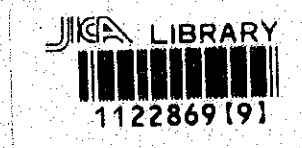


ナミビア共和国オレンジ・カルクフェルド地域
資源開発協力基礎調査報告書

総括報告書



28577

平成 7 年 3 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

国際協力事業団

28577

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、同国の南部及び北部に位置するオレンジ・カルクフェルド地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、既存データ解析、地化学探査、ボーリング調査など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、平成5年10月から平成7年2月までの2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どおり完了した。

本報告書は、2カ年の調査結果をとりまとめたものである。

おわりに、本調査の実施に当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外務省、通商産業省、在南アフリカ共和国日本国大使館、在ジンバブエ共和国日本国大使館、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。

平成7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 石 川 丘

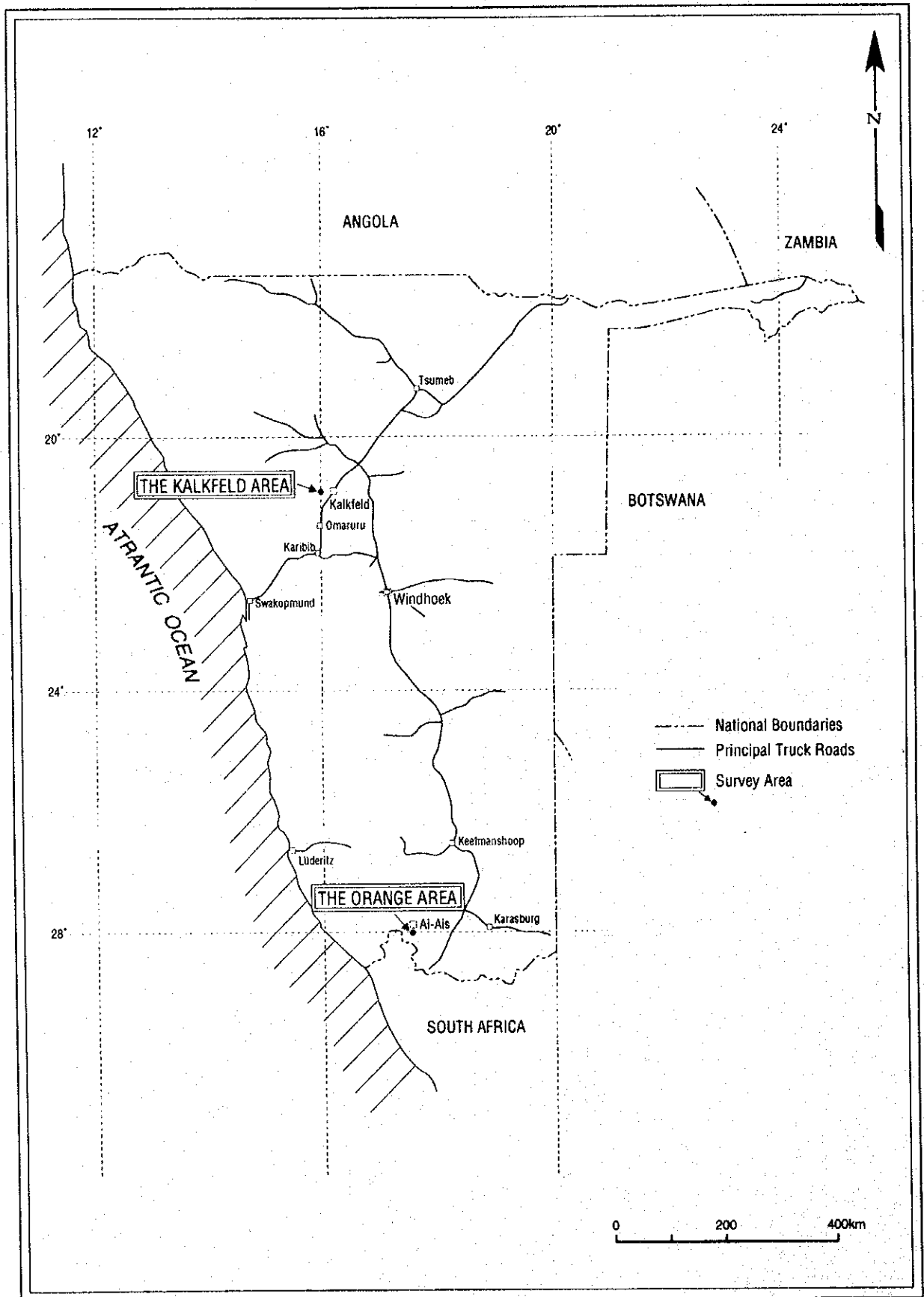


图 I - 1 - 1 調查地域位置图

要 約

本調査は、ナミビア共和国オレンジ・カルクフェルド地域において、地質及び鉱床賦存状況を解明することにより、希土類元素などを含む新鉱床を発見をすることを目的として実施した。

第1年次は、オレンジ地域とカルクフェルド地域の両地域で、既存データ解析と地化学探査を実施し、新鉱床賦存性の高い地域を抽出した。第2年次にあたる本年次は、第1年次で抽出した鉱床賦存性の高い、オレンジ地域のベフォルサイト中央・北東両岩体に対象を絞り、地化学探査とボーリング調査を実施した。これらの調査結果は次のように要約される。

オレンジ地域

先カンブリア代のナマクア変成岩類とカンブリア代のナマ層群を基盤とし、これらをマリンカスクエラカーボナタイト複合岩体が貫入している。ナマクア変成岩類は片麻岩からなる。ナマ層群は頁岩、珪岩及び砂岩からなる。カーボナタイト複合岩体は閃長岩類、ソバイト、ベフォルサイトなどからなり、この順序で生成している。

カーボナタイトの主要鉱物は方解石、苦灰石、アンケライトであり、随伴鉱物はマンガン方解石、菱鉄鉱、燐灰石、重晶石、磁鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱やバストネサイト、モナザイト、シンケザイト、パイロクロアなどのLa, Ce, Nd鉱物である。

地化学探査によれば、カーボナタイト複合岩体は希土類元素(La, Ce, Nd)やNb, Pを多く含む。これら元素は、カーボナタイト複合岩体のうち、特にベフォルサイト中央・北東両岩体に濃集している。希土類元素(La, Ce, Nd)は両岩体の外周部で、Nbは両岩体の中央部で、Pは北東岩体に限って濃集する。希土類酸化物は平均0.1%、Pは1.0%、Nbは0.1%である。カルクフェルド地域のカーボナタイトに較べて、Nb及びPに富む。

カルクフェルド地域

先カンブリア代のダマラ系変成岩類を基盤とし、これをオゾンゴンボカーボナタイト複合岩体が貫入している。ダマラ系は大理石からなる。カーボナタイト複合岩体は火山角礫岩とベフォルサイト、鉄鉱石からなり、この順序で生成している。

カーボナタイトの主要鉱物は苦灰石、アンケライトであり、随伴鉱物はマンガン方解石、方解石、ストロンチアナイト、燐灰石、針鉄鉱、赤鉄鉱、方鉛鉱や、パイロクロアなどのNb鉱物である。

地化学探査によれば、カーボナタイト複合岩体は希土類元素(La, Ce, Nd)や、Th, Mn, Sr, Feを多く含む。これら元素は、特にベフォルサイトや鉄鉱石に濃集するが、鉄鉱石は分布面積が少ない。ベフォルサイトには、希土類酸化物が平均0.28%、Thが0.04%、Mnが1.37%、Feが10.86%濃集する。オレンジ地域のカーボナタイトに比べ、中希土類(Sm, Eu, Tb)やTh, Mn, Sr, Feに富む。

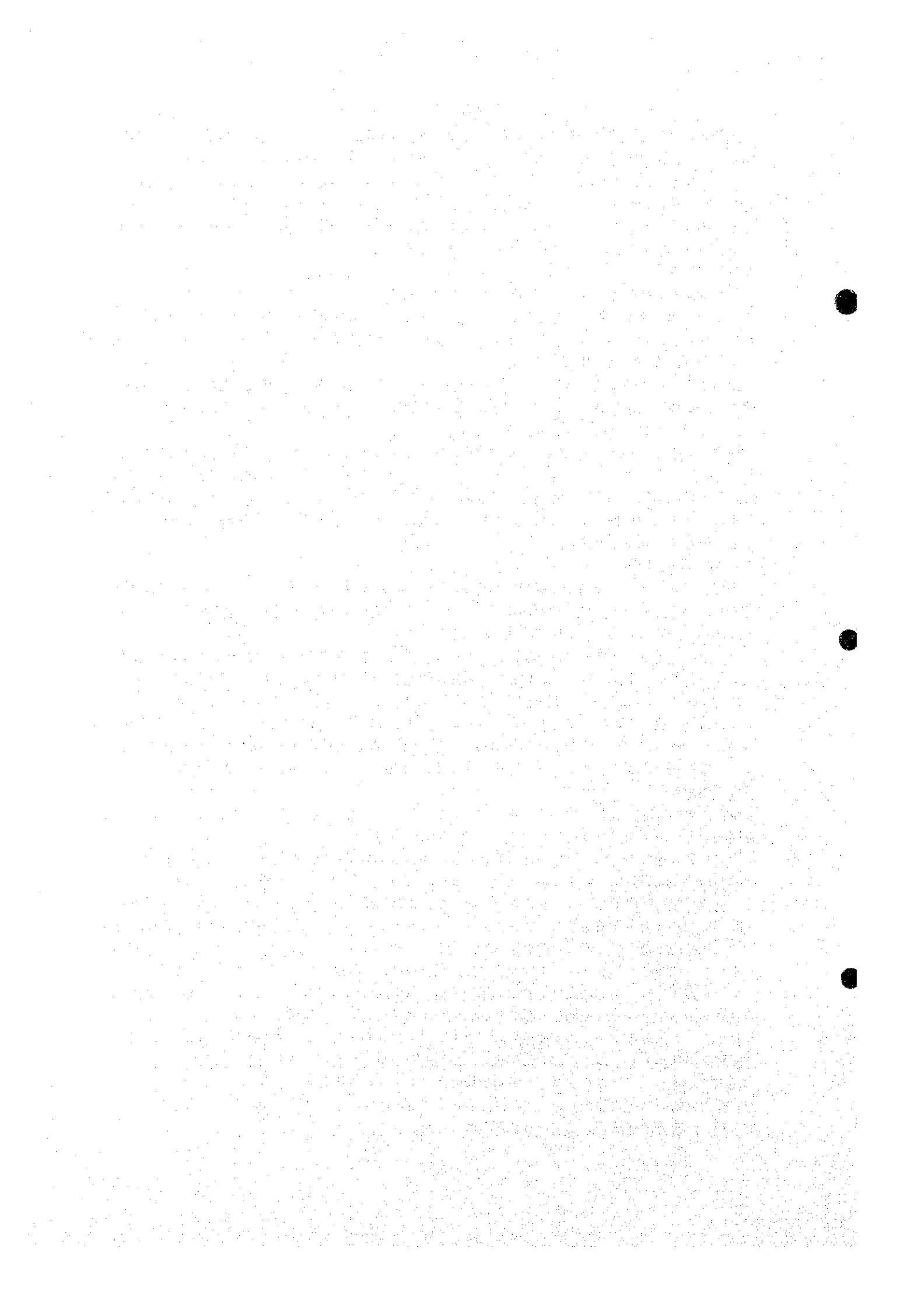
将来への提言

現在世界的に稼行されているカーボナタイト複合岩体は、希土類元素5~13%を含む。これと比べ、両地域のカーボナタイト複合岩体は、希土類元素の含有量が低い。

ナミビアの他のカーボナタイト複合岩体と比較すると、露出面積が中規模で、岩栓状浅所深成型のOndurakorume岩体は、希土類酸化物が平均3%、Nb₂O₅が0.24%、P₂O₅が7%濃集する。露出面積が広く、環状で深所深成型のKalkfeld岩体は、希土類元素のCeが0.2~0.8%、Laが0.05~0.5%、Ndが0.1~0.25%、P₂O₅が7~8%濃集する。つまり、ベフォルサイトなどの後期晶出物の多いOndurakorume岩体に、比較的、希土類元素などの有用元素が濃集する傾向にある。

オレンジ地域のカーボナタイト複合岩体は、侵食規模が中程度の岩栓状・浅所深成型であり、ボーリング調査では、深部に向けて有用元素が増加する傾向は認められないが、地下深部の状況は、閃長岩やソバイトなどの前期晶出物の多いKalkfeld岩体と対応し、同程度の有用元素の濃集が期待される。一方、カルクフェルド地域のカーボナタイト複合岩体は、深部でOndurakorume岩体のよう以後期晶出物が多く、地下深部で希土類元素の増加が予想されるが、分布面積が少ない。

