

サモ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

第1年次

平成8年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

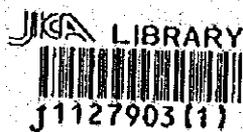
鉱業
96-046

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

第 1 年 次

平成 8 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、地質調査ならびに空中物理探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年度を第1年次とし、金属鉱業事業団は2名の調査団を編成して平成7年9月16日から平成7年11月16日まで現地に派遣した。

現地調査は、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、本年次の調査結果をとりまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

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8年3月

国際協力事業団

総 裁

藤 田 公 郎

金属鉱業事業団

理事長

清 瀧 昌三郎

J11279031

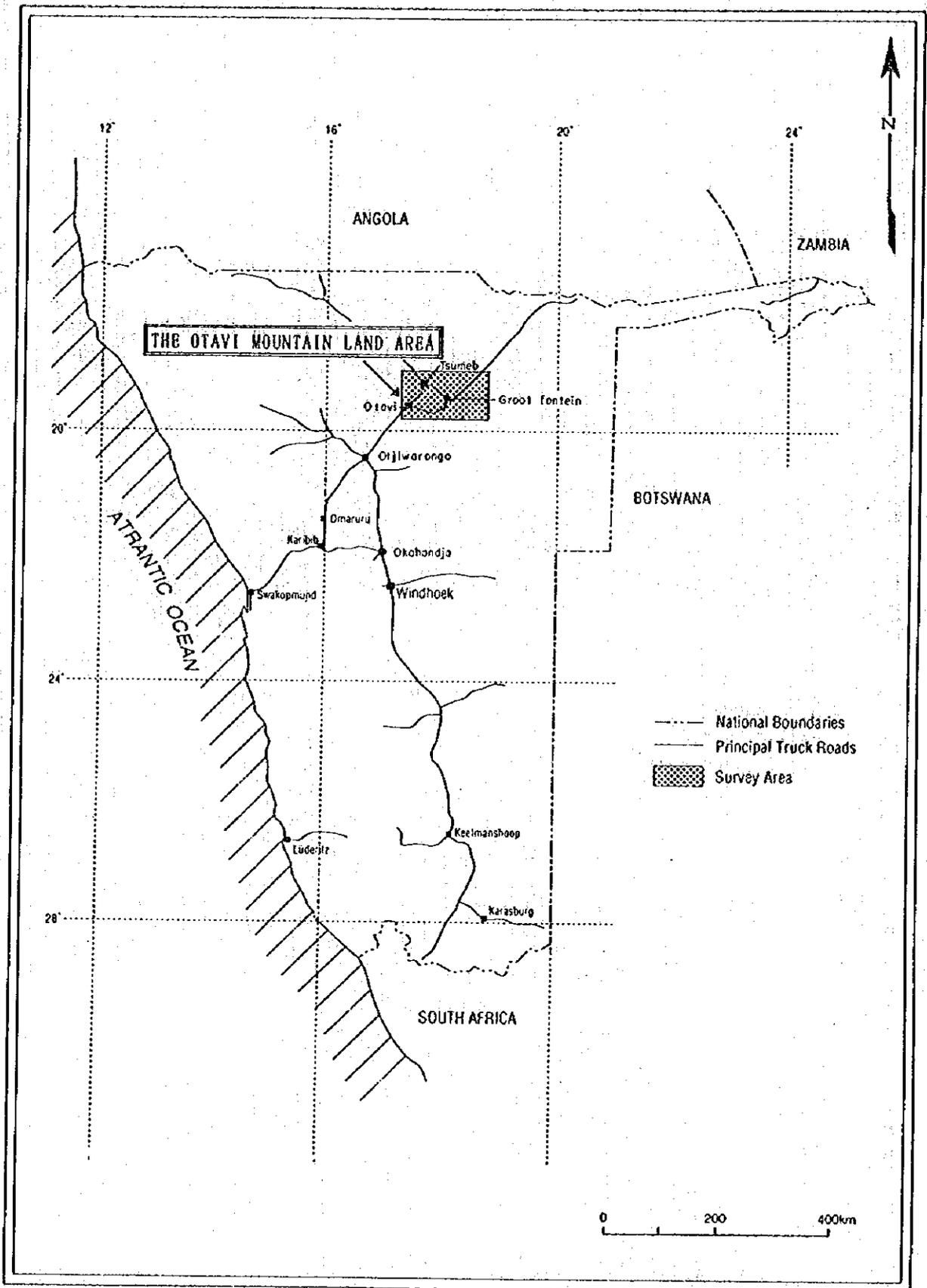


Fig. 1 -- 1 -- 1 Index Map of the Otavi Mountainland Area

要 約

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て実施された。

第1年次にあたる本年次は、既存データ解析、地質調査および空中物理探査を実施した。まず既存データから地質構造と鉱化作用の関係を解析し、鉱床モデルを想定した。地質調査ではコンパイル地質図を用いて代表的な岩相、層序および既知鉱徴を確認した。空中物理探査では磁気と放射能探査を実施し、得られた磁気異常や放射能異常と露岩地域の地質の対比を行った。この対比に基づき新期表層堆積物で被われた調査地域の、地下における地層分布や地質構造を推定した。さらに、鉱床賦存に好条件と考えられるリニアメントを抽出し、鉱床モデルと照合しながら鉱化ポテンシャルの評価を実施した。次にその結果の概要を述べる。

調査地域の既知鉱床や鉱化作用はいわゆるMississippi Valley 型鉱床に類似する点が多く、原生代上部Damara系Otavi層群の炭酸塩岩の中に発達したカルスト堆積物を母岩とする。鉱床は初期しゅう曲構造の二次的屈曲部付近の割れ目のよく発達した箇所で、NE-SW系断裂の近傍に位置すると考えられる。深部からの鉱液の通路はNE-SWないしはENE-WNW系の基盤岩内の構造に由来する断層や断裂系と考えられる。

空中磁気探査の磁気異常から、空中物理探査調査地域のうち表層を新しい堆積物で被われた南部において基盤岩コンプレックスの地下分布や断裂、変成岩やDamara系堆積物のしゅう曲構造を示すリニアメントが抽出できた。また東部や北部では基盤岩が深く、表層堆積物の下にDamara帯の炭酸塩岩が厚く堆積しているが、ここでもHulden層群の分布やOtavi層群のしゅう曲構造が浮き彫りにされた。同時におこなった空中放射能探査結果でも磁気リニアメントに整合的なリニアメントが抽出され、こうしたリニアメントが基盤の構造を支配する深層断裂系の一部であることを示した。

コンパイル地質図、鉱床モデルおよび空中物理探査異常によるリニアメントの解析から、既知鉱床の分布はTsumebの西をNE-SW方向に通るリニアメントおよびKombat-Harasib, Border, Khusib Spring-Abenabを通るNE-SW系断裂としゅう曲構造に伴われるいろいろな方向の割れ目の交点に規制されていると考えられる。

特にTsumeb, KombatではHulden層群の向斜構造が弓状に変化する頂部に位置していることは興味深い。したがって表層堆積物に被われた地域において、このような鉱床のポテンシャル評価基準にしたがって有望箇所を抽出し、第2年次の精密調査の計画を試みた。

目 次

	頁
はしがき	
調査地域位置図	
要 約	
第I部 総 論	
第1章 序 論	1
I-1-1 調査の経緯および目的	1
I-1-2 第1年次調査の範囲および調査の概要	1
I-1-3 調査団の編成	3
I-1-4 調査期間	3
第2章 調査地域の地理	4
I-2-1 位置および交通	4
I-2-2 地形および水系	4
I-2-3 気候および植生	4
第3章 調査地域の既存データ	5
I-3-1 既往調査の概要	5
I-3-2 調査地域の一般地質	5
I-3-3 調査地域の鉱業史	7
I-3-4 地質・鉱床	8
第4章 調査結果の総合考察	9
I-4-1 地質構造、鉱化作用の特性と鉱化規制	9
I-4-2 空中物理探査異常と地質構造、鉱化作用の関係	9
I-4-3 鉱床賦存の期待ポテンシャル	9
第5章 結論および提言	11
I-5-1 結 論	11
I-5-2 第2年次調査への提言	12
第II部 各 論	13
第1章 調査の手順	13
第2章 既存データ解析	15
II-2-1 地 質	20
II-2-2 鉱 床	24
II-2-3 空中写真判読	29
II-2-4 地化学探査	29

II-2-5	物理探査	30
II-2-6	ボーリング調査	31
II-2-7	フィージビリティスタディ	31
II-2-8	鉱区取得状況	32
第3章	地質調査	33
II-3-1	基盤岩コンプレックス	33
II-3-2	DamaraおよびKaroo/Kalahari系	33
II-3-3	断層およびリニアメント	36
II-3-4	鉱化作用	36
第4章	空中磁気探査	39
II-4-1	目的と手法	39
II-4-2	調査仕様	39
II-4-3	調査機器	39
II-4-4	データ処理と解析手順	41
II-4-5	測定結果と解析	43
II-4-6	物性測定	47
第5章	空中放射能探査	57
II-5-1	目的と手法	57
II-5-2	調査仕様	57
II-5-3	調査機器	57
II-5-4	データ処理と解析手順	57
II-5-5	測定結果と解析	58
第6章	総合解析および考察	65
第Ⅲ部	結論および提言	71
第1章	結論	71
第2章	第2年次調査への提言	72

