやや新期のものと考えられる。しかしDamara系を切る地表論証は見いだされない。こうした非花崗岩質基盤は磁性的に不均質であるため特徴的パターンを示すものと考えられる。

2-2 Damara系およびKaroo/Kalahari系

基盤岩上位のDamara系の最下部は場所によって岩相が異なるが、アルコース砂岩と塩基性片岩よりなる。塩基性片岩は主としてOtavi Bergの南に分布し、Cuの鉱化（鉱染状黄銅鉱）が認められた。TCLの地質図によればこの塩基性片岩はTilliteを特徴とするChuoss層分布域に含まれている。塩基性片岩や溶岩を除けばDamara系は総じて厚い炭酸塩岩からなり一般的に磁性は低い。

Tsumeb南では暗灰色無層理のドロマイト、珪化した魚卵状ドロマイト、チャート、石灰質砂岩などTsumeb亜層群の最上部の地層が分布する。Tsumeb東の道路の掘り割りに露出する黒色石灰質頁岩や層理のよく発達した砂岩はMulden層群Tschudi層の基底層序と考えられる。

Grootfontein北西方のElandshoek層では層理面の走向 $N55\sim65^{\circ} E$ ・傾斜 $60N$ の黒色千枚岩層の中に $N75^{\circ} E$ ・ $75\sim85S$ の劈開がよく発達しているのが観察された。

空中物理探査対象地域は、その西端はTsumebの東方Abenab鉱床付近の露岩地帯を含むが中央部から南部にかけてはCalcreteに被われてDamara系露岩は全く分布しない。北東から東部にかけては白亜紀から第三紀に形成されたと考えられるKalahari砂漠の砂丘地形が残存しており、Landsat TM画像では顕著なEW系の緩い地形の起伏の繰り返しが認められる。



