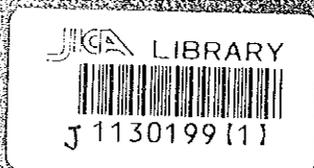


156

ナミビア共和国オレンジ・カルクフェルト地域 資源開発協力基礎調査報告書

第1年次

平成6年3月



国際協力事業団
金属鉱業事業団

資源調査
JIR
94-089

JICA ナミビア共和国オレンジ・カルクフェルト地域
資源開発協力基礎調査報告書 第1年次

平成6年3月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

522
66.1
MPN

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

第 1 年 次

平成 6 年 3 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団



1130199[1]

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年度を第1年次とし、金属鉱業事業団は3名の調査団を編成して平成5年10月20日から平成5年12月23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どおり完了した。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6年2月

国際協力事業団
総裁 柳谷謙介

金属鉱業事業団
理事長 石川 丘

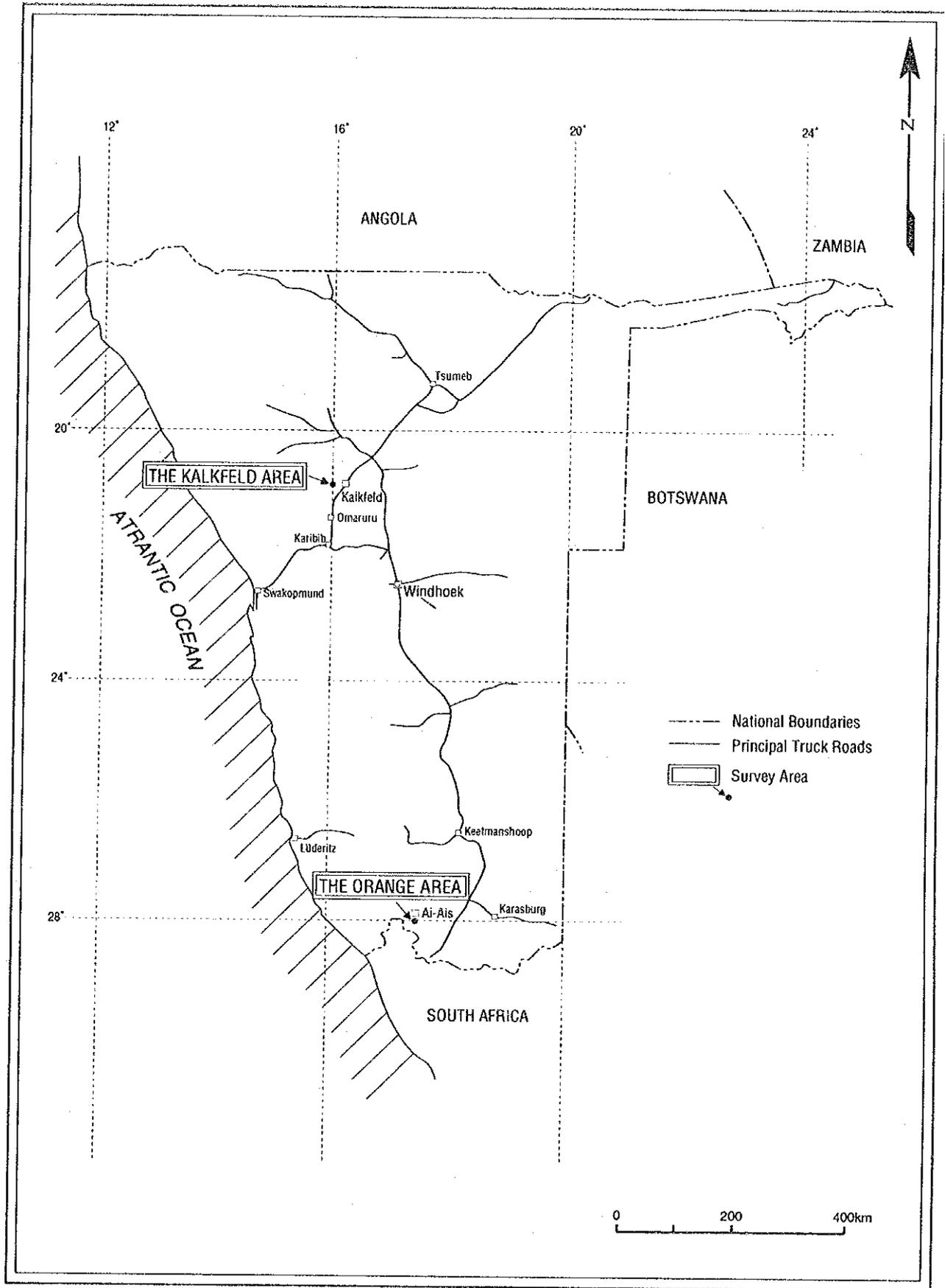


图 1 - 1 - 1 調查地域位置图

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、新鉱床を発見することを目的として実施した。

第1年次にあたる本年次は、既存データ解析と地化学探査を実施した。既存データ解析からコンパイル地質図を作成し、新鉱床賦存の可能性の高い地域を抽出した。また、カーボナタイト複合岩体に胚胎するレア・アース鉱床の特徴を把握した。地化学探査では岩石を試供体とし、カーボナタイト分布域では精査、その周辺では準精査を実施した。これらの調査結果を次に述べる。

オレンジ地区

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ベフォルサイト、ソバイト、閃長岩、及び細粒花崗岩類からなる。この複合岩体は岩栓状形態を有する。カーボナタイトの主成分鉱物は方解石、苦灰石、アンケライトであり、副成分鉱物はマンガン方解石、菱鉄鉱、燐灰石、重晶石、磁鉄鉱、赤鉄鉱、バストネサイト、モナザイト、パイロクロアなどからなる。地化学探査結果から、カーボナタイト複合岩体にLa、Ce、Nd、Nb、Pを多く含むことが判明した。特にLa、Ce、Nd、Nbはカーボナタイト複合岩体のうち、ベフォルサイト岩体及びその周辺部に濃集し、Pは東部のベフォルサイト岩体に濃集する。カルクフェルド地区のカーボナタイトに較べて、Nb及びPに富む。

カルクフェルド地区

地質は先カンブリア代のダマラ系変成岩類を基盤とし、これをカンブリア代の花崗岩類やカーボナタイト複合岩体が貫入している。調査地域の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、鉄鉱からなる。この複合岩体はダイアトリーム状形態を有する。カーボナタイトの主成分鉱物は苦灰石、アンケライトであり、副成分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、赤鉄鉱や、パイロクロアなどのNb、Th鉱物からなる。地化学探査から、カーボナタイト複合岩体にはLa、Ce、Nd、Th、Mn、Sr、Pを多く含む。特にLa、Ce、Nd、Nb及びPは、カーボナタイト複合岩体のうちベフォルサイトに、Th、Mn、Srは鉄鉱部に濃集している。オレンジ地区のカーボナタイトに較べTh、Mn、Srに富む。

以上の調査結果を踏まえ、第2年次の調査として次のことを提案する。

オレンジ地区

カーボナタイトダイアトリームのうち、ベフォルサイトにレア・アース元素の濃集が認められた。しかし、これら元素の分布は不均質である。この分布状態はベフォルサイトの組織や鉱物組み合わせに関係していると想定される。従って、このベフォルサイト中のレア・アース元素の賦存状態を明らかにするため、さらに精密な地質調査と地化学探査が必要である。また、地表での水平的な分布のほか、地下での濃集状況を明らかにするために、ボーリング調査が必要である。

カルクフェルド地区

オレンジ地区に比べ、レア・アースを伴うベフォルサイトの分布域が狭く、かつレア・アースの濃集が深部に予想されるので、オレンジ地区の2年次調査による地下状況把握結果を踏まえて、別途実施すべきである。

目 次

	頁
はしがき	
調査地域位置図	
要 約	
第 I 部 総 論	1
第 1 章 序 論	1
I-1-1 調査の経緯及び目的	1
I-1-2 第 1 年次調査の範囲及び調査の概要	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 位置及び交通	4
I-2-2 地形及び水系	4
I-2-3 気候及び植生	4
I-2-4 その他	5
第 3 章 調査地域の既存地質情報	6
I-3-1 既往調査の概要	6
I-3-2 調査地域周辺の一般地質	6
I-3-3 調査地域の地質的位置付け	8
I-3-4 調査地域の鉱業概史	8
第 4 章 調査結果の総合検討	10
I-4-1 地質構造、鉱化作用の特性と鉱化規制について	10
I-4-2 地化学異常と鉱化作用との関係について	10
I-4-3 期待鉱床賦存のポテンシャル	11
第 5 章 結論及び提言	13
I-5-1 結論	13
I-5-2 第 2 年次調査への提言	14
第 II 部 各 論	17
第 1 章 既存データ解析	17
II-1-1 衛星画像	17
II-1-2 地質	22
II-1-3 鉱床	24
II-1-4 物理探査	30
II-1-5 探鉱	31

	頁
第2章 オレンジ地区	35
II-2-1 調査方法	35
II-2-2 地質調査	35
II-2-2-1 地質概説	35
II-2-2-2 地質各説	35
II-2-3 地化学探査	51
II-2-3-1 探査手法	51
II-2-3-2 調査結果	51
II-2-4 考察	57
第3章 カルクフェルド地区	77
II-3-1 調査方法	77
II-3-2 地質調査	77
II-3-2-1 地質概説	77
II-3-2-2 地質各説	77
II-3-3 地化学探査	87
II-3-3-1 探査手法	87
II-3-3-2 調査結果	87
II-3-4 考察	91
第III部 結論及び提言	111
第1章 結 論	111
第2章 第2年次調査への提言	113
参考文献	115
卷 末	

図

	頁
図 I - 1 - 1 調査地域位置図	
図 I - 3 - 1 広域地質概略図	7
図 II - 1 - 1 オレンジ地区の既往調査位置図	18
図 II - 1 - 2 カルクフェルド地区の既往調査位置図	19
図 II - 1 - 3 オレンジ地区のコンパイル地質図	20
図 II - 1 - 4 カルクフェルド地区のコンパイル地質図	21
図 II - 1 - 5 オレンジ地区の既存データ解析結果総括図	33
図 II - 1 - 6 カルクフェルド地区の既存データ解析結果総括図	34
図 II - 2 - 1 オレンジ地区周辺の広域地質図	36
図 II - 2 - 2 オレンジ地区の地質及び地質断面図	37
図 II - 2 - 3 オレンジ地区の模式層序	38
図 II - 2 - 4 オレンジ地区の室内試験試料採取位置図	39
図 II - 2 - 5 オレンジ地区の地化学調査試料採取位置図	52
図 II - 2 - 6 オレンジ地区のCeの濃度分布図	59
図 II - 2 - 7 オレンジ地区のYの濃度分布図	61
図 II - 2 - 8 オレンジ地区のThの濃度分布図	63
図 II - 2 - 9 オレンジ地区のNbの濃度分布図	65
図 II - 2 - 10 オレンジ地区のZrの濃度分布図	67
図 II - 2 - 11 オレンジ地区のMnの濃度分布図	69
図 II - 2 - 12 オレンジ地区のSrの濃度分布図	71
図 II - 2 - 13 オレンジ地区のPの濃度分布図	73
図 II - 2 - 14 オレンジ地区のFeの濃度分布図	75
図 II - 3 - 1 カルクフェルド地区周辺の広域地質図	78
図 II - 3 - 2 カルクフェルド地区の地質及び地質断面図	79
図 II - 3 - 3 カルクフェルド地区の模式層序	80
図 II - 3 - 4 カルクフェルド地区の室内試験試料採取位置図	81
図 II - 3 - 5 カルクフェルド地区の地化学調査試料採取位置図	88
図 II - 3 - 6 カルクフェルド地区のCeの濃度分布図	93
図 II - 3 - 7 カルクフェルド地区のYの濃度分布図	95
図 II - 3 - 8 カルクフェルド地区のThの濃度分布図	97
図 II - 3 - 9 カルクフェルド地区のNbの濃度分布図	99
図 II - 3 - 10 カルクフェルド地区のZrの濃度分布図	101
図 II - 3 - 11 カルクフェルド地区のMnの濃度分布図	103

	頁
図II-3-12 カルクフェルド地区のSrの濃度分布図	105
図II-3-13 カルクフェルド地区のPの濃度分布図	107
図II-3-14 カルクフェルド地区のFeの濃度分布図	109

表

	頁
表Ⅰ-1-1 調査数量一覧表	2
表Ⅱ-1-1 解析資料一覧表	17
表Ⅱ-1-2 オレンジ地区の既往調査位置一覧表	18
表Ⅱ-1-3 カルクフェルド地区の既往調査位置一覧表	19
表Ⅱ-2-1 オレンジ地区の岩石薄片の顕微鏡観察結果一覧表	40
表Ⅱ-2-2 オレンジ地区の鉍石研磨片の顕微鏡鑑定結果一覧表	41
表Ⅱ-2-3 オレンジ地区のX線回折試験結果一覧表	42
表Ⅱ-2-4 オレンジ地区の全岩化学分析結果一覧表	43
表Ⅱ-2-5 MQCの岩相別鉍物組み合わせ	48
表Ⅱ-2-6 地化学分析の各元素の分析方法、検出限界及び精度	53
表Ⅱ-2-7 オレンジ地区の岩相別基本統計値一覧表	54
表Ⅱ-3-1 カルクフェルド地区の岩石薄片の顕微鏡観察結果一覧表	82
表Ⅱ-3-2 カルクフェルド地区の鉍石研磨片の顕微鏡鑑定結果一覧表	83
表Ⅱ-3-3 カルクフェルド地区のX線回折試験結果一覧表	84
表Ⅱ-3-4 カルクフェルド地区の全岩化学分析結果一覧表	85
表Ⅱ-3-5 カルクフェルド地区の岩相別基本統計値一覧表	89

巻 末

	頁
A-1 調査地域写真	
A-2 岩石顕微鏡写真	
A-3 鉍石顕微鏡写真	
A-4 岩石の地化学分析値一覧表	

付帯資料

図Ⅱ-1-3 オレンジ地区のコンパイル地質図 (縮尺1:2,500)	
図Ⅱ-1-4 カルクフェルド地区のコンパイル地質図 (縮尺1:2,500)	
図Ⅱ-2-2 オレンジ地区の地質及び地質断面図 (縮尺1:2,500)	
図Ⅱ-2-5 オレンジ地区の地化学調査試料採取位置図 (縮尺1:2,500)	
図Ⅱ-3-2 カルクフェルド地区の地質及び地質断面図 (縮尺1:2,500)	
図Ⅱ-3-5 カルクフェルド地区の地化学調査試料採取位置図 (縮尺1:2,500)	

第 I 部

總 論

第1部 総論

第1章 序論

1-1-1 調査の経緯及び目的

本調査は平成5年度から2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レンジ及びカルクフェルド両地区は、レア・アースなどを含むカーボナタイト岩体が分布する地域である。これらの岩体のレア・アースに関しては、これまで本格的な探鉱及び鉱床評価が行われていない。ナミビア共和国政府は、両地区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、両地区に対して既存データ解析及び地化学探査を実施し、レア・アースの賦存ポテンシャル評価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ことを目的とした。

1-1-2 第1年次調査の範囲及び調査の概要

調査位置を図1-1-1に示す。本年度各調査の概要は次のとおりである。

1-1-2-1 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、提供を受けた地質、物理探査、地化学探査及び鉱山・鉱徴地の資料等を解析し、本地域の地質状況、鉱化作用の特徴、及び既往探査状況の把握を行い、レア・アース等の鉱床賦存の可能性の高い地域を抽出した。また、既存データの解析からコンパイル地質図を作成した。

1-1-2-2 地化学探査

地化学探査実施前に、既存データ解析で作成したコンパイル地質図を現地で確認するとともに、調査に基づき修正を加えた。また、既存データにこの調査結果も加え、地化学探査の調査方法を決定した。

地化学探査には岩石を用い、水平的な地化学異常を把握した。地化学探査は原則として準精査を実施したが、カーボナタイト及びレア・アース含有閃長岩分布域では精査を実施した。精査域と準精査域の区分は既存データや地質調査結果を十分検討して決定した。

また、調査に当たっては簡易測量を実施し、試料採取位置を求めるとともに、地質、鉱化帯を確認し、その結果を既存地質図に反映させ補完した。

調査内容は、表1-1-1に示すとおりである。

表 I-1-1 調査数量一覧表(1)

調査内容	調査数量		
既存データ解析	地質図幅	2件	
	地質文献	10件	
	衛星画像解析データ	1件	
地化学探査		オレンジ地区	カクフルト地区
	調査面積	3 km ²	2 km ²
	踏査延長	350件	150件
	試料採取件数		
	薄片用岩石	30件	10件
	研磨片用鉱石	25件	5件
	X線回折試験用	20件	10件
全岩分析用	30件	10件	

表 I-1-1 調査数量一覧表(2)

分析項目及び成分	数量
①岩石薄片作成	40件
②鉱石研磨片作成	30件
③X線回折試験	30件
④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)	40件
⑤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)	500件

1-1-3 調査団の編成

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

調査計画及び折衝：

日 本 側		ナミビア共和国側	
山本 恭久 橋本 尚文 飯田 陽一 塩川 智 内藤 耕 奥泉 洋一	金属鉱業事業団 外 務 省 通 商 産 業 省 金属鉱業事業団 国際協力事業団 金属鉱業事業団	Josephat Vatanavi Mazeingo Brian G. Hoal Gabricle I.C. Schneider	鉱山・エネルギー省 地 質 調 査 所 地 質 調 査 所

現地調査団：

日 本 側		ナミビア共和国側	
金龍之緒（技術責任者）	同和工営(株)	Gabriele I.C. Schneider	地質調査所
今野宏秀（既存データ解析・ 地化学探査）	同和工営(株)	Herbert Roesener	地質調査所
岡村浩之（既存データ解析・ 地化学探査）	同和工営(株)		

現地指導監督

辻本 崇史 金属鉱業事業団

1-1-4 調査期間

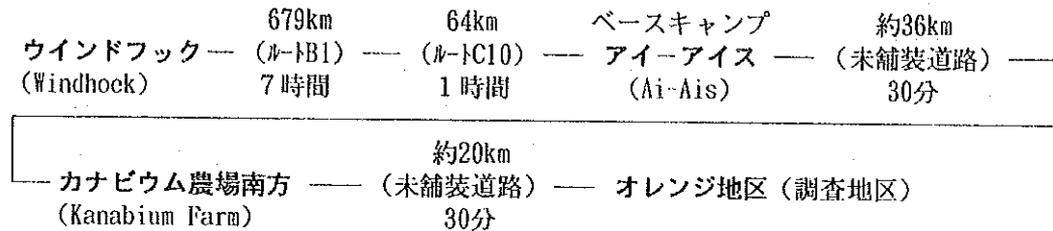
調査は下記の工程で実施された。

契約期間 : 1993年10月 1日～1994年 2月25日
 現地調査 : 1993年10月22日～1993年12月20日
 既存データ解析 : 1993年10月25日～1993年10月28日
 地化学探査 : 1993年10月29日～1993年12月12日
 現地解析 : 1993年12月13日～1993年12月19日