従って、オレンジ・カルクフェルド両地域のカーボナタイト複合岩体とも、今後は希土類元素などの有用鉱物の経済的な価値が高まれば、さらに密度の細かいボーリング調査などにより賦存量を明らかにし、改めて経済的評価を行うことも考えられる。



目 次

	頁
はしがき	
調査位置図	
要 約	
第Ⅰ部 総 論	1
第1章 調査概要	1
1-1 調査地域及び調査目的	1
1-2 調査方法及び調査量	1
1-3 調査期間及び調査員	1
第2章 従来 of 調査	1
第3章 調査周辺地域の地質概要	1
第4章 調査地域の状況	2
4-1 交 通	2
4-2 調査環境	3
第5章 結論及び提言	4
5-1 結論	4
5-2 将来への提言	5
第Ⅱ部 各 論	15
第1章 既存データ解析	15
1-1 解析方法	15
1-2 解析結果	15
第2章 オレンジ地域	16
2-1 調査方法	16
2-2 地質調査	16
2-2-1 地質概説	16
2-2-2 地質各説	16
2-3 地化学探査	21
2-3-1 探査手法	21
2-3-2 調査結果	22
2-4 ボーリング調査	
2-4-1 調査方法	24
2-4-2 調査結果	25
2-5 考察	30

	頁
第3章 カルクフェルド地域	57
3-1 調査方法	57
3-2 地質調査	57
3-2-1 地質概説	57
3-2-2 地質各説	57
3-3 地化学探査	59
3-3-1 探査手法	59
3-3-2 調査結果	59
3-4 考察	61
第Ⅲ部 結論及び提言	77
第1章 結論	77
第2章 将来への提言	80
参考文献	83
巻末資料	
別添図	

図

図Ⅰ-1-1 調査地域位置図	
図Ⅰ-1-2 調査フローチャート	7
図Ⅰ-1-3 鉱床有望地抽出フローチャート	8
図Ⅰ-3-1 広域地質概略図	9
図Ⅰ-3-2 オレンジ地域周辺の広域地質図	10
図Ⅰ-3-3 カルクフェルド地域周辺の広域地質図	11
図Ⅱ-2-1 オレンジ地域調査位置図	33
図Ⅱ-2-2 オレンジ地域の地質及び地質断面図	34
図Ⅱ-2-3 オレンジ地域の模式層序	35
図Ⅱ-2-4 オレンジ地域の帯磁率分布図	37
図Ⅱ-2-5 オレンジ地域の酸素及び炭素同位体組成の頻度分布図	39
図Ⅱ-2-6 オレンジ地域の地化学探査解析図	41
図Ⅱ-2-7 オレンジ地域のY/Yb-Th/Yb図及びYb-Ce/Yb図	49
図Ⅱ-2-8 オレンジ地域の希土類元素パターン	51
図Ⅱ-3-1 カルクフェルド地域の地質及び地質断面図	63
図Ⅱ-3-2 カルクフェルド地域の模式層序	64

	頁
図Ⅱ-3-3 カルクフェルド地域の地化学探査解析図	65
図Ⅱ-3-4 カルクフェルド地域の希土類元素パターン	73

表

表Ⅰ-1-1 年度別調査方法及び調査総括表	12
表Ⅰ-1-2 年度別調査期間及び調査員総括表	13
表Ⅱ-2-1 オレンジ地域の酸素及び炭素同位体比測定結果一覧表	55
表Ⅱ-2-2 オレンジ地域の地化学分析値基本統計量一覧表	56
表Ⅱ-3-1 カルクフェルド地域の地化学分析値基本統計量一覧表	75

巻末資料

A-1 調査地域写真	1
A-2 顕微鏡写真	3
B-1 オレンジ地域試料一覧	10
B-2 オレンジ地域全岩化学分析・ノルム分析結果一覧表	27
B-3 オレンジ地域地化学分析結果一覧表	37
B-4 オレンジ地域地化学分析値の度数分布図及び累積度数分布図	61
B-5 オレンジ地域地化学分析値の散布図	65
B-6 オレンジ地域ボーリング柱状図	67
B-7 オレンジ地域ボーリング地化学探査解析図	83
C-1 カルクフェルド地域試料一覧表	100
C-2 カルクフェルド地域全岩化学分析・ノルム分析結果一覧表	103
C-3 カルクフェルド地域地化学分析結果一覧表	105
C-4 カルクフェルド地域地化学分析値の度数分布図及び累積度数分布図	109
C-5 カルクフェルド地域地化学分析値の散布図	113

別添図 総合解析図

第 I 部

總 論

第 1 部 総 論

第 1 章 調査概要

1-1 調査地域及び調査目的

本調査地域位置図を図 I-1-1 に示す。本調査地域はオレンジ・カルクフェルド地域と呼称され、ナミビア南部に位置するオレンジ地域と、北部に位置するカルクフェルド地域に分かれる。

オレンジ・カルクフェルド地域は、希土類元素などを含むカーボナタイト鉱床の賦存ポテンシャルの高い地域である。しかし、これらの鉱床については開発が進んでおらず、これら鉱床に関する探鉱及び鉱床評価が急務とされている。従って、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てきた。日本国政府はこの要請に応じて、当地域において地質状況及び鉱床賦存状況を解明することにより、新鉱床を発見すること、及び相手国機関に対して技術移転を図ることを目的として調査を実施した。

1-2 調査方法及び調査量

当調査は、オレンジ・カルクフェルド地域調査フローチャート(図 I-1-2)や鉱床有望地抽出フローチャート(図 I-1-3)に従って実施した。また、各年次の調査方法や作業量を表 I-1-1 に示す。

1-3 調査期間及び調査員

各年次の調査期間及び調査員を表 I-1-2 に示す。

第 2 章 従来調査

Verwoerd(1965, 1967), Dendie(1971), Heath(1973), Schommarz(1988), Smith(1990)は、本地域やその周辺に分布する、カーボナタイトやアルカリ複合岩体の地質、及びこれら岩体に関係する重金属、貴金属や放射性物質等の鉱床に関して、概略の調査を実施している。しかし、これら調査によって、直ちに当地域の鉱床賦存状況を解明したり、鉱床評価ができるものではない。

また、オレンジ地域付近のアルカリ貫入岩体群には、Pb-Ag等の鉱化作用が確認されている(Rio Tint, 1973, Blignault, 1979, Smithies, 1990)。しかし、地域周辺で大規模に開発された鉱山はない。

第 3 章 調査周辺地域の地質概要

Geological Survey of Namibia(1982)やThe Geological Society of South Africa(1985)により、ナミビアの広域地質図(図 I-3-1)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 地質年代に区分される。

- ① Tertiary to Recent (<65 Ma)
- ② Carboniferous to lower Cretaceous (345 to 120 Ma)
- ③ Namibian (1,000 to 570 Ma)

④ upper Mokolian (1,800 to 1,000 Ma)

⑤ Vaalian to lower Mokolian (>2,100 to 1,800 Ma)

Vaalian to lower Mokolian (>2,100 to 1,800 Ma)は、Khoabendus & Haib Groupsや、Kunene Anorthite 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。

upper Mokolian (1,800 to 1,000 Ma)は、Namaqua 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。

Namibian(1000 to 570Ma)は、ダマラー造山時の堆積岩層からなる。Rechard Granite/syenite complex, Damara Sequence, Gariiep complex, Damaran granite, Nama Group, Salem Granite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。

Carboniferous to lower Cretaceous(345 to 120 Ma)は、Karoo Sequence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っており、希土類元素の重要資源となっている。

Tertiary to Recent (<65 Ma)は未固結の堆積物からなり、カラハリ砂漠などのナミビア東部の大部分を覆う。

図I-3-2にオレンジ地域周辺の広域地質図を示す。調査地域のカーボナタイト複合岩体はナミビア共和国南部から南アフリカ共和国北西部にまたがる北東-南西方向に延びるKubos-Bremen (クボース-ブレメン) 構造線上に配列したアルカリ貫入岩体群の一部を構成する(Kroner and Blignault, 1976)。アルカリ岩体群はナマクア(Namaqua)変成複合岩体、ガリエブ(Gariiep)層群、ナマ>Nama)層群を貫入している。アルカリ貫入岩体群の一つであるマリンスクエラ(Marinkas Quelle)閃長岩のRb-Sr年代は 505.88 ± 18.68 Maを示している(Smithies, 1990)。

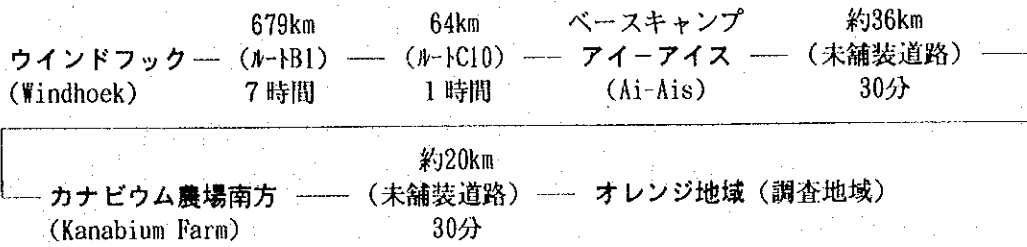
マリンスクエラカーボナタイト複合岩体(MQC)と称される岩体は、1970年代初期に初めて記載され(Blignault, 1971)、詳細な地質図が作成されている(Schommarz, 1988)。

図I-3-3にカルクフェルド地域周辺の広域地質図を示す。周辺には地理的に密接な関係がある4つのカーボナタイト岩体が知られている。これら岩体は、約15kmの間隔で北東-南西方向に配列し、南西から本調査対象岩体であるOsongombo (オゾンゴムボ)、Kalkfeld (カルクフェルド)、及びOndurakorume (オンドゥラコルメ)、Okorusu (オコルス)と称されている。これら岩体は先カンブリア系のダマラ(Damara)層群に胚胎し、付近にはダマラン(Damaran)花崗岩類が分布する。

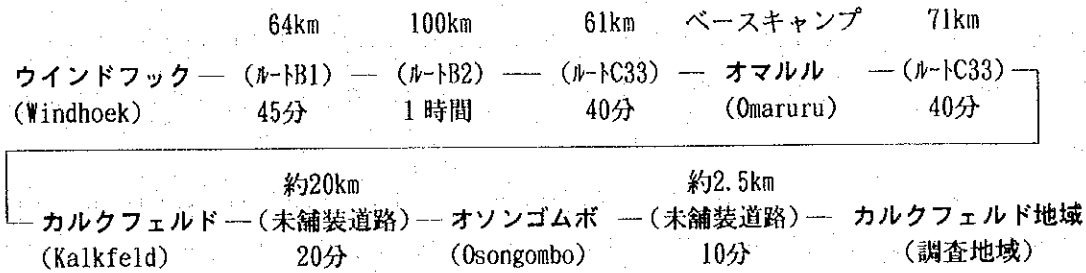
第4章 調査地域の状況

4-1 交通

オレンジ地域はカラスバーグ(Karasburg)行政区に位置し、首都Windhoek (ウインドフック)からの交通手段には車両を用いた。移動経路は次のようになる。



カルクフェルド地域はオマルル(Omaruru)行政区に位置し、ウインドフックからの交通手段には車両を用いた。移動経路は次のようになる。



4-2 調査環境

国土面積は82万km²で、日本の面積の2倍である。アンゴラ、ザンビア、南アフリカ、ボツワナと国境を接し、西部は大西洋に面している。地勢は北東部の森林地帯、内陸高原部のサバンナ地帯、西海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～山岳地形を呈する。調査地域のオレンジ地域はサバンナ地帯と砂漠地帯の境界部付近に、カルクフェルド地域はサバンナ地帯に位置する。

オレンジ地域の地形は構成する岩石の特徴を反映している。基盤変成岩分布域は比較的急峻な地形を呈し、それを貫く花崗岩類はなだらかな山岳地形からなる。一方、カーボナタイト分布域はこれら山岳地形の山頂部を形成している。カルクフェルド地域の基盤変成岩分布域は平坦な地形を呈し、これを貫く花崗岩類・カーボナタイト分布域は丘陵地形を呈している。

両地域とも大きな河川は発達していない。河川は雨季のみ、水が流下し、乾季には水がない。

気候は南アフリカの地中海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。1、2月が最も暑く、日最低・最高平均が、それぞれ17及び31℃である。一方、7月が最も寒く、日最低・最高平均が、それぞれ6及び18℃である。