参考文献
巻末

Fig. I - 1 - 1	Index Map of the Otavi Mountain Land Area	
Fig. I - 3 - 1	Regional Geologic Map of Namibia	6
Fig. II - 1 - 1	Flow Chart of the Survey	14
Fig. II - 2 - 1	Regional Geologic Map of the Otavi Mountain Land Area ...	19
Fig. II - 2 - 2	Location Map of Previous Exploration Activity	22
Fig. II - 2 - 3	Location Map of Known Mineral Showings	
Fig. II - 3 - 1	Location of Geological Survey and Airborne geophysical Survey	34
Fig. II - 3 - 2	Compiled Geologic Map	
Fig. II - 4 - 1	Flight Path Map	
Fig. II - 4 - 2	Flow Chart of the Aeromagnetic Survey	42
Fig. II - 4 - 3	Total Field Magnetic Intensity Map	
Fig. II - 4 - 4	Total Magnetic Reduced to the Pole Map	
Fig. II - 4 - 5	Magnetic Image Processing Products	45
Fig. II - 4 - 6	Magnetic Anomaly and Lineament Map	
Fig. II - 4 - 7	Distribution of Magnetic Susceptibility	51
Fig. II - 4 - 8	Relationship between Resistivity and IP Value	54
Fig. II - 5 - 1	Flow Chart of the Aeroradiometric Survey	56
Fig. II - 5 - 2	Radiometric Total Count Map	
Fig. II - 5 - 3	Uranium Radioelement Concentration Map	
Fig. II - 5 - 4	Thorium Radioelement Concentration Map	
Fig. II - 5 - 5	Potassium Radioelement Concentration Map	
Fig. II - 5 - 6	Radiometric Contour Ternary Map	
Fig. II - 5 - 7	Radiometric Anomaly and Lineament Map	
Fig. II - 5 - 8	U/Th Radioelement Ratio Map	61
Fig. II - 5 - 9	U/K Radioelement Ratio Map	63
Fig. II - 6 - 1	Compilation and Interpretation Map	69
Fig. II - 6 - 2	Location Map of Samples	

表	頁
Table I -1-1 Specifications of the Survey	2
Table II -2-1 Studied Literature in Phase I	15
Table II -2-2 Mineral Showings and Previous Exploration	17
Table II -2-3 Stratigraphic Succession in the Otavi Mountain Land Area...	23
Table II -3-1 Microscopic Identification of Minerals in Thin Section ...	35
Table II -3-2 Microscopic Identification of Minerals in Polished Section...	38
Table II -4-1 Specifications of Equipment	40
Table II -4-2 Boundary Points of the Survey Area	41
Table II -4-3 Geophysical Properties of Samples	48
Table II -4-4 Acquired Values of Resistivity and IP of Samples	50

巻末資料

- A-1 Photographs of the Survey
- A-2 Microrphotographs of Thin Section
- A-3 Microphotographs of Polished Section

付帯資料

- 地質調査ルートマップ
- 岩石および鉱石サンプル
- 岩石薄片および鉱石研磨片
- フロッピーディスク

第 I 部 總 論

第I部 総論

第1章 序論

I-1-1 調査の経緯及び目的

本調査は平成7年度から3年間継続するもので、今年度はその第1年次にあたる。調査の対象となったオタヴィ・マウンテンランド地域は、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、本年度は既存データ解析および空中物理探査を実施し、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る。

I-1-2 第1年次調査の範囲及び調査の概要

調査地域の位置をFig. I-1-1に示す。本年度各調査の概要は次のとおりである。

I-1-2-1 既存データ解析

ナミビア共和国鉱山エネルギー省地質調査所に保管され、閲覧可能な過去の探鉱鉱区における地質、物理探査、地化学探査、ボーリング探査および鉱山・鉱微地の資料等から既知探鉱状況および既知鉱微地等について位置図および一覧表を作成した。これらを解析し、本地域の鉱床賦存モデルと鉱床胚胎ポテンシャルに重要な地質的条件を想定した。

I-1-2-2 地質調査

衛星画像を使って露出状況をみながら、既存データ解析で作成したコンパイル地質図をもとに各層の代表的岩相と走向・傾斜を確認し、地層の境界を把握した。断層・断裂系については衛星画像上では判読できるリニアメントが殆どなかったため露頭次元で認められる断裂・割れ目および断層に注目して調査を実施した。

鉱床調査については稼行中のTsumeb、Kombat両鉱山の坑内見学の間機会を得て鉱床賦存の状況を観察し、室内試験に必要な試料を採取した。その他の鉱微地については土地所有者の立ち入り許可を得て調査を実施した。

I-1-2-3 空中物理探査

空中物理探査は現地の飛行・測定作業を現地物理探査コンサルタント会社のGEODASS社に委託

し、逐次データを現地解析した異常図を現地地質調査のルート選定に利用した。

空中磁気法および空中放射能法（ γ 線）により、調査地域の磁性岩体および放射性岩体の分布を把握し、表層堆積物の下部の地質構造を解明することにより、鉱床胚胎の期待される有望な地質構造の箇所を抽出した。

調査内容は、Table I-1-1 に示すとおりである。

Table I-1-1 Specifications of the Survey (1)

調査内容	調査項目および数量
既存データ解析	7日間
地質調査	14日間
空中物理探査 (磁気および放射能)	面積 5,000 km ² 測線 26 km/測線×130測線 54 km/測線×401測線 測線延長 25,034 km タイライン 2,484 km

Table I-1-1 Specifications of the Survey (2)

	試験項目等	数量
地質調査	① 岩石薄片作成 ② 鉱石研磨片作成 ③ 物性測定 (帯磁率・比抵抗・分極率)	10 件 20 件 30 件

1-1-3 調査団の編成

本調査推進のため、調査計画、協定の折衝および調査に参加した調査団員は下記のとおりである。

調査計画および折衝：

日 本 側			ナミビア共和国側	
中村 研治	金属鉱業事業団		H. Shimutwikeni	鉱山・エネルギー省
桑山 広司	通商産業省		Brian G. Hoal	地質調査所
両角 春寿	金属鉱業事業団		Gabriele I. C. Schneider	地質調査所
			Herbert Roesener	地質調査所

現地調査団：

日 本 側		ナミビア共和国側	
樟崎 哲夫 (技術責任者・ 既存データ解析・ 地質調査)	同和工営株式会社	Herbert Roesener	地質調査所
狩野 嘉昭 (既存データ解析・ 空中物理探査)	同和工営株式会社		

現地指導監督：

北 良行 金属鉱業事業団

1-1-4 調査期間

調査は下記の工程で実施された。

- 現地調査 : 1995年 9月16日～ 1995年11月16日
- 既存データ解析 : 1995年 9月20日～ 1995年 9月26日
- 地質調査 : 1995年 9月27日～ 1995年10月27日
- 空中物理探査 : 1995年 9月27日～ 1995年10月27日
- 現地解析・露頭調査 : 1995年10月28日～ 1995年11月12日

第2章 調査地域の地理

1-2-1 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を經由して走行距離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。

1-2-2 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Onatoko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。

1-2-3 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。

第3章 調査地域の既存データ

I-3-1 既往調査の概要

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)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. Chaplin 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。

I-3-2 調査地域周辺の一般地質

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。南部ではポーフイ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