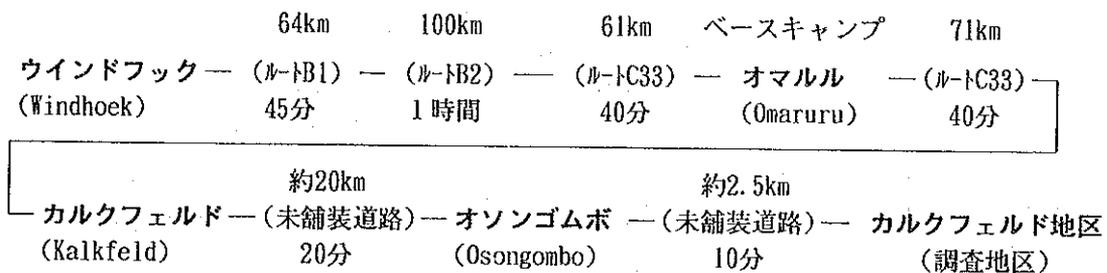
第2章 調査地域の地理

1-2-1 位置及び交通

オレンジ地区はカラスバーグ(Karasburg)地域に位置し、首都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。



カルクフェルド地区は、オマルル(Omaruru)地域に位置し、首都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。



1-2-2 地形及び水系

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。オレンジ地区はサバンナ地帯と砂漠地帯の境界部付近に、カルクフェルド地区はサバンナ地帯に位置する。

オレンジ地区の地形は、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、それを貫く花崗岩類はなめらかな山岳地形を呈する。一方、カーボナート分布域では、これら山岳地形の山頂部を形成している。カルクフェルド地区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。

両地区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、乾期には水がない。

1-2-3 気候及び植生

気候は南アフリカ共和国の地中海気候とアンゴラ以北の熱帯気候には含まれた半乾燥亜熱帯気候

である。1、2月が最も暑く、17~31℃である。一方、7月が最も寒く、6~18℃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。一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、地域によってバラツキがある。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。

1-2-4 その他

両地区とも農場内及び国有地の未舗装道路を利用することにより到達可能である。ただし、農場内道路利用は農場主の許可を必要とする。

本調査のベースキャンプ地はオレンジ地区ではアイ・アイス(Ai-Ais)に、カルクフェルド地区ではオマルル(Omaruru)に設けた。

第3章 調査地域の既存地質情報

1-3-1 既往調査の概要

ナミビアの鉱業史、鉱業事情、鉱業経済、鉱業投資や鉱業法は、Advertisement Supplement to 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により百万分の1全国地質図(Geological Survey of Namibia, 1982)が、南アフリカ地質協会により4百万分の1の南部アフリカ地質図(The Geological Society of South Africa, 1985)が刊行されている。

Middlemost(1974)やGittins(1989)はカーボナタイトの成因について述べている。Gold(1966)やHamilton et al.(1989)はカーボナタイトの主要成分、微量成分の挙動について述べている。Ishihara(1991)は花崗岩類のタイプとレア・アース鉱物との関係について述べている。Verwoerd(1986)やMariano(1989)は、カーボナタイト・アルカリ複合岩体関連の鉱床と経済性について述べている。

武内寿久禰(1973a, 1973b, 1981)や諏訪(1981)はカーボナタイト・アルカリ複合岩体の研究史、産状、成因、形態などについてレビューしている。坂巻幸雄・神谷雅晴(1988a, b)は、レア・アースの定義・性質・鉱物・生産量・賦存状態・資源量・利用状況について述べている。

Verwoerd(1965, 1967, 1986)やDiehl(1990)は、ナミビアのレア・アース資源やカーボナタイトについて包括的に述べている。

Dendle(1971)、Heath(1973)、Schommarz(1988)及びSmithies(1990)は、本調査地区であるオレンジ地区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、地質及びそれに関する鉱床の調査結果を報告している。

(財)国際鉱物資源開発協力協会(1992a, b)はナミビアにおいて、資源開発協力基礎調査におけるプロジェクト選定調査を実施している。

1-3-2 調査地域周辺の一般地質

ナミビアの広域地質は、次の5つの地質年代に区分されている。(Geological Survey of Namibia, 1982; Geological Society of South Africa(1985; 図1-3-1参照)。

Tertiary to Recent (<65 Ma)

Carboniferous to lower Cretaceous (345 to 120 Ma)

Namibian (1,000 to 570 Ma)

upper Mokolian (1,800 to 1,000 Ma)

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

Vaalian to lower Mokolian (>2,100 to 1,800 Ma)の岩石は、Khoabendus及びHaib層群、Kuneneアノーサイト複合岩体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)の岩石は、ナマアクア(NamaquaあるいはNamaqualand)変成

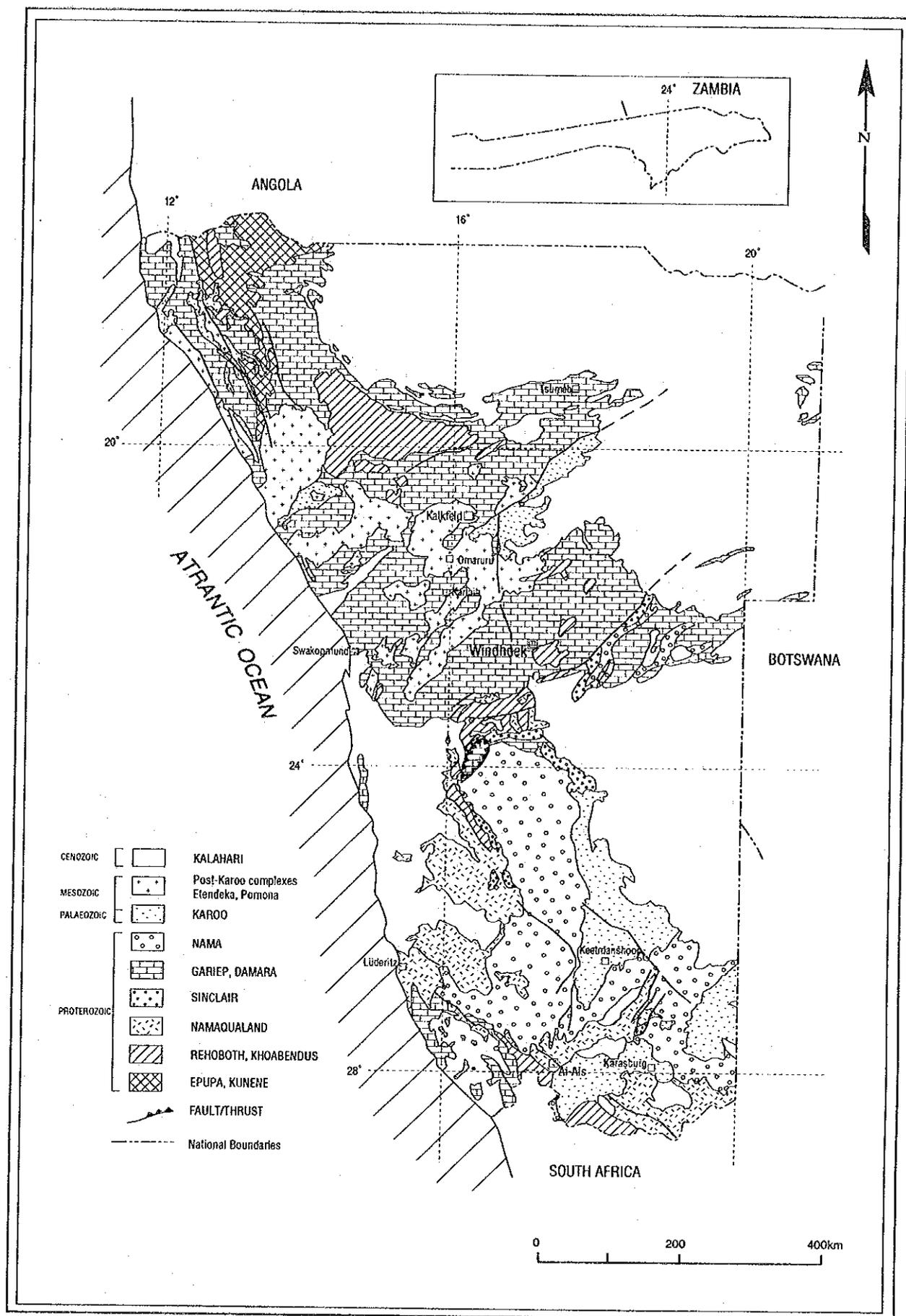


图 I - 3 - 1 广域地质概略图

複合岩体やシンクレア(Sinclair)及びレホボス(Rehoboth)層群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 570 Ma)の岩石は、ダマラー造山時堆積層からなる。Rechard花崗岩-閃長岩複合岩体、ダマラ(Damara)層群、ガリエブ(Gariep)複合岩体、ダマラ(Damaran)花崗岩、ナマ>Nama)層群、サレム(Salem)花崗岩などの堆積岩類、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)の岩石は、カルー(Karoo)層群や後カルー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はカーボナタイトを伴っており、レア・アース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。

1-3-3 調査地域の地質的位置付け

オレンジ地区の地質は先カンブリア代のMokolian系ナマクア変成岩類(1,200 Ma±)とカンブリア代のNamibian系ナマ層群(560-500 Ma)を基盤とし、これをマリンカスクエラ複合岩体(Marinkas Quelle Complex) と呼称されるカーボナタイトを伴う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。ナマ層群は礫岩や粘板岩からなる。カーボナタイト複合岩体はペフォルサイト、ソバイト、閃長岩などからなる。この複合岩体は岩栓状で、4箇所の主貫入岩体部からなる。1箇所目は北西部に位置し、主に角礫状閃長岩からなる。2箇所目は中央部に位置し、主にソバイトからなる。3箇所目は東部に位置し、主にペフォルサイトからなる。4箇所目は南部に位置し、ペフォルサイトを中心とし、閃長岩やソバイトが周辺を取り囲む。この4箇所目の貫入部では閃長岩がソバイトとペフォルサイトに切られているのが観察される。また、ソバイトはペフォルサイトに、ペフォルサイトは粗面岩などの小岩脈に切られている。このことから、これら岩体の貫入順序は閃長岩→ソバイト→ペフォルサイト→粗面岩などの小岩脈と結論される。

カルクフェルドの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、オゾンゴムボダイアトリーム(Osongombo diatrema)と呼称されるカーボナタイトを伴う岩体が貫入している。調査地域の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ペフォルサイト、鉄鉱からなる。この複合岩体はダイアトリーム状形態を有する。

1-3-4 調査地域の鉱業概史

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。1908年には大西洋沿岸ルデリッツ(Luderitz)でダイヤモンドが発見された。ドイツ系のダイヤモンド鉱山会社9社は、ダイヤモンド鉱山企業体(Consolidate Diamond Mines of South West Africa:CDM)を1920年に結成して

いる。この企業体は南アフリカのDe Beers社の子会社である。ウランの探鉱は1970年代盛んになり、Rossing鉱山が開発された。ナミビアの鉱産物輸出額の75%はウランとダイヤモンドである。

ダイヤモンドやウラン開発の一方、今まで100以上の銅、鉛、亜鉛、錫、タンゲステン、砒素、フッ素、リチウムの鉱山が開発された。ベースメタル鉱山には、ツメブ(Tumeb)、バーグアルカス(Berg Aukas)、コンバット(Kombat)、ナミブリード(Namib Lead)、オトヒアス(Otjihase)、マツクレース(Matchless)、スワートモダー(Swartmodder)、オアミテス(Oamites)、ケリンアブ(Klein Aub)等がある。錫-タンゲステン鉱山にはブランドベルグウエスト(Brandberg West)、ウイス(Uis)、クラッツベルグ(Krantzberg)等がある。また1989年には、ナミビア初の金鉱山あるナバチャブ鉱山(Navachab Mine)が開発された。

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年に公布予定である(Namibia Foundation, 1993)。この法律によれば鉱業権は、国家に属することになり、探鉱及び鉱業生産には政府の許可が必要となる。ライセンスは、広域探査(large-scale prospecting)、小規模探査(Small-scale prospecting)、鉱山採掘活動権(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。

本調査地域及び周辺では、カーボナタイトやアルカリ複合岩体に関するベースメタル、レア・メタルや放射性物質等について調査・探鉱された(Verwoerd, 1965, 1967); Dendle, 1971; Hearth, 1973, Schommarz, 1988)。

カルクフェルド地区の12km北東に位置するカルクフェルドカーボナタイト複合岩体から産する鉄鉱石は、1907年以来ツメブ鉱山の銅・鉛精錬原料として用いられている。オレンジ地区北東に位置するアルカリ複合岩体に関係した鉛・亜鉛鉱脈がかって稼行されたようであるが、大規模に開発された鉱山はない。

第4章 調査結果の総合検討

1-4-1 地質構造、鉱化作用の特性と鉱化規制について

オレンジ地区のカーボナタイト岩体は、マリンカスクエラカーボナタイト複合岩体(Marinkas Quelle Carbonatite Complex)と呼称されている(Schommarz, 1988)。母岩は後期Mokolian代のナマクア変成複合岩体(Namaqua Metamorphic Complex)に属する片麻岩などで、これをカーボナタイトと関係火成岩が貫入している。この岩体はRichtersveldからGreat Karas山脈に向かってNE-SW方に直線的に配列し、アルカリ複合岩体からなるKuboos-Bremen構造線の一部を構成する。このカーボナタイトはKuboos-Bremen構造線とpost-Karoo断層の交差部で形成されている(Hearth, 1973)。

カルクフェルド地区のカーボナタイト岩体(Osongombo diatrema)、及び北東に分布するカルクフェルド(Kalkfeld)、オンドゥラコルメ(Ondurakorume)、及びオコルソ(Okorusu)の各カーボナタイト複合岩体は、ダマランドアルカリ岩石区(Damaraland Alkaline Province)に北東-南西方向に配列している。

カーボナタイト複合岩体は、トランスフォーム断層の張力部に形成しているものがある(Prins, 1981)が、本調査地域のカーボナタイトの配列は断層と関係するかはっきりしていない(Verwoerd, 1967)。Mitchel and Garson(1981)によれば、カーボナタイトは大陸内部のホットスポットあるいは地溝帯で形成されることを示唆している。

オレンジ地区のカーボナタイト複合岩体はベフォルサイト、ソバイト、閃長岩などからなる。カーボナタイトの主成分鉱物は方解石、苦灰石、アンケライトであり、副成分鉱物は菱鉄鉱、マンガン方解石、燐灰石、重晶石、磁鉄鉱、赤鉄鉱やバスタネサイト、モナザイト、パイロクロアなどのLa、Ce、Nd、Nb鉱物からなる。レア・アース鉱物はカーボナタイトのうち後期貫入のベフォルサイト質岩石に濃集する傾向にある。これら岩体には、パイロクロアの鉱化も認められる。

カルクフェルド地区の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、鉄鉱からなる。カーボナタイトの主成分鉱物は苦灰石、アンケライトであり、副成分鉱物は方解石、マンガン方解石、菱鉄鉱、ストロンチアナイト、燐灰石、針鉄鉱、赤鉄鉱や、パイロクロアなどのNb、Th鉱物からなる。カルクフェルド地区周辺のカーボナタイト複合岩体のレア・アース元素もカーボナタイトのうち後期貫入のベフォルサイト質岩石に濃集する傾向にある。

1-4-2 地化学異常と鉱化作用との関係について

地化学探査ではLa、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Yb、Lu、Sc、Y、U、Th、Nb、Ta、Zr、Fe、Mn、Sr、Pの19成分を分析した。

オレンジ地区のカーボナタイト複合岩体には、La、Ce、Nd、Nb、Mn、Sr、Pを多く含む。特にLa、Ce、Nd、Nb、Mn、Srはカーボナタイト複合岩体のうち、南部ベフォルサイト岩体とその周辺部、及びカーボナタイト脈に濃集し、Pは東部ベフォルサイト岩体に濃集する。ソバイトにもLa、Ce、Nd、Nb、Mn、Sr及びPの濃集が認められるが、Sr以外はベフォルサイトより低い。北部の閃長岩の一部にはレア・アース鉱物の産出が報告されている(Verwoerd, 1967)。本調査では、ベフォルサイトや

ソバイト及びそれらの周辺以外にLa、Ce、Nd及びNbの高含有量は確認されなかった。本地区のカーボナタイト複合岩体の貫入順序は、古い順から閃長岩類、ソバイト、ベフォルサイト、カーボナタイト細脈となり、地化学探査によっても後期貫入のベフォルサイト質岩石に、より多くのレア・アース元素やNbを濃集している。カーボナタイトには燐灰石、重晶石や、パイロクロア、モナザイトなどのLa、Ce、Nd、Nb鉱物からなり、地化学探査による元素の濃集と対応している。また、カルクフェルド地区のカーボナタイトに比べNb、Pに富む。

カルクフェルド地区のカーボナタイト複合岩体には、La、Ce、Nd、Th、Mn、Sr及びPを多く含む。特にLa、Ce、Nd、Nb及びPは、カーボナタイト複合岩体のうちベフォルサイトや火山角礫岩部に濃集している。また、火山角礫岩に比べ、ベフォルサイトにさらにこれら元素を濃集する傾向にある。Th、Mn及びSrは鉄鉱部に濃集している。カーボナタイトの網状脈が発達する基盤花崗岩や大理石部にも、La、Ce、Nd、Th、Mn、Sr及びPを多く含むが、ベフォルサイト、火山角礫岩や鉄鉱部ほどではない。本地区のカーボナタイト複合岩体の貫入順序は、古い順から、火山角礫岩、ベフォルサイトとなり、地化学探査によっても後期貫入のベフォルサイト質岩石により多くレア・アース元素やNbを濃集している。カーボナタイトには炭酸塩鉱物、鉄鉱物、パイロクロアなどが認められ、地化学探査による元素の濃集と対応している。オレンジ地区のカーボナタイトに比べTh、Mn、Srに富む。