首都のウインドフックでは7月の平均気温は13℃、12月のそれは23℃である。1年間の平均雨量は北部の森林地帯で600mm、西部の砂漠地帯で20mm、内陸高原サバンナでは350mmと、地域によって偏りがある。雨は夏(10月～4月)に多く、冬期にはほとんど降らない。

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ヤ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蘚類が散点しているのみである。

第5章 結論及び提言

5-1 結論

第1年次は、オレンジ地域とカルクフェルド地域の両地域で、既存データ解析と地化学探査を実施し、希土類元素などを含む新鉱床賦存性の高い地域を抽出した。第2年次にあたる本年次は、第1年次で抽出した鉱床賦存性の高い、オレンジ地域のベフォルサイト中央・北東両岩体を対象を絞り、地化学探査とボーリング調査を実施した。これらの調査結果を次に述べる。

オレンジ地域

1. 地質は先カンブリア代のMokolian系ナマクア(Namaqua)変成複合岩体(1,200Ma±)とカンブリア代のNamibian系ナマ(Nama)層群(560-500Ma)を基盤とし、これをカーボナタイト複合岩体が岩栓状に貫入している。
2. カーボナタイト複合岩体は、Kubos-Bremen構造線沿いに、北東-南西方向に直線的に配列する、アルカリ貫入岩体群の一部を構成する。また、このカーボナタイト複合岩体はKubos-Bremen構造線とpost-Karoo断層の交差部で形成されている。
3. カーボナタイト複合岩体は、貫入形態に基づけば岩栓状で、侵食形態に基づけば浅所深成型であり、貫入岩体上部がすでに侵食されているが、地表での露出面積は広い。
4. カーボナタイト複合岩体は4箇所の主貫入部を有する。これらは閃長岩複合岩体、ソーバイト-閃長岩複合岩体、ベフォルサイト北東岩体、ベフォルサイト中央岩体からなり、この順に貫入している。酸素及び炭素同位体比は、ソーバイトよりベフォルサイト北東岩体の方が、 $\delta^{13}\text{C}$ 及び $\delta^{18}\text{O}$ に富む傾向にある。また、同一岩体内での変動を見ると、ベフォルサイトの中央部より周辺部で $\delta^{13}\text{C}$ 及び $\delta^{18}\text{O}$ に富み、周辺岩石との接触部付近では再び、減少する可能性がある。
5. カーボナタイトの主要鉱物は方解石、苦灰石、アンケライトであり、随伴鉱物はストロンチアナイト、燐灰石、重晶石、磁鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱や、バストネサイト、シンケザイト、モナザイト、パイロクロアなどのLa, Ce, Nd, Nb鉱物である。
6. 地化学探査の結果、カーボナタイト複合岩体は希土類元素(La, Ce, Nd)やNb, Pを多く含む。特に、希土類元素(La, Ce, Ndなど)はベフォルサイト両岩体の外周部で、Nbは両岩体の中央部で富む。Pはベフォルサイト北東岩体に限って濃集する。カルクフェルド地域のカーボナタイトに比べNb, Pに富む。
7. ボーリング調査の結果、これら有用元素が地表と同程度に濃集するが、地下で飛躍的に増加する傾向はない。つまり、希土類酸化物(R2O3)は平均0.1%、Pは1.0%、Nbは0.1%である。

カルクフェルド地域

1. 地質は先カンブリア代のダマラ系変成岩類(720-900 Ma)を基盤とし、これをカンブリア代の花崗岩類(500-530 Ma)やカーボナタイト複合岩体が貫入している。
2. 本地域とその周辺のダマラランドアルカリ岩区に、4つのカーボナタイト複合岩体が北東-南西

方向に配列している。本地域のOsongombo岩体が南西端に位置し、北東側に順次、Kalkfeld岩体、及びOndurakorume岩体、Okorusu岩体が北東方向に配列している。これらカーボナタイト複合岩体は、先カンブリア系ダマラ層群の大理石に貫入している。

3. カーボナタイト複合岩体は、火山角礫岩、ペフォルサイトと鉄鉱石からなり、この順序に生成している。
4. カーボナタイト複合岩体は、貫入形態からはダイアトリーム状で、侵食形態からは火山岩類型に区分され、侵食の程度は少ないが、地表での露出面積が少ない。
5. カーボナタイトの主要鉱物は苦灰石、アンケライトである。随伴鉱物は、マンガン方解石、方解石、ストロンチアナイト、針鉄鉱、赤鉄鉱、方鉛鉱や、Nb鉱物のパイロクロアである。
6. 地化学探査の結果、カーボナタイト複合岩体は希土類元素(La, Ce, Nd)や、Th, Mn, Sr, Feを多く含む。これら元素は、特にペフォルサイトや鉄鉱石に濃集するが、鉄鉱石は分布面積が少ない。
7. ペフォルサイトには、希土類酸化物が0.28%、Thが0.04%、Mnが1.37%、Feが10.86%濃集する。オレンジ地域のペフォルサイトに比べ、中希土類(Sm, Eu, Tb)やTh, Mn, Sr, Feに富む。

5-2 将来への提言

ナミビアのカーボナタイトに対する、地化学探査やボーリング調査からなる本格的な基礎調査は、ナミビアでは始めてであり、本調査によりオレンジ・カルクフェルド地域の希土類元素などの有用元素の分布状況を把握することができた。

オレンジ地域とカルクフェルド地域には、ともに希土類元素などの有用鉱物を含むカーボナタイト複合岩体が分布している。カーボナタイト複合岩体のうち、特に苦灰石を主とするペフォルサイトは、有用鉱物の濃集状況や分布規模から、探鉱対象として最も重要である。

オレンジ地域のペフォルサイトには、希土類酸化物が平均0.1%、Pが1.0%、Nbが0.1%濃集する。カルクフェルド地域のペフォルサイトには、希土類酸化物が0.28%、Thが0.04%、Mnが1.37%、Feが10.86%濃集する。

しかし、現在世界的に稼行されているカーボナタイト複合岩体は、希土類元素5~13%を含む。これと比較すると、両地域のカーボナタイト複合岩体は、希土類元素の含有量が低い。ナミビアの探鉱されたカーボナタイトと比較すると、露出面積が中規模で岩栓状浅所深成型のOndurakorume岩体は、希土類酸化物が3%、 Nb_2O_5 が0.24%、 P_2O_5 が7%濃集する。露出面積が広く環状で深所深成型のKalkfeld岩体は、希土類元素のCeが0.2~0.8%、Laが0.05~0.5%、Ndが0.1~0.25%、 P_2O_5 が7~8%濃集する。つまり、ペフォルサイトなど後期晶出物の分布面積が広いOndurakoreme岩体に、希土類元素などの有用元素が、比較的濃集する傾向にある。

オレンジ地域のカーボナタイト複合岩体は、露出面積が中規模な岩栓状の浅所深成型であり、ボーリング調査では、深部に向けて希土類元素などが増加する傾向は認められないが、地下深部の状況は、閃長岩やソバイトなど前期晶出物の多いkalkfeld岩体の生成状況と対応し、同程度の有用元

素の濃集が期待される。

カルクフェルド地域のカーボナタイト複合岩体は、生成状況から深部でOndurakorume岩体のように、前期晶出物が多く、希土類元素などが増加すると予想されるが、分布面積が少ない。

従って、オレンジ・カルクフェルド両地域のカーボナタイト複合岩体とも、今後は希土類元素などの有用鉱物の経済的な価値が高まれば、さらに密度の細かいボーリング調査などにより賦存量を明らかし、改めて経済的評価を行うことも考えられる。

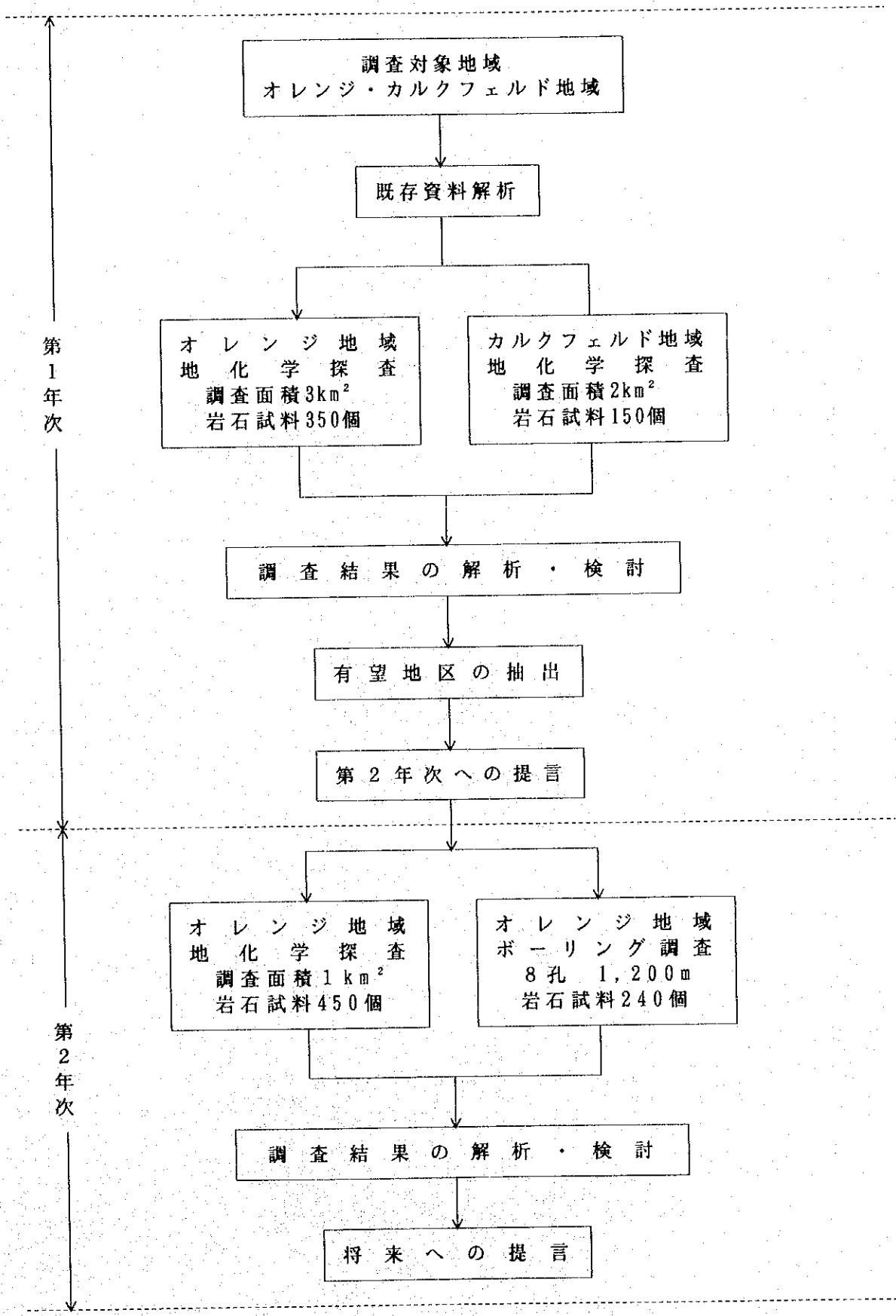
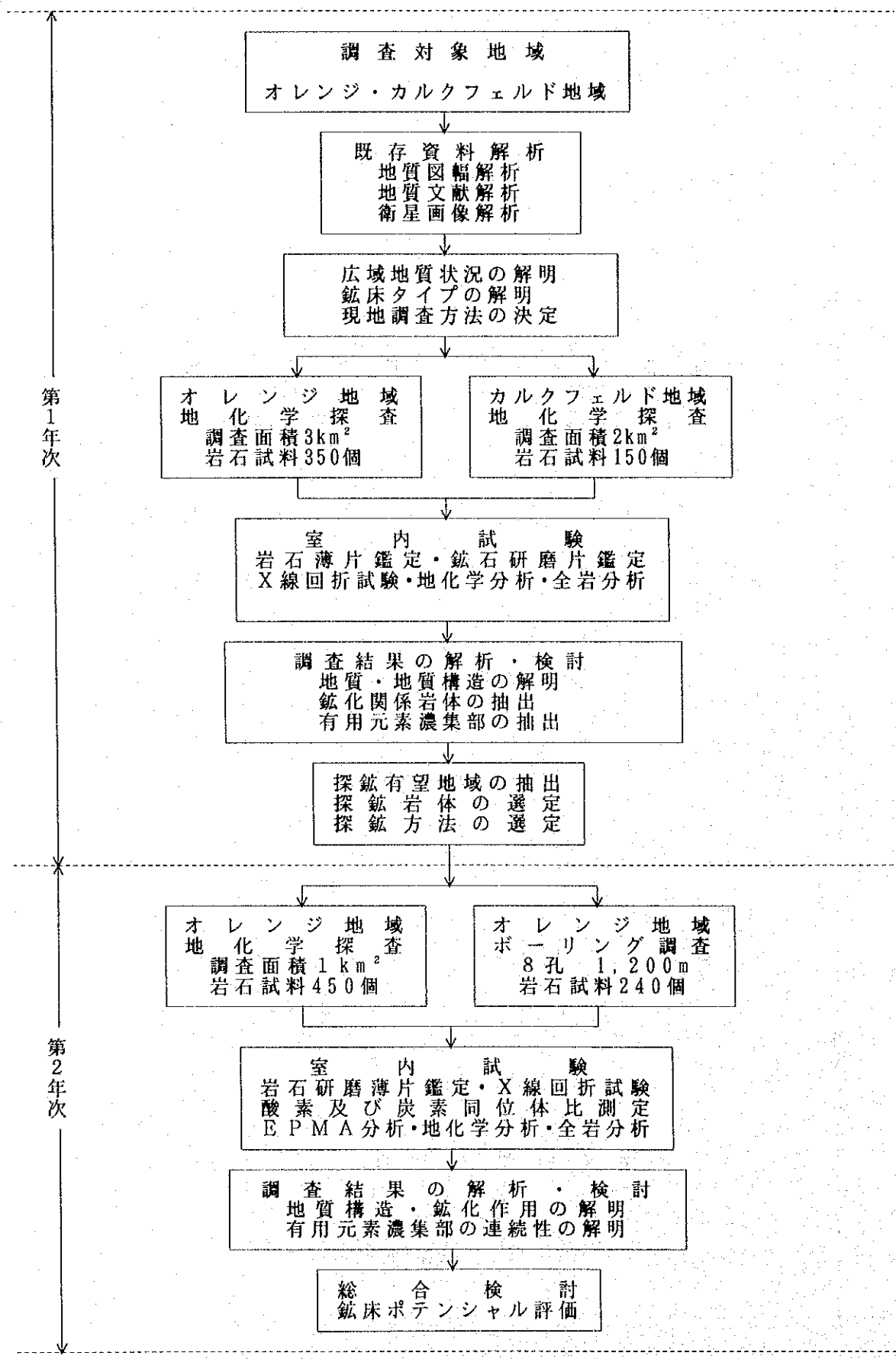