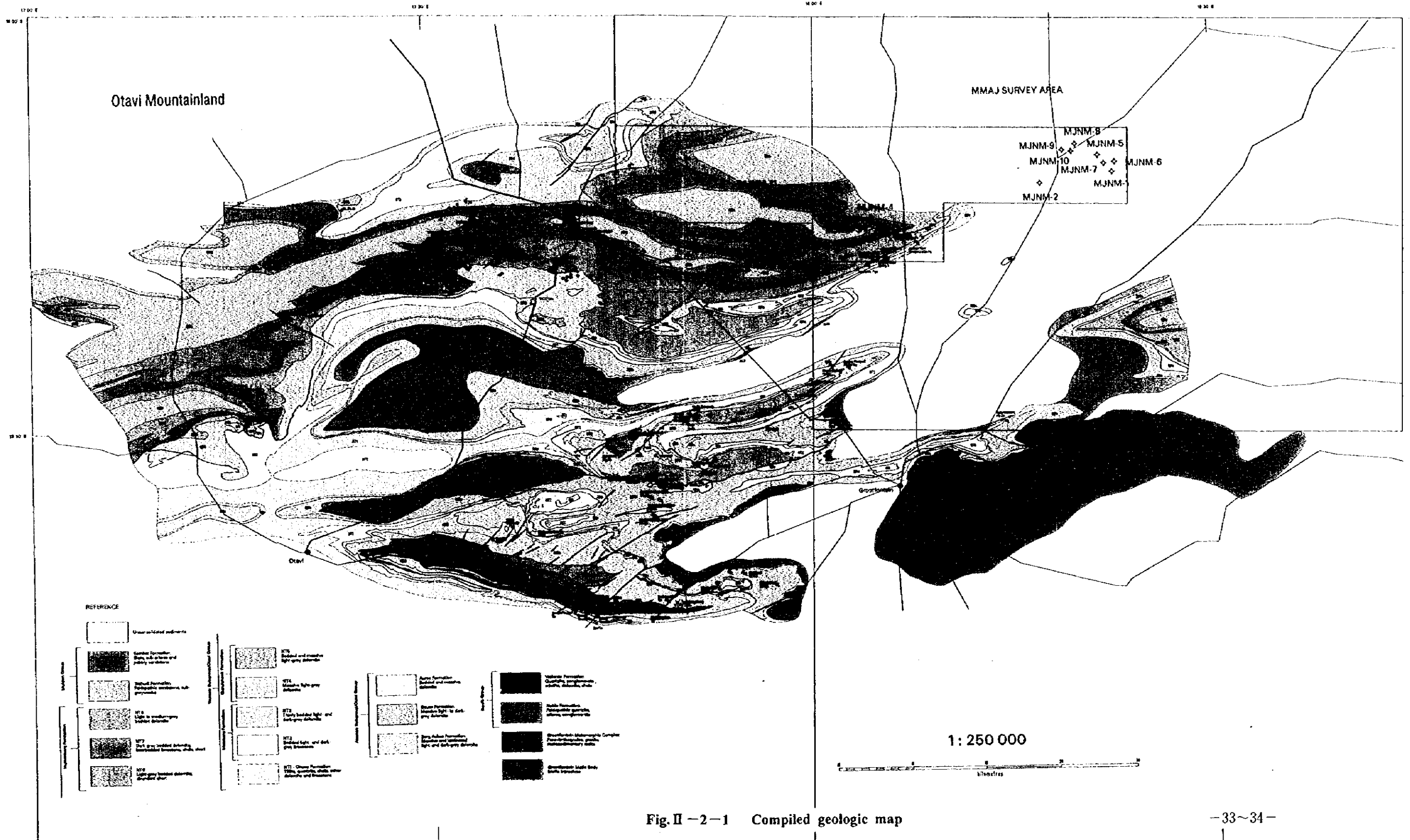


Fig. II - 2 - 1 Compiled geologic map

Otavi Mountainland