1-4-3 期待鉱床賦存のポテンシャル

カーボナタイト複合岩体の貫入形態はダイアトリーム状、岩栓状、円錐岩床、環状岩脈などがある。オレンジ地区の複合岩体は岩栓状、カルクフェルドの複合岩体はダイアトリーム状形態を有する。複合岩体の露出面積は前者で2km²、後者で0.3km²で、形態と対応した分布面積を示している。

また、カーボナタイト複合岩体の形態は侵食の深さによって、火山円錐型、火山岩頸型、浅所深成型、深所深成型に分けられる(武内, 1973a)。つまり、火山円錐型はほとんど侵食のされていない本来の形態をとどめており、深所深成型になるにつれ、より侵食された深部の内部構造を観察していることになる。

オレンジ地区のカーボナタイト複合岩体の貫入形態は、岩栓状で、侵食形態は浅所深成型である。カルクフェルド地区のカーボナタイト岩体の貫入形態は、ダイアトリーム状で、侵食形態は火山岩頸型である。

カルクフェルド地区周辺には、北東-南西方向に並び、かつ侵食深度の異なると推定されているカルクフェルド(Kalkfeld)及びオンドゥラコルメ(Ondurakorume)複合岩体がある。カルクフェルド複合岩体の侵食深度が最も深く、深所深成型と考えられ、オソンゴンボダイアトリームの侵食深度は最も浅い。オンドゥラコルメ複合岩体はその中間の侵食深度となる。オレンジ地区複合岩体の侵食深度はオンドゥラコルメ複合岩体程度と推定した。

カルクフェルド地区のダイアトリーム状岩体の露出面積が小さく、火山角礫岩やベフォルサイト、鉄鉱部等からなる複合岩体は、ThO₂を0.05から0.21%含む(Verwoerd, 1967)。オンドゥラコルメ複合岩体のような岩栓状の浅所深成型は露出面積が中規模で、複合岩体は霞石閃長岩、ソバイトやベ

フォルサイトからなる。この岩体は、African Metals Corporation (AMCOR)により調査され、RE、Nb、Pなどに富むことが判明した(Verwoerd, 1988)。また、0.3% Nb₂O₅が8百万トン(Verwoerd, 1967)のほか、3% REO、2.5% SrCO₃、0.03Kg/t ThO₂、0.02Kg/t U₃O₈(Von Backstrom, 1974)の平均品位が確認されている。一方、Kalkfeld複合岩体のような環状で深所深成型は、露出面積が広く、複合岩体は閃長岩、ソバイトや鉄鋳体からなる。Prins(1981)によれば0.2-0.8% Ce、0.05-0.5% La及び0.1-0.25% Ndが含まれる。また0-0.77% ThO₂を含む(Verwoerd, 1967)。南アフリカで稼行されているPhalaborwa鋳床も環状で深所深成型で、0.48-0.57% Cu、10-25% P₂O₅、0.4-0.9% REOが含まれる(Verwoerd, 1986)。

以上のようなカーボナタイトの形態や深度と組成の関係から、オレンジ地区のカーボナタイトはオンドゥラコルメ複合岩体のようにREE、Nb、Pに富む岩体に類似し、地化学探査によるLa、Ce、Nd、Nb、Mn、Sr、Pの濃集とも対応している。深部ではさらにPhalaborwa鋳床のようにPやCuなどに富む可能性がある。

一方、カルクフェルド地区のカーボナタイトは、分布規模が小さくかつ侵食深度も浅いことから、オンドゥラコルメ複合岩体のようなRE、Nb、Pの濃集部は、深部に位置するものと想定される。

第5章 結論及び提言

1-5-1 結論

本年次の調査は既存データ解析と地化学探査からなる。これら調査結果の結論を次に述べる。

オレンジ地区

1. 地質は先カンブリア代のMokolian系ナマクア変成岩類(1,200 Ma±)とカンブリア代のNamibian系ナマ層群(560-500 Ma)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. この複合岩体は、NE-SW方向のKuboos-Bremen構造線上に直線的に配列するアルカリ複合岩体の一部を構成する。この複合岩体はこの構造線と後カルー(Post Karoo)断層の交差部上で形成されている。
3. カーボナタイト複合岩体は4箇所の主貫入部を有する。その一つでは、閃長岩→ソバイト→ベフォルサイト→粗面岩などの小岩脈の貫入順序が観察される。
4. カーボナタイトの主成分鉱物は方解石、苦灰石、アンケライトであり、副成分鉱物はマンガン方解石、菱鉄鉱、ストロンチアナイト、燐灰石、重晶石、磁鉄鉱、赤鉄鉱や、バストネサイト、モナザイト、パイロクロアなどのLa、Ce、Nd、Nb鉱物からなる。
5. 地化学探査から、カーボナタイト複合岩体にはLa、Ce、Nd、Nb、Mn及びPを多く含む。特にLa、Ce、Nd、Nb、Mnはカーボナタイト複合岩体のうち、南部ベフォルサイト岩体及びその周辺部に濃集し、Pは東部ベフォルサイト岩体に濃集する。
6. カルクフェルド地区のカーボナタイトに比べてNb及びPに富む。
7. カーボナタイト複合岩体の侵食形態は浅所深成型である。侵食深度は中程度であり、類似カーボナタイトから推定すると、地下浅所でさらにRE、Nb、Pに富むことが期待できる。

カルクフェルド地区

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ダイアトリーム状に貫入している。
2. 調査対象であるオソゴンボダイアトリームや隣接のカルクフェルド、オンドゥラコルメ及びオコルソ(Okorusu)の各複合岩体は、ダマランドアルカリ岩石区に、北東-南西方向に直線的に配列している。
3. ダイアトリームは、火山角礫岩、ベフォルサイトと鉄鉱濃集部からなり、火山角礫岩→ベフォルサイトの貫入順序が観察される。
4. カーボナタイトの主成分鉱物は苦灰石、アンケライトである。副成分鉱物として、マンガン方解石、方解石、ストロンチアナイト、針鉄鉱、赤鉄鉱やパイロクロアなどのNb鉱物を含む。
5. 地化学探査から、ダイアトリームには、La、Ce、Nd、Th、Mn、Sr及びFeを多く含む。特にLa、Ce、Nd、Nbはカーボナタイト複合岩体のうちベフォルサイトに、Th、Mn、Sr、Feは鉄鉱部に濃集している。

6. オレンジ地区のカーボナタイトに比べTh、Mn、Srに富む。
7. カーボナタイト複合岩体の侵食形態は火山岩類型である。侵食深度は浅く、本来の形態をほぼとどめていると推定できる。類似カーボナタイトの産状から推定すると、RE、Nb及びPはかなり深部で富むことになる。

1-5-2 第2年次調査への提言

第1年次の調査結果とその検討によって得られた結論に基づき、第2年次では、次の調査の実施を提言する。

オレンジ地区

カーボナタイト複合岩体のうち、ペフォルサイト岩体にレア・アース元素の濃集が認められた。しかし、これら元素の分布は不均質である。この分布状態は、ペフォルサイト岩体の内部構造に関係していると想定される。このペフォルサイト中のレア・アース元素の賦存状態を明らかにするため、さらに精密な岩石記載のための地質調査と地化学探査が必要である。また、ナミビア及び南アフリカの類似カーボナタイトから判断すると、地下に優勢なレア・アース元素の濃集が期待できる。したがって、地表での水平的な分布に加えて、地下での濃集状況を明らかにするため、ボーリング調査が必要である。適用する調査範囲や調査方法は次のとおりである。

1. 調査範囲

ペフォルサイト分布域及びその周辺

2. 調査方法

地質調査

地化学探査

ボーリング調査

3. 調査内容

・地質調査では

地質構造調査

岩質調査

室内試験（X回折線試験・岩石薄片顕微鏡観察・研磨片顕微鏡観察）

・地化学探査では、

岩石精密地化学探査

化学分析（La、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Yb、Lu、Sc、Y、U、Th、Nb、Ta、Zr、Fe、Mn、Sr、Pの19成分）。

・ボーリング調査では、

岩質調査

化学分析 (La、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Yb、Lu、Sc、Y、U、Th、Nb、Ta、Zr、Fe、Mn、Sr、Pの19成分)

室内試験 (X線回折試験・岩石薄片顕微鏡観察・研磨片顕微鏡観察)。

カルクフェルド地区

オレンジ地区に比べ、レア・アースを伴うベフォルサイトの分布域が狭く、レア・アースの濃集が深部に予想されるので、オレンジ地区の2年次調査による地下状況把握結果を踏まえて、別途実施すべきである。

第Ⅱ部

各論

第II部 各 論

第1章 既存データ解析

解析資料一覧表を表II-1-1に、既往調査位置図を図II-1-1及びII-1-2に、既往調査位置一覧表を表II-1-2にそれぞれ示す。コンパイル地質図を図II-1-3及びII-1-4に、既存データ解析結果総括図を図II-1-5及びII-1-6にそれぞれ示す。

表II-1-1 解析資料一覧表

解 析 資 料	数 量
地質図幅(1:1,000,000)	1 葉
地質図幅(1:4,000,000)	1 葉
地質・鉱床文献	20 件
衛星画像解析データ	1 件
空中磁気図(1:50,000)	2 葉
空中磁気図(1:250,000)	2 葉
鉱業事情・鉱業法資料	3 件

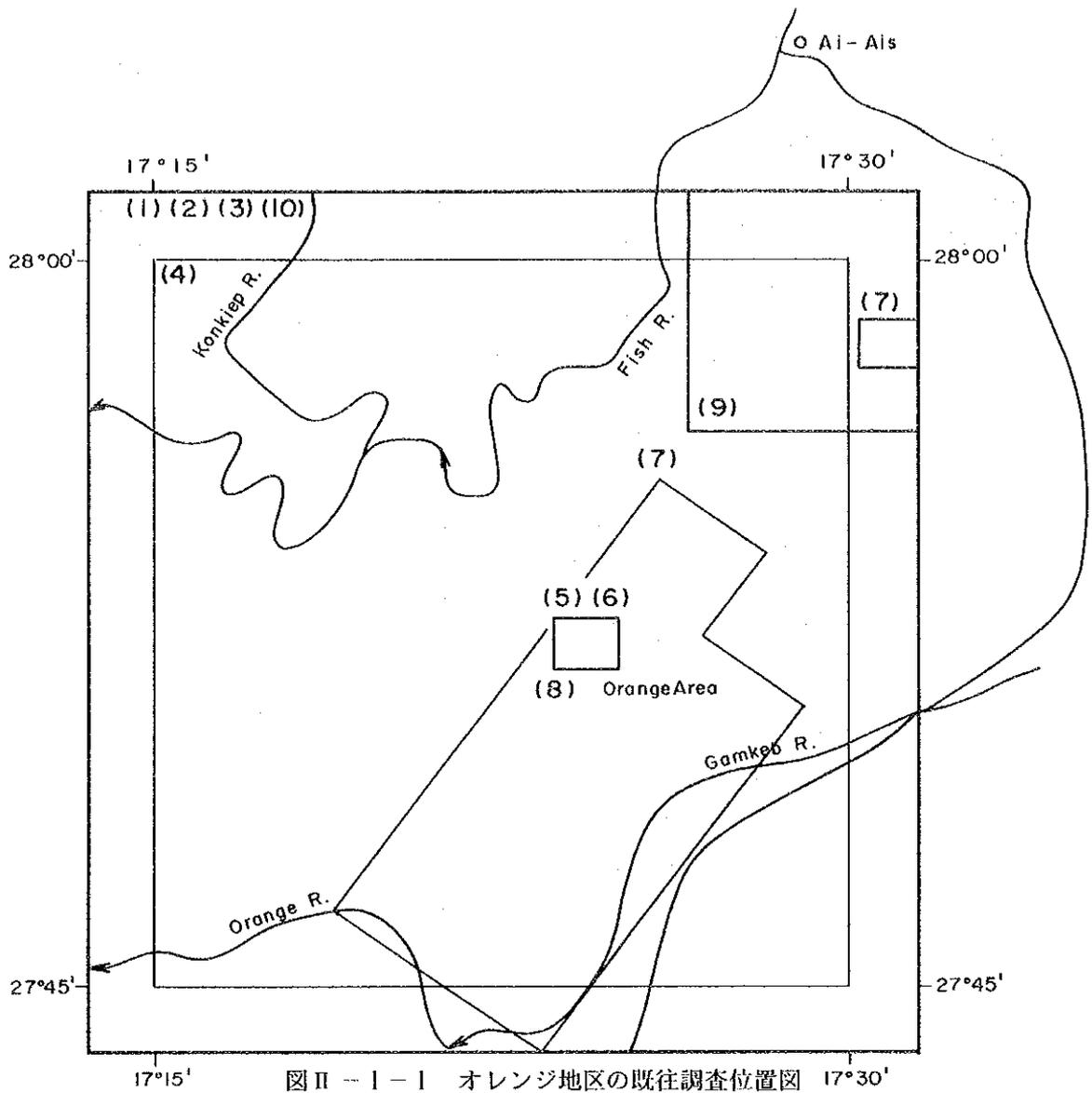
II-1-1 衛星画像

平成3年度に、ナミビア北部地域(Ondurakorume-Osongombo地域)とナミビア南部地域(Marinkas Quelle地域)に対して、衛星画像の判読及び解析が実施されている((財)国際鉱物資源開発協力協会, 1992a)。オンドゥラコルム-オソンゴムボ(Ondurakorume-Osongombo)地域には、本調査のカルクフェルド地区が位置する。マリカスクエラ(Marinkas Quelle)地域には、本調査のオレンジ地区が含まれる。判読では、フォルスカラー画像を用い、写真的特徴(色調及び肌理)や地形的特徴(水系パターン、水系密度、岩石抵抗度、断面、及び層理)から、地質単元区分及び地質構造抽出を行っている。

II-1-1-1 ナミビア北部地域

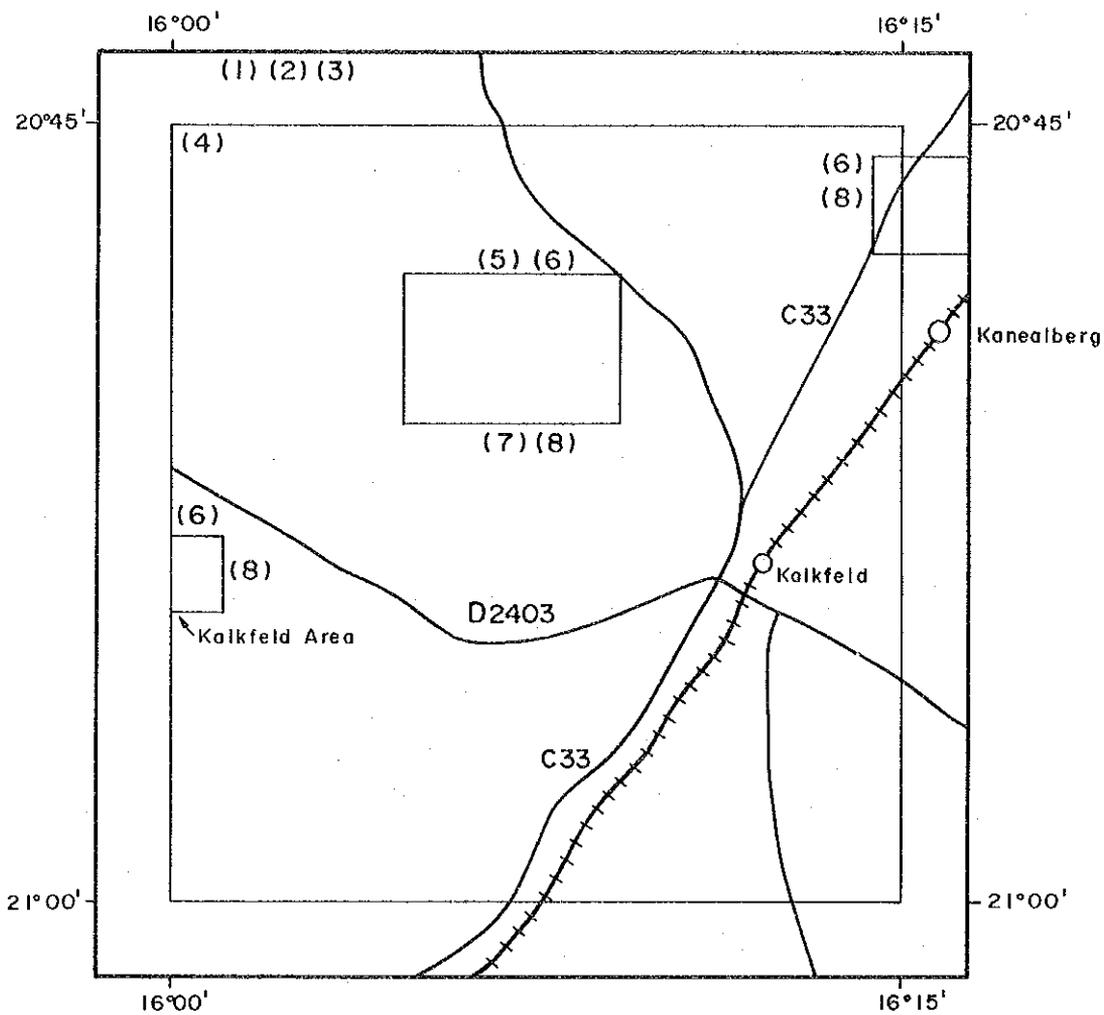
地質単元のうち、先カンブリア界のMokolian系やNamibian系の変成岩類、古生代の深成岩類、中生界カルー(Karoo)系の堆積岩類・貫入岩類の区分がされている。

Namibian系のダマラ層群(Damara Sequence)は、NE-SW系の方向の構造線が発達する。広域的に



表Ⅱ-1-2 オレンジ地区の既往調査位置一覧表

- (1) The Geological Society of South Africa (1985)
- (2) Geological Survey of Namibia (1982)
- (3) Geological Survey of Namibia (1984a)
- (4) Geological Survey of Namibia (1984b)
- (5) Schommarz (1988)
- (6) Diehl (1990)
- (7) Smith (1990)
- (8) Heath(1990)
- (9) Dendle (1971)
- (10) Japan Mining Engineering Center for International Cooperation (1992a)



図Ⅱ-1-2 カルクフェルド地区の既往調査位置図

表Ⅱ-1-3 カルクフェルド地区の既往調査位置一覧表

- (1) The Geological Society of South Africa (1985)
- (2) Geological Survey of Namibia (1982)
- (3) Geological Survey of Namibia (1974a)
- (4) Geological Survey of Namibia (1974b)
- (5) Verwoerd (1965)
- (6) Verwoerd (1967)
- (7) Verwoerd (1986)
- (8) Diehl(1990)
- (9) Japan Mining Engineering Center for International Cooperation (1992a)