図1-1-2 調査フローチャート



第1年次

第2年次

図1-1-3 鉱床有望地抽出フローチャート

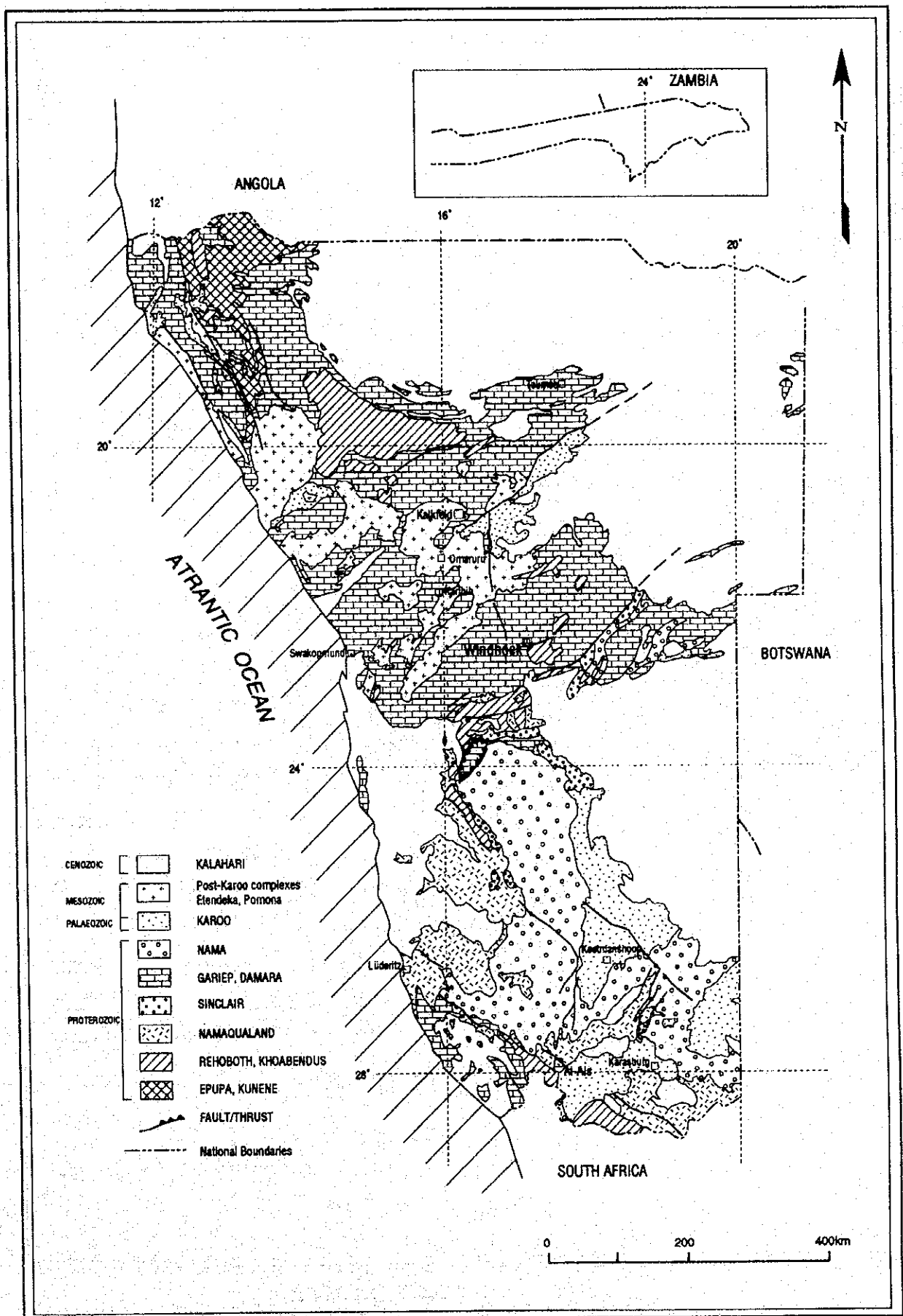


图 I - 3 - 1 広域地質概略図

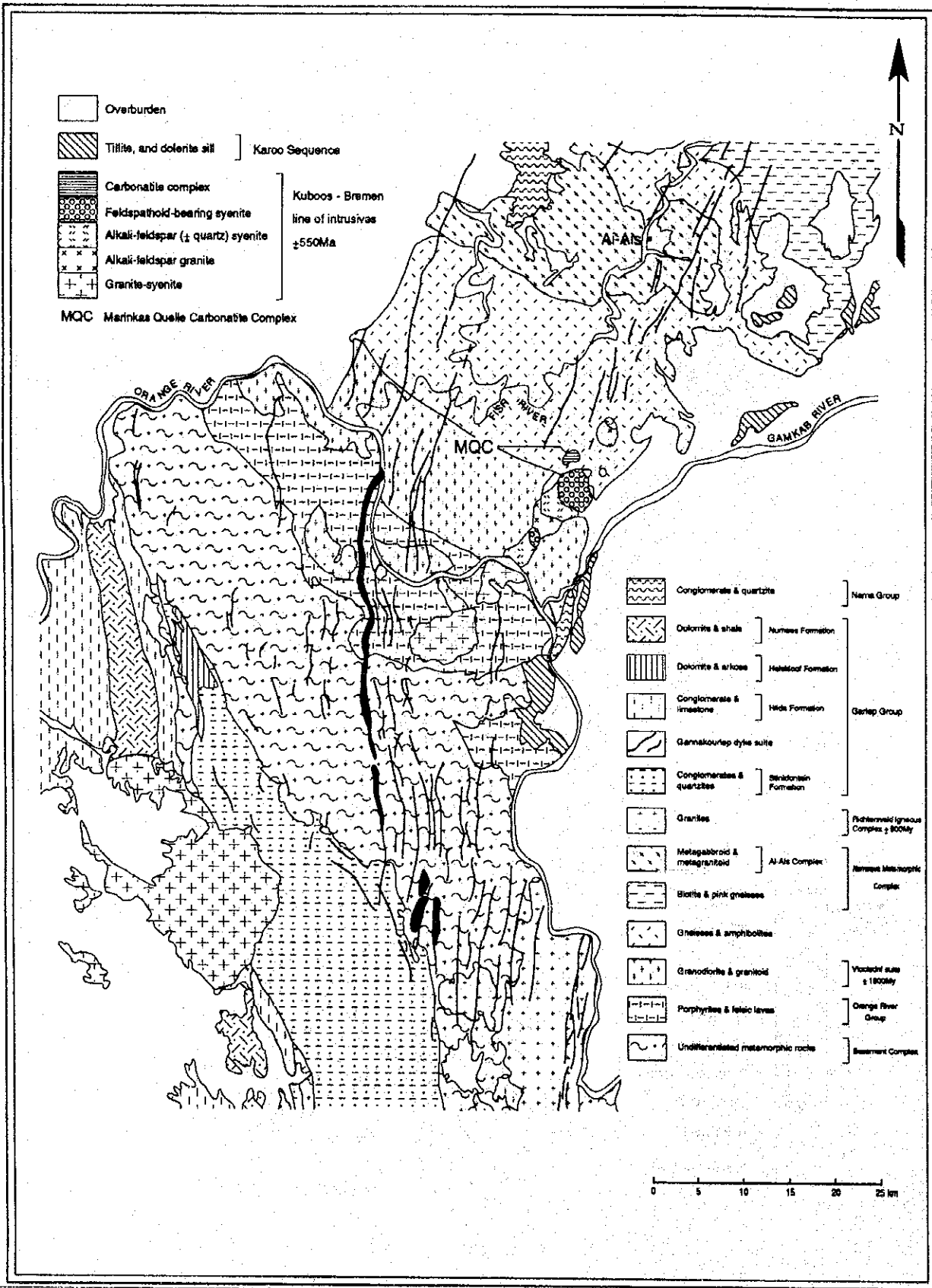


図 1 - 3 - 2 オレンジ地域周辺の広域地質図

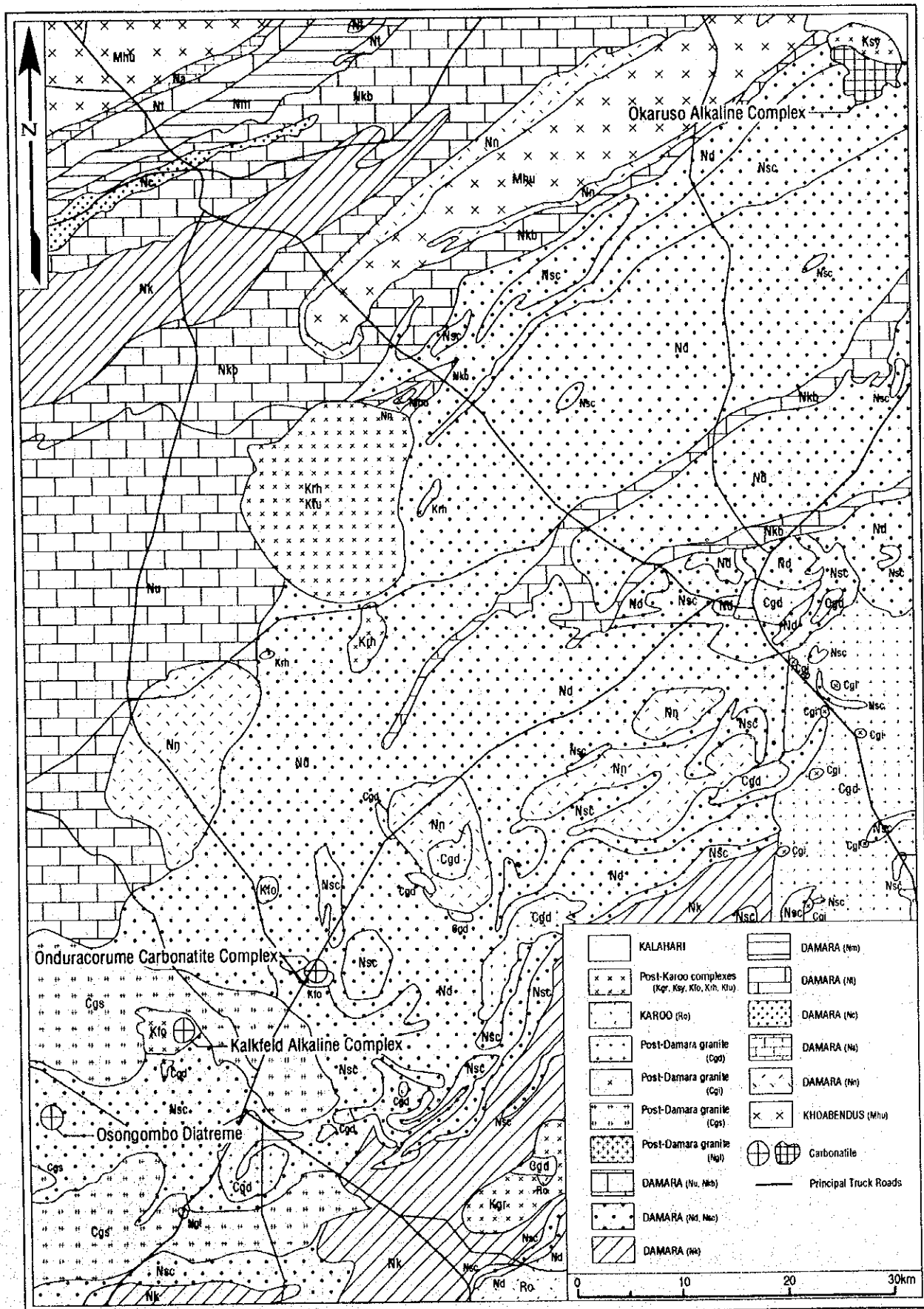


図 I - 3 - 3 カルクフェルド地域周辺の広域地質図

表 I - 1 - 1 年度別調査方法及び調査総括表

調 査 方 法	平 成 5 年 度		平成6年度
既存データ解析 ・地質図幅 ・地質文献 ・衛星画像解析データ	2 件 10 件 1 件		
	オレンジ地域	カクワイルト地域	オレンジ地域
地化学探査 ・調査面積 ・岩石試料採取 ・地化学分析(La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Sc, Y, U, Th, Nb, Ta, Zr, Fe, Mn, Sr, P:19成分) ・全岩分析(SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , FeO, MnO, CaO, Na ₂ O, MgO, K ₂ O, P ₂ O ₅ , LOI:12成分) ・岩石薄片鑑定 ・鉍石研磨片鑑定 ・X線回折試験 ・岩石研磨薄片鑑定 ・E P M A分析 ・酸素及び炭素同位体比測定 ・年代測定(Pb-Pb法)	3 km ² 350 件 350 件 30 件 30 件 25 件 20 件	2 km ² 150 件 150 件 10 件 10 件 5 件 10 件	1 km ² 450 件 450 件 100 件 5 件 10 件 5 件 10 件 1 件
ボーリング調査 ・数 量 ・総掘進長 ・地化学分析(La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Sc, Y, U, Th, Nb, Ta, Zr, Fe, Mn, Sr, P:19成分) ・全岩分析(SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , FeO, MnO, CaO, Na ₂ O, MgO, K ₂ O, P ₂ O ₅ , LOI:12成分) ・X線回折試験 ・岩石研磨薄片鑑定 ・E P M A分析 ・酸素及び炭素同位体比測定			8 本 1,200 m 240 件 60 件 5 件 10 件 5 件 8 件

表 I - 1 - 2 年度別調査期間及び調査員総括表

年 度	平 成 5 年 度	平 成 6 年 度
調 査 計 画	<p>事前調査及び協定折衝</p> <p>金属鉱業事業団 山本 恭久</p> <p>外務省 橋本 尚文</p> <p>通商産業省 飯田 陽一</p> <p>国際協力事業団 内藤 耕</p> <p>金属鉱業事業団 塩川 智</p> <p>奥泉 洋一</p>	<p>現地指導監督</p> <p>国際協力事業団 高橋 健一</p> <p>金属鉱業事業団 両角 春寿</p>
及 び 折 衝	<p>現地指導監督</p> <p>金属鉱業事業団 辻本 崇史</p> <p>奥泉 洋一</p>	
	<p>鉱山・エネルギー省 Josephat Vatanavi Mazeingo</p> <p>ナミビア地質調査所 Brian G. Hoal Gabriele I.C. Schneider</p>	<p>ナミビア地質調査所 Brian G. Hoal Gabriele I.C. Schneider</p>
調 査 期 間	1993年10月1日～1994年2月25日	1994年8月12日～1995年2月20日
現 地 調 査	<p>同和工営株式会社 金龍 之緒 今野 宏秀 岡村 浩之</p> <p>ナミビア地質調査所 Gabriele I.C. Schneider Herbert Roesener</p>	<p>同和工営株式会社 金龍 之緒 今野 宏秀 池田 慶一</p> <p>ナミビア地質調査所 Gabriele I.C. Schneider</p>

第 Ⅱ 部

各 論

第 II 部 各 論

第 1 章 既存データ解析

1-1 解析方法

ナミビア地質調査所内部資料, ナミビア政府刊行物, 南アフリカ地質調査所発行資料, その他学術雑誌などから, 当該地域に地質・鉱床・探鉱活動に関連する既存資料を収集し, ナミビア地質調査所内で解析業務を実施するとともに, コンパイル地質図を作成した。

解析した資料は地質図幅 2 葉, 衛星画像 1 件, 空中磁気図 4 葉, 地質・鉱床文献 20 件, 鉱業事情・鉱業法 3 件である。

1-2 解析結果

本調査地域には, 希土類元素(La, Ce, Nd), ニオブ(Nb), リン(P)などの元素が濃集するカーボナタイト岩体が分布している。

ナミビアのカーボナタイトは次のタイプに分けられる(Verwoerd, 1967)。

- ① 地下火山型カーボナタイト複合岩体: Okorusu, Ondurakorume, Kalkfeld, Osongombo など
- ② 火山型カーボナタイト複合岩体: Brukkaros

カーボナタイトの形成時代は次の 3 時代に分けられる。

- ① Middle Precambrian
- ② Late Precambrian
- ③ Lower Jurassic

カーボナタイトの形態は

- ① 岩柱状, 円錐状, 岩脈状, 環状岩脈などの形態で産出する。
- ② 典型的にはカーボナタイトはアルカリ複合岩体の芯部に認められる
- ③ 形態は卵型~円形をし, 直径は 1 マイル程である。

武内(1981)によれば, カーボナタイトは

- ① アルカリ複合岩体は, 小岩株状, パイプ状, 円錐岩床状, 及び環状岩脈を示す