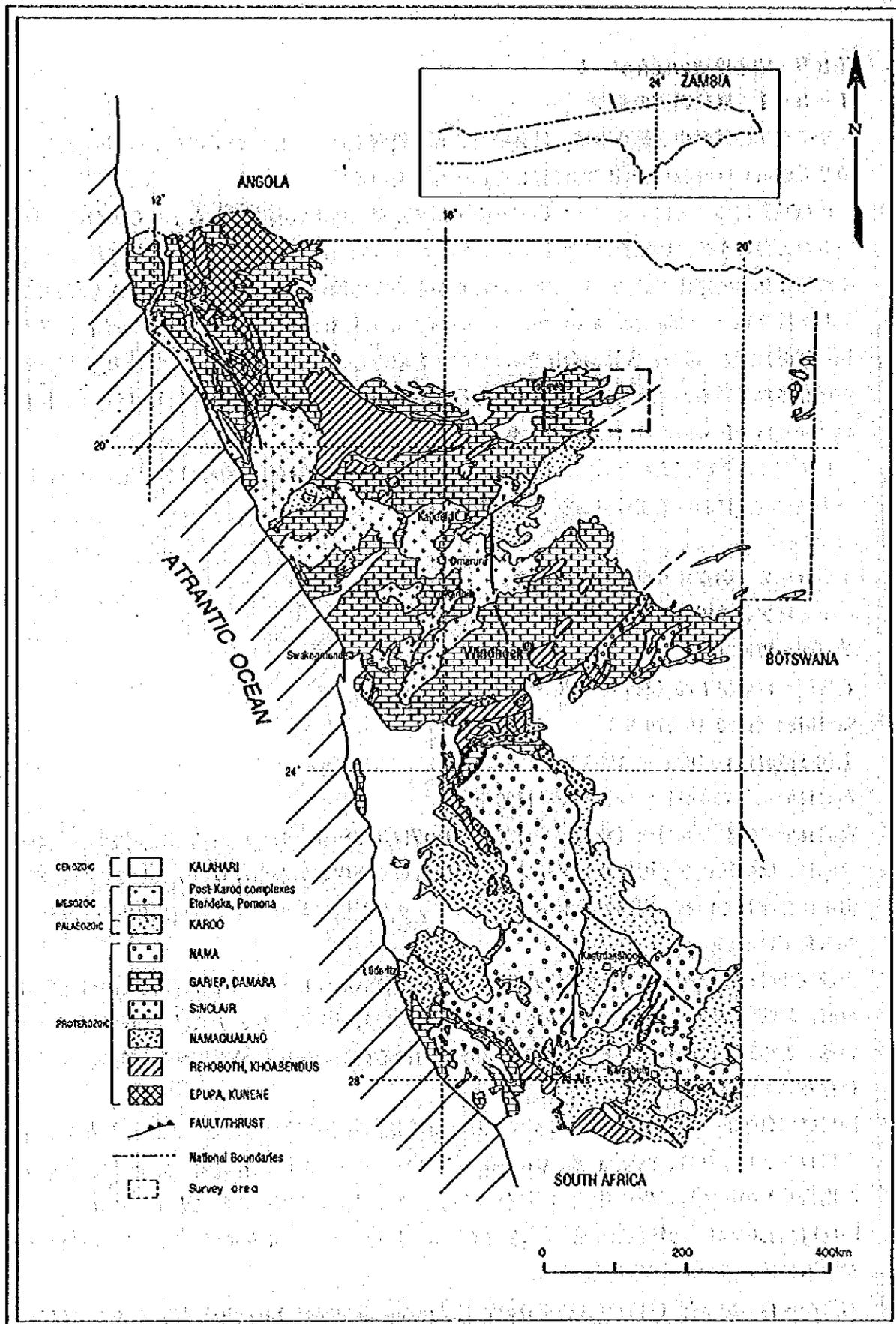


Fig. 1 - 3 - 1 Regional Geologic Map of Namibia

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。

本調査地域は上記Namibian期のDamara帯に属し、Vaalianから下部Hokolian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。

I-3-3 調査地域の鉱業史概略

ナミビアの近代鉱業は1855年のMatchless銅鉱山の開発から始まる。Tsumebの露頭も現地先住民には知られていたが、1892年 Mathew Rodgersによって初めてヨーロッパに紹介された。1900年には Otavi Minen und Eisenbahngesellschaft (OMEG)を設立し、1905年には生産が開始されている。

1905年から1990年の間、Tsumebでは実に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。

1908年 Otavi-Grootfontein間の鉄道が完成するとOMEGはGuchab鉱山を再開し、現在のKombat西部の探査を開始とTsumebにかけて点在する鉱徴地の探査・開発を試みた。第1次世界大戦が始まって直後、この地域にバナジウム鉱床も発見されたがドイツの敗戦でイギリス (South West Africa Company) が再びこの地の鉱業権を獲得、1924年末、Berg Aukasバナジウム鉱床の開発に至る。1947年第2次大戦の戦後処理の中で7社からなる債権国組合Tsumeb Corporationが設立されTsumeb鉱山の再建と製錬設備の導入に取り組む一方、探鉱も継続され、1956年ダイヤモンド試錐で現在のKombatの一端に着鉱、1962年生産開始した。その後の探鉱は西方へ移り、新鉱体の発見が続いた。

ナミビアは1992年に新しい鉱業法Minerals(Prospecting and Mining)Actが制定され、1994年に公布された。この法律によれば鉱業権は国家に属することになり、探鉱や鉱業生産には政府の許可が必要となる。ライセンスはlarge-scale prospecting、Small-scale prospecting、mining activitiesに区分されている。また、この法案は鉱業投資契約、鉱産物輸出手続き、環境保護についても規定している。

調査地域は未曾有の銅・鉛・亜鉛の鉱床地帯であり、過去広い範囲で多くの鉱山会社やJ/Vによって探鉱が継続されてきた。中小規模のものも含めてかなりの鉱床が稼行されたが、現在はTsumebとKombatの2鉱山がいずれもTsumeb Coporation Limited(TCL)社によって稼行されているだけである。Tsumeb鉱山は100年におよぶ長い歴史を有するが近年、品位低下と埋蔵鉱

量の枯渇に直面し、ついに今年閉山の予定である。このTsumeb鉱山には銅と鉛製錬所が附属しており、将来この製錬所に給鉱すべく開発を待っている鉱床が2、3あるがいずれも小規模であり、Kombat鉱山の探鉱成果に期待するところが大きい。

I-3-4 地質・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Kulden層群のモラッセ型堆積物である。

また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 調査結果の総合考察

I-4-1 地質構造、鉱化作用の特性と鉱化規制

調査地域を含むDamara帯の北部プラットフォーム帯ではMulden層群が堆積する前から炭酸塩岩のしゅう曲作用が始まり、層内すべり帯やしゅう曲軸面に平行な断層など浅い断層帯が形成され、カルスト形成の原因となったと考えられる。こうした地殻浅所の割れ目の起源はしゅう曲運動で形成され深所からの鉱化流体の通路や鉱床生成の場ともなった。

一方、浅所まで鉱化流体を導いた深層断層はドロマイト層の下位の基盤岩の構造に規制されていると考えられる。調査地域の基盤岩コンプレックスのmetasedimentの走向やこれを切る岩脈の走向から深層断層はNE-SW系およびNNE-SSW系が考えられる。これらの一部は当時の古地表まで達したのもあったかも知れない。Damara帯の基盤岩域の構造についてはリフト帯の形成時からNE-SW系が顕著であり、これに斜交するNNE-SSW磁気リニアメントも認められる。(Corner B. 1983)

地殻浅所の断層系については後のしゅう曲変形運動に関連したものも含まれる。その断層や割れ目の集中する構造的場は二次的しゅう曲構造の頂部が重要で、その方向性については軸面に平行なEW系ないしENE-WSW, WNW-ESEとこれに斜交するNW-SE系が認められる。このように鉱床生成の場は深部のNE-SWないしNNE-SSW系構造線と浅所のEW系ないしENE-WSW, WNW-ESEとこれに斜交するNW-SE系断層や割れ目帯に規制されていると考えられる。

I-4-2 磁気異常、放射能異常と地質構造、鉱化作用の関係

空中磁気探査の結果から、空中物理探査地域（以下調査地域）はENE-WSW～E-W系の明瞭なリニアメントを境に、南半分の、基盤岩が比較的浅い区域と北半分のDamara系が厚く堆積している区域とに区分される。このリニアメントによる磁氣的なコントラストは大きく、これが深層に達する断層である可能性を示唆している。

Tsumeb亜層群とMulden層群との不整合面境界は磁気異常からは、僅かな磁気コントラストをもっており、地質図とよく対比される。鉱床はこの境界近くの古カルストに形成されていることから、この層境界は重要である。この異常は連続した湾曲部を持つリニアメントとして捕捉でき、探鉱における1つの指標であると考えられる。

空中放射能探査の結果では、主に露岩地帯で岩相の差に起因する放射能値の変化が捉えられた。Abenab、Khusib Springs鉱床はこの岩相境界を示すNE-SW系のリニアメントの近傍にあることが分かった。

I-4-3 鉱床賦存の期待ポテンシャル

既存鉱床の成因モデルと磁気・放射能リニアメントとの関係から、探鉱対象をTsumeb・Kombatのようなパイプ状、塊状硫化鉱床に限定し、調査区域の鉱化ポテンシャル評価を試みた。評価の基準として次の4つを用いた。

- (1) 波長数Kmオーダーのしゅう曲構造の軸部およびしゅう曲軸の屈曲部付近のTsimeb垂層群ドロマイトとMulden層群との不（あるいは非）整合面（以後TM境界と呼ぶ）付近。
- (2) NE-SW系およびENE-WSW系磁気・放射能リニアメントとTM境界とが交差している箇所。
- (3) 基盤岩構造の大きな変曲点とTM境界。
- (4) TM境界付近の小規模な磁気異常。

このように(1)～(3)の基準が重なった地点では特に鉱化ポテンシャルが高いと判断される。(4)は補足的基準であり、単独では評価に用いていない。この結果、7箇所のポテンシャル地域を抽出した。そのうちAbenabの北東20kmのAregoas 282 FarmおよびAbenabの北6KmのCleveland 706 Farmが最も高いポテンシャルをもつと考えられる。