- Debris**
 - Quartzite**
 - Granite**
 - Marble**
 - Dip and strike of Geological boundary**
 - Dip and strike of bedding structure in carbonatite**
 - Dip and strike of foliation in marble**
 - Fault**
 - Track**
 - Dry river**
- Dolerite
 - Iron ore
 - Beforsite
 - Volcanic breccia
 - Brecciated granite and Debara marble
 - Pegmatitic granite
 - Silotic granite
 - marble

図 II - 1 - 4 カルクフェルド地区のコンパイル地質図

見た場合、古生代のサレム(Salem)花崗岩などの深成岩類もNE-SW方向の線上に配列している。カーボナタイト複合岩体(Kalkfeld、Ondurakurome、Osongombo、及びOkoruso)も北東-南西方向の3本のリニアメント上に分布することが知られている。しかし画像ではこれら構造に対応する構造線は抽出されていない。

II-1-1-2 ナミビア南部地域

地質単元のうち、先カンブリア界モコリアン系やNamibian系の変成岩類、古生代の堆積岩類・深成岩類、中生界カルー系の堆積岩類・貫入岩類の区分がされている。特に、アルカリ複合岩体の識別は容易である。

地質構造に関しては、カルー系分布域では断層が少なく、その他の分布域ではNW-SE方向の断層が多い。これは先カンブリア界基盤の大局的な方向と一致する。これら構造と対応するリニアメントが認められる。しかし、Kuboos-Bremen 構造線のようなNE-SW方向の大構造線は、画像判読では抽出されていない。

II-1-2 地質

II-1-2-1 広域地質

ナミビア北部では、1,600 Ma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。南部では、1,100 Ma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。この楕状地の間には、ダマラ(Damara)地向斜が形成され、これが汎アフリカ造山運動によって陸化した。

北部楕状地には、Vaalian系及び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。ダマラ地向斜には、Namibian系が分布している。

ナミビアの広域地質は、次の5つの地質年代に区分されている。(Geological Survey of Namibia, 1982; Geological Society of South Africa(1985)。

Tertiary to Recent (<65 Ma)

Carboniferous to lower Cretaceous (345 to 120 Ma)

Namibian (1,000 to 570 Ma)

upper Mokolian (1,800 to 1,000 Ma)

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

II-1-2-2 調査地域周辺の地質

Heath(1973)によれば、オレンジ地区のカーボナタイトはKuboos-Bremen構造線とpost-Karoo断層の交差部で、Kheis紀の片麻岩を貫いて、最初に白色カーボナタイトと閃長岩の混合物が、その後褐色カーボナタイト岩栓が形成されている。褐色カーボナタイトは褐鉄鉱濃集部を伴う。また、カーボナタイト・アルカリ複合岩体に関係して鉛・亜鉛の鉱化作用も認められている。

Smithies(1990)によれば、オレンジ地区周辺の火成岩は著しく直線性があり、NE-SW方向に配

列している。本調査の対象であるカーボナタイト複合岩体は、Tatasburg Complexに伴って産し、Marinkas Kwela(Quelle) Carbonatite Complexと呼称されている。Rb/Sr年代測定ではTatasburg Complexの花崗岩類は505Maを示し、1,700-2,000 Maの基盤花崗岩類や1,100 Maの片麻岩を貫入している。これら岩石はシリカに過飽和なアルカリ岩かつメタアルミア岩の化学組成を持ち、A-type花崗岩類の特徴を有する。また、化学分析の結果Nb、Zr、Y、U、Th、REE、Gaに富む。

Schommarz(1988)は、オレンジ地区の地質について調査している。ここではカーボナタイト及び関係火成岩はマリカスクエラカーボナタイト複合岩体(Marinkas Quelle Carbonatite Complex)と呼称されている。この岩体は、RichtersveldからGreat Karas 山脈に延びる、NE-SW方向のKubos-Bremen構造線上に直線的に配列するアルカリ複合岩体の一部を構成する。母岩はナマクア(Nam aqua)変成複合岩体の片麻岩で、これをカーボナタイトと関係火成岩が貫入している。

カーボナタイト複合岩体は、NE-SW方向に延び、連続的に形成された3つの貫入中心部を有する。第1貫入岩体は角礫化した霞石閃長岩で、シンケザイトのようなレア・アース鉱物を含む。第2岩体は閃長岩とソバイトからなる。閃長岩はソバイトの貫入によりアルカリ交代作用を被っている。ソバイトには鉄や黒雲母に富むものもある。第3岩体は環状のベフォルサイトからなる。ベフォルサイトはアンケライト質である。X線分析によりNb、Sr、Zr鉱物や、パイロクロアの存在が示唆される。

第1岩体が最も古く、第2、第3岩体がそれに続く。またこれらを切るカーボナタイト岩脈が放射状に分布している。カーボナタイト周辺の片麻岩母岩には300mにわたってフェン岩化によりアルカリ交代作用を受けて、金雲母やエジリン輝石が晶出している。最末期には粗面岩、粗粒玄武岩が貫入している。Schommarz(1988)が引用しているDeans(1966)によれば、アフリカのカーボナタイトには2種類あり、1つは燐灰石-磁鉄鉱タイプで、もう1つはレア・アースタイプである。この区分によれば、本地区のベフォルサイトはレア・アースタイプである。経済的なポテンシャル評価には特に、微量成分による希土類含有閃長岩やアンケライト質カーボナタイトの岩石地化学探査が有効である。また、フェン岩では重希土類の濃集が期待されている。

Verwoerd(1967)によれば、カルクフェルド地区のカーボナタイトは直径0.45kmのダイアトリーム状形態を有する。ダマランド(Damarand)カーボナタイト複合岩体に属し、ダマラ系の大理石やサレム(Salem)花崗岩を貫いている。大理石には透角閃石、金雲母、斜長石や黄鉄鉱を伴う。カーボナタイトは火山角礫岩とベフォルサイトからなり、ベフォルサイトには放射性元素を伴う鉄鉱を含む。ベフォルサイトは火山角礫岩を切るとともに周辺大理石にも小岩脈として産する。火山角礫は花崗岩や珪岩からなる。一方、明瞭なフェン岩化作用は認められないが、エジリン輝石が花崗岩類割れ目を埋めている。また、粗粒玄武岩脈がカーボナタイトを貫いている。

このベフォルサイトはマンガン質アンケライトを主とする。ベフォルサイトにはアンケライトの他に方解石、珪酸鉄物、燐灰石、パイロクロア、金紅石、重晶石を含む。

II-1-3 鉱床

II-1-3-1 レア・アース

本調査対象地域にはカーボナタイトやアルカリ複合岩体が分布する。これら岩石にはレア・アースなどの希少金属を含む。

レア・アース元素は、周期律表57番元素のランタン(La)から71番元素のルテッチウム(Lu)の15元素からなるが、21番元素スカンジウム(Sc)と39番元素イットリウム(Y)も含め広義のレア・アース(REE)とする(坂巻・神谷, 1988a)。

II-1-3-2 カーボナタイトの成因

坂巻・神谷(1988b)によれば、カーボナタイトは上部マントルの部分溶融によって生じたマグマが結晶分化作用により、各種アルカリ岩を生み、その過程で分離した炭酸塩に富む分化岩である。

Gittins(1989)は、カーボナタイトマグマの成因について述べている。これによればカーボナタイトマグマは霞岩組成のマグマや、炭酸塩と珪酸塩の液体不混和によって形成されたものではなく、炭酸塩質マントルの部分溶融によってもたらされたとした。このカーボナタイトマグマの炭酸ナトリウムはジェード輝石質成分、方解石～苦灰石固溶体は透輝石やカンラン石成分から形成される。この炭酸塩マントルが、Nb、P、REE、Sr、F等に富む液体と交代作用を起こし、珪酸塩鉱物を晶出するのに必要Al、Fe、Siをカンラン石や輝石から供給された。初生的なカーボナタイトマグマは方解石質でNa、K、Al、Fe、P、Siを含む。従ってその組成はカンラン石・カーボナタイト質かカンラン石・方解石・苦灰石質である。アルカリはカーボナタイトから分離し水溶液中の塩類となるので、カーボナタイトには濃集しない。以上のようにカーボナタイト液体は珪素が不足したCl-F塩で、Ca、Fe、Na、Mgを含む液体である。フェン岩化作用の程度はこのようなマグマの上昇・分化過程に影響される。

II-1-3-3 カーボナタイトの地質構造

Verwoerd(1967)によれば、カーボナタイトは

- 1)大陸台地に認められる。
- 2)地殻の垂直変動に関係するものがある。
- 3)アルカリ岩石区に属する

Middlemost(1974)によれば、カーボナタイトは

- 1)大陸地域の大きな構造線に沿って、アルカリ岩系マグマの活動に密接に関係して生成する
- 2)大陸楯状地の周辺部か、地溝構造部に形成される。

Mitchel and Garson(1981)によれば、カーボナタイトは

- 1)大陸内部のホットスポットか地溝帯で形成される

- 2)先カンブリア代の一部はトランスフォーム断層の張力部に形成しているものがある
- 3)造山運動やプレートの沈み込み帯では形成されない。

諏訪(1981)によれば、カーボナタイトは

- 1)剛塊地帯中央部または縁辺部に貫入・噴出している
- 2)アルカリ岩と密接に伴う。アルカリ岩は斜長石、正長石、霞石、黒雲母に富む

坂巻・神谷(1988b)によれば、カーボナタイトは

- 1)大陸地域あるいは縁辺の深部断裂に沿って貫入・噴出している
- 2)カーボナタイトは方解石やドロマイトを主成分鉱物とし、地表に噴出、あるいは地下浅所に貫入した火成岩である
- 3)カーボナタイトは通常、塩基性岩・アルカリ岩などを伴い、それらと複合岩体を形成する。

武内(1973a)によれば、

- 1)複合岩体形成時にガスとマグマが地殻中に蓄積し、ドーム状上昇がおこり、つづいて激しい爆発活動が起き、衝撃帯が形成される。
- 2)衝撃帯には岩石破碎や節理の発達が認められる。

II-1-3-4 カーボナタイト生成年代

諏訪(1981)によれば、世界的にはカーボナタイトの形成時期は20億年前、10億年前、5~7億年前、1~2億年前、第三紀、現在などに認められる。

坂巻・神谷(1988b)によれば、アフリカでは Gondwana 大陸分裂後から現世に至るカーボナタイト・アルカリ岩複合体が卓越している。

Diehl(1990)によれば、ナミビアのカーボナタイトはナミビア代(570-920 Ma)や中生代に認められる。

II-1-3-5 カーボナタイトの形態

Gold(1966)やVerwoerd(1967)によれば、アフリカ南部に産するカーボナタイトの形態は

- 1)岩栓状、円錐状、岩脈状、環状岩脈などの形態で産出するが、典型的にはアルカリ複合岩体の芯部に認められる
- 2)形態は卵型~円形をし、直径は1マイル程である。

諏訪(1981)によれば、カーボナタイトの形態は

- 1)露出面積は他の火成岩に比べ小さく、直径は0.5~5kmのものが多い
- 2)花崗岩のように底盤を作らない。

II-1-3-6 カーボナタイトの構造・組織

Verwoerd(1967)によれば、アフリカ南部に産するカーボナタイト複合岩体は

- 1)火山円錐丘、隆起、カルデラ状陥没などの火山活動現象を示す。
- 2)理想的には外から内にむかって閃長岩、フォヤアイト、アイヨライト、ダナイトまたは輝岩、カーボナタイトで構成される
- 3)侵食深度の違いや交代作用により、上記岩相の連続的な変化はまれである
- 4)アルカリ小貫入岩体、は主要カーボナタイトの併入後に形成される
- 5)カーボナタイト小岩脈は主要カーボナタイト併入後に、同心円状または放射状に形成される
- 6)鉱物やゼノリスの配列による同心円構造や垂直板状の構造を示す
- 7)複合岩体間の接触部は垂直であることが多い。

Middlemost(1974)によれば、貫入状のカーボナタイトは

- 1)シリカに不飽和な過アルカリ岩の楕円～環状体中の核として産する
- 2)周辺母岩は破碎され、ドーム状構造となる
- 3)理想的な環状構造では外側から内側に向かうにしたがって、フェン岩-霞石閃長岩-ウルタイト-アイヨライト-メルテイジャイト-カーボナタイトと累帯配列する。

武内(1981)によれば、

- 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。

Diehl(1990)によれば、レア・アース元素はカーボナタイトのうち後期貫入のペフォルサイト質岩石に濃集する傾向にある。

II-1-3-7 レア・アースの濃集機構

Ihishara(1991)によれば、花崗岩質マグマに関するREE、Y、Zr、Ta、Nbの濃集機構を次のように述べている。

- 1)マグマの分別作用による。花崗岩類は酸素分圧の違いにより、磁鉄鉱系列とチタン鉄鉱系列に区分される。REE、Y、Zr、Ta、Nbは磁鉄鉱系列に濃集する
- 2)磁鉄鉱系列の花崗岩類にはM型とA型があり、A型にREE、Y、Zr、Ta、Nbが濃集する。REE含有花崗岩類はアルカリ、F、Liに富む

3) REEを含有する花崗岩類は風化作用により経済性が増す。

また、花崗岩類とカーボナタイトに産する鉱物の違いについて、。

- 1) カーボナタイトにはバストネッサイト $(\text{Ce, La})(\text{CO}_3)\text{F}$ 、モナザイト $(\text{Ce, La, Nd})(\text{PO}_4)$ 、バデレアイト (ZrO_2) 、パイロクロア $(\text{Na, Ca})_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{O, OH, F})$ が含まれる。
- 2) 花崗岩類にはモナザイト $(\text{Ce, La, Nd})(\text{PO}_4)$ 、ゼノタイム (YPO_4) 、ジルコン (ZrO) 、錫石 (SnO_2) 、タンタライト $(\text{Fe, Mn})(\text{Ta, Nb})_2\text{O}_6$ からなる。

坂巻・神谷(1988a)によれば、

- 1) レア・アースの主原子価は+3価であるため、マグマから初期に晶出してくる造岩鉱物のなかに入り込めず、残液に取り残されたり、+2価のカルシウムとイオン半径が似ているため、ペグマタイトやカーボナタイトに濃集することになる。
- 2) レア・アースの主原子価は+3価であるが、それ以外の異常原子価をとる元素がいくつかある。なかでも地球化学的意味の大きいのはセリウム(Ce)の+4価とユーロピウム(Eu)の+2価で、ユーロピウム(Eu)はカルシウム(Ca)とともにマグマ分化の初期に長石類に取り込まれ、セリウム(Ce)は酸化環境下、つまり分化の末期に水酸化物として濃集する。
- 3) レア・アース鉱物は、レア・アース元素が+3価を取り易いことから、 $(\text{R}^{+3}, \text{R}^{+3})\text{F}_3$ 、 $\text{R}^{+3}(\text{PO}_4)$ や $\text{R}^{+3}(\text{CO}_3)\text{F}$ タイプの鉱物を形成しやすい。ハロゲン化鉱物では、Floucerite $[(\text{Ce, La})\text{F}_3]$ が代表種である。磷酸塩鉱物 $\text{R}^{+3}(\text{PO}_4)$ ではゼノタイム(Xenotime) $[\text{YPO}_4]$ 、モナザイト(Monazite) $[(\text{Ce, La, Nd, Th})\text{PO}_4]$ が代表種である。炭酸塩鉱物 $\text{R}^{+3}(\text{CO}_3)\text{F}$ ではバストネサイト(Bastnaesite) $[(\text{Ce, La, Y})(\text{CO}_3)\text{F}]$ が代表種である。

II-1-3-8 カーボナタイトから産する鉱物

Verwoerd(1967)やDiel(1990)によれば、アフリカ南部のカーボナタイトについて、

- 1) 主成分鉱物は方解石、苦灰石、アンケライト、菱鉄鉱からなる
- 2) 副成分鉱物は燐灰石、重晶石、磁鉄鉱、赤鉄鉱、磁硫鉄鉱、チタン鉄鉱、黄鉄鉱、黒雲母、金雲母、エジリン輝石、ソーダ角閃石、アルカリ長石、霞石、パイロクロア、灰チタン石、金紅石、ジルコン、バデレアイト、ストロンチアナイトなどからなる
- 3) REE鉱物はモナザイト $[(\text{Ce, La, Nd, Th})\text{PO}_4]$ 、シンケザイト $[\text{Ca}(\text{La, Nd, Ce})(\text{CO}_3)_2\text{F}]$ 、バストネサイト $[(\text{Ce, La, Y})(\text{CO}_3)\text{F}]$ 、アンシライト $[(\text{Ce, La})_4(\text{Sr, Ca})_3(\text{CO}_3)_7(\text{OH})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ 、セリアナイト $[(\text{Ce, Th})\text{O}_2]$ 、カーボセルナイト $[(\text{Ca, Na, La, Ce, Nb, Sr, Ba})\text{CO}_3]$ である
- 4) ペグマタイト伴う鉱化作用で産する主要鉱物はモナザイト、褐簾石 $[(\text{Ca, Mn, La, Ce})_2(\text{Fe, Al}) \cdot \text{O} \cdot \text{OH} \cdot \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot \text{SiO}_4]$ 、ガドリナイト $[\text{Be}_2\text{FeY}_2\text{O}_2(\text{SiO}_4)_2]$ 、イットロ螢石 $[(\text{Ca, Y, Ce})\text{F}_2]$ である
- 5) 燐灰石、パイロクロア、レア・アース鉱物は経済的に重要である。

II-1-3-9 カーボナタイト鉱物の産状

武内(1981)によれば、

- 1)カーボナタイトの組成は早期のものは方解石質あるいはドロマイト質であるが、アンケライト質を経て、晩期のものは菱鉄鉱となる
- 2)パイロクロアは磁鉄鉱、燐灰石を伴うカーボナタイトに多く産する
- 3)REE鉱物や重晶石はドロマイトやアンケライトを伴い、石英質のカーボナタイトに多い
- 4)REE鉱物はバストネサイトやモナズ石が主体で、ストロンチアナイトを伴うことがある
- 5)REE鉱物は重晶石や石英の晶出に伴う熱水活動によってもたらされたと推定される。

坂巻・神谷(1988b)によれば、

- 1)カーボナタイトに伴うレア・アースの主要な鉱物はバストネサイトであるため、軽希土に富む。砂鉱床ではモナサイトが主要鉱物なので中希土がバストネサイトに比べて多量だが、基本的には軽希土の割合が高い。これに比べ、イオン吸着型鉱床は中希土やイットリウムに富んでいる
- 2)カーボナタイト及びペグマタイト鉱床を除けばレア・アース(REEO)品位が1%を越えることはほとんどない。