- ② 霞石を伴うような珪酸に不飽和なアルカリ複合岩体に伴う
- ③ アルカリ複合岩体の一連の活動の晩期に, カーボナタイトが生成している
- ④ アルカリ岩やカーボナタイト周辺岩石はフェン岩化作用を受け, SiO_2 の溶脱, Na, K, 及び Fe の添加を伴う。原岩の苦鉄鉱物はアルカリ角閃石, エジル輝石に交代され, 斜長石は曹長石と方解石に変化する。このため変質岩は閃長岩質になる。

武内(1973a)によれば, カーボナタイトは侵食レベルにより, 次のように区分される。

- ① 火山円錐型: 溶岩や火山砕屑岩による円錐丘
- ② 火山類型: 長石岩の角礫岩・集塊岩を伴い, カーボナタイトは早期から晩期へ, 方解石質, アンケライト質, 菱鉄鉱質と変化する。アルカリ岩としては霞石閃長岩, アイヨライト, アルノーアイトの岩脈を伴う。フェン岩化作用が著しい
- ③ 浅所深成岩型: 方解石質・ドロマイト質カーボナタイトが多く, フェン岩化作用では, Na の添加が多い。アイヨライトとファヤライト, 輝岩, ダンかんらん岩を伴う
- ④ 深所深成型: 岩脈はまれで, 火成岩は閃長岩, 輝岩, かんらん岩, ペグマタイトである。

第2章 オレンジ地域

本地域は第1年次と第2年次にわたって調査を実施した。本地域はアイアイス(Ai-Ais)保養地の南南東約25kmに位置する。本地域は国有地内に位置する。

2-1 調査方法

第1年次に既存の5万分に1地形図から縮尺2,500分の1の地形図を作成し、これをもとに地化学探査の現地調査を実施した。また、地化学試料採取の測線沿いに、地質ルートマップを作成するとともに、既存地質図と対比、補完することにより、新たな地質図を作成した。室内試験では、地化学分析のほか、岩相に差異の認められるものは岩石薄片及び研磨片の顕微鏡観察を行うとともに、必要に応じてX線回折試験、全岩化学分析を行った。

第2年次には、第1年次で希土類元素などの有用元素が特に濃集することが判明した、マリンカスクエラカーボナタイト複合岩体のうち、特にベフォルサイト中央・北東両岩体に絞り、地化学探査とボーリング調査を実施した(図II-2-1)。室内試験では、地化学分析(巻末資料B-1, 2)のほか、全岩化学分析・ノルム分析(巻末資料B-3)、岩石研磨薄片鑑定、X線回折試験、EPMA分析、酸素及び炭素同位体比測定(表II-2-1)や、年代測定を行った。

2-2 地質調査

2-2-1 地質概説

Schommarz(1988)の地質図をもとにして、本調査結果を加えて改訂した地質図及び地質断面図を図II-2-2に、模式地質層序を図II-2-3に示す。

調査地域内の地質は、ナマクア(Namaqua)変成複合岩体、ガリエプ(Gariep)層群、ナマ(Nama)層群、マリンカスクエラ(Marinkas Quelle)カーボナタイト複合岩体(MQC)、及びカルー(Karoo)貫入岩類から構成される。

2-2-2 地質各説

1. ナマクア(Namaqua)変成複合岩体(Ngn)

本岩体は、MQCを取り巻いて広く分布する。岩相は、粒径1mm前後の石英及び長石を主要構成鉱物粒とする石英-長石片麻岩からなる。一般にNW-SE走向、南傾斜の流理構造が発達する。MQCの周辺では、礫径が数cmから数mの角礫構造を呈し、礫間は暗緑色-青緑色角閃石、エジリン輝石、エジリン輝石質普通輝石、金雲母、炭酸塩鉱物、燐灰石等から構成される暗緑色を呈する網状脈によって充填されているほか、褐色カーボナタイトの細脈の発達が認められる。脈幅は変化が大きく、10cm以上となる場合がある。角礫構造は、MQC周縁部で顕著に発達しており、礫内が緑色鉱物、炭酸塩鉱物及びアルカリ長石による交代作用が進んでいる。

鏡下の観察及びXRD試験結果では、MQCの貫入によるフェン岩化作用を被ったため、多量のカリ長石が普遍的に見い出される。主要造岩鉱物として石英、斜長石(曹長石)、カリ長石、霞石、

エジリン輝石質普通輝石、普通角閃石、リーベック閃石、黒雲母及び金雲母が認められ、随伴鉱物としてスフェーン、燐灰石、方解石、蛍石及び不透明鉱物が認められる。また、二次変質作用により長石の一部は絹雲母化及び有色鉱物の一部は緑泥石化を被っている。また、MQCの北外縁部及びMQC内の捕獲岩塊の一部では、カンクリナイトが検出された。

2. ガリエプ(Gariep)層群(Gdd)

本地域西側の石英-長石片麻岩中に幅約50mの粗粒玄武岩岩脈としてわずかに産する。岩脈は、ガンナコウリーブ岩脈類(Gannakouriep dyke suite)の一部を形成し(Schommarz, 1988)、後述するアンケライト質カーボナタイト岩脈(Mcd)によって貫入される。

3. ナマ>Nama)層群(Nsh)

本地域北部において、MQCの東側に分布するほか、MQC中の捕獲岩塊として産する。黒色粘板岩、頁岩、珪岩及び砂岩から構成される。本層群は、礫径が数10cmから数mの角礫構造を呈して産する。礫間は、暗緑色から青緑色を呈する網状脈によって充填されているほか、一部では、褐色カーボナタイト細脈が発達する。黒色頁岩礫には、弱い層理が認められる。珪岩は、淡緑灰色から白色を呈し、径5m程の巨礫には粗粒から細粒への級化構造が認められる場合がある。砂岩は、灰白色から淡緑色を呈し、主として石英及び長石の鉱物片から構成される。本層群全体が角礫化しているものと推定され、これらの岩相は、露頭における層理及び級化構造から推定される走向と非調和的に分布しており、各岩相の相互関係は不明である。

4. マリンカスクエラ(Marinkas Quelle)カーボナタイト複合岩体(MQC)

MQCを北から斑状閃長岩及び斑状霞石閃長岩を主体とした閃長岩複合岩体(Msw, Msp)、ソーパイト、斑状霞石閃長岩及び閃長岩からなるソーパイト-閃長岩複合岩体(Mcs, Msu, Msr, Msm)、及びアンケライト質ベフォルサイトを主としたベフォルサイト岩体(Mcb, Mfn, Mgr)と区分した。また、これらを最末期のカーボナタイト岩脈(Mcd)が切る。