第5章 結論および提言

I-5-1 結論

第1年次の調査は既存データ解析、地質調査および空中物理探査よりなる。これら調査結果の結論を次に述べる。

1. 調査地域の既知鉱床や鉱化作用は、いまだ議論の余地はあるが地質背景をはじめとして、いわゆるMississippi Valley Type鉱床に類似する点が多い。
2. 鉱床の母岩は原生代上部Damara系Otavi層群の炭酸塩岩の中に発達したカルスト堆積物である。
3. このカルスト堆積物は炭酸塩岩の非整合ないしは不整合面上に堆積した砂質岩で透水性が大きく、浅所での鉱化塩水の通路となった。
4. 調査地域のDamara系は数回の変形運動を受けており、ほぼ東西系の軸をもつ向斜背斜の繰り返しが見られる。後期の変形では東西の圧縮を受けて初期のしゅう曲軸の変曲が見られる。
5. このようなしゅう曲構造や基盤岩コンプレックスの分布は基盤岩内部に発達するNE-SWないしはENE-WSW系の断層に支配されていると考えられる。基盤岩内の構造に由来する断層や断層系は深部における鉱化流体の通路として重要である。
6. 空中磁気探査の磁気アノマリーから、空中物理探査調査地域のうち表層を新しい堆積物で被われた南部において、基盤岩コンプレックスの地下分布や断層や変成岩のしゅう曲構造を示すリニアメントが抽出できた。
7. 東部や北部では基盤岩が深く、表層堆積物の下にDamara帯の炭酸塩岩が厚く堆積しているが、ここでもMulden層群の分布やOtavi層群のしゅう曲構造が地層に沿った細かい磁気異常によって追跡可能である。
8. 同時におこなった空中放射能探査結果でも磁気リニアメントに整合的なリニアメントが抽出され、こうしたリニアメントが基盤の構造を支配する深層断層系の一部であることを示している。
9. 以上の見地から既知鉱床の分布はTsumebの西をNE-SW方向に通るリニアメントおよびKombat-Harasib, Border, Khusib Spring-Abenabを通るNE-SW系断層としゅう曲構造に伴われるいろいろな方向の割れ目の交点に規制されていると考えられる。
特にTsumeb, KombatではMulden層群の向斜構造が弓状に変化する頂部に位置していることは興味深い。
10. したがって表層堆積物に被われた地域において、同様な地質的条件をもつ地区をTsumebやKombatと同タイプの鉱床のポテンシャル地区と考え、次の段階の精密調査へ移行することとしたい。

I-5-2 第2年次調査への提言

第1年次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、次のような第2年次調査を提言する。

III-2-1 調査箇所 (位置は空中物理探査調査地域を緯度、経度方向に5分毎に区分し、それぞれにA~L, 1~6を与え、区画によって表示した。 Fig. II-6-1参照)

優先順位にしたがって次の7箇所が第2年次調査候補地域として挙げられる。

- (1) G3中部 域: Aregoás 282 地内
- (2) E3/E4境界域: Cleveland 706 地内
- (3) B3北東 域: Aarhus 659 および Accra 660 地内
- (4) H3北 域: Guinab 277 地内
- (5) D4北 域: Cadix 678 および Christiana 705 地内
- (6) G2南 域: Vogelsang 284 地内
- (7) D3中部域 域: Demerara 699 地内

III-2-2 調査手法

探査対象とする鉱床型を平断面が50m×150m程度のパイプ状塊状銅・鉛・亜鉛-硫化物鉱床とし、その潜頭深度を50mないし100mと仮定した場合、比抵抗コントラストに注目した比抵抗法が適している。現地の地表状態などを考慮して、比抵抗法の中でもTDEM (時間領域電磁法) が最適であると思われる。

コイル配置: 水平・垂直探査の可能なインループ配置でループサイズは100~200m正方とし、格子状に測定を行う。

以上の地表物理探査の結果に基づきボーリング調査への継続が望まれる。

第 II 部 各 論

第Ⅱ部 各 論

第1章 調査・解析の手順

第1年次の調査の目的を第2年次精査地域のターゲットの絞り込みにおいた調査の手順、解析の手法をFig. II-1-1に示す。

既存データの解析では、調査地域の代表的な鉱床のタイプの特徴を把握すること、過去の探査実績から民間による既往探査の範囲と有効な手法を知ること、あるいはそのためのデータを収集することに調査の重点を置いた。

広域的な鉱床探査の段階での鉱床規制胚胎要素を把握するために、ナミビア地質調査所や民間鉱山会社の探査技術者からの情報、意見交換も計画した。

地質調査では空中物理探査、特に空中磁気探査結果の解析のための帯磁率測定用試料の採取をはじめ各種物性測定用試料を採取しつつ、磁性岩体の分布に注目することとした。一方、稼行中の鉱山の鉱床調査を計画し、鉱石試料の採取を計画した。

以上のデータから空中磁気探査異常の起源を推定し、鉱床胚胎を規制する地質構造要素を抽出した。同時に空中放射能探査異常の特徴を磁気異常と重ね、地質構造解析の一助とした。

既存資料調査・解析

項目	手法・解析の内容
地質構造史	分献による
地質層序	分献による
地質構造	衛星画像による
鉱床のタイプと分布	Danara構造帯：塊状硫化物鉱床 (Cu) とシット-N'-V-型 (Pb, Zn, Cu)
鉱床生成の場	
層準規制	ドロマイト層 カルスト地形
構造規制	WNW-ESE Fault?
探査史	
地化学探査	指示元素 (Pb, Cu, Znなど)
物理探査	重力探査、空中物理探査 (磁気、放射能、電磁法) 電気・電磁探査 (比抵抗、IP法)、各種検層 (電気、磁化率、放射能等)
物性測定データ	帯磁率、比抵抗、分極率、放射能強度、密度、有効孔隙率

地質調査

地質層序の確認	ルートマップ作成、岩石型、岩相の把握 (薄片用、研磨片用、物性測定用サンプルの採取)
地質構造の確認	カルスト古地形の確認
鉱床調査	主要鉱山や露頭を調査。鉱床の母岩、鉱床胚胎の場を規制する構造、褶曲、断層、堆積層の境界などを把握。 カルスト地形形成の場を確認。断層帯における γ 線強度、BG強度
被覆層分布地域の調査	新しい表土層に覆われている地域の基盤地質の予想

空中物理探査

磁力探査	アノマリーの起源	<ol style="list-style-type: none"> 1. 基盤岩体の種類 大きな磁気異常パターンから推定 2. 基盤岩体の深度→大まかな地質構造 3. 断層 or リニアメント、鉱床母層付近の磁気異常 特有な磁気異常の把握 (小規模単独、線状等の磁気異常の幅、波長、振幅など) →表土層被覆地域における有望地区の特定
放射能探査	アノマリーの起源	<ol style="list-style-type: none"> 1. 基盤岩体の種類 2. 深い断層、リニアメント

Fig. H-1-1 Flow Chart of the Survey

第2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-2-1, Table II-2-2 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-2-2 と Fig. II-2-3 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-2-1 Studied Literature in Phase (I)

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-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 探鉱鉱業権者 ETOSHA PETROLEUM CO.	
150 ETOSHA PETROLEUM CO.	
192 ETOSHA PETROLEUM CO.	5 鉱区分
193 ETOSHA PETROLEUM CO.	
162 ETOSHA PETROLEUM CO.	

Table II - 2 - 1 Studied Literature in Phase (2)

Grant	Company name	Commodity	No. of document	Title of the document	Method	Date of issue
No. 19	ETOSHA PETROLEUM(PTY) LTD	Base metals		A Data Integration and Petroleum Evaluation of the Etosha Basin Concession Namibia Aeromagnetic Survey Acc Progress Report No.5 Geologic Report on the Etosha Basin A Geochemical Comparison of Some Crude Oil from Pre-Orbo Carbonate rocks Seismic-Interpretation Report in the Oponono & Ondangwa Area Aeromagnetic Survey Second Derivative 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	general geophysics geology geochemistry geophysics geophysics seismic, aerogravity aeromagnetic	1990/Jul 1963/Jan 1980/Dec 1991/Mar 1963/Jan
	OVERSEAS PETROLEUM & INVESTMENT CORPORATION NAMIBIA					
	ELAND EXPLORATION(PTY) LTD		M463193	Geochemical Anomaly Map		1970/Dec
	ELAND EXPLORATION(PTY) LTD		M463193	DDH Logging Scheet		
	ELAND EXPLORATION(PTY) LTD		M463193	IP method exploration Progress Report on Border Property District Grooffontein first to third	geophysics	1972/Nov
	ELAND EXPLORATION(PTY) LTD			Proton Magnetometer Survey		
192	ETOSHA PETROLEUM (PTY)LTD	Cu/Pb/Zn		Geochemistry and Airphoto interpretation		
193	ETOSHA PETROLEUM (PTY)LTD	Cu/Pb/Zn		Fluid Inclusions & Ore Genesis in the Otavi Mountains S.W Africa. by P.J.M.Ypma Stream Sediment Samples, Eland Exploration Gravity Map Resistivity Survey on the Border Property	geology geophysics	1968/1973/1976-79 1970/Apr 1970/Jul
162	ETOSHA PETROLEUM (PTY)LTD	Cu/Pb/Zn		Trenching & Diamond Drilling 2nd Progress Report on Border Property 3rd Progress Report on Border Property 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 - 2 - 2 Mineral Showings and Previous Exploration