II-1-3-10 カーボナタイトの地球化学

Verwoerd(1967)によれば、

- 1)Sr、Ba、Nb、Ce、Laは関係アルカリ岩に比べカーボナタイトに濃集している
- 2)P、Zr、Hf、Y、Thはカーボナタイトと周辺アルカリ岩に濃集する
- 3)SrがBa、Nb、Taの含有量を越えることがある
- 3)NbがTaを越えることがある
- 4)放射性鉱物を含むことがある
- 5)通常ThはUの含有量を越える
- 6)鉱物生成は分結による場合と交代による場合がある。前者ではパイロクロア、バデレイト、燐灰石などができ、後者では銅硫化物、シンケザイト、赤鉄鉱などができる。

Mitchel and Garson(1981)によれば、カーボナタイトや関係アルカリ複合岩体はU、Th、Nb、Zr、REEに富む。

Hamilton et al.(1989)によれば、微量成分のカーボナタイトと響岩や閃長岩との分配実験(1-6 Kbar, 1050-1250°C)から、Ba、Ce、Cr、Cu、ZrやREE (Eu、Gd、Hf、La、Lu、Sm、Ta、Yb)が高圧低温下でカーボナタイト中に濃集する。

Middlemost(1974)によれば、過アルカリ岩にはP、Ba、Sr、Nb、Zr、REE、Th、Ti、Na、K、Moを多く含む。

Gold(1966)や武内(1981)によれば、カーボナタイトにはP、Fなどの揮発成分のほか、Fe、Mn、Ba、

Sr、Nb、Zr、REE、Th、Ti、K、Naなどが濃集する。

II-1-3-1.1 カーボナタイト鉱床の分類

武内(1973a)によれば、カーボナタイト複合岩体は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) 火山頸型：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アイト、輝岩、ダンかんらん岩を伴う
- 4) 深所深成型：岩脈は希で火成岩は閃長岩、輝岩、かんらん岩、ペグマタイトである。

Mariano(1989)によれば、カーボナタイト鉱床は次の3タイプに分類できる：

- 1) 初生マグマメルトタイプ：バストネサイトやパリサイトを含む
- 2) 熱水性タイプ：バストネサイトやモナサイトを含む
- 3) 浅成ラテライトタイプ。

II-1-3-1.2 ナミビアのカーボナタイト

Verwoerd(1967)によれば、ナミビアのカーボナタイトには

- 1) 地下火山型カーボナタイト複合岩体：Okoruso、Ondurakorume、Kalkfeld、Osongombo、Swarthbooisdrif、Epembe、Chamais
- 2) 火山型カーボナタイト複合岩体：Brukkaros
- 3) カーボナタイトである可能性の高い岩体：Ost-Bokiesbank、Garub、Granitberg、Eureka、Hatziium II

がある。

カーボナタイトの形成時代は、

- 1) センカンブリア代中期
- 2) センカンブリア代後期
- 3) ジュラ紀後期

に分けられる。

ナミビアのカーボナタイトは次の特徴を有する。

- 1) 石灰岩層沈降帯に分布する
- 2) 大規模な火成活動に関係する
- 3) 直径1マイル程の岩栓状に産し、同心円状構造を有する

- 4)結晶化が進むにつれてマグネシウムや鉄に富む
- 5)ストロンチウムの多く含む
- 6)種々の鉱物の経済性についてはまだ明らかでない。

II-1-3-14 カーボナタイト鉱床の経済性

Mariano(1989)によれば、カーボナタイトはNbとPとREEの主要な供給源である。

パイロクロアはカーボナタイト中では重要なNb鉱物であり、Taを含むことがある。この鉱物はラテライト風化作用によりクラングライト型鉱物に分解する。燐灰石も稼行対象鉱物であり、海成のものより品質が良い。その他の経済的 성분はCu、F、Sr、V、Th、U、Tiである。

Verwoerd(1986)によれば、燐灰石はカーボナタイトから産する最も重要な産物である。その他に銅、フッ素、磁鉄鉱などが経済的に重要である。アフリカにおけるカーボナタイト鉱床の開発例は南アフリカのパラボーワ複合岩体(Phalaborwa complex)であり、リンと銅を稼行対象としている。この主の岩体からの燐灰石産出量は1977年には全体の18%を占めている。しかし、レア・アースを直接対象とする開発はまだ実施されていない。

II-1-3-15 レア・アースの利用

坂巻・神谷(1988b)によれば、1985年以降、石油触媒としてのLa、Yの利用がなくなり、軽希土の需要が低迷している。しかし、合金・鉄鋼・窯業・磁性体・エレクトロニクス関連の利用に伴いサマリウム(Sm)、ユーロピウム(Eu)、カドリミウム(Gd)、イットリウム(Y)など中～重希土の需要が伸びており、レア・アース鉱床の産状、資源の賦存ポテンシャルの評価が課題となっている。

II-1-4 物理探査

Geological Suruvey of Namibia(1984)は5万分の1(Alexander Bay Area 2817AB)、25万分の1(Alexander Bay Area)の空中磁気図を出版している。この範囲には本調査オレンジ地区が含まれる。また、Geological Suruvey of Namibia(1974)は5万分の1(Omaruru Area 2016CC)、25万分の1(Otjiwarongo Area)の空中磁気図を出版している。この範囲には本調査カルクフェルド地区が含まれる。

オレンジ地区を含む5万分の1全磁力線図(Alexander Bay Area 2817AB)によれば、

- 1)この範囲にはVaalian系、Mokolian系、Karoo系などが分布し、全磁力強度を南に系統的に移動させれば、地層分布に対応した強度を示している。

Mokolian系の全磁力が強く、Karoo系が弱い。Vaalian系は花崗閃緑岩から、Mokolian系は片麻岩から、Karoo系は頁岩などからなる。変成度はMokolian系よりVaalian系の方が強く、Karoo系は未変成堆積岩である。

- 2)Vaalian系は北半部に分布し、高磁力部は北東-南西方向の伸びを有する。
- 3)Mokolian系は南半部に分布し、高磁力部は北西-南東方向の伸びを有する。

- 4)Karoo系は南東部に分布し、長波長成分が卓越する。
- 5)Mokolian系中にはアルカリ複合岩体が貫入し、この岩体に対応する高磁力部が認められる。高磁力部は北東－南西方向の伸びを有する。カーボナタイトも高磁力部に認められる。
- 6)本調査対象のカーボナタイトはVaalian系の北東－南西方向高磁力部と、Mokolian系の北西－南東方向高磁力部との交点付近に位置する。

カルクフェルド地区を含む5万分の1全磁力線図(Omaruru Area 2016CC)によれば、

- 1)この範囲にはNamibian系、Cambrian系などが分布し、地層により全磁力強度が違う。
Cambrian系の全磁力が強く、Namibian系が弱い。Namibian系は大理石や結晶片岩などの変成岩からなり、Cambrian系は花崗岩類からなる。変成度はCambrian系よりNamibian系の方が強い。
- 2)Cambrian系は北部と南部に分布し、北部の高磁力部は北東－南西方向と北西－南東方向の2系列の伸びを有する。南部の高磁力部は北東－南西方向と東－西方向の2系列の伸びを有する。
- 3)Namibian系は中央部に分布し、長波長成分が卓越する。
- 4)Cambrian系中には、アルカリ複合岩体が貫入し、この岩体に対応する高磁力部が認められる。
この複合岩体にはkalkfeld岩体と呼称されており、カーボナタイトを随伴している。
- 5)本調査カルクフェルド地区のカーボナタイトに対応する磁気異常は捕捉できなかった。

II-1-5 探鉱

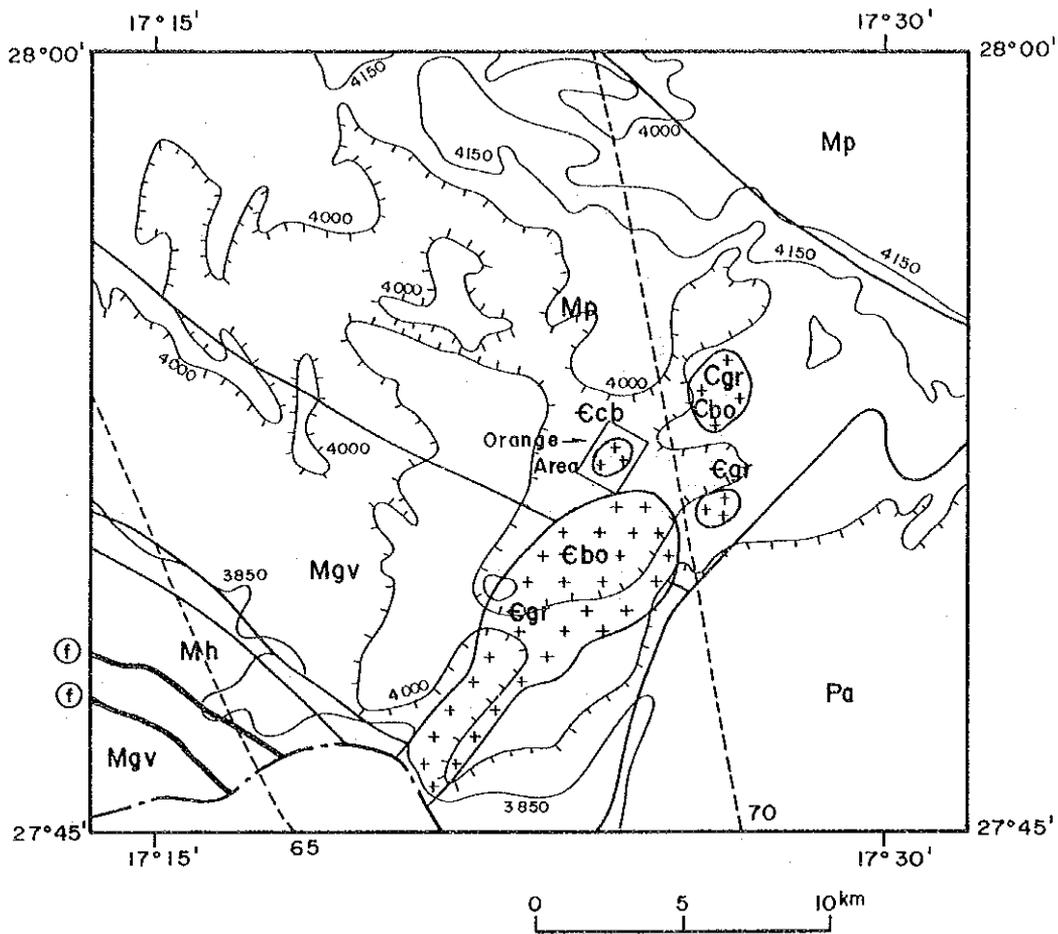
Verwoerd(1967)は南アフリカやナミビアのカーボナタイト調査結果について述べている。これは南ア原子力エネルギー委員会(Atomic Energy Board)の委託により、カーボナタイトの産状、放射能異常や鉱化作用について調査したものである。この中で、Kalkfeld岩体は1953年Tsumeb Corp.により発見された。FeO品位で40%のものが数百万トンあり、これには0.5%のThO₂を含む。オンドゥラコルメ岩体は、カルクフェルド岩体と比較して燐灰石に富みで、P₂O₅品位は最高17.3%、平均7%である。Nb₂O₅は最高2.5%で、Nb₂O₅0.3%では8百万トンの埋蔵量がある。Ce₂O₃は0.9%の分析値を得ている。角閃石ベフォルサイトにはストランチアナイトやアンシライトを含む。方鉛鉱も含むが経済的ではない。パイロクロアは、カルクフェルド岩体、オンドゥラコルメ岩体及びオソンゴンボ岩体の3岩体に普通に認められる。

Dendle(1971)は、オレンジ地区北東に位置するKawaggasnek-Kanabium地区の地質調査と鉱床探査結果について報告している。同地区はKheis系変成岩を後カルー系の石英斑岩・玄武岩などが貫入している。また、これらをナマ系とカルー系堆積岩が覆い、後カルー系のブレメン(Bremen)酸性火成岩体に貫かれている。鉱化作用はこれら貫入岩周辺で認められ、後カルー系の石英斑岩には銀・鉛、ブレメン酸性火成岩体には珪灰石の鉱化作用が認められる。

カナビウム(Kanabium)地区には石英斑岩に関係した銀・鉛鉱脈や銅の鉱化が認められる。石英斑岩の分析値はCu:679ppm、Mo:2ppmを、ゴッサンの分析値はPb:4.78%、Ag:3.3 oz/tonを得ている。銀・鉛鉱脈には1971年まで稼行されていたものもある。

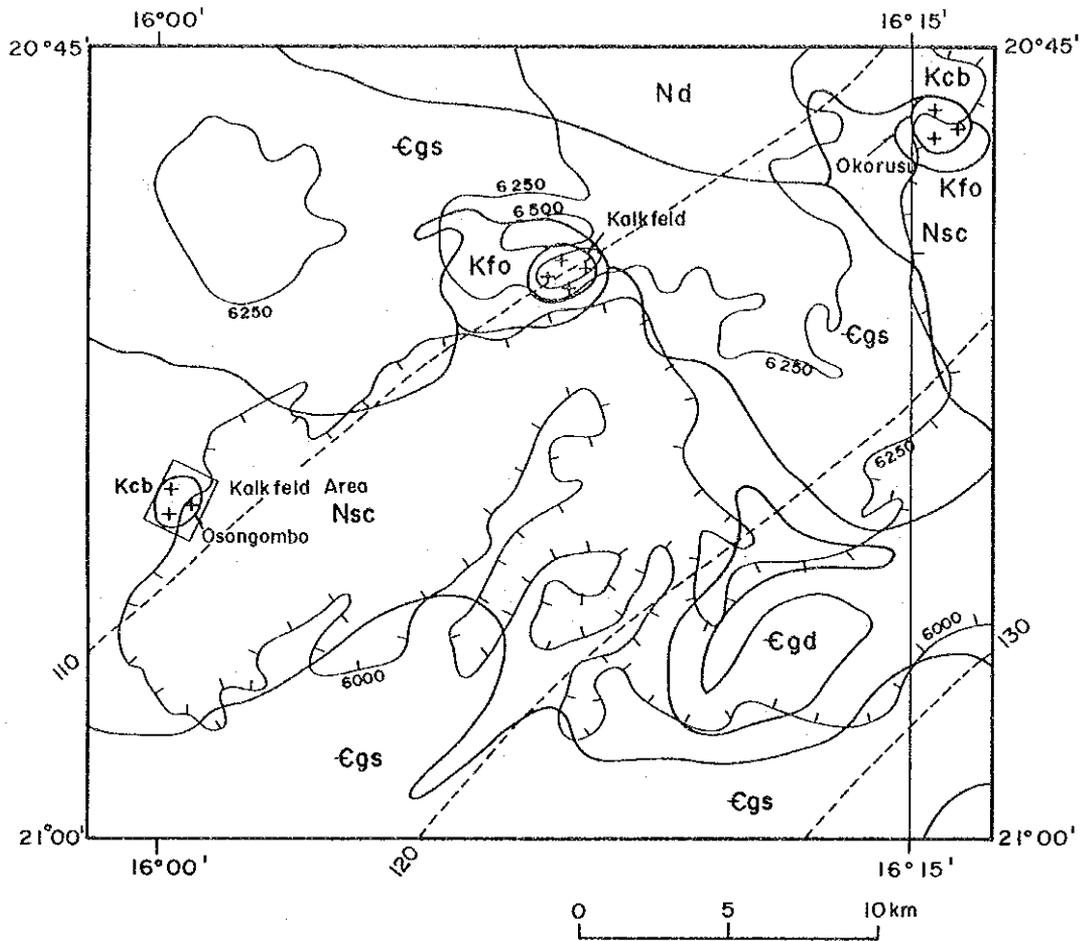
オレンジ地区のカーボナタイト岩体はBlignault(1967)により発見され、Rio Tint Exploration Ltd.によりベースメタルを目的に探鉱(Heath, 1973)された。Heath(1973)によれば、この時2つのカーボナタイトが確認されている。一つは本調査地区内のものと対応し1.8km×1.0kmの広がりを持つ、もう一つは、これより2.5km南西に位置し、直径が0.7kmである。褐色カーボナタイトは褐鉄鉱濃集部を伴い、カーボナタイトの活動に関係して鉛・亜鉛の鉱化作用も認められている。

Smithics(1990)はオレンジ地区周辺のカーボナタイト・アルカリ複合岩体の地質・鉱床の調査結果を報告している。この調査は、鉛・銀を含む硫化鉱物脈の探鉱を目的としている。鉱脈は、クボース・ブレメン(Kuboos-Bremen)構造線上に配列したアルカリ火成岩の活動に関係する。鉱脈が胚胎するタタスベルグ(Tatasburg)複合岩体中には、石英脈が発達し、しばしば螢石に富む。また、硫化鉱物脈や石英-絹雲母-黄鉄鉱の鉱物組み合わせからなるポーフリタイプの変質作用も認められる。複合岩体の一部のカナビウム角礫岩体は、火山角礫岩と斑状貫入岩からなり、この貫入岩中に鉛・銀の硫化鉱物を含む網状脈を伴っている。



- | | | | |
|-----|------------------------------|-------|----------------------------------|
| €cb | : Cambrian Carbonatite | ----- | : Bouguer Anomaly Contour[mgal] |
| €bo | : Cambrian Bostonite | | : Magnetic Induction Contour[nT] |
| €gr | : Cambrian Granite | ———— | : Fault |
| Mp | : Mokolian Gneiss | ———— | : Lithologic Boundary |
| Mgv | : Mokolian Granitic Rocks | ----- | : International Boundary |
| Mh | : Mokolian Metamorphic Rocks | | |

図II-1-5 オレンジ地区の既存データ解析結果総括図



- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Kcb : Cretaceous Carbonatite | ----- : Bouguer Anomaly Contour[mgal] |
| Kfo : Cretaceous Foyaite | : Total Magnetic Field Contour[gamma] |
| Egd : Cambrian Granitic Rocks | ————— : Lithologic Boundary |
| Egs : Cambrian Granitic Rocks | |
| Nsc : Namibian Damara Sequence | |
| Nd : Namibian Damara Sequence | |