MMAJ SURVEY AREA

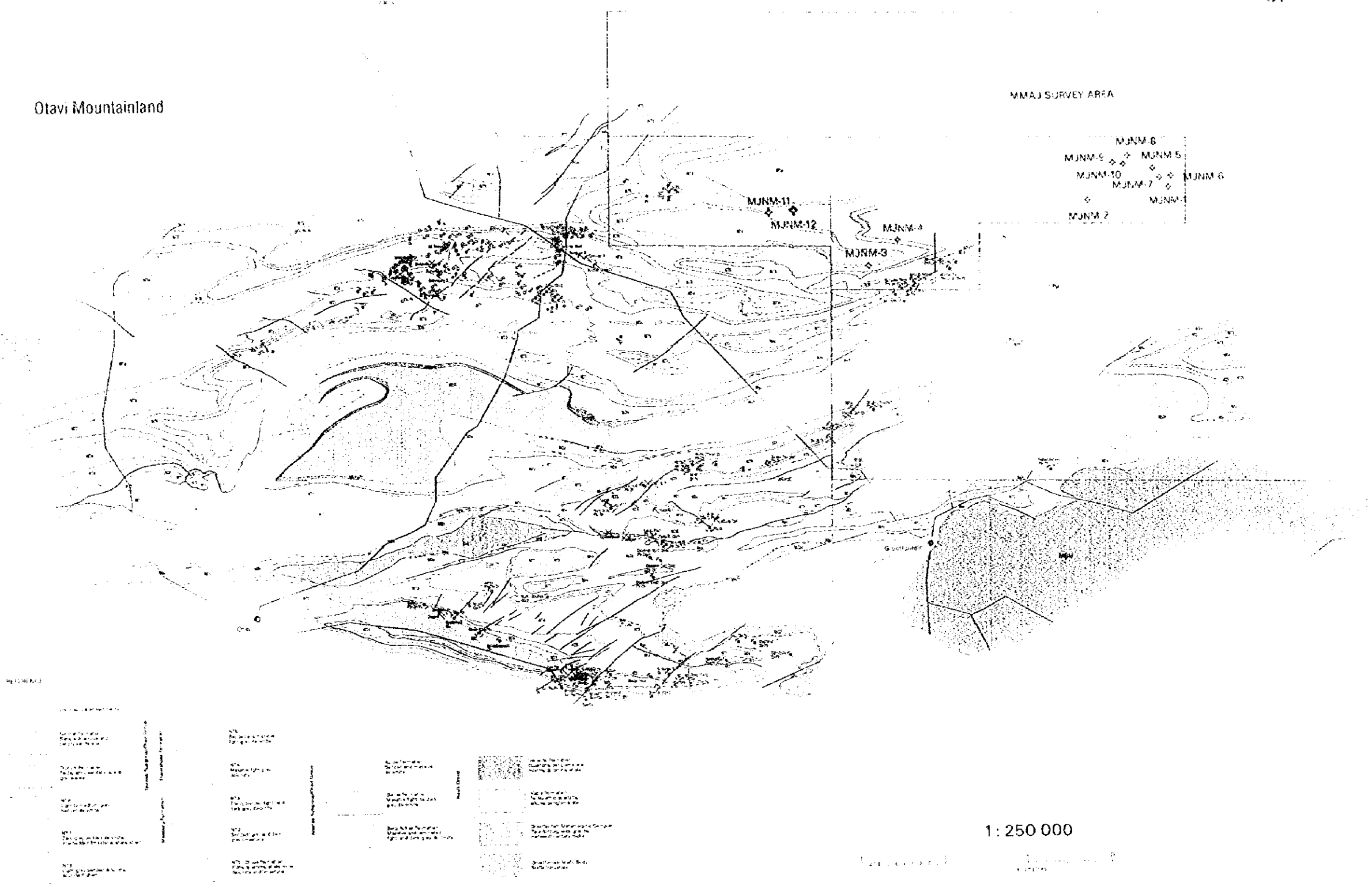
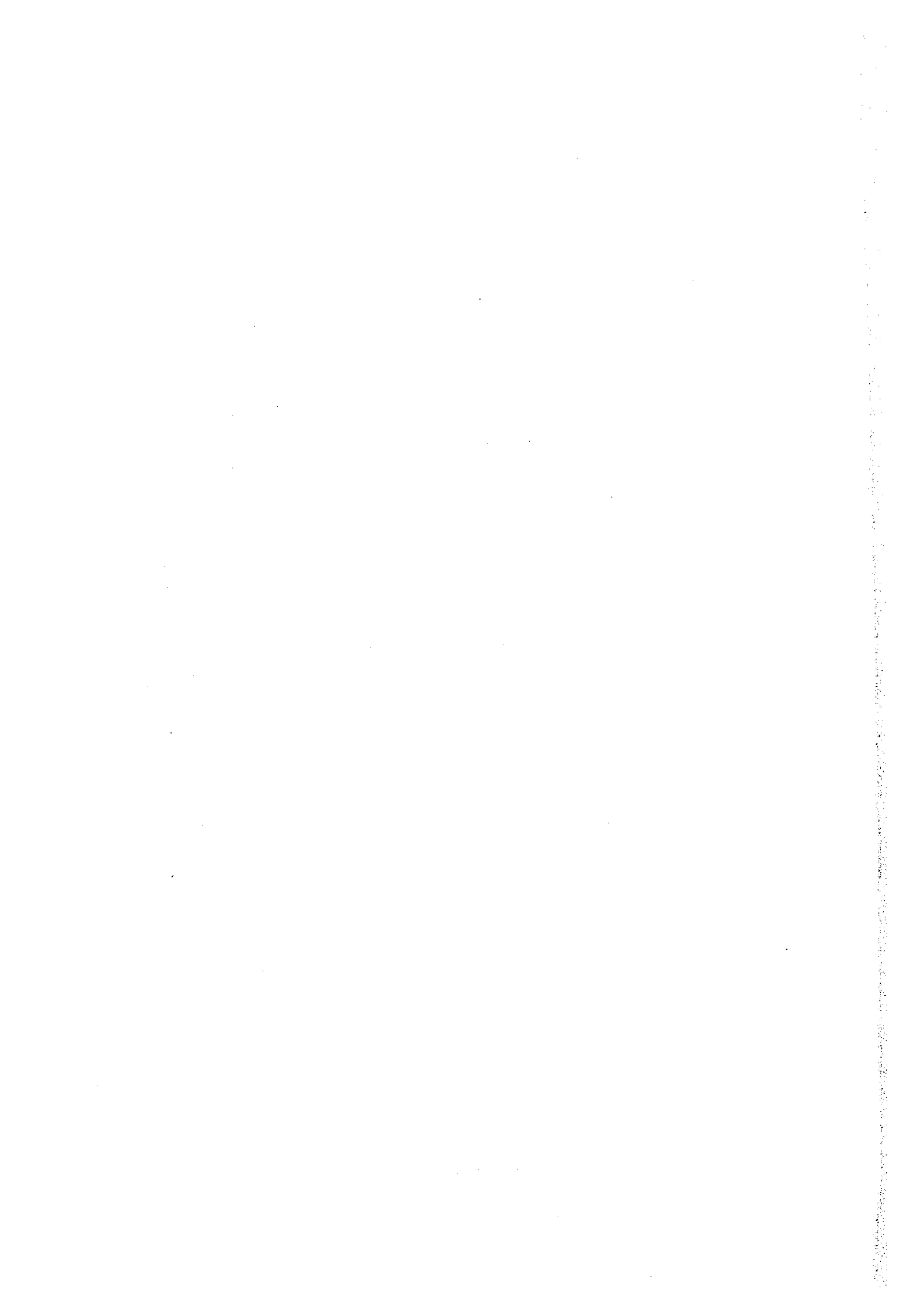