No.	鉱山・鉱産地名	位置	母岩・層序・地質構造	鉱化作用	鉱種・鉱石鉱物	探鉱実績・結果	生産実績	参考文献
1	Vitab	Uitsa 654	Elandshoek 1' 771 (11, 15)	N-NW 断層	V-Cu-Pb-Gn, Cer, Pn		Open pit 800t	Willense et al 1944
2	Gross Otavi	Baltika 515	Otavi 向斜 (Buttenberg 層) 1' 771	1) 断層-断層 / 2) NS 系 断層 / 3) Sand sack 地表下 69-110m	V-Cu-Sp, Sm	1931 発見	1931-1942 積出 5820t V205: 9%	Isunab Corporation 1989
		Andvord 518	Buttenberg 層 1' 771 / 千枚岩境界部		Pb-Cu-V		出鉱 157,000t Pb: 5.65% Cu: 1.54%, Ag: 15g/t	
		Auros 595	チャート層内の断層	夏季規模の鉱化延長 2km	V-Cu-Zn±Pb			
	Gross Otavi	Sonnerau 757	Maieberg 層 1' 771	鉱化状	Pb		1939-1941 輸出 571t Cu: 36.8% 流通 1428t Cu: 12.8% 積出 96t Cu: 17%	Forst 1973 Isunab Corporation 1978
3	Abenab West	Abenab 707	(Abenab 層) Auros 層 1' 771 角レキ帯	NE 系 断層 1' 771 の本断層 15m 320-380m PbZn 鉱化物層 1V 厚さ 1m 走向 180m 地表深部: 厚さ 20m の層延長 15m Pb+Zn: 2% 東部 Zinc reef	V-Zn-Desclorite -Wil, Cer		1939-1958 ~1952 産出 積出 25412t Pb: 58%, V205: 5% 浮選 積出 5939t Pb: 51%, V205: 13%	Verwoerd 1957
				Okarundu バイブ	Abenab の西 2.5km	石灰岩 / 1' 771	V-Ds	
4	Abenab		Maieberg 層 石灰岩 / 1' 771 境界部の断層	角レキ帯 / 1' 771 の赤色粘土 地表下 425m	V-Ds	1920 発見	1922-1948 積出 136万t 積出 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 層 1' 771 の Gauss 層 最下位 1' 771 ~ Berg Aukas 層	逆断層 / 断層 / 断層	V-Pb-Zn-Ds, Mottramite -PbZn 鉱化物 二次鉱物: Ds, Willemitite	1957 ~ 探鉱開始	1967-1975 積出 160万t Pb: 4.04%, Zn: 16.77% V205: 0.93% 1977 積出 165万t	Phirian 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 / 1' (QSP)	1' 771 に 鉱化	Cu-Ce, Mal-Py		1910-1912 積出 742t Cu: 9.7% 1990 積出 52964t 積出 116万t Cu: 1.88%	Ferreira, Zwanziger 1971, Rowe 1972, Blaine 1973 Gold Fields Namibia 1990, 1991 Isunab Corporation Ltd 1978 Veldsman 1977
7	Tschudi	Tschudi 451 Uris 481	Tschudi 向斜 南縁, Mulden 層 1' 771 基底の砂岩と珪岩 NS 系 断層 断層を切る	走向 2500m, 傾斜 42m 浅所 珪岩化 Cu 鉱化物は 1' 771 上 4-5m に 産する 地表から 80m 以内に 珪化物 断層	Cu-Mal, Cup, Az, ±Ce, Co	1968 発見	積出 57万t Cu: 0.72% Ag: 11g/t	Venter 1976
8	Orijikoto 山 / 1' 771	Tsumeb の西 13km	Buttenberg 層 珪岩 断面 断面, 地層のすべり帯 Tschudi 向斜 南縁, 1' 771 断層と方解石化 (QSP)	走向 70m, 傾斜 60-70° Cu 珪化物 走向 延長 3km	Cu-Zn-Mal, Ce, Az, Cr, Cu-Pb-As, Cup	土壌地化学 Cu-Pb 異常	1939 Cu 探鉱	
9	Alt Bobos Karavatu Tonnesen Uris	Uris 481 Uris 481 Bobos 544 Tsumeb	Buttenberg 層の 1' 771, NS 角レキ帯 Sand sack 型 Elandshoek 層 Buttenberg 層 1' 771 伏降帯の角レキ帯	鉱化状	V-Cu-Zn-CuS, Gn, Ce, Sp		積出 高品位 V205: 18.75%, Pb: 45.57% Cu: 9.99%, Zn: 4.12%	ICL 1978 Schneiderhohn 1921 Schwellnus 1945 Veldsman 1977
				10	Asis Ost	Kombat の東 2km	1' 771 方解石化, 角レキ化 Otavi 千枚岩から 130m 北	
11	Guchab 山		Elandshoek 層 E-W 系, NE 系 断層	走向 1.5km 傾斜 150-300m Cu 鉱化は 方解石化, 珪化	Cu-Mal, Co, Planchite, Diopside	1893 調査開始 1900 OMS 探鉱 1955-1975 1' 771 278m	1910-1915 Cu-Pb 600t 1974-1976 積出 34913t Cu: 1.26%, Pb: 0.25%	Gold Field Namibia 1990
12	Schlangental 山 / 1' 771	Guchab の西部		ENE 系 珪化 Jasperoid			1908-1911 輸出 2540t	ICL 1978
13	Rodgerberg 山			Guchab と同じ	Cu-Diopside		1924-1927 積出 6800t Cu: 10% 輸出 1980t Cu: 36%	ICL 1978
14	Deutsche Erde 地域 Deutsche Erde Hagestolz Elefantenberg Ondjondjo Elefantenberg Nord		Elefantenberg 背斜の北縁, Abenab 層 1' 771 の基底 Nosib 片岩 Tsumeb 層 1' 771 下部	10-50cm x 30m Cu 異常-走向 350m, Pb+Zn 異常は 8000m Cu: 100-250ppm	Cu Cu-Pb-Zn	1975 土壌地化学		Mueller 1975
15	Neuwerk 山 / 1' 771	Neuwerk 507 の北西部	Neuwerk 背斜 南縁, Askeveld 層 (epidosite) Nosib-Abenab 層 1' 771 境界部	Cu 異常 200ppm 以上 4km 延長 珪化 1' 771 伏降帯 150m	Cu-Bo, Cp, Ce, Mal Cp	1' 771 100m 1' 771 結果 Cu: 0.5m 0.41%, 5.0m 0.18% 1' 771 5本結果 Cu: 2.8%, 170000t 4.0m x 100m x 150m	1973, S2m 立坑 探鉱	
16	Otaviberg 南部 地域		Nosib 片岩と Abenab 層 1' 771 境界部 / 1' 771 / 石灰岩	地化学 異常	Cu-Mal, Bo, Ce, Cp	土壌地化学 1' 771 3本, 1968 Askeveld South Cu: 1.2% 300000t		
17	Finsterbergen 山 / 1' 771	Tsumeb の西 43km	Tsumeb 層 1' 771 上部, 層内に平行な断層と NE 系 断層	走向 70m Cu: 0.33%, Pb: 0.07%, Ag: 10g/t		土壌地化学		Rawle & Lee 1972 Ferreira, Zwanziger 1971
18	Olifantsfontein 地域 South ridge Pickaxe Tiger tunnel Butterfly Oogleg Ilambone		Harasib-Olifantsfontein 向斜, Elandshoek 層	ベネチア 石英 clast-supported 珪化 角レキ	Pb-Zn-Cu-Gn, Sp, Sm, Zc, Ce, Mal +Ds	1' 771 17本 1' 771 109本		King 1990
			Maieberg 層の石灰岩 / 1' 771 境界部の 1' 771 / 断層 石灰岩 / 1' 771 断層に 珪化					
19	Nosib 山	Nosib valley	Maieberg 層の石灰岩 / 1' 771 境界部の 1' 771 / 断層 石灰岩 / 1' 771 断層に 珪化	清燐 珪化, 珪岩 珪化	Pb-Zn-Cu-V-Ce, Sp, Gn+Ds	1915 発見	1920 まで 生産 地表下 120m まで 開採	
20	Nosib Block III	Nosib Block III 655	Elandshoek 層の 1' 771 角レキ帯, Gauss 層, 中部 Auros 層		Pb-Zn	1' 771 17本 結果 積出 1-6m Pb: 0.1-8.0% Zn: 0.1-5.7%		
21	Nosib Block 648	Harasib I	Elandshoek 層 Karuchas 層		Pb-Zn-V-Gn, Sp		立坑と露天掘, 探鉱 V 鉱 18450t Pb: 7% Zn: 13.5%	Paverd 1976
22	Dr. Ichoek 768 Gauss 46 Border 山 / 1' 771	Kombat の北 15km Toggenburg 591	Abenab 層 1' 771 の 1' 771 Tsumeb 層 1' 771 下部の地層 / 1' 771 の上部の角レキ帯	1' 771 伏降帯 Pb: 2.4%, Zn: 3.10% 310° 走向の断層に 珪化	V-Pb-Zn Cu-Pb-Zn-Sp, Gn ± Cp, Tet, Py	1' 771 結果 積出 30万t 1' 771 Pb+Zn: 5.8%		Klugman 1959, 1970

Gn: Galena Cer: Cerussite Pn: Pyromorphite Sp: Sphalerite Wil: Willemitite Ds: Descloizite Ce: Chalcocite Mal: Malachite Py: Pyrite Cup: Cuprite Az: Azurite Co: Covellite Cr: Chrysocolla Sm: Smailsonite Tet: Tetrahedrite Zc: Zincite