図 II - 1 - 6 カルクフェルド地区の既存データ解析結果総括図

第2章オレンジ地区

II-2-1 調査方法

現地調査の基本図は、既存の地形図(縮尺50,000分の1)をもとに縮尺2,500分の1の地形図に拡大して使用した。

岩石地化学試料の採取間隔は、原則として準精査の場合、100m×150mグリットとし、精査の場合、50m×75mグリットとした。岩石試料の採取地点は、簡易測量によって決定した。測量に当たっての基点は、東側の山稜の頂部2箇所を設定した。地化学試料採取の測線沿いに、地質のルートマップを作成し、その結果を既存地質図と対比して新たな地質図の補完した。

異なった岩種及び同一岩種でも、岩相に差異の認められるものは岩石薄片及び研磨片の鏡下観察、必要に応じて、X線回折試験(XRD)による鉱物同定及び全岩化学分析を行った。

II-2-2 地質

II-2-2-1 地質概説

図II-2-1に調査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またがるNE-SW方向に延びるクボース(Kubos)-ブレメン(Bremen)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、ガリエプ(Gariep)層群及びナマ>Nama)層群に貫入している。アルカリ貫入岩体の一つであるマリンカスクウェラ(Marinkas Kwela)閃長岩のRb-Sr年代は、 $505.88 \pm 18.68\text{Ma}$ を示している(Smithies, 1990)。調査地域付近のアルカリ貫入岩体群中には、Pb-Agの鉱化作用が確認されている(Blignault, 1979, Rio Tinto, 1973, Smithies, 1990)。

マリンカスクエラ(Marinkas Quelle)カーボナタイト複合岩体と呼称される本岩体は、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)。

II-2-2-2 地質各説

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それぞれ図II-2-2に、模式地質層序を図II-2-3をそれぞれ示す。

室内試験に供した岩石試料の採取位置図を図II-2-4に示す。岩石薄片の顕微鏡鑑定結果を表II-2-1に、鉱石研磨片の鑑定結果を表II-2-2に、X線回折(XRD)試験結果を表II-2-3に、全岩化学分析値を表II-2-4にそれぞれ示す。

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(以下では、MQCと略称する)及びカルー貫入岩類から構成される。

MQCは、3つの異なる貫入の中心を持つと考えているが(Schommarz, 1988)、ここではこの分類を採用した。

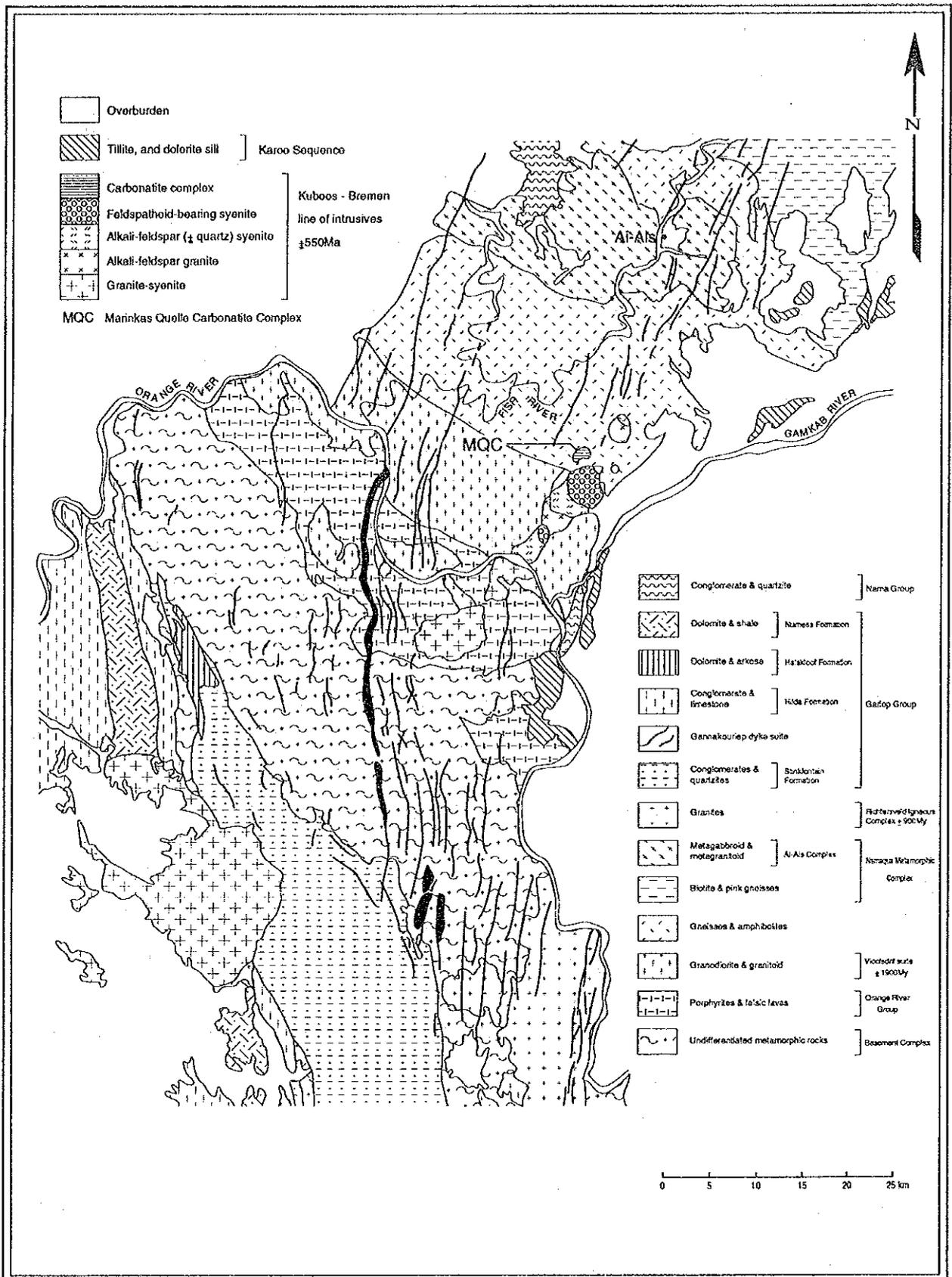


図 II - 2 - 1 オレンジ地区周辺の広域地質図

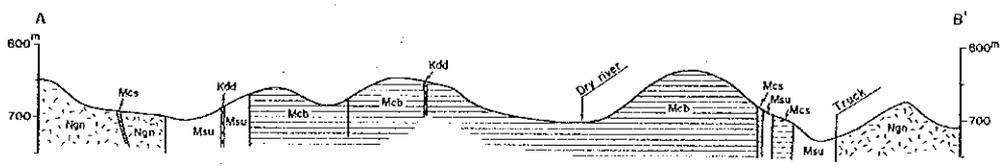
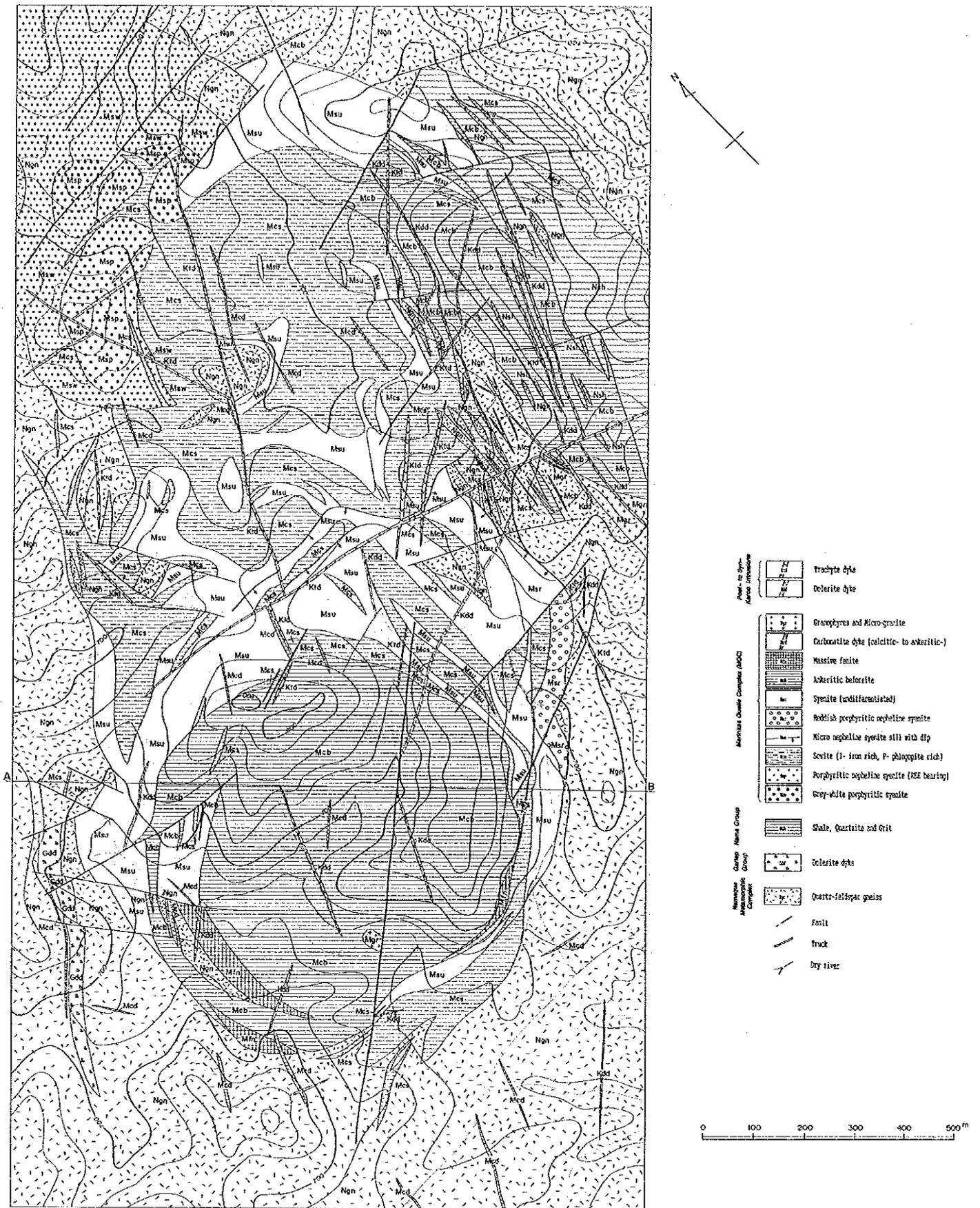


図 Ⅱ - 2 - 2 オレンジ地区の地質及び地質断面図

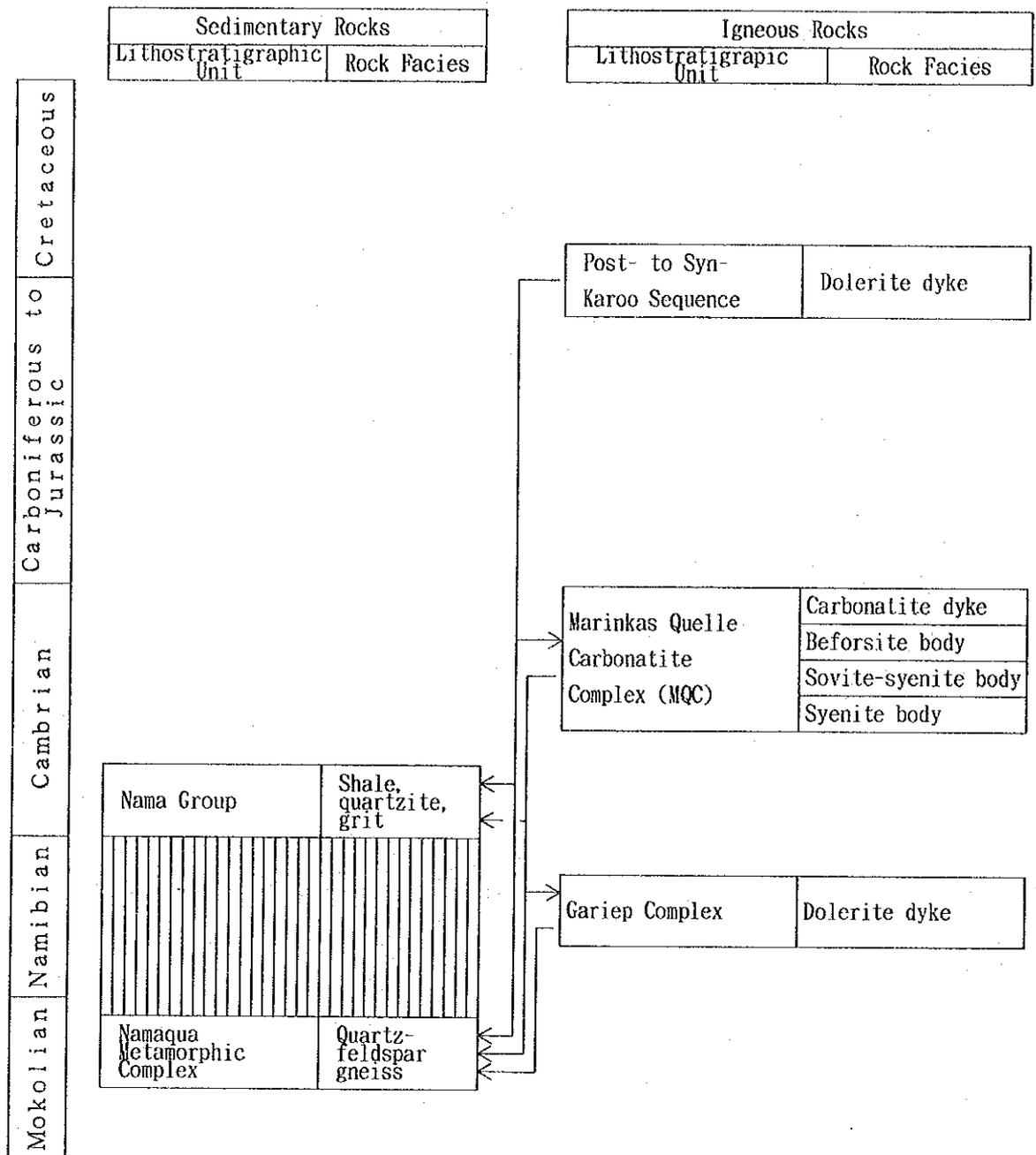


図 II - 2 - 3 オレンジ地区の模式層序

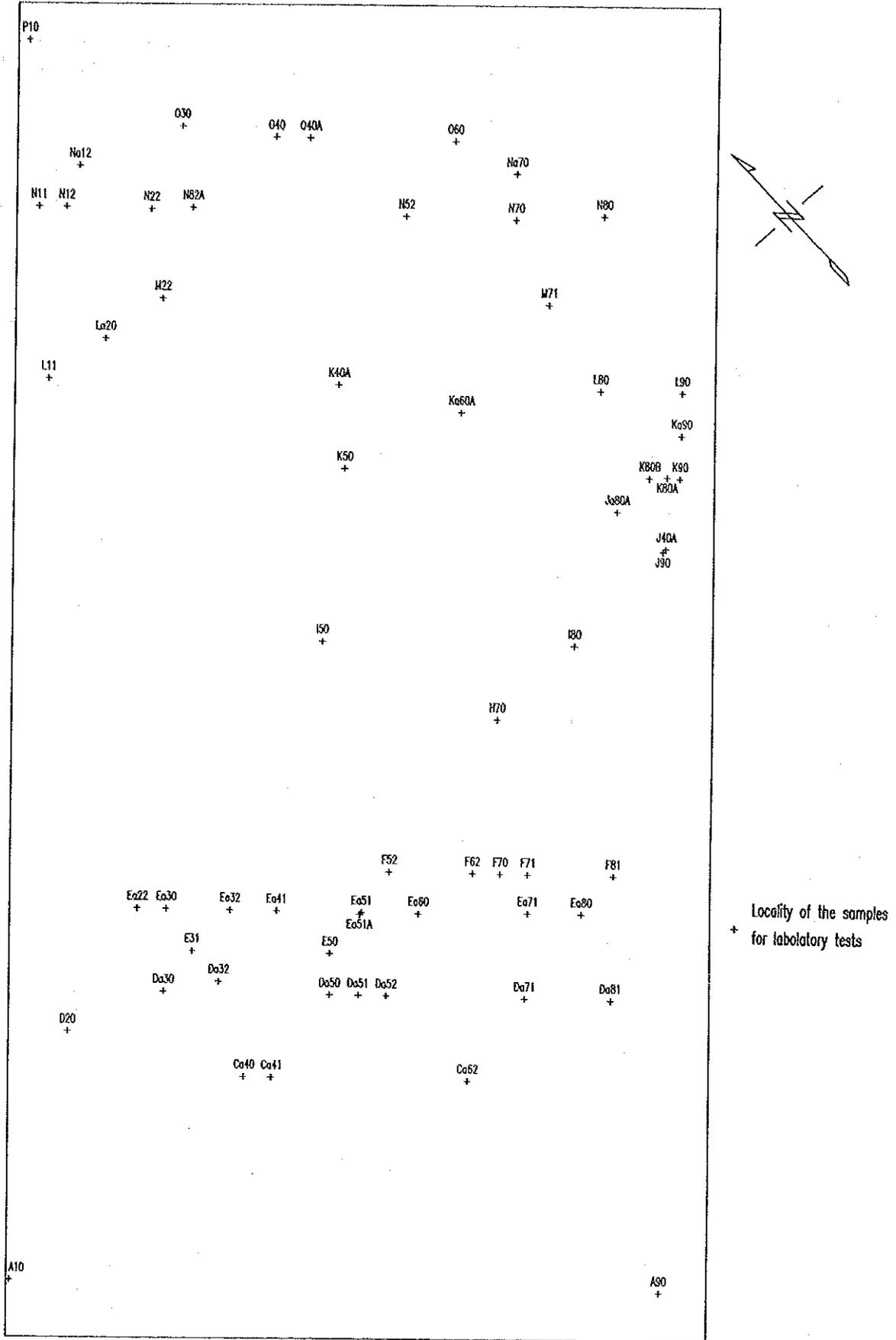


図 II - 2 - 4 オレンジ地区の室内試験試料採取位置図

表II-2-2 オレンジ地区の鉱石研磨片の顕微鏡鑑定結果一覧表

No.	Sample No.	Rock Name	Rock Code	Oxide and HydroOxide							Sulphide					Remarks		
				Mag	Magf	Ilm	Hem	Fe-HO	Goep	Py	Mc	Po	Mar 1)	Sp	Cop		Gn	
1	Da50	Beforsite	Mcb1	○-△		○	△2)	◎										
2	Da51	Beforsite	Mcb1	○			△2)	○			△							
3	Da52	Beforsite	Mcb1	△			△2)	○										
4	Da71 No.1	Beforsite	Mcb1	○			△2)	○			△							
5	Da71 No.2	Beforsite	Mcb1	△			△2)	◎			△							
6	E 50	Beforsite	Mcb1	○			△2)				△							
7	Ea22	Syenite	Msu			△		○			◎-○							Monoclinic Po
8	Ea41	Beforsite	Mcb1	◎			△2)											
9	Ea51 No.1	Beforsite	Mcb1	◎			△2)	△3)			△							
10	Ea51 No.2	Beforsite	Mcb1	○		△	△2)											
11	F 52	Beforsite	Mcb1	○			△2)				△							
12	F 62	Beforsite	Mcb1	○									○					
13	F 70	Beforsite	Mcb1			△		◎					○					
14	J 40A	Iron ore	Mcs	●			△2)											
15	J 90	Granitic rock	Mgr								○-△	○						Py-Mc aggregate replaces Po
16	Ja80A	Trachyte	Ktd			△					○							
17	Ka60A	Syenite	Msu	○		△	○2)				△		◎					
18	Ka90	Beforsite	Mcb2				○	△										
19	L 90	Black shale	Nsh								○							Fine inclusions of Po in Py
20	La20	Porphyritic syenite	Msp			△					○-△		△					
21	N 12	Leuco-syenite	Msw			○					△		○					Py-Mc aggregate partly replaces Po
22	N 22	Syenite	Msp			○										△		
23	N 80	Sovite	Mcs								△		○					
24	N 82A	Sovite	Mcs								○							Fine Po relics remain in Goep
25	Na12	Porphyritic syenite	Msw			○					○-△		○					Hexagonal Po

●:abundant ◎:common ○:poor △:rare

Abbreviation

Mag:Magnetite Magf:titanomagnetite Ilm:ilmenite Hem:hematite FeO:Fe:hydroxide Goep:goethite after pyrite

Py:pyrite Mc:marcasite Po:pyrrhotite Mar:martite Cop:chalcopyrite Gn:galena

1): Martite consists of Hem which replaces Mag. Some of martite are replaced by Fe hydroxide.