Fig. II-2-1 Compiled geologic map



2-3 断層およびリニアメント

基盤岩中の地質構造は上述したようにNE-SWないしENE-WSWを示す。またDamara系炭酸塩岩層の断層およびフラクチャ系としては野外調査の結果、NNE-SSW, ENE-WSWを主とし、ついでNNW-SEおよびWNW-ESE系が顕著に現れていると言える。

2-4 鉱化作用

Tsumeb西方のBobos鉱山跡から採取した高品位鉱石の中に方解石に伴われたバナジウム鉱物が認められる。鏡下では粗粒樹枝状結晶として産する。分析の結果、亜鉛を3~5%含むMottoramiteと思われる。Tsumeb Westの酸化鉱は二次鉱物の孔雀石のほかに輝銅鉱が普通に認められるが、日本の浅熱水性鉱床や黒鉱鉱床に産するものに比べ包有物が極端に少なく、異方性も弱く、一次生成の中高温熱水性の特徴をもつ。

Abenabの鉱石鉱物は銅が少なく閃亜鉛鉱・方鉛鉱からなるいわゆるMTV型に近い鉱物組み合わせを示す。自然銅は一般的に酸化帯の二次鉱物であるがここでは輝銅鉱中の微細な包有物として産する。

Kombatの高品位鉱は方鉛鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、斑銅鉱および輝銅鉱よりなり、少量の銅藍や黄鉄鉱も含まれる。黄銅鉱は閃亜鉛鉱やキューバ鉱のようなスター離溶組織がない。Feldspathic sandstone体の鉱染鉱床では自然銅を包含した赤銅鉱と孔雀石が卓越しており酸化帯の鉱物組み合わせを示している。Harasibの鉱床群から採集した鉱石はT4の広い石英網状帯に伴われる。Bobosと同様な樹枝状および櫛状で暗緑色を呈し、鏡下では異方性が強く、時として虹色の内部反射を示す鉱物を産する。これは亜鉛を10~20%含むことから含銅Descloiziteと考えられる。