(1) 閃長岩複合岩体(Msw, Msp)

地域北部に、南東部が欠けた半環状の分布をする。半環状構造の外側を構成する斑状閃長岩(Msw)と中心部を構成する斑状霞石閃長岩(Msp)に区別されている。

斑状閃長岩(Msw)は、乳白色から灰色、一部灰緑色を呈する。粒径5mm前後の白色長石斑晶を含み、有色鉱物は少ないことを特徴とする。角礫構造が発達し、片麻岩礫や黒色頁岩礫を取り込む場合が認められる。礫間は、暗緑色から青緑色の角閃石、エジリン輝石、炭酸塩鉱物等から構成される網状脈が充填される。褐色の方解石質カーボナタイト脈が発達する。

鏡下の観察及びXRD試験結果では、比較的多量の斜長石(曹長石)及びカリ長石が普遍的に見出される。主要造岩鉱物として石英、斜長石(曹長石)、カリ長石、霞石、カンクリナイト、ソーダ

ライト、方沸石、エジリン輝石、エジリン輝石質普通輝石、普通角閃石、リーベック閃石、黒雲母及び金雲母が認められ、随伴鉱物としてスフェーン、ジルコン、燐灰石、方解石及び不透明鉱物が認められる。また、二次変質作用により長石の一部は絹雲母に、有色鉱物の一部は緑泥石及び緑簾石に交代されている。

斑状霞石閃長岩(Msp)は、乳白色から淡灰緑色、一部淡桃色を呈する。粒径5mm前後の白色から淡黄色を呈する長石及びエジリン輝石質普通輝石の斑晶を含み、1mm前後の黒雲母を含む場合がある。また、粒径5cmの長石巨斑晶が濃集する場合がある。全般に角礫構造を呈し、方解石質カーボナタイト脈が発達する。

鏡下の観察及びXRD試験結果では、比較的多量の斜長石(曹長石)及びカリ長石が普遍的に見出される。主要造岩鉱物として斜長石(曹長石)、カリ長石、霞石、カンクリナイト、方沸石、エジリン輝石またはエジリン輝石質普通輝石、黒雲母及び金雲母が認められ、随伴鉱物としてスフェーン、燐灰石、方解石及び不透明鉱物が認められる。また、二次変質作用により長石の一部は絹雲母に、有色鉱物の一部は緑泥石及び緑簾石に交代されている。Nb-Yを含むシンケザイトの存在が記載されているが(Schommarz, 1988)、本調査では確認できなかった。

(2) ソーバイト-閃長岩複合岩体(Mcs, Msu, Msr, Msm)

本岩体は、調査地域内の中央部に中心を持つ環状構造の後を残す変形した楕円形を示す。ソーバイト(Mcs)、斑状霞石閃長岩(Msr)、未詳閃長岩(Msu)及び細粒閃長岩シル(Msm)に区分されている。

ソーバイト(Mcs)は、調査地域南部から北部にかけての盆状地形の部分に広く分布する。白色を呈する粗粒の方解石を主体とし、粗粒のエジリン輝石質普通輝石、エジリン輝石あるいはリーベック閃石が濃集した縞状構造が認められる。アンケライト質ペフォルサイトとの接触部では、幅数10mにわたって金雲母及び燐灰石に富み、縞状構造が発達している。

鏡下の観察及びXRD試験結果では、主要造岩鉱物として方解石のほか、石英、曹長石、カリ長石、霞石、カンクリナイト、ソーダライト、方沸石、菱沸石、エジリン輝石、リーベック閃石、黒雲母、金雲母、苦灰石、アンケライト、クトナホライトからなり、スフェーン、ジルコン、燐灰石、磁鉄鉱、赤鉄鉱、針鉄鉱、重晶石、絹雲母及び緑泥石を随伴する。

方解石と苦灰石の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ はそれぞれ、-5.5~-5.9パーミル、-4.7~-5.4パーミルの範囲にあり、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ はそれぞれ、6.5パーミル、7.7~8.3パーミルの範囲にある。 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ は方解石より苦灰石で富む(図II-2-5)。

斑状霞石閃長岩(Msr)は、調査地域東部の片麻岩との接触部に分布する。本岩は、桃色を呈する長石斑晶を含むこと特徴とする。

鏡下の観察及びXRD試験結果では、比較的多量のカリ長石が認められる。主要造岩鉱物は、斜長石(曹長石)、カリ長石、霞石、カンクリナイト、方沸石、エジリン輝石またはエジリン輝石質普通輝石、黒雲母及び金雲母を主要構成鉱物として、ザクロ石、スフェーン、燐灰石、カオリナイト、

方解石及び不透明鉱物を随伴する。

細粒閃長岩シル(Msm)は、調査地域中央部に幅、1m前後の幅の岩脈として分布する。

未詳閃長岩(Msu)は、本岩体の北部及び南部で広く分布する。乳白色、灰緑色、灰色、明灰色等の色調を示し、構成鉱物の粒径の変化も大きい。アンケライト質ベフォルサイトの周辺では、角礫構造を呈し、礫間は緑色脈に充填される。

鏡下の観察及びXRD試験結果では、主要造岩鉱物は、斜長石(曹長石)、カリ長石、霞石、カンクリナイト、方沸石、エジリン輝石、エジリン輝石質普通輝石、リーベック閃石、黒雲母及び金雲母からなり、ザクロ石、スフェーン、ルチル、燐灰石、絹雲母、緑泥石、カオリナイト、方解石、褐簾石、緑簾石及び磁鉄鉱を随伴する。アンケライト質ベフォルサイト西側では、本岩の有色鉱物は、一部緑泥石化作用を被っている。

(3) ベフォルサイト複合岩体(Mcb, Mfn, Mgr)

アンケライト質ベフォルサイト(Mcb)は、中央岩体(Mcb1)と北東岩体(Mcb2)の2岩体からなる。

ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)は、ほぼ同心円状の環状構造の形態をとる。地表面は風化作用により赤褐色を呈し、周縁の片麻岩及びアルカリ岩と比較して明瞭な色調の差異がある。本岩体内の北及び東は急峻な地形をなす。岩体内の縞状構造は、ほぼ垂直に近い傾斜をもち、岩体の形態に調和的な走向を示す。岩体内の各所には不規則な形態の金雲母のアグリゲート及び針鉄鉱のアグリゲートが認められる。

この岩体の鏡下の観察及びXRD試験結果では、主要構成鉱物が苦灰石の場合とアンケライトの場合がある。副成分として、方沸石、金雲母、スフェーン、緑泥石、方解石、菱苦土石、ストロンチアナイト、パイロクロア、磁鉄鉱、赤鉄鉱、針鉄鉱及び燐灰石が認められる。またXRD試験により、希土類元素含有鉱物としてバストネサイトが同定された。

方解石と苦灰石の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ はそれぞれ、 $-3.7\sim-4.1$ パーミル、 $-3.5\sim-3.9$ パーミルの範囲にあり、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ はそれぞれ、 $8.6\sim 10.5$ パーミル、 $8.5\sim 9.8$ パーミルの範囲にある。 $\delta^{13}\text{C}$ は方解石より苦灰石で富み、 $\delta^{18}\text{O}$ は苦灰石より方解石で富む。

ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)は、N-S方向に伸長したレンズ状の形態をとる。この岩体周辺の角礫化したナマクア変成岩複合岩体の片麻岩、ナマ層群の頁岩及び珪岩、及び閃長岩中には、本岩から枝分かれしたカーボナタイトが発達する。また、本岩体中には岩体の伸び方向に平行な粗粒玄武岩及び粗面岩の岩脈が発達する。風化作用により表面は赤褐色、褐色から褐灰色を呈する。本岩体中は、風化・浸食作用の差異による縞状構造がよく発達しており、急傾斜の走向は岩体の形態に調和的である。粒径1mm前後の淡緑色燐灰石がこの流理構造に沿って配列するところがあるほか、細脈状あるいはレンズ状に産する場合がある。

この岩体の鏡下の観察及びXRD試験結果では、主要炭酸塩鉱物が苦灰石の場合とアンケライトの場合がある。副成分として、曹長石、カリ長石、カンクリナイト、エジリン輝石、リーベック閃石、クロス閃石、金雲母、緑泥石、方解石、パイロクロア、菱鉄鉱、針鉄鉱、黄鉄鉱及び燐灰石が

認められる。

E PMA 定量分析によれば、パイロクロアは $(\text{Na, Ca})_2(\text{Nb})_2\text{O}_6(\text{F})$ の組成を持つ。Na:Ca の原子数比 (Atomic Ratio) は、ほぼ 1:1 である。

方解石と苦灰石の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ はそれぞれ、 $-4.9 \sim -5.0$ パーミル、 $-4.8 \sim -4.9$ パーミルの範囲にあり、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ はそれぞれ、 $8.0 \sim 8.5$ パーミル、 $8.1 \sim 8.4$ パーミルの範囲にある。 $\delta^{13}\text{C}$ は方解石より苦灰石で富み、 $\delta^{18}\text{O}$ は苦灰石より方解石でわずかに富む。

フェン岩 (Mfn) は、南部のベフォルサイト岩体の周縁部に分布する。

鏡下の観察及び XRD 試験では、斜長石 (曹長石)、カリ長石、エジリン輝石質普通輝石、リーベック閃石、金雲母のほか、スフェーン、燐灰石、絹雲母、方解石、磁鉄鉱が同定された。

グラノファイヤーあるいは微晶質花崗岩 (Mgr) は、ベフォルサイト中央岩体の中心部やベフォルサイト北東岩体の南縁部に小規模な岩体として分布する。白色から明灰色の細粒完晶質岩からなる。ベフォルサイト北東岩体中のこの岩体は、黄鉄鉱及び白鉄鉱を含み、風化面上では、黄色の鉄明礬石が生成している。

鏡下の観察及び XRD 試験結果では、斜長石 (曹長石) が大部分を占め、副成分とした少量の方沸石、黄鉄鉱、白鉄鉱及び燐灰石を含む。

全岩化学分析値に基づくノルム計算によれば、ベフォルサイト中央岩体 (Mcb1) のノルム鉱物とそのノルム (平均値) は磁鉄鉱 (1.52wt%)、赤鉄鉱 (2.10wt%)、ルチル (0.01wt%)、燐灰石 (0.45wt%)、フォルステライト (0.08wt%)、ファヤライト (0.30wt%)、方解石 (57.3wt%)、菱苦土石 (31.41wt%)、菱鉄鉱 (4.49wt%)、ストロンチアナイト (1.11wt%) である。ベフォルサイト北東岩体 (Mcb2) のノルム鉱物とそのノルム (平均値) は磁鉄鉱 (0.66wt%)、赤鉄鉱 (1.01wt%)、ルチル (0.05wt%)、燐灰石 (4.39wt%)、フォルステライト (0.14wt%)、ファヤライト (0.71wt%)、方解石 (54.67wt%)、菱苦土石 (29.07wt%)、菱鉄鉱 (5.61wt%)、ストロンチアナイト (1.46wt%) である。両岩体のノルムの差を t 検定 (危険率 5%) により解析すると、ベフォルサイト中央岩体 (Mcb1) はベフォルサイト北東岩体 (Mcb2) より磁鉄鉱、赤鉄鉱、方解石、菱苦土石に富み、燐灰石やストロンチアナイトに乏しい。フォルステライト、ファヤライトや菱鉄鉱のノルムは両岩で差がない。

帯磁率 (図 II-2-4) は、ベフォルサイト中央岩体で 100CGSemu 以上を示す場合が多く、岩体の南東部では 200CGSemu 以上を示す。特に、500CGSemu 以上は岩体南東部に楕円状に分布する。一方、ベフォルサイトは、ベフォルサイト中央岩体より帯磁率が弱く、100CGSemu 以下の場合が多い。500CGSemu 以上は岩体北部に散見されるだけである。帯磁率がベフォルサイト北東岩体より、ベフォルサイト中央岩体で強いのは、磁鉄鉱がベフォルサイト中央岩体で富んでいることと対応する。

ベフォルサイト中央岩体 (Mcb1) に含まれる方鉛鉱を用いて、Pb-Pb 法による年代測定を実施した。年代は、Stacy and Kramers (1975) の提案によるモデル年代計算法に基づいて算出した。方鉛鉱試料は同一採取地点の 2 試料 (4 測定値) を用いた。得られた年代は 329Ma である。

(4) カーボナタイト岩脈(Mcd)

カーボナタイト岩脈(Mcd)は、幅数cmから数mの岩脈として産する。MQCの母岩であるナマクア複合変成岩体及びナマ層群中に多数発達する。アンケライト質ベフォルサイト及び方解石質ソーバイトのものがある。露頭では、共に鉄鉱物の酸化作用により褐色を呈する。