2): Hematite partly/completely replaces magnetite along cracks.

3): Fe hydroxide partly replaces the rim of pyrrhotite.

表Ⅱ-2-4 オレンジ地区の全岩化学分析結果一覧表

1

No.	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
	Sample No.	M22	Ea32	K40A	Ti3A	T9A	Da32	Ea30	Ea41	Ea60	Ea71	F70	Rock Name	Sovite	Sovite	Sovite	Beforsite							
Rock Code	Mcd	Mcs	Mcb1	Mcb1	Mcb1	Mcb1	Mcb1	Mcb1	Mcb1	Mcb1	Mcb1	Mcb1	Mcb1	Mcb1										
SiO ₂	0.43	25.59	28.96	19.12	4.54	9.13	6.89	2.13	0.58	0.40	0.34	2.63	TiO ₂	0.01	0.27	0.13	0.02	0.08	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO ₂	0.01	0.27	0.13	0.02	0.02	0.08	0.07	0.10	0.01	0.02	0.01	0.01	Al ₂ O ₃	0.01	6.28	7.09	5.86	2.34	2.34	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	0.01	6.28	7.09	5.86	0.03	2.68	2.34	0.35	0.01	0.01	0.01	0.01	Fe ₂ O ₃	2.00	1.39	1.26	0.90	1.64	11.42	3.43	2.97	5.78	1.00	
Fe ₂ O ₃	2.00	1.39	1.26	0.90	1.46	0.54	0.74	1.64	11.42	3.43	2.97	5.78	FeO	6.87	2.74	1.77	1.61	5.03	0.16	2.13	1.74	1.00	1.00	
MnO	1.32	0.25	0.12	0.13	0.40	0.16	0.94	1.05	1.22	0.86	0.83	0.98	MgO	3.96	1.69	0.76	0.73	16.94	19.90	19.96	20.34	16.96	16.96	
MgO	3.96	1.69	0.76	0.73	1.56	0.25	16.05	16.94	19.90	19.96	20.34	16.96	CaO	39.17	33.82	28.53	35.71	27.36	27.52	27.65	28.87	28.87	28.87	
CaO	39.17	33.82	28.53	35.71	49.89	45.72	27.61	27.36	23.46	27.52	27.65	28.87	Na ₂ O	0.04	2.15	0.93	2.11	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	
Na ₂ O	0.04	2.15	0.93	2.11	0.77	1.13	0.09	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	K ₂ O	0.29	1.11	4.93	2.96	0.91	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	
K ₂ O	0.29	1.11	4.93	2.96	0.18	0.99	0.91	0.54	0.01	0.01	0.01	0.02	P ₂ O ₅	0.14	2.36	1.45	0.89	2.98	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	
P ₂ O ₅	0.14	2.36	1.45	0.89	1.78	0.02	2.98	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	CO ₂	41.64	20.00	21.04	26.90	34.22	40.60	44.64	44.66	40.77	40.77	
CO ₂	41.64	20.00	21.04	26.90	35.58	37.06	34.22	43.12	40.60	44.64	44.66	40.77	H ₂ O(+)	1.14	2.00	1.62	1.62	1.06	0.98	0.54	0.46	1.56	1.56	
H ₂ O(+)	1.14	2.00	1.62	1.62	0.42	0.37	1.06	0.90	0.98	0.54	0.46	1.56	H ₂ O(-)	0.14	0.13	0.36	0.26	0.23	0.14	0.25	0.11	0.23	0.23	
H ₂ O(-)	0.14	0.13	0.36	0.26	0.18	0.07	0.26	0.23	0.14	0.25	0.11	0.23	Total	98.04	99.94	99.05	99.13	98.89	98.60	99.54	98.61	99.88	99.25	99.07
La ppm	1600	180	128	142	360	183	213	80	12	42	111	319	Ce	3530	433	252	276	274	513	97	208	510	510	
Ce	3530	433	252	276	571	274	513	198	97	126	208	510	Nd	1210	160	86	87	137	190	47	47	135	135	
Nd	1210	160	86	87	280	137	190	47	24	30	47	135	Sm	154.0	33.2	11.8	13.9	20.3	33.9	< 0.1	< 0.1	1.0	14.4	
Sm	154.0	33.2	11.8	13.9	52.1	20.3	33.9	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.0	14.4	Eu	31.0	10.6	4.3	4.4	5.0	9.3	1.1	< 0.5	1.1	3.2	
Eu	31.0	10.6	4.3	4.4	13.1	5.0	9.3	1.1	< 0.5	< 0.5	1.1	3.2	Tb	33.3	19.5	9.6	8.4	6.6	27.8	28.8	45.1	21.0	21.8	
Tb	33.3	19.5	9.6	8.4	10.1	6.6	27.8	28.8	45.1	22.3	21.0	21.8	Yb	4.6	4.2	2.5	3.5	3.6	2.2	0.9	0.6	0.6		
Yb	4.6	4.2	2.5	3.5	5.3	3.6	2.2	0.8	0.9	0.6	0.6	0.8	Lu	1.2	1.0	0.6	0.7	0.5	0.7	1.2	0.5	0.5		
Lu	1.2	1.0	0.6	0.7	1.0	0.5	0.7	0.8	1.2	0.6	0.5	0.6	Sc	5.1	0.7	< 0.5	< 0.5	1.6	4.3	2.3	2.3	2.3		
Sc	5.1	0.7	< 0.5	< 0.5	2.2	1.6	4.3	2.6	2.3	3.2	2.3	2.6	Y	79	62	36	49	51	43	6	6	6	10	
Y	79	62	36	49	111	51	43	8	6	7	6	10	U	< 1	2	94	8	3	9	4	1	4	4	
U	< 1	2	94	8	3	3	9	< 1	6	4	1	4	Th	147	42	18	9	14	2	6	8	20		
Th	147	42	18	9	18	14	2	13	6	9	8	20	Nb	13	123	355	358	4	252	49	312	722		
Nb	13	123	355	358	462	4	252	49	795	1360	312	722	Ta	< 2	8	20	6	< 2	9	< 2	< 2	2		
Ta	< 2	8	20	6	3	< 2	9	< 2	3	< 2	< 2	2	Zr	< 3	174	261	259	708	11	3	< 3	< 3		
Zr	< 3	174	261	259	< 3	708	11	< 3	3	< 3	< 3	4	Sr	12810	3270	2170	4080	6140	3960	4140	5760	4200		
Sr	12810	3270	2170	4080	7340	6140	3960	5020	4140	4600	5760	4200												

No.	13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24	
	T5A	K90	L80	M71	L11	Na70	O60	P10	La20	N22	T7A	I80	Syenite											
Rock Name	Beforsite	Beforsite	Beforsite	Beforsite	Syenite																			
Rock Code	Mcb1	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2	Mcb2
SiO ₂ %	0.03	0.54	0.53	0.78	70.30	52.74	65.01	50.29	58.13	47.28	57.24	51.28												
TiO ₂	0.01	0.01	0.01	0.03	0.17	0.45	0.07	0.46	0.32	0.70	0.03	0.24												
Al ₂ O ₃	0.04	0.11	0.01	0.01	12.89	20.30	18.20	22.09	20.72	16.06	15.34	15.44												
Fe ₂ O ₃	3.12	0.20	0.61	3.09	1.27	1.83	0.47	1.70	0.20	4.52	1.06	2.62												
FeO	3.30	3.85	2.84	3.87	1.10	1.39	0.13	1.58	1.67	1.87	0.20	2.45												
MnO	0.79	1.17	0.80	0.66	0.08	0.14	0.06	0.13	0.06	0.12	0.17	0.20												
MgO	19.24	17.72	15.53	16.03	0.87	0.28	0.03	0.13	0.36	0.49	0.25	0.64												
CaO	28.90	29.85	31.55	29.13	1.21	2.15	1.22	1.43	2.84	5.64	4.23	7.52												
Na ₂ O	0.09	0.05	0.06	0.24	4.47	8.79	9.13	11.23	6.00	9.90	1.05	5.65												
K ₂ O	0.03	0.04	0.01	0.10	4.55	5.72	2.80	5.20	7.20	4.63	12.99	6.59												
P ₂ O ₅	0.04	2.30	7.31	2.89	0.12	0.21	0.44	0.14	0.15	0.56	0.13	0.51												
CO ₂	41.72	41.46	37.46	41.80	1.48	2.38	1.26	3.78	2.88	3.98	4.85	3.62												
H ₂ O(+)	0.37	1.20	1.36	0.52	0.38	3.04	0.90	1.50	3.78	3.62	0.91	2.06												
H ₂ O(-)	0.07	0.12	0.21	0.45	0.13	0.19	0.33	0.24	0.10	0.25	0.07	0.16												
Total	97.80	98.69	98.44	99.72	99.07	99.72	100.08	99.98	99.47	99.75	98.66	99.06												
La ppm	106	104	215	187	33	85	18	20	12	71	264	33												
Ce	134	250	410	326	73	127	40	42	32	95	482	68												
Nd	51	98	177	138	24	39	15	11	11	25	230	25												
Sm	5.2	15.3	33.0	19.7	3.1	2.4	3.9	0.8	< 0.1	< 0.1	33.4	< 0.1												
Eu	0.5	5.1	8.9	7.6	0.8	1.4	1.6	0.6	< 0.5	< 0.5	1.9	0.9												
Tb	5.8	13.4	14.2	27.0	9.4	10.6	2.8	6.3	7.1	20.7	7.1	13.3												
Yb	1.1	1.6	2.1	2.1	2.7	2.0	0.8	0.7	0.6	1.2	0.7	1.9												
Lu	0.7	0.6	0.3	0.5	0.7	0.3	0.1	0.2	0.2	0.5	0.2	0.7												
Sc	8.1	0.6	0.6	0.8	3.5	< 0.5	0.5	< 0.5	< 0.5	2.1	0.8	< 0.5												
Y	14	27	44	40	20	20	22	6	4	14	12	13												
U	6	< 1	< 1	1	7	6	22	7	10	34	56	9												
Th	9	8	4	47	16	8	33	10	4	9	36	11												
Nb	7	66	18	4090	39	218	432	170	514	638	1290	639												
Ta	< 2	< 2	< 2	5	< 2	7	5	5	< 2	6	< 2	14												
Zr	< 3	< 3	< 3	4	122	180	11	118	40	169	10	849												
Sr	5470	3860	5470	3740	139	1490	148	932	2310	1820	1700	598												

No.	25	26	26	28	29	30
Sp. No.	F81	I50	K50	T11A	J90	Da30
Rock Name	Syenite	Syenite	Syenite	Syenite	Micro-granite	Geniss
Rock Code	Msu	Msu	Msu	Msu	Mgr	Ngn
SiO ₂ %	25.74	52.87	55.82	61.15	66.51	54.94
TiO ₂	0.56	0.46	0.38	0.12	0.01	0.47
Al ₂ O ₃	7.27	19.69	19.51	14.67	18.20	17.13
Fe ₂ O ₃	1.03	0.23	0.20	2.16	1.00	3.22
FeO	4.25	2.35	3.48	0.64	0.58	0.13
MnO	0.23	0.04	0.08	0.07	0.01	0.15
MgO	1.70	0.19	1.62	0.48	0.01	1.30
CaO	30.34	1.76	0.61	2.53	0.12	4.73
Na ₂ O	2.97	7.19	3.86	3.45	10.91	0.42
K ₂ O	1.57	8.84	10.94	11.76	0.05	8.78
P ₂ O ₅	2.29	0.05	0.16	0.08	0.05	1.82
CO ₂	18.75	3.84	0.96	1.66	0.68	2.94
H ₂ O(+)	1.90	2.36	1.02	0.58	0.52	2.44
H ₂ O(-)	0.04	0.11	0.33	0.06	0.25	0.42
Total	98.83	100.07	99.03	99.42	98.92	99.07
La ppm	186	2	9	26	30	155
Ce	343	11	10	25	64	360
Nd	125	4	5	13	20	160
Sm	20.2	< 0.1	< 0.1	0.1	1.6	41.0
Eu	5.6	< 0.5	< 0.5	0.5	0.8	12.5
Tb	15.8	9.9	15.0	6.8	5.6	13.9
Yb	2.7	0.5	0.4	0.8	0.3	6.4
Lu	0.8	0.3	0.2	0.3	0.2	1.0
Sc	< 0.5	0.5	< 0.5	0.8	< 0.5	< 0.5
Y	37	2	2	1	3	99
U	5	6	29	4	2	31
Th	14	8	12	5	6	15
Nb	389	254	249	48	53	662
Ta	30	15	6	< 2	< 2	26
Zr	653	94	116	291	6	907
Sr	2870	431	154	295	15	671

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、南傾斜のフォリエーションが発達する。MQCの周辺では、大部分礫径が数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場合が多く、肉眼による岩相の識別を困難にしている。

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、螢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内の捕獲岩塊の試料一部(T12A、N10、061)では、カンクリナイトが検出された。

2. ガリエプ (Gariiep) 層群 (Gdd)

調査地区西側の石英-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)、後述するアンケル石質カーボナタイト岩脈によって貫入される。

3. ナマ (Nama) 層群 (Nsh)

調査地区北部において、MQCの東側に分布するほか、MQC中の捕獲岩塊として産する。黒色頁岩、珩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。珩岩は、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は、NE-SW方向に伸長したほぼ楕円形の分布し、3つに大別できる貫入岩体の中心があることが知られている(Schommarz, 1988)。本論では、Schommarz(1988)の分類を周到したが、細

粒閃長岩は未詳閃長岩に含めた。M Q Cを北から斑状霞石閃長岩及び斑状閃長岩を主体とした閃長岩岩体、ソーバイト、斑状霞石閃長岩及び閃長岩からなるソーバイト-閃長岩岩体、及びアンケル石質ペフォルサイトを主としたペフォルサイト岩体と仮称した。以下では、各岩体及び付近の母岩に貫入しているカーボナタイト岩脈について記述する。なお、表II-2-5に、顕微鏡観察及びXRD試験結果に基づいたM Q Cの各岩相別の鉱物組み合わせを示す。

4-1 閃長岩複合岩体 (Msw、Msp)

地区北部に、南半分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、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、及び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い出される。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、及び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シンチサ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。

4-2 ソーバイト-閃長岩複合岩体 (Mcs、Msu、Msr、Msm)

本岩体は、調査地区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)に区別されている。

ソーバイト(Mcs)は、調査地区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

表II-2-5 MQCの岩相別鉱物組み合わせ

	Syenite Body		Sovite-syenite Body			Beforsite Body			
	Msw	Msp	Mcs	Msr	Msu	Mcb1	Mcb2	Mfn	Mcd
Quartz									
Plagioclase									
Albite									
K-feldspar									
Anorthoclase									
Nepheline									
Cancrinite									
Sodalite									
Analcime									
Aegirne									
Aegirine-augite									
Clinopyroxene									
Hornblende									
Riebeckite									
Gedrite									
Biotite									
Phlogopite									
Calcite									
Dolomite									
Ankerite									
Kutnahorite									
Siderite									
Magnesite									
Strontianite									
Barytocalcite									
Apatite									
Sphene									
Rutile									
Zircon									
Garnet									
Fluorite									
Barite									
Magnetite									
Hematite									
Pyrite									
Epidote									
Allanite									
Sericite									
chlorite									
Kaolinite									
Goethite									
Pyrochlore									
Monazite									
Bastnaesite									

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。アンケル石質ベ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。また、転石ではあるが、本岩分布域で鉄鉱石が認められた。

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、アンケル石、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。

斑状霞石閃長岩(Msr)は、調査地区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、比較的少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、調査地区中央部に幅、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。アンケル石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。アンケル石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。

4-3 ベフォルサイト複合岩体(Mcb、Mfn、Mgr)

アンケル石質ベフォルサイト(Mcb)は、南部及び東部に分かれた2つの岩体になる。

南部の岩体は、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。

南部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ル石の場合がある。副成分として、石英、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、一部試料(Ea61)中では、REE含有鉱物としてバスタネサイトが同定された。

東部の岩体は、N-S方向に伸長したレンズ状の形態をとる。東部岩体の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、ほぼ垂直な傾斜をもつフォリエーションの走向は岩体の形態に調和的である。粒径1mm前後の燐灰石がこのフォリエーションに沿って配列する場合があるほか、青緑色の細脈あるいはレンズとして産する場合がある。

東部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ル石の場合がある。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。またXRD試験により、曹長石、カリ長石、エジリン輝石及び金雲母に富む試料(Ba61)は、閃長岩の捕獲岩片を含む。

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試験結果(1試料)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花崗岩(Mgr)は、南部のベフォルサイト岩体の中心部及び東部のベフォルサイト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。東部の岩体は、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。