II-2-1 地 質

II-2-1-1 広域地質

ナミビアの地質は剛塊周辺部の楕状地と構造運動を伴った地向斜帯に大きく区分される。ナミビア北部には1600Maから安定化したコンゴ地塊の一部が楕状地として分布する。南部には1100Maから安定したカラハリ剛塊の一部が楕状地となって分布する。この楕状地の間にDamara地向斜が形成され、これが汎アフリカ造山によって陸化した。

北部楕状地にはVaalian系やMokolian系の変成岩類が、南部楕状地にはMokolian系の変成岩類が分布している。Damara地向斜にはNamibian系が分布している。(Fig. I-3-1)

Geological Survey of Namibia(1982, 1988)やThe Geological Society of South Africa(1985)ではナミビアの広域地質図が表されている。これらによれば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 (1000-570 Ma)
- ・ 上部 Mokolian (1800-1000 Ma)
- ・ Vaalian～下部 Mokolian (>2100-1800 Ma)

このうちナミビア北部では、Damara帯は大陸内部のリフトの形成、陸塊の分裂と拡大、サブダクションと大陸の衝突など一連のテクトニズムの背景に基づいてさらに7つの構造区(The Mineral Resources of Namibia 1995)に区分される。そのうち北部プラットフォーム帯を中心とした構造史を次に述べる。

(1) リフト期

900-1000Maでは地殻の裂け目に幅50-70kmの内陸性トラフができ、ここに厚さ6kmの陸成堆積物が堆積し流紋岩およびアルカリ火山岩が活動した(Nosib層群)。堆積物は主にレキ岩、アルコース砂岩である。上部では海進が支配的になる。

(2) 地殻熱低下期

約830MaにはDamara堆積盆は基盤の高いところも埋まる程拡大し、北部プラットフォーム帯を形成した。この浅海性陸棚であるプラットフォームにはOtavi層群を構成する厚いストロマトライト質ドロマイトや石灰岩が厚く堆積した。プラットフォーム帯の南ではSwakop層群の基底部に陸成堆積物や炭酸塩岩の地層が認められる。

(3) 地殻沈降期

プラットフォーム帯の南ではユウ地向斜ブリッシュ型の堆積作用が進行した。Khomas亜層群では延長500kmにおよぶMatchless角閃岩を含む。プラットフォーム帯以北では570-669MaのKulden層群に代表される浅海性のモラッセ相が堆積した。これは南部ではNama層群に対比される。

II-2-1-2 調査地域の地質と地質構造

調査地域の概略地質図および模式層序表をFig. II-2-1 とTable II-2-3 に掲げる。先述したように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、Vaallanから下部Hokollan期の基盤岩の上の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Chuos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。

Chuos層はディライト・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層と呼ばれれき岩、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。

17°15'E

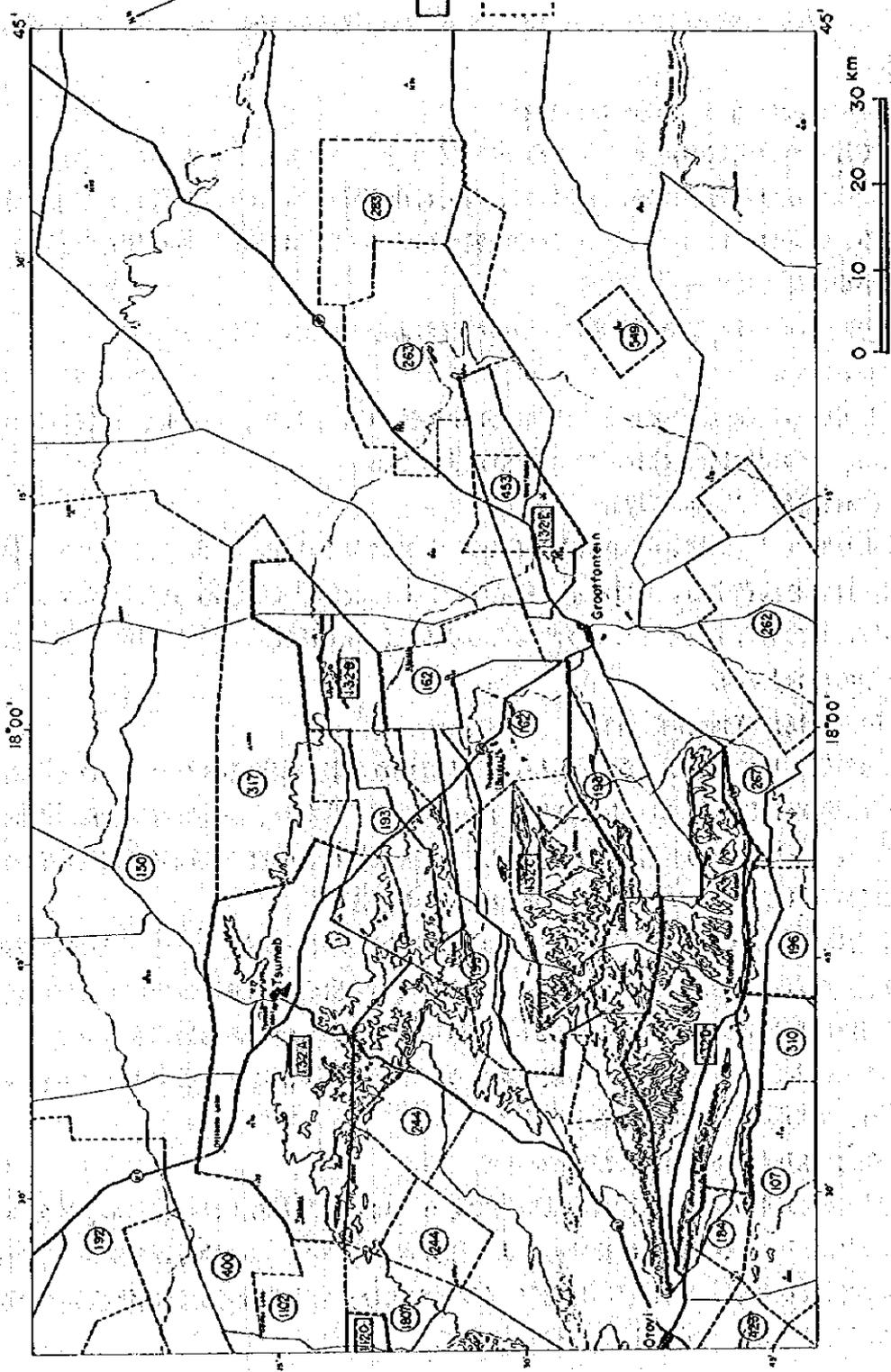


Fig. II - 2 - 2 Location Map of Previous Exploration Activity

Table II - 2 - 3 Stratigraphic Succession in the Otavi Mountain Land Area

Sequence	Group	Subgroup	Formation	Informal Lithozone	Lithology	Average thickness (m)		
Damara	Mulden		Kombat and Tschudi		Kombat Formation: slate; sub-arkose and pebbly sandstone near base Tschudi Formation: feldspathic sandstone, sub-greywacke; argillite and conglomerate interbeds in basal portion	> 700		
			Disconformity					
	Otavi	Tsumeb	Hüttenberg		T8	Dolomite, bedded light to medium grey; oolitic chert and stromatolite layers near top	240	
					T7	Dolomite, bedded dark grey; limestone, shale and chert interbeds	300	
					T6	Dolomite, bedded light grey; abundant chert; stromatolite interbeds in lower part	300	
			Elandshoek		T5	Dolomite, bedded and massive light grey	1 200	
					T4	Dolomite, massive light grey		
			Maieberg		T3	Dolomite, thinly bedded light and dark grey	180	
					T2	Limestone, bedded light and dark grey	700	
					T1	Tillite, quartzite, shale, minor dolomite and limestone	200	
			Disconformity					
			Abenab		Auros			Dolomite, bedded and massive light to medium grey; limestone, marl, shale, oolite and stromatolite interbeds
	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							
	Nösib		Variant			Quartzite, conglomerate, arkosic mixite, dolomite, ferruginous shale		
			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鉄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につ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。

II-2-2 鉱床

II-2-2-1 Tsumeb

(1) 沿革

1893年 M. Rogersにより初めて欧米に紹介される。当時は酸化銅や炭酸塩銅におおわれた高さ13m程度の丘にすぎなかった。1901年 Otavi Minen und Eisenbahngesellschaft (OMEG) 社を設立し大規模鉱山開発を計画、1905年 生産を開始した。その後鉱山の所有は Goldfield GroupのTsumeb Corporation Limited へ移ったが、アフリカの最大の鉛生産を誇り、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350万トン 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年中に閉山を計画しているという。現在は上部の既採掘箇所の周辺の残鉱を選択的に採掘し銅の比重選鉱を行っている。1995年の実績は月産粗鉱量2,500t~38,000t、粗鉱品位はCu:1.3~1.6 %, Pb:0.6~0.8 %, Ag:53~93g/t で推移している。

(2) 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(L1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。

鉱床の一部はブレッチャの近傍のドロマイトを母岩とするが、これは鉱床生成後にパイプの縁に強い剪断が働き、鉱床の境界は不整合面というよりはむしろ剪断面に一致している。地表より620m下部まではPb, Zn, Cu鉱体が単一レンズを形成しており、Pbの品位は深部まで一定している。