鏡下の観察及びXRD試験では、方解石、苦灰石、アンケライトを主成分鉱物として、斜長石(曹長石)、カリ長石、菱沸石、エジリン輝石またはエジリン輝石質普通輝石、リーベック閃石、クロス閃石、金雲母、燐灰石、菱鉄鉱、ストロンチアナイト、モナズ石及びバストネサイトが含まれる。

E P M A 定量分析によればこのバストネサイトは(Ce, Nd, La, Pr, Ca, Fe, Sr)CO₃(F, OH)の組成を持つ。原子数比(Atomic Ratio)はCe:Nd:La:Pr:Ca:Fe:Srが2.6:1.5:0.8:0.5:0.4:0.05:0.05である。F:OHが3.5:2.5である。

方解石と苦灰石の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ はそれぞれ、-3.4~-5.9パーミル、-3.2~-5.4パーミルの範囲にあり、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ はそれぞれ、7.5~14.5パーミル、8.7~11.2パーミルの範囲にある。 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ ともバラツキが大きい。

5. カルー(Karoo)貫入岩類(Kdd, Ktd)

カルー貫入岩脈類は、粗粒玄武岩(Kdd)及び粗面岩(Ktd)の岩脈から構成される。ともにNE-SW方向及びNW-SE方向の走向のものがある。岩脈幅は、数10cmか数mであるが、比較的連続性は良い。

粗粒玄武岩(Kdd)の鏡下の観察結果では、主要造岩鉱物として、斜長石、単斜輝石、普通角閃石、黒雲母からなり、絹雲母、緑泥石、方解石、白チタン石及び不透明鉱物を随伴する。粗面岩(Ktd)の鏡下の観察結果では、主要造岩鉱物として、石英、曹長石、カリ長石、霞石、エジリン輝石質普通輝石、黒雲母からなり、螢石、絹雲母、緑泥石、方解石、黄鉄鉱を随伴する。

2-3 地化学探査

2-3-1 探査手法

オレンジ地域の地化学探査は第1年次と第2年次に実施した。地化学探査試料は岩石とし、第1年次は採取間隔は、マリンカスクエラカーボナタイト複合岩体(MQC)分布域では50m×75mグリットとし、その周辺では100m×150mグリットとした。

第2年次には、第1年次で希土類元素などの有用元素が特に濃集することが判明した。MQCのうち、特にベフォルサイト2岩体に絞って地化学探査を実施した。採取間隔は25m×25mグリットとし、第1年次採取地点を補完した。

地化学分析成分はLa, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Sc, Y, U, Th, Nb, Ta, Zr, Mn, Sr, P, 及びFeの19成分である。

2-3-2 調査結果

岩石地化学探査解析図を図Ⅱ-2-6に、地化学分析結果を巻末資料B-3に、岩相別地化学分析値の基本統計量を表Ⅱ-2-2に示す。また、地化学分析値の度数分布図及び累積度数分布図を巻末資料B-4に、散布図を巻末資料B-5に、それぞれ示す。

1. 希土類元素 (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb及びLu)

ランタノイド系列に属する希土類元素は、地化学的に類似した挙動を取る。希土類酸化物(R2O3)はMQCのソーバイト(Mcs), ベフォルサイト中央岩体(Mcb1), ベフォルサイト北東岩体(Mcb2), カーボナタイト岩脈(Mcd)に濃集している。ソーバイト(Mcs)では最高5,500ppm, 平均1,029ppmである。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)では最高32,716ppm, 平均1,665ppmである。ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)では最高27,224ppm, 平均1,252ppmである。カーボナタイト岩脈(Mcd)では最高21,657ppm, 平均9,871ppmである。

ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)では1,000ppm以上の高濃度部は、岩体中央部より外周部に多く分布しており、10,000ppmを越えるところも認められる。また、外周部のフェン岩化した閃長岩(Mfn)及び片麻岩(Ngn)中でも1,000ppm以上の濃集が認められる。閃長岩や片麻岩で希土類酸化物が高濃度の部分は、ベフォルサイトとの貫入部付近であり、ベフォルサイトの網状脈が発達している。

ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)でも1,000ppm以上の高濃度部は、岩体中央部より、外周部に多く分布しており、10,000ppmを越えるところも認められる。

カーボナタイトの網状脈が発達するナマ層群(Nsh)中にも高濃集部が認められるが、これらの網状脈中に希土類元素が濃集していることによる。

希土類元素の含有が報告されている斑状霞石閃長岩(Msp)岩体は、最高2,763ppm含むが、ベフォルサイトと比較して、顕著な濃集は認められない。

XRD試験では、希土類鉱物としてバストネサイト(Ce, Nd, La, Pr, Ca, Fe, Sr)CO₃(F, OH)や、モナズ石(Ce, Nd, La,)(PO₄)が同定されている。

ベフォルサイト両岩体(Mcb1, Mcb2)における各希土類元素の分布状況をみると、軽希土類元素(La, Ce, Nd)はt検定にれば、両岩体で差は認められないが、中～重希土類元素(Eu, Tb, Yb, Lu)は、ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)に濃集する。

2. Sc及びY

これらの元素は、調査地域北方のナマ層群(Nsh)中に、100ppm以上の高濃度帯が認められる。一方、MQCでは、顕著な低濃度帯を形成することを特徴とする。

3. U及びTh

MQCのうち、カーボナタイト岩脈(Mcd)の一部で、Thが最高716ppmを示す以外、カルクフェルド地域内のカーボナタイト(オソングンボダイアトリーム)と比較して、U, Thとも広範囲な高濃度異

常は認められない。相対的には、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の周縁部で、わずかな高濃度域を形成している。

4. Nb及びTa

Nbは、MQC内では相対的に高濃度となっている。特にベフォルサイト中央岩体(Mcb1)では、外周部より岩体中央部で1,000ppm以上の高濃集が認められる。希土類酸化物(R2O3)が外周部で濃集するのは対照的な分布傾向を示す。

ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)でも、周辺部より岩体内部で1,000ppm以上濃集している。北部の斑状霞石閃長岩(Msp)でも1,000ppm以上の濃集部が確認されたが、その分布域は狭い。

XRD試験では、Nb鉱物としてパイロクロア(Na, Ca)₂(Nb)₂O₆(F)が同定されている。

Taは、ベフォルサイト両岩体周辺の閃長岩類(Msu, Msr)、フェン岩(Mfn)、やカーボナタイト岩脈(Mcd)でわずかに濃集するが、あまり顕著ではない。

5. Zr

Zrは、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)やベフォルサイト北東岩体(Mcb2)で、100ppm以下の顕著な低濃度帯を形成することを特徴とする。珪酸塩鉱物を主体とする閃長岩類(Msu, Msr)や基盤の片麻岩(Ngn)分布域では、1,000ppm以上の高濃度地点が散点する。

6. Mn

Mnの高濃度分布域は、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)やベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の形態に調和的である。5,000ppm以上の濃集は、これらの岩体内に限られる。これら岩体内のMn濃度分布は、他の成分と比較して、均質と言える。ベフォルサイト両岩体では濃度の差はない。

7. Sr

MQCのうち、カーボナタイト岩脈(Mcd)、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)、ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)、及びソーバイト(Mcs)で高濃度を示し、それらの岩相の分布と調和的である。特にカーボナタイト岩脈(Mcd)及びベフォルサイト北東岩体(Mcb2)での濃集は著しく、Srの含有量として最高22,060ppmに達する。

XRD試験結果から、高濃度のSrを含有する試料では、ストロンチアナイトが同定されたが、その他に、Srは炭酸塩鉱物や長石中のアルカリ元素を置換していると推定される。

8. P

ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)で5,000ppm以上の高濃集を示す。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)では全般に低濃度であり、その外周部のフェン岩化した閃長岩(Mfn)及び片麻岩(Ngn)に高濃集が認められ、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)とは顕著な差異が認められる。Pは、大部分燐灰石とし

て産するが、一部試料のXRD試験によって、希土類元素の含有鉱物であるモナズ石が同定されている。

9. Fe

Feは、石英-長石片麻岩(Ngn)、閃長岩類(Msw, Msu, Msr, Msp)及びソーバイト(Mcs)では、平均1.73~3.50%と低濃度であり、一方、ベフォルサイト両岩体(Mcb1, Mcb2)やカーボナタイト岩脈(Mcd)では、平均3.73~5.74%と高濃度である。調査地域内のベフォルサイト岩体の周辺は、Feを含有するエジリン輝石質普通輝石やリーベック閃石の網状脈が発達しており、全岩として鉄含有量が高くなっている。

ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)はベフォルサイト北東岩体(Mcb2)より鉄が濃集している。

2-4 ボーリング調査

2-4-1 調査方法

第1年次の既存データ解析及び地下学探査の結果、MQCのうち、特にベフォルサイト2岩体中に、希土類元素やニオブ、リンなどの濃集が明らかになった。本調査は、このベフォルサイト岩体中の上記元素等の地下深部への賦存状況や連続性を把握するため、ボーリング調査を実施した。

ボーリング位置は(図II-2-1)に示すとおり、ベフォルサイト中央岩体で5孔、ベフォルサイト北東岩体で3孔のボーリングを垂直掘で実施した。ワイヤーライン工法を採用し、最終口径をBQとした。掘進長はすべて150mである。

ボーリング作業はナミビアの業者(ROSOND EXPLORATION PTY LIMITED社)を用いて実施した。主要機械・消耗資材は大型トラックでウインドフック~オレンジ地域間を運搬した。ボーリング位置は既成道路から離れた山の傾斜地であるため、ボーリング機材の移設・撤収にはヘリコプターを使用した。

作業は現地責任者1名、掘削主任1名に下に、掘削クルー3班と用水運搬クルー1班が配置する体制で実施した。掘削クルーの1班は機長1名と作業員4名で、用水運搬クルーは4名で、それぞれ構成された。作業時間は通常、11時間/日であり、調査後半では工程通りの進捗を保つために2交代制を実施した。

ボーリング基地周辺には用水になる水源がなく、調査地域から30km離れたオレンジ川から3m³タンク搭載の4トントラック2台でピストン輸送を行った。

コア鑑定は縮尺200分の1柱状図にまとめ、希土類元素などが濃集するベフォルサイト部では原則として5m間隔のサンプリングを行い、全岩化学分析・ノルム分析(巻末資料B-2)や地化学分析を行った。しかし、ベフォルサイトの産状に変化の見られる部分では、産状に応じてサンプリング間隔を縮めた。また、代表的な岩石や硫化鉱物などが濃集する箇所は、鉱石研磨薄片を作成し、顕微鏡観察を行い、さらにX線分析を実施した。希土類元素やニオブなどを含む有用鉱物は、EPMAにより定量分析した。また、酸素及び炭素同位体によりカーボナタイト岩体の産状を解析した。

2-4-2 調査結果

1. 地質・鉱化

ボーリング柱状図を巻末資料B-6に示す。

(1) MJNO-1

0.0~52.5mは、風化した淡茶灰色~淡灰色ベフォルサイト(Mcbl)からなる。磁鉄鉱やこれの風化した鉄酸化物や水酸化物が普遍的であるが、部分的に金雲母や黄鉄鉱に富む。縞状構造($\angle 60\sim 70^\circ$)が認められる。52.0~109.6mは淡灰色アルコース(Nsh)からなる。部分的に角礫化し、基質はベフォルサイトからなる。109.6~150.4mは淡灰色の炭酸塩鉱物化した閃長岩(Msu)を主とし、これを淡灰色方解石(Mcs)が脈状ないし網状に交代している。

ベフォルサイトのノルム鉱物とそのノルム(平均値)は磁鉄鉱(2.39%), 赤鉄鉱(0.51%), ルチル(0.28%), 燐灰石(5.20%), フォルステライト(0.26%), ファヤライト(0.86%), 方解石(48.67%), 菱苦土石(13.62%), 菱鉄鉱(4.56%), スترونチアナイト(1.15%)である。顕微鏡下ではベフォルサイトから黄鉄鉱, 磁硫鉄鉱, 閃亜鉛鉱, 方鉛鉱が認められた。方解石と苦灰石の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ はそれぞれ、-4.6, -4.7パーミルであり、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ はそれぞれ、8.0, 8.5パーミルである。 $\delta^{13}\text{C}$ は苦灰石より方解石で富み、 $\delta^{18}\text{O}$ は方解石より苦灰石で富む。

(2) MJNO-2

0.0~136.0mは風化した褐色アンケライト質~破砕質ベフォルサイト(Mcbl)からなる。風化により針鉄鉱やモンモリロナイトが生成している。部分的に金雲母や白雲母を多く含む。136.0~150.4mは変質作用により珪化した粗面岩岩脈(Ktd)からなる。