4-4 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。アンケル石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試験結果では、方解石、苦灰石、アンケル石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、方解石、アンケル石、燐灰石、菱鉄鉱、ストロンチアナイト、モナズ石及びバスタネサイトが含まれる。

5. カルー貫入岩類(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から数mであるが、比較的連続性

はよい。

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、蛍石、絹雲母、緑泥石、方解石、黄鉄鉱を随伴する。

II-2-3 地化学探査

II-2-3-1 探査手法

岩石地化学探査を行った。地化学探査は、2つのベフォルサイト及びSchommarz(1988)が提言したREE含有斑状霞石閃長岩の分布域に対して測線間隔75m、採取地点間隔50mの精査を行った。他の岩相分布域に対しては、測線間隔150m、採取地点間隔100mの準精査を行った。測線方向は、MQC岩体を直交するようにN52E°方向に設定した。

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。各成分の検出限界は、表II-2-6に示すとおりである。

II-2-3-2 調査結果

岩石の地化学分析値は、巻末に示す。試料採取位置図を図-2-5に示す。岩相別の基本統計値を表II-2-7に示す。基本統計値の算出にあたって、カーボナタイトの間隙充填、フェン岩化作用及び風化作用の程度については考慮していない。したがって、これらの基本統計値が各岩相の初生的な含有量を示すものではない。また、ベフォルサイト岩体は、南部の岩体と東部の岩体に分かれる。二つの岩体は地化学分析成分のいくつかについて、含有量の明瞭な差異が認められる。したがって、以下の議論では、二つの岩体を分けて議論する。

各成分の特徴は下記のとおりである。なお、濃度分布図の等濃度線を作成するに当たっては、局所的な異常であるカーボナタイト岩脈のデータを取り除いた。

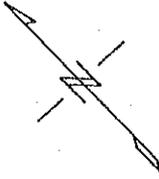
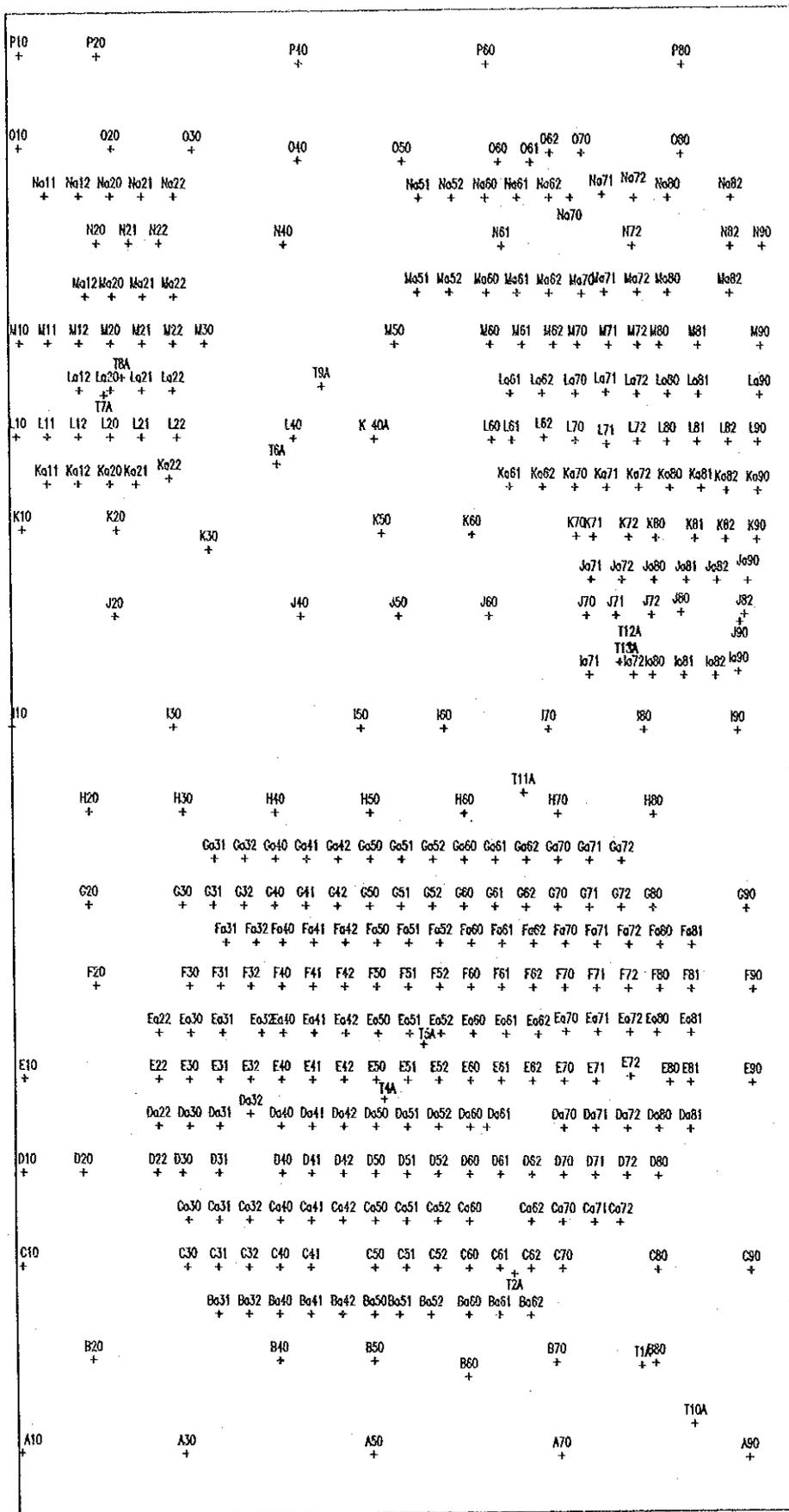
1. REE(La、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Yb及びLu)

ランタノイド系列に属するREE元素は、地化学的に類似した挙動をとる。以下では、これらの元素の内、最も高濃度で含有するCeについてその特徴を述べる。

Ceの濃度分布図を図II-2-6に示す。

平均濃度で見た場合、Ceの高濃集は、MQCの最末期の活動であるカーボナタイト岩脈中に認められる。そのほか、ベフォルサイト及びソーバイト中にも高濃度となっている。

1,000ppm以上の高濃集は、二つのベフォルサイト中及びその周辺に限られる。カーボナタイトの網状脈が発達するナマ層群中にも高濃集部が認められるが、これらの網状脈中にREEが濃集していると推定できる。南部のベフォルサイト岩体中では、高濃度地点が散点しているほか、外周部のフェン岩化した閃長岩及び片麻岩中でも1,000ppm以上の濃集が認められる。東部のベフォル



Locality of the samples
+
for geochemical survey

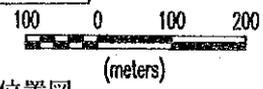


図 II - 2 - 5 カルクフェルド地区の地化学調査試料採取位置図

表II-2-6 地化学分析の各元素の分析方法、検出限界及び精度

1) Whole Rock Analysis

Elements(as Oxides)	Analytical Method ¹⁾	Analytical Acurancies Detective Limit
SiO ₂	GA	0.01 %
TiO ₂	ICP	0.01 %
Al ₂ O ₃	ICP	0.01 %
Fe ₂ O ₃	AAS	0.01 %
FeO	KMnO ₄ Titration	0.01 %
MnO	AAS	0.01 %
MgO	AAS	0.01 %
CaO	AAS	0.01 %
Na ₂ O	AAS	0.01 %
K ₂ O	AAS	0.01 %
P ₂ O ₅	AAS	0.01 %
LOI	GM	0.01 %

2) Geochemical Analysis

Elements	Analytical Method ¹⁾	Analytical Acurancies Detective Limit
La	ICP	1 ppm
Ge	ICP	2 ppm
Nd	ICP	5 ppm
Sm	ICP	0.1 ppm
Eu	ICP	0.5 ppm
Tb	ICP	0.1 ppm
Yb	ICP	0.1 ppm
Lu	ICP	0.1 ppm
Sc	ICP	0.5 ppm
Y	ICP	1 ppm
U	ICP-MASS	1 ppm
Th	ICP-MASS	1 ppm
Nb	ICP	2 ppm
Ta	ICP	2 ppm
Zr	ICP	3 ppm
Fe	ICP	0.01 %
Mn	ICP	5 ppm
Sr	ICP	1 ppm
P	ICP	50 ppm

- 1) GA: gravimetric analysis
 AAS: atomic absorption analysis
 ICP: inductivity coupled plasma
 ICP-MASS: mass spectrometry of ICP

表II-2-7 オレンジ地区の岩相別基本統計値一覽表

Nos.	La (ppm)	Ce (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Bu (ppm)	Tb (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)	Sc (ppm)	Y (ppm)	U (ppm)	Th (ppm)	Nb (ppm)	Ta (ppm)	Zr (ppm)	Mn (ppm)	Sr (ppm)	P (ppm)	Fe (%)
Maximum Contents																			
9	5130	9060	3290	622	127	46	10	3	20	119	26	716	848	78	113.0	37700	13300	5370	8.61
40	9450	11470	2020	235	36	47	7	1	12	151	28	47	5280	10	67.0	12500	20120	22600	9.73
106	2570	4270	1250	191	37	45	3	1	10	56	31	283	4730	35	54.0	9450	7440	18300	8.11
33	667	1062	422	93	19	42	18	2	12	105	210	156	3310	63	1620.0	4120	3470	11500	6.61
46	692	868	280	52	14	39	24	1	7	111	268	90	8770	67	857.0	7600	9160	18500	6.94
17	264	482	230	33	2	21	4	1	3	30	286	56	3170	15	700.0	2180	3030	3930	4.61
26	295	711	463	186	77	46	70	8	10	1280	118	332	3020	16	449.0	2530	3540	87400	4.76
11	931	1530	437	89	35	71	11	2	66	459	38	119	322	8	631.0	9090	1700	12900	12.50
68	448	560	186	41	16	96	19	3	66	190	31	141	952	31	907.0	4340	877	18240	18.30
Minimum Contents																			
9	211.0	439.0	173.0	35.6	9.1	6.2	1.8	0.8	0.5	40.0	1.0	1.0	5.0	2.0	3.0	5880	1130	222	1.44
40	48.0	14.0	5.0	0.1	0.5	4.8	0.6	0.1	0.5	8.0	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1450	269	138	1.29
106	12.0	43.0	13.0	0.1	0.5	5.5	0.4	0.1	1.7	5.0	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0	3570	2570	54	1.84
33	2.0	10.0	4.0	0.1	0.5	4.0	0.4	0.1	0.5	1.0	1.0	1.0	38.0	2.0	17.0	266	123	173	1.06
46	69.0	128.0	43.0	1.1	2.4	2.2	1.3	0.1	0.5	17.0	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0	783	1640	78	0.22
17	11.0	27.0	9.0	0.1	0.5	5.5	0.6	0.2	0.5	4.0	2.0	4.0	2.0	2.0	10.0	355	551	237	0.90
26	9.0	20.0	8.0	0.1	0.5	2.8	0.3	0.1	0.5	3.0	1.0	4.0	39.0	2.0	4.0	47	139	228	0.07
11	48.0	81.0	28.0	0.1	0.6	3.8	0.2	0.1	0.5	4.0	1.0	2.0	22.0	2.0	8.0	210	82	134	0.33
68	1.0	9.0	3.0	0.1	0.5	1.4	0.2	0.1	0.5	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	4.0	171	6	179	0.32
Arithmetic Average Contents																			
9	2390.0	4275.4	1576.7	234.1	45.7	28.4	4.8	1.4	7.3	75.6	9.7	241.3	210.0	12.6	21.0	13731	8079	2302	5.95
40	398.2	562.7	156.0	22.5	5.9	17.3	1.8	0.4	2.3	31.5	4.0	10.2	1408.3	2.6	5.6	6488	4312	7563	3.59
106	254.1	406.5	110.8	12.5	3.2	20.8	0.9	0.6	3.8	10.9	4.1	21.7	622.6	4.0	4.1	6468	4870	651	3.55
33	91.0	163.5	61.8	9.3	3.0	14.7	2.3	0.6	1.8	18.7	20.6	20.0	509.5	16.7	397.3	1338	1233	2833	3.12
1	33.0	68.0	25.0	0.1	0.9	13.3	1.9	0.7	0.5	13.0	9.0	11.0	639.0	14.0	849.0	1560	598	2220	3.74
46	208.8	366.3	127.1	23.0	6.6	10.3	5.2	0.7	1.1	59.7	17.4	12.2	588.0	8.8	122.0	2053	4396	4493	1.70
17	82.5	145.6	48.8	4.4	1.3	12.1	1.5	0.5	1.0	15.7	44.0	15.4	580.6	4.4	208.9	1153	1351	1351	2.09
26	80.3	156.6	56.0	11.7	4.6	10.6	4.6	0.7	1.2	67.6	32.6	25.7	525.7	5.6	126.3	1106	1274	5005	2.32
11	235.7	352.9	116.1	19.9	9.0	28.7	4.8	0.8	15.3	113.1	9.7	35.5	193.7	3.9	158.8	2077	595	2601	5.02
68	63.7	114.6	39.1	3.8	1.6	14.2	3.2	0.6	9.4	24.0	5.3	20.7	93.7	3.4	158.0	292	1111	1111	3.04
Standard Deviations																			
9	1591.6	2700.6	1086.4	182.9	36.5	15.2	3.0	0.5	6.0	24.9	9.5	269.7	260.6	21.7	34.6	10837	4835	1948	2.15
40	1453.4	1755.5	306.0	37.1	5.8	7.8	1.2	0.3	2.7	22.9	6.9	11.3	1452.5	1.6	10.1	2243	3313	6206	1.73
106	430.6	671.0	184.3	28.2	5.3	7.4	0.4	0.2	1.6	8.2	5.6	33.6	790.5	5.3	5.3	1165	859	2400	1.25
33	123.1	206.4	80.3	17.8	4.0	7.7	3.2	0.3	2.9	19.8	38.2	28.8	651.7	14.8	334.1	816	1065	3030	1.25
46	95.4	132.8	47.9	10.6	2.7	6.9	4.4	0.3	1.8	20.3	43.0	16.1	1366.1	14.9	215.2	1566	1719	4640	1.43
17	58.6	107.9	49.0	8.0	0.7	5.2	0.9	0.3	0.7	7.3	64.5	13.0	723.2	4.1	189.9	446	803	998	1.29
26	76.9	163.3	88.2	35.3	14.6	8.2	13.4	1.5	1.9	243.3	39.9	61.7	660.5	3.6	189.9	544	851	16334	1.22
11	254.4	420.4	123.2	31.9	11.3	20.4	3.0	0.5	20.1	131.5	12.5	35.4	237.9	2.4	168.5	2355	505	3590	3.76
68	63.8	90.1	30.7	6.0	2.5	13.4	3.8	0.4	11.3	31.1	6.5	24.5	156.3	4.9	175.9	729	190	2410	3.05
Geometric Average Contents																			
9	1716.6	3162.4	1095.6	156.1	31.9	22.8	4.0	1.3	4.8	71.4	4.4	79.7	76.8	5.6	7.8	10813	5945	1375	5.35
40	156.4	243.7	88.9	8.6	4.1	15.8	1.5	0.9	1.5	26.3	1.8	5.9	434.6	2.4	3.9	6081	3267	3762	3.27
106	131.8	232.2	63.0	1.9	1.7	19.4	0.8	0.5	3.6	9.4	2.5	11.6	213.7	2.8	3.5	6365	4788	188	3.78
33	46.6	87.3	33.6	1.2	1.5	12.9	1.5	0.5	1.0	11.7	3.6	11.2	304.9	11.3	271.2	1123	783	1595	2.83
46	192.5	344.1	118.8	19.9	6.1	8.7	4.3	0.6	0.8	55.9	5.4	6.1	141.9	3.8	27.5	1683	4076	2114	1.25
17	62.2	114.2	55.8	0.8	1.1	11.0	1.3	0.4	0.8	18.6	21.6	12.1	280.0	3.4	124.9	1047	1377	1020	2.34
26	54.0	106.5	33.1	2.6	1.5	8.8	1.5	0.4	0.7	16.4	14.3	15.0	279.6	4.6	61.6	925	960	1432	1.85
11	150.3	218.2	77.3	3.9	4.0	21.2	3.4	0.6	6.6	60.4	4.9	18.1	94.9	3.3	89.0	1292	418	1122	3.66
68	42.6	87.5	30.5	1.2	1.1	10.5	2.2	0.5	5.9	16.0	3.3	13.8	45.7	2.5	92.7	778	219	589	2.20

サイト岩体では、10,000ppm以上の高濃集地点が確認された。REE含有が期待された北部された斑状霞石閃長岩(Msp)岩体については、最大Ceで482ppmの濃度を示したが、カーボナタイトの平均濃度と比較して顕著な濃集とは言い難い。

Ceの高濃集試料のXRD試験結果では、REE鉱物としてバーネスタネイト((Ce, La)CO₃F)及びモナズ石((Ce, La, Y, Th)(PO₄))が同定されている。

2. Sc及びY

Yの濃度分布図を図Ⅱ-2-7に示す。

これらの元素は、調査地区北方のナマ層群分布域中で100ppm以上の高濃度帯が認められる。ベフォルサイト中では、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

Thの濃度分布図を図Ⅱ-2-8に示す。

MQC内のU及びThの濃度は、カーボナタイト岩脈の一部に690ppmのThの濃集が認められる以外、後述するオソゴンボ(Osongombo)ダイアトリームと比較して岩体内の広範囲にわたる高濃度異常は認められない。相対的には、南部のベフォルサイト岩体の周縁部で高濃度域を形成している。

4. Nb及びTa

Nbの濃度分布図を図Ⅱ-2-9に示す。

MQC内では、相対的に高濃度となっている。特に東のベフォルサイト岩体中では、岩体内全般に渡って1,000ppm以上の高濃集が認められる。南部のベフォルサイト岩体及び北部のREE含有斑状霞石閃長岩中及びそれらの周辺でも1,000ppm以上の濃集部が確認された。Nbの挙動は、東部のベフォルサイトにおいて高濃度を示すという点でREE元素と類似するが、他の岩相では、それらの元素間の相関は低い。

Nbの高濃集試料のXRD試験結果では、REE鉱物としてパイロクロア((Na, Ca)₂Nb₂O₆(F, OH, O))が同定されている。

5. Zr

Zrの濃度分布図を図Ⅱ-2-10に示す。

Zrは、二つのベフォルサイト岩体内で、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や基盤の片麻岩分布域では、1,000ppm以上の高濃度地点が散点する。