鉱床は形態的に塊状周辺鉱・マント型鉱・鉱染鉱および脈状鉱に区分される。このうち塊状周辺鉱はCu・Pb・Znで金属総量の60%台後半を占め、長石質砂岩 (Feldspathic sandstone) 岩体の周辺からドロマイトブレッチャまでのゾーンに胚胎する。この型の鉱石はL34でピンチアウトする。中～粗粒鉱石鉱物を主としチャート・ドロマイトの角レキ岩片を含むことが特徴である。長石質砂岩へ移行する場合は交代作用の特徴がよく出ている。深部では珪化が著しい。L28以下では鉱石境界部にfoliationが発達し変形組織を示す。

マント型鉱石はL26-L30間のドロマイト層の整合的ないし準整合的交代性鉱床でCu 23%~34%の輝銅鉱よりなる。

(3) 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。

(4) 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統成作用の結果、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つのブ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。

II-2-2-2 Kombat

(1) 沿革

1851年 地表鉱徴の報告がFrancis Galtonによって初めてヨーロッパに紹介されている。
1911年 OMEG社設立により出鉱が開始された。1954年、TCL社が経営を交代し、ボーリングによる探鉱を展開、鉱量の増加をみた。その後坑内展開により西部にAsis West鉱床が発見されている。1995年6月時点での確定推定の埋蔵鉱量は380万トン 品位 Cu 2.75%, Pb 1.48%, Ag 25.5g/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。

(2) 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。Tsumeb鉱床と異なり小規模鉱体群からなり東から西へAsis Ost, E900 Ore Body, Kombat East, Kombat Central, Kombat West, Asis Westの鉱体が3.6kmにわたって雁行状に配列している。Asis EastとKombat鉱体群およびAsis Westとの間にはNE-SW方向の断層が走り、鉱体に右横ずれの変位を与えている。

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。

硫化物の鉱化作用の見掛上上盤側のFeldspathic sandstoneの中に層状の鉄-マンガン酸化物や珪酸塩の沈澱が認められる。これは交代性の組織等は全く見られず、初成の堆積性組織を保持して硫化物鉱化作用と重複している。

(3) 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。

(4) 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 S₃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。鉱床のシントクティ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。

II-2-2-3 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。1920年ブッシュマンによって発見されている。Tsumeb亜層群のMaleberg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 (ZnPbVO₄(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 (Zn₂SiO₄) 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。

II-2-2-4 Berg Aukas

1913年の発見とされる。大きくはGrootfontein向斜の南翼の引きずりしゅう曲でできたBerg Aukas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。バナジウムの起源は基盤コンプレックスのはんれい岩かそれを起源とする堆積物とするモデルがある。

II-2-2-5 Tschudi

Tsumebの西25kmのMülden層群 Tschudi層と下位のHuttenberg層の境界部の探鉱がTCLによって実施されている。N35~40° W方向に長さ15m、幅0.8m、深さ3.0mトレンチが多数掘削されている。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。TCLにより斜坑も開削されているが開発持ちのようである。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。

II-2-2-6 Khusib Springs

Tsumebの南東40km Khusib 8農場に位置する。1993年Gold Fields Namibiaのボーリングにより発見、TCLによれば1996年3月から月産8000tの生産を開始するべく現在開発中である。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。

ドロマイトを主とする炭酸塩岩中のカルスト空洞を埋めた砂岩はMulden層群堆積物と同質であり、鉱床もこの時期に生成したものと考えられる。しかし銅・鉛・亜鉛を主としたMVT鉱床と共存するバナジウムの鉱化作用については各鉱床の記載から銅・鉛・亜鉛とステージが異なり、後者は前者の浅所二次富化作用の時期と一致するものと考えられる。例えばKombat北方に点在するPbとVを主とする鉱化は炭酸塩岩中に発達した著しい石英細脈帯に伴われ鉱床形態も異なる。また、これから開発されるTsumeb西方のTschudiは二次銅鉱床の可能性が強い。

鉱床の構造規制については、Tsumeb、Kombatいずれもしゅう曲構造に関連するフラクチャー、カルスト地形および楕円状パイプに規制されているように思われる。既知鉱床付近に認められるNE-SW系リニアメントは鉱床生成より明らかに若いかんらん石粗粒玄武岩やケルサンタイト岩脈と一致しているが、この構造線に沿って鉱床生成以前からマグマ活動があった可能性はある。加えて初期空中磁気探査の異常図からはこのNE-SW系リニアメントが基盤岩類の分布を規制しており、各層のアイソバックからもOtavi層群の堆積している間も活動があったことを示している。このような深層断層は調査地域南西深部に生じたマグマからの熱対流と合金属流体を地表近くにもたらし通路となったと考えられる。

このように基盤の分布を規制し、鉱床生成後も断続して運動した断層は、アメリカ大陸のアパラチア山脈西部のMVTの鉱床地帯でも鉱床沈澱の場を規制する地質要素と考えられ、'Growth Fault'と呼ばれている。この断層の抽出には磁気探査図や重力探査図が使われる。このような構造線はMulden層群堆積時のカルスト地形の形成に重要な役目を果たしたと考えられるが未だ議論の余地があり定説がない。しかし、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碎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ブ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。

II-2-3 空中写真判読

1960年代後半以降Etoshaバース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。

II-2-4 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地化学探査のようである。以下にその実例と結果を示す。

(1) Grant 192 (ETOSHA PETROLEUM Co.)

Tsumebの北西で地表がCalcrete被われた面積600km²の航空写真解析の対象地域に対し、土地化学探査を実施している。試料採取密度は400m×100mで指示元素はPb, Zn, Cu, Vを用いた。

(2) Grant 193 (ETOSHA PETROLEUM Co.)

1970年 Driehoek & Gauss Farmで河川堆積物および土壌を採取した結果、次のようなオーダーの異常域が検出された。

Zn: <150-600-1200 >1200 ppm

Cu: <35-75-150-300-600 > 600

Pb: <75-150-300-600 > 600

特にPb, Znの強い異常はPoolmans Kluit Farmの3点境界からN50W方向へ1400mの地点である。

つづいて1971年 ELAND EXPLORATION (COMINCO系) 社がDriehoek Farmで土壌と河川堆積物の地化学探査を実施し、1:36000の地化学探査図を作成した。これによるとZn異常は ~300, 300-600, 600-1200, 1200-2000, >2000 ppmのコンターが得られた。同様にCuについては <35, 35-75, 75-150, 150-300, 300-600, > 600 ppmの異常レベルが得られ、PbについてはZnと同様である。つづいて Kielberg, Sumas, Gauss, Ghaub, Gute Hoffnung, Auros, Nosib Block, Awagobibの各Farmで展開し、この中でGaussでフラクチャゾーンに鉱徴を捕捉している。

(3) Grant 162 (ETOSHA MINERALS Co.)

1970年のBorder Propertyに関する中間報告書によれば、PbとZnを指示元素に土地化学探

査を実施した。分析密度はPb 100m×50m, Znは測線上で1個/100mとした。その結果次のような異常コンターが得られたため、1968年12月までに17444個のサンプリング(100m×100m)と22345個のサンプリング(50m×50m)を展開した。

Pb: 0-99 100-199 200-299 300+ ppm

Zn: 0-299 300-499 500-650 650+ ppm

および 300-499 500-699 700-899 900-1099 ppm

この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。

II-2-5 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。

II-2-5-1 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。

II-2-5-2 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。

II-2-5-3 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が実施、ポーリングターゲットを絞った。調査仕様は以下のとおりである。

調査量: 5グリッド, 1グリッド約500m×1000m

1グリッドの測線は約5本、ライン間隔100m程度。

手 法: 時間領域IP法 ポール・ダイポール配置

ダイポール間隔—Fine 50, 100 Feet (約15.2m, 30.5m)

—Coarse 200, 400 Feet (約61m, 122m)

目 的: (1)垂直探査により、分極した岩体の大まかな状態や風化の状態、表層導電率などの範囲や最大応答など必要なパラメーターに数値を与える。

(2)露頭の硫化物鉱染帯の地下延長分布を図化するためIP法を行うとともに、地化学探査の結果との比較も行う。

結 果: (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4mllsec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, BGI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。

II-2-5-4 重力探査

1971年 Grant 193の探査で測線100m間隔の測定を行い、0.05mgコンターの1:5000の重力探査図、残差重力図を作成した。その解析結果からNNE-SSW系断層やNS, NW-SE, NE-SW方向の低重力異常が抽出された。そのほか1974年にはGrant 150で300点、Grant 193で1960点(a地域)の重力測定を行いDriehoek Farmに重力異常を捕捉した。

その他 地震探鉱、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。

II-2-6 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。

II-2-7 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。

II-2-8 鉱区取得状況

1995年現在の調査地域の鉱区図を Fig. II-2-3 に掲げる。新鉱業法によると鉱業権は国家に帰属し、政府の許認可により個人に付与される。Reconnaissance licence (予備調査権)、Exclusive prospecting licence (独占探鉱権) およびMining and Mineral deposit retention licence (採掘および鉱物保持権) からなる。

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Calerete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3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-3-2 に掲げる。

150個以上のサンプルの中から最終的に10個の薄片用サンプル、20個の鉱石研磨片用サンプルおよび30個の物性測定用サンプルを選択した。鉱微地は文献や口頭情報をもとに土地所有者に許可を得て地表調査を行った。鉱石サンプルは主としてTsumeb・Kombat両鉱山の坑内見学の機会にサンプリングを実施した。Tsumeb鉱山は鉱量枯渇の時機であり、浅所既採掘部周辺の残鉱部採掘の途上である。したがって当鉱山の鉱石サンプルとしては多様性を欠いている。岩石薄片鑑定結果をTable II-3-1 に鉱石研磨片鑑定結果をTable II-3-2 に掲げる。そのうち代表的な顕微鏡写真を巻末に添付した。

II-3-1 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N40~70° E・75~85Sでこれらを切るN20° E走向の塩基性岩脈やN80° E走向のア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。

II-3-2 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、アルコーズ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。

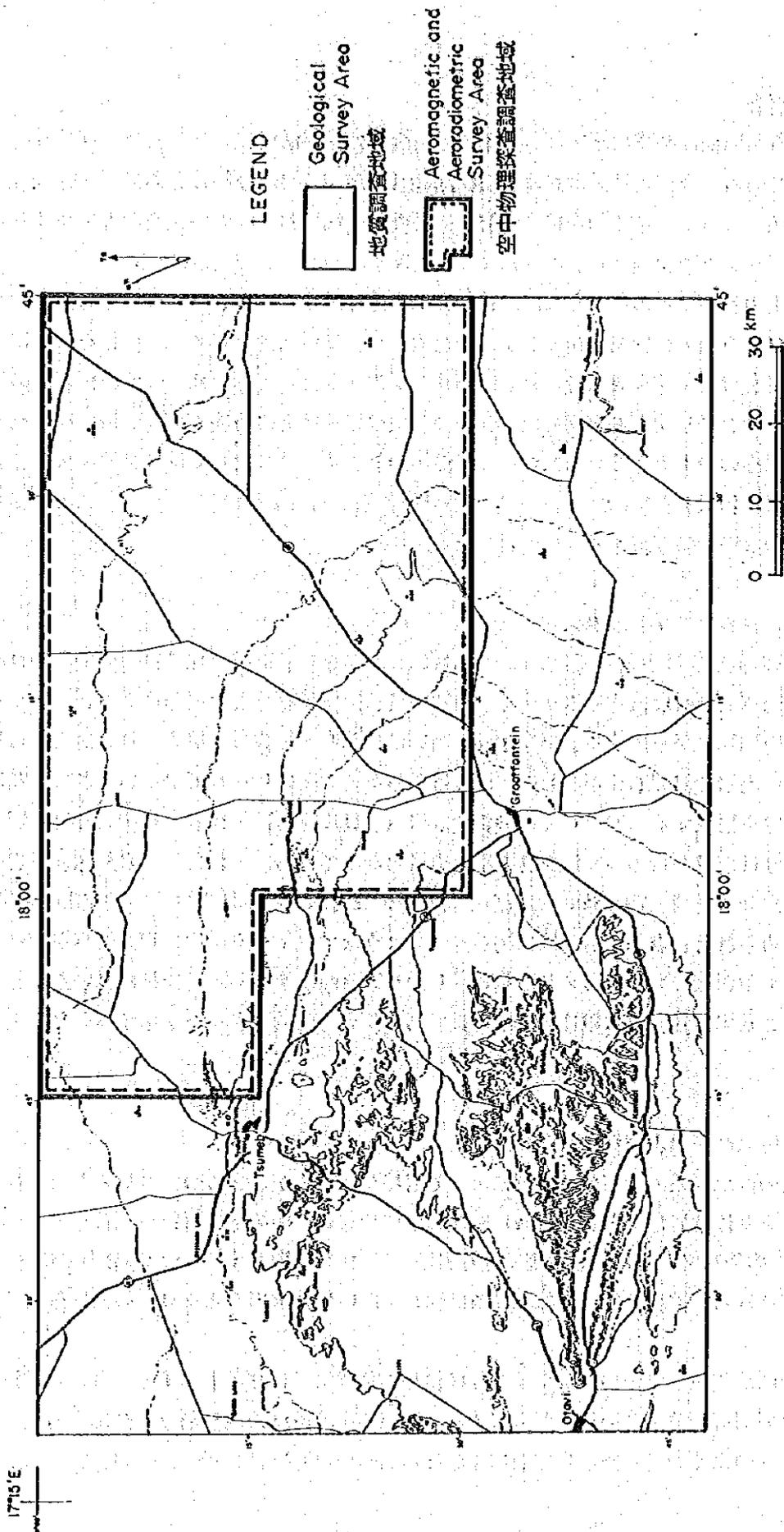


Fig. II - 3 - 1 Location of Geological Survey and Airborne geophysical Survey

Grootfontein北西方のElandshoek層では層理面の走向 $N55\sim 65^{\circ} E$ 、傾斜 $60N$ の黒色千枚岩層の中に $N75^{\circ} E$ ・ $75\sim 85S$ 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。

II-3-3 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次のような野外徴候が認められた。

- (1) Maria Bronnの採石場の破碎帯 : $N70^{\circ} E \cdot 85S$
- (2) Tsumebの国道B1沿い西方、ドロマイト中の割れ目 : $N70^{\circ} E \cdot 70W$
- (3) Tsumebの南西方鉄道沿線 断層破碎帯 : $N30^{\circ} E \cdot 75E$, $N50^{\circ} E \cdot 90$
- (4) Tsumeb南でのドロマイト中の破碎帯と方解石脈 : $N15^{\circ} E/80W$, $N80^{\circ} E/80S$, $N60^{\circ} W/90$, $N80^{\circ} W/20-65NS$
- (5) Harasib鉱徴地 石英網状帯 : $N85^{\circ} W$
- (6) Kombat 北の珪化帯 : $N35\sim 50^{\circ} E$, $N85^{\circ} E$
- (7) Otavi Valley西入口付近の断裂帯 : $N5\sim 20^{\circ} E/70W$, $N5\sim 10^{\circ} W/80W$ (Calcitization vein), $N80^{\circ} W/80S$

以上の野外観察から調査地域のDamara系の断裂系はNNE-SSW, ENE-WSWを主とし、ついでNNW-SS EおよびWNW-ESE系が顕著に現れていると言える。

II-3-4 鉱化作用

Tsumeb西方のBobes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Mottorantite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。

このように調査地域の鉱石鉱物組み合わせは多様であり、初成鉱床の生成条件の違いに加えて二次的な焼成変化、変質過程の条件も一定ではなかったことを表している。

Table II - 3 - 2 Microscopic Identification of Minerals in Polished Section

No.	Sample No.	Locality	Rock Name	Sulphide & primary oxide										Hydroxide					
				Cp	Gn	Sp	Py	Cc	Bo	Nc	Cup	Dg	Cv	V	Fe	M			
1	100401	Tschudi mine	Malachite-galena ore		○			△1)					※	※				○	
2	100405	Bobos mine	Mottramite ore																○2)
3	100407	Tsumeb West mine	Chalcocite ore				※	○					※	※					○
4	100408	Tsumeb West mine	Chalcocite ore					●1)					○						
5	101104	Rodgerberg mine	Chalcocite-covellin ore					●1)					○						
6	102004	Harasib mine 1	Descloizite ore																●
7	102005	Harasib mine 1	Fe-hydroxides-Cu-Sp ore					○-○							○4)				●3)
8	102006	Harasib mine 2	Galena sphalerite ore		○6)	○													△5)
9	102010	Harasib mine 3	Chalcocite ore					●							※				
10	102501	Abenab mine	Sphalerite galena ore		○-○	○	△												
11	102505	Abenab mine	Galena ore		○	△7)	△												△-※
12	102506	Abenab mine	Sphalerite galena ore		※	○	○-○	△											○
13	102507	Abenab mine	Sphalerite pyrite ore		○-○	○	○-○												※
14	110601	Kombat-W E80 14L	Secondary copper ore					○							△				○
15	110602-1	Kombat-W L15/1 No.5	Chalcocite cuprite ore					△							※				△
16	110602-2	Kombat-W L15/1 No.5	Fe-Mn ore					△											○?
17	110603	Kombat-W E80 14L	Chalcocite bornite ore					○											
18	110604	Kombat-W 16L/1 No.2	Galena Chalcocopyrite ore		●-○	○-○	○												△
19	110605	Kombat-W 16L/1 No.1	Chalcocopyrite galena ore		●	○-○	○												
20	110701	Tsumeb Mine L10 No.1	Chalcocite covellin vein					○-○							※				△

●: abundant ○: common ○: poor △: rare ※: trace

Abbreviations

Fe: Fe-hydroxides M: malachite Bo: bornite Cc: chalcocite Cp: chalcocopyrite Cup: cuprite Nc: native copper
Dg: digenite Cv: covelline Gn: galena Py: pyrite Sp: sphalerite V: descloizite or mottramite

- 1) Frequently coexists with covellin.
- 2) Euhedral to subhedral showing zoning texture. Primary ore mineral.
- 3) Locally showing colloform texture, occurs as acicular crystal.
- 4) Aggregate of very fine crystals
- 5) Occurs enclosing sphalerite grains.
- 6) No exsolution texture.
- 7) Coated with thin band of galena.
- 8) Crystal rims bordered by chalcocite.