ノルム鉱物とそのノルム(平均値)は磁鉄鉱(5.23%), 赤鉄鉱(3.80%), ルチル(0.07%), 燐灰石(3.04%), フォルステライト(6.68%), ファヤライト(0.34%), 方解石(46.60%), 菱苦土石(24.19%), 菱鉄鉱(0.73%), スترونチアナイト(1.07%)である。

(3) MJNO-3

0.0~150.mまで、風化した淡茶灰色のベフォルサイトと、黄鉄鉱や白鉄鉱などの硫化鉱物に富む淡灰色のベフォルサイト(Mcbl)を主とし、浅所の一部では褐色のアンケライト質ベフォルサイト(Mcbl)を、深所の一部で淡茶灰色の磁鉄鉱に富むベフォルサイト(Mcbl)を伴う。

ノルム鉱物とそのノルム(平均値)は磁鉄鉱(3.14%), 赤鉄鉱(0.08%), ルチル(0.01%), 燐灰石(0.02%), フォルステライト(0.03%), ファヤライト(0.59%), 方解石(56.50%), 菱苦土石(34.85%), 菱鉄鉱(1.81%), スترونチアナイト(1.96%)である。顕微鏡下ベフォルサイトからパイロクロアが認められた。E PMA定量分析によれば、このパイロクロアは $(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Nb})_2\text{O}_6(\text{F})$ の組成を持つ。Na:Caの原子数比(Atomic Ratio)は、ほぼ1:1である。方解石と苦灰石の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ はそれぞれ、-4.0~-4.6, -4.0~-4.5パーミルであり、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ はそれぞれ、8.2~8.5, 8.2~8.5パーミルである。

$\delta^{13}\text{C}$ は苦灰石と方解石ではほぼ同じか、苦灰石でわずかに富む。 $\delta^{18}\text{O}$ は方解石と苦灰石で同程度である。同位体比試料は深度別に採取しており、深所ではわずかに $\delta^{13}\text{C}$ に富み、 $\delta^{18}\text{O}$ に乏しくなる傾向が認められる。

(4) MJNO-4

0.0~150.2mまで、風化した淡褐色~淡灰色のベフォルサイト(Mcb1)を主とし、黄鉄鉱、白鉄鉱や磁硫鉄鉱などの硫化鉱物の富む部分と、金雲母や磁鉄鉱に富む部分を伴う。縞状構造($\angle 60\sim 70^\circ$)が認められる。

ノルム鉱物とそのノルム(平均値)は磁鉄鉱(0.51%), 赤鉄鉱(0.02%), ルチル(0.04%), 燐灰石(0.64%), フォルステライト(0.97%), ファヤライト(2.74%), 方解石(53.45%), 苦灰石(35.27%), 菱鉄鉱(3.67%), スロンチアナイト(1.09%)である。方解石と苦灰石の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ は、ともに-3.7パーミルであり、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ は、ともに8.8パーミルである。

(5) MJNO-5

0.0~105.1mは淡灰色のベフォルサイト(Mcb1)主とし、金雲母に富む部分、磁鉄鉱に富む部分や、硫化鉱物に富む部分が繰り返す。表層部は茶褐色に風化している。34.0~39.0mは暗緑色粗粒玄武岩貫入岩からなる。105.1~108.4mは変成を被った暗緑色の閃長岩岩片からなる。108.4~150.3mは淡灰色の微晶花崗岩貫入岩からなる。

ベフォルサイト(Mcb1)のノルム鉱物とそのノルム(平均値)は磁鉄鉱(2.89%), 赤鉄鉱(0.00%), ルチル(0.02%), 燐灰石(0.74%), フォルステライト(10.30%), ファヤライト(4.90%), 方解石(47.21%), 菱苦土石(30.87%), 菱鉄鉱(0.14%), スロンチアナイト(1.03%)である。顕微鏡下ではベフォルサイトから黄鉄鉱、磁鉄鉱、白鉄鉱、閃重鉛鉱が認められた。

(6) MJNO-6

0.0~101.0mは淡灰色のベフォルサイト(Mcb2)からなる。黄鉄鉱などの硫化鉱物に富む部分と、金雲母に富む部分が繰り返す。縞状構造($\angle 60\sim 70^\circ$)が認められる。101.0~147.2mも淡灰色のベフォルサイト(Mcb2)からなるが、淡緑色燐灰石に富み、金雲母や磁硫鉄鉱などの硫化鉱物を伴う。縞状構造($\angle 60^\circ$)が認められる。また、この区間には、黒色粗粒玄武岩小岩脈(Kdd)が貫入している。

ベフォルサイトのノルム鉱物とそのノルム(平均値)は磁鉄鉱(0.91%), 赤鉄鉱(0.02%), ルチル(0.04%), 燐灰石(3.94%), フォルステライト(0.02%), ファヤライト(2.52%), 方解石(56.28%), 菱苦土石(27.29%), 菱鉄鉱(2.15%), スロンチアナイト(1.93%)である。方解石と苦灰石の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ は、ともに-4.9パーミルであり、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ は、ともに8.3パーミルである。

(7) MJNO-7

0.0~150.5mは淡灰色のベフォルサイト(Mcb2)を主とする。浅所は黄鉄鉱などの硫化鉱物または、

磁鉄鉱に富むが、中～深所は淡緑色燐灰石に富む。縞状構造($\angle 50\sim 65^\circ$)が認められる。24.5～30.5mは黒色粗粒玄武岩貫入岩からなる。

ベフォルサイトのノルム鉱物とそのノルム(平均値)は磁鉄鉱(0.09%), 赤鉄鉱(0.13%), ルチル(0.01%), 燐灰石(6.63%), フォルステライト(0.03%), ファヤライト(0.41%), 方解石(56.06%), 菱苦土石(31.26%), 菱鉄鉱(3.12%), スترونチアナイト(1.26%)である。顕微鏡下ではベフォルサイトから黄鉄鉱, 磁鉄鉱や, パイロクロアが認められた。EPMA定量分析によれば, このパイロクロアは $(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Nb})_2\text{O}_6(\text{F})$ の組成を持つ。Na:Caの原子数比(Atomic Ratio)は, ほぼ1:1である。方解石と苦灰石の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ は, それぞれ-4.7, -4.8パーミルであり, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ は, ともに8.2パーミルである。

(8) MJNO-8

0.0～150.4mは淡灰色のベフォルサイト(Mcb2)を主とする。浅所では金雲母に富み, 中～深所では燐灰石に富む。浅所では暗緑色の粘板岩巨礫を取り込んだり, 粗粒玄武岩小岩脈(Kdd)に貫かれる。深所では粗面岩小岩脈(Ktd)に貫かれる。縞状構造($\angle 60^\circ$)が認められる。

ベフォルサイトのノルム鉱物とそのノルム(平均値)は磁鉄鉱(0.23%), 赤鉄鉱(0.02%), ルチル(0.04%), 燐灰石(4.85%), フォルステライト(5.37%), ファヤライト(2.74%), 方解石(48.27%), 菱苦土石(28.73%), 菱鉄鉱(1.92%), スترونチアナイト(1.09%)である。顕微鏡下ではベフォルサイトから黄鉄鉱, 硫砒鉄鉱, 磁鉄鉱, 閃亜鉛鉱が認められた。方解石と苦灰石の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ は, ともに-4.7パーミルであり, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ は, ともに8.2パーミルである。

2. コアによる地化学探査

地化学分析結果を巻末資料B-3に, これら分析値の基本統計量を表II-2-2に, またボーリングコアによる地化学探査解析結果を巻末資料B-7に示す。地化学分析の元素はLa, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Sc, Y, U, Th, Nb, Ta, Zr, Fe, Mn, Sr, Pの19成分である。

(1) 希土類元素 (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb及びLu)

希土類元素は高濃度順に表すとLa, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Luとなり, 地表の傾向と同じである。これら元素の平均濃度は, MJNO-1のCeが1,155ppmである以外は, すべて1,000ppm以下である。これら元素のうち高濃度のものはMJNO-1で認められ, La10,930ppm, Ce10,023ppmを示すが, 連続性はない。希土類酸化物(R2O3)は, NJNO-1で平均3,000ppmを越えるが, その他の孔では1,000ppm以下である。

希土類元素はベフォルサイト中央岩体(Mcb1)及びベフォルサイト北東岩体(Mcb2)で濃度が高く, 周辺岩石では低い。しかし, 周辺岩石でもベフォルサイトの細脈で交代されているところは, 部分的に高濃度となっている。

ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)とベフォルサイト北東岩体(Mcb2)で, 希土類酸化物(R2O3)濃度の

差を検定したところ、5%の危険率で、両岩体で有意な差は認められなかった。

しかし、ベフォルサイト両岩体に関して、各希土類元素の分布状況をみると、軽希土類元素(La, Cd, Nd)はt検定にれば、5%の危険率で両岩体で差は認められないが、中～重希土類元素(Sm, Eu, T b, Yb, Lu)は、ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)に濃集する。中～重希土類元素で差が現れ、全希土類酸化物で差がないのは、中～重希土類の濃度が軽希土類に較べてかなり低いことによる。

深度的には、各孔とも濃度にバラツキはあるものの、深度方向に増加する傾向は認められない。

(2) Sc及びY

Scは各孔とも平均濃度は100ppm以下である。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の平均濃度は47.3ppm, ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の平均濃度は4.3ppmであり、両岩体で有意な差が認められ、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の方が高濃度である。

Yも各孔とも平均濃度は100ppm以下である。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の平均濃度は10ppm, ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の平均濃度は35ppmであり、両岩体で有意な差は認められ、ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の方が高濃度である。

(3) U及びTh

Uは各孔とも平均濃度は100ppm以下である。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の平均濃度は6ppm, ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の平均濃度は3ppmである。両岩体で有意な差が認められ、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の方が高濃度である。

Thも各孔とも平均濃度は100ppm以下である。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の平均濃度が24ppm, ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の平均濃度が17ppmである。両岩体で有意な差が認められない。

(4) Nb及びTa

NbはMJNO-4, 5, 6, 7孔で平均濃度が1,000ppmを越える。その他の孔では500ppm以上である。最高濃度はMJNO-7で5.2%を得たが、深度方向に連続性はない。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の平均濃度が1,111ppm, ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の平均濃度が2,073ppmである。両岩体で有意な差が認められない。

Taは各孔とも平均濃度は30ppm以下である。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の平均濃度が8ppm, ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の平均濃度が2ppmである。両岩体で有意な差が認められ、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の方が高濃度である。

深度的には、各孔とも濃度のバラツキが激しいものの、深度方向に増加する傾向はない。

(5) Zr

Zrは平均濃度が3～136ppmの範囲にある。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の平均濃度が20ppm, ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の平均濃度が14ppmである。両岩体で有意な差が認められない。

(6) Mn

Mnは平均濃度が4,700~7,600ppmの範囲にある。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の平均濃度が6,971ppm, ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の平均濃度が6,293ppmである。両岩体で有意な差が認められない。

深度的には、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)のMJNO-1では浅部で高濃度、深部で低濃度を示すが、それ以外の孔では濃度にバラツキはあるものの、深度的な顕著な変化は認められない。他の成分との関係では、Feに富む部分でMnが乏しくなる傾向がある。

(7) Sr

Srは平均濃度が3,651~6,329ppmの範囲にある。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の平均濃度が6,329ppm, ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の平均濃度が6,249ppmである。両岩体で有意な差が認められない。

深度的には、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)のMJNO-1とベフォルサイト北東岩体(Mcb2)のMJNO-8が、濃度分布にバラツキはあるが、他孔ではバラツキが少なく、深度的な変化も認められない。

(8) P

PはMJNO-3,4では平均濃度が1,000ppm以下であるが、その他の孔では1,000ppm以上である。特に、MJNO-1,7,8で平均濃度が1%を越える、最高濃度はMJNO-1で7.7%を得たが、深度方向に連続性はない。

ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の平均濃度が2,602ppm, ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の平均濃度が12,224ppmである。両岩体で有意な差が認められ、ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の方が高濃度である。

深度的には、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)のMJNO-1,2,5では濃度変化が激しく、MJNO-3,4ではほとんど高濃度部が認められない。

ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)のMJNO-6,7,8は浅部で低濃度部があるほかは、高濃度部が連続する。

(9) Fe

Feは平均濃度が3.63~6.77%の範囲にある。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の平均濃度が4.49%, ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の平均濃度が3.35%である。両岩体で有意な差が認められ、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の方が高濃度である。

深度的には、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)では濃度にバラツキはあるが、深度的に変化は認められない。一方、ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)では、深部に向かうに従って低濃度となる傾向